

现代 机械设计师手册

上册

闻邦椿 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

现代 机械设计师手册



闻邦椿 主编

《现代机械设计师手册》篇目

篇次	章 名
上 册	
第 1 篇 机械设计基础资料	1. 常用设计资料 2. 机械制图 3. 极限与配合、几何公差及表面结构 4. 机械工程设计材料
第 2 篇 机构分析与设计	1. 机构的组成原理与分析方法 2. 平面连杆机构设计 3. 凸轮机构设计 4. 步进机构 5. 机械系统运动方案设计与机构选型
第 3 篇 连接与弹簧	1. 螺纹与螺纹连接 2. 轴毂连接与销连接 3. 焊接、铆接与粘接 4. 弹簧
第 4 篇 机械传动	1. 摩擦轮传动与螺旋传动 2. 带传动 3. 链传动 4. 渐开线圆柱齿轮传动 5. 圆弧齿轮传动 6. 锥齿轮传动 7. 蜗杆传动 8. 减速器与无级变速器
第 5 篇 轴系零件与轴承	1. 轴 2. 滑动轴承 3. 滚动轴承 4. 联轴器、离合器与制动器
下 册	
第 6 篇 润滑与密封	1. 润滑 2. 密封
第 7 篇 起重机零部件和操作件	1. 起重机零部件 2. 操作件
第 8 篇 流体传动	1. 液压传动 2. 气压传动
第 9 篇 机电一体化设计、电动机与常用电器	1. 机电一体化设计 2. 电动机与常用电器
第 10 篇 现代设计方法	1. 创新设计 2. 有限元设计 3. 优化设计 4. 机械系统的振动设计 5. 疲劳强度设计 6. 可靠性设计 7. 机械产品造型与人机工程设计 8. 数字化设计 9. 机械产品系统化设计

现代机械设计师手册

上 册

主 编 闻邦椿
副主编 张义民 鄂中凯 孙志礼
陈良玉 宋锦春



机 械 工 业 出 版 社

《现代机械设计师手册》是与《机械设计手册》(第5版、6卷本)配套编写的,是《机械设计手册》的缩编本。它既编入了《机械设计手册》的最主要内容,又大量缩减了篇幅,更加简便、实用。它与《机械设计手册》,既相互独立又可配合使用。

《现代机械设计师手册》涵盖了常规设计与现代设计方法的精华,特点是篇幅小、体系新、内容新、系统、全面、可靠、实用,便于查阅和携带。

全书共10篇,分上下两册出版。上册包括机械设计基础资料,机构分析与设计,连接与弹簧,机械传动,轴系零件与轴承;下册包括润滑与密封,起重机零部件和操作件,流体传动,机电一体化设计、电动机与常用电器,现代设计方法。

本书供从事机械设计、维护及有关工程技术人员作为工具书使用,也可供大专院校有关专业的教师、学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代机械设计师手册.上册/闻邦椿主编. —北京:机械工业出版社, 2012.12

ISBN 978-7-111-38255-3

I. ①现… II. ①闻… III. ①机械设计—技术手册 IV. ①TH122-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第086716号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:曲彩云 责任编辑:曲彩云

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:姚毅 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市胜利装订厂装订)

2012年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·92.75印张·3插页·3045千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38255-3

定价:248.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

为顺应现代机械设计发展趋势,根据新编内容将《新编机械设计师手册》改名为《现代机械设计师手册》。

《现代机械设计师手册》与《机械设计手册》(第5版、6卷本)配套编写,是《机械设计手册》的缩编本。它既编入了《机械设计手册》最主要内容,又大量缩减了篇幅,更加简便实用。它与《机械设计手册》既相互独立又可配合使用,从而形成了机械设计工具书的完整体系。

本版手册的编写原则仍然是贯彻科学性、先进性、实用性、可靠性。根据编写原则,为更好地适应现代机械设计的发展潮流,着力在以下方面作了修订和充实。

一、在采用和贯彻新标准方面

本版手册采用了2011年12月以前出版发行的相关国家新标准和相关的国际新标准,标准更新率达65%以上,其中2008年到2010年的新标准超过200个。例如焊缝的表达及标注,圆柱齿轮精度制、平面二次包络蜗杆减速器及滚动轴承座等都是2008年颁布的新国家标准;极限与配合,球墨铸铁、铸钢、流体传动系统及元件图形符号等都是2009年颁布的新国家标准,灰铸铁、可锻铸铁、重要用途碳素弹簧钢丝等6种材料及Y系列(IP23)等8个系列的三相异步电动机等都是2010年颁布的新国家标准。

本版手册重视贯彻国家标准,例如对几何公差——形状、方向、位置和跳动公差标注(GB/T 1182—2008),表面结构的表示法(GB/T 131—2006)等,本版手册的所有插图都是按新国家标准标注的,可以作为范例,供读者参考。

二、在新材料、新元件、新产品方面

(1) 编入了新的工程材料钛及钛合金,充实了不锈钢,耐热钢材料和新型复合材料的内容。

(2) 机构分析与设计篇中编入了新型的并行机构与欠驱动机构的图例。减速器与无级变速器章中编入了新型金属带式无级变速器。流体传动篇中的内容、元件和产品作了大幅度的更新,例如编入新出现的具有广泛应用前景的螺纹插装阀。

三、在新的设计计算方法方面

按照国家标准 GB/T 3480—1997《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》、GB/T 10062—2003《锥齿轮承载能力计算方法》重新构建了实用、合理的齿轮设计体系。对圆柱齿轮和锥齿轮按照初步确定齿轮尺寸的简化计算、简化疲劳强度校核计算和一般疲劳强度校核计算编排了三种设计计算方法,以满足不同场合不同要求的齿轮设计要求。

按照最新国家标准 GB/T 17587.4—2008《滚珠丝杠副 第4部分:轴向静刚度》、GB/T 17587.5—2008《滚珠丝杠副 第5部分:轴向静载荷和动载荷及使用寿命》,在国内首次整理更新了滚珠丝杠传动选用、评估的计算方法和计算实例。

在机构分析与设计篇中新编了机械系统运动方案设计与机构形式选择一章,这有利于对机构进行综合和便于读者选用机构。

四、在机电一体化设计方面

机械技术与电子技术相结合已成为当前装备制造业的主流和发展趋向,机电一体化是现代机械技术的重要特征,为适应机电一体化技术的发展需要,本版手册专辟一篇机电一体化设计、电动机与常用电器。机电一体化设计部分主要从实用出发编入了机电一体化设计及机电控制的有关内容,并编入多个大型应用实例作为设计范例。

五、在精选现代设计方法方面

近年来出现了很多现代设计方法,为了使其有序可循,本手册对其进行了分类,在此基础上着眼于实用精选了9种现代设计方法,按照新的分类依次编入手册。

(1) 创新设计是现代机电产品提高竞争力的重要技术和方法。在这一章中,在概要介绍创新设计的基本理论、创新思维、创新技法的基础上,基于国际上著名的发明问题解决理论(TRIZ)就情景分析、理想设计、创新设计中的技术进化和技术预测、冲突以及冲突解决原理、物质—场模型方法等介绍了创新设计的系统化方法。介绍了29种创新思维方法,30种创新技术,40条发明创造原理,并通过大量应用实例开拓创新设计思路。

(2) 在《新编机械设计师手册》基础上,本着简明化、实用化的原则,本版手册对有限元设计、优化设计、机械系统的振动设计、疲劳强度设计、可靠性设计、机械产品的造型与人机工程设计等比较成熟的现代设计方法,做了全面修订和充实,吸收了最新研究成果,增加了系列应用实例。

(3) 随着机械产品设计由传统设计模式向现代设计模式的转变,数字化设计已成为现代化大型机械产品设计必备的设计工具。为此,本版手册开辟专章编写数字化设计。该章全面编入了数字化设计的流程、数字化设计的几何建模技术、数字化样机设计技术、数字化设计中的KBE技术、数字化仿真与分析技术、基于逆向工程的数字化设计,协同设计等。本章还编入了现代化、大型的全断面掘进机及新型摩托车的数字化设计实例作为数字化设计的范例。

(4) 开辟专章编入机械产品系统化设计。该系统化设计是一种基于系统工程的产品深层次的系统化设计理论和方法。它以产品功能设计、性能设计和产品质量检验和评估为基本目标,将产品设计过程分为准备阶段、规划阶段、实施阶段和设计质量检验阶段等四个阶段,以准备阶段的3I调研、规划阶段的7D规划、实施阶段的深层次1+3+X系统化设计和设计质量检验阶段的3A检验为基本要点构成系统化设计的新体系,它是由闻邦椿院士在国际上首次提出并建立,已经在我国京沪高速列车动车及压缩机等工程中成功应用并获得重大社会效益和重大经济效益。手册中对该系统化设计法作了系统论述,并给出了大型综合应用实例,对我国大型、复杂、现代化机械产品的设计具有指导和示范作用。

本版手册主编闻邦椿,副主编张义民、鄂中凯、孙志礼、陈良玉、宋锦春。

参加编写的人员有:鄂中凯(第1篇第1章),黄英、李小号(第1篇第2、3章),巩云鹏、张伟华(第1篇第4章、第4篇第4、5章、第5篇第1章),李树军、孟祥志(第2篇第1、2、3、4、5章),吴自通(第3篇第1、2、3章),孙德志、刘炜丽(第3篇第4章,第4篇第3章),陈良玉(第4篇第1、6、7章),修世超(第4篇第2章、第6篇第2章),程乃士、刘温、程越(第4篇第8章),孙志礼、闫玉涛、杨强(第5篇第2、4章,第10篇第6章部分内容),王金、李贵华(第5篇第3章),丁津原、陈卓君(第6篇第1章),郑夕健、鄂晓宇、谢正义(第7篇第1、2章),宋锦春、陈建文、张志

伟 (第8篇第1、2章), 刘杰、李允公、刘宇、戴丽 (第9篇第1章), 史家顺、朱立达、孙晓巍 (第9篇第2章), 赵新军、孙晓枫、钟莹 (第10篇第1章), 韩清凯、翟敬宇 (第10篇第2章), 宋桂秋 (第10篇第3章), 闻邦椿、刘树英 (第10篇第4、9章), 张义民 (第10篇第6章部分内容), 刘洋、任宏 (第10篇第7章), 王宛山、郭钢、于天彪、李虎、杨建宇、朱立达 (第10篇第8章)。

审稿人员有: 闻邦椿、王宛山、张义民、鄂中凯、孙志礼、陈良玉、宋锦春、刘杰、宋桂秋、巩云鹏、王德俊、丁津原、王金、吴自通、程乃士、修世超、韩清凯、巩亚东、李树军、黄英、郑夕健、郝永平、于天彪、刘洋、张志伟、陈建文。

在本手册出版之际, 向著名机械学家、《新编机械设计师手册》主编徐灏教授、副主编蔡春源教授致以崇高的敬意。向参加本手册的编写单位和人员表示衷心感谢, 向在手册编写、出版过程中给予大力支持的单位和社会各届朋友们表示衷心感谢, 特别感谢机械科学研究总院、郑州机械研究所、沈阳铝镁设计研究院、北方重工集团沈阳重型机械集团有限责任公司和沈阳矿山机械集团有限责任公司、沈阳机床集团有限责任公司、沈阳鼓风机集团有限责任公司、国家标准馆辽宁分馆及沈阳分馆等单位的大力支持。

由于水平有限, 手册难免有一些不尽人意之处, 殷切希望广大读者批评指正。

主编 闻邦椿

目 录

前言

上 册

第 1 篇 机械设计基础资料

第 1 章 常用设计资料	1 - 3	5.12 弧形槽端部半径	1 - 45
1 常用字母与标准代号	1 - 3	5.13 砂轮越程槽	1 - 45
1.1 常用字母	1 - 3	5.14 刨切、插切、珩磨越程槽	1 - 46
1.2 国内和国外部分标准代号	1 - 4	5.15 退刀槽	1 - 46
2 常用数据	1 - 5	5.16 插齿、滚齿退刀槽	1 - 47
2.1 金属硬度与强度换算	1 - 5	5.17 滚花	1 - 48
2.2 常用材料的物理性能	1 - 9	5.18 分度盘和标尺刻度	1 - 48
2.3 常用材料及物体的摩擦因数	1 - 13	5.19 锯缝尺寸	1 - 48
2.4 机械传动效率的概略值	1 - 16	6 铸件的设计规范	1 - 49
2.5 常用物理量常数	1 - 17	6.1 铸件的最小壁厚和最小铸孔尺 寸	1 - 49
3 计量单位和单位换算	1 - 17	6.2 铸造斜度	1 - 50
3.1 国际单位制 (SI) 单位	1 - 17	6.3 铸造圆角半径	1 - 50
3.2 可与国际单位制单位并用的我 国法定计量单位	1 - 19	6.4 铸件壁厚的过渡与壁的连接形 式及尺寸	1 - 51
3.3 常用物理量符号及其法定单位	1 - 20	6.5 铸件加强肋的尺寸	1 - 53
3.4 常用计量单位换算	1 - 22	6.6 压铸件设计的基本参数	1 - 54
4 常用几何公式及截面的力学特性公 式	1 - 24	7 锻件的设计规范	1 - 54
4.1 常用几何体公式	1 - 24	7.1 模锻件的锻造斜度和最小内外 圆角半径	1 - 54
4.2 截面几何及力学特性公式	1 - 26	7.2 模锻件肋的高宽比和最小距离	1 - 55
5 一般标准和金属切削加工零件的设 计规范	1 - 30	7.3 模锻件的凹腔和冲孔连皮尺寸	1 - 55
5.1 标准尺寸	1 - 30	7.4 锻件腹板上冲孔的限制	1 - 56
5.2 机器轴高	1 - 32	8 冲压件的设计规范	1 - 56
5.3 机器轴伸	1 - 33	8.1 冲裁件的设计规范	1 - 56
5.4 棱体的角度与斜度	1 - 36	8.2 弯曲件的设计规范	1 - 58
5.5 圆锥的锥度与锥角系列	1 - 37	8.3 拉延伸件的设计规范	1 - 61
5.6 中心孔	1 - 40	8.4 成型件的设计规范	1 - 62
5.7 零件的倒圆、倒角	1 - 41	9 塑料件的设计规范	1 - 64
5.8 圆形零件自由表面过渡圆角半 径和静配合连接轴用倒角	1 - 42	9.1 壁厚、高度和最小壁厚	1 - 64
5.9 球面半径	1 - 43	9.2 脱膜斜度、圆角及加强肋的尺 寸	1 - 64
5.10 燕尾槽	1 - 43	9.3 孔的最小直径、孔深及孔的尺 寸关系	1 - 65
5.11 T 形槽	1 - 43	9.4 用成型型芯制出通孔的孔深和	

孔径	1 - 65	制优先和常用配合	1 - 122
9.5 螺纹孔的尺寸关系与螺纹成型		1.5.4 公称尺寸至 500mm 的基轴	
部分退刀尺寸	1 - 66	制优先和常用配合	1 - 122
9.6 滚花的推荐尺寸	1 - 66	1.5.5 常用、优先配合特性及应	
第 2 章 机械制图	1 - 67	用举例	1 - 122
1 国家标准《技术制图》与《机械		1.6 圆锥公差	1 - 128
制图》的基本规定	1 - 67	1.6.1 圆锥公差项目及给定方法	1 - 128
1.1 图纸幅面和格式	1 - 67	1.6.2 圆锥公差的数值及选取	1 - 128
1.2 标题栏和明细栏	1 - 68	2 几何公差	1 - 131
1.3 绘图比例	1 - 69	2.1 几何公差分类、几何特征、	
1.4 图线	1 - 69	符号及附加符号	1 - 131
1.5 剖面符号	1 - 71	2.2 几何公差标注方法	1 - 132
2 尺寸注法	1 - 71	2.3 几何公差常用项目的注出公差	
2.1 尺寸标注的基本规定	1 - 71	值	1 - 134
2.2 尺寸标注的常用符号和常用结		3 表面结构	1 - 139
构的注法	1 - 74	3.1 粗糙度轮廓的主要评定参数	1 - 139
2.3 图样中尺寸公差标注的注法	1 - 77	3.2 表面结构的符号和代号	1 - 139
3 常用结构规定画法	1 - 78	3.3 表面结构代号在图样上的标注	1 - 141
3.1 螺纹及螺纹紧固件的规定画法		3.4 表面结构要求的新旧标准对照	1 - 144
和标记方法	1 - 78	3.5 表面粗糙度参数值的选用参考	1 - 145
3.2 花键画法	1 - 81	第 4 章 机械工程材料	1 - 152
3.3 齿轮画法	1 - 82	1 金属材料的主要力学性能名称和符	
3.4 弹簧画法	1 - 83	号	1 - 152
3.5 滚动轴承画法	1 - 85	2 钢铁材料（黑色金属）	1 - 153
3.6 动密封圈表示法	1 - 86	2.1 铸铁	1 - 153
3.7 标准中心孔表示法	1 - 89	2.1.1 灰铸铁	1 - 153
4 机构运动简图符号	1 - 90	2.1.2 可锻铸铁	1 - 155
第 3 章 极限与配合、几何公差及		2.1.3 球墨铸铁	1 - 156
表面结构	1 - 98	2.1.4 蠕墨铸铁	1 - 157
1 极限与配合	1 - 98	2.1.5 抗磨白口铸铁	1 - 157
1.1 标准公差	1 - 98	2.1.6 耐热铸铁	1 - 158
1.2 基本偏差	1 - 100	2.2 铸钢	1 - 159
1.3 极限偏差	1 - 100	2.2.1 一般工程用铸钢	1 - 159
1.3.1 公称尺寸至 500mm 轴的极		2.2.2 焊接结构用碳素铸钢	1 - 159
限偏差	1 - 100	2.2.3 合金铸钢	1 - 160
1.3.2 公称尺寸至 500mm 孔的极		2.2.4 奥氏体锰钢铸件	1 - 161
限偏差	1 - 110	2.2.5 耐热铸钢	1 - 161
1.3.3 公称尺寸 >500 ~ 3150mm		2.3 钢	1 - 162
轴和孔的极限偏差	1 - 118	2.3.1 碳素结构钢	1 - 162
1.4 一般公差	1 - 122	2.3.2 优质碳素结构钢	1 - 163
1.5 极限与配合的选择	1 - 122	2.3.3 低合金高强度结构钢	1 - 166
1.5.1 孔、轴常用公差带的选择	1 - 122	2.3.4 合金结构钢	1 - 168
1.5.2 轴的各种基本偏差的应用	1 - 122	2.3.5 弹簧钢	1 - 179
1.5.3 公称尺寸至 500mm 的基孔		2.3.6 工具钢	1 - 180
		2.3.7 不锈钢	1 - 184

2.3.8 耐热钢	1-189	3.3.4 钛及钛合金管材	1-249
2.3.9 滚动轴承钢	1-192	3.4 铸造轴承合金	1-250
2.4 钢材	1-193	4 非金属材料	1-251
2.4.1 热轧圆钢、方钢、六角和八角钢	1-193	4.1 橡胶及橡胶制品	1-251
2.4.2 冷拉圆钢、方钢和六角钢	1-196	4.1.1 工程常用橡胶的性能及应用	1-251
2.4.3 热轧等边角钢	1-198	4.1.2 橡胶管	1-255
2.4.4 热轧不等边角钢	1-201	4.1.3 工业用橡胶板	1-257
2.4.5 热轧槽钢	1-205	4.2 石棉制品	1-258
2.4.6 热轧工字钢	1-206	4.3 工程塑料	1-260
2.4.7 冷拔无缝方形钢管	1-208	4.3.1 常用工程塑料的性能特点和应用	1-260
2.4.8 冷拔无缝矩形钢管	1-209	4.3.2 常用工程塑料的技术性能	1-264
2.4.9 无缝钢管	1-214	4.3.3 塑料管材	1-268
2.4.10 焊接钢管	1-216	4.3.4 塑料棒材与板材	1-271
2.4.11 冷轧钢板和钢带及热轧钢板和钢带	1-217	4.4 其他非金属材料	1-272
2.4.12 不锈钢冷轧、热轧钢板和钢带	1-219	4.4.1 工业有机玻璃	1-272
2.4.13 耐热钢板和钢带	1-221	4.4.2 工业用毛毡	1-273
2.4.14 合金结构钢热轧厚钢板	1-222	4.4.3 软钢纸板	1-276
2.4.15 优质碳素结构钢热轧厚钢板和钢带	1-222	4.4.4 常用密封填料	1-276
2.4.16 弹簧钢丝	1-222	5 复合材料	1-277
2.4.17 钢丝	1-226	5.1 金属基复合材料	1-277
3 非铁材料(有色金属)	1-229	5.1.1 钛-铜复合棒	1-277
3.1 铜与铜合金	1-229	5.1.2 不锈钢复合钢板	1-278
3.1.1 加工铜与铜合金	1-229	5.1.3 铜-钢复合钢板	1-279
3.1.2 铸造铜合金	1-233	5.1.4 钛-钢复合钢板	1-279
3.1.3 铜棒	1-235	5.2 塑料基复合材料	1-280
3.1.4 铜管	1-237	5.2.1 碳纤维增强热塑料	1-280
3.2 铝与铝合金	1-239	5.2.2 玻璃纤维增强塑料	1-281
3.2.1 铸造铝合金	1-239	5.3 纤维增强金属基复合材料	1-283
3.2.2 变形铝与铝合金	1-241	5.3.1 碳(石墨)纤维增强铝复合材料	1-283
3.2.3 铝及铝合金挤压棒材	1-243	5.3.2 碳纤维增强铝复合材料	1-283
3.2.4 铝及铝合金冷拉、冷轧管材	1-244	5.3.3 碳纤维增强铜复合材料	1-283
3.3 钛及钛合金	1-245	5.4 塑料-金属基复合材料	1-284
3.3.1 铸造钛及钛合金	1-245	5.4.1 塑料-青铜-钢背三层复合板材	1-284
3.3.2 钛及钛合金型材	1-245	5.4.2 塑覆铜管	1-284
3.3.3 钛及钛合金板材	1-246	参考文献	1-285

第2篇 机构分析与设计

第1章 机构的组成原理与分析方法	2-3
1 机构	2-3

1.1 运动副	2-3
1.2 机构简图	2-3

1.3 机构的自由度	2-4	滑块机构	2-29
1.3.1 平面机构的自由度	2-4	3.2 按给定主、从动件两对对应转角 或位移设计四杆机构	2-30
1.3.2 空间机构的自由度	2-5	3.2.1 给定两对对应转角设计铰接 四杆机构	2-30
2 平面机构组成原理	2-5	3.2.2 按两对对应转角设计导杆机 构	2-30
2.1 基本杆组法	2-5	3.2.3 按给定两对对应转角、位移 设计	2-30
2.2 机架变换与主动件的选择	2-6	3.3 按给定主、从动件三对对应转角 设计四杆机构	2-31
2.3 运动副的同性异构演化	2-6	3.4 局部区间内近似等传动比传动机 构设计	2-32
2.4 平面高副与低副的等效替代	2-7	3.4.1 串接导杆机构实现局部近似 等传动比传动	2-32
2.5 机构的分解	2-8	3.4.2 串接回转导杆机构驱动正弦 机构	2-33
3 平面机构的运动分析	2-9	3.4.3 串接双曲柄机构驱动曲柄滑 块机构	2-33
3.1 II级机构的运动分析	2-9	3.5 带有停歇工作段的传动机构设 计	2-34
3.2 II级机构的运动分析举例	2-12	3.5.1 一个极限位置停歇的函数 机构	2-34
4 平面机构的动态静力分析	2-13	3.5.2 往复行程两个极限位置近似 停歇机构	2-38
4.1 机械工作过程中所受的力	2-13	3.5.3 在往复行程中间有停歇的机 构	2-41
4.2 II级机构的动态静力分析	2-14	4 轨迹机构的设计	2-41
4.3 II级机构的动态静力分析举例	2-15	4.1 按连杆曲线与给定曲线近似地重 合设计平面四杆机构	2-41
第2章 平面连杆机构设计	2-17	4.1.1 铰链四杆机构设计	2-41
1 平面连杆机构设计的基本问题和方 法	2-17	4.1.2 曲柄滑块机构设计	2-42
1.1 平面连杆机构设计的基本问题	2-17	4.2 利用连杆曲线设计输出杆近似停 歇的平面四杆机构	2-42
1.2 平面连杆机构的设计方法	2-17	4.3 直线轨迹机构设计	2-43
2 导引机构设计	2-17	4.3.1 精确的直线轨迹机构	2-43
2.1 点的平面曲线导引	2-18	4.3.2 近似直线轨迹机构	2-43
2.1.1 四杆机构的连杆曲线	2-18	第3章 凸轮机构设计	2-49
2.1.2 谢尔维司特仿图仪	2-19	1 常用凸轮机构的类型	2-49
2.1.3 罗伯茨—切贝舍夫定理	2-19	2 从动件的运动规律	2-50
2.1.4 四杆机构的对称连杆曲线	2-19	2.1 无因次运动参量	2-50
2.1.5 凸轮连杆曲线导引机构	2-21	2.2 荐用从动件运动规律及其选用原 则	2-51
2.2 刚体导引机构	2-21	2.3 通用凸轮从动件运动曲线	2-53
2.2.1 图解法	2-21	3 凸轮机构的压力角、凸轮的基圆半径	
2.2.2 解析法	2-21		
2.2.3 刚体的平行导引机构	2-25		
2.2.4 刚体转动的导引机构	2-25		
3 函数机构设计	2-27		
3.1 按预期主、从动件一对对应转角 或位移设计四杆机构	2-27		
3.1.1 只按主、从动件同向或反向 摆过预定角度的设计	2-27		
3.1.2 给定对应转角且从动件处于 两个极限位置的设计	2-28		
3.1.3 按给定转角和从动件位移设 计四杆机构	2-28		
3.1.4 按给定主动件位移和从动件 转角设计四杆机构	2-28		
3.1.5 按滑块两极限位置设计曲柄			

及凸轮廓线的曲率半径	2-55	1.3.2 传动机构的类型	2-80
3.1 压力角	2-55	1.4 机械系统运动方案设计实例	2-81
3.2 凸轮的基圆半径	2-56	1.4.1 蜂窝煤成型机的功能	2-81
3.3 凸轮廓线的曲率半径	2-58	1.4.2 技术原理	2-81
4 凸轮的理论廓线、实际廓线及刀具		1.4.3 运动循环图	2-82
中心轨迹	2-58	1.4.4 机械系统运动方案的构思	2-82
4.1 用作图法求凸轮廓线	2-59	1.4.5 方案分析	2-83
4.2 用计算法求凸轮廓线	2-59	2 机构选型参考图例	2-83
5 凸轮和滚子的结构、材料、强度、		2.1 等传动比机构	2-83
精度和工作图	2-61	2.1.1 传动效率高的增、减速机	
5.1 凸轮和滚子的结构	2-61	构	2-83
5.1.1 凸轮结构举例	2-61	2.1.2 具有很大传动比的减速机	
5.1.2 滚子结构举例	2-61	构	2-84
5.2 凸轮和从动件常用材料	2-62	2.1.3 传动比等于1的传动机构	2-86
5.3 凸轮机构强度计算	2-62	2.1.4 机器人操作手的手腕机构	2-87
5.4 凸轮精度	2-63	2.2 周期变传动比传动机构	2-88
5.5 凸轮工作图	2-63	2.2.1 连杆机构	2-88
第4章 步进机构	2-65	2.2.2 齿轮连杆机构和齿轮凸轮	
1 棘轮机构	2-65	机构	2-89
2 槽轮机构	2-68	2.3 变速和调速机构	2-90
2.1 单销槽轮机构	2-68	2.3.1 有级变速机构	2-90
2.2 多销槽轮机构	2-69	2.3.2 无级变速机构	2-91
2.3 改进动力学性能的槽轮机构	2-69	2.4 往复运动机构	2-92
2.3.1 外槽轮机构	2-69	2.4.1 连续转动变换为往复移动	2-92
2.3.2 内槽轮机构	2-70	2.4.2 连续转动变换为往复摆动	2-93
3 齿轮—连杆步进机构	2-71	2.5 行程放大和可调节机构	2-95
3.1 对心曲柄滑块机构控制差动轮		2.5.1 行程放大机构	2-95
系	2-71	2.5.2 运动参数可调节机构	2-96
3.2 用行星轮驱动铰接四杆机构或		2.6 增力及夹持机构	2-97
导杆机构	2-72	2.6.1 斜面及螺旋式增力机构	2-97
4 不完全齿轮机构	2-73	2.6.2 增力夹持机构	2-98
第5章 机械系统运动方案设计与		2.7 步进机构	2-99
机构选型	2-76	2.8 轨迹机构	2-100
1 机械系统运动方案设计	2-76	2.9 差动机构	2-101
1.1 机械系统组成及其方案设计流		2.9.1 差动螺旋机构	2-101
程	2-76	2.9.2 差速齿轮机构	2-101
1.2 机构的选择及相互协调配合	2-77	2.9.3 连杆和柔性构件组成的差	
1.2.1 执行构件的运动形式和运		速机构	2-103
动参数	2-77	2.10 换向机构	2-104
1.2.2 各执行构件运动的协调配		2.11 伸缩机构	2-105
合关系	2-79	2.12 并联机构	2-106
1.2.3 工作循环图	2-79	2.13 机械自适应机构	2-107
1.3 原动机及传动机构的选择	2-80	2.13.1 变机架机构	2-107
1.3.1 原动机的类型及应用	2-80	2.13.2 欠驱动机构	2-107
		2.13.3 变胞机构	2-108

参考文献	2 - 110
------------	---------

第 3 篇 连接与弹簧

第 1 章 螺纹与螺纹连接 3 - 3

1 螺纹及螺纹零件的结构要素 3 - 3

1.1 螺纹 3 - 3

1.1.1 螺纹的种类、特点和应用 3 - 3

1.1.2 普通螺纹 3 - 4

1.1.3 管螺纹 3 - 11

1.1.4 梯形螺纹 3 - 19

1.1.5 锯齿形 (3°、30°) 螺纹 3 - 26

1.1.6 矩形螺纹 3 - 33

1.2 螺纹零件结构要素 3 - 33

1.2.1 普通螺纹收尾、肩距、退刀槽和倒角 3 - 33

1.2.2 紧固件用沉孔 3 - 34

1.2.3 螺栓和螺钉通孔 3 - 36

1.2.4 地脚螺栓孔和凸台 3 - 36

1.2.5 扳手空间 3 - 37

2 螺纹连接 3 - 38

2.1 螺纹紧固件连接的主要类型及其应用 3 - 38

2.2 螺纹连接常用的防松方法 3 - 38

2.3 螺栓组连接受力分析及强度计算 3 - 43

2.3.1 螺栓组连接受力分析 3 - 43

2.3.2 螺栓强度计算 3 - 45

2.4 螺纹连接紧固件机械性能和材料 3 - 47

2.5 螺纹连接的标准元件及挡圈 3 - 52

2.5.1 螺栓和螺柱 3 - 52

2.5.2 螺钉 3 - 67

2.5.3 螺母 3 - 77

2.5.4 垫圈 3 - 89

2.5.5 挡圈 3 - 97

第 2 章 轴毂连接与销连接 3 - 106

1 键与花键连接 3 - 106

1.1 键连接 3 - 106

1.1.1 键和键连接的类型、特点和应用 3 - 106

1.1.2 键的选择和键连接的强度校核 3 - 107

1.1.3 键连接的标准元件 3 - 108

1.2 花键连接 3 - 117

1.2.1 花键连接的类型、特点及

应用 3 - 117

1.2.2 花键连接的强度计算 3 - 118

1.2.3 矩形花键尺寸及公差 3 - 125

2 销连接 3 - 127

2.1 销的类型、特点和应用 3 - 127

2.2 销的选择和销连接的强度校核 3 - 129

2.3 销的标准件 3 - 130

3 过盈连接 3 - 140

3.1 过盈连接的类型、特点及应用 3 - 140

3.2 圆柱面过盈连接计算 3 - 141

4 胀紧连接 3 - 147

4.1 胀紧连接套的形式与基本尺寸 3 - 147

4.2 胀紧连接套的选用和设计 3 - 155

4.3 胀紧连接套安装和拆卸的一般要求 3 - 157

第 3 章 焊接、铆接与粘接 3 - 158

1 焊接 3 - 158

1.1 焊接方法分类及选用 3 - 158

1.2 焊条及金属材料的焊接性 3 - 162

1.2.1 焊条 3 - 162

1.2.2 金属材料的焊接性 3 - 163

1.3 焊接接头的基本形式、坡口及其选择 3 - 166

1.4 焊接接头的静载强度计算 3 - 170

1.4.1 电弧焊接头的静载强度计算 3 - 170

1.4.2 电阻焊接头的静载强度计算 3 - 173

1.5 焊缝在图样上的表达及标注 3 - 174

1.6 焊件设计中一般应注意的问题 3 - 186

1.7 焊接结构的一般尺寸公差和几何公差 3 - 190

2 铆接 3 - 191

2.1 概述 3 - 191

2.2 铆缝设计 3 - 192

2.3 铆钉 3 - 194

2.3.1 常用铆钉的形式及应用 3 - 194

2.3.2 铆钉标准元件 3 - 195

2.4 盲铆钉 3 - 199

3 粘接 3 - 202

3.1 概述	3-202	1.6 设计计算例题	3-235
3.1.1 粘接特点	3-202	1.7 圆锥螺旋压缩弹簧的设计计算	3-239
3.1.2 粘接设计要点	3-202	2 碟形弹簧	3-241
3.2 胶粘剂的选择	3-202	2.1 碟形弹簧的结构和尺寸系列	3-241
3.2.1 胶粘剂的分类	3-202	2.2 碟形弹簧的设计计算	3-244
3.2.2 胶粘剂的选择	3-202	2.2.1 单片碟形弹簧的计算	3-244
3.3 粘接接头的结构型式	3-207	2.2.2 组合碟形弹簧的计算	3-245
3.4 粘接与胶补实例	3-211	2.3 碟形弹簧的许用应力和疲劳极限	3-247
第4章 弹簧	3-214	2.4 碟形弹簧的技术要求	3-247
1 螺旋弹簧	3-214	2.5 计算例题	3-248
1.1 圆柱螺旋弹簧的型式、代号及参数系列	3-214	2.6 碟形弹簧工作图	3-250
1.2 弹簧的材料、载荷类型及许用应力	3-216	3 环形弹簧	3-250
1.3 压缩、拉伸弹簧的设计	3-223	3.1 环形弹簧的结构、特点和应用	3-250
1.3.1 弹簧结构和载荷—变形图	3-223	3.2 环形弹簧的设计计算	3-251
1.3.2 设计计算	3-224	3.2.1 应力和变形量的计算	3-251
1.3.3 弹簧强度和稳定性校核	3-229	3.2.2 设计参数的选择和几何尺寸的计算	3-251
1.3.4 组合弹簧的设计计算	3-229	3.3 环形弹簧的材料及许用应力	3-252
1.4 圆柱螺旋扭转弹簧的设计	3-230	3.4 环形弹簧的技术要求	3-252
1.4.1 弹簧结构和载荷—变形图	3-230	4 橡胶弹簧	3-252
1.4.2 圆柱螺旋扭转弹簧基本计算公式	3-230	4.1 橡胶弹簧的特性	3-252
1.4.3 弹簧疲劳强度校核	3-231	4.2 橡胶材料的静弹性特性	3-253
1.5 圆柱螺旋弹簧技术要求	3-231	4.3 橡胶材料的动弹性特性	3-254
1.5.1 弹簧特性和尺寸的极限偏差	3-231	4.4 橡胶弹簧的设计计算	3-254
1.5.2 弹簧的热处理和其他技术要求	3-235	4.5 橡胶弹簧的材料和使用寿命	3-257
		4.5.1 材料的选择	3-257
		4.5.2 使用寿命	3-258
		参考文献	3-259

第4篇 机械传动

第1章 摩擦轮传动与螺旋传动	4-3	2.1 螺旋传动的种类和应用	4-6
1 摩擦轮传动	4-3	2.2 滑动螺旋传动	4-7
1.1 摩擦轮传动原理、特点及类型	4-3	2.2.1 滑动螺旋副的螺纹	4-7
1.1.1 摩擦轮传动原理及特点	4-3	2.2.2 滑动螺旋传动的受力分析	4-8
1.1.2 摩擦轮传动的类型	4-3	2.2.3 滑动螺旋传动的设计计算	4-8
1.2 定传动比摩擦轮传动设计	4-3	2.2.4 滑动螺旋副的材料和精度	4-11
1.2.1 主要失效形式	4-3	2.2.5 滑动螺旋传动设计举例	4-11
1.2.2 设计计算	4-3	2.2.6 螺杆、螺母工作图	4-12
1.2.3 摩擦轮传动的滑动	4-3	2.3 滚动螺旋传动	4-14
1.2.4 摩擦轮传动的效率	4-5	2.3.1 工作原理和结构形式	4-14
1.3 摩擦轮的材料、润滑剂	4-5	2.3.2 滚动螺旋的几何尺寸	4-15
1.4 摩擦轮传动加压装置	4-6	2.3.3 滚动螺旋的代号和标注	4-16
2 螺旋传动	4-6	2.3.4 滚动螺旋的选择计算	4-17
		2.3.5 材料及热处理	4-20

2.3.6 精度	4-20	5.1 张紧方法	4-69
2.3.7 预紧	4-22	5.2 张紧力的控制	4-70
2.3.8 设计中应注意的问题	4-22	5.2.1 V带的预紧力	4-70
第2章 带传动	4-23	5.2.2 平带的预紧力	4-71
1 传动带的种类及其选择	4-23	5.2.3 同步带的预紧力	4-71
1.1 带和带传动的形式	4-23	第3章 链传动	4-73
1.2 带传动设计的一般内容	4-24	1 链传动的类型、特点和应用	4-73
2 V带传动	4-24	2 滚子链的基本参数和尺寸	4-74
2.1 尺寸规格、结构	4-25	3 滚子链传动的设计	4-77
2.2 V带传动的设计	4-27	3.1 滚子链传动选择指导	4-77
2.2.1 主要失效形式	4-27	3.2 滚子链传动的设计计算	4-77
2.2.2 设计计算	4-27	3.3 润滑范围选择	4-80
2.3 带轮	4-42	3.4 滚子链的静强度计算	4-80
2.3.1 带轮设计的要求	4-42	4 滚子链链轮	4-81
2.3.2 带轮材料	4-42	4.1 基本参数和主要尺寸	4-81
2.3.3 带轮的结构	4-42	4.2 齿槽形状	4-81
2.3.4 带轮的技术要求	4-46	4.3 轴向齿廓	4-83
2.4 V带传动设计中应注意的问题	4-46	4.4 链轮结构	4-84
2.5 设计实例	4-46	4.5 链轮公差	4-86
3 平带传动	4-47	4.6 链轮材料及热处理	4-86
3.1 平带传动的失效形式	4-47	5 链传动的布置、张紧与润滑方式	4-87
3.2 平型传动带的尺寸与公差	4-48	5.1 链传动的布置	4-87
3.3 胶帆布平带	4-49	5.2 链传动的张紧	4-88
3.3.1 规格	4-49	5.3 链传动的润滑方式	4-90
3.3.2 设计计算	4-49	6 滚子链传动设计计算示例	4-91
3.4 聚酰胺片基平带	4-51	第4章 渐开线圆柱齿轮传动	4-93
3.4.1 结构	4-51	1 渐开线圆柱齿轮传动的类型、特点、	
3.4.2 设计计算	4-52	性能和应用举例	4-93
3.5 高速带传动	4-52	2 渐开线圆柱齿轮基本齿廓和模数系	
3.5.1 规格	4-53	列	4-93
3.5.2 设计计算	4-53	3 渐开线圆柱齿轮的齿形修缘	4-94
3.6 带轮	4-54	4 渐开线圆柱齿轮传动的几何尺寸计	
4 同步带传动	4-56	算	4-95
4.1 同步带传动常用术语	4-56	4.1 标准圆柱齿轮传动的几何尺寸	
4.2 一般传动用同步带的类型和标		计算	4-95
记	4-56	4.1.1 外啮合标准圆柱齿轮传动	
4.3 梯形同步带传动设计	4-57	的几何尺寸计算	4-95
4.3.1 梯形同步带的规格	4-57	4.1.2 内啮合标准圆柱齿轮传动	
4.3.2 梯形齿同步带的选型和基		的几何尺寸计算	4-95
准额定功率	4-59	4.2 变位圆柱齿轮传动的几何尺寸	
4.3.3 梯形齿同步带传动设计方		计算	4-95
法	4-64	4.2.1 变位齿轮传动的特点与功	
4.3.4 梯形齿同步带带轮	4-66	用	4-95
4.3.5 设计实例	4-68	4.2.2 外啮合圆柱齿轮传动的变	
5 带传动的张紧	4-69		

位系数选择	4 - 98	合系数 Z_B 、 Z_D	4 - 144
4.2.3 内啮合圆柱齿轮传动的干		6.5.11 试验齿轮的接触疲劳极限	
涉及变位系数选择	4 - 101	σ_{Hlim}	4 - 145
4.2.4 外啮合变位圆柱齿轮传动		6.5.12 接触强度计算的寿命系数	
的几何尺寸计算	4 - 106	Z_{NT}	4 - 145
4.2.5 内啮合变位圆柱齿轮传动		6.5.13 润滑油膜影响系数 Z_L 、 Z_V 、	
的几何尺寸计算	4 - 108	Z_R	4 - 148
5 渐开线圆柱齿轮齿厚的测量与计算 ..	4 - 115	6.5.14 工作硬化系数 Z_W	4 - 149
5.1 齿厚测量方法的比较和应用	4 - 115	6.5.15 接触强度计算的尺寸系数	
5.2 公法线长度	4 - 115	Z_X	4 - 149
5.2.1 公法线长度计算公式	4 - 115	6.5.16 最小安全系数 S_{Hmin} 、 S_{Fmin} ..	4 - 150
5.2.2 公法线长度数值表	4 - 115	6.5.17 齿形系数 Y_F	4 - 150
5.3 分度圆弦齿厚	4 - 121	6.5.18 应力修正系数 Y_S	4 - 152
5.3.1 分度圆弦齿厚计算公式	4 - 121	6.5.19 复合齿形系数 Y_{FS}	4 - 153
5.3.2 分度圆弦齿厚数值表	4 - 122	6.5.20 弯曲强度计算的重合度系	
5.4 固定弦齿厚	4 - 125	数 Y_e 、螺旋角系数 Y_β 及重	
5.4.1 固定弦齿厚计算公式	4 - 125	合度与螺旋角系数 $Y_{e\beta}$	4 - 153
5.4.2 固定弦齿厚数值表	4 - 126	6.5.21 齿轮材料的弯曲疲劳强度	
5.5 量柱(球)测量跨距	4 - 127	基本值 σ_{FE}	4 - 154
5.5.1 量柱(球)测量跨距计算		6.5.22 弯曲强度计算的寿命系数	
公式	4 - 127	Y_{NT}	4 - 155
5.5.2 量柱(球)测量跨距数值		6.5.23 弯曲强度计算的尺寸系数	
表	4 - 127	Y_X	4 - 156
6 渐开线圆柱齿轮传动的设计计算	4 - 128	6.5.24 相对齿根圆角敏感系数	
6.1 圆柱齿轮传动的作用力计算	4 - 128	$Y_{\delta_{relT}}$	4 - 157
6.2 主要参数的选择	4 - 128	6.5.25 相对齿根表面状况系数	
6.3 主要尺寸的初步确定	4 - 129	Y_{RrelT}	4 - 158
6.4 齿面接触疲劳强度与齿根弯曲		6.6 齿轮静强度校核计算	4 - 159
疲劳强度校核计算	4 - 130	6.7 变载荷作用下的齿轮强度校核	
6.5 齿轮传动设计与强度校核计算		计算	4 - 160
中各参数的确定	4 - 132	6.8 开式齿轮传动的计算	4 - 161
6.5.1 分度圆上的圆周力 F_t	4 - 132	7 齿轮的材料	4 - 161
6.5.2 使用系数 K_A	4 - 132	8 圆柱齿轮的结构	4 - 164
6.5.3 动载系数 K_v	4 - 133	9 渐开线圆柱齿轮精度	4 - 168
6.5.4 齿向载荷分布系数 $K_{H\beta}$ 、		9.1 齿轮偏差的定义和代号	4 - 168
$K_{F\beta}$	4 - 136	9.2 精度等级及其选择	4 - 171
6.5.5 齿间载荷分配系数 $K_{H\alpha}$ 、		9.3 齿轮的检验	4 - 172
$K_{F\alpha}$	4 - 140	9.4 齿轮偏差数值表和齿轮偏差计	
6.5.6 轮齿刚度 c' 、 c_y	4 - 141	算公式	4 - 172
6.5.7 节点区域系数 Z_H	4 - 142	9.5 齿厚与侧隙	4 - 178
6.5.8 弹性系数 Z_E	4 - 143	9.5.1 齿厚	4 - 178
6.5.9 接触强度计算的重合度系		9.5.2 关于侧隙的术语和定义	4 - 179
数 Z_e 、螺旋角系数 Z_β 及重合		9.5.3 最小法向侧隙	4 - 179
度与螺旋角系数 $Z_{e\beta}$	4 - 143	9.5.4 齿厚的公差与偏差	4 - 180
6.5.10 小齿轮及大齿轮单对齿啮		9.5.5 公法线长度偏差	4 - 181

9.5.6 量柱(球)测量跨距偏差	4-181
9.6 齿轮坯的精度	4-182
9.7 齿面粗糙度	4-185
9.8 中心距公差	4-186
9.9 轴线平行度偏差	4-186
9.10 接触斑点	4-187
9.11 图样标注	4-188
10 渐开线圆柱齿轮传动设计计算示 例及零件工作图	4-188
10.1 设计示例	4-188
10.2 渐开线圆柱齿轮零件工作图	4-191
第5章 圆弧齿轮传动	4-193
1 圆弧齿轮传动的类型、特点和应用	4-193
1.1 单圆弧齿轮传动	4-193
1.2 双圆弧齿轮传动	4-194
2 圆弧齿轮传动的啮合特性	4-195
2.1 单圆弧齿轮传动的啮合特性	4-195
2.2 双圆弧齿轮传动的啮合特性	4-195
2.2.1 同一工作齿面上两个同时 接触点间的轴向距离 q_{TA}	4-196
2.2.2 多点啮合系数	4-196
2.2.3 多对齿啮合系数	4-196
2.2.4 齿宽 b 的确定	4-196
3 圆弧齿轮的基本齿廓及模数系列	4-197
3.1 单圆弧齿轮的基本齿廓	4-197
3.2 双圆弧齿轮的基本齿廓	4-197
3.3 圆弧齿轮的法向模数系列	4-198
4 圆弧齿轮传动的几何尺寸计算	4-198
5 圆弧齿轮传动基本参数的选择	4-201
5.1 齿数 z 和模数 m_n	4-201
5.2 重合度 ε_β	4-201
5.3 螺旋角 β	4-202
5.4 齿宽系数 ϕ_d 、 ϕ_a	4-202
6 圆弧齿轮的强度计算	4-202
6.1 圆弧齿轮传动的强度计算公式	4-202
6.2 各参数符号的意义及各系数的 确定	4-204
7 圆弧圆柱齿轮的精度	4-209
7.1 误差的定义和代号	4-209
7.2 精度等级及其选择	4-209
7.3 侧隙	4-213
7.4 推荐的检验项目	4-213
7.5 图样标注	4-213
7.6 圆弧齿轮精度数值表	4-214
7.7 极限偏差及公差与齿轮几何参 数的关系式	4-217
8 圆弧圆柱齿轮设计计算实例及零件 工作图	4-218
8.1 设计计算实例	4-218
8.2 圆弧圆柱齿轮零件工作图	4-220
第6章 锥齿轮传动	4-224
1 概述	4-224
1.1 分类、特点和应用	4-224
1.2 基本齿制	4-225
1.3 模数	4-225
1.4 锥齿轮的变位	4-226
1.4.1 切向变位	4-226
1.4.2 径向变位(高变位)	4-227
2 锥齿轮传动的几何尺寸计算	4-227
2.1 直齿锥齿轮传动的几何尺寸计 算	4-227
2.2 斜齿锥齿轮传动的几何尺寸计 算	4-229
2.3 弧齿锥齿轮传动和零度弧齿锥 齿轮传动的几何尺寸计算	4-229
2.4 奥利康锥齿轮传动的几何尺寸 计算	4-235
2.5 克林根贝尔格锥齿轮传动的几 何尺寸计算	4-241
2.6 准双曲面齿轮传动的几何尺寸 计算	4-247
3 锥齿轮传动的设计计算	4-254
3.1 轮齿受力分析	4-254
3.2 主要尺寸的初步确定	4-255
3.3 锥齿轮传动的疲劳强度校核计 算	4-257
3.3.1 锥齿轮传动的当量齿轮参 数计算	4-257
3.3.2 锥齿轮传动齿面接触疲劳 强度和齿根弯曲疲劳强度 的校核计算公式	4-259
3.3.3 疲劳强度校核计算中参数 的确定	4-259
3.3.4 开式锥齿轮传动的强度计 算	4-267
3.4 锥齿轮传动设计举例	4-267
4 锥齿轮的结构	4-274
5 锥齿轮的精度	4-275
5.1 术语和定义	4-275
5.2 精度等级	4-277

5.3 锥齿轮的检验组和公差	4-278
5.3.1 锥齿轮的检验组	4-278
5.3.2 锥齿轮的公差	4-278
5.4 锥齿轮副的检验和公差	4-278
5.4.1 齿轮副的检验项目	4-278
5.4.2 齿轮副的检验组	4-278
5.4.3 齿轮副的公差	4-278
5.5 锥齿轮副的侧隙	4-279
5.6 图样标注	4-279
5.7 应用示例	4-280
5.8 齿坯的要求	4-280
5.9 锥齿轮精度数值表	4-281
5.10 锥齿轮极限偏差及公差与齿轮 几何参数的关系式	4-291
6 锥齿轮工作图例	4-292
第7章 蜗杆传动	4-295
1 概述	4-295
2 普通圆柱蜗杆传动	4-297
2.1 普通圆柱蜗杆传动的主要参数	4-297
2.2 普通圆柱蜗杆传动的几何尺寸 计算	4-300
2.3 普通圆柱蜗杆传动的承载能力 计算	4-302
2.3.1 齿上受力分析和滑动速度 计算	4-302
2.3.2 普通圆柱蜗杆传动的强度 和刚度计算	4-302
2.3.3 蜗杆、蜗轮的材料和许用 应力	4-303
2.3.4 蜗杆传动的效率和散热计 算	4-304
2.4 提高圆柱蜗杆传动承载能力的 方法	4-306
2.5 蜗杆、蜗轮的结构	4-307
2.6 普通圆柱蜗杆传动的设计实例	4-308
2.7 圆柱蜗杆、蜗轮精度	4-310
2.7.1 术语定义和代号	4-310
2.7.2 精度等级	4-314
2.7.3 齿坯的要求	4-314
2.7.4 蜗杆、蜗轮的检验和公差	4-314
2.7.5 蜗杆传动副的检验和公差	4-314
2.7.6 蜗杆传动副的侧隙规定	4-314
2.7.7 工作图上的标注	4-315
2.7.8 装配图上的标注	4-315
2.7.9 公差数值表	4-315
2.7.10 误差与相关关系式	4-321
3 圆弧圆柱蜗杆传动	4-323
3.1 轴向圆弧齿圆柱蜗杆 (ZC_3) 传动	4-323
3.1.1 基本齿廓	4-323
3.1.2 ZC_3 蜗杆传动的参数及其 匹配	4-323
3.1.3 ZC_3 蜗杆传动的几何尺寸 计算	4-325
3.1.4 ZC_3 蜗杆传动强度计算及 其他	4-326
3.2 环面包络圆柱蜗杆 (ZC_1) 传 动	4-326
3.2.1 基本齿廓	4-326
3.2.2 ZC_1 蜗杆传动的参数及其 匹配	4-326
3.2.3 ZC_1 蜗杆传动的几何尺寸 计算	4-329
3.2.4 ZC_1 蜗杆传动承载能力计 算	4-329
3.2.5 ZC_1 蜗杆传动设计实例	4-332
4 环面蜗杆传动	4-334
4.1 环面蜗杆的形成原理	4-334
4.1.1 直廓环面蜗杆 (TSL 型)	4-334
4.1.2 平面包络环面蜗杆	4-334
4.2 环面蜗杆的修形	4-334
4.2.1 直廓环面蜗杆的修形	4-334
4.2.2 平面二次包络环面蜗杆的 修形	4-335
4.3 环面蜗杆传动的基本参数选择 和几何尺寸计算	4-336
4.4 环面蜗杆传动承载能力计算	4-340
4.5 环面蜗杆传动设计算例	4-341
4.6 环面蜗杆、蜗轮工作图	4-343
4.7 环面蜗杆、蜗轮的精度	4-346
4.7.1 直廓环面蜗杆、蜗轮精度	4-346
4.7.2 平面二次包络环面蜗杆、 蜗轮精度	4-349
第8章 减速器与无级变速器	4-353
1 一般减速器设计资料	4-353
1.1 常用减速器的类型、特点和应 用	4-353
1.2 减速器的基本参数	4-355
1.2.1 圆柱齿轮减速器的基本参 数	4-355

1.2.2 圆柱蜗杆减速器的基本参数	4-356
1.3 减速器传动比的分配	4-356
1.4 齿轮、蜗杆减速器箱体结构尺寸	4-357
1.5 减速器附件及其结构尺寸	4-362
1.6 典型减速器结构图示例	4-365
1.6.1 装配图	4-365
1.6.2 箱体零件工作图	4-373
2 标准减速器	4-379
2.1 硬齿面圆柱齿轮减速器	4-379
2.1.1 型式和标记方法	4-379
2.1.2 外形尺寸和安装尺寸	4-379
2.1.3 承载能力	4-382
2.1.4 选用方法	4-386
2.2 起重机用三支点减速器	4-387
2.2.1 型式和标记方法	4-387
2.2.2 减速器外形尺寸	4-387
2.2.3 承载能力	4-387
2.2.4 选用方法	4-387
2.3 起重机底座式减速器	4-395
2.4 双圆弧圆柱齿轮减速器	4-397
2.4.1 标记方法	4-397
2.4.2 装配型式和尺寸	4-397
2.4.3 承载能力	4-397
2.4.4 选用方法	4-397
2.5 运输机械用减速器（锥齿轮-圆柱齿轮减速器）	4-405
2.5.1 型式和标记方法	4-405
2.5.2 外形尺寸和安装尺寸	4-405
2.5.3 承载能力	4-405
2.5.4 选用方法	4-408
2.6 NGW 型行星齿轮减速器	4-412
2.6.1 型式与标记方法	4-412
2.6.2 公称传动比和实际传动比	4-412
2.6.3 型式和尺寸	4-412
2.6.4 承载能力	4-416
2.6.5 选用方法	4-416
2.7 摆线针轮减速器	4-421
2.7.1 型号和标记方法	4-421
2.7.2 外形尺寸和安装尺寸	4-421
2.7.3 承载能力	4-422
2.7.4 选用方法	4-422
2.8 谐波传动减速器	4-424
2.8.1 标记方法	4-424
2.8.2 外形尺寸和安装尺寸	4-424
2.8.3 承载能力	4-425
2.9 圆弧圆柱蜗杆减速器	4-428
2.9.1 型式和标记方法	4-428
2.9.2 外形尺寸和安装尺寸	4-428
2.9.3 承载能力	4-429
2.9.4 选用方法	4-431
2.10 平面二次包络环面蜗杆减速器	4-432
2.10.1 型式和标记方法	4-432
2.10.2 外形尺寸和安装尺寸	4-433
2.10.3 承载能力	4-437
2.10.4 选用方法	4-443
2.10.5 润滑	4-445
3 机械无级变速器	4-445
3.1 常用机械无级变速器的类型、特性及选用	4-445
3.1.1 机械无级变速器的类型、特性及应用举例	4-445
3.1.2 机械无级变速器的选用	4-447
3.2 齿链式无级变速器	4-448
3.2.1 型式和标记方法	4-448
3.2.2 外形尺寸和安装尺寸	4-449
3.2.3 性能参数	4-451
3.2.4 选用方法	4-455
3.3 行星锥盘式无级变速器	4-456
3.3.1 型式和标记方法	4-456
3.3.2 外形尺寸和安装尺寸	4-457
3.3.3 性能参数	4-460
3.4 多盘式无级变速器	4-461
3.4.1 型式和标记方法	4-461
3.4.2 外形尺寸和安装尺寸	4-461
3.4.3 性能参数	4-463
3.5 四相并列连杆脉动无级变速器	4-464
3.5.1 型式和标记方法	4-464
3.5.2 外形尺寸和安装尺寸	4-464
3.5.3 性能参数	4-465
3.6 金属带式无级变速器	4-466
参考文献	4-468

第5篇 轴系零件与轴承

第1章 轴	5-3	2.1 径向轴承	5-39
1 概述	5-3	2.1.1 结构形式的选用	5-39
1.1 轴的分类	5-3	2.1.2 轴颈与轴瓦的配合	5-39
1.2 轴的设计特点和步骤	5-3	2.1.3 轴承的验算	5-39
1.3 轴的常用材料	5-3	2.2 平面推力轴承	5-43
2 轴的结构设计	5-6	2.2.1 常用结构型式	5-43
2.1 轴上零件的布置	5-6	2.2.2 轴承的验算	5-43
2.2 轴上零件的定位与固定	5-6	2.2.3 常用滑动轴承材料的性能 和许用值	5-43
2.3 提高轴疲劳强度的结构措施	5-10	3 液体动压滑动轴承	5-44
2.4 轴的结构工艺性	5-11	3.1 径向轴承	5-44
3 轴的强度计算	5-12	3.1.1 性能计算	5-44
3.1 按转矩估算轴径	5-12	3.1.2 参数选择	5-48
3.2 按当量弯矩近似计算轴的强度	5-12	3.2 推力轴承	5-50
3.3 轴安全系数的精确校核计算	5-14	3.2.1 固定瓦推力轴承	5-50
3.3.1 轴的疲劳强度安全系数校 核	5-14	3.2.2 可倾瓦推力轴承	5-54
3.3.2 轴的静强度安全系数校核	5-17	4 含油轴承	5-56
3.4 轴的强度计算实例	5-21	4.1 粉末冶金含油轴承	5-56
4 轴的刚度校核	5-23	4.1.1 滑动轴承烧结轴套的尺寸 和公差	5-56
4.1 轴的弯曲刚度校核	5-23	4.1.2 参数选择	5-56
4.1.1 能量法	5-24	4.1.3 润滑	5-59
4.1.2 当量直径法	5-24	4.1.4 使用安装	5-60
4.2 轴的扭转刚度校核	5-27	4.2 青铜石墨含油轴承	5-60
4.3 轴的刚度计算实例	5-28	5 轴套与轴瓦	5-62
5 钢丝软轴	5-30	5.1 轴套	5-62
5.1 软轴的结构形式和规格	5-30	5.1.1 卷制轴套	5-62
5.1.1 钢丝软轴的结构与规格	5-32	5.1.2 整体轴套	5-65
5.1.2 软管的结构与规格	5-32	5.1.3 轴套的固定	5-68
5.1.3 软轴的接头及连接	5-34	5.2 轴瓦	5-69
5.1.4 软管的接头及连接	5-34	5.2.1 厚壁轴瓦	5-69
5.1.5 防逆转装置	5-35	5.2.2 薄壁轴瓦	5-70
5.2 软轴的选择和使用	5-36	5.3 推力垫圈	5-74
5.2.1 软轴的选择	5-36	5.4 润滑孔和润滑槽	5-75
5.2.2 软轴使用时的注意事项	5-36	5.4.1 润滑孔	5-75
第2章 滑动轴承	5-37	5.4.2 润滑槽	5-76
1 概述	5-37	5.5 滑动轴承间隙与配合的选择	5-77
1.1 滑动轴承的特点和分类	5-37	6 滑动轴承的润滑	5-80
1.2 滑动轴承的类型选择	5-37	7 滑动轴承座	5-82
1.2.1 滑动轴承性能比较	5-37	7.1 整体滑动轴承	5-82
1.2.2 滑动轴承类型选择的特性 曲线	5-39	7.2 对开式滑动轴承	5-83
2 非液体摩擦滑动轴承	5-39	第3章 滚动轴承	5-86
		1 滚动轴承的分类、代号	5-86

1.1 通用滚动轴承的分类	5 - 86	4.5.3 固体润滑	5 - 190
1.2 通用滚动轴承代号	5 - 87	4.6 滚动轴承的密封	5 - 190
1.2.1 基本代号	5 - 87	4.7 滚动轴承的装拆	5 - 192
1.2.2 滚针轴承基本代号	5 - 89	4.8 滚动轴承组合的典型结构	5 - 192
1.2.3 基本代号编制规则	5 - 89	第4章 联轴器、离合器与制动器 ...	5 - 195
1.2.4 通用轴承类型、结构及基本代号	5 - 89	1 联轴器	5 - 195
1.2.5 前置、后置代号	5 - 91	1.1 常用联轴器的类型、性能、特点及应用	5 - 195
1.2.6 滚动轴承代号示例	5 - 95	1.2 机械式联轴器的选择	5 - 198
2 滚动轴承的选择与计算	5 - 95	1.2.1 联轴器类型的选择	5 - 198
2.1 滚动轴承的选择	5 - 95	1.2.2 联轴器型号的选择	5 - 198
2.1.1 滚动轴承类型选择	5 - 95	1.3 固定式刚性联轴器	5 - 200
2.1.2 滚动轴承公差等级选择	5 - 99	1.3.1 套筒联轴器	5 - 200
2.1.3 滚动轴承游隙选择	5 - 99	1.3.2 凸缘联轴器	5 - 200
2.2 滚动轴承的计算	5 - 102	1.4 可移式刚性联轴器	5 - 204
2.2.1 滚动轴承的寿命计算	5 - 102	1.4.1 滑块联轴器	5 - 204
2.2.2 滚动轴承的静载荷计算	5 - 105	1.4.2 齿式联轴器	5 - 205
2.2.3 滚动轴承的极限转速	5 - 106	1.4.3 滚子链联轴器	5 - 214
2.2.4 推力轴承需要的最小轴向载荷	5 - 106	1.5 十字轴式万向联轴器	5 - 215
2.2.5 例题	5 - 107	1.5.1 WS型和WSD型十字轴式万向联轴器	5 - 215
3 常用滚动轴承主要尺寸和性能表	5 - 107	1.5.2 SWP型、SWP型(G型)剖分轴承座十字轴式万向联轴器	5 - 218
3.1 深沟球轴承	5 - 107	1.6 弹性联轴器	5 - 222
3.2 调心球轴承	5 - 115	1.6.1 弹性套柱销联轴器	5 - 222
3.3 角接触球轴承	5 - 122	1.6.2 弹性柱销联轴器	5 - 225
3.4 四点接触球轴承	5 - 126	1.6.3 弹性柱销齿式联轴器	5 - 228
3.5 圆柱滚子轴承	5 - 128	1.6.4 梅花形弹性联轴器	5 - 231
3.6 调心滚子轴承	5 - 141	1.6.5 芯型弹性联轴器	5 - 235
3.7 圆锥滚子轴承	5 - 147	1.6.6 轮胎式联轴器	5 - 237
3.8 成套滚针轴承	5 - 159	1.6.7 H型弹性块联轴器	5 - 238
3.9 推力轴承	5 - 161	1.6.8 多角形橡胶联轴器	5 - 240
3.10 滚动轴承附件及滚动轴承座	5 - 168	1.6.9 膜片联轴器	5 - 240
3.10.1 滚动轴承附件(紧定套、退卸衬套、止推环)	5 - 168	1.6.10 蛇形弹簧联轴器	5 - 249
3.10.2 滚动轴承座	5 - 174	2 离合器	5 - 251
4 滚动轴承的组合设计	5 - 179	2.1 常用离合器的类型、性能、特点与应用	5 - 251
4.1 支承结构的基本形式	5 - 179	2.2 离合器的选用与计算	5 - 254
4.2 滚动轴承的配合	5 - 181	2.2.1 离合器的型式与结构选择	5 - 254
4.3 滚动轴承的轴向紧固	5 - 184	2.2.2 离合器的选用计算	5 - 254
4.4 滚动轴承的游隙调整与预紧	5 - 185	2.3 嵌合式离合器	5 - 255
4.4.1 轴向游隙的调整	5 - 185	2.3.1 牙嵌离合器	5 - 255
4.4.2 轴承的预紧	5 - 186	2.3.2 齿式离合器	5 - 261
4.5 滚动轴承的润滑	5 - 188	2.4 摩擦离合器	5 - 262
4.5.1 润滑脂的选择	5 - 189		
4.5.2 润滑油的选择	5 - 189		

2.4.1 圆盘摩擦片离合器	5-262	2.8.1 安全离合器的性能及计算 ...	5-286
2.4.2 圆锥摩擦离合器	5-264	2.8.2 剪销式安全离合器	5-288
2.5 电磁离合器	5-264	2.8.3 牙嵌式安全离合器	5-289
2.5.1 DLY0 系列牙嵌式电磁离 合器	5-265	2.8.4 钢球式安全离合器	5-290
2.5.2 DLY5 系列牙嵌式电磁离 合器	5-265	2.8.5 摩擦式安全离合器	5-291
2.5.3 DLM0 系列有滑环湿式多片 电磁离合器	5-267	3 制动器	5-292
2.5.4 DLM5 系列有滑环湿式多片 电磁离合器	5-267	3.1 制动器的功能、分类、特点与 应用	5-292
2.5.5 DLM10(EKE) 系列有滑环 湿(干)式多片电磁离 合器	5-269	3.2 制动器的选择与设计	5-292
2.5.6 DLM2 系列有滑环干式多片 电磁离合器	5-270	3.2.1 制动器的类型选择	5-292
2.5.7 DLM3 系列无滑环湿式多片 电磁离合器	5-271	3.2.2 制动器的设计计算	5-293
2.5.8 DLM9(ERD) 系列无滑环 湿式多片电磁离合器	5-272	3.2.3 摩擦材料	5-296
2.6 超越离合器	5-273	3.3 外抱块式制动器	5-298
2.6.1 滚柱式超越离合器	5-273	3.3.1 结构型式	5-298
2.6.2 楔块式超越离合器	5-275	3.3.2 外抱块式制动器的类型、 特点和应用	5-301
2.7 离心离合器	5-280	3.3.3 外抱块式制动器的性能参 数及主要尺寸	5-302
2.7.1 无弹簧闸块离心离合器	5-280	3.4 带式制动器	5-307
2.7.2 带弹簧闸块离心离合器	5-284	3.4.1 普通型带式制动器	5-307
2.8 安全离合器	5-286	3.4.2 短行程带式制动器	5-310
		3.5 盘式制动器	5-311
		3.5.1 钳盘式制动器	5-311
		3.5.2 全盘式制动器	5-316
		3.5.3 锥盘式制动器	5-316
		3.5.4 载荷自制盘式制动器	5-316
		参考文献	5-323

下 册

第 6 篇 润滑与密封

第 1 章 润滑	6-3	2.1 润滑脂的主要质量指标	6-17
1 润滑油	6-3	2.2 润滑脂的选用	6-18
1.1 润滑油的主要质量指标	6-3	2.2.1 润滑部位的工作温度	6-18
1.2 润滑油的组成	6-5	2.2.2 润滑部位的负载	6-18
1.3 各种润滑剂的性能比较	6-5	2.2.3 润滑部位的速度	6-18
1.4 润滑油品的选用	6-6	2.2.4 润滑部位的环境及接触的 介质	6-18
1.4.1 内燃机油	6-6	2.2.5 润滑脂加注方法	6-19
1.4.2 齿轮油	6-7	2.3 常用润滑脂的主要质量指标及 应用	6-19
1.4.3 液压油	6-9	3 固体润滑剂	6-21
1.4.4 压缩机油	6-9	3.1 固体润滑剂应具备的基本性能	6-21
1.4.5 常用润滑油的主要质量指标 和应用	6-11	3.2 常用的固体润滑剂	6-21
2 润滑脂	6-17		

3.2.1 石墨	6-21
3.2.2 聚四氟乙烯 (PTFE)	6-22
3.2.3 三聚氰胺—氰尿酸络合物 (MCA)	6-23
3.3 固体润滑剂的选用	6-24
4 润滑方法和润滑装置	6-25
4.1 润滑方法及润滑装置的分类及 应用	6-25
4.2 润滑件	6-26
4.2.1 油杯	6-26
4.2.2 油枪	6-28
4.2.3 油标	6-28
4.3 稀油集中润滑系统的设计	6-29
4.3.1 稀油集中润滑系统设计的 任务	6-29
4.3.2 稀油集中润滑系统设计步 骤	6-29
4.4 稀油集中润滑系统的主要设备	6-30
4.4.1 润滑油泵及油泵装置	6-30
4.4.2 稀油润滑装置	6-34
4.5 润滑脂集中润滑系统的设计	6-38
4.5.1 润滑脂集中润滑系统的设 计步骤	6-39
4.5.2 自动润滑脂集中润滑站能 力的确定	6-40
4.6 润滑脂集中润滑系统的主要设备	6-40
4.7 油雾润滑	6-43
4.7.1 油雾润滑的工作原理	6-43
4.7.2 油雾润滑系统和装置	6-44
4.8 油气润滑	6-44
4.8.1 油气润滑的工作原理	6-46
4.8.2 油气润滑系统	6-46
4.8.3 油气润滑装置	6-47
4.8.4 油气润滑与稀油循环式润 滑	

的比较	6-48
4.8.5 油气润滑与油雾润滑的比 较	6-49
第2章 密封	6-51
1 密封的分类、特点及应用	6-51
1.1 密封的分类	6-51
1.2 密封的选型	6-51
1.3 常用密封材料	6-52
2 垫密封	6-53
2.1 垫密封的泄漏	6-53
2.2 密封垫的选用	6-53
2.3 常用垫片类型及应用	6-54
3 胶密封	6-62
3.1 聚硫橡胶密封胶	6-63
3.2 硅橡胶密封胶	6-63
3.3 非硫化型密封胶	6-64
3.4 液态密封胶	6-64
3.4.1 液态密封胶的种类	6-64
3.4.2 液态密封胶的性能和选 用	6-65
3.5 厌氧胶	6-66
3.6 密封胶的应用	6-67
4 填料密封	6-68
4.1 软填料密封	6-68
4.1.1 软填料的结构型式和材 料选用	6-68
4.1.2 填料腔结构设计	6-70
4.2 硬填料密封	6-71
4.3 O形橡胶密封圈	6-73
4.4 往复运动用密封圈	6-81
5 油封与防尘密封	6-91
5.1 用做油封的旋转轴唇形密 封圈	6-91
5.2 毡圈油封	6-92
5.3 防尘密封	6-92
6 液体迷宫密封	6-96
参考文献	6-97

第7篇 起重机零部件和操作件

第1章 起重机零部件	7-3
1 起重机机构的分级	7-3
1.1 起重机机构的使用等级	7-3
1.2 起重机机构的载荷状态、级 别	7-3
1.3 起重机机构的工作级别	7-3
2 钢丝绳	7-5
2.1 钢丝绳的标记	7-5
2.2 钢丝绳选用计算	7-7
2.2.1 C系数法	7-7

2.2.2 最小安全系数法	7-7
2.3 重要用途钢丝绳	7-8
2.4 一般用途钢丝绳	7-18
2.5 电梯用钢丝绳	7-31
2.6 平衡用扁钢丝绳	7-36
3 绳具	7-38
3.1 钢丝绳夹	7-38
3.2 钢丝绳用楔形接头	7-39
3.3 钢丝绳用普通套环	7-41

3.4 钢丝绳用重型套环	7-41	7.4 吊钩的尺寸	7-58
4 卷筒	7-42	7.5 吊钩材料	7-58
4.1 卷筒的类型	7-42	7.6 吊钩的应力计算	7-59
4.2 卷筒的几何尺寸	7-43	7.7 吊钩附件	7-61
4.3 卷筒槽形	7-45	8 车轮和轨道	7-62
4.4 起重机用铸造卷筒的型式、尺寸 和技术条件	7-46	8.1 车轮	7-62
4.5 钢丝绳在卷筒上的固定	7-48	8.2 踏面形状和尺寸与钢轨的匹配	7-62
4.6 钢丝绳用压板	7-49	8.3 技术要求	7-63
4.7 钢丝绳在卷筒上用压板固定的计 算	7-50	8.3.1 材料的力学性能	7-63
4.8 卷筒强度计算	7-50	8.3.2 热处理	7-63
5 滑轮	7-51	8.3.3 精度	7-63
5.1 滑轮结构和材料	7-51	8.3.4 成品车轮的表面质量	7-63
5.2 滑轮的主要尺寸	7-51	8.4 车轮计算	7-63
5.3 滑轮直径与钢丝绳直径的匹配关 系	7-52	8.4.1 允许轮压的计算	7-63
5.4 滑轮型式	7-53	8.4.2 等效工作轮压计算	7-65
6 起重链和链轮	7-54	8.5 CD、MD 电动葫芦用钢轮	7-65
6.1 起重链条的选择	7-54	8.6 轨道	7-65
6.2 起重用短环链	7-54	9 缓冲器	7-67
6.3 焊接链轮	7-55	9.1 弹簧缓冲器	7-67
7 吊钩	7-56	9.2 起重机橡胶缓冲器	7-69
7.1 吊钩的分类	7-56	第2章 操作件	7-71
7.2 吊钩的力学性能	7-56	1 手柄	7-71
7.3 吊钩的起重量	7-57	2 手轮	7-80
		3 把手	7-82
		参考文献	7-86

第8篇 流体传动

第1章 液压传动	8-3	2.1 概述	8-14
1 常用基础标准	8-3	2.2 液压源回路	8-14
1.1 流体传动系统及元件图形符号	8-3	2.2.1 定量泵—溢流阀液压源回路	8-14
1.2 常用液压标准	8-12	2.2.2 变量泵—安全阀液压源回路	8-15
1.2.1 流体传动系统及元件的公称 压力系列	8-12	2.2.3 高低压双泵液压源回路	8-15
1.2.2 液压泵及马达公称排量系列	8-12	2.2.4 多泵并联供油液压源回路	8-16
1.2.3 液压油口螺纹连接系列	8-12	2.2.5 闭式系统液压源回路	8-16
1.2.4 液压系统用硬管外径系列和 软管内径系列	8-12	2.2.6 辅助泵供油液压源回路	8-16
1.2.5 液压缸内径及活塞杆外径尺 寸系列	8-13	2.2.7 辅助循环泵液压源回路	8-17
1.2.6 液压缸行程系列	8-13	2.3 压力控制回路	8-17
1.2.7 液压阀油口、底板、控制装 置和电磁铁的标识	8-13	2.3.1 调压回路	8-17
1.3 常用液压公式	8-14	2.3.2 减压回路	8-17
2 液压基本回路	8-14	2.3.3 增压回路	8-18
		2.3.4 保压回路	8-18
		2.3.5 卸荷回路	8-18
		2.3.6 平衡回路	8-19
		2.3.7 缓冲回路	8-20

2.3.8 卸压回路	8-20	4.2 液压泵的主要技术参数和计算 公式	8-48
2.4 速度控制回路	8-21	4.2.1 液压泵的主要技术参数	8-48
2.4.1 节流调速回路	8-21	4.2.2 液压泵的常用计算公式	8-48
2.4.2 容积式调速回路	8-22	4.3 典型液压泵的工作原理及主要 结构特点	8-48
2.4.3 容积节流调速回路	8-22	4.4 液压泵的技术性能和参数选择	8-49
2.4.4 增速回路	8-23	4.4.1 各类液压泵的技术性能和 应用范围	8-49
2.4.5 减速回路	8-24	4.4.2 液压泵参数的选择	8-50
2.4.6 二次进给回路	8-25	4.5 齿轮泵产品	8-50
2.4.7 比例阀调速回路	8-25	4.5.1 齿轮泵产品技术参数概览	8-50
2.5 同步控制回路	8-25	4.5.2 CBF-E 型齿轮泵	8-52
2.5.1 机械同步回路	8-25	4.5.3 CBF-F 型齿轮泵	8-54
2.5.2 流量控制同步回路	8-26	4.6 叶片泵产品	8-57
2.5.3 容积控制同步回路	8-27	4.6.1 叶片泵产品技术参数概览	8-57
2.6 方向控制回路	8-28	4.6.2 YB ₁ 型叶片泵	8-57
2.6.1 换向回路	8-28	4.6.3 PV2R 型叶片泵	8-59
2.6.2 锁紧回路	8-29	4.6.4 V4 型变量叶片泵	8-65
2.6.3 顺序动作回路	8-30	4.7 柱塞泵产品	8-66
2.7 液压马达回路	8-31	4.7.1 柱塞泵产品技术参数概览	8-66
2.7.1 液压马达制动回路	8-31	4.7.2 CY14-1B 型柱塞泵	8-67
2.7.2 液压马达浮动回路	8-31	4.7.3 A4V 型柱塞泵	8-72
3 液压传动系统设计计算	8-32	5 液压缸	8-78
3.1 液压系统的设计流程	8-32	5.1 液压缸的基本尺寸参数	8-78
3.1.1 明确设计要求	8-32	5.1.1 液压缸内径及活塞杆外径 尺寸系列	8-78
3.1.2 进行工况分析、确定液压系 统的主要参数	8-32	5.1.2 液压缸行程系列	8-78
3.1.3 制定基本方案和绘制液压系 统图	8-35	5.1.3 液压缸活塞杆螺纹型式和 尺寸系列	8-78
3.1.4 液压元件的选择与专用件 设计	8-36	5.2 液压缸的设计计算	8-79
3.1.5 液压系统性能验算	8-37	5.2.1 液压缸设计计算步骤	8-79
3.1.6 设计液压装置, 编制技术文 件	8-40	5.2.2 液压缸性能参数的计算	8-79
3.2 液压系统设计计算实例——250g 塑料注射机液压系统设计计算	8-40	5.2.3 液压缸主要几何尺寸的计算	8-79
3.2.1 250g 塑料注射机液压系统设 计要求及有关设计参数	8-40	5.2.4 液压缸结构参数的计算	8-81
3.2.2 液压执行元件负载和负载转 矩计算	8-41	5.2.5 液压缸的连接计算	8-84
3.2.3 液压系统主要参数计算	8-41	5.2.6 活塞杆稳定性计算	8-87
3.2.4 制定系统方案和拟定液压系 统图	8-43	5.3 液压缸系列	8-89
3.2.5 液压元件的选择	8-44	5.3.1 工程液压缸系列	8-89
3.2.6 液压系统性能验算	8-46	5.3.2 冶金设备用标准液压缸系 列	8-101
4 液压泵	8-48	5.3.3 伸缩式套筒液压缸	8-110
4.1 液压泵的分类	8-48	6 液压马达	8-112
		6.1 液压马达的分类	8-112
		6.2 液压马达的主要技术参数和计	

算公式	8-112	7.5.3 叠加式流量阀（力士乐系 列叠加单向节流阀）	8-224
6.2.1 液压马达的主要技术参数	8-112	7.6 插装阀	8-227
6.2.2 液压马达主要参数的计算 公式	8-112	7.6.1 插装阀的工作原理及特点	8-227
6.3 液压马达主要技术参数概览	8-113	7.6.2 K 系列二通盖板式插装阀	8-227
6.4 液压马达的选择	8-113	8 液压辅件	8-234
6.5 液压马达产品	8-114	8.1 蓄能器	8-234
6.5.1 GM5 型齿轮马达	8-114	8.1.1 蓄能器的种类及特点	8-234
6.5.2 YM-F-E 型叶片马达	8-115	8.1.2 蓄能器在系统中的应用	8-235
6.5.3 BMR 轴线配油摆线液压 马达	8-116	8.1.3 各种蓄能器的性能及用途	8-235
6.5.4 EPM 型低速大转矩液压 马达	8-118	8.1.4 蓄能器的容量计算	8-236
6.5.5 NJM 型柱塞马达	8-120	8.1.5 蓄能器使用注意事项	8-236
6.5.6 1JMD 型径向柱塞马达	8-123	8.1.6 NXQ 型气囊式蓄能器	8-237
7 液压控制阀	8-124	8.1.7 HXQ 型活塞式蓄能器	8-239
7.1 液压控制阀概述	8-124	8.2 过滤器	8-240
7.1.1 液压控制阀的分类	8-124	8.2.1 过滤器的主要性能参数	8-240
7.1.2 液压阀的基本参数	8-125	8.2.2 过滤器的名称、用途、安 装位置、类别、型式及效果	8-240
7.1.3 液压阀的选择	8-125	8.2.3 推荐液压系统的清洁度和 过滤精度	8-241
7.1.4 液压控制阀部分产品汇总	8-126	8.2.4 过滤器的选择及计算	8-241
7.2 压力控制阀	8-129	8.2.5 WU 型网式吸油过滤器	8-242
7.2.1 直动式溢流阀及远程调压 阀	8-129	8.2.6 ZU-H、QU-H 系列高压过 滤器	8-242
7.2.2 先导式溢流阀、电磁溢流 阀、卸荷溢流阀	8-135	8.2.7 DRLF 型大流量回油过滤器	8-249
7.2.3 减压阀	8-145	8.3 换热器	8-250
7.2.4 顺序阀	8-154	8.3.1 冷却器的种类及特点	8-250
7.2.5 平衡阀（FD 型平衡阀）	8-161	8.3.2 冷却器的选择及计算	8-251
7.2.6 压力继电器	8-166	8.3.3 GL※型列管式冷却器	8-251
7.3 流量控制阀	8-170	8.3.4 BR 型板式冷却器	8-253
7.3.1 节流阀和单向节流阀	8-170	8.3.5 加热器的选择计算	8-254
7.3.2 调速阀	8-172	8.3.6 SRY 型加热器	8-255
7.3.3 分流集流阀（FL、FDL、FJL 型分流集流阀）	8-178	8.3.7 SRY 型套筒式油用电加热 器	8-255
7.4 方向控制阀	8-179	8.4 温度仪表（WS※型双金属温度 计）	8-256
7.4.1 单向阀及液控单向阀	8-179	8.5 压力仪表	8-257
7.4.2 电磁换向阀	8-187	8.5.1 Y 系列压力表	8-257
7.4.3 WEH 电液换向阀及 WH 液 控换向阀	8-198	8.5.2 YTXG 型磁感式电接点压力 表	8-258
7.4.4 WMM 型手动换向阀	8-211	8.5.3 压力表开关（KF 型压力表 开关）	8-259
7.4.5 WM 型行程（滚轮）换向阀	8-215	8.6 空气过滤器	8-259
7.5 叠加阀	8-217	8.6.1 QUQ 型空气过滤器	8-259
7.5.1 叠加式压力控制阀	8-217	8.6.2 EF 型空气过滤器	8-260
7.5.2 叠加式单向阀	8-222		

8.7 液位仪表	8-261	2.2.2 油雾器	8-318
8.7.1 YWZ 型液位计	8-261	2.2.3 气源调节装置	8-319
8.7.2 YKZQ 型液位控制器	8-262	2.2.4 其他气动辅件	8-322
9 液压泵站、油箱、管路及管件	8-262	2.2.5 气动 PU 管、尼龙管用接 头	8-324
9.1 液压泵站	8-262	3 气缸	8-330
9.1.1 液压泵站概述	8-262	3.1 气缸的分类及工作原理	8-330
9.1.2 液压泵站的结构型式	8-262	3.1.1 气缸的分类	8-330
9.2 油箱	8-262	3.1.2 气缸的工作原理	8-332
9.2.1 油箱的设计要点	8-263	3.2 气缸的设计与计算	8-340
9.2.2 油箱容量的计算	8-264	3.2.1 气缸的设计步骤	8-340
9.3 管路	8-264	3.2.2 气缸的基本参数	8-340
9.3.1 管道	8-264	3.2.3 气缸有关计算	8-340
9.3.2 管道内径的计算	8-264	3.3 气缸主要零部件的结构、材料 及技术要求	8-347
9.3.3 金属管壁厚的计算	8-265	3.3.1 气缸筒	8-347
9.3.4 胶管的选择及注意事项	8-265	3.3.2 气缸盖	8-347
9.4 管接头	8-267	3.3.3 缸筒与缸盖的连接	8-348
9.4.1 管接头的类型及特点	8-267	3.3.4 活塞	8-349
9.4.2 管接头的种类及应用	8-268	3.3.5 活塞杆	8-349
9.4.3 焊接式管接头规格	8-269	3.3.6 气缸的密封	8-350
9.4.4 卡套式管接头规格	8-279	3.4 气缸产品	8-352
9.4.5 扩口式管接头规格	8-298	3.4.1 气缸产品概览	8-352
9.4.6 螺塞	8-306	3.4.2 普通活塞杆气缸	8-352
第2章 气压传动	8-309	3.4.3 摆动气缸	8-356
1 常用气动基础标准	8-309	4 气马达	8-358
1.1 气动元、辅件图形符号	8-309	4.1 气马达的分类、工作原理及特 点	8-358
1.2 常用气动标准	8-309	4.1.1 气马达的分类	8-358
1.2.1 流体传动系统及元件公称 压力系列	8-309	4.1.2 气马达的工作原理	8-358
1.2.2 液压气动系统及元件 气 缸内径及活塞杆外径	8-309	4.1.3 气马达的特点	8-359
1.2.3 液压气动系统及元件 气 缸活塞行程系列	8-310	4.2 气马达的典型产品	8-360
1.2.4 液压气动系统及元件 活 塞杆螺纹型式和尺寸系列	8-310	4.2.1 叶片式气马达	8-360
1.2.5 液压气动系统用硬管外径 和软管内径	8-310	4.2.2 活塞式气马达	8-364
1.2.6 气动连接 气口和螺柱端	8-311	5 气动控制阀	8-372
1.2.7 气动元件及系统用空气介 质质量等级	8-311	5.1 压力控制阀	8-372
2 气源装置及气动辅助元件	8-311	5.1.1 减压阀	8-372
2.1 气源装置	8-311	5.1.2 过滤减压阀	8-376
2.1.1 滑片式压缩机	8-311	5.1.3 单向压力顺序阀	8-379
2.1.2 活塞式压缩机	8-313	5.1.4 安全阀	8-380
2.2 气动辅助元件	8-315	5.2 方向控制阀	8-382
2.2.1 分水滤气器(二次过滤器)	8-315	5.2.1 电磁换向阀	8-382
		5.2.2 气控阀	8-401
		5.2.3 多种流体、多用途换向阀	8-406
		5.3 流量控制阀	8-408

5.3.1 QLA 系列单向节流阀	8-408	6.2.2 设计气控回路	8-419
5.3.2 QLA (J) 系列接头式单向 节流阀	8-410	6.2.3 选择、设计执行元件	8-419
5.3.3 KLP、KLPX 系列排气节流 阀与排气消声节流阀	8-411	6.2.4 选择控制元件	8-419
6 气动系统的设计及计算	8-411	6.2.5 选择气动辅件	8-419
6.1 气动回路	8-412	6.2.6 确定管道直径、计算压力 损失	8-419
6.1.1 气动基本回路	8-412	6.2.7 快速估算气动阀类元件、 气源调节装置(三联件)、 管道等通径的方法	8-420
6.1.2 常用回路	8-417	6.2.8 选择空气压缩机(空压机)	8-421
6.2 气动系统设计的主要内容及设 计程序	8-419	参考文献	8-424
6.2.1 明确工作要求	8-419		

第9篇 机电一体化设计、电动机与常用电器

第1章 机电一体化设计	9-3	2.3.2 数字量输入输出模板	9-20
1 机电一体化概述	9-3	2.3.3 远程 I/O 模块	9-20
1.1 机电一体化基本概念	9-3	2.3.4 通信模板	9-21
1.1.1 机电一体化的内涵	9-3	3 可编程序控制器	9-21
1.1.2 机电一体化系统的构成	9-3	3.1 可编程序控制器的特点及应用	9-21
1.1.3 机电一体化意义	9-3	3.1.1 PLC 的主要特点	9-22
1.2 机电一体化技术的分类	9-4	3.1.2 可编程序控制器与其他工 业控制系统的比较	9-22
1.2.1 机电一体化技术的分类依据	9-4	3.1.3 PLC 的应用范围	9-23
1.2.2 机械制造过程的机电一体化	9-4	3.2 可编程序控制器的基本组成和 工作原理	9-23
1.2.3 机电产品的机电一体化	9-6	3.2.1 可编程序控制器的基本组成	9-23
1.3 机电一体化的相关技术	9-6	3.2.2 可编程序控制器的工作原理	9-25
1.4 机电一体化设计方法	9-7	3.2.3 输入/输出接口模块	9-26
1.4.1 模块化设计方法	9-7	3.2.4 智能模块	9-29
1.4.2 柔性化设计方法	9-7	3.2.5 远程 I/O	9-31
1.4.3 取代设计方法	9-7	3.2.6 可编程序控制器的编程语言	9-32
1.4.4 融合设计方法	9-8	3.3 可编程序控制器的主要生产厂 家及产品介绍	9-34
1.4.5 优化设计方法	9-8	3.3.1 德国西门子(SIEMENS)公 司	9-34
1.5 机电一体化系统的设计流程	9-8	3.3.2 美国罗克韦尔公司的 AB PLC	9-35
2 基于工业控制机的控制器及其设计	9-9	3.3.3 日本立石(OMRON, 欧姆龙) 公司	9-35
2.1 工业控制机的组成原理与类型	9-9	3.4 可编程序控制器应用系统设计	9-35
2.1.1 工业控制机组成原理	9-9	3.4.1 PLC 应用系统设计的内容和 步骤	9-35
2.1.2 工业控制机的分类	9-11	3.4.2 PLC 应用系统的硬件设计	9-36
2.2 工业控制机的总线	9-12	3.4.3 PLC 的应用软件设计	9-36
2.2.1 总线概述	9-12	4 基于单片机的控制器及其设计	9-36
2.2.2 STD 总线	9-12		
2.2.3 ISA 总线	9-13		
2.2.4 PCI 总线	9-14		
2.2.5 6PCI 总线	9-16		
2.2.6 现场总线	9-16		
2.3 工业控制机常用 I/O 模板及选择	9-18		
2.3.1 模拟量输入输出模板	9-19		

4.1 单片机的硬件结构	9-36	6.4 常用执行机构	9-82
4.1.1 单片机的基本结构	9-36	6.4.1 连杆机构	9-82
4.1.2 单片机的微处理器	9-37	6.4.2 凸轮机构	9-82
4.1.3 MCS-51 的存储器	9-38	6.4.3 间歇机构	9-83
4.1.4 MCS-51 的并行口和串行口	9-38	6.4.4 机器人的典型机构	9-85
4.1.5 MCS-51 的定时器	9-39	7 常用控制用电动机及其驱动	9-86
4.1.6 MCS-51 的中断系统及其控制	9-40	7.1 对控制用电动机的基本要求	9-86
4.2 常用单片机的厂家及产品介绍	9-41	7.2 控制用电动机的种类、特点及选用	9-87
4.2.1 4 位单片机	9-41	7.3 直流伺服 (DC) 电动机与驱动	9-87
4.2.2 8 位单片机	9-41	7.3.1 直流电动机调速原理及调速特性	9-87
4.2.3 16 位单片机	9-43	7.3.2 永磁直流电动机伺服系统	9-88
4.2.4 32 位单片机	9-43	7.3.3 直流伺服电动机驱动	9-88
4.3 单片机的编程语言	9-44	7.4 交流伺服电动机与驱动	9-90
4.3.1 单片机编程语言的分类	9-44	7.4.1 交流异步电动机	9-91
4.3.2 MCS-51 单片机指令系统	9-44	7.4.2 交流同步电动机	9-94
4.3.3 PIC 单片机指令系统简介	9-45	7.4.3 交流伺服电动机常用电力电子器件	9-99
4.4 控制器的硬件系统设计	9-47	7.5 步进电动机与驱动	9-100
4.4.1 单片机存储器的扩展	9-47	7.5.1 步进电动机分类	9-100
4.4.2 单片机常用并行接口电路	9-50	7.5.2 步进电动机工作原理	9-100
4.4.3 单片机的人机接口设计	9-52	7.5.3 步进电动机驱动与控制	9-101
5 传感器及其选择	9-55	8 机电一体化设计实例	9-101
5.1 传感器概述	9-55	8.1 振幅定值控制电磁振动给料机	9-101
5.1.1 传感器的组成	9-55	8.1.1 电磁振动给料机的工作原理	9-101
5.1.2 传感器的特性和技术指标	9-55	8.1.2 溜槽式固体流量计工作原理	9-102
5.2 几类传感器的主要性能及优缺点	9-57	8.1.3 对控制系统的技术要求	9-102
5.3 机电一体化中常用传感器	9-61	8.1.4 电磁振动定量给料控制系统的方案确定	9-102
5.3.1 位置传感器	9-61	8.2 电子传送带配料秤	9-104
5.3.2 位移、角度、距离测量传感器	9-61	8.2.1 传送带配料秤的工作原理	9-104
5.3.3 速度和加速度测量传感器	9-63	8.2.2 传送带配料秤监控仪的技术要求	9-104
5.3.4 力和力矩测量传感器	9-64	8.2.3 监控仪的硬件结构及其组成电路	9-104
5.3.5 视觉传感器	9-65	8.2.4 系统软件设计	9-105
5.4 传感器的选用原则及注意事项	9-66	8.3 电动喷砂机器人	9-106
6 常用的传动部件与执行机构	9-66	8.3.1 机器人机构原理	9-106
6.1 机械传动部件及其功能要求	9-66	8.3.2 控制系统	9-106
6.1.1 齿轮传动	9-67	8.3.3 机器人参数规格	9-108
6.1.2 滚珠螺旋传动	9-71	8.3.4 控制算法简介	9-108
6.1.3 挠性传动	9-75	第 2 章 电动机与常用电器	9-110
6.2 导向支承部件的结构型式选择	9-77		
6.2.1 导轨副的组成、种类及设计要求	9-77		
6.2.2 滑动导轨	9-78		
6.2.3 滚动导轨	9-80		
6.3 轴系部件的设计与选择	9-82		

1 常用交直流电动机	9 - 110	1.4.2 YZR 系列起重及冶金用绕 线转子三相异步电动机	9 - 165
1.1 概述	9 - 110	1.5 YB2 系列隔爆型三相异步电 动机	9 - 166
1.1.1 电动机的工作制、安装型 式和外壳防护代号	9 - 110	1.6 小功率电动机	9 - 174
1.1.2 常用电动机的特点及用途	9 - 113	1.7 Z4 系列直流电动机	9 - 178
1.1.3 常用电动机的选择	9 - 116	2 控制电动机	9 - 190
1.2 一般异步电动机	9 - 123	2.1 MINAS A4 系列交流伺服电动机	9 - 190
1.2.1 Y 系列 (IP44) 三相异步 电动机	9 - 123	2.2 步进电动机	9 - 201
1.2.2 Y 系列 (IP23) 三相异步 电动机	9 - 133	2.2.1 百格拉三相混合式步进电 动机	9 - 201
1.2.3 YR 系列 (IP44) 三相异 步电动机	9 - 137	2.2.2 U2、U3 系列步进电动机 系统	9 - 203
1.2.4 YH 系列高转差率三相异 步电动机	9 - 141	3 常用电器	9 - 212
1.2.5 YEJ 系列电磁制动三相异 步电动机	9 - 142	3.1 行程开关	9 - 212
1.3 变速和减速异步电动机	9 - 144	3.1.1 L XK3 系列行程开关	9 - 212
1.3.1 YD 系列 (IP44) 变极多速 三相异步电动机	9 - 144	3.1.2 LXW6 系列微动开关	9 - 213
1.3.2 YCJ 系列齿轮减速三相异 步电动机	9 - 149	3.1.3 AZD1 系列行程开关	9 - 218
1.3.3 YCT、YCTD 系列电磁调速 三相异步电动机	9 - 158	3.1.4 AZ7 系列小巧型行程开关	9 - 220
1.4 YZ、YZR 系列起重及冶金用三 相异步电动机	9 - 162	3.2 接近开关	9 - 224
1.4.1 YZ 系列起重及冶金用三相 异步电动机	9 - 162	3.2.1 E2E 系列电感式圆柱形接近 开关	9 - 224
		3.2.2 PR 系列圆柱形接近开关	9 - 233
		3.3 光电传感器	9 - 237
		3.3.1 BM 系列光电传感器	9 - 237
		3.3.2 BR 系列光电传感器	9 - 240
		参考文献	9 - 243

第 10 篇 现代设计方法

第 1 章 创新设计	10 - 3	3.1 创新设计的资源分析与描述	10 - 11
1 创新的基本理论	10 - 3	3.1.1 直接利用资源	10 - 11
1.1 创新的基本概念	10 - 3	3.1.2 导出资源	10 - 11
1.2 创新理论及其应用	10 - 3	3.1.3 差动资源	10 - 11
1.2.1 创新设计	10 - 3	3.2 创新设计的理想化描述	10 - 12
1.2.2 创新理论	10 - 3	3.2.1 创新设计的理想化概述	10 - 12
1.2.3 创新理论应用	10 - 4	3.2.2 利用理想化思想实现发明 创造	10 - 13
2 创新思维的基本方法	10 - 5	3.3 创新设计的情境分析与描述	10 - 16
2.1 创新思维方法	10 - 5	3.4 创新设计的实例分析——汽车 驾驶杆的抖振分析	10 - 17
2.1.1 主要的创新思维方法	10 - 5	4 创新设计中的技术系统进化理论分 析	10 - 17
2.1.2 主要的创新思维方法应用 实例	10 - 8	4.1 技术进化过程中创新设计实例 分析	10 - 18
2.2 创新技法简介	10 - 9		
2.3 创新技法的运用	10 - 10		
3 创新设计的分析与描述	10 - 11		

4.2 创新设计中技术系统进化模式	10-18	3 等参元的基本原理	10-61
4.2.1 技术系统进化模式	10-18	3.1 平面八节点四边形等参元	10-61
4.2.2 技术系统各进化模式分析	10-19	3.2 一维等参元	10-62
4.3 创新设计中技术成熟度预测方法	10-28	3.3 平面矩形等参元	10-63
4.4 创新设计中技术系统进化工程实例分析	10-28	3.4 平面三角形等参元	10-65
4.4.1 超声波焊接技术成熟度预测分析	10-28	3.5 三维等参元	10-65
4.4.2 车轮的发明及其技术进化过程分析	10-30	4 杆梁问题的有限元	10-66
5 创新设计中的技术冲突及其解决原理	10-32	4.1 杆单元	10-66
5.1 创新设计中的物理冲突及其解决原理	10-33	4.1.1 轴力杆单元	10-66
5.1.1 物理冲突的概念及类型	10-33	4.1.2 扭转杆单元	10-67
5.1.2 物理冲突的解决原理	10-33	4.2 平面梁单元	10-67
5.1.3 分离原理及实例分析	10-34	4.3 空间梁单元	10-68
5.2 创新设计中的技术冲突及其解决原理	10-35	4.3.1 空间梁单元的自由度定义	10-68
5.2.1 技术冲突的概念及工程实例	10-35	4.3.2 空间梁单元的坐标变换	10-69
5.2.2 技术冲突的一般化处理	10-35	4.3.3 空间梁单元的单元刚度矩阵	10-70
5.2.3 技术冲突的解决原理	10-36	5 薄板弯曲问题的有限元	10-71
5.3 利用冲突矩阵实现创新设计	10-46	5.1 线弹性薄板理论	10-71
5.3.1 冲突矩阵的简介	10-46	5.1.1 薄板弯曲的几何方程	10-71
5.3.2 利用冲突矩阵创新	10-47	5.1.2 薄板弯曲的物理方程	10-71
5.4 实例分析——汽车侧向安全气囊概念设计	10-49	5.1.3 薄板弯曲的内力矩平衡方程	10-71
第2章 有限元设计	10-52	5.2 三角形薄板单元	10-72
1 弹性理论与有限元法的基本原理	10-52	5.3 用面积坐标表示的三角形板单元	10-73
1.1 弹性力学基本概念	10-52	5.4 四边形薄板单元	10-74
1.1.1 理想弹性体基本假设	10-52	5.5 用局部坐标表示的四边形板单元	10-75
1.1.2 弹性理论的基本概念	10-52	5.6 考虑剪切的明德林 (Mindlin) 板单元	10-76
1.1.3 应力平衡微分方程	10-53	6 壳体问题的有限元	10-77
1.1.4 几何方程	10-53	6.1 基于薄壳理论的轴对称壳体单元	10-77
1.1.5 物理方程	10-53	6.1.1 轴对称薄壳理论的基本公式	10-77
1.2 有限元法的一般格式	10-54	6.1.2 薄壳截锥单元	10-78
1.2.1 有限元法的基本步骤	10-54	6.2 位移和转动各自独立插值的轴对称壳体单元	10-79
1.2.2 广义坐标下的有限元格式	10-54	6.2.1 基本公式	10-79
2 平面问题和空间问题的有限元	10-55	6.2.2 截锥单元	10-80
2.1 平面问题的基本概念	10-55	6.2.3 曲边单元	10-80
2.2 平面问题的三角形单元	10-55	6.3 轴对称超参数壳体单元	10-81
2.3 轴对称问题的三角形单元	10-57	6.3.1 几何形状的规定	10-81
2.4 空间问题的四面体单元	10-59	6.3.2 位移函数	10-81
		6.3.3 应力和应变的确定	10-81

6.3.4 刚度矩阵的计算	10-82	1.2 一维无约束优化方法	10-103
7 动力学问题的有限元	10-82	1.2.1 确定搜索区间的进退算法	10-103
7.1 单元的动力学方程	10-82	1.2.2 切线法(牛顿法)	10-104
7.2 单元质量矩阵和阻尼矩阵	10-83	1.2.3 黄金分割法(0.618法)	10-104
7.3 机械结构的动力学有限元方程	10-83	1.2.4 二次插值法(抛物线插值法)	10-104
7.4 机械结构固有特性的有限元分析	10-84	1.3 多维无约束优化方法	10-105
7.5 求解动力响应问题	10-84	1.3.1 坐标轮换法	10-105
7.5.1 振动响应的振型叠加法	10-84	1.3.2 共轭方向法(Powell法)	10-105
7.5.2 振动响应的时域积分法	10-85	1.3.3 梯度法(最速下降法)	10-106
7.6 减缩动力系统自由度的方法	10-85	1.3.4 共轭梯度法	10-106
8 非线性问题的有限元	10-86	1.3.5 牛顿法	10-106
8.1 非线性方程组的数值解法	10-87	1.3.6 变尺度法	10-107
8.1.1 直接迭代法	10-87	1.4 罚函数法	10-107
8.1.2 牛顿-拉富生(Newton-Raphson)方法	10-87	1.4.1 内点法	10-107
8.1.3 修正的N-R方法	10-87	1.4.2 外点法	10-108
8.1.4 增量法	10-87	1.4.3 混合法	10-109
8.1.5 加速收敛方法	10-88	1.5 遗传算法	10-109
8.2 材料非线性问题的有限元分析	10-89	1.6 神经网络算法	10-111
8.2.1 塑性力学基本法则	10-89	1.6.1 神经网络优化方法基本思路	10-111
8.2.2 弹塑性应力应变关系	10-89	1.6.2 神经网络优化方法的类型	10-111
8.2.3 弹塑性增量有限元分析	10-90	2 机构优化设计	10-113
8.2.4 与时间相关的材料非线性问题分析	10-90	2.1 机构优化设计概述	10-113
8.3 几何非线性问题的有限元分析	10-91	2.2 连杆机构优化设计	10-113
8.3.1 几何非线性问题的应变与应力度量	10-91	2.3 凸轮机构优化设计	10-116
8.3.2 几何非线性问题的有限元表达	10-93	2.4 机构多目标优化设计	10-117
8.3.3 结构屈曲的稳定性分析	10-94	3 机械零件优化设计	10-120
8.4 接触问题的有限元分析	10-94	3.1 机械零件优化设计概述	10-120
9 有限元分析实例	10-95	3.2 齿轮传动优化设计	10-120
9.1 平面应力问题算例	10-95	3.3 弹簧优化设计	10-122
9.2 等参元应用算例	10-97	3.4 液压动压滑动轴承优化设计	10-124
9.3 杆梁问题的算例	10-99	4 模糊优化设计	10-125
9.4 水泵泵体的有限元分析	10-100	4.1 模糊优化设计概述	10-125
第3章 优化设计	10-102	4.1.1 机械设计中的模糊性影响因素	10-125
1 优化设计算法原理	10-102	4.1.2 隶属函数	10-126
1.1 优化设计概述	10-102	4.1.3 数学模型	10-126
1.1.1 优化设计基本概念	10-102	4.1.4 模糊优化求解的基本思想	10-127
1.1.2 优化设计数学模型	10-102	4.2 对称型模糊优化设计	10-127
1.1.3 优化设计的算法原理及终止准则	10-102	4.2.1 对称模糊优化模型的直接解法	10-127
1.1.4 优化设计算法分类	10-103	4.2.2 对称模糊优化模型的迭代解法	10-127
		4.2.3 模糊约束下非模糊目标优	

化的求解	10 - 128	1.1 单自由度振动系统	10 - 146
4.3 非对称型模糊优化设计	10 - 128	1.1.1 单自由度自由振动系统的力学模型及其响应	10 - 146
4.3.1 模糊约束下函数的条件极值	10 - 128	1.1.2 单自由度系统的受迫振动	10 - 148
4.3.2 非对称型模糊优化的数学模型	10 - 128	1.2 多自由度振动系统	10 - 151
4.3.3 非对称型模糊优化的水平截集解法	10 - 129	1.2.1 多自由度自由振动系统的力学模型及其响应	10 - 151
4.4 三级斜齿圆柱齿轮减速器的模糊优化设计	10 - 129	1.2.2 二自由度受迫振动系统的振幅和相位差角的计算公式	10 - 151
4.5 简支梁的模糊优化设计	10 - 132	1.3 扭转振动系统	10 - 153
5 结构优化设计	10 - 133	1.3.1 扭转振动与直线振动的比较	10 - 153
5.1 结构优化设计概述	10 - 133	1.3.2 传递矩阵法	10 - 155
5.2 结构优化设计的准则法	10 - 133	1.4 共振	10 - 156
5.2.1 满应力法	10 - 134	1.5 回转机械起动和停机过程中的振动	10 - 157
5.2.2 单位移约束准则法	10 - 134	1.5.1 起动过程的振动	10 - 157
5.2.3 多位移约束准则法	10 - 135	1.5.2 停机过程的振动	10 - 157
5.3 结构优化设计的齿行法	10 - 135	2 非线性振动和随机振动	10 - 157
5.3.1 结构优化设计齿行法简介	10 - 135	2.1 非线性振动	10 - 157
5.3.2 杆结构优化的齿行法	10 - 135	2.1.1 概述	10 - 157
5.3.3 梁结构优化的齿行法	10 - 136	2.1.2 求解非线性振动的常用方法	10 - 165
5.3.4 悬臂梁的结构优化设计	10 - 136	2.1.3 自激振动	10 - 166
6 形状优化设计	10 - 137	2.2 随机振动	10 - 172
6.1 形状优化设计概述	10 - 137	2.2.1 平稳随机振动描述	10 - 172
6.1.1 形状优化的几何建模	10 - 137	2.2.2 单自由度线性系统的传递函数及动态特性	10 - 175
6.1.2 形状敏感度分析	10 - 137	2.2.3 单自由度线性系统的随机响应	10 - 175
6.1.3 有限元网络自动重划分	10 - 137	2.2.4 多自由度线性系统的随机响应	10 - 176
6.1.4 自适应有限元分析	10 - 137	3 振动的利用	10 - 177
6.1.5 自适应误差估计	10 - 137	3.1 概述	10 - 177
6.1.6 形状优化算法	10 - 137	3.1.1 振动机械的组成	10 - 177
6.1.7 集成形状优化软件	10 - 138	3.1.2 振动的用途及工艺特性	10 - 180
6.2 形状优化敏感度分析	10 - 138	3.1.3 振动机械的频率特性及结构特征	10 - 181
6.2.1 位移敏感度计算	10 - 138	3.1.4 振动利用的方法步骤	10 - 182
6.2.2 应力敏感度计算	10 - 139	3.2 利用振动的机械系统	10 - 182
6.2.3 形状敏感度分析实现	10 - 140	3.2.1 常用的振动系统	10 - 182
6.3 形状优化的自适应分析技术	10 - 140	3.2.2 振动系统的一般分析方法	10 - 182
6.3.1 误差估计	10 - 140	3.3 振动系统中物料的运动学与动力学	10 - 182
6.3.2 h 自适应法	10 - 141		
6.3.3 p 自适应法	10 - 141		
6.4 自适应分析形状优化设计	10 - 143		
6.5 连杆形状优化设计	10 - 144		
6.6 起重吊钩的自适应形状优化设计	10 - 145		
第4章 机械系统的振动设计	10 - 146		
1 线性系统的振动	10 - 146		

3.3.1 物料的运动学	10 - 182	4 现代疲劳强度设计	10 - 222
3.3.2 物料的动力学	10 - 184	4.1 概述	10 - 222
3.4 常用的振动机械	10 - 186	4.2 低周疲劳	10 - 222
3.4.1 振动机械的分类	10 - 186	4.2.1 低周疲劳曲线 ($\varepsilon-N$ 曲线)	10 - 222
3.4.2 常用振动机械的计算	10 - 187	4.2.2 循环应力—应变 ($\sigma-\varepsilon$) 曲线	10 - 225
3.5 振动机械动力参数设计示例	10 - 193	4.2.3 应变—寿命曲线的获得	10 - 229
3.5.1 远超共振惯性振动机的动力参数设计示例	10 - 193	4.2.4 低周疲劳寿命估算	10 - 230
3.5.2 弹性连杆式振动机的动力参数设计示例	10 - 194	4.3 局部应力应变法	10 - 232
第5章 疲劳强度设计	10 - 196	4.3.1 预备知识	10 - 232
1 概述	10 - 196	4.3.2 局部应力—应变分析	10 - 233
1.1 疲劳强度设计分类	10 - 196	4.3.3 裂纹形成寿命的估算	10 - 234
1.2 疲劳载荷	10 - 197	4.3.4 算例	10 - 235
1.2.1 随机载荷的循环计数	10 - 197	4.4 裂纹扩展寿命估算	10 - 237
1.2.2 累积频数曲线	10 - 198	4.4.1 应力强度因子和断裂韧度	10 - 237
1.2.3 载荷谱编制	10 - 198	4.4.2 疲劳裂纹扩展速率	10 - 240
1.3 疲劳强度设计的一般步骤	10 - 199	4.4.3 疲劳裂纹扩展寿命估算	10 - 244
2 金属材料疲劳性能及影响疲劳强度因素	10 - 199	4.4.4 算例	10 - 245
2.1 金属材料疲劳极限	10 - 199	5 腐蚀疲劳强度	10 - 246
2.2 常用金属材料的 $S-N$ 曲线	10 - 200	5.1 腐蚀疲劳的 $S-N$ 曲线	10 - 246
2.3 影响疲劳强度因素	10 - 205	5.2 腐蚀疲劳极限	10 - 249
2.3.1 应力集中的影响	10 - 205	5.3 影响腐蚀疲劳的因素	10 - 249
2.3.2 尺寸的影响	10 - 212	5.4 腐蚀疲劳寿命的估算	10 - 253
2.3.3 表面状况的影响	10 - 213	6 提高零构件疲劳强度措施	10 - 254
2.3.4 载荷状况的影响	10 - 214	6.1 合理选材	10 - 254
3 常规疲劳强度设计	10 - 216	6.2 改进结构和工艺	10 - 254
3.1 概述	10 - 216	6.2.1 改进结构	10 - 254
3.2 疲劳安全系数	10 - 216	6.2.2 改进工艺	10 - 256
3.3 疲劳累积损伤理论	10 - 216	6.3 表面强化	10 - 256
3.3.1 基本概念	10 - 216	6.3.1 表面热处理	10 - 257
3.3.2 线性疲劳累积损伤理论	10 - 217	6.3.2 表面化学处理	10 - 257
3.3.3 相对迈因纳 (Miner) 法则	10 - 218	6.3.3 表面冷作强化	10 - 258
3.4 无限疲劳寿命设计	10 - 218	6.4 表面防护	10 - 260
3.4.1 单向应力时的无限疲劳寿命设计	10 - 218	6.5 合理操作与定期检修	10 - 260
3.4.2 多向应力时的无限疲劳寿命设计	10 - 220	第6章 可靠性设计	10 - 261
3.5 有限疲劳寿命设计	10 - 220	1 概述	10 - 261
3.5.1 安全系数计算公式	10 - 220	1.1 可靠性的概念	10 - 261
3.5.2 寿命估算	10 - 220	1.2 可靠性设计程序和手段	10 - 261
3.5.3 随机疲劳寿命估算	10 - 220	1.3 可靠性设计的目标值	10 - 261
3.5.4 算例	10 - 221	1.4 可靠性设计方法	10 - 262
		1.5 常用的概率分布	10 - 263
		1.6 可靠性特征量	10 - 267
		1.6.1 可靠度	10 - 267

1.6.2	累积失效概率	10-267	2.6.2	刚度的可靠性设计	10-312
1.6.3	平均寿命、可靠寿命和中 位寿命	10-267	2.6.3	磨损和腐蚀的可靠性设计	10-314
1.6.4	失效率和失效率曲线	10-268	2.6.4	摩擦传动的可靠性设计	10-316
1.6.5	可靠性特征量间的关系	10-268	3	机械系统的可靠性分析	10-317
1.6.6	维修性特征量	10-269	3.1	不可修复系统的可靠性分析	10-317
1.6.7	有效性特征量	10-270	3.1.1	系统可靠性模型	10-317
2	机械零件的可靠性设计	10-271	3.1.2	常用系统的可靠度和平均 寿命	10-318
2.1	应力-强度干涉模型与可靠度 计算方法	10-271	3.2	可修复系统的可靠性	10-319
2.1.1	应力-强度干涉模型	10-271	3.3	可靠性预计	10-321
2.1.2	可靠度计算的一般公式	10-272	3.3.1	可靠性预计的目的	10-321
2.1.3	可靠度计算的数值积分法	10-272	3.3.2	可靠性预计的方法	10-321
2.1.4	可靠度计算的极限状态法	10-273	3.4	可靠性分配	10-321
2.2	可靠度的近似算法	10-275	3.4.1	可靠性分配的原则	10-321
2.2.1	可靠安全系数	10-275	3.4.2	可靠性分配的方法	10-322
2.2.2	随机变量函数的均值和标 准差的近似计算	10-276	3.5	失效模式、效应及危害度分 析	10-323
2.3	机械零件可靠性设计所需的部 分数据和资料	10-277	3.5.1	基本概念	10-323
2.3.1	几何尺寸	10-277	3.5.2	分析的过程和方法	10-323
2.3.2	材料的强度特性	10-278	3.6	故障树分析	10-325
2.4	静强度可靠性设计	10-286	3.6.1	基本概念	10-325
2.4.1	正态分布设计法	10-286	3.6.2	故障树的建立	10-326
2.4.2	非正态分布设计法	10-287	3.6.3	故障树的定性分析	10-328
2.4.3	零件静强度的可靠性设计 应用举例	10-288	3.6.4	故障树的定量分析	10-329
2.5	疲劳强度可靠性设计	10-289	第7章	机械产品造型与人机工程 设计	10-330
2.5.1	变应力和变载荷的类型	10-289	1	机械产品造型设计	10-330
2.5.2	部分材料的 p - S - N 曲线	10-290	1.1	机械产品造型设计的艺术表现 法则	10-330
2.5.3	零件的疲劳极限	10-298	1.1.1	机械产品造型的形态比例	10-330
2.5.4	用疲劳曲线线图计算零件 的可靠度	10-300	1.1.2	机械产品形态的均衡与 稳定	10-333
2.5.5	用疲劳极限线图计算零件 的可靠度	10-302	1.1.3	机械产品形态的统一与变 化	10-335
2.5.6	用等效应力计算零件的可 靠度	10-303	1.2	机械产品造型的构成手法	10-339
2.5.7	受复合应力时零件的可靠 度计算	10-304	1.2.1	造型形态要素及其型式心 理	10-339
2.5.8	零件疲劳强度可靠度计算 的应用举例	10-304	1.2.2	造型形态构成的基本法则	10-341
2.5.9	零件疲劳寿命的可靠性预 计	10-309	1.2.3	机械产品造型设计的错视 与校正	10-344
2.6	其他失效型式时可靠性设计	10-311	1.3	机械产品的色彩设计	10-347
2.6.1	断裂韧性的可靠性设计	10-311	1.3.1	色彩的性质与要素	10-347
			1.3.2	常用色彩属性	10-348
			1.3.3	机械产品色彩设计的指导	

性原则	10 - 349	1.2.3 数据交换标准	10 - 385
1.3.4 色彩与材质的情感联想及 应用方法	10 - 349	1.3 数字样机设计技术	10 - 389
1.4 机械产品的线条装饰与方法	10 - 350	1.3.1 数字样机设计技术概述	10 - 389
2 人机工程设计	10 - 351	1.3.2 数字样机设计技术的体系 结构	10 - 389
2.1 人体尺寸	10 - 351	1.3.3 数字样机设计技术应用	10 - 389
2.1.1 人体尺寸数据的使用目的	10 - 351	1.4 数字化设计中的 KBE 技术	10 - 391
2.1.2 人体尺寸数据来源	10 - 351	1.4.1 KBE 技术的定义和内涵	10 - 391
2.1.3 采用人体数据百分位的建 议与尺寸数值计算	10 - 351	1.4.2 KBE 的关键技术	10 - 392
2.1.4 机械产品设计中的产品尺 寸设计类型	10 - 352	1.4.3 KBE 系统开发方法	10 - 392
2.1.5 以身高为基准的机械产品 用具尺寸	10 - 352	1.4.4 KBE 系统二次开发	10 - 393
2.1.6 人体尺寸与作业空间	10 - 354	1.5 数字化设计应用实例	10 - 395
2.2 人的感觉与显示装置	10 - 356	2 数字化仿真与分析技术	10 - 397
2.2.1 人的视野	10 - 356	2.1 数字化仿真与分析技术概述	10 - 397
2.2.2 显示装置的型式与排列方 式	10 - 357	2.2 数字化仿真技术	10 - 397
2.2.3 仪表的零点位置	10 - 358	2.2.1 数字化仿真的内涵及作用	10 - 397
2.2.4 显示装置的色彩选择	10 - 358	2.2.2 数字化仿真的发展历史及 现状	10 - 398
2.2.5 图形符号的设计	10 - 359	2.2.3 数字化仿真的一般过程	10 - 400
2.3 操纵装置的设计选择	10 - 360	2.2.4 数字化仿真与分析相关软 件	10 - 401
2.4 操纵与显示的相合性	10 - 362	2.3 数字化分析技术	10 - 403
2.5 工作环境设计	10 - 363	2.3.1 数字化分析技术内涵及其 软件	10 - 403
2.5.1 光环境设计	10 - 363	2.3.2 几何仿真分析技术	10 - 404
2.5.2 声环境设计	10 - 363	2.3.3 物理仿真分析技术	10 - 404
2.5.3 小气候环境设计	10 - 364	2.4 数字化仿真与分析应用实例 (全断面掘进机刀具和刀盘 系统数字化仿真分析)	10 - 406
2.6 工作环境的安全防护设计	10 - 364	2.4.1 刀具和刀盘系统的运动学 和动力学仿真分析	10 - 407
2.6.1 常用安全防护设计	10 - 364	2.4.2 全断面掘进机的刀具模态 仿真分析	10 - 410
2.6.2 防护装置设计要求	10 - 364	3 基于逆向工程的数字化设计	10 - 414
2.7 通用设计的内涵和基本原则	10 - 366	3.1 逆向工程设计概述	10 - 414
2.7.1 通用设计的内涵	10 - 366	3.1.1 逆向工程的研究对象	10 - 415
2.7.2 通用设计的基本原则	10 - 366	3.1.2 逆向工程的主要方法	10 - 415
第 8 章 数字化设计	10 - 368	3.1.3 逆向工程的主要研究内容	10 - 416
1 数字化设计技术	10 - 368	3.1.4 逆向工程的工作流程	10 - 417
1.1 概述	10 - 368	3.2 逆向工程设计的关键技术	10 - 417
1.1.1 产品设计特点与数字化设 计技术	10 - 368	3.2.1 数据采集技术	10 - 417
1.1.2 数字化设计技术的内涵和 体系结构	10 - 368	3.2.2 数据处理技术	10 - 419
1.1.3 数字化设计流程	10 - 370	3.2.3 曲面重构技术	10 - 422
1.2 数字化设计的几何建模技术	10 - 371	3.3 逆向工程设计应用实例	10 - 435
1.2.1 几何变换与图形处理	10 - 371	4 协同设计	10 - 437
1.2.2 几何建模技术	10 - 380		

4.1 协同设计的概述	10 - 437	2.2 机械产品的综合性能	10 - 470
4.1.1 协同设计产生背景	10 - 437	2.2.1 产品综合性能的分类	10 - 470
4.1.2 协同设计定义及特点	10 - 437	2.2.2 产品综合性能的内涵	10 - 470
4.1.3 协同设计技术现状	10 - 438	2.3 现代机械产品设计质量的内涵	10 - 471
4.2 协同设计的关键技术	10 - 440	2.4 机械产品的质量与设计质量的定义	10 - 473
4.2.1 协同设计数据交换与共享技术	10 - 440	2.5 产品质量组成元素公式与产品质量方程	10 - 474
4.2.2 协同设计中的任务协同	10 - 442	2.5.1 产品质量元素公式及各元素在系统中的作用	10 - 474
4.2.3 协同设计冲突协调机制	10 - 443	2.5.2 系统组成元素的量与质	10 - 474
4.2.4 协同设计交互技术	10 - 444	2.5.3 各组成元素对产品质量的贡献率	10 - 474
4.2.5 协同设计集成技术	10 - 445	2.5.4 产品的质量与设计质量公式	10 - 474
4.2.6 协同设计安全技术	10 - 447	3 机械产品的功能及功能设计	10 - 475
4.3 协同设计体系结构及主要功能	10 - 448	3.1 概述	10 - 475
4.3.1 协同设计体系结构	10 - 448	3.2 产品功能分析	10 - 476
4.3.2 协同设计关系建立	10 - 450	3.2.1 功能的种类	10 - 476
4.3.3 协同设计管理	10 - 451	3.2.2 产品基本功能和辅助功能的内涵	10 - 476
4.3.4 协同设计产品配置工具	10 - 451	3.2.3 产品功能的分解	10 - 477
4.3.5 协同设计三维视频协同会议	10 - 452	3.3 实现产品主辅功能的工作系统设计	10 - 478
4.3.6 协同设计数据集成管理	10 - 452	3.3.1 物质输送系统设计方案的要点	10 - 478
4.4 数字化协同设计应用实例	10 - 453	3.3.2 物件夹持系统设计方案的要点	10 - 478
第9章 机械产品系统化设计	10 - 459	3.3.3 运动传递系统设计方案的要点	10 - 479
1 概论	10 - 459	3.3.4 机器操纵系统设计方案的要点	10 - 479
1.1 实施基于系统工程的产品系统化设计的目的与意义	10 - 459	3.3.5 动力传输系统设计方案的要点	10 - 480
1.2 基于系统工程的产品系统化设计的内容与方法	10 - 459	3.3.6 信息传输和处理系统设计方案的要点	10 - 483
1.3 机械产品设计工作过程的四个阶段	10 - 459	3.4 产品功能需求的四类参数	10 - 484
1.3.1 现代机械产品设计的第一阶段——调研阶段	10 - 460	3.5 产品功能设计示例	10 - 485
1.3.2 现代机械产品设计的第二阶段——规划阶段	10 - 461	4 机械产品的结构性能及动态设计	10 - 487
1.3.3 现代机械产品设计的第三阶段——实施阶段	10 - 465	4.1 结构性能优化设计的目标、内容与方法及其关联性方程式	10 - 487
1.3.4 现代机械产品设计的第四阶段——检验阶段	10 - 468	4.1.1 动态设计的主要目标、内容与方法	10 - 487
2 产品功能与性能的内涵及质量的定义	10 - 468	4.1.2 动态设计的主要目标、内容与方法 的关联方程式	10 - 487
2.1 现代机械产品的基本功能与辅助功能	10 - 468		
2.1.1 产品的基本功能与辅助功能	10 - 468		
2.1.2 产品功能的主要特性及要求	10 - 468		

4.2 动态设计的内涵	10 - 488	6.3 加工过程可视化	10 - 503
4.2.1 动态设计的种类和含义	10 - 488	6.3.1 研究内容及目标	10 - 503
4.2.2 一般动态设计法	10 - 488	6.3.2 研究方法 & 实施过程	10 - 503
4.2.3 深层次动态设计法	10 - 490	6.4 装配(拆卸)过程可视化	10 - 505
4.3 动态设计的步骤和方法	10 - 491	6.4.1 研究内容及目标	10 - 505
4.4 应用举例	10 - 491	6.4.2 研究方法 & 实施过程	10 - 505
5 机械产品的使用性能及控制系统设计	10 - 495	6.5 运动学可视化	10 - 506
5.1 控制系统设计的目标、内容与方法	10 - 495	6.5.1 研究内容及目标	10 - 506
5.1.1 控制系统设计的内涵	10 - 495	6.5.2 研究方法 & 步骤	10 - 506
5.1.2 控制系统设计的主要目标、内容和方法	10 - 495	6.6 动力学可视化	10 - 507
5.2 机械产品的操纵系统	10 - 495	6.6.1 研究内容及目标	10 - 507
5.3 机械产品的监测系统	10 - 496	6.6.2 研究方法 & 步骤	10 - 507
5.4 机械产品的控制系统	10 - 496	6.7 工作过程可视化	10 - 508
5.4.1 机械产品工艺参数的控制	10 - 496	6.7.1 研究内容及目标	10 - 508
5.4.2 多机传动机械系统运动学状态的控制	10 - 497	6.7.2 研究方法 & 步骤	10 - 508
5.4.3 机械产品动力学状态的控制	10 - 498	6.8 控制过程可视化	10 - 509
5.4.4 机械产品工作过程的控制	10 - 498	6.8.1 研究内容及目标	10 - 509
5.5 机械产品的诊断系统	10 - 500	6.8.2 研究方法 & 步骤	10 - 509
6 机械产品的制造性能及可视化设计	10 - 500	7 机械产品设计质量的检验与评估	10 - 510
6.1 产品可视化设计的主要目标、内容和方法	10 - 500	7.1 产品设计质量的评估及检验模型	10 - 510
6.2 可视化设计法的理论框架	10 - 500	7.2 产品设计质量评价指标的内涵	10 - 510
6.2.1 可视化设计法的主要内容	10 - 500	7.3 评价指标的加权系数	10 - 510
6.2.2 可视化设计法的技术流程	10 - 500	7.4 产品设计质量评价方法的种类	10 - 511
6.2.3 可视化设计法的关键技术	10 - 503	7.5 通过样机试验检验产品设计质量	10 - 514
		7.6 通过用户使用检验产品设计质量	10 - 515
		参考文献	10 - 515

第 1 篇

机械设计基础资料

第 1 章 常用设计资料

1 常用字母与标准代号

1.1 常用字母（见表 1.1-1 ~ 表 1.1-3）

表 1.1-1 汉语拼音字母

大写	小写	名称	读音	大写	小写	名称	读音	大写	小写	名称	读音
A	a	阿	阿	J	j	街	基	S	s	谀思	思
B	b	玻谀	玻	K	k	科谀	科	T	t	特谀	特
C	c	雌谀	雌	L	l	谀勒	勒	U	u	乌	乌
D	d	得谀	得	M	m	谀摸	摸	V	v	物谀	维
E	e	鹅	鹅	N	n	讷谀	讷	W	w	蛙	屋
F	f	谀佛	佛	O	o	喔	喔	X	x	希	希
G	g	哥谀	哥	P	p	坡谀	坡	Y	y	呀	衣
H	h	哈	喝	Q	q	邱	欺	Z	z	资谀	资
I	i	衣	衣	R	r	阿儿	日				

注:1. “V”只用来拼写外来语、少数民族语言和方言。

2. 前面没有声母时,韵母 i 写成 y, 韵母 u 写成 w。

表 1.1-2 拉丁字母

正 体		斜 体		名 称 (国际音 标注音)	正 体		斜 体		名 称 (国际音 标注音)
大 写	小 写	大 写	小 写		大 写	小 写	大 写	小 写	
A	a	<i>A</i>	<i>a</i>	[ei]	N	n	<i>N</i>	<i>n</i>	[en]
B	b	<i>B</i>	<i>b</i>	[bi:]	O	o	<i>O</i>	<i>o</i>	[ou]
C	c	<i>C</i>	<i>c</i>	[si:]	P	p	<i>P</i>	<i>p</i>	[pi:]
D	d	<i>D</i>	<i>d</i>	[di:]	Q	q	<i>Q</i>	<i>q</i>	[kju:]
E	e	<i>E</i>	<i>e</i>	[i:]	R	r	<i>R</i>	<i>r</i>	[a:]
F	f	<i>F</i>	<i>f</i>	[ef]	S	s	<i>S</i>	<i>s</i>	[es]
G	g	<i>G</i>	<i>g</i>	[dʒi:]	T	t	<i>T</i>	<i>t</i>	[ti:]
H	h	<i>H</i>	<i>h</i>	[eitʃ]	U	u	<i>U</i>	<i>u</i>	[ju:]
I	i	<i>I</i>	<i>i</i>	[ai]	V	v	<i>V</i>	<i>v</i>	[vi:]
J	j	<i>J</i>	<i>j</i>	[dʒei]	W	w	<i>W</i>	<i>w</i>	[ˈdʌblju:]
K	k	<i>K</i>	<i>k</i>	[kei]	X	x	<i>X</i>	<i>x</i>	[eks]
L	l	<i>L</i>	<i>l</i>	[el]	Y	y	<i>Y</i>	<i>y</i>	[wai]
M	m	<i>M</i>	<i>m</i>	[em]	Z	z	<i>Z</i>	<i>z</i>	[zed]

表 1.1-3 希腊字母

正 体		斜 体		英文名称 [国际音标注音]	正 体		斜 体		英文名称 [国际音标注音]
大 写	小 写	大 写	小 写		大 写	小 写	大 写	小 写	
A	α	<i>A</i>	<i>α</i>	alpha['ælfə]	N	ν	<i>N</i>	<i>ν</i>	nu[njuː]
B	β	<i>B</i>	<i>β</i>	beta['bi:tə]	Ξ	ξ	<i>Ξ</i>	<i>ξ</i>	xi[ksai]
Γ	γ	<i>Γ</i>	<i>γ</i>	gamma['gæmə]	O	ο	<i>O</i>	<i>ο</i>	omicron[ou'maɪkrən]
Δ	δ	<i>Δ</i>	<i>δ</i>	delta['deltə]	Π	π	<i>Π</i>	<i>π</i>	pi[pai]
E	ε, ε	<i>E</i>	<i>ε</i>	epsilon['epsɪlən]	P	ρ	<i>P</i>	<i>ρ</i>	rho[rou]
Z	ζ	<i>Z</i>	<i>ζ</i>	zeta['zi:tə]	Σ	σ	<i>Σ</i>	<i>σ</i>	sigma['sɪgmə]
H	η	<i>H</i>	<i>η</i>	eta['i:tə]	T	τ	<i>T</i>	<i>τ</i>	tau[tau]
Θ	θ, θ	<i>Θ</i>	<i>θ, θ</i>	theta['θi:tə]	Υ	υ	<i>Υ</i>	<i>υ</i>	upsilon['ju:psɪlən]
I	ι	<i>I</i>	<i>ι</i>	jota[ai'outə]	Φ	φ, φ	<i>Φ</i>	<i>φ, φ</i>	phi[fai]
K	κ	<i>K</i>	<i>κ</i>	kappa['kæpə]	X	χ	<i>X</i>	<i>χ</i>	chi[kai]
Λ	λ	<i>Λ</i>	<i>λ</i>	lambda['læmdə]	Ψ	ψ	<i>Ψ</i>	<i>ψ</i>	psi[psiː]
M	μ	<i>M</i>	<i>μ</i>	mu[mjuː]	Ω	ω	<i>Ω</i>	<i>ω</i>	omega['oumɪgə]

1.2 国内和国外部分标准代号(见表 1.1-4、表 1.1-5)

表 1.1-4 国内部分标准代号

国内标准代号	标准名称	国内标准代号	标准名称	国内标准代号	标准名称
GB	强制性国家标准	HG	化工行业标准	NY	农业行业标准
GB/T	推荐性国家标准	HJ	环境保护行业标准	QB	轻工业行业标准
GBn	国家内部标准	HY	海洋行业标准	QC	汽车行业标准
GBJ	国家工程建设标准	JB	机械行业标准	QJ	航天工业行业标准
GJB	国家军用标准	JB/ZQ	重型机械联合企业标准	SD	原水利电力标准
ZB	国家专业标准	JB/Z	机械工业指导性技术文件	SH	石油化工行业标准
BB	包装行业标准	JC	建材行业标准	SJ	电子行业标准
CB	船舶行业标准	JG	建筑工业行业标准	SL	水利行业标准
CH	测绘行业标准	JJC	国家计量局标准	SY	石油天然气行业标准
CJ	城市建设行业标准	JT	交通行业标准	TB	铁道行业标准
DL	电力行业标准	KY	中国科学院标准	WJ	兵工民品行业标准
DZ	地质矿业行业标准	LY	林业行业标准	WM	对外经济贸易行业标准
FJ	原纺织工业标准	MH	民用航空行业标准	XB	稀土行业标准
FZ	纺织行业标准	MT	煤炭行业标准	YB	黑色冶金行业标准
GC	金属切削机床标准	MZ	民政工业行业标准	YS	有色冶金行业标准
HB	航空工业行业标准	NJ	农机行业标准	Y、ZBY	仪器、仪表标准

注:1. 标准代号后加“/T”为推荐性标准;在代号后加“/Z”为指导性技术文件。

2. 中国台湾省标准代号是 CNS。

表 1.1-5 国外部分标准代号

国外标准代号	标准名称	国外标准代号	标准名称	国外标准代号	标准名称
ISO ^①	国际标准化组织标准	BS	英国标准	KS	韩国标准
IEC	国际电工委员会标准	DIN	德国工业标准	MSZ	匈牙利标准
IDO	联合国工业发展组织标准	VDI	德国工程师协会标准	NB	巴西标准
ANSI ^②	美国国家标准	CSA	加拿大标准协会标准	NBN	比利时标准
SAE	美国汽车协会标准	UNI	意大利国家标准	NC、UNC	古巴标准
NBS	美国国家标准局标准	SIS	瑞典国家标准	NEN	荷兰标准
ASA	美国标准协会标准	JIS	日本工业标准	NS	挪威标准
AISI	美国钢铁学会标准	JES	日本工业产品标准统一调查会标准	NZS	新西兰标准
AGMA	美国齿轮制造者协会标准	JSME	日本机械学会标准	SNV	瑞士标准协会标准
ASME	美国机械工程师学会标准	JCMA	日本齿轮工业协会标准	STAS	罗马尼亚国家标准
ASTM	美国材料试验标准	DS	丹麦标准	STASH	阿尔巴尼亚国家标准
JSME	美国航空材料的技术规格	ELOT	希腊标准	ČSN	原捷克斯洛伐克国家标准
ГОСТ	俄罗斯国家标准	E. S.	埃及标准	SABS	南非标准
AFNOR	法国标准协会标准	IS	印度标准	SFS	芬兰标准
AS	澳大利亚标准	CSK	朝鲜民主主义人民共和国标准	UNE	西班牙标准
NF	法国国家标准				

- ① ISO 的前身为 ISA。
- ② ANSI 的前身为 ASA,USASI。

2 常用数据

2.1 金属硬度与强度换算(见表 1.1-6 ~ 表 1.1-9)

表 1.1-6 碳钢及合金钢硬度与强度换算值(摘自 GB/T1172—1999)

硬 度							抗拉强度 $R_m/N \cdot mm^{-2}$								
洛氏		表面洛氏			维氏	布氏 ($F=30D^2$) ^①	碳钢	铬钢	铬钒钢	铬镍钢	铬钼钢	铬镍钼钢	铬锰硅钢	超高强度钢	不锈钢
HRC	HRA	HR 15N	HR 30N	HR 45N	HV	HBW									
20.0	60.2	68.8	40.7	19.2	226	225	774	742	736	782	747		781		740
20.5	60.4	69.0	41.2	19.8	228	227	784	751	744	787	753		788		749
21.0	60.7	69.3	41.7	20.4	230	229	793	760	753	792	760		794		758
21.5	61.0	69.5	42.2	21.0	233	232	803	769	761	797	767		801		767
22.0	61.2	69.8	42.6	21.5	235	234	813	779	770	803	774		809		777
22.5	61.5	70.0	43.1	22.1	238	237	823	788	779	809	781		816		786
23.0	61.7	70.3	43.6	22.7	241	240	833	798	788	815	789		824		796
23.5	62.0	70.6	44.0	23.3	244	242	843	808	797	822	797		832		806
24.0	62.2	70.8	44.5	23.9	247	245	854	818	807	829	805		840		816
24.5	62.5	71.1	45.0	24.5	250	248	864	828	816	836	813		848		826
25.0	62.8	71.4	45.5	25.1	253	251	875	838	826	843	822		856		837
25.5	63.0	71.6	45.9	25.7	256	254	886	848	837	851	831	850	865		847
26.0	63.3	71.9	46.4	26.3	259	257	897	859	847	859	840	859	874		858
26.5	63.5	72.2	46.9	26.9	262	260	908	870	858	867	850	869	883		868

(续)

硬 度							抗拉强度 $R_m/N \cdot mm^{-2}$								
洛氏		表面洛氏			维氏	布氏 ($F=30D^2$) ^①	碳钢	铬钢	铬钒钢	铬镍钢	铬钼钢	铬镍钼钢	铬锰硅钢	超高强度钢	不锈钢
HRC	HRA	HR 15N	HR 30N	HR 45N	HV	HBW									
27.0	63.8	72.4	47.3	27.5	266	263	919	880	869	876	860	879	893		879
27.5	64.0	72.7	47.8	28.1	269	266	930	891	880	885	870	890	902		890
28.0	64.3	73.0	48.3	28.7	273	269	942	902	892	894	880	901	912		901
28.5	64.6	73.3	48.7	29.3	276	273	954	914	903	904	891	912	922		913
29.0	64.8	73.5	49.2	29.9	280	276	965	925	915	914	902	923	933		924
29.5	65.1	73.8	49.7	30.5	284	280	977	937	928	924	913	935	943		936
30.0	65.3	74.1	50.2	31.1	288	283	989	948	940	935	924	947	954		947
30.5	65.6	74.4	50.6	31.7	292	287	1002	960	953	946	936	959	965		959
31.0	65.8	74.7	51.1	32.3	296	291	1014	972	966	957	948	972	977		971
31.5	66.1	74.9	51.6	32.9	300	294	1027	984	980	969	961	985	989		983
32.0	66.4	75.2	52.0	33.5	304	298	1039	996	993	981	974	999	1001		996
32.5	66.6	75.5	52.5	34.1	308	302	1052	1009	1007	994	987	1012	1013		1008
33.0	66.9	75.8	53.0	34.7	313	306	1065	1022	1022	1007	1001	1027	1026		1021
33.5	67.1	76.1	53.4	35.3	317	310	1078	1034	1036	1020	1015	1041	1039		1034
34.0	67.4	76.4	53.9	35.9	321	314	1092	1048	1051	1034	1029	1056	1052		1047
34.5	67.7	76.7	54.4	36.5	326	318	1105	1061	1067	1048	1043	1071	1066		1060
35.0	67.9	77.0	54.8	37.0	331	323	1119	1074	1082	1063	1058	1087	1079		1074
35.5	68.2	77.2	55.3	37.6	335	327	1133	1088	1098	1078	1074	1103	1094		1087
36.0	68.4	77.5	55.8	38.2	340	332	1147	1102	1114	1093	1090	1119	1108		1101
36.5	68.7	77.8	56.2	38.8	345	336	1162	1116	1131	1109	1106	1136	1123		1116
37.0	69.0	78.1	56.7	39.4	350	341	1177	1131	1148	1125	1122	1153	1139		1130
37.5	69.2	78.4	57.2	40.0	355	345	1192	1146	1165	1142	1139	1171	1155		1145
38.0	69.5	78.7	57.6	40.6	360	350	1207	1161	1183	1159	1157	1189	1171		1161
38.5	69.7	79.0	58.1	41.2	365	355	1222	1176	1201	1177	1174	1207	1187	1170	1176
39.0	70.0	79.3	58.6	41.8	371	360	1238	1192	1219	1195	1192	1226	1204	1195	1193
39.5	70.3	79.6	59.0	42.4	376	365	1254	1208	1238	1214	1211	1245	1222	1219	1209
40.0	70.5	79.9	59.5	43.0	381	370	1271	1225	1257	1233	1230	1265	1240	1243	1226
40.5	70.8	80.2	60.0	43.6	387	375	1288	1242	1276	1252	1249	1285	1258	1267	1244
41.0	71.1	80.5	60.4	44.2	393	381	1305	1260	1296	1273	1269	1306	1277	1290	1262
41.5	71.3	80.8	60.9	44.8	398	386	1322	1278	1317	1293	1289	1327	1296	1313	1280
42.0	71.6	81.1	61.3	45.4	404	392	1340	1296	1337	1314	1310	1348	1316	1336	1299
42.5	71.8	81.4	61.8	45.9	410	397	1359	1315	1358	1336	1331	1370	1336	1359	1319
43.0	72.1	81.7	62.3	46.5	416	403	1378	1335	1380	1358	1353	1392	1357	1381	1339
43.5	72.4	82.0	62.7	47.1	422	409	1397	1355	1401	1380	1375	1415	1378	1404	1361
44.0	72.6	82.3	63.2	47.7	428	415	1417	1376	1424	1404	1397	1439	1400	1427	1383
44.5	72.9	82.6	63.6	48.3	435	422	1438	1398	1446	1427	1420	1462	1422	1450	1405
45.0	73.2	82.9	64.1	48.9	441	428	1459	1420	1469	1451	1444	1487	1445	1473	1429
45.5	73.4	83.2	64.6	49.5	448	435	1481	1444	1493	1476	1468	1512	1469	1496	1453
46.0	73.7	83.5	65.0	50.1	454	441	1503	1468	1517	1502	1492	1537	1493	1520	1479
46.5	73.9	83.7	65.5	50.7	461	448	1526	1493	1541	1527	1517	1563	1517	1544	1505
47.0	74.2	84.0	65.9	51.2	468	455	1550	1519	1566	1554	1542	1589	1543	1569	1533
47.5	74.5	84.3	66.4	51.8	475	463	1575	1546	1591	1581	1568	1616	1569	1594	1562
48.0	74.7	84.6	66.8	52.4	482	470	1600	1574	1617	1608	1595	1643	1595	1620	1592

(续)

硬 度							抗拉强度 $R_m / N \cdot mm^{-2}$								
洛氏		表面洛氏			维氏	布氏 ($F = 30D^2$) ^①	碳钢	铬钢	铬钒钢	铬镍钢	铬钼钢	铬镍钼钢	铬锰硅钢	超高强度钢	不锈钢
HRC	HRA	HR 15N	HR 30N	HR 45N	HV	HBW									
48.5	75.0	84.9	67.3	53.0	489	478	1626	1603	1643	1636	1622	1671	1623	1646	1623
49.0	75.3	85.2	67.7	53.6	497	486	1653	1633	1670	1665	1649	1699	1651	1674	1655
49.5	75.5	85.5	68.2	54.2	504	494	1681	1665	1697	1695	1677	1728	1679	1702	1689
50.0	75.8	85.7	68.6	54.7	512	502	1710	1698	1724	1724	1706	1758	1709	1731	1725
50.5	76.1	86.0	69.1	55.3	520	510		1732	1752	1755	1735	1788	1739	1761	
51.0	76.3	86.3	69.5	55.9	527	518		1768	1780	1786	1764	1819	1770	1792	
51.5	76.6	86.6	70.0	56.5	535	527		1806	1809	1818	1794	1850	1801	1824	
52.0	76.9	86.8	70.4	57.1	544	535		1845	1839	1850	1825	1881	1834	1857	
52.5	77.1	87.1	70.9	57.6	552	544			1869	1883	1856	1914	1867	1892	
53.0	77.4	87.4	71.3	58.2	561	552			1899	1917	1888	1947	1901	1929	
53.5	77.7	87.6	71.8	58.8	569	561			1930	1951			1936	1966	
54.0	77.9	87.9	72.2	59.4	578	569			1961	1986			1971	2006	
54.5	78.2	88.1	72.6	59.9	587	577			1993	2022			2008	2047	
55.0	78.5	88.4	73.1	60.5	596	585			2026	2058			2045	2090	
55.5	78.7	88.6	73.5	61.1	606	593								2135	
56.0	79.0	88.9	73.9	61.7	615	601								2181	
56.5	79.3	89.1	74.4	62.2	625	608								2230	
57.0	79.5	89.4	74.8	62.8	635	616								2281	
57.5	79.8	89.6	75.2	63.4	645	622								2334	
58.0	80.1	89.8	75.6	63.9	655	628								2390	
58.5	80.3	90.0	76.1	64.5	666	634								2448	
59.0	80.6	90.2	76.5	65.1	676	639								2509	
59.5	80.9	90.4	76.9	65.6	687	643								2572	
60.0	81.2	90.6	77.3	66.2	698	647								2639	
60.5	81.4	90.8	77.7	66.8	710	650									
61.0	81.7	91.0	78.1	67.3	721										
61.5	82.0	91.2	78.6	67.9	733										
62.0	82.2	91.4	79.0	68.4	745										
62.5	82.5	91.5	79.4	69.0	757										
63.0	82.8	91.7	79.8	69.5	770										
63.5	83.1	91.8	80.2	70.1	782										
64.0	83.3	91.9	80.6	70.6	795										
64.5	83.6	92.1	81.0	71.2	809										
65.0	83.9	92.2	81.3	71.7	822										
65.5	84.1				836										
66.0	84.4				850										
66.5	84.7				865										
67.0	85.0				879										
67.5	85.2				894										
68.0	85.5				909										

注:1. 本表所列各种钢的换算值,适用于含碳量由低到高的钢种。
2. 本表所列换算值只有当试件组织均匀一致时,才能得到较精确的结果。
3. 本表不包括低碳钢。
① F 为压头上负荷(N); D 为压头直径(mm)。

表 1.1-7 碳钢硬度与强度换算值(GB/T1172—1999)

硬 度							抗拉 强度 $R_m/\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	硬 度							抗拉 强度 $R_m/\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
洛氏	表面洛氏			维氏	布氏			洛氏	表面洛氏			维氏	布氏		
HRB	HR 15T	HR 30T	HR 45T	HV	HBW			HRB	HR 15T	HR 30T	HR 45T	HV	HBW		
					F $=10D^2$	F $=30D^2$						F $=10D^2$	F $=30D^2$		
60.0	80.4	56.1	30.4	105	102		375	80.5	86.1	69.2	51.6	148	134		503
60.5	80.5	56.4	30.9	105	102		377	81.0	86.2	69.5	52.1	149	136		508
61.0	80.7	56.7	31.4	106	103		379	81.5	86.3	69.8	52.6	151	137		513
61.5	80.8	57.1	31.9	107	103		381	82.0	86.5	70.2	53.1	152	138		518
62.0	80.9	57.4	32.4	108	104		382	82.5	86.6	70.5	53.6	154	140		523
62.5	81.1	57.7	32.9	108	104		384	83.0	86.8	70.8	54.1	156		152	529
63.0	81.2	58.0	33.5	109	105		386	83.5	86.9	71.1	54.7	157		154	534
63.5	81.4	58.3	34.0	110	105		388	84.0	87.0	71.4	55.2	159		155	540
64.0	81.5	58.7	34.5	110	106		390	84.5	87.2	71.8	55.7	161		156	546
64.5	81.6	59.0	35.0	111	106		393	85.0	87.3	72.1	56.2	163		158	551
65.0	81.8	59.3	35.5	112	107		395	85.5	87.5	72.4	56.7	165		159	557
65.5	81.9	59.6	36.1	113	107		397	86.0	87.6	72.7	57.2	166		161	563
66.0	82.1	59.9	36.6	114	108		399	86.5	87.7	73.0	57.8	168		163	570
66.5	82.2	60.3	37.1	115	108		402	87.0	87.9	73.4	58.3	170		164	576
67.0	82.3	60.6	37.6	115	109		404	87.5	88.0	73.7	58.8	172		166	582
67.5	82.5	60.9	38.1	116	110		407	88.0	88.1	74.0	59.3	174		168	589
68.0	82.6	61.2	38.6	117	110		409	88.5	88.3	74.3	59.8	176		170	596
68.5	82.7	61.5	39.2	118	111		412	89.0	88.4	74.6	60.3	178		172	603
69.0	82.9	61.9	39.7	119	112		415	89.5	88.6	75.0	60.9	180		174	609
69.5	83.0	62.2	40.2	120	112		418	90.0	88.7	75.3	61.4	183		176	617
70.0	83.2	62.5	40.7	121	113		421	90.5	88.8	75.6	61.9	185		178	624
70.5	83.3	62.8	41.2	122	114		424	91.0	89.0	75.9	62.4	187		180	631
71.0	83.4	63.1	41.7	123	115		427	91.5	89.1	76.2	62.9	189		182	639
71.5	83.6	63.5	42.3	124	115		430	92.0	89.3	76.6	63.4	191		184	646
72.0	83.7	63.8	42.8	125	116		433	92.5	89.4	76.9	64.0	194		187	654
72.5	83.9	64.1	43.3	126	117		437	93.0	89.5	77.2	64.5	196		189	662
73.0	84.0	64.4	43.8	128	118		440	93.5	89.7	77.5	65.0	199		192	670
73.5	84.1	64.7	44.3	129	119		444	94.0	89.8	77.8	65.5	201		195	678
74.0	84.3	65.1	44.8	130	120		447	94.5	89.9	78.2	66.0	203		197	686
74.5	84.4	65.4	45.4	131	121		451	95.0	90.1	78.5	66.5	206		200	695
75.0	84.5	65.7	45.9	132	122		455	95.5	90.2	78.8	67.1	208		203	703
75.5	84.7	66.0	46.4	134	123		459	96.0	90.4	79.1	67.6	211		206	712
76.0	84.8	66.3	46.9	135	124		463	96.5	90.5	79.4	68.1	214		209	721
76.5	85.0	66.6	47.4	136	125		467	97.0	90.6	79.8	68.6	216		212	730
77.0	85.1	67.0	47.9	138	126		471	97.5	90.8	80.1	69.1	219		215	739
77.5	85.2	67.3	48.5	139	127		475	98.0	90.9	80.4	69.6	222		218	749
78.0	85.4	67.6	49.0	140	128		480	98.5	91.1	80.7	70.2	225		222	758
78.5	85.5	67.9	49.5	142	129		484	99.0	91.2	81.0	70.7	227		226	768
79.0	85.7	68.2	50.0	143	130		489	99.5	91.3	81.4	71.2	230		229	778
79.5	85.8	68.6	50.5	145	132		493	100.0	91.5	81.7	71.7	233		232	788
80.0	85.9	68.9	51.0	146	133		498								

注:1. 本表适用于低碳钢。

2. 表中 F 及 D 意义见前表。

表 1.1-8 钢铁洛氏与肖氏硬度对照

[illegible]

表 1.1-9 常用材料极限强度的近似关系

材料 名称	极限强度					
	对称应力疲劳限			脉动应力疲劳限		
	抗拉压疲劳限 σ_{-1l}	抗弯疲劳限 σ_{-1}	抗扭疲劳限 τ_{-1}	抗拉压脉动 疲劳限 σ_{0l}	抗弯脉动 疲劳限 σ_0	抗扭脉动 疲劳限 τ_0
结构钢	$\approx 0.3R_m$	$\approx 0.43R_m$	$\approx 0.25R_m$	$\approx 1.42\sigma_{-1l}$	$\approx 1.33\sigma_{-1}$	$\approx 1.5\tau_{-1}$
铸铁	$\approx 0.225R_m$	$\approx 0.45R_m$	$\approx 0.36R_m$	$\approx 1.42\sigma_{-1l}$	$\approx 1.35\sigma_{-1}$	$\approx 1.35\tau_{-1}$
铝合金	$\approx \frac{R_m}{6} + 73.5\text{MPa}$	$\approx \frac{R_m}{6} + 73.5\text{MPa}$	$\approx (0.55 \sim 0.58)\sigma_{-1}$	$\approx 1.5\sigma_{-1l}$		

2.2 常用材料的物理性能(见表 1.1-10 ~ 表 1.1-16)

表 1.1-10 常用材料弹性模量及泊松比

名 称	弹性模量 E /GPa	切变模量 G /GPa	泊松比 μ	名 称	弹性模量 E /GPa	切变模量 G /GPa	泊松比 μ
灰铸铁	118 ~ 126	44.3	0.3	轧制锌	82	31.4	0.27
球墨铸铁	173		0.3	铅	16	6.8	0.42
碳钢、镍铬钢、	206	79.4	0.3	玻璃	55	1.96	0.25
合金钢				有机玻璃	2.35 ~ 29.42		
铸钢	202		0.3	橡胶	0.0078		0.47
轧制纯铜	108	39.2	0.31 ~ 0.34	电木	1.96 ~ 2.94	0.69 ~ 2.06	0.35 ~ 0.38
冷拔纯铜	127	48.0		夹布酚醛塑料	3.92 ~ 8.83		
轧制磷锡青铜	113	41.2	0.32 ~ 0.35	赛璐珞	1.71 ~ 1.89	0.69 ~ 0.98	0.4
冷拔黄铜	89 ~ 97	34.3 ~ 36.3	0.32 ~ 0.42	尼龙 1010	1.07		
轧制锰青铜	108	39.2	0.35	硬聚氯乙烯	3.14 ~ 3.92		0.34 ~ 0.35
轧制铝	68	25.5 ~ 26.5	0.32 ~ 0.36	聚四氟乙烯	1.14 ~ 1.42		
拔制铝线	69			低压聚乙烯	0.54 ~ 0.75		
铸铝青铜	103	41.1	0.3	高压聚乙烯	0.147 ~ 0.245		
铸锡青铜	103		0.3	混凝土	13.73 ~ 39.2	4.9 ~ 15.69	0.1 ~ 0.18
硬铝合金	70	26.5	0.3				

表 1.1-11 常用材料线膨胀系数 α ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}^{-1}$)

材 料	温 度 范 围 $/^{\circ}\text{C}$								
	20	20 ~ 100	20 ~ 200	20 ~ 300	20 ~ 400	20 ~ 600	20 ~ 700	20 ~ 900	70 ~ 1000
工程用铜		16.6 ~ 17.1	17.1 ~ 17.2	17.6	18 ~ 18.1	18.6			
黄铜		17.8	18.8	20.9					
青铜		17.6	17.9	18.2					
铸铝合金	18.44 ~ 24.5								
铝合金		22.0 ~ 24.0	23.4 ~ 24.8	24.0 ~ 25.9					
碳钢		10.6 ~ 12.2	11.3 ~ 13	12.1 ~ 13.5	12.9 ~ 13.9	13.5 ~ 14.3	14.7 ~ 15		
铬钢		11.2	11.8	12.4	13	13.6			
3Cr13		10.2	11.1	11.6	11.9	12.3	12.8		

(续)

材 料	温 度 范 围 /℃								
	20	20 ~ 100	20 ~ 200	20 ~ 300	20 ~ 400	20 ~ 600	20 ~ 700	20 ~ 900	70 ~ 1000
1Cr18Ni9Ti		16.6	17	17.2	17.5	17.9	18.6	19.3	17.6
铸铁		8.7 ~ 11.1	8.5 ~ 11.6	10.1 ~ 12.1	11.5 ~ 12.7	12.9 ~ 13.2			
镍铬合金		14.5							
砖	9.5								
水泥、混凝土	10 ~ 14								
胶木、硬橡皮	64 ~ 77								
玻璃		4 ~ 11.5							
赛璐珞		100							
有机玻璃		130							

表 1.1-12 常用材料熔点热导率及比热容

名 称	熔 点 /℃	热导率 λ /W · (m · K) ⁻¹	比热容 c /kJ · (kg · K) ⁻¹	名 称	熔 点 /℃	热导率 λ /W · (m · K) ⁻¹	比热容 c /kJ · (kg · K) ⁻¹
灰铸铁	1200	58	0.532	铝	658	204	0.879
碳钢	1460	47 ~ 58	0.49	锌	419	110 ~ 113	0.38
不锈钢	1450	14	0.51	锡	232	64	0.24
硬质合金	2000	81	0.80	铅	327.4	34.7	0.130
纯铜	1083	384	0.394	镍	1452	59	0.64
黄铜	950	104.7	0.384	聚氯乙烯		0.16	
青铜	910	64	0.37	聚酰胺		0.31	

注:表中的热导率及比热容数值指 0 ~ 100℃ 范围内。

表 1.1-13 常用材料的密度

材料名称	密 度 /g · cm ⁻³ (t · m ⁻³)	材料名称	密 度 /g · cm ⁻³ (t · m ⁻³)	材料名称	密 度 /g · cm ⁻³ (t · m ⁻³)
碳钢	7.3 ~ 7.85	无锡青铜	7.5 ~ 8.2	铝镍合金	2.7
铸钢	7.8	轧制磷青铜、冷拉青铜	8.8	磷青铜	8.8
高速钢($w(W) = 9\%$)	8.3	工业用铝、铝镍合金	2.7	镁合金	1.74 ~ 1.81
高速钢($w(W) = 18\%$)	8.7	可铸铝合金	2.7	锡基轴承合金	7.34 ~ 7.75
合金钢	7.9	镍	8.9	铅基轴承合金	9.33 ~ 10.67
镍铬钢	7.9	轧 锌	7.1	硬质合金(钨钴)	14.4 ~ 14.9
灰铸铁	7.0	铅	11.37	硬质合金(钨钴钛)	9.5 ~ 12.4
白口铸铁	7.55	锡	7.29	聚氯乙烯	1.35 ~ 1.40
可锻铸铁	7.3	金	19.32	聚苯乙烯	0.91
纯铜	8.9	银	10.5	有机玻璃	1.18 ~ 1.19
黄铜	8.4 ~ 8.85	汞	13.55	无填料电木	1.2
铸造黄铜	8.62	硅钢片	7.55 ~ 7.8	赛璐珞	1.4
锡青铜	8.7 ~ 8.9	锌铝合金	6.3 ~ 6.9	氯乙烯	0.92 ~ 0.95

(续)

材料名称	密 度 /g · cm ⁻³ (t · m ⁻³)	材料名称	密 度 /g · cm ⁻³ (t · m ⁻³)	材料名称	密 度 /g · cm ⁻³ (t · m ⁻³)
聚四氟乙烯	2.1 ~ 2.3	平胶板	1.6 ~ 1.8	白刚玉	3.9
聚丙烯	0.9 ~ 0.91	皮革	0.4 ~ 1.2	石英	2.5
聚甲醛	1.41 ~ 1.43	软钢纸板	0.9	云母	2.7 ~ 3.1
聚苯醚	1.06 ~ 1.07	纤维纸板	1.3	沥青	0.9 ~ 1.5
聚砒	1.24	酚醛层压板	1.3 ~ 1.45	石蜡	0.9
尼龙 6	1.13 ~ 1.14	平板玻璃	2.5	石灰石	2.4 ~ 2.6
尼龙 66	1.14 ~ 1.15	实验器皿玻璃	2.45	花岗石	2.6 ~ 3.0
尼龙 1010	1.04 ~ 1.06	耐高温玻璃	2.23	砌砖	1.9 ~ 2.3
泡沫塑料	0.2	胶木	1.3 ~ 1.4	凝固水泥块	3.05 ~ 3.15
玻璃钢	1.4 ~ 2.1	电玉	1.45 ~ 1.55	混凝土	1.8 ~ 2.45
酚醛层压板	1.3 ~ 1.45	木材(含水 15% , 质量分数)	0.4 ~ 0.75	生石灰	1.1
胶木板、纤维板	1.3 ~ 1.4	胶合板	0.56	熟石灰、水泥	1.2
橡胶夹布传动带	0.3 ~ 1.2	刨花板	0.6	粘土耐火砖	2.10
ABS 树脂	1.02 ~ 1.08	竹材	0.9	硅质耐火砖	1.8 ~ 1.9
石棉板	1 ~ 1.3	木炭	0.3 ~ 0.5	镁质耐火砖	2.6
橡胶石棉板	1.5 ~ 2.0	石墨	2 ~ 2.2	镁铬质耐火砖	2.8
石棉线	0.45 ~ 0.55	石膏	2.2 ~ 2.4	高铬质耐火砖	2.2 ~ 2.5
石棉布制动带	2	大理石	2.6 ~ 2.7	碳化硅	3.10
工业用毛毡	0.3	金刚石	3.5 ~ 3.6	石英玻璃	2.2
纤维蛇纹石石棉	2.2 ~ 2.4	金刚砂	4	陶瓷	2.3 ~ 2.45
角闪石石棉	3.2 ~ 3.3	普通刚玉	3.85 ~ 3.9	碳化钙(电石)	2.22
工业橡胶	1.3 ~ 1.8			空气(4℃)	0.0012

表 1.1-14 液体材料的物理性能

名称	密度 ρ ($t = 20^{\circ}\text{C}$) /kg · dm ⁻³	熔点 /℃	沸点 /℃	热导率 λ ($t = 20^{\circ}\text{C}$) /W · m ⁻¹ · K ⁻¹	比热容 ($0^{\circ}\text{C} < t < 100^{\circ}\text{C}$) /kJ · kg ⁻¹ · K ⁻¹	名称	密度 ρ ($t = 20^{\circ}\text{C}$) /kg · dm ⁻³	熔点 /℃	沸点 /℃	热导率 λ ($t = 20^{\circ}\text{C}$) /W · m ⁻¹ · K ⁻¹	比热容 ($0^{\circ}\text{C} < t < 100^{\circ}\text{C}$) /kJ · kg ⁻¹ · K ⁻¹
水	0.998	0	100	0.60	4.187	汽油	≈0.73	-(30 ~ 50)	25 ~ 210	0.13	2.02
汞	13.55	-38.9	357	10	0.138	煤油	0.81	-70	>150	0.13	2.16
苯	0.879	5.5	80	0.15	1.70	柴油	≈0.83	-30	150 ~ 300	0.15	2.05
甲苯	0.867	-95	110	0.14	1.67	氯仿	1.49	-70	61		
甲醇	0.8	-98	66		2.51	盐酸	1.20				
乙醚	0.713	-116	35	0.13	2.28	(400g/L)					
乙醇	0.79	-110	78.4		2.38	硫酸	1.40				
丙酮	0.791	-95	56	0.16	2.22	(500g/L)					
甘油	1.26	19	290	0.29	2.37	浓硫酸	1.83	≈10	338	0.47	1.42
重油 (轻级)	≈0.83	-10	>175	0.14	2.07	浓硝酸	1.51	-41	84	0.26	1.72

(续)

名称	密度 ρ ($t=20^{\circ}\text{C}$) $/\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$	熔点 $/^{\circ}\text{C}$	沸点 $/^{\circ}\text{C}$	热导率 λ ($t=20^{\circ}\text{C}$) $/\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	比热容 ($0^{\circ}\text{C} < t < 100^{\circ}\text{C}$) $/\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	名称	密度 ρ ($t=20^{\circ}\text{C}$) $/\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$	熔点 $/^{\circ}\text{C}$	沸点 $/^{\circ}\text{C}$	热导率 λ ($t=20^{\circ}\text{C}$) $/\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	比热容 ($0^{\circ}\text{C} < t < 100^{\circ}\text{C}$) $/\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
醋酸	1.04	16.8	118			四氯化乙烯	1.62	-20	119		0.904
氢氟酸	0.987	-92.5	19.5			亚麻油	0.93	-15	316	0.17	1.88
石油醚	0.66	-160	>40	0.14	1.76	润滑油	0.91	-20	>360	0.13	2.09
三氯乙烯	1.463	-86	87	0.12	0.93	变压器油	0.88	-30	170	0.13	1.88

表 1.1-15 气体材料的物理性能

名称	密度 ρ ($t=20^{\circ}\text{C}$) $/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	熔点 $/^{\circ}\text{C}$	沸点 $/^{\circ}\text{C}$	热导率 λ ($t=0^{\circ}\text{C}$) $/\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	比热容 ($t=0^{\circ}\text{C}$) $/\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$		名称	密度 ρ ($t=0^{\circ}\text{C}$) $/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	熔点 $/^{\circ}\text{C}$	沸点 $/^{\circ}\text{C}$	热导率 λ ($t=0^{\circ}\text{C}$) $/\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	比热容 ($t=0^{\circ}\text{C}$) $/\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	
					c_p	c_v						c_p	c_v
氢	0.09	-259.2	-252.8	0.171	14.05	9.934	一氧化碳	1.25	-205	-191.6	0.023	1.038	0.741
氧	1.43	-218.8	-182.9	0.024	0.909	0.649	二氧化碳	1.97	-78.2	-56.6	0.015	0.816	0.627
氮	1.25	-210.5	-195.7	0.024	1.038	0.741	二氧化硫	2.92	-75.5	-10.0	0.0086	0.586	0.456
氯	3.17	-100.5	-34.0	0.0081	0.473	0.36	氯化氢	1.63	-111.2	-84.8	0.013	0.795	0.567
氟	1.78	-189.3	-185.9	0.016	0.52	0.312	臭氧	2.14	-251	-112			
氖	0.90	-248.6	-246.1	0.046	1.03	0.618	硫化氢	1.54	-85.6	-60.4	0.013	0.992	0.748
氩	3.74	-157.2	-153.2	0.0088	0.25	0.151	甲烷	0.72	-182.5	-161.5	0.030	2.19	1.672
氙	5.86	-111.9	-108.0	0.0051	0.16	0.097	乙炔	1.17	-83	-81	0.018	1.616	1.300
氦	0.18	-270.7	-268.9	0.143	5.20	3.121	乙烯	1.26	-169.5	-103.7	0.017	1.47	1.173
氨	0.77	-77.9	-33.4	0.022	2.056	1.568	丙烷	2.01	-187.7	-42.1	0.015	1.549	1.360
干燥空气	1.293	-213	-192.3	0.02454	1.005	0.718	正丁烷	2.70	-135	1			
煤气	≈ 0.58	-230	-210		2.14	1.59	异丁烷	2.67	-145	-10			
高炉煤气	1.28	-210	-170	0.02	1.05	0.75	水蒸气①	0.77	0.00	100.00	0.016	1.842	1.381

注:1. 表中性能数据在 101.325kPa 压力时测出。

2. 表中 c_p 表示比定压热容, c_v 表示比定容热容。① 表示该项是在 $t=100^{\circ}\text{C}$ 时测出的。

表 1.1-16 松散物料的堆密度和安息角

物料名称	堆密度 $/\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	安息角($^{\circ}$)		物料名称	堆密度 $/\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	安息角($^{\circ}$)	
		运 动	静 止			运 动	静 止
无烟煤(干,小)	0.7~1.0	27~30	27~45	烟煤粉	0.4~0.7		37~45
烟煤	0.8	30	35~45	粉状石墨	0.45		40~45
褐煤	0.6~0.8	35	35~50	磁铁矿	2.5~3.5	30~35	40~45
泥煤	0.29~0.5	40	45	赤铁矿	2.0~2.8	30~35	40~45
泥煤(湿)	0.55~0.65	40	45	褐铁矿	1.2~2.1	30~35	40~45
焦炭	0.36~0.53	35	50	锰矿	1.7~1.9		35~45
木炭	0.2~0.4			镁砂(块)	2.2~2.5		40~42
无烟煤粉	0.84~0.89		37~45	粉状镁砂	2.1~2.2		45~50

(续)

物料名称	堆密度 /t · m ⁻³	安息角(°)		物料名称	堆密度 /t · m ⁻³	安息角(°)	
		运 动	静 止			运 动	静 止
铜矿	1.7 ~ 2.1	35	35 ~ 45	煤灰	0.70	30	15 ~ 20
铜精矿	1.3 ~ 1.8		40	粗砂(干)	1.4 ~ 1.9		50
铅精矿	1.9 ~ 2.4		40	细砂(干)	1.4 ~ 1.65		
锌精矿	1.3 ~ 1.7		40	细砂(湿)	1.9 ~ 2.1		30 ~ 35
铅锌精矿	1.3 ~ 2.4		40	造型砂	0.8 ~ 1.3		45
铁烧结块	1.7 ~ 2.0		45 ~ 50	石灰石(大块)	1.6 ~ 2.0		30 ~ 35
碎烧结块	1.4 ~ 1.6			石灰石(中块)	1.2 ~ 1.5		30 ~ 35
铅烧结块	1.8 ~ 2.2			生石灰	1.7 ~ 1.8		25
铅锌烧结块	1.6 ~ 2.0			碎石	1.32 ~ 2.0		35
锌烟尘	0.7 ~ 1.5			白云石(块)	1.2 ~ 2.0		35
黄铁矿烧渣	1.7 ~ 1.8			碎白云石	1.8 ~ 1.9		35
铅锌团矿	1.3 ~ 1.8			砾石	1.5 ~ 1.9		30
黄铁矿球团矿	1.2 ~ 1.4			粘土(小块)	0.7 ~ 1.5		40
平炉渣(粗)	1.6 ~ 1.85		45 ~ 50	粘土(湿)	1.7		
高炉渣	0.6 ~ 1.0	35	50	水泥	0.9 ~ 1.7	35	40 ~ 45
铅锌水碎渣(湿)	1.5 ~ 1.6		42	熟石灰(粉)	0.5		
干煤灰	0.64 ~ 0.72		35 ~ 45	熟石灰(块)	2.0		

2.3 常用材料及物体的摩擦因数(见表 1.1-17 ~ 表 1.1-20)

表 1.1-17 常用材料的摩擦因数

摩擦副材料	摩 擦 因 数 μ		摩擦副材料	摩 擦 因 数 μ	
	无润滑	有润滑		无润滑	有润滑
钢-钢	0.15 ^①	0.1 ~ 0.12 ^①	钢纸-铸铁或钢	0.30 ~ 0.50	0.12 ~ 0.17
	0.1 ^②	0.05 ~ 0.1 ^②	毛毡-铸铁或钢	0.22	0.18
钢-软钢	0.2	0.1 ~ 0.2	软钢-铸铁	0.2 ^① , 0.18 ^②	0.05 ~ 0.15
钢-不淬火的 T8 钢	0.15	0.03	软钢-青铜	0.2 ^① , 0.18 ^②	0.07 ~ 0.15
钢-铸铁	0.2 ~ 0.3 ^①	0.05 ~ 0.15	铸铁-铸铁	0.15	0.15 ~ 0.16 ^①
	0.16 ~ 0.18 ^②				0.07 ~ 0.12 ^②
钢-黄铜	0.19	0.03	铸铁-青铜	0.28 ^①	0.16 ^①
钢-青铜	0.15 ~ 0.18	0.1 ~ 0.15 ^①		0.15 ~ 0.21 ^②	0.07 ~ 0.15 ^②
		0.07 ^②	铸铁-皮革	0.55 ^① , 0.28 ^②	0.15 ^① , 0.12 ^②
钢-铝	0.17	0.02	铸铁-橡胶	0.8	0.5
钢-轴承合金	0.2	0.04	橡胶-橡胶	0.5	—
钢-夹布胶木	0.22	—	皮革-木料	0.4 ~ 0.5 ^①	—
钢-粉末冶金材料	0.35 ~ 0.55 ^①	—		0.03 ~ 0.05 ^②	—
钢-冰	0.027 ^①	—	铜-T8 钢	0.15	0.03
	0.014 ^②	—	铜-铜	0.20	—
石棉基材料-铸铁或钢	0.25 ~ 0.40	0.08 ~ 0.12	黄铜-不淬火的 T8 钢	0.19	0.03
皮革-铸铁或钢	0.30 ~ 0.50	0.12 ~ 0.15	黄铜-淬火的 T8 钢	0.14	0.02
木材(硬木)-铸铁或钢	0.20 ~ 0.35	0.12 ~ 0.16	黄铜-黄铜	0.17	0.02
软木-铸铁或钢	0.30 ~ 0.50	0.15 ~ 0.25	黄铜-钢	0.30	0.02

(续)

摩擦副材料	摩擦因数 μ		摩擦副材料	摩擦因数 μ	
	无润滑	有润滑		无润滑	有润滑
黄铜-硬橡胶	0.25	—	硅铝合金-硬橡胶	0.25	—
黄铜-石板	0.25	—	硅铝合金-石板	0.26	—
黄铜-绝缘物	0.27	—	硅铝合金-绝缘物	0.26	—
青铜-不淬火的 T8 钢	0.16	—	木材-木材	0.4 ~ 0.6 ^①	0.1 ^①
青铜-黄铜	0.16	—		0.2 ~ 0.5 ^②	0.07 ~ 0.10 ^②
青铜-青铜	0.15 ~ 0.20	0.04 ~ 0.10	麻绳-木材	0.5 ~ 0.8 ^①	—
青铜-钢	0.16	—		0.5 ^②	—
青铜-酚醛树脂层压材	0.23	—	45 淬火热钢-聚甲醛	0.46	0.016
青铜-钢纸	0.24	—	45 淬火热钢-聚碳酸酯	0.30	0.03
青铜-塑料	0.21	—			
青铜-硬橡胶	0.36	—	45 淬火热钢-尼龙 9 (加 3% MoS ₂ 填充料)	0.57	0.02
青铜-石板	0.33	—			
青铜-绝缘物	0.26	—	45 淬火热钢-尼龙 9 (加 30% 玻璃纤维填充物)	0.48	0.023
铝-不淬火的 T8 钢	0.18	0.03	45 淬火热钢-尼龙 1010 (加 30% 玻璃纤维填充物)	0.039	—
铝-淬火的 T8 钢	0.17	0.02	45 淬火热钢-尼龙 1010 (加 40% 玻璃纤维填充物)	0.07	—
铝-黄铜	0.27	0.02	45 淬火热钢-氯化聚醚	0.35	0.034
铝-青铜	0.22	—	45 淬火热钢-苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚体 (ABS)	0.35 ~ 0.46	0.018
铝-钢	0.30	0.02			
铝-酚醛树脂层压材	0.26	—			
硅铝合金-酚醛树脂层压材	0.34	—			
硅铝合金-钢纸	0.32	—			
硅铝合金-树脂	0.28	—			

注: 1. 表中滑动摩擦因数是摩擦表面为一般情况时的试验数值, 由于实际工作条件和试验条件不同, 表中的数据只能作近似计算参考。

2. 除①、②标注外, 其余材料动、静摩擦因数二者兼之。

① 静摩擦因数。

② 动摩擦因数。

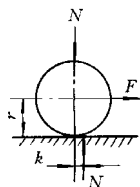
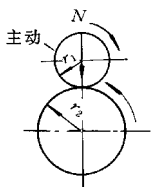
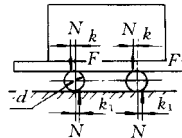
表 1.1-18 工程塑料间、工程塑料与钢的摩擦因数

摩擦副材料		静摩擦 因数 μ_s	动摩擦 因数 μ	摩擦副材料		静摩擦 因数 μ_s	动摩擦 因数 μ
I	II			I	II		
聚四氯乙烯	聚四氯乙烯	0.04		聚对苯二甲酸 乙二醇酯	聚对苯二甲酸 乙二醇酯	0.27	0.20
	钢	0.10	0.05		钢	0.29	0.28
聚全氟乙丙烯	钢	0.25	0.18	聚己二酰己二胺	聚己二酰己二胺	0.42	0.35
聚偏二氯乙烯	钢	0.33	0.25		钢	0.37	0.34
聚三氯氟乙烯	聚三氯氟乙烯	0.43	0.32	聚壬 酸胺	填充 MoS ₂	钢	—
	钢	0.45	0.33		填充玻璃纤维	钢	—
低密度聚乙烯	低密度聚乙烯	0.33		聚癸二酰 癸二酸胺	填充玻 璃纤维	钢	—
	钢	0.27	0.26				0.39
高密度聚乙烯	高密度聚乙烯	0.12	0.11	聚碳酸酯		钢	0.60
	钢	0.18	0.10	苯乙烯-丁二烯-丙 烯腈共聚体		钢	—
聚氯乙烯	聚氯乙烯	0.50	0.40	聚酰胺 (尼龙 66)	聚酰胺 (尼龙 66)	0.42	0.35
	钢	0.45	0.40		钢	0.37	0.34
聚甲醛	钢	0.14	0.13				
氯化聚醚	钢	—	0.35				
聚偏二氯乙烯	聚偏二氯乙烯	0.90	0.52				
	钢	0.68	0.45				

表 1.1-19 物体的摩擦因数

名 称			摩擦因数 μ	名 称			摩擦因数 μ
滚动轴承	深沟球轴承	径向载荷	0.002	滑动轴承	液体摩擦		0.001 ~ 0.008
		轴向载荷	0.004		半液体摩擦		0.008 ~ 0.08
	角接触球轴承	径向载荷	0.003		半干摩擦		0.1 ~ 0.5
		轴向载荷	0.005	轧辊轴承	滚动轴承		0.002 ~ 0.005
	圆锥滚子轴承	径向载荷	0.008		层压胶木轴瓦		0.004 ~ 0.006
		轴向载荷	0.02		青铜轴瓦 (用于热轧辊)		0.07 ~ 0.1
	调心球轴承		0.0015		青铜轴瓦 (用于冷轧辊)		0.04 ~ 0.08
	圆柱滚子轴承		0.002		特殊密封全液体摩擦轴承		0.003 ~ 0.005
	长圆柱或螺旋滚子轴承		0.006		特殊密封半液体摩擦轴承		0.005 ~ 0.01
	滚针轴承		0.008	密封软填料盒中填料与轴的摩擦		0.2	
	推力球轴承		0.003	热钢在辊道上摩擦		0.3	
	调心滚子轴承		0.004	冷钢在辊道上摩擦		0.15 ~ 0.18	
加热炉内	金属在管子或金属条上		0.4 ~ 0.6	制动器普通石棉制动带 (无润滑) $p = 0.2 \sim 0.6 \text{ MPa}$		0.35 ~ 0.48	
	金属在炉底砖上		0.6 ~ 1	离合器装有黄铜丝的压制石棉带 $p = 0.2 \sim 1.2 \text{ MPa}$		0.43 ~ 0.4	

表 1.1-20 滚动摩擦力臂 (大约值)

 圆柱沿平面滚。滚动阻力矩为 $M = Nk = Fr$ k 为滚动摩擦力臂	 两个具有固定轴线的圆柱,其中主动圆柱以 N 力压另一圆柱,两个圆柱相对滚动。主动圆柱上遇到的滚动阻力矩为 $M = Nk \left(1 + \frac{r_1}{r_2} \right)$ k 为滚动摩擦力臂	 重物压在圆辊支承的平台上移动,每个圆辊承受的载重为 N。克服一个辊子上摩擦阻力所需的牵引力 F $F = \frac{N}{d} (k + k_1)$ k 和 k_1 依次是平台与圆辊之间和圆辊与固定支持物之间的滚动摩擦力臂	
摩 擦 材 料	滚动摩擦力臂 k /mm	摩 擦 材 料	滚动摩擦力臂 k /mm
软钢与软钢	0.5	表面淬火车轮与钢轨 圆锥形车轮 圆柱形车轮	0.8 ~ 1 0.5 ~ 0.7
铸铁与铸铁	0.5		
木材与钢	0.3 ~ 0.4		
木材与木材	0.5 ~ 0.8	钢轮与木面	1.5 ~ 2.5
铜板间的滚子 (梁之活动支座)	0.2 ~ 0.7	橡胶轮胎对沥青路面	2.5
铸铁轮或钢轮与钢轨	0.5	橡胶轮胎对土路面	10 ~ 15

2.4 机械传动效率的概略值(见表 1.1-21)

表 1.1-21 机械传动效率的概略值

类 别	传 动 形 式	效率 η	类 别	传 动 形 式	效率 η
圆柱齿轮传动	很好跑合的 6 级精度和 7 级精度齿轮传动(稀油润滑)	0.98 ~ 0.995	滚动轴承	滚珠轴承(稀油润滑)	0.99
	8 级精度的一般齿轮传动(稀油润滑)	0.97		滚柱轴承(稀油润滑)	0.98
	9 级精度的齿轮传动(稀油润滑)	0.96	摩擦轮传动	平摩擦轮传动	0.85 ~ 0.96
	加工齿的开式齿轮传动(干油润滑)	0.94 ~ 0.96		槽摩擦轮传动	0.88 ~ 0.90
	铸造齿的开式齿轮传动	0.90 ~ 0.93		卷绳轮	0.95
锥齿轮传动	很好跑合的 6 级和 7 级精度齿轮传动(稀油润滑)	0.97 ~ 0.98	联轴器	浮动联轴器	0.97 ~ 0.99
	8 级精度的一般齿轮传动(稀油润滑)	0.94 ~ 0.97		齿式联轴器	0.99
	加工齿的开式齿轮传动(干油润滑)	0.92 ~ 0.95		弹性联轴器	0.99 ~ 0.995
	铸造齿开式齿轮传动	0.88 ~ 0.92		万向联轴器($\alpha \leq 3^\circ$)	0.97 ~ 0.98
				万向联轴器($\alpha > 3^\circ$)	0.95 ~ 0.97
蜗杆传动	自锁蜗杆	0.40 ~ 0.45	复合轮组	滑动轴承($i = 2 \sim 6$)	0.98 ~ 0.90
	单头蜗杆	0.70 ~ 0.75		滚动轴承($i = 2 \sim 6$)	0.99 ~ 0.95
	双头蜗杆	0.75 ~ 0.82	运输滚筒		0.96
	三头和四头蜗杆	0.82 ~ 0.92			
	环面蜗杆传动	0.85 ~ 0.95			
带传动	平带无压紧轮的开式传动	0.98	减(变)速器 ^①	单级圆柱齿轮减速器	0.97 ~ 0.98
	平带有压紧轮的开式传动	0.97		双级圆柱齿轮减速器	0.95 ~ 0.96
	平带交叉传动	0.90		单级行星圆柱齿轮减速器(NGW 类型负号机构)	0.95 ~ 0.98
	V 带传动	0.95		单级行星摆线针轮减速器	0.90 ~ 0.97
	同步带传动	0.96 ~ 0.98		单级锥齿轮减速器	0.95 ~ 0.96
链传动	焊接链	0.93		双级圆锥-圆柱齿轮减速器	0.94 ~ 0.95
	片式关节链	0.95		无级变速器	0.92 ~ 0.95
	滚子链	0.96		轧机人字齿轮座(滑动轴承)	0.93 ~ 0.95
	齿形链	0.98		轧机人字齿轮座(滚动轴承)	0.94 ~ 0.96
滑动轴承	润滑不良	0.94	丝杠传动	滑动丝杠	0.30 ~ 0.60
	润滑正常	0.97		滚动丝杠	0.85 ~ 0.9
	润滑特好(压力润滑)	0.98			
	液体摩擦	0.99			

① 滚动轴承的损耗考虑在内。

2.5 常用物理量常数(见表 1.1-22)

表 1.1-22 常用物理量常数^[1]

名 称	符号	数 值	单位
电子电荷	e	$1.6021892 \times 10^{-19}$	C
电子[静止]质量	m_e	9.109534×10^{-31}	kg
质子[静止]质量	m_p	$1.6726485 \times 10^{-27}$	kg
中子[静止]质量	m_n	$1.6749543 \times 10^{-27}$	kg
电子荷质比	e/m_e	1.7588047×10^{11}	C/kg
质子荷质比	e/m_p	9.57929×10^7	C/kg
电子[静止]能量	$(W_e)_0$	0.5110034	MeV
质子[静止]能量	$(W_p)_0$	938.5731	MeV
真空介电常数	ε_0	$8.854187818 \times 10^{-12}$	F/m
真空磁导率	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	H/m
万有引力常数	G	6.6720×10^{-11}	$\text{m}^3/(\text{s}^2 \cdot \text{kg})$
标准重力加速度	g	9.80665	m/s^2
摩尔气体常数	R	8.31441	$\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
标准状态下理想气体的摩尔体积	V_m	22.41383×10^{-3}	m^3/mol
第二辐射常数	c_2	1.438786×10^{-2}	$\text{m} \cdot \text{K}$
绝对零度	T_0	-273.15	C
标准大气压	atm	101325	Pa
纯水三相点的绝对温度	T	273.16	K
4℃时水的密度		0.999973	g/cm^3
0℃时汞的密度		13.5951	g/cm^3
在标准条件下干燥空气的密度		0.001293	g/cm^3
标准条件下空气中的声速		331.4	m/s
真空中的光速	c_0	2.99792458×10^8	m/s
电磁波在真空中的速度	c_0	2.99792458×10^8	m/s

3 计量单位和单位换算

3.1 国际单位制(SI)单位(见表 1.1-23 ~ 表 1.1-26)(摘自 GB3100—1993)

国际单位制的构成如下：

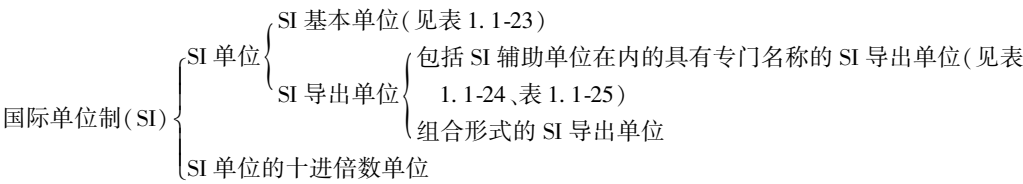


表 1.1-23 SI 基本单位

量的名称	单位名称	单位符号	量的名称	单位名称	单位符号
长 度	米	m	热力学温度	开 [尔文]	K
质 量	千克 (公斤)	kg	物质的量	摩 [尔]	mol
时 间	秒	s	发光强度	坎 [德拉]	cd
电 流	安 [培]	A			

- 注：1. 圆括号中的名称，是它前面的名称的同义词，下同。
2. 方括号中的字，在不致引起混淆、误解的情况下，可以省略，下同。去掉方括号中的字即为其单位名称的简称。无方括号量的名称与单位名称均为全称。
3. 除特殊指明者外，符号均指我国法定计量单位中所规定的符号以及国际符号，下同。
4. 人民生活 and 贸易中，质量习惯称为重量。

表 1.1-24 包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位

量 的 名 称	SI 导 出 单 位		
	名 称	符 号	用 SI 基本单位和 SI 导出单位表示
[平面] 角	弧 度	rad	1 rad = 1 m/m = 1
立体角	球面度	sr	1 sr = 1 m ² /m ² = 1
频率	赫 [兹]	Hz	1 Hz = 1 s ⁻¹
力	牛 [顿]	N	1 N = 1 kg · m/s ²
压力，压强，应力	帕 [斯卡]	Pa	1 Pa = 1 N/m ²
能 [量]，功，热量	焦 [耳]	J	1 J = 1 N · m
功率，辐 [射能] 通量	瓦 [特]	W	1 W = 1 J/s
电荷 [量]	库 [仑]	C	1 C = 1 A · s
电压，电动势，电位 (电势)	伏 [特]	V	1 V = 1 W/A
电容	法 [拉]	F	1 F = 1 C/V
电阻	欧 [姆]	Ω	1 Ω = 1 V/A
电导	西 [门子]	S	1 S = 1 Ω ⁻¹
磁通 [量]	韦 [伯]	Wb	1 Wb = 1 V · s
磁通 [量] 密度，磁感应强度	特 [斯拉]	T	1 T = 1 Wb/m ²
电感	亨 [利]	H	1 H = 1 Wb/A
摄氏温度	摄氏度	°C	1 °C = 1 K ^①
光通量	流 [明]	lm	1 lm = 1 cd · sr
[光] 照度	勒 [克斯]	lx	1 lx = 1 lm/m ²

① 只表示两个单位 °C 与 K 间的关系，并不表示摄氏温度与热力学温度之间的关系。

表 1.1-25 由于人类健康安全防护上的需要而确定的具有专门名称的 SI 导出单位

量 的 名 称	SI 导 出 单 位		
	名 称	符 号	用 SI 基本单位和 SI 导出单位表示
[放射性] 活度	贝可 [勒尔]	Bq	1 Bq = 1 s ⁻¹
吸收剂量 比授 [予] 能 比释动能	戈 [瑞]	Gy	1 Gy = 1 J/kg
剂量当量	希 [沃特]	Sv	1 Sv = 1 J/kg

表 1.1-26 SI 词头

因 数	词 头 名 称		符 号	因 数	词 头 名 称		符 号
	英 文	中 文			英 文	中 文	
10 ²⁴	yotta	尧 [它]	Y	10 ⁻¹	deci	分	d
10 ²¹	zetta	泽 [它]	Z	10 ⁻²	centi	厘	c
10 ¹⁸	exa	艾 [可萨]	E	10 ⁻³	milli	毫	m
10 ¹⁵	peta	拍 [它]	P	10 ⁻⁶	micro	微	μ
10 ¹²	tera	太 [拉]	T	10 ⁻⁹	nano	纳 [诺]	n
10 ⁹	gega	吉 [咖]	G	10 ⁻¹²	pico	皮 [可]	p
10 ⁶	mega	兆	M	10 ⁻¹⁵	femto	飞 [母托]	f
10 ³	kilo	千	k	10 ⁻¹⁸	atto	阿 [托]	a
10 ²	hecto	百	h	10 ⁻²¹	zepto	仄 [普托]	z
10 ¹	deca	十	da	10 ⁻²⁴	yocto	幺 [科托]	y

3.2 可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位（见表 1.1-27）

表 1.1-27 可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位

量 的 名 称	单 位 名 称	单 位 符 号	与 SI 单位的关系
时间	分	min	1 min = 60 s
	[小] 时	h	1 h = 60 min = 3600 s
	日, (天)	d	1 d = 24 h = 86400 s
[平面] 角	度	°	1° = (π/180) rad
	[角] 分	'	1' = (1/60)° = (π/10800) rad
	[角] 秒	"	1" = (1/60)' = (π/648000) rad
体积, 容积	升	L, (l)	1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
质量	吨	t	1 t = 10 ³ kg
	原子质量单位	u	1 u ≈ 1.66054055 × 10 ⁻²⁷ kg
旋转速度	转每分	r/min	1 r/min = (1/60) s ⁻¹
长度	海里	n mile	1 n mile = 1852 m (只用于航程)
速度	节	kn	1 kn = 1 n mile/h = (1852/3600) m/s (只用于航行)
能	电子伏	eV	1 eV ≈ 1.602 177 × 10 ⁻¹⁹ J
级差	分贝	dB	
线密度	特 [克斯]	tex	1 tex = 10 ⁻⁶ kg/m
面积	公顷	hm ²	1 hm ² = 10 ⁴ m ²

注:1. 平面角单位度、分、秒的符号,在组合单位中应采用(°)、(')、(")的形式。例如,不用°/s 而用(°)/s。
2. 升的两个符号属同等级位,可任意选用。
3. 公顷的国际通用符号为 ha。

3.3 常用物理量符号及其法定单位(见表 1.1-28)

表 1.1-28 常用物理量符号及其法定单位(摘自 GB/T3102.1~GB/T3102.7—1993)

量的名称及符号		单位名称及符号		量的名称及符号		单位名称及符号	
空间和时间				体积质量,[质量]密度	ρ	千克每立方米	kg/m ³
[平面]角 $\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$		弧度	rad			吨每立方米	t/m ³
		度	°			千克每升	kg/L
		[角]分	'	相对体积质量,相对[质量]密度	d	-	1
		[角]秒	"	质量体积,比体积	v	立方米每千克	m ³ /kg
立体角	Ω	球面度	sr	线质量,线密度	ρ_l	千克每米	kg/m
长度	l, L	米	m			特[克斯]	tex
		海里	n mile	面质量,面密度	$\rho_A, (\rho_s)$	千克每平方米	kg/m ²
宽度	b	米	m	动量	p	千克米每秒	kg·m/s
高度	h	米	m	动量矩,角动量	L	千克二次方米每秒	kg·m ² /s
厚度	δ, d	米	m	转动惯量,(惯性矩)	$J, (I)$	千克二次方米	kg·m ²
半径	r, R	米	m	力	F	牛[顿]	N
直径	d, D	米	m	重量	$W, (P, G)$	牛[顿]	N
程长	s	米	m	力矩	M	牛[顿]米	N·m
距离	d, r	米	m	转矩,力偶矩	M, T	牛[顿]米	N·m
笛卡儿坐标	x, y, z	米	m	压力,压强	p	帕[斯卡]	Pa
曲率半径	ρ	米	m	正应力	σ	帕[斯卡]	Pa
曲率	κ	每米	m ⁻¹	切应力	τ	帕[斯卡]	Pa
面积	$A, (S)$	平方米	m ²	线应变,(相对变形)	ε, e	-	1
体积,容积	V	立方米	m ³	切应变	γ	-	1
		升	L, l	体应变	θ	-	1
时间,时间间隔	t	秒	s	泊松比,泊松数	μ, ν	-	1
持续时间		分	min	弹性模量	E	帕[斯卡]	Pa
		[小]时	h	切变模量,刚量模量	G	帕[斯卡]	Pa
		日,(天)	d	体积模量,压缩模量	K	帕[斯卡]	Pa
角速度	ω	弧度每秒	rad/s	[体积]压缩率	κ	每帕[斯卡]	Pa ⁻¹
角加速度	a	弧度每二次方秒	rad/s ²	截面二次矩(惯性矩)	I_a, I	四次方米	m ⁴
速度	v, u, w, c	米每秒	m/s	截面二次极矩(极惯性矩)	I_p	四次方米	m ⁴
		千米每小时	km/h	截面系数	W, Z	三次方米	m ³
		节	kn	静摩擦因数	$\mu_s, (f_s)$	-	1
加速度	a	米每二次方秒	m/s ²	动摩擦因数	$\mu, (f)$	-	1
自由落体加速度	g	米每二次方秒	m/s ²	[动力]粘度	$\eta, (\mu)$	帕[斯卡]秒	Pa·s
重力加速度	g_n	米每二次方秒	m/s ²	运动粘度	ν	二次方米每秒	m ² /s
周期及有关现象				表面张力	γ, σ	牛[顿]每米	N/m
周期	T	秒	s	功	$W, (A)$	焦[耳]	J
时间常数	τ	秒	s			电子伏	eV
频率	f, ν	赫[兹]	Hz	能[量]	E	同功的单位	
旋转频率	n	每秒	s ⁻¹	势能,位能	$E_p, (V)$	同功的单位	
旋转速度,转速	n	转每分	r/min	动能	$E_k, (T)$	同功的单位	
角频率,圆频率	ω	弧度每秒	rad/s	功率	P	瓦[特]	W
波长	λ	米	m	质量流量	q_m	千克每秒	kg/s
波数	σ	每米	m ⁻¹	体积流量	q_v	立方米每秒	m ³ /s
角波数	k	弧度每米	rad/m	热 学			
阻尼系数	δ	每秒	s ⁻¹	热力学温度	$T, (\Theta)$	开[尔文]	K
衰减系数	α	每米	m ⁻¹	摄氏温度	t, θ	摄氏度	°C
相位系数	β	每米	m ⁻¹	线[膨]胀系数	α_l	每开[尔文]	K ⁻¹
传播系数	γ	每米	m ⁻¹				
力 学							
质量	m	千克,(公斤)	kg	体[膨]胀系数	$\alpha_v, (\alpha, \gamma)$	每开[尔文]	K ⁻¹
		吨	t				

(续)

量的名称及符号		单位名称及符号		量的名称及符号		单位名称及符号	
热,热量	Q	焦[耳]	J	互感	M, L_{12}	亨[利]	H
热流量	Φ	瓦[特]	W	耦合因数,(耦合系数) $k, (\kappa)$	—	—	1
面积热流量,热流[量]密度	q, φ	瓦[特]每平方米	W/m ²	漏磁因数,(漏磁系数) σ	—	—	1
热导率,(导热系数)	$\lambda, (\kappa)$	瓦[特]每米开[尔文]	W/(m·K)	绕组的匝数	N	—	1
表面传热系数	$h, (a)$	瓦[特]每平方米开[尔文]	W/(m ² ·K)	相数	m	—	1
传热系数	$K, (k)$	—	W/(m ² ·K)	极对数	P	—	1
热扩散率	a	平方米每秒	m ² /s	[交流]电阻	R	欧[姆]	Ω
热容	C	焦[耳]每开[尔文]	J/K	品质因数	Q	—	1
质量热容,比热容	c	焦[耳]每千克开[尔文]	J/(kg·K)	相[位]差,相[位]移 φ	—	弧度	rad
质量热容比,比热[容]比	γ	—	1	功率	P	瓦[特]	W
熵	S	焦[耳]每开[尔文]	J/K	[有功]功率	P	瓦[特]	W
质量熵,比熵	s	焦[耳]每千克开[尔文]	J/(kg·K)	视在功率,(表观功率) S, P_s	—	瓦[特]	W
能[量]	E	焦[耳]	J	无功功率	Q, P_Q	瓦[特]	W
焓	$H, (I)$	焦[耳]	J	功率因数	λ	—	1
亥姆霍兹自由能	A, F	焦[耳]	J	[有功]电能[量]	W	焦[尔]	J
吉布斯自由能	G	焦[耳]	J	磁场强度	H	安[培]每米	A/m
质量能,比能	e	焦[耳]每千克	J/kg	磁通势,磁动势	F, F_m	安[培]	A
质量焓,比焓	$h, (i)$	焦[耳]每千克	J/kg	磁位差,(磁势差)	U_m	安[培]	A
电学和磁学				磁通[量]密度,磁感应强度	—	特[斯拉]	T
电流	I	安[培]	A	—	B	—	—
电荷[量]	Q	库[仑]	C	磁通[量]	Φ	韦[伯]	Wb
体积电荷,电荷[体]密度	$\rho, (\eta)$	库[仑]每立方米	C/m ³	磁矢位,(磁矢势)	A	韦[伯]每米	Wb/m
面积电荷,电荷面密度	σ	库[仑]每平方米	C/m ²	坡印廷矢量	S	瓦[特]每平方米	W/m ²
电场强度	E	伏[特]每米	V/m	磁导率	μ	亨[利]每米	H/m
电位,(电势)	V, φ	伏[特]	V	相对磁导率	μ_r	—	1
电位差,(电势差),电压	$U, (V)$	伏[特]	V	磁化率	$k, (\chi_m, \chi)$	—	1
电动势	E	伏[特]	V	[面]磁矩	m	安[培]平方米	A·m ²
电通[量]密度	D	库[仑]每平方米	C/m ²	磁化强度	$M, (H_i)$	安[培]每米	A/m
电通[量]	Ψ	库[仑]	C	磁极化强度	$J, (B_i)$	特[斯拉]	T
电容	C	法[拉]	F	磁阻	R_m	每亨[利]	H ⁻¹
介电常数,(电容率)	ε	法[拉]每米	F/m	磁导	$\Lambda, (P)$	亨[利]	H
相对介电常数,(相对电容率)	ε_r	—	1	光及有关电磁辐射			
电极化率	χ, χ_e	—	1	辐[射]能	$Q, W, (U, Q_e)$	焦[耳]	J
电极化强度	P	库[仑]每平方米	C/m ²	辐[射]功率,辐[射能]通量	$P, \Phi, (\Phi_e)$	瓦[特]	W
电偶极矩	$p, (p_e)$	库[仑]米	C·m	辐[射]强度	$I, (I_e)$	瓦[特]每球面度	W/sr
面积电流,电流密度	$J, (S)$	安[培]每平方米	A/m ²	辐[射]亮度,辐射度	$L, (L_e)$	瓦[特]每球面度平方米	W/(sr·m ²)
线电流,电流线密度	$A, (a)$	安[培]每米	A/m	辐[射]出[射]度	$M, (M_e)$	瓦[特]每平方米	W/m ²
[直流]电阻	R	欧[姆]	Ω	辐[射]照度	$E, (E_e)$	瓦[特]每平方米	W/m ²
电抗	X	欧[姆]	Ω	发射率	ε	—	1
阻抗,(复[数]阻抗)	Z	欧[姆]	Ω	光通量	$\Phi, (\Phi_v)$	流[明]	lm
[直流]电导,[交流]电导	G	西[门子]	S	光量	$Q, (Q_v)$	流[明]秒	lm·s
电纳	B	西[门子]	S	发光强度	$I, (I_v)$	坎[德拉]	cd
导纳,(复[数]导纳)	Y	西[门子]	S	[光]亮度	$L, (L_v)$	坎[德拉]每平方米	cd/m ²
电阻率	ρ	欧[姆]米	$\Omega \cdot m$	光出射度	$M, (M_v)$	流[明]每平方米	lm/m ²
电导率	γ, σ	西[门子]每米	S/m	[光]照度	$E, (E_v)$	勒[克斯]	lx
自感	L	亨[利]	H	曝光量	H	勒[克斯]秒	lx·s
				光视效能	K	流[明]每瓦[特]	lm/W
				光谱光视效能	$K(\lambda)$	流[明]每瓦[特]	lm/W
				最大光谱光视效能	K_m	流[明]每瓦[特]	lm/W

(续)

量的名称及符号	单位名称及符号	量的名称及符号	单位名称及符号
光谱视效率 $V(\lambda)$	—	1 (瞬时) [声] 质点速度 u, v	米每秒 m/s
视见函数	—	1 声速, (相速) c	米每秒 m/s
光谱吸收比 $a(\lambda)$	—	1 (瞬时) 体积流量	
光谱吸收因数	—	(体积速度) $Uq, (q_v)$	立方米每秒 m^3/s
光谱反射比 $\rho(\lambda)$	—	1 声能密度 $w, (e), (D)$	焦 [耳] 每立方米 J/m^3
光谱反射因数	—	1 声强 [度] I, J	瓦 [特] 每平方米 W/m^2
光谱透射比 $\tau(\lambda)$	—	1 声阻抗 Z_a	帕 [斯卡] 秒每三次方米 $Pa \cdot s/m^3$
光谱透射因数	—	1 力阻抗 Z_m	牛 [顿] 秒每米 $N \cdot s/m$
线性吸收系数 a	每米 m^{-1}	① 声功率级 L_w	贝 [尔] B
线性衰减系数, 线性消光系数 μ, μ_l	每米 m^{-1}	① 声压级 L_p	贝 [尔] B
摩尔吸收系数 κ	平方米每摩 [尔] m^2/mol	① 声强级 L_I	贝 [尔] B
折射率 n	—	阻尼系数 δ	每秒 s^{-1}
声 学		反射因数、(反射系数) (ρ)	— 1
静压 $p_s, (P_0)$	帕 [斯卡] Pa	透射因数、(透射系数) τ	— 1
[瞬时] 声压 p	帕 [斯卡] Pa	吸收因数、(吸收系数) a	— 1
		隔声量① R	贝 [尔] B
		混响时间 $T, (T_{60})$	秒 s

① 声功率级、声压级、声强级、隔声量通常以 dB 为单位, 1dB=0.1B。

3.4 常用计量单位换算 (见表 1.1-29)

表 1.1-29 常用计量单位换算表

单位名称及符号	单位换算	单位名称及符号	单位换算
长 度		· [角] 分 (')	$(\pi/10800) \text{ rad}$
· 米 m		· [角] 秒 (")	$(\pi/648000) \text{ rad}$
· 海里 n mile	1852 m	时 间	
英里 mile	1609.344 m	· 秒 s	
英尺 ft	0.3048 m	· 分 min	60 s
英寸 in	0.0254 m	· [小] 时 h	3600 s
码 yd	0.9144 m	· 天, (日) d	86400 s
密耳 mil	$25.4 \times 10^{-6} \text{ m}$	速 度	
埃 Å	10^{-10} m	· 米每秒 m/s	
费密	10^{-15} m	· 节 kn	0.514444 m/s
面 积		· 千米每小时 km/h	0.277778 m/s
· 平方米 m^2		· 米每分 m/min	0.0166667 m/s
公顷 ha	10000 m^2	英里每小时 mile/h	0.44704 m/s
公亩 a	100 m^2	英尺每秒 ft/s	0.3048 m/s
平方英里 $mile^2$	$2.58999 \times 10^6 \text{ m}^2$	英寸每秒 in/s	0.0254 m/s
平方英尺 ft^2	0.0929030 m^2	加 速 度	
平方英寸 in^2	$6.4516 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	· 米每二次方秒 m/s^2	
体 积, 容 积		英尺每二次方秒 ft/s^2	0.3048 m/s^2
· 立方米 m^3		伽 Gal	10^{-2} m/s^2
· 升 L, (l)	10^{-3} m^3	角 速 度	
立方英尺 ft^3	0.0283168 m^3	· 弧度每秒 rad/s	
立方英寸 in^3	$1.63871 \times 10^{-5} \text{ m}^3$	· 转每分 r/min	$(\pi/30) \text{ rad/s}$
英加仑 UKgal	4.54609 dm^3	度每分 $(^\circ)/min$	0.00029 rad/s
美加仑 USgal	3.78541 m^3	度每秒 $(^\circ)/s$	0.01745 rad/s
平 面 角		质 量	
· 弧度 rad		· 千克 kg	
· 度 $(^\circ)$	$(\pi/180) \text{ rad}$	· 吨 t	1000 kg

(续)

单位名称及符号		单位换算	单位名称及符号		单位换算
· 原子质量单位	u	1. 6605655 × 10 ⁻²⁷ kg	磅二次方英尺	lb · ft ²	0. 0421401 kg · m ²
英吨	ton	1016. 05 kg	磅二次方英寸	lb · in ²	2. 92640 × 10 ⁻⁴ kg · m ²
英担	cwt	50. 8023 kg	能量; 功; 热		
磅	lb	0. 45359237 kg	· 焦 [耳]	J	
夸特	qr, qtr	12. 7006 kg	· 电子伏	eV	1. 60210892 × 10 ⁻¹⁹ J
盎司	oz	28. 3495 g	· 千瓦小时	kW · h	3. 6 × 10 ⁶ J
格令	gr, gn	0. 06479891 g	千克力米	kgf · m	9. 80665 J
线密度, 纤度			卡	cal	4. 1868 J
· 千克每米	kg/m		尔格	erg	10 ⁻⁷ J
· 特 [克斯]	tex	10 ⁻⁶ kg/m	英热单位	Btu	1055. 06 J
旦尼尔		0. 111112 × 10 ⁻⁶ kg/m	功率; 辐射通量		
磅每英尺	lb/ft	1. 48816 kg/m	· 瓦 [特]	W	
磅每英寸	lb/in	17. 8580 kg/m	乏	var	1 W
密 度			伏安	VA	1 W
· 千克每立方米	kg/m ³		马力	PS	735. 499 W
· 吨每立方米	t/m ³	1000 kg/m ³	英马力	hp	745. 7 W
· 千克每升	kg/L	1000 kg/m ³	电工马力		746 W
磅每立方英尺	lb/ft ³	16. 0185 kg/m ³	卡每秒	cal/s	4. 1868 W
磅每立方英寸	lb/in ³	27679. 9 kg/m ³	千卡每小时	kcal/h	1. 163 W
质量体积, 比体积			质量流量		
· 立方米每千克	m ³ /kg		· 千克每秒	kg/s	
立方英尺每磅	ft ³ /lb	0. 0624280 m ³ /kg	磅每秒	lb/s	0. 453592 kg/s
立方英寸每磅	in ³ /lb	3. 61273 × 10 ⁻⁵ m ³ /kg	磅每小时	lb/h	1. 25998 × 10 ⁻⁴ kg/s
力; 重力			体积流量		
· 牛 [顿]	N		· 立方米每秒	m ³ /s	
千克力	kgf	9. 80665 N	立方英尺每秒	ft ³ /s	0. 0283168 m ³ /s
磅力	lbf	4. 44822 N	立方英寸每小时	in ³ /h	4. 55196 × 10 ⁻⁶ L/s
达因	dyn	10 ⁻⁵ N	动力粘度		
吨力	tf	9. 80665 × 10 ³ N	· 帕 [斯卡] 秒	Pa · s	
压力, 压强; 应力			泊	P, Po	0. 1 Pa · s
· 帕 [斯卡]	Pa		厘泊	cP	10 ⁻³ Pa · s
巴	bar	10 ⁵ Pa	千克力秒每平方米	kgf · s/m ²	9. 80665 Pa · s
托	Torr	133. 322 Pa	磅力秒每平方米	lbf · s/ft ²	47. 8803 Pa · s
毫米汞柱	mmHg	133. 322 Pa	磅力秒每平方英寸	lbf · s/in ²	6894. 76 Pa · s
毫米水柱	mmH ₂ O	9. 80665 Pa	运动粘度		
工程大气压	at	98066. 5 Pa	· 二次方米每秒	m ² /s	
标准大气压	atm	101325 Pa	斯托克斯	St	10 ⁻⁴ m ² /s
力矩; 转矩; 力偶矩			厘斯托克斯	cSt	10 ⁻⁶ m ² /s
· 牛 [顿] 米	N · m		二次方英尺每秒	ft ² /s	9. 29030 × 10 ⁻² m ² /s
公斤力米	kgf · m	9. 80665 N · m	二次方英寸每秒	in ² /s	6. 4516 × 10 ⁻⁴ m ² /s
克力厘米	gf · cm	9. 80665 × 10 ⁻⁵ N · m			
达因厘米	dyn · cm	10 ⁻⁷ N · m			
磅力英尺	lbf · ft	1. 35582 N · m			
转动惯量					
· 千克二次方米	kg · m ²				

注: 1. 表中前面加点的词为法定计量单位的名称。

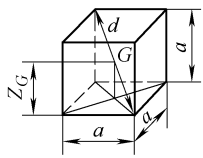
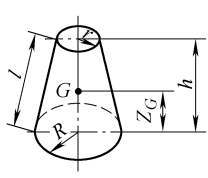
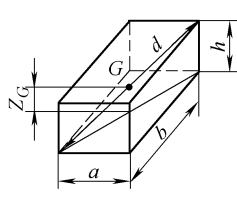
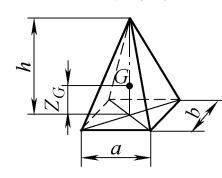
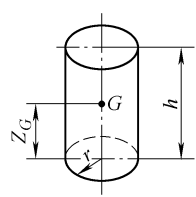
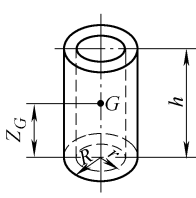
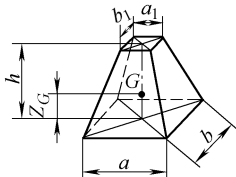
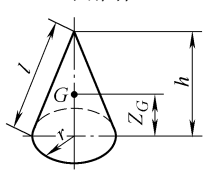
2. 单位名称中带方括号的字可省略。

3. 圆括号中的字为前者的同义语。

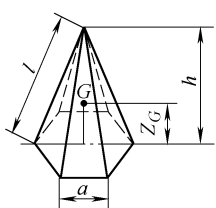
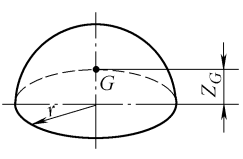
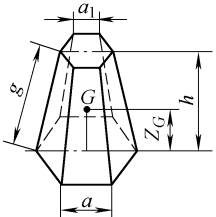
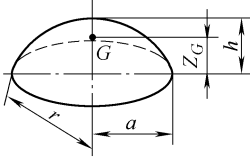
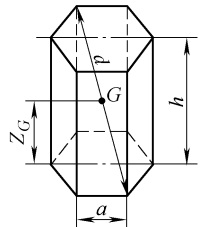
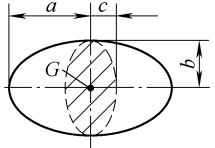
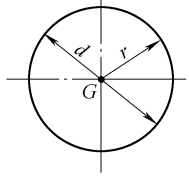
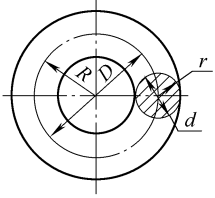
4 常用几何公式及截面的力学特性公式

4.1 常用几何体公式 (见表 1.1-30)

表 1.1-30 常用几何体的体积、面积及重心位置

图形	计算公式	图形	计算公式
正方体 	$V = a^3$ $A = a^2$ $A_0 = 4a^2$ $A_n = 6a^2$ $d = \sqrt{3}a$ (d 为对角线) $Z_G = \frac{a}{2}$	平截圆锥体 	$V = \frac{\pi}{3}h (R^2 + r^2 + Rr)$ $A_0 = \pi l (R + r)$ $A_n = \pi (R^2 + r^2) + A_0$ $l = \sqrt{(R - r)^2 + h^2}$ $Z_G = \frac{h}{4} \frac{(R^2 + 2Rr + 3r^2)}{(R^2 + Rr + r^2)}$
长方体 	$V = abh$ $A = ab$ $A_0 = 2h (a + b)$ $A_n = 2 (ab + ah + bh)$ $d = \sqrt{a^2 + b^2 + h^2}$ (d 为对角线) $Z_G = \frac{h}{2}$	矩形棱锥体 	$V = \frac{1}{3}abh$ $A = ab$ $A_0 = \frac{1}{2} (b \sqrt{4h^2 + a^2} + a \sqrt{4h^2 + b^2})$ $A_n = ab + \frac{1}{2} (b \sqrt{4h^2 + a^2} + a \sqrt{4h^2 + b^2})$ $Z_G = \frac{h}{4}$
圆柱体 	$V = \pi r^2 h$ $A_0 = 2\pi rh$ $A_n = 2\pi r (r + h)$ $Z_G = \frac{h}{2}$		
空心圆柱体 	$V = \pi h (R^2 - r^2)$ $A = \pi (R^2 - r^2)$ $A_0 = 2\pi h (R + r)$ $A_n = 2\pi (R + r) (R - r + h)$ $Z_G = \frac{h}{2}$	平截矩形棱锥体 	$V = \frac{h}{6} (2ab + ab_1 + a_1b + 2a_1b_1)$ $A_1 = a_1b_1$ $A = ab$ $A_0 = \frac{1}{2} [(b_1 + b) \sqrt{4h^2 + (a - a_1)^2} + (a_1 + a) \sqrt{4h^2 + (b - b_1)^2}]$ $A_n = A + A_1 + A_0$ $Z_G = \frac{h}{2} \frac{(ab + ab_1 + a_1b + 3a_1b_1)}{(2ab + ab_1 + a_1b + 2a_1b_1)}$
圆锥体 	$V = \frac{1}{3}\pi r^2 h$ $A = \pi r^2$ $A_0 = \pi rl$ $A_n = \pi r (r + l)$ $l = \sqrt{r^2 + h^2}$ $Z_G = \frac{h}{4}$		

(续)

图形	计算公式	图形	计算公式
正六棱锥体 	$V = \frac{1}{3}Ah = \frac{\sqrt{3}}{2}a^2h$ $A = \frac{3\sqrt{3}}{2}a^2$ $A_0 = \frac{3}{2}a\sqrt{4l^2 - a^2}$ $A_n = A + A_0$ $Z_G = \frac{h}{4}$	半球体 	$V = \frac{2}{3}\pi r^3$ $A = \pi r^2$ $A_0 = 2\pi r^2$ $A_n = 3\pi r^2$ $Z_G = \frac{3}{8}r$
平截正六棱锥体 	$V = \frac{hA}{3} \left[1 + \frac{a_1}{a} + \left(\frac{a_1}{a} \right)^2 \right]$ $A_1 = \frac{3\sqrt{3}}{2}a_1^2$ $A = \frac{3\sqrt{3}}{2}a^2$ $A_0 = 3g(a_1 + a)$ $A_n = A + A_1 + A_0$ $Z_G = \frac{h(a^2 + 2a_1a + 3a_1^2)}{4(a^2 + a_1a + a_1^2)}$ (A_1 为顶面积, g 为斜高)	球缺体 	$V = \frac{\pi}{6}h(3a^2 + h^2)$ $= \frac{\pi}{3}h^2(3r - h)$ $A = \pi a^2$ $A_0 = 2\pi rh = \pi(a^2 + h^2)$ $A_n = \pi(2rh + a^2) = \pi(h^2 + 2a^2)$ $Z_G = \frac{h(4r - h)}{4(3r - h)}$
正六棱柱体 	$V = \frac{3\sqrt{3}}{2}a^2h$ $A = \frac{3\sqrt{3}}{2}a^2$ $A_0 = 6ah$ $A_n = 3\sqrt{3}a^2 + 6ah$ $d = \sqrt{h^2 + 4a^2}$ (d 为对角线) $Z_G = \frac{h}{2}$	椭球体 	$V = \frac{4}{3}\pi abc$ 重心 G 在椭球中心
球体 	$V = \frac{4}{3}\pi r^3$ $A_n = 4\pi r^2$ 重心 G 与球心重合	圆环体 	$V = 2\pi^2 Rr^2 = \frac{\pi^2}{4}Dd^2$ $A_n = 4\pi^2 Rr = \pi^2 Dd$ 重心 G 在圆环中心

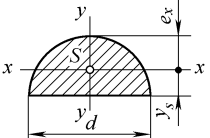
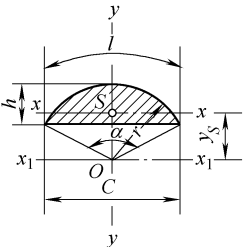
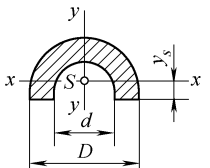
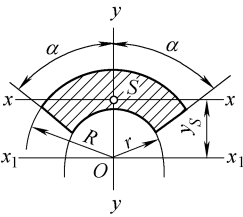
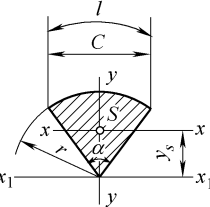
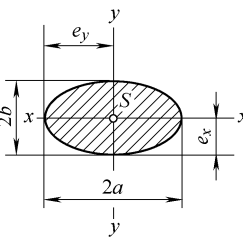
注: V —体积; A —底面积; A_0 —侧面积; A_n —全面积; Z_G —重心高度。

4.2 截面几何及力学特性公式 (见表 1.1-31、表 1.1-32)

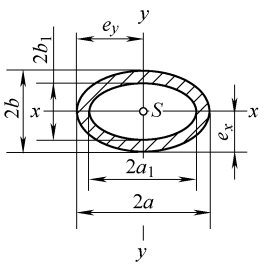
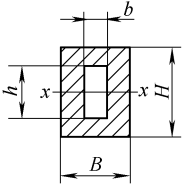
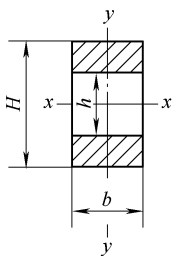
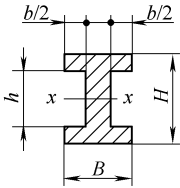
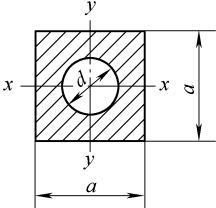
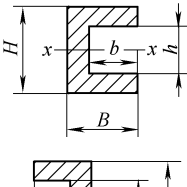
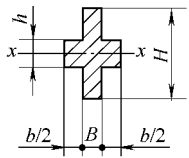
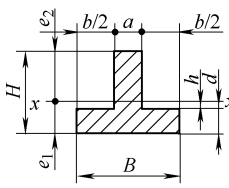
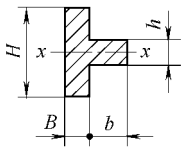
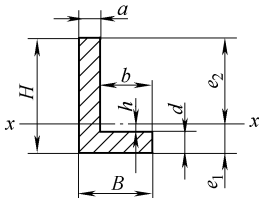
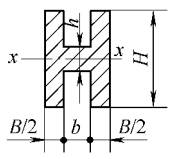
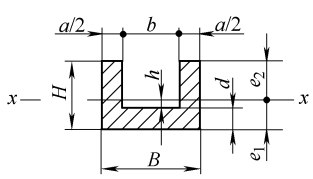
表 1.1-31 截面几何及力学特性公式

截面形状	计算公式	截面形状	计算公式
	$A = a^2$ $I = a^4/12$ $W_x = a^3/6$ $W_{x1} = 0.1179a^3$ $e_x = a/2$ $e_{x1} = 0.7071a$ $i = a/\sqrt{12} = 0.289a$		$A = 2.598C^2 = 3.464r^2$ $C = R$ $r = 0.866R$ $I_x = 0.5413R^4$ $W_x = 0.625R^3$ $W_y = 0.5413R^3$ $e_x = 0.866R$; $e_y = R$ $i = 0.4566R$
	$A = ab$ $I_x = ab^3/12$; $I_y = a^3b/12$ $W_x = ab^2/12$; $W_y = a^2b/6$ $e_x = b/2$; $e_y = a/2$ $i_x = 0.289b$; $i_y = 0.0289a$		$A = \frac{nCr}{2} = \frac{nC}{2} \sqrt{R^2 - \frac{C^2}{4}}$ $C = 2 \sqrt{R^2 - r^2}$ $\alpha = 360^\circ/n$ $\beta = 180^\circ - \alpha$ 对八角形 $A = 2.828R^2 = 4.828C^2$ $r = 0.924R$ $C = 0.765R$ 对八角形 $I = 0.638R^4 = 0.8752r^4$ 对八角形 $W_x = 0.691R^3 = 0.876r^3$ $e_x = r = \sqrt{R^2 - \frac{C^2}{4}}$ 对八角形 $i = 0.4749R$
	$A = a^2 - b^2$ $I = (a^4 - b^4)/12$ $W_x = (a^4 - b^4)/6a$ $W_{x1} = 0.1179 \frac{a^4 - b^4}{a}$ $e_x = a/2$ $e_{x1} = 0.7071a$ $i = 0.289 \sqrt{a^2 + b^2}$		$A = \pi d^2/4$ $I = \pi d^4/64$ $W = \pi d^3/32$ $e_x = d/2$ $i = d/4$
	$A = bh/2$ $I = \frac{\sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)}}{12}$ 式中 $P = 1/2 (a + b + c)$ $I_x = bh^3/36$ $W_x = bh^2/24$ $e_x = 2h/3$ $i = 0.236h$		$A = \pi (D^2 - d^2)/4$ $I = \pi (D^4 - d^4)/64$ $W = \pi (D^4 - d^4)/(32D)$ $e_x = D/2$ $i = \sqrt{D^2 + d^2}/4$
	$A = h(a+b)/2$ $I_x = \frac{h^3(a^2 + 4ab + b^2)}{36(a+b)}$ $W_{xa} = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(a+2b)}$ $W_{xb} = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(2a+b)}$ $e_x = h(a+2b)/3(a+b)$ $i_x = \frac{h}{3(a+b)} \sqrt{\frac{a^2 + 4ab + b^2}{2}}$		

(续)

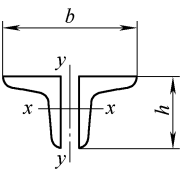
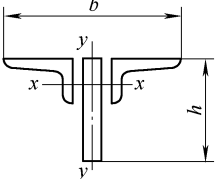
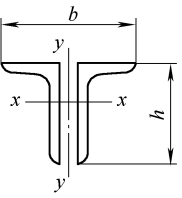
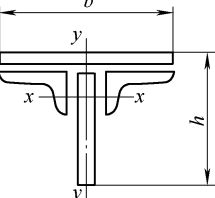
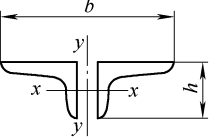
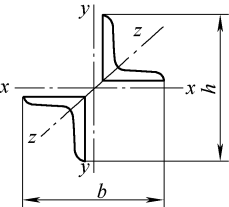
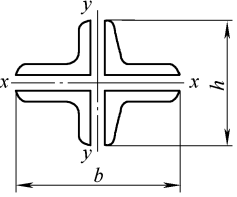
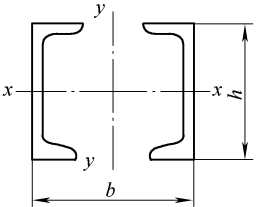
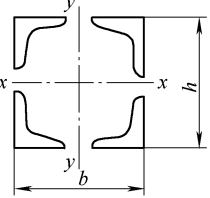
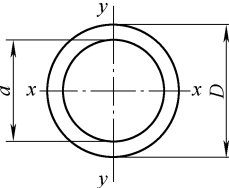
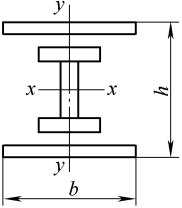
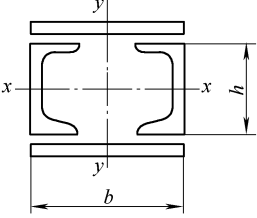
截面形状	计算公式	截面形状	计算公式
	$A = \pi d^2 / 8$ $I_x = 0.00686 d^4$ $I_y = \frac{\pi}{128} d^4 \approx 0.025 d^4$ $W_x = 0.60239 d^3$ $W_y = \frac{\pi}{64} d^3 \approx 0.05 d^3$ $e_x = 0.2878 d$ $y_s = 0.2122 d$ $i_x = 0.1319 d$ $i_y = d/4$		$A = \frac{1}{2} [rl - C(r-h)]$ $C = 2 \sqrt{h(2r-h)}$ $r = (C^2 + 4h^2) / 8h$ $h = r - \frac{1}{2} \sqrt{4r^2 - C^2}$ $l = 0.01745 r \alpha$ $\alpha = 57.296 l / r$ $I_{x1} = lr^3 / 8 - r^4 \sin \alpha \cos \alpha / 8$ $I_x = I_{x1} - A y_s^2$ $I_y = \frac{r^4}{8} \left(\frac{\alpha \pi}{180} - \sin \alpha - \frac{2}{3} \sin \alpha \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right)$ $W_x = I_x / (r - y_s)$ $y_s = C^3 / 12A$ $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$
	$A = \pi (D^2 - d^2) / 8$ $I_x = 0.00686 (D^4 - d^4) - 0.0177 D^2 d^2 (D - d) / (D + d)$ $I_y = \pi (D^4 - d^4) / 128$ $W_y = \pi d^3 (1 - d^4 / D^4) / 64$ $y_s = 2 (D^2 + Dd + d^2) / [3\pi (D + d)]$ $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}; i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$		$A = \frac{\pi \alpha}{180} (R^2 - r^2)$ $I_{x1} = \frac{R^4 - r^4}{4} \left(\frac{\pi \alpha}{180} + \sin \alpha \cos \alpha \right)$ $I_x = I_{x1} - A y_s^2$ $I_y = \frac{R^4 - r^4}{4} \left(\frac{\pi \alpha}{180} - \sin \alpha \cos \alpha \right)$ $y_s = 38.197 \frac{(R^3 - r^3) \sin \alpha}{(R^2 - r^2) \alpha}$ $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}; i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$
	$A = \pi r^2 \alpha / 360 = 0.00873 r^2 \alpha$ $l = \pi r \alpha / 180 = 0.1745 r \alpha$ $C = 2r \sin \frac{\alpha}{2}$ $I_{x1} = \frac{r^4}{8} \left(\pi \frac{\alpha}{180} + \sin \alpha \right)$ $I_x = \frac{r^4}{8} \left(\pi \frac{\alpha}{180} + \sin \alpha - \frac{64}{9} \sin^2 \frac{\alpha}{2} \times \frac{180}{\pi \alpha} \right)$ $I_y = \frac{r^4}{8} \left(\pi \frac{\alpha}{180} - \sin \alpha \right)$ $y_s = 2rC / (3l)$ $i_x = \frac{r}{2} \sqrt{1 + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \times \frac{180}{\pi} - \frac{64}{9} \frac{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}{(\alpha \pi / 180)^2}}$ $i_y = \frac{r}{2} \sqrt{1 - \frac{\sin \alpha}{\alpha} \times \frac{180}{\pi}}$		$A = \pi ab$ $I_x = \pi ab^3 / 4; I_y = \pi a^3 b / 4$ $W_x = \pi ab^2 / 4; W_y = \pi a^2 b / 4$ $e_x = b; e_y = a$ $i_x = b/2; i_y = a/2$

(续)

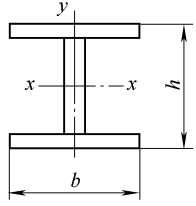
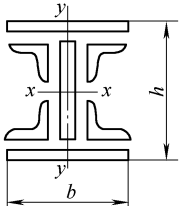
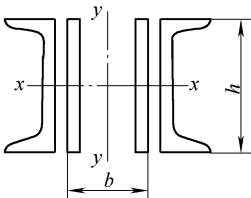
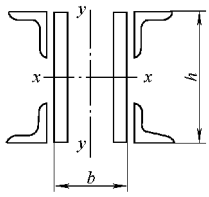
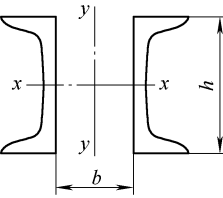
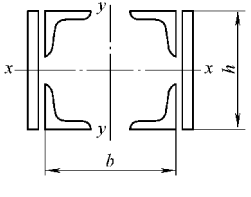
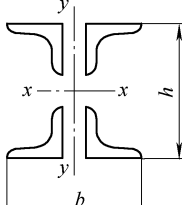
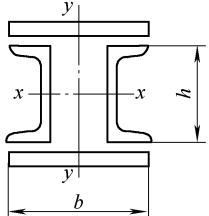
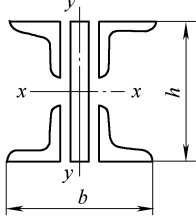
截面形状	计算公式	截面形状	计算公式
	$A = \pi (ab - a_1b_1)$ $I_x = \frac{\pi}{4} (ab^3 - a_1b_1^3)$ $I_y = \frac{\pi}{4} (a^3b - a_1^3b_1)$ $W_x = \frac{\pi (ab^3 - a_1b_1^3)}{4b}$ $W_y = \frac{\pi (a^3b - a_1^3b_1)}{4a}$ $e_x = b; \quad e_y = a$ $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}; \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$		
	$A = b (H - h)$ $I_x = b (H^3 - h^3) / 12$ $I_y = b^3 (H - h) / 12$ $W_x = b (H^3 - h^3) / (6H)$ $W_y = b^2 (H - h) / 6$ $e_x = H/2$ $e_y = b/2$ $i_x = \sqrt{\frac{H^2 + Hh + h^2}{12}}$ $i_y = 0.289b$		$A = BH - bh$ $I_x = (BH^3 - bh^3) / 12$ $W_x = (BH^3 - bh^3) / (6H)$ $e_x = H/2$ $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$
	$A = a^2 - \pi d^2 / 4$ $I = \frac{1}{12} \left(a^4 - \frac{3\pi d^4}{16} \right)$ $W = \frac{1}{6a} \left(a^4 - \frac{3\pi d^4}{16} \right)$ $e_x = a/2$ $i = \sqrt{\frac{16a^4 - 3\pi d^4}{48 (4a^2 - \pi d^2)}}$		
	$A = BH + bh$ $I_x = (BH^3 + bh^3) / 12$ $W_x = (BH^3 + bh^3) / (6H)$ $e_x = H/2$ $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$		$A = BH - b (e_2 + h)$ $I_x = \frac{1}{3} (Be_1^3 - bh^3 + ae_2^3)$ $W_{x1} = I_x / e_1$ $W_{x2} = I_x / e_2$ $e_1 = (aH^2 + bd^2) / [2(aH + bd)]$ $e_2 = H - e_1$ $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$
			
			

注: A—面积; I—惯性矩; W—截面系数; $W = I/e$; e—重心 S 到相应位置的距离; i—惯性半径, $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ 。

表 1.1-32 主要组合截面的回转半径

截面形状	惯性半径	截面形状	惯性半径
	$i_x = 0.30h$ $i_y = 0.215b$		$i_x = 0.30h$ $i_y = 0.17b$
	$i_x = 0.32h$ $i_y = 0.20b$		$i_x = 0.26h$ $i_y = 0.21b$
	$i_x = 0.28h$ $i_y = 0.24b$		$i_x = 0.21h$ $i_y = 0.21b$ $i_z = 0.185h$
	$i_x = 0.21h$ $i_y = 0.21b$		$i_x = 0.38h$ $i_y = 0.44b$
	$i_x = 0.43h$ $i_y = 0.43b$		$i_x = 0.35d_m$ $d_m = \frac{D+d}{2}$
	$i_x = 0.42h$ $i_y = 0.22b$		$i_x = 0.44h$ $i_y = 0.38b$

(续)

截面形状	惯性半径	截面形状	惯性半径
	$i_x = 0.39h$ $i_y = 0.20b$		$i_x = 0.45h$ $i_y = 0.235b$
	$i_x = 0.35h$ $i_y = 0.56b$		$i_x = 0.37h$ $i_y = 0.54b$
	$i_x = 0.38h$ $i_y = 0.60b$		$i_x = 0.37h$ $i_y = 0.45b$
	$i_x = 0.45h$ $i_y = 0.24b$		$i_x = 0.44h$ $i_y = 0.32b$
	$i_x = 0.40h$ $i_y = 0.21b$		

5 一般标准和金属切削加工零件的设计规范

5.1 标准尺寸 (见表 1.1-33)

表 1.1-33 标准尺寸 (摘自 GB/T2822—2005)

(mm)

R 系列			R' 系列			R 系列			R' 系列			R 系列		
R10	R20	R40	R'10	R'20	R'40	R10	R20	R40	R'10	R'20	R'40	R10	R20	R40
1.00	1.00		1.0	1.0				67.0			67		1120	1120
	1.12			1.1			71.0	71.0		71.0	71		1180	1180
1.25	1.25		1.2	1.2				75.0			75	1250	1250	1250
	1.40			1.4		80.0	80.0	80.0	80	80	80		1320	1320
1.60	1.60		1.6	1.6				85.0			85		1400	1400
	1.80			1.8			90.0	90.0		90	90	1600	1600	1500
2.00	2.00		2.0	2.0				95.0			95		1600	1600
	2.24			2.2		100.0	100.0	100.0	100	100	100		1700	1700
2.50	2.50		2.5	2.5				106			105		1800	1800
	2.80			2.8			112	112		110	110	2000	2000	1900
3.15	3.15		3.0	3.0				118			120		2000	2000
	3.55			3.5		125	125	125	125	125	125		2120	2120
4.00	4.00		4.0	4.0				132			130		2240	2240
	4.50			4.5			140	140		140	140	2500	2500	2360
5.00	5.00		5.0	5.0				150			150		2500	2500
	5.60			5.5		160	160	160	160	160	160		2650	2650
6.30	6.30		6.0	6.0				170			170		2800	2800
	7.10			7.0			180	180		180	180	3150	3150	3000
8.00	8.00		8.0	8.0				190			190		3150	3150
	9.00			9.0		200	200	200	200	200	200		3350	3350
10.00	10.00		10.0	10.0				212			210		3550	3550
	11.2			11			224	224		220	220	4000	4000	3750
12.5	12.5	12.5	12	12	12			236			240		4000	4000
	14.0	14.0		14	14	250	250	250	250	250	250		4250	4250
	15.0	15.0		15	15			265			260		4500	4500
16.0	16.0	16.0	16	16	16		280	280		280	280	5000	5000	4750
	17.0	17.0		17	17			300			300		5000	5000
	18.0	18.0		18	18	315	315	315	320	320	320		5300	5300
20.0	20.0	20.0	20	20	20			335			340		5600	5600
	21.2	21.2		21	21		355	355		360	360	6300	6300	6000
	22.4	22.4		22	22			375			380		6300	6300
	23.6	23.6		24	24	400	400	400	400	400	400		6700	6700
25.0	25.0	25.0	25	25	25			425			420		7100	7100
	26.5	26.5		26	26		450	450		450	450	8000	8000	7500
	28.0	28.0		28	28			475			480		8000	8000
	30.0	30.0		30	30	500	500	500	500	500	500		9000	9000
31.5	31.5	31.5	32	32	32			530			530	10000	10000	9500
	33.5	33.5		34	34		560	560		560	560		10000	10000
	35.5	35.5		36	36			600			600		11200	10600
40.0	40.0	40.0	40	40	40		630	630	630	630	630		11200	11200
	42.5	42.5		42	42			670			670	12500	12500	11800
	45.0	45.0		45	45		710	710		710	710		12500	12500
	47.5	47.5		48	48	800	800	800	800	800	800		14000	13200
50.0	50.0	50.0	50	50	50			850			850		14000	14000
	53.0	53.0		53	53		900	900		900	900	16000	16000	15000
	56.0	56.0		56	56			950			950		16000	16000
	60.0	60.0		60	60	1000	1000	1000	1000	1000	1000		17000	17000
63.0	63.0	63.0	63	63	63			1060				20000	20000	18000
													20000	19000
													20000	20000

注: 1. “标准尺寸”为直径、长度、高度等系列尺寸。

2. R'系列中的黑体字, 为R系列相应各项优先数的化整值。

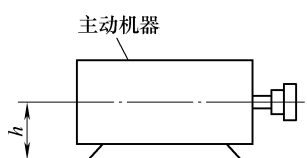
3. 选择尺寸时, 优先选用R系列, 按照R10、R20、R40顺序。如必须将数值圆整, 可选择相应的R'系列, 应按照R'10、R'20、R'40顺序选择。

5.2 机器轴高（见表 1.1-34）

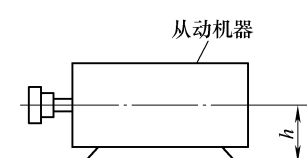
表 1.1-34 机器轴高（摘自 GB/T 12217—2005）(mm)

轴高 h 基本尺寸系列				轴高 h 基本尺寸系列				轴高 h 基本尺寸系列				轴高 h 基本尺寸系列				
I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
25	25	25	25	80	80	80	75	250	250	225	225	800	800	710	670	
			26				80				236				710	
			28				85				250				750	
			30				90				250				800	
			32				95				265				850	
		32	32			100	100			315	280		900		900	
			34				105				315				950	
			36				112				335				1000	
			38				118				355				1060	
			40				125				375				1120	
40	40	40	40	125	125	140	125	400	400	400	400	1250	1250	1180	1120	
			42				132				425				1250	
			45				140				450				1320	
			48				150				475				1400	
			50				160				500				1500	
		50	50			160	160			500	450		1600		1600	
			53				170				530					
			56				180				560					
			60				190				600					
			63				200				630					
63	63	63	63	200	200	212	212	630	630	630	630	630	630	630		
			67				212				630					
			71				212				630					
			71				212				630					

主动机器



从动机器

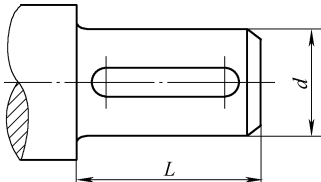


轴高 h	轴高的极限偏差		平行度公差		
	电动机、从动 机器、减速器	除电动机以外 的主动机器	$L > 2.5h$	$2.5h \leq L \leq 4h$	$L > 4h$
25 ~ 50	0 -0.4	+0.4 0	0.2	0.3	0.4
> 50 ~ 250	0 -0.5	+0.5 0	0.25	0.4	0.5
> 250 ~ 630	0 -1.0	+1.0 0	0.5	0.75	1.0
> 630 ~ 1000	0 -1.5	+1.5 0	0.75	1.0	1.5
> 1000	0 -2.0	+2.0 0	1.0	1.5	2.0

- 注：1. 机器轴高 h 不包括安装所用的垫片在内，如果机器需配备绝缘垫片时，其垫片的厚度应包括在内。
2. 机器轴高优先选用第 I 系列数值，如果不能满足需要时，可选用第 II 系列值，其次选用第 III 系列的数值，第 IV 系列的数值尽量不采用。
3. 当轴高大于 1600mm 时，推荐选用 160 ~ 1000mm 范围内的数值再乘以 10。
4. 对于支承平面不在底部的机器，应按轴伸轴线到机器底部的距离选取极限偏差及平行度公差。 L 为轴的全长。

5.3 机器轴伸(见表 1.1-35 ~ 表 1.1-39)

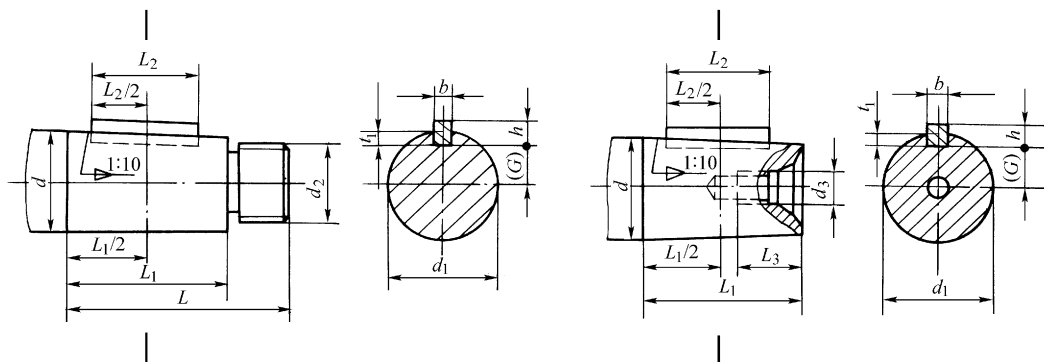
表 1.1-35 圆柱形轴伸(摘自 GB/T 1569—2005) (mm)

														
d			L		d			L		d			L	
基本尺寸	极限偏差		长系列	短系列	基本尺寸	极限偏差		长系列	短系列	基本尺寸	极限偏差		长系列	短系列
6	+0.006 -0.002	j6	16	—	45	+0.018	k6	110	82	190	+0.046 +0.017		350	280
7			16	—	48	+0.002		110	82	200			350	280
8	+0.007		20	—	50			110	82	220			350	280
9	-0.002		20	—					240			410	330	
10			23	20					250			410	330	
11	+0.008 -0.003		23	20	55	+0.030 +0.011		82		+0.052 +0.020		410	330	
12			30	25	60		140	105			470	380		
14			30	25	65		140	105			470	380		
16			40	28	70		140	105			470	380		
18			40	28	80		170	130			470	380		
19	+0.009 -0.004	40	28	85	+0.035 +0.013	170	130	320	+0.057 +0.021	m6	470	380		
20		50	36	90		170	130	340			550	450		
22		50	36	95		170	130	360			550	450		
24		50	36	100		210	165	380			550	450		
25		60	42	110		210	165	400			650	540		
28		60	42	120		210	165				650	540		
30		80	58								650	540		
32	+0.018 +0.002	80	58	130	+0.040 +0.015	250	200	420	+0.063 +0.023		650	540		
35		80	58	140		250	200	450			650	540		
38		80	58	150		250	200	480			650	540		
40		110	82	160		300	240	500			650	540		
42		110	82	170		300	240							
				180		300	240							

直径大于 630 ~ 1250mm 轴伸的直径和长度系列

d		L	
基本尺寸	极限偏差	长系列	短系列
670,710,750	n6 (可根据产品的性能、特点和 要求,按 GB/T 1801 选用不同的 极限偏差)	900	780
800,850		1000	880
900,950		—	980
1000,1060			1100
1120,1180			1200
1250			1300

表 1.1-36 直径 220mm 以下的圆锥形轴伸形式与尺寸 (摘自 GB/T 1570—2005) (mm)



d	b	h	t_1	长系列					短系列					d_2	d_3	L_3
				L	L_1	L_2	d_1	(G)	L	L_1	L_2	d_1	(G)			
6	—	—	—	16	10	6	5.5	—						M4	—	—
7							6.5									
8							7.4									
9	—	—	—	20	12	8	8.4	—						M6	—	—
10							9.25									
11							10.25									
12	2	2	1.2	30	18	16	11.1	4.3						M8 × 1	M4	10
14	3	3	1.8				13.1	4.7								
16	3	3	1.8				14.6	5.5								
18	4	4	2.5	40	28	25	16.6	5.8	28	16	14	15.2	5.8	M10 × 1.25	M5	13
19	4	4	2.5				17.6	6.3				17.2	6.1			
20	4	4	2.5				18.2	6.6				18.2	6.6			
22	4	4	2.5	50	36	32	20.2	7.6	36	22	20	18.9	6.9	M12 × 1.25	M6	16
24	5	5	2.5				22.2	8.1				20.9	7.9			
25	5	5	3				22.9	8.4				22.9	8.4			
28	5	5	3	60	42	36	25.9	9.9	42	24	22	23.8	8.9	M16 × 1.5	M8	19
30	5	5	3				27.1	10.5				26.8	10.4			
32	6	6	3.5				29.1	11.0				28.2	11.1			
35	6	6	3.5	80	58	50	32.1	12.5	58	36	32	30.2	11.6	M20 × 1.5	M10	22
38	6	6	3.5				35.1	14.0				33.2	13.1			
40	10	8	5				37.9	13.9				36.2	14.6			
42	10	8	5	110	82	70	40.9	15.4	82	54	50	37.3	13.6	M24 × 2	M12	28
45	12	8	5				43.9	16.9				39.3	14.6			
48	12	8	5				45.9	17.9				42.3	16.1			
50	12	8	5	140	105	100	50.9	19.9	105	70	63	45.3	17.6	M30 × 2	M16	36
55	14	9	5.5				51.9	20.4				47.3	18.6			
56	14	9	5.5				54.75	21.4				52.3	20.6			
60	16	10	6	140	105	100	57.75	22.9	105	70	63	53.3	21.1	M36 × 3	M20	42
63	16	10	6				59.75	23.9				56.5	22.2			
65	16	10	6				64.75	25.4				59.5	23.7			
70	18	11	7	140	105	100	65.75	25.9	105	70	63	61.5	24.7	M42 × 3	M24	50
71	18	11	7				69.75	27.9				66.5	26.2			
75	18	11	7									67.5	26.7			
												71.5	28.7			

(续)

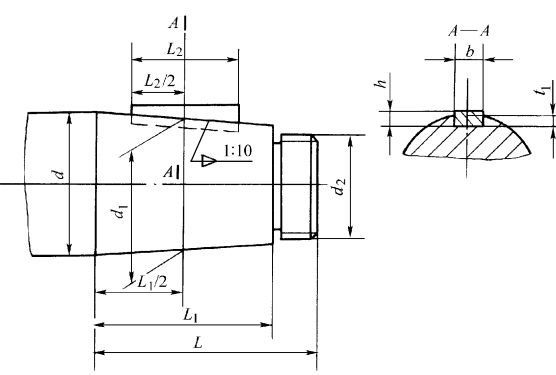
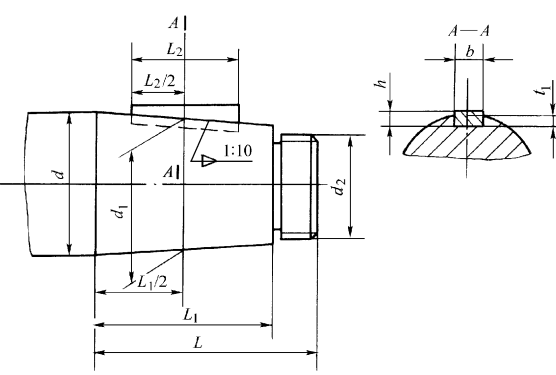
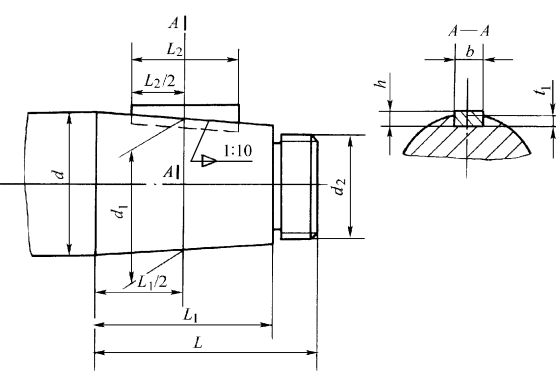
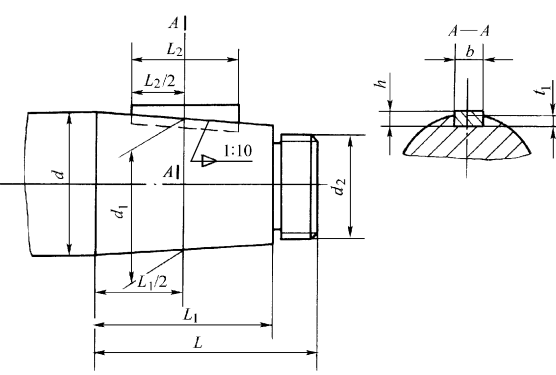
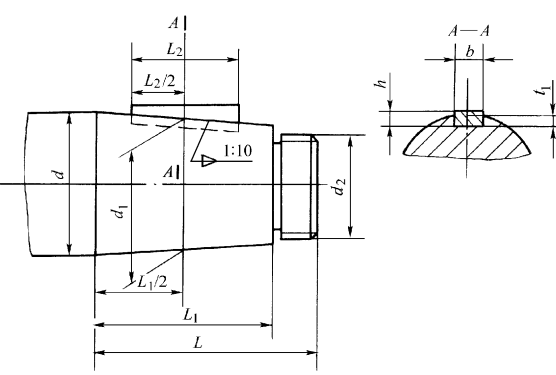
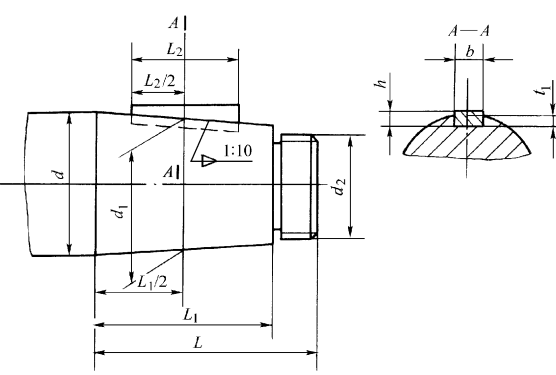
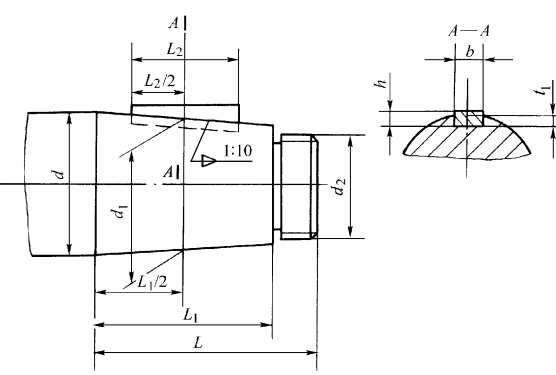
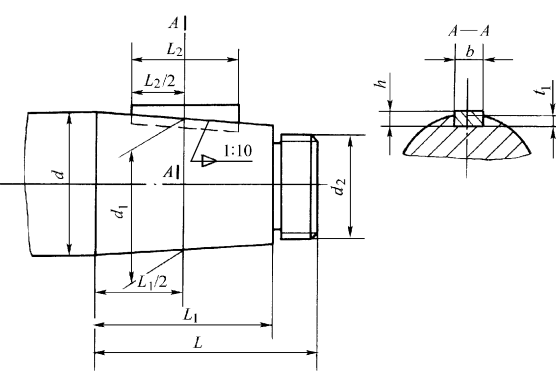
d	b	h	t_1	长系列					短系列					d_2	d_3	L_3
				L	L_1	L_2	d_1	(G)	L	L_1	L_2	d_1	(G)			
80	20	12	7.5	170	130	110	73.5	29.2	130	90	80	75.5	30.2	M56 × 4	—	—
85	20	12	7.5				78.5	31.7				80.5	32.7			
90	22	14	9				83.5	32.7				85.5	33.7	M64 × 4		
95	22	14	9				88.5	35.2				90.5	36.2			
100	25	14	9	210	165	140	91.75	36.9	165	120	110	94	38	M72 × 4		
110	25	14	9				101.75	41.9				104	43	M80 × 4		
120	28	16	10				111.75	45.9				114	47	M90 × 4		
125	28	16	10				116.75	48.3				119	49.5			
130	28	16	10	250	200	180	120	50	200	150	125	122.5	51.2	M100 × 4		
140	32	18	11				130	54				132.5	55.2			
150	32	18	11				140	59				142.5	60.2	M110 × 4		
160	36	20	12	300	240	220	148	62	240	180	160	151	63.5	M125 × 4		
170	36	20	12				158	67				161	68.5			
180	40	22	13				168	71				171	72.5	M140 × 6		
190	40	22	13				176	75				179.5	76.7			
200	40	22	13	350	280	250	186	80	280	210	180	189.5	81.7	M160 × 6		
220	45	25	15				206	88				209.5	89.7			

注:1. $\phi 220\text{mm}$ 及以下的圆锥轴伸键槽底面与圆锥轴线平行。

2. 键槽深度 t 可由测量 G 来代替,或按表 1.1-38 的规定,测量 t_2 。

3. L_2 可根据需要选取小于表中的数值。

表 1.1-37 直径 220mm 以上的圆锥形轴伸形式与尺寸 (摘自 GB/T 1570—2005) (mm)

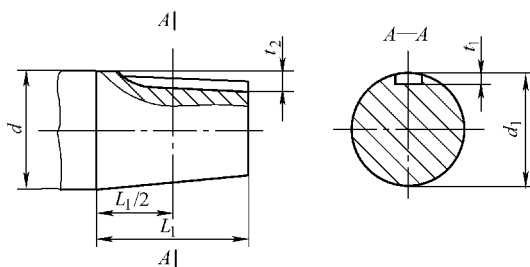
	<i>d</i>	<i>L</i>	<i>L</i> ₁	<i>L</i> ₂	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>d</i> ₁	<i>t</i> ₁	<i>d</i> ₂	
	240	410	330	280	50	28	223.5	17	M180 × 6	
	250						233.5		M200 × 6	
	260						243.5	20	M220 × 6	
	280	470	380	320	56	32	261		M250 × 6	
	300				63		281		M280 × 6	
	320						301		M300 × 6	
	340	550	450	400	70	36	317.5	22	M320 × 6	
	360						337.5		M350 × 6	
	380						357.5	25	M380 × 6	
	400	650	540	450	80	40	373		M420 × 6	
	420						393		M450 × 6	
	440						413	28	M500 × 6	
	450	800	680	500	90	45	423		M550 × 6	
	460						433			
	480						453			
	500	800	680	500	100	50	473	31		
	530						496			
	560						526			
	600	800	680	500	100	50	566	31		
	630						596			

注:1. L_2 可根据需要选取小于表中的数值。

2. 本标准规定了 1:10 圆锥形轴伸的形式和尺寸,适用于一般机器之间的连接并传递转矩的场合。

表 1.1-38 圆锥形轴伸大端处键槽深度尺寸 (摘自 GB/T 1570—2005)

(mm)



d	t_2		d	t_2		d	t_2	
	长系列	短系列		长系列	短系列		长系列	短系列
11	1.6	—	40	7.1	6.4	95	12.3	11.3
12	1.7	—	42	7.1	6.4	100	13.1	12.0
14	2.3	—	45	7.1	6.4	110	13.1	12.0
16	2.5	2.2	48	7.1	6.4	120	14.1	13.0
18	3.2	2.9	50	7.1	6.4	125	14.1	13.0
19	3.2	2.9	55	7.6	6.9	130	15.0	13.8
20	3.4	3.1	56	7.6	6.9	140	16.0	14.8
22	3.4	3.1	60	8.6	7.8	150	16.0	14.8
24	3.9	3.6	65	8.6	7.8	160	18.0	16.5
25	4.1	3.6	70	9.6	8.8	170	18.0	16.5
28	4.1	3.6	71	9.6	8.8	180	19.0	17.5
30	4.5	3.9	75	9.6	8.8	190	20.0	18.3
32	5.0	4.4	80	10.8	9.8	200	20.0	18.3
35	5.0	4.4	85	10.8	9.8	220	22.0	20.3
38	5.0	4.4	90	12.3	11.3			

注:对键槽底面平行于轴线的键槽,当按照轴伸大端直径来检验键槽深度时,其数值应符合本表中 t_2 的规定, t_2 的极限偏差与 t 的极限偏差相同,此时表 1.1-36 中的 t_1 作为参考尺寸。

表 1.1-39 圆锥形轴伸 L_1 的轴向极限偏差 (摘自 GB/T 1570—2005)

(mm)

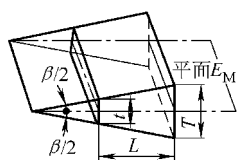
直径 d	L_1 的轴向极限偏差	直径 d	L_1 的轴向极限偏差	直径 d	L_1 的轴向极限偏差
6 ~ 10	0 -0.22	55 ~ 80	0 -0.46	260 ~ 300	0 -0.81
11 ~ 18	0 -0.27	85 ~ 120	0 -0.54	320 ~ 400	0 -0.89
19 ~ 30	0 -0.33	125 ~ 180	0 -0.63	420 ~ 500	0 -0.97
32 ~ 50	0 -0.39	190 ~ 250	0 -0.72	530 ~ 630	0 -1.10

注:1. 基本直径 d 的公差选用 GB/T 1800.1 及 GB/T 1800.2 中的 IT8。

2. 1:10 的圆锥角公差选用 GB/T 11334 中的 AT6。

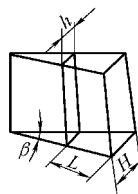
5.4 棱体的角度与斜度 (见表 1.1-40、表 1.1-41)

表 1.1-40 棱体的角度和斜度 (摘自 GB/T 4096—2001)



$$\text{棱体比率 } C_p = \frac{T-t}{L}$$

$$C_p = 2 \tan \frac{\beta}{2} = 1 : \frac{1}{2} \cot \frac{\beta}{2}$$



$$\text{棱体斜度 } S = \frac{H-h}{L}$$

$$S = \tan \beta = 1 : \cot \beta$$

(续)

一 般 用 途	基 本 值			推 算 值			一 般 用 途	基 本 值			推 算 值		
	系列1	系列2	S	C _p	S	β		系列1	系列2	S	C _p	S	β
	120°	—	—	1:0.288675	—	5°42′ 38.1″		—	4°	—	1:14.318127	1:14.300666	2°51′44.7″
90°	—	—	1:0.500000	—	—		3°	—	1:19.094230	1:19.081137			
—	75°	—	1:0.651613	1:0.267949	—		—	1:20	—	—			
60°	—	—	1:0.866025	1:0.577350	—		—	2°	—	1:28.644982	1:28.636253	—	
45°	—	—	1:1.207107	1:1.000000	—		—	—	1:50	—	—	1°8′44.7″	
—	40°	—	1:1.373739	1:1.191754	—		—	1°	—	1:57.294327	1:57.289962	—	
30°	—	—	1:1.866025	1:1.732051	—		—	—	1:100	—	—	0°34′25.5″	
20°	—	—	1:2.835641	1:2.747477	—		—	0°30′	—	1:114.590832	1:114.588650	—	
15°	—	—	1:3.797877	1:3.732051	—		—	—	1:200	—	—	0°17′11.3″	
—	10°	—	1:5.715026	1:5.671282	—		—	—	1:500	—	—	0°6′52.5″	
—	8°	—	1:7.150333	1:7.115370	说明:优先选用系列1,当不能满足需要时,选用系列2								
—	7°	—	1:8.174928	1:8.144346	特殊 用途		V 形体 V 形体 燕尾体 燕尾体	角 度 β	108° 72° 55° 50°	C _p	1:0.3632713 1:0.6881910 1:0.9604911 1:1.0722535	S	1:0.700207 1:0.839100
—	6°	—	1:9.540568	1:9.514364									
—	—	1:10	—	—									
5°	—	—	1:11.451883	1:11.430052									

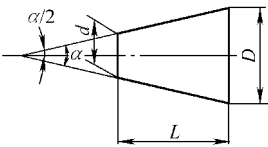
表 1.1-41 标准角度

第一系列	第二系列	第三系列	第一系列	第二系列	第三系列	第一系列	第二系列	第三系列	第一系列	第二系列	第三系列	第一系列	第二系列	第三系列		
0°	0°	0°	5°	5°	4°			18°	60°	60°	55°	120°	120°	110°		
		0°15′			5°			20°			20°			60°	120°	
		0°30′			6°			22°30′			65°			135°		
	0°45′	7°			25°			72°			150°					
	1°	1°			8°			30°		30°	75°			75°	165°	
		1°30′			9°			36°		80°	180°	180°	180°			
		2°	10°	40°	85°			270°								
	2°	2°	15°	15°	12°			45°		45°	90°	90°	90°	360°	360°	360°
		2°30′			15°			50°		100°						
	3°	3°														

注:1. 本标准为一用途的标准角度,不适用于由特定尺寸或参数所确定的角度以及工艺和使用上有特殊要求的角度。
2. 选用时优先选用第一系列,其次是第二系列,再次是第三系列。
3. 该表不属于 GB/T 4096—2001 的内容,仅供参考。

5.5 圆锥的锥度与锥角系列(见表 1.1-42 ~ 表 1.1-44)

表 1.1-42 一般用途圆锥的锥度与锥角(摘自 GB/T 157—2001)



锥度 $C = \frac{D-d}{L} = 2 \tan \frac{\alpha}{2}$

(续)

基本值		推算值				应 用 举 例
系列 1	系列 2	圆锥角 α			锥度 C	
		$(^{\circ})(')(")$	$(^{\circ})$	rad		
120°		—	—	2.09439510	1:0.288675	螺纹孔的内倒角,节气阀,汽车、拖拉机阀门,填料盒内填料的锥度
90°		—	—	1.57079633	1:0.500000	沉头螺钉,沉头及半沉头铆钉头,轴及螺纹的倒角,重型顶尖,重型中心孔,阀的阀销锥体
	75°	—	—	1.30899694	1:0.651612	10~13mm 沉头及半沉头铆钉头
60°		—	—	1.04719755	1:0.866025	顶尖,中心孔,弹簧夹头,沉头钻
45°		—	—	0.78539816	1:1.207106	沉头及半沉头铆钉
30°		—	—	0.52359878	1:1.866025	摩擦离合器,弹簧夹头
1:3		18°55'28.7199"	18.92464442°	0.33029735	—	受轴向力的易拆开的结合面,摩擦离合器
	1:4	14°15'0.1177"	14°25003270°	0.24870999	—	
1:5		11°25'16.2706"	11.42118627°	0.19933730	—	受轴向力的结合面,锥形摩擦离合器,磨床主轴
	1:6	9°31'38.2202"	9.52728338°	0.16628246	—	
	1:7	8°10'16.4408"	8.17123356°	0.14261493	—	重型机床顶尖,旋塞
	1:8	7°9'9.6075"	7.15266875°	0.12483762	—	联轴器和轴的结合面
1:10		5°43'29.3176"	5.72481045°	0.09991679	—	受轴向力、横向力和力矩的结合面,电动机及机器的锥形轴伸,主轴承调节套筒
	1:12	4°46'18.7970"	4.77188806°	0.08328516	—	滚动轴承的衬套
	1:15	3°49'5.8975"	3.81830487°	0.06664199	—	受轴向力零件的结合面,主轴齿轮的结合面
1:20		2°51'51.0925"	2.86419237°	0.04998959	—	机床主轴,刀具、刀杆的尾部,锥形铰刀,心轴
1:30		1°54'34.8570"	1.90968251°	0.03333025	—	锥形铰刀、套式铰刀及扩孔钻的刀杆尾部,主轴颈
1:50		1°8'45.1586"	1.14587740°	0.01999933	—	圆锥销,锥形铰刀,量规尾部
1:100		34'22.6309"	0.57295302°	0.00999992	—	受陡振及静变载荷的不需拆开的连接件,楔键,导轨镶条
1:200		17'11.3219"	0.28647830°	0.00499999	—	受陡振及冲击变载荷的不需拆开的连接件,圆锥螺栓,导轨镶条
1:500		6'52.5295"	0.11459152°	0.00200000	—	

注: 1. 系列 1 中 120° ~ 1:3 的数值近似按 R10/2 优先数系列, 1:5 ~ 1:500 按 R10/3 优先数系列 (见 GB/T 321)。

2. 优先选用系列 1, 其次选用系列 2。

表 1.1-43 特定用途圆锥的锥度与锥角 (摘自 GB/T 157—2001)

基本值	推算值				标准号 GB/T (ISO)	用途
	圆锥角 α			锥度 C		
	($^{\circ}$) ($'$) ($''$)	($^{\circ}$)	rad			
11°54′	—	—	0.20769418	1:4.7974511	(5237) (8489-5)	纺织机械 和附件
8°40′	—	—	0.15126187	1:6.5984415	(8489-3) (8489-4) (324.575)	
7°	—	—	0.12217305	1:8.1749277	(8489-2)	
1:38	1°30′27.7080″	1.50769667°	0.02631427	—	(368)	
1:64	0°53′42.8220″	0.89522834°	0.01562468	—	(368)	
7:24	16°35′39.4443″	16.59429008°	0.28962500	1:3.4285714	3837.3 (297)	机床主轴 工具配合
1:12.262	4°40′12.1514″	4.67004205°	0.08150761	—	(239)	贾各锥度 No.2
1:12.972	4°24′52.9039″	4.41469552°	0.07705097	—	(239)	贾各锥度 No.1
1:15.748	3°38′13.4429″	3.63706747°	0.06347880	—	(239)	贾各锥度 No.3
6:100	3°26′12.1776″	3.43671600°	0.05998201	1:16.6666667	1962 (594-1) (595-1) (595-2)	医疗设备
1:18.779	3°3′1.2070″	3.05033527°	0.05323839	—	(239)	贾各锥度 No.3
1:19.002	3°0′52.3956″	3.01455434°	0.05261390	—	1443 (296)	莫氏锥度 No.5
1:19.180	2°59′11.7258″	2.98659050°	0.05212584	—	1443 (296)	莫氏锥度 No.6
1:19.212	2°58′53.8255″	2.98161820°	0.05203905	—	1443 (296)	莫氏锥度 No.0
1:19.254	2°58′30.4217″	2.97511713°	0.05192559	—	1443 (296)	莫氏锥度 No.4
1:19.264	2°58′24.8644″	2.97357343°	0.05189865	—	(239)	贾各锥度 No.6
1:19.922	2°52′31.4463″	2.87540176°	0.05018523	—	1443 (296)	莫氏锥度 No.3
1:20.020	2°51′40.7960″	2.86133223°	0.04993967	—	1443 (296)	莫氏锥度 No.2
1:20.047	2°51′26.9283″	2.85748008°	0.04987244	—	1443 (296)	莫氏锥度 No.1
1:20.288	2°49′24.7802″	2.82355006°	0.04928025	—	(239)	贾各锥度 No.0
1:23.904	2°23′47.6244″	2.39656232°	0.04182790	—	1443 (296)	布朗夏普锥度 No1 ~ No3
1:28	2°2′45.8174″	2.04606038°	0.03571049	—	(8382)	复苏器 (医用)
1:36	1°35′29.2096″	1.59144711°	0.02777599	—	(5356-1)	麻醉器具
1:40	1°25′56.3516″	1.43231989°	0.02499870	—		

表 1.1-44 莫氏和公制锥度 (附斜度对照)

圆锥号数		锥 度 $C = 2\tan(\alpha/2)$	锥角 α	斜角 $\alpha/2$	斜度 $\tan(\alpha/2)$	圆锥号数	锥 度 $C = 2\tan(\alpha/2)$	锥角 α	斜角 $\alpha/2$	斜度 $\tan(\alpha/2)$	
莫氏	0	1: 19. 212 = 0. 05205	2°58'54"	1°29'27"	0. 026	公制	4	1: 20 = 0. 05	2°51'51"	1°25'56"	0. 025
	1	1: 20. 047 = 0. 04988	2°51'26"	1°25'43"	0. 0249		6	1: 20 = 0. 05	2°51'51"	1°25'56"	0. 025
	2	1: 20. 020 = 0. 04995	2°51'41"	1°25'50"	0. 025		80	1: 20 = 0. 05	2°51'51"	1°25'56"	0. 025
	3	1: 19. 922 = 0. 05020	2°52'32"	1°26'16"	0. 0251		100	1: 20 = 0. 05	2°51'51"	1°25'56"	0. 025
	4	1: 19. 254 = 0. 05194	2°58'31"	1°29'15"	0. 026		120	1: 20 = 0. 05	2°51'51"	1°25'56"	0. 025
	5	1: 19. 002 = 0. 05263	3°00'53"	1°30'26"	0. 0263		140	1: 20 = 0. 05	2°51'51"	1°25'56"	0. 025
	6	1: 19. 180 = 0. 05214	2°59'12"	1°29'36"	0. 0261		160	1: 20 = 0. 05	2°51'51"	1°25'56"	0. 025
	7	1: 19. 231 = 0. 052	2°58'36"	1°29'18"	0. 026		200	1: 20 = 0. 05	2°51'51"	1°25'56"	0. 025

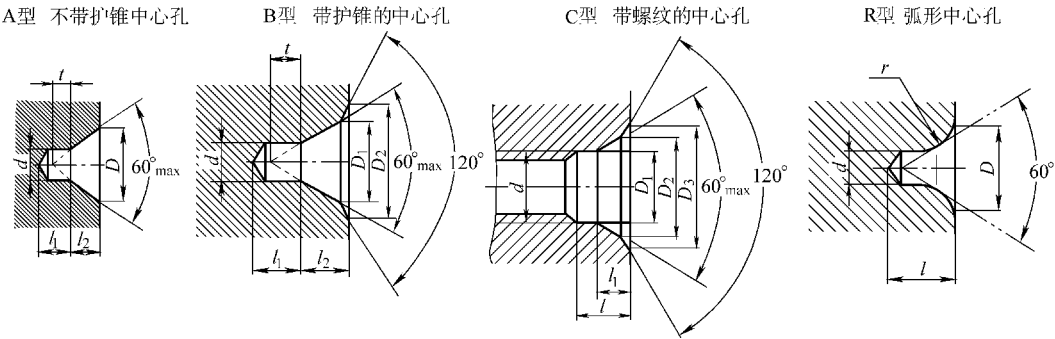
注: 1. 公制圆锥号数表示圆锥的大端直径, 如 80 号公制圆锥, 它的大端直径即为 80mm。

2. 莫氏锥度目前在钻头及铰刀的锥柄、车床零件等应用较多。

5.6 中心孔(见表 1.1-45、表 1.1-46)

表 1.1-45 60°中心孔(摘自 GB/T 145—2001)

(mm)



d	D		D_1	D_2	l_2		t (参考)		$l_{\min}$	r		d	D_1	D_2	D_3	l	l_1 参考
A、B、R 型	A 型	R 型	B 型		A 型	B 型	A 型	B 型		R 型		C 型					
(0.50)	1.06	—	—	—	0.48	—	0.5	—	—	—	—	M3	3.2	5.3	5.8	2.6	1.8
(0.63)	1.32	—	—	—	0.60	—	0.6	—	—	—	—	M4	4.3	6.7	7.4	3.2	2.1
(0.80)	1.70	—	—	—	0.73	—	0.7	—	—	—	—	M5	5.3	8.1	8.8	4.0	2.4
1.00	2.12	2.12	2.12	3.15	0.97	1.27	0.9	0.9	2.3	3.15	2.50	M6	6.4	9.6	10.5	5.0	2.8
(1.25)	2.65	2.65	2.65	4.00	1.21	1.60	1.1	1.1	2.8	4.00	3.15	M8	8.4	12.2	13.2	6.0	3.3
1.60	3.35	3.35	3.35	5.00	1.52	1.99	1.4	1.4	3.5	5.00	4.00	M10	10.5	14.9	16.3	7.5	3.8
2.00	4.25	4.25	4.25	6.30	1.95	2.54	1.8	1.8	4.4	6.30	5.00	M12	13.0	18.1	19.8	9.5	4.4
2.50	5.30	5.30	5.30	8.00	2.42	3.20	2.2	2.2	5.5	8.00	6.30	M16	17.0	23.0	25.3	12.0	5.2
3.15	6.70	6.70	6.70	10.00	3.07	4.03	2.8	2.8	7.0	10.00	8.00	M20	21.0	28.4	31.3	15.0	6.4
4.00	8.50	8.50	8.50	12.50	3.90	5.05	3.5	3.5	8.9	12.50	10.00	M24	26.0	34.2	38.0	18.0	8.0
(5.00)	10.60	10.60	10.60	16.00	4.85	6.41	4.4	4.4	11.2	16.00	12.50						
6.30	13.20	13.20	13.20	18.00	5.98	7.36	5.5	5.5	14.0	20.00	16.00						
(8.00)	17.00	17.00	17.00	22.40	7.79	9.36	7.0	7.0	17.9	25.00	20.00						
10.00	21.20	21.20	21.20	28.00	9.70	11.66	8.7	8.7	22.5	31.50	25.00						

注: 1. 括号内尺寸尽量不用。

2. A、B 型中尺寸 l_1 取决于中心钻的长度, 即使中心孔重磨后再使用, 此值不应小于 t 值。

3. A 型同时列出了 D 和 l_2 尺寸, B 型同时列出了 D_2 和 l_2 尺寸, 制造厂可分别任选其中一个尺寸。

表 1.1-46 75°、90°中心孔 (JB/ZQ 4236—2006、JB/ZQ 4237—2006) (mm)

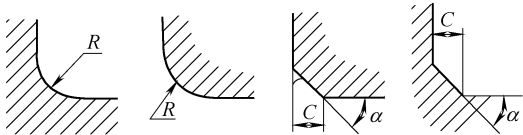
	α	规格 D	D_1	D_2	L	L_1	L_2	L_3	L_0	选择中心孔的参考数据	
										毛坯轴端 直径 (min) D_0	毛坯质量 (max) /kg
A 型 不带护锥 B 型 带护锥 D 型 带护锥	75° (摘自 JB/ZQ 4236—2006)	3	9		7	8	1			30	200
		4	12		10	11.5	1.5			50	360
		6	18		14	16	2			80	800
		8	24		19	21	2			120	1500
		12	36		28	30.5	2.5			180	3000
		20	60		50	53	3			260	9000
		30	90		70	74	4			360	20000
		40	120		95	100	5			500	35000
		45	135		115	121	6			700	50000
		50	150		140	148	8			900	80000
	90° (摘自 JB/ZQ 4237—2006)	14	56	77	36	38.5	2.5	6	44.5	250	5000
		16	64	85	40	42.5	2.5	6	48.5	300	10000
		20	80	108	50	53	3	8	61	400	20000
		24	96	124	60	64	4	8	72	500	30000
		30	120	155	80	84	4	10	94	600	50000
		40	160	195	100	105	5	10	115	800	80000
		45	180	222	110	116	6	12	128	900	100000
		50	200	242	120	128	8	12	140	1000	150000

- 注：1. 中心孔的选择：中心孔的尺寸主要根据毛坯轴端直径 D_0 和零件毛坯总质量（如轴上装有齿轮、齿圈及其他零件等）来选择。若毛坯总质量超过表中 D_0 相对应的质量时，则依据毛坯质量确定中心孔尺寸。
2. 当加工零件毛坯总质量超过 5000kg 时，一般宜选择 B 型中心孔。
3. D 型中心孔是属于中间形式，在制造时要考虑到在机床上加工去掉余量“ L_3 ”以后，应与 B 型中心孔相同。
4. 中心孔的表面粗糙度按用途自行规定。

5.7 零件的倒圆、倒角 (见表 1.1-47)

表 1.1-47 零件倒圆与倒角 (摘自 GB/T 6403.4—2008) (mm)

一般机械切削加工零件的外角和内角的倒圆和倒角及倒角形式如图 a 所示，其尺寸系列值如下表



α 一般采用 45°，也可采用 30°或 60°

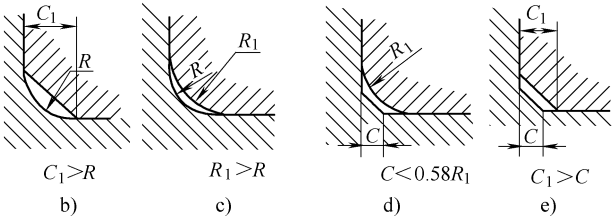
a)

R, C 系列	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0
	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12	16	20	25	32	40	50	—

(续)

各种直径对应的 C, R	ϕ	<3	>3 ~ 6	>6 ~ 10	>10 ~ 18	>18 ~ 30	>30 ~ 50	>50 ~ 80	>80 ~ 120	>120 ~ 180
	C 或 R	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.6	2.0	2.5	3.0
	ϕ	>180 ~ 250	>250 ~ 320	>320 ~ 400	>400 ~ 500	>500 ~ 630	>630 ~ 800	>800 ~ 1000	>1000 ~ 1250	>1250 ~ 1600
	C 或 R	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12	16	20	25

内角、外角分别为倒圆、倒角 (倒角为 45°) 的四种装配方式 (见图 b、c、d、e), R_1 、 C_1 为正偏差; R 、 C 为负偏差。
且图 d 内角倒角 $C_{\max}$ 与外角倒圆 R_1 有下表的关系



R_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0
$C_{\max}$	—	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
R_1	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12	16	20	25
$C_{\max}$	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12

5.8 圆形零件自由表面过渡圆角半径和静配合连接轴用倒角 (见表 1.1-48、表 1.1-49)

表 1.1-48 圆形零件自由表面过渡圆角半径和静配合连接轴用倒角 (mm)

圆角半径		$D-d$	2	5	8	10	15	20	25	30	35	40	50	55	65	70	90	100	130
		R	1	2	3	4	5	8	10	12	12	16	16	20	20	25	25	30	30
		$D-d$	140	170	180	220	230	290	300	360	370	450	460	540	550	650	660	760	
		R	40	40	50	50	60	60	80	80	100	100	125	125	160	160	200	200	
静配合 连接轴 倒角		D	≤ 10	>10 ~ 18	>18 ~ 30	>30 ~ 50	>50 ~ 80	>80 ~ 120	>120 ~ 180	>180 ~ 260	>260 ~ 360	>360 ~ 500							
		a	1	1.5	2	3	5	5	8	10	10	12							
		c	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8							
		α	30°							10°									
		$c \times 45^\circ$																	

注: 尺寸 $D-d$ 是表中数值的中间值时, 则按较小尺寸来选取 R 。例如 $D-d=98$, 则按 90 选 $R=25$ 。

表 1.1-49 过渡配合、静配合嵌入倒角 (mm)

	D	倒角深	配合			
			u6, s6, s7, r6, n6, m6	t7	u8	z8
	≤ 50	a	0.5	1	1.5	2
		A	1	1.5	2	2.5
	50 ~ 100	a	1	2	2	3
		A	1.5	2.5	2.5	3.5
	100 ~ 250	a	2	3	4	5
		A	2.5	3.5	4.5	6
250 ~ 500	a	3.5	4.5	7	8.5	
	A	4	5.5	8	10	

5.9 球面半径(见表 1.1-50)

表 1.1-50 球面半径(摘自 GB/T 6403.1—2008) (mm)

系列	1	0.2	0.4	0.6	1.0	1.6	2.5	4.0	6.0	10	16	20
	2	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3.0	5.0	8.0	12	18	22
	1	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
	2	28	36	45	56	71	90	110	140	180	220	280
	1	320	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200
	2	360	450	560	710	900	1100	1400	1800	2200	2800	

5.10 燕尾槽(见表 1.1-51)

表 1.1-51 燕尾槽(JB/ZQ 4241—2006) (mm)

	A	40 ~ 65	50 ~ 70	60 ~ 90	80 ~ 125	100 ~ 160	125 ~ 200	160 ~ 250	200 ~ 320	250 ~ 400	320 ~ 500
	B	12	16	20	25	32	40	50	65	80	100
	C	1.5 ~ 5									
	e	2		3				4			
	f	2		3				4			
	H	8	10	12	16	20	25	32	40	50	65

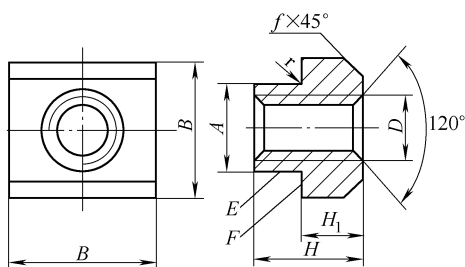
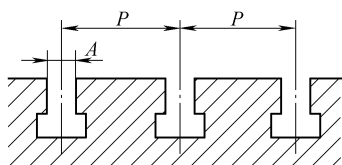
注: 1. “A”的系列为: 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 320, 360, 400, 450, 500。
2. “C”为推荐值。

5.11 T形槽(见表 1.1-52)

表 1.1-52 T形槽(摘自 GB/T 158—1996) (mm)

E、F和G倒45°角或倒圆		T形槽不通端形式

(续)



T形槽用螺母

T形槽										螺栓头部			T形槽间距 P				T形槽间距偏差	
A	B		C		H		E	F	G	d	S	K					间距 P	极限偏差
基本尺寸	最小尺寸	最大尺寸	最小尺寸	最大尺寸	最小尺寸	最大尺寸	最大尺寸	最大尺寸	最大尺寸	公称尺寸	最大尺寸	最大尺寸						
5	10	11	3.5	4.5	8	10	1	0.6	1	M4	9	3		20	25	32	20	± 0.2
6	11	12.5	5	6	11	13				M5	10	4		25	32	40	25	
8	14.5	16	7	8	15	18				M6	13	6		32	40	50	32 ~ 100	± 0.3
10	16	18	7	8	17	21				M8	15	6		40	50	63		
12	19	21	8	9	20	25				M10	18	7	(40)	50	63	80		
14	23	25	9	11	23	28	1.6	1	1.6	M12	22	8	(50)	63	80	100	125 ~ 250	± 0.5
18	30	32	12	14	30	36				M16	28	10	(63)	80	100	125		
22	37	40	16	18	38	45				M20	34	14	(80)	100	125	160		
28	46	50	20	22	48	56				M24	43	18	100	125	160	200	320 ~ 500	± 0.8
36	56	60	25	28	61	71	2.5	1.6	4	M30	53	23	125	160	200	250		
42	68	72	32	35	74	85				M36	64	28	160	200	250	320		
48	80	85	36	40	84	95				M42	75	32	200	250	320	400		
54	90	95	40	44	94	106				M48	85	36	250	320	400	500		

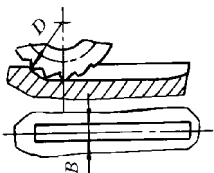
T形槽用螺母尺寸												T形槽不通端尺寸				
T形槽宽度 A	D	A		B		H_1		H		f	r	宽度 A	K	D		e
	公称尺寸	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	最大尺寸	最大尺寸			基本尺寸	极限偏差	
5	M4	5	-0.3 -0.5	9	± 0.29	3	± 0.2	6.5	± 0.29	1	0.3	5	12	15	+1	0.5
6	M5	6		10		4		8				6	15	16	0	
8	M6	8		13		6		10				8	20	20		
10	M8	10	-0.3 -0.6	15	± 0.35	6	± 0.24	12	± 0.35		1.6	10	23	22	+1.5 0	1
12	M10	12		18		7		14				12	27	28		
14	M12	14		22		8		16				14	30	32		
18	M16	18		23	± 0.42	10	± 0.29	20	± 0.42		2.5	18	38	42	1.5	
22	M20	22		34		14		28				22	47	50		
28	M24	28	-0.4 -0.7	43	± 0.5	18	± 0.35	36	± 0.5		4	28	58	62	+2 0	2
36	M30	36		53		23		44				36	73	76		
42	M36	42		64		28		52				42	87	92		
48	M42	48		75	± 0.6	32	± 0.42	60	± 0.6		6	48	97	108		
54	M48	54		85		36		70				54	108	122		

注：螺母材料为45钢。螺母表面粗糙度(按GB/T 1031)最大允许值，基准槽用螺母的E面和F面为Ra3.2 μ m；其余为Ra6.3 μ m。螺母进行热处理，硬度为35HRC，并发蓝。

5.12 弧形槽端部半径(见表 1.1-53)

表 1.1-53 弧形槽端部半径

 (mm)

花 键 槽		键切深度 H	5	10	12	25	
		键切宽度 B	4	4	5	10	
		R	20 ~ 30	30 ~ 37.5	37.5	55	
弧形键槽(摘自 半圆键槽铣刀 GB/T 1127— 2007)		键公称尺寸	铣 刀	键公称尺寸	铣 刀	键公称尺寸	铣 刀
		$B \times d$	D	$B \times d$	D	$B \times d$	D
		1 × 4	4.5	3 × 16	16.5	6 × 22	22.5
		1.5 × 7	7.5	4 × 16		6 × 25	25.5
		2 × 7		5 × 16		8 × 28	28.5
		2 × 10	10.5	4 × 19	19.5	10 × 32	32.5
		2.5 × 10		5 × 19			
		3 × 13	13.5	5 × 22	22.5		

注: d 是铣削键槽时键槽弧形部分的直径。

5.13 砂轮越程槽(见表 1.1-54)

表 1.1-54 砂轮越程槽(摘自 GB/T 6403.5—2008)

 (mm)

端面及端面砂轮越程槽

a) 磨外圆 b) 磨内圆 c) 磨外端面 d) 磨内端面 e) 磨外圆及端面 f) 磨内圆及端面

b_1	0.6	1.0	1.6	2.0	3.0	4.0	5.0	8.0	10
b_2	2.0	3.0		4.0		5.0		8.0	10
h	0.1	0.2	0.3	0.4		0.6		0.8	1.2
r	0.2	0.5	0.8	1.0		1.6		2.0	3.0
d	~ 10			> 10 ~ 50		> 50 ~ 100		> 100	

注:1. 越程槽内二直线相交处,不允许产生尖角。

2. 越程槽深度 h 与圆弧半径 r ,要满足 $r < 3h$ 。

燕尾导轨砂轮越程槽

g)

H	<5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80
b	1	2		3			4			5		6	
h													
r	0.5	0.5		1.0			1.6			1.6		2.0	

矩形导轨砂轮越程槽

h)

H	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
b	2				3				5		8	
h	1.6				2.0				3.0		5.0	
r	0.5				1.0				1.6		2.0	

(续)

平面砂轮越程槽	i)	V形砂轮越程槽	j)	b	2	3	4	5
	h		1.6	2.0	2.5	3.0		
	r		0.5	1.0	1.2	1.6		

5.14 刨切、插切、珩磨越程槽(见表 1.1-55)

表 1.1-55 刨切、插切、珩磨越程槽

 (mm)

	龙门刨	$a + b = 100 \sim 200$		珩磨内圆 $b > 30$
	牛头刨床、立刨床	$a + b = 50 \sim 75$		珩磨外圆 $b = 6 \sim 8$
	大插床 $50 \sim 100$, 小插床 $10 \sim 12$			

5.15 退刀槽(见表 1.1-56)

表 1.1-56 退刀槽(摘自 JB/ZQ 4238—2006)

 (mm)

适用于交变载荷,也可用于一般载荷的磨削件

适用于对受载无特殊要求的磨削件

A型 B型

a)

C型 D型

c)

E型 F型

d)

a) 外圆 (图 a)

退刀槽		f_1	$g \approx$	$t_2^{+0.05}_0$	推荐的配合直径		b) 相配件 (图 b)		说明		
r_1	$t_1^{+0.1}_0$				d_1	α	r_2				
					用在一般载荷	用在交变载荷	A 型	B 型	A 型轴的配合表面需磨削,轴肩不磨削。 B 型轴的配合表面及轴肩都需磨削		
0.6	0.2	2	1.4	0.1	约 18	—	0.4	0.1		1	0.3
0.6	0.3	2.5	2.1	0.2	> 18 ~ 80		0.3	0		0.8	0
1	0.4	4	3.2	0.3	> 80		0.6	0		1.5	0
1	0.2	2.5	1.8	0.1	—	> 18 ~ 50	0.8	0.4		2	1
1.6	0.3	4	3.1	0.2		> 50 ~ 80	1.3	0.6		3.2	1.4
2.5	0.4	5	4.8	0.3		> 80 ~ 125	2.1	1.0		5.2	2.4
4	0.5	7	6.4	0.3		125	3.5	2.0		8.8	5

b) 相配件 (图 b)

α		r_2	
A 型	B 型	A 型	B 型
0.4	0.1	1	0.3
0.3	0	0.8	0
0.6	0	1.5	0
0.8	0.4	2	1
1.3	0.6	3.2	1.4
2.1	1.0	5.2	2.4
3.5	2.0	8.8	5

c) D、E型的相配件

d) F型相配件

(续)

适用于对受载无特殊要求的磨削件

c) 轴 (图 c)											d) 轴 (图 d)						
$h_{\min}$	r_1	t	b		$f_{\max}$	a	偏差	r_2	偏差		$h_{\min}$	r_1	t_1	t_2	b	$f_{\max}$	
			C、D 型	E 型													
2.5	1.0	0.25	1.6	1.1	0.2	1	+0.6	1.2	+0.6		4	1.0	0.4	0.25	1.2	0.2	
4	1.6	0.25	2.4	2.2	0.2	1.6	+0.6	2.0	+0.6		5	1.6	0.6	0.4	2.0		
6	2.5	0.25	3.6	3.4	0.2	2.5	+1.0	3.2	+1.0		8	2.5	1.0	0.6	3.2		
10	4.0	0.4	5.7	5.3	0.4	4.0	+1.0	5.0	+1.0		12.5	4.0	1.6	1.0	5.0	0.4	
16	6.0	0.4	8.1	7.7	0.4	6.0	+1.6	8.0	+1.6		20	6.0	2.5	1.6	8.0		
25	10.0	0.6	13.4	12.8	0.4	10.0	+1.6	12.5	+1.6		30	10.0	4.0	2.5	12.5		
40	16.0	0.6	20.3	19.7	0.6	16.0	+2.5	20.0	+2.5		$r_1 = 10$ 不适用于精整辊						
60	25.0	1.0	32.1	31.1	0.6	25.0	+2.5	32.0	+2.5								

C 型轴的配合表面需磨削,轴肩不磨削;D 型轴的配合表面不磨削,轴肩需磨削;E 型轴的配合表面及轴肩均需磨削;F 型相配件为锐角的轴的配合表面及轴肩均需磨削

公称直径相同具有不同配合的退刀槽(图 e)

A 型退刀槽各部分尺寸根据直径 d_1 的大小按表中 a 表取。B 型退刀槽各部分尺寸见表中 e 表

r	t	$b \approx$	r	t	$b \approx$
2.5	0.25	2.2	10	0.6	6.8
4	0.4	3.5	16	0.6	8.7
6	0.4	4.3	25	1.0	14.0

带槽孔退刀槽(图 f)

带槽孔退刀槽直径 d_2 可按选用的平键或楔键而定。退刀槽的深度 t_2 一般为 20mm,如因结构上的原因 t_2 的最小值不得小于 10mm

5.16 插齿、滚齿退刀槽(见表 1.1-57 ~ 表 1.1-59)

表 1.1-57 插齿空刀槽(摘自 JB/ZQ 4238—2006)

(mm)

[illegible]

表 1.1-58 滚人字齿轮退刀槽(摘自 JB/ZQ 4238—2006)

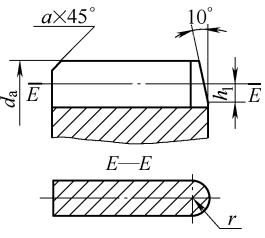
 (mm)

退刀槽深度 h 由设计者决定,一般可取 $0.3m_n$

法向模数 m_n	螺旋角 β			
	25°	30°	35°	40°
	退刀槽最小宽度 $b_{\min}$			
4	46	50	52	54
5	58	58	62	64
6	64	66	72	74
7	70	74	78	82
8	78	82	86	90
9	84	90	94	98
10	94	100	104	108
12	118	124	130	136
14	130	138	146	152
16	148	158	165	174

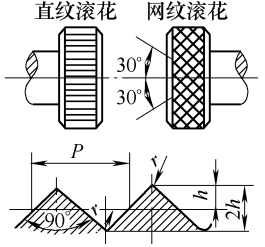
法向模数 m_n	螺旋角 β			
	25°	30°	35°	40°
	退刀槽最小宽度 $b_{\min}$			
18	164	175	184	192
20	185	198	208	218
22	200	212	224	234
25	215	230	240	250
28	238	252	266	278
30	246	260	276	290
32	264	270	300	312
36	284	304	322	335
40	320	330	350	370

表 1.1-59 滑移齿轮的齿端圆齿和倒角尺寸 (mm)

	模数 m	1.5	1.75	2	2.25	2.5	3	3.5	4	5	6	8	10
	r	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.4	2.8	3.1	3.9	4.7	6.3	7.9
	h_1	1.7	2	2.2	2.5	2.8	3.5	4	4.5	5.6	6.7	8.8	11
	d_a	≤ 50		50 ~ 80		80 ~ 120		120 ~ 180		180 ~ 260		> 260	
	$a_{\max}$	2.5		3		4		5		6		8	

5.17 滚花 (见表 1.1-60)

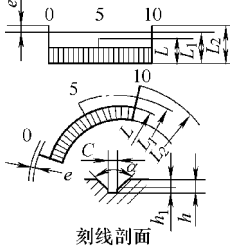
表 1.1-60 滚花 (摘自 GB/T 6403.3—2008) (mm)

	模数 m	h	r	节距 P
	0.2	0.132	0.06	0.628
	0.3	0.198	0.09	0.942
	0.4	0.264	0.12	1.257
	0.5	0.326	0.16	1.571

注:1. 表中 $h=0.785m-0.414r_0$ 。
2. 滚花前工件表面粗糙度的轮廓算术平均偏差 Ra 的最大允许值为 $12.5\mu\text{m}$ 。
3. 滚花后工件直径大于滚花前直径,其值 $\Delta\approx(0.8\sim1.6)m$, m 为模数。

5.18 分度盘和标尺刻度 (见表 1.1-61)

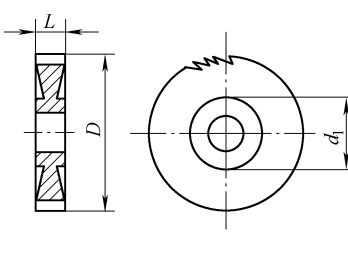
表 1.1-61 分度盘和标尺刻度 (JB/ZQ 4260—2006) (mm)

	刻线类型	L	L_1	L_2	C	e	h	h_1	a
	I	$2^{+0.2}_0$	$3^{+0.2}_0$	$4^{+0.3}_0$	$0.1^{+0.03}_0$	0.15 ~ 1.5	$0.2^{+0.08}_0$	$0.15^{+0.03}_0$	$15^\circ \pm 10'$
	II	$4^{+0.3}_0$	$5^{+0.3}_0$	$6^{+0.5}_0$	$0.1^{+0.03}_0$		$0.2^{+0.08}_0$	$0.15^{+0.03}_0$	
	III	$6^{+0.5}_0$	$7^{+0.5}_0$	$8^{+0.5}_0$	$0.2^{+0.03}_0$		$0.25^{+0.08}_0$	$0.2^{+0.03}_0$	
	IV	$8^{+0.5}_0$	$9^{+0.5}_0$	$10^{+0.5}_0$	$0.2^{+0.03}_0$		$0.25^{+0.08}_0$	$0.2^{+0.03}_0$	
	V	$10^{+0.5}_0$	$11^{+0.5}_0$	$12^{+0.5}_0$	$0.2^{+0.03}_0$		$0.25^{+0.08}_0$	$0.2^{+0.03}_0$	

注:1. 数字可按打印字头型号选用。
2. 尺寸 h_1 在工作图上不必注出。

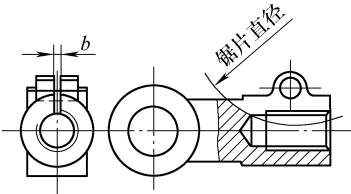
5.19 锯缝尺寸 (见表 1.1-62)

表 1.1-62 锯缝尺寸 (摘自 JB/ZQ 4246—2006) (mm)

	D	$d_{1\min}$	L											
			0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	
	80	34 (40)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	100			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	125				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	160	47				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	200	63					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	250							✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	315		80							✓	✓	✓	✓	✓

(续)

锯缝在图样上的标记方法



6 铸件的设计规范

6.1 铸件的最小壁厚和最小铸孔尺寸(见表 1. 1-63 ~ 表 1. 1-65)

表 1. 1-63 铸件最小允许壁厚 (mm)

铸型种类	铸件尺寸	最小允许壁厚							
		铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铝合金	镁合金	铜合金	高锰钢
砂型	200 × 200 以下	6 ~ 8	5 ~ 6	6	4 ~ 5	3	—	3 ~ 5	20(最大壁厚不超过 125)
	200 × 200 ~ 500 × 500	10 ~ 12	6 ~ 10	12	5 ~ 8	4	3	6 ~ 8	
	500 × 500 以上	18 ~ 25	15 ~ 20	—	—	5 ~ 7	—	—	
金属型	70 × 70 以下	5	4	—	2.5 ~ 3.5	2 ~ 3	—	3	
	70 × 70 ~ 150 × 150	—	5	—	3.5 ~ 4.5	4	2.5	4 ~ 5	
	150 × 150 以上	10	6	—	—	5	—	6 ~ 8	

注: 1. 结构复杂的铸件及灰铸铁牌号较高时,选取偏大值。

2. 特大型铸件的最小允许壁厚,还可适当增加。

表 1. 1-64 外壁、内壁与肋的厚度

零件质量 /kg	零件最大外形尺寸 /mm	外壁厚度 /mm	内壁厚度 /mm	肋的厚度 /mm	零件举例
~ 5	300	7	6	5	盖,拨叉,杠杆,端盖,轴套
6 ~ 10	500	8	7	5	盖,门,轴套,挡板,支架,箱体
11 ~ 60	750	10	8	6	盖,箱体,罩,电动机支架,溜板箱体,支架,托架,门
61 ~ 100	1250	12	10	8	盖,箱体,搪模架,油缸体,支架,溜板箱体
101 ~ 500	1700	14	12	8	油盘,盖,床鞍箱体,带轮,搪模架
501 ~ 800	2500	16	14	10	搪模架,箱体,床身,轮缘,盖,滑座
801 ~ 1200	3000	18	16	12	小立柱,箱体,滑座,床身,床鞍,油盘

表 1. 1-65 最小铸孔尺寸 (mm)

材料	孔壁厚度	<25		26 ~ 50		51 ~ 75		76 ~ 100		101 ~ 150		151 ~ 200		201 ~ 300		≥301	
	孔的深度	最小孔径															
		加工	铸造	加工	铸造	加工	铸造	加工	铸造	加工	铸造	加工	铸造	加工	铸造	加工	铸造
碳钢与一般合金钢	≤100	75	55	75	55	90	70	100	80	120	100	140	120	160	140	180	160
	101 ~ 200	75	55	90	70	100	80	110	90	140	120	160	140	180	160	210	190
	201 ~ 400	105	80	115	90	125	100	135	110	165	140	195	170	215	190	255	230
	401 ~ 600	125	100	135	110	145	120	165	140	195	170	225	200	255	230	295	270
	601 ~ 1000	150	120	160	130	180	150	200	170	230	200	260	230	300	270	340	310
高锰钢	孔壁厚度	< 50				51 ~ 100				≥101							
	最小孔径	20				30				40							
灰铸铁	大量生产:12 ~ 15,成批生产:15 ~ 30,小批、单件生产:30 ~ 50																

注: 1. 不透圆孔最小容许铸造孔直径应比表中值大 20%,矩形或方形孔其短边要大于表中值的 20%,而不透矩形或方形孔则要大 40%。

2. 难加工的金属,如高锰钢铸件等的孔应尽量铸出,而其中需要加工的孔,常用镶铸碳素钢的办法,待铸出后,再在镶铸的碳素钢部分进行加工。

6.2 铸造斜度 (见表 1.1-66、表 1.1-67)

表 1.1-66 铸造斜度及过渡斜度 (JB/ZQ 4254—2006)

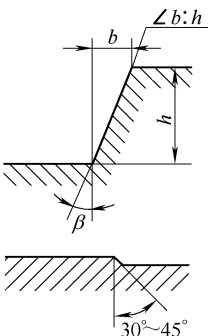
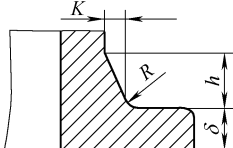
铸造斜度				铸造过渡斜度					
	斜度 $b:h$	角度 β	使用范围		铸铁和铸钢件的壁厚 δ	K	h	R	
	1:5	11°30′	$h < 25\text{mm}$ 的钢和铁铸件		mm				
					10 ~ 15	3	15	5	
					> 15 ~ 20	4	20		
	1:10 1:20	5°30′ 3°	$h = 25 \sim 500\text{mm}$ 时的钢和铁铸件		> 20 ~ 25	5	25	8	
					> 25 ~ 30	6	30		
1:50	1°	$h > 500\text{mm}$ 时的钢和铁铸件	> 30 ~ 35	7	35	10			
			> 35 ~ 40	8	40				
			> 40 ~ 45	9	45				
			1:100	30′	有色金属铸件	> 45 ~ 50	10	50	15
						> 50 ~ 55	11	55	
> 55 ~ 60	12	60							
			> 60 ~ 65	13	65				
			> 65 ~ 70	14	70				
			> 70 ~ 75	15	75				

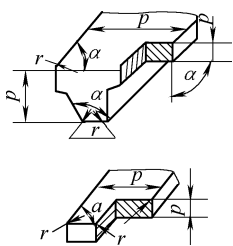
表 1.1-67 合金铸件内腔的一般铸造斜度

铸件内腔深度/mm	≤ 6	$> 6 \sim 8$	$> 8 \sim 10$	$> 10 \sim 15$	$> 15 \sim 20$	$> 20 \sim 30$	$> 30 \sim 60$
铸件材料							
锌合金	2°30'	2°	1°45'	1°30'	1°15'	1°	0°45'
铝合金	4°	3°30'	3°	2°30'	2°	1°30'	1°45'
铜合金	5°	4°	3°30'	3°	2°30'	2°	1°30'

6.3 铸造圆角半径 (见表 1.1-68、表 1.1-69)

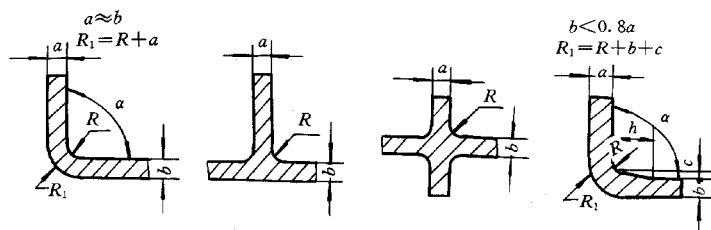
表 1.1-68 铸造外圆角 (JB/ZQ 4256—2006)

(mm)

	表面的最小边尺寸 p	r 值					
		外圆角 α					
		$< 50^\circ$	$51^\circ \sim 75^\circ$	$76^\circ \sim 105^\circ$	$106^\circ \sim 135^\circ$	$136^\circ \sim 165^\circ$	$> 165^\circ$
	≤ 25	2	2	2	4	6	8
	$> 25 \sim 60$	2	4	4	6	10	16
	$> 60 \sim 160$	4	4	6	8	16	25
	$> 160 \sim 250$	4	6	8	12	20	30
	$> 250 \sim 400$	6	8	10	16	25	40
	$> 400 \sim 600$	6	8	12	20	30	50
	$> 600 \sim 1000$	8	12	16	25	40	60
	$> 1000 \sim 1600$	10	16	20	30	50	80
	$> 1600 \sim 2500$	12	20	25	40	60	100
	> 2500	16	25	30	50	80	120

注: 如果一个铸件按上表可选出许多不同的圆角“ r ”时,应尽量减少或只取一适当的“ r ”值以求统一。

表 1.1-69 铸造内圆角(JB/ZQ 4255—2006)

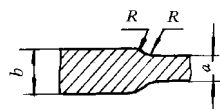
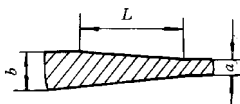
$$(\text{mm})$$


$\frac{a+b}{2}$	R 值											
	内 圆 角 α											
	< 50°		51° ~ 75°		76° ~ 105°		106° ~ 135°		136° ~ 165°		> 165°	
	钢	铁	钢	铁	钢	铁	钢	铁	钢	铁	钢	铁
≤ 8	4	4	4	4	6	4	8	6	16	10	20	16
9 ~ 12	4	4	4	4	6	6	10	8	16	12	25	20
13 ~ 16	4	4	6	4	8	6	12	10	20	16	30	25
17 ~ 20	6	4	8	6	10	8	16	12	25	20	40	30
21 ~ 27	6	6	10	8	12	10	20	16	30	25	50	40
28 ~ 35	8	6	12	10	16	12	25	20	40	30	60	50
36 ~ 45	10	8	16	12	20	16	30	25	50	40	80	60
46 ~ 60	12	10	20	16	25	20	35	30	60	50	100	80
61 ~ 80	16	12	25	20	30	25	40	35	80	60	120	100
81 ~ 110	20	16	25	20	35	30	50	40	100	80	160	120
111 ~ 150	20	16	30	25	40	35	60	50	100	80	160	120
151 ~ 200	25	20	40	30	50	40	80	60	120	100	200	160
201 ~ 250	30	25	50	40	60	50	100	80	160	120	250	200
251 ~ 300	40	30	60	50	80	60	120	100	200	160	300	250
> 300	50	40	80	60	100	80	160	120	250	200	400	300
c 和 h 值												
b/a			< 0. 4		0. 5 ~ 0. 65		0. 66 ~ 0. 8		> 0. 8			
$c \approx$			0. 7 ($a - b$)		0. 8 ($a - b$)		$a - b$		—			
$h \approx$	钢		$8c$									
	铁		$9c$									

6.4 铸件壁厚的过渡与壁的连接形式及尺寸(见表 1.1-70、表 1.1-71)

表 1.1-70 壁厚的过渡形式及尺寸

 (mm)

图例	过渡尺寸												
	$b \leq 2a$	铸铁	$R \geq \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) \left(\frac{a+b}{2} \right)$										
		铸钢 可锻铸铁 非铁合金	$\frac{a+b}{2}$	< 12	12 ~ 16	16 ~ 20	20 ~ 27	27 ~ 35	35 ~ 45	45 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 110	110 ~ 150
			R	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40
	$b > 2a$	铸铁	$L \geq 4(b-a)$										
		铸钢	$L \geq 5(b-a)$										

(续)

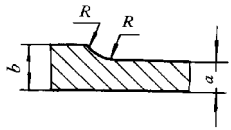
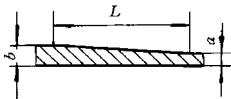
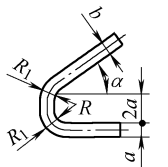
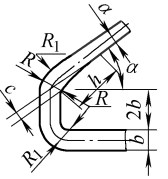
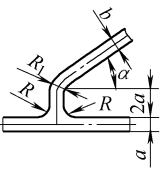
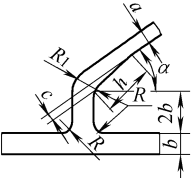
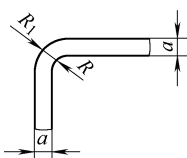
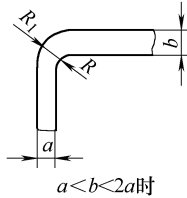
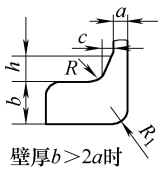
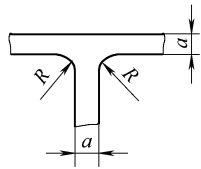
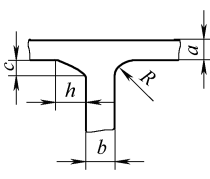
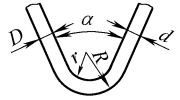
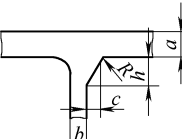
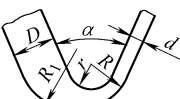
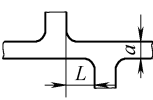
图例	过渡尺寸	
	$b \leq 1.5a$	$R \geq \frac{2a+b}{2}$
	$b > 1.5a$	$L = 4(a+b)$

表 1.1-71 壁的连接形式及尺寸

连接合理结构		连接尺寸	
两壁斜向相连		$b = a, \alpha < 75^\circ$ $R = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) a$ $R_1 = R + a$	
		$b > 1.25a$, 对于铸铁 $h = 4c$ $c = b - a$, 对于铸钢 $h = 5c$ $\alpha < 75^\circ$ $R = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) \left(\frac{a+b}{2} \right)$ $R_1 = R + b$	
		$b \approx 1.25a, \alpha < 75^\circ$ $R = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) \left(\frac{a+b}{2} \right)$ $R_1 = R + b$	
		$b \approx 1.25a$, 对于铸铁 $h \approx 8c$ $c = \frac{b-a}{2}$, 对于铸钢 $h \approx 10c$ $\alpha < 75^\circ$, $R = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) \left(\frac{a+b}{2} \right)$ $R_1 = \frac{a+b}{2} + R$	
两壁垂直相连			
			$R \geq \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) a$ $R_1 \geq R + a$ 两壁厚相等时
			$R \geq \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) \left(\frac{a+b}{2} \right)$ $R_1 \geq R + \frac{a+b}{2}$ $a < b < 2a$ 时
			$a + c \leq b, c \approx 3 \sqrt{b-a}$ 对于铸铁 $h \geq 4c$ 对于钢 $h \geq 5c$ $R \geq \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) \left(\frac{a+b}{2} \right)$ $R_1 \geq R + \frac{a+b}{2}$ 壁厚 $b > 2a$ 时
两壁垂直相交			
			$R \geq \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) a$ 三壁厚相等时

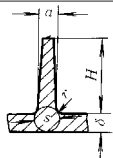
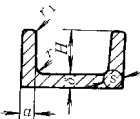
(续)

连接合理结构		连接尺寸	连接合理结构		连接尺寸
两壁垂直相交		$a + c \leq b, c \approx 3 \sqrt{b - a}$ 对于铸铁 $h \geq 4c$ 对于钢 $h \geq 5c$ $R \geq \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}\right) \left(\frac{a + b}{2}\right)$	其他		$\alpha < 90^\circ$ $r = 1.5d (\geq 25\text{mm})$ $R = r + d$ 或 $R = 1.5r + d$
		$b + 2c \leq a, c \approx 1.5 \sqrt{a - b}$ 对于铸铁 $h \geq 8c$ 对于钢 $h \geq 10c$ $R \geq \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}\right) \left(\frac{a + b}{2}\right)$			$\alpha < 90^\circ$ $r = \frac{D + d}{2} (\geq 25\text{mm})$ $R = r + d$ $R = r + D$
					$L > 3a$

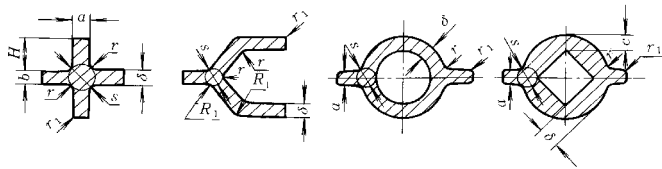
注:1. 圆角标准整数系列(mm):2,4,6,8,10,12,16,20,25,30,35,40,50,60,80,100。
2. 当壁厚大于 20mm 时, R 取系数中的小值。

6.5 铸件加强肋的尺寸(见表 1.1-72)

表 1.1-72 加强肋的形状和尺寸

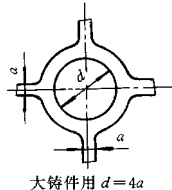
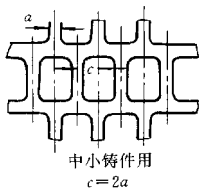
中部的肋		两边的肋	
	$H \leq 5\delta$ $a = 0.8\delta$ (若是铸件内部的肋,则 $a \approx 0.6\delta$) $s = 1.3\delta$ $r = 0.5\delta$		$H \leq 5\delta$ $a = \delta$ $s = 1.25\delta$ $r = 0.3\delta$ $r_1 = 0.25\delta$

带有肋的铸件的截面尺寸比例



δ 的倍数								
断面	H	a	b	c	R_1	r	r_1	s
十字形	3	0.6	0.6	—	—	0.3	0.25	1.25
叉形	—	—	—	—	1.5	0.5	0.25	1.25
环形附肋	—	0.8	—	—	—	0.5	0.25	1.25
环形附肋,但有方孔	—	1.0	—	0.5	—	0.25	0.25	1.25

肋的布置



6.6 铸件设计的基本参数(见表 1.1-73)

表 1.1-73 铸件设计的基本参数参考值

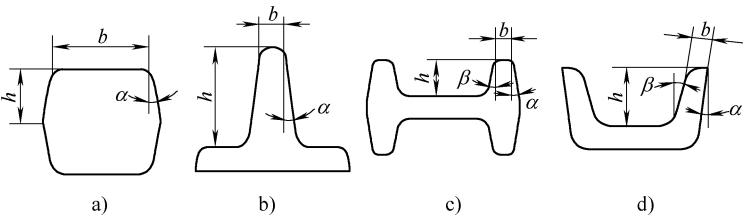
合金	壁厚/mm		最小 孔径 /mm	孔深尺寸 ^① (孔径的 倍数)		螺纹尺寸/mm					齿最 小模 数 /mm	斜度		线收 缩率 (%)	加工 余量 /mm
	适宜的 最小范围	正常 范围				最小 螺距	最小大径		最大长度 ^②			内侧	外侧		
				不通孔	通孔		外螺纹	内螺纹	外螺纹	内螺纹					
锌合金	0.5 ~ 2.0	1.5 ~ 2.5	0.8	4 ~ 6	8 ~ 12	0.75	6	10	8	5	0.3	0°45' ~ 2°30'	30' ~ 1°15'	0.4 ~ 0.65	0.1 ~ 0.7
铝合金	0.8 ~ 2.5	2.0 ~ 3.5	2.0	3 ~ 4	6 ~ 8	0.75	8	14	6	4	0.5	1°45' ~ 4°	1° ~ 2°	0.45 ~ 0.8	0.1 ~ 0.8
镁合金	0.8 ~ 2.5	2.0 ~ 3.5	1.5	4 ~ 5	8 ~ 10	0.75	10	14	6	4	0.5	1°45' ~ 4°	1° ~ 2°	0.5 ~ 0.8	0.1 ~ 0.8
铜合金	0.8 ~ 2.5	1.5 ~ 3.0	2.5	2 ~ 3	3 ~ 5	1.0	12	—	6	—	1.5	1°30' ~ 5°	45' ~ 2°30'	0.6 ~ 1.0	0.3 ~ 1.0

- ① 指形成孔的型芯在不受弯曲力的情况下。
② 最大长度的数值为螺距的倍数。

7 锻件的设计规范

7.1 模锻件的锻造斜度和最小内外圆角半径(见表 1.1-74、表 1.1-75)

表 1.1-74 在锻锤及压力机上模锻件的锻造斜度 (°)



锻造方法	h/b 比值	钢及合金钢		钛合金		铝合金		镁合金	
		α	β	α	β	α	β	α	β
无顶出器模具内模锻	≤ 1.5	5, 7	7	7	7	5, 7	7	7	7
	$> 1.5 \sim 3$	7	7	7	10	7	7	7	7
	$> 3 \sim 5$	7	7	10	12	7	7	7	10
	> 5	10	10	12	15	7	10	10	12
有顶出器模具内模锻	$3^\circ \sim 5^\circ$, 采取措施可减小到 $1^\circ \sim 3^\circ$ (铝合金可无斜度)								

注:图 d 截面 $\alpha=\beta$ 取 5° 或 7° 。

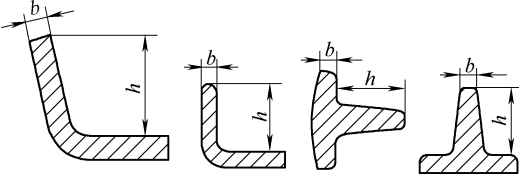
表 1.1-75 在锻锤及压力机上模锻件的最小内外圆角半径 (mm)

形状较复杂、批量较小				批量较大、锻压设备能力足够	
壁或肋的高度 h	碳素和合金结构钢及钛合金		铝合金、镁合金		$r = (0.05 \sim 0.07)h + 0.5$ $R = (2 \sim 3)r$ (无限制腹板) $R = (2.5 \sim 4)r$ (有限制腹板)
	r	R	r	R	
≤ 6	1	3	1	3	
$> 6 \sim 10$	1	4	1	4	
$> 10 \sim 18$	1.5	5	1	8	
$> 18 \sim 30$	1.5	8	1.5	10	
$> 30 \sim 50$	2	10	2	15	
$> 50 \sim 75$	4	15	3	20	

注:1. 所列数值适用于无限制腹板,对有限制腹板应适当加大圆角。
2. 计算值应圆整到标准系列数值(mm):1,1.5,2,2.5,3,3.5,4,5,6,8,10,12,15,20,25,30。

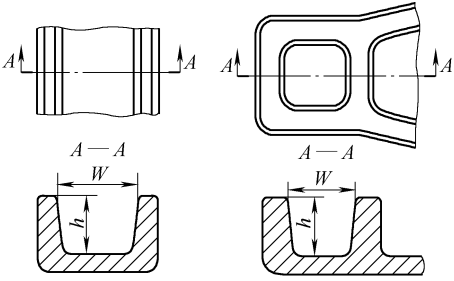
7.2 模锻件肋的高宽比和最小距离(见表 1.1-76、表 1.1-77)

表 1.1-76 模锻件肋的高宽比

	肋的高度 /mm	h/b	
		钢、钛合金	铝合金
≤ 6		< 2	< 3
$> 6 \sim 10$		$2 \sim 3$	$3 \sim 4$
$> 10 \sim 18$		$3 \sim 5$	$4 \sim 6$
> 18		$4 \sim 6$	$6 \sim 8$

注:对于钢、钛合金,肋的宽度 b 不小于 3mm;对于铝合金, b 不小于 2mm;对各种材料, b 不小于腹板厚度。

表 1.1-77 模锻件肋的最小距离

		W/h	
平行肋	环围肋	平行肋	环围肋
		> 1	> 1.33

7.3 模锻件的凹腔和冲孔连皮尺寸(见表 1.1-78、表 1.1-79)

表 1.1-78 锻件的凹腔深宽比值的限制

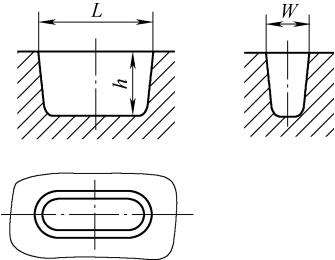
	锻件形式	h/W 的最大值			
		铝合金与镁合金		钢与钛合金	
		$L = W$	$L > W$	$L = W$	$L > W$
		有斜度	1	2	1
	无斜度	2	3	—	—

表 1.1-82 最小可冲孔眼的尺寸

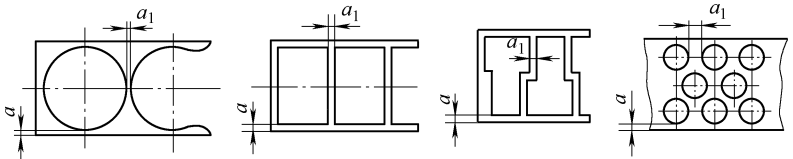
材料	圆孔 直径	方孔 边长	长方孔	长圆孔	材料	圆孔 直径	方孔 边长	长方孔	长圆孔
			短边(径)长					短边(径)长	
钢 $R_m > 700\text{MPa}$	1.5 <i>t</i>	1.3 <i>t</i>	1.2 <i>t</i>	1.1 <i>t</i>	铝、锌	0.8 <i>t</i>	0.7 <i>t</i>	0.6 <i>t</i>	0.5 <i>t</i>
钢 $R_m = 500 \sim 700\text{MPa}$	1.3 <i>t</i>	1.2 <i>t</i>	<i>t</i>	0.9 <i>t</i>	胶木、胶布板	0.7 <i>t</i>	0.6 <i>t</i>	0.5 <i>t</i>	0.4 <i>t</i>
钢 $R_m \leq 500\text{MPa}$	<i>t</i>	0.9 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>	0.7 <i>t</i>	纸板	0.6 <i>t</i>	0.5 <i>t</i>	0.4 <i>t</i>	0.3 <i>t</i>
黄铜、铜	0.9 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>	0.7 <i>t</i>	0.6 <i>t</i>					

注:表中 t 为板厚。当板厚 $< 4\text{mm}$ 时可以冲出垂直孔,而当板厚 $> 4\text{mm}$ 时,则孔的每边须做出 $6^\circ \sim 10^\circ$ 的斜度。

表 1.1-83 孔的位置安排

简图						
最小距离	$c \geq t$	$c \geq 0.8t$	$c \geq 1.3t$	$c \geq t$	$c \geq 0.7t$	$c \geq 1.2t$
简图						
最小距离	$c \geq 1.5t$	$k \geq R + \frac{d}{2}$	$d < D_1 - 2R$ $D > (D_1 + 2t + 2R_1 + d_1)$			$h > 2d + t$

表 1.1-84 冲裁时合理搭边值 (mm)

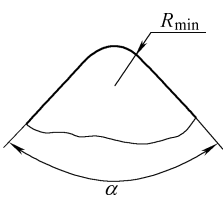


料厚	手送料						自动送料	
	圆形		非圆形		往复送料			
	a	a_1	a	a_1	a	a_1	a	a_1
≤ 1	1.5	1.5	2	1.5	3	2		
$>1 \sim 2$	2	1.5	2.5	2	3.5	2.5	3	2
$>2 \sim 3$	2.5	2	3	2.5	4	3.5		
$>3 \sim 4$	3	2.5	3.5	3	5	4	4	3
$>4 \sim 5$	4	3	5	4	6	5	5	4
$>5 \sim 6$	5	4	6	5	7	6	6	5
$>6 \sim 8$	6	5	7	6	8	7	7	6
>8	7	6	8	7	9	8	8	7

注:非金属材料(皮革、纸板、石棉等)的搭边值应比金属大 $1.5 \sim 2$ 倍。

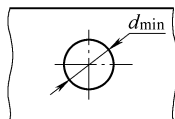
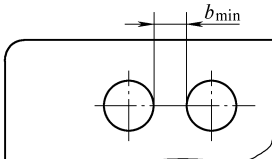
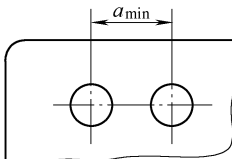
表 1.1-85 精冲件的最小圆角半径

(mm)

	料厚	工件轮廓角度 α				料厚	工件轮廓角度 α			
		30°	60°	90°	120°		30°	60°	90°	120°
	1	0.6	0.25	0.20	0.15	5	2.3	1.1	0.70	0.55
	2	1.0	0.5	0.30	0.20	6	2.9	1.4	0.90	0.65
	3	1.5	0.75	0.45	0.35	8	3.9	1.9	1.2	0.90
	4	2.0	1.0	0.60	0.45	10	5	2.5	1.5	1.00

注:表中为材料抗拉强度低于450MPa时的数据。当材料抗拉强度高于450MPa时,其数值按比例增大。

表 1.1-86 精冲件最小孔径 $d_{\min}$ 、孔边距 $b_{\min}$ 及孔心距 $a_{\min}$ 的极限值

材料抗拉强度 R_m/MPa			
150	$(0.3 \sim 0.4)t$	$(0.25 \sim 0.35)t$	$(0.2 \sim 0.3)t$
300	$(0.45 \sim 0.55)t$	$(0.35 \sim 0.45)t$	$(0.3 \sim 0.4)t$
450	$(0.65 \sim 0.7)t$	$(0.5 \sim 0.55)t$	$(0.45 \sim 0.5)t$
600	$(0.85 \sim 0.9)t$	$(0.7 \sim 0.75)t$	$(0.6 \sim 0.65)t$

注:薄料取上限,厚料取下限, t —料厚。

表 1.1-87 精冲件最小相对槽宽 $e_{\min}/t$

最小槽边距

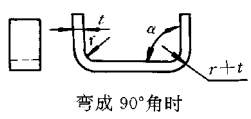
$$f_{\min} = (1.1 \sim 1.2) e_{\min}$$

料厚 t /mm	槽长 l/mm													
	2	4	6	8	10	15	20	40	60	80	100	150	200	
1	0.69	0.78	0.82	0.84	0.88	0.94	0.97							
1.5	0.62	0.72	0.75	0.78	0.82	0.87	0.90							
2	0.58	0.67	0.70	0.73	0.77	0.83	0.86	1.00						
3		0.62	0.65	0.68	0.71	0.76	0.79	0.92	0.98					
4		0.60	0.63	0.65	0.68	0.74	0.76	0.88	0.94	0.97	1.00			
5			0.62	0.64	0.67	0.73	0.75	0.86	0.92	0.95	0.97			
8				0.63	0.66	0.71	0.73	0.85	0.90	0.93	0.95	1.00		
10						0.68	0.71	0.80	0.85	0.87	0.88	0.93	0.96	
12							0.70	0.79	0.84	0.86	0.87	0.92	0.95	
15							0.69	0.78	0.83	0.85	0.86	0.9	0.93	

注:表中为材料抗拉强度低于450MPa时的数据。当材料抗拉强度高于450MPa时,其数值按比例增大。

8.2 弯曲件的设计规范(见表 1.1-88 ~ 表 1.1-95)

表 1.1-88 板件最小弯曲圆角半径(为厚度 t 的倍数)

	材料	垂直于轧制纹路	与轧制纹路成 45°	平行轧制纹路
	08, 10, Q195, Q215	0.3	0.5	0.8
	15, 20, Q235-A	0.5	0.8	1.3
	30, 40, Q275	0.8	1.2	1.5
	45, 50, Q295	1.2	1.8	3.0
	25CrMnSi, 30CrMnSi	1.5	2.5	4.0
	软黄铜和铜	0.3	0.45	0.8
	半硬黄铜	0.5	0.75	1.2
	铝	0.35	0.5	1.0
	硬铝合金	1.5	2.5	4.0

注:弯曲角度 α 缩小时,还须乘上系数 K 。当 $90^\circ > \alpha > 60^\circ$ 时, $K = 1.1 \sim 1.3$, 当 $60^\circ > \alpha > 45^\circ$ 时, $K = 1.3 \sim 1.5$ 。

表 1.1-89 弯曲件尾部弯出长度

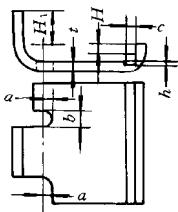
	$H_1 > 2t$ (弯出零件圆角中心以上的长度) $H < 2t$ $b > t$ $a > t$ $c = 3 \sim 6\text{mm}$ $h = (0.1 \sim 0.3)t$ 且 $\geq 3\text{mm}$
---	--

表 1.1-90 扁钢、圆钢弯曲的推荐尺寸 (mm)

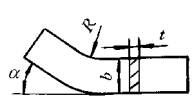
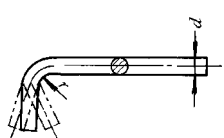
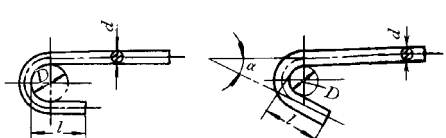
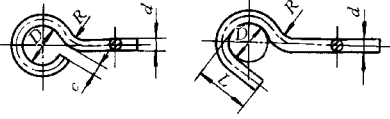
扁 钢 平 面 弯 曲														扁 钢 侧 面 弯 曲															
																													
t	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	t	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20		
R	3			5			8			10			15			20			b	15 ~ 40					40 ~ 70				
$\alpha(^{\circ})$	7, 15, 20, 30, 40, 45, 50, 60, 70, 75, 80, 90													R	30					50									
圆 钢 弯 曲														$\alpha(^{\circ})$	7, 15, 20, 30, 40, 45, 50, 60, 70, 75, 80, 90														
														圆 钢 弯 钩 环															
																													
d	6	8	10	12	14	16	18	20	25	28	30	d																	
r(最小)	4			6			8			10			12			15			6	8 ~ 14		6	5 ~ 8		14 ~ 26				
r(一般)	= d													8	10 ~ 18		6	5 ~ 10		27 ~ 36									
圆 钢 弯 小 钩														10	10 ~ 20		8	5 ~ 10		30 ~ 40									
$\alpha = 45^{\circ}$ 或 75° $l = 3d$														12	12 ~ 24		10	5 ~ 12		36 ~ 48									
D = 2d; 其尺寸最好从下列尺寸系列 (mm) 中选择:														14	12 ~ 28		12	8 ~ 15		40 ~ 56									
8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 28, 32, 36, 40														16	16 ~ 32		16	8 ~ 15		48 ~ 64									
														18	18 ~ 36		20	10 ~ 20		54 ~ 72									
														1. 直径 D 由下列尺寸系列 (mm) 中选择: 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 28, 32, 36mm。															
														2. 半径 R 在 5mm, 8mm, 10mm, 12mm, 15mm, 20mm 各数值选择, 应略等于 $\frac{D}{2}$															

表 1.1-91 型钢最小弯曲半径

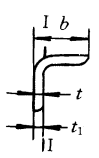
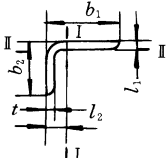
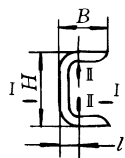
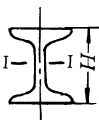
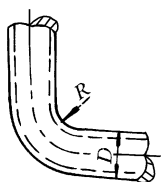
弯曲条件	型 钢					
						
作为弯曲的轴线	I—I	I—I	II—II	I—I	II—II	I—I
轴 线 位 置	$l_1 = 0.95t$	$l_2 = 1.12t$	$l_1 = 0.8t$	—	$l_1 = 1.15t$	—
最小弯曲半径	$R = 5(b - 0.95t)$	$R = 5(b_2 - 1.12t)$	$R = 5(b_1 - 0.8t)$	$R = 2.5H$	$R = 4.5B$	$R = 2.5H$

表 1.1-92 管子最小弯曲半径

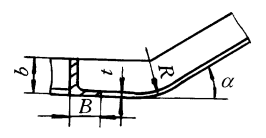
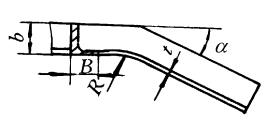
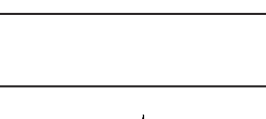
(mm)

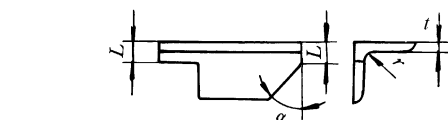


硬聚氯乙烯管			铝 管			纯铜与黄铜管			焊接钢管				无 缝 钢 管					
D	壁厚 t	R	D	壁厚 t	R	D	壁厚 t	R	D	壁厚 t	R		D	壁厚 t	R	D	壁厚 t	R
											热	冷						
12.5	2.25	30	6	1	10	5	1	10	13.5		40	80	6	1	15	45	3.5	90
15	2.25	45	8	1	15	6	1	10	17		50	100	8	1	15	57	3.5	110
25	2	60	10	1	15	7	1	15	21.25	2.75	65	130	10	1.5	20	57	4	150
25	2	80	12	1	20	8	1	15	26.75	2.75	80	160	12	1.5	25	76	4	180
32	3	110	14	1	20	10	1	15	33.5	3.25	100	200	14	1.5	30	89	4	220
40	3.5	150	16	1.5	30	12	1	20	42.25	3.25	130	250	14	3	18	108	4	270
51	4	180	20	1.5	30	14	1	20	48	3.5	150	290	16	1.5	30	133	4	340
65	4.5	240	25	1.5	50	15	1	30	60	3.5	180	360	18	1.5	40	159	4.5	450
76	5	330	30	1.5	60	16	1.5	30	75.5	3.75	225	450	18	3	28	159	6	420
90	6	400	40	1.5	80	18	1.5	30	88.5	4	265	530	20	1.5	40	194	6	500
114	7	500	50	2	100	20	1.5	30	114	4	340	680	22	3	50	219	6	500
140	8	600	60	2	125	24	1.5	40					25	3	50	245	6	600
166	8	800				25	1.5	40					32	3	60	273	8	700
						28	1.5	50					32	3.5	60	325	8	800
						35	1.5	60					38	3	80	371	10	900
						45	1.5	80					38	3.5	70	426	10	1000
						55	2	100					44.5	3	100			

表 1.1-93 角钢弯曲半径推荐值 (mm)

表 1.1-94 角钢截切角推荐值

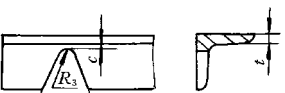
简 图	弯曲角 $\alpha(^{\circ})$		
	7 ~ 30	40 ~ 60	70 ~ 90
			
	R = 150	R = 100	R = 50
	R = 50	R = 30	R = 15



截切角 $\alpha(^{\circ})$	15	30	45	60	75	90
L	$\geq t + r$					

表 1.1-95 角钢破口弯曲 c 值

(mm)

	截切角 $\alpha(^{\circ})$	角 钢 厚 度 t									
		3	4	5	6	7	8	9	10	12	
	< 30	6	9	11	15	16	17	18	19	21	
	> 30 ~ 60	6	7	8	11	12	14	15	16	18	
	> 60 ~ 90	5	6	7	9	10	11	12	13	15	
	> 90	4	5	6	7	8	9	10	11	13	

截切角 $\alpha = 180^{\circ} - \psi$

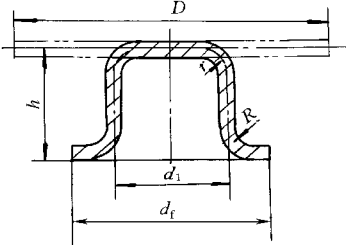
8.3 拉延伸件的设计规范(见表 1.1-96 ~ 表 1.1-99)

表 1.1-96 箱形零件的圆角半径、法兰边宽度和工件高度

The image shows two views of a box-shaped part. The top view is a side elevation showing the length \$l\$, height \$H\$, flange height \$h\$, and fillet radii \$R_1\$ and \$R_2\$. The bottom view is a top-down plan view showing the flange width \$B\$, inner width \$b\$, and corner radius \$R_0\$.

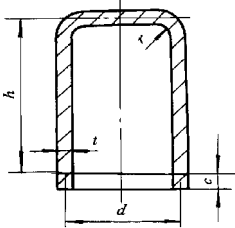
		材 料	圆角半径	材 料 厚 度 t/mm				
				<0.5	>0.5 ~ 3	>3 ~ 5		
$R_1、R_2$		软 钢	R_1 R_2	(5 ~ 7) t (5 ~ 10) t	(3 ~ 4) t (4 ~ 6) t	(2 ~ 3) t (2 ~ 4) t		
		黄 铜	R_1 R_2	(3 ~ 5) t (5 ~ 7) t	(2 ~ 3) t (3 ~ 5) t	(1.5 ~ 2.0) t (2 ~ 4) t		
$\frac{H}{R_0}$ 当 $R_0 > 0.14B$ $R_1 \geq 1$		材 料		比 值				
		酸 洗 钢		4.0 ~ 4.5	当 $\frac{H}{R_0}$ 需大于左列数值时, 则应采用多次拉深工序			
		冷拉钢、铝、黄铜、铜		5.5 ~ 6.5				
B		$\leq R_2 + (3 \sim 5) t$						
R_3		$\geq R_0 + B$						

表 1.1-97 有凸缘筒形件第一次拉延的许可相对高度 $\frac{h_1}{d_1}$

	凸缘相对直径 $\frac{d_1}{d_1}$	坯料相对厚度 $\frac{t}{D} \times 100$				
		>0.06 ~ 0.2	>0.2 ~ 0.5	>0.5 ~ 1	>1 ~ 1.5	>1.5
	≤ 1.1	0.45 ~ 0.52	0.50 ~ 0.62	0.57 ~ 0.70	0.60 ~ 0.82	0.75 ~ 0.90
	> 1.1 ~ 1.3	0.40 ~ 0.47	0.45 ~ 0.53	0.50 ~ 0.60	0.56 ~ 0.72	0.65 ~ 0.80
	> 1.3 ~ 1.5	0.35 ~ 0.42	0.40 ~ 0.48	0.45 ~ 0.53	0.50 ~ 0.63	0.58 ~ 0.70
	> 1.5 ~ 1.8	0.29 ~ 0.35	0.34 ~ 0.39	0.37 ~ 0.44	0.42 ~ 0.53	0.48 ~ 0.58
	> 1.8 ~ 2	0.25 ~ 0.30	0.29 ~ 0.34	0.32 ~ 0.38	0.36 ~ 0.46	0.42 ~ 0.51
	> 2 ~ 2.2	0.22 ~ 0.26	0.25 ~ 0.29	0.27 ~ 0.33	0.31 ~ 0.40	0.35 ~ 0.45
	> 2.2 ~ 2.5	0.17 ~ 0.21	0.20 ~ 0.23	0.22 ~ 0.27	0.25 ~ 0.32	0.28 ~ 0.35
	> 2.5 ~ 2.8	0.13 ~ 0.16	0.15 ~ 0.18	0.17 ~ 0.21	0.19 ~ 0.24	0.22 ~ 0.27

注:材料为钢 08、10。

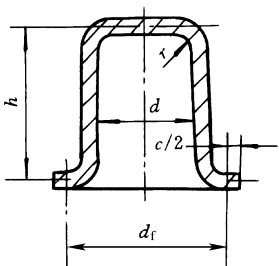
表 1.1-98 无凸缘筒形件的许可相对高度 h/d

	拉延次数	坯料相对厚度 $\frac{t}{D} \times 100$				
		0.1 ~ 0.3	0.3 ~ 0.6	0.6 ~ 1.0	1.0 ~ 1.5	1.5 ~ 2.0
	1	0.45 ~ 0.52	0.5 ~ 0.62	0.57 ~ 0.70	0.65 ~ 0.84	0.77 ~ 0.94
	2	0.83 ~ 0.96	0.94 ~ 1.13	1.1 ~ 1.36	1.32 ~ 1.6	1.54 ~ 1.88
	3	1.3 ~ 1.6	1.5 ~ 1.9	1.8 ~ 2.3	2.2 ~ 2.8	2.7 ~ 3.5
	4	2.0 ~ 2.4	2.4 ~ 2.9	2.9 ~ 3.6	3.5 ~ 4.3	4.3 ~ 5.6
	5	2.7 ~ 3.3	3.3 ~ 4.1	4.1 ~ 5.2	5.1 ~ 6.6	6.6 ~ 8.9

注:1. 适用钢 08、10。

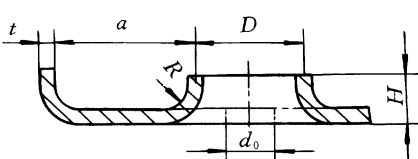
2. 表中的大的数值,适用于第一次拉延中有大的圆角半径($r = 8t \sim 15t$),小的数值适用于小的圆角半径($r = 4t \sim 8t$)。

表 1.1-99 有凸缘拉伸件的修边余量 $c/2$ (mm)

简 图	凸缘直径 d_f	凸缘的相对直径 $\frac{d_f}{d}$			
		≤ 1.5	$> 1.5 \sim 2$	$> 2 \sim 2.5$	> 2.5
	≤ 25	1.8	1.6	1.4	1.2
	25 ~ 50	2.5	2	1.8	1.6
	50 ~ 100	3.5	3	2.5	2.2
	100 ~ 150	4.3	3.6	3	2.5
	150 ~ 200	5	4.2	3.5	2.7
	200 ~ 250	5.5	4.6	3.8	2.8
	> 250	6	5	4	3

8.4 成型件的设计规范(见表 1.1-100 ~ 表 1.1-107)

表 1.1-100 内孔一次翻边的参考尺寸

	翻边直径 (中径) D	由 结 构 给 定
	翻边圆角半径 R	$R \geq 1 + 1.5t$
	翻边系数 K	软钢 $K \geq 0.70$ 黄铜 $H62(t = 0.5 \sim 6) K \geq 0.68$ 铝 $(t = 0.5 \sim 5) K \geq 0.70$
	翻边高度 H	$H = \frac{D}{2}(1 - K) + 0.43R + 0.72t$
	翻边孔至外缘的距离 a	$a > (7 \sim 8)t$

- 注:1. 翻边系数 $K = d_0/D$ 。
2. 若翻边高度较高,一次翻边不能满足要求时,可采用拉深、翻边复合工艺。
3. 翻边后孔壁减薄,如变薄量有特殊要求,应予注明。

表 1.1-101 缩口时直径缩小的合理比例

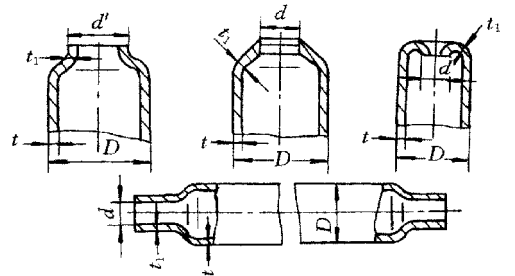
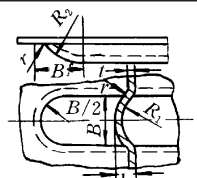
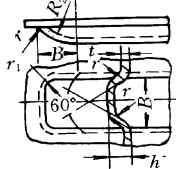
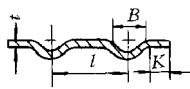
	$\frac{D}{t} \leq 10$ 时, $d \geq 0.7D$
	$\frac{D}{t} > 10$ 时, $d = (1 - k)D$ 钢制件: $k = 0.1 \sim 0.15$ 铝制件: $k = 0.15 \sim 0.2$
	箍压部分壁厚将增加 $t_1 = t \sqrt{\frac{D}{d}}$

表 1.1-102 加固肋的形状、尺寸及适宜间距

半 圆 形 肋		尺 寸	h	B	r	R_1	R_2
		最小允许尺寸	$2r$	$7t$	t	$3t$	$5t$
		一般尺寸	$3t$	$10t$	$2t$	$4t$	$6t$

(续)

梯形肋		尺寸	h	B	r	r_1	R_2
		最小允许尺寸	$2t$	$20t$	t	$4t$	$24t$
		一般尺寸	$3t$	$30t$	$2t$	$5t$	$32t$
加固肋之间及加固肋与边缘之间的适宜距离		$l \geq 3B$ $K \geq (3 \sim 5)t$					

注： t 为钢板厚度。

表 1.1-103 角部加强肋

(mm)

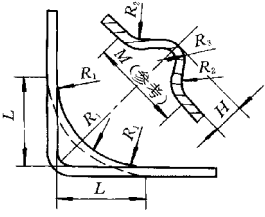
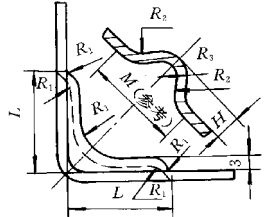
		L	类型	R_1	R_2	R_3	H	M (参考)	肋间距
		12.5	A	6	9	5	3	18	65
		20	A	8	16	7	5	29	75
		30	B	9	22	8	7	38	90

表 1.1-104 加强窝的间距及其至外缘的距离

(mm)

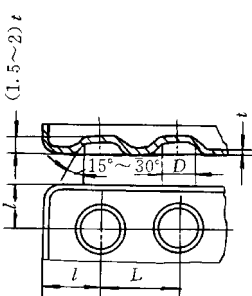
	D	L	l
	6.5	10	6
	8.5	13	7.5
	10.5	15	9
	13	18	11
	15	22	13
	18	26	16
	24	34	20
	31	44	26
	36	51	30
	43	60	35
	48	68	40
	55	78	45

表 1.1-105 冲出凸部的高度

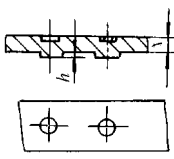
	$h = (0.25 \sim 0.35)t$ 超出这个范围， 凸部容易脱落
---	--

表 1.1-106 最小卷边直径

(mm)

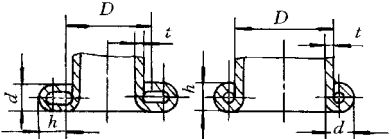
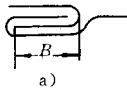
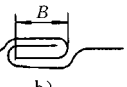
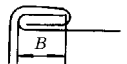
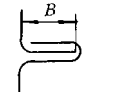
	工件直径	材 料 厚 度 t				
	D	0.3	0.5	0.8	1.0	2.0
	≤ 50	2.5	3.0	—	—	—
	$> 50 \sim 100$	3.0	4.0	5.0	—	—
	$> 100 \sim 200$	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
	> 200	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0

表 1. 1-107 铁皮咬口类型、用途和余量

咬 口 类 型		用	途						
1 型 光面咬口		圆柱形、圆锥形和长方形管子连接时,采用 1 型咬口,咬口需附着在平面上或需 要有气密性时使用光面咬口,需要咬口具有强度时才使用普通咬口。连接长度不 同时,尺寸 B 可根据长的零件选择,但两个零件的尺寸 B 应相同							
普通咬口									
2 型 折角咬口		折角咬口(2 型)在制造折角联合肘管时使用							
3 型 过渡咬口		过渡咬口(3 型)在连接接管、肘管和从圆过渡到另一些截面时,用作各种过渡 连接							
钢板的强度/MPa		30 ~ 40		45 ~ 60		65 ~ 80		90 ~ 100	
零件极限尺寸 /mm	直径或方形边 D	≤ 200	> 200	≤ 600	> 600	> 600	在一切情况下		
	长 度 L	≤ 200	> 200	≤ 800	> 800	> 800	在一切情况下		
接头长度 B /mm		5	7	7	10	10	14		
咬口裕量 $3B$ /mm		15	21	21	30	30	42		

9 塑料件的设计规范

9.1 壁厚、高度和最小壁厚(见表 1. 1-108)

表 1. 1-108 壁厚、高度和最小壁厚 (mm)

壁厚(建议尺寸)					壁厚(建议尺寸)				
塑料类型	最低限值	小型制件	一般制件	大型制件	塑料类型	最低限值	小型制件	一般制件	大型制件
聚苯乙烯	0.75	1.25	1.6	3.2 ~ 5.4	聚碳酸酯	0.95	1.8	2.3	3 ~ 4.5
有机玻璃(372)	0.8	1.5	2.2	4 ~ 6.5	尼龙	0.45	0.75	1.6	2.4 ~ 3.2
聚乙烯	0.8	1.25	1.6	2.4 ~ 3.2	聚苯醚	1.2	1.75	2.5	3.5 ~ 6.4
聚氯乙烯(硬)	1.15	1.6	1.8	3.2 ~ 5.8	氯化聚醚(酚通)	0.85	1.35	1.8	2.5 ~ 3.4
聚氯乙烯(软)	0.85	1.25	1.5	2.4 ~ 3.2	高度和最小壁厚				
聚丙烯	0.85	1.45	1.75	2.4 ~ 3.2	制件高度	< 50	> 50 ~ 100	> 100 ~ 200	
聚甲醛	0.8	1.4	1.6	3.2 ~ 5.4	最小壁厚	1.5	1.5 ~ 2	2 ~ 2.5	

9.2 脱模斜度、圆角及加强肋的尺寸(见表 1. 1-109 ~ 表 1. 1-111)

表 1. 1-109 脱模斜度

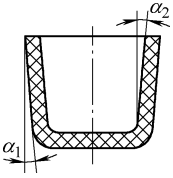
	材料名称	型腔 α_1	型芯 α_2	材料名称	型腔 α_1	型芯 α_2
	聚酰胺(普通)	20' ~ 40'	25' ~ 40'	聚碳酸酯	35' ~ 1°	30' ~ 50'
	聚酰胺(增强)	20' ~ 50'	20' ~ 40'	聚苯乙烯	35' ~ 1°30'	30' ~ 1°
	聚乙烯	25' ~ 45'	20' ~ 45'	有机玻璃	35' ~ 1°30'	30' ~ 1°
	聚甲醛	35' ~ 1°30'	30' ~ 1°	ABS 塑料	40' ~ 1°20'	30' ~ 1°
	聚氯醚	25' ~ 45'	20' ~ 45'			

表 1.1-110 圆角尺寸

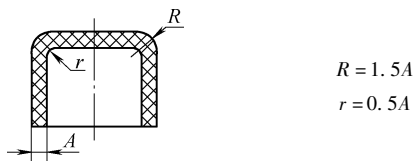


表 1.1-111 加强肋的尺寸

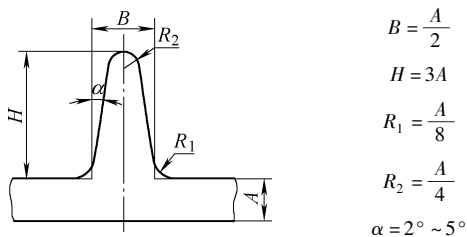


表 1.1-112 孔深 $h \leq 2d$ 情况下的孔最小直径
(mm)

材料	$d_{\min}$
聚酰胺	0.5
其他	0.8
玻璃纤维	1.0
塑压料	1.5
纤维塑料	2.5
酚醛塑料	4.0

表 1.1-113 塑料制件上孔眼尺寸的关系
(mm)

孔径 D	最小 壁厚 B	相邻孔间 最小间隔 宽度 C	最大孔深 $H:D$
1.5	1.5	1.5	从 2:1 到 15:1
3.0	2.3	2.2	
4.5	3.0	3.0	
6.5	3.0	4.0	
9.5	4.0	4.5	
12.5	5.0	5.5	

9.3 孔的最小直径、孔深及孔的尺寸关系 (见
表 1.1-112 ~ 表 1.1-114)

表 1.1-114 孔的尺寸关系 (最小值) (mm)

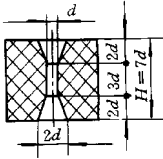
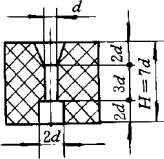
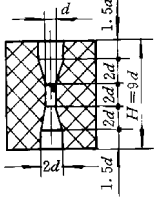
 当 $b_2 \geq 0.3\text{mm}$ 时, 采用 $h_2 \leq 3b_2$	孔 径 d	孔深与孔径比 h/d		边 距 尺 寸		不通孔的最 小厚度 h_1
		制件边孔	制件中孔	b_1	b_2	
	≤ 2	2.0	3.0	0.5	1.0	1.0
	$> 2 \sim 3$	2.3	3.5	0.8	1.25	1.0
	$> 3 \sim 4$	2.5	3.8	0.8	1.5	1.2
	$> 4 \sim 6$	3.0	4.8	1.0	2.0	1.5
	$> 6 \sim 8$	3.4	5.0	1.2	2.3	2.0
	$> 8 \sim 10$	3.8	5.5	1.5	2.8	2.5
	$> 10 \sim 14$	4.6	6.5	2.2	3.8	3.0
	$> 14 \sim 18$	5.0	7.0	2.5	4.0	3.0
	$> 18 \sim 30$	—	—	4.0	4.0	4.0
	> 30	—	—	5.0	5.0	5.0

9.4 用成型型芯制出通孔的孔深和孔径 (见表 1.1-115)

表 1.1-115 用成型型芯制出通孔的孔深和孔径

凸模形式	圆锥形阶段	圆柱形阶段	圆柱圆锥形阶段
单边凸模			

(续)

凸模形式	圆锥形阶段	圆柱形阶段	圆柱圆锥形阶段
双边凸模			

9.5 螺纹孔的尺寸关系与螺纹成型部分退刀尺寸(见表 1.1-116、表 1.1-117)

表 1.1-116 螺纹孔的尺寸关系(最小值)

(mm)

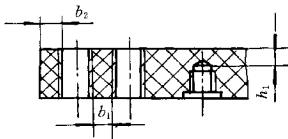
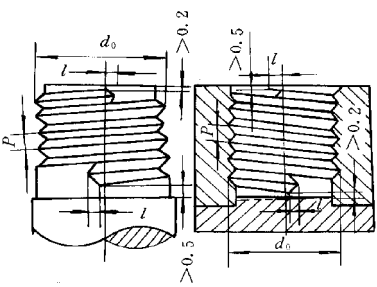
	螺纹直径	边 距 尺 寸		不通螺纹孔最小底厚
		b_1	b_2	h_1
	≤ 3	1.3	2.0	2.0
	$> 3 \sim 6$	2.0	2.5	3.0
	$> 6 \sim 10$	2.5	3.0	3.8
	> 10	3.8	4.3	5.0

表 1.1-117 螺纹成型部分的退刀尺寸

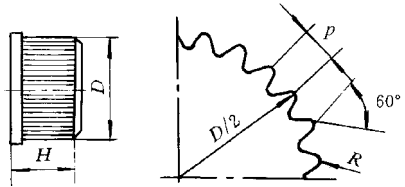
(mm)

	螺纹直径 d_0	螺 距 P		
		< 0.5	$> 0.5 \sim 1$	> 1
		退 刀 尺 寸 l		
	≤ 10	1	2	3
	$> 10 \sim 20$	2	2	4
	$> 20 \sim 34$	2	4	6
	$> 34 \sim 52$	3	6	8
	> 52	3	8	10

9.6 滚花的推荐尺寸(见表 1.1-118)

表 1.1-118 滚花的推荐尺寸

(mm)

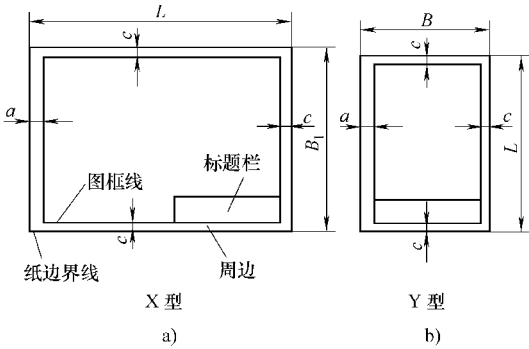
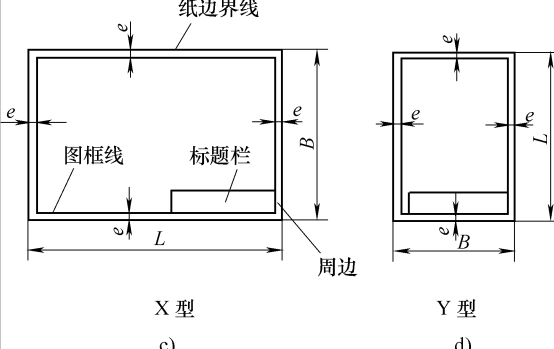
	制件直径 D	滚花的距离		$\frac{D}{H}$
		齿距 p	半径 R	
	≤ 18	1.2 ~ 1.5	0.2 ~ 0.3	1
	$> 18 \sim 50$	1.5 ~ 2.5	0.3 ~ 0.5	1.2
	$> 50 \sim 80$	2.5 ~ 3.5	0.5 ~ 0.7	1.5
	$> 80 \sim 120$	3.5 ~ 4.5	0.7 ~ 1	1.5

第2章 机械制图

1 国家标准《技术制图》与《机械制图》的基本规定

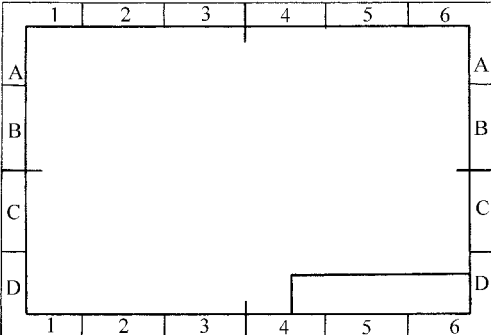
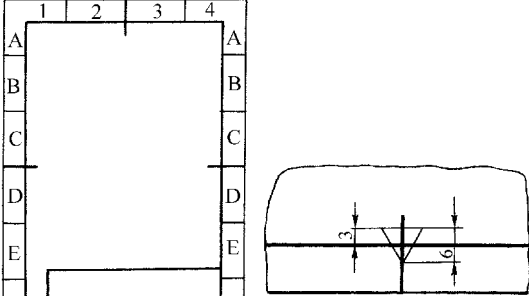
1.1 图纸幅面和格式(见表 1.2-1 和表 1.2-2)

表 1.2-1 图纸幅面和格式(摘自 GB/T 14689—2008) (mm)

留装订边的图样					不留装订边的图样					
										
X 型 a)					X 型 c)					
Y 型 b)					Y 型 d)					
基本幅面(第一选择)					必要时,允许选用的加长幅面					
					第二选择		第三选择			
幅面代号	尺寸 $B \times L$	a	c	e	幅面代号	尺寸 $B \times L$	幅面代号	尺寸 $B \times L$	幅面代号	尺寸 $B \times L$
A0	841 $\times$ 1189	25	10	20	A3 $\times$ 3	420 $\times$ 891	A0 $\times$ 2	1189 $\times$ 1682	A3 $\times$ 5	420 $\times$ 1486
A1	594 $\times$ 841				A3 $\times$ 4	420 $\times$ 1189	A0 $\times$ 3	1189 $\times$ 2523	A3 $\times$ 6	420 $\times$ 1783
A2	420 $\times$ 594				A4 $\times$ 3	297 $\times$ 630	A1 $\times$ 3	841 $\times$ 1783	A3 $\times$ 7	420 $\times$ 2080
A3	297 $\times$ 420	5	10	10	A4 $\times$ 4	297 $\times$ 841	A1 $\times$ 4	841 $\times$ 2378	A4 $\times$ 6	297 $\times$ 1261
A4	210 $\times$ 297				A4 $\times$ 5	297 $\times$ 1051	A2 $\times$ 3	594 $\times$ 1261	A4 $\times$ 7	297 $\times$ 1471
							A2 $\times$ 4	594 $\times$ 1682	A4 $\times$ 8	297 $\times$ 1682
							A2 $\times$ 5	594 $\times$ 2102	A4 $\times$ 9	297 $\times$ 1892

- 注: 1. 加长幅面是由基本幅面的短边成整数倍增加后得出。
2. 加长幅面的图框尺寸,按所选用的基本幅面大一号的图框尺寸确定。例如 A2 × 3 的图框尺寸,按 A1 的图框尺寸确定,即 e 为 20(或 c 为 10);对 A3 × 4 则按 A2 的图框尺寸确定,即 e 为 10(或 c 为 10)。
3. 标题栏的长边置于水平方向并与图纸的长边平行时,则构成 X 型图纸,如图 a,图 c 所示。若标题栏的长边与图纸的长边垂直时,则构成 Y 型图纸,如图 b、图 d 所示。在此情况下,看图的方向与看标题栏的方向一致。

表 1.2-2 图幅分区和对中符号(摘自 GB/T 14689—2008)

需要 分区及 采用对 中符号 的图幅	对较大幅面的图纸或较复杂的图样,需指明某部分需修改时,应用分区代号说明 图幅分区  对中符号和方向符号 	
	1. 必要时,可用细实线在图纸周边内画出分区线 2. 图幅分区数目按图样的复杂程度确定,但必须取偶数。每一分区的长度应在 25 ~ 75mm 之间选择 3. 分区的编号,沿上下方向(按看图方向确定图纸的上下和左右)用大写拉丁字母从上到下顺序编写;沿水平方向用阿拉伯数字从左到右顺序编写 4. 分区代号由拉丁字母和阿拉伯数字组合而成,字母在前,数字在后并排书写,如 B3、C3 等。当分区代号与图形名称同时标注时,则分区代号写在图形名称的后边,中间空出一个字母的宽度,例如 A B3; $\frac{A}{2:1}$ C3; E - E A7 等	
图幅 分区的 规定		
对中 符号和 方向符 号	1. 为了图样复制和缩微时准确定位,应在图纸各边长度的中点处分别画出对中符号 2. 对中符号用粗实线绘制,线宽不小于 0.5mm,长度从纸边界开始至伸入图框内约 5mm,当对中符号处在标题栏范围内时,则伸入标题栏部分省略不画 3. 为了明确绘图和看图的方向,应画出方向符号,方向符号是细实线等边三角形,高 6mm,对称分布于对中符号两侧	

1.2 标题栏和明细栏(见图 1.2-1 和图 1.2-2)

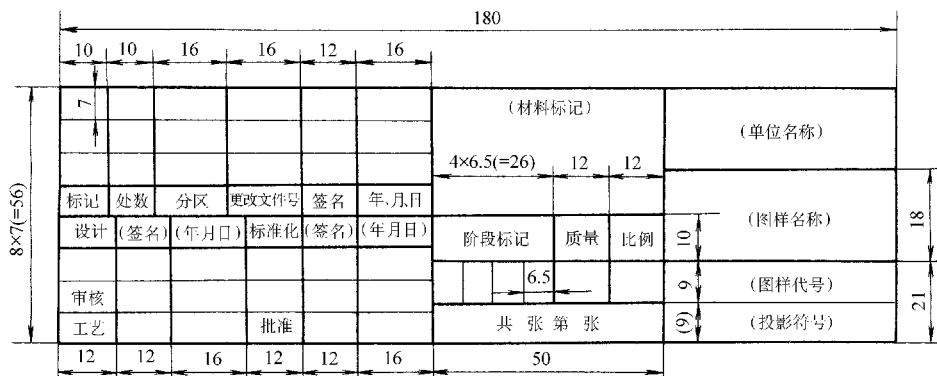


图 1.2-1 标题栏格式和尺寸(摘自 GB/T 10609.1—2008)

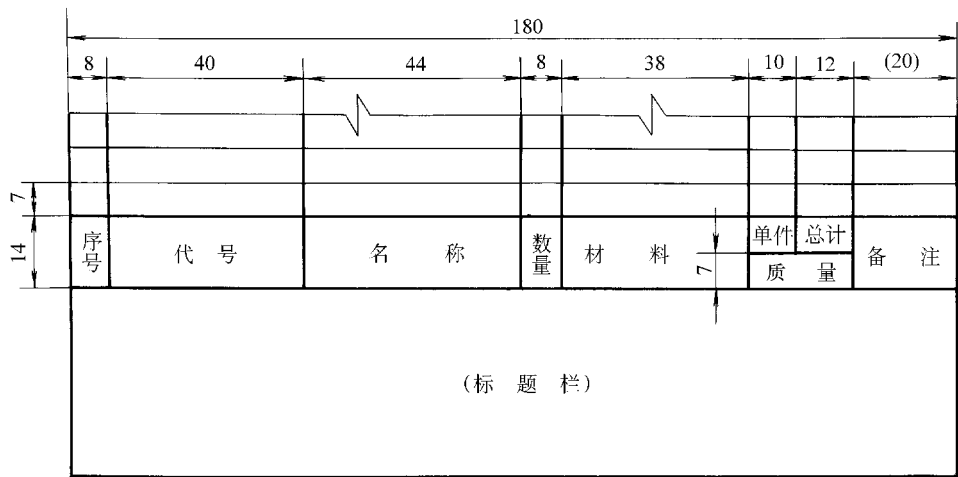


图 1.2-2 明细栏格式和尺寸(摘自 GB/T 10609.2—2009)

1.3 绘图比例

优先选用和允许选用的比例见表 1.2-3。

表 1.2-3 绘图比例系列(摘自 GB/T 14690—1993)

种类	比例(优先选用)			必要时,允许选取的比例				
原值比例	1:1							
缩小比例	1:2	1:5	1:10	1:1.5	1:2.5	1:3	1:4	1:6
	$1:2 \times 10^n$	$1:5 \times 10^n$	$1:1 \times 10^n$	$1:1.5 \times 10^n$	$1:2.5 \times 10^n$	$1:3 \times 10^n$	$1:4 \times 10^n$	$1:6 \times 10^n$
放大比例	5:1	2:1		4:1	2.5:1			
	$5 \times 10^n:1$	$2 \times 10^n:1$	$1 \times 10^n:1$	$4 \times 10^n:1$	$2.5 \times 10^n:1$			

注: n 为正整数。

绘制同一机件的各个视图应采用相同的比例,并统一在标题栏中注明。当某个视图采用不同的比例时,必须另行标注,如图 1.2-3。

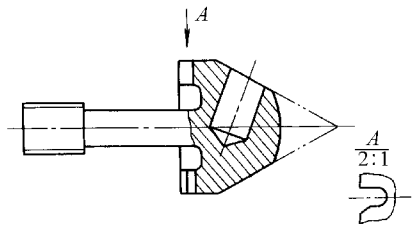


图 1.2-3 不同比例视图的标注

1.4 图线(见表 1.2-4)

表 1.2-4 线型及应用(摘自 GB/T 4457.4—2002)

代码 No	线型	一般应用
01.1	细实线	1. 过渡线
		2. 尺寸线
		3. 尺寸界线
		4. 指引线和基准线
		5. 剖面线
		6. 重合断面的轮廓线
		7. 短中心线
		8. 螺纹牙底线
		9. 尺寸线的起止线
		10. 表示平面的对角线
		11. 零件成形前的弯折线
		12. 范围线及分界线
		13. 重复要素表示线,例如齿轮的齿根线
		14. 锥形结构的基面位置线
		15. 叠片结构位置线,例如变压器叠钢片

(续)

代码 No	线型	一般应用
01.1	细实线	16. 辅助线
		17. 不连续同一表面连线
		18. 成规律分布的相同要素连线
		19. 投射线
	波浪线	20. 网格线
		21. 断裂处边界线;视图和剖视图的分界线 ^①
01.2	粗实线	22. 断裂处边界线;视图和剖视图的分界线 ^①
		1. 可见棱边线
		2. 可见轮廓线
		3. 相贯线
		4. 螺纹牙顶线
		5. 螺纹长度终止线
		6. 齿顶圆(线)
		7. 表格图、流程图中的主要表示线
		8. 系统结构线(金属结构工程)
		9. 模样分型线
02.1	细虚线	10. 剖切符号用线
		1. 不可见棱边线
		2. 不可见轮廓线

(续)

代码 No	线型	一般应用
02.2	粗虚线	允许表面处理的表示线,例如:热处理
04.1	细点画线	1. 轴线
		2. 对称中心线
		3. 分度圆(线)
		4. 孔系分布的中心线
04.2	粗点画线	5. 剖切线
		限定范围表示线
05.1	细双点画线	1. 相邻辅助零件的轮廓线
		2. 可动零件的极限位置的轮廓线
		3. 重心线
		4. 成形前轮廓线
		5. 剖切面前的结构轮廓线
		6. 轨迹线
		7. 毛坯图中制成品的轮廓线
		8. 特定区域线
		9. 延伸公差带表示线
		10. 工艺用结构的轮廓线
		11. 中断线

注:在机械图样中采用粗细两种线宽,它们之间的比例为 2:1。应根据图样的类型、尺寸、比例和缩微复制的要求确定。

① 在一张图样上一般采用一种线型,即采用波浪线或双折线。

各种线型的应用示例及画法参见图 1.2-4。

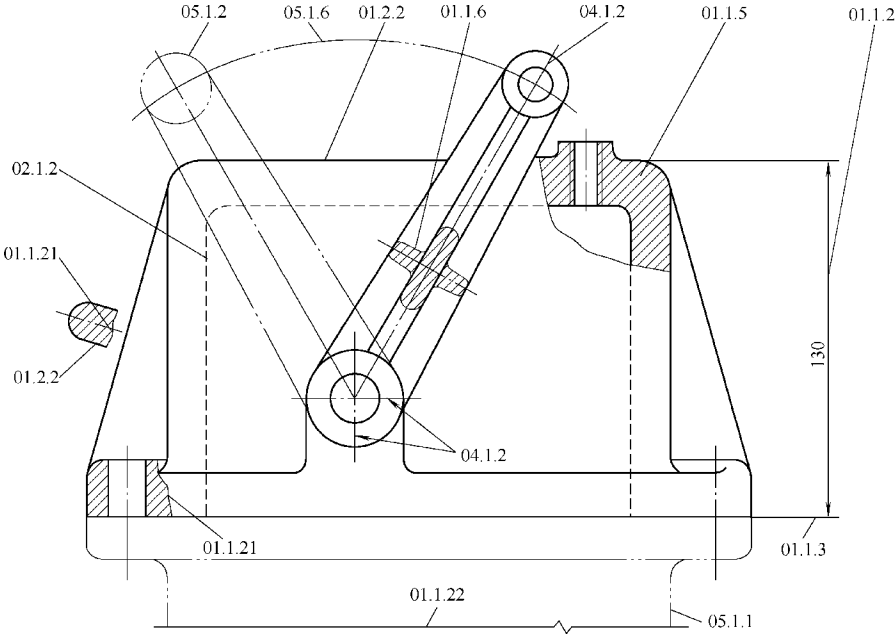


图 1.2-4 各种线型的应用示例及画法

1.5 剖面符号(见表 1.2-5)

表 1.2-5 剖面线符号及画法(摘自 GB/T 4457.5—1984)

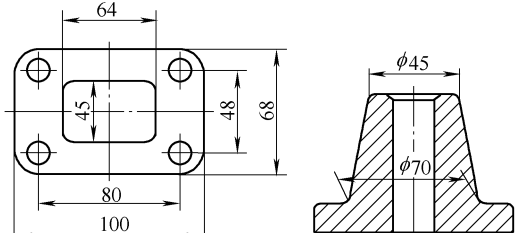
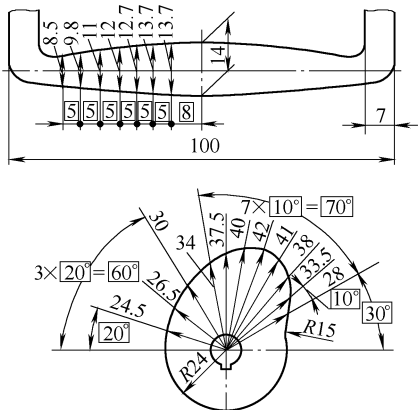
金属材料(已有规定剖面符号者除外)		木质胶合板(不分层数)		玻璃及供观察用的其他透明材料		
线圈绕组元件		基础周围的泥土		木材	纵断面	
转子、电枢、变压器和电抗器等的叠钢片		混凝土			横断面	
非金属材料(已有规定剖面符号者除外)		钢筋混凝土		格网(筛网、过滤网等)		
型砂、填砂、粉末冶金、砂轮、陶瓷刀片、硬质合金刀片等		砖		液体		

2 尺寸注法

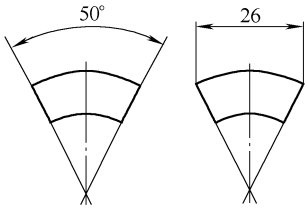
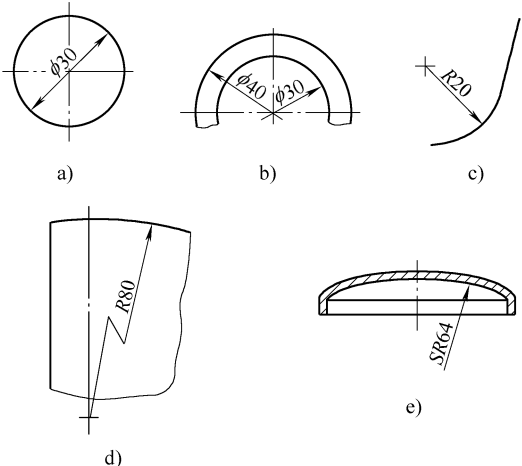
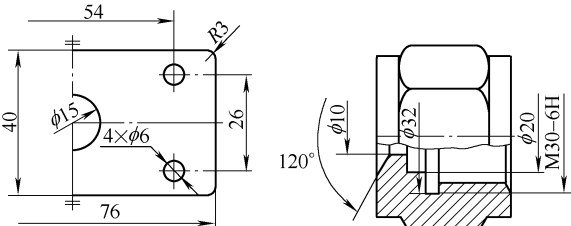
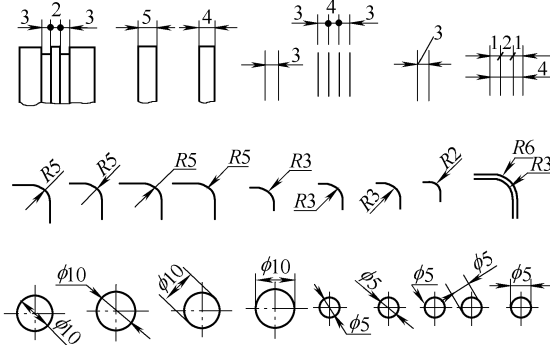
一个完整的尺寸,一般应由尺寸界线、尺寸线和尺寸数字组成,通常称为尺寸的三要素。尺寸界线、尺寸线、尺寸数字的规定见表 1.2-6。

2.1 尺寸标注的基本规定

表 1.2-6 尺寸界线、尺寸线、尺寸数字的规定(摘自 GB/T 4458.4—2003)

尺寸界线一般规定	 Figure 1 illustrates the general rules for dimension lines. It shows two examples: a rectangular plate with a central hole and four corner holes, and a stepped cylindrical part. Dimension lines are drawn parallel to the features being measured.	尺寸界线用细实线绘制, 并应由图形的轮廓线、轴线或对称中心线处引出。也可利用轮廓线、轴线或对称中心线作尺寸界线 尺寸界线一般应与尺寸线垂直, 必要时允许倾斜。在光滑过渡处标注尺寸时, 应用细实线将轮廓线延长, 从它们的交点处引出尺寸界线
尺寸界线 曲线轮廓注法	 Figure 2 illustrates dimensioning methods for curved profiles. The top part shows a curved profile with dimension lines and arrows pointing to specific points. The bottom part shows a circular profile with dimension lines and angles indicating the location of points.	当表示曲线轮廓上各点坐标时可将尺寸线或它的延长线作尺寸界线, 若被测点无法确定, 则应将该尺寸加方框定为理论正确尺寸

(续)

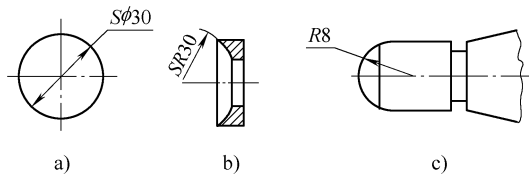
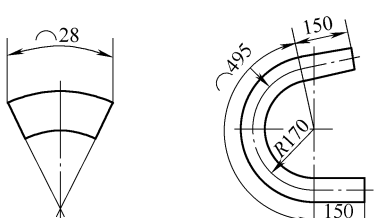
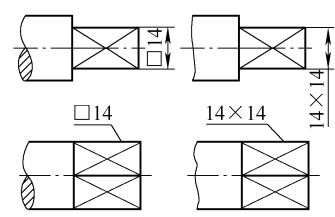
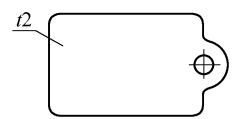
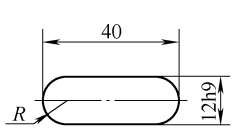
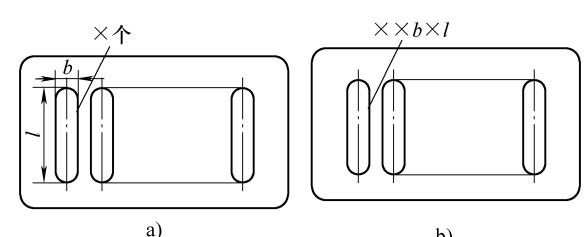
尺寸界线 角度、弦长注法		标注角度的尺寸界线应沿径向引出,标注弦长的尺寸界线应平行于该弦的垂直平分线
直径、半径的注法		标注直径时,应在尺寸数字前加注符号“ϕ”(图 a、b),标注半径时,应在尺寸数字前加注符号“R”(图 c) 圆的直径和圆弧半径尺寸线的终端应画箭头,并按图 a、b、c、d、e 所示方式标注 当圆弧的半径过大或在图纸范围内无法标出其圆心位置时,可按图 d 的形式标注。若不需要标出其圆心位置时,可按图 e 的形式标注
对称机件的尺寸线注法		当对称机件的图形只画一半或略大于一半时,尺寸线应略超过对称中心线或断裂处的边界线,此时仅在尺寸线一端画出箭头
小尺寸的注法		在没有足够的位置画箭头或注写尺寸数字时,可按图示的形式标注,此时,允许用圆点或斜线代替箭头

(续)

尺寸线及其终端		尺寸线用细实线绘制。尺寸线不能用其他图线代替,一般也不得和其他图线重合或画在其延长线上 标注线性尺寸时,尺寸线必须与所标注的线段平行 尺寸线的终端有箭头和斜线两种形式,当尺寸线终端采用斜线形式,尺寸线与尺寸界线必须相互垂直。同一张图样上只能采用一种尺寸终端形式
线性尺寸数字的注写位置及方向		线性尺寸的数字一般应注写在尺寸线的上方,也允许注写在尺寸线中断处(图 a) 线性尺寸的数字方向一般应采用图 b 所示方法注写,并尽可能避免在 30° 范围内标注尺寸。当无法避免在 30° 范围内标注尺寸时,可按图 c 的形式标注 在不引起误解时,对非水平方向尺寸,其数字也可水平地注写在尺寸线中断处(图 d) 在一张图样上应尽可能采用同一种方法注写尺寸
角度数字		角度的尺寸数字一律写成水平方向,一般注写在尺寸线的中断处,必要时注写在尺寸线的上方或引出标注
尺寸数字不可被图线通过		尺寸数字不可被任何图线所通过,否则应将图线断开

2.2 尺寸标注的常用符号和常用结构的注法(见表 1.2-7、表 1.2-8)

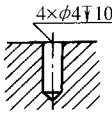
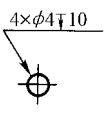
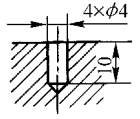
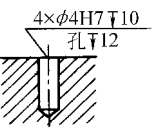
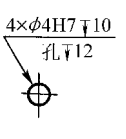
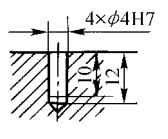
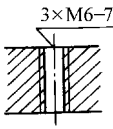
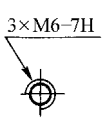
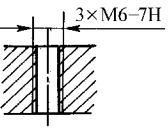
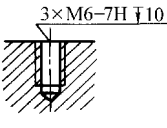
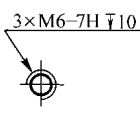
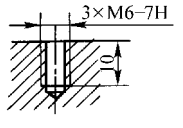
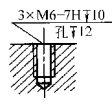
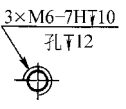
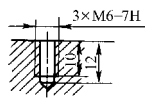
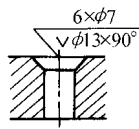
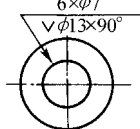
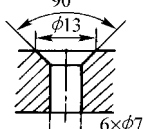
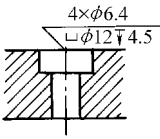
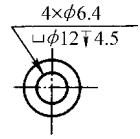
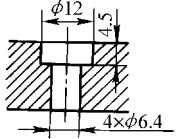
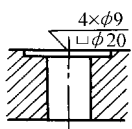
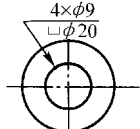
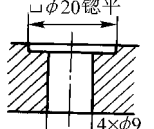
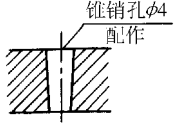
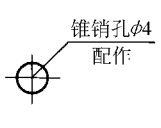
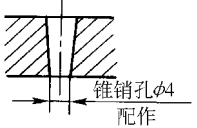
表 1.2-7 常用符号和常用结构注法示例(摘自 GB/T 4458.4—2003)

类别	图 例	说 明
球面尺寸 注法	 a) b) c)	标注球面直径或半径时,应在符号“ϕ”或“R”前加注符号“S”(图 a、b) 对于螺杆、铆钉的头部、轴的端部等,在不引起误解的情况下,可以省略符号“S”(图 c)
弧长注法		标注弧长,应在尺寸数字左方加注符号“$\frown$”
正方形结 构尺寸 注法		标注剖面为正方形结构的尺寸时,可在正方形边长尺寸数字前加注符号“$\square$”或用“$B \times B$”表示,B为正方形的边长
板状零件 厚度注法		标注板状零件的厚度时,可在尺寸数字前加注符号“t”
半径尺寸 有特殊要 求注法		当需要指明半径尺寸由其他尺寸所确定时,应用尺寸线和符号“R”标出,但不要注尺寸数字
重复要素 尺寸注法	 a) b)	在同一图形中,对于尺寸相同的孔、槽等重复要素,可仅在一个要素上注出其尺寸和数量(图 a、b)

(续)

类别	图 例	说 明
均布重复要素的注法	c) d)	均匀分布的重复要素(如孔等)的尺寸,按图 c 所示方法标注;当重复要素的定位和分布情况在图形中已明确时,可不标注其定位角度,并省略“EQS”字样(图 d)
倒角注法	45°倒角的标注形式 非 45°倒角的标注形式	
斜度、锥度标注方法	斜度标注示例 (斜度符号的方向应与倾斜方向一致)	锥度标注示例
退刀槽注法	按“槽宽×直径”的形式标注	按“槽宽×槽深”的形式标注

表 1.2-8 各类孔的不同注法 (摘自 GB/T 4458.4—2003)

孔的类型	用旁注法和符号简化		普通注法
光孔			
			
螺孔			
			
			
沉孔、埋头孔			
			
			
锥销孔			

2.3 图样中尺寸公差标注法(见表 1.2-9、表 1.2-10)

表 1.2-9 零件图中尺寸公差标注法(摘自 GB/T 4458.5—2003)

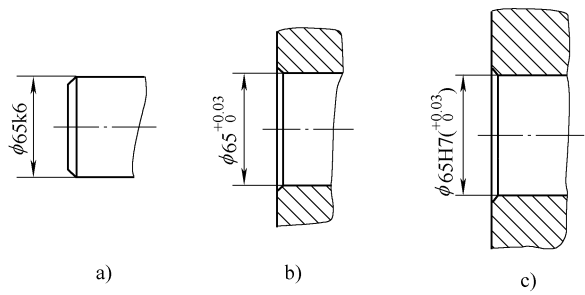
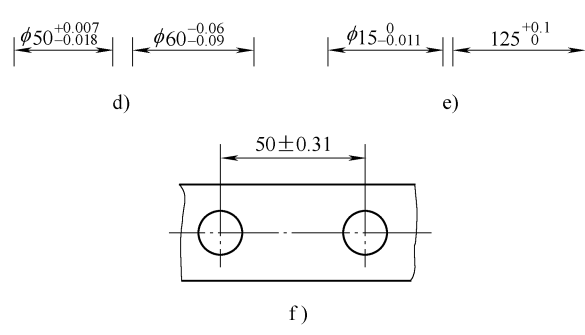
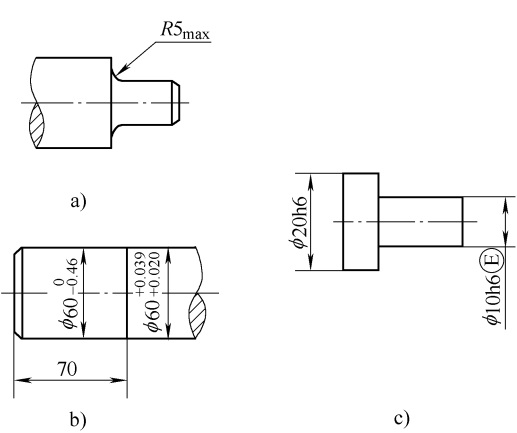
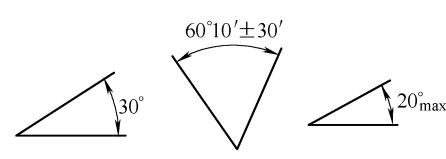
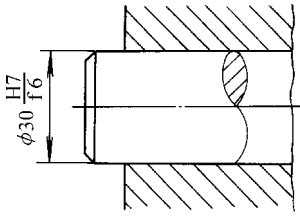
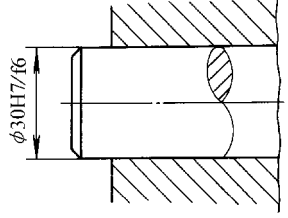
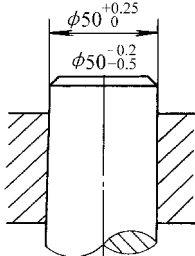
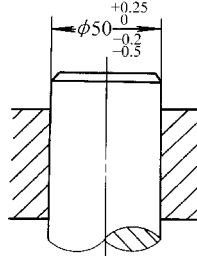
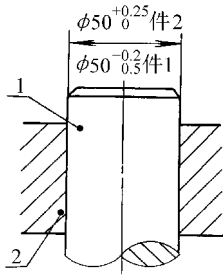
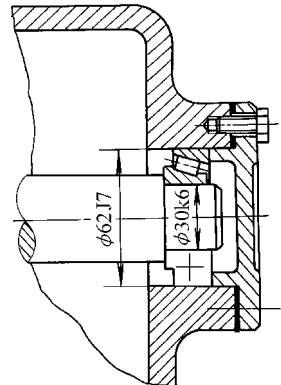
类别	图 例	说明
线性尺寸的公差标注形式	 a) b) c)	当采用公差带代号标注线性尺寸的公差时,公差带代号应注在公称尺寸右边(图 a) 当采用极限偏差标注线性尺寸公差时,上极限偏差应注在公称尺寸右上方,下极限偏差应与公称尺寸注在同一底线上,上下极限偏差的数字的字号应比公称尺寸的数字小一号(图 b) 当要求同时标注公差带代号和相应的极限偏差时,则后者应加圆括号(图 c)
	 d) e) f)	当标注极限偏差时,上下极限偏差的小数点必须对齐,小数点后的位数也必须相同(图 d) 当上极限偏差或下极限偏差为零时,用数字“0”标出,并与下极限偏差或上极限偏差的小数点前的个数对齐(图 e) 当公差带相对于公称尺寸对称地配置即两个极限偏差相同时,极限偏差只需注写一次,并应在极限偏差与基本尺寸之间注出符号“$\pm$”,且两者数字高度相等(图 f)
线性尺寸公差的附加符号注法	 a) b) c)	当尺寸仅需要限制单个方向的极限时,应在该极限尺寸的右边加注符号“max”或“min”(实际尺寸只要不超过这个极限值都符合要求)(图 a) 同一公称尺寸的表面,若具有不同的公差时,应用细实线分开,并分别标注其公差(图 b) 如果要素的尺寸公差和几何公差的关系遵循包容原则时,应在尺寸公差的右边加注符号“E”(图 c)
角度公差的标注	 d)	角度公差标注的基本规则与线性尺寸公差的标注方法相同

表 1.2-10 装配图中配合公差带及极限偏差的注法(摘自 GB/T 4458.5—2003)

标注类型	规 定	图 例
标注配合公差带	在装配图中标注尺寸的配合公差带时,必须在公称尺寸的右边用分数形式注出,分子为孔的公差带,分母为轴的公差带(图 a),必要时也允许按图 b 的形式标注	 a)  b)
标注极限偏差	在装配图中标注相配合零件的极限偏差时,孔的公称尺寸及极限偏差注写在尺寸线上方,轴的公称尺寸和极限偏差注写在尺寸线的下方(图 c、d)	 c)  d)
特殊的标注形式	当公称尺寸相同的多个轴(孔)与同一孔(轴)相配合而又必须在图外标注其配合时,为了明确各自的配合对象,可在公差带或极限偏差之后加注装配件的序号(图 e) 标注标准件、外购件与零件(轴或孔)的配合要求时,可以仅标注相配零件的公差带(图 f)	 e)  f)

3 常用结构规定画法

3.1 螺纹及螺纹紧固件的规定画法和标记方法(见表 1.2-11、表 1.2-12)

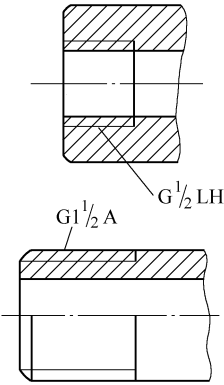
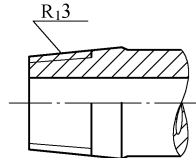
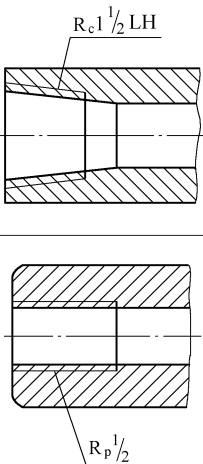
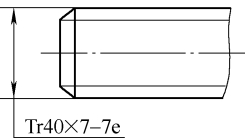
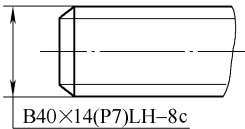
表 1.2-11 螺纹及螺纹紧固件的规定画法(摘自 GB/T 4459.1—1995)

项目	画法示例	说明
外螺纹 内螺纹 的画法	a) b) c) d)	螺纹的牙顶圆用粗实线表示,牙底圆用细实线表示,在螺杆的倒角或倒圆部分也应画出。在垂直于螺纹轴线的投影面的视图中,表示牙底圆的细实线只画约 3/4 圆周,此时螺杆或螺孔上的倒角投影不应画出(图 a) 有效螺纹的终止界线用粗实线表示(图 a~图 c) 当需要表示螺尾时,该部分用与轴线成 30° 的细实线绘制(图 a) 不可见螺纹的所有图线用虚线绘制(图 d) 无论是外螺纹或内螺纹,在剖视图或断面图中剖面线都应画到粗实线
内外螺纹 连接的 画法	e) f)	用剖视图表示内外螺纹的连接时,其旋合部分应按外螺纹的画法绘制,其余部分仍按各自的画法表示(图 e) 在不剖的外形图中,内、外螺纹旋合部分画成细虚线(图 f)
螺纹紧固件 的画法	g) h) i) j)	在装配图中,剖切平面通过于螺栓、螺钉、螺柱、螺母及垫圈等紧固件的基本轴线时,均按未剖切绘制,如图 g~图 j,螺纹紧固件的工艺结构,如倒角、退刀槽、缩颈、凸肩等均可省略不画 不穿通的螺纹孔可不画出钻孔深度,仅按有效螺纹部分的深度画出(图 i、图 j)

表 1.2-12 常用螺纹的标记方法

螺纹种类 (标准编号)	特征 代号	标记示例	代号的意义	说明
普通螺纹 (GB/T 197—2003)	M	M10-5g6g-S M10-7H-LH M10×1.5 M16×Ph3P1.5	M10-5g6g-S 短旋合长度 顶径公差带 中径公差带 螺纹大径 M10-7H-LH 左旋螺纹 中径和顶径公差带 M10×1.5 细牙螺纹的螺距 M16×Ph3P1.5 螺距 导程	- 粗牙普通螺纹不注螺距 - 螺纹的旋合长度分为长(L)、中等(N)、短(S)三种,中等旋合长度省略不注 - LH 表示左旋螺纹、右旋时省略不注 - 中径和顶径公差带相同时,只注一个代号,如 7H - 细牙螺纹需要标注螺距,如 1.5 - 中等公差精度(6g6g)可以省略标注 - 多线螺纹需要标注导程(Ph)和螺距(P)

(续)

螺纹种类 (标准编号)	特征 代号	标记示例	代号的意义	说明
55°非密封管螺纹 (GB/T 7307—2001)	G		$G\frac{1}{2} - LH$ $G\frac{1}{2}$ — 尺寸代号 LH — 左旋 A — 公差等级	1. 尺寸代号不是公称直径,只是一个定性表示螺纹大小的数字,没有单位。画图时可据此查出螺纹的大、小径 2. 外螺纹公差等级分 A 级和 B 级两种,需要说明。内螺纹公差等级只有一种,不需标注 3. 只能用旁注的方式进行标注
55°密封管螺纹 (GB/T 7306.1 ~ 7306.2—2000)	R ₁ R ₂		$R_1 \ 3$ $R_2 \frac{3}{4}$ — 尺寸代号	1. R ₁ 表示与圆柱内螺纹相配合的圆锥外螺纹 2. R ₂ 表示与圆锥内螺纹相配合的圆锥外螺纹
55°密封管螺纹 (GB/T 7306.1 ~ 7306.2—2000)	R _c R _p		$R_c \frac{1}{2} - LH$ $R_p \frac{1}{2}$	3. 内、外螺纹均只有一种公差带,故省略不注
梯形螺纹 (GB/T 5796.4—2005)	Tr		$Tr40 \times 7 - 7e$ $7e$ — 中径公差带 7 — 螺距 40 — 螺纹大径	1. 单线螺纹也需注螺距,如 7 2. 多线时需注“导程(螺距)”,如 14(P7)
锯齿形螺纹 (GB/T 13576—2008)	B		$B40 \times 14(P7)LH - 8c$ $8c$ — 中径公差带 LH — 左旋 14 — 螺距 $P7$ — 导程	3. 这两种螺纹只注中径公差带,如 7e、8c

3.2 花键画法(见表 1.2-13)

表 1.2-13 矩形花键及渐开线花键的画法(摘自 GB/T 4459.3—2000)

类别	规 定	图 例
矩形花键的画法	在平行于花键轴线的投影面的视图中,大径用粗实线;小径用细实线绘制。并用断面画出一部分或全部齿形(图 a) 花键工作长度的终止端和尾部长度的末端均用细实线绘制,并与轴线垂直,尾部画成斜线,其倾斜角一般与轴线成 30°(图 a),必要时,可按实际情况画出	a)
	在平行于花键轴线的投影面的视图中,大径与小径均用粗实线绘制,并用局部视图画出一部分或全部齿形(图 b)	b)
渐开线花键的画法	渐开线花键的画法与矩形花键的画法基本相同,只是需用细点画线表示分度线和分度圆(图 c)	c)
花键连接的画法	花键连接用剖视表示时,其连接部分按外花键的画法表示(图 d)	d)

3.3 齿轮画法(见表 1.2-14、表 1.2-15)

表 1.2-14 齿轮、齿条、蜗杆、蜗轮、链轮画法(摘自 GB/T 4459.2—2003)

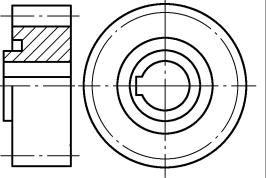
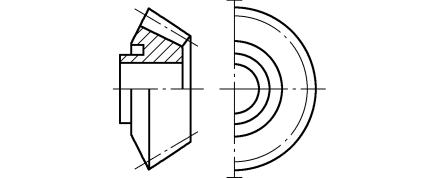
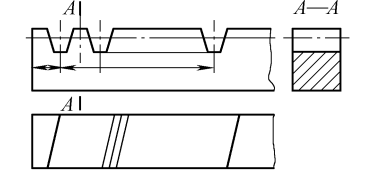
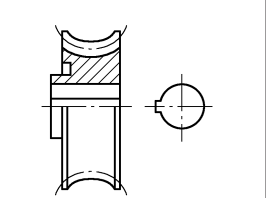
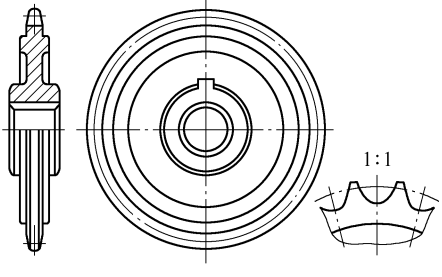
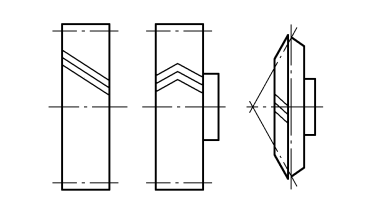
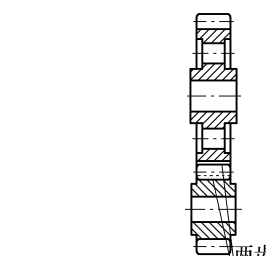
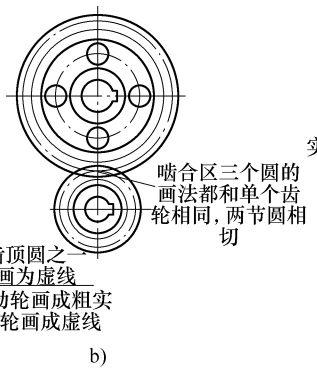
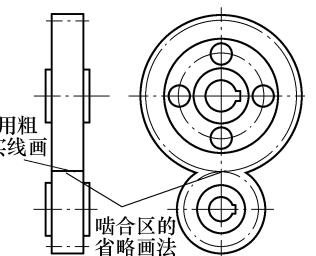
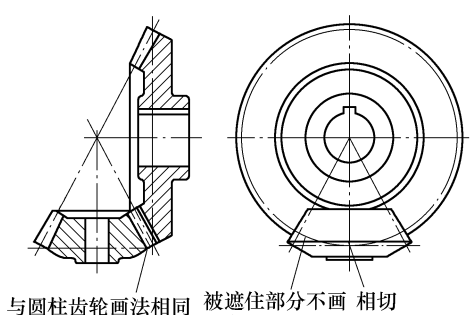
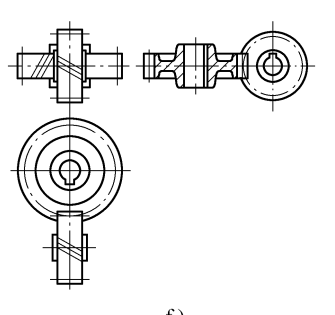
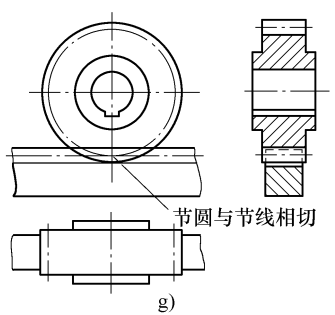
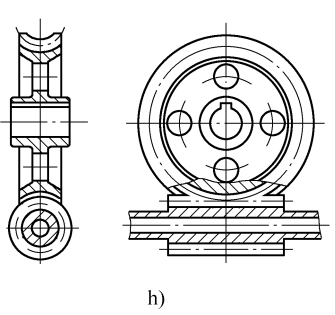
规定画法	齿顶圆和齿顶线用粗实线绘制 分度圆和分度线用点画线绘制 齿根圆和齿根线用细实线绘制,可省略不画;在剖视图中,齿根线用粗实线绘制 在剖视图中,当剖切平面通过齿轮的轴线时,轮齿一律按不剖处理(图 a~e) 如需表明齿形,可在图形中用粗实线画出一个或两个齿;或用适当比例的局部放大图表示(图 e) 当需要表示齿线的方向时,可用三条与齿线方向一致的细实线表示(图 e、f)。直齿则不需表示		
图例	 a)直齿圆柱齿轮	 b)直齿锥齿轮	 c)斜齿条
	 d)蜗轮	 e)链轮	 f)斜齿、人字齿圆柱齿轮、斜齿锥齿轮

表 1.2-15 齿轮、蜗轮蜗杆啮合画法(摘自 GB/T 4459.2—2003)

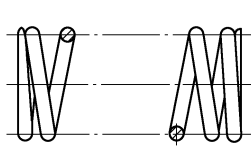
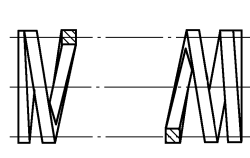
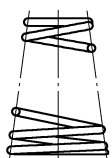
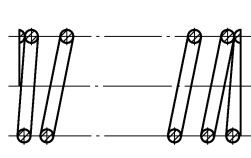
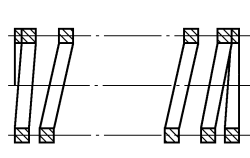
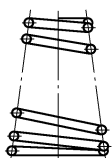
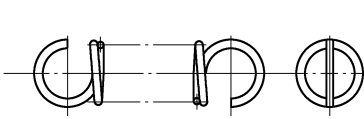
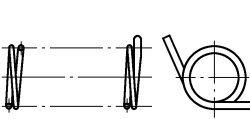
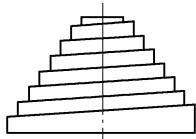
啮合区的规定画法	1. 在投影为圆的视图中,两齿轮的节圆相切,用细点画线绘制(图 b、图 d);啮合区域内的齿顶圆用粗实线绘制(图 b)或省略不画(图 d);齿根圆用细实线绘制(图 b)或省略不画(图 d) 2. 在投影为非圆的视图中(图 c),啮合区域内的齿顶线和齿根线均不画出,而将节线画成粗实线 3. 剖切平面通过两啮合齿轮的轴线作剖视时(图 a、图 e~图 h),啮合区域内将一个齿轮的轮齿用粗实线绘制,另一个齿轮的轮齿被遮挡的部分画出细虚线,或省略不画 4. 剖视图中,轮齿一律按不剖绘制	
图例	圆柱齿轮啮合画法     啮合区三个圆的画法都和单个齿轮相同,两节圆相切 两齿顶圆之一改画为虚线 通常主动轮画成粗实线从动轮画成虚线 用粗实线画 啮合区的省略画法 a) b) c) d)	

(续)

图 例	锥齿轮啮合画法	轴线成直角的螺旋齿轮啮合画法
	 与圆柱齿轮画法相同 被遮住部分不画 相切 e)	 f)
	齿轮齿条啮合画法	蜗轮蜗杆啮合画法
	 节圆与节线相切 g)	 h)

3.4 弹簧画法(见表 1.2-16、表 1.2-17)

表 1.2-16 弹簧画法(摘自 GB/T 4459.4—2003)

名称	圆柱螺旋压缩弹簧		截锥螺旋压缩弹簧
视图			
剖视图			
名称	圆柱螺旋拉伸弹簧	圆柱螺旋扭转弹簧	截锥涡卷弹簧
视图			

(续)

名称	圆柱螺旋拉伸弹簧	圆柱螺旋扭转弹簧	截锥涡卷弹簧
剖视图			
名称	碟形弹簧		平面涡卷弹簧
视图			
剖视图			

注:1. 螺旋弹簧均可画成右旋,对必须保证的旋向要求应在“技术要求”中注明。

2. 螺旋压缩弹簧如果要求两端并紧且磨平时,不论支承圈数多少和末端贴紧情况如何,均按表中形式绘制,必要时也可按支承圈的实际结构绘制。

3. 有效圈数在四圈以上的螺旋弹簧中间部分可以省略。圆柱螺旋弹簧中间部分省略后,允许适当缩短图形的长度。

表 1.2-17 装配图中弹簧画法(摘自 GB/T 4459.4—2003)

图 示	说明
a) b) c) d) e) f)	被弹簧挡住的结构一般不画出,可见部分应从弹簧的外轮廓线或从弹簧钢丝剖面的中心线画起(图 a) 型材尺寸较小(直径或厚度在图形上等于或小于 2mm)的螺旋弹簧、碟形弹簧允许用示意图表示(图 b、c)。当弹簧被剖切时,也可用涂黑表示(图 d) 被剖切弹簧的截面尺寸在图形上等于或小于 2mm,并且弹簧内部还有零件,为了便于表达,可按图 e 的示意图形式表示 板弹簧允许只画出外形轮廓(图 f)

3.5 滚动轴承画法(见表 1.2-18)

表 1.2-18 滚动轴承画法(摘自 GB/T 4459.7—1998)

类型	特征画法	规定画法	类型	特征画法	规定画法
深沟球轴承			调心球轴承		
圆柱滚子轴承			调心滚子轴承		
双列圆柱滚子轴承			角接触球轴承		
单列调心滚子轴承			圆锥滚子轴承		

(续)

类型	特征画法	规定画法	类型	特征画法	规定画法
双列角接触球轴承			推力球轴承		
四点接触球轴承			双向推力球轴承		

3.6 动密封圈表示法(摘自 GB/T 4459.8—2009 及 GB/T 4459.9—2009)(见表 1.2-19、表 1.2-20)

表 1.2-19 旋转轴唇形密封圈的特征画法和规定画法

序号	特征画法	应 用	规 定 画 法
1		主要用于旋转轴唇形密封圈。也可用于往复运动活塞杆唇形密封圈及结构类似的防尘圈	GB/T 9877 B 形 GB/T 9877 W 形 GB/T 9877 Z 形

(续)

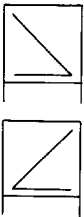
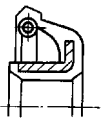
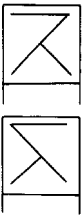
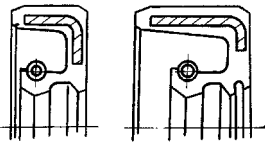
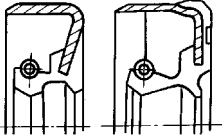
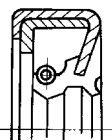
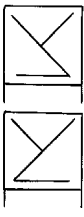
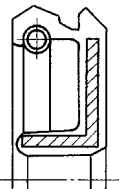
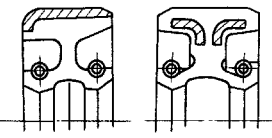
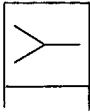
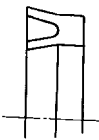
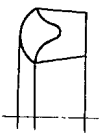
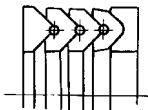
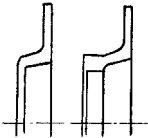
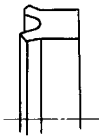
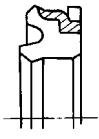
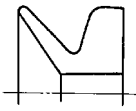
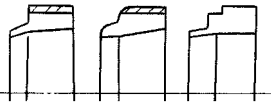
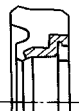
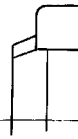
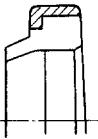
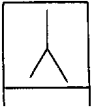
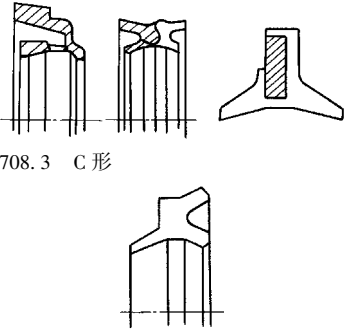
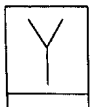
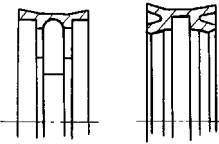
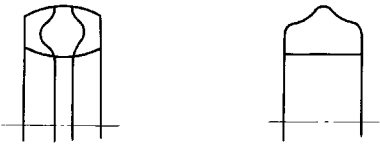
序号	特征画法	应 用	规 定 画 法
2		主要用于旋转轴唇形密封圈。也可用于往复运动活塞杆唇形密封圈及结构类似的防尘圈	
3		主要用于有副唇的旋转轴唇形密封圈。也可用于结构类似的往复运动活塞杆唇形密封圈	GB/T 9877 FB 形  GB/T 9877 FW 形  GB/T 9877 FZ 形 
4		主要用于有副唇的旋转轴唇形密封圈。也可用于结构类似的往复运动活塞杆唇形密封圈(孔用)	
5		主要用于双向密封旋转轴唇形密封圈。也可用于结构类似的往复运动活塞杆唇形密封圈	
6		主要用于双向密封旋转轴唇形密封圈。也可用于结构类似的往复运动活塞杆唇形密封圈(孔用)	

表 1.2-20 往复运动橡胶密封圈的特征画法和规定画法

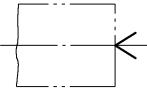
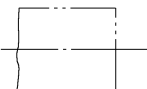
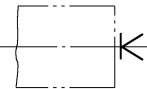
序号	特征画法	应 用	规 定 画 法
1		用于 Y 形、U 形及蕾形橡胶密封圈	JB/T 6375 Y 形  GB/T 10708.1 U 形  GB/T 10708.1 蕾形 
2		用于 V 形橡胶密封圈	GB/T 10708.1 V 形 
3		用于 J 形橡胶密封圈	
4		用于高低唇 Y 形橡胶密封圈 (孔用) 和橡胶防尘密封圈	GB/T 10708.1 Y 形  JB/T 6375 Y 形 
		用于起端密封和防尘功能的橡胶密封圈	JB/T 6994 S 形、A 形 
5		用于高低唇 Y 形橡胶密封圈 (轴用) 和橡胶防尘密封圈	 GB/T 10708.1 Y 形  JB/T 6375 Y 形  GB/T 10708.3 A 形  GB/T 10708.3 B 形 

(续)

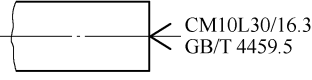
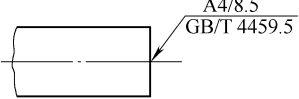
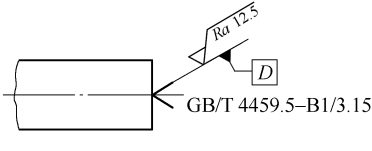
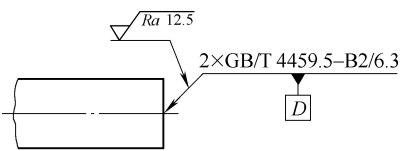
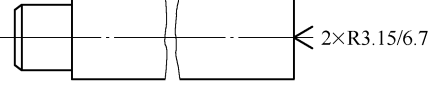
序号	特征画法	应 用	规 定 画 法
6		用于有双向唇的橡胶防尘密封圈。也可用于结构类似的防尘密封圈(轴用)	GB/T 10708.3 C形 
7		用于有双向唇的橡胶防尘密封圈。也可用于结构类似的防尘密封圈(孔用)	
8		用于鼓形橡胶密封圈和山形橡胶密封圈	GB/T 10708.3 鼓形 GB/T 10708.2 山形 

3.7 标准中心孔表示法(见表 1. 2-21)

表 1. 2-21 标准中心孔符号及标注方法(摘自 GB/T 4459. 5—1999)

完工零件上是否保留中心孔的规定符号	要求	符号	表示法示例	说明
	在完工的零件上要求保留中心孔			采用 B 型中心孔 $D = 2.5\text{mm}$ $D_1 = 8\text{mm}$ 在完工的零件上要求保留
	在完工的零件上可以保留中心孔			采用 A 型中心孔 $D = 4\text{mm}$ $D_1 = 8.5\text{mm}$ 在完工的零件上是否保留都可以
	在完工的零件上不允许保留中心孔			采用 A 型中心孔 $D = 1.6\text{mm}$ $D_1 = 3.35\text{mm}$ 在完工的零件上不允许保留

(续)

中心孔在图上的表示法	规定表示法	对于已经有相应标准规定的中心孔,在图样中可不绘制其详细结构,只需在零件轴端面绘制出对中心孔要求的符号,随后标注出其相应标记。中心孔的规定表示法示例见本表上方的表示法示例 如需指明中心孔标记中的标准编号时,也可按图 a、图 b 的方法标注  a)  b) 以中心孔的轴线为基准时,基准代号可按图 c、图 d 的方法标注。中心孔工作表面的粗糙度应在引出线上标出,如图 c、图 d 所示  c)  d)
	简化表示法	在不致引起误解时,可省略标记中的标准编号,如图 e 所示  e) 如同一轴的两端中心孔相同,可只在其一端标出,但应注出其数量,如图 d 和图 e 所示

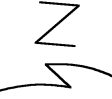
4 机构运动简图符号

动力传递过程的符号。

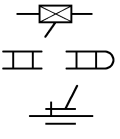
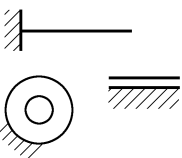
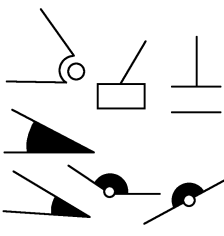
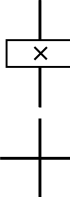
国家标准 GB/T 4460—1984 中规定了各种构件的运动符号,各种连接方式的表示法及运动方式和

机构运动简图中的机构构件必须按实际尺寸或一定比例绘制。各种规定画法见表 1. 2-22。

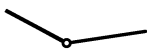
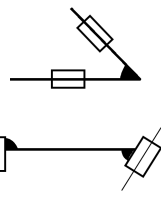
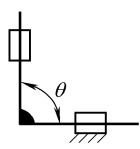
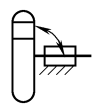
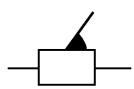
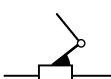
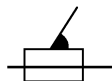
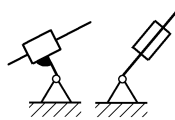
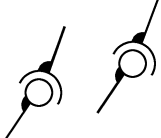
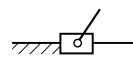
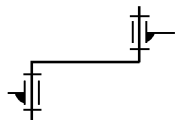
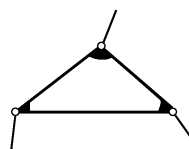
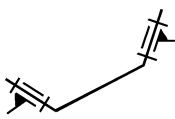
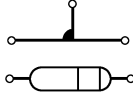
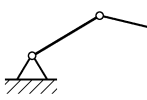
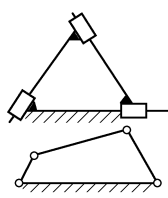
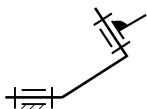
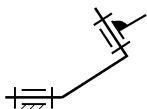
表 1. 2-22 机构运动简图符号 (摘自 GB/T 4460—1984)

名称	基本符号	可用符号	名称	基本符号	可用符号
机构构件的运动			机构构件的运动		
运动轨迹	 直线运动  回转运动		停止		
运动指向			单向运动	 直线运动  回转运动	
中间位置的瞬时停顿	 直线运动  回转运动		具有瞬时停顿的单向运动	 直线运动  回转运动	
中间位置的停留			具有停留的单向运动	 直线运动  回转运动	
极限位置的停留			具有局部反向的单向运动	 直线运动  回转运动	
局部反向运动	 直线运动  回转运动				

(续)

机构构件的运动			名称	基本符号	可用符号
往复运动		直线运动 回转运动			
有一个极限位置停留的往复运动		直线运动 回转运动			
有两个极限位置停留的往复运动		直线运动 回转运动			
在中间位置停留的往复运动		直线运动 回转运动			
具有局部反向及停留的单向运动		直线运动 回转运动			
运动终止		直线运动 回转运动			
运动副			名称	基本符号	可用符号
一个自由度运动副	平面机构回转副				
	空间机构回转副				
	棱柱副 (移动副)				
	螺旋副				
二个自由度运动副	圆柱副				
	球销副				
三个自由度运动副	球面副				
	平面副				
运动副			名称	基本符号	可用符号
			运动副		
四个自由度运动副	球与圆柱副				
	球与平面副				
			构件及其组成部分的连接		
机架					附注
轴、杆					
构件组成部分的永久连接					附注
组成部分与轴 (杆) 的固定连接					
构件组成部分的可调连接					

(续)

名称			基本符号			可用符号					
多杆构件及其组成部分（细实线表示相邻构件）						多杆构件及其组成部分（细实线表示相邻构件）					
单副元素构件	构件是 回转副的 一部分： 平面机构			偏心轮							
	空间机构			连接两个棱 柱副的构件 通用情况							
	机架是 回转副的 一部分： 平面机构			滑块（ θ 角 为任意值）							
	空间机构										
	构件是 棱柱副的 一部分			连接回转副 与棱柱副的构 件 通用情况							
	构件是 圆柱副的 一部分			导杆							
	构件是 球面副的 一部分			滑块							
双副元素构件	连接两 个回转副 的构件连 杆 平面机 构			三副元素 构件							
	空间机 构										
	曲柄			多杆机构及 其组成部分运 动简图示例							
平面机构											
空间机构											

(续)

名称	基本符号	可用符号	名称	基本符号	可用符号
多杆构件及其组成部分 (细实线表示相邻构件)			摩擦机构与齿轮机构		
多杆机构及其组成部分运动简图示例			圆锥轮		
			双曲面轮		
			可调圆锥轮		
			带中间体的可调圆锥轮		
			带可调圆环的圆锥轮		
			带可调球面轮的圆锥轮		
摩擦机构与齿轮机构			摩擦机构与齿轮机构		
摩擦轮			带可调球面轮的圆锥轮		
圆柱轮			可调冕状轮		
圆锥轮			齿轮 (不指明齿线)		
曲线轮			圆柱齿轮		
冕状轮			锥齿轮		
挠性轮			挠性齿轮		
摩擦传动					
圆柱轮					

(续)

名称	基本符号	可用符号	名称	基本符号	可用符号
摩擦机构与齿轮机构			摩擦机构与齿轮机构		
齿线符号 圆柱齿轮			蜗轮与圆柱 蜗杆		
直齿					
斜齿					
人字齿			蜗轮与球面 蜗杆		
锥齿轮					
直齿					
斜齿			螺旋齿轮		
弧齿					
齿 轮 传 动 (不指明齿线)			齿条传动 一般表示		
圆柱齿轮			螺旋齿条与 蜗杆		
非圆齿轮			齿条与蜗杆		
锥齿轮			扇形齿轮传 动		
准双曲面齿 轮			凸轮机构		
			盘形凸轮		

(续)

名称	基本符号	可用符号	名称	基本符号	可用符号
凸轮机构			槽轮机构和棘轮机构		
移动凸轮			棘轮机构 外啮合		
与杆固接凸轮			内啮合		
空间凸轮			棘齿条啮合		
圆柱凸轮			联轴器、离合器、制动器及其他机构		
圆锥凸轮			联轴器 一般符号 (不指明类型)		
双曲面凸轮			固定联轴器		
凸轮从动杆		凸轮副中凸轮 从动杆符号	可移式联轴器		
尖顶从动杆		附注	弹性联轴器		
曲面从动件			可控离合器		
滚子从动杆			啮合式离合器		
平底从动杆			单向式		
槽轮机构和棘轮机构			双向式		
槽轮机构			摩擦离合器		
一般符号			单向式		
外啮合					
内啮合					

(续)

名称	基本符号	可用符号	名称	基本符号	可用符号
联轴器、离合器、制动器及其他机构			联轴器、离合器、制动器及其他机构		
双向式			圆带		
液压离合器			同步带		
一般符号			平带		
电磁离合器			轴上的宝塔轮		
自动离合器			链传动		
一般符号			一般符号 (不指明类型)		
离心摩擦离合器			环形链		
超越离合器			滚子链		
安全离合器			齿形链		
带有易损元件			螺杆传动		
无易损元件			整体螺母		
制动器			开合螺母		
一般符号			滚珠螺母		
带传动 一般符号 (不指明类型)					
V 带					

(续)

名称	基本符号	可用符号	名称	基本符号	可用符号
联轴器、离合器、制动器及其他机构			联轴器、离合器、制动器及其他机构		
挠性轴			拉伸弹簧		
轴上飞轮			扭转弹簧		
分度头			碟形弹簧		
轴承 普通向心轴承			截锥蜗卷弹簧		
向心滚动轴承			涡卷弹簧		
推力轴承 单向推力普通轴承			板状弹簧		
双向推力普通轴承			原动机 通用符号 (不指明类型)		
推力滚动轴承			电动机 (一般符号)		
向心推力轴承 单向向心推力普通轴承			装在支架上的电动机		
双向向心推力普通轴承					
向心推力滚动轴承					
弹簧 压缩弹簧					

第3章 极限与配合、几何公差及表面结构

1 极限与配合

1.1 标准公差 (见表 1.3-1)

表 1.3-1 标准公差数值 (摘自 GB/T 1800.1—2009)

公称尺寸 /mm		标准公差等级																		
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18	
大于	至	μm												mm						
—	3	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1	1.4	
3	6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2	1.8	
6	10	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5	2.2	
10	18	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1	1.8	2.7	
18	30	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	3.3	
30	50	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	3.9	
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6	
80	120	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5	5.4	
120	180	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3	
180	250	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	7.2	
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	8.1	
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	8.9	
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3	9.7	
500	630	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0.7	1.1	1.75	2.8	4.4	7	11	
630	800	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0.8	1.25	2	3.2	5	8	12.5	
800	1000	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0.9	1.4	2.3	3.6	5.6	9	14	
1000	1250	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1.05	1.65	2.6	4.2	6.6	10.5	16.5	
1250	1600	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1.25	1.95	3.1	5	7.8	12.5	19.5	
1600	2000	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1.5	2.3	3.7	6	9.2	15	23	
2000	2500	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1.75	2.8	4.4	7	11	17.5	28	
2500	3150	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2.1	3.3	5.4	8.6	13.5	21	33	

注: 1. 公称尺寸大于 500mm 的 IT1 至 IT5 的标准公差数值为试行的。

2. 公称尺寸小于或等于 1mm 时, 无 IT14 至 IT18。

标准公差等级的选用见表 1.3-2 ~ 表 1.3-4。

表 1.3-2 标准公差等级的应用

[illegible]

表 1.3-3 公差等级与加工方法的关系

加工方法	公差等级 (IT)																			
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
研 磨																				
珩																				
圆磨、平磨																				
金刚石车、金刚石镗																				
拉 削																				
铰 孔																				
车、镗																				
铣																				
刨、插																				
钻 孔																				
滚压、挤压																				
冲 压																				
压 铸																				
粉末冶金成型																				
粉末冶金烧结																				
砂型铸造、气割																				
锻 造																				

表 1.3-4 常用加工方法能达到的标准公差等级和加工成本的关系^①

尺寸	加工方法	公差等级 (IT)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
外 径	普通车削																
	转塔车床车削																
	自动车削																
	外 圆 磨																
	无 心 磨																
内 径	普通车削																
	转塔车床车削																
	自动车削																
	钻																
	铰																
	镗																
	精 镗																
	内 圆 磨																
长 度	研 磨																
	普通车削																
	转塔车床车削																
	自动车削																
	铣																

① 虚线、实线、点画线表示成本比例为 1:2.5:5。

1.2 基本偏差

GB/T 1800.1—2009 中对基本偏差的代号规定为：孔用大写字母 A, …, ZC 表示；轴用小写字母 a, …, zc 表示，如图 1.3-1 所示，各 28 个。其中 H 为基准孔的基本偏差代号，h 为基准轴的基本偏差代

号。代号从 A 至 H 的孔和从 a 至 h 的轴用于间隙配合，从 JS 至 ZC 的孔和从 js 至 zc 的轴主要用于过渡配合和过盈配合。

1.3 极限偏差

1.3.1 公称尺寸至 500mm 轴的极限偏差（见表 1.3-5）

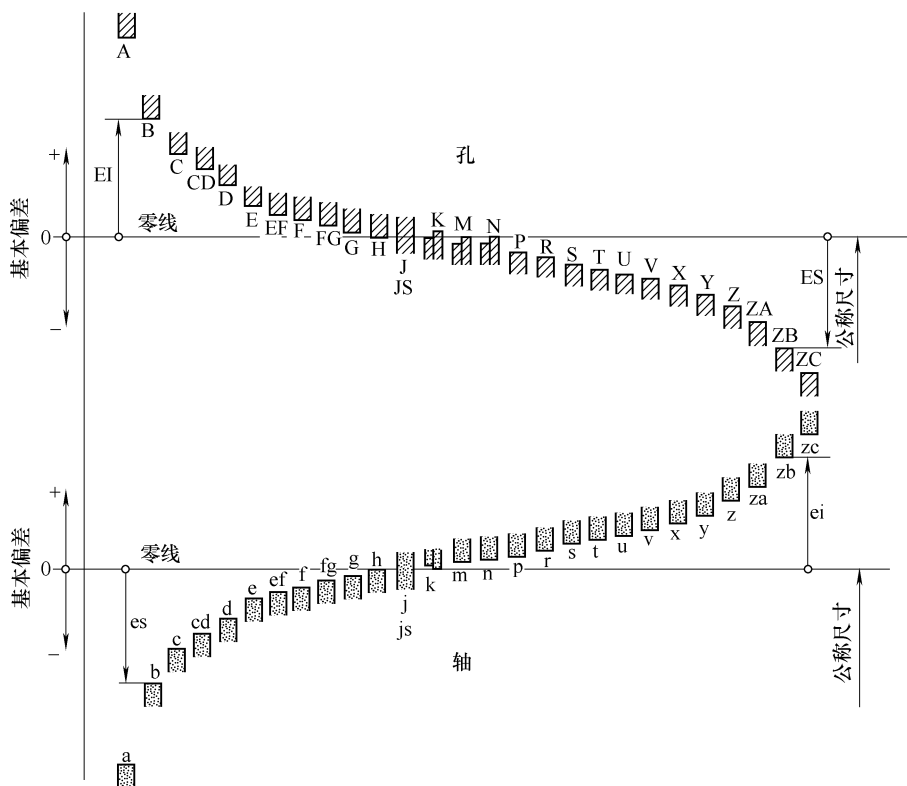


图 1.3-1 孔和轴的基本偏差系列示意图

表 1.3-5 公称尺寸至 500mm 轴的极限偏差值（摘自 GB/T 1800.2—2009）（ μm ）

公称尺寸 /mm		公差带														
		a					b					c				
大于	至	9	10	11	12	13	9	10	11	12	13	8	9	10	11	12
—	3	-270	-270	-270	-270	-270	-140	-140	-140	-140	-140	-60	-60	-60	-60	-60
		-295	-310	-330	-370	-410	-165	-180	-200	-240	-280	-74	-85	-100	-120	-160
3	6	-270	-270	-270	-270	-270	-140	-140	-140	-140	-140	-70	-70	-70	-70	-70
		-300	-318	-345	-390	-450	-170	-188	-215	-260	-320	-88	-100	-118	-145	-190
6	10	-280	-280	-280	-280	-280	-150	-150	-150	-150	-150	-80	-80	-80	-80	-80
		-316	-338	-370	-430	-500	-186	-208	-240	-300	-370	-102	-116	-138	-170	-230
10	14	-290	-290	-290	-290	-290	-150	-150	-150	-150	-150	-95	-95	-95	-95	-95
14	18	-333	-360	-400	-470	-560	-193	-220	-260	-330	-420	-122	-138	-165	-205	-275

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带														
		a					b					c				
大于	至	9	10	11	12	13	9	10	11	12	13	8	9	10	11	12
18	24	-300	-300	-300	-300	-300	-160	-160	-160	-160	-160	-110	-110	-110	-110	-110
	24	-352	-384	-430	-510	-630	-212	-244	-290	-370	-490	-143	-162	-194	-240	-320
30	40	-310	-310	-310	-310	-310	-170	-170	-170	-170	-170	-120	-120	-120	-120	-120
		-372	-410	-470	-560	-700	-232	-270	-330	-420	-560	-159	-182	-220	-280	-370
40	50	-320	-320	-320	-320	-320	-180	-180	-180	-180	-180	-130	-130	-130	-130	-130
		-382	-420	-480	-570	-710	-242	-280	-340	-430	-570	-169	-192	-230	-290	-380
50	65	-340	-340	-340	-340	-340	-190	-190	-190	-190	-190	-140	-140	-140	-140	-140
		-414	-460	-530	-640	-800	-264	-310	-380	-490	-650	-186	-214	-260	-330	-440
65	80	-360	-360	-360	-360	-360	-200	-200	-200	-200	-200	-150	-150	-150	-150	-150
		-434	-480	-550	-660	-820	-274	-320	-390	-500	-660	-196	-224	-270	-340	-450
80	100	-380	-380	-380	-380	-380	-220	-220	-220	-220	-220	-170	-170	-170	-170	-170
		-467	-520	-600	-730	-920	-307	-360	-440	-570	-760	-224	-257	-310	-390	-520
100	120	-410	-410	-410	-410	-410	-240	-240	-240	-240	-240	-180	-180	-180	-180	-180
		-497	-550	-630	-760	-950	-327	-380	-460	-590	-780	-234	-267	-320	-400	-530
120	140	-460	-460	-469	-460	-460	-260	-260	-260	-260	-260	-200	-200	-200	-200	-200
		-560	-620	-710	-860	-1090	-360	-420	-510	-660	-890	-263	-300	-360	-450	-600
140	160	-520	-520	-520	-520	-520	-280	-280	-280	-280	-280	-210	-210	-210	-210	-210
		-620	-680	-770	-920	-1150	-380	-440	-530	-680	-910	-273	-310	-370	-460	-610
160	180	-580	-580	-580	-580	-580	-310	-310	-310	-310	-310	-230	-230	-230	-230	-230
		-680	-740	-830	-980	-1210	-410	-470	-560	-710	-940	-293	-330	-390	-480	-630
180	200	-660	-660	-660	-660	-660	-340	-340	-340	-340	-340	-240	-240	-240	-240	-240
		-775	-845	-950	-1120	-1380	-455	-525	-630	-800	-1060	-312	-355	-425	-530	-700
200	225	-740	-740	-740	-740	-740	-380	-380	-380	-380	-380	-260	-260	-260	-260	-260
		-855	-925	-1030	-1200	-1460	-495	-565	-670	-840	-1100	-332	-375	-445	-550	-720
225	250	-820	-820	-820	-820	-820	-420	-420	-420	-420	-420	-280	-280	-280	-280	-280
		-935	-1005	-1110	-1280	-1540	-535	-605	-710	-880	-1140	-352	-395	-465	-570	-740
250	280	-920	-920	-920	-920	-920	-480	-480	-480	-480	-480	-300	-300	-300	-300	-300
		-1050	-1130	-1240	-1440	-1730	-610	-690	-800	-1000	-1290	-381	-430	-510	-620	-820
280	315	-1050	-1050	-1050	-1050	-1050	-540	-540	-540	-540	-540	-330	-330	-330	-330	-330
		-1180	-1260	-1370	-1570	-1860	-670	-750	-860	-1060	-1350	-411	-460	-540	-650	-850
315	355	-1200	-1200	-1200	-1200	-1200	-600	-600	-600	-600	-600	-360	-360	-360	-360	-360
		-1340	-1430	-1560	-1770	-2090	-740	-830	-960	-1170	-1490	-449	-500	-590	-720	-930
355	400	-1350	-1350	-1350	-1350	-1350	-680	-680	-680	-680	-680	-400	-400	-400	-400	-400
		-1490	-1580	-1710	-1920	-2240	-820	-910	-1040	-1250	-1570	-489	-540	-630	-760	-970
400	450	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500	-760	-760	-760	-760	-760	-440	-440	-440	-440	-440
		-1655	-1750	-1900	-2130	-2470	-915	-1010	-1160	-1390	-1730	-537	-595	-690	-840	-1070
450	500	-1650	-1650	-1650	-1650	-1650	-840	-840	-840	-840	-840	-480	-480	-480	-480	-480
		-1805	-1900	-2050	-2280	-2620	-995	-1090	-1240	-1470	-1810	-577	-635	-730	-880	-1110

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带													
		c		d					e					f	
大于	至	13	7	8	9	10	11	6	7	8	9	10	5	6	7
—	3	−60 −200	−20 −30	−20 −34	−20 −45	−20 −60	−20 −80	−14 −20	−14 −24	−14 −28	−14 −39	−14 −54	−6 −10	−6 −12	−6 −16
3	6	−70 −250	−30 −42	−30 −48	−30 −60	−30 −78	−30 −105	−20 −28	−20 −32	−20 −38	−20 −50	−20 −68	−10 −15	−10 −18	−10 −22
6	10	−80 −300	−40 −55	−40 −62	−40 −76	−40 −98	−40 −130	−25 −34	−25 −40	−25 −47	−25 −61	−25 −83	−13 −19	−13 −22	−13 −28
10	14	−95 −365	−50	−50	−50	−50	−50	−32	−32	−32	−32	−32	−16	−16	−16
14	18		−68	−77	−93	−120	−160	−43	−50	−59	−75	−102	−24	−27	−34
18	24	−110 −440	−65	−65	−65	−65	−65	−40	−40	−40	−40	−40	−20	−20	−20
24	30		−86	−98	−117	−149	−195	−53	−61	−73	−92	−124	−29	−33	−41
30	40	−120 −510	−80	−80	−80	−80	−80	−50	−50	−50	−50	−50	−25	−25	−25
40	50	−130 −520													
50	65	−140 −600	−100	−100	−100	−100	−100	−60	−60	−60	−60	−60	−30	−30	−30
65	80	−150 −610													
80	100	−170 −710	−120	−120	−120	−120	−120	−72	−72	−72	−72	−72	−36	−36	−36
100	120	−180 −720													
120	140	−200 −830	−145 −185	−145 −208	−145 −245	−145 −305	−145 −395	−85 −110	−85 −125	−85 −148	−85 −185	−85 −245	−43 −61	−43 −68	−43 −83
140	160	−210 −840													
160	180	−230 −860													
180	200	−240 −960	−170 −216	−170 −242	−170 −285	−170 −355	−170 −460	−100 −129	−100 −146	−100 −172	−100 −215	−100 −285	−50 −70	−50 −79	−50 −96
200	225	−260 −980													
225	250	−280 −1000													
250	280	−300 −1110	−190	−190	−190	−190	−190	−110	−110	−110	−110	−110	−56	−56	−56
280	315	−330 −1140													
315	355	−360 −1250	−210	−210	−210	−210	−210	−125	−125	−125	−125	−125	−62	−62	−62
355	400	−400 −1290													
400	450	−440 −1410	−230	−230	−230	−230	−230	−135	−135	−135	−135	−135	−68	−68	−68
450	500	−480 −1450													

(续)

[illegible]

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带												
大于	至	h							j			js		
		7	8	9	10	11	12	13	5	6	7	1	2	3
—	3	0 -10	0 -14	0 -25	0 -40	0 -60	0 -100	0 -140	—	+4 -2	+6 -4	±0.4	±0.6	±1
3	6	0 -12	0 -18	0 -30	0 -48	0 -75	0 -120	0 -180	+3 -2	+6 -2	+8 -4	±0.5	±0.75	±1.25
6	10	0 -15	0 -22	0 -36	0 -58	0 -90	0 -150	0 -220	+4 -2	+7 -2	+10 -5	±0.5	±0.75	±1.25
10	14	0	0	0	0	0	0	0	+5	+8	+12	±0.6	±1	±1.5
14	18	-18	-27	-43	-70	-110	-180	-270	-3	-3	-6			
18	24	0	0	0	0	0	0	0	+5	+9	+13	±0.75	±1.25	±2
24	30	-21	-33	-52	-84	-130	-210	-330	-4	-4	-8			
30	40	0	0	0	0	0	0	0	+6	+11	+15	±0.75	±1.25	±2
40	50	-25	-39	-62	-100	-160	-250	-390	-5	-5	-10			
50	65	0	0	0	0	0	0	0	+6	+12	+18	±1	±1.5	±2.5
65	80	-30	-46	-74	-120	-190	-300	-460	-7	-7	-12			
80	100	0	0	0	0	0	0	0	+6	+13	+20	±1.25	±2	±3
100	120	-35	-54	-87	-140	-220	-350	-540	-9	-9	-15			
120	140	0 -40	0 -63	0 -100	0 -160	0 -250	0 -400	0 -630	+7 -11	+14 -11	+22 -18	±1.75	±2.5	±4
140	160													
160	180													
180	200	0 -46	0 -72	0 -115	0 -185	0 -290	0 -460	0 -720	+7 -13	+16 -13	+25 -21	±2.25	±3.5	±5
200	225													
225	250													
250	280	0	0	0	0	0	0	0	+7	—	—	±3	±4	±6
280	315	-52	-81	-130	-210	-320	-520	-810	-16	—	—			
315	355	0	0	0	0	0	0	0	+7	—	+29	±3.5	±4.5	±6.5
355	400	-57	-89	-140	-230	-360	-570	-890	-18	—	-28			
400	450	0	0	0	0	0	0	0	+7	—	+31	±4	±5	±7.5
450	500	-63	-97	-155	-250	-400	-630	-970	-20	—	-32			

公称尺寸 /mm		公 差 带											
		js										k	
大于	至	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	4	5
—	3	±1.5	±2	±3	±5	±7	±12	±20	±30	±50	±70	+3 0	+4 0
3	6	±2	±2.5	±4	±6	±9	±15	±24	±37	±60	±90	+5 +1	+6 +1
6	10	±2	±3	±4.5	±7	±11	±18	±29	±45	±75	±110	+5 +1	+7 +1
10	14	±2.5	±4	±5.5	±9	±13	±21	±35	±55	±90	±135	+6 +1	+9 +1
14	18												
18	24	±3	±4.5	±6.5	±10	±16	±26	±42	±65	±105	±165	+8 +2	+11 +2
24	30												
30	40	±3.5	±5.5	±8	±12	±19	±31	±50	±80	±125	±195	+9 +2	+13 +2
40	50												
50	65	±4	±6.5	±9.5	±15	±23	±37	±60	±95	±150	±230	+10 +2	+15 +2
65	80												
80	100	±5	±7.5	±11	±17	±27	±43	±70	±110	±175	±270	+13 +3	+18 +3
100	120												
120	140	±6	±9	±12.5	±20	±31	±50	±80	±125	±200	±315	+15 +3	+21 +3
140	160												
160	180												
180	200	±7	±10	±14.5	±23	±36	±57	±92	±145	±230	±360	+18 +4	+24 +4
200	225												
225	250												
250	280	±8	±11.5	±16	±26	±40	±65	±105	±160	±260	±405	+20 +4	+27 +4
280	315												
315	355	±9	±12.5	±18	±28	±44	±70	±115	±180	±285	±445	+22 +4	+29 +4
355	400												
400	450	±10	±13.5	±20	±31	±48	±77	±125	±200	±315	±485	+25 +5	+32 +5
450	500												

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带												
大于	至	k			m					n				
		6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8
—	3	+6 0	+10 0	+14 0	+5 +2	+6 +2	+8 +2	+12 +2	+16 +2	+7 +4	+8 +4	+10 +4	+14 +4	+18 +4
3	6	+9 +1	+13 +1	+18 0	+8 +4	+9 +4	+12 +4	+16 +4	+22 +4	+12 +8	+13 +8	+16 +8	+20 +8	+26 +8
6	10	+10 +1	+16 +1	+22 0	+10 +6	+12 +6	+15 +6	+21 +6	+28 +6	+14 +10	+16 +10	+19 +10	+25 +10	+32 +10
10	14	+12	+19	+27	+12	+15	+18	+25	+34	+17	+20	+23	+30	+39
14	18	+1	+1	0	+7	+7	+7	+7	+7	+12	+12	+12	+12	+12
18	24	+15	+23	+33	+14	+17	+21	+29	+41	+21	+24	+28	+36	+48
24	30	+2	+2	0	+8	+8	+8	+8	+8	+15	+15	+15	+15	+15
30	40	+18	+27	+39	+16	+20	+25	+34	+48	+24	+28	+33	+42	+56
40	50	+2	+2	0	+9	+9	+9	+9	+9	+17	+17	+17	+17	+17
50	65	+21	+32	+46	+19	+24	+30	+41	+57	+28	+33	+39	+50	+66
65	80	+2	+2	0	+11	+11	+11	+11	+11	+20	+20	+20	+20	+20
80	100	+25	+38	+54	+23	+28	+35	+48	+67	+33	+38	+45	+58	+77
100	120	+3	+3	0	+13	+13	+13	+13	+13	+23	+23	+23	+23	+23
120	140	+28 +3	+43 +3	+63 0	+27 +15	+33 +15	+40 +15	+55 +15	+78 +15	+39 +27	+45 +27	+52 +27	+67 +27	+90 +27
140	160													
160	180													
180	200	+33 +4	+50 +4	+72 0	+31 +17	+37 +17	+46 +17	+63 +17	+89 +17	+45 +31	+51 +31	+60 +31	+77 +31	+103 +31
200	225													
225	250													
250	280	+36	+56	+81	+36	+43	+52	+72	+101	+50	+57	+66	+86	+115
280	315	+4	+4	0	+20	+20	+20	+20	+20	+34	+34	+34	+34	+34
315	355	+40	+61	+89	+39	+46	+57	+78	+110	+55	+62	+73	+94	+126
355	400	+4	+4	0	+21	+21	+21	+21	+21	+37	+37	+37	+37	+37
400	450	+45	+68	+97	+43	+50	+63	+86	+120	+60	+67	+80	+103	+137
450	500	+5	+5	0	+23	+23	+23	+23	+23	+40	+40	+40	+40	+40

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带												
		p					r					s		
大于	至	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6
—	3	+9 +6	+10 +6	+12 +6	+16 +6	+20 +6	+13 +10	+14 +10	+16 +10	+20 +10	+24 +10	+17 +14	+18 +14	+20 +14
3	6	+16 +12	+17 +12	+20 +12	+24 +12	+30 +12	+19 +15	+20 +15	+23 +15	+27 +15	+33 +15	+23 +19	+24 +19	+27 +19
6	10	+19 +15	+21 +15	+24 +15	+30 +15	+37 +15	+23 +19	+25 +19	+28 +19	+34 +19	+41 +19	+27 +23	+29 +23	+32 +23
10	14	+23 +18	+26 +18	+29 +18	+36 +18	+45 +18	+28	+31	+34	+41	+50	+33	+36	+39
14	18						+23	+23	+23	+23	+23	+28	+28	+28
18	24	+28 +22	+31 +22	+35 +22	+43 +22	+55 +22	+34	+37	+41	+49	+61	+41	+44	+48
24	30						+28	+28	+28	+28	+28	+35	+35	+35
30	40	+33 +26	+37 +26	+42 +26	+51 +26	+65 +26	+41	+45	+50	+59	+73	+50	+54	+59
40	50						+34	+34	+34	+34	+34	+43	+43	+43
50	65	+40 +32	+45 +32	+51 +32	+62 +32	+78 +32	+49 +41	+54 +41	+60 +41	+71 +41	+87 +41	+61 +53	+66 +53	+72 +53
65	80						+51 +43	+56 +43	+62 +43	+73 +43	+89 +43	+67 +59	+72 +59	+78 +59
80	100	+47 +37	+52 +37	+59 +37	+72 +37	+91 +37	+61 +51	+66 +51	+73 +51	+86 +51	+105 +51	+81 +71	+86 +71	+93 +71
100	120						+64 +54	+69 +54	+76 +54	+89 +54	+108 +54	+89 +79	+94 +79	+101 +79
120	140	+55 +43	+61 +43	+68 +43	+83 +43	+106 +43	+75 +63	+81 +63	+88 +63	+103 +63	+126 +63	+104 +92	+110 +92	+117 +92
140	160						+77 +65	+83 +65	+90 +65	+105 +65	+128 +65	+112 +100	+118 +100	+125 +100
160	180						+80 +68	+86 +68	+93 +68	+108 +68	+131 +68	+120 +108	+126 +108	+133 +108
180	200	+64 +50	+70 +50	+79 +50	+96 +50	+122 +50	+91 +77	+97 +77	+106 +77	+123 +77	+149 +77	+136 +122	+142 +122	+151 +122
200	225						+94 +80	+100 +80	+109 +80	+126 +80	+152 +80	+144 +130	+150 +130	+159 +130
225	250						+98 +84	+104 +84	+113 +84	+130 +84	+156 +84	+154 +140	+160 +140	+169 +140
250	280	+72 +56	+79 +56	+88 +56	+108 +56	+137 +56	+110 +94	+117 +94	+126 +94	+146 +94	+175 +94	+174 +158	+181 +158	+190 +158
280	315						+114 +98	+121 +98	+130 +98	+150 +98	+179 +98	+186 +170	+193 +170	+202 +170
315	355	+80 +62	+87 +62	+98 +62	+119 +62	+151 +62	+126 +108	+133 +108	+144 +108	+165 +108	+197 +108	+208 +190	+215 +190	+226 +190
355	400						+132 +114	+139 +114	+150 +114	+171 +114	+203 +114	+226 +208	+233 +208	+244 +208
400	450	+88 +68	+95 +68	+108 +68	+131 +68	+165 +68	+146 +126	+153 +126	+166 +126	+189 +126	+223 +126	+252 +232	+259 +232	+272 +232
450	500						+152 +132	+159 +132	+172 +132	+195 +132	+229 +132	+272 +252	+279 +252	+292 +252

(续)

公称尺寸		公 差 带												
/mm		s		t				u				v		
大于	至	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7
—	3	+24 +14	+28 +14	—	—	—	—	+22 +18	+24 +18	+28 +18	+32 +18	—	—	—
3	6	+31 +19	+37 +19	—	—	—	—	+28 +23	+31 +23	+35 +23	+41 +23	—	—	—
6	10	+38 +23	+45 +23	—	—	—	—	+34 +28	+37 +28	+43 +28	+50 +28	—	—	—
10	14	+46 +28	+55 +28	—	—	—	—	+41 +33	+44 +33	+51 +33	+60 +33	—	—	—
14	18			—	—	—	—					+47 +39	+50 +39	+57 +39
18	24	+56 +35	+68 +35	—	—	—	—	+50 +41	+54 +41	+62 +41	+74 +41	+56 +47	+60 +47	+68 +47
24	30			+50 +41	+54 +41	+62 +41	+74 +41	+57 +48	+61 +48	+69 +48	+81 +48	+64 +55	+68 +55	+76 +55
30	40	+68 +43	+82 +43	+59 +48	+64 +48	+73 +48	+87 +48	+71 +60	+76 +60	+85 +60	+99 +60	+79 +68	+84 +68	+93 +68
40	50			+65 +54	+70 +54	+79 +54	+93 +54	+81 +70	+86 +70	+95 +70	+109 +70	+92 +81	+97 +81	+106 +81
50	65	+83 +53	+99 +53	+79 +66	+85 +66	+96 +66	+112 +66	+100 +87	+106 +87	+117 +87	+133 +87	+115 +102	+121 +102	+132 +102
65	80	+89 +59	+105 +59	+88 +75	+94 +75	+105 +75	+121 +75	+115 +102	+121 +102	+132 +102	+148 +102	+133 +120	+139 +120	+150 +120
80	100	+106 +71	+125 +71	+106 +91	+113 +91	+126 +91	+145 +91	+139 +124	+146 +124	+159 +124	+178 +124	+161 +146	+168 +146	+181 +146
100	120	+114 +79	+133 +79	+119 +104	+126 +104	+139 +104	+158 +104	+159 +144	+166 +144	+179 +144	+198 +144	+187 +172	+194 +172	+207 +172
120	140	+132 +92	+155 +92	+140 +122	+147 +122	+162 +122	+185 +122	+188 +170	+195 +170	+210 +170	+233 +170	+220 +202	+227 +202	+242 +202
140	160	+140 +100	+163 +100	+152 +134	+159 +134	+174 +134	+197 +134	+208 +190	+215 +190	+230 +190	+253 +190	+246 +228	+253 +228	+268 +228
160	180	+148 +108	+171 +108	+164 +146	+171 +146	+186 +146	+209 +146	+228 +210	+235 +210	+250 +210	+273 +210	+270 +252	+277 +252	+292 +252
180	200	+168 +122	+194 +122	+186 +166	+195 +166	+212 +166	+238 +166	+256 +236	+265 +236	+282 +236	+308 +236	+304 +284	+313 +284	+330 +284
200	225	+176 +130	+202 +130	+200 +180	+209 +180	+226 +180	+252 +180	+278 +258	+287 +258	+304 +258	+330 +258	+330 +310	+339 +310	+356 +310
225	250	+186 +140	+212 +140	+216 +196	+225 +196	+242 +196	+268 +196	+304 +284	+313 +284	+330 +284	+356 +284	+360 +340	+369 +340	+386 +340
250	280	+210 +158	+239 +158	+241 +218	+250 +218	+270 +218	+299 +218	+338 +315	+347 +315	+367 +315	+396 +315	+408 +385	+417 +385	+437 +385
280	315	+222 +170	+251 +170	+263 +240	+272 +240	+292 +240	+321 +240	+373 +350	+382 +350	+402 +350	+431 +350	+448 +425	+457 +425	+477 +425
315	355	+247 +190	+279 +190	+293 +268	+304 +268	+325 +268	+357 +268	+415 +390	+426 +390	+447 +390	+479 +390	+500 +475	+511 +475	+532 +475
355	400	+265 +208	+297 +208	+319 +294	+330 +294	+351 +294	+383 +294	+460 +435	+471 +435	+492 +435	+524 +435	+555 +530	+566 +530	+587 +530
400	450	+295 +232	+329 +232	+357 +330	+370 +330	+393 +330	+427 +330	+517 +490	+530 +490	+553 +490	+587 +490	+622 +595	+635 +595	+658 +595
450	500	+315 +252	+349 +252	+387 +360	+400 +360	+423 +360	+457 +360	+567 +540	+580 +540	+603 +540	+637 +540	+687 +660	+700 +660	+723 +660

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带												
		v		x				y				z		
大于	至	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
—	3	—	+24 +20	+26 +20	+30 +20	+34 +20	—	—	—	—	+30 +26	+32 +26	+36 +26	+40 +26
3	6	—	+33 +28	+36 +28	+40 +28	+46 +28	—	—	—	—	+40 +35	+43 +35	+47 +35	+53 +35
6	10	—	+40 +34	+43 +34	+49 +34	+56 +34	—	—	—	—	+48 +42	+51 +42	+57 +42	+64 +42
10	14	—	+48 +40	+51 +40	+58 +40	+67 +40	—	—	—	—	+58 +50	+61 +50	+68 +50	+77 +50
14	18	+66 +39	+53 +45	+56 +45	+63 +45	+72 +45	—	—	—	—	+68 +60	+71 +60	+78 +60	+87 +60
18	24	+80 +47	+63 +54	+67 +54	+75 +54	+87 +54	+72 +63	+76 +63	+84 +63	+96 +63	+82 +73	+86 +73	+94 +73	+106 +73
24	30	+88 +55	+73 +64	+77 +64	+85 +64	+97 +64	+84 +75	+88 +75	+96 +75	+108 +75	+97 +88	+101 +88	+109 +88	+121 +88
30	40	+107 +68	+91 +80	+96 +80	+105 +80	+119 +80	+105 +94	+110 +94	+119 +94	+133 +94	+123 +112	+128 +112	+137 +112	+151 +112
40	50	+120 +81	+108 +97	+113 +97	+122 +97	+136 +97	+125 +114	+130 +114	+139 +114	+153 +114	+147 +136	+152 +136	+161 +136	+175 +136
50	65	+148 +102	+135 +122	+141 +122	+152 +122	+168 +122	+157 +144	+163 +144	+174 +144	+190 +144	+185 +172	+191 +172	+202 +172	+218 +172
65	80	+166 +120	+159 +146	+165 +146	+176 +146	+192 +146	+187 +174	+193 +174	+204 +174	+220 +174	+223 +210	+229 +210	+240 +210	+256 +210
80	100	+200 +146	+193 +178	+200 +178	+213 +178	+232 +178	+229 +214	+236 +214	+249 +214	+268 +214	+273 +258	+280 +258	+293 +258	+312 +258
100	120	+226 +172	+225 +210	+232 +210	+245 +210	+264 +210	+269 +254	+276 +254	+289 +254	+308 +254	+325 +310	+332 +310	+345 +310	+364 +310
120	140	+265 +202	+266 +248	+273 +248	+288 +248	+311 +248	+318 +300	+325 +300	+340 +300	+363 +300	+383 +365	+390 +365	+405 +365	+428 +365
140	160	+291 +228	+298 +280	+305 +280	+320 +280	+343 +280	+358 +340	+365 +340	+380 +340	+403 +340	+433 +415	+440 +415	+455 +415	+478 +415
160	180	+315 +252	+328 +310	+335 +310	+350 +310	+373 +310	+398 +380	+405 +380	+420 +380	+443 +380	+483 +465	+490 +465	+505 +465	+528 +465
180	200	+356 +284	+370 +350	+379 +350	+396 +350	+422 +350	+445 +425	+454 +425	+471 +425	+497 +425	+540 +520	+549 +520	+566 +520	+592 +520
200	225	+382 +310	+405 +385	+414 +385	+431 +385	+457 +385	+490 +470	+499 +470	+516 +470	+542 +470	+595 +575	+604 +575	+621 +575	+647 +575
225	250	+412 +340	+445 +425	+454 +425	+471 +425	+497 +425	+540 +520	+549 +520	+566 +520	+592 +520	+660 +640	+669 +640	+686 +640	+712 +640
250	280	+466 +385	+498 +475	+507 +475	+527 +475	+556 +475	+603 +580	+612 +580	+632 +580	+661 +580	+733 +710	+742 +710	+762 +710	+791 +710
280	315	+506 +425	+548 +525	+557 +525	+577 +525	+606 +525	+673 +650	+682 +650	+702 +650	+731 +650	+813 +790	+822 +790	+842 +790	+871 +790
315	355	+564 +475	+615 +590	+626 +590	+647 +590	+679 +590	+755 +730	+766 +730	+787 +730	+819 +730	+925 +900	+936 +900	+957 +900	+989 +900
355	400	+619 +530	+685 +660	+696 +660	+717 +660	+749 +660	+845 +820	+856 +820	+877 +820	+909 +820	+1025 +1000	+1036 +1000	+1057 +1000	+1089 +1000
400	450	+692 +595	+767 +740	+780 +740	+803 +740	+837 +740	+947 +920	+960 +920	+983 +920	+1017 +920	+1127 +1100	+1140 +1100	+1163 +1100	+1197 +1100
450	500	+757 +660	+847 +820	+860 +820	+883 +820	+917 +820	+1027 +1000	+1040 +1000	+1063 +1000	+1097 +1000	+1277 +1250	+1290 +1250	+1313 +1250	+1347 +1250

注：公称尺寸小于1mm时，各级的a和b均不采用。

1.3.2 公称尺寸至500mm 孔的极限偏差 (见表 1.3-6)

表 1.3-6 公称尺寸至500mm 孔的极限偏差值 (摘自 GB/T 1800.2—2009) (μm)

公称尺寸 /mm		公 差 带												
		A				B				C				
大于	至	9	10	11	12	9	10	11	12	8	9	10	11	12
—	3	+295 +270	+310 +270	+330 +270	+370 +270	+165 +140	+180 +140	+200 +140	+240 +140	+74 +60	+85 +60	+100 +60	+120 +60	+160 +60
3	6	+300 +270	+318 +270	+345 +270	+390 +270	+170 +140	+188 +140	+215 +140	+260 +140	+88 +70	+100 +70	+118 +70	+145 +70	+190 +70
6	10	+316 +280	+338 +280	+370 +280	+430 +280	+186 +150	+208 +150	+240 +150	+300 +150	+102 +80	+116 +80	+138 +80	+170 +80	+230 +80
10	14	+333	+360	+400	+470	+193	+220	+260	+330	+122	+138	+165	+205	+275
14	18	+290	+290	+290	+290	+150	+150	+150	+150	+95	+95	+95	+95	+95
18	24	+352	+384	+430	+510	+212	+244	+290	+370	+143	+162	+194	+240	+320
24	30	+300	+300	+300	+300	+160	+160	+160	+160	+110	+110	+110	+110	+110
30	40	+372 +310	+410 +310	+470 +310	+560 +310	+232 +170	+270 +170	+330 +170	+420 +170	+159 +120	+182 +120	+220 +120	+280 +120	+370 +120
40	50	+382 +320	+420 +320	+480 +320	+570 +320	+242 +180	+280 +180	+340 +180	+430 +180	+169 +130	+192 +130	+230 +130	+290 +130	+380 +130
50	65	+414 +340	+460 +340	+530 +340	+640 +340	+264 +190	+310 +190	+380 +190	+490 +190	+186 +140	+214 +140	+260 +140	+330 +140	+440 +140
65	80	+434 +360	+480 +360	+550 +360	+660 +360	+274 +200	+320 +200	+390 +200	+500 +200	+196 +150	+224 +150	+270 +150	+340 +150	+450 +150
80	100	+467 +380	+520 +380	+600 +380	+730 +380	+307 +220	+360 +220	+440 +220	+570 +220	+224 +170	+257 +170	+310 +170	+390 +170	+520 +170
100	120	+497 +410	+550 +410	+630 +410	+760 +410	+327 +240	+380 +240	+460 +240	+590 +240	+234 +180	+267 +180	+320 +180	+400 +180	+530 +180
120	140	+560 +460	+620 +460	+710 +460	+860 +460	+360 +260	+420 +260	+510 +260	+660 +260	+263 +200	+300 +200	+360 +200	+450 +200	+600 +200
140	160	+620 +520	+680 +520	+770 +520	+920 +520	+380 +280	+440 +280	+530 +280	+680 +280	+273 +210	+310 +210	+370 +210	+460 +210	+610 +210
160	180	+680 +580	+740 +580	+830 +580	+980 +580	+410 +310	+470 +310	+560 +310	+710 +310	+293 +230	+330 +230	+390 +230	+480 +230	+630 +230
180	200	+775 +660	+845 +660	+950 +660	+1120 +660	+455 +340	+525 +340	+630 +340	+800 +340	+312 +240	+355 +240	+425 +240	+530 +240	+700 +240
200	225	+855 +740	+925 +740	+1030 +740	+1200 +740	+495 +380	+565 +380	+670 +380	+840 +380	+332 +260	+375 +260	+445 +260	+550 +260	+720 +260
225	250	+935 +820	+1005 +820	+1110 +820	+1280 +820	+535 +420	+605 +420	+710 +420	+880 +420	+352 +280	+395 +280	+465 +280	+570 +280	+740 +280
250	280	+1050 +920	+1130 +920	+1240 +920	+1440 +920	+610 +480	+690 +480	+800 +480	+1000 +480	+381 +300	+430 +300	+510 +300	+620 +300	+820 +300
280	315	+1180 +1050	+1260 +1050	+1370 +1050	+1570 +1050	+670 +540	+750 +540	+860 +540	+1060 +540	+411 +330	+460 +330	+540 +330	+650 +330	+850 +330
315	355	+1340 +1200	+1430 +1200	+1560 +1200	+1770 +1200	+740 +600	+830 +600	+960 +600	+1170 +600	+449 +360	+500 +360	+590 +360	+720 +360	+930 +360
355	400	+1490 +1350	+1580 +1350	+1710 +1350	+1920 +1350	+820 +680	+910 +680	+1040 +680	+1250 +680	+489 +400	+540 +400	+630 +400	+760 +400	+970 +400
400	450	+1655 +1500	+1750 +1500	+1900 +1500	+2130 +1500	+915 +760	+1010 +760	+1160 +760	+1390 +760	+537 +440	+595 +440	+690 +440	+840 +440	+1070 +440
450	500	+1805 +1650	+1900 +1650	+2050 +1650	+2280 +1650	+995 +840	+1090 +840	+1240 +840	+1470 +840	+577 +480	+635 +480	+730 +480	+880 +480	+1110 +480

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带												
		D					E				F			
大于	至	7	8	9	10	11	7	8	9	10	6	7	8	9
—	3	+30 +20	+34 +20	+45 +20	+60 +20	+80 +20	+24 +14	+28 +14	+39 +14	+54 +14	+12 +6	+16 +6	+20 +6	+31 +6
3	6	+42 +30	+48 +30	+60 +30	+78 +30	+105 +30	+32 +20	+38 +20	+50 +20	+68 +20	+18 +10	+22 +10	+28 +10	+40 +10
6	10	+55 +40	+62 +40	+76 +40	+98 +40	+130 +40	+40 +25	+47 +25	+61 +25	+83 +25	+22 +13	+28 +13	+35 +13	+49 +13
10	14	+68	+77	+93	+120	+160	+50	+59	+75	+102	+27	+34	+43	+59
14	18	+50	+50	+50	+50	+50	+32	+32	+32	+32	+16	+16	+16	+16
18	24	+86	+98	+117	+149	+195	+61	+73	+92	+124	+33	+41	+53	+72
24	30	+65	+65	+65	+65	+65	+40	+40	+40	+40	+20	+20	+20	+20
30	40	+105	+119	+142	+180	+240	+75	+89	+112	+150	+41	+50	+64	+87
40	50	+80	+80	+80	+80	+80	+50	+50	+50	+50	+25	+25	+25	+25
50	65	+130	+146	+174	+220	+290	+90	+106	+134	+180	+49	+60	+76	+104
65	80	+100	+100	+100	+100	+100	+60	+60	+60	+60	+30	+30	+30	+30
80	100	+155	+174	+207	+260	+340	+107	+126	+159	+212	+58	+71	+90	+123
100	120	+120	+120	+120	+120	+120	+72	+72	+72	+72	+36	+36	+36	+36
120	140													
140	160	+185 +145	+208 +145	+245 +145	+305 +145	+395 +145	+125 +85	+148 +85	+185 +85	+245 +85	+68 +43	+83 +43	+106 +43	+143 +43
160	180													
180	200													
200	225	+216 +170	+242 +170	+285 +170	+355 +170	+460 +170	+146 +100	+172 +100	+215 +100	+285 +100	+79 +50	+96 +50	+122 +50	+165 +50
225	250													
250	280	+242	+271	+320	+400	+510	+162	+191	+240	+320	+88	+108	+137	+186
280	315	+190	+190	+190	+190	+190	+110	+110	+110	+110	+56	+56	+56	+56
315	355	+267	+299	+350	+440	+570	+182	+214	+265	+355	+98	+119	+151	+202
355	400	+210	+210	+210	+210	+210	+125	+125	+125	+125	+62	+62	+62	+62
400	450	+293	+327	+385	+480	+630	+198	+232	+290	+385	+108	+131	+165	+223
450	500	+230	+230	+230	+230	+230	+135	+135	+135	+135	+68	+68	+68	+68

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带												
		H				J			JS					
大于	至	10	11	12	13	6	7	8	1	2	3	4	5	6
—	3	+40 0	+60 0	+100 0	+140 0	+2 -4	+4 -6	+6 -8	±0.4	±0.6	±1	±1.5	±2	±3
3	6	+48 0	+75 0	+120 0	+180 0	+5 -3	—	+10 -8	±0.5	±0.75	±1.25	±2	±2.5	±4
6	10	+58 0	+90 0	+150 0	+220 0	+5 -4	+8 -7	+12 -10	±0.5	±0.75	±1.25	±2	±3	±4.5
10	14	+70 0	+110 0	+180 0	+270 0	+6 -5	+10 -8	+15 -12	±0.6	±1	±1.5	±2.5	±4	±5.5
14	18													
18	24	+84 0	+130 0	+210 0	+330 0	+8 -5	+12 -9	+20 -13	±0.75	±1.25	±2	±3	±4.5	±6.5
24	30													
30	40	+100 0	+160 0	+250 0	+390 0	+10 -6	+14 -11	+24 -15	±0.75	±1.25	±2	±3.5	±5.5	±8
40	50													
50	65	+120 0	+190 0	+300 0	+460 0	+13 -6	+18 -12	+28 -18	±1	±1.5	±2.5	±4	±6.5	±9.5
65	80													
80	100	+140 0	+220 0	+350 0	+540 0	+16 -6	+22 -13	+34 -20	±1.25	±2	±3	±5	±7.5	±11
100	120													
120	140	+160 0	+250 0	+400 0	+630 0	+18 -7	+26 -14	+41 -22	±1.75	±2.5	±4	±6	±9	±12.5
140	160													
160	180													
180	200	+185 0	+290 0	+460 0	+720 0	+22 -7	+30 -16	+47 -25	±2.25	±3.5	±5	±7	±10	±14.5
200	225													
225	250													
250	280	+210 0	+320 0	+520 0	+810 0	+25 -7	+36 -16	+55 -26	±3	±4	±6	±8	±11.5	±16
280	315													
315	355	+230 0	+360 0	+570 0	+890 0	+29 -7	+39 -18	+60 -29	±3.5	±4.5	±6.5	±9	±12.5	±18
355	400													
400	450	+250 0	+400 0	+630 0	+970 0	+33 -7	+43 -20	+66 -31	±4	±5	±7.5	±10	±13.5	±20
450	500													

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带												
大于	至	JS							K					M
		7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	4
—	3	±5	±7	±12	±20	±30	±50	±70	0 -3	0 -4	0 -6	0 -10	0 -14	-2 -5
3	6	±6	±9	±15	±24	±37	±60	±90	+0.5 -3.5	0 -5	+2 -6	+3 -9	+5 -13	-2.5 -6.5
6	10	±7	±11	±18	±29	±45	±75	±110	+0.5 -3.5	+1 -5	+2 -7	+5 -10	+6 -16	-4.5 -8.5
10	14	±9	±13	±21	±35	±55	±90	±135	+1	+2	+2	+6	+8	-5
14	18								-4	-6	-9	-12	-19	-10
18	24	±10	±16	±26	±42	±65	±105	±165	0	+1	+2	+6	+10	-6
24	30								-6	-8	-11	-15	-23	-12
30	40	±12	±19	±31	±50	±80	±125	±195	+1	+2	+3	+7	+12	-6
40	50								-6	-9	-13	-18	-27	-13
50	65	±15	±23	±37	±60	±95	±150	±230	+1	+3	+4	+9	+14	-8
65	80								-7	-10	-15	-21	-32	-16
80	100	±17	±27	±43	±70	±110	±175	±270	+1	+2	+4	+10	+16	-9
100	120								-9	-13	-18	-25	-38	-19
120	140	±20	±31	±50	±80	±125	±200	±315	+1	+3	+4	+12	+20	-11
140	160								-11	-15	-21	-28	-43	-23
160	180													
180	200	±23	±36	±57	±92	±145	±230	±360	0	+2	+5	+13	+22	-13
200	225								-14	-18	-24	-33	-50	-27
225	250													
250	280	±26	±40	±65	±105	±160	±260	±405	0	+3	+5	+16	+25	-16
280	315								-16	-20	-27	-36	-56	-32
315	355	±28	±44	±70	±115	±180	±285	±445	+1	+3	+7	+17	+28	-16
355	400								-17	-22	-29	-40	-61	-34
400	450	±31	±48	±77	±125	±200	±315	±485	0	+2	+8	+18	+29	-18
450	500								-20	-25	-32	-45	-68	-38

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带												
		M				N					P			
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9	5	6	7	8
—	3	-2 -6	-2 -8	-2 -12	-2 -16	-4 -8	-4 -10	-4 -14	-4 -18	-4 -29	-6 -10	-6 -12	-6 -16	-6 -20
3	6	-3 -8	-1 -9	0 -12	+2 -16	-7 -12	-5 -13	-4 -16	-2 -20	0 -30	-11 -16	-9 -17	-8 -20	-12 -30
6	10	-4 -10	-3 -12	0 -15	+1 -21	-8 -14	-7 -16	-4 -19	-3 -25	0 -36	-13 -19	-12 -21	-9 -24	-15 -37
10	14	-4	-4	0	+2	-9	-9	-5	-3	0	-15	-15	-11	-18
14	18	-12	-15	-18	-25	-17	-20	-23	-30	-43	-23	-26	-29	-45
18	24	-5	-4	0	+4	-12	-11	-7	-3	0	-19	-18	-14	-22
24	30	-14	-17	-21	-29	-21	-24	-28	-36	-52	-28	-31	-35	-55
30	40	-5	-4	0	+5	-13	-12	-8	-3	0	-22	-21	-17	-26
40	50	-16	-20	-25	-34	-24	-28	-33	-42	-62	-33	-37	-42	-65
50	65	-6	-5	0	+5	-15	-14	-9	-4	0	-27	-26	-21	-32
65	80	-19	-24	-30	-41	-28	-33	-39	-50	-74	-40	-45	-51	-78
80	100	-8	-6	0	+6	-18	-16	-10	-4	0	-32	-30	-24	-37
100	120	-23	-28	-35	-48	-33	-38	-45	-58	-87	-47	-52	-59	-91
120	140	-9	-8	0	+8	-21	-20	-12	-4	0	-37	-36	-28	-43
140	160	-27	-33	-40	-55	-39	-45	-52	-67	-100	-55	-61	-68	-106
160	180													
180	200	-11	-8	0	+9	-25	-22	-14	-5	0	-44	-41	-33	-50
200	225	-31	-37	-46	-63	-45	-51	-60	-77	-115	-64	-70	-79	-122
225	250													
250	280	-13	-9	0	+9	-27	-25	-14	-5	0	-49	-47	-36	-56
280	315	-36	-41	-52	-72	-50	-57	-66	-86	-130	-72	-79	-88	-137
315	355	-14	-10	0	+11	-30	-26	-16	-5	0	-55	-51	-41	-62
355	400	-39	-46	-57	-78	-55	-62	-73	-94	-140	-80	-87	-98	-151
400	450	-16	-10	0	+11	-33	-27	-17	-6	0	-61	-55	-45	-68
450	500	-43	-50	-63	-86	-60	-67	-80	-103	-155	-88	-95	-108	-165

(续)

公称尺寸		公 差 带													
/mm		P	R					S				T			U
大于	至	9	5	6	7	8	5	6	7	8	6	7	8	6	
—	3	-6 -31	-10 -14	-10 -16	-10 -20	-10 -24	-14 -18	-14 -20	-14 -24	-14 -28	—	—	—	-18 -24	
3	6	-12 -42	-14 -19	-12 -20	-11 -23	-15 -33	-18 -23	-16 -24	-15 -27	-19 -37	—	—	—	-20 -28	
6	10	-15 -51	-17 -23	-16 -25	-13 -28	-19 -41	-21 -27	-20 -29	-17 -32	-23 -45	—	—	—	-25 -34	
10	14	-18	-20	-20	-16	-23	-25	-25	-21	-28	—	—	—	-30	
14	18	-61	-28	-31	-34	-50	-33	-36	-39	-55				-41	
18	24	-22 -74	-25 -34	-24 -37	-20 -41	-28 -61	-32 -41	-31 -44	-27 -48	-35 -68	—	—	—	-37 -50	
24	30										-37 -50	-33 -54	-41 -74	-44 -57	
30	40	-26 -88	-30 -41	-29 -45	-25 -50	-34 -73	-39 -50	-38 -54	-34 -59	-43 -82	-43 -59	-39 -64	-48 -87	-55 -71	
40	50										-49 -65	-45 -70	-54 -93	-65 -81	
50	65	-32 -106	-36 -49	-35 -54	-30 -60	-41 -87	-48 -61	-47 -66	-42 -72	-53 -99	-60 -79	-55 -85	-66 -112	-81 -100	
65	80		-38 -51	-37 -56	-32 -62	-43 -89	-54 -67	-53 -72	-48 -78	-59 -105	-69 -88	-64 -94	-75 -121	-96 -115	
80	100	-37 -124	-46 -61	-44 -66	-38 -73	-51 -105	-66 -81	-64 -86	-58 -93	-71 -125	-84 -106	-78 -113	-91 -145	-117 -139	
100	120		-49 -64	-47 -69	-41 -76	-54 -108	-74 -89	-72 -94	-66 -101	-79 -133	-97 -119	-91 -126	-104 -158	-137 -159	
120	140	-43 -143	-57 -75	-56 -81	-48 -88	-63 -126	-86 -104	-85 -110	-77 -117	-92 -155	-115 -140	-107 -147	-122 -185	-163 -188	
140	160		-59 -77	-58 -83	-50 -90	-65 -128	-94 -112	-93 -118	-85 -125	-100 -163	-127 -152	-119 -159	-134 -197	-183 -208	
160	180		-62 -80	-61 -86	-53 -93	-68 -131	-102 -120	-101 -126	-93 -133	-108 -171	-139 -164	-131 -171	-146 -209	-203 -228	
180	200	-50 -165	-71 -91	-68 -97	-60 -106	-77 -149	-116 -136	-113 -142	-105 -151	-122 -194	-157 -186	-149 -195	-166 -238	-227 -256	
200	225		-74 -94	-71 -100	-63 -109	-80 -152	-124 -144	-121 -150	-113 -159	-130 -202	-171 -200	-163 -209	-180 -252	-249 -278	
225	250		-78 -98	-75 -104	-67 -113	-84 -156	-134 -154	-131 -160	-123 -169	-140 -212	-187 -216	-179 -225	-196 -268	-275 -304	
250	280	-50 -186	-87 -110	-85 -117	-74 -126	-94 -175	-151 -174	-149 -181	-138 -190	-158 -239	-209 -241	-198 -250	-218 -299	-306 -338	
280	315		-91 -114	-89 -121	-78 -130	-98 -179	-163 -186	-161 -193	-150 -202	-170 -251	-231 -263	-220 -272	-240 -321	-341 -373	
315	355	-62 -202	-101 -126	-97 -133	-87 -144	-108 -197	-183 -208	-179 -215	-169 -226	-190 -279	-257 -293	-247 -304	-268 -357	-379 -415	
355	400		-107 -132	-103 -139	-93 -150	-114 -203	-201 -226	-197 -233	-187 -244	-208 -297	-283 -319	-273 -330	-294 -383	-424 -460	
400	450	-68 -223	-119 -146	-113 -153	-103 -166	-126 -223	-225 -252	-219 -259	-209 -272	-232 -329	-317 -357	-307 -370	-330 -427	-477 -517	
450	500		-125 -152	-119 -159	-109 -172	-132 -229	-245 -272	-239 -279	-229 -292	-252 -349	-347 -387	-337 -400	-360 -457	-527 -567	

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带														
		U		V			X			Y			Z			
大于	至	7	8	6	7	8	6	7	8	6	7	8	6	7	8	
—	3	-18 -28	-18 -32	—	—	—	-20 -26	-20 -30	-20 -34	—	—	—	-26 -32	-26 -36	-26 -40	
3	6	-19 -31	-23 -41	—	—	—	-25 -33	-24 -36	-28 -46	—	—	—	-32 -40	-31 -43	-35 -53	
6	10	-22 -37	-28 -50	—	—	—	-31 -40	-28 -43	-34 -56	—	—	—	-39 -48	-36 -51	-42 -64	
10	14	-26 -44	-33 -60	—	—	—	-37 -48	-33 -51	-40 -67	—	—	—	-47 -58	-43 -61	-50 -77	
14	18			-36 -47	-32 -50	-39 -66	-42 -53	-38 -56	-45 -72	—	—	—	-57 -68	-53 -71	-60 -87	
18	24	-33 -54	-41 -74	-43 -56	-39 -60	-47 -80	-50 -63	-46 -67	-54 -87	-59 -72	-55 -76	-63 -96	-69 -82	-65 -86	-73 -106	
24	30	-40 -61	-48 -81	-51 -64	-47 -68	-55 -88	-60 -73	-56 -77	-64 -97	-71 -84	-67 -88	-75 -108	-84 -97	-80 -101	-88 -121	
30	40	-51 -76	-60 -99	-63 -79	-59 -84	-68 -107	-75 -91	-71 -96	-80 -119	-89 -105	-85 -110	-94 -133	-107 -123	-103 -128	-112 -151	
40	50	-61 -86	-70 -109	-76 -92	-72 -97	-81 -120	-92 -108	-88 -113	-97 -136	-109 -125	-105 -130	-114 -153	-131 -147	-127 -152	-136 -175	
50	65	-76 -106	-87 -133	-96 -115	-91 -121	-102 -148	-116 -135	-111 -141	-122 -168	-138 -157	-133 -163	-144 -190	-166 -185	-161 -191	-172 -218	
65	80	-91 -121	-102 -148	-114 -133	-109 -139	-120 -166	-140 -159	-135 -165	-146 -192	-168 -187	-163 -193	-174 -220	-204 -223	-199 -229	-210 -256	
80	100	-111 -146	-124 -178	-139 -161	-133 -168	-146 -200	-171 -193	-165 -200	-178 -232	-207 -229	-201 -236	-214 -268	-251 -273	-245 -280	-258 -312	
100	120	-131 -166	-144 -198	-165 -187	-159 -194	-172 -226	-203 -225	-197 -232	-210 -264	-247 -269	-241 -276	-254 -308	-303 -325	-297 -332	-310 -364	
120	140	-155 -195	-170 -233	-195 -220	-187 -227	-202 -265	-241 -266	-233 -273	-248 -311	-293 -318	-285 -325	-300 -363	-358 -383	-350 -390	-365 -428	
140	160	-175 -215	-190 -253	-221 -246	-213 -253	-228 -291	-273 -298	-265 -305	-280 -343	-333 -358	-325 -365	-340 -403	-408 -433	-400 -440	-415 -478	
160	180	-195 -235	-210 -273	-245 -270	-237 -277	-252 -315	-303 -328	-295 -335	-310 -373	-373 -398	-365 -405	-380 -443	-458 -483	-450 -490	-465 -528	
180	200	-219 -265	-236 -308	-275 -304	-267 -313	-284 -356	-341 -370	-333 -379	-350 -422	-416 -445	-408 -454	-425 -497	-511 -540	-503 -549	-520 -592	
200	225	-241 -287	-258 -330	-301 -330	-293 -339	-310 -382	-376 -405	-368 -414	-385 -457	-461 -490	-453 -499	-470 -542	-566 -595	-558 -604	-575 -647	
225	250	-267 -313	-284 -356	-331 -360	-323 -369	-340 -412	-416 -445	-408 -454	-425 -497	-511 -540	-503 -549	-520 -592	-631 -660	-623 -669	-640 -712	
250	280	-295 -347	-315 -396	-376 -408	-365 -417	-385 -466	-466 -498	-455 -507	-475 -556	-571 -603	-560 -612	-580 -661	-701 -733	-690 -742	-710 -791	
280	315	-330 -382	-350 -431	-416 -448	-405 -457	-425 -506	-516 -548	-505 -557	-525 -606	-641 -673	-630 -682	-650 -731	-781 -813	-770 -822	-790 -871	
315	355	-369 -426	-390 -479	-464 -500	-454 -511	-475 -564	-579 -615	-569 -626	-590 -679	-719 -755	-709 -766	-730 -819	-889 -925	-879 -936	-900 -989	
355	400	-414 -471	-435 -524	-519 -555	-509 -566	-530 -619	-649 -685	-639 -696	-660 -749	-809 -845	-799 -856	-820 -909	-989 -1025	-979 -1036	-1000 -1089	
400	450	-467 -530	-490 -587	-582 -622	-572 -635	-595 -692	-727 -767	-717 -780	-740 -837	-907 -947	-897 -960	-920 -1017	-1087 -1127	-1077 -1140	-1100 -1197	
450	500	-517 -580	-540 -637	-647 -687	-637 -700	-660 -757	-807 -847	-797 -860	-820 -917	-987 -1027	-977 -1040	-1000 -1097	-1237 -1277	-1227 -1290	-1250 -1347	

注：1. 公称尺寸小于1mm时，各级的A和B均不采用。

2. 公差带N9、N10和N11只用于大于1mm的公称尺寸。

1.3.3 公称尺寸>500~3150mm 轴和孔的极限偏差 (表 1.3-7、表 1.3-8)

表 1.3-7 公称尺寸>500~3150mm 轴的极限偏差 (摘自 GB/T 1800.2—2009)

(μm)

公称尺寸 /mm		公 差 带																				
		d				e		f			g		h								js	
大于	至	8	9	10	11	8	9	7	8	9	6	7	6	7	8	9	10	11	12	6	7	8
500	560	- 260 - 370	- 260 - 435	- 260 - 540	- 260 - 700	- 145 - 255	- 145 - 320	- 76 - 146	- 76 - 186	- 76 - 251	- 22 - 66	- 22 - 92	0 - 44	0 - 70	0 - 110	0 - 175	0 - 280	0 - 440	0 - 700	± 22	± 35	± 55
560	630																					
630	710	- 290 - 415	- 290 - 490	- 290 - 610	- 290 - 790	- 160 - 285	- 160 - 360	- 80 - 160	- 80 - 205	- 80 - 280	- 24 - 74	- 24 - 104	0 - 50	0 - 80	0 - 125	0 - 200	0 - 320	0 - 500	0 - 800	± 25	± 40	± 62
710	800																					
800	900	- 320 - 460	- 320 - 550	- 320 - 680	- 320 - 880	- 170 - 310	- 170 - 400	- 86 - 176	- 86 - 226	- 86 - 316	- 26 - 82	- 26 - 116	0 - 56	0 - 90	0 - 140	0 - 230	0 - 360	0 - 560	0 - 900	± 28	± 45	± 70
900	1000																					
1000	1120	- 350 - 515	- 350 - 610	- 350 - 770	- 350 - 1010	- 195 - 360	- 195 - 455	- 98 - 203	- 98 - 263	- 98 - 358	- 28 - 94	- 28 - 133	0 - 66	0 - 105	0 - 165	0 - 260	0 - 420	0 - 660	0 - 1050	± 33	± 52	± 82
1120	1250																					
1250	1400	- 390 - 585	- 390 - 700	- 390 - 890	- 390 - 1170	- 220 - 415	- 220 - 530	- 110 - 235	- 110 - 305	- 110 - 420	- 30 - 108	- 30 - 155	0 - 78	0 - 125	0 - 195	0 - 310	0 - 500	0 - 780	0 - 1250	± 39	± 62	± 97
1400	1600																					
1600	1800	- 430 - 660	- 430 - 800	- 430 - 1030	- 430 - 1350	- 240 - 470	- 240 - 610	- 120 - 270	- 120 - 350	- 120 - 490	- 32 - 124	- 32 - 182	0 - 92	0 - 150	0 - 230	0 - 370	0 - 600	0 - 920	0 - 1500	± 46	± 75	± 115
1800	2000																					
2000	2240	- 480 - 760	- 480 - 920	- 480 - 1180	- 480 - 1580	- 260 - 540	- 260 - 700	- 130 - 305	- 130 - 410	- 130 - 570	- 34 - 144	- 34 - 209	0 - 110	0 - 175	0 - 280	0 - 440	0 - 700	0 - 110	0 - 1750	± 55	± 87	± 140
2240	2500																					
2500	2800	- 520 - 850	- 520 - 1060	- 520 - 1380	- 520 - 1870	- 290 - 620	- 290 - 830	- 145 - 355	- 145 - 475	- 145 - 685	- 38 - 173	- 38 - 248	0 - 135	0 - 210	0 - 330	0 - 540	0 - 860	0 - 1350	0 - 2100	± 67. 5	± 105	± 165
2800	3150																					

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带																			
		js				k		m		n		p		r		s		t		u	
大于	至	9	10	11	12	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7
500	560	± 87	± 140	± 220	± 350	+ 44 0	+ 70 0	+ 70 + 26	+ 96 + 26	+ 88 + 44	+ 114 + 44	+ 122 + 78	+ 148 + 78	+ 194	+ 220	+ 324	+ 350	+ 444	+ 470	+ 644	+ 670
560	630													+ 150	+ 150	+ 280	+ 280	+ 400	+ 400	+ 600	+ 600
630	710	± 100	± 160	± 250	± 400	+ 50 0	+ 80 0	+ 80 + 30	+ 110 + 30	+ 100 + 50	+ 130 + 50	+ 138 + 88	+ 168 + 88	+ 199	+ 225	+ 354	+ 380	+ 494	+ 520	+ 704	+ 730
														+ 155	+ 155	+ 310	+ 310	+ 450	+ 450	+ 660	+ 660
710	800	± 115	± 180	± 280	± 450	+ 56 0	+ 90 0	+ 90 + 34	+ 124 + 34	+ 112 + 56	+ 146 + 56	+ 156 + 100	+ 190 + 100	+ 225	+ 255	+ 390	+ 420	+ 550	+ 580	+ 790	+ 820
														+ 175	+ 175	+ 340	+ 340	+ 500	+ 500	+ 740	+ 740
800	900	± 130	± 210	± 330	± 525	+ 66 0	+ 105 0	+ 106 40	+ 145 + 40	+ 132 + 66	+ 171 + 66	+ 186 + 120	+ 225 + 120	+ 235	+ 265	+ 430	+ 460	+ 610	+ 640	+ 890	+ 920
														+ 185	+ 185	+ 380	+ 380	+ 560	+ 560	+ 840	+ 840
900	1000	± 155	± 250	± 390	± 625	+ 78 0	+ 125 0	+ 126 + 48	+ 173 + 48	+ 156 + 78	+ 203 + 78	+ 218 + 140	+ 265 + 140	+ 266	+ 300	+ 486	+ 520	+ 676	+ 710	+ 996	+ 1030
														+ 210	+ 210	+ 430	+ 430	+ 620	+ 620	+ 940	+ 940
1000	1120	± 185	± 300	± 460	± 750	+ 92 0	+ 150 0	+ 150 + 58	+ 208 + 58	+ 184 + 92	+ 242 + 92	+ 262 + 170	+ 320 + 170	+ 276	+ 310	+ 526	+ 560	+ 736	+ 770	+ 1106	+ 1140
														+ 220	+ 220	+ 470	+ 470	+ 680	+ 680	+ 1050	+ 1050
1120	1250	± 220	± 350	± 550	± 875	+ 110 0	+ 175 0	+ 178 + 68	+ 243 + 68	+ 220 + 110	+ 285 + 110	+ 305 + 195	+ 370 + 195	+ 316	+ 355	+ 586	+ 625	+ 846	+ 885	+ 1216	+ 1255
														+ 250	+ 250	+ 520	+ 520	+ 780	+ 780	+ 1150	+ 1150
1250	1400	± 270	± 430	± 675	± 1050	+ 135 0	+ 210 0	+ 211 + 76	+ 286 + 76	+ 270 + 135	+ 345 + 135	+ 375 + 240	+ 450 + 240	+ 326	+ 365	+ 646	+ 685	+ 906	+ 945	+ 1366	+ 1405
														+ 260	+ 260	+ 580	+ 580	+ 840	+ 840	+ 1300	+ 1300
1400	1600	± 330	± 510	± 765	± 1225	+ 165 0	+ 255 0	+ 256 + 96	+ 346 + 96	+ 285 + 165	+ 385 + 165	+ 425 + 285	+ 510 + 285	+ 378	+ 425	+ 718	+ 765	+ 1038	+ 1085	+ 1528	+ 1575
														+ 300	+ 300	+ 640	+ 640	+ 960	+ 960	+ 1450	+ 1450
1600	1800	± 400	± 600	± 900	± 1350	+ 210 0	+ 315 0	+ 316 + 120	+ 416 + 120	+ 345 + 120	+ 465 + 120	+ 510 + 345	+ 600 + 345	+ 408	+ 455	+ 798	+ 845	+ 1128	+ 1175	+ 1678	+ 1725
														+ 330	+ 330	+ 720	+ 720	+ 1050	+ 1050	+ 1600	+ 1600
1800	2000	± 460	± 690	± 1035	± 1550	+ 240 0	+ 360 0	+ 361 + 144	+ 481 + 144	+ 400 + 144	+ 520 + 144	+ 585 + 400	+ 670 + 400	+ 462	+ 520	+ 912	+ 970	+ 1292	+ 1350	+ 1942	+ 2000
														+ 370	+ 370	+ 820	+ 820	+ 1200	+ 1200	+ 1850	+ 1850
2000	2240	± 500	± 750	± 1125	± 1680	+ 280 0	+ 420 0	+ 421 + 168	+ 561 + 168	+ 450 + 168	+ 590 + 168	+ 665 + 450	+ 750 + 450	+ 492	+ 550	+ 1012	+ 1070	+ 1442	+ 1500	+ 2092	+ 2150
														+ 400	+ 400	+ 920	+ 920	+ 1350	+ 1350	+ 2000	+ 2000
2240	2500	± 550	± 825	± 1235	± 1850	+ 330 0	+ 495 0	+ 496 + 198	+ 666 + 198	+ 550 + 198	+ 700 + 198	+ 785 + 550	+ 880 + 550	+ 550	+ 615	+ 1110	+ 1175	+ 1610	+ 1675	+ 2410	+ 2475
														+ 440	+ 440	+ 1000	+ 1000	+ 1500	+ 1500	+ 2300	+ 2300
2500	2800	± 600	± 900	± 1350	± 2025	+ 380 0	+ 570 0	+ 571 + 228	+ 771 + 228	+ 650 + 228	+ 830 + 228	+ 925 + 650	+ 1030 + 650	+ 570	+ 635	+ 1210	+ 1275	+ 1760	+ 1825	+ 2610	+ 2675
														+ 460	+ 460	+ 1100	+ 1100	+ 1650	+ 1650	+ 2500	+ 2500
2800	3150	± 660	± 990	± 1485	± 2225	+ 440 0	+ 660 0	+ 661 + 264	+ 881 + 264	+ 750 + 264	+ 960 + 264	+ 1065 + 750	+ 1180 + 750	+ 685	+ 760	+ 1385	+ 1460	+ 2035	+ 2110	+ 3035	+ 3110
														+ 550	+ 550	+ 1250	+ 1250	+ 1900	+ 1900	+ 2900	+ 2900
		± 720	± 1080	± 1620	± 2430	+ 500 0	+ 750 0	+ 751 + 300	+ 1001 + 300	+ 850 + 300	+ 1100 + 300	+ 1225 + 850	+ 1360 + 850	+ 715	+ 790	+ 1535	+ 1610	+ 2235	+ 2310	+ 3335	+ 3410
														+ 580	+ 580	+ 1400	+ 1400	+ 2100	+ 2100	+ 3200	+ 3200

注: js 的数值: 对 IT7 ~ IT11, 若 IT 的数值 (μm) 为奇数, 则取 $js = \pm \frac{IT-1}{2}$ 。

表 1.3-8 公称尺寸 >500 ~ 3150mm 孔的极限偏差 (摘自 GB/T 1800.2—2009)

(μm)

公称尺寸 /mm		公 差 带															
		D				E		F			G		H				
大于	至	8	9	10	11	8	9	7	8	9	6	7	6	7	8	9	10
500	630	+370 +260	+435 +260	+540 +260	+700 +260	+255 +145	+320 +145	+146 +76	+186 +76	+251 +76	+66 +22	+92 +22	+44 0	+70 0	+110 0	+175 0	+280 0
630	800	+415 +290	+490 +290	+610 +290	+790 +290	+285 +160	+360 +160	+160 +80	+205 +80	+280 +80	+74 +24	+104 +24	+50 0	+80 0	+125 0	+200 0	+320 0
800	1000	+460 +320	+550 +320	+680 +320	+880 +320	+310 +170	+400 +170	+176 +86	+226 +86	+316 +86	+82 +26	+116 +26	+56 0	+90 0	+140 0	+230 0	+360 0
1000	1250	+515 +350	+610 +350	+770 +350	+1010 +350	+360 +195	+455 +195	+203 +98	+263 +98	+358 +98	+94 +28	+133 +28	+66 0	+105 0	+165 0	+260 0	+420 0
1250	1600	+585 +390	+700 +390	+890 +390	+1170 +390	+415 +220	+530 +220	+235 +110	+305 +110	+420 +110	+108 +30	+155 +30	+78 0	+125 0	+195 0	+310 0	+500 0
1600	2000	+660 +430	+800 +430	+1030 +430	+1350 +430	+470 +240	+610 +240	+270 +120	+350 +120	+490 +120	+124 +32	+182 +32	+92 0	+150 0	+230 0	+370 0	+600 0
2000	2500	+760 +480	+920 +480	+1180 +480	+1580 +480	+540 +260	+700 +260	+305 +130	+410 +130	+570 +130	+144 +34	+209 +34	+110 0	+175 0	+280 0	+440 0	+700 0
2500	3150	+850 +520	+1060 +520	+1380 +520	+1870 +520	+620 +290	+830 +290	+355 +145	+475 +145	+685 +145	+173 +38	+248 +38	+135 0	+210 0	+330 0	+540 0	+860 0

(续)

公称尺寸 /mm		公 差 带														
		H		JS							K		M		N	
大于	至	11	12	6	7	8	9	10	11	12	6	7	6	7	6	7
500	630	+440 0	+700 0	±22	±35	±55	±87	±140	±220	±350	0 -44	0 -70	-26 -70	-26 -96	-44 -88	-44 -114
630	800	+500 0	+800 0	±25	±40	±62	±100	±160	±250	±400	0 -50	0 -80	-30 -80	-30 -110	-50 -100	-50 -130
800	1000	+560 0	+900 0	±28	±45	±70	±115	±180	±280	±450	0 -56	0 -90	-34 -90	-34 -124	-56 -112	-56 -146
1000	1250	+660 0	+1050 0	±33	±52	±82	±130	±210	±330	±525	0 -66	0 -105	-40 -106	-40 -145	-66 -132	-66 -171
1250	1600	+780 0	+1250 0	±39	±62	±97	±155	±250	±390	±625	0 -78	0 -125	-48 -126	-48 -173	-78 -156	-78 -203
1600	2000	+920 0	+1500 0	±46	±75	±115	±185	±300	±460	±750	0 -92	0 -150	-58 -150	-58 -208	-92 -184	-92 -242
2000	2500	+1100 0	+1750 0	±55	±87	±140	±220	±350	±550	±875	0 -110	0 -175	-68 -178	-68 -243	-110 -220	-110 -285
2500	3150	+1350 0	+2100 0	±67.5	±105	±165	±270	±430	±675	±1050	0 -135	0 -210	-76 -211	-76 -286	-135 -270	-135 -345

注：对 IT7 ~ IT11，若 IT 的数值 (μm) 为奇数，则取 JS = $\pm \frac{IT-1}{2}$ 。

1.4 一般公差

一般公差指在车间通常加工条件下可保证的公差。采用一般公差的尺寸，在该尺寸后不需注出其极限偏差数值。选取图样上未注公差尺寸的一般公差的公差等级时，应考虑通常的车间精度并由相应的技术文件或标准作出具体规定。

由不同类型的工艺（例如切削和铸造）分别加工形成的两表面之间的未注公差的尺寸，应按规定的两个一般公差数值中的较大值控制。

以角度单位规定的一般公差仅控制表面的线或素线的总方向，不控制它们的形状误差。从实际表面得到的线的总方向是理想几何形状的接触线方向。接触线和实际之间的最大距离是最小可能值。

一般公差分为精密 f、中等 m、粗糙 c、最粗 v 共 4 个公差等级。按未注公差的线性尺寸和角度尺寸分别给出了各公差等级的极限偏差数值。

(1) 一般公差的线性尺寸的极限偏差（见表 1.3-9）

(2) 一般公差的角度尺寸的极限偏差（见表

1.3-10）

该标准适用于金属切削加工的尺寸，也适用于一般的冲压加工的尺寸。非金属材料和其他工艺方法加工的尺寸可参照采用。

采用该标准时，应在图样上或技术文件中注明该标准号及公差等级代号。例如选取中等级别时，标注为：GB/T 1804—m。

1.5 极限与配合的选择

1.5.1 孔、轴常用公差带的选择

公称尺寸至 500mm 的孔、轴的公差带选择见表 1.3-11，相应的极限偏差见表 1.3-5、表 1.3-6。选择时，应优先选用圆圈中的公差带，其次选用方框中的公差带，最后选用其他的公差带。

1.5.2 轴的各种基本偏差的应用（见表 1.3-12）

1.5.3 公称尺寸至 500mm 的基孔制优先和常用配合（见表 1.3-13）

1.5.4 公称尺寸至 500mm 的基轴制优先和常用配合（见表 1.3-14）

1.5.5 常用、优先配合特性及应用举例（见表 1.3-15）

表 1.3-9 线性尺寸的极限偏差数值（摘自 GB/T 1804—2000） (mm)

公差等级	线性尺寸的极限偏差数值								倒圆半径与倒角高度 尺寸的极限偏差数值			
	基本尺寸分段								基本尺寸分段			
	0.5 ~ 3	> 3 ~ 6	> 6 ~ 30	> 30 ~ 120	> 120 ~ 400	> 400 ~ 1000	> 1000 ~ 2000	> 2000 ~ 4000	0.5 ~ 3	> 3 ~ 6	> 6 ~ 30	> 30
精密 f	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	—	±0.2	±0.5	±1	±2
中等 m	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2				
粗糙 c	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±0.4	±1	±2	±4
最粗 v	—	±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±6	±8				

表 1.3-10 角度尺寸的极限偏差数值（摘自 GB/T 1804—2000）

公差等级	长度分段/mm				
	≤10	> 10 ~ 50	> 50 ~ 120	> 120 ~ 400	> 400
精密 f	±1°	±30′	±20′	±10′	±5′
中等 m					
粗糙 c	±1°30′	±1°	±30′	±15′	±10′
最粗 v	±3°	±2°	±1°	±30′	±20′

表 1.3-11 公称尺寸至 500mm 的孔、轴公差带 (摘自 GB/T 1801—2009)

Figure 1 illustrates the selection of tolerance grades for shaft and hole fits, categorized into three fit types: Loose Fit (孔公差带), Medium Fit (过渡配合), and Tight Fit (过盈配合).

Loose Fit (孔公差带): This section shows the selection of tolerance grades for loose fits. The diagram displays the tolerance zones for holes (H) and shafts (h) across various IT grades (IT1 to IT13). The tolerance zones for holes are represented by rectangles, and the tolerance zones for shafts are represented by circles. The diagram shows that for loose fits, the shaft tolerance zone is entirely below the hole tolerance zone. The selection of tolerance grades is based on the required fit and the manufacturing capabilities of the parts.

Medium Fit (过渡配合): This section shows the selection of tolerance grades for medium fits. The diagram displays the tolerance zones for holes (H) and shafts (h) across various IT grades (IT1 to IT13). The tolerance zones for holes are represented by rectangles, and the tolerance zones for shafts are represented by circles. The diagram shows that for medium fits, the shaft tolerance zone overlaps with the hole tolerance zone. The selection of tolerance grades is based on the required fit and the manufacturing capabilities of the parts.

Tight Fit (过盈配合): This section shows the selection of tolerance grades for tight fits. The diagram displays the tolerance zones for holes (H) and shafts (h) across various IT grades (IT1 to IT13). The tolerance zones for holes are represented by rectangles, and the tolerance zones for shafts are represented by circles. The diagram shows that for tight fits, the shaft tolerance zone is entirely above the hole tolerance zone. The selection of tolerance grades is based on the required fit and the manufacturing capabilities of the parts.

表 1.3-12 轴的各种基本偏差的应用

配合	基本偏差	配合特性及应用	配合	基本偏差	配合特性及应用
间隙配合	a、b	可得到特别大的间隙，应用很少	间隙配合	e	多用于 IT7 ~ IT9 级，通常适用于要求有明显间隙，易于转动的支承配合，如大跨距支承、多支点支承等配合，高等级的 e 轴适应于大的、高速重载支承，如涡轮发电机，大的电动机支承等，也适用于内燃机主要轴承，凸轮轴支承、摇臂支承等配合
	c	可得到很大间隙，一般适用于缓慢、松弛的动配合，用于工作条件较差（如农业机械），受力变形，或为了便于装配而必须有较大间隙时。推荐配合为 H11/c11。其较高等级的配合，如 H8/c7 适用于轴在高温工作的紧密动配合，例如内燃机排气阀和导管		f	多用于 IT6 ~ IT8 级的一般转动配合。当温度差别不大，对配合基本上没影响时，被广泛用于普通润滑油（或润滑脂）润滑的支承，如齿轮箱、小电动机、泵等的转轴与滑动支承的配合
	d	一般用于 IT7 ~ IT11 级，适用于松的转动配合，如密封盖、滑轮、空转带轮等与轴的配合。也适用于大直径滑动轴承配合，如透平机、球磨机、轧滚成型和重型弯曲机及其他重型机械中的一些滑动支承			

(续)

配合	基本偏差	配合特性及应用	配合	基本偏差	配合特性及应用
间隙配合	g	多用于 IT5 ~ IT7 级, 配合间隙很小, 制造成本高, 除很轻载荷的精密装置外, 不推荐用于转动配合, 最适合不回转的精密滑动配合, 也用于插销等定位配合, 如精密连杆轴承、活塞及滑阀、连杆销等	过渡配合	n	平均过盈比用 m 轴时稍大, 很少得到间隙, 适用于 IT4 ~ IT7 级。用锤或压力机装配。通常推荐用于紧密的组件配合。H6/n5 为过盈配合
	h	多用于 IT4 ~ IT11 级, 广泛应用于无相对转动的零件, 作为一般的定位配合。若没有温度、变形的影响, 也用于精密滑动配合	过盈配合	p	与 H6 或 H7 孔配合时是过盈配合, 而与 H8 孔配合时为过渡配合。对非铁类零件, 为较轻的压入配合, 当需要时易于拆卸。对钢、铸铁或铜—钢组件装配是标准压入配合。对弹性材料, 如轻合金等, 往往要求很小的过盈, 可采用 p 轴配合
过渡配合	js	为完全对称偏差 ($\pm IT/2$), 平均起来为稍有间隙的配合, 多用于 IT4 ~ IT7 级, 要求间隙比 h 轴配合时小, 并允许略有过盈的定位配合, 如联轴器、齿圈与钢制轮毂, 一般可用锤子或木槌装配		r	对铁类零件, 为中等打入配合, 对非铁类零件, 为轻的打入配合, 当需要时可以拆卸。与 H8 孔配合, 直径在 $\phi 100\text{mm}$ 以上时为过盈配合, 直径小时为过渡配合
	k	平均起来没有间隙的配合, 适用于 IT4 ~ IT7 级, 推荐用于要求稍有过的定位配合, 例如为了消除振动用的定位配合。一般用木槌装配		s	用于钢和铁制零件的永久性和半永久性装配, 过盈量充分, 可产生相当大的结合力。当用弹性材料, 如轻合金时, 配合性质与铁类零件的 p 轴相当。例如套环压在轴上、阀座等配合。尺寸较大时, 为了避免损伤配合表面, 需用热胀或冷缩法装配
	m	平均起来具有不大过盈的过渡配合, 适用于 IT4 ~ IT7 级。一般可用木槌装配, 但在最大过盈时, 要求相当的压入力		t、u、v、x、y、z	过盈量依次增大, 除 u 外, 一般不推荐

表 1.3-13 基孔制优先、常用配合

基准孔	轴																				
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z
	间隙配合								过渡配合				过盈配合								
H6						$\frac{H6}{f5}$	$\frac{H6}{g5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{js5}$	$\frac{H6}{k5}$	$\frac{H6}{m5}$	$\frac{H6}{n5}$	$\frac{H6}{p5}$	$\frac{H6}{r5}$	$\frac{H6}{s5}$	$\frac{H6}{t5}$					
H7						$\frac{H7}{f6}$	$\frac{H7}{g6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{js6}$	$\frac{H7}{k6}$	$\frac{H7}{m6}$	$\frac{H7}{n6}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7}{u6}$	$\frac{H7}{v6}$	$\frac{H7}{x6}$	$\frac{H7}{y6}$	$\frac{H7}{z6}$
H8					$\frac{H8}{e7}$	$\frac{H8}{f7}$	$\frac{H8}{g7}$	$\frac{H8}{h7}$	$\frac{H8}{js7}$	$\frac{H8}{k7}$	$\frac{H8}{m7}$	$\frac{H8}{n7}$	$\frac{H8}{p7}$	$\frac{H8}{r7}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H8}{t7}$	$\frac{H8}{u7}$				
				$\frac{H8}{d8}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H8}{f8}$		$\frac{H8}{h8}$													
H9			$\frac{H9}{c9}$	$\frac{H9}{d9}$	$\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f9}$		$\frac{H9}{h9}$													
H10			$\frac{H10}{c10}$	$\frac{H10}{d10}$				$\frac{H10}{h10}$													
H11	$\frac{H11}{a11}$	$\frac{H11}{b11}$	$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$				$\frac{H11}{h11}$													
H12		$\frac{H12}{b12}$						$\frac{H12}{h12}$													

注: 1. $\frac{H6}{n5}$ 、 $\frac{H7}{p6}$ 在公称尺寸小于或等于 3mm 和 $\frac{H8}{r7}$ 在小于或等于 100mm 时, 为过渡配合。

2. 标注 $\blacktriangledown$ 的配合为优先配合。

表 1.3-14 基轴制优先、常用配合

基准轴	孔																				
	A	B	C	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z
	间隙配合								过渡配合				过盈配合								
h5						$\frac{F6}{h5}$	$\frac{G6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{JS6}{h5}$	$\frac{K6}{h5}$	$\frac{M6}{h5}$	$\frac{N6}{h5}$	$\frac{P6}{h5}$	$\frac{R6}{h5}$	$\frac{S6}{h5}$	$\frac{T6}{h5}$					
h6						$\frac{F7}{h6}$	$\frac{G7}{h6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{JS6}{h6}$	$\frac{K7}{h6}$	$\frac{M7}{h6}$	$\frac{N7}{h6}$	$\frac{P7}{h6}$	$\frac{R7}{h6}$	$\frac{S7}{h6}$	$\frac{T7}{h6}$	$\frac{U7}{h6}$				
h7					$\frac{E8}{h7}$	$\frac{F8}{h7}$		$\frac{H8}{h7}$	$\frac{JS8}{h7}$	$\frac{K8}{h7}$	$\frac{M8}{h7}$	$\frac{N8}{h7}$									
h8				$\frac{D8}{h8}$	$\frac{E8}{h8}$	$\frac{F8}{h8}$		$\frac{H8}{h8}$													
h9				$\frac{D9}{h9}$	$\frac{E9}{h9}$	$\frac{F9}{h9}$		$\frac{H9}{h9}$													
h10				$\frac{D10}{h10}$				$\frac{H10}{h10}$													
h11	$\frac{A11}{h11}$	$\frac{B11}{h11}$	$\frac{C11}{h11}$	$\frac{D11}{h11}$				$\frac{H11}{h11}$													
h12		$\frac{B12}{h12}$						$\frac{H12}{h12}$													

注：标注 ▼ 的配合为优先配合。

表 1.3-15 优先、常用配合特性及应用举例

配合制		装配方法	配合特性及使用条件		应用举例
基孔	基轴				
$\frac{H7}{z6}$		温差法	特重型压入配合	用于承受很大的转矩或变载、冲击、振动载荷处，配合处不加紧固件，材料的许用应力要求很大	中小型交流电动机轴壳上绝缘体和接触环，柴油机传动轴壳体和分电器衬套
$\frac{H7}{y6}$					小轴肩和环
$\frac{H7}{x6}$					钢和轻合金或塑料等不同材料的配合，如柴油机销轴与壳体、气缸盖与进气门座等的配合
$\frac{H7}{v6}$	$\frac{U7}{h6}$	压力机或温差	重型压入配合	用于传递较大转矩，配合处不加紧固件即可得到十分牢固的连接。材料的许用应力要求较大	偏心压床的块与轴、柴油机销轴与壳体，连杆孔和衬套外径等配合
$\frac{H7}{u6}$					车轮轮箍与轮心、联轴器与轴，轧钢设备中的辊子与心轴、拖拉机活塞销和活塞壳、船舵尾轴和衬套等的配合
$\frac{H8}{u7}$					蜗轮青铜轮缘与轮心，安全联轴器销轴与套、螺纹车床蜗杆轴衬和箱体孔等的配合
$\frac{H6}{t5}$	$\frac{T6}{h5}$		中型压入配合	不加紧固件可传递较小的转矩，当材料强度不够时，可用来代替重型压入配合，但需加紧固件	齿轮孔和轴的配合
$\frac{H7}{t6}$	$\frac{T7}{h6}$				联轴器与轴 含油轴承和轴承座、农业机械中曲柄盘与销轴
$\frac{H8}{t7}$					柴油机连杆衬套和轴瓦，主轴承孔和主轴瓦等的配合
$\frac{H6}{s5}$	$\frac{S6}{h5}$				减速器中轴与蜗轮，空压机连杆头与衬套，铁道辊子和轴，大型减速器低速齿轮与轴的配合
$\frac{H7}{s6}$	$\frac{S7}{h6}$				

(续)

配合制		装配方法	配合特性及使用条件		应用举例	
基孔	基轴					
$\frac{H8}{s7}$	$\frac{S7}{h6}$	压力机或温差	中型压入配合	不加紧固件可传递较小的转矩, 当材料强度不够时, 可用来代替重型压入配合, 但需加紧固件	青铜轮缘与轮心, 轴衬与轴承座、空气钻外壳盖与套筒, 安全联轴器销钉和套, 压气机活塞销和气缸, 拖拉机齿轮泵小齿轮和轴等配合	
$\frac{H7}{r6}$	$\frac{R7}{h6}$		轻型压入配合	用于不拆卸的轻型过盈连接, 不依靠配合过盈量传递摩擦载荷, 传递转矩时要增加紧固件, 以及用于以高的定位精度达到部件的刚性及对中性要求		重载齿轮与轴、车床齿轮箱中齿轮与衬套、蜗轮青铜轮缘与轮心, 轴和联轴器, 可换铰套与铰模板等的配合
$\frac{H6}{p5}$ $\frac{H6}{p6}$	$\frac{P6}{h5}$ $\frac{P7}{h6}$					冲击振动重载荷的齿轮和轴、压缩机十字销轴和连杆衬套、柴油机缸体上口和主轴瓦, 凸轮孔和凸轮轴等配合
$\frac{H8}{p7}$			压力机压入	过盈概率 66.8% ~ 93.6%	用于可承受很大转矩、振动及冲击(但需附加紧固件), 不经常拆卸的地方。同心度及配合紧密性较好	升降机用蜗轮或带轮的轮缘和轮心, 链轮轮缘和轮心, 高压循环泵缸和套等的配合
$\frac{H6}{n5}$	$\frac{N6}{h5}$	80%		可换铰套与铰模板、增压器主轴和衬套等的配合		
$\frac{H7}{n6}$	$\frac{N7}{h6}$	77.7% ~ 82.4%		爪形联轴器与轴、链轮轮缘与轮心、蜗轮青铜轮缘与轮心、破碎机等振动机械的齿轮和轴的配合。柴油机泵座与泵缸、压缩机连杆衬套和曲轴衬套。圆柱销与销孔的配合		
$\frac{H8}{n7}$	$\frac{N8}{h7}$	58.3% ~ 67.6%		安全联轴器销钉和套、高压泵缸和缸套、拖拉机活塞销和活塞毂等的配合		
$\frac{H6}{m5}$	$\frac{M6}{h5}$	铜锤打入	过盈概率	用于配合紧密不经常拆卸的地方。当配合长度大于 1.5 倍直径时, 用来代替 H7/n6, 同心度好	压缩机连杆头与衬套、柴油机活塞孔和活塞销的配合	
$\frac{H7}{m6}$	$\frac{M7}{h6}$		50% ~ 62.1%		蜗轮青铜轮缘与铸铁轮心、齿轮孔与轴、定位销与孔的配合	
$\frac{H8}{m7}$	$\frac{M8}{h7}$		50% ~ 56%		升降机构中的轴与孔, 压缩机十字销轴与座	
$\frac{H6}{k5}$	$\frac{K6}{h5}$	锤子打入	46.2% ~ 49.1%	用于受不大的冲击载荷处, 同心度较好, 用于常拆卸部位。为广泛采用的一种过渡配合	精密螺纹车床主轴箱体孔和主轴前轴承外圈的配合	
$\frac{H7}{k6}$	$\frac{K7}{h6}$		41.7% ~ 45%		机床不滑动齿轮和轴、中型电动机轴与联轴器或带轮, 减速器蜗轮与轴、齿轮和轴的配合	
$\frac{H8}{k7}$	$\frac{K8}{h7}$		41.7% ~ 51.2%		压缩机连杆孔与十字头销, 循环泵活塞与活塞杆	
$\frac{H6}{js5}$	$\frac{JS6}{h5}$	锤子或木槌装卸	19.2% ~ 21.1%	用于频繁拆卸, 同心度要求不高的地方, 是最松的一种过渡配合, 大部分都将得到间隙	木工机械中轴与轴承的配合	
$\frac{H7}{js6}$	$\frac{JS7}{h6}$		18.8% ~ 20%		机床变速箱中齿轮和轴、精密仪表中轴和轴承、增压器衬套间的配合	
$\frac{H8}{js7}$	$\frac{JS8}{h7}$		17.4% ~ 20.8%		机床变速箱中齿轮和轴、轴端可卸下的带轮和手轮、电动机机座与端盖等的配合	
$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	加油后用手旋进	配合间隙较小, 能较好地对准中心, 一般多用于常拆卸或在调整时需移动或转动的连接处, 或工作时滑移较慢并要求较好的导向精度的地方, 和对同心度有一定要求通过紧固件传递转矩的固定连接处		剃齿机主轴与剃刀衬套、车床尾座体与套筒、高精度分度盘轴与孔、光学仪器中变焦距系统的孔轴配合	
$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{h6}$				机床变速箱的滑移齿轮和轴、离合器与轴、钻床横臂与立柱、风动工具活塞与缸体、往复运动的精导向压缩机连杆孔和十字头、定心的凸缘与孔的配合	
$\frac{H8}{h7}$	$\frac{H8}{h7}$					

(续)

配合制		装配方法	配合特性及使用条件	应用举例
基孔	基轴			
$\frac{H8}{h8}$	$\frac{H8}{h8}$	加油后用手旋进	间隙定位配合, 适用于同心度要求较低、工作时一般无相对运动的配合及负载不大, 无振动、拆卸方便, 加键可传递转矩的情况	安全扳手销钉和套、一般齿轮和轴、带轮和轴、螺旋搅拌器叶轮与轴、离合器与轴、操纵件与轴、拨叉和导向轴、滑块和导向轴、减速器油标尺与箱体孔, 剖分式滑动轴承壳和轴瓦、电动机座上口和端盖
$\frac{H9}{h9}$	$\frac{H9}{h9}$			
$\frac{H10}{h10}$	$\frac{H10}{h10}$			起重机链轮与轴、对开轴瓦与轴承座两侧的配合、连接端盖的定心凸缘、一般的铰接、粗糙机构中拉杆、杠杆等配合
$\frac{H11}{h11}$	$\frac{H11}{h11}$			
$\frac{H6}{g5}$	$\frac{G6}{h5}$	手旋进	具有很小间隙, 适用于有一定相对运动、运动速度不高并且精密定位的配合, 以及运动可能有冲击但又能保证零件同心度或紧密性的配合	光学分度头主轴与轴承、刨床滑块与滑槽
$\frac{H7}{g6}$	$\frac{G7}{h6}$			精密机床主轴与轴承、机床传动齿轮与轴、中等精度分度头主轴与轴套、矩形花键定心直径、可换钻套与钻模板、柱塞燃油泵的轴承壳体与销轴、拖拉机连杆衬套与曲轴的配合
$\frac{H8}{g7}$				柴油机气缸体与挺杆、手电钻中的配合等
$\frac{H6}{f5}$	$\frac{F6}{h5}$	手推滑进	具有中等间隙, 广泛适用于普通机械中转速不大、用普通润滑油或润滑脂润滑的滑动轴承, 以及要求在轴上自由转动或移动的配合场合	精密机床中变速箱、进给箱的转动件的配合, 或其他重要滑动轴承、高精度齿轮轴承与轴承衬套、柴油机的凸轮轴与衬套孔等的配合
$\frac{H7}{f6}$	$\frac{F7}{h6}$			爪形离合器与轴、机床中一般轴与滑动轴承、机床夹具、钻模、镗模的导套孔, 柴油机机体套孔与气缸套, 柱塞与缸体等的配合
$\frac{H8}{f7}$	$\frac{F8}{h7}$			中等速度、中等载荷的滑动轴承, 机床滑移齿轮与轴, 蜗杆减速器的轴承端盖与孔, 离合器活动爪与轴
$\frac{H8}{f8}$	$\frac{F8}{h8}$			滑块与导向槽, 控制机构中的一般轴和孔, 支承跨距较大或多支承的传动轴和轴承的配合
$\frac{H9}{f9}$	$\frac{F9}{h9}$	手轻推进	配合间隙较大, 能保证良好润滑, 允许在工作中发热, 故可用于高转速、大跨度或多支点的轴和轴承以及精度低、同心度要求不高的在轴上转动零件与轴的配合	安全联轴器轮毂与套, 低精度含油轴承与轴、球体滑动轴承与轴承座及轴, 链条张紧轮或传动带导轮与轴, 柴油机活塞环与环槽宽等配合
$\frac{H8}{e7}$	$\frac{E8}{h7}$		配合间隙较大, 适用于高转速载荷不大、方向不变的轴与轴承的配合, 或是中等转速但轴跨度长或三个以上支点的轴与轴承的配合	汽轮发电机、大电动机的高速轴与滑动轴承, 风扇电动机的销轴与衬套
$\frac{H8}{e8}$	$\frac{E8}{h8}$			外圆磨床的主轴与轴承、汽轮发电机轴与轴承、柴油机的凸轮轴与轴承, 船用链轮轴、中小型电动机轴与轴承、手表中的分轮、时轮轮片与轴承的配合
$\frac{H9}{e9}$	$\frac{E9}{h9}$		用于精度不高且有较松间隙的转动配合	粗糙机构中衬套与轴承圈、含油轴承与座的配合
$\frac{H8}{d8}$	$\frac{D8}{h8}$		配合间隙比较大, 用于精度不高, 高速及负载不高的配合或高温条件下的转动配合, 以及由于装配精度不高而引起偏斜的连接	机车车辆轴承、缝纫机梭摆与梭床空压机活塞环与环槽宽度的配合
$\frac{H9}{d9}$	$\frac{D9}{h9}$			通用机械中的平键连接、柴油机活塞环与环槽宽、空压机活塞与压杆, 印染机械中气缸活塞密封环, 热工仪表中精度较低的轴与孔、滑动轴承及较松的带轮与轴的配合

1.6 圆锥公差

1.6.1 圆锥公差项目及给定方法 (见表 1.3-16)

1.6.2 圆锥公差的数值及选取

(1) 圆锥直径公差 T_D

圆锥直径公差 T_D 以公称圆锥直径 (一般取最大圆锥直径 D) 为公称尺寸按 GB/T 1800.1—2009 规定的标准公差 (表 1.3-1) 选取, 所取的公差值适用于圆锥长度 L 全长内的所有圆锥直径。

(2) 给定截面圆锥直径公差 T_{DS}

T_{DS} 以给定截面圆锥直径 d_x 为公称尺寸按 GB/T 1800.1—2009 规定的标准公差 (表 1.3-1) 选取, 所

选定的公差值仅适用于该截面, 不适用于圆锥全长。

(3) 圆锥角公差 AT

圆锥角公差 AT 分为 12 个公差等级, 用 $AT1$ 、 $AT2$ 、…、 $AT12$ 表示, 公差数值见表 1.3-17。其表示形式有两种: AT_α ——以角度单位 μrad 或以 $(^\circ)$ 、 $(')$ 、 $(")$ 表示; AT_D ——以长度单位 μm 表示。

(4) 圆锥的形状公差 T_F

圆锥的形状公差 T_F 一般不单独给出, 只对有配合要求的圆锥或对圆锥的形状误差有更高要求时才给出。

(5) 圆锥直径公差 T_D 所能控制的最大圆锥角误差 $\Delta_{\alpha\text{max}}$ (见表 1.3-18)

表 1.3-16 圆锥公差的项目及给定方法 (摘自 GB/T 11334—2005)

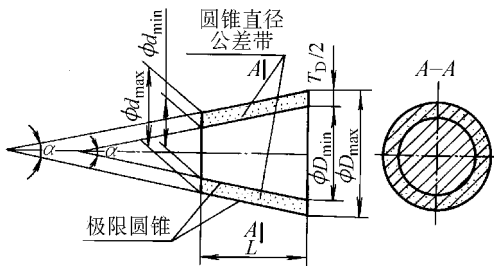
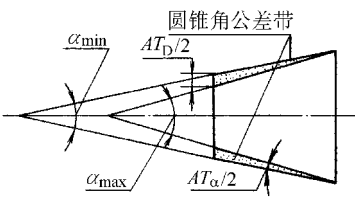
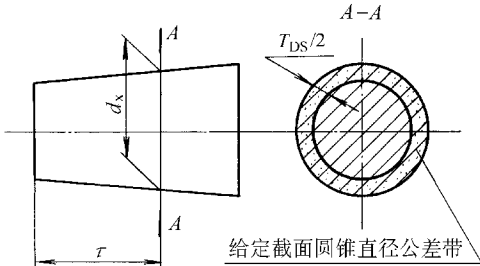
公差项目及代号		给定方法	
圆锥直径公差 T_D		一般情况	有较高要求时
		1. 给出圆锥的公称圆锥角 α (或锥度 C) 和 T_D , 由 T_D 确定两个极限圆锥	同时给出 α (或 C)、 T_D 和圆锥角公差 AT 、圆锥的形状公差 T_F (此时 AT 、 T_F 仅占 T_D 的一部分)
圆锥角公差 AT (用 AT_α 或 AT_D 给定)		2. 给定 T_{DS} 和 AT (两者独立, 不能相互叠加)	同时给定 T_{DS} 、 AT 及 T_F
		圆锥公差标注	
给定截面圆锥直径公差 T_{DS}		当圆锥公差按 α (或 C) 和 T_D 给定时, 规定在圆锥直径的极限偏差后标注 “ $\textcircled{T}$ ” 符号, 如 $\phi 50^{+0.039}_0 \textcircled{T}$	
		注: 按方法 1. 给出 α (或 C) 和 T_D , 由 T_D 确定两个极限圆锥, 此时圆锥角误差和圆锥的形状误差均应在极限圆锥所限定的区域内	
圆锥的形状公差 T_F (包括素线直线度公差和截面圆度公差)			

表 1.3-17 圆锥角公差数值(摘自 GB/T 11334—2005)

公称圆锥 长度 L /mm	圆 锥 角 公 差 等 级								
	$AT\ 1$			$AT\ 2$			$AT\ 3$		
	AT_α		AT_D	AT_α		AT_D	AT_α		AT_D
	μrad	($''$)	μm	μrad	($''$)	μm	μrad	($''$)	μm
自 6 ~ 10	50	10	>0.3 ~ 0.5	80	16	>0.5 ~ 0.8	125	26	>0.8 ~ 1.3
>10 ~ 16	40	8	>0.4 ~ 0.6	63	13	>0.6 ~ 1.0	100	21	>1.0 ~ 1.6
>16 ~ 25	31.5	6	>0.5 ~ 0.8	50	10	>0.8 ~ 1.3	80	16	>1.3 ~ 2.0
>25 ~ 40	25	5	>0.6 ~ 1.0	40	8	>1.0 ~ 1.6	63	13	>1.6 ~ 2.5
>40 ~ 63	20	4	>0.8 ~ 1.3	31.5	6	>1.3 ~ 2.0	50	10	>2.0 ~ 3.2
>63 ~ 100	16	3	>1.0 ~ 1.6	25	5	>1.6 ~ 2.5	40	8	>2.5 ~ 4.0
>100 ~ 160	12.5	2.5	>1.3 ~ 2.0	20	4	>2.0 ~ 3.2	31.5	6	>3.2 ~ 5.0
>160 ~ 250	10	2	>1.6 ~ 2.5	16	3	>2.5 ~ 4.0	25	5	>4.0 ~ 6.3
>250 ~ 400	8	1.5	>2.0 ~ 3.2	12.5	2.5	>3.2 ~ 5.0	20	4	>5.0 ~ 8.0
>400 ~ 630	6.3	1	>2.5 ~ 4.0	10	2	>4.0 ~ 6.3	16	3	>6.3 ~ 10.0

公称圆锥 长度 L /mm	圆 锥 角 公 差 等 级								
	$AT\ 4$			$AT\ 5$			$AT\ 6$		
	AT_α		AT_D	AT_α		AT_D	AT_α		AT_D
	μrad	($''$)	μm	μrad	($'$)($''$)	μm	μrad	($'$)($''$)	μm
自 6 ~ 10	200	41	>1.3 ~ 2.0	315	1'05"	>2.0 ~ 3.2	500	1'43"	>3.2 ~ 5.0
>10 ~ 16	160	33	>1.6 ~ 2.5	250	52"	>2.5 ~ 4.0	400	1'22"	>4.0 ~ 6.3
>16 ~ 25	125	26	>2.0 ~ 3.2	200	41"	>3.2 ~ 5.0	315	1'05"	>5.0 ~ 8.0
>25 ~ 40	100	21	>2.5 ~ 4.0	160	33"	>4.0 ~ 6.3	250	52"	>6.3 ~ 10.0
>40 ~ 63	80	16	>3.2 ~ 5.0	125	26"	>5.0 ~ 8.0	200	41"	>8.0 ~ 12.5
>63 ~ 100	63	13	>4.0 ~ 6.3	100	21"	>6.3 ~ 10.0	160	33"	>10.0 ~ 16.0
>100 ~ 160	50	10	>5.0 ~ 8.0	80	16"	>8.0 ~ 12.5	125	26"	>12.5 ~ 20.0
>160 ~ 250	40	8	>6.3 ~ 10.0	63	13"	>10.0 ~ 16.0	100	21"	>16.0 ~ 25.0
>250 ~ 400	31.5	6	>8.0 ~ 12.5	50	10"	>12.5 ~ 20.0	80	16"	>20.0 ~ 32.0
>400 ~ 630	25	5	>10.0 ~ 16.0	40	8"	>16.0 ~ 25.0	63	13"	>25.0 ~ 40.0

公称圆锥 长度 L /mm	圆 锥 角 公 差 等 级								
	$AT\ 7$			$AT\ 8$			$AT\ 9$		
	AT_α		AT_D	AT_α		AT_D	AT_α		AT_D
	μrad	($'$)($''$)	μm	μrad	($'$)($''$)	μm	μrad	($'$)($''$)	μm
自 6 ~ 10	800	2'45"	>5.0 ~ 8.0	1250	4'18"	>8.0 ~ 12.5	2000	6'52"	>12.5 ~ 20
>10 ~ 16	630	2'10"	>6.3 ~ 10.0	1000	3'26"	>10.0 ~ 16.0	1600	5'30"	>16 ~ 25
>16 ~ 25	500	1'43"	>8.0 ~ 12.5	800	2'45"	>12.5 ~ 20.0	1250	4'18"	>20 ~ 32
>25 ~ 40	400	1'22"	>10.0 ~ 16.0	630	2'10"	>16.0 ~ 25.0	1000	3'26"	>25 ~ 40
>40 ~ 63	315	1'05"	>12.5 ~ 20.0	500	1'43"	>20.0 ~ 32.0	800	2'45"	>32 ~ 50
>63 ~ 100	250	52"	>16.0 ~ 25.0	400	1'22"	>25.0 ~ 40.0	630	2'10"	>40 ~ 63
>100 ~ 160	200	41"	>20.0 ~ 32.0	315	1'05"	>32.0 ~ 50.0	500	1'43"	>50 ~ 80
>160 ~ 250	160	33"	>25.0 ~ 40.0	250	52"	>40.0 ~ 63.0	400	1'22"	>63 ~ 100
>250 ~ 400	125	26"	>32.0 ~ 50.0	200	41"	>50.0 ~ 80.0	315	1'05"	>80 ~ 125
>400 ~ 630	100	21"	>40.0 ~ 63.0	160	33"	>63.0 ~ 100.0	250	52"	>100 ~ 160

(续)

公称圆锥 长度 L /mm	圆 锥 角 公 差 等 级								
	AT_{10}			AT_{11}			AT_{12}		
	AT_{α}		AT_D	AT_{α}		AT_D	AT_{α}		AT_D
	μrad	(') (")	μm	μrad	(') (")	μm	μrad	(') (")	μm
自 6 ~ 10	3150	10'49"	> 20 ~ 32	5000	17'10"	> 32 ~ 50	8000	27'28"	> 50 ~ 80
> 10 ~ 16	2500	8'35"	> 25 ~ 40	4000	13'44"	> 40 ~ 63	6300	21'38"	> 63 ~ 100
> 16 ~ 25	2000	6'52"	> 32 ~ 50	3150	10'49"	> 50 ~ 80	5000	17'10"	> 80 ~ 125
> 25 ~ 40	1600	5'30"	> 40 ~ 63	2500	8'35"	> 63 ~ 100	4000	13'44"	> 100 ~ 160
> 40 ~ 63	1250	4'18"	> 50 ~ 80	2000	6'52"	> 80 ~ 125	3150	10'49"	> 125 ~ 200
> 63 ~ 100	1000	3'26"	> 63 ~ 100	1600	5'30"	> 100 ~ 160	2500	8'35"	> 160 ~ 250
> 100 ~ 160	800	2'45"	> 80 ~ 125	1250	4'18"	> 125 ~ 200	2000	6'52"	> 200 ~ 320
> 160 ~ 250	630	2'10"	> 100 ~ 160	1000	3'26"	> 160 ~ 250	1600	5'30"	> 250 ~ 400
> 250 ~ 400	500	1'43"	> 125 ~ 200	800	2'45"	> 200 ~ 320	1250	4'18"	> 320 ~ 500
> 400 ~ 630	400	1'22"	> 160 ~ 250	630	2'10"	> 250 ~ 400	1000	3'26"	> 400 ~ 630

注: 1. $1\mu\text{rad}$ 等于半径为 1m、弧长为 $1\mu\text{m}$ 所对应的圆心角。 $5\mu\text{rad} \approx 1''$ (秒); $300\mu\text{rad} \approx 1'$ (分)。

2. AT_{α} 和 AT_D 的关系式为 $AT_D = AT_{\alpha} \times L \times 10^{-3}$, 式中 AT_D 的单位为 μm ; AT_{α} 的单位为 μrad ; L 为圆锥长度, 单位为 mm。

3. 本表仅列出每一尺寸段 AT_D 两个范围值, 对处于基本圆锥长度 L 尺寸段中间的 AT_D 值则应按注 2. 的公式进行计算。计算举例

例 1 L 为 100mm, 选用 AT_9 , 查本表得 AT_{α} 为 $630\mu\text{rad}$ 或 $2'10''$; AT_D 为 $63\mu\text{m}$ 。

例 2 L 为 80mm, 选用 AT_9 , 查本表得 AT_{α} 为 $630\mu\text{rad}$ 或 $2'10''$, 则

$$AT_D = AT_{\alpha} \times L \times 10^{-3} = 630 \times 80 \times 10^{-3} \mu\text{m} = 50.4\mu\text{m} \quad \text{按规定修约为 } 50\mu\text{m}。$$

4. 本表中数值用于棱体的角度时, 以该角短边长度作为 L 选取公差值, 而 AT_h 取表中 AT_D 的值。

表 1.3-18 圆锥直径公差 T_D 所能控制的最大圆锥角误差 $\Delta\alpha_{\max}$ (摘自 GB/T 11334—2005)

圆锥直径 公差等级	圆锥直径/mm												
	≤ 3	> 3 ~ 6	> 6 ~ 10	> 10 ~ 18	> 18 ~ 30	> 30 ~ 50	> 50 ~ 80	> 80 ~ 120	> 120 ~ 180	> 180 ~ 250	> 250 ~ 315	> 315 ~ 400	> 400 ~ 500
	$\Delta\alpha_{\max}/\mu\text{rad}$												
IT01	3	4	4	5	6	6	8	10	12	20	25	30	40
IT0	5	6	6	8	10	10	12	15	20	30	40	50	60
IT1	8	10	10	12	15	15	20	25	35	45	60	70	80
IT2	12	15	15	20	25	25	30	40	50	70	80	90	100
IT3	20	25	25	30	40	40	50	60	80	100	120	130	150
IT4	30	40	40	50	60	70	80	100	120	140	160	180	200
IT5	40	50	60	80	90	110	130	150	180	200	230	250	270
IT6	60	80	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
IT7	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
IT8	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
IT9	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
IT10	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500
IT11	600	750	900	1000	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000
IT12	1000	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4600	5200	5700	6300
IT13	1400	1800	2200	2700	3300	3900	4600	5400	6300	7200	8100	8900	9700
IT14	2500	3000	3600	4300	5200	6200	7400	8700	10000	11500	13000	14000	15500
IT15	4000	4800	5800	7000	8400	10000	12000	14000	16000	18500	21000	23000	25000
IT16	6000	7500	9000	11000	13000	16000	19000	22000	25000	29000	32000	36000	40000
IT17	10000	12000	15000	18000	21000	25000	30000	35000	40000	46000	52000	57000	63000
IT18	14000	18000	22000	27000	33000	39000	46000	54000	63000	72000	81000	89000	97000

注: 圆锥长度不等于 100mm 时, 需将表中的数值乘以 $100/L$, L 的单位为 mm。

2 几何公差

2.1 几何公差的分类、几何特征、符号及附加符号(见表 1.3-19)

表 1.3-19 几何公差的分类、几何特征、符号和附加符号(摘自 GB/T 1182—2008)

几何特征符号				附加符号	
公差类型	几何特征	符号	有无基准	说明	符号
形状公差	直线度		无	被测要素	
	平面度				
	圆度			基准要素	
	圆柱度				
	线轮廓度				
	面轮廓度				
方向公差	平行度		有	基准目标	
	垂直度			理论正确尺寸	
	倾斜度			延伸公差带	
	线轮廓度			最大实体要求	
	面轮廓度			最小实体要求	
				自由状态条件 (非刚性零件)	
位置公差	位置度		有或无	全周(轮廓)	
	同心度 (用于中心点)		有	包容要求	
	同轴度 (用于轴线)			公共公差带	
	对称度			小径	
	线轮廓度			大径	
	面轮廓度			中径、节径	
				线素	
跳动公差	圆跳动			不凸起	
	全跳动			任意横截面	

注:如需标注可逆要求,可采用符号 $\mathbb{R}$,见 GB/T 16671—2009。

2.2 几何公差标注方法(见表 1.3-20 ~ 表 1.3-22)

表 1.3-20 公差框格的标注(摘自 GB/T 1182—2008)

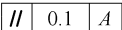
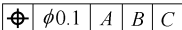
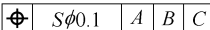
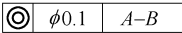
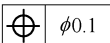
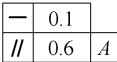
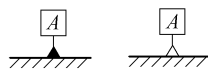
项目	标注方法	标注示例
公差框格基本标注	公差要求注写在划分成两格或多格的矩形框格内,各格自左至右顺序标注以下内容(图 a~图 e) 1)几何特征符号 2)公差值,以线性尺寸单位表示的量值。如果公差带为圆形或圆柱形,公差值前加注符号“ϕ”;如果公差带为圆球形,公差值前加注符号“$S\phi$” 3)基准,用一个字母表示单个基准或用几个字母表示基准体系或公共基准(图 b~图 e)	a)  b)  c)  d)  e) 
一项要求用于几个相同要素	当某项公差应用于几个相同要素时,应在公差框格的上方注明被测要素的个数及符号“$\times$”;若被测要素为尺寸要素,则还应在符号“$\times$”后加注被测要素的尺寸	$6\times$  $6\times\phi 12\pm 0.02$ 
需限制要素形状的附加说明	如果需要限制被测要素在公差带内的形状,应在公差框格的下方注明	 NC
一个要素几种公差特征要求	如果需要就某个要素给出几种几何特征的公差,可将一个公差框格放在另一个的下面	

表 1.3-21 基准要素的标注(摘自 GB/T 1182—2008)

与被测要素相关的基准,用一个大写字母表示,字母标注在基准方格内,用细实线和一个涂黑的或空白的三角形相连。表示基准的字母还应标注在公差框格内。涂黑的或空白的基准三角形含义相同



基准类型	标注方法	标注示例
基准要素为轮廓线轮廓表面	当基准要素是轮廓要素时,基准符号的三角形应置于基准要素的轮廓线或轮廓面,也可靠近轮廓的延长线,但必须与尺寸线明显地分开	
基准要素为轴线、中心点、中心平面	当基准要素是中心要素时,基准符号的三角形应对准尺寸线 基准符号的三角形也可代替尺寸线中的一个箭头	
基准要素受视图方向限制	基准三角形也可注在轮廓面引出线的水平线上	
基准要素为局部要素	仅用要素的局部而不是整体作为基准要素时,可用粗点画线画出其范围,并标注尺寸 基准符号置于粗点画线上	

(续)

基准类型		标注方法	标注示例
基准要素为公共基准		当公共基准由两个要素表示时,基准在公差框格第三格起的某格内,用中间加连字符的两个大写字母表示,基准三角形应标注在相应要素上	
公差框格内的基准字母标注	单一基准	以单一要素作基准,用一个大写字母表示	
	两个或多个要素组成的公共基准	以两个或多个要素建立公共基准,用中间加连字符的两个或多个大写字母表示	
	两个或三个要素组成的基准体系	以两个或三个基准建立基准体系,表示基准的大写字母按基准的优先顺序自左至右写在各框格内	

表 1.3-22 被测要素的标注 (摘自 GB/T 1182—2008)

按下列方式之一用指引线连接被测要素和公差框格。指引线引自框格的任意一端,终端带一箭头。箭头应指向公差带的宽度方向或直径

被测要素类型	标注方法	标注示例
被测要素为轮廓要素	箭头指向要素的轮廓线或其延长线上,但必须与尺寸线明显错开	
	箭头指向被测表面的引出线的水平线	
被测要素为中心要素	被测要素为中心点、轴线、中心平面等时,指引线箭头应与尺寸对齐,即与尺寸线的延长线重合,指引线的箭头也可代替尺寸线的一个箭头	
	当被测要素是圆锥体的轴线时,指引线应对准圆锥体的大端或小端的尺寸线 如图样中仅有任意处的空白尺寸线,则可与该尺寸线相连	
被测要素为局部要素	仅对被测要素的局部提出形位公差要求,可用粗点画线画出其范围,并加注该范围的尺寸	

2.3 几何公差常用项目的注出公差值（见表 1.3-23 ~ 表 1.3-26）

表 1.3-23 直线度、平面度（摘自 GB/T 1184—1996）

主参数 L 图例

公差等级	主参数 L/mm																应用举例
	≤ 10	$> 10 \sim 16$	$> 16 \sim 25$	$> 25 \sim 40$	$> 40 \sim 63$	$> 63 \sim 100$	$> 100 \sim 160$	$> 160 \sim 250$	$> 250 \sim 400$	$> 400 \sim 630$	$> 630 \sim 1000$	$> 1000 \sim 1600$	$> 1600 \sim 2500$	$> 2500 \sim 4000$	$> 4000 \sim 6300$	$> 6300 \sim 10000$	
	公差值/ μm																
4	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	用于量具、测量仪器和高精度机床的导轨，如 0 级平板，测量仪器的 V 形导轨，高精度平面磨床的 V 形滚动导轨，轴承磨床床身导轨，液压阀芯等
5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	用于 1 级平板，2 级宽平尺，平面磨床的纵导轨、垂直导轨、立柱导轨及工作台，液压龙门刨床和转塔车床床身的导轨，柴油机进、排气门导杆
6	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	用于普通机床导轨面，如卧式车床、龙门刨床、滚齿机、自动车床等的床身导轨、立柱导轨，滚齿机、卧式镗床、铣床的工作台及机床主轴箱导轨、柴油机体结合面等
7	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	用于 2 级平板，0.02 游标卡尺尺身，机床主轴箱，摇臂钻床底座工作台，镗床工作台，液压泵盖等
8	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	用于机床传动箱体，交换齿轮箱体，车床溜板箱体，主轴箱体，柴油机气缸体，连杆分离面，缸盖结合面，汽车发动机缸盖，曲轴箱体等及减速器壳体的结合面

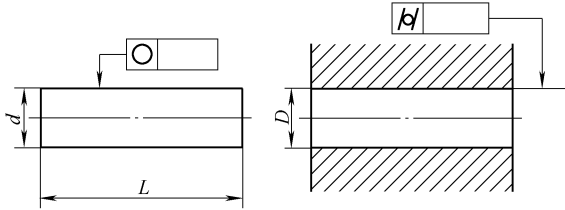
(续)

公差等级	主参数 L/mm																应用举例
	≤ 10	> 10 ~ 16	> 16 ~ 25	> 25 ~ 40	> 40 ~ 63	> 63 ~ 100	> 100 ~ 160	> 160 ~ 250	> 250 ~ 400	> 400 ~ 630	> 630 ~ 1000	> 1000 ~ 1600	> 1600 ~ 2500	> 2500 ~ 4000	> 4000 ~ 6300	> 6300 ~ 10000	
	公差值/ μm																
9	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	用于 3 级平板、机床溜板箱、立钻工作台、螺纹磨床的交换齿轮架，金相显微镜的载物台，柴油机气缸体，连杆的分离面，缸盖的结合面，阀片的平面度，空气压缩机的气缸体，液压管件和法兰的连接面等
10	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	用于 3 级平板，自动车床床身底面的平面度，车床交换齿轮架的平面度，柴油机气缸体，摩托车的曲轴箱体、汽车变速器的壳体，汽车发动机缸盖结合面、阀片的平面度，以及辅助机构及手动机械的支承面

注：应用举例栏非标准中内容，仅供参考。

表 1.3-24 圆度、圆柱度（摘自 GB/T 1184—1996）

主参数 d (D) 图例



公差等级	主参数 $d\ (D)\ /\text{mm}$													应用举例
	≤ 3	>3 ~6	>6 ~10	>10 ~18	>18 ~30	>30 ~50	>50 ~80	>80 ~120	>120 ~180	>180 ~250	>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	
	公差值/ μm													
4	0.8	1	1	1.2	1.5	1.5	2	2.5	3.5	4.5	6	7	8	较精密机床主轴、精密机床主轴箱孔；高压阀门活塞、活塞销、阀体孔；小工具显微镜顶针，高压液压泵柱塞，较高精度滚动轴承配合的轴、铣床动力头箱体孔等
5	1.2	1.5	1.5	2	2.5	2.5	3	4	5	7	8	9	10	一般量仪主轴，测杆外圆，陀螺仪轴颈，一般机床主轴，较精密机床主轴箱孔，柴油机、汽油机活塞、活塞销孔，铣床动力头、轴承箱座孔，高压空气压缩机十字头销、活塞，较低精度滚动轴承配合的轴

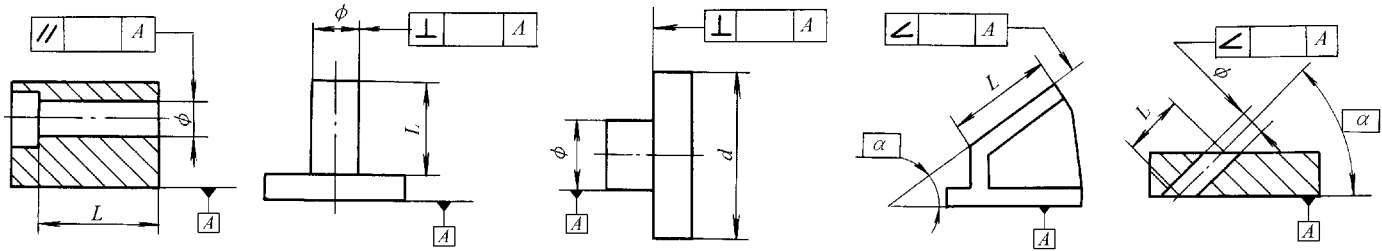
(续)

公差等级	主参数 $d (D)$ /mm													应用举例
	≤ 3	>3 ~6	>6 ~10	>10 ~18	>18 ~30	>30 ~50	>50 ~80	>80 ~120	>120 ~180	>180 ~250	>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	
	公差值/ μm													
6	2	2.5	2.5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	仪表端盖外圆，一般机床主轴及箱孔，中等压力液压装置工作面（包括泵、压缩机的活塞和气缸），汽车发动机凸轮轴，纺机锭子，通用减速器轴颈，高速船用发动机曲轴，拖拉机曲轴主轴颈
7	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	大功率低速柴油机曲轴；活塞、活塞销、连杆、气缸；高速柴油机箱体孔，千斤顶或液压缸活塞，液压传动系统的分配机构，机车传动轴，水泵及一般减速器轴颈
8	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	低速发动机、减速器、大功率曲柄轴轴颈，压气机连杆盖、体；拖拉机气缸体、活塞；炼胶机冷铸轴辊，印刷机传墨辊；内燃机曲轴，柴油机机体孔，凸轮轴，拖拉机，小型船用柴油机气缸套
9	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	空气压缩机缸体，液压缸，通用机械杠杆与拉杆同套筒销子，拖拉机活塞环、套筒孔
10	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	印染机导布辊、绞车、起重机滑动轴承轴颈等

注: 应用举例栏非标准中的内容, 仅供参考。

表 1.3-25 平行度、垂直度、倾斜度 (摘自 GB/T 1184—1996)

主参数 L 、 $d (D)$ 图例

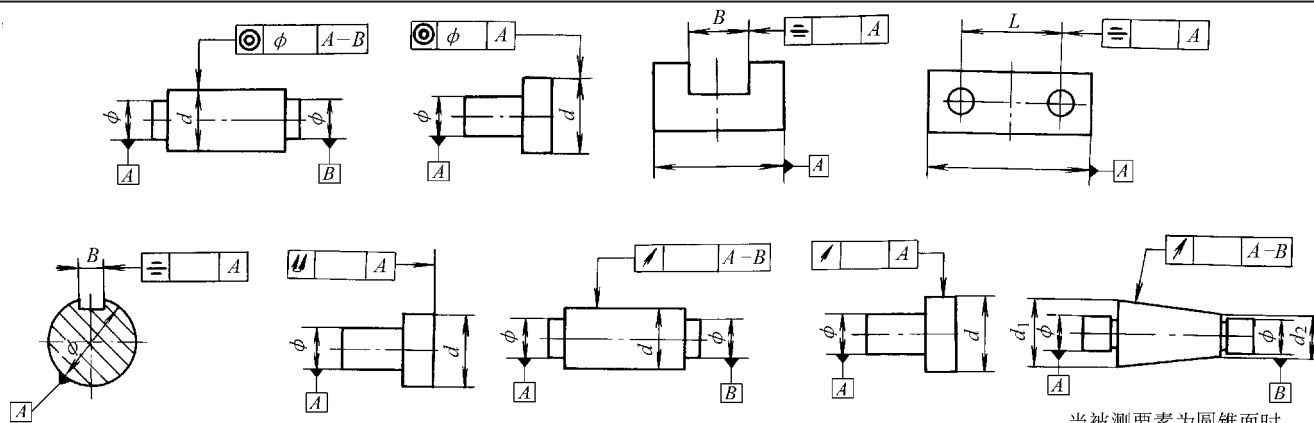


(续)

公差等级	主参数 $L、d (D)$ /mm																应用举例	
	≤10	>10 ~16	>16 ~25	>25 ~40	>40 ~63	>63 ~100	>100 ~160	>160 ~250	>250 ~400	>400 ~630	>630 ~1000	>1000 ~1600	>1600 ~2500	>2500 ~4000	>4000 ~6300	>6300 ~10000	平行度	垂直度和倾斜度
	公差值/μm																	
4	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	普通机床、测量仪器、 量具及模具的基准面和工作面，高精度轴承座圈、端盖、挡圈的端面 机床主轴孔对基准面要求，重要轴承孔对基准面要求，主轴箱体重要孔间要求，一般减速器壳体孔、齿轮泵的轴孔端面等	普通机床导轨、精密机床重要零件，机床重要支承面，普通机床主轴偏摆，发动机轴和离合器的凸缘；气缸的支承端面，装 C、D 级轴承箱体的凸肩，液力传动轴瓦端面，量具、量仪的重要端面
5	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150		
6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	一般机床零件的工作面或基准，压力机和锻锤的工作面，中等精度钻模的工作面，一般刀、量、模 具；机床一般轴承孔对基准面的要求，主轴箱一般孔间要求，变速器箱孔； 主轴花键对定心直径，重型机械轴承盖的端面，卷扬机、手动传动装置中传动轴、气缸轴线	低精度机床主要基准面和工作面，回转工作台端面跳动，一般导轨，主轴箱体孔，刀架、砂轮架及工作台回转中心，机床轴肩、气缸配合面对其轴线，活塞销孔对活塞中心线以及装 F、G 级轴承壳体孔的轴线等
7	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400		
8	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600		
9	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	低精度零件、重型机械滚动轴承端盖 柴油机和煤气发动机的曲轴孔、轴颈等	花键轴轴肩端面、皮带输送机法兰盘等端面对轴线、手动卷扬机及传动装置中轴承端面，减速器壳体平面等
10	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500		

注：应用举例栏非标准内容，仅供参考。

表 1.3-26 同轴度、对称度、圆跳动和全跳动 (摘自 GB/T 1184—1996)

主参数 d (D)

当被测要素为圆锥面时,

$$\text{取 } d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

公差等级	主参数 d (D), B , L /mm																	应用举例		
	≤ 1	$>1 \sim 3$	$>3 \sim 6$	$>6 \sim 10$	$>10 \sim 18$	$>18 \sim 30$	$>30 \sim 50$	$>50 \sim 120$	$>120 \sim 250$	$>250 \sim 500$	$>500 \sim 800$	$>800 \sim 1250$	$>1250 \sim 2000$	$>2000 \sim 3150$	$>3150 \sim 5000$	$>5000 \sim 8000$	$>8000 \sim 10000$			
	公差值/ μm																			
4	1.5	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	机床主轴轴颈, 砂轮轴轴颈, 汽轮机主轴, 测量仪器的小齿轮轴, 高精度滚动轴承内、外圈等		
5	2.5	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80		应用范围较广的精度等级, 用于精度要求比较高、一般按尺寸公差 IT6 或 IT7 级制造的零件, 如 5 级精度常用在机床轴颈, 测量仪器的测量杆、汽轮机主轴、柱塞泵转子, 高精度滚动轴承外圈, 一般精度轴承内圈; 7 级精度用于内燃机曲轴、凸轮轴轴颈、水泵轴、齿轮轴, 汽车后桥输出轴、电动机转子, G 级精度滚动轴承内圈、印刷机传墨辊等	
6	4	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120			
7	6	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200			
8	10	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300			用于一般精度要求, 通常按尺寸公差 IT8 ~ IT10 级制造的零件, 如 8 级精度用于拖拉机发动机分配轴轴颈, 9 级精度以下齿轮轴的配合面, 水泵叶轮, 离心泵泵体, 棉花精梳机前后滚子; 9 级精度用于内燃机气缸套配合面, 自行车中轴; 10 级精度用于摩托车活塞, 印染机导布辊, 内燃机活塞环槽底径对活塞中心, 气缸套外圈对内孔等
9	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600			
10	25	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200			

注: 应用举例栏非标准中内容, 仅供参考。

3 表面结构

采用任何加工方法所得到的零件表面都不是绝对光滑的，受机床振动、零件塑性变形等因素的影响，零件表面必然会存在凸凹不平等微观几何误差。零件表面加工后得到的轮廓可分为三种，即粗糙度轮廓、波纹度轮廓和原始轮廓。表面结构就是表面粗糙度、表面波纹度、表面缺陷和表面几何形状的总称。

对一般的机械零件而言，最常见的是粗糙度轮廓，它直接影响零件的性能。对表面粗糙度的评定参数有很多，常用的是轮廓算术平均偏差 Ra ，也可用轮廓最大高度 Rz 。

- 3.1 粗糙度轮廓的主要评定参数（见表 1.3-27）
- 3.2 表面结构的符号和代号（见表 1.3-28、表 1.3-29）

表 1.3-27 表面粗糙度参数系列（摘自 GB/T 1031—2009）(μm)

轮廓的算术平均偏差 Ra 的数值					轮廓的最大高度 Rz 的数值					
Ra	0.012	0.2	3.2	50	Rz	0.025	0.4	6.3	100	1600
	0.025	0.4	6.3	100		0.05	0.8	12.5	200	—
	0.05	0.8	12.5	—		0.1	1.6	25	400	—
	0.1	1.6	25	—		0.2	3.2	50	800	—
Ra 的补充系列值					Rz 的补充系列值					
Ra	0.008	0.125	2.0	32	Rz	0.032	0.50	8.0	125	—
	0.010	0.160	2.5	40		0.040	0.63	10.0	160	—
	0.016	0.25	4.0	63		0.063	1.00	16.0	250	—
	0.020	0.32	5.0	80		0.080	1.25	20	320	—
	0.032	0.50	8.0	—		0.125	2.0	32	500	—
	0.040	0.63	10.0	—		0.160	2.5	40	630	—
	0.063	1.00	16.0	—		0.25	4.0	63	1000	—
	0.080	1.25	20	—		0.32	5.0	80	1250	—

注：1. 在幅度参数（峰和谷）常用的参数范围内（ Ra 为 0.025 ~ 6.3μm， Rz 为 0.1 ~ 25μm），推荐优先选用 Ra 。
2. 根据表面功能和生产的经济合理性，当选用的数值系列不能满足要求时，可选取补充系列值。

表 1.3-28 表面结构的图形符号（摘自 GB/T 131—2006）

符 号		意义及说明
基本 符号		基本图形符号由两条不等长的与标注表面成 60° 夹角的直线构成，仅适用于简化代号标注，没有补充说明时不能单独使用
扩展 符号	 要求去除材料 不允许去除材料	在基本图形符号上加一短横，表示指定表面是用去除材料的方法获得，如通过机械加工获得的表面 在基本图形符号上加一个圆圈，表示指定表面是用不去除材料方法获得
完整 符号	 允许任何工艺 去除材料 不去除材料	当要求标注表面结构特征的补充信息时，应在基本图形符号和扩展图形符号的长边上加一横线

(续)

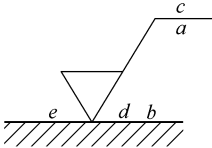
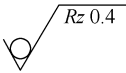
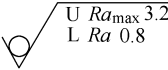
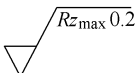
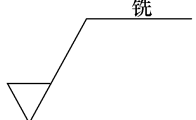
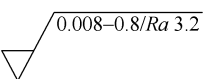
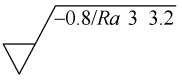
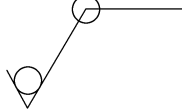
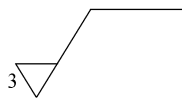
符 号		意义及说明
含补充要求的完整符号		在完整图形符号中,对表面结构的单一要求和补充要求,应注写在左图所示指定位置 <i>a</i>—注写表面结构的单一要求,标注表面结构参数代号、极限值和传输带(传输带是两个定义的滤波器之间的波长范围,见 GB/T 6062 和 GB/T 1877)或取样长度。为了避免误解,在参数代号和极限值间应插入空格。传输带或取样长度后应有一斜线“/”之后是表面结构参数代号,最后是数值 <i>a</i>、<i>b</i>—注写两个或多个表面结构要求,在位置 <i>a</i> 注写第一个表面结构要求,在位置 <i>b</i> 注写第二个表面结构要求,如果要注写第三个或更多个表面结构要求,图形符号应在垂直方向扩大,以空出足够的空间,扩大图形符号时,<i>a</i> 和 <i>b</i> 的位置随之上移 <i>c</i>—注写加工方法、表面处理、涂层或其他加工工艺要求,如车、磨、镀等 <i>d</i>—注写表面纹理和方向 <i>e</i>—注写加工余量,以 mm 为单位给出数值
	文本中用文字表达图形符号	在报告和合同的文本中用文字表达完整图形符号时,应用字母分别表示:APA,允许任何工艺;MRR,去除材料;NMR,不去除材料,示例 MRR <i>Ra</i> 0.8 <i>Rz</i> 1 3.2

表 1.3-29 表面结构代号和补充注释符号的含义 (摘自 GB/T 131—2006)

项目	代号	含义/解释	项目	代号	含义/解释
表面结构代号		表示不允许去除材料,单向上限值,默认传输带, <i>R</i> 轮廓,粗糙度的最大高度 0.4 μm,评定长度为 5 个取样长度(默认),“16%规则”(默认)	表面结构代号		表示不允许去除材料,双向极限值,两极限值均使用默认传输带, <i>R</i> 轮廓,上限值—算术平均偏差 3.2 μm,评定长度为 5 个取样长度(默认),“最大规则”,下限值—算术平均偏差 0.8 μm,评定长度为 5 个取样长度(默认),“16%规则”(默认)
		表示去除材料,单向上限值,默认传输带, <i>R</i> 轮廓,粗糙度最大高度的最大值 0.2 μm,评定长度为 5 个取样长度(默认),“最大规则”			加工方法:铣削
		表示去除材料,单向上限值,传输带 0.008 ~ 0.8 mm, <i>R</i> 轮廓,算术平均偏差 3.2 μm,评定长度为 5 个取样长度(默认),“16规则”(默认)	带有补充注释的符号		表面纹理:纹理呈多方向
		表示去除材料,单向上限值,传输带——根据 GB/T 6062,取样长度 0.8 μm (λ _e 默认 0.0025 mm), <i>R</i> 轮廓,算术平均偏差 3.2 μm,评定长度包含 3 个取样长度,“16%规则”(默认)			对投影视图上封闭的轮廓线所表示的各表面有相同的表面结构要求
					加工余量 3 mm

3.3 表面结构代号在图样上的标注

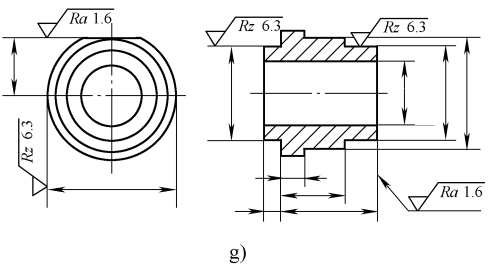
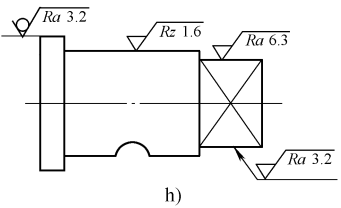
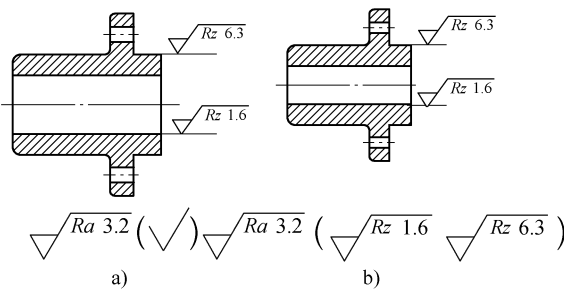
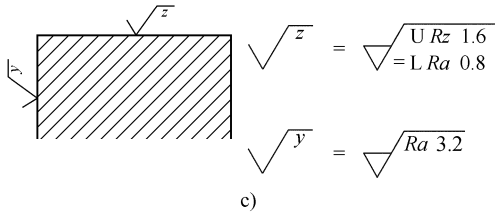
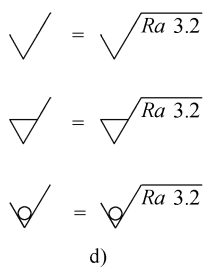
表面结构要求对每一表面一般只标注一次，并尽可能注在相应的尺寸及其公差在同一视图上。除

非另有说明，所标注的表面结构要求是对完工零件表面的要求。表面结构代号的标注位置与注写方向见表 1.3-30、表 1.3-31。

表 1.3-30 表面结构要求在图样中的标注（摘自 GB/T 131—2006）

项目	图例	意义及说明
总的原则		总的原则是根据 GB/T 4458.4—2003《机械制图 尺寸注法》的规定，使表面结构的注写和读取方向与尺寸的注写和读取方向一致（图 a）
标注在轮廓线上		表面结构要求可标注在轮廓线上，其符号应从材料外指向并接触表面。必要时，表面结构符号也可用带箭头或黑点的指引线引出标注（图 b、图 c）
标注在指引线上		
标注在特征尺寸的尺寸线上		在不致引起误解时，表面结构要求可以标注在给定的尺寸线上（图 d）
标注在几何公差的框格上		表面结构要求可标注在几何公差框格的上方（图 e、图 f）

(续)

项目	图例	意义及说明
标注在延长线上	 g)	表面结构要求可以直接标注在延长线上,或用带箭头的指引线引出标注(图 b、图 g)
标注在圆柱和棱柱表面上	 h)	圆柱和棱柱表面的表面结构要求只标注一次(图 g)。如果每个棱柱表面有不同的表面结构要求,则应分别单独标注(图 h)
表面结构要求的简化注法		
有相同表面结构要求的简化注法	 a) b)	如果在工件的多数(包括全部)表面有相同的表面结构要求,则其表面结构要求可统一标注在图样的标题栏附近。此时,表面结构要求的符号后面应有: 1. 在圆括号内给出无任何其他标注的基本符号(图 a) 2. 在圆括号内给出不同的表面结构要求(图 b)。不同的表面结构要求应直接标注在图形中(图 a、图 b)
多个表面有共同要求的注法	 c)	在图纸空间有限时,可用带字母的完整符号,以等式的形式,在图形或标题栏附近,对有相同表面结构要求的表面进行简化标注(图 c)
	 d)	可用表 1.3-28 的基本图形符号和扩展图形符号,以等式的形式给出对多个表面共同的表面结构要求(图 d)

(续)

项目	图例	意义及说明
两种或多种工艺获得的同一表面的注法		
同时给出镀覆前后表面结构要求的注法		由几种不同的工艺方法获得的同一表面，当需要明确每种工艺方法的表面结构要求时，可按左图进行标注

表 1.3-31 表面结构要求的标注示例 (摘自 GB/T 131—2006)

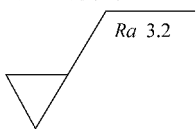
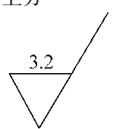
要求	示例
表面粗糙度： 双向极限值：上限值为 $Ra = 50\mu\text{m}$ ，下限值为 $Ra = 6.3\mu\text{m}$ ；均为“16%规则”（默认）；两个传输带均为 $0.008 \sim 4\text{mm}$ ；默认的评定长度 $5 \times 4\text{mm} = 20\text{mm}$ ；表面纹理呈近似同心圆且圆心与表面中心相关；加工方法为铣削；不会引起争议时，不必加 U 和 L	
除一个表面以外，所有表面的粗糙度： 单向上限值； $Rz = 6.3\mu\text{m}$ ；“16%规则”（默认）；默认传输带；默认评定长度 ($5 \times \lambda c$)；表面纹理没有要求；去除材料的工艺 不同要求的表面的表面粗糙度： 单向上限值； $Ra = 0.8\mu\text{m}$ ；“16%规则”（默认）；默认传输带；默认评定长度 ($5 \times \lambda c$)；表面纹理没有要求；去除材料的工艺	
表面粗糙度： 两个单向上限值 1. $Ra = 1.6\mu\text{m}$ 时：“16%规则”（默认）（GB/T 10610）；默认传输带（GB/T 10610 和 GB/T 6062）；默认评定长度 ($5 \times \lambda c$)（GB/T 10610） 2. $Rz_{\text{max}} = 6.3\mu\text{m}$ 时：最大规则；传输带 $-2.5\mu\text{m}$ （GB/T 6062）；评定长度默认 $5 \times 2.5\text{mm}$ ；表面纹理垂直于视图的投影面；加工方法为磨削	
表面粗糙度： 单向上限值； $Rz = 0.8\mu\text{m}$ ；“16%规则”（默认）（GB/T 10610）；默认传输带（GB/T 10610 和 GB/T 6062）；默认评定长度 ($5 \times \lambda c$)（GB/T 10610）；表面纹理没有要求；表面处理为铜件，镀镍/铬；表面要求对封闭轮廓的所有表面有效	
表面粗糙度： 单向上限和一个双向极限值 1. 单向 $Ra = 1.6\mu\text{m}$ 时，“16%规则”（默认）（GB/T 10610）；传输带 -0.8mm (λs 根据 GB/T 6062 确定)；评定长度 $5 \times 0.8\text{mm} = 4\text{mm}$ （GB/T 10610） 2. 双向 Rz 时，上限值 $Rz = 12.5\mu\text{m}$ ，下限值 $Rz = 3.2\mu\text{m}$ ；“16%规则”（默认）；上、下极限传输带均为 -2.5mm (λs 根据 GB/T 6062 确定)；上、下极限评定长度均为 $5 \times 2.5\text{mm} = 12.5\text{mm}$ （GB/T 10610），即使不会引起争议，也可以标注 U 和 L 符号；表面处理为钢件，镀镍/铬	

(续)

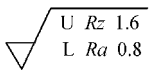
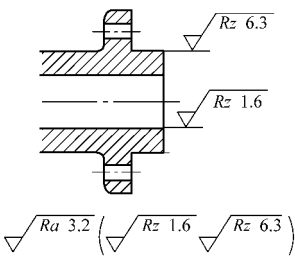
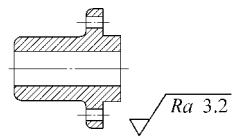
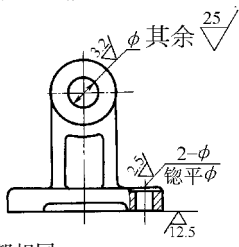
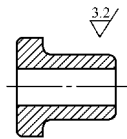
要求	示例
表面结构和尺寸可以标注在同一尺寸线上 键槽侧壁的表面粗糙度: 一个单向上限值; $Ra = 3.2\mu\text{m}$; “16% 规则” (默认) (GB/T 10610); 默认评定长度 ($5 \times \lambda_c$) (GB/T 6062); 默认传输带 (GB/T 10610 和 GB/T 6062); 表面纹理没有要求; 去除材料的工艺 倒角的表面粗糙度: 一个单向上限值; $Ra = 6.3\mu\text{m}$; “16% 规则” (默认) (GB/T 10610); 默认评定长度 ($5 \times \lambda_c$) (GB/T 6062); 默认传输带 (GB/T 6062 和 GB/T 6062); 表面纹理没有要求; 去除材料的工艺	
表面结构和尺寸可以一起标注在延长线上或分别标注在轮廓线和尺寸界线上 示例中的三个表面粗糙度要求: 单向上限值; 分别是 $Ra = 1.6\mu\text{m}$; $Ra = 6.3\mu\text{m}$; $Rz = 12.5\mu\text{m}$; “16% 规则” (默认) (GB/T 10610); 默认评定长度 ($5 \times \lambda_c$) (GB/T 10610); 默认传输带 (GB/T 10610 和 GB/T 6062); 表面纹理没有要求; 去除材料的工艺	
表面结构、尺寸和表面处理的标注: 该示例是三个连续的加工工序 第一道工序: 单向上限值; $Rz = 1.6\mu\text{m}$; “16% 规则” (默认) (GB/T 10610); 默认评定长度 ($5 \times \lambda_c$) (GB/T 6062); 默认传输带 (GB/T 10610 和 GB/T 6062); 表面纹理没有要求; 去除材料的工艺 第二道工序: 镀铬, 无其他表面结构要求 第三道工序: 一个单向上限值, 仅对长为 50mm 的圆柱表面有效; $Rz = 6.3\mu\text{m}$; “16% 规则” (默认) (GB/T 10610); 默认评定长度 ($5 \times \lambda_c$) (GB/T 6062); 默认传输带 (GB/T 10610 和 GB/T 6062); 表面纹理没有要求; 磨削加工工艺	

3.4 表面结构要求的新旧标准对照 (表 1.3-32)

表 1.3-32 新、旧国标 GB/T 131 的主要不同点

序号	内容	GB/T 131—2006	GB/T 131—1993
1	标准名称	《产品几何技术规范 (GPS) 技术产品文件中表面结构的表示法》	《机械制图 表面粗糙度符号、代号及其标注》
2	适用范围	适用于表面结构包含表面粗糙度、表面波纹度、原始轮廓的参数及图形参数	仅适用于表面粗糙度
3	参数符号及参数值的标注位置	标注在符号长边的横线下面 	标注在符号的上方 
4	对于 Ra 参数	和其他参数符号一样要在符号上标出	由于 Ra 用得较广泛, Ra 符号可省略不标

(续)

序号	内容	GB/T 131—2006	GB/T 131—1993
5	关于上、下极限值	上极限值前要加注“U”，下极限值前要加注“L” 在不引起误解时，可省略 	只规定上、下极限值标注位置，不加注字母 
6	在图样中零件表面部分相同或全部相同的表面结构参数要求的简化注法	1) 部分相同 不同部分注在图样上，相同部分按规定(见下图)注在标题栏的上方或图样的右下方空白处  2) 全部相同 将代号注在图样中标题栏的上方或图样右下方空白处 	1) 部分相同 不同部分注在图样上，相同部分的代号注在图样的右上角并加注“其余”两字，如下图，需放大 1.6 倍注出  2) 全部相同 将代号放大 1.6 倍，注在图样的右上方，如下图 
7	传输带的标注	规定传输带的标注是表面结构代号的补充要求，传输带的参数 λ_s 和 λ_c (对于 R 参数)、λ_c、λ_f (对于 W 参数) 的表示方法等 如 $\lambda_s = 0.0025$, $\lambda_c = 0.8$ 则表示方法如下: $0.0025 - 0.8/Rz6.3$	没有规定，不需标出
8	R_z 参数及其含义	GB/T 3505 规定取消“R_y”的参数代号，以“R_z”取代“R_y”，其含义为“R_y”的含义。标注中不再出现“R_y”代号，同时也取消了原 R_z 的含义	R_z 与 R_y 同时存在并有不同含义，示例中有 R_y 的图样

3.5 表面粗糙度参数值的选用参考 (表 1.3-33 ~ 表 1.3-27)

表 1.3-33 参数值 R_a 的应用举例

表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	表面形状 特征	加工方法	应用举例
50	明显可见刀痕	粗车、镗、钻、刨	粗制后所得到的粗加工面，为表面粗糙度最高的加工面，一般很少采用
25	微见刀痕	粗车、刨、立铣、平铣、钻	粗加工表面比较精确的一级，应用范围很广，一般凡非结合的加工面均用此级表面粗糙度，如轴端面，倒角，钻孔，齿轮及带轮的侧面，键槽非工作表面，垫圈的接触面，轴承的支承面等

(续)

表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	表面形状特征	加工方法	应用举例
12.5	可见加工痕迹	车、镗、刨、钻、平铣、立铣、锉、粗铰、磨、铣齿	半精加工表面。不重要零件的非配合表面，如：支柱、轴、支架，外壳，衬套，盖等的端面；紧固件的自由表面，如螺栓、螺钉，双头螺栓和螺母的表面；不要求定心及配合特性的表面，如用钻头钻的螺栓孔、螺钉孔及铆钉孔等表面固定支承表面，与螺栓头及铆钉头相接触的表面；带轮、联轴器、凸轮、偏心轮的侧面，平键及键槽的上下面，斜键侧面等
6.3	微见加工痕迹	车、镗、刨、铣、刮 1 ~ 2 点/cm ² 、拉、磨、锉、滚压、铣齿	半精加工表面。和其他零件连接而不是配合表面，如外壳、座加盖、凸耳、端面和扳手及手轮的外圆。要求有定心及配合特性的固定支承表面，如定心的轴肩、键和键槽的工作表面。不重要的紧固螺纹的表面，非传动的梯形螺纹、锯齿形螺纹表面，轴与毡圈摩擦面、燕尾槽的表面
3.2	看不见的加工痕迹	车、镗、刨、铣、铰、拉、磨、滚压、刮 1 ~ 2 点/cm ² 、铣齿	接近于精加工、要求有定心（不精确的定心）及配合特性的固定支承表面，如衬套、轴承和定位销的压入孔。不要求定心及配合特性的活动支承面，如活动关节、花键结合、8 级齿轮齿面、传动螺纹工作表面，低速（30 ~ 60r · min ⁻¹ ）的轴颈（ $d < 50\text{mm}$ ），楔形键及槽上下面，轴承盖凸肩表面（对中心用），端盖内侧面等
1.6	可辨加工痕迹的方向	车、镗、拉、磨、立铣、铰、刮 3 ~ 10 点/cm ² ，磨、滚压	要求保证定心及配合特性的表面，如锥形销和圆柱销的表面；普通与 6 级精度球轴承的配合面，安装滚动轴承的孔，滚动轴承的轴颈。中速（60 ~ 120r · min ⁻¹ ）转动的轴颈，静连接 IT7 公差等级的孔，动连接 IT9 公差等级的孔，不要求保证定心及配合特性的活动支承面，如高精度的活动球状接头表面、支承垫圈、套齿叉形件、磨削的轮齿
0.8	微辨加工痕迹的方向	铰、磨、刮 3 ~ 10 点/cm ² 、镗、拉、滚压	要求能长期保持所规定配合特性的 IT7 的轴和孔的配合表面。高速（120r · min ⁻¹ 以上）工作下的轴颈及衬套的工作面。间隙配合中 IT7 公差等级的孔，7 级精度大小齿轮工作面，蜗轮齿面（7 ~ 8 级精度），滚动轴承轴颈。要求保证定心及配合特性的表面，如滑动轴承轴瓦的工作表面。不要求保证定心及结合特性的活动支承面，如导杆、推杆表面 工作时受反复应力的重要零件在不破坏配合特性下工作，要保证其耐久性和疲劳强度所要求的表面，如：受力螺栓的圆柱表面，曲轴和凸轮轴的工作表面
0.4	不可辨加工痕迹的方向	布轮磨、磨、研磨、超级加工	工作时承受反复应力的重要零件表面，保证零件的疲劳强度、耐腐蚀性和耐久性；工作时不破坏配合特性的表面，如轴颈表面、活塞和柱塞表面等；IT5 ~ IT6 公差等级配合的表面，3、4、5 级精度齿轮的工作表面，4 级精度滚动轴承配合的轴颈
0.2	暗光泽面	超级加工	工作时承受较大反复应力的重要零件表面，保证零件的疲劳强度、耐腐蚀性及在活动接头工作中的耐久性的一些表面，如活塞销的表面，液压传动用的孔表面
0.1	亮光泽面	超级加工	精密仪器及附件的摩擦面，量具工作面，块规、高精度测量仪工作面，光学测量仪中的金属镜面
0.05	镜状光泽面		
0.025	雾状镜面		
0.012	镜面		

表 1.3-34 表面粗糙度值与公差等级、公称尺寸的对应关系

公差等级 IT	公称尺寸/mm	$Ra/\mu m$	$Rz/\mu m$	公差等级 IT	公称尺寸/mm	$Ra/\mu m$	$Rz/\mu m$
2	≤ 10	0.025 ~ 0.040	0.16 ~ 0.20	6	≤ 10	0.20 ~ 0.32	1.0 ~ 1.6
	$> 10 \sim 50$	0.050 ~ 0.080	0.25 ~ 0.40		$> 10 \sim 80$	0.40 ~ 0.63	2.0 ~ 3.2
	$> 50 \sim 180$	0.10 ~ 0.16	0.50 ~ 0.80		$> 80 \sim 250$	0.80 ~ 1.25	4.0 ~ 6.3
	$> 180 \sim 500$	0.20 ~ 0.32	1.0 ~ 1.6		$> 250 \sim 500$	1.6 ~ 2.5	8.0 ~ 10
3	≤ 18	0.050 ~ 0.080	0.25 ~ 0.40	7	≤ 6	0.40 ~ 0.63	2.0 ~ 3.2
	$> 18 \sim 50$	0.10 ~ 0.16	0.50 ~ 0.80		$> 6 \sim 50$	0.80 ~ 1.25	4.0 ~ 6.3
	$> 50 \sim 250$	0.20 ~ 0.32	1.0 ~ 1.6		$> 50 \sim 500$	1.6 ~ 2.5	8.0 ~ 10
	$> 250 \sim 500$	0.40 ~ 0.63	2.0 ~ 3.2	8	≤ 6	0.40 ~ 0.63	2.0 ~ 3.2
4	≤ 6	0.050 ~ 0.080	0.25 ~ 0.40		$> 6 \sim 120$	0.80 ~ 1.25	4.0 ~ 6.3
	$> 6 \sim 50$	0.10 ~ 0.16	0.50 ~ 0.80		$> 120 \sim 500$	1.6 ~ 2.5	8.0 ~ 10
	$> 50 \sim 250$	0.20 ~ 0.32	1.0 ~ 1.6	9	≤ 10	0.80 ~ 1.25	4.0 ~ 6.3
	$> 250 \sim 500$	0.40 ~ 0.63	2.0 ~ 3.2		$> 10 \sim 120$	1.6 ~ 2.5	8.0 ~ 10
5	≤ 6	0.10 ~ 0.16	0.50 ~ 0.80	10	$> 120 \sim 500$	3.2 ~ 5.0	12.5 ~ 20
	$> 60 \sim 50$	0.20 ~ 0.32	1.0 ~ 1.6		≤ 10	1.6 ~ 2.5	8.0 ~ 10
	$> 50 \sim 250$	0.40 ~ 0.63	2.0 ~ 3.2		$> 10 \sim 120$	3.2 ~ 5.0	12.5 ~ 20
	$> 250 \sim 500$	0.80 ~ 1.25	4.0 ~ 6.3		$> 120 \sim 500$	6.3 ~ 10	25 ~ 40

表 1.3-35 不同加工方法可能达到的表面粗糙度

加工方法		表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$													
		0.012	0.025	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	1.60	3.20	6.30	12.5	25	50	100
砂型、壳型铸造															
金属型铸造															
离心铸造															
精密铸造															
熔模铸造															
压力铸造															
热 轧															
模 锻															
冷 轧															
挤 压															
冷 拉															
刮 削															
刨削	粗														
	精														
插 削															
钻 孔															
扩孔	粗														
	精														
金刚镗孔															

(续)

[illegible]

表 1.3-36 常用零件表面的表面粗糙度参考值

(μm)

配合表面	公差等级		表面	公 称 尺 寸 /mm						
				≤50		50 ~ 500				
	IT5		轴	0.2		0.4				
			孔	0.4		0.8				
	IT6		轴	0.4		0.8				
			孔	0.4 ~ 0.8		0.8 ~ 1.6				
	IT7		轴	0.4 ~ 0.8		0.8 ~ 1.6				
			孔	0.8						
IT8		轴	0.8							
		孔	0.8 ~ 1.6							
过盈配合	压入装配	公差等级	表面	公 称 尺 寸 /mm						
				≤50		50 ~ 120		120 ~ 500		
		IT5		轴	0.1 ~ 0.2		0.4		0.4	
				孔	0.2 ~ 0.4		0.8		0.8	
		IT6 ~ IT7		轴	0.4		0.8		1.6	
				孔	0.8		1.6		1.6	
		IT8		轴	0.8		0.8 ~ 1.6		1.6 ~ 3.2	
				孔						
	热装	—	轴	1.6						
			孔	1.6 ~ 3.2						
分组装配的零件表面			表面	分 组 公 差						
				<2.5	2.5	5	10	20		
			轴	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8		
				孔	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	
定心精度高的配合表面			表面	径向圆跳动公差						
				2.5	4	6	10	16	20	
			轴	0.05	0.1	0.1	0.2	0.4	0.8	
				孔	0.1	0.2	0.2	0.4	0.8	1.6
滑动轴承表面			表面	公差等级				流体润滑		
				IT6 ~ IT9		IT10 ~ IT12				
			轴	0.4 ~ 0.8		0.8 ~ 3.2		0.1 ~ 0.4		
				孔	0.8 ~ 1.6		1.6 ~ 3.2		0.2 ~ 0.8	
导轨面	性 质	速度 /m · s ⁻¹	平 面 度 公 差 /(μm/100mm 范围内)							
			≤6	10	20	60	>60			
	滑 动	≤0.5	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
		>0.5	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6			
	滚 动	≤0.5	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6			
		>0.5	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8			
圆锥结合 工作表面			密封结合		对中结合		其他			
			0.1 ~ 0.4		0.4 ~ 1.6		1.6 ~ 6.3			
键结合	结构名称		键		轴上键槽		毂上键槽			
	不动结合	工作面	3.2		1.6 ~ 3.2		1.6 ~ 3.2			
		非工作面	6.3 ~ 12.5		6.3 ~ 12.5		6.3 ~ 12.5			
	用导向键	工作面	1.6 ~ 3.2		1.6 ~ 3.2		1.6 ~ 3.2			
		非工作面	6.3 ~ 12.5		6.3 ~ 12.5		6.3 ~ 12.5			
渐开线花键结合		结构名称	孔槽	轴齿	定心面		非定心面			
					孔	轴	孔	轴		
		不动结合	1.6 ~ 3.2	1.6 ~ 3.2	0.8 ~ 1.6	0.4 ~ 0.8	3.2 ~ 6.3	1.6 ~ 6.3		
		动结合	0.8 ~ 1.6	0.4 ~ 0.8	0.8 ~ 1.6	0.4 ~ 0.8	3.2	1.6 ~ 6.3		

(续)

螺 纹 结 合	公差等级		IT4、IT5			IT6、IT7			IT8、IT9		
	紧固螺纹		1.6			3.2			3.2 ~ 6.3		
	在轴上、杆上和套上螺纹		0.8 ~ 1.6			1.6			3.2		
	丝杠和起重螺纹		—			0.4			0.8		
	丝杠螺母和起重螺母		—			0.8			1.6		
齿 轮 传 动	公差等级		IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11
	直齿、斜齿、人字齿轮、蜗轮(圆柱)		0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.4	0.2 ~ 0.4	0.4 ~ 0.8	0.4 ~ 0.8	1.6	3.2	6.3	6.3
	锥齿轮		—	—	0.2 ~ 0.4	0.4 ~ 0.8	0.4 ~ 0.8	0.8 ~ 1.6	1.6 ~ 3.2	3.2 ~ 6.3	6.3
	蜗杆牙型面		0.1	0.2	0.2	0.4	0.4 ~ 0.8	0.8 ~ 1.6	1.6 ~ 3.2		
	根圆		和工作面同或接近的更粗的优先数								
	顶圆		3.2 ~ 12.5								
链 轮	应用精度		普通				提高				
	工作表面		3.2 ~ 6.3				1.6 ~ 3.2				
	根圆		6.3				3.2				
	顶圆		3.2 ~ 12.5				3.2 ~ 12.5				
分度机构表面(如分度板、插销)					定 位 精 度 /μm						
					≤4	6	10	25	63	>63	
					0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3	
齿轮、链轮和蜗轮的非工作端面					3.2 ~ 12.5						
孔和轴的非工作表面					6.3 ~ 12.5						
倒角、倒圆、退刀槽等					3.2 ~ 12.5						
螺栓、螺钉等用的通孔					25						
精制螺栓和螺母					3.2 ~ 12.5						
半精制螺栓和螺母					25						
螺钉头表面					3.2 ~ 12.5						
压簧支承表面					12.5 ~ 25						
准备焊接的倒棱					50 ~ 100						
床身、箱体上的槽和凸起					12.5 ~ 25						
在水泥、砖或木质基础上的表面					100 或更大						
对疲劳强度有影响的非结合表面					0.2 ~ 0.4 抛光						
影响蒸汽和气流的表面			特别精密			0.2 抛光					
			一般			0.8 ~ 1.6					
影响零件平衡的表面			直径 /mm	≤180		1.6 ~ 3.2					
				180 ~ 500		6.3					
				> 500		15.2 ~ 52					

表 1.3-37 与常用、优先公差带相适应的表面粗糙度参数值

(μm)

公差带代号	尺寸/mm												
	<30	>3 ~ 6	>6 ~ 10	>10 ~ 18	>18 ~ 30	>30 ~ 50	>50 ~ 80	>80 ~ 120	>120 ~ 180	>180 ~ 250	>250 ~ 315	>315 ~ 400	>400 ~ 500
h1 ,js1 ,H1 ,JS1	>0.02 ~0.04 (0.025)					>0.08 ~0.16(0.1)							
h2 ,js2 ,H2 ,JS2													
h3 ,js3 ,H3 ,JS3	>0.04 ~0.08 (0.05)					>0.16 ~0.32 (0.2)					>0.32 ~0.63 (0.4)		
g4 ,h4 ,js4 ,k4 ,m4 ,n4 , r4 ,s4													
H4 ,JS4 ,K4 ,M4	>0.08 ~0.16 (0.1)					>0.16 ~0.32 (0.2)					>0.63 ~1.25 (0.8)		
f5 ,g5 ,h5 ,j5 ,js5 ,k5 m5 ,n5 ,p5 ,r5 ,s5 ,t5 u5 ,v5 ,x5 ,y5 ,z5													
G5 ,H5 ,JS5 ,K5 ,M5 N5 ,P5 ,R5 ,S5													
e6 ,f6 ,g6 ,h6 ,j6 ,js6 k6 ,m6 ,n6 ,p6 ,r6 ,s6 t6 ,u6 ,v6 ,x6 ,y6 ,z6													
F6 ,G6 ,H6 ,J6 ,JS6 ,K6 , M6 ,N6 ,P6 ,R6 ,S6 ,T6 , U6 ,V6 ,X6 ,Y6 ,Z6	>0.32 ~0.63 (0.4)					>0.63 ~1.25 (0.8)					>1.25 ~2.5 (1.6)		
d7 ,e7 ,f7 ,g7 ,h7 ,j7 , js7 ,k7 ,m7 ,n7 ,p7 ,r7 , s7 ,t7 ,u7 ,v7 ,x7 ,y7 ,z7													
D7 ,E7 ,F7 ,G7 ,H7 ,J7 , JS7 ,K7 ,M7 ,N7 ,P7 ,S7 , T7 ,U7 ,V7 ,X7 ,Y7 ,Z7													
c8 ,d8 ,e8 ,f8 ,g8 ,h8 , js8 ,k8 ,m8 ,n8 ,p8 ,r8 , s8 ,t8 ,u8 ,v8 ,x8 ,y8 ,z8	>0.63 ~1.25 (0.8)					>2.5 ~5 (3.2)					>5 ~10 (6.3)		
C8 ,D8 ,E8 ,F8 ,G8 ,H8 , J8 ,JS8 ,K8 ,M8 ,N8 ,P8 , R8 ,S8 ,T8 ,U8 ,V8 ,Y8 , Z8													
a9 ,b9 ,c9 ,d9 ,e9 ,f9 , h9 ,js9													
A9 ,B9 ,C9 ,D9 ,E9 ,F9 , H9 ,JS9 ,N9 ,P9													
a10 ,b10 ,c10 ,d10 ,e10 , h10 ,js10	>10 ~20 (12.5)					>5 ~10 (6.3)					>5 ~10 (6.3)		
A10 ,B10 ,C10 ,D10 , E10 ,H10 ,JS10													
a11 ,b11 ,c11 ,d11 ,h11 , js11													
A11 ,B11 ,C11 ,D11 , H11 ,JS11													
a12 ,b12 ,c12 ,h12 ,js12	>10 ~20 (12.5)					>5 ~10 (6.3)					>5 ~10 (6.3)		
A12 ,B12 ,C12 ,H12 , JS12													
a13 ,b13 ,c13 ,h13 ,js13 , H13 ,JS13													

注：1. 本表适用于一般通用机械，并且不考虑形状公差对表面粗糙度的要求。

2. 对于特殊的配合件，如配合件孔、轴公差等级相差较多时，应按其较高等级的公差带选取。

3. 对于重型机械中采用配制配合时，应仍按完全互换性配合要求的公差选取。

4. 括号内数据为常用数据。

第 4 章 机械工程材料

1 金属材料的主要力学性能名称和符号（见表 1.4-1）

表 1.4-1 金属材料常用力学性能指标

性能名称	符号	单位	指标意义说明																				
抗拉强度	R_m	MPa	材料拉断前所能承受的最大拉伸载荷 F_b （N）与材料原始截面积 A_0 （mm ² ）之比， $R_m = F_b/A_0$																				
抗压强度	R_{mc}	MPa	材料受压力断裂前所能承受的最大压缩载荷 F_{bc} （N）与材料原始截面积 A_0 （mm ² ）之比， $\sigma_{bc} = F_{bc}/A_0$ ，主要用于铸铁等低塑性材料																				
抗弯强度	σ_{bb}	MPa	材料受弯曲断裂前所能承受的最大弯曲应力，对于脆性材料，抗弯强度 $\sigma_{bb} = M_{bb}/W_b$ ，式中 M_{bb} （N·mm）为断裂弯矩； W_b （mm ³ ）为试件截面系数																				
抗剪强度	τ_b	MPa	剪切断裂前的最大应力。抗剪强度 $\tau = F_s/A_0$ ，式中 F_s 为剪切前的最大载荷（N）； A_0 为材料原始剪切面积（mm ² ）																				
抗扭强度	τ_m	MPa	杆件受扭转剪切断裂前的最大应力。抗扭强度对于塑性较好的钢材 $\tau_m = 3T/4W_p$ ，对于铸铁等脆性材料 $\tau_m = T_b/W_p$ ，式中 T_b 为剪切断裂前的最大转矩（N·mm）； W_p 为杆件的截面系数（mm ³ ）																				
屈服强度 上屈服强度 下屈服强度	R_{eH} R_{eL}	MPa	在试件拉伸过程中，有一阶段，载荷达到 F_s 时不增加，而变形增加，（以后又继续增加直到断裂）此时的载荷除以材料的原始面积 A_0 称为屈服应力。试样发生屈服而力首次下降前的最高应力称为上屈服强度。在屈服期间，不计初始瞬时效应的最低应力值为下屈服强度																				
规定非比例延伸强度	R_p （例如 $R_{p0.2}$ ）	MPa	非比例伸长率等于规定的引伸计标距百分率时的应力，称为规定非比例延伸强度 R_p 。使用的符号应附以下角标说明所规定的百分率，例如 $R_{p0.2}$ 表示规定非比例延伸率为 0.2% 时的应力																				
弹性模量	E	MPa	试件在拉伸（压缩）试验的弹性变形范围内，应力与应变成正比，其比值即为弹性模量 E ， $E = \sigma/\varepsilon$ 。 $\sigma = F/A_0$ ， $\varepsilon = \Delta l/l_0$ ，式中 Δl 为试件伸长量； l_0 为试件原长度																				
剪切弹性模量	G	MPa	试件在扭转试验的弹性变形范围内，切应力与切应变成正比，其比值即为剪切弹性模量 G ， $G = \tau/\gamma$ ，式中 τ 为切应力（MPa）； γ 为切应变（比值无单位）																				
布氏硬度	HBW		对一定直径的硬质合金球施加试验力 F 压入试件表面，经规定保持时间后，卸除试验力，布氏硬度 = 常数 × 试验力 F /压痕表面积 = $0.102 \times 2F/[\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})]$ 。式中 D 为球直径； d 为压痕平均直径																				
洛氏硬度	HR	无量纲	将金刚石锥或淬硬钢球以规定压力压入试件表面，按压痕深度确定试件硬度，共分 9 种，常用的有以下三种： <table><tr><th>硬度标尺</th><th>硬度符号</th><th>压头类型</th><th>总试验力</th><th>洛氏硬度范围</th></tr><tr><td>A</td><td>HRA</td><td>金刚石圆锥</td><td>588.4N</td><td>(20 ~ 88) HRA</td></tr><tr><td>B</td><td>HRB</td><td>直径 1.5875mm 钢球</td><td>980.7N</td><td>(20 ~ 100) HRB</td></tr><tr><td>C</td><td>HRC</td><td>金刚石圆锥</td><td>1.471kN</td><td>(20 ~ 70) HRC</td></tr></table>	硬度标尺	硬度符号	压头类型	总试验力	洛氏硬度范围	A	HRA	金刚石圆锥	588.4N	(20 ~ 88) HRA	B	HRB	直径 1.5875mm 钢球	980.7N	(20 ~ 100) HRB	C	HRC	金刚石圆锥	1.471kN	(20 ~ 70) HRC
硬度标尺	硬度符号	压头类型	总试验力	洛氏硬度范围																			
A	HRA	金刚石圆锥	588.4N	(20 ~ 88) HRA																			
B	HRB	直径 1.5875mm 钢球	980.7N	(20 ~ 100) HRB																			
C	HRC	金刚石圆锥	1.471kN	(20 ~ 70) HRC																			

(续)

性能名称	符号	单位	指标意义说明
维氏硬度	HV	MPa	用夹角为 136° 的金刚石四棱锥压头, 计算公式为 $HV = 1.8544 \times 2F/d^2$, 式中 F 为总载荷 (N); d 为压痕对角线长度 (mm)
断面收缩率	Z	(%)	金属试件被拉断后, 其颈缩处的横截面积的最大缩量与原横截面积的比, 用百分数表示。计算公式: $Z = (S_0 - S_u) / S_0 \times 100\%$, 式中 S_0 为原横截面积; S_u 为断后最小的横截面积
断后伸长率	A	(%)	$A = (\text{断后标距 } L - \text{原始标距 } L_0) / \text{原始标距 } L_0$, 上式中原始标距为 $L_0 = 5.65 \sqrt{S_0}$, S_0 为原始横截面积 (相当于直径为 d_0 的圆柱形拉伸试件, $L_0 = 5d_0$)。否则应附以下标说明所使用的比例系数, 例如 $L_0 = 11.3 \sqrt{S_0}$ (相当于 $L_0 = 10d_0$) 则用 $A_{11.3}$ 表示断后伸长率。对于非比例试样则以原始标距长度下标, 如 A_{80mm} , 表示 $L_0 = 80mm$ 试件的断后伸长率
冲击韧度	a_K	J/cm ²	在摆锤式一次冲击试验机上冲击断标准试件时, 所需消耗的功, 除以试件断面处的横截面积。按试件的缺口形状为 U 形或 V 形, 冲击韧度用 a_{KU} 或 a_{KV} 表示, 是材料承受冲击载荷能力的性能指标
冲击吸收能量	A_K	J	在摆锤式一次冲击试验机上冲击断标准试件时, 所需消耗的能量, 按试件的缺口形状为 U 形或 V 形, 冲击吸收能量用 KU 或 KV 表示, 用数字以下角形式表示冲击刀刃半径, 例如 KU_2 , 是材料承受冲击载荷能力的性能指标

注: GB/T 228—2002《金属材料室温拉伸试验方法》代替 GB/T 228—1987《金属拉伸试验方法》、GB/T 3076—1982《金属薄板(带)拉伸试验方法》、GB/T 6397—1986《金属拉伸试验试样》三项标准, 本表有关金属材料室温拉伸的性能名称、符号及含义说明均符合 GB/T 228—2002 的规定。

由于目前尚未修订的一些标准采用的仍是原标准 GB/T 228—1987 的名词术语及符号, 因此, 为便于读者查对, 给出新旧标准常用的性能名称及符号的对照表, 见下表。

新标准(GB/T 228—2002)		旧标准(GB/T 228—1987)		新标准(GB/T 228—2002)		旧标准(GB/T 228—1987)	
性能名称	符号	性能名称	符号	性能名称	符号	性能名称	符号
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b	规定非比例延伸强度	R_p	规定非比例伸长应力	σ_p
屈服强度		屈服点	σ_s		$R_{p0.2}$		$\sigma_{p0.2}$
上屈服强度	R_{eH}	上屈服点	σ_{sU}	断面收缩率	Z	断面收缩率	ψ
下屈服强度	R_{eL}	下屈服点	σ_{sL}	断后伸长率	A	断后伸长率	δ_5

2 钢铁材料（黑色金属）

2.1 铸铁

2.1.1 灰铸铁（见表 1.4-2）

表 1.4-2 灰铸铁的力学性能与应用举例（摘自 GB/T 9439—2010）

牌 号	铸件壁厚/mm		附铸试棒或试块最小抗拉强度 R_m /MPa	铸件本体预期抗拉强度 R_m (min) /MPa	应 用 举 例
	>	≤			
HT150	5	10	—	155	承受中等弯曲应力, 摩擦面间压强高于 500kPa 的铸件, 如多数机床的底座, 有相对运动和磨损的零件, 如溜板、工作台等, 汽车中的变速箱、排气管、进气管等; 拖拉机中的配气轮室盖、液压泵进、出油管, 鼓风机底座, 后盖板, 高炉冷却壁, 热风炉篦, 流渣槽, 渣缸, 炼焦炉保护板, 轧钢机托辊, 夹板, 加热炉盖, 冷却头, 内燃机车水泵壳, 止回阀体、阀盖、吊车滑轮, 泵体, 电机轴承盖, 汽轮机操纵座外壳, 缓冲器外壳
	10	20	—	130	
	20	40	120	110	
	40	80	110	95	
	80	150	100	80	
	150	300	90 ^①	—	

(续)

牌 号	铸件壁厚/mm		附铸试棒或 试块最小抗 拉强度 R_m /MPa	铸件本体预 期抗拉强度 R_m (min) /MPa	应 用 举 例
	>	≤			
HT200	5	10	—	205	承受较大弯曲应力, 要求保持气密性的铸件, 如机床立柱, 刀架, 齿轮箱体, 多数机床床身, 滑板, 箱体, 油缸, 泵体, 阀体, 刹车毂, 飞轮, 气缸盖, 分离器本体, 左半轴、右半轴壳, 鼓风机座、皮带轮, 轴承盖, 叶轮, 压缩机机身, 轴承架, 冷却器盖板, 炼钢浇注平台, 煤气喷嘴, 真空过滤器销盘、喉管, 内燃机车风缸体, 阀套, 汽轮机, 气缸中部, 隔板套, 前轴承座主体, 机架, 电机接器缸, 活塞, 导水套筒, 前缸盖
	10	20	—	180	
	20	40	170	155	
	40	80	150	130	
	80	150	140	115	
	150	300	130 ^①	—	
HT225	5	10	—	230	承受较大弯曲应力, 要求保持气密性的铸件, 如机床立柱, 刀架, 齿轮箱体, 多数机床床身, 滑板, 箱体, 油缸, 泵体, 阀体, 刹车毂, 飞轮, 气缸盖, 分离器本体, 左半轴、右半轴壳, 鼓风机座、带轮, 轴承盖, 叶轮, 压缩机机身, 轴承架, 冷却器盖板, 炼钢浇注平台, 煤气喷嘴, 真空过滤器销气盘, 喉管, 内燃机车缸体, 阀套, 汽轮机, 气缸中部, 隔板套, 前轴承座主体, 机架, 电机接器缸, 活塞, 导水套筒, 前缸盖
	10	20	—	200	
	20	40	190	170	
	40	80	170	150	
	80	150	155	135	
	150	300	145 ^①	—	
HT250	5	10	—	250	炼钢用轨道板、气缸套、齿轮、机床立柱、齿轮箱体、机床床身, 磨床转体, 油缸, 泵体, 阀体
	10	20	—	225	
	20	40	210	195	
	40	80	190	170	
	80	150	170	155	
	150	300	160 ^①	—	
HT275	10	20	—	250	炼钢用轨道板、气缸套、齿轮、机床立柱、齿轮箱体、机床床身, 磨床转体, 油缸泵体、阀体
	20	40	230	220	
	40	80	205	190	
	80	150	190	175	
	150	300	175 ^①	—	
HT300	10	20	—	270	承受高弯曲应力, 拉应力, 要求保持高度气密性的铸件, 如重型机床床身, 多轴机床主轴箱, 卡盘齿轮, 高压油缸, 泵体, 阀体, 水泵出水段, 进水段, 吸入盖, 双螺旋分级机机座, 锥齿轮, 大型卷筒, 轧钢机座, 焦化炉导板, 汽轮机隔板, 泵壳, 收缩管, 轴承支架, 主配阀壳体, 环形缸座
	20	40	250	240	
	40	80	220	210	
	80	150	210	195	
	150	300	190 ^①	—	
HT350	10	20	—	315	轧钢滑板, 辊子, 炼焦柱塞, 圆筒混合机齿圈, 支承轮座, 挡轮座
	20	40	290	280	
	40	80	260	250	
	80	150	230	225	
	150	300	210 ^①	—	

注: 1. GB/T 9439—2010 依据直径 $\phi 30\text{mm}$ 单铸试棒加工的标准拉伸试样所测得的最小抗拉强度值, 将灰铸铁分为 HT100、HT150、HT200、HT225、HT250、HT275、HT300 和 HT350 等八个牌号。

2. 当铸件壁厚超过 300mm 时, 其力学性能由供需双方商定。

3. 当某牌号的铁液浇注壁厚均匀、形状简单的铸件时, 壁厚变化引起抗拉强度的变化, 可从本表查出参考数据, 当铸件壁厚不均匀, 或有型芯时, 此表只能给出不同壁厚处大致的抗拉强度值, 铸件的设计应根据关键部位的实测值进行。

① 表中斜体字数值表示指导值, 其余抗拉强度值均为强制性值, 铸件本体预期抗拉强度值不作为强制性值。

2.1.2 可锻铸铁（见表 1.4-3）

表 1.4-3 可锻铸铁的力学性能与应用举例（摘自 GB/T 9440—2010）

	牌 号	试样直 径 d /mm	力学性能 $\geq$			HBW	特性与应用举例
			R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%) $L_0 = 3d$		
黑心可锻铸铁	KTH275-05	12 或 15	275	—	5	≤ 150	黑心可锻铸铁比灰铸铁强度高，塑性与韧性更好，可承受冲击和扭转载荷，具有良好的耐蚀性，切削性能良好。制作薄壁铸件，多用于机床零件、运输机零件、升降机械零件，管道配件，低压阀门。KTH300-06、KTH330-08 可耐 800 ~ 1400kPa 的压力（气压、水压），可用于自来水管路、配件，高压锅炉管路配件，压缩空气管道配件以及农机零件。KTH350-10 和 KTH370-12 能承受较大的冲击负荷，在寒冷环境（-40℃）下工作，不产生低温脆断，在汽车和拖拉机中用作后桥外壳，转向机构，弹簧钢板支座，农机中的收割机升降机构，护刃器、压刃器、捆束器等
	KTH300-06		300	—	6		
	KTH330-08		330	—	8		
	KTH350-10		350	200	10		
	KTH370-12		370	—	12		
珠光体可锻铸铁	KTZ450-06	12 或 15	450	270	6	150 ~ 200	珠光体可锻铸铁的塑性、韧性比黑心可锻铸铁稍差，但其强度高，耐磨性好，低温性能优于球墨铸铁，加工性良好，可代替有色合金、低合金钢及低碳钢制作较高强度和耐磨性的零件。KTZ450-06 用于制作插销、轴承座，KTZ550-04 用于制作一定强度、韧性适当的零件，如汽车前轮轮毂，发动机支架，传动箱及拖拉机履带轨板。KTZ650-02 用于制作较高强度的零件，如柴油机活塞、差速器壳、摇臂及农业机械的犁刀、犁片、齿轮箱。KTZ700-02 用于制作高强度的零件，如曲轴，传动齿轮，凸轮轴，活塞环等
	KTZ500-05		500	300	5	165 ~ 215	
	KTZ550-04		550	340	4	180 ~ 230	
	KTZ600-03		600	390	3	195 ~ 245	
	KTZ650-02		650	430	2	210 ~ 260	
	KTZ700-02		700	530	2	240 ~ 290	
	KTZ800-01		800	600	1	270 ~ 320	
白心可锻铸铁	KTB350-04	6	270	—	10	≤ 230	将低碳低硅的白口铸铁和氧化铁一起加热，进行脱碳软化后的铸铁称为白心可锻铸铁，断口呈白色，表面层大量脱碳形成铁素体，心部为珠光体基体，且有少量残余游离碳，因而心部韧性难于提高，一般仅限于薄壁件的制造。由于工艺复杂、生产周期长、性能较差，国内在机械工业中较少应用，KTB380-12 适用于对强度有特殊要求和焊接后不需进行热处理的零件
		9	310	—	5		
		12	350	—	4		
		15	360	—	3		
	KTB360-12	6	280	—	16	≤ 200	
		9	320	170	15		
		12	360	190	12		
		15	370	200	7		
	KTB400-05	6	300	—	12	≤ 220	
		9	360	200	8		
		12	400	220	5		
		15	420	230	4		

(续)

牌 号	试样直 径 d /mm	力学性能 $\geq$			HBW	特性与应用举例	
		R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%) $L_0 = 3d$			
白心可锻铸铁	KTB450-07	6	330	—	12	≤ 220	将低碳低硅的白口铸铁和氧化铁一起加热，进行脱碳软化后的铸铁称为白心可锻铸铁，断口呈白色，表面层大量脱碳形成铁素体，心部为珠光体基体，且有少量残余游离碳，因而心部韧性难于提高，一般仅限于薄壁件的制造。由于工艺复杂、生产周期长、性能较差，国内在机械工业中较少应用，KTB380-12 适用于对强度有特殊要求和焊接后不需进行热处理的零件
		9	400	230	10		
		12	450	260	7		
		15	480	280	4		
	KTB550-04	6	—	—	—	≤ 250	
		9	490	310	5		
		12	550	340	4		
		15	570	350	3		

注: 1. 如果需方没有明确要求, 供方可以任意选取 6mm 或 12mm 两种试样直径中的一种。

2. 试样直径代表同样壁厚铸件, 如果铸件为薄壁件时, 供需双方可以协商选取直径 6mm 或者 9mm 试样。

3. KTH275-05 和 KTH300-06 为专门用于保证压力密封性能, 而不要求高强度或者高延展性的工作条件的。

4. 所有级别的白心可锻铸铁均可以焊接。

2.1.3 球墨铸铁 (见表 1.4-4)

表 1.4-4 球墨铸铁单铸试样的力学性能及应用举例 (摘自 GB/T 1348—2009)

牌 号	力学性能 $\geq$			HBW	特性及应用举例
	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)		
QT900-2	900	600	2	280 ~ 360	具有高强度, 高耐磨性, 较高的弯曲疲劳强度, 用于制作内燃机中的凸轮轴, 拖拉机的减速齿轮, 汽车中的螺旋锥齿轮, 农机中的耙片、犁铧
QT800-2	800	480	2	245 ~ 335	具有较高的强度、耐磨性及一定的韧性, 用于制作部分机床的主轴、空压机、冷冻机、制氧机, 泵的曲轴、缸体、缸套、球磨机齿轮轴、矿车轮, 桥式起重机大小车轮, 小型水轮发电机主轴, 5 ~ 4000HP 柴油机、汽油机的曲轴, 部分轻型柴油机、汽油机的凸轮轴, 气缸套, 进排气门座, 连杆, 脱粒机齿条, 畜力犁铧, 小负荷齿轮
QT700-2	700	420	2	225 ~ 305	
QT600-3	600	370	3	190 ~ 270	
QT500-7	500	320	7	170 ~ 230	具有中等的强度及韧性, 用于制作内燃机中油泵齿轮, 汽轮机的中温气缸隔板, 水轮机阀门体, 机车车辆轴瓦, 输电线路的联板、碗头
QT450-10	450	310	10	160 ~ 210	
QT400-15	400	250	15	120 ~ 180	韧性高、低温性能较好, 且有一定的耐蚀性, 用于制作汽车拖拉机中的牵引框, 轮毂, 驱动桥壳体, 离合器壳体, 差速器壳体, 减速器壳, 离合器拨叉, 弹簧吊耳, 16 ~ 64 大气压阀门的阀体、阀盖、支架、压缩机中较高温度的高低压气缸、输气管、铁道的垫板、农机中的犁铧、犁柱、犁托、犁侧板、牵引架, 收割机的导架、护刃器
QT400-18	400	250	18	120 ~ 175	

注: 本表适用于砂型铸造的普通和低合金球墨铸铁件, 亦可适用于特种铸造方法生产的球墨铸铁件。

2.1.4 蠕墨铸铁（见表 1.4-5）

表 1.4-5 蠕墨铸铁牌号、单铸试块力学性能及应用举例（摘自 JB/T 4403—1999）

牌号	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	伸长率 A (%)	硬度 HBW	蠕化率 VG (%)	特性及应用举例	
	≥	≥					
RuT420	420	335	0.75	200 ~ 280	50	蠕墨铸铁是一种很有发展前景的新型材料，即蠕虫状石墨铸铁，材质性能介于球墨铸铁和灰铸铁之间。它既有球墨铸铁的强度、刚性及一定的韧性、良好的耐磨性，同时它的铸造性及热传导性又相近于灰铸铁。它用于制造液压件、排气管件、底座、大型机床床身、钢锭模及飞轮等铸件，有的铸件重量已高达数十吨	具有高强度、高耐磨性、高硬度以及较好的导热性，需经正火热处理，适于制造高强度或高耐磨性的重要铸件，如制动鼓、钢珠的研磨盘、气缸套、活塞环、玻璃模具、制动盘、吸淤泵体等
RuT380	380	300	0.75	193 ~ 274			
RuT340	340	270	1.0	170 ~ 249			具有较高的强度、硬度、耐磨性及导热率，适于制造较高强度、刚度及耐磨的零件，如大型齿轮箱体、盖、底座制动鼓、大型机床件、飞轮、起重机卷筒、烧结机滑板等
RuT300	300	240	1.5	140 ~ 217			具有良好的强度和硬度，一定的塑性及韧性，较高的热导率，致密性良好，适于制造较高强度及耐热疲劳的零件，如气缸盖、变速箱体、纺织机械零件、液压件、排气管、钢锭模及小型烧结机篦条等
RuT260	260	195	3.0	121 ~ 197			强度不高，硬度较低，有较高的塑性、韧性及热导率，铸件需经退火热处理，适用于制造受冲击及热疲劳的零件，如汽车及拖拉机的底盘零件、增压机废气进气壳体

注：蠕墨铸铁件的力学性能以单铸试块的抗拉强度为验收条件，RuT260 增加伸长率验收项目。

2.1.5 抗磨白口铸铁（见表 1.4-6）

表 1.4-6 抗磨白口铸铁力学性能及应用举例（摘自 GB/T 8263—2010）

牌 号	硬 度						特性及应用举例
	铸态或铸态并去应力处理		硬化态或硬化态并去应力处理		软化退火态		
	HRC	HBW	HRC	HBW	HRC	HBW	
BTMNi4Cr2-DT	≥53	≥550	≥56	≥600	—	—	可用于承受中等冲击载荷的易磨损零件
BTMNi4Cr2-GT	≥53	≥550	≥56	≥600	—	—	用于承受较小冲击载荷的易磨损零件
BTMCr9Ni5	≥50	≥500	≥56	≥600	—	—	有很好的淬透性，可用于承受中等冲击载荷的磨损零件
BTMCr2	≥45	≥435	—	—	—	—	用于承受较小冲击载荷的易磨损零件
BTMCr8	≥46	≥450	≥56	≥600	≤41	≤400	有一定的耐蚀性，可用于承受中等冲击载荷的易磨损零件
BTMCr12-DT	—	—	≥50	≥500	≤41	≤400	可用于承受中等冲击载荷的易磨损零件
BTMCr12-GT	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400	
BTMCr15	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400	可用于承受中等冲击载荷的易磨损零件
BTMCr20	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400	有很好的淬透性、较好的耐蚀性，可用于承受较大冲击载荷的易磨损零件

(续)

牌 号	硬 度						特性及应用举例
	铸态或铸态并去应力处理		硬化态或硬化态并去应力处理		软化退火态		
	HRC	HBW	HRC	HBW	HRC	HBW	
BTMCr26	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400	有很好的淬透性、良好的耐蚀性和抗高温氧化性，可用于承受较大冲击载荷的易磨损零件

- 注：1. 牌号中的“DT”和“GT”分别为“低碳”和“高碳”的拼音字母的首位字母，表示含碳量的高低。
2. 铸件在清理铸件或处理铸件缺陷过程中，不能采用火焰切割、电弧切割、电焊切割和补焊。
3. 洛氏硬度值（HRC）和布氏硬度值（HBW）之间没有精确的对应值，因此，这两种硬度值应独立使用。
4. 铸件断面深度 40% 处的硬度应不低于表面硬度值的 92%。

2.1.6 耐热铸铁（见表 1.4-7）

表 1.4-7 耐热铸铁的室温、高温短时力学性能及应用举例（摘自 GB/T 9437—2009）

牌号	室温力学性能		高温短时力学性能 R_m /MPa					应用举例
	R_m /MPa ≥	HBW	500℃	600℃	700℃	800℃	900℃	
HTRCr	200	189 ~ 288	225	144	—	—	—	在空气、炉气中耐热温度 550℃，制作炉条，高炉支架或水箱，金属型玻璃模
HTRCr2	150	207 ~ 288	243	166	—	—	—	在空气、炉气中耐热 600℃，制作煤气炉内灰盆，矿山烧结车挡板
HTRCr16	340	400 ~ 450	—	—	—	144	88	在空气、炉气中耐热 900℃，室温及高温下有耐磨性，耐硝酸腐蚀，制作退火罐，煤粉烧嘴，炉棚，水泥焙烧炉零件，化工机械零件
HTRSi5	140	160 ~ 270	—	—	41	27	—	在空气、炉气中耐热 700℃，制作炉条，煤粉烧嘴，锅炉用梳形定位板，换热器针状管，二硫化碳反应瓶
QTRSi4	420	143 ~ 187	—	—	75	35	—	在空气、炉气中耐热 650℃，硅含量为上限时可到 750℃，制作玻璃窑烟道闸门，玻璃引上机墙板，加热炉两端管架
QTRSi4Mo	520	188 ~ 241	—	—	101	46	—	在空气、炉气中耐热 680℃，硅含量为上限时可到 780℃，高温力学性能好，制作罩式退火炉导向器，烧结机中后热筛板，加热炉吊梁
QTRSi5	370	228 ~ 302	—	—	67	30	—	在空气、炉气中耐热 800℃。硅含量为上限时可到 900℃，制作煤粉烧嘴，炉条，辐射管，烟道闸门，加热炉中间管架
QTRAl4Si4	250	285 ~ 341	—	—	—	82	32	在空气、炉气中耐热 900℃，制作烧结机篦条，炉用件
QTRAl5Si5	200	302 ~ 363	—	—	—	167	75	在空气、炉气中耐热 1050℃，制作烧结机篦件，炉用件

(续)

牌号	室温力学性能		高温短时力学性能 R_m /MPa					应用举例
	R_m /MPa ≥	HBW	500℃	600℃	700℃	800℃	900℃	
QTRA122	300	241 ~ 364	—	—	—	130	77	在空气、炉气中耐热 1100℃，抗高温硫蚀性好，制作锅炉用侧密封块，链式加热炉炉爪，黄铁矿焙烧炉零件
QRTSi4Mo1	550	200 ~ 240	—	—	101	46	—	在空气炉气中耐热温度到 800℃。高温力学性能好用于内燃机排气歧管、罩式退火炉导向器、烧结机中后热筛板、加热炉吊梁等

2.2 铸钢

2.2.1 一般工程用铸钢（见表 1.4-8）

表 1.4-8 一般工程用铸钢的力学性能及应用举例（GB/T 11352—2009）

牌 号	力学性能 ≥						特 点	应用举例
	R_{eL} 或 $R_{p0.2}$ /MPa	R_m /MPa	A (%)	按合同规定				
				Z (%)	KV /J	KU /J		
ZG200—400	200	400	25	40	30	47	低碳铸钢，强度和硬度较低而韧性、塑性较好，焊接性好，铸造性差，导磁、导电性能好	机座、变速箱体、电气吸盘
ZG230—450	230	450	22	32	25	35		轧钢机架、轴承座、箱体、砧座
ZG270—500	270	500	18	25	22	27	中碳铸钢，强度和韧性较高，切削性良好，焊接性能尚可，铸造性能较好	应用广泛，如车轮、水压机工作缸、蒸汽锤气缸、连杆、箱体
ZG310—570	310	570	15	21	15	24		承受重载荷的零件如大齿轮、机架、制动轮、轴
ZG340—640	340	640	10	18	10	16	高碳铸钢，高强度、高硬度、高耐磨性，塑性和韧性较差，焊接和铸造性均差，裂纹敏感性大	起重运输机齿轮、车辆、联轴器

注：1. 表中所列的各牌号性能，适应于厚度为 100mm 以下的铸件，当铸件厚度超过 100mm 时，表中规定的 R_{eL} ($R_{p0.2}$) 仅供设计使用。

2. 表中冲击吸收功 KU 的试样缺口为 2mm。

2.2.2 焊接结构用碳素铸钢（见表 1.4-9）

表 1.4-9 焊接结构用碳素铸钢的力学性能（GB/T 7659—1987）

牌 号	R_{eL} /MPa	R_m /MPa	A (%)	Z (%)	KU /J	a_{KU} /J·cm ⁻²
	≥	≥	≥	≥	≥	≥
ZG200—400H	200	400	25	40	30	59
ZG230—450H	230	450	22	35	25	44
ZG275—485H	275	485	20	35	22	34

注：1. 铸件应进行热处理，常用热处理是：正火；正火 + 回火（回火温度 550℃ 以上）。

2. 当供方不具备夏比（V 形缺口）试样加工条件时，允许按夏比（U 形缺口）试样的冲击初度值交货。

3. 表中力学性能指标适用于厚度不超过 100mm 的铸件，当铸件壁厚超过 100mm 时，仅表中屈服强度可供设计使用。

2.2.3 合金铸钢 (见表 1.4-10)

表 1.4-10 大型低合金钢铸件铸钢力学性能及应用举例 (摘自 JB/T 6402—2006)

材料牌号	热处理 状 态	R_{eH} /MPa ≥	R_m /MPa ≥	A (%) ≥	Z (%) ≥	KU /J ≥	KV /J ≥	$KDVM$ /J ≥	HBW ≥	应用举例
ZG20Mn	正火 + 回火	285	495	18	30	39	—	—	145	焊接及流动性良好, 作水压机缸、叶片、喷嘴体、阀、弯头等
	调 质	300	500 ~ 650	24	—	—	45	—	150 ~ 190	
ZG30Mn	正火 + 回火	300	558	18	30	—	—	—	163	用于承受摩擦和冲击的零件, 如齿轮等
ZG35Mn	正火 + 回火	345	570	12	20	24	—	—	—	用于承受摩擦的零件
	调 质	415	640	12	25	27	—	27	200 ~ 240	
ZG40Mn	正火 + 回火	295	640	12	30	—	—	—	163	用于承受摩擦和冲击的零件, 如齿轮等
ZG40Mn2	正火 + 回火	395	590	20	40	30	—	—	179	用于承受摩擦的零件, 如齿轮等
	调 质	685	835	13	45	35	—	35	269 ~ 302	
ZG45Mn2	正火 + 回火	392	637	15	30	—	—	—	179	用于模块、齿轮等
ZG50Mn2	正火 + 回火	445	785	18	37	—	—	—	—	用于高强度零件, 如齿轮、齿轮缘等
ZG35SiMnMo	正火 + 回火	395	640	12	20	24	—	—	—	用于承受负荷较大的零件
	调 质	490	690	12	25	27	—	27	—	
ZG35CrMnSi	正火 + 回火	345	690	14	30	—	—	—	217	用于承受冲击、摩擦的零件, 如齿轮、滚轮等
ZG20MnMo	正火 + 回火	295	490	16	—	39	—	—	156	用于受压容器, 如泵壳等
ZG30Cr1 MnMo	正火 + 回火	392	686	15	30	—	—	—	—	用于拉坯和立柱
ZG55CrMnMo	正火 + 回火	不规定	不规定	—	—	—	—	—	—	有一定的热硬性, 用于锻模等
ZG40Cr1	正火 + 回火	345	630	18	26	—	—	—	212	用于高强度齿轮
ZG34Cr2Ni2Mo	调 质	700	950 ~ 1000	12	—	—	32	—	240 ~ 290	用于特别要求的零件, 如锥齿轮、小齿轮、吊车行走轮、轴等
ZG15Cr1 Mo	正火 + 回火	275	490	20	35	24	—	—	140 ~ 220	用于汽轮机
ZG20CrMo	正火 + 回火	245	460	18	30	30	—	—	135 ~ 180	用于齿轮、锥齿轮及高压缸零件等
	调 质	245	460	18	30	24	—	—	—	
ZG35Cr1 Mo	正火 + 回火	392	588	12	20	23.5	—	—	—	用于齿轮、电炉支承轮轴套、齿圈等
	调 质	510	686	12	25	31	—	27	201	
ZG42Cr1 Mo	正火 + 回火	343	569	12	20	—	30	—	—	用于承受高负荷零件、齿轮、锥齿轮等
	调 质	490	690 ~ 830	11	—	—	—	21	200 ~ 250	
ZG50Cr1 Mo	调 质	520	740 ~ 880	11	—	—	—	34	200 ~ 260	用于减速器零件、齿轮、小齿轮等
ZG65Mn	正火 + 回火	不规定	不规定	—	—	—	—	—	—	用于球磨机衬板等
ZG28NiCrMo	—	420	630	20	40	—	—	—	—	适用于直径大于 300mm 的齿轮铸件

(续)

材料牌号	热处理 状 态	R_{eH} /MPa ≥	R_m /MPa ≥	A (%) ≥	Z (%) ≥	KU /J ≥	KV /J ≥	$KDVM$ /J ≥	HBW ≥	应用举例
ZG30NiCrMo	—	590	730	17	35	—	—	—	—	适用于直径大于300mm的齿轮铸件
ZG35NiCrMo	—	660	830	14	30	—	—	—	—	适用于直径大于300mm的齿轮铸件

注：1. 需方无特殊要求时， KU 、 KV 、 $KDVM$ 由供方任选一种。

2. 需方无特殊要求时，硬度不作验收依据，仅供设计参考。

2.2.4 奥氏体锰钢铸件（见表 1.4-11）

表 1.4-11 奥氏体锰钢及其铸件的力学性能及应用举例（摘自 GB/T 5680—2010）

牌 号	力学性能 ≥					应用举例
	R_{eL} /MPa	R_m /MPa	A (%)	KU_2 /J	硬度 HBW	
ZG120Mn13		≥685	≥25	≥118	≤300	适用于铸造形状结构简单、耐磨为主的低冲击零件，如破碎壁、辊套、齿板、衬板、铲齿等
ZG120Mn13Cr2	≥390	≥735	≥20			适用于结构复杂，要求以韧性为主的承受强烈冲击负荷的零件，如斗前壁、提梁和履带板等

注：应用举例非 GB/T 5680—2010 内容，仅供参考。

2.2.5 耐热铸钢（见表 1.4-12）

表 1.4-12 一般用途耐热钢和合金铸件室温力学性能和最高使用温度（摘自 GB/T 8492—2002）

牌 号	$R_{p0.2}$ /MPa ≥	R_m /MPa ≥	A (%) ≥	HBW	最高使用温度 ^① /℃
ZG30Cr7Si2	—	—	—	—	750
ZG40Cr13Si2	—	—	—	300 ^②	850
ZG40Cr17Si2	—	—	—	300 ^②	900
ZG40Cr24Si2	—	—	—	300 ^②	1050
ZG40Cr28Si2	—	—	—	320 ^②	1100
ZGCr29Si2	—	—	—	400 ^②	1100
ZG25Cr18Ni9Si2	230	450	15	—	900
ZG25Cr20Ni14Si2	230	450	10	—	900
ZG40Cr22Ni10Si2	230	450	8	—	950
ZG40Cr24Ni24Si2Nb1	220	400	4	—	1050
ZG40Cr25Ni12Si2	220	450	6	—	1050
ZG40Cr25Ni20Si2	220	450	6	—	1100
ZG40Cr27Ni4Si2	250	400	3	400 ^③	1100
ZG45Cr20Co20Ni20Mo3W3	320	400	6	—	1150
ZG10Ni31Cr20Nb1	170	440	20	—	1000
ZG40Ni35Cr17Si2	220	420	6	—	980
ZG40Ni35Cr26Si2	220	440	6	—	1050
ZG40Ni35Cr26Si2Nb1	220	440	4	—	1050
ZG40Ni38Cr19Si2	220	420	6	—	1050
ZG40Ni38Cr19Si2Nb1	220	420	4	—	1100

(续)

牌 号	$R_{p0.2}/\text{MPa}$ $\geq$	R_m/MPa $\geq$	$A (\%)$ $\geq$	HBW	最高使用温度 ^① /℃
ZNiCr28Fe17W5Si2Co. 4	220	400	3	—	1200
ZNiCr50Nb1Co. 1	230	540	8	—	1050
ZNiCr19Fe18Si1Co. 5	220	440	5	—	1100
ZNiFe18Cr15Si1Co. 5	200	400	3	—	1100
ZNiCr25Fe20Co15W5Si1Co. 46	270	480	5	—	1200
ZCoCr28Fe18Co. 3	④	④	④	④	1200

注：本表列出的最高使用温度为参考数据，这些数据仅适用于牌号间的比较，在实际应用时，还应考虑环境、载荷等实际使用条件。

- ① 最高使用温度取决于实际使用条件，所列数据仅供用户参考。这些数据适用于氧化气氛，实际的合金成分对其也有影响。
- ② 退火态最大布氏硬度值，铸件也可以铸态提供，此时硬度限制就不适用。
- ③ 最大布氏硬度值。
- ④ 由供需双方协商确定。

2.3 钢

2.3.1 碳素结构钢 (见表 1.4-13)

表 1.4-13 碳素结构钢牌号、力学性能及应用举例 (摘自 GB/T 700—2006)

牌号	等级	屈服强度 $R_{\text{eH}}/\text{MPa} \geq$						抗拉强度 R_{m}/MPa	断后伸长率 $A (\%) \geq$					冲击试验 (V型缺口)	应用举例
		厚度 (或直径) /mm							厚度 (或直径) /mm					冲击吸收功 (纵向) /J $\geq$	
		≤ 16	$> 16 \sim 40$	$> 40 \sim 60$	$> 60 \sim 100$	$> 100 \sim 150$	$> 150 \sim 200$		≤ 40	$> 40 \sim 60$	$> 60 \sim 100$	$> 100 \sim 150$	$> 150 \sim 200$		
Q195	—	195	185	—	—	—	—	315 ~ 430	33	—	—	—	—	—	具有良好韧性、较高伸长率, 焊接性良好, 用于制作螺栓、炉撑、拉杆、犁板、短轴、支架、焊接件等
Q215	A B	215	205	195	185	175	165	335 ~ 450	31	30	29	27	26	— 27	
Q235	A	235	225	215	215	195	185	370 ~ 500	26	25	24	22	21	—	韧性良好, 冲击和焊接性较好, 广泛用于制作一般机械零件, 如销、轴、拉杆、套筒、支架、焊接件等, C、D级性能较高, 用于重要的焊接结构件
	B														
	C														
	D														
Q275	A	275	265	255	245	225	215	410 ~ 540	22	21	20	18	17	—	较高强度, 一定的焊接性, 制作齿轮、心轴、转轴、键、制动板、农机用机架、链和链节等, C、D级用于强度要求较高的零件
	B														
	C														
	D														

2.3.2 优质碳素结构钢（见表 1.4-14）

表 1.4-14 优质碳素结构钢的力学性能及应用举例（摘自 GB/T 699—1999）

牌号	试样 毛坯 尺寸 /mm	推荐热处理/℃			力学性能					交货状态硬度 /(HBS 10/3000)		特性及应用举例	
		正火	淬火	回火	R_m	R_{eL}	A	Z	KU_2	未热处理 钢	退火钢		
					MPa		%		J				
					≥								≤
08F	25	930			295	175	35	60		131		强度低，塑性、韧性较高，冲压性能好；焊接性能好 用于塑性好的零件，如管子、垫片、套筒等	
10F					315	185	33	55		137			
08					325	195		60		131			
10					335	205	31	55		137			强度低，塑性、韧性高，冷成形好，焊接性能好 用于垫片、铆钉、拉杆等
15F				355	29						塑性好 用于垫片、管子、短轴、螺栓等		
15		920			375	225	27			143			塑性、韧性、焊接性能和冷冲压性能极好，强度较低 用于受力不大韧性要求较高的零件、渗碳零件、紧固件如螺栓及化工容器、蒸汽锅炉等
20		910			410	245	25			156		冷变形塑性高，板材正火或高温回火后深冲压延性好 用于受力小而要求韧性高的零件如螺钉、轴套、吊钩等及渗碳、氰化零件	
25		900	870	600	450	275	23	50	71	170			与20钢相似，焊接性能好，无回火脆性倾向 用于焊接设备及承受应力小的零件如轴、垫圈、螺栓、螺母等
30		880	860		490	295	21		63	179		截面尺寸小时，淬火并回火后呈索氏体组织，从而获得良好的强度和韧性综合性能 用于螺钉、拉杆、轴、机座等	
35		870	850		530	315	20		55	197			
40		860	840			570	335		19	45	47	217	

(续)

牌号	试样 毛坯 尺寸 /mm	推荐热处理/℃			力学性能					交货状态硬度 /(HBS 10/3000)		特性及应用举例
		正火	淬火	回火	R_m	R_{eL}	A	Z	KU_2	未热处理钢	退火钢	
					MPa		%		J			
					≥					≤		
45	25	850	840	600	600	355	16	40	29	229	197	强度较高，塑性和韧性尚好，焊接性差，水淬时有形成裂纹的倾向 用于制造负荷较大的小截面调质零件和应力较小的大型正火零件，以及表面淬火零件如曲轴、轴、齿轮、蜗杆、键、销等
50		830			630	375	14		31	241	207	强度高，塑性、韧性较差，切削性中等，焊接性差，水淬有形成裂纹的倾向
55		820			645	380	13		255	229	217	一般在正火、调质状态下使用，用于要求强度高、耐磨、动载荷小的零件如齿轮、连杆、次要的弹簧等
60		810			675	400	12	35			269	强度、硬度和弹性高，切削性和焊接性差，水淬有裂纹倾向，仅小零件能淬火，大零件多采用正火 用于轴、弹簧、离合器、钢丝绳等
65												695
70		790			715	420	9			30	269	
75		试样	820	480	1080	880	7		285	241	强度高，弹性略低于 70 钢，淬透性较差 用于截面小（≤20mm），受力较小的螺旋和板弹簧及耐磨零件	
80						930	6					
85						1130						980
15Mn	25	920			410	245	26	55		163	属于高锰低碳渗碳钢，焊接性尚可，性能与 15 钢相似，但淬透性、强度和塑性比 15 钢高 用于心部力学性能要求高的渗碳零件，如凸轮轴、齿轮等	
20Mn		910			450	275	24	50		197		
25Mn		900	870	600	490	295	22		71	207		

(续)

牌号	试样 毛坯 尺寸 /mm	推荐热处理/℃			力学性能					交货状态硬度 /(HBS 10/3000)		特性及应用举例
		正火	淬火	回火	R_m	R_{eL}	A	Z	KU_2	未热处理 钢	退火钢	
					MPa		%		J			
					≥					≤		
30Mn	25	880	860	600	540	315	20	45	63	217	187	淬透性比相应的碳钢高，冷变形时塑性尚好，切削加工性好，有回火脆性倾向，锻后应立即回火 一般在正火状态下使用，用于螺栓、螺母、轴等
35Mn		870	850		560	335	18		55	229	197	
40Mn		860	840		590	355	17		47		207	切削加工性好，冷变形时塑性中等，焊接性不好，可在正火和淬火与回火状态下使用 用于制造承受疲劳负荷的零件，如轴及在高应力下工作的螺钉、螺母等
45Mn		850			620	375	15	39	241	217	焊接性较差 用于耐磨零件如转轴、心轴、齿轮、螺栓、螺母、花键轴、凸轮轴、曲轴等	
50Mn		830			645	390	13	31	255		强度、硬度、弹性高，焊接性差，多在淬火与回火后应用，在某些情况下也可在正火后使用 用于耐磨性要求很高，承受高负荷的热处理零件如齿轮、齿轮轴、摩擦盘和截面尺寸在 80mm 以下的心轴等	
60Mn		810			695	410	11	35	269		229	淬透性较碳素弹簧钢好，脱碳倾向小；易产生淬火裂纹，并有回火脆性 用于螺旋弹簧、板簧及冷拔钢丝（ $d\leq 7\text{mm}$ ）、发条等
65Mn		830			735	430	9	30	285	淬透性较好，脱碳倾向小，易产生淬火裂纹，并有回火脆性 用于尺寸较大的各种扁、圆弹簧及发条、切刀等		
70Mn		790			785	450	8			用于弹簧圈、盘簧、止推环、离合器盘、锁紧圈		

- 注：1. 本标准适用于直径或厚度小于或等于 250mm 的优质碳素结构钢棒材。经供需双方协商，也可提供直径或厚度大于 250mm 的优质碳素结构钢棒材。
2. 表中所列力学性能仅适用于截面尺寸不大于 80mm 的钢材，对大于 80mm 的钢材，允许其断后伸长率（A）、断面收缩率（Z）比表中的规定分别降低 2%（绝对值）及 5%（绝对值）。
3. 表中所列钢牌号均为优质钢。如果是高级优质钢，在钢牌号后面加“A” 如果是特级优质钢，在钢牌号后面加“E”。

2.3.3 低合金高强度结构钢 (见表 1.4-15)

表 1.4-15 低合金高强度结构钢钢材的力学性能及应用举例 (摘自 GB/T 1591—2008)

牌 号	质 量 等 级	以下公称厚度（直径，边长） 下屈服强度（ R_{eL} ）/MPa							以下公称厚度（直径，边长） 抗拉强度（ R_m ）/MPa					
		$\leq 16\text{mm}$	$> 16\text{mm}$ ~ 40mm	$> 40\text{mm}$ ~ 63mm	$> 63\text{mm}$ ~ 80mm	$> 80\text{mm}$ ~ 100mm	$> 100\text{mm}$ ~ 150mm	$> 150\text{mm}$ ~ 200mm	$\leq 40\text{mm}$	$> 40\text{mm}$ ~ 63mm	$> 63\text{mm}$ ~ 80mm	$> 80\text{mm}$ ~ 100mm	$> 100\text{mm}$ ~ 150mm	$> 150\text{mm}$ ~ 250mm
Q345	A	≥ 345	≥ 335	≥ 325	≥ 315	≥ 305	≥ 285	≥ 275	470 ~ 630	470 ~ 630	470 ~ 630	470 ~ 630	450 ~ 600	450 ~ 600
	B													
	C													
	D													
	E													
Q390	A	≥ 390	≥ 370	≥ 350	≥ 330	≥ 330	≥ 310	—	490 ~ 650	490 ~ 650	490 ~ 650	490 ~ 650	470 ~ 620	—
	B													
	C													
	D													
	E													
Q420	A	≥ 420	≥ 400	≥ 380	≥ 360	≥ 360	≥ 340	—	520 ~ 680	520 ~ 680	520 ~ 680	520 ~ 680	500 ~ 650	—
	B													
	C													
	D													
	E													
Q460	C	≥ 460	≥ 440	≥ 420	≥ 400	≥ 400	≥ 380	—	550 ~ 720	550 ~ 720	550 ~ 720	550 ~ 720	530 ~ 700	—
	D													
	E													
Q500	C	≥ 500	≥ 480	≥ 470	≥ 450	≥ 440	—	—	610 ~ 770	600 ~ 760	590 ~ 750	540 ~ 730	—	—
	D													
	E													
Q550	C	≥ 550	≥ 530	≥ 520	≥ 500	≥ 490	—	—	670 ~ 830	620 ~ 810	600 ~ 790	590 ~ 780	—	—
	D													
	E													
Q620	C	≥ 620	≥ 600	≥ 590	≥ 570	—	—	—	710 ~ 880	690 ~ 880	670 ~ 860	—	—	—
	D													
	E													
Q690	C	≥ 690	≥ 670	≥ 660	≥ 640	—	—	—	770 ~ 940	750 ~ 920	730 ~ 900	—	—	—
	D													
	E													

(续)

牌号	质量等级	断后伸长率（A）（%）					冲击吸收能量 $KV_2/J \geq$		特性及应用举例
		公称厚度（直径，边长）					公称厚度 （直径，边长）		
		$\leq 40\text{mm}$	$> 40\text{mm}$ $\sim 63\text{mm}$	$> 63\text{mm}$ $\sim 100\text{mm}$	$> 100\text{mm}$ $\sim 150\text{mm}$	$> 150\text{mm}$ $\sim 250\text{mm}$	$> 12\text{mm}$ $\sim 150\text{mm}$	$> 150\text{mm}$ $\sim 250\text{mm}$	
Q345	A	≥ 20	≥ 19	≥ 19	≥ 18	≥ 17	34	—	综合力学性能良好，低温性能尚可，塑性和焊接性良好，用于制作中、低压容器、油罐、车辆、起重机、矿山设备、电站、桥梁等承受动荷的结构、机械零件、建筑结构、一般金属结构件，热轧或正火状态使用，可用于 -40°C 以下寒冷地区的各种结构
	B							27	
	C	≥ 21	≥ 20	≥ 20	≥ 19	≥ 18		27	
	D							27（ > 150 $\sim 250\text{mm}$ ）	
	E								
Q390	A	≥ 20	≥ 19	≥ 19	≥ 18	—	34	—	具有良好的综合力学性能，冲击韧性较好、正火状态下使用，焊接性良好，推荐使用温度为 $-20 \sim 520^{\circ}\text{C}$ ，用于高、中压锅炉和化工容器，大型船舶、桥梁、车辆、起重机械及较高载荷的焊接结构。热轧状态厚度大于 8mm 的钢板，其塑性、韧性均差
	B								
	C								
	D								
	E								
Q420	A	≥ 19	≥ 18	≥ 18	≥ 18	—	34	—	小截面钢材在热轧状态下使用，板厚大于 17mm 的钢材经正火后使用。综合力学性能、焊接性能良好，低温韧性很好，用于大型船舶、桥梁、车辆、高压容器、重型机械及其他焊接结构
	B								
	C								
	D								
	E								
Q460	C	≥ 17	≥ 16	≥ 16	≥ 16	—	34	—	
	D								
	E								
Q500	C	≥ 17	≥ 17	≥ 17	—	—	55	—	
	D						47	—	
	E						31	—	
Q550	C	≥ 16	≥ 16	≥ 16	—	—	55	—	
	D						47	—	
	E						31	—	
Q620	C	≥ 15	≥ 15	≥ 15	—	—	55	—	
	D						47	—	
	E						31	—	
Q690	C	≥ 14	≥ 14	≥ 14	—	—	55	—	
	D						47	—	
	E						31	—	

注: 质量等级与冲击试验温度的关系: A—常温, B— 20°C , C— 0°C , D— -20°C , E— -40°C 。

① 当屈服不明显时, 可测量 $R_{p0.2}$ 代替下屈服强度。

② 宽度不小于 600mm 扁平材, 拉伸试验取纵向试样; 宽度小于 600mm 的扁平材、型材及棒材取纵向试样, 断后伸长率最小值相应提高 1% (绝对值)。

③ 厚度 $> 250\text{mm} \sim 400\text{mm}$ 的数值适用于扁平材。

④ 冲击试验取纵向试样。

2.3.4 合金结构钢（见表 1.4-16）

表 1.4-16 合金结构钢的力学性能及应用举例（摘自 GB/T 3077—1999）

钢号	热 处 理					试样 毛坯 尺寸 /mm	力 学 性 能					供应状 态硬度 /(HBW 10/ 3000) ≤	特性及应用举例		
	淬 火			回 火			R_m	R_{eL}	A	Z	KU_2				
	温度/℃		冷却 剂	温度 /℃	冷却 剂		MPa		%		J				
	第一 次淬 火	第二 次淬 火					≥								
20Mn2	850		水、油	220 440	水、空	15	785	590	10	40	47	187	截面较小时，相当于 20Cr。可制作渗碳小齿轮、小轴、活塞销、缸套等。渗碳后 56 ~ 62HRC		
30Mn2	840		水	500	水	25		635	12	45	63	207	用于冷墩的螺栓及截面较大的调质零件		
35Mn2							835	685			55		截面小时（ ≤ 15mm ）与 40Cr 相当。可制作载重汽车冷墩的各种重要螺栓及小轴等。表面淬火硬度 40 ~ 50HRC		
40Mn2			水、油	540			水					10	47	217	截面较小时，与 40Cr 相当。直径在 50mm 以下时可代替 40Cr 制作重要螺栓及其他零件，一般在调质状态下使用
45Mn2			油	550			水、油	885			735			强度、耐磨性和淬透性较高，调质后有良好的综合力学性能，也可正火后使用。截面在 50mm 以下可代替 40Cr，表面淬火硬度 45 ~ 55HRC	
50Mn2	820		水、油	200	水、空	15	930	785	9	40	39	229	用于汽车花键轴，重型机械的内齿轮、齿轮轴等高应力与磨损条件的零件，直径小于 80mm 的零件可代替 45Cr		
20MnV	880						25	785	590		10	55	187	相当于 20CrNi 的渗碳钢，用于制造高压容器、冷冲压件、矿用链环等	
27SiMn	920						水	450	水、油		25	980	835	12	39

(续)

钢号	热 处 理					试样 毛坯 尺寸 /mm	力 学 性 能					供应状态 硬度 /(HBW 10/ 3000) ≤	特性及应用举例
	淬 火			回 火			R_m	R_{eL}	A	Z	KU_2		
	温度/℃		冷却 剂	温度 /℃	冷却 剂		MPa		%		J		
	第一 次淬 火	第二 次淬 火					≥						
35SiMn	900		水	570	水、油	25	885	735	15	45	47	229	截面较小时，相当于 20Cr。可制作渗碳小齿轮、小轴、活塞销、缸套等。渗碳后 56 ~ 62HRC
42SiMn	880			590	水					40			与 35SiMn 同，但主要用来制造截面较大需表面淬火的零件，如齿轮、轴等
20SiMn2MoV	900		油	200	水、空	试样	1380		10	45	55	269	淬火并低温回火后，强度高、韧性好，可代替调质状态下使用的 35CrMo、35CrNi3MoA 等钢，用来制造石油机械中的吊环、吊卡等
25SiMn2MoV						试样	1470			40	47		
37SiMn2MoV	870		水、油	650	水、空	25	980	835	12	50	63	207	有较高的淬透性，860 ~ 900℃ 淬火、650 ~ 680℃ 回火后的综合力学性能最好，低温韧性良好，有较高的高温强度，用来制造大截面承受重载的轴、转子、齿轮和高压容器，表面淬火硬度 50 ~ 55HRC
40B	840		水	550	水	25	785	635		55	207		淬透性及强度稍高于 40 钢，可制作稍大截面的调质零件，可代 40Cr 制作要求不高的小尺寸零件
45B						25	835	685		47	217		淬透性、强度、耐磨性稍高于 45 钢，用于截面较 45 钢稍大、要求较高的调质件，可代 40Cr 制作小尺寸零件
50B				油	600	空	20	785		540	10		39

(续)

钢号	热 处 理					试样 毛坯 尺寸 /mm	力 学 性 能					供应状态 硬度 /(HBW 10/ 3000) ≤	特性及应用举例		
	淬 火		回 火		R_m		R_{eL}	A	Z	KU_2					
	温度/℃		冷却 剂	温度 /℃	冷却 剂		MPa		%		J				
	第一 次淬 火	第二 次淬 火					≥								
40MnB	850		油	500	水、油	25	980	785	10	45	47	207	性能接近 40Cr，常用来制造汽车、拖拉机等中小截面的重要调质件，还可代替 40Cr 制作较大截面零件，如制作 $\phi 250 \sim \phi 320\text{mm}$ 的卷扬机中间轴		
45MnB	840			500	水、油	25	1030	835	9	40	39	217	用于代替 40Cr，45Cr，45Mn2 制造较耐磨的中、小截面的调质件和高频淬火件，如机床上的齿轮、钻床主轴花键轴等		
20MnMoB	880			200	油、空	15	1085	885	10	50	55	207	用于代替 20CrMnTi 和 12CrNi3A 制造心部强度要求高的中等负荷的汽车、拖拉机使用的齿轮及负荷大的机床齿轮等		
15MnVB	860			200	水、空		885	635					45	207	用于淬火低温回火后制造重要的螺栓，如汽车上的连杆螺栓、汽缸盖螺栓等，代替 40Cr 钢调质件，也可制作中等负荷小尺寸的渗碳件，如小轴、小齿轮等
20MnVB							1080	885							用于代替 20CrMnTi、20CrNi、20Cr 制造模数较大、负荷较重的中小尺寸渗碳件，如重型机床上的齿轮与轴、汽车后桥齿轮等
40MnVB	850		520	水、油	25	980	785			47	调质后有良好的综合力学性能，优于 40Cr，用于代 替 40Cr、42CrMo、40CrNi 制造汽车和机床上的重要调质件，如轴、齿轮等				

(续)

钢号	热 处 理					试样 毛坯 尺寸 /mm	力 学 性 能					供应状态 硬度 /(HBW 10/ 3000) ≤	特性及应用举例					
	淬 火			回 火			R_m	R_{eL}	A	Z	KU_2							
	温度/℃		冷却 剂	温度 /℃	冷却 剂									MPa		%		J
	第一 次淬 火	第二 次淬 火												≥				
20MnTiB	860		油	200	水、空	15	1130	930		45	55	187	用于代替 20CrMnTi 制造较高级的渗碳件，如汽车上截面较小、中等负荷的齿轮					
25MnTi BRE							试样	1380		10	40	47	229	有较高的抗弯强度、接触疲劳强度、可代替 20CrMnTi、20CrMnMo、20CrMo，广泛用于中等负荷的拖拉机渗碳件，如齿轮，使用性能优于 20CrMnTi				
15Cr	880	780 ~ 820	水、油	200	水、空	15	735	490	11	45	55	179	用于制造截面小于 30mm、形状简单、心部强度和韧性要求较高、表面受磨损的渗碳或氰化件，如齿轮、凸轮、活塞销等，渗碳表面硬度 56 ~ 62HRC					
15CrA		770 ~ 820		180	油、空	15	685		12									
20Cr		780 ~ 820		200	水、空	15	835	540	10	40								
30Cr	860		油	500		25	885	685	11	45	47	187	用于磨损及冲击负荷下工作的重要零件。如轴、滚子、齿轮及重要螺栓等					
35Cr						25	930	735										
40Cr	850			520	水、油	25	980	785	9					207	调质后有良好的综合力学性能，是应用广泛的调质钢，用于轴类零件及曲轴、曲柄、汽车转向节、连杆、螺栓、齿轮等。表面淬火硬度 48 ~ 55HRC。截面在 50mm 以下时，油淬后有较高的疲劳强度，在一定条件下可用 40MnB、45MnB、35SiMn、42SiMn 等代用			
45Cr	840					25	1030	835		40	39	217	用于拖拉机离合器、齿轮、柴油机连杆、螺栓、推杆等					

(续)

钢号	热 处 理					试样 毛坯 尺寸 /mm	力 学 性 能					供应状态 硬度 /(HBW 10/ 3000) ≤	特性及应用举例	
	淬 火		回 火				R_m	R_{eL}	A	Z	KU_2			
	温度/℃		冷却 剂	温度 /℃	冷却 剂		MPa		%		J			
	第一 次淬 火	第二 次淬 火					≥							
50Cr	830		油	520	水、油	25	1080	930	9	40	39	229	用于支承辊心轴、强度和耐磨性要求高的轴、齿轮、油膜轴承的轴套等。 在油中淬火与回火后能获得很高的强度	
38CrSi	900			600		25	980	835	12	50	55	255	比 40Cr 的 淬透性好，低温冲击韧性较高，一般用于制造直径为 30 ~ 40mm、强度和耐磨性要求较高的零件，如汽车、拖拉机上的轴、齿轮、气阀等	
12CrMo				650		空	30	410	265	24	60	110	179	用于蒸汽温度达 510℃ 的主汽管，管壁温度不高于 540℃ 的蛇形管、导管
15CrMo							30	440	295	22		94		
20CrMo	880		水、油	500	水、油	15	885	685	12	50	78	197	强度和韧性较高，在 500℃ 以下有足够的高温强度，焊接性能好，用于轴、活塞连杆等	
30CrMo	880		水、油	540	水、油	25	930	785	12	50	63	229	调质后有很好的综合力学性能，高温（低于 550℃）下也有较高强度，用于制造截面较大的零件，如主轴、高负荷螺栓等，500℃ 以下受高压的法兰和螺栓，尤其适用于 29MPa、400℃ 条件下工作的管道与紧固件	
30CrMoA			15			735					71			
35CrMo			油			25					980			835

(续)

钢号	热 处 理					试样 毛坯 尺寸 /mm	力 学 性 能					供应状态 硬度 /(HBW 10/ 3000) ≤	特性及应用举例
	淬 火		回 火				R_m	R_{el}	A	Z	KU_2		
	温度/℃		冷却 剂	温度 /℃	冷却 剂		MPa		%		J		
	第一 次淬 火	第二 次淬 火					≥						
42CrMo	850		油	560	水、油	25	1080	930	12	45	63	217	淬透性比 35CrMo 高， 调质后有较高的疲劳极限 和抗多次冲击能力，低温 冲击韧性好。用于调质断 面更大的锻件，如机车牵 引用的大齿轮，后轴、连 杆、万向联轴器，表面淬 火硬度不低于 54 ~ 60HRC
12CrMoV	970		空	750	空	30	440	225	22	50	78	241	用于蒸汽温度达 540℃ 的热力管道、汽轮机隔板 及管壁温度低于 570℃ 的 蒸汽过热管等
35CrMoV	900		油	630	水、油	25	1080	930	10		71		用于承受高应力的零 件，如 500℃ 以下长期工 作的汽轮机转子的叶轮、 高级涡轮增压风机及压缩 机转子、联轴器及动力零 件等
12Cr1MoV	970		空	750	空	30	490	245	22		179	同 12CrMoV，但抗氧化 性与热强度比 12CrMoV 好	
25Cr2MoVA	900		油	640		25	930	785	14		55	63	用于汽轮机整体转子套 筒、主汽阀、蒸汽温度为 535 ~ 550℃ 的螺 母 及 530℃ 以下的螺栓、氮化 零件如阀杆、齿轮等
25Cr2Mo1VA	1040		空	700	空	25	735	590	16	50	47	241	用于蒸汽温度在 565℃ 的汽轮机前气缸、螺栓、 阀杆等
38CrMoAl	940		水、油	640		水、油	30	980	835	14	50	71	229

(续)

钢号	热 处 理					试样 毛坯 尺寸 /mm	力 学 性 能					供应状态 硬度 /(HBW 10/ 3000) ≤	特性及应用举例
	淬 火		冷却 剂	回 火			R_m	R_{eL}	A	Z	KU_2		
	温度/℃			温度 /℃	冷却 剂		MPa		%		J		
	第一 次淬 火	第二 次淬 火					≥						
40CrV	880		油	650	水、油	25	885	735	10	50	71	241	用于重要零件，如曲轴、齿轮、受强力的双头螺栓、机车连杆、高压锅炉给水泵轴等
50CrVA	860			500				1280		1130	40	255	用于蒸汽温度低于400℃的重要零件，及负荷大、疲劳强度高的大型弹簧
15CrMn	880			200	水、空	15	785	590	12	50	47	179	用于齿轮、蜗轮、塑料模具、汽轮机密封轴套等
20CrMn	850						930	735	10	187		用于无级变速器、摩擦轮、齿轮与轴。性能相当于20CrNi钢，热处理后性能比20Cr好	
40CrMn	840			550	水、油	25	980	835	9	45		229	对于截面不太大或温度不太高的零件，可代替42CrMo和40CrNi，用于在高速与高弯曲负荷下工作的齿轮轴、齿轮、水泵转子、高压容器螺栓等
20CrMnSi	880			480			785	635	12	55	207	是强度和韧性较高的低碳合金钢，用于制造要求强度较高的焊接件和要求韧性较高的拉力件、矿山用的较大截面的链条、螺栓等，适合冷冲压、冷拉	
25CrMnSi				520			1080	885	10	39	217	用于制造重要的焊接件和冲压件	
30CrMnSi								835			45	229	淬火、回火后具有很高的强度和韧性，淬透性好，用于在振动负荷下工作的焊接结构和铆接结构，如高压鼓风机叶片，高速高负荷的砂轮轴、齿轮、链轮、离合器等、以及温度不高而要求耐磨的零件
30CrMnSiA				540									

(续)

钢号	热 处 理					试样 毛坯 尺寸 /mm	力 学 性 能					供应状态硬度 /(HBW 10/ 3000) ≤	特性及应用举例		
	淬 火			回 火			R_m	R_{eL}	A	Z	KU_2				
	温度/℃		冷却 剂	温度 /℃	冷却 剂		MPa		%		J				
	第一 次淬 火	第二 次淬 火					≥								
35CrMnSiA	880 于 280 ~ 310 等温淬火		油			试样	1620	1280	9	40	31	241	强度比 30CrMnSiA 提高许多，而韧性下降不明显，其 他 特 性 和 30CrMnSiA 相同，用于制造重负荷、中等转速的高强度零件，如高压鼓风机叶轮，飞机上的高强度零件		
	950	890		230	空、油	试样									
20CrMnMo	850	200		水、空	15	1180	885	10	45	55	217	为高级渗碳钢，渗碳淬火后具有较高的抗弯强度和耐磨性，有良好的低温冲击韧性，用于制造要求表面硬度高、耐磨性能好的渗碳件，如齿轮、凸轮轴、连杆、活塞销等，渗碳表面硬度不低于 56 ~ 62HRC			
40CrMnMo		600		水、油	25	980	785			63					
20CrMnTi		880		870	200	水、空	15			1080				850	55

(续)

钢号	热 处 理					试样 毛坯 尺寸 /mm	力 学 性 能					供应状态 硬度 /(HBW 10/ 3000) ≤	特性及应用举例
	淬 火			回 火			R_m	R_{eL}	A	Z	KU_2		
	温度/℃		冷却 剂	温度 /℃	冷却 剂		MPa		%		J		
	第一 次淬 火	第二 次淬 火					≥						
30CrMnTi	880	850	油	200	水、空	试样	1470		9	40	47	229	主要用于渗碳钢，强度和淬透性高，冲击韧性略低，用于截面在 60mm 以下，心部强度要求特别高的高速、高负荷工作的重要渗碳零件，如汽车、拖拉机上的主动圆锥齿轮、齿轮轴、蜗杆等
20CrNi	850		水、油	460	水、油	25	785	590	10	50	63	197	用于高负荷下工作的重要渗碳件，如齿轮、轴、键、活塞销、花键轴等，也可用于具有高冲击韧性的调质小轴等
40CrNi	820		油	500	水、油	25	985	785	10	45	55	241	调质后有好的综合力学性能，低温冲击韧性好，用于制造要求强度高、韧性高的零件，如轴、齿轮、链条等
45CrNi				530				≤255	性能基本与 40CrNi 相同，但具有更高的强度和淬透性，可用来制造截面尺寸较大的齿轮和轴类零件				
50CrNi				500				255					
12CrNi2	860	780	水、油	200	水、空	15	785	590	12	50	63	207	淬火和低温回火后有好的塑性和韧性，适用要求心部韧性高、强度不太高、受力较复杂的中、小型渗碳件，如齿轮、花键轴、活塞销等
12CrNi3			油				930	685	11		71	217	淬火和低温回火或高温回火后都有好的综合力学性能，有较高的淬透性，可用于截面稍大的零件，用于要求强度高、表面硬度高、韧性高的渗碳件，如齿轮、凸轮轴、万向联轴器十字头、油泵转子等

(续)

钢号	热 处 理					试样 毛坯 尺寸 /mm	力 学 性 能					供应状 态硬度 /(HBW 10/ 3000) ≤	特性及应用举例
	淬 火			回 火			R_m	R_{eL}	A	Z	KU_2		
	温度/℃		冷却 剂	温度 /℃	冷却 剂		MPa		%		J		
	第一 次淬 火	第二 次淬 火					≥						
20CrNi3	830		水、油	480	水、油	25	930	735	11	55	78	241	调质后有好的综合力学性能，低温冲击韧性较好，多用于制造高负荷条件下工作的零件，如齿轮、轴、蜗杆等
30CrNi3	820		油	500			980	785	9	45	63		性能基本同 20CrNi3，淬透性较好，用于重要的较大截面的零件，如曲轴、连杆、齿轮、轴等
37CrNi3								1130	980	10	50	47	269
12Cr2Ni4	860	780	油	200	水、空	15	1080	835	10	50	71	269	用于截面较大、负荷较高、受交变应力的重要渗碳件，如齿轮、蜗轮、蜗杆、万向接头等
20Cr2Ni4	880						1180	1080		45	63		性能与 12Cr2Ni4 相近，但强度、韧性及淬透性高，用于制造承受高负荷的渗碳件，如传动齿轮、轴、万向叉等
20CrNiMo	850							空		980	785	9	40

(续)

钢号	热 处 理					试样 毛坯 尺寸 /mm	力 学 性 能					供应状 态硬度 /(HBW 10/ 3000) ≤	特性及应用举例
	淬 火			回 火			R_m	R_{eL}	A	Z	KU_2		
	温度/℃		冷却 剂	温度 /℃	冷却 剂		MPa		%		J		
	第一 次淬 火	第二 次淬 火					≥						
40CrNiMoA	850		油	600	水、油	25	980	835	12	55	78	269	为优质调质钢，调质后有好的综合力学性能，低温冲击韧性很高，淬火和低温回火或高温回火后都有较高的疲劳强度和低的缺口敏感性，中等淬透性，用于截面较大、受冲击负荷的高强度零件，如锻造机的传动偏心轴、锻压机的曲轴等
18CrNiMnMoA	830			200	空	15	1180	885	10	45	71		强度高，淬透性较高，主要用于制造振动载荷条件下工作的减振器，重型汽车等承受高负荷的零件，飞机发动机曲轴、起落架，中小型火箭壳体等高强度结构零件、扭力轴、离合器轴等，淬火和低温（或中温）回火后使用，也可制作调质件
45CrNiMoVA	860			460	油	试样	1470	1330	7	35	31		为渗碳钢，用于大截面、高强度而又需要良好韧性和缺口敏感性低的重要渗碳件如大齿轮、传动轴、花键轴、曲轴，也可制作调质件
18Cr2Ni4WA	950	850	空	200	水、空	15	1180	835	10	45	78		
25Cr2Ni4WA	850		油	550	水、油	25	1080	930	11	45	71	269	为调质钢，有优良的低温冲击韧性及淬透性，用于制作大截面、高负荷的调质件，如汽轮机主轴、叶轮等

注: 1. GB/T 3077—1999 标准中的力学性能为试样毛坯 (其截面尺寸列于表中) 经热处理后, 制成试样测出钢材的纵向力学性能, 该性能适用于截面尺寸小于或等于 80mm 的钢材。其硬度是在退火或高温回火状态下测定的。

2. 尺寸大于 80 ~ 100mm 的钢材, 允许其断后伸长率、断面收缩率及冲击吸收功较表中规定分别降低 1% (绝对值)、5% (绝对值) 及 5%; 尺寸大于 100 ~ 150mm 的钢材, 允许其断后伸长率、断面收缩率及冲击吸收功分别降低 2% (绝对值)、10% (绝对值) 及 10%; 尺寸大于 150 ~ 250mm 的钢材, 允许其断后伸长率、断面收缩率及冲击吸收功分别降低 30% (绝对值)、15% (绝对值) 及 15%。

3. GB/T 3077—1999 标准按质量分为优质钢、高级优质钢 (牌号后加 “A”) 和特级优质钢 (牌号后加 “E”), 按用途分为压力加工用钢 (热压力加工或冷拔坯料) 和切削加工用钢。

2.3.5 弹簧钢（见表 1.4-17）

表 1.4-17 弹簧钢牌号、力学性能及应用举例（摘自 GB/T 1222—2007）

牌 号	热处理制度 ^①			力学性能，不小于					应用举例
	淬火温度 /℃	淬火介质	回火温度 /℃	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 R_{eL} /MPa	断后伸长率		断面收缩率 Z (%)	
						A (%)	$A_{11.3}$ (%)		
65	840	油	500	980	786	—	9	35	强度高，塑性及韧性适当，淬透性低，制造汽车、机车车辆、拖拉机及一般机械用的板弹簧及螺旋弹簧
70	830	油	480	1030	835	—	8	30	
85	820	油	480	1130	980	—	6	30	
65Mn	830	油	540	980	785	—	8	30	强度高，淬透性好，易产生淬火裂纹，有回火脆性，制作较大尺寸的扁弹簧，座垫弹簧、发条弹簧、弹簧环、气门簧、冷卷簧
55SiMnVB	860	油	460	1375	1225	—	5	30	高温回火可得到良好综合力学性能，用于制作汽车、拖拉机、机车车辆的板簧、螺旋弹簧，安全阀及止回阀用弹簧，工作温度低于250℃的耐热弹簧，高应力的重要弹簧
60Si2Mn	870	油	480	1275	1180	—	5	25	
60Si2MnA	870	油	440	1570	1375	—	5	20	
60Si2CrA	870	油	420	1765	1570	6	—	20	综合力学性能好，强度高，冲击韧度好，过热敏感性低，高温性能较稳定，制作高负荷、耐冲击的重要弹簧，工作温度低于250℃的耐热弹簧
60Si2CrVA	850	油	410	1860	1665	6	—	20	
55SiCrA	860	油	450	1450 ~ 1750	1300 ($R_{p0.2}$)	6	—	25	
55CrMnA	830 ~ 860	油	460 ~ 510	1225	1080 ($R_{p0.2}$)	9 ^②	—	20	淬透性好，综合性能好，制作大尺寸端面较重要的板弹簧、螺旋弹簧
60CrMnA	830 ~ 860	油	460 ~ 520	1225	1080 ($R_{p0.2}$)	9 ^②	—	20	
50CrVA	850	油	500	1275	1130	10	—	40	综合力学性能较高，冲击韧性好，高温性能稳定，渗透性好，制作大截面（50mm）高应力螺旋弹簧，低于300℃工作温度的耐热弹簧
60CrMnBA	830 ~ 860	油	460 ~ 520	1225	1080 ($R_{p0.2}$)	9 ^②	—	20	与60CrMnA性能相近，制作大型弹簧、扭簧、推土机板簧
30W4Cr2VA ^③	1050 ~ 1100	油	600	1470	1325	7	—	40	高强度、耐热性好，滚透性高，540℃蒸汽电站用弹簧，锅炉安全阀用弹簧
28MnSiB	900 ± 20	水或油	320 ± 30	1275	1180	—	5	25	

注：本表适用于直径或边长不大于 80mm 的棒材，厚度不大于 40mm 的扁钢。直径或边长大于 80mm 的棒材，厚度大于 40mm 的扁钢，允许其断后伸长率、断面收缩率较本表规定分别降低 1% 及 5%（绝对值）。

① 除规定热处理温度上下限外，表中热处理温度允许偏差为：淬火，±20℃；回火，±50℃。根据需方特殊要求，回火可按 ±30℃ 进行。

② 其试样可采用下列试样中的一种。若按 GB/T 228 规定作拉伸试验时，所测断后伸长率值供参考。

试样一：标距为 50mm，平行长度 60mm，直径 14mm，肩部半径大于 15mm。

试样二：标距为 $4\sqrt{S_0}$ （ S_0 表示平行长度的原始横截面积，mm²），平行长度 1.2 倍标距长度，肩部半径大于 15mm。

③ 30W4Cr2VA 除抗拉强度外，其他力学性能检验结果供参考，不作为交货依据。

2.3.6 工具钢（见表 1.4-18）

表 1.4-18 碳素工具钢牌号、硬度及应用举例（GB/T 1298—2008）

牌号	退火后钢的 硬度 HBW ≤	热处理		特性及应用举例
		淬火温度 及冷却剂/℃	淬火后硬度 HRC ≤	
T7 T7A	187	800 ~ 820 水	62	淬火、回火之后有较高强度、韧性和相当的硬度、淬透性低、淬火变形大，用于制作受振动载荷，切削能力不高的各种工具，如小尺寸风动工具，木工用的凿和锯，压模、锻模、钳工工具，铆钉冲模、车床顶针、钻头 etc
T8 T8A	187	780 ~ 800 水		经淬火回火处理后，可得较高的硬度和耐磨性，但强度和塑性不高，淬透性低，热硬性低，用于制造切刃在工作中不变热、硬度和耐磨性较高的工具，如木工铣刀、埋头钻、铤钻、斧、凿、手锯、圆锯片，简单形状的模子、冲头、软金属切削刀具，钳工装配工具，铆钉冲模，虎钳口，弹性垫圈、弹簧片、销子等
T8Mn	187	780 ~ 800 水		性能与 T8、T8A 相近，但淬透性较好，可以制造截面较大的工具
T9 T9A	192	760 ~ 780 水		性能与 T8 相近，用于制作硬度、韧性较高，但不受强烈冲击震动的工具，如锉刀、丝锥、板牙、木工工具、切草机刀片，收割机中切割零件
T10 T10A	197	760 ~ 780 水		韧性较好、强度较高、耐磨性比 T8、T9 高，但热硬度低、淬透性不高，淬火变形较大，用作刃口锋利稍受冲击的各种工具，如车刀、刨刀、铣刀、切纸刀、冲模、冷镦模、拉丝模、卡板量具、钻头、丝锥、板牙以及受冲击不大的耐磨零件
T11 T11A	207	760 ~ 780 水		具有较好的韧性、耐磨性和较高的强度、硬度，但淬透性低、热硬度差，淬火变形大，用于制造钻头、丝锥、板牙、锉刀、扩孔铰刀、量规、木工工具、手用金属锯条，形状简单的冲头和尺寸不大的冷冲模
T12 T12A	207	760 ~ 780 水		具有高硬度、高耐磨性，但韧性较低，热硬度差、淬透性不好、淬火变形大，用于制造冲击小，切削速度不高的各种高硬度工具，如铣刀、车刀、钻头、铰刀、丝锥、板牙、刮刀、刨刀、剃刀、锯片和要求高硬度的机械零件
T13 T13A	217	760 ~ 780 水		碳素工具钢中硬度和耐磨性最好的，但韧性差，不能受冲击，用于制造要求高硬度不受冲击的工具，如刮刀、剃刀、拉丝工具、刻锉刀纹的工具、硬石加工用工具，雕刻用工具

表 1.4-19 合金工具钢牌号、硬度及应用举例 (GB/T 1299—2000)

类别	牌 号	交货状态 HBW	试样淬火			特性及应用举例
			淬火温度 /℃	冷却剂	HRC≥	
量具刀具用钢	9SiCr	241 ~ 197	820 ~ 860	油	62	φ45 ~ φ50mm 的工件在油中可淬透, 耐磨性好, 热处理变形小, 但脱碳倾向较大, 适用于切削不剧烈, 且变形小的刀具, 如板牙、丝锥、钻头、铰刀、拉刀、齿轮铣刀等, 还可用作冷冲模、冷轧辊
	8MnSi	≤229	800 ~ 820	油	60	韧性、淬透性与耐磨性均优于碳素工具钢, 多做木工凿子、锯条及其他木工工具, 小尺寸热锻模与冲头, 拔丝模、冷冲模及切削工具
	Cr06	241 ~ 187	780 ~ 810	水	64	淬火后的硬度和耐磨性都很高, 淬透性不好, 较脆, 多经冷轧成薄钢板后, 用于制作剃刀、刀片及外科医疗刀具, 也可用做刮刀、刻刀、锉刀等
	Cr2	229 ~ 179	830 ~ 860	油	62	淬火后的硬度很高, 淬火变形不大, 高温塑性差, 多用于低速、加工材料不很硬的切削刀具, 如车刀、插刀、铣刀、铰刀等, 还可用作量具、样板、量规、冷轧辊、钻套和拉丝模, 还可作大尺寸的冷冲模
	W	229 ~ 187	800 ~ 830	水	62	淬火后的硬度和耐磨性较碳素工具钢好, 热处理变形小, 水淬不易开裂, 多用于工作温度不高、切削速度不大的刀具, 如小型麻花钻、丝锥、板牙、铰刀、锯条等
耐冲击工具用钢	4CrW2Si	217 ~ 179	860 ~ 900	油	53	高温时有较好的强度和硬度, 韧性较高, 适用于剪切机刀片, 冲击振动较大的风动工具、中应力热锻模
	5CrW2Si	255 ~ 207	860 ~ 900	油	55	特性同 4CrW2Si, 但在 650℃ 时硬度稍高。可达 41 ~ 43HRC 左右, 用于空气锤工具, 铆钉工具、冷冲模、冲孔、穿孔工具 (热加工用) 热锻模、易熔金属压铸模
	6CrW2Si	285 ~ 229	860 ~ 900	油	57	特性同 5CrW2Si, 但在 650℃ 时硬度可达 43 ~ 45HRC, 用于重载荷下工作的冲模、压模、风动凿子等, 高温压铸轻合金的顶头、热锻模等
冷作模具钢	Cr12	269 ~ 217	950 ~ 1000	油	60	高碳高铬钢, 具有高强度、高耐磨性和淬透性, 淬火变形小, 较脆, 多用于制造耐磨性能高不承受冲击的模具及加工不硬材料的刀具, 如车刀、铰刀、冷冲模、冲头及量规、样板, 量具、偏心轮、冷轧辊、钻套和拉丝模等

(续)

类别	牌 号	交货状态 HBW	试样淬火			特性及应用举例
			淬火温度 /℃	冷却剂	HRC ≥	
冷作模具钢	Cr12MoV	255 ~ 207	950 ~ 1000	油	58	淬透性、淬火回火后的强度、韧性比 Cr12 高, 截面为 300 ~ 400mm 以下的工件可完全淬透, 耐磨性和塑性也较好、变形小, 与 Cr12 一样其高温塑性差, 适用于制作各种铸、锻模具, 如各种冲孔凹模, 切边模、滚边模、缝口模、拉丝模, 钢板拉伸模、螺纹搓丝板、标准工具和量具
	Cr12Mo1V1	≤255	820 ± 15℃ 预热, 1000℃ (盐浴) 或 1010℃ (炉控气氛) ± 6℃ 加热, 保温 10 ~ 20min 空冷, 200 ± 6℃ 回火		59	引进美国的钢号, 性能与 Cr12MoV 相近, 但淬透性和韧性优于 Cr12MoV
	9Mn2V	≤229	780 ~ 810	油	62	淬透性和耐磨性比碳素工具钢高、淬火后变形小, 适用于制作各种变形小、耐磨性高的精密丝杠、磨床主轴、样板、凸轮、块规、量具及丝锥、板牙、铰刀以及压铸轻金属及合金的推入装置
	CrWMn	255 ~ 207	800 ~ 830	油	62	淬透性、耐磨性高, 韧性较好, 淬火后的变形比 CrMn 钢更小, 多用于制造长而形状复杂的切削刀具, 如拉刀、长铰刀、量规及形状复杂、高精度的冷冲模
	9CrWMn	241 ~ 197	800 ~ 830	油	62	特性与 CrWMn 相似, 由于含碳量稍低, 在碳化物偏析上比 CrWMn 好些, 因而力学性能更好, 其应用与 CrWMn 相同
	Cr4W2MoV	≤269	960 ~ 980 1020 ~ 1040	油	60	系我国自行研制的冷作模具钢, 具有较高的淬透性、淬硬性、良好的力学性能和尺寸稳定性, 用于制造冷冲模、冷挤压模、搓丝板等, 也可作 1.5 ~ 6.0mm 弹簧板
	6W6Mo5Cr4V	≤269	1180 ~ 1200	油	60	是我国自行研制的适合于黑色金属挤压用的模具钢, 具有高强度、高硬度、耐磨性及抗回火稳定性, 有良好的综合性能, 适用于作冲头、模具
热作模具钢	5CrMnMo	241 ~ 197	820 ~ 850	油	15	不含镍的锤锻模具钢, 具有良好的韧性、强度和耐高温性, 对回火脆性不敏感, 淬透性好, 适用于作中、小型热锻模 (边长 ≤ 300 ~ 400mm)
	5CrNiMo	241 ~ 197	830 ~ 860	油	15	特性与 5CrMnMo 相近, 高温下强度、韧性及耐热疲劳性高于 5CrMnMo, 适用于作形状复杂、冲击负荷重的各种中、大型锤锻模

(续)

类别	牌 号	交货状态 HBW	试样淬火			特性及应用举例
			淬火温度 /℃	冷却剂	HRC≥	
热作模具钢	3Cr2W8V	255 ~ 207	1075 ~ 1125	油	15	为常用的压铸模具钢, 有高韧性和良好的导热性, 高温下有高硬度、强度, 耐热疲劳性良好, 淬透性较好, 断面厚度 ≤ 100mm, 适于作高温、高应力但不受冲击的压模, 如平锻机上的凸凹模、铜合金挤压模等
	8Cr3	255 ~ 207	850 ~ 880	油	15	是一种热顶锻模具钢, 淬透性较好, 多用于制造冲击载荷不大, 500℃ 以下, 磨损条件下的磨具, 如热切边模, 螺栓及螺钉热顶模
	4Cr5MoSiV	≤235	790 预热, 1000 (盐浴) 或 1010 (炉控气氛) 加热, 保温 5 ~ 15min 空冷, 550 回火		15	美国成熟钢号, 一种空淬硬化热作模具钢, 中温以下综合性能好, 淬透性好, 热处理后变形率低, 其性能及使用寿命较 3Cr2W8V 高 热切边模、模锻锤锻模、铝合金压铸模、热挤压模及螺栓和螺钉模
	5Cr4W5Mo2V	≤269	1100 ~ 1150	油	15	系自行研制的热挤压、精密锻造模具钢, 具有高热硬性、高耐磨性、高温强度、抗回火稳定性及一定的冲击韧性, 可进行一般热处理或等温热处理和化学热处理 多用于制造热挤压模具, 可代替 3Cr2W8V 使用
	4Cr5W2VSi	≤229	1030 ~ 1050	油或空	15	前苏联钢号, 为空冷淬火的热作模具钢, 中温以下有良好的热硬度及良好的韧性 多用于高速锤用模具与冲头、热挤压模具、芯棒及有色金属压铸模等
无磁模具钢	7Mn15Cr2Al3V2WMo		1170 ~ 1190 固溶 650 ~ 700 时效	水空	45	高强度、高硬度、高耐磨性; 低导磁率, 采用高温退火能改善切削性能, 工作温度可高达 700 ~ 800℃ 适于制造无磁轴承、无磁模具、热作模具等
塑料模具钢	3Cr2Mo					切削性良好, 镜面研磨性能好, 机械加工成型后, 型腔变形及尺寸变化小。经热处理后可提高表面硬度, 提高工作寿命 适于制造塑料模及低熔点金属的压铸模等
	3Cr2MnNiMo					

注: 1. 回火温度 200℃ 时应一次回火 2h, 550℃ 时应二次回火, 每次 2h。

2. 7Mn15Cr2Al3V2WMo 钢可以热轧状态供应, 不作交货硬度。

2.3.7 不锈钢（见表 1.4-20）

表 1.4-20 不锈钢棒牌号、力学性能及应用举例（摘自 GB/T 1220—2007）

经固溶处理的奥氏体型 ^①									
新牌号	旧牌号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ ^③ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	断面收缩率 Z ^④ (%)	硬度 ^③			特性及应用举例
						HBW	HRB	HV	
		≥					≤		
12Cr17Mn6Ni5N	1Cr17Mn6Ni5N	275	520	40	45	241	100	253	为节镍不锈钢，易冷变形强化，用于紧固件、装饰板等
12Cr18Ni9	1Cr18Ni9	205			60	187	90	200	冷加工有高的强度，在固溶态有良好的塑性、韧性，用于建筑装饰部件，不宜用作焊接结构材料
Y12Cr18Ni9	Y1Cr18Ni9				50				切削性能好，用于轴、辊、螺栓、螺母等
06Cr19Ni10	0Cr18Ni9				60				为耐蚀、耐热钢，用于薄截面尺寸的焊接件、容器构件等
022Cr19Ni10	00Cr19Ni10	175	480						为比 06Cr19Ni10 含碳量更低的钢，耐晶间腐蚀性能优越，焊接后不进行热处理
06Cr19Ni10N	0Cr19Ni9N	275	550	35		217	95	220	为含氮不锈钢，耐点蚀和晶间腐蚀，用于要求较高强度和减轻重量的设备、结构部件
06Cr19Ni9NbN	0Cr19Ni10NbN	345	685		50	250	100	260	在 06Cr19Ni10 基础上加 N 和 Nb，提高钢的耐点蚀和耐晶间腐蚀性能，具有与 06Cr19Ni10 相同的特性和用途
022Cr19Ni10N	00Cr18Ni10N	245	550			217	95	220	为 06Cr19Ni10N 的超低碳钢，因 06Cr19Ni10N 在 450 ~ 900℃ 加热后耐晶间腐蚀性能明显下降，推荐用于焊接构件
06Cr17Ni12Mo2Ti	0Cr18Ni12Mo3Ti	205	530	40	55	187	90	200	有好的耐晶间腐蚀性能，用于耐硫酸、磷酸、甲酸、乙酸的设备及焊接设备
06Cr19Ni13Mo3	0Cr19Ni13Mo3		520		60				耐点蚀和抗蠕变能力优于 06Cr17Ni12Mo2，用于石化、造纸、印染工业及耐有机酸腐蚀的设备
022Cr19Ni13Mo3	00Cr19Ni13Mo3	175	480						为 06Cr19Ni13Mo3 的超低碳钢，耐晶间腐蚀性能优于 06Cr19Ni13Mo3，用途与 06Cr19Ni13Mo3 钢相同
06Cr18Ni11Nb	0Cr18Ni11Nb	205	520						50

(续)

经固溶处理的奥氏体-铁素体型 ^②											
新牌号	旧牌号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ ^③ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	断面收缩率 Z ^④ (%)	冲击吸收能量 KU_2 ^⑤ /J	硬度 ^③			特性及应用举例	
							HBW	HRB	HV		
		≥						≤			
14Cr18Ni11Si4AlTi	1Cr18Ni11Si4AlTi	440	715	25	40	63	—	—	—	含硅使钢的强度和耐硝酸腐蚀性能提高，用于耐高温、浓硝酸介质的设备	
022Cr19Ni5Mo3Si2N	00Cr18Ni5Mo3Si2	390	590	20		—	290	30	300	耐应力腐蚀性能良好，耐点蚀性能与 022Cr17Ni12Mo2 相当，适用于含氯离子介质的设备如炼油、化工、造纸等工业设备	
022Cr22Ni5Mo3N	—	450	620	25	—			260	—	—	在瑞典 SAF2205 钢基础上研制的双相不锈钢，在世界上应用最普遍。对硫化氢、二氧化碳、氯化物的环境有抗阻性，可冷、热加工，焊接性能良好，用于易产生点蚀和应力腐蚀的受压设备
022Cr25Ni6Mo2N				20							具有高强度、耐氯化物应力腐蚀和可焊性等特点，是耐点蚀性能最好的钢。用于化工、化肥、石油化工设备，主要制作换热器、蒸发器等
03Cr25Ni6Mo3Cu2N		550	750	25							290

(续)

经退火处理的铁素体型 ^②									
新牌号	旧牌号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ ^③ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	断面收缩率 Z ^④ (%)	冲击吸收能量 KU_2 ^⑤ /J	硬度 ^③	特性及应用举例	
									HBW
		≥							≤
06Cr13Al	0Cr13Al	175	410	20	60	78	183	与低铬钢的不锈性、抗氧化性、塑性和韧性相当，从高温下冷却不产生显著硬化，用于石油精制装置、蒸汽透平叶片和复合钢板等	
022Cr12	00Cr12	195	360	22		50		—	焊接部位的弯曲性能、加工性能、耐高温氧化性能好，用于汽车排气处理装置、锅炉燃烧室等
10Cr17	1Cr17	205	450		60				在大气、蒸汽等介质中具有不锈性，其脆性转变温度在室温以上且对缺口敏感，使用截面尺寸小于 4mm，主要用于汽车、建筑装饰、办公设备和厨房设备、紧固件等
Y10Cr17	Y1Cr17								为 10Cr17 改进的切削钢，用于螺栓、螺母等加工件
10Cr17Mo	1Cr17Mo								耐点蚀和缝隙腐蚀，主要用于紧固件等
008Cr30Mo2	00Cr30Mo2	295		20		45	228	脆性转变温度低，耐卤离子应力腐蚀，耐腐蚀性与纯镍相当，具有好的韧性和可焊性，用于有机酸、浓苛性钠设备及石化、电力、食品工业设备	

(续)

经淬火回火处理的马氏体型 ^②											
新牌号	旧牌号		经淬火回火后（见 GB/J 1220—2007 表 A.4）试样的力学性能						退火后 钢棒的 硬度 ^⑥ HBW	特性及应用举例	
			规定非比 例延伸强 度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸 长率 A （%）	断面收 缩率 Z ^④ （%）	冲击吸 收能量 KU_2 ^⑤ /J	硬度			
								HBW			HRC
≥							≥		≤		
12Cr12	1Cr12		390	590	25	55	118	170	—	200	用作汽轮机叶片及高应力部件的不锈钢热钢
06Cr13	0Cr13		345	490	24	60	—	—		183	用于高韧性及受冲击负荷的零件，如汽轮机叶片、结构架、衬里、螺栓、螺母
20Cr13	2Cr13		440	640	20	50	63	192		223	淬火状态下硬度高，耐蚀性好，用于汽轮机叶片、热油泵、轴、轴套，也可用于刀具、餐具及造纸工业设备
30Cr13	3Cr13		540	735	12	40	24	217		235	用于 400℃ 以下的轴、螺栓、阀门、轴承等
14Cr17Ni2	1Cr17Ni2		—	1080	10	—	39	—		285	用于耐硝酸、有机酸腐蚀的轴及活塞杆、泵、阀、弹簧和紧固件
17Cr16Ni2 ^⑦	—	1	700	900 ~ 1050	12	45	25 (KV)		295	用于要求较高强度、韧性、塑性和良好的耐蚀性的零部件及在潮湿介质中工作的承力件	
		2	600	800 ~ 950	14						
68Cr17	7Cr17		—	—	—	—	—	54	255	具有不锈性，耐稀氧化性酸和盐类腐蚀，用于刀具、量具、轴类、阀门、轴承等	
95Cr18	9Cr18							55		主要用于耐蚀、高强度耐磨损部件，如轴、泵、阀件、弹簧、紧固件等	

(续)

沉淀硬化型 ^②											
新牌号	旧牌号	热处理		规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	断面收缩率 Z ^④ (%)	硬度 ^⑥		特性及应用举例	
								HBW	HRC		
		类型	组别	≥							
07Cr17Ni7Al	0Cr17Ni7Al	固溶处理		0	≤380	≤1030	20	—	≤229	—	用于 350℃ 以下长期工作的结构件、容器、管道、弹簧、垫圈、计器部件
		沉淀硬化	510℃时效	1	1030	1230	4	10	≥388		
			565℃时效	2	960	1140	5	25	≥363		
07Cr15Ni7Mo2Al	0Cr15Ni7Mo2Al	固溶处理		0	—	—	—	—	≤269	—	用于宇航、石油化工和能源等领域有一定耐蚀要求的高强度容器、零件及结构件
		沉淀硬化	510℃时效	1	1210	1320	6	20	≥388		
			565℃时效	2	1100	1210	7	25	≥375		

- 注：1. 各牌号的化学成分应符合 GB/T 1220—2007 的规定。
2. 各牌号的热处理制度参见 GB/T 1220—2007 附录。
- ① 仅适用于直径、边长、厚度或对边距离小于或等于 180mm 的钢棒。大于 180mm 的钢棒，可改锻成 180mm 的样坯检验，或由供需双方协商，规定允许降低其力学性能的数值。
- ② 仅适用于直径、边长、厚度或对边距离小于或等于 75mm 的钢棒。大于 75mm 的钢棒，可改锻成 75mm 的样坯检验，或由供需双方协商，规定允许降低其力学性能的数值。
- ③ 规定非比例延伸强度和硬度，仅当需方要求时（合同中注明）才进行测定，且供方可根据钢棒的尺寸或状态任选一种方法测定硬度。
- ④ 扁钢不适用，但需方要求时，由供需双方协商确定。
- ⑤ 直径或对边距离小于或等于 16mm 的圆钢、六角钢、八角钢和边长或厚度小于或等于 12mm 的方钢、扁钢不进行冲击试验。
- ⑥ 采用 750℃ 退火时，其硬度由供需双方协商。
- ⑦ 17Cr16Ni2 钢的性能、组别应在合同中注明，未注明时，由供方自行选择。
- ⑧ 供方可根据不锈钢棒的尺寸或状态任选一种方法测定硬度。

2.3.8 耐热钢（见表 1.4-21）

表 1.4-21 耐热钢棒牌号、力学性能及应用举例（摘自 GB/T 1221—2007）

经固溶处理的奥氏体型 ^①								
新牌号	旧牌号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ ^③ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	断面收缩率 Z ^④ (%)	布氏硬度 ^⑤ HBW	特性及应用举例	
		≥						≤
06Cr19Ni10	0Cr18Ni9	205	520	40	60	187	通用耐氧化钢，可承受 870℃ 以下反复加热。用于化工设备、食品设备	
06Cr25Ni20	0Cr25Ni20				50		可承受 1035℃ 加热。用于炉用材料、汽车净化装置	
06Cr17Ni12Mo2	0Cr17Ni12Mo2				60		具有优良的高温蠕变强度，用于换热器部件、高温耐蚀螺栓	
06Cr19Ni13Mo3	0Cr19Ni13Mo3						耐点蚀和抗高温蠕变能力优于 06Cr17Ni12Mo2。用于石油化工及耐有机酸腐蚀的装备、换热器部件等	
06Cr18Ni11Ti	0Cr18Ni10Ti		50		201	用于在 400 ~ 900℃ 腐蚀条件下的部件、高温用焊接结构部件		
12Cr16Ni35	1Cr16Ni35					560	201	抗渗碳，易渗氮，耐 1035℃ 以下反复加热。用于石油裂解装置、炉用钢料
06Cr18Ni11Nb	0Cr18Ni11Nb							187
06Cr18Ni13Si4	0Cr18Ni13Si4	520	60	207	具有与 06Cr25Ni20 相当的抗氧化性。用于含氯离子的介质、汽车排气净化装置等			
经退火处理的铁素体型 ^②								
新牌号	旧牌号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ ^③ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	断面收缩率 Z ^④ (%)	布氏硬度 ^⑤ HBW	特性及应用举例	
		≥						≤
10Cr17	1Cr17	205	450	22	50	183	用于 900℃ 以下耐氧化的部件、散热器、炉用部件、油喷嘴等	
16Cr25N	2Cr25N	275	510	20	40	201	耐高温腐蚀，在 1082℃ 以下不产生易剥落的氧化皮。用于抗硫腐蚀的场合，如燃烧室、退火箱、搅拌杆、阀等	

(续)

经淬火回火处理的马氏体型 ^②										
新牌号	旧牌号		规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	断面收缩率 Z ^④ (%)	冲击吸收能量 KU_2 ^⑤ /J	淬火回火后的硬度	淬火后的硬度 ^⑥	特性及应用举例
								HBW		
								≥		
17Cr16Ni2 ^⑦	—	1	700	900 ~ 1050	12	45	25 (KV)	—	295	耐硝酸、有机酸腐蚀。用于轴类、活塞杆、泵、阀部件及弹簧、紧固件
		2	600	800 ~ 950	14					
12Cr5Mo	1Cr5Mo		390	590	18	—	—	—	200	在高温下有好的力学性能。用于石油裂解管、泵和阀部件、活塞杆、高压加氢设备部件及紧固件
13Cr13Mo	1Cr13Mo		490	690	20	60	78			192
18Cr12MoVNbN	2Cr12MoVNbN		685	835	15	30	—	≤321	269	马氏体耐热钢。用于高温结构部件，如汽轮机叶片、叶轮轴、螺栓等
15Cr12WMoV	1Cr12WMoV		585	735		45	47	—	—	有较高的热强性、好的减振性及组织稳定性。用于透平叶片、转子、紧固件等
80Cr20Si2Ni	8Cr20Si2Ni		685	885	10	15	8	≥262	321	马氏体阀门钢。用于以耐磨为主的进气阀、排气阀、阀座等

(续)

沉淀硬化型 ^②											
新牌号	旧牌号	热处理		规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	断面收缩率 Z ^④ (%)	硬度 ^③		特性及应用举例	
								HBW	HRC		
		类型	组别	≥							
05Cr17Ni4Cu4Nb	0Cr17Ni4Cu4Nb	固溶处理		0	—	—	—	≤363	≤38	加 Cu 的沉淀硬化型钢。用于轴类、汽轮机部件、钢带输送机等	
		沉淀硬化	480℃时效	1	1180	1310	10	40	≥375		≥40
			550℃时效	2	1000	1070	12	45	≥331		≥35
			580℃时效	3	865	1000	13		≥302		≥31
			620℃时效	4	725	930	16	50	≥277		≥28
07Cr17Ni7Al	0Cr17Ni7Al	固溶处理		0	≤380	≤1030	20	—	≤229	—	加 Al 的沉淀硬化型钢。用于高温弹簧、膜片、固定器、波纹管等
		沉淀硬化	510℃时效	1	1030	1230	4	10	≥388		
			565℃时效	2	960	1140	5	25	≥363		
06Cr15Ni25Ti2MoAlVB	0Cr15Ni25Ti2MoAlVB	固溶 + 时效			590	900	15	18	≥248		用于耐 700℃ 高温的汽轮机转子、叶片、轴、螺栓等

- 注：1. 各牌号的化学成分应符合 GB/T 1221—2007 的规定。
2. 各牌号的热处理制度参见 GB/T 1221—2007 附录。
- ① 仅适用于直径、边长、厚度或对边距离小于或等于 180mm 的钢棒。大于 180mm 的钢棒，可改锻成 180mm 的样坯检验，或由供需双方协商，规定允许降低其力学性能的数值。
- ② 仅适用于直径、边长、厚度或对边距离小于或等于 75mm 的钢棒。大于 75mm 的钢棒，可改锻成 75mm 的样坯检验，或由供需双方协商，规定允许降低其力学性能的数值。
- ③ 规定非比例延伸强度和硬度，仅当需方要求时（合同中注明）才进行测定。
- ④ 扁钢不适用，但需方要求时，由供需双方协商确定。
- ⑤ 直径或对边距离小于或等于 16mm 的圆钢、六角钢、八角钢和边长或厚度小于或等于 12mm 的方钢、扁钢不进行冲击试验。
- ⑥ 采用 750℃ 退火时，其硬度由供需双方协商。
- ⑦ 17Cr16Ni2 钢的性能、组别应在合同中注明，未注明时，由供方自行选择。
- ⑧ 供方可根据不锈钢棒的尺寸或状态任选一种方法测定硬度。

2.3.9 滚动轴承钢（见表 1.4-22）

表 1.4-22 滚动轴承钢牌号、力学性能及应用举例

牌 号		热处理			力学性质		特性及应用举例
		淬火温度 /℃	冷却剂	淬火温度 /℃	α_{KU} /J · cm ⁻²	硬度 HRC	
高碳铬轴承钢 GB/T 18254—2002	GCr4						低铬轴承钢（铬的质量分数 0.35% ~ 0.50%）耐磨性比相同含碳量的碳素工具钢高，加工性能尚好，用于载荷不大形状简单的钢球和滚子
	GCr15	825 ~ 850	油	150 ~ 170	5.4 ~ 8.4	61 ~ 65	高碳铬轴承钢的代表性钢种，综合性能好，耐磨性好，接触疲劳强度高，但焊接性能差，有回火脆性。用于制造厚度 ≤ 12mm，外径 ≤ 250mm 的各种滚动轴承套圈，也用于制造机械零件如滚珠导轨，滚珠螺旋等
	GCr15SiMn	820 ~ 845	油	150 ~ 170		62	其淬透性、弹性极限、耐磨性等比 GCr15 高，加工性能稍差，焊接性能不好。用于制造大尺寸的轴承套圈，轴承零件的工作温度低于 180℃，还可以用于制造模具、量具、丝锥等
	GCr15SiMo	860	油	200		62	其淬透性、耐磨性比 GCr15 高，综合性能好，其他性能相近。用于制造大尺寸的轴承套圈、滚动体，还可以用于制造模具、精密量具和要求耐磨性的机械零件
	GCr18Mo	870 ~ 875	油	150 ~ 200		56 ~ 60	其淬透性比 GCr15 高，其他性能相近。用于制造厚度 ≤ 20mm 的轴承套圈

(续)

牌 号		热处理			力学性质		特性及应用举例
		淬火温度 /℃	冷却剂	淬火温度 /℃	α_{KU} /J·cm ⁻²	硬度 HRC	
高碳铬不锈钢 GB/T 3086—2008	9Cr18	1050 ~ 1100	油	150 ~ 160		58 ~ 62	切削性和冷冲压性能良好，导热性较差。常用于制造在海水、硝酸、化工石油、原子反应堆等环境下工作的滚动轴承，工作温度不超过250℃，也可用于医用手术刀
	9Cr18Mo	1050 ~ 1100	油	150 ~ 160		≥58	
渗碳轴承钢 GB/T 3203—1982	G20CrNiMo	880 ± 20	790 ± 20	油	150 ~ 200		须经两次淬火处理（下同）。用于汽车、拖拉机受冲击载荷的滚动轴承零件
	G20CrNi2Mo	880 ± 20	800 ± 20	油	150 ~ 200		用于汽车、拖拉机受冲击载荷的滚动轴承零件
	G20Cr2Ni4	870 ± 20	790 ± 20	油	150 ~ 2000		用于装置受冲击载荷的特大型轴承或受冲击载荷大、安全性要求高的中小型轴承
	G10CrNi3Mo	880 ± 20	790 ± 20	油	180 ~ 200		用于受冲击载荷大的中小型轴承
	G20Cr2Mn2Mo	880 ± 20	810 ± 20	油	180 ~ 200		制造受高冲击载荷的特大型轴承或受冲击载荷大、安全性要求高的中小型轴承
无磁轴承钢	70Mn15CrAl3WMoV					48 ~ 50	沉淀硬化奥氏体钢，导磁率低， 1.323×10^{-6} H/m 以下，强度和硬度较高

2.4 钢材

2.4.1 热轧圆钢、方钢、六角和八角钢（见表 1.4-23、表 1.4-24）

表 1.4-23 热轧圆钢和方钢的尺寸及理论质量（摘自 GB/T 702—2008）

圆钢公称直径 d 方钢公称边长 a /mm	理论质量/kg·m ⁻¹		圆钢公称直径 d 方钢公称边长 a /mm	理论质量/kg·m ⁻¹		圆钢公称直径 d 方钢公称边长 a /mm	理论质量/kg·m ⁻¹	
	圆钢	方钢		圆钢	方钢		圆钢	方钢
5.5	0.186	0.237	6.5	0.260	0.332	8	0.395	0.502
6	0.222	0.283	7	0.302	0.385	9	0.499	0.636

(续)

圆钢公称直径 d 方钢公称边长 a /mm	理论质量/kg · m ⁻¹		圆钢公称直径 d 方钢公称边长 a /mm	理论质量/kg · m ⁻¹		圆钢公称直径 d 方钢公称边长 a /mm	理论质量/kg · m ⁻¹	
	圆钢	方钢		圆钢	方钢		圆钢	方钢
10	0.617	0.785	36	7.99	10.2	125	96.3	123
11	0.746	0.950	38	8.90	11.3	130	104	133
12	0.888	1.13	40	9.86	12.6	135	112	143
13	1.04	1.33	42	10.9	13.8	140	121	154
14	1.21	1.54	45	12.5	15.9	145	130	165
15	1.39	1.77	48	14.2	18.1	150	139	177
16	1.58	2.01	50	15.4	19.6	155	148	189
17	1.78	2.27	53	17.3	22.0	160	158	201
18	2.00	2.54	55	18.6	23.7	165	168	214
19	2.23	2.83	56	19.3	24.6	170	178	227
20	2.47	3.14	58	20.7	26.4	180	200	254
21	2.72	3.46	60	22.2	28.3	190	223	283
22	2.98	3.80	63	24.5	31.2	200	247	314
23	3.26	4.15	65	26.0	33.2	210	272	
24	3.55	4.52	68	28.5	36.3	220	298	
25	3.85	4.91	70	30.2	38.5	230	326	
26	4.17	5.31	75	34.7	44.2	240	355	
27	4.49	5.72	80	39.5	50.2	250	385	
28	4.83	6.15	85	44.5	56.7	260	417	
29	5.18	6.60	90	49.9	63.6	270	449	
30	5.55	7.06	95	55.6	70.8	280	483	
31	5.92	7.54	100	61.7	78.5	290	518	
32	6.31	8.04	105	68.0	86.5	300	555	
33	6.71	8.55	110	74.6	95.0	310	592	
34	7.13	9.07	115	81.5	104			
35	7.55	9.62	120	88.8	113			

注：1. 热轧圆钢和方钢尺寸允许偏差分为 1、2、3 组，并应在合同中注明，未注明者按第 3 组允许偏差执行。

2. 圆钢和方钢通常长度：普通质量钢 3 ~ 12m；优质及特殊质量钢 2 ~ 12m；碳素钢和合金工具钢棒截面公称尺寸 ≤ 75mm，长度为 2 ~ 12m；截面公称尺寸 > 75mm，为 1 ~ 8m。

3. 理论质量按密度 7.85g/cm³ 计算所得。

4. 标记示例：

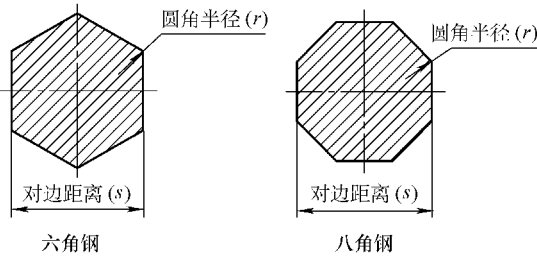
 用 40Cr 钢轧成的直径为 50mm，允许偏差为 2 组的圆钢，其标记为：

 圆钢 50—2—GB/T 702—2008
 40Cr—GB/T 3077—1999

 用 45 钢轧成的边长为 75mm，允许偏差为 3 组的方钢，其标记为：

 方钢 75—3—GB/T 702—2008
 45—GB/T 699—1999

表 1.4-24 热轧六角钢和热轧八角钢的尺寸及理论质量（摘自 GB/T 702—2008）



对边距离 s/mm	截面面积 A/cm^2		理论质量/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	
	六角钢	八角钢	六角钢	八角钢
8	0.5543	—	0.435	—
9	0.7015	—	0.551	—
10	0.866	—	0.680	—
11	1.048	—	0.823	—
12	1.247	—	0.979	—
13	1.464	—	1.05	—
14	1.697	—	1.33	—
15	1.949	—	1.53	—
16	2.217	2.120	1.74	1.66
17	2.503	—	1.96	—
18	2.806	2.683	2.20	2.16
19	3.126	—	2.45	—
20	3.464	3.312	2.72	2.60
21	3.819	—	3.00	—
22	4.192	4.008	3.29	3.15
23	4.581	—	3.60	—
24	4.988	—	3.92	—
25	5.413	5.175	4.25	4.06
26	5.854	—	4.60	—
27	6.314	—	4.96	—
28	6.790	6.492	5.33	5.10
30	7.794	7.452	6.12	5.85
32	8.868	8.479	6.96	6.66
34	10.011	9.572	7.86	7.51
36	11.223	10.731	8.81	8.42
38	12.505	11.956	9.82	9.39
40	13.86	13.250	10.88	10.40
42	15.28	—	11.99	—
45	17.54	—	13.77	—
48	19.95	—	15.66	—
50	21.65	—	17.00	—
53	24.33	—	19.10	—
56	27.16	—	21.32	—
58	29.13	—	22.87	—
60	31.18	—	24.50	—
63	34.37	—	26.98	—
65	36.59	—	28.72	—
68	40.04	—	31.43	—
70	42.43	—	33.30	—

- 注：1. 表中的理论质量按密度 $7.85\text{g}/\text{cm}^3$ 计算。
2. 普通质量钢通常长度 $3 \sim 8\text{m}$ ；优质及特殊质量钢通常长度 $2 \sim 6\text{m}$ 。
3. 标记示例：用 20 钢轧制的 22mm 六角钢的标记为：

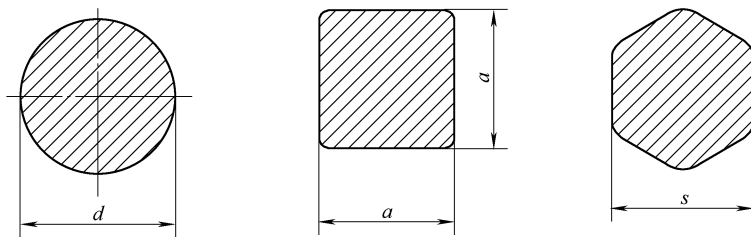
六角钢 $\frac{22-\text{GB/T } 702-2008}{20-\text{GB/T } 699-1999}$

用 T8 钢轧制的 25mm 八角钢的标记为：

八角钢 $\frac{25-\text{GB/T } 702-2008}{\text{T8}-\text{GB/T } 1298-2008}$

2.4.2 冷拉圆钢、方钢和六角钢 (见表 1.4-25)

表 1.4-25 冷拉圆钢、方钢和六角钢尺寸规格及理论质量 (摘自 GB/T 905—1994)



尺寸 d 、 a 、 s /mm	圆钢		方钢		六角钢	
	截面积 /mm ²	理论质量 /kg · m ⁻¹	截面积 /mm ²	理论质量 /kg · m ⁻¹	截面积 /mm ²	理论质量 /kg · m ⁻¹
3.0	7.069	0.0555	9.000	0.0706	7.794	0.0612
3.2	8.042	0.0631	10.24	0.0804	8.868	0.0696
3.5	9.621	0.0755	12.25	0.0962	10.61	0.0833
4.0	12.57	0.0986	16.00	0.126	13.86	0.109
4.5	15.90	0.125	20.25	0.159	17.54	0.138
5.0	19.63	0.154	25.00	0.196	21.65	0.170
5.5	23.76	0.187	30.25	0.237	26.20	0.206
6.0	28.27	0.222	36.00	0.283	31.18	0.245
6.3	31.17	0.245	39.69	0.312	34.37	0.270
7.0	38.48	0.302	49.00	0.385	42.44	0.333
7.5	44.18	0.347	56.25	0.442	—	—
8.0	50.27	0.395	64.00	0.502	55.43	0.435
8.5	56.75	0.445	72.25	0.567	—	—
9.0	63.62	0.499	81.00	0.636	70.15	0.551
9.5	70.88	0.556	90.25	0.708	—	—
10.0	78.54	0.617	100.0	0.785	86.60	0.680
10.5	86.59	0.680	110.2	0.865	—	—
11.0	95.03	0.746	121.0	0.950	104.8	0.823
11.5	103.9	0.815	132.2	1.04	—	—
12.0	113.1	0.888	144.0	1.13	124.7	0.979
13.0	132.7	1.04	169.0	1.33	146.4	1.15
14.0	153.9	1.21	196.0	1.54	169.7	1.33
15.0	176.7	1.39	225.0	1.77	194.9	1.53
16.0	201.1	1.58	256.0	2.01	221.7	1.74
17.0	227.0	1.78	289.0	2.27	250.3	1.96
18.0	254.5	2.00	324.0	2.54	280.6	2.20
19.0	283.5	2.23	361.0	2.83	312.6	2.45

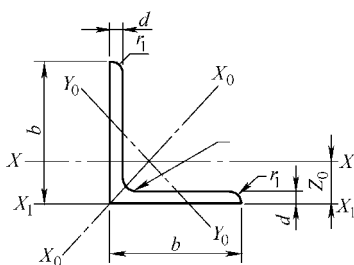
(续)

尺寸 d 、 a 、 s /mm	圆钢		方钢		六角钢	
	截面面积 /mm ²	理论质量 /kg · m ⁻¹	截面面积 /mm ²	理论质量 /kg · m ⁻¹	截面面积 /mm ²	理论质量 /kg · m ⁻¹
20.0	314.2	2.47	400.0	3.14	346.4	2.72
21.0	346.4	2.72	441.0	3.46	381.9	3.00
22.0	380.1	2.98	484.0	3.80	419.2	3.29
24.0	452.4	3.55	576.0	4.52	498.8	3.92
25.0	490.9	3.85	625.0	4.91	541.3	4.25
26.0	530.9	4.17	676.0	5.31	585.4	4.60
28.0	615.8	4.83	784.0	6.15	679.0	5.33
30.0	706.9	5.55	900.0	7.06	779.4	6.12
32.0	804.2	6.31	1024	8.04	886.8	6.96
34.0	907.9	7.13	1156	9.07	1001	7.86
35.0	962.1	7.55	1225	9.62	—	—
36.0	—	—	—	—	1122	8.81
38.0	1134	8.90	1444	11.3	1251	9.82
40.0	1257	9.86	1600	12.6	1386	10.9
42.0	1385	10.9	1764	13.8	1528	12.0
45.0	1590	12.5	2025	15.9	1754	13.8
48.0	1810	14.2	2304	18.1	1995	15.7
50.0	1968	15.4	2500	19.6	2165	17.0
52.0	2206	17.3	2809	22.0	2433	19.1
55.0	—	—	—	—	2620	20.5
56.0	2463	19.3	3136	24.6	—	—
60.0	2827	22.2	3600	28.3	3118	24.5
63.0	3117	24.5	3969	31.2	—	—
65.0	—	—	—	—	3654	28.7
67.0	3526	27.7	4489	35.2	—	—
70.0	3848	30.2	4900	38.5	4244	33.3
75.0	4418	34.7	5625	44.2	4871	38.2
80.0	5027	39.5	6400	50.2	5543	43.5

- 注：1. 本表理论质量按密度 7.85kg/dm³ 计算，对高合金钢应按相应牌号的密度计算理论质量。 d —圆钢直径， a —方钢边长， s —六角钢对边距离。
2. 按需方要求，经供需双方协议，可以供应中间尺寸的钢材。
3. 钢材通常长度为 2000 ~ 6000mm，允许交付长度不小于 1500mm 钢材，其质量不超过批总质量的 10%，高合金钢钢材允许交付不小于 1000mm 的钢材，质量不超过批总质量的 10%。按需方要求，可供应长度大于 6000mm 钢材。
4. 按定尺、倍尺长度交货，应在合同中注明，其长度允许偏差不大于⁺⁵⁰₀ mm。
5. 钢材以直条交货，经双方协议，钢材可成盘交货，盘径和盘重双方协定。
6. 标记示例：用 40Cr 制造，尺寸偏差为 11 级，直径 d （或边长 a 或对边距离 s ）为 20mm 的冷拉钢材，标记为：
冷拉圆钢^{11—20—GB/T905—1994}
40Cr—GB/T3078—2008

2.4.3 热轧等边角钢 (见表 1.4-26)

表 1.4-26 热轧等边角钢截面尺寸、截面面积、理论质量及截面特性 (摘自 GB/T 706—2008)



b ——边宽度;
 d ——边厚度;
 r ——内圆弧半径;
 r_1 ——边端圆弧半径;
 Z_0 ——重心距离。

型号	截面尺寸 /mm			截面 面积 /cm ²	理论 质量 /kg· m ⁻¹	外表 面积 /m ² · m ⁻¹	惯性矩/cm ⁴				惯性半径/cm			截面系数/cm ³			重心 距离 /cm
	b	d	r				I_x	I_{x1}	I_{x0}	I_{y0}	i_x	i_{x0}	i_{y0}	W_x	W_{x0}	W_{y0}	
2	20	3	3.5	1.132	0.889	0.078	0.40	0.81	0.63	0.17	0.59	0.75	0.39	0.29	0.45	0.20	0.60
		4		1.459	1.145	0.077	0.50	1.09	0.78	0.22	0.58	0.73	0.38	0.36	0.55	0.24	0.64
2.5	25	3	3.5	1.432	1.124	0.098	0.82	1.57	1.29	0.34	0.76	0.95	0.49	0.46	0.73	0.33	0.73
		4		1.859	1.459	0.097	1.03	2.11	1.62	0.43	0.74	0.93	0.48	0.59	0.92	0.40	0.76
30	30	3	4.5	1.749	1.373	0.117	1.46	2.71	2.31	0.61	0.91	1.15	0.59	0.68	1.09	0.51	0.85
		4		2.276	1.786	0.117	1.84	3.63	2.92	0.77	0.90	1.13	0.58	0.87	1.37	0.62	0.89
3.6	36	3	4.5	2.109	1.656	0.141	2.58	4.68	4.09	1.07	1.11	1.39	0.71	0.99	1.61	0.76	1.00
		4		2.756	2.163	0.141	3.29	6.25	5.22	1.37	1.09	1.38	0.70	1.28	2.05	0.93	1.04
		5		3.382	2.654	0.141	3.95	7.84	6.24	1.65	1.08	1.36	0.70	1.56	2.45	1.00	1.07
4	40	3	5	2.359	1.852	0.157	3.59	6.41	5.69	1.49	1.23	1.55	0.79	1.23	2.01	0.96	1.09
		4		3.086	2.422	0.157	4.60	8.56	7.29	1.91	1.22	1.54	0.79	1.60	2.58	1.19	1.13
		5		3.791	2.976	0.156	5.53	10.74	8.76	2.30	1.21	1.52	0.78	1.96	3.10	1.39	1.17
4.5	45	3	5	2.659	2.088	0.177	5.17	9.12	8.20	2.14	1.40	1.76	0.89	1.58	2.58	1.24	1.22
		4		3.486	2.736	0.177	6.65	12.18	10.56	2.75	1.38	1.74	0.89	2.05	3.32	1.54	1.26
		5		4.292	3.369	0.176	8.04	15.2	12.74	3.33	1.37	1.72	0.88	2.51	4.00	1.81	1.30
		6		5.076	3.985	0.176	9.33	18.36	14.76	3.89	1.36	1.70	0.8	2.95	4.64	2.06	1.33
5	50	3	5.5	2.971	2.332	0.197	7.18	12.5	11.37	2.98	1.55	1.96	1.00	1.96	3.22	1.57	1.34
		4		3.897	3.059	0.197	9.26	16.69	14.70	3.82	1.54	1.94	0.99	2.56	4.16	1.96	1.38
		5		4.803	3.770	0.196	11.21	20.90	17.79	4.64	1.53	1.92	0.98	3.13	5.03	2.31	1.42
		6		5.688	4.465	0.196	13.05	25.14	20.68	5.42	1.52	1.91	0.98	3.68	5.85	2.63	1.46
5.6	56	3	6	3.343	2.624	0.221	10.19	17.56	16.14	4.24	1.75	2.20	1.13	2.48	4.08	2.02	1.48
		4		4.390	3.446	0.220	13.18	23.43	20.92	5.46	1.73	2.18	1.11	3.24	5.28	2.52	1.53
		5		5.415	4.251	0.220	16.02	29.33	25.42	6.61	1.72	2.17	1.10	3.97	6.42	2.98	1.57
		6		6.420	5.040	0.220	18.69	35.26	29.66	7.73	1.71	2.15	1.10	4.68	7.49	3.40	1.61
		7		7.404	5.812	0.219	21.23	41.23	33.63	8.82	1.69	2.13	1.09	5.36	8.49	3.80	1.64
		8		8.367	6.568	0.219	23.63	47.24	37.37	9.89	1.68	2.11	1.09	6.03	9.44	4.16	1.68

(续)

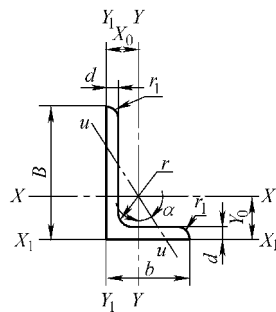
型号	截面尺寸 /mm			截面 面积 /cm ²	理论 质量 /kg· m ⁻¹	外表 面积 /m ² · m ⁻¹	惯性矩/cm ⁴				惯性半径/cm			截面系数/cm ³			重心 距离 /cm
	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>r</i>				<i>I_x</i>	<i>I_{x1}</i>	<i>I_{x0}</i>	<i>I_{y0}</i>	<i>i_x</i>	<i>i_{x0}</i>	<i>i_{y0}</i>	<i>W_x</i>	<i>W_{x0}</i>	<i>W_{y0}</i>	
6	60	5	6.5	5.829	4.576	0.236	19.89	36.05	31.57	8.21	1.85	2.33	1.19	4.59	7.44	3.48	1.67
		6		6.914	5.427	0.235	23.25	43.33	36.89	9.60	1.83	2.31	1.18	5.41	8.70	3.98	1.70
		7		7.977	6.262	0.235	26.44	50.65	41.92	10.96	1.82	2.29	1.17	6.21	9.88	4.45	1.74
		8		9.020	7.081	0.235	29.47	58.02	46.66	12.28	1.81	2.27	1.17	6.98	11.00	4.88	1.78
6.3	63	4	7	4.978	3.907	0.248	19.03	33.35	30.17	7.89	1.96	2.46	1.26	4.13	6.78	3.29	1.70
		5		6.143	4.822	0.248	23.17	41.73	36.77	9.57	1.94	2.45	1.25	5.08	8.25	3.90	1.74
		6		7.288	5.721	0.247	27.12	50.14	43.03	11.20	1.93	2.43	1.24	6.00	9.66	4.46	1.78
		7		8.412	6.603	0.247	30.87	58.60	48.96	12.79	1.92	2.41	1.23	6.88	10.99	4.98	1.82
		8		9.515	7.469	0.247	34.46	67.11	54.56	14.33	1.90	2.40	1.23	7.75	12.25	5.47	1.85
		10		11.657	9.151	0.246	41.09	84.31	64.85	17.33	1.88	2.36	1.22	9.39	14.56	6.36	1.93
7	70	4	8	5.570	4.372	0.275	26.39	45.74	41.80	10.99	2.18	2.74	1.40	5.14	8.44	4.17	1.86
		5		6.875	5.397	0.275	32.21	57.21	51.08	13.31	2.16	2.73	1.39	6.32	10.32	4.95	1.91
		6		8.160	6.406	0.275	37.77	68.73	59.93	15.61	2.15	2.71	1.38	7.48	12.11	5.67	1.95
		7		9.424	7.398	0.275	43.09	80.29	68.35	17.82	2.14	2.69	1.38	8.59	13.81	6.34	1.99
		8		10.667	8.373	0.274	48.17	91.92	76.37	19.98	2.12	2.68	1.37	9.68	15.43	6.98	2.03
7.5	75	5	9	7.412	5.818	0.295	39.97	70.56	63.30	16.63	2.33	2.92	1.50	7.32	11.94	5.77	2.04
		6		8.797	6.905	0.294	46.95	84.55	74.38	19.51	2.31	2.90	1.49	8.64	14.02	6.67	2.07
		7		10.160	7.976	0.294	53.57	98.71	84.96	22.18	2.30	2.89	1.48	9.93	16.02	7.44	2.11
		8		11.503	9.030	0.294	59.96	112.97	95.07	24.86	2.28	2.88	1.47	11.20	17.93	8.19	2.15
		9		12.825	10.068	0.294	66.10	127.30	104.71	27.48	2.27	2.86	1.46	12.43	19.75	8.89	2.18
		10		14.126	11.089	0.293	71.98	141.71	113.92	30.05	2.26	2.84	1.46	13.64	21.48	9.56	2.22
8	80	5	9	7.912	6.211	0.315	48.79	85.36	77.33	20.25	2.48	3.13	1.60	8.34	13.67	6.66	2.15
		6		9.397	7.376	0.314	57.35	102.50	90.98	23.72	2.47	3.11	1.59	9.87	16.08	7.65	2.19
		7		10.860	8.525	0.314	65.58	119.70	104.07	27.09	2.46	3.10	1.58	11.37	18.40	8.58	2.23
		8		12.303	9.658	0.314	73.49	136.97	116.60	30.39	2.44	3.08	1.57	12.83	20.61	9.46	2.27
		9		13.725	10.774	0.314	81.11	154.31	128.60	33.61	2.43	3.06	1.56	14.25	22.73	10.29	2.31
		10		15.126	11.874	0.313	88.43	171.74	140.09	36.77	2.42	3.04	1.56	15.64	24.76	11.08	2.35
9	90	6	10	10.637	8.350	0.354	82.77	145.87	131.26	34.28	2.79	3.51	1.80	12.61	20.63	9.95	2.44
		7		12.301	9.656	0.354	94.83	170.30	150.47	39.18	2.78	3.50	1.78	14.54	23.64	11.19	2.48
		8		13.944	10.946	0.353	106.47	194.80	168.97	43.97	2.76	3.48	1.78	16.42	26.55	12.35	2.52
		9		15.566	12.219	0.353	117.72	219.39	186.77	48.66	2.75	3.46	1.77	18.27	29.35	13.46	2.56
		10		17.167	13.476	0.353	128.58	244.07	203.90	53.26	2.74	3.45	1.76	20.07	32.04	14.52	2.59
		12		20.306	15.940	0.352	149.22	293.76	236.21	62.22	2.71	3.41	1.75	23.57	37.12	16.49	2.67
10	100	6	12	11.932	9.366	0.393	114.95	200.07	181.98	47.92	3.10	3.90	2.00	15.68	25.74	12.69	2.67
		7		13.796	10.830	0.393	131.86	233.54	208.97	54.74	3.09	3.89	1.99	18.10	29.55	14.26	2.71
		8		15.638	12.276	0.393	148.24	267.09	235.07	61.41	3.08	3.88	1.98	20.47	33.24	15.75	2.76
		9		17.462	13.708	0.392	164.12	300.73	260.30	67.95	3.07	3.86	1.97	22.79	36.81	17.18	2.80
		10		19.261	15.120	0.392	179.51	334.48	284.68	74.35	3.05	3.84	1.96	25.06	40.26	18.54	2.84

(续)

型号	截面尺寸 /mm			截面 面积 /cm ²	理论 质量 /kg · m ⁻¹	外表 面积 /m ² · m ⁻¹	惯性矩/cm ⁴				惯性半径/cm			截面系数/cm ³			重心 距离 /cm
	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>r</i>				<i>I_x</i>	<i>I_{x1}</i>	<i>I_{x0}</i>	<i>I_{y0}</i>	<i>i_x</i>	<i>i_{x0}</i>	<i>i_{y0}</i>	<i>W_x</i>	<i>W_{x0}</i>	<i>W_{y0}</i>	
10	100	12	12	22.800	17.898	0.391	208.90	402.34	330.95	86.84	3.03	3.81	1.95	29.48	46.80	21.08	2.91
		14		26.256	20.611	0.391	236.53	470.75	374.06	99.00	3.00	3.77	1.94	33.73	52.90	23.44	2.99
		16		29.627	23.257	0.390	262.53	539.80	414.16	110.89	2.98	3.74	1.94	37.82	58.57	25.63	3.06
11	110	7	12	15.196	11.928	0.433	177.16	310.64	280.94	73.38	3.41	4.30	2.20	22.05	36.12	17.51	2.96
		8		17.238	13.535	0.433	199.46	355.20	316.49	82.42	3.40	4.28	2.19	24.95	40.69	19.39	3.01
		10		21.261	16.690	0.432	242.19	444.65	384.39	99.98	3.38	4.25	2.17	30.60	49.42	22.91	3.09
		12		25.200	19.782	0.431	282.55	534.60	448.17	116.93	3.35	4.22	2.15	36.05	57.62	26.15	3.16
		14		29.056	22.809	0.431	320.71	625.16	508.01	133.40	3.32	4.18	2.14	41.31	65.31	29.14	3.24
12.5	125	8	14	19.750	15.504	0.492	297.03	521.01	470.89	123.16	3.88	4.88	2.50	32.52	53.28	25.86	3.37
		10		24.373	19.133	0.491	361.67	651.93	573.89	149.46	3.85	4.85	2.48	39.97	64.93	30.62	3.45
		12		28.912	22.696	0.491	423.16	783.42	671.44	174.88	3.83	4.82	2.46	41.17	75.96	35.03	3.53
		14		33.367	26.193	0.490	481.65	915.61	763.73	199.57	3.80	4.78	2.45	54.16	86.41	39.13	3.61
		16		37.739	29.625	0.489	537.31	1048.62	850.98	223.65	3.77	4.75	2.43	60.93	96.28	42.96	3.68
14	140	10	14	27.373	21.488	0.551	514.65	915.11	817.27	212.04	4.34	5.46	2.78	50.58	82.56	39.20	3.82
		12		32.512	25.522	0.551	603.68	1099.28	958.79	248.57	4.31	5.43	2.76	59.80	96.85	45.02	3.90
		14		37.567	29.490	0.550	688.81	1284.22	1093.56	284.06	4.28	5.40	2.75	68.75	110.47	50.45	3.98
		16		42.539	33.393	0.549	770.24	1470.07	1221.81	318.67	4.26	5.36	2.74	77.46	123.42	55.55	4.06
15	150	8	16	23.750	18.644	0.592	521.37	899.55	827.49	215.25	4.69	5.90	3.01	47.36	78.02	38.14	3.99
		10		29.373	23.058	0.591	637.50	1125.09	1012.79	262.21	4.66	5.87	2.99	58.35	95.49	45.51	4.08
		12		34.912	27.406	0.591	748.85	1351.26	1189.97	307.73	4.63	5.84	2.97	69.04	112.19	52.38	4.15
		14		40.367	31.688	0.590	855.64	1578.25	1359.30	351.98	4.60	5.80	2.95	79.45	128.16	58.83	4.23
		15		43.063	33.804	0.590	907.39	1692.10	1441.09	373.69	4.59	5.78	2.95	84.56	135.87	61.90	4.27
		16		45.739	35.905	0.589	958.08	1806.21	1521.02	395.14	4.58	5.77	2.94	89.59	143.40	64.89	4.31
16	160	10	16	31.502	24.729	0.630	779.53	1365.33	1237.30	321.76	4.98	6.27	3.20	66.70	109.36	52.76	4.31
		12		37.441	29.391	0.630	916.58	1639.57	1455.68	377.49	4.95	6.24	3.18	78.98	128.67	60.74	4.39
		14		43.296	33.987	0.629	1048.36	1914.68	1665.02	431.70	4.92	6.20	3.16	90.95	147.17	68.24	4.47
		16		49.067	38.518	0.629	1175.08	2190.82	1865.57	484.59	4.89	6.17	3.14	102.63	164.89	75.31	4.55
18	180	12	18	42.241	33.159	0.710	1321.35	2332.80	2100.10	542.61	5.59	7.05	3.58	100.82	165.00	78.41	4.89
		14		48.896	38.383	0.709	1514.48	2723.48	2407.42	621.53	5.56	7.02	3.56	116.25	189.14	88.38	4.97
		16		55.467	43.542	0.709	1700.99	3115.29	2703.37	698.60	5.54	6.98	3.55	131.13	212.40	97.83	5.05
		18		61.055	48.634	0.708	1875.12	3502.43	2988.24	762.01	5.50	6.94	3.51	145.64	234.78	105.14	5.13
20	200	14	18	54.642	42.894	0.788	2103.55	3734.10	3343.26	863.83	6.20	7.82	3.98	144.70	236.40	111.82	5.46
		16		62.013	48.680	0.788	2366.15	4270.39	3760.89	971.41	6.18	7.79	3.96	163.65	265.93	123.96	5.54
		18		69.301	54.401	0.787	2620.64	4808.13	4164.54	1076.74	6.15	7.75	3.94	182.22	294.48	135.52	5.62
		20		76.505	60.056	0.787	2867.30	5347.51	4554.55	1180.04	6.12	7.72	3.93	200.42	322.06	146.55	5.69
		24		90.661	71.168	0.785	3338.25	6457.16	5294.97	1381.53	6.07	7.64	3.90	236.17	374.41	166.65	5.87

2.4.4 热轧不等边角钢（见表 1.4-27）

表 1.4-27 热轧不等边角钢截面尺寸、截面面积、理论质量及截面特性（摘自 GB/T 706—2008）



B——长边宽度；
b——短边宽度；
d——边厚度；

r——内圆弧半径；
r₁——边端圆弧半径；
X₀——重心距离；
Y₀——重心距离。

型号	截面尺寸/mm				截面 面积 /cm ²	理论 质量/ kg·m ⁻¹	外表 面积/ m ² ·m ⁻¹	惯性矩/cm ⁴					惯性半径/cm			截面系数/cm ³			tanα	重心距离 /cm	
	B	b	d	r				I _x	I _{x1}	I _y	I _{y1}	I _u	i _x	i _y	i _u	W _x	W _y	W _u		X ₀	Y ₀
2.5/ 1.6	25	16	3	3.5	1.162	0.912	0.080	0.70	1.56	0.22	0.43	0.14	0.78	0.44	0.34	0.43	0.19	0.16	0.392	0.42	0.86
			4		1.499	1.176	0.079	0.88	2.09	0.27	0.59	0.17	0.77	0.43	0.34	0.55	0.24	0.20	0.381	0.46	1.86
3.2/2	32	20	3		1.492	1.171	0.102	1.53	3.27	0.46	0.82	0.28	1.01	0.55	0.43	0.72	0.30	0.25	0.382	0.49	0.90
			4		1.939	1.522	0.101	1.93	4.37	0.57	1.12	0.35	1.00	0.54	0.42	0.93	0.39	0.32	0.374	0.53	1.08
4/2.5	40	25	3	4	1.890	1.484	0.127	3.08	5.39	0.93	1.59	0.56	1.28	0.70	0.54	1.15	0.49	0.40	0.385	0.59	1.12
			4		2.467	1.936	0.127	3.93	8.53	1.18	2.14	0.71	1.36	0.69	0.54	1.49	0.63	0.52	0.381	0.63	1.32
4.5/ 2.8	45	28	3	5	2.149	1.687	0.143	445	9.10	1.34	2.23	0.80	1.44	0.79	0.61	1.47	0.62	0.51	0.383	0.64	1.37
			4		2.806	2.203	0.143	5.69	12.13	1.70	3.00	1.02	1.42	0.78	0.60	1.91	0.80	0.66	0.380	0.68	1.47
5/ 3.2	50	32	3	5.5	2.431	1.908	0.161	6.24	12.49	2.02	3.31	1.20	1.60	0.91	0.70	1.84	0.82	0.68	0.404	0.73	1.51
			4		3.177	2.494	0.160	8.02	16.65	2.58	4.45	1.53	1.59	0.90	0.69	2.39	1.06	0.87	0.402	0.77	1.60
5.6/ 3.6	56	36	3	6	2.743	2.153	0.181	8.88	17.54	2.92	4.70	1.73	1.80	1.03	0.79	2.32	1.05	0.87	0.408	0.80	1.65
			4		3.590	2.818	0.180	11.45	23.39	3.76	6.33	2.23	1.79	1.02	0.79	3.03	1.37	1.13	0.408	0.85	1.78
			5		4.415	3.466	0.180	13.86	29.25	4.49	7.94	2.67	1.77	1.01	0.78	3.71	1.65	1.36	0.404	0.88	1.82

(续)

型号	截面尺寸/mm				截面 面积 /cm ²	理论 质量/ kg·m ⁻¹	外表 面积/ m ² ·m ⁻¹	惯性矩/cm ⁴					惯性半径/cm			截面系数/cm ³			tanα	重心距离 /cm	
	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>r</i>				<i>I_x</i>	<i>I_{x1}</i>	<i>I_y</i>	<i>I_{y1}</i>	<i>I_u</i>	<i>i_x</i>	<i>i_y</i>	<i>i_u</i>	<i>W_x</i>	<i>W_y</i>	<i>W_u</i>		<i>X₀</i>	<i>Y₀</i>
6.3/4	63	40	4	7	4.058	3.185	0.202	16.49	33.30	5.23	8.63	3.12	2.02	1.14	0.88	3.87	1.70	1.40	0.398	0.92	1.87
			5		4.993	3.920	0.202	20.02	41.63	6.31	10.86	3.76	2.00	1.12	0.87	4.74	2.07	1.71	0.396	0.95	2.04
			6		5.908	4.638	0.201	23.36	49.98	7.29	13.12	4.34	1.96	1.11	0.86	5.59	2.43	1.99	0.393	0.99	2.08
			7		6.802	5.339	0.201	26.53	58.07	8.24	15.47	4.97	1.98	1.10	0.86	6.40	2.78	2.29	0.389	1.03	2.12
7/4.5	70	45	4	7.5	4.547	3.570	0.226	23.17	45.92	7.55	12.26	4.40	2.26	1.29	0.98	4.86	2.17	1.77	0.410	1.02	2.15
			5		5.609	4.403	0.225	27.95	57.10	9.13	15.39	5.40	2.23	1.28	0.98	5.92	2.65	2.19	0.407	1.06	2.24
			6		6.647	5.218	0.225	32.54	68.35	10.62	18.58	6.35	2.21	1.26	0.98	6.95	3.12	2.59	0.404	1.09	2.28
			7		7.657	6.011	0.225	37.22	79.99	12.01	21.84	7.16	2.20	1.25	0.97	8.03	3.57	2.94	0.402	1.13	2.32
7.5/5	75	50	5	8	6.125	4.808	0.245	34.86	70.00	12.61	21.04	7.41	2.39	1.44	1.10	6.83	3.30	2.74	0.435	1.17	2.36
			6		7.260	5.699	0.245	41.12	84.30	14.70	25.37	8.54	2.38	1.42	1.08	8.12	3.88	3.19	0.435	1.21	2.40
			8		9.467	7.431	0.244	52.39	112.50	18.53	34.23	10.87	2.35	1.40	1.07	10.52	4.99	4.10	0.429	1.29	2.44
			10		11.590	9.098	0.244	62.71	140.80	21.96	43.43	13.10	2.33	1.38	1.06	12.79	6.04	4.99	0.423	1.36	2.52
8/5	80	50	5	8	6.375	5.005	0.255	41.96	85.21	12.82	21.06	7.66	2.56	1.42	1.10	7.78	3.32	2.74	0.388	1.14	2.60
			6		7.560	5.935	0.255	49.49	102.53	14.95	25.41	8.85	2.56	1.41	1.08	9.25	3.91	3.20	0.387	1.18	2.65
			7		8.724	6.848	0.255	56.16	119.33	46.96	29.82	10.18	2.54	1.39	1.08	10.58	4.48	3.70	0.384	1.21	2.69
			8		9.867	7.745	0.254	62.83	136.41	18.85	34.32	11.38	2.52	1.38	1.07	11.92	5.03	4.16	0.381	1.25	2.73
9/5.6	90	56	5	9	7.212	5.661	0.287	60.45	121.32	18.32	29.53	10.98	2.90	1.59	1.23	9.92	4.21	3.49	0.385	1.25	2.91
			6		8.557	6.717	0.286	71.03	145.59	21.42	35.58	12.90	2.88	1.58	1.23	11.74	4.96	4.13	0.384	1.29	2.95
			7		9.880	7.756	0.286	81.01	169.60	24.36	41.71	14.67	2.86	1.57	1.22	13.49	5.70	4.72	0.382	1.33	3.00
			8		11.183	8.779	0.286	91.03	194.17	27.15	47.93	16.34	2.85	1.56	1.21	15.27	6.41	5.29	0.380	1.36	3.04
10/6.3	100	63	6	10	9.617	7.550	0.320	99.06	199.71	30.94	50.50	18.42	3.21	1.79	1.38	14.64	6.35	5.25	0.394	1.43	3.24

(续)

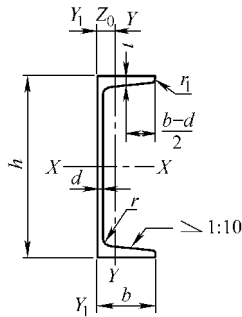
型号	截面尺寸/mm				截面 面积 /cm ²	理论 质量/ kg·m ⁻¹	外表 面积/ m ² ·m ⁻¹	惯性矩/cm ⁴					惯性半径/cm			截面系数/cm ³			tanα	重心距离 /cm	
	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>r</i>				<i>I_x</i>	<i>I_{x1}</i>	<i>I_y</i>	<i>I_{y1}</i>	<i>I_u</i>	<i>i_x</i>	<i>i_y</i>	<i>i_u</i>	<i>W_x</i>	<i>W_y</i>	<i>W_u</i>		<i>X</i> ₀	<i>Y</i> ₀
10 /6.3	100	63	7		11.111	8.722	0.320	113.45	233.00	35.26	59.14	21.00	3.20	1.78	1.38	16.88	7.29	6.02	0.394	1.47	3.28
			8		12.534	9.878	0.319	127.37	266.32	39.39	67.88	23.50	3.18	1.77	1.37	19.08	8.21	6.78	0.391	1.50	3.32
			10		15.467	12.142	0.319	153.81	333.06	47.12	85.73	28.33	3.15	1.74	1.35	23.32	9.98	8.24	0.387	1.58	3.40
10/8	100	80	6	10	10.637	8.350	0.354	107.04	199.83	61.24	102.68	31.65	3.17	2.40	1.72	15.19	10.16	8.37	0.627	1.97	2.95
			7		12.301	9.656	0.354	122.73	233.20	70.08	119.98	36.17	3.16	2.39	1.72	17.52	11.71	9.60	0.626	2.01	3.0
			8		13.944	10.946	0.353	137.92	266.61	78.58	137.37	40.58	3.14	2.37	1.71	19.81	13.21	10.80	0.625	2.05	3.04
			10		17.167	13.476	0.353	166.87	333.63	94.65	172.48	49.10	3.12	2.35	1.69	24.24	16.12	13.12	0.622	2.13	3.12
11/7	110	70	6	10	10.637	8.350	0.354	133.37	265.78	42.92	69.08	25.36	3.54	2.01	1.54	17.85	7.90	6.53	0.403	1.57	3.53
			7		12.301	9.656	0.354	153.00	310.07	49.01	80.82	28.95	3.53	2.00	1.53	20.60	9.09	7.50	0.402	1.61	3.57
			8		13.944	10.946	0.353	172.04	354.39	54.87	92.70	32.45	3.51	1.98	1.53	23.30	10.25	8.45	0.401	1.65	3.62
			10		17.167	13.476	0.353	208.39	443.13	65.88	116.83	39.20	3.48	1.96	1.51	28.54	12.48	10.29	0.397	1.72	3.70
12.5 /8	125	80	7	11	14.096	11.066	0.403	227.98	454.99	74.42	120.32	43.81	4.02	2.30	1.76	26.86	12.01	9.92	0.408	1.80	4.01
			8		15.989	12.551	0.403	256.77	519.99	83.49	137.85	49.15	4.01	2.28	1.75	30.41	13.56	11.18	0.407	1.84	4.06
			10		19.712	15.474	0.402	312.04	650.09	100.67	173.40	59.45	3.98	2.26	1.74	37.33	16.56	13.64	0.404	1.92	4.14
			12		23.351	18.330	0.402	364.41	780.39	116.67	209.67	69.35	3.95	2.24	1.72	44.01	19.43	16.01	0.400	2.00	4.22
14/9	140	90	8	12	18.038	14.160	0.453	365.64	730.53	120.69	195.79	70.83	4.50	2.59	1.98	38.48	17.34	14.31	0.411	2.04	4.50
			10		22.261	17.475	0.452	445.50	913.20	140.03	245.92	85.82	4.47	2.56	1.96	47.31	21.22	17.48	0.409	2.12	4.58
			12		26.400	20.724	0.451	521.59	1096.09	169.79	296.89	100.21	4.44	2.54	1.95	55.87	24.95	20.54	0.406	2.19	4.66
			14		30.456	23.908	0.451	594.10	1279.26	192.10	348.82	114.13	4.42	2.51	1.94	64.18	28.54	23.52	0.403	2.27	4.74
15/9	150	90	8		18.839	14.788	0.473	442.05	898.35	122.80	195.96	74.14	4.84	2.55	1.98	43.86	17.47	14.48	0.364	1.97	4.92

(续)

型号	截面尺寸/mm				截面 面积 /cm ²	理论 质量/ kg·m ⁻¹	外表 面积/ m ² ·m ⁻¹	惯性矩/cm ⁴					惯性半径/cm			截面系数/cm ³			tanα	重心距离 /cm	
	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>r</i>				<i>I_x</i>	<i>I_{x1}</i>	<i>I_y</i>	<i>I_{y1}</i>	<i>I_u</i>	<i>i_x</i>	<i>i_y</i>	<i>i_u</i>	<i>W_x</i>	<i>W_y</i>	<i>W_u</i>		<i>X₀</i>	<i>Y₀</i>
15/9	150	90	10	12	23.261	18.260	0.472	539.24	1122.85	148.62	246.26	89.86	4.81	2.53	1.97	53.97	21.38	17.69	0.362	2.05	5.01
			12		27.600	21.666	0.471	632.08	1347.50	172.85	297.46	104.95	4.79	2.50	1.95	63.79	25.14	20.80	0.359	2.12	5.09
			14		31.856	25.007	0.471	720.77	1572.38	195.62	349.74	119.53	4.76	2.48	1.94	73.33	28.77	23.84	0.356	2.20	5.17
			15		33.952	26.652	0.471	763.62	1684.93	206.50	376.33	126.67	4.74	2.47	1.93	77.99	30.53	25.33	0.354	2.24	5.21
			16		36.027	28.281	0.470	805.51	1797.55	217.07	403.24	133.72	4.73	2.45	1.93	82.60	32.27	26.82	0.352	2.27	5.25
16/10	160	100	10	13	25.315	19.872	0.512	668.69	1362.89	205.03	336.59	121.74	5.14	2.85	2.19	62.13	26.56	21.92	0.390	2.28	5.24
			12		30.054	23.592	0.511	784.91	1635.56	239.06	405.94	142.33	5.11	2.82	2.17	73.49	31.28	25.79	0.388	2.36	5.32
			14		34.709	27.247	0.510	896.30	1908.50	271.20	476.42	162.23	5.08	2.80	2.16	84.56	35.83	29.56	0.385	0.43	5.40
			16		29.281	30.835	0.510	1003.04	2181.79	301.60	548.22	182.57	5.05	2.77	2.16	95.33	40.24	33.44	0.382	2.51	5.48
18/11	180	110	10	14	28.373	22.273	0.571	956.25	1940.40	278.11	447.22	166.50	5.80	3.13	2.42	78.96	32.49	26.88	0.376	2.44	5.89
			12		33.712	26.440	0.571	1124.72	2328.38	325.03	538.94	194.87	5.78	3.10	2.40	93.53	38.32	31.66	0.374	2.52	5.98
			14		38.967	30.589	0.570	1286.91	2716.60	369.55	631.95	222.30	5.75	3.08	2.39	107.76	43.97	36.32	0.372	2.59	6.06
			16		44.139	34.649	0.569	1443.06	3105.15	411.85	726.46	248.94	5.72	3.06	2.38	121.64	49.44	40.87	0.369	2.67	6.14
20/ 12.5	200	125	12	14	37.912	29.761	0.641	1570.90	3193.85	483.16	787.74	285.79	6.44	3.57	2.74	116.73	49.99	41.23	0.392	2.83	6.54
			14		43.687	34.436	0.640	1800.97	3726.17	550.83	922.47	326.58	6.41	3.54	2.73	134.65	57.44	47.34	0.390	2.91	6.62
			16		49.739	39.045	0.639	2023.35	4258.88	615.44	1058.86	366.21	6.38	3.52	2.71	152.18	64.89	53.32	0.388	2.99	6.70
			18		55.526	43.588	0.639	2238.30	4792.00	677.19	1197.13	404.83	6.35	3.49	2.70	169.33	71.74	59.18	0.385	3.06	6.78

2.4.5 热轧槽钢（见表 1.4-28）

表 1.4-28 热轧槽钢截面尺寸、截面面积、理论质量及截面特性（摘自 GB/T 706—2008）



h ——高度；
 b ——腿宽度；
 d ——腰厚度；
 t ——平均腿厚度；
 r ——内圆弧半径；
 r_1 ——腿端圆弧半径；
 Z_0 —— YY 轴与 Y_1Y_1 轴间距。

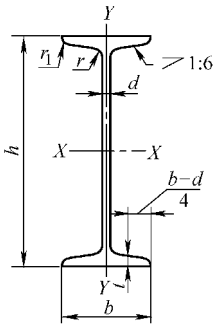
型号	截面尺寸/mm						截面 面积 /cm ²	理论 质量 /kg·m ⁻¹	惯性矩/cm ⁴			惯性半径 /cm		截面系数 /cm ³		重心距 离/cm
	h	b	d	t	r	r_1			I_x	I_y	I_{y1}	i_x	i_y	W_x	W_y	
5	50	37	4.5	7.0	7.0	3.5	6.928	5.438	26.0	8.30	20.9	1.94	1.10	10.4	3.55	1.35
6.3	63	40	4.8	7.5	7.5	3.8	8.451	6.634	50.8	11.9	28.4	2.45	1.19	16.1	4.50	1.36
6.5	65	40	4.3	7.5	7.5	3.8	8.547	6.709	55.2	12.0	28.3	2.54	1.19	17.0	4.59	1.38
8	80	43	5.0	8.0	8.0	4.0	10.248	8.045	101	16.6	37.4	3.15	1.27	25.3	5.79	1.43
10	100	48	5.3	8.5	8.5	4.2	12.748	10.007	198	25.6	54.9	3.95	1.41	39.7	7.80	1.52
12	120	53	5.5	9.0	9.0	4.5	15.362	12.059	346	37.4	77.7	4.75	1.56	57.7	10.2	1.62
12.6	126	53	5.5	9.0	9.0	4.5	15.692	12.318	391	38.0	77.1	4.95	1.57	62.1	10.2	1.59
14a	140	58	6.0	9.5	9.5	4.8	18.516	14.535	564	53.2	107	5.52	1.70	80.5	13.0	1.71
14b		60	8.0				21.316	16.733	609	61.1	121	5.35	1.69	87.1	14.1	1.67
16a	160	63	6.5	10.0	10.0	5.0	21.962	17.24	866	73.3	144	6.28	1.83	108	16.3	1.80
16b		65	8.5				25.162	19.752	935	83.4	161	6.10	1.82	117	17.6	1.75
18a	180	68	7.0	10.5	10.5	5.2	25.699	20.174	1270	98.6	190	7.04	1.96	141	20.0	1.88
18b		70	9.0				29.299	23.000	1370	111	210	6.84	1.95	152	21.5	1.84
20a	200	73	7.0	11.0	11.0	5.5	28.837	22.637	1780	128	244	7.86	2.11	178	24.2	2.01
20b		75	9.0				32.837	25.777	1910	144	268	7.64	2.09	191	25.9	1.95
22a	220	77	7.0	11.5	11.5	5.8	31.846	24.999	2390	158	298	8.67	2.23	218	28.2	2.10
22b		79	9.0				36.246	28.453	2570	176	326	8.42	2.21	234	30.1	2.03
24a	240	78	7.0	12.0	12.0	6.0	34.217	26.860	3050	174	325	9.45	2.25	254	30.5	2.10
24b		80	9.0				39.017	30.628	3280	194	355	9.17	2.23	274	32.5	2.03
24c	250	82	11.0				43.817	34.396	3510	213	388	8.96	2.21	293	34.4	2.00
25a		78	7.0				34.917	27.410	3370	176	322	9.82	2.24	270	30.6	2.07
25b		80	9.0				39.917	31.335	3530	196	353	9.41	2.22	282	32.7	1.98
25c		82	11.0				44.917	35.260	3690	218	384	9.07	2.21	295	35.9	1.92
27a	270	82	7.5	12.5	12.5	6.2	39.284	30.838	4360	216	393	10.5	2.34	323	35.5	2.13
27b		84	9.5				44.684	35.077	4690	239	428	10.3	2.31	347	37.7	2.06
27c	280	86	11.5				50.084	39.316	5020	261	467	10.1	2.28	372	39.8	2.03
28a		82	7.5				40.034	31.427	4760	218	388	10.9	2.33	340	35.7	2.10
28b		84	9.5				45.634	35.823	5130	242	428	10.6	2.30	366	37.9	2.02
28c		86	11.5				51.234	40.219	5500	268	463	10.4	2.29	393	40.3	1.95

(续)

型号	截面尺寸/mm						截面 面积 /cm ²	理论 质量 /kg·m ⁻¹	惯性矩/cm ⁴			惯性半径 /cm		截面系数 /cm ³		重心距 离/cm
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>	<i>r</i>	<i>r</i> ₁			<i>I</i> _{<i>x</i>}	<i>I</i> _{<i>y</i>}	<i>I</i> _{<i>y</i>1}	<i>i</i> _{<i>x</i>}	<i>i</i> _{<i>y</i>}	<i>W</i> _{<i>x</i>}	<i>W</i> _{<i>y</i>}	
30a	300	85	7.5	13.5	13.5	6.8	43.902	34.463	6050	260	467	11.7	2.43	403	41.1	2.17
30b		87	9.5				49.902	39.173	6500	289	515	11.4	2.41	433	44.0	2.13
30c		89	11.5				55.902	43.883	6950	316	560	11.2	2.38	463	46.4	2.09
32a	320	88	8.0	14.0	14.0	7.0	48.513	38.083	7600	305	552	12.5	2.50	475	46.5	2.24
32b		90	10.0				54.913	43.107	8140	336	593	12.2	2.47	509	49.2	2.16
32c		92	12.0				61.313	48.131	8690	374	643	11.9	2.47	543	52.6	2.09
36a	360	96	9.0	16.0	16.0	8.0	60.910	47.814	11900	455	818	14.0	2.73	660	63.5	2.44
36b		98	11.0				68.110	53.466	12700	497	880	13.6	2.70	703	66.9	2.37
36c		100	13.0				75.310	59.118	13400	536	948	13.4	2.67	746	70.0	2.34
40a	400	100	10.5	18.0	18.0	9.0	75.068	58.928	17600	592	1070	15.3	2.81	879	78.8	2.49
40b		102	12.5				83.068	65.208	18600	640	114	15.0	2.78	932	82.5	2.44
40c		104	14.5				91.068	71.488	19700	688	1220	14.7	2.75	986	86.2	2.42

2.4.6 热轧工字钢（见表 1.4-29）

表 1.4-29 热轧工字钢截面尺寸、截面面积、理论质量及截面特性（摘自 GB/T 706—2008）



h——高度；
b——腿宽度；
d——腰厚度；
t——平均腿厚度；
r——内圆弧半径；
*r*₁——腿端圆弧半径。

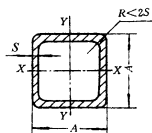
型号	截面尺寸/mm						截面面积 /cm ²	理论质量 /kg·m ⁻¹	惯性矩 /cm ⁴		惯性半径 /cm		截面系数 /cm ³	
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>	<i>r</i>	<i>r</i> ₁			<i>I</i> _{<i>x</i>}	<i>I</i> _{<i>y</i>}	<i>i</i> _{<i>x</i>}	<i>i</i> _{<i>y</i>}	<i>W</i> _{<i>x</i>}	<i>W</i> _{<i>y</i>}
10	100	68	4.5	7.6	6.5	3.3	14.345	11.261	245	33.0	4.14	1.52	49.0	9.72
12	120	74	5.0	8.4	7.0	3.5	17.818	13.987	436	46.9	4.95	1.62	72.7	12.7
12.6	126	74	5.0	8.4	7.0	3.5	18.118	14.223	488	46.9	5.20	1.61	77.5	12.7
14	140	80	5.5	9.1	7.5	3.8	21.516	16.890	712	64.4	5.76	1.73	102	16.1
16	160	88	6.0	9.9	8.0	4.0	26.131	20.513	1130	93.1	6.58	1.89	141	21.2
18	180	94	6.5	10.7	8.5	4.3	30.756	24.143	1660	122	7.36	2.00	185	26.0
20a	200	100	7.0	11.4	9.0	4.5	35.578	27.929	2370	158	8.15	2.12	237	31.5
20b		102	9.0				39.578	31.069	2500	169	7.96	2.06	250	33.1
22a	220	110	7.5	12.3	9.5	4.8	42.128	33.070	3400	225	8.99	2.31	309	40.9
22b		112	9.5				46.528	36.524	3570	239	8.78	2.27	325	42.7

(续)

型号	截面尺寸/mm						截面面积 /cm ²	理论质量 /kg·m ⁻¹	惯性矩		惯性半径		截面系数	
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>	<i>r</i>	<i>r</i> ₁			/cm ⁴		/cm		/cm ³	
									<i>I</i> _x	<i>I</i> _y	<i>i</i> _x	<i>i</i> _y	<i>W</i> _x	<i>W</i> _y
24a	240	116	8.0	13.0	10.0	5.0	47.741	37.477	4570	280	9.77	2.42	381	48.4
24b		118	10.0				52.541	41.245	4800	297	9.57	2.38	400	50.4
25a	250	116	8.0				48.541	38.105	5020	280	10.2	2.40	402	48.3
25b		118	10.0				53.541	42.030	5280	309	9.94	2.40	423	52.4
27a	270	122	8.5	13.7	10.5	5.3	54.554	42.825	6550	345	10.9	2.51	485	56.6
27b		124	10.5				59.954	47.064	6870	366	10.7	2.47	509	58.9
28a	280	122	8.5				55.404	43.492	7110	345	11.3	2.50	508	56.6
28b		124	10.5				61.004	47.888	7480	379	11.1	2.49	534	61.2
30a	300	126	9.0	14.4	11.0	5.5	61.254	48.084	8950	400	12.1	2.55	597	63.5
30b		128	11.0				67.254	52.794	9400	422	11.8	2.50	627	65.9
30c		130	13.0				73.254	57.504	9850	445	11.6	2.46	657	68.5
32a	320	130	9.5	15.0	11.5	5.8	67.156	52.717	11100	460	12.8	2.62	692	70.8
32b		132	11.5				73.556	57.741	11600	502	12.6	2.61	726	76.0
32c		134	13.5				79.956	62.765	12200	544	12.3	2.61	760	81.2
36a	360	136	10.0	15.8	12.0	6.0	76.480	60.037	15800	552	14.4	2.69	875	81.2
36b		138	12.0				83.680	65.689	16500	582	14.1	2.64	919	84.3
36c		140	14.0				90.880	71.341	17300	612	13.8	2.60	962	87.4
40a	400	142	10.5	16.5	12.5	6.3	86.112	67.598	21700	660	15.9	2.77	1090	93.2
40b		144	12.5				94.112	73.878	22800	692	15.6	2.71	1140	96.2
40c		146	14.5				102.112	80.158	23900	727	15.2	2.65	1190	99.6
45a	450	150	11.5	18.0	13.5	6.8	102.446	80.420	32200	855	17.7	2.89	1430	114
45b		152	13.5				111.446	87.485	33800	894	17.4	2.84	1500	118
45c		154	15.5				120.446	94.550	35300	938	17.1	2.79	1570	122
50a	500	158	12.0	20.0	14.0	7.0	119.304	93.654	46500	1120	19.7	3.07	1860	142
50b		160	14.0				129.304	101.504	48600	1170	19.4	3.01	1940	146
50c		162	16.0				139.304	109.354	50600	1220	19.0	2.96	2080	151
55a	550	166	12.5	21.0	14.5	7.3	134.185	105.335	62900	1370	21.6	3.19	2290	164
55b		168	14.5				145.185	113.970	65600	1420	21.2	3.14	2390	170
55c		170	16.5				156.185	122.605	68400	1480	20.9	3.08	2490	175
56a	560	166	12.5				135.435	106.316	65600	1370	22.0	3.18	2340	165
56b		168	14.5				146.635	115.108	68500	1490	21.6	3.16	2450	174
56c		170	16.5				157.835	123.900	71400	1560	21.3	3.16	2550	183
63a	630	176	13.0	22.0	15.0	7.5	154.658	121.407	93900	1700	24.5	3.31	2980	193
63b		178	15.0				167.258	131.298	98100	1810	24.2	3.29	3160	204
63c		180	17.0				179.858	141.189	102000	1920	23.8	3.27	3300	214

2.4.7 冷拔无缝方形钢管 (见表 1.4-30)

表 1.4-30 冷拔无缝方形钢管尺寸、截面面积、理论质量及截面特性 (摘自 GB/T 3094—2000)



D-1 方形钢管

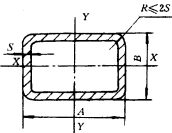
基 本 尺 寸		截面面积	理论质量	惯性矩	截面系数	基 本 尺 寸		截面面积	理论质量	惯性矩	截面系数
A	s	S	G	$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	A	s	S	G	$I_x = I_y$	$W_x = W_y$
mm		/cm ²	/kg·m ⁻¹	/cm ⁴	/cm ³	mm		/cm ²	/kg·m ⁻¹	/cm ⁴	/cm ³
12	0.8	0.348	0.273	0.0739	0.123	36	2.5	3.24	2.55	6.18	3.43
	1.0	0.423	0.332	0.0873	0.146		3	3.81	2.99	7.07	3.93
14	1.0	0.503	0.394	0.144	0.206		3.5	4.34	3.41	7.87	4.37
	1.5	0.712	0.559	0.192	0.274		4	4.85	3.81	8.56	4.76
16	1.0	0.583	0.458	0.222	0.278		5	5.75	4.53	9.70	5.39
	1.5	0.832	0.653	0.300	0.374	40	2.5	3.64	2.86	8.68	4.34
18	1.0	0.663	0.521	0.324	0.360		3	4.29	3.37	9.98	4.99
	1.5	0.952	0.747	0.442	0.491		3.5	4.90	3.85	11.16	5.58
	2.0	1.21	0.952	0.535	0.595		4	5.49	4.31	12.21	6.11
20	1.0	0.743	0.583	0.453	0.453		5	6.58	5.16	13.98	6.99
	1.5	1.07	0.841	0.624	0.624		6	7.55	5.93	15.34	7.67
	2.0	1.37	1.08	0.763	0.763	42	2.5	3.84	3.02	10.15	4.83
	2.5	1.64	1.29	0.874	0.874		3	4.53	3.55	11.70	5.57
22	1	0.823	0.646	0.612	0.556		3.5	5.18	4.07	13.10	6.24
	1.5	1.19	0.936	0.850	0.773		4	5.81	4.56	14.37	6.84
	2	1.53	1.20	1.05	0.953		5	6.98	5.48	16.56	7.87
	2.5	1.84	1.45	1.21	1.10		6	8.03	6.30	18.22	8.58
25	2.5	2.14	1.68	1.86	1.49	45	3.5	5.60	4.40	16.43	7.30
	3	2.49	1.95	2.08	1.57		4	6.23	4.94	18.07	8.03
30	2.5	2.64	2.08	3.41	2.27		5	7.58	5.95	20.90	9.29
	3	3.01	2.42	3.86	2.58		6	8.75	6.87	23.19	10.31
	3.5	3.50	2.75	4.25	2.83		7	9.81	7.80	24.97	11.10
	4	3.89	3.05	4.58	3.05		8	10.8	8.44	26.30	11.59
32	2.5	2.84	2.23	4.21	2.63	50	4	7.09	5.56	25.56	10.22
	3	3.33	2.61	4.79	3.00		5	8.58	6.73	29.81	11.93
	3.5	3.78	2.97	5.29	3.31		6	9.95	7.81	33.35	13.34
	4	4.21	3.30	5.73	3.58		7	11.21	8.80	36.23	14.49
35	2.5	3.14	2.47	5.54	3.22	55	8	12.35	9.70	38.51	15.41
	3	3.69	2.89	6.45	3.68		4	7.89	6.19	34.87	12.58
	3.5	4.20	3.30	7.16	4.09		5	9.58	7.52	40.95	14.89
	4	4.69	3.68	7.78	4.45		6	11.15	8.75	46.13	16.77
	5	5.58	4.38	8.79	5.02		7	12.51	9.90	50.47	18.35
							8	13.95	10.95	54.04	19.65

(续)

基 本 尺 寸		截面面积	理论质量	惯性矩	截面系数	基 本 尺 寸		截面面积	理论质量	惯性矩	截面系数
A	s	S	G	$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	A	s	S	G	$I_x = I_y$	$W_x = W_y$
mm		/cm ²	/kg·m ⁻¹	/cm ⁴	/cm ³	mm		/cm ²	/kg·m ⁻¹	/cm ⁴	/cm ³
60	4	8.69	6.82	46.21	15.4	100	5	18.58	14.58	282.8	56.57
	5	10.58	8.30	54.57	18.19		6	21.95	17.23	328.2	65.54
	6	12.35	9.69	61.82	20.61		7	25.21	19.79	370.2	74.04
	7	14.01	11.00	68.03	22.68		8	28.35	22.26	408.9	81.78
	8	15.55	12.21	73.28	24.43						
65	4	9.49	7.45	59.78	18.39	108	4.5	18.11	14.22	318.52	65.46
	5	11.58	9.07	70.92	21.82		5.0	19.96	15.67	346.99	72.14
	6	13.55	10.64	80.72	24.84		6.0	23.55	18.49	400.07	85.13
	7	15.41	12.10	89.27	27.46		7.0	27.02	21.21	448.15	97.61
	8	17.15	13.47	96.64	29.74		8.0	30.35	23.82	491.42	109.56
70	4	10.29	8.08	75.78	21.65		10.0	36.62	28.75	564.27	131.84
	5	12.58	9.87	90.26	25.79		12.0	42.37	33.26	620.05	151.91
	6	14.7	11.58	103.1	29.47		12.5	43.73	34.33	631.48	156.57
	7	16.81	13.19	114.5	32.72		14.0	47.59	37.36	660.12	169.71
	8	18.75	14.72	124.5	35.57		16.5	53.38	41.90	690.13	188.75
75	4	11.09	8.70	94.4	25.17		18.0	56.46	44.32	698.50	198.48
	5	13.58	10.66	112.8	30.08	110	4.5	18.47	14.50	337.63	68.00
	6	15.95	12.52	129.4	34.50		5.0	20.36	15.98	367.95	74.95
	7	18.21	14.29	144.2	38.44		6.0	24.03	18.86	424.57	88.48
	8	20.35	15.98	157.3	41.94		7	28.01	21.99	503.4	91.54
80	4	11.89	9.33	115.9	28.96		8	31.55	24.77	557.9	101.4
	5	14.58	11.44	138.9	34.72		9	34.98	27.46	608.4	110.6
	6	17.15	13.46	159.7	39.93		10.0	37.42	29.37	600.90	137.26
	7	19.61	15.39	178.5	44.63		12.0	43.33	34.01	661.57	158.30
	8	21.95	17.23	195.4	48.85		14.0	48.71	38.24	705.79	177.05
92	5	16.98	13.33	217.1	47.19		16.0	53.57	42.05	734.96	193.47
	6	20.03	15.72	251.1	54.59		18.0	57.90	45.45	750.37	207.58
	7	22.97	18.03	282.3	61.38						
	8	25.79	20.25	310.9	67.58						

2.4.8 冷拔无缝矩形钢管(见表 1.4-31)

表 1.4-31 冷拔无缝矩形钢管尺寸、截面面积、理论质量及截面特性(摘自 GB/T 3094—2000)



D-2 矩形钢管

基 本 尺 寸			截面面积	理论质量	惯性矩		截面系数	
A	B	s			I_x	I_y	W_x	W_y
mm					S/cm^2	$G/\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	cm^4	
10	5	0.8	0.203	0.160	0.0074	0.0239	0.0297	0.0478
		1	0.243	0.191	0.0082	0.0270	0.0329	0.0547

(续)

基 本 尺 寸			截面面积	理论质量	惯性矩		截面系数	
A	B	s			I_x	I_y	W_x	W_y
mm					S/cm^2	$/\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	cm^4	
12	5	0.8	0.235	0.185	0.0088	0.0388	0.0354	0.0646
		1	0.283	0.222	0.0099	0.0449	0.0395	0.0748
	6	0.8	0.251	0.197	0.0139	0.0438	0.0462	0.0730
		1	0.303	0.238	0.0157	0.0509	0.0524	0.0849
14	6	0.8	0.283	0.223	0.0160	0.0654	0.0535	0.0935
		1	0.343	0.269	0.0182	0.0767	0.0608	0.110
		1.5	0.471	0.370	0.0215	0.0973	0.0715	0.139
	7	0.8	0.299	0.235	0.0233	0.0724	0.0665	0.104
		1	0.363	0.285	0.0268	0.0852	0.0765	0.122
		1.5	0.501	0.394	0.0324	0.109	0.0927	0.156
	10	0.8	0.347	0.273	0.0545	0.0934	0.109	0.133
		1	0.423	0.332	0.0640	0.111	0.128	0.158
		1.5	0.591	0.464	0.0818	0.144	0.164	0.206
		2	0.731	0.574	0.0925	0.167	0.185	0.238
15	6	0.8	0.299	0.235	0.0171	0.0784	0.0571	0.105
		1	0.363	0.285	0.0195	0.0922	0.0651	0.123
		1.5	0.501	0.394	0.0230	0.118	0.0768	0.157
		2	0.611	0.480	0.0240	0.133	0.0799	0.177
16	8	0.8	0.347	0.273	0.0362	0.111	0.0905	0.139
		1	0.423	0.332	0.0421	0.132	0.105	0.165
		1.5	0.591	0.464	0.0525	0.173	0.131	0.216
		2	0.731	0.574	0.0579	0.200	0.145	0.250
	12	0.8	0.411	0.323	0.0941	0.148	0.157	0.186
		1	0.503	0.395	0.112	0.177	0.186	0.222
		1.5	0.711	0.559	0.147	0.236	0.244	0.295
		2	0.891	0.700	0.170	0.279	0.284	0.349
18	9	0.8	0.395	0.310	0.0532	0.162	0.118	0.180
		1	0.483	0.379	0.0624	0.194	0.139	0.215
		1.5	0.681	0.535	0.0796	0.258	0.177	0.287
		2	0.851	0.668	0.0897	0.304	0.199	0.337
	10	0.8	0.411	0.323	0.0680	0.174	0.136	0.194
		1	0.503	0.395	0.0802	0.208	0.161	0.231
		1.5	0.711	0.559	0.1037	0.278	0.207	0.309
		2	0.891	0.700	0.119	0.329	0.237	0.366
	14	0.8	0.475	0.373	0.149	0.222	0.213	0.246
		1	0.583	0.458	0.178	0.266	0.255	0.296
		1.5	0.831	0.653	0.239	0.360	0.341	0.400
		2	1.051	0.825	0.283	0.432	0.404	0.480
20	8	0.8	0.411	0.323	0.0445	0.197	0.111	0.197
		1	0.503	0.395	0.0520	0.236	0.130	0.236
		1.5	0.711	0.559	0.0654	0.315	0.164	0.315
		2	0.891	0.700	0.0728	0.373	0.182	0.373
	10	0.8	0.443	0.348	0.0748	0.227	0.150	0.227
		1	0.543	0.426	0.0884	0.272	0.177	0.272
		1.5	0.771	0.606	0.115	0.367	0.229	0.367
		2	0.971	0.763	0.132	0.438	0.263	0.438
	12	0.8	0.475	0.373	0.114	0.256	0.190	0.256
		1	0.583	0.458	0.136	0.308	0.226	0.308
		1.5	0.831	0.653	0.180	0.418	0.300	0.418
		2	1.05	0.825	0.211	0.503	0.352	0.503
		2.5	1.24	0.976	0.231	0.565	0.385	0.565

(续)

基 本 尺 寸			截面面积	理论质量	惯性矩		截面系数	
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>s</i>			<i>I_x</i>	<i>I_y</i>	<i>W_x</i>	<i>W_y</i>
mm					<i>S</i> /cm ²	/kg·m ⁻¹	cm ⁴	
22	9	0.8	0.459	0.361	0.0640	0.271	0.142	0.246
		1	0.563	0.442	0.0753	0.325	0.167	0.295
		1.5	0.801	0.629	0.0967	0.440	0.215	0.400
		2	1.011	0.794	0.110	0.527	0.244	0.479
		2.5	1.19	0.936	0.117	0.589	0.259	0.536
	14	0.8	0.539	0.423	0.177	0.361	0.253	0.328
		1	0.663	0.520	0.212	0.435	0.303	0.396
		1.5	0.951	0.746	0.286	0.598	0.408	0.543
		2	1.21	0.951	0.341	0.727	0.487	0.661
		2.5	1.44	1.13	0.381	0.828	0.544	0.753
24	12	0.8	0.539	0.423	0.134	0.403	0.224	0.336
		1	0.663	0.520	0.160	0.487	0.267	0.406
		1.5	0.951	0.747	0.213	0.669	0.355	0.557
		2	1.21	0.951	0.252	0.815	0.419	0.679
		2.5	1.44	1.13	0.277	0.928	0.462	0.774
25	10	0.8	0.523	0.411	0.0918	0.399	0.184	0.320
		1	0.643	0.505	0.109	0.482	0.217	0.386
		1.5	0.921	0.723	0.142	0.660	0.284	0.528
		2	1.17	0.920	0.164	0.802	0.329	0.642
		2.5	1.39	1.09	0.178	0.910	0.355	0.728
	15	1	0.743	0.583	0.279	0.626	0.372	0.501
		1.5	1.07	0.841	0.379	0.868	0.505	0.694
		2	1.37	1.08	0.457	1.07	0.609	0.854
		2.5	1.64	1.29	0.515	1.23	0.687	0.983
28	11	1	0.723	0.567	0.151	0.683	0.274	0.488
		1.5	1.04	0.818	0.200	0.945	0.363	0.675
		2	1.33	1.05	0.235	1.16	0.426	0.828
		2.5	1.59	1.25	0.257	1.33	0.468	0.951
	14	1	0.783	0.615	0.263	0.792	0.376	0.566
		1.5	1.13	0.888	0.356	1.10	0.509	0.788
		2	1.45	1.14	0.428	1.36	0.612	0.973
		2.5	1.74	1.37	0.482	1.58	0.688	1.13
	16	1	0.823	0.646	0.357	0.865	0.447	0.618
		1.5	1.19	0.935	0.489	1.21	0.612	0.863
		2	1.53	1.20	0.595	1.50	0.743	1.07
		2.5	1.84	1.45	0.676	1.74	0.845	1.24
	22	1	0.943	0.740	0.744	1.08	0.677	0.774
		1.5	1.37	1.08	1.04	1.52	0.945	1.09
		2	1.77	1.39	1.29	1.90	1.17	1.36
		2.5	2.14	1.68	1.50	2.23	1.36	1.59
3		2.49	1.95	1.67	2.50	1.52	1.79	
3.5		2.80	2.20	1.80	2.72	1.64	1.94	
30	12	1.5	1.13	0.888	0.263	1.19	0.439	0.796
		2	1.45	1.14	0.312	1.48	0.520	0.984
		2.5	1.74	1.37	0.347	1.71	0.578	1.14
		3	2.01	1.57	0.369	1.89	0.614	1.26
32	13	1.5	1.22	0.959	0.339	1.48	0.521	0.927
		2	1.57	1.23	0.406	1.84	0.624	1.15
		2.5	1.90	1.49	0.454	2.14	0.699	1.34
		3	2.19	1.72	0.488	2.39	0.751	1.49

(续)

基 本 尺 寸			截面面积	理论质量	惯性矩		截面系数	
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>s</i>			<i>I_x</i>	<i>I_y</i>	<i>W_x</i>	<i>W_y</i>
mm					<i>S</i> /cm ²	/kg · m ⁻¹	cm ⁴	
32	16	1.5	1.31	1.03	0.553	1.69	0.691	1.07
		2	1.69	1.33	0.674	2.11	0.842	1.32
		2.5	2.04	1.60	0.768	2.47	0.961	1.54
		3	2.37	1.86	0.840	2.77	1.05	1.73
	25	1.5	1.58	1.24	1.57	2.32	1.26	1.45
		2	2.05	1.61	1.97	2.92	1.58	1.83
		2.5	2.49	1.96	2.31	3.45	1.85	2.16
		3	2.91	2.28	2.60	3.91	2.08	2.44
35	14	1.5	1.34	1.05	0.439	1.96	0.627	1.12
		2	1.73	1.36	0.530	2.45	0.757	1.40
		2.5	2.09	1.64	0.599	2.86	0.856	1.64
		3	2.43	1.90	0.649	3.21	0.928	1.84
		3.5	2.73	2.14	0.683	3.50	0.975	2.00
36	18	1.5	1.49	1.17	0.811	2.46	0.901	1.37
		2	1.93	1.52	0.998	3.10	1.11	1.72
		2.5	2.34	1.84	1.15	3.65	1.28	2.03
		3	2.73	2.14	1.27	4.13	1.41	2.29
		3.5	3.08	2.42	1.37	4.53	1.52	2.51
	28	2	2.33	1.83	2.85	4.26	2.04	2.36
37	15	2	1.85	1.45	0.661	2.96	0.881	1.60
		2.5	2.24	1.76	0.753	3.47	1.00	1.88
		3	2.61	2.05	0.821	3.91	1.09	2.12
		3.5	2.94	2.31	0.870	4.28	1.16	2.31
		4	3.25	2.55	0.901	4.58	1.20	2.48
40	16	2	2.01	1.58	0.832	3.77	1.04	1.89
		2.5	2.44	1.92	0.953	4.46	1.19	2.23
		3	2.85	2.23	1.05	5.05	1.31	2.52
		3.5	3.22	2.53	1.12	5.55	1.40	2.77
		4	3.57	2.80	1.16	5.97	1.46	2.98
	20	2	2.17	1.70	1.41	4.35	1.41	2.18
		2.5	2.64	2.07	1.64	5.16	1.64	2.58
		3	3.09	2.42	1.83	5.87	1.83	2.93
		3.5	3.50	2.75	1.99	6.48	1.99	3.24
		4	3.86	3.05	2.11	7.01	2.11	3.50
	25	2	2.37	1.86	2.39	5.07	1.91	2.54
		2.5	2.89	2.27	2.82	6.04	2.25	3.02
		3	3.39	2.66	3.18	6.90	2.54	3.45
		3.5	3.85	3.02	3.49	7.65	2.79	3.83
		4	4.29	3.36	3.75	8.31	2.99	4.15
	42	30	2	2.65	2.08	3.83	6.53	2.55
45	30	2	2.77	2.18	4.07	7.73	2.71	3.44
		2.5	3.39	2.66	4.83	9.26	3.22	4.12
		3	3.99	3.13	5.51	10.65	3.57	4.73
		3.5	4.55	3.57	6.11	11.90	4.07	5.29
		4	5.09	3.99	6.62	13.01	4.42	5.78
48	30	2	2.89	2.27	4.30	9.06	2.87	3.77
		2.5	3.54	2.78	5.12	10.87	3.41	4.53

(续)

基 本 尺 寸			截面面积	理论质量	惯性矩		截面系数	
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>s</i>			<i>I_x</i>	<i>I_y</i>	<i>W_x</i>	<i>W_y</i>
mm					<i>S</i> /cm ²	/kg·m ⁻¹	cm ⁴	
50	32	2	3.05	2.40	5.18	10.48	3.24	4.19
		2.5	3.74	2.94	6.18	12.60	3.86	5.04
		3	4.41	3.46	7.07	14.55	4.42	5.82
55	38	2	3.49	2.74	8.36	14.93	4.40	5.43
		2.5	4.29	3.37	10.04	18.03	5.29	6.56
		3	5.07	3.98	11.58	20.91	6.09	7.60
		3.5	5.81	4.56	12.97	23.57	6.83	8.57
		4	6.53	5.12	14.23	26.01	7.49	9.46
60	40	3.5	6.30	4.95	15.84	30.41	7.92	10.14
		4	7.09	5.56	17.42	33.66	8.71	11.22
		5	8.57	6.73	20.15	39.41	10.07	13.14
70	50	4	8.69	6.82	34.05	58.35	13.52	16.67
		5	10.57	8.30	39.98	69.11	15.99	19.75
		6	12.34	9.69	45.04	78.51	18.02	22.43
		7	14.00	10.99	49.29	86.64	19.71	24.75
80	60	4	10.29	8.07	58.79	92.76	19.60	23.19
		5	12.57	9.87	69.75	110.7	23.25	27.68
		6	14.74	11.57	79.40	126.8	26.47	31.70
		7	16.80	13.19	87.81	141.1	29.27	35.28
90	60	4	11.09	8.70	65.07	123.7	21.59	27.48
		5	13.57	10.65	77.33	148.2	25.78	32.93
		6	15.94	12.52	88.18	170.4	29.39	37.86
		7	18.20	14.29	97.70	190.3	32.57	42.30
100	70	5	15.57	12.22	122.0	215.2	34.86	43.04
		6	18.34	14.40	140.1	248.6	40.04	49.73
		7	21.00	16.48	156.4	279.3	44.68	55.86
		8	23.54	18.48	170.9	307.1	48.83	61.43
110	75	5	17.07	13.40	155.8	285.8	41.54	51.96
		6	20.14	15.81	179.5	331.4	47.87	60.25
		7	23.10	18.13	201.0	373.4	53.61	67.89
		8	25.94	20.36	220.4	412.1	58.79	74.92
120	80	6	21.94	17.22	225.6	430.6	56.40	71.76
		7	25.20	19.78	253.4	486.6	63.35	81.10
		8	28.34	22.25	278.7	538.5	69.67	89.75
		9	31.37	24.63	301.6	586.5	75.41	97.74
130	85	6	23.74	18.64	278.9	547.8	65.63	84.28
		7	27.30	21.43	314.07	620.5	73.90	95.47
		8	30.74	24.13	346.3	688.4	81.49	105.9
		9	34.07	26.75	375.8	751.6	88.43	115.6
140	80	7	28.00	21.98	290.8	715.1	72.70	102.2
		8	31.54	24.76	320.3	794.1	80.08	113.4
		9	34.97	27.45	347.3	867.8	86.81	124.0
		10	38.29	30.05	371.7	936.4	92.92	133.8
150	75	7	28.70	22.53	266.0	814.6	70.93	108.6
		8	32.34	25.39	292.6	905.3	78.03	120.7
		9	35.87	28.16	316.8	990.1	84.47	132.0

2.4.9 无缝钢管(见表 1.4-32、表 1.4-33)

表 1.4-32 普通无缝钢管的尺寸规格(摘自 GB/T 17395—2008) (mm)

外 径			壁厚尺寸	外 径			壁厚尺寸	
系列 1	系列 2	系列 3		系列 1	系列 2	系列 3		
	6		0.25 ~ 2.0	89(88.9)	95		1.4 ~ 24	
	7,8		0.25 ~ 2.5 (2.6)		102(101.6)		1.4 ~ 28	
						108	1.4 ~ 30	
				114(114.3)			1.5 ~ 30	
	9		0.25 ~ 2.8		121		1.5 ~ 32	
10(10.2)	11		0.25 ~ 3.5 (3.6)		133		2.5(2.6) ~36	
13.5	12,13(12.7)	14	0.25 ~ 4.0	140(139.7)		142(141.3)	2.9(3.0) ~36	
17(17.2)	16	18	0.25 ~ 5.0					
	19,20		0.25 ~ 6.0		146	152(152.4)	2.9(3.0) ~40	
21(21.3)		22	0.40 ~ 6.0					
27(26.9)	25,28	25.4	0.40 ~ 7.0 (7.1)	168(168.3)		159	3.5(3.6) ~45	
34(33.7)	32(31.8)	30	0.40 ~ 8.0			180(177.8) 194(193.7)	3.5(3.6) ~50	
		35	0.40 ~ 9.0 (8.8)		203		3.5(3.6) ~55	
	38,40		0.40 ~ 10	219(219.1)			6.0 ~ 55	
42(42.4)			1.0 ~ 10			232, 245(244.5) 267(267.4)	6.0 ~ 65	
48(48.3)	51	45(44.5)	1.0 ~ 12 (12.5)				6.5(6.3) ~65	
	57	54	1.0 ~ 14 (14.2)	273			7.5 ~ 65	
60(60.3)	63(65.5), 65,68		1.0 ~ 16	325(323.9)	209		8.0 ~ 65	
					340(339.7) 351			
	70		1.0 ~ 17 (17.5)	356(355.6) 406(406.4) 457 508 610	377 402 426 450 480 500 530 630	560(559) 660	9.0(8.8) ~65	
		73	1.0 ~ 19					
76(76.1)			1.0 ~ 20					
	77,80		1.4 ~ 20					
	85	83(82.5)	1.4 ~ 22 (22.2)					

壁厚尺寸系列: 0.25、0.30、0.40、0.50、0.60、0.80、1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0、2.2 (2.1)、2.5 (2.6)、2.8、2.9 (3.0)、3.2、3.5 (3.6)、4.0、4.5、5.0、5.4 (5.5)、6.0、6.3 (6.5)、7.0 (7.1)、7.5、8.0、8.5、8.8 (9.0)、9.5、10、11、12 (12.5)、13、14 (14.2)、15、16、17 (17.5)、18、19、20、22 (22.2)、24、25、26、28、30、32、34、36、38、40、42、45、48、50、55、60、65。

注: 1. 系列 1 为通用系列, 是推荐选用的系列; 系列 2 是非通用系列; 系列 3 是少数特殊、专用系列。

2. 无缝钢管通常长度为 3000 ~ 12500mm, 定尺长度和倍尺长度均应在通常长度范围内。

表 1.4-33 结构用无缝钢管（GB/T 8162—2008）和输送流体用无缝钢管（GB/T 8163—2008）规格、牌号及力学性能

优质碳素结构钢和低合金高强度结构钢钢管的牌号及交货状态力学性能（GB/T 8162 为全部牌号，GB/T 8163 为 * 号者牌号）								
牌号	质量等级	抗拉强度 R_m /MPa	下屈服强度 R_{eL} /MPa			断后 伸长率 A （%）	冲击试验	
			壁厚/mm				温度 /℃	KV_2 /J
			≤16	> 16 ~ 30	> 30			
			不小于					
10 *	—	≥335	205	195	185	24	—	—
15	—	≥375	225	215	205	22	—	—
20 *	—	≥410	245	235	225	20	—	—
25	—	≥450	275	265	255	18	—	—
35	—	≥510	305	295	285	17	—	—
45	—	≥590	335	325	315	14	—	—
20Mn	—	≥450	275	265	255	20	—	—
25Mn	—	≥490	295	285	275	18	—	—
Q235	A	375 ~ 500	235	225	215	25	—	27
	B						+ 20	
	C						0	
	D						− 20	
Q275	A	415 ~ 540	275	265	255	22	—	27
	B						+ 20	
	C						0	
	D						− 20	
Q295 *	A	390 ~ 570	295	275	255	22	—	—
	B						+ 20	34
Q345 *	A	470 ~ 630	345	325	295	20	—	34
	B					+ 20		
	C					0		
	D					− 20	27	
	E					− 40		
Q390 *	A	490 ~ 650	390	370	350	18	—	—
	B					+ 20	34	
	C					0		
	D					− 20		
	E					− 40	27	
Q420 *	A	520 ~ 680	420	400	380	18	—	—
	B					+ 20	34	
	C					0		
	D					− 20		
	E					− 40	27	
Q460 *	C	550 ~ 720	460	440	420	17	—	34
	D						− 20	
	E						− 40	27

(续)

GB/T 8162 合金结构钢钢管的牌号及纵向力学性能

40Mn2、45Mn2、27SiMn、40MnB、45MnB、20Mn2B、20Cr、30Cr、35Cr、40Cr、45Cr、50Cr、38CrSi、12CrMo、15CrMo、20CrMo、35CrMo、42CrMo、12CrMoV、12Cr1MoV、38CrMoAl、50CrVA、20CrMn、20CrMnSi、30CrMnSi、35CrMnSiA、20CrMnTi、30CrMnTi、12CrNi2、12CrNi3、12Cr2Ni4、40CrNiMoA、45CrNiMoVA；除 35CrMnSiA 之外，上述牌号的力学性能抗拉强度 R_m 、下屈服强度 R_{eL} 、断后伸长率 A 及布氏硬度 4 项指标应符合 GB/T 3077 合金结构钢相应牌号的规定值。35CrMnSiA 的 R_m 不小于 1620MPa、 A 不小于 9%、退火或高温回火交货状态布氏硬度不大于 229HBW

注：钢管尺寸规格见表 1.4-32。

2.4.10 焊接钢管（见表 1.4-34 ~ 表 1.4-36）**表 1.4-34 焊接钢管尺寸**（摘自 GB/T 21835—2008）

(mm)

外径				壁厚				壁厚				壁厚				壁厚			
系列 1	系列 2	系列 3	壁厚	系列 1	系列 2	系列 3	壁厚	系列 1	系列 2	系列 3	壁厚	系列 1	系列 2	系列 3	壁厚	系列 1	系列 2	系列 3	壁厚
	8		0.3 ~ 1.2	26.9			0.5 ~ 4.5		70		0.8 ~ 6.0	273.1			2.0 ~ 14				
		9.5	0.3 ~ 1.2			28	0.5 ~ 4.5	76.1			0.8 ~ 6.0	323.9			2.5 ~ 16				
	10		0.3 ~ 1.4			30	0.5 ~ 4.5			80	1.2 ~ 8.0	355.6			2.5 ~ 16				
10.2			0.3 ~ 2.0		31.8		0.5 ~ 4.5			82.5	1.2 ~ 8.0			377	2.5 ~ 16				
	12		0.3 ~ 2.0		32		0.5 ~ 4.5	88.9			1.2 ~ 8.0			400	2.5 ~ 20				
	12.7		0.3 ~ 2.0	33.7			0.8 ~ 5.0		101.6		1.2 ~ 8.0	406.4			2.5 ~ 20				
13.5			0.5 ~ 3.0			35	0.8 ~ 5.0			102	1.2 ~ 8.0			426	2.8 ~ 25				
		14	0.5 ~ 3.5			36	0.8 ~ 5.0			108	1.6 ~ 8.0			450	2.8 ~ 25				
		15	0.5 ~ 3.5		38		0.8 ~ 5.0	114.3			1.6 ~ 8.0	457			2.8 ~ 28				
	16		0.5 ~ 3.5		40		0.8 ~ 5.5			125	1.6 ~ 10			500	2.8 ~ 28				
17.2			0.5 ~ 3.5	42.4			0.8 ~ 5.5			133	1.6 ~ 10	508			2.8 ~ 28				
		18	0.5 ~ 3.5			44.5	0.8 ~ 5.5	139.7			1.6 ~ 11			530	2.8 ~ 28				
	19		0.5 ~ 3.5	48.3			0.8 ~ 5.5			141.3	1.6 ~ 12			550	2.8 ~ 28				
		19.5	0.5 ~ 3.5		50.8		0.8 ~ 6.0			154	1.6 ~ 12			558.8	2.8 ~ 28				
	20		0.5 ~ 3.5			54	0.8 ~ 6.0			159	1.6 ~ 12			600	3.2 ~ 28				
21.3			0.5 ~ 4.2		57		0.8 ~ 6.0	168.3			1.6 ~ 12	610			3.2 ~ 28				
		22	0.5 ~ 4.2	60.3			0.8 ~ 6.0			193.7	1.6 ~ 12			630	3.2 ~ 28				
	25		0.5 ~ 4.2			63	0.8 ~ 6.0	219.1			1.6 ~ 14			660	3.2 ~ 28				
		25.4	0.5 ~ 4.2		63.5		0.8 ~ 6.0			250	1.6 ~ 14	711			3.2 ~ 28				
壁厚尺寸系列				0.3 ~ 1.0 (0.1 进级)、1.2、1.4、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2 (2.3)、2.5 (2.6)、2.8 (2.9)、3.0、3.2、3.5 (3.6)、4.0、4.2、4.5 (4.6)、4.8、5.0、5.5 (5.6)、6.0、6.5 (6.3)、7.0 (7.1)、7.5、8.0、8.5、9.0 (8.8)、9.5、10、11、12 (12.5)、14 (14.2)、15、16、17 (17.5)、18、20、22 (22.2)、24、25、26、28															

注：1. GB/T 21835 规定的外径 762 ~ 1829mm 共 16 个大尺寸规格未编入本表。

2. 系列 1 为通用系列，推荐选用；系列 2 为非通用系列；系列 3 为少数特殊、专用系列。

表 1.4-35 流体输送用不锈钢焊接钢管牌号及力学性能（摘自 GB/T 12771—2008）

新牌号	旧牌号	规定非比例延伸 强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)
		热处理状态		
		不小于		
12Cr18Ni9	1Cr18Ni9	210	520	35 (非热处理状 态为 25)
06Cr19Ni10	0Cr18Ni9	210	520	
022Cr19Ni10	00Cr19Ni10	180	480	
06Cr25Ni20	0Cr25Ni20	210	520	
06Cr17Ni12Mo2	0Cr17Ni12Mo2	210	520	
022Cr17Ni12Mo2	00Cr17Ni14Mo2	180	480	
06Cr18Ni11Ti	0Cr18Ni10Ti	210	520	
06Cr18Ni11Nb	0Cr18Ni11Nb	210	520	
022Cr18Ti	00Cr17	180	360	20
019Cr19Mo2NbTi	00Cr18Mo2	240	410	
06Cr13Al	0Cr13Al	177	410	
022Cr11Ti	—	275	400	18
022Cr12Ni	—	275	400	18
06Cr13	0Cr13	210	410	20

注：钢管尺寸规格见表 1.4-34。

表 1.4-36 低压流体输送焊接钢管牌号及力学性能（GB/T 3091—2008）

牌 号	下屈服强度 R_{eL}/MPa		抗拉强度 R_{m} / $(\text{N} \cdot \text{mm}^{-1})$	断后伸长率 A (%)	
	$\geq$			$\geq$	
	$t \leq 16\text{mm}$	$t > 16\text{mm}$	$\geq$	$D \leq 168.3\text{mm}$	$D > 168.3\text{mm}$
Q195	195	185	315	15	20
Q215A、Q215B	215	205	335		
Q235A、Q235B	235	225	370		
Q295A、Q295B	295	275	390	13	18
Q345A、Q345B	345	325	470		

注：钢管尺寸规格见表 1.4-34。

2.4.11 冷轧钢板和钢带及热轧钢板和钢带（见表 1.4-37、表 1.4-38）

表 1.4-37 冷轧钢板和钢带尺寸规格（摘自 GB/T 708—2006）

尺寸规格的规定	1. 钢板和钢带（包括纵切钢带）的公称厚度范围为 0.30 ~ 4.00mm，公称厚度小于 1mm 者，按 0.05mm 倍数的任何尺寸；公称厚度不小于 1mm 者，按 0.1mm 倍数的任何尺寸 2. 钢板和钢带公称宽度范围为 600 ~ 2050mm，按 10mm 倍数的任何尺寸 3. 钢板公称长度范围为 1000 ~ 6000mm，按 50mm 倍数的任何尺寸 4. 按需方要求可供应其他尺寸规格的产品
---------	---

(续)

厚度允许偏差 /mm	公称厚度	厚度允许偏差					
		普通精度 PT. A			较高精度 PT. B		
		公称宽度			公称宽度		
		≤1 200	>1 200 ~ 1 500	>1 500	≤1 200	>1 200 ~ 1 500	>1 500
	≤0. 40	±0. 04	±0. 05	±0. 06	±0. 025	±0. 035	±0. 045
	>0. 40 ~ 0. 60	±0. 05	±0. 06	±0. 07	±0. 035	±0. 045	±0. 050
	>0. 60 ~ 0. 80	±0. 06	±0. 07	±0. 08	±0. 040	±0. 050	±0. 050
	>0. 80 ~ 1. 00	±0. 07	±0. 08	±0. 09	±0. 045	±0. 060	±0. 060
	>1. 00 ~ 1. 20	±0. 08	±0. 09	±0. 10	±0. 055	±0. 070	±0. 070
	>1. 20 ~ 1. 60	±0. 10	±0. 11	±0. 11	±0. 070	±0. 080	±0. 080
	>1. 60 ~ 2. 00	±0. 12	±0. 13	±0. 13	±0. 080	±0. 090	±0. 090
	>2. 00 ~ 2. 50	±0. 14	±0. 15	±0. 15	±0. 100	±0. 110	±0. 110
	>2. 50 ~ 3. 00	±0. 16	±0. 17	±0. 17	±0. 110	±0. 120	±0. 120
	>3. 00 ~ 4. 00	±0. 17	±0. 19	±0. 19	±0. 140	±0. 150	±0. 150

- 注：1. GB/T 708—2006 适用于轧制宽度不小于 600mm 的冷轧宽钢带及其剪切钢板、纵切钢带。
2. 规定的最小屈服强度小于 280MPa 的钢板和钢带的厚度，允许偏差符合本表规定。
3. 规定的最小屈服强度为 280MPa ~ 360MPa 的钢板和钢带的厚度允许偏差比本表规定值增加 20%；规定的最小屈服强度为不小于 360MPa 的钢板和钢带的厚度允许偏差比本表规定值增加 40%。
4. 冷轧钢板钢带的宽度允许偏差、长度允许偏差、平面度等其他技术要求，应符合 GB/T 708—2006 的规定。

表 1.4-38 热轧钢板和钢带尺寸规格（摘自 GB/T 709—2006）

单轧钢板尺寸规格			钢板和钢带厚度允许偏差的规定				
项目	尺寸范围/mm	推荐的公称尺寸	单张轧制钢板（单轧板）厚度允许偏差分为 N、A、B、C 四类，单轧板厚度允许偏差按 N 类规定。A、B、C 类公差值和 N 类公差值相等，但正负偏差分布不同，参见原标准，采用 A、B、C 类应在合同中注明				
公称厚度	3 ~ 400	厚度小于 30mm 的钢板按 0.5mm 倍数的任何尺寸；厚度大于或等于 30mm 的钢板按 1mm 倍数的任何尺寸	钢带和连轧钢板的厚度偏差分为普通级精度（PT. A）和较高级精度（PT. B），其偏差值见原标准，需方要求较高厚度精度供货时应在合同中注明，未注明者按普通级精度供货				
公称宽度	600 ~4800	宽度按 10mm 或 50mm 倍数的任何尺寸	单轧钢板厚度 N 类允许偏差（A 类：按公称厚度规定负偏差；B 类：固定负偏差为 0.3mm；C 类：固定负偏差为零；公差值与 N 类相等）				
公称长度	2000 ~20000	长度按 50mm 或 100mm 倍数的任何尺寸	公称厚度 /mm	下列公称宽度的厚度允许偏差/mm			
钢带和连轧钢板尺寸规格				≤1500	>1500 ~ 2500	>2500 ~ 4000	>4000 ~ 4800
项目	尺寸范围/mm	推荐的公称尺寸	3.00 ~ 5.00	±0.45	±0.55	±0.65	—
公称厚度	0.8 ~25.4	厚度 0.1mm 倍数的任何尺寸	>5.00 ~ 8.00	±0.50	±0.60	±0.75	—
			>8.00 ~ 15.0	±0.55	±0.65	±0.80	±0.90
公称宽度	600 ~2200 纵切钢带为 120 ~900	宽度按 10mm 倍数的任何尺寸	>15.0 ~ 25.0	±0.65	±0.75	±0.90	±1.10
			>25.0 ~ 40.0	±0.70	±0.80	±1.00	±1.20
			>40.0 ~ 60.0	±0.80	±0.90	±1.10	±1.30
			>60.0 ~ 100	±0.90	±1.10	±1.30	±1.50
			>100 ~ 150	±1.20	±1.40	±1.60	±1.80
公称长度	2000 ~20000	长度按 50mm 或 100mm 倍数的任何尺寸	>150 ~ 200	±1.40	±1.60	±1.80	±1.90
			>200 ~ 250	±1.60	±1.80	±2.00	±2.20
			>250 ~ 300	±1.80	±2.00	±2.20	±2.40
			>300 ~ 400	±2.00	±2.20	±2.40	±2.60

2. 4. 12 不锈钢冷轧、热轧钢板和钢带（见表 1. 4-39、表 1. 4-40）

表 1. 4-39 固溶处理的不锈钢冷轧、热轧钢板和钢带牌号及力学性能
（摘自 GB/T 3280—2007、GB/T 4237—2007）

奥氏体型钢							
新牌号	旧牌号	规定非比例 延伸强度 $R_{p0.2}/\text{MPa}$	抗拉 强度 R_m/MPa	断后 伸长率 $A(\%)$	硬度值		
		不小于	不小于	不小于	HBW	HRB	HV
					不大于		
12Cr17Ni7	1Cr17Ni7	205	515	40	217	95	218
022Cr17Ni7		220	550	45	241	100	—
022Cr17Ni7N		240	550	45	241	100	—
12Cr18Ni9	1Cr18Ni9	205	515	40	201	92	210
12Cr18Ni9Si3	1Cr18Ni9Si3	205	515	40	217	95	220
06Cr19Ni10	0Cr18Ni9	205	515	40	201	92	210
022Cr19Ni10	00Cr19Ni10	170	485	40	201	92	210
07Cr19Ni10		205	515	40	201	92	210
05Cr19Ni10Si2NbN		290	600	40	217	95	—
06Cr19Ni10N	0Cr19Ni9N	240	550	30	201	92	220
06Cr19Ni9NbN	0Cr19Ni10NbN	345	685	35	250	100	260
022Cr19Ni10N	00Cr18Ni10N	205	515	40	201	92	220
10Cr18Ni12	1Cr18Ni12	170	485	40	183	88	200
06Cr23Ni13	0Cr23Ni13	205	515	40	217	95	220
06Cr25Ni20	0Cr25Ni20	205	515	40	217	95	220
022Cr25Ni22Mo2N		270	580	25	217	95	—
06Cr17Ni12Mo2	0Cr17Ni12Mo2	205	515	40	217	95	220
022Cr17Ni12Mo2	00Cr17Ni14Mo2	170	485	40	217	95	220
06Cr17Ni12Mo2Ti	0Cr18Ni12Mo3Ti	205	515	40	217	95	220
06Cr17Ni12Mo2Nb		205	515	30	217	95	—
06Cr17Ni12Mo2N	0Cr17Ni12Mo2N	240	550	35	217	95	220
022Cr17Ni12Mo2N	00Cr17Ni13Mo2N	205	515	40	217	95	220
06Cr18Ni12Mo2Cu2	0Cr18Ni12Mo2Cu2	205	520	40	187	90	200
015Cr21Ni26Mo5Cu2		220	490	35	—	90	—
06Cr19Ni13Mo3	0Cr19Ni13Mo3	205	515	35	217	95	220
022Cr19Ni13Mo3	00Cr19Ni13Mo3	205	515	40	217	95	220
022Cr19Ni16Mo5N		240	550	40	223	96	—
022Cr19Ni13Mo4N		240	550	40	217	95	—
06Cr18Ni11Ti	0Cr18Ni10Ti	205	515	40	217	95	220
015Cr24Ni22Mo8Mn3CuN		430	750	40	250	—	—
022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN		415	795	35	241	100	—
06Cr18Ni11Nb	0Cr18Ni11Nb	205	515	40	201	92	210
奥氏体、铁素体型钢							
14Cr18Ni11Si4AlTi	1Cr18Ni11Si4AlTi	—	715	25	—	—	
022Cr19Ni5Mo3Si2N	00Cr18Ni5Mo3Si2	440	630	25	290	31	
12Cr21Ni5Ti	1Cr21Ni5Ti	—/350	635	20	—	—	
022Cr22Ni5Mo3N		450	620	25	293	31	
022Cr23Ni5Mo3N		450	620	25	293	31	
022Cr23Ni4MoCuN		400	600	25	290	31	

(续)

奥氏体、铁素体型钢

新牌号	旧牌号	规定非比例 延伸强度 $R_{p0.2}/\text{MPa}$	抗拉 强度 R_m/MPa	断后 伸长率 $A(\%)$	硬度值		
					HBW	HRB	HV
					不大于		
022Cr25Ni6Mo2N		450	640	25	295	31/30	
022Cr25Ni7Mo4WCuN		550	750	25	270	—	
03Cr25Ni6Mo3Cu2N		550	760	15	302	32	
022Cr25Ni7Mo4N		550	795	15	310	32	

注：1. 冷轧钢板尺寸规格见表 1.4-37，热轧钢板尺寸规格见表 1.4-38。

2. 表格中“/”上边是冷轧钢板数据，“/”下边是热轧钢板数据。

表 1.4-40 经退火处理的不锈钢冷轧、热轧钢板和钢带牌号及力学性能

(摘自 GB/T 3280—2007、GB/T 4237—2007)

分类	新牌号	旧牌号	规定非比例 延伸强度	抗拉 强度	断后 伸长率	冷弯 180°	硬度值		
			$R_{p0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A(\%)$		HBW	HRB	HV
			不小于				不大于		
铁素 体型	06Cr13Al	0Cr13Al	170	415	20	$d=2a$	179	88	200
	022Cr11Ti		275	415	20	$d=2a$	197	92	200
	022Cr11NbTi		275	415	20	$d=2a$	197	92	200
	022Cr12Ni		280	450	18	—	180	88	—
	022Cr12	00Cr12	195	360	22	$d=2a$	183	88	200
	10Cr15	1Cr15	205	450	22	$d=2a$	183	89	200
	10Cr17	1Cr17	205	450	22	$d=2a$	183	89	200
	022Cr18Ti	00Cr17	175	360	22	$d=2a$	183	88	200
	10Cr17Mo	1Cr17Mo	240	450	22	$d=2a$	183	89	200
	019Cr18MoTi		245	410	20	$d=2a$	217	96	230
	022Cr18NbTi		250	430	18	—	180	88	—
	019Cr19Mo2NbTi	00Cr18Mo2	275	415	20	$d=2a$	217	96	230
	008Cr27Mo	00Cr27Mo	245	410	22	$d=2a$	190	90	200
	008Cr30Mo2	00Cr30Mo2	295	450	22	$d=2a$	209	95	220
马氏 体型	12Cr12	1Cr12	205	485	20	$d=2a$	217	96	210
	06Cr13	0Cr13	205	415	20	$d=2a$	183	89	200
	12Cr13	1Cr13	205	450	20	$d=2a$	217	96	210
	04Cr13Ni5Mo		620	795	15	—	302	32HRC	—
	20Cr13	2Cr13	225	520	18	—	223	97	234
	30Cr13	3Cr13	225	540	18	—	235	99	247
	40Cr13	4Cr13	225	590	15	—	—	—	—
	17Cr16Ni2		690	880 ~ 1 080	12	—	262 ~ 326	—	—
1 050			1 350	10	—	388	—	—	
68Cr17		1Cr12	245	590	15	—	255	25HRC	269

注：1. 表中马氏体型钢板为淬火、回火后的力学性能。

2. 冷轧钢板的尺寸规格见表 1.4-37。

热轧钢板的尺寸规格见表 1.4-38。

2.4.13 耐热钢板和钢带 (见表 1.4-41)

表 1.4-41 耐热钢板和钢带牌号及力学性能 (摘自 GB/T 4238—2007)

分类	新牌号	旧牌号	拉伸试验			硬度试验		
			规定非比例 延伸强度 $R_{p0.2}/\text{MPa}$	抗拉 强度 R_m/MPa	断后伸 长率 $A(\%)$	HBW	HRB	HV
			不小于			不大于		
固溶处理 的奥氏体 型耐热钢 板和钢带	12Cr18Ni9	1Cr18Ni9	205	515	40	201	92	210
	12Cr18Ni9Si3	1Cr18Ni9Si3	205	515	40	217	95	220
	06Cr19Ni9	0Cr18Ni9	205	515	40	201	92	210
	07Cr19Ni10	—	205	515	40	201	92	210
	06Cr20Ni11	—	205	515	40	183	88	—
	16Cr23Ni13	2Cr23Ni13	205	515	40	217	95	220
	06Cr23Ni13	0Cr23Ni13	205	515	40	217	95	220
	20Cr25Ni20	2Cr25Ni20	205	515	40	217	95	220
	06Cr25Ni20	0Cr25Ni20	205	515	40	217	95	220
	06Cr17Ni12Mo2	0Cr17Ni12Mo2	205	515	40	217	95	220
	06Cr19Ni13Mo3	0Cr19Ni13Mo3	205	515	35	217	95	220
	06Cr18Ni11Ti	0Cr18Ni10Ti	205	515	40	217	95	220
	12Cr16Ni35	1Cr16Ni35	205	560	—	201	95	210
	06Cr18NiNb	0Cr18Ni11Nb	205	515	40	201	92	210
	16Cr25Ni20Si2	1Cr25Ni20Si2	—	540	35	—	—	—
固溶处理 的沉淀硬 化型耐热 钢试样	022Cr12Ni9Cu2NbTi ^②	—	≤ 1105	≤ 1205	3	331	—	—
	05Cr17Ni4Cu4Nb ^③	0Cr17Ni4Cu4Nb	≤ 1105	≤ 1255	3	363	—	—
	07Cr17Ni7Al ^②	0Cr17Ni7Al	≤ 380	≤ 1035	20	—	92	—
	07Cr15Ni7Mo2Al ^④	—	≤ 450	≤ 1035	25	—	100	—
	06Cr17Ni7AlTi ^④	—	≤ 515	≤ 825	5	—	32 HRC	—
	06Cr15Ni25Ti2MoAlVB ^①	0Cr15Ni25Ti2MoAlVB	≥ 590	≥ 900	15	248	101	—
退火处理 的铁素体 型耐热钢 板和钢带	06Cr13Al	0Cr13Al	170	415	20	179	88	200
	022Cr11Ti	—	275	415	20	197	92	200
	022Cr11NbTi	—	275	415	20	197	92	200
	10Cr17	1Cr17	205	450	22	183	89	200
	16Cr25N	2Cr25N	275	510	20	201	95	210
退火处理 的马氏体 型耐热钢 板和钢带	12Cr12	1Cr12	205	485	25	217	88	210
	12Cr13	1Cr13	—	690	15	217	96	210
	22Cr12NiMoWV	2Cr12NiMoWV	275	510	20	200	95	210

① 为钢材厚度 $a \geq 2\text{mm}$, 经时效处理的力学性能。② 钢材厚度 $a \geq 0.3 \sim 100\text{mm}$ 的力学性能。③ 钢材厚度 $a \geq 0.4 \sim 100\text{mm}$ 的力学性能。④ 钢材厚度 $a \geq 0.10 \sim 100\text{mm}$ 的力学性能。

2.4.14 合金结构钢热轧厚钢板（见表 1.4-42）

表 1.4-42 合金结构钢热轧厚钢板牌号及力学性能（摘自 GB/T 11251—2009）

牌号	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%) ≤	牌号	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%) ≤
45Mn2	600 ~ 850	13	30Cr	500 ~ 700	19
27SiMn	550 ~ 800	18	35Cr	550 ~ 750	18
40B	500 ~ 700	20	40Cr	550 ~ 800	16
45B	550 ~ 750	18	20CrMnSiA	450 ~ 700	21
50B	550 ~ 750	16	25CrMnSiA	500 ~ 700	20
15Cr	400 ~ 600	21	30CrMnSiA	550 ~ 750	19
20Cr	400 ~ 650	20	35CrMnSiA	600 ~ 800	16

- 注：1. 钢板的尺寸、外形及允许偏差应符合 GB/T 709—2006 的规定，见表 1.4-38。单轧钢板的厚度允许偏差未注明时按 A 类偏差。
2. 钢板应以热处理（退火、正火、正火后回火）状态交货。除非合同中注明，否则热处理方法由供方确定。
3. 表列为退火状态交货钢板的力学性能。

2.4.15 优质碳素结构钢热轧厚钢板和钢带（见表 1.4-43）

表 1.4-43 优质碳素结构钢热轧厚钢板和钢带的牌号及力学性能（摘自 GB/T 711—2008）

牌 号	交货状态	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A （%）	牌 号	交货状态	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A （%）
		不小于				不小于	
08F	热轧或热 处理 ^②	315	34	50 ^①	热处理 ^②	625	16
08		325	33	55 ^①		645	13
10F		325	32	60 ^①		675	12
10		335	32	65 ^①		695	10
15F		355	30	70 ^①		715	9
15		370	30	20Mn	热轧或热 处理 ^②	450	24
20		410	28	25Mn		490	22
25		450	24	30Mn		540	20
30	热处理 ^②	490	22	40Mn ^①	热处理 ^②	590	17
35 ^①		530	20	50Mn ^①		650	13
40 ^①		570	19	60Mn ^①		695	11
45 ^①		600	17	65Mn ^①		735	9

- 注：1. 尺寸规格及允许偏差应符合 GB/T 709—2006 的规定见表 1.4-38。
2. 钢板和钢带厚度大于 20mm 时，厚度每增加 1mm，其伸长率允许降低 0.25%（绝对值）；厚度 ≤ 32mm 的总降低值应不大于 2%（绝对值），厚度 > 32mm 的总降低值应不大于 3%（绝对值）。
- ① 经供需双方协议，也可以热轧状态交货，以热处理样坯测定力学性能，样坯尺寸为 $a \times 3a \times 3a$ （ a 为钢材厚度）。
- ② 热处理指正火、退火或高温回火。

2.4.16 弹簧钢丝（见表 1.4-44 ~ 表 1.4-47）

表 1.4-44 冷拉碳素弹簧钢丝的力学性能（摘自 GB/T 4357—2009）

钢丝公称直径 ^① /mm	抗拉强度 ^② /MPa				
	SL 型	SM 型	DM 型	SH 型	DH ^c 型
1.00	1720 ~ 1970	1980 ~ 2220	1980 ~ 2220	2230 ~ 2470	2230 ~ 2470
1.05	1710 ~ 1950	1960 ~ 2220	1960 ~ 2220	2210 ~ 2450	2210 ~ 2450
1.10	1690 ~ 1940	1950 ~ 2190	1950 ~ 2190	2200 ~ 2430	2200 ~ 2430
1.20	1670 ~ 1910	1920 ~ 2160	1920 ~ 2160	2170 ~ 2400	2170 ~ 2400

(续)

钢丝公称直径 ^① /mm	抗拉强度 ^② /MPa				
	SL 型	SM 型	DM 型	SH 型	DH ^c 型
1.25	1660 ~ 1900	1910 ~ 2130	1910 ~ 2130	2140 ~ 2380	2140 ~ 2380
1.30	1640 ~ 1890	1900 ~ 2130	1900 ~ 2130	2140 ~ 2370	2140 ~ 2370
1.40	1620 ~ 1860	1870 ~ 2100	1870 ~ 2100	2110 ~ 2340	2110 ~ 2340
1.50	1600 ~ 1840	1850 ~ 2080	1850 ~ 2080	2090 ~ 2310	2090 ~ 2310
1.60	1590 ~ 1820	1830 ~ 2050	1830 ~ 2050	2060 ~ 2290	2060 ~ 2290
1.70	1570 ~ 1800	1810 ~ 2030	1810 ~ 2030	2040 ~ 2260	2040 ~ 2260
1.80	1550 ~ 1780	1790 ~ 2010	1790 ~ 2010	2020 ~ 2240	2020 ~ 2240
1.90	1540 ~ 1760	1770 ~ 1990	1770 ~ 1990	2000 ~ 2220	2000 ~ 2220
2.00	1520 ~ 1750	1760 ~ 1970	1760 ~ 1970	1980 ~ 2200	1980 ~ 2200
2.10	1510 ~ 1730	1740 ~ 1960	1740 ~ 1960	1970 ~ 2180	1970 ~ 2180
2.25	1490 ~ 1710	1720 ~ 1930	1720 ~ 1930	1940 ~ 2150	1940 ~ 2150
2.40	1470 ~ 1690	1700 ~ 1910	1700 ~ 1910	1920 ~ 2130	1920 ~ 2130
2.50	1460 ~ 1680	1690 ~ 1890	1690 ~ 1890	1900 ~ 2110	1900 ~ 2110
2.60	1450 ~ 1660	1670 ~ 1880	1670 ~ 1880	1890 ~ 2100	1890 ~ 2100
2.80	1420 ~ 1640	1650 ~ 1850	1650 ~ 1850	1860 ~ 2070	1860 ~ 2070
3.00	1410 ~ 1620	1630 ~ 1830	1630 ~ 1830	1840 ~ 2040	1840 ~ 2040
3.20	1390 ~ 1600	1610 ~ 1810	1610 ~ 1810	1820 ~ 2020	1820 ~ 2020
3.40	1370 ~ 1580	1590 ~ 1780	1590 ~ 1780	1790 ~ 1990	1790 ~ 1990
3.60	1350 ~ 1560	1570 ~ 1760	1570 ~ 1760	1770 ~ 1970	1770 ~ 1970
3.80	1340 ~ 1540	1550 ~ 1740	1550 ~ 1740	1750 ~ 1950	1750 ~ 1950
4.00	1320 ~ 1520	1530 ~ 1730	1530 ~ 1730	1740 ~ 1930	1740 ~ 1930
4.25	1310 ~ 1500	1510 ~ 1700	1510 ~ 1700	1710 ~ 1900	1710 ~ 1900
4.50	1290 ~ 1490	1500 ~ 1680	1500 ~ 1680	1690 ~ 1880	1690 ~ 1880
4.75	1270 ~ 1470	1480 ~ 1670	1480 ~ 1670	1680 ~ 1840	1680 ~ 1840
5.00	1260 ~ 1450	1460 ~ 1650	1460 ~ 1650	1660 ~ 1830	1660 ~ 1830
5.30	1240 ~ 1430	1440 ~ 1630	1440 ~ 1630	1640 ~ 1820	1640 ~ 1820
5.60	1230 ~ 1420	1430 ~ 1610	1430 ~ 1610	1620 ~ 1800	1620 ~ 1800
6.00	1210 ~ 1390	1400 ~ 1580	1400 ~ 1580	1590 ~ 1770	1590 ~ 1770
6.30	1190 ~ 1380	1390 ~ 1560	1390 ~ 1560	1570 ~ 1750	1570 ~ 1750
6.50	1180 ~ 1370	1380 ~ 1550	1380 ~ 1550	1560 ~ 1740	1560 ~ 1740
7.00	1160 ~ 1340	1350 ~ 1530	1350 ~ 1530	1540 ~ 1710	1540 ~ 1710
7.50	1140 ~ 1320	1330 ~ 1500	1330 ~ 1500	1510 ~ 1680	1510 ~ 1680
8.00	1120 ~ 1300	1310 ~ 1480	1310 ~ 1480	1490 ~ 1660	1490 ~ 1660
8.50	1110 ~ 1280	1290 ~ 1460	1290 ~ 1460	1470 ~ 1630	1470 ~ 1630
9.00	1090 ~ 1260	1270 ~ 1440	1270 ~ 1440	1450 ~ 1610	1450 ~ 1610
9.50	1070 ~ 1250	1260 ~ 1420	1260 ~ 1420	1430 ~ 1590	1430 ~ 1590
10.00	1060 ~ 1230	1240 ~ 1400	1240 ~ 1400	1410 ~ 1570	1410 ~ 1570
10.50	—	1220 ~ 1380	1220 ~ 1380	1390 ~ 1550	1390 ~ 1550
11.00		1210 ~ 1370	1210 ~ 1370	1380 ~ 1530	1380 ~ 1530
12.00		1180 ~ 1340	1180 ~ 1340	1350 ~ 1500	1350 ~ 1500
12.50		1170 ~ 1320	1170 ~ 1320	1330 ~ 1480	1330 ~ 1480
13.00		1160 ~ 1310	1160 ~ 1310	1320 ~ 1470	1320 ~ 1470

① 中间尺寸钢丝抗拉强度值按表中相邻较大钢丝的规定执行。

② 对特殊用途的钢丝，可商定其他抗拉强度。

表 1.4-45 重要用途碳素弹簧钢丝力学性能 (摘自 YB/T 5311—2006)

直径 /mm	抗拉强度/MPa			直径 /mm	抗拉强度/MPa		
	E 组	F 组	G 组		E 组	F 组	G 组
0.08	2330 ~ 2710	2710 ~ 3060	—	0.70	2120 ~ 2500	2500 ~ 2850	—
0.09	2320 ~ 2700	2700 ~ 3050	—	0.80	2110 ~ 2490	2490 ~ 2840	—
0.10	2310 ~ 2690	2690 ~ 3040	—	0.90	2060 ~ 2390	2390 ~ 2690	—
0.12	2300 ~ 2680	2680 ~ 3030	—	1.00	2020 ~ 2350	2350 ~ 2650	1850 ~ 2110
0.14	2290 ~ 2670	2670 ~ 3020	—	1.20	1920 ~ 2270	2270 ~ 2570	1820 ~ 2080
0.16	2280 ~ 2660	2660 ~ 3010	—	1.40	1870 ~ 2200	2200 ~ 2500	1780 ~ 2040
0.18	2270 ~ 2650	2650 ~ 3000	—	1.60	1830 ~ 2140	2160 ~ 2480	1750 ~ 2010
0.20	2260 ~ 2640	2640 ~ 2990	—	1.80	1800 ~ 2130	2060 ~ 2360	1700 ~ 1900
0.22	2240 ~ 2620	2620 ~ 2970	—	2.00	1760 ~ 2090	1970 ~ 2230	1670 ~ 1910
0.25	2220 ~ 2600	2600 ~ 2950	—	2.20	1720 ~ 2000	1870 ~ 2130	1620 ~ 1860
0.28	2220 ~ 2600	2600 ~ 2950	—	2.50	1680 ~ 1960	1770 ~ 2030	1620 ~ 1860
0.30	2210 ~ 2600	2600 ~ 2950	—	2.80	1630 ~ 1910	1720 ~ 1980	1570 ~ 1810
0.32	2210 ~ 2590	2590 ~ 2940	—	3.00	1610 ~ 1890	1690 ~ 1950	1570 ~ 1810
0.35	2210 ~ 2590	2590 ~ 2940	—	3.20	1560 ~ 1840	1670 ~ 1930	1570 ~ 1810
0.40	2200 ~ 2580	2580 ~ 2930	—	3.50	1520 ~ 1750	1620 ~ 1840	1470 ~ 1710
0.45	2190 ~ 2570	2570 ~ 2920	—	4.00	1480 ~ 1710	1570 ~ 1790	1470 ~ 1710
0.50	2180 ~ 2560	2560 ~ 2910	—	4.50	1410 ~ 1640	1500 ~ 1720	1470 ~ 1710
0.55	2170 ~ 2550	2550 ~ 2900	—	5.00	1380 ~ 1610	1480 ~ 1700	1420 ~ 1660
0.60	2160 ~ 2540	2540 ~ 2890	—	5.50	1330 ~ 1560	1440 ~ 1660	1400 ~ 1640
0.63	2140 ~ 2520	2520 ~ 2870	—	6.00	1320 ~ 1550	1420 ~ 1660	1350 ~ 1590

注：1. 本标准适用于制造具有高应力、阀门弹簧等重要用途的不经热处理或仅经低温回火的弹簧。

2. 按用途分 E 组、F 组、G 组，其直径范围是 E 组、F 组为 0.08 ~ 6.0mm，G 组为 1.0 ~ 6.0mm。

表 1.4-46 油淬火-回火弹簧钢丝分类及代号 (摘自 GB/T 18983—2003)

分 类		静态 (FD)	中疲劳 (TD)	高疲劳 (VD)
抗拉强度分级	低强度	FDC	TDC	VDC
	中强度	FDCrV (A、B) FDSiMn	TDCrV (A、B) TDSiMn	VDCrV (A、B)
	高强度	FDCrSi	TDCrSi	VDCrSi
直径范围		0.50 ~ 17.00mm	0.50 ~ 17.00mm	0.50 ~ 10.00mm

注：静态级钢丝适用于一般用途弹簧，以 FD 表示；中疲劳级钢丝适用于离合器弹簧、悬架弹簧等，以 TD 表示；高疲劳级钢丝适用于剧烈运动的场合，如阀门弹簧，以 VD 表示。

表 1.4-47 油淬火-回火弹簧钢丝力学性能 (摘自 GB/T 18983—2003)

直径范围 /mm		抗拉强度/MPa					断面收缩率 ^① (%)	
		FDC	FDCrV-A	FDCrV-B	FDSiMn	FDCrSi	≥	
		TDC	TDCrV-A	TDCrV-B	TDSiMn	TDCrSi	FD	TD
静态级、 中疲劳级	0.50 ~ 0.80	1800 ~ 2100	1800 ~ 2100	1900 ~ 2200	1850 ~ 2100	2000 ~ 2250	—	
	>0.80 ~ 1.00	1800 ~ 2060	1780 ~ 2080	1860 ~ 2160	1850 ~ 2100	2000 ~ 2250	—	
	>1.00 ~ 1.30	1800 ~ 2010	1750 ~ 2010	1850 ~ 2100	1850 ~ 2100	2000 ~ 2250	45	45
	>1.30 ~ 1.40	1750 ~ 1950	1750 ~ 1990	1840 ~ 2070	1850 ~ 2100	2000 ~ 2250	45	45
	>1.40 ~ 1.60	1740 ~ 1890	1710 ~ 1950	1820 ~ 2030	1850 ~ 2100	2000 ~ 2250	45	45
	>1.60 ~ 2.00	1720 ~ 1890	1710 ~ 1890	1790 ~ 1970	1820 ~ 2000	2000 ~ 2250	45	45
	>2.00 ~ 2.50	1670 ~ 1820	1670 ~ 1830	1750 ~ 1900	1800 ~ 1950	1970 ~ 2140	45	45
	>2.50 ~ 2.70	1640 ~ 1790	1660 ~ 1820	1720 ~ 1870	1780 ~ 1930	1950 ~ 2120	45	45
	>2.70 ~ 3.00	1620 ~ 1770	1630 ~ 1780	1700 ~ 1850	1760 ~ 1910	1930 ~ 2100	45	45
	>3.00 ~ 3.20	1600 ~ 1750	1610 ~ 1760	1680 ~ 1830	1740 ~ 1890	1910 ~ 2080	40	45

(续)

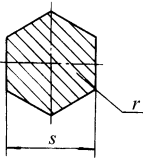
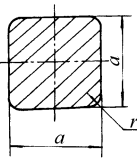
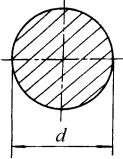
直径范围 /mm		抗拉强度/MPa					断面收缩率 ^① （%）	
		FDC TDC	FDCrV-A TDCrV-A	FDCrV-B TDCrV-B	FDSiMn TDSiMn	FDCrSi TDCrSi	≥	
							FD	TD
静态级、 中疲劳级	> 3. 20 ~ 3. 50	1580 ~ 1730	1600 ~ 1750	1660 ~ 1810	1720 ~ 1870	1900 ~ 2060	40	45
	> 3. 50 ~ 4. 00	1550 ~ 1700	1560 ~ 1710	1620 ~ 1770	1710 ~ 1860	1870 ~ 2030	40	45
	> 4. 00 ~ 4. 20	1540 ~ 1690	1540 ~ 1690	1610 ~ 1760	1700 ~ 1850	1860 ~ 2020	40	45
	> 4. 20 ~ 4. 50	1520 ~ 1670	1520 ~ 1670	1590 ~ 1740	1690 ~ 1840	1850 ~ 2000	40	45
	> 4. 50 ~ 4. 70	1510 ~ 1660	1510 ~ 1660	1580 ~ 1730	1680 ~ 1830	1840 ~ 1990	40	45
	> 4. 70 ~ 5. 00	1500 ~ 1650	1500 ~ 1650	1560 ~ 1710	1670 ~ 1820	1830 ~ 1980	40	45
	> 5. 00 ~ 5. 60	1470 ~ 1620	1460 ~ 1610	1540 ~ 1690	1660 ~ 1810	1800 ~ 1950	35	40
	> 5. 60 ~ 6. 00	1460 ~ 1610	1440 ~ 1590	1520 ~ 1670	1650 ~ 1800	1780 ~ 1930	35	40
	> 6. 00 ~ 6. 50	1440 ~ 1590	1420 ~ 1570	1510 ~ 1660	1640 ~ 1790	1760 ~ 1910	35	40
	> 6. 50 ~ 7. 00	1430 ~ 1580	1400 ~ 1550	1500 ~ 1650	1630 ~ 1780	1740 ~ 1890	35	40
	> 7. 00 ~ 8. 00	1400 ~ 1550	1380 ~ 1530	1480 ~ 1630	1620 ~ 1770	1710 ~ 1860	35	40
	> 8. 00 ~ 9. 00	1380 ~ 1530	1370 ~ 1520	1470 ~ 1620	1610 ~ 1760	1700 ~ 1850	30	35
	> 9. 00 ~ 10. 00	1360 ~ 1510	1350 ~ 1500	1450 ~ 1600	1600 ~ 1750	1660 ~ 1810	30	35
	> 10. 00 ~ 12. 00	1320 ~ 1470	1320 ~ 1470	1430 ~ 1580	1580 ~ 1730	1660 ~ 1810	30	—
	> 12. 00 ~ 14. 00	1280 ~ 1430	1300 ~ 1450	1420 ~ 1570	1560 ~ 1710	1620 ~ 1770	30	—
	> 14. 00 ~ 15. 00	1270 ~ 1420	1290 ~ 1440	1410 ~ 1560	1550 ~ 1700	1620 ~ 1770	—	
	> 15. 00 ~ 17. 00	1250 ~ 1400	1270 ~ 1420	1400 ~ 1550	1540 ~ 1690	1580 ~ 1730		
直径范围 /mm		抗拉强度/MPa				断面收缩率（%）		
		VDC	VDCrV-A	VDCrV-B	VDCrSi	≥		
高疲劳级	0. 50 ~ 0. 80	1700 ~ 2000	1750 ~ 1950	1910 ~ 2060	2030 ~ 2230	—		
	> 0. 80 ~ 1. 00	1700 ~ 1950	1730 ~ 1930	1880 ~ 2030	2030 ~ 2230	—		
	> 1. 00 ~ 1. 30	1700 ~ 1900	1700 ~ 1900	1860 ~ 2010	2030 ~ 2230	45		
	> 1. 30 ~ 1. 40	1700 ~ 1850	1680 ~ 1860	1840 ~ 1990	2030 ~ 2230	45		
	> 1. 40 ~ 1. 60	1670 ~ 1820	1660 ~ 1860	1820 ~ 1970	2000 ~ 2180	45		
	> 1. 60 ~ 2. 00	1650 ~ 1800	1640 ~ 1800	1770 ~ 1920	1950 ~ 2110	45		
	> 2. 00 ~ 2. 50	1630 ~ 1780	1620 ~ 1770	1720 ~ 1860	1900 ~ 2060	45		
	> 2. 50 ~ 2. 70	1610 ~ 1760	1610 ~ 1760	1690 ~ 1840	1890 ~ 2040	45		
	> 2. 70 ~ 3. 00	1590 ~ 1740	1600 ~ 1750	1660 ~ 1810	1880 ~ 2030	45		
	> 3. 00 ~ 3. 20	1570 ~ 1720	1580 ~ 1730	1640 ~ 1790	1870 ~ 2020	45		
	> 3. 20 ~ 3. 50	1550 ~ 1700	1560 ~ 1710	1620 ~ 1770	1860 ~ 2010	45		
	> 3. 50 ~ 4. 00	1530 ~ 1680	1540 ~ 1690	1570 ~ 1720	1840 ~ 1990	45		
	> 4. 20 ~ 4. 50	1510 ~ 1660	1520 ~ 1670	1540 ~ 1690	1810 ~ 1960	45		
	> 4. 70 ~ 5. 00	1490 ~ 1640	1500 ~ 1650	1520 ~ 1670	1780 ~ 1930	45		
	> 5. 00 ~ 5. 60	1470 ~ 1620	1480 ~ 1630	1490 ~ 1640	1750 ~ 1900	40		
	> 5. 60 ~ 6. 00	1450 ~ 1600	1470 ~ 1620	1470 ~ 1620	1730 ~ 1890	40		
	> 6. 00 ~ 6. 50	1420 ~ 1570	1440 ~ 1590	1440 ~ 1590	1710 ~ 1860	40		
	> 6. 50 ~ 7. 00	1400 ~ 1550	1420 ~ 1570	1420 ~ 1570	1690 ~ 1840	40		
	> 7. 00 ~ 8. 00	1370 ~ 1520	1410 ~ 1560	1390 ~ 1540	1660 ~ 1810	40		
	> 8. 00 ~ 9. 00	1350 ~ 1500	1390 ~ 1540	1370 ~ 1520	1640 ~ 1790	35		
> 9. 00 ~ 10. 00	1340 ~ 1490	1370 ~ 1520	1340 ~ 1490	1620 ~ 1770	35			

注：一盘或一轴内钢丝抗拉强度允许波动范围为 VD 级钢丝不超过 50MPa，TD 级钢丝不超过 60MPa，FD 级钢丝不超过 70MPa。

① FDSiMn 和 TDSiMn 直径不大于 5.00mm 时，断面收缩率应不小于 35%；直径大于 5.00mm 至 14.00mm 时，断面收缩率应不小于 30%。

2.4.17 钢丝 (见表 1.4-48 ~ 表 1.4-52)

表 1.4-48 冷拉圆钢丝、方钢丝和六角钢丝尺寸、截面面积及理论质量 (摘自 GB/T 342—1997)

						
公称尺寸 d, a, s /mm	圆 形		方 形		六 角 形	
	截面面积 /mm ²	理论质量 /kg·(1000m) ⁻¹	截面面积 /mm ²	理论质量 /kg·(1000m) ⁻¹	截面面积 /mm ²	理论质量 /kg·(1000m) ⁻¹
1.00	0.785	6.162	1.000	7.850	—	—
1.10	0.950	7.458	1.210	9.498	—	—
1.20	1.131	8.878	1.440	11.30	—	—
1.40	1.539	12.08	1.960	15.39	—	—
1.60	2.011	15.79	2.560	20.10	2.217	17.40
1.80	2.545	19.98	3.240	25.43	2.806	22.03
2.00	3.142	24.66	4.000	31.40	3.464	27.20
2.20	3.801	29.84	4.840	37.99	4.192	32.91
2.50	4.909	38.54	6.250	49.06	5.413	42.49
2.80	6.158	48.34	7.840	61.54	6.790	53.30
3.00 *	7.069	55.49	9.000	70.65	7.795	61.19
3.20	8.042	63.13	10.24	80.38	8.869	69.62
3.50	9.621	75.52	12.25	96.16	10.61	83.29
4.00	12.57	98.67	16.00	125.6	13.86	108.8
4.50	15.90	124.8	20.25	159.0	17.54	137.7
5.00	19.64	154.2	25.00	196.2	21.65	170.0
5.50	23.76	186.5	30.25	237.5	26.20	205.7
6.00 *	28.27	221.9	36.00	282.6	31.18	244.8
6.30	31.17	244.7	39.69	311.6	34.38	269.9
7.00	38.48	302.1	49.00	384.6	42.44	333.2
8.00	50.27	394.6	64.00	502.4	55.43	435.1
9.00	63.62	499.4	81.00	635.8	70.15	550.7
10.0	78.54	616.5	100.00	785.0	86.61	679.9
11.0	95.03	746.0	—	—	—	—
12.0	113.1	887.8	—	—	—	—
14.0	153.9	1208.1	—	—	—	—
16.0	201.1	1578.6	—	—	—	—

注：本表理论重量按密度 7.85g/cm³ 计算的

表 1.4-49 一般用途低碳钢丝的尺寸规格及力学性能 (摘自 YB/T 5294—2009)

钢丝公称直径/mm	允许偏差/mm		钢丝公称直径/mm	允许偏差/mm	
	冷拉和退火钢丝	镀锌钢丝		冷拉和退火钢丝	镀锌钢丝
≤0.30	±0.01	±0.02	>1.60 ~ 3.00	±0.04	±0.06
>0.30 ~ 1.00	±0.02	±0.04	>3.00 ~ 6.00	±0.05	±0.07
>1.00 ~ 1.60	±0.03	±0.05	>6.00	±0.06	±0.08

(续)

公称直径 /mm	抗拉强度 R_m /MPa				弯曲试验 (180°/次)		断后伸长率（%） (标距 100mm)		
	冷拉钢丝			退火钢丝	镀锌钢丝	冷拉钢丝		冷拉建筑 用钢丝	镀锌钢丝
	普通用	制钉用	建筑用			普通用	建筑用		
≤0. 30	≤980	—	—	295 ~ 540	295 ~ 540	供需双方 协商确定	—	—	≥10
>0. 30 ~ 0. 80	≤980	—	—				—	—	
>0. 80 ~ 1. 20	≤980	880 ~ 1320	—			≥6	—	—	≥12
>1. 20 ~ 1. 80	≤1060	785 ~ 1220	—				—	—	
>1. 80 ~ 2. 50	≤1010	735 ~ 1170	—				—	—	
>2. 50 ~ 3. 50	≤960	685 ~ 1120	≥550			≥4	≥4	≥2	
>3. 50 ~ 5. 00	≤890	590 ~ 1030	≥550						
>5. 00 ~ 6. 00	≤790	540 ~ 930	≥550						
>6. 00	≤690	—	—			—	—	—	

注：1. 对于先镀后拉的镀锌钢丝的力学性能按冷拉钢丝的力学性能执行。
2. 对于直径不大于 0.80mm 的冷拉普通用钢丝用打结拉伸试验代替弯曲试验，打结钢丝进行拉伸试验时所承受的拉力不低于钢丝破断拉力的 50%。

表 1.4-50 重要用途低碳钢丝规格、力学性能及理论质量（摘自 YB/T 5032—2006）

钢丝直径/mm			力 学 性 能				每盘钢丝重量 （由一根 钢丝组成） /kg≥	镀锌钢丝 锌层质量 /g·m ⁻² ≥	理论质量 /kg·m ⁻¹			
公称 尺寸	允许偏差		抗拉强度 R_m /MPa		扭转次数 次（360°）	弯曲次数 次（180°）						
	光面钢丝	镀锌钢丝	光面钢丝	镀锌钢丝	≥	≥						
0.3	±0.02	+0.04 -0.02	不小于 390	不小于 365	30	打结拉力试验 抗拉强度 光面钢丝： ≥226MPa 镀锌钢丝： ≥186MPa	0.3	5	0.000555			
0.4									0.000987			
0.5							0.5	8	0.00154			
0.6									0.00219			
0.8	±0.04	+0.06 -0.02			25	22	1	15	0.00395			
1.0									0.00617			
1.2					18	5	24	0.00888				
1.4								14	0.0121			
1.6					12			41	0.0158			
1.8					±0.06			+0.08 -0.06	18	12	10	41
2.0	10	0.0247										
2.3	15	10				59	0.0326					
2.6							8					
3.0	±0.07	+0.09 -0.07	不小于 390	不小于 365	12	10	75	0.0555				
3.5						10		0.0743				
4.0					10	8	20	95	0.0986			
4.5						8			0.125			
5.0					8	6			110	0.154		
6.0					—	—				0.219		

注：1. 本表钢丝用 GB/T699—1999 优质碳素钢中的低碳钢制造，适于制作机器中重要部件及零件。
2. 按交货表面状况分为：Ⅰ类——镀锌钢丝 (Z_d)；Ⅱ类——光面钢丝 (Z_g)。
3. 标记示例：直径为 1.0mm 镀锌钢丝，标记为： $Z_d1.0$ —YB/T5032—2006。

表 1.4-51 优质碳素结构钢丝尺寸规格及力学性能 (摘自 YB/T 5303—2006)

硬 状 态	钢丝直径 /mm	R_m /MPa					弯曲/次				
		钢 号									
		08F ~ 10(F)	15(F) ~ 20	25 ~ 35	40 ~ 50	55 ~ 60	08F ~ 10(F)	15(F) ~ 20	25 ~ 35	40 ~ 50	55 ~ 60
		$\geq$					$\geq$				
	0.20 ~ 0.75	735	785	980	1080	1175	—	—	—	—	—
>0.75 ~ 1.0	685	735	885	980	1080	6	6	6	5	5	
>1.0 ~ 3.0	635	685	785	885	980	6	6	5	4	4	
>3.0 ~ 6.0	590	635	685	785	885	5	5	5	4	4	
>6.0 ~ 10.0	540	590	635	735	785	5	4	3	2	2	
软 状 态	钢号		R_m /MPa			A (%)			Z (%)		
	10		440 ~ 685			8			50		
	15		490 ~ 735			8			45		
	20		490 ~ 735			7.5			40		
	25		540 ~ 785			7			40		
	30		540 ~ 785			7			35		
	35		590 ~ 835			6.5			35		
	40		590 ~ 835			6			35		
	45		635 ~ 885			6			30		
	50		635 ~ 885			6			30		
钢丝直径	0.20, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, 0.95, 1.00, 1.10, 1.20, 1.30, 1.40, 1.50, 1.60, 1.70, 1.80, 1.90, 2.00, 2.20, 2.30, 2.40, 2.50, 2.60, 2.80, 3.00, 3.20, 3.60, 3.80, 4.00, 4.20, 4.50, 4.80, 5.00, 5.50, 6.00, 6.50, 7.00, 7.50, 8.00, 8.50, 9.00, 9.50, 10.0										

注: 1. 本标准适用于冷拉及银亮优质碳素结构钢丝, 冷拉状态交货。

2. 直径小于 0.75mm 钢丝的弯曲试验, 应用打结拉断试验来代替, 其拉断力不得小于不打结试验时拉断力的 50%。

3. 钢丝按力学性能分为两类, 即硬状态和软状态; 按截面形状分为三种, 即圆形钢丝、方形钢丝和六角钢丝。

表 1.4-52 合金结构钢丝牌号和力学性能 (摘自 YB/T 5301—2006)

类别	牌 号	冷拉状态		退火状态	
		尺寸 < 5mm	尺寸 $\geq$ 5mm	尺寸 < 5mm	尺寸 $\geq$ 5mm
		抗拉强度 R_m /MPa	布氏硬度 HBW	抗拉强度 R_m /MPa	布氏硬度 HBW
I 类	15CrA 38CrA 40CrA 12CrNi3A 20CrNi3A 30CrMnSiA	≤ 1080	≤ 302	≤ 785	≤ 229
	30CrNi3A 30CrMnMoTiA	≤ 1080	≤ 302	≤ 835	≤ 241
	12Cr2Ni4A 18Cr2Ni4WA 25Cr2Ni4WA 30SiMn2MoVA 30CrMnSiNi2A 30CrNi2MoVA 35CrMnSiA 38CrMoAlA 40CrNiMoA 50CrVA	—	—	≤ 930	≤ 269

(续)

类别	牌 号	冷拉状态		退火状态	
		尺寸 < 5mm	尺寸 ≥ 5mm	尺寸 < 5mm	尺寸 ≥ 5mm
		抗拉强度 R_m /MPa	布氏硬度 HBW	抗拉强度 R_m /MPa	布氏硬度 HBW
Ⅱ 类	交货状态		抗拉强度 R_m /MPa		
	冷拉状态		≤1080		
	退火状态		≤930		

- 注：1. 本标准适用于直径不大于 10mm 的合金结构钢冷拉圆钢丝以及 2 ~ 8mm 的冷拉方、六角钢丝。
2. 钢丝按用途分为：Ⅰ类——特殊用途钢丝；Ⅱ类——一般用途钢丝。钢丝按交货状态分为：冷拉——L；退火——T。
3. 钢丝的尺寸、外形应符合 GB/T 342 的规定，见表 1.4-48。

3 非铁材料（有色金属）

3.1 铜与铜合金

3.1.1 加工铜与铜合金（见表 1.4-53）

表 1.4-53 常用加工铜及铜合金的牌号、特性及应用举例

分类	组别	代号	主 要 特 性	应用举例
加工铜	纯铜	T1	有良好的导电、导热、耐蚀和加工性能，可以焊接和钎焊。含降低导电、导热性的杂质较少，微量的氧对导电、导热和加工等性能影响不大，但易引起“氢病”，不宜在高温（如 > 370℃）还原性气氛中加工（退火、焊接等）和使用	用于导电、导热、耐蚀器材。如：电线、电缆、导电螺钉、爆破用雷管、化工用蒸发器、贮藏器及各种管道等
		T2		
		T3	有较好的导电、导热、耐蚀和加工性能，可以焊接和钎焊；但含降低导电、导热性的杂质较多，含氧量更高，更易引起“氢病”，不能在高温还原性气氛中加工、使用	用于一般铜材，如：电气开关、垫圈、垫片、铆钉、管嘴、油管及其他管道等
加工黄铜	普通黄铜	H96	强度比纯铜高（但在普通黄铜中，它是最低的），导热、导电性好，在大气和淡水中有良好的耐蚀性，且有良好的塑性，易于冷、热压力加工，易于焊接、锻造和镀锡，无应力腐蚀破裂倾向	在一般机械制造中用作导管、冷凝管、散热器管、散热片、汽车水箱带以及导电零件等
		H90	性能和 H96 相似，但强度较 H96 稍高，可镀金属及涂敷珐琅	供水及排水管、奖章、艺术品、水箱带以及双金属片
		H85	具有较高的强度，塑性好，能很好地承受冷、热压力加工，焊接和耐蚀性能也都良好	冷凝和散热用管、虹吸管、蛇形管、冷却设备制件
		H80	性能和 H85 近似，但强度较高，塑性也较好，在大气、淡水及海水中有较高的耐蚀性	造纸网、薄壁管、皱纹管及房屋建筑用品
		H70 H68	有极为良好的塑性（是黄铜中最佳者）和较高的强度，可加工性能好，易焊接，对一般腐蚀非常安定，但易产生腐蚀开裂。H68 是普通黄铜中应用最为广泛的一个品种	复杂的冷冲件和深冲件，如散热器外壳、导管、波纹管、弹壳、垫片、雷管等
		H65	性能介于 H68 和 H62 之间，价格比 H68 便宜，也有较高的强度和塑性，能良好地承受冷、热压力加工，有腐蚀破裂倾向	小五金、日用品、小弹簧、螺钉、铆钉和机器零件

(续)

分类	组别	代号	主要特性	应用举例
加工黄铜	普通黄铜	H63 H62	有良好的力学性能, 热态下塑性良好, 冷态下塑性也可以, 可加工性好, 易钎焊和焊接, 耐蚀, 但易产生腐蚀破裂, 此外价格便宜, 是应用广泛的一个普通黄铜品种	各种深拉深和弯折制造的受力零件, 如销钉、铆钉、垫圈、螺母、导管、气压表弹簧、筛网、散热器零件等
		H59	价格最便宜, 强度、硬度高而塑性差, 但在热态下仍能很好地承受压力加工, 耐蚀性一般, 其他性能和 H62 相近	一般机器零件、焊接件、热冲及热轧零件
	铅黄铜	HPb63-3	含铅高的铅黄铜, 不能热态加工, 可加工性极为优良, 且有高的减摩性能, 其他性能和 HPb59-1 相似	主要用于要求可加工性极高的钟表结构零件及汽车拖拉机零件
		HPb63-0.1 HPb62-0.8	可加工性较 HPb63-3 低, 其他性能和 HPb63-3 相同	用于一般机器结构零件
		HPb61-1	可加工性好, 强度较高	用于要求高加工性能的一般结构件
		HPb59-1	应用较广的铅黄铜, 它的特点是可加工性好, 有良好的力学性能, 能承受冷、热压力加工, 易钎焊和焊接, 对一般腐蚀有良好的稳定性, 但有腐蚀破裂倾向	适于以热冲压和切削加工制作的各種结构零件, 如螺钉、垫圈、垫片、衬套、螺母、喷嘴等
	铝黄铜	HA177-2	典型的铝黄铜, 有高的强度和硬度, 塑性良好, 可在热态及冷态下进行压力加工, 对海水及盐水有良好的耐蚀性, 并耐冲击腐蚀, 但有脱锌及腐蚀破裂倾向	船舶和海滨热电站中用作冷凝管以及其他耐蚀零件
		HA167-2.5	在冷态热态下能良好的承受压力加工, 耐磨性好, 对海水的耐蚀性尚可, 对腐蚀破裂敏感, 钎焊和镀锡性能不好	海船抗蚀零件
		HA166-6-3-2	为耐磨合金, 具有高的强度、硬度和耐磨性, 耐蚀性也较好, 但有腐蚀破裂倾向, 塑性较差。为铸造黄铜的移植品种	重负荷下工作中固定螺钉的螺母及大型蜗杆; 可作铝青铜 QAl10-4-4 的代用品
		HA160-1-1	具有高的强度, 在大气、淡水和海水中耐蚀性好, 但对腐蚀破裂敏感, 在热态下压力加工性好, 冷态下可塑性低	要求耐蚀的结构零件, 如齿轮、蜗轮、衬套、轴等
		HA159-3-2	具有高的强度, 耐蚀性是所有黄铜中最好的, 腐蚀破裂倾向不大, 冷态下塑性低, 热态下压力加工性好	发动机和船舶业及其他在常温下工作的高强度耐蚀件
	锰黄铜	HMn58-2	在海水和过热蒸汽、氯化物中有高的耐蚀性, 但有腐蚀破裂倾向; 力学性能良好, 导热导电性低, 易于在热态下进行压力加工, 冷态下压力加工性尚可, 是应用较广的黄铜品种	腐蚀条件下工作的重要零件和弱电流工业用零件
		HMn57-3-1	强度、硬度高, 塑性低, 只能在热态下进行压力加工; 在大气、海水、过热蒸汽中的耐蚀性比一般黄铜好, 但有腐蚀破裂倾向	耐腐蚀结构零件
		HMn55-3-1	性能和 HMn57-3-1 接近, 为铸造黄铜的移植品种	耐腐蚀结构零件
	锡黄铜	HSn90-1	力学性能和工艺性能极近似于 H90 普通黄铜, 但有高的耐蚀性和减摩性, 目前只有这种锡黄铜可作为耐磨合金使用	汽车、拖拉机弹性套管及其他耐蚀减摩零件

(续)

分类	组别	代号	主要特性	应用举例
加工黄铜	锡黄铜	HSn70-1	典型的锡黄铜,在大气、蒸汽、油类和海水中有高的耐蚀性,且有良好的力学性能,可加工性尚可,易焊接和钎焊,在冷、热状态下压力加工性好,有腐蚀破裂倾向	海轮上的耐蚀零件(如冷凝气管),与海水、蒸汽、油类接触的导管,热工设备零件
		HSn62-1	在海水中有高的耐蚀性,有良好的力学性能,冷加工时有冷脆性,只适于热压加工,可加工性好,易焊接和钎焊,但有腐蚀破裂倾向	用做与海水或汽油接触的船舶零件或其他零件
		HSn60-1	性能与 HSn62-1 相似,主要产品为线材	船舶焊接结构用的焊条
加工青铜	锡青铜	QSn4-3	为含锌的锡青铜,有高的耐磨性和弹性,抗磁性良好,能很好地承受热态或冷态压力加工;在硬态下,可加工性好,易焊接和钎焊,在大气、淡水和海水中耐蚀性好	制造弹簧(扁弹簧、圆弹簧)及其他弹性元件,化工设备上的耐蚀零件以及耐磨零件(如衬套、圆盘、轴承等)和抗磁零件、造纸工业用的刮刀
		QSn4-4-2.5 QSn4-4-4	为添有锌、铅合金元素的锡青铜,有高的减摩性和良好的可加工性,易于焊接和钎焊,在大气、淡水中具有良好的耐蚀性,只能在冷态下进行压力加工,因含铅,热加工时易引起热脆	制造在摩擦条件下工作的轴承、卷边轴套、衬套、圆盘以及衬套的内垫等。QSn4-4-4 使用温度可达 300℃ 以下,是一种热强性较好的锡青铜
		QSn6.5-0.1	磷锡青铜,有高的强度、弹性、耐磨性和抗磁性,在热态和冷态下压力加工性良好,对电火花有较高的抗燃性,可焊接和钎焊,可加工性好,在大气和淡水中耐蚀	制造弹簧和导电性好的弹簧接触片,精密仪器中的耐磨零件和抗磁零件,如齿轮、电刷盒、振动片、接触器
		QSn6.5-0.4	磷锡青铜,性能用途和 QSn6.5-0.1 相似,因含磷量较高,其抗疲劳强度较高,弹性和耐磨性较好,但在热加工时有热脆性,只能接受冷压力加工	除用于弹簧和耐磨零件外,主要用于造纸工业制作耐磨的铜网和单位负荷 <981MPa、圆周速度 <3m/s 的条件下工作的零件
		QSn7-0.2	磷锡青铜,强度高,弹性和耐磨性好,易焊接和钎焊,在大气、淡水和海水中耐蚀性好,可加工性良好,适于热压加工	制造中等负荷、中等滑动速度下承受摩擦的零件,如抗磨垫圈、轴承、轴套、蜗轮等,还可用作弹簧、簧片等
	铝青铜	QA15	为不含其他元素的铝青铜,有较高的强度、弹性和耐磨性,在大气、淡水、海水和某些酸中耐蚀性高,可电焊、气焊,不易钎焊,能很好地在冷态或热态下承受压力加工,不能淬火回火强化	制造弹簧和其他要求耐蚀的弹性元件,齿轮摩擦轮,蜗轮传动机构等,可作为 QSn6.5-0.4、QSn4-3 和 QSn4-4-4 的代用品
		QA17	性能用途和 QA15 相似,因含铝量稍高,其强度较高	
		QA19-2	含锰的铝青铜,具有高的强度,在大气、淡水和海水中抗蚀性很好,可以电焊和气焊,不易钎焊,在热态和冷态下压力加工性均好	高强度耐蚀零件以及在 250℃ 以下蒸汽介质中工作的管配件和海轮上零件
		QA19-4	为含铁的铝青铜。有高的强度和减摩性,良好的耐蚀性,热态下压力加工性良好,可电焊和气焊,但钎焊性不好,可用作高锡耐磨青铜的代用品	制作在高负荷下工作的抗磨、耐蚀零件,如轴承、轴套、齿轮、蜗轮、阀座等,也用于制作双金属耐磨零件
		QA19-5-1-1 QA110-5-5	含有铁、镍元素的铝青铜,属于高强度耐热青铜,高温(400℃)下力学性能稳定,有良好的减摩性,在大气、淡水和海水中耐蚀性好,热态下压力加工性良好,可热处理强化,可焊接,不易钎焊,可加工性尚好 镍含量增加,强度、硬度、高温强度、耐蚀性提高	高强度的耐磨零件和 400 ~ 500℃ 工作的零件,如轴衬、轴套、齿轮、球形座、螺母、法兰盘、滑座、坦克用蜗杆等以及其他各种重要的耐蚀耐磨零件

(续)

分类	组别	代号	主要特性	应用举例
加工青铜	铝青铜	QAl10-3-1.5	为含有铁、锰元素的铝青铜，有高的强度和耐磨性，经淬火、回火后可提高硬度，有较好的高温耐蚀性和抗氧化性，在大气、淡水和海水中抗蚀性很好，可加工性尚可，可焊接，不易钎焊，热态下压力加工性良好	制造高温条件下工作的耐磨零件和各种标准件，如齿轮、轴承、衬套、圆盘、导向摇臂、飞轮、固定螺母等。可代替高锡青铜制作重要机件
		QAl10-4-4	为含有铁、镍元素的铝青铜，属于高强度耐热青铜，高温（400℃）下力学性能稳定，有良好的减摩性，在大气、淡水和海水中抗蚀性很好，热态下压力加工性良好，可热处理强化，可焊接，不易钎焊，可加工性尚好	高强度的耐磨零件和高温下（400℃）工作的零件，如轴衬、轴套、齿轮、球形座、螺母、法兰盘、滑座等以及其他各种重要的耐蚀耐磨零件
	硅青铜	QSi3-1	为加有锰的硅青铜，有高的强度、弹性和耐磨性，塑性好，低温下仍不变脆；能良好地与青铜、钢和其他合金焊接，特别是钎焊性好；在大气、淡水和海水中的耐蚀性高，对于苛性钠及氯化物的作用也非常稳定；能很好地承受冷、热压力加工，不能热处理强化，通常在退火和加工硬化状态下使用，此时有高的屈服强度和弹性	用于制造在腐蚀介质中工作的各种零件，弹簧和弹簧零件，以及蜗轮、蜗杆、齿轮、轴套、制动销和杆类耐磨零件，也用于制作焊接结构中的零件，可代替重要的锡青铜，甚至铍青铜
		QSi1-3	为含有锰、镍元素的硅青铜，具有高的强度，相当好的耐磨性，能热处理强化，淬火回火后强度和硬度大大提高，在大气、淡水和海水中有较高的耐蚀性，焊接性和可加工性良好	用于制造在 300℃ 以下，润滑不良、单位压力不大的工作条件下的摩擦零件（如发动机排气和进气门的导向套）以及在腐蚀介质中工作的结构零件
		QSi3.5-3-1.5	为含有锌、锰、铁等元素的硅青铜，性能同 QSi3-1，但耐热性较好，棒材、线材存放时自行开裂的倾向性较小	主要用作在高温工作的轴套材料
	锰青铜	QMn1.5- QMn2	含锰量较 QMn5 低，与 QMn5 比较，强度、硬度较低，但塑性较高，其他性能相似，QMn2 的力学性能稍高于 QMn1.5	用于电子仪表零件，也可作为蒸气锅炉管配件和接头等
		QMn5	为含锰量较高的锰青铜，有较高的强度、硬度和良好的塑性，能很好地在热态及冷态下承受压力加工，有好的耐蚀性，并有高的热强性，400℃ 下还能保持其力学性能	用于制作蒸气机零件和锅炉的各种管接头、蒸气阀门等高温耐蚀零件
	铬青铜	QCr0.5	在常温及较高温度下（<400℃）具有较高的强度和硬度，导电性和导热性好，耐磨性和减摩性也很好，经时效硬化处理后，强度、硬度、导电性和导热性均显著提高；易于焊接和钎焊，在大气和淡水中具有良好的抗蚀性，高温抗氧化性好，能很好地在冷态和热态下承受压力加工；但其缺点是对缺口的敏感性较强，在缺口和尖角处造成应力集中，容易引起机械损伤	用于制作工作温度 350℃ 以下的电焊机电极、电动机整流子片以及其他各种在高温下工作的、要求有高的强度、硬度、导电性和导热性的零件，还可以双金属的形式用于刹车盘和圆盘
		QCr0.5-0.2-0.1	为加有少量镁、铝的铬青铜，与 QCr0.5 相比，不仅进一步提高了耐热性和耐蚀性，而且可改善缺口敏感性，其他性能和 QCr0.5 相似	用于制作点焊、滚焊机上的电极等
		QCr0.6-0.4-0.05	为加有少量锆、镁的铬青铜，与 QCr0.5 相比，可进一步提高合金的强度、硬度和耐热性，同时还有好的导电性	同 QCr0.5

3.1.2 铸造铜合金（见表 1.4-54）

表 1.4-54 铸造铜合金的力学性能及应用举例（摘自 GB/T 1176—1987）

合金牌号	铸造方法	力学性能 ≥				特 性	应用举例
		R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)	HBW		
ZCuSn3Zn8Pb6Ni1	S	175		8	59.0	耐磨性较好，易加工，铸造性能好，气密性较好，耐腐蚀，可在流动海水下工作	在各种液体燃料以及海水、淡水和蒸汽(≤225℃)中工作的零件，压力不大于 2.5MPa 的阀门和管配件
	J	215		10	68.5		
ZCuSn3Zn11Pb4	S	175		8	59.0	铸造性能好，易加工，耐腐蚀	海水、淡水、蒸汽中，压力不大于 2.5MPa 的管配件
	J	215		10	59.0		
ZCuSn5Pb5Zn5	S、J	200	90	13	59.0 *	耐磨性和耐蚀性好，易加工，铸造性能和气密性较好	在较高负荷、中等滑动速度下工作的耐磨、耐蚀零件，如轴瓦、衬套、缸套、活塞、离合器、泵件压盖以及蜗轮等
	Li、La	250	100 *	13	63.5 *		
ZCuSn10Pb1	S	220	130	3	78.5 *	硬度高，耐磨性极好不易产生咬死现象，有较好的铸造性能和切削加工性能，在大气和淡水中有良好的耐蚀性	可用于高负荷（20MPa 以下）和高滑动速度（8m/s）下工作的耐磨零件，如连杆、衬套、轴瓦、齿轮、蜗轮等
	J	310	170	2	88.5 *		
	Li	330	170 *	4	88.5 *		
	La	360	170 *	6	88.5 *		
ZCuSn10Pb5	S	195		10	68.5	耐腐蚀，特别是对稀硫酸、盐酸和脂肪酸	结构材料，耐蚀、耐酸的配件以及破碎机用衬套、轴瓦
	J	245		10	68.5		
ZCuSn10Zn2	S	240	120	12	68.5 *	耐蚀性、耐磨性和可切削加工性能好，铸造性能好，铸件致密性较高，气密性较好	在中等及较高负荷和小滑动速度下工作的重要管配件，以及阀、旋塞、泵体、齿轮、叶轮和蜗轮等
	J	245	140 *	6	78.5 *		
	Li、La	270	140 *	7	78.5 *		
ZCuPb10Sn10	S	180	80	7	63.5 *	润滑性能、耐磨性能和耐蚀性能好，适合用作双金属铸造材料	表面压力高、又存在侧压力的滑动轴承，如轧辊、车辆用轴承、负荷峰值 60MPa 的受冲击的零件，以及最高峰值达 100MPa 的内燃机双金属轴瓦和活塞销套、摩擦片等
	J	220	140	5	68.5 *		
	Li、La	220	110 *	6	68.5 *		
ZCuPb15Sn8	S	170	80	5	59.0 *	在缺乏润滑和用水质润滑剂条件下，滑动性和自润滑性能好，易切削，铸造性能差，对稀硫酸耐蚀性能好	表面压力高、又有侧压力的轴承，可用来制造冷轧机的铜冷却管，耐冲击载荷达 50MPa 的零件，内燃机的双金属轴瓦，主要用于最大负荷达 70MPa 的活塞销套、耐酸配件
	J	200	100	6	63.5 *		
	Li、La	220	100 *	8	63.5 *		

(续)

合金牌号	铸造方法	力学性能 $\geq$				特 性	应用举例
		R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)	HBW		
ZCuPb17Sn4Zn4	S	150		5	54.0	耐磨性和自润滑性能好, 易切削、铸造性能差	一般耐磨件, 高滑动速度的轴承等
	J	175		7	59.0		
ZCuPb20Sn5	S	150	60	5	44.0 *	有较高的滑动性能, 在缺乏润滑介质和以水为介质时有特别好的自润滑性能适用于双金属铸造材料, 耐硫酸腐蚀, 易切削, 铸造性能差	高滑动速度的轴承及破碎机、水泵、冷轧机轴承, 负荷达 40MPa 的零件, 抗腐蚀零件, 双金属轴承, 负荷达 70MPa 的活塞销套
	J	150	70 *	6	54.0 *		
	La	180	80 *	7	54.0 *		
ZCuPb30	J	—	—	—	24.5	有良好的自润滑性, 易切削, 铸造性能差, 易产生比重偏析	要求高滑动速度的双金属轴瓦、减磨零件等
ZCuAl8Mn13Fe3	S	600	270 *	15	157.0	具有很高的强度和硬度, 良好的耐磨性能和铸造性能, 合金致密性高, 耐蚀性好, 作为耐磨件工作温度不大于 400℃, 可以焊接, 但不易钎焊	适用于制造重型机械用轴套, 以及要求强度高、耐磨、耐压零件, 如衬套、法兰、阀体、泵体等
	J	650	280 *	10	166.5		
ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	S	640	280	20	157.0	有很高的力学性能, 在大气、淡水和海水中均有良好的耐蚀性, 腐蚀疲劳强度高, 铸造性能好, 合金组织致密, 气密性好, 可以焊接, 不易钎焊	要求强度高耐腐蚀的重要零件, 如船舶螺旋桨、高压阀体、泵体, 以及耐压、耐磨零件, 如蜗轮、齿轮、法兰、衬套等
	J	670	310 *	18	166.5		
ZCuAl9Mn2	S	390		20	83.5	有高的力学性能, 在大气、淡水和海水中耐蚀性好, 铸造性能好, 组织致密, 气密性高, 耐磨性好, 可以焊接、不易钎焊	耐蚀、耐磨零件, 形状简单的大型铸件, 如衬套、齿轮、蜗轮, 以及在 250℃ 以下工作的管配件和要求气密性高的铸件, 如增压器内气封
	J	440		20	93.0		
ZCuAl9Fe4Ni4Mn2	S	630	250	16	157.0	有很高的力学性能, 在大气、淡水、海水中均有优良的耐蚀性, 腐蚀疲劳强度高, 耐磨性良好, 在 400℃ 以下具有耐热性, 可以热处理, 焊接性能好, 不易钎焊, 铸造性能尚好	要求强度高、耐蚀性好的重要铸件, 是制造船舶螺旋桨的主要材料之一, 也可用作耐磨和 400℃ 以下工作的零件, 如轴承、齿轮、蜗轮、螺帽、法兰、阀体、导向套管

(续)

合金牌号	铸造方法	力学性能 ≥				特 性	应用举例
		R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)	HBW		
ZCuAl13Fe3	S	490	180	13	98.0 *	具有高的力学性能， 耐磨性和耐蚀性能好， 可以焊接，不易钎焊， 大型铸件自 700℃ 空冷 可以防止变脆	要求强度高、耐磨、耐 蚀的重型铸件，如轴套、 螺母、蜗轮以及 250℃ 以 下工作的管配件
	J	540	200	15	108.0 *		
	Li、La	540	200	15	108.0 *		

注：带 * 者为参考值。S—砂型铸造，J—金属型铸造，La—连续铸造，Li—离心铸造。

3.1.3 铜棒（见表 1.4-55、表 1.4-56）

表 1.4-55 铜及铜合金挤制棒牌号和力学性能（摘自 YS/T 649—2007）

牌 号	直径（对边距）/mm	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸 长率 A (%)	布氏 硬度 HBW	牌 号	直径（对边距）/mm	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸 长率 A (%)	布氏 硬度 HBW
T2、T3、TU1、 TU2、TP2	≤120	≥186	≥40	—	QAl10-3-1.5	≤16	≥610	≥9	130 ~ 190
H96	≤80	≥196	≥35	—		> 16	≥590	≥13	
H80	≤120	≥275	≥45	—	QAl10-4-4 QAl10-5-5	≤29	≥690	≥5	170 ~ 260
H68	≤80	≥295	≥45	—		> 29 ~ 120	≥635	≥6	
H62	≤160	≥295	≥35	—		> 120	≥590	≥6	
H59	≤120	≥295	≥30	—	QAl11-6-6	≤28	≥690	≥4	—
HPb59-1	≤160	≥340	≥17	—		> 28 ~ 50	≥635	≥5	—
HSn62-1	≤120	≥365	≥22	—	QSi1-3	≤80	≥490	≥11	—
HSn70-1	≤75	≥245	≥45	—	QSi3-1	≤100	≥345	≥23	—
HMn58-2	≤120	≥395	≥29	—	QSi3.5-3-1.5	40 ~ 120	≥380	≥35	—
HMn55-3-1	≤75	≥490	≥17	—	QSi4-0.3	60 ~ 120	≥280	≥30	—
HMn57-3-1	≤70	≥490	≥16	—	QSn4-3	40 ~ 120	≥275	≥30	—
HFe58-1-1	≤120	≥295	≥22	—	QSn6.5-0.1、 QSn6.5-0.4	≤40	≥355	≥55	—
HFe59-1-1	≤120	≥430	≥31	—		> 40 ~ 100	≥345	≥60	—
HA160-1-1	≤120	≥440	≥20	—		> 100	≥315	≥64	—
HA166-6-3-2	≤75	≥735	≥8	—	QSn7-0.2	40 ~ 120	≥355	≥64	≥70
HA167-2.5	≤75	≥395	≥17	—	QCd1	20 ~ 120	≥196	≥38	≤75
HA177-2	≤75	≥245	≥45	—	QCu0.5	20 ~ 160	≥230	≥35	—
HNi56-3	≤75	≥440	≥28	—	BZn15-20	≤80	≥295	≥33	—
HSi80-3	≤75	≥295	≥28	—	BFe10-1-1	≤80	≥280	≥30	—
QAl9-2	≤45	≥490	≥18	110 ~ 190	BFe30-1-1	≤80	≥345	≥28	—
	> 45 ~ 160	≥470	≥24	—	BA113-3	≤80	≥685	≥7	—
QAl9-4	≤120	≥540	≥17	110 ~ 190	BMn40-1.5	≤80	≥345	≥28	—
	> 120	≥450	≥13						

注：直径大于 50mm 的 QAl10-3-1.5 棒材，当断后伸长率 A 不大于 16% 时，其抗拉强度可不小于 540MPa。

表 1.4-56 铜及铜合金拉制棒材牌号和力学性能 (摘自 GB/T 4423—2007)

牌 号				状态	直径、 对边距 /mm	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 $A(\%)$	牌 号				状态	直径、 对边距 /mm	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 $A(\%)$					
								不小于										不小于		
圆形棒材、方形棒材、六角形棒材																				
T2 T3				Y	3 ~ 40	275	10	HFe59-1-1				Y	4 ~ 12	490	17					
					40 ~ 60	245	12						12 ~ 40	440	19					
					60 ~ 80	210	16						40 ~ 60	410	22					
					3 ~ 80	200	40						4 ~ 40	540	16					
TU1	TU2	TP2	Y	3 ~ 80	—	—	QA19-2				Y	4 ~ 40	580	13						
H96				Y	3 ~ 40	275	8	QA19-4				Y	4 ~ 40	630	8					
					40 ~ 60	245	10	QSi3-1				Y	4 ~ 12	490	13					
					60 ~ 80	205	14						12 ~ 40	470	19					
					M	3 ~ 80	200	40	QSi1.8				Y	3 ~ 15	500	15				
H90				Y	3 ~ 40	330	—	QSn6.5-0.1 QSn6.5-0.4				Y	3 ~ 12	470	13					
H80				Y	3 ~ 40	390	—						12 ~ 25	440	15					
				M	3 ~ 40	275	50						25 ~ 40	410	18					
				H68									Y ₂	3 ~ 12	370	18	QSn7-0.2			
12 ~ 40	315	30	T					4 ~ 40	—	硬度 ≥180HBW										
40 ~ 80	295	34																		
M	13 ~ 35	295									50									
H65				Y	3 ~ 40	390	—	QSn4-0.3				Y	4 ~ 12	410	10					
				M	3 ~ 40	295	44						12 ~ 25	390	13					
H62				Y ₂	3 ~ 40	370	18						QSn4-3				Y	25 ~ 40	355	15
					40 ~ 80	335	24											4 ~ 12	430	14
HPb61-1				Y ₂	3 ~ 20	390	11	QCd1				Y						12 ~ 25	370	21
HPb59-1				Y ₂	3 ~ 20	420	12											25 ~ 35	335	23
					20 ~ 40	390	14						35 ~ 40	315	23					
					40 ~ 80	370	19						QCd1				Y	4 ~ 60	370	5 硬度 ≥100HBW
HPb63-0.1 H63				Y ₂	3 ~ 20	370	18	M	4 ~ 60	215	36 硬度 ≤75HBW									
					20 ~ 40	340	21													
					HPb63-3							Y						3 ~ 15	490	4
15 ~ 20	450	9	M	4 ~ 40					230	40										
20 ~ 30	410	12									QZr0.2 QZr0.4				Y	3 ~ 40	294	6 硬度 130HBW ^①		
HSn62-1				Y	3 ~ 20	390	12	BZn15-20								Y	4 ~ 12	440	6	
					20 ~ 60	360	16										12 ~ 25	390	8	
					HMn58-2												Y	4 ~ 12	440	24
12 ~ 40	410	24	M	3 ~ 40								295	33							
40 ~ 60	390	29																		
HFe58-1-1				Y	4 ~ 40	440	11													
					40 ~ 60	390	13													

(续)

牌 号	状态	直径、 对边距	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 $A(\%)$	牌 号	状态	直径、 对边距	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 $A(\%)$
		/mm	不小于				/mm	不小于	
BZn15-24-1.5	T	3 ~ 18	590	3	矩 形 棒 材				
	Y	3 ~ 18	440	5	T2	M	3 ~ 80	196	36
	M	3 ~ 18	295	30		Y	3 ~ 80	245	9
BFc30-1-1	Y	16 ~ 50	490	—	H62	Y_2	3 ~ 20	335	17
	M	16 ~ 50	345	25			20 ~ 80	335	23
BMn40-1.5	Y	7 ~ 20	540	6	HPb59-1	Y_2	5 ~ 20	390	12
		20 ~ 30	490	8			20 ~ 80	375	18
		30 ~ 40	440	11	HPb63-3	Y_2	3 ~ 20	380	14
							20 ~ 80	365	19

- 注：1. 直径或对边距离小于 10mm 的棒材不做硬度试验。
2. 铅青铜导电率在 20℃ 时应不小于 85% IACS（或电阻系数不大于 $0.0202835\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ），此数值为经淬火处理及冷加工时效后的性能参考值。
3. 除 H96 外，半硬、硬和特硬态的黄铜、锡青铜、硅青铜和锌白铜棒材均应进行消除内应力处理。
- ① 此硬度值为经淬火处理及冷加工时效后的性能参考值。

3.1.4 铜管（见表 1.4-57 ~ 表 1.4-60）

表 1.4-57 挤制铜及铜合金圆管尺寸规格（摘自 GB/T 16866—2006）

公称 外径 /mm	20、 21、 22	23、 24、 25、 26	27、 28、 29	30、 32	34、 35、 36	38、 40、 42、 44	45、 46、 48	50、 52、 54、 55	56、 58、 60	62、 64、 65、 68、 70	72、 74、 75、 78、 80	85、 90	95、 100	105、 110	115、 120	125、 130	135、 140
公称 壁厚 /mm	1.5 ~ 3.4	1.5 ~ 4	2.5 ~ 6.0	2.5 ~ 6.0	2.5 ~ 6.0	2.5 ~ 10.0	2.5 ~ 10.0	2.5 ~ 17.5	4.0 ~ 17.5	4.0 ~ 20.0	4.0 ~ 25.0	7.5、 10.0 ~ 30	7.5、 10.0 ~ 30	10.0 ~ 30	10.0 ~ 37.5	10.0 ~ 35	10.0 ~ 37.5
公称 外径 /mm	145、 150	155、 160	165 170	175 180	185、 190、 195、 200	210 220	230 240 250	260 280	290 300	公称 壁厚 尺寸 系列 /mm		1.5 ~ 5.0(0.5 进级) 6.0、7.5、9.0、10.0 12.5 ~ 45.0(2.5 进级) 50					
公称 壁厚 /mm	10.0 ~ 35.0	10.0 ~ 42.5	10.0 ~ 42.5	10.0 ~ 42.5	10.0 ~ 45.0	10.0 ~ 45.0	10.0 ~ 15.0 20.0 25.0 ~ 50	10.0 ~ 15.0 20.0 25.0 30.0	20.0、 25.0、 30.0								

注：通常供应长度为 500 ~ 6000mm。

表 1.4-58 拉制铜及铜合金圆管尺寸规格 (摘自 GB/T 16866—2006)

公称外径 /mm	3、 4	5、6、 7	8 ~ 15	16 ~ 20	21 ~ 30	31 ~ 40	42 ~ 50	52 ~ 60	62 ~ 70	72 ~ 80	82 ~ 100	105 ~ 150	155 ~ 200	210 ~ 250	260 ~ 360
公称壁厚 /mm	0.2 ~ 1.25	0.2 ~ 1.5	0.2 ~ 3.0	0.3 ~ 4.5	0.4 ~ 5.0	0.4 ~ 5.0	0.75 ~ 6.0	0.75 ~ 8.0	1.0 ~ 11.0	2.0 ~ 13.0	2.0 ~ 15.0	2.0 ~ 15.0	3.0 ~ 15.0	3.0 ~ 15.0	4.0 ~ 5.0
公称外径尺寸 系列/mm	3 ~ 40 (1 进级)、42、44、45、46、48、49、50、52、54、55、56、58、60、62、64、65、66、68、70、72、74、75、76、78、80、82、84、85、86、88、90、92、94、96、100 ~ 200 (5 进级)、210 ~ 360 (10 进级)														
公称壁厚尺寸 系列/mm	0.2 ~ 0.6 (0.1 进级)、0.75 ~ 1.5 (0.25 进级)、2.0 ~ 5.0 (0.5 进级)、6.0 ~ 15.0 (1 进级)														

注：外径不大于 100mm 拉制管，长度为 1000 ~ 7000mm，其他圆管长度一般为 500 ~ 6000mm。

表 1.4-59 铜及铜合金拉制管牌号、状态和规格 (摘自 GB/T 1527—2006)

牌 号	状 态	规 格 /mm			
		圆 形		矩（方）形	
		外径	壁厚	对边距	壁厚
T2、T3、TU1、TU2、TP1、TP2	软（M）、轻软（M2）、 硬（Y）、特硬（T）	3 ~ 360	0.5 ~ 15	3 ~ 100	1 ~ 10
	半硬（Y2）	3 ~ 100			
H96、H90	软（M）、轻软（M2）、 半硬（Y2）、硬（Y）	3 ~ 200	0.2 ~ 10		0.2 ~ 7
H85、H80、H85A		3 ~ 100			
H70、H68、H59、HPb59-1、 HSn62-1、HSn70-1、H70A、H68A					
H65、H63、H62、HPb66-0.5、H65A					
HPb63-0.1	半硬（Y2）	18 ~ 31	6.5 ~ 13	—	—
	1/3 硬（Y3）	8 ~ 31	3.0 ~ 13		
BZn15-20	硬（Y）、半硬（Y2）、 软（M）	4 ~ 40	0.5 ~ 8	—	—
BFe10-1-1		8 ~ 160			
BFe30-1-1	半硬（Y2）、软（M）	8 ~ 80			

- 注：1. 外径≤100mm 的圆形直管，供应长度为 1000 ~ 7000mm；其他规格的圆形直管供应长度为 500 ~ 6000mm；
2. 矩 (方) 形直管的供应长度为 1000 ~ 5000mm；
3. 外径≤30mm、壁厚 < 3mm 的圆形管材和圆周长≤100mm 或圆周长与壁厚之比≤15 的矩 (方) 形管材，可供应长度≥6000mm 的盘管。
4. 各牌号的化学成分应符合 GB/T 5231 中相应牌号的规定。
5. 管材作为各工业部门一般用途使用。其力学性能应符合 GB/T 1527 的规定。
6. 管材的尺寸及其允许偏差应符合 GB/T 16866 的规定。

表 1.4-60 铜及铜合金挤制管牌号和尺寸规格 (摘自 YS/T 662—2007)

牌 号	规格/mm		
	外 径	壁 厚	长 度
TU1、TU2、T2、T3、TP1、TP2	30 ~ 300	5 ~ 65	300 ~ 6000
H96、H62、HPb59-1、HFe59-1-1	20 ~ 300	1.5 ~ 42.5	
H80、H65、H68、HSn62-1、HSi80-3、HMn58-2、HMn57-3-1	60 ~ 220	7.5 ~ 30	
QA19-2、QA19-4、QA110-3-1.5、QA110-4-4	20 ~ 250	3 ~ 50	500 ~ 6000
QSi3.5-3-1.5	80 ~ 200	10 ~ 30	

(续)

牌 号	规格/mm		
	外 径	壁 厚	长 度
QCr0.5	100 ~ 220	17.5 ~ 37.5	500 ~ 3000
BFe10-1-1	70 ~ 250	10 ~ 25	300 ~ 3000
BFe30-1-1	80 ~ 120	10 ~ 25	

- 注：1. YS/T 662—2007 代替 GB/T 1528—1997。
2. 各牌号的化学成分应符合 GB/T 5231 的规定。力学性能见 GB/T 662—2007。
3. 管材适于工业中一般用途。
4. 标记示例 用 T2 制造的、挤制状态、外径为 80mm、壁厚为 10mm 的圆形管材标记为：
管 T2R 80 × 10 YS/T 662—2007。

3.2 铝与铝合金

3.2.1 铸造铝合金（见表 1.4-61）

表 1.4-61 铸造铝合金牌号、力学性能及应用举例（摘自 GB/T 1173—1995）

组别	合金牌号	合金代号	铸造方法	合金状态	力学性能 ≥			特性及应用举例
					R_m /MPa	A (%)	HBW	
铝 硅 合 金	ZAlSi7Mg	ZL101	S、R、J、K	F	155	2	50	耐蚀性、铸造工艺性能好、易气焊；用于制作形状复杂的零件，如仪器零件、飞机零件、工作温度低于 185℃的气化器 在海水环境中使用时，铜含量 ≤ 0.1%（质量分数）
			S、R、J、K	T2	135	2	45	
			JB	T4	185	4	50	
			S、R、K	T4	175	4	50	
			J、JB	T5	205	2	60	
			S、R、K	T5	195	2	60	
			SB、RB、KB	T5	195	2	60	
			SB、RB、KB	T6	225	1	70	
			SB、RB、KB	T7	195	2	60	
			SB、RB、KB	T8	155	3	55	
	ZAlSi7MgA	ZL101A	S、R、K	T4	195	5	60	
			J、JB	T4	225	5	60	
			S、R、K	T5	235	4	70	
			SB、RB、KB	T5	235	4	70	
			JB、J	T5	265	4	70	
			SB、RB、KB	T6	275	2	80	
			JB、J	T6	295	3	80	
	ZAlSi12	ZL102	SB、JB、RB、KB	F	145	4	50	用于制作形状复杂，负荷小耐蚀的薄壁零件和工作温度 ≤ 200℃的高气密性零件
			J	F	155	2	50	
			SB、JB、RB、KB	T2	135	4	50	
			J	T2	145	3	50	
	ZAlSi9Mg	ZL104	S、J、R、K	F	145	2	50	用于制作形状复杂的承受静载或冲击作用的大型零件，如风机叶片、水冷气缸头。工作温度 ≤ 200℃
			J	T1	195	1.5	65	
			SB、RB、KB	T6	225	2	70	
			J、JB	T6	235	2	70	

(续)

组别	合金牌号	合金代号	铸造方法	合金状态	力学性能 $\geq$			特性及应用举例
					R_m /MPa	A (%)	HBW	
铝硅合金	ZAlSi5Cu1Mg	ZL105	S、J、R、K	T1	155	0.5	65	强度高、切削性好, 用于制作形状复杂、225℃以下工作的零件, 如发动机气缸头
			S、R、K	T5	195	1	70	
			J	T5	235	0.5	70	
			S、R、K	T6	225	0.5	70	
			S、J、R、K	T7	175	1	65	
	ZAlSi8Cu1Mg	ZL106	SB	F	175	1	70	用于制作工作温度在225℃以下的零件, 齿轮液压泵壳体等
			JB	T1	195	1.5	70	
			SB	T5	235	2	60	
			JB	T5	255	2	70	
			SB	T6	245	1	80	
			JB	T6	265	2	70	
			SB	T7	225	2	60	
			J	T7	245	2	60	
	ZAlSi12Cu2Mg1	ZL108	J	T1	195	—	85	用于制作重载、工作温度在250℃以下的零件, 如大功率柴油机活塞
			J	T6	255	—	90	
	ZAlSi12Cu1Mg1Ni1	ZL109	J	T1	195	0.5	90	用于制作工作温度在250℃以下的零件, 高速大功率活塞
			J	T6	245	—	100	
铝铜合金	ZAlCu5Mn	ZL201	S、J、R、K	T4	295	8	70	焊接性能好, 铸造性能差。用于制作工作温度在175~300℃的零件, 如支臂、梁柱
			S、J、R、K	T5	335	4	90	
			S	T7	315	2	80	
	ZAlCu4	ZL203	S、R、K	T4	195	6	60	用于制作受重载荷、表面粗糙度较高而形状简单的厚壁零件, 工作温度 $\leq 200^\circ\text{C}$
			J	T4	205	6	60	
			S、R、K	T5	215	3	70	
			J	T5	225	3	70	
	ZAlCu5MnCdA	ZL204A	S	T5	440	4	100	
铝镁合金	ZAlMg10	ZL301	S、J、R	T4	280	10	60	用于制作受冲击载荷、循环负荷、海水腐蚀和工作温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 的零件
	ZAlMg5Si1	ZL303	S、J、R、K	F	145	1	55	
	ZAlMg8Zn1	ZL305	S	T4	290	8	90	
铝锌合金	ZAlZn11Si7	ZL401	S、R、K	T1	195	2	80	铸造性能好、耐蚀性能低, 用于制作工作温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 、形状复杂的大型薄壁零件
			J	T1	245	1.5	90	

(续)

组别	合金牌号	合金代号	铸造方法	合金状态	力学性能 ≥			特性及应用举例
					R_m /MPa	A (%)	HBW	
铝 锌 合 金	ZAlZn6Mg	ZL402	J S	T1	235	4	70	用于制作高强度零件， 如空压机活塞，飞机起落架
				T1	215	4	65	

注：上表中的铸造方法、合金状态代号说明见下表：

代号	铸造方法	代号	合金状态
S	砂型铸造	T1	人工时效
J	金属型铸造	T2	退火
R	熔模铸造	T4	固溶处理加自然时效
K	壳型铸造	T5	固溶处理加不完全人工时效
B	变质处理	T6	固溶处理加完全人工时效
F	铸态	T7	固溶处理加稳定化处理
		T8	固溶处理加软化处理

3.2.2 变形铝与铝合金（见表 1.4-62）

表 1.4-62 铝及铝合金加工产品的主要特性和应用范围

组别	合金代号	主要特性和应用范围
工业 纯 铝	1060 1050A	有高的塑性、耐酸性、导电性和导热性。但强度低，热处理不能强化，切削性能差，可气焊，氢原子焊和接触焊，不易钎焊。易压力加工、可引伸和弯曲。用于不承载荷，但对塑性、焊接性、耐腐蚀性、导电性、导热性较高的零件或结构。如垫片、电线保护套管、电缆、电线、线芯等
	1035 8A06	
	1A30	纯铝，严格控制 Fe、Si，热处理和加工条件要求特殊，具有较窄的抗拉强度范围，主要用于生活航天工业和兵器工业的零件
防 锈 铝	3A21	Al-Mn 系防锈铝，应用最广。强度不高，不能热处理强化，常用冷加工方法提高力学性能。退火状态下塑性高，冷作硬化时塑性低。用于制造油箱、汽油或润滑油导管，深拉制作的小负荷零件，铆钉等
	5A03	Al-Mg 系防锈铝，性能与 5A02 相似。但焊接性能较好。用于制造在液体下工作的中等强度的焊接件，冷冲压的零件和骨架
	5A05 5B05	Al-Mg 系防锈铝，强度与 5A03 相当，热处理不能强化，退火状态塑性高。抗腐蚀性高。5A05 用于制造在液体中工作的焊接零件，油箱、管道和容器。5B05 用作铆接铝合金和镁合金结构的铆钉。铆钉在退火状态下铆接
	5A06	Al-Mg 系防锈铝，有较高的强度和腐蚀稳定性。气焊和点焊的焊接接头强度为基体强度的 90% ~ 95%，切削性能良好。用于焊接容器、受力零件、飞机蒙皮及骨架零件
	5A43	低成分的 Al-Mg-Mn 系合金，用于生产冲制品的板材，铝锅、铝盒等
硬 铝	2A01	低合金低强度硬铝，铆接铝合金结构用的主要铆钉材料。用于中等强度和工作温度不超过 100℃ 的铆钉。耐蚀性低，铆入前应经过阳极氧化处理再填充氧化膜
	2A02	强度较高的硬铝，常温时强度高，有较高的热强性，属耐热硬铝。塑性高。可热处理强化。耐腐蚀性比 2A70，2A80 好。用于工作温度为 200 ~ 300℃ 的涡轮喷气发动机轴向往压缩机叶片、高温下工作的模锻件，一般用作主要承力结构材料

(续)

组别	合金代号	主要特性和应用范围
硬铝	2A04	铆钉合金, 有较高的抗剪强度和耐热性, 用作结构工作温度为 125 ~ 250℃ 的铆钉
	2B11	铆钉用合金, 有中等抗剪强度, 在退火、刚淬火和热态下塑性尚好, 可以热处理强化。铆钉必须在淬火后 2h 内铆接。用作中等强度铆钉
	2B12	铆钉用合金, 抗剪强度与 2A04 相当, 其他性能与 2B11 相似, 但铆钉必须在淬火后 20min 内铆接, 应用受到限制
	2A10	铆钉用合金, 有较高的抗剪强度, 耐蚀性不高, 须经过阳极氧化等处理。用于工作温度不超过 100℃ 要求强度较高的铆钉
	2A11	应用最早的硬铝, 一般称为标准硬铝。它具有中等强度, 在退火、刚淬火和热态下的可塑性尚好, 可热处理强化, 在淬火或自然时效状态下使用, 点焊焊接性良好。用做中等强度的零件和构件, 空气螺旋桨叶片, 局部微粗的零件, 如螺栓、铆钉等。铆钉应在淬火后 2h 内铆入结构
	2A12	高强度硬铝, 可进行热处理强化, 在退火和刚淬火条件下塑性中等, 点焊焊接性良好。气焊和氩弧焊不良。淬火和冷作硬化后可切削性能尚好, 抗蚀性不高。用于制作高负荷零件和构件 (不包括冲压件和锻件) 如飞机骨架零件、蒙皮、隔框、翼肋、铆钉等 150℃ 以下工作的零件
	2A06	高强度硬铝, 压力加工性能和可加工性与 2A12 相同。可作为 150 ~ 250℃ 工作结构的板材。对淬火自然时效后冷作硬化的板材, 在 200℃ 长期 (> 100h) 加热的情况下, 不宜采用
锻铝	2A16	耐热硬铝, 常温下强度不太高, 在高温下有较高的蠕变强度。合金在热态下有较高的塑性。可热处理强化, 点焊、滚焊、氩弧焊焊接性能良好。用于 250 ~ 350℃ 下工作的零件, 如轴向压缩机叶片、圆盘。板材用于制作容器、气密舱等
	6A02	工业上应用较为广泛的锻铝。具有中等强度 (但低于其他锻铝)。易于锻造、冲压。易于点焊和氢原子焊, 气焊尚好。用于制造要求高塑性和高耐蚀性的零件, 形状复杂的锻件和模锻件。如气冷式发动机的曲轴箱, 直升机桨叶
	2A50	高强度锻铝。在热态下有高塑性, 易于锻造、冲压; 可以热处理强化, 在淬火及人工时效后的强度与硬铝相似, 工艺性能较好。抗蚀性较好, 可切削性能良好, 接触焊、点焊性能良好, 电弧焊和气焊性能不好。用于制造形状复杂、中等强度的锻件和冲压件, 如风扇叶轮、压气机叶轮等
	2A70	耐热锻铝。成分与 2A80 基本相同, 但加入微量的钛, 含硅较少, 热强度较高。可热处理强化, 工艺性能比 2A80 稍好。接触焊性能好, 电弧焊、气焊性能差。耐蚀性、可切削性尚好。用于制造内燃机活塞和高温下工作的复杂锻件, 如压气机叶轮等
	2A14	成分与特性有硬铝合金和锻铝合金的特点。用于承受高负荷和形状简单的锻件和模锻件。由于热压加工困难, 限制了这种合金的应用
	6070	Al-Mg-Si 系合金, 相当于美国的 6070 合金, 优点是耐蚀性较好, 焊接性良好, 可用以制造大型焊接构件
	4A11	Al-Mg-Si 系合金, 是锻、铸两用合金, 主要用于制作蒸汽机活塞和气缸用材料, 热膨胀系数小、耐磨性好
超硬铝	6061 6063	Al-Mg-Si 系合金, 与美国 6061、6063 合金相当。是世界通用合金, 使用范围广, 特别是各种建筑业, 现代化的大型高层建筑离不开这两种合金。用于生产门、窗等轻质结构的构件及医疗卫生、办公用具等。也适用于车、船、机械零部件。其耐蚀性好, 焊接性能优良, 冷加工性较好, 强度中等
	7A03	可以热处理强化, 常温时抗剪强度较高, 耐蚀性、可切削性尚好, 用做受力结构的铆钉。当工作温度在 125℃ 以下时, 可代替 2A10

(续)

组别	合金代号	主要特性和应用范围
超硬铝	7A04	最常用的超硬铝，高强度合金。在退火和刚淬火状态塑性中等。可热处理强化。通常在淬火人工时效状态下使用，此时强度比一般硬铝高得多，但塑性较低。点焊焊接性良好。气焊不良，热处理后的切削性良好。用于制造承受高载荷的零件，如飞机的大梁、蒙皮、翼肋、接头、起落架等
	7A09	高强度铝合金，塑性稍优于 7A04，低于 2A12，静疲劳强度，对缺口不敏感等，优于 7A04，用于制造飞机蒙皮和主要受力零件

3.2.3 铝及铝合金挤压棒材（见表 1.4-63、表 1.4-64）

表 1.4-63 铝合金挤压棒材的牌号、状态、规格（摘自 GB/T 3191—2010）

牌 号	供应状态	规 格/mm			
		圆棒		方棒、六角棒	
		直径	长度	对边距离	长度
1070A、1050A、1350A、1200、3102、5A03、5A05、5A06、5A12、5049	H112	5 ~ 600	1000 ~ 6000	5 ~ 200	1000 ~ 6000
1060、1035、3A21、3003、3103、5A02、8A06	O				
	H112				
5005、5005A、5019、5251、5052、5154A、5454、5754、5083	H112				
	O				
2A02、2A06、2A50、2A70、2A80、2A90、6A02、7A04、7A09、7A15	T1、T6				
2A11、2A12、2A13	T1、T4				
2A14、2A16	T1、T6、T6511				
2014、2014A	T4、T4510、T4511				
	T6、T6510、T6511				
2017A	T4、T4510、T4511				
7049A	T6、T6510、T6511				
2024	O				
	T3、T3510、T3511				
4A11、4032	T1				
2017	T4				
6101A、7005、7020、7021、7022	T6				
6005、6005A、7003	T5				
	T6				
7075	O				
	T6、T6510、T6511				

注：1. 标记示例：用 2024 合金制造、供货状态为 T351、直径 30mm、定尺长度为 3000mm 的圆棒，标记为：棒 2024—T3511 φ30 × 3000 GB/T 3191—2010。

2. 供货状态代号按 GB/T 16475—2008 规定：F—自由状态、O—退火状态、H—加工硬化状态、W—固溶、T—不同于 F、O 或 H 状态的热处理状态。

表 1.4-64 铝及铝合金挤压棒材室温纵向力学性能 (摘自 GB/T 3191—2010)

牌号	供应状态	试样状态	棒材直径 /mm	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)	牌号	供应状态	试样状态	棒材直径 /mm	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)
				$\geq$							$\geq$		
1060	O	O	≤ 150	60 ~ 95	15	22	3003	O	O	≤ 250	95 ~ 130	35	25
	H112	H112		60	15	22		H112	H112		90	30	25
1070A			≤ 150	55	15	—	3A21	O	O	≤ 150	≤ 165	—	20
1050A				65	20	—		H112	H112		90	—	20
1350A				60		25	5A02	O	O	≤ 150	≤ 225	—	10
1200				75	20	—		H112	H112		170	70	—
1035	O	O	≤ 150	60 ~ 120	—	25	5A03			≤ 150	175	80	13
8A06	H112	H112		60	—	25	5A05				265	120	15
2A02			≤ 150	430	275	10	5A06				315	155	15
	T1	T62	≤ 22	430	285	10	5A12				370	185	15
2A06		T6	$> 22 \sim 100$	440	295	9	6061	T6	T6	≤ 150	260	240	9
			$> 100 \sim 150$	430	285	10		T4	T4		180	110	14
2A11			≤ 150	370	215	12	6063			≤ 150	130	65	14
			≤ 22	390	255	12		T4	T4	$> 150 \sim 200$	120	65	12
2A12			$> 22 \sim 150$	420	255	12		T5	T5	≤ 200	175	130	8
	T1	T42	≤ 22	315	—	4				≤ 150	215	170	10
2A13		T4	$> 22 \sim 150$	345	—	4		T6	T6	$> 150 \sim 200$	195	160	10
2A14	T1	T62	≤ 22	440	—	10	7A09		T6	$> 22 \sim 150$	530	400	6
	T6	T6	$> 22 \sim 150$	450	—	10							
2A16	T6511	T6511	≤ 150	355	235	8	7A15	T1 T6	T1 T6	≤ 150	490	420	6

注：棒材直径对于方棒和六角棒是指其内切圆直径。

3.2.4 铝及铝合金冷拉、冷轧管材 (见表 1.4-65)

表 1.4-65 铝及铝合金冷拉、冷轧管材尺寸规格 (摘自 GB/T 4436—1995)

圆管	外径 /mm	6	8	10	12、 14 15	16 18	20	22 24 24	26 28 30	32 34 35	36 38 40	42 45 48	50 52 55	58 60	65 70 75	80、 85、 90、 95	100、 105、 110	115	120
	壁厚 /mm	0.5 ~ 1.0	0.5 ~ 2.0	0.5 ~ 2.5	0.5 ~ 3.0	0.5 ~ 3.5	0.5 ~ 4.0	0.5 ~ 5.0	0.75 ~ 5.0						1.5 ~ 5.0	2.0 ~ 5.0	2.5 ~ 5.0	3.0 ~ 5.0	3.5 ~ 5.0
	壁厚尺寸 系列/mm	0.5、0.75、1.0 ~ 5.0 (0.5 进级)																	
正方形管	公称边长 /mm	10、 12		14、16		18、20		22、25		28、32、36 40		42、45、50、55、60、65、70							
	壁厚 /mm	1.0、1.5		1.0、1.5、 2.0		1.0、1.5、 2.0、2.5		1.5、2.0、 2.5、3.0		1.5、2.0、2.5、 3.0、4.5		1.5、2.0、2.5、3.0、4.5、5.0							
矩形管	公称边长 (长×宽) /mm	14×10 16×12 18×10		18×14 20×12 22×14		25×15 28×16		28×22 32×18		32×25 36×20 36×28		40×25、40×30 45×30、50×30 55×40				60×40 70×50			
	壁厚 /mm	1.0、1.5 2.0		1.0、1.5、 2.0、2.5		1.0、1.5、 2.0、2.5、 3.0		1.0、1.5、 2.0、2.5、 3.0、4.0		1.0、1.5、 2.0、2.5、 3.0、4.0、 5.0		1.5、2.0、2.5、 3.0、4.0、5.0				2.0、2.5、 3.0、4.0、 5.0			

注：1. 正方形管、矩形管公称边长是指外侧尺寸。

2. GB/T 4436 规定有椭圆形管，本表未编入。

3.3 钛及钛合金

3.3.1 铸造钛及钛合金（见表 1.4-66）

表 1.4-66 铸造钛及钛合金牌号、力学性能及应用举例（摘自 GB/T 6614—1994）

牌 号	代号	抗拉强度 R_m /MPa $\geq$	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa $\geq$	伸长率 A (%) $\geq$	硬度 HBW $\leq$	供应状态	特性及应用举例
ZTi1	ZTA1	345	275	20	210	铸态 (C)	适用于石墨加工型、石墨捣实型、金属型和熔模精铸型生产的钛及钛合金铸件。铸造钛及钛合金的冲击性比变形钛合金高，可加工为复杂形状的零件，且省材料，应用于化工设备、如球形阀、泵、叶轮导、精密铸件也可用于航空工业。ZTB32是耐还原性介质腐蚀最强的一种钛合金。但耐氧化性介质很差，有脆性，用于受还原性介质腐蚀的容器和结构件
ZTi2	ZTA2	440	370	13	235		
ZTi3	ZTA3	540	470	12	245		
ZTiAl4	ZTA5	590	490	10	270	消除应力状态 (M)	
ZTiAl5Sn2.5	ZTA7	795	725	8	335	热等静压状态 (HIP)	
ZTiAl6V4	ZTC4	895	825	6	365		
ZTiMo32	ZTB32	795	—	2	260		
ZTiAl6Sn4.5Nb2Mo1.5	ZTC21	980	850	5	350	消除应力状态 (M)	

注：1. 各牌号化学成分、杂质含量应符合 GB/T 15073—1994 的规定。
2. 铸件尺寸公差应符合 GB/T 6414—1999 的规定，一般应不低于 CT11 级。

3.3.2 钛及钛合金型材（见表 1.4-67）

表 1.4-67 部分钛及钛合金型材的牌号、特性及应用举例

GB/T 3620.1—2007		特性及应用举例
材料牌号	名义化学成分	
TA1 TA2 TA3 TA4	工业纯钛	这些牌号在各种环境中具有良好的耐蚀性，有较高的比强度和疲劳极限。通常在退火状态下使用，其锻造性能类似低碳钢或 18-8 型不锈钢。用于石油化工、医疗、航空等工业的耐热、耐蚀零部件。爆炸复合钛板优先采用 TA1
TA5 TA6	Ti-4Al-0.005B Ti-5Al	属于 α 型钛合金，不能热处理强化，通常在退火状态下使用，有良好的热稳定性和热强度及优良的焊接性能，主要作为焊丝材料
TA7	Ti-5Al-2.5Sn	属于 α 型钛合金，可焊，在 316 ~ 593℃ 下有良好的抗氧化性、强度及高温热稳定性。用于锻件、板材零件，如航空发动机的涡轮机叶片、壳体和支架等
TA9	Ti-0.2Pd	它是目前最好的耐蚀合金，它不仅在高温、高浓度的氯化物中具有极为优良的抗缝隙腐蚀性能，并且在还原性介质中的耐蚀性优于纯钛。用于化工等耐氯及氯化物等介质的设备和零件
TA10	Ti-0.3Mo-0.8Ni	在硝酸、铬酸等氧化性介质中有与纯钛同等优良的耐蚀性能。改善了在还原性介质中的耐蚀性，它在 50℃ 的 5% H_2SO_4 、5% HCl 、沸腾的 1% H_2SO_4 及沸腾的中等浓度的甲酸和柠檬酸中稳定。它在高温、高浓度的氯化物中有较好的抗缝隙腐蚀性能。其加工性和焊接性与工业纯钛相当。用于湿氯气、盐水、海水及各种高温、高浓度的氯化物的换热器、电解槽等

(续)

GB/T 3620. 1—2007		特性及应用举例
材料牌号	名义化学成分	
TB2	Ti-5Mo-5V-8Cr-3Al	属于 β 型钛合金, 在淬火状态下有良好塑性, 可以冷成形; 淬火时效后有很高的强度, 可焊性好, 在高屈服强度下有高的断裂韧性; 热稳定性差。用于螺栓、铆钉等紧固件及航空工业用构件
TC1 TC2 TC3 TC4	Ti-2Al-1. 5Mn Ti-4Al-1. 5Mn Ti-5Al-4V Ti-6Al-4V	这些合金属于 $(\alpha + \beta)$ 型钛合金, 有较高的力学性能和优良的高温变形能力。能进行各种热加工, 淬火时效后能大幅度提高强度, 但热稳性较差 TC1、TC2 在退火状态下使用, 可作为低温材料。TC3、TC4 有好的综合力学性能, 组织稳定性高, 在退火状态下使用, 用于航空涡轮发动机机盘、叶片、结构锻件、紧固件等

注: 1. 全部的钛及钛合金化学成分见 GB/T 3620. 1—2007。
2. 钛合金中加入 α 、 β 稳定元素, 称为 $(\alpha + \beta)$ 两相钛合金。

3.3.3 钛及钛合金板材 (见表 1.4-68 ~ 表 1.4-71)

表 1.4-68 钛及钛合金板材牌号、制造方法、供应状态及规格分类 (摘自 GB/T 3621—2007)

牌号	制造方法	供应状态	规 格		
			厚度/mm	宽度/mm	长度/mm
TA1、TA2、TA3、TA4、 TA5、TA6、TA7、TA8、 TA8-1、TA9、TA9-1、TA10、 TA11、TA15、TA17、TA18、 TC1、TC2、TC3、TC4、 TC4ELI	热轧	热加工状态 (R) 退火状态 (M)	>4. 75 ~ 60. 0	400 ~ 3000	1000 ~ 4000
	冷轧	冷加工状态 (Y) 退火状态 (M) 固溶状态 (ST)	0. 30 ~ 6. 0	400 ~ 1000	1000 ~ 3000
TB2	热轧	固溶状态 (ST)	>4. 0 ~ 10. 0	400 ~ 3000	1000 ~ 4000
	冷轧	固溶状态 (ST)	1. 0 ~ 4. 0	400 ~ 1000	1000 ~ 3000
TB5、TB6、TB8	冷轧	固溶状态 (ST)	0. 35 ~ 4. 75	400 ~ 1000	1000 ~ 3000

注: 1. 如对供货厚度和尺寸规格有特殊要求, 可由供需双方协商。
2. 当需方在合同中注明时, 可供应消应力状态的板材。
3. 钛及钛合金板材标记示例如下。
用 TA2 制成的厚度为 3. 0mm、宽度 500mm、长度 2000mm 的退火态板材, 其标记为:
板 TA2 M3. 0 $\times$ 500 $\times$ 2000 GB/T 3621—2007

表 1.4-69 钛及钛合金板材的厚度允许偏差 (摘自 GB/T 3621—2007) (mm)

厚度	宽度			厚度	宽度		
	400 ~ 1000	> 1000 ~ 2000	> 2000		400 ~ 1000	> 1000 ~ 2000	> 2000
0. 3 ~ 0. 5	$\pm 0. 05$	—	—	> 6 ~ 8	$\pm 0. 4$	$\pm 0. 6$	$\pm 0. 8$
> 0. 5 ~ 0. 8	$\pm 0. 07$			> 8 ~ 10	$\pm 0. 5$		
> 0. 8 ~ 1. 1	$\pm 0. 09$			> 10 ~ 15	$\pm 0. 7$	$\pm 0. 8$	$\pm 1. 0$
> 1. 1 ~ 1. 5	$\pm 0. 11$			> 15 ~ 20		$\pm 0. 9$	$\pm 1. 1$
> 1. 5 ~ 2	$\pm 0. 15$			> 20 ~ 30	$\pm 0. 9$	$\pm 1. 0$	$\pm 1. 2$
> 2 ~ 3	$\pm 0. 18$			> 30 ~ 40	$\pm 1. 1$	$\pm 1. 2$	$\pm 1. 5$
> 3 ~ 4	$\pm 0. 22$			> 40 ~ 50	$\pm 1. 2$	$\pm 1. 5$	$\pm 2. 0$
> 4 ~ 6	$\pm 0. 35$	$\pm 0. 4$		> 50 ~ 60	$\pm 1. 6$	$\pm 2. 0$	$\pm 2. 5$

表 1.4-70 钛及其合金板材的室温力学性能（摘自 GB/T 3621—2007）

牌号	状态	板材厚度 /mm	抗拉强度 R_m /MPa	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率 ^① A (%) $\geq$	
TA1	M	0.3 ~ 25.0	≥ 240	140 ~ 310	30	
TA2			≥ 400	275 ~ 450	25	
TA3			≥ 500	380 ~ 550	20	
TA4			≥ 580	485 ~ 655		
TA5		0.5 ~ 1.0 > 1.0 ~ 2.0 > 2.0 ~ 5.0 > 5.0 ~ 10.0	685 ~ 835	≥ 585	20	
					15	
					12	
TA6				0.8 ~ 1.5 > 1.5 ~ 2.0 > 2.0 ~ 5.0 > 5.0 ~ 10.0	—	20
		15				
		12				
TA7		0.8 ~ 1.5 > 1.5 ~ 2.0 > 2.0 ~ 5.0 > 5.0 ~ 10.0	735 ~ 930		≥ 685	20
				15		
				12		
TA8				0.8 ~ 10.0	≥ 400	275 ~ 450
TA8-1		≥ 240			140 ~ 310	24
TA9		≥ 400			275 ~ 450	20
TA9-1		≥ 240	140 ~ 310		24	
TA10 ^②		A 类 B 类	≥ 485		≥ 345	18
			≥ 345		≥ 275	25
TA11		5.0 ~ 12.0	≥ 895	≥ 825	10	
TA13	0.5 ~ 2.0	540 ~ 770	460 ~ 570	18		
TA15	0.8 ~ 1.8 > 1.8 ~ 4.0 > 4.0 ~ 10.0	930 ~ 1130	≥ 855	12		
				10		
				8		
TA17			0.5 ~ 1.0 > 1.0 ~ 2.0 > 2.0 ~ 4.0 > 4.0 ~ 10	685 ~ 835	—	25
	15					
	12					
	10					
TA18	0.5 ~ 2.0 > 2.0 ~ 4.0 > 4.0 ~ 10.0	590 ~ 735	—		25	
					20	
				15		
TB2			ST STA	1.0 ~ 3.5	≤ 980 1320	—
TB5	ST		0.8 ~ 1.75 > 1.75 ~ 3.18	705 ~ 945	690 ~ 835	12 10
TB6			1.0 ~ 5.0	≥ 1000	—	6

(续)

牌号	状态	板材厚度 /mm	抗拉强度 R_m /MPa	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率 ^① A (%) $\geq$	
TB8	ST	0.3 ~ 0.6 >0.6 ~ 2.5	825 ~ 1000	795 ~ 965	6	
					8	
TC1	M	0.5 ~ 1.0 >1.0 ~ 2.0 >2.0 ~ 5.0 >5.0 ~ 10.0	590 ~ 735	—	25	
					20	
TC2		0.5 ~ 1.0 >1.0 ~ 2.0 >2.0 ~ 5.0 >5.0 ~ 10.0	≥ 685		25	
					15	
					12	
TC3		0.8 ~ 2.0 >2.0 ~ 5.0 >5.0 ~ 10.0	≥ 880		10	
TC4		0.8 ~ 2.0 >2.0 ~ 5.0 >5.0 ~ 10.0 10.0 ~ 25.0	≥ 895		≥ 830	12
						10
	8					
TC4ELI		0.8 ~ 25.0	≥ 860	≥ 795	10	

- ① 厚度不大于 0.64mm 的板材，伸长率报实测值。
- ② 正常供货按 A 类，B 类适用于复合板复材，当需方要求并在合同中注明时，按 B 类供货。

表 1.4-71 钛及钛合金板材的高温力学性能（摘自 GB/T 3621—2007）

合金牌号	板材厚度 /mm	试验温度 /℃	抗拉强度 R_m /MPa, ≥	持久强度 σ_{100h} /MPa, ≥
TA6	0. 8 ~ 10	350 ~ 500	420	390
TA7			340	195
			490	440
			440	195
TA11	5. 0 ~ 12	425	620	—
TA15	0. 8 ~ 10	500	635	440
		550	570	440
TA17	0. 5 ~ 10	350 ~ 400	420	390
TA18			390	360
			340	320
TC1			310	280
			340	320
TC2			310	295
	420	390		
TC3、TC4	0. 8 ~ 10	400	590	540
		500	440	195

3.3.4 钛及钛合金管材 (见表 1.4-72 ~ 表 1.4-74)

表 1.4-72 钛及钛合金管材尺寸规格

牌号	供应状态	制造方法	外径/mm	壁厚/mm												
				0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
换热器、 冷凝器 用管 (GB/T 3625— 2007)	TA1 TA2 TA3 TA9 TA9-1 TA10	退火 状态 (M)	冷轧 (冷拔)	>10~15		○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—
				>15~20		—	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—
				>20~30		—	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—
				>30~40		—	—	—	—	○	○	○	○	—	—	—
				>40~50		—	—	—	—	○	○	○	○	○	—	—
				>50~60		—	—	—	—	—	○	○	○	○	○	—
				>60~80		—	—	—	—	—	—	○	○	○	○	○
			焊接	16	—	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—
				19		○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—
				25、27		○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—
				31、32、33		—	—	○	○	○	○	—	—	—	—	—
				38		—	—	—	—	—	○	○	○	—	—	—
				50		—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—
				63		—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—
			焊接- 轧制	6~10		○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—
				>10~15		○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—
				>15~20		○	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—
一般工 业用管 (GB/T 3624— 1995)	TA1 TA2 TA3 TA9 TA10	退火 状态 (M)	冷轧 (冷拔)	≥5~10		○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—
				>10~15		—	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—
				>15~20		—	—	○	○	○	○	○	—	—	—	—
				>20~30		—	—	○	○	○	○	○	○	—	—	—
				>30~40		—	—	—	—	○	○	○	○	○	—	—
				>40~50		—	—	—	—	—	○	○	○	○	○	—
				>50~60		—	—	—	—	—	—	○	○	○	○	—
				>60~80		—	—	—	—	—	—	—	○	○	○	○
				>80~110		—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○
			焊接	16		—	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—
				19		—	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—
				25、27		—	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—
				31、32、33		—	—	—	○	○	○	—	—	—	—	—
				38		—	—	—	—	—	—	○	○	○	—	—
				50		—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—
				63		—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—
			焊接- 轧制	6~10		—	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—
				>10~15		—	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—
				>15~20		—	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—
				>20~30		—	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—

注：“○”表示可以生产的规格。

表 1.4-73 换热器钛及钛合金管材的外径和壁厚允许偏差 (摘自 GB/T 3625—2007) (mm)

外径	外径允差	厚壁允差	外径	外径允差	厚壁允差
6 ~ 25	±0.10	±10%	>50 ~ 60	±0.18	±10%
>25 ~ 38	±0.13		>60 ~ 80	±0.25	
>38 ~ 50	±0.15				

表 1.4-74 钛及钛合金管长度 (摘自 GB/T 3624—1995、GB/T 3625—2007) (mm)

种类	无缝管			焊接管			焊接-轧制管	
	外径 $d \leq 15$	外径 $d > 15$		壁 厚			壁 厚	
		壁 厚						
		≤ 2.0	$> 2.0 \sim 4.5^{①}$	$0.5 \sim 1.25$	$> 1.25 \sim 2.0$	$> 2.0 \sim 2.5$	$0.5 \sim 0.8$	$> 0.8 \sim 2.0$
长度	500 ~ 4000	500 ~ 9000	500 ~ 6000	500 ~ 15000	500 ~ 6000	500 ~ 4000	500 ~ 8000	500 ~ 5000

① 工业用钛及钛合金管 (GB/T 3624—1995) 无此项数据, 其外径 $d > 15\text{mm}$ 的管材长度 (任何壁厚) 为 500 ~ 9000mm。

注: 钛及钛合金管材标记示例如下。

用 TA2 冷轧无缝管、退火状态、外径 36mm、壁厚 4mm、长 3000mm 的管材, 其标记为:

管 TA2 SM ϕ 36 × 4 × 3000 GB/T 3625—2007

用 TA1 焊接管、退火状态、外径 25mm、壁厚 0.6mm、长 4000mm 的管材, 其标记为:

管 TA1 WM ϕ 25 × 0.6 × 4000 GB/T 3625—2007

用 TA1 焊接-轧制管、退火状态、外径 19mm、壁厚 0.5mm、长 4000mm 的管材, 其标记为:

管 TA1 WRM ϕ 19 × 0.5 × 4000 GB/T 3625—2007

3.4 铸造轴承合金 (见表 1.4-75)

表 1.4-75 铸造轴承合金力学性能 (摘自 GB/T 1174—1992)

种类	合金牌号	铸造方法	力学性能≥			种类	合金牌号	铸造方法	力学性能≥			
			抗拉强度	伸长率	布氏硬度				抗拉强度	伸长率	布氏硬度	
			R_m / MPa	A (%)	硬度 HBW				R_m / MPa	A (%)	硬度 HBW	
锡基	ZSnSb12Pb10Cu4	J	—	—	29	铜基	ZCuPb10Sn10	S	180	7	65	
	ZSnSb12Cu6Cd1	J	—	—	34			J	220	5	70	
	ZSnSb11Cu6	J	—	—	27			Li	220	6	70	
	ZSnSb8Cu4	J	—	—	24		ZCuPb15Sn8	S	170	5	60 *	
	ZSnSb4Cu4	J	—	—	20			J	200	6	65 *	
					Li			220	8	65 *		
铅基	ZPbSb16Sn16Cu2	J	—	—	30		ZCuPb20Sn5	S	150	5	45 *	
	ZPbSb15Sn5Cu3Cd2	J	—	—	32			J	150	6	55 *	
	ZPSb15Sn10	J	—	—	24			ZCuPb30	J	—	—	25 *
	ZPbSb15Sn5	J	—	—	20							
	ZPbSb10Sn6	J	—	—	18							
铜基	ZCuSn5Pb5Zn5	S、J	200	13	60 *	ZCuAl10Fe3	S	490	13	100 *		
		Li	250	13	65 *		J、Li	540	15	110 *		
	ZCuSn10P1	S	200	3	80 *	铝基	ZAlSn6Cu1Ni1	S	110	10	35 *	
		J	310	2	90 *			J	130	15	40 *	
		Li	330	4	90 *							

注: 硬度值中有 * 号者为参考数值。

4 非金属材料

4.1 橡胶及橡胶制品

4.1.1 工程常用橡胶的性能及应用（见表 1.4-76 ~ 表 1.4-78）

表 1.4-76 工程常用橡胶的种类、特性及应用举例

种类 (代号)	化学组成	特 性	应用举例
天然橡胶 (NR)	以橡胶烃（聚异戊二烯）为主，另含少量蛋白质、水分、树脂酸、糖类和无机盐	弹性大，拉伸强度高，抗撕裂性和电绝缘性优良，耐磨、耐寒性好，加工性佳，易与其他材料粘合，综合性能优于多数合成橡胶。缺点是耐氧及耐臭氧性差，容易老化，耐油、耐溶剂性不好，耐酸碱腐蚀的能力低，耐热性不高	制作轮胎、胶鞋、胶管、胶带、电线电缆的绝缘层和护套，以及其他通用橡胶制品
丁苯橡胶 (SBR)	丁二烯和苯乙烯的共聚物	耐磨性突出，耐老化和耐热性超过天然橡胶，其他性能与天然橡胶接近。缺点是弹性和加工性能较天然橡胶差，特别是自粘性差，生胶强度低	代替天然橡胶制作轮胎、胶板、胶管、胶鞋及其他通用制品
顺丁橡胶 (BR)	由丁二烯聚合而成的顺式结构橡胶	结构与天然橡胶基本一致。它的突出优点是弹性与耐磨性优良，耐老化性佳，耐低温性优越，在动负荷下发热量小，易与金属粘合；但强度较低，抗撕裂性差，加工性能与自粘性差，产量仅次于丁苯橡胶	一般和天然或丁苯橡胶混用，主要用于制作轮胎胎面、运输带和特殊耐寒制品
异戊橡胶 (IR)	以异戊二烯为单体聚合而成，组成和结构均与天然橡胶相似	又称合成天然橡胶，具有天然橡胶的大部分优点，吸水率低，电绝缘性好，耐老化性优于天然橡胶，但弹性和加工性能比天然胶较差，成本较高	可代替天然橡胶制作轮胎、胶鞋、胶管、胶带，以及其他通用橡胶制品
丁基橡胶 (IIR)	异丁烯和少量异戊二烯的共聚物，又称异丁橡胶	耐老化性及气密性、耐热性优于一般通用橡胶，吸振及阻尼特性良好，耐酸碱、耐一般无机介质及动植物油脂，电绝缘性亦佳，但弹性不好，加工性能差，表现在硫化慢，难粘，动态生热大	主要用于制作内胎、水胎、气球、电线电缆绝缘层、化工设备衬里及防振制品、耐热运输带、耐热耐老化胶布制品
氯丁橡胶 (CR)	由氯丁二烯作单体，乳液聚合而成的聚合物	有优良的抗氧、抗臭氧及耐候性，不易燃，着火后能自熄，耐油、耐溶剂及耐酸碱碱性、气密性等亦较好。主要缺点是耐寒性较差，密度较大，相对成本高，电绝缘性不好，加工时易粘辊、焦化及粘膜。此外，生胶稳定性差，不易保存。产量次于丁苯橡胶、顺丁橡胶，在合成橡胶中居第三位	主要用于制作要求抗臭氧、耐老化性高的重型电缆护套，耐油、耐化学腐蚀的胶管、胶带和化工设备衬里、耐燃的地下采矿用制品，以及汽车门窗嵌条、密封圈等
丁腈橡胶 (NBR)	丁二烯与丙烯腈的共聚物	耐油性仅次于聚硫橡胶、丙烯酸酯橡胶及氟橡胶而优于其他通用胶，耐热性较好，可达 150℃，气密性和耐水性良好，粘接力强，但耐寒、耐臭氧性较差，强度及弹性较低，电绝缘性不好，耐酸及耐极性溶剂性能较差	主要用于制作各种耐油制品，如耐油的胶管、密封圈、贮油槽衬里等，也可用于制作耐热运输带
二元、三元乙丙橡胶 (EPM、EPDM)	是乙烯和丙烯的共聚物。一般分二元乙丙橡胶和三元乙丙橡胶（乙烯、丙烯和二烯类三元共聚）两类	为密度小、颜色浅、成本较低的品种。耐化学稳定性很好（仅不耐浓硝酸），耐臭氧及耐候性优异，电绝缘性突出，耐热可达 150℃，耐极性溶剂但不耐脂肪烃及芳香烃。其他综合物理力学性能略次于天然橡胶而优于丁苯橡胶。缺点是硫化缓慢、粘着性差	主要用于制作化工设备衬里、电线电缆绝缘层、蒸汽胶管、耐热运输带、汽车配件（散热管及发动机部位的橡胶零件）及其他工业制品
氯磺化聚乙烯橡胶 (CSM)	用氯和二氧化硫处理（即氯磺化）聚乙烯后，再经硫化而成	耐臭氧及耐日光老化性优良，耐候性高于其他橡胶。不易燃，耐热、耐酸碱及耐溶剂性能也较好，电绝缘性尚佳，耐磨性良好。缺点是抗撕裂性不太好，加工性能差，价格较贵	用于制作臭氧发生器上的密封材料、耐油垫圈、电线电缆包皮及绝缘层、耐腐蚀件及化工设备衬里等

(续)

种类 (代号)	化学组成	特 性	应用举例
丙烯酸酯橡胶 (AR)	烷基丙烯酸酯与不饱和单体 (如丙烯腈) 的共聚物	最大特点是兼有耐油、耐热性能, 可在 180℃ 以下热油中使用, 还耐日光老化、耐氧与臭氧、耐紫外光, 气密性也较好。缺点是耐低温性较差, 不耐水及蒸汽, 强度、弹性及耐磨性均较差, 在苯及丙酮溶剂中膨胀较大, 加工性能不好	可用于制作一切需要耐油、耐热、耐老化的制品, 如耐热油软管、油封等
聚氨酯橡胶 (UR)	由聚酯或聚醚与二异氰酸酯类化合物聚合而成	耐磨性高于其他橡胶, 强度高, 耐油性好, 其他如耐臭氧、耐氧及日光老化、气密性等均很好。缺点是耐热、耐水、耐酸碱性能差	用于制作轮胎及耐油、耐苯零件、垫圈、防振制品及其他要求耐磨、高强度零件
硅橡胶 (SR)	主链为硅氧原子组成的、带有机基团的缩聚物	耐高温 (可达 300℃) 及低温 (最低 -100℃) 性能突出, 电绝缘性优良, 对热氧化和臭氧的稳定性高。缺点是机械强度较低, 耐油、耐酸碱、耐溶剂性较差, 价格较贵	用于制作耐高低温制品 (如胶管、密封件), 耐高温电绝缘制品
氟橡胶 (FPM)	由含氟单体共聚而得	耐高温可达 300℃, 耐介质腐蚀性高于其他橡胶 (耐酸碱、耐油性是橡胶中最好的), 抗辐射及高真空性优良。此外, 机械强度、电绝缘性、耐老化性能都很好, 是性能全面的特种合成橡胶。缺点是加工性差, 价格贵	用于制作耐化学腐蚀制品, 如化工衬里、垫圈、高级密封件、高真空橡胶件
聚硫橡胶 (PSR)	三氯乙烷和多硫化钠的缩聚物。为分子主链中含有硫原子的特种橡胶	耐油及耐各种化学介质腐蚀性能特别高, 在这方面仅次于氟橡胶, 能耐臭氧、日光、各种氧化剂, 气密性良好。缺点是机械强度极差, 变形大, 耐热、耐寒、耐磨、耐曲挠性均差, 粘性小, 冷流现象严重	由于综合性能较差以及易燃烧、有催泪性气味, 故工业上很少采用, 仅用作密封腻子或油库覆盖层
氯化聚乙烯橡胶	乙烯、氯乙烯与二氯乙烯的三元共聚物	耐候、耐臭氧性卓越, 电绝缘性尚可, 耐酸碱、耐油性良好, 耐水、耐燃、耐磨性优异, 但弹性差, 压缩变形较大, 性能与氯磺化聚乙烯橡胶近似	用于制作电线电缆护套、胶带、胶管、胶辊、化工衬里

表 1.4-77 工程常用橡胶技术性能数据

品 种		天然橡胶	异戊橡胶	丁苯橡胶	顺丁橡胶	氯丁橡胶	丁基橡胶	丁腈橡胶
性 能								
生胶密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		0.90 ~ 0.95	0.92 ~ 0.94	0.92 ~ 0.94	0.91 ~ 0.94	1.15 ~ 1.30	0.91 ~ 0.93	0.96 ~ 1.20
拉伸强度 /MPa	未补强硫化胶	17 ~ 29	20 ~ 30	2 ~ 3	1 ~ 10	15 ~ 20	14 ~ 21	2 ~ 4
	补强硫化胶	25 ~ 35	20 ~ 30	15 ~ 20	18 ~ 25	25 ~ 27	17 ~ 21	15 ~ 30
伸长率 (%)	未补强硫化胶	650 ~ 900	800 ~ 1200	500 ~ 800	200 ~ 900	800 ~ 1000	650 ~ 850	300 ~ 800
	补强硫化胶	650 ~ 900	600 ~ 900	500 ~ 800	450 ~ 800	800 ~ 1000	650 ~ 800	300 ~ 800
200% 定伸 24h 后永久变形 (%)	未补强硫化胶	3 ~ 5	—	5 ~ 10	—	18	2	6.5
	补强硫化胶	8 ~ 12	—	10 ~ 15	—	7.5	11	6
回弹率 (%)		70 ~ 95	70 ~ 90	60 ~ 80	70 ~ 95	50 ~ 80	20 ~ 50	5 ~ 65
永久压缩变形 (%) 100℃ × 70h		+10 ~ +50	+10 ~ +50	+2 ~ +20	+2 ~ +10	+2 ~ +40	+10 ~ +40	+7 ~ +20
硬度 邵尔 A		20 ~ 100	10 ~ 100	35 ~ 100	10 ~ 100	20 ~ 95	15 ~ 75	10 ~ 100
热导率/ $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$		0.17	—	0.29	—	0.21	0.27	0.25
最高使用温度/℃		100	100	120	120	150	170	170
长期工作温度/℃		-55 ~ 70	-55 ~ 70	-45 ~ 100	-70 ~ 100	-40 ~ 120	-40 ~ 130	-10 ~ 120

(续)

品 种		天然橡胶	异戊橡胶	丁苯橡胶	顺丁橡胶	氯丁橡胶	丁基橡胶	丁腈橡胶	
性 能									
脆化温度/℃		-55 ~ -70	-55 ~ -70	-30 ~ -60	-73	-35 ~ -42	-30 ~ -55	-10 ~ -20	
体积电阻率/Ω·cm		10 ¹⁵ ~ 10 ¹⁷	10 ¹⁰ ~ 10 ¹⁵	10 ¹⁴ ~ 10 ¹⁶	10 ¹⁴ ~ 10 ¹⁵	10 ¹¹ ~ 10 ¹²	10 ¹⁴ ~ 10 ¹⁶	10 ¹² ~ 10 ¹⁵	
表面电阻率/Ω		10 ¹⁴ ~ 10 ¹⁵	—	10 ¹³ ~ 10 ¹⁴	—	10 ¹¹ ~ 10 ¹²	10 ¹³ ~ 10 ¹⁴	10 ¹² ~ 10 ¹⁵	
相对介电常数/×10 ³ Hz		2.3 ~ 3.0	2.37	2.9	—	7.5 ~ 9.0	2.1 ~ 2.4	13.0	
瞬时击穿强度/kV·mm ⁻¹		>20	—	>20	—	10 ~ 20	25 ~ 30	15 ~ 20	
介质损耗角正切/×10 ³ Hz		0.0023 ~ 0.0030	—	0.0032	—	0.03	0.003	0.055	
耐溶剂性体膨胀率 (%)		汽油	+80 ~ +300	+80 ~ +300	+75 ~ +200	+75 ~ +200	+10 ~ +45	+150 ~ +400	-5 ~ +5
		苯	+200 ~ +500	+200 ~ +500	+150 ~ +400	+150 ~ +500	+100 ~ +300	+30 ~ +350	+50 ~ +100
		丙酮	0 ~ +10	0 ~ +10	+10 ~ +30	+10 ~ +30	+15 ~ +50	0 ~ +10	+100 ~ +300
		乙醇	-5 ~ +5	-5 ~ +5	-5 ~ +10	-5 ~ +10	+5 ~ +20	-5 ~ +5	+2 ~ +12
品 种		乙丙橡胶	氯磺化聚 乙烯橡胶	丙烯酸酯 橡 胶	聚氨酯橡胶	硅橡胶	氟橡胶	聚硫橡胶	氯化聚乙 烯橡胶
性能									
生胶密度/g·cm ⁻³		0.86 ~ 0.87	1.11 ~ 1.13	1.09 ~ 1.10	1.09 ~ 1.30	0.95 ~ 1.40	1.80 ~ 1.82	1.35 ~ 1.41	1.16 ~ 1.32
拉伸强度 /MPa	未补强 硫化胶	3 ~ 6	8.5 ~ 24.5	—	—	2 ~ 5	10 ~ 20	0.7 ~ 1.4	—
	补 强 硫化胶	15 ~ 25	7 ~ 20	7 ~ 12	20 ~ 35	4 ~ 10	20 ~ 22	9 ~ 15	>15
伸长率 (%)	未补强 硫化胶	—	—	—	—	40 ~ 300	500 ~ 700	300 ~ 700	400 ~ 500
	补 强 硫化胶	400 ~ 800	100 ~ 500	400 ~ 600	300 ~ 800	50 ~ 500	100 ~ 500	100 ~ 700	—
200%定伸 24h后永久 变形(%)	未补强 硫化胶	—	—	—	—	—	—	—	—
	补 强 硫化胶	—	—	—	—	—	—	—	—
回弹率(%)		50 ~ 80	30 ~ 60	30 ~ 40	40 ~ 90	50 ~ 85	20 ~ 40	20 ~ 40	—
永久压缩变形(%) 100℃×70h		—	+20 ~ +80	+25 ~ +90	+50 ~ +100	—	+5 ~ +30	—	—
硬度 邵尔 A		30 ~ 90	40 ~ 95	30 ~ 95	40 ~ 100	30 ~ 80	50 ~ 60	40 ~ 95	—
热导率/W·(m·K) ⁻¹		0.36	0.11	—	0.067	0.25	—	—	—
最高使用温度/℃		150	150	180	80	315	315	180	—
长期工作温度/℃		-50 ~ 130	-30 ~ 130	-10 ~ 180	-30 ~ 70	-100 ~ 250	-10 ~ 280	-10 ~ 70	90 ~ 105
脆化温度/℃		-40 ~ -60	-20 ~ -60	0 ~ -30	-30 ~ -60	-70 ~ -120	-10 ~ -50	-10 ~ -40	—
体积电阻率/Ω·cm		10 ¹² ~ 10 ¹⁵	10 ¹³ ~ 10 ¹⁵	10 ¹¹	10 ¹⁰	10 ¹⁶ ~ 10 ¹⁷	10 ¹³	10 ¹¹ ~ 10 ¹²	10 ¹² ~ 10 ¹³
表面电阻率/Ω		—	10 ¹⁴	—	10 ¹¹	10 ¹³	—	—	—
相对介电常数/×10 ³ Hz		3.0 ~ 3.5	7.0 ~ 10	4.0	—	3.0 ~ 3.5	2.0 ~ 2.5	—	7.0 ~ 10

(续)

品种		乙丙橡胶	氯磺化聚 乙烯橡胶	丙烯酸酯 橡 胶	聚氨酯橡胶	硅橡胶	氟橡胶	聚硫橡胶	氯化聚乙 烯橡胶
性能									
瞬时击穿强度 /kV·mm ⁻¹		30 ~40	15 ~20	—	—	20 ~30	20 ~25	—	15 ~20
介质损耗角正切 /×10 ³ Hz		0.004 (60Hz)	0.03 ~ 0.07	—	—	0.001 ~ 0.01	0.3 ~0.4	—	0.01 ~0.03
耐溶剂性膨 胀率(体积 分数)(%)	汽油	+100 ~ +300	+50 ~ +150	+5 ~ +15	-1 ~ +5	+90 ~ +175	+1 ~ +3	-2 ~ +3	—
	苯	+200 ~ +600	+250 ~ +350	+350 ~ +450	+30 ~ +60	+100 ~ +400	+10 ~ +25	-2 ~ +50	—
	丙酮	—	+10 ~ +30	+250 ~ +350	~ +40	-2 ~ +15	+150 ~ +300	-2 ~ +25	—
	乙醇	—	-1 ~ +2	-1 ~ +1	-5 ~ +20	-1 ~ +1	-1 ~ +2	-2 ~ +20	—

注:本表为经过硫化的软橡胶的技术性能数据。

表 1.4-78 工程常用橡胶在各种介质中的耐蚀性

橡胶品种	丁苯橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	氯丁橡胶	乙丙橡胶	乙丙酸酯橡胶	聚氨酯橡胶	硅橡胶	氟橡胶	聚硫橡胶
发烟硝酸	×	×	×	×	—	—	×	×	△	×
浓硝酸	×	×	×	×	—	—	×	×	△	×
浓硫酸	×	×	×	×	—	—	×	×	○	×
浓盐酸	×	×	△	△	—	—	—	△	△	×
浓磷酸	○	×	○	△	—	—	—	○	△	×
浓醋酸	△	×	○	×	—	—	—	○	×	×
浓氢氧化钠	○	○	△	○	☆	—	—	○	△	—
无水氨	△	△	○	△	☆	—	—	○	△	—
稀硝酸	×	×	×	×	—	—	—	△	○	×
稀硫酸	△	△	○	△	—	—	—	△	△	×
稀盐酸	×	×	△	○	—	—	—	△	△	△
稀醋酸	△	×	○	×	—	—	—	△	△	×
氨水	△	△	○	△	—	—	—	○	×	×
苯	×	×	✓	×	✓	×	×	×	○	○
汽油	×	○	×	○	×	○	○	×	○	○
石油	✓	△	×	✓	—	—	—	✓	○	○
四氯化碳	×	○	×	×	—	—	—	×	○	○
二硫化碳	×	○	×	×	—	—	—	—	—	—
乙醇	○	○	○	○	○	×	×	○	○	○
丙酮	△	×	△	✓	—	—	—	✓	×	△
甲酚	○	×	△	△	—	—	—	△	△	—
乙醛	×	✓	○	×	—	—	—	—	—	—
乙苯	×	×	×	×	×	×	×	—	—	○
丙烯腈	×	×	✓	△	—	—	—	—	×	△
丁醇	☆	☆	☆	☆	☆	☆	✓	☆	☆	☆
丁二烯	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—
苯乙烯	×	×	×	×	—	—	—	—	—	△
醋酸乙酯	×	×	○	×	○	×	△	✓	×	△
醚	×	×	△	×	△	×	×	×	×	×

注:○—可用,寿命较长;△—可用,寿命一般;✓—可作为代用材料,寿命较短;×—不可用;☆—在任何浓度均可用;— —不推荐。

4.1.2 橡胶管（见表 1.4-79 ~ 表 1.4-83）

表 1.4-79 输水通用橡胶软管规格（摘自 HG/T 2184—2008）

型号	最大工作压力 /MPa	内径 /mm	用 途	内径及允许偏差/mm		最小胶层厚度/mm	
				公称尺寸	允许偏差	内胶层	外胶层
1 型 低压型 a 级 b 级 c 级	0.3 0.5 0.7	≤100	适用于输送 60℃ 以下的生 活用水、工业用 水的橡胶软管,不适 用于输送饮用水	10	±0.75	1.8	1.0
				12.5			
				16			
				20	±1.25	2.0	1.0
25							
31.5	±1.50	2.3		1.2			
40							
50							
2 型 中压型 d	1.0	≤50	63	±2.00	2.5	1.5	
3 型 高压型 e	≤2.5	≤25	80				
			100				

注：标记示例：胶管内径 40mm，长度 1000mm，低压型，工作压力 ≤0.5MPa 的输水胶管，标记为：
胶管 1—b—40×1000 HG/T 2184—2008。

表 1.4-80 压缩空气用橡胶软管（摘自 GB/T 1186—2007）

内径/mm				最大工作压力/MPa				
1 型		2 型, 3 型		胶管型号				
公称内径	公差	公称内径	公差	1 型	1 型 c 级 2 型 c 级 3 型 c 级	2 型 d 级	2 型 e 级 3 型 e 级	
5	±0.5	12.5	±0.75	a 级 -0.6 b 级 -0.8	1.0	1.6	2.5	
6.3	±0.75	16						
8		20						
12.5		25	±1.25					
16		31.5						
20	±1.25	40	±1.5					
25		50						
31.5	±1.25	63 *	±1.5					
40		80 *						±2
50		100 *						

注：1. 本标准适用于工作温度在 -20 ~ 45℃，工作压力在 2.5MPa 以下的工业用压缩空气。
2. 表中标“*”的数值适用于 2 型 c、d 型；3 型 c 级软胶管。
3. 胶管标记示例：

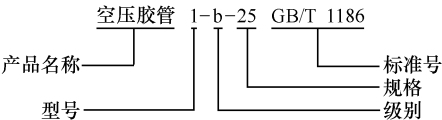


表 1.4-81 乙炔胶管的尺寸及工作压力（摘自 GB/T 2550—2007）

工作压力 /MPa	内径/mm		最小胶层厚度/mm	
	公称尺寸	公差	内胶层	外胶层
0.3	6.3	±0.55	1.5	1.2
	8.0	±0.60		
	10.0	±0.60		

注：1. 适用于 -10 ~ 45℃ 的乙炔气。
2. 长度由使用方提出，经制造方同意确定，长度公差为胶管全长的 ±1%。
3. 试验压力 0.3MPa，最小爆破压力 0.9MPa。

表 1.4-82 耐稀酸碱橡胶管规格及应用 (摘自 HG/T 2183—1991)

公称内径/mm		12.5	16	20	22	25	31.5	40	45	50	63	80
内径偏差/mm		±0.75				±1.25		±1.5				±2
胶层厚度≥ /mm	内胶层	2.2				2.5				2.8		
	外胶层	1.2				1.5						
型 号		A 型										
		—				B 型、C 型						
使用压力 /MPa	A 型	0.3、0.5、0.7,胶管有增强层,用于输送酸碱液体										
	B 型	负压 ^① ,胶管有增强层和钢丝螺旋线,用于吸引酸碱液体										
	C 型	负压 ^① ,0.3、0.5、0.7、用于排吸酸碱液体										
适用范围		适用于-20~45℃环境中,输送浓度不高于40%的硫酸溶液和浓度不高于15%氢氧化钠溶液,以及 与上述浓度程度相当的酸碱液(硝酸除外)的橡胶软管										

① 表示软管在 80kPa (- 600mmHg) 的压力下, 经真空试验后, 内胶层应无剥离, 中间细等异常现象。

表 1.4-83 钢丝增强液压胶管的规格和工作压力 (摘自 GB/T 3683.1—2006)

内径/mm			胶管型号	外径/mm		工作 压力 /MPa	最小弯 曲半径 /mm	内径/mm			胶管型号	外径/mm		工作 压力 /MPa	最小弯 曲半径 /mm
公称 尺寸	最小	最大		最小	最大			公称 尺寸	最小	最大		最小	最大		
5	4.5	5.4	1	11.9	13.5	21.0	90	16	15.4	16.7	1	25.4	27.0	10.5	205
			1T		12.5						1T	—	24.7		
			2, 3	15.1	16.7	35.0					2, 3	27.0	28.6	20.0	
			2T, 3T		14.1						2T, 3T	—	26.3		
6.3	6.1	6.9	1	15.1	16.7	20.0	100	19	18.6	19.8	1	29.4	31.0	9.0	240
			1T	—	14.1						1T	—	28.6		
			2, 3	16.7	18.3	35.0					2, 3	31.0	32.5	16.0	
			2T, 3T	—	15.7						2T, 3T	—	30.2		
8	7.7	8.5	1	16.7	18.3	17.5	115	22	21.8	23.0	1	32.5	34.1	8.0	280
			1T	—	15.7						1T	—	31.8		
			2, 3	18.3	19.8	32.0					2, 3	34.1	35.7	14.0	
			2T, 3T	—	17.3						2T, 3T	—	33.4		
10	9.3	10.1	1	19.1	20.6	16.0	130	25	25.0	26.4	1	36.9	39.3	7.0	300
			1T	—	18.1						1T	—	36.6		
			2, 3	20.6	22.2	28.0					2, 3	38.5	40.9	14.0	
			2T, 3T	—	19.7						2T, 3T	—	38.9		
10.3	9.9	11.1	1	19.8	21.4	16.0	140	31.5	31.3	33.0	1	44.5	47.6	4.4	420
			1T	—	18.9						1T	—	44.8		
			2, 3	—	—	—					2, 3	49.2	52.4	11.0	
			2T, 3T	—	—						2T, 3T	—	49.6		
12.5	12.3	13.5	1	22.2	23.8	14.0	180	38	37.7	39.3	1	50.8	54.0	3.5	500
			1T	—	21.5						1T	—	52.0		
			2, 3	23.8	25.4	25.0					2, 3	55.6	58.7	9.0	
			2T, 3T	—	23.1						2T, 3T	—	56.0		

(续)

内径/mm			胶管型号	外径/mm		工作压力 /MPa	最小弯 曲半径 /mm	内径/mm			胶管型号	外径/mm		工作压力 /MPa	最小弯 曲半径 /mm
公称 尺寸	最小	最大		最小	最大			公称 尺寸	最小	最大		最小	最大		
51	50.4	52.0	1	65.1	68.3	2.6	630	51	50.4	52.0	2, 3	68.3	71.4	8.0	630
			1T	—	65.9						2T, 3T	—	68.6		

- 注：1. 适用于普通液液液体（如矿物油、可溶性油、油水乳浊液，乙二醇水溶液及水等），工作温度范围为 - 40 ~ 100℃。
2. 型号说明：1 型：一层钢丝编织的液压橡胶软管；2 型：二层钢丝编织的液压橡胶软管；3 型：二层钢丝缠绕加一层钢丝编织的液压橡胶软管；1T 型：软管增强层结构与 1 型相同，在组装管接头时不切除或部分切除外胶层；2T 型：软管增强层结构与 2 型相同，与管接头组装时与 1T 型相同；3T 型：软管增强层结构与 3 型相同，与管接头组装时与 1T 型相同。
3. 软管长度：按买方规定长度供货。

4.1.3 工业用橡胶板（见表 1.4-84）

表 1.4-84 工业用橡胶板尺寸规格及性能（摘自 GB/T 5574—2008）

尺寸规格/mm		厚度：0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、4.0、5.0、6.0 ~22(2 进级)25、30、40、50 宽度：500 ~2000 长度供需双方协定									
耐油性分类		A 类	不耐油								
		B 类	中等耐油，3 号标准油，100℃ ×72h，体积变化率 Δ <i>V</i> 为 40% ~90%								
		C 类	耐油，3 号标准油，100℃ ×72h，体积变化率 Δ <i>V</i> 为 -5% ~40%								
力学性能	拉伸强度/MPa	≥3	≥4	≥5	≥7	≥10	≥14	≥17			
	代号	03	04	05	07	10	14	17			
	拉断伸长率(%)	≥100	≥150	≥200	≥250	≥300	≥350	≥400	≥500	≥600	
	代号	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	
	公称橡胶国际硬度或邵尔硬度 A	30	40	50	60	70	80	90	硬度偏差 均为： +5 -4		
	代号	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9			
热空气老化性能 (<i>A_r</i>)(B 类和 C 类胶板应按代号 <i>A_r2</i> 的规定)		<i>A_r1</i>	热空气老化 70℃ ×72h			拉伸强度降低率为 ≤30%					
						拉断伸长率降低率为 ≤40%					
		<i>A_r2</i>	热空气老化 100℃ ×72h			拉伸强度降低率为 ≤20%					
						拉断伸长率降低率为 ≤50%					
用途		A 类橡胶板的工作介质为水和空气，工作温度范围一般为 -30 ~50℃，用于制作机器衬垫、各种密封或缓冲用胶垫、胶圈以及室内外、轮船、火车、飞机等铺地面材料。耐油橡胶板(B、C 类)工作介质为汽油、煤油、机油、柴油及其他矿物油类，工作温度范围为 -30 ~50℃，用于制作机器衬垫，各种密封或缓冲用胶圈、衬垫等。									

- 注：1. 按用户需要，可提供耐低温性能 T_b、耐热性能 H_r、抗撕裂性能 T_s、耐臭氧性能 O_r、压缩永久变形性能 C_s及阻燃性能 FR 等附加性能的试验，试验条件可参照 GB/T 5574—2008 的相关规定，具体指标值由供需双方协定。
2. 标记示例：拉伸强度为 5MPa（代号 05），拉断伸长率为 400%（代号 4），公称硬度为 60IRHD（公称橡胶国际硬度，代号 H6），抗撕裂（代号 T_s）的不耐油（A 类）橡胶板，标记为：工业胶板 GB/T 5574-A-05-4-H6-T_s。

4.2 石棉制品（见表 1.4-85 ~ 表 1.4-87）

表 1.4-85 石棉橡胶板等级牌号、性能及应用举例（摘自 GB/T 3985—2008）

等级牌 号及应 用	等级牌号	对应 GB/T 20671. 1 的编码	表面颜色	推荐使用范围				应用举例	
	XB510	F119000—B7M7TZ	墨绿色	温度 510℃ 以下、压力 7MPa 以下的非油、非酸介质				板材以温石 棉为增强纤维， 以橡胶为粘合 剂，经辊压形 成，用于制造 耐热耐压密封 垫片及其他要 求的密封垫片	
	XB450	F119000—B7M6TZ	紫色	温度 450℃ 以下、压力 6MPa 以下的非油、非酸介质					
	XB400	F119000—B7M6TZ	紫色	温度 400℃ 以下、压力 5MPa 以下的非油、非酸介质					
	XB350	F119000—B7M5TZ	红色	温度 350℃ 以下、压力 4MPa 以下的非油、非酸介质					
	XB300	F119000—B7M4TZ	红色	温度 300℃ 以下、压力 3MPa 以下的非油、非酸介质					
	XB200	F119000—B7M3TZ	灰色	温度 200℃ 以下、压力 1. 5MPa 以下的非油、非酸介质					
	XB150	F119000—B7M3TZ	灰色	温度 150℃ 以下、压力 0. 8MPa 以下的非油、非酸介质					
物 理 机 械 性 能	项 目		XB510	XB450	XB400	XB350	XB300	XB200	XB150
	横向拉伸强度/MPa ≥		21. 0	18. 0	15. 0	12. 0	9. 0	6. 0	5. 0
	老化系数 ≥		0. 9						
	烧失量（%） ≤		28. 0			30. 0			
	压缩率（%）		7 ~ 17						
	回弹率（%） ≥		45			40		35	
	蠕变松弛率（%） ≤		50						
	密度/g · cm ⁻³		1. 6 ~ 2. 0						
	常温柔软性		在直径为试样公称厚度 12 倍的圆棒上弯曲 180°，试样不得出现裂纹等破坏迹象						
	氮气泄漏率/mL · （h · mm） ⁻¹ ≤		500						
	耐 热 耐 压 性	温度/℃	500 ~ 510	440 ~ 450	390 ~ 400	340 ~ 350	290 ~ 300	190 ~ 200	140 ~ 150
		蒸气压力/MPa	13 ~ 14	11 ~ 12	8 ~ 9	7 ~ 8	4 ~ 5	2 ~ 3	1. 5 ~ 2
		要求	保持 30min，不被击穿						

注：1. GB/T3985—2008 没有规定板材厚度、长度和宽度的具体尺寸，可按用户要求提供，长、宽、厚尺寸的允许偏差应按标准规定的要求执行。GB/T 3985—1995 旧标准规定的厚度为 0.5、0.6、0.8、1.0 ~ 3.0 以上（0.5 进级）；宽度为 500、620、1200、1260、1500；长度为 500、620、1000、1260、1350、1500、4000（以上单位均为 mm）；供参考。

2. 标记示例：a. 按产品等级牌号和标号编号标记，石棉橡胶板，等级牌号为 XB350，标记为：XB350—GB/T 3985。

b. 按产品型号类别和物理机械性能按 GB/T 20671.1 规定方法标记，石棉橡胶板，等级牌号为 XB350，根据其产品的型号类别和物理机械性能标记为：
GB/T 20671—ASTMF104（F119000—B7M5TZ）。

上述两种标记方法，任选其一即可。

表 1.4-86 耐油石棉橡胶板分类、等级牌号、性能及应用举例（摘自 GB/T 539—2008）

分类、等级牌号及用途	分 类	等级 牌号	对应 GB/T 20671.1 的编码	表面 颜色	推荐使用范围				应用举例		
	一般工业用 耐油石棉 橡胶板	NY510	F119040— A9B7E04M6TZ	草绿色	温度 510℃ 以下、压力 5MPa 以下的油 类介质				以温石棉为增 强纤维，以耐油 橡胶为粘合剂， 辊压形成；用于 制造耐油密封垫 片及其他要求的 密封垫片		
		NY400	F119040— A9B7E04M6TZ	灰褐色	温度 400℃ 以下、压力 4MPa 以下的油 类介质						
		NY300	F119040— A9B7E04M5TZ	蓝色	温度 300℃ 以下、压力 3MPa 以下的油 类介质						
		NY250	F119040— A9B7E04M5TZ	绿色	温度 250℃ 以下、压力 2.5MPa 以下的 油类介质						
		NY150	F119040— A9M4TZ	暗红色	温度 150℃ 以下、压力 1.5MPa 以下的 油类介质						
航空工业用 耐油石棉 橡胶板	HNY300	F119040— A9B7E04M5TZ	蓝色	温度 300℃ 以下的航空燃油、石油基润 滑油及冷气系统的密封垫片							
物 理 机 械 性 能	项 目			NY510	NY400	NY300	NY250	NY150	HNY300		
	横向拉伸强度/MPa			≥	18.0	15.0	12.7	11.0	9.0	12.7	
	压缩率（%）				7 ~ 17						
	回弹率（%）			≥	50			45	35	50	
	蠕变松弛率（%）			≤	45			—		45	
	密度/g·cm ⁻³				1.6 ~ 2.0						
	常温柔软性				在直径为试样公称厚度 12 倍的圆棒上弯曲 180°，试样不得出 现裂纹等破坏迹象						
	浸渍 IIRM903 油后性 能 149℃，5h	横向拉伸强度/MPa		≥	15.0	12.0	9.0	7.0	5.0	9.0	
		增重率（%）		≤	30						
	浸渍 ASTM 燃料油 B 后性能 21℃ ~ 30℃，5h	外观变化			—					无起泡	
		增厚率（%）			0 ~ 20			—		0 ~ 20	
		浸油后柔软性			—					同常温柔 软性要求	
		对金属材料的腐蚀性				—					无腐蚀
常温油密封性	介质压力/MPa			18	16	15	10	8	15		
	密封要求			保持 30min，无渗漏							
氮气泄漏率/mL·（h·mm） ⁻¹			≤	300							

注：1. GB/T539—2008 没有规定板材的厚、宽、长的具体尺寸，可按用户要求提供；但长、宽、厚的尺寸允许偏差应按此标准规定的要求执行。旧标准 GB/T 539—1995 规定的厚度为 0.4、0.5、0.6、0.8、0.9、1.2、1.5、2.0、2.5、3.0；宽度为 550、620、1200、1260、1500；长度 550、620、1000、1260、1350、1500；（以上单位均为 mm）供参考。

2. 厚度大于 3mm 的板材，不做拉伸强度试验。

3. 标记：按下述两种方法任选一种标记均可

a. 按等级牌号和本标准编号顺序标记。

标记示例：
等级牌号为 NY250 的一般工业用耐油石棉橡胶板，标记为：NY250—GB/T 539

b. 根据其产品的型号类别和物理机械性能按 GB/T 20671.1 规定的方法进行标记。

标记示例：
等级牌号为 NY250 一般工业用耐油石棉橡胶板，可根据其产品的型号类别和物理机械性能标记为：GB/T 20671—ASTM F104（F119040—A9B7E04M5YZ）。

表 1.4-87 耐酸石棉橡胶板规格及性能（摘自 JC/T 555—2010）

尺寸规格 /mm	公称厚度/mm	允许偏差/mm	同一张板厚度差/mm	长度	宽度	长、宽度允许偏差（%）	
	≤0.41	+0.13 -0.05	≤0.08	500	500	±5	
				1000	1000		
	0.41 ~ 1.57（含）	±0.13	≤0.10	1260	1260		
	1.57 ~ 3.00（含）	±0.20	≤0.20	1350	1350		
>3.00	±0.25	≤0.25	1500	1500			
物理性能	指 标 名 称			技术指标			
	横向拉伸强度/MPa			≥			10.0
	密度/（g/cm ³ ）						1.7 ~ 2.1
	压缩率/%						12 ± 5
	回弹率/%			≥			40
	柔软性			≤			在直径为试样公称厚度 12 倍的圆磅上弯曲 180℃，试样不得出现裂纹等破坏现象
耐酸性性能	硫酸 $c\left(\text{H}_2\text{SO}_4\right)=18\text{ mol/L}$ ，室温，48h		外观		不起泡、无裂纹		
			增重率（%）		≤		50
	盐酸 $c\left(\text{HCl}\right)=12\text{ mol/L}$ ，室温，48h		外观		不起泡、无裂纹		
			增重率（%）		≤		45
	硝酸 $c\left(\text{HNO}_3\right)=1.67\text{ mol/L}$ ，室温，48h		外观		不起泡、无裂纹		
			增重率（%）		≤		40

注：1. 厚度大于 3.0mm 者不做拉伸强度试验。
2. 厚度大于等于 2.5mm 者不做柔软性试验。
3. 表中长度和宽度值为 JC/T 555—1994 中的值，仅供参考。

4.3 工程塑料

4.3.1 常用工程塑料的性能特点和应用（见表 1.4-88 ~ 表 1.4-89）

表 1.4-88 常用工程塑料性能特点及应用举例

名 称	特 性	应 用 举 例
硬质聚氯乙烯 (UPVC)	机械强度较高，化学稳定性及介电性能优良，耐油性和耐老化性也较好，易熔接及粘合，价格较低。缺点是使用温度低（在 60℃ 以下），线膨胀系数大，成型加工性不良	制品有管、棒、板、塑料焊条及管件，主要用作耐磨蚀的结构材料或设备衬里材料（代有色金属、不锈钢和橡胶）及电气绝缘材料
软质聚氯乙烯 (SPVC)	拉伸强度、弯曲强度及冲击强度均较硬质聚氯乙烯低，但断后伸长率较高。质柔软、耐摩擦、曲挠，弹性良好，像橡胶，吸水性低，易加工成型，有良好的耐寒性和电气性能，化学稳定性强，能制各种鲜艳而透明的制品。缺点是使用温度低，在 -15 ~ 55℃	通常制成管、棒、薄板、薄膜、耐寒管、耐酸碱软管等半成品，供作绝缘包皮、套管、耐腐蚀材料、包装材料和日常生活用品
聚乙烯 (PE)	具有优良的介电性能、耐冲击、耐水性好，化学稳定性高，使用温度可达 80 ~ 100℃，摩擦性能和耐寒性好。缺点是机械强度不高，质较软，成型收缩率大	用做一般电缆的包皮，耐腐蚀的管道、阀、泵的结构零件，亦可喷涂于金属表面，作为耐磨、减摩及防腐涂层
有机玻璃 (聚甲基丙烯酸甲酯) (PMMA)	有极好的透光性，可透过 92% 以上的太阳光，紫外光透过可达 73.5%；力学性能较高，有一定耐热耐寒性，耐腐蚀、绝缘性能良好，尺寸稳定，易于成型，但质较脆，易溶于有机溶剂中，表面硬度不够，易擦毛	可作要求有一定强度的透明结构零件，如油杯、车灯、仪表零件，以及光学镜片、装饰件、光学纤维等

(续)

名 称		特 性	应 用 举 例
聚丙烯 (PP)		是最轻的塑料之一，其弯曲、拉伸、压缩强度和硬度均优于低压聚乙烯，有很突出的刚性。高温（90℃）抗应力松弛性能良好，耐热性能较好，可在100℃以上使用，如无外力150℃也不变形。除浓硫酸、浓硝酸外，在许多介质中很稳定，但低相对分子质量的脂肪烃、芳香烃、氯化烃，对它有软化和溶胀作用。几乎不吸水，高频电性能不好，成型容易，但收缩率大，低温呈脆性，耐磨性不高	用于成型一般结构零件，作耐腐蚀化工设备和受热的电气绝缘零件，如泵叶轮、汽车零件、化工容器、管道、涂层、蓄电池匣
聚苯乙烯 (PS)		有较高的韧性和冲击强度，耐酸、耐碱性能好，不耐有机溶剂，电气性能优良，透光性好，着色性佳，并易成型	用于成型一般结构零件和透明结构零件以及仪表零件、油浸式多点切换开关、电池外壳，透明零件
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (ABS)		具有良好的综合性能，即高的冲击强度和良好的力学性能，优良的耐热、耐油性能和化学稳定性，尺寸稳定，易机械加工，表面还可镀金属，电性能良好	用于成型一般结构或耐磨受力传动零件和耐腐蚀设备，用ABS制成泡沫夹层板可做小轿车车身
聚砜 (PSU)		有很高的力学性能、绝缘性能及化学稳定性，并且在-100~150℃能长期使用，在高温下能保持常温下所具有的各种力学性能和硬度，蠕变值很小，用F-4填充后，可作摩擦零件	用于成型高温下工作的耐磨受力传动零件，如汽车分速器盖、齿轮以及电绝缘零件等
聚酰胺 (尼龙) (PA)	尼龙66	疲劳强度和刚性较高，耐热性较好，摩擦因数低，耐磨性好，但吸湿性大，尺寸稳定性不够	用于成型中等载荷、使用温度≤100℃、无润滑或少润滑条件下工作的耐磨受力传动零件
	尼龙6	疲劳强度、刚性、耐热性较尼龙66稍低，但弹性好，有较好的消振、降低噪声能力。其余同尼龙66	用于成型在轻负荷、中等温度（最高100℃）、无润滑或少润滑、要求噪声低的条件下工作的耐磨受力传动零件
	尼龙610	强度、刚性、耐热性略低于尼龙66，但吸湿性较小，耐磨性好	同尼龙6，用于成型要求比较精密的齿轮、在湿度波动较大的条件下工作的零件
	尼龙1010	强度、刚性、耐热性均与尼龙6和610相似，吸湿性低于尼龙610，成型工艺性较好，耐磨性亦好	用于成型轻载荷、温度不高、湿度变化较大且无润滑或少润滑的情况下工作的零件
	单体浇铸尼龙 (MC尼龙)	强度、耐疲劳性、耐热性、刚性均优于尼龙6及尼龙66，吸湿性低于尼龙6及尼龙66，耐磨性好，能直接在模型中聚合成型，宜浇铸大型零件	用于成型在较高载荷、较高的使用温度（最高使用温度小于120℃）无润滑或少润滑的条件下工作的零件
聚甲醛 (POM)		拉伸强度、冲击强度、刚性、疲劳强度、抗蠕变性能都很高，尺寸稳定性好，吸水性小、摩擦系数小，有很好的耐化学药品能力，性能不亚于尼龙，但价格较尼龙低，缺点是加热易分解，成型比尼龙困难	用于成型轴承、齿轮、凸轮、阀门、管道螺母、泵叶轮、车身底盘的小零件、汽车仪表板、汽化器、箱体、容器、杆件以及喷雾器的各种代铜零件
聚碳酸酯 (PC)		具有突出的冲击强度和抗蠕变性能，有很高的耐热性，耐寒性也很好，脆化温度达-100℃，弯曲、拉伸强度与尼龙等相当，并有较高的伸长率和弹性模量，但疲劳强度小于尼龙66，吸水性较低，收缩率小，尺寸稳定性好，耐磨性与尼龙相当，并有一定的耐腐蚀能力。缺点是成型条件要求较高	用于成型各种齿轮、蜗轮、齿条、凸轮、轴承、心轴、滑轮、传送链、螺母、垫圈、泵叶轮、灯罩、容器、外壳、盖板等

(续)

名 称	特 性	应 用 举 例
氯化聚醚 (聚氯醚) (CPE)	具有独特的耐腐蚀性能,仅次于聚四氟乙烯,可与聚三氯乙烯相比,能耐各种酸碱和有机溶剂,但在高温下不耐浓硝酸、浓双氧水和湿氯气等。可在 120℃ 下长期使用,强度、刚性比尼龙、聚甲醛等低,耐磨性略优于尼龙,吸水性小,成品收缩率小,尺寸稳定,成品精度高,可用火焰喷镀法涂于金属表面	用于成型耐腐蚀设备与零件,作为在腐蚀介质中使用的低速或高速、低速、低负荷的精密耐磨受力传动零件,如泵、阀、轴承、密封圈、化工管道涂层、窥镜等
聚酚氧 (苯氧树脂)	具有良好的力学性能,高的刚性、硬度和韧性。冲击强度可与聚碳酸酯相比,抗蠕变性能与大多数热塑性塑料相比属于优等,吸水性小,尺寸稳定,成型精度高,一般推荐的最高使用温度为 77℃	用于成型精密、形状复杂的耐磨受力传动零件,仪表、计算机等的零件,还可用作涂料及胶粘剂
线型聚酯 (聚对苯二甲酸乙二醇酯) (PETP)	具有很高的力学性能,拉伸强度超过聚甲醛,抗蠕变性能、刚性和硬度都胜过多种工程塑料,吸水性小,线胀系数小,尺寸稳定性高,但热力学性能和冲击性能很差,耐磨性同于聚甲醛和尼龙,增强的线型聚酯其性能相当于热固性塑料	用于成型耐磨受力传动零件,特别是与有机溶剂接触的上述零件,增强的聚酯可以代替玻璃纤维填充的酚醛、环氧等热固性塑料
聚苯醚 (聚苯撑氧)(PPO), 改性聚苯醚 (MPPO)	在高温下有良好的力学性能,特别是拉伸强度和抗蠕变性能极好,有较高的耐热性(长期使用温度为 -127 ~ 120℃),成型收缩率低,尺寸稳定性强,耐高浓度的无机酸、有机酸、盐的水溶液、碱及水蒸气,但溶于氯化烃和芳香烃中,在丙酮、苯甲醇、石油中龟裂和膨胀	用于成型在高温下工作的耐磨受力传动零件,和耐腐蚀的化工设备与零件,如泵叶轮、阀门、管道等,还可以代替不锈钢作外科医疗器械
聚四氟乙烯 (PTFE、F-4)	具有优异的化学稳定性,与强酸、强碱或强氧化剂均不起作用,有很高的耐热性、耐寒性,使用温度为 -180 ~ 250℃,摩擦因数很低,是极好的自润滑材料。缺点是力学性能较低,刚性差,有冷流动性、热导率低,热膨胀系数大,耐磨性不高(可加入填充剂,适当改善),需采用预压烧结的方法,成型加工费用较高	主要用于成型耐化学腐蚀、耐高温的密封元件,如填料、衬垫、胀圈、阀座、阀片,也用作输送腐蚀介质的高温管道、耐腐蚀衬里、容器,以及轴承、导轨、无油润滑活塞环、密封圈等。其分散液可以作涂层及浸渍多孔制品
填充聚四氟乙烯 (PTFE)	用玻璃纤维粉末、二硫化钼、石墨、氧化镉、硫化钨、青铜粉、铅粉等填充的聚四氟乙烯,在承载能力、刚性、 pv 极限值等方面都有不同的提高	用于成型高温或腐蚀介质中工作的摩擦零件,如活塞环等
聚三氟氯乙烯 (PCTFE、F-3)	耐热性、电性能和化学稳定性仅次于 F-4,在 180℃ 的酸、碱和盐的溶液中亦不溶胀或侵蚀,机械强度、抗蠕变性能、硬度都比 F-4 好些,长期使用温度为 -195 ~ 190℃ 之间,但要求长期保持弹性时,则最高使用温度为 120℃,涂层与金属有一定的附着力,其表面坚韧、耐磨、有较高的强度	用于成型耐腐蚀的设备与零件,悬浮液涂于金属表面可作防腐、电绝缘防潮等涂层
聚全氟乙烯丙烯 (FEP、F-46)	力学、电性能和化学稳定性基本与 F-4 相同,但突出的优点是冲击强度高,即使是带缺口的试样也冲不断,能在 -85 ~ 205℃ 温度范围内长期使用	同 F-4,用于成型要求大批量生产或外形复杂的零件,并用注射成型代替 F-4 的冷压烧结成型

(续)

名 称	特 性	应 用 举 例
酚醛树脂 (PF)	力学性能很高，刚性大，冷流性小，耐热性很高 (100℃ 以上)，在水润滑下摩擦系数极低 (0.01 ~ 0.03)， <i>pv</i> 值很高，有良好的电性能和耐酸碱侵蚀的能力，不易因温度和湿度的变化而变形，成型简便，价格低廉。缺点是性质较脆，色调有限，耐光性差，耐电弧性较小，不耐强氧化性酸的腐蚀	常用的为层压酚醛塑料和粉末状压塑料，用于成型板材、管材及棒材等。可成型农用潜水电泵的密封件和轴承、轴瓦、带轮、齿轮、制动装置和离合装置的零件、摩擦轮及电器绝缘零件等
聚酰亚胺 (PI)	能耐高温、高强度，可在 260℃ 温度下长期使用，耐磨性能好，且在高温和真空中稳定，挥发物少，电性能、耐辐射性能好，不溶于有机溶剂和不受酸的侵蚀，但在强碱、沸水、蒸汽持续作用下会破坏，主要缺点是质脆，对缺口敏感，不宜在室外长期使用	用于成型高温、高真空条件下作减摩、自润滑零件，以及高温电动机、电器零件
环氧树脂 (EP)	具有较高的强度、良好的化学稳定性和电绝缘性能，成型收缩率小，成型简便	制造金属拉延模、压形模、铸造模、各种结构零件，用来修补金属零件及铸件

表 1.4-89 常用工程塑料应用实例

用途	要求	应用举例	材 料
一 般 结构零件	强度和耐热性无特殊要求，一般用来代替钢材或其它材料，但由于批量大，要求有较高的生产率，成本低，有时对外观有一定要求	汽车调节器盖及喇叭后罩壳、电动机罩壳、各种仪表罩壳、盖板、手轮、手柄、油管、管接头、紧固件等	高密度聚乙烯、聚氯乙烯、改性聚苯乙烯 (203A, 204)，ABS、聚丙烯等，这些材料只承受较低的载荷，当受力小时，大约在 60 ~ 80℃ 范围内使用
	同上，并要求有一定的强度	罩壳、支架、盖板、紧固件等	聚甲醛、尼龙 1010
透 明 结构零件	除上述要求外，必须具有良好的透明度	透明罩壳、汽车用各类灯罩、油标、油杯、视镜、光学镜片、信号灯、防爆灯、防护玻璃以及透明管道等	改性有机玻璃 (372)，改性聚苯乙烯 (204)，聚碳酸酯
耐磨受力 传动零件	要求有较高的强度、刚性、韧性、耐磨性、耐疲劳性，并有较高的热变形温度、尺寸稳定	轴承、齿轮、齿条、蜗轮、凸轮、辊子、联轴器等	尼龙、MC 尼龙、聚甲醛、聚碳酸酯、聚酚氧、氯化聚醚、线型聚酯等。这类塑料的拉伸强度都在 58.8kPa 以上，使用温度可达 80 ~ 120℃
减 磨 自 润滑零件	对机械强度要求往往不高，但运动速度较高，故要求具有低的摩擦系数，优异的耐磨性和自润滑性	活塞环、机械动密封圈、填料、轴承等	聚四氟乙烯、填充的聚四氟乙烯、聚四氟乙烯填充的聚甲醛、聚全氟乙丙烯 (F46) 等，在小载荷、低速时可采用低压聚乙烯
耐 高 温 结构零件	除耐磨受力传动零件和减磨自润滑零件要求外，还必须具有较高的热变形温度及高温抗蠕变性	高温工作的结构传动零件如汽车分速器盖、轴承、齿轮、活塞环、密封圈、阀门、阀杆、螺母等	聚砒、聚苯醚、氟塑料 (F4, F-46)，聚苯亚胺、聚苯硫醚，以及各种玻璃纤维增强塑料等，这些材料都可在 150℃ 以上使用
耐腐蚀设 备与零件	对酸、碱和有机溶剂等化学药品具有良好的抗腐蚀能力，还具有一定的机械强度	化工容器、管道、阀门、泵、风机、叶轮、搅拌器以及它们的涂层或衬里等	聚四氟乙烯、聚全氟乙丙烯、聚三氯氧乙烯 F-3，氯化聚醚，聚氯乙烯、低压聚乙烯、聚丙烯、酚醛塑料等

(续)

塑料名称			压缩 强度	疲劳 强度 /10 ⁷ 次	冲击强度 /J · cm ⁻²		拉伸弹 性模量	弯曲弹 性模量	断裂 伸长率 (%)	硬 度		介电 常数	介电损耗	体积 电阻率 /Ω · cm	击穿 强度 /kV · mm ⁻¹	耐电 弧性 /s	
										洛 氏							布氏 HBW
										R	M						
			/MPa		缺口	无缺口	/ × 10 ³ MPa					/ × 10 ⁶ Hz					
硬聚氯乙烯 (PVC)			56.2 ~ 91.4		1.09 ~ 2.18	0.3 ~ 0.4			20 ~ 40		邵尔 D 70 ~ 90		14 ~ 17		10 ¹² ~ 10 ¹⁶	17 ~ 52	60 ~ 80
软聚氯乙烯			6.2 ~ 11.8			0.39 ~ 1.18			200 ~ 450		邵尔 D 20 ~ 30		5 ~ 9	0.08 ~ 0.015	10 ¹¹ ~ 10 ¹⁸	12 ~ 40	
低压 (高密度) 聚乙烯 (HDPE)			22.5	11	7 ~ 8	不断	0.84 ~ 0.95	1.1 ~ 1.4	60 ~ 150		邵尔 D 60 ~ 70		2.3 ~ 2.35	< 0.005	10 ¹⁶		150
改性有机玻璃 (372) (PMMA)						≥ 0.12						≥ 10			表面 4.5 × 10 ¹⁵	20	
聚丙烯 (PP)			39 ~ 56	11 ~ 22	0.22 ~ 0.5	不断	1.1 ~ 1.6	1.2 ~ 1.6	> 200	95 ~ 105			2.0 ~ 2.6	0.001	> 10 ¹⁶	30	125 ~ 185
改性聚苯乙烯 (204) (PS)			≥ 90		≥ 1.6	0.12 ~ 0.26			1.0 ~ 3.7		68 ~ 98 (HRM)		3.12		10 ¹⁶	25	
聚砜 (PSU)			89 ~ 97		0.7 ~ 0.81	1.72 ~ 3.7	2.5 ~ 2.8	2.8	20 ~ 100	120		10.8	2.9 ~ 3.1	0.001 ~ 0.006	10 ¹⁶	16.1 ~ 2.0	122
ABS	超高冲击型				5.3		1.8	1.8		100			2.4 ~ 5.0	0.003 ~ 0.008	10 ¹⁶		50 ~ 85
	高强度中冲击型				0.6		2.9	3.0		121			2.4 ~ 5.0	0.003 ~ 0.008	10 ¹⁶		50 ~ 85
	低温冲击型		18 ~ 39		2.7 ~ 4.9		0.7 ~ 1.8	1.2 ~ 2.0		62 ~ 88			3.7	0.011 ~ 0.073	10 ¹³	15.1 ~ 15.7	70 ~ 80
	耐热型		70		1.6 ~ 3.2		2.5	2.5 ~ 2.6		108 ~ 116			2.7 ~ 3.5	0.034	10 ¹³	14.2 ~ 15.7	70 ~ 80
聚 酰 胺 (PA)	尼龙 1010	未增强	79		0.4 ~ 0.5	不断	1.6	1.3	100 ~ 250			7.1	2.5 ~ 3.6	0.020 ~ 0.026	> 10 ¹⁴	> 20	
		玻璃纤维增强	157		0.85	100	8.8	5.9				12.4		0.027	10 ¹⁵	29	
	尼龙 610	干态	90		0.035 ~ 0.55		2.3		85	111 ~ 113			3.9	0.04	10 ¹⁴	28.5	
		含水 1.5%	70		0.98		1.2		220 ~ 240	90							
	尼龙 66	干态	120		0.39		3.2 ~ 3.3	2.9 ~ 3.0	60	118			40	0.014	10 ¹⁴	15 ~ 19	130 ~ 140
		含水 2.3%	90	23 ~ 25	1.38		1.4	1.2	200	100							
	尼龙 6	干态	90	12 ~ 19	0.31		2.6	2.4 ~ 2.6	150	114			4.1	0.01	10 ¹⁴ ~ 10 ¹⁵	22	
		含水 3.5%	60		> 5.5		0.83	0.53	250	85							
	尼龙 11		80 ~ 110		0.35 ~ 0.48	3.8	1.2	11	60 ~ 230	100 ~ 113		7.5		0.06	10 ¹⁵	29.5	
	尼龙 9					2.5 ~ 3.0	1.0 ~ 1.2	1.0 ~ 1.2					3.7	0.019	5.5 × 10 ¹⁴	> 15	
MC 尼龙 (单体浇铸尼龙)		107 ~ 130	约 20		> 5.0	3.6	4.2	20 ~ 30			14 ~ 21	3.7	0.02				

(续)

塑料名称		密度 /g · cm ⁻³	吸水率	成品 收缩率	马丁 耐热	连续 耐热	维卡 耐热	热变形温度 /℃		脆化温度 /℃	燃烧性	线膨胀 系数 /(× 10 ⁻⁵ /℃)	拉伸强度	弯曲强度
								1. 86 MPa	0. 46 MPa				/MPa	
						(%)	/℃							
聚甲醛 (POM)	共聚	1. 41 ~ 1. 43	0. 22 ~ 0. 25	2. 0 ~ 3. 0	57 ~ 62	104		110	168	- 40	缓慢	11. 0	屈服 62 ~ 68	91 ~ 92
	均聚	1. 42 ~ 1. 43	0. 25	2. 0 ~ 2. 5	60 ~ 64	85		124	170		缓慢	10. 0	70	98
聚碳酸酯 (PC)	未增强	1. 20	0. 13	0. 5 ~ 0. 8	110 ~ 130	121		132 ~ 138		- 100	自熄	6 ~ 7	67	98 ~ 106
	增强	1. 4	0. 07 ~ 0. 09	0. 1 ~ 0. 5	150 ~ 152	140 ~ 141		147 ~ 149			不燃	1. 6 ~ 2. 7	110 ~ 140	160 ~ 190
氯化聚醚(CPE)		1. 4	0. 01	0. 4 ~ 0. 8	72	120 ~ 143		100	141	- 40	自熄	12	42. 3	70 ~ 77
聚酚氧(苯氧树脂)		1. 18	0. 13	0. 3 ~ 0. 4		77		86	92	- 60		5. 8 ~ 6. 8	63 ~ 70	90 ~ 110
线性聚酯 (PET)	未增强	1. 37 ~ 1. 38	0. 26	1. 8				85	115			6. 0	80	117
	增强	1. 63 ~ 1. 70		0. 2 ~ 1. 0	130 ~ 140			240			缓慢	2. 5 ~ 3. 4	120	145 ~ 175
聚苯醚 (PPO)	未改性	1. 06 ~ 1. 07	0. 07	0. 7 ~ 1. 0	144 ~ 160	200		190		- 127	缓慢 自熄	5. 0 ~ 5. 6	屈服 86. 5 ~ 89. 5 断裂 66. 5	98 ~ 137
	改性	1. 06	0. 066	0. 7		100	190			- 45	自熄	6. 7	67	95
氟塑料	F-4(聚四氟乙 烯)(PTFE)	2. 1 ~ 2. 2	0. 001 ~ 0. 005	模压 1 ~ 5		260		55	121	- 180 ~ - 195	自熄	10 ~ 12	14 ~ 25	11 ~ 14
	F-3(聚三氟氯 乙烯)(PCTFE)	2. 1 ~ 2. 2	<0. 005	1 ~ 2. 5	70	120 ~ 190		75	130	- 180 ~ - 195	自熄	4. 5 ~ 7. 0	32 ~ 40	55 ~ 70
	F-2	1. 76	0. 04	2. 0		150		91	149	- 62	自熄	8. 5 ~ 15. 3	46 ~ 49. 2	
	F-46(聚全氟 乙丙烯)	2. 1 ~ 2. 2	<0. 01	2 ~ 5		204		51	70	- 200	自熄	8. 3 ~ 10. 5	20 ~ 25	
	F-23	2. 02				170 ~ 180							25 ~ 30	35
聚酰 亚胺 (PI)	均苯型	1. 4 ~ 1. 6	0. 2 ~ 0. 3			260	>300	360		- 180	自熄	5. 5 ~ 6. 3	94. 5	>100
	可溶性型	1. 34 ~ 1. 40	0. 2 ~ 0. 3	0. 5 ~ 1. 0		200 ~ 250	250 ~ 270			- 180	自熄		120	200 ~ 210
酚醛塑料(PF)		1. 6 ~ 2. 0	≤0. 05		≥150							1. 5 ~ 2. 5	≥25	≥60
聚苯 硫醚 (PPS)	未增强型	1. 3 ~ 1. 5			105			135				2. 8	6. 5	9. 6
	增强型	1. 6 ~ 1. 65	0. 02					260					14. 2 ~ 17. 9	1. 96

(续)

塑料名称		压缩 强度	疲劳 强度 /10 ⁷ 周	冲击强度 /J · cm ⁻²		拉伸弹 性模量	弯曲弹 性模量	断裂 伸长率 (%)	硬 度			介电 系数	介电损耗	体积 电阻率 /Ω · cm	击穿 电压 /kV · mm ⁻¹	耐电 弧性 /s
									洛氏		布氏 HBW					
									R	M		/ × 10 ⁶ Hz				
		/MPa		缺口	无缺口	/ × 10 ³ MPa										
聚甲醛 (POM)	共聚	113	25 ~ 27	0.65 ~ 0.76	0.90 ~ 1.1	2.8	2.6	60 ~ 75	120	94		3.8	0.005	10 ¹⁴	18.6	240
	均聚	122	30 ~ 35	0.65	1.08	2.9	2.9	15 ~ 25		80		3.7	0.004	10 ¹⁴		129
聚碳 酸酯 (PC)	未增强	83 ~ 88	7 ~ 10	6.4 ~ 7.5	不断	2.2 ~ 2.4	2.0 ~ 3.0	60 ~ 100		75	9.7 ~ 10.4	3.0	0.006 ~ 0.007	10 ¹⁶	17 ~ 22	120
	增强	120 ~ 135			0.65	6.6 ~ 11.9	4.8 ~ 7.5	1 ~ 5			12.8	3.2 ~ 3.5	0.003 ~ 0.005	10 ¹⁵		5 ~ 120
氯化聚醚(CPE)		63 ~ 87		0.21	>0.50	1.1	0.9	60 ~ 160	100			3.1 ~ 3.3	0.011	6 × 10 ¹⁴	15.8	
聚酚氧(苯氧树脂)		84		0.134	不断	2.7	2.9	60 ~ 100	121	72		3.8 ~ 4.1	0.0012	10 ¹⁵		
线性聚酯 (PET)	未增强			0.040		2.9		200				3.4	0.021	10 ¹⁴		
	增强	130 ~ 161		0.085		8.3 ~ 9.0	6.2	15		95 ~ 100	14.5	3.78	0.016	10 ¹⁶	18 ~ 35	90 ~ 120
聚苯醚 (PPO)	未改性	91 ~ 112	14	0.083 ~ 0.102	0.53 ~ 0.64	2.6 ~ 2.8	2.0 ~ 2.1	30 ~ 80	118 ~ 123	78		2.58	0.001	10 ^{16 ~ 17}	15.8 ~ 20.5	
	改性	115	~ 20	0.70		2.5	2.5	20	119	78		2.64	0.0004	10 ¹⁷		
氟塑料	F-4(聚四氟乙 烯)(PTFE)	12		0.164		0.4		250 ~ 350	58	邵尔 D 50 ~ 65		2.0 ~ 2.2	0.0002	10 ¹⁸	25 ~ 40	> 200
	F-3(聚三氟氯 乙烯)(PCTFE)			0.130 ~ 0.170		1.1 ~ 1.3	1.3 ~ 1.8	50 ~ 190		邵尔 D 74 ~ 78	10 ~ 13	2.3 ~ 2.7	0.0017	1.2 × 10 ¹⁶	19.7	360
	F-2	70		0.203	0.160	0.84	1.4	30 ~ 300		邵尔 D 80		8.4	0.018	2 × 10 ¹⁴	10.2	50 ~ 70
	F-46(聚全氟 乙丙烯)			不断	不断	0.35		250 ~ 370	25			2.1	0.0007	2 × 10 ¹⁸	40	> 160
	F-23						1.0 ~ 1.2	150 ~ 250			7.8 ~ 8.0	3.0	0.012	10 ^{16 ~ 17}	23 ~ 25	
聚酰 亚胺 (PI)	均苯型	> 170	26	0.38	0.54		3.2	6 ~ 8				3 ~ 4	0.003	10 ¹⁷	> 40	230
	可溶性型	> 230		1.20	不断		3.3	6 ~ 10				3.1 ~ 3.5	0.001 ~ 0.005	10 ^{15 ~ 16}	> 30	
酚醛塑料(PF)		≥ 100	抗剪 强度 ≥ 25		≥ 0.35						≥ 30					
聚苯 硫醚 (PPS)	未增强型				0.78 ~ 0.98		3.8	3	117			3.4 ~ 3.8			20	
	增强型				2.9 ~ 3.9		10.7	3	123	428		3.8 ~ 4.2	0.002 ~ 0.006		17.1 ~ 18.4	160

4.3.3 塑料管材（见表 1.4-91 ~ 表 1.4-93）

表 1.4-91 工业用硬聚氯乙烯（PVC-U）管材尺寸规格、物理性能和力学性能
（摘自 GB/T4219.1—2008）

公称外径 d_n		壁厚 e 及其偏差													
		管系列 S 和标准尺寸比 SDR													
		S20 SDR41		S16 SDR33		S12.5 SDR26		S10 SDR21		S8 SDR17		S6.3 SDR13.6		S5 SDR11	
		$e_{\min}$	偏差	$e_{\min}$	偏差	$e_{\min}$	偏差	$e_{\min}$	偏差	$e_{\min}$	偏差	$e_{\min}$	偏差	$e_{\min}$	偏差
16		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	+0.4	
20		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	+0.4	
25		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	+0.4	2.3	+0.5
32		—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	+0.4	2.4	+0.5	2.9	+0.5
40		—	—	—	—	—	—	2.0	+0.4	2.4	+0.5	3.0	+0.5	3.7	+0.6
50		—	—	—	—	2.0	+0.4	2.4	+0.5	3.0	+0.5	3.7	+0.6	4.6	+0.7
63		—	—	2.0	+0.4	2.5	+0.5	3.0	+0.5	3.8	+0.6	4.7	+0.7	5.8	+0.8
75		—	—	2.3	+0.5	2.9	+0.5	3.6	+0.6	4.5	+0.7	5.6	+0.8	6.8	+0.9
90		—	—	2.8	+0.5	3.5	+0.6	4.3	+0.7	5.4	+0.8	6.7	+0.9	8.2	+1.1
110		—	—	3.4	+0.6	4.2	+0.7	5.3	+0.8	6.6	+0.9	8.1	+1.1	10.0	+1.2
125		—	—	3.9	+0.6	4.8	+0.7	6.0	+0.8	7.4	+1.0	9.2	+1.2	11.4	+1.4
140		—	—	4.3	+0.7	5.4	+0.8	6.7	+0.9	8.3	+1.1	10.3	+1.3	12.7	+1.5
160		4.0	+0.6	4.9	+0.7	6.2	+0.9	7.7	+1.0	9.5	+1.2	11.8	+1.4	14.6	+1.7
180		4.4	+0.7	5.5	+0.8	6.9	+0.9	8.6	+1.1	10.7	+1.3	13.3	+1.6	16.4	+1.9
200		4.9	+0.7	6.2	+0.9	7.7	+1.0	9.6	+1.2	11.9	+1.4	14.7	+1.7	18.2	+2.1
225		5.5	+0.8	6.9	+0.9	8.6	+1.1	10.8	+1.3	13.4	+1.6	16.6	+1.9	—	—
250		6.2	+0.9	7.7	+1.0	9.6	+1.2	11.9	+1.4	14.8	+1.7	18.4	+2.1	—	—
280		6.9	+0.9	8.6	+1.1	10.7	+1.3	13.4	+1.6	16.6	+1.9	20.6	+2.3	—	—
315		7.7	+1.0	9.7	+1.2	12.1	+1.5	15.0	+1.7	18.7	+2.1	23.2	+2.6	—	—
355		8.7	+1.1	10.9	+1.3	13.6	+1.6	16.9	+1.9	21.1	+2.4	26.1	+2.9	—	—
400		9.8	+1.2	12.3	+1.5	15.3	+1.8	19.1	+2.2	23.7	+2.6	29.4	+3.2	—	—
与公称 压力 PN 的 对照	C 值 2.0	PN0.63MPa		PN0.8MPa		PN1.0MPa		PN1.25MPa		PN1.6MPa		PN2.0MPa		PN2.5MPa	
	C 值 2.5	PN0.5MPa		PN0.63MPa		PN0.8MPa		PN1.0MPa		PN1.25MPa		PN1.6MPa		PN2.0MPa	
物理性能		项 目				要 求				管材长度		长度一般为 4m、6m、8m，也可由供需双方商定，承口最小深度应符合标准规定 长度不允许负偏差			
		密度 $\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$				1330 ~ 1460									
		维卡软化温度 (VST)/℃				≥80									
		纵向回缩率 (%)				≤5									
		二氯甲烷浸渍试验				试样表面无破坏									
力学性能		项 目		试验参数						要 求					
				温度/℃		环应力/MPa		时间/h							
		静液压试验		20		40.0		1		无破裂、无渗漏					
				20		34.0		100							
				20		30.0		1000							
				60		10.0		1000							
落锤冲击性能		0℃ (- 5℃)						TIR≤10%							

(续)

系统适用性试验	项 目	试验参数			要 求
		温度/℃	环应力/MPa	时间/h	
	系统液压试验	20	16.8	1000	无破裂、无渗漏
		60	5.8	1000	

- 注：1. 本表管材以聚氯乙烯（PVC）树脂为主要原料，经济成型，适用于工业部门各种硬聚氯乙烯管道系统，也适用于承压给排水输送以及污水处理、水处理、石油、化工、电力电子、冶金、电镀、造纸、食品饮料、医药、中央空调、建筑等领域的粉体、液体的输送。设计时应考虑输送介质随温度变化对管材的影响，应考虑管材的低温脆性和高温蠕变，标准建议使用温度为-5℃~45℃。当输送易燃易爆介质或输送饮用水、食品饮料、医药时，应符合防火、防爆或卫生性能要求的有关规定。
2. 本表C值为总体使用（设计）系数，系数C是一个大于1的数值，其大小考虑了使用条件和管路其他附件的特性对管系的影响，是在置信下限所包含因素之外考虑的管系安全裕度。
3. 公称压力（PN）系管材输送20℃水的最大工作压力，当输水温度*t*不同时，应用温度折减系数*f_t*乘以公称压力即为最大允许工作压力，当0℃<*t*≤25℃、25℃<*t*≤35℃、35℃<*t*≤45℃时，折减系数*f_t*分别为1、0.8、0.63。

表 1.4-92 工业用 PVC-C 管材尺寸规格（摘自 GB/T18998.2—2003） (mm)

公称外径 d_n	公称壁厚 e_n				壁厚偏差	
	管系列 S					
	S10	S6.3	S5	S4	公称壁厚 e_n	允许偏差
	标准尺寸比 SDR				2.0	+0.4 0
	SDR21	SDR13.6	SDR11	SDR9	>2.0 ~ 3.0	+0.5 0
20	2.0 (0.96) *	2.0 (1.5) *	2.0 (1.9) *	2.3	>3.0 ~ 4.0	+0.6 0
25	2.0 (1.2) *	2.0 (1.9) *	2.3	2.8	>4.0 ~ 5.0	+0.7 0
32	2.0 (1.6) *	2.4	2.9	3.6	>5.0 ~ 6.0	+0.8 0
40	2.0 (1.9) *	3.0	3.7	4.5	>6.0 ~ 7.0	+0.9 0
50	2.4	3.7	4.6	5.6	>7.0 ~ 8.0	+1.0 0
63	3.0	4.7	5.8	7.1	>8.0 ~ 9.0	+1.1 0
75	3.6	5.6	6.8	8.4	>9.0 ~ 10.0	+1.2 0
90	4.3	6.7	8.2	10.1	>10.0 ~ 11.0	+1.3 0
110	5.3	8.1	10.0	12.3	>11.0 ~ 12.0	+1.4 0
125	6.0	9.2	11.4	14.0	>12.0 ~ 13.0	+1.5 0
140	6.7	10.3	12.7	15.7	>13.0 ~ 14.0	+1.6 0

(续)

公称外径 d_n	公称壁厚 e_n				壁厚偏差	
	管系列 S					
	S10	S6.3	S5	S4	公称壁厚 e_n	允许偏差
	标准尺寸比 SDR				2.0	+0.4 0
	SDR21	SDR13.6	SDR11	SDR9	>2.0 ~ 3.0	+0.5 0
160	7.7	11.8	14.6	17.9	>14.0 ~ 15.0	+1.7 0
180	8.6	13.3	—	—	>15.0 ~ 16.0	+1.8 0
200	9.6	14.7	—	—	>16.0 ~ 17.0	+1.9 0
225	10.8	16.6	—	—	>17.0 ~ 18.0	+2.0 0

- 注：1. 考虑到刚度的要求，带“*”号规格的管材壁厚增加到2.0mm，进行液压试验时用括号内的壁厚计算试验压力。
2. 管材适于在压力下输送适宜的工业用固体、液体及气体等化学物质的管道系统。应用于石油、化工、污水处理与水处理、电力电子、冶金、采矿、电镀、造纸、食品饮料、医药等工业部门。当用于输送易燃易爆介质时，应符合防火、防爆的有关规定。
3. 管材以氯化聚氯乙烯（PVC-C）树脂为主要原料，挤出成型。制造管材所用的原材料应符合 GB/T 18998.1—2003 的规定。
4. 管系列 $S = (d_n - e_n) / 2e_n$ 。 d_n —公称外径（mm）； e_n —公称壁厚（mm）。
5. 标准尺寸比 $SDR = d_n / e_n$ 。
6. GB/T 18998.2—2003 规定，依据 ISO4433—1：1997 热塑性塑料管材—耐液体化学物质—分类和 ISO4433—3：1997 热塑性塑料管材—耐液体化学物质—分类（PVC—U、PVC—HI、PVC—C）的试验方法将耐化学性分为“耐化学性 S 级”、“耐化学性 L 级”、“耐化学性 NS 级”及耐化学腐蚀分类。根据管材所输送的化学介质及应用条件，从本表中合理选择管系列。
7. 管材的长度一般为 4m 或 6m，也可按用户要求，由供需双方确定。长度允许偏差为长度的（0 ~ 0.4%）倍。
8. 管材按尺寸分为：S10、S6.3、S5、S4 四个管系列。管材规格用管系列代号 S×、公称外径 d_n ×公称壁厚 e_n 表示，例如：S5 $d_n50 \times e_n5.6$ 。

表 1.4-93 工业用 PVC-C 管材的性能（摘自 GB/T 18998.2—2003）

力 学 性 能					物 理 性 能	
项 目	试验参数			要 求	项 目	要 求
	温度 /℃	静液压应力 /MPa	时间 ≥/h			
静液压试验	20	43	1	无破裂 无渗漏	密度/kg·m ⁻³	1450 ~ 1650
	95	5.6	165		维卡软化温度/℃	≥110
	95	4.6	1000		纵向回缩率（%）	≤5
静液压状态下热稳定性试验	95	3.6	8760	无破裂 无渗漏	氯含量（质量分数）（%）	≥60
落锤冲击试验	按 GB/T 14152 规定 0℃ 条件下，锤头半径 25mm，落锤质量和高度按 GB/T 18998.2—2003 规定			真实冲击率 TIR≤10%		

4.3.4 塑料棒材与板材 (见表 1.4-94 ~ 表 1.4-96)

表 1.4-94 聚四氟乙烯棒材规格性能 (摘自 QB/T 4041—2010)

规格	直径/mm	直径的允许偏差/mm	直径/mm	直径的允许偏差/mm
	3、4、5、6	+0.4 0	30、35、40、45、50	+1.5 0
	7、8、9、10、11、12	+0.6 0	55、60、65、70、75、 80、85、90、95	+4.0 0
	13、14、15、16、17、18	+0.7 0	100、110、120、130、 140	+5.0 0
	20、22、25	+1.0 0	150、160、170、180、 190、200	+6.0 0
性能		I 型-T	I 型-D	II 型
	抗拉强度/MPa	≥15	≥15	10
	断裂标称应变 (%)	≥160	≥160	130
	密度/g·cm ⁻³	2.1~2.3	2.1~2.3	2.1~2.3
	介电强度/kV·mm ⁻¹	≥18	≥25	≥10

注: 1. 棒材长度大于 100mm, 可由供需双方协商, 长度的允许偏差。

2. 直径小于 10mm 的棒材不考虑介电强度。

表 1.4-95 硬质聚氯乙烯板材分类、性能及尺寸规格 (摘自 GB/T22789.1—2008)

尺寸规格	板材长、宽、厚度尺寸由供需双方商定，其允许偏差应符合 GB/T22789. 1—2008 的规定。厚度 d 的范围 $\geq 1 \sim 20\text{mm}$ ($d < 1\text{mm}$ 板材的规定见 GB/T22789. 2)。长、宽尺寸推荐不大于 4m，推荐幅面尺寸（单位：mm）：1800 × 910、2000 × 1000、2440 × 1220、3000 × 1500、4000 × 2500												
分类及性能	性 能	试验方法	单位	层压板材					挤出板材				
				第 1 类一般用途级	第 2 类透明级	第 3 类高模量级	第 4 类高抗冲级	第 5 类耐热级	第 1 类一般用途级	第 2 类透明级	第 3 类高模量级	第 4 类高抗冲级	第 5 类耐热级
	拉伸屈服应力	GB/T1040. 21B 型	MPa	≥ 50	≥ 45	≥ 60	≥ 45	≥ 50	≥ 50	≥ 45	≥ 60	≥ 45	≥ 50
	拉伸断裂伸长率	GB/T1040. 21B 型	%	≥ 5	≥ 5	≥ 8	≥ 10	≥ 8	≥ 8	≥ 5	≥ 3	≥ 8	≥ 10
	拉伸弹性模量	GB/T1040. 21B 型	MPa	≥ 2500	≥ 2500	≥ 3000	≥ 2000	≥ 2500	≥ 2500	≥ 2000	≥ 3200	≥ 2300	≥ 2500
	缺口冲击强度（厚度小于 4mm 的板材不做缺口冲击强度试验）	GB/T1043. 1 1epA 型	kJ/m ²	≥ 2	≥ 1	≥ 2	≥ 0	≥ 2	≥ 2	≥ 1	≥ 2	≥ 5	≥ 2
	维卡软化温度	ISO306；2004 方法 B50	℃	≥ 75	≥ 65	≥ 78	≥ 70	≥ 90	≥ 70	≥ 60	≥ 70	≥ 70	≥ 85
	加热尺寸变化率	根据 GB/T22789. 1	%	$-3 \sim +3$					厚度：1. 0mm ≤ d ≤ 2. 0mm； - 10 ~ + 10 2. 0mm < d ≤ 5. 0mm； - 5 ~ + 5 5. 0mm < d ≤ 10. 0mm； - 4 ~ + 4 $d > 10. 0\text{mm}$ ； - 4 ~ + 4				
层积性（层间剥离力）	根据 GB/T22789. 1		无气泡、破裂或剥落（分层剥离）					—					
总透光率（只适于第 2 类透明级）	ISO13468—1	%	厚度： $d \leq 2\text{mm}$ ，总透光率 $\geq 82\%$ ； $2\text{mm} < d \leq 6\text{mm}$ ，总透光率 $\geq 78\%$ ； $6\text{mm} < d \leq 10\text{mm}$ ，总透光率 $\geq 75\%$ ； $d > 10\text{mm}$ ，总透光率不作规定										

表 1.4-96 酚醛棉布层压板型号、规格及性能(摘自 JB/T8149.2—2000)

型号、应用及尺寸规格	型 号	应用范围与特性							
	3025	机械用(粗布), 电气性能差							
	3026	机械用(细布), 电气性能差							
	3027	机械及电气用(粗布), 电气性能差							
	3028	机械及电气用(细布), 电气性能差。推荐制作小零部件(像 3026)							
技术性能	尺寸规格	厚度: 0.4 ~ 50mm; 宽度: 450 ~ 1000mm; 长度: 1000 ~ 2600mm							
	厚度及允许偏差 /mm	吸水性/mg				垂直层向电气强度/MV · m ⁻¹			
		3025	3026	3027	3028	3025	3026	3027	3028
	0.8 ± 0.19	≤201	≤201	≤133	≤133	≥0.89	≥0.89	≥5.6	≥7.0
	1.0 ± 0.20	≤206	≤206	≤136	≤136	≥0.82	≥0.82	≥5.1	≥6.3
	1.2 ± 0.22	≤211	≤211	≤139	≤139	≥0.80	≥0.80	≥4.6	≥5.8
	1.6 ± 0.24	≤220	≤220	≤145	≤145	≥0.72	≥0.72	≥3.8	≥5.1
	2.0 ± 0.26	≤229	≤229	≤151	≤151	≥0.65	≥0.65	≥3.4	≥4.6
	2.5 ± 0.29	≤239	≤239	≤157	≤157	—	—	—	—
	3.0 ± 0.31	≤249	≤249	≤162	≤162	≥0.50	≥0.50	≥3.0	≥4.0
	4.0 ± 0.36	≤262	≤262	≤169	≤169	平行层向击穿电压(90℃ ± 2℃油中)/kV			
	5.0 ± 0.42	≤275	≤275	≤175	≤175	3025	3026	3027	3028
	6.0 ± 0.46	≤284	≤284	≤182	≤182	≥1	≥1	≥18	≥20
	8.0 ± 0.55	≤301	≤301	≤195	≤195	垂直层向弯曲强度/MPa			
	10.0 ± 0.63	≤319	≤319	≤209	≤209	3025	3026	3027	3028
	12.0 ± 0.70	≤336	≤336	≤223	≤223	≥100	≥110	≥90	≥100
	14.0 ± 0.78	≤354	≤354	≤236	≤236	力学性能: 电气性能试件板厚规定: ① 垂直层向弯曲强度试验用最小板厚为 1.6mm ② 垂直层向电气强度试验用最大板厚为 3mm ③ 平行层向击穿电压试验用板厚大于 3mm			
	16.0 ± 0.85	≤371	≤371	≤250	≤250				
	20.0 ± 0.95	≤406	≤406	≤277	≤277				
	25.0 ± 1.10	≤450	≤450	≤311	≤311				
	30.0 ± 1.22	厚度大于 25mm 时, 单面加工至 22.5mm							
	35.0 ± 1.34	≤540	≤540	≤373	≤373				
	40.0 ± 1.45								
	45.0 ± 1.55								
	50.0 ± 1.65								

4.4 其他非金属材料

4.4.1 工业有机玻璃(见表 1.4-97)

表 1.4-97 浇铸型工业有机玻璃板材规格、性能及应用(摘自 GB/T 7134—2008)

尺寸规格	以甲基丙烯酸甲酯为原料, 在特定的模具内进行本体聚合而成的无色和有色的透明、半透明或不透明, 厚度为1.5~50mm的工业有机玻璃板材, 板材的长度和宽度由相关方商定, 板厚度规定为 1.5、2.0、2.5、2.8、3.0~5.0(0.5 进级)、6.0、8.0~13(1 进级)、15、16、18、20~50(5 进级), 单位为 mm。板材长、宽、厚尺寸的允许偏差应符合 GB/T7134—2008 的相关规定		
	项 目		指 标
性能			无色
	抗拉强度/MPa		≥70
	拉伸断裂应变(%)		≥3
			有色
			≥65
			—

(续)

	项 目		指 标	
			无色	有色
性能	拉伸弹性模量/MPa		≥3000	—
	简支梁无缺口冲击强度/kJ·m ⁻²		≥17	≥15
	维卡软化温度/℃		≥100	—
	加热时尺寸变化(收缩)(%)		≤2.5	—
	总透光率(%)		≥91	—
	420nm 透光率(厚度 3mm)(%)	氙弧灯照射之前	≥90	—
		氙弧灯照射 1000h 之后	≥88	—
应用	有机玻璃(PMMA)透明性好,有良好的耐候性,表面硬度较高、综合性能优良,主要用于要求透明的制品,但耐热温度不高、长期使用温度为 80℃。浇铸型 PMMA 板材制品无内应力,呈各向同性,双折射小,宜于作光学透明材料、汽车、飞机、船用等交通工具窗玻璃			

4.4.2 工业用毛毡 (见表 1.4-98 ~ 表 1.4-99)

表 1.4-98 工业用毛毡及毡制品力学性能 (摘自 FZ/T 25001—1992)

分类	项目 品号 评等 指标	堆密度/g·cm ⁻³		断裂强度 /N·cm ⁻² 不小于		断裂时伸长率 (%) 不大于		剥离力 /N 不小于		备 注
		一等品	二等品	一等品	二等品	一等品	二等品	一等品	二等品	
细毛	T112-65	0.65 ^{+0.07} _{-0.05}		一向 588 另一向 392		一向 110 另一向 120				断裂强度中的数值右上角有: 1)、2)、3)、4)、5) 的分别为 0.44、0.41、0.39、0.36、0.32g/cm ³ 细毛特品; 右上角有 6)、7)、8)、9) 的分别为 0.38、0.36、0.34、0.32g/cm ³ 半粗毛特品; 上角有 10)、11) 的分别为 0.36、0.32g/cm ³ 粗毛特品
	T112-32 ~ 44	0.32 ~ 0.44 ^{+0.03} _{-0.02}	0.32 ~ 0.44 ^{+0.05} _{-0.04}	490 ¹⁾	392	90	108			
				460 ²⁾	374	105	126			
				441 ³⁾	353	110	132			
				343 ⁴⁾	274	115	138			
				245 ⁵⁾	196	120	144			
	T112-25 ~ 31	0.25 ~ 0.31 ± 0.02	0.25 ~ 0.31 ± 0.04							
	112-32 ~ 44	0.32 ~ 0.44 ^{+0.03} _{-0.02}	0.32 ~ 0.44 ^{+0.05} _{-0.04}							
半粗毛	112-25 ~ 31	0.25 ~ 0.31 ± 0.02	0.25 ~ 0.31 ± 0.04							0.36、0.34、0.32g/cm ³ 半粗毛特品; 上角有 10)、11) 的分别为 0.36、0.32g/cm ³ 粗毛特品
	112-09 ~ 24	0.09 ~ 0.24 ± 0.02	0.09 ~ 0.24 ± 0.04							
	111-32	0.32 ^{+0.01} _{-0.01}	0.32 ^{+0.0} _{-0.0}					59	59	
	T112-30 ~ 38	0.30 ~ 0.38 ^{+0.03} _{-0.02}	0.30 ~ 0.38 ^{+0.05} _{-0.04}	392 ⁶⁾	314	95	114			
				294 ⁷⁾	235	110	132			
				245 ⁸⁾	196	110	132			
				245 ⁹⁾	196	125	150			

(续)

分类	项目 品号 评等 指标	堆密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		断裂强度 $/\text{N} \cdot \text{cm}^{-2}$ 不小于		断裂时伸长率 (%) 不大于		剥离力 $/\text{N}$ 不小于		备 注
		一等品	二等品	一等品	二等品	一等品	二等品	一等品	二等品	
半粗毛	T122-24 ~ 29	0.24 ~ 0.29 $\pm$ 0.02	0.24 ~ 0.29 $\pm$ 0.04							断裂强度中的数值右上角有: 1)、2)、3)、4)、5) 的分别为 0.44、0.41、0.39、0.36、0.32g/cm ³ 细毛特品; 右上角有 6)、7)、8)、9) 的分别为 0.38、0.36、0.34、0.32g/cm ³ 半粗毛特品; 上角有 10)、11) 的分别为 0.36、0.32g/cm ³ 粗毛特品
	122-30 ~ 38	0.30 ~ 0.38 $\begin{smallmatrix} +0.03 \\ -0.02 \end{smallmatrix}$	0.03 ~ 0.38 $\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.02 \end{smallmatrix}$							
	122-24 ~ 29	0.24 ~ 0.29 $\pm$ 0.02	0.24 ~ 0.29 $\pm$ 0.04							
	222-34 ~ 36	0.34 ~ 0.36 $\begin{smallmatrix} +0.03 \\ -0.02 \end{smallmatrix}$	0.34 ~ 0.36 $\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.04 \end{smallmatrix}$							
粗毛	T132-32 ~ 36	0.32 ~ 0.36 $\begin{smallmatrix} +0.03 \\ -0.02 \end{smallmatrix}$	0.32 ~ 0.36 $\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.04 \end{smallmatrix}$	294 ¹⁰⁾ 245 ¹¹⁾	235 196	110 130	132 156			
	T132-24 ~ 31	0.24 ~ 0.31 $\pm$ 0.02	0.24 ~ 0.31 $\pm$ 0.04							
	T132-23	0.23 $\pm$ 0.02	0.23 $\pm$ 0.04	245	196	110	132			
	132-32 ~ 36	0.32 ~ 0.36 $\begin{smallmatrix} +0.03 \\ -0.02 \end{smallmatrix}$	0.32 ~ 0.36 $\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.04 \end{smallmatrix}$							
	132-23 ~ 31	0.23 ~ 0.31 $\pm$ 0.02	0.24 ~ 0.31 $\pm$ 0.04							
	232-36	0.36 $\begin{smallmatrix} +0.03 \\ -0.02 \end{smallmatrix}$	0.36 $\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.04 \end{smallmatrix}$							
杂毛	T152-23	0.23 $\pm$ 0.02	0.23 $\pm$ 0.04	108	88	130	156			
	152-30 ~ 36	0.30 ~ 0.36 $\begin{smallmatrix} +0.03 \\ -0.02 \end{smallmatrix}$	0.30 ~ 0.36 $\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.04 \end{smallmatrix}$							
	152-20 ~ 29	0.20 ~ 0.29 $\pm$ 0.02	0.20 ~ 0.29 $\pm$ 0.04							
	342-36	0.36 $\begin{smallmatrix} +0.03 \\ -0.02 \end{smallmatrix}$	0.36 $\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.04 \end{smallmatrix}$							
	552-23 ~ 36	0.23 ~ 0.36 $\begin{smallmatrix} +0.03 \\ -0.02 \end{smallmatrix}$	0.23 ~ 0.36 $\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.04 \end{smallmatrix}$							
	520-20	0.20 $\pm$ 0.02	0.20 $\pm$ 0.04							

注: 1. 毛毡是工业上常用的材料, 可以冲切制造成为各种形状的零件, 如圆环形零件、条块形零件等; 可作为隔热保温材料, 过滤材料、抛磨光材料、防震材料、密封材料、衬垫材料及弹性钢丝针布底毡材料。

2. 毛毡品号的含义:

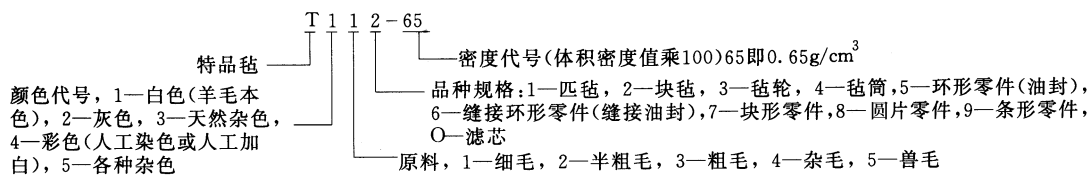


表 1.4-99 工业用毛毡的尺寸规格（摘自 FZ/T25001—1992）

项 目	评 等 指 标 密度范围	允 许 偏 差 /mm														备 注
		1.5 ~ 2.5		2.6 ~ 5		5.1 ~ 13		13.1 ~ 25		3		4.5		6		
		一等品	二等品	一等品	二等品	一等品	二等品	一等品	二等品	一等品	二等品	一等品	二等品	一等品	二等品	
厚度 /mm	体积密度 $>0.30\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$\pm 20\%$	$\pm 27\%$	$\pm 14\%$	$\pm 17\%$	$\pm 12\%$	$\pm 15\%$	$\pm 11\%$	$\pm 15\%$							每块厚度测量点中每个测量点不允许超过标准公差
	体积密度 $\leq 0.30\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 以下（包括 $0.30\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ）	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 18\%$	$\pm 25\%$	$\pm 15\%$	$\pm 20\%$	$\pm 11\%$	$\pm 15\%$							
	体积密度 $0.60\sim 0.70\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 细毛毡	± 0.2		± 0.3										± 0.3		
	体积密度 $0.32\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 钢丝针布毡									$+0.15$ -0.2	± 0.2	$+0.15$ -0.3	$+0.2$ -0.3			
尺寸	匹毡（钢丝针布毡） /m	长 度								宽 度						
		一 等 品				二 等 品				一 等 品			二 等 品			
		$124\begin{smallmatrix} +0.1 \\ -1 \end{smallmatrix}$				$124\begin{smallmatrix} +0.1 \\ -1 \end{smallmatrix}$				$1.07^{+0.01}$			$1.07^{+0.01}$			
		$114\begin{smallmatrix} +0.1 \\ -1 \end{smallmatrix}$				$114\begin{smallmatrix} +0.1 \\ -1 \end{smallmatrix}$				$1.07^{+0.01}$			$1.07^{+0.01}$			
	块 毡 /mm	$+10$ -5				± 10				$+10$ -5			± 10			

注：匹毡（钢丝针布毡）厚度，按规定取样测试 10 个测量点，求平均值，4.5mm 规格，厚度极差必须在 3.8mm 及以上和 5mm 及以下，3mm 规格厚度极差 2.5mm 及以上和 3.3mm 及以下。

4.4.3 软钢纸板（见表 1.4-100）

表 1.4-100 软钢纸板尺寸规格及技术指标（摘自 QB/T2200—1996）

分类及尺寸规格	项 目	指 标	
	按用途分类	A 类	B 类
		供飞机发动机制作密封连接处的垫片及其他部件用	供汽车、拖拉机的发动机及其他内燃机制作密封片及其他部件用
	尺寸和偏差	软钢纸板的幅面尺寸为：920mm×650mm、650mm×490mm、650mm×400mm、400mm×300mm，或按订货合同规定，厚度在合同中注明 尺寸偏差不得超过±10mm，偏斜度不超过1.2%	
技术指标	用途	适用于飞机、汽车、拖拉机及其他内燃机等制作密封连接处的垫圈	
	项 目	指 标	
		A 类	B 类
	厚度/mm	±0.12 ±0.15	
	0.5~0.8		
	0.9~2.0		
	2.1~3.0	-0.20	±0.20
	紧度/g·cm ⁻³	1.10~1.40	1.10~1.40
	横切面抗张强度/kN·m ⁻² 横向	≥	
	厚度0.5~1.0mm	3.0×10 ⁴	2.5×10 ⁴
	1.1~3.0mm	3.0×10 ⁴	3.0×10 ⁴
	抗压强度/MPa	≥	160
	氯含量（质量分数，%）	≤	0.075
	交货水分（质量分数，%）	4.0~8.0	4.0~8.0

4.4.4 常用密封填料（见表 1.4-101）

表 1.4-101 常用密封填料品种规格

石棉密封填料 (JC/T 1019—2006)	橡胶 石棉 密封 填料	牌号	适用范围	牌号	适用范围
		XS550A	适用于介质温度≤550℃，压力≤8MPa	XS350A	适用于介质温度≤350℃，压力≤4.5MPa
		XS550B	适用于介质温度≤550℃，压力≤8MPa	XS350B	适用于介质温度≤350℃，压力≤4.5MPa
		XS450A	适用于介质温度≤450℃，压力≤6MPa	XS250A	适用于介质温度≤250℃，压力≤4.5MPa
		XS450B	适用于介质温度≤450℃，压力≤6MPa	XS250B	适用于介质温度≤250℃，压力≤4.5MPa
	各牌号体积密度、夹金属丝：≥1.1g·cm ⁻³ ；无金属丝：≥0.9g·cm ⁻³				
	油浸 石棉 密封 填料	牌号	适用范围	牌号	适用范围
		YS350F	适用于介质温度≤350℃，压力≤4.5MPa	YS250F	适用于介质温度≤250℃，压力≤4.5MPa
		YS350Y	适用于介质温度≤350℃，压力≤4.5MPa	YS250Y	适用于介质温度≤250℃，压力≤4.5MPa
		YS350N	适用于介质温度≤350℃，压力≤4.5MPa	YS250N	适用于介质温度≤250℃，压力≤4.5MPa
		各牌号体积密度、夹金属丝：≥1.1g·cm ⁻³ ；无金属丝：≥0.9g·cm ⁻³			
	聚四氟 乙烯石 棉密封 填料	聚四氟乙烯石棉密封填料牌号，由大写“FS”和表示产品规格的阿拉伯数字组成，如聚四氟乙烯石棉盘根，尺寸规格10×10mm，牌号表示为FS—10 适用于压力为12MPa以下，温度为-100℃~250℃管道阀门、活塞杆的密封 体积密度≥1.1g·cm ⁻³			
	石棉密 封填料 的应用	JC/T1019—2006 适用于压力为8MPa以下、温度为550℃以下的蒸汽机、往复泵的活塞和阀门杆上的橡胶石棉密封填料；压力为4.5MPa以下、温度为350℃以下，介质为蒸汽、空气、工业用水、重质石油产品的回转轴、往复泵的活塞和阀门杆上的油浸石棉密封填料；压力为12MPa以下、温度为-100℃~250℃的管道阀门、活塞杆上的聚四氟乙烯石棉密封填料。			
	规格/mm（直径 或方形边长）	3、4、5、6、8、10、13、16、19、22、25、28、32、35、38、42、45、50			

(续)

油浸棉、麻密封填料 (JC/T 332—2006)	牌号	规格 (直径或方形边长) /mm	体积密度	适用最大压力	适用最高温度	应用举例
	YM120F YM120Y	3、4、5、6、8、10、13、16、19 22、25、28、32、35、38、42、45、50	≥0.9g/cm ³	12MPa	120℃	用于管道、阀门、旋转轴、往复泵活塞杆的密封, 温度低于 120℃, 压力小于 12MPa 的工作条件

注: 牌号示例说明:

- (1) XS550A, XS450B——其中 XS 表示“橡胶石棉”, 数字 550、450 表示产品最高适应温度 (℃) A 表示产品结构为编织, B 表示为卷制。
- (2) YS350F, YS350Y、YS350N——其中 YS 表示“油浸石棉”, 数字 350 表示产品最高适应温度 (℃) F 表示产品结构为方型, Y 为圆型, N 为圆型扭制。
- (3) YM120F, YM120Y——其中 YM 表示“油浸棉、麻”, 数字 120 表示最高适应温度 (℃)

5 复合材料

5.1 金属基复合材料

5.1.1 钛-铜复合棒 (见表 1.4-102)

表 1.4-102 钛-铜复合棒的尺寸规格 (摘自 GB/T 12769—2003) (mm)

标记示例：

用 T2 和 ZTA2 生产的热加工状态边长为 29mm，钛层厚为 2mm，圆角 r 为 7.5mm，长度为 840mm 的方形钛铜复合棒标记为：

复合棒 T2-TA2 R 29 × 29 × 2 - 7.5 × 840 GB/T 12769—2003

断面形状	规格	允许偏差					
	方形、矩形、扁形 $a \times b \times \delta - r$ 鼓形 $\phi d \times h \times \delta$ 圆形 $\phi d \times \delta$	边长 a 及 b 或直径 d		钛层厚度 δ （圆角和尖角部分除外）		平面宽度 h	
		状态					
		R	Y	R	Y	R	Y
方形	24 × 24 × (1.5 ~ 2) - 5	±0.6	±0.3	±0.6	±0.5	—	—
	27 × 27 × (1.5 ~ 2) - 6.5						
	29 × 29 × (1.5 ~ 2) - 7.5						
	30 × 30 × (1.5 ~ 2) - 8						
	32 × 32 × (1.5 ~ 2) - 9						
	33 × 33 × (1.5 ~ 2) - 12.5						
鼓形	$\phi 25 \times 14 \times 1.5$	±0.3	±0.3	±0.3	±0.5	+1.0 0	+1.0 0
	$\phi 27 \times 14 \times 1.5$						
	$\phi 29 \times 14 \times 1.5$						
	$\phi 32 \times 14 \times 1.5$						
	$\phi 34 \times 14 \times 1.5$						

- 注: 1. 本标准还规定了圆形、矩形和扁形断面形状的复合棒。
2. 经双方协商可提供其他形状和规格的复合棒。
3. 复合棒以热加工态 (R)、硬状态 (Y)、爆炸复合退火 (BM)、爆炸复合后热加工 (BR) 状态供应。

5.1.2 不锈钢复合钢板 (表 1.4-103)

表 1.4-103 不锈钢复合钢板和钢带分级、代号、尺寸规格、性能及应用 (摘自 GB/T 8165—2008)

分级、代号、用途及界面结合率	级别	代 号			用 途	界面结合率							
		爆炸法	轧制法	爆炸轧制法		复合中厚板	轧制复合带及其剪切钢板						
	I 级	B I	R I	BR I	适用于不允许有未结合区存在的、加工时要求严格的结构件上	100%	≥99%						
	II 级	B II	R II	BR II	适用于可允许有少量未结合区存在的结构件上	≥99%							
III 级	B III	R III	BR III	适用于复层材料只作为抗腐蚀层来使用的一般结构件上	≥95%								
尺寸规格及材料牌号	复合中厚板尺寸规定		轧制复合带及其剪切钢板尺寸规定				复合钢板和钢带材料典型钢号						
	公称厚度不大于 6mm 公称宽度 1450 ~ 4000mm 公称长度 4000 ~ 10000mm 单面复合中厚板复层公称厚度 1.0 ~ 18mm, 通常为 2 ~ 4mm, 基层最小厚度为 5mm	轧制复合板(带)总公称厚度 /mm	复层厚度 不小于/mm			公称宽度为 900 ~ 1200mm, 剪切钢板公称长度为 2000mm, 轧制带成卷交货	复层材料钢号 (应符合 GB/T 3280—2007 和 GB/T 4237—2007 规定)		基层材料钢号 (应符合 GB/T 3274—2007、GB/T 713—2008、GB/T 3531—2008、GB/T 710—2008 规定)				
				对称型 AB 面	非对称型								
			A 面		B 面								
复合中厚板力学性能	级 别		界面抗剪强度 τ /MPa		上屈服强度 ^① R_{eH} /MPa		抗拉强度 R_m /MPa		断后伸长率 A (%)		冲击吸收能量 KV_2 /J		
	I 级 II 级		≥210		不小于基层对应厚度钢板标准值 ^②		不小于基层对应厚度钢板标准下限值, 且不大于上限值 35MPa ^②		不小于基层对应厚度钢板标准值		应符合基层对应厚度钢板的规定		
	III 级		≥200										
轧制复合带及其剪切钢板力学性能	等于基层材料相应牌号标准规定的力学性能。当基层选用深冲钢时, 其力学性能按下表规定, 当复层为 06Cr13 钢时, 其力学性能按复层为铁素体不锈钢的规定												
	基层钢号		上屈服强度 ^① R_{eH} /MPa		抗拉强度 R_m /MPa		断后伸长率 A (%)						
							复层为奥氏体不锈钢			复层为铁素体不锈钢			
08Al		≤350		345 ~ 490		≥28			≥18				

5.1.3 铜-钢复合钢板（见表 1.4-104、表 1.4-105）

表 1.4-104 铜-钢复合钢板尺寸及允许偏差（摘自 GB/T 13238—1991）（mm）

总 厚 度		复层厚度		长 度		宽 度	
公称尺寸	允许偏差	公称尺寸	允许偏差	公称尺寸	允许偏差	公称尺寸	允许偏差
8 ~ 30	+ 12% - 8%	2 ~ 6	± 10%	≥ 1000	+ 25 - 10	≥ 1000	+ 20 - 10

- 注：1. 复合板的长度和宽度按 50mm 的倍数进级，定尺板尺寸由供需双方协商。
2. 复层厚度应在合同中注明，经需方同意，复层厚度超过正偏差亦可交货。
3. 复合板的平面度每米不大于 12mm。

表 1.4-105 铜-钢复合板牌号、力学性能及应用举例（摘自 GB/T13238—1991）

复 层 材 料		基 层 材 料		抗拉强度 R_m 计算公式	应用举例
牌号	化学成分规定	牌 号	化学成分规定		
Tu1 T2 B30	GB5231 GB5234	Q235 20g、16Mng 20R、16MnR Q345 20	GB/T700 GB/T713 GB/T6654 GB/T1591 GB/T699	$R_m = \frac{t_1 R_{m1} + t_2 R_{m2}}{t_1 + t_2}$ R_{m1} 、 R_{m2} ——基材、复材抗拉强度 下限值（MPa） t_1 、 t_2 ——基材、复材厚度（mm）	适用于化工、石油、 制药、制盐等工业制造 耐腐蚀的压力容器及真 空设备

- 注：1. 复合板伸长率 δ_5 （%）应不小于基材标准的规定值。
2. 复合板的抗剪强度 τ_b 不小于 100MPa。
3. 复层和基层材料牌号应在合同中注明。

5.1.4 钛-钢复合钢板（见表 1.4-106）

表 1.4-106 钛-钢复合板分类、规格、性能及应用举例（摘自 GB/T 8547—2006）

分类及代号	生产种类		代 号	用途分类	应用举例	
	爆炸钛-钢复合板	0 类 1 类 2 类	B ₀ B ₁ B ₂	0 类：用于过滤接头、法兰等的高结合强度，且不允许不结合区存在的复合板	用于耐蚀压力容器、贮槽及其他设备零部件等	
		爆炸-轧制钛-钢复合板	1 类 2 类	BR ₁ BR ₂		1 类：将钛材作为强度设计的或特殊用途的复合板，如管板等 2 类：将钛材作为耐蚀设计，而不考虑其强度的复合板，如筒体等
尺寸规格	复合板厚度 4 ~ 100mm，复材厚度一般为 1.5 ~ 10mm，复合板的复层可由多层组成 复合板宽度不大于 2200mm，可小于 1100mm 复合板长度不大于 4500mm，可小于 1100mm					
性能	拉伸试验		剪切试验		弯曲试验	
	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	抗剪强度 τ_b /MPa		弯曲角 α (°)	弯曲直径 D /mm
			0 类复合板	其他类复合板		
		$> R_{mj}$	大于基材或复材标准中较低一方的规定值	≥ 196	≥ 138	内弯 180°，外弯由复材标准决定

- 注：1. 复合板复材的牌号为 TA1、TA2、Ti-0.3、Mo-0.8Ni、Ti-0.2Pd，其化学成分应符合 GB/T 3620.1—2007 的规定，
基材应符合相关标准规定。
2. 剪切强度适用于复层厚度 ≥ 1.5mm 的复合板材。
3. 当用户要求时，供方可以做基材的拉伸试验，其抗拉强度应达到基材相应标准的要求。
4. 爆炸-轧制复合板的伸长率可以由供需双方协商确定。
5. 复合板的抗拉强度理论下限标准值 $R_{mj} = \frac{t_1 R_{m1} + t_2 R_{m2}}{t_1 + t_2}$
式中： R_{m1} 为基材抗拉强度下限标准值（MPa）；
 R_{m2} 为复材抗拉强度下限标准值（MPa）；
 t_1 为基材厚度（mm）；
 t_2 为复材厚度（mm）。

5.2 塑料基复合材料

5.2.1 碳纤维增强热塑料 (见表 1.4-107 ~ 表 1.4-109)

表 1.4-107 碳纤维增强热塑性树脂的性能

材 料 性 能	聚 砜		线型聚酯		乙烯-四氟乙烯共聚物	
	纯树脂	碳纤维 30%	纯树脂	碳纤维 30%	纯树脂	碳纤维 30%
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.24	1.37	1.32	1.47	1.70	1.73
吸水率 (%) (24h)	0.20	0.15	0.03	0.04	0.02	0.018
(饱和)	0.60	0.38	—	0.23	—	—
加工收缩率 (%)	0.7 ~ 0.8	0.1 ~ 0.2	1.7 ~ 2.3	0.1 ~ 0.2	15 ~ 2.0	0.15 ~ 0.25
抗拉强度/MPa	71	161	56	140	45	105
断后伸长率 (%)	20 ~ 100	2 ~ 3	10	2 ~ 3	150	2 ~ 3
抗弯强度/MPa	108	224	91	203	70	140
弯曲弹性模量/GPa	2.7	14.3	2.4	14	1.4	11.6
抗剪强度/MPa	63	66	49	56	42	49
冲击韧度(悬臂梁)/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$						
缺口	2.5	2.5	0.63	2.5	未断	8.4 ~ 16.5
无缺口	126	12.6 ~ 14.7	52.5	8.4 ~ 10.5	未断	21
热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$	174	185	68	221	74	241
(1.85MPa)						
线膨胀系数/ (10^{-5}K^{-1})	5.6	1.08	9.5	0.9	7.6	1.4
热导率/ $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$	0.26	0.79	0.15	0.94	0.23	0.81
表面电阻率/ Ω	10^8	1 ~ 3	10^{15}	2 ~ 4	5×10^{14}	3 ~ 5

表 1.4-108 碳纤维增强尼龙 66 塑料的性能

性 能	纯尼龙 66	纤维增强尼龙 66 (质量分数)			
		碳纤维 20%	碳纤维 30%	碳纤维 40%	碳纤维 20% 玻纤 20%
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.14	1.23	1.28	1.34	1.40
吸水率 (%) (24h)	1.60	0.6	0.5	0.4	0.5
(饱和)	—	2.7	2.4	2.1	—
成型收缩率(3mm厚)(%)	1.5	0.2 ~ 0.3	0.15 ~ 0.25	0.15 ~ 0.25	0.25 ~ 0.35
抗拉强度/MPa	83	196	245	280	238
断后伸长率 (%)	10	3 ~ 4	3 ~ 4	3 ~ 4	3 ~ 4
抗弯强度/MPa	105	294	357	420	343
弯曲弹性模量/GPa	2.8	16.8	20.3	23.8	19.6
抗剪强度/MPa	67	84	91	98	91
冲击韧度/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$					
缺口悬臂梁	1.89	2.31	3.15	3.36	3.78
无缺口悬臂梁	—	—	25.2	23.3	33.6
热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$	66	257	257	260	260
(1.85MPa)					
线膨胀系数/ (10^{-5}K^{-1})	8.1	2.52	1.89	1.44	2.07
热导率/ $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$	0.25	0.79	1.01	1.23	0.92
表面电阻率/ Ω	10^{15}	20 ~ 30	3 ~ 5	1 ~ 3	—

表 1.4-109 碳纤维增强热固性塑料单向层压板性能

性 能	T300/3231 ^①	T300/4211 ^②	T300/5222 ^①	T300/QY8911 ^③	T300/5405 ^④
纵向抗拉强度/MPa	1750	1396	1490	1548	1727
纵向拉伸弹性模量/GPa	134	126	135	135	115
泊松比	0.29	0.33	0.30	0.33	0.29
横向抗拉强度/MPa	49.3	33.9	40.7	55.5	75.5
横向拉伸弹性模量/GPa	8.9	8.0	9.4	8.8	8.6
纵向抗压强度/MPa	1030	1029	1210	1226	1104
纵向压缩弹性模量/GPa	130	116	134	125.6	125.5
横向抗压强度/MPa	138	166.6	197.0	218	174
横向压缩弹性模量/GPa	9.5	7.8	10.8	10.7	8.1
纵横抗剪强度/MPa	106	65.5	92.3	89.9	135
纵横切变模量/GPa	4.7	3.7	5.0	4.5	4.4
密度/g·cm ⁻³	—	1.56	1.61	1.61	—
玻璃化转变温度/℃	—	154~170	230	268~276	210

- ① 纤维体积分数 $\varphi_f = (65 \pm 3)\%$ ，环氧体系，空隙率 $< 2\%$
- ② $\varphi_f = (60 \pm 3)\%$ ，环氧体系，空隙率 $< 2\%$
- ③ $\varphi_f = (60 \pm 5)\%$ ，双马来酰亚胺体系，空隙率 $< 2\%$
- ④ $\varphi_f = (65 \pm 3)\%$ ，双马来酰亚胺体系，空隙率 $< 2\%$ 。（3231、4211、5222 均为环氧体系，QY8911，5405 为双马来酰亚胺体系）。

5.2.2 玻璃纤维增强塑料（见表 1.4-110）

表 1.4-110 玻璃纤维增强热固性塑料的性能

性 能	环 氧 树 脂						酚 醛 树 脂		
	双酚 A 型环氧		酚醛环氧		脂环族	脂肪族	高强玻纤	改性酚醛 开刀丝玻纤	层压板
	玻 纤	层压板	玻纤、填料	层压板	层压板	层压板			
成型收缩率（%）	0.1~0.8	—	0.4~0.8	—	—	—	0.1~0.4	—	—
抗拉强度/MPa	35~138	220~412	34~86	216~284	196~235	332	48~124	78~102	196
断后伸长率（%）	4	—	—	—	—	—	0.2	—	—
抗压强度/MPa	124~276	201~492	165~330	—	220~274	155	110~248	100~115	—
抗弯强度/MPa	55~206	112~442	69~150	370	294~392	339	84~413	170~215	245
缺口冲击韧度 /kJ·m ⁻²	0.63~21	196~274 (无缺口)	0.63~1.1	—	137~167 (无缺口)	306 (无缺口)	1~18	98~180 (无缺口)	210 (无缺口)
拉伸弹性模量/GPa	20.6	—	14.5	—	—	—	13~22.7	—	—
弯曲弹性模量/GPa	13.8~31	—	9.6~19.2	—	24.5	—	7.9~22.7	—	—
硬度洛氏、 巴柯尔	100~112 HRM	—	70~74 巴柯尔	—	—	—	—	—	—
线胀系数/10 ⁻⁵ K ⁻¹	1.1~5	—	1.8~4.3	—	—	—	—	—	—
热变形温度/℃ (1.82MPa)	107~260	—	154~230	—	—	—	176~315	≥250 (马丁温度)	—
热导率/W·(m·K) ⁻¹	0.17~0.42	—	0.35	—	—	—	—	—	—
密度/g·cm ⁻³	1.6~2	—	1.6~2.05	1.6~1.7	1.6~1.7	—	1.44~1.56	1.6~1.72	1.60~1.70
吸水率（%）(24h)	0.04~0.2	—	0.04~0.29	0.93	—	—	0.20	0.05~0.15	—
(饱和)	—	—	0.15~0.30	—	—	—	0.35	—	—
介电强度/kV·mm ⁻¹	9.8~15.7	—	12.8~17.7	—	—	—	—	—	11.8~27.6

(续)

性 能	环 氧 树 脂						酚 醛 树 脂		
	双酚 A 型环氧		酚醛环氧		脂环族	脂肪族	高强玻纤	改性酚醛 开刀丝玻纤	层压板
	玻 纤	层压板	玻纤、填料	层压板	层压板	层压板			
特点及应用	良好的电绝缘性和粘结性能，较高的机械强度和耐热性，耐一般酸、碱及有机溶剂，耐霉菌、成型收缩率小，体积收缩率 1% ~ 5%，加入固化剂后一般需加压加热成型，亦可在接触压力下常温固化。用于制作高强度制品、电绝缘件、电机护环、汽车零件、容器、风扇叶片、螺旋桨、泵、阀、船舶零部件、衬里等						优良的耐酸性、耐烧蚀性、电绝缘性、耐硫化氢、油、水、汽油、苯。能承受较大载荷，尺寸稳定、加热成型。硬脆、价廉。适于耐腐蚀件、泵、阀、管道、风机、管配件、酚醛层压板、绝缘结构件、轴瓦、导向轮、电信仪表中的绝缘配件。耐烧蚀材料、开关等电器零件		

性 能	酚醛树脂		聚酰亚胺	不饱和聚酯树脂					糠酮树脂
	层压板	模压件开刀丝玻纤	体积分数 50% 玻纤	短切玻纤	玻璃布	SMC ^①	SMC ^②	玻 纤	层压板
成型收缩率(%)	—	—	0.20	0.1 ~ 0.2	0.02 ~ 0.2	0.05 ~ 0.40	0.05 ~ 0.40	0.1 ~ 1.0	—
抗拉强度/MPa	282 ~ 317	76 ~ 198	44	20.7 ~ 68.9	207 ~ 344	48 ~ 172	20.7 ~ 68.9	27.6 ~ 65	209
断后伸长率(%)	—	—	—	< 1	1 ~ 2	3	—	—	—
抗压强度/MPa	—	104 ~ 142	23	138 ~ 207	172 ~ 344	103 ~ 206	96 ~ 206	103 ~ 248	350
抗弯强度/MPa	430	114 ~ 190	147	48 ~ 138	276 ~ 344	68.9 ~ 248	110 ~ 165	58.6 ~ 179	147
缺口冲击韧度 /kJ · m ⁻²	83.6	70 ~ 191	12.3	3.2 ~ 3.4	10 ~ 63	14.7 ~ 46.2	4.2 ~ 27.3	1.5 ~ 33.6	186 (无缺口)
拉伸弹性模量/GPa	—	—	—	6.9 ~ 17	10 ~ 31	4.6 ~ 17.2	10 ~ 17.2	13.8 ~ 19.3	—
弯曲弹性模量/GPa	—	—	13.6	6.9 ~ 11.8	6.9 ~ 20.6	6.9 ~ 15	—	13.8	—
硬度洛氏、巴柯尔	—	巴柯尔 56 ~ 59	118HRK	巴柯尔 50 ~ 80	巴柯尔 60 ~ 80	巴柯尔 50 ~ 70	巴柯尔 50 ~ 65	—	95HRE
线胀系数/10 ⁻⁵ K ⁻¹	—	—	1.3	2 ~ 3.3	1.5 ~ 3	1.4 ~ 2	—	1.5 ~ 3.3	—
热形温度/℃ (1.82MPa)	> 250	> 250	309	> 204	> 204	190 ~ 260	160 ~ 204	204 ~ 260	> 300 (马丁耐热)
热导率/W · (m · K) ⁻¹	—	—	0.36	—	—	—	0.75 ~ 0.92	0.63 ~ 1.05	—
密度/g · cm ⁻³	1.78	1.52	1.60 ~ 1.70	1.65 ~ 2.32	1.50 ~ 2.10	1.65 ~ 2.60	1.72 ~ 2.1	2.0 ~ 2.3	1.70
吸水率(%) (24h)	0.04	0.04	0.70	0.06 ~ 0.28	0.05 ~ 0.5	0.10 ~ 0.25	0.10 ~ 0.45	0.03 ~ 0.50	0.10
(饱和)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
介电强度/kV · mm ⁻¹	—	—	17.6	13.6 ~ 16.5	13.8 ~ 19.7	15 ~ 19.7	11.8 ~ 15.4	9.8 ~ 20.9	17.5
特点及应用	耐腐蚀性好，耐热性能良好，粘接性能和耐磨性能很好，可作砂轮粘结剂，也可作为耐蚀、耐高测、电绝缘和耐烧蚀材料等		耐高温老化、耐辐射，在 300℃ 尚能保持一定的机械强度，耐热性最好的一种热固性材料。可作 C 级绝缘材料，高温电机中的槽楔、仪表骨架、高温电气开关等	良好的电绝缘性、耐腐蚀性、韧性和透明性，可在接触压力下常温固化，工艺简便，成型收缩率较大，体积收缩率 6% ~ 10%，价格较低。适于制作波形瓦、浴缸、槽车、贮槽、容器、电气设备、飞机零部件、雷达罩、管道、冷水塔、净水槽等				优异的耐蚀性、耐许多种强酸、碱、盐及有机溶剂（除强氧化性酸外），耐热性和电绝缘性良好，质脆、价低。制作化工设备中的耐腐蚀件、高温绝缘件	

① 片状模塑料。

② 团状模塑料。

5.3 纤维增强金属基复合材料

5.3.1 碳(石墨)纤维增强铝复合材料(见表 1.4-111)

表 1.4-111 碳纤维增强铝复合材料力学性能及应用

	纤维	基体	纤维含量(质量分数,%)	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	拉伸强度/MPa	弹性模量/GPa
性能	石墨纤维 GT50	201Al	30	2.39	630	160
	石墨纤维 GGY70	201Al	34	2.39	665	210
	石墨纤维 GGY70	201Al	30	2.44	560	160
	高模量沥青纤维 GHMpitch	6061Al	41	2.44	630	329
特点及应用	具有很高的比强度及比模量,良好的高温性能和导热性、低的热膨胀系数及良好的尺寸稳定性。与高强铝合金、钛合金、高强钢相比,其比强度约高 1 倍,比模量约高 3 倍,适于制作构件重量轻、刚性好的构件,壁厚最小的要求结构稳定的构件;高温性能好及尺寸稳定性好、精度要求高的构件					

5.3.2 碳纤维增强铅复合材料(见表 1.4-112)

表 1.4-112 碳纤维增强铅及铅合金复合材料力学性能及应用

材料名称	C/Pb	C/Pb-Sn	C/Pb-Sn-Sb
拉伸强度/MPa	33.44	67.86	74.92
特点及应用	碳纤维强度比铅及铅合金高近百倍,碳纤维增强铅及铅合金复合材料具有消声、耐腐蚀、耐磨性及较高的强度和刚度,适于制作承受高负荷的自润滑轴承、薄板构件,可以降低飞机、农机具、工业设备和船舶等的噪声,如装在农用拖拉机驾驶室中,可使噪声下降 17dB		

5.3.3 碳纤维增强铜复合材料(见表 1.4-113)

表 1.4-113 碳纤维增强铜复合材料摩擦性能及应用

	材料	纤维位向	线速度 $/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	磨损速率/ $\text{cm} \cdot (\text{km} \times 10^4)^{-1}$	平均摩擦因数	电刷温度/ $^{\circ}\text{C}$
摩擦性能	T300/Cu-1%/Sn A 类复合丝	I	54	0.52	0.06	—
		Ⅲ	54	2.47	0.14	—
		I	60	0.55	0.39	—
		I	120	0.08	0.16	—
	T300/Cu-1% Sn B 类复合丝	I	60	1.44	0.16	241
		I	120	0.94	0.18	282
	T300/Cu-10% Sn B 类复合丝	I	60	3.36	0.22	223
		I	120	2.99	0.19	274
	HM3000/Cu-1% Sn A 类复合丝	I	54	2.85	0.36	200
		Ⅱ	54	38.27	0.41	232
	HM3000/Cu-3% Sn A 类复合丝	I	54	1.62	0.23	164
		I	60	2.08	0.29	170
		I	120	1.09	0.16	201
	HM3000/Cu-4% Sn A 类复合丝	I	54	4.79	0.19	194
		I	60	3.95	0.37	217
		I	120	1.34	0.19	258
	HM3000/Cu-4% Sn B 类复合丝	I	60	6.08	0.30	217
		I	120	1.72	0.15	258
	HM3000/Cu-8% Sn	I	54	2.46	0.33	114
		I	30	2.79	0.36	155
		I	60	1.73	0.23	102
		I	120	1.19	0.11	126
		I	180	0.75	0.13	140
		I	235	2.08	0.21	265
特点及应用	具有高强度、摩擦因数小、磨损率低、可通过工作电流大、接触电压降小等优异性能,适于用作低电压、大电流电机及特殊电机的电刷材料、耐磨材料及电子材料。目前,作为耐磨材料和电机电刷材料已有较多的试验研究					

注: 1. A 类复合丝指纤维束中 95% 已浸渍好,表面金属连续; B 类复合丝指纤维束浸渍不完全,但表面涂层连续。
2. 纤维位向: I—纤维轴与滑动面垂直; II—纤维束与滑动面平行,但与滑动方向垂直; III—纤维轴与滑动面及滑动方向都平行。

5.4 塑料-金属基复合材料

5.4.1 塑料-青铜-钢背三层复合板材(见表 1.4-114)

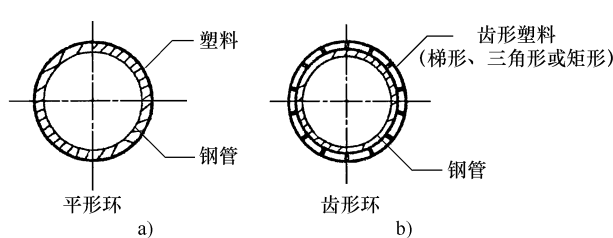
表 1.4-114 塑料-青铜-钢背三层复合板材规格及应用 (mm)

类型	名 称	用 途	厚 度		公称宽度	公称长度
			公称厚度	偏差		
I	改性聚四氟乙烯为表面层的三层复合板材	特别适用于无油润滑条件	0.75 1.0	0.05	120	500
II	改性聚甲醛为表面层的三层复合板材	特别适用于边界润滑条件	1.5 2.0			
				0.06		
III	填充增强酚醛为表面层的三层复合板材	特别适用于水润滑条件	2.5	0.07	—	—
			20 40	—		

注：1. 特殊规格可由供需双方商定。
2. I 型材料作为机床导轨板，经过磨削加工其偏差为 0.02mm。

5.4.2 塑覆铜管(见表 1.4-115)

表 1.4-115 塑覆铜管分类、规格、性能及应用(摘自 YS/T 451—2002)

产品分类		尺寸规格		
	铜管外径 /mm	塑覆铜管外径/mm		
		平形环	齿形环	
	6	8.2	8.6	
	8	10.2	10.6	
	10	12.2	12.6	
	12	14.2	14.6	
	15	17.6	18.6	
	18	20.6	21.6	
	22	24.6	25.6	
产品分类		尺寸规格		
1. 塑覆铜冷水管：塑料在管材外表面密集成环状(平形环)，其断面形状如图 a 所示 2. 塑覆铜热水管：塑料在管材外表面呈齿形环状(齿形环)，其齿形可为梯形、三角形或矩形，其断面形状如图 b 所示 3. 塑覆铜气管：采用图 a 或图 b 形式 4. 塑覆铜燃气管，采用图 a 或图 b 形式	铜管外径 /mm	塑覆铜管外径/mm		
		平形环	齿形环	
	28	30.6	31.6	
	35	38.6	40	
	42	45.6	47	
	54	58	60	
材料要求	铜管基材应符合 GB/T 18033—2007《无缝铜水管和铜气管》中化学成分的规定 铜管塑覆材为聚乙烯，应保证能在 110℃ 温度以下正常应用。聚乙烯的技术性能应为：密度 0.930 ~ 0.940g · cm ⁻³ ；熔体流动速率 0.20 ~ 0.40g/10min；脆化温度 ≤ -70℃；维卡软化温度 ≥ 80℃；阻燃性氧指数(OI) ≥ 30			
用 途	产品用于输送冷水、热水、地面天然气、液态石油气、煤气、氧气等			

参考文献

- [1] 机械工程手册编辑委员会. 机械工程手册: 基础理论卷[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [2] 闻邦椿. 机械设计手册: 第 1 卷[M]. 5 版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [3] 徐灏. 新编机械设计师手册: 上册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [4] 机械设计手册编委会. 机械设计手册: 第 1 卷[M]. 新版. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [5] 东北大学《机械零件设计手册》编写组. 机械零件设计手册: 上册[M]. 3 版. 北京: 冶金工业出版社, 1994.
- [6] 成大先. 机械设计手册: 第 1 卷[M]. 5 版. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [7] 吴宗泽, 卢颂峰, 冼健生. 简明机械零件设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [8] 吴宗泽. 机械设计师手册[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [9] 吴宗泽. 机械设计实用手册[M]. 3 版. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [10] 秦大同, 谢里扬. 现代机械设计手册. 第 1 卷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [11] 毛昕, 黄英, 肖平阳. 画法几何及机械制图[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [12] 全国量和单位标准化技术委员会. GB3100 ~ 3102—1993 量和单位[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [13] 全国产品尺寸和几何规范标准化技术委员会. GB/T 1182—2008 产品几何技术规范(GPS) 几何公差 形状、方向、位置和跳动公差标注[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] 全国产品尺寸和几何规范标准化技术委员会. GB/T 131—2006 产品几何技术规范(GPS) 技术产品文件中表面结构的表示法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [15] 全国产品几何技术规范标准化委员会. 产品几何技术规范(GPS)国家标准应用指南[M]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

第 2 篇

机构分析与设计

第 1 章 机构的组成原理与分析方法

1 机构

机构是多个构件以运动副相互连接而形成的用以实现某种运动变换的系统。

如果机构中各构件都作平面运动，且运动平面相互平行，则称这种机构为平面机构，否则为空间机构。平面机构的应用特别广泛。

机架是机构中的一个参照构件，机构中其余构件的运动都是参照机架而描述的。

主动件是机构中输入运动的构件，机构中其余构件的运动，在机构的结构、尺寸关系已经确定的前提下，取决于主动件的运动。一个机构可以有一个或多个主动件。

从动件是机构中输出运动的构件。按需要，一个机构也可以有一个或多个从动件。

由于生产过程要求运动变换的多样性，机构的类型繁多。设计机械时选用机构可参照下述原则：

(1) 满足运动变换的要求。不但要考虑运动型式的变换（例如把连续转动变换为往复移动），还应仔细考虑工艺动作对从动件运动规律（位移、速度及加速度的变化规律）的要求。

(2) 构件数少、运动副结构简单的机构，加工容易，传动刚度较大，积累误差较小。

(3) 机构在实现运动变换的同时，通常要传递力，传力性能应是选择机构的重要指标。这包括在传动区间内传动角 μ 的数值及运动副的承载能力。面接触的低副比点、线接触的高副承载能力大，传动更为可靠。

1.1 运动副

两个构件以直接接触的方式形成的可动连接称运动副。运动副以构件相互接触部位的特定形状限定相连接的两构件间的相对运动。

常见的运动副类型、表示方法及特性见表2.1-1。

表 2.1-1 常见运动副的类型及表示方法

名称	移动副	转动副	平面高副	螺旋副	球面副	柱面副
图例						
标记符号	$P (P_5)$	$R (P_5)$	(P_4)	$H (P_5)$	$S (P_3)$	$C (P_4)$
规定表示方法						
限定构件间相对运动	移动	转动	转动及沿廓线切线方向的移动	轴向移动 (S) 及转动 (φ) 满足 $S = k\varphi$	绕任意轴转动	转动及沿转动轴方向的移动
相对自由度	1	1	2	1	3	2

1.2 机构简图

用规定的简化画法表示构件和运动副而画出的机构图称机构简图。利用机构简图可进行机构的运

动分析和受力分析。表达机构的运动变换的性能。

机构简图中应包括下列信息：

- 1) 构件数目。
- 2) 运动副的数目和类型。

- 3) 构件之间的连接关系。
- 4) 与运动变换相关的构件尺寸参数。
- 5) 主动件及其运动特性。

1.3 机构的自由度

为了确定机构中各构件相对于参照构件的位置所必需的独立的广义坐标的数目称机构的自由度。通常主动件以转动副或移动副与机架相连接, 主动件数目与机构自由度数是相等的。

1.3.1 平面机构的自由度

各构件的运动平面相互平行的机构称平面机构, 其自由度 F 可按下计算

$$F = 3n - 2P_5 - P_4$$

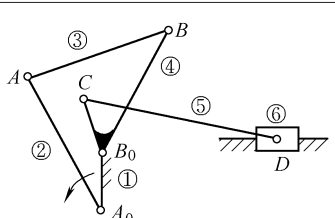
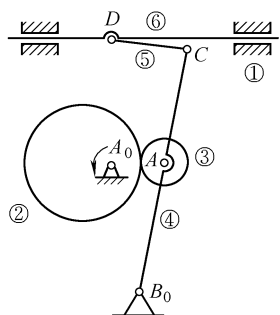
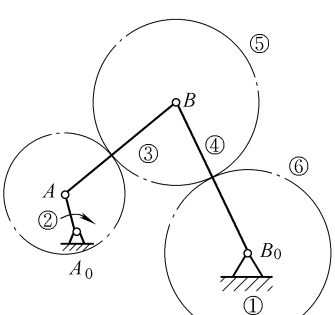
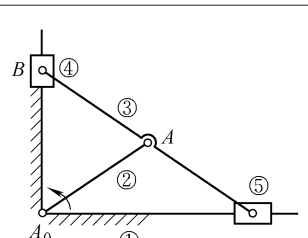
式中 n ——活动构件数目;

P_5 ——转动副和移动副的数目;

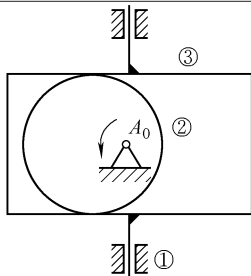
P_4 ——平面高副的数目。

表 2.1-2 举例说明了公式 $F = 3n - 2P_5 - P_4$ 的应用及应用中一些注意事项。

表 2.1-2 机构自由度计算举例

简 图	计算及说明
	$n = 5, P_5 = 7$ $F = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$ 有一个主动件②
	$n = 5, P_5 = 7, P_4 = 1$ $F = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 1 = 0$ 实际上 $F = 1$, 这是因为: 1) 滚子③引入一个局部自由度, 计算机构自由度时应不计; 2) ⑥与①形成两个移动副, 相对运动方向相同, 其中之一应为虚约束, 应不计入, 故 $n = 5, P_5 = 6, P_4 = 1$ $F = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 1 = 2$, 去掉一个局部自由度, $F = 1$
	$n = 5, P_5 = 6, P_4 = 2$ $F = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 2 = 1$ 注意: ③、④、⑤组成 2 个转动副, ①、④、⑥组成 2 个转动副
	$n = 4, P_5 = 6, P_4 = 0$ $F = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$ 如果机构尺寸有 $\overline{A_0A} = \overline{AB} = \overline{AC}$ 关系, 则因 B、C 两点各沿垂直导路运动。③上各点轨迹为椭圆, 而 A 点轨迹为圆, 与②构件上 A 点轨迹重合, 故可把②及与其相关的两个转动副视为虚约束, $F = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$ 亦可把④ (或⑤) 及与其相关的两个低副视为虚约束

(续)

简 图	计算及说明
	$n=2, P_5=3, P_4=2$ $F=2 \times 3 - 3 \times 2 - 2 = -2$ 实际上 $F=1$, 这是因为: 1) ①与③组成的两个移动副中有一个是虚约束; 2) ②与③组成的两个高副中有一个是虚约束 故: $n=2, P_5=2, P_4=1$ $F=3 \times 2 - 2 \times 3 - 1 = 1$

1.3.2 空间机构的自由度

空间机构一般的自由度计算公式为:

$$F = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1$$

式中 n ——活动构件数目;

P_i ——约束数为 i 的运动副数目。

例 2.1-1 试计算图 2.1-1 所示操作手的自由度

解 $n=4, P_5=3, P_3=1$

$$\therefore F = 6 \times 4 - 5 \times 3 - 3 \times 1 = 6$$

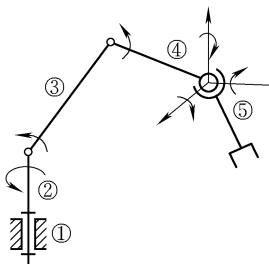


图 2.1-1 自由度计算例

例 2.1-2 试计算图 2.1-2 所示机构的自由度

解 $n=3, P_5=2, P_4=1, P_3=1$

$$\therefore F = 6 \times 3 - 2 \times 5 - 4 - 3 = 1$$

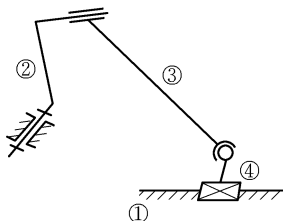


图 2.1-2 自由度计算例

例 2.1-3 试计算图 2.1-3 所示机构的自由度

解 该机构由 13 个活动构件, 6 个移动副和 12 个球面副组成:

$$n=13, P_5=6, P_3=12$$

$$F = 6 \times 13 - 5 \times 6 - 3 \times 12 = 12$$

但其中有 6 个局部自由度, 故机构的整体自由度为 6。

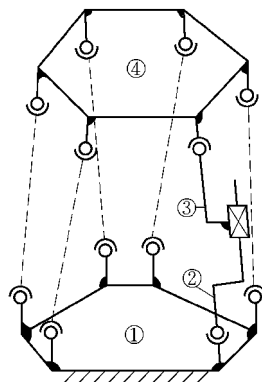


图 2.1-3 自由度计算例

空间机构中如果构件的尺寸参数满足某些特定的几何关系, 则会形成对各个构件运动的共同约束, 即公共约束, (例如由四个转动副组成的空间四杆机构, 当四个转动副轴线相互平行或汇交于一点时), 也会形成各种虚约束。这会使用上述公式计算所得的自由度与实际不符。

2 平面机构组成原理

2.1 基本杆组法

由低副组成的平面机构其自由度为:

$$F = 3n - 2P_5$$

通常, 主动件是以低副与机架相连的构件, 所以每个主动件的自由度数 1。如果从自由度为 F 的机构中拆掉 F 个主动件, 则余下的运动链的自由度为零。最简单的自由度为零的运动链称基本杆组。基本杆组的构件数与低副数应满足: $3n - 2P_5 = 0$

机构可看作是由机架、主动件和若干个基本杆组组成。这就是俄国学者阿苏尔提出的机构组成原理, 基本杆组又称阿苏尔组。

常见的基本杆组如表 2.1-3。

由 II 级杆组组成的机构称 II 级机构。

包括有 III (IV) 级杆组的机构称 III (IV) 级机

构。

为了判别机构的级及进行运动和力的分析, 常需把机构分解为主动件及基本杆组。分解的基本方法是从机构上试拆一个基本杆组(先试拆Ⅱ级杆组,

如不成功再试拆Ⅲ级杆组, ……), 拆下一个杆组后, 余下的仍是一个 F 不变的较简单的机构, 直至余下 F 个主动件为止。表 2.1-5 中例举了一些机构分解的过程。

表 2.1-3 基本杆组

	Ⅱ级杆组 $n=2$ $P_5=3$	Ⅲ级杆组	Ⅳ级杆组
简图			

从上述对基本杆组的分析可知, 任何机构都可以看作是由若干个基本杆组依次连接于主动件和机架上而构成的, 这就是机构的组成原理。根据这一原理, 当进行新机构方案设计时, 可先选定一个构件作为机架, 并将数目等于该机构自由度数的 F 个主动件以运动副连接于机架上, 然后再将一个基本杆组依次连接于机架和主动件上或其他杆组上而构成。

2.2 机架变换与主动件的选择

运动链中, 选取不同的构件做机架, 可能得到不同类型的机构。选取运动链中的不同构件做主动件, 也可以得到不同输入输出特性的机构。如图

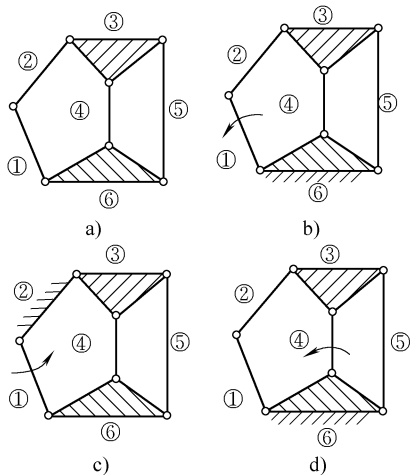


图 2.1-4 机架变换与主动件的选择

2.1-4a 所示的运动链, 分别选取⑥、②构件为机架, 并都以 1 构件为主动件, 得到的对应机构如图 2.1-4b、c 所示。通过对机构进行结构分析可知, 它们分别是Ⅲ级机构和Ⅳ级机构。再针对图 2.1-4b 将主动件变换为④构件, 得到的对应机构如图 2.1-4d 所示, 该机构为Ⅱ级机构。

2.3 运动副的同性异构演化

工程上应用的平面低副的形式较多, 由此可抽象出相应的机构运动简图, 其中有些虽貌似不同, 但运动特性却毫无两样, 即所谓的同性异构。如果能掌握这些同性异构的演化规则, 将大大方便机构的分析与设计。另一方面, 研究如何在相对运动不变的条件下, 变更机构的构造形状, 使之利于结构设计、装配或构造出新的结构形式, 使机构具有新的功能, 也是机构综合的重要内容之一。

(1) 移动副的同性异形演化

主要有: 组成移动副两元素的包容关系可以互换; 组成移动副的方位线可任意平移。如图 2.1-5a 所示的曲柄摇块机构, 构件②与构件③组成移动副, 当曲柄 1 转动时, 通过构件②使构件③摆动, 同时它们又作相对滑动。现将组成移动副的构件②和构件③的元素对调, 并将运动副方位线 CD 平移至 B , 如图 2.1-5b、c 所示。图 2.1-5d 则是图 2.1-5c 的另一种表示方法, 构成工程上常见的摆动液压缸机构。

图 2.1-6 为滑动副扩大变异结构示意图。图 2.1-7 为滑动副形状变异结构示意图。

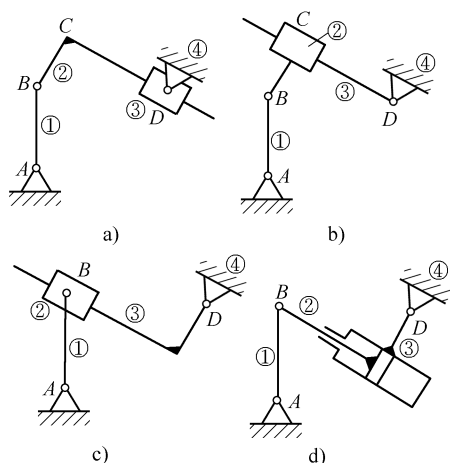


图 2.1-5 移动副同性异形的演化

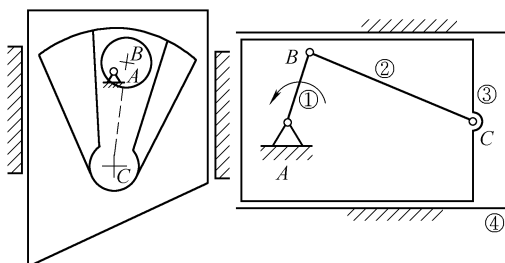


图 2.1-6 滑动副扩大变异结构示意图

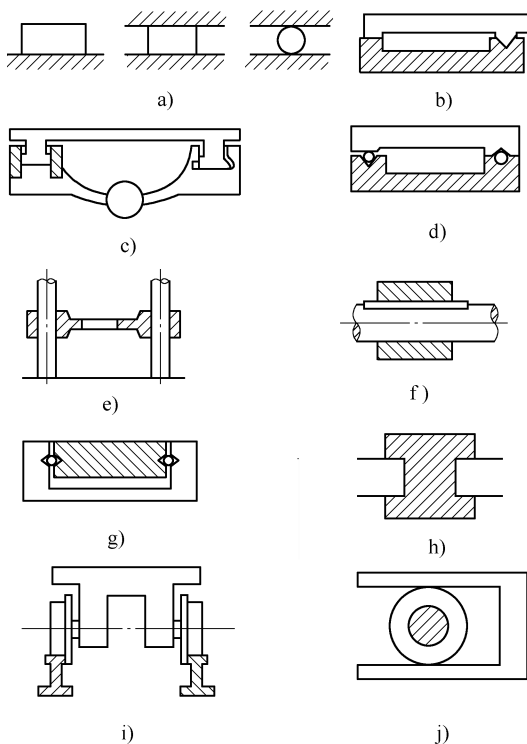


图 2.1-7 为滑动副形状变异结构示意图

(2) 转动副的同性异形演化

运动副元素扩大是转动副构造变形的一种方法，在机构演化过程中经常用到。如图 2.1-8a 中有机架①、曲柄②、连杆③三个构件和 A、B 两个转动副。当曲柄②太短时，结构设计和加工制造都有困难，常采用转动副扩大法，使转动副 B 变成偏心曲柄圆盘结构，如图 2.1-8b 所示。经过这样改变后，既便于加工安装，又不影响其运动特性和所实现的功能。转动副扩大变异结构如图 2.1-9 所示。

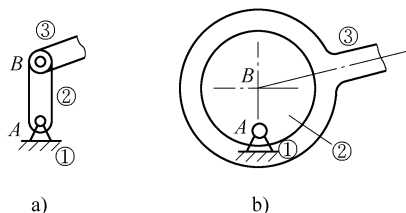


图 2.1-8 转动副同性异形的演化

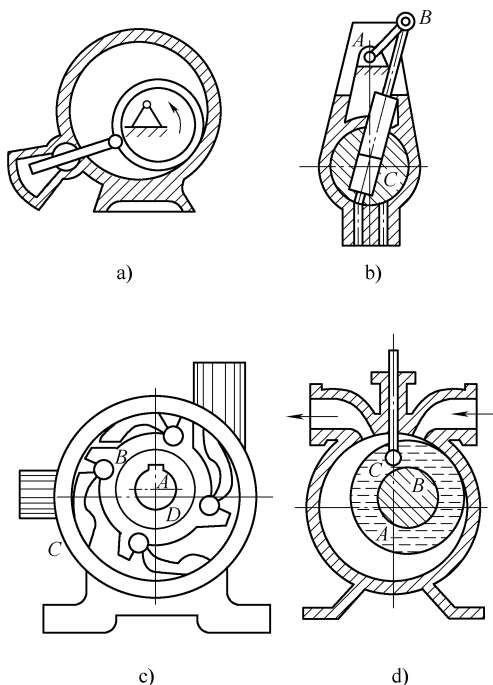


图 2.1-9 转动副扩大变异结构示意图

2.4 平面高副与低副的等效替代

为了能将平面低副机构的结构分析方法运用于所有平面机构，可以根据一定的条件将机构中的高副虚拟地用低副加以替代，高副低代应满足以下两个条件：

- ① 代替前后机构的自由度完全相同。
- ② 代替前后机构的瞬时速度和瞬时加速度完

全相同。

低副，用于构型的设计。

即用一个包含两个低副的构件来代替一个高副，且低副位于高副瞬时接触点的曲率中心。具体的替代方法见表 2.1-4。反之，也可由平面高副等效替代

2.5 机构的分解

平面机构的分解表 2.1-5 所示。

表 2.1-4 平面低副替代高副

	曲线与曲线接触	曲线与直线接触	曲线与尖点接触
替代方法	1) 求出接触点处二曲线的曲率中心 O_1, O_2 2) 在 O_1, O_2 各置一转动副附加一构件⑤ 3) ⑤构件与两个转动副替代一个高副	1) 求出接触点处曲线的曲率中心 O_1 ，过接触点作曲线切线 t 2) 在 O_1 置转动副，沿 t 方向置一移动副，附加构件⑤将两个运动副联结，⑤及两运动副代替一个高副	1) 求出接触点处曲线的曲率中心 O_1 ，在 O_1 置一转动副 2) 在接触点置转动副 O_2 3) 附加构件⑤联结 $O_1, O_2, ⑤$ 及 O_1, O_2 替代一个高副
图例			

表 2.1-5 机构分解举例

	机构简图	分解过程	说明及结论
例 1			1. 拆下由⑤⑥组成的 RRP 杆组 2. 拆下由③④组成的 RRR 杆组 3. 余下主动件②及机架所有杆组都为Ⅱ级基本杆组所以是Ⅱ级机构
例 2			1. 用⑤构件及两个转动副替代高副 2. 拆下由⑤⑥组成的 RRP 杆组 3. 拆下由③④构件组成的 RRR 杆组 4. 余下主动件② 所有杆组都是Ⅱ级杆组。所以是Ⅱ级机构
例 3			1. 用⑤构件及两个低副替代②③构件形成的高副 2. 拆不下Ⅱ级杆组，把③⑤④组成的Ⅱ级杆组拆下 3. 余下主动件②，因为有一个Ⅱ级基本杆组所以是Ⅱ级机构

注：图中标有转向箭头者为主动件。

3 平面机构的运动分析

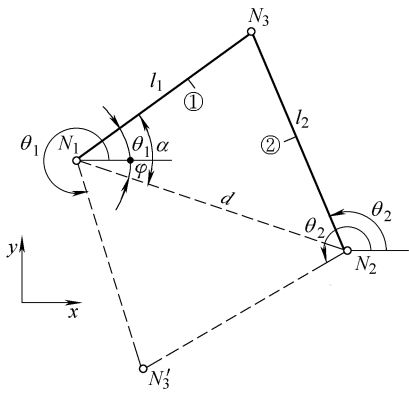
根据杆组法的机构组成原理,机构是由主动件、机架和基本杆组组合而成的。因此,如果以主动件和基本杆组为基本单元,建立起各单元的运动参数之间的数学关系式,当需要对某一机构进行运动分析时,就可根据机构的组成结构和拆分的基本杆组,应用相应单元的计算模块,求解所需要的运动参数。如果依据这些模块的计算关系式,编制出求解各种基本杆组运动参数的计算机运算子程序(或函数)模块,当对机构进行运动分析时,只需在主程序中调用相应的子程序(或函数)模块,便可迅速求得所需的结果。从而实现用有限的计算模块,求解所有对应机构的运动分析问题。

3.1 II级机构的运动分析

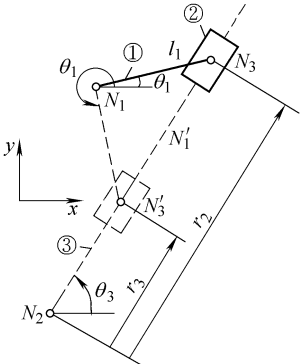
在对杆组进行运动分析时,规定*i*构件的长度用 l_i 表示,位置角 θ_i 从外运动副引*x*轴正向线按逆时针量取, N_i 点的位置用 (P_{ix}, P_{iy}) 表示, N_i 点的速度用 (v_{ix}, v_{iy}) 表示, N_i 点的加速度用 (a_{ix}, a_{iy}) 表示,*i*构件的角速度和角加速度分别用 ω_i, ε_i 表示,且均以逆时针方向为正。已知杆组的外运动副 N_1, N_2 的位置 $(P_{1x}, P_{1y}), (P_{2x}, P_{2y})$,速度 $(v_{1x}, v_{1y}), (v_{2x}, v_{2y})$ 和加速度 $(a_{1x}, a_{1y}), (a_{2x}, a_{2y})$,求内运动副的位置、速度和加速度以及构件①和②的位置角、角速度和角加速度。

表 2.1-6 给出了常见的三种 II 级杆组及单杆运动分析的公式。带有可变长度杆(如液压、气动缸)的 RRR 杆组的运动分析,可借用 RRR 杆组的分析公式,在此一并列出。

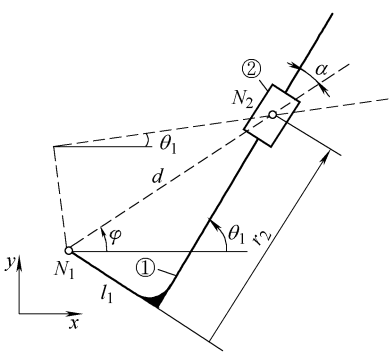
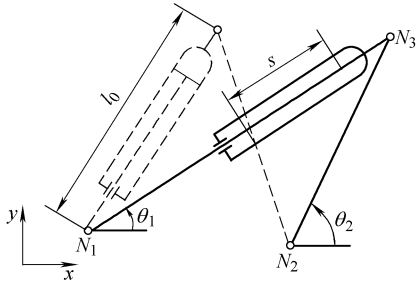
表 2.1-6 常见 II 级杆组及单杆运动分析公式

RRR 杆组简图	说 明
	N_1, N_2 为杆组外运动副的虚拟点号, N_1, N_2 的位置 $(P_{1x}, P_{1y}), (P_{2x}, P_{2y})$、速度 $(v_{1x}, v_{1y}), (v_{2x}, v_{2y})$、加速度 $(a_{1x}, a_{1y}), (a_{2x}, a_{2y})$ 和杆长 l_1, l_2 是已知的。求内运动副 N_3 点的位置 (P_{3x}, P_{3y})、速度 (v_{3x}, v_{3y}) 及加速度 (a_{3x}, a_{3y}) 和杆①、②的位置角、角速度及角加速度 $\theta_1, \theta_2, \omega_1, \omega_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2$
位置分析	$d = [(P_{2x} - P_{1x})^2 + (P_{2y} - P_{1y})^2]^{1/2}$ 如果 $d > l_1 + l_2$ 或 $d < l_1 - l_2$, 则此位置不能形成杆组 $\cos \alpha = (d^2 + l_1^2 - l_2^2) / 2l_1 d \quad \sin \alpha = (1 - \cos^2 \alpha)^{1/2}$ $\alpha = \arctan(\sin \alpha / \cos \alpha)$ $\varphi = \arctan((P_{2y} - P_{1y}) / (P_{2x} - P_{1x}))$ 如果 $\overrightarrow{N_1 N_3} \times \overrightarrow{N_2 N_3} > 0$ 则 $\theta_1 = \varphi + \alpha$ (图中实线位置) 如果 $\overrightarrow{N_1 N_3} \times \overrightarrow{N_2 N_3} < 0$ 则 $\theta_1 = \varphi - \alpha$ (图中虚线位置) $P_{3x} = P_{1x} + l_1 \cos \theta_1 \quad P_{3y} = P_{1y} + l_1 \sin \theta_1$ $\theta_2 = \arctan((P_{3y} - P_{2y}) / (P_{3x} - P_{2x}))$
速度分析	$E_v = (v_{2x} - v_{1x})(P_{3x} - P_{2x}) + (v_{2y} - v_{1y})(P_{3y} - P_{2y})$ $F_v = (v_{2x} - v_{1x})(P_{3x} - P_{1x}) + (v_{2y} - v_{1y})(P_{3y} - P_{1y})$ $Q = (P_{2y} - P_{1y})(P_{3x} - P_{2x}) - (P_{3y} - P_{2y})(P_{3x} - P_{1x})$ $\omega_1 = -E_v / Q, \quad \omega_2 = -F_v / Q$ $v_{3x} = v_{1x} - l_1 \omega_1 \sin \theta_1, \quad v_{3y} = v_{1y} + l_1 \omega_1 \cos \theta_1$

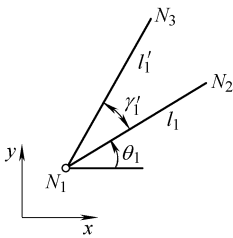
(续)

RRP 杆组简图	说 明
加速度分析 $E_A = a_{2x} - a_{1x} + (v_{3y} - v_{1y})\omega_1 - (v_{3y} - v_{2y})\omega_2$ $F_A = a_{2y} - a_{1y} - (v_{3x} - v_{1x})\omega_1 + (v_{3x} - v_{2x})\omega_2$ $\varepsilon_1 = -(E_A(P_{3x} - P_{2x}) + F_A(P_{3y} - P_{2y}))/Q$ $\varepsilon_2 = -(E_A(P_{3x} - P_{1x}) + F_A(P_{3y} - P_{1y}))/Q$ $a_{3x} = a_{1x} - l_1\omega_1^2\cos\theta_1 - l_1\varepsilon_1\sin\theta_1$ $a_{3y} = a_{1y} - l_1\omega_1^2\sin\theta_1 + l_1\varepsilon_1\cos\theta_1$	
	N_2 为移动副导路③上选定的参考点。已知 N_1, N_2 的位置、速度和加速度, 杆①的长度 l_1、导路③的位置角 θ_3、角速度 ω_2 和角加速度 ε_2 均为已知, 求杆①的位置角、角速度及角加速度 $\theta_1, \omega_1, \varepsilon_1$ 和滑块②相对于导路上参考点 N_2 的位移、相对速度和相对加速度 r_2, v_{r2}, a_{r2}
位置分析 $d = ((P_{2x} - P_{1x})^2 + (P_{2y} - P_{1y})^2)^{1/2}$ $E = 2((P_{2x} - P_{1x})\cos\theta_3 + (P_{2y} - P_{1y})\sin\theta_3) \quad F = d^2 - l_1^2$ 如果 $E^2 - 4F < 0$, 则此位置不能形成 RRP 杆组 如果 $E^2 - 4F > 0$, 则当 $\angle N_1N_3N_2 < 90^\circ$ 时 $r_2 = (-E + \sqrt{E^2 - 4F})/2$ 当 $\angle N_1N_3N_2 > 90^\circ$ 时 $r_2 = (-E - \sqrt{E^2 - 4F})/2$ $P_{3x} = P_{2x} + r_2\cos\theta_3 \quad P_{3y} = P_{2y} + r_2\sin\theta_3$ $\theta_1 = \arctan((P_{3y} - P_{1y})/(P_{3x} - P_{1x}))$	
速度分析 $E_v = v_{2x} - v_{1x} - r_2\omega_1\sin\theta_3 \quad F_v = v_{2y} - v_{1y} + r_2\omega_3\cos\theta_3$ $Q = (P_{3y} - P_{1y})\sin\theta_3 + (P_{2x} - P_{1x})\cos\theta_3$ $\omega_1 = (-E_v\sin\theta_3 + F_v\cos\theta_3)/Q \quad v_{r2} = -(E_v(P_{3x} - P_{1x}) + F_v(P_{3y} - P_{1y}))/Q$ $v_{3x} = v_{1x} - l_1\omega_1\sin\theta_1 \quad v_{3y} = v_{1y} + l_1\omega_1\cos\theta_1$	
加速度分析 $E_A = a_{2x} - a_{1x} + (P_{3x} - P_{1x})\omega_1^2 - r_2\omega_3^2\cos\theta_3 - (P_{3y} - P_{2y})\varepsilon_3 - 2\omega_3v_{r2}\sin\theta_3$ $F_A = a_{2y} - a_{1y} + (P_{3y} - P_{1y})\omega_1^2 - r_2\omega_3^2\sin\theta_3 - (P_{3x} - P_{1x})\varepsilon_3 + 2\omega_3v_{r2}\cos\theta_3$ $\varepsilon_1 = (-E_A\sin\theta_3 + F_A\cos\theta_3)/Q \quad a_{r2} = -(E_A(P_{3x} - P_{1x}) + F_A(P_{3y} - P_{1y}))/Q$ $a_{3x} = a_{1x} - l_1\omega_1^2\cos\theta_1 - l_1\varepsilon_1\sin\theta_1 \quad a_{3y} = a_{1y} - l_1\omega_1^2\sin\theta_1 + l_1\varepsilon_1\cos\theta_1$	

(续)

RPR 杆组简图	说 明
	外运动副 N_1, N_2 的位置、速度和加速度及导杆①上移动副导路与转动副 N_1 的偏距 l_1 已知, 求导杆的位置角 θ_1、角速度 ω_1 和角加速度 ε_1 及滑块②相对于导杆的位移、速度和加速度 r_1, v_{r2}, a_{r2}
位置分析	$d = ((P_{2x} - P_{1x})^2 + (P_{2y} - P_{1y})^2)^{1/2}$ $r_2 = (d^2 - l_1^2)^{1/2}$ $\alpha = \arctan(l_1/r_2) \quad \varphi = \arctan((P_{2y} - P_{1y})/(P_{2x} - P_{1x}))$ 如果 $\overrightarrow{N_1 N_2} \times \vec{r}_2 > 0$ 则 $\theta_1 = \varphi + \alpha$ 否则 $\theta_1 = \varphi - \alpha$
速度分析	$E_v = v_{2x} - v_{1x} \quad F_v = v_{2y} - v_{1y}$ $Q = -((P_{2x} - P_{1x})\cos\theta_1 + (P_{2y} - P_{1y})\sin\theta_1)$ $\omega_1 = (E_v \sin\theta_1 - F_v \cos\theta_1)/Q$ $v_{r2} = -(E_v(P_{2x} - P_{1x}) + F_v(P_{2y} - P_{1y}))/Q$
加速度分析	$E_A = a_{2x} - a_{1x} + (P_{2x} - P_{1x})\omega_1^2 + 2\omega_1 v_{r2} \sin\theta_1$ $F_A = a_{2y} - a_{1y} + (P_{2y} - P_{1y})\omega_1^2 - 2\omega_1 v_{r2} \cos\theta_1$ $\varepsilon_1 = (E_A \sin\theta_1 - F_A \cos\theta_1)/Q, \quad a_{r2} = -(E_A(P_{2x} - P_{1x}) + F_A(P_{2y} - P_{1y}))/Q$
带有液压、气动缸的 RRR 杆组简图	说 明
	外运动副 N_1, N_2 的位置、速度和加速度已知, N_1 与 N_3 之间最短长度为 l_0, 给定活塞与缸体的相对位移 s、相对速度 v_r 和相对加速度 a_r, 求变长度杆①及不变长度杆②的角位置, 角速度和角加速度
位置分析	令: $l_1 = l_0 + s$ 借用 RRR 杆组位置分析公式
速度分析	令: $l_1 = l_0 + s$ v_{1x} 以 $v_{1x} + v_r \cos\theta_1$, v_{1y} 以 $v_{1y} + v_r \sin\theta_1$ 替代 借用 RRR 杆组速度分析公式
加速度分析	v_{1x} 以 $v_{1x} + v_r \cos\theta_1$, v_{1y} 以 $v_{1y} + v_r \sin\theta_1$ 替代 a_{1x} 以 $a_{1x} + a_r \cos\theta_1 - 2v_r \omega_1 \sin\theta_1$ a_{1y} 以 $a_{1y} + a_r \sin\theta_1 + 2v_r \omega_1 \cos\theta_1$ 替代 借用 RRR 杆组加速度分析公式

(续)

单杆简图	说 明
	已知 N_1 点的位置、速度、加速度、尺寸参数 l_1 、 l_1' 、 γ_1' 及构件①的位置角 θ_1 、角速度 ω_1 、角加速度 ε_1 ，求 N_2 、 N_3 点的位置、速度和加速度。用于计算主动件或机构中运动构件上某些指定点的运动参数
位置分析	$P_{2x} = P_{1x} + l_1 \cos \theta_1 \quad P_{2y} = P_{1y} + l_1 \sin \theta_1$ $P_{3x} = P_{1x} + l_1' \cos(\theta_1 + \gamma_1') \quad P_{3y} = P_{1y} + l_1' \sin(\theta_1 + \gamma_1')$
速度分析	$v_{2x} = v_{1x} - l_1 \omega_1 \sin \theta_1 \quad v_{2y} = v_{1y} + l_1 \omega_1 \cos \theta_1$ $v_{3x} = v_{1x} - l_1' \omega_1 \sin(\theta_1 + \gamma_1') \quad v_{3y} = v_{1y} + l_1' \omega_1 \cos(\theta_1 + \gamma_1')$
加速度分析	$a_{2x} = a_{1x} - l_1 \varepsilon_1 \sin \theta_1 - l_1 \omega_1^2 \cos \theta_1 \quad a_{2y} = a_{1y} + l_1 \varepsilon_1 \cos \theta_1 - l_1 \omega_1^2 \sin \theta_1$ $a_{3x} = a_{1x} - l_1' \varepsilon_1 \sin(\theta_1 + \gamma_1') - l_1' \omega_1^2 \cos(\theta_1 + \gamma_1')$ $a_{3y} = a_{1y} + l_1' \varepsilon_1 \cos(\theta_1 + \gamma_1') - l_1' \omega_1^2 \sin(\theta_1 + \gamma_1')$

注：表列公式中 P , v , a 下标数字为虚拟点号, l , θ , ω , ε 下标数字为虚拟构件号, 在分析具体机构时应把它们代换为机构中实际的点和构件的编号, 见例题。

3.2 II级机构的运动分析举例

例 2.1-4 六杆机构如图 2.1-10。已知各部尺寸: $l_{12}=0.056\text{m}$, $l_{13}=0.125\text{m}$, $l_{34}=0.167\text{m}$, $l_{24}=0.163\text{m}$, $l_{25}=0.125\text{m}$, $l_{58}=0.5\text{m}$, $\gamma=-170^\circ$, 滑块⑤的导路过点 2, 铅垂方向。

设主动件①顺时针向匀速转动, $\omega_1 = -10^\circ/\text{s}$ 。

求主动件转动一周过程中滑块⑤的位移、速度和加速度的变化规律。

解 1) 画出机构简图, 把构件和关键点编号, 编号原则, 固定件为⑥, 其余任意;

2) 坐标系可视解题方便任选, 本例坐标原点为 1, x 轴沿 1, 2 点连线方向, 右手坐标系。

3) 将机构分解为 RRP 杆组(④⑤), RRR 杆组(②③)及单杆①(见图 2.1-10)。

4) 令主动件位置角 θ_1 从零开始以步长 -15° 转至 -360° 。

5) 用单杆运动分析公式计算点 3 的位置、速度和加速度, 在此应以实际机构中点和构件的编号代换公式中的虚拟编号:

虚拟点号	1 2 3	虚拟构件号	1
实际点号	1 3 0	实际构件号	1

$$l_1 = l_{13}, l_1' = 0, \omega_1 = \frac{120\pi}{30} \text{ rad/s}, \varepsilon_1 = 0$$

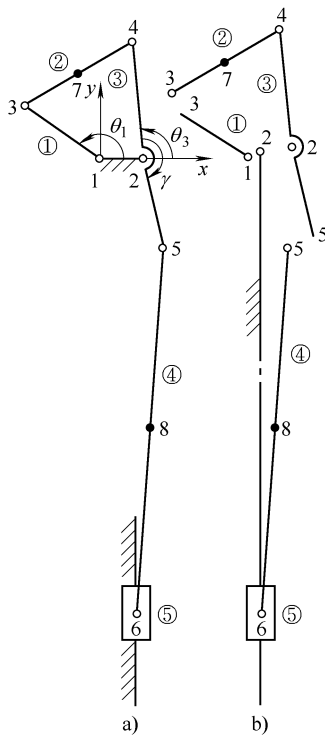


图 2.1-10 六杆机构及其分解

6) 用 RRR 杆组运动分析公式计算构件②、③的位置角 θ_2 、 θ_3 , 角速度 ω_2 、 ω_3 及角加速度 ε_1 、 ε_2 。

虚拟点号	1 2 3	虚拟构件号	1 2
实际点号	3 2 4	实际构件号	2 3

$$l_1 = l_{34}, l_2 = l_{24}$$

7) 用单杆运动分析公式求点5的运动参数

虚拟点号	1 2 3	虚拟构件号	1
实际点号	2 4 5	实际构件号	3

$$l_1 = l_{24}, l'_1 = l_{25}, \gamma' = -170^\circ$$

8) 用RRP杆组运动分析公式求点6的运动参数

虚拟点号	1 2 3	虚拟构件号	1 2 3
实际点号	5 2 6	实际构件号	4 5 0

$$\theta_0 = -90^\circ, \omega_0 = \varepsilon_0 = 0$$

求得 P_{6y} , v_{6y} 及 a_{6y} 结果如下表。

N _o	θ_1 (°)	P_{6y} /m	v_{6y} /(m/s)	a_{6y} /(m/s ²)
0	0.0	-0.3800	0.5565	-31.8579
1	-15.0	-0.3757	-0.1824	-22.5206
2	-30.0	-0.3866	-0.5955	-9.7068
3	-45.0	-0.4046	-0.7450	-2.7252
4	-60.0	-0.4246	-0.7777	-0.2787
5	-75.0	-0.4450	-0.7762	0.2179
6	-90.0	-0.4653	-0.7716	0.0875
7	-105.0	-0.4855	-0.7723	-0.1350
8	-120.0	-0.5057	-0.7774	-0.2202
9	-135.0	-0.5261	-0.7815	-0.0333
10	-150.0	-0.5466	-0.7758	0.5354
11	-165.0	-0.5666	-0.7493	1.5759
12	-180.0	-0.5855	-0.6888	3.1338
13	-195.0	-0.6022	-0.5810	5.1750
14	-210.0	-0.6154	-0.4148	7.5605
15	-225.0	-0.6234	-0.1842	10.0474
16	-240.0	-0.6245	0.1094	12.3165
17	-255.0	-0.6172	0.4557	14.0114
18	-270.0	-0.6004	0.8348	14.7551
19	-285.0	-0.5735	1.2160	14.0887
20	-300.0	-0.5371	1.5536	11.2401
21	-315.0	-0.4931	1.7725	4.6796
22	-330.0	-0.4464	1.7469	-7.7212
23	-345.0	-0.4052	1.3281	-24.2262
24	-360.0	-0.3800	0.5565	-31.8579

4 平面机构的动态静力分析

机械在工作过程中除受各种外力作用外,各构件相连接的运动副处产生构件之间相互作用的约束反力。即所谓“运动副反力”。这些力的大小及变化规律,不仅是设计构件及运动副的结构和计算其承

载能力的依据,同时还影响到机械工作过程的动力学品质。计算运动副反力可应用动态静力学方法,即在机械中非匀速运动的构件上加惯性力和惯性力偶,再用静力学平衡方程式求解。

一般情况下,可根据机械主动件按名义转速匀速转动时求得的各构件加速度值计算相应的惯性力和惯性力偶,用以代管机械运转过程中各构件的真实惯性力和惯性力偶。

4.1 机械工作过程中所受的力

(1) 工艺阻力 机械的工艺对象施加于机械的工作部分、阻碍机械运动而作负功的力,例如往复式压气机气缸活塞上所受的气体压力,作用于切削刀具上的切削阻力等。工艺阻力可由理论分析或实验方法求得,可用机械工作特性曲线或一组离散数据表示,在动态静力分析中认为是已知外力。

(2) 原动力 由动力机输出部分施加于机械主动件上驱使机械运动而做正功的力或力偶。如电动机的输出力矩及液压缸的推力等。它在机械的工作过程中与工艺阻力、构件自重及构件真实的惯性力相平衡。机械受力分析的任务之一就是要求出机械工作过程中每一瞬时(或每一位置)所需原动力的大小,进而确定所需动力机的功率。但在动力机尚未选定之前,构件的真实惯性力无法求得,从而难以求出真实的原动力。在进行动态静力分析时可以用平衡力替代原动力。平衡力是假想作用于主动件上,与工艺阻力、构件自重及假定主动件以名义转速匀速转动时求得的各构件的惯性力相平衡的力。在机械运转的一个周期之内,平衡力与原动力的功率相同,故可以用平衡力的大小和变化规律确定所需动力机的功率和进行主动件的承载能力分析。

(3) 构件自重 其值与工艺阻力相比较不可忽视时应考虑。在设计初始阶段,只能按初步结构设计所概略确定的构件形状、尺寸和材质进行估算,在动态静力分析时认为是已知外力。

(4) 介质阻力 机械工作过程中周围介质施加于机械运动构件上的阻力,一般情况下可不计。

(5) 惯性力 动态静力学方法中的虚拟外力,设构件*i*的质心为*s_i*,质量为*m_i*,绕质心轴的转动惯量为*J_{si}*,则其惯性力*F_{li}*与惯性力偶*T_{li}*的计算公式为

$$F_{li} = (F_{lix}^2 + F_{liy}^2)^{1/2} \text{ 其方向角 } \alpha_{li} = \arctan(F_{liy}/F_{lix})$$

$$T_{li} = -J_{si}\varepsilon_i$$

$$F_{lix} = -m_i a_{six}$$

$$F_{liy} = -m_i a_{siy}$$

a_{six} , a_{siy} 为构件*i*的质心加速度, ε_i 为构件*i*的角加

速度。

为了方便也可以将构件自重合并于惯性力的垂直分量中计算

$$F_{liy} = -m_i(a_{siy} + 9.81)$$

(6) 运动副反力 机械中构件间相互作用力。连接 i, j 两构件的运动副反力有 i 对 j 的作用力和 j 对 i 的作用力, 二者大小相等、方向相反作用于同一直线上。如果不计摩擦, 转动副中反力作用线通过转动副几何轴心, 方向、大小待定; 移动副中反力方向垂直于移动副导路, 大小及作用点位置待定。确定运动副中反力的大小、方向和作用点是机械受力分析的任务之一。

4.2 II级机构的动态静力分析

由于基本杆组都是静定的, 因此动态静力学分析亦可按杆组进行, 将机构分解为基本杆组、主动件及机架, 按运动分析的逆序, 逐个对每个杆组求解, 最后分析主动件上受力。

图解方法由于工作量大、效率低已不适应现代设计技术需求, 在此仅介绍解析方法。

约定标记符号如下:

F_{ix}, F_{iy} ——杆组中作用在 i 点上外力的水平及

铅垂分量;

T_j ——杆组中①构件上作用的力偶矩;

R_{ix}, R_{iy} ——标号为 i 的运动副中反力, 对于杆组外运动副而言, 它是作用在杆组中构件上的力, 对内运动副而言, 约定为杆组中构件①对构件②的作用力;

R_{kx}, R_{ky} ——移动副中作用力, k 为反力作用点; 为了简化计算公式, 令

$$P_{ijx} = P_{ix} - P_{jx}$$

$$P_{ijy} = P_{iy} - P_{jy}$$

$T_{Fij} = P_{ijx}F_{iy} - P_{ijy}F_{ix}$ 为作用在 i 点的外力对 j 点的矩。

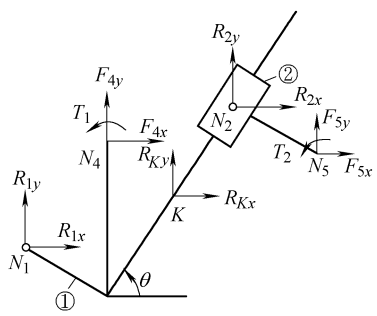
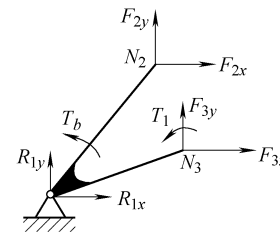
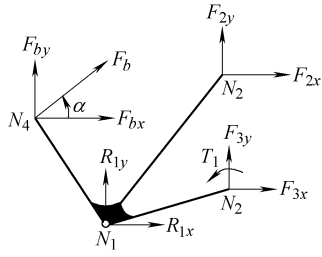
常见杆组及主动件力分析公式列于表 2.1-7。表中每个构件上只设一个外力作用点。如果构件上有多个外力则应先将所有外力向一个点简化, 将 k 点外力向 j 点简化时, 外力的大小, 方向不变, 只需附加一力偶矩 T_{Fkj} 。

在对 II 级杆组进行分析时, 已知作用在①构件上的 N_4 点的外力 F_{4x}, F_{4y} , 作用在②构件上的 N_5 点的外力 F_{5x}, F_{5y} , 作用在①构件上的力矩 T_1 , 及作用在②构件上的力矩 T_2 。求运动副反力 R_{ix}, R_{iy} 。

表 2.1-7 常见 II 级杆组及主动件力分析公式

RRR 杆组	
	$A = -(T_{F42} + T_{F52} + T_1 + T_2)$ $B = -(T_{F43} + T_1)$ $C = P_{12y}P_{13x} - P_{12x}P_{13y}$ $R_{1y} = (-P_{13y}A + P_{12y}B)/C \quad R_{1x} = (P_{12x}B - P_{13x}A)/C$ $R_{2y} = -(R_{1y} + F_{4y} + F_{5y}) \quad R_{2x} = -(R_{1x} + F_{4x} + F_{5x})$ $R_{3y} = -(R_{2y} + F_{5y}) \quad R_{3x} = -(R_{2x} + F_{5x})$
RRP 杆组	
	$A = -(T_{F43} + T_1) \quad B = -((F_{4x} + F_{5x})\cos\beta + (F_{4y} + F_{5y})\sin\beta)$ $C = P_{13x}\cos\beta + P_{13y}\sin\beta$ $R_{1x} = (P_{13x}B - A\sin\beta)/C \quad R_{1y} = (P_{13y}B + A\cos\beta)/C$ $R_{3x} = R_{1x} + F_{4x} \quad R_{3y} = R_{1y} + F_{4y}$ $R_{Kx} = -(R_{3x} + F_{5x}) \quad R_{Ky} = -(R_{3y} + F_{5y})$ $E = -(T_{F53} + T_2) \quad P_{K3x} = E/(R_{Ky} - R_{Kx}\tan\beta) \quad P_{K3y} = P_{K3x}\tan\beta$ $P_{Kx} = P_{3x} + P_{K3x} \quad P_{Ky} = P_{3y} + P_{K3y}$

(续)

RPR 杆组		
		$A = -(T_{F41} + T_1 + T_{F51} + T_2)$ $B = -(F_{5x} \cos \theta + F_{5y} \sin \theta)$ $C = -(P_{21y} \sin \theta + P_{21x} \cos \theta)$ $R_{2x} = (A \sin \theta - P_{21x} B) / C \quad R_{2y} = -(A \cos \theta + P_{21y} B) / C$ $R_{1x} = -(R_{2x} + F_{4x} + F_{5x}) \quad R_{1y} = -(R_{2y} + F_{4y} + F_{5y})$ $R_{Kx} = -(R_{2x} + F_{5x}) \quad R_{Ky} = -(R_{2y} + F_{5y})$ $P_{K2x} = -(T_{F52} + T_2) / (R_{Ky} - R_{Kx} \tan \theta)$ $P_{K2y} = P_{K2x} \tan \theta$ $P_{Kx} = P_{2x} + P_{K2x} \quad P_{Ky} = P_{2y} + P_{K2y}$
主 动 件		
平衡力偶 T_b		$T_b = -(T_{F21} + T_{F31} + T_1)$ $R_{1x} = -(F_{2x} + F_{3x}) \quad R_{1y} = -(F_{2y} + F_{3y})$
平衡力 F_b		$A = -(T_{F21} + T_{F31} + T_1)$ $F_{bx} = A / (P_{41x} \tan \alpha - P_{41y})$ $F_{by} = F_{bx} \tan \alpha$ $R_{1x} = -(F_{bx} + F_{2x} + F_{3x})$ $R_{1y} = -(F_{by} + F_{2y} + F_{3y})$

注：表中各式中 P 、 F 、 R 的下标数字为杆组中的虚拟点号， T 的下标数字为杆组中虚拟构件号，应用这些公式时应替换为实际机构中的点号和构件号。

4.3 II 级机构的动态静力分析举例

例 2.1-5 六杆机构尺寸参数如例 2.1-4，各构件的惯性参量如下表所列，滑块⑤上作用有工艺阻力 F ，其方向垂直向上，当 $-45^\circ \leq \theta_1 \leq -165^\circ$ 时， $F = 7000\text{N}$ ，其他位置 $F = 0$ 。

构件号	1	2	3	4	5
质心位置点号	1	7	2	8	6
质量/kg	20	6.5	13	10	30
绕质心轴转动惯量/($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	45	0.65	0.76	2.5	—

主动件①的角速度 $\omega_1 = 12.567\text{rad/s}$ ，角加速度 $\varepsilon_1 = 0$ 。在主动件转动一周过程中，按步长 15° 求出

各运动副中约束反力和应加于主动件上的平衡力偶矩。

解 1) 作机构的运动分析，求出各构件的质心加速度和角加速度；

2) 求出各构件的惯性力及惯性力偶，并作为已知外力加到相应构件上；

3) 作由构件④⑤组成的 RRP 杆组的动态静力学分析。应用表 2.1-6 中相应公式时应把公式中虚拟的点号、构件号代换为实际点号和构件号：

虚拟点号	1	2	3	4	5	虚拟构件号	1	2
实际点号	5	2	6	8	6	实际构件号	4	5

例如：表 2.1-6 公式中 T_{F43} 实际为 T_{F86} 即点 8 上作用力 F_8 对点 6 的矩；点 8 为构件④的质心， F_8

为构件④的惯性力；公式中 T_1 应为 T_4 ，即构件④上外力偶。在此为构件④的惯性力偶。

当 $-165^\circ \leq \theta_1 \leq -45^\circ$ 区间内作用点 6 的外力除了构件⑤的惯性力及重力之外尚有工艺阻力 $F = 7000\text{N}$ 。

解得 R_{5x} , R_{5y} 为构件③对④的作用力； R_{6x} , R_{6y} 为构件⑤对构件⑥的作用力； R_{Kx} , R_{Ky} 为导路对滑块⑤的作用力。

4) 作构件②、③组成的 RRR 杆组的动态静力学分析：

N o	θ_1 ($^\circ$)	R_1 (N)	β_1 ($^\circ$)	R_2 (N)	β_2 ($^\circ$)	T_b (N·m)
0	0.00	620.29	71.67	1165.53	266.44	73.60
1	-15.00	2191.60	55.10	2508.50	234.45	257.59
2	-30.00	2216.99	32.38	2319.81	204.18	245.54
3	-45.00	4199.88	176.95	7267.90	-67.55	-350.92
4	-60.00	5409.47	159.68	8970.94	-67.23	-431.78
5	-75.00	5988.32	143.50	10406.64	-72.63	-465.95
6	-90.00	6224.53	128.43	11444.75	-79.36	-483.63
7	-105.00	6272.50	114.33	12124.61	-86.10	-496.94
8	-120.00	6195.13	101.06	12479.88	267.55	-508.70
9	-135.00	6003.06	88.54	12519.05	261.76	-516.92
10	-150.00	5678.54	76.70	12233.83	256.66	-516.59
11	-165.00	5190.81	65.49	11613.83	252.47	-500.61
12	-180.00	174.70	257.51	869.35	83.31	21.32
13	-195.00	137.65	248.37	888.50	83.17	17.09
14	-210.00	71.40	249.38	897.97	85.91	8.81
15	-225.00	64.49	6.37	903.22	93.19	-6.30
16	-240.00	249.47	17.15	946.54	105.84	-30.40
17	-255.00	513.80	11.02	1099.05	120.76	-64.07
18	-270.00	846.46	2.64	1393.08	132.17	-105.70
19	-285.00	1227.32	-6.81	1781.89	137.63	-151.85
20	-300.00	1621.78	-17.49	2163.28	137.75	-197.91
21	-315.00	1957.59	-30.09	2371.34	133.07	-236.46
22	-330.00	2032.44	-45.73	2109.90	122.56	-246.21
23	-345.00	1317.75	-64.27	931.94	101.53	-161.84
24	-360.00	620.29	71.67	1165.53	266.44	73.60

虚拟点号	1 2 3 4 5	虚拟构件号	1 2
实际点号	3 2 4 7 5	实际构件号	2 3

表 2.1-6 有关公式中， F_4 以作用于点 7 的构件②的惯性力 F_7 代入， F_5 以 RRP 杆组分析得出的 $-R_5$ 代入， T_1 以构件②的惯性力偶代入， T_3 以构件③的惯性力偶代入，可解得 R_{3x} , R_{3y} , R_{2x} , R_{2y} , R_{4x} , R_{4y} 。 $-R_3$ 即作用于主动件上外力 F_3 。

5) 作主动件力分析

虚拟点号	1 2 3	虚拟构件号	1
实际点号	1 3 0	实际构件号	1

解得 R_{1x} , R_{1y} 及应加于主动件上的平衡力偶矩 T_b 。

这样，就解出了所有运动副中反力，在此仅给出固定铰链 1, 2 处运动副反力 R_1 , R_2 及其方向角 β_1 , β_2 和平衡力偶矩的计算结果。

$$R_1 = (R_{1x}^2 + R_{1y}^2)^{1/2}, \beta_1 = \arctan(R_{1y}/R_{1x})$$

$$R_2 = (R_{2x}^2 + R_{2y}^2)^{1/2}, \beta_2 = \arctan(R_{2y}/R_{2x})$$

第 2 章 平面连杆机构设计

1 平面连杆机构设计的基本问题和方法^[1]

1.1 平面连杆机构设计的基本问题

平面连杆机构设计的基本问题，是根据生产工艺所提出的运动条件（动作和运动规律等要求）并考虑动力条件（传力特性等）来确定机构运动简图及其参数。通常，平面连杆机构的设计可以归纳为下列三方面的基本问题（见表 2.2-1）。

表 2.2-1 平面连杆机构设计的基本问题

序号	基本问题	主要设计内容
1	刚体导引(构件通过给定的若干位置)	1) 按照连杆几个位置设计铰链四杆机构、曲柄滑块机构 2) 按照连杆上定点的位置设计铰链四杆机构、曲柄滑块机构
2	再现函数(从动件实现给定运动规律)	1) 按照输入杆与输出杆满足几组对应位置关系设计铰链四杆机构、曲柄滑块机构 2) 按两连架杆实现角位置的函数关系设计平面四杆机构 3) 按从动杆的急回特性设计铰链四杆机构、曲柄滑块机构等 4) 按从动杆近似停歇要求设计平面连杆机构 5) 按从动杆近似等速要求设计平面连杆机构
3	再现轨迹(连杆上一点实现给定运动轨迹)	1) 按照连杆上某点的轨迹与给定的曲线准确或近似地重合来设计平面四杆机构 2) 利用连杆曲线设计从动杆近似停歇的平面连杆机构 3) 按直线导向的要求设计平面连杆机构

按运动条件设计得到的机构，都应进行最小传动角的校核。

1.2 平面连杆机构的设计方法

主要设计方法有：试验法、几何法（作图法）、解析法（见表 2.2-2）。对表中介绍的各种方法，应根据具体条件和要求灵活运用。如在近似设计时，有时先用试验法或几何作图法找出初步方案，再用解析法计算部分参数以提高设计精度；也可以利用初步数据，直接用电子计算机求出大量方案，进行分析比较，从中选择最优方案。

表 2.2-2 平面连杆机构的设计方法

序号	设计方法的名称	具体内容与特点
1	实验法	用作图试凑或利用各种图谱、表格及模型实验等来求解 方法简单，精度较低 用于近似设计和机构尺寸的预选
2	几何（作图）法	用作图按运动过程的某些位置进行设计 方法直观易懂，求解速度较快，但精度不够高 一般设计中采用较多，能以一定精度解决不少设计问题，也可作高精度设计中机构尺寸的预选
3	解析法	是以机构参数来表达各构件运动间的函数关系，从而按给定条件来求解未知参数 这种方法便于采用各种逼近理论，精度高。但在很多情况下，其计算困难复杂，例如需解多元非线性联立方程式。为了提高精度，逐步逼近给定的运动规律，可以采用最优化的数学方法，借助电子计算机，使所设计的机构最优地满足预定的运动学和动力学方面的要求，得到机构最优化的设计方案

2 导引机构设计

导引一个点按预期轨迹运动或导引一个刚性构件按预期的序列位置运动的机构称导引机构。可实

现导引任务的机构有连杆机构，齿轮连杆机构及凸轮连杆机构等。一般地说，这些机构只能近似地实现预期的导引任务。因而提出设计任务时应仔细斟酌给定的导引轨迹或路径是否是机构工艺运动必需的，能否进一步简化而使机构易于实现，并按工艺要求规定允许的运动偏差。

2.1 点的平面曲线导引

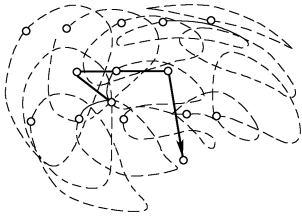
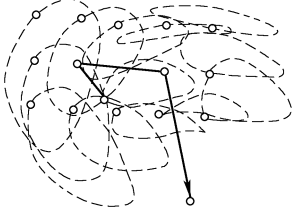
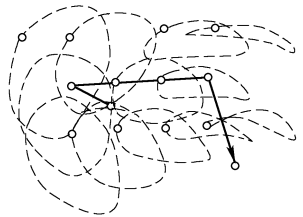
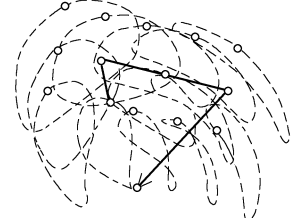
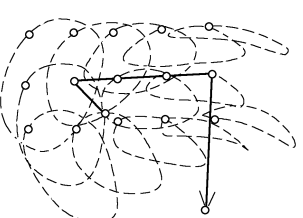
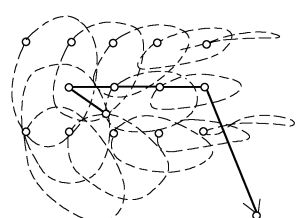
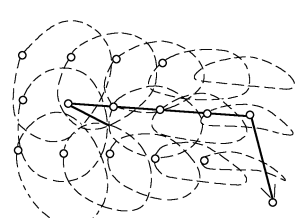
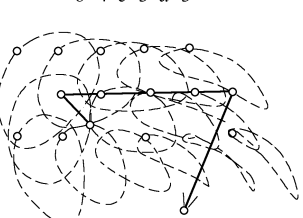
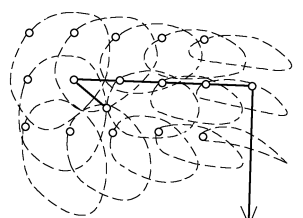
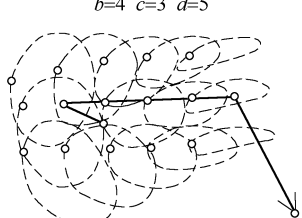
2.1.1 四杆机构的连杆曲线

机构中连杆平面上的点在机构运动过程中的轨迹称连杆曲线。连杆曲线的形状取决于机构中各杆

尺寸及描述点在连杆平面上的位置，因而是多种多样的。四杆机构中铰接四杆机构及导杆机构的连杆曲线一般为六次代数曲线，曲柄滑块机构的连杆曲线为四次代数曲线，这些曲线在导引机构设计中应用最广泛。

对于曲柄摇杆机构，已有较完整的连杆曲线图谱^[5]。按预期轨迹设计点的导引机构时，可首先从图谱中选择形状相近的曲线，同时查出机构尺寸及描述点在连杆平面上的位置。如有必要可在此基础上求优化解。表 2.2-3 选录了部分连杆曲线图谱供设计参考。

表 2.2-3 连杆曲线图谱举例

$b=2 \quad c=2 \quad d=2$ 	$b=2 \quad c=3 \quad d=3$ 	$b=3 \quad c=2 \quad d=3$ 
$b=3 \quad c=3 \quad d=2$ 	$b=3 \quad c=3 \quad d=3$ 	$b=3 \quad c=3 \quad d=4$ 
$b=4 \quad c=2 \quad d=4$ 	$b=4 \quad c=3 \quad d=3$ 	$b=4 \quad c=3 \quad d=4$ 
$b=4 \quad c=3 \quad d=5$ 	说明 a—曲柄长度，$a=1$ b—连杆长度 c—摇杆长度 d—机架长度	

2.1.2 谢尔维司特仿图仪

仿图仪或缩放仪是用于图形相似变换的机构。可以将平面图形放大、缩小或旋转一定角度，可用于仿形装置。

图 2.2-1 为谢尔维司特仿图仪。 $ABCD$ 为平行四边形， $\triangle EBD \sim \triangle DCF$ ， $\frac{EB}{BD} = \frac{DC}{CF} = k$

$$\vec{AE} = \vec{AB} + \vec{BE} = \vec{AB} + \vec{BD}ke^{j\alpha}$$

而

$$\vec{AB} = \vec{CD}, \vec{BD} = \vec{AC}$$

所以

$$\vec{AE} = (\vec{AC} + \vec{CF}) ke^{j\alpha} = \vec{AF}ke^{j\alpha}$$

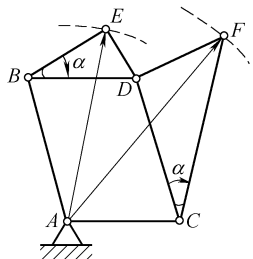


图 2.2-1 谢尔维司特仿图仪

E 点的位置矢量等于 F 点的位置矢量乘以比例常数 k 且转过 α 角。因而 E 点的轨迹为 F 点的轨迹缩 ($k < 1$) 放 ($k > 1$) 了 k 倍，且转过 α 角。

当 $\alpha = 0$ 时， E 和 F 点轨迹方位相同，当 $\alpha = \pi$ 时方位相反 (图 2.2-2)。

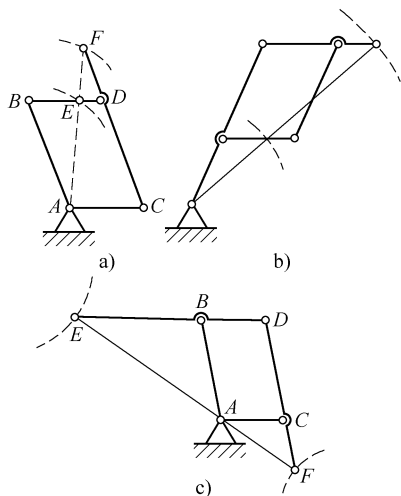


图 2.2-2 仿图仪

a) $\alpha = 0$ b) $\alpha = 0$ c) $\alpha = \pi$

2.1.3 罗伯茨一切贝舍夫定理

同一条连杆曲线可由三个尺寸不同的四杆机构描出，这就是著名的罗伯茨一切贝舍夫定理。图 2.2-3a 中 $ACEH$ ， $ABFI$ 及 $IGJH$ 三个四杆机构，连杆上 D 点描出同一条连杆曲线，这三个机构称同源机

构。同源机构的尺寸关系如图 2.2-3b。

可以看出，图 2.2-3a 中包含了三个谢尔维司特仿图仪，由此可证明罗伯茨一切贝舍夫定理。

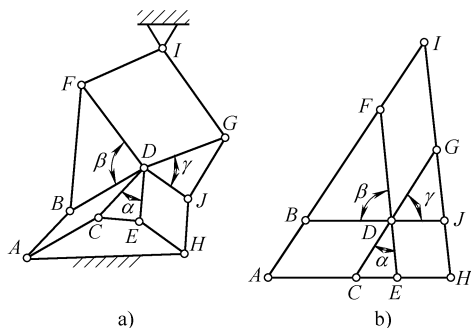


图 2.2-3 罗伯茨一切贝舍夫定理

a) 同源机构 b) 尺寸关系

如果按预期轨迹设计的四杆导引机构的尺寸不满足某些其他要求，则可试用其同源机构，三个同源机构的尺寸特性见表 2.2-4。

表 2.2-4 同源机构类型关系

同源机构之一		其余二同源机构
最短杆与最长杆长度之和小于其余二构件长度之和	双摇杆机构	曲柄摇杆机构
	双曲柄机构	双曲柄机构
	曲柄摇杆机构	曲柄摇杆机构和双摇杆机构
最短杆与最长杆长度之和大于其余二构件长度之和	双摇杆机构	双摇杆机构

注意到同源机构中，一个机构的连杆平面与其余两个机构的连架杆之一的角位移相等，角速度相同，则在图 2.2-3a 中还可以找出三个五杆机构， D 点亦可画出同一条连杆曲线，但这样的五杆机构两个连架杆必须同向同速转动 (图 2.2-4)。

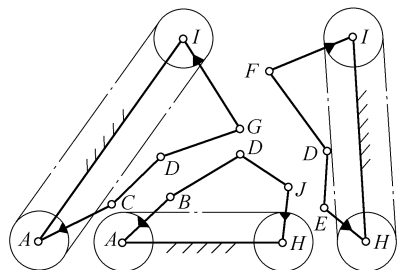


图 2.2-4 五杆同源机构

2.1.4 四杆机构的对称连杆曲线

在导引点沿一段近似圆弧或直线轨迹运动的导引机构设计中对称形状的连杆曲线有广泛应用。常用下列机构产生对称形状的连杆曲线 (图 2.2-5)。

① 双摇杆机构连杆 AB 的中点的轨迹，以机架 A_0B_0 为对称轴 (图 a)；

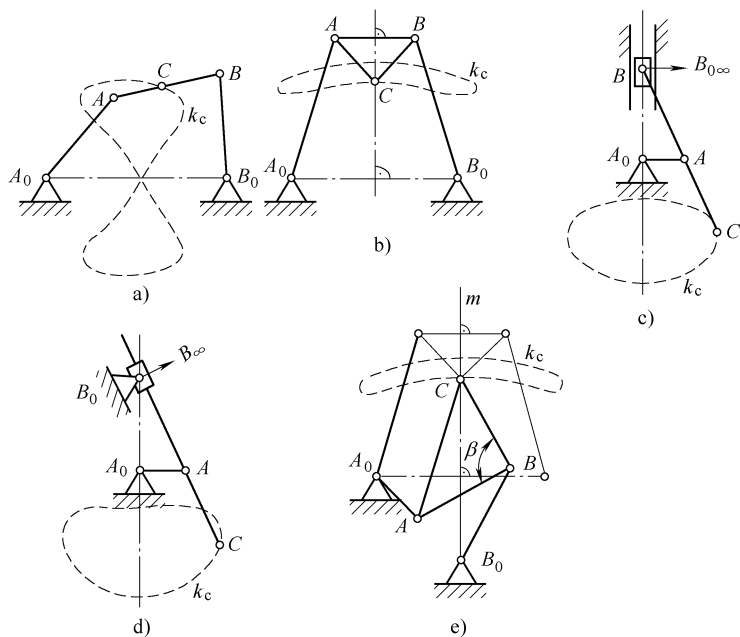


图 2.2-5 产生对称连杆曲线的四杆机构

② 等腰梯形机构连杆平面上 AB 中垂线上的点的轨迹, 以 A_0B_0 的中垂线为对称轴 (图 b);

③ 对心曲柄滑块机构连杆平面上 AB 直线上的点的轨迹, 以滑块导路为对称轴 (图 c);

④ 对心导杆机构连杆平面上 AB_0 线上的点的轨迹以 A_0B_0 为对称轴 (图 d);

⑤ 等腰梯形机构的同源机构中 C 点的轨迹的对称轴为过 B_0 的射线 m , $\angle A_0B_0m = \frac{\beta}{2}$ (图 e)。

等腰梯形机构的同源机构有很简单的尺寸关系即 $AB = BB_0 = BC = l$ 。令 $A_0A = a$, $A_0B_0 = d$, 则连杆曲线的形状取决于三个参数 $k_1 = \frac{d}{a}$, $k_2 = \frac{l}{a}$ 及 $\beta = \angle ABC$ 。

如果满足:

$$k_2 = \sqrt{\frac{1+k_1^2}{2}}$$

则机构的传动角 $\mu_{\max} = \frac{\pi}{2} + \mu_{\min}$, 这种机构称传力有利的机构。产生对称连杆曲线传力有利的四杆机构, 其连杆曲线形状取决于 k_1 与 β 两个参数。图 2.2-6 表明随 k_1 与 β 不同这种连杆曲线的形状特征, 它有助于按连杆曲线形状特征选择机构尺寸。图中 $\lambda = \frac{1}{k_1} = \frac{a}{d}$ 。

图中 $C_1 \sim C_8$ 曲线将所能描出对称连杆曲线且

传动有利的曲柄摇杆机构尺寸分为 9 个域, 位于 $C_1 \sim C_8$ 曲线上的点, 其连杆曲线有如下特征:

- C_1 圆;
- C_2 在曲柄与机架重叠位置时连杆曲线上点为 Ball 点, 此点邻域连杆曲线极近似直线;
- C_3 在曲柄与机架展直位置时连杆曲线上的点为 Ball 点;
- C_4 连杆曲线有自切点;
- C_5 连杆曲线有两个尖点;
- C_6 在曲柄与机架展直位置时连杆曲线有一个尖点;
- C_7 连杆曲线有一个自交点, 且自交点处为连杆曲线的拐点;
- C_8 在曲柄与机架的重叠位置时连杆曲线有一个尖点。

例 2.2-1 设计一个能画出带有两个尖点连杆曲线的曲柄摇杆机构, 且满足: $45^\circ < \mu < 135^\circ$

解 过图 2.2-6 中 $\mu_{\min} = 45^\circ$ 的点作一水平线与 C_5 相交, 查得 $k_1 = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.414} = 2.414$, $\beta = 106^\circ$

取 $a = 1$, $d = k_1 a = 2.414$, $l = k_2 a = \sqrt{\frac{1+k_1^2}{2}} a = 1.8477$, 机构如图 2.2-7。

在 $\mu_{\min} = 45^\circ$ 的线上, 即 $\frac{a}{d}$ 、 $\frac{l}{d}$ 相同情形下, β 不同的机构, 描出不同形状的连杆曲线见图 2.2-6。

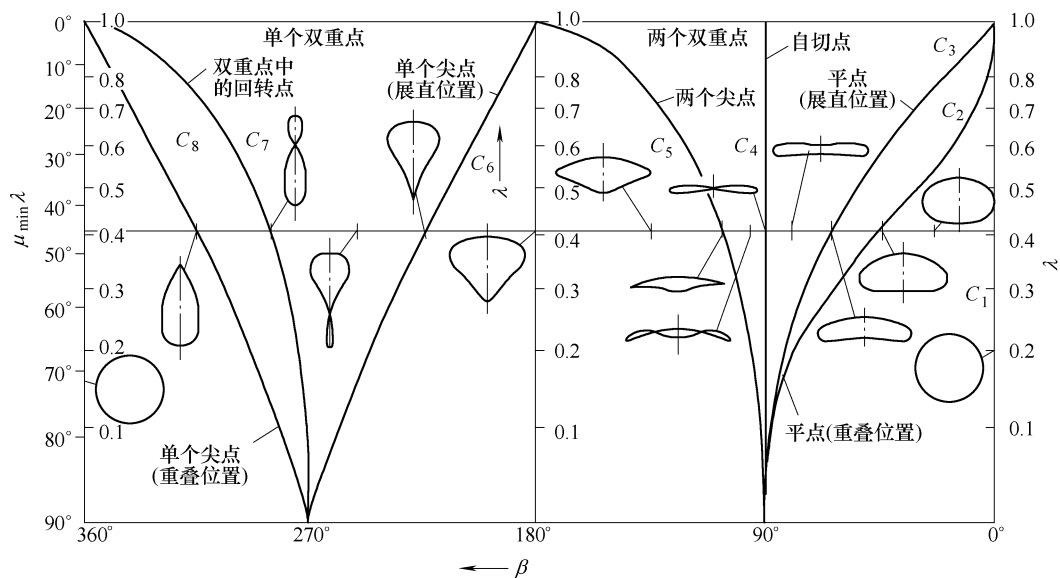


图 2.2-6 传力有利的四杆机构对称连杆曲线图谱

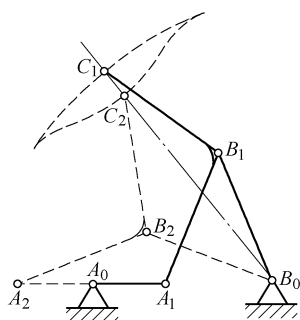


图 2.2-7 设计例 2.2-1 的解

2.1.5 凸轮连杆曲线导引机构

凸轮连杆机构理论上可实现任意形状的平面曲线导引, 它由两个凸轮驱动两自由度的连杆机构组成。两凸轮通常固结于同一轴上, 又称联动凸轮机构 (图 2.2-8)。其工作原理是: 由一个凸轮驱动描述点沿水平方向移动, 另一凸轮驱动描述点沿垂直方向移动, 其合成轨迹为任意形状的平面曲线。可按如下顺序设计:

① 按预期轨迹的外廓尺寸, 选择双自由度连杆机构 A_0ABCC_0 各杆尺寸, 并确定凸轮机构从动件长度 A_0E 及 C_0F ;

② 使 B 点从 B_1 开始沿预期轨迹移动, 设定描述点位移 s 与凸轮转角 θ 角之间的关系 $s_i = s_i(\theta)$ 。可在预期轨迹上设定 n 个分点并给定相邻分点间凸轮转角;

③ 确定 A_0E_i 及 C_0F_i 相对于 A_0E_1 及 C_0F_1 的转角 α_i 及 β_i , 也就确定了凸轮从动件的运动规律 $\alpha =$

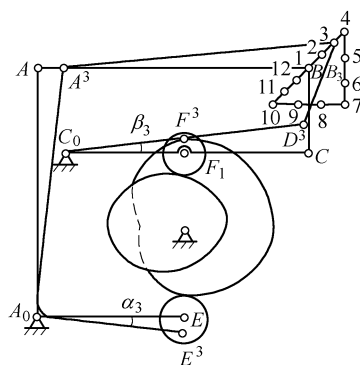


图 2.2-8 凸轮连杆导引机构

$\alpha(\theta)$ 及 $\beta = \beta(\theta)$;

④ 按 $\alpha = \alpha(\theta)$ 及 $\beta = \beta(\theta)$ 设计凸轮廓线。

2.2 刚体导引机构

导引一个构件按预期的序列位置运动的机构称刚体导引机构。为了实现导引动作, 首先应考虑简单的四杆机构, 尤其是铰接四杆机构, 当四杆机构难以实现要求的导引动作时才考虑应用六杆机构。

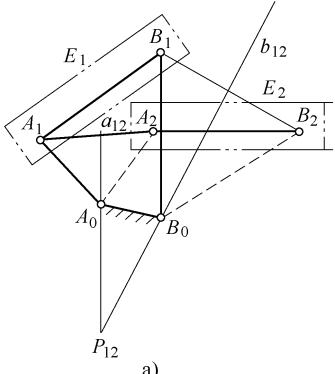
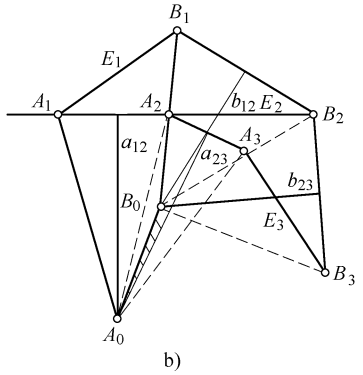
2.2.1 图解法

如果实现简单的导引要求 (如导引构件按二个或三个给定位置运动) 可以用图解方法设计, 具体做法见表 2.2-5。

2.2.2 解析法

当工艺过程要求导引动作必须大于三个序列位置时, 用图解法设计要经历复杂的作图过程, 推荐应用解析法, 借助于计算机求解。

表 2.2-5 图解法设计刚体导引机构

导引要求	图 解	说 明
给定动平面 E_1 , E_2 两个位置	 a)	1. 在动平面上可以任意选择动铰链 A、B 的位置, 标记 A_1, B_1 及 A_2, B_2 2. 作 $\overline{A_1A_2}$ 中垂线 a_{12}, $\overline{B_1B_2}$ 中垂线 b_{12} 3. A_0 和 B_0 可以分别在 a_{12}、b_{12} 上适当选取
给定动平面三个位置 E_1, E_2, E_3	 b)	1. 在动平面上可以任意选定动铰链 A、B 位置, 标记出 A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3 2. 作 $\overline{A_1A_2}$ 中垂线 a_{12}, $\overline{A_2A_3}$ 中垂线 a_{23}, a_{12} 与 a_{23} 的交点为固定铰链 A_0 3. 作 $\overline{B_1B_2}$ 中垂线 b_{12}, $\overline{B_2B_3}$ 中垂线 b_{23}, b_{12} 与 b_{23} 的交点为固定铰链 B_0

(1) 构件序列位置表示方法

在被导引构件上任选一参考点 P 及参考方向 u , 则在任意选定的右手坐标系中构件的序列位置 $E_1, E_2, \dots, E_n$, 可由选定参考点 P 的 n 个位置及每个位置的参考方向决定。由于 u 选择的任意性, 可令 u_1 与坐标系 x 方向一致, 则给定一组序列位置可表示为:

$$r_j \quad (j=1, 2, \dots, n)$$

$$\varphi_j \quad (j=2, 3, \dots, n)$$

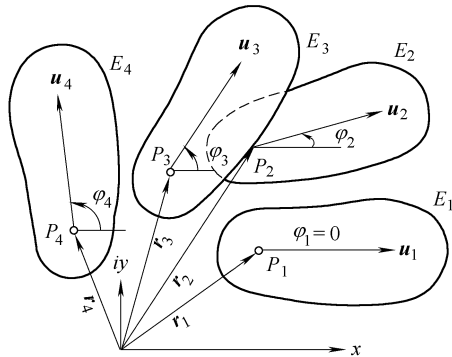


图 2.2-9 序列位置表示法

r_j 为第 j 个位置的 P 点复数坐标, φ_j 为第 j 个位置 u_j 相对于第 1 个位置的 u_1 转过的角度 (图 2.2-9)。

(2) 圆点及圆心点的求解

设计四杆导引机构的关键, 是在被导引构件上寻找这样的点 C , 在构件历经 $E_1, E_2, \dots, E_n$ 位置时 $C_1, C_2, \dots, C_n$ 在同一圆周上, 这样的 C 点称圆点, 可在圆点置动铰链; $C_1, C_2, \dots, C_n$ 所在圆的圆心 C_0 称圆心点, 在 C_0 置相应的固定铰链, CC_0 即可作为导引机构的一个连架杆。

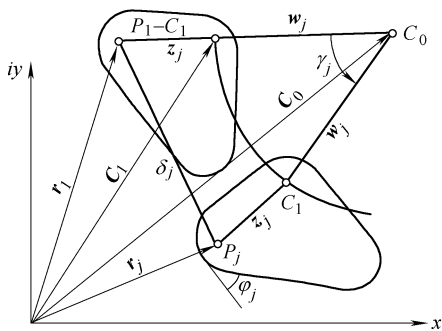


图 2.2-10 圆点及圆心点的求解

给定 r_j ($j=1, 2, \dots, n$)

φ_j ($j=2, 3, \dots, n$)

可由复数方程组:

$$z_1(e^{i\varphi_j} - 1) + w_1(e^{i\varphi_j} - 1) = r_j - r_1 = \delta_j \\ (j=2, 3, \dots, n)$$

解出 z_1, w_1 (图 2.2-10)

然后由: $C_1 = r_1 - z_1$

$$C_0 = C_1 - w_1$$

求出圆点及圆心点。

复数方程组共有 $n-1$ 个复数方程。等价于 $2(n-1)$ 个标量方程。其中待定参量为 z_1, w_1 及 γ_j ($j=2, 3, \dots, n$)，等价于 $n-1+4=n+3$ 个标量参量，故当 $2(n-1)=n+3$ 即 $n=5$ 时有确定解，可求得 4 组或 2 组圆点及圆心点，也可能无实解；当 $n=4$ 时，待定参数中可任设一个，故有无限多组解。

由于 $n=5$ 时的解很有限且不一定是可行解，在能够基本满足工艺过程要求的导引条件下荐用 $n=4$ ，这样可以由无限多组解中选择较好的解。

$n=4$ 时圆点及圆心点的求解算法列于表 2.2-6，按此可方便地编写计算机应用的子程序。

(3) 顺序性及位置状态一致性

虽然从圆点和圆心点曲线上任选两组圆点和圆心点，例如 A_0A_1 和 B_0B_1 作为铰接四杆机构的连架杆所组成的机构 $A_0A_1B_1B_0$ 可以满足给定的四个位置要求，但却不一定是可用的。这是由于：

① 顺序性可能不对，希望的顺序是 E_1, E_2, E_3, E_4 ，机构实现的可能是 E_1, E_3, E_4, E_2 。

为了保证顺序性，应选择转角 γ 是递增的或递减的连架杆作为主动件，即选 $\gamma_2 < \gamma_3 < \gamma_4$ 或 $\gamma_2 > \gamma_3 > \gamma_4$ 的连架杆为主动件。

② 位置状态不一致。如图 2.2-11，机构 $A_0A_1B_1B_0$ 可以满足连杆平面 E_1, E_2, E_3, E_4 的位置要求，但实际上， E_1, E_2, E_3 所对应的机构位置状态与 E_4 对应的机构位置状态不一致，而机构运行过程不可能从一种位置状态跳跃到另一种位置状态，实际上不可能使连杆平面通过所有四个位置。

表 2.2-6 圆点及圆心点计算程序

序号	计算项目	复数表达式	计算式
	输入数据	$r_j(j=1, 2, 3, 4), \varphi_j(j=2, 3, 4)$	$x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$
1	δ_j $j=2, 3, 4$	$\delta_j = r_j - r_1$ $j=2, 3, 4$	$\delta_{jx} = x_j - x_1, \delta_{jy} = y_j - y_1$ $j=2, 3, 4$
2	Δ_j $j=1, 2, 3, 4$	$\Delta_2 = (e^{i\varphi_4} - 1)\delta_3 - (e^{i\varphi_3} - 1)\delta_4 = \Delta_2 e^{i\mu_2}$ $\Delta_3 = (e^{i\varphi_2} - 1)\delta_4 - (e^{i\varphi_4} - 1)\delta_2 = \Delta_3 e^{i\mu_3}$ $\Delta_4 = (e^{i\varphi_4} - 1)\delta_3 - (e^{i\varphi_3} - 1)\delta_4 = \Delta_4 e^{i\mu_4}$ $\Delta_1 = \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 = \Delta_1 e^{i\mu_1}$	$C_j = \cos\varphi_j - 1 \quad S_j = \sin\varphi_j (j=2, 3, 4)$ $\Delta_{2x} = C_4\delta_{3x} - S_4\delta_{3y} - C_3\delta_{4x} + S_3\delta_{4y}$ $\Delta_{2y} = C_4\delta_{3y} + S_4\delta_{3x} - C_3\delta_{4y} - S_3\delta_{4x}$ $\Delta_{3x} = C_2\delta_{4x} - S_2\delta_{4y} - C_4\delta_{2x} + S_4\delta_{2y}$ $\Delta_{3y} = C_2\delta_{4y} + S_2\delta_{4x} - C_4\delta_{2y} - S_4\delta_{2x}$ $\Delta_{4x} = C_3\delta_{2x} - S_3\delta_{2y} - C_2\delta_{3x} + S_2\delta_{3y}$ $\Delta_{4y} = C_3\delta_{2y} + S_3\delta_{2x} - C_2\delta_{3y} - S_2\delta_{3x}$ $\Delta_{1x} = \Delta_{2x} + \Delta_{3x} + \Delta_{4x}$ $\Delta_{1y} = \Delta_{2y} + \Delta_{3y} + \Delta_{4y}$ $\Delta_j = (\Delta_{jx}^2 + \Delta_{jy}^2)^{1/2} \quad \mu_j = \arctan\left(\frac{\Delta_{jy}}{\Delta_{jx}}\right)$ $(j=1, 2, 3, 4)$
3	设定 γ_2 计算 Δ	$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 e^{i\gamma_2} = \Delta e^{i\mu}$	$\Delta_x = \Delta_{1x} - \delta_{2x} \cos\gamma_2 + \delta_{2y} \sin\gamma_2$ $\Delta_y = \Delta_{1y} - \delta_{2x} \sin\gamma_2 - \delta_{2y} \cos\gamma_2$ $\Delta = (\Delta_x^2 + \Delta_y^2)^{1/2} \quad \mu = \arctan\left(\frac{\Delta_y}{\Delta_x}\right)$
4	检验设定的 γ_2 值是否有解	$\Delta < \Delta_3 + \Delta_4$ $\Delta > \Delta_3 - \Delta_4 $ 则设定的 γ_2 有解	

(续)

序号	计算项目	复数表达式	计算式
5	γ_3, γ_4		$\cos\theta_3 = (\Delta^2 + \Delta_4^2 - \Delta_3^2)/2\Delta\Delta_4$ $\cos\theta_4 = (\Delta^2 + \Delta_3^2 - \Delta_4^2)/2\Delta\Delta_3$ $\gamma_3 = \mu - \mu_3 \mp \theta_3$ $\gamma_4 = \mu - \mu_4 \pm \theta_4$
6	Z_1, W_1	$Q = (e^{i\varphi_2} - 1)(e^{i\gamma_3} - 1) - (e^{i\varphi_3} - 1)(e^{i\gamma_2} - 1)$ $L = (e^{i\gamma_3} - 1)\delta_2 - (e^{i\gamma_2} - 1)\delta_3$ $Z_1 = L/Q$ $W_1 = -\Delta_4/Q$	$S_{g2} = \sin\gamma_2 \quad C_{g2} = \cos\gamma_2 - 1$ $S_{g3} = \sin\gamma_3 \quad C_{g3} = \cos\gamma_3 - 1$ $Q_x = C_2 C_3 - S_2 S_{g3} - C_3 C_{g2} + S_3 S_{g2}$ $Q_y = C_2 S_{g3} + S_2 C_{g3} - C_3 S_{g2} - S_3 C_{g2}$ $L_x = \delta_{2x} C_{g3} - \delta_{2y} S_{g3} - \delta_{3x} C_{g2} + \delta_{3y} S_{g2}$ $L_y = \delta_{2x} S_{g3} + \delta_{2y} C_{g3} - \delta_{3x} S_{g2} - \delta_{3y} C_{g2}$ $Q = Q_x^2 + Q_y^2$ $Z_{1x} = (L_x Q_x + L_y Q_y)/Q$ $Z_{1y} = (Q_x L_y - Q_y L_x)/Q$ $W_{1x} = -(\Delta_{4x} Q_x + \Delta_{4y} Q_y)/Q$ $W_{1y} = -(\Delta_{4y} Q_x - \Delta_{4x} Q_y)/Q$
7	C_1, C_0	$C_1 = r_1 - Z_1$ $C_0 = Z_1 - W_1$	$C_{1x} = \delta_{1x} - Z_{1x} \quad C_{1y} = \delta_{1y} - Z_{1y}$ $C_{0x} = Z_{1x} - W_{1x} \quad C_{0y} = Z_{1y} - W_{1y}$
8	输出		$C_{1x}, C_{1y}, C_{0x}, C_{0y}$ $\gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$

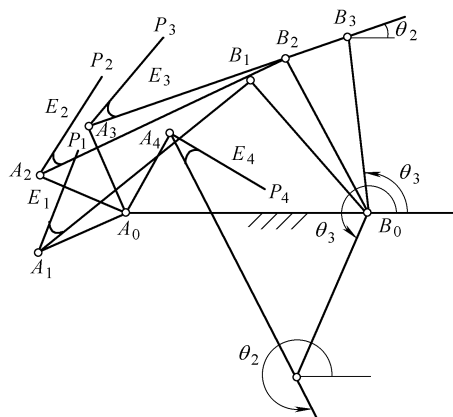


图 2.2-11 位置状态不一致的设计

当选出两个连架杆后应立即进行位置状态一致性的检验, 如果按给定四个位置 $\sin(\theta_3 - \theta_2)$ 保持同号, 则位置状态是一致的。 θ_2, θ_3 分别是连杆和从动件的位置角, 图 2.2-11 中表示了机构处于第三个和第四个位置时连杆位置角 θ_2 和从动件位置角 θ_3 。

例 2.2-2 给定动平面的 4 个序列位置 $P_1(0, 0), P_2(3, 5), P_3(20, 15), P_4(30, 20), \varphi_2 =$

$10^\circ, \varphi_3 = 70^\circ, \varphi_4 = 90^\circ$ 如图 2.2-12 所示。试设计一四杆机构, 导引动平面经过这 4 个给定位置。

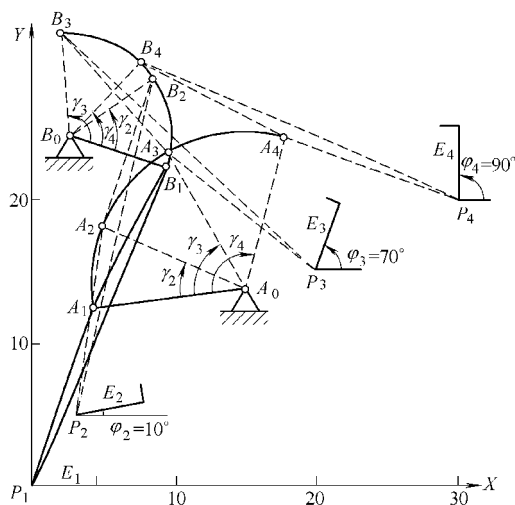


图 2.2-12 导引机构设计例

解 (1) 输入数据

$x_1, y_1 \quad 0, 0$

$$x_2, y_2 \quad 3, 5$$

$$x_3, y_3 \quad 20, 15$$

$$x_4, y_4 \quad 30, 20$$

$$\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4 \quad 10^\circ, 70^\circ, 90^\circ$$

(2) 按表 2.2-6 计算 $\delta_j (j=2, 3, 4)$

$$\Delta_j (j=1, 2, 3, 4)$$

(3) 令 γ_2 从零开始, 以步长 5° 连续设定, 可求出多组圆点 (C_{1x}, C_{1y}) 及圆心点 (C_{0x}, C_{0y})

(4) 从中选出两组圆点和圆心点:

$$A_1(4.236, 12.415) \quad A_0(14.976, 13.733)$$

$$B_1(9.260, 22.324) \quad B_0(2.731, 24.482)$$

组成四杆机构, 如图 2.2-12, 由图中可以看出: 这个机构能够导引动平面 E 依次经过四个给定位置。主动杆 A_0A_1 从 A_0A_1 位置依次转过 $\gamma_2 = -30^\circ$, $\gamma_3 = -68.31^\circ$, $\gamma_4 = -110.94^\circ$ 时, 从动件 B_0B_1 相应转过 $\gamma_2 = 55^\circ$, $\gamma_3 = 112.80^\circ$, $\gamma_4 = 62.30^\circ$ 。

2.2.3 刚体的平行导引机构

(1) 直线平行导引机构

一般可以用两个相同的直线导引机构并联使用, 图 2.2-13 所示装置由两个瓦特型近似直线机构组成平行导引车床刀架, 在行程不大的情况下可替代导轨, 用于车削产生大量粉尘的物料, 图中 A_0ABB_0 和 C_0CDD_0 为两个瓦特直线机构, E 、 F 为描迹点, 刀架以转动副 E 、 F 与这两个机构相连接。

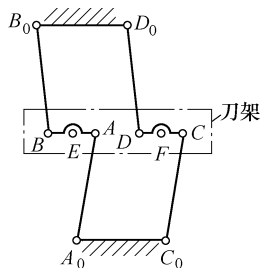


图 2.2-13 车床刀架平移机构

也可由一个直线导引机构附加一 RRR 杆组形成直线平行导引机构。

如图 2.2-14 欲导引构件 M 作直线平行移动, 可取其四个序列位置, M 上一点 D 、四位置共线, 按本章 2.2.2 节中所述方法, 设计直线机构 $A_0A_1B_1B_0$, 在 B_0B_1 上适当选取 C 点, 求出 $C_1 \equiv C_4$, $C_2 \equiv C_3$ 。由 C_2 向上沿平行于 $\overline{D_1D_4}$ 的方向引 $\overline{C_2C'_2} = \overline{D_1D_2}$ $\overline{C'_2C'_3} = \overline{D_2D_3}$, 作 $\overline{C_1C'_2}$ 及 $\overline{C'_2C'_3}$ 的中垂线交于 M 构件上的 E 点, 得 RRR 杆组 D_1EC_1 , 这个机构即可导引 M 构件作直线平行运动。

(2) 曲线平行导引机构

一般可由两个描绘相同连杆曲线的四杆机构并

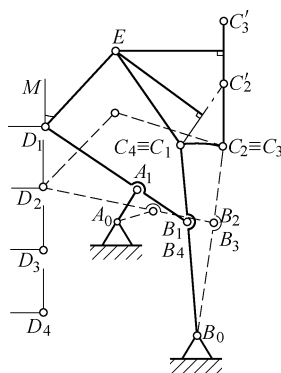


图 2.2-14 刚体直线平移导引机构设计

联形成, 图 2.2-15 列举了这种机构及其变形机构, 广泛应用于工件及物料的平行运输装置。图中各机构的 D 及 D' 点都描绘出全等的连杆曲线从而使构件 DD' 沿曲线轨迹平面平行移动。

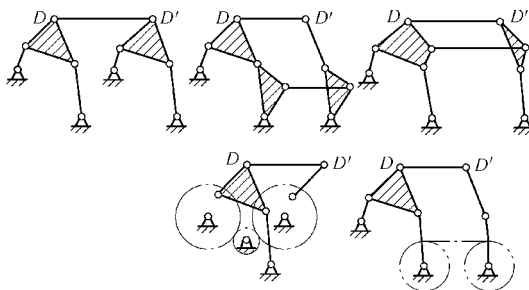


图 2.2-15 并联曲线平行导引机构及其变形

应用罗伯茨—切贝舍夫定理可以设计六杆曲线平行导引机构。

图 2.2-16a 为三个同源机构 $ABFI$, $IGJH$, $ACEH$, 它们的连杆上 D 点描绘出相同的连杆曲线。因为 AB 与 HJ 的角位移相等, 把 $ABFI$ 移到 $A'B'F'I'$, 并把构件 HJ 和 $A'B'$ 固结, 则 D' 点与 D 点的连杆曲线尺寸、形状、相位完全相同, 故在 DD' 间可以用带有两个转动副的构件连接起来, 这就形成了 $IGJH$ 与 $I'F'B'A'$ 以 DD' 连接的并联机构。这个机构有一个虚约束, 故可以把 IG 构件去掉得图 2.2-16b, 或者把 $I'F'$ 去掉得图 2.2-16c。这两个机构可完成同样的导引 DD' 构件进行曲线平行平面运动。

显然, 由图 2.2-16a 还可以找出另外四个不同的机构能完成相同的导引动作。

2.2.4 刚体转动的导引机构

构件的转动导引一般靠转动副约束实现, 当结构上在转动轴线处不宜安装转动副时, 可以用连杆机构近似或精确实现转动的导引。

(1) 精确的转动导引机构

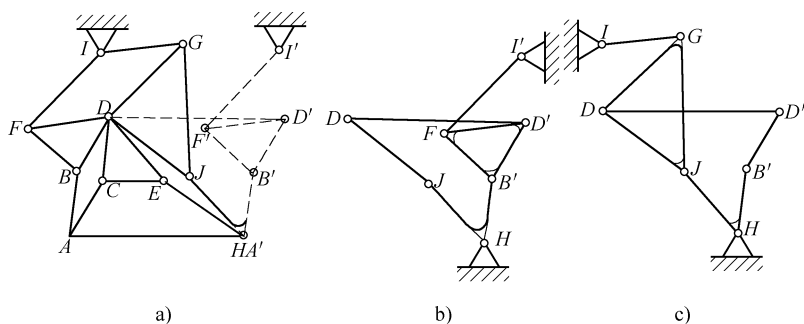


图 2.2-16 六杆平行导引机构

由平行四杆机构为基础可形成精确的转动导引机构,如图 2.2-17a、b。在飞机、船舶舱门启闭装置中应用。

由于从动件 EF 的绝对瞬心 P 是位置不变的点,所以当 A_0A 转动时, EF 杆绕 P 点精确转动。

(2) 近似的转动导引机构

近似的转动导引机构一般地可由能描出近似圆弧段连杆曲线的四杆机构,附加一个 RRR 杆组形成。具体作法如图 2.2-18。

① 选择一个能描出带有近似圆弧段连杆曲线的四杆机构 $A_0A_1B_1B_0$ 。 D 点连杆曲线上近似圆弧段的起点和终点为 D_1 、 D_3 , 圆心为 D_0 , 则 $\angle D_1D_0D_3$ 为被导引构件的转角 δ_0 , D 为被导引构件上一个点。

② 在被导引构件上适当地选择另一点 G 作 $\triangle D_0D_1G_1 \cong \triangle D_0D_2G_2 \cong \triangle D_0D_3G_3$, 决定了 G_1 , G_2 , G_3 ;

③ 连 B_0G_2 , B_0G_3 使其分别转过 $-\beta_{12}$, $-\beta_{13}$ 角, 得 G'_2 、 G'_3 。 $G_1G'_2G'_3$ 所在圆的圆心为 E_1 ;

④ 附加 RRR 杆组为 $D_1G_1E_1$, 这个机构当 B_0B 转过 β_{13} 角的过程中可导引 D_1G_1 绕 D_0 点转到 D_3G_3 即转过 δ 角。

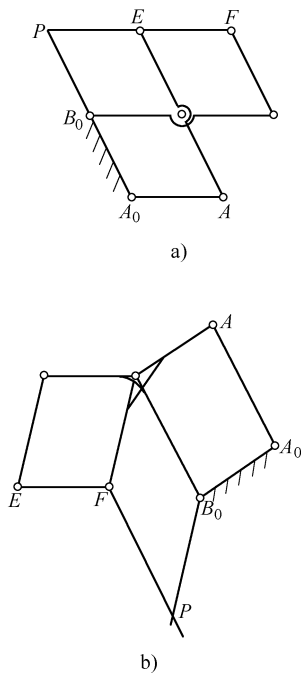


图 2.2-17 精确的转动的导引

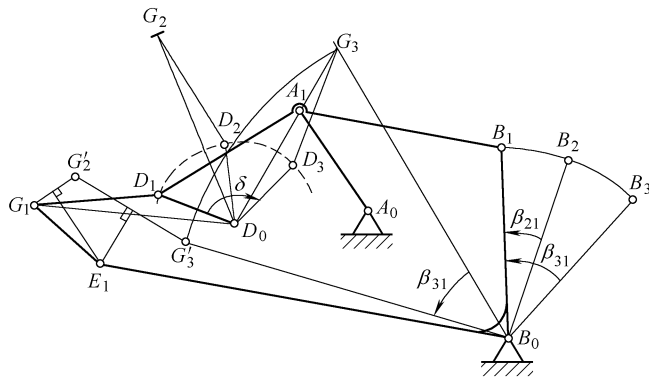


图 2.2-18 近似转动导引机构

3 函数机构设计

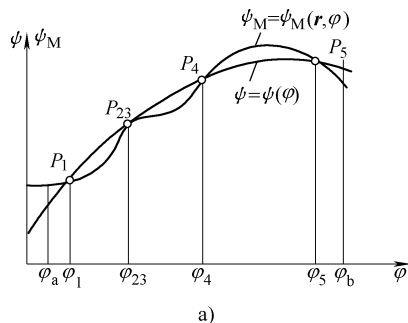
机构主动件位移 φ , 从动件位移 ψ , 则 $\psi = \psi(\varphi)$ 称机构的零阶传动函数。

$\psi' = \frac{d\psi}{d\varphi}$, $\psi'' = \frac{d^2\psi}{d\varphi^2}$ 分别称机构的一阶、二阶传动函数。

准确地实现预期的传动函数, 理论上可应用凸轮机构、瞬心线机构。连杆机构除了几种特殊的传动函数(例如正弦函数, 正切函数等)外, 通常只能近似地实现预期传动函数。如果这种近似能为工艺条件所允许, 则这种机构的结构和设计都会大为简化。

所谓近似设计即用由机构各个与运动有关的尺寸参数所决定的机构传动函数 $\psi_M = \psi_M(\mathbf{r}, \varphi)$ 去逼近预期函数 $\psi = \psi(\varphi)$, 此中 n 维矢量 $\mathbf{r}$ 为尺寸参数。通常应用两类方法实现逼近:

(1) 插值方法



即在逼近区间 φ_a, φ_b 内设 n 个插值点 $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$, 令:

$$\psi_M(\mathbf{r}, \varphi_i) = \psi(\varphi_i) \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

由此解出 $\mathbf{r}$, 即设计出机构尺寸参数。在插值点外 ψ_M 与 ψ 不等。以一定方式表示的 ψ_M 与 ψ 之差称结构误差, 这种逼近的几何形象如图 2.2-19a。其中 P_{23} 为一阶插值点, 在 P_{23} 点处 $\psi_M = \psi$, 且二者的一阶导数相同, 插值点中也可以有二阶或高阶插值点。

插值点的数目受机构待定的尺寸参数数目的限制, 插值点的配置会影响结构误差的大小。

(2) 最优逼近法

在逼近区间设定 n 个点 $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$, 使在这些点处, 机构传动函数与预期函数的偏差平方和:

$$\sum_{i=1}^n [\psi(\varphi_i) - \psi_M(\mathbf{r}, \varphi_i)]^2$$

为最小, 或使最大偏差:

$$\max |(\psi(\varphi_i) - \psi_M(\mathbf{r}, \varphi_i))|$$

为最小。这种逼近的几何形象如图 2.2-19b。

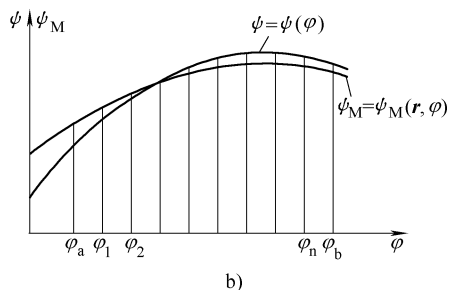


图 2.2-19 用机构传动函数逼近预期函数

3.1 按预期主、从动件一对对应转角或位移设计四杆机构

这实际上是用两个插值点设计函数机构, 显然不能期望逼近精度, 但实际生产机械中常会见到按给定主、从动件对应转角或对应两个位置的设计问题。

3.1.1 只按主、从动件同向或反向摆过预定角度的设计

传动函数如图 2.2-20a, 设计要求如图 2.2-20b。

- ① 任取机架长 A_0B_0 和主动件长 A_0A_1 ;
- ② 任选设计参数 φ_1 , 画出 A_0A_1 位置(图 2.2-20c);
- ③ 将 A_0A_1 绕 A_0 点转 φ_{12} 角达 A_0A_2 ;
- ④ 将 B_0A_2 绕 B_0 转 $-\psi_{12}$ 角得 A_2^1 点;
- ⑤ 连 $A_1A_2^1$ 作中垂线 b 即 B_1 点解集。在 b 上适

当选取 B_1 点, $A_0A_1B_1B_0$ 即所设计机构的初始位置。

如果设计结果出现运动区间有不满足装配条件的位置或极限位置, 传动角过小的情形, 则应重新选择任选参数重新设计。

例 2.2-3 给定主动件转角 $\varphi_{12} = 120^\circ$, 从动件转角 $\psi_{12} = -60^\circ$, 设计铰接四杆机构。

解:

- ① 任选 A_0B_0 , A_0A 及 φ_1 如图 2.2-21;
- ② 使 A_0A_1 逆时针转 120° 得 A_2 ;
- ③ 连 B_0A_2 , 绕 B_0 转 $-(-60^\circ)$ 即逆时针转 60° 得 A_2^1 ;
- ④ 作 $A_2A_2^1$ 的中垂线即 B_1 的解集 b , 在其上选 B_1 点, 则 $A_0A_1B_1B_0$ 即所设计机构的第一位置;
- ⑤ 以 A_2 为心, A_1B_1 为半径作弧, 以 B_0 为心, B_0B_1 为半径作弧, 交点为 B_2 , 量得 $\angle B_1B_0B_2 = 60^\circ$, 顺时针转动, 符合设计要求。

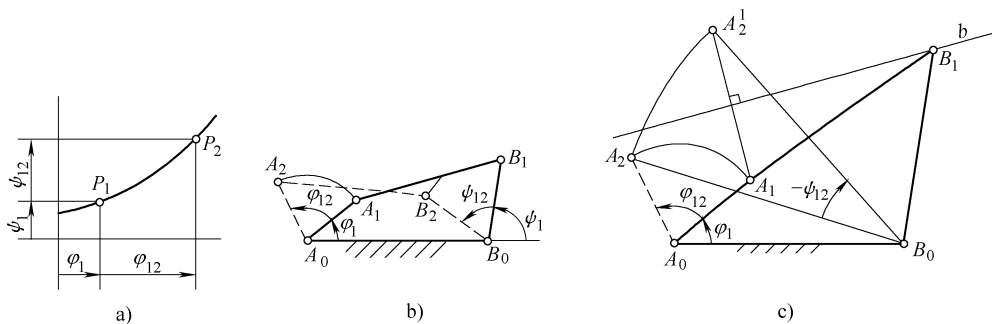


图 2.2-20 按给一对对应转角的设计

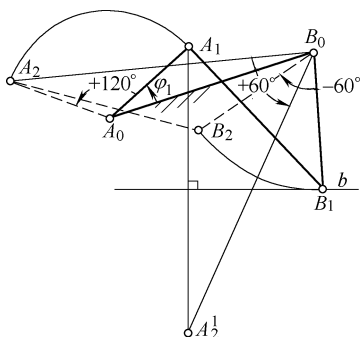


图 2.2-21 按对应转角设计例

3.1.2 给定对应转角且从动件处于两个极限位置的设计

实现这种运动变换要求的最简单机构是曲柄摇杆机构，我们约定从动件从右极限位置转到左极限位置的转角为 ψ_0 ，相应主动件的转角为 φ_0 。

当给定 φ_0 和 ψ_0 时可如下作图(图 2.2-22)：

- ① 任取 A_0, B_0 ，于 A_0 和 B_0 分别作 $-\frac{\varphi_0}{2}$ 及 $-\frac{\psi_0}{2}$ 角得交点 P ；

② 以 A_0P 为直径作圆 k_a ，圆心为 M_a ，过 M_a 作 A_0P 的垂线交 B_0P 于 M_b ；

③ 以 M_b 为圆心， M_bP 为半径作圆 k_b ；由 A_0 作垂直于 B_0P 的直线交 k_b 于 L ，当 $\varphi_0 < 180^\circ$ 时，连 LB_0 交 k_b 于 E ，当 $\varphi_0 > 180^\circ$ 且 $\varphi_0 - \psi_0 < 180^\circ$ 时延长 A_0B_0 交 k_b 于 E ， $\widehat{LE}$ 即为 B_1 点解集，在 $\widehat{LE}$ 上任取 B_1 ， A_0B_1 与 k_a 圆交点为 A_1 ， $A_0A_1B_1B_0$ 即所设计机构的右极限位置。

对于所设计的机构应进行传动角的检验，对于 $\varphi_0 < 180^\circ$ 的机构 $\mu_{\min}$ 出现在曲柄与机架的展直位置，对于 $\varphi_0 > 180^\circ$ 的机构 $\mu_{\min}$ 出现于曲柄与机架的叠合位置， $\varphi_0 = 180^\circ$ 时，曲柄与机架展直和重合位置有相等的最小传动角。

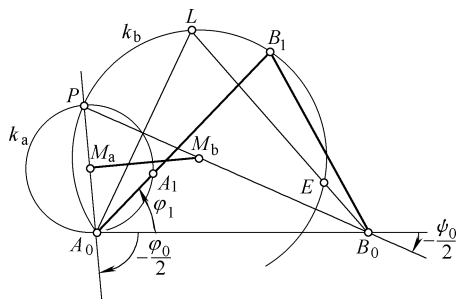


图 2.2-22 曲柄摇杆机构极限位置设计

3.1.3 按给定转角和从动件位移设计四杆机构

给定主动件转角 φ_{12} ，从动件位移 s_{12} ，为了保证好的传力性能可用以下作图方法(图 2.2-23)：

- ① 作线段 $A_1A_2 = s_{12}$ ，作 A_1A_2 中垂线 a_{12} ，在 A_1A_2 下方取 A_0 使 $\angle A_1A_0A_2 = \varphi_{12}$ ；
- ② 以 A_0 为圆心， $r = A_0A_1$ 为半径作圆与 a_{12} 交点为 Y ， XY 的中点为 Z ，过 Z 作 XY 垂线即导路方向；
- ③ A_0A_2 与导路交于 W 点， B_2 点取于 W 点左侧，连 A_2B_2 得机构的终了位置，如 B_2 取在 W 点，则终了位置又是极限位置。

这样设计的机构 $\mu_{\min} \geq \frac{\varphi_{12}}{2}$ 。

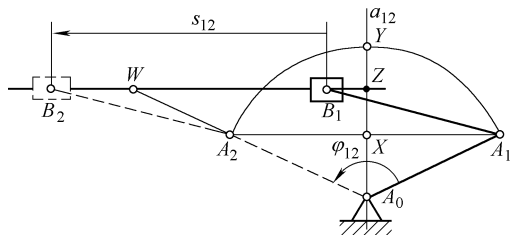


图 2.2-23 按给定转角位移设计

3.1.4 按给定主动件位移和从动件转角设计四杆机构

用固定的气缸或液压缸驱动摆动从动件时，为了得到传动有利的四杆机构可应用线图辅助设计方法(图 2.2-24)，图中有两个分区，按分区 I 设计，

摆动从动件无极限位置,按分区Ⅱ设计则摆动从动件有一个极限位置。

例如已知主动件行程 $s_{12} = 120\text{mm}$, 从动件摆角 $\psi_{12} = 60^\circ$, 设计机构使有较好的传力性能。

① 由图 2.2-24, 查得 $\psi = 60^\circ$ 时 $e/s_{12} = 0.86$, $e = 0.86s_{12} = 103.2\text{mm}$; 最小传动角 $\mu_{\min} \approx 83^\circ$, 属分区Ⅰ;

② 取导路水平位置, 选 $A_1A_2 = s_{12}$, 作 A_1A_2 中

垂线 a_{12} , 在 a_{12} 上取 B_0 , 使与水平导路距离为 e (图 2.2-25);

③ 由 B_0 作 A_1B_0 垂线, 取 $YB_0 = e$ 得 Y 点;

④ 取 YA_1 的中点为 B_1 , $B_0B_1A_1$ 即所设计机构的第 1 个位置。 $A_1B_1 = l_3$ 亦可由图 2.2-24 读取 l_3/s_{12} 而算出。

所设计机构在两个给定位置有相等的传动角 $\mu_{\min}$ 。

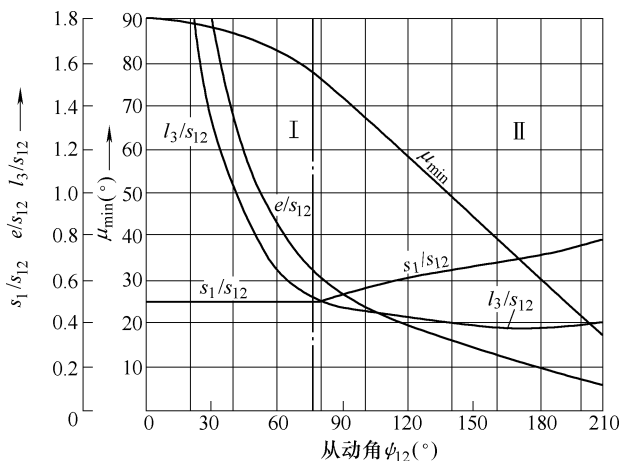


图 2.2-24 按给定位移摆角设计线图

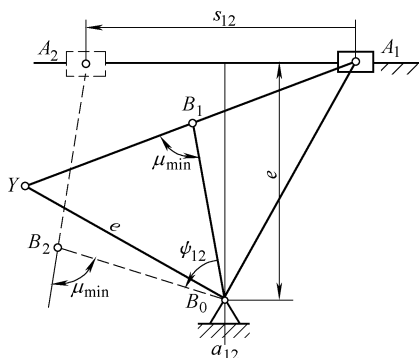


图 2.2-25 对应于图 2.2-24 分区Ⅰ的设计方法

3.1.5 按滑块两极限位置设计曲柄滑块机构

给定滑块两极限位置间位移 s_0 及曲柄对应转角 φ_0 , 可采用图解方法或直接由线图取值进行设计 (图 2.2-27)。

(1) 图解方法 (图 2.2-26)

① 确定曲柄中心 A_0 点及导轨方向, 由 A_0 作导轨方向垂线 $A_0B_0^\infty$;

② 由 A_0 作直线与 $A_0B_0^\infty$ 成 $-\varphi_0/2$, 又沿导轨方向量取 $-s_0/2$ 作与 $A_0B_0^\infty$ 的平行线, 与上述直线相交得交点 P_0 ;

③ 以 A_0P_0 为直径作圆 k_a , 由 k_a 圆心作 A_0P_0 的

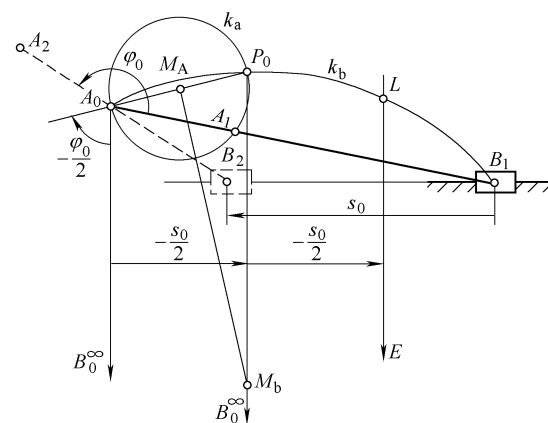


图 2.2-26 曲柄滑块机构极限位置设计

垂线 $P_0B_0^\infty$ 交点为 M_b , 以 M_b 为圆心, M_bA_0 为半径作圆 k_b ;

④ 由 A_0 沿导轨方向量取 $-s_0$, 作与 $A_0B_0^\infty$ 平行的线交 k_b 圆于 L, E ;

⑤ 在 $\widehat{LE}$ 上 (不包含 P_0 的弧) 任取 B_1 , 连 B_1A_0 交 k_a 于 A_1 , 则 $A_0A_1B_1$ 即所设计机构的一个极限位置。

(2) 线图方法

利用图 2.2-27 可直接按 φ_0 查得 l_2/s_0 , l_3/s_0 , e/s_0 , 可算得 $l_2 = A_0A$, $l_3 = AB$, e , 同时可查得 $\mu_{\min}$ 。

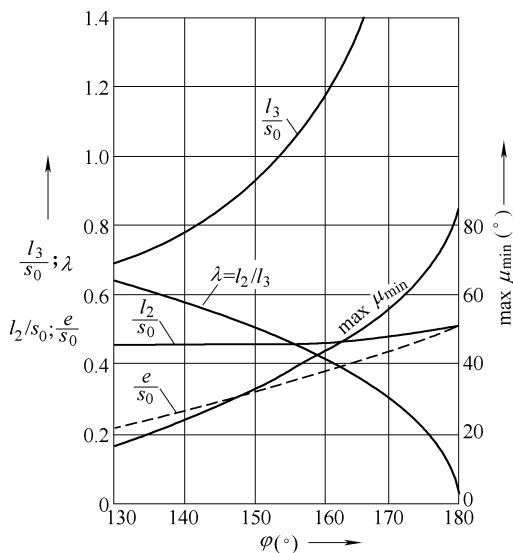


图 2.2-27 曲柄滑块机构极限位置设计线图

3.2 按给定主、从动件两对对应转角或位移设计四杆机构

3.2.1 给定两对对应转角设计铰接四杆机构

已知 φ_{12} , φ_{13} , ψ_{12} , ψ_{13} 设计铰接四杆机构可应用作图方法(图 2.2-28):

- ① 任取 A_0B_0 , 及 A_0A 长度, 选取设计角 φ_1 作 A_0A_1 ;
- ② 按给定的 φ_{12} , φ_{13} 求出 A_2 , A_3 点;
- ③ 将 B_0A_2 转 $-\psi_{12}$ 得 A_1^1 , 将 B_0A_3 转 $-\psi_{13}$ 得 A_3^1 ;
- ④ 作 $A_1A_2^1$ 及 $A_2^1A_3^1$ 的中垂线, 交点即 B_1 ;
- ⑤ $A_0A_1B_1B_0$ 即所设计机构的第一位置。

由于 A_0B_0 , A_0A 及 φ_1 都是任取的, 这类问题的解是无限多的, 对设计结果进行检验, 如不满足设计要求和约束, 可改变任选参数重新设计。

3.2.2 按两对对应转角设计导杆机构

- ① 任取 A_0B_0 , 由 A_0 及 B_0 分别作 $-\frac{\varphi_{12}}{2}$, $-\frac{\psi_{12}}{2}$, 交点取作 A_1 (图 2.2-29);

- ② 按给定的 φ_{12} , φ_{13} 求出 A_2 , A_3 点, 将 B_0A_3 转 $-\psi_{13}$ 得 A_3^1 点, 连 $A_1A_3^1$ 即导杆导路方向, 导杆的偏置距 e 可定;

亦可由 $-\frac{\varphi_{23}}{2}$, $-\frac{\psi_{23}}{2}$ 决定 A_2 点, 求出 A_1 , A_3 后将 B_0A_1 转 $-\psi_{21}$, 求出 A_1^1 , $A_2A_1^1$ 连线方向即导杆导路方向。同理, 亦可由 $-\frac{\varphi_{13}}{2}$, $-\frac{\psi_{13}}{2}$ 定 A_1 , 用求 A_3^1 类似方法, 求 A_1^1 , 则导路方向为 $A_1A_1^1$ 连线方向。故这

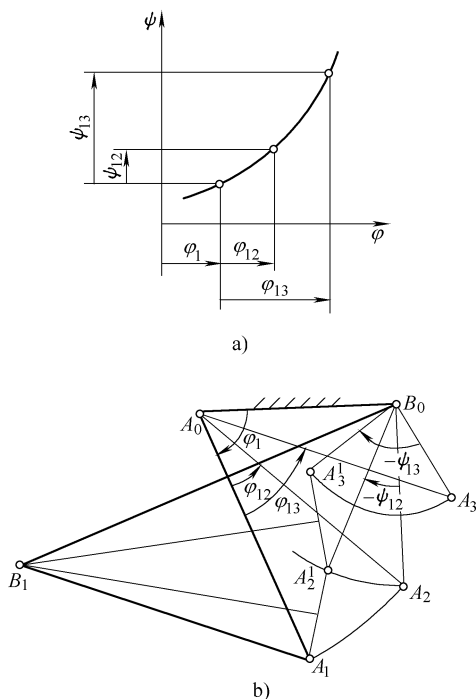
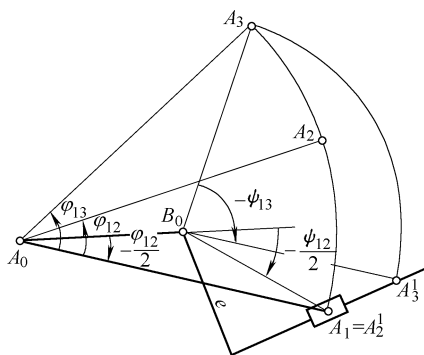


图 2.2-28 按给定两对对应转角设计

a) 传动函数 b) 设计作图方法

图 2.2-29 按给定两对对应转角设计导杆机构
种解法有多解供选用。

3.2.3 按给定两对对应转角、位移设计

- (1) 给定 φ_{12} , φ_{13} , s_{12} , s_{13} 及曲柄长 A_0A (图 2.2-30)

- ① 取 A_0 , 任取 φ_1 , 定 A_1 点, 按 φ_{12} , φ_{13} 求得 A_2 , A_3 ;

- ② 沿导路方向, 由 A_2 量取 $-s_{12}$ 得 A_2^1 , 由 A_3 量取 $-s_{13}$ 得 A_3^1 , 作 $A_1A_2^1$ 和 $A_1A_3^1$ 的中垂线交点即 B_1 , $A_0A_1B_1$ 即所设计机构的第 1 个位置, 导路偏置距 e 随之而定。

- (2) 给定 φ_{12} , φ_{13} , s_{12} , s_{13} 及导路的偏置距 e (图 2.2-31)

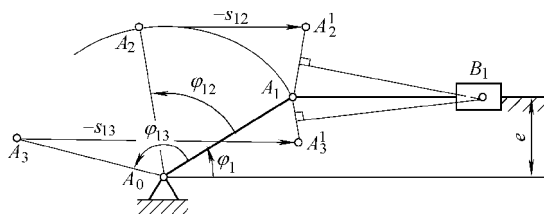
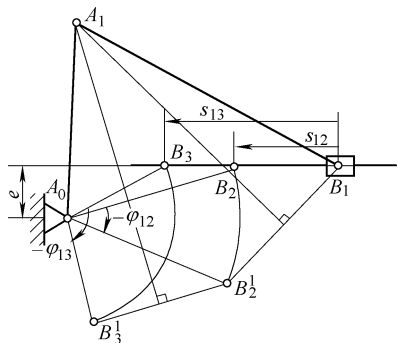


图 2.2-30 按两对对应转角位移设计

图 2.2-31 按给定两对应转角、位移设计
(给定偏距 e)

① 取 A_0 , 按 e 画出导路中线, 在其上任选 B_1 , 沿导路量取 s_{12} , s_{13} 得 B_2 , B_3 ;

② 连 A_0B_2 , A_0B_3 , 分别绕 A_0 转过 $-\varphi_{12}$, $-\varphi_{13}$ 角得 B_2^1 , B_3^1 , 连 $B_1B_2^1$ 作中垂线, 连 $B_1B_3^1$ 作中垂线, 交点即 A_1 , $A_0A_1B_1$ 即所设计机构的第 1 个位置。

如果所设计机构不满足给定要求或其他约束, 则可改变任选参数重新设计。

3.3 按给定主、从动件三对对应转角设计四杆机构

在局部区间内使机构主、从动件的运动符合给定的函数关系是机构设计中常见的实际问题。这种局部区间内的函数机构通常要求有足够的精确度, 用插值方法设计, 一般要有四个以上的插值点即三对以上转角对应方可控制精确度。作图方法繁琐费时, 虽然, 有些方法(如点位缩减法)可简化作图过程, 但限制了解的个数且精确度取决于作图技巧不易控制。因此解决所提出的问题荐用四点插值的解析方法。四点插值能保证一定精度, 且有无限多解, 可以按其他约束条件和性能指标从中选优。

设计复演传动函数 $y=f(x)$ [$x_a \leq x \leq x_b$] 的机构可按下述步骤进行。

(1) 设定插值点

在复演函数自变量上、下界 x_a , x_b 之间设定四个插值点 x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , 插值点的设置可任意, 但

不同设置将有不同的结构误差分布, 通常可用以下公式设置插值点:

$$x_i = \frac{x_a + x_b}{2} + \frac{x_b - x_a}{2} \cos \frac{2i-1}{2n} \pi \quad \left. \begin{array}{l} i=1, 2, 3, 4 \quad n=4 \end{array} \right\} \quad (2.2-1)$$

(2) 计算对应的函数值

$$y_i = f(x_i) \quad i=1, 2, 3, 4$$

(3) 选择主、从动件转角范围

设以主动件转角 α 表示自变量 x , 对应于自变量为变化区间 $x_b - x_a$ 的主动件转角为 α_m ; 以从动件转角 β 表示函数 y , 对应于函数值变化范围 $y_b - y_a$ 的从动件转角为 β_m , α_m 、 β_m 可视需要选取, 一般 $\alpha_m < 120^\circ$, $\beta_m < 90^\circ$ 可望得到较高精度的解。

(4) 计算插值点间相对转角值

$$\alpha_i - \alpha_a = \frac{\alpha_m}{x_b - x_a} (x_i - x_a)$$

$$\beta_i - \beta_a = \frac{\beta_m}{y_b - y_a} (y_i - y_a)$$

$$i=1, 2, 3, 4$$

α_a 及 β_a 为对应于 x_a , y_a 的主动、从动件初始角, 是设计过程中待求的量(图 2.2-32)。

$$\alpha_{12} = \alpha_2 - \alpha_a - (\alpha_1 - \alpha_a) \quad \beta_{12} = \beta_2 - \beta_a - (\beta_1 - \beta_a)$$

$$\alpha_{13} = \alpha_3 - \alpha_a - (\alpha_1 - \alpha_a) \quad \beta_{13} = \beta_3 - \beta_a - (\beta_1 - \beta_a)$$

$$\alpha_{14} = \alpha_4 - \alpha_a - (\alpha_1 - \alpha_a) \quad \beta_{14} = \beta_4 - \beta_a - (\beta_1 - \beta_a)$$

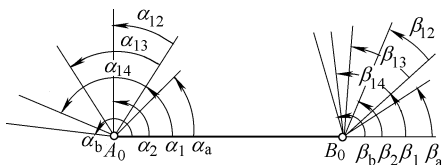


图 2.2-32 四点插值对应转角关系

(5) 计算

$$X_2 = \cos \alpha_{12} \quad X_3 = \cos \alpha_{13} \quad X_4 = \cos \alpha_{14}$$

$$Y_2 = -\sin \alpha_{12} \quad Y_3 = -\sin \alpha_{13} \quad Y_4 = -\sin \alpha_{14}$$

$$X_1 = 1 \quad Y_1 = 0$$

$$\varphi_2 = \beta_{12} - \alpha_{12} \quad \varphi_3 = \beta_{13} - \alpha_{13} \quad \varphi_4 = \beta_{14} - \alpha_{14}$$

(6) 结果

将 X_i , Y_i ($i=1, 2, 3, 4$), φ_i ($i=2, 3, 4$) 代入表 2.2-6 公式计算, 求得 C_{1x} , C_{1y} , 即 B_1 点坐标, C_{0x} , C_{0y} 即 A_1 点坐标, A_0 点坐标为 $(0, 0)$, B_0 点坐标为 $(1, 0)$, $A_0A_1B_1B_0$ 为所设计函数机构处于第一个插值点位置。

$$A_0A = (C_{0x}^2 + C_{0y}^2)^{1/2}$$

$$AB = [(C_{1x} - C_{0x})^2 + (C_{1y} - C_{0y})^2]^{1/2}$$

$$BB_0 = [(C_{1x} - 1)^2 + C_{1y}^2]^{1/2}$$

$$A_0B_0 = 1$$

复演函数区间主、从动件的初始角:

$$\alpha_a = \arctan\left(\frac{C_{0y}}{C_{0x}}\right) - (\alpha_1 - \alpha_a)$$

$$\beta_a = \arctan\left(\frac{C_{1y}}{C_{1x} - 1}\right) - (\beta_1 - \beta_a)$$

例 2.2-4 设计一铰接四杆机构, 预期实现传动函数 $y = \lg x$, $1 \leq x \leq 10$

解 (1) $x_a = 1$, $x_b = 10$, 按式(2.2-1)设置插值点:

$$x_1 = \frac{1+10}{2} + \frac{1-10}{2} \cos\left(\frac{2 \times 1 - 1}{2 \times 4} \pi\right) = 1.342542$$

$$x_2 = \frac{1+10}{2} + \frac{1-10}{2} \cos\left(\frac{2 \times 2 - 1}{2 \times 4} \pi\right) = 3.777925$$

$$x_3 = \frac{1+10}{2} + \frac{1-10}{2} \cos\left(\frac{2 \times 3 - 1}{2 \times 4} \pi\right) = 7.222077$$

$$x_4 = \frac{1+10}{2} + \frac{1-10}{2} \cos\left(\frac{2 \times 4 - 1}{2 \times 4} \pi\right) = 9.657458$$

按 $y_i = \lg x_i$ 计算

$$y_1 = 0.1279279 \quad y_2 = 0.5772533 \quad y_3 = 0.858662$$

$$y_4 = 0.9848628$$

$$y_a = \lg 1 = 0 \quad y_b = \lg 10 = 1$$

(2) 取主动件 $\alpha_m = 120^\circ$, 从动件 $\beta_m = -60^\circ$ 。二者转动方向相反(亦可取相同转向)

$$x_m = x_b - x_a = 10 - 1 = 9$$

$$y_m = y_b - y_a = 1 - 0 = 1$$

$$\alpha_1 - \alpha_a = \frac{\alpha_m}{x_m}(x_1 - x_a) = \frac{120^\circ}{9}(1.342542 - 1) = 4.567227^\circ$$

仿此: $\alpha_2 - \alpha_a = 37.09^\circ$

$$\alpha_3 - \alpha_a = 82.961^\circ$$

$$\alpha_4 - \alpha_a = 115.433^\circ$$

$$\begin{aligned} \beta_1 - \beta_a &= \frac{\beta_m}{y_m}(y_1 - y_a) \\ &= \frac{-60^\circ}{1}(0.1279279 - 0) \\ &= -7.675676^\circ \end{aligned}$$

仿此: $\beta_2 - \beta_a = -34.6352^\circ$

$$\beta_3 - \beta_a = -51.51972^\circ$$

$$\beta_4 - \beta_a = -59.09177^\circ$$

(3) 计算 $a_{1i} = (\alpha_i - \alpha_a) - (\alpha_1 - \alpha_a)$ $\beta_{1i} = (\beta_i - \beta_a) - (\beta_1 - \beta_a)$ $i = 2, 3, 4$

$$\alpha_{12} = 32.471773^\circ \quad \beta_{12} = -26.959524^\circ$$

$$\alpha_{13} = 78.393793^\circ \quad \beta_{13} = -43.844044^\circ$$

$$\alpha_{14} = 110.865573^\circ \quad \beta_{14} = -51.416094^\circ$$

(4) 计算 $X_i, Y_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 及 $\varphi_i (i = 2, 3, 4)$

$$X_1 = 1 \quad Y_1 = 0$$

$$X_2 = \cos \alpha_{12} = 0.8436617$$

$$Y_2 = -\sin \alpha_{12} = -0.536844$$

$$X_3 = \cos \alpha_{13} = 0.2011208$$

$$Y_3 = -\sin \alpha_{13} = -0.979553$$

$$X_4 = \cos \alpha_{14} = -0.356117$$

$$Y_4 = -\sin \alpha_{14} = -0.934418$$

$$\varphi_2 = -56.431297^\circ$$

$$\varphi_3 = -122.2378^\circ$$

$$\varphi_4 = -162.28167^\circ$$

(5) 代入表 2.2-6 中公式计算得 $C_{1x}, C_{1y}, C_{0x}, C_{0y}$ 的多组解, 选其中一组解计算出:

$A_0A = 0.87074$, $AB = 1.24371$, $BB_0 = 0.63025$, $A_0B_0 = 1$, $\alpha_a = 50.47^\circ$, $\beta_a = 243.49^\circ$, 如图 2.2-33。

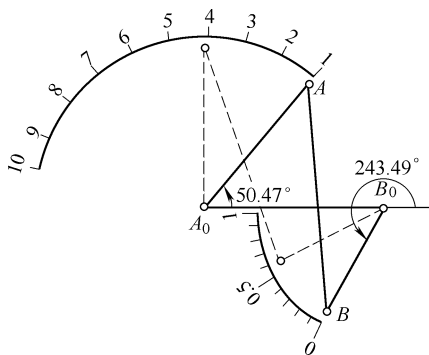


图 2.2-33 函数机构 $y = \lg x$ 设计

结构误差 $ER = (y_m - y)/y_m$ 的最大值为 7.59×10^{-3} 。

3.4 局部区间内近似等传动比传动机构设计

3.4.1 串接导杆机构实现局部近似等传动比传动

(1) 转动导杆机构与摆动导杆机构串接

用转动导杆机构为前置机构驱动摆动导杆机构可形成多种局部近似等传动比传动机构, 设 $\lambda_1 = A_0B_0/A_0A$, $\lambda_2 = B_0C/B_0D_0$ (图 2.2-34), 这种机构应有下述尺寸关系:

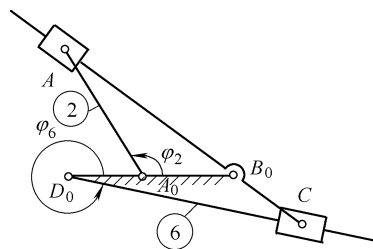


图 2.2-34 串接导杆近似等传动比机构
(转动导杆与摆动导杆串接)

$$\lambda_1(1-\lambda_1) = \frac{1-\lambda_2}{(1+\lambda_2)^2}$$

通常该机构会在较大范围内实现近似等传动比, 近似等传动比段的传动比值为:

$$i_{62} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2 + (\lambda_1 \lambda_2 + 1)(-1)^m} = \begin{cases} i_{62\max} (m=2) \\ i_{62\min} (m=1) \end{cases}$$

图 2.2-35 为 $\lambda_1 = \frac{1}{3}$, $\lambda_2 = 0.5$ 的串接导杆机构, φ_6 与 i_{62} 随 φ_2 的变化图, 可见, 在很大范围内 $i_{62} \approx 0.25$, 但在近似等传动比区域外, 速度和加速度变化剧烈, 动力学性能不好。

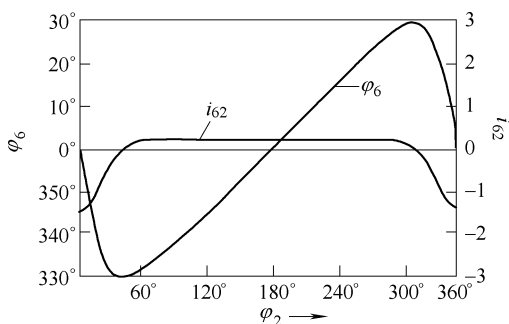


图 2.2-35 $\lambda_1 = \frac{1}{3}$, $\lambda_2 = 0.5$ 串接机构传动函数

(2) 摆动导杆机构与摆动导杆机构串接

前置导杆机构曲柄 1 为主动件, 摆动导杆 3 驱动从动摆杆 5, 则适当选择尺寸比例, 在一定区间内可实现传动比 $\frac{\omega_5}{\omega_1}$ 近似为常数(图 2.2-36)。

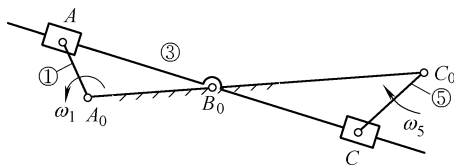


图 2.2-36 串接导杆近似等传动比机构
(摆动导杆与摆动导杆串接)

设 $\lambda_1 = \frac{A_0 B_0}{A_0 A}$, $\lambda_2 = \frac{C_0 C}{B_0 C_0}$, λ_1, λ_2 取不同值时 $i_{51} = \frac{\omega_5}{\omega_1}$, 如图 2.2-37。

3.4.2 串接回转导杆机构驱动正弦机构

回转导杆机构和正弦机构一阶传动函数都有往复行程各自对称的规律, 使回转导杆机构的 $\left(\frac{\omega_3}{\omega_1}\right)_{\min}$ 位置与正弦机构的 $\left(\frac{v}{\omega_3}\right)_{\max}$ 位置对应串接(图 2.2-51a), 适当选取 a/d 值可以实现局部区间近似等传

动比, 即 $\frac{v}{\omega_1}$ 近似于常数的传动。

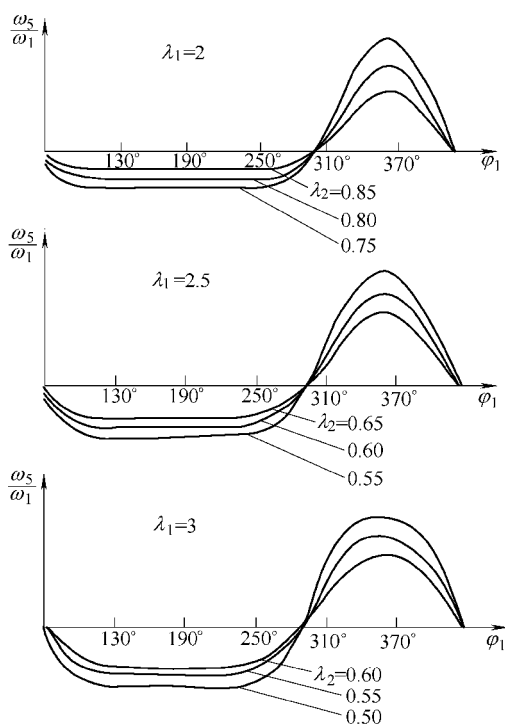


图 2.2-37 λ_1, λ_2 不同时图 2.2-36 机构的传动函数

这种机构的一阶传动函数 $v = v(\varphi_1)$ 随 a/d 值不同而变化(图 2.2-38b)。

3.4.3 串接双曲柄机构驱动曲柄滑块机构

利用双曲柄机构非匀速转动的从动件驱动对心曲柄滑块机构(图 2.2-39), 可使滑块的一个行程中有一个近似等速段, 即传动比 $\frac{v}{\omega_1}$ 近似为常数的区间。因为双曲柄机构和对心曲柄滑块机构的一阶传动函数都不具有对称规律, 这种机构的设计可利用线图辅助进行。双曲柄机构相对杆长荐用图 2.2-40 选取, 可使结构紧凑, 工作行程传动角较好。图中同时给出了按图 2.2-39 所示位置布置前置机构时应选取的连结角 δ , 曲柄滑块机构尺寸取 $l_{CD}/l_{B_0C} = 3.0$, φ_R 为近似等传动比区间主动件转角。

例 2.2-5 一工作机构, 执行构件作往复直线运动, 行程 200mm, 要求在工作行程中有一段作近似匀速运动, φ_R 不小于 100° 。

解 由图 2.2-40 查得 $\varphi_R = 103^\circ$ 时 $b = 2.16$, $\frac{b}{c} = 1.3$, $c = 1.66$, $d = 2.531$, $a = 1.0$, 连结角 $\delta = -191^\circ$, 要求行程 $s = 200\text{mm}$, 所以 $l_{B_0C} = 100\text{mm}$, $l_{CD} = 300\text{mm}$ 。

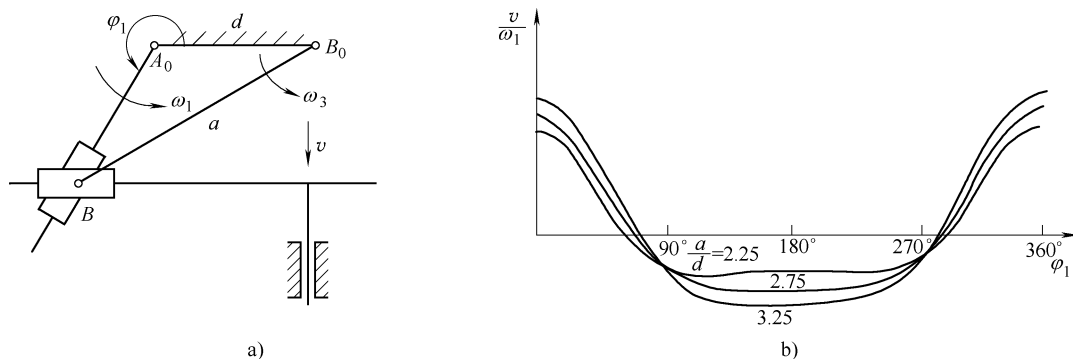
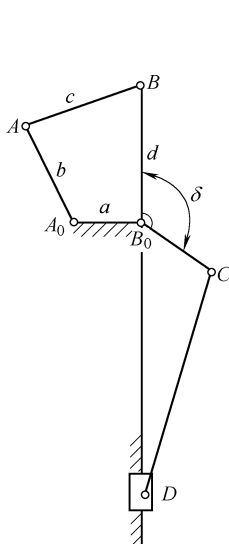


图 2.2-38 回转导杆与正弦机构的串接

a) 串接方法 b) 传动函数

图 2.2-39 双曲柄机构串接
曲柄滑块机构

双曲柄机构实际尺寸可按适当比例定出,例如取 $l_{A_0B_0} = 60\text{mm}$, 则 $l_{A_0A} = 60 \times b = 60 \times 2.16 = 129.6\text{mm}$, $l_{AB} = 60 \times c = 60 \times 1.66 = 99.6\text{mm}$, $l_{BB_0} = 60 \times d = 60 \times 2.531 = 151.86\text{mm}$, 所设计机构简图及其一阶传动函数如图 2.2-41。

3.5 带有停歇工作段的传动机构设计

往复运动的工艺动作如有停歇要求,大体上有三种情形:

- ① 在行程的一个极限位置停歇;
- ② 在行程的两个极限位置停歇;
- ③ 在行程的中间停歇。

传动函数如图 2.2-42。

设计要求为停歇区间大小(这可以用主动件对应

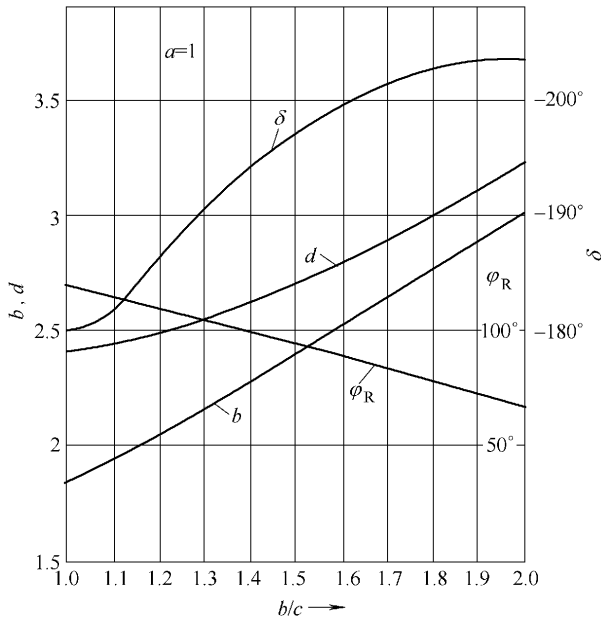


图 2.2-40 设计线图

于从动件停歇区间的转角 φ_R 计量)及停歇质量(通常以从动件在停歇区间的位移偏差计量)。

在受载不大的辅助机构(如送进机构)中,实现带有停歇段的往复运动应首选凸轮机构,在工作载荷较大或其他原因不宜应用凸轮机构时,可考虑连杆机构或组合机构。

应注意到往复运动中带有停歇将导致非停歇段的速度、加速度增大,在运转速度较高时尤应注意。

3.5.1 一个极限位置停歇的函数机构

(1) 四杆机构极限位置串接形成的六杆机构

把连续转动变换为往复运动的四杆机构中,当从动件处于极限位置时速度为零,即有瞬时停歇。在此位置邻域,从动件位移很小。如果再串接一个四杆机构,也使其处于极限位置,则前置机构的曲

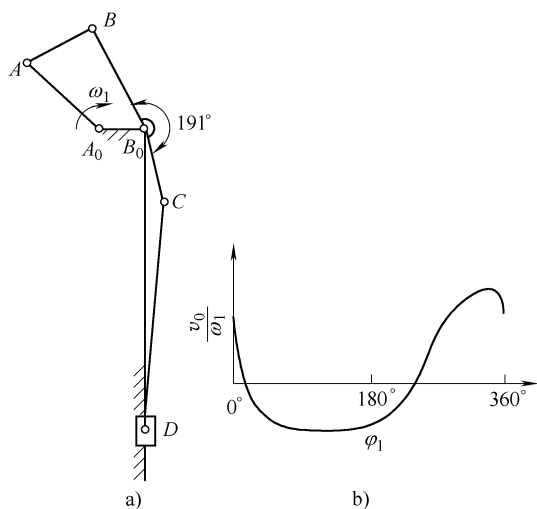


图 2.2-41 设计例

a) 机构简图 b) 一阶传动函数

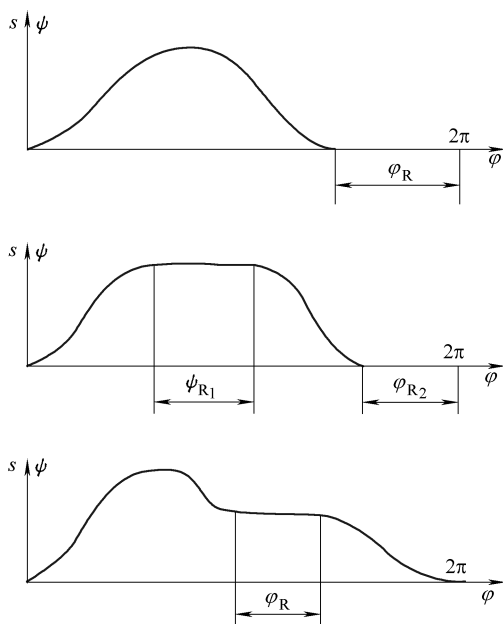
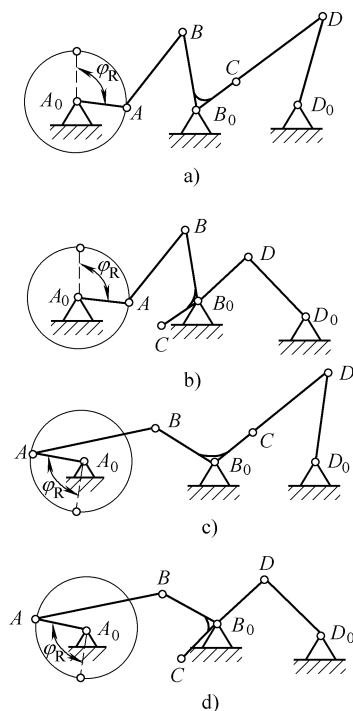


图 2.2-42 停歇机构传动函数

柄在处于极限位置附近的一定转角范围内, 后置机构的从动件会处于近似停歇状态。利用这种方法可形成多种类型的一个极限位置停歇机构。图 2.2-43 中表示了铰接四杆机构串接原理, 当然亦可利用其他类型四杆机构组合串接。

按给定的停歇范围 φ_R , 移动从动件行程 s , 设计一个极限位置停歇的串接六杆机构可如下进行。

1) 利用图 2.2-44 选择传动有利的曲柄摇杆机构的相对尺寸, 令其处于曲柄与连杆重叠共线位置,



- a) 延伸共线位置与延伸共线位置串接
b) 延伸共线位置与重叠共线位置串接
c) 重叠共线位置与延伸共线位置串接
d) 重叠共线位置与重叠共线位置串接

图 2.2-43 串接停歇机构形成原理

如图 2.2-45 中 $A_0A_3B_3B_0$ 位置, 作曲柄圆及 B 点轨迹弧;

2) 在 A_3 附近任选一点 A'_1 , 作角 $\angle A'_1A_0A'_5 = \varphi_R$ 。分别以 A'_1 , A'_5 为心, 以连杆 $AB = b$ 为半径作弧, 两弧交于 B'_{15} , 以 A_0 为心, $A_0B'_{15}$ 为半径作弧交 B 点的轨迹弧于 B_{15} ;

3) 以 B_{15} 为心, 以连杆长 b 为半径作弧交曲柄圆于 A_1 , A_5 , 必有 $\angle A_1A_0A_5 = \varphi_R$;

4) 以 A_0 为心, 以曲柄与连杆长度之和 $a + b$ 为半径作弧交 B 点轨迹弧于 B_6 , $\angle B_3B_0B_6 = \psi_m$;

5) 按给定滑块行程 s , 求串接曲柄滑块机构的曲柄、连杆长度 e , f :

$$\text{令 } \psi'_m = \psi_m - \frac{1}{2} \angle B_3B_0B_{15}$$

$$\text{取 } k = \frac{f}{e} = 2.5 \sim 3$$

$$s_1 = \arcsin\left(\frac{1}{k} \sin \psi'_m\right)$$

$$s_2 = k \cos s_1 + \cos \psi'_m$$

$$e = \frac{s}{1 + k - s_2} \quad f = ke$$

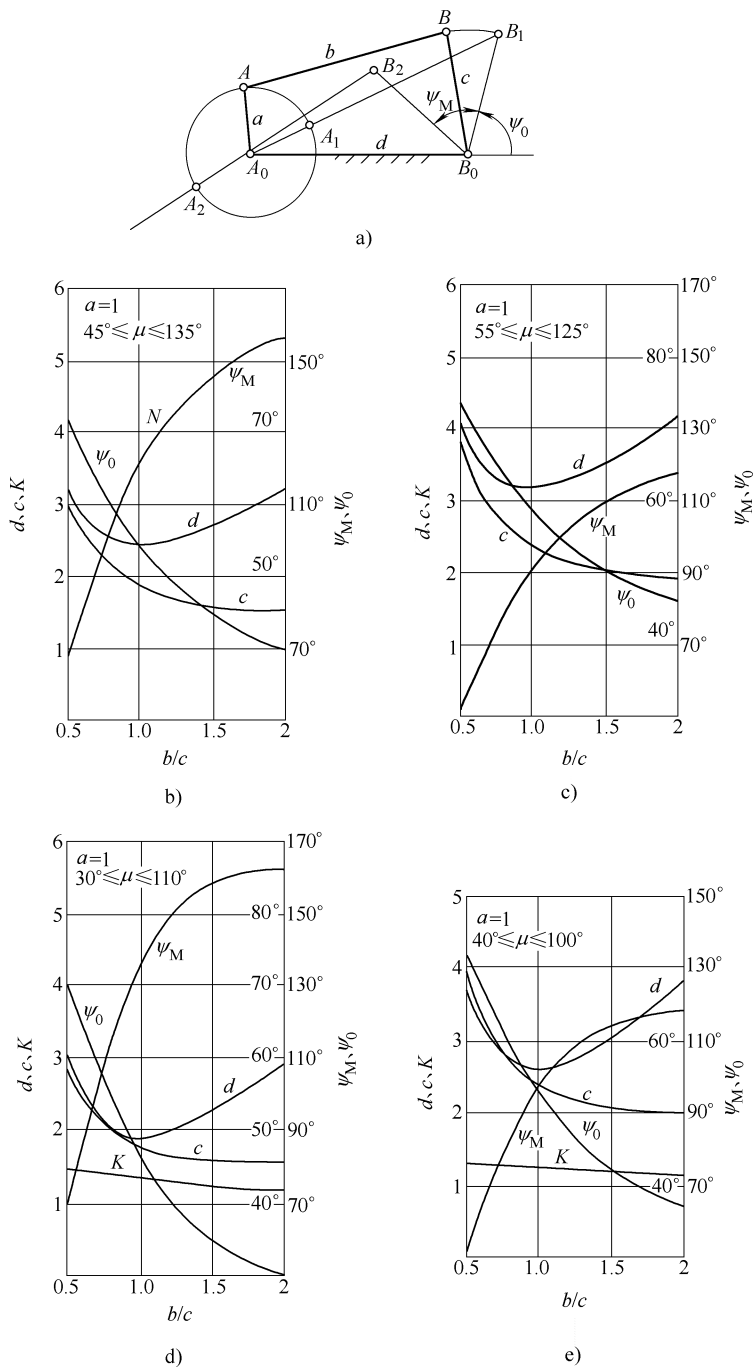


图 2.2-44 曲柄摇杆机构设计线图

6) 选导路方向 m , 取 C_3, C_{15} 对称于 m , 令 $\angle C_3 B_0 C_{15} = \angle B_3 B_0 B_{15}$, 在 m 上确定 D 使 $l_{CD} = f$ 。
机构 $A_0 A B B_0 C D$ 即所求, 曲柄 $A_0 A$ 转过 $\angle A_1 A_0 A_5$

$= \varphi_R$ 过程中 D 点近似停歇。

按上述作图方法所推导的设计算法及例题列于表 2.2-7, 并参看图 2.2-46。

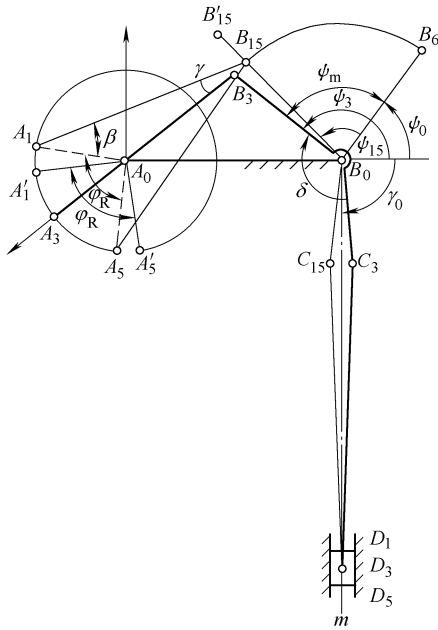


图 2.2-45 六杆停歇机构设计

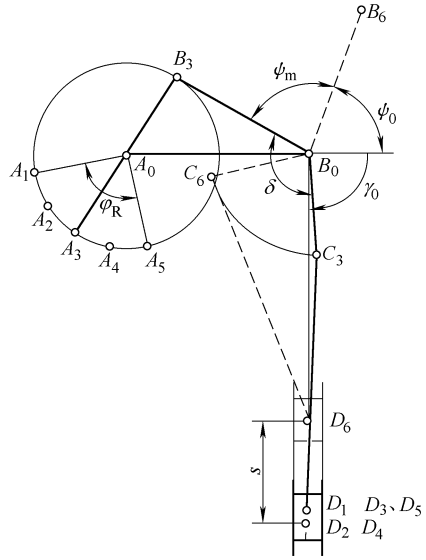


图 2.2-46 六杆停歇机构设计例

表 2.2-7 六杆停歇机构设计计算

	计算公式	算 例
1	坐标原点在 A_0 , x 轴沿 A_0B_0 , 右手坐标系	设计一从动件往复垂直运动的机构, 行程 $s=200\text{mm}$ 在下极限位置有 $\varphi_R=90^\circ$ 的停歇
2	按图 2.2-44 选曲柄摇杆机构相对尺寸	$a=1 \quad b=1.993 \quad c=1.66 \quad d=1.998$
3	$\gamma = \arcsin\left[\frac{a}{b}\sin\left(\pi - \frac{\varphi_R}{2}\right)\right]$ $\beta = \frac{\varphi_R}{2} - \gamma$ $A_0B_{15} = (b^2 + a^2 - 2ab\cos\beta)^{1/2}$ $x_{B_{15}} = (d^2 - c^2 + A_0B_{15}^2)/2d$ $y_{B_{15}} = (A_0B_{15}^2 - x_{B_{15}}^2)^{1/2}$ $\psi_3 = \pi - \arccos[(c^2 + d^2 - (b-a)^2)/2cd]$ $\psi_{15} = \arctan\left[\frac{y_{B_{15}}}{x_{B_{15}} - d}\right]$ $\psi_0 = \pi - \arccos[d^2 + c^2 - (a+b)^2]/2cd$ $\psi_m = \psi_3 - \psi_0$ $\psi'_m = \psi_m - \frac{\psi_3 - \psi_{15}}{2}$	$\gamma = \arcsin\left[\frac{1}{1.993}\sin\left(\pi - \frac{90^\circ}{2}\right)\right] = 20.78^\circ$ $\beta = \frac{90^\circ}{2} - 20.78^\circ = 24.22^\circ$ $A_0B_{15} = (1.993^2 + 1^2 - 2 \times 1 \times 1.993\cos 24.20^\circ)^{1/2} = 1.156$ $x_{B_{15}} = (1.998^2 - 1.66^2 + 1.156^2)/2/1.998 = 0.644$ $y_{B_{15}} = (1.156^2 - 0.644^2)^{1/2} = 0.96$ $\psi_3 = 180^\circ - \arccos[(1.66^2 + 1.998^2 - (1.993 - 1)^2)/2/1.993/1.998] = 150.29^\circ$ $\psi_{15} = \arctan\left[\frac{0.96}{0.644 - 1.998}\right] = 144.663^\circ$ $\psi_0 = 180^\circ - \arccos[1.998^2 + 1.66^2 - (1 + 1.993)^2]/2/1.998/1.66] = 70.535^\circ$ $\psi_m = 150.29^\circ - 70.535^\circ = 79.755^\circ$ $\psi'_m = 79.755^\circ - \frac{150.29^\circ - 144.663^\circ}{2} = 76.9415^\circ$
4	选取导路方向角 γ_0 连接角: $\delta = 2\pi - \left[\psi_3 - \frac{\psi_3 - \psi_{15}}{2} - \gamma_0\right]$	$\gamma_0 = -90^\circ$ $\delta = 360^\circ - \left[150.29^\circ - \frac{150.29^\circ - 144.655^\circ}{2} - (-90^\circ)\right] = 122.5225^\circ$

(续)

	计算公式	算 例
5	按给定行程 s 计算曲柄滑块机构尺寸 e, f $s_1 = \arcsin\left(\frac{1}{k} \sin \psi'_m\right)$ $s_2 = k \cos s_1 + \cos \psi'_m$ $e = s / (1 + k - s_2)$ $f = ke$	选 $k = \frac{f}{e} = 2.5$ $s_1 = \arcsin\left(\frac{1}{2.5} \sin 76.9415^\circ\right) = 22.9331^\circ$ $s_2 = 2.5 \cos 22.9331^\circ + \cos 76.9415^\circ = 2.5283$ $e = 200 / (1 + 2.5 - 2.5283) = 205.8248 \text{ mm}$ $f = 2.5 \times 205.8248 = 514.5621 \text{ mm}$
6	按结构需要确定曲柄摇杆机构实际尺寸	取 $l_{A_0A} = 200 \text{ mm}$ $l_{AB} = 1.933 \times 200 = 398.6 \text{ mm}$ $l_{B_0B} = 1.66 \times 200 = 332 \text{ mm}$ $l_{A_0B_0} = 1.998 \times 200 = 399.6 \text{ mm}$

(2) 四杆机构极限位置串接形成的八杆机构

如果要求更长的停歇区间 ($\varphi_R > 100^\circ$) 及更高的停歇精度, 可应用四杆机构极限位置串接形成的八杆机构(图 2.2-47)。

这个机构是由曲柄摇杆机构 A_0ABB_0 、双摇杆机构 B_0CDA_0 及摇杆滑块机构 A_0DE 在下极限位置串接而成。在 $\varphi_R < 180^\circ$ 情形下可有很高的停歇精度。

按给定停歇区间 φ_R , 设计八杆停歇机构可按表

2.2-8 中步骤进行, 表中附有一算例。

所设计机构的简图如图 2.2-47a, 零阶传动函数如图 2.2-47b, 在停歇区间位移偏差分布如图 2.2-47c, 位移偏差最大值 $\Delta s_{\max} = 2 \times 10^{-4} \mu =$

$$0.03868 \text{ mm}, \text{ 相对位移偏差的最大值 } \Delta = \frac{\Delta s_{\max}}{s} = \frac{0.03868}{200} = 1.934 \times 10^{-4}$$

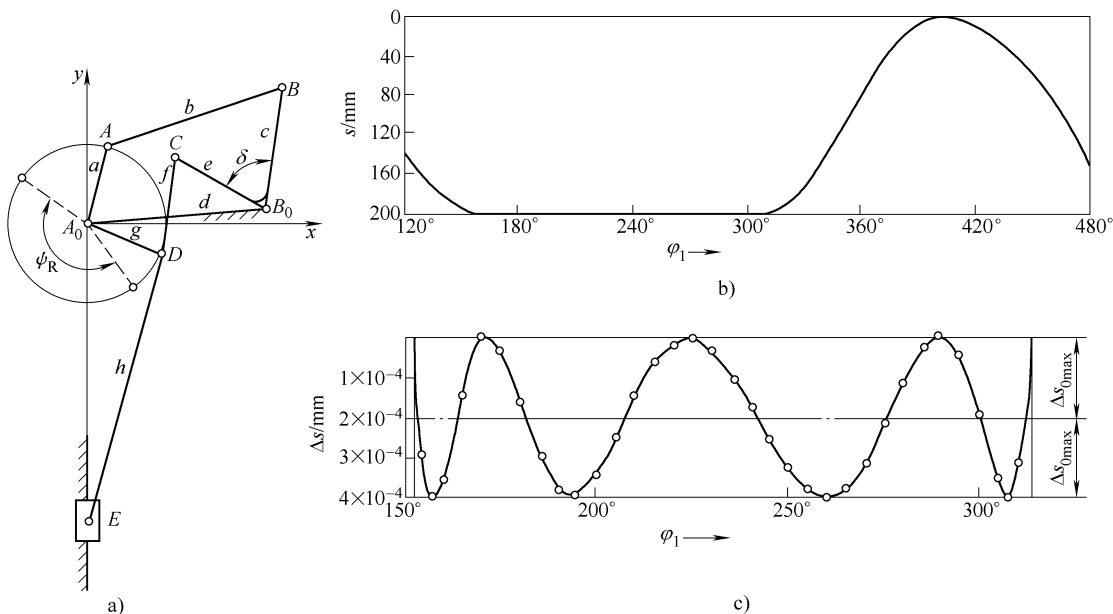


图 2.2-47 八杆停歇机构设计

a) 机构简图 b) 零阶传动函数 c) 结构误差分布

3.5.2 往复行程两个极限位置近似停歇机构

首选机构应是凸轮机构, 不宜应用凸轮机构时可选连杆机构和组合机构。

(1) 三个串接的四杆机构

在 3.5.1 节中曾介绍用四杆机构极限位置串接实现从动件一个极限位置停歇的机构设计方法, 如果在此基础上再串接一四杆机构, 则可实现从动件

在两个极限位置停歇。

图 2.2-48, 当曲柄摇杆机构 A_0ABB_0 , 曲柄与连杆重叠共线位置附近, 使四杆机构 D_0DFF_0 中 D_0D 和 DF 处于延伸共线位置, 这样, 从动件在 FF_0 位置可实现近似停歇, 对应的曲柄转角为 φ_{R1} , 在曲柄摇杆机构 A_0A 与 AB 处于延伸共线位置附近时, 令四杆机构 B_0BCD_0 中 B_0B 与 BC 处于重叠共线位置, 从动

表 2.2-8 八杆停歇机构设计

计算顺序	设计内容及算法	设计计算例
1	设计依据: 滑块行程 s 及停歇区间 φ_R	给定 $s = 200\text{mm}$, $\varphi_R = 160^\circ$
2	选取曲柄摇杆机构 A_0ABB_0 的相对尺寸 a, b, c, d ($a = 1$), 荐用图 2.2-44	由图 2.2-44, 选择 $a = 1, b = 1.848, c = 1.848, d = 2.414$, 保证在工作位置附近有好的传力性能
3	选择杆长 e, f, g 可取 $e = 0.66d$ $f = 0.47d$ $g = 0.45d$	按比例 求得: $e = 1.593 \quad f = 1.134 \quad g = 1.086$
4	选定 $h = kg$ ($k = 2.5 \sim 4$)	$h = 3.6g = 3.6$
5	计算连接角 δ 及 B_0 点坐标 x_{B_0}, y_{B_0} $q_1 = a \cos \left(\pi - \frac{\varphi_R}{2} \right) + \sqrt{b^2 - a^2 \sin^2 \left(\pi - \frac{\varphi_R}{2} \right)}$ $q_2 = (c^2 + d^2 - q_1^2) / 2cd$ $q_3 = \sqrt{1 - q_2^2}$ $q_4 = \arctan(q_3 / q_2)$ $q_5 = (c^2 + d^2 - (b - a)^2) / 2cd$ $q_6 = \sqrt{1 - q_5^2}$ $q_7 = \arctan(q_6 / q_5)$ $q_8 = q_4 - q_7$ $q_9 = e \cos \frac{q_8}{2} + \sqrt{f^2 - e^2 \sin^2 \frac{q_8}{2}}$ $q_{10} = (d^2 + q_9^2 - g^2) / 2dq_9$ $q_{11} = \sqrt{1 - q_{10}^2}$ $q_{12} = \arctan(q_{11} / q_{10})$ $\delta = q_4 + q_{12} - \frac{q_8}{2}$ $u_1 = q_9 \sin q_{12} / g$ $u_2 = -\sqrt{1 - u_1^2}$ $u_3 = \arctan(u_1 / u_2)$ $u_4 = [d^2 + g^2 - (e + f)^2] / 2dg$ $u_5 = \sqrt{1 - u_4^2}$ $u_6 = \arctan(u_5 / u_4)$ $u_7 = (u_5 + u_6) / 2$ $u_8 = u_7 - \frac{\pi}{2}$ $x_{B_0} = d \cos u_8 \quad y_{B_0} = d \sin u_8$	$q_1 = 1.390084$ $q_2 = 0.8193286$ $q_3 = 0.5733242$ $q_4 = 0.6105574$ $q_5 = 0.9553081$ $q_6 = 0.2956121$ $q_7 = 0.3000962$ $q_8 = 0.3104612$ $q_9 = 2.680777$ $q_{10} = 0.9143751$ $q_{11} = 0.404868$ $q_{12} = 0.4168345$ $\delta = 49.94116^\circ$ $u_1 = 0.9994116$ $u_2 = -3.429807 \times 10^{-2}$ $u_3 = 1.605101$ $u_4 = -8.196081 \times 10^{-2}$ $u_5 = 0.9966356$ $u_6 = 1.652849$ $u_7 = 1.628975$ $u_8 = 5.81789 \times 10^{-2}$ $x_{B_0} = 2.409917 \quad y_{B_0} = 0.1403543$
6	求从动件滑块的相对行程 s_0 。按所设计机构相对尺寸进行运动分析求得滑块位移的极值 $s_{0\max}$ 及 $s_{0\min}$ 则相对行程: $s_0 = s_{0\max} - s_{0\min}$	运动分析结果 $s_{0\max} = -3.65188$ $s_{0\min} = -4.68600$ $s_0 = s_{0\max} - s_{0\min} = 1.03412$

(续)

计算顺序	设计内容及算法	设计计算例
7	计算机机构的实际尺寸 $\mu = \frac{s}{s_0}$ $l_{A_0A} = a\mu \quad l_{AB} = b\mu$ $l_{B_0B} = c\mu \quad l_{A_0B_0} = d\mu$ $l_{CB_0} = e\mu \quad l_{CD} = f\mu$ $l_{A_0D} = g\mu \quad l_{DE} = h\mu$	$\mu = \frac{200}{1.03412} = 193.401$ $l_{A_0A} = 193.401 \text{ mm} \quad l_{AB} = 357.405 \text{ mm}$ $l_{B_0B} = 357.405 \text{ mm} \quad l_{A_0B_0} = 446.87 \text{ mm}$ $l_{CB_0} = 308.088 \text{ mm} \quad l_{CD} = 219.317 \text{ mm}$ $l_{A_0D} = 210.033 \text{ mm} \quad l_{DE} = 696.244 \text{ mm}$

件可实现另一极限位置 $F'F_0$ 处近似停歇, 对应曲柄转角为 φ_{R2} 。显然有许多种组合串接方法。

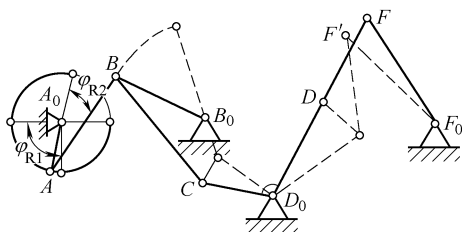


图 2.2-48 串接机构实现两极限位置停歇

机构尺寸参数的具体设计方法可参考 3.5.1 节。

(2) 应用具有两段相同曲率半径的连杆曲线

四杆机构的连杆曲线具有两段同向、相等曲率半径的近似圆弧段的条件较苛, 利用对称的连杆曲线可能实现这种要求。产生对称连杆曲线的两极限位置停歇机构(图 2.2-49)尺寸关系为:

$A_0A_1 = l_2$, $A_0B_0 = l_1$, $AB = BB_0 = CB = l_3$, $\angle CBA = \beta$, $CD = l_5$

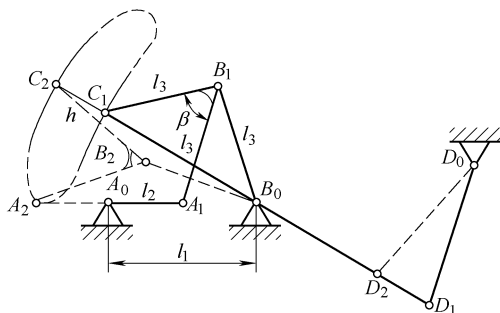


图 2.2-49 两极限位置停歇机构设计

描述点 C 位于以 B 为心, l_3 为半径的圆周上, 当 A_0A 与 A_0B_0 处于重叠或延伸共线位置时, B_0 与 C 的连线即连杆曲线的对称轴, 连杆曲线上近似圆弧段的曲率中心 D_1 、 D_2 在此线上。

应用线图(图 2.2-50)可选取适宜的机构尺寸。

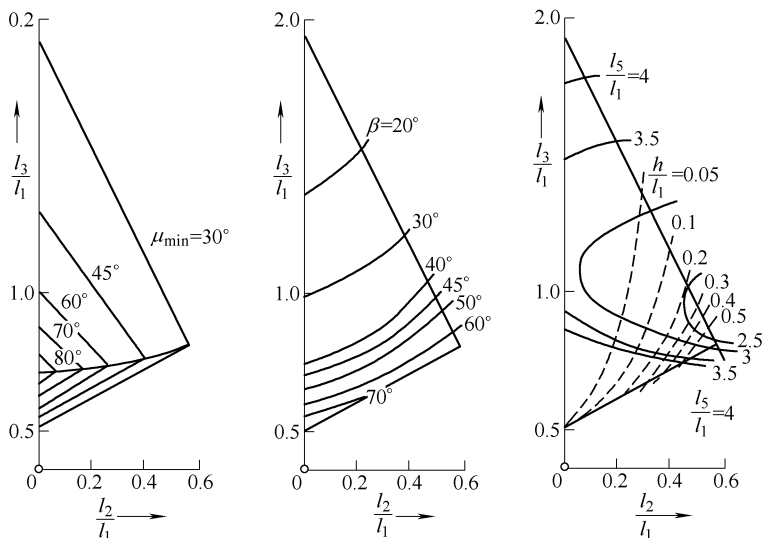


图 2.2-50 两极限位置停歇机构设计线图

例 2.2-6 设计一两极限位置停歇的连杆机构。

解 由图 2.2-50 选取 $l_2/l_1 = 0.5$, $l_3/l_1 = 0.8$, 同时可查得 $\mu_{\min} = 38^\circ$, $\beta = 55^\circ$, $l_5/l_1 = 3$, $h/l_1 = 0.45$

如实际机架长度 $l_{A_0B_0} = 100\text{mm}$, 则得 $l_{A_0A} = k l_2 = 50\text{mm}$, $l_{AB} = l_{BB_0} = l_{BC} = l_3 k = 80\text{mm}$, $l_{CD} = l_5 k = 300\text{mm}$, 行程 $H = h k = 45\text{mm}$, 机构如图 2.2-49, 停歇区间 φ_{R1} , φ_{R2} 只能由分析得出。

3.5.3 在往复行程中间有停歇的机构

这种函数机构的设计可借助于“8”字形连杆曲线, 因此应从设计能产生“8”字形连杆曲线的曲柄摇

杆机构开始。这可利用已有的连杆曲线图谱或计算机搜索实现。

图 2.2-51a 所示四杆机构 A_0ABB_0 连杆上 C 点描出“8”字形连杆曲线。选其上 $C_3 \sim C_4$ 近似圆弧段, 求出其曲率半径 $\rho = l_{CD}$, 串接 RRR 杆组 CDD_0 , 得六杆机构。当曲柄转角为 φ_R 时, 从动件 DD_0 近似停歇, 传动函数如图 2.2-51a。

亦可利用“8”字形连杆曲线中的近似直线段, 附加 RPR 杆组形成行程中间停歇的函数机构, 如图 2.2-51b。

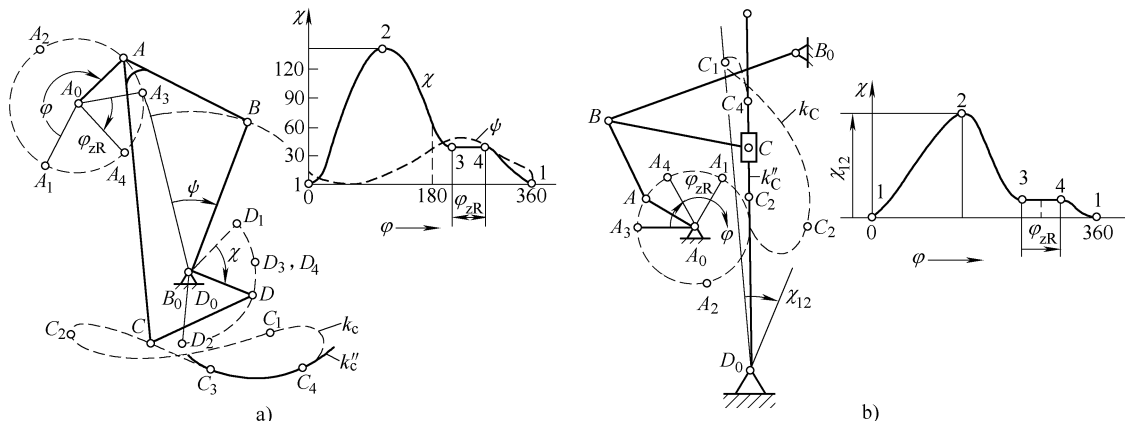


图 2.2-51 行程中间停歇机构

4 轨迹机构的设计

平面四杆机构的轨迹综合是设计连杆上一点能实现某一已知轨迹的平面四杆机构。

轨迹机构的设计方法一般有实验法、查阅连杆曲线图谱、按轨迹上若干点位用插值逼近法进行设计等。

在多数情况下, 先利用连杆曲线图谱、实验法或几何作图法确定机构参数, 当要求较高的设计精度时, 再用解析法精化部分参数。

4.1 按连杆曲线与给定曲线近似地重合设计平面四杆机构^[1]

按给定轨迹设计平面四杆机构, 就是使连杆上一点 M 的轨迹(称连杆曲线), 在某一区段上或是在其整个曲线长度上, 逼近于给定的曲线 $m-m$, 求出此四杆机构的各有关参数。

图 2.2-52 所示的平面四杆机构, 其位于直角坐标系 xoy 中的连杆曲线形态受九个机构参数的影响。其中包括各构件的长度 a 、 b 、 c 、 d , 机架相对于坐标的位置参数 (A_x, A_y, η) 以及 M 点在连杆上的位置参数 (k, β) 。

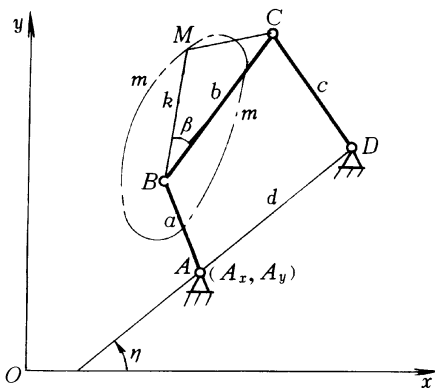


图 2.2-52 实现轨迹的四杆机构

4.1.1 铰链四杆机构设计

由图 2.2-53 可得铰链四杆机构的连杆曲线方程式

$$\frac{b \cos \beta}{k} (N^2 - a^2 - k^2) + \frac{b \sin \beta}{k} U - \frac{d}{k} V \{ [b \sin(\beta + \eta) - k \sin \eta] (M_x - A_x) - [b \cos(\beta + \eta) - k \cos \eta] (M_y - A_y) \} - \frac{d}{k} W \{ [b \cos(\beta + \eta) - k \cos \eta] (M_x - A_x) +$$

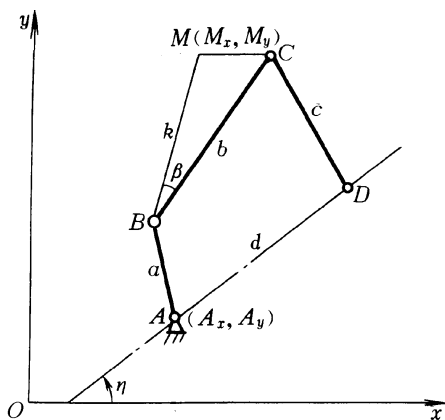


图 2.2-53 解析法实现轨迹的铰链四杆机构

$$[b\sin(\beta + \eta) - k\sin\eta](M_y - A_y) \} - \\ 2d[(M_x - A_x)\cos\eta + (M_y - A_y)\sin\eta] + \\ a^2 + b^2 + d^2 - c^2 = 0$$

式中, $N^2 = (M_x - A_x)^2 - (M_y - A_y)^2$

$$U = \pm \sqrt{4k^2 N^2 - (N^2 + k^2 - a^2)}$$

(两个符号对应于连杆曲线的两个支)

$$V = U/N^2$$

$$W = \frac{N^2 + k^2 - a^2}{N^2}$$

上式连杆曲线方程式中有 9 个待定尺度参数: a 、 b 、 c 、 d 、 β 、 k 、 A_x 、 A_y 、 η 。所以, 如在给定轨迹中选取 9 组坐标值(m_{xi} , m_{yi}) 分别代入上式, 得到 9 个方程式, 解此方程组可求得机构的 9 个待定尺度参数。

采用插值逼近法确定 9 个结点坐标值, 可以使连杆曲线与给定轨迹曲线更为接近。

若取 $A_x = A_y = 0$, $\eta = 0^\circ$, 则待定尺度参数减为 6 个。

4.1.2 曲柄滑块机构设计

由图 2.2-54 可得曲柄滑块机构的连杆曲线方程式

$$(M_x - A_x)^2 + (M_y - A_y)^2 + k^2 + b^2 - 2kb\cos\beta -$$

$$a^2 + \frac{2}{k} \{ (k - b\cos\beta) [(M_x - A_x)\sin\eta - \\ (M_y - A_y)\cos\eta] + b\sin\beta [(M_x - A_x)\cos\eta + \\ (M_y - A_y)\sin\eta] \} [e - (M_x - A_x)\sin\eta + \\ (M_y - A_y)\cos\eta] \pm \frac{2}{k} \{ (k - b\cos\beta) [(M_x - \\ A_x)\cos\eta + (M_y - A_y)\sin\eta] - b\sin\beta [(M_x - \\ A_x)\sin\eta - (M_y - A_y)\cos\eta] \} \times \\ \sqrt{k^2 - [e - (M_x - A_x)\sin\eta + (M_y - A_y)\cos\eta]^2} = 0$$

式中, 正、负号对应于连杆曲线的两个支。

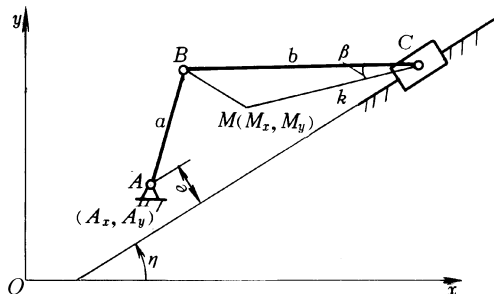


图 2.2-54 解析法实现轨迹的曲柄滑块机构

上述方程式中有 8 个待定尺度参数: a 、 b 、 e 、 k 、 β 、 A_x 、 A_y 、 η 。所以, 如在给定轨迹中选取 8 组坐标值(m_{xi} , m_{yi}) 分别代入上式, 得到 8 个方程式, 解此方程组即可求出机构的 8 个待定参数。

采用插值逼近法确定 8 个结点坐标值, 可以使连杆曲线与给定轨迹曲线更为接近。

若取 $A_x = A_y = 0$, $\eta = 0^\circ$, 则待定尺度参数减为 5 个。

4.2 利用连杆曲线设计输出杆近似停歇的平面四杆机构

利用连杆曲线上某些近似圆弧和近似直线段, 可以使运动输出构件作近似停歇, 从而完成某些工艺动作要求。利用连杆曲线设计输出杆作近似停歇运动的平面连杆机构示例见表 2.2-9。

表 2.2-9 利用连杆曲线设计输出杆近似停歇运动的平面连杆机构

利用连杆曲线近似圆弧段实现输出杆近似停歇	曲柄摇杆机构连杆上 M 点的轨迹为 δ, 其中 $\widehat{M_1 M_2 M_3}$ 为近似圆弧, 其圆心为 E, 半径为 $M_1 E$。在 M_1 与 E 点处将构件 5 分别与连杆 2 和输出杆 6 铰接。显然, M 点经过 $\widehat{M_1 M_2 M_3}$ 圆弧时, 构件 5 将绕 E 点转动, 输出杆 6 相应地处于近似停歇的位置	
----------------------	---	--

(续)

利用连杆曲线近似圆弧段实现输出杆近似停歇	曲柄滑块机构连杆上 M 点的轨迹为 β, 其中 $\overline{M_1M_2M_3}$ 为近似圆弧, 其圆心为 D, 半径为 M_1D。在 M_1 与 D 点处将构件 5 分别与连杆 2 和输出杆 6 铰接。显然, 当 M 点经过 $\overline{M_1M_2M_3}$ 圆弧时, 构件 5 将绕 D 点转动。输出杆 6 相应地处于近似停歇的位置	
利用连杆曲线近似直线段实现输出杆近似停歇	曲柄摇杆机构连杆上 M 点的轨迹为 δ, 其中 $\overline{M_1M_2M_3}$ 为近似直线段, 将构件 5 分别与连杆 2 上 M 点铰接, 而与过 $\overline{M_1M_2M_3}$ 直线段的输出杆 6 组成移动副。显然, 当 M 点经过 $\overline{M_1M_2M_3}$ 近似直线段时, 输出杆 6 将处于近似停歇的位置	
	曲柄滑块机构连杆上 D 点的轨迹为 β, 其中 $\overline{D_1D_2D_3}$ 为近似直线段。将构件 5 分别与连杆 2 上 D 点铰接, 而与过 $\overline{D_1D_2D_3}$ 直线段的输出杆 6 组成移动副。显然, 当 M 点经过 $\overline{D_1D_2D_3}$ 近似直线段时, 输出杆 6 相应地处于近似停歇的位置	

4.3 直线轨迹机构设计

4.3.1 精确的直线轨迹机构

表 2.2-10 列举了连杆上点的轨迹为直线的机构类型和尺寸关系。

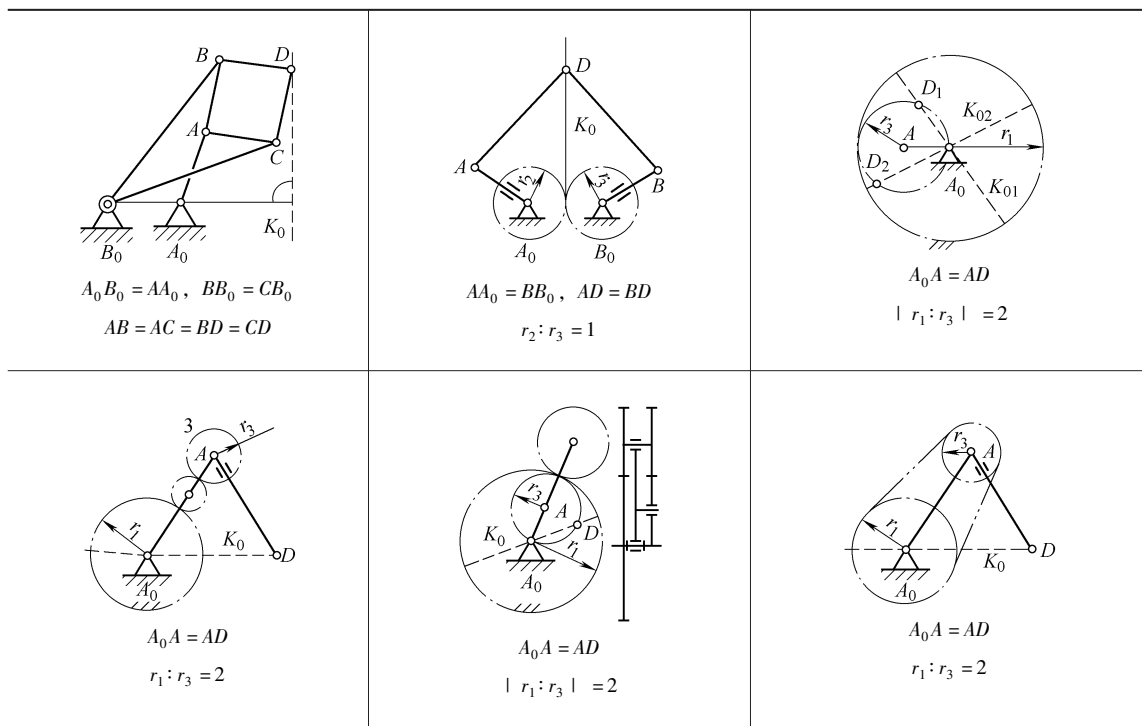
4.3.2 近似直线轨迹机构

由于结构简单, 近似直线轨迹机构的应用更为广泛, 虽然可描出带有近似直线段连杆曲线的机构不胜枚举, 但实际应用较多的是如下类型的几种机构。

表 2.2-10 D 点轨迹为精确直线的机构

$AA_0 = AD = AB$	$A_0B_0 = BB_0, HB_0 = A_0B_0 \cdot K$ $AB = AA_0 = A_0B_0 \cdot \sqrt{1-1/K}$ $DF = FA_0 = A_0B_0 \cdot \sqrt{K(K-1)}$ $DH = A_0B_0 \cdot (K-1), K > 1$	$A_0B_0 = AA_0, BE = CF$ $BC = EF, BA = ED$ $EB/CB = B_0B/AB$
------------------------------------	---	---

(续)



(1) “λ”型机构(图 2.2-55)

“λ”型机构尺寸首先要满足 $AB = BB_0 = BC = l$, ABC 共直线, 因而它是对称连杆曲线机构的特例。按切贝舍夫最优逼近理论设计尺寸 a/d 及 l/d , 可使连杆曲线在逼近区域内与直线六次相交而近似一直线, 因而这种“λ”型机构又称作切贝舍夫直线机构。

利用图 2.2-56, 可按预期近似直线段的长度 S , 最大偏差 Δ , 求得机构尺寸。作法如下:

① 根据给定的 S 、 Δ 求出 $P = \frac{\Delta}{S}$;

② 由图 2.2-56 底线上对应于 P 的点 c 作垂线交曲线 ρ 于 d 点, 由 d 作水平线交 ρ 标尺于 f 点, 交 Λ 曲线于 g 点, 由 g 作垂线交 Λ 标尺于 h 由 f 和 h 点读得 ρ 及 Λ 值;

③ 机构尺寸为: $d = S/\Lambda$ $a = \rho d$ $l = \frac{1}{2}(3 - \rho)d$;

④ 对应于近似直线段轨迹的曲柄转角 $\theta_s = 2\arccos(3 - 8\rho + 3\rho^2)$;

(2) 等腰梯形近似直线轨迹机构

由罗伯茨一切贝舍夫定理求出“λ”机构的同源机构(图 2.2-57 中 $A_0A'B'B'_0$) 即等腰梯形机构的一个特例。等腰梯形近似直线机构又称罗伯茨直线机构。

利用图 2.2-58, 参照图 2.2-59 中坐标系的规定

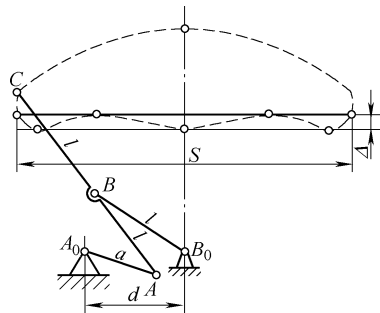


图 2.2-55 λ 直线机构

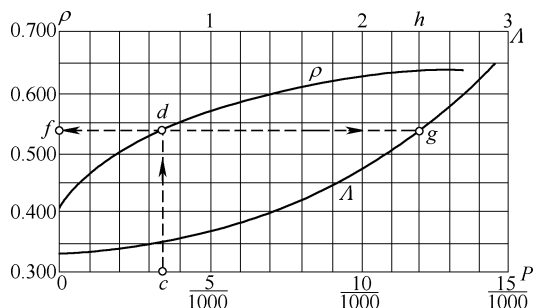


图 2.2-56 设计 λ 直线机构线图

可初步选择这种机构的尺寸。

图 2.2-59, 是以连杆长 c 为基础, $\frac{X_{B_0}}{c}$ 、 $\frac{Y_A}{c}$ 和 $\frac{\eta_D}{c}$ 三个参数中选定一个可确定其余两个, 所得到的机

构尺寸再以方程:

$$\frac{Y_A}{c} = \frac{\eta_D}{c} \left(1 + 6 \frac{X_{B_0}}{c} \right) \pm 2 \sqrt{\frac{X_{B_0}}{c} \left(1 + 2 \frac{X_{B_0}}{c} \right) \left[1 + 4 \left(\frac{\eta_D}{c} \right)^2 \right]}$$

予以精确化。可保证近似直线段长度 $s \approx 2c$, 近似直线段中与直线的最大偏差 $\Delta y \approx 0.005c$ 。

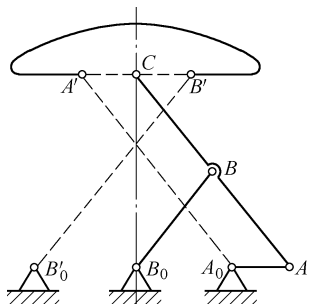


图 2.2-57 λ 机构与罗伯茨机构

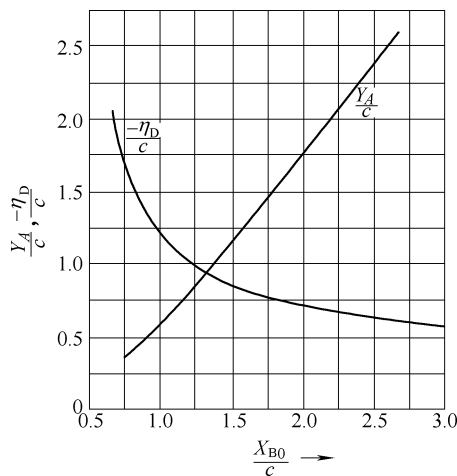


图 2.2-58 罗伯茨机构设计线图

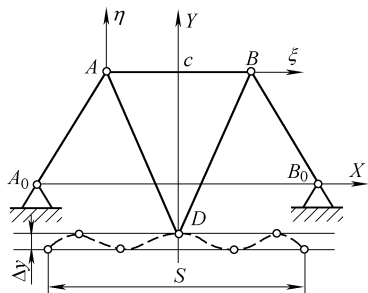


图 2.2-59 罗伯茨机构设计的坐标规定

由罗伯茨一切贝舍夫定理可求得其同源机构 $A_0A'CC_0D$, 可描出同样的带有近似直线段的连杆曲线, 这个机构的尺寸:

$$A_0A' = \frac{c}{2} \sqrt{1 + 4 \left(\frac{\eta_D}{c} \right)^2}$$

$$A'D = A_0A = \sqrt{Y_A^2 + \left(X_{B_0} - \frac{c}{2} \right)^2}$$

$$A_0C_0 = X_{B_0} \sqrt{1 + 4 \left(\frac{\eta_D}{c} \right)^2}$$

$$DC = CC_0 = A'C = \frac{A'D}{2} \sqrt{1 + 4 \left(\frac{\eta_D}{c} \right)^2}$$

见图 2.2-60。

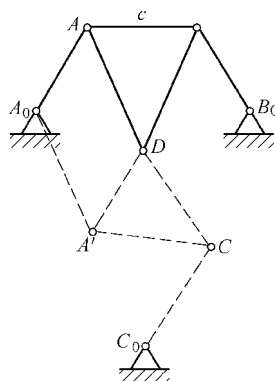


图 2.2-60 罗伯茨机构的同源机构

(3) 曲柄滑块近似直线轨迹机构

曲柄滑块机构的连杆曲线为四次代数曲线, 它与直线至多有四个实交点, 可以用四点插值设计近似值线机构。

1) 图解方法

① 设预期连杆曲线上近似直线段长度为 S , 在 S 上取四个点 D_1, D_2, D_3, D_4 , 其布置对称于 S 的中垂线(图 2.2-61), S 的中垂线即滑块导路。

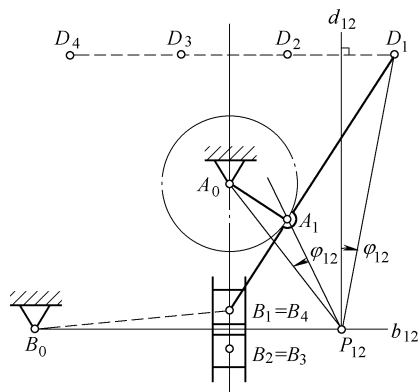


图 2.2-61 曲柄滑块直线机构

② 取 $DB > \frac{1}{2} D_1D_4$, 得 $B_1 \equiv B_4, B_2 \equiv B_3$, 作 D_1D_2 中垂线与 B_1B_2 的中垂线相交于 P_{12} , $\angle D_1P_{12}d_{12} = \varphi_{12}$ 。

③ 在滑块导路上适当选取 A_0 , 作 $\angle A_1 P_{12} A_0 = \angle D_1 P_{12} d_{12} = \varphi_{12}$, 即决定了 A 点在 DB 杆上位置。

$A_0 A_1 B_1$ 即为所设计机构的第一个位置。

如果在 $B_1 B_2$ 中垂线 b_{12} 上适当选一点 B_0 , 用 $B_0 B$ 杆代替滑块, 只要 $B_0 B$ 足够长, D 点轨迹仍近于直线。 $A_0 A B B_0 D$ 这就是著名的埃文思近似直线机构, 其所有运动副都是转动副, 简单可靠。

应用罗伯茨—切贝舍夫定理求得埃文思机构的同源机构 $B_0 B' C C_0$ (图 2.2-62) 即瓦特近似直线机构, 二者尺寸间有如下关系:

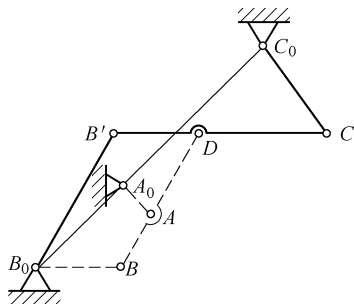


图 2.2-62 埃文思与瓦特机构

- ① $B_0 B' D B$ 为平行四边形。
- ② B_0, A_0, C_0 在同一直线上。
- ③ $\frac{A_0 B_0}{A_0 C_0} = \frac{AB}{AD} = \frac{DB'}{CD}$ 。

2) 线图辅助计算方法 如果要求设计有较高的精度, 则宜采用计算方法。需要确定的尺寸参数为: $a = A_0 A$, $b = AB$, $e = AD$, h 及偏差 Δx (图 2.2-63)。通常, S 及 Δx 为设计要求的已知参数。可按如下顺序进行设计。

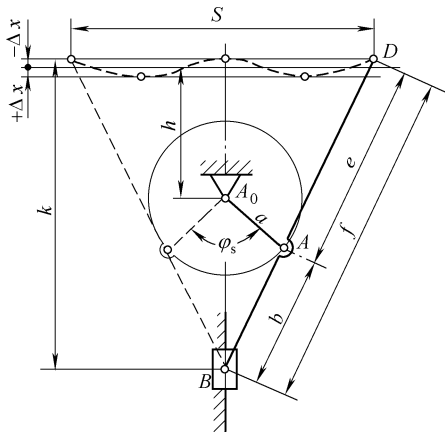


图 2.2-63 曲柄滑块直线导引机构设计参数

- ① 设定尺寸 f ;
- ② 按 $\frac{f}{S}$ 及要求精度 $\frac{\Delta x}{S}$, 由图 2.2-64 查出 $\frac{m}{S}$ 。

图 2.2-64 分 I, II, III, IV 四个域, 对应于表 2.2-11 中四种结构方案, 在以下计算中, 尺寸 a, b, e 的符号应按表 2.2-11 中相应规定选取。

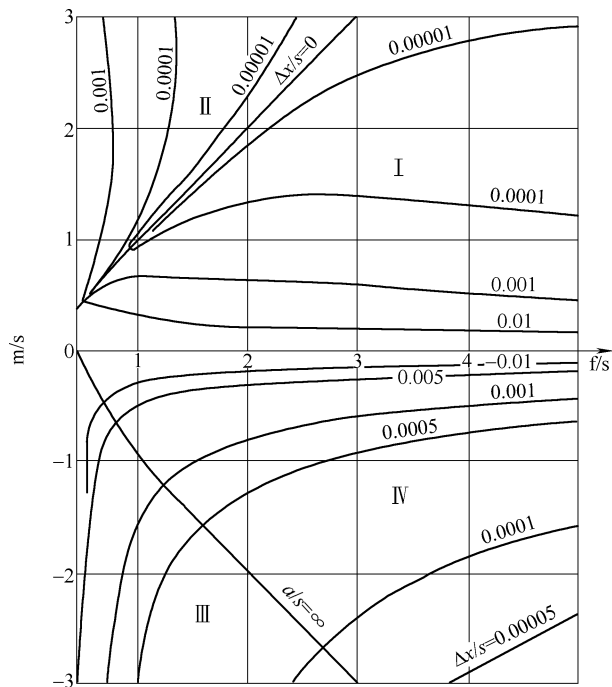


图 2.2-64 曲柄滑块直线导引机构设计辅助线图

表 2.2-11 曲柄滑块直线导引机构不同方案及参数符号规定

方案	I	II	III	IV
简图				
符号规定				
a	+	+	-	+
b	+	+	+	-
e	+	+	-	+

③ 依次计算

$$f = \frac{f}{S} S \quad m = \frac{m}{S} S \quad k = \sqrt{f^2 - \left(\frac{S}{2}\right)^2}$$

$$\Delta x = (f - m) \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{m(k - f + m)}}{|2m - f + k|} \right)$$

$$h = f - m - \Delta x$$

$$b = \frac{f}{2} \left(1 - \frac{f - m}{k + m} \right)$$

$$e = f - b \quad a = m - b$$

$$S = \frac{4}{e - b} \sqrt{e(b^2 - ae)(a - e)}$$

对应于近似直线轨迹曲柄转角:

$$\varphi_s = 2 \arcsin \left| \frac{bS}{2af} \right|$$

例 2.2-7 设计一个带动线盒抛光的机构, 支持线盒的构件需转过 $\delta = 51.5^\circ$, 抛光过程需直线移动 $S = 50\text{mm}$ (线盒上 D 点), $2\Delta x < 0.3\text{mm}$ 。

$$\text{解 由 } \frac{f}{S} = \frac{1}{2 \sin \frac{\delta}{2}} = \frac{1}{2 \sin \frac{51.5^\circ}{2}} = 1.151$$

$$\frac{\Delta x}{S} = \frac{0.15}{50} = 0.003$$

由图 2.2-64 查得 $\frac{m}{S} = -0.72$ (选取方案 IV)

计算 $f = 57.55\text{mm} \quad m = -36\text{mm}$

$k = 51.84\text{mm} \quad h = 93.42\text{mm} \quad b = -141.14\text{mm}$

$e = 198.69\text{mm} \quad a = 105.14\text{mm} \quad S = 49.97\text{mm}$

$\varphi_s = 71.29^\circ \quad \Delta x = 0.13\text{mm}$

可利用 B_0B 杆替代滑块, 机构图如图 2.2-65。

(4) 曲柄导杆近似直线机构

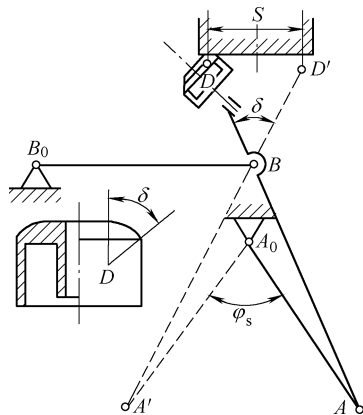


图 2.2-65 例 2.2-7 的解

曲柄导杆机构的连杆曲线为六次代数曲线, 应用切贝舍夫最优逼近理论可以使它与一直线六次相交且偏差控制在 $\pm \frac{\Delta}{2}$ 之内。这种设计可利用图 2.2-66 进行。

① 按要求近似直线段长度 S 及与直线最大偏差 $\frac{\Delta}{2}$, 计算 $P = \frac{\Delta}{S}$;

② 由图 2.2-66b 的下标尺查得 $\frac{\Delta}{S}$ 值, 由此作垂线交 P 曲线于 d , 由 d 作水平线在 k 标尺上读 k , 并与 Λ 曲线交于 g , 由 g 作垂线于 Λ 标尺上读 Λ 值。

③ 计算:

$$\rho = \frac{2 - k^2}{2}$$

$$\lambda = \frac{(2+k)^2}{2}$$

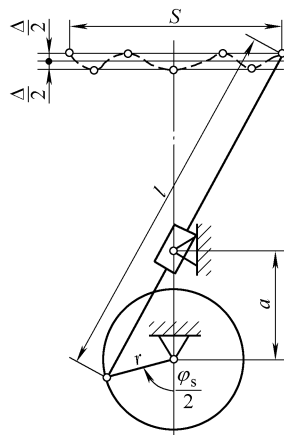
则 $a = \frac{S}{\Lambda}$ $r = \rho a$ $l = \lambda a$

④ 计算对应近似直线段曲柄转角 φ_s

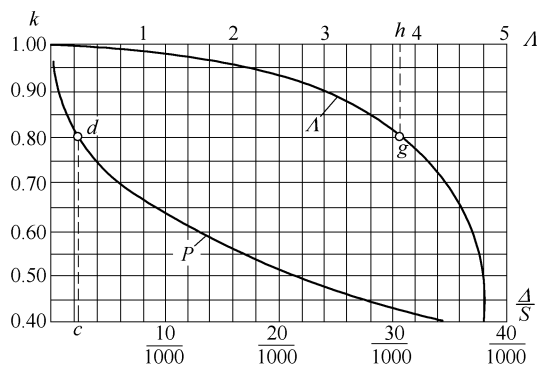
$$\varphi_s = 2 \arccos \left(\frac{\tau_k^2 - 1 - \rho^2}{2\rho} \right)$$

此中

$$\tau_k = \frac{1}{4} (2+k)(2+3k - \sqrt{(2-k)(2+7k)})$$



a)



b)

图 2.2-66 导杆近似直线机构设计

a) 尺寸参数 b) 辅助线图

第3章 凸轮机构设计

凸轮机构是由凸轮和从动件组成的高副机构，通常它将连续转动变换为往复运动，其特点是对从动件的运动规律可提出各种要求，尤其是从动件在工艺动作一个周期之内带有间停而间停的相位、时间又由工艺过程所决定的情况下，凸轮机构应是首选机构。

由于凸轮与从动件之间是高副连接，不宜用于重载，高速运转的凸轮机构需要从动力学观点设计。

1 常用凸轮机构的类型

图 2.3-1a、b、c、d 所示为直动从动件盘形凸轮机构。从动件与凸轮廓线接触部位有尖点（图 a）滚子（图 b）及平底（图 c）三种形式，尖点从动件可响应运动规律的细微变化，但易磨损，仅用于低速轻载。滚子从动件最常用，平底从动件受力情况好，易润滑，但要求凸轮应为全凸形状。

尖点和滚子从动件可设计成对心（图 a）及偏置（图 d）形式。偏置从动件可使推程压力角减小以改善凸轮机构的受力状况。为此，应使 $e \times v$ 与凸轮角速度 ω 的方向相同。 v 为从动件推程速度方向。

图 2.3-1e 为摆动从动件盘形凸轮机构。

图 2.3-1f 为圆柱凸轮机构，从动件可往复移动或摆动。

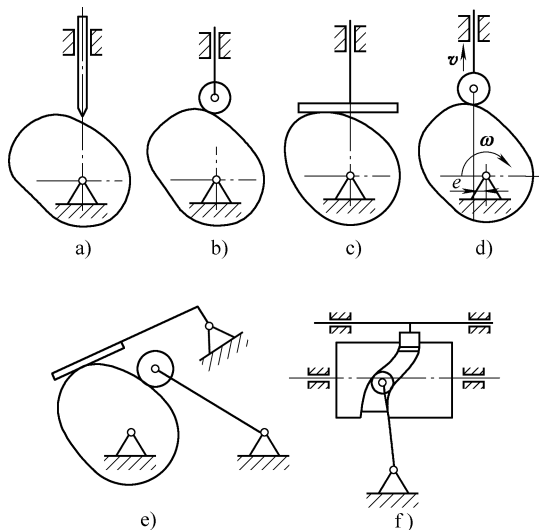


图 2.3-1 常用凸轮机构类型

为了保证从动件与凸轮廓线可靠地接触，常用图 2.3-2 所示的锁合方式。

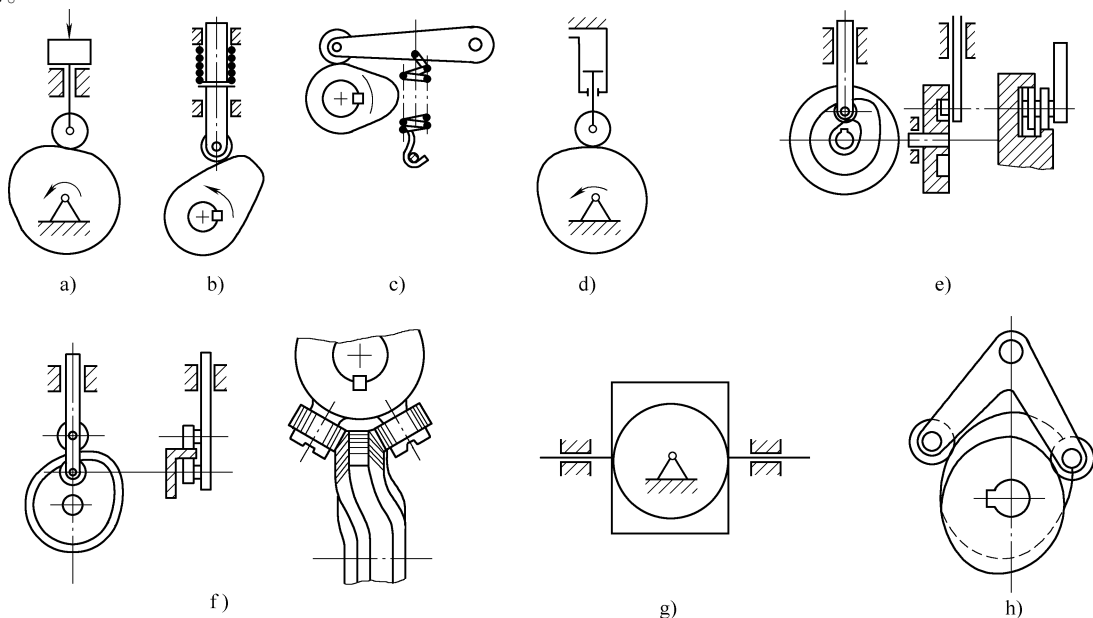


图 2.3-2 凸轮机构的锁合方式

力锁合方式结构简单(图 2.3-2a、b、c、d),但机构中构件和支承载荷增大。

形锁合构造较复杂,槽凸轮尺寸较大(图 2.3-2e)有间隙不宜用于高速,其变形为凸缘凸轮,可消除间隙,但结构复杂(图 2.3-2f),等径、等宽凸轮(图 2.3-2g)从运动件的运动规律受限,共轭凸轮运转可靠但设计、制造较繁(图 2.3-2h)。

2 从动件的运动规律

从动件的运动规律是设计凸轮廓线的依据,它可能是由工艺过程所完全确定的,例如绕线机导线装置中应用的凸轮机构,要求从动件在规定的行程内往复匀速运动,设计这种凸轮机构不存在所谓“从动件运动规律选择”问题,可直接按给定的运动参数设计凸轮廓线。大多数情况下,工艺过程只确定了凸轮机构从动件的动作行程、时间及相应。例如图 2.3-3 所示典型凸轮机构从动件的运动规律, h 为从动件的行程; Φ 为推程角,即凸轮转 Φ 角从动件由最低位置上升 h 距离; Φ_s 为远休止角,凸轮转过 Φ 角后继续转动 Φ_s 角过程中从动件停止不动; Φ' 为回程角, $2\pi - \Phi - \Phi_s - \Phi'$ 为近休止角。一般情况下, h 、 Φ 、 Φ_s 及 Φ' 是设计的已知条件,而在推程和回程中从动件具体的运动规律需要由设计者确定,即所谓“从动件运动规律选择”问题。合理的从动件运动规律可保证从动件运动平稳,起、停瞬时无冲击,惯性载荷小,这在中、高速运转条件下的凸轮机构设计中尤为重要。但应注意:只有能保证必要的制造精度的前提下,这种选择才有实际意义。

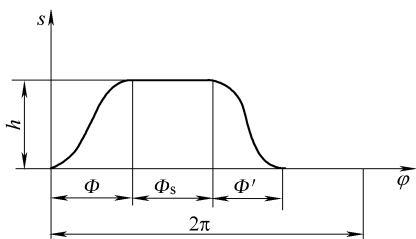


图 2.3-3 典型的凸轮机构从动件运动规律

2.1 无因次运动参量

已知直动从动件推程的位移、速度、加速度和跃度都是时间的函数,即:

$$\text{位移 } s = s(t) \text{ mm}$$

$$\text{速度 } v = v(t) = \frac{ds}{dt} \text{ mm/s}$$

$$\text{加速度 } a = a(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} \text{ mm/s}^2$$

$$\text{跃度 } j = j(t) = \frac{da}{dt} = \frac{d^3s}{dt^3} \text{ mm/s}^3$$

如图 2.3-4, 统称为从动件的运动规律或运动曲线, 令 $T = t/t_h$ [t —时间, t_h —升程(推程)时间]。

$$S = s/h$$

则当 $t = t_h$ 时 $T = 1$, $S = 1$ 。 T 和 S 分别称无因次时间和位移, 再令 V , A , J 分别为无因次速度、加速度和跃度, 则有

$$S = S(T)$$

$$V = V(T) = \frac{dS}{dT}$$

$$A = A(T) = \frac{dV}{dT} = \frac{d^2S}{dT^2}$$

$$J = J(T) = \frac{dA}{dT} = \frac{d^3S}{dT^3}$$

分析从动件不同运动规律的特性, 应用无因次参量更便于相互比较说明本质问题。无因次参量与实际参量的关系为

$$s = hS$$

$$v = \frac{h}{t_h} V$$

$$a = \frac{h}{t_h^2} A$$

$$j = \frac{h}{t_h^3} J$$

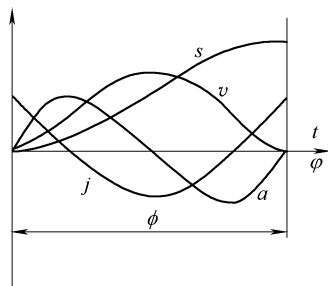


图 2.3-4 凸轮从动件运动曲线

对于摆动从动件, 只要将 s 换以 Ψ , h 换以 Ψ_h , 以上诸式同样适用。

从动件回程运动规律的表达式可通过适当修正推程运动规律表达式得出。用 $h - s$, $1 - S$ 分别替换推程表达式中的 s 和 S , 在 v , a , j 和 V , A , J 表达式中冠以负号, 即得回程运动规律表达式。以

正弦加速度运动规律为例

$$\text{推程} \quad s = h \left(\frac{t}{t_h} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi t}{t_h} \right)$$

$$v = \frac{h}{t_h} \left(1 - \cos \frac{2\pi t}{t_h} \right)$$

$$a = \frac{2\pi h}{t_h^2} \sin \frac{2\pi t}{t_h}$$

$$j = \frac{4\pi^2 h}{t_h^3} \cos \frac{2\pi t}{t_h}$$

$$S = T - \frac{1}{2\pi} \sin 2\pi T$$

$$V = 1 - \cos 2\pi T$$

$$A = 2\pi \sin 2\pi T$$

$$J = 4\pi^2 \cos 2\pi T$$

$$\text{回程} \quad s = h \left(1 - \frac{t}{t_h} + \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi t}{t_h} \right)$$

$$v = -\frac{h}{t_h} \left(1 - \cos \frac{2\pi t}{t_h} \right)$$

$$a = -\frac{2\pi h}{t_h^2} \sin \frac{2\pi t}{t_h}$$

$$j = -\frac{4\pi^2 h}{t_h^3} \cos \frac{2\pi t}{t_h}$$

$$S = 1 - T + \frac{1}{2\pi} \sin 2\pi T$$

$$V = \cos 2\pi T - 1$$

$$A = -2\pi \sin 2\pi T$$

$$J = -4\pi^2 \cos 2\pi T$$

2.2 荐用从动件运动规律及其选用原则

凸轮机构从动件一个周期之内的运动状况可分为三类：以 MT 表示类型代号：

$MT=0$ 无休止型

$MT=1$ 一端休止型

$MT=2$ 两端休止型

如图 2.3-5 所示。

在一个推程（或回程）中从动件的运动规律可有多种，亦可分为三类以 MC 表示类型代号：

$MC=0$ $S=0$ 时 $V=0$ $A \neq 0$

$S=1$ 时 $V=0$ $A \neq 0$

$MC=1$ $S=0$ 时 $V=0$ $A=0$

$S=1$ 时 $V=0$ $A \neq 0$

$MC=2$ $S=0$ 时 $V=0$ $A=0$

$S=1$ 时 $V=0$ $A=0$

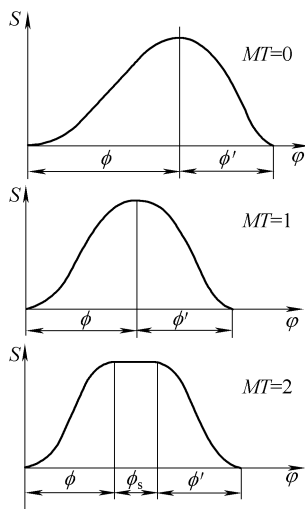


图 2.3-5 凸轮从动件运动规律类型

合理的设计应使 $MC = MT$ ，虽然亦可以选用 $MC > MT$ 的运动规律，但这样选择的结果会使从动件的加速度不必要地增大，惯性载荷增加；如果 $MC < MT$ ，则会有柔性冲击，这是应予避免的。

针对每种类型的运动规律，已有多种运动曲线可供选用。其中常为设计者所采用的部分运动曲线列于表 2.3-1。同时给出了各曲线的特性值。

V_m ——最大速度。它与动量 mv 有关，当从动件的惯性质量较大时，应选小的 V_m 值。 V_m 与压力角 α 有关，选 V_m 小的运动曲线在同样许用压力角条件下，凸轮尺寸可小。 V_m 小也可减小驱动凸轮的转矩。

A_m ——最大加速度。下标 a 、 d 分别表示加速段和减速段。它与惯性力有关，在高速运转条件下首先应力求减小 A_m 值。

J_m ——最大跃度。它与凸轮机构振动状况有关，高速凸轮应选 J_m 小的运动曲线。

$(A \times V)_m$ ，它与凸轮轴上惯性扭矩有关， $(A \times V)_m$ 小的运动曲线，驱动凸轮所需扭矩也小。

设计凸轮机构时要根据用途、工况选择从动件的运动曲线。表 2.3-1 中给出各种运动曲线的特性值 (V_m , A_{ma} , A_{md} , J_m , $(A \times V)_m$) 可供选用时比较。不存在一种各个特性值都很小的理想运动曲线，下述意见可供选用运动曲线时参考。

1) 应避免由于速度和加速度不连续而产生的刚性和柔性冲击。一端休止型和两端休止型的运动状况不能选用 $MC=0$ 的曲线；两端休止型运动状况不能选用 $MC=0$, $MC=1$ 的曲线；另外，无休止型运

动状况不宜选 $MC = 1$, $MC = 2$ 的曲线, 一端休止形运动状况不宜选择 $MC = 2$ 的曲线, 否则会无谓的增大加速度, 这一点常为设计者所忽视。

2) 低速、惯性载荷大的情况下, 首先考虑 V_m 值小的曲线, 其次可按 A_m , $(A \times V)_m$ 及 J_m 的顺序

考虑。

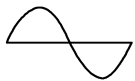
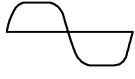
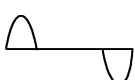
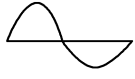
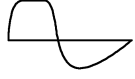
3) 高速、惯性载荷小的情况下, 应首先考虑 A_m 值较小的曲线, 其次考虑 V_m , J_m 及 $(A \times V)_m$ 。

4) 一般情况下, 宜选用各项指标较均衡的曲线。

表 2. 3-1 可供选用的凸轮从动件运动曲线

$MC =$	编号	曲线名称	加速度图形	V_m	A_{ma} A_{md}	J_m	$(A \times V)_m$	说明
0	01	简谐运动		1. 57	$\pm 4. 93$	$\pm 15. 5$	$\pm 3. 88$	
	02	正弦加速度		1. 72	$\pm 4. 20$	$-26. 36$	$\pm 5. 07$	
	03	改进正弦加速度		1. 63	$\pm 4. 88$	$-18. 75$	$\pm 4. 30$	
	04	改进梯形		1. 84	$\pm 4. 05$	$-50. 7$	$\pm 6. 27$	
	05	改进等速		1. 22	$\pm 7. 68$	$\pm 48. 2$	$\pm 4. 69$	
	06	等加、等减速度		2. 00	$\pm 4. 00$	∞	$\pm 8. 00$	A_m 最小, 因有柔性冲击, 目前很少用
1	11	正弦加速度 $\left(m = \left \frac{A_{md}}{A_{ma}}\right = 1\right)$		1. 76	$\pm 5. 53$	$\pm 34. 7$	$+6. 32$ $-4. 86$	各特性值都比对应的 $MC = 2$ 的曲线好, 因而对于一端休止型运动要求不宜选用 $MC = 2$ 的曲线
	12	正弦加速度 $\left(m = \frac{2}{3}\right)$		1. 72	$+6. 75$ $-4. 50$	$\pm 53. 0$	$+7. 53$ $-3. 86$	
	13	改进梯形 ($m = 1$)		1. 92	$\pm 4. 44$	$\pm 55. 8$	$\pm 7. 11$	
	14	改进梯形 $\left(m = \frac{2}{3}\right)$		1. 91	$+5. 47$ $-3. 65$	± 78	$+8. 62$ $-5. 85$	
	15	改进梯形		1. 92	$+4. 68$ $-4. 22$	$\pm 58. 9$	$+7. 43$ $-6. 81$	
	16	改进正弦 ($m = 1$)		1. 65	$\pm 5. 21$	$+65. 5$ $-21. 8$	$+4. 86$ $-4. 23$	
	17	梯形摆线		1. 74	$\pm 4. 91$	$\pm 61. 7$	$+6. 86$ $-4. 26$	

(续)

MC =	编号	曲线名称	加速度图形	V_m	A_{ma} A_{md}	J_m	$(A \times V)_m$	说明
2	21	正弦加速度		2.00	± 6.28	± 39.5	± 8.16	适用于高速轻载 V_m 及 A_m 较大
	22	改进正弦加速度		1.76	± 5.53	± 69.5 -23.2	± 5.46	特性值较好, 能适应各种载荷情况
	23	改进梯形		2.00	± 4.89	± 61.4	± 8.09	A_m 值小适用于高速轻载
	24	改进等速		1.28	± 8.01	$+201.4$ -67.1	± 5.73	V_m 小, 扭矩小, 适用于低速重载, 代替等速规律, 避免冲击
	25	不对称正弦加速度 ($m = \frac{2}{3}$)		2.00	$+7.85$ -5.24	± 61.7	$+10.20$ -6.80	
	26	不对称改进梯形 ($m = \frac{2}{3}$)		2.00	$+6.11$ -4.07	± 96.0	$+10.11$ -6.74	$A_{md} < A_{ma}$ 对弹簧设计有利
	27	梯形摆线		2.18	± 6.17	± 77.5	± 10.84	

2.3 通用凸轮从动件运动曲线

表 2.3-1 中所列运动曲线都包括在通用运动曲线之中, 因而可以用一个通用的计算方法计算表 2.3-1 中所有运动曲线。

通用运动曲线的构成如图 2.3-6。

整条曲线由 7 段组成:

I、III、V、VII 段为 1/4 周期的正弦加速度曲线。

III、VI 段为等加、等减速曲线, 加速度为定值。

IV 段为等速曲线, 加速度为零。

构造此曲线的要点是加速度在全域内连续, 只要对边界值 S_0, V_0, S_7, V_7 和 $T_1, T_2, \dots, T_6$ 赋予不同的值, 即可得到不同特性的运动曲线。

通用运动曲线的计算可分两步进行。

1) 按给定的 $S_0, V_0, S_7, V_7, T_1, T_2, \dots, T_6$ 计算有关常数及加速段最大加速度 A_{ma} , 减速段最大

加速度 A_{md} 。

公式如下:

$T_7 = 1, S_7$ —给定值, 通常为 0。

$C_1 = 2(T_1 - T_0)/\pi, C_2 = T_2 - T_1,$

$C_3 = 2(T_3 - T_2)/\pi, C_4 = T_4 - T_3,$

$C_5 = 2(T_5 - T_4)/\pi, C_6 = T_6 - T_5,$

$C_7 = 2(T_7 - T_6)/\pi$

$D_1 = -C_1^2 + 0.5C_2^2 + C_3^2 + C_1(0.5\pi C_1 + C_2)$
 $+ 0.5\pi C_3(C_2 + C_1) + C_4(C_3 + C_2 + C_1)$

$D_2 = C_5^2 - 0.5C_6^2 - C_7^2 + (0.5\pi C_5 + C_6)(C_6 + C_7)$
 $+ 0.5\pi C_7^2$

$D_3 = 0.5\pi(C_1 + C_3) + C_2 + C_4$

$D_4 = 0.5\pi(C_5 + C_7) + C_6$

$D_5 = C_3 + C_2 + C_1, D_0 = C_7 + C_6 + C_5$

$A_{ma} = [S_7 - S_0 - (D_2/D_6 + D_3)V_0 - (D_4 - D_2/D_6)V_7]/(D_1 + D_2D_5/D_6)$

$$A_{md} = D_5 A_{ma} / D_6 + (V_0 - V_7) / D_6$$

$$V_1 = C_1 A_{ma} + V_0, V_2 = C_2 A_{ma} + V_1, V_3$$

$$= C_3 A_{ma} + V_2$$

$$V_m = V_3, V_4 = V_3$$

$$V_5 = -C_5 A_{md} + V_4, V_6 = -C_6 A_{md} + V_5, V_7$$

$$= -C_7 A_{md} + V_6$$

$$S_1 = -C_1^2 A_{ma} + V_1 (T_1 - T_0) + S_0$$

$$S_2 = 0.5 C_2^2 A_{ma} + C_2 V_1 + S_1$$

$$S_3 = C_3^2 A_{ma} + V_2 (T_3 - T_2) + S_2$$

$$S_4 = C_4 V_3 + S_3$$

$$S_5 = C_5^2 A_{md} + V_5 (T_5 - T_4) + S_4$$

$$S_6 = -0.5 C_6^2 A_{md} + V_5 C_6 + S_5$$

$$S_7 = -C_7^2 A_{md} + V_6 (T_7 - T_6) + S_6$$

2) 按表 2.3-2 分段计算相应的 S, V, A, J 。

按以上算法编写子程序, 按表 2.3-3 所列数据对 $T_1, T_2, \dots, T_6$ 赋值, 即可得出表 2.3-1 中的所有运动曲线。适当地调整 $T_1, T_2, \dots, T_6$ 各值, 可得到具有不同于表 2.3-1 中所列特性值的新的运动曲线。例如取 $T_1 = T_2 = 0.169, T_3 = T_4 = 0.5, T_5 = T_6 = 0.831$ 则可得特性值近于 3-4-5 多项式的运动曲线。

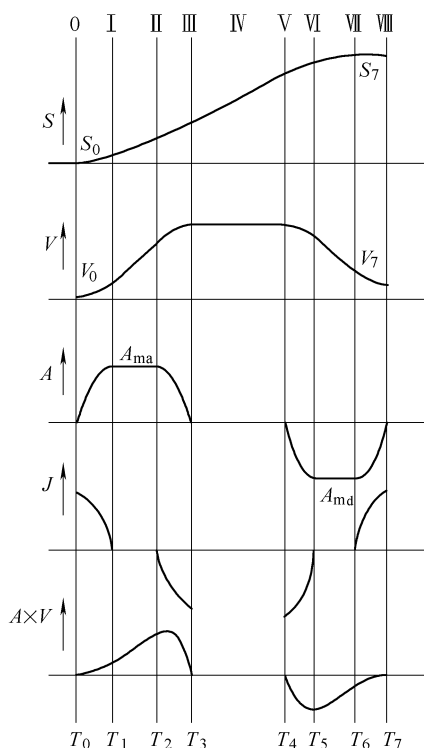


图 2.3-6 通用运动曲线的构成

表 2.3-2 通用运动曲线的计算公式

区段	P	S	V	A	J
I ($T_0 \leq T < T_1$)	$(T - T_0) / C_1$	$-C_1^2 A_{ma} \sin p + V_1 (T - T_0) + S_0$	$-C_1 A_{ma} \cos p + V_1$	$A_{ma} \sin p$	$A_{ma} \cos p / C_1$
II ($T_1 \leq T < T_2$)	$T - T_1$	$0.5 p^2 A_{ma} + V_1 p + S_1$	$p A_{ma} + V_1$	A_{ma}	0
III ($T_2 \leq T < T_3$)	$(T - T_2) / C_3$	$-C_3^2 A_{ma} (\cos p - 1) + V_2 (T - T_2) + S_2$	$C_3 A_{ma} \sin p + V_2$	$A_{ma} \cos p$	$-A_{ma} \sin p / C_3$
IV ($T_3 \leq T < T_4$)		$V_3 (T - T_3) + S_3$	V_3	0	0
V ($T_4 \leq T < T_5$)	$(T - T_4) / C_5$	$C_5^2 A_{md} \sin p + V_5 (T - T_4) + S_4$	$C_5 A_{md} \cos p + V_5$	$-A_{md} \sin p$	$-A_{md} \cos p / C_5$
VI ($T_5 \leq T < T_6$)	$T - T_5$	$0.5 p^2 A_{md} + V_5 p + S_5$	$-A_{md} p + V_5$	$-A_{md}$	0
VII ($T_6 \leq T < T_7$)	$(T - T_6) / C_7$	$C_7^2 A_{md} (\cos p - 1) + V_6 (T - T_6) + S_6$	$-C_7 A_{md} \sin p + V_6$	$-A_{md} \cos p$	$A_{md} \sin p / C_7$

表 2.3-3 通用运动曲线中 $T_1 \sim T_6$ 的值

编号	曲线名称	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	注
01	简谐运动	0	0	0.5	0.5	1	1	
02	正弦加速度	0	0.25	0.5	0.5	0.75	1	
03	改进正弦加速度	0	0.125	0.5	0.5	0.875	1	
04	改进梯形	0	0.375	0.5	0.5	0.625	1	
05	改进等速	0	0	0.25	0.75	1	1	
06	等加等减速	0	0.5	0.5	0.5	0.5	1	
11	正弦加速度	0.25	0.25	0.5	0.5	1	1	$m=1$
12	正弦加速度	0.2	0.2	0.4	0.4	1	1	$m=\frac{2}{3}$
13	改进梯形	0.125	0.398	0.523	0.523	0.646	1	$m=1$
14	改进梯形	0.107	0.319	0.426	0.426	0.569	1	$m=\frac{2}{3}$
15	改进梯形	0.125	0.375	0.5	0.5	0.625	1	
16	改进正弦	0.125	0.125	0.5	0.5	1	1	
17	梯形摆线	0.125	0.320	0.445	0.445	1	1	
21	正弦加速度	0.25	0.25	0.5	0.5	0.75	0.75	
22	改进正弦加速度	0.125	0.125	0.5	0.5	0.875	0.875	
23	改进梯形	0.125	0.375	0.5	0.5	0.625	0.875	
24	改进等速	0.0625	0.0625	0.25	0.75	0.9375	0.9375	
25	正弦加速度	0.2	0.2	0.4	0.4	0.7	0.7	$m=\frac{2}{3}$
26	改进梯形	0.1	0.3	0.4	0.4	0.55	0.85	$m=\frac{2}{3}$
27	梯形摆线	0.125	0.320	0.445	0.445	0.570	0.570	$m=1$

3 凸轮机构的压力角、凸轮的基圆半径及凸轮廓线的曲率半径

3.1 压力角

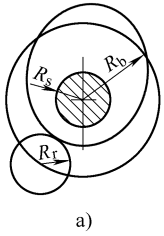
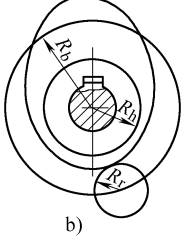
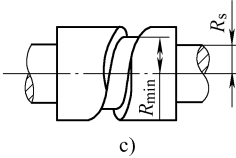
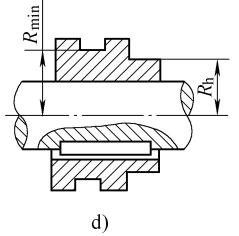
凸轮机构的压力角 α 是从动件所受驱动力的方向与力作用点速度方向的夹角。压力角是评价机构传力性能的指标， α 愈小，传力性能愈好， α 大到一定程度会发生自锁。

直动和摆动滚子从动件盘形凸轮压力角的计算公式见表 2.3-4。

从压力角计算式可见，凸轮的基圆半径 R_b 影响到压力角的大小。同样运动曲线， R_b 小则 α 大，因而设计凸轮时如果对机构外廓尺寸限制不严格，应取大一些的基圆半径，这会使凸轮机构受力情况变好。如果设计要求尽可能缩小机构尺寸，则不应使压力角过于大，为了保证传力性能不致太差，应使机构压力角的最大值 $\alpha_{\max} \leq [\alpha]$ ， $[\alpha]$ 值见表 2.3-5。

平底从动件盘形凸轮机构的压力角可以使其为零，只要使直动从动件的平底平面与导路垂直、摆动从动件的平底平面通过从动件转动中心即可，这时有最佳传力条件。

表 2.3-6 凸轮基圆半径的结构约束

类别	盘形凸轮		圆柱凸轮	
	凸轮与轴一体	凸轮装在轴上	凸轮与轴一体	凸轮装在轴上
简图				
公式	$R_b \geq R_s + R_r + (2 \sim 5)$	$R_b \geq R_h + R_r + (2 \sim 5)$	$R_{\min} \geq R_s + (2 \sim 5)$	$R_{\min} \geq R_h + (2 \sim 5)$
说明	R_s —凸轮轴半径, R_h —凸轮轮毂半径, R_r —滚子半径, $R_{\min}$ —圆柱凸轮最小半径			

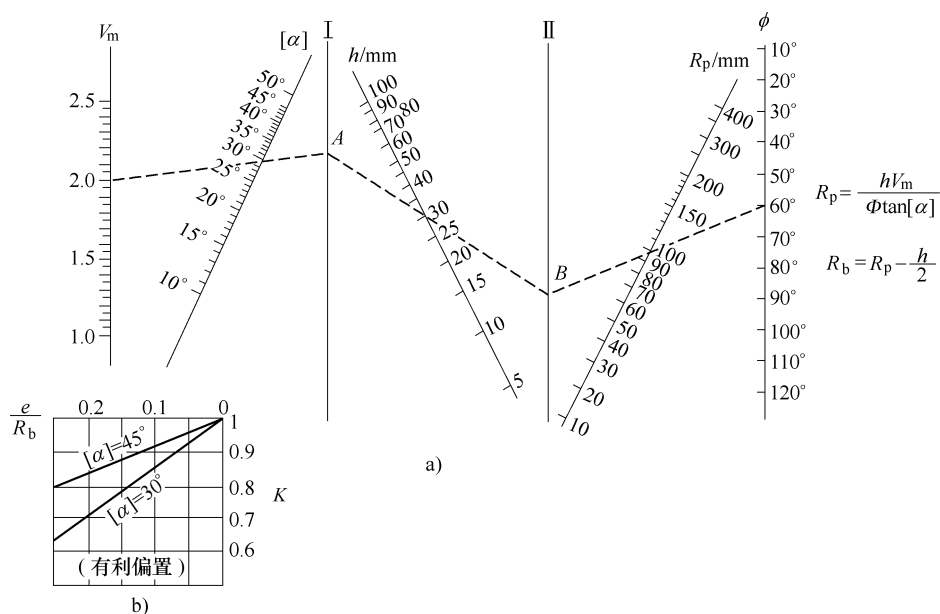


图 2.3-7 确定凸轮基圆半径线图

所以 $R_b = 0.83 \times 85 = 71\text{mm}$

例 2.3-3 摆动滚子从动件盘形凸轮机构 (图 2.3-8) 从动件推程按两端休止正弦加速度规律运动, 摆杆长 $l = 90\text{mm}$, $\psi_h = 20^\circ$, $[\alpha] = 45^\circ$, $\Phi = 60^\circ$, 求 $R_{b\min}$

解 可近似地当作直动从动件处理。将滚子中心 B 的轨迹 $\widehat{BB_h}$ 的弦, 当成直动从动件的行程 h , 则

$h = 2l \sin \frac{\psi_h}{2} = 2 \times 90 \times \sin \frac{20^\circ}{2} = 31.25\text{mm}$ 。由 $V_m = 2$, $\Phi = 60^\circ$ 及 $[\alpha] = 45^\circ$ 查图 2.3-7a, 得 $R_p = 55\text{mm}$ 所以 $R_{b\min} = R_p - \frac{h}{2} = 55 - \frac{31.25}{2} \approx 40\text{mm}$ 。

但由图 2.3-8 可见, BB_h 不通过凸轮中心, 偏距 $e = 8.5\text{mm}$ 应进行修正, 由图 2.3-7b 查得 $e/R_b = 8.5/40 = 0.21$, $K = 0.82$ 所以 $R_b = 0.82 \times 40 =$

32mm。

2) 试算法 应用计算机逐点试算以确定凸轮基圆半径的方法是一种快速、准确和通用的方法。具体作法是在从动件运动规律选定之后,在逐点计算出从动件运动参数 s, v, a (摆动从动件为 $\psi, \frac{d\psi}{dt}, \frac{d^2\psi}{dt^2}$) 的基础上,用以下步骤计算:

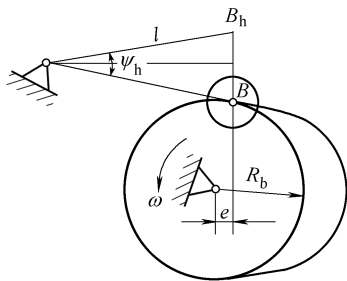


图 2.3-8 设计凸轮基圆半径例

① 输入许用压力角 $[\alpha]$ 的值及基圆半径 R_b 的初值 (任选一较小的值) 和偏距 e ;

② 设 J 为计算运动曲线时的点号,从 $J=0$ 开始,逐点计算压力角,以直动从动件为例:

$$\alpha_j = \arctan \left| \frac{\frac{v_j}{\omega} - e}{s_j + \sqrt{R_b^2 - e^2}} \right|$$

③ 如果 $\alpha_j < [\alpha]$,继续计算 $J+1$ 点的 α_{j+1} ,如果 $\alpha_j > [\alpha]$,则令 $R_b = R_b + \Delta R_b$,重新计算 α_j ;

④ 计算到点号 J_{vmax} 为止, J_{vmax} 为推程速度最大点的点号;

⑤ 输出 α_{max} 及 R_{bmin} 。

计算框图如图 2.3-9。

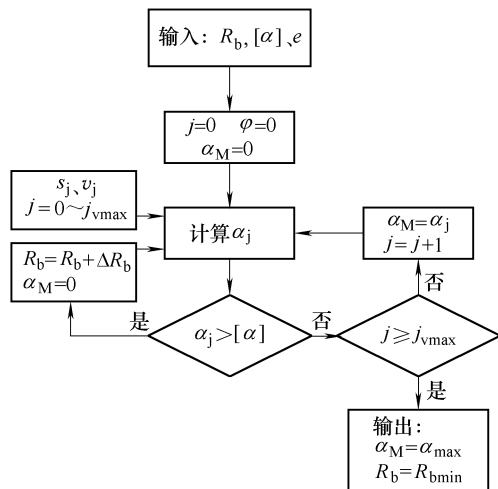


图 2.3-9 计算凸轮最小基圆半径的框图

3.3 凸轮廓线的曲率半径

计算凸轮廓线上各点的曲率半径 ρ_i 的目的在于:

1) 从动件如带有滚子,则凸轮理论廓线外凸部分的最小曲率半径 ρ_{tmin} 应大于滚子半径 R_r 。否则,实际廓线将出现尖点或虚廓线,使运动失真,理论廓线、实际廓线及滚子半径的关系见图 2.3-10;

2) 从动件如为平底,则要求整个廓线都是外凸的,即各点 $\rho_i > 0$;

3) 凸轮与从动件接触应力大小与二者综合曲率半径有关。

滚子从动件凸轮理论廓线曲率半径 ρ_i 的计算公式见表 2.3-4。

平底直动从动件,凸轮廓线的曲率半径可按下式计算:

$$\rho = R_b + s + \frac{d^2 s}{d\varphi^2} = R_b + s + \frac{a}{\omega^2}$$

式中 a ——从动件的加速度。

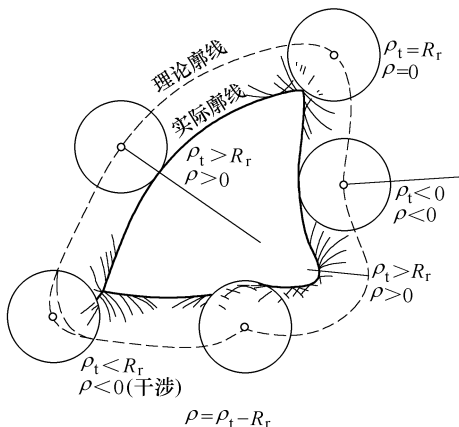


图 2.3-10 凸轮理论廓线、实际廓线与滚子半径的关系

4 凸轮的理论廓线、实际廓线及刀具中心轨迹

理论上的尖点从动件的凸轮廓线称凸轮的理论廓线。实际的尖点从动件与凸轮的接触部位不会是理论上的尖点。

滚子从动件的滚子中心相对于凸轮的相对运动的轨迹应与凸轮的理论廓线一致。凸轮的实际廓线为理论廓线的等距线,二者法向距离恒等于滚子半径 R_r 。

平底从动件的凸轮只有实际廓线。

用数控机床加工凸轮时刀具中心轨迹是凸轮实际

廓线的等距线,二者法向距离恒等于刀具半径 R_c 。

4.1 用作图法求凸轮廓线

仅用于低速运转,运动精度要求很低,对动力学性能无要求的凸轮设计。各种凸轮廓线的画法都基于反转法。相对于凸轮观察从动件的运动,则从动件一方面随机架以 $-\omega$ 转动 (ω 为凸轮角速度),

同时按给定的从动件运动规律移动或摆动,在这种复合运动中,从动件的尖点即描出凸轮的理论廓线,如为滚子从动件则滚子中心轨迹即凸轮的理论廓线,凸轮的实际廓线为理论廓线的等距线,可用包络法画出,如为平底从动件,则平底一系列位置的包络线即凸轮的实际廓线,具体作法如图 2.3-11。

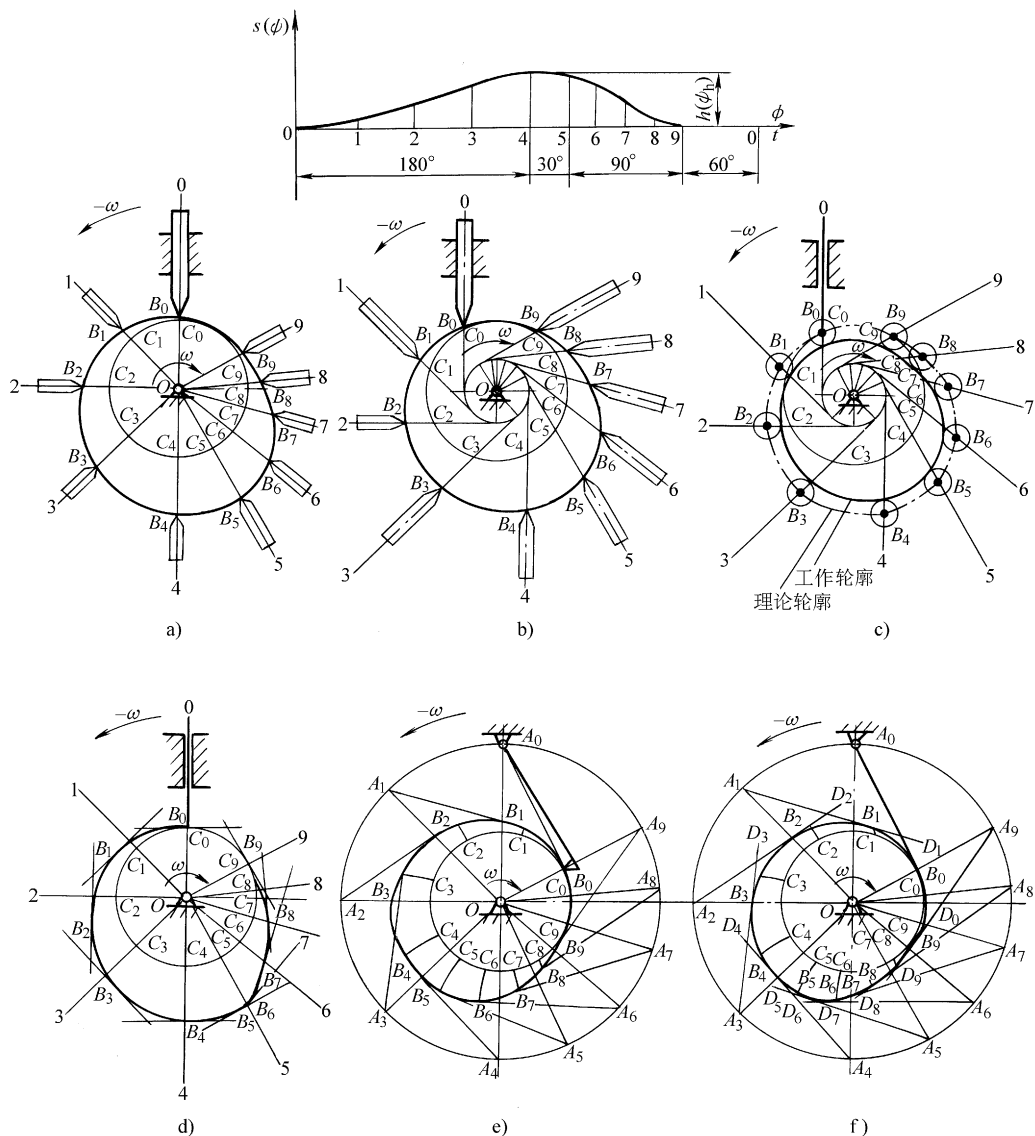


图 2.3-11 凸轮廓线的画法

4.2 用计算法求凸轮廓线

计算法是近代凸轮设计的主要方法,在计算出

凸轮转过一系列角度时从动件相应的运动参数的基础上可按表 2.3-7 中相应公式求得凸轮理论、实际廓线及刀具中心轨迹上一系列坐标点。

表 2.3-7 计算凸轮理论、实际廓线及刀具中心轨迹上坐标点的公式

	移动滚子从动件	摆动从动件
简图		
理论廓线	$\begin{aligned}x &= -e \cos \varphi - (s + s_0) \sin \varphi \\y &= -e \sin \varphi + (s + s_0) \cos \varphi \\s_0 &= (R_b^2 - e^2)^{1/2}\end{aligned}$	$\begin{aligned}x &= L \cos \varphi - l \cos (\psi + \psi_0 - \varphi) \\y &= L \sin \varphi + l \sin (\psi + \psi_0 - \varphi) \\\psi_0 &= \arccos \frac{a^2 + l^2 - R_b^2}{2al}\end{aligned}$
理论廓线上各点的切线方向角	$\begin{aligned}x' &= \left(e - \frac{ds}{d\varphi} \right) \sin \varphi - (s_0 + s) \cos \varphi \\y' &= \left(e - \frac{ds}{d\varphi} \right) \cos \varphi - (s_0 + s) \sin \varphi \\\gamma &= \arctan (y'/x')\end{aligned}$	$\begin{aligned}x' &= -L \sin \varphi + l \left(\frac{d\psi}{d\varphi} - 1 \right) \sin (\psi + \psi_0 - \varphi) \\y' &= L \cos \varphi + l \left(\frac{d\psi}{d\varphi} - 1 \right) \cos (\psi + \psi_0 - \varphi) \\\frac{d\psi}{d\varphi} &= \frac{\psi_h}{\Phi}, \gamma = \arctan (y'/x')\end{aligned}$
实际廓线	$\begin{aligned}x_K &= x \mp R_r \sin \gamma \\y_K &= y \pm R_r \cos \gamma\end{aligned} \quad \left(\begin{array}{l} \text{上边一组符号用于滚子内包络线 (如图),} \\ \text{下边一组符号用于滚子外包络线} \end{array} \right)$	
刀具中心轨迹	$\begin{aligned}x_C &= x + (R_C - R_r) \sin \gamma \\y_C &= y - (R_C - R_r) \cos \gamma\end{aligned} \quad \begin{array}{l} R_C \text{ 刀具半径} \\ \text{(见图 2.3-12)} \end{array}$	

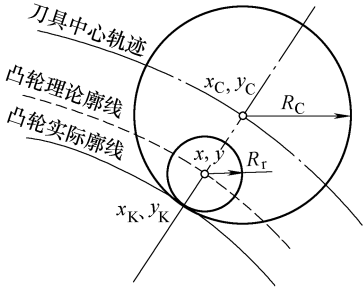


图 2.3-12 刀具中心轨迹与凸轮廓线的关系

5 凸轮和滚子的结构、材料、强度、精度和工作图^[1]

5.1.1 凸轮结构举例 (见图 2.3-13)

5.1.2 滚子结构举例 (见图 2.3-14、表 2.3-8)

5.1 凸轮和滚子的结构

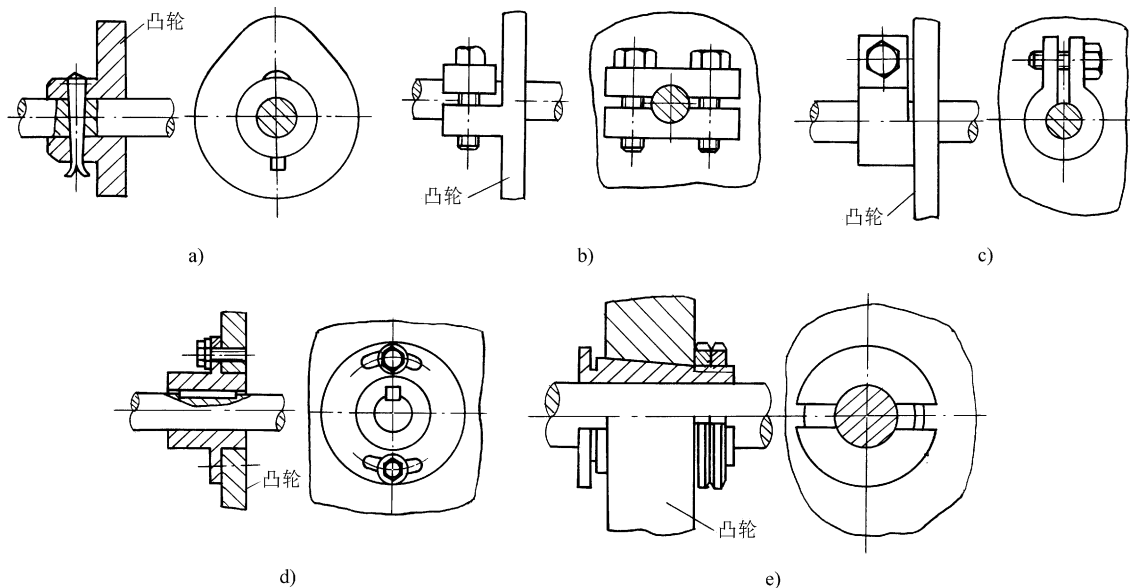


图 2.3-13 凸轮与轴的连接

a) 用销钉连接 b) 用压板连接 c) 用弹性开口环连接
d) 用法兰盘连接 e) 用开口锥套连接

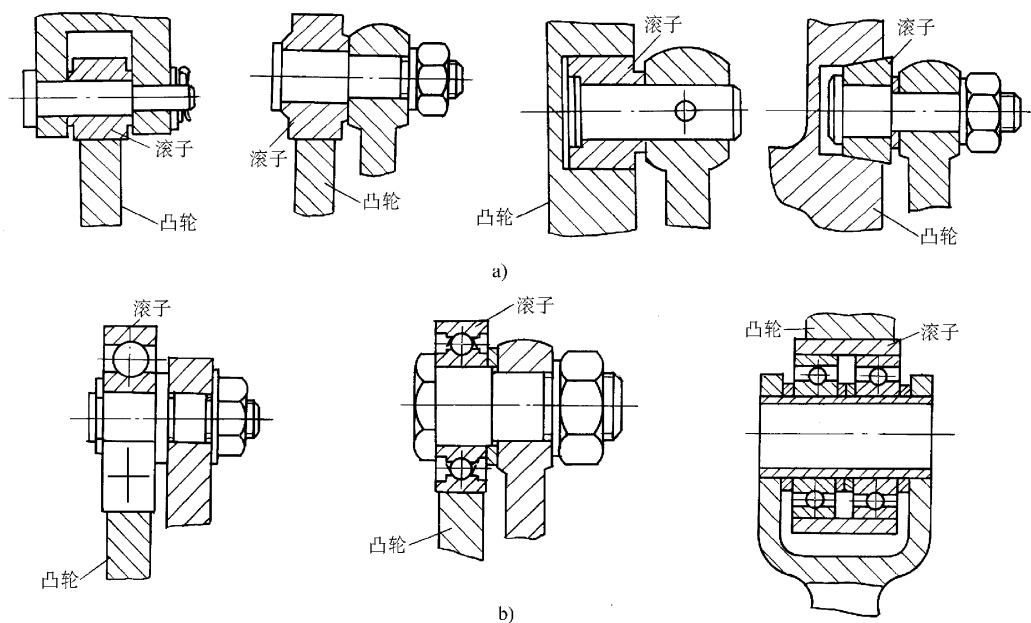
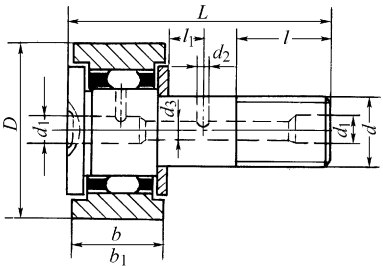


图 2.3-14 滚子的结构

a) 用滑动轴承做的滚子 b) 用滚动轴承做的滚子

表 2.3-8 滚子各部分尺寸参考值

	主要尺寸/mm										承载能力/N	
	D	d	d_1	d_2	d_3	b	b_1	L	l	l_1	额定动 载 荷	额定静 载 荷
	16	M6 × 0.75	3			11	12	28	9		2650	2060
	19	M8 × 0.75	4			12	13	32	11		3330	2840
	22	M10 × 1.0	4			12	13	36	13		3820	3430
	30	M12 × 1.5	6	3	3	14	15	40	14	6	5590	5000
	35	M16 × 1.5	6	3	3	18	19.5	52	18	8	8530	8630
	40	M18 × 1.5	6	3	3	20	21.5	58	20	10	12360	14020
	52	M20 × 1.5	8	4	4	24	25.5	66	22	12	17060	19510
	62	M24 × 1.5	8	4	4	29	30.5	80	25	12	20980	25690
	80	M30 × 1.5	8	4	4	35	37	100	32	15	32950	38150

5.2 凸轮和从动件常用材料（见表 2.3-9）

试验证明：相同金属材料比不同金属材料的粘着倾向大；单相材料、塑性材料比多相材料、脆性材料的粘着倾向大。为了减轻粘着磨损的程度，推

荐采用下列材料匹配：铸铁-青铜、淬硬或非淬硬钢；非淬硬钢-软黄铜、巴氏合金；淬硬钢-软青铜、黄铜、非淬硬钢、尼龙及积层热压树脂。禁忌的材料匹配是：非淬硬钢-青铜、非淬硬钢、尼龙及积层热压树脂；淬硬钢-硬青铜；淬硬镍钢-淬硬镍钢。

表 2.3-9 凸轮和从动件接触处常用材料、热处理及极限应力 σ_{H0} (MPa)

工作条件	凸 轮		从动件接触处	
	材 料	热处理、极限应力 σ_{H0}	材 料	热处理
低速轻载	40、45、50	调质 220 ~ 260HBW, $\sigma_{H0} = 2HBW + 70$	45	表面淬火 40 ~ 45HRC
	HT200、HT250、HT300 合金铸铁	退火 180 ~ 250HBW, $\sigma_{H0} = 2HBW$	青铜	时效 80 ~ 120HBW
	QT500-7 QT600-3	正火 200 ~ 300HBW, $\sigma_{H0} = 2.4HBW$	软、硬黄铜	退火 55 ~ 90HBW 140 ~ 160HBW
中速中载	45	表面淬火 40 ~ 45HRC, $\sigma_{H0} = 17HRC + 200$	尼龙	积层热压树脂吸振及降噪效果好
	45、40Cr	高频淬火 52 ~ 58HRC, $\sigma_{H0} = 17HRC + 200$	20Cr	渗碳淬火，渗碳层深 0.8 ~ 1.5mm, 56 ~ 62HRC, $\sigma_{H0} = 23HRC$
	15、20、20Cr 20CrMnTi	渗碳淬火，渗碳层深 0.8 ~ 1.5mm, 56 ~ 62HRC, $\sigma_{H0} = 23HRC$		
高速重载或靠模凸轮	40Cr	高频淬火，表面 56 ~ 60HRC，心部 45 ~ 50HRC, $\sigma_{H0} = 17HRC + 200$	GCr15 T8 T10 T12	淬火 58 ~ 62HRC
	38CrMoAl、35CrAl	氮化、表面硬度 700 ~ 900HV (约 60 ~ 67HRC), $\sigma_{H0} = 1050$		

注：合金钢尚可采用氮化硫氮共渗；耐磨钢可渗钨，64 ~ 66HRC；不锈钢可渗铬或多元共渗。

5.3 凸轮机构强度计算

凸轮机构最常见的失效形式是磨损，当受力较

大，或带有冲击，或凸轮转速较高时，可能发生疲劳点蚀，此时需要作接触强度校核。接触应力的大小与从动件形状和接触位置不同而变化。接触强度

的校核公式见表 2.3-10。

5.4 凸轮精度

根据凸轮精度可选定凸轮的公差和表面粗糙度 (见表 2.3-11)

5.5 凸轮工作图

对凸轮工作图的要求主要有以下几点：

1) 标有凸轮理论轮廓或工作轮廓尺寸。盘形凸轮是以极坐标形式标出或列表给出，圆柱凸轮是在其外圆柱的展开图上以直角坐标形式标出，也可列表给出。

2) 对于滚子从动件凸轮，其理论轮廓比较准确，一般都在理论轮廓上标出其向径和极角 (图 2.3-15)，平底从动件凸轮是标注在凸轮工作轮廓上 (图 2.3-16)。

3) 当同一轴上有若干个凸轮时，应根据工作循环图确定各凸轮的键槽位置。

4) 凸轮的公差和表面粗糙度应有适当的要求。当凸轮的向径在 500mm 以下时，可参考表 2.3-11 选取。为了保证从动件与凸轮轮廓接触良好，对凸轮工作表面与轴线间的平行度、端面和轴线的垂直度等都应提出具体要求。

表 2.3-10 凸轮与滚子接触强度校核公式

滚子从动件盘形凸轮	平底从动件盘形凸轮
$\sigma_H = Z_E \sqrt{\frac{F}{b\rho}} \leq \sigma_{HP}$	$\sigma_H = Z_E \sqrt{\frac{F}{2b\rho_1}} \leq \sigma_{HP}$

式中 F —凸轮与从动件在接触处的法向力 (N)
 b —凸轮与从动件的接触宽度 (mm)
 ρ —综合曲率半径 (mm)

$$\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_2 \pm \rho_1}$$

两个外凸面接触时用“+”，外凸与内凹接触时用“-”
 ρ_1 —凸轮轮廓在接触处的曲率半径 (mm)
 ρ_2 —从动件在接触处的曲率半径 (mm)
 Z_E —综合弹性系数 ($\sqrt{\text{MPa}}$)

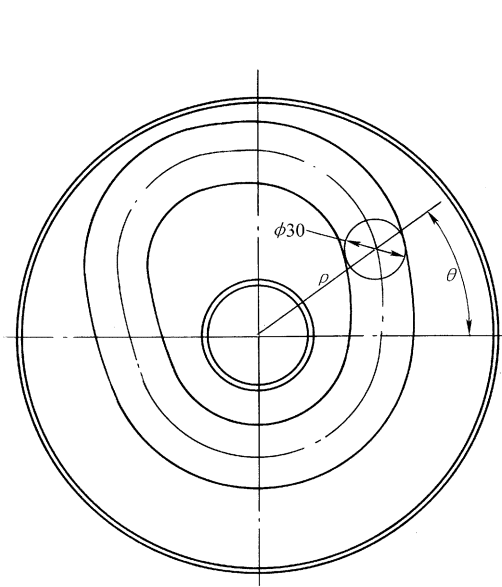
$$Z_E = 0.418 \sqrt{\frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}}$$

E_1 、 E_2 —分别为凸轮和从动件接触处材料的弹性模量 (MPa)，钢对钢的 $Z_E = 189.8$ 、钢对铸铁的 $Z_E = 165.4$ 、钢对球墨铸铁的 $Z_E = 181.3$
 σ_{HP} —接触许用应力 (MPa)

$$\sigma_{HP} = \sigma_{H0} Z_R \sqrt[6]{N_0 / N} / S_H$$

σ_{H0} 见表 2.3-9
 $Z_R = 0.95 \sim 1$ ，表面粗糙度值低时取大值
 $N = 60nT$
 n —凸轮转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)
 T —凸轮预期寿命 (h)
 N_0 —对 HT 氮化处理的表面 $N_0 = 2 \times 10^6$ 其他材料，
 $N_0 = 10^5$
 S_H —安全系数， $S_H = 1.1 \sim 1.2$

θ	ρ
0.000	60.000
1.000	60.008
2.000	60.033
...	...
27.000	66.000
28.000	66.044
...	...
81.000	90.000
82.000	90.420
...	...
90.000	92.000
...	...
100.000	92.000
110.000	92.000
...	...
111.000	91.992
112.000	91.968
...	...
155.000	76.000
156.000	75.297
...	...
200.000	60.000
...	...
300.000	60.000



技术要求：
1. 铸件经人工时效处理。
2. 凸轮曲线槽的中心线径向公差为±0.05mm。

√Ra 6.3 (√)

材料：HT 200

图 2.3-15 沟槽式盘形凸轮工作图

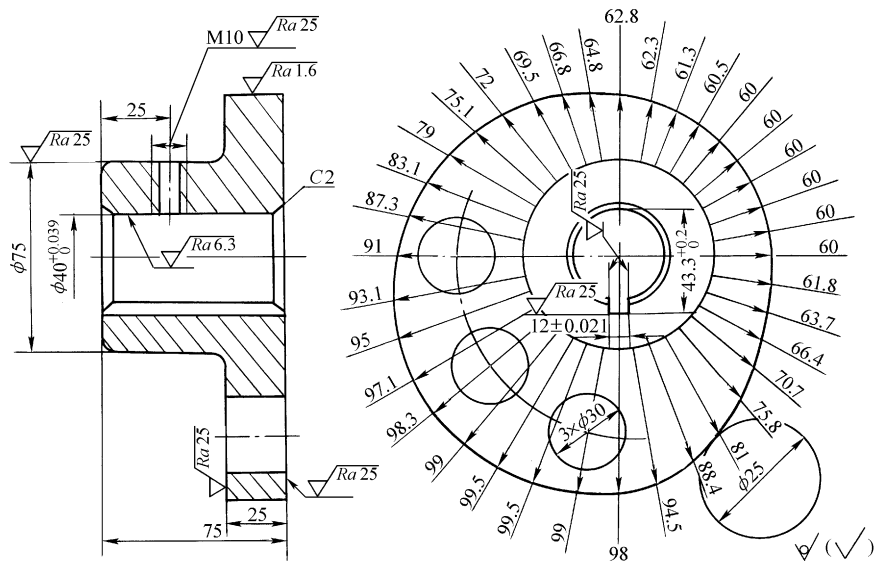


图 2.3-16 盘形凸轮工作图

表 2.3-11 凸轮的公差和表面粗糙度

凸轮精度	极限偏差				表面粗糙度 $Ra/\mu m$	
	向径/mm	极角	基准孔	凸轮槽宽	凸轮工作廓面	凸轮槽壁
高精度	$\pm (0.05 \sim 0.1)$	$\pm (10' \sim 20')$	H7	H8 (H7)	0.2 ~ 0.4	0.4 ~ 0.8
一般精度	$\pm (0.1 \sim 0.2)$	$\pm (30' \sim 40')$	H7 (H8)	H8	0.8 ~ 1.6	1.6
低精度	$\pm (0.2 \sim 0.5)$	$\pm 1^\circ$	H8	H8、H9	1.6 ~ 3.2	1.6 ~ 3.2

第4章 步进机构

单向周期性的断续运动称步进运动。其运动曲线如图 2.4-1。把连续运动（通常为连续转动）变换为步进运动的机构称步进机构。常应用于转位、分度、送料等装置。

由于工艺过程不同，对步进机构设计要求也不同，大体上有如下几个方面：

1) 动程 h ——从动件一次步进运动的转角（或位移）大小；

2) 动、停时间比 $k = \frac{t_1}{t_2}$ ——一次步进动作中从动件运动时间与停止时间的比值；

3) 动、停位置的准确度；

4) 调节动程及动停时间比的可能性；

5) 动力学性能，主要是起动、停止瞬时加速度大小，对于从动件带动惯性载荷较大的情况尤为重要。

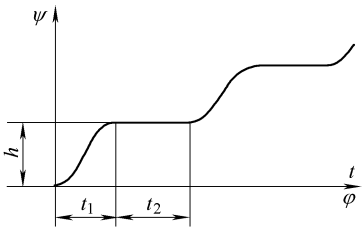


图 2.4-1 步进机构运动曲线

1 棘轮机构

棘轮机构能将往复摆动运动转换成单向间歇转动。常用于工件的进给或分度。可用作防逆转装置，也可用作超越离合器。棘轮机构常见型式见表 2.4-1。外接齿啮式棘轮机构运动设计和尺寸计算分别见表 2.4-2、表 2.4-3。棘轮机构主动件常由连杆机构、凸轮机构等驱动，如图 2.4-2 所示。

表 2.4-1 棘轮机构常见形式

型 式	齿 啮 式	摩 擦 式	
		用 楔 块	用 滚 子
图 简			
图中 1 为主动件，2 为棘爪或相当于棘爪的楔块或滚子，3 为棘轮或相当于棘轮的圆形从动件，4 为止回棘爪			
特 点	运动可靠，但棘轮转角只能有级调节，且主动件摆角要大于棘轮运动角。有噪声，易磨损	运动不准确，但转角可无级调节。噪声小，棘轮为圆盘形或圆环形。为增大摩擦力，截面可做成梯形槽	特点同左。内接常用作超越离合器

(续)

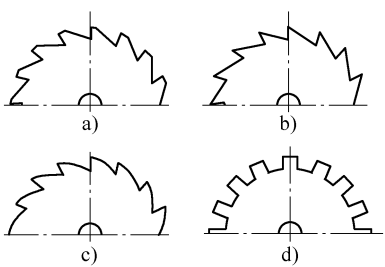
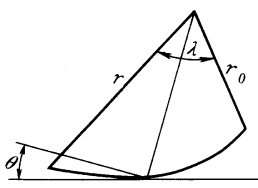
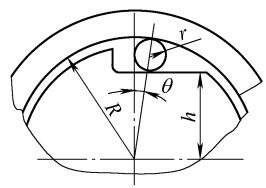
型 式	齿 啮 式	摩 擦 式	
		用 楔 块	用 滚 子
工作部位示意图		 $r = r_0 e^{\lambda \tan \theta}$ 当 λ 角较小时, 对数螺线可用圆弧代替	 $\theta = \arccos \frac{h+r}{R-r}$
		$\theta < \phi$	$\theta < 2\phi$ ($\theta \approx 7^\circ$)
自锁条件	外啮合应使棘爪与棘齿的受力线在棘爪和棘轮转动中心之间 内啮合应使受力线在两转动中心的一侧	ϕ 为摩擦角	

表 2.4-2 外接齿啮式棘轮机构运动设计^[7]

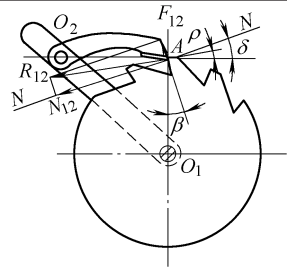
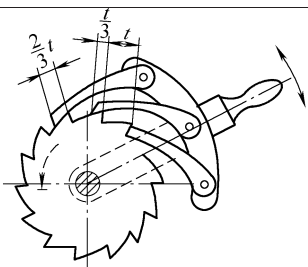
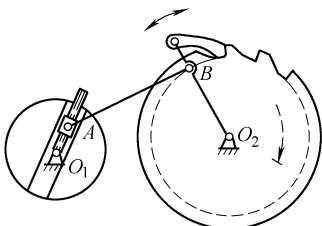
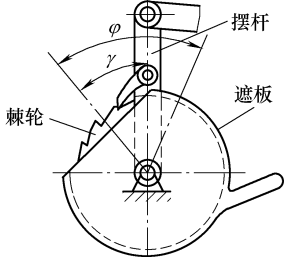
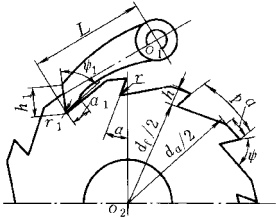
棘轮齿数 z 的选取	由运动要求选定, 在单向传动的制动装置中, 由于载荷较大, 一般取 $z=6 \sim 30$; 在轻载的进给机构中可取 $z \leq 250$	
轴心位置及齿形工作面位置的确定 (不计工作面间摩擦和计工作面间摩擦)	为使棘轮克服同样的阻力矩时棘爪工作面受力最小, 应使 $O_2A \perp O_1A$ (A 为棘轮齿顶点) 及工作面沿径向线 O_1A ($\beta=0$)。 为使棘爪在工作载荷下, 能自动啮入而不被推出, 应使齿廓工作面在齿尖 A 点处的法线 NN 与 O_2A 间的夹角 δ 大于棘爪和棘轮工作面间的摩擦角 ρ, 常取 $\rho=15^\circ \sim 20^\circ$。即当外接时, 法线 NN 应通过 O_1O_2 之间。若取 $O_2A \perp O_1A$, 则 $\beta=\delta$; 若取 $\beta=0$, 则 O_2 的位置应离开棘轮切线向外取, 保证 $\delta > \rho$。当内接时, 法线 NN 应在 O_1O_2 之外	
棘爪数 j 的选取	一般棘轮机构 $j=1$; 双动式棘轮机构 $j=2$; 当载荷较大, 且棘轮尺寸受限, 齿数 z 较少, 摆杆摆角小于齿距角时, 采用多爪棘轮机构, 一般 $j \leq 3$; 当 $j=3$ 时, (如右图) 三个爪在齿面上相互错开 $\frac{4}{3}t$, 摆杆摆动三次棘轮转过一个齿角	
棘轮转角的调节	 改变摆杆的摆角。图示为改变曲柄摇杆机构中曲柄 O_1A 的长度来实现	 摆杆摆角 ϕ 不变时, 利用可调位遮板来改变遮齿的多少, 以调节棘轮转角 γ
材料	棘轮: 45、40Cr, 45~50HRC; 轻载时用 HT150 棘爪: 45、40Cr, 工作表面淬硬至 52~56HRC	

表 2.4-3 外接齿啮式棘轮机构尺寸计算 (mm)

模数 m		0.6	0.8	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30	
棘 轮	齿距 $p = \pi m$	1.88	2.51	3.14	3.92	4.71	6.28	7.85	9.43	12.57	15.71	18.85	25.13	31.42	37.70	43.98	50.27	56.55	62.83	69.12	75.40	81.69	94.25	
	齿高 h	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.5	3	3.5	4	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15	16.5	18	19.5	22.5	
	齿顶弦厚 a									3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30
	齿根角半径 r	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	齿面偏斜角 α	10° ~ 15°																						
	轮宽 b	(1 ~ 4) m																						
	齿槽夹角 ψ	55°			60°																			
棘 爪	工作面边长 h_1	3			4		5		5	5	6	6	8	10	12	14	14	16	18	20	20	22	25	
	非工作面边长 a_1									2	3	3	4	4	6	6	8	8	12	12	14	14	14	16
	爪尖圆角半径 r_1	0.4			0.8				1.5				2											
	齿形角 ψ_1	50°			55°				60°															
	棘爪长度 L									18.85	25.14	31.42	37.70	50.62	62.84	75.40	87.96	100.54	113.10	125.66	138.24	150.40	163.36	188.50

注:1. 表中模数 m 根据齿部强度取标准,齿数 z 由表 2.4-2 确定,则棘轮外径 $d_a = mz$
2. 当 $m = 3 \sim 30$ 时, $h = 0.75m, a = m, L = 2p$; 对于小模数, $a = (1.2 \sim 1.5)m, L$ 按结构确定



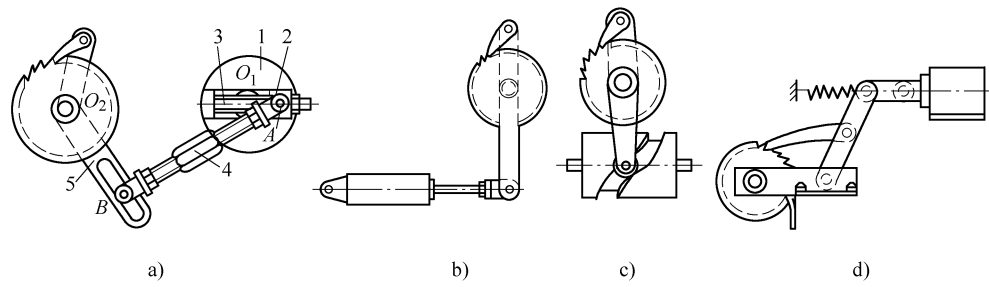


图 2.4-2 棘轮机构的驱动

a) 可调节的曲柄摇杆机构 b) 气缸或液压缸 c) 凸轮 d) 电磁铁

2 槽轮机构

2.1 单销槽轮机构

槽轮机构又称马尔他机构是应用广泛的步进传动机构，典型结构如图 2.4-3。

槽轮机构的动程、动停时间比都决定于槽数 z ，故可调性差，但动程准确，无刚性冲击，动力性能较好，可用于较高转速。

单销槽轮机构的动程、动停时间比及运动特性值见表 2.4-4。

外、内槽轮机构结构参数设计可参照表 2.4-5。

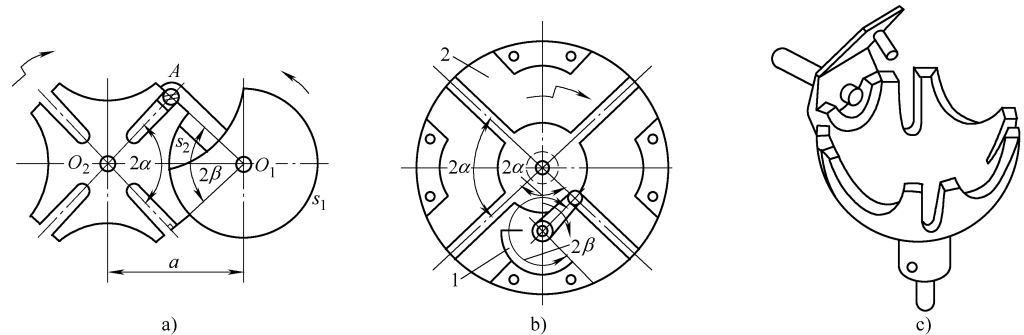


图 2.4-3 槽轮机构

a) 外槽轮机构 b) 内槽轮机构 c) 球面槽轮机构

1—转臂 2—槽轮 2α —动程角

表 2.4-4 单销槽轮机构特性值

槽轮类型 槽数 z	动程角 2α	槽轮动停时间比 k			槽轮的最大类速度 $\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)_{\max}$			槽轮的最大类加速度 $\left(\frac{\varepsilon_2}{\omega_1^2}\right)_{\max}$		
	外, 内, 球面	外	内	球面	外	内	球面	外	内	球面
3	120	0.20	5.00	1	6.46	0.464	1.732	31.4	1.729	2.172
4	90	0.33	3.00	1	2.41	0.414	1.000	5.41	1.000	0.880
5	72	0.43	2.33	1	1.43	0.370	0.727	2.30	0.727	0.579
6	60	0.50	2.00	1	1.00	0.333	0.577	1.35	0.577	0.456
7	51.43	0.56	1.80	1	0.766	0.303	—	0.928	0.481	—
8	45	0.60	1.67	1	0.620	0.277	0.414	0.700	0.414	0.354
9	40	0.64	1.57	1	0.520	0.255	—	0.559	0.364	—
10	36	0.67	1.50	1	0.447	0.236	—	0.465	0.325	—
12	30	0.71	1.40	1	0.349	0.206	—	0.348	0.268	—
15	24	0.76	1.31	1	0.262	0.172	—	0.253	0.213	—

注：1. 内槽轮机构槽轮的最大类加速度发生在起动和停止瞬间。
2. 外槽轮机构槽轮的最大类加速度发生在槽轮运动过程中，其起动和停止瞬间的类加速度值与槽数相同的内槽轮机构槽轮的最大类加速度值相等。

表 2.4-5 外、内槽轮机构尺寸参数计算 (参看图 2.4-3)

	项 目	符号	外槽轮机构	内槽轮机构
1	槽数 中心距 圆销半径	z a r	$3 < z \leq 15$, z 多尺寸大, 设计困难, z 少动力学性能差 z 与 k 有关, 根据工作需要综合考虑 a 及 r 按结构需要选定	
2	对应于动程角 2α 主动件转角	2β	$2\beta = 180^\circ \left(1 - \frac{2}{z}\right)$	$2\beta = 180^\circ \left(1 + \frac{2}{z}\right)$
3	主动件圆销 中心半径	R_1	$R_1 = a \sin \alpha$	
4	R_1 与 a 的比值	λ	$\lambda = \frac{R_1}{a} = \sin \alpha$	
5	槽轮外缘半径	R_2	$R_2 = [(a \cos \alpha)^2 + r^2]^{1/2}$	
6	槽深	h	$h > a (\lambda + \cos \alpha - 1) + r$	$h > (\lambda - \cos \alpha + 1) + r$
7	主动件轮毂直径	d_0	$d_0 < 2a (1 - \cos \alpha)$	按结构需要选定
8	槽轮轮毂直径	d_k	$d_k < 2a (1 - \lambda) - 2r$	
9	锁止弧半径	R_x	$R_x < R_1 - r$	$R_x > R_1 + r$
10	锁止弧张角	γ	$\gamma = 360^\circ - 2\beta$	$\gamma = 360^\circ - 2\beta$

2.2 多销槽轮机构

主动件上带有两个以上柱销的槽轮机构称多销槽轮机构。用于在相同转位角条件下增大动、停时间比或要求周期不等的步进运动等情形。

相邻柱销之间夹角如为 γ , 显然 $\gamma \geq 2\beta$ 。故槽轮槽数 z 与转臂上柱销数 N 有如下关系

$$z = 3, 4, 6; N \leq 6, 4, 3$$

N 取 “=” 号时, 柱销应均布, 槽轮连续转位。

图 2.4-4a 为二销六槽槽轮机构, $120^\circ < \gamma < 180^\circ$ 。两次转位周期不等, 但动程相等, 图 2.4-4b 为不等臂长二销四槽槽轮机构, 相邻两次转位的转位周期及动程都不相等, 图 2.4-4c 为不等臂长三销三槽槽轮机构。

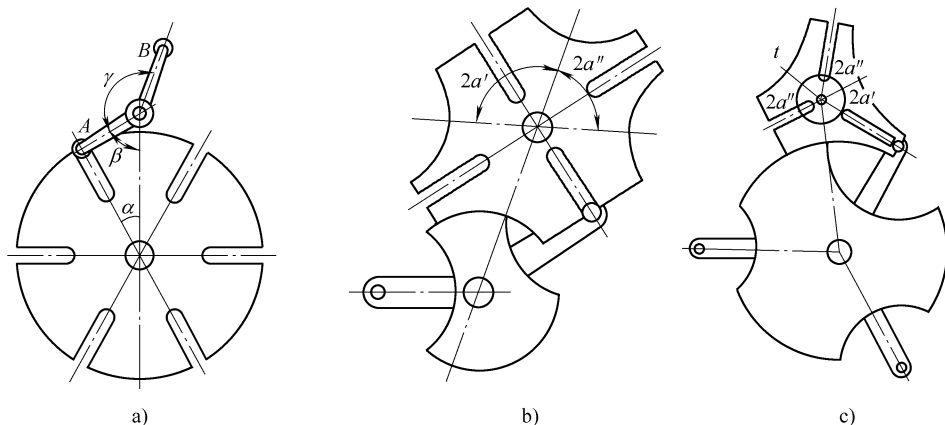


图 2.4-4 多销槽轮机构

2.3 改进动力学性能的槽轮机构

2.3.1 外槽轮机构

外槽轮机构由于其动停时间比 k 恒小于 1, 适合于多数情况下的工艺要求, 应用广泛, 但其动力学

性能在槽数少时较差。应用某些前置机构驱动柱销, 使其驱动槽轮转动时有较合理的运动轨迹, 则会改善其动力学性能。

(1) 行星柱销驱动槽轮机构 如图 2.4-5 所示, 柱销置于行星轮系中的行星轮上, 其轨迹形状

如图所示,为了使柱销进槽和离槽瞬时槽轮的角速度为零,则行星轮系中心轮与行星轮齿数之比应为:

$$\frac{z_a}{z_b} = \frac{2z}{z-2}$$

z 为槽轮的槽数。

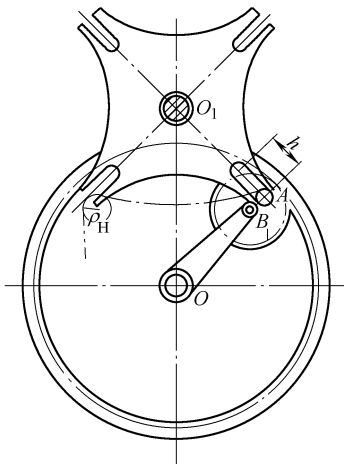


图 2.4-5 行星柱销驱动槽轮机构

令系杆 $OB = R$, 柱销中心至行星轮中心距离 $BA = r$, 槽轮的槽深为 h , 柱销进槽和离槽时轨迹的曲率半径为 ρ_H , 中心距 $OO_1 = 1$ 。当槽数 $z = 3, 4$ 时, 上述尺寸参数如表 2.4-6。

表 2.4-6 行星柱销槽轮机构尺寸参数

	$z = 3$			$z = 4$		
ρ_H	0.04	0.08	0.12	0.04	0.08	0.12
r	0.0870	0.0693	0.0577	0.1133	0.0919	0.0771
R	0.7790	0.7967	0.8083	0.5938	0.6152	0.6300
$h >$	0.192	0.227	0.251	0.188	0.231	0.260

分析表明这种行星柱销槽轮机构与一般外槽轮机构相比较, $\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)_{\max}$ 降低了 $(32 \sim 40)\%$ ($z = 3$) 和 $(21 \sim 25)\%$ ($z = 4$), $\left(\frac{\varepsilon_2}{\omega_1^2}\right)_{\max}$ 下降了 $(58 \sim 67)\%$ ($z = 3$) 和 $(41 \sim 47)\%$ ($z = 4$), 使动载荷大为降低, 驱动功率减少, 槽深显著减小。

(2) 凸轮导引柱销槽轮机构 为了使柱销沿合理轨迹运动以改进槽轮机构动力学性能, 也可以应用凸轮导引柱销, 如图 2.4-6。

主动件 1 的柱销装在一个可沿径向槽滑动的弹性支承上, 固定的凸轮板 2 的凸轮形状符合选定的合理的柱销轨迹。柱销进入凸轮槽后, 在凸轮槽的导引下, 驱动槽轮 3 运动。

2.3.2 内槽轮机构

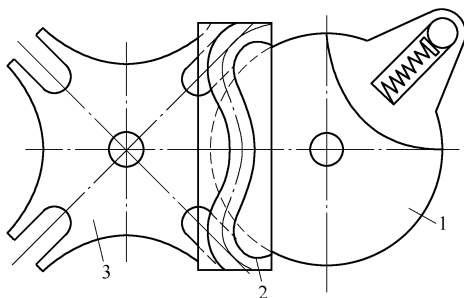


图 2.4-6 凸轮导引柱销槽轮机构

1—主动件 2—凸轮板 3—驱动槽轮

内槽轮机构的动力学特性优于外槽轮机构, 只是在槽轮的起、停瞬间角加速度较大; 其动停时间比恒大于 1。尤其在 z 较少时。利用连杆机构驱动的内槽轮机构可使内槽轮机构这两方面的弱点得以改善。

利用产生对称连杆曲线的连杆机构可以产生这样的对称连杆曲线, 它带有两个近似直线段, 且两个近似直线段之间夹角等于内槽轮相邻两槽间夹角 2α (图 2.4-7)。使柱销沿连杆曲线运动, 在近似直线段上使柱销进槽和离槽, 则槽轮的角加速度几近于零, 这就可以改善槽轮动、停瞬间的动力学性能。

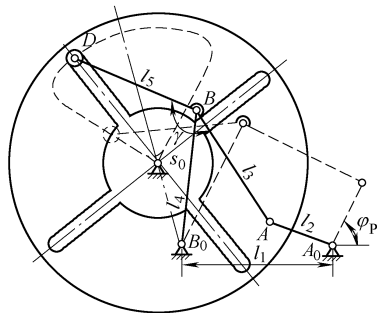


图 2.4-7 连杆机构导引柱销的内槽轮机构

表 2.4-7 给出了驱动内槽轮的连杆机构的尺寸参数 (参照图 2.4-8)。

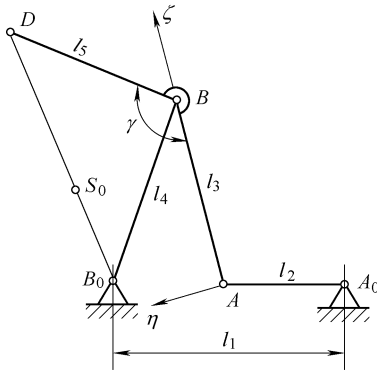


图 2.4-8 表 2.4-7 中的尺寸参数

表 2.4-7 驱动内槽轮的连杆机构尺寸参数

槽数 z 2α	l_2/l_1	l_3/l_1	ζ_D/l_1	η_D/l_1	γ°	AD/l_1	B_0S_0/l_1	$\varphi_P (^\circ)$	动停时 间比 k
3 120°	0.4453	0.8938	1.7881	0.1040	173.34	1.7845	0.9110	63.4	1.839
4 90°	0.4007	0.8785	1.6152	0.4785	146.99	1.6845	0.5657	61.5	1.9268
5 72°	0.3496	0.8599	1.4489	0.6266	133.22	1.5786	0.3970	59.5	2.0252
6 60°	0.3078	0.8411	1.3287	0.6911	125.04	1.4977	0.3059	57.6	2.125
8 45°	0.2415	0.8175	1.1601	0.7422	114.78	1.3772	0.1968	54.8	2.2847
12 30°	0.1708	0.7873	1.0054	0.7565	106.08	1.2583	0.1191	51.9	2.4682

注: S_0 ——槽轮转动中心, 在连杆曲线对称轴上

φ_P ——连杆上描述点 D 位于 Ball 点时, 曲柄的位置角。

3 齿轮—连杆步进机构

工艺过程有时需要动停时间比很大的步进运动, 即瞬时停歇步进运动和带有局部逆转的步进运动, 常见于某些送料装置及纤维加工设备中, 其传动函数如图 2.4-9。这种运动变换可以由某些类型的齿轮连杆机构实现。齿轮连杆机构也常用于把匀速转动变为非匀速连续转动。

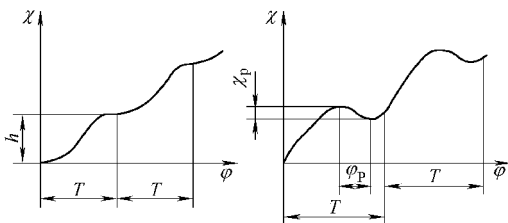


图 2.4-9 瞬时停歇或带有局部逆转的步进运动

3.1 对心曲柄滑块机构控制差动轮系

图 2.4-10 为以对心曲柄滑块机构为基础的齿轮连杆机构。在曲柄销 A 铰接着行星轮 3, 其角速度与连杆角速度相同。中心轮 5 与曲柄共轴线。主动件是匀速转动的曲柄 AA_0 , 其转角为 φ , 从动件是中心轮 5, 其转角为 χ , 约定外齿轮半径 $r > 0$, 内齿轮半径 $r < 0$, 故 $i = -\frac{r_3}{r_5} > 0$ 。曲柄与连杆长度之比 $\lambda = \frac{l_2}{l_3}$, 根据 i, λ 取值的不同, 中心轮 5 可实现单向非匀速转动、具有瞬时停歇的步进运动和带有局部逆转的步进运动等不同形式的运动。

图 2.4-11 为 $\lambda = 0.5$ 时, i 取不同值的机构零阶传动函数。可见当 $i = \frac{2}{3}$ 和 2 时, 中心轮 5 作瞬时停

歇的步进运动, 其动程 χ_s 分别为 $+120^\circ$ 和 -360° ; 当 $\frac{2}{3} < i < 2$ ($i = 1$ 除外) 时, 轮 5 作带有局部逆转的步进运动, 逆转角为 χ_P , 对应逆转区间曲柄转角为 φ_P ; 当 $\frac{2}{3} > i > 2$ 时中心轮 5 作连续非匀速转动。

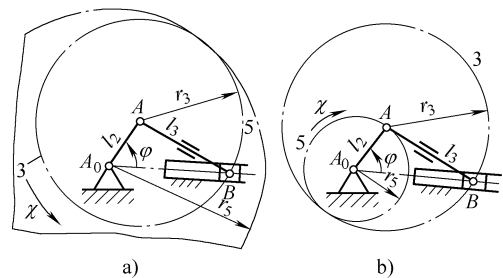
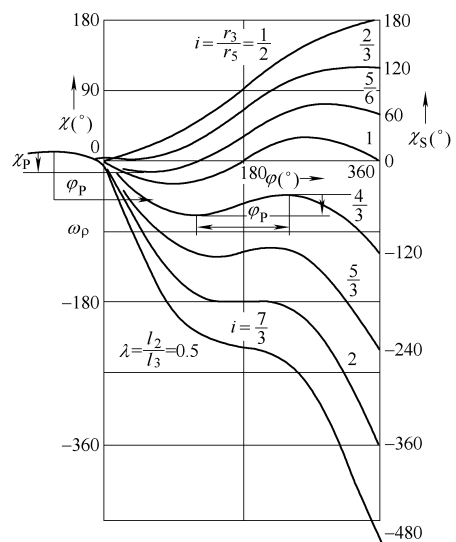


图 2.4-10 齿轮连杆步进机构

图 2.4-11 $\lambda = 0.5$ 时图 2.4-10 机构的零阶传动函数

这种机构的尺寸参数和运动参数可如下计算:

$$l_2 = |r_3 + r_5| \quad l_3 = l_2 / \lambda \quad 0 \leq \lambda \leq 0.7$$

$$r_5 = l_2 \frac{\text{SGN}(i)}{i-1}$$

$$\text{SGN}(i) = \frac{|i|}{i}$$

$$r_3 = 2 \arcsin \sqrt{\frac{2}{1+\lambda^2}} = |i| r_5$$

$$\chi_s = 360^\circ (1-i)$$

$$i_m = \frac{\chi_2}{\varphi_s} = \frac{1}{1-i}$$

传动函数

$$\chi = \varphi (1-i) - i \arcsin(\lambda \sin \varphi) = \chi(\varphi)$$

$$\chi_p = 2\chi_1 - \frac{\chi_s}{2} [1 - \text{SGN}(1-i)]$$

$$\chi_1 = \chi(\varphi_1)$$

$$\varphi_1 = \arccos \frac{(1-i) \sqrt{1-\lambda^2}}{\lambda \sqrt{2i-1}}$$

$$\varphi_p = |2\varphi_1 - 180^\circ [1 - \text{SGN}(1-i)]|$$

设计机构时可按图 2.4-12 初选机构尺寸参数, 然后利用以上公式予以精确化。

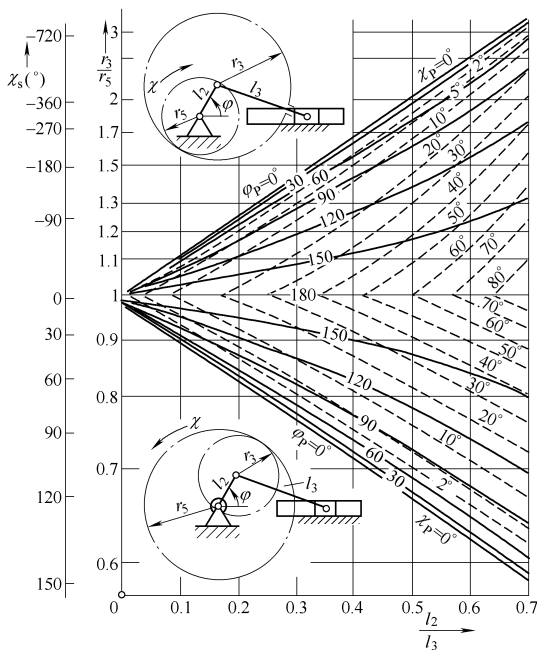


图 2.4-12 齿轮连杆步进机构 (图 2.4-10) 设计线图

当 $i = \frac{1}{1+\lambda}$ 或 $i = \frac{1}{1-\lambda}$ 时有瞬时停歇

当 $\frac{1}{1+\lambda} < i < \frac{1}{1-\lambda}$ 时为带有逆转的步进运动。

例 2.4-1 设计一瞬时停歇的步进机构, 要求主动轴转一周, 从动轴反向转 120° 。

解: $\varphi_s = 360^\circ$, $\chi_s = -120^\circ$, $\varphi_p = 0$

由图 2.4-12 在 χ_s 标尺上查得 -120° , 由此点作水平线与 $\frac{r_3}{r_5}$ 标尺交于 1.33。并求得与 $\varphi_p = 0$ 的线的

交点, 由此引垂线于 $\frac{l_2}{l_3} = 0.25$

由 $\chi_s = 360^\circ (1-i)$ 亦可得出

$$i = 1 - \frac{-120}{360} = \frac{4}{3}$$

如果取 $l_3 = 100\text{mm}$, $l_2 = \lambda l_3 = 0.25 \times 100 = 25\text{mm}$

$$r_5 = l_2 \frac{\text{SGN}(i)}{i-1} = 25 \frac{1}{\frac{4}{3}-1} = 75\text{mm} \quad (\text{外齿轮})$$

$$r_3 = -r_5 i = -75 \frac{4}{3} = -100\text{mm} \quad (\text{内齿轮})$$

结果如图 2.4-10a。亦可改用图 2.4-13 中任一形式。

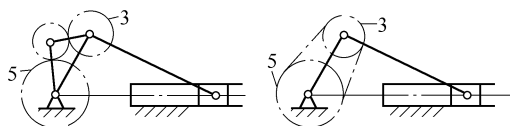


图 2.4-13 图 2.4-10a 的等效机构

3.2 用行星轮驱动铰接四杆机构或导杆机构

行星轮节圆上的点在运动过程中描出内或外摆线。在岐点处描述点速度为零。若以此组成图 2.4-14 所示齿轮连杆机构, 则构件 5 可做瞬时停歇的步进运动。

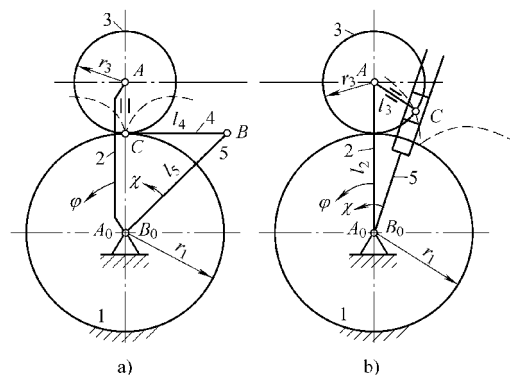


图 2.4-14 齿轮连杆步进机构

图 2.4-14a 是在行星轮系上附加一 RRR 杆组 CBB_0 , 使 $\angle ACB = 90^\circ$, 可使构件 5 瞬时停歇时加速度为零。图 2.4-14b 是在行星轮系上附加一 RPR 杆组, 导杆 5 也可实现瞬时停歇的步进运动。主动件为系杆 2。

利用图 2.4-15, 可查得图 2.4-14a 型机构的设计尺寸。

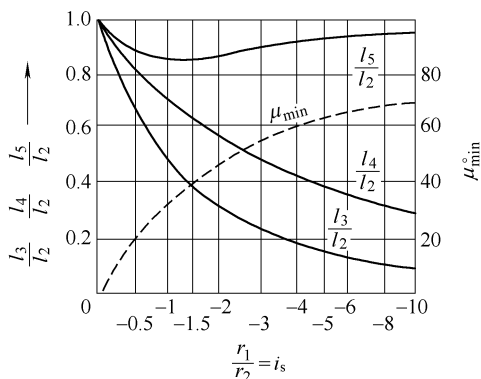


图 2.4-15 设计图 2.4-14 机构所用线图

例 2.4-2 设计一步进数 $n=2$ 的瞬时停歇步进机构。

解 $n=2$ 即主动件转一周, 行星轮上一点应画出两支摆线, 即 $r_1=2r_3$, 由于外啮合 $i_s=-2$

由图 2.4-15, 当 $i_s=-2$ 时可查得 $l_4/l_2=0.57$, $l_5/l_2=0.92$ 和最小传动角 $\mu_{\min}=50^\circ$, 机构简图如图 2.4-14a 所示。

如果 $n>3$, 建议采用附加 RPR 杆组的行星轮系。导杆为输出步进运动的从动件。其尺寸计算简单: $l_3=r_3$ 。

4 不完全齿轮机构

不完全齿轮是指轮齿不布满整个圆周的齿轮。由这种齿轮组成的传动装置即不完全齿轮机构如图 2.4-16 所示。常用作步进传动机构。

不完全齿轮步进机构的动停时间比、行程、步

进数等特性参数较易于用不同的轮齿分布办法得到保证。故它可以实现多样的工艺动作要求, 设计比较灵活, 但是它不能控制分度过程从动件的运动规律, 起、停过程速度不连续, 有较大的冲击, 因而只能用于低速和冲击不影响正常工作的情况。

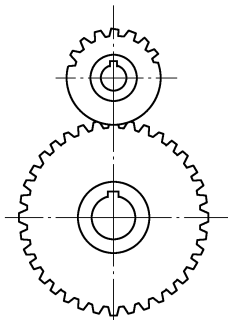


图 2.4-16 不完全齿轮机构

不完全齿轮机构的设计主要考虑以下问题:

(1) 按设计要求选定动停时间比 k 。

(2) 主动轮分度期间首、末两齿齿顶高系数 h_{as}^* 及 h_{am}^* 的确定 如果所有轮齿都是正常齿, 则在啮入过程中会发生齿顶干涉。为了设计方便, 将从动轮齿和主动轮上除首、末齿外的中间齿都设计为正常齿, 即 $h_{a1}^*=h_{a2}^*=1$, 只将主动轮上首、末两齿的齿顶高系数减小。理论上可取 $h_{as}^*=h_{am}^*$, 但为了可靠地避免干涉, 常取 $h_{as}^*<h_{am}^*$ 。

(3) 保证传动连续性 因为 $h_{as}^*<1$, 有可能使啮入过程 $\varepsilon<1$, 即首齿的啮合点已经过了 B_1 点, 后边一对齿尚未开始啮合, 这将产生二次冲击 (参见图 2.4-17a)

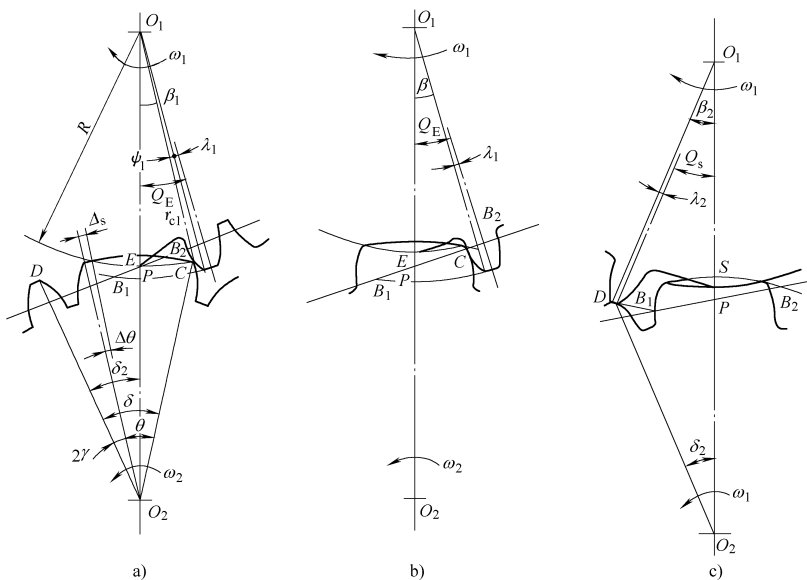


图 2.4-17 不完全齿轮啮入啮出分析

(4) 锁止弧的配置 为了保证在非分度期间从动轮准确可靠地停止,通常应用锁止弧。主动轮上为凸弧,从动轮上为凹弧。当主动轮首齿进入啮合的瞬间,锁止弧终点 E 应在两轮中心连线上;当主动轮末齿脱离啮合的瞬间,锁止弧的起端 S 也应在两轮中心连线上(图 2.4-17b、c)。 E 、 S 点分别与首齿和末齿齿根以过渡曲线连接。从动轮静止位置,其锁止弧对称于中心连线,且应包含有整数 K 个齿。

外啮合不完全齿轮机构的参数计算可参照表 2.4-8 进行。

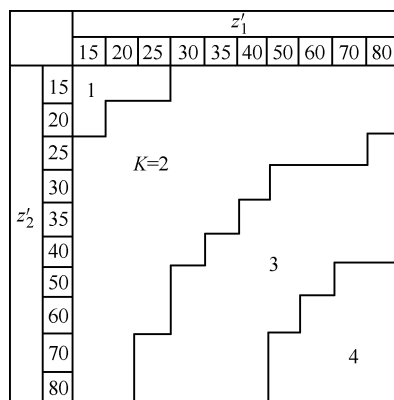


图 2.4-18 按 $z'_1 z'_2$ 确定 K 值

表 2.4-8 不完全齿轮参数设计

序号	项 目	符号	计 算 式
1	主、从动轮布满齿时假想齿数	z'_1, z'_2	按工作条件确定
2	模数	m	按工作条件确定
3	压力角	α	$\alpha = 20^\circ$
4	齿顶高系数	h_{a1}^*, h_{a2}^*	$h_{a1}^* = h_{a2}^* = 1$
5	中心距	a	$a = (z'_1 + z'_2) m / 2$
6	步进数	N	由设计要求确定
7	主、从动轮齿顶压力角	α_{a1}, α_{a2}	$\alpha_{a1} = \arccos \frac{z'_1 \cos \alpha}{z'_1 + 2}$ $\alpha_{a2} = \arccos \frac{z'_2 \cos \alpha}{z'_2 + 2}$
8	从动轮顶圆齿间所对应的中心角		$2\gamma = \frac{\pi}{z'_2} + 2(\text{inv} \alpha_{a2} - \text{inv} \alpha)$
9	一次步进运动从动轮转过的齿距数	z_2	由设计要求的动程确定
10	主动轮只有一个齿时,每次步进从动轮转角内包括的齿距数	K	按 z'_1, z'_2 查图 2.4-18
11	主动轮相邻二锁止弧间齿数	z_1	$z_1 = z_2 + 1 - K$
12	动程(一次步进从动轮转角)	δ	$\delta = \frac{2\pi K}{z'_2} (z_1 = 1), \delta' = \frac{2\pi z_2}{z'_2} (z_1 \neq 1)$
13	主动轮末齿脱离啮合位置时,从动轮齿顶点所在的位置角(图 2.4-17c)	δ_2	$\delta_2 = \frac{\pi}{z'_2} K + \gamma$
14	主动轮末齿齿顶高系数	h_{am}^*	$h_{am}^* = [-z'_1 + \sqrt{z_1'^2 + 4L}] / 2$ $L = [z'_2(z'_1 + z'_2) + 2(z'_2 + 1) - (z'_1 + z'_2)(z'_2 + 2)\cos \delta_2] / 2$
15	主动轮首齿齿顶高系数	h_{as}^*	$h_{as}^* < h_{am}^*$ (当 $z_1 = 1$ 时 $h_{as}^* = h_{am}^*$)
16	主动轮首齿和末齿压力角	α_{as}, α_{am}	$\alpha_{as} = \arccos \frac{z'_1 \cos \alpha}{z'_1 + 2h_{as}^*}$ $\alpha_{am} = \arccos \frac{z'_1 \cos \alpha}{z'_1 + 2h_{am}^*}$
17	首齿重合度	ε	$\varepsilon = \frac{z'_1}{2\pi} (\tan \alpha_{as} - \tan \alpha) + \frac{z'_2}{2\pi} (\tan \alpha_{a2} - \tan \alpha)$

(续)

序号	项 目	符号	计 算 式
18	从动轮锁止凹弧两侧齿顶点对应的中心角	θ	$\theta = \delta - 2\gamma$
19	从动轮锁止弧侧对应齿顶厚 ΔS 的中心角		$\Delta\theta = \frac{1}{z'_2 + 2}$ (取 $\Delta S = 0.5m$)
20	锁止弧半径	R	$R = \frac{m}{2} \sqrt{(z'_2 + 2)^2 + (z'_1 + z'_2)^2 - 2(z'_2 + 2)(z'_1 + z'_2) \cos\left(\frac{\theta}{2} - \Delta\theta\right)}$
21	主动轮首齿进入啮合位置时, 齿顶点所在位置角(图 2.4-17)	β_1	a) $\frac{\theta}{2} > \alpha_{a_2} - \alpha$ (图 2.4-17a), 开始啮合点 C 在轮 2 顶圆上 $\beta_1 = \arctan \frac{(z'_2 + 2) \sin \frac{\theta}{2}}{(z'_1 + z'_2) - (z'_2 + 2) \cos \frac{\theta}{2}} + \psi_1$ $\psi_1 = \text{inv}\alpha_{as} - \text{inv}\alpha_{c_1}$ $\alpha_{c_1} = \arccos \frac{mz'_1 \cos \alpha}{2r_{c_1}}$ $r_{c_1} = \frac{m}{2} \sqrt{(z'_2 + 2)^2 + (z'_1 + z'_2)^2 - 2(z'_2 + 2)(z'_1 + z'_2) \cos \frac{\theta}{2}}$ b) $\frac{\theta}{2} \leq \alpha_{a_2} - \alpha$ (图 2.4-17b) 开始啮合点 C 在 B_1B_2 上 $\beta_1 = (K - 0.5) \frac{\pi}{z'_1} + \text{inv}\alpha_{as} - \text{inv}\alpha$
22	主动轮末齿脱离啮合位置时, 齿顶点所在位置角	β_2	$\beta_2 = \arcsin \left(\frac{Z'_2 + 2}{Z'_2 + 2h_{am}^*} \sin \delta_2 \right)$
23	主动轮锁止凸弧终点 E 的向径 O_1E 与首齿中线间夹角	Q_E	$Q_E = \beta_1 + \lambda_1$ $\lambda_1 = \frac{\pi}{2Z'_1} - \text{inv}\alpha_{as} + \text{inv}\alpha$
24	主动轮锁止凸弧始点 S 的向径 O_1S 与末齿中线间夹角	Q_S	$Q_S = \beta_2 - \lambda_2$ $\lambda_2 = \frac{\pi}{2Z'_1} - \text{inv}\alpha_{as} + \text{inv}\alpha$
25	主动轮在分度过程转过角度	β β'	$\beta = Q_E + Q_S$ (当 $Z_1 = 1$) $\beta' = Q_E + Q_S + \frac{2\pi(Z_1 - 1)}{Z'_1} (Z_1 = 1)$
26	动停时间比	K	$K = \frac{\beta'N}{2\pi - \beta'N}$

第5章 机械系统运动方案设计与机构选型

1 机械系统运动方案设计

1.1 机械系统组成及其方案设计流程

广义地说，现代机械应是机、电、液(气)、控

制一体化的系统。因此机械不仅由前述的抗力物体即刚体或刚性构件组成，而且也包含柔性构件、传感装置及控制系统。一般机械系统组成如图 2.5-1 所示。

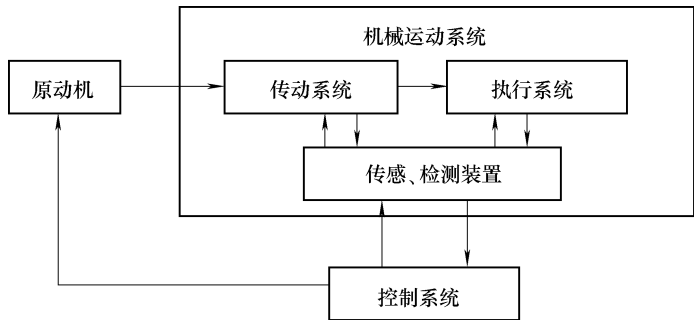


图 2.5-1 机械系统组成框图

机械产品的一般设计过程可用图 2.5-2 所示的框图表述。

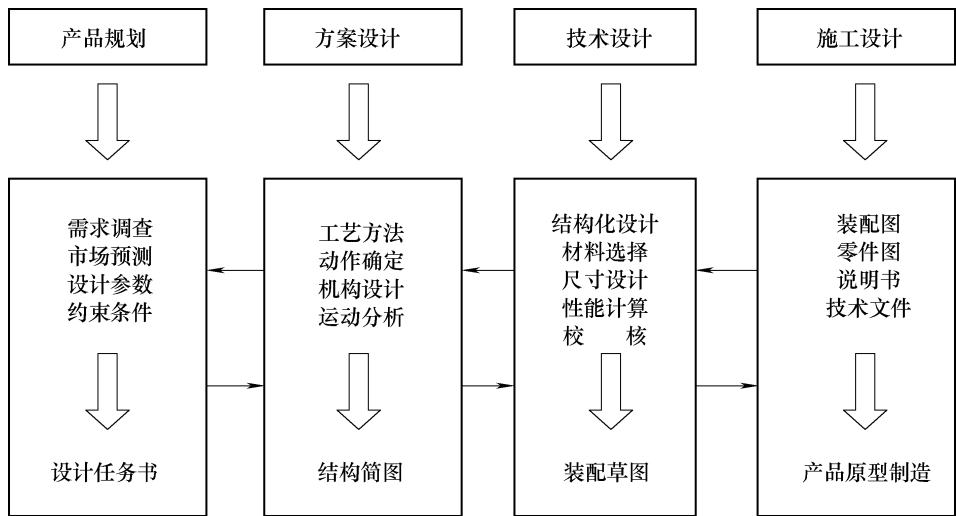


图 2.5-2 机械产品的一般设计过程框图

机械系统运动方案的设计是机械设计过程重要的组成部分，也是最富有创造性的设计工作，运动方案设计的优劣，对提高机械的性能和质量，降低

制造成本与维护费用等影响很大。有研究表明，一个机械产品成本的 70% 是由运动方案设计决定的。

机械系统运动方案设计的内容如绪论中所述。其一般过程可用如图 2.5-3 所示的框图来表示。

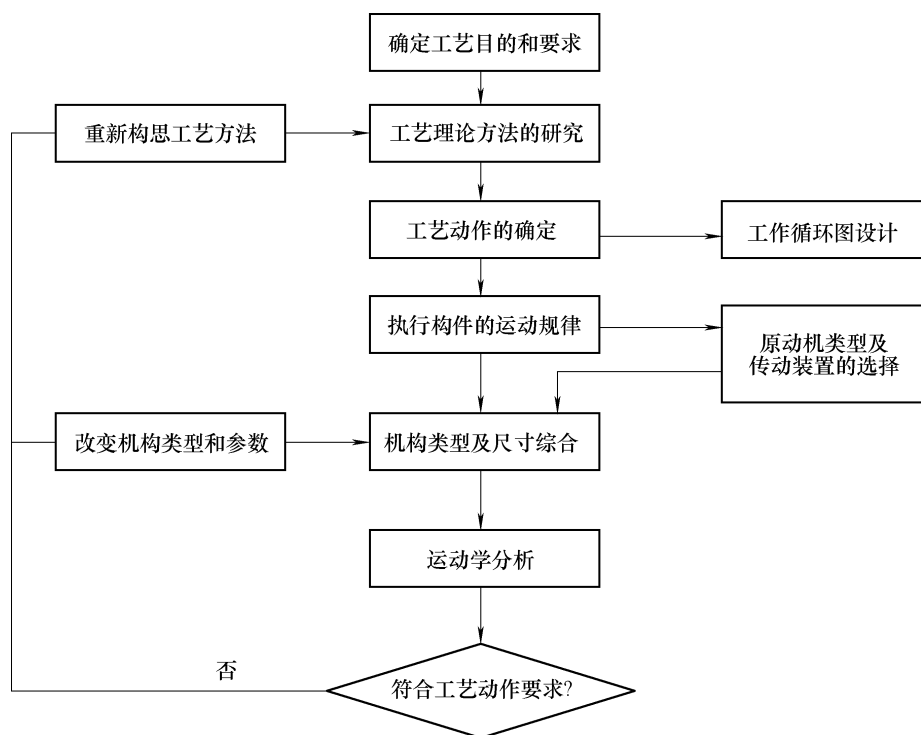


图 2.5-3 机械运动系统方案设计流程

1.2 机构的选择及相互协调配合

机构选型，就是创造或选择合适的机构形式，实现机器中所要求的各种执行动作和运动形式。由于实现同一种功能，可采用不同的技术原理，不同的技术原理可选择不同的机构；即使同一种技术原理，又可选用不同的机构，这样的组合就有许多种机构选型方案。机构选型，要求设计者具有丰富的实践经验和机构学知识。它是机械运动方案拟定中非常重要，也最具创造性的一个环节。

1.2.1 执行构件的运动形式和运动参数

执行构件运动形式不同，其运动参数也不同。运动参数分两种，一种是设计要求明确提出的，另一种需要经过分析确定。执行构件常见的运动形式和运动参数有：

(1) 连续回转运动 连续回转运动多为匀速回转运动，如车床主轴的转动，球磨机筒体的转动等，其运动参数为转速或角速度。有些机器的转速是可

调的，运动参数还有调速范围、调速级数、相邻两级速度的级比、级差等。

(2) 间歇回转运动 这种运动常用作分度运动或转位运动，如多工位机床的工作台转位，步进输送装置的送进轮运动等，其运动参数通常为每分钟的动作次数、运动系数、动停比等。

(3) 往复直线或往复摆动运动 往复直线运动如牛头刨床刨头、冲压机凸模、内燃机活塞的运动；往复摆动运动如摆式喂料机料斗的运动。运动参数有行程长度或摆角、每分钟往复次数等。

(4) 单向间歇直线运动 如牛头刨床、插床工作台送进运动，其运动参数为刀具往返一次工作台送进量。

(5) 平面复杂运动或轨迹运动 如复摆式颚式破碎机动颚的运动，搅拌机某点的运动。运动参数常用坐标来表示。

常见的机器的工艺动作要求的运动形式见表 2.5-1。

表 2.5-1 机构的基本运动变换功能

名 称	功 能 载 体
运动缩小 运动放大	带传动机构、链传动机构、螺旋传动机构、齿轮传动机构、摩擦轮传动机构、行星传动机构、蜗杆传动机构、谐波齿轮传动机构、摆线针轮传动机构、连杆机构
运动轴线变向	锥齿轮传动、蜗杆传动、双曲面齿轮传动、交错轴斜齿轮副传动、半交叉带传动、单万向联轴器传动
运动轴线平移	带传动、圆柱摩擦轮传动、链传动、双万向联轴器传动、圆柱齿轮传动、平行四边形机构
运动分支	齿轮系、带轮系、链轮系
运动形式变换 连续转动 ↓ 单向直线移动	齿轮齿条机构、螺旋机构、带传动机构、链传动机构
连续转动 ↓ 往复直线移动	曲柄滑块机构、六杆滑块机构、移动从动件凸轮机构、正弦机构、连杆-齿轮齿条机构、凸轮-连杆组合机构
连续转动 ↓ 双侧停歇直线移动	移动从动件凸轮机构、利用连杆轨迹实现停歇运动机构、不完全齿轮齿条往复移动间歇机构、不完全齿轮移动导杆间歇机构
连续转动 ↓ 单侧停歇直线移动	不完全齿轮齿条机构、行星内摆线间歇移动机构、槽轮-齿轮齿条机构、移动从动件凸轮机构
连续转动 ↓ 单向间歇转动	不完全齿轮机构、槽轮机构、圆柱凸轮分度机构、针轮间歇转动机构、平面凸轮间歇机构、弧面凸轮分度机构、偏心轮分度定位机构、内啮合星轮间歇机构
连续转动 ↓ 双向摆动	曲柄摇杆机构、摆动导杆机构、曲柄六杆机构、曲柄摇块机构、摆动从动件凸轮机构
连续转动 ↓ 双侧停歇摆动	摆动从动件凸轮机构、双侧停歇的凸轮连杆机构、利用连杆轨迹实现停歇运动机构、曲线槽导杆机构、六杆两极限位置停歇摆动机构
连续转动 ↓ 单侧停歇摆动	摆动从动件凸轮机构、输出摆杆有停歇的圆弧导路机构，曲线槽导杆机构
往复摆动 ↓ 单向间歇转动	棘轮机构、超越离合器机构
连续转动 ↓ 实现预定轨迹	连杆齿轮组合机构、联动凸轮机构、连杆凸轮组合机构、铰链五杆机构、行星轮直线机构、两自由度机构
运动合成	差动螺旋机构、差动轮系、差动连杆机构、两自由度机构
运动分解	差动轮系、两自由度机构
运动换向	惰轮换向、棘轮换向、滑移齿轮换向、行星齿轮换向机构、摩擦差动换向机构

1.2.2 各执行构件运动的协调配合关系

在某些机械传动系统中,各执行构件的运动彼此独立,因此在设计中可不考虑运动的协调配合问题。例如起重机吊钩的起落、吊杆的摆动是各自独立的,并不存在协调配合的问题,将其设计成各自独立的运动链,而且可以采用不同的原动机。而在另一些机械传动系统中,各执行构件的运动之间必须保证严格的协调配合,才能实现机械的功能。它又可分为如下两种情况。

(1) 各执行机构的动作在时间和空间上协调配合

有些机械要求各执行构件在运动时间的先后上和运动位置的安排上,必须准确协调地相互配合。

如图2.5-4所示,为一干粉料压片机。它有上冲头(六杆机构8-9-10-11-12-13);下冲头(双凸轮机构5-6-7-8);料筛传送机构(凸轮连杆机构1-2-3-4-8)所组成。料筛由传送机构把它送至上、下冲头之间,通过上、下冲头加压把粉料压成片状。显然,在送料期间上冲头不能压到料筛,只有当料筛位于上、下冲头之间,冲头才能加压。所以送料以及上、下冲头之间的运动在时间顺序和空间位置上有严格的协调配合要求。

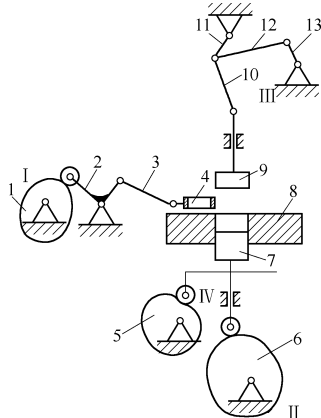


图 2.5-4 干粉料压片机

(2) 各执行构件运动速度的协调配合

有些机械要求执行构件运动之间必须保持严格的速比关系。如范成法加工齿轮时,刀具和工件的范成运动必须保持某一恒定传动比;车床车制螺纹时,主轴的转速和刀架的走刀速度也必须保持严格的恒定速比关系。

对于有运动配合要求的执行构件,往往采用一个原动机,通过运动链将运动分配到各执行构件上去,借助机械传动系统实现运动的协调配合。但在一些现代机械中,也采用多个原动机分别驱动,借助控制系统实现运动的协调配合。

1.2.3 工作循环图

为保证机械工作时各执行构件间动作的协调配合关系,设计机械时,应编制以表明机械一个工作循环中各执行构件运动配合关系的工作循环图(或称运动循环图)。编制时应选定一个构件作为定标件,用它的运动位置(转角或位移)作为确定其他构件运动先后次序的基准。

机械运动循环图通常有三种表示方法:直线式、圆周式、直角坐标式。下面以图2.5-4所示的干粉料压片机为例,介绍这三种循环图。

干粉料压片机一个工作循环的工作过程如下(如图2.5-5所示):

图2.5-5a: 移动料筛4,将粉料送至模具8的型腔上方准备装料,并将上一循环中成型的药片推开,同时下冲头7下移至装药位置。

图2.5-5b: 振动料斗,将料筛入型腔。

图2.5-5c: 料斗4移回,结束装料,下冲头再向下移一定的距离,以防止上冲头下压时,将粉料扑出。

图2.5-5d: 上冲头向下压,下冲头向上顶,接着保压一段时间。

图2.5-5e: 上冲头快速退回至起始位置,下冲头上升,将成品推出型腔,完成一个动作循环。

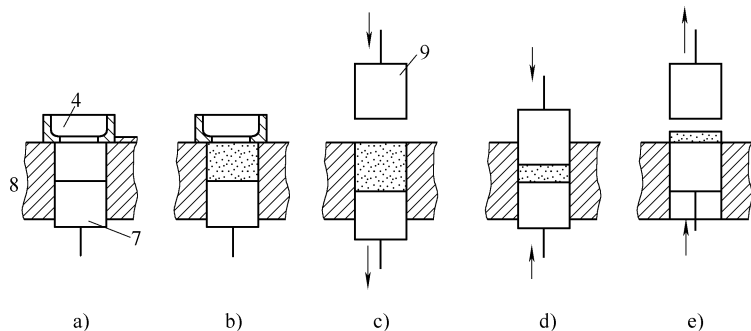


图 2.5-5 干粉压片机的工作过程

以曲柄为定标件,曲柄转一周为一个运动循环。实现上述运动的工作循环图如图 2.5-6 所示。其中图 2.5-6a 是直线式循环图,图 2.5-6b 表示的是圆周式循环图。这两种循环图能表示工艺动作的先后次序和动作持续时间的长短。图 2.5-6c 是直角坐标式循环图。这种运动循环图不仅能表示出各执行构件动作的先后,而且能描述它们的运动规律及配合关系,是一种比较完善的循环图。

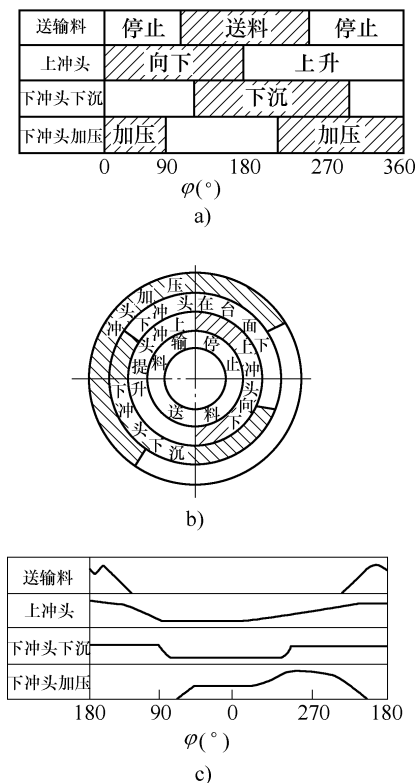


图 2.5-6 干粉压片机的
三种运动循环图

需要指出的是,虽然运动循环图的主要功用是表示机械中各执行构件间的相互配合关系,以保证各执行机构动作的相互协调,使机械顺利实现预期的工艺动作,但同时它也为进一步设计各执行机构的运动尺寸以及机械系统的安装和调试提供了重要依据。因此,它在机械系统运动方案设计中占有重要地位。

1.3 原动机及传动机构的选择

1.3.1 原动机的类型及应用

现代机械中应用的原动机类型规格较多,除了热机(蒸汽机、内燃机)主要用于经常变换工作场所的机械设备和运输车辆外,用于一般机械上的动力机为电动机、液压机和气动机。电动机是最常用的一种原动机。电动机的类型有交流电动机、直流电动机、步进电动机和伺服电动机等。

交流异步电动机价格低廉、功率范围宽,具有自调性,其机械性能能满足大多数机械设备的需要。交流异步电动机的同步转速有 3000r/min、1500r/min、1000r/min、750r/min 和 600r/min 五种,在输出同样的功率时,电动机的转速越高,其尺寸和重量也就越小,价格也就越低。

直流电动机用于调速范围大,且需连续平滑调速时使用。伺服电动机、步进电动机常用于数控设备中,需要精确控制执行构件位置或运动规律时使用。

液压机有输出旋转运动的液压马达和输出直线运动的液压油缸。液压机一般调速方便,易于实现速度和运动方向的控制,应用它往往可以使运动链简短,并能直接驱动执行构件。但须配备高压油供给系统,且制造、装配要求精度高,成本高。

气动机由于工作介质为空气,成本低,无污染、宜远距离输送,动作迅速、反应快;但其工作稳定性差、噪声大,用于要求实现简单运动的场合,如只要求从动件作位置移动,并不十分苛求运动规律时使用。

在具体条件下,选择哪种类型的原动机,要作技术和经济上的综合分析。原动机的不同选择对机械传动系统的设计、组成的繁简以及性能的优劣都有着重要的影响。

1.3.2 传动机构的类型

减速器是传动系统中常用的一种部件,常作为标准部件在工程设计中直接选取。减速器有很多类型和结构形式,如圆柱齿轮减速器、蜗轮蜗杆减速器、少齿差减速器、谐波齿轮减速器、摆线针轮减速器,选用时可参阅有关的设计手册。常见的机械传动类型及特点如表 2.5-2。此外,连杆机构、凸轮机构、螺旋机构、槽轮机构、棘轮机构、组合机构等既是执行机构,同时也是传动机构,在传动中起着改变运动形式的作用。

表 2.5-2 常用机械传动的特性和应用

	带传动	链传动	齿轮传动	蜗杆传动
主要优点	中心距变化范围大，结构简单，传动平稳，能缓冲，可起安全装置作用(指摩擦型带传动)，成本低，安装要求不高	中心距变化范围大，平均传动比较准确、恒定，对恶劣环境适应能力较强，工作可靠，与摩擦型传动相比在轴和轴承上的力较小	外廓尺寸小，效率高，传动比恒定准确，寿命长，适用的功率和速度范围广，采用行星传动时可获得很大传动比	外廓尺寸小，结构紧凑，传动比大而准确。传动平稳无噪声，可做成自锁传动
主要缺点	外廓尺寸大，轴和轴承上受力大，摩擦型带传动由于静电效应不宜用于易燃，易爆场合，而且传动比不能严格保证，寿命较短	瞬时速度不均匀，高速时，不如带传动平稳(齿形链较好)，在振动冲击负荷下寿命大为缩短	要求制造安装精度高，不能缓冲，高速传动精度不够时则有噪声，无过载保护作用	效率低，中速及高速传动需用价格昂贵的减摩材料(如青铜)，制造精度高，刀具费用高
功率 P/kW	平带 $P_{\max}=2000$ 普通 V 带 $P_{\max}=1000$ (常用 50~100 以下) 同步带 $P_{\max}=200$	$P_{\max}=3500$ 常用 100 以下	直齿圆柱齿轮 $P_{\max}=750$ 斜齿和人字齿 $P_{\max}=50000$ 直齿圆锥齿轮 $P_{\max}=1000$	$P_{\max}=750$ ， 通常只用到 50 以下
速度 $v/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	平带 $v_{\max}=100$ 普通 V 带 $v_{\max}=25\sim30$ 同步带 $v_{\max}=100$	$v_{\max}=30\sim40$ 通常 <20	6 级精度 圆柱齿轮 $v\leq 18\sim36$ 圆锥齿轮 $v\leq 5\sim25$	滑动速度 $v_{\max}=15\sim35$
效率 η	平带 0.92~0.98 普通 V 带 0.92~0.94 同步带 0.96~0.98	滚子链 $v\leq 10\text{m/s}$ $\eta=0.95\sim0.97$ 滚子链 $v>10\text{m/s}$ $\eta=0.92\sim0.96$ 齿形链 $\eta=0.97\sim0.99$	开式传动 $\eta=0.92\sim0.94$ 闭式传动 $\eta=0.95\sim0.99$	开式 $\eta=0.6\sim0.7$ 闭式 $\eta=0.7\sim0.92$ 自锁蜗杆 $\eta=0.40\sim0.45$
单级传动比 i	平型带 $i\leq 4\sim5$ 普通 V 带 $i\leq 7\sim10$ 同步带 $i\leq 10$	滚子链 $i\leq 6\sim10$ 齿形链 $i\leq 15$ 通常 $i\leq 8$	圆柱齿轮 $i\leq 10$ 常用 $i\leq 5$ 圆锥齿轮 $i\leq 6$ 常用 $i\leq 3$	开式传动 $i\leq 100$ 常用 $i=15\sim60$ 闭式传动 $8\leq i\leq 80$ 常用 $i=10\sim40$
寿命/h	普通 V 带 3500~5000 (优质 V 带可达 20000)	5000~15000	取决于轮齿材料的接触和弯曲疲劳强度以及抗胶合和抗磨损能力	制造精确，润滑良好，寿命较长。低速传动磨损显著

1.4 机械系统运动方案设计实例

蜂窝煤成型机的运动方案设计。

1.4.1 蜂窝煤成型机的功能

蜂窝煤成型机必须完成以下动作：

- 1) 煤粉的输送及往模型腔中加料；
- 2) 冲压成型；
- 3) 清除冲头及出煤盘上的煤屑；
- 4) 把成型的蜂窝煤从模具中脱出；
- 5) 输送蜂窝煤。

1.4.2 技术原理

为满足蜂窝煤成型机的设计要求，把实现功能目标的要求限定在机械手段。这样，把蜂窝煤成型机的工艺动作分解如下：

- 1) 冲压机构完成冲压蜂窝煤的动作并可短暂保压；
- 2) 间歇性运动机构完成带有周向圆孔的出煤盘的间歇性转动；
- 3) 扫屑机构完成清扫冲头及出煤盘；
- 4) 脱模机构完成把蜂窝煤从模具中托出的动作；
- 5) 减速传动机构调解适当的冲压速度。

表 2.5-3 列举了完成各工艺动作的对应简单机

构,把各机构进行组合后,机械运动方案的数目为:

$$N=3 \times 3 \times 3 \times 3=81$$

表 2.5-3 蜂窝煤成型机的机构组合

冲压机构	曲柄滑块机构✓	六杆增压机构	凸轮机构
间歇转动机构	槽轮机构✓	不完全齿轮机构	凸轮式间歇机构
扫屑机构	连杆机构	移动凸轮机构✓	齿轮机构
脱模机构	单独脱模机构	与冲压机构同体✓	
传动机构	齿轮机构	带传动机构	带传动+齿轮机构✓

根据蜂窝煤成型机要求性能良好、结构简单、操作容易、经久耐用、维修方便、成本低廉的特点,其机械系统由曲柄滑块机构(冲压机构)、槽轮机构(分度机构)、移动凸轮机构(扫屑机构)以及带传动+齿轮机构组成(减速机构)。机构如图 2.5-7 所示。为增加冲头的刚度,采用对称的两套冲压机构。

1.4.3 运动循环图

蜂窝煤成型机中的各机构的动作具有严格的顺序,其运动循环图如图 2.5-8 所示。循环图中,以冲压机构为主机构。横坐标为曲柄轴的位置,纵坐标表示各执行机构的位置。

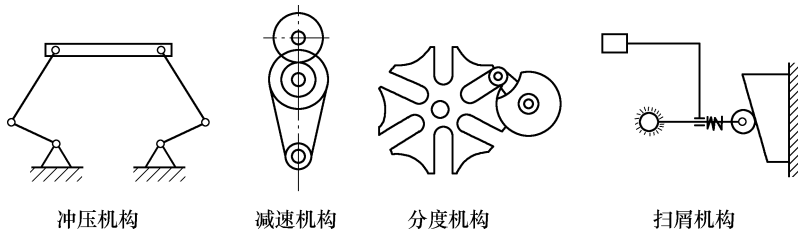


图 2.5-7 蜂窝煤成型机机构组成图

冲压过程分为冲程和回程,带有模孔的转盘工作行程在冲头回程的后半段和冲程的前半段完成,使间歇转动在冲压之前完成。扫屑运动在冲头回程的后半段和冲程的前半段完成。

1.4.4 机械系统运动方案的构思

把减速传动机构、冲压机构、分度机构和扫屑机构的运动协调起来,可按机构组合原理进行。各分支机构的连接如图 2.5-9 所示。

电动机驱动带轮机构,带轮机构驱动齿轮机构;齿轮机构分别驱动冲压曲柄滑块机构和分度槽轮机构,冲压机构的冲头驱动扫屑凸轮机构。机械系统运动简图如图 2.5-10 所示。

该机械中的凸轮扫屑机构采用了移动式的反凸轮机构。在冲头回程(上行)时,其端部长形毛刷清扫冲头和脱模头。为表达清楚,图中把凸轮扫屑机构转过 90°。

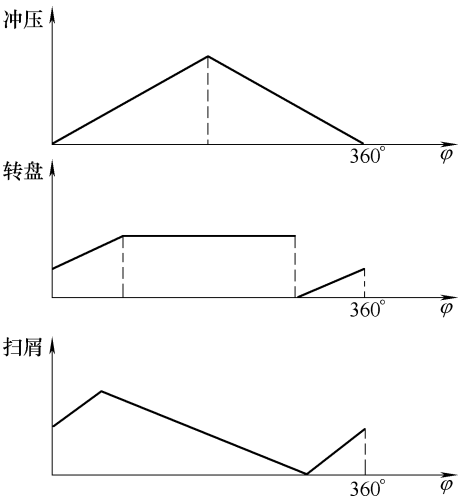


图 2.5-8 蜂窝煤成型机运动循环图

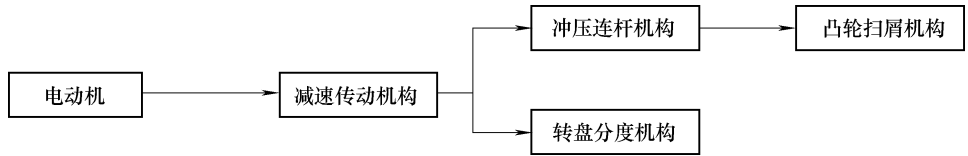


图 2.5-9 各分支机构的连接框图

1.4.5 方案分析

利用表 2.5-3 所给出的简单机构组合, 可有 81 种成型机方案。

该方案采用了简单机构的巧妙组合, 设计出结构简单、性能可靠、成本低廉, 经久耐用、维修容易且操作方便的蜂窝煤成型机, 并占领了很大的市场。

该机械的创新之处在于用常用简单机构组成一个能完成既定动作、效果良好的机械运动方案。可

见方案的创新设计在机械工程中具有非常重要的地位。

机械创新设计不一定限于高科技领域, 在机械工程中, 利用简单机构的各种组合而创新设计实用机械的例子很多。如把蜂窝煤成型机中的分度槽轮机构用机、电、液一体化的分度机构代替, 虽然提高了分度精度, 但是增加了整机造价。这显然不符合市场的需求。

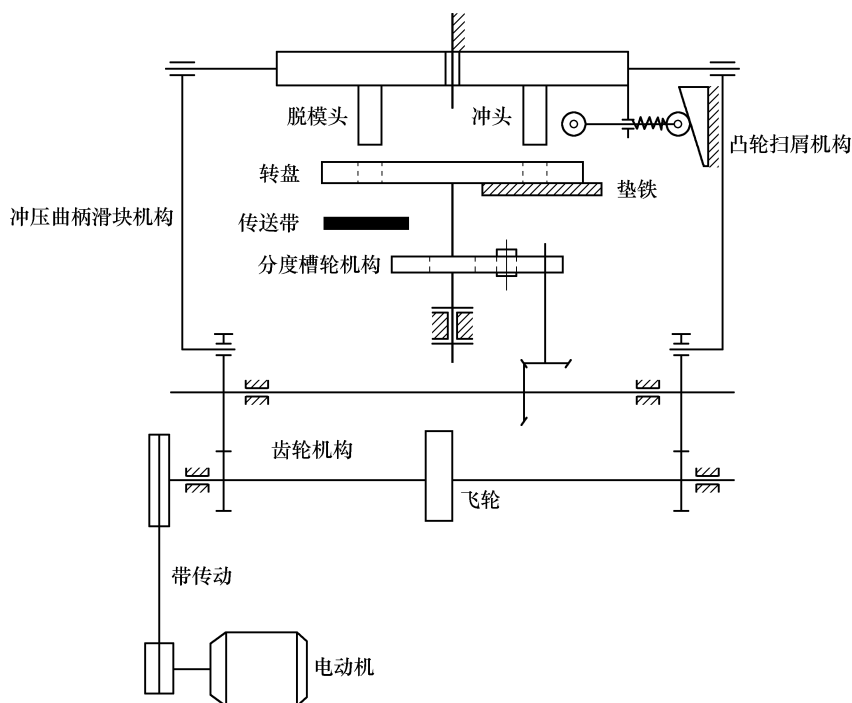


图 2.5-10 蜂窝煤成型机机械系统运动方案图

2 机构选型参考图例

本节选出一些构思精巧、结构简单、功能独特的典型机构, 按机构类型和运动变换分类, 供设计者实际设计中选型参考, 并开拓设计思路, 构思创造新机构。

2.1 等传动比机构

2.1.1 传动效率高的增、减速机构

(1) 涡轮螺旋桨发动机主减速器 如图 2.5-11。它是由单排负号差动轮系 (z_1, z_2, z_3, x) 经传动比为负的定轴轮系 (z'_1, z'_2, z'_3) 封闭而成的闭式差动器。尺寸紧凑, 功率分流合理, 有很高的传动效率。其传动比为:

$$i_{1x} = i_{13}^x (i_{3x} - 1) + 1 = \frac{z_3}{z_1} \left(\frac{z'_3}{z'_1} + 1 \right) + 1$$

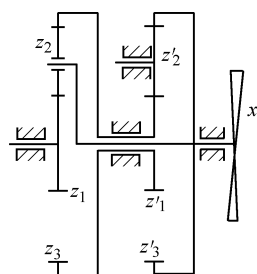


图 2.5-11 涡轮机主减速器机构

(2) 串接单排负号机构行星减速器 如图 2.5-12 所示 A 为中心轮 1, B 为系杆 x ; 作为减速器 A 主动, B 从动, 减速比为:

$$i_{1x}'' = \left(1 + \frac{z_3}{z_1} \right) \left(1 + \frac{z'_3}{z'_1} \right) \left(1 + \frac{z''_3}{z''_1} \right)$$

有很高的传动效率。如以 B 为主动轴, 则为增速器, 传动效率依然很高。

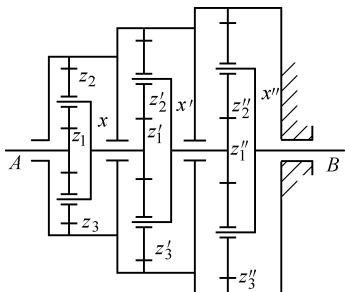


图 2.5-12 串接单排行星减速器

(3) 龙门刨床工作台变向机构 如图 2.5-13 所示, A 为主动轴, B 为从动轴, 当制动器 1 刹住 x_1 时, 齿轮 1, 2, 3 为定轴轮系, 齿轮 3', 4, 5 与 x_2 组成行星轮系(5 固定不动), 传动比为:

$$i_{AB} = i_{1x_2} = -\frac{z_3}{z_1} \left(1 + \frac{z_5}{z_3} \right)$$

当制动器 II 刹住齿轮 3 与 3' 时, 即成为串接单排行星轮系, 其传动比

$$i_{AB'} = \left(1 + \frac{z_3}{z_1} \right) \left(1 + \frac{z_3'}{z_5} \right)$$

$i_{AB'} > 0$; $i_{AB} < 0$, 且 $|i_{AB'}| > |i_{AB}|$ 。说明 $i_{AB'}$ 对应于工作行程, i_{AB} 对应于空回行程。

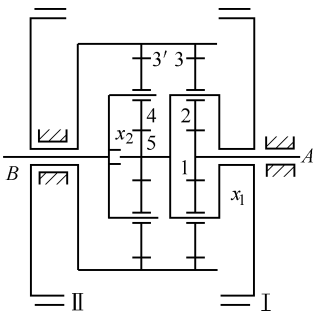


图 2.5-13 龙门刨床工作台换向机构

2.1.2 具有很大传动比的减速机构

(1) 圆锥齿轮封闭的差动轮系 图 2.5-14a 所示轮系, 齿轮 1, 2, 2', 3 及系杆 x 和齿轮 4 (输入运动的主动件) 组成差动轮系, 圆锥齿轮 5, 6, 7 将其封闭。当 i_{13}^x 接近于 1 时, 可得到很大传动比:

$$i_{47} = \frac{z_7}{z_5} \left(\frac{-\frac{z_6}{z_5} - i_{13}^x}{1 - i_{13}^x} \right)$$

例如: $z_1 = z_2' = 100$, $z_2 = 99$, $z_3 = 101$, $z_5 = z_6$, $z_7 = 5z_5$, 则 $i_{47} \approx 100000$ 。

(2) 蜗杆蜗轮封闭的差动轮系 图 2.5-14b 所示

轮系, 圆锥齿轮 2', 3, 4 及系杆 x 组成差动轮系, 由齿轮 1', 5', 蜗杆 1, 5 及蜗轮 2, 4' 将差动轮系封闭, 1 为主动件, x 为从动件, 其传动比:

$$i_{1x} = 2 \frac{z_2}{z_1} \left(\frac{1}{1 - \frac{z_5 z_1' z_2}{z_4' z_5' z_1}} \right)$$

当 $\frac{z_5 z_1' z_2}{z_4' z_5' z_1}$ 近于 1 时 i_{1x} 可很大。

例如 $z_1 = z_5 = 1$, 右旋, $z_1' = 99$, $z_2 = 101$, $z_4' = z_5 = 100$, $z_2' = z_4'$, 则 $i_{1x} \approx 2 \times 10^6$ 。

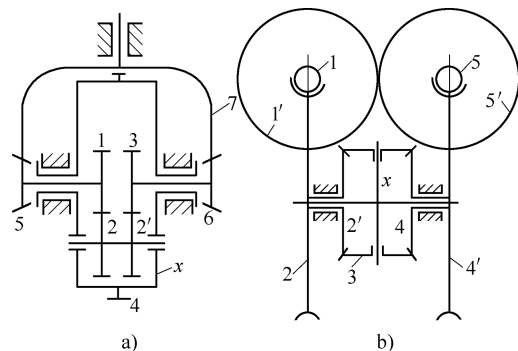


图 2.5-14 大减速比周转轮系

(3) 三环传动 输出中心轮转动的少齿差行星减速器原理如图 2.5-15a, 主动件 1 即系杆 x , 带动行星轮 2, 由中心轮 3 将转动运动定轴输出, 但这是一个自由度为 2 的差动轮系。为了实现定传动比传动, 可约束行星轮 2 的转动, 使其只作圆轨迹的平动。这样既可实现定轴输入输出, 又不需要特殊的输出机构了。

如果将行星轮与平面四杆机构的连杆做成一体, 两个等长的曲柄 1 和 1' 相当于系杆 x , 约束行星轮的转动, 如图 2.5-15b。

平行四杆机构运动过程中必有两个共线位置, 因而有瞬时运动不确定性, 再考虑构件的平衡和机构的均衡, 因而至少需将三个这种机构等角错位并列使用, 这就是三环减速器(图 2.5-15c), 其传动比:

$$i_{13} = i_{x3} = \frac{z_3}{z_3 - z_2}$$

单级传动 $i_{13} = 11 \sim 99$ 。

三环减速器。由于多齿内啮合、功率分流, 故有行星减速器特点。非同轴传动和无需特殊的输出机构有别于传统的少齿差传动, 传动效率较高。但其中有作圆轨迹平动构件 2, 运转过程中惯性力不易完全平衡, 动力学性能较差。

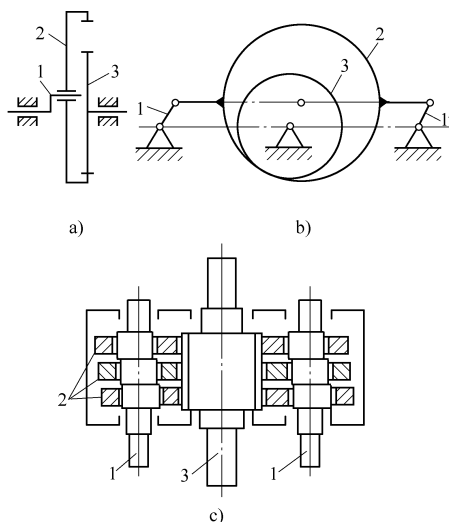


图 2.5-15 三环传动

(4) 章动传动 章动传动是一种系杆 H 具有偏角，行星轮为内锥齿轮的少齿差行星传动，传动简图如图 2.5-16 所示。

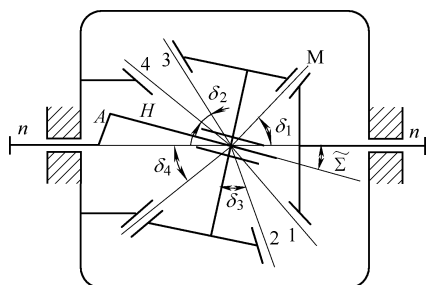


图 2.5-16 章动传动机构简图

传动比

$$i_{H1} = \frac{z_1 z_3}{z_1 z_3 - z_2 z_4}$$

输出轴的转向由 4 个齿轮的齿数决定。当 $z_1 z_3 - z_2 z_4 > 0$ 时，两轴转向相同，否则相反。若 $z_3 = z_4$ 。则 i_{H1}

$= \frac{z_1}{z_1 - z_2}$ 。其结构如图 2.5-17 所示。

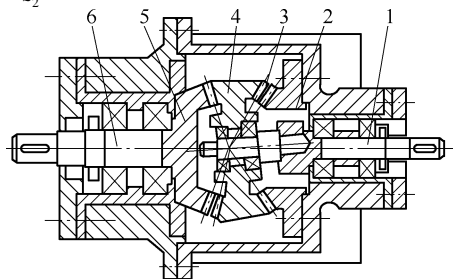


图 2.5-17 章动减速机构结构图

1—输入轴 2—固定外锥齿轮 3—偏角小轴 4—章动锥齿轮 5—转动外锥齿轮 6—输出轴

(5) RV 传动 结构组成与传动原理：RV 传动是由高速级的圆柱齿轮传动和低速级的差动齿轮传动组成的二级齿轮减速传动（如图 2.5-18）。1 为主动轮，与两个或多个均布的齿轮 2 啮合，实现一级减速。2（即 H ）的回转运动使齿轮 G 作公转运动。如果主动轮 1 与两个或多个均布的齿轮 2 啮合为定轴转动，则行星轮 G 作圆平动，与中心轮 b 啮合并将运动及动力输出，实现低速级的减速传动。图 2.5-18a 所示为外齿行星轮与内齿中心轮 b 啮合输出；若行星轮为内齿轮，中心轮为外齿轮，则高速级相当于双（或多）曲柄输入三环传动。或者说三环传动相当于将 RV 传动的双（或多）曲柄输入转化成为平行四边形输入。如果中心轮 b 固定，则齿轮 G 一边公转一边自转，推动 H 获得低转速并输出如图 2.5-18b 所示。

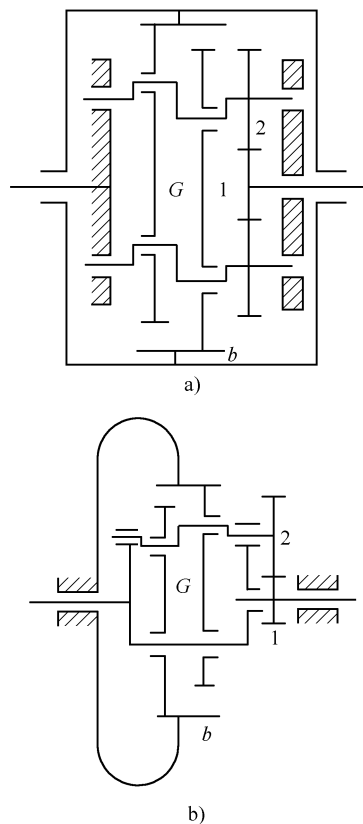


图 2.5-18 RV 传动机构简图

传动比：

1) 行星轮作圆平动，中心轮输出的传动比

$$i_{1b} = \frac{\omega_1}{\omega_b} = -\frac{z_2 z_b}{z_1 (z_b - z_G)} = i_1 i_2$$

i_1 为第一级传动比，取值范围为 1.5 ~ 3。 i_2 为第二级传动比，即相当于二级的串联。这种类型的传动机构适用于卷扬机，绞车等可以置于输出件内部的

传动装置。

2) 行星轮既公转又自转, 中心轮固定的传动比

$$i_{1H} = \frac{\omega_1}{\omega_H} = \frac{z_2 z_b}{z_1(z_b - z_c)} + 1$$

这种传动类型适用于减速机类通用机械传动。

2.1.3 传动比等于1的传动机构

(1) 平行四杆机构 图 2.5-19a 所示为铰接四杆机构。如果 $a=c$, $b=d$, 则为平行四杆机构, 两连架杆 AB 及 CD 的角速度相等。但当四杆共线位置时有传递运动不确定性。因而常做成过约束形式, 如图 2.5-19b。

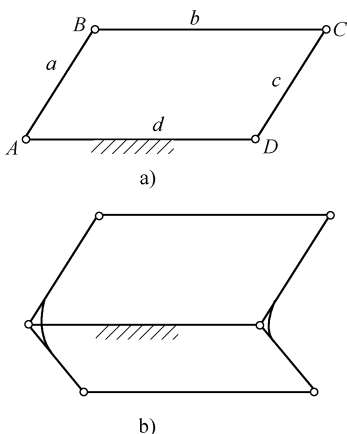


图 2.5-19 平行四边形机构

(2) 多轴同步输出机构 利用多组平行四边形机构可以将一个主动轴的转动多轴同步输出, 如图 2.5-20。用于多头钻 (图 2.5-20a) 及机车驱动装置 (图 2.5-20b) 等。

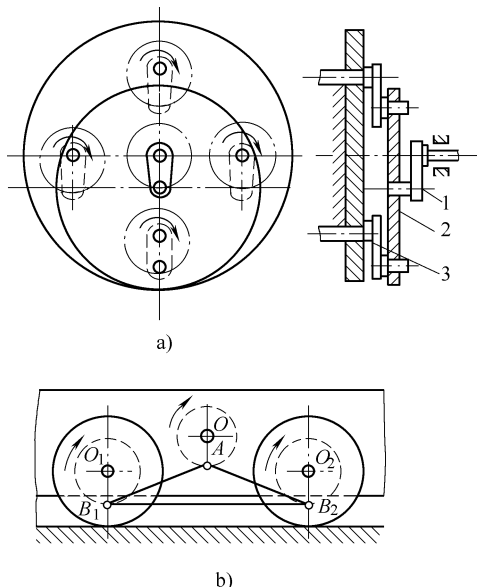


图 2.5-20 多轴同步输出机构

(3) 可变轴距同步输出机构 如图 2.5-21 所示。三个平行圆盘, 用 6 个长度为 l 的等长杆件组成多组平行四边形机构。轴 1 为定轴转动的主动件, 从动轴 7 的位置可以在以轴 1 为圆心, 半径为 $2l$ 的圆内任意变动而将轴 1 的转动同步输出。

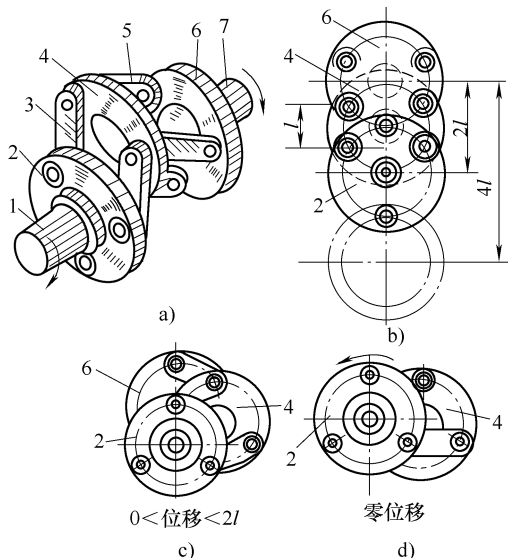


图 2.5-21 可变轴距同步输出机构

(4) 虚轴同步输出机构 当一构件需要定轴转动而结构上不宜有实际的转动轴时可用图 2.5-22 所示机构。圆环 A 为输出构件, $B_1 B_2 B_3 B_4$ 及 $C_1 C_2 C_3 C_4$ 为两个全等的平行四边形机构。构件 B 和 C 分别可绕固定转轴 B_0 、 C_0 转动, 且 $\triangle B_0 B_1 B_2 \equiv \triangle C_0 C_1 C_2 \equiv \triangle A_0 B_3 B_4 \equiv \triangle A_0 C_3 C_4$ 。当主动件 B (或 C) 绕 B_0 (或 C_0) 转动时从动件 A 即绕虚轴 A_0 同步转动。

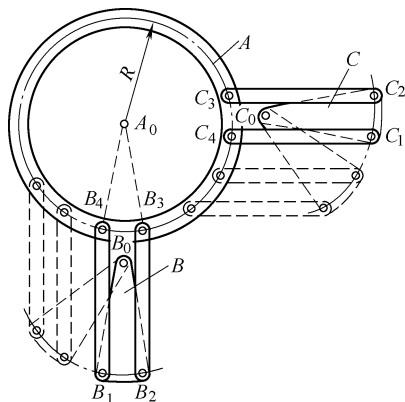


图 2.5-22 虚轴同步输出机构

(5) 十字滑槽联轴器 固结于两轴端的圆盘 1、3 上各有一径向凹槽, 浮动盘 2 两侧各有一凸棱相互正交, 分别与轴端圆盘凹槽配合。可以连接轴线平行但有少许偏距的两轴传递转动 (图 2.5-23), 传递

转动过程中, 浮动盘中心轨迹为以偏距 e 为半径的圆, 产生离心惯性力, 故转速不宜高。

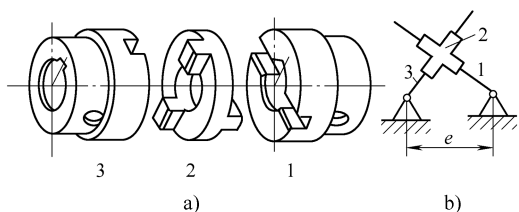


图 2.5-23 十字滑槽联轴器

a) 结构示意图 b) 机构图

(6) 铰接万向联轴器 图 2.5-24a 所示的铰接万向联轴器中, 主动轴 1 和从动轴 2 的轴端各固结一叉子, 分别铰接于十字头 3 上。轴 1、2 可相交成角度 α , 传动过程中允许 α 变动。这种联轴器主、从动轴的传动比不是常数, 而是主动轴转角 φ_1 周期函数。

$$i_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos \alpha}{1 - \sin^2 \alpha \cos^2 \varphi_1}$$

欲使主、从动轴实现传动比恒等于 1 的传动, 可应用双万向联轴器(图 2.5-24b)。主动轴 1 和从动轴 2' 的轴线可以平行、相交或空间交错, 只要保证以下条件, 就可使 $i_{21}' = 1$ 。

① 1、2 两轴的轴线交角 α_{12} 与 2、2' 两轴的轴线交角 $\alpha_{22'}$ 相等。

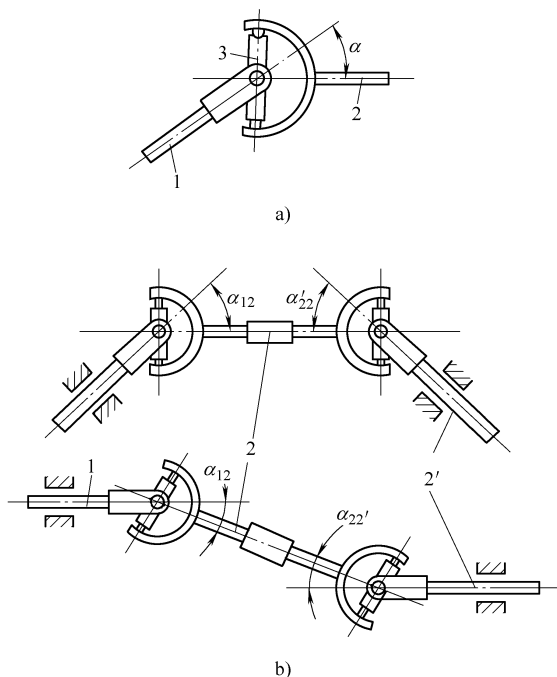


图 2.5-24 万向联轴器

② 2 轴上与 1 轴相联结的叉子平面如果在 1、2 轴线所在平面内, 则 2 轴上与 2' 轴相连接的叉子平面必须在 2、2' 轴线所在的平面内。

如果 1、2' 轴共面, 则条件②即成为 2 轴上两个叉子平面在同一平面内。

(7) 钢球等传动比万向联轴器 如图 2.5-25 所示, 主动轴 1 和从动轴 2 的轴端各有一带有滚道的钢球碗, 用 4~6 个钢球传递运动和动力。如果在传递运动和改变主、从动轴间夹角的过程中, 这些钢球的中心都能处于两轴夹角的等分面上, 则主、从动轴的角速度就可以相等。Bendix-weiss 联轴器是依靠两个钢球碗上特殊的滚道形状自动调节钢球位置的(图 2.5-25a), Rzeppa 联轴器则是利用导向杆带动钢球隔离圈使钢球保持正确位置的(图 2.5-25b)。

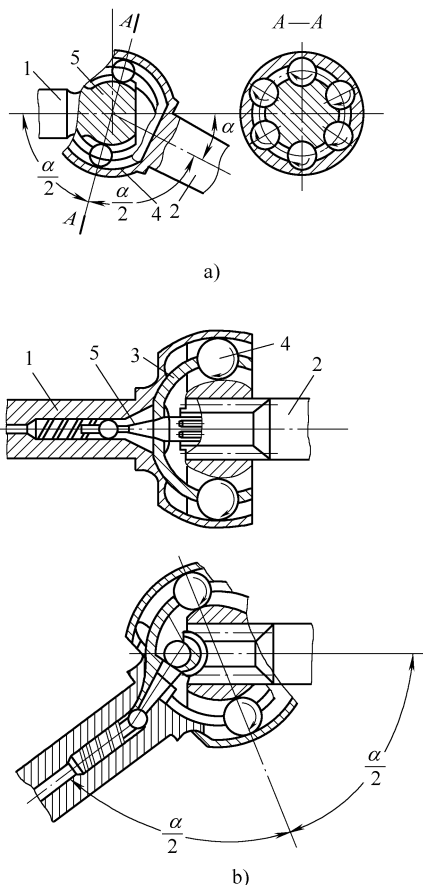


图 2.5-25 钢球等速比万向联轴器

2.1.4 机器人操作手的手腕机构

机器人操作手的手腕通常设置三个转动自由度, 即: θ_4 ——偏摆自由度, θ_5 ——俯仰自由度, θ_6 ——滚转自由度。如果三个转动轴汇交于一点则称球手腕。带有球手腕的操作手运动学和动力学建模较简

单。三个转动轴不汇交于一点的手腕机构称偏移式手腕。

(1) 第1种球手腕机构 如图2.5-26, 驱动构件1旋转, 实现 θ_4 , 使 θ_5 轴线绕 x 轴转摆。驱动构件2, 通过锥齿轮4, 5带动半球壳7, 使 θ_6 轴线随7绕 θ_5 轴线转摆, 驱动构件3, 通过锥齿轮8, 9, 10, 11实现 θ_6 轴线相对于7的转动, θ_6 轴线被限制在以 x 轴为轴, 顶角为 4α 圆锥面内。

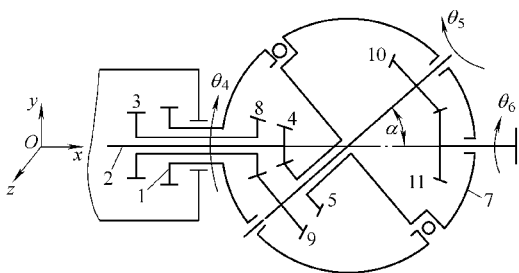


图 2.5-26 球手腕机构(1)

图2.5-27所示为辛辛那提三转动球手腕的结构图。

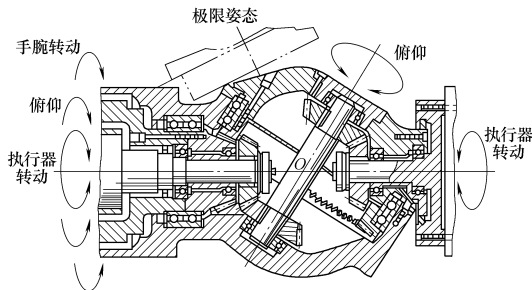


图 2.5-27 辛辛那提三转动球手腕

(2) 第2种球手腕机构 如图2.5-28, 齿轮1驱动齿轮5实现 θ_4 , 使 θ_5 轴线绕 x 轴平行于 yOz 平面转动, 齿轮2驱动齿轮6, 7, 8, 实现 θ_5 , 使 θ_5 轴线绕 y 轴转动; 齿轮3驱动齿轮9, 10, 11, 12, 13, 实现 θ_6 。 θ_6 轴线位置只受具体结构限制, 灵活度较大。

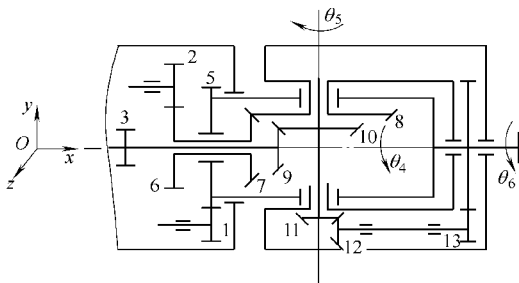


图 2.5-28 球手腕机构(2)

(3) 第3种球手腕机构 如图2.5-29所示, 转

动构件1, 实现 θ_4 , 由齿轮2驱动齿轮4及链轮5, 6实现 θ_5 , θ_6 由齿轮3, 7, 链轮8, 9, 齿轮10, 11实现, 这种手腕的灵活度也较大。

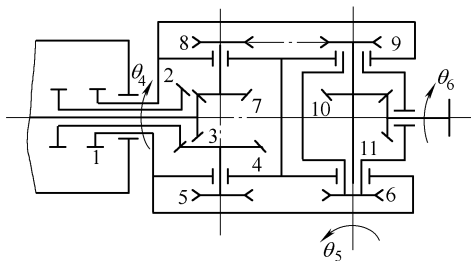


图 2.5-29 球手腕机构(3)

(4) 偏移式手腕机构 如图2.5-30所示, 由齿轮1, 4, 5实现 θ_4 。齿轮2实现 θ_5 。齿轮3, 6实现 θ_6 。这种结构设计较简单。

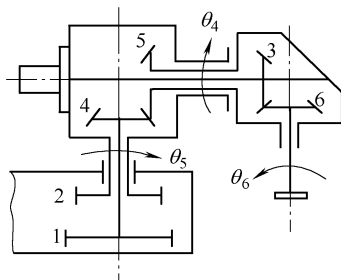


图 2.5-30 偏移式手腕

2.2 周期变传动比传动机构

2.2.1 连杆机构

(1) 双曲柄机构 图2.5-31所示的平面四杆机构中, 如果四个杆长满足: 最长与最短杆长度之和小于其余二杆长度之和, 且最短杆为机架, 则两个连架杆都可绕固定轴作整周转动, 称双曲柄机构。如果主动曲柄匀速转动, 则从动曲柄作周期变速转动, 而两曲柄转向一致, 周期相同。当连杆平行于机架时, 两曲柄角速度相等。双曲柄机构的传动函数如图2.5-32。

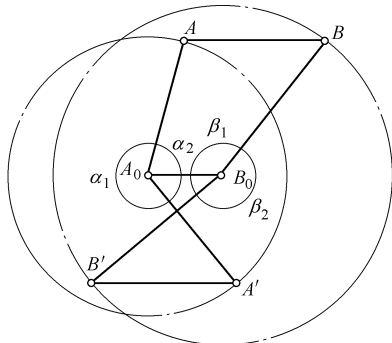


图 2.5-31 双曲柄机构

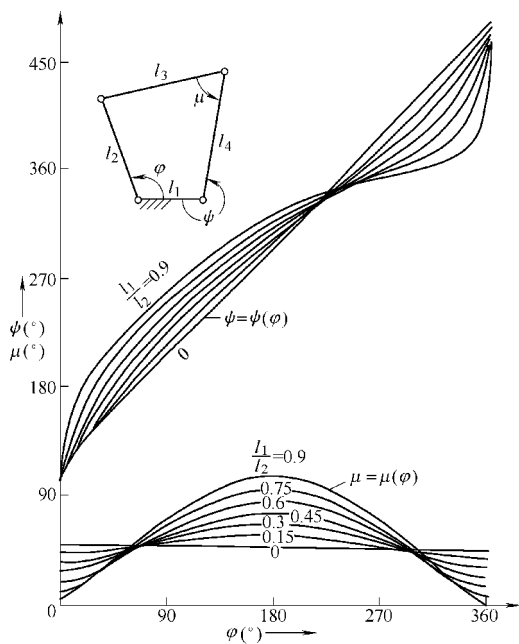


图 2.5-32 $\frac{l_3}{l_2} = \frac{l_4}{l_2} = 1.2$, $\frac{l_1}{l_2} = 0 \sim 0.9(0.15)$
的双曲柄机构传动函数

(2) 双曲柄匀速移动机构 可用做插、刨床的工作机构。主动曲柄 A_0A 匀速转动，从动曲柄 B_0B 变速转动驱动连杆滑块，使滑块在往复运动的一个行程中有较长一段作近似匀速运动。图 2.5-33 中曲线 α 为 $v_c - s$ 线图，为了对比，同时画出了曲线 β (虚线)，它是当 B_0B 匀速转动时的 $v_c - s$ 线图。

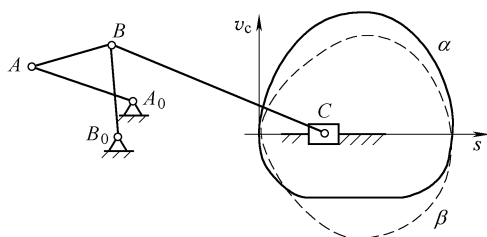


图 2.5-33 刨、插床中的双曲柄机构

(3) 等腰双曲柄机构 如图 2.5-34，尺寸关系为 $a = b$, $c = d$ 。如果以 a 为机架，则长曲柄 d 转动一周，短曲柄 b 转动两周。由于在四杆共线位置有运动瞬时不确定性，故需附加约束装置 (例如图 2.5-34 中所示在四杆共线位置对连杆上 D , C 两点运动约束

装置) 以保证连续转动的实现。

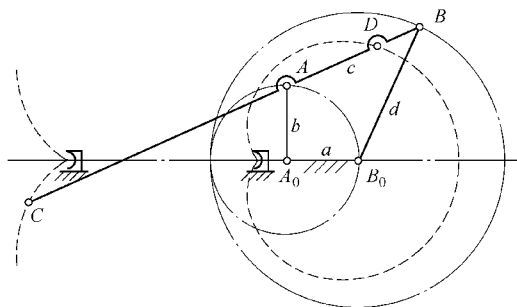


图 2.5-34 等腰双曲柄机构

(4) 转动导杆机构 如图 2.5-35a 所示，主动曲柄长为 a ，机架长为 d 。如 $a > d$ ，则当主动曲柄匀速转动时，从动件导杆作周期变速转动。当导杆与机架处于互垂直位置时曲柄 1 与导杆 3 的角速度相等。随 a/d 值不同，其传动函数变化如图 2.5-35b。

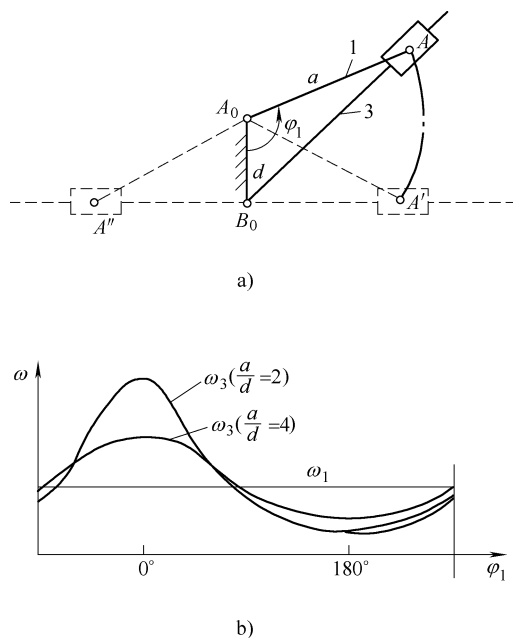


图 2.5-35 转动导杆机构及其传动函数

2.2.2 齿轮连杆机构和齿轮凸轮机构

作为实现从动件周期变速连续转动的齿轮连杆机构或齿轮凸轮机构是以两个自由度的差动轮系为基础，利用具有非线性传动函数的连杆机构或凸轮机构调节控制从动件的运动，使其实现周期单向或带有局部逆转的变速转动。

(1) 双轮机构 如图 2.5-36，齿轮 4, 5 及系杆 1 组成差动轮系，1 为主动件，连杆机构控制行星轮的转动，中心轮 5 输出周期变速转动。

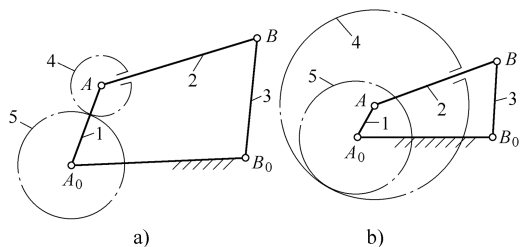


图 2.5-36 双齿轮连杆机构

a) 外啮合 b) 内啮合

$$\omega_5 = \left(1 \pm \frac{z_4}{z_5}\right) \omega_1 \mp \frac{z_4}{z_5} \omega_2 \quad (\text{"+"用于外啮合, "-"用于内啮合})$$

用于内啮合, $\omega_2 = \omega_4$ 取决于连杆机构尺寸及位置)。

(2) 三轮机构 如图 2.5-37, 主动齿轮 1 偏心安装, 形成了曲柄摇杆机构中的曲柄。它在驱动行星轮 4 转动的同时, 使系杆 3 (即曲柄摇杆机构中的摇杆) 作非线性摆动, 从而使从动轮 5 作周期变速转动。从动轮的角速度为

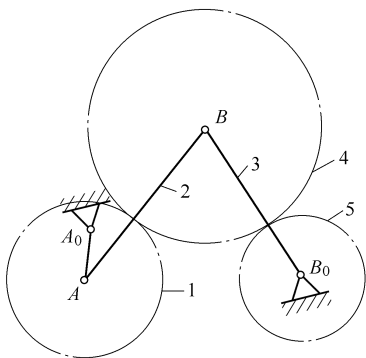


图 2.5-37 三齿轮连杆机构

$$\omega_5 = \frac{z_1}{z_5} \omega_1 - \frac{z_1 + z_4}{z_5} \omega_2 + \frac{z_4 + z_5}{z_5} \omega_3$$

适当设计机构的尺寸参数可以使从动件实现周期地单向变速转动或有瞬时停歇甚至局部逆转的变速转动。

(3) 凸轮固定的齿轮凸轮机构 如图 2.5-38, 齿轮 2 和 5 及系杆 1 组成差动轮系, 1 为主动件, 5 为从动件。固结于行星轮 2 上的滚子嵌入固定凸轮 4 的槽中。行星轮 2 的运动除由系杆 1 驱动外, 还取决于凸轮 4 的廓线形状。从动件 5 可实现周期变速转动, 其角速度为

$$\omega_5 = \left(1 + \frac{z_2}{z_5}\right) \omega_1 - \frac{z_2}{z_5} \omega_2$$

这种机构易于实现从动件多种多样的运动规律。

(4) 滚子固定的齿轮凸轮机构 如图 2.5-39 所示, 轮 1 为主动件, 齿轮 3 为从动件, 行星轮轴上固结着与固定的滚子相接触的凸轮。当轮 1 转动时驱动行星轮 2 转动, 凸轮驱使系杆摆动, 使轮 3 实

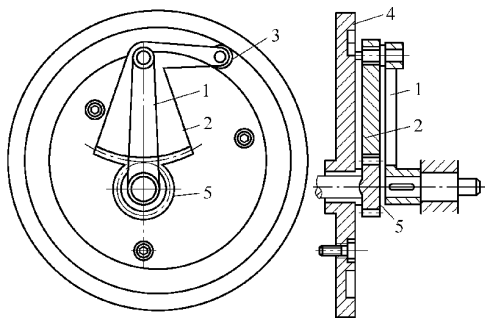


图 2.5-38 凸轮固定的齿轮凸轮机构

现周期变速转动。

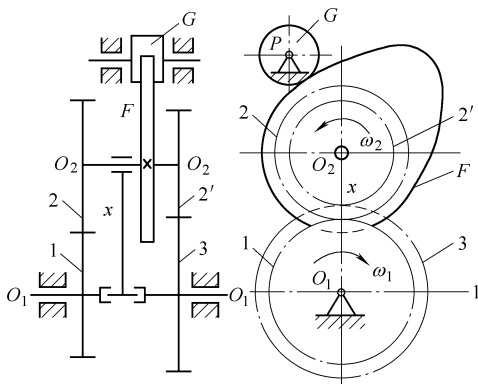


图 2.5-39 滚子固定的齿轮凸轮机构

(5) 蜗轮凸轮机构 如图 2.5-40, 蜗杆与圆柱凸轮做成一体, 可沿主动轴 1 滑动。当主动轴 1 转动时, 蜗杆转动的同时还按凸轮廓线决定的运动规律轴向移动, 从动件蜗轮即可实现周期变速运动。

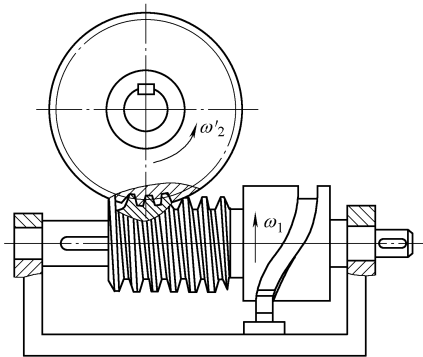


图 2.5-40 蜗轮凸轮机构

2.3 变速和调速机构

2.3.1 有级变速机构

(1) 三轴滑移式齿轮变速机构 图 2.5-41 中, I、II、III 三轴平行, 轴 I、II 和轴 II、III 的中心距相等, 轴 III 上固结 N 个齿轮分为 A、B 两组。每

组齿轮的模数相同。齿数不等,但齿数差小于4,利用变位齿轮可分别与 z_a 、 z_b 滑移齿轮啮合。可形成多组传动比。设变速级数为 k ,则

$$k = N(N-1) + 1$$

A组

B组

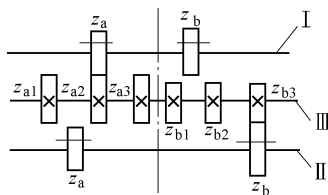


图 2.5-41 三轴滑移齿轮变速机构

(2) 锥齿轮组多级变速机构 如图 2.5-42,花键轴 1 上装有滑移齿轮 z_1 ,可与等高齿锥齿轮组 z_2 中任一齿轮啮合,锥齿轮组中每个齿轮都是偶数齿,并都做成两半,上半部与下半部错开 $\frac{b}{3}$ (b 为齿宽),各齿轮的剖分面做成凹口在一条直线上, z_1 滑移时只能与 z_2 中一个齿轮啮合。

设变速级数为 m ,从动轴转数为 $n_1, n_2, \dots, n_m$,齿轮组 z_2 中的齿数公差数为 a ,则

$$a = \frac{n_m - n_1}{m - 1} \quad m = 1 + \frac{n_m - n_1}{a}$$

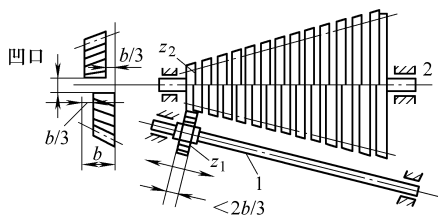


图 2.5-42 锥齿轮组多级变速机构

(3) 双电动机差速器有级变速装置 如图 2.5-43,电动机 1、2 具有恒定转速,分别驱动差速器两中心轮 5、6,由系杆 7 通过齿轮 8、9 将运动输出。

第一种速度,电动机 2 不动

$$n_9^I = -\frac{n_1}{2} \frac{z_8}{z_9}$$

第二种速度,电动机 1 不动

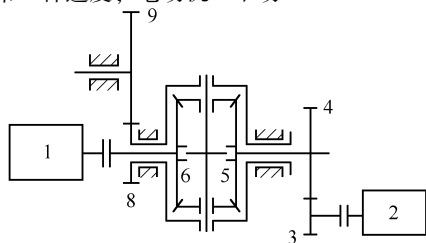


图 2.5-43 双电动机差速有级变速机构

$$n_9^{II} = \frac{n_2}{2} \frac{z_3}{z_4} \frac{z_8}{z_9}$$

第三种速度,电动机 1、2 同向转动

$$n_9^{III} = n_9^I - n_9^{II}$$

第四种速度,电动机 1、2 异向转动

$$n_9^{IV} = n_9^I + n_9^{II}$$

2.3.2 无级变速机构

(1) 双锥轮平盘式无级变速器 如图 2.5-44,主动平盘 2 靠弹簧压紧滚动锥轮 3 并借助于摩擦力驱动被动平盘 5。通过齿轮将运动传给输出轴 6。用反向螺旋调节滚动锥轮 3 的位置可改变轴 6 的输出转速。

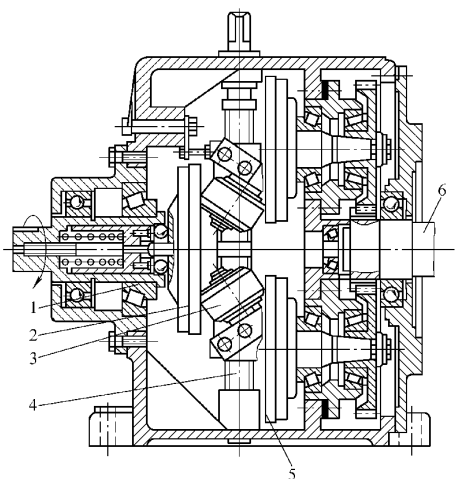


图 2.5-44 双锥轮平盘式无级变速器

(2) 带有差动机构的无级变速器 如图 2.5-45。将无级变速器的主动轴 I,通过传动比为 i_s 的定轴轮系与差速器的一个中心轮 1 相联,无级变速器的从动轴 II 与差速器的另一中心轮 3 相联,系杆 x 经齿轮 4、5 输出运动至轴 III。

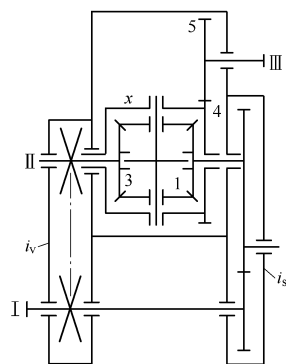


图 2.5-45 带有差动机构的无级变速器

这种无级变速器的功用有两方面,一是扩大调速范围,二是功率分流。

例如, 宽带无级变速器速比 $i_v = 0.33 \sim 3$, 即调速范围为 $K_v = \frac{i_{v\max}}{i_{v\min}} = 9$ 。如选取 $i_s = -7$, $i_{45} = -1$,

将使 $i_{1\parallel} = -0.7 \sim -10.5$, 总调速范围 $K = \frac{i_{1\parallel\max}}{i_{1\parallel\min}} = 15$ 。但应注意此时系统中有循环功率。宽带变速器传递的功率将是总功率的 $1.05 \sim 1.75$ 倍; 在相同的 i_a, i_{45} 条件下, 令 $i_s = 1.8$, 则宽带变速器传递功率为总功率的 $0.84 \sim 0.38$ 倍, 这对稳定输出转速有利, 但总变速比 $K = \frac{i_{1\parallel\max}}{i_{1\parallel\min}} = \frac{-2.25}{-0.57} = 4 < K_v$ 。

如令 $i_s = -1$, 则可使输出转速由负值经过零达到正值, 即可变向。

改变 i_{45} 可改变输出转速的绝对值。

(3) 金属带式无级变速器

金属带式无级变速传动装置 CVT (Continuously Variable Transmission) 如图 2.5-46 所示, 它由上部主动锥盘形成的 V 形槽通过金属带摩擦片驱动下部从动锥盘同向转动。主、从动锥盘各有一盘固定, 另一盘可作轴向移动, 改变金属带与锥盘接触的节圆半径, 达到无级变速传动的要求。

金属带由相互挤推的 V 形薄片状摩擦片和若干很薄的金属带环连接而成, 通过几百件摩擦片与主、从动锥盘的摩擦而传递转矩, 金属带环承受较大的张力和上亿次的弯曲。一般由 10 片左右厚约 0.2mm 的无缝环带叠套一组, 各环带间有严格公差要求以求均载, 两组金属环带分别嵌入摩擦片两侧平槽内。

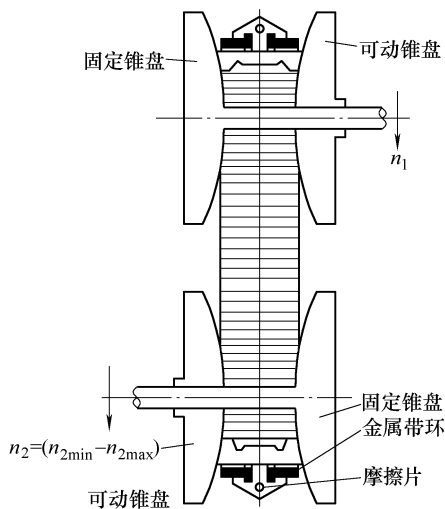


图 2.5-46 金属带式无级变速传动示意图

主、从动锥盘各设对轴固定的锥盘和可动锥盘,

动盘由液压或电动控制作协调的轴向移动, 使金属带作整体平移, 改变锥盘与摩擦片接触摩擦节圆, 达到无级变速传动。

荷兰 DAF 公司、VDT 公司率先于 20 世纪 70 年代将 CVT 金属带式无级变速器应用于轿车上, 得到可观的效益, 现在已大量投放欧美、日本轿车市场。

2.4 往复运动机构

2.4.1 连续转动变换为往复移动

(1) 曲柄滑块机构 如图 2.5-47, 曲柄 1 为主运动件, 它能整周转动的条件为 $a + e \leq b$ 。当 $e \neq 0$ 时有急回特性。急回系数为 $k = (\pi + \theta) / (\pi - \theta)$, θ 为极位夹角。显然 $e = 0$ 时 $\theta = 0$ 。

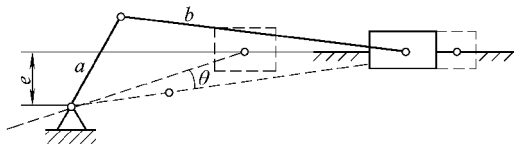


图 2.5-47 曲柄滑块机构

滑块往复运动的行程

$$S = [2(a^2 + b^2) - 2(b^2 - a^2)\cos\theta]^{1/2}$$

为了保证传力性能, 压力角不宜大。荐用 $\frac{b}{a} =$

2.5 ~ 4。

(2) 正弦机构 简图如图 2.5-48a。当主动曲柄 1 连续转动时从动件 3 作简谐运动, 无急回特性。它可以做成图 2.5-48b 那样结构形式, 传力性能及刚性都较好, 应用于小型冲床等设备中。

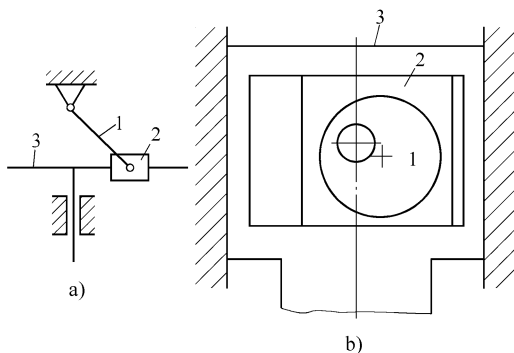


图 2.5-48 正弦机构

(3) 凸轮机构 图 2.5-49, 1 为凸轮, 2 为从动件, 凸轮表面为反向螺旋槽, 两螺旋槽头尾都以圆滑圆弧连接。从动件上一船形导向块 3 可沿螺旋槽运动。凸轮转动时, 从动件作往复匀速移动。用

于行程较大的均匀排线的绕绳机和纺织机械中。

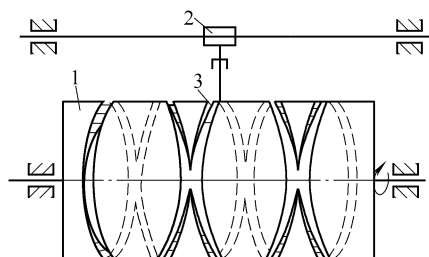


图 2.5-49 螺旋槽凸轮机构

(4) 三头钻进刀凸轮机构 如图 2.5-50, 凸轮盘 1 的内表面为三段相同的复合曲线, 转动凸轮可使三个钻头以同样运动规律进刀或退刀。

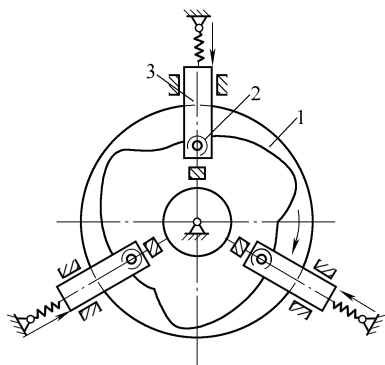


图 2.5-50 三头钻进刀凸轮机构

(5) 挠性带式往复移动机构 如图 2.5-51, 滑块 3 铰接于挠性件 2 上, 当带轮 1 转动时, 它可带动从动件 4 作往复运动, 从动件以简谐运动规律换向故运动较平稳。

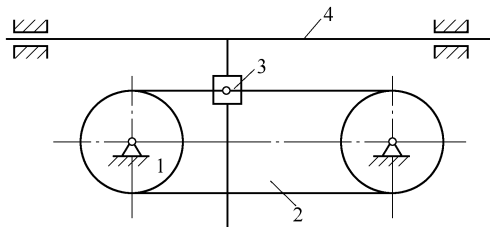


图 2.5-51 挠性件驱动往复运动机构

(6) 收割机镰刀驱动机构 如图 2.5-52, 它首先将 I 轴的连续转动通过球面曲柄摇杆机构 T 变换为 II 轴的往复摆动。其次, 通过空间摇杆滑块机构将 II 轴的摆动变换为镰刀 III 的往复移动。它具有体

积小, 结构紧凑的特点。

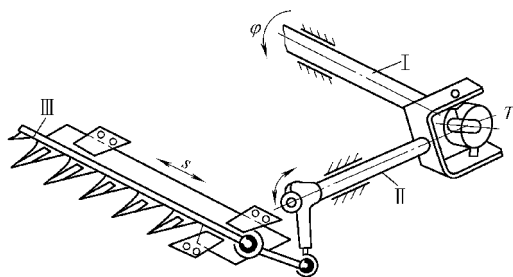


图 2.5-52 收割机镰刀驱动机构

(7) 滚圈往复移动机构 如图 2.5-53, 三个滚圈以其凸起的滚动面压紧转动的输入轴 2 的表面, 三个滚圈都相对于垂直于转动轴的平面倾斜一个角度 α , 由于与轴表面接触部位不同, 中间滚圈与两侧滚圈 α 角倾斜方向相反。当轴 2 旋转时, 各圈沿轴上一条螺旋线滚动, 带动溜板 4 移动。理论导程 $h = \pi d \tan \alpha$, 但由于打滑, 实际导程有所减小。溜板 4 的移动速度通过改变 α 而无级调整, 可产生便于调正或要求快速返回的进给运动, 用于机床和纺织机械中。

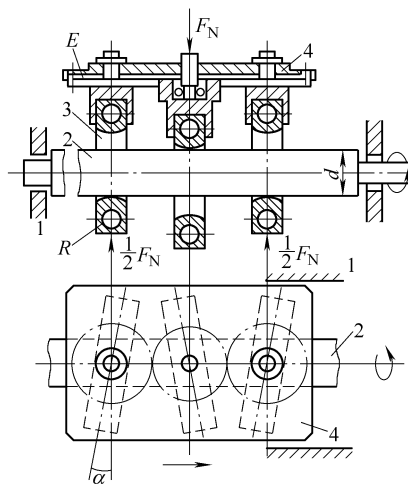


图 2.5-53 滚圈机构

如果使溜板 4 的位置不动。使滚圈主动旋转将轴 2 置换为圆形钢材, 则钢材在螺旋运动中可被矫直。

2.4.2 连续转动变换为往复摆动

(1) 曲柄摇杆机构 在铰接四杆机构中, 如果最长杆与最短杆长度之和小于其他二杆长度之和, 且以最短杆的邻杆为机架, 则最短杆能绕固定轴整周转动, 成为曲柄, 另一连架杆作往复摆动, 即形成曲柄摇杆机构 (图 2.5-54)。

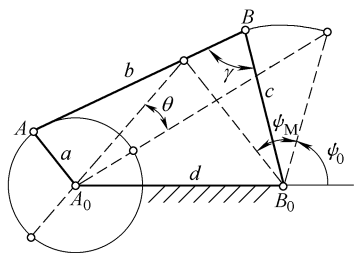


图 2.5-54 曲柄摇杆机构

(2) 导杆机构 如图 2.5-55a 所示, 曲柄长 a 小于机架长 d , 则形成将曲柄 1 的连续转动变换为导杆 3 的往复摆动的导杆机构。导杆的摆角范围 $\psi_M = \arcsin\left(\frac{a}{d}\right)$, 急回系数 $K = (\pi + \psi_M) / (\pi - \psi_M)$,

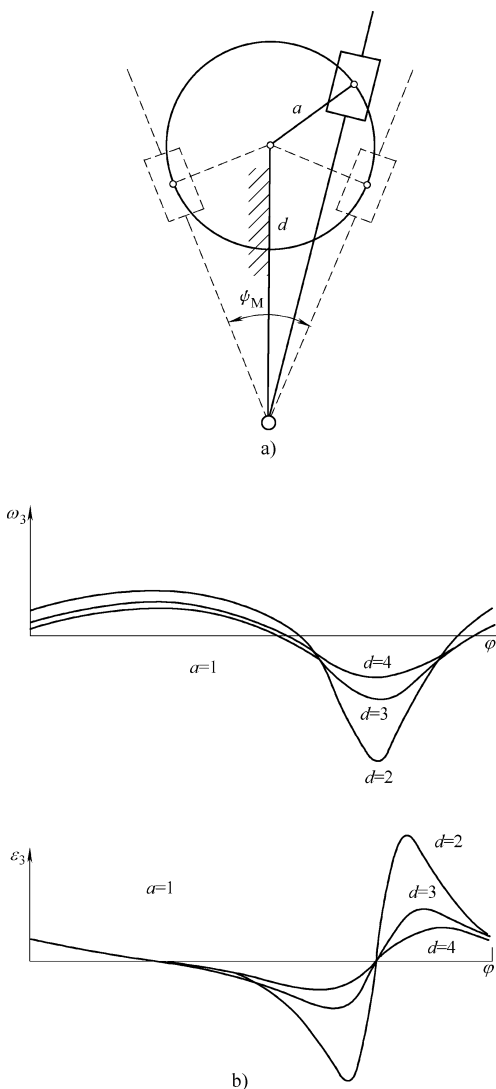


图 2.5-55 导杆机构

a) 机构简图 b) 传动函数

由此可按给定的 ψ_M 或 K 值设计尺寸 a/d , 传动函数随 a/d 而变化, 如图 2.5-55b 所示。

(3) 电风扇的摇头机构 如图 2.5-56, 风扇及电动机 1 固联在双摇杆机构的摇杆 A_0A 上, 电动机另一端的蜗杆与蜗轮 2 啮合, 驱动双摇杆机构的连杆 AB 连续转动, 从而使电风扇往复摆动。

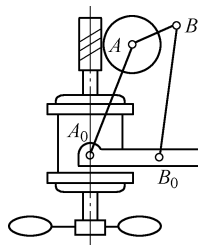


图 2.5-56 电风扇的摇头机构

(4) 汽车刮水器机构 如图 2.5-57, 当主动件 2 连续转动时, 通过连杆 4、5 使构件 6 作大角度的往复摆动, 3、4、5、6 组成阿苏尔 IV 级杆组。通过平行四边形机构使另一刮水器同步运动。

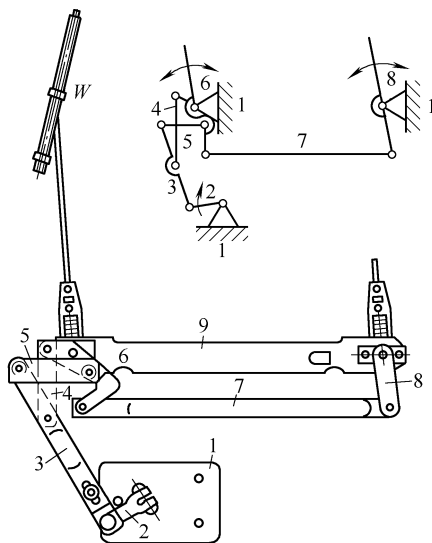


图 2.5-57 汽车刮水器机构

(5) 飞剪机构 图 2.5-58 所示飞剪机构用于薄板材的连续剪切。剪刀装于曲柄摇杆机构 A_0ABB_0 的连杆 3 和摇杆 4 上, 借助于连杆和摇杆的相对转动实现剪切。

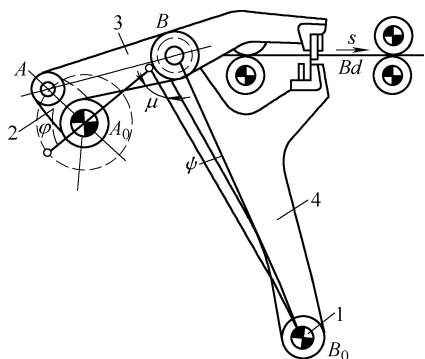


图 2.5-58 飞剪机构

(6) 自卸车拦板自动开启机构 如图 2.5-59 铰接四杆机构的一个连架杆 A_0A 为车厢, 连杆 AB 为拦板。车厢绕 A_0 转动卸料同时拦板自动开启。

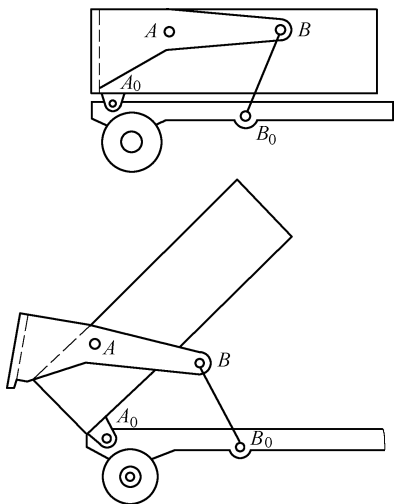


图 2.5-59 汽车拦板自动开启机构

(7) 翻板机构 如图 2.5-60, 是由同一曲柄驱动的两个连杆机构组成。当右接料板 I 处于水平位置时, 右滚道把金属板送于其上, 而后逆时针转动, 在垂直位置附近右接料板将金属板传送给左接料板 II, II 逆时针转动至水平位置将金属板送到左滚道上, 此时金属板已被翻转 180° 。

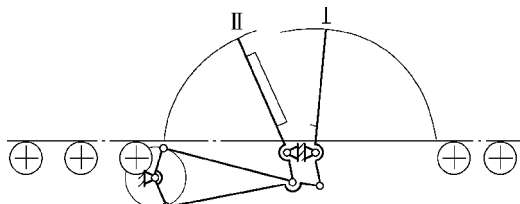


图 2.5-60 翻板机构

(8) 膜片泵机构 如图 2.5-61, 当主动件 1 转动时, 杆 5 绕 A_0 点往复摆动, 带动杆 6 及膜片作

吸、排动作。为了使球形阀有足够的时间下落复位, 杆 5 在两个极限位置均有停歇。

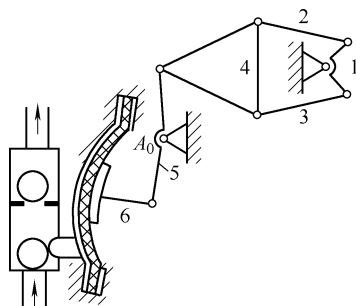


图 2.5-61 膜片泵机构

2.5 行程放大和可调节机构

2.5.1 行程放大机构

(1) 曲柄齿轮齿条机构 以曲柄连杆驱动齿轮 3 在固定齿条 4 上往复滚动, 与齿轮 3 啮合的齿条 5 作往复移动, 其行程 $S=4r$ (图 2.5-62)

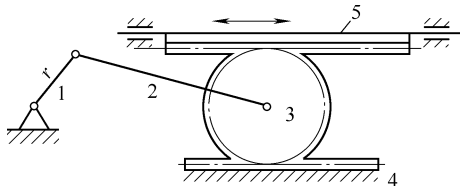


图 2.5-62 行程放大机构

(2) 角度放大机构 图 2.5-63 所示导杆机构以导杆 1 为主动件, 则从动件 3 的摆角 $\varphi_3 \gg \varphi_1$ 。这种角度放大机构见于缝纫机的摆梭装置中。

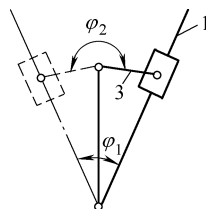


图 2.5-63 导杆角度放大机构

(3) 动滑轮行程放大机构 图 2.5-64 所示的举升装置中应用动滑轮, 使托板的行程为液压缸柱塞行程的两倍。图 2.5-65 所示机构, 应用复式滑轮组, 使从动件行程 S 为液压缸行程 s 的 6 倍。图 2.5-66 所示机构为一曲柄滑块机构带动两个中心距为定长的动滑轮, 挠性件 4 于 A 点固定, 则曲柄转动时固结于挠性件 4 上的从动件 5 做 $S=4r$ 的往复移动。

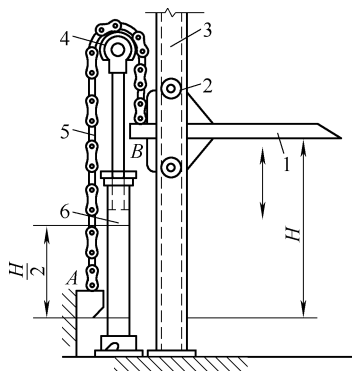


图 2.5-64 举升装置

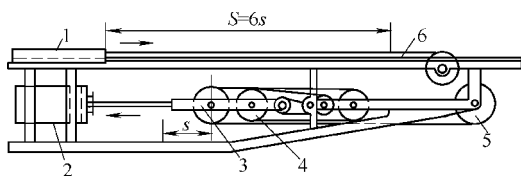


图 2.5-65 复式滑轮组行程放大机构

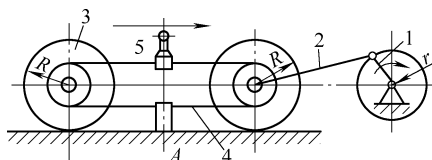


图 2.5-66 曲柄带轮行程放大机构

(4) 双面凸轮机构 如图 2.5-67 双面凸轮 4 空套在固定轴 5 上, 由齿轮 1 驱动, 滚子 7 的轴线位置固定, 滚子 6 装于从动件 8 上, 齿轮 1 转动时, 凸轮边转边移, 从动件 8 的行程为双面凸轮升程之和。这种凸轮可使压力角变小。

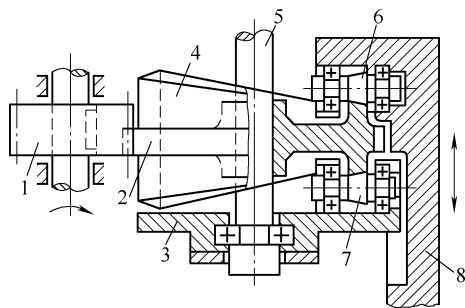


图 2.5-67 双面凸轮机构

2.5.2 运动参数可调节机构

许多机械在运转过程中要求从动件的运动参数应是随时可调节的。这种要求常常可以用具有两个自由度的机构实现, 一个自由度分配给主动件, 一个自由度分配给调节件。在调节过程中机构有两个自由度, 调定之后, 调节件固定不动, 机构仍是单自由度的。

(1) 机构动程的无级调节 图 2.5-68 中主动件为

曲柄 1, 它也是行星轮系的系杆, 带动节圆半径为 r_2 的行星轮 2 沿节圆半径 $r_3 = 2r_2$ 的内齿轮 3 滚动。行星轮 2 的节圆上一点 M , 其轨迹为过曲柄中心 A 的直线 m , m 长度为 $2r_3$ 。于 M 点铰接连杆 5, 推动摇杆 6 摆动。杆 6 的摆动大小取决于 m 线的长度及方位, m 线在水平方位时, 摆角最大, m 线在垂直方位时摆角最小, m 线的方位可借助于转动齿轮 3 来改变。将齿轮 3 的外缘做成蜗轮, 蜗杆 4 就是调节件。整个机构具有两个自由度, 调节可在运转过程中进行, 但调定后齿轮 3 固定, 即成为一个自由度的机构了。

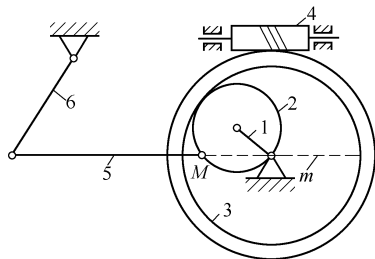


图 2.5-68 行程无级调节机构

(2) 滚筒式飞剪的调节装置 如图 2.5-69 所示。主动件为内齿轮 1, 绕固定轴 O_1 匀速转动, 带动小齿轮和曲柄 2 绕 A_0 点匀速转动, 通过连杆 3 驱动双曲柄机构中的另一曲柄 4 变速转动。曲柄 4 与下刀辊固联, 由一对齿数相等的外啮合齿轮 (图上未画出) 驱动上刀辊转动, 转动一周实现一次剪切。

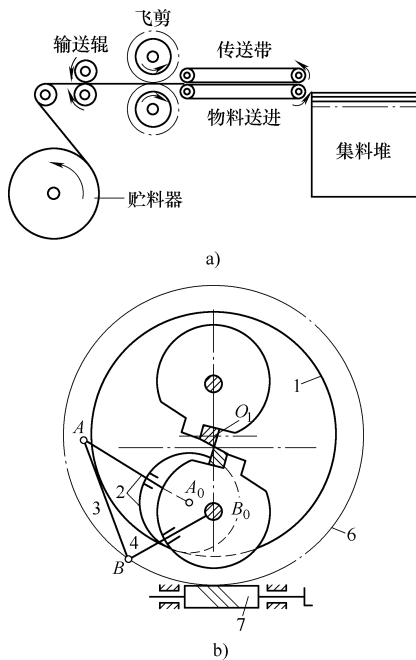


图 2.5-69 滚筒式飞剪的调节装置

a) 工作环境 b) 调节装置

内齿轮1的角速度无级可调,以适应切制不同长度规格板材的要求,而刀刃在切纸瞬时要保证其水平分速度等于或略大于送板速度的要求是通过调节曲柄2的转动轴 A_0 点的位置以改变曲柄4的速度极值来实现的。 A_0 轴铰接于空套在 O_1 轴上的蜗轮6上,转动调节蜗杆7可转动蜗轮6从而改变 A_0 位置。

(3) 偏心调节机构 图2.5-70中圆盘2为主动件1绕 A_0 转动,通过连杆3驱使滑块4往复移动。偏心盘1是调节件,它相对于圆盘2转动时就改变了 A_0A 的长度,从而改变了滑块4的行程。调定之后,1、2成为一体。

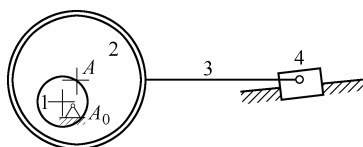


图 2.5-70 偏心调节机构

(4) 图2.5-71利用偏心盘4调节摇杆3上的 B_0B 与 B_0C 的长度比例,从而在主动件1的长度 A_0A 不变的情况下可改变从动件6的行程。调定之后3、4件相对固定一起绕 B_0 摆动。

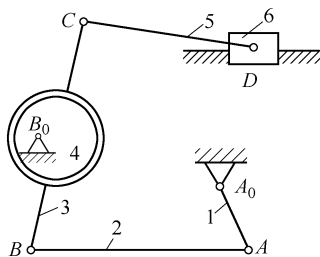


图 2.5-71 偏心调节机构

图2.5-72为在纺织工业中一应用实例, A_0A 为曲柄, B_0 的位置可以在以 C_0 为圆心的圆周上调节,

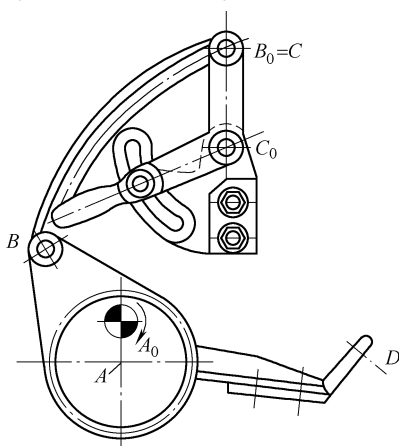


图 2.5-72 清除纤维废料的机构

D 点可描出位置不同、形状相似的连杆曲线族,用来清除配料箱中多余的纤维物料。

(5) 变杆长机构 变杆长机构如图2.5-73所示。杆3与杆5铰接于销9,由弹簧6保持两杆相对位置的稳定。主动杆1使两杆一并绕杆5与机架的铰接点转动。当杆5运行到与挡块4接触后,杆5被限制继续运动,与机架成为一体,杆3继续在主动杆的驱动下,克服弹簧约束在杆3和杆5之间的力绕销9转动,改变输出运动规律。

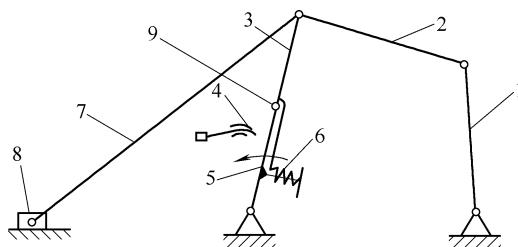


图 2.5-73 变杆长机构

1—主动杆 2—连杆 3、5、7—杆 4—挡块
6—弹簧 8—滑块 9—销

2.6 增力及夹持机构

2.6.1 斜面及螺旋式增力机构

(1) 斜面杠杆式增力夹持机构 图2.5-74中气缸推动带有两段斜面的滑块1,首先以斜角 α_1 的斜面使杠杆2快转接近工件,然后以斜角为 α_2 斜面使杠杆2慢慢压紧工件。压紧力可很大且保证自锁。

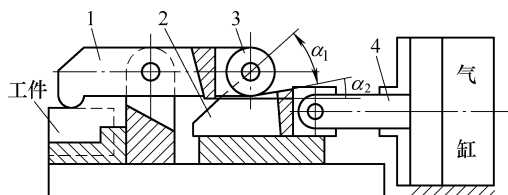


图 2.5-74 斜面增力夹具

(2) 螺旋斜面拆卸器 图2.5-75中8是被拆卸

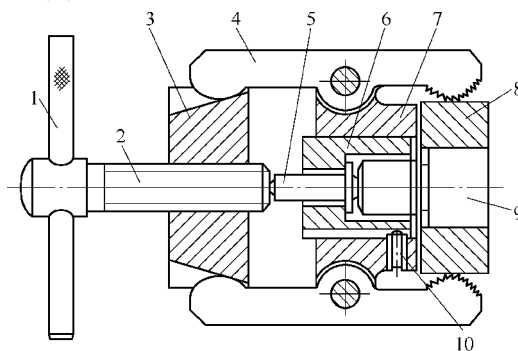


图 2.5-75 螺旋杆拆卸器

的零件。它与轴9配合较紧。旋动螺杆2,使螺母3左移,借助于3上对称斜面推动夹持杠杆4夹紧工件。螺杆2同时推动顶杆5,将轴9从8中退出。

(3) 内锥面钢丝送进器 图2.5-76是钢丝送进器体,它由另外机构驱动左右往复移动。它的内锥面约束三个钢球,夹持钢丝。当送进器左移时,钢球夹持着钢丝一起左移。当送进器右移时,钢球和钢丝分开,钢丝不动。

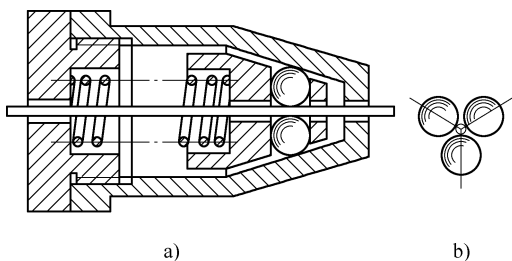


图 2.5-76 钢丝送进器

(4) 螺旋肘杆冲孔器 图2.5-77中1为带有左、右旋螺纹的螺杆,它转动时由肘杆2推动冲头实现冲孔。

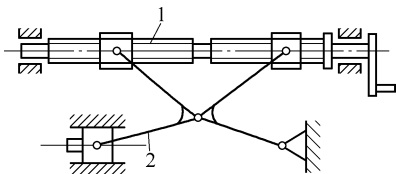


图 2.5-77 螺旋肘杆式冲孔钳

(5) 车床用自定心卡盘 图2.5-78中转动小锥齿轮1,使蜗丝盘2转动,同时带动三个卡爪沿径向移动以卡紧或松开工件。

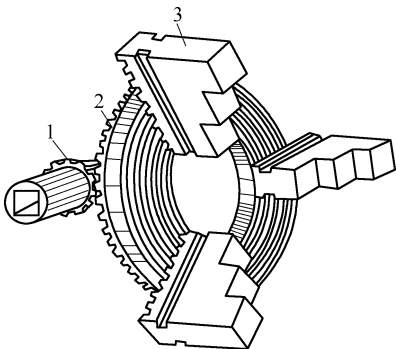


图 2.5-78 车床用三爪卡盘

2.6.2 增力夹持机构

(1) 手动冲孔钳 图2.5-79中1为活动板杆,通过连杆2带动冲头3,当压下板杆时,A、B、C三点近于一直线位置,冲头将能克服很大的工艺阻力。

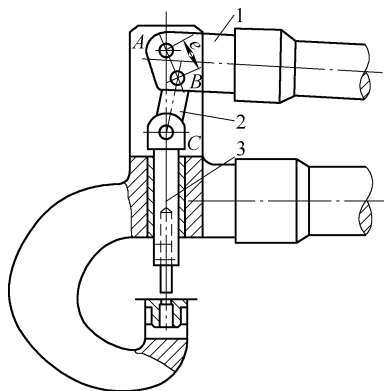


图 2.5-79 冲孔钳

(2) 肘杆冲压机构 图2.5-80所示机构是在曲柄摇杆机构 A_0ABB_0 上连接一个RRP杆组形成的六杆机构。当冲压工件时 A_0AB 及 B_0BC 都接近于共线位置。这时C点位移很小,所以能克服大的冲压阻力。许多工艺行程不大而工艺阻力很大的机械都可应用类似结构。

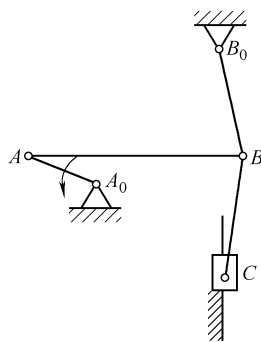


图 2.5-80 肘杆式冲压机构

(3) 压铸机的合模机构 图2.5-81中液压缸的活塞6在高压油的推动下右移,摇杆1绕A点转动,通过连杆2使动模3向定模4靠拢,当两模合拢时,A、B、C共线,液压缸7卸压,液态金属注入模中即使产生上兆牛的压力,动模也不会松动。

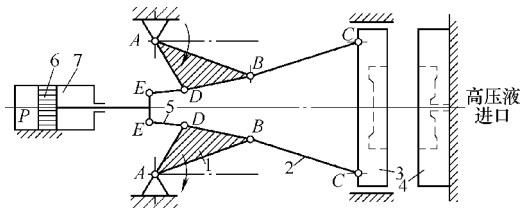


图 2.5-81 压铸机合模机构

(4) 操作手的夹持机构 如图2.5-82,图2.5-82a中1为主动件,当它向上运动时靠安装在构件2、3导槽中柱销A,驱使2、3构件摆动夹紧工件。

图 2.5-82b 所示机构, 当主动件 1 下移时通过 2、3 构件使 4、5 构件摆动而夹紧工件。其工作原理都是利用 A、B、C 接近共线位置以增大夹持力, 图 2.5-82b 还可能有自锁效果。

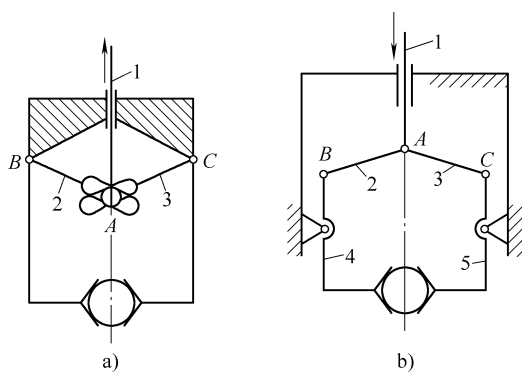


图 2.5-82 操作手夹持机构

2.7 步进机构

(1) 共轭分度凸轮机构 (图 2.5-83) 用于两平行轴之间的分度步进传动。主动件为凸轮 1, 由两片全等的凸轮组成。当两平行轴为垂直方位时, 这两片凸轮分别与从动转盘 2 的上、下相错一定角度安装。从动转盘 2 上、下两侧各均布数目相等的滚子 (虚线滚子安装在下侧), 分别与上、下两片凸轮接触, 凸轮转动时推动滚子、转盘转位。当凸轮圆弧段廓线与滚子接触时转盘不动。转盘的运动规律可任意选择, 以此设计凸轮廓线。机构为自封闭, 不需弹簧等装置, 制造及安装精度要求高, 但可预期良好的动力学性能。

单头型 (2.5-83a) 头数 $H=1$, 滚子数 $z=8$, 转盘分度 $\varphi_1 = \frac{2\pi H}{z} = \frac{\pi}{4}$, 凸轮转一周, 转盘分度两次;

双头型 (2.5-83b) $H=2$, $z=8$, $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$, 凸轮转一周, 转盘分度一次。

多头型 (图 2.5-83c) $H=4$, $z=4$, $\varphi_1 = 2\pi$, 凸轮转动一周, 转盘分度一次。

(2) 无空程步进机构 如图 2.5-84。主动件拉杆 1 作往复移动, 通过杆 2、3、7、8 带动两个棘爪, 驱动四齿棘轮 6。当 1 下移时, 棘爪 5 推动棘轮齿 A 使棘轮转位而棘爪 4 则空滑。棘轮转过 90° 时, 爪 4 与棘轮齿 C 啮合, 拉杆上行, 由爪 4 推动棘轮转位。如杆 1 不停往复运动, 则棘轮作无空程的单向运动。如杆 1 在行程终端有停歇则棘轮可作停歇

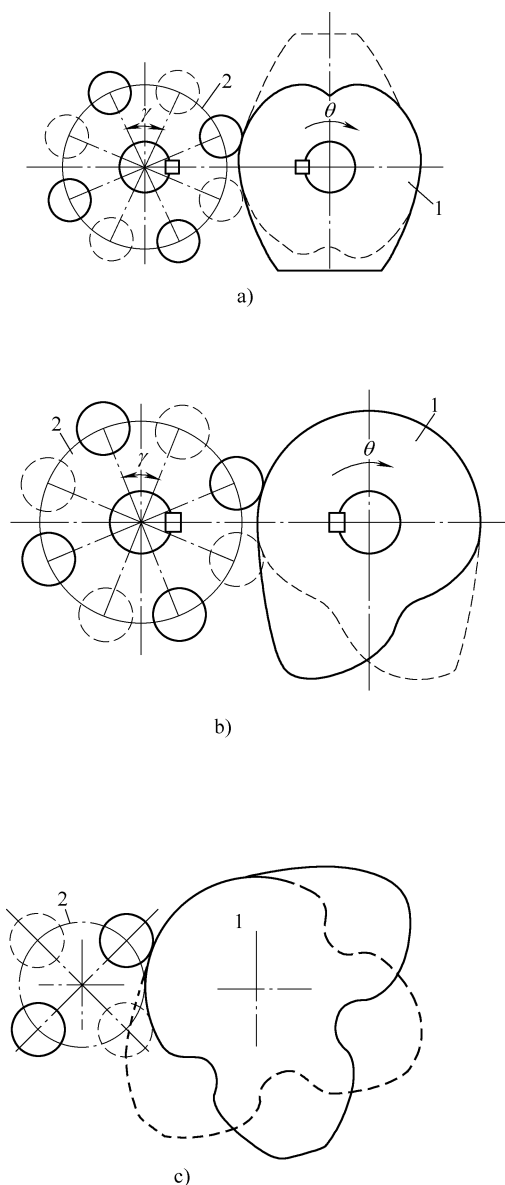


图 2.5-83 共轭分度凸轮机构的步进运动。

(3) 无声棘轮机构 如图 2.5-85, 可消除棘轮爪空程滑过棘轮齿面产生的噪声, 棘爪安装于连续转动的转臂上, 棘爪上滚子与固定的凸轮盘接触, 当转臂转至凸轮的凹下部分时, 棘爪插入棘轮齿推动棘轮转动, 转位终了时棘爪由凸轮抬起。固定凸轮可做成两片用以调节凹下部分的角度来适应不同动程的要求。

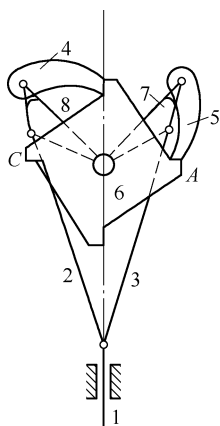


图 2.5-84 无空程步进机构

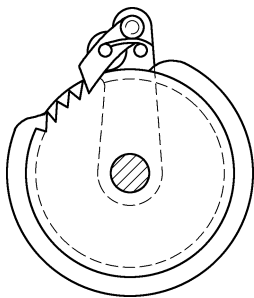


图 2.5-85 无声棘轮机构

(4) 圆柱凸轮步进机构 如图 2.5-86, 主动件为两端有头的圆柱凸轮, 从动件为端面多销圆盘, 图 39-100 所示为销 B 开始进入凸轮廓线的曲线段的情况, 凸轮转动驱动圆盘转位, A 销与廓线脱开, 凸轮转升程角。转位终了, B 销接触的凸轮廓线由曲线变为直线, 同时 C 销亦在凸轮另一侧廓线接触, 转盘定位不动, 待 C 销与凸轮曲线段接触时进行下次转位。销数 $z > 6 \sim 8$, 在轻载情况下如包装机械, 拉链嵌齿机械中, 可实现每分钟数百次的分度动作。

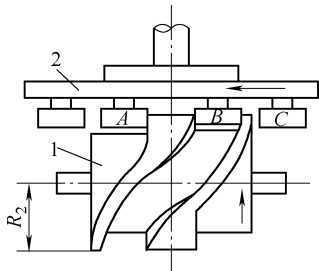


图 2.5-86 圆柱凸轮分度机构

2.8 轨迹机构

(1) 收割机割刀驱动机构 如图 2.5-87, 是由曲柄 1, 连杆 2 驱动罗伯茨直线机构组成。D 点往复

运动的轨迹极近似一直线, 通过构件 6 带动割刀, 可以使支承中法向力大为减小。当 D 点轨迹与直线的偏差被控制在支承导路允许间隙之内时, 可以省略构件 6, 由 D 点直接带动割刀。亦可用能描出近似直线段连杆曲线的曲柄摇杆机构作为割刀驱动机构, 可使机构简化, 同样能达到减小或消除支承中横向反力的目的。

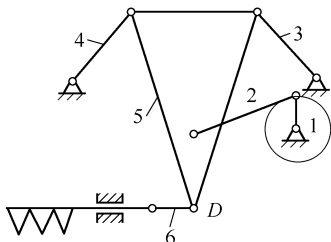


图 2.5-87 收割机割刀驱动机构

(2) 折叠机构 图 2.5-88a 所示是由对称放置的曲柄滑块机构组成, 以曲柄 1 驱动, 沿导路使滑块 2 往复移动即可完成书页的折叠动作。为了简化和改进设计的工艺性可以改成图 2.5-88b。将 A_0ABB_0D 设计成近似直线机构, 可以省去滑块及导路。当曲柄 1 转动时, D 点沿近似直线轨迹移动完成折叠动作。

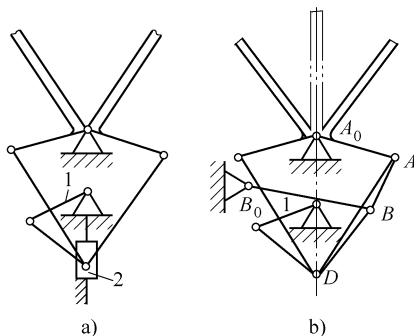


图 2.5-88 折叠机构

(3) 仿形雕刻机 如图 2.5-89, $ABCD$ 是一个仿图仪。 $AB = CD$, $AD = BC$, A, E, F 共线, F 点图形与 E 点图形比例为 $K = \frac{AF}{AE} = \frac{BC}{BE} = \frac{DF}{DC}$ 。于 F 点置图样探针, E 点置工件和刀具, 将探针沿图样 K_2 移动, 刀具可雕刻出尺寸为图样的 $\frac{1}{K}$ 的工件 K_1 来。

I、II、III 为调整滑块, 按比例调节三个滑块位置可改变图样与工件的比例。

(4) 砂轮修磨机构 如图 2.5-90, 是由对称安装的两组仿图仪组成。移动杆 5, 使探针 F 点在样板 B_1, B_2 上移动, 刀具 E 点可修磨出按样板形状比例缩小的砂轮轮廓 A_1, A_2 。

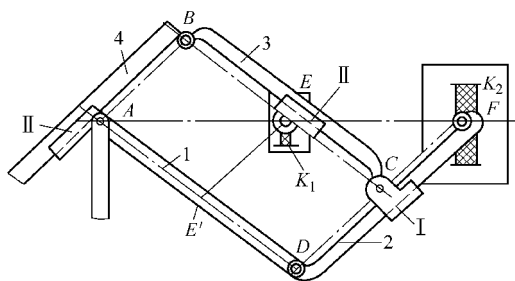


图 2.5-89 仿形雕刻机

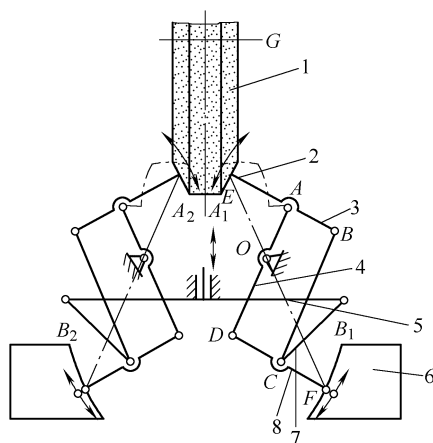


图 2.5-90 砂轮修磨机

2.9 差动机构

2.9.1 差动螺旋机构

(1) 镗刀进刀量调节机构 如图 2.5-91, 刀杆 1 上安装镗刀 3, 螺杆 2 有两段螺纹, 螺纹 l_1 段与刀杆上螺孔配合, 螺纹 l_2 段与镗刀上螺孔配合, 两段螺纹同旋向, 但螺距不等, 分别为 t_1 、 t_2 , $t_1 > t_2$ 。旋转螺杆 2 一周时, 螺杆 2 相对于刀杆 1 前进 t_1 mm, 同时镗刀 3 相对螺杆 2 后退 t_2 mm, 即镗刀相对刀杆前进了 $t_1 - t_2$ mm。

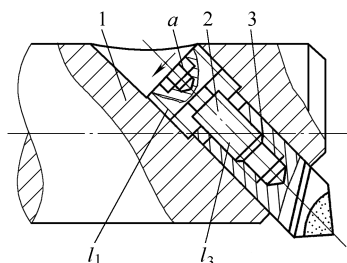


图 2.5-91 调节镗刀进刀量的差动螺旋

(2) 低速移动差速机构 如图 2.5-92 所示, 转动的主动件上有齿轮 8 及左螺旋 3, 齿轮 4 及右螺旋 2 做成一体空套在从动件 6 上, 只能相对于 6 转动而

不能相对于 6 移动, 6 相对于机架只能移动。螺旋 3、2, 螺距相等, 互相啮合。若 $z_3 = z_4$, 则 6 相对于机架静止。 z_3 与 z_4 相差甚小时, 则转动主动件 7, 从动件 6 将缓慢移动。主动件转一周, 从动件 6 移动距离为:

$$S = \frac{z_4 - z_3}{z_4} t$$

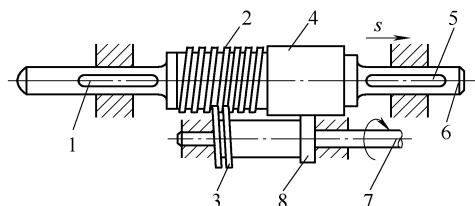


图 2.5-92 低速移动差动螺旋

(3) 滚珠螺旋间隙调整装置 如图 2.5-93, 螺母 2 和 6 的外端做成外齿轮, 分别与内齿轮 4、7 啮合, 齿轮(螺母)2 和 6 的齿数差为 1, 调整间隙时同时将两个螺母同向旋转一个齿距, 间隙可得到精细调正。例如 $z_2 = 99$, $z_6 = 100$, 螺距 $t = 10$ mm, 则调整量为

$$\begin{aligned} S &= \left(\frac{1}{z_2} - \frac{1}{z_6} \right) t \\ &= \left(\frac{1}{99} - \frac{1}{100} \right) \times 10 \\ &= 0.001 \text{ mm} \end{aligned}$$

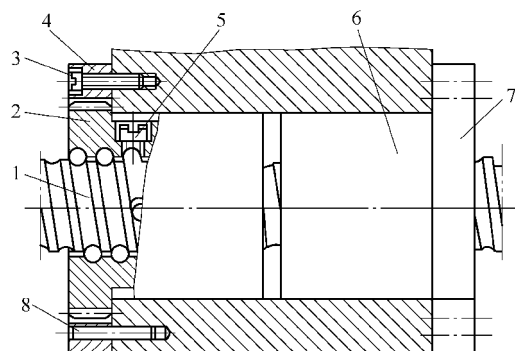


图 2.5-93 滚珠螺旋间隙微调装置

2.9.2 差速齿轮机构

(1) 同步转速仪 如图 2.5-94 所示, 用以指示两涡轮机是否同步运转。涡轮机 A 以传动比 i_A 驱动差速器中心轮 1, 涡轮机 B 以传动比 i_B 驱动差器中心轮 2, $i_A = -i_B$, 使中心轮 1、2 反向转动。如二涡轮机转速相等, 则连于差速器系杆上指针不动, 如转速不等, 指针将与转速高的涡轮机驱动的中心轮同向转动。

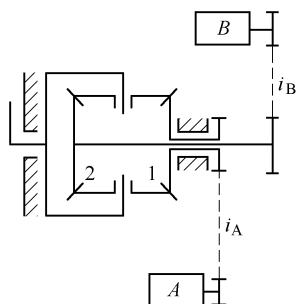
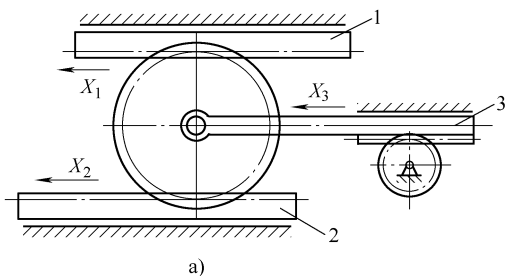


图 2.5-94 同步转速仪

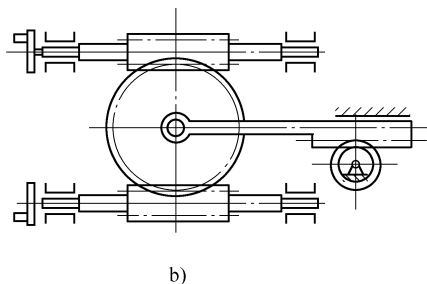
(2) 加法机构 如图 2.5-95a, 是由两个移动齿条 1、2 输入加数, 由齿条 3 驱动的齿轮 4 输出和数, 齿条 3 的位移为齿条 1 和 2 位移之和的一半:

$$X_3 = \frac{1}{2} (X_1 + X_2)$$

亦可用两个螺杆代替齿条 1、2。如图 2.5-95b 所示。



a)



b)

图 2.5-95 加法机构

(3) 加法机构 如图 2.5-96, 主运动由传动卡盘 4 输入使蜗杆驱动蜗轮转动, 校正运动由螺杆 5 和螺母 6 使蜗杆和支承一起沿蜗杆轴线方向移动, 蜗轮的合成运动可由传感器 2 转换为电信号输出。

(4) 中板轧机均衡压紧机构 如图 2.5-98, 两电动机 1、2 带动左、右旋蜗杆 3、4 反向转动、蜗轮 5、6 同向转动, 由螺旋 7、8 带动轧辊两端轴承座同向升、降。由于差速器两中心轮转速相同, 转向相反, 系杆不动。为了找平轧辊或使其偏斜, 开动电动机 9 而将电动机 1 或 2 制动, 则可使轧辊一

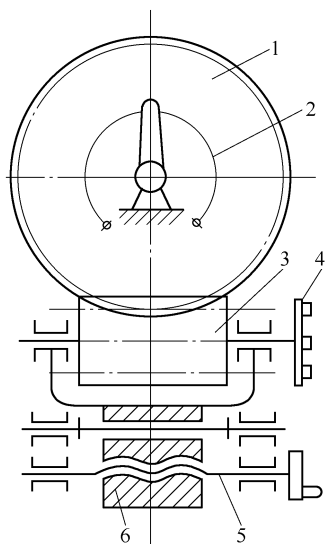


图 2.5-96 加法机构

端升降。

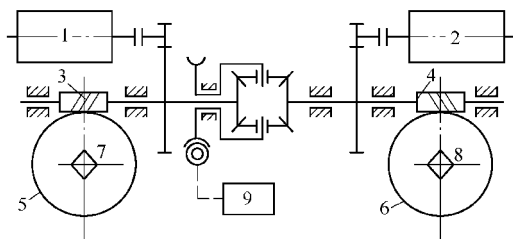


图 2.5-97 中板机压下装置

(5) 3 自由度差动传动 3DOF 差动传动系统的结构简图如图 2.5-98 所示。

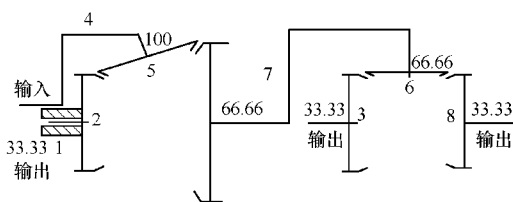


图 2.5-98 3DOF 差动传动系统的结构简图

3DOF 差动传动系统中, 构件 4 为 H_1 , 构件 7 为 H_2

$$i_{38}^{H_2} = \frac{\omega_3 - \omega_{H_2}}{\omega_8 - \omega_{H_2}} = -\frac{z_8}{z_1} = -1$$

$$i_{17}^{H_1} = \frac{\omega_1 - \omega_{H_1}}{\omega_7 - \omega_{H_1}} = -\frac{z_7}{z_1} = -2$$

如果 $T_{H_1} = 100 \text{ N} \cdot \text{m}$, 则 $T_{H_2} = 66.6 \text{ N} \cdot \text{m}$, $T_1 = T_3 = T_8 = 33.3 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。即 T_i 取决于齿数比, 功率保持不变。

设 P 为传动的功率, 即 $P = T\omega$, 则有

$$P_{H1}\omega_{H1} = T_1\omega_1 + T_3\omega_3 + T_8\omega_8$$

如果 T_i 保持不变, ω_i 之一(或二)变化时, 其他输出轴的角速度将随之变化

设 $T_{H1} = 100 \text{ N} \cdot \text{m}$, $\omega_{H1} = 100 \text{ 1/s}$, 系统运转有下述三种情况:

① 当 $\omega_1 = \omega_3 = \omega_8 = 100 \text{ 1/s}$ 时, 即,

$$T_1 = T_3 = T_8 = T_{H1}/3 = 33.3 \text{ N} \cdot \text{m}。$$

② 如果有一个输出轴制动不转, 其他二轴的转速按比例上升, 使各轴力矩保持不变。

例如, $\omega_1 = 0$, 则 $\omega_3 = \omega_8 = 150 \text{ 1/s}$, 输入力矩仍均匀分配到各轴, 即

$$T_1 = T_3 = T_8 = T_{H1}/3 = 33.3 \text{ N} \cdot \text{m}。$$

③ 如果有二个输出轴制动不转, 则第三轴的转速增至 300 1/s , 而所有轴的力矩保持不变。例如, $\omega_1 = \omega_3 = 0$, 则 $\omega_8 = 300 \text{ 1/s}$,

$$T_1 = T_3 = T_8 = T_{H1}/3 = 33.3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

图 2.5-99 为 3 自由度差动传动用于抓取不规则物体的 3 指机械手, 也可以用来做装卡非圆车削物的车床的卡盘。

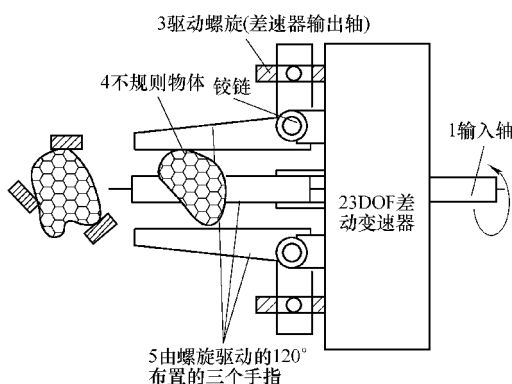


图 2.5-99 3 自由度差动 3 指机械手

(6) 包起帆 6 自由度六瓣瓣异步抓斗 图 2.5-100 为 2 自由度二瓣瓣异步抓斗结构简图。由 2 自由度差动滑轮组和一对复式滑块连杆机构组成, 两侧滑块连杆机构的运动是差动的, 产生异步动作。图 2.5-101 为 6 自由度六瓣瓣异步抓斗结构示意图。

2.9.3 连杆和柔性构件组成的差速机构

(1) 杠杆运动合成机构 如图 2.5-102 所示, 若杆 1 和 2 各输入运动 x_1 和 x_2 , 则杆 3 的输出运动为:

$$x_3 = x_1 \frac{b}{a+b} + x_2 \frac{a}{a+b}$$

如 $a = b$, 则 $x_3 = \frac{1}{2} (x_1 + x_2)$

(2) 有三个输入端的加法机构 如图 2.5-103 所示, 由旋钮 1、2、3 输入加数, 螺母在标尺 4、5、

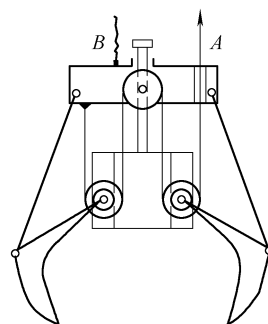


图 2.5-100 2 自由度二瓣瓣异步抓斗结构简图

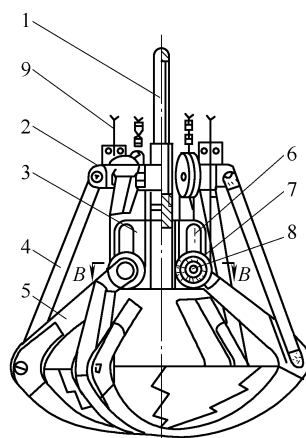


图 2.5-101 6 自由度六瓣瓣异步抓斗

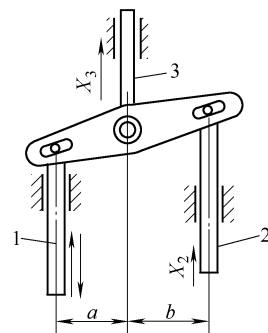


图 2.5-102 杠杆式运动合成机构

6 上移动可读输入数值, 其和由标尺 7 读出。

(3) 有多个输入端的加法机构 如图 2.5-104, 1、2、3、4 为定滑轮, 5、6、7、8、9 为动滑轮, 其中心 A、B、C、D、E 各铰接一移动构件, 挠性件的一端固定于 K 点, 另一端绕于带有齿轮 10 的鼓轮 11 上。A₀、B₀、C₀、D₀、E₀ 为各动滑轮的初始位置。将 A、B、C、D、E 移动到任意位置, 则与齿轮 10 啮合的齿条 12 的位移与 A、B、C、D、E 各点位移的代数和成比例。

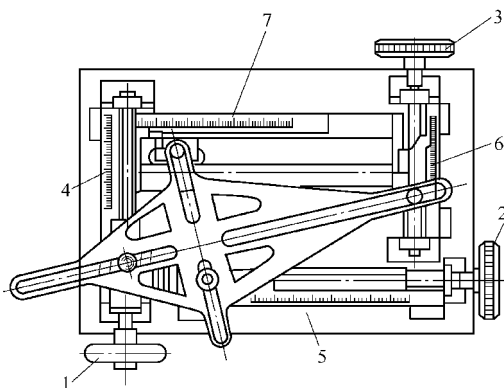


图 2.5-103 有三个输入端的加法机构

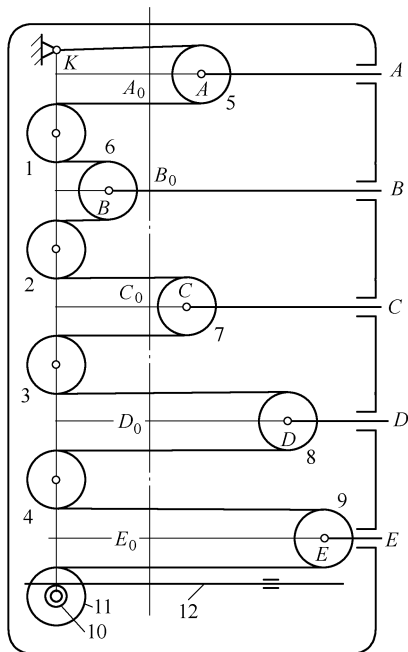


图 2.5-104 多输入端的加法机构

(4) 具有二个可动滑轮的差速机构 如图 2.5-105, 两定滑轮各绕 A 、 B 转动, 两动滑轮铰接于移动构件 3 的两端。以无端挠性件连接如图, 则构件 3 的位移与两定滑轮输入角位移之代数和成比例。

(5) 指示微小位移的差动滑轮机构 如图 2.5-106, A 为压力表中膜片, 当被测容器中压力变化时膜片产生微小位移, 通过差动滑轮使指针转动。在相同位移下, 双联滑轮半径差愈小, 指针摆角愈大。

2.10 换向机构

(1) 两惰轮换向机构 如图 2.5-107 所示, 主动轮 1 与从动轮 4 间装有互相啮合的惰轮 2、3, 2、3 支承在三角架上, 三角架可由手柄转动, 当 1、2、

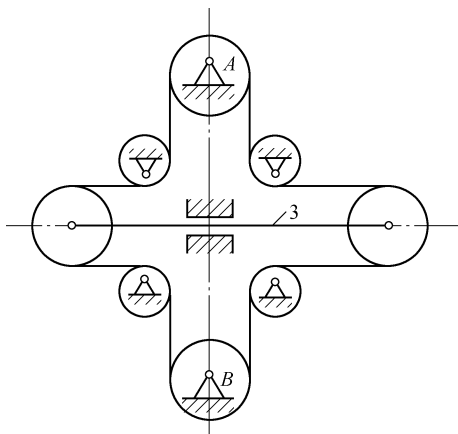


图 2.5-105 动滑轮差速机构

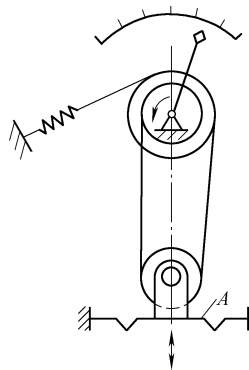


图 2.5-106 差动滑轮机构

3、4 轮啮合时, 1、4 转向相反, 1、3、4 轮啮合时, 1、4 轮转向相同。

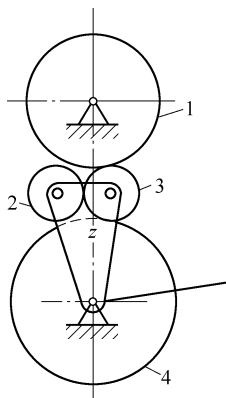


图 2.5-107 两惰轮换向机构

(2) 利用离合器换向机构 如图 2.5-108 所示, 锥齿轮 2、3 空套在轴 II 上, 离合器 4 以滑键与轴 II 相连, 齿轮 1 和 1' 驱动 2、3 反向转动, 移动离合器与 2 或 3 啮合使 II 轴变向移动。

(3) 利用差速器换向机构 如图 2.5-109 所示, 主动件为齿轮 1, 从动件为齿轮 7, 制动轮 I, II 分

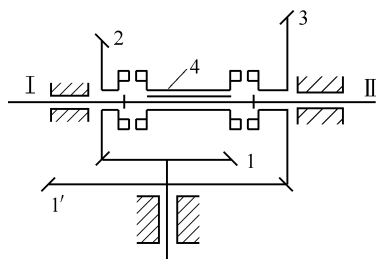


图 2.5-108 离合器换向机构

别与齿轮 3 及系杆 x 固定。当制动轮 II 制动时, 运动经定轴齿轮系 1、2、5、7 传出, 1 与 7 转向相同。当制动轮 I 制动时, 运动经 1、2、3、4、5、 x 、7 三中心轮周转轮系传出, 在 $z_1 z_4 < z_2 z_3$ 条件下, 只要 $z_7 z_4 > z_5 z_3$, 1 与 7 轮转向就相反。

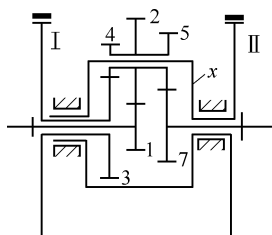


图 2.5-109 差速换向机构

(4) 自动换向摆动机构 如图 2.5-110 所示, 主动件为齿轮 1, 其上固结销 A。从动件为杆 6, 与杆 4 一起固结于齿轮 5 上。齿轮 2 与齿轮 5 啮合, 其上固结杆 3。齿轮 1、2、5 各绕自己固定中心 O_1 、 O_2 、 O_5 转动。当轮 1 逆时针转动时, 销 A 推动杆 3 与齿轮 2 一起逆时针方向转动, 同时使齿轮 5 与杆 6、4 一起顺时针方向转动, 各转过 180° 时, 销 A 与杆 4 接触, 又推动 4、6 逆时针方向转动。

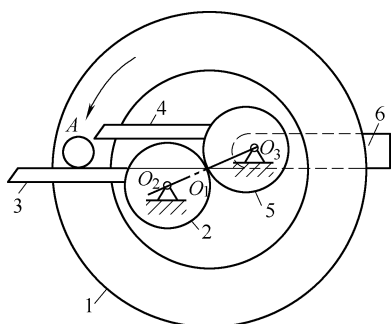


图 2.5-110 自动换向机构

2.11 伸缩机构

(1) 平行直线伸缩机构 如图 2.5-111 所示,

当尺寸满足图示关系时, 从动件 AB 可作上下直线平移运动。

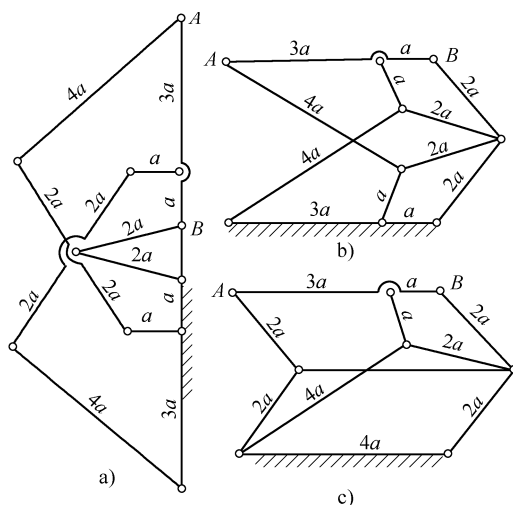


图 2.5-111 平行直线伸缩机构

(2) 剪式伸缩机构 由多个等边平行四边形铰接而成, 如图 2.5-112 所示, 杆 1 的一端铰接于机架, 杆 2 的一端在竖直导槽中移动, 3 构件可在水平方向伸缩移动位置。

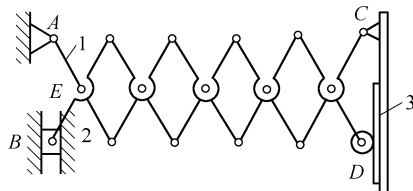


图 2.5-112 剪式伸缩机构

(3) 滑架伸缩机构 如图 2.5-113 所示, 钢丝绳 11 的一端与滑架 5 上 A 点连接, 另一端绕过固定架上滑轮 3, 缠绕在卷筒 1 上。钢丝绳 10 的一端连接于滑架 7 的 B 点, 另一端绕过滑架 5 上的滑轮 4 连接在固定架 2 上 D 点。钢丝绳 9 的一端连接于滑架 8 上的 C 点, 另一端绕过滑架 7 上的滑轮 6 与滑架 5 上 E 点连接。顺时针转动卷筒 1 时, 三个滑架同时外伸。

(4) 平台伸缩机构 如图 2.5-114, 卷筒 1 上缠绕两根钢绳分别绕过两侧滑轮 a、b、d、f 与平台 5 上 D 点连结, 转动卷筒则平台升起。

(5) 伸缩液压缸 如图 2.5-115, 压力油经阀 1 流入缸 2 下部使活塞 3 上升, 活塞 3 下部凸缘使活塞 4 继续上升, 活塞 4 下部凸缘起限位作用。

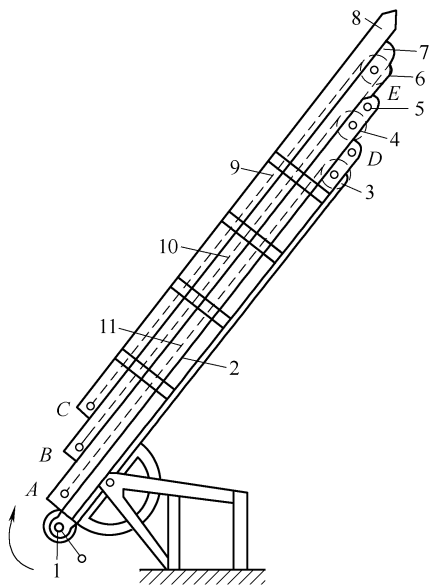


图 2.5-113 滑架伸缩机构

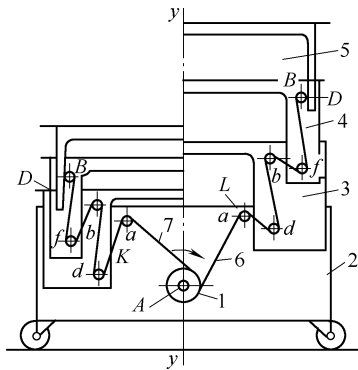


图 2.5-114 平台伸缩机构

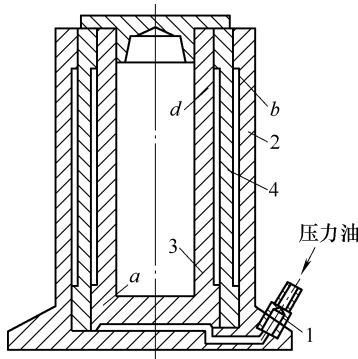
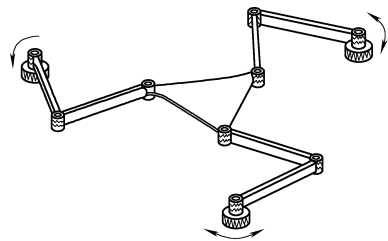


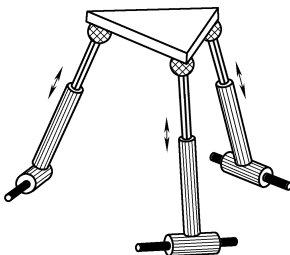
图 2.5-115 伸缩液压缸

2.12 并联机构

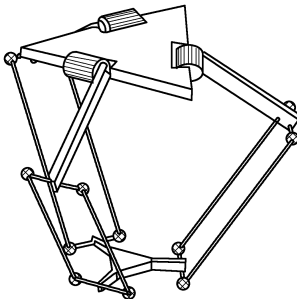
典型并联机构如图 2.5-116 所示。



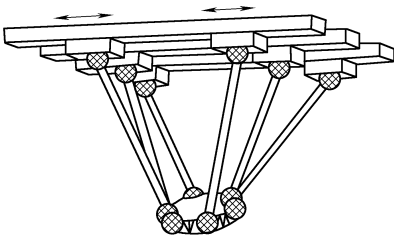
a)



b)



c)



d)

图 2.5-116 典型并联机构

a) 3-RRR (平面并联) b) 3-RPS
c) DELTA d) 6-PSS (Hexaslider)

2.13 机械自适应机构

2.13.1 变机架机构

(1) 挖掘机的步进机构 如图 2.5-117 所示, 图 2.5-117a 为步行开始移动靴板, 以机体 4 为不动机架, 用曲柄摇杆机构连杆 2 带动步行靴板离开地面并前移一个步距如图 2.5-117b。当曲柄 1 继续转动时, 靴板和地面为机架, 挖掘机机身成为一个活动构件被抬起并向前拖动了一个步距 (图 2.5-117c)。这个过程机构简图如图 2.5-117d, 可见它已由曲柄摇杆机构变为主动件绕活动构件 2 上一点旋转的机构。

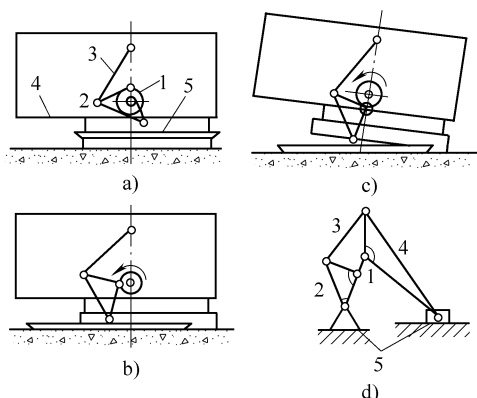


图 2.5-117 挖掘机的步行机构

(2) 液压挖掘机步行机构 如图 2.5-118 所示, 两个液压缸 1、2 铰接于机身 4 上, 并共同连接于靴板 3, 首先 2 柱塞缩回, 将靴板 3 抬起。然后液压缸 2 不动而 1 柱塞伸出将靴板前移一个步距。此过程中以机身 4 为机架。继而 2 柱塞伸出, 此时靴板与地面成为机架, 然后将机身 4 抬起, 柱塞 1 缩回将机身前移一个步距。

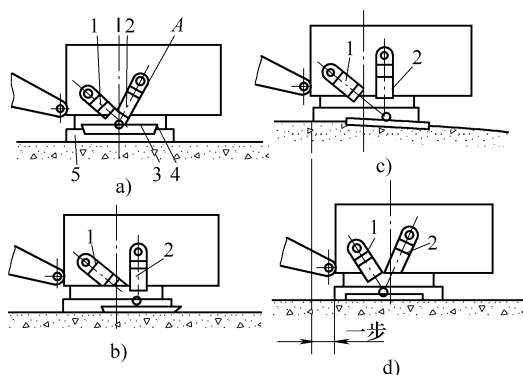


图 2.5-118 液压挖掘机步行机构

2.13.2 欠驱动机构

(1) 含有两个关节的欠驱手指机构 图 2.5-119 机构有 2 个自由度, 为了约束其中一个自由度,

在关节 1 和关节 2 的铰接处加了一个弹性元件和几何约束, 限定一个自由度。在抓取过程开始时, 如图 2.5-119a, 手指只受到驱动力的作用, 由于结构的限制和弹性元件的作用, 关节 1 和关节 2 可看作同一个刚体同时绕支点旋转而向被抓取物体靠拢; 在图 2.5-119b 中, 关节 1 与被抓取物体接触, 这时手指受到来自驱动和被抓取物体的两个作用力; 如图 2.5-119c, 此时关节 1 由于受到物体外部轮廓的限制而停止了运动, 而驱动力继续施加, 使关节 2 克服弹性元件的约束单独向物体靠拢; 在图 2.5-119d 中, 关节 2 也与被抓取物体接触上, 手指受到三个方向上的力, 在一定情况下达到力平衡, 完成抓取过程。

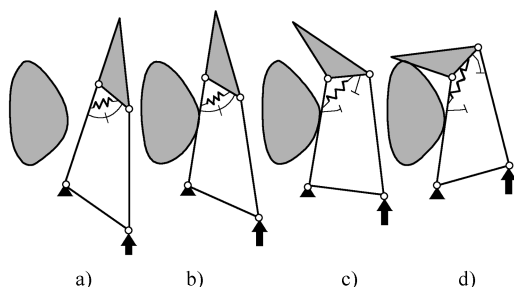


图 2.5-119 欠驱手指机构及其抓取过程

图 2.5-120 是基于欠驱手指机构开发的 10 自由度超欠驱动三指机械手 (Laval University, Canada)。

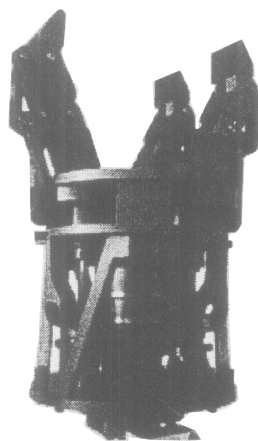


图 2.5-120 10 自由度超欠驱动三指机械手

(2) 毛坯剪切机 机构简图如图 2.5-121 所示, 是具有 2 自由度的 10 杆机构。曲柄 1 为主动件。剪切开始时下滑块 10 不动, 由曲柄驱动上滑块 9 下移, 接触毛坯后, 上滑块不动, 由下滑块上移实现

剪切。

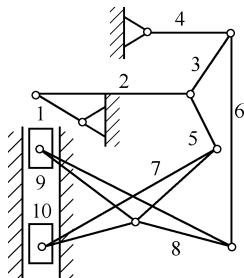


图 2.5-121 毛坯剪切机

2.13.3 变胞机构

变胞机构是一种变自由度、变结构拓扑机构，能够根据工况的变化和任务需求，在机构运动过程中通过几何或力等约束，使某运动副的运动被限定而另一运动副的约束被解除，从而改变机构的构型，实现对变胞源机构的构态进行重构。

(1) 2 自由度 5 杆机构变胞机构 图 2.5-122 是 2 自由度 5 杆机构变胞源机构可实现的 2 种变胞方式和变胞构型实例。其中图 2.5-122a 是滑动副 D 被弹簧力约束构成的一种变胞工作构型——铰接四杆机构。图 2.5-122b 是转动副 B 被几何约束限定，运动副 D 处弹簧的约束力小于 B 的几何约束力，滑动副 D 的约束解除，构成的一种变胞工作构型——导杆机构。

(2) 板坯剪切机机构 图 2.5-123a 为机构初始工作状态，其工作过程为：主动件 2 绕 A 点顺时针方向转动，由于弹簧力 7 的约束，4 构件静止不动，拉动 H 点下降使压板 11 压紧初扎坯 8，同时拉动上剪刀 1 下移接近钢坯如图 2.5-123b；当上剪刀压紧

钢坯后，在钢坯及机架的约束作用下 1 构件静止不动，2 构件继续转动克服 7 的阻力带动下剪刀上移实施剪切作业如图 2.5-123c，剪切作业完成后，在 6 的重力辅助下机构恢复到初始工作状态。该板坯剪切机的主机构就是由 $ACDEF$ 组成的 2 自由度变胞机构。

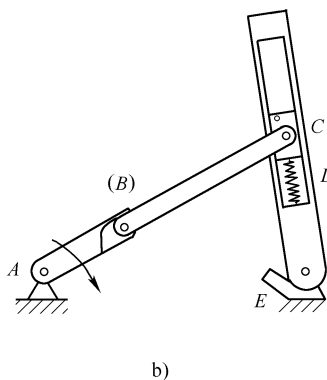
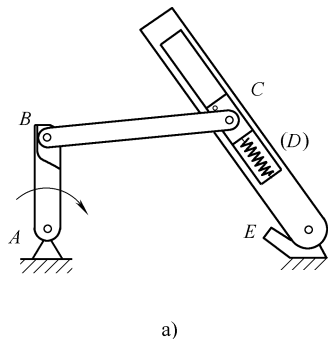


图 2.5-122 2 自由度 5 杆机构变胞源机构和可实现的 2 种变胞方式和变胞构型

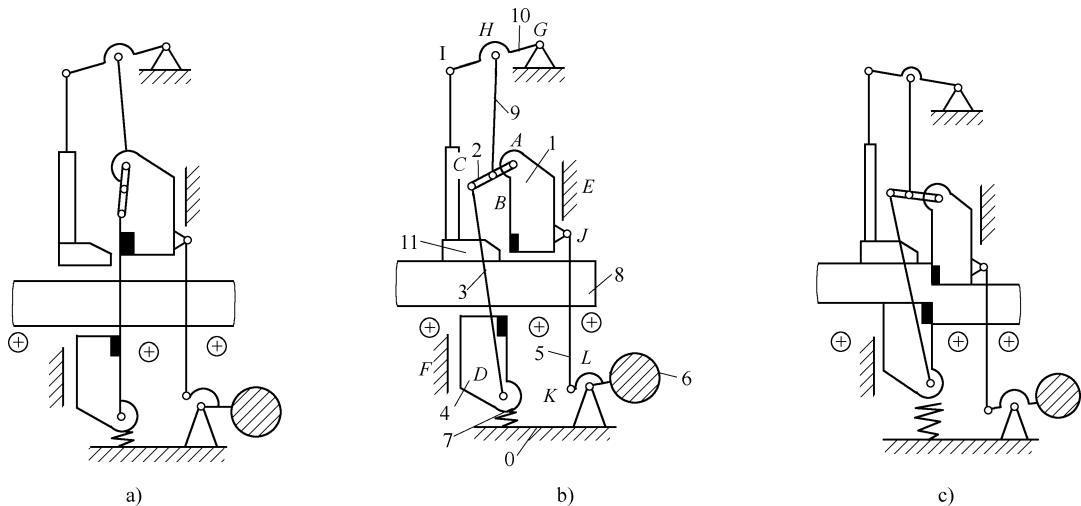


图 2.5-123 板坯剪切机机构

(3) 制动机构 图 2.5-124 所示为一种平面变胞制动机构, 正常行驶时该机构的简图如图 2.5-124a 所示。此时, 该平面变胞制动机构在未制动时的自由度为

$$F = 3(n-1) - 2p_l - p_h = 3 \times (7-1) - 2 \times 8 = 2$$

制动时在 6 构件的拉动下 (向右), 当构件 1 与车轮抱紧后, 构件 1 不动, 相当于和机架 7 合并为一个构件, 机构简图如图 2.5-124b 所示。此时机构

的自由度数为

$$F = 3(n-1) - 2p_l - p_h = 3 \times (6-1) - 2 \times 7 = 1$$

构件 6 继续移动, 使构件 3 与车轮抱紧不动 (成为机架), 机构自由度消失。机构简图如图 2.5-124c 所示。此时机构的自由度数为

$$F = 3(n-1) - 2p_l - p_h = 3 \times (5-1) - 2 \times 6 = 0$$

通过上述各个构态变化, 最后自由度变为 0, 从而实现了制动全过程。

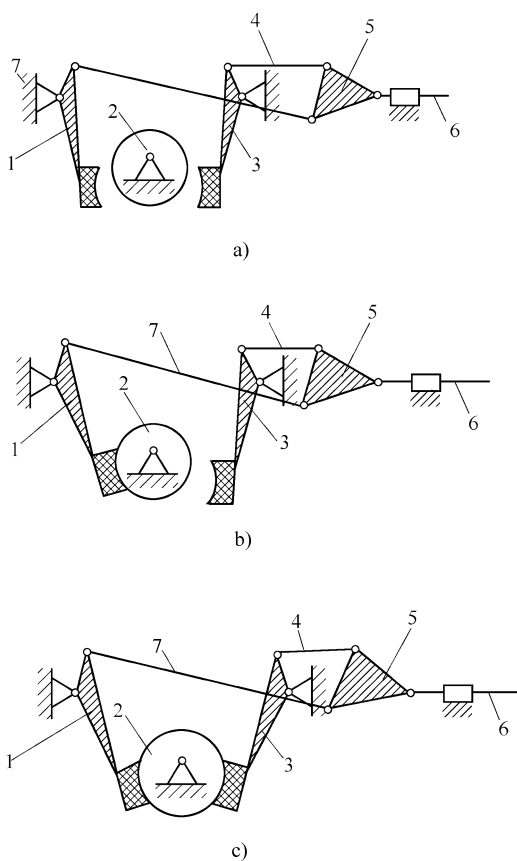


图 2.5-124 刹车机构

参 考 文 献

- [1] 闻邦椿. 机械设计手册 [M]. 5 版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [2] 徐灏. 新编机械设计师手册: 上册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [3] 蔡春源. 机电液设计手册: 下册 [M]. 北京: 机械工业出版社; 沈阳: 东北大学出版社, 1997.
- [4] 李树军. 机械原理 [M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2001.
- [5] 成大先. 机械设计手册 [M]. 5 版. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [6] 邹慧君, 高峰. 现代机构学进展: 第一卷 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [7] 张春林, 余跃庆. 机械原理教学参考书: 下册 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [8] 张春林, 曲继方, 张美麟. 机械创新设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

第 3 篇

连接与弹簧

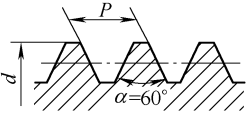
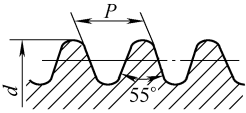
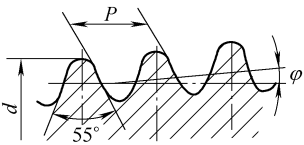
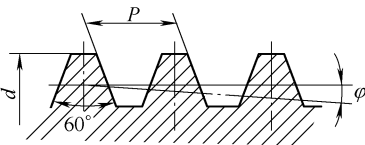
第 1 章 螺纹与螺纹连接

1 螺纹及螺纹零件的结构要素

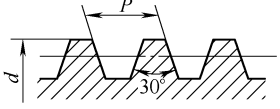
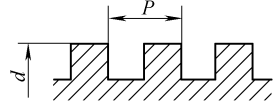
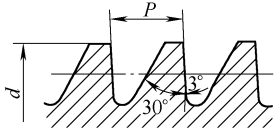
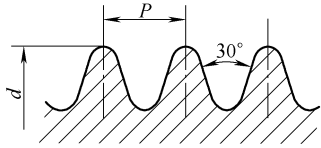
1.1 螺纹

1.1.1 螺纹的种类、特点和应用（表 3.1-1）

表 3.1-1 常用螺纹种类、特点及应用

种类	牙型图	特点及应用
普通细纹		牙型角 $\alpha = 60^\circ$。同一直径按其螺距不同，分为粗牙与细牙两种，细牙的自锁性能较好，螺纹零件的强度削弱少，但易滑扣 应用最为广泛。一般连接多用粗牙螺纹。细牙螺纹多用于薄壁或细小零件，以及受变载、冲击和振动的连接中，还可用于轻载和精密的微调机构中的螺旋副
管螺纹		牙型角 $\alpha = 55^\circ$。公称直径近似为管子内径，内、外螺纹均为圆柱形的管螺纹，其公称牙型没有间隙，牙顶和牙底都是圆弧形。螺纹副本身不具有密封性，可借助于密封圈在螺纹副之外的端面进行密封。多用于静载下的低压管路系统，如水、煤气管路、润滑和电线管路系统
		牙型角 $\alpha = 55^\circ$。公称直径近似为管子内径，螺纹分布在 1:16 的圆锥管壁上，其内、外螺纹可组成两种密封配合形式：①圆柱内螺纹与圆锥外螺纹组成“柱/锥”配合；②圆锥内螺纹和圆锥外螺纹组成“锥/锥”配合。不用填料可保证螺纹连接的密封性 牙顶和牙底均为圆弧形。当“柱/锥”配合时，在 1MPa 压力下，可保证足够的紧密性，必要时，允许在螺纹副内添加密封物保证密封。用于低压、水、煤气管路中；圆锥内螺纹与圆锥外螺纹的配合，可用于高温、高压、承受冲击载荷的系统
		牙型角 $\alpha = 60^\circ$。60°密封管螺纹与 55°密封管螺纹的配合方式及性能相同。螺纹副本身具有密封性。为保证螺纹连接的密封性，亦可在螺纹副内加入密封物。 在汽车、飞机和机床等行业中使用较多

(续)

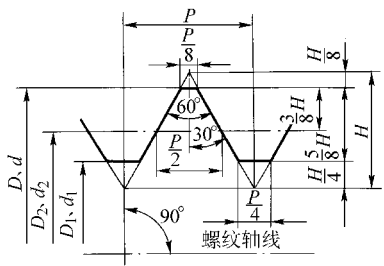
种类		牙型图	特点及应用
管螺纹	米制密封螺纹	基本牙型及尺寸系列均符合普通螺纹的规定	牙型角 $\alpha = 60^\circ$ ，用于依靠螺纹密封的连接螺纹。其内、外螺纹可组成两种密封配合形式（锥/锥配合和柱/锥配合） 适用于管子、阀门和旋塞等产品上的一般密封螺纹连接。装配时，推荐在螺纹副内添加合适的密封介质，如密封胶带和密封胶等
梯形螺纹			牙型角 $\alpha = 30^\circ$ ，牙根强度高、工艺性好、螺纹副对中性好，采用剖分螺母时可以调整间隙，传动效率略低于矩形螺纹 用于传动（如机床丝杠）及紧固连接
矩形螺纹			牙型为正方形、传动效率高与其他螺纹，牙厚是螺距的一半、强度较低（螺距相同时比较），精确制造困难，对中精度低 用于传力螺纹，如千斤顶、小型压力机等
锯齿形螺纹 (3° 、 30°)			牙型角 $\alpha = 33^\circ$ ，牙的工作面倾斜 3° 、牙的非工作面倾斜 30° 。传动效率及强度都比梯形螺纹高，外螺纹的牙底有相当大的圆角，以减小应力集中。螺纹副的大径处无间隙，对中性良好 用于单向受力的传动螺纹，如轧钢机的压下螺旋、螺旋压力机等
圆弧螺纹			牙型角 $\alpha = 30^\circ$ ，牙粗、圆角大、螺纹不易碰撞，积聚在螺纹凹处的尘垢和铁锈易消除 用于经常和污物接触和易生锈的场合（如水管闸门的螺旋导轨），亦可用在薄壁空心零件上

1.1.2 普通螺纹

(1) 普通螺纹基本牙型及基本尺寸（见表 3.1-2）

表 3.1-2 普通螺纹的基本牙型及基本尺寸（摘自 GB/T 192—2003 及 GB/T 193—2003 及 GB/T 196—2003）

(mm)



表中数值按下列公式计算，数值圆整到小数点后第三位：

$$D_2 = D - 2 \times \frac{3}{8}H = D - 0.6495D;$$

$$d_2 = d - 2 \times \frac{3}{8}H = d - 0.6495P;$$

$$D_1 = D - 2 \times \frac{5}{8}H = D - 1.0825P;$$

$$d_1 = d - 2 \times \frac{5}{8}H = d - 1.0825P;$$

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2}P = 0.866025404P$$

D —内螺纹的基本大径（公称直径）； D_2 —内螺纹的基本中径； D_1 —内螺纹的基本小径； d —外螺纹的基本大径（公称直径）； d_2 —外螺纹的基本中径； d_1 —外螺纹的基本小径； H —原始三角形高度； P —螺距

(续)

公称直径 D 、 d			螺 距 P	中 径 D_2 或 d_2	小 径 D_1 或 d_1	公称直径 D 、 d			螺 距 P	中 径 D_2 和 d_2	小 径 D_1 和 d_1
第 1 系列	第 2 系列	第 3 系列				第 1 系列	第 2 系列	第 3 系列			
1			0.25 * 0.2	0.838 0.870	0.729 0.783			9	1.25 * 1 0.75	8.188 8.350 8.513	7.647 7.917 8.188
	1.1		0.25 * 0.2	0.938 0.970	0.829 0.883				1.5 * 1.25 1 0.75	9.026 9.188 9.350 9.513	8.376 8.647 8.917 9.188
1.2			0.25 * 0.2	1.038 1.070	0.929 0.983	10					
	1.4		0.3 * 0.2	1.205 1.270	1.075 1.183			11	1.5 * 1 0.75	10.026 10.350 10.513	9.376 9.917 10.188
1.6			0.35 * 0.2	1.373 1.470	1.221 1.383				1.75 * 1.5 1.25 1	10.863 11.026 11.188 11.350	10.106 10.376 10.647 10.917
	1.8		0.35 * 0.2	1.573 1.670	1.421 1.583	12					
2			0.4 * 0.25	1.740 1.838	1.567 1.729		14		2 * 1.5 1.25 1	12.701 13.026 13.188 13.350	11.835 12.376 12.647 12.917
	2.2		0.45 * 0.25	1.908 2.038	1.713 1.929			15	1.5 1	14.026 14.350	13.376 13.917
2.5			0.45 * 0.35	2.208 2.273	2.013 2.121				2 * 1.5 1	14.701 15.026 15.350	13.835 14.376 14.917
3			0.5 * 0.35	2.675 2.773	2.459 2.621	16			1.5 1	16.026 16.350	15.376 15.917
	3.5		0.6 * 0.35	3.110 3.273	2.850 3.121			17	2.5 * 2 1.5 1	16.376 16.701 17.026 17.350	15.294 15.835 16.376 16.917
4			0.7 * 0.5	3.545 3.675	3.242 3.459		18				
	4.5		0.75 * 0.5	4.013 4.175	3.688 3.959				2.5 * 2 1.5 1	18.376 18.701 19.026 19.350	17.294 17.835 18.376 18.917
5			0.8 * 0.5	4.480 4.675	4.134 4.459	20					
		5.5	0.5	5.175	4.959				2.5 * 2 1.5 1	20.376 20.701 21.026 21.350	19.294 19.835 20.376 20.917
6			1 * 0.75	5.350 5.513	4.917 5.188		22		3 * 2 1.5 1	22.051 22.701 23.026 23.350	20.752 21.835 22.376 22.917
	7		1 * 0.75	6.350 6.513	5.917 6.188						
8			1.25 * 1 0.75	7.188 7.350 7.513	6.647 6.917 7.188	24					

(续)

公称直径 D 、 d			螺 距 P	中 径 D_2 和 d_2	小 径 D_1 和 d_1	公称直径 D 、 d			螺 距 P	中 径 D_2 和 d_2	小 径 D_1 和 d_1
第1系列	第2系列	第3系列				第1系列	第2系列	第3系列			
		25	2 1.5 1	23.701 24.026 24.350	22.835 23.376 23.917		45		4.5* 4 3 2 1.5	42.077 42.402 43.051 43.701 44.026	40.129 40.670 41.752 42.835 43.376
		26	1.5	25.026	24.376						
	27		3* 2 1.5 1	25.051 25.701 26.026 26.350	23.752 24.835 25.376 25.917	48			5* 4 3 2 1.5	44.752 45.402 46.051 46.701 47.026	42.587 43.670 44.752 45.835 46.376
		28	2 1.5 1	26.701 27.026 27.350	25.835 26.376 26.917			50	3 2 1.5	48.051 48.701 49.026	46.752 47.835 48.376
30			3.5* (3) 2 1.5 1	27.727 28.051 28.701 29.026 29.350	26.211 26.752 27.835 28.376 28.917		52		5* 4 3 2 1.5	48.752 49.402 50.051 50.701 51.026	46.587 47.670 48.752 49.835 50.376
		32	2 1.5	30.701 31.026	29.835 30.376			55	4 3 2 1.5	52.402 53.051 53.701 54.026	50.670 51.752 52.835 53.376
	33		3.5* (3) 2 1.5	30.727 31.051 31.701 32.026	29.211 29.752 30.835 31.376				5.5* 4 3 2 1.5	52.428 53.402 54.051 54.701 55.026	50.046 51.670 52.752 53.835 54.376
		35	1.5	34.026	33.376	56			4 3 2 1.5	55.402 56.051 56.701 57.026	53.670 54.752 55.835 56.376
36			4* 3 2 1.5	33.402 34.051 34.701 35.026	31.670 32.752 33.835 34.376			58	4 3 2 1.5	55.402 56.051 56.701 57.026	53.670 54.752 55.835 56.376
		38	1.5	37.026	36.376				5.5* 4 3 2 1.5	56.428 57.402 58.051 58.701 59.026	54.046 55.670 56.752 57.835 58.376
	39		4* 3 2 1.5	36.402 37.051 37.701 38.026	34.670 35.752 36.835 37.376		60		4 3 2 1.5	59.402 60.051 60.701 61.026	57.670 58.752 59.835 60.376
		40	3 2 1.5	38.051 38.701 39.026	36.752 37.835 38.376			62	4 3 2 1.5	59.402 60.051 60.701 61.026	57.670 58.752 59.835 60.376
42			4.5* 4 3 2 1.5	39.077 39.402 40.051 40.701 41.026	37.129 37.670 38.752 39.835 40.376						

(续)

公称直径 D 、 d			螺 距 P	中 径 D_2 和 d_2	小 径 D_1 和 d_1	公称直径 D 、 d			螺 距 P	中 径 D_2 和 d_2	小 径 D_1 和 d_1
第 1 系列	第 2 系列	第 3 系列				第 1 系列	第 2 系列	第 3 系列			
64			6 *	60.103	57.505		85		6	81.103	78.505
			4	61.402	59.670				4	82.402	80.670
			3	62.051	60.752				3	83.051	81.752
			2	62.701	61.835				2	83.701	82.835
			1.5	63.026	63.376						
		65	4	62.402	60.670	90			6	86.103	83.505
			3	63.051	61.752				4	87.402	85.670
			2	63.701	62.835				3	88.051	86.752
			1.5	64.026	63.376				2	88.701	87.835
	68		6 *	64.103	61.505		95		6	91.103	88.505
			4	65.402	63.670				4	92.402	90.670
			3	66.051	64.752				3	93.051	91.752
			2	66.701	65.835				2	93.701	92.835
			1.5	67.026	66.376						
		70	6	66.103	63.505	100			6	96.103	93.505
			4	67.402	65.670				4	97.402	95.670
			3	68.051	66.752				3	98.051	96.752
			2	68.701	67.835				2	98.701	97.835
			1.5	69.026	68.376						
72			6	68.103	65.505		105		6	101.103	98.505
			4	69.402	67.670				4	102.402	100.670
			3	70.051	68.752				3	103.051	101.752
			2	70.701	69.835				2	103.701	102.835
			1.5	71.026	70.376						
		75	6	68.103	65.505	110			6	106.103	103.505
			4	69.402	67.670				4	107.402	105.670
			3	70.051	68.752				3	108.051	106.752
			2	70.701	69.835				2	108.701	107.835
			1.5	71.026	70.376						
		76	4	72.402	70.670		115		6	111.103	108.505
			3	73.051	71.752				4	112.402	110.670
			2	73.701	72.835				3	113.051	111.752
			1.5	74.026	73.376				2	113.701	112.835
	78		6	72.103	69.505		120		6	116.103	113.505
			4	73.402	71.670				4	117.402	115.670
			3	74.051	72.752				3	118.051	116.752
			2	74.701	73.835				2	118.701	117.835
			1.5	75.026	74.376						
80			6 *	76.700	75.835	125			6 *	121.103	118.505
			2	76.700	75.835				4	122.402	120.670
			6	76.103	73.505				3	123.051	121.752
			4	77.402	75.670				2	123.701	122.835
			3	78.051	76.752						
		82	2	78.701	77.835		130		6 *	126.103	123.505
			6	79.026	78.376				4	127.402	125.670
			4	79.026	78.376				3	128.051	126.752
			2	80.701	79.835				2	128.701	127.835
			1.5	81.026	80.376						

(续)

公称直径 $D、d$			螺 距 P	中 径 D_2 和 d_2	小 径 D_1 和 d_1	公称直径 $D、d$			螺 距 P	中 径 D_2 和 d_2	小 径 D_1 和 d_1
第 1 系列	第 2 系列	第 3 系列				第 1 系列	第 2 系列	第 3 系列			
		135	6 4 3 2	131. 103 132. 402 133. 051 133. 701	128. 505 130. 670 131. 752 132. 835		170		8 6 4 3	164. 804 166. 103 167. 402 168. 051	161. 340 163. 505 165. 670 166. 752
140			6 * 4 3 2	136. 103 137. 402 138. 051 138. 701	133. 505 135. 670 136. 752 137. 835			175	6 4 3	171. 103 172. 402 173. 051	168. 505 170. 670 171. 752
		145	6 4 3 2	141. 103 142. 402 143. 051 143. 701	138. 505 140. 670 141. 752 142. 835	180			8 6 4 3	174. 804 176. 103 177. 402 178. 051	171. 340 173. 505 175. 670 176. 752
	150		8 6 4 3 2	144. 804 146. 103 147. 402 148. 051 148. 701	141. 340 143. 505 145. 670 146. 752 147. 835			185	6 4 3	181. 103 182. 402 183. 051	178. 505 180. 670 181. 752
		155	6 4 3	151. 103 152. 402 153. 051	148. 505 150. 670 151. 752		190		8 6 4 3	184. 804 186. 103 187. 402 188. 051	181. 340 183. 505 185. 670 186. 752
160			8 6 4 3	154. 804 156. 103 157. 402 158. 051	151. 340 153. 505 155. 670 156. 752			195	6 4 3	191. 103 192. 402 193. 051	188. 505 190. 670 191. 752
		165	6 4 3	161. 103 162. 402 163. 051	158. 505 160. 670 161. 752	200			8 6 4 3	194. 804 196. 103 197. 402 198. 051	191. 340 193. 505 195. 670 196. 752

- 注：1. 优先选用第一系列直径，其次选择第二系列直径，最后选择第三系列直径。
2. 括号内的螺距尽可能不用。
3. 带“*”的螺距为粗牙螺距。
4. M14×1.25 仅用于火花塞，M35×1.5 仅用于滚动轴承锁紧螺母。

(2) 普通螺纹公差 (摘自 GB/T 197—2003)

1) 普通螺纹的公差带及公差等级。螺纹公差带是沿螺纹牙型分布的牙型公差带，在垂直于螺纹轴线方向计量其公差和偏差值的大小。国标 (GB/T 197—2003) 规定了内、外螺纹的顶径公差和中径公差的等级 (见表 3.1-3)。螺纹公差带相对基本牙型的位置是由基本偏差来确定。国标规定内螺纹有 G (其基本偏差 EI 为正值) 和 H (其基本偏差 EI 为零) 两种公差带位置，而外螺纹则有 e、f、g (其基本偏差 es 为负值)、h (其基本偏差 es 为零) 四种

公差带位置，见图 3.1-1 (图中 d_{3max} 为最大小径) 及图 3.1-2。

表 3.1-3 内、外螺纹顶径和中径的公差等级

螺纹直径		公差等级
外螺纹	中径 (d_2)	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
	大径 (d)	4, 6, 8
内螺纹	中径 (D_2)	4, 5, 6, 7, 8
	小径 (D_1)	4, 5, 6, 7, 8

注：顶径指外螺纹大径和内螺纹小径。

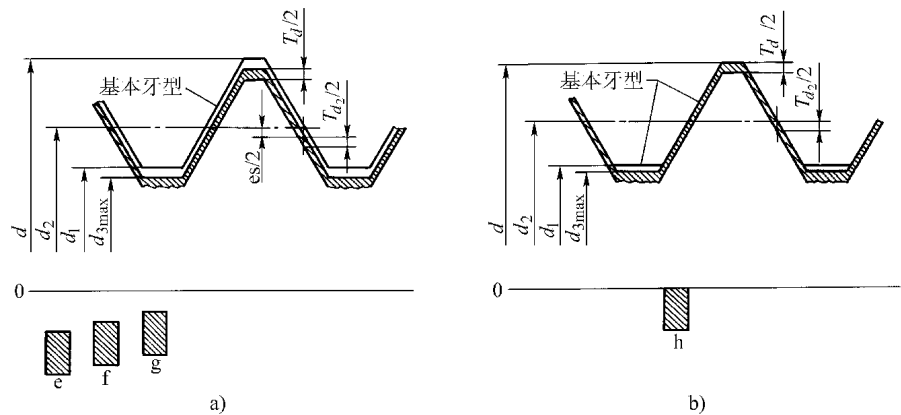


图 3.1-1 外螺纹公差带位置

a) 公差带位置为 e、f 和 g b) 公差带位置为 h
 T_d —外螺纹大径公差 T_{d_2} —外螺纹中径公差

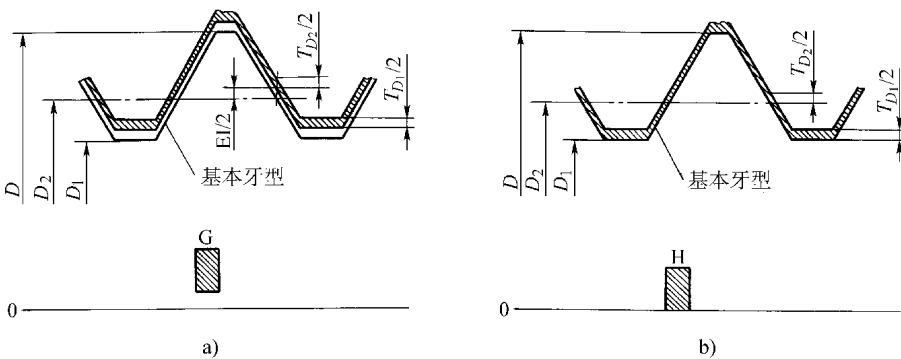


图 3.1-2 内螺纹公差带位置

a) 公差带位置为 G b) 公差带位置为 H
 T_{D_1} —内螺纹小径公差 T_{D_2} —内螺纹中径公差

2) 螺纹的旋合长度。两相配合的螺纹沿螺纹轴线方向相互旋合部分的长度称为螺纹的旋合长度。GB/T 197—2003 将旋合长度分为三组：短旋合长度 (S)、中等旋合长度 (N) 及长旋合长度 (L)。各组的长度范围见表 3.1-4。

表 3.1-4 螺纹旋合长度
(摘自 GB/T 197—2003) (mm)

基本大径 D, d		螺距 P	旋 合 长 度			
			S		N	
>	≤		≤	>	≤	>
0.99	1.4	0.2	0.5	0.5	1.4	1.4
		0.25	0.6	0.6	1.7	1.7
		0.3	0.7	0.7	2	2

基本大径 D, d		螺距 P	旋 合 长 度			
			S		N	
>	≤		≤	>	≤	>
1.4	2.8	0.2	0.5	0.5	1.5	1.5
		0.25	0.6	0.6	1.9	1.9
		0.35	0.8	0.8	2.6	2.6
		0.4	1	1	3	3
		0.45	1.3	1.3	3.8	3.8
2.8	5.6	0.35	1	1	3	3
		0.5	1.5	1.5	4.5	4.5
		0.6	1.7	1.7	5	5
		0.7	2	2	6	6
		0.75	2.2	2.2	6.7	6.7
		0.8	2.5	2.5	7.5	7.5

(续)

基本大径 <i>D、d</i>		螺距 <i>P</i>	旋 合 长 度			
>	≤		S	N		L
			≤	>	≤	>
5.6	11.2	0.75	2.4	2.4	7.1	7.1
		1	3	3	9	9
		1.25	4	4	12	12
		1.5	5	5	15	15
11.2	22.4	1	3.8	3.8	11	11
		1.25	4.5	4.5	13	13
		1.5	5.6	5.6	16	16
		1.75	6	6	18	18
		2	8	8	24	24
		2.5	10	10	30	30
22.4	45	1	4	4	12	12
		1.5	6.3	6.3	19	19
		2	8.5	8.5	25	25
		3	12	12	36	36
		3.5	15	15	45	45
		4	18	18	53	53
		4.5	21	21	63	63
45	90	1.5	7.5	7.5	22	22
		2	9.5	9.5	28	28
		3	15	15	45	45
		4	19	19	56	56
		5	24	24	71	71
		5.5	28	28	85	85
		6	32	32	95	95
90	180	2	12	12	36	36
		3	18	18	53	53
		4	24	24	71	71
		6	36	36	106	106
		8	45	45	132	132
180	355	3	20	20	60	60
		4	26	26	80	80
		6	40	40	118	118
		8	50	50	150	150

3) 推荐公差带 (见表 3.1-5)。

(3) 普通螺纹的标记 (见表 3.1-6) 普通螺

纹的完整标记由螺纹特征代号、尺寸代号、公差带代号和其他有必要说明的信息组成, 标记时除特征代号与尺寸代号不隔开外其他各项之间应用“—”分开。其格式如下:

螺纹特征代号 尺寸代号 — 公差带代号 —

旋合长度代号 — 旋向代号

螺纹特征代号用字母“M”表示; 尺寸代号: 细牙螺纹的尺寸代号用“公称直径×螺距”表示、对于粗牙螺纹其螺距省略不标, 多线螺纹则用“公称直径×Ph 导程 P 螺距”表示。

公差带代号包括螺纹的中径公差带代号和顶径公差带代号, 标注时中径公差带代号在前、顶径公差带代号在后, 当两者公差带相同时只标注一个代号。在下列情况下中等公差精度螺纹不标注其公差带代号:

内螺纹:

—5H 公称直径小于和等于 1.4mm 时;

—6H 公称直径大于和等于 1.6mm 时。

外螺纹:

—6h 公称直径小于和等于 1.4mm 时;

—6g 公称直径大于和等于 1.6mm 时。

表示内、外螺纹配合时, 内螺纹公差带代号在前, 外螺纹公差带代号在后, 中间用斜线分开。

标记中中等旋合长度 (代号为 N) 的螺纹不用标注, 而短旋合长度 (代号为 S) 和长旋合长度 (代号为 L) 则宜标注。

对左向螺纹应标注“LH”代号, 右旋螺纹不标注旋向代号。

普通螺纹的标记示例见表 3.1-6。

表 3.1-5 螺纹的推荐公差带

外螺纹	公差精度	公差带位置 e			公差带位置 f			公差带位置 g			公差带位置 h		
		S	N	L	S	N	L	S	N	L	S	N	L
	精密	—	—	—	—	—	—	—	(4g)	(5g4g)	(3h4h)	4h	(5h4h)
	中等	—	6e	(7e6e)	—	6f	—	(5g6g)	6g	(7g6g)	(5h6h)	6h	(7h6h)
	粗糙	—	(8e)	(9e8e)	—	—	—	—	8g	(9g8g)	—	—	—
内螺纹	公差精度	公差带位置 G			公差带位置 H			说明	精密级—用于精密的螺纹; 中等级—用于一般用途螺纹; 粗糙级—用于制造螺纹有困难的情况, 例如深盲孔内加工螺纹				
		S	N	L	S	N	L						
	精 密	—	—	—	4H	5H	6H						
	中 等	(5G)	6G	(7G)	5H	6H	7H						
	粗 糙	—	(7G)	(8G)	—	7H	8H						

注: 1. 公差带优先选用顺序为: 粗字体公差带、一般字体公差带、括号内公差带。带方框的粗字体公差带用于大量生产的紧固件螺纹。

2. 如果不知道螺纹旋合长度的实际值, 推荐按中等旋合长度 (N) 选取螺纹公差带。

3. 表内的内螺纹公差带能与表内的外螺纹公差带形成任意组合。但是, 为了保证内、外螺纹间有足够的螺纹接触高度, 推荐完工后的螺纹零件宜优先组成 H/g、H/h 或 G/h 配合。对公称直径小于和等于 1.4mm 的螺纹, 应选用 5H/6h、4H/6h 或更精密的配合。

4. 如无其他特殊说明, 推荐公差带适用于涂镀前螺纹。涂镀后、螺纹实际轮廓上的任何点不应超越按公差位置 H 或 h 所确定的最大实体牙型。推荐公差带仅适用于具有薄涂镀层的螺纹, 例如电镀螺纹。

表 3.1-6 普通螺纹的标记示例

螺纹特征 代号	公称 直径	粗牙或 细牙	螺距	导程	线数	旋合长度	公差带代号		旋向	标记
							中径	顶径		
单个螺纹										
M	6	细牙	0.75		单	S	5h	6h	右	M6 × 0.75 - 5h6h - S
* M	10	粗牙	1.5		单	N	6H	6H	右	M10
* M	16	细牙	1.5	3	双	L	7H	7H	左	M16 × Ph3P1.5 - 7H - L - LH
内外螺纹组成配合时										
* M	20	细牙	2		单	N	6H	6H	右	M20 × 2 - 6H/5g6g
M	20	细牙	2		单	N	5g	6g	右	
* M	6	粗牙	1		单	L	7H	7H	左	M6 - 7H/7g6g - L - LH
M	6	粗牙	1		单	L	7g	6g	左	

注：带 * 为内螺纹，无 * 为外螺纹。

1.1.3 管螺纹

(1) 管螺纹术语（见表 3.1-7）

表 3.1-7 管螺纹术语（部分）

术语	定 义
基准直径	设计给定的内锥螺纹或外锥螺纹的基本大径
基准平面	垂直于锥螺纹轴线，具有基准直径的平面。 圆锥外螺纹基准平面的理论位置位于垂直于螺纹轴线，与小端面（参照平面）相距一个基准距离的平面内；圆锥内螺纹基准平面的理论位置位于垂直于螺纹轴线、深入端面（参照平面）以内 0.5P 的平面内
中径线	中径圆柱或中径圆锥的母线
基准距离	从基准平面到外锥螺纹小端的距离，简称基距
装配余量	在外锥螺纹基准平面之后的有效螺纹长度。它提供了与最小实体状态下的内螺纹配合时的余量
旋紧余量	内、外螺纹用手旋合后所余下的有效螺纹长度。它提供了与最小实体状态下的内螺纹手旋合之后的旋紧量
完整螺纹	牙顶和牙底均具有完整形状的螺纹。当螺纹的始端倒角长度不超过一个螺距时，它包括在完整螺纹长度内
不完整螺纹	牙底完整而牙顶不完整的螺纹
螺尾	向光滑表面过渡的牙底不完整的螺纹
有效螺纹	由完整螺纹和不完整螺纹组成的螺纹，不包括螺尾
参照平面	量规检验螺纹时，读取检验数值（基准平面的位置偏差）所参照的可见平面。它是内螺纹的外端面或外螺纹的小端面
容纳长度	从内螺纹外端到妨碍外螺纹旋入的第一个障碍物间的轴向距离

(2) 55°密封管螺纹（摘自 GB/T 7306.1 ~ 7306.2—2000）

1) 牙型（见图 3.1-3 及图 3.1-4）

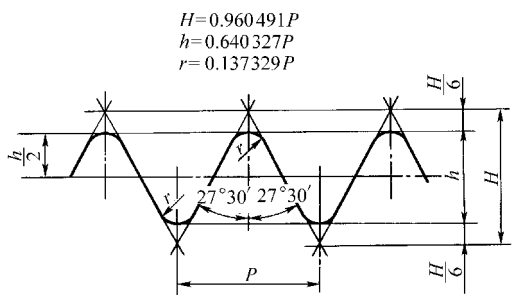


图 3.1-3 圆柱内螺纹的设计牙型

2) 基本尺寸及公差 (见表 3.1-8)

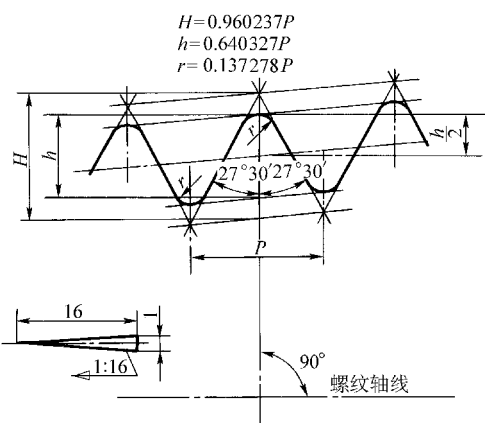
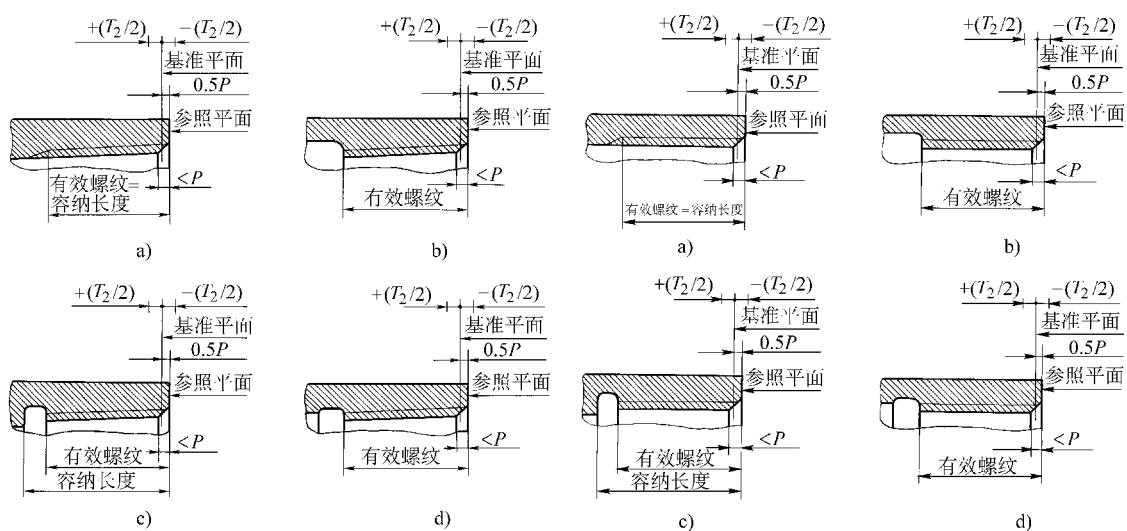


图 3.1-4 圆锥外螺纹的设计牙型

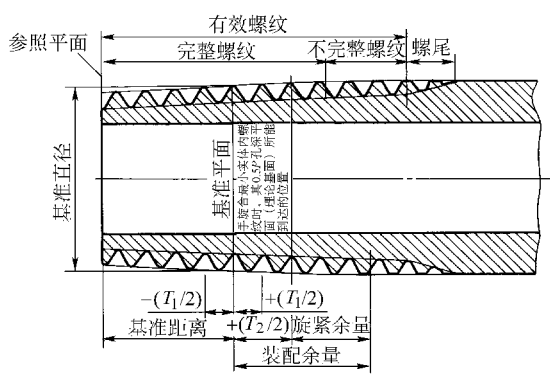
表 3.1-8 55°密封管螺纹基本尺寸及公差

(mm)



圆锥内螺纹上各主要尺寸的分布位置

圆柱内螺纹上各主要尺寸的分布



圆锥外螺纹上各主要尺寸的分布

圆锥螺纹的锥度为 1:16

螺纹中径 (D_2 、 d_2) 和小径 (D_1 、 d_1) 按下列公式计算:

$$D_2 = d_2 = d - h = d - 0.640327P$$

$$D_1 = d_1 = d - 2h = d - 1.280654P$$

P——螺距

T_1 —外螺纹基准距离 (基准平面位置) 公差

T_2 —内螺纹基准平面位置公差

(续)

标记示例:

管螺纹的标记由特征代号与尺寸代号组成。

螺纹特征代号: R_p 表示圆柱内螺纹; R_c 表示圆锥内螺纹; R_1 表示与圆柱内螺纹相配合的圆锥外螺纹; R_2 表示与圆锥内螺纹相配合的圆锥外螺纹。

螺纹副的特征代号为: R_p/R_1 或 R_c 或 R_2 。

尺寸代号为 3/4 的右旋圆柱内螺纹的标记为: $R_p 3/4$

尺寸代号为 3 的左旋圆锥外螺纹的标记为: $R_1 3 LH$

尺寸代号为 3 的右旋圆锥外螺纹与圆柱内螺纹所组成的螺纹副的标记为: $R_p/R_1 3$

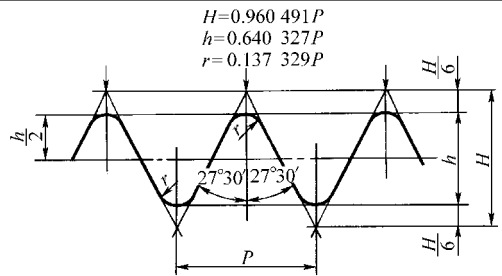
尺寸代号为 3 的右旋圆锥内螺纹与圆锥外螺纹所组成的螺纹副的标记为: $R_c/R_2 3$

尺寸 代号	每 25.4mm 内所 包含 的牙 数 n	螺距 P	牙高 h	基准平面内的 基本直径			基 准 距 离					装配余量		外螺纹的有效 螺纹不小于			圆柱内螺纹 直径的极限 偏差 $\pm T_2/2$	
				大径 (基准 直径) $d = D$	中径 $d_2 = D_2$	小径 $d_1 = D_1$	基本	极限偏差 $\pm T_1/2$		最大	最小			基准距离分别为				
								$\approx$	圈数					$\approx$	圈数	基本	最大	最小
1/16	28	0.907	0.581	7.723	7.142	6.561	4	0.9	1	4.9	3.1	2.5	2¾	6.5	7.4	5.6	0.071	1¼
1/8	28	0.907	0.581	9.728	9.147	8.566	4	0.9	1	4.9	3.1	2.5	2¾	6.5	7.4	5.6	0.071	1¼
1/4	19	1.337	0.856	13.157	12.301	11.445	6	1.3	1	7.3	4.7	3.7	2¾	9.7	11	8.4	0.104	1¼
3/8	19	1.337	0.856	16.662	15.806	14.950	6.4	1.3	1	7.7	5.1	3.7	2¾	10.1	11.4	8.8	0.104	1¼
1/2	14	1.814	1.162	20.955	9.793	18.631	8.2	1.8	1	10.0	6.4	5.0	2¾	13.2	15	11.4	0.142	1¼
3/4	14	1.814	1.162	26.441	25.279	24.117	9.5	1.8	1	11.3	7.7	5.0	2¾	14.5	16.3	12.7	0.142	1¼
1	11	2.309	1.479	33.249	31.770	30.291	10.4	2.3	1	12.7	8.1	6.4	2¾	16.8	19.1	14.5	0.180	1¼
1¼	11	2.309	1.479	41.910	40.431	38.952	12.7	2.3	1	15.0	10.4	6.4	2¾	19.1	21.4	16.8	0.180	1¼
1½	11	2.309	1.479	47.803	46.324	44.845	12.7	2.3	1	15.0	10.4	6.4	2¾	19.1	21.4	16.8	0.180	1¼
2	11	2.309	1.479	59.614	58.135	56.656	15.9	2.3	1	18.2	13.6	7.5	3¼	23.4	25.7	21.1	0.180	1¼
2½	11	2.309	1.479	75.184	73.705	72.226	17.5	3.5	1½	21.0	14.0	9.2	4	26.7	30.2	23.2	0.216	1½
3	11	2.309	1.479	87.884	86.405	84.926	20.6	3.5	1½	24.1	17.1	9.2	4	29.8	33.3	26.3	0.216	1½
4	11	2.309	1.479	113.030	111.551	110.072	25.4	3.5	1½	28.9	21.9	10.4	4½	35.8	39.3	32.3	0.216	1½
5	11	2.309	1.479	138.430	136.951	135.472	28.6	3.5	1½	32.1	25.1	11.5	5	40.1	43.6	36.6	0.216	1½
6	11	2.309	1.479	163.830	162.351	160.872	28.6	3.5	1½	32.1	25.1	11.5	5	40.1	43.6	36.6	0.216	1½

- 注: 1. 圆锥外螺纹小端面、圆锥内螺纹大端面和圆柱内螺纹外端面的倒角轴向长度不得大于 1P。
2. 圆锥外螺纹的有效螺纹长度不应小于其基准距离的实际值与装配余量之和。对应基准距离为最大、基本和最小尺寸的三种条件, 表中分别给出了相应情况所需的最小有效螺纹长度。
3. 当圆锥(柱)内螺纹的尾部未采用退刀结构时, 其最小有效螺纹长度应能容纳表中所规定长度的圆锥外螺纹; 当圆锥(柱)内螺纹的尾部采用退刀结构时, 其容纳长度应能容纳表中所规定长度的圆锥外螺纹, 其最小有效螺纹长度应不小于表中所规定长度的 80%。
4. 本标准适用于管子、阀门、管接头、旋塞及其他管路附件的螺纹连接。
- (3) 55°非螺纹密封的管螺纹 (摘自 GB/T 7307—2001)

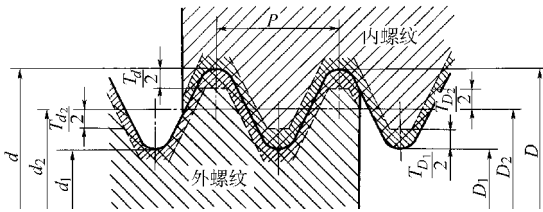
55°非螺纹密封管螺纹的牙型、基本尺寸及公差见表 3.1-9。

表 3.1-9 牙型、基本尺寸及公差 (mm)



圆柱管螺纹的设计牙型

$$H = 0.960491P;$$
$$h = 0.640327P;$$
$$r = 0.137329P;$$
$$H/6 = 0.160082P;$$



非密封管螺纹的尺寸及公差分布

$$D = d$$
$$D_2 = d_2 = d - h = d - 0.640327P;$$
$$D_1 = d_1 = d - 2h = d - 1.280654P;$$
$$P = 25.4/n$$

标记示例:

圆柱管螺纹的标记由螺纹特征代号 (G)、尺寸代号和公差等级代号 (对外螺纹, 分 A、B 两级进行标记; 对内螺纹, 不标记) 组成。

尺寸代号为 1½ 的左旋圆柱内螺纹, 标记为: G1½LH (右旋不标)

尺寸代号为 2 的 A 级右旋圆柱外螺纹, 标记为: G2A

尺寸代号为 4 的 B 级左旋圆柱外螺纹, 标记为: G3B—LH

表示螺纹副时, 仅需标注外螺纹的标记代号

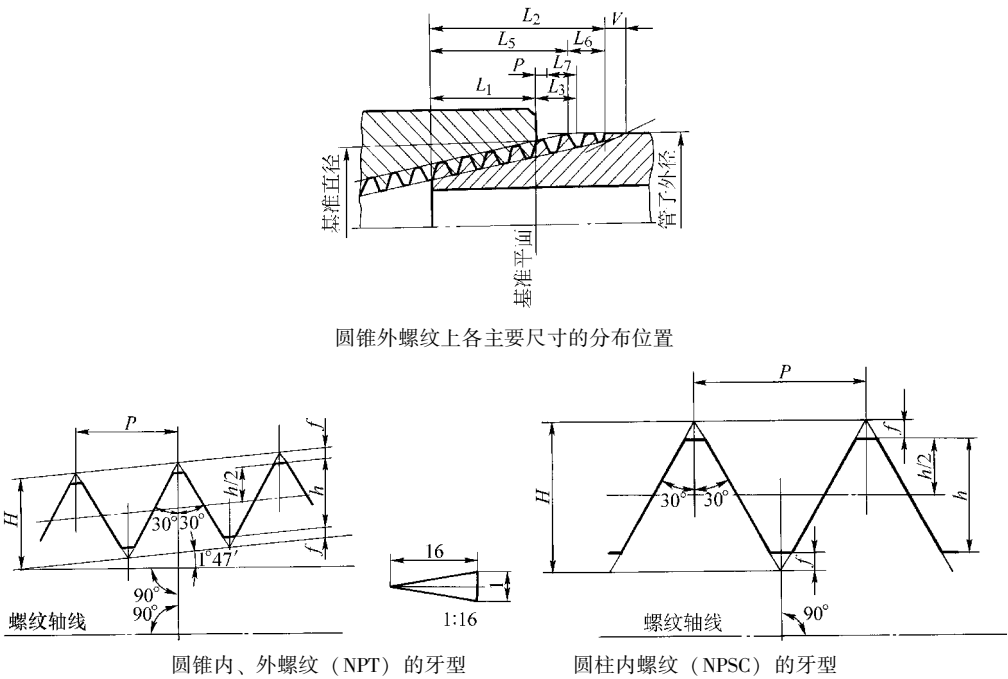
尺寸 代号	每 25.4mm 内所包含 的牙数 n	螺距 P	牙高 h	基 本 直 径			中 径 公 差 ^①						小径公差		大径公差	
				大径 d = D	中径 d ₂ = D ₂	小径 d ₁ = D ₁	内 螺 纹		外 螺 纹				内 螺 纹		外 螺 纹	
							下偏 差	上偏差	下偏差		上偏 差	下偏 差	上偏差	下偏差	上偏差	下偏差
									A 级	B 级						
1/16	28	0.907	0.581	7.723	7.142	6.561	0	+0.107	-0.107	-0.214	0	0	+0.282	-0.214	0	
1/8	28	0.907	0.581	9.728	9.147	8.566	0	+0.107	-0.107	-0.214	0	0	+0.282	-0.214	0	
1/4	19	1.337	0.856	13.157	12.301	11.445	0	+0.125	-0.125	-0.250	0	0	+0.445	-0.250	0	
3/8	19	1.337	0.856	16.662	15.806	14.950	0	+0.125	-0.125	-0.250	0	0	+0.445	-0.250	0	
1/2	14	1.814	1.162	20.955	19.793	18.631	0	+0.142	-0.142	-0.284	0	0	+0.541	-0.284	0	
5/8	14	1.814	1.162	22.911	21.749	20.587	0	+0.142	-0.142	-0.284	0	0	+0.541	-0.284	0	
3/4	14	1.814	1.162	26.441	25.279	24.117	0	+0.142	-0.142	-0.284	0	0	+0.541	-0.284	0	
7/8	14	1.814	1.162	30.201	29.039	27.877	0	+0.142	-0.142	-0.284	0	0	+0.541	-0.284	0	
1	11	2.309	1.479	33.249	31.770	30.291	0	+0.180	-0.180	-0.360	0	0	+0.640	-0.360	0	
1½	11	2.309	1.479	37.897	36.418	34.939	0	+0.180	-0.180	-0.360	0	0	+0.640	-0.360	0	
1¼	11	2.309	1.479	41.910	40.431	38.952	0	+0.180	-0.180	-0.360	0	0	+0.640	-0.360	0	
1½	11	2.309	1.476	47.803	46.324	44.845	0	+0.180	-0.180	-0.360	0	0	+0.640	-0.360	0	
1¾	11	2.309	1.479	53.746	52.267	50.788	0	+0.180	-0.180	-0.360	0	0	+0.640	-0.360	0	
2	11	2.309	1.479	59.614	58.135	56.656	0	+0.180	-0.180	-0.360	0	0	+0.640	-0.360	0	
2¼	11	2.309	1.479	65.710	64.231	62.752	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0	
2½	11	2.309	1.479	75.184	73.705	72.226	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0	
2¾	11	2.309	1.479	81.534	80.055	78.576	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0	
3	11	2.309	1.479	87.884	86.405	84.926	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0	
3½	11	2.309	1.479	100.330	98.851	97.372	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0	
4	11	2.309	1.479	113.030	111.551	110.072	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0	
4½	11	2.309	1.479	125.730	124.251	122.772	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0	
5	11	2.309	1.479	138.430	136.951	135.472	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0	
5½	11	2.309	1.479	151.130	149.651	148.172	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0	
6	11	2.309	1.479	163.830	162.351	160.872	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0	

① 对薄壁件, 此公差适用于平均中径, 该中径是测量两个相互垂直直径的算术平均值。

(4) 60°密封管螺纹 (摘自 GB/T 12716—2002)

1) 圆锥管螺纹的基本尺寸及其单项要素极限偏差 (见表 3. 1-10)

表 3. 1-10 圆锥管螺纹的基本尺寸及单项要素极限偏差



L_1 —基准距离; L_2 —有效螺纹长度; L_3 —装配余量; L_5 —完整螺纹长度;
 L_6 —不完整螺纹长度; L_7 —旋紧余量; P (螺距) $= 25.4/n$; $H = 0.866025P$
 h (螺纹牙型高) $= 0.800000P$; f (削平高度) $= 0.033P$
标记示例:

尺寸为 3/4 的右旋圆柱内螺纹, 标记为: NPSC3/4
尺寸为 6 的右旋圆锥内螺纹或圆锥外螺纹: NPT6
尺寸为 140. D. 的左旋圆锥内螺纹或圆锥外螺纹: NPT1/40. D. —LH

1. 基本尺寸											
螺纹的 尺寸 代号	25.4mm 内包含 的牙数 <i>n</i>	螺距 <i>P</i>	牙型高度 <i>h</i>	基准平面内的基本直径			基准距离 <i>L</i> ₁		装配余量 <i>L</i> ₃		外螺纹小 端面内的 基本小径
				大径 <i>d</i> = <i>D</i>	中径 <i>d</i> ₂ = <i>D</i> ₂	小径 <i>d</i> ₁ = <i>D</i> ₁					
				mm						圈数	
1/16	27	0.941	0.752	7.894	7.142	6.389	4.32	4.064	3	2.822	6.137
1/8	27	0.941	0.752	10.242	9.489	8.737	4.36	4.102	3	2.822	8.481
1/4	18	1.411	1.129	13.616	12.487	11.358	4.10	5.785	3	4.233	10.996
3/8	18	1.411	1.129	17.055	15.926	14.797	4.32	6.096	3	4.233	14.417
1/2	14	1.814	1.451	21.224	19.772	18.321	4.48	8.128	3	5.443	17.813
3/4	14	1.814	1.451	26.569	25.117	23.666	4.75	8.618	3	5.443	23.127
1	11.5	2.209	1.767	33.228	31.461	29.694	4.60	10.160	3	6.626	29.060
1¼	11.5	2.209	1.767	41.985	40.218	38.451	4.83	10.668	3	6.626	37.785
1½	11.5	2.209	1.767	48.054	46.287	44.520	4.83	10.668	3	6.626	43.853
2	11.5	2.209	1.767	60.092	58.325	56.558	5.01	11.065	3	6.626	55.867
2½	8	3.175	2.540	72.699	70.159	67.619	5.46	17.335	2	6.350	66.535
3	8	3.175	2.540	88.608	86.068	83.528	6.13	19.463	2	6.350	82.311

(续)

螺纹的 尺寸 代号	25.4mm 内包含 的牙数 <i>n</i>	螺距 <i>P</i>	牙型高度 <i>h</i>	基准平面内的基本直径			基准距离 <i>L</i> ₁		装配余量 <i>L</i> ₃		外螺纹小 端面内的 基本小径
				大径 <i>d = D</i>	中径 <i>d</i> ₂ = <i>D</i> ₂	小径 <i>d</i> ₁ = <i>D</i> ₁					
				mm			圈数	mm	圈数	mm	
3½	8	3.175	2.540	101.316	98.776	96.236	6.57	20.860	2	6.350	94.932
4	8	3.175	2.540	113.973	111.433	108.893	6.75	21.431	2	6.350	107.554
5	8	3.175	2.540	140.952	138.412	135.872	7.50	23.812	2	6.350	134.384
6	8	3.175	2.540	167.792	165.252	162.712	7.66	24.320	2	6.350	161.191
8	8	3.175	2.540	218.441	215.901	213.361	8.50	26.988	2	6.350	211.673
10	8	3.175	2.540	272.312	269.772	267.232	9.68	30.734	2	6.350	265.311
12	8	3.175	2.540	323.032	320.492	317.952	10.88	34.544	2	6.350	315.793
14 O. D.	8	3.175	2.540	354.904	352.364	349.824	12.50	39.688	2	6.350	347.345
16 O. D.	8	3.175	2.540	405.784	403.244	400.704	14.50	46.038	2	6.350	397.828
18 O. D.	8	3.175	2.540	456.565	454.025	451.485	16.00	50.800	2	6.350	448.310
20 O. D.	8	3.175	2.540	507.246	504.706	502.166	17.00	53.975	2	6.350	498.792
24 O. D.	8	3.175	2.540	608.608	606.068	603.528	19.00	60.325	2	6.350	599.758

2. 圆锥螺纹的单项要素极限偏差

在 25.4mm 轴向 长度内所包含 的牙数 <i>n</i>	中径线锥度 (1:16) 中的 极限偏差	有效螺纹的 导程累积偏 差/mm	牙侧角偏差 (°)
27	+ 1/96 - 1/192	± 0.076	± 1.25
18, 14			± 1
11.5, 8			± 0.75

注：1. *d*—外螺纹在基准平面上的大径；*d*₁—外螺纹在基准平面上的小径；*d*₂—外螺纹在基准平面上的中径；*D*—内螺纹在基准平面上的大径；*D*₁—内螺纹在基准平面上的小径；*D*₂—内螺纹在基准平面上的中径。*D*₂ = *d*₂ = *D* - 0.8*P*；*D*₁ = *d*₁ = *D* - 1.6*P*。

2. 螺纹的收尾 (V) 为 3.47*P*。
3. O. D. 是英文管子外径 (outside Diameter) 的缩写。
4. 对有效螺纹长度大于 25.4mm 的螺纹，其导程累积误差的最大测量跨度为 25.4mm。

2) 牙顶高和牙底高公差 (见表 3.1-11)

表 3.1-11 牙顶高和牙底高公差
(摘自 GB/T 12716—2002)

25.4mm 轴 向长度内 所包含 的牙数 <i>n</i>	牙顶高和 牙底高公 差/mm	图示
27 18 14 11.5 8	0.059 0.077 0.081 0.088 0.092	

3) 圆柱内螺纹的基本尺寸及其公差

① 圆柱内螺纹大径、中径和小径的基本尺寸应分别与圆锥螺纹在基准平面内的大径、中径和小径基本尺寸值相等，见表 3.1-10。

② 圆柱内螺纹基准平面的轴向位置极限偏差为 ±1.5*P*。螺纹中径在径向所对应的极限尺寸见表 3.1-12。

表 3.1-12 圆柱内螺纹的极限尺寸
(摘自 GB/T 12716—2002)

螺纹的 尺寸 代号	在 25.4mm 长度 内所包含的 牙数 <i>n</i>	中径/mm		小径/mm
		max	min	min
1/8	27	9.578	9.401	8.636
1/4	18	12.618	12.355	11.227
3/8	18	16.057	15.794	14.656
1/2	14	19.941	19.601	18.161
3/4	14	25.288	24.948	23.495
1	11.5	31.668	31.255	29.489
1¼	11.5	40.424	40.010	38.252
1½	11.5	46.494	46.081	44.323
2	11.5	58.531	58.118	56.363
2½	8	70.457	69.860	67.310
3	8	86.365	85.771	83.236
3½	8	99.072	98.479	95.936
4	8	111.729	111.135	108.585

注：可参照最小小径数据选择攻螺纹前的麻花钻直径。

4)圆锥管螺纹的英寸尺寸表(见表 3.1-13)

表 3.1-13 圆锥管螺纹的英寸尺寸

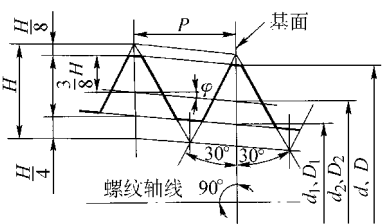
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
螺纹的尺 寸代号	每英寸内 包含的 牙数 n	螺距 P	牙高 h	基准平面 内的中径 $d_2 = D_2$	基准距离 L_1		装配余量 L_3		外螺纹小 端面内的 基本小径
					圈数	in	圈数	in	
1/16	27	0.03704	0.02963	0.28118	4.32	0.160	3	0.1111	0.2416
1/8	27	0.03704	0.02963	0.37360	4.36	0.1615	3	0.1111	0.3339
1/4	18	0.05556	0.04444	0.49163	4.10	0.2278	3	0.1667	0.4329
3/8	18	0.05556	0.04444	0.62701	4.32	0.240	3	0.1667	0.5676
1/2	14	0.07143	0.05714	0.77843	4.48	0.320	3	0.2143	0.7013
3/4	14	0.07143	0.05714	0.98887	4.75	0.339	3	0.2143	0.9105
1	11.5	0.08696	0.06957	1.23863	4.60	0.400	3	0.2609	1.1441
1¼	11.5	0.08696	0.06957	1.58338	4.83	0.420	3	0.2609	1.4876
1½	11.5	0.08696	0.06957	1.82234	4.83	0.420	3	0.2609	1.7265
2	11.5	0.08696	0.06957	2.29627	5.01	0.436	3	0.2609	2.1995
2½	8	0.12500	0.10000	2.76216	5.46	0.682	2	0.2500	2.6195
3	8	0.12500	0.10000	3.38850	6.13	0.766	2	0.2500	3.2406
3½	8	0.12500	0.10000	3.88881	6.57	0.821	2	0.2500	3.7375
4	8	0.12500	0.10000	4.38712	6.75	0.844	2	0.2500	4.2344
5	8	0.12500	0.10000	5.44929	7.50	0.937	2	0.2500	5.2907
6	8	0.12500	0.10000	6.50597	7.66	0.958	2	0.2500	6.3461
8	8	0.12500	0.10000	8.50003	8.50	1.063	2	0.2500	8.3336

(5) 米制密封管螺纹

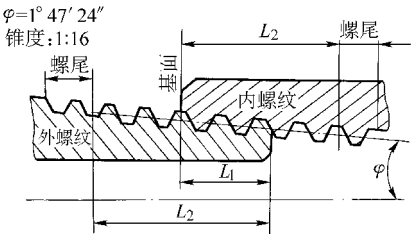
1) 牙型及基本尺寸 (见表 3.1-14)。

表 3.1-14 米制密封螺纹的牙型和基本尺寸 (摘自 GB/T 1415—2008)

(mm)



圆锥螺纹的基本牙型



米制密封螺纹上各主要尺寸的分布位置

螺纹牙型尺寸按下列公式进行计算：

$H = 0.866025404P$

L_1 —基准距离

$5H/8 = 0.541265877P$

$3H/8 = 0.324759526P$

$H/4 = 0.216506351P$

L_2 —有效螺纹长度

$H/8 = 0.108253175P$

(续)

公称 直径 D, d	螺距 P	基面内的直径			基准距离 ^①		最小有效螺纹长度 ^①	
		大径 D, d	中径 D_2, d_2	小径 D_1, d_1	标准型 L_1	短型 $L_{1短}$	标准型 L_2	短型 $L_{2短}$
8	1	8.000	7.350	6.917	5.500	2.500	8.000	5.500
10	1	10.000	9.350	8.917	5.500	2.500	8.000	5.500
12	1	12.000	11.350	10.917	5.500	2.500	8.000	5.500
12	1	12.000	11.350	10.917	5.500	2.500	8.000	5.500
14	1.5	14.000	13.026	12.376	7.500	3.500	11.000	8.500
16	1	16.000	15.350	14.917	5.500	2.500	8.000	5.500
	1.5	16.000	15.026	14.376	7.500	3.500	11.000	8.500
20	1.5	20.000	19.026	18.376	7.500	3.500	11.000	8.500
27	2	27.000	25.701	24.835	11.000	5.000	16.000	12.000
33	2	33.000	31.701	30.835	11.000	5.000	16.000	12.000
42	2	42.000	40.701	39.835	11.000	5.000	16.000	12.000
48	2	48.000	46.701	45.835	11.000	5.000	16.000	12.000
60	2	60.000	58.701	57.835	11.000	5.000	16.000	12.000
72	3	72.000	70.051	68.752	16.500	7.500	24.000	18.000
76	2	76.000	74.701	73.835	11.000	5.000	16.000	12.000
90	2	90.000	88.701	87.835	11.000	5.000	16.000	12.000
	3	90.000	88.051	86.752	16.500	7.500	24.000	18.000
115	2	115.000	113.701	112.835	11.000	5.000	16.000	12.000
	3	115.000	113.051	111.752	16.500	7.500	24.000	18.000
140	2	140.000	138.701	137.835	11.000	5.000	16.000	12.000
	3	140.000	138.051	136.752	16.500	7.500	24.000	18.000
170	3	170.000	168.051	166.752	16.500	7.500	24.000	18.000

注：米制密封圆柱内螺纹基本牙型应符合 GB/T 192—2003 普通螺纹基本牙型的规定（参看表 3.1-2）。

① 基准距离有两种形式：标准型和短型。两种基准距离分别对应两种形式的最小有效螺纹长度。标准型基准距离 L_1 和标准型最小有效螺纹长度 L_2 适用于由圆锥内螺纹与圆锥外螺纹组成的“锥/锥”配合螺纹；短型基准距离 $L_{1短}$ 和短型最小有效螺纹长度 $L_{2短}$ 适用于由圆柱内螺纹与圆锥外螺纹组成的“柱/锥”配合螺纹。选择时要注意两种配合形式对应两组不同的基准距离和最小有效螺纹长度，避免选择错误。

2) 公差

圆锥螺纹公差见表 3.1-15 ~ 表 3.1-17。

表 3.1-15 圆锥螺纹基准平面轴向位置的极限偏差
(mm)

螺距 P	圆锥外螺纹基准平面的 极限偏差 ($\pm T_1/2$)	圆锥内螺纹基准平面的 极限偏差 ($\pm T_2/2$)
1	0.7	1.2
1.5	1	1.5
2	1.4	1.8
3	2	3

表 3.1-16 螺纹牙顶高和牙底高的极限偏差
(mm)

螺距 P	外螺纹极限偏差		内螺纹极限偏差	
	牙顶高	牙底高	牙顶高	牙底高
1	0 -0.032	-0.015 -0.050	± 0.030	± 0.030
1.5	0 -0.048	-0.020 -0.065	± 0.040	± 0.040

(续)

螺距 <i>P</i>	外螺纹极限偏差		内螺纹极限偏差	
	牙顶高	牙底高	牙顶高	牙底高
2	0 -0.050	-0.025 -0.075	±0.045	±0.045
3	0 -0.055	-0.030 -0.085	±0.050	±0.050

表 3.1-17 螺纹其他单项要素的极限偏差

螺距 <i>P</i> /mm	牙侧角 (°)	螺距累积 ^① /mm		中径锥角 ^① (′)	
		在 <i>L</i> ₁ 范围内	在 <i>L</i> ₂ 范围内	外螺纹	内螺纹
1	±45	±0.04	±0.07	+24	+12
1.5				-12	-24
2					
3					

① 测量中径锥角的测量跨度为 *L*₁。

3) 螺纹标记。米制密封螺纹标记由螺纹特征代号、尺寸代号和基准距离组别代号组成。但对于左旋螺纹，还应在基准距离组别之后标注“LH”。

特征代号：

Mc——圆锥螺纹的特征代号；

Mp——圆柱内螺纹的特征代号。

螺纹尺寸代号：为“公称直径×螺距”（单位为 mm）。

基准距离组别代号：当采用标准型基准距离时，可以省略基准距离组别代号（N）；短型基准距离的组别代号为“S”，不能省略。

标记示例：

Mc12×1——表示公称直径为 12mm、螺距为 1mm、标准型基准距离、右旋的圆锥螺纹；

Mc20×1.5—S——表示公称直径为 20mm，螺距为 1.5mm、短型基准距离、右旋的圆锥外螺纹；

Mp42×2—S——表示公称直径为 42mm、螺距为 2mm、短型基准距离、右旋的圆柱内螺纹；

Mc12×1—LH——表示公称直径为 12mm、螺距为 1mm，标准型基准距离、左旋的圆锥外螺纹。

螺纹副：

锥/锥配合（标准型）的螺纹副，其标记方法与单独圆锥内螺纹或圆锥外螺纹完全相同。

柱/锥配合螺纹（短型），螺纹副的特征代号为“Mp/Mc”。前面为内螺纹的特征代号，后面为外螺纹的特征代号，中间用斜线分开。

标记示例：

Mp/Mc20×1.5—S——表示公称直径为 20mm、螺距为 1.5mm、短型基准距离、右旋的圆柱内螺纹

与圆锥外螺纹副；

Mc12×1——表示公称直径为 12mm、螺距为 1mm、标准型基准距离、右旋圆锥螺纹副。

(6) 普通螺纹的管路系列（见表 3.1-18）

表 3.1-18 普通螺纹的管路系列

（摘自 GB/T 1414—2003）（mm）

公称直径 <i>D</i> 、 <i>d</i>		螺距 <i>P</i>	公称直径 <i>D</i> 、 <i>d</i>		螺距 <i>P</i>
第 1 选择	第 2 选择		第 1 选择	第 2 选择	
8		1.25、1		52	1.5
10		1.25、1		60	3、2
12		1	64		1.5
	14	2、1.5	72		3
16		1.5、1		76	3
	18	2、1.5	80		1.5
20		1.5		85	2
	22	1.5	90		4
24		2	100		3
	27	2		115	4
30		2、1.5	125		2
	33	2	140		3
36		1.5		150	2
	39	3	160		2
42		3、2		170	4
48		3、2			

注：1. 本标准适用于一般的管路系列，其螺纹本身不具有密封功能。

2. 螺纹标记方法见 GB/T 197—2003。

1.1.4 梯形螺纹

(1) 梯形螺纹的术语和代号（见表 3.1-19）

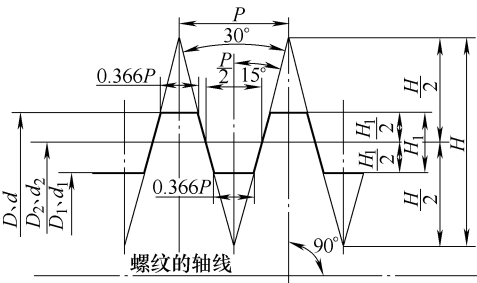
表 3.1-19 梯形螺纹的术语和代号

代号	术 语
<i>D</i>	基本牙型上的内螺纹大径
<i>D</i> ₄	设计牙型上的内螺纹大径
<i>D</i> ₁	基本牙型和设计牙型上的内螺纹小径
<i>D</i> ₂	基本牙型和设计牙型上的内螺纹中径
<i>d</i>	基本牙型和设计牙型上的外螺纹大径（公称直径）
<i>d</i> ₁	基本牙型上的外螺纹小径
<i>d</i> ₂	基本牙型和设计牙型上的外螺纹中径
<i>d</i> ₃	设计牙型上的外螺纹小径
<i>P</i>	螺距
<i>H</i>	原始三角形高度
<i>H</i> ₁	基本牙型高
<i>H</i> ₄	设计牙型上的内螺纹牙高
<i>h</i> ₃	设计牙型上的外螺纹牙高
<i>a</i> _c	牙顶间隙
<i>R</i> ₁	外螺纹牙顶倒角圆弧半径
<i>R</i> ₂	螺纹牙底倒角圆弧半径

(2) 梯形螺纹的牙型

1) 梯形螺纹的基本牙型及其尺寸(表 3.1-20)

表 3.1-20 梯形螺纹的基本牙型及其尺寸(GB/T 5796.1—2005) (mm)

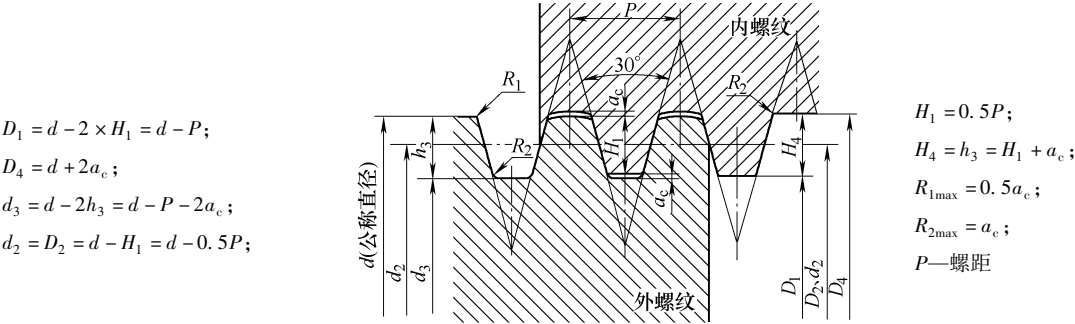


梯形螺纹基本牙型

螺距 P	H (1.866 P)	$H/2$ (0.933 P)	H_1 (0.5 P)	牙顶和牙底宽 0.366 P	螺距 P	H (1.866 P)	$H/2$ (0.933 P)	H_1 (0.5 P)	牙顶和牙底宽 0.366 P
1.5	2.799	1.400	0.75	0.549	14	26.124	13.062	7	5.124
2	3.732	1.866	1	0.732	16	29.856	14.928	8	5.856
3	5.598	2.799	1.5	1.098	18	33.588	16.794	9	6.588
4	7.464	3.732	2	1.464	20	37.320	18.660	10	7.320
5	9.330	4.665	2.5	1.830	22	41.052	20.526	11	8.052
6	11.196	5.598	3	2.196	24	44.784	22.392	12	8.784
7	13.062	6.531	3.5	2.562	28	52.248	26.124	14	10.248
8	14.928	7.464	4	2.928	32	59.712	29.856	16	11.712
9	16.794	8.397	4.5	3.294	36	67.176	33.588	18	13.176
10	18.660	9.330	5	3.660	40	74.640	37.320	20	14.640
12	22.392	11.196	6	4.392	44	82.104	41.052	22	16.104

2) 梯形螺纹的设计牙型及其尺寸(表 3.1-21)

表 3.1-21 梯形螺纹的设计牙型及其尺寸(摘自 GB/T 5796.1—2005) (mm)



梯形螺纹设计牙型

螺距 P	a_c	$H_4 = h_3$	R_1 max	R_2 max	螺距 P	a_c	$H_4 = h_3$	R_1 max	R_2 max
1.5	0.15	0.9	0.075	0.15	14	1	8	0.5	1
2	0.25	1.25	0.125	0.25	16	1	9	0.5	1
3	0.25	1.75	0.125	0.25	18	1	10	0.5	1
4	0.25	2.25	0.125	0.25	20	1	11	0.5	1
5	0.25	2.75	0.125	0.25	22	1	12	0.5	1
6	0.5	3.5	0.25	0.5	24	1	13	0.5	1
7	0.5	4	0.25	0.5	28	1	15	0.5	1
8	0.5	4.5	0.25	0.5	32	1	17	0.5	1
9	0.5	5	0.25	0.5	36	1	19	0.5	1
10	0.5	5.5	0.25	0.5	40	1	21	0.5	1
12	0.5	6.5	0.25	0.5	44	1	23	0.5	1

注:1. 在外螺纹大径上的 R_1 , 推荐采用等于或小于 $0.5a_c$ 的倒圆或倒角;对螺距为 2~12mm 的滚压外螺纹在大径上的 R_1 推荐采用等于或大于 $0.6a_c$ 的倒圆或倒角。
2. 当采用滚压方法加工外螺纹时,可以修改其牙底形状,以便在外螺纹的牙底上能生成较大的圆弧,此时其外螺纹小径 d_3 可以减小 $0.15P$ 。

3) 梯形螺纹的基本尺寸(表 3. 1-22)

表 3. 1-22 梯形螺纹基本尺寸(GB/T 5796. 3—2005) (mm)

公称直径 d			螺 距 P	中 径 $d_2 = D_2$	大 径 D_4	小 径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
8			1.5 *	7.250	8.300	6.200	6.500
	9		1.5 2 *	8.250 8.000	9.300 9.500	7.200 6.500	7.500 7.000
10			1.5 2	9.250 9.000	10.300 10.500	8.200 7.500	8.500 8.000
	11		2 * 3	10.000 9.500	11.500 11.500	8.500 7.500	9.000 8.000
12			2 3 *	11.000 10.500	12.500 12.500	9.500 8.500	10.000 9.000
	14		2 3 *	13.000 12.500	14.500 14.500	11.500 10.500	12.000 11.000
16			2 4 *	15.000 14.000	16.500 16.500	13.500 11.500	14.000 12.000
	18		2 4 *	17.000 16.000	18.500 18.500	15.500 13.500	16.000 14.000
20			2 4 *	19.000 18.000	20.500 20.500	17.500 15.500	18.000 16.000
	22		3 5 * 8	20.500 19.500 18.000	22.500 22.500 23.000	18.500 16.500 13.000	19.000 17.000 14.000
24			3 5 * 8	22.500 21.500 20.000	24.500 24.500 25.000	20.500 18.500 15.000	21.000 19.000 16.000
	26		3 5 * 8	24.500 23.500 22.000	26.500 26.500 27.000	22.500 20.500 17.000	23.000 21.000 18.000
28			3 5 * 8	26.500 25.500 24.000	28.500 28.500 29.000	24.500 22.500 19.000	25.000 23.000 20.000
	30		3 6 * 10	28.500 27.000 25.000	30.500 31.000 31.000	26.500 23.000 19.000	27.000 24.000 20.000
32			3 6 * 10	30.500 29.000 27.000	32.500 33.000 33.000	28.500 25.000 21.000	29.000 26.000 22.000
	34		3 6 * 10	32.500 31.000 29.000	34.500 35.000 35.000	30.500 27.000 23.000	31.000 28.000 24.000
36			3 6 * 10	34.500 33.000 31.000	36.500 37.000 37.000	32.500 29.000 25.000	33.000 30.000 26.000
	38		3 7 * 10	36.500 34.500 33.000	38.500 39.000 39.000	34.500 30.000 27.000	35.000 31.000 28.000
40			3 7 * 10	38.500 36.500 35.000	40.500 41.000 41.000	36.500 32.000 29.000	37.000 33.000 30.000
	42		3 7 * 10	40.500 38.500 37.000	42.500 43.000 43.000	38.500 34.000 31.000	39.000 35.000 32.000
44			3 7 * 12	42.500 40.500 38.000	44.500 45.000 45.000	40.500 36.000 31.000	41.000 37.000 32.000

(续)

公称直径 d			螺 距 P	中 径 $d_2 = D_2$	大 径 D_4	小 径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
	46		3	44.500	46.500	42.500	43.000
			8 *	42.000	47.000	37.000	38.000
			12	40.000	47.000	33.000	34.000
48			3	46.500	48.500	44.500	45.000
			8 *	44.000	49.000	39.000	40.000
			12	42.000	49.000	35.000	36.000
	50		3	48.500	50.500	46.500	47.000
			8 *	46.000	51.000	41.000	42.000
			12	44.000	51.000	37.000	38.000
52			3	50.500	52.500	48.500	49.000
			8 *	48.000	53.000	43.000	44.000
			12	46.000	53.000	39.000	40.000
	55		3	53.500	55.500	51.500	52.000
			9 *	50.500	56.000	45.000	46.000
			14	48.000	57.000	39.000	41.000
60			3	58.500	60.500	56.500	57.000
			9 *	55.500	61.000	50.000	51.000
			14	53.000	62.000	44.000	46.000
	65		4	63.000	65.500	60.500	61.000
			10 *	60.000	66.000	54.000	55.000
			16	57.000	67.000	47.000	49.000
70			4	68.000	70.500	65.500	66.000
			10 *	65.000	71.000	59.000	60.000
			16	62.000	72.000	52.000	54.000
	75		4	73.000	75.500	70.500	71.000
			10 *	70.000	76.000	64.000	65.000
			16	67.000	77.000	57.000	59.000
80			4	78.000	80.500	75.500	76.000
			10 *	75.000	81.000	69.000	70.000
			16	72.000	82.000	62.000	64.000
	85		4	83.000	85.500	80.500	81.000
			12 *	79.000	86.000	72.000	73.000
			18	76.000	87.000	65.000	67.000
90			4	88.000	90.500	85.500	86.000
			12 *	84.000	91.000	77.000	78.000
			18	81.000	92.000	70.000	72.000
	95		4	93.000	95.500	90.500	91.000
			12 *	89.000	96.000	82.000	83.000
			18	86.000	97.000	75.000	77.000
100			4	98.000	100.500	95.500	96.000
			12 *	94.000	101.000	87.000	88.000
			20	90.000	102.000	78.000	80.000
		105	4	103.00	105.500	100.500	101.000
			12 *	99.000	106.000	92.000	93.000
			20	95.000	107.000	83.000	85.000
	110		4	108.000	110.500	105.500	106.000
			12 *	104.000	111.000	97.000	98.000
			20	100.000	112.000	88.000	90.000
		115	6	112.000	116.000	108.000	109.000
			14 *	108.000	117.000	99.000	101.000
			22	104.000	117.000	91.000	93.000
120			6	117.000	121.000	113.000	114.000
			14 *	113.000	122.000	104.000	106.000
			22	109.000	122.000	96.000	98.000
		125	6	122.000	126.000	118.000	119.000
			14 *	118.000	127.000	109.000	111.000
			22	114.000	127.000	101.000	103.000

(续)

公称直径 d			螺 距 P	中 径 $d_2 = D_2$	大 径 D_4	小 径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
	130		6	127. 000	131. 000	123. 000	124. 000
			14 *	123. 000	132. 000	114. 000	116. 000
			22	119. 000	132. 000	106. 000	108. 000
		135	6	132. 000	136. 000	128. 000	129. 000
			14 *	128. 000	137. 000	119. 000	121. 000
			24	123. 000	137. 000	109. 000	111. 000
140			6	137. 000	141. 000	133. 000	134. 000
			14 *	133. 000	142. 000	124. 000	126. 000
			24	128. 000	142. 000	114. 000	116. 000
		145	6	142. 000	146. 000	138. 000	139. 000
			14 *	138. 000	147. 000	129. 000	131. 000
			24	133. 000	147. 000	119. 000	121. 000
	150		6	147. 000	151. 000	143. 000	144. 000
			16 *	142. 000	152. 000	132. 000	134. 000
			24	138. 000	152. 000	124. 000	126. 000
		155	6	152. 000	156. 000	148. 000	149. 000
			16 *	147. 000	157. 000	137. 000	139. 000
			24	143. 000	157. 000	129. 000	131. 000
160			6	157. 000	161. 000	153. 000	154. 000
			16 *	152. 000	162. 000	142. 000	144. 000
			28	146. 000	162. 000	130. 000	132. 000
		165	6	162. 000	166. 000	158. 000	159. 000
			16 *	157. 000	167. 000	147. 000	149. 000
			28	151. 000	167. 000	135. 000	137. 000
	170		6	167. 000	171. 000	163. 000	164. 000
			16 *	162. 000	172. 000	152. 000	154. 000
			28	156. 000	172. 000	140. 000	142. 000
		175	8	171. 000	176. 000	166. 000	167. 000
			16 *	167. 000	177. 000	157. 000	159. 000
			28	161. 000	177. 000	145. 000	147. 000
180			8	176. 000	181. 000	171. 000	172. 000
			18 *	171. 000	182. 000	160. 000	162. 000
			28	166. 000	182. 000	150. 000	152. 000
		185	8	181. 000	186. 000	176. 000	177. 000
			18 *	176. 000	187. 000	165. 000	167. 000
			32	169. 000	187. 000	151. 000	153. 000
	190		8	186. 000	191. 000	181. 000	182. 000
			18 *	181. 000	192. 000	170. 000	172. 000
			32	174. 000	192. 000	156. 000	158. 000
		195	8	191. 000	196. 000	186. 000	187. 000
			18 *	186. 000	197. 000	175. 000	177. 000
			32	179. 000	197. 000	161. 000	163. 000
200			8	196. 000	201. 000	191. 000	192. 000
			18 *	191. 000	202. 000	180. 000	182. 000
			32	184. 000	202. 000	166. 000	168. 000

注:1. 优先选用第一系列直径,其次选用第二系列。新产品设计中,不宜选用第三系列直径。

2. 优先选用带“*”的螺距。

3. 如果需要使用表中规定以外的螺距,则选用表中邻近直径所对应的螺距。

(2) 梯形螺纹公差

1) 公差带位置与基本偏差。公差带的位置由基本偏差所确定。内螺纹大径 D_4 、中径 D_2 和小径 D_1 的公差带位置为 H, 其基本偏差 EI 为零 (见图 3.1-5); 外螺纹中径 d_2 的公差带位置有两种, 即 e 和 c, 它们的基本偏差 es 为负值。外螺纹大径 d 和小径 d_3 只有一种公差带位置 h (见图 3.1-6)。

梯形螺纹中径的基本偏差见表 3.1-23。位置 h, 见图 3.1-6。

梯形螺纹中径的基本偏差见表 3.1-23。

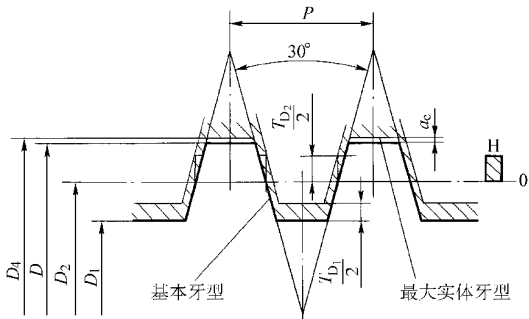


图 3.1-5 梯形内螺纹公差带

内螺纹的大、中、小公差带位置均为 H, 其基本偏差为零
 T_{D_1} 、 T_{D_2} —内螺纹小径及中径公差

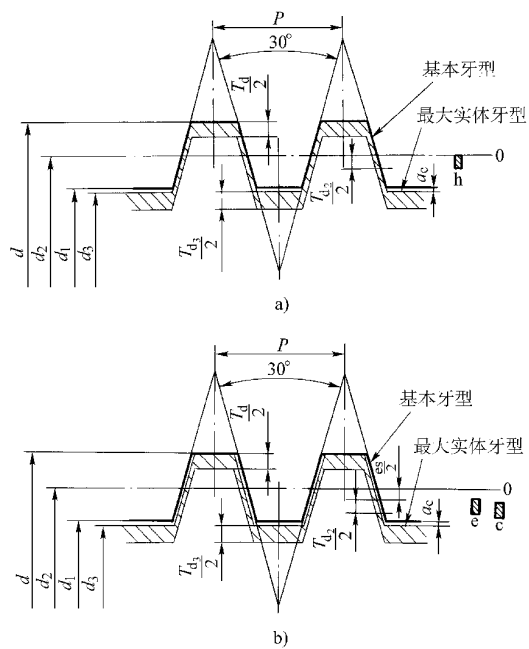


图 3.1-6 梯形外螺纹公差

图 a 外螺纹大径 d 和小径 d_3 , 规定了一种公差带位置 h, 其基本偏差 es 为零。图 b 中径 d_2 规定了两种公差带位置 e 和 c, 它们的基本偏差为负值。
 T_{d_1} 、 T_{d_2} 和 T_{d_3} —外螺纹大径公差、中径公差及小径公差。

表 3.1-23 梯形螺纹中径的基本偏差

(GB/T 5796.4—2005) (μm)

螺 距 P/mm	内螺纹 D_2	外螺纹 d_2	
	H EI	c es	e es
1.5	0	-140	-67
2	0	-150	-71
3	0	-170	-85
4	0	-190	-95
5	0	-212	-106
6	0	-236	-118
7	0	-250	-125
8	0	-265	-132
9	0	-280	-140
10	0	-300	-150
12	0	-335	-160
14	0	-355	-180
16	0	-375	-190
18	0	-400	-200
20	0	-425	-212
22	0	-450	-224
24	0	-475	-236
28	0	-500	-250
32	0	-530	-265

2) 公差等级、公差值及旋合长度。梯形螺纹各直径的公差等级见表 3.1-24。内螺纹小径、外螺纹大径的公差 T_{D_1} 及 T_d 见表 3.1-25。内、外螺纹的中径公差 T_{D_2} 及 T_{d_2} , 外螺纹小径公差 T_{d_3} 及旋合长度见表 3.1-26。

表 3.1-24 梯形螺纹各直径的公差等级

螺纹直径		公差等级
内螺纹	小径 D_1	4
	中径 D_2	7、8、9
外螺纹	大径 d	4
	中径 d_2	7、8、9
	小径 d_3	7、8、9

注：外螺纹的小径 d_3 及其中径 d_2 应选取相同的公差等级

表 3.1-25 梯形内螺纹小径、外螺纹大径公差

(摘自 GB/T 5796.4—2005) (μm)

螺 距 P/mm	公差等级为 4 级	
	内螺纹小径公差 T_{D_1}	外螺纹大径公差 T_d
1.5	190	150
2	236	180
3	315	236
4	375	300
5	450	335
6	500	375
7	560	425
8	630	450
9	670	500
10	710	530
12	800	600
14	900	670
16	1000	710
18	1120	800
20	1180	850
22	1250	900
24	1320	950
28	1500	1060
32	1600	1120

表 3.1-26 梯形螺纹内、外螺纹中径公差, 外螺纹小径公差及旋合长度

(摘自 GB 5796.4—2005)

 (μm)

公称直径 <i>d</i> /mm		螺距 <i>P</i> /mm	内螺纹中径 公差 <i>T</i> _{D2}			外螺纹中径 公差 <i>T</i> _{D2}			外螺纹小径公差 <i>T</i> _{d3}						旋合长度/mm		
									中径公差带 位置为 c			中径公差带 位置为 e			中等旋 合长度 N		长旋 合长度 L
			公差等级			公差等级											
			>	≤		7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9
5.6	11.2	1.5	224	280	355	170	212	265	352	405	471	279	332	398	5	15	15
		2	250	315	400	190	236	300	388	445	525	309	366	446	6	19	19
		3	280	355	450	212	265	335	435	501	589	350	416	504	10	28	28
11.2	22.4	2	265	335	425	200	250	315	400	462	544	321	383	465	8	24	24
		3	300	375	475	224	280	355	450	520	614	365	435	529	11	32	32
		4	355	450	560	265	335	425	521	609	690	426	514	595	15	43	43
		5	375	475	600	280	355	450	562	656	775	456	550	669	18	53	53
		8	475	600	750	355	450	560	709	828	965	576	695	832	30	85	85
22.4	45	3	335	425	530	250	315	400	482	564	670	397	479	585	12	36	36
		5	400	500	630	300	375	475	587	681	806	481	575	700	21	63	63
		6	450	560	710	335	425	530	655	767	899	537	649	781	25	75	75
		7	475	600	750	355	450	560	694	813	950	569	688	825	30	85	85
		8	500	630	800	375	475	600	764	859	1015	601	726	882	34	100	100
		10	530	670	850	400	500	630	800	925	1087	650	775	937	42	125	125
		12	560	710	900	425	530	670	866	998	1223	691	823	1048	50	150	150
45	90	3	355	450	560	265	335	425	501	589	701	416	504	616	15	45	45
		4	400	500	630	300	375	475	565	659	784	470	564	689	19	56	56
		8	530	670	850	400	500	630	765	890	1052	632	757	919	38	118	118
		9	560	710	900	425	530	670	811	943	1118	671	803	978	43	132	132
		10	560	710	900	425	530	670	831	963	1138	681	813	988	50	140	140
		12	630	800	1000	475	600	750	929	1085	1273	754	910	1098	60	170	170
		14	670	850	1060	500	630	800	970	1142	1355	805	967	1180	67	200	200
		16	710	900	1120	530	670	850	1038	1213	1438	853	1028	1253	75	236	236
		18	750	950	1180	560	710	900	1100	1288	1525	900	1088	1320	85	265	265
		90	180	4	425	530	670	315	400	500	584	690	815	489	595	720	24
6	500			630	800	375	475	600	705	830	986	587	712	868	36	106	106
8	560			710	900	425	530	670	796	928	1103	663	795	970	45	132	132
12	670			850	1060	500	630	800	960	1122	1335	785	947	1160	67	200	200
14	710			900	1120	530	670	850	1018	1193	1418	843	1018	1243	75	236	236
16	750			950	1180	560	710	900	1075	1263	1500	890	1078	1315	90	265	265
18	800			1000	1250	500	750	950	1150	1338	1588	950	1138	1388	100	300	300
20	800			1000	1250	600	750	950	1175	1363	1613	962	1150	1400	112	335	335
22	850			1060	1320	630	800	1000	1232	1450	1700	1011	1224	1474	118	355	355
24	900			1120	1400	670	850	1060	1313	1538	1800	1074	1299	1561	132	400	400
28	950			1180	1500	710	900	1120	1388	1625	1900	1138	1375	1650	150	450	450

(续)

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	内螺纹中径 公差 T_{D_2}			外螺纹中径 公差 T_{d_2}			外螺纹小径公差 T_{d_3}						旋合长度/mm		
			公差等级			公差等级			中径公差带 位置为 c			中径公差带 位置为 e			中等旋 合长度 N	长旋 合长度 L	
									公差等级			公差等级					
			>	≤	7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9	>
180	355	8	600	750	950	450	560	710	828	965	1153	695	832	1020	50	150	150
		12	710	900	1120	530	670	850	998	1173	1398	823	998	1223	75	224	224
		18	850	1060	1320	630	800	1000	1187	1400	1650	987	1200	1450	112	335	335
		20	900	1120	1400	670	850	1060	1263	1488	1750	1050	1275	1537	125	375	375
		22	900	1120	1400	670	850	1060	1288	1513	1775	1062	1287	1549	140	425	425
		24	950	1180	1500	710	900	1120	1363	1600	1875	1124	1361	1636	150	450	450
		32	1060	1320	1700	800	1000	1250	1530	1780	2092	1265	1515	1827	200	600	600
		36	1120	1400	1800	850	1060	1320	1623	1885	2210	1343	1605	1930	224	670	670
		40	1120	1400	1800	850	1060	1320	1663	1925	2250	1363	1625	1950	250	750	750
		44	1250	1500	1900	900	1120	1400	1755	2030	2380	1440	1715	2065	280	850	850

3) 推荐公差带 (见表 3.1-27)

表 3.1-27 梯形螺纹的公差带

公差精度	中径公差带			
	内 螺 纹		外 螺 纹	
	N	L	N	L
中等	7H	8H	7e	8e
粗糙	8H	9H	8e	9e

- 注：1. 根据使用场合选择梯形螺纹的精度等；
中等级—用于一般用途的螺纹；粗糙级—要求不高和制造螺纹有困难的情况。
2. 如果不能确定螺纹旋合长度的实际值，推荐按中等旋合长度组 N 选取螺纹公差带。

4) 多线螺纹公差。多线螺纹顶径公差和底径公差与单线螺纹的顶径和底径公差相同。多线螺纹的中径公差等于具有相同单线螺纹的中径公差乘以修正系数，修正系数见表 3.1-28。

表 3.1-28 螺纹线数的修正系数

线数	2	3	4	≥5
系数	1.12	1.25	1.4	1.6

5) 螺纹标记。完整的梯形螺纹标记包括螺纹特征代号、尺寸代号、公差带代号和旋合长度代号。梯形螺纹的公差带代号仅标记中径公差带代号。在旋合长度属 L 组时需在公差带代号之后注写出旋合长度的组别代号 L。当组别代号为 N 时，N 应省略不标。

标记各代号的排序如下：

梯形螺纹特征代号

尺寸代号 - 公差带代号 -

旋合长度代号 - 旋向代号

标记示例见表 3.1-29。

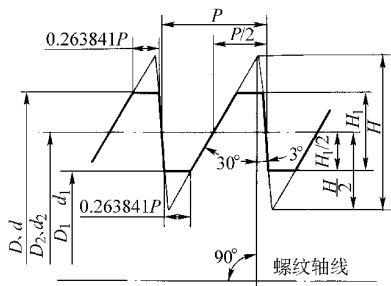
表 3.1-29 梯形螺纹标记示例

形式	示例	说 明
内 螺 纹	Tr40 × 7-8H-L	公称直径为 40mm，螺距为 7mm，单线右旋（右旋不标），中径公差带为 8H，旋合长度为 L 组的梯形螺纹（Tr 表示梯形螺纹）
外 螺 纹	Tr40 × 7LH-7e	公称直径为 40mm，螺距为 7mm，单线左旋（LH 表示左旋），公差带为 7e，旋合长度为 N 组（N 组不标注）
多 线 螺 纹	Tr40 × 14（P7）LH-8c	公称直径为 40mm，多线，导程为 14mm，螺距为 7mm，左旋，中径公差带为 8c，旋合长度为 N 组
螺 旋 副	Tr40 × 7-7H/7e	公称直径为 40mm，螺距为 7mm，单线，右旋，内螺纹，公差带为 7H，外螺纹公差带为 7e，旋合长度为 N 组

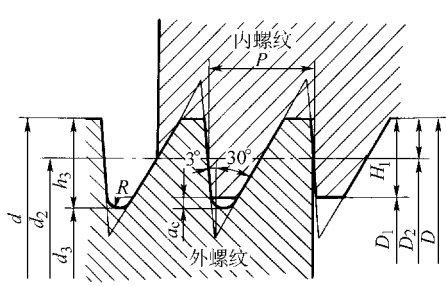
1.1.5 锯齿形（3°、30°）螺纹

(1) 螺纹的牙型及基本尺寸（见表 3.1-30）

表 3.1-30 锯齿形 (3°、30°) 螺纹的牙型及基本尺寸 (摘自 GB/T 13576.1—2008 及 GB/T 13576.3—2008)
(mm)



基本牙型



设计牙型

H (原始三角形高度) $= 1.5879117P$, P —螺距;
 H_1 (基本牙型牙高和设计牙型上的内螺纹牙高) $= 0.75P$;
 h_3 (设计牙型上的外螺纹牙高) $= 0.867767P$; a_e (小径间隙) $= 0.117767P$;
 R (外螺纹牙底圆弧半径) $= 0.124271P$;
 D (内螺纹大径) $= d$ (外螺纹大径, 亦即公称直径);
 d_2 (外螺纹中径) $= D_2$ (内螺纹中径) $= d - 0.75P$
 D_1 (内螺纹小径) $= d - 2H_1 = d_1 - 1.5P$
 d_3 (外螺纹小径) $= d - 2h_3 = d - 1.735534P$

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2 = D_2$	小 径		公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2 = D_2$	小 径	
第一系列	第二系列	第三系列			d_3	D_1	第一系列	第二系列	第三系列			d_3	D_1
10			2 *	8.500	6.529	7.000	28			3	25.750	22.793	23.500
12			2	10.500	8.529	9.000				5 *	24.250	19.322	20.500
			3 *	9.750	6.793	7.500				8	22.000	14.116	16.000
	14		2	12.500	10.529	11.000		30		3	27.750	24.793	25.500
			3 *	11.750	8.793	9.500				6 *	25.500	19.587	21.000
										10	22.500	12.645	15.000
16			2	14.500	12.529	13.000	32			3	29.750	26.793	27.500
			4 *	13.000	9.058	10.000				6 *	27.500	21.587	23.000
										10	24.500	14.645	17.000
	18		2	16.500	14.529	15.000		34		3	31.750	28.793	29.500
			4 *	15.000	11.058	12.000				6 *	29.500	23.587	25.000
										10	26.500	16.645	19.000
20			2	18.500	16.529	17.000	36			3	33.750	30.793	31.500
			4 *	17.000	13.058	14.000				6 *	31.500	25.587	27.000
										10	28.500	18.645	21.000
	22		3	19.750	16.793	17.500		38		3	35.750	32.793	33.500
			5 *	18.250	13.322	14.500				7 *	32.750	25.851	27.500
			8	16.000	8.116	10.000				10	30.500	20.645	23.000
24			3	21.750	18.793	19.500	40			3	37.750	34.793	35.500
			5 *	20.250	15.322	16.500				7 *	34.750	27.851	29.500
			8	18.000	10.116	12.000				10	32.500	22.645	25.000
	26		3	23.750	20.793	21.500		42		3	39.750	36.793	37.500
			5 *	22.250	17.322	18.500				7 *	36.750	29.851	31.500
			8	20.000	12.116	14.000				10	34.500	24.645	27.000

(续)

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2 = D_2$	小 径		公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2 = D_2$	小 径	
第一系列	第二系列	第三系列			d_3	D_1	第一系列	第二系列	第三系列			d_3	D_1
44			3	41.750	38.793	39.500	100			4	97.000	93.058	94.000
			7 *	38.750	31.851	33.500				12 *	91.000	79.174	82.000
			12	35.000	23.174	26.000				20	85.000	65.289	70.000
	46		3	43.750	40.793	41.500			105	4	102.00	98.058	99.000
			8 *	40.000	32.116	34.000				12 *	96.000	84.174	87.000
			12	37.000	25.174	28.000				20	90.000	70.289	75.000
48			3	45.750	42.793	43.500		110		4	107.000	103.058	104.000
			8 *	42.000	34.116	36.000				12 *	101.000	89.174	92.000
			12	39.000	27.174	30.000				20	95.000	75.289	80.000
	50		3	47.750	44.793	45.500			115	6	110.500	104.587	106.000
			8 *	44.000	36.116	38.000				14 *	104.500	90.703	94.000
			12	41.000	29.174	32.000				22	98.500	76.818	82.000
52			3	49.750	46.793	47.500	120			6	115.500	109.587	111.000
			8 *	46.000	38.116	40.000				14 *	109.500	95.703	99.000
			12	43.000	31.174	34.000				22	103.500	81.818	87.000
	55		3	52.750	49.793	50.000			125	6	120.500	114.587	116.000
			9 *	48.250	39.380	41.500				14 *	114.500	100.703	104.000
			14	44.500	30.703	34.000				22	108.500	86.818	92.000
60			3	57.750	54.793	55.500		130		6	125.500	119.587	121.000
			9 *	53.250	44.380	46.500				14 *	119.500	105.703	109.000
			14	49.500	35.702	39.000				22	113.500	91.818	97.000
	65		4	62.000	58.058	59.000			135	6	130.500	124.587	126.000
			10 *	57.500	47.645	50.000				14 *	124.500	110.703	114.000
			16	53.000	37.231	41.000				24	117.000	93.347	99.000
70			4	67.000	63.058	64.000	140			6	135.500	129.587	131.000
			10 *	62.500	52.645	55.000				14 *	129.500	115.703	119.000
			16	58.000	42.231	46.000				24	122.000	98.347	104.000
	75		4	72.000	68.058	69.000			145	6	140.500	134.587	136.000
			10 *	67.500	57.645	60.000				14 *	134.500	120.703	124.000
			16	63.000	47.231	51.000				24	127.000	103.347	109.000
80			4	77.000	73.058	74.000		150		6	145.500	139.587	141.000
			10 *	72.500	62.645	65.000				16 *	138.000	122.231	126.000
			16	68.000	52.231	56.000				24	132.000	108.347	114.000
	85		4	82.000	78.058	79.000			155	6	150.500	144.587	146.000
			12 *	76.000	64.174	67.000				16 *	143.000	127.231	131.000
			18	71.500	53.760	58.000				24	137.000	113.347	119.000
90			4	87.000	83.058	84.000	160			6	155.500	149.587	151.000
			12 *	81.000	69.174	72.000				16 *	148.000	132.231	136.000
			18	76.500	58.760	63.000				28	139.000	111.405	118.000
	95		4	92.000	88.058	89.000			165	6	160.500	154.587	156.000
			12 *	86.000	74.174	77.000				16 *	153.000	137.231	141.000
			18	81.500	63.760	68.000				28	144.000	116.405	123.000

(续)

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2 = D_2$	小 径		公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2 = D_2$	小 径	
第一系列	第二系列	第三系列			d_3	D_1	第一系列	第二系列	第三系列			d_3	D_1
	170		6	165.500	159.587	161.000	260			12	251.000	239.174	242.000
			16 *	158.000	142.231	146.000				22 *	243.500	221.818	227.000
			28	149.000	121.405	128.000				40	230.000	190.579	200.000
		175	8	169.000	161.116	163.000		270		12	261.000	249.174	252.000
			16 *	163.000	147.231	151.000				24 *	252.000	228.347	234.000
			28	154.000	126.405	133.000				40	240.000	200.579	210.000
180			8	174.000	166.116	168.000	280			12	271.000	259.174	262.000
			18 *	166.500	148.760	153.000				24 *	262.000	238.347	244.000
			28	159.000	131.405	138.000				40	250.000	210.579	220.000
		185	8	179.000	171.116	173.000		290		12	281.000	269.174	272.000
			18 *	171.500	153.760	158.000				24 *	272.000	248.347	254.000
			32	161.000	129.463	137.000				44	257.000	213.637	224.000
	190		8	184.000	176.116	178.000	300			12	291.000	279.174	282.000
			18 *	176.500	158.760	163.000				24 *	282.000	258.347	264.000
			32	166.000	134.463	142.000				44	267.000	223.637	234.000
								320		12	311.000	299.174	302.000
										44	287.000	243.636	254.000
		195	8	189.000	181.116	183.000	340			12	331.000	319.174	322.000
			18 *	181.500	163.760	168.000				44	307.000	263.637	274.000
			32	171.000	139.463	147.000		360		12	351.000	339.174	342.000
200			8	194.000	186.116	188.000	380			12	371.000	359.174	362.000
			18 *	186.500	168.760	173.000		400		12	391.000	379.174	382.000
			32	176.000	144.463	152.000							
	210		8	204.000	196.116	198.000	420			18	406.500	388.760	393.000
			20 *	195.000	175.289	180.000		440		18	426.500	408.760	413.000
			36	183.000	147.521	156.000							
							460			18	446.500	428.760	433.000
220			8	214.000	206.116	208.000		480		18	466.500	448.760	453.000
			20 *	205.000	185.289	190.000							
			36	193.000	157.521	166.000	500			18	486.500	468.760	473.000
	230		8	224.000	216.116	218.000		520		24	502.000	478.347	484.000
			20 *	215.000	195.289	200.000	540			24	522.000	498.347	504.000
			36	203.000	167.521	176.000		560		24	542.000	518.347	524.000
240			8	234.000	226.118	228.000	580			24	562.000	538.347	544.000
			22 *	223.500	201.818	207.000		600		24	582.000	558.347	564.000
			36	213.000	177.521	186.000							
	250		12	241.000	229.174	232.000	620			24	602.000	578.347	584.000
			22 *	233.500	211.818	217.000		640		24	622.000	598.347	604.000
			40	220.000	180.579	190.000							

注：1. 优先选用第一系列，其次选用第二系列。新产品设计中不宜选用第三系列。

2. 优先选用带“*”号的螺距。

3. 特殊需要时，允许选用表中临近的直径所对应的螺距。

(2) 锯齿形螺纹公差 (GB/T 13576.4—2008)

1) 公差带位置和基本偏差。内螺纹的大径 D 、中径 D_2 和小径 D_1 的公差带位置均为 H, 其基本偏差 EI 为零, 见图 3.1-7。外螺纹大径 d 和小径 d_1 的公差带位置为 h, 其基本偏差 es 为零; 外螺纹的中径 d_2 的公差带位置为 e 和 c, 其基本偏差为 es 为负值, 见图 3.1-8。

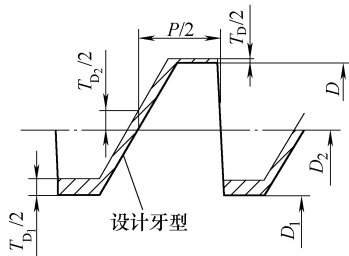


图 3.1-7 内螺纹公差带位置

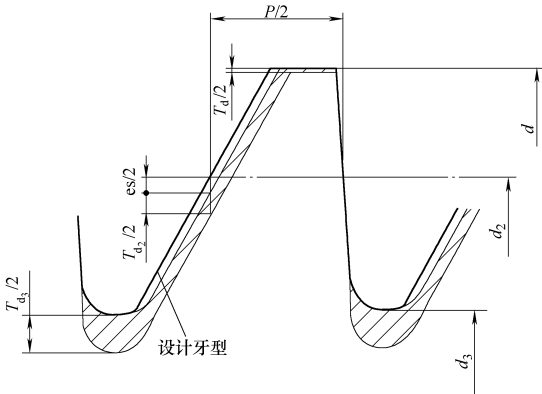


图 3.1-8 外螺纹的公差带位置

锯齿形螺纹内、外螺纹中径基本偏差见表 3.1-31。

表 3.1-31 锯齿形螺纹中径的基本偏差

(GB/T 13576.4—2008) (μm)

螺 距 P/mm	内螺纹 D_2	外螺纹 d_2	
	H EI	c es	e es
2	0	-150	-71
3	0	-170	-85
4	0	-190	-95
5	0	-212	-106
6	0	-236	-118
7	0	-250	-125
8	0	-265	-132
9	0	-280	-140
10	0	-300	-150
12	0	-335	-160
14	0	-355	-180
16	0	-375	-190
18	0	-400	-200
20	0	-425	-212
22	0	-450	-224
24	0	-475	-236
28	0	-500	-250
32	0	-530	-265

(续)

螺 距 P/mm	内螺纹 D_2	外螺纹 d_2	
	H EI	c es	e es
36	0	-560	-280
40	0	-600	-300
44	0	-630	-315

2) 公差等级、公差值及旋合长度。锯齿形螺纹中径和小径的公差等级见表 3.1-32, 锯齿形内螺纹大径和外螺纹大径的公差等级分别为 GB/T 1800.3—1998 所规定的 IT10 和 IT9。

表 3.1-33 ~ 表 3.1-35 分别列出了内、外螺纹大、中、小径公差值, 以及旋合长度。

表 3.1-32 锯齿形螺纹公差等级

螺纹直径		公差等级
内螺纹	中径 D_2	7、8、9
	小径 D_1	4
外螺纹	中径 d_2	7、8、9
	小径 d_3	7、8、9

注: 外螺纹小径 d_3 所选取的公差等级必须与其中径 d_2 的公差等级相同。

表 3.1-33 内螺纹小径公差 (T_{D_1})

(GB/T 13576.4—2008) (μm)

螺距 P/mm	4 级公差	螺距 P/mm	4 级公差
2	236	18	1120
3	315	20	1180
4	375	22	1250
5	450	24	1320
6	500	28	1500
7	560	32	1600
8	630	36	1800
9	670	40	1900
10	710	44	2000
12	800		
14	900		
16	1000		

表 3.1-34 内、外螺纹大径公差

(GB/T 13576.4—2008) (μm)

公称直径 d/mm		内螺纹大径公差 T_D	外螺纹大径公差 T_d
>	$\leq$	H10	h9
6	10	58	36
10	18	70	43
18	30	84	52
30	50	100	62
50	80	120	74
80	120	140	87
120	180	160	100
180	250	185	115
250	315	210	130
315	400	230	140
400	500	250	155
500	630	280	175
630	800	320	200

(μm)

公称直径 <i>d</i> /mm		螺距 <i>P</i> /mm	内螺纹中径 公差带位置为 <i>T</i> _{D2}			外螺纹中径 公差带位置为 <i>T</i> _{d2}			外螺纹小径公差带位置为 <i>T</i> _{d3}						旋合长度/mm				
			公差等级			公差等级			公差等级			公差等级			中等旋合长度 N		长旋合长度 L		
																		c	
>	≤		7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9	>	≤	>		
5.6	11.2	2 3	250 280	315 355	400 450	190 212	236 265	300 335	388 435	445 501	525 589	309 350	366 416	446 504	6 10	19 28	19 28		
11.2	22.4	2 3 4	265 300 355	335 375 450	425 475 560	200 224 265	250 280 335	315 355 425	400 450 521	462 520 609	544 614 690	321 365 426	383 435 514	465 529 595	8 11 15	24 32 43	24 32 43		
		5 8	375 475	475 600	600 750	280 355	355 450	450 560	562 709	656 828	775 965	456 576	550 695	669 832	18 30	53 85	53 85		
		22.4	45	3 5 6	335 400 450	425 500 560	530 630 710	250 300 335	315 375 425	400 475 530	482 587 655	564 681 767	670 806 899	397 481 537	479 575 649	585 700 781	12 21 25	36 63 75	36 63 75
				7 8 10 12	475 500 530 560	600 630 670 710	750 800 850 900	355 375 400 425	450 475 500 530	560 600 630 670	694 764 800 866	813 859 925 998	950 1015 1087 1223	569 601 650 691	688 726 775 823	825 882 937 1048	30 34 42 50	85 100 125 150	85 100 125 150
				45	90	3 4 8	355 400 530	450 500 670	560 630 850	265 300 400	335 375 500	425 475 630	501 565 765	589 659 890	701 784 1052	416 470 632	504 564 757	616 689 919	15 19 38
9 10 12	560 560 630					710 710 800	900 900 1000	425 425 475	530 530 600	670 670 750	811 831 929	943 963 1085	1118 1138 1273	671 681 754	803 813 910	978 988 1098	43 50 60	132 140 170	132 140 170
14 16 18	670 710 750					850 900 950	1060 1120 1180	500 530 560	630 670 710	800 850 900	970 1038 1100	1142 1213 1288	1355 1438 1525	805 853 900	967 1028 1088	1180 1253 1320	67 75 85	200 236 265	200 236 265
90	180					4 6 8 12	425 500 560 670	530 630 710 850	670 800 900 1060	315 375 425 500	400 475 530 630	500 600 670 800	584 705 796 960	690 830 928 1122	815 986 1103 1335	489 587 663 785	595 712 795 947	720 868 970 1160	24 36 45 67
		14 16 18	710 750 800			900 950 1000	1120 1180 1250	530 560 600	670 710 750	850 900 950	1018 1075 1150	1193 1263 1338	1418 1500 1588	843 890 950	1018 1078 1138	1243 1315 1388	75 90 100	236 265 300	236 265 300
		20 22 24 28	800 850 900 950			1000 1060 1120 1180	1250 1320 1400 1500	600 630 670 710	750 800 850 900	950 1000 1060 1120	1175 1232 1313 1388	1363 1450 1538 1625	1613 1700 1800 1900	962 1011 1074 1138	1150 1224 1299 1375	1400 1474 1561 1650	112 118 132 150	335 355 400 450	335 355 400 450

(续)

公称直径 <i>d</i> /mm		螺距 <i>P</i> /mm	内螺纹中径 公差带位置为 <i>T</i> _{D₂}			外螺纹中径 公差带位置为 <i>T</i> _{d₂}			外螺纹小径公差带位置为 <i>T</i> _{d₃}						旋合长度/mm				
			公差等级			公差等级			c			e			中等旋 合长度 N		长旋 合长度 L		
									公差等级										
>	≤		7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9	>	≤	>		
180	355	8	600	750	950	450	560	710	828	965	1153	695	832	1020	50	150	150		
		12	710	900	1120	530	670	850	998	1173	1398	823	998	1223	75	224	224		
		18	850	1060	1320	630	800	1000	1187	1400	1650	987	1200	1450	112	335	335		
		20	900	1120	1400	670	850	1060	1263	1488	1750	1050	1275	1537	125	375	375		
		22	900	1120	1400	670	850	1060	1288	1513	1775	1062	1287	1549	140	425	425		
		24	950	1180	1500	710	900	1120	1363	1600	1875	1124	1361	1636	150	450	450		
		32	1060	1320	1700	800	1000	1250	1530	1780	2092	1265	1515	1827	200	600	600		
		36	1120	1400	1800	850	1060	1320	1623	1885	2210	1343	1605	1930	224	670	670		
		40	1120	1400	1800	850	1060	1320	1663	1925	2250	1363	1625	1950	250	750	750		
		44	1250	1500	1900	900	1120	1400	1755	2030	2380	1440	1715	2065	280	850	850		
		355	640	12	760	950	1200	560	710	900	1035	1223	1460	870	1058	1295	87	260	260
				18	900	1120	1400	670	850	1060	1238	1462	1725	1038	1263	1525	132	390	390
24	950			1180	1480	710	900	1120	1368	1600	1875	1124	1361	1636	174	520	520		
44	1200			1610	2000	950	1220	1520	1818	2155	2530	1503	1840	2215	319	950	950		

3) 推荐公差带。应优先选用表 3.1-36 所推荐的公差带。一般用途螺纹选用中等级。粗糙级用于制造螺纹有困难的场合。当不能确定螺纹旋合长度的实际值时，推荐按中等旋合长度 N 选取螺纹公差带。

表 3.1-36 锯齿形螺纹的选用公差带中径公差带

精度	内 螺 纹		外 螺 纹	
	N	L	N	L
中等	7H	8H	7e	8e
粗糙	8H	9H	8c	9c

4) 多线螺纹公差。多线螺纹的顶径和底径的公差值与具有相同螺距单线螺纹的顶径和底径公差值相等。多线螺纹的中径公差值等于具有相同螺距单线螺纹的中径公差乘以修正系数，见表 3.1-37。

表 3.1-37 多线螺纹的中径公差修正系数

线数	2	3	4	≥5
修正系数	1.12	1.25	1.4	1.6

5) 锯齿形螺纹的标记。完整的锯齿形（3°、30°）螺纹标记包括螺纹特征代号、尺寸代号、公差带代号和旋合长度代号。另外、左旋螺纹还应标记旋向“LH”，右旋不标。

锯齿形螺纹的公差带代号仅标记中径公差带代号。长旋合长度组的螺纹，应在公差带代号后标注

代号“L”，中等旋合长度组的代号“N”不标。

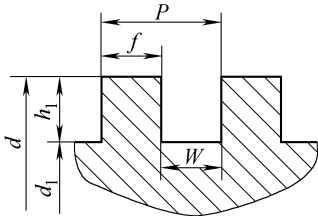
标记示例：见表 3.1-38。

表 3.1-38 锯齿形螺纹标记示例

形 式		示 例	说 明
单个螺纹	内螺纹	B40 × 7-7H	公称直径为 40mm，螺距为 7mm，单线，右旋，中径公差为 7H，旋合长度为 N 组的锯齿形螺纹（右旋不标记，N 组旋合长度不标记，B 表示锯齿形螺纹）
	外螺纹	B40 × 7LH-7e	公称直径为 40mm，螺距为 7mm，单线，左旋（LH 表示左旋），中径公差带为 7e，旋合长度为 N 组的锯齿形螺纹
	多线螺纹	B40 × 14（P7）-8e-L	公称直径为 40mm，导程为 14mm，螺距为 7mm，右旋中径公差带为 8e，旋合长度为 L 组
螺纹副		B40 × 7-7H/7e	公称直径为 40mm，螺距为 7mm，单线，右旋，内螺纹公差带为 7H，外螺纹公差带为 7e，旋合长度为 N 组

1.1.6 矩形螺纹（见表 3.1-39）

表 3.1-39 矩形螺纹牙型及尺寸 (mm)

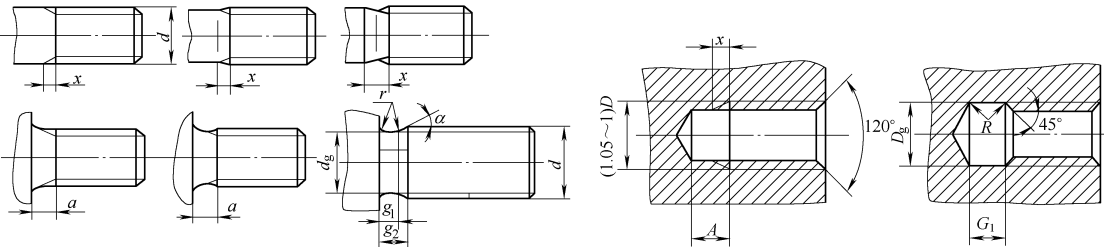
牙 型	尺寸 计算
 d——大径; P——螺距; h_1——实际牙型高; d_1——小径; W——牙底宽; f——牙顶宽	$d = 5/4d_1$ (圆整) $P = 1/4d_1$ (按标准圆整) $h_1 = 0.5P + (0.1 \sim 0.2)$ $d_1 = d - 2h_1$ $W = 0.5P + (0.03 \sim 0.05)$ $f = P - W$

注：矩形螺纹的直径与螺距可按梯形螺纹标准选择，小径尺寸可先依强度确定。

1.2 螺纹零件结构要素

1.2.1 普通螺纹收尾、肩距、退刀槽和倒角（表 3.1-40）

表 3.1-40 普通螺纹收尾、肩距、退刀槽、倒角 (GB/T 3—1997) (mm)



螺距 P	外 螺 纹									内 螺 纹						
	收尾 x		肩距 a			退刀槽				收尾 x		肩距 A		退刀槽		
	max		max							max		max				
	一般	短的	一般	长的	短的	g_1 min	g_2 max	d_g	r $\approx$	一般	短的	一般	长的	G_1		D_g $\approx$
0.2	0.5	0.25	0.6	0.8	0.4					0.8	0.4	1.2	1.6			$D + 0.3$
0.25	0.6	0.3	0.75	1	0.5	0.4	0.75	$d - 0.4$	0.12	1	0.5	1.5	2			
0.3	0.75	0.4	0.9	1.2	0.6	0.5	0.9	$d - 0.5$	0.16	1.2	0.6	1.8	2.4			
0.35	0.9	0.45	1.05	1.4	0.7	0.6	1.05	$d - 0.6$	0.16	1.4	0.7	2.2	2.8			
0.4	1	0.5	1.2	1.6	0.8	0.6	1.2	$d - 0.7$	0.2	1.6	0.8	2.5	3.2			
0.45	1.1	0.6	1.35	1.8	0.9	0.7	1.35	$d - 0.7$	0.2	1.8	0.9	2.8	3.6			
0.5	1.25	0.7	1.5	2	1	0.8	1.5	$d - 0.8$	0.4	2	1	3	4	2	1	0.2
0.6	1.5	0.75	1.8	2.4	1.2	0.9	1.8	$d - 1$	0.4	2.4	1.2	3.2	4.8	2.4	1.2	0.3
0.7	1.75	0.9	2.1	2.8	1.4	1.1	2.1	$d - 1.1$	0.4	2.8	1.4	3.5	5.6	2.8	1.4	0.4
0.75	1.9	1	2.25	3	1.5	1.2	2.25	$d - 1.2$	0.4	3	1.5	3.8	6	3	1.5	0.4
0.8	2	1	2.4	3.2	1.6	1.3	2.4	$d - 1.3$	0.4	3.2	1.6	4	6.4	3.3	1.6	0.4

(续)

螺距 P	外 螺 纹									内 螺 纹							
	收尾 x		肩距 a			退刀槽				收尾 x		肩距 A		退刀槽			
	max		max							max		max					
	一般	短的	一般	长的	短的	g_1 min	g_2 max	d_g	$r \approx$					G_1		D_g	$R \approx$
一般										短的	一般	长的	一般	短的			
1	2.5	1.25	3	4	2	1.6	3	$d-1.6$	0.6	4	2	5	8	4	2	$D+0.5$	0.5
1.25	3.2	1.6	4	5	2.5	2	3.75	$d-2$	0.6	5	2.5	6	10	5	2.5		0.6
1.5	3.8	1.9	4.5	6	3	2.5	4.5	$d-2.3$	0.8	6	3	7	12	6	3		0.8
1.75	4.3	2.2	5.3	7	3.5	3	5.25	$d-2.6$	1	7	3.5	9	14	7	3.5		0.9
2	5	2.5	6	8	4	3.4	6	$d-3$	1	8	4	10	16	8	4		1
2.5	6.3	3.2	7.5	10	5	4.4	7.5	$d-3.6$	1.2	10	5	12	18	10	5		1.2
3	7.5	3.8	9	12	6	5.2	9	$d-4.4$	1.6	12	6	14	22	12	6		1.5
3.5	9	4.5	10.5	14	7	6.2	10.5	$d-5$	1.6	14	7	16	24	14	7		1.8
4	10	5	12	16	8	7	12	$d-5.7$	2	16	8	18	26	16	8		2
4.5	11	5.5	13.5	18	9	8	13.5	$d-6.4$	2.5	18	9	21	29	18	9		2.2
5	12.5	6.3	15	20	10	9	15	$d-7$	2.5	20	10	23	32	20	10		2.5
5.5	14	7	16.5	22	11	11	17.5	$d-7.7$	3.2	22	11	25	35	22	11		2.8
6	15	7.5	18	24	12	11	18	$d-8.3$	3.2	24	12	28	38	24	12		3
参考值	$\approx 2.5P$	$\approx 1.25P$	$\approx 3P$	$=4P$	$=2P$	—	$\approx 3P$	—	—	$=4P$	$=2P$	$\approx (6 \sim 6)P$	$\approx (8 \sim 6.5)P$	$=4P$	$=2P$	—	$\approx 0.5P$

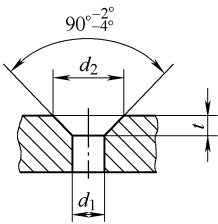
注：1. 关于外螺纹：①外螺纹收尾的牙底圆弧半径不应小于对完整螺纹所规定的最小牙底圆弧半径。②过渡角（ α ）不应小于 30° （见表中图）③外螺纹始端端面的倒角一般为 45° ，也可采用 60° 或 30° 倒角，倒角深度应大于或等于螺纹牙型高度。对搓（滚）丝加工的外螺纹，其始端不完整螺纹的轴向长度不能大于 $2P$ 。④应优先选用“一般”长度的收尾和肩距；“短”收尾和“短”肩距仅用于结构受限制的螺纹件上；产品等级为 B 或 C 级的螺纹紧固件可采用“长”肩距。⑤ d 为螺纹公称直径（大径）代号。⑥ d_g 公差为：h13（ $d > 3\text{mm}$ ）；h12（ $d \leq 3\text{mm}$ ）

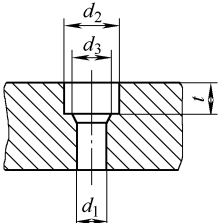
2. 关于内螺纹：①内螺纹入口端面的倒角一般为 120° ，也可采用 90° 倒角；端面倒角直径为：（ $1.05 \sim 1$ ） D ， D 为内螺纹公称直径（大径）代号。②应优先选用“一般”长度的收尾和肩距；容屑需要较大空间时，可选用“长”肩距，结构限制时可选用“短”收尾。③短退刀槽仅在结构受限制时采用。④ D_g 公差为 H13。

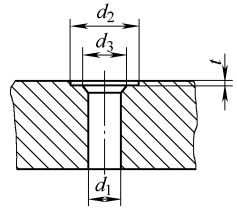
1.2.2 紧固件用沉孔（见表 3.1-41）

表 3.1-41 紧固件用沉孔尺寸 (摘自 GB/T 152.2 ~ 152.4—1988)

(mm)

沉头用沉孔 (摘自 GB/T 152.2—1988)		适用于 GB/T 68、GB/T 69 等沉头和半沉头螺钉的沉孔	螺纹规格	1.6	2	2.5	3	3.5	4	5	6	8	10	12	14	16	20	
			d ₂ (H13)	3.7	4.5	5.6	6.4	8.4	9.6	10.6	12.6	17.6	20.3	24.4	28.4	32.4	40.4	
			t ≈	1.0	1.2	1.5	1.6	2.4	2.7	2.7	3.3	4.6	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0	
			d ₁ (H13)	1.8	2.4	2.9	3.4	3.9	4.5	5.5	6.6	9.0	11.0	13.6	15.5	17.5	32.0	
			适用于 GB/T 846、GB/T 847、GB/T 6561 等自攻螺钉沉孔	螺钉规格	ST2. 2		ST2. 9		ST3		ST4. 2		ST4. 8		ST5. 5		ST6. 3	
d ₂ (H12)	4. 4			6. 3		8. 2		9. 4		10. 4		11. 5		12. 6		17. 3		20
t ≈	1. 1			1. 7		2. 4		2. 6		2. 8		3. 0		3. 2		4. 6		5. 2
d ₁ (H12)	2. 4			3. 1		3. 7		4. 5		5. 1		5. 8		6. 7		8. 4		10

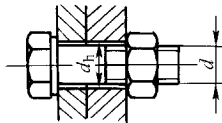
圆柱头用沉孔 (摘自 GB/T 152.3—1988)		适用于 GB/T 70 的圆柱头沉孔	螺纹规格	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	30	36	
			d ₂ (H13)	3.3	4.3	5.0	6.0	8.0	10.0	11.0	15.0	18.0	20.0	24.0	26.0	33.0	40.0	48.0	57.0	
			t (H13)	1.8	2.3	2.9	3.4	4.6	5.7	6.8	9.0	11.0	13.0	15.0	17.5	21.5	25.5	32.0	38.0	
			d ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	18	20	24	28	36	42	
			d ₁ (H13)	1.8	2.4	2.9	3.4	4.5	5.5	6.6	9.0	11.0	13.5	15.5	17.5	22.0	26.0	33.0	39.0	
		适用于 GB/T 65 的圆柱头沉孔	螺纹规格	4		5		6		8		10		12		14		16		20
			d ₂ (H13)	8		10		11		15		18		20		24		26		36
			t (H13)	3.2		4		4.7		6.0		7.0		8.0		9.0		10.5		12.5
			d ₃	—		—		—		—		—		16		18		20		24
			d ₁ (H ₁₃)	4.5		5.5		6.6		9.0		11.0		13.5		15.5		17.5		22.0

六角头螺栓和六角螺母用沉孔 (摘自 GB/T 152.4—1988)		螺纹规格	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	
		d ₂ (H15)	5	6	8	9	10	11	13	18	22	26	30	33	36	40	
		d ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	18	20	22	24
		d ₁ (H13)	1.8	2.4	2.9	3.4	4.5	5.5	6.6	9.0	11.0	13.5	15.5	17.5	20.0	22.0	
		螺纹规格	22	24	27	30	33	36	39	42	45	48	52	55	60	64	
		d ₂ (H15)	43	48	53	61	66	71	76	82	89	98	107	112	118	125	
		d ₃	26	28	33	36	39	42	45	48	51	56	60	68	72	76	
		d ₁ (H13)	24	26	30	33	36	39	42	45	48	52	56	62	66	70	

注:用于六角头螺栓和六角螺母的沉孔,其尺寸 t 只要能制出与通孔轴线垂直的圆平面即可。

1.2.3 螺栓和螺钉通孔 (见表 3.1-42)

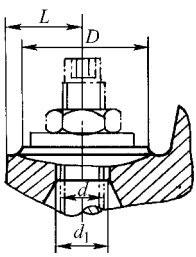
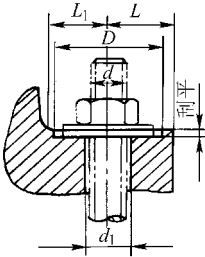
表 3.1-42 螺栓和螺钉通孔 (摘自 GB/T 5277—1985) (mm)



螺纹直径 <i>d</i>	通孔 <i>d_h</i>			螺纹直径 <i>d</i>	通孔 <i>d_h</i>		
	系 列				系 列		
	精装配 H12	中等装配 H13	粗装配 H14		精装配 H12	中等装配 H13	粗装配 H14
M1	1.1	1.2	1.3	M36	37	39	42
M1.2	1.3	1.4	1.5	M39	40	42	45
M1.4	1.5	1.6	1.8	M42	43	45	48
M1.6	1.7	1.8	2	M45	46	48	52
M1.8	2	2.1	2.2	M48	50	52	56
M2	2.2	2.4	2.6	M52	54	56	62
M2.5	2.7	2.9	3.1	M56	58	62	66
M3	3.2	3.4	3.6	M60	62	66	70
M3.5	3.7	3.9	4.2	M64	66	70	74
M4	4.3	4.5	4.8	M68	70	74	78
M4.5	4.8	5	5.3	M72	74	78	82
M5	5.3	5.5	5.8	M76	78	82	86
M6	6.4	6.6	7	M80	82	86	91
M7	7.4	7.6	8	M85	87	91	96
M8	8.4	9	10	M90	93	96	101
M10	10.5	11	12	M95	98	101	107
M12	13	13.5	14.5	M100	104	107	112
M16	17	17.5	18.5	M105	109	112	117
M18	19	20	21	M110	114	117	122
M20	21	22	24	M115	119	122	127
M22	23	24	26	M120	124	127	132
M24	25	26	28	M125	129	132	137
M27	28	30	32	M130	134	137	144
M30	31	33	35	M140	144	147	155
M33	34	36	38	M150	155	158	165

1.2.4 地脚螺栓孔和凸台 (见表 3.1-43)

表 3.1-43 地脚螺栓孔和凸缘 (mm)



<i>d</i>	16	20	24	30	36	42	48	56	64	76	90	100	115	130
<i>d₁</i>	20	25	30	40	50	55	65	80	95	110	135	145	165	185
<i>D</i>	45	48	60	85	100	110	130	170	200	220	280	280	330	370
<i>L</i>	25	30	35	50	55	60	70	95	110	120	150	150	175	200
<i>L₁</i>	22	25	30	50	55	60	70							
图 a, 采用钻孔								图 b, 采用铸孔						

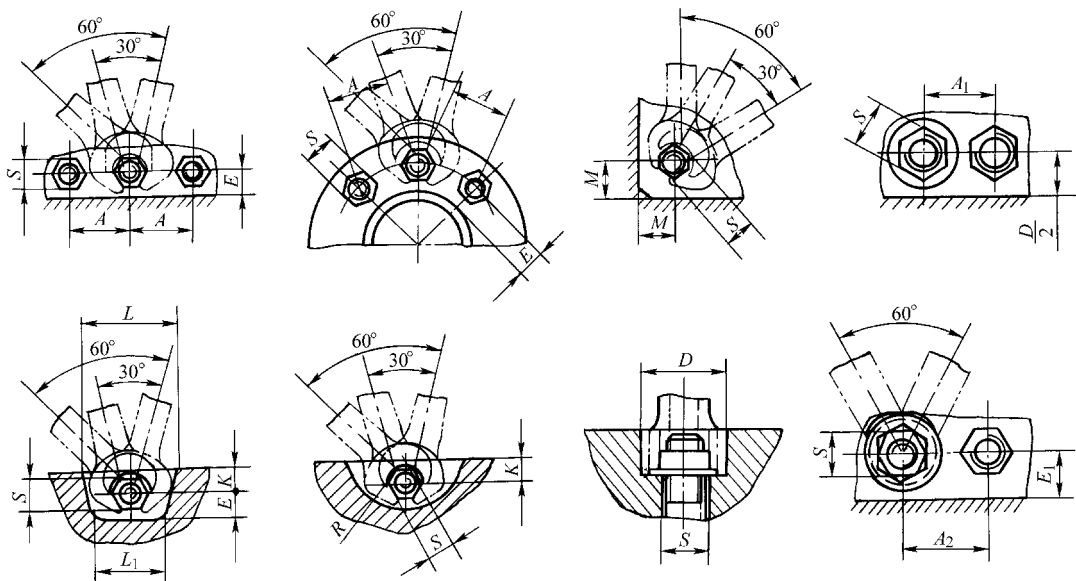
注: 1. 根据结构和工艺要求, 必要时尺寸 *L* 及 *L₁* 可以变动。

2. 凸台的承压面及钻孔的表面粗糙度均为 *Ra*25μm。

1.2.5 扳手空间 (见表 3.1-44)

表 3.1-44 扳手空间 (参考件)

(mm)



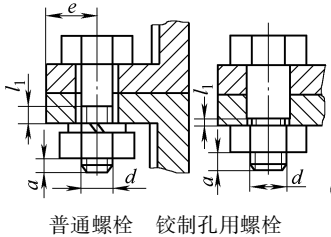
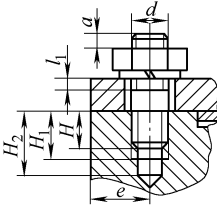
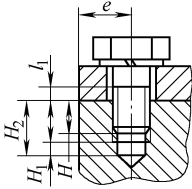
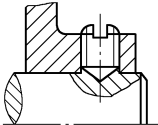
螺纹直径 d	S	A	A_1	A_2	E	E_1	M	L	L_1	R	D
3	5.5	18	12	12	5	7	11	30	24	15	14
4	7	20	16	14	6	7	12	34	28	16	16
5	8	22	16	15	7	10	13	36	30	18	20
6	10	26	18	18	8	12	15	46	38	20	24
8	13	32	24	22	11	14	18	55	44	25	28
10	16	38	28	26	13	16	22	62	50	30	30
12	18	42	—	30	14	18	24	70	55	32	—
14	21	48	36	34	15	20	26	80	65	36	40
16	24	55	38	38	16	24	30	85	70	42	45
18	27	62	45	42	19	25	32	95	75	46	52
20	30	68	48	46	20	28	35	105	85	50	56
22	34	76	55	52	24	32	40	120	95	58	60
24	36	80	58	55	24	34	42	125	100	60	70
27	41	90	65	62	26	36	46	135	110	65	76
30	46	100	72	70	30	40	50	155	125	75	82
33	50	108	76	75	32	44	55	165	130	80	88
36	55	118	85	82	36	48	60	180	145	88	95
39	60	125	90	88	38	52	65	190	155	92	100
42	65	135	96	96	42	55	70	205	165	100	106
45	70	145	105	102	45	60	75	220	175	105	112
48	75	160	115	112	48	65	80	235	185	115	126
52	80	170	120	120	48	70	84	245	195	125	132
56	85	180	126	—	52	—	90	260	205	130	138
60	90	185	134	—	58	—	95	275	215	135	145
64	95	195	140	—	58	—	100	285	225	140	152

注: K 值的大小等于 E 值。

2 螺纹连接

2.1 螺纹紧固件连接的主要类型及其应用（表 3.1-45）

表 3.1-45 螺纹紧固件连接的主要类型及其应用

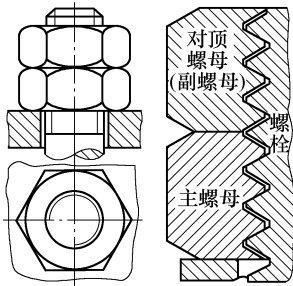
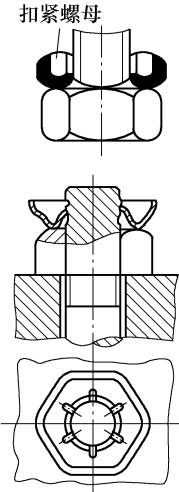
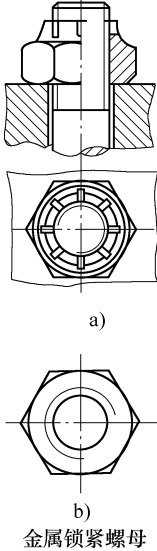
类型	螺栓连接	双头螺柱连接	螺钉连接	紧定螺钉连接
结构	 普通螺栓 铰制孔用螺栓			
尺寸关系	螺纹余留长度 l_1 普通螺栓连接： 静载荷 $l_1 \geq (0.3 \sim 0.5) d$ 变载荷 $l_1 \geq 0.75 d$ 冲击弯曲载荷 $l_1 \geq d$ 铰制孔用螺栓连接： l_1 尽可能小 螺纹伸出长度 $a \approx (0.2 \sim 0.3) d$ 螺栓轴线到边缘的距离 $e = d + (3 \sim 6) \text{ mm}$	座端拧入深度 H： 当螺孔材料为： 钢或青铜时 $H \approx d$ 铸 铁时 $H \approx (1.25 \sim 1.5) d$ 铝合金时 $H \approx (1.5 \sim 2.5) d$ 螺纹孔深度 $H_1 \approx H + (2 \sim 2.5) P$ 钻孔深度 $H_2 \approx H_1 + (0.5 \sim 1.0) d$ 图中 l_1, a, e 值同螺栓连接		
特点和应用	无需在被连接件上切制螺纹，故不受被连接件材料的限制 构造简单，装拆方便，损坏后容易更换。用于通孔	多用于盲孔及被连接件需要经常拆卸时	不用螺母，多用于盲孔及被连接件很少拆卸时	紧定螺钉旋入一被连接件的螺孔内，其末端顶紧另一被连接件的表面，或顶入凹坑中用以固定两零件的相对位置，并可传递不大的力和转矩

2.2 螺纹连接常用的防松方法
（见表 3.1-46）

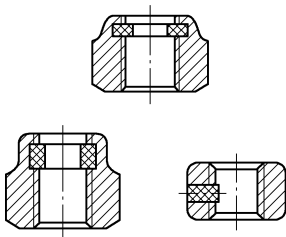
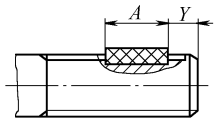
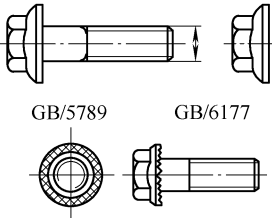
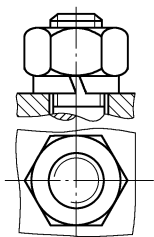
螺纹防松方法一般可分为摩擦防机械防松和破坏

螺旋副防松等三类。摩擦防松结构简单，使用方便，但可靠性较低。而机械防松可靠性高，用于重要和不易检查的连接。破坏螺纹副防松方法只用在不需重复装拆的场合。表 3.1-46 列举了常用的防松方法。

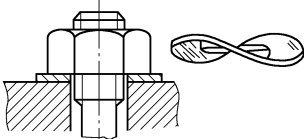
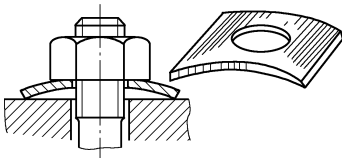
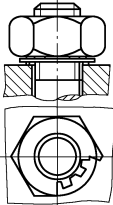
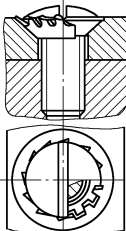
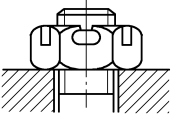
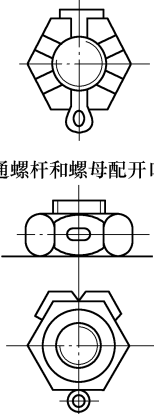
表 3.1-46 螺纹连接常用的防松方法

防松方法		结构形式	特点及应用
摩擦	对顶螺母	 对顶螺母 (副螺母) 螺栓 主螺母	利用两螺母的对顶作用使旋合螺纹间受到附加的压紧力和摩擦力的作用 结构简单, 可用于低速重载场合, 但在剧烈振动条件下、难以满足防松要求
	扣紧螺母对顶防松	 扣紧螺母	在普通螺母上置有 (弹性) 扣紧螺母的对顶防松结构。弹性扣紧螺母具有较好的弹力使螺纹副产生轴向压紧, 防松性能良好, 但不宜用于频繁装卸的场合 扣紧螺母使用方法: 先用普通六角螺母将被连接件紧固, 然后旋上扣紧螺母并用手拧紧, 使其与普通螺母的支承面接触, 再用扳手旋紧 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 即可; 松开扣紧螺母时, 必须再拧紧普通六角螺母使其与扣紧螺母之间产生间隙, 才能松开扣紧螺母, 以免划伤螺栓的螺纹
	全金属锁紧螺母	 a) b) 金属锁紧螺母	全金属锁紧螺母一端制成非圆形收口或开缝后径向收口, 螺母拧紧后收口胀开, 利用收口的弹力来锁紧。结构简单、防松可靠、且可多次装拆, 用于较重要的连接 图 a 为径向开缝锁紧螺母, 图 b 为非圆形收口锁紧螺母

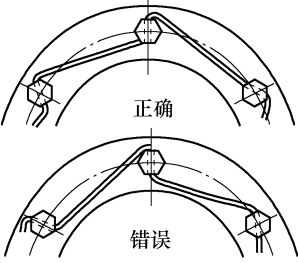
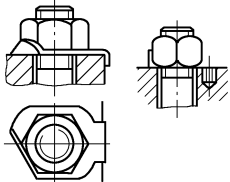
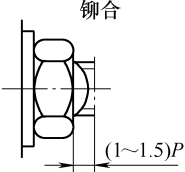
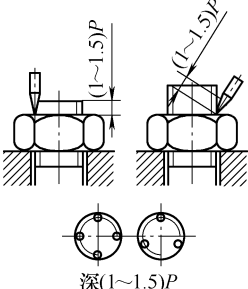
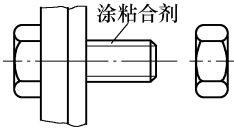
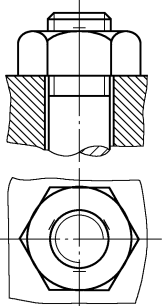
(续)

防松方法		结构形式	特点及应用
防松	尼龙圈锁紧螺母		锁紧螺母体内嵌有尼龙圈（或嵌入尼龙柱销）尼龙圈上不制螺纹，拧入螺栓后，尼龙材料良好的弹性产生锁紧力，压紧螺栓达到防松目的 高弹性的尼龙能吸收冲击振动能量，故尼龙圈锁紧螺母具有较高的抗振能力。试验证明尼龙圈锁紧螺母的抗振寿命是内齿弹性垫圈的 2 倍 可适应温度 $-50 \sim 100^{\circ}\text{C}$。常用于直径较大的重要连接处 尼龙材料易受无机酸、弱酸与强酸的腐蚀。故装入尼龙圈后不可进行电镀
	带尼龙嵌件锁紧螺栓或螺钉	带尼龙嵌件的锁紧螺栓或螺钉  $Y=(3\sim 4)P$ $A=5P$ 式中 A—有效力矩部分的轴向长度 P—螺距	尼龙嵌件锁紧螺栓或螺钉是在螺纹旋合处嵌入一尼龙件。使该处摩擦、力增大、达到防松的目的 嵌件的安装位置如图所示。详细尺寸见 JB/T 5399
摩擦防松	六角法兰面螺栓、六角法兰面螺母	六角法兰面形式— 无锁紧元件  GB/5789 GB/6177	六角法兰面螺栓和六角法兰面螺母，具有加大的支承面。在一定的预紧力作用下，可获得足够的防松能力。当支承面带齿时，防松能力成倍提高适用于高强度（8 级以上）及重要的连接场合 成本较高
	弹簧垫圈		依靠弹簧垫圈在压平后产生的弹力及其切口尖角嵌入被连接件及紧固件支承面起防松作用。结构简单、使用方便、成本低 弹力不均，易损伤连接表面、在冲击、振动的工作条件下防松效果差，用于不重要的连接

(续)

防松方法	结构形式	特点及应用
弹性垫圈	波形弹性垫圈  鞍形弹簧垫圈 	在一定的载荷条件下，弹性好。工作中不会划伤被连接件表面，适用于各种硬度的被连接件；常用于调整并紧固被连接件间的间隙的场合，以及宜用于常拆卸、低性能等级的连接
摩擦防松	翘齿垫圈  GB/T 862.2  GB/T 861.1  90° GB/T 956.2	翘齿垫圈依靠齿被压平产生的弹力以及齿嵌入连接件和支承面产生的阻力起锁紧防松作用 翘齿垫圈中的锯齿锁紧垫圈适用于性能等级较高的连接，而齿形锁紧垫圈主要用于低性能等级的连接 翘齿垫圈有内、外齿之分，内齿适用于钉头直径较小的螺钉；外齿可获得较大的止退力矩。锥形用于沉孔中
机械防松	槽形螺母和开口销  普通螺栓和螺母配开口销 	槽形螺母拧紧后，用开口销穿过螺栓尾部小孔和螺母的槽内，并将开口销尾部掰开与螺母侧面贴紧，也可以用普通螺母拧紧后再配钻开口销孔 适用于变载、有振动的重要连接处的防松 可拆卸，但装配较难 适用于单件生产

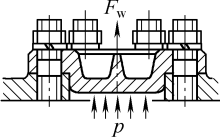
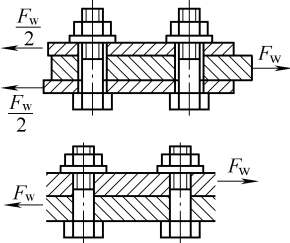
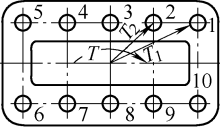
(续)

防松方法	结构形式	特点及应用
机械防松	 正确 错误	用低碳钢丝穿入各螺钉头部的孔内, 将各螺钉串联起来, 使其相互制动。使用时必须注意钢丝的走向, 由于图中为右旋螺纹螺钉, 故上图的缠绕方向正确 适用于螺钉组连接, 防松可靠, 但装拆不便
		用垫片折边固定螺母与被连接件的相对位置, 防松可靠受安装空间限制, 应用较少
破坏螺纹副防松	 铆合 $(1 \sim 1.5)P$	螺母拧紧后, 螺栓杆末端外露 $(1 \sim 1.5)P$ (P 为螺距) 的长度, 将其铆死 防松可靠, 用于低强度螺栓, 不需拆卸的场合
	 $(1 \sim 1.5)P$ $(1 \sim 1.5)P$ 深$(1 \sim 1.5)P$	拧紧螺母后, 用冲头在螺栓和螺母的旋合处冲 3 ~ 4 个点。冲点可在侧面, 也可在顶面 防松可靠, 只适用于低强度紧固件和不需拆卸的场合
	 涂粘合剂	在旋合螺纹表面涂以粘合剂, 拧紧螺母后, 粘合剂硬化、固着, 防止螺纹副的相对转动, 达到防松的要求
		拧紧螺母后, 在螺栓末端与螺母的旋合处焊 2 ~ 3 个点而实现防松 防松可靠、适用不需拆卸的场合

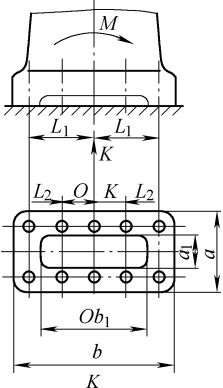
2.3 螺栓组连接受力分析及强度计算

2.3.1 螺栓组连接受力分析（见表 3.1-47）

表 3.1-47 螺栓组连接的受力分析

外载情况	图 例	工作要求	螺栓所受载荷
轴向载荷 F_w		连接应预紧， 受载后应保证紧 密性	各螺栓所受拉力 F 均相等 $F = F_w / z$ 式中 F_w —螺栓组所受轴向外力 z —螺栓组的螺栓个数
横向载荷 F_w		连接应预紧， 受载后被连接件 不得相对滑动	① 普通螺栓连接。靠预紧力 F。在被连接件的 接合面间产生摩擦力来传递横向载荷，每个螺栓所 受的预紧力为 $F_o = K_n F_w / z m \mu$ 式中 K_n—可靠性系数，通常取 $K_n = 1.1 \sim 1.3$ m—结合面数 μ—结合面数摩擦因数，见表 3.1-48 ② 铰制孔螺栓连接。靠螺栓杆受剪切和螺栓与 被连接件相互挤压来传递载荷。忽略预紧力和摩擦 力。每个螺栓所受的横向载荷为 $F_h = \frac{F_w}{z}$ 式中 F_w—螺栓组所受横向外力 z—螺栓组的螺栓个数
受 转 矩 T		连接应预紧， 受旋转力矩后， 被连接件不得有 相对滑动	① 普通螺栓连接 靠连接预紧后产生的摩擦力来平衡转矩 T，假设各螺 栓的预紧程度相同，即各螺栓的预紧力 F_o 相等，则 $F_o = K_n T / \mu \sum_{i=1}^z r_i$ ② 铰制孔螺栓连接 靠螺栓与被连接件间的相互剪切、挤压来平衡转 矩 T。距离螺栓组形心最远的螺栓受力向工作剪切力 最大，故 $F_h = T r_{\max} / \sum_{i=1}^z r_i^2$

(续)

外载情况	图 例	工作要求	螺栓所受载荷
受倾覆力矩	 $A=ab-a_1b_1$ $W=(ab^3-a_1b_1^3)/6b$	连接应预紧。 受载后，接合面不允许开缝和压溃	① 距螺栓组对称轴最远的螺栓所受拉力最大，故最大工作载荷为 $F_{\max} = ML_{\max} / \sum_{i=1}^z L_i^2$ 式中 M—倾覆力矩 L_i—第 i 个螺栓的轴线到底板倾转轴线($o-o$)的距离 $L_{\max}$—L_i 中的最大值。 ② 保证接合面最大受压处不被压溃的条件是 $\sigma_{p\max} \approx \frac{F_o \cdot Z}{A} + \frac{M}{W} \leq [\sigma_p]$ 式中 A—接合面间的接触面积 W—螺栓组底板接合面的抗弯截面系数 M—倾覆力矩 $[\sigma_p]$—接合面材料的许用挤压应力（见表 3.1-49） ③ 保证接合面最小受压处，不出现缝隙的条件是 $\sigma_{p\min} = \frac{ZF_o}{A} - \frac{M}{W} > 0$

注：螺栓组连接所受的工作载荷常常是以上所述四种情况的不同组合。一般情况下，对于普通螺栓连接，可按轴向载荷和倾覆力矩确定螺栓的工作拉力，按横向载荷和转矩确定连接所需的预紧力，然后求得螺栓的总拉力。对于铰制孔螺栓连接，则按横向载荷和转矩确定螺栓所受的工作剪切力进行强度计算。

表 3.1-48 摩擦因数 μ 值

被连接件	结合面的表面状态	μ	被连接件	结合面的表面状态	μ
钢或铸铁件	干燥的机加工表面	0.10 ~ 0.16	钢结构	经喷砂处理	0.45 ~ 0.55
	有油的机加工表面	0.06 ~ 0.10		涂富锌漆	0.35 ~ 0.40
				轧制、经钢丝刷去锈	0.30 ~ 0.35

表 3.1-49 接合面材料的许用挤压应力 $[\sigma_p]$

材料	钢	铸铁	混凝土	砖（水泥浆缝）	木材
$[\sigma_p] / \text{MPa}$	$0.8R_{eL}$	$(0.4 \sim 0.5) R_m$	2.0 ~ 3.0	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 4.0

- 注：1. R_{eL} 为材料的下屈服强度（MPa）； R_m 为材料的抗拉强度（MPa）。
2. 当被连接的两接合面的材料不相同，应按强度较弱者选取。
3. 连接承受静载荷时， $[\sigma_p]$ 应取表中较大值；承受变载荷时，应取较小值。

2.3.2 螺栓强度计算 (表 3.1-50)

表 3.1-50 普通螺栓强度计算

情况			计算项目	强度计算公式
松连接			校核螺栓的拉伸强度, 确定螺栓直径 d	$\sigma_1 = \frac{F_w}{A_s} \leq [\sigma_1]$ $A_s \geq \frac{F_w}{[\sigma_1]}$ $[\sigma_1] = \frac{R_{eL}}{(1.2 \sim 1.7)}$ 式中 F_w—最大轴向载荷 (N) A_s—螺栓公称压力截面积 近似取 $A_s = \pi d_1^2/4$ (mm²) d_1—螺纹小径 (mm) $[\sigma_1]$—松连接螺栓的许用拉应力 (MPa) R_{eL}—螺栓材料的下屈服强度 (MPa)
紧连接	轴向载荷	静载	螺栓所受的总拉力 螺栓的拉应力 计算螺栓直径	$F_\Sigma = (K_o + K'_c) F$ $\sigma_1 = \frac{1.66 F_\Sigma}{d_1^2} \leq [\sigma_1] = \frac{R_{eL}}{S_s}$ $d_1 = \sqrt{\frac{1.66 F_\Sigma}{[\sigma_1]}}$ 式中 F—单个螺栓承受的工作载荷 (N) F_Σ—单个螺栓承受的总拉力 (N) K_o—预紧系数, 查表 3.1-51 K'_c—刚性系数, 查表 3.1-52 S_s—安全系数, 查表 3.1-53
		变载	校核最大应力 校核应力幅	$\sigma_{\max} = \frac{1.66 F_\Sigma}{d_1^2} \leq [\sigma] = \frac{R_{eL}}{S_s}$ 控制预紧力时 $S_s = 1.2 \sim 1.5$ $\sigma_a = \frac{K_c F}{1.57 d_1^2} \leq [\sigma_a]$ 式中 $[\sigma_a]$—许用应力幅 (MPa), 查表 3.1-54
	横向载荷	普通孔螺栓	计算螺栓的拉应力 计算螺栓直径	$\sigma_1 = \frac{1.66 F_o}{d_1^2} \leq [\sigma_1]$ $d_1 \geq \sqrt{\frac{1.66 F_o}{[\sigma_1]}}$ 式中 F_o—单个螺栓的预紧力 (N) $[\sigma_1] = \frac{R_{eL}}{S_s} \quad S_s = 1.2 \sim 1.5$
		铰制孔螺栓	螺栓杆切应力螺栓杆与孔壁间的挤压应力	$\tau = \frac{F_h}{0.785 m d_0^2} \leq [\tau]$ $R_p = \frac{F_h}{d_0 \delta} \leq [R_p]$ 式中 F_h—单个螺栓受的横向力 (N) d_0—螺栓抗剪面的直径 (mm) m—螺栓抗剪面的数目 $[\tau]$—连接螺栓的许用剪切力 (MPa), 其值为: 静载 $[\tau] = \frac{R_{eL}}{2.5}$; 变载 $[\tau] = \frac{R_{eL}}{(3.5 \sim 5)}$ (MPa) $[R_p]$—许用挤压应力 (MPa), 其值为: 静载: 钢 $[R_p] = \frac{R_{eL}}{1.25}$; 铸铁 $[R_p] = \frac{R_m}{(2 \sim 2.5)}$ 变载: 将静载值降低 20% ~ 30% δ—被挤压面的计算高度 (mm), 设计时可取 $\geq 1.25d$

表 3.1-51 预紧系数 K_0 值

连接情况		K_0	连接情况		K_0
紧固	静载荷 变载荷	1.2 ~ 2.0	紧密	软垫	1.5 ~ 2.5
		2.0 ~ 4.0		金属成形垫	2.5 ~ 3.5
				金属平垫	3.0 ~ 4.5

表 3.1-52 刚性系数 K_c 值

连接形式	K_c	连接形式	K_c
连杆螺栓	0.2	钢板连接 + 铜皮石棉垫 钢板连接 + 橡胶垫	0.8
钢板连接 + 金属垫 (或无垫)	0.2 ~ 0.3		0.9
钢板连接 + 皮革垫	0.7		

表 3.1-53 预紧螺栓连接的安全系数 S_s

材料种类	静 载 荷			变 载 荷		
	M6 ~ M16	M16 ~ M30	M30 ~ M60	M6 ~ M16	M16 ~ M30	M30 ~ M60
碳钢	4 ~ 3	3 ~ 2	2 ~ 1.3	10 ~ 6.5	6.5	6.5 ~ 10
合金钢	5 ~ 4	4 ~ 2.5	2.5	7.5 ~ 5	5	6 ~ 7.5

表 3.1-54 许用应力幅 $[\sigma_a]$ 计算

许用应力幅计算公式 $[\sigma_a] = \frac{\varepsilon K_t K_u \sigma_{-1t}}{K_\sigma S_a}$

尺寸因数 ε	螺栓直径 d/mm	< 12	16	20	24	30	36	42	48	56	64
	ε	1	0. 87	0. 8	0. 74	0. 65	0. 64	0. 60	0. 57	0. 54	0. 53
螺纹制造工艺因数 K_t	切制螺纹 $K_t = 1$ ，滚制、搓制螺纹 $K_t = 1. 25$										
受力不均匀因数 K_u	受压螺母 $K_u = 1$ ，受拉螺母 $K_u = 1. 5 \sim 1. 6$										
试件的疲劳极限 σ_{-1t}	见表 3. 1-55										
缺口应力集中因数 K_σ	螺栓材料 R_m/MPa			400		600		800		1000	
	K_σ			3		3. 9		4. 8		5. 2	
安全因数 S_a	安装螺栓情况			控制预紧力				不控制预紧力			
	S_a			1. 5 ~ 2. 5				2. 5 ~ 5			

表 3.1-55 螺纹连接件常用材料的力学性能 (MPa)

材料	抗拉强度 R_m	下屈服强度 R_{eL}	抗压疲劳极限 σ_{-1t}
10	340 ~ 420	210	120 ~ 150
Q215-A	340 ~ 420	220	
Q235-A	410 ~ 470	240	120 ~ 160
35	540	320	170 ~ 220
45	610	360	190 ~ 250
15MnVB	1000 ~ 1200	800	
40Cr	750 ~ 1000	650 ~ 900	240 ~ 340
30CrMnSi	1080 ~ 1200	900	

2.4 螺纹连接紧固件机械性能和材料

(1) 螺栓、螺钉与螺柱的力学性能和材料 (表 3.1-56 及表 3.1-57)

表 3.1-56 螺栓、螺钉和螺柱的机械性能 (摘自 GB/T 3098.1—2010)

力学性能		性能等级											
		4. 6	4. 8	5. 6	5. 8	6. 8	8. 8		9. 8 $d \leq 16\text{mm}$	10. 9	12. 9/ <u>12. 9</u>		
							$d \leq 16\text{mm}^{\text{①}}$	$d > 16\text{mm}^{\text{②}}$					
抗拉强度 R_{m}/MPa		公称	400		500		600	800		900	1000	1200	
		min	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220	
下屈服强度 R_{eL}/MPa		公称	240	—	300	—	—	—	—	—	—	—	
		min	240	—	300	—	—	—	—	—	—	—	
规定非比例延伸 0. 2% 的应力 $R_{\text{p0. 2}}/\text{MPa}$		公称	—	—	—	—	—	640	640	720	900	1080	
		min	—	—	—	—	—	640	660	720	940	1100	
紧固件实物的规定非比例延伸 0. 0048 <i>d</i> 的应力 R_{Pf}/MPa		公称	—	320	—	400	480	—	—	—	—	—	
		min	—	340	—	420	480	—	—	—	—	—	
维氏硬度/HV, $F \geq 98\text{N}$		min	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385	
		max	220 ^③					250	320	335	360	380	435
布氏硬度/HBW, $F = 30D^2$		min	114	124	147	152	181	245	250	286	316	380	
		max	209 ^③					238	316	331	355	375	429
洛氏硬度/HRB		min	67	71	79	82	89	—					
		max	95. 0 ^③					99. 5	—				
洛氏硬度/HRC		min	—					22	23	28	32	39	
		max	—					32	34	37	39	44	
保证应力 S_{P}/MPa		公称	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970	
保证应力比	$S_{\text{P, 公称}}/R_{\text{eL, min}}$ 或 $S_{\text{P, 公称}}/R_{\text{p0. 2, min}}$ 或 $S_{\text{P, 公称}}/R_{\text{Pf, min}}$		0. 94	0. 91	0. 93	0. 90	0. 92	0. 91	0. 91	0. 90	0. 88	0. 88	

注：螺栓螺钉和螺柱性能等级的代号，由点隔开的两部分数字组成：点左边的一或二位数字表示公称抗拉强度（ R_m ，公称）的 1/100，以 MPa 计；点右边的数字表示公称屈服强度（下屈服强度）（ R_{eL} ，公称）或规定非比例延伸 0.2% 的公称应力（ $R_{m0.2}$ ，公称）或规定非比例延伸 0.0048d 的公称应力（ R_{pf} ，公称）与公称抗拉强度（ R_m ，公称）比值的 10 倍。

- ① 数值不适用于栓接结构。
- ② 对栓接结构 $d \geq 12$ 。
- ③ 在紧固件的末端测定硬度时, 应分别为: 250HV、238HBW 或 $HRB_{\max} 99.5$ 。

表 3.1-57 螺栓、螺钉和螺柱的材料及其热处理 (摘自 GB/T 3098—2010)

性能等级	材料和热处理	化学成分极限（熔炼分析%）					回火温度
		C		P	S	B	/℃
		min	max	max	max	max	min
4. 6	碳钢或添加元素的碳钢	—	0. 55	0. 050	0. 060	未规定	—
4. 8							
5. 6		0. 13	0. 55	0. 050	0. 060		
5. 8		—	0. 55	0. 050	0. 060		
6. 8		0. 15	0. 55	0. 050	0. 060		

(续)

性能等级	材料和热处理	化学成分极限 (熔炼分析%)					回火温度 /℃ min
		C		P	S	B	
		min	max	max	max	max	
8.8	添加元素的碳钢 (如硼或锰或铬) 淬火并回火或	0.15	0.40	0.025	0.025	0.003	425
	碳钢淬火并回火或	0.25	0.55	0.025	0.025		
	合金钢淬火并回火	0.20	0.55	0.025	0.025		
9.8	添加元素的碳钢 (如硼或锰或铬) 淬火并回火或	0.15	0.40	0.025	0.025	0.003	425
	碳钢淬火并回火或	0.25	0.55	0.025	0.025		
	合金钢淬火并回火	0.20	0.55	0.025	0.025		
10.9	添加元素的碳钢 (或硼或锰或铬) 淬火并回火或	0.20	0.55	0.025	0.025	0.003	425
	碳钢淬火并回火或	0.25	0.55	0.025	0.025		
	合金钢淬火并回火	0.20	0.55	0.025	0.025		
12.9	合金钢淬火并回火	0.30	0.50	0.025	0.025	0.003	425
12.9	添加元素的碳钢 (如硼或锰或铬或钼) 淬火并回火	0.28	0.50	0.025	0.025	0.003	380

注: 常用材料牌号: Q215、Q235、10、35、45、15Cr、40Cr、30CrMnSi。

(2) 螺母的机械性能、材料及热处理 (表 3.1-58 及表 3.1-59)

表 3.1-58 螺母的机械性能 (摘自 GB/T 3098.2—2000, GB/T 3098.4—2000)

性能等级	粗牙螺母（GB/T3098.2）				细牙螺母（GB/T3098.4）					
	螺纹直径 D /mm	保证应力 S_p /MPa	维氏硬度 HV		螺纹直径 D /mm	保证应力 S_p /MPa	维氏硬度 HV		螺 母	
			min	max			min	max	热处理	形式
04	≤39	380	188	302	≤39	380	188	302	不淬火 回火	薄型
05	≤39	500	272	353	≤39	500	272	353	淬火并 回火	薄型
4	>16 ~ 39	510	117	302	—	—	—	—	不淬火 回火	1 型
5	≤4	520	130	302	8 ~ 16	690	175	302	不淬火 回火	1 型
	>4 ~ 7	580								
	>7 ~ 10	590								
	>10 ~ 16	610								
	>16 ~ 39	630	146		>16 ~ 39	720	190			
6	≤4	600	150	302				302	不淬火 回火	1 型
	>4 ~ 7	670			8 ~ 10	770	188			
	>7 ~ 10	680			>10 ~ 16	780				
	>10 ~ 16	700			>16 ~ 33	870	233			
	>16 ~ 39	720	170		>33 ~ 39	930				

(续)

性能等级	粗牙螺母（GB/T3098.2）				细牙螺母（GB/T3098.4）					
	螺纹直径 <i>D</i> /mm	保证应力 <i>S_p</i> /MPa	维氏硬度 HV		螺纹直径 <i>D</i> /mm	保证应力 <i>S_p</i> /MPa	维氏硬度 HV		螺 母	
			min	max			min	max	热处理	形式
8	≤4	800	180	302	—	—	—	—	不淬火 回火	1 型
	>4 ~ 7	855	200							
	>7 ~ 10	870								
	>10 ~ 16	880								
	>16 ~ 39	890	180	302	8 ~ 16	890	195	302	淬火并 回火	2 型
	—	—	—	—		955	250			
	>16 ~ 39	920	233	353	>16 ~ 33	1030	295	353	1 型	
					>33 ~ 39	1090				
9	≤4	900	170	302	—	—	—	—	不淬火 回火	2 型
	>4 ~ 7	915	188							
	>7 ~ 10	940								
	>10 ~ 16	950								
	>16 ~ 39	920								
10	≤10	1040	272	353	8 ~ 10	1100	295	353	淬火并 回火	1 型
	>10 ~ 16	1050			>10 ~ 16	1110				
	>16 ~ 39	1060			—	—				
	—	—	—	—	>16 ~ 39	1080	260			2 型
12	≤10	1140	295	353	—	—	—	—	淬火并 回火	1 型
	>10 ~ 16	1170			—	—	—	—		
	≤7	1150	272		8 ~ 10	1200	295	353		2 型
	>7 ~ 10	1160			>10 ~ 16					
	>10 ~ 16	1190			—	—	—	—		
	>16 ~ 39	1200			—	—	—	—		

注：螺母机械性能等级的标记制度：

公称高度 $\geq 0.8D$ 的螺母，用螺栓性能等级标记的第一部分数字标记，该螺栓应为该螺母相配螺栓中性能等级最高的。

$0.8D >$ 公称高度 $\geq 0.5D$ 的螺母，由两位数字标记，第 2 位数表示试验芯棒公称保证应力的 1/100（以 MPa 计），第 2 位数字“0”表示这种螺栓-螺母组合件的承载能力比芯棒的承载能力小。

表 3.1-59 螺母材料及与螺母相配件的性能等级

性能等级	4	5	6	8	9	10	12
推荐材料	易切削钢、低碳钢		低碳钢或中碳钢	中碳钢		中碳钢、低中碳合金钢、淬火并回火	
相配螺栓的性能等级	3.6、4.6、4.8 ($d \geq M16$)	3.6、4.6、4.8 ($d \leq M16$) 5.6、5.8 ($d \leq M39$)	6.8 ($d \leq M39$)	8.8 ($d \leq M39$)	9.8 ($d \leq M16$)	10.9 ($d \leq M39$)	12.9 ($d \leq M39$)

注：1. 均指粗牙螺母。

2. 常用材料牌号参照表 3.1-57 的注。

(3) 紧定螺钉的机械性能及材料 (表 3.1-60 及 3.1-61)

表 3.1-60 紧定螺钉的机械性能及材料 (摘自 GB/T 3098.3—2000)

机 械 性 能		性能等级				
		14H	22H	33H	45H	
维氏硬度 HV		min	140	220	330	450
		max	290	300	440	560
布氏硬度 HBW, $F = 30D^2$		min	133	209	314	428
		max	276	285	418	532
洛氏硬度	HRB	min	75	95	—	—
		max	105	见注 2	—	—
	HRC	min	—	见注 2	33	45
		max	—	30	44	53
保证扭转		—	—	—	见表 3. 1-61	
螺纹未脱碳层的最小高度 E	min	—	$1/2H_1$	$2/3H_1$	$3/4H_1$	
全脱碳层的最大深度 G/mm	max	—	0. 015	0. 015	见注 3	
表面硬度 HV0. 3	max	—	320	450	580	
材 料						
钢材类别	碳钢 ^{①、②}	碳钢 ^③	碳钢 ^③	合金钢 ^{③、④}		
性能等级	14H	22H	33H	45H		
热处理		淬火并回火	淬火并回火	淬火并回火		

注: 1. 性能等级的标记代号由数字和字母组成 (如 14H), 数字表示最低的维氏硬度的 1/100, 字母 H 表示硬度。

2. 对 45H 级不允许有全脱碳层。

3. 内六角紧定螺钉没有 14H、22H 和 33H 级。

① 使用易切钢时, 其铅、磷及硫的最大质量分数为: 铅 0.35%; 磷 0.11%; 硫 0.34%。

② 方头紧定螺钉允许表面硬化。

③ 可以采用最大含铅量为 0.35% 的钢材。

④ 应含有一种或多种铬、镍、钒或硼合金元素。

表 3.1-61 45H 级内六角紧定螺钉的保证扭矩 (摘自 GB/T 3098.3—2000)

螺纹直径 d /mm	试验螺钉的最小长度/mm				保证扭矩 /N · m	螺纹直径 d /mm	试验螺钉的最小长度/mm				保证扭矩 /N · m
	平端	凹端	锥端	圆柱端			平端	凹端	锥端	圆柱端	
3	4	5	5	6	0.9	10	12	12	12	16	40
4	5	6	6	8	2.5	12	16	16	16	20	65
5	5	6	8	8	5	16	20	20	20	25	160
6	8	8	8	10	8.5	20	25	25	25	30	310
8	10	10	10	12	20	24	30	30	30	35	520

(4) 自攻螺钉的机械性能 (表 3.1-62)

表 3.1-62 自攻螺钉的主要机械性能 (GB/T 3098.5—2000)

螺纹规格		ST2. 2	ST2. 6	ST2. 9	ST3. 3	ST3. 5	ST3. 9	ST4. 2	ST4. 8	ST5. 5	ST6. 3	ST8
破坏扭矩（min） /N·m		0. 45	0. 90	1. 5	2. 0	2. 7	3. 4	4. 4	6. 3	10. 0	13. 6	30. 5
渗碳层深度 /mm	min	0. 04		0. 05			0. 10			0. 15		
	max	0. 10		0. 18			0. 25			0. 28		
表面硬度≥		450HV 0. 3										
心部硬度		螺纹≤ST 3. 9：270～390HV5，螺纹≥ST4. 2：270～390HV10										
显微组织		在渗碳层与芯层间的显微组织不应呈现带状亚共析铁素体										

注: 1. 自攻螺钉应由冷锻、渗碳钢制造。

2. 拧入性能: 当自攻螺钉拧入 w (C) ≤ 0.23% 的低碳钢制成、且硬度为 130 ~ 170HV 的试验板时, 能攻出与其匹配的内螺纹, 而螺钉的螺纹不应损坏。

(5) 不锈钢螺栓、螺钉、螺柱和螺母的机械性能及材料

1) 标记

① 螺栓、螺钉和螺柱的不锈钢组别和性能等级的标记由短线隔开的两部分组成：第一部分标记钢的组别，由一个字母和一数字组成，字母表示钢的类别：A—奥氏体钢；C—马氏体钢；F—铁素体钢，数字表示化学成分范围。第二部分标记为性能等，它由两位数字组成，以表示紧固件抗拉强度的 1/10，如标记示例：A2—70 是表示奥氏体钢，冷加工最小抗拉强度为 700MPa。

② 螺母的不锈钢组别和性能等级的标记由短

线的两部分组成：第一部分标记钢的组别（标记方法与螺栓相同），第二部分标记性能等级，其标记方法是：对于 $m \geq 0.8D$ （I 型）螺母，由两位数字组成，表示保证应力的 1/10；对于 $0.5D \leq m < 0.8D$ 的（薄型）螺母由三位数字组成，第一位数字“0”表示降低承载能力的螺母，后两位数字表示保证载荷应力的 1/10。标记示例：A2—035 表示：奥氏体钢、冷加工、最小保证应力（薄螺母）为 350MPa。

2) 材料和机械性能（表 3.1-63 ~ 表 3.1-67）

表 3.1-63 不锈钢组别与化学成分（摘自 GB/T 3098.6—2000 及 GB/T 3098.15—2000）

类别	组别	化 学 成 分 （质量分数，%）								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
奥氏体	A1	0.12	1	6.5	0.2	0.15 ~ 0.35	16 ~ 19	0.7	5 ~ 10	1.75 ~ 2.25
	A2	0.1	1	2	0.05	0.03	15 ~ 20	—	8 ~ 19	4
	A3	0.08	1	2	0.045	0.03	17 ~ 19	—	9 ~ 12	1
	A4	0.08	1	2	0.045	0.03	16 ~ 18.5	2 ~ 3	10 ~ 15	1
	A5	0.08	1	2	0.045	0.03	16 ~ 18.5	2 ~ 3	10.5 ~ 14	1
马氏体	C1	0.09 ~ 0.15	1	1	0.05	0.03	11.5 ~ 14	—	1	—
	C3	0.17 ~ 0.25	1	1	0.04	0.03	16 ~ 18	—	1.5 ~ 2.5	—
	C4	0.08 ~ 0.15	1	1.5	0.06	0.15 ~ 0.35	12 ~ 14	0.6	1	—
铁素体	F1	0.12	1	1	0.04	0.03	15 ~ 18	—	1	—

表 3.1-64 马氏体钢和铁素体钢螺栓、螺钉和螺柱的机械性能
（摘自 GB/T 3098.6—2000）

材料组别	性能等级	抗拉强度 R_m /MPa min	规定非比例伸长 应力 $R_{p0.2}$ /MPa min	伸长率 A min	硬 度		
					HV	HBW	HRC
C1	50	500	250	0.2d	155 ~ 220	147 ~ 209	—
	70	700	410	0.2d	220 ~ 330	209 ~ 314	20 ~ 34
	110 ^②	1100	820	0.2d	350 ~ 440	—	36 ~ 45
C3	80	800	640	0.2d	240 ~ 340	228 ~ 323	21 ~ 35
C4	50	500	250	0.2d	155 ~ 220	147 ~ 209	—
	70	700	410	0.2d	220 ~ 330	209 ~ 314	20 ~ 34
F1 ^①	45	450	250	0.2d	135 ~ 220	128 ~ 209	—
	60	600	410	0.2d	180 ~ 285	171 ~ 271	—

① 螺纹公称直径 $d \leq 24\text{mm}$

② 淬火并回火，最低回火温度为 275℃

表 3.1-65 马氏体和铁素体钢螺母的机械性能
(摘自 GB/T 3098.15—2000)

类别	组别	性能等级		保证应力 S_p /MPa		硬度		
		1 型螺母 ($m \geq 0.8D$)	薄螺母 ($0.5D \leq m < 0.8D$)	1 型螺母 ($m \geq 0.8D$)	薄螺母 ($0.5D \leq m < 0.8D$)	HBW	HRC	HV
马氏体	C1	50	025	500	250	147 ~ 209	—	155 ~ 220
		70	—	700	—	209 ~ 314	20 ~ 34	220 ~ 330
		110 ^①	055 ^①	1100	550	—	36 ~ 45	350 ~ 440
	C3	80	040	800	400	228 ~ 323	21 ~ 35	240 ~ 340
	C4	50	—	500	—	147 ~ 209	—	155 ~ 220
		70	035	700	350	209 ~ 314	20 ~ 34	220 ~ 330
铁素体	F ^②	45	020	450	200	128 ~ 209	—	135 ~ 220
		60	030	600	300	171 ~ 271	—	180 ~ 285

① 淬火并回火,最低回火温度为 275℃。

② 螺纹公称直径 $D \leq 24\text{mm}$ 。

表 3.1-66 奥氏体钢螺栓、螺钉和螺柱的机械性能 (摘自 GB/T 3098.6—2000)

组别	性能等级	螺纹直径	抗拉强度 R_m /MPa min	规定非比例伸长应力 $R_{p0.2}$ /MPa min	断后伸长量 /mm min
A ₁ 、A ₂	50	$\leq \text{M}39$	500	210	0.6d
A ₃ 、A ₄	70	$\leq \text{M}24$ ^①	700	450	0.4d
A ₅	80	$\leq \text{M}24$ ^①	800	600	0.3d

① 螺纹公称直径 $d > 24\text{mm}$ 的紧固件,其机械性能应由供需双方协议,并可按本表给出的组别和性能等级标志。

表 3.1-67 奥氏体不锈钢螺母的机械性能 (摘自 GB/T 3098.15—2000)

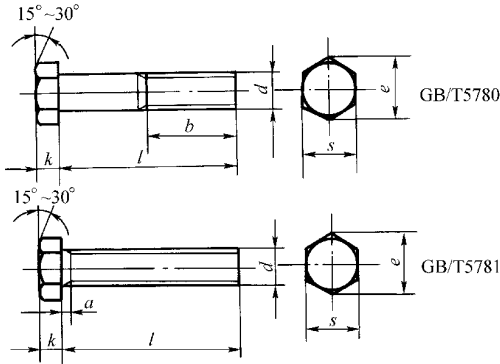
类型	组别	性能等级		螺纹直径范围 D /mm	保证应力 S_p /MPa	
		1 型螺母 ($m \geq 0.8D$)	薄螺母 ($0.5D \leq m < 0.8D$)		1 型螺母 ($m \geq 0.8D$)	薄螺母 ($0.5D \leq m < 0.8D$)
奥氏体	A1、 A2、A3、 A4、A5	50	025	≤ 39	500	250
		70	035	≤ 24 ^①	700	350
		80	040	≤ 24 ^①	800	400

① 螺纹公称直径 $D > 24\text{mm}$ 的紧固件,其机械性能应由供需双方协议,并可按本表给出的组别和性能等级标志。

2.5 螺纹连接的标准元件及挡圈

2.5.1 螺栓和螺柱 (表 3.1-68 ~ 表 3.1-82)

表 3.1-68 C 级六角头螺栓 (GB/T 5780—2000) 和 C 级全螺纹六角头螺栓 (GB/T 5781—2000)
(mm)



标记示例:
螺纹规格 $d = \text{M}12$ 、公称长度 $l = 80\text{mm}$ 、
性能等级为 4.8 级、不经表面处理、C 级
六角头螺栓的标记:
螺栓 GB/T 5780—2000 M12 × 80

(续)

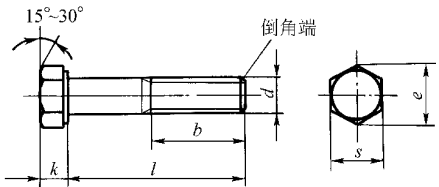
螺纹规格 (8g)		d	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)
b	$l \leq 125$		16	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60
	$125 < l \leq 200$		22	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66
	$l > 200$		35	37	41	45	49	53	57	61	65	69	73	79
a	max		2.4	3	4	4.5	5.3	6	6	7.5	7.5	7.5	9	9
e	min		8.63	10.89	14.2	17.59	19.85	22.78	26.17	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2
k	公称		3.5	4	5.3	6.4	7.5	8.8	10	11.5	12.5	14	15	17
s	max		8	10	13	16	18	21	24	27	30	34	36	41
	min		7.64	9.64	12.57	15.57	17.57	20.16	23.16	26.16	29.16	33	35	40
l	GB/T 5780		25 ~ 50	30 ~ 60	40 ~ 80	45 ~ 100	55 ~ 120	60 ~ 140	65 ~ 160	80 ~ 180	65 ~ 200	90 ~ 220	100 ~ 240	110 ~ 260
	GB/T 5781		10 ~ 50	12 ~ 60	16 ~ 80	20 ~ 100	25 ~ 180	30 ~ 140	30 ~ 160	35 ~ 180	40 ~ 200	45 ~ 220	50 ~ 240	55 ~ 280
性能等级		钢	3.6、4.6、4.8											
螺纹规格 (8g)		d	M30	(M33)	M36	(M39)	M42	(M45)	M48	(M52)	M56	(M60)	M64	
b	$l \leq 125$		66	72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	$125 < l \leq 200$		72	78	84	90	96	102	108	116	—	132	—	
	$l > 200$		85	91	97	103	109	115	121	129	137	145	153	
a	max		10.5	10.5	12	12	13.5	13.5	15	15	16.5	16.5	18	
e	min		50.85	55.37	60.79	66.44	72.02	76.95	82.6	82.25	93.56	99.21	104.86	
k	公称		18.7	21	22.5	25	26	28	30	33	35	38	40	
s	max		46	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
	min		45	49	53.8	58.8	63.8	68.1	73.1	78.1	82.8	87.8	92.8	
l ^① 长度 范围	GB/T 5780		120 ~ 300	130 ~ 320	140 ~ 360	150 ~ 400	180 ~ 420	180 ~ 440	200 ~ 480	200 ~ 500	240 ~ 500	240 ~ 500	260 ~ 500	
	GB/T 5781		60 ~ 300	65 ~ 360	70 ~ 360	80 ~ 400	80 ~ 420	90 ~ 440	100 ~ 480	100 ~ 500	110 ~ 500	120 ~ 500	120 ~ 500	
性能等级		钢	3.6、4.6、4.8				按协议							
表面处理		钢	1) 不经处理 2) 电镀 3) 非电解锌粉覆盖层											

注：尽可能不采用括号内的规格。

① 长度系列（单位为 mm）为 10、12、16、20~70（5 进位）、70~150（10 进位）、180~500（20 进位）。

表 3.1-69 A、B 级粗牙（GB/T 5782—2000）及 A、B 级细牙（GB/T 5785—2000）六角头螺栓

(mm)



标记示例：
螺纹规格 $d = M12$ 、公称长度 $l = 80\text{mm}$ 、性能等级为 8.8 级、表面氧化、A 级六角头螺栓的标记：
螺栓 GB/T 5782—2000 M12 × 80
螺纹规格 $d = M12 \times 1.5$ 、公称长度 $l = 80\text{mm}$ 、细牙螺纹、性能等级为 8.8 级、表面氧化、A 级六角头螺栓的标记：
螺栓 GB/T 5785—2000 M12 × 1.5 × 80

螺纹规格 (6g)		d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16
	$d \times P$		—	—	—	—	M8 × 1	M10 × 1	M12 × 1.5	(M14 × 1.5)	M16 × 1.5
			—	—	—	—	—	(M10 × 1.25)	(M12 × 1.25)		—
b (参考)	$l \leq 125$		12	14	16	18	22	26	30	34	38
	$125 < l \leq 200$		—	—	—	—	28	32	36	40	44
	$l > 200$		—	—	—	—	41	45	49	57	57

(续)

螺纹规格 (6g)		d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16
		$d \times P$	—	—	—	—	M8 × 1	M10 × 1	M12 × 1. 5	(M14 × 1.5)	M16 × 1.5
			—	—	—	—	—	(M10 × 1.25)	(M12 × 1.25)		
$e_{\min}$		A 级	6. 01	7. 66	8. 79	11. 05	14. 38	17. 77	20. 03	23. 36	26. 75
		B 级	—	—	—	—	14. 2	17. 59	19. 85	22. 78	26. 17
s	max		5. 5	7	8	10	13	16	18	21	24
	min	A 级	5. 32	6. 78	7. 78	9. 78	12. 73	15. 73	17. 73	20. 67	23. 67
		B 级	—	—	—	—	12. 57	15. 57	17. 57	20. 16	23. 16
k		公称	2	2. 8	3. 5	4	5. 3	6. 4	7. 5	8. 8	10
$l^{\text{①}}$ 长度范围		A 级	20 ~ 30	25 ~ 40	25 ~ 40	30 ~ 60	35 ~ 80	40 ~ 100	45 ~ 120	50 ~ 140	55 ~ 140
		B 级	—	—	—	—	—	—	—	—	160
螺纹规格 (6g)		d	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	(M33)	M36	
		$d \times P$	(M18 × 1. 5)	(M20 × 2)	(M22 × 1. 5)	M24 × 2	(M27 × 2)	M30 × 2	(M33 × 2)	M36 × 3	
			—	M20 × 1. 5	—	—	—	—	—	—	
b (参考)		$l \leq 125$	42	46	50	54	60	66	72	78	
		$125 < l \leq 200$	48	52	56	60	66	72	78	84	
		$l > 200$	61	65	69	73	79	85	91	97	
$e_{\min}$		A 级	30. 14	33. 53	37. 72	39. 98	—	—	—	—	
		B 级	29. 56	32. 95	37. 29	39. 55	45. 2	50. 85	55. 37	60. 79	
s	max		27	30	34	36	41	46	50	55	
	min	A 级	26. 67	29. 67	33. 38	35. 38	—	—	—	—	
		B 级	26. 16	29. 16	33	35	40	45	49	53. 8	
k		公称	11. 5	12. 5	14	15	17	18. 7	21	22. 5	
$l^{\text{①}}$ 长度范围		A 级	60 ~ 150	65 ~ 150	70 ~ 150	80 ~ 150	90 ~ 150	90 ~ 150	100 ~ 150	110 ~ 150	
		B 级	160 ~ 180	160 ~ 200	160 ~ 220	160 ~ 240	160 ~ 260	160 ~ 300	160 ~ 320	110 ~ 360 ^②	
螺纹规格 (6g)		d	(M39)	M42	(M45)	M48	(M52)	M56	(M60)	M64	
		$d \times P$	(M39 × 3)	M42 × 3	(M45 × 3)	M48 × 3	(M52 × 4)	M56 × 4	(M60 × 4)	M64 × 4	
b (参考)		$l \leq 125$	84	—	—	—	—	—	—	—	
		$125 < l \leq 200$	90	96	102	108	116	124	132	140	
		$l > 200$	103	109	115	121	129	137	145	153	
$e_{\min}$		B 级	66. 44	71. 3	76. 95	82. 6	88. 25	93. 56	99. 21	104. 86	
s	max		60	65	70	75	80	85	90	95	
	min	B 级	58. 8	63. 1	68. 1	73. 1	78. 1	82. 8	87. 8	92. 8	
k		公称	25	26	28	30	33	35	38	40	
$l^{\text{①}}$ 长度范围		B 级	130 ~ 380	120 ~ 400	130 ~ 400	140 ~ 400	150 ~ 400	160 ~ 400	180 ~ 400	200 ~ 400	

注：1. 括号内为非优选的螺纹规格，尽可能不采用。

2. 表面处理、钢—氧化、镀锌钝化；不锈钢—不经处理。

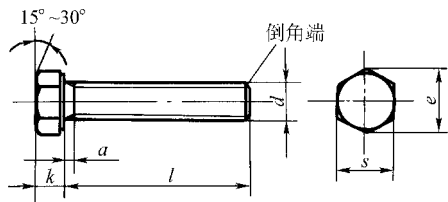
3. 性能等级及材料见下表：

材料	钢	不锈钢	钢	不锈钢
性能等级	3mm ≤ d ≤ 39mm; 5.6、8.8、10.9 3mm ≤ d ≤ 16mm 9.8 d > 39mm: 按协议	d ≤ 24mm A2-70、A4-70 24mm ≤ d ≤ 39mm A2-50、A4-50 d > 39mm: 按协议	d ≤ 39mm 5.6、8.8、10.9 3mm ≤ d ≤ 16mm 9.8 d > 39mm: 按协议	与 GB 5782 同
国家标准	GB5782		GB5785	

① 长度系列 (单位为 mm) 为 20 ~ 50 (5 进位)、(55)、60、(65)、70 ~ 160 (10 进位)、180 ~ 400 (20 进位)；

② GB/T 5785 规定为 160 ~ 300。

表 3.1-70 A 级和 B 级粗牙全螺纹六角头螺栓 (GB/T 5783—2000) (mm)



标记示例：
螺纹规格 $d = M12$ 、公称长度 $l = 80\text{mm}$ 、性能等级为 8.8 级、表面氧化、全螺纹、A 级六角头螺栓的标记：
螺栓 GB/T 5783—2000 M12 × 80

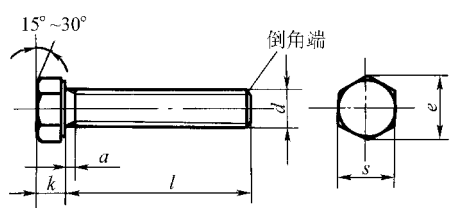
螺纹规格 d (6g)		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16
a max		1.5	2.1	2.4	3	3.75	4.5	5.25	6	6
e min	A 级	6.01	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	23.36	26.75
s	max	5.5	7	8	10	13	16	18	21	24
	min A 级	5.32	6.78	7.78	9.78	12.73	15.73	17.73	20.67	23.67
k	公称	2	2.8	3.5	4	5.3	6.4	7.5	8.8	10
$l^{①}$	A 级	6 ~ 30	8 ~ 40	10 ~ 50	12 ~ 60	16 ~ 80	20 ~ 100	25 ~ 120	30 ~ 140	30 ~ 100
螺纹规格 d (6g)		(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	(M33)	M36	
a max		7.5	7.5	7.5	9	9	10.5	10.5	12	
d_a max		20.2	22.4	24.4	26.4	30.4	33.4	36.4	39.4	
e min	A 级	30.14	33.53	37.72	39.98	—	—	—	—	
	B 级	29.56	—	37.29	—	45.2	50.85	55.37	60.79	
s	max	27	30	34	36	41	46	50	55	
	A 级	26.67	29.67	33.38	35.38	—	—	—	—	
	B 级	26.16	—	33	—	40	45	49	53.8	
k	公称	11.5	12.5	14	15	17	18.7	21	22.5	
$l^{①}$	A 级	35 ~ 100	40 ~ 150	45 ~ 150	40 ~ 100	55 ~ 200	60 ~ 200	65 ~ 200	70 ~ 200	
	B 级	160 ~ 200	160 ~ 200	160 ~ 200	—	—	—	—	—	
长度范围										
螺纹规格 d (6g)		(M39)	M42	(M45)	M48	(M52)	M56	(M60)	M64	
a max		12	13.5	13.5	15	15	16.5	16.5	18	
e min	B 级	66.44	71.03	76.95	82.6	88.25	93.56	99.21	104.86	
s	max	60	65	70	75	80	85	90	95	
	B 级	58.8	63.1	68.1	73.1	78.1	82.8	87.8	92.8	
k	公称	25	26	28	30	33	35	38	40	
$l^{①}$	A 级	80 ~ 200	80 ~ 200	90 ~ 200	100 ~ 200	100 ~ 200	110 ~ 200	110 ~ 200	120 ~ 200	
	B 级	—	—	—	—	—	—	—	—	
长度范围										

注：1. 括号内为非优选的螺纹规格。
2. 表面处理、钢—氧化、镀锌钝化；不锈钢—不经处理。
3. 性能等级及材料见下表：

材 料	性 能 等 级
钢	① $3\text{mm} \leq d \leq 39\text{mm}$ ：5、6、8、8、10、9② $3\text{mm} \leq d \leq 16\text{mm}$ ：9、8③ $d > 39\text{mm}$ ：按协议
不锈钢	① $d \leq 24\text{mm}$ ；A2 - 70、A4 - 70② $24\text{mm} < d \leq 39\text{mm}$ ：A2 - 50、A4 - 50③ $d > 39\text{mm}$ ：按协议

① 长度系列 (单位为 mm) 为 6、8、10、12、16、20 ~ 70 (5 进位)、70 ~ 160 (10 进位)、160 ~ 200 (20 进位)。

表 3.1-71 A 和 B 级细牙全螺纹六角头螺栓 (GB/T 5786—2000)



标记示例：
螺纹规格 $d = M12 \times 1.5$ 、公称长度 $l = 80\text{mm}$ 、细牙螺纹、性能等级为 8.8 级、表面氧化、全螺纹、产品等级为 A 级的六角头螺栓的标记：

螺栓 GB/T 5786—2000 M12 $\times$ 1.5 $\times$ 80

螺纹规格 $d \times P$ (6g)		M8 × 1	M10 × 1	M12 × 1.5	(M14 × 1.5)	M16 × 1.5	(M18 × 1.5)	(M20 × 2)	
		—	(M10 × 1.25)	(M12 × 1.25)	—	—	—	M20 × 1.5	
a max		3	3 (4)	4.5 (4)	4.5	4.5	4.5	4.5 (6)	
e min	A 级	14.38	17.77	20.03	23.36	26.75	30.14	33.53	
	B 级	14.20	17.59	19.85	22.78	26.17	29.56	32.95	
s	max		13	16	18	21	24	30	
	min	A 级	12.73	15.73	17.73	20.67	23.67	26.67	29.67
		B 级	12.57	15.57	17.57	20.16	23.16	26.16	29.16
k 公称		5.3	6.4	7.5	8.8	10	11.5	12.5	
$l^{①}$	A 级	16 ~ 90	20 ~ 100	25 ~ 120	30 ~ 140	35 ~ 150	35 ~ 150	40 ~ 150	
	B 级	—	—	—	—	160	160 ~ 180	160 ~ 200	
螺纹规格 $d \times P$ (6g)		(M22 × 1.5)	M24 × 2	(M27 × 2)	M30 × 2	(M33 × 2)	M36 × 3	(M39 × 3)	
a max		4.5	6	6	6	6	9	9	
e min	A 级	37.72	39.98	—	—	—	—	—	
	B 级	37.29	39.55	45.2	50.85	55.37	60.79	66.44	
s	max		34	36	41	46	50	60	
	min	A 级	33.38	35.38	—	—	—	—	—
		B 级	33	35	40	45	49	53.8	58.8
k 公称		14	15	17	18.7	21	22.5	25	
$l^{①}$ 长度范围	A 级	45 ~ 150	40 ~ 150	—	—	—	—	—	
	B 级	160 ~ 220	160 ~ 200	55 ~ 280	40 ~ 220	65 ~ 360	40 ~ 220	80 ~ 380	
螺纹规格 $d \times P$ (6g)		M42 × 3	(M45 × 3)	M48 × 3	(M52 × 4)	M56 × 4	(M60 × 4)	M64 × 4	
a max		9	9	9	12	12	12	12	
e min	B 级	71.3	76.95	82.6	88.25	93.56	99.21	104.86	
s	max		65	70	75	80	85	90	
	min	B 级	63.1	68.1	73.1	78.1	82.8	87.8	
k 公称		26	28	30	33	35	38	40	
$l^{①}$ 长度范围	B 级	90 ~ 420	90 ~ 440	100 ~ 480	100 ~ 500	120 ~ 500	110 ~ 500	130 ~ 500	

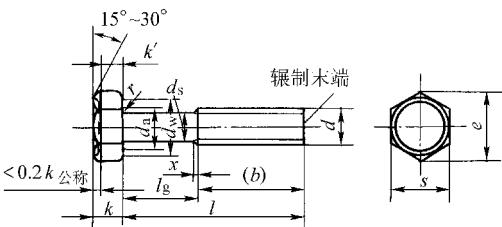
- 注：1. 括号内为非优选的螺纹规格。
2. 表面处理：钢—氧化，不锈钢—简单处理。
3. 性能等级及材料见下表：

螺栓规格 d	M8 $\times$ 1 ~ (M20 $\times$ 2)	(M22 $\times$ 1.5) ~ (M39 $\times$ 3)	M42 $\times$ 3 ~ M64 $\times$ 4
钢	5.6、8.8、10.9	5.6、8.8、10.9	按协议
不锈钢	A2-70、A4-70	A2-50、A4-50	按协议

① 长度系列 (单位为 mm) 为 16、20 ~ 70 (5 进位)、70 ~ 160 (10 进位)、180 ~ 500 (20 进位)。

表 3.1-72 B 级细杆六角头螺栓 (GB/T 5784—2000)

(mm)



标记示例:

螺纹规格 $d = M12$ 、公称长度 $l = 80\text{mm}$ 、性能等级为 5.8 级、不经表面处理、B 级六角头螺栓的标记:

螺栓 GB/T 5784—2000 M12 × 80

螺纹规格 (6g) d		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	M20
b (参考)	$l \leq 125$	12	14	16	18	22	26	30	34	38	46
	$125 < l \leq 200$	—	—	—	—	28	32	36	40	44	52
e min		5.98	7.50	8.63	10.89	14.20	17.59	19.85	22.78	26.17	32.95
s	max	5.5	7	8	10	13	16	18	21	24	30
	min	5.20	6.64	7.64	9.64	12.57	15.57	17.57	20.16	23.16	29.16
k 公称		2	2.8	3.5	4	5.3	6.4	7.5	8.8	10	12.5
$l^{①}$ 长度范围		20 ~ 30	20 ~ 40	25 ~ 50	25 ~ 60	30 ~ 80	40 ~ 100	45 ~ 120	50 ~ 140	55 ~ 150	65 ~ 150
性能等级	钢	5.8、6.8、8.8									
	不锈钢	A2-70									

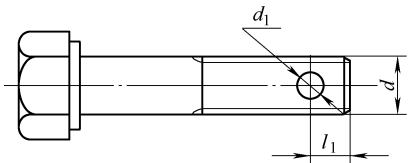
注: 1. 尽可能不采用括号内的规格。

2. 表面处理: 钢—不经处理、镀锌钝化、氧化; 不锈钢—不经处理。

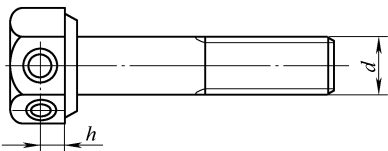
① 长度系列 (单位为 mm) 为 20 ~ 50 (5 进位)、(55)、60、(65)、70 ~ 150 (10 进位)。

表 3.1-73 六角头螺杆带孔螺栓—A 和 B 级 (摘自 GB/T 31.1—1988)、六角头头部带孔螺栓—A 和 B 级 (摘自 GB/T 32.1—1988)、六角头螺杆带孔螺栓—细牙—A 和 B 级 (摘自 GB/T 31.3—1988)、六角头头部带孔螺栓—细牙—A 和 B 级 (摘自 GB/T 32.3—1988)

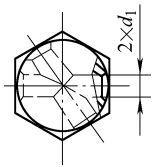
(mm)



GB/T31.1—1988
GB/T31.3—1988



GB/T32.1—1988
GB/T32.3—1988



标记示例:

螺纹规格 $d = M12$ 、公称长度 $l = 80\text{mm}$ 、性能等级为 8.8 级、表面氧化的六角头头部带孔螺栓

螺栓 GB/T 31.1—1988 M12 × 80

标记示例:

螺纹规格 $d = M12$ 、公称长度 $l = 80\text{mm}$ 、性能等级为 8.8 级、不经表面处理、A 级的六角头螺杆带孔螺栓

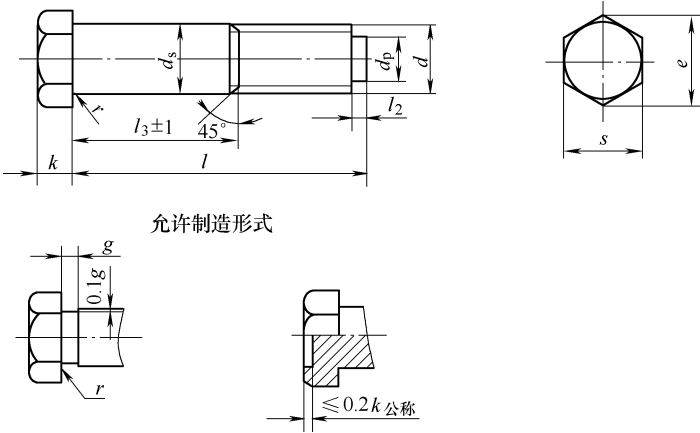
螺栓: GB/T 32.1—1988 M12 × 80

(续)

螺纹规格		d	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M36	M42	M48
		$d \times P$	—	M8 × 1	M10 × 1.25	M12 × 1.5	(M14 × 1.5)	M16 × 1.5	(M18 × 2)	M20 × 2	(M22 × 2)	M24 × 2	(M27 × 2)	M30 × 2	M36 × 3	M42 × 3	M48 × 3
d_1	GB31.1	公称	1.6	2.0	2.5	3.2	3.2	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	6.3	6.3	8.0	8.0
	GB31.3	max	1.85	2.25	2.75	3.5	3.5	4.3	4.3	4.3	5.3	5.3	5.3	6.6	6.6	8.3	8.3
	GB32.1	min	1.6	2.0	2.5	3.2	3.2	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	6.3	6.3	8.0	8.0
d_1	GB32.3	公称		2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
		max		2.25	2.25	2.25	2.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	4.3	4.3	4.3
		min		2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
$h \approx$			2.0	2.6	3.2	3.7	4.4	5.0	5.7	6.2	7.0	7.5	8.5	9.3	11.2	13.0	15.0
l_1			3	4	5		6			7		8	9	10	12		

注:1. 尽可能不用括号内规格。
2. 螺栓的尺寸及技术条件,对 GB/T 31.1、GB/T 32.2 见 GB/T 5782 及 GB/T 5278;对 GB/T 32.3、GB/T 31.3 见 GB/T 5785 及 GB/T 5278。

表 3.1-74 六角头铰制孔用螺栓—A 和 B 级(摘自 GB/T 27—1988) (mm)



标记示例:
螺纹规格 $d = M12$ 、 d_s 按本表规定,公称长度 $l = 80\text{mm}$,性能等级为 8.8 级。
表面氧化处理、A 级的六角头铰制孔用螺栓:螺栓 GB/T 27—1988 M12 × 80
 d_s 按 m6 制造时。应加标注 m6;螺栓 GB/T 27—1988 M12 × m6 × 80

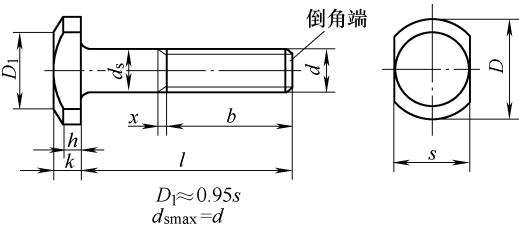
螺纹规格 d		M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M36	M42	M48
d_s (h9)	max	7.000	9.000	11.000	13.000	15.000	17.000	19.000	21.000	23.000	25.000	28.000	32.000	38.000	44.000	50.000
	min	6.964	8.964	10.957	12.957	14.957	16.957	18.948	20.948	22.948	24.948	27.948	31.938	37.938	43.938	49.938
s max		10	13	16	18	21	24	27	30	34	36	41	46	55	65	75
k 公称		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	17	20	23	26
r min		0.25	0.40	0.40	0.60				0.80			1.10			1.20	1.60
d_p		4	5.5	7	8.5	10	12	13	15	17	18	21	23	28	33	38
l_2		1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20

(续)

螺纹规格 d		M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M36	M42	M48
e min	A	11.05	14.38	17.77	20.03	23.35	26.75	30.14	33.53	37.72	39.98	—	—	—	—	—
	B	10.89	14.20	17.59	19.85	22.78	26.17	29.56	32.95	37.29	39.55	45.20	50.85	60.79	72.02	82.60
g		0.25				3.5					5.0					
l 范围		25 ~ 65	25 ~ 80	30 ~ 120	35 ~ 180	40 ~ 180	45 ~ 200	50 ~ 200	55 ~ 220	60 ~ 200	65 ~ 200	75 ~ 200	80 ~ 230	90 ~ 300	110 ~ 300	120 ~ 300
$l-l_3$		12	15	18	22	25	28	30	32	35	38	42	50	55	65	70
l 系列 (公称)		25, (28), 30, (32), 35, (38) 40 ~ 100 (5 进位) 110 ~ 260 10 进位, 280, 300														
100mm 长的重量 (kg) $\approx$		0.032	0.053	0.077	0.112	0.146	0.19	0.24	0.3	0.367	0.43	0.56	0.76	1.09	1.33	1.77
材 料		钢				机械性能等级					$d \leq 39$: 8.8; $d > 39$: 按协议					

- 注:1. 括号内尺寸及 $l = 55, 65\text{mm}$ 尽量不用。
2. 根据使用要求, d_s 允许按 m6、u6 制造。按 m6 制造时表面粗糙度为 $Ra1.6\mu\text{m}$ 。

表 3.1-75 T 形槽用螺栓 (摘自 GB/T 37—1988) (mm)



标记示例:
螺纹规格 $d = \text{M10}$ 、公称长度 $l = 100\text{mm}$ 、性能等级为 8.8 级、表面氧化的 T 形槽用螺栓:
螺栓 GB/T 37—1988 M10 $\times$ 100

螺纹规格 d		M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48
b	$l \leq 125$	16	18	22	26	30	38	46	54	66	78	—	—
	$125 < l \leq 200$	—	—	28	32	36	44	52	60	72	84	96	108
	$l > 200$	—	—	—	—	—	57	65	73	85	97	109	121
D		12	16	20	25	30	38	46	58	75	85	95	105
k max		4.24	5.24	6.24	7.29	9.29	12.35	14.35	16.35	20.42	24.42	28.42	32.5
s 公称		9	12	14	18	22	28	34	44	57	67	76	86
h		2.8	3.4	4.1	4.8	6.5	9	10.4	11.8	14.5	18.5	22	26
l 范围	通用规格	25 ~ 50	30 ~ 60	35 ~ 80	40 ~ 100	45 ~ 120	55 ~ 160	65 ~ 200	80 ~ 240	90 ~ 300	110 ~ 300	130 ~ 300	140 ~ 300
	l 系列	25 ~ 70 (5 进位), 80 ~ 160 (10 进位), 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300											
材 料		钢		机械性能等级			$d \leq 39$: 8.8; $d > 39$: 按协议						

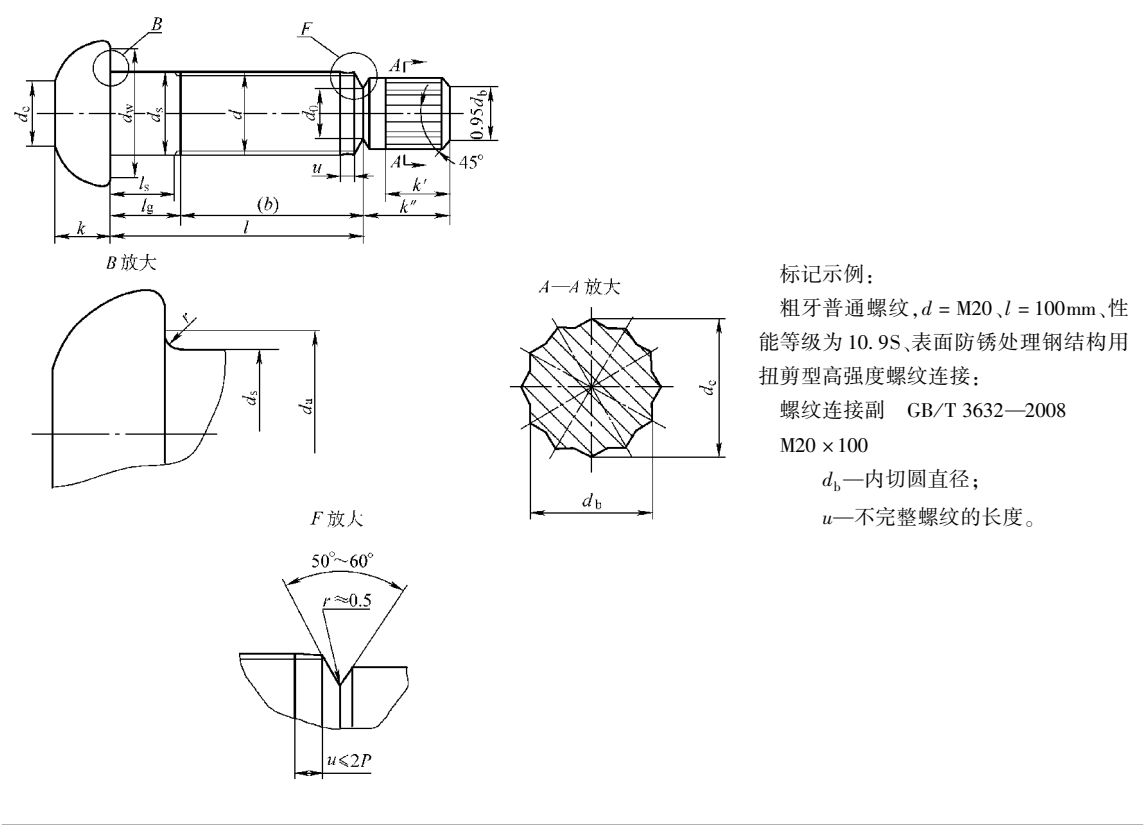
注: $l = 55\text{mm}, 65\text{mm}$ 尽可能不采用。

(续)

螺纹规格 d	M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	
$\frac{b}{l}$	25	30	35	40	45	50	55	
	35 ~ 40	45 ~ 50	50 ~ 60	55 ~ 65	60 ~ 70	65 ~ 75	70 ~ 80	
	30	35	40	45	50	55	60	
	45 ~ 75	55 ~ 130	65 ~ 160	70 ~ 220	75 ~ 240	80 ~ 260	85 ~ 260	
l 系列	35 ~ 100 (按 5 进级)、110 ~ 200 (按 10 进级)、220、240、260							
公称应力截面积 A_s/mm^2	84.3	157	245	303	353	459	561	
拉力载荷/N	等于 $A_s \times R_m$							
技术条件	性能等级	抗拉强度 R_m	屈服强度	推荐材料	洛氏硬度 HRC	通用规格	螺纹公差带	产品等级
		MPa						
	10. 9s	1040 ~ 1240	940	20MnTiB	33 ~ 39	≤ M24	6g	C
				35VB		≤ M30		
	8. 8s	830 ~ 1030	660	45、35	24 ~ 31	≤ M24		
				40Cr		≤ M24		
				35VB、35CrMo		≤ M30		

注：1. 表中技术条件栏摘自 GB/T 1231—2006。
2. 括号内的规格为第二选择系列。
3. 长度 l 尺寸系列：35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 220, 240, 260。

表 3.1-78 钢结构用扭剪型高强度螺栓 (GB/T 3632—2008) (mm)

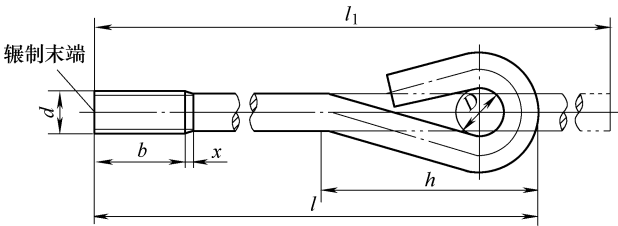


(续)

螺纹规格 d		M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30
P		2	2.5	2.5	3	3	3.5
d_a max		18.83	24.4	26.4	28.4	32.84	35.84
d_s	max	16.43	20.52	22.52	24.52	27.84	30.84
	min	15.57	19.48	21.48	23.48	26.16	29.16
d_w min		27.9	34.5	38.5	41.5	42.8	46.5
d_k max		30	37	41	44	50	55
k	公称	10	13	14	15	17	19
	max	10.75	13.90	14.90	15.90	17.90	20.05
	min	9.25	12.10	13.10	14.10	16.10	17.95
k' min		12	14	15	16	17	18
k'' max		17	19	21	23	24	25
r min		1.2	1.2	1.2	1.6	2.0	2.0
$d_0 \approx$		10.9	13.6	15.1	16.4	18.6	20.6
d_b	公称	11.1	13.9	15.4	16.7	19.0	21.1
	max	11.3	14.1	15.6	16.9	19.3	21.4
	min	11.0	13.8	15.3	16.6	18.7	20.8
$d_e \approx$		12.8	16.1	17.8	19.3	21.9	24.4
$d_e \approx$		13	17	18	20	22	24
$\frac{(b)}{l}$		$\frac{30}{40 \sim 50}$	$\frac{35}{45 \sim 60}$	$\frac{40}{50 \sim 65}$	$\frac{45}{55 \sim 70}$	$\frac{50}{65 \sim 75}$	$\frac{55}{70 \sim 80}$
		$\frac{35}{55 \sim 130}$	$\frac{40}{65 \sim 160}$	$\frac{45}{70 \sim 220}$	$\frac{50}{75 \sim 220}$	$\frac{55}{80 \sim 220}$	$\frac{60}{85 \sim 220}$
l 系列公称		40 ~ 100 (5 进位) , 110 ~ 200 (10 进位) , 220					

- 注：1. 括号内的规格为第二选择系列,应优先选用第一系列(不带括号)的规格。
2. 材料推荐:当 $d \leq M24$ 时,为 20MnTiB 和 ML20MnTiB;当 $d = M27$ 、M30 时为 35VB、30CrMo。
3. 螺栓性能等级:10.9S。
4. d_k —螺栓头部最大直径。

表 3.1-79 地脚螺栓(摘自 GB/T 799—1988) (mm)

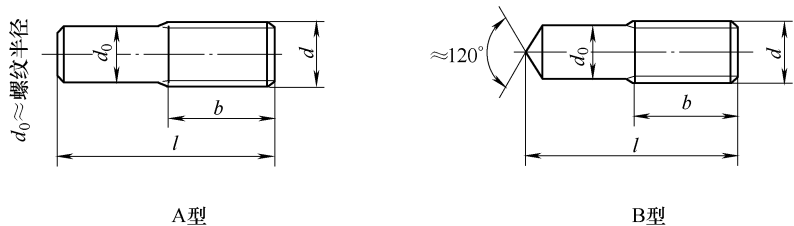


标记示例:
螺纹规格 $d = M20$ 、公称长度 $l = 400\text{mm}$,
性能等级为 3.6 级,不经表面处理的地脚
螺栓:
螺栓 GB/T 799—1988 M20 $\times$ 400

(续)

螺纹规格 d		M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	螺纹规格 d
$b_{\max}$		27	31	36	40	50	58	68	80	94	106	118	$b_{\max}$
D		10	10	15	20	20	30	30	45	60	60	70	D
h		41	46	65	82	93	127	139	192	244	261	302	h
l_1		$l+37$	$l+37$	$l+53$	$l+72$	$l+72$	$l+110$	$l+110$	$l+165$	$l+217$	$l+217$	$l+255$	l_1
$x_{\max}$		2.5	3.2	3.8	4.2	5.0	6.3	7.5	8.8	10.0	11.3	12.5	$x_{\max}$
l 范围	商品规格	80 ~ 160	120 ~ 220	160 ~ 300	160 ~ 400	220 ~ 500	300 ~ 630	300 ~ 800	400 ~ 1000	500 ~ 1000	630 ~ 1250	630 ~ 1500	l 范围
l 系列公称		80, 120, 160, 220, 300, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1500											l 系列公称
材 料		钢		机械性能等级			$d \leq 39\text{mm}$ 时为 3.6, $d > 39\text{mm}$: 按协议						

表 3.1-80 焊接单头螺柱(摘自 GB/T 902.1—2008) (mm)



标记示例：
螺纹规格 $d = \text{M10}$ 、公称长度 $l = 50\text{mm}$ 、螺纹长度 26mm、性能等级为 4.8 级、不经表面处理、按 A 型制造的手工焊用焊接螺柱的标记：

螺柱 GB/T 902.1—2008 M10 × 50

需要加长螺纹时应加标记 Q：

螺柱 GB/T 902.1—2008 M10 × 50—Q

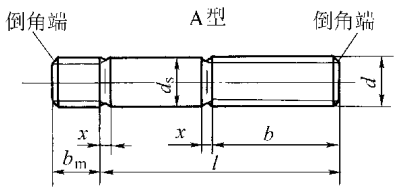
按 B 型制造时应加标记 B：

螺柱 GB/T 902.1—2008 BM10 × 50

螺纹规格 d		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20
b_{0}^{+2p}	标准	12	14	16	18	22	26	30	34	38	42	46
	加长	15	20	22	24	28	45	49	53	57	61	65
商品规格 长度 l		10 ~ 80	10 ~ 80	12 ~ 90	16 ~ 100	20 ~ 200	25 ~ 240	30 ~ 240	35 ~ 280	45 ~ 280	50 ~ 300	60 ~ 300
l 系列		10, 12, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, (55), 60, (65), 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300										
技术条件		材料: 普碳钢		公差等级: 6g		性能等级: 4.8				表面处理: 不经处理; 镀锌钝化		

- 注:1. 尽量不用括号内的规格。
2. 末端按 GB/T2 的规定制成倒角端,如需方同意亦可制成辗制末端。
3. P —螺距。

表 3.1-81 双头螺柱— $b_m = 1d$ (摘自 GB/T 897—1988), 双头螺柱— $b_m = 1.25d$ (摘自 GB/T 898—1988),



$d_s \approx$ 螺 纹 中 径 (仅 适 用 于 B 型) $d_{smax} = d$ $x_{max} = 2.5P$

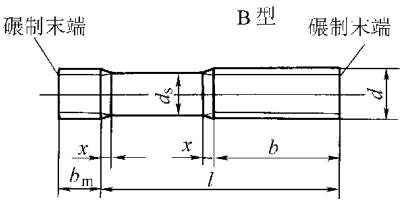
标记示例:

两端均为普通螺纹, $d = 10\text{mm}$, 性能等级为 4.8 级, 不经表面处理 B 型 $b_m = 1d$ 的双头螺柱: 螺柱 GB/T 897—1988 M10 $\times$ 50
旋入机体一端为粗牙普通螺纹, 旋螺母一端为螺距 $P = 1\text{mm}$ 的细牙普通螺纹, $d = 10\text{mm}$, $l = 50\text{mm}$, 性能等级为 4.8 级,
旋入机体一端为过渡配合螺纹的第一种配合, 旋螺母一端为粗牙普通螺纹, $d = 10\text{mm}$, $l = 50\text{mm}$, 性能等级为 8.8 级,

螺纹规格 d		M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)
公称 b_m	GB/T 897—1988					5	6	8	10	12	14
	GB/T 898—1988					6	8	10	12	15	18
	GB/T 899—1988	3	3.5	4.5	6	8	10	12	15	18	21
	GB/T 900—1988	4	5	6	8	10	12	16	20	24	28
$\frac{l}{b}$		$\frac{12 \sim 16}{6}$	$\frac{14 \sim 18}{8}$	$\frac{16 \sim 20}{6}$	$\frac{16 \sim 22}{8}$	$\frac{16 \sim 22}{10}$	$\frac{20 \sim 22}{10}$	$\frac{20 \sim 22}{12}$	$\frac{25 \sim 28}{14}$	$\frac{25 \sim 30}{16}$	$\frac{30 \sim 35}{18}$
		$\frac{18 \sim 25}{10}$	$\frac{20 \sim 30}{11}$	$\frac{22 \sim 40}{12}$	$\frac{25 \sim 40}{14}$	$\frac{25 \sim 50}{16}$	$\frac{25 \sim 30}{14}$	$\frac{25 \sim 30}{16}$	$\frac{30 \sim 38}{16}$	$\frac{32 \sim 40}{20}$	$\frac{38 \sim 45}{25}$
							$\frac{32 \sim 75}{18}$	$\frac{32 \sim 90}{22}$	$\frac{40 \sim 120}{26}$	$\frac{45 \sim 120}{30}$	$\frac{50 \sim 120}{34}$
									$\frac{130}{32}$	$\frac{130 \sim 180}{36}$	$\frac{130 \sim 180}{40}$
l 范围 公称		12 ~ 25	14 ~ 30	16 ~ 40	16 ~ 40	16 ~ 50	20 ~ 75	20 ~ 90	25 ~ 130	25 ~ 180	30 ~ 180
l 系列 公称		12, (14), 16, (18), 20, (22), 25, (28), 30, (32), 35, (38), 40, 45, 50, 55, 60									
材料/力学性能等级		钢/4.8、5.8、6.8、8.8、10.9、12.9,									

- 注: 1. GB/T 898—1988 $d = M5 \sim M20$ 为商品规格, 其余均为通用规格。
2. 尽可能不采用括号内的规格。
3. $b_m = d$ 时, 一般用于钢对钢; $b_m = (1.25 \sim 1.5)d$ 时, 一般用于钢对铸铁; $b_m = 2d$ 时, 一般用于钢对铝合金。

双头螺柱— $b_m = 1.5d$ (摘自 GB/T 899—1988), 双头螺柱— $b_m = 2d$ (摘自 GB/T 900—1988)



不经表面处理 A 型、 $b_m = 1d$ 的双头螺柱: 螺柱 GB/T 897—1988 AM10 $\times 1 \times 50$

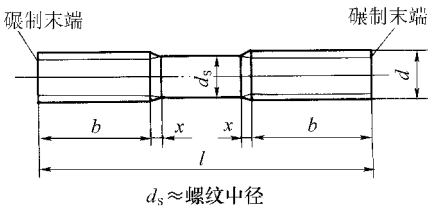
镀锌钝化、B 型、 $b_m = 1d$ 的双头螺柱: 螺柱 GB/T 897—1988 GM10—M10 $\times 50$ —8. 8—Zn $\cdot$ D

M16	(M18)	M20	(M22)	(M24)	(M27)	(M30)	(M33)	M36	(M39)	M42	M48
16	18	20	22	24	27	30	33	36	39	42	48
20	22	25	28	30	35	38	41	45	49	52	60
24	27	30	33	36	40	45	49	54	58	63	72
32	36	40	44	48	54	60	66	72	78	84	96
$\frac{30 \sim 38}{20}$	$\frac{35 \sim 40}{22}$	$\frac{35 \sim 40}{25}$	$\frac{40 \sim 45}{30}$	$\frac{45 \sim 50}{30}$	$\frac{50 \sim 60}{35}$	$\frac{60 \sim 65}{40}$	$\frac{65 \sim 70}{45}$	$\frac{65 \sim 70}{45}$	$\frac{70 \sim 80}{50}$	$\frac{70 \sim 80}{50}$	$\frac{80 \sim 90}{60}$
$\frac{40 \sim 55}{30}$	$\frac{45 \sim 60}{35}$	$\frac{45 \sim 60}{35}$	$\frac{50 \sim 70}{40}$	$\frac{55 \sim 75}{45}$	$\frac{65 \sim 85}{50}$	$\frac{70 \sim 90}{50}$	$\frac{75 \sim 95}{60}$	$\frac{80 \sim 110}{60}$	$\frac{85 \sim 110}{65}$	$\frac{85 \sim 110}{70}$	$\frac{95 \sim 110}{80}$
$\frac{60 \sim 120}{38}$	$\frac{65 \sim 120}{42}$	$\frac{70 \sim 120}{46}$	$\frac{75 \sim 120}{50}$	$\frac{80 \sim 120}{54}$	$\frac{90 \sim 120}{60}$	$\frac{95 \sim 120}{66}$	$\frac{100 \sim 120}{72}$	$\frac{120}{78}$	$\frac{120}{84}$	$\frac{120}{90}$	$\frac{120}{102}$
$\frac{130 \sim 200}{44}$	$\frac{130 \sim 200}{48}$	$\frac{130 \sim 200}{52}$	$\frac{130 \sim 200}{56}$	$\frac{130 \sim 200}{60}$	$\frac{130 \sim 200}{66}$	$\frac{130 \sim 200}{72}$	$\frac{130 \sim 200}{78}$	$\frac{130 \sim 200}{84}$	$\frac{130 \sim 200}{90}$	$\frac{130 \sim 200}{96}$	$\frac{130 \sim 200}{108}$
						$\frac{210 \sim 250}{85}$	$\frac{210 \sim 300}{91}$	$\frac{210 \sim 300}{97}$	$\frac{210 \sim 300}{103}$	$\frac{210 \sim 300}{109}$	$\frac{210 \sim 300}{121}$
30 ~ 200	35 ~ 200	35 ~ 200	40 ~ 200	45 ~ 200	50 ~ 200	60 ~ 250	65 ~ 300	65 ~ 300	70 ~ 300	70 ~ 300	80 ~ 300

(65), 70, 75, 80, (85), 90, (95), 100 ~ 260 (10 进位), 280, 300

不锈钢/A₂-50、A₂-70

表 3.1-82 等长双头螺柱—B 级(摘自 GB/T 901—1988)



标记示例:

螺栓规格 $d = 12\text{mm}$ 、长度 $l = 100\text{mm}$ 、机械性能为 4.8 级,不经表面处理的等长双头螺柱的标记:

螺柱 GB/T 901—1988 M12 × 100

(mm)

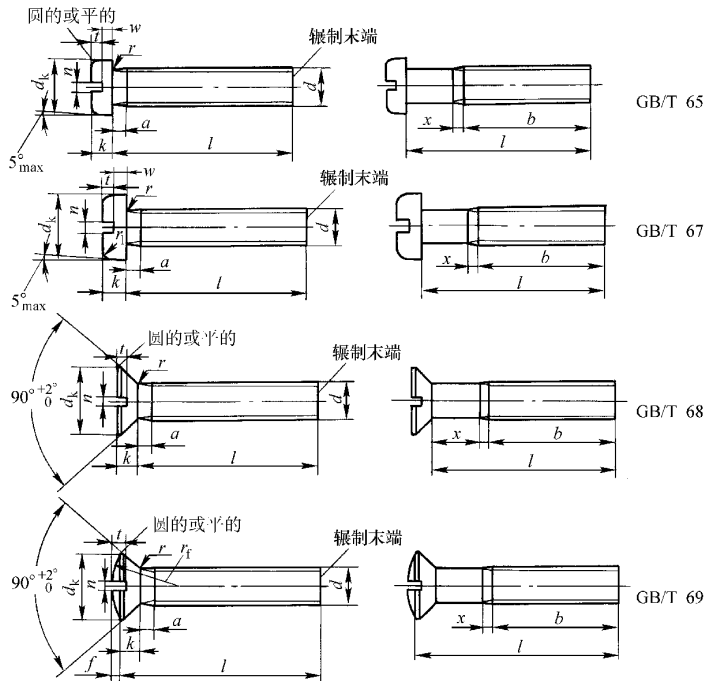
螺纹规格 d		M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	(M33)	M36	(M39)	M42	M48	M56
b		10	11	12	14	16	18	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	78	84	89	96	108	124
$x_{\max}$		1.5P(螺距)																						
l 范围	商品规格	10 ~ 60	10 ~ 80	12 ~ 250	16 ~ 300	20 ~ 300	25 ~ 300	32 ~ 300	40 ~ 300	50 ~ 300	60 ~ 300	60 ~ 300	60 ~ 300	70 ~ 300	80 ~ 300	90 ~ 300	100 ~ 300	120 ~ 300	—		—		—	
	通用规格																		140 ~ 400	140 ~ 500	140 ~ 500	150 ~ 500	190 ~ 500	
l 系列公称		10,12,(14),16,(18),20,(22),25,(28),30,(32),35,(38),40,45,50,(55),60,(65),70,(75),80,(85),90,(95),100~200(10进位),(210),220,(230),(240),250,(260),280,300,320,350,380,400,420,450,480,500																						
技术条件	材料	钢					不锈钢					普通螺纹公差:6g							公差产品等级:B					
	机械性能等级	4.8、5.8、6.8、8.8、10.9、12.9					A2-50、A2-70																	
	表面处理	不经处理;镀锌钝化																						

- 注:1. 括号内的尺寸,尽可能不采用。
2. 末端按 GB2—1985 规定。
3. 当 $l \leq 50\text{mm}$ 或 $l \leq 2b$ 时,允许螺栓上全部制出螺纹。但当 $l \leq 2b$ 时,亦允许制出长度不大于 $4P$ (粗牙螺纹螺距)的无螺纹部分。
4. 根据使用要求,经供需双方协议,可采用 30Cr、40Cr、30CrMnSi、35CrMoA、40MnA 及 40B 等材料制造。

2.5.2 螺钉 (表 3.1-83 ~ 表 3.1-91)

表 3.1-83 开槽圆柱头螺钉 (摘自 GB/T 65—2000)、开槽盘头螺钉
(摘自 GB/T 67—2008)、开槽沉头螺钉 (摘自 GB/T 68—2000)、
开槽半沉头螺钉 (摘自 GB/T 68—2000)

(mm)



标记示例:

螺纹规格 $d = M5$ 、公称长度 $l = 20\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、不经表面处理的开槽圆柱头螺钉: 螺钉 GB/T 65—2000 M5 × 20

螺纹规格 $d = M5$ 、公称长度 $l = 20\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、不经表面处理的开槽盘头螺钉: 螺钉 GB/T 67—2008 M5 × 20

螺纹规格 $d = M5$ 、公称长度 $l = 20\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、不经表面处理的开槽沉头螺钉: 螺钉 GB/T 68—2000 M5 × 20

螺纹规格 $d = M5$ 、公称长度 $l = 20\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、不经表面处理的开槽半沉头螺钉: 螺钉 GB/T 69—2000 M5 × 20

无螺纹部分杆径 $\approx$ 中径或螺纹大径

螺纹规格 d		M1.6	M2	M2.5	M3	(M3.5)	M4	M5	M6	M8	M10
P		0.35	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.25	1.5
a max		0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.4	1.6	2	2.5	3
b min		25				38					
n 公称		0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2		1.6	2	2.5
GB/T 65 —2000	d_k max	3	3.8	4.5	5.5	6	7	8.5	10	13	16
	k max	1.1	1.4	1.8	2	2.4	2.6	3.3	3.9	5	6
	t min	0.45	0.6	0.7	0.85	1	1.1	1.3	1.6	2	2.4
	r max	0.1					0.2		0.25	0.4	
	l 范围 公称	2 ~ 16	3 ~ 20	3 ~ 25	4 ~ 30	5 ~ 35	5 ~ 40	6 ~ 50	8 ~ 60	10 ~ 80	12 ~ 80
	全螺纹时最大长度	30				40					
GB/T 67 —2000	d_k max	3.2	4	5	5.6	7	8	9.5	12	16	20
	k max	1	1.3	1.5	1.8	2.1	2.4	3	3.6	4.8	6
	t min	0.35	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.2	1.4	1.9	2.4
	r min	0.1					0.2		0.25	0.4	
	r_f 参考	0.5	0.6	0.8	0.9	1	1.2	1.5	1.8	2.4	3
	l 范围 公称	2 ~ 16	2.5 ~ 20	3 ~ 25	4 ~ 30	5 ~ 35	5 ~ 40	6 ~ 50	8 ~ 60	10 ~ 80	12 ~ 80
全螺纹时最大长度		30				40					

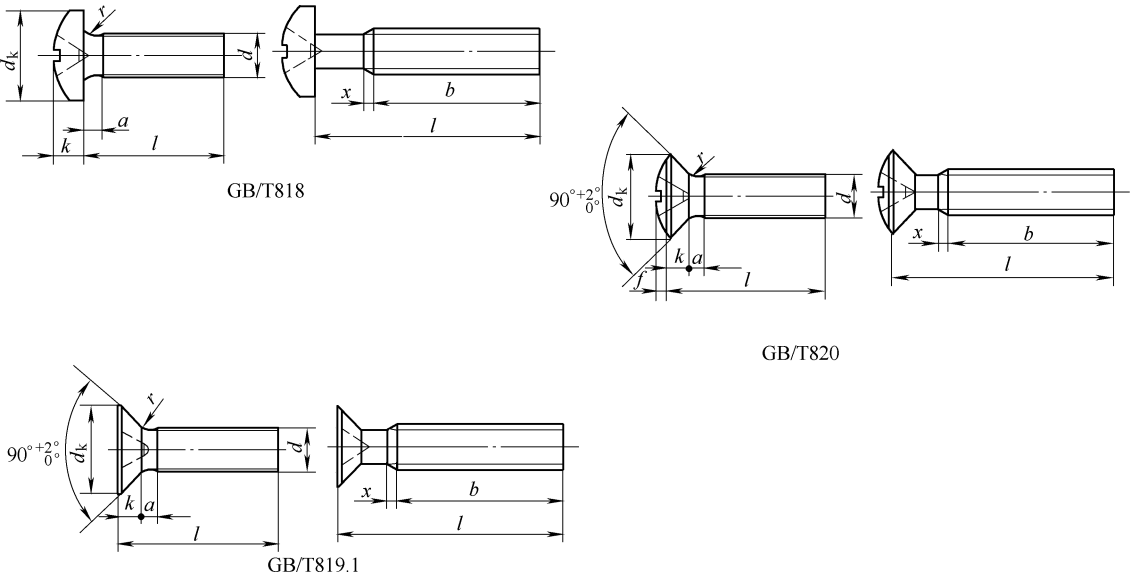
(续)

螺纹规格 d		M1. 6	M2	M2. 5	M3	(M3. 5)	M4	M5	M6	M8	M10	
GB/T 68 —2000	$d_k \text{ max}$		3	3. 8	4. 7	5. 5	7. 3	8. 4	9. 3	11. 3	15. 8	18. 3
	$k \text{ max}$		1	1. 2	1. 5	1. 65	2. 35	2. 7	2. 7	3. 3	4. 65	5
	$t \text{ min}$	GB/T—68	0. 32	0. 4	0. 5	0. 6	0. 9	1	1. 1	1. 2	1. 8	2
		GB/T—69	0. 64	0. 8	1	1. 2	1. 45	1. 6	2	2. 4	3. 2	3. 8
GB/T 69— 2000	$r \text{ max}$		0. 4	0. 5	0. 6	0. 8	0. 9	1	1. 3	1. 5	2	2. 5
	r_f		3	4	5	6	8. 5	9. 5	9. 5	12	16. 5	19. 5
	f		0. 4	0. 5	0. 6	0. 7	0. 8	1	1. 2	1. 4	2	2. 3
	l 范围 公称		2. 5 ~ 16	3 ~ 20	4 ~ 25	5 ~ 30	6 ~ 3. 5	6 ~ 40	8 ~ 50	8 ~ 60	10 ~ 80	12 ~ 80
	全螺纹时最大长度		30					45				
l 系列 公称			2、2. 5、3、4、5、6、8、10、12、(14)、16、20、25、30、35、40、45、50、(55)、60、(65)、70、(75)、80									
材料/机械性能等级				钢/4. 8、5. 8			不锈钢/ A_2 —70、 A_2 —50					

- 注：1. b 不包括螺尾。
2. 本表所列规格均为商品规格。
3. 括号内规格尽可能不采用。

表 3. 1-84 十字槽盘头螺钉 (摘自 GB/T 818—2000)、十字槽沉头螺钉 (摘自 GB/T 819. 1—2000)、十字槽半沉头螺钉 (摘自 GB/T 820—2000)

(mm)



标记示例：
螺纹规格 $d = M5$ 、公称长度 $l = 20\text{mm}$ 、性能等级为 4. 8 级、不经表面处理的 H 型十字槽盘头螺钉：螺钉 GB/T 818—2000 M5 × 20
螺纹规格 $d = M5$ 、公称长度 $l = 20\text{mm}$ 、性能等级为 4. 8 级、不经表面处理的 H 型十字槽沉头螺钉：螺钉 GB/T 819. 1—2000 M5 × 20
螺纹规格 $d = M5$ 、公称长度 $l = 20\text{mm}$ 、性能等级为 4. 8 级、不经表面处理的 H 型十字槽半沉头螺钉：螺钉 GB/T 820—2000 M5 × 20

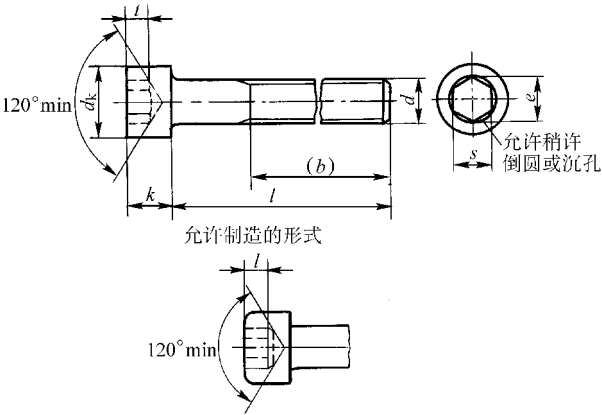
(续)

螺纹规格 d			M1. 6	M2	M2. 5	M3	(M3. 5)	M4	M5	M6	M8	M10
P			0. 35	0. 4	0. 45	0. 5	0. 6	0. 7	0. 8	1	1. 25	1. 5
$a_{\max}$			0. 7	0. 8	0. 9	1	1. 2	1. 4	1. 6	2	2. 5	3
$b_{\min}$			25	25	25	25	38	38	38	38	38	38
$x_{\max}$			0. 9	1	1. 1	1. 25	1. 5	1. 75	2	2. 5	3. 2	3. 8
GB/T 819. 1 —2000 GB/T 820 —2000	$d_k_{\max}$		3	3. 8	4. 7	5. 5	7. 5	8. 4	9. 3	11. 3	15. 8	18. 3
	f		0. 4	0. 5	0. 6	0. 7	0. 8	1	1. 2	1. 4	2	2. 3
	$k_{\max}$		1	1. 2	1. 5	1. 65	2. 35	2. 7	2. 7	3. 3	4. 65	5
	$r_{\max}$		0. 4	0. 5	0. 6	0. 8	0. 9	1	1. 3	1. 5	2	2. 5
	l 范围	商品规格	3 ~ 16	3 ~ 20	3 ~ 25	4 ~ 30	5 ~ 35	5 ~ 40	6 ~ 50	8 ~ 60	10 ~ 60	12 ~ 60
	全螺纹时最大长度		30					45				
GB/T 818 —2000	$d_k_{\max}$		3. 2	4	5	5. 6	7	8	9. 5	12	16	20
	$k_{\max}$		1. 3	1. 6	2. 1	2. 4	2. 6	3. 1	3. 7	4. 6	6	7. 5
	$r_{\min}$		0. 1	0. 1	0. 1	0. 1	0. 1	0. 2	0. 2	0. 25	0. 4	0. 4
	$x_{\max}$		0. 9	1	1. 1	1. 25	1. 5	1. 75	2	2. 5	3. 2	3. 8
	l 范围	商品规格	3 ~ 16	3 ~ 20	3 ~ 25	4 ~ 30	5 ~ 35	5 ~ 40	6 ~ 45	8 ~ 60	10 ~ 60	12 ~ 60
	全螺纹时最大长度		25					40				
l 系列 公称			3、4、5、6、8、10、12、(14)、16、20、25、30、35、40、45、50、(55)、60									
技术条件			材料		钢		不锈钢		螺纹公差: 6g		GB 819. 1—2000 没有不锈钢材料	
			机械性能等级		4. 8		A2-70, A2-50					
			表面处理		不经处理; 镀锌钝化		不经处理		公差产品 等级: A			

注：尽可能不采用括号内规格。

表 3.1-85 内六角圆柱头螺钉（摘自 GB/T 70.1—2008）

(mm)



标记示例：

螺纹规格 $d = M5$ 、公称长度 $l = 20\text{mm}$ 、性能等级为 8.8 级、表面氧化的内六角圆柱头螺钉标记为：

螺钉 GB/T 70.1—2008 M5 × 20

(续)

螺纹规格 d		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
b	参考	15	16	17	18	20	22	24	28	32	36
d_k	光滑	3	3.8	4.5	5.5	7	8.5	10	13	16	18
	滚花	3.14	3.98	4.68	5.68	7.22	8.72	10.22	13.27	16.27	18.27
k	max	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
e	min	1.73		2.3	2.87	3.44	4.58	5.72	6.86	9.15	11.43
s	公称	1.5		2	2.5	3	4	5	6	8	10
t	min	0.7	1	1.1	1.3	2	2.5	3	4	5	6
$l^{①}$	长度范围	2.5 ~ 16	3 ~ 20	4 ~ 25	5 ~ 30	6 ~ 40	8 ~ 50	10 ~ 60	12 ~ 80	16 ~ 100	20 ~ 120
性能等级	钢	$d < 3$; 按协议; $3\text{mm} \leq d \leq 39\text{mm}$; 8, 8, 10, 9, 12, 9; $d > 39$; 按协议									
	不锈钢	$d \leq 24\text{mm}$; A2-70, A4-70; $24\text{mm} < d \leq 39\text{mm}$; A2-50, A4-50; $d > 39\text{mm}$; 按协议									
表面处理	钢	1) 氧化 2) 镀锌钝化									
	不锈钢	不经处理									
螺纹规格 d		(M14)	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64
b	参考	40	44	52	60	72	84	96	108	124	140
d_k	光滑	21	24	30	36	45	54	63	72	84	96
	滚花	21.33	24.33	30.33	36.39	45.39	54.46	63.46	72.46	84.54	96.54
k	max	14	16	20	24	30	36	42	48	56	64
e	min	13.72	16.00	19.44	21.73	25.15	30.85	36.57	41.13	46.83	52.53
s	公称	12	14	17	19	22	27	32	36	41	46
t	min	7	8	10	12	15.5	19	24	28	34	38
$l^{①}$	长度范围	25 ~ 140	25 ~ 160	30 ~ 200	40 ~ 200	45 ~ 200	55 ~ 200	60 ~ 300	70 ~ 300	80 ~ 300	90 ~ 300
性能等级	钢	$d < 3$; 按协议; $3\text{mm} \leq d \leq 39\text{mm}$; 8, 8, 10, 9, 12, 9; $d > 39$; 按协议									
	不锈钢	$d \leq 24\text{mm}$; A2-70, A4-70; $24\text{mm} < d \leq 39\text{mm}$; A2-50, A4-50; $d > 39\text{mm}$; 按协议									
表面处理	钢	1) 氧化 2) 镀锌钝化									
	不锈钢	简单处理									

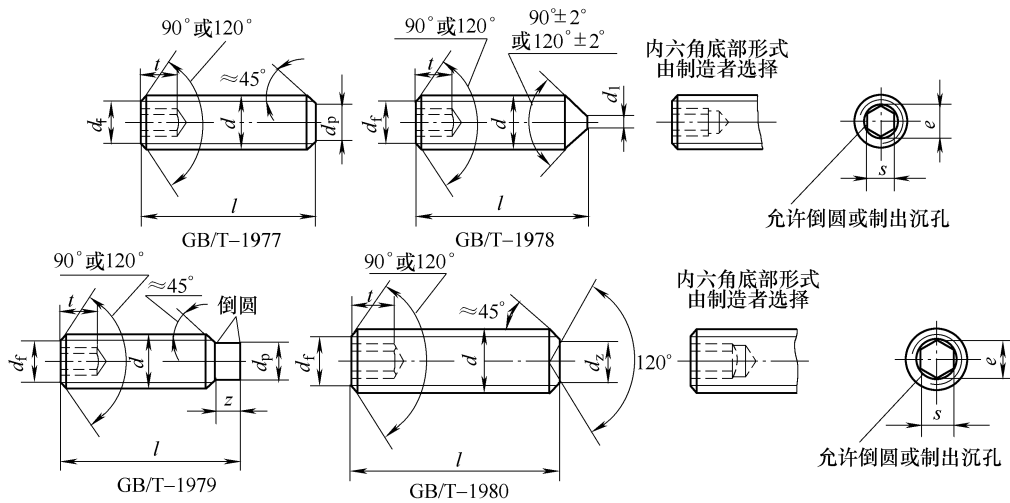
注: 1. 尽可能不采用括号内规格。

2. 螺纹公差: 12.9级: 5g6g; 其他等级: 6g。

3. 产品等级: A级。

① 长度系列 (单位为 mm) 2.5, 3, 4, 5, 6 ~ 12 (2 进位), 16, 20 ~ 70 (5 进位), 80 ~ 160 (10 进位), 180 ~ 300 (20 进位)。

表 3.1-86 内六角平端紧定螺钉 (摘自 GB/T 77—2007)、内六角锥端紧定螺钉 (摘自 GB/T 78—2007)、内六角圆柱端紧定螺钉 (摘自 GB/T 79—2007)、内六角凹端紧定螺钉 (摘自 GB/T 80—2007)



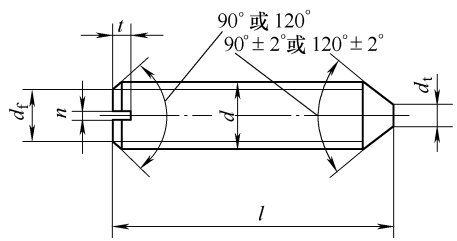
标记示例：
螺纹规格 $d = M6$ 、公称长度 $l = 12\text{mm}$ 、性能等级为 45H、表面氧化的内六角平端紧定螺钉：螺钉 GB/T 77—2007 M6 × 12
螺纹规格 $d = M6$ 、公称长度 $l = 12\text{mm}$ 、性能等级为 45H、表面氧化的内六角锥端紧定螺钉：螺钉 GB/T 78—2007 M6 × 12
螺纹规格 $d = M6$ 、公称长度 $l = 12\text{mm}$ 、性能等级为 45H、表面氧化的内六角圆柱端紧定螺钉：螺钉 GB/T 79—2007 M6 × 12
螺纹规格 $d = M6$ 、公称长度 $l = 12\text{mm}$ 、性能等级为 45H、表面氧化的内六角凹端紧定螺钉：螺钉 GB/T 80—2007 M6 × 12

螺纹规格		d	M1. 6	M2	M2. 5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	
d_b		max	0. 8	1. 0	1. 5	2. 0	2. 5	3. 5	4. 0	5. 5	7. 0	8. 5	12. 0	15. 0	18. 0	
d_f		≈	≈ 螺纹小径													
e		min	0. 809	1. 011	1. 454	1. 733	2. 303	2. 873	3. 443	4. 583	5. 723	6. 863	9. 149	11. 429	13. 716	
s		公称	0. 7	0. 9	1. 3	1. 5	2. 0	2. 5	3. 0	4. 0	5. 0	6. 0	8. 0	10. 0	12. 0	
t		min	①	0. 7	0. 8	1. 2		1. 5	2. 0		3. 0	4. 0	4. 8	6. 4	8. 0	10. 0
		②	1. 5	1. 7	2. 0		2. 5	3. 0	3. 5	5. 0	6. 0	8. 0	10. 0	12. 0	15. 0	
z	max	短圆柱端	0. 65	0. 75	0. 88	1. 0	1. 25	1. 5	1. 75	2. 25	2. 75	3. 25	4. 3	5. 3	6. 3	
		长圆柱端	1. 05	1. 25	1. 5	1. 75	2. 25	2. 75	3. 25	4. 3	5. 3	6. 3	8. 36	10. 36	12. 43	
	min	短圆柱端	0. 4	0. 5	0. 63	0. 75	1. 0	1. 25	1. 5	2. 0	2. 5	3. 0	4. 0	5. 0	6. 0	
		长圆柱端	0. 8	1. 0	1. 25	1. 5	2. 0	2. 5	3. 0	4. 0	5. 0	6. 0	8. 0	10. 0	12. 0	
d_z		max	0. 8	1. 0	1. 2	1. 4	2. 0	2. 5	3. 0	5. 0	6. 0	8. 0	10. 0	14. 0	16. 0	
d_t		max	0						1. 5	2. 0	2. 5	3. 0	4. 0	5. 0	6. 0	
$l^{③}$		长度范围	GB/T77	2 ~ 8	2 ~ 10	2. 5 ~ 12	3 ~ 16	4 ~ 20	5 ~ 25	6 ~ 30	8 ~ 40	10 ~ 50	12 ~ 60	16 ~ 60	20 ~ 60	25 ~ 60
			GB/T78	2 ~ 8	2 ~ 10	2. 5 ~ 12	3 ~ 16	4 ~ 20	5 ~ 25	6 ~ 30	8 ~ 40	10 ~ 50	10 ~ 60	16 ~ 60	20 ~ 60	25 ~ 60
			GB/T79	2 ~ 8	2. 5 ~ 10	3 ~ 12	4 ~ 16	5 ~ 20	6 ~ 25	8 ~ 30	8 ~ 40	10 ~ 50	12 ~ 60	16 ~ 60	20 ~ 60	25 ~ 60
			GB/T80	2 ~ 8	2 ~ 10	2. 5 ~ 12	3 ~ 16	4 ~ 20	5 ~ 25	6 ~ 30	8 ~ 40	10 ~ 50	12 ~ 60	16 ~ 60	20 ~ 60	25 ~ 60
性能等级	钢	45H														
	不锈钢	A1、A2														
	有色金属	Cu2、Cu3、Al4														
表面处理	钢	1) 氧化 2) 镀锌钝化														
	不锈钢	简单处理														
	有色金属	简单处理														

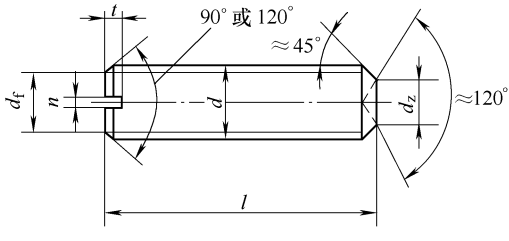
注：1. 螺纹公差：6g。产品等级：A。
① 短螺钉的最小扳手啮合深度；
② 长螺钉的最小扳手啮合深度；
③ 长度系列（单位为 mm）为 2，2.5，3，4，5，6 ~ 12（2 进位），（14），16，20 ~ 50（5 进位），（55），60。

表 3.1-87 开槽锥端紧定螺钉 (摘自 GB/T 71—1985)、开槽平端紧定螺钉 (摘自 GB/T 73—1985)、开槽凹端紧定螺钉 (摘自 GB/T 74—1985)、开槽长圆柱端紧定螺钉 (摘自 GB/T 75—1985)

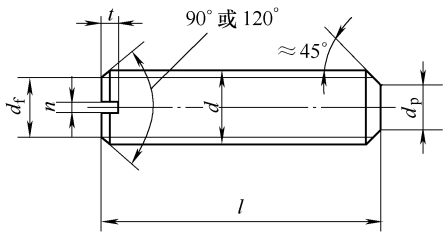
(mm)



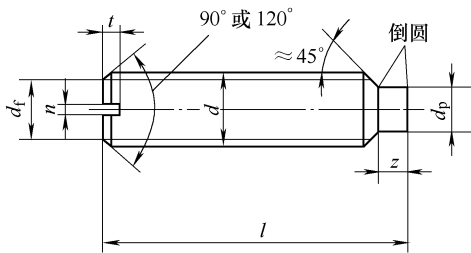
GB/T71



GB/T74



GB/T73



GB/T75

标记示例:

螺纹规格 $d = M5$ 、公称长度 $l = 12\text{mm}$ 、性能等级为 14H 级、表面氧化的开槽平端紧定螺钉的标记:

螺钉 GB/T 73—1985 M5 $\times$ 12

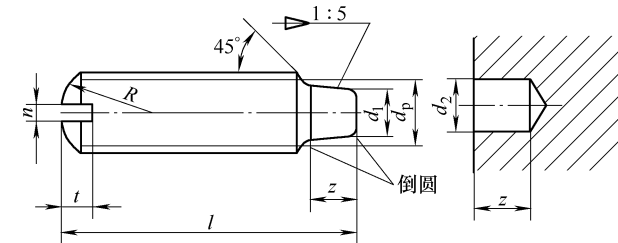
螺纹规格 d		M1.2	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
d_t	max	= 螺纹小径										
d_p	max	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.5	4.0	5.5	7.0	8.5
n	公称	0.2	0.25		0.4		0.6	0.8	1	1.2	1.6	2
t	max	0.52	0.74	0.84	0.95	1.05	1.42	1.63	2	2.5	3	3.6
	min	0.4	0.56	0.64	0.72	0.8	1.12	1.28	1.6	2	2.4	2.8
d_t	max	0.12	0.16	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	1.5	2	2.5	3
z	max	—	1.05	1.25	1.5	1.75	2.25	2.75	3.25	4.3	5.3	6.3
d_z	max	—	0.8	1	1.2	1.4	2	2.5	3	5	6	8
长度范围 ^①	GB/T71	2 ~ 6	2 ~ 8	3 ~ 10	3 ~ 12	4 ~ 16	6 ~ 20	8 ~ 25	8 ~ 30	10 ~ 40	12 ~ 50	14 ~ 60
	GB/T73	2 ~ 6	2 ~ 8	2 ~ 10	2.5 ~ 12	3 ~ 6	4 ~ 20	5 ~ 25	6 ~ 30	8 ~ 40	10 ~ 50	12 ~ 60
	GB/T74	—	2 ~ 8	2.5 ~ 10	3 ~ 12	3 ~ 16	4 ~ 20	5 ~ 25	6 ~ 30	8 ~ 40	10 ~ 50	12 ~ 60
	GB/T75	—	2.5 ~ 8	3 ~ 10	4 ~ 12	5 ~ 16	6 ~ 20	8 ~ 25	8 ~ 30	10 ~ 40	12 ~ 50	14 ~ 60
性能等级	钢	14H、22H										
	不锈钢	A1-50										
表面处理	钢	1) 氧化 2) 镀锌钝化										
	不锈钢	不经处理										

注: 1. 螺纹公差: 6g。

2. 产品等级: A 级。

① 长度系列 (单位为 mm) 为 2, 2.5, 3, 4, 5, 6 ~ 12 (2 进位), (14), 16, 20 ~ 50 (5 进位), (55), 60。

表 3.1-88 开槽锥端定位螺钉 (摘自 GB/T 72—1988) (mm)

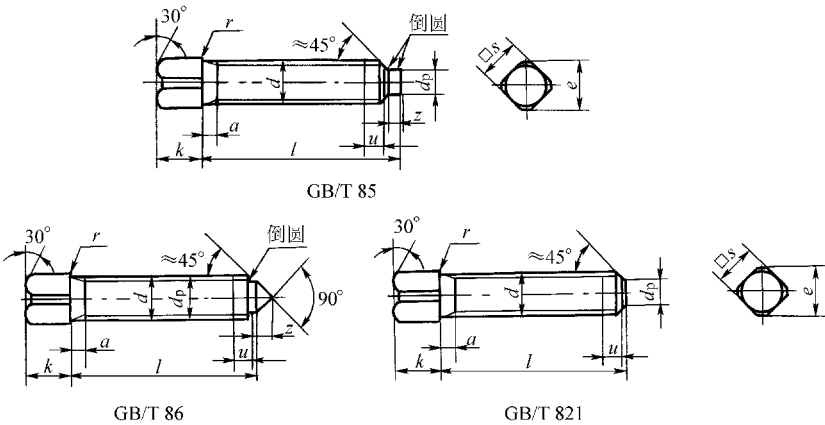


标记示例：
螺纹规格 $d = M10$ 、公称长度 $l = 20\text{mm}$ ，性能等级为 14H 级、不经表面处理的开槽锥端定位螺钉：
螺钉 GB/T 72—1988 M10 × 20

螺纹规格 d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
d_p max	2	2.5	3.5	4	5.5	7	8.5
n 公称	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0
t max	1.05	1.42	1.63	2	2.5	3	3.6
$d_1 \approx$	1.7	2.1	2.5	3.4	4.7	6	7.3
z	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
$R \approx$	3	4.0	5	6	8	10	12
d_2 (推荐)	1.8	2.2	2.6	3.5	5	6.5	8.0
l 范围	4 ~ 16	4 ~ 20	5 ~ 20	6 ~ 25	8 ~ 35	10 ~ 45	12 ~ 50
l 系列 公称	4, 5, 6, 8, 10, 12, (14), 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50						
材料/机械性能等级	钢/14H、33H			不锈钢/A1-50、C4-50			

注：1. 括号内尺寸尽可能不采用。
2. l 尺寸范围为通用规格。
3. 螺纹公差：6g。
4. 公差等级：A 级。
5. 表面处理：对于钢：①不经处理 ②氧化 ③镀锌钝化；对于不锈钢：不经处理。

表 3.1-89 方头长圆柱端紧定螺钉 (摘自 GB/T85—1988)、方头短圆柱锥端紧定螺钉 (摘自 GB/T 86—1988)、方头倒角端紧定螺钉 (摘自 GB/T821—1988) (mm)



标记示例：
螺纹规格 $d = M10$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、性能等级为 33H、表面氧化的方头长圆柱端紧定螺钉：
螺钉 GB/T 85—1988 M10 × 30
螺纹规格 $d = M10$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、性能等级为 33H、表面氧化的方头短圆柱锥端紧定螺钉：
螺钉 GB/T 86—1988 M10 × 30

u (不完整螺纹的长度) $\leq 2P$ $a \leq 4P$

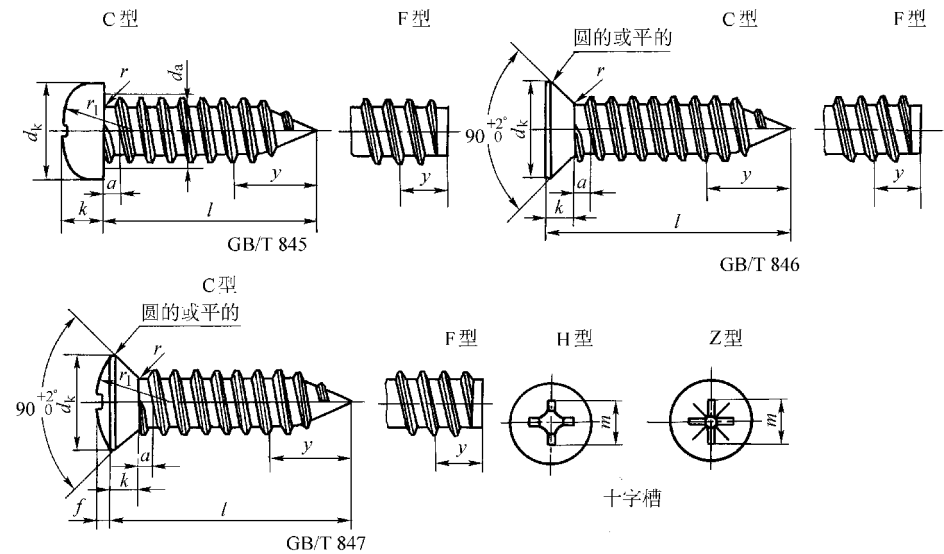
(续)

螺纹规格 d		M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	
$d_p \text{ max}$		3. 5	4	5. 5	7	8. 5	12	15	
$l \text{ min}$		6	7. 3	9. 7	12. 2	14. 7	20. 9	27. 1	
k 公称		5	6	7	8	10	14	18	
$r \text{ min}$		0. 2	0. 25	0. 4	0. 4	0. 6	0. 6	0. 8	
s 公称		5	6	8	10	12	17	22	
$z \text{ min}$	GB85—1988	2. 5	3	4	5	6	8	10	
	GB86—1988	3. 5	4	5	6	7	9	11	
l 范围	GB85—1988	12 ~ 30	12 ~ 30	14 ~ 40	20 ~ 50	25 ~ 60	25 ~ 80	40 ~ 100	
	GB86—1988								
	GB821—1988	8 ~ 30	8 ~ 30	10 ~ 40	12 ~ 50	14 ~ 60	20 ~ 80	40 ~ 100	
l 系列 公称		8, 10, 12, (14), 16, 20, 25 ~ 50 (5 进位), (55), 60 ~ 100 (10 进位)							
技术条件		材料		钢		不锈钢			
		机械性能等级		33H、45H		A1-50、C4-50			
		螺纹公差		45H 级为 5g、6g; 33H 级为 6g		6g			
		公差产品等级		A					
		表面处理		氧化; 镀锌钝化			不经处理		

注: 1. 尽可能不采用括号内规格。

2. l 范围均为通用规格。

表 3.1-90 十字槽盘头自攻螺钉 (摘自 GB/T 845—1985)、十字槽沉头自攻螺钉 (摘自 GB/T 846—1985) 和十字槽半沉头自攻螺钉 (摘自 GB/T 847—1985) (mm)



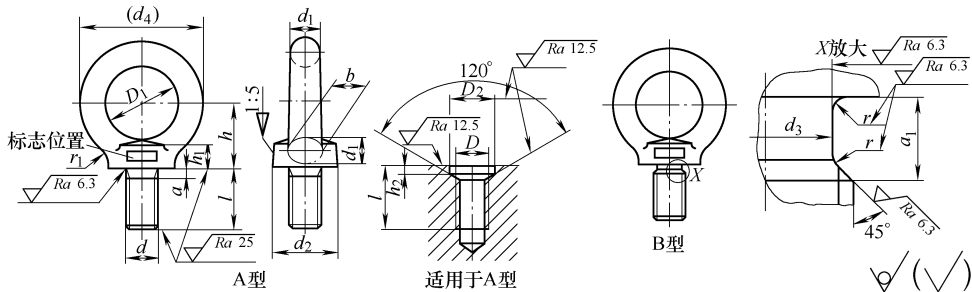
标记示例:
螺 纹 规 格
ST3.5、公称长度
 $l = 16\text{mm}$ 、H 型
槽、表面镀锌钝化
的 C 型十字槽
盘头自攻螺钉标
记为:
自攻螺钉
GB/T 845—1985
ST3.5 $\times$ 16

(续)

螺纹规格 d				ST2. 2	ST2. 9	ST3. 5	ST4. 2	ST4. 8	ST5. 5	ST6. 3	ST8	ST9. 5
螺距 P				0. 8	1. 1	1. 3	1. 4	1. 6	1. 8		2. 1	
a	max			0. 8	1. 1	1. 3	1. 4	1. 6	1. 8		2. 1	
d_k max	GB/T 845			4	5. 6	7	8	9. 5	11	12	16	20
	GB/T 846 GB/T 847			3. 8	5. 5	7. 3	8. 4	9. 3	10. 3	11. 3	15. 8	18. 3
k max	GB/T 845			1. 6	2. 4	2. 6	3. 1	3. 7	4	4. 6	6	7. 5
	GB/T 846 GB/T 847			1. 1	1. 7	2. 35	2. 6	2. 8	3	3. 15	4. 65	5. 25
y （参考）	C 型			2	2. 6	3. 2	3. 7	4. 3	5	6	7. 5	8
	F 型			1. 6	2. 1	2. 5	2. 8	3. 2	3. 6		4. 2	
十字槽槽号 No				0	1	2			3		4	
十字槽插入深度	H 型	GB/T 845 —1985	min	0. 85	1. 4		1. 9	2. 4	2. 6	3. 1	4. 15	5. 2
			max	1. 2	1. 8	1. 9	2. 4	2. 9	3. 1	3. 6	4. 7	5. 8
	Z 型		min	0. 95	1. 45	1. 5	1. 95	2. 3	2. 55	3. 05	4. 05	5. 25
			max	1. 2	1. 75	1. 9	2. 35	2. 75	3	3. 5	4. 5	5. 7
	H 型	GB/T 846 —1985	min	0. 9	1. 7	1. 9	2. 1	2. 7	2. 8	3	4	5. 1
			max	1. 2	2. 1	2. 4	2. 6	3. 2	3. 3	3. 5	4. 6	5. 7
	Z 型		min	0. 95	1. 6	1. 75	2. 05	2. 6	2. 75	3	4. 15	5. 2
			max	1. 2	2	2. 2	2. 5	3. 05	3. 2	3. 45	4. 6	5. 56
	H 型	GB/T 847 —1985	min	1. 2	1. 8	2. 25	2. 7	2. 9	2. 95	3. 5	4. 75	5. 5
			max	1. 5	2. 2	2. 75	3. 2	3. 4	3. 45	4	5. 25	6
	Z 型		min	1. 15	1. 8	2. 25	2. 65	2. 9	2. 95	3. 4	4. 75	5. 6
			max	1. 4	2. 1	2. 7	3. 1	3. 35	3. 4	3. 85	5. 2	6. 05
$l^{①}$ 长度范围		GB/T 845		4. 5 ~ 16	6. 5 ~ 19	9. 5 ~ 25	9. 5 ~ 32	9. 5 ~ 38	13 ~ 38		16 ~ 50	
		GB/T 846 GB/T 847		4. 5 ~ 16	6. 5 ~ 19	9. 5 ~ 25	9. 5 ~ 32		13 ~ 38		16 ~ 50	
螺纹规格				ST2. 2	ST2. 9	ST3. 5	ST4. 2	ST4. 8	ST5. 5	ST6. 3	ST8	ST9. 5
表面处理				镀锌钝化								

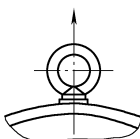
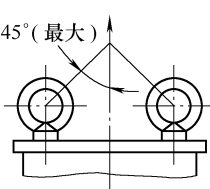
① 长度系列 (单位为 mm) 为 4. 5, 6. 5, 9. 5, 13, 16, 19, 22, 25, 32, 38, 45, 50。

表 3. 1-91 吊环螺钉 (摘自 GB/T 825—1988) (mm)



标记示例：
螺纹规格 $d = M20$ 、材料为 20 钢、经正火处理、不经表面处理的 A 型吊环螺钉标记为：
螺钉 GB/T 825—1988 M20

(续)

规格 d		M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M72 ×6	M80 ×6	M100 ×6					
d_1	max	9.1	11.1	13.1	15.2	17.4	21.4	25.7	30	34.4	40.7	44.7	51.4	63.8	71.8	79.2					
	min	7.6	9.6	11.6	13.6	15.6	19.6	23.5	27.5	31.2	37.4	41.1	46.9	58.8	66.8	73.6					
D_1	公称	20	24	28	34	40	48	56	67	80	95	112	125	140	160	200					
	min	19	23	27	32.9	38.8	46.38	54.6	65.5	78.1	92.9	109.9	122.3	137	157	196.7					
d_2	max	21.1	25.1	29.1	35.2	41.4	49.4	57.7	69	82.4	97.7	114.7	128.4	143.8	163.8	204.2					
	min	19.6	23.6	27.6	33.6	69.3	47.6	55.5	66.5	79.2	94.1	111.1	123.9	138.8	158.8	198.6					
l 公称		16	20	22	28	35	40	45	55	65	70	80	90	100	115	140					
d_4 参考		36	44	52	62	72	88	104	123	144	171	196	221	260	296	350					
h		18	22	26	31	36	44	53	63	74	87	100	115	130	150	175					
a max		2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
a_1 max		3.75	4.5	5.25	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15	16.5	18								
b		10	12	14	16	19	24	28	32	38	46	50	58	72	80	88					
d_3	公称 (max)	6	7.7	9.4	13	16.4	19.6	25	30.8	34.6	41	48.3	55.7	63.7	71.7	91.7					
	min	5.82	7.48	9.18	12.73	16.13	19.27	24.67	29.91	35.21	40.61	47.91	55.24	63.24	71.24	91.16					
D		M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M72 ×6	M80 ×6	M100 ×6					
D_2	公称 (min)	13	15	17	22	28	32	38	45	52	60	68	75	85	95	115					
	max	13.43	15.43	17.52	22.52	28.52	32.62	38.62	45.62	52.74	60.74	68.74	75.74	85.87	95.87	115.87					
h_2	公称 (min)	2.5	3	3.5	4.5	5	7	8	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14							
	max	2.9	3.4	3.98	4.98	5.48	7.58	8.58	40.08	11.2	12.2	13.2	14.2	14.7							
材料		20、25 钢																			
表面处理		一般不进行表面处理, 根据使用要求, 可进行镀锌钝化、镀铬, 电镀后应立即进行驱氢处理																			
最大起重量 (平稳起吊) /t	单螺钉起吊 (最大)						0.16	0.25	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3	8	10	16	20	25	40
	双螺钉起吊 (最小)						0.08	0.125	0.2	0.32	0.5	0.8	1.25	2	3.2	4	5	8	10	12.5	20

注: 1. M8 ~ M36 为商品规格。

2. A 型无螺纹部分的杆径 $\approx$ 螺纹中径或螺纹大径。

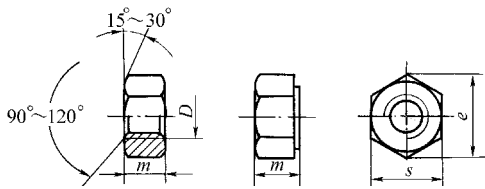
3. 吊环螺钉应进行轴向保证载荷试验, 试验后环部的变形率不得大于 0.5%。

4. 吊环螺钉应进行硬度试验, 其硬度应取 67 ~ 95HRB。

2.5.3 螺母（表 3.1-92 ~ 表 3.1-109）

表 3.1-92 A 级和 B 级粗牙（GB/T6170—2000）、细牙（GB/T6171—2000）1 型六角螺母

(mm)



标记示例:

螺纹规格 $D = M12$ 、性能等级为 8 级、不经表面处理、A 级 1 型六角螺母的标记:

螺母 GB/T6170—2000 M12

螺纹规格 (6H)	D	M1.6	M2	M2.5	M3	(M3.5)	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)
	$D \times P$	—	—	—	—	—	—	—	—	M8 × 1	M10 × 1	M12 × 1.5	(M14 × 1.5)
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	(M10 × 1.25)	(M12 × 1.25)	—
e	min	3.41	4.32	5.45	6.01	6.58	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	23
s	max	3.2	4	5	5.5	6	7	8	10	13	16	18	21
	min	3.02	3.82	4.82	5.32	5.82	6.78	7.78	9.78	12.73	15.73	17.73	20.67
m	max	1.3	1.6	2	2.4	2.8	3.2	4.7	5.2	6.8	8.4	10.8	12.8

螺纹规格 (6H)	D	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	(M33)	M36
	$D \times P$	M16 × 1.5	(M18 × 1.5)	(M20 × 2)	(M22 × 1.5)	M24 × 2	(M27 × 2)	M30 × 2	(M33 × 2)	M36 × 3
		—	—	M20 × 1.5	—	—	—	—	—	—
e	min	26.75	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	55.37	60.79
s	max	24	27	30	34	36	41	46	50	55
	min	23.67	26.16	29.16	33	35	40	45	49	53.8
m	max	14.8	15.8	18	19.4	21.5	23.8	25.6	28.7	31

螺纹规格 (6H)	D	(M39)	M42	(M45)	M48	(M52)	M56	(M60)	M64
	$D \times P$	(M39 × 3)	M42 × 3	(M45 × 3)	M48 × 3	(M52 × 4)	M56 × 4	(M60 × 4)	M64 × 4
		—	—	—	—	—	—	—	—
e	min	66.44	72.02	76.95	83.6	88.25	93.56	99.21	104.86
s	max	60	65	70	75	80	85	90	95
	min	58.8	63.1	68.1	73.1	78.1	82.8	87.8	92.8
m	max	33.4	34	36	38	42	45	48	51

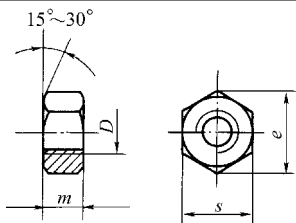
- 注:1. 括号内为非优选的规格。
2. 表面处理:钢—不经处理,镀锌钝化、氧化;不锈钢和有色金属—简单处理。
3. 性能等级见下表:

GB/T	螺纹规格 d	M1.6 ~ M2.5	M3 ~ M24	(M27) ~ (M39)	M42 ~ M64
	钢	按协议	6、8、10	6、8、10	按协议
	不锈钢	A2-70	A4-70	A2-50、A4-50	按协议
GB/T	有色金属	Cu2、Cu3、Al4			
	钢	$D \leq M36$:6、8; $D \leq M16$:10; $D > M39$:按协议			
	不锈钢	$D \leq M24$:A2-70; $M24 < D \leq M39$:A2-50、A4-50; $D > M39$:按协议			
6171	有色金属	Cu2、Cu3、Al4			

4. 产品等级: $D \leq 16\text{mm}$:A; $D > 16\text{mm}$:B。

表 3.1-93 C 级 1 型六角螺母 (摘自 GB/T41—2000)

(mm)



标记示例:

螺纹规格 $D = M12$ 、性能等级为 5 级、不经表面处理、C 级的 1 型六角螺母的标记:

螺母 GB/T41—2000 M12

螺纹规格 (7H)		D	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	
e		min	8.63	10.89	14.20	17.29	19.85	22.78	26.17	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	
s	max		8	10	13	16	18	21	24	27	30	34	36	41	
	min		7.64	9.64	12.57	15.57	17.57	20.16	23.16	26.16	29.16	33	35	40	
m		max	5.6	6.4	7.94	9.54	12.17	13.9	15.9	16.9	19.0	20.2	22.3	24.7	
性能等级	钢	5								4,5					

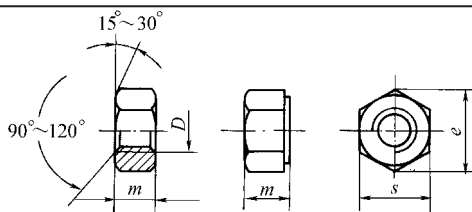
螺纹规格 (7H)		D	M30	(M33)	M36	(M39)	M42	(M45)	M48	(M52)	M56	(M60)	M64	
e		min	50.85	55.37	60.79	66.44	72.02	76.95	82.6	88.25	93.56	99.21	104.86	
s	max		46	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
	min		45	49	53.8	58.8	63.1	68.1	73.1	78.1	82.8	87.8	92.8	
m		max	26.4	29.5	31.9	34.3	34.9	36.9	38.9	42.9	45.9	48.9	52.4	
性能等级	钢	4,5					按协议							

注:1. 尽可能不采用括号内的规格。

2. 表面处理:钢—不经处理、镀锌钝化。

表 3.1-94 A 和 B 级粗牙 (摘自 GB/T6175—2000)、细牙 (GB/T6176—2000) 2 型六角螺母

(mm)



标记示例:

螺纹规格 $D = M16$ 、性能等级为 9 级、表面氧化、A 级 2 型六角螺母的标记:

螺母 GB/T6175—2000 M16

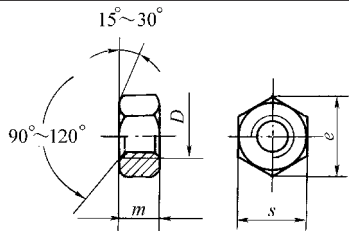
螺纹规格 (6H)	<i>D</i>	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	—
	<i>D</i> × <i>P</i>	—	—	M8 × 1	M10 × 1	M12 × 1.5	(M14 × 1.5)	M16 × 1.5	(M18 × 1.5)
		—	—	—	(M10 × 1.25)	(M12 × 1.25)	—	—	—
<i>e</i>	min	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	23.35	26.75	29.56
<i>s</i>	max	8	10	13	16	18	21	24	27.00
	min	7.78	9.78	12.73	15.73	17.73	20.67	23.67	26.16
<i>m</i>	max	5.1	5.7	7.5	9.3	12	14.1	16.4	17.6
性能等级	GB/T6175	9、12							10
	GB/T6176								
表面处理	钢	1) 氧化 2) 镀锌钝化							

螺纹规格 (6H)	<i>D</i>	M20	—	M24	—	M30	—	M36
	<i>D</i> × <i>P</i>	(M20 × 2)	(M22 × 1.5)	M24 × 2	(M27 × 2)	M30 × 2	(M33 × 2)	M36 × 3
		M20 × 1.5	—	—	—	—	—	—
<i>e</i>	min	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	55.37	60.79
<i>s</i>	max	30	34	36	41	46	50	55
	min	29.16	33	35	42	45	49	53.8
<i>m</i>	max	20.3	21.8	23.9	26.7	28.6	32.5	34.7
性能等级	GB/T6175	9、12						
	GB/T6176	10						
表面处理	钢	1) 氧化 2) 镀锌钝化						

注:1. 括号内为非优选的螺纹规格。

2. 产品等级: $D \leq 16\text{mm}$; A; $D > 16\text{mm}$; B。

表 3.1-95 A 和 B 级粗牙 (摘自 GB/T 6172.1)、细牙 (摘自 GB/T 6173—2000) 六角薄螺母



标记示例：
螺纹规格 $D = M12$ 、性能等级为 04 级、不经表面处理、A 级六角薄螺母的标记：
螺母 GB/T 6172—2000 M12

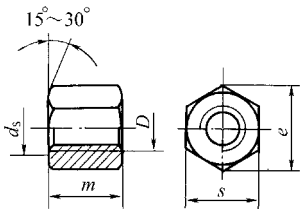
螺纹规格 (6H)	D	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16
	$D \times P$	—	—	—	—	—	—	—	M8 × 1	M10 × 1	M12 × 1.5	(M14 × 1.5)	M16 × 1.5
		—	—	—	—	—	—	—	—	(M10 × 1.25)	(M12 × 1.25)	—	—
e	min	3.41	4.32	5.45	6.01	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	23.35	26.75
	max	3.2	4	5	5.5	7	8	10	13	16	18	21	24
s	min	3.02	3.82	4.82	5.32	6.78	7.78	9.78	12.73	15.73	17.73	20.67	23.67
	max	1	1.2	1.6	1.8	2.2	2.7	3.2	4	5	6	7	8
螺纹规格 (6H)	D	(M18)			M20		(M22)		M24	(M27)	M30	(M33)	M36
	$D \times P$	(M18 × 1.5)			(M20 × 2)		(M22 × 1.5)		M24 × 2	(M27 × 2)	M30 × 2	(M33 × 2)	M36 × 3
		—			M20 × 1.5		—		—	—	—	—	—
e	min	29.56			32.95		37.29		39.55	45.2	50.85	55.37	60.79
	max	27			30		34		36	41	46	50	55
s	min	26.16			29.16		33		35	40	45	49	53.8
	max	9			10		11		12	13.5	15	16.5	18
螺纹规格 (6H)	D	(M39)			M42		(M45)		M48	(M52)	M56	(M60)	M64
	$D \times P$	(M39 × 3)			M42 × 3		(M45 × 3)		M48 × 3	(M52 × 4)	M56 × 4	(M60 × 4)	M64 × 4
		—			—		—		—	—	—	—	—
e	min	66.44			72.02		76.95		83.6	88.25	93.56	99.21	104.86
	max	60			65		70		75	80	85	90	95
s	min	58.8			63.1		68.1		73.1	78.1	82.8	87.8	92.9
	max	19.5			21		22.5		24	26	28	30	32

- 注：1. 括号内为非优选的螺纹规格。
2. 表面处理：钢—不经处理、镀锌钝化、氧化；不锈钢—不经处理。
3. 性能等级见下表：

螺纹规格 D	M1. 6 ~ M2. 5	M3 ~ M24	(M27) ~ (M39)	M42 ~ M64
钢	按协议	04、05		按协议
不锈钢	A2-035、A4-035		A2-025、A4-025	按协议
有色金属	Cu2、Cu3、Al4			

4. 产品等级： $D \leq 16\text{mm}$ ；A； $D > 16\text{mm}$ ；B。

表 3.1-96 六角厚螺母 (摘自 GB/T 56—1988) (mm)

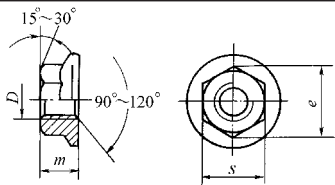


标记示例：
螺纹规格 $D = M20$ 、性能等级为 5 级、不经表面处理的六角厚螺母的标记：
螺母 GB/T 56—1988 M20

螺纹规格 (6H)	D	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M36	M42	M48
e	min	26.17	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	60.79	72.09	82.6
s	max	24	27	30	34	36	41	46	55	65	75
	min	23.16	26.16	29.16	33	35	40	45	53.8	63.1	73.1
m	max	25	28	32	35	38	42	48	55	65	75
性能等级	钢	5、8、10									
表面处理	钢	1) 不经处理 2) 氧化									

- 注：1. 尽可能不采用括号内的规格。
2. 产品等级：B 级。

表 3.1-97 六角法兰面螺母粗牙、细牙(摘自 GB/T 6177.1—2000 和 GB/T 6177.2—2000) (mm)

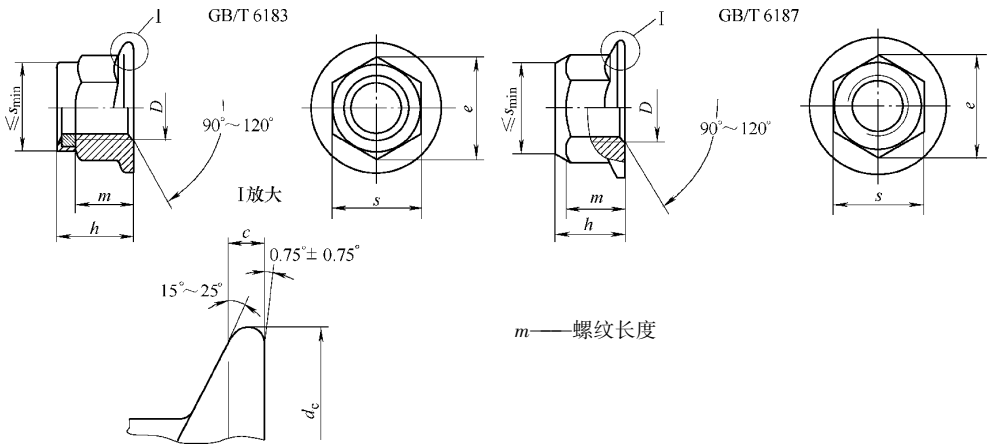


标记示例:
螺纹规格 $D = M12$ 、性能等级为 10 级、表面氧化、A 级六角法兰面螺母的标记:
螺母 GB/T6177.1

螺纹规格 (6H)	D	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	M20
	$D \times P$			M8 $\times$ 1	M10 $\times$ 1.25 (M10 $\times$ 1)	M12 $\times$ 1.25 (M12 $\times$ 1.5)	(M14 $\times$ 1.5)	M16 $\times$ 1.5	M20 $\times$ 1.5
d_e	min	11.8	14.2	17.9	21.8	26	29.9	34.5	42.8
e	min	8.79	11.05	14.38	16.64	20.03	23.36	26.75	32.95
s	max	8	10	13	15	18	21	24	30
	min	7.78	9.78	12.73	14.73	17.73	20.67	23.67	29.16
m	max	5	6	8	10	12	14	16	20
	min	4.7	5.7	7.64	9.64	11.57	13.3	15.3	18.7
性能等级	钢	8 ~ 12							
	不锈钢	A2-70							
表面处理	钢	1) 氧化 2) 不经处理 3) 镀锌钝化							

注:尽可能不采用括号内的规格; d_e —螺母法兰直径。

表 3.1-98 非金属嵌件粗牙(摘自 GB/T6183.1—2000)、细牙(摘自 GB/T6183.2—2000)和全金属粗牙(摘自 GB/T6187.1—2000)、细牙(摘自 GB/T6187.2—2000)六角法兰面锁紧螺母 (mm)

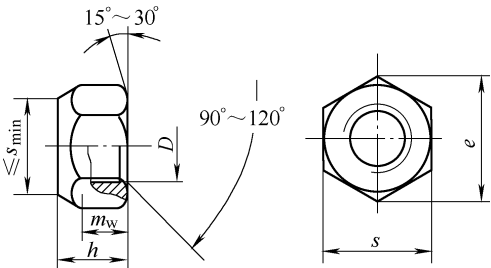


标记示例:
螺纹规格 $D \times P = M12 \times 1.5$ 、细牙螺纹、性能等级为 8 级、表面氧化、产品等级为 A 级的全金属六角法兰面锁紧螺母的标记:螺母 GB/T 6187.2

螺纹规格 (6H)	D	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	M20
	$D \times P$			M8 $\times$ 1	M10 $\times$ 1 M10 $\times$ 1.25	M12 $\times$ 1.5 M12 $\times$ 1.25	(M14 $\times$ 1.5)	M16 $\times$ 1.5	M20 $\times$ 1.5
d_e	min	11.8	14.2	17.9	21.8	26	29.9	34.5	42.8
c	min	1	1.1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3
e	min	8.79	11.05	14.38	16.64	20.03	23.36	26.75	32.95
h	GB/T6183	7.10	9.10	11.1	13.5	16.1	18.2	20.3	24.8
	GB/T6187	6.2	7.3	9.4	11.4	13.8	15.9	18.3	22.4
m	min	4.7	5.7	7.64	9.54	11.57	13.3	15.3	18.7
s	max	8	10	13	15	18	21	24	30
	min	7.78	9.78	12.73	14.73	17.73	20.67	23.67	29.16
性能等级	GB/T6183	GB/T6183.1—8、9、10 GB/T6183.2—6、8、10							
	GB/T6187	GB/T6187.1—8、9、10、12 GB/T6187.2—6、8、10							
表面处理		1) 氧化 2) 镀锌钝化							

注:尽可能不采用括号内的规格。

表 3.1-99 A 和 B 级 1 型全金属六角锁紧螺母 (摘自 GB/T6184—2000) (mm)

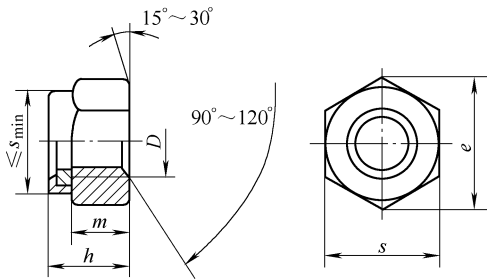


标记示例:
螺纹规格 $D = M12$ 、性能等级 8 级、表面氧化、A 级 1 型全金属六角锁紧螺母,标记为:螺母 GB/T 6184—2000 M12

螺纹规格 (6H)	D	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	M30	M36
e	min	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	23.36	26.75	29.56	32.95	37.29	39.55	50.85	60.79
s	max	8	10	13	16	18	21	24	27	30	34	36	46	55
	min	7.78	9.78	12.73	15.73	17.73	20.67	23.67	26.16	29.16	33	35	45	53.8
h	max	5.3	5.9	7.1	9	11.6	13.2	15.2	17	19	21	23	26.9	32.5
	min	4.8	5.4	6.44	8.04	10.37	12.1	14.1	15.01	16.9	18.1	20.2	24.3	29.4
m_w	min	3.52	3.92	5.15	6.43	8.3	9.68	11.28	12.08	13.52	14.5	16.16	19.44	23.52
性能等级	钢	5、8、10												
表面处理	钢	1) 氧化 2) 镀锌钝化												

注:尽可能不采用括号内的规格。

表 3.1-100 A 和 B 级 2 型非金属嵌件六角锁紧螺母 (摘自 GB/T6182—2000) (mm)



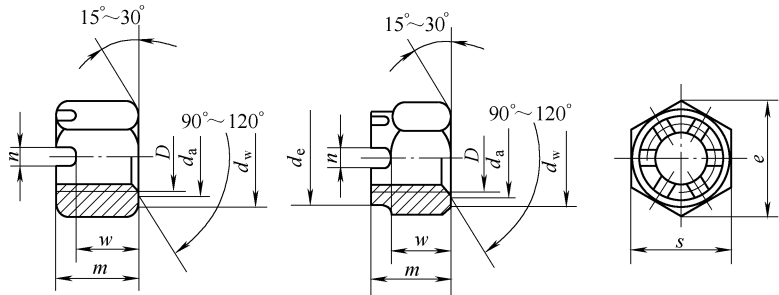
标记示例:
螺纹规格 $D = M12$ 、性能等级 9 级、表面氧化、A 级 2 型非金属嵌件六角锁紧螺母,标记为:
螺母 GB/T 6182—2000 M12

螺纹规格 (6H)		D	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	M20	M24	M30	M36
e		min	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	23.35	26.75	32.95	39.55	50.85	60.79
s	max		8	10	13	16	18	21	24	30	36	46	55
	min		7.78	9.78	12.73	15.73	17.73	20.67	23.67	29.16	35	45	53.8
h		max	7.2	8.5	10.2	12.8	16.1	18.3	20.7	25.1	29.5	35.6	42.6
m'		min	4.8	5.4	7.14	8.94	11.57	13.4	15.7	19	22.6	27.3	33.1
性能等级	钢	9、12											
表面处理	钢	1) 氧化 2) 镀锌钝化											

注:尽可能不采用括号内的规格。

表 3.1-101 1 型六角开槽螺母—A 和 B 级(摘自 GB/T 6178 —1986)、2 型六角开槽螺母—A 和 B 级(摘自 GB/T 6180—1986)、1 型六角开槽螺母—细牙—A 和 B 级(摘自 GB/T 9457—1988)、2 型六角开槽螺母—细牙—A 和 B 级(摘自 GB/T 9458—1988)、六角开槽薄螺母—A 和 B 级(摘自 GB/T 6181—1986)、六角开槽薄螺母—细牙—A 和 B 级(摘自 GB/T 9459—1988) (mm)

允许制造的形式



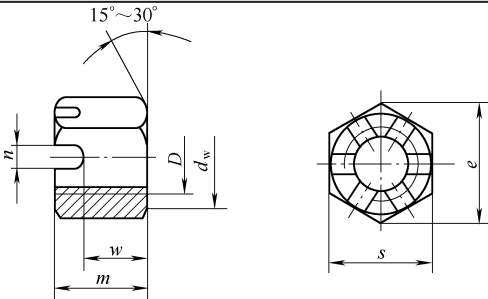
标记示例:

螺纹规格 $D = M5$ 、性能等级为 8 级,不经表面处理、A 级的 1 型六角开槽螺母为:
螺母 GB/T 6178—1986 M5
螺纹规格 $D = M5$ 、性能等级为 9 级,不经表面处理、A 级的 2 型六角开槽螺母为:
螺母 GB/T 6180—1986 M5
螺纹规格 $D = M10 \times 1$ 、性能等级 04 级,不经表面处理、A 级的六角开槽薄螺母为:
螺母 GB/T 9459—1988 M10 $\times 1$

螺纹规格	D	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	M24	M30	M36	
	$D \times P$	—	—	—	M8 ×1	M10 ×1 (M10 × 1.25)	M12 ×1.5 (M12 × 1.25)	(M14 ×1.5)	M16 ×1.5	(M18 × 1.5)	M20 ×2 (M20 × 1.5)	M24 ×2	M30 ×2	M36 ×3	
d_a min		4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24	30	36	
d_w min		5.9	6.9	8.9	11.6	14.6	16.6	19.4	22.5	24.8	27.7	33.2	42.7	51.1	
e min		7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	23.35	26.75	29.56	32.95	39.55	50.85	60.79	
n min		1.2	1.4	2	2.5	2.8	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5	5.5	7	7	
s max		7	8	10	13	16	18	21	24	27	30	36	46	55	
m max	GB 6181—1986	—	5.1	5.7	7.5	9.3	12	14.1	16.4	17.6	20.3	23.9	28.6	34.7	
	GB 9459—1988	—	—	—											
	GB 6178—1986	5	6.7	7.7	9.8	12.4	15.8	17.8	20.8	21.8	24	29.5	34.6	40	
	GB 9457—1988	—	—	—											
	GB 6180—1986	—	6.9	8.3	10.5	13.3	17	19.1	22.4	26.3	26.3	31.9	37.6	43.7	
	GB 9458—1988	—	6.9	8.3	10.5	13.3	17	19.1	21.1						
w max	GB 6181—1986	—	3.1	3.5	4.5	5.3	7	9.1	10.4	11.6	14.3	15.9	19.6	23.7	
	GB 9459—1988														
	GB 6178—1986	3.2	4.7	5.2	6.8	8.4	10.8	12.8	14.8	15.8	18	21.5	25.6	31	
	GB 9459—1988														
	GB 6180—1986	—	5.1	5.7	7.5	9.3	12	14.1	16.4	17.6	20.3	23.9	28.6	34.7	
GB 9458—1988															
d_e max	GB 6178—1986	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28	34	42	36	
	GB 6180—1986										28	34	42	36	
	GB 9457—1988	—	—	—	—	—	—	—	25	28	—	—	—		
	GB 9458—1988									25	28	—	—	—	
	GB 6181—1986	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	GB 9459—1988														
开口销		1 ×10	1.2 ×12	1.6 ×14	2 ×16	2.5 ×20	3.2 ×22	3.2 ×26	4 ×28	4 ×32	4 ×36	5 ×40	6.3 ×50	6.3 ×65	
材料及性能等级	标准号	GB/T 6178		GB/T 9457		GB/T 6180		GB/T 9458		GB/T 6181	GB/T 9459				
	材料	钢										不锈钢		钢	
	力学等级	6、8、10					9、12		8、10		A2-50	04、05			

注:尽可能不采用括号内的规格。

表 3.1-102 1 型六角开槽螺母—C 级(摘自 GB/T 6179—1986) (mm)

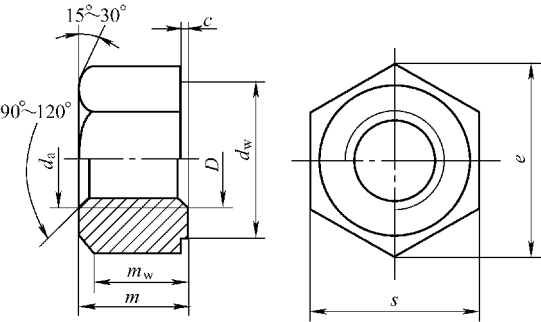


标记示例:
螺纹规格 $D = M5$, 性能等级为 5 级, 不经表面处理, C 级 1 型六角开槽螺母:
螺母 GB/T 6179—1986 M5

螺纹规格 D	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	M20	M24	M30	M36
d_w min	6.9	8.7	11.5	14.5	16.5	19.2	22	27.7	33.2	42.7	51.1
e min	8.63	10.89	14.2	17.59	19.85	22.78	26.17	32.95	39.55	50.85	60.79
m max	6.7	7.7	9.8	12.4	15.8	17.8	20.8	24	29.5	34.6	40
n min	1.4	2	2.5	2.8	3.5	3.5	4.5	4.5	5.5	7	7
s max	8	10	13	16	18	21	24	30	36	46	55
w max	4.7	5.2	6.8	8.4	10.8	12.8	14.8	18	21.5	25.6	31
开口销	1.2 × 12	1.6 × 14	2 × 16	2.5 × 20	3.2 × 22	3.2 × 25	4 × 28	4 × 36	5 × 40	6.3 × 50	6.3 × 63
材料	钢			性能等级: 4、5				螺纹公差: 7H			

注: 尽可能不采用括号内的规格。

表 3.1-103 钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副 螺母(摘自 GB/T 3632—2008) (mm)

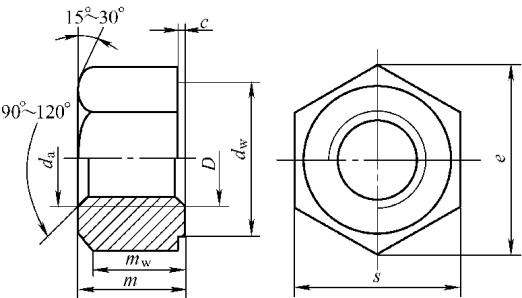


标记示例:
螺纹规格 $D = M20$, 性能等级为 10H 级、表面防锈处理的钢结构用扭剪型高强度螺母:
螺母 GB/T 3632—2008 M20

螺纹规格 D	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30
P	2	2.5	2.5	3	3	3.5
d	max	17.3	21.6	23.8	25.9	32.4
	min	16	20	22	27	30
d_w min	24.9	31.4	33.3	38.0	42.8	46.5
e min	29.56	37.29	39.55	45.20	50.85	55.37
m	max	17.1	20.7	23.6	24.2	30.7
	min	16.4	19.4	22.3	26.3	29.1
m_w min	11.5	13.6	15.6	16.0	18.4	20.4
c	max	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	min	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
s	max	27	34	36	41	50
	min	26.16	33	35	40	49
支承面对螺纹轴线的全跳动公差	0.38	0.47	0.50	0.57	0.64	0.70

注: 1. 括号内的规格为第二选择系列。
2. 推荐材料: 45 钢、35 钢、ML35 钢。

表 3.1-104 钢结构用高强度大六角螺母 (摘自 GB/T1229—2006) (mm)

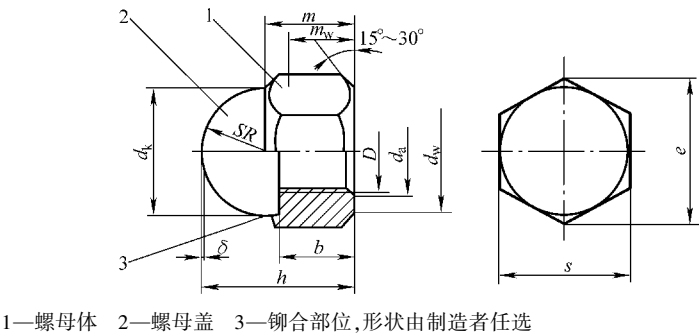


标记示例：
螺纹规格 $D = M20$ 、性能等级为 10H 级的钢结构用高强度大六角螺母的标记：
螺母 GB/T 1229
螺纹规格 $D = M20$ 、性能等级为 8H 级的钢结构用高强度大六角螺母的标记：
螺母 GB/T 1229

螺纹规格 D		N12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30
P		1. 75	2	2. 5	2. 5	3	3	3. 5
d_a	max	13	17. 3	21. 6	23. 8	25. 9	29. 1	32. 4
	min	12	16	20	22	24	27	30
d_w	min	19. 2	24. 9	31. 4	33. 3	38. 0	42. 8	46. 5
e	min	22. 78	29. 56	37. 29	39. 55	45. 20	50. 85	55. 37
m	max	12. 3	17. 1	20. 7	23. 6	24. 2	27. 6	30. 7
	min	11. 87	16. 4	19. 4	22. 3	22. 9	26. 3	29. 1
m'	min	8. 3	11. 5	13. 6	15. 6	16. 0	18. 4	20. 4
c	max	0. 8	0. 8	0. 8	0. 8	0. 8	0. 8	0. 8
	min	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4
s	max	21	27	34	36	41	46	50
	min	20. 16	26. 16	33	35	40	45	49
支承面对螺纹轴线的垂直度公差		0. 29	0. 38	0. 47	0. 50	0. 57	0. 64	0. 70
每 1000 个钢螺母的理论质量/kg		27. 68	61. 51	118. 77	146. 59	202. 67	288. 51	374. 01

注:括号内的规格为第二选择系列。

表 3.1-105 组合式盖形螺母(摘自 GB/T 802.1—2008) (mm)

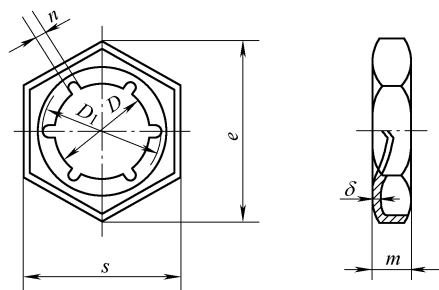


标记示例:
螺纹规格 $D = M12$ 、性能等级为 6 级、表面氧化处理的组合式盖形螺母的标记:
螺母 GB/T 802.1—2008 M12

螺纹规格 $D^{①}$	第 1 系列	M4	M5	M6	M8	M10	M12
	第 2 系列	—	—	—	M8 × 1	M10 × 1	M12 × 1.5
	第 3 系列	—	—	—	—	M10 × 1.25	M12 × 1.25
$P^{②}$		0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75
d_a	max	4.6	5.75	6.75	8.75	10.8	13
	min	4	5	6	8	10	12
d_k	≈	6.2	7.2	9.2	13	16	18
d_w	min	5.9	6.9	8.9	11.6	14.6	16.6
e	min	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03
h	max = 公称	7	9	11	15	18	22
m	≈	4.5	5.5	6.5	8	10	12
b	≈	2.5	4	5	6	8	10
m_w	min	3.6	4.4	5.2	6.4	8	9.6
SR	≈	3.2	3.6	4.6	6.5	8	9
s	公称	7	8	10	13	16	18
	min	6.78	7.78	9.78	12.73	15.73	17.73
δ	≈	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	1
螺纹规格 $D^{①}$	第 1 系列	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24
	第 2 系列	(M14 × 1.5)	M16 × 1.5	(M18 × 1.5)	M20 × 2	(M22 × 1.5)	M24 × 2
	第 3 系列	—	—	(M18 × 2)	M20 × 1.5	(M22 × 2)	—
$P^{②}$		2	2	2.5	2.5	2.5	3
d_a	max	15.1	17.3	19.5	21.6	23.7	25.9
	min	14	16	18	20	22	24
d_k	≈	20	22	25	28	30	34
d_w	min	19.6	22.5	24.9	27.7	31.4	33.3
e	min	23.35	26.75	29.56	32.95	37.29	39.55
h	max = 公称	24	26	30	35	38	40
m	≈	13	15	17	19	21	22
b	≈	11	13	14	16	18	19
m_w	min	10.4	12	13.6	15.2	16.8	17.6
SR	≈	10	11.5	12.5	14	15	17
s	公称	21	24	27	30	34	36
	min	20.67	23.67	26.16	29.16	33	35
δ	≈	1	1	1.2	1.2	1.2	1.2

① 尽可能不采用括号内的规格;按螺纹规格第 1 至第 3 系列,依次优先选用。
② P ——粗牙螺纹螺距。

表 3.1-106 扣紧螺母 (摘自 GB/T 805—1988)

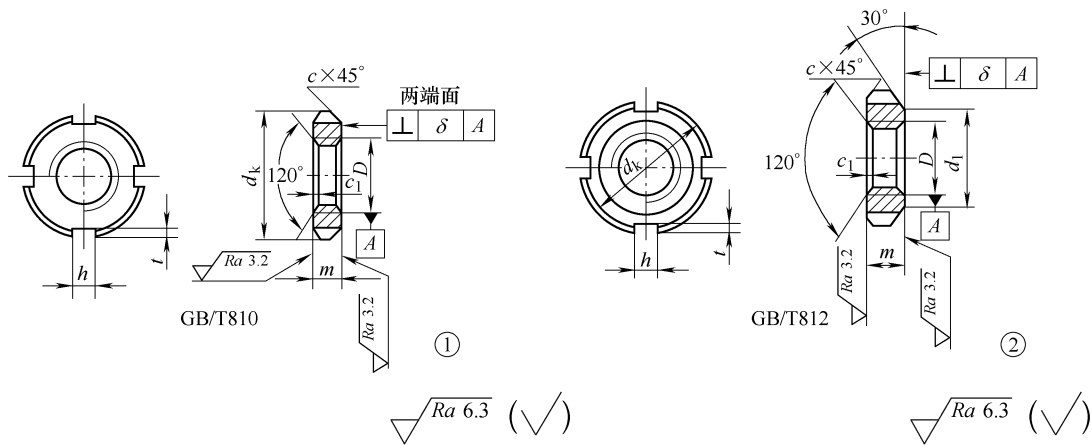


使用方法：
先用普通六角螺母将被联接件紧固，然后旋上扣紧螺母并用手拧紧，使与普通螺母接触，再用扳手紧 60° ~ 90° 即可
松开时，必再拧紧六角螺母使其与扣紧螺母间产生间隙，才能松开扣紧螺母

标记示例：
螺纹规格 $D = M12$ 、材料为 65Mn、热处理硬度 30 ~ 40HRC、表面氧化的扣紧螺母：
螺母 GB/T 805—1988 M12

螺纹规格 $D \times P$	(mm)														
	6×1	8×1.25	10×1.5	12×1.75	(14×2)	16×2	(18×2.5)	20×2.5	(22×2.5)	24×3	(27×3)	30×3.5	36×4	42×4.5	48×5
$D_{\min}$	5	6.8	8.5	10.3	12	14	15.5	17.5	19.5	21	24	26.5	32	37.5	43
s max	10	13	16	18	21	24	27	30	34	36	41	46	55	65	75
D_1	7.5	9.5	12	14	16	18	20.5	22.5	25	27	30	34	40	47	54
n	1			1.5			2			2.5			3		
e	11.5	16.2	19.6	21.9	25.4	27.7	31.2	34.6	36.9	41.6	47.3	53.1	63.5	75	86.5
m	3	4	5	5	6	6	7	7	7	9	9	9	12	12	14
δ	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8		1			1.2		1.4		1.8	
技术条件	材料:65Mn			热处理:淬火并回火 30 ~ 40HRC						表面处理:①氧化、②镀锌钝化					

注：尽可能不采用括号内规格。
表 3.1-107 小圆螺母 (摘自 GB/T 810—1988)、圆螺母 (摘自 GB/T 812—1988) (mm)



标记示例：
螺纹规格 $D = M16 \times 1.5$ 、材料为 45 钢、槽或全部热处理硬度 HRC35 ~ 45、表面氧化的小圆螺母和圆螺母标记为：
螺母 GB/T 810—1988 M16 × 1.5
螺母 GB/T 812—1988 M16 × 1.5

(续)

螺纹规格 $D \times P$	GB/T 810—1988							GB/T 812—1988							
	d_k	m	$h_{\min}$	$t_{\min}$	c	c_1	每 1000 个钢 螺母质量/kg	d_k	d_1	m	$h_{\min}$	$t_{\min}$	c	c_1	每 1000 个钢 螺母质量/kg
M10×1	20	6	4	2	0.5		12.6	22	16	8	4	2	0.5		15.6
M12×1.25	22														20.6
M14×1.5	25														25.6
M16×1.5	28														27
M18×1.5	30														29.9
M20×1.5	32														35.6
M22×1.5	35	8	5	2.5	0.5		33.8	38	30	10	5	2.5	1	0.5	53.7
M24×1.5	38														67
M25×1.5 *															64
M27×1.5	42														73.7
M30×1.5	45														80.4
M33×1.5	48														85.9
M35×1.5 *		10	6	3	1					12	6	3	1.5	1	77.5
M36×1.5	52														96.3
M39×1.5	55														103
M40×1.5 *															98.1
M42×1.5	58														117.2
M45×1.5	62														140.8
M48×1.5	68	12	8	3.5	1		141.3	72	61	15	8	3.5	1.5	1	184.8
M50×1.5 *															170.3
M52×1.5	72														218.5
M55×2 *															194.8
M56×2	78														267.8
M60×2	80														310.4
M64×2	85	15	10	4	1.5		192.3	95	84	18	10	4	1.5	1	341.6
M65×2 *															332
M68×2	90														369.3
M72×2	95														509.4
M75×2 *															461.9
M76×2	100														553.7
M80×2	105	18	12	5	1		345.4	115	103	22	14	6	1.5	1	599.6
M85×2	110														616.1
M90×2	115														786.5
M95×2	120														825.1
M100×2	125														845.2
M105×2	130														1099
M110×2	135	22	14	6	1.5		546.8	150	135	26	16	7	2	1.5	1295
M115×2	140														1363
M120×2	145														1403
M125×2	150														1457
M130×2	160														1511
M140×2	170														1924
M150×2	180	18	14	6	2	1.5	1068	200	180	26	16	7	2	1.5	2585
M160×3	195														1243

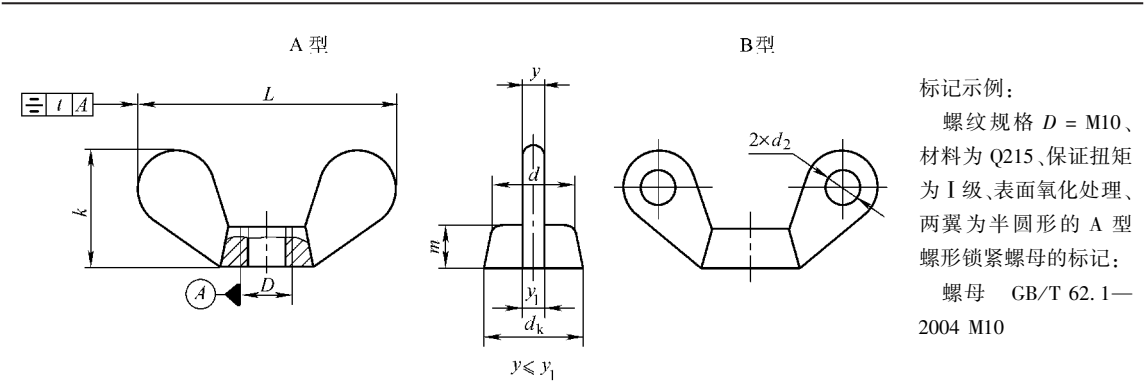
(续)

螺纹规格 $D \times P$	GB/T 810—1988						GB/T 812—1988								
	d_k	m	$h_{\min}$	$t_{\min}$	c	c_1	每 1000 个钢 螺母质量/kg	d_k	d_1	m	$h_{\min}$	$t_{\min}$	c	c_1	每 1000 个钢 螺母质量/kg
M170 × 3	205	18	16	7	2	1.5	1412	220	200	26	16	7	2	1.5	2953
M180 × 3	220	22					1734	230	210	30					3615
M190 × 3	230						2227	240	220						3801
M200 × 3	240						2340	250	230						3986
技术条件	材料		螺纹公差				热 处 理							表面处理	
	45		6H				槽或全部热处理 35 ~ 45HRC							氧化	
							调质 24 ~ 30HRC								

注:1. 槽数 n :当 $D \leq M100 \times 2, n = 4$, 当 $D \geq M105 \times 2, n = 6$ 。

2. * 仅用于滚动轴承锁紧装置。

表 3.1-108 蝶形螺母 圆翼(摘自 GB/T 62.1—2004) (mm)



螺纹规格 D	d_k min	d $\approx$	L		k		m min	y max	y_1 max	d_2 max	t max
M2	4	3	12	± 1.5	6	± 1.5	2	2.5	3	2	0.3
M2.5	5	4	16		8		3	2.5	3	2.5	0.3
M3	5	4	16		8		3	2.5	3	3	0.4
M4	7	6	20		10		4	3	4	4	0.4
M5	8.5	7	25		12		5	3.5	4.5	4	0.5
M6	10.5	9	32	± 2	16	± 1.5	6	4	5	5	0.5
M8	14	12	40		20		8	4.5	5.5	6	0.6
M10	18	15	50		25		10	5.5	6.5	7	0.7
M12	22	18	60		30		12	7	8	8	1
(M14)	26	22	70		35		± 2	14	8	9	9
M16	26	22	70	35	14	8		9	10	1.2	
(M18)	30	25	80	40	16	8		10	10	1.4	
M20	34	28	90	45	18	9		11	11	1.5	
(M22)	38	32	100	50	20	10		12	11	1.6	
M24	43	36	112	± 2.5	56		22	11	13	12	1.8

注:1. 尽可能不采用括号内的规格。

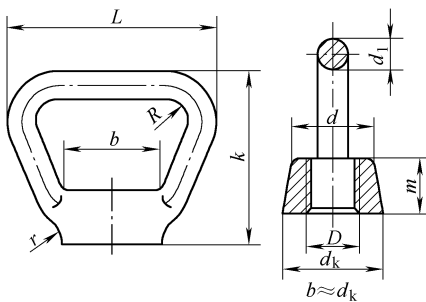
2. 材料 保证扭矩 I 级 Q215、Q235、KT30-6、1Cr18Ni9

II 级 H62

3. 表面处理:对于钢;氧化;电镀(技术要求按 GB/T 5267.1)。对于不锈钢;简单处理。对于有色金属;简单处理。

表 3.1-109 环形螺母(摘自 GB/T 63—1988)

(mm)



标记示例：
螺纹规格 $D = M16$ 、材料为 ZHMn58-2、不经表面处理的环形螺母：
螺母 GB/T 63—1988 M16

螺纹规格 D	d_1	d_k	d	L	k	m	R	r
M12	10	24	20	66	52	15	6	6
(M14)								
M16	12	30	26	76	60	18	8	8
(M18)								
M20	13	36	30	86	72	22	10	11
(M22)								
M24	14	46	38	98	84	26	10	14

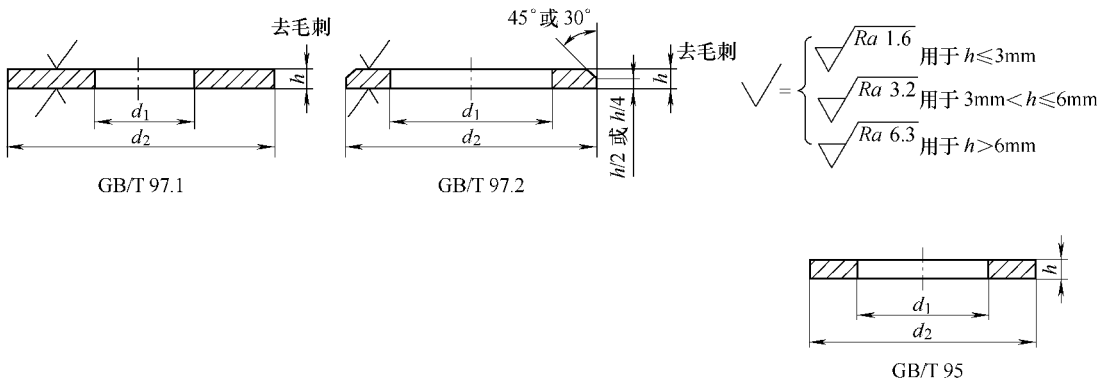
注:1. 括号内的尺寸,尽可能不采用。
2. 材料:ZCuZn40Mn2(GB/T 1176)。
3. 螺纹按 6H 制造。

2.5.4 垫圈(表 3.1-110 ~ 表 3.1-119)

表 3.1-110 平垫圈 A 级(摘自 GB/T 97.1—2002)倒角型平垫圈 A 级

(摘自 GB/T 97.2—2002)平垫圈 C 级(摘自 GB/T 95—2002)

(mm)



标记示例
标准系列、公称规格 8mm、由钢制造的硬度等级为 200HV 级、不经表面处理、产品等级为 A 级的平垫圈的标记：
垫圈 GB/T 97.1—2002 8
由 A2 不锈钢制造,其余同上,标记为:垫圈 GB/T 97.1—2002 8A2

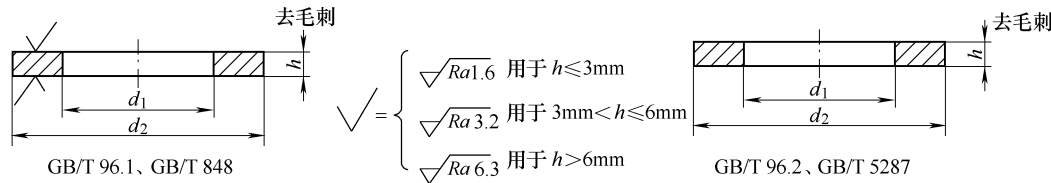
公称规格 (螺纹大径)		GB/T 95			GB/T 97.1			GB/T 97.2		
		内径 d_1	外径 d_2	厚度 h	内径 d_1	外径 d_2	厚度 h	内径 d_1	外径 d_2	厚度 h
优选尺寸	1.6	1.8	4	0.3	1.7	4	0.3	—	—	—
	2	2.4	5	0.3	2.2	5	0.3	—	—	—
	2.5	2.9	6	0.5	2.7	6	0.5	—	—	—
	3	3.4	7	0.5	3.2	7	0.5	—	—	—
	4	4.5	9	0.8	4.3	9	0.8	—	—	—
	5	5.5	10	1	5.3	10	1	5.3	10	1

(续)

公称规格 (螺纹大径)		GB/T 95			GB/T 97. 1			GB/T 97. 2			
		内径 d_1	外径 d_2	厚度 h	内径 d_1	外径 d_2	厚度 h	内径 d_1	外径 d_2	厚度 h	
优选尺寸	6	6. 6	12	1. 6	6. 4	12	1. 6	6. 4	12	1. 6	
	8	9	16	1. 6	8. 4	16	1. 6	8. 4	16	1. 6	
	10	11	20	2	10. 5	20	2	10. 5	20	2	
	12	13. 5	24	2. 5	13	24	2. 5	13	24	2. 5	
	16	17. 5	30	3	17	30	3	17	30	3	
	20	22	37	3	21	37	3	21	37	3	
	24	26	44	4	25	44	4	25	44	4	
	30	33	56	4	31	56	4	31	56	4	
	36	39	66	5	37	66	5	37	66	5	
	42	45	78	8	45	78	8	45	78	8	
	48	52	92	8	52	92	8	52	92	8	
	56	62	105	10	62	105	10	62	105	10	
	64	70	115	10	70	115	10	70	115	10	
	非优选尺寸	3. 5	3. 9	8	0. 5	—	—	—	—	—	—
		14	15. 5	28	2. 5	15	28	2. 5	15	28	2. 5
		18	20	34	3	19	34	3	19	34	3
22		24	39	3	23	39	3	23	39	3	
27		30	50	4	28	50	4	28	50	4	
33		36	60	5	34	60	5	34	60	5	
39		42	72	6	42	72	6	42	72	6	
45		48	85	8	48	85	8	48	85	8	
52		56	98	8	56	98	8	56	98	8	
60		66	110	10	66	110	10	66	110	10	
技术要求	材料	钢					不锈钢		产品等级		
	GB/T 95	硬度等级	100HV						C		
		硬度范围	100HV—200HV								
	GB/T 97. 1 ~ 97. 2	硬度等级	200HV		300HV		200HV		A		
硬度范围		200 ~ 300HV		300 ~ 370HV		200 ~ 300HV					

注: 不锈钢组别: A2、F1、C1、A4、C4。

表 3. 1-111 大垫圈 A 级(摘自 GB/T 96. 1—2002)、C 级(摘自 GB/T 96. 2—2002) 和小垫圈 A 级(摘自 GB/T 848—2002) 及特大垫圈 C 级(摘自 GB/T 5287—2002)



标记示例

大系列、公称规格 8mm、由钢制造的硬度等级 200HV 级、不经表面处理、产品等级 A 级的平垫圈的标记为: 垫圈 GB/T 96. 1—2002 8

小系列、公称规格 8mm、由 A2 组不锈钢制造的硬度等级 200HV 级、不经表面处理、产品等级 A 级的平垫圈的标记为: 垫圈 GB/T 96. 1—2002 A2

特大系列、公称规格 8mm、由钢制造的硬度等级 100HV 级、不经表面处理、产品等级 C 级的平垫圈的标记为: 垫圈 GB/T 5287—2002 8

(续)

公称规格 (螺纹大径)		GB/T 96. 1			GB/T 96. 2			GB/T 848			GB/T 5287		
		内径 <i>d</i> ₁	外径 <i>d</i> ₂	厚度 <i>h</i>	内径 <i>d</i> ₁	外径 <i>d</i> ₂	厚度 <i>h</i>	内径 <i>d</i> ₁	外径 <i>d</i> ₂	厚度 <i>h</i>	内径 <i>d</i> ₁	外径 <i>d</i> ₂	厚度 <i>h</i>
优选尺寸	1. 6	—	—	—	—	—	—	1. 7	3. 5	0. 3	—	—	—
	2	—	—	—	—	—	—	2. 2	4. 5	0. 3	—	—	—
	2. 5	—	—	—	—	—	—	2. 7	5	0. 5	—	—	—
	3	3. 2	9	0. 8	3. 4	9	0. 8	3. 2	6	0. 5	—	—	—
	4	4. 3	12	1	4. 5	12	1	4. 3	8	0. 5	—	—	—
	5	5. 3	15	1	5. 5	15	1	5. 3	9	1	5. 5	18	2
	6	6. 4	18	1. 6	6. 6	18	1. 6	6. 4	11	1. 6	6. 6	22	2
	8	8. 4	24	2	9	24	2	8. 4	15	1. 6	9	28	3
	10	10. 5	30	2. 5	11	30	2. 5	10. 5	18	1. 6	11	34	3
	12	13	37	3	13. 5	37	3	13	20	2	13. 5	44	4
	16	17	50	3	17. 5	50	3	17	28	2. 5	17. 5	56	5
	20	21	60	4	22	60	4	21	34	3	22	72	6
	24	25	72	5	26	72	5	25	39	4	26	85	6
	30	33	92	6	33	92	6	31	50	4	33	105	6
	36	39	110	8	39	110	8	37	60	5	39	125	8
非优选尺寸	3. 5	3. 7	11	0. 8	3. 9	11	0. 8	3. 7	7	0. 5	—	—	—
	14	15	44	3	15. 5	44	3	15	24	2. 5	15. 5	50	4
	18	19	56	4	20	56	4	19	30	3	20	60	5
	22	23	66	5	24	66	5	23	37	3	24	80	6
	27	30	85	6	30	85	6	28	44	4	30	98	6
	33	36	105	6	36	105	6	34	56	5	36	115	8
技术条件	材料		钢						不锈钢 ^①			产品等级	
	GB/T 96. 1		硬度等级		200HV		300HV ^②		200HV		A		
	GB/T 848		硬度范围		200 ~ 300HV		300 ~ 370HV		200 ~ 300HV				
	GB/T 5287		硬度等级		100HV						C		
	GB/T 96. 2		硬度范围		100 ~ 200HV								

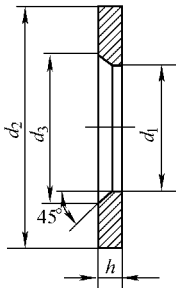
① 不锈钢组别：A2、F1、C1、A4、C4。

② 淬火并回火。

表 3. 1-112 钢结构用高强度垫圈(摘自 GB/T 1230—2006)

钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副用垫圈(GB/T 3632—2008)

(mm)



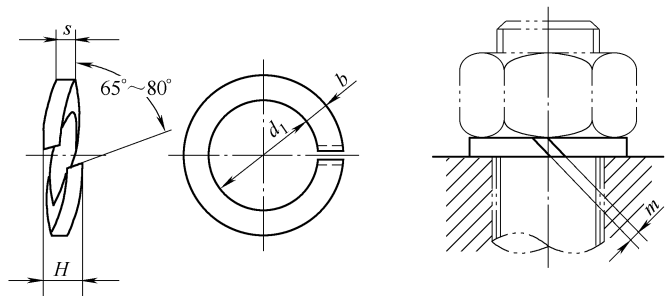
标记示例：
规格为 20mm、热处理硬度为 35 ~ 45HRC 的钢结构用高强度垫圈的标记：
垫圈 GB/T 1230—2006 20

规格(螺纹大径 d)		12	16	20	(22)	24	(27)	30
d_1	min	13	17	21	23	25	28	31
	max	13. 43	17. 43	21. 52	23. 52	25. 52	28. 52	31. 62
d_2	min	23. 7	31. 4	38. 4	40. 4	45. 4	50. 1	54. 1
	max	25	33	40	42	47	52	56
h	公称	3. 0	4. 0	4. 0	5. 0	5. 0	5. 0	5. 0
	min	2. 5	3. 5	3. 5	4. 5	4. 5	4. 5	4. 5
	max	3. 8	4. 8	4. 8	5. 8	5. 8	5. 8	5. 8
d_3	min	15. 23	19. 23	24. 32	26. 32	28. 32	32. 84	35. 84
	max	16. 03	20. 03	25. 12	27. 12	29. 12	33. 64	36. 64

注:1. 括号内的规格为第二选择系列。

2. 钢结构用扭剪高强度螺栓垫圈(GB/T 3632—2008)数据同上表,但无 M12 规格。

表 3.1-113 标准型弹簧垫圈 (摘自 GB/T 93—1987)、轻型弹簧垫圈 (摘自 GB/T 859—1987)
重型弹簧垫圈 (摘自 GB/T 7244—1987)

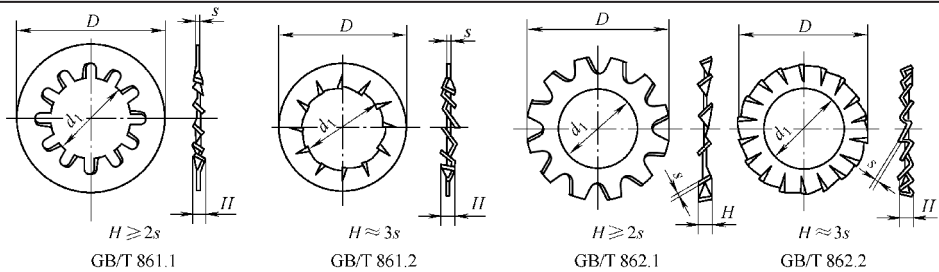


标记示例:
规格 16mm, 材料为 65Mn, 表面氧化的标准型弹簧垫圈:
垫圈 GB/T 93—1987 16

规格 螺纹 大径	d_1 min	GB/T 93—1987						GB/T 859—1987						GB/T 7244—1987					
		s 公称	b 公称	H max	m ≤	1000 个 质量/kg ≈		s 公称	b 公称	H max	m ≤	1000 个 质量/kg ≈		s 公称	b 公称	H max	m ≤	1000 个 质量/kg ≈	
2	2.1	0.5	0.5	1.25	0.25	0.015	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	2.6	0.65	0.65	1.63	0.33	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	3.1	0.8	0.8	2	0.4	0.06	0.6	1	1.5	0.3	0.06	—	—	—	—	—	—	—	—
4	4.1	1.1	1.1	2.75	0.55	0.16	0.8	1.2	2	0.4	0.13	—	—	—	—	—	—	—	—
5	5.1	1.3	1.3	3.25	0.65	0.27	1.1	1.5	2.75	0.55	0.27	—	—	—	—	—	—	—	—
6	6.1	1.6	1.6	4	0.8	0.49	1.3	2	3.25	0.65	0.52	1.8	2.6	4.5	0.9	1			
8	8.1	2.1	2.1	5.25	1.05	1.11	1.6	2.5	4	0.8	1.05	2.4	3.2	6	1.2	2.14			
10	10.2	2.6	2.6	6.5	1.3	2.13	2	3	5	1	1.95	3	3.8	7.5	1.5	3.94			
12	12.2	3.1	3.1	7.75	1.55	3.63	2.5	3.5	6.25	1.25	3.39	3.5	4.3	8.75	1.75	6.12			
(14)	14.2	3.6	3.6	9	1.8	5.69	3	4	7.5	1.5	5.39	4.1	4.8	10.25	2.05	9.22			
16	16.2	4.1	4.1	10.25	2.05	8.42	3.2	4.5	8	1.6	7.35	4.8	5.3	12	2.4	13.49			
(18)	18.2	4.5	4.5	11.25	2.25	11.34	3.6	5	9	1.8	10.3	5.3	5.8	13.25	2.65	18.2			
20	20.2	5	5	12.5	2.5	15.54	4	5.5	10	2	13.94	6	6.4	15	3	25.2			
(22)	22.5	5.5	5.5	13.75	2.75	20.9	4.5	6	11.25	2.25	18.98	6.6	7.2	16.5	3.3	34.8			
24	24.5	6	6	15	3	27.1	5	7	12.25	2.5	27.2	7.1	7.5	17.75	3.55	42.04			
(27)	27.5	6.8	6.8	17	3.4	39.1	5.5	8	13.75	2.75	38.52	8	8.5	20	4	60.37			
30	30.5	7.5	7.5	18.75	3.75	52.71	6	9	15	3	52.6	9	9.3	22.5	4.5	82.15			
(33)	33.5	8.5	8.5	21.25	4.25	74.84	—	—	—	—	—	9.9	10.2	24.75	4.95	108.8			
36	36.5	9	9	22.5	4.5	90.89	—	—	—	—	—	10.8	11.1	27	5.4	140.73			
(39)	39.5	10	10	25	5	122.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
42	42.5	10.5	10.5	26.25	5.25	144.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
(45)	45.5	11	11	27.5	5.5	168.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
48	48.5	12	12	30	6	214.85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			

注: 1. 尽可能不采用括号内规格。
2. m 应大于零。
3. 弹簧圈的材料: 1) 弹簧钢: 65Mn、20、60Si2Mn, 淬火并回火处理, 硬度 42 ~ 50HRC。2) 不锈钢: 3Cr13、1Cr18Ni9Ti。
4. 表面处理: 弹簧钢: 氧化、磷化及镀锌钝化。

表 3.1-114 内齿锁紧垫圈 (摘自 GB/T 861.1—1987)、内锯齿锁紧垫圈 (摘自 GB/T 861.2—1987)、外齿锁紧垫圈 (摘自 GB/T 862.1—1987)、外锯齿锁紧垫圈 (摘自 GB/T 862.2—1987) (mm)

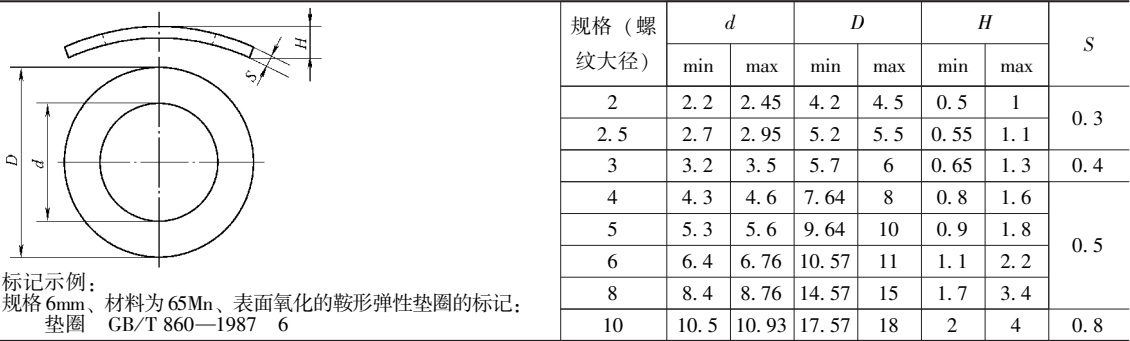


标记示例：
规格 6mm、材料为 65Mn、表面氧化的内齿锁紧垫圈、内锯齿锁紧垫圈、外齿锁紧垫圈和外锯齿锁紧垫圈：
垫圈 GB/T 861.1—1987 6； 垫圈 GB/T 861.2—1987 6
垫圈 GB/T 862.1—1987 6； 垫圈 GB/T 862.2—1987 6

规格 (螺纹大径)		2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	(14)	16	(18)	20
d_1 min		2.2	2.7	3.2	4.3	5.3	6.4	8.4	10.5	12.5	14.5	16.5	19	21
D max		4.5	5.5	6	8	10	11	15	18	20.5	24	26	30	33
s		0.3		0.4	0.5	0.6		0.8	1.0		1.2		1.5	
齿数 min	GB/T 861.1—87 GB/T 862.1—87	6			8				9	10		12		
	GB/T 861.2—87	7			8		9	10	12		14			16
	GB/T 862.2—87	9			11		12	14	16		18			20

注：1. 括号内规格尽可能不采用。
2. 材料：65Mn。
3. 表面处理：氧化、镀锌钝化。

表 3.1-115 鞍形弹性垫圈 (摘自 GB/T 860—1987) (mm)

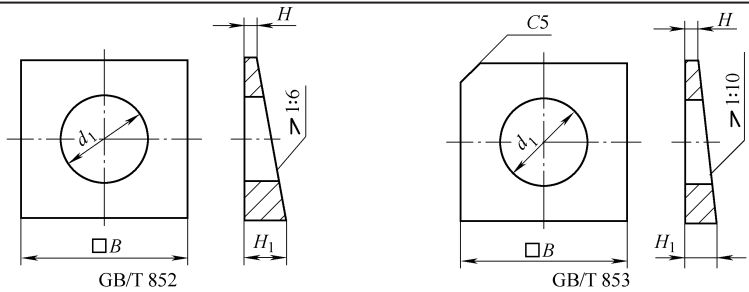


标记示例：
规格 6mm、材料为 65Mn、表面氧化的鞍形弹性垫圈的标记：
垫圈 GB/T 860—1987 6

注：1. 材料：65Mn。
2. 表面处理：氧化、镀锌钝化。

表 3.1-116 工字钢用方斜垫圈 (摘自 GB/T 852—1988)、槽钢用方斜垫圈 (摘自 GB/T 853—1988)

(mm)



标记示例：
公称直径为 16mm、材料为 Q215、不经表面处理的工字钢用方斜垫圈：
垫圈 GB/T 852—1988 16

(续)

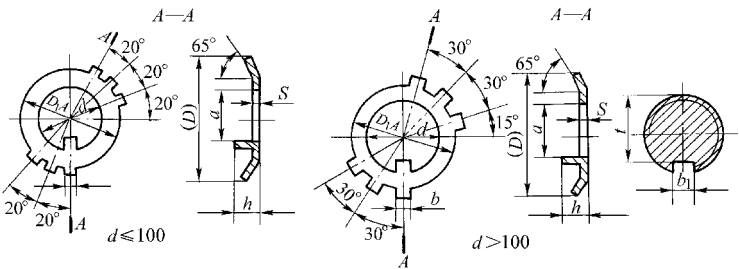
公称直径（螺纹直径）		6	8	10	12	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36
d_1 min		6.6	9	11	13.5	17.5	20	22	24	26	30	33	39
B		16	18	22	28	35	40			50		60	70
H		2					3						
H_1	GB/T 852—1988	4.7	5	5.7	6.7	7.7	9.7			11.3		13	14.7
	GB/T 853—1988	3.6	3.8	4.2	4.8	5.4	7			8		9	10

注: 1. 括号内的尺寸, 尽可能不采用。

2. 材料: Q215、Q235。

表 3.1-117 圆螺母用止动垫圈 (摘自 GB/T 858—1988)

(mm)



标记示例:

规格为 16mm、材料为 Q215、经退火、表面氧化的圆螺母用止动垫圈:

垫圈 GB/T 858—1988 16

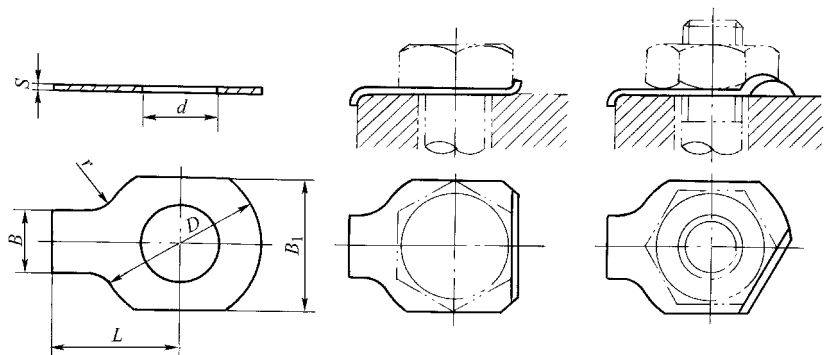
规格 (螺纹 大径)	d_1	(D)	D_1	s	b	a	h	1000 个 的质量 /kg	轴端		规格 (螺纹 大径)	d_1	(D)	D_1	s	b	a	h	1000 个 的质量 /kg	轴端	
									b_1	t										b_1	t
10	10.5	25	16	3.8	8	3	1.67	1.91	4	7	64	65	100	84	1.5	7.7	61	6	28.93	8	60
12	12.5	28	19		9						65 ^①	66	100	84			62		26.54		—
14	14.5	32	20		11						68	69	105	88			65		32.91		64
16	16.5	34	22		13						72	73	110	93			69		36.14		68
18	18.5	35	24	4.8	15	4	2.69	3.16	5	14	75 ^①	76	100	93	9.6	9.6	71	7	32.04	10	—
20	20.5	38	27		17						76	77	115	98			72		39.42		70
22	22.5	42	30		19						80	81	120	103			76		42.98		74
24	24.5	45	34		21						85	86	125	108			81		45.02		79
25 ^①	25.5	45	34	22	22	4.06	4.71	5.02	23	—	90	91	130	112	11.6	11.6	86	7	61.98	12	84
27	27.5	48	37		24						95	96	135	117			91		64.57		89
30	30.5	52	40		27						100	101	140	122			96		67.15		94
33	33.5	56	43		30						105	106	145	127			101		69.74		99
35 ^①	35.5	56	43	32	32	7.94	9.11	9.58	6	—	110	111	156	135	2	13.5	106	8	85.32	14	104
36	36.5	60	46		33						115	116	160	140			111		88.48		109
39	39.5	62	49		36						120	121	166	145			116		91.24		114
40 ^①	40.5	62	49		37						125	126	170	150			121		94.2		119
42	42.5	66	53	39	39	11.01	14.66	14.76	8	—	130	131	176	155	2.5	15.5	126	8	97.16	16	122
45	45.5	72	59		42						140	141	186	165			136		103.1		132
48	48.5	76	61		45						150	151	206	180			146		170.2		142
50 ^①	50.5	76	61		47						160	161	216	190			156		179.4		149
52	52.5	82	67	7.7	49	19.04	15.57	23.52	52	—	170	171	226	200	2.5	15.5	166	8	188.3	16	159
55 ^①	56	82	67		52						180	181	236	210			176		197.3		169
56	57	90	74		53						190	191	246	220			186		206.2		179
60	61	94	79		57						200	201	256	230			196		215.2		189

注: 材料: Q215、Q235; 10、15。

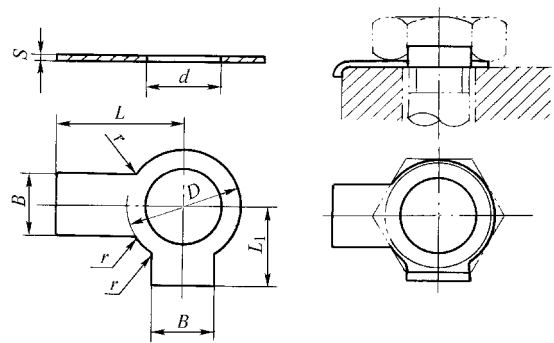
① 仅用于滚动轴承锁紧装置。

表 3.1-118 单耳止动垫圈 (摘自 GB/T 854—1988)、双耳止动垫圈 (摘自 GB/T 855—1988)

(mm)



GB/T 854



GB/T 855

标记示例：规格为 10mm、材料为 Q215、经退火、不经表面处理的单耳止动垫圈 垫圈 GB854—1988 10

规格（螺纹大径）		2. 5	3	4	5	6	8	10	12	(14)	16
d_1 min		2. 7	3. 2	4. 2	5. 3	6. 4	8. 4	10. 5	13	15	17
L 公称		10	12	14	16	18	20	22	28		32
L_1 公称		4	5	7	8	9	11	13	16		20
s		0. 4			0. 5				1		
B		3	4	5	6	7	8	10	12		15
B_1		6	7	9	11	12	16	19	21	25	32
r	GB/T 854—1988	2. 5				4		6	10		
	GB/T 855—1988	1					2				
$D_{\max}$	GB/T 854—1988	8	10	14	17	19	22	26	32		40
	GB/T 855—1988	5		8	9	11	14	17	22		27
每 1000 个垫圈质量 /kg ≈	单耳	0. 16	0. 26	0. 42	0. 79	1. 08	1. 37	1. 8	5. 8	5. 5	8. 55
	双耳	0. 12	0. 19	0. 29	0. 47	0. 66	0. 85	1. 11	3. 64	3. 3	4. 59

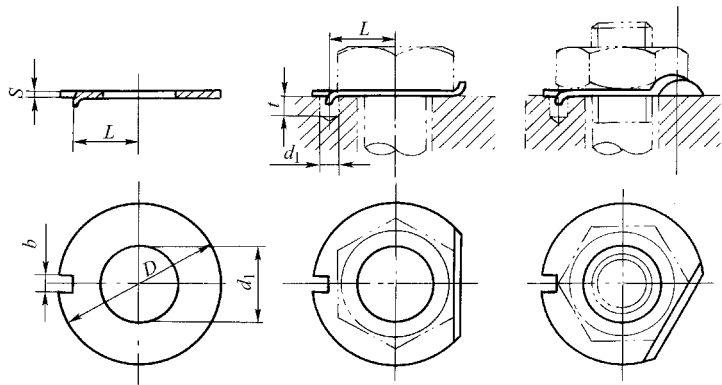
(续)

规格（螺纹大径）		(18)	20	(22)	24	(27)	30	36	42	48
d_1 min		19	21	23	25	28	31	37	43	50
L 公称		36		42		48	52	62	70	80
L_1 公称		22		25		30	32	38	44	50
s		1				1.5				
B		18		20		24	26	30	35	40
B_1		38		39	42	48	55	65	78	90
r	GB/T 854—1988	10				16				
	GB/T 855—1988	3							4	
$D_{\max}$	GB/T 854—1988	45		50		58	63	75	88	100
	GB/T 855—1988	32		36		41	46	55	65	75
每 1000 个垫圈质量 /kg ≈	单耳	11.3	10.8	13.9	13.3	27	31	44.2	61.9	80.5
	双耳	6.91	6.43	8.63	8.11	16.1	18	26.2	35.1	46.2

- 注：1. 括号内的尺寸，尽可能不用。
2. 材料：Q215、Q235；10、15。
3. 表面处理：氧化。

表 3.1-119 外舌止动垫圈 (摘自 GB/T 856—1988)

(mm)



标记示例：
规格 10mm、材料为 Q215、
经退火处理、表面氧化处理的
外舌止动垫圈标记为：
垫圈 GB/T 856—1988 10

规格 (螺纹大径)	d min	D max	b max	L 公称	S	d_1	t	每 1000 个钢垫圈的质量/kg
2.5	2.7	10	2	3.5	0.4	2.5	3	0.21
3	3.2	12	2.5	4.5	0.4	3	3	0.31
4	4.2	14	2.5	5.5	0.4	3	3	0.41
5	5.3	17	3.5	7	0.5	4	4	0.82
6	6.4	19	3.5	7.5	0.5	4	4	1.00
8	8.4	22	3.5	8.5	0.5	4	4	1.30
10	10.5	26	4.5	10	0.5	5	5	1.77
12	13	32	4.5	12	1	5	6	5.26
(14)	15	32	4.5	12	1	5	6	4.92

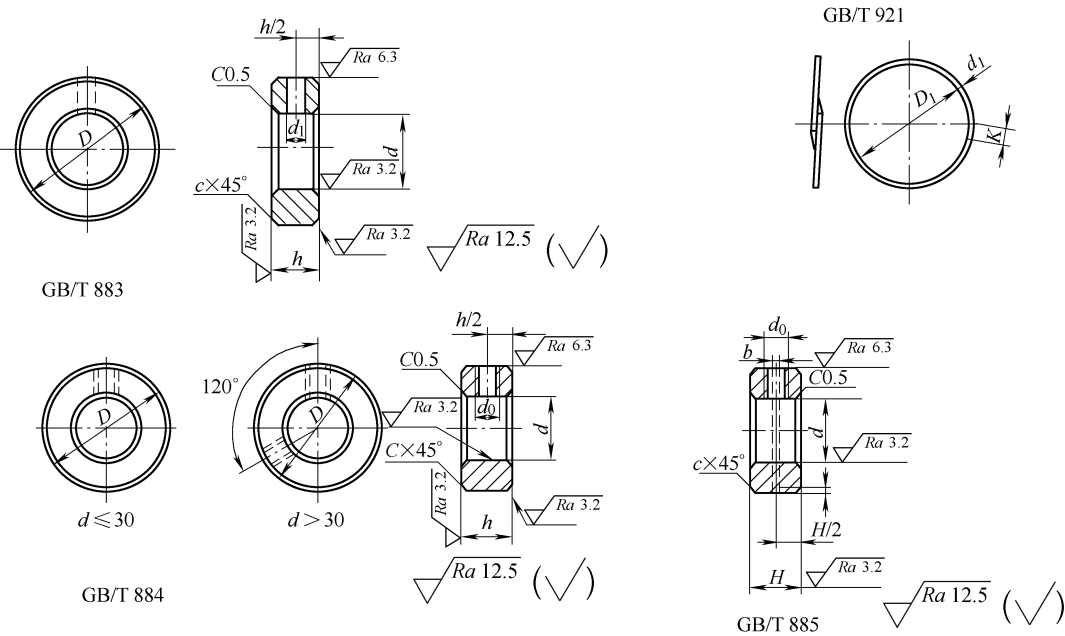
(续)

规格(螺纹大径)	d min	D max	b max	L 公称	S	d_1	t	每 1000 个钢垫圈的质量/kg
16	17	40	5.5	15	1	6	6	8.10
(18)	19	45	6	18	1	7	7	10.2
20	21	45	6	18	1	7	7	9.80
(22)	23	50	7	20	1	8	7	12.1
24	25	50	7	20	1	8	7	11.6
(27)	28	58	8	23	1.5	9	10	23.9
30	31	63	8	25	1.5	9	10	27.2
36	37	75	11	31	1.5	12	10	38.7
42	43	88	11	36	1.5	12	12	54.0
48	50	100	13	40	1.5	14	13	69.2

注：1. 括号内的尺寸，尽可能不采用。
2. 材料：Q215、Q235；10、15。
3. 表面处理：氧化。

2.5.5 挡圈（表 3.1-120 ~ 表 3.1-125）

表 3.1-120 锥销锁紧挡圈（摘自 GB/T 883—1986）、螺钉锁紧挡圈（摘自 GB/T 884—1986）、带锁圈的螺钉锁紧挡圈（摘自 GB/T 885—1986） 钢丝锁圈（摘自 GB/T 921—1986）（mm）



标记示例：

- ① 公称直径 $d=20\text{mm}$ 、材料为 Q235—A、不经表面处理的锥销紧挡圈、螺钉锁紧挡圈和带锁圈的螺钉锁紧挡圈：
挡圈 GB/T 883—1986 20
挡圈 GB/T 884—1986 20
挡圈 GB/T 885—1986 20
- ② 公称直径 $D=30\text{mm}$ ，材料为碳素弹簧钢丝，经低温回火及表面氧化处理的锁圈：
锁圈 GB/T 921—1986 30

(续)

公称直径 d		H		D	c		d_1	d_0	b		t		圆锥销	螺 钉	钢丝绳圈		
基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差		GB/T 883	GB/T 884 GB/T 885			基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	GB/T 117—2000	GB/T 71—1985	公称直径 D_1	d_1	K
8	+0.036	10	0	20	0.5	0.5	3	M5	1	+0.20 +0.06	1.8	± 0.18	3 × 22	M5 × 8	15	0.7	0
(9)	0			22									17				
10	+0.043			25									3 × 25		20		
12				28									4 × 28		23		
14	12	-0.43	30	4		M6	2	± 0.20			4 × 32	M6 × 10	25	0.8	3		
15			32								4 × 35		27				
16			35								5 × 40		30				
17			38								5 × 45		32				
18	+0.052	14	0	42	1	6	M8	1.2	2.5	± 0.25	6 × 50	M8 × 12	35	1	6		
(19)				45							6 × 55		38				
20				48							6 × 60		41				
22				52							6 × 70		44				
25	+0.062	16	-0.43	56		1	8	M10	1.6	3	± 0.30	6 × 75	M10 × 20	47	1.4	9	
28				62								8 × 80		54			
30				70								8 × 90		62			
32				80								10 × 100		71			
35	+0.074	18	0	85	1.5		10	M12	2	3.6	± 0.36	8 × 90	M10 × 20	76	1.8	12	
40				90								10 × 120		81			
45				95								10 × 130		86			
50				100								10 × 140		91			
55	+0.087	22	-0.52	105		—	12	M12	2	4.5	± 0.45	12 × 150	M12 × 25	100	1.8	12	
60				110								12 × 160		105			
65				115								12 × 180		110			
70				120								12 × 180		115			
75	+0.10	25	0	125	—		1.2	M12	2	4.5	± 0.45	10 × 130	M12 × 30	120	1.8	12	
80				130								10 × 140		124			
85				135								12 × 150		129			
90				140								12 × 160		136			
95	+0.087	30	-0.52	150		—	1.2	M12	2	4.5	± 0.45	12 × 150	M12 × 30	142	1.8	12	
100				155								12 × 160		147			
105				160								12 × 180		152			
110				165								12 × 180		156			
115	+0.10	30	0	170	—		1.2	M12	2	4.5	± 0.45	12 × 180	M12 × 30	162	1.8	12	
120				175								12 × 180		166			
(125)				180								12 × 180		176			
130				185								12 × 180		186			
135	+0.0115	30	-0.52	190		—	1.2	M12	2	4.5	± 0.45	12 × 180	M12 × 30	196	1.8	12	
140				195								12 × 180		206			
(145)				200								12 × 180		216			
150				210								12 × 180		226			
160	+0.0115	30	-0.52	220	—		1.2	M12	2	4.5	± 0.45	12 × 180	M12 × 30	236	1.8	12	
170				230								12 × 180		246			
180				240								12 × 180		256			
190				250								12 × 180		266			
200	0			250													

注：1. 尽可能不采用括号内的规格。

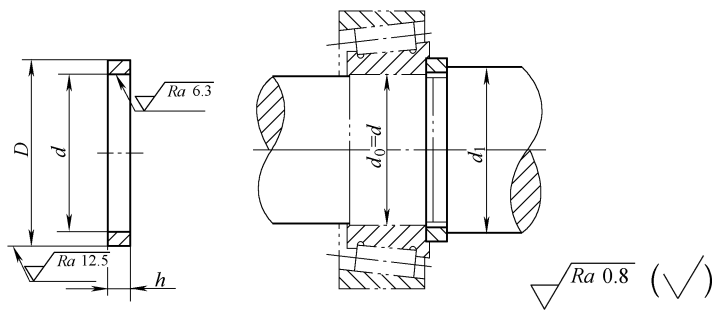
2. d_1 孔在加工时，只钻一面；在装配时钻透并铰孔。

3. 挡圈按 GB/T 959.2—1986 技术规定，材料为 35、45、Q235—A、2A12。35、45 钢淬火并回火及表面氧化处理。

4. 钢丝绳圈应进行低温回火及表面氧化处理，并采用碳素弹簧丝（GB/T 4357）制造。

表 3.1-121 轴肩挡圈 (摘自 GB/T 886—1986)

(mm)

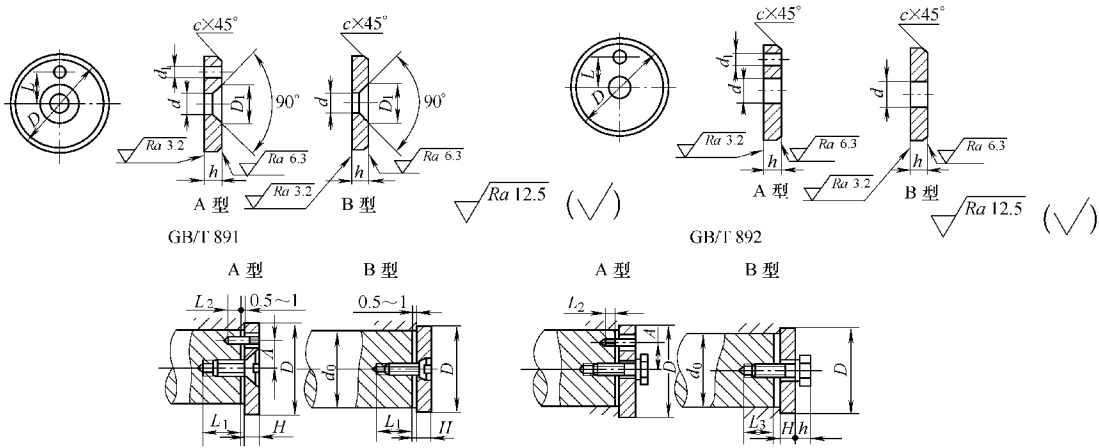


标记示例：
公称直径 $d = 30\text{mm}$ ，外径 $D = 40\text{mm}$ ，材料为 35 钢，不经热处理及表面处理的轴肩挡圈：
挡圈 GB886—1986 30 × 40

轻系列径向轴承用					中系列径向轴承和轻系列 径向推力轴承用					重系列径向轴承和中系列 径向推力轴承用					d_1 ≥
公称直径 d		D	H		公称直径 d		D	H		公称直径 d		D	H		
基本 尺寸	极限 偏差		基本 尺寸	极限 偏差	基本 尺寸	极限 偏差		基本 尺寸	极限 偏差	基本 尺寸	极限 偏差		基本 尺寸	极限 偏差	
—	—	—	—	—	20	+0.13 0	27	4	0 −0.30	20	+0.13 0	30	5	0 −0.30	22
—	—	—	—	—	25		32			25	35	27			
30	+0.13 0	36	4	0 −0.30	30		38			30	40	32			
35	+0.16 0	42			35	45	35	47	37						
40		47			40	50	40	52	42						
45		52			45	+0.16 0	55	45	58	47					
50	+0.19 0	48	50	60	50	65	52								
55		65	55	68	55	70	58								
60		70	60	72	60	75	63								
65		75	65	+0.19 0	78	5	80	6	68						
70	+0.22 0	80	6	0 −0.36	70	82	70	85	73						
75		85			75	88	75	90	78						
80		90			80	95	80	100	83						
85		95			85	100	85	105	88						
90	+0.22 0	100	8	0 −0.36	90	105	90	110	93						
95		110			95	110	95	115	0	98					
100		115			100	+0.22 0	100	+0.22 0	120	−0.36	103				
105		120			105	120	8	0 −0.36	105	130	10	109			
115	+0.22 0	125	8	0 −0.36	110	130	110	135	114						
125		135			120	140	120	145	124						

注：标记中的材料为常用材料。其他技术条件按 GB/T 959.3 规定。

表 3.1-122 螺钉紧固轴端挡圈 (GB/T 891—1986)、螺栓紧固轴端挡圈 (GB/T 892—1986)



标记示例:

挡圈 GB/T 891—1986 45 (公称直径 $D=45\text{mm}$ 、材料 Q235-A、不经表面处理的 A 型螺钉紧固轴端挡圈)

挡圈 GB/T 891—1986 B45 (公称直径 $D=45\text{mm}$ 、材料 Q235-A、不经表面处理的 B 型螺钉紧固轴端挡圈)

(mm)

轴径 d_0 ≤	公差 直径 D	H	L	d	d_1	C	螺钉紧固轴端挡圈				螺栓紧固轴端挡圈				安装尺寸 (参考)																														
							D_1	螺钉 GB/T 819 —2000 (推荐)	1000 个重量 /kg≈		圆柱销 GB/T 119 —2000	螺栓 GB/T 5783 —2000 (推荐)	垫圈 GB/T 93 —1987 (推荐)	1000 个重量 /kg≈		L_1	L_2	L_3	h																										
									A 型	B 型				A 型	B 型																														
16 18 20 22	22 25 28 30	4	— — 7.5	5.5	2.1	0.5	11	M5 × 12	— — 17.9 20.8	10.7 14.2 18.1 21.0	— — A2 × 10	M5 × 16	5	— — 18.4 21.3	11.2 14.7 18.6 21.5	14	6	16	4.8																										
25 28 30 32 35 40	32 35 38 40 45 50		5						10 12	6.6	3.2			1	13					M6 × 16	28.7 34.8 41.5 46.3 59.5 74.0	29.2 35.3 42.0 46.8 59.9 74.5	A3 × 12	M6 × 20	6	29.7 35.8 42.5 47.3 60.5 75.0	30.2 36.3 43.0 47.8 60.9 75.5	18	7	20	5.6														
45 50 55 60 65 70	55 60 65 70 75 80								6												16 20	9				4.2	1.5					17	M8 × 20	108 126 149 174 200 229	109 127 150 175 201 230	A4 × 14	M8 × 25	8	110 128 151 176 202 231	111 129 152 177 203 232	22	8	24	7.4	
75 85	90 100																				8													25	—				M12 × 25	381 427					383 429

注: 1. 当挡圈装在带螺纹孔的轴端时, 紧固用螺钉允许加长。

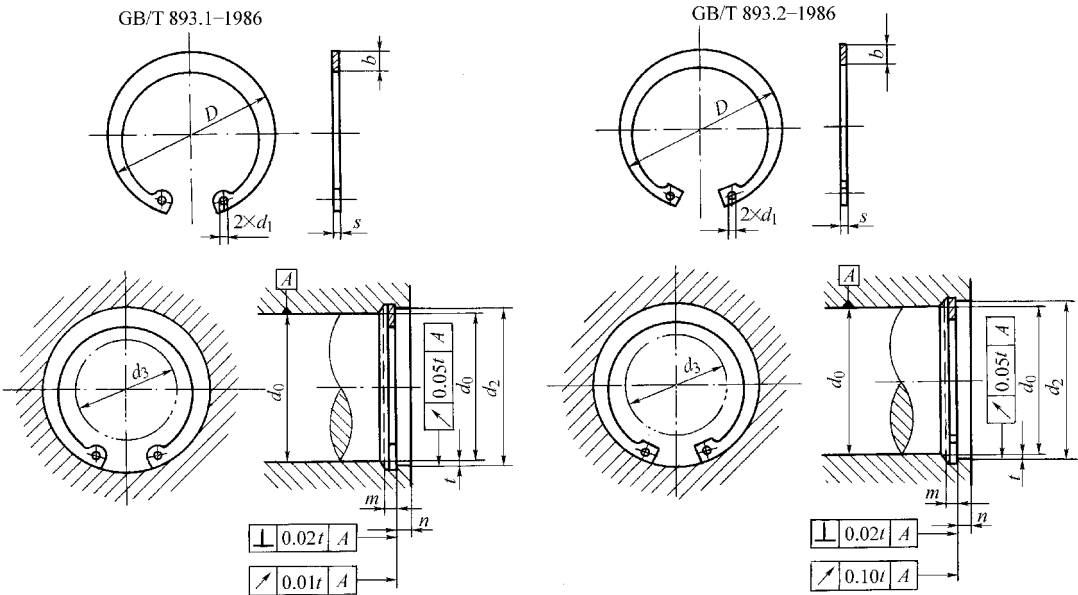
2. “轴端单孔挡圈的固定”不属 GB/T 891—1986、GB/T 892—1986, 供参考。

3. 材料: Q235-A、35、45 钢。

表 3.1-123 孔用弹性挡圈—A 型 (摘自 GB/T 893.1—1986)

孔用弹性挡圈—B 型 (摘自 GB/T 893.2—1986)

(mm)



标记示例：
孔径 $d_0 = 50\text{mm}$ 、材料为 65Mn、热处理硬度 44 ~ 51HRC 经表面氧化处理的 A 型孔用弹性挡圈；
挡圈 GB/T 893.1—1986 50

标记示例：
孔径 $d_0 = 40\text{mm}$ 、材料为 65Mn、热处理硬度 47 ~ 54HRC 经表面氧化处理的 B 型孔用弹性挡圈；
挡圈 GB/T 893.2—1986 40

孔径 d_0	挡 圈						沟 槽 (推荐)						轴	每 1000 个钢挡 圈质量 /kg
	D		s		d_1	b	d_2		m		n	d_3		
	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差			基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差				
8	8.7	+0.36 -0.10	0.6	+0.04	1	1	8.4	+0.09	0.7	+0.14 0	0.6	2	0.14	
9	9.8			-0.07		1.2	8.4	0				3	0.15	
10	10.8		0.8	+0.04 -0.10	1.5	1.7	10.4	+0.11 0	0.9		0.9	4	0.18	
11	11.8						11.4					5	0.31	
12	13						12.5					6	0.37	
13	14.1						13.6					7	0.42	
14	15.1		1	+0.05 -0.13	1.7	2.1	14.6	+0.13 0	1.1		1.2	8	0.52	
15	16.2						15.7					9	0.56	
16	17.3	16.8					10			0.60				
17	18.3	17.8					11			0.65				
18	19.5	2.5				19	+0.21 0	1.3		1.8		12	0.74	
19	20.5					20						13	0.83	
20	21.5					21						14	0.90	
21	22.5					22						15	1.00	
22	23.5	+0.50 -0.25	1.2	+0.05 -0.13	2	2.8	+0.25 0	1.7	2.1	16	1.10			
24	25.9									25.2	17	1.42		
25	26.9									26.2	18	1.50		
26	27.9									27.2	19	1.60		
28	30.1					3.2	29.4			+0.25 0	1.7	3	20	1.80
30	32.1						31.4						21	2.06
31	33.4						32.7						22	2.21
32	34.4						33.7						23	2.40
34	36.5	1.5	+0.06 -0.15	2.5	3.6	35.7	+0.25 0	1.7	2.6	24	3.20			
35	37.8					37				25	3.54			
36	38.8					38				26	3.70			
37	39.8					39				27	3.74			
38	40.8	+0.90 -0.39				40					26	3.90		

(续)

孔径 d_0	挡 圈						沟 槽 (推荐)						轴		每 1000 个钢挡 圈质量 /kg				
	D		s		d_1	b	d_2		m		n $\geq$	d_3 $\leq$							
	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差			基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差									
40	43.5	+0.90 -0.39	1.5	+0.06 -0.15	2.5	4	42.5	+0.25 0	1.7		3.8	27	4.70						
42	45.5						44.5					29	5.40						
45	48.5				2		+0.06 -0.18					3	5.2	+0.30 0	2.2	+0.14 0	4.5	31	6.00
47	50.5																		47.5
48	51.5			49.5				33	6.70										
50	54.2			50.5				36	7.30										
52	56.2			53				38	8.20										
55	59.2			55				40	8.38										
56	60.2			58				41	8.7										
58	62.2			59				43	10.5										
60	64.2			61				44	11.1										
62	66.2			63				45	11.2										
63	67.2			65				46											
65	69.2			66				48	14.3										
68	72.5		68		50	16.0													
70	74.5	+1.10 -0.46	2.5	+0.07 -0.22	3	5.7	+0.35 0	2.7		5.3	53	16.5							
72	76.5											71	55	18.1					
75	79.5											73	56	18.8					
78	82.5											75	60	20.4					
80	85.5											77	63	22.0					
82	87.5											79	65						
85	90.5											81	68	23.1					
88	93.5											83	70						
90	95.5											85	72	23.8					
92	97.5											87	73						
95	100.5											89	75	29.2					
98	103.5											91	78						
100	105.5		93	80	31.6														
102	108	+1.30 -0.54	3	+0.07 -0.22	4	8.1	+0.54 0	3.2	+0.18 0	6	82								
105	112											83	42.0						
108	115											86							
110	117											88	48.4						
112	119											89							
115	122											90	55.9						
120	127											95	57.8						
125	132											100	59.25						
130	137											105	61.5						
135	142											110							
140	147											115	65.6						
145	152											118	66.75						
150	158	+1.50 -0.63	3	+0.07 -0.22	4	8.8	+0.63 0	3.2	+0.18 0	7.5	121	78.8							
155	164											125							
160	169											130	82.5						
165	174.5											136	93.75						
170	179.5											140	105.0						
175	184.5											142	112.5						
180	189.5											145	123.8						
185	194.5											150							
190	199.5											155	131.3						
195	204.5											157							
200	209.5											165	146.3						

注：1. GB/T 893.1—1986， $d_0=8\sim 200\text{mm}$ ；GB/T 893.2—1986， $d_0=20\sim 200\text{mm}$ 。

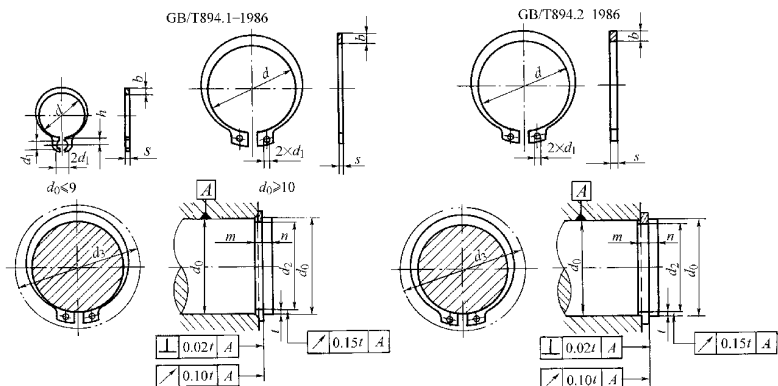
2. A型系采用板材—冲切工艺制成；B型系采用线材—冲切工艺制成。

3. d_3 为允许套入的最大轴径； $t=\frac{d_2-d_0}{2}$ 。

4. 材料：65Mn、60Si2MnA。

5. 硬度：当 $d_0\leq 48\text{mm}$ 时，47~54HRC；当 $d_0>48\sim 200\text{mm}$ 时，44~51HRC。

表 3.1-124 轴用弹性挡圈—A 型 (摘自 GB/T 894.1—1986)
—B 型 (摘自 GB/T 894.2—1986)



标记示例:

轴径 $d_0 = 50\text{mm}$ 、材料为 65Mn、热处理硬度为 44 ~ 51HRC, 经表面氧化处理的 A 型 (B 型) 轴用弹性挡圈:

挡圈 GB/T 894.1—1986
50 (GB/T 894.2—1986
50)

(mm)

轴径 d_0	挡 圈				沟槽 (推荐)								孔 $d_3 \geq$	每 1000 个钢挡 圈质量 /kg			
	d		s		d_1	b	h	d_2		m		$n \geq$					
	基本 尺寸	极限 偏差	基本 尺寸	极限 偏差							基本 尺寸		极限 偏差	基本 尺寸	极限 偏差		
3	2.7	+0.04 -0.15	0.4	+0.03 -0.06	1	0.8	0.95	2.8	0 -0.04	0.5	0.7	0.3	7.2	—			
4	3.7		0.6	+0.04 -0.07		0.88	1.1	3.8	0	0.9			8.8	—			
5	4.7					1.12	1.25	4.8	-0.048				10.7	—			
6	5.6	+0.06 -0.18			0.8	+0.04 -0.10	1.2	1.32	1.35 1.55		5.7 6.7	0	12.2 13.8	— —			
7	6.5		1.60	1.65				7.6	-0.058	15.2	—						
8	7.4		1.44	1.65				8.6	-0.058	16.4	—						
9	8.4	+0.10 -0.36	1	+0.05 -0.13	1.5	1.44	9.6	0 -0.11	1.1	17.6 18.6 19.6	0.34 0.41 0.50						
10	9.3					1.52	10.5					17.6	0.34				
11	10.2					1.72	11.5					19.6	0.50				
12	11				1.7	1.88	12.4	0 -0.11	1.1	20.8 22 23.2	0.53 0.64 0.67						
13	11.9					2.0	14.3					24.4	0.70				
14	12.9					2.32	15.2					25.6	0.82				
15	13.8				2.48	17 18	0 -0.13	1.3	27 28 29	1.11 1.22 1.30							
16	14.7										2.68	20 21	31 32	— 1.60			
17	15.7										22.9 23.9 24.9	0 -0.21	34 35 36	1.77 1.90 1.96			
18	16.5				3.60	26.6 27.6 28.6	0 -0.25	1.7	38.4 39.8 42	2.92 — 3.32							
19	17.5	3.72	30.3 32.3								1.7	3	44 46 48	3.56 3.80 4.00			
20	18.5	3.92 4.32	33 34 35												49 50 51	5.00 5.32 5.62	
21	19.5	4.52	36 37.5 39.5		0 -0.25	1.7	53 56 59.4	6.03 6.50 7.60									
22	20.5								47 49 52	0 -0.30	2.2	4.5	62.8 64.8 67	7.92 10.2 11.1			
24	22.2								5.0	5.48					0 -0.30	2.2	4.5
25	23.2	6.12	53		-0.30												
26	24.2																
28	25.9	+0.21 -0.42	1.2		+0.06 -0.15	2	4.52	33 34 35	0 -0.25	1.7	48 49 50	4.00 5.00 5.32					
29	26.9												36 37.5 39.5	0 -0.25	1.7	51 53 56	5.62 6.03 6.50
30	27.9												42.5 45.5				
32	29.6	5.0	5.48	0 -0.25		1.7	67 70.4 71.7	11.1 11.4 —									
34	31.5								5.0	5.48	0 -0.25	1.7	67 70.4 71.7	11.1 11.4 —			
35	32.2														5.0	5.48	0 -0.25
36	33.2	5.0	5.48	0 -0.25		1.7	67 70.4 71.7	11.1 11.4 —									
37	34.2								5.0	5.48	0 -0.25	1.7	67 70.4 71.7	11.1 11.4 —			
38	35.2														5.0	5.48	0 -0.25
40	36.5	5.0	5.48	0 -0.25		1.7	67 70.4 71.7	11.1 11.4 —									
42	38.5				5.0				5.48	0 -0.25	1.7	67 70.4 71.7	11.1 11.4 —				
45	41.5													5.0	5.48	0 -0.25	1.7
48	44.5	5.0	5.48	0 -0.25		1.7	67 70.4 71.7	11.1 11.4 —									
50	45.8				5.0				5.48	0 -0.25	1.7	67 70.4 71.7	11.1 11.4 —				
52	47.8													5.0	5.48	0 -0.25	1.7
55	50.8	5.0	5.48	0 -0.25		1.7	67 70.4 71.7	11.1 11.4 —									
56	51.8				5.0				5.48	0 -0.25	1.7	67 70.4 71.7	11.1 11.4 —				

(续)

轴径 d_0	挡 圈							沟槽 (推荐)					孔 $d_3 \geq$	每1000 个钢挡 圈质量 /kg					
	d		s		d_1	b	h	d_2		m		$n \geq$							
	基本 尺寸	极限 偏差	基本 尺寸	极限 偏差							基本 尺寸		极限 偏差	基本 尺寸	极限 偏差				
58	53.8	+0.46 -1.10	2	+0.06 -0.18	3	6.12		55	0 -0.30	2.2		4.5	73.6	12.6					
60	55.8							57					75.8	12.0					
62	57.8							59					79	15.0					
63	58.8							60					79.6	—					
65	60.8							62					81.6	18.2					
68	63.5		2.5					6.32		65			2.7	+0.14 0	85	21.3			
70	65.5									67					87.2	22.0			
72	67.5									69					89.4	22.6			
75	70.5									72					92.8	24.2			
78	73.5									75					96.2	26.2			
80	74.5							7.0		76.5					5.3	98.2	27.3		
82	76.5									78.5						101	—		
85	79.5									81.5						104	30.3		
88	82.5	84.5							107.3	—									
90	84.5	0 -0.35							86.5	110						37.1			
95	89.5							91.5	115	40.8									
100	94.5							96.5	121	44.8									
105	98	+0.54 -1.30								10.7						101	3.2	+0.18 0	6
110	103		11.3		106		0 -0.54			136	61.5								
115	108				12					111	142	63.0							
120	113		116				145			64.5									
125	118		12.6		121		7.5			151	—								
130	123				126					158	75.0								
135	128		1.32	131	162.8	—													
140	133			136	168	82.5													
145	138			141	174.4	—													
150	142		+0.63 -1.50	3		14				145	3.2	+0.18 0	7.5	180		90.0			
155	146									150				186		—			
160	151									155				190	112.5				
165	155.5									14.4				160	195	—			
170	160.5	165												200	127.5				
175	165.5	15				170				206				—					
180	170.5					175				212				142.5					
185	175.5	15.2				180				218				—					
190	180.5					185				223				157.5					
195	185.5	+0.72 -1.70				15.6		190	229	—									
200	190.5							195	235	172.5									

注：1. GB/T 894.1—1986、轴径 $d_0 = 3 \sim 200\text{mm}$ ；GB/T 894.2—1986、轴径 $d_0 = 20 \sim 200\text{mm}$ 。

2. A 型系采用板材—冲切工艺制成；B 型系采用线材—冲切工艺制成。

3. d_3 为允许套入的最小孔径； $t = \frac{d_0 - d_2}{2}$ 。

4. 材料：65Mn、60Si2MnA。

5. 热处理硬度：当 $d_0 \leq 48\text{mm}$ 时，47~54HRC；当 $d_0 > 48 \sim 200\text{mm}$ 时，44~51HRC。

表 3.1-125 孔用钢丝挡圈(摘自 GB/T 895.1—1986)、轴用钢丝挡圈(摘自 GB/T 895.2—1986) (mm)

GB/T895.1		GB/T895.2	

标记示例：
孔径 $d_0=40\text{mm}$ 、材料为碳素弹簧钢丝、经低温回火及表面氧化处理的孔用钢丝挡圈：挡圈 GB/T 895. 1—1986 40

孔 径 轴 径 d_0	挡 圈							沟 槽 (推 荐)				1000 个质量 /kg≈		
	d_1	r	GB/T 895. 1—1986			GB/T 895. 2—1986			GB/T 895. 1 —1986		GB/T 895. 2 —1986		GB/T 895. 1 —1986	GB/T 895. 2 —1986
			D		B	d		B	d_2		d_2			
			基本 尺寸	极限 偏差		基本 尺寸	极限 偏差		基本 尺寸	极限 偏差	基本 尺寸	极限 偏差		
4	0.6	0.4	—	—	—	3	0	1	—	—	3.4	±0.037	—	—
5			—	—	4	-0.18	—		—	4.4	—		0.03	
6			—	—	5		—		5.4	—	0.037			
7	0.8	0.5	8.0	+0.22	4	6	0	2	7.8	±0.045	6.2	±0.045	0.0735	0.076
8			9.0	7		-0.22	8.8		±0.045	7.2	±0.045	0.0859	0.089	
10			11.0	9			10.8		±0.045	9.2	±0.045	0.0934	0.114	
12	1.0	0.6	13.5	+0.43	6	10.5	0	3	13.0	±0.055	11.0	±0.055	0.205	0.204
14			15.5	12.5		-0.47	15.0		±0.055	13.0	±0.055		0.244	0.243
16			18.0	14.0			-0.47		17.6	±0.065	14.4		±0.055	0.705
18	1.6	—	20.0	—	8	16.0		0	4	19.6	±0.065	16.4	±0.09	0.804
20			22.5	17.5		-0.47	22.0	±0.09		18.0	±0.09	1.32		1.437
22			24.5	19.5			-0.47	24.0		±0.105	20.0	±0.105		1.47
24	2.0	1.1	26.5	0	10	21.5		-0.52	5	26.0	±0.105	22.0	±0.105	1.63
25			27.5	22.5		27.0	±0.105			23.0	±0.105	1.70		1.824
26			28.5	23.5		-0.52	28.0	±0.105		24.0	±0.105	1.79		1.902
28	30.5	25.5	-0.52	30.0	±0.105		26.0	±0.105	1.94	2.057				
30	32.5	27.5		-0.52	32.0	±0.105	28.0	±0.105	2.10	2.212				
32	2.5	1.4	35.0		0	12	29.0	-1.00	6	34.5	±0.125	29.5	±0.125	3.47
35			38.0	32.0	-1.00		37.6			±0.125	32.5	±0.125		3.85
38			41.0	35.0			-1.00	40.6		±0.125	35.5	±0.125		4.20
40	43.0	37.0	-1.00	42.6	±0.125	37.5		±0.125	4.43	4.628				
42	45.0	39.0		-1.00	44.5	±0.125	39.5	±0.125	4.54	4.87				
45	48.0	42.0	-1.00		47.5	±0.125	42.5	±0.125	4.89	5.233				
48	51.0	45.0		-1.00	50.5	±0.150	45.5	±0.150	5.24	5.596				
50	53.0	47.0	-1.00		52.5	±0.150	47.5	±0.150	5.51	5.838				
55	3.2	1.8		59.0	+1.20	20	51.0	0	7	58.2	±0.150	51.8	±0.15	9.805
60			64.0	56.0	63.2		±0.150			56.8	±0.15	10.80		11.43
65			69.0	61.0	68.2		±0.150	61.8		±0.15	11.79	12.22		
70	74.0	66.0	-1.20	73.2	±0.175	66.8	±0.175	12.46	13.41					
75	79.0	71.0		78.2	±0.175	71.8		±0.175	13.47	14.40				
80	84.0	76.0	-1.40	83.2	±0.175	76.8	±0.175	14.45	15.39					
85	89.0	81.0		88.2	±0.175	81.8		±0.175	15.44	16.39				
90	94.0	86.0	-1.40	93.2	±0.175	86.8	±0.175	16.43	17.38					
95	99.0	91.0		-1.40	98.2	±0.200		91.8	±0.200	17.42	18.31			
100	104.0	96.0	-1.40		103.2	±0.200	96.8	±0.200		17.97	19.36			
105	109.0	101.0		-1.40	108.2	±0.200	101.8		±0.200	18.96	20.35			
110	114.0	106.0	-1.40		113.2	±0.200	106.8	±0.200		19.96	21.34			
115	119.0	111.0		-1.40	118.2	±0.200	111.8		±0.200	20.95	22.34			
120	124.0	116.0	-1.40		123.2	±0.200	116.8	±0.200		21.94	23.33			
125	129.0	121.0		-1.60	128.2	±0.200	121.8		±0.200	22.93	24.32			

注:材料按 GB/T 959.2—1986 碳素弹簧钢丝,低温回火和表面氧化处理。

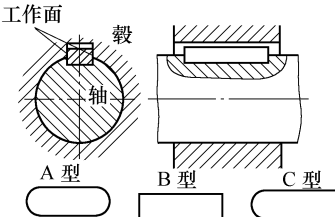
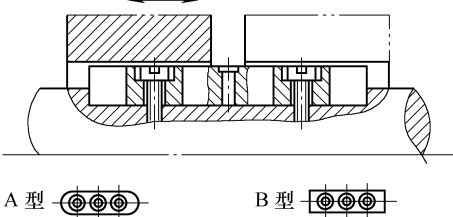
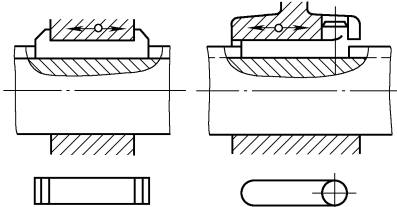
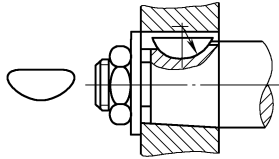
第 2 章 轴毂连接与销连接

1 键与花键连接

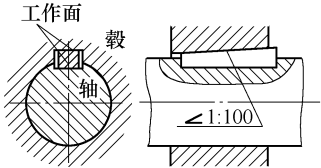
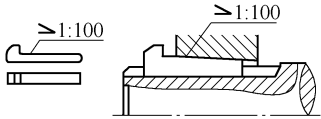
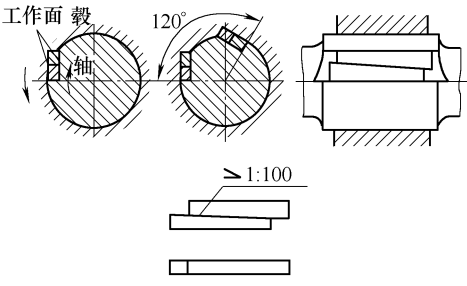
1.1 键连接

1.1.1 键和键连接的类型、特点和应用(见表 3. 2-1)

表 3. 2-1 键及键连接的类型、特点和应用

键连接 的类型	键的 类型	图 示	特 点	应 用
平 键 连 接	普通平键		键面的两个侧面是工作面, 工作时靠键与键槽侧面的挤压传递转矩, 结构简单, 对中性好。但不起轴向固定零件的作用	应用最广, 适用于静连接、且用于高速、精密的连接
	薄型平键		A 型平键适用于指状铣刀加工的轴槽, 键卧在轴槽中固定良好, 但轴上键槽端部的应力集中较大, B 型用于盘铣刀加工的轴槽, 轴的应力集中较小, C 型用于轴端	由于薄型平键的高度仅为普通平键的 60% ~ 70%, 故薄型平键适用于空心轴、薄壁轮毂或只传递运动的轴毂连接
	导向平键		靠键的两个侧面工作, 结构简单, 对中性好, 导键一般用螺钉固定在轴上, 键与键槽采用间隙配合, 轮毂可沿导键轴向移动。滑键固定在轮毂上, 随轮毂一起沿轴上的键槽移动, 这时轴上应铣出较长的键槽	导向平键用于轴上零件轴向移动量不大的场合, 如变速器中的滑移齿轮, 当轴上零件轴向移动量较大时, 则可采用滑键
	滑键			
半圆键连接	半圆键		工作原理与平键相同, 键的两个侧面为工作面。由于键的侧面是半圆形, 故键在槽中能绕键的几何中心摆动, 使安装极为方便 轴在键槽中较深, 对轴削弱较大	适用于轻载或锥形轴端与轮毂的连接

(续)

键连接 的类型	键的 类型	图 示	特 点	应 用
楔 键 连 接	普通楔键		键的上、下表面为工作面，键的上表面与轮毂键槽的底均有 1:100 的斜度，装配打紧后，键楔紧在轴、毂之间以传递转矩。能轴向固定零件和传递单方向的轴向力	用于对中要求不严，承受单向轴向力的场合 当楔键不能从毂的另一端把键打出时，则用钩头楔键
	钩头楔键		由于楔键连接在装配后会使轴上零件和轴偏心，故对中性不好	
切 向 键 连 接	切向键		切向键由两个斜度为 1:100 的楔键组成，其较窄的两个面为工作面，且两个工作面相互平行，其中一个面在通过轴心线的平面内，工作面上的压力沿轴的切线方向 当用一切向键时，只能传递一个方向的转矩。若要传递双向转矩，则须安装两个键，这时为保证轴与毂有较大的压紧力又不过多削弱其强度两键位置应成 120°~135°	能传递很大的转矩，但轴的削弱较严重，常用于直径较大 ($d > 100\text{mm}$)、对中性要求不高的场合。如大型带轮、矿用大型绞车的卷筒及齿轮与轴的连接等

1.1.2 键的选择和键连接的强度校核

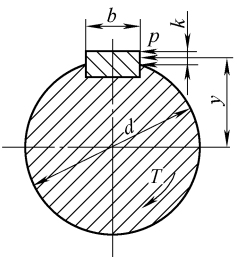
由于键是标准件，故选择时可根据连接的结构特点、使用要求和工作条件，首先选择键的类型，而后可按轴的直径从标准中选取键的剖面尺寸。键的长度则按轮毂长度从键的标准长度系列值中选取。

键连接的强度校核可按表 3.2-2 中所示公式进行。键的长度一般不宜超过 $(1.6 \sim 1.8)d$ 。如果强度

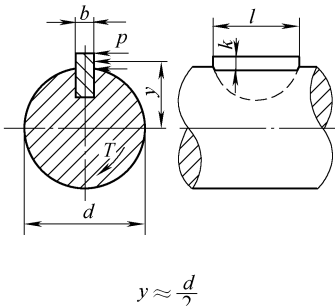
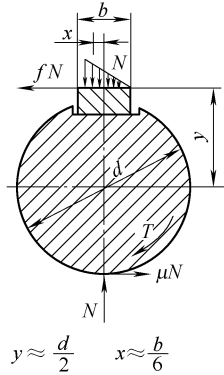
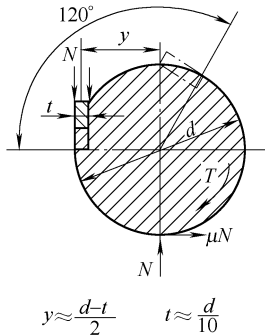
不够，可采用双键，通常双平键按 180° 布置；两个半圆键则应沿轴布置在一条直线上，两个楔键夹角一般为 $90^\circ \sim 120^\circ$ ；两个切向键之间的夹角常取为 $120^\circ \sim 135^\circ$ 。双键连接，强度校核时按 1.5 个键计算。表 3.2-3 为键连接的许用应力。

键的材料采用抗拉强度不低于 600MPa 的钢，常用 45 钢，若轮毂系非铁金属或非金属材料，键可用 20、Q235-A 钢等。

表 3.2-2 键连接的强度校核公式

类型	计算内容	受力图	强度校核公式	说 明
平 键 连 接	键或键槽工作面的挤压或磨损	 $y \approx \frac{d}{2}$	静连接：工作面挤压 $\sigma_p = \frac{2000T}{dkl} \leq [\sigma_p]$ 动连接：工作面压强 $p = \frac{2000T}{dkl} \leq [p]$	T —传递的转矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$) d —轴的直径 (mm) l —键的工作长度 (mm) 对于 A 型 $l = L - b (\text{mm})$ ； B 型 $l = L (\text{mm})$ ；C 型 $l = L - b/2 (\text{mm})$

(续)

类型	计算内容	受力图	强度校核公式	说 明
半月键连接	键或键槽工作面的挤压	 $y \approx \frac{d}{2}$	$\sigma_p = \frac{2000T}{dbL} \leq [\sigma_p]$	L —键的长度 (mm) b —键的宽度 (mm) k —键与轮毂的接触高度 (mm)
楔键连接	键或键槽工作面的挤压	 $y \approx \frac{d}{2} \quad x \approx \frac{b}{6}$	$\sigma_p = \frac{12000T}{bL(6\mu d + b)} \leq [\sigma_p]$	$k \approx \frac{h}{2}$ (平键) t —切向键的工作高度 (mm) c —切向键倒角的宽度 (mm) μ —摩擦因数, 对钢和铸铁 $\mu = 0.12 \sim 0.17$ $[\sigma_p]$ —键、轴、轮毂三者中最弱材料的许用挤压应力 (MPa), 见表 3.2-3
切向键连接	键或键槽工作面的挤压	 $y \approx \frac{d}{2} \quad t \approx \frac{d}{10}$	$\sigma_p = \frac{1000T}{(0.5 + 0.45)dl(t - c)} \leq [\sigma_p]$	$[p]$ —键、轴、轮毂三者中最弱材料的许用压强 (MPa), 见表 3.2-3

注：平键连接的失效形式为侧面压溃键的剪断(静连接)和磨损(动连接)，压溃和磨损是主要失效形式。

表 3.2-3 键连接的许用应力 (MPa)

许用应力	连接方式	键或毂的材料	载 荷 性 质		
			静 载	轻微冲击	冲 击
许用挤压应力 $[\sigma_p]$	静连接	钢	125 ~ 150	100 ~ 120	60 ~ 90
		铸铁	70 ~ 80	50 ~ 60	30 ~ 45
许用压强 $[p]$	动连接	钢	50	40	30
键的许用切应力 $[\tau]$	静连接	钢	120	90	60

注：1. $[\sigma_p]$ 应按连接中材料力学性能较弱的零件选取。

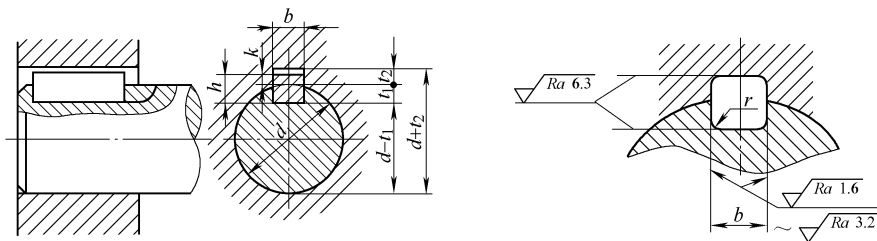
2. 与键有相对滑动的键槽经表面硬化处理， $[p]$ 可提高 2 ~ 3 倍。

1.1.3 键连接的标准元件(表 3.2-4 ~ 表 3.2-11)

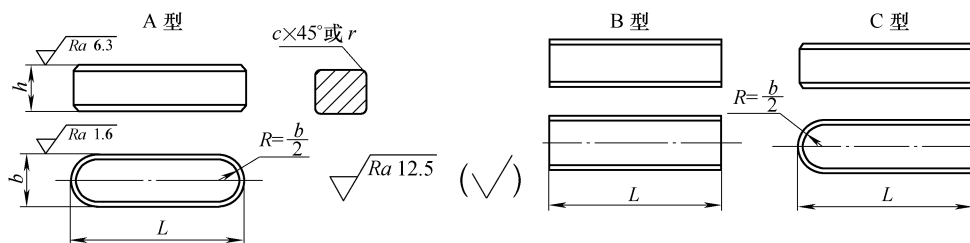
表 3.2-4 普通平键(摘自 GB/T 1095—2003, GB/T 1096—2003)

(mm)

键和键槽的剖面尺寸 GB/T 1095



普通平键的形式与尺寸 (GB/T 1096)



标记示例:

圆头普通平键(A 型), $b=16\text{mm}$, $h=10\text{mm}$, $L=100\text{mm}$ 的标记为:

GB/T 1096—2003 键 16×10×100

平头普通平键(B 型), $b=16\text{mm}$ 、 $h=10\text{mm}$ 、 $L=100\text{mm}$ 的标记为:

GB/T 1096—2003 键 B16×10×100

单圆头普通平键(C 型), $b=16\text{mm}$ 、 $h=10\text{mm}$ 、 $L=100\text{mm}$ 的标记为:

GB/T 1096—2003 键 C16×10×100

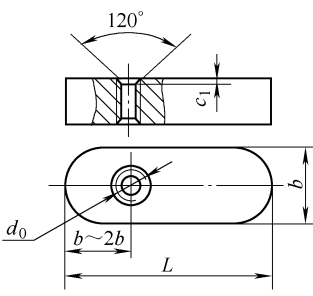
轴径 d	键 的 公 称 尺 寸				每 100mm 质量 /kg	键 槽 尺 寸						
	$b(h8)$	$\begin{matrix} (h8) \\ h(h11) \end{matrix}$	c 或 r	$L(h14)$		轴槽深 t_1		毂槽深 t_2		b	圆角半径 r	
						公称 尺寸	极限 偏差	公称 尺寸	极限 偏差		min	max
自 6 ~ 8	2	2	0.16 ~ 0.25	6 ~ 20	0.003	1.2	+0.1 0	1	+0.1 0	公称 尺寸同 键,公差 见表 3.2-9	0.08	0.16
> 8 ~ 10	3	3		6 ~ 36	0.007	1.8		1.4				
> 10 ~ 12	4	4		8 ~ 45	0.013	2.5		1.8				
> 12 ~ 17	5	5	0.25 ~ 0.4	10 ~ 56	0.02	3.0		2.3			0.16	0.25
> 17 ~ 22	6	6		14 ~ 70	0.028	3.5		2.8				
> 22 ~ 30	8	7		18 ~ 90	0.044	4.0		3.3				
> 30 ~ 38	10	8	0.4 ~ 0.6	22 ~ 110	0.063	5.0	+0.2 0	3.3	+0.2 0		0.25	0.4
> 38 ~ 44	12	8		28 ~ 140	0.075	5.0		3.3				
> 44 ~ 50	14	9		36 ~ 160	0.099	5.5		3.8				
> 50 ~ 58	16	10		45 ~ 180	0.126	6.0		4.3				
> 58 ~ 65	18	11		50 ~ 200	0.155	7.0		4.4				
> 65 ~ 75	20	12	0.6 ~ 0.8	56 ~ 220	0.188	7.5		4.9			0.4	0.6
> 75 ~ 85	22	14		63 ~ 250	0.242	9.0		5.4				
> 85 ~ 95	25	14		70 ~ 280	0.275	9.0		5.4				
> 95 ~ 110	28	16		80 ~ 320	0.352	10.0		6.4				
> 110 ~ 130	32	18		90 ~ 360	0.452	11		7.4				
> 130 ~ 150	36	20	1 ~ 1.2	100 ~ 400	0.565	12		8.4			0.7	1.0
> 150 ~ 170	40	22		100 ~ 400	0.691	13		9.4				
> 170 ~ 200	45	25		110 ~ 450	0.883	15		10.4				
> 200 ~ 230	50	28		125 ~ 500	1.1	17		11.4				
> 230 ~ 260	56	32	1.6 ~ 2.0	140 ~ 500	1.407	20	+0.3 0	12.4	+0.3 0		1.2	1.6
> 260 ~ 290	63	32		160 ~ 500	1.583	20		12.4				
> 290 ~ 330	70	36		180 ~ 500	1.978	22		14.4				
> 330 ~ 380	80	40	2.5 ~ 3	200 ~ 500	2.512	25		15.4			2	2.5
> 380 ~ 440	90	45		220 ~ 500	3.179	28		17.4				
> 440 ~ 500	100	50		250 ~ 500	3.925	31		19.5				

(续)

轴径 d	键 的 公 称 尺 寸				每 100mm 质量 /kg	键 槽 尺 寸						
	$b(h8)$	$h(h11)$	c 或 r	$L(h14)$		轴槽深 t_1		毂槽深 t_2		b	圆角半径 r	
						公称 尺寸	极限 偏差	公称 尺寸	极限 偏差		min	max
L 系列	6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400, 450, 500											

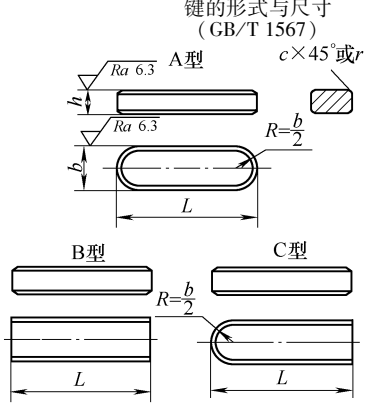
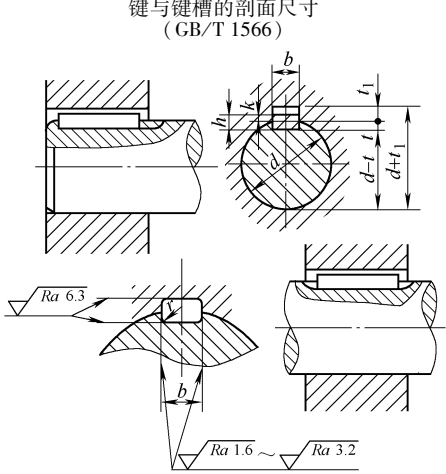
- 注：1. 在工作图中，轴槽深用 t_1 或 $(d - t_1)$ 标注，毂槽深用 t_2 或 $(d + t_2)$ 标注。
2. 导向型平键的轴槽与轮毂槽用较松键连接的公差。
3. 在满足传递所需转矩条件下，允许用较小剖面的键，但 t_1 和 t_2 的数值必要时应重新计算，使键侧与轴槽及轮毂槽接触高度各为 $h/2$ 。
4. 当键长大于 500mm 时，其长度应按 GB/T 321—2005 的 R20 系列选取，为减小由于直线度而引起的问题，键长应小于 10 倍的键宽。
5. 表中每 100mm 长的质量系指 B 型键。
6. 键高偏差对于 B 型且为方形键时应为 h8。
7. 轴槽及轮毂槽对轴及轮毂中心线的对称度根据不同要求按 GB/T 1184—1996 对称度公差 7~9 级选取，对称度公差的公称尺寸是指键宽 b 。
8. $(d - t_1)$ 和 $(d + t_2)$ 尺寸公差按相应的 t_1 和 t_2 的公差选取，但 $(d - t_1)$ 公差应取负号 (-)。 $(d - t_1)$ 和 $(d + t_2)$ 尺寸公差按相应的 t_1 和 t_2 的公差选取，但 $(d - t_1)$ 公差应取负号 (-)。
9. 当需要时，键允许带起键螺孔，起键螺孔的尺寸见表 3.2-5。

表 3.2-5 起键螺孔的尺寸 (mm)

	b	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	
	d_0	M3		M4	M5		M6		M8		M10		
	c_1	0.3			0.5								
	b	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100		
	d_0	M12						M16		M20			
	c_1	1					2						

注：较长的键可以采用两个对称的起键螺孔。

表 3.2-6 薄型平键 (摘自 GB/T 1566—2003) (mm)

键的形式与尺寸 (GB/T 1567)	键与键槽的剖面尺寸 (GB/T 1566)
	

标记示例：圆头薄型平键 (A 型)， $b = 18\text{mm}$ ， $h = 7\text{mm}$ ， $L = 110\text{mm}$
GB/T 1567—2003 键 18 × 7 × 110
对于同一尺寸的平头薄型平键 (B 型) 或单圆头薄型平键 (C 型)，标记为
GB/T 1567—2003 键 B 18 × 7 × 110
GB/T 1567—2003 键 C 18 × 7 × 110

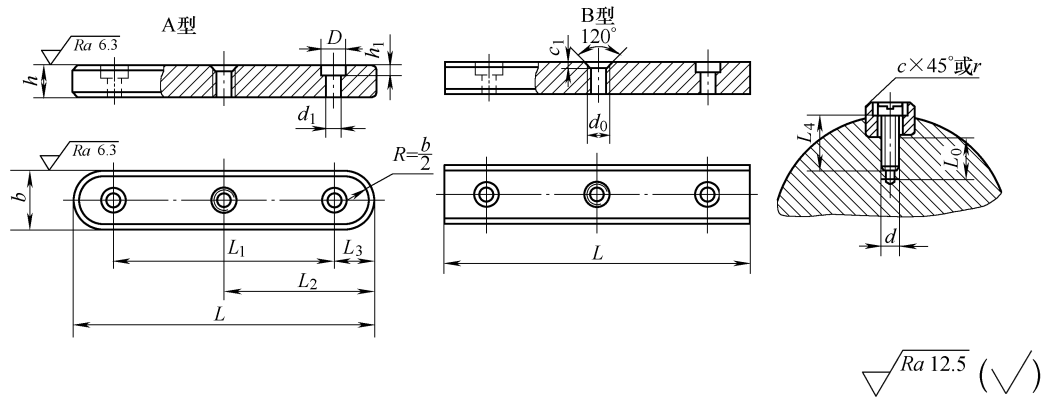
(续)

轴 径		键 的 公 称 尺 寸				键 槽 尺 寸					
<i>d</i>	<i>b</i> (h8)	<i>h</i> (h11)	<i>c</i> 或 <i>r</i>	<i>L</i> (h14)	每 100mm 质量 /kg	轴槽深 <i>t</i> ₁		毂槽深 <i>t</i> ₂		<i>b</i>	圆角半径 <i>r</i>
						基本 尺寸	公差	基本 尺寸	公差		
自 12 ~ 17	5	3	0.25 ~ 0.4	10 ~ 56	0.012	1.8	+0.1 0	1.4	+0.1 0	基本 尺寸同 键, 公 差见表 3.2-9	0.16 ~ 0.25
> 17 ~ 22	6	4		14 ~ 70	0.019	2.5		1.8			
> 22 ~ 30	8	5		18 ~ 90	0.031	3		2.3			
> 30 ~ 38	10	6	0.4 ~ 0.6	22 ~ 110	0.047	3.5	+0.1 0	2.8	+0.1 0		0.25 ~ 0.4
> 38 ~ 44	12	6		28 ~ 140	0.0565	3.5		2.8			
> 44 ~ 50	14	6		36 ~ 160	0.066	3.5		2.8			
> 50 ~ 58	16	7		45 ~ 180	0.088	4		3.3			
> 58 ~ 65	18	7		50 ~ 200	0.099	4		3.3			
> 65 ~ 75	20	8	0.6 ~ 0.8	56 ~ 220	0.126	5	+0.2 0	3.3	+0.2 0		0.4 ~ 0.6
> 75 ~ 85	22	9		63 ~ 250	0.155	5.5		3.8			
> 85 ~ 95	25	9		70 ~ 280	0.177	5.5		3.8			
> 95 ~ 110	28	10		80 ~ 320	0.22	6		4.3			
> 110 ~ 130	32	11		90 ~ 360	0.276	7		4.4			
> 130 ~ 150	36	12	1.0 ~ 1.2	100 ~ 400	0.339	7.5		4.9			0.70 ~ 1.0
<i>L</i> 系列	10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400										

- 注：1. 材料：45 钢。
2. 在工作图中，轴槽深用 t 或 $(d-t)$ 标注，轮毂槽深用 t_1 或 $(d+t_1)$ 标注。
3. 表中每 100mm 长的质量系指 B 型的。
4. 键侧与轴接触高度为 $h/2$ 。
5. $(d-t)$ 和 $(d+t_1)$ 的公差按相应的 t 和 t_1 的公差选取，但 $(d-t)$ 公差应取负号（-）。
6. 当键长与键宽之比大于或等于 8 时，键的不直度应小于或等于键宽公差之半。
7. 轴槽长度公差用 H14。
8. 轴槽及毂槽对轴及轮毂轴心线对称度按 GB/T 1184—1996 对称度公差 7~9 级选取，对称度公差的公称尺寸是指键宽 b 。

表 3.2-7 导向平键(摘自 GB/T 1097—2003) (mm)

键的形式和尺寸 GB/T 1097



标记示例：

圆头导向平键(A 型)， $b = 16\text{mm}$ ， $h = 10\text{mm}$ ， $L = 100\text{mm}$ ；
GB/T 1097—2003 键 16 × 100 GB/T1097

方头导向平键(B 型)， $b = 16\text{mm}$ ， $h = 10\text{mm}$ ， $L = 100\text{mm}$ ；
GB/T 1097—2003 键 B16 × 100 GB/T1097

(续)

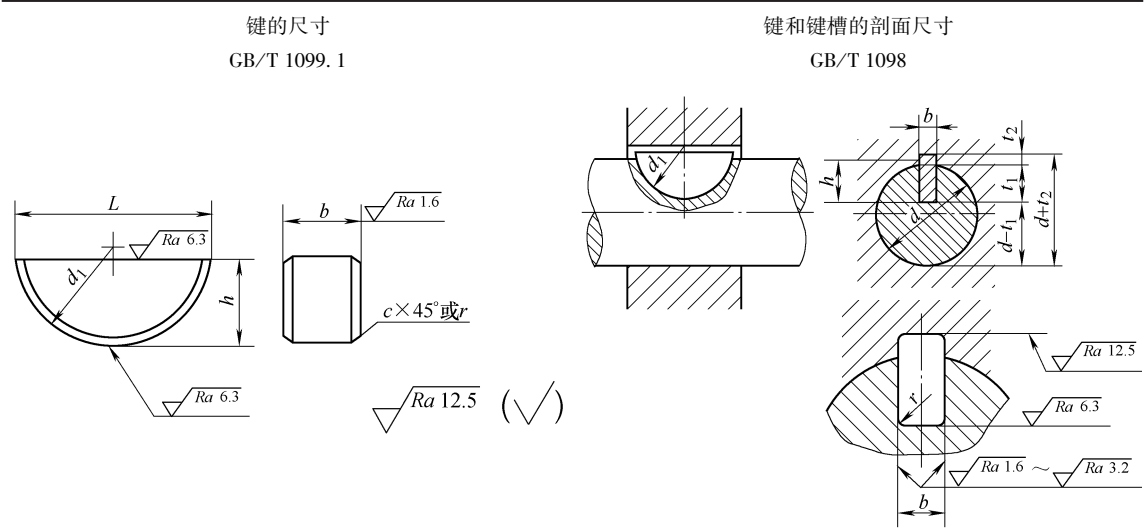
$b(h8)$	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	
$h(h11)$	7	8	8	9	10	11	12	14	14	16	18	20	22	25	
c 或 r	0.25 ~ 0.4	0.4 ~ 0.6					0.6 ~ 0.8					1.0 ~ 1.2			
h_1	2.4		3.0	3.5		4.5		6		7	8				
d_0	M3		M4	M5		M6		M8		M10	M12				
d_1	3.4		4.5	5.5		6.6		9		11	14				
D	6		8.5	10		12		15		18	22				
c_1	0.3		0.5								1.0				
L_0	7	8	10			12			15		18	22			
螺 钉 ($d_0 \times L_4$)	M3 × 8	M3 × 10	M4 × 10	M5 × 10	M5 × 10	M6 × 12	M6 × 12	M6 × 16	M8 × 16	M8 × 16	M10 × 20	M12 × 25			
L 范围	25 ~ 90	25 ~ 110	28 ~ 140	36 ~ 160	45 ~ 180	50 ~ 200	56 ~ 220	63 ~ 250	70 ~ 280	80 ~ 320	90 ~ 360	100 ~ 400	100 ~ 400	110 ~ 450	

L 与 L_1 、 L_2 、 L_3 的对应长度系列

L	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450
L_1	13	14	16	18	20	23	26	30	35	40	48	54	60	66	75	80	90	100	110	120	140	160	180	200	220	250
L_2	12.5	14	16	18	20	22.5	25	28	31.5	35	40	45	50	55	62	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	225
L_3	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100

- 注：1. b 和 h 根据轴径 d 由表 3.2-4 中选取。
2. 固定螺钉按 GB/T 65—2000 的规定。
3. 键槽的尺寸应符合 GB/T 1095—2003 的规定，见表 3.2-4 及表 3.2-9。
4. 当键长大于 450mm 时，其长度按国标“优先数和优先数系”的 R20 系列选取。
5. 材料采用抗拉强度不小于 590MPa 的钢，常用 45 钢。
6. 每 100mm 长质量系指 B 型键。
7. 当键长大于 450mm 时，其长度应按 GB/T 321 的 R20 系列选取。为减小曲直线度而引起的问题，键长应小于 10 倍的键宽。

表 3.2-8 半圆键(摘自 GB/T 1098—2003 及 GB/T 1099.1—2003) (mm)



标记示例：

宽度 $b=6\text{mm}$ 、高度 $h=10\text{mm}$ 、直径 $D=25\text{mm}$ 、普通型半圆键，标记为：

GB/T 1099.1—2003 键 6 × 10 × 25

(续)

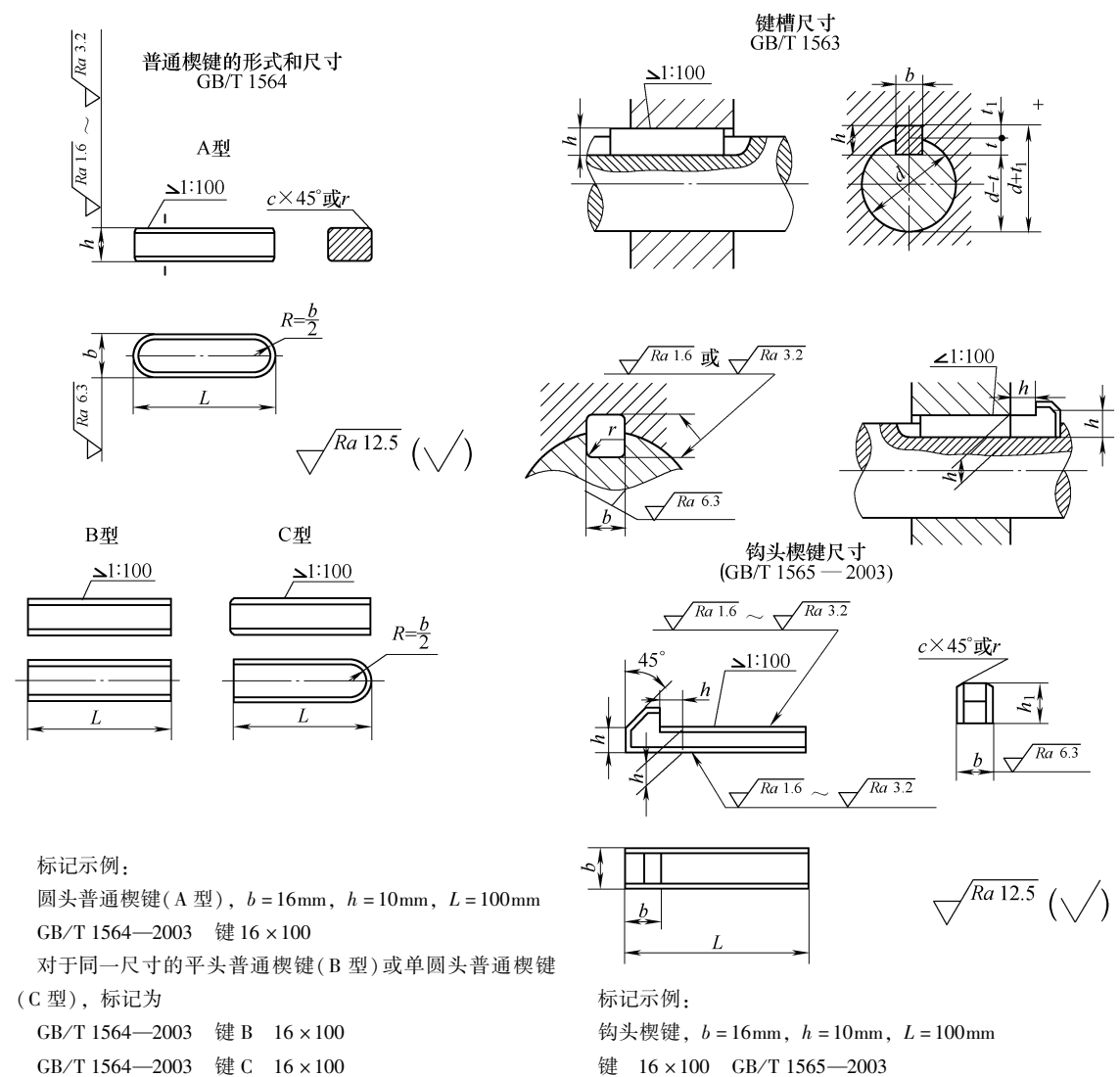
轴 径 d		键 的 公 称 尺 寸						键 槽 尺 寸						
传递转矩用	定位用	b	h (h12)	D (h12)	$L \approx$	c	每 1000 件 的质量 /kg	轴 t_1		轮毂 t_2		k	圆角 半径 r	b
								公称 尺寸	极限 偏差	公称 尺寸	极限 偏差			
自 3 ~ 4	自 3 ~ 4	1.0	1.4	4	3.9	0.16 ~ 0.25	0.031	1.0	+0.1 0	0.6	+0.1 0	0.4	0.08 ~ 0.16	公称 尺寸同 键, 公差见表 3.2-9
>4 ~ 5	>4 ~ 6	1.5	2.6	7	6.8		0.153	2.0		0.8		0.72		
>5 ~ 6	>6 ~ 8	2.0	2.6	7	6.8		0.204	1.8		1.0		0.97		
>6 ~ 7	>8 ~ 10	2.0	3.7	10	9.7		0.414	2.9		1.0		0.95		
>7 ~ 8	>10 ~ 12	2.5	3.7	10	9.7		0.518	2.7		1.2		1.2		
>8 ~ 10	>12 ~ 15	3.0	5.0	13	12.7		1.10	3.8		1.4		1.43		
>10 ~ 12	>15 ~ 18	3.0	6.5	16	15.7	0.25 ~ 0.4	1.8	5.3	+0.2 0	1.4	+0.1 0	1.4	0.16 ~ 0.25	
>12 ~ 14	>18 ~ 20	4.0	6.5	16	15.7		2.4	5.0		1.8		1.8		
>14 ~ 16	>20 ~ 22	4.0	7.5	19	18.6		3.27	6.0		1.8		1.75		
>16 ~ 18	>22 ~ 25	5.0	6.5	16	15.7		3.01	4.5		2.3		2.35		
>18 ~ 20	>25 ~ 28	5.0	7.5	19	18.6		4.09	5.5		2.3		2.32		
>20 ~ 22	>28 ~ 32	5.0	9.0	22	21.6		5.73	7.0		2.3		2.29		
>22 ~ 25	>32 ~ 36	6.0	9.0	22	21.6	0.4 ~ 0.6	6.88	6.5	+0.3 0	2.8	+0.2 0	2.87	0.25 ~0.4	
>25 ~ 28	>36 ~ 40	6.0	10	25	24.5		8.64	7.5		2.8		2.83		
>28 ~ 32	40	8.0	11	28	27.4		14.1	8		3.3		3.51		
>32 ~ 38	—	10	13	32	31.4		19.3	10		3.3		3.67		

- 注：1. 半圆键键宽 b 的下偏差统一为 $-25\mu\text{m}$ 。
2. 在工作图中轴槽深用 t_1 或 $(d-t_1)$ 标注、轮毂槽深用 $(d+t_2)$ 标注。
3. $(d-t_1)$ 和 $(d+t_2)$ 两组合尺寸的极限偏差按相应的 t_1 和 t_2 的极限偏差选取，但 $(d-t_1)$ 极限偏差值应取负号(-)。
4. 轴槽及轮毂槽对轴及轮毂轴线的对称度公差，一般可按 GB/T 1184—1996 中对称度公差 7 ~ 9 级中选取。轴槽及轮毂槽的对称度公差的公称尺寸是指键槽宽 b 。

表 3.2-9 键和键槽尺寸公差 (摘自 GB/T 1095—2003, GB/T 1096—2003) (μm)

基本尺寸 /mm	键 的 公 差 带						键 槽 尺 寸 公 差 带					
	b	h			L	D	槽 宽 b					槽长 L
	h8	方形 h8	矩形 h11	半圆键 h12	h14	h12	松连接		正常连接		紧密连接	H14
							轴 H9	毂 D10	轴 N9	毂 JS9	轴与毂 P9	
≤ 3	0 -14	0 -14	0 -60	0 -10			+25 0	+60 +20	-4 -29	± 12.5	-6 -31	+250 0
$> 3 \sim 6$	0 -18	0 -18	0 -75	0 -12		0 -120	+30 0	+78 +30	0 -30	± 15	-12 -42	+300 0
$> 6 \sim 10$	0 -22	—	0 -90	0 -15	0 -360	0 -150	+36 0	+98 +40	0 -36	± 18	-15 -51	+360 0
$> 10 \sim 18$	0 -27	—	0 -110	0 -18	0 -430	0 -180	+43 0	+120 +50	0 -43	± 21	-18 -61	+430 0
$> 18 \sim 30$	0 -33	—	0 -130	—	0 -520	0 -210	+52 0	+149 +65	0 -52	± 26	-22 -74	+520 0
$> 30 \sim 50$	0 -39	—	0 -160	—	0 -620	0 -250	+62 0	+180 +80	0 -62	± 31	-26 -88	+620 0
$> 50 \sim 80$	0 -46	—	0 -190	—	0 -740		+74 0	+220 +100	0 -74	± 37	-32 -106	+740 0
$> 80 \sim 120$	0 -54	—	0 -220	—	0 -870		+87 0	+260 +120	0 -87	± 43	-37 -124	+870 0

表 3.2-10 楔键(摘自 GB/T 1563—2003、GB/T 1564—2003 及 GB/T 1565—2003) (mm)



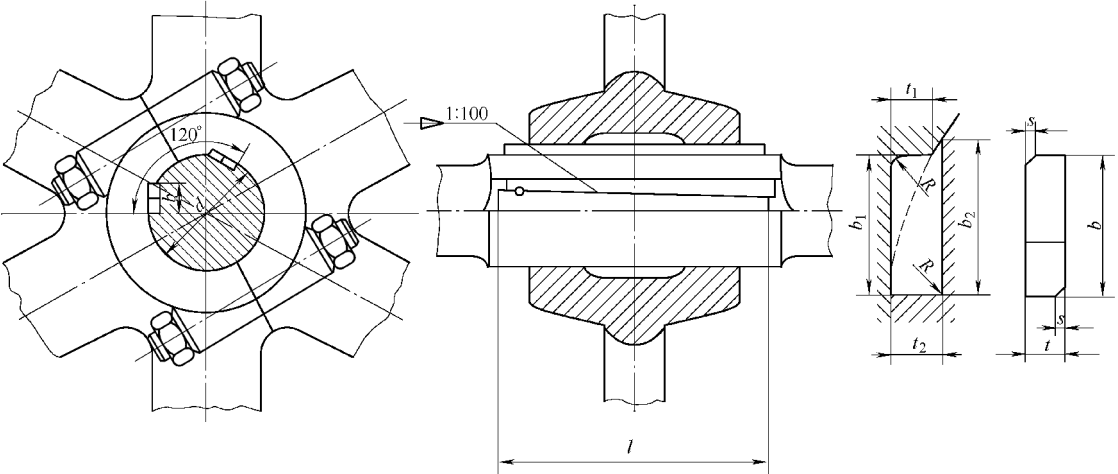
轴 径 d	键 的 公 称 尺 寸								键 槽				
	b (h8)	h (h11)	c 或 r	h_1	$L(h14)$		每 100mm 长质量/kg		轴 t		轮毂 t_1		圆角 半径 r
					GB/T 1564 —2003	GB/T 1565 —2003	GB/T 1564 —2003 (B)	GB/T 1565 —2003	公称	偏差	公称	偏差	
自 6 ~ 8	2	2	0.16		6 ~ 20	—	0.003	—	1.2		0.5		0.08
> 8 ~ 10	3	3	~		6 ~ 36	—	0.007	—	1.8		0.9		~
> 10 ~ 12	4	4	0.25	7	8 ~ 45	14 ~ 45	0.012	0.013	2.5	+0.1 0	1.2	+0.1 0	0.16
> 12 ~ 17	5	5	0.25	8	10 ~ 56	14 ~ 56	0.019	0.02	3.0		1.7		0.16
> 17 ~ 22	6	6	~	10	14 ~ 70		0.027	0.03	3.5		2.2		~
> 22 ~ 30	8	7	0.4	11	18 ~ 90		0.042	0.047	4.0		2.4		0.25
> 30 ~ 38	10	8		12	22 ~ 110		0.059	0.068	5.0		2.4		
> 38 ~ 44	12	8	0.4	12	28 ~ 140		0.071	0.084	5.0	+0.2 0	2.4	+0.2 0	0.25
> 44 ~ 50	14	9	~	14	36 ~ 160		0.093	0.114	5.5		2.9		~0.40
> 50 ~ 58	16	10	0.6	16	45 ~ 180		0.12	0.15	6.0		3.4		
> 58 ~ 65	18	11		18	50 ~ 200		0.148	0.19	7.0		3.4		

(续)

轴 径 d	键 的 公 称 尺 寸							键 槽					
	b (h8)	h (h11)	c 或 r	h_1	L (h14)		每 100mm 长质量/kg		轴 t		轮毂 t_1		圆角 半径 r
					GB/T 1564 —2003	GB/T 1565 —2003	GB/T 1564 —2003(B)	GB/T 1565 —2003	公称	偏差	公称	偏差	
>65 ~ 75	20	12		20	56 ~ 220		0.18	0.238	7.5	$+0.2$ 0	3.9	$+0.2$ 0	0.40 ~ 0.60
>75 ~ 85	22	14	0.6	22	63 ~ 250		0.233	0.311	9.0		4.4		
>85 ~ 95	25	14	~	22	70 ~ 280		0.264	0.366	9.0		4.4		
>95 ~ 110	28	16	0.8	25	80 ~ 320		0.341	0.486	10.0		5.4		
>110 ~ 130	32	18		28	90 ~ 360		0.439	0.651	11.0		6.4		
>130 ~ 150	36	20		32	100 ~ 400		0.551	0.856	12	$+0.3$ 0	7.1	$+0.3$ 0	0.70 ~ 1.00
>150 ~ 170	40	22	1.0	36	100 ~ 400		0.675	1.096	13		8.1		
>170 ~ 200	45	25	~1.2	40	110 ~ 450	110 ~ 400	0.85	1.447	15		9.1		
>200 ~ 230	50	28		45	125 ~ 500		1.03	1.856	17		10.1		
>230 ~ 260	56	32	1.6	50	140 ~ 500		1.33	2.49	20		11.1		
>260 ~ 290	63	32	~	50	160 ~ 500		1.49	2.967	20		11.1		
>290 ~ 330	70	36	2.0	56	180 ~ 500		1.88	3.924	22		13.1		
>330 ~ 380	80	40	2.5	63	200 ~ 500		2.38	5.379	25		14.1		
>380 ~ 440	90	45	~	70	220 ~ 500		3.03	7.26	28		16.1		
>440 ~ 500	100	50	3.0	80	250 ~ 500		3.76	9.686	31		18.1		
L 系列	6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400, 450, 500												

- 注：1. 安装时，键的斜面与轮毂槽的斜面必须紧密贴合。
2. 键槽宽 b 尺寸公差 D10。
3. 当键长 L 和键宽 b 之比大于或等于 8 时， b 面在长度方向的平行度应符合 GB 1184—1996 的规定，当 $b \leq 6\text{mm}$ 按 7 级； $b \geq 8 \sim 36\text{mm}$ 按 6 级；当 $b \geq 40\text{mm}$ 按 5 级
4. 表中 $(d - t_1)$ 和 $(d + t_2)$ 两组组合尺寸的极限偏差按相应的 t_1 和 t_2 的极限偏差选取，但 $(d - t_1)$ 的极限偏差值应取负号（-）。
5. 表中“轴径 d ”栏中的 d 与键尺寸 $(b \times h)$ 的对应关系仅供初选时参考。

表 3.2-11 普通型切向键及其键槽（摘自 GB/T 1974—2003）



标记示例：
计算宽度 $b = 24\text{mm}$ ，厚度 $t = 8\text{mm}$ ，长度 $l = 100\text{mm}$ 的普通型切向键：
GB/T 1974—2003 切向键 24 × 8 × 100

(续)

轴径 d	键					键 槽															
	厚度 t		计算 宽度 b	倒角 C		深 度				计算宽度		半 径 R									
						轮毂 t_1		轴 t_2		轮毂	轴										
	尺寸	极限偏差 (h11)		最小	最大	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	b_1	b_2	最小	最大								
60	7	0 -0.090	19.3	0.6	0.8	7	0 -0.2	7.3	+0.2 0	19.3	19.6	0.4	0.6								
63			19.8							20.2											
65			20.1							20.5											
70			21.0							21.4											
71	8		22.5			0.6		0.8		8	8.3			22.5	22.8	0.4	0.6				
75			23.2											23.5							
80			24.0											24.4							
85			24.8											25.2							
90	9		25.6							0.6	0.8			9	9.3			25.6	26.0	0.4	0.6
95			27.8															28.2			
100			28.6															29.0			
110			30.1															30.6			
120	10		33.2	1.0	1.2							10	10.3	33.2	33.6			0.7	1.0		
125			33.9											34.4							
130			34.6											35.1							
140			37.7											38.3							
150	11		39.1			1.0		1.2				11	11.4	39.1	39.7	0.7	1.0				
160			42.1											42.8							
170			43.5											44.2							
180			44.9											45.6							
190	14		49.6							1.0	1.2	14	14.4	49.6	50.3					0.7	1.0
200			51.0											51.7							
220			57.1											57.8							
240			59.9											60.6							
250	18	64.6	1.6	2.0	18		18.4		+0.3 0			64.6	65.3	1.2	1.6						
260		66.0										66.7									
280		72.1										72.8									
300		74.8										75.5									
320	22	81.0			2.5	3.0	22	22.4	22.4			81.0	81.6			2.0	2.5				
340		83.6										83.6	84.3								
360		93.2										93.2	93.8								
380		95.9										95.9	96.6								
400	26	98.6					3.0	4.0	26	26.4	26.4	98.6	99.3					2.5	3.0		
420		30										108.2	108.2							108.8	

(续)

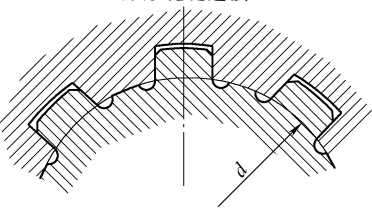
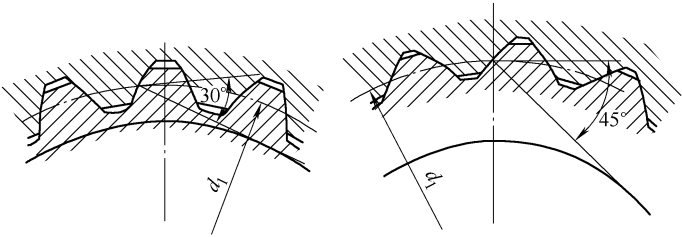
轴径 <i>d</i>	键					键 槽								
	厚度 <i>t</i>		计算 宽度 <i>b</i>	倒角 <i>C</i>		深 度				计算宽度		半径 <i>R</i>		
						轮毂 <i>t</i> ₁		轴 <i>t</i> ₂		轮毂	轴			
	尺寸	极限偏差 (h11)		最小	最大	尺寸	极限偏差	尺寸	极限偏差	<i>b</i> ₁	<i>b</i> ₂	最小	最大	
440	30	0 -0.130	110.9	3.0	4.0	30	0 -0.3	30.4	+0.3 0	110.9	111.6	2.5	3.0	
450			112.3							112.3	112.9			
460			113.6							113.6	114.3			
480	34	0 -0.160	123.1			34		34.4		123.1 125.9 136.7 140.8 153.1 157.1	123.1			123.8
500			125.9								125.9			126.6
530	38		136.7			38		38.4			136.7			137.4
560			140.8								140.8			141.5
600	42		153.1			42		42.4			153.1			153.8
630			157.1								157.1			157.8

- 注:1. 一对切向键在装配之后的相互位置应用销或其他适当的方法固定。
2. 长度 *L* 按实际结构确定,建议一般比轮毂厚度长 10% ~ 15%。
3. 一对切向键在装配时,1:100 的两斜面之间,以及键的两工作面与轴槽和轮毂槽的工作面之间都必须紧密结合。
4. 两副切向键如果 120° 安装有困难时,也可以 180° 安装。
5. 当轴径 *d* 位于两相邻轴径值之间时,采用大轴径的 *t* 和 *t*₁、*t*₂。*b* 和 *b*₁、*b*₂ 按下式计算: $b = b_1 = \sqrt{t(d-t)}$; $b_2 = \sqrt{t_2(d-t_2)}$ 。
6. 当轴径 *d* 超过 630mm 时,推荐: $t = t_1 = 0.07d$; $b = b_1 = 0.25d$ 。

1.2 花键连接

1.2.1 花键连接的类型、特点及应用(表 3.2-12)

表 3.2-12 圆柱直齿矩形花键连接与圆柱直齿渐开线花键连接的特点和应用

类 型	特 点	应 用
矩形花键连接 	多齿工作,定心精度高,定心稳定性好,齿根较浅,轴与毂强度削弱小,承载能力高,导向性好 加工方便,能用磨削的方法消除热处理引起的变形,定心直径尺寸公差和位置公差都能获得较高的精度 根据花键的齿数和齿高不同,矩形花键在标准中规定了两个系列:轻系列和中系列。轻系列用于载荷较轻的静连接、中系列用于中等载荷	应用广泛,如飞机、汽车、拖拉机、机床制造业、农业机械及一般机械传动装置等
渐开线花键连接  a) $\alpha_D=30^\circ$ b) $\alpha_D=45^\circ$	多齿工作,工艺性较好,制造精度较高,花键齿的齿根强度高,应力集中小,承载能力高 定心精度高,在齿面压力的作用下,自动平衡定心 渐开线花键标准压力角 α_D 有 30° 及 45° 两种	用于载荷较大、定心精度要求较高、尺寸较大的连接 压力角 45° 的渐开线花键齿的工作面高度较少,承载能力较低,多用于较轻载荷,较小直径的静连接,特别适用于薄壁零件的轴毂连接

1.2.2 花键连接的强度计算

(1) 通用简单算法 此法适用于矩形花键和渐开线花键。

花键连接通常根据使用要求和连接的结构特点,首先选定花键连接的类型和尺寸,而后进行必要的强度校核计算。为避免键齿工作面压溃(静连接)或过度磨损,一般进行挤压强度(静连接)或耐磨性计算。计算公式如下:

$$\text{静连接} \quad \sigma_p = \frac{2T}{\psi z h l d_m} \leq [\sigma_p]$$

$$\text{动连接} \quad p = \frac{2T}{\psi z h l d_m} \leq [p]$$

式中 T ——传递转矩(N·mm);

ψ ——各齿间载荷不均匀系数,一般取 $\psi = 0.7 \sim 0.8$,齿数多时取较小值;

z ——花键的齿数;

l ——齿的工作长度(mm);

h ——花键齿侧面的工作高度(mm);

$$\text{矩形花键} \quad h = \frac{D-d}{2} - 2C$$

渐开线花键 $h = m$ (当 $\alpha_D = 30^\circ$ 时)、 $h = 0.8m$ (当 $\alpha_D = 45^\circ$ 时);

D ——矩形花键为大径、渐开线花键为分度圆直径(mm);

d ——矩形内、外花键小径(mm);

C ——倒角尺寸(mm);

d_m ——平均直径(mm),矩形花键 $h = \frac{D+d}{2}$ 、

渐开线花键 $d_m = D$;

$[\sigma_p]$ ——花键连接许用挤压应力(MPa),见表 3.2-16;

$[p]$ ——许用压强(MPa),见表 3.2-13。

(2) 花键承载能力计算方法(精确算法)

GB/T 17855—1999《花键承载能力计算方法》规定了圆柱直形齿花键和圆柱直齿渐开线花键的承载能力计算方法,其主要内容包括花键的受力分析、系数的确定和齿面接触强度、齿根抗弯强度、齿根剪切强度、齿面耐磨损能力的计算方法及外花键扭转与弯曲承载能力计算方法等。

表 3.2-13 花键连接的许用挤压应力,许用压强 (MPa)

连接工作方式	许用值	使用和制造情况	齿面未经热处理	齿面经热处理
静连接	许用挤压应力 $[\sigma_p]$	不良	35 ~ 50	40 ~ 70
		中等	60 ~ 100	100 ~ 140
		良好	80 ~ 120	120 ~ 200
动连接	许用压强 $[p]$	不良	15 ~ 20	20 ~ 35
		中等	20 ~ 30	30 ~ 60
		良好	25 ~ 40	40 ~ 70
动连接	许用压强 $[p]$	不良	—	3 ~ 10
		中等	—	5 ~ 15
		良好	—	10 ~ 20

注:1. 使用和制造不良,系指受变载,有双向冲击、振动频率高和振幅大,润滑不好(对动连接)、材料硬度不高和精度不高等。

2. 同一情况下, $[\sigma_p]$ 或 $[p]$ 的较小值用于工作时间长和较重要的场合。

3. 内、外花键材料的抗拉强度不低于 590MPa。

产品设计时,应根据花键零件的具体结构、受力状态、材料热处理与硬度、精度等级等情况,选取上述内容的全部或部分进行花键承载能力的计算。

本节主要介绍矩形花键的承载能力的计算方法

1) 术语及代号。表 3.2-14 中介绍了在花键承载能力计算中所采用的术语和代号。

表 3.2-14 术语、代号及说明(GB/T 17855—1999)

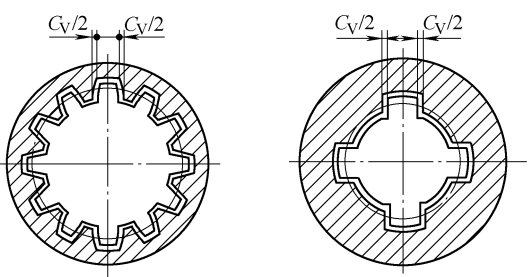
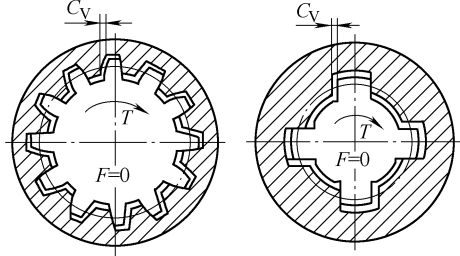
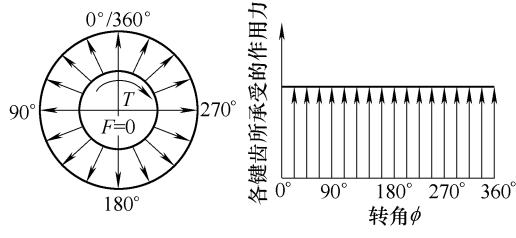
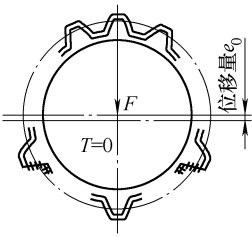
序号	术语	代号	单位	说明
1	输入转矩	T	N·m	输入给花键副的转矩
2	输入功率	P	kW	输入给花键副的功率
3	转速	n	r/min	花键副的转速
4	名义切向力	F_t	N	花键副所受的名义切向力
5	平均圆直径	d_m	mm	矩形花键大径与小径之和的一半
6	单位载荷	W	N/mm	单一键齿在单位长度上所受的齿向载荷
7	齿数	z	—	花键的齿数
8	结合长度	l	mm	内花键与外花键相配合部分的长度(按名义值)
9	压轴力	F	N	花键副所受的与轴线垂直的径向作用力

(续)

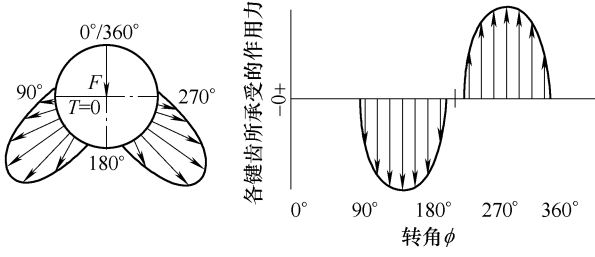
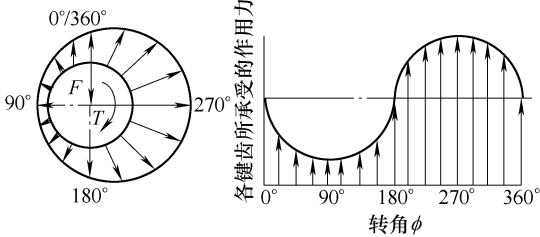
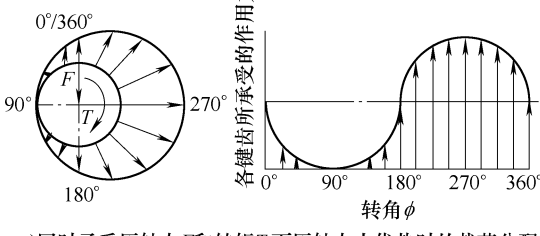
序号	术语	代号	单位	说 明
10	弯矩	M_b	N·m	作用在花键副上的弯矩
11	使用系数	K_1	—	主要考虑由于传动系统外部因素而产生的动力过载影响的系数
12	齿侧间隙系数	K_2	—	当花键副承受压轴力时, 考虑花键副齿侧配合间隙(过盈)对各键齿上所受载荷影响的系数
13	分配系数	K_3	—	考虑由于花键的齿距累积误差(分度误差)影响各键齿载荷分配不均的系数
14	轴向偏载系数	K_4	—	考虑由于花键的齿向误差和安装后花键副的同轴度误差, 以及受载后花键扭转变形, 影响各键齿沿轴向受载不均匀的系数
15	齿面压应力	σ_H	MPa	键齿表面计算的平均接触压应力
16	工作齿高	h_w	mm	键齿工作高度, $h_w = h_{\min}$
17	外花键大径	D	mm	外花键大径的基本尺寸
18	内花键小径	d	mm	内花键小径的基本尺寸
19	齿面接触强度的计算安全系数	S_H	—	S_H 值一般可取 1.25 ~ 1.50。 较重要的及淬火的花键取较大值, 一般的未经淬火的花键取较小值
20	齿面许用压应力	$[\sigma_H]$	MPa	
21	材料的规定非比例延伸强度	$R_{p0.2}$	MPa	花键材料的规定非比例延伸强度(按表层取值)
22	齿根弯曲应力	σ_F	MPa	花键齿根的计算弯曲应力
23	全齿高	h	mm	花键的全齿高, $h = (D - d)/2$
24	弦齿厚	S_{Fn}	mm	花键齿根危险截面(最大弯曲应力处)的弦齿厚
25	许用齿根弯曲应力	$[\sigma_F]$	MPa	
26	材料的抗拉强度	R_m	MPa	花键材料的抗拉强度
27	抗弯强度的计算安全系数	S_F	—	一般情况 S_F 取 1.25 ~ 2.00
28	齿根最大切应力	$\tau_{F\max}$	MPa	
29	切应力	τ_{tn}	MPa	靠近花键收尾处的切应力
30	应力集中系数	α_{tn}	—	
31	作用直径	d_h	mm	当量应力处的直径, 相当于光滑扭棒的直径
32	齿根圆角半径	ρ	mm	一般指外花键齿根圆弧最小曲率半径
33	许用切应力	$[\tau_F]$	MPa	
34	齿面磨损许用压应力	$[\sigma_{H1}]$	MPa	花键副在 10^8 次循环数以下工作时的许用压应力
35	齿面磨损许用压应力	$[\sigma_{H2}]$	MPa	花键副长期工作无磨损的许用压应力
36	当量应力	σ_v	MPa	计算花键扭转与抗弯强度时, 切应力与弯曲应力的合成应力
37	弯曲应力	σ_{Fa}	MPa	计算花键扭转与抗弯强度时的弯曲应力
38	转换系数	K	—	确定作用直径 d_h 的转换系数
39	许用应力	$[\sigma_v]$	MPa	计算花键扭转与抗弯强度时的许用应力
40	作用侧隙	C_v	mm	花键副的全齿侧隙
41	位移量	e_0	mm	花键副的内外花键两轴线的径向相对位移量

2) 花键受力分析(表 3. 2-15)

表 3. 2-15 花键连接受力分析

载荷状况	受力分析	图 示
无载荷	对于无误差的花键连接, 在其无载荷状态时 (不计自重, 下同), 内、外花键各齿的中心线 (或对称面) 是重合的。键齿两侧间隙相等, 均为作用侧隙之半, 见图 a	 a) 无载荷、有间隙的渐开线花键连接(左图)和矩形花键连接的理论位置
受纯转矩载荷 T	对无误差的花键连接, 在其只传递转矩 T 而无压轴力 F 时, 一侧的各齿面在转矩的作用下, 彼此接触、侧隙相等, 内花键与外花键的两轴线仍是同轴的 (见图 b)。所有键齿传递转矩, 承受同样大小的载荷 (见图 c)	 b) 有载荷、有间隙的渐开线花键连接(左图)和矩形花键连接的理论位置  c) 只传递转矩 T 而无压轴力 F 时的载荷分配
受纯压轴力载荷 F	对无误差的花键连接, 在其只承受压轴力 F 、不受转矩 T 时, 内花键与外花键的两轴线不同轴, 出现一个相对位移量 e_0 (见图 d)	 d) 只承受压轴力 F 而无转矩 T 时内、外渐开线花键的相对位置

(续)

载荷状况	受力分析	图 示
受纯压轴力载荷 F	当花键副回转时, 各键齿两侧所加载荷的大小按图 e 周期性变化	 e) 只承受压轴力 F 而无转矩 T 时的载荷分配
同时承受转矩 T 和轴力两种载荷	对无误差的花键连接, 在其承受转矩 T 和压轴力 F 两种载荷时, 内花键与外花键的相对位置和各键齿所加载荷的大小和方向, 决定于所受转矩 T 和压轴力 F 的大小及两者的比例 当花键副所受的载荷主要是转矩 T, 压轴力 F 是次要的或很小时, 该花键副回转后, 各键齿的位置近似图 b, 各键齿两侧面的受力状态发生周期性变化, 见图 f	 f) 同时承受转矩 T 和压轴力 F, 转矩 T 占优势时的载荷分配
	当花键副所受的载荷主要是压轴力 F, 转矩 T 是次要的或很小时, 该花键副回转后, 各键齿的位置近似图 d, 各键齿两侧面的受力状态发生周期性变化, 见图 g。在这种情况下, 花键副也容易磨损	 g) 同时承受压轴力 F 和转矩 T, 而压轴力占优势时的载荷分配

3) 花键承载能力计算中的系数 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4

① 使用系数 K_1 。使用系数主要考虑由于传动系统外部因素而产生的动力过载影响的系数。该系数可以通过精密测量获得, 也可经过对全系统分析后确定。在上述方法不能实现时, 可参考表 3.2-16 取值。

② 当侧间隙系数 K_2 。当花键副承受压轴力时, 花键侧隙发生变化, 内、外花键的两轴线将出现一个位移量 e_0 (见表 3.2-15), 该位移量将影响花键的承载能力, 此影响用齿侧间隙系数 K_2 予以考虑。 K_2 的取值如下:

通常 $K_2 = 1.1 \sim 3.0$;

当压轴力较小、花键副的精度较高时, 可取 $K_2 = 1.1 \sim 1.5$;

表 3.2-16 使用系数 K_1

原动机 (输入端)	工作机(输出端)		
	均匀、平稳	中等冲击	严重冲击
均匀、平稳	1.00	1.25	1.75 或更大
轻微冲击	1.25	1.50	2.00 或更大
中等冲击	1.50	1.75	2.25 或更大

注: 1. 均匀平稳的原动机: 电动机、蒸汽机、燃气轮机等。

2. 轻微冲击的原动机: 多缸内燃机等。

3. 中等冲击的原动机: 单缸内燃机等。

4. 均匀平稳的工作机: 电动机、带式输送机、通风机、透平压缩机、均匀密度材料搅拌机。

5. 中等冲击的工作机: 机床主传动、非均匀密度材料搅拌机、多缸柱塞泵、航空或舰船螺旋桨等。

6. 严重冲击的工作机: 冲床、剪床、轧机、钻机等。

当压轴力较大、花键副的精度较低时,可取 $K_2 = 2.0 \sim 3.0$;

当压轴力为零、只承受转矩时(见表 3.2-15), $K_2 = 0$ 。

③ 分配系数 K_3 。花键副的内花键和外花键的两轴线在同轴状态下,由于其齿距累积误差(分度误差)的影响,使花键副的理论侧隙(单齿侧隙)不同,各键齿所受载荷也不同。这种影响用分配系数 K_3 予以考虑。取值如下:

对于磨合前的花键副:

a) 当精度较高时(按 GB/T 1144 标准为精密级的矩形花键或精度等级按 GB/T 3478.1 标准为 5 级或高于 5 级时), $K_3 = 1.1 \sim 1.2$ 。

b) 当精度较低时(按 GB/T 1144 标准为一般用的矩形花键或精度等级按 GB/T 3478.1 标准低于 5 级时), $K_3 = 1.3 \sim 1.6$ 。

对于磨合后的花键副:

各键齿均参与工作,且受载荷基本相同,取 $K_3 = 1.0$ 。

④ 轴向偏载系数 K_4 。由于花键在制造时产生的齿向误差和安装后的同轴度误差,以及受载后的扭转变形,使各齿沿轴向所受载荷不均匀。用轴向偏载系数 K_4 予以考虑。其值可从表 3.2-17 中查得。

表 3.2-17 轴向偏载系数 K_4

系列或模数/mm	平均圆直径 d_m /mm	l/d_m		
		≤ 1.0	$> 1.0 \sim 1.5$	$> 1.5 \sim 2.0$
轻系列或 $m \leq 2$	≤ 30	1.1 ~ 1.3	1.2 ~ 1.6	1.3 ~ 1.7
	$> 30 \sim 50$	1.2 ~ 1.5	1.4 ~ 2.0	1.5 ~ 2.3
	$> 50 \sim 80$	1.3 ~ 1.7	1.6 ~ 2.4	1.7 ~ 2.9
	$> 80 \sim 120$	1.4 ~ 1.9	1.8 ~ 2.8	1.9 ~ 3.5
	> 120	1.5 ~ 2.1	2.0 ~ 3.2	2.1 ~ 4.1
中系列或 $2 < m \leq 5$	≤ 30	1.2 ~ 1.6	1.3 ~ 2.1	1.4 ~ 2.4
	$> 30 \sim 50$	1.3 ~ 1.8	1.5 ~ 2.5	1.6 ~ 3.0
	$> 50 \sim 80$	1.4 ~ 2.0	1.7 ~ 2.9	1.8 ~ 3.6
	$> 80 \sim 120$	1.5 ~ 2.2	1.9 ~ 3.3	2.0 ~ 4.2
	> 120	1.6 ~ 2.4	2.1 ~ 3.6	2.2 ~ 4.8
$5 < m \leq 10$	≤ 30	1.3 ~ 2.0	1.4 ~ 2.8	1.5 ~ 3.4
	$> 30 \sim 50$	1.4 ~ 2.2	1.6 ~ 3.2	1.7 ~ 4.0
	$> 50 \sim 80$	1.5 ~ 2.4	1.8 ~ 3.6	1.9 ~ 4.6
	$> 80 \sim 120$	1.6 ~ 2.6	2.0 ~ 3.9	2.1 ~ 5.2
	> 120	1.7 ~ 2.8	2.2 ~ 4.2	2.3 ~ 5.6

注:当花键的精度较高和平均圆直径 d_m (或分度圆直径 D)较小时,表中的轴向偏载系数 K_4 取较小值,反之取较大值

4) 矩形花键承载能力计算公式及示例(表 3.2-18 ~ 表 3.2-21)

表 3.2-18 圆柱矩形花键承载能力计算公式(摘自 GB/T 17855—1999)

项 目		代号	公 式
载荷计算	输入转矩	T	$T = 9\,549 P/n$
	名义切向力	F_t	$F_t = 2\,000 T/d_m$
	单位载荷	W	$W = F_t/(N \cdot t)$
承载能力计算	齿面接触强度计算	齿面压应力	$\sigma_H = W/h_w$ 式中 $h_w = h_{\min}$
		齿面许用压应力	$[\sigma_H] = R_{p0.2}/(S_H K_1 K_2 K_3 K_4)$
		满足条件	$\sigma_H \leq [\sigma_H]$
	齿根抗弯强度计算	齿根弯曲应力	$\sigma_F = 6hW/S_{Fn}^2$ 式中 S_{Fn} 按最小键宽或齿根过渡曲线上的最小键宽(两者的小值)
		许用弯曲应力	$[\sigma_F] = \sigma_b/(S_F K_1 K_2 K_3 K_4)$ 式中 $S_F = 1.25 \sim 2.00$
		满足条件	$\sigma_F \leq [\sigma_F]$
	齿根抗剪强度计算	齿根最大扭转切应力	$\tau_{F\max} = \tau_{in} \alpha_{in}$ 式中 $\tau_{in} = \frac{16\,000 T}{\pi d_h^3}$ $d_h = d + \frac{Kd(D-d)}{D}$ K 值: 轻系列取 0.50、中系列取 0.45
			$\alpha_{in} = \frac{d}{d_h} \left[1 + 0.17 \frac{h}{\rho} \left(1 + \frac{3.94}{0.1 + \frac{h}{\rho}} \right) + \frac{6.38 \left(1 + 0.1 \frac{h}{\rho} \right)}{\left(2.38 + \frac{d}{2h} \left(\frac{h}{\rho} + 0.04 \right)^{1/3} \right)^2} \right]$
		许用切应力	$[\tau_F] = [\sigma_F]/2$
		满足条件	$\tau_{F\max} \leq [\tau_F]$

(续)

项 目			代号	公 式
承载能力计算	10 ⁸ 循环数下工作耐 磨损计算	齿面压应力 齿面磨损许用应力 满足条件	σ_H [σ_{H1}]	$\sigma_M = W/h_w$ 式中 $h_w = h_{\min}$ 见表 3. 2-19 $\sigma_H \leq [\sigma_{H1}]$
	长期工作 无磨损 计算	齿面压应力 齿面磨损许用应力 满足条件	σ_H [σ_{H2}]	$\sigma_H = W/h_w$ 式中 $h_w = h_{\min}$ 见表 3. 2-19 $\sigma_H \leq [\sigma_{H2}]$
	外花键扭 转与抗弯 强度计算	当量应力 许用应力 满足条件	σ_V [σ_V]	$\sigma_V = \sqrt{\sigma_{Fn}^2 + 3\tau_{tn}^2}$ 式中 $\sigma_{Fn} = \frac{32\,000M_b}{\pi d_h^3}$ $\tau_{tn} = \frac{16\,000T}{\pi d_h^3}$ $d_h = d + \frac{Kd(D-d)}{D}$ K 值见表 3. 2-20 $[\sigma_V] = R_{p0.2}/(S_F K_1 K_2 K_3 K_4)$ 式中 $S_F = 1.25 \sim 2.00$ $\sigma_V \leq [\sigma_V]$

表 3. 2-19 [σ_{H1}]值、[σ_{H2}]值(摘自 GB/T 17855—1999)

[σ _{H1}]值						[σ _{H2}]值	
未经热处理 20HRC	调质处理 28HRC	淬 火			渗碳、渗氮、 淬火 60HRC	未经热处理	0.028 × 布氏硬度值
		40HRC	45HRC	50HRC		调质处理	0.032 × 布氏硬度值
						淬火	0.3 × 洛氏硬度值
95	110	135	170	185	205	渗碳、渗氮淬火	0.4 × 洛氏硬度值

表 3. 2-20 K 值

轻系列矩形花键	0.5	较少齿渐开线花键	0.3
中系列矩形花键	0.45	较多齿渐开线花键	0.15

表 3. 2-21 圆柱矩形花键承载能力计算实例(摘自 GB/T 17855—1999)

已知:

矩形花键副: $6 \times 21 \frac{H7}{f7} \times 25 \frac{H11}{d11} \times 5 \frac{H11}{d10}$;

输入功率 $P = 8.83\text{kW}$, 转速 $n = 1275\text{r/min}$, 输入端连接离合器(平稳), 输出端连接齿轮(轻微冲击), 花键结合长度 $l = 30\text{mm}$, 工作齿高 $h_w = 1.4\text{mm}$, 全齿高 $h = 2\text{mm}$, 齿根圆角半径 $\rho = 0.2\text{mm}$, 大径 $D = 25\text{mm}$, 小径 $d = 21\text{mm}$, 材料为低碳合金钢, 表面渗碳淬火, 表面硬度为 $58 \sim 64\text{HRC}$ 、 $R_{p0.2} \geq 965\text{MPa}$, $R_m \geq 1\,080\text{MPa}$ 。

要求: 核算花键承载能力。

1. 载荷计算

项 目	计 算
①输入转矩 T 计算	$T = 9\,549 \cdot P/n = 9\,549 \times 8.83/1\,275\text{N} \cdot \text{m} = 66.13\text{N} \cdot \text{m}$
②名义切向力 F_t 计算	$F_t = 2\,000 \cdot T/d_m = 2000 \times 66.13/[(25+21)/2]\text{N} = 5\,750.4\text{N}$
③单位载荷 W 计算	$W = F_t/(Z \cdot l) = 5\,750.4/(6 \times 30)\text{N/mm} = 31.95\text{N/mm}$

(续)

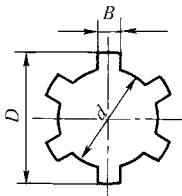
2. 承载能力计算

项 目		计 算
①齿面接触强度计算	齿面压应力 σ_H 计算	$\sigma_H = W/h_w = 31.95/1.4 \text{ MPa} = 22.8 \text{ MPa}$
	齿面许用压力 [σ_H] 计算	$[\sigma_H] = R_{p0.2}/(S_H \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4)$ $= 965/(1.4 \times 1.25 \times 1.2 \times 1.3 \times 1.4) \text{ MPa} = 252.5 \text{ MPa}$ (取: $S_H = 1.4$ 、 $K_1 = 1.25$ 、 $K_2 = 1.2$ 、 $K_3 = 1.3$ 、 $K_4 = 1.1$)
	计算结果	满足 $\sigma_H \leq [\sigma_H]$ 条件, 安全
②齿根弯曲强度计算	齿根弯曲应力 σ_F 计算	$\sigma_F = 6hw/S_{Fn}^2 = 6 \times 2 \times 31.95/5^2 \text{ MPa} = 15.3 \text{ MPa}$
	齿根弯曲许用应力 [σ_F] 计算	$[\sigma_F] = R_m/(S_F \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4)$ $= 1080/(1.5 \times 1.25 \times 1.2 \times 1.3 \times 1.4) \text{ MPa} = 263.7 \text{ MPa}$ 取: $S_F = 1.5$
	计算结果	满足 $\sigma_F \leq [\sigma_F]$ 条件, 安全
③齿根抗剪强度计算	齿根最大切应力 τ_{Fmax}	$\tau_{Fmax} = \tau_{tn} \cdot a_{tn} = 29.5 \times 3.2 \text{ MPa} = 94.4 \text{ MPa}$ 式中 $\tau_{tn} = \frac{16000T}{\pi d_h^3} = \frac{16000 \times 66.13}{\pi \times 22.513} \text{ MPa} = 29.5 \text{ MPa}$ $d_h = d + \frac{kd(D-d)}{D}$ $= 21 + \frac{0.45 \times 21(25-21)}{25} \text{ mm} = 22.51 \text{ mm}$ $a_{tn} = \frac{d}{d_h} \left\{ 1 + 0.17 \frac{h}{\rho} \left(1 + \frac{3.94}{0.1 + \frac{h}{\rho}} \right) + \frac{6.38 \left(1 + 0.1 \frac{h}{\rho} \right)}{\left[2.38 + \frac{d}{2h} \left(\frac{h}{\rho} + 0.04 \right)^{1/3} \right]^2} \right\}$ $= 3.20$
	许用切应力 [τ_F] 计算	$[\tau_F] = [\sigma_F]/2 = 263.7/2 \text{ MPa} = 131.9 \text{ MPa}$
	计算结果	满足 $\tau_{Fmax} \leq [\tau_F]$ 的条件, 安全
④齿面耐磨损能力计算	④花键副在 10^8 循环数以下 工作时耐磨损能力计算	齿面压应力: $\sigma_H = 22.8 \text{ MPa}$
		齿面磨损许用压应力: [σ_{H1}] = 205 MPa (查表 3.2-19)
		计算结果: 满足 $\sigma_H \leq [\sigma_{H1}]$ 的条件, 安全
	⑥花键副长期 工作无磨损时耐 磨能力计算	齿面压应力: $\sigma_H = 22.8 \text{ MPa}$
		齿面磨损许用应力 [σ_{H2}] = 0.4 × 58 MPa = 23.2 MPa (查表 3.2-19)
		计算结果: 满足 $\sigma_H \leq [\sigma_{H2}]$ 的条件, 可以长期无磨损 (或很少磨损) 工作
⑤外花键的扭转与弯曲强度计算	当量应力 σ_v 计算	$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{Fn}^2 + 3\tau_{tn}^2} = \sqrt{3 \times 29.5^2} \text{ MPa} = 51.1 \text{ MPa}$ (因 $M_b = 0$, 故 $\sigma_{Fn} = 0$)
	许用应力 [σ_v] 计算	$[\sigma_v] = R_{p0.2}/(S_F \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4)$ $= 965/(1.5 \times 1.25 \times 1.2 \times 1.3 \times 1.4) \text{ MPa}$ $= 235.7 \text{ MPa}$
	计算结果	满足 $\sigma_v \leq [\sigma_v]$ 的条件, 安全

1. 2. 3 矩形花键尺寸及公差

(1) 矩形花键基本尺寸系列(表 3. 2-22 ~ 表 3. 2-24)

表 3. 2-22 矩形花键基本尺寸系列(摘自 GB/T 1144—2001) (mm)



标记示例：花键齿数 $N=6$ 、小径 $d=23\text{mm}$ 、大径 $D=26\text{mm}$ 、键宽 $B=6\text{mm}$ ，配合分别为 H7/f7、H10/a11、H11/d10 的标记为

花键规格： $N \times d \times D \times B$ 例如 $6 \times 23 \times 26 \times 6$

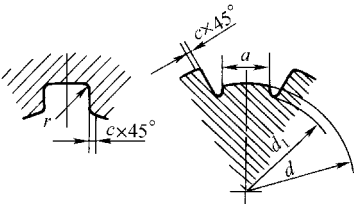
花键副： $6 \times 23 \frac{\text{H7}}{\text{f7}} \times 26 \frac{\text{H10}}{\text{a11}} \times 6 \frac{\text{H11}}{\text{d10}}$ GB/T 1144—2001

内花键： $6 \times 23\text{H7} \times 26\text{H10} \times 6\text{H11}$ GB/T 1144—2001

外花键： $6 \times 23\text{f7} \times 26\text{a11} \times 6\text{d10}$ GB/T 1144—2001

小径 d	轻 系 列				中 系 列			
	规格 $N \times d \times D \times B$	键数 N	大径 D	键宽 B	规格 $N \times d \times D \times B$	键数 N	大径 D	键宽 B
11		6			$6 \times 11 \times 14 \times 3$	6	14	3
13					$6 \times 13 \times 16 \times 3.5$		16	3.5
16					$6 \times 16 \times 20 \times 4$		20	4
18					$6 \times 18 \times 22 \times 5$		22	5
21					$6 \times 21 \times 25 \times 5$		25	5
23	$6 \times 23 \times 26 \times 6$		26	6	$6 \times 23 \times 28 \times 6$		28	6
26	$6 \times 26 \times 30 \times 6$	8	30	6	$6 \times 26 \times 32 \times 6$	8	32	6
28	$6 \times 28 \times 32 \times 7$		32	7	$6 \times 28 \times 34 \times 7$		34	7
32	$8 \times 32 \times 36 \times 6$		36	6	$8 \times 32 \times 38 \times 6$		38	6
36	$8 \times 36 \times 40 \times 7$		40	7	$8 \times 36 \times 42 \times 7$		42	7
42	$8 \times 42 \times 46 \times 8$		46	8	$8 \times 42 \times 48 \times 8$		48	8
46	$8 \times 46 \times 50 \times 9$		50	9	$8 \times 46 \times 54 \times 9$		54	9
52	$8 \times 52 \times 58 \times 10$	10	58	10	$8 \times 52 \times 60 \times 10$	10	60	10
56	$8 \times 56 \times 62 \times 10$		62	10	$8 \times 56 \times 65 \times 10$		65	10
62	$8 \times 62 \times 68 \times 12$		68	12	$8 \times 62 \times 72 \times 12$		72	12
72	$10 \times 72 \times 78 \times 12$		78	12	$10 \times 72 \times 82 \times 12$		82	12
82	$10 \times 82 \times 88 \times 12$		88	12	$10 \times 82 \times 92 \times 12$		92	12
92	$10 \times 92 \times 98 \times 14$		98	14	$10 \times 92 \times 102 \times 14$		102	14
102	$10 \times 102 \times 108 \times 16$		108	16	$10 \times 102 \times 112 \times 16$		112	16
112	$10 \times 112 \times 120 \times 18$		120	18	$10 \times 112 \times 125 \times 18$		125	18

表 3. 2-23 矩形花键键槽截面尺寸(摘自 GB/T 1144—2001) (mm)



(续)

轻 系 列					中 系 列														
规格 $N \times d \times D \times B$	c	r	参 考		规格 $N \times a \times D \times B$	c	r	参 考											
			$d_{1\min}$	$a_{\min}$				$d_{1\min}$	$a_{\min}$										
6×23×26×6 6×26×30×6 6×28×32×7 8×32×36×6 8×36×40×7 8×42×46×8 8×46×50×9 8×52×58×10 8×56×62×10 8×62×68×12 10×72×78×12 10×82×88×12 10×92×98×14 10×102×108×16 10×112×120×18	0.2	0.1	22	3.5	6×11×14×3 6×13×16×3.5 6×16×20×4 6×18×22×5 6×21×25×5 6×23×28×6 6×26×32×6 6×28×34×7 8×32×38×6 8×36×42×7 8×42×48×8 8×46×54×9 8×52×60×10 8×56×65×10 8×62×72×12 10×72×82×12 10×82×92×12 10×92×102×14 10×102×112×16 10×112×125×18	0.2	0.1	14.4 16.6 19.5 21.2 23.6 25.8 29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2	1.0 1.0 2.0 1.2 1.2 1.4 1.0 1.0 2.5 1.4 2.5 2.5 2.4 1.0 2.9 4.5 6.2 4.1										
					0.3	0.2	24.5 26.6 30.3 34.4 40.5 44.6 49.6 53.5 59.7 69.6 79.3 89.6 99.6 108.8			3.8 4.0 2.7 3.5 5.0 5.7 4.8 6.5 7.3 5.4 8.5 9.9 11.3 10.5	0.4	0.3	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2						
	0.4	0.3	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				0.5				0.4	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
														0.6	0.5	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2			
																	0.7	0.6	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2
					0.9	0.8	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	1.0	0.9	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				1.1				1.0	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
										1.2	1.1	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2							
													1.3	1.2	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2				
																1.4	1.3	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2	
					1.5	1.4	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	1.6	1.5	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				1.7				1.6	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
1.8										1.7	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												1.9	1.8	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															2.0	1.9	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					2.1	2.0	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	2.2	2.1	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				2.3				2.2	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
2.4										2.3	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												2.5	2.4	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															2.6	2.5	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					2.7	2.6	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	2.8	2.7	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				2.9				2.8	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
3.0										2.9	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												3.1	3.0	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															3.2	3.1	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					3.3	3.2	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	3.4	3.3	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				3.5				3.4	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
3.6										3.5	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												3.7	3.6	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															3.8	3.7	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					3.9	3.8	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	4.0	3.9	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				4.1				4.0	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
4.2										4.1	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												4.3	4.2	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															4.4	4.3	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					4.5	4.4	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	4.6	4.5	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				4.7				4.6	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
4.8										4.7	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												4.9	4.8	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															5.0	4.9	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					5.1	5.0	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	5.2	5.1	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				5.3				5.2	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
5.4										5.3	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												5.5	5.4	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															5.6	5.5	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					5.7	5.6	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	5.8	5.7	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				5.9				5.8	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
6.0										5.9	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												6.1	6.0	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															6.2	6.1	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					6.3	6.2	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	6.4	6.3	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				6.5				6.4	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
6.6										6.5	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												6.7	6.6	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															6.8	6.7	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					6.9	6.8	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	7.0	6.9	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				7.1				7.0	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
7.2										7.1	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												7.3	7.2	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															7.4	7.3	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					7.5	7.4	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	7.6	7.5	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				7.7				7.6	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
7.8										7.7	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												7.9	7.8	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															8.0	7.9	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					8.1	8.0	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	8.2	8.1	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				8.3				8.2	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
8.4										8.3	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												8.5	8.4	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															8.6	8.5	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					8.7	8.6	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	8.8	8.7	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				8.9				8.8	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
9.0										8.9	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												9.1	9.0	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															9.2	9.1	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					9.3	9.2	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	9.4	9.3	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				9.5				9.4	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
9.6										9.5	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												9.7	9.6	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															9.8	9.7	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					9.9	9.8	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	10.0	9.9	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				10.1				10.0	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
10.2										10.1	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												10.3	10.2	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															10.4	10.3	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2		
					10.5	10.4	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2												
	10.6	10.5	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2																
				10.7				10.6	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2										
10.8										10.7	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2								
												10.9	10.8	29.4 33.4 39.4 42.6 48.6 52.0 57.7 67.4 77.0 87.3 97.7 106.2					
															11.0	10.9			

注： d_1 和 a 值仅适用于展成法加工。

表 3.2-24 矩形内花键形式及长度系列(摘自 GB/T 10081—2005)

(mm)

花键小径 d	11	13	16	18	21	23	26	28	32	36	42	46	52	56	62	72	82	92	102	112		
花键长度 l 或 $l_1 + l_2$	10 ~ 50		10 ~ 80						22 ~ 120						32 ~ 120		32 ~ 200					
孔的最大长度 L	50	80			120				200				250					300				
l 或 $l_1 + l_2$ 系列	10, 12, 15, 18, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 38, 42, 45, 48, 50, 56, 60, 63, 71, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 120, 130, 140, 160, 180, 200																					

(2) 矩形花键的公差与配合 内、外花键的尺寸公差带及形位公差见表 3.2-25 ~ 表 3.2-26, 对于较长的花键, 应根据产品性能规定键侧对轴线的平行度公差。

表 3.2-25 矩形内、外花键的尺寸公差带

内花键				外花键			装配形式
d	D	B		d	D	B	
		拉削后不热处理	拉削后热处理				
一 般 用							
H7	H10	H9	H11	f7	e11	d10	滑动
				g7		f9	紧滑动
				h7		h10	固定

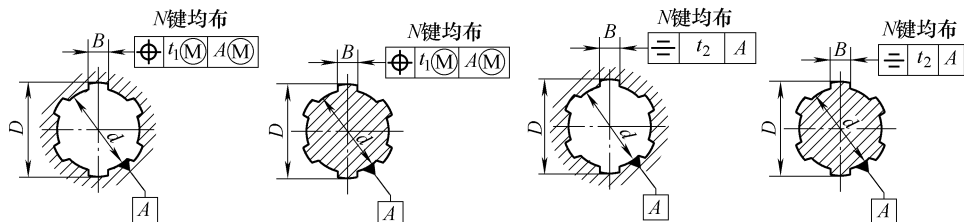
(续)

内花键				外花键			装配形式
d	D	B		d	D	B	
		拉削后不热处理	拉削后热处理				
精 密 传 动 用							
H5	H10	H7、H9		f5	a11	d8	滑动
				g5		f7	紧滑动
				h5		h8	固定
H6				f6		d8	滑动
				g6		f7	紧滑动
				h6		h8	固定

注: 1. 精密传动用的内花键, 当需要控制键侧配合间隙时, 槽宽可选用 H7, 一般情况下可选用 H9。

2. d 为 H6 和 H7 的内花键, 允许与提高一级的外花键配合。

表 3.2-26 矩形花键的位置度、对称度公差 (摘自 GB/T 1144—2001)



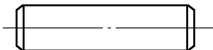
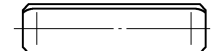
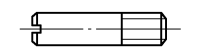
					(mm)
键槽宽或键宽 B		3	3.5 ~ 6	7 ~ 10	12 ~ 18
		位置度公差 t_1			
键槽		0.010	0.015	0.020	0.025
键	滑动、固定	0.010	0.015	0.020	0.025
	紧滑动	0.006	0.010	0.013	0.016
		对称度公差 t_2			
一般用		0.010	0.012	0.015	0.018
精密传动用		0.006	0.008	0.009	0.011

注：键槽宽或键宽的等分度公差值等于其对称度公差值。

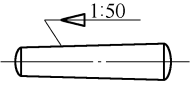
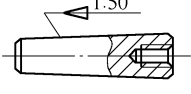
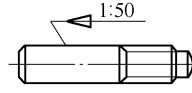
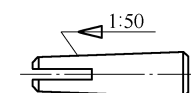
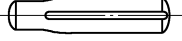
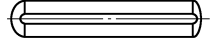
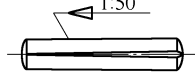
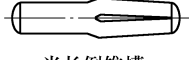
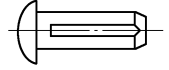
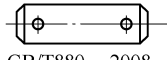
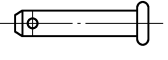
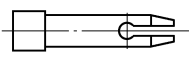
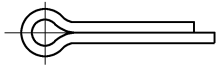
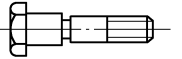
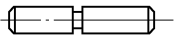
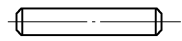
2 销连接

2.1 销的类型、特点和应用(表3.2-27)

表 3.2-27 销的类型、特点和应用

类型	种 类	特点及应用
圆柱销	 普通圆柱销	圆柱销主要用于定位(如图 3.2-2),也可用于连接,但只能传递不大的载荷。销孔需铰制,多次装拆后会降低定位精度和连接的紧固性,其中内螺纹圆柱销(B 型)有通气平面,用于盲孔。弹性圆柱销具有弹性,装入销孔后与孔壁压紧,不易松脱。销孔精度要求较低,互换性好,可多次装拆,但刚性较差,不适于高精度定位,用于有冲击、振动的场合,可以代替部分圆柱销、圆锥销、开口销或销轴。载荷大时可用几个弹性圆柱销套一起使用,但相邻内、外两销的缺口应错开 180°
	 内螺纹圆柱销	
	 直槽弹性圆柱销	
	 卷制弹性圆柱销	
		

(续)

类型	种 类	特点及应用
圆锥销	 圆锥销  内螺纹圆锥销  螺尾锥销  开尾圆锥销	圆锥销有 1:50 的锥度，便于安装，定位精度比圆柱销高，在受横向力时，能自锁。销孔亦需铰制，主要用于定位，也可用于固定零件，传递动力(图 3.2-2)，多用于经常装拆的场合。内螺纹圆锥销用于盲孔；螺尾圆锥销用于拆卸困难处；开尾圆锥销用于有冲击、振动的场合；螺纹圆锥销装入后拧上螺母以使销紧固可靠，用于变载，冲击以及开敞性不好等场合
槽销	 槽销 带导杆及全长平行沟槽  带倒角及全长平行沟槽  中部槽长为 1/3 全长  中部槽长为 1/2 全长  全长槽长  半长倒锥槽  圆头槽销  沉头槽销	在沿槽销的圆柱(或圆锥)的母线上有不同形状和深度的槽，通常有三条，并隔 120° 以保证有三处表面与孔壁紧贴，不需附加防松，槽销多用于传递载荷，可用于有严重冲击、振动并需多次装拆的场合 此外，槽销还可以用于定位以及用做心轴，将带毂的零件固定在短槽处
销轴和无头销轴	 GB/T880—2008 无头销轴  GB/T882—2008 销轴	无头销轴和销轴主要用于铰接处，并用开口销锁定，拆卸方便
开口销	 JB/ZQ4355—1997  GB/T91—2000	开口销用于锁定其他紧固件，如螺纹紧固件、销轴等 JB/ZQ 4355 开口销用于较大的尺寸
安全销		安全销主要用于传动装置和机器的过载保护(如图 3.2-2)。销的结构型式多，如在销上切出槽口或细颈等

2.2 销的选择和销连接的强度校核

销的类型由工作要求选定。

连接用销的直径一般是根据连接的结构特点按经验确定，必要时作强度校核。

定位销通常不受载荷或只受很小的载荷，其直径可按结构确定，数目不得少于两个，销间的距离尽可能大一些，这样可获得较高的定位精度，且分布在与被连接件整体结构的对称位置上。销在每一被连接件内的长度，约为销直径的1~2倍。中、小尺寸的机械常用直径为10~16mm的销钉。

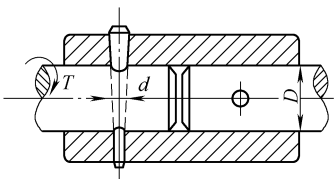
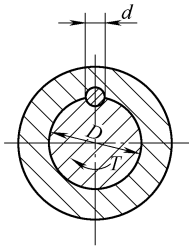
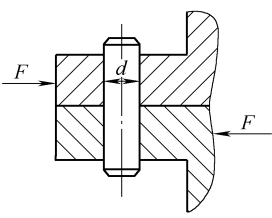
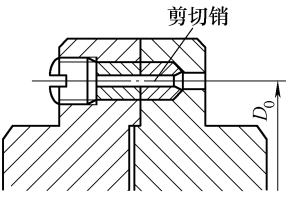
安全销直径应按销的抗剪强度 τ_b 进行计算，一般可取 $\tau_b = (0.6 \sim 0.7)R_m$ (R_m ——销材料的抗拉强度)。

销的材料：通常采用35及45钢。对受力较大、要求抗腐蚀等场合可采用：30CrMnSiA、H62、HPb59-1、QSi3-1、1Cr13、Cr17Ni2、1Cr18Ni9Ti等。材料的热处理及表面处理见GB/T 121。

安全销的材料可用35、45及50钢或T8A、T10A，热处理后硬度为30~36HRC，销套材料可用45钢、35SiMn、40Cr等，热处理后硬度为40~50HRC。

销的强度校核见表3.2-28。

表 3.2-28 销联接的强度校核

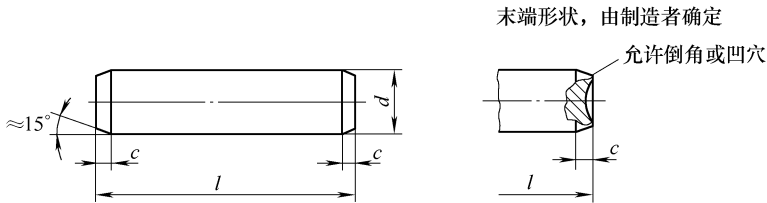
销的类型	应用示例	校核计算
圆锥销	 $d=(0.2\sim 0.3)D$	销的剪切强度校核： $\tau = \frac{4000T}{\pi d^2 D} \leq [\tau]$ 式中 d—销的平均直径(mm) T—转矩(N·m) $[\tau]$—销的许用切应力(MPa)；经硬化处理的35、45钢取$[\tau] = 80 \sim 100\text{MPa}$ D—轴的直径(mm)
圆柱销	 $d=(0.13\sim 0.16)D$ $l=(1\sim 1.5)D$	1. 销的剪切强度校核： $\tau = \frac{2000T}{Ddl} \leq [\tau]$ 2. 销或被连接件的挤压强度校核： $\sigma_p = \frac{4000T}{Ddl} \leq [\sigma_p]$ 式中 l—销的长度(mm) $[\sigma_p]$—销连接的许用挤压应力(MPa) (取轴、套、销三者中最弱者的许用挤压应力) d—销的直径(mm) D—轴的直径(mm)
		销的剪切校核： $\tau = \frac{4F}{\pi d^2 z} \leq [\tau]$ 式中 z—销钉数 F—横向力(N) d—销的直径(mm)
安全销	 剪切销安全离合器	销直径 $d \geq 1.6 \sqrt{\frac{1000T}{D_0 z \tau_b}}$ 式中 D_0—安全销中心圆直径(mm) τ_b—销材料的抗剪强度(MPa) z—销钉数

注： $[\tau]$ 为许用切应力，对于45钢，取 $[\tau] = 80\text{MPa}$ ； $[\sigma_p]$ 为许用挤压力，按键连接表3.2-3选取。

2.3 销的标准件(表 3.2-29 ~ 表 3.2-40)

表 3.2-29 圆柱销 不淬硬钢和奥氏体不锈钢(摘自 GB/T 119.1—2000)

圆柱销 淬硬钢和马氏体不锈钢(摘自 GB/T 119.2—2000) (mm)



标记示例

公称直径 $d=6\text{mm}$ 、公差 m6、公称长度 $l=30\text{mm}$ 、材料为钢、不经淬火、不经表面处理的圆柱销, 标记为:

销 6m6×30 GB/T 119.1—2000

公称直径 $d=6\text{mm}$ 、公差 m6、公称长度 $l=30\text{mm}$ 、材料为 A1 组奥氏体不锈钢、表面简单处理的圆柱销, 标记为:

销 6m6×30-A1 GB/T 119.1—2000

公称直径 $d=6\text{mm}$ 、公差 m6、公称长度 $l=30\text{mm}$ 、材料为钢、普通淬火(A 型)、表面氧化处理的圆柱销, 标记为:

销 6×30-A GB/T119.2—2000

公称直径 $d=6\text{mm}$ 、其公差为 m6、公称长度 $l=30\text{mm}$ 、材料为 C1 组马氏体不锈钢、表面简单处理的圆柱销, 标记为:

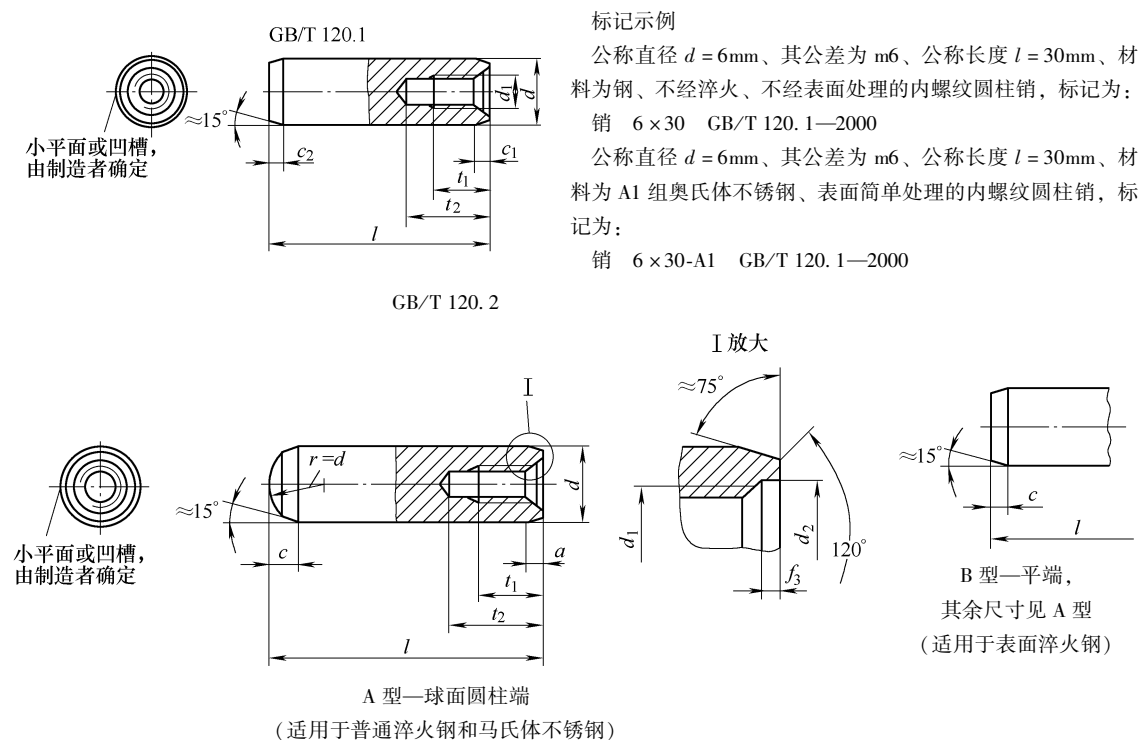
销 6×30-C1 GB/T119.2—2000

GB/T 119.1	$d \text{ m6/h8}^{①}$	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
	$c \approx$	0.12	0.16	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5	0.63	0.8	1.2	1.6	2	2.5	3	3.5	4	5	6.3	8
	$l^{②}$	2 ~ 6	2 ~ 8	4 ~ 10	4 ~ 12	4 ~ 16	6 ~ 20	6 ~ 24	8 ~ 30	8 ~ 40	10 ~ 50	12 ~ 60	14 ~ 80	18 ~ 95	22 ~ 140	26 ~ 180	35 ~ 200	50 ~ 200	60 ~ 200	80 ~ 200	95 ~ 200
	材料	①钢：硬度 125 ~ 245HV30 ②奥氏体不锈钢 A1：硬度：210 ~ 280HV30																			
	表面粗糙度	当公差为 m6 时， $Ra \leq 0.5 \mu\text{m}$ 当公差为 h8 时， $Ra \leq 1.6 \mu\text{m}$																			
GB/T 119.2	$d \text{ m6}^{①}$	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20							
	$c \approx$	0.2	0.3	0.35	0.4	0.5	0.63	0.8	1.2	1.6	2	2.5	3	3.5							
	$l^{②}$	3 ~ 10	4 ~ 16	5 ~ 20	6 ~ 24	8 ~ 30	10 ~ 40	12 ~ 50	14 ~ 60	18 ~ 80	22 ~ 100	26 ~ 100	40 ~ 100	50 ~ 100							
	材料	①钢：A 型(普通淬火)，硬度：550 ~ 650HV30；B 型(表面淬火)、表面硬度：600 ~ 700HV1，渗碳深度 0.25 ~ 0.4mm，硬度：550HV1 ②马氏体不锈钢 C1：淬火并回火，硬度：460 ~ 560HV30																			
	表面粗糙度	$Ra \leq 0.8 \mu\text{m}$																			
l 系列	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 100, 120, 140, 180, 200																				

① d 的其他公差由供需双方协议。

② 公称长度 l 大于 200mm 按 20mm 递增。

表 3.2-30 内螺纹圆柱销 不淬硬钢和奥氏体不锈钢(GB/T 120.1—2000)
内螺纹圆柱销 淬硬钢和马氏体不锈钢(GB/T 120.2—2000)



标记示例

公称直径 $d=6\text{mm}$ 、其公差为 $m6$ 、公称长度 $l=30\text{mm}$ 、材料为钢、不经淬火、不经表面处理的内螺纹圆柱销, 标记为:
 销 6×30 GB/T 120.1—2000

公称直径 $d=6\text{mm}$ 、其公差为 $m6$ 、公称长度 $l=30\text{mm}$ 、材料为 A1 组奥氏体不锈钢、表面简单处理的内螺纹圆柱销, 标记为:

销 $6 \times 30\text{-A1}$ GB/T 120.1—2000

标记示例

公称直径 $d=6\text{mm}$ 、公差 $m6$ 、公称长度 $l=30\text{mm}$ 、材料为钢、普通淬火(A 型)、表面氧化处理的内螺纹圆柱销, 标记为:

销 GB/T 120.2—2000 $6 \times 30\text{-A1}$

公称直径 $d=6\text{mm}$ 、公差 $m6$ 、公称长度 $l=30\text{mm}$ 、材料为 C1 组马氏体不锈钢、表面简单处理的内螺纹圆柱销, 标记为:

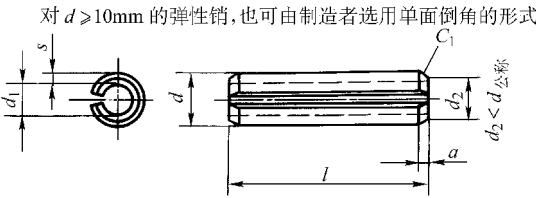
销 GB/T 120.2—2000 $6 \times 30\text{-C1}$

d (公称)m6	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
a 及 $c_1 \approx$	0.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3	4	5	6.3
c_2	1.2	1.6	2	2.5	3	3.5	4	5	6.3	8
d_1	M4	M5	M6	M6	M8	M10	M16	M20	M20	M24
d_2	4.3	5.3	6.4	6.4	8.4	10.5	17	21	21	25
t_1	6	8	10	12	16	18	24	30	30	36
t_2 min	10	12	16	20	25	28	35	40	40	50
t_3	1	1.2	1.2	1.2	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5
c	2.1	2.6	3	3.8	4.6	6	6	7	8	10
l (商品规格范围)	16~60	18~80	22~100	26~120	32~160	40~200	50~200	60~200	80~200	100~200
l 系列(公称尺寸)	16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 公称长度大于 200, 按 20 递增									
材料	GB/T 120.1	钢, 硬度 125~245HV30; 奥氏体不锈钢 A1, 硬度 210~280HV30								
	GB/T 120.2	㉑钢: A 型(普通淬火), 硬度 550~650HV30; B 型(表面淬火), 表面硬度 600~700HV1 ㉒马氏体不锈钢 C1(淬火并回火), 硬度 460~560HV30								
表面粗糙度	$Ra \leq 0.8 \mu\text{m}$									

注: d 的其他公差由供需双方协议。

表 3.2-31 弹性圆柱销直槽重型(GB/T 879.1—2000)、弹性圆柱销直槽轻型(GB/T 879.2—2000)

(mm)



标记示例:

公称直径 $d=6\text{mm}$ 、公称长度 $l=30\text{mm}$ 、材料为钢(St)、热处理硬度 $500 \sim 560\text{HV}30$ 、表面氧化处理、直槽、重型(轻型)

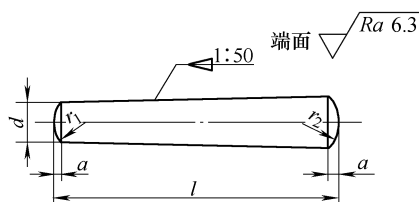
弹性圆柱销:销 6×30 GB/T 879.1(879.2)—2000

d	公称	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	8	10	12	13
	max	1.3	1.8	2.4	2.9	3.4	4.0	4.6	5.1	5.6	6.7	8.5	10.8	12.8	13.8
	min	1.2	1.7	2.3	2.8	3.3	3.8	4.4	4.9	5.4	6.4	8.5	10.5	12.5	13.5
GB/T879.1	d_1	0.8	1.1	1.5	1.8	2.1	2.3	2.8	2.9	3.4	4	5.5	6.5	7.5	8.5
	$a_{\max}$	0.35	0.45	0.55	0.6	0.7	0.8	0.85	1.0	1.1	1.4	2.0	2.4	2.4	2.4
	s	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.75	0.8	1	1	1.2	1.5	2	2.5	2.5
	$G_{\min}^*/\text{kN}$	0.7	1.5	2.82	4.38	6.32	9.06	11.24	15.36	17.54	26.04	42.76	70.16	104.1	115.1
GB/T879.2	d_1	—	—	1.9	2.3	2.7	3.1	3.4	3.9	4.4	4.9	7	8.5	10.5	11
	$a_{\max}$	—	—	0.4	0.45	0.45	0.5	0.7	0.7	0.7	0.9	1.8	2.4	2.4	2.4
	s	—	—	0.2	0.25	0.3	0.35	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	1	1	1.2
	$G_{\min}^*/\text{kN}$	—	—	1.5	2.4	3.5	4.6	8	8.8	10.4	18	24	40	48	66
商品规格 l		4 ~ 20	4 ~ 20	4 ~ 30	4 ~ 30	4 ~ 40	4 ~ 40	4 ~ 50	5 ~ 50	5 ~ 80	10 ~ 100	10 ~ 120	10 ~ 160	10 ~ 180	10 ~ 180
d	公称	14	16	18	20	21	25	28	30	32	35	38	40	45	50
	max	14.8	16.8	18.9	20.9	21.9	25.9	28.9	30.9	32.9	35.9	38.9	40.9	45.9	50.9
	min	14.5	16.5	18.5	20.5	21.5	25.1	28.5	30.5	32.5	35.5	38.5	40.5	45.5	50.5
GB/T879.1	d_1	8.5	10.5	11.5	12.5	13.5	15.5	17.5	18.5	20.5	21.5	23.5	25.5	28.5	31.5
	$a_{\max}$	2.4	2.4	2.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.6	3.6	4.6	4.6	4.6	4.6
	s	3	3	3.5	4	4	5	5.5	6	6	7	7.5	7.5	8.5	9.5
	$G_{\min}^*/\text{kN}$	144.7	171	222.5	280.6	298.2	438.5	452.6	631.4	684	859	1003	1068	1360	1685
GB/T879.2	d_1	11.5	13.5	15	16.5	17.5	21.5	23.5	25.5	—	28.5	—	32.5	37.5	40.5
	$a_{\max}$	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	3.4	3.4	3.4	—	3.4	—	4.6	4.6	4.6
	s	1.5	1.5	1.7	2	2	2	2.5	2.5	—	3.5	—	4	4	5
	$G_{\min}^*/\text{kN}$	84	98	126	158	168	202	280	302	—	490	—	634	720	1000
商品规格 l		10 ~ 200	10 ~ 200	10 ~ 200	10 ~ 200	14 ~ 200	14 ~ 200	14 ~ 200	14 ~ 200	20 ~ 200	20 ~ 200	20 ~ 200	20 ~ 200	20 ~ 200	20 ~ 200
l 系列		4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 120, 140, 160, 180, 200													
材 料		a) 钢(St)(由制造者任选); 优质碳素钢(淬火并回火)硬度: 420 ~ 520HV30 或奥氏体回火(硬度: 500 ~ 560HV30)或硅锰钢(淬火并回火硬度: 420 ~ 500HV30) b) 奥氏体不锈钢 A c) 马氏体不锈钢 C(淬火并回火)硬度: 440 ~ 560HV30													
表面处理		1. 钢: 不经处理; 氧化; 磷化; 镀锌钝化。2. 奥氏体不锈钢: 简单处理。3. 马氏体不锈钢: 简单处理。4. 其他表面镀层或表面处理, 应由供需双方协议。5. 所有公差仅适用于涂、镀前的公差													

- 注: 1. d_1 值为参考。
2. $G_{\min}^*$ 为最小双面剪切载荷值。它仅适用钢和马氏体不锈钢; 对奥氏体不锈钢弹性柱销, 不规定双面剪切载荷值。
3. 公称长度大于 200mm, 按 20mm 递增。
4. 表中以外的其他材料由供需双方协议。
5. 销孔的公称尺寸应等于弹性销的公称直径($d_{\text{公称}}$), 公差带为 H12。
6. 销子装入允许的最小销孔时, 槽口也不得完全闭合, 同时槽口位置不应装在销子受压的一面。
7. 槽的形状和宽度由制造者任选。

表 3.2-32 圆锥销(摘自 GB/T 117—2000)

(mm)



$$r_1 \approx d$$

$$r_2 \approx \frac{a}{2} + d + \frac{(0.02l)^2}{8a}$$

标记示例:

公称直径 $d = 10\text{mm}$, 长度 $l = 60\text{mm}$, 材料 35 钢, 热处理硬度 28 ~ 38HRC, 表面氧化处理的 A 型圆锥销:

销 10 × 60 GB/T 117—2000

d (公称)h10	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5
$a \approx$	0.08	0.1	0.12	0.16	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.63
l (商品规格范围)	4 ~ 8	5 ~ 12	6 ~ 16	6 ~ 20	8 ~ 24	10 ~ 35	10 ~ 35	12 ~ 45	14 ~ 55	18 ~ 60
d (公称)h10	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
$a \approx$	0.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3	4	5	6.3
l (商品规格范围)	22 ~ 90	22 ~ 120	26 ~ 160	32 ~ 180	40 ~ 200	45 ~ 200	50 ~ 200	55 ~ 200	60 ~ 200	65 ~ 200
l 系列(公称尺寸)	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 公称长度大于 100mm, 按 20mm 递增									

注: 1. A 型(磨削): 锥面表面粗糙度 $Ra = 0.8\mu\text{m}$ 。

B 型(切削或冷锻): 锥面表面粗糙度 $Ra = 3.2\mu\text{m}$ 。

2. 材料: 易切钢: Y12、Y15, 碳素钢: 35(硬度 38 ~ 46HRC)及 45(硬度 38 ~ 46HRC)、合金钢: 30CrMnSiA(硬度 35 ~ 41HRC), 合金钢: 1Cr13、2Cr13、Cr17Ni2、0Cr18Ni9Ti。

3. d 的其他公差, 如 a11、c11 和 8, 由供需双方协议。

4. 公称长度大于 200mm, 按 20mm 递增。

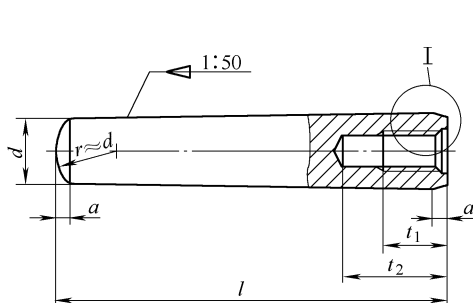
5. 表面处理: 对于钢: 不经处理、氧化、磷化等; 对于不锈钢: 简单处理。

表 3.2-33 内螺纹圆锥销(摘自 GB/T 118—2000)

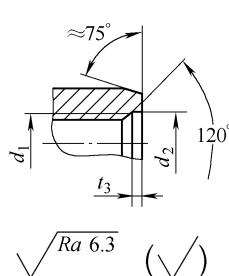
(mm)

A 型(磨削): 锥面表面粗糙度 $Ra = 0.8\mu\text{m}$;

B 型(切削或冷锻): 锥面表面粗糙度 $Ra = 3.2\mu\text{m}$



I 放大



标记示例:

公称直径 $d = 10\text{mm}$ 、长度 $l = 60\text{mm}$ 、材料为 35 钢、热处理硬度 28 ~ 38HRC、表面氧化处理的 A 型内螺纹

圆锥销:

销 10 × 60 GB/T 118—2000

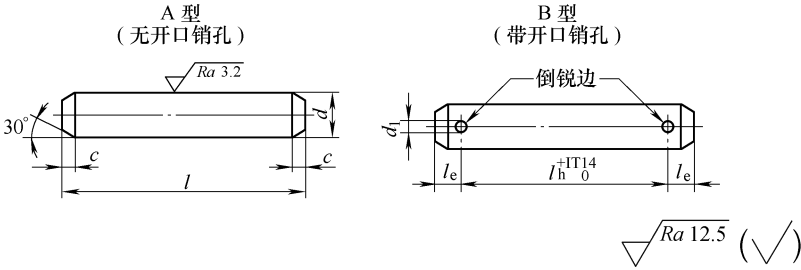
d (公称)h10	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
a	0.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3	4	5	6.3
d_1	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M20	M24
t_1	6	8	10	12	16	18	24	30	30	36
t_2 min	10	12	16	20	25	28	35	40	40	50
d_2	4.3	5.3	6.4	8.4	10.5	13	17	21	21	25
l (商品规格范围)	16 ~ 60	18 ~ 80	22 ~ 100	26 ~ 120	32 ~ 160	40 ~ 200	50 ~ 200	60 ~ 200	80 ~ 200	100 ~ 200
l 系列(公称尺寸)	16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 公称长度大于 100mm, 按 20mm 递增									

注: 1. d 的其他公差, 如 a11、c11 和 8, 由供需双方协议。

2. 材料及表面处理见表 3.2-36。

表 3.2-36 无头销轴（摘自 GB/T 880—2008）

(mm)



注：用于铁路和开口销承受交变横向力的场合，推荐采用表中规定的下一档较大的开口销及相应的孔径。

① 其余尺寸、角度和表面粗糙度值见 A 型。

② 某些情况下，不能按 $l-l_e$ 计算 l_h 尺寸，所需要的尺寸应在标记（见标记示例）中注明，但不允许 l_h 尺寸小于表中规定的数值。

标记示例

公称直径 $d=20\text{mm}$ ，长度 $l=100\text{mm}$ ，由易切削钢制造的硬度为 125~245HV，表面氧化处理的 B 型无头销轴的标记：

销 20×100 GB/T 880—2008

开口销孔为 6.3mm，其余要求与上述示例相同的无头销轴的标记：

销 20×100×6.3 GB/T 880—2008

孔距 $l_h=80\text{mm}$ ，其余要求与上述示例相同的无头销轴的标记：

销 20×100×6.3×80 GB/T 880—2008

孔距 $l_h=80\text{mm}$ ，其余要求与上述示例相同的无头销轴的标记：

销 20×100×80 GB/T 880—2008

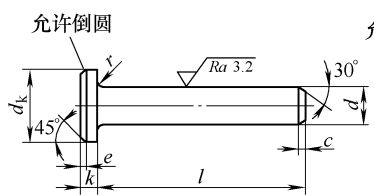
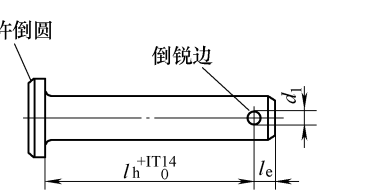
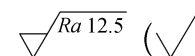
d h11	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36	40	45	50	55	60	70	80	90	100
d_1 H13	0.8	1	1.2	1.6	2	3.2	3.2	4	4	5	5	6	6.3	6.3	8	8	8	8	10	10	10	10	13	13	13	13
c max	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
l_e min	1.6	2.2	2.9	3.2	3.5	4.5	5.5	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	12	12	14	14	16	16	16	16
l (公称)	6 ~ 30	8 ~ 40	10 ~ 50	12 ~ 60	16 ~ 80	20 ~ 100	24 ~ 120	28 ~ 140	32 ~ 160	36 ~ 180	40 ~ 200	45 ~ 200	50 ~ 200	55 ~ 200	60 ~ 200	65 ~ 200	70 ~ 200	80 ~ 200	90 ~ 200	100 ~ 200	120 ~ 200	120 ~ 200	140 ~ 200	160 ~ 200	180 ~ 200	200
材料	易切钢（硬度：125~245HV），其他材料由供需双方协议																									
表面处理	氧化、磷化、镀锌铬酸盐转化膜，其他表面镀层或表面处理应由供需双方协议																									

注：1. 长度 l 系列：6~32（2 进位）、35~100（5 进位）、120~200 及 200 以上（20 进位）。

2. d 的其他公差，如 a11、c11、f8 应由供需双方协议；孔径 d_1 等于开口销的公称规格（见 GB/T 91）。

表 3.2-37 销轴 (摘自 GB/T 882—2008)

(mm)

A 型		B 型 ^{①②}	
A 型 (无开口销孔)		B 型 (带开口销孔)	
			
注: 用于铁路和开口销承受交变横向力的场合, 推荐采用表 1 规定的下一档较大的开口销及相应的孔径。			
① 其余尺寸、角度和表面粗糙度值见 A 型。		标记示例:	
② 某些情况下, 不能按 $l-l_e$ 计算 l_h 尺寸, 所需要的尺寸应在标记 (见标记示例) 中注明, 但不允许 l_h 尺寸小于表中规定的数值。		公称直径 $d=20\text{mm}$ 、长度 $l=100\text{mm}$ 、由钢制造的硬度为 125~245HV、表面氧化处理的 B 型销轴的标记:	
		销 20×100 GB/T 882—2008	
		开口销孔为 6.3mm, 其余要求与上述示例相同的销轴的标记:	
		销 20×100×6.3 GB/T 882—2008	
		孔距 $l_h=80\text{mm}$ 、开口销孔为 6.3mm, 其余要求与上述示例相同的销轴的标记:	
		销 20×100×6.3×80 GB/T 882—2008	
		孔距 $l_h=80\text{mm}$, 其余要求与上述示例相同的销轴的标记:	
		销 20×100×80 GB/T 882—2008	

d	h11	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36	40	45	50	56	60	70	80	90	100
d_k	h14	5	6	8	10	14	18	20	22	25	28	30	33	36	40	44	47	50	55	60	66	72	78	90	100	110	120
d_1	H13	0.8	1	1.2	1.6	2	3.2	3.2	4	4	5	5	5	6.3	6.3	8	8	8	8	10	10	10	10	13	13	13	13
c	max	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
e	≈	0.5	0.5	1	1	1	1	1.6	1.6	1.6	1.6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
k	js14	1	1	1.6	2	3	4	4	4	4.5	5	5	5.5	6	6	8	8	8	8	9	9	11	12	13	13	13	13
l_e	min	1.6	2.2	2.9	3.2	3.5	4.5	5.5	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	12	12	14	14	16	16	16	16
r		0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
l (公称)		6	8	10	12	16	20	24	28	32	36	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100	120	120	140	160	180	200
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	
		30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
材料	易切钢或锻钢 (硬度 125~245HV); 其他材料由供需双方协																										
表面处理	氧化; 磷化、镀锌铬酸盐转化膜、其他表面镀层或表面处理由供需双方协议																										

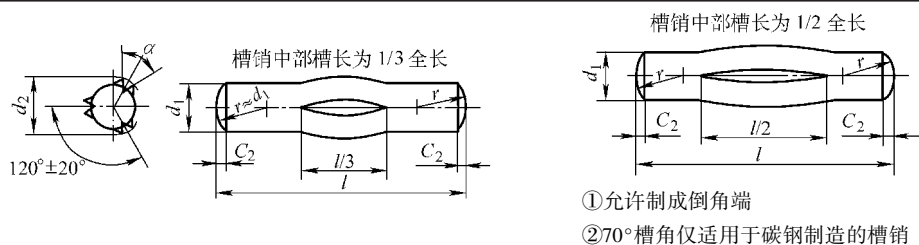
注: 1. 长度 l 系列: 6~32 (2 进位), 35~100 (5 进位)、120~200 及 200 以上 (20 进位)。

2. 孔径 d_1 等于开口销的公称规格 (见 GB/T 91); d 的其他公差, 如 a11、c11、f8 应由供需双方协议。

表 3.2-38 槽销 中部槽长为 1/3 全长(GB/T 13829.3—2004)

槽销 中部槽长为 1/2 全长(GB/T 13829.4—2004)

(mm)



标记示例：公称直径 $d=6\text{mm}$ 、公称长度 $l=50\text{mm}$ 、材料为碳钢、硬度为 125~245HV30、不经表面处理的中部槽长为 1/3 全长或中部槽长为 1/2 全长的槽销，标记为：

销 6×50 GB/T 13829.3—2004

销 6×50 GB/T 13829.4—2004

公称直径 $d=6\text{mm}$ 、公称长度 $l=50\text{mm}$ 、材料为 A1 组奥氏体不锈钢、硬度为 210~280HV30、表面简单处理的中部槽长为 1/3 全长的槽销，标记为：

销 6×50—A1 GB/T 13829.3—2004

d_1 (公称)	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	
d_1 公差	h9				h11									
$C_2 \approx$	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3	
d_2	1.60 1.63	2.10 2.15	2.60 2.65	3.10 3.15 3.20	4.15	5.15	6.15	8.20	10.20	12.25	16.25	20.25	25.25	
					4.20	5.20	6.25	8.25	10.30	12.30	16.30	20.30	25.30	
					4.25	5.25	6.30	8.30	10.40	12.40	16.40	20.40	25.40	
					4.30	5.30	6.35	8.35	10.45	12.50	16.50	20.50	25.50	
								8.40	10.40					
d_2 的偏差	+0.05 0		±0.05							±0.10				
最小抗剪切力 (双剪)/kN	1.6	2.84	4.4	6.4	11.3	17.6	25.4	45.2	70.4	101.8	181	283	444	
l (商品规格范围)	8 ~ 20	8 ~ 30	10 ~ 30	10 ~ 40	10 ~ 60	14 ~ 60	14 ~ 80	14 ~ 100	14 ~ 100	18 ~ 100	22 ~ 100	26 ~ 100	26 ~ 100	
d_2	1.60	1.63	2.10	2.15	2.60	2.65	3.10	3.15	3.20	4.15	4.20	4.25	4.30	
l (商品规格范围)	8 ~ 12	14 ~ 20	12 ~ 20	22 ~ 30	12 ~ 16	18 ~ 30	12 ~ 16	18 ~ 24	26 ~ 40	18 ~ 20	22 ~ 30	32 ~ 45	50 ~ 60	
d_2	5.15	5.20	5.25	5.30	6.15	6.25	6.30	6.35	8.20	8.25	8.30	8.35	8.40	
l (商品规格范围)	18 ~ 20	22 ~ 30	32 ~ 55	60	22 ~ 24	26 ~ 35	40 ~ 60	65 ~ 80	26 ~ 30	32 ~ 35	40 ~ 45	50 ~ 65	70 ~ 100	
d_2	10.20	10.30	10.40	10.45	10.40	12.25	12.30	12.40	12.50	16.25	16.30	16.40	16.50	
l (商品规格范围)	32 ~ 40	45 ~ 55	60 ~ 75	80 ~ 100	120 ~ 160	40 ~ 45	50 ~ 60	65 ~ 80	85 ~ 200	45	50 ~ 60	65 ~ 80	85 ~ 200	
d_2	20.25	20.30	20.40	20.50	25.25	25.30	25.40	25.50						
l (商品规格范围)	45 ~ 50	55 ~ 65	70 ~ 90	95 ~ 200	45 ~ 50	55 ~ 65	70 ~ 90	95 ~ 200						
材料	碳钢(硬度: 125 ~ 245HV30); 奥氏体不锈钢 A1(硬度: 210 ~ 280HV30)													
表面处理	对于碳钢: 不经处理、氧化、镀锌钝化、磷化; 对于奥氏体不锈钢: 简单处理													
l 系列	8 ~ 32(按 2 递增)、35 ~ 100(按 5 递增)、120 ~ 200(按 20 递增)													

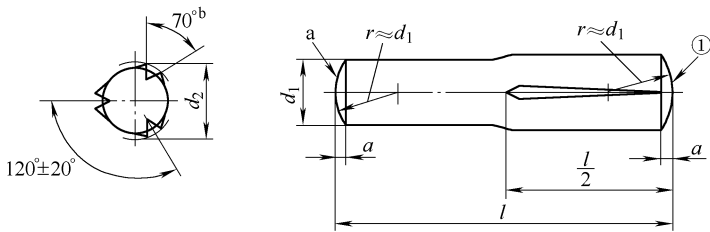
注：1. 最小抗剪切力仅适用于由碳钢制成的槽销。

2. 扩展直径 d_2 仅适用于由碳钢制成的槽销。对于其他材料，由供需双方协议。

3. 扩展直径 d_2 应使用光滑通、止环规进行检验。

表 3.2-39 槽销 半长倒锥槽 (GB/T 13829.7—2004)

(mm)



①允许制成倒角端。
②70°槽角仅适用于由碳钢制造的槽销。

标记示例：公称直径 $d_1=6\text{mm}$ 、公称长度 $l=50\text{mm}$ 、材料为碳钢、硬度为 125~245HV30、不经表面处理的半长倒锥槽的槽销，标记为：

销 6×50 GB/T 13829.5—2004

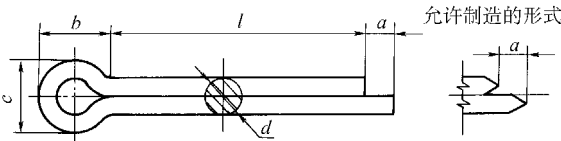
公称直径 $d_1=6\text{mm}$ 、公称长度 $l=50\text{mm}$ 、材料为 A1 组奥氏体不锈钢、硬度为 210~280HV30、表面简单处理的半长倒锥槽的槽销，标记为：

销 6×50—A1 GB/T 13829.5—2004

$d_{\text{公称}}$	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
$d_{\text{公差}}$	h9				h11								
$C_2 \approx$	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3
d_2								8.2					
				3.1	4.15	5.15	6.15	8.25	10.2	12.25	16.25	20.25	25.25
	1.6	2.1	2.6	3.15	4.2	5.2	6.25	8.3	10.3	12.3	16.3	20.3	25.3
			2.65	3.2	4.25	5.25	6.3	8.35	10.4	12.4	16.4	20.4	25.4
	1.63	2.15	2.70	3.25	4.30	5.30	6.35	8.4	10.45	12.5	16.5	20.5	25.5
								8.45	10.4	12.45	16.45	20.45	25.45
d_2 的偏差	$+0.05$ 0		± 0.05							± 0.10			
最小抗剪力 (双剪)/kN	1.6	2.84	4.4	6.4	11.3	17.6	25.4	45.2	70.4	101.8	181	283	444
l (商品规格范围)	8~ 20	8~ 30	8~ 30	8~ 40	10~ 60	10~ 60	12~ 80	14~ 100	18~ 160	26~ 200	26~ 200	26~ 200	26~ 200
d_2	1.6	1.63	2.1	2.15	2.6	2.65	2.7	3.1	3.15	3.2	3.25	4.15	4.2
l (商品规格范围)	8~ 10	12~ 20	8~ 16	18~ 30	8~ 12	14~ 20	22~ 30	8~ 12	14~ 16	18~ 24	26~ 40	10~ 12	14~ 20
d_2	4.25	4.3	5.15	5.2	5.25	5.3	6.15	6.25	6.3	6.35	8.2	8.25	8.3
l (商品规格范围)	22~ 35	40~ 60	10~ 12	14~ 20	22~ 35	40~ 60	12~ 16	18~ 24	26~ 40	45~ 80	14~ 20	22~ 24	26~ 30
d_2	8.35	8.4	8.35	10.2	10.3	10.4	10.45	10.4	12.25	12.3	12.4	12.5	12.45
l (商品规格范围)	32~ 45	50~ 75	80~ 100	18~ 24	26~ 35	40~ 50	55~ 90	95~ 60	26~ 30	32~ 40	45~ 55	60~ 100	120~ 200
d_2	16.25	16.3	16.40	16.5	16.45	20.25	20.3	20.4	20.5	20.45	25.25	25.3	25.4
l (商品规格范围)	26~ 30	32~ 40	45~ 55	60~ 100	120~ 200	26~ 35	40~ 45	50~ 55	60~ 120	140~ 200	26~ 35	40~ 45	50~ 55
d_2	25.5	25.45											
l (商品规格范围)	60~ 120	140~ 200											

- 注：1. 最小抗剪剪力仅适用于由碳钢制成的槽销。
2. 扩展直径 d_2 仅适用于由碳钢制成的槽销。对于其他材料，由供需双方协议。
3. 扩展直径 d_2 应使用光滑通、止环规进行检验。
4. 材料及表面处理见表 3.2-42。
5. 长度 l 系列：8~32(按 2 递增)、35~100(按 5 递增)、120~200(按 20 递增)。

表 3.2-40 开口销(摘自 GB/T 91—2000) (mm)



标记示例：
公称规格为 5mm、长度 $l=50\text{mm}$ 、材料为 Q215 或 Q235 不经表面处理的开口销：
销 5×50 GB/T 91—2000

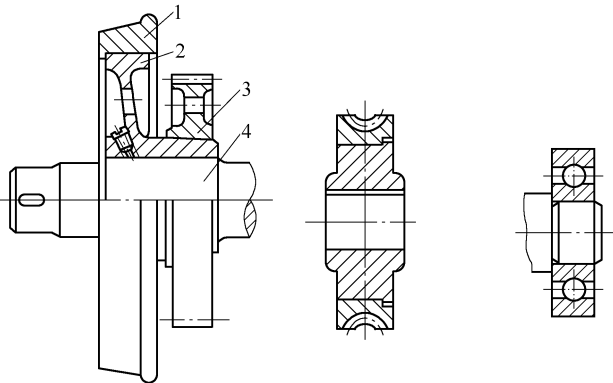
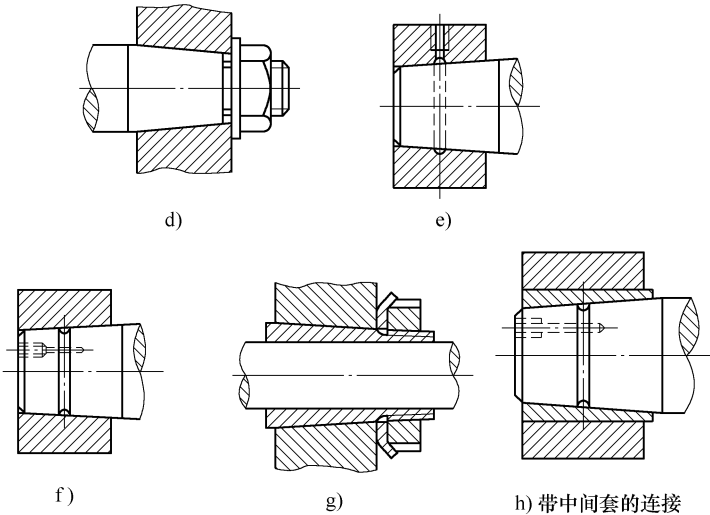
公称规格		0.6	0.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3.2	
d	max	0.5	0.7	0.9	1.0	1.4	1.8	2.3	2.9	
	min	0.4	0.6	0.8	0.9	1.3	1.7	2.1	2.7	
a	max	1.6	1.6	1.6	2.50	2.50	2.50	2.50	3.2	
	min	0.8	0.8	0.8	1.25	1.25	1.25	1.25	1.6	
b		≈	2	2.4	3	3	3.2	4	5	6.4
c	max	1.0	1.4	1.8	2.0	2.8	3.6	4.6	5.8	
	min	0.9	1.2	1.6	1.7	2.4	3.2	4.0	5.1	
适用的 直径	螺栓	>	—	2.5	3.5	4.5	5.5	7	9	11
		≤	2.5	3.5	4.5	5.5	7	9	11	14
	U 形销	>	—	2	3	4	5	6	8	9
		≤	2	3	4	5	6	8	9	12
公称规格		4	5	6.3	8	10	13	16	20	
d	max	3.7	4.6	5.9	7.5	9.5	12.4	15.4	19.3	
	min	3.5	4.4	5.7	7.3	9.3	12.1	15.1	19.0	
a	max	4	4	4	4	6.30	6.30	6.30	6.30	
	min	2	2	2	2	3.15	3.15	3.15	3.15	
b		≈	8	10	12.6	16	20	26	32	40
c	max	7.4	9.2	11.8	15.0	19.0	24.8	30.8	38.5	
	min	6.5	8.0	10.3	13.1	16.6	21.7	27.0	33.8	
适用的 直径	螺栓	>	14	20	27	39	56	80	120	170
		≤	20	27	39	56	80	120	170	—
	U 形销	>	12	17	23	29	44	69	110	160
		≤	17	23	29	44	69	110	160	—
l 系列		4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 120, 125, 140, 160, 180, 200, 240, 250, 280								

注：1. 开尾销材料：碳素钢：Q195、Q215、Q235；铜合金；不锈钢：1Cr17Ni7、0Cr18Ni9Ti。其他材料由供需双方协议。
2. 公称规格等于开尾销的直径 d 。销孔直径推荐公差为：当公称规格 $d \leq 1.2\text{mm}$ 时：H13； $d > 1.2$ 时：H14。
3. 根据供需双方协议，允许采用公称规格 d 为 3.6mm 或 12mm 的规格。

3 过盈连接

3.1 过盈连接的类型、特点及应用(表 3.2-41)

表 3.2-41 过盈连接的类型、特点及应用

类型		应用举例	特点及应用
过盈连接	圆柱面过盈	 a) 机车车轮的过盈配合 b) 蜗轮轮缘与轮心过盈连接 c) 滚动轴承与轴过盈连接 1—轮缘 2—轮心 3—齿轮 4—轴	圆柱面过盈连接结构简单、加工方便、加工精度高,对中性好,不宜多次装拆,配合面边缘处应力集中较大。应用广泛 图 a~图 c 为圆柱面过盈连接的实例其中图 a 是机车车轮的轴与轮心、轮缘与轮心、齿轮与车轮、车轮与轴的过盈配合
	圆锥面过盈	 d) e) f) g) h) 带中间套的连接	圆锥面过盈配合是利用包容件与被包容件相对轴向位移压紧而获得过盈配合的其特点是:不易损伤结合面、可实现多次装拆、可通过控制轴向位移来精确地调整过盈量、可实现小直径的装配、无需加热或冷却结合件,便可进行装配。但结合面不便加工 圆锥面过盈连接,多用于承载较大、需多次装拆的场合,尤其适用于大型件 图 d 及图 g 分别以螺纹件紧固的圆锥面过盈配合和圆锥套过盈配合的过盈连接;图 e、图 f 及图 h 是以油压法拆装圆锥面过盈配合的连接。这种连接在装配时,将高压油打入圆锥结合面,使包容面及被包容面在结合处产生弹性变形,形成间隙。再靠轴、毂之间的相对移动形成过盈连接
装配方法	压入法	被包容件从轴向直接压入包容件中	
	温差法	包容件加热,使其内径直径增大,或(和)冷却被包容件,使其外径减小,从而形成间隙进行装配	
	油压法	将压力油压入配合表面,使包容件胀大,被包容件缩小而形成间隙进行装配	

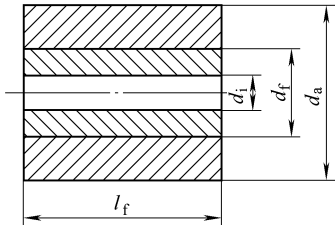
3.2 圆柱面过盈连接计算

(2) 圆柱面过盈连接计算(表 3.2-43)

计算的已知条件为：连接所传递的载荷、连接件的材料和尺寸。

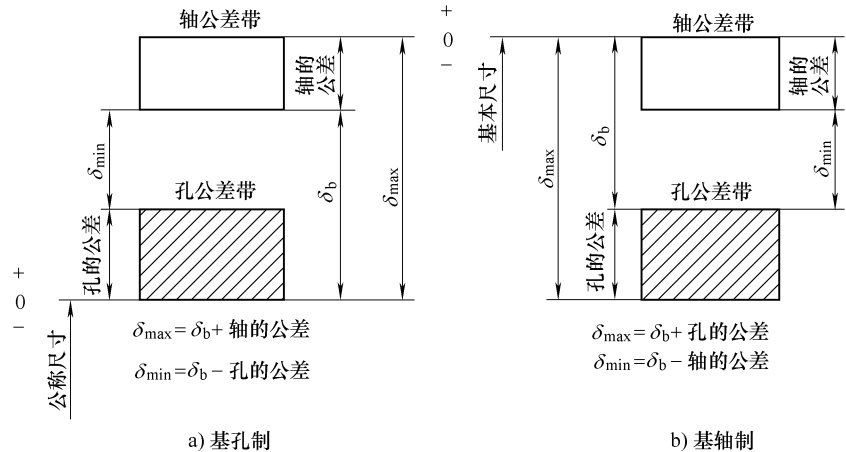
(1) 过盈连接计算用主要符号和术语(表 3.2-42)

表 3.2-42 过盈连接计算用主要符号和术语(摘自 GB/T 5371—2004)

名 称	符号	单位	含 义
过盈量	δ	mm	过盈的绝对值
有效过盈量	δ_e	mm	过盈连接中起作用的过盈量
基本过盈量	δ_b	mm	选择过盈配合的基准值
结合直径	d_f	mm	结合面的基本直径
包容件外径	d_a	mm	包容件最大外径
被包容件内径	d_i	mm	被包容件最小直径(孔径)
结合长度	l_f	mm	结合面的基本长度
包容件直径比	q_a		$q_a = d_f/d_a$
被包容件直径比	q_i		$q_i = d_i/d_f$
包容件的压平深度	S_a	mm	轴、孔配合时,孔表面粗糙度压平部分的深度
被包容件的压平深度	S_i	mm	轴、孔配合时,轴表面粗糙度压平部分的深度
包容件直径变化量	e_a	mm	配合时,包容件孔径扩大的变化量
被包容件直径变化量	e_i	mm	配合时,被包容件轴径缩小的变化量
结合压强	P_f	MPa	配合后,作用在结合面上的压强
压入力	P_{xi}	N	实现纵向过盈连接过程中,施加的最大轴向力
压出力	P_{xe}	N	在解脱过盈连接过程中,施加的最大轴向力
传递轴向力	F_x	N	
传递转矩	T	N · mm	
传递力	F_t	N	过盈连接所能传递或承受的最大力
摩擦因数	μ		
泊松比	ν		
弹性模量	E	MPa	
微观不平度十点高度	Rz	mm	
轮廓算术平均偏差	Ra	mm	
抗拉强度	R_m	mm	

注：1. 除另有说明外，表中符号下脚标“a”表示包容件，“i”表示被包容件。

2. 过盈连接公差带图解：



3. 过盈连接压平深度图解：

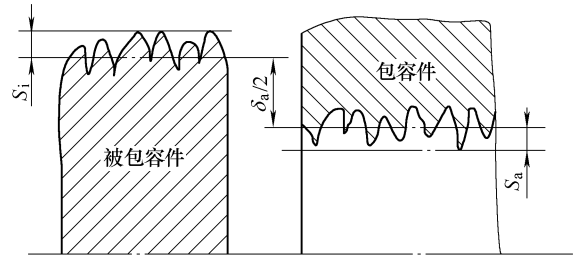
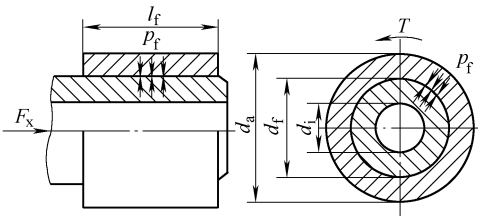


表 3. 2-43 圆柱面过盈连接的计算(摘自 GB/T 5371—2004)



计算内容		计算公式	说 明
传递载荷所需的最小过盈	1) 传递载荷所需的最小结合压强 p_{fmin}	传递转矩 T 时 $p_{fmin} = \frac{2000T}{\pi l_f d_f^2 \mu}$ 传递轴向力 F_x 时 $p_{fmin} = \frac{F_x}{\pi d_f l_f \mu}$ 同时传递 T 和 F_x 时 $p_{fmin} = \frac{\sqrt{F_x^2 + (2000T/d_f)^2}}{\pi d_f l_f \mu}$	T —转矩 (N · m) F_x —轴向力 (N) d_f —结合直径 (mm) l_f —结合长度, 一般取 $L_f \approx 0.9 d_f$ (mm) μ —摩擦因数, 见表 3. 2-44、表 3. 2-45
	2) 直径比		
	包容件 q_a	$q_a = d_f/d_a$	
	被包容件 q_i	$q_i = d_i/d_f$	对实心轴 $q_i = 0$

(续)

计算内容	计算公式	说 明
传递载荷所需的最小过盈	3) 包容件传递载荷所需最小直径变化量 e_{amin}	$e_{amin} = p_{fmin} \frac{d_f}{E_a} C_a$ $C_a = \frac{1 + q_a^2}{1 - q_a^2} + \nu_a$ C_a 值查表 3.2-46 E_a 及 ν_a 值见注 2
	4) 被包容件传递载荷所需最小直径变化量 e_{imin}	$e_{imin} = p_{fmin} \frac{d_f}{E_i} C_i$ $C_i = \frac{1 + q_i^2}{1 - q_i^2} - \nu_i$ C_i 值查表 3.2-46 E_i 及 ν_i 值见注 2
	5) 传递载荷所需的最小有效过盈量 δ_{emin}	$\delta_{emin} = e_{amin} + e_{imin}$
	6) 考虑压平后的最小过盈量 δ_{min}	压入法装配 $\delta_{min} = \delta_{emin} + 2(S_a + S_i)$ 温差法装配 $\delta_{min} = \delta_{emin}$ 对纵向过盈连接取: $S_a = 1.6Ra_a; S_i = 1.6Ra_i$ S_a, S_i ——结合面的表面粗糙度 被压平部分的深度见表 3.2-46 中附表图 2
不产生塑性变形所允许的最大有效过盈量	7) 包容件不产生塑性变形所允许的最大结合压强 p_{fimax}	塑性材料 $p_{fimax} = aR_{eLa}$ 脆性材料 $p_{fimax} = bR_{ma} / (2 \sim 3)$ $a = \frac{1 - q_a^2}{\sqrt{3 + q_a^4}}; \quad b = \frac{1 - q_a^2}{1 + q_a^2}$ a, b 值可查图 3.2-1 R_{eL} —包容件与被包容件的下屈服强度 (MPa) R_m —包容件与被包容件材料的抗拉强度 (MPa)
	8) 被包容件不产生塑性变形所允许的最大结合压强 $p_{fi max}$	塑性材料 $p_{fi max} = c\sigma_{si}$ 脆性材料 $p_{fi max} = c\sigma_{bi} / (2 \sim 3)$ $c = \frac{1 - q_i^2}{2}$ c 值可查图 3.2-1 当实心轴 $q_i = 0$ 时, $c = 0.5$
	9) 结合件不产生塑性变形的最大结合压强 p_{fmax}	p_{fmax} 取 p_{fimax} 与 $p_{fi max}$ 中的较小者
	10) 结合件不产生塑性变形的传递力 F_t	$F_t = p_{fmax} \pi d_f l_t \mu$
	11) 包容件不产生塑性变形所允许的最大直径变化量 e_{amax}	$e_{amax} = \frac{p_{fmax} d_f}{E_a} C_a$ $C_a = \frac{1 + q_a^2}{1 - q_a^2} + \nu_a$ C_a 数值可查表 3.2-46
	12) 被包容件不产生塑性变形所允许的最大直径变化量 e_{imax}	$e_{imax} = \frac{p_{fmax} d_f}{E_i} C_i$ $C_i = \frac{1 + q_i^2}{1 - q_i^2} - \nu_i$ C_i 数值可查表 3.2-46
	13) 结合件不产生塑性变形所允许的最大有效过盈量 δ_{emax}	$\delta_{emax} = e_{amax} + e_{imax}$

(续)

计算内容			计算公式	说 明
配合的选择	14) 选择配合的要求		保证过盈连接传递给定的载荷: $[\delta_{\min}] > \delta_{\min}$ 保证连接件不产生塑性变形 $[\delta_{\max}] \leq \delta_{\max}$	$[\delta_{\max}]$ 、 $[\delta_{\min}]$ ——标准确定的最大过盈量和最小过盈量
	15) 确定基本过盈量 δ_b		一般情况 $\delta_b \approx \frac{\delta_{\min} + \delta_{\max}}{2}$ 要求有较多的连接强度储备时,可取 $\delta_{\max} > \delta_b > \frac{\delta_{\min} + \delta_{\max}}{2}$ 要求有较多的连接件材料强度储备时,可取 $\delta_{\min} < \delta_b < \frac{\delta_{\min} + \delta_{\max}}{2}$	
	16) 确定配合的基本偏差代号			由 d_f 和 δ_b 从图 3.2-2 查出
	17) 选用配合,定出最大过盈和最小过盈 $[\delta_{\max}]$ 、 $[\delta_{\min}]$		按基本偏差代号和 $\delta_{\max}$ 、 $\delta_{\min}$, 由 GB/T 1801 和 GB/T 1800.4 确定选用的配合和孔、轴公差带	a. 选择配合种类时,在过盈量的上、下限范围内常有几种配合可供选用,一般应选择其最小过盈 $[\delta_{\min}]$ 等于或略大于所需过盈 $\delta_{\min}$ 的配合,过大会增加装配困难 对于公差等级要求高、过盈量变动范围小的过盈配合,单件小批量,推荐采用配制配合;大批量,则可按实际过盈分组装配 b. 对于高速旋转的过盈配合(如燃气轮机高速旋转的圆盘与轴的过盈连接),由于离心力的作用,会影响运转过程中的实际过盈量,使配合过盈减小,使连接的可靠性降低。设计与计算中,应考虑离心力的影响
校核计算	18) 最小传递力 $F_{\min}$		$F_{\min} = [p_{f \min}] \pi d_f l_f \mu$	$[p_{f \min}] = \frac{[\delta_{\min}] - 2(S_a + S_i)}{d_f \left(\frac{C_a}{E_a} + \frac{C_i}{E_i} \right)}$
	结合件的最大应力	19) 包容件	塑性材料 $\sigma_{\max} = \frac{1}{a} [p_{f \max}]$ 脆性材料 $\sigma_{\max} = \frac{1}{b} [p_{f \max}]$	$[p_{f \max}] = \frac{[\delta_{\max}]}{d_f \left(\frac{C_a}{E_a} + \frac{C_i}{E_i} \right)}$
		20) 被包容件	$\sigma_{\max} = \frac{1}{c} [p_{f \max}]$	

(续)

计算内容		计算公式	说 明
过盈连接的 装配参数	采用压入法时： 21) 压入力 F_{xi} 22) 压出力 F_{xa}	$P_{xi} = [p_{fmax}] \pi d_f l_d \mu$ $P_{xa} = (1.3 \sim 1.5) P_{xi}$	
	采用温差法时： 23) 装配温度 t_r 或 t_1	包容件的加热温度 $t_r = \frac{e_{at}}{\alpha_a d_f} \text{ } ^\circ\text{C}$ $e_{at} = [\delta_{max}] + \Delta$ 被包容件冷却温度 $t_1 = \frac{e_{it}}{\alpha_i d_f} \text{ } ^\circ\text{C}$	e_{at} ——包容件内径的热胀量 Δ ——热装的最小间隙,见表 3.2-47 $\alpha_a、\alpha_i$ ——分别为包容件与被包容件材 料的线膨胀系数,其值见注 2 e_{it} ——被包容件外径的冷缩量,其值为 被包容件与包容件结合直径尺 寸差的实测值与冷装的最小间 隙 Δ 之和
	24) 包容件的外径扩大量 Δd_a	$\Delta d_a = \frac{2 p_f d_a q_a^2}{E_a (1 - q_a^2)}$	p_f 取 $[p_{fmax}]$ 与 $[p_{fmin}]$ 分别计算 $\Delta d_{amax}, \Delta d_{amin}, \Delta d_{imax}, \Delta d_{imin}$
直径变化	25) 被包容件的内径缩小量 Δd_i	$\Delta d_i = \frac{2 p_f d_i}{E_i (1 - q_i^2)}$	

注：1. 对于重要的过盈连接，摩擦因数应根据具体条件进行选择，特殊情况还应进行试验确定。
2. 常用材料的弹性模量 E 、泊松比 ν 和线膨胀系数 α 见本手册第 1 篇第 1 章。

(续)

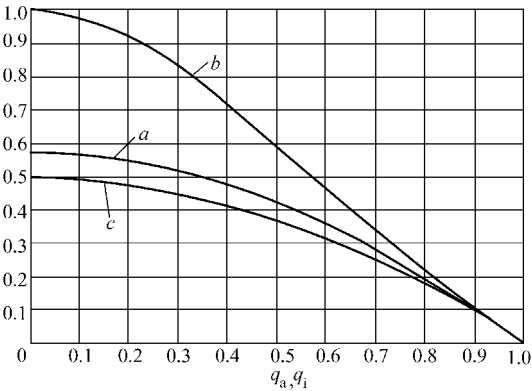


图 3.2-1 a、b、c 线图

a—用于包容件为塑性材料；
b—用于包容件为脆性材料；
c—用于被包容件为塑性或脆性材料

表 3.2-44 纵向过盈连接的摩擦因数 μ

材 料	μ	
	无润滑	有润滑
钢-钢	0.07 ~ 0.16	0.05 ~ 0.13
钢-铸钢	0.11	0.08
钢-结构钢	0.10	0.07
钢-优质结构钢	0.11	0.08

材 料	μ	
	无润滑	有润滑
钢-青铜	0.15 ~ 0.2	0.03 ~ 0.06
钢-铸铁	0.12 ~ 0.15	0.05 ~ 0.10
铸铁-铸铁	0.15 ~ 0.25	0.05 ~ 0.10

表 3.2-45 横向过盈连接的摩擦因数 μ

材料	结合方式, 润滑	μ
钢-钢	油压扩径, 压力油为矿物油	0.125
	油压扩径, 压力油为甘油, 结合面排油干净	0.18
	在电炉中加热包容件至 300℃	0.14
	在电炉中加热包容件至 300℃ 以后, 结合面脱脂	0.2
钢-铸铁	油压扩径, 压力油为矿物油	0.1
钢-铝镁合金	无润滑	0.1 ~ 0.15

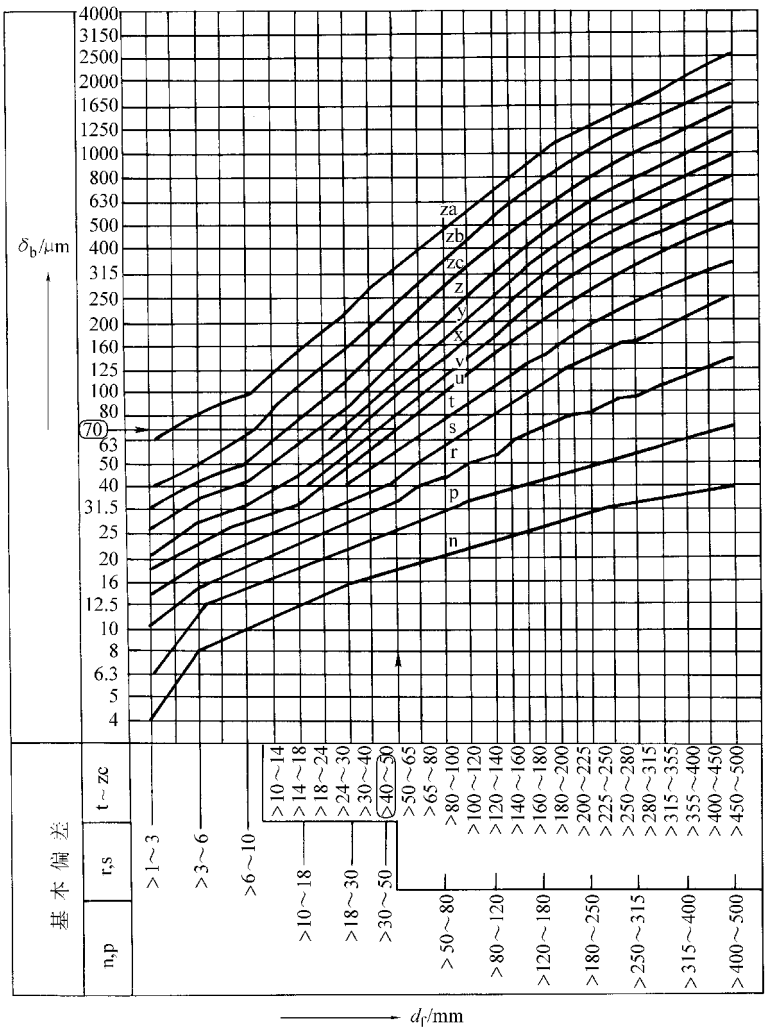


图 3.2-2 配合选择

表 3.2-46 系数 C_a 和 C_i

q_a 或 q_i	C_a		C_i		q_a 或 q_i	C_a		C_i	
	$\nu_a = 0.30$	$\nu_a = 0.25$	$\nu_i = 0.3$	$\nu_i = 0.25$		$\nu_a = 0.30$	$\nu_a = 0.25$	$\nu_i = 0.3$	$\nu_i = 0.25$
0	—	—	0.700	0.750	0.53	2.081	2.031	1.481	1.531
0.10	1.320	1.270	0.720	0.770	0.56	2.214	2.164	1.614	1.664
0.14	1.340	1.290	0.740	0.790	0.60	2.425	2.375	1.825	1.875
0.20	1.383	1.333	0.783	0.833	0.63	2.616	2.566	2.016	2.066
0.25	1.433	1.383	0.833	0.883	0.67	2.929	2.879	2.329	2.379
0.28	1.470	1.420	0.870	0.920	0.71	3.333	3.283	2.733	2.783
0.31	1.512	1.426	0.912	0.962	0.75	3.871	3.821	3.271	3.321
0.35	1.579	1.529	0.979	1.029	0.80	4.855	4.805	4.255	4.305
0.40	1.681	1.631	1.081	1.131	0.85	6.507	6.457	5.907	5.957
0.45	1.808	1.758	1.208	1.258	0.90	9.826	9.776	9.226	9.276
0.50	1.967	1.917	1.367	1.417					

表 3. 2-47 热装的最小间隙 (mm)

结合直径 d_f	~3	3~6	6~10	10~18	18~30	30~50	50~80
最小间隙 Δ	0. 003	0. 006	0. 010	0. 018	0. 030	0. 055	0. 059
结合直径 d_f	80~120	120~180	180~250	250~315	315~400	400~500	—
最小间隙 Δ	0. 069	0. 079	0. 090	0. 101	0. 111	0. 123	—

注：表中 d_f 大于 30mm 的最小间隙系按间隙配合 H7/g6 的最大间隙列出。

4 胀紧连接

胀紧连接是在轴与轮毂孔之间设置相互贴合的内、外套。在轴向力的作用下外套胀大，内套缩小。外套胀大将毂孔压紧，内套缩小而将轴包紧，由此产生足够大的摩擦力来传递转矩和轴向力。

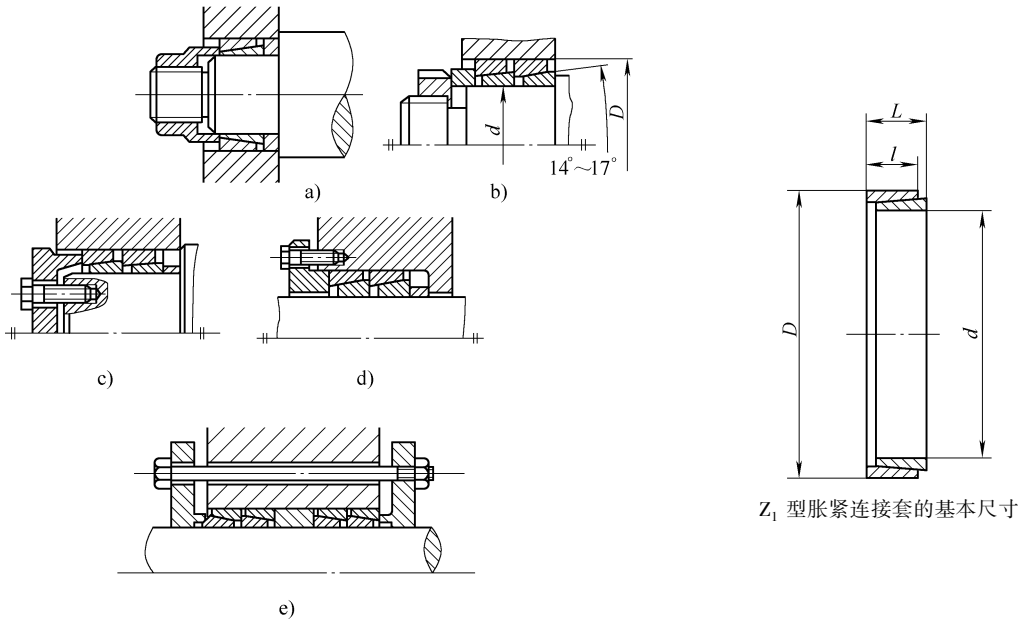
胀紧连接具有对中性好、装拆方便、可轴向和

周向调位、对轴与毂孔表面的加工要求较低、承载能力高、应力集中小、并有安全保护作用等一系列优点。

由于要在轴和毂孔间安装胀套，所以其应用有时会受到结构尺寸的限制。

4. 1 胀紧连接套的形式与基本尺寸 (表 3. 2-48 ~ 表 3. 2-53)

表 3. 2-48 Z_1 型胀紧连接套的基本尺寸及压紧结构 (摘自 JB/T 7934—1999)



标记示例：
内径 $d=100\text{mm}$ ，外径 $D=114\text{mm}$ 的 Z_1 型胀紧连接套：
胀套 $Z_1-100\times114$ JB/T 7934—1999

图 a、图 b、图 c、图 d 为单侧压紧。图 e 为双侧压紧。单侧压紧时锥套不宜超过 4 对，双侧压紧不宜超过 8 对。

基 本 尺 寸				当 $p_t=100\text{MPa}$ 时的额定负荷		质量/kg
d	D	L	l	轴向力 F_t /kN	转矩 M_t /kN·m	
mm						
20	25	6. 3	5. 3	4. 0	0. 004	0. 01
22	26			4. 5	0. 005	0. 01

(续)

基 本 尺 寸				当 $p_t = 100\text{MPa}$ 时的额定负荷		质量/kg
d	D	L	l	轴向力 F_t	转矩 M_t	
mm				/kN	/kN · m	
25	30	6.3	5.3	5.0	0.06	0.01
28	32			5.6	0.08	0.01
30	35			6.0	0.09	0.01
32	36			6.4	0.10	0.01
35	40	7.0	6.0	8.2	0.15	0.02
40	45	8.0	6.6	9.9	0.20	0.02
45	52	10.0	8.6	14.6	0.33	0.04
50	57			16.2	0.40	0.05
55	62			17.8	0.49	0.05
60	68	12.0	10.4	23.5	0.70	0.07
65	73			25.6	0.83	0.08
70	79	14.0	12.2	32.0	1.12	0.11
75	84			34.4	1.29	0.12
80	91	17.0	15.0	45.0	1.81	0.19
85	96			48.0	2.04	0.20
90	101			51.0	2.29	0.22
95	106			54.0	2.55	0.23
100	114	21.0	18.7	70.0	3.50	0.38
105	119			73.2	3.82	0.40
110	124			77.0	4.25	0.41
120	134			84.0	5.05	0.45
125	139			92.0	5.75	0.62
130	148	28.0	25.3	124.0	8.05	0.85
140	158			134.0	9.35	0.91
150	168			143.0	10.70	0.97
160	178			152.5	12.20	1.02
170	191	33.0	30.0	192.0	16.30	1.50
180	201			204.0	18.30	1.58
190	211			214.0	20.40	1.68
200	224	38.0	34.8	262.0	26.20	2.32
210	234			275	28.90	2.45
220	244			288.0	37.70	2.49
240	267	42.0	39.5	358.0	43.00	3.52
250	280	48.0	44.0	415	52.00	4.68
260	290			435.0	56.50	4.82

(续)

基 本 尺 寸				当 $p_f = 100\text{MPa}$ 时的额定负荷		质量/kg
d	D	L	l	轴向力 F_t	转矩 M_t	
mm				/kN	/kN · m	
280	313	53.0	49.0	520.0	72.50	6.27
300	333			555.0	83.00	6.47
320	360	65.0	59.0	710.0	114.00	10.90
340	380			755	128.50	11.50
360	400			800	144.00	12.20
380	420			845	160.50	12.80
400	440			890	178.00	13.50
420	460			935	196.00	14.10
450	490			998.0	224.50	15.20
480	520			1070.0	256.00	16.00
500	540			1110.0	278.00	16.50

注: p_f 为胀紧联结套与轴结合面上的压力。

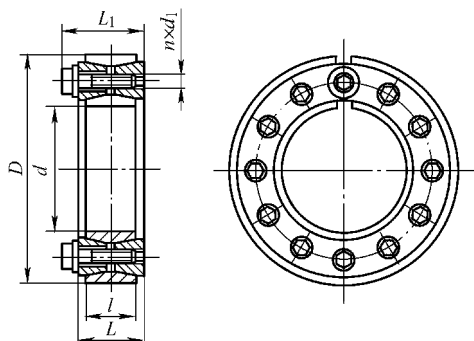
表 3.2-49 Z₁型胀紧连接套的基本尺寸(摘自 JB/T 7934—1999)

由一个开口的双锥内套, 一个开口的双锥外套和两个双锥压紧套所组成

同样压紧力能产生比 Z₁ 型更大的径向力，能传递更大的载荷

标记示例:

内径 $d = 130\text{mm}$, 外径 $D = 180\text{mm}$ 的 Z_2 型胀紧连接套:

胀套 Z₅—130 × 180 JB/T 7934—1999

基本尺寸							额定负荷		胀套与轴结合 面上的压力 p_t/MPa	胀套与轮毂结 合面上的压力 p_t'/MPa	螺钉的拧紧力矩 $M_A/\text{N} \cdot \text{m}$	质量 /kg		
d	D	l	L	L_1	d_1	n	轴向力 F_t	转矩 M_t						
mm							/kN	/kN · m						
20	47	17	20	27.5	M6	8	27	0.27	210	90	14	0.24		
22								0.30	195			0.23		
25	50					9	30	0.38	190			95	0.25	
28													10	33
30	0.50					175	95	0.29						
35	60					12	40	0.70	180			105	0.32	
38													14	46
40	65					0.92	180	110	0.34					
42	72	20	24	33.5	M8	12	65	1.36	200	117	35	0.48		
45								72	1.62			210	125	0.57
50								71	1.77			190	115	0.60
55						85	14	83	2.27			200	130	0.63
60									2.47			180	120	0.69
65									95			16	93	3.04

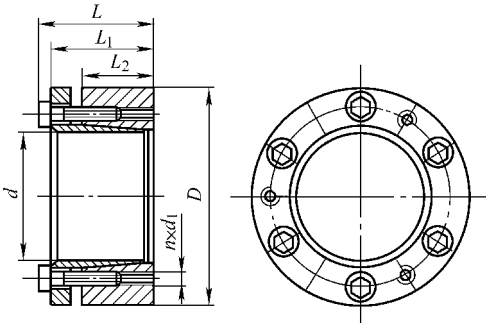
(续)

基本尺寸						额定负荷		胀套与轴结合 面上的压力 p_t /MPa	胀套与轮毂结 合面上的压力 p'_t /MPa	螺钉的拧紧力矩 M_A /N·m	质量 /kg		
d	D	l	L	L_1	d_1	n	轴向力 F_t /kN					转矩 M_t /kN·m	
mm													
70	110	24	28	39.5	M10	14	132	4.60	210	130	70	1.26	
75	115						131	4.90	195	125		1.33	
80	120							5.20	180	120		1.40	
85	125					16	148	6.30	195	130		1.49	
90	130						147	6.60	180	125		1.53	
95	135					18	167	7.90	195	135		1.62	
100	145	29	33	47.0	M12	14	192	9.60		135	125	2.01	
105	150						190	9.98	185	130		2.10	
110	155						191	10.50	180	125		2.15	
120	165					16	218	13.10	185	135		2.35	
125	170					18	220	13.78	180	130		2.95	
130	180					34	38	52.0	M14	20		272	17.60
140	190	22	298	20.90	165					125	3.85		
150	200	24	324	24.20	170					125	4.07		
160	210	26	350	28.00						130	4.30		
170	225	38	44	60	M14	22	386	32.80	160	120	190	5.78	
180	235					24	420	37.80	165	125		6.05	
190	250	46	52	68		28	490	46.50	150	115		8.25	
200	260					30	525	52.50	150	115		8.65	
210	275	50	56	74	M16	24	599	62.89	151	115	295	10.10	
220	285					26	620	68.00	150	115		11.22	
240	305					30	715	85.50	160	125		12.20	
250	315					32	768	96.00	162	125		12.70	
260	325					34	800	104.00	165	130		13.20	
280	355	60	66	86.5	M18	32	915	128.00	145	115	405	19.20	
300	375						1020	153.00	150			120	20.50
320	405	72	78	100.5	M20	36	1310	210.00		145	120	580	29.60
340	425							224.00	115		31.10		
360	455	84	90	116.0			M22	1630	294.00		115	780	42.20
380	475							1620	308.00	135	110		44.00
400	495				1610	322.00		130	105	46.00			
420	515				40	1780		374.00	135	110	50.00		
450	555	96	102	130.0	M24	40	2050	461.25	124	100	1000	65.00	
480	585					42	2160	518.40		100		71.00	
500	605					44	2240	560.00		123		100	72.60
530	640					45	2330	617.00	121	100		83.60	
560	670					48	2440	680.00	120	100		85.00	
600	710					50	2580	775.00	118	100		91.00	
630	740					52	2680	844.00	117	105		94.00	
670	780					56	2820	944.00	116	100		101.00	
710	820					60	2970	1054.00	115	100		106.00	
750	860					62	3130	1173.00	115	100		112.00	
800	910					66	3260	1300.00	112	100		118.00	
850	960					70	3500	1487.00	113	100		125.00	
900	1010					75	3680	1650.00	112	100		132.00	
950	1060					80	3870	1838.00		100		139.00	
1000	1110					82	4000	2000.00	110	100		146.00	

注: Z₂ 型胀紧联结套螺钉的机械性能等级为 12.9 级。

表 3.2-50 Z₃ 型胀紧连接套的基本尺寸(摘自 JB/T 7934—1999)

内、外锥套用内六角螺钉压紧、接合面较长，能自动对中

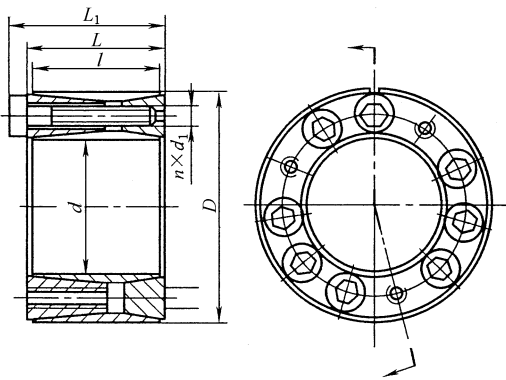


标记示例：
内径 $d=130\text{mm}$ ，外径 $D=180\text{mm}$ 的 Z_3 型胀紧连接套：
胀套 $Z_3-130 \times 180$ JB/T 7934—1999

基本尺寸						额定负荷		胀套与轴结合面上的压力 p_t /MPa	胀套与轮毂结合面上的压力 p'_t /MPa	螺钉的拧紧力矩 M_A /N·m	质量 /kg	
d	D	L	L_1	L_2	d_1	n	轴向力 F_t /kN					转矩 M_t /kN·m
mm												
20	47	37	31	21.7	M6	4	30	0.30	287	17	0.29	
22	47							0.33	260		90	0.27
25	50					5	35	0.44	287		106	0.30
28	55							0.49	256		96	0.36
30	55							0.53	239		96	0.34
35	60					6	45	0.81	246		106	0.38
40	65	0.94	215	98	0.41							
45	75	46	38	25.3	M8	6	80	1.86	283	41	0.70	
50	80							2.07	255		126	0.76
55	85					7	90	2.54	270		138	0.82
60	90							2.77	247		130	0.88
65	95					8	105	3.58	261		141	0.94
70	110					60	50	33.4	M10		7	140
75	115	5.46	228	119	2.20							
80	120	5.85	214	112	2.30							
85	125	8	175	7.45	230					129	2.40	
90	130			7.90	217					124	2.60	
95	135			9.90	257					149	2.70	
100	145	68	58	40.8	M12	10	220	11.00	192	145	3.70	
105	150							11.55	210		114	3.90
110	155							12.10	175		107	4.00
120	165					12	260	15.70	192		120	4.30
125	170					10	320	17.50	189		120	4.80
130	180							20.70	188		120	5.90
140	190	22.50	175	114	6.30							
150	200	77	65	45.4		12	380	28.50	196		6.70	

注：Z₃ 型胀紧联结套螺钉的机械性能等级为 12.9 级。

表 3.2-51 Z₄ 型胀紧连接套的基本尺寸(摘自 JB/T 7934—1999)



由锥度不同的开口双锥内套与开口双锥外套及两个双锥压紧套组成。用内六角螺钉压紧。接合面长、对中精度高。用于旋转精度要求高和传递较大载荷的场合。

标记示例：

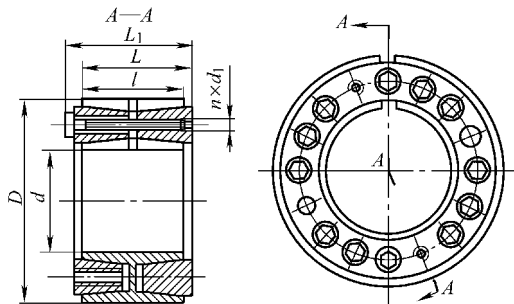
内径 $d = 130\text{mm}$ ，外径 $D = 190\text{mm}$ 的 Z₄ 型胀紧连接套：

胀套 Z₄—130 × 190 JB/T 7934—1999

基本尺寸						额定负荷		胀套与轴结合面上的压力 p_t/MPa	胀套与轮毂结合面上的压力 p_t'/MPa	螺钉的拧紧力矩 $M_A/\text{N} \cdot \text{m}$	质量 /kg	
d	D	l	L	L_1	d_1	n	轴向力 F_t /kN					转矩 M_t /kN · m
mm												
70	120	56	62	74	M12	8	197	6.85	201	145	3.3	
80	130					12	291	11.65	263		3.7	
90	140						290	13.00	234		4.0	
100	160	74	80	94	M14	15	389	19.70	213	230	7.2	
110	170						483	22.60	242		7.7	
120	180						482	28.90	222		8.3	
125	185						480	30.00	212		8.5	
130	190							31.20	205		8.8	
140	200					18	574	40.20	227		9.3	
150	210						572	42.90	212		10.0	
160	230						800	64.00	227	355	14.9	
170	240						795	67.80	214		15.7	
180	250	88	94	110	M16	923	83.00	235	16.4			
190	260					921	88.00	223	17.2			
200	270					24	1050	105.00	242		18.8	
210	290	110	116	134	M18	20	1118	117.30	197	485	23.0	
220	300					21	1120	123.00	189		138	27.7
240	320					24	1280	153.00	198		148	29.8
250	330					27	1282	160.20	205		157	31.0
260	340						1430	186.00			157	32.0
280	370	130	136	156	M20	24	1650	230.00	192	690	46.0	
300	390						245.00	179	138		49.0	

注：Z₄ 型胀紧联结套螺钉的机械性能等级为 12.9 级。

表 3. 2-52 Z₅ 型胀紧连接套的基本尺寸(摘自 JB/T 7934—1999)



各锥套锥度相等,且锥度较小,内锥套中部有凸缘,便于拆卸,可传递大的载荷,对中精度较高

标记示例:

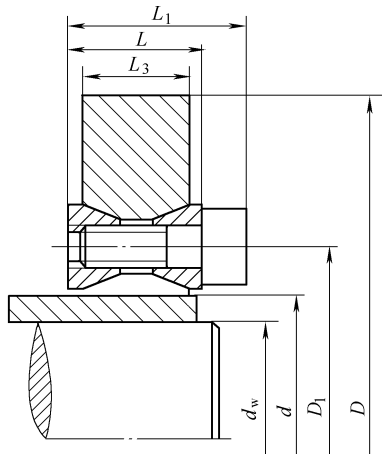
内径 $d=300\text{mm}$ 、外径 $D=375\text{mm}$;

胀套 Z₅—300×375 JB/T 7934—1999

基本尺寸						额定负荷		胀套与轴结合 面上的压力 p_t/MPa	胀套与轮毂结 合面上的压力 p_t'/MPa	螺钉的拧紧力矩 $M_A/\text{N} \cdot \text{m}$	质量 /kg			
d	D	l	L	L_1	d_1	n	轴向力 F_t /kN					转矩 M_t /kN · m		
mm														
100	145	60	65	77	M12	10	288	14.4	192	145	4.1			
110	155							15.8	175		4.4			
120	165							20.8	192		4.8			
130	180	68	74	86		15	433	28.1	193		6.5			
140	190							36.3	214		7.0			
150	200							39.0	200		7.4			
160	210					21	606	48.5	219		167	7.8		
170	225	75	81	95	M14	18	712	60.6	215	230	10.0			
180	235							64.1	203		10.6			
190	250					88	94	108	20		792	75.2	178	135
200	260	24	950	95.0					203		156	15.0		
210	275	98	104	120	M16	18	970	102.0	187	355	17.5			
220	285							990	109.0		183	141	19.8	
240	305					24	1318	158.0	222		176	21.4		
250	315							1340	167.5		215	170	22.0	
260	325						25	1370	178.0			172	23.0	
280	355	120	126	144	M18	24	1590	222.5	188	485	35.2			
300	375							1650	248.0		183	146	37.4	
320	405	135	142	162	M20	25	2140	344.0	192	690	51.3			
340	425										365.0	181	144	54.1
360	455										480.0	176	139	75.4
380	475	158	165	187	M22		2670	508.0	166	133	930	79.0		
400	495											535.0	158	128
420	515								3200			673.0	181	147
450	555				30	3700		832.5	175	142	1200	112.0		
480	585	172	180	204	M24	32	3950	948.0		143		119.0		
500	605									988.0		168	139	123.0
530	640	190	200	227	M27	30	4320	1145.0	157	1600	151.0			
560	670							1210.0	148		124	160.0		
600	710							32	4610		1380.0	147	124	170.0

注:Z₅ 型胀紧联结套螺钉的机械性能等级为 12.9 级。

表 3. 2-53 Z₂₀型胀紧连接套的基本尺寸(摘自 JB/T 7934—1999)



轴上带套的胀紧连接套。
标记示例：
内径 $d = 100\text{mm}$ ，外径 $D = 180\text{mm}$ ，Z₂₀型胀紧连接套：
胀套 Z₂₀—100 × 180 JB/T 7934—1999

基 本 尺 寸							额定负荷		内六角螺钉			质量 /kg
d	d_w	D	D_1	L_1	L	L_3	转矩	轴向力	d_1	n	M_A /N·m	
mm							M_t /kN·m	F_t /kN				
25	18 20	60	37.5	27.5	20	17	0.190 0.255	21 25	M6×18	9	17	0.37
30	20 22 24	65	42.5	27.5	20	17	0.205 0.270 0.340	20 24 28	M6×18	9	17	0.42
35	25 28 30	72	47.5	27.5	20	17	0.365 0.490 0.585	29 35 39	M6×18	12	17	0.48
40	30 32 34 35	78	52.5	27.5	20	17	0.555 0.590 0.710 0.770	37 37 42 44	M6×18	15	17	0.54
45	35 36 38	92	60	33.5	24	20	0.960 1.030 1.200	55 57 63	M8×22	12	41	0.92
50	38 40 42	98	65	33.5	24	20	1.010 1.160 1.320	53 58 63	M8×22	12	41	1.0
55	42 45 48	105	70	33.5	24	20	1.330 1.590 1.880	63 70 78	M8×22	14	41	1.1
60	48 50 52	110	75	33.5	24	20	1.600 1.780 1.890	67 71 73	M8×22	14	41	1.2
70	55 58 60	138	90	39.5	28	24	2.930 3.370 3.690	106 116 123	M10×25	14	83	2.3

(续)

基 本 尺 寸							额定负荷		内六角螺钉			质量 /kg
d	d_w	D	D_1	L_1	L	L_3	转矩 M_t /kN·m	轴向力 F_t /kN	d_1	n	M_A /N·m	
mm												
80	62	145	100	39.5	28	24	3.140	101	M10×25	14	83	2.4
	65						3.570	110				
	68						4.020	118				
	70						4.350	124				
90	70	160	110	39.5	28	24	4.090	117	M10×25	16	83	2.8
	75						4.890	130				
	78						5.420	139				
100	78	180	122.5	47	33	26	5.980	153	M12×30	14	145	3.8
	80						6.370	159				
	82						6.490	158				
	85						7.160	168				
110	85	190	132.5	47	33	26	6.180	145	M12×30	14	145	4.1
	88						6.800	154				
	90						7.240	160				
	95						8.380	176				
120	95	205	142.5	47	33	26	8.250	173	M12×30	16	145	4.7
	100						9.450	189				
	105						10.740	204				
140	110	230	165	52	38	34	12.860	233	M12×35	22	145	7.4
	115						14.440	251				
	120						16.140	269				
160	125	260	185	52	38	34	17.130	274	M12×35	26	145	9.2
	130						18.990	292				
	135						20.940	310				
	140						23.000	328				

注：Z₂₀型胀紧联结套螺钉的机械性能等级为 12.9 级。

4.2 胀紧连接套的选用和设计

承载能力。

(1) 按载荷校核所选胀套的承载能力，见表 3.2-54（参照图 3.2-3）。

胀紧连接套的选用一般是根据轴毂的结构和尺寸以及传递载荷的大小来进行的。然后还要校核其

表 3.2-54 胀套校核计算

项 目	应满足的条件	说 明
传递扭矩	$T \leq T_t$	T —需传递的转矩（kN·m） T_t —胀套的额定转矩（kN·m）
承受轴向力	$F_x \leq F_t$	F_x —需承受的轴向力（kN） F_t —胀套的额定轴向力（kN）
传递转矩及轴向力联合作用	$F = \sqrt{F_x^2 + \left(\frac{2000T}{d}\right)^2} \leq F_t$	F —需传递的力（kN） F_r —承受的径向力（kN） p_f —胀套与轴结合面的压力（MPa） d —胀套内径（mm） l —胀套内环宽度（mm）
承受径向力	$\frac{1000F_r}{d_1} \times 10^3 \leq p_f$	

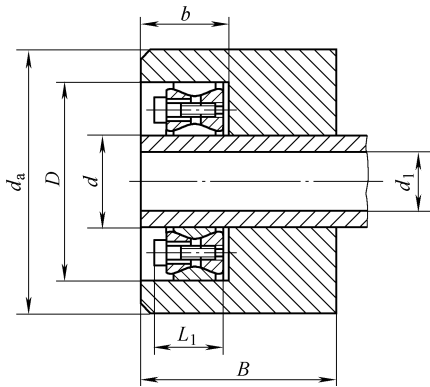


图 3.2-3 轴、轮毂及胀套有关尺寸

当一个胀套的额定载荷小于需传递的载荷时，连接中可用两个以上的胀套串联使用，其总的额定载荷等于一个胀套额定载荷乘以载荷系数 m ，即总额定转矩 (T_{in}) 为

$$T_{in} = mT_1$$

式中 T_{in} —— n 个胀套的总额定转矩 ($N \cdot m$)；

m ——额定载荷系数 (见表 3.2-55)。

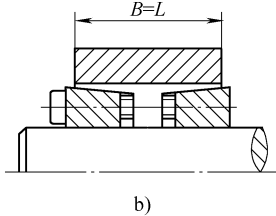
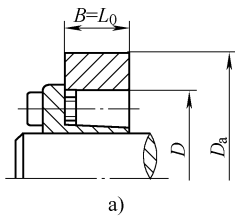
(2) 结合面的公差与表面粗糙度 (见表 3.2-56)

(3) 被连接件的尺寸计算 (对照图 3.2-3)

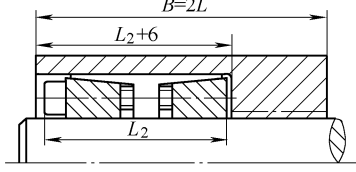
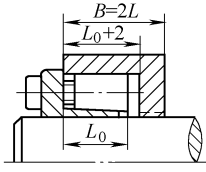
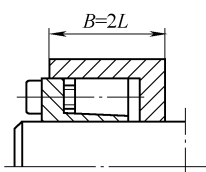
1) 与胀套连接的空心轴，其内径 d_i 应满足

$$d_i \leq d \sqrt{\frac{R_{cl} - 2p_f C}{R_{cl}}}$$

毂型 A: $C_1 = 1$



毂型 B: $C_1 = 0.8$



毂型 C: $C_1 = 0.6$

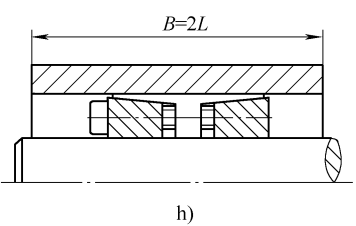
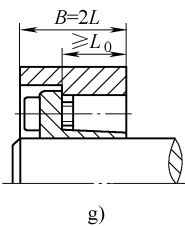
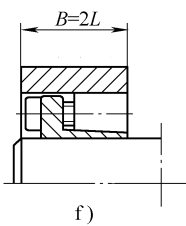


图 3.2-4 毂型 A、B 及 C

式中 R_{cl} ——空心轴材料的屈服强度 (MPa)；
 p_f ——胀套与轴结合面上的压强 (MPa)；
 d ——胀套内径 (mm)；
 C ——系数，见表 3.2-57。

2) 与胀套连接的轮毂外径 d_a 的计算

$$d_a \geq D \sqrt{\frac{R_{cl} + p'_f C_1}{R_{cl} - p'_f C_1}}$$

式中 D ——胀套外径 (mm)；
 R_{cl} ——轮毂材料的屈服强度 (MPa)；
 p'_f ——胀套与轮毂结合面上的压强 (MPa)；
 C_1 ——系数，轮毂与装在毂孔中的胀套宽度相等时 $C_1 = 1$ 。毂孔与胀套连接有三种 (A、B、C) 形式，如图 3.2-4 所示。结合时最好采用毂型 A、C，因其用料少，省工时。毂型 B 用后会产生锈蚀，拆卸困难。

表 3.2-55 额定载荷系数 m 值

联结中胀套数量 n	m	
	Z ₁ 型胀套	Z ₂ 、Z ₃ 、Z ₄ 、Z ₅ 型胀套
1	1.0	1.0
2	1.56	1.8
3	1.86	2.7
4	2.03	—

表 3.2-56 结合面的公差与表面粗糙度

胀套形式	结合面公差			结合面表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	
	胀套内径 d/mm	与胀套结合的轴的公差带	与胀套结合的孔的公差带	与胀套结合的轴	与胀套结合的孔
Z_1	≤ 38	h6	H7	≤ 1.6	≤ 1.6
	> 38	h8	H8	≤ 1.6	≤ 1.6
Z_2	所有直径	h7 或 h8	H7 或 H8	≤ 3.2	≤ 3.2
Z_3 、 Z_5	所有直径	h8	H8	≤ 3.2	≤ 3.2
Z_4	所有直径	h9 或 k9	N9 或 H9	≤ 3.2	≤ 3.2
Z_{20}	所有直径	h8	—	≤ 3.2	—

表 3.2-57 系数 C 值

胀套 型式	Z ₁			Z ₂		Z ₃	Z ₄	Z ₅ Z ₂₀
	一个连接中的胀套数							
	1	2	>2	1	2			
系数 C	0.6	0.8	1	0.6	0.8	0.8	0.85	0.9

4.3 胀紧连接套安装和拆卸的一般要求

(1) 连接前的准备工作 安装前，应按 GB/T 3177—2009 规定的方法检验结合件的尺寸，同时结

合表面必须无污物、腐蚀和损伤；在清洗干净的胀套表面和结合件的结合表面上，均匀涂一层薄润滑油（不应含二硫化钼添加剂）。

(2) 胀套的安装 首先把被连接件推移到轴上，并到达设计规定的位置，再将拧松螺钉的胀套平滑地装入连接孔处，要防止结合件的倾斜，然后用手将螺钉拧紧。

(3) 拧紧胀套螺钉的方法 胀套螺钉应使用力矩扳手按对角、交叉、均匀地拧紧。螺钉的拧紧力矩 M_A 值应按表 3.2-49 ~ 表 3.2-53 的规定，并按下列步骤：①以 $1/3M_A$ 值拧紧；②再以 $1/2M_A$ 值拧紧；③而后以 M_A 值拧紧；④最后，以 M_A 检查全部螺钉。

(4) 胀套的拆卸 拆卸时先松开全部螺钉，但不要将螺钉全部拧出。然后取下镀锌的螺钉和垫圈，并将拉出螺钉旋入前压环的辅助螺孔中，轻轻敲击螺钉的头部，使胀套松动，最后拉动螺钉，即可将胀套拉出。

(5) 防护 安装完毕后，在胀套外露端面及螺钉头部涂上一层防锈油脂。在露天作业或工作环境较差的机器，应定期在外露的胀套端面上涂防锈油脂。需在腐蚀介质中工作的胀套，应采取专门的防护（如加盖板）以防胀套锈蚀。

第 3 章 焊接、钎接与粘接

1 焊接

与钎接相比，焊接具有强度高、容易保证紧密性、工艺简单、操作方便、工人劳动强度低等优点。

1.1 焊接方法分类及选用 (见表 3.3-1 ~ 表 3.3-2)

表 3.3-1 焊接方法分类、特点及应用

焊接方法			特 点	应 用
熔 电 弧 焊		焊条电弧焊	利用焊条与焊件间产生的电弧热，将金属加热并熔化的焊接方法。设备简单、耐用性好、维护费用低。劳动量大	最适合于焊各种厚度的低碳钢、低合金钢、不锈钢、耐热钢及高强钢。也用于铸铁，有时还用于铜合金、镍合金。焊接接头与母材大多可达等强度
		埋弧焊	埋弧焊是以连续送进的焊丝作为电极和填充金属。焊接时，在焊接区的上面覆盖一层颗粒状焊剂，电弧在焊剂层下燃烧，将焊丝端部和局部母材熔化，形成焊缝 与手工电弧焊相比，生产率高，质量好，劳动强度低，节省金属材料 and 电能	主要用于焊接碳钢，低合金钢及不锈钢。对于某些高强度结构钢、高碳钢也可采用埋弧焊焊接 适用于焊接大型工件的直缝和环缝
	气 体 保 护 焊	钨极氩弧焊 (非熔化极)	焊接时，不断通以氩气或氦气，使电弧和熔池与周围的空气隔开，从而获得良好的焊缝的焊接方法 焊接过程中钨极不熔化，只起电极作用，钨极和工件之间的电弧使金属熔化而形成焊缝	几乎可用于所有金属的焊接，尤其适用于焊接铝、镁这些能形成难熔氧化物的金属以及像钛和锆这些活泼金属 焊缝质量高，焊接速度较慢
		金属极氩弧焊 (熔化极)	它是利用连续送进的焊丝与工件之间燃烧的电弧作为热源，由焊炬喷嘴喷出的气体来保护电弧进行焊接的 通常保护气体为氩气、氦气、CO ₂ 、O ₂	适用于包括碳钢、合金钢等大部分金属的焊接。熔化极惰性气体保护焊适用于不锈钢、铝、镁、铜、钛、锆及镍合金
		药芯焊丝电弧焊	该焊接方法是利用药粉分解产生的气体作为保护气体，同时利用连续送进的焊丝与工件之间燃烧的电弧作热源来进行焊接的	适用于大多数黑色金属各种厚度，各种接头的焊接
		CO ₂ 气体保护焊	成本比埋弧和手工弧焊低。质量较好，生产率高，大电流焊接时，飞溅较大，焊缝表面成型不太平滑	可进行各种位置的焊接，既可焊薄板、也可焊厚板(1mm 以上薄与中厚板)。焊接速度快，熔敷效率高 广泛应用于造船、机车车辆、起重机、农业机械制造中

(续)

焊接方法			特 点	应 用
熔 焊	电 弧 焊	等离子弧焊接	是一种压缩的钨极气体保护焊接法, 电弧经过水冷喷嘴孔道, 受到机械压缩、热收缩效应和磁收缩效应的作用, 弧柱截面减小, 电流密度增大, 弧内电离度提高, 而产生一束等离子体高温热源进行焊接	主要用于焊接碳钢、合金钢、耐热钢、不锈钢、铜及铜合金、镍及镍合金和钛及钛合金等金属, 如钛合金的导弹壳体、波纹管及膜盒, 微型电容器、电容器的外壳封接以及飞机和航天装置上的一些薄壁容器的焊接
	电渣焊		电渣焊是利用电阻热熔化金属进行焊接	主要用于厚壁压力容器纵缝的焊接和大型铸—焊、锻—焊或厚板 50mm 以上拼焊结构件的制造。可以焊接碳钢、低合金高强度钢、合金结构钢、珠光体耐热钢、铬镍不锈钢和铝等
	气 焊		利用可燃气体与氧混合燃烧形成的火焰, 产生热量束进行焊接的方法。气焊主要采用氧—乙炔火焰。设备简单、移动方便、操作容易掌握。生产率比较低。热量不如电弧集中	适用于各种位置焊接碳钢、低合金钢及某些非铁金属。特别适合焊接薄件(最小厚度: 钢 0.5mm、纯铜 1.5mm、铝 0.5mm、铅 1mm)及要求背面成型的焊缝。如电站锅炉管的全位置安装焊缝
	高 能 束 焊	电子束焊接	利用加速和聚焦的电子束轰击置于真空或非真空中的焊件所产生的热能进行焊接 主要特点是焊缝熔深大、熔宽小、焊缝金属纯度高。它既可用在很厚(最厚达 300mm)的构件的焊接, 又可用在很薄材料的精密焊接	除锌含量高的材料(如黄铜)、低级铸铁和未脱氧处理的普通低碳钢等外, 绝大多数金属、异种金属、合金都可以用电子束焊接。如航空发动机喷管、起落架; 汽车大梁、导弹外壳; 原子能压力容器; 微型继电器; 薄膜电阻; 重型机械中的厚板焊接, 以及钨钼锅、波纹管等, 设备复杂造价高, 使用维护技术要求高
		激光焊	利用经聚焦后, 具有高功率密度的激光束为热源的特种熔化焊接方法 能量密度高、焊缝窄、热影响区小、变形小。不需真空, 但焊接板厚受限制	用于微电子学元件如集成电路内外引线的焊接; 微型继电器、电容器管壳封焊以及仪表游丝、套圈的焊接。特别适用于焊接微型、精密、排列非常密集, 对受热敏感的焊件
压 力 焊	电 阻 焊	点 焊	通过电极施加压力, 利用电流通过接头的接触面及邻近区域产生的电阻热进行焊接的方法, 称电阻焊	用于薄板压件、网和空间构架以及钢筋等的焊接。在汽车制造业、飞机、车箱等方面广泛应用 适合采用点焊的最大厚度: 低碳钢一般为 2.5 ~ 3mm, 小型构件为 5 ~ 6mm; 钢筋和棒用料可达 25mm
		缝 焊	低电压大电流, 生产率高, 变形小, 限于搭接。不需填加焊接材料。耗电量小, 缝焊过程中分流现象较严重	缝焊, 主要用于焊缝较规则, 要求密封的薄壁结构、板厚一般在 2mm 以下 电阻对焊适用于直径 20mm 以下低碳钢棒料和管子、直径 8mm 以下非铁金属
		电阻对焊	电阻对焊, 焊前对被焊工件表面清理工作要求较高, 一般仅用于断面简单直径小于 20mm 和强度要求不高的工件, 而闪光焊对工件表面焊前无需加工, 但金属损耗多	闪光对焊用于重要工件的焊接, 可焊异种金属(铝-钢、铝-铜等)从直径 0.01mm 金属丝到断面 20000mm ² 的金属棒
		闪光焊		
	摩 擦 焊		摩擦焊是以摩擦热为热源, 把焊件的焊接面加热到塑性状态的一种热压焊方法 焊接表面不易氧化, 接头组织细密, 不易产生气孔, 裂缝等缺陷, 焊接质量稳定, 易实现自动控制, 生产率高、耗电量小、焊件材料损耗少	可焊金属面广, 几乎所有能进行热锻的金属都能用摩擦焊焊接, 摩擦焊还可用于异种金属的焊接 广泛用于圆形工件及管子的对接, 实心焊件的直径可从 2mm 到 100mm

(续)

焊接方法		特 点	应 用
压 力 焊	扩散焊	扩散焊一般是间接热能为能源的固相焊接方法。通常是在真空或保护气体下进行。焊接时使两被焊的表面在高温和较大压力下接触并保温一定时间, 经过原子相互扩散而结合	可以焊接很多同种和异种金属以及一些非金属材料(如陶瓷等) 扩散焊可以焊接厚度相差很大的工件, 也可用来制造双层和多层复合材料, 还可焊形状复杂的互相结合的面与面、代替整锻
	超声波焊	超声波焊是以机械能为能源的固相焊接方法。焊接工件在较低的静压力下, 由声极发出高频振动能使结合面产生强烈摩擦并加热到焊接温度而结合	用于大多数金属材料之间的焊接, 能实现金属, 异种金属及金属与非金属间的焊接
	气压焊	利用气体火焰将两对接的工件的端部加热到熔化状态, 而后施加足够的压力使其连接在一起 气压焊属于一种固相焊接	用于圆形、长方形截面的杆件和管子的焊接。也常用于铁轮和钢筋的焊接
	爆炸焊	爆炸焊是以化学反应热为能源的一种固相焊接方法。在爆炸波作用下, 不到 1s 的时间内即可完成金属的结合	广泛地应用于异种金属的焊接。是制造复合板的高效方法
	搅拌摩擦焊	是利用一个特殊材料做成的搅拌头在焊缝的接头部位旋转并按一定速度沿焊缝方向前进, 将接头两侧金属搅拌在一起而形成坚固的焊缝的焊接方法。属于固相焊接	适用于铝、镁、铜等金属的焊接。已用于宇航和航空等工业
钎 焊	硬钎焊 ^① (液相线温度高于 450℃)	采用熔点比母材低的材料作为钎料, 熔化钎料润湿母材表面即被焊金属表面, 使液相与固相之间相互扩散而形成钎焊接头。故钎焊是一种固相兼液相的焊接方法	用于焊接碳钢、不锈钢、高温合金、铝、铜等金属也可用于异种金属、金属与非金属、陶瓷与陶瓷的焊接 适用于焊接受载不大、常温工作的场合
	软钎焊 ^② (液相线温度低于 450℃)		

① 硬钎焊可分为: 红外线硬钎焊、火焰硬钎焊、炉中硬钎焊、浸渍硬钎焊、盐浴硬钎焊、感应硬钎焊、电阻硬钎焊、扩散硬钎焊和真空硬钎焊等。

② 软钎焊的分类与硬钎焊相同, 但还多出以下四种: 即超声波软钎焊、波峰软钎焊、烙铁软钎焊及拖焊。

表 3.3-2 常用金属材料所适用的焊接方法

材 料	厚度 /mm	手工 电弧 焊	埋 弧 焊	熔极气 化体保焊			管状 焊丝 气体 保护 焊	钨极气 体保护 焊	等 离 子 弧 焊	电 渣 焊	气 电 立 焊	电 阻 焊	闪 光 焊	气 焊	扩 散 焊	摩 擦 焊	电子束 焊	激光 焊	硬 钎 焊							软 钎 焊
				喷射 过渡	脉 冲 射	短路 过渡													火焰 钎焊	炉中 钎焊	感应 加热 钎焊	电阻 加热 钎焊	浸渍 钎焊	红 外 线 钎 焊	扩 散 钎 焊	
碳 钢	≤3	△	△		△	△		△				△	△	△			△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	3 ~ 6	△	△	△	△	△	△	△				△	△	△		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	6 ~ 19	△	△	△	△	△		△				△	△	△		△	△	△	△	△					△	
	≥19	△	△	△	△	△		△		△	△		△	△			△							△		
低 合 金 钢	≤3	△	△		△	△		△				△	△	△	△		△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	3 ~ 6	△	△	△	△	△	△	△				△	△		△	△	△	△	△	△	△			△	△	
	6 ~ 19	△	△	△		△						△		△	△	△	△	△	△	△				△		
	≥19	△	△	△		△				△					△	△	△		△					△		

(续)

材 料	厚度 /mm	手工电 弧焊	埋 弧焊	熔化极气 体保护焊				管状 焊丝 气体 保护 焊	钨极气 体保护 焊	等 离 子 弧 焊	电 渣 焊	气 电 立 焊	电 阻 焊	闪 光 焊	气 焊	扩 散 焊	摩 擦 焊	电 子 束 焊	激 光 焊	硬 钎 焊								软 钎 焊
				喷射过 渡	潜 弧	脉冲喷 射	短路过 渡													火焰钎 焊	炉中钎 焊	感应加 热钎焊	电阻加 热钎焊	浸渍钎 焊	红外钎 焊	扩散钎 焊		
不 锈 钢	≤3	△	△			△	△		△	△					△	△		△	△	△	△	△	△	△	△	△		
	3 ~ 6	△	△	△		△	△		△	△						△	△	△	△	△	△				△	△		
	6 ~ 19	△	△	△		△				△						△	△	△	△	△	△				△	△		
	≥19	△	△	△		△					△					△	△	△		△					△			
铸 铁	3 ~ 6	△													△					△	△	△				△	△	
	6 ~ 19	△	△	△			△								△					△	△	△				△	△	
	≥19	△	△	△			△								△					△						△		
镍 及 其 合 金	≤3	△				△	△		△	△			△	△	△			△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	3 ~ 6	△	△	△		△	△		△	△			△	△			△	△	△	△	△	△				△	△	
	6 ~ 19	△	△	△		△				△				△			△	△	△	△	△					△		
	≥19	△				△					△			△			△	△			△					△		
铝 及 其 合 金	≤3			△		△			△	△			△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	3 ~ 6			△		△			△				△	△		△	△	△	△	△	△			△		△	△	
	6 ~ 19			△					△					△			△	△	△	△	△			△		△		
	≥19			△							△	△		△				△		△						△		
钛 及 其 合 金	≤3					△			△	△			△	△		△		△	△		△	△			△	△		
	3 ~ 6			△		△			△	△				△		△	△	△	△		△					△		
	6 ~ 19			△		△			△	△				△		△	△	△	△		△					△		
	≥19			△		△								△		△		△		△						△		
铜 及 其 合 金	≤3			△		△			△	△				△				△		△	△	△	△	△		△	△	
	3 ~ 6			△		△				△				△			△	△	△	△	△		△			△	△	
	6 ~ 19													△			△	△	△	△	△					△		
	≥19													△				△		△						△		
镁 及 其 合 金	≤3			△		△			△									△	△	△	△					△		
	3 ~ 6			△		△			△					△			△	△	△	△	△					△		
	6 ~ 19			△		△								△			△	△		△						△		
	≥19			△		△								△				△										
难 熔 金 属	≤3					△			△	△				△				△		△	△	△	△		△	△		
	3 ~ 6			△		△				△				△				△		△	△					△		
	6 ~ 19													△				△										
	≥19																											

注：△——被推荐的焊接方法。

1.2 焊条及金属材料的焊接性

1.2.1 焊条

- 1) 焊条选用原则 见表 3.3-3。
- 2) 碳钢焊接常用焊条 表 3.3-4 及表 3.3-5 分

别为低、中碳钢焊接用焊条。高碳钢用焊条，当要求强度高时，一般用 E7015 或 E6015，要求强度不高时，则可选用 E5016 或 E5015。高碳钢在焊接前应先行退火。

表 3.3-3 焊条选用原则

考虑内容	遵循的原则
考虑零件和结构的力学性能和化学成分	1. 低碳钢和强度级较低（<500MPa）的低合金钢，从“等强原则”出发，选择满足力学性能要求的焊条。强度大于 700MPa 的高强度钢的焊接要考虑接头强度与韧性的“组配”，一般地选择“低组配” 2. 对合金结构钢，一般不要求焊缝金属成分与母材的合金成分相同或近似。但对耐热和耐蚀钢，从保证焊接特殊性能出发，则要求焊缝金属的主要成分与母材相同或接近 3. 对母材成分中含碳或硫磷等杂质较高时，应适当考虑选用抗裂性能较好的焊条
考虑零、构件的使用性能和工作条件	1. 在承受动载或冲击载荷情况下，除要求保证抗拉强度外，通常对焊缝金属的韧性、塑性均有较高要求，推荐选用低氢型焊条（碱性焊条） 2. 对介质放射性强或难以检修的零构件，都要选用优质焊条。对在腐蚀性介质中工作的不锈钢或其他耐蚀材料，必须根据介质种类、浓度、工作温度等情况选用相应合适的焊条 3. 对有特殊要求（如在高温、磨损、腐蚀介质中工作）的焊接零、构件或复合结构应区别情况，结合积累的经验，通过必要的试验，选定所需的焊条
考虑零、构件几何形状复杂程度、刚性大小、焊接接头坡口制备情况和焊接部位所处的位置情况	1. 对形状复杂或大厚度零、构件，焊缝金属冷却收缩时，产生较大内应力，易产生裂纹，必须选用抗裂性能好的焊条 2. 对难以清理干净部位焊接时，应选用氧化性强，对锈、油垢和氧化皮等敏感性较小的酸性焊条，以免产生气孔等缺陷 3. 对焊接零、构件受条件限制不能翻转时，必须选用能进行全位置焊接的焊条
考虑工地（施工现场）焊接设备状况和工艺条件	1. 对某些焊接零件（如焊接铬 5 钼钢管）选用一般焊条，需焊前预热和焊后热处理。为避免这个工序，可选用铬 25 镍 13 型不锈钢焊条代替一般的热 507 焊条 2. 在工地没有直流焊机情况下，不能选用限于直流电源的低氢型焊条，而选用交直流两用焊条
考虑提高劳动生产率、降低成本和改善焊工劳动条件	1. 在酸性和碱性焊条都能满足性能要求的情况下，应尽量选用酸性焊条 2. 在满足使用性能和工艺性能条件下，尽量选用规范上限、效率高的焊条

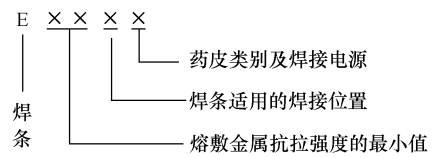
表 3.3-4 低碳钢焊接用焊条示例

钢号	焊条选用		施焊条件
	一般结构	焊接动载荷、复杂和厚板结构、重要受压容器以及低温下焊接	
	国标型号	国标型号	
Q235	E4313、E4303	E4316、E4315（E5016、E5015）	一般不预热
Q255	E4301、E4320、E4311		
Q275	E5016、E5015	E5016、E5015	厚板结构预热 150℃ 以上
08、10、15、20	E4303、E4301 E4320、E4311	E4316、E4315（E5016、E5015）	一般不预热

(续)

钢号	焊条选用		施焊条件
	一般结构	焊接动载荷、复杂和厚板结构、重要受压容器以及低温下焊接	
	国标型号	国标型号	
25、30	E4316、E4315	E5016、E5015	厚板结构预热 150℃ 以上

注：国标焊条型号意义：



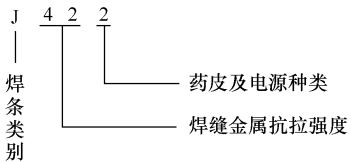
碳钢焊条用一字母 E 及字母后面的 4 位数来表示。

E4301，其中 E 代表焊条，型号中前两位数 43 表示熔敷金属的最低抗拉强度 $R_m \geq 43 \text{ kg} \cdot \text{f/mm}^2 \approx 420 \text{ MPa}$ ；第三位数字 0（或 1）表示焊条适用的焊接位置为平焊、立焊、仰焊、横焊；第四位数字表示焊条药皮类型及焊接电源；第三、四位组合时，01 表示钛铁矿型、03 表示钛钙型。

表 3.3-5 中碳钢焊接用焊条示例

钢号	母材 $w(\text{C})$ (%)	焊接性	母材力学性能(不小于)					选用焊条牌号	
			屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率 (%)	断面收缩 率(%)	冲击吸收 功/J	不要求强度或不要求等强度	要求等强度
35	0.32 ~ 0.40	较好	315	530	20	45	55	J422、J423 J426、J427	J506、 J507
ZG270—500	0.31 ~ 0.40	较好	270	500	18	25	22		
45	0.42 ~ 0.50	较差	355	600	16	40	39	J422、J423 J426、J427 J506、J507	J556、J557
ZG310—570	0.41 ~ 0.50	较差	310	570	15	21	15		
55	0.52 ~ 0.60	较差	380	645	13	35	—	J422、J423 J426、J427 J506、J507	J606、J607
ZG340—640	0.51 ~ 0.60	较差	340	640	10	18	10		

注：



焊条牌号是焊条产品的具体命名。焊条牌号是用一个汉语拼音字母(或汉字)及其后面的三位数字所组成，如 J442 中 J 表示结构钢焊条；前两位数字 42 表示焊缝金属抗拉强为 420MPa，2 表示该牌号焊条的药皮为钛钙型、焊接电源为交流或直流。

1.2.2 金属材料的焊接性

在选择被焊件材料的时候，须考虑其焊接性。焊接性是指在一定的焊接方法、工艺参数及结构形式条件下，获得优质焊接接头的难易程度。常用标

准钢材的焊接性、铸铁的焊接性、非铁材料的焊接性以及异种金属间的焊接性分别见表 3.3-6 ~ 表 3.3-9 及图 3.3-1。

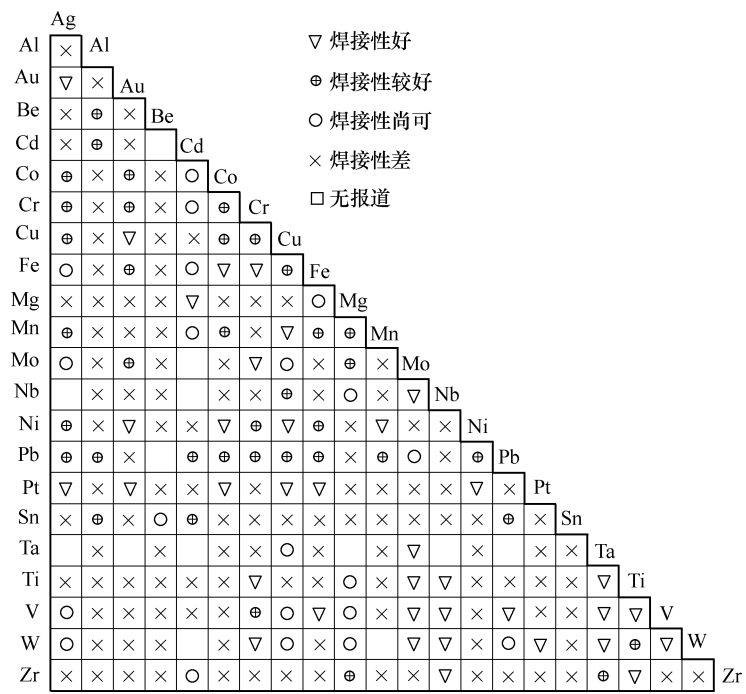


图 3.3-1 异种金属的熔焊焊接性

表 3.3-6 常用钢材的焊接性

焊接性	钢种	评定可焊性的概略指标 (质量分数,%)		常用钢号	特 点
		合金元素含量	碳含量		
良 好	低碳钢	—	<0.25	Q195, Q215-A, Q235-A, ZG230-450, 08, 10, 15, 20, 25, 15Mn, 20Mn	在普通条件下可焊接、环境温度低于 - 5℃ 时需预热。板厚大于 20mm, 结构刚度大时, 需预热并焊后消除应力热处理 低碳钢是最容易焊接的钢种、并能获得良好的焊接接头 药皮焊条电弧焊、电渣焊、二氧化碳气体保护焊、氩弧焊、气焊、等离子焊、钎焊等方法都是焊接低碳钢的成熟方法
	低合金钢	1 ~ 3	<0.20	Q345、Q390、Q420	
	不锈钢	>3	<0.18	06Cr18Ni11Ti、06Cr13、06Cr17Ni12Mo2Ti、06Cr19Ni10、12Cr18Ni9、06Cr19Ni10	
一 般	中碳钢	<1	0.25 ~ 0.35	Q225-A, Q275, 30, 35, 30Mn, ZG270 - 500	形成冷裂倾向小, 采用适当的焊接规范, 可以得到满意的结果。在结构复杂或零件较厚时必须预热并焊后进行热处理以消除应力
	合金结构钢	<3	<0.3	12CrMo, 15CrMo, 20CrMo, 12Cr1MoV, 14MnMoVB; 30Cr, 20CrV, 20CrMnSi, 18CrNiMoA	
	不锈钢	13 ~ 25	≤0.18	12Cr13	
较 差	中碳钢	<1	0.35 ~ 0.45	35、40、45、45Mn	一般情况下, 有形成裂纹的倾向, 焊前应预热, 焊后消除应力热处理
	低合金钢	1 ~ 3	0.30 ~ 0.40	30CrMo, 35CrMo, 35CrMoVA, 25Cr2MoVA; 40CrNiMo, 30CrMnSi, 30Mn2, 40Mn2, 40Cr	
	不锈钢	13	0.2	20Cr13	

(续)

焊接性	钢种	评定可焊性的概略指标 (质量分数, %)		常用钢号	特 点
		合金元素含量	碳含量		
不好	中高碳钢	< 1	> 0. 45	50、55、60、65、70、75、80、85、50Mn、60Mn	极易形成裂纹, 在采用预热条件下能焊接, 焊后须消除应力热处理
	低合金钢	1 ~ 3	> 0. 4	45Mn2; 50Mn2; 50Cr; 38CrMoAlA	
	不锈钢	13	0. 3 ~ 0. 4	30Cr13、40Cr13	

注: 对于厚度不大的, $w(C) < 0. 6\%$; $w(Mn) < 1. 6\%$; $w(Si) < 2. 0\%$; $w(Cr) < 1. 0\%$; $w(Mo) \leq 0. 6\%$ 的低合金钢按下式折算碳当量

$$w(C)_{eq} \% = w(C) + \frac{1}{6}w(Mn) + \frac{1}{5}w(Cr) + \frac{1}{4}w(Mo) + \frac{1}{24}w(Si)$$

表 3. 3-7 铸铁的焊接性

铸铁类别	焊接性	焊 接 说 明
灰铸铁	良好	电弧冷焊法: 1. 低碳钢焊条: 焊缝不经热处理不能用一般加工方法加工, 只能用砂轮打磨, 焊缝极易出现裂纹。只适用于不需机加工的不重要工作缺陷的焊补。焊缝处只能承受较小的静载荷 2. 铸铁焊条: 焊接接头加工性一般, 焊缝易出现裂纹。只适用于中、小型零件待加工面和已加工面的较小缺陷的焊补。如小砂眼, 小缩孔及小裂缝等 3. 铜钢焊条: 加工性能较差, 焊缝抗裂性性能较好, 强度较高, 能承受较大静载荷及一定的动载荷, 能基本满足紧密性要求。对复杂的、刚度大的工作不宜采用 铸铁焊条热焊法及半热焊法: 加工性、紧密性都好, 内应力小, 不易出现裂纹, 接头具有与母材相近的强度, 适用于焊后须加工, 要承受较大静载荷、动载荷, 要求紧密性等的复杂结构大的缺陷且工作壁较厚时用电弧焊, 中小缺陷且工作较薄时用气焊 铸铁焊条气焊法: 加工性良好, 接头具有与母材相近的机械性能与颜色, 焊补处刚度大, 结构复杂时, 易出现裂纹。适用于焊补刚度不大, 结构不复杂, 待加工尺寸不大的缺陷 铸铁焊条电渣焊补: 加工性、强度及紧密性良好, 但在焊补复杂及刚度大的工件时、易发生裂纹
可锻铸铁		复杂铸件应整体加热, 简单零件用焊具局部加热即可
球墨铸铁	较差	手工电弧焊: 1. 低碳钢焊条: 焊缝极易出现裂纹, 加工性能极坏, 只用于焊补很不重要的工作 2. 铁镍焊条: 加工性良好, 接头机械性能基本可达到与母材相差不大 气焊: 焊后不热处理, 焊接接头加工性好。适用于接头质量要求较高的中小型缺陷的修补
白口铸铁	很难	硬度高、脆性大、容易产生裂纹、不宜进行焊接

表 3. 3-8 铝及铝合金各种焊接方法的焊接性

合金类别	牌号	相对焊接性				熔化温度范围/℃
		气焊	电弧焊	电阻焊	钎焊	
工业纯铝	1A99	A	A	A	A	648 ~ 660
非热处理强化铝合金	5A602	C	A	A	B	609 ~ 649
	5A05	C	A	A	C	568 ~ 638
	3A21	A	A	B	A	643 ~ 654
热处理强化铝合金	2A11	D	C	B	D	513 ~ 641
	2A12	D	C	B	D	503 ~ 638
	2A16	D	C	B	D	543 ~ 643
	60A2	B	B	A	B	582 ~ 649

(续)

合金类别	牌号	相对焊接性				熔化温度范围/℃
		气焊	电弧焊	电阻焊	钎焊	
热处理强化铝合金	2A70	D	C	A	D	560 ~ 641
	2A90	D	C	B	D	513 ~ 641
	2A04	D	C	B	D	477 ~ 635
特殊铝合金	4A01	A	A	A	B	
铸造铝合金	ZL101	B	B	B	C	557 ~ 613
	ZL105	B	B	B	D	546 ~ 621
	ZL107	C	B	B	D	516 ~ 604
	ZL203	C	C	C	D	521 ~ 643
	ZL301	D	C	C	D	449 ~ 604
	ZL402	D	C	C	B	596 ~ 646

注：A—好；B—较好；C—尚可；D—差。

表 3.3-9 常用铜及铜合金的电阻焊接性

合金名称	化学成分(质量分数,%)						熔点/℃ (液相线)	相对热 导率(%)	相对异电 系数(%)	电阻焊 焊接性
	Cu	Zn	Al	Sn	Ni	其他				
无氧铜	99.95	—	—	—	—	—	1083	100	100	不推荐
磷脱氧铜	99.9	—	—	—	—	P0.02	1083	87	85	不推荐
铍铜	98.1	—	—	—	—	Be1.9	982	30	22	良好
黄铜 H80	80	20	—	—	—	—	999	36	32	困难
黄铜 H68	68	32	—	—	—	—	954	31	28	困难
黄铜 H62	62	38	—	—	—	—	904	31	28	困难
锡黄铜	71	28	—	1	—	—	938	28	25	良好
磷青铜	95	—	—	5	—	P0.2	1049	18	15	良好
磷青铜	92	—	—	8	—	P0.2	1027	16	13	良好
磷青铜	90	—	—	10	—	P0.2	999	13	11	良好
铝青铜	91	—	7	—	—	Fe2Mn1	1046	17	14	良好
硅青铜	98.5	—	—	—	—	Si1.5	1060	15	12	良好
硅青铜	97	—	—	—	—	Si3	1027	9	7	优良
白铜	88.6	—	—	—	10	Fe1.4Mn1	1149	12	9	优良
白铜	70	—	—	—	30	—	1238	8	4.6	优良
锌白铜	65	20	—	—	15	—	1077	9	7	优良

1.3 焊接接头的基本形式、坡口及其选择

焊接接头是焊接结构的重要组成部分，其性能好坏直接影响焊接结构的可靠性。

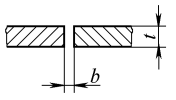
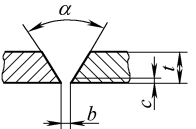
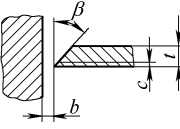
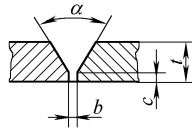
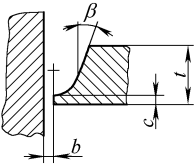
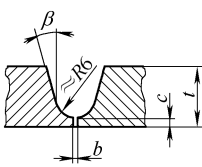
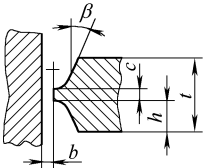
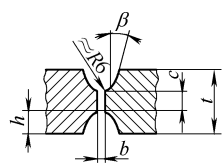
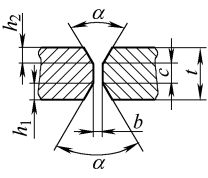
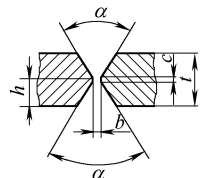
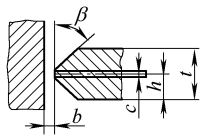
根据被焊件在空间的对对位置，熔焊接头有对接接头、T形（十字形）接头、搭接接头、角接接头和端面接头等类型。对接接头是把同一平面上的两被焊接件焊接在一起而形成的接，接头受力状况较好，是优先选用的接头形式，它有开坡口和不开坡口的两种；T形（十字形）接头是相互垂直或近

似垂直的被焊件焊接在一起的接头，能承受各方向的外力和力矩，这种接头有开坡口的和不开坡口的；两焊件端部间夹角在 30° ~ 135° 范围内的接头称为角接接头；搭接件部分地重叠在一起构成的接头称为搭接接头、搭接接头的应力分布不均匀、疲劳强度较低；端接接头是两被焊工件重叠放置（或两焊件间的夹角不大于 30°），在端部进行焊接的接头。

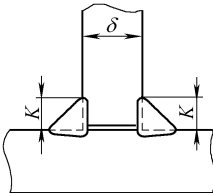
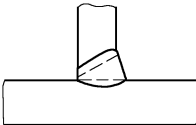
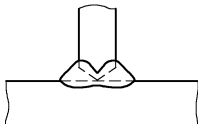
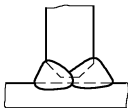
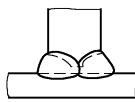
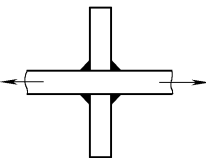
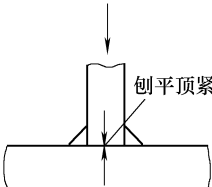
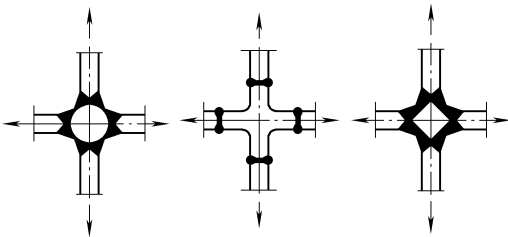
各焊接接头常用坡口及其选用见表 3.3-10。坡口的选择一般应考虑以下几方面的因素：被焊件的

厚度、焊接方法、被焊材料以及填充料为最少、可达性好、有利于控制焊接变形、易加工制造等。

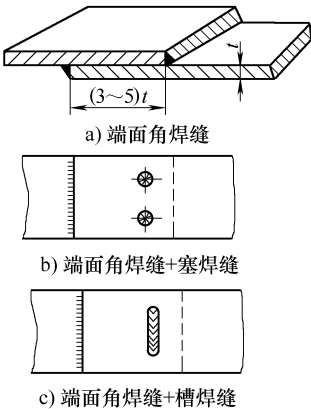
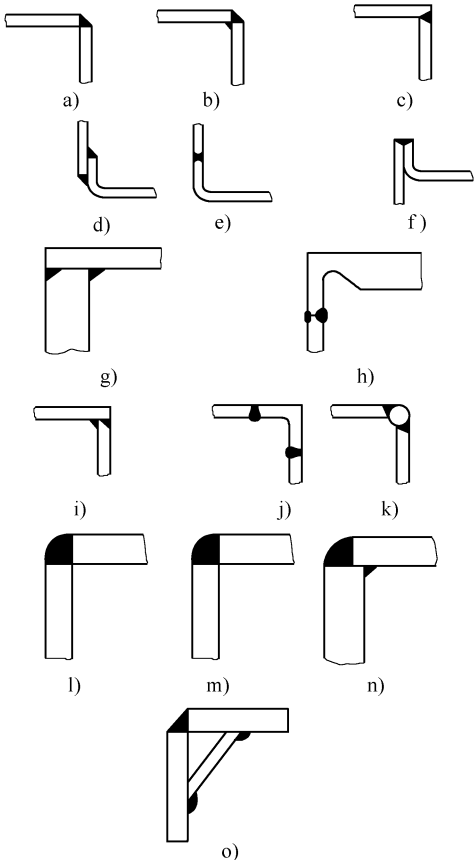
表 3.3-10 熔焊接头、常见坡口及选择

接头类型	常见坡口、坡口焊缝	选择及说明
对接接头	 I形坡口 (未开坡口)	1. 板厚不大于 6mm 的钢板的焊条电弧焊及板厚不大于 20mm 钢板的埋弧焊均可不开坡口 (即采用 I 形坡口), 便可得到合格的焊缝 2. 各种坡口适用的板厚及其尺寸数值见 GB/T 985.1~4—2008 3. Y 形和 U 形坡口具有较好的可达性, 只需一面焊, 但焊后角变形大、焊材消耗量大 4. 在厚度相同的条件下, 双面坡口比单面坡口节省焊材, 如双 Y 形坡口比 Y 形坡口节省焊接材料 1/2 左右。但必须两面可焊到, 所以有时受到结构限制, 而无法两面焊 5. U 形坡口与双 U 形坡口根部较宽, 容易焊透, 但坡口加工制造成本高, 一般用于动载焊接结构
	 V形坡口	
	 单边V形坡口	
	 Y形坡口	
	 J形坡口	
	 U形坡口	
	 双J形坡口	
	 双U形坡口	
	 双Y形坡口	
	 双V形坡口	
	 K形坡口	

(续)

接头类型	常见坡口、坡口焊缝	选择及说明																		
T形（十字形）接头		1. 图 a 为 T 形接头的贴角焊缝，其横截面是等腰直角三角形。熔深浅，属于不熔透的焊缝。用于不转载和传递静载的 T 形接头。不开坡口的单面焊，在焊根处的应力很大，易产生裂纹，从而引起结构破坏，故 T 形接头不推荐用这种单面贴角焊缝 2. 图 b ~ 图 g 是为了全焊透而开的不同坡口的焊缝。坡口形式的选择取决于焊接的可达性、强度及制造成本 3. 图 i，立板受压，若焊前对接边进行刨平加工，工作压力基本上由接触面传递，两侧贴角焊缝变成联系焊缝 4. T 形接头的联系焊缝的最小焊脚尺寸 $K_{\min}$ 可参考下表选用： 角焊缝的最小焊脚尺寸 $K_{\min}$（mm） <table><tr><th>接头中较厚板的厚度</th><th>最小焊脚尺寸</th></tr><tr><td>t</td><td>$K_{\min}$</td></tr><tr><td>$t \leq 6.5$</td><td>3.5</td></tr><tr><td>$6.5 < t \leq 13$</td><td>5</td></tr><tr><td>$13 < t \leq 19$</td><td>6.5</td></tr><tr><td>$19 < t \leq 38$</td><td>8</td></tr><tr><td>$38 < t \leq 57$</td><td>10</td></tr><tr><td>$57 < t \leq 152$</td><td>13</td></tr><tr><td>$t > 152$</td><td>16</td></tr></table> 注：$K_{\min}$ 不得大于薄钢板的厚度 5. 十字接头可看成两个 T 形接头的组合（图 h）。其接头焊缝可以是贴角焊缝或坡口焊缝 在设计十字接头焊缝时，应尽可能将其设计成联系焊缝，如图 h 所示。如果两个方向都受拉力，则宜采用圆形、方形或特殊形状的轧制、锻制插入件，把角焊缝变成对接焊缝，把截面形状设计成圆滑过渡，减小应力集中	接头中较厚板的厚度	最小焊脚尺寸	t	$K_{\min}$	$t \leq 6.5$	3.5	$6.5 < t \leq 13$	5	$13 < t \leq 19$	6.5	$19 < t \leq 38$	8	$38 < t \leq 57$	10	$57 < t \leq 152$	13	$t > 152$	16
	接头中较厚板的厚度		最小焊脚尺寸																	
	t		$K_{\min}$																	
	$t \leq 6.5$		3.5																	
	$6.5 < t \leq 13$		5																	
	$13 < t \leq 19$		6.5																	
	$19 < t \leq 38$		8																	
	$38 < t \leq 57$		10																	
	$57 < t \leq 152$		13																	
	$t > 152$		16																	
																				
	a) 贴角角焊缝																			
b) 单边 V 形坡口焊缝																				
																				
c) 带纯边单边 V 形坡口焊缝																				
																				
d) 双单边 V 形坡口焊缝																				
																				
e) 带纯边双单边 V 形坡口焊缝																				
																				
f) J 形坡口焊缝																				
																				
g) 双 J 行坡口焊缝																				
																				
h) 十字形接头贴角焊缝																				
																				
i) 联系角焊缝																				
																				
j) 双向受拉十字接头中的焊缝形式																				

(续)

接头类型	常见坡口、坡口焊缝	选择及说明
搭接接头	 a) 端面角焊缝 b) 端面角焊缝+塞焊缝 c) 端面角焊缝+槽焊缝	按角焊缝在搭接接头的布置方式,可分为端焊缝(图 a),侧焊缝,斜焊缝及组合焊缝,另外还有塞焊缝(图 b)和槽焊缝(图 c),塞焊缝和槽焊缝一般多作为辅助焊缝以补充主焊缝的不足,或反面无法施焊的情况 为减小作用力偏心产生的附加弯曲应力,两搭板的搭接长度 l 应大于或等于 $(3 \sim 5) t$, t 为板厚 搭接接头受力状态不理想,故不宜用于动载,另外,母材和焊接材料的消耗量大 但搭接接头焊前准备工作量较少,装配容易。因此用于不重要的焊接结构中
角接头		角接头多用于箱形结构 两焊件端部间夹角在 $30^\circ \sim 135^\circ$ 范围内的接头称为角接头 图 a 是未开坡口单面焊缝,图 b 采用未开坡口的双面焊缝,消除了根部应力集中,承载能力比 a 高。图 c 采用 V 形焊缝,易焊接,承载能力有较大的提高。图 d、图 e 及图 f 适用于薄板结构,使焊缝远离弯曲部位 图 g 及图 h 适用于不同厚度的角接。具有双面焊缝的角接头,其抗弯能力较大,如图 i 图 j 不但焊缝避开拐角处的应力集中区,而且保证接头有正确的直角,接头刚性也较大。图 k 具有圆滑的圆角和较大的刚性,大型结构可用圆管代替实心圆棒 图 l、图 m、图 n 为圆角接头,虽不经济,但棱边光滑优先采用 图 o 在结构较小时焊缝不易施焊。且存在较大的应力集中,虽接头刚性大,应慎重采用

注:详尽的坡口形式及尺寸见 GB/T 985.1 ~ 4—2008。

1.4 焊接接头的静载强度计算

1.4.1 电弧焊接头的静载强度计算

(1) 计算假定 焊接接头的工作应力较为复杂, 为简化计算, 在保证焊接结构安全性的前提下, 作以下一些假定: 不考虑焊接残余应力及应力集中对接头强度的影响; 工作应力均匀分布, 以平均应力计算; 焊脚尺寸的大小对角焊缝的强度没有影响; 不考虑正面角焊缝与侧面角焊缝的强度差别; 角焊缝是在切应力作用下破坏的, 故按切应力计算其强

度; 角焊缝的破坏截面 (计算截面) 在角焊缝截面最小高度 a (计算厚度) 上。

(2) 工作焊缝和联系焊缝 按焊缝所起的作用来分, 焊缝可分为工作焊缝 (又称承载焊缝) 和联系焊缝 (又称非承载焊缝)。工作焊缝承担着全部载荷的作用, 且与被连接的焊件是串联的 (见图 3.3-2 图 a 及图 b)。联系焊缝只起连接作用, 传递很小的载荷, 它与被连接的焊件是并联的 (见图 3.3-2 图 c)。因此在计算焊缝的强度时, 只要计算工作焊缝的强度, 联系焊缝不用计算。

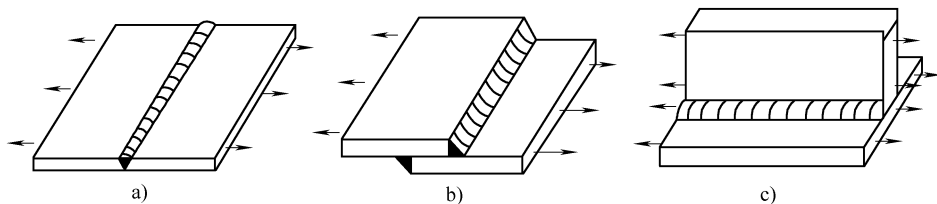


图 3.3-2 工作焊缝和联系焊缝

(3) 焊缝设计与计算中的相关数据

1) 对接焊缝 (焊透的焊缝)

① 对接焊缝强度计算中的计算截面等于焊缝的计算高度与计算长度的乘积。

② 对接焊缝的计算厚度等于被连接件的板厚, 当被连接的两板厚度不等时, 则取较薄的板厚; T 字和十字形接头的计算厚度取立板的板厚, 如图 3.3-3 所示。

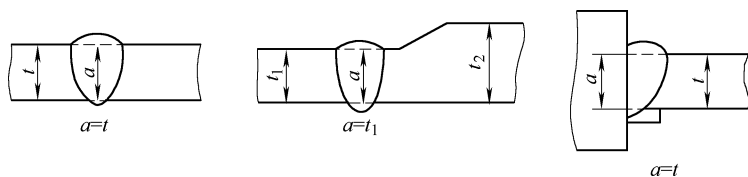


图 3.3-3 对接焊缝的计算厚度 a

③ 对接焊缝的计算长度, 当无法用引弧板施焊时计算长度为其实际长度减去 10mm (或减去 2 倍的较薄板厚)。

匀熔深 P 时 (如采用埋弧焊和 CO_2 气体保护焊), 则计算厚度 $a = 0.7(K + P)$; $K \leq 8\text{mm}$ 时, a 可取为 K ; 当 $K > 8\text{mm}$ 时, 熔深 P 一般取 3mm。

2) 角焊缝

② 开坡口部分熔透的角焊缝, 其计算厚度见图 3.3-5。

① 角焊缝的计算厚度应取其内切三角形的最小高度, 等腰直角焊缝的计算厚度 $a = K \cos 45^\circ$, 即 $a = 0.7K$, K 为较小焊脚尺寸。常用角焊缝的截面形状及计算厚度 a , 如图 3.3-4 所示。当具有较大均

③ 焊脚尺寸。为避免焊接区的基本金属过熔, 角焊缝的焊脚尺寸不宜大于较薄焊件厚度的 1.2 倍。

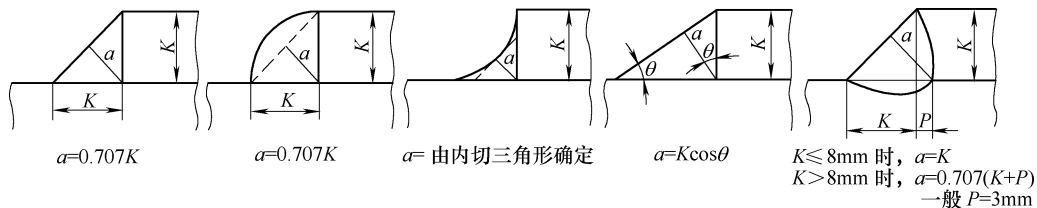


图 3.3-4 常用角焊缝截面形状的计算厚度

K —焊脚尺寸 a —计算厚度 P —熔入母材深度

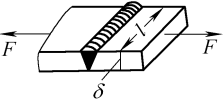
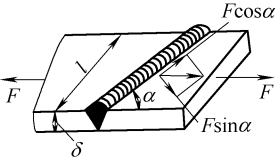
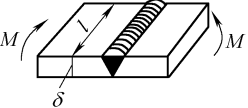
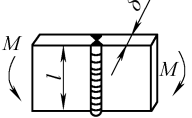
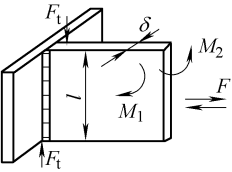
角焊缝的焊脚尺寸不得小于 $1.5\sqrt{\delta'}$ ， δ' 为较厚焊件的厚度（mm）。当焊件厚度小于或等于 4mm 时，焊脚尺寸可取与焊件厚度相同。

④ 角焊缝的计算长度，取实际长度减去 10mm（或减去较小焊脚尺寸长度的 2 倍）。如果焊缝为自身闭合或特别注意在焊缝长度的端部避免出现凹弧时，则不必减去此尺寸。

⑤ 搭接接头的侧面角焊缝的最大计算长度不宜大于 $40K$ （动载时）或 $60K$ （静载时）， K 为侧面角焊缝的焊脚尺寸；计算长度也不能太短，一般应大于 $8K$ ，且不能小于 40mm。

（4）电弧焊接头的静载强度计算（表 3.3-11）

表 3.3-11 电弧焊焊接接头静载强度计算

接头形式	简 图	计 算 公 式	说 明
对接		$\sigma = \frac{F}{\delta l} \leq [\sigma'_t] \text{ (受拉时)}$ $\sigma = \frac{F}{\delta l} \leq [\sigma'_a] \text{ (受压时)}$	F —作用力（拉或压）（N） δ —被焊件的厚度（mm），如果两被焊件的厚度不等，应取其中较薄的作为计算厚度 l —焊缝长度（mm） $[\sigma'_t]$ 、 $[\sigma'_a]$ —熔积金属的许用拉应力和许用压应力（MPa） 见表 3.3-12
		$\sigma = \frac{F \sin^2 \alpha}{\delta l} \leq [\sigma'_t]$ $\tau = \frac{F \sin \alpha \cos \alpha}{\delta l} \leq [\tau']$	$[\tau']$ —熔接金属的许用切应力（MPa） 见表 3.3-12 当 $\alpha = 45^\circ$ ，母体金属为低碳钢时，可视斜对接焊缝的强度与母体金属相等，不需进行焊缝的强度计算
		$\sigma = \frac{6M}{\delta l^2} \leq [\sigma'_t]$	M —弯矩（N·mm）
		$\sigma = \frac{6M}{\delta l^2} \leq [\sigma'_t]$	符号意义同上
开坡口熔透 T 形接头或十字接头		受拉: $\sigma = \frac{F}{\delta l} \leq [\sigma'_t]$	符号意义同上
		受压: $\sigma = \frac{F}{\delta l} \leq [\sigma'_a]$	
		受剪: $\tau = \frac{F_t}{\delta l} \leq [\tau']$	
		平面内弯矩 M_1 : $\sigma = \frac{6M_1}{l^2 \delta} \leq [\sigma'_t]$	
		平面外弯矩 M_2 : $\sigma = \frac{6M_2}{\delta l^2} \leq [\sigma'_t]$	

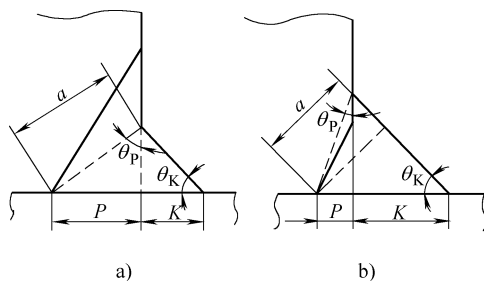
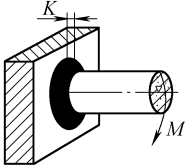
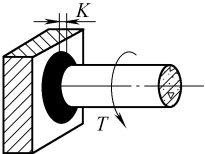
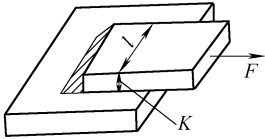
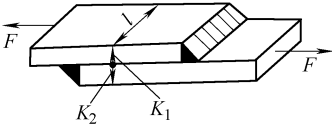
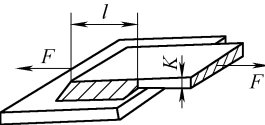
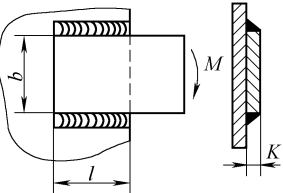
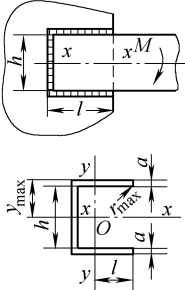


图 3.3-5 部分熔透角焊缝的计算厚度 a 的确定

a) $P > K$ ($\theta_P > \theta_K$), $a = P / \sin \theta_P$

b) $P < K$ ($\theta_P < \theta_K$), $a = (P + K) \sin \theta_K$

(续)

接头形式	简图	计 算 公 式	说 明
T形接头或十字接头		$\tau = \frac{4M(R+a)}{\pi[(R+a)^4 - R^4]} \leq [\tau']$	R —圆柱半径 (mm)
		$\tau = \frac{2T(R+a)}{\pi[(R+a)^4 - R^4]} \leq [\tau']$	T —转矩 (N·mm) R —圆柱半径 (mm)
搭 接		$\tau = \frac{F}{al} \leq [\tau']_t$	$[\tau']_t$ —填角焊缝 (熔积金属) 的 许用条件切应力 (MPa) 见表 3.3-12 a —焊角焊缝的计算厚度 (mm)
		$\tau = \frac{F}{(a_1 + a_2)l} \leq [\tau']_t$	a_1 、 a_2 —上、下两焊缝的计算厚度 (mm)
		$\tau = \frac{F}{a\Sigma l} \leq [\tau']$	Σl —焊缝长度总和 (mm) 左图中 $\Sigma l = 2l$
		$\tau = \frac{M}{al(b+a)} \leq [\tau']_t$ 如果 b 比 l 小得多, 则 $\tau = \frac{M}{0.33al^2} \leq [\tau']_t$	τ 平行于焊缝方向 τ 垂直于焊缝方向
		弯矩 M 被一对水平焊缝的力偶及垂直焊缝的力矩所平衡 $M = \tau al(h+a) + \frac{\tau ah^2}{6}$ $\tau = \frac{M}{al(h+a) + \frac{ah^2}{6}} \leq [\tau']$	亦可按焊缝的轴惯性矩计算 τ , 即 $\tau = \frac{M}{I_x} y_{\max} \leq [\tau']$ 还可按焊缝的极惯性矩计算 τ : $\tau = M/I_p r_{\max}$ 式中 $y_{\max}$ ——焊缝截面距 x 轴的最大距离 (mm) I_p ——焊缝的计算截面对 O 点的极惯性矩 $I_p = I_x + I_y$ I_x ——焊缝的计算截面对 x 轴的轴惯性矩 (mm ⁴) I_y ——焊缝的计算截面对 y 轴的轴惯性矩 (mm ⁴) $r_{\max}$ ——焊缝的计算截面距 O 点的最大距离 (mm) 后者计算方法较准

(续)

接头形式	简 图	计 算 公 式	备 注
搭		$\tau = \frac{F}{a \Sigma l} \leq [\tau']$	$\Sigma l = l_1 + l_2$ $\frac{l_1}{l_2} = \frac{e_2}{e_1}$ e_1 和 e_2 为角钢截面形心至焊缝的距离
接		$\tau = \frac{F}{a \Sigma l} \leq [\tau']_1$	$\Sigma l = 2l_1 + 2l_2 + l_3$
不熔透 对接接头		拉: $\tau = \frac{F}{2al} \leq [\tau']$ 剪: $\tau = \frac{F_l}{2al} \leq [\tau']$ 弯: $\tau = \frac{M}{I_x} y_{\max} \leq [\tau']$	V 形坡口: $\alpha \geq 60^\circ$ 时, $a = S$ $\alpha < 60^\circ$ 时, $a = 0.75S$ U 形、J 形坡口: $\alpha = S$ $I_x = al (\delta - a)^2$ l —焊缝长度

(5) 焊缝的许用应力 (表 3.3-12)

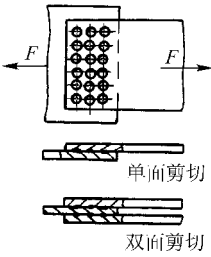
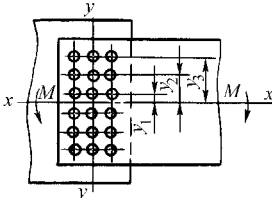
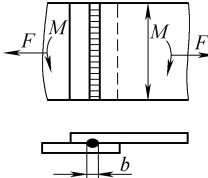
表 3.3-12 机器焊接结构焊缝的许用应力

焊缝种类	应力状态	焊缝许用应力	
		一般 E43 × × 型及 E50 × × 型焊条手弧焊	低氢焊条手弧焊、埋弧焊、半埋弧焊
对接缝	拉应力	0.9 $[\sigma]$	$[\sigma]$
	压应力	$[\sigma]$	$[\sigma]$
	切应力	0.6 $[\sigma]$	0.65 $[\sigma]$
角焊缝	切应力	0.6 $[\sigma]$	0.65 $[\sigma]$

注: 1. 表中 $[\sigma]$ 为基本金属的拉伸许用应力。
2. 本表适用于低碳钢及 500MPa 级以下的低合金结构钢。

1.4.2 电阻焊接头的静载强度计算 (表 3.3-13)

表 3.3-13 电阻焊接头静载强度计算公式

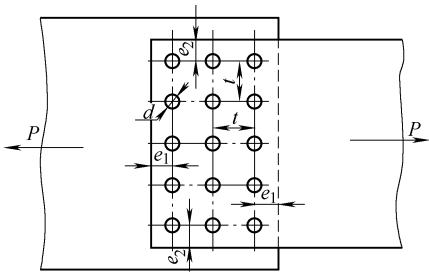
名称	简 图	计 算 公 式	备 注
点 焊 接 头		受拉或压 单面剪切: $\tau = \frac{4F}{ni\pi d^2} \leq [\tau'_0]$ 双面剪切: $\tau = \frac{2F}{ni\pi d^2} \leq [\tau'_0]$	$[\tau'_0]$ —焊点的许用切应力 (MPa) i —焊点的排数 n —每排焊点个数 d —焊点直径(mm) $y_{\max}$ —焊点距 x 轴的最大距离 (mm) y_j — j 焊点距 x 轴的距离 (mm)
		受弯 单面剪切: $\tau = \frac{4My_{\max}}{i\pi d^2 \sum_{j=1}^n y_j^2} \leq [\tau'_0]$ 双面剪切: $\tau = \frac{2My_{\max}}{n\pi d^2 \sum_{j=1}^n y_j^2} \leq [\tau'_0]$	
缝 焊 接 头		受拉或压: $\tau = \frac{F}{bl} \leq [\tau'_0]$ 受弯: $\tau = \frac{6M}{bl^2} \leq [\tau'_0]$	$[\tau'_0]$ —缝焊焊缝的许用切应力 (MPa) b —焊缝宽度 (mm) l —焊缝长度 (mm)

注:1. 点焊的焊点布置参数的估算式:

焊点的直径 $d = 5\sqrt{\delta}$ (δ 为较小板厚); 节距 $t \geq 2d$; 边距 $e_1 \geq 2d$; 边距 $e_2 \geq 1.5d$

焊点布置参数亦可从有关手册中查得。

2. 计算假定: 表中的计算是在以下条件下进行的: ①同一搭接接头上的焊点受力是均匀的; ②每个焊点都在切应力作用下破坏; ③焊点上的应力集中对静载强度没有影响。
3. 电阻点焊和缝焊的许用切应力 $[\tau'_0] = (0.3 \sim 0.5)[\sigma_1]$, $[\sigma_1]$ 为低碳钢、低合金钢及铝合金的许用拉应力。



1.5 焊缝在图样上的表达及标注 (GB/T 324—2008 及 GB/T 12212—1990)

为简便清晰表达图样中的焊缝或接头的信息,不使图样增加更多的注解,并能准确无误地表达所要求的焊

缝,我国制定了一系列有关标准,下面作一一介绍。

(1) 焊缝基本符号、基本符号组合和补充符号 (表 3.3-14 及表 3.3-15)

(2) 焊缝尺寸符号及标注示例 (表 3.3-16 及表 3.3-17)

表 3.3-14 焊缝基本符号、基本符号组合和补充符号

名 称	示意图	符 号	名 称	示意图	符 号
卷边焊缝* (卷边完全熔化)			I 形焊缝		

(续)

名 称	示意图	符号	名 称	示意图	符号
V 形焊缝			陡边 V 形焊缝		
单边 V 形焊缝			陡边单 V 形焊缝		
带钝边 V 形焊缝			端焊缝		
带钝边单边 V 形焊缝			堆焊缝		
带钝边 U 形焊缝			平面连接 (钎焊)		
带钝边 J 形焊缝					
封底焊缝			斜面连接 (钎焊)		
角焊缝			折叠连接 (钎焊)		
塞焊缝或槽焊缝			基本符号的组合		
点焊缝			名 称	示意图	符号
			双面 V 形焊缝 (X 焊缝)		
			双面单 V 形焊缝 (K 焊缝)		
缝焊缝			带钝边的双面 V 形焊缝		
			带钝边的双面单 V 形焊缝		
			双面 U 形焊缝		

(续)

补充符号			补充符号		
名称	符 号	说 明	名称	符 号	说 明
平面	—	焊缝表面通常经过加工后平整	三面焊缝		三面带有焊缝
凹面		焊缝表面凹陷	周围焊缝		沿着工件周边施焊的焊缝 标注位置为基准线与箭头线的交点处
凸面		焊缝表面凸起			
圆滑过渡		焊趾处过渡圆滑			
永久衬垫		衬垫永久保留	现场焊缝		在现场焊接的焊缝
临时衬垫		衬垫在焊接完成后拆除	尾部		可以表示所需的信息

表 3.3-15 补充符号应用示例

名 称	示 意 图	符 号
平齐的 V 形焊缝		
凸起的双面 V 形焊缝		
凹陷的角焊缝		
平齐的 V 形焊缝和封底焊缝		
表面过渡平滑的角焊缝		

表 3.3-16 焊缝尺寸符号

符号	名 称	示意图	符号	名 称	示意图
δ	工件厚度		b	根部间隙	
α	坡口角度		p	钝边	
β	坡口面角度		R	根部半径	

(续)

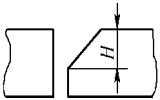
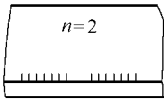
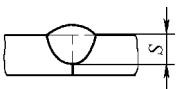
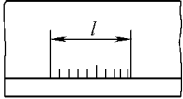
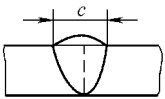
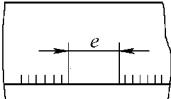
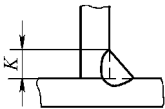
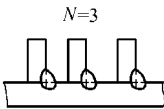
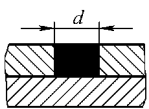
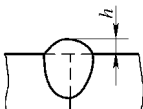
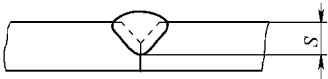
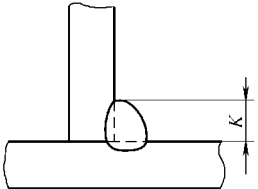
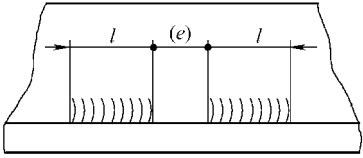
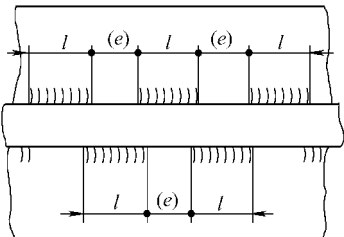
符号	名称	示意图	符号	名称	示意图
H	坡口深度		n	焊缝段数	
S	焊缝有效厚度		l	焊缝长度	
c	焊缝宽度		e	焊缝间距	
K	焊脚尺寸		N	相同焊缝数量	
d	点焊:熔核直径 塞焊:孔径		h	余高	

表 3.3-17 焊缝尺寸标注的示例

名称	示意图	尺寸符号	标注方法
对接焊缝		S :焊缝有效厚度	$S \text{ Y}$
连续角焊缝		K :焊脚尺寸	$K \triangle$
断续角焊缝		l :焊缝长度 e :间距 n :焊缝段数 K :焊脚尺寸	$K \triangle n \times l (e)$
交错断续角焊缝		l :焊缝长度 e :间距 n :焊缝段数 K :焊脚尺寸	$\frac{K}{K} \triangle \left[\frac{n \times l}{n \times l} \right] (e)$

(续)

名称	示 意 图	尺寸符号	标注方法
塞焊缝 或 槽焊缝		l : 焊缝长度 e : 间距 n : 焊缝段数 c : 槽宽	$c \text{ ┌ } n \times l (e)$
		e : 间距 n : 焊缝段数 d : 孔径	$d \text{ ┌ } n \times (e)$
点焊缝		n : 焊点数量 e : 焊点距 d : 熔核直径	$d \text{ ○ } n \times (e)$
缝焊缝		l : 焊缝长度 e : 间距 n : 焊缝段数 c : 焊缝宽度	$c \text{ ┌ } n \times l (e)$

(3) 标注焊缝符号的指引线 在焊缝的各种符号、代号及相应的数据均由指引线注出。指引线的画法如图 3.3-6 所示。指引线由两条平行的基准线（一条为细实线，一条为虚线）及带箭头的箭头线（细实线）所组成。基准线一般应与图样的底边平行，必要时也可与底边垂直，基准线的基准实线和

基准虚线的位置可根据需要互换。箭头线的箭头应指向所标注的焊缝，对于 V、Y、J 形焊缝，箭头应指向带有坡口一侧的工作面。

焊缝符号及数据在指引线上的标注规则（见图表 3.3-18）。

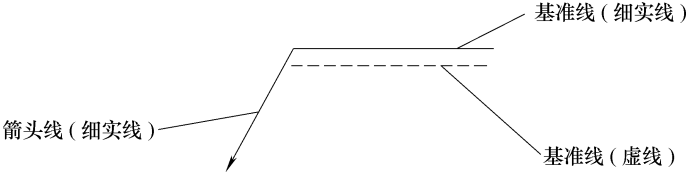


图 3.3-6 指引线画法

表 3.3-18 焊缝符号及数据在指引线上的标注规则

标注内容	图 示	标注规则
基本符号		1. 焊缝在接头的箭头侧 ^① ，则将基本符号标在基准线的实线侧

(续)

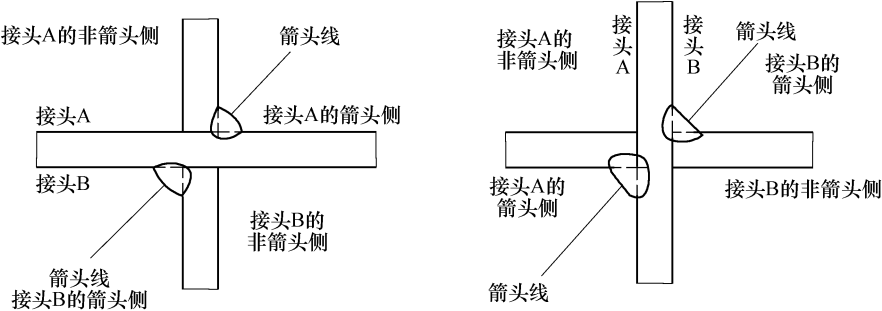
标注内容	图 示	标注规则
基本符号		2. 焊缝在接头的非箭头侧 ^① ，则将基本符号标在基准线的虚线侧
		3. 标注对称焊缝及双面焊缝时可不加虚线
		4. 在明确焊缝分布位置的情况下，有些双面焊缝也可省略虚线
尺寸、尺寸符号及数据		1. 横向尺寸标注在基本符号的左侧 2. 纵向尺寸标注在基本符号的右侧 3. 坡口角度、坡口面角度、根部间隙标注在基本符号的上侧或下侧 4. 相同焊缝数量标注在尾部 5. 当尺寸较多不易分辨时，可在尺寸数据前标注相应的尺寸符号 当箭头线方向改变时，上述规则不变 6. 确定焊缝位置的尺寸不在焊缝符号中标注，应将其标注在图样上 7. 基本符号的右侧无任何标注又无其他说明，则表示焊缝在工件的整个长度上是连续的 8. 在基本符号左侧无任何标注又无其他说明时，表示对接焊缝是完全焊透 9. 塞焊缝、槽焊缝带有斜边时，应该标注孔底部的尺寸
焊接方法		必要时，可在尾部标注焊接方法代号（焊接方法代号，见表 3.3-19）

焊接方法的尾部标注

(续)

标注内容	图 示	标注规则
尾部标注内容的次序		尾部标注内容较多时，可参照如下次序排列： 1. 相同焊缝数量 2. 焊接方法代号（按照 GB/T 5185 规定） 3. 缺欠质量等级（按照 GB/T 19418 规定） 4. 焊接位置（按照 GB/T 16672 规定） 5. 焊接材料（如按照相关焊接材料标准） 6. 其他 每个款项应用斜线“/”分开。 为了简化图样，也可以将上述有关内容包含在某个文件中，采用封闭尾部给出文件的编号

① 箭头直接指向的接头侧为“接头的箭头侧”，与之相对的则为“接头的非箭头侧”，如图



接头的“箭头侧”及“非箭头侧”示例

表 3.3-19 常用焊接方法代号（摘自 GB/T 5185—2005）

焊 接 方 法	焊接方法代号	焊 接 方 法	焊接方法代号
电弧焊	1	爆炸焊	441
焊条电弧焊	111	扩散焊	45
埋弧焊	12	气压焊	47
药芯焊丝埋弧焊	125	冷压焊	48
熔化极气体保护电弧焊	13	电子束焊	51
熔化极惰性气体保护电弧焊（MIG）	131	激光焊	52
熔化极非惰性气体保护电弧焊（MAG）	135	其他焊接方法	7
钨极惰性气体保护电弧焊（TIG）	141	铝热焊	71
等离子弧焊	15	电渣焊	72
电阻焊	2	气电立焊	73
点焊	21	螺柱焊	78
缝焊	22	硬钎焊、软钎焊、钎接焊	9
凸焊	23	硬钎焊	91
闪光焊	24	火焰硬钎焊	912
电阻对焊	25	炉中硬钎焊	913
高频电阻焊	291	盐浴硬钎焊	915
气焊	3	扩散硬钎焊	919
氧-燃气焊	31	软钎焊	94
氧-乙炔焊	311	火焰软钎焊	942
氧-丙烷焊	312	炉中软钎焊	943
压焊	4	盐浴软钎焊	945
超声波焊	41	扩散软钎焊	949
摩擦焊	42	钎接焊	97

(4) 基本符号及补充符号的标注示例 (表 3.3-20) (5) 焊缝符号的简化标注方法及其示例 (表 3.3-21 及表 3.3-22)

表 3.3-20 焊缝符号的标注示例

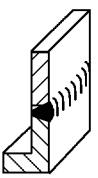
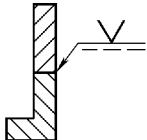
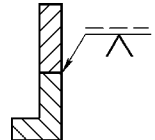
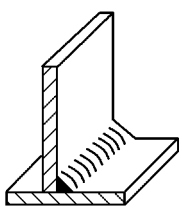
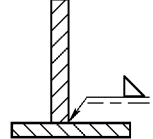
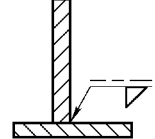
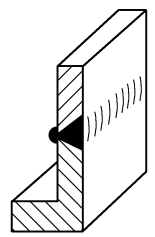
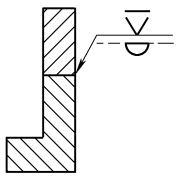
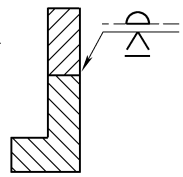
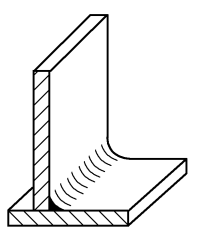
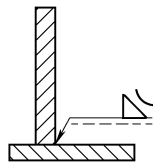
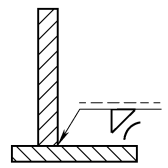
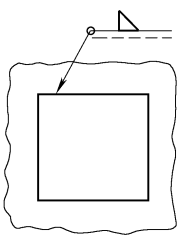
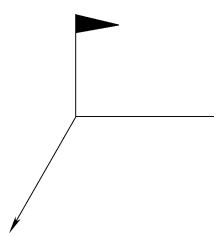
基本符号		  
		  
基本符号 + 补充符号		  
		  
周围焊缝		 当焊缝围绕工件周边时可采用圆形的符号
现场焊缝		 现场焊缝的表示

表 3.3-21 焊缝符号的简化标注方法

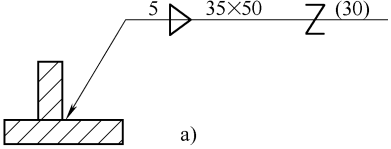
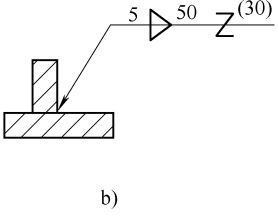
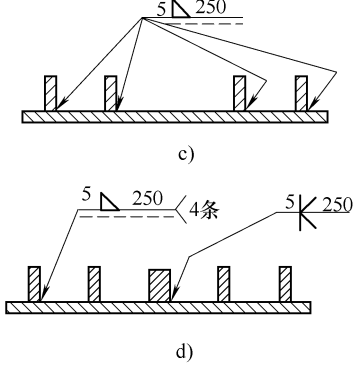
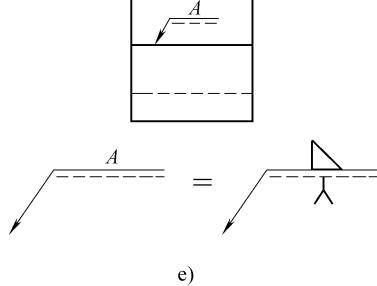
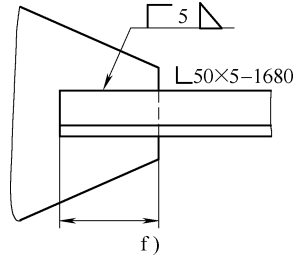
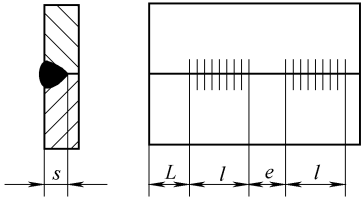
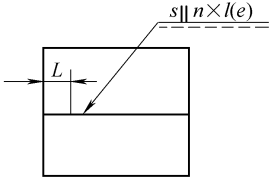
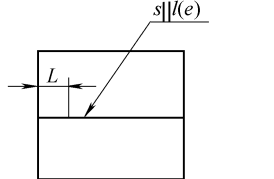
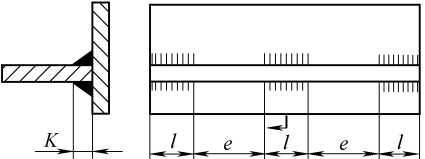
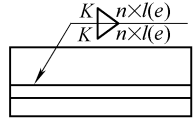
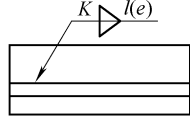
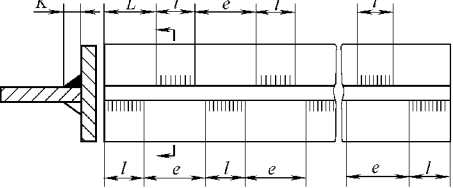
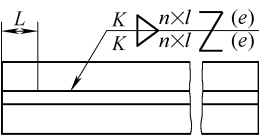
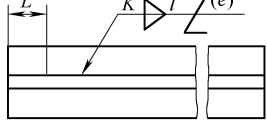
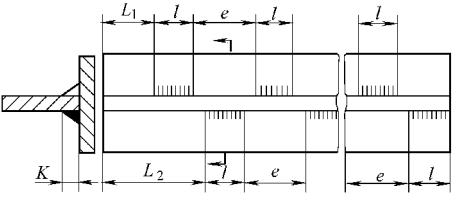
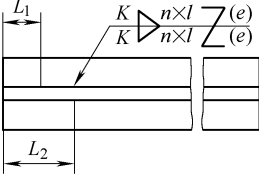
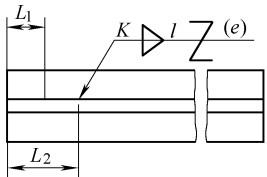
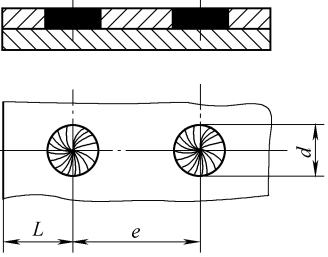
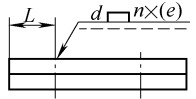
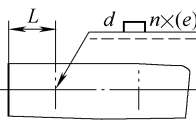
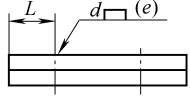
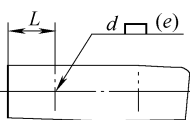
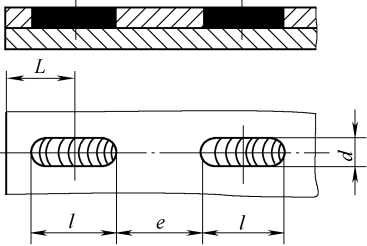
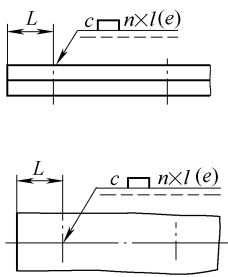
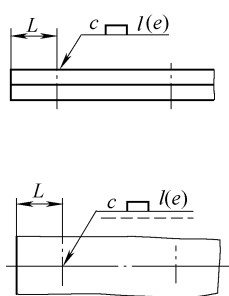
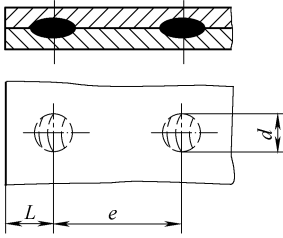
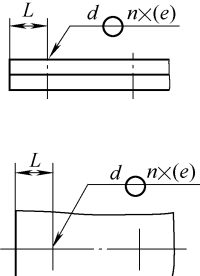
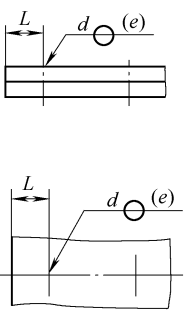
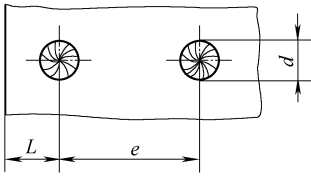
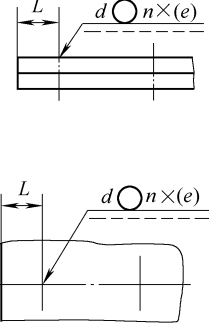
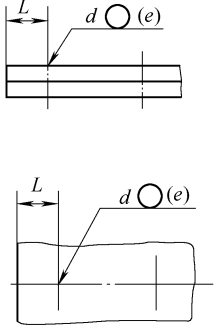
序号	简化标注方法	图示说明
1	在焊缝符号中标注交错对称焊缝的尺寸时，允许在基准线上只标注一次，如图 a 所示。基准线下侧可不重复标注 5、35×50、(30) 等尺寸	
2	当断续焊缝、对称断续焊缝和交错断续焊缝的段数无严格要求时，允许省略焊缝段数，如图 b 所示，省略了焊缝段数“35”这一标注	
3	在同一图样中，当若干条焊缝的坡口尺寸和焊缝符号均相同时，可采用图 c 的方法集中标注；若这些焊缝同时在接头中的位置均相同时，也可采用在焊缝符号的尾部加注相同焊缝数量的方法简化标注，但其他形式的焊缝，仍需分别标注，如图 d 所示	
4	为了简化标注方法，或标注位置受到限制时，可以采用简化代号代替通用的符号来标注焊缝，但必须在该图的下方或标题栏附近说明这些简化代号的含义，如图 e 所示，这时，简化代号的大小，应是图样中所注代号和符号的 1.4 倍	
5	在不致引起误解的情况下，当箭头线指向焊缝，而非箭头侧又无焊缝要求时，可省略非箭头侧基准线（虚线），如图 f 所示；当焊缝的起始及终止位置明确（已由工件的尺寸或其他尺寸确定）时，允许在焊缝标注中省略焊缝长度尺寸的标注（图 f）	
6	当同一图样上全部焊缝所采用的焊接方法完全相同时，焊缝符号尾部表示焊接方法的代号可省略不注，但必须在技术要求或其他技术文件中注明“全部焊缝均采用……焊”等字样；当大部分焊接方法相同时，也可在技术要求或其他技术文件中注明“除图样中注明的焊接方法外，其余焊缝均采用……焊”等字样	

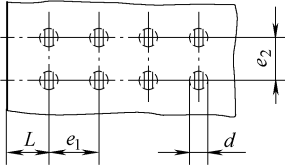
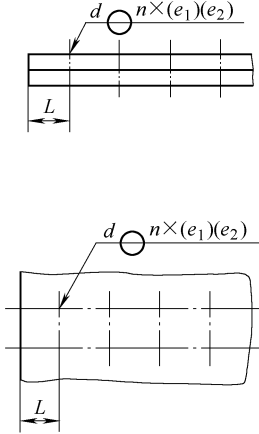
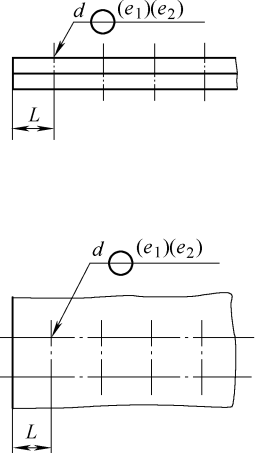
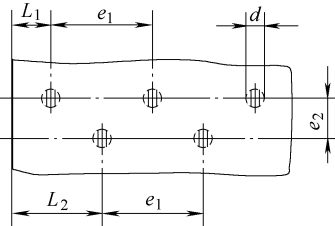
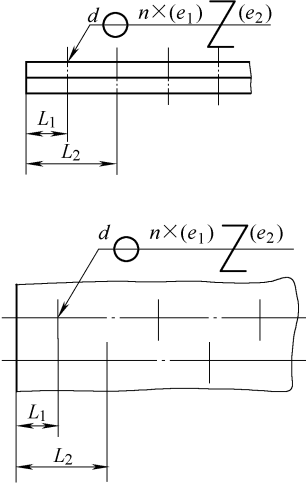
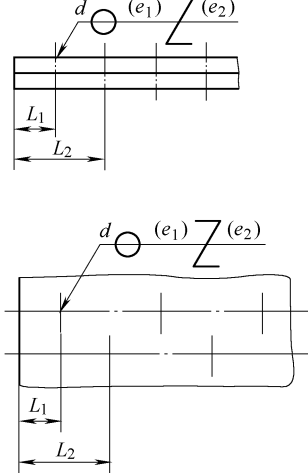
表 3.3-22 焊缝的图示法及简化注法示例

焊缝的视图或剖视图画法示例	焊缝符号及定位尺寸简化注法示例	
	 断续 I 形焊缝在箭头侧；其中 L 是确定焊缝起始位置的定位尺寸	 焊缝符号标注中省略了焊缝段数和非箭头侧的基准线（虚线）
	 对称断续角焊缝，构件两端均有焊缝	 省略了基准线下侧的标注及焊缝段数
		 标注说明同上
	 交错断续角焊缝；其中 L_1 是确定箭头侧焊缝起始位置的定位尺寸；L_2 是确定非箭头侧焊缝起始位置的定位尺寸	 标注说明同上
	  塞焊缝在箭头侧；其中 L 是确定焊缝起始孔中心位置的定位尺寸	  标注中省略了“n”及非箭头侧的基准线（虚线）

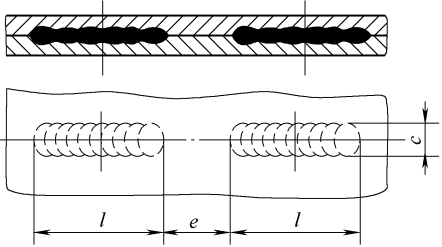
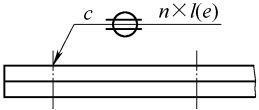
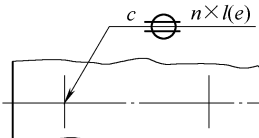
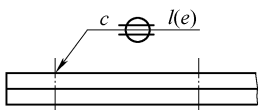
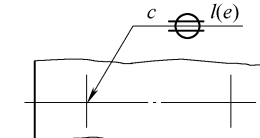
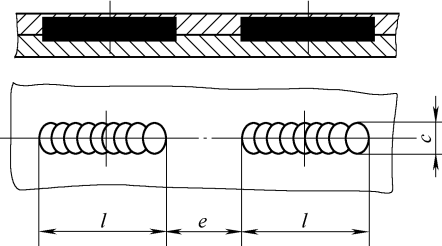
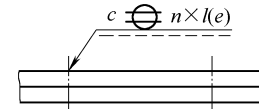
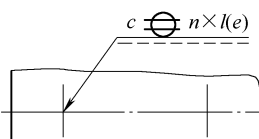
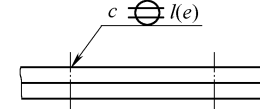
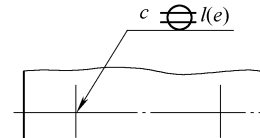
(续)

焊缝的视图或剖视图画法示例	焊缝符号及定位尺寸简化注法示例	
	 槽焊缝在箭头侧；其中 L 是确定焊缝起始槽对称中心位置的定位尺寸	 标注说明同上
	 点焊缝位于中心位置；其中 L 是确定焊缝起始焊点中心位置的定位尺寸	 省略了基准线下侧的标注及“n”的标注
	 点焊缝偏离中心位置，在箭头侧	 省略了非箭头侧的基准线（虚线）和“n”的标注

(续)

焊缝的视图或剖视图画法示例	焊缝符号及定位尺寸简化注法示例	
	 两行对称点焊缝位于中心位置；其中 e_1 是相邻两焊点中心的间距；e_2 是点焊缝的行间距；L 是确定第一列焊缝起始焊点中心位置的定位尺寸	 省略了基准线下侧的标注及“n”的标注
	 交错点焊缝位于中心位置；其中 L_1 是确定第一行焊缝起始焊点中心位置的定位尺寸，L_2 是确定第二行焊缝起始焊点中心位置的定位尺寸	 标注说明同上

(续)

焊缝的视图或剖视图画法示例	焊缝符号及定位尺寸简化注法示例	
	  缝焊缝位于中心位置；其中 L 是确定起始缝对中心位置的定位尺寸	  标注说明同上
	  缝焊缝偏离中心位置，在箭头侧	  标注中省略了非箭头侧的基准线（虚线）和“n”

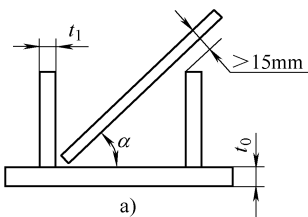
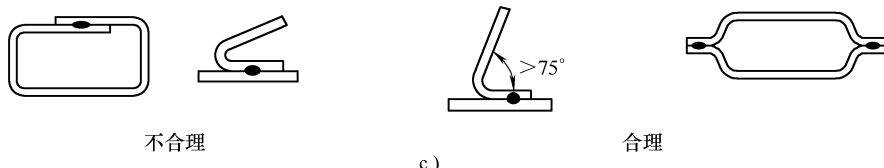
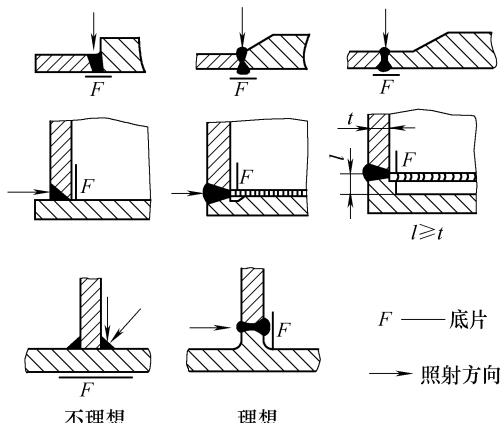
- ① 图中 L 、 L_1 、 L_2 、 l 、 e 、 e_1 、 e_2 、 s 、 d 、 c 、 n 等是尺寸代号，在图样中应标出具体数值。
- ② 在焊缝符号标注中省略焊缝段数和非箭头侧的基准线（虚线）时，必须认真分析，不得产生误解。

1.6 焊件设计中一般应注意的问题（表 3.3-23）

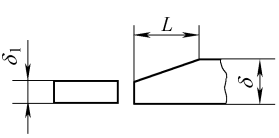
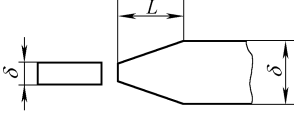
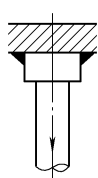
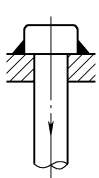
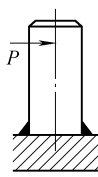
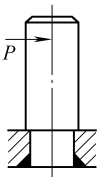
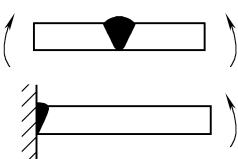
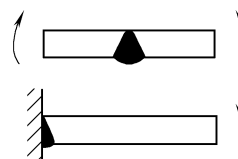
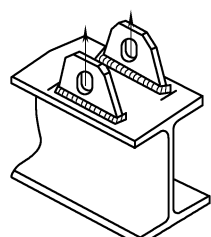
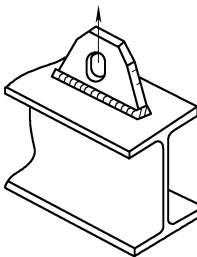
表 3.3-23 焊件设计中一般应注意的问题

项 目	说 明 与 措 施
合理布置焊缝	(1) 焊缝应位于低应力区，以获得承载能力大，变形小的构件；(2) 为减小焊缝应力集中和变形，焊缝布置尽可能对称，最好至中性轴的距离相等；(3) 尽量减少焊缝的数量和尺寸，且焊线要短；(4) 焊缝不要布置在加工面和需要表面处理的部位上；(5) 若条件允许应将工作焊缝变成联系焊缝；(6) 避免焊缝汇交和密集，让次要焊缝中断，主要焊缝连续
提高抗振能力	由于普通钢材的吸振能力低于铸铁，故对于抗振能力要求高的焊接件应采取抗振措施，如 (1) 利用板材间的摩擦力吸收振动；(2) 利用填充物吸振
合理选择截面形状及合理布肋	1. 焊件的抗弯、抗扭强度和刚度除与其截面积有关外，还取决于截面形状。圆形截面有较高的抗扭刚度，但抗弯强度较差，故宜用于受扭为主的焊件；工字形截面的抗弯强度最大，但抗扭很低，故宜用于承受纯弯的焊件；方形截面抗弯、抗扭分别低于工字形的圆形截面，但其综合刚性最好。2. 为有效地提高焊件抗弯刚度，肋应布置在弯曲平面内；肋的布置应有利于将局部载荷传递给其他壁板，使之均衡地承担载荷；带孔肋板应避免布置在主传力肋板的位置上；支承轴承的肋的布置应考虑弹性匹配

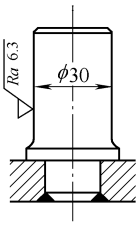
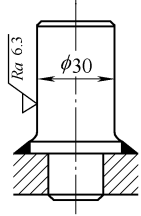
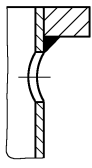
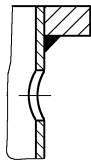
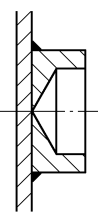
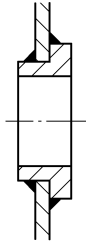
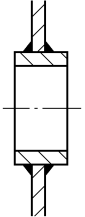
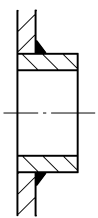
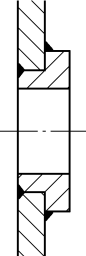
(续)

项 目	说 明 与 措 施
提高焊接接头抗疲劳能力和抗脆断能力	1. 减少应力集中, 如尽量采用对接接头; 当厚度不等的钢板对接时要以 1:4 至 1:10 的斜度预加工厚板; 采用刻槽影响小的接头; 焊缝避开高应力区; 焊趾部加工使焊缝向母材圆滑过渡。2. 减少或消除焊接残余应力, 如采用合理的焊接方法和工艺参数; 焊后热处理等。3. 减少结构刚度, 以期降低应力集中和附加应力的影响。4. 调整残余应力场
便于施焊	1. 避免仰焊缝, 减少立焊缝, 尽量采用自动焊接, 减少手工焊和工地焊接量 2. 要考虑可焊到性。当焊条电弧焊时, 可焊到性所要的空间为 (对照图 a) 当 $t_1 < t_0$ 时, $\alpha > 45^\circ$ 当 $t_1 = t_0$ 时, $\alpha = 45^\circ$ 当 $t_1 > t_0$ 时, $\alpha < 45^\circ$ 图 b 左边的焊接结构有部分焊缝无法施焊  图 b 展示了三种焊接结构的可焊性对比。左侧为“不可”施焊的结构，中间为“可”施焊的结构，右侧为“最好”施焊的结构。这些结构包括角焊缝、对接焊缝和埋弧焊等。 图 c, 点焊应考虑电极伸入方便 
应考虑检验的需求	 F —— 底片  —— 照射方向 不理想 理想

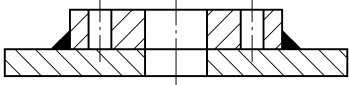
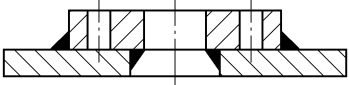
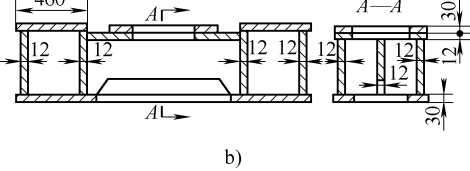
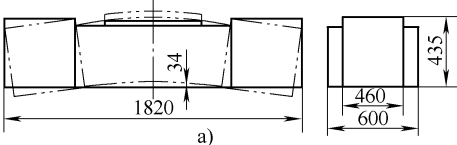
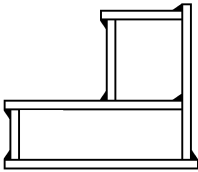
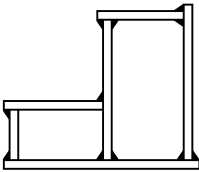
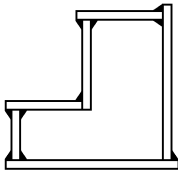
(续)

项 目	说 明 与 措 施	
不等厚度的对接接头的处理	厚度不等的钢板对接接头的两板厚度差 ($\delta - \delta_1$) 不超过下面附表规定时则焊缝坡口的基本形式与尺寸按厚板的数据来选取; 否则, 应在厚板上作出附表中图示的单面或双面削薄, 其削薄长度 $L \geq 3(\delta - \delta_1)$	
	附表 不同厚度钢板的对接接头 (mm)	
	较薄板厚度 δ_1	允许厚度差 ($\delta - \delta_1$)
	$>2 \sim 5$	1
	$>5 \sim 9$	2
	$>9 \sim 12$	3
	>12	4
不等厚度的对接接头的处理	附 图	
		
		
坯料选择的经济性	1. 尽可能选用标准型材、板材、棒料, 减少加工量	
	2. 拐角处用压弯 (内侧半径为 1.5 ~ 2.0 倍的壁厚) 可节省材料和焊接费用	
	3. 合理确定焊缝尺寸, 角焊缝的焊脚尺寸的增加将使角焊缝的面积和焊接量成平方关系增加	
改善焊缝处受载情况以增加焊缝强度 (或焊件的刚强度)	差	良
		
		
		
		
改善焊缝处受载情况以增加焊缝强度 (或焊件的刚强度)	在集中载荷作用的地方必须有足够的刚度依托	

(续)

项 目	说 明 与 措 施		
避免焊区对零件的影响	内 容	差	良
	使焊区远离零件的加工表面		 使焊区远离精加工表面
	防止焊区边缘的烧蚀和熔化		
保证焊件的定位精度	定位精度低		定位精度高
			
			
			

(续)

项 目	说 明 与 措 施	
紧密焊缝要设在容器的内侧	不好的设计	较好的设计
		
防止局部刚度过高, 注意封闭结构与开式结构的过渡	封闭结构的刚度要比开式结构大二位数, 故在同一结构中存在这两种结构时, 在其过渡部位将会出现悬殊的刚度差值, 这不仅无济于整个刚度的提高, 反会加剧结构的变形。图 a 是组合机床底座, 其两端是封闭箱形结构, 中间部位是开式结构, 中间虽有两块隔板但对于提高抗弯和抗扭刚度的作用不大, 因此底座在焊接过程中就出现了 34mm 的弯曲变形。后在中间部位加上一条纵向肋 (图 b), 减少了封闭结构和开式结构的刚度差, 结果变形减小到 2mm 	
结构力求对称	焊缝对称于结构中性轴布置能减少焊接变形, 而焊缝的对称布置很大程度上取决于结构设计的对称性, 故图 a 不好, 图 b 及 c 好 	

1.7 焊接结构的一般尺寸公差和几何公差

- (1) 线性尺寸公差 (表 3.3-24)
- (2) 角度尺寸公差 (表 3.3-25) 应采用角度的短边作为基准边, 其长度可以延长至某特定的基

准点。基准点应标注在图样上。

(3) 直线度、平面度和平行度 (表 3.3-26)

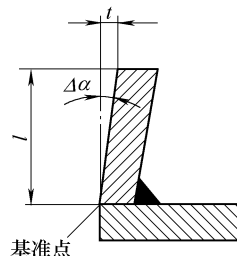
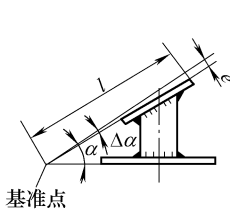
表 3.3-26 中规定的直线度、平面度及平行度公差既适用于焊件、焊接组装或焊接构件的所有尺寸, 也适用于图样上标注的尺寸。

表 3.3-24 线性尺寸公差 (摘自 GB/T 19804—2005) (mm)

公称尺寸 L 的范围											
公差等级	2 ~ 30	> 30 ~ 120	> 120 ~ 400	> 400 ~ 1000	> 1000 ~ 2000	> 2000 ~ 4000	> 4000 ~ 8000	> 8000 ~ 12000	> 12000 ~ 16000	> 16000 ~ 20000	> 20000
	公差 t										
A	± 1	± 1	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8	± 9
B		± 2	± 2	± 3	± 4	± 6	± 8	± 10	± 12	± 14	± 16
C		± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18	± 21	± 24	± 27
D		± 4	± 7	± 9	± 12	± 16	± 21	± 27	± 32	± 36	± 40

表 3.3-25 角度尺寸公差 (摘自 GB/T 19804—2005)

公差等级	公称尺寸 l (工件长度或短边长度) 范围/mm		
	0 ~ 400	> 400 ~ 1000	> 1000
	以角度表示的公差 $\Delta\alpha$		
A	$\pm 20'$	$\pm 15'$	$\pm 10'$
B	$\pm 45'$	$\pm 30'$	$\pm 20'$
C	$\pm 1^\circ$	$\pm 45'$	$\pm 30'$
D	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 1^\circ 15'$	$\pm 1^\circ$
以长度表示的公差 $t/\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$			
A	± 6	± 4.5	± 3
B	± 13	± 9	± 6
C	± 18	± 13	± 9
D	± 26	± 22	± 18



注: t 为 $\Delta\alpha$ 的正切值, 它可由短边的长度计算得出, 以 mm/m 计, 即每米短边长度内所允许的偏差值。

表 3.3-26 直线度、平面度和平行度公差 (摘自 GB/T 19804—2005)

(mm)

公称尺寸 l (对应表面的较长边) 的范围										
公差等级	> 30 ~ 120	> 120 ~ 400	> 400 ~ 1000	> 1000 ~ 2000	> 2000 ~ 4000	> 4000 ~ 8000	> 8000 ~ 12000	> 12000 ~ 16000	> 16000 ~ 20000	> 20000
公差 t										
E	± 0.5	± 1	± 1.5	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8
F	± 1	± 1.5	± 3	± 4.5	± 6	± 8	± 10	± 12	± 14	± 16
G	± 1.5	± 3	± 5.5	± 9	± 11	± 16	± 20	± 22	± 25	± 25
H	± 2.5	± 5	± 9	± 14	± 18	± 26	± 32	± 36	± 40	± 40

2 铆接

2.1 概述

铆接是不可拆连接。与焊接相比较, 由于铆接结构笨重、生产效率低、金属耗量大、结构外形不平整等缺点, 故已逐渐被焊接和粘接所代替。然而, 又由于铆接具有工艺简单、工艺过程比较容易控制、质量稳定、连接可靠、抗振、耐冲击、对被连接材料的力学性能没有不良影响等方面的优点, 所以在航空和航天工业中仍然是一种广泛采用的连接方法。

此外, 在承受严重冲击或剧烈振动载荷的金属结构上、在焊接技术受到限制的场合, 以及在非金属零件的连接中也得到应用 (如制动闸中的摩擦片与闸带的连接等)。

根据接头的形式不同, 铆缝有搭接、单盖板对接和双盖板对接三种 (图 3.3-7) 按铆钉排数分, 有单排钉、双排钉等布置形式。

由于铆钉排数超过三排对改善铆缝的强度甚微、故实际上, 平行于载荷方向上的铆钉个数不超过六个, 多排铆钉的排列通常采用交错排列, 这样既便于铆时操作, 又使铆缝加载较均匀。

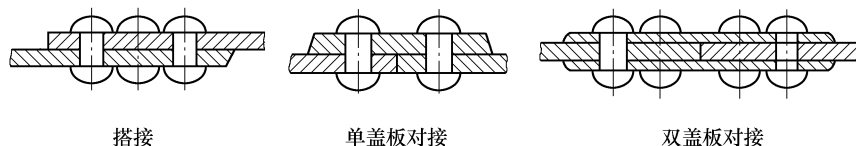


图 3.3-7 铆缝的基本形式

钉杆直径大于或等于 12mm 的钢制铆钉, 通常是将铆钉加热后进行铆接, 称为热铆。一般情况下, 钉杆直径小于 10mm 的钢制铆钉和塑性较好的非铁

材料、轻金属及其合金 (如铜铝等合金铆钉) 制成的铆钉、常用冷铆。

盲端铆接是近代发展较快的一种新型铆接, 其

优点是不需要从被连接的两面进行操作，仅在单面便可进行铆接作业。

常用的盲铆钉有抽芯铆钉和击芯铆钉。图 3.3-8a 是抽芯铆钉的一种，称为开口型扁圆头抽心铆钉，

它是由一个钉芯杆 1 和一个钉体 2 所组成。铆接时，用铆枪拉紧钉芯 1 将其底端圆头挤入钉体 2 内，钉芯自动拉断，钉芯头及剩余芯杆留在钉体内并由钉体箍紧，形成盲铆头，见图 3.3-8 中图 b、图 c。

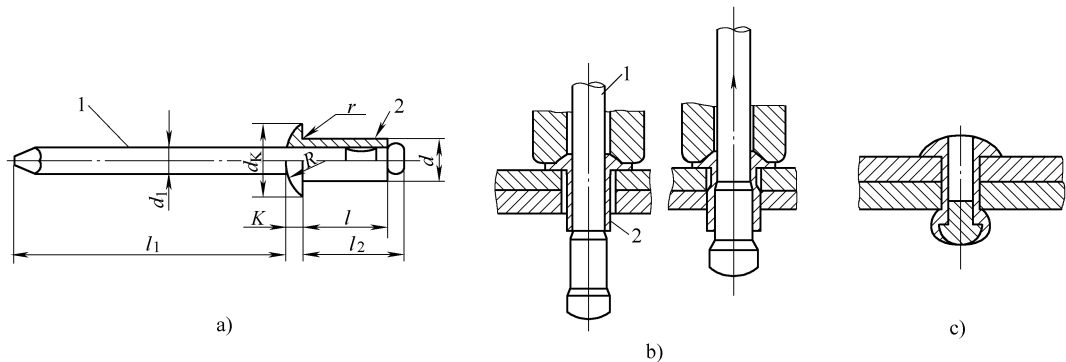


图 3.3-8 抽芯铆钉铆接

a) 铆钉结构 b) 铆接过程 c) 最后形成的铆钉铆接接头
1—钉芯 2—钉体

2.2 铆缝设计

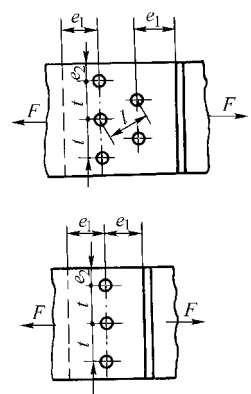
设计铆缝时，通常是根据工作要求及载荷情况选择合适的铆缝形式。确定有关结构参数、铆钉直径和数量，而后进行强度校核。下面主要介绍钢结构铆缝的设计。

(1) 确定结构参数 钢结构铆缝的结构参数是

根据接各部分近似等强条件、并考虑铆接工艺等方面的要求规定的。

- ① 铆钉的间距（表 3.3-27）根据钢结构设计规范，铆钉的间距应符合表中的规定。
- ② 铆钉公称杆径（表 3.3-28）
- ③ 铆钉长度的计算（表 3.3-29）
- ④ 铆钉孔直径 d_0 （表 3.3-30）

表 3.3-27 铆钉间的距离

	名称	位置与方向		允许距离		说 明
				最 大 (取两者之小值)	最 小	
间距	外 排		8d ₀ 或 12δ	钉并列	3d ₀	d ₀ —钉孔直径 δ—外层较薄板件的厚度
	t	中间排	构件受压	12d ₀ 或 18δ	钉错列	
		构件受拉	16d ₀ 或 24δ			
边距	平行于载荷的方向 e ₁		4d ₀ 或 8δ	2d ₀		
	垂直于 载荷的方向 e ₂			1.5d ₀		
				1.2d ₀		

注：1. 钢板边缘与刚性构件（如角钢、槽钢等）连接时，铆钉最大间距可按中间排确定。
2. 有色金属或异种材料（如石棉制动带与铸铁制动压）铆接的结构参数推荐：铆钉直径 $d = 1.5\delta + 2\text{mm}$ ；距离 $t = (2.5 \sim 3)d$ ；边距 $e_1 \geq 2d$ 、 $e_2 = (1.8 \sim 2)d_0$ 。

表 3.3-28 铆钉公称杆径 d （摘自 GB/T 18194—2000） (mm)

基本系列	1	1.2	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24	30	36
第二系列		1.4				3.5			7			14	18	20	27	33	

表 3.3-29 铆钉长度推荐计算式

种 类	推荐计算式	说 明
钢制半圆头铆钉	$l = 1.1 \Sigma \delta + 1.4d$	l —铆钉未铆合前钉杆长度 d —铆钉直径 $\Sigma \delta$ —被连接件的总厚度。为使铆钉胀满铆钉孔,一般取: $\Sigma \delta \leq 5d$
非铁材料半圆头铆钉	$l = \Sigma \delta + 1.4d$	

表 3.3-30 铆钉用通孔直径 d_0 (GB/T 152.1—1988) (mm)

铆钉直径 d	2	2.5	3	3.5	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	36
钉孔直径	精装配	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	5.2	6.2	8.2	10.3	12.4	14.5	16.5	—	—	—	—	—	—
d_0	粗装配	—	—	—	—	—	—	—	—	11	13	15	17	19	21.5	23.5	25.5	28.5	32

注: 1. 钉孔尽量采用钻孔,尤其是受变载荷的铆缝。也可以先冲(留3~5mm余量)后钻,既经济又能保证孔质量,冲孔的孔壁有冲剪的痕迹及硬化裂纹,故只用于不重要的铆接。

2. 铆钉直径 d 小于8mm时一般只进行精装配。

(2) 铆钉连接计算

表 3.3-32)

1) 受拉(压)构件的铆接计算(表 3.3-31 及

2) 受力矩铆接的铆钉最大载荷计算(表 3.3-33)

表 3.3-31 受拉(压)构件的铆接计算

计算内容	计算公式	说 明
被铆件的横剖面面积 A/mm^2	受拉构件 $A = \frac{F}{\Psi[\sigma]}$ 受压构件 $A = \frac{F}{\xi[\sigma]}$	F —作用于构件上的拉(压)处载荷(N) Ψ —铆缝的强度系数, $\Psi = \frac{t-a}{t}$ 初算时可取 $\Psi = 0.6 \sim 0.8$
铆钉直径 d/mm	当 $\delta \leq 5\text{mm}$ 时, $d \approx 2\delta$ 当 $\delta = 6 \sim 20\text{mm}$ 时, $d \approx (1.1 \sim 1.6)\delta$ 被联接件的厚度较大时, δ 前的系数取较小值	ξ —压杆纵弯曲系数,见表 3.3-32 δ —被铆件中较薄板的厚度。对于双盖板,两盖板厚度之和为一个被铆件(mm) d_0 —铆钉孔直径(mm),见表 3.3-30
铆钉数量 Z	铆钉剪切强度 $Z = \frac{4F}{m\pi d_0^2 [\tau]}$ 被铆件挤压强度 $Z = \frac{F}{d_0 \delta [\sigma_p]}$	m —每个铆钉的抗剪面数量 $[\sigma]$ 和 $[\sigma_p]$ —被铆件的许用拉(压)应力(MPa)和许用挤压应力(MPa),见表 3.3-34 $[\tau]$ —铆钉许用切应力(MPa),见表 3.3-34

注: 1. 按计算的面积 A , 确定被铆件厚度 δ 或构件尺寸选定后再定 δ 值。

2. 铆钉数量 Z , 取两式计算所得的大值, 但铆钉数不得少于两个。

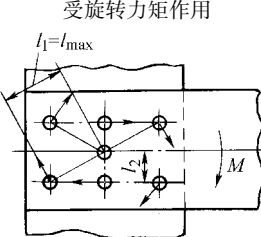
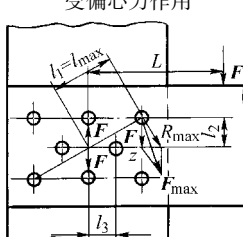
表 3.3-32 系数 ξ

λ	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	160	180	200
ξ	0.99	0.96	0.94	0.92	0.89	0.86	0.81	0.75	0.69	0.6	0.52	0.45	0.36	0.29	0.23	0.19

说明

柔度 $\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}$; μ —柱端系数; l —构件的计算长度(m); $i_{\min}$ —构件截面最小惯量半径(mm)

表 3.3-33 受力矩铆接的铆钉最大载荷的计算

形式及图例	铆钉的最大载荷	形式及图例	铆钉的最大载荷
受旋转载矩作用 	$F_{\max} = \frac{M l_{\max}}{l_1^2 + l_2^2 + \dots + l_i^2}$	受偏心力作用 	$F_{\max} = R_{\max} + \frac{F}{2}$ $R_{\max} = \frac{m l_{\max}}{l_1^2 + l_2^2 + \dots + l_i^2}$ $M = FL$

(3) 铆钉材料和铆接的许用应力 铆钉材料应有高塑性和不可淬性。铆钉常用材料有：①钢和合金 钢：Q215-A、Q235-A、ML2、ML3、10、15、ML10、ML15、1Cr18Ni9Ni；②铜 及其合金：T2、T3、H62、HPb59-1；③铝及铝合金：1035、2A01、2A10、5B05、3A21；④钛合金：TA2、TA3、TB2-1 等。

钢铆钉连接的许用应力见表 3.3-34。

表 3.3-34 钢结构连接的许用应力 (MPa)

被铆件	材 料		Q215-A	Q235-A	16Mn
	[σ]		140 ~ 155	155 ~ 170	215 ~ 240
	[σ_p]	钻孔	280 ~ 310	310 ~ 340	430 ~ 480
		冲孔	240 ~ 265	265 ~ 290	365 ~ 410
铆钉	材 料		10、15、ML10、ML15		1Cr18Ni9Ti
	[τ]	钻孔	145		230
		冲孔	115		
	[σ_p]		240 ~ 320		

注：1. 受变载荷时，表中数值降低 10% ~ 20%。
2. 被铆件之一厚度大于 16mm 时，表中数值取小值。

(4) 铆接结构中应注意的几个问题

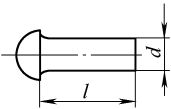
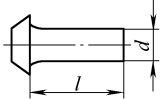
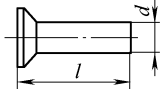
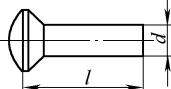
- ① 铆接结构应具有良好的开敞性，以方便操作。为保证铆接质量、提高铆接的疲劳寿命，设计时应为机械化铆接创造条件。
- ② 强度高的、厚的、刚性大的被铆件不应夹在强度低的被铆件之间，而应放在外侧。
- ③ 被铆接的零件不应多于 4 层。
- ④ 位于力作用线上的铆钉数量应不多于 6 个。
- ⑤ 铆钉镦头尽可能安排在材料强度高或厚度大的被铆件一侧。铆钉镦头交替安排在被铆接件的

- 两面亦可减少铆接变形。
- ⑥ 铆钉材料强度高或被铆件材料较软时、或镦头可能损伤构件时，在铆钉镦头处应加适当材料的薄垫圈。
- ⑦ 铆钉材料一般应与被铆件相同，以避免因线膨胀系数不同而影响铆接强度，或与腐蚀介质接触产生电化腐蚀。

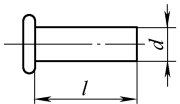
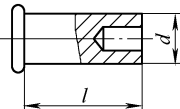
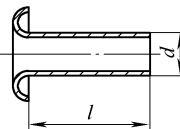
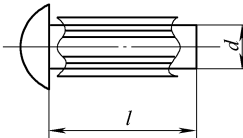
2.3 铆钉

2.3.1 常用铆钉的形式及应用 (表 3.3-35)

表 3.3-35 常用铆钉的形式

名称	图 示	标 准	规格范围		应 用
			<i>d</i> _{公称}	<i>l</i> _{公称}	
半圆头铆钉		GB 863.1—1986* (粗制)	12 ~ 36	20 ~ 200	用于承受较大横向载荷的铆缝，如金属结构中的桥梁、桁架等。应用最广
小半圆头铆钉		GB 863.2—1986* (粗制)	0.6 ~ 16	1 ~ 110	
平锥头铆钉		GB 864—1986 (粗制)	12 ~ 36	20 ~ 200	由于钉头肥大，能耐腐蚀、常用在船壳、锅炉水箱等腐蚀强烈处
		GB 868—1986*	2 ~ 10	3 ~ 110	
沉头铆钉		GB 865—1986* (粗制)	12 ~ 36	20 ~ 200	表面须平滑、受载不大的铆缝
		GB 869—1986*	1 ~ 16	2 ~ 100	
半沉头铆钉		GB 866—1986 (粗制)	12 ~ 36	20 ~ 200	表面须平滑、受载不大的铆缝
		GB 870—1986	1 ~ 16	2 ~ 100	

(续)

名称	图 示	标 准	规格范围		应 用
			$d_{\text{公称}}$	$l_{\text{公称}}$	
扁平头铆钉		GB 872—1986 *	1.2 ~ 10	1.5 ~ 50	用于金属薄板或皮革、帆布、木材、塑料等
扁平头半空心铆钉		GB 875—1986 *	1.2 ~ 10	1.5 ~ 50	用于非金属材料结构
空心铆钉		GB 876—1986 *	1.4 ~ 6	1.5 ~ 15	重量轻、钉头弱、用于受力不大的非金属材料、如用于联接塑料、帆布、皮革等
标牌铆钉		GB 827—1986 *	1.6 ~ 5	3 ~ 20	用于铆标牌

注：有 * 为商品品种、应优先选用。

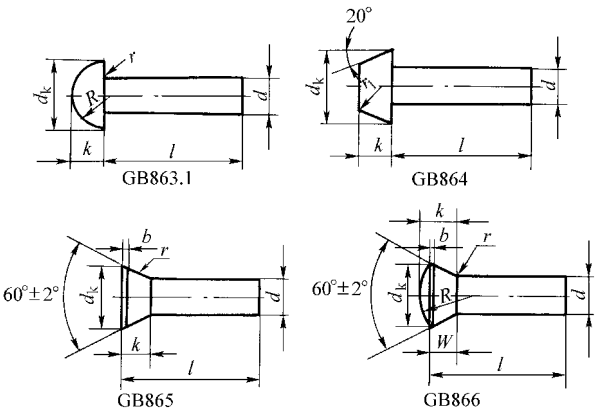
2.3.2 铆钉标准元件 (表 3.3-36 ~ 表 3.3-41)

表 3.3-36 半圆头铆钉 (粗制) (摘自 GB 863.1—1986)、平锥头铆钉 (粗制)

(摘自 GB 864—1986)、沉头铆钉 (粗制) (摘自 GB 865—1986)、

半沉头铆钉 (粗制) (摘自 GB 866—1986)

(mm)



标记示例：

公称直径 $d=12\text{mm}$ 、公称长度 $l=50\text{mm}$ 、材料为 ML2、不经表面处理的半圆头铆钉：铆钉 12 × 50GB 863.1—1986

公称直径 $d=12\text{mm}$ 、公称长度 $l=50\text{mm}$ 、材料为 ML2、不经表面处理的平锥头铆钉：铆钉 12 × 50GB 864—1986

公称直径 $d=12\text{mm}$ 、公称长度 $l=50\text{mm}$ 、材料为 ML2、不经表面处理的沉头铆钉：铆钉 12 × 50GB 865—1986

公称直径 $d=12\text{mm}$ 、公称长度 $l=50\text{mm}$ 、材料为 ML2、不经表面处理的半沉头铆钉：铆钉 12 × 50GB 866—1986

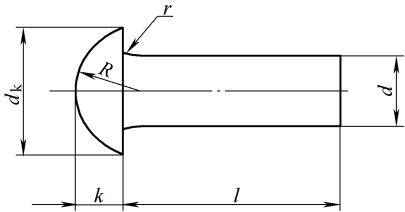
(续)

<i>d</i> 公称		12	(14)	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36
GB 863.1 —1986	<i>d_k</i> max	22	25	30	33.4	36.4	40.4	44.4	49.4	54.0	63.8
	<i>k</i> max	8.5	9.5	10.5	13.3	14.8	16.3	17.8	20.2	22.2	26.2
	<i>R</i> ≈	11	12.5	15.5	16.5	18	20	22	26	27	32
GB 864 —1986	<i>d_k</i> max	21	25	29	32.4	35.4	39.9	41.4	46.4	51.4	61.8
	<i>k</i> max	10.5	12.8	14.8	16.8	17.8	20.2	22.7	24.7	28.2	34.6
	<i>r₁</i> max	2					3				
GB 865 —1986	<i>d_k</i> max	19.6	22.5	25.7	29	33.4	37.4	40.1	44.4	51.4	59.8
	<i>k</i> ≈	6	7	8	9	11	12	13	14	17	19
GB 866 —1986	<i>d_k</i> max	19.6	22.5	25.7	29	33.4	37.4	40.4	44.4	51.4	59.8
	<i>k</i> ≈	8.8	10.4	11.4	12.8	15.3	16.8	18.3	19.5	23	26
	<i>w</i> ≈	6	7	8	9	11	12	13	14	17	19
	<i>R</i> ≈	17.5	19.5	24.7	27.7	32	36	38.5	44.5	55	63.6
<i>b</i>		0.6				0.8					
<i>r</i>		0.5					0.8				
<i>l</i> 范 围	商品规格范围	GB 863.1—1986	20 ~ 90	22 ~ 100	26 ~ 110	32 ~ 150	32 ~ 150	38 ~ 180	52 ~ 180	55 ~ 180	58 ~ 200
		GB 865—1986	20 ~ 75	20 ~ 100	24 ~ 100	28 ~ 150	30 ~ 150	38 ~ 180	50 ~ 180	55 ~ 180	65 ~ 200
	通用规格范围	GB 864—1986	20 ~ 100	20 ~ 100	24 ~ 110	30 ~ 150	30 ~ 150	38 ~ 180	50 ~ 180	58 ~ 180	70 ~ 200
		GB 866—1986	20 ~ 75	20 ~ 100	24 ~ 100	28 ~ 150	30 ~ 150	38 ~ 180	50 ~ 180	55 ~ 180	65 ~ 200
<i>l</i> 系列公称尺寸		20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 35, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 52, 55, 58, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200									

注:尽可能不采用括号内规格。

表 3.3-37 半圆头铆钉(摘自 GB 867—1986)

(mm)



标记示例:

公称直径 $d = 8\text{mm}$, 公称长度 $l = 50\text{mm}$, 材料为 ML2, 不经表面处理的半圆头铆钉:

铆钉 8 × 50 GB 867—1986

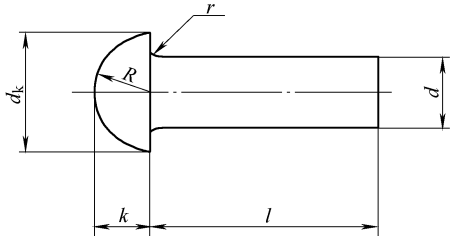
<i>d</i> 公称	0.6	0.8	1	(1.2)	1.4	(1.6)	2	2.5	3	(3.5)	4	5	6	8	10	12	(14)	16
<i>d_{kmax}</i>	1.3	1.6	2	2.3	2.7	3.2	3.74	4.84	5.54	6.59	7.39	9.09	11.35	14.35	17.35	21.42	24.42	29.42
<i>k</i> max	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.2	1.4	1.8	2	2.3	2.6	3.2	3.84	5.04	6.24	8.29	9.29	10.29
<i>R</i> ≈	0.58	0.74	1	1.2	1.4	1.6	1.9	2.5	2.9	3.4	3.8	4.7	6	8	9	11	12.5	15.5
<i>r</i> max	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
<i>l</i>	商品规格范围	—	—	—	—	—	3 ~ 16	5 ~ 20	5 ~ 26	7 ~ 26	7 ~ 50	7 ~ 55	8 ~ 60	16 ~ 65	16 ~ 85	—	—	—
	通用规格范围	1 ~ 6	1.5 ~ 8	2 ~ 8	2.5 ~ 8	3 ~ 12	3 ~ 12	—	—	—	—	—	—	—	—	20 ~ 90	22 ~ 100	26 ~ 110

(续)

<i>l</i> 系列 公称尺寸	1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 55, 58, 60, 62, 65, 68, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110
---------------------	--

注:尽可能不采用括号内的规格。

表 3.3-38 小半圆头铆钉(粗制)(摘自 GB 863.2—1986) (mm)



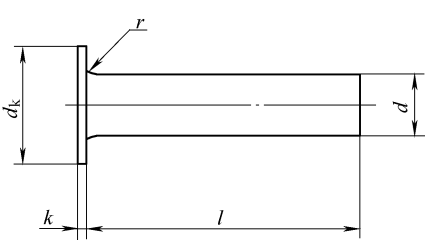
标记示例:
公称直径 $d=12\text{mm}$, 公称长度 $l=50\text{mm}$, 材料为 ML12, 不经表面处理的小半圆头铆钉:
铆钉 12×50 GB 863.2—1986

<i>d</i> 公称	10	12	(14)	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36
d_k max	16	19	22	25	28	32	36	40	43	48	58
<i>k</i> max	7.4	8.4	9.9	10.9	12.6	14.1	15.1	17.1	18.1	20.3	24.3
<i>r</i> max	0.5	0.6	0.6	0.8	0.8	1	1	1.2	1.2	1.6	2
<i>R</i>	8	9.5	11	13	14.5	16.5	18.5	20.5	22	24.5	30
<i>l</i> 商品规格范围	12~50	16~60	20~70	25~80	28~90	30~200	35~200	38~200	40~200	42~200	48~200
<i>l</i> 系列公称尺寸	12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 52, 55, 58, 60, 62, 65, 68, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200										

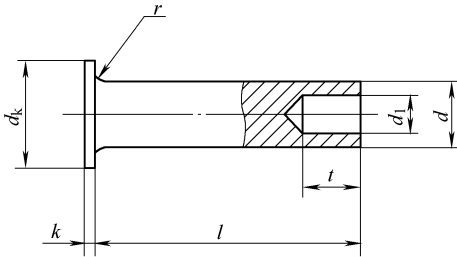
注:尽可能不采用括号内的规格。

表 3.3-39 扁平头铆钉(摘自 GB 872—1986)、扁平头空心铆钉(摘自 GB 875—1986)

(mm)



GB872



GB875

标记示例:
公称直径 $d=6\text{mm}$, 公称长度 $l=30\text{mm}$, 材料为 ML2, 不经表面处理的扁平头铆钉
铆钉 6×30 GB 872—1986
公称直径 $d=5\text{mm}$, 公称长度 $l=30\text{mm}$, 材料为 ML2, 不经表面处理的扁平头空心铆钉
铆钉 5×30 GB 875—1986

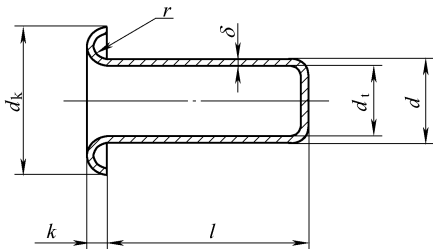
<i>d</i> 公称	(1.2)	1.4	(1.6)	2	2.5	3	(3.5)	4	5	6	8	10
d_k max	2.4	2.7	3.2	3.74	4.74	5.74	6.79	7.79	9.79	11.85	15.85	19.42
<i>k</i> max	0.58	0.58	0.58	0.68	0.68	0.88	0.88	1.13	1.13	1.33	1.33	1.63
d_1	黑色	0.66	0.77	0.87	1.12	1.62	2.12	2.32	2.62	3.66	4.66	7.7
	有色	0.66	0.77	0.87	1.12	1.62	2.12	2.32	2.52	3.46	4.66	7.7

(续)

$t_{\max}$	1.44	1.64	1.84	2.24	2.74	3.24	3.79	4.29	5.29	6.29	8.35	10.35
$r_{\max}$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
l 商品规格范围	1.5~6	2~7	2~8	2~13	3~15	3.5~30	5~36	5~40	6~50	7~50	9~50	10~50
l 系列公称尺寸	1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50											

- 注:1. 尽可能不采用括号内规格。
2. d_1 栏内“黑色”适用于钢制铆钉,“有色”适用于铝或钢制铆钉。
3. 短规格, t 尺寸有穿通危险时,允许适当减小。

表 3.3-40 空心铆钉 (摘自 GB 876—1986) (mm)

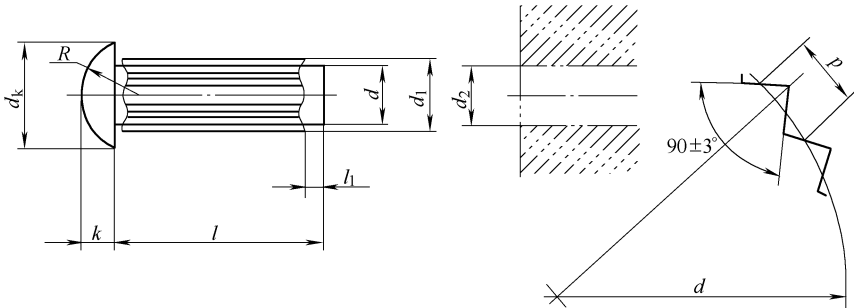


标记示例:
公称直径 $d = 3\text{mm}$, 公称长度 $l = 10\text{mm}$, 材料为 H62, 不经表面处理的空心铆钉:
铆钉 3 × 10 GB 876—1986

d 公称	1.4	(1.6)	2	2.5	3	(3.5)	4	6	8
$d_{k\max}$	2.6	2.8	3.5	4	5	5.5	6	8	10
$k_{\max}$	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.82	1.12	1.12
$d_{1\min}$	0.8	0.9	1.2	1.7	2	2.5	2.9	4	5
δ	0.2	0.22	0.25	0.25	0.3	0.3	0.35	0.35	0.35
$r_{\max}$	0.15	0.2	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3	0.5	0.7
l 商品规格范围	1.5~5	2~5	2~6	2~8	2~10	2.5~10	3~12	3~15	4~15
l 系列(公称)	1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15								

- 注:1. 尽可能不采用括号内的规格。
2. 技术条件按 GB 116—1986 规定。
3. 材料为 20 冷拔钢(镀锌、钝化),或 T2、H62、H96(钝化、镀锡、镀银)。

表 3.3-41 标牌铆钉 (摘自 GB 827—1986) (mm)



标记示例:
公称直径 $d = 3\text{mm}$, 公称长度 $l = 10\text{mm}$, 材料为 ML2, 不经表面处理的标牌铆钉:
铆钉 3 × 10 GB 827—1986

(续)

d 公称	(1.6)	2	2.5	3	4	5
d_k max	3.2	3.74	4.84	5.54	7.39	9.09
k max	1.2	1.4	1.8	2.0	2.6	3.2
d_1 min	1.75	2.15	2.65	3.15	4.15	5.15
p	0.72	0.70	0.72	0.72	0.84	0.92
l_1	1				1.5	
R	1.6	1.9	2.5	2.9	3.8	4.7
推荐 d_2 min	1.5	1.9	2.4	2.9	3.9	4.9
l 商品规格范围	3~6	3~8	3~10	4~12	6~18	8~20
l 系列(公称)	3,4,5,6,8,10,12,15,18,20					

注:尽量不采用括号内的规格。

2.4 盲铆钉

(1) 抽芯铆钉的力学性能等级与材料组合(表 3.3-42)

表 3.3-42 抽芯铆钉力学性能等级与材料组合(GB/T 3098.19—2004)

性能等级	钉体材料		钉芯材料	性能等级	钉体材料		钉芯材料
	种类	材料牌号	材料牌号		种类	材料牌号	材料牌号
06	铝	1035	7A03 5183	21	铜	T1	青铜
08	铝合金	5005、5A05	10、15、 35、45	22		T2	0Cr18Ni9
10		5052、5A02		23	黄铜	T3	1Cr18Ni9
11		5056、5A05		30	碳素钢	08F、10	10、15、 35、45
12		5052、5A02	40	镍铜合金	28-5-1.5 镍铜合金 (NiCu28-2.5-1.5)	7A03 5183	
15		5056、5A05	41			2Cr13	
20	铜	T1 T2 T3	10、15、 35、45	50	不锈钢	0Cr18Ni9 1Cr18Ni9	10、15 35、45
				51			0Cr18Ni9 2Cr13

注：1. 抽芯铆钉的性能等级由二位数字组成表示不同的钉体与钉芯材料组合或力学性能。不同的钉芯铆钉型式其力学性能不同。

2. 材料牌号仅是推荐采用。

(2) 开口型抽芯铆钉尺寸

2) 开口型平圆头抽芯铆钉(表 3.3-44)。

1) 开口型沉头抽芯铆钉尺寸(表 3.3-43)。

表 3.3-43 10、11 级开口型沿头抽芯铆钉及铆钉孔尺寸(摘自 GB/T 12617.1—2006) (mm)

1. 铆钉孔

a—加大的铆钉孔

铆钉孔直径		
公称直径 d	d_{h1}	
	min	max
2.4	2.5	2.6
3	3.1	3.2
3.2	3.3	3.4
4	4.1	4.2
4.8	4.9	5.0
5	5.1	5.2

2. 沉头抽芯铆钉

标记示例

公称直径 $d=4\text{mm}$ 、公称长度 $l=12\text{mm}$ 、钉体由铝合金(A1A)制造、钉芯由钢(St)制造、性能等级为10级的开口型沉头抽芯铆钉的标记:

抽芯铆钉 4×12 GB/T 12617.1—2006

钉体	d	公称	2.4	3	3.2	4	4.8	5
		max	2.48	3.08	3.28	4.08	4.88	5.08
		min	2.25	2.85	3.05	3.85	4.65	4.85
	d_k	max	5.0	6.3	6.7	8.4	10.1	10.5
		min	4.2	5.4	5.8	6.9	8.3	8.7
钉芯	k max		1	1.3	1.3	1.7	2	2.1
	d_m	max	1.55	2	2	2.45	2.95	2.95
	p	min	25			27		
盲区长度	b	max	$l_{\max}+3.5$	$l_{\max}+3.5$	$l_{\max}+4$	$l_{\max}+4$	$l_{\max}+4.5$	$l_{\max}+4.5$
铆钉长度 l			推荐的铆接范围					
公称 = min	max							
4	5		1.5~2.0	—	—	—	—	—
6	7		2.0~4.0	2.0~3.5	—	—	—	—
8	9		4.0~6.0	3.5~5.0	2.0~5.0	2.5~4.0	—	—
10	11		6.0~8.0	5.0~7.0	5.0~6.5	4.0~6.0	—	—
12	13		8.0~9.5	7.0~9.0	6.5~8.5	6.0~8.0	—	—
16	17		—	9.0~13.0	8.5~12.5	8.0~12.0	—	—
20	21		—	13.0~17.0	12.5~16.5	12.0~15.0	—	—
25	26		—	17.0~22.0	16.5~21.5	15.0~20.0	—	—
30	31		—	—	—	20.0~25.0	—	—

注：符合表 3.3-43 尺寸和表 3.3-42 规定的材料组合与性能等级的铆钉铆接范围，用最小和最大铆接长度表示。最小铆接长度仅为推荐值。某些使用场合可能使用更小长度。

表 3.3-44 20、21、22 级开口型平圆头抽芯铆钉及铆钉孔尺寸(摘自 GB/T 12618.5—2006)

1. 铆钉孔

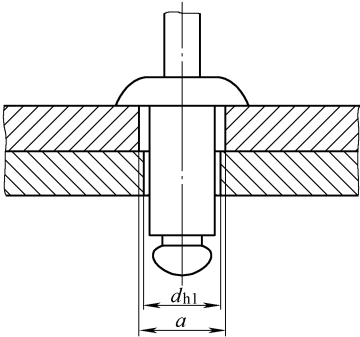
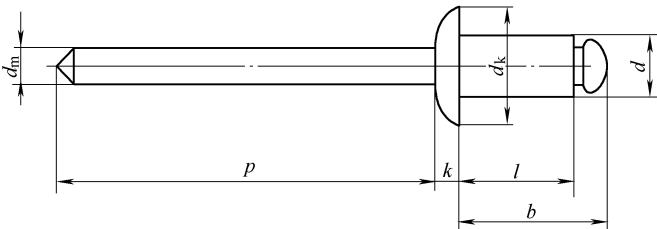


表 2 铆钉孔直径

公称直径 d	d_{h1}	
	min	max
3	3.1	3.2
3.2	3.3	3.4
4	4.1	4.2
4.8	4.9	5.0

2. 圆头抽芯铆钉



标记示例
公称直径 $d=4\text{mm}$ 、公称长度 $l=12\text{mm}$ 、钉体由铜 (Cu) 制造、钉芯由钢 (St) 制造、性能等级为 20 级的开口型平圆头抽芯铆钉的标记：
抽芯铆钉 4×12 GB/T 12618.5—2006

钉 体	d	公称	3	3.2	4	4.8
		max	3.08	3.28	4.08	4.88
		min	2.85	3.05	3.85	4.65
	d_k	max	6.3	6.7	8.4	10.1
		min	5.4	5.8	6.9	8.3
	k	max	1.3	1.3	1.7	2
钉 芯	d_m	max	2	2	2.45	2.95
	p	min	25			
盲区长度	b	max	$l_{\max} + 3.5$	$l_{\max} + 4$	$l_{\max} + 4$	$l_{\max} + 4.5$
铆钉长度 l			推荐的铆接范围			
公称 = min	max					
5	6		0.5 ~ 2.0		1.0 ~ 2.5	—
6	7		2.0 ~ 3.0		2.5 ~ 3.5	—
8	9		3.0 ~ 5.0		3.5 ~ 5.0	2.5 ~ 4.0
10	11		5.0 ~ 7.0		5.0 ~ 7.0	4.0 ~ 6.0
12	13		7.0 ~ 9.0		7.0 ~ 8.5	6.0 ~ 8.0
14	15		9.0 ~ 11.0		8.5 ~ 10.0	8.0 ~ 10.0
16	17		—		10.0 ~ 12.5	10.0 ~ 12.0
18	19		—		—	12.0 ~ 14.0
20	21		—		—	14.0 ~ 16.0

注：符合表 3.3-44 尺寸和表 3.3-44 规定的材料组合与性能等级的铆钉铆接范围，用最小和最大铆接长度表示。最小铆接长度仅为推荐值。某些使用场合可能使用更小值。

3 粘接

3.1 概述

3.1.1 粘接特点

粘接是利用胶粘剂直接将被连接件连接在一起的一种不可拆连接。它适用于异形、复杂、微小或极薄构件以及金属与金属或金属与非金属构件的连接。故胶接在机械制造、汽车、拖拉机、造船、化工、仪表、航空、宇航等工业部门得到日益广泛的应用。

粘接与铆接、焊接相比,其主要优点是:①重量较轻,一般可轻20%左右,材料的利用率高,②应力分布较均匀,因此,粘接接头抗疲劳性能好,③密封性能好,并能满足防锈、绝缘、透明等要求,④粘接工艺简单。其主要缺点是:①工作温度过高时,粘接强度将随温度的增加而显著下降,②抗剥离、抗弯曲及抗冲击振动性能差,③耐老化、耐介质性能较差,且不稳定,④粘接强度还不够高。

3.1.2 粘接设计要点

①正确选择胶粘剂。②合理选定接头形式。③恰当选取工艺参数。④使接头承受的作用力尽可能均匀分布在整個胶层上,尽可能地避免应力集中,如选择的胶粘剂的硬度应小于被粘材料的硬度;又如胶粘剂与被粘材料的线膨胀系数尽可能一致;再如适当缩短搭接长度,加大搭接宽度等措施。⑤接头受力方向与粘接强度最大方向应一致,尽量不使胶层承受扯离力和剥离力(见图3.3-9),因为在扯离力或剥力作用下极易使胶层损坏。同样,胶层在承受弯曲载荷或在严重的冲击振动下使用也很不利,它会使胶层扯离而失效(图3.3-10列举了防止剥离的保护措施)。因此,在接头设计时,尽可能使粘接

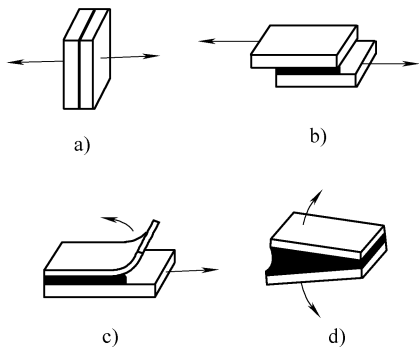


图 3.3-9 粘接接头的受力状况

a) 拉伸 b) 剪切 c) 剥离 d) 扯离

层承受正拉力、压力和剪切力。一般接头的抗拉强度约为抗剪强度的2~3倍,为扯离强度的4~5倍,而比剥离强度要大数十倍。⑥尽可能地避免应力集中。⑦当承受冲击、振动时应选择弹性模量小的胶粘剂;在变应力条件下的胶接件,应选用热膨胀系数与被粘接件的热胀系数相近的胶粘剂;⑧合理增大粘接层的面积,以提高接头的承载能力;⑨粘接层厚度应适当,一般在0.1~0.2mm时粘接强度最高,轴与毂粘接只需0.03mm。

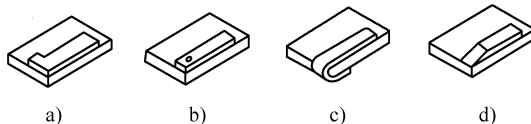


图 3.3-10 防止剥离的结构措施

a) 加宽 b) 加铆 c) 头上卷边 d) 削薄

3.2 胶粘剂的选择

3.2.1 胶粘剂的分类(表3.3-45)

表 3.3-45 按胶粘剂主要化学成分分类

有机胶	合成有机胶	热固性类	环氧树脂、酚醛树脂、脲醛树脂、不饱和聚酯、聚氨脂、丙烯酸脂、有机硅树脂、杂环高分子、氨基树脂
		热塑性类	乙烯基树脂、丙烯酸树脂、尼龙胶、纤维素、聚乙烯醇、芳杂环树脂、聚苯乙烯、 α -氰基丙烯酸脂、聚醋酸乙烯
		橡胶类	氯丁橡胶、丁腈橡胶、硅橡胶、聚硫橡胶、丁基橡胶
		复合型类	酚醛—聚乙烯醇缩醛、酚醛—氯丁橡胶、酚醛—丁腈橡胶、酚醛—环氧、环氧—聚酰胺、环氧—尼龙、环氧—丁腈、酚醛—氰基橡胶、环氧有机硅
	天然有机胶	动物胶	骨胶、虫胶、皮胶
		植物胶	淀粉胶、树脂胶
		矿物胶	沥青胶、地蜡质胶
无机胶	硅酸盐类：如硅酸钠胶、水玻璃		
	磷酸盐类：如磷酸氧化铜胶、磷酸铵胶		
	硫酸盐类：如石膏		
	金属氧化物：如氧化锌、氧化镁		

3.2.2 胶粘剂的选择

胶粘剂的选择应根据被粘材料的性质、接头的使

用要求、工作环境以及固化条件等方面诸因素来进行。

表 3.3-46 和表 3.3-47 是根据材料的性质选择胶粘剂作参考用。其中表 3.3-46 介绍了各种材料常用的胶粘剂，表 3.3-47 介绍了金属与非金属粘接时常用胶粘剂。

按接头的使用要求选择胶粘剂，可参考表 3.3-48 ~ 表 3.3-51 中有关内容。其中表 3.3-48 是按接头的承受载荷大小来选择胶粘剂；表 3.3-49 提供了部分金属粘接用胶粘剂的强度；表 3.3-50 及表 3.3-51 提供了耐高温、耐高低温的胶粘剂，供选用。

表 3.3-46 各种材料常用的胶粘剂

被粘接物材料名称	常 用 胶 粘 剂 名 称
钢铁	环氧—聚酰胺胶、酚醛胶、酚醛—丁腈胶、酚醛—氯丁胶、环氧胶、改性环氧胶、聚异氰酸酯胶、氨基丙烯酸酯胶，不饱和聚酯胶、丙烯酸聚酯胶、有机硅胶粘剂、环氧—缩醛胶、环氧—尼龙胶、环氧—聚硫胶、无机胶第二代丙烯酸酯胶、厌氧胶
铜及铜合金	酚醛—缩醛胶、酚醛—丁腈胶、环氧—聚酰胺、环氧—丁腈胶、 α -氰基丙烯酸酯胶、不饱和聚酯胶、厌氧胶、氯丁—酚醛胶、聚氨酯胶
铝及铝合金	环氧—聚酰胺胶、环氧—缩醛胶、环氧—丁腈胶、环氧—脂肪胺胶、酚醛—缩醛胶、酚醛—丁腈胶、 α -氰基丙烯酸酯胶、聚氨酯胶、氯丁—酚醛胶
镍、铬、不锈钢	酚醛—丁腈胶、环氧胶、改性环氧胶、聚氨酯胶、杂环高分子胶、有机硅胶、环氧—聚酰胺胶
钛及其合金	环氧—聚酰胺胶、酚醛—缩醛胶、第二代丙烯酸酯胶、酚醛—丁腈胶、环氧胶、改性环氧胶、杂环高分子胶、酚醛—有机硅胶、聚酰亚胺胶、聚苯并咪唑胶
镁及镁合金	酚醛—缩醛胶、酚醛—丁腈胶、酚醛—氯丁胶、环氧胶、改性环氧胶、氨基丙烯酸酯胶、聚氨酯胶、不饱和聚酯胶、丙烯酸聚酯胶、环氧—聚酰胺胶
玻璃钢(环氧、酚醛、不饱和聚酯)	改性环氧胶、改性酚醛胶、第二代丙烯酸酯胶、聚氨酯胶、 α -氧基丙烯酸酯胶、不饱和聚酯树脂胶、聚酰亚胺胶
玻璃	韧性环氧树脂胶、聚氨酯胶、有机硅胶、酚醛—丁腈胶、醛酚—缩醛胶、快固丙烯酸酯胶、聚醋酸乙烯酯乳液、丙烯酸酯乳液、聚乙烯醇缩醛胶、氯丁—酚醛胶、 α -氰基丙烯酸酯胶
陶瓷	改性环氧树脂胶、快固丙烯酸酯胶、 α -氰基丙烯酸酯胶、有机硅胶、改性酚醛胶、虫胶、无机胶
混凝土	室温固化环氧树脂胶、氯丁—酚醛型胶、醇溶型聚酯乙烯胶、改性丙烯酸酯乳液胶、改性 VAE 乳液胶
木(竹)材	脲醛树脂胶、三聚氰胺甲醛树脂胶、白乳胶、环氧树脂胶、不饱和聚酯树脂胶、氯丁橡胶胶、醋酸乙烯—丙烯酸丁酯共聚乳液
复合材料(其性能优异，质轻、高强，比强为钢的 8 倍、粘接是它的重要连接方法)	①一般热固性树脂复合材料用胶粘剂为： 改性环氧树脂胶、改性酚醛树脂胶、快固丙烯酸酯结构胶、聚氨酯胶、反应型热熔胶 ②热塑性复合材料用胶粘剂为： 聚氨酯胶、改性环氧树脂胶、快固丙烯酸酯胶、 α -氰基丙烯酸酯胶
织物	①天然织物(如棉、毛麻、丝织品)可用：天然胶乳、天然橡胶胶、氯丁橡胶胶、丁腈橡胶胶、聚氨酯胶、聚氨酯热熔胶 ②尼龙织物可用：聚氨酯胶、聚氨酯乳胶、多元接支氯丁胶、聚酰胺热熔胶
皮革	氯丁胶、聚氨酯胶、热熔胶
胶(电)木	环氧—脂肪胺胶、环氧—酚醛胺胶、酚醛—缩醛胶、 α -氰基丙烯酸酯胶

(续)

被粘接物材料名称	常 用 胶 粘 剂 名 称
醋酸纤维素	溶液胶、聚氨酯胶、磷干胶、酚醛—丁腈、氯丁—酚醛
有机玻璃	α —氰基丙烯酸酯胶、聚氨酯胶、第二代丙烯酸酯胶
聚苯乙烯	磷干胶、环氧胶、聚氨酯胶、 α —氰基丙烯酸酯胶
ABS	α —氰基丙烯酸酯胶、第二代丙烯酸酯胶、聚氨酯胶、不饱和聚酯胶
硬聚氯乙烯	环氧胶、聚氨酯胶、过氯乙烯胶、酚醛—氯丁胶、第二代丙烯酸酯胶
软聚氯乙烯	聚氨酯胶、第二代丙烯酸酯胶、PVC 胶、压敏胶
聚碳酸酯	不饱和聚酯胶磷干胶、环氧胶、聚氨酯胶、第二代丙烯酸酯胶
聚甲醛	环氧—聚酰胺胶、聚氨酯胶、 α —氰基丙烯酸酯胶、快固改性丙烯酸酯胶、酚醛—丁腈胶、改性环氧胶
尼龙	聚乙烯醇缩醛、改性环氧胶、环氧—聚酰胺胶聚氨酯胶
涤纶	氯丁—酚醛胶、聚酯胶
聚矾	压敏胶、 α —氰基丙烯酸酯胶、第二代丙烯酸酯胶、聚氨酯胶、不饱和聚酯胶
聚乙(丙)烯	环氧—聚硫胶、环氧—聚酰胺胶、酚醛—丁腈胶、聚氨酯胶、氯丁—酚醛胶、快固丙烯酸酯胶、 α —氰基丙烯酸酯胶 不经过特殊的表面处理可直接进行的粘接的胶粘剂有：EVA 型热熔胶、丙烯酸酯压敏胶、热熔压敏胶、RTV 硅橡胶
聚四氟乙烯	氟塑料胶、环氧—低分子聚酰胺胶、环氧—聚硫—低分子聚酰胺胶、聚氨酯胶、酚醛—缩醛胶、酚醛—丁腈胶
天然橡胶	氯丁胶、丁腈胶、氯磺化聚乙烯胶、硅橡胶胶、天然橡胶粘结剂、聚氨酯胶
氯丁橡胶	氯化橡胶胶粘剂、铁锚 101、J-93、JX-15、FN-303、841、801、825
丁腈橡胶	聚氨酯胶、铁锚 705、铁锚 706、XY403、J-87、JX-12、XY503
丁苯橡胶	聚氨酯胶、氯丁—酚醛胶、 α —氰基丙烯酸酯胶
硅橡胶	南大 703、南大 705、706、708、HC-703

表 3.3-47 金属与非金属材料粘接常用胶粘剂

被粘材料	胶 粘 剂
金属与玻璃	101 聚氨酯胶、 α —氰基丙烯酸酯胶、光固化胶、快固丙烯酸酯胶、热熔胶、需氧胶、厌氧胶、硅酮结构胶、聚硫橡胶胶
金属与木材	改性环氧树脂胶、氯丁橡胶胶、聚醋酸乙烯酯胶
金属与玻璃钢	改性环氧胶、改性酚醛胶、快固丙烯酸酯胶(302)、 α —氰基丙烯酸酯胶
金属与尼龙	聚氨酯胶(铁锚 101-F)、间苯二酚甲醛—丁腈胶、改性环氧胶、聚酰胺热熔胶、反映性热熔胶
金属与有机玻璃	502 胶、铁锚 101-L、302、WD1001、J-11
金属与混凝土	JGN 建筑结构胶、JHF-R 修补胶、环氧树脂胶、聚酯树脂胶、氯丁橡胶胶
金属与纤维	氯丁橡胶胶
金属与皮革	环氧氯丁橡胶胶、丁腈橡胶胶
金属与天然橡胶	天然橡胶与金属冷粘的胶粘剂有：801、841、FN-303、铁锚 101、 α —氰基丙烯酸酯胶
金属与丁腈橡胶	铁锚 705、706、J-15、J-201、RM-1

(续)

被粘材料	胶 粘 剂
金属与聚氨酯橡胶	铁锚 101、RM-1
金属与硅橡胶	钛酸异丙酯偶联剂与甲基硅树脂配成的胶粘剂，可用于硅橡胶与多种金属的粘接
金属与氟橡胶	环氧树脂胶、快固丙烯酸酯胶、虫胶的乙醇溶液
金属与 ABS	502、302、WD1001、铁锚 101-F、铁锚 1090
金属与聚苯乙烯	快固改性丙烯酸酯胶、 α -氰基丙烯酸酯胶、SBS 胶、聚氨酯胶
钢铁与聚四氟乙烯	环氧—低分子聚酰胺胶、聚氨酯胶、快固丙烯酸酯胶
合金铝与聚乙(丙)烯	HY-914、铁锚 1120、899、SBS 胶
钢板与硬聚氯乙烯板	铁锚 116、841、FN-303、铁锚 301、302、改性丙烯酸酯胶
金属与软聚氯乙烯板	接枝氯丁胶 + 列克纳、快固丙烯酸酯胶

表 3.3-48 按外力大小选择胶粘剂

粘接件的特点	胶粘剂的选择		
	类型	组成	选择实例
必须保持稳定持久和高强度粘接	结构型 ^① (结构型胶多为混合型)	基本上以热固性树脂为基料	环氧—多胺胶、环氧—聚酰胺胶、环氧—聚硫胶、环氧—丁腈胶、环氧—缩醛胶、环氧树脂—尼龙、酚醛—环氧胶、酚醛—丁腈橡胶胶、酚醛—氯丁胶、环氧聚砜胶、酚醛—有机硅胶、结构厌氧胶、 α -氰基丙烯酸酯胶、第二代丙烯酸酯胶、聚氨酯—聚脲胶、聚氨酯—环氧树脂—聚脲胶、酚醛—缩醛
不要求要保持长久的粘接或者对粘接强度要求不高	非结构 ^② 型	热塑性树脂	氯丁橡胶胶、丁腈橡胶胶 压敏胶、丁基橡胶胶、丁苯橡胶胶、SBS 胶、乳液胶溶液胶、聚乙烯醇缩醛胶热熔胶

- ① 结构型胶用于粘接长期受力的部件、粘接接头能承受较大的应力，并且有良好的综合性能。
- ② 非结构型胶在正常使用下有一定的粘接强度，但在高温或重载时，性能迅速下降，用于非受力或受力较小的构件。

表 3.3-49 部分金属粘接用胶粘剂的强度

胶粘剂	抗剪强度/MPa	T—剥离强度/kN · m ⁻¹	不均匀扯离强度/kN · m ⁻¹
环氧—丁腈	27.5 ~ 39.2	3 ~ 6	30 ~ 90
环氧—酚醛	22.6	< 1	< 10
环氧—聚硫	19.6 ~ 30.9	2 ~ 3	30 ~ 50
环氧—尼龙	27.5 ~ 44.9	9 ~ 27	40 ~ 100
环氧—聚砜	49.0 ~ 63.7	2 ~ 3	80 ~ 100
环氧—有机硅	14.7 ~ 24.5	1 ~ 2	10 ~ 20
酚醛—缩醛	13.6 ~ 34.9	4 ~ 8	3 ~ 70
酚醛—丁腈	19.6 ~ 34.3	5 ~ 10	50 ~ 100
酚醛—有机硅	6 ~ 19	5 ~ 8	10 ~ 18
酚醛—氯丁	17.2 ~ 20.7	2 ~ 5	—
聚氨酯	17.6 ~ 36.3	2 ~ 8	30 ~ 60
α -氰基丙烯酸酯	19.6 ~ 23.5	< 0.5	—
厌氧	17.6 ~ 19.6		
第二代丙烯酸酯	24.5 ~ 34.6	9	50 ~ 70
无机	60 ~ 80	—	—

表 3.3-50 耐低温胶粘剂

胶粘剂	使用温度范围/℃	特点及用途
DW-1 耐超低温胶	-196 ~ 常温	在低温下有较好的粘接强度，适用于玻璃钢、陶瓷及铝合金的粘接，也可用于制氧机的修补、密封。使用方便
DW-3 耐超低温胶	-269 ~ +60	胶液流动性好，贮存期长，可在室温预固化，粘接强度高和韧性好 用于在超低温下使用的各种金属、非金属材料的粘接，还可用于膨胀系数差别较大的两种材料的粘接
DW-4 耐超低温胶	-269 ~ +40	粘度比 DW-3 胶大，起始粘接力高，能室温固化、固化速度快，有较好的粘接强度，并具有优良的弹性 用于超低温下使用的金属与非金属材料的粘合，更适用快速粘接或修补的场合
HC-02 超低温胶	-269 ~ 常温	适用于铝、铜、钢等金属和非金属材料的粘接，亦可用于密封
NHJ-44 胶	-196 ~ 常温	适用于各种金属和非金属材料的粘接
672 超低温胶	-196 ~ +150	用于铝、不锈钢、纯铜等金属的粘接
H-006	-195 ~ +150	固化温度低、耐辐照、耐高低温交变等优点，用于粘接铝、不锈钢及钛合金等，缺点：粘度大、成本高
铁锚 104 胶 (超低温用发泡型粘合剂)	-196 ~ 室温	无溶剂、耐低温性能优异、粘接时具有低的发泡性，能填充材料之间的缝隙 广泛用于泡沫塑料与金属或非金属的粘接，如保冷管道中的泡沫材料与金属管道的粘接
H-01 低温环氧胶	-196 ~ +200	用于粘接金属及非金属

表 3.3-51 耐高温及既耐高温又耐低温的胶粘剂

胶粘剂	最高使用温度或最高、最低使用温度/℃	特点及用途
C-2 耐高温无机胶	1730	陶瓷等高温粘接、高温仪表、电子、测温元件的包覆和灌封
C-3 耐高温无机胶	1460	金属材料耐高温粘接、耐高温金属部件的粘接及灌封
C-4 耐高温无机胶	1210	用于导热胶、耐高温铸件凹陷填补和修复、铜和不锈钢件的耐高温粘接
CPS 氧化铜耐高温无机胶	980	金属材料的轴套粘接，刀具、量具的粘接
TS812 高温结构胶	-196 ~ +780	结合强度高、韧性好、应力分布均匀、对零件无热影响和热变形、施工方便 套接强度高、用于金属、陶瓷的自粘与互粘
YW-1 型无机胶粘剂	-196 ~ +600	用于各种金属切削刀具(包括石油、煤炭、地质用钻头)；各种专用精齿量具；冲压模及各种夹具、模具。铸件砂眼、气孔裂纹的粘补。其套接粘接所获得的粘接强度是环氧胶的 3 倍以上
MR-30 耐高温有机硅云母胶	500	有优良的高温性能、电绝缘性能和防潮性能，是电热、电器制品生产中最理想的电热支撑绝缘材料
KH-505 高温胶	400	耐高温、耐水和大气老化，对金属无腐蚀性。用于高温下金属、玻璃、陶瓷的粘接，并适用于螺栓的紧固和密封

(续)

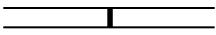
胶粘剂	最高使用温度或最高、最低使用温度/℃	特点及用途
聚酰亚胺胶 (如国产牌号 P-32、P-36)	- 180 ~ + 350	高温下强度好、可耐温度交变、适用于粘接金属材料
GT-1 有机硅橡胶胶	- 120 ~ + 350	耐老化、耐酸碱、电绝缘性良好、耐高温 用于粘接玻璃、水泥、陶瓷及金属等
J-163 耐高温胶	- 55 ~ + 350	耐高温、耐老化、广泛用于各种耐热金属、非金属的粘接
J-131 耐高温高强度胶	- 55 ~ + 300	用于耐高温、高强度金属、非金属结构件的粘接 在 - 55 ~ + 300℃ 有较高的剪切强度、耐热、耐老化性能优异
硅橡胶胶	- 60 ~ + 250	用于粘接金属、橡胶、塑料、陶瓷玻璃、混凝土 耐热、耐寒性优良，良好的耐水性、耐介质性 抗冲击振动、电绝缘性优良
酚醛—丁腈胶 (如国产牌号 JX-10 结构胶)	- 60 ~ + 250	用于铝合金、钢、不锈钢、玻璃钢、工程塑料等结构材料及蜂窝结构材料的粘接
环氧有机硅胶	+ 200 ~ + 300	耐高温、耐水、长期耐温 200 ~ 300℃ 用于粘接金属、陶瓷、热固性塑料
环氧—酚醛 (如国产牌号 J123)	- 253 ~ + 260	耐高温、耐热老化、高低温循环性能好、耐大气老化、耐水、耐油、而高蠕变，脆性很大、剥离强度很低 用于粘接蜂窝夹层结构
环氧—双马胶	- 60 ~ + 232	耐高温、韧性好、耐老化、高强度、耐辐射、膨胀系数小 用于飞机发动机制造和耐热电子元件粘接
J-168 室温固化耐高温胶	200	耐高温、耐介质、耐热老化性能优异。长期耐热 200℃ 广泛用于耐高温金属，非金属材料的粘接。用于飞机不可拆卸螺栓的固定
ZS-JI RTV 有机硅胶	- 40 ~ + 200	除能粘接各种金属材料外，对于非金属，如陶瓷、玻璃、酚醛、ABS、丙烯酸树脂等均有良好的粘接力、并具有耐高低温、耐老化、抗腐蚀等特点

3.3 粘接接头的结构型式

是各种各样的，但归纳起来都是基本型式的组合。
因此，接头的基本型式是设计接头的基础。

(1) 接头的基本型式 在实际中、接头的型式 接头基本型式的划分见表 3.3-52。

表 3.3-52 粘接接头的基本型式

接头名称	简 图	特点及应用
对接		粘接面在被粘接零件的端面 热塑性塑料制品的溶剂或热熔粘接可采用这种形式的对接 对于破损件的修复也很有用，因为它能保持原来形状
斜接		斜接是将两被粘物的端面制成一定角度的斜面，斜接角一般不大于 45°、斜接长度不小于被粘物厚度的 5 倍斜面。由于粘接面积的增大，从而有效地提高了纵、横向的承载能力 皮带运输带、输送管道可选择这种接头

(续)

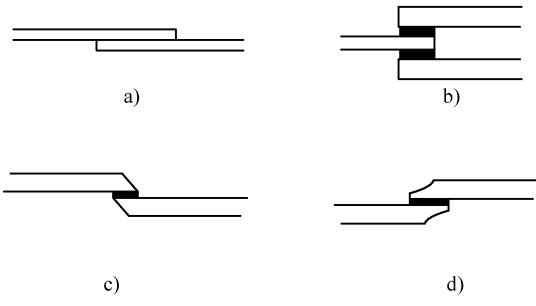
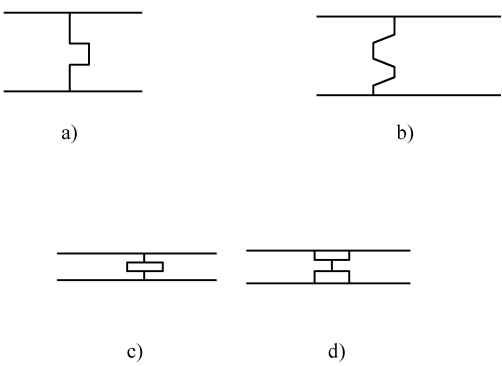
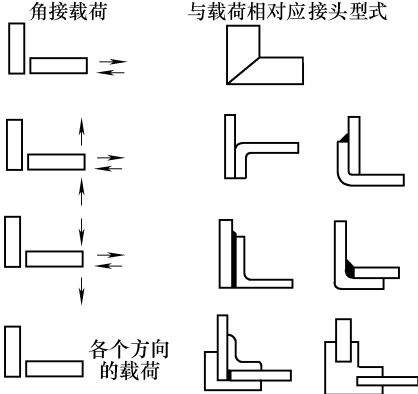
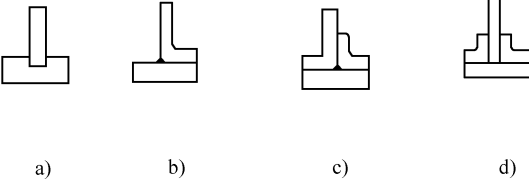
接头名称	简 图	特点及应用
搭接		两个被粘物端部重合粘接在一起，称之搭接。搭接主要承受剪切力，是应用较多的粘接接头形式 通常搭接接头长度不小于被粘物厚度的 4 倍，不大于宽度的 0.5 ~ 1 倍
角接		两被粘物的主表面端部形成一定角度(一般为直角)的粘接称为角接 由于粘接面积小，承载能力低，故只有经过组合补强，才可使用
嵌接		嵌接是被粘物嵌入另一被粘物的槽内 嵌接接头受力情况好，粘接面积大，能够获得较高的粘接强度 工艺性能优良
T 形接		T 形接头是两被粘物的主要表面呈 T 形粘接，单纯的 T 形接头粘接强度低，不宜采用，只有在采用一些补强措施后方可使用
套接		套接接头所承受的作用力基本上是纯剪力，粘接面积也较大，故强度高。搭接长度一般不超过管子外径的 1.9 ~ 2.0 倍。套管间隙值不超过 0.3mm。也可用下面经验公式计算插入深度 L： $L = (0.8D + 6)$ 式中 L—插入管深度(mm) D—插入管外径(mm)
面接		由两个被粘物主表面粘接在一起所形成的接头

(2) 常用的接头型式 根据实际情况，可将基 了各种常见的接头。
本接头型式组合成各种型式的接头，表 3.3-53 列举

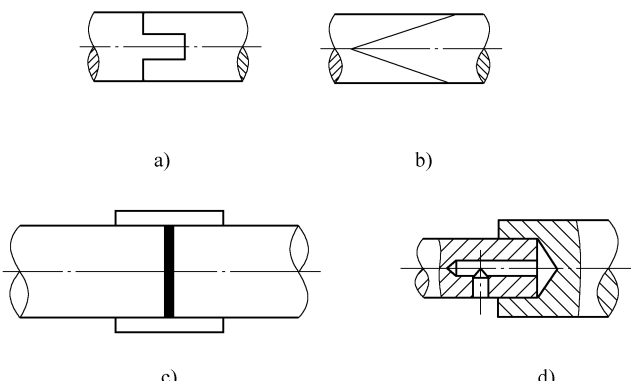
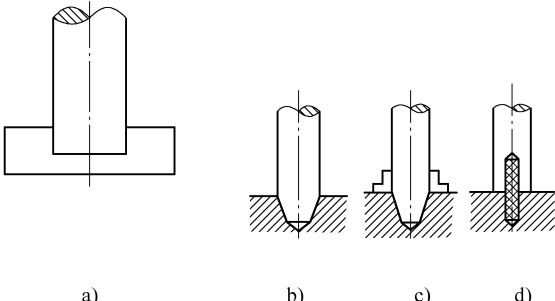
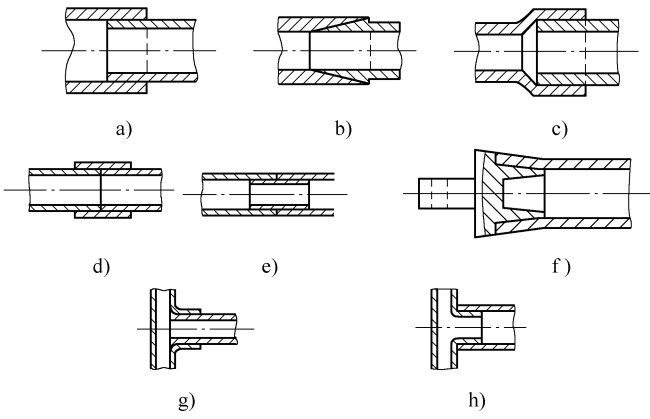
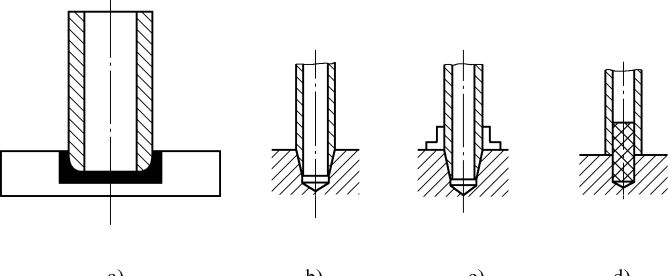
表 3.3-53 各种常用的粘接接头

接头及接头型式	接头简图	说 明
平板粘接接头	a) b) c) d)	图 a 结构简单、粘接面积小、强度低。一般用于破损件的修复 图 b 单盖板对接承载能力提高 图 c 双盖板对接承载能力提高大、耐弯曲、耐压应力 图 d 增加了粘接面积，对构件受压有利，需机械加工
	较好 a) 双斜接 较好 b) c) d)	增大了粘接面积，提高了承载能力 图 d 增加上、下盖板承载能力进一步提高 斜面加工要求高

(续)

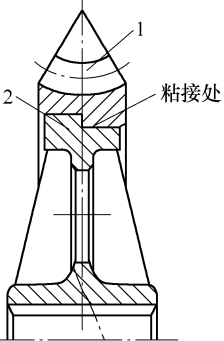
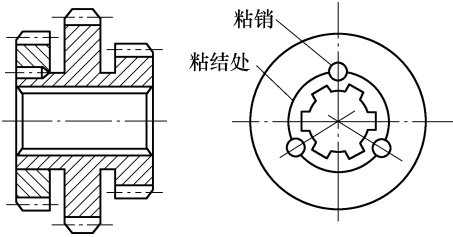
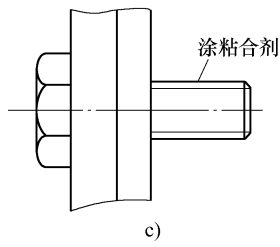
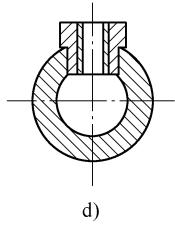
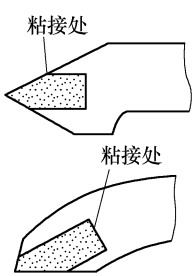
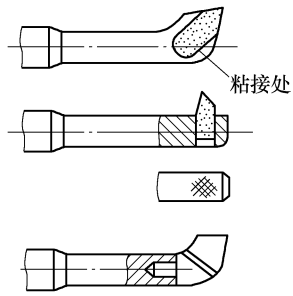
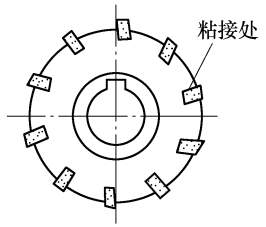
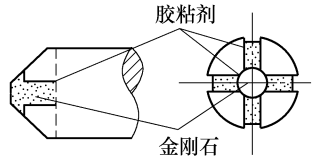
接头及接头型式	接头简图	说 明
平板粘接接头	 a) b) c) d)	图 a 单搭接是常用的搭接形式, 结构简单粘接容易、抗剪强度高于对接 图 b 比图 a 更耐弯曲应力 图 c 及图 d 减小端部应力集中
	 a) b) c) d)	当被粘板件过厚不宜采用搭接, 而对接又因其粘接面积过小, 承载能力低也不能采用, 这时可用粘接面积大, 接头受力情况好的嵌接或镶块嵌接。如图 a、图 b 为嵌接、图 c 及圆线为镶块嵌接) 所示, 其缺点是加工费用高
角接	角接载荷 与载荷相对应接头型式  各个方向的载荷	图中箭头表示外力。第 2 列和第 3 列图表示在该外力作用下相应的接头设计型式
T 接	 a) b) c) d)	采用嵌接接头及支撑接头增加粘接面积 图 a 及图 d 接头具有较好的强度性能

(续)

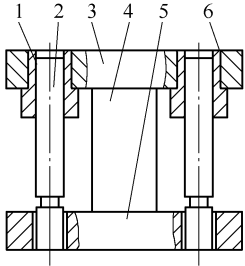
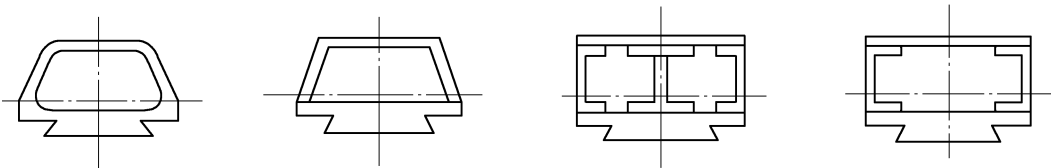
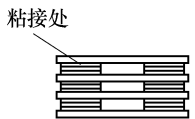
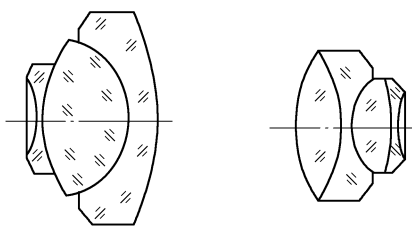
接头及接头型式	接头简图	说 明
圆棒粘接接头	 a) b) c) d)	图 a 及图 b 为棒材的嵌接 图 c 及图 d 为棒材的套接
	 a) b) c) d)	图 a ~ 图 c 为嵌件, 图 d 为镶接
圆管粘接接头	 a) b) c) d) e) f) g) h)	图 a 及图 c ~ 图 h 主要适用于薄型管材的粘接 图 b 为切口斜套装, 它是较为理想的接头型式, 其锥形接触斜面利于加压固化。当斜面长度 l 与管壁厚度 t 之比 $l/t \geq 10$ 时, 能最充分地利用材料的强度 当两个管子的材料不同时, 宜将热胀系数大的作为外套管, 固化后将使粘接强度增强
	 a) b) c) d)	图 a ~ 图 c 为嵌接, 图 d 为镶接

3.4 粘接与胶补实例(表 3.3-54)

表 3.3-54 粘接与胶补实例

名称	应用实例及说明
一般机械零件	①蜗轮圈的粘接(图 a): 蜗轮圈与蜗轮座的配合部成阶梯形, 用以承受较大的轴向力, 粘后用蜗轮座的内孔定心, 车出蜗轮圈的齿坯, 再用蜗轮滚刀加工出蜗轮齿 ②三联齿轮的粘接(图 b): 因承受扭力较大, 故在粘缝处轴向粘入三个销钉, 以增强抗扭能力有些直径较大的阶梯轴或带法兰的轴, 均可采用类似的粘接形式 ④用于螺纹紧固件防松, 将胶粘剂, 如厌氧胶粘剂涂在螺纹旋合表面上, 固化后可以防松(图 c) ③螺纹套与管件粘接(图 d)  a) 蜗轮的粘接  b) 三联齿轮的粘接  c)  d)
金属切削刀具	粘接的切削刀具目前有陶瓷、硬质合金及金刚石刀具等(图 a~图 d)  a) 陶瓷刀具  b) 硬质合金车刀  c) 硬质合金铰刀  d) 金刚石刀具

(续)

名称	应用实例及说明	
高精度模架	冲压模模架要求高精度，模架制造不仅需要精密的加工设备，装配时，还要求熟练的工人操作，且质量往往还不稳定，生产效率也较低，改用无机胶粘接制造模架，可将上、下模孔改用粗加工，导柱、导套与上、下模孔由原来的过盈配合改为间隙配合（配合间隙为 0.3 ~ 0.4mm），所需精度由定位粘接来保证：首先定位粘接导柱，而后用导柱定位导套。上下模板间置一平行垫板，以保证上、下模板间的平行度。粘接后的模架精度可达 0.003 ~ 0.004mm	 用导柱定位粘接导套 1—导套 2—导柱 3—上模板 4—定位铁 5—下模板 6—粘接面
机床零件	下图是不同方法生产的铣床横臂，由于粘接便于加肋板和阻尼层，其动态性能与同样铸造结构相比提高 65% ~ 75%，成本是焊接结构的 67%	 铸造 焊接 粘接 粘接 铣床横臂断面
油压机上、下台面	2000t 油压机上、下台面采用厚钢板叠加粘合而成，以代替整锻、整铸或焊接 工艺过程：将被粘接的钢板刨平、喷砂和脱脂，而后涂环氧胶进行粘接，随之 60 ~ 80℃ 固化 2h，再在 80 ~ 100℃ 下保温 2h	
光学仪器	航测镜头三合件及四合件的胶合(图 a 及图 b)：选用光学光敏胶，在对中心胶合仪上，采用空间定向方法进行对中，以满足 0.002mm 的对中精度要求，而后再进行固化处理，使之完全粘接、固定	 a) 三块胶合透镜组 b) 四块胶合透镜组

(续)

名称	应用实例及说明
机械零件的修复	1. 机架、机座、泵体、气缸体、气缸盖、曲轴箱、蜗轮箱等大型机件、多为铸件，铸铁件在产生裂纹或断裂后，不易用焊接方法修复，采用粘接方法修补不仅质量可靠，而且成本低。图 a 及图 b 为粘接修复实例 a) 污水泵裂缝的修补 b) 断裂铸件的粘接 (带胶装入镶块，必要时还可在两端加螺钉固定) 2. 零件表面磨损或损伤的维修 例 1. 在大型矿山机械的结构设计中往往采用静态配合，这种静态配合的配合面在振动、冲击载荷的长期作用下，会发生相互咬合、磨损、造成设备的整体性下降，影响设备的正常运转，采用胶粘剂(如环氧聚胺)进行修补，可使静配合性质得到恢复 例 2. 空气锤缸体内表面被拉伤，出现一条宽 5~9mm、深 0.5~1mm、长 300mm 的拉痕，若按常规做法需要进行镗缸更换活塞和活塞环。费工费时。采用 AR-4 耐磨胶进行粘补，在较短时间内缸体内表面便得到恢复

第 4 章 弹 簧

1 螺旋弹簧

1.1 圆柱螺旋弹簧的型式、代号及参数系列

用冷卷或热卷制作的圆柱螺旋弹簧的端部结构

表 3. 4-1 端部结构型式及代号 (摘自 GB/T 23935—2009)

类型	代号	简 图	端部结构型式	类型	代号	简 图	端部结构型式
冷卷压缩弹簧 (Y)	Y I		两端圈并紧磨平 $n_z \geq 2$	拉伸弹簧 (L)	L III		圆钩环扭中心 (圆钩环)
	Y II		两端圈并紧不磨 $n_z \geq 2$		L IV		长臂偏心半圆钩环
	Y III		两端圈不并紧 $n_z < 2$		L V		偏心圆钩环
热卷压缩弹簧 (RY)	RY I		两端圈并紧磨平 $n_z \geq 1.5$		L VI		圆钩环压中心
	RY II		两端圈并紧不磨 $n_z \geq 1.5$		L VII		可调式拉簧
	RY III		两端圈制扁、并紧磨平 $n_z \geq 1.5$		L VIII		具有可转钩环
	RY IV		两端圈制扁、并紧不磨 $n_z \geq 1.5$		L IX		长臂小圆钩环
拉伸弹簧 (L)	L I		半圆钩环	扭转弹簧 (N)	N I		外臂扭转弹簧
	L II		长臂半圆钩环		N II		内臂扭转弹簧

型式及代号见表 3. 4-1。普通圆柱螺旋弹簧的尺寸系列见表 3. 4-2。根据材料直径 d 选取的弹簧旋绕比 C 的荐用值见表 3. 4-3。

(续)

类型	代号	简 图	端部结构型式	类型	代号	简 图	端部结构型式
扭转弹簧 (N)	NⅢ		中心距扭 转弹簧	扭转弹簧 (N)	NⅤ		直臂扭转 弹簧
	NⅣ		平行双扭 弹簧		NⅥ		单臂弯曲 扭转弹簧

- 注：1. n_z 是弹簧端部的支承圈数。
2. 拉伸弹簧结构形式推荐采用圆钩环扭中心。
3. 高强度油淬火—退火钢丝推荐采用 LⅦ和 LⅧ形式弹簧。
4. 扭转弹簧结构形式推荐采用外臂扭转弹簧、内臂扭转弹簧、直臂扭转弹簧。
5. 弹簧端部扭臂结构形式根据安装方法、安装条件的要求，可做成特殊的形式。

表 3.4-2 普通圆柱螺旋弹簧尺寸系列(摘自 GB/T 1358—2009)

弹簧材料 截面直径 d/mm	第一系列	0.1	0.12	0.14	0.16	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6
		0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.6	2	2.5	3	3.5	4	4.5
		5	6	8	10	12	15	16	20	25	30	35	40
		45	50	60									
	第二系列	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.18	0.22	0.28	0.32	0.55	0.65	1.4
		1.8	2.2	2.8	3.2	4.2	5.5	6.5	7	9	11	14	18
		22	28	32	38	42	55						
弹簧中径 D/mm		0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.4	1.6	1.8
		2	2.2	2.5	2.8	3	3.2	3.5	3.8	4	4.2	4.5	4.8
		5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	10	12	14
		16	18	20	22	25	28	30	32	38	42	45	48
		50	52	55	58	60	65	70	75	80	85	90	95
		100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	160
		170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280
		290	300	320	340	360	380	400	450	500	550	600	
有效圈数 $n/\text{圈}$	压缩弹簧	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75	4	4.25	4.5	4.75
		5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5
		11.5	12.5	13.5	14.5	15	16	18	20	22	25	28	30
	拉伸弹簧	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		14	15	16	17	18	19	20	22	25	28	30	35
		40	45	50	55	60	65	70	80	90	100		
自由高度 H_0/mm	压缩弹簧 (推荐选用)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30
		32	35	38	40	42	45	48	50	52	55	58	60
		65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
		130	140	150	160	170	180	190	200	220	240	260	280
		300	320	340	360	380	400	420	450	480	500	520	550
		580	600	620	650	680	700	720	750	780	800	850	900
		950	1000										

- 注：1. 本表适用于压缩、拉伸和扭转的圆截面圆柱螺旋弹簧。
2. 优先采用第一系列。
3. 拉伸弹簧有效圈数除按表中规定外，由于两钩环相对位置不同，其尾数还可为 0.25、0.5、0.75。

表 3.4-3 旋绕比 C 的荐用值
(摘自 GB/T 23935—2009)

材料直径 d/mm	0.2 ~ 0.5	>0.5 ~ 1.1	>1.1 ~ 2.5	>2.5 ~ 7.0	>7.0 ~ 16	>16
旋绕比 C	7 ~ 14	5 ~ 12	5 ~ 10	4 ~ 9	4 ~ 8	4 ~ 16

1.2 弹簧的材料、载荷类型及许用应力

弹簧常用的材料及其性能见表 3.4-4。工作温度对材料切变模量 G 和弹性模量 E 的影响见图 3.4-1 材料切变模量 G 和弹性模量 E 和温度关系曲线图。油淬火—回火弹簧钢丝按工作状态分为静态、中疲劳、高疲劳 3 类。钢丝按供货抗拉强度分为低强度、中强度和高强度 3 级。油淬火—回火弹簧钢丝的分类、代号和直径范围见表 3.4-5。代号与常用钢材牌号的对应关系见表 3.4-6。冷拉碳素弹簧钢丝和重要碳素弹簧钢丝抗拉强度见表 3.4-7。油淬火—回火弹簧钢丝的抗拉强度见表 3.4-8。弹簧用不锈钢丝力学性能见表 3.4-9。铍青铜线力学性能见表 3.4-10。铜

及铜合金线力学性能见表 3.4-11。

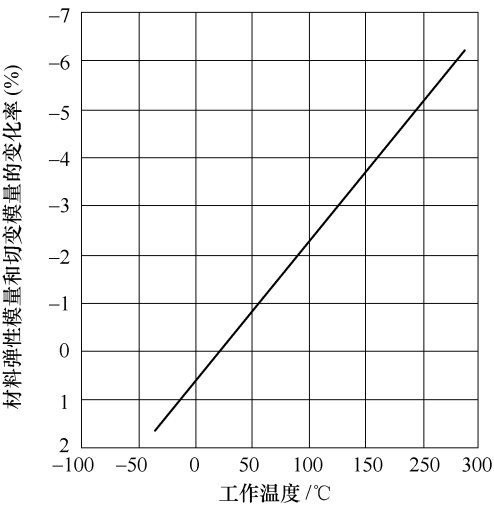


图 3.4-1 材料切变模量 G 、弹性模量 E 与温度关系曲线图

表 3.4-4 弹簧常用材料(摘自 GB/T 23935—2009)

标准名称	牌号 /组别	直径规格 /mm	切变模量 G/GPa	弹性模量 E/GPa	推荐使用温 度范围/ $^{\circ}\text{C}$	性 能
冷拉碳素弹簧钢丝 GB/T 4357	SL、SM、SH、 DM、DH	SL 型:1.00 ~ 10.00 SM 型:0.30 ~ 13.00 SH 型:0.30 ~ 13.00 DM 型:0.08 ~ 13.00 DH 型:0.05 ~ 13.00	78.5	206	-40 ~ 150	强度高、性能好。钢丝按抗拉强度分类为低、中等和高的抗拉强度分别用符号 L、M 和 H 代表。按弹簧载荷特点分类为静载荷和动载荷,分别用 S 和 D 代表
重要用途碳素弹簧钢丝 YB/T 5311	E、F、G	E 组:0.08 ~ 6.0 F 组:0.08 ~ 6.0 G 组:1.0 ~ 6.0				强度高,韧性好。用于重要用途的弹簧
油淬火—回火弹簧钢丝 GB/T 18983	VDC	0.5 ~ 10.0			-40 ~ 150	强度高,性能好,VDC 用于高疲劳级弹簧
	FDC、TDC	0.5 ~ 17.0			-40 ~ 250	强度高,性能好。FDC 用于静态级弹簧;TDC 用于中疲劳级弹簧
	FDSiMn TDSiMn	0.5 ~ 17.0				强度高,较高的疲劳性能。用于较高载荷的弹簧。FDSiMn 用于静态级弹簧;TDSiMn 用于中疲劳级弹簧
	VDCrSi	0.5 ~ 10.0				强度高,疲劳性能好。VDCrSi 用于高疲劳级弹簧;TDCrSi 用于中疲劳级弹簧;FDCrSi 用于静态级弹簧
	FDCrSi TDCrSi	0.5 ~ 17.0				强度高,疲劳性能好。VDCrV—A 用于高疲劳级弹簧
	VDCrV—A	0.5 ~ 10.0			-40 ~ 210	强度高,疲劳性能较好。TD-CrV—A 用于中疲劳级弹簧;FD-CrV—A 用于静态级弹簧
	TDCrV—A FDCrV—A	0.5 ~ 17.0				

(续)

标准名称	牌号 /组别	直径规格 /mm	切变模量 G/GPa	弹性模量 E/GPa	推荐使用温 度范围/℃	性 能
合金弹簧 钢丝 YB/T 5318	50CrVA	0. 5 ~ 14. 0	78. 5	206	-40 ~ 210	强度高,较高的疲劳性,用于普 通机械的弹簧
	60Si2MnA 55CrSi				-40 ~ 250	
弹簧用不锈 钢丝 YB(T)11	A 组:1Cr18Ni9 0Cr19Ni10 0Cr17Ni12Mo2	0. 8 ~ 12. 0	70	185	-200 ~ 290	耐腐蚀、耐高温、耐低温,用于腐 蚀或高、低温工作条件下的弹簧
	B 组: 1Cr18Ni9 0Cr18Ni10 C 组: 0Cr17Ni8Al		73	195		
铜及铜合金 线材 GB/T 21652	QSi3-1	0. 1 ~ 6. 0	40. 2	93. 1	-40 ~ 120	有较高的耐腐蚀和防磁性能。 用于机械或仪表等用弹性元件
	QSn4-3 QSn6. 5-0. 1 QSn6. 5-0. 4 QSn7-0. 2		39. 2		-250 ~ 120	
铍青铜线 YS/T 571	QBe2	0. 03 ~ 6. 0	42. 1	129. 4	-200 ~ 120	强度、硬度、疲劳强度和耐磨性 均高,耐腐蚀,防磁,导电性好,撞 击时,无火花,用做电表游丝
弹簧钢 GB/T 1222	60Si2Mn 60Si2MnA	12. 0 ~ 80. 0	78. 5	206	-40 ~ 210	较高的疲劳强度,较高的疲劳 性,广泛用于各种机械用弹簧
	50CrVA 60CrMnA 60CrMnBA				-40 ~ 250	强度高,耐高温,用于承受较重 载荷的弹簧
	50CrSiA 60Si2CrA 60Si2CrVA					高的疲劳性能,耐高温,用于较 高工作温度下的弹簧

注:当弹簧工作环境温度超出常温时,应适当调整许用应力。

表 3.4-5 油淬火—回火弹簧钢丝的分类、代号和直径范围(摘自 GB/T 18983—2003)

分类		静态	中疲劳	高疲劳
抗拉强度	低强度	FDC	TDC	VDC
	中强度	FDCrV(A、B) FDSiMn	TDCrV(A、B) TDSiMn	FDCrV(A、B)
	高强度	FDCrSi	TDCrSi	VDCrSi
直径范围/mm		0.50 ~ 17.00	0.50 ~ 17.00	0.50 ~ 10.00

注:1. 静态级钢丝适用于一般用途弹簧,以 FD 表示。
2. 中疲劳级钢丝用于离合器、悬架弹簧,以 TD 表示。
3. 高疲劳级钢丝适用于剧烈运动的场合,例如用于阀门弹簧,以 VD 表示。
标记示例:用 60Si2MnA 钢制造的直径为 11.0mm 的 TD 级钢丝标记为:
TDSiMn-11.0-GB/T 18983—2003。

表 3.4-6 油淬火—回火弹簧钢丝代号与常用钢材牌号的对应关系(摘自 GB/T 18983—2003)

钢丝代号	常用代表性牌号	钢丝代号	常用代表性牌号
FDC、TDC、VDC	65、70、65Mn	FDCrSi、TDCrSi、VDCrSi	55CrSi
FDCrV-A、TDCrV-A、VDCrV-A	50CrVA	FDCrV-B、TDCrV-B、VDCrV-B	67CrV
FDSiMn、TDSiMn	60Si2Mn、60Si2MnA		

表 3.4-7 冷拉碳素弹簧钢丝和重要碳素弹簧钢丝抗拉强度 R_m (MPa)

直径 /mm	冷拉碳素弹簧钢丝 GB/T 4357—2009					重要用途碳素 弹簧钢丝 YB/T 5311—2010			直径 /mm	冷拉碳素弹簧钢丝 GB/T 4357—2009					重要用途碳素 弹簧钢丝 YB/T 5311—2010		
	SL 型	SM 型	DM 型	SH 型	DH 型	E 组	F 组	G 组		SL 型	SM 型	DM 型	SH 型	DH 型	E 组	F 组	G 组
0.05					2800				1.00	1720	1980	1980	2230	2230	2020	2350	1850
0.06					2800				1.20	1670	1920	1920	2170	2170	1920	2270	1820
0.07					2800				1.40	1620	1870	1870	2110	2110	1870	2200	1780
0.08			2780		2800	2330	2710		1.60	1590	1830	1830	2060	2060	1830	2160	1750
0.09			2740		2800	2320	2700		1.80	1550	1790	1790	2020	2020	1800	2060	1700
0.10			2710		2800	2310	2690		2.00	1520	1760	1760	1980	1980	1760	1970	1670
0.12			2660		2800	2300	2680		2.20						1720	1870	1620
0.14			2620		2800	2290	2670		2.50	1460	1690	1690	1900	1900	1680	1770	1620
0.16			2570		2800	2280	2660		2.80	1420	1650	1650	1860	1860	1630	1720	1570
0.18			2530		2800	2270	2650		3.00	1410	1630	1630	1840	1840	1610	1690	1570
0.20			2500		2800	2260	2640		3.20	1390	1610	1610	1820	1820	1560	1670	1570
0.22			2470		2770	2240	2620		3.50						1520	1620	1470
0.25			2420		2720	2220	2600		4.00	1320	1530	1530	1740	1740	1480	1570	1470
0.28			2390		2680	2220	2600		4.50	1290	1500	1500	1690	1690	1410	1500	1470
0.30		2370	2370	2660	2660	2210	2600		5.00	1260	1460	1460	1660	1660	1380	1480	1420
0.32		2350	2350	2640	2640	2210	2590		5.50						1330	1440	1400
0.35						2210	2590		6.00	1210	1400	1400	1590	1590	1320	1420	1350
0.40		2270	2270	2560	2560	2200	2580		6.30	1190	1390	1390	1570	1570			
0.45		2240	2240	2510	2510	2190	2570		7.00	1160	1350	1350	1540	1540			
0.50		2200	2200	2480	2480	2180	2560		8.00	1120	1310	1310	1490	1490			
0.55						2170	2550		9.00	1090	1270	1270	1450	1450			
0.60		2140	2140	2410	2410	2160	2540		10.00	1060	1240	1240	1410	1410			
0.63		2130	2130	2390	2390	2140	2520		11.00		1210	1210	1390	1390			
0.70		2090	2090	2360	2360	2120	2500		12.00		1180	1180	1330	1330			
0.80		2050	2050	2310	2310	2110	2490		13.00		1160	1160	1320	1320			
0.90		2010	2010	2270	2270	2060	2390										

注:表列抗拉强度 R_m 为材料标准的下限值。

表 3.4-8 油淬火一回火弹簧钢丝的抗拉强度 R_m (GB/T 18983—2003) (MPa)

直径范围 /mm	FDC TDC	FDCrV—A TDCrV—A	FDCrV—B TDCrV—B	FDSiMn TDSiMn	FDCrSi TDCrSi	用于阀门弹簧			
						VDC	VDCrV—A	VDCrV—B	VDCrSi
0.50 ~ 0.80	1800	1800	1900	1850	2000	1700	1750	1910	2030
>0.80 ~ 1.00	1800	1780	1860	1850	2000	1700	1730	1880	2030
>1.00 ~ 1.30	1800	1750	1850	1850	2000	1700	1700	1860	2030
>1.30 ~ 1.40	1750	1750	1840	1850	2000	1700	1680	1840	2030
>1.40 ~ 1.60	1740	1710	1820	1850	2000	1670	1660	1820	2000
>1.60 ~ 2.00	1720	1710	1790	1820	2000	1650	1640	1770	1950
>2.00 ~ 2.50	1670	1670	1750	1800	1970	1630	1620	1720	1900
>2.50 ~ 2.70	1640	1660	1720	1780	1950	1610	1610	1690	1890
>2.70 ~ 3.00	1620	1630	1700	1760	1930	1590	1600	1660	1880
>3.00 ~ 3.20	1600	1610	1680	1740	1910	1570	1580	1640	1870
>3.20 ~ 3.50	1580	1600	1660	1720	1900	1550	1560	1620	1860
>3.50 ~ 4.00	1550	1560	1620	1710	1870	1530	1540	1570	1840
>4.00 ~ 4.20	1540	1540	1610	1700	1860				
>4.20 ~ 4.50	1520	1520	1590	1690	1850	1510	1520	1540	1810
>4.50 ~ 4.70	1510	1510	1580	1680	1840				
>4.70 ~ 5.00	1500	1500	1560	1670	1830	1490	1500	1520	1780
>5.00 ~ 5.60	1470	1460	1540	1660	1800	1470	1480	1490	1750
>5.60 ~ 6.00	1460	1440	1520	1650	1780	1450	1470	1470	1730
>6.00 ~ 6.50	1440	1420	1510	1640	1760	1420	1440	1440	1710
>6.50 ~ 7.00	1430	1400	1500	1630	1740	1400	1420	1420	1690
>7.00 ~ 8.00	1400	1380	1480	1620	1710	1370	1410	1390	1660
>8.00 ~ 9.00	1380	1370	1470	1610	1700	1350	1390	1370	1640
>9.00 ~ 10.00	1360	1350	1450	1600	1660	1340	1370	1340	1620
用于汽车悬架簧									
>10.00 ~ 12.00	1320	1320	1430	1580	1660				
>12.00 ~ 14.00	1280	1300	1420	1560	1620				
>14.00 ~ 15.00	1270	1290	1410	1550	1620				
>15.00 ~ 17.00	1250	1270	1400	1540	1580				

注:抗拉强度 R_m 为材料标准的下限值。

表 3.4-9 弹簧用不锈钢丝抗拉强度 R_m (YB(T)11—1998) (MPa)

直径/mm	A 组	B 组	C 组	直径/mm	A 组	B 组	C 组	直径/mm	A 组	B 组	C 组
0.08	1618	2157	—	0.55	1569	1961	1814	2.90	1177	1569	1373
0.09	1618	2157	—	0.60	1569	1961	1814	3.00	—	1471	—
0.10	1618	2157	—	0.65	1569	1961	1814	3.20	1177	—	1373
0.12	1618	2157	1961	0.70	1569	1961	1814	3.50	1177	1471	1373
0.14	1618	2157	1961	0.80	1471	1863	1765	4.00	1177	1471	1373
0.16	1618	2157	1961	0.90	1471	1863	1765	4.50	1079	1471	1275
0.18	1618	2157	1961	1.00	1471	1863	1765	5.00	1079	1373	1275
0.20	1618	2157	1961	1.20	1373	1765	1667	5.50	1079	1373	1275
0.23	1569	2157	1961	1.40	1373	1765	1667	6.00	1079	1373	1275
0.26	1569	2059	1912	1.60	1324	1765	1569	6.50	981	1373	—
0.29	1569	2059	1912	1.80	1324	1667	1569	7.00	981	1275	—
0.32	1569	2059	1912	2.00	1324	1667	1569	8.00	981	1275	—
0.35	1569	2059	1912	2.20	—	1667	—	9.00	—	1275	—
0.40	1569	2059	1912	2.30	1275	—	1471	10.00	—	1128	—
0.45	1569	1961	1814	2.50	—	1569	—	11.00	—	981	—
0.50	1569	1961	1814	2.60	1275	—	1471	12.00	—	883	—

注:表列抗拉强度 R_m 为材料标准的下限值。

表 3.4-10 铍青铜线抗拉强度 R_m (YS/T 571—2009) (MPa)

材料状态	时效处理前的拉力试验	时效处理后的拉力试验
软	345 ~ 568	> 1029
1/2 硬	579 ~ 784	> 1176
硬	> 598	> 1274

表 3.4-11 铜及铜合金线抗拉强度 R_m (GB/T 21652—2008) (MPa)

材料牌号	状态	线材直径/mm	R_m /MPa
QCd1	M(软)	0.1 ~ 6.0	≥275
	Y(硬)	0.1 ~ 0.5	590 ~ 880
		>0.5 ~ 4.0	490 ~ 735
		>4.0 ~ 6.0	470 ~ 685
QSn6.5-0.1 QSn6.5-0.4 QSn7-0.2	M(软)	0.1 ~ 1.0 >1.0 ~ 6.0	≥350
QSi3-1、QSn4-3、 QSn6.5-0.1、QSn6.5-0.4 QSn7-0.2	Y(硬)	0.1 ~ 1.0	880 ~ 1130
		>1.0 ~ 2.0	860 ~ 1060
		>2.0 ~ 4.0	830 ~ 1030
		>4.0 ~ 6.0	780 ~ 980

弹簧的载荷类型分为静载荷和动载荷。静载荷是指恒定不变的载荷或载荷有变化,但循环次数 $N < 10^4$ 次。动载荷是指载荷有变化,循环次数 $N \geq 10^6$ 次。根据循环次数动载荷分为:

1) 有限疲劳寿命:冷卷弹簧载荷循环次数 $N \geq 10^4 \sim 10^6$ 次;热卷弹簧载荷循环次数 $N \geq 10^4 \sim 10^5$ 次;

2) 无限疲劳寿命:冷卷弹簧载荷循环次数 $N \geq 10^7$ 次;热卷弹簧载荷循环次数 $N \geq 2 \times 10^6$ 次。

当冷卷弹簧载荷循环次数介于 10^6 和 10^7 之间时;热卷弹簧载荷循环次数介于 10^5 和 2×10^6 之间时,可根据使用情况参照有限或无限寿命设计。

许用应力选取的原则:

1) 静载荷作用下的弹簧,除了考虑强度条件外,对应力松弛有要求的,应适当降低许用应力。

2) 动载荷作用下的弹簧,除了考虑循环次数外,还应考虑应力(变化)幅度,这时按照循环特征式(3.4-1)计算,在图 3.4-2 或图 3.4-3 中查取。当循环特征值大时,即应力(变化)幅度小,许用应力取大值;当循环特征值小时,即应力(变化)幅度大,许用应力取小值。

$$\gamma = \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}} = \frac{F_{\min}}{F_{\max}} \text{ 或 } \gamma = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \frac{T_{\min}}{T_{\max}} = \frac{\varphi_{\min}}{\varphi_{\max}} \quad (3.4-1)$$

式中 $\tau_{\min}$ ——最小切应力(MPa);

$\tau_{\max}$ ——最大切应力(MPa);

$F_{\min}$ ——最小载荷(N);

$F_{\max}$ ——最大载荷(N);

$\sigma_{\min}$ ——最小弯曲应力(MPa);

$\sigma_{\max}$ ——最大弯曲应力(MPa);

$T_{\min}$ ——最小扭矩(N·mm);

$T_{\max}$ ——最大扭矩(N·mm);

$\varphi_{\min}$ ——最小弹簧扭转角度(rad 或°);

$\varphi_{\max}$ ——最大弹簧扭转角度(rad 或°)

3) 对于重要用途的弹簧,其损坏对整个机械有重大影响,以及在较高或较低温度下工作的弹簧,许用应力应适当降低。

4) 有效喷丸处理的弹簧,可提高疲劳强度或疲劳寿命。

5) 对压缩弹簧,经有效强压处理,可提高疲劳寿命,对改善弹簧的性能有明显效果。

6) 动载荷作用下的弹簧,影响疲劳强度的因素很多,难以精确估计,对于重要用途的弹簧,设计完成后,应进行试验验证。

冷卷和热卷的压缩、拉伸弹簧的试验应力及许用应力见表 3.4-12 及图 3.4-2。扭转弹簧的试验应力及许用应力见表 3.4-12 及图 3.4-3。

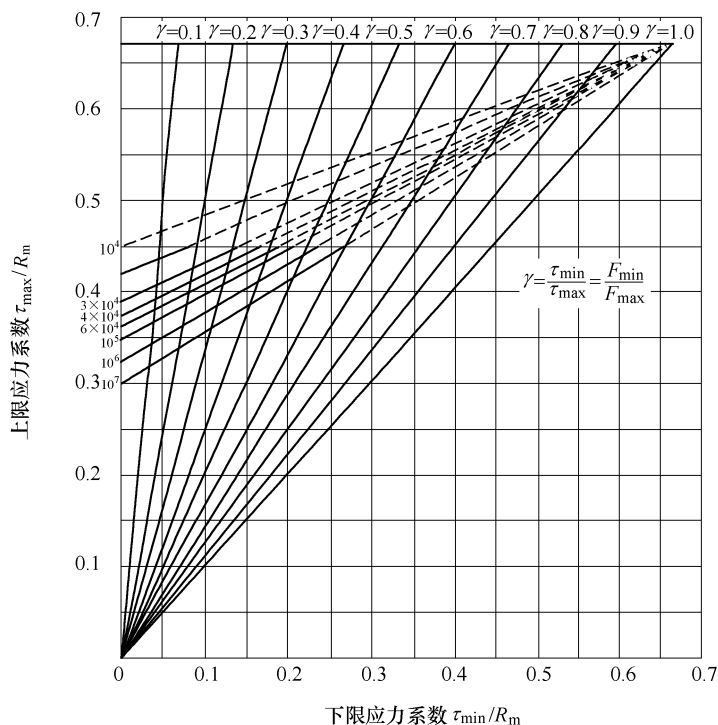


图 3.4-2 压缩、拉伸弹簧疲劳极限图

注:适用于未经喷丸处理的具有较好的耐疲劳性能的钢丝,如重要用途碳素弹簧钢丝、高疲劳级油淬火—回火弹簧钢丝。

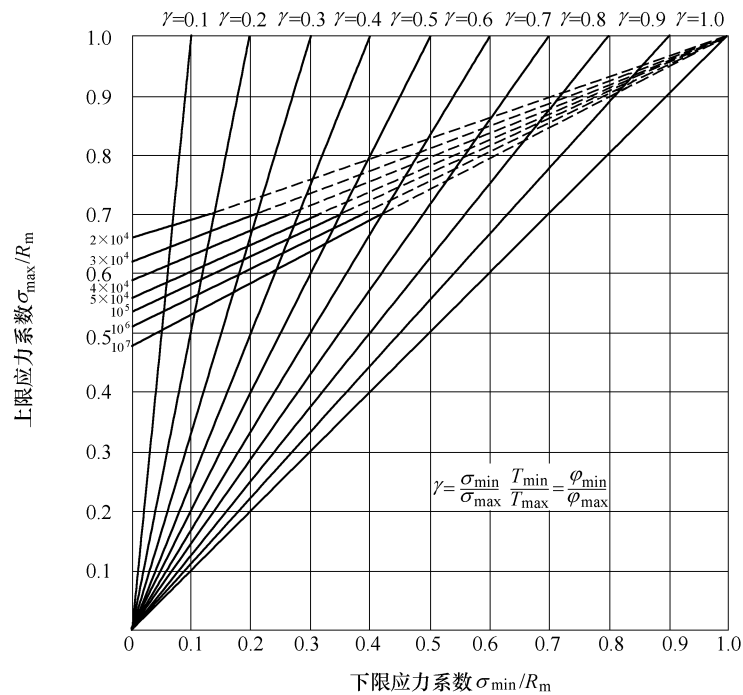


图 3.4-3 扭转弹簧疲劳极限图

注:适用于未经喷丸处理的具有较好的耐疲劳性能的钢丝,如重要用途碳素弹簧钢丝、高疲劳级油淬火—回火弹簧钢丝。

表 3.4-12 弹簧的许用应力(摘自 GB/T 23935—2009) (MPa)

应力类型		冷卷弹簧材料				热卷弹簧材料
		油淬火—回火 弹簧钢丝	冷拉碳素弹簧 钢丝、重要碳素 弹簧钢丝	弹簧用不 锈钢丝	铜及铜合金线 材、铍青铜线	60Si2Mn、60Si2MnA、50CrVA、 55CrVA、60CrMnA、60CrMnBA、 60Si2CrA、60Si2CrVA
压缩 弹簧 许用 切应力	试验切应力	0.55R _m	0.50R _m	0.45R _m	0.40R _m	710 ~ 890
	静载荷	0.50R _m	0.45R _m	0.38R _m	0.36R _m	
	动载荷、有 限疲劳寿命	(0.40 ~ 0.50) R _m	(0.38 ~ 0.45) R _m	(0.34 ~ 0.38) R _m	(0.33 ~ 0.36) R _m	568 ~ 712
	动载荷、无 限疲劳寿命	(0.35 ~ 0.40) R _m	(0.33 ~ 0.38) R _m	(0.30 ~ 0.34) R _m	(0.30 ~ 0.33) R _m	426 ~ 534
拉伸 弹簧 许用 切应力	试验切应力	0.44R _m	0.40R _m	0.36R _m	0.32R _m	475 ~ 596
	静载荷	0.40R _m	0.36R _m	0.30R _m	0.29	
	动载荷、有 限疲劳寿命	(0.32 ~ 0.40) R _m	(0.30 ~ 0.36) R _m	(0.34 ~ 0.38) R _m	(0.26 ~ 0.29) R _m	405 ~ 507
	动载荷、无 限疲劳寿命	(0.28 ~ 0.32) R _m	(0.26 ~ 0.30) R _m	(0.24 ~ 0.27) R _m	(0.24 ~ 0.26) R _m	356 ~ 447

(续)

应力类型	冷卷弹簧材料				热卷弹簧材料
	油淬火一回火 弹簧钢丝	冷拉碳素弹簧 钢丝、重要碳素 弹簧钢丝	弹簧用不 锈钢丝	铜及铜合金线 材、铍青铜线	60Si2Mn、60Si2MnA、50CrVA、 55CrVA、60CrMnA、60CrMnBA、 60Si2CrA、60Si2CrVA
扭转弹簧 许用弯曲应力	试验弯曲应力	$0.80R_m$	$0.78R_m$	$0.75R_m$	$0.75R_m$
	静载荷	$0.72R_m$	$0.70R_m$	$0.68R_m$	0.68
	动载荷、有 限疲劳寿命	$(0.60 \sim 0.68)R_m$	$(0.58 \sim 0.66)R_m$	$(0.55 \sim 0.65)R_m$	$(0.55 \sim 0.65)R_m$
	动载荷、无 限疲劳寿命	$(0.50 \sim 0.60)R_m$	$(0.49 \sim 0.58)R_m$	$(0.45 \sim 0.55)R_m$	$(0.45 \sim 0.55)R_m$

注:1. 抗拉强度 R_m 为材料标准的下限值。

2. 材料直径 d 小于 1mm 的弹簧, 试验切应力为表列值的 90%。

3. 当试验切应力大于压并切应力时, 取压并切应力为试验切应力。

4. 热卷弹簧硬度范围为 42~52HRC(392~535HBW)。当硬度接近下限时, 试验应力或许用应力则取下限值; 当硬度接近上限时, 试验应力或许用应力则取上限值。

5. 拉伸、扭转弹簧试验应力或许用应力一般取下限值。

1.3 压缩、拉伸弹簧的设计

1.3.1 弹簧结构和载荷—变形图

压缩和拉伸弹簧的结构及其载荷—变形图分别见图 3.4.4 和图 3.4.5。图中: d —弹簧丝直径 (mm); D 、 D_1 、 D_2 —弹簧的中、内、外径 (mm); F_s —试验载荷 (N), 试验载荷为测定弹簧特性时, 弹簧允许承受的最大载荷, 其值按式 (3.4-2) 计算

$$F_s = \frac{\pi d^3}{8D} \tau_s \quad (3.4-2)$$

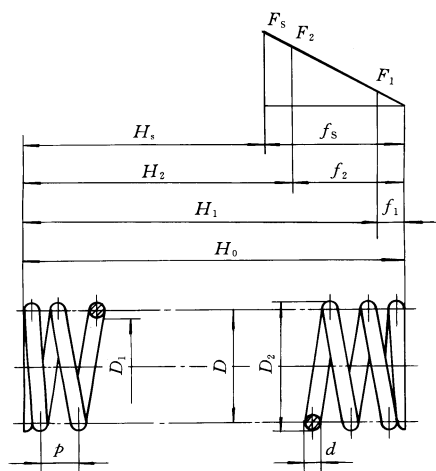


图 3.4.4 压缩弹簧载荷—变形图

F_1 、 F_2 、 $\dots$ 、 F_s —弹簧的工作载荷 (N), 为了保证指定高度时的载荷或在需要保证载荷下的高度,

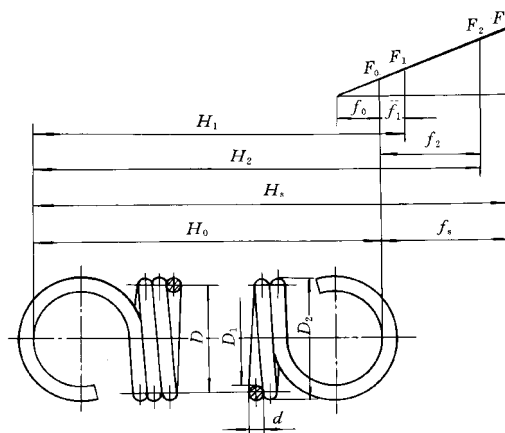


图 3.4.5 拉伸弹簧载荷—变形图

弹簧变形量应在试验载荷下变形量的 20%~80% 之间, 即 $0.2f_s \leq f_{1,2,\dots,n} \leq 0.8f_s$ 。在保证刚度时, 弹簧变形量应在试验载荷下变形量的 30%~70% 之间。即 f_1 和 f_2 满足 $0.3f_s \leq f_{1,2} \leq 0.7f_s$ 。 F_0 为拉伸弹簧的初拉力 (N), 用不需淬火退火材料制成的密卷拉伸弹簧, 在簧圈之间形成的轴向压力即是初拉力, 当所加载荷超过初拉力后, 弹簧才开始变形。卷绕成形后, 需要淬火退火的弹簧没有初拉力, 初拉力按式 (3.4-3) 计算

$$F_0 = \frac{\pi d^3}{8D} \tau_0 \quad (3.4-3)$$

式中初切应力 τ_0 的值根据旋绕比 C 从图 3.4-6 阴影区范围内选取。由于弹簧一般均需去应力退火处理,

经处理后的弹簧初拉力会有所下降，为便于制造建议取下限值。初切应力 τ_0 也可参考经验公式 (3.4-4) 计算

$$\tau_0 = \frac{G}{100C} \tag{3.4-4}$$

式中 C ——旋绕比, $C = D/d$ 。

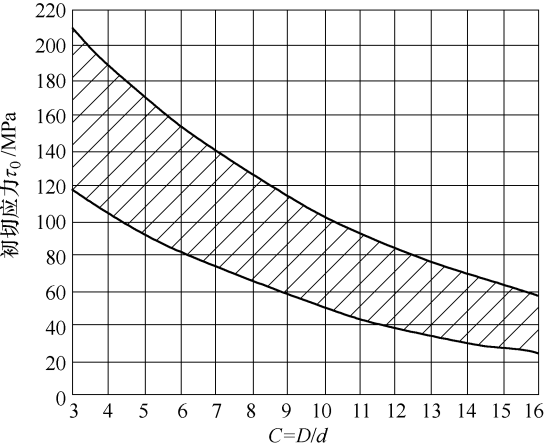


图 3.4-6 拉伸弹簧初切应力选择范围

1.3.2 设计计算

(1) 圆柱螺旋压缩弹簧基本计算公式

$$\tau = K \frac{8DF}{\pi d^3} = K \frac{8CF}{\pi d^2} \leq [\tau] \tag{3.4-5}$$

或

$$\tau = K \frac{Gdf}{\pi D^2 n} \leq [\tau] \tag{3.4-6}$$

$$f = \frac{8D^3 n F}{Gd^4} = \frac{8C^3 n F}{Gd} \tag{3.4-7}$$

$$k = \frac{F}{f} = \frac{Gd^4}{8D^3 n} = \frac{Gd}{8C^3 n} \tag{3.4-8}$$

$$U = \frac{1}{2} F f = \frac{k f^2}{2} \tag{3.4-9}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{8KDF}{\pi[\tau]}} \text{ 或 } d \geq \sqrt{\frac{8KCF}{\pi[\tau]}} \tag{3.4-10}$$

$$n = \frac{Gd^4}{8D^3 F} f \tag{3.4-11}$$

式中 τ ——弹簧切应力 (MPa);

$[\tau]$ ——许用切应力 (MPa);

C ——旋绕比, $C = D/d$;

D ——弹簧中径 (mm);

d ——材料直径 (mm);

F ——弹簧工作载荷 (N);

f ——工作载荷下的变形量 (mm);

G ——切变模量 (MPa);

k ——弹簧劲度系数 ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$);

n ——弹簧的有效圈数;

U ——弹簧变形能 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

K ——曲度系数, 按式 (3.4-12) 计算

$$K = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0.615}{C} \tag{3.4-12}$$

静载荷时, 一般可取 K 值为 1, 当弹簧应力高时, 亦可考虑 K 值。

自振频率: 对两端固定, 一端在工作行程范围内周期性往复运动的圆柱螺旋压缩弹簧, 其自振频率按式 (3.4-13) 计算

$$f_c = \frac{3.56d}{nD^2} \sqrt{\frac{G}{\rho}} \tag{3.4-13}$$

式中 ρ ——材料密度 ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$)。

(2) 圆柱螺旋拉伸弹簧基本计算公式 无初拉力时, 拉伸弹簧的基本计算式与压缩弹簧相同, 按式 (3.4-5) ~ 式 (3.4-12) 计算。

有初拉力时, 拉伸弹簧的基本计算按式 (3.4-14) ~ 式 (3.4-17) 计算。

$$f = \frac{8D^3 n}{Gd^4} (F - F_0) \tag{3.4-14}$$

$$k = \frac{F - F_0}{f} = \frac{Gd^4}{8D^3 n} = \frac{Gd}{8C^3 n} \tag{3.4-15}$$

$$U = \frac{1}{2} (F - F_0) f = \frac{k f^2}{2} \tag{3.4-16}$$

$$n = \frac{Gd^4}{8D^3 (F - F_0)} f \tag{3.4-17}$$

弹簧的主要尺寸参数确定后, 由表 3.4-13 计算弹簧的其他几何尺寸。

表 3.4-13 压缩、拉伸弹簧几何尺寸计算 (摘自 GB/T 23935—2009)

名称	代号	单位	计算方法和确定方法
材料直径	d	mm	按式 (3.4-10) 计算, 再按表 3.4-2 取标准值
弹簧中径	D	mm	根据结构要求估计, 再按表 3.4-2 取标准值
弹簧内径	D_1	mm	$D_1 = D - d$
弹簧外径	D_2	mm	$D_2 = D + d$
有效圈数	n		按式 (3.4-11) 或式 (3.4-17) 计算; 一般不少于 3 圈, 最少不少于 2 圈
压缩弹簧的 支承圈数	n_z		按结构形式从表 3.4-1 中选取
总圈数	n_1		压缩弹簧: $n_1 = n + n_z$, 尾数应为 1/4、1/2、3/4 或整圈, 荐用 1/2 拉伸弹簧: $n_1 = n$, 当 $n > 20$ 时, 圆整为整圈, 当 $n < 20$ 时, 圆整为半圈

(续)

名 称	代号	单位	计算方法和确定方法
节距	p	mm	压缩弹簧: $p = d + \frac{f_n}{n} + \delta_1 = (0.28 \sim 0.5) D$, δ_1 为余隙, 一般取 $\delta_1 \geq 0.1d$ 拉伸弹簧: $p = d + \delta$, 对密卷拉伸弹簧取 $\delta = 0$
间距	δ	mm	$\delta = p - d$
压缩弹簧 高径比	b		$b = \frac{H_0}{D}$
自由高度或 自由长度	H_0	mm	压缩弹簧: 两端圈磨平 $n_1 = n + 1.5$ 时, $H_0 = pn + d$ $n_1 = n + 2$ 时, $H_0 = pn + 1.5d$ $n_1 = n + 2.5$ 时, $H_0 = pn + 2d$ 两端圈不磨 $n_1 = n + 2$ 时, $H_0 = pn + 3d$ $n_1 = n + 2.5$ 时, $H_0 = pn + 3.5d$ 拉伸弹簧: 半圆钩环 $H_0 = (n + 1)d + D_1$ 圆钩环 $H_0 = (n + 1)d + 2D_1$ 圆钩环环压中心 $H_0 = (n + 1.5)d + 2D_1$
工作高度或 工作长度	$H_{1,2,\dots,n}$	mm	压缩弹簧: $H_{1,2,\dots,n} = H_0 - f_{1,2,\dots,n}$ 拉伸弹簧: $H_{1,2,\dots,n} = H_0 + f_{1,2,\dots,n}$
试验高度或 试验长度	H_s	mm	压缩弹簧: $H_s = H_0 - f_s$ 拉伸弹簧: $H_s = H_0 + f_s$
压缩弹簧的 压并高度	H_b	mm	端面磨削约 3/4 圈时, $H_b \leq n_1 d_{\max}$ 端面不磨削, $H_b \leq (n_1 + 1.5) d_{\max}$ 式中 $d_{\max}$ —材料最大直径
螺旋角	α	($^\circ$)	$\alpha = \arctan \frac{p}{\pi D}$, 压缩弹簧荐用值 $5^\circ \sim 9^\circ$
弹簧材料的 展开长度	L	mm	压缩弹簧: $L = \frac{\pi D n_1}{\cos \alpha} \approx \pi D n_1$ 拉伸弹簧: $L \approx \pi D n +$ 钩环展开部分
弹簧质量	m	kg	$m = \frac{\pi}{4} d^2 L \rho$

(3) 查表法 表 3.4-14 是根据 GB/T 2089—2009 普通圆柱螺旋压缩弹簧尺寸及参数编制的, 借助于该表可快速确定弹簧的主要尺寸参数。方法是 如果已知弹簧的类型、工作载荷 F_2 和对应的变形量 f_2 , 由弹簧类型计算出该弹簧的试验载荷 F'_s 。由 F_2 和 f_2 计算出弹簧刚度 k 。依据 F'_s 从表 3.4-14 中查出数

表 3.4-14 圆柱螺旋压缩弹簧的尺寸及参数 (摘自 GB/T 2089—2009)

材料 直径 d /mm	弹簧 中径 D /mm	许用 应力 [τ] /MPa	试验 载荷 F_s /N	一圈弹 簧的试 验变 形量 f_{sd} /mm	一圈弹 簧的刚 度 k_d /N · mm ⁻¹	最大 心轴 直径 $D_{X\max}$ /mm	最小 套筒 直径 $D_{T\min}$ /mm	材料 直径 d /mm	弹簧 中径 D /mm	许用 应力 [τ] /MPa	试验 载荷 F_s /N	一圈弹 簧的试 验变 形量 f_{sd} /mm	一圈弹 簧的刚 度 k_d /N · mm ⁻¹	最大 心轴 直径 $D_{X\max}$ /mm	最小 套筒 直径 $D_{T\min}$ /mm
0.5	3	930	15.22	0.67	22.86	1.9	4.1	0.6	3	880	24.88	0.52	47.4	1.8	4.2
	3.5		13.04	0.91	14.40	2.4	4.6		3.5		21.33	0.71	29.8	2.3	4.7
	4		11.41	1.18	9.64	2.9	5.1		4		18.66	0.93	20.0	2.8	5.2
	4.5		10.14	1.50	6.77	3.4	5.6		4.5		16.58	1.18	14.0	3.3	5.7
	5		9.13	1.85	4.93	3.9	6.1		5		14.93	1.46	10.2	3.8	6.2
	6		7.61	2.66	2.86	4.5	7.5		6		12.44	2.10	5.93	4.4	7.6
	7		6.52	3.62	1.80	5.5	8.5		7		10.66	2.86	3.73	5.4	8.6
	8								8		9.33	3.73	2.50	6.4	9.6

(续)

材料 直径 d /mm	弹簧 中径 D /mm	许用 应力 [τ] /MPa	试验 载荷 F_s /N	一圈弹 簧的试 验变 形量 f_{sd} /mm	一圈弹簧 的刚度 k_d /N · mm ⁻¹	最大 心轴 直径 D_{Xmax} /mm	最小 套筒 直径 D_{Tmin} /mm	材料 直径 d /mm	弹簧 中径 D /mm	许用 应力 [τ] /MPa	试验 载荷 F_s /N	一圈弹 簧的试 验变 形量 f_{sd} /mm	一圈弹簧 的刚度 k_d /N · mm ⁻¹	最大 心轴 直径 D_{Xmax} /mm	最小 套筒 直径 D_{Tmin} /mm
0.7	3.5	855	32.90	0.60	55.3	2.2	4.8	1.8	9	760	193.4	1.36	142	6.2	11.8
	4		28.79	0.78	37.0	2.7	5.3		10		174.1	1.68	104	7.2	12.8
	4.5		25.59	0.98	26.0	3.2	5.8		12		145.0	2.42	60.0	8.2	15.8
	5		23.03	1.21	19.0	3.7	6.3		14		124.3	3.29	37.8	10.2	17.8
	6		19.19	1.75	11.0	4.3	7.7		16		108.8	4.30	25.3	12.2	19.8
	7		16.45	2.38	6.91	5.3	8.7		18		96.70	5.44	17.8	14.2	21.8
	8		14.40	3.11	4.63	6.3	9.7		20		87.03	6.72	13.0	15.2	24.8
0.8	9	855	12.80	3.93	3.25	7.3	10.7	2.0	22	735	79.12	8.13	9.74	17.2	26.8
	4		42.98	0.68	63.2	2.6	5.4		25		69.62	10.49	6.63	20.2	29.8
	4.5		38.20	0.86	44.4	3.1	5.9		10		230.9	1.46	158	7.0	13.0
	5		34.38	1.06	32.4	3.6	6.4		12		192.4	2.10	91.4	8.0	16.0
	6		28.65	1.53	18.7	4.2	7.8		14		164.9	2.86	57.6	10.0	18.0
	7		24.56	2.08	11.8	5.2	8.8		16		144.3	3.74	38.6	12.0	20.0
	8		21.49	2.72	7.90	6.2	9.8		18		128.3	4.74	27.1	14.0	22.0
0.9	9	855	19.10	3.44	5.55	7.2	10.8	2.5	20	710	115.5	5.85	19.8	15.0	25.0
	10		17.19	4.25	4.04	8.2	11.8		22		105.0	7.07	14.8	17.0	27.0
	4		61.19	0.60	101	2.5	5.5		25		92.36	9.13	10.1	20.0	30.0
	4.5		54.39	0.77	71.1	3.0	6.0		28		82.47	11.46	7.20	23.0	33.0
	5		48.95	0.94	51.8	3.5	6.5		12		363.0	1.63	223	7.5	16.5
	6		40.79	1.36	30.0	4.1	7.9		14		311.2	2.21	141	9.5	18.5
	7		34.97	1.85	18.9	5.1	8.9		16		272.3	2.89	94.2	11.5	20.5
1.0	8	830	30.60	2.42	12.7	6.1	9.9	3.0	18	685	242.0	3.66	66.1	13.5	22.5
	9		27.20	3.06	8.89	7.1	10.9		20		217.8	4.52	48.2	14.5	25.5
	10		24.48	3.78	6.48	8.1	11.9		22		198.0	5.47	36.2	16.5	27.5
	4.5		72.43	0.67	108	2.9	6.1		25		174.3	7.06	24.7	19.5	30.5
	5		65.19	0.83	79.0	3.4	6.6		28		155.6	8.85	17.6	22.5	33.5
	6		54.32	1.19	45.7	4.0	8.0		30		145.2	10.16	14.3	24.5	35.5
	7		46.56	1.62	28.8	5.0	9.0		32		136.1	11.56	11.8	25.5	38.5
1.2	8	810	40.74	2.11	19.3	6.0	10.0	3.5	14	660	518.8	1.78	291	9	19
	9		36.22	2.67	13.5	7.0	11.0		16		453.9	2.32	195	11	21
	10		32.59	3.30	9.88	8.0	12.0		18		403.5	2.94	137	13	23
	12		27.16	4.75	5.71	9.0	15.0		20		363.1	3.63	100	14	26
	14		23.28	6.47	3.60	11.0	17.0		22		330.1	4.39	75.1	16	28
	6		91.61	0.97	94.8	3.8	8.2		25		290.5	5.68	51.2	19	31
	7		78.52	1.32	59.7	4.8	9.2		28		259.4	7.12	36.4	22	34
1.4	8	810	68.71	1.72	40.0	5.8	10.2	3.5	30	660	242.1	8.17	29.6	24	36
	9		61.07	2.17	28.1	6.8	11.2		32		227.0	9.30	24.4	25	39
	10		54.97	2.68	20.5	7.8	12.2		35		207.5	11.12	18.7	28	42
	12		45.80	3.87	11.9	8.8	15.2		38		191.1	13.11	14.6	31	45
	14		39.26	5.26	7.46	10.8	17.2		16		694.5	1.92	362	10.5	21.5
	16		34.35	6.87	5.00	12.8	19.2		18		617.4	2.43	254	12.5	23.5
	7		124.7	1.13	111	4.6	9.4		20		555.6	3.00	185	13.5	26.5
1.6	8	785	109.1	1.47	74.1	5.6	10.4	3.5	22		505.1	3.63	139	15.5	28.5
	9		96.98	1.86	52.0	6.6	11.4		25		444.5	4.69	94.8	18.5	31.5
	10		87.28	2.30	37.9	7.6	12.4		28		396.9	5.88	67.5	21.5	34.5
	12		72.74	3.31	22.0	8.6	15.4		30		370.4	6.75	54.9	23.5	36.5
	14		62.34	4.51	13.8	10.6	17.4		32		347.3	7.68	45.2	24.5	39.5
	16		54.55	5.89	9.26	12.6	19.4		35		317.5	9.19	34.6	27.5	42.5
	18		48.49	7.46	6.50	14.6	21.4		38		292.4	10.82	27.0	30.5	45.5
1.6	20	785	43.64	9.20	4.74	15.6	24.4		40		277.8	12.00	23.2	32.5	47.5
	8		157.8	1.25	126	5.4	10.6								
	9		140.3	1.58	88.8	6.4	11.6								
	10		126.3	1.95	64.7	7.4	12.6								

(续)

材料 直径 d /mm	弹簧 中径 D /mm	许用 应力 [τ] /MPa	试验 载荷 F_s /N	一圈弹 簧的试 验变 形量 f_{sd} /mm	一圈弹簧 的刚度 k_d /N · mm ⁻¹	最大 心轴 直径 D_{Xmax} /mm	最小 套筒 直径 D_{Tmin} /mm	材料 直径 d /mm	弹簧 中径 D /mm	许用 应力 [τ] /MPa	试验 载荷 F_s /N	一圈弹 簧的试 验变 形量 f_{sd} /mm	一圈弹簧 的刚度 k_d /N · mm ⁻¹	最大 心轴 直径 D_{Xmax} /mm	最小 套筒 直径 D_{Tmin} /mm
4.0	20	660	829.4	2.62	316	13	27	68	32	585	3676	2.98	1234	20	44
	22		754.0	3.18	237	15	29		35		3361	3.56	943	23	47
	25		663.5	4.10	162	18	32		38		3095	4.20	737	26	50
	28		592.4	5.14	115	21	35		40		2941	4.65	632	28	52
	30		552.9	5.91	93.6	23	37		45		2614	5.89	444	33	57
	32		518.4	6.72	77.1	24	40		50		2352	7.27	324	38	62
	35		473.9	8.04	59.0	27	43		55		2139	8.80	243	42	68
	38		436.5	9.47	46.1	30	46		60		1960	10.46	187	47	73
	40		414.7	10.50	39.5	32	48		65		1810	12.29	147	52	78
	45		368.6	13.29	27.7	37	53		70		1680	14.25	118	57	83
	50		331.8	16.40	20.2	42	58		75		1568	16.35	95.9	62	88
4.5	22	660	1074	2.82	380	14.5	29.5	10	80	565	1470	18.61	79.0	67	93
	25		944.7	3.65	259	17.5	32.5		85		1384	21.01	65.9	71	99
	28		843.5	4.57	184	20.5	35.5		90		1307	23.55	55.5	76	104
	30		787.3	5.25	150	22.5	37.5		95						
	32		738.1	5.97	124	23.5	40.5		100						
	35		674.8	7.14	94.4	26.5	43.5								
	38		621.5	8.42	73.8	29.5	46.5								
	40		590.4	9.33	63.8	31.5	48.5								
	45		524.8	11.81	44.4	36.5	53.5								
	50		472.4	14.58	32.4	41.5	58.5								
	55		429.4	17.64	24.3	45.5	64.5								
5	25	660	1296	3.28	395	17	33	12	40	740	5547	3.59	1543	26	54
	28		1157	4.12	281	20	36		45		4931	4.55	1084	31	59
	30		1080	4.72	229	22	38		50		4437	5.62	790	36	64
	32		1012	5.38	188	23	41		55		4034	6.80	593	40	70
	35		925.6	6.43	144	26	44		60		3698	8.09	457	45	75
	38		852.6	7.58	112	29	47		65		3413	9.49	360	50	80
	40		809.9	8.40	96.4	31	49		70		3170	11.01	288	55	85
	45		719.9	10.63	67.7	36	54		75		2958	12.64	234	60	90
	50		648.0	13.12	49.4	41	59		80		2773	14.38	193	65	95
	55		589.0	15.88	37.1	45	65		85		2610	16.23	161	69	101
	60		540.0	18.90	28.6	50	70		90		2465	18.20	135	74	106
6	30	610	1725	3.64	474	21	39	14	95	740	2336	20.28	115	79	111
	32		1617	4.14	391	22	42		100		2219	22.47	98.8	84	116
	35		1478	4.95	298	25	45		110						
	38		1362	5.84	233	28	48		120						
	40		1294	6.47	200	30	50								
	45		1150	8.19	140	35	55								
	50		1035	10.11	102	40	60								
	55		940.8	12.23	76.9	44	66								
	60		862.4	14.55	59.3	49	71								
	65		796.0	17.08	46.6	54	76								
	70		739.1	19.81	37.3	59	81								
6	30	610	1725	3.64	474	21	39	14	100	740	2336	20.28	115	79	111
	32		1617	4.14	391	22	42		110		2219	22.47	98.8	84	116
	35		1478	4.95	298	25	45		120						
	38		1362	5.84	233	28	48								
	40		1294	6.47	200	30	50								
	45		1150	8.19	140	35	55								
	50		1035	10.11	102	40	60								
	55		940.8	12.23	76.9	44	66								
	60		862.4	14.55	59.3	49	71								
	65		796.0	17.08	46.6	54	76								
	70		739.1	19.81	37.3	59	81								
6	30	610	1725	3.64	474	21	39	14	120	740	4185	35.77	117	102	138
	32		1617	4.14	391	22	42		130		6134	35.98	170	109	151
	35		1478	4.95	298	25	45								
	38		1362	5.84	233	28	48								
	40		1294	6.47	200	30	50								
	45		1150	8.19	140	35	55								
	50		1035	10.11	102	40	60								
	55		940.8	12.23	76.9	44	66								
	60		862.4	14.55	59.3	49	71								
	65		796.0	17.08	46.6	54	76								
	70		739.1	19.81	37.3	59	81								

(续)

材料直径 d /mm	弹簧中径 D /mm	许用应力 $[\tau]$ /MPa	试验载荷 F_s /N	一圈弹簧的试验 变形量 f_{sd} /mm	一圈弹簧的刚度 k_d /N·mm ⁻¹	最大心轴直径 D_{Xmax} /mm	最小套简直径 D_{Tmin} /mm	材料直径 d /mm	弹簧中径 D /mm	许用应力 $[\tau]$ /MPa	试验载荷 F_s /N	一圈弹簧的试验 变形量 f_{sd} /mm	一圈弹簧的刚度 k_d /N·mm ⁻¹	最大心轴直径 D_{Xmax} /mm	最小套简直径 D_{Tmin} /mm
16	65	740	18312	7.87	2327	44	86	30	120	740	65384	14.31	4570	84	156
	70		17004	9.13	1863	49	91		130		60355	16.79	3595	93	167
	75		15870	10.48	1515	54	96		140		56044	19.47	2878	103	177
	80		14879	11.92	1248	59	101		150		52308	22.35	2340	113	187
	85		14003	13.46	1040	63	107		160		49038	25.43	1928	122	198
	90		13225	15.09	877	68	112		170		46154	28.71	1607	131	209
	95		12529	16.81	745	73	117		180		43590	32.19	1354	141	219
	100		11903	18.63	639	78	122		190		41295	35.86	1151	150	230
	110		10821	22.54	480	88	132		200		39231	39.74	987	160	240
	120		9919	26.82	370	98	142		220		35664	48.09	742	179	261
	130		9156	31.48	291	107	153		240		32692	57.23	571	198	282
	140		8502	36.51	233	117	163		260		30177	67.16	449	217	303
18	150		7935	41.91	189	127	173	35	140	740	88995	16.69	5332	98	182
	75	740	22597	9.31	2426	52	98		150		83062	19.16	4335	108	192
	80		21185	10.60	1999	57	103		160		77871	21.80	3572	117	203
	85		19938	11.96	1667	61	109		170		73290	24.61	2978	126	214
	90		18831	13.41	1404	66	114		180		69219	27.59	2509	136	224
	95		17840	14.94	1194	71	119		190		65576	30.74	2133	145	235
	100		16948	16.56	1024	76	124		200		62297	34.06	1829	155	245
	110		15407	20.04	769	86	134		220		56634	41.22	1374	174	266
	120		14123	23.84	592	96	144		240		51914	49.05	1058	193	287
	130		13037	27.98	466	105	155		260		47921	57.57	832	212	308
	140		12105	32.45	373	115	165		280		44498	66.76	667	231	329
	150		11298	37.26	303	125	175		300		41531	76.64	542	250	350
20	160		10592	42.39	250	134	186	40	160	740	116239	19.08	6093	112	208
	170		9969	47.85	208	143	197		170		109401	21.53	5080	121	219
	80	740	29060	9.54	3047	55	105		180		103323	24.14	4280	131	229
	85		27350	10.77	2540	59	111		190		97885	26.90	3639	140	240
	90		25831	12.07	2140	64	116		200		92991	29.80	3120	150	250
	95		24471	13.45	1820	69	121		220		84537	36.06	2344	169	271
	100		23248	14.90	1560	74	126		240		77493	42.92	1806	188	292
	110		21134	18.03	1172	84	136		260		71532	50.37	1420	207	313
	120		19373	21.46	903	94	146		280		66422	58.42	1137	226	334
	130		17883	25.19	710	103	157		300		61994	67.06	924	245	355
	140		16606	29.21	569	113	167		320		58120	76.30	762	264	376
	150		15500	33.53	462	123	177	45	180	740	147115	21.46	6855	126	234
25	160	740	14530	38.15	381	132	188		190		139372	23.91	5829	135	245
	170		13675	43.07	318	141	199		200		132403	26.49	4998	145	255
	180		12915	48.28	267	151	209		220		120366	32.06	3755	164	276
	190		12236	53.80	227	160	220		240		110336	38.15	2892	183	297
	100		45406	11.92	3809	69	131		260		101849	44.77	2275	202	318
	110		41278	14.43	2861	79	141		280		94574	51.93	1821	221	339
	120		37838	17.17	2204	89	151		300		88269	59.61	1481	240	360
	130		34928	20.15	1734	98	162		320		82752	67.82	1220	259	381
	140		32433	23.37	1388	108	172		340		77884	76.56	1017	278	402
	150		30271	26.82	1128	118	182	50	200	740	181623	23.84	7617	140	260
	160		28379	30.52	930	127	193		220		165112	28.85	5723	159	281
	170		26709	34.45	775	136	204		240		151353	34.34	4408	178	302
	180		25225	38.63	653	146	214		260		139710	40.30	3467	197	323
	190		23898	43.04	555	155	225		280		129731	46.73	2776	216	344
	200		22703	47.69	476	165	235		300		121082	53.66	2257	235	365
	220		20639	57.70	358	184	256		320		113515	61.04	1860	254	386
									340		106837	68.91	1550	273	407

注：1. 本表 $[\tau]$ 、 F_s 和 f_{sd} 是按弹簧用下列材料制造而制定的，当弹簧材料直径 $\leq 10\text{mm}$ 时采用 GB/T4357—2009 碳素弹簧钢丝 B 级（用冷卷工艺制造）；当弹簧材料直径 $\geq 12\text{mm}$ 时采用 GB/T1222—2007 热轧弹簧钢 60Si2MnA（用热卷工艺制造）。如选用其他材料时，应按所选材料的 $[\tau]$ 值和表中 $[\tau]$ 值之比对 F_s 和 f_{sd} 进行调整。

2. 拉伸弹簧的 F_s 和 f_{sd} 取表中值的 0.8 倍，但材料直径 $\leq 8\text{mm}$ 。

值接近且稍大的试验载荷 F_s 和对应的弹簧材料直径 d 、弹簧中径 D 和一圈弹簧的试验变形量 f_{sd} 和一圈弹簧的弹簧刚度 k_d 。用式 (3.4-18) 计算弹簧的有效圈数

$$n = k_d / k \quad (3.4-18)$$

当所设计弹簧的材料和表中规定的弹簧材料不同时, 或为拉伸弹簧时, 应依照表注的说明调整 F_s 和 f_{sd} 的数值。此法简单但有一定局限性, 适用于不重要的弹簧。如属重要弹簧, 此法只能用于确定初步方案, 还需作进一步校核计算。

1.3.3 弹簧强度和稳定性校核

(1) 弹簧疲劳强度校核 受动载荷的压缩和拉伸弹簧, 应进行疲劳强度校核。进行校核时要按式 (3.4-1) 考虑循环特征 γ 和循环次数 N (见表 3.4-15), 以及材料表面状态等影响疲劳强度的各种因素, 按式 (3.4-19) 校核。

$$S = \frac{\tau_{u0} + 0.75\tau_{\min}}{\tau_{\max}} \geq S_{\min} \quad (3.4-19)$$

式中 τ_{u0} ——脉动疲劳极限应力, 其值见表 3.3-15;

S ——疲劳安全系数;

$S_{\min}$ ——最小安全系数, $S_{\min} = 1.1 \sim 1.3$ 。

表 3.4-15 脉动疲劳极限应力
(MPa)

载荷循环次数 N	10^4	10^5	10^6	10^7
脉动疲劳极限应力 τ_{u0}	$0.45R_m$ ①	$0.35R_m$	$0.32R_m$	$0.30R_m$

注: 本表适用于重要碳素弹簧钢丝、油淬火—退火弹簧钢丝、弹簧用不锈钢丝和铍青铜线。

① 弹簧用不锈钢丝和铍青铜线, 此值取 $0.35R_m$ 。

对于重要碳素弹簧钢丝、高疲劳级油淬火—退火弹簧钢丝等优质钢丝制作的弹簧, 在不进行喷丸强化的情况下, 其疲劳寿命按图 3.4-2 校核。

压缩弹簧的

(2) 压缩弹簧的稳定性校核

为了保证弹簧使用过程中的稳定性, 弹簧的高径比 $b = H_0/D$, 应满足下列要求:

两端固定 $b \leq 5.3$

一端固定, 一端回转

$$b \leq 3.7$$

两端回转 $b \leq 2.6$

当高径比 b 大于上列数值时, 要由式 (3.4-20) 进行稳定性校核。

$$F_c = C_B k H_0 > F_n \quad (3.4-20)$$

式中 F_c ——弹簧的临界载荷 (N);

C_B ——不稳定系数, 从图 3.4-7 中查取;

k ——弹簧刚度 ($N \cdot mm^{-1}$);

F_n ——最大工作载荷 (N)。

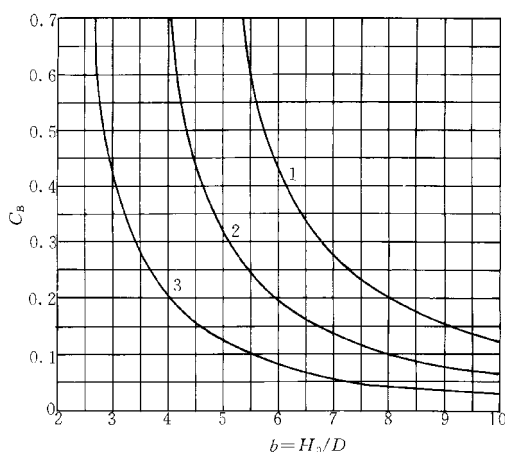


图 3.4-7 不稳定系数

1—两端固定 2—一端固定, 一端回转

3—两端回转

如不满足上式, 应重新选取参数, 改变 b 值, 提高 F_c 值, 以保证弹簧的稳定性。如设计结构受限制, 不能改变参数时, 应设置导杆或导套, 导杆 (导套) 与弹簧间隙 (直径差) 按表 3.4-16 选取。为了保证弹簧的特性, 弹簧高径比应大于 0.8。

表 3.4-16 导杆、导套与弹簧间隙

(摘自 GB/T 23935—2009) (mm)

弹簧中径 D	≤ 5	$>5 \sim 10$	$>10 \sim 18$	$>18 \sim 30$	$>30 \sim 50$	$>50 \sim 80$	$>80 \sim 120$	$>120 \sim 150$
间隙 (直径差)	0.6	1	2	3	4	5	6	7

(3) 拉伸弹簧的钩环强度校核 拉伸弹簧在承受拉伸载荷时, 在图 3.4-8 所示钩环的 A、B 两处将承受较大的弯曲应力 σ 和切应力 τ , 建议钩环的折弯曲率半径 r_2 和 $r_4 \geq 2d$ 。对重要的弹簧, 按式 (3.4-21) 和式 (3.4-22) 校核。

$$\sigma = \frac{16FD}{\pi d^3} \cdot \frac{r_1}{r_2} \leq [\sigma] \quad (3.4-21)$$

$$\tau = \frac{8FD}{\pi d^3} \cdot \frac{r_3}{r_4} \leq [\tau] \quad (3.4-22)$$

式中 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 见图 3.4-8。[σ] = (0.50 ~ 0.60) R_m 。

(4) 弹簧的共振验算 必要时, 受动载荷的弹簧应进行共振验算。自振频率 f_c 与强迫振动频率 f_r 之比应大于 10, 即: $f_c/f_r > 10$ 。

1.3.4 组合弹簧的设计计算

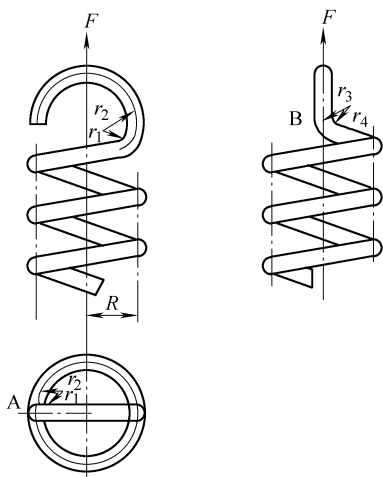


图 3.4-8 拉伸弹簧钩环结构图

当设计承受载荷较大，且安装空间受限制的圆柱螺旋压缩弹簧，可采用组合弹簧（图 3.4-9）。这种弹簧比普通弹簧轻，钢丝直径细，制造方便。设计组合弹簧应注意下列事项：

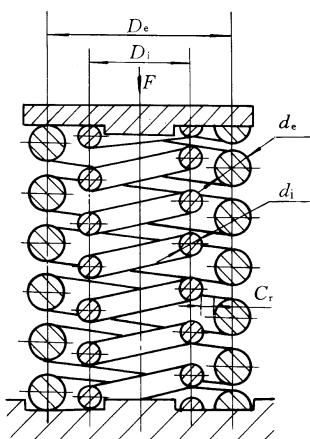


图 3.4-9 组合弹簧

1) 内、外弹簧的强度要接近相等，经推算有下面的关系：

$$\frac{d_e}{d_i} = \frac{D_e}{D_i} = \frac{n_i}{n_e} = \sqrt{\frac{F_{e2}}{F_{i2}}} \text{ 及 } F_2 = F_{e2} + F_{i2}$$

一般组合弹簧的 F_{e2} （外弹簧最大工作载荷）和 F_{i2} （内弹簧最大工作载荷）之比为 5:2。设计时先按此比值分配外、内弹簧的载荷，然后按单个弹簧的设计步骤进行。

2) 内、外弹簧的变形量应接近相等。其中一个弹簧在最大工作载荷下的变形量 f_2 不应大于另一个弹簧在试验载荷下的变形量 f_s 。实际所产生的变形差可用垫片调整。

3) 为保证组合弹簧的同心关系，防止内、外弹簧产生歪斜，两个弹簧的旋向应相反，一个右旋，一个左旋。

4) 组合弹簧的径向间隙 C_r ，要满足下面的关系：

$$C_r = \frac{(D_e - d_e) - (D_i + d_i)}{2} \geq \frac{d_e - d_i}{2}$$

5) 弹簧端部的支承面结构应能防止内、外弹簧在工作中的偏移。

1.4 圆柱螺旋扭转弹簧的设计

1.4.1 弹簧结构和载荷—变形图

扭转弹簧的结构和载荷—变形图见图 3.4-10。当弹簧有特性要求时，为了保证达到指定的扭转变形角时的扭矩，弹簧的工作变形角 φ_1 、 φ_2 应在试验变形角 φ_s 的 20% ~ 80% 之间，或工作扭矩 T_1 、 T_2 在试验扭矩 T_s 的 20% ~ 80% 之间。

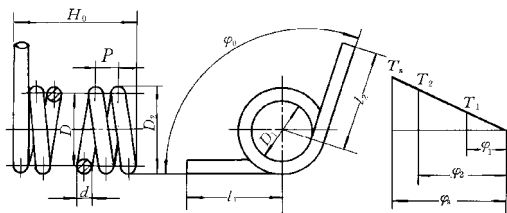


图 3.4-10 扭转弹簧载荷—变形图

d —弹簧材料直径(mm) D 、 D_1 、 D_2 —弹簧的中、内、外径(mm) T_s —试验扭矩(N·mm)，为弹簧允许承受的最大扭矩 T_1 、 T_2 —工作扭矩(N·mm) φ_1 、 φ_2 、 φ_s —在 T_1 、 T_2 、 T_s 作用下的变形角 H_0 —自由长度(mm) p —节距(mm) φ_0 —安装自由角度

1.4.2 圆柱螺旋扭转弹簧基本计算公式

$$\sigma = K_b \frac{32T}{\pi d^3} \leq [\sigma] \quad (3.4-23)$$

$$\varphi^\circ = \frac{3667DnT}{Ed^4} \quad (3.4-24)$$

$$k = \frac{T}{\varphi} = \frac{T_2 - T_1}{\varphi_2 - \varphi_1} = \frac{Ed^4}{3667Dn} \quad (3.4-25)$$

式中 σ —弯曲应力(MPa)；

$[\sigma]$ —许用弯曲应力(MPa)；

$T_{1,2}$ —工作扭矩(N·mm)；

$\varphi_{1,2}$ —工作扭矩下的变形角；

k —扭转弹簧刚度(N·mm/(°))；

K_b —扭转弹簧的曲度系数，由旋绕比 $C = D/d$ 按式(3.4-26)计算

$$K_b = \frac{4C^2 - C - 1}{4C^2(C - 1)} \quad (3.4-26)$$

当扭矩旋向与弹簧旋向相同时, $K_b = 1$;

n ——有效圈数;

E ——弹簧材料弹性模量 (MPa)。

由上列公式可以导出计算弹簧材料直径 d 和有效圈数 n 公式

$$d \geq \sqrt{\frac{10.2K_b T}{[\sigma]}} \quad (3.4-27)$$

$$n = \frac{Ed^4 \varphi^\circ}{3667DT} \quad (3.4-28)$$

对长臂扭转弹簧, 还需考虑扭臂的变形, 此时扭转变形角 φ° 和扭转刚度 k 按下面两式计算

$$\varphi^\circ = \frac{3667T}{\pi Ed^4} \left[\pi Dn + \frac{1}{3}(l_1 + l_2) \right] \quad (3.4-29)$$

$$k = \frac{\pi Ed^4}{3667 \left[\pi Dn + \frac{1}{3}(l_1 + l_2) \right]} \quad (3.4-30)$$

式中 l_1 、 l_2 ——扭臂长度 (mm)

试验扭矩 T_s , 弹簧允许的最大扭矩, 按式 (3.4-31) 计算

$$T_s = \frac{\pi d^3}{32} \sigma_s \quad (3.4-31)$$

式中 σ_s ——试验弯曲应力, 查表 3.4-12 和图 3.4-3。

扭转弹簧其余尺寸和参数的计算有

1) 为了避免弹簧承受扭矩后抱紧导杆, 应考虑在扭矩作用下弹簧直径的变小。其减小值可近似的按式 (3.4-32) 计算

$$\Delta D = \frac{\varphi_s^\circ D}{360n} \quad (3.4-32)$$

导杆直径 D' 按式 (3.4-33) 计算

$$D' = 0.9(D_1 - \Delta D) \quad (3.4-33)$$

扭转弹簧扭转角度 φ 后, 内径按式 (3.4-34)

计算

$$D_1 = \frac{2\pi n D}{2\pi n D + \varphi} - d \quad (3.4-34)$$

2) 节距 p 按式 (3.4-35) 计算

$$p = d + \delta \quad (3.4-35)$$

式中 δ ——间距 (mm), 一般情况取 0.5mm, 密卷弹簧间距为零。

3) 螺旋角 α 按 (3.4-36) 计算

$$\alpha = \arctan \frac{p}{\pi D} \quad (3.4-36)$$

无特殊要求时, 弹簧一般为右旋。

4) 自由长度 H_0 按式 (3.4-37) 计算

$$H_0 = np + d + \text{扭臂在弹簧轴线的长度} \quad (3.4-37)$$

5) 弹簧材料的展开长度按式 (3.4-38) 计算

$$L \approx \pi Dn + \text{扭臂长度} \quad (3.4-38)$$

1.4.3 弹簧疲劳强度校核

受动载荷的重要弹簧, 应进行疲劳强度校核。进行校核时要按式 (3.4-1) 考虑变载荷的循环特征, 循环次数 N , 以及材料表面状态等影响疲劳强度的各种因素。

对于采用重要用途碳素弹簧钢丝等制造的弹簧, 其疲劳极限可由图 3.4-3 确定。图 3.4-3 中的 $\sigma_{\max}/R_m = 0.7$ 横线, 是不产生永久变形的极限值, 随着永久变形允许程度, $\sigma_{\max}$ 可以适当向上移动, 最高可到静载荷时的许用弯曲应力。

1.5 圆柱螺旋弹簧技术要求

1.5.1 弹簧特性和尺寸的极限偏差

弹簧特性和尺寸的极限偏差依据工作需要分为 1、2、3 三个等级, 各项目的等级应根据需要分别独立选定, 其数值从表 3.4-17 中查取。

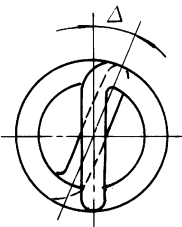
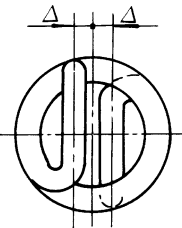
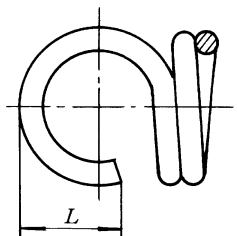
表 3.4-17 弹簧的极限偏差和公差 (摘自 GB/T 1239.1~3—2009)

弹簧类型	项 目	弹簧制造精度及极限偏差					备 注
冷卷压缩弹簧	指定高度时载荷 F 的极限偏差/ N	精度等级		1	2	3	
		有效圈数	$\geq 3 \sim 10$	$\pm 0.05F$	$\pm 0.10F$	$\pm 0.15F$	
			> 10	$\pm 0.04F$	$\pm 0.08F$	$\pm 0.12F$	
	弹簧刚 k 的极限偏差/ $N \cdot mm^{-1}$	精度等级		1	2	3	
		有效圈数	$\geq 3 \sim 10$	$\pm 0.05k$	$\pm 0.10k$	$\pm 0.15k$	
			> 10	$\pm 0.04k$	$\pm 0.08k$	$\pm 0.12k$	

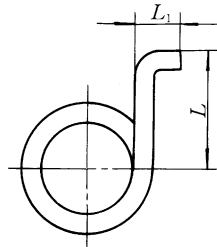
(续)

弹簧类型	项 目	弹簧制造精度及极限偏差					备 注
冷卷压缩弹簧	弹簧外径或内径的极限偏差/mm	精度等级		1	2	3	
		旋绕比 C	$\geq 3 \sim 8$	$\pm 0.01D$ 最小 ± 0.15	$\pm 0.015D$ 最小 ± 0.2	$\pm 0.025D$ 最小 ± 0.4	
			$> 8 \sim 15$	$\pm 0.015D$ 最小 ± 0.2	$\pm 0.02D$ 最小 ± 0.3	$\pm 0.03D$ 最小 ± 0.5	
			$> 15 \sim 22$	$\pm 0.02D$ 最小 ± 0.3	$\pm 0.03D$ 最小 ± 0.5	$\pm 0.04D$ 最小 ± 0.7	
	弹簧自由高度 H_0 的极限偏差/mm	精度等级		1	2	3	当弹簧有特性要求时，自由高度作为参考
		旋绕比 C	$\geq 3 \sim 8$	$\pm 0.01H_0$ 最小 ± 0.2	$\pm 0.02H_0$ 最小 ± 0.5	$\pm 0.03H_0$ 最小 ± 0.7	
			$> 8 \sim 15$	$\pm 0.015H_0$ 最小 ± 0.5	$\pm 0.03H_0$ 最小 ± 0.7	$\pm 0.04H_0$ 最小 ± 0.8	
			$> 15 \sim 22$	$\pm 0.02H_0$ 最小 ± 0.6	$\pm 0.04H_0$ 最小 ± 0.8	$\pm 0.06H_0$ 最小 ± 1.0	
	总圈数的极限偏差（圈）	总圈数（圈）		≤ 10	$> 10 \sim 20$	$> 20 \sim 50$	当弹簧有特性要求时，总圈数作为参考
		极限偏差		± 0.25	± 0.5	± 1.0	
	两端经磨削的弹簧，轴线线对端面的垂直度/mm 或（°）	精度等级		1	2	3	弹簧在自由状态下
		极限偏差		$0.02H_0$ (1.15°)	$0.05H_0$ (2.9°)	$0.08H_0$ (4.6°)	
冷卷拉伸弹簧	指定长度时载荷 F 的极限偏差/N	$\pm [\text{初拉力} \times \alpha + (\text{指定长度时的载荷} - \text{初拉力}) \times \beta]$					有效圈数 n
		精度等级		1	2	3	> 3
		α		0.10	0.15	0.20	
		β	0.05		0.10	0.15	$3 \sim 10$
			0.04		0.08	0.12	> 10
	弹簧刚 k 的极限偏差/ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$	精度等级		1	2	3	
		有效圈数	$\geq 3 \sim 10$	$\pm 0.05k$	$\pm 0.10k$	$\pm 0.15k$	
			> 10	$\pm 0.04k$	$\pm 0.08k$	$\pm 0.12k$	
	弹簧外径或内径的极限偏差/mm	精度等级		1	2	3	
		旋绕比 C	$\geq 4 \sim 8$	$\pm 0.01D$ 最小 ± 0.15	$\pm 0.015D$ 最小 ± 0.2	$\pm 0.025D$ 最小 ± 0.4	
			$> 8 \sim 15$	$\pm 0.015D$ 最小 ± 0.2	$\pm 0.02D$ 最小 ± 0.3	$\pm 0.03D$ 最小 ± 0.5	
			$> 15 \sim 22$	$\pm 0.02D$ 最小 ± 0.3	$\pm 0.03D$ 最小 ± 0.5	$\pm 0.04D$ 最小 ± 0.7	
	弹簧自由长度 H_0 （两钩环内侧之间的长度）的极限偏差/mm	精度等级		1	2	3	弹簧有特性要求时，自由长度作为参考
		旋绕比 C	$\geq 4 \sim 8$	$\pm 0.01H_0$ 最小 ± 0.2	$\pm 0.02H_0$ 最小 ± 0.5	$\pm 0.03H_0$ 最小 ± 0.6	
			$> 8 \sim 15$	$\pm 0.015H_0$ 最小 ± 0.5	$\pm 0.03H_0$ 最小 ± 0.7	$\pm 0.04H_0$ 最小 ± 0.8	对于无初拉力的弹簧；自由长度由供需双方协议规定
			$> 15 \sim 22$	$\pm 0.02H_0$ 最小 ± 0.6	$\pm 0.04H_0$ 最小 ± 0.8	$\pm 0.06H_0$ 最小 ± 1.0	

(续)

弹簧类型	项 目		弹簧制造精度及极限偏差				备 注	
冷卷拉伸弹簧	弹簧两钩环相对角度的公差 (°)		弹簧中径 D/mm	角度公差 (°)				
			≤10	35°				
			> 10 ~ 25	25°				
			> 25 ~ 55	20°				
			> 55	15°				
	钩环中心面与弹簧轴心线位置度/mm		弹簧中径 D/mm	公差/mm			适用于半圆钩环、圆钩环、压中心圆钩环。其他钩环的位置度公差由供需双方商定	
			> 3 ~ 6	0.5				
			> 6 ~ 10	1				
			> 10 ~ 18	1.5				
			> 18 ~ 30	2				
			> 30 ~ 50	2.5				
			> 50 ~ 120	3				
	弹簧钩环钩部长度 L 的极限偏差/mm		钩环钩部长度 L/mm	极限偏差/mm				
			≤15	± 1				
			> 15 ~ 30	± 2				
			> 30 ~ 50	± 3				
			> 50	± 4				
冷卷扭转弹簧	在指定扭转角时的扭矩极限偏差/ $\text{N} \cdot \text{mm}$		$\pm (\text{计算扭转角} \times \beta_1 + \beta_2) \times k$				k —扭转弹簧劲率系数 $\text{N} \cdot \text{mm}/(^{\circ})$	
			精度等级	1	2	3		
			β_1	0.03	0.05	0.08		
			圈 数	>3 ~ 10	>10 ~ 20	>20 ~ 30		
			$\beta_2 (^{\circ})$	10	15	20		
	弹簧外径的极限偏差/mm		精度等级	1	2	3		
			旋绕比 C	≥4 ~ 8	$\pm 0.01D$ 最小 0.15	$\pm 0.015D$ 最小 0.2		$\pm 0.025D$ 最小 ±0.4
				> 8 ~ 15	$\pm 0.015D$ 最小 ±0.2	$\pm 0.02D$ 最小 ±0.3		$\pm 0.03D$ 最小 ±0.5
				> 15 ~ 22	$\pm 0.02D$ 最小 ±0.3	$\pm 0.03D$ 最小 ±0.5		$\pm 0.04D$ 最小 ±0.7
	自由角度的极限偏差 (°)		精度等级	1	2	3	所列极限偏差数值,适用于旋绕比为 4 ~ 22 的弹簧 有特性要求的弹簧,自由角度不作考核	
			有效圈数 n	≤3	±8	±10		±15
				> 3 ~ 10	±10	±15		±20
				> 10 ~ 20	±15	±20		±30
				> 20 ~ 30	±20	±30		±40

(续)

弹簧类型	项 目	弹簧制造精度及极限偏差					备 注
冷卷扭转弹簧	自由长度 H_0 的极限偏差/mm	精度等级		1	2	3	密卷弹簧的自由长度不作考核
		旋绕比 C	$\geq 4 \sim 8$	$\pm 0.015H_0$ 最小 ± 0.3	$\pm 0.03H_0$ 最小 ± 0.6	$\pm 0.05H_0$ 最小 ± 1	
			$> 8 \sim 15$	$\pm 0.02H_0$ 最小 ± 0.4	$\pm 0.04H_0$ 最小 ± 0.8	$\pm 0.07H_0$ 最小 ± 1.4	
			$> 15 \sim 22$	$\pm 0.03H_0$ 最小 ± 0.6	$\pm 0.06H_0$ 最小 ± 1.2	$\pm 0.09H_0$ 最小 ± 1.8	
	扭臂长度极限偏差/mm	精度等级		1	2	3	
		材料直径 d /mm	$\geq 0.5 \sim 1$	$\pm 0.02L(L_1)$ 最小 ± 0.5	$\pm 0.03L(L_1)$ 最小 ± 0.7	$\pm 0.04L(L_1)$ 最小 ± 1.5	
			$> 1 \sim 2$	$\pm 0.02L(L_1)$ 最小 ± 0.7	$\pm 0.03L(L_1)$ 最小 ± 1.0	$\pm 0.04L(L_1)$ 最小 ± 2.0	
			$> 2 \sim 4$	$\pm 0.02L(L_1)$ 最小 ± 1.0	$\pm 0.03L(L_1)$ 最小 ± 1.5	$\pm 0.04L(L_1)$ 最小 ± 3.0	
			> 4	$\pm 0.02L(L_1)$ 最小 ± 1.5	$\pm 0.03L(L_1)$ 最小 ± 2.0	$\pm 0.04L(L_1)$ 最小 ± 4.0	
	扭臂弯曲角度 α 的极限偏差($^\circ$)	精度等级		极限偏差			
		1		± 5			
		2		± 10			
		3		± 15			
热卷压缩及拉伸弹簧	指定载荷时高度的极限偏差/mm	$\pm (1.5 + \text{指定载荷时计算变形量的 } 3\%)$ 。最小值应为自由高度的 1%					压缩弹簧的自由高度在 900mm 以下并且在小于最大变形量的 6 倍、大于弹簧中径的 0.8 倍时,按表中规定,除此以外的压缩及拉伸弹簧特性极限偏差,由供需双方协商确定
	指定高度时载荷的极限偏差/N	$\pm (1.5 + \text{指定高度时计算变形量的 } 3\%) \times \text{弹簧刚度系数}$ 。(1.5 + 指定高度时计算变形量的 3%) 的最小值,应为自由高度的 1%					
	弹簧刚度的极限偏差/ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$	$\pm 10\%$					
	弹簧外径(或内径)的极限偏差/mm	自由高度 H_0	≤ 250	$> 250 \sim 500$	> 500	供需双方协商规定	
		极限偏差	$\pm 0.01D$ 最小 ± 1.5	$\pm 0.015D$ 最小 ± 1.5			
热卷压缩及拉伸弹簧	自由高度(长度)的极限偏差/mm	自由高度(长度)的 $\pm 2\%$					当弹簧有特性要求时,自由高度(长度)作参考
	总圈数的极限偏差(圈)	压缩弹簧		拉伸弹簧		供需双方协议规定	当弹簧有特性要求时,总圈数作参考
		$\pm 1/4$					
	两端圈制扁或磨平,压缩弹簧轴线对两端面的垂直度/mm 或($^\circ$)	一般情况		特殊需要			在自由状态下
		$0.05H_0$ (习惯用 $2^\circ 52'$)		$0.02H_0$ ($1^\circ 15'$)			
	压缩弹簧的直线度极限偏差/mm 或($^\circ$)	不超过垂直度公差之半					

注:1. 弹簧尺寸的极限偏差,必要时可不对称使用,其公差值不变。
2. 等节距的压缩弹簧在压缩到全变形量的 80% 时,其正常节距圈不得接触。

1.5.2 弹簧的热处理和其他技术要求

1) 冷卷弹簧一般在成形后进行去应力退火,其硬度不予考核。根据使用要求也允许不进行应力退火。

2) 用硬状态的青铜线冷卷的弹簧需进行去应力退火处理,其硬度不予考核。用冷硬铍青铜线冷卷的弹簧应进行时效处理。

3) 需淬火回火处理的冷卷弹簧,淬火次数不得超过两次,回火次数不限,其硬度值在42~52HRC范围内选取。特殊情况其硬度可扩大选取范围到55HRC。用退火冷硬铍青铜冷卷的弹簧须经淬火和时效处理。淬火次数不得超过两次,时效处理次数不限。

4) 经淬火、回火处理的冷卷弹簧,单边脱碳层的深度,允许比原材料标准规定的脱碳层深度再增加材料直径的0.25%。

5) 热卷弹簧成形后,必须进行均匀的热处理,即淬火、回火处理。

6) 热卷弹簧淬火、回火后的硬度,一般为388~461HBW,或41.5~48HRC,单边脱碳层的深度允许为原材料标准规定的深度再增加材料直径的0.5%。

7) 热卷弹簧表面应进行防锈处理。

8) 凡弹簧表面镀层为锌、铬与镉时,电镀后应进行去氢处理。

9) 弹簧表面应光滑,不得有肉眼可见的有害缺陷,但允许有深度不大于钢丝直径公差之半的个别小伤痕存在。

10) 根据需要,在图样中对弹簧可规定下列要求:

- ① 立定处理,强压处理和加温强压处理;
- ② 喷丸处理;
- ③ 探伤;
- ④ 疲劳试验,模拟试验。

1.6 设计计算例题

例1 设计一结构形式为YI的阀门压缩弹簧,要求弹簧外径 $D_2 \leq 34.8\text{mm}$,阀门关闭时 $H_1 = 43\text{mm}$,载荷 $F_1 = 270\text{N}$,阀门全开时, $H_2 = 32\text{mm}$,载荷 $F_2 = 540\text{N}$,最高工作频率25Hz,循环次数 $N > 10^7$ 次。

解

(1) 选择材料和许用切应力

根据弹簧工作条件,选用适合弹簧用高疲劳级油淬火(VDCrSi)弹簧钢丝。根据 F_2 初步假设材料

直径为 $d = 4\text{mm}$,由表3.4-4查得材料切变模量 $G = 78.5 \times 10^3 \text{MPa}$ 。由表3.4-8查得材料抗拉强度 $R_m = 1840\text{MPa}$ 。

根据

$$\gamma = \frac{F_1}{F_2} = \frac{270}{540} = 0.5$$

在图3.4-2中 $\gamma = 0.5$ 与 10^7 线交点的纵坐标大致为0.41,即 $[\tau] = 1840 \times 0.41 \text{MPa} = 754.4 \text{MPa}$ 。

(2) 材料直径

弹簧外径 $D_2 \leq 34.8\text{mm}$,考虑公差的影响,假设其中径 $D = 30.5\text{mm}$ 。由钢丝直径 d 和弹簧中径 D 计算其旋绕比

$$C = \frac{D}{d} = \frac{30.5}{4} = 7.6$$

根据式(3.4-12)计算曲度系数:

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} = \frac{4 \times 7.6-1}{4 \times 7.6-4} + \frac{0.615}{7.6} = 1.194$$

将 $K = 1.194$,代入式(3.4-10)得

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{8KFD}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{8 \times 1.194 \times 540 \times 30.5}{\pi \times 754.4}} \text{mm} = 4.05\text{mm}$$

取 $d = 4.1\text{mm}$,抗拉强度为1810MPa。与原假设基本相符合。重新计算得 $D = 30.4\text{mm}$, $C = 7.4$, $K = 1.20$ 。

(3) 弹簧直径

弹簧中径: $D = 30.4\text{mm}$

弹簧外径: $D_2 = D + d = 30.4 + 4.1 = 34.5\text{mm}$

弹簧内径: $D_1 = D - d = 30.4 - 4.1 = 26.3\text{mm}$

(4) 弹簧所需刚度和圈数

弹簧所需刚度按式(3.4-8)计算:

$$k = \frac{F_2 - F_1}{H_1 - H_2} = \frac{540 - 270}{11} \text{N/mm} = 24.55 \text{N/mm}$$

按式(3.4-11)计算有效圈数:

$$n = \frac{Gd^4}{8kD^3} = \frac{78.5 \times 10^3 \times 4.1^4}{8 \times 24.55 \times 30.4^3} = 4.02 \text{圈}$$

取 $n = 4.0$ 圈。

取支承圈 $n_z = 2$ 圈,则总圈数

$$n_1 = n + n_z = 4.0 + 2 = 6.0 \text{圈}$$

(5) 弹簧刚度、变形量和载荷校核

弹簧刚度按式(3.4-8)计算得

$$k = \frac{Gd^4}{8D^3n} = \frac{78.5 \times 10^3 \times 4.1^4}{8 \times 30.4^3 \times 4.0} \text{N/mm} = 24.67 \text{N/mm}$$

与所需刚度 $k = 24.55 \text{N/mm}$ 基本相符。

同样按式(3.4-8)计算阀门关闭时变形量

$$f_1 = \frac{F_1}{k} = \frac{270}{24.67} \text{mm} = 10.94 \text{mm}$$

按式 (3.4-8) 计算阀门开启时变形量

$$f_2 = \frac{F_2}{k} = \frac{540}{24.67} \text{mm} = 21.89 \text{mm}$$

按表 3.4-13 中式计算自由高度

$$H_0 = H_1 + f_1 = 43 \text{mm} + 10.94 \text{mm} = 53.94 \text{mm}$$

或者 $H_0 = H_2 + f_2 = 32 \text{mm} + 21.89 \text{mm} = 53.89 \text{mm}$

取 $H_0 = 53.9 \text{mm}$

阀门关闭时的工作变形量

$$f_1 = H_0 - H_1 = 53.9 \text{mm} - 43 \text{mm} = 10.9 \text{mm}$$

由式 (3.4-8) 计算阀门关闭时载荷

$$F_1 = kf_1 = 24.67 \times 10.9 \text{N} = 268.9 \text{N}$$

阀门开启时的工作变形量

$$f_2 = H_0 - H_2 = 53.9 \text{mm} - 32 \text{mm} = 21.9 \text{mm}$$

由式 (3.4-8) 计算阀门开启时载荷

$$F_2 = kf_2 = 24.67 \times 21.9 \text{N} = 540.3 \text{N}$$

与要求值 $F_1 = 270 \text{N}$ 、 $F_2 = 540 \text{N}$ 接近, 故符合要求。

(6) 自由高度、压并高度和压并变形量

自由高度 $H_0 = 53.9 \text{mm}$

压并高度 $H_b \leq n_1 d = 6.0 \times 4.1 \text{mm} = 24.6 \text{mm}$

压并变形量 $f_b = H_0 - H_b = 53.9 \text{mm} - 24.6 \text{mm} = 29.3 \text{mm}$

(7) 试验载荷和试验载荷下的高度和变形量

由表 3.4-12 计算最大试验切应力

$$\tau_s = 0.55R_m = 0.55 \times 1810 \text{MPa} = 995.5 \text{MPa}$$

由式 (3.4-2) 计算试验载荷

$$F_s = \frac{\pi d^3}{8D} \tau_s = \frac{\pi \times 4.1^3}{8 \times 30.4} \times 995.5 \text{N} = 886.3 \text{N}$$

压并时载荷

$$F_b = kf_b = 24.67 \times 29.3 \text{N} = 722.8 \text{N}$$

由 $F_s > F_b$, 取 $F_s = F_b = 722.8 \text{N}$, $f_s = f_b =$

29.3mm

由式 (3.4-2) 计算试验切应力

$$\begin{aligned} \tau_s = \tau_b &= \frac{8D}{\pi d^3} F_s = \frac{8 \times 30.4}{\pi \times 4.1^3} \times 722.8 \text{MPa} \\ &= 811.9 \text{MPa} \end{aligned}$$

(8) 弹簧展开长度

按表 3.4-13 中式计算

$$L \approx \pi D n_1 = \pi \times 30.4 \times 6 \text{mm} = 572.7 \text{mm}$$

(9) 弹簧质量

按表 3.4-13 中式计算

$$\begin{aligned} m &= \frac{\pi}{4} d^2 L \rho = \frac{\pi}{4} \times 4.1^2 \times 572.7 \times 7.85 \times 10^{-6} \\ &= 0.0593 \text{kg} \end{aligned}$$

(10) 特性校核

$$\frac{f_1}{f_s} = \frac{10.9}{29.3} = 0.37 \quad \frac{f_2}{f_s} = \frac{21.9}{29.3} = 0.75$$

满足 $0.2f_s \leq f_{1,2} \leq 0.8f_s$ 的要求。

(11) 结构参数

自由高度 $H_0 = 53.9 \text{mm}$

阀门关闭高度 $H_1 = 43 \text{mm}$

阀门开启高度 $H_2 = 32 \text{mm}$

压并 (试验) 高度 $H_b = 24.6 \text{mm}$

按表 3.4-13 中式计算

$$\begin{aligned} \text{节距 } p &= \frac{H_0 - 1.5d}{n} = \frac{53.9 - 1.5 \times 4.1}{4.0} \text{mm} \\ &= 11.94 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\text{螺旋角 } \alpha = \arctan \frac{p}{\pi D} = \arctan \frac{11.94}{\pi \times 30.4} = 7.13^\circ$$

(12) 弹簧的疲劳强度和稳定性校核

1) 弹簧的疲劳强度校核

弹簧工作切应力校核按式 (3.4-5) 计算

$$\begin{aligned} \tau_1 &= K \frac{8DF_1}{\pi d^3} = 1.2 \times \frac{8 \times 30.4 \times 268.9}{\pi \times 4.1^3} \text{MPa} \\ &= 362.6 \text{MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_2 &= K \frac{8DF_2}{\pi d^3} = 1.2 \times \frac{8 \times 30.4 \times 540.3}{\pi \times 4.1^3} \text{MPa} \\ &= 728.6 \text{MPa} \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{362.6}{728.6} = 0.5$$

$$\frac{\tau_1}{R_m} = \frac{362.6}{1810} = 0.2$$

$$\frac{\tau_2}{R_m} = \frac{728.6}{1810} = 0.4$$

由图 3.4-2 可以看出点 (0.20, 0.40) 在 $\gamma = 0.5$ 和 10^7 作用线的交点以下, 表明此弹簧的疲劳寿命 $N > 10^7$ 次。

查表 3.4-15 计算脉动疲劳极限应力 $\tau_{u0} = 0.3R_m$

强度校核按式 (3.4-19) 计算

$$\begin{aligned} S &= \frac{\tau_{u0} + 0.75\tau_{\min}}{\tau_{\max}} = \frac{0.30 \times 1810 + 0.75 \times 362.6}{728.6} \\ &= 1.12 \geq S_{\min} \end{aligned}$$

2) 弹簧稳定性校核

弹簧的高径比 $b = H_0/D = 53.9/30.4 = 1.8$, 满足稳定性要求。

3) 共振校核

自振频率按式 (3.4-13) 计算

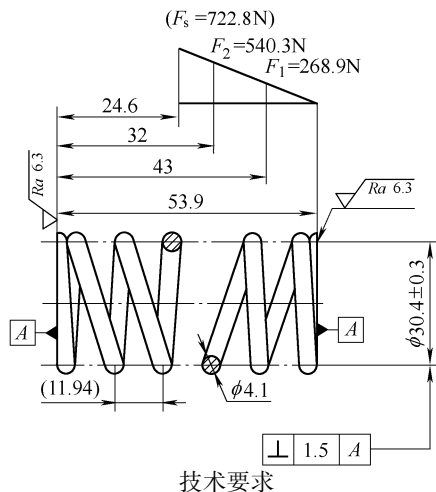
$$\begin{aligned} f_c &= \frac{3.56d}{nD^2} \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \frac{3.56 \times 4.1}{4.0 \times 30.4^2} \sqrt{\frac{78.5 \times 10^3}{7.85 \times 10^{-6}}} \text{Hz} \\ &= 394.8 \text{Hz} \end{aligned}$$

强迫振动频率 $f_r = 25\text{Hz}$

因此 $\frac{f_e}{f_r} = \frac{394.8}{25} = 15.8 > 10$, 满足要求。

(13) 弹簧工作图

弹簧工作图见图 3.4-11。



1. 弹簧端部结构型式: YI 冷卷压缩弹簧;
2. 旋向: 右旋
3. 总圈数: $n_1 = 6$;
4. 有效圈数: $n = 4.0$;
5. 强化处理: 立定处理;
6. 喷丸强度: $0.3A \sim 0.4A$, 表面覆盖率大于 90%;
7. 表面处理: 清洗上防锈油;
8. 制造技术条件: 其余按 GB/T 1239.2 二级精度。

图 3.4-11 弹簧工作图

例 2 设计一拉伸弹簧, 循环次数 $N = 1.0 \times 10^5$ 次。工作载荷 $F = 160\text{N}$, 工作载荷下变形量为 22mm , 采用 LIII 圆钩环, 外径 $D_2 = 21\text{mm}$ 。

解

(1) 选择材料和许用切应力

根据要求选择重要碳素弹簧钢丝 F 组。根据工作载荷初步假设材料直径为 $d = 3\text{mm}$, 由表 3.4-4 查得材料切变模量 $G = 78.5 \times 10^3 \text{MPa}$ 。由表 3.4-7 查得材料抗拉强度 $R_m = 1690\text{MPa}$ 。

根据表 3.4-12 试验切应力 $\tau_s = 1690 \times 0.4 \text{MPa} = 676\text{MPa}$; 许用切应力

$$[\tau] = 1690 \times 0.36 \text{MPa} = 608.4 \text{MPa}。$$

(2) 材料直径

根据设计要求, 弹簧外径 $D_2 = 21\text{mm}$, 则 $D = D_2 - d = 21\text{mm} - 3\text{mm} = 18\text{mm}$, 从而计算其旋绕比

$$C = \frac{D}{d} = \frac{18}{3} = 6$$

根据式 (3.4-12) 计算曲度系数 $K = 1.253$, 将

相关数值代入式 (3.4-10) 得:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{8KFD}{\pi [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{8 \times 1.253 \times 160 \times 18}{\pi \times 608.4}} \text{mm} \\ = 2.47 \text{mm}$$

与原假设基本相符合, 取 $d = 2.5\text{mm}$ 。根据表 3.4-7 抗拉强度为 1770MPa 。

由表 3.4-12 计算最大试验切应力 $\tau_s = 0.40R_m = 0.40 \times 1770 \text{MPa} = 708\text{MPa}$ 。

许用切应力 $[\tau] = 1770 \times 0.36 \text{MPa} = 637.2 \text{MPa}$ 。

(3) 弹簧直径

弹簧外径: $D_2 = 21\text{mm}$

弹簧中径: $D = D_2 - d = 21\text{mm} - 2.5\text{mm} = 18.5\text{mm}$

弹簧内径: $D_1 = D - d = 18.5\text{mm} - 2.5\text{mm} = 16\text{mm}$

(4) 弹簧旋绕比

$$C = \frac{D}{d} = \frac{18.5}{2.5} = 7.4$$

则按式 (3.4-12) 计算曲度系数 $K = 1.2$

(5) 弹簧拉力范围选取

根据图 3.4-6, 当 $C = 7.4$ 时, 查得初切应力 $\tau_0 = 70 \sim 130\text{MPa}$

按式 (3.4-3) 计算初拉力为

$$F_0 = \frac{\pi d^3}{8D} \tau_0 = \frac{\pi \times 2.5^3}{8 \times 18.5} \times (70 \sim 130) \text{N} \\ = 23.2 \sim 43.1 \text{N}$$

这里选取 $F_0 = 32\text{N}$

(6) 弹簧刚度和有效圈数

弹簧刚度按式 (3.4-15) 计算

$$k = \frac{F - F_0}{f} = \frac{160 - 32}{22} \text{N/mm} = 5.82 \text{N/mm}$$

按式 (3.4-11) 计算有效圈数:

$$n = \frac{Gd^4}{8kD^3} = \frac{78.5 \times 10^3 \times 2.5^4}{8 \times 5.82 \times 18.5^3} = 10.4 \text{圈}$$

取弹簧有效圈数 $n = 10.5$ 圈。

(7) 弹簧实际刚度

因 $n = 10.5$ 圈, 则弹簧的实际刚度, 按式 (3.4-8) 计算得

$$k = \frac{Gd^4}{8D^3n} = \frac{78.5 \times 10^3 \times 2.5^4}{8 \times 18.5^3 \times 10.5} \text{N/mm} = 5.76 \text{N/mm}$$

初拉力按式 (3.4-15) 计算

$$F_0 = F - kf = 160\text{N} - 5.76 \times 22\text{N} = 33.3\text{N}$$

$F_0 = 33.3\text{N}$ 在 $23.2 \sim 43.1\text{N}$ 范围内。

初切应力按式 (3.4-3) 计算

$$\tau_0 = \frac{8D}{\pi d^3} F_0 = \frac{8 \times 18.5}{\pi \times 2.5^3} \times 33.3 \text{ MPa} \\ = 100.5 \text{ MPa}$$

(8) 弹簧的试验载荷

按式 (3.4-2) 计算

$$F_s = \frac{\pi d^3}{8D} \tau_s = \frac{\pi \times 2.5^3}{8 \times 18.5} \times 708 \text{ N} = 234.7 \text{ N}$$

(9) 试验载荷下的弹簧变形量

按式 (3.4-14) 计算

$$f_s = \frac{8D^3 n}{Gd^4} (F_s - F_0) = \frac{8 \times 18.5^3 \times 10.5}{78.5 \times 10^3 \times 2.5^4} \\ (234.7 - 33.3) \text{ mm} = 34.9 \text{ mm}$$

(10) 特性校核

$$\frac{f}{f_s} = \frac{22}{34.9} = 0.63$$

满足 $0.2f_s \leq f \leq 0.8f_s$ 的要求。

(11) 强度校核

弹簧工作切应力校核按式 (3.4-5) 计算

$$\tau = K \frac{8DF}{\pi d^3} = 1.2 \times \frac{8 \times 18.5 \times 160}{\pi \times 2.5^3} \text{ MPa} \\ = 579.2 \text{ MPa}$$

$\tau < [\tau]$, 满足强度要求。

(12) 弹簧结构参数

按表 3.4-13 中式计算自由长度

$$H_0 = (n+1)d + 2D_1 = (10.5+1) \times 2.5 \text{ mm} \\ + 2 \times 16 \text{ mm} = 60.8 \approx 61 \text{ mm}$$

取自由长度 $H_0 = 61 \text{ mm}$

工作长度 $H_1 = H_0 + f = 61 \text{ mm} + 22 \text{ mm} = 83 \text{ mm}$

试验长度 $H_s = H_0 + f_s = 61 \text{ mm} + 34.9 \text{ mm} =$

95.5 mm

有初拉力要求, 弹簧密绕。

弹簧的展开长度按表 3.4-13 中式计算

$$L \approx \pi D n + 2\pi D \quad (\text{钩环展开部分}) = \pi \times 18.5 \times \\ 10.5 \text{ mm} + 2 \times \pi \times 18.5 \text{ mm} = 726.1 \text{ mm}$$

(13) 弹簧工作图

弹簧工作图见图 3.4-12。

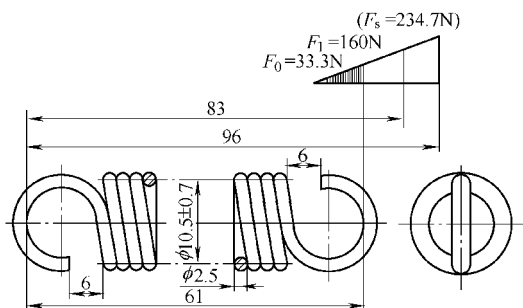
例 3 设计一结构形式为 NⅠ单臂弯曲扭转密卷右旋弹簧, 顺旋向扭转。安装扭矩 $T_1 = 43 \text{ N} \cdot \text{mm}$, 工作扭矩 $T_2 = 123 \text{ N} \cdot \text{mm}$, 工作扭转变形角 $\varphi^\circ = \varphi_2^\circ - \varphi_1^\circ = 53^\circ$, 内径 $D_1 > 6 \text{ mm}$, 扭臂长为 20 mm, 需要考虑长扭臂对扭转变形角的影响, 此结构要求尺寸紧凑, 疲劳寿命 $N > 10^7$ 次。

解

(1) 选择材料

根据要求选择重要碳素弹簧钢丝 F 组。根据工

作扭矩 $T_2 = 123 \text{ N} \cdot \text{mm}$, 假设材料直径为 $d = 0.8 \text{ mm} \sim 1.2 \text{ mm}$, 由表 3.4-4 查得材料弹性模量 $E = 206 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。由表 3.4-7 查得材料抗拉强度 $R_m = 2270 \sim 2490 \text{ MPa}$, 取 $R_m = 2380 \text{ MPa}$ 。



技术要求

1. 弹簧端部结构形式: LⅢ圆钩环扭中心拉伸弹簧;
2. 旋向: 右旋
3. 有效圈数: $n = 10.5$;
4. 表面处理: 浸防锈油;
5. 制造技术条件: 其余按 GB/T 1239.1 二级精度。

图 3.4-12 弹簧工作图

(2) 选取弹簧许用弯曲应力

弹簧承受动载荷, 根据循环特征

$$\gamma = \frac{T_1}{T_2} = \frac{43}{123} = 0.35$$

在图 3.4-3 中 $\gamma = 0.35$ 与 10^7 线交点的纵坐标大致为 0.57, 则许用弯曲应力为

$$[\sigma] = 0.57 R_m = 0.57 \times 2380 \text{ MPa} = 1356.6 \text{ MPa}$$

(3) 材料直径

根据式 (3.4-27) 计算材料直径, 取 $K_b = 1$;

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{10.2 K_b T}{[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{10.2 \times 1 \times 123}{1356.6}} \text{ mm} = 0.97 \text{ mm}$$

与原假设基本相符合, 取 $d = 1 \text{ mm}$, 并符合 GB/T 1358 系列值。根据表 3.4-7 抗拉强度为 2350 MPa。许用弯曲应力 $[\sigma] = 2350 \times 0.57 \text{ MPa} = 1339.5 \text{ MPa}$ 。

(4) 弹簧直径

弹簧内径: 取 $D_1 = 7 \text{ mm}$

弹簧外径: $D_2 = D_1 + 2d = 7 \text{ mm} + 2 \times 1 \text{ mm} = 9 \text{ mm}$

弹簧中径: $D = D_1 + d = 7 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 8 \text{ mm}$

$$\text{弹簧旋绕比: } C = \frac{D}{d} = \frac{8}{1} = 8$$

(5) 弹簧刚度和扭转变形角

按式 (3.4-45) 计算

$$k = \frac{T_2 - T_1}{\varphi_2 - \varphi_1} = \frac{123 - 43}{53} \text{ N} \cdot \text{mm}/(^\circ) \\ = 1.509 \text{ N} \cdot \text{mm}/(^\circ)$$

按式 (3.4-45) 计算

$$\varphi_1^\circ = \frac{T_1}{k} = \frac{43}{1.509} = 28.5^\circ$$

$$\varphi_2^\circ = \frac{T_2}{k} = \frac{123}{1.509} = 81.5^\circ$$

(6) 有效圈数

考虑长扭臂对扭转变形角的影响, 按式 (3.4-

30) 推导计算:

$$\begin{aligned} n &= \left[\frac{\pi E d^4}{3667k} - \frac{1}{3} (l_1 + l_2) \right] / (\pi D) \\ &= \left[\frac{\pi \times 206 \times 10^3 \times 1^4}{3667 \times 1.509} - \frac{1}{3} (20 + 20) \right] / (\pi \times 8) \\ &= 4.12 \text{ 圈} \end{aligned}$$

取弹簧有效圈数 $n = 4.15$ 圈。

(7) 试验扭矩及其变形角

由表 3.4-12 试验弯曲应力 $\sigma_s = 0.78 R_m = 0.78 \times 2350 \text{ MPa} = 1833 \text{ MPa}$

按式 (3.4-31) 计算, 试验扭矩 $T_s = \frac{\pi d^3}{32} \sigma_s =$

$$\frac{\pi \times 1^3}{32} \times 1833 \text{ N} \cdot \text{mm} = 179.8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

按式 (3.4-29) 计算, 试验扭矩下的变形角

$$\begin{aligned} \varphi_s^\circ &= \frac{3667 T_s}{\pi E d^4} \left[\pi D n + \frac{1}{3} (l_1 + l_2) \right] \\ &= \frac{3667 \times 179.8}{\pi \times 206 \times 10^3 \times 1^4} \times \\ &\quad \left[\pi \times 8 \times 4.15 + \frac{1}{3} (20 + 20) \right] \\ &= 120^\circ \end{aligned}$$

$$\frac{\varphi_1^\circ}{\varphi_s^\circ} = \frac{28.5}{120} = 0.24, \quad \frac{\varphi_2}{\varphi_3} = \frac{81.5}{120} = 0.68$$

则 $0.2\varphi_s \leq \varphi_{1,2} \leq 0.8\varphi_s$, 满足特性要求。

(8) 导杆直径

按式 (3.4-32) 和式 (3.4-33) 计算导杆直径

$$\Delta D = \frac{\varphi_s^\circ D}{360n} = \frac{120 \times 8}{360 \times 4.15} \text{ mm} = 0.64 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} D' &= 0.9 (D_1 - \Delta D) = 0.9 \times (7 - 0.64) \text{ mm} \\ &= 5.7 \text{ mm} \end{aligned}$$

取导杆直径 $D' = 5.5 \text{ mm}$ 。

(9) 疲劳强度校核

按式 (3.4-23) 计算, 取 $K_b = 1$ 得

$$\sigma_{\max} = K_b \frac{32 T_2}{\pi d^3} = 1 \times \frac{32 \times 123}{\pi \times 1^3} \text{ MPa} = 1253.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = K_b \frac{32 T_1}{\pi d^3} = 1 \times \frac{32 \times 43}{\pi \times 1^3} \text{ MPa} = 438.2 \text{ MPa}$$

从而

$$\frac{\sigma_{\max}}{R_m} = \frac{1253.5}{2350} = 0.53 \quad \frac{\sigma_{\min}}{R_m} = \frac{438.2}{2350} = 0.19$$

由图 3.4-3 可以看出点 (0.19, 0.53) 在 $\gamma = 0.35$ 和 10^7 作用线的交点以下, 表明此弹簧的疲劳寿命 $N > 10^7$ 次。

(10) 自由长度和弹簧展开长度

按式 (3.4-37) 计算

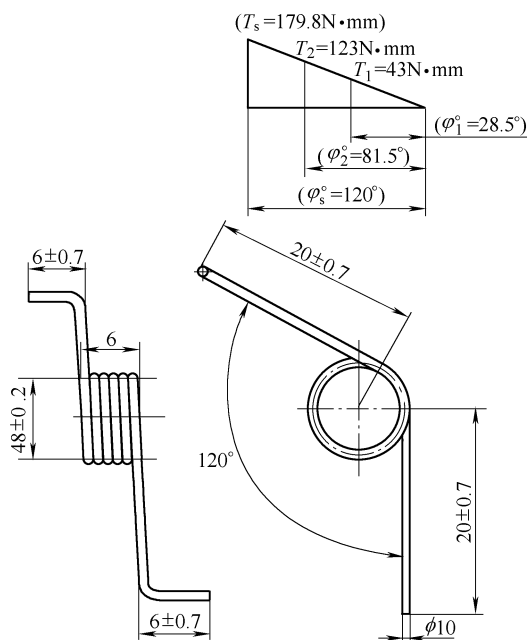
$$\begin{aligned} H_0 &= np + d + \text{扭臂在弹簧轴线的长度} = (4.15 \times \\ &1 + 1) \text{ mm} + (6 \times 2 - 2) \text{ mm} = 15.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

弹簧的展开长度按式 (3.4-38) 计算

$$\begin{aligned} L &\approx \pi D n + \text{扭臂长度} = \pi \times 8 \times 4.15 \text{ mm} \\ &+ 2 \times (20 + 6) \text{ mm} = 156.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

(11) 弹簧工作图

弹簧工作图如图 3.4-13 所示。



技术要求

1. 弹簧端部结构型式; NⅠ单臂弯曲扭转弹簧;
2. 旋向: 右旋;
3. 有效圈数: $n = 4.15$;
4. 表面处理: 浸防锈油;
5. 制造技术条件: 其余按 GB/T 1239.3 二级精度。

图 3.4-13 弹簧工作图

1.7 圆锥螺旋压缩弹簧的设计计算

圆锥螺旋压缩弹簧及其特性线见图 3.4-14。当承受载荷后, 特性线的 OA 段是直线, 载荷继续增加时, 弹簧从大圈开始逐圈接触, 其工作圈数逐渐减

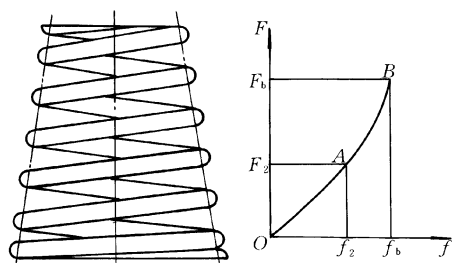


图 3.4-14 圆锥螺旋压缩弹簧及其特性线

少,刚度则逐渐增大,到所有弹簧圈完全压并为止。特性线的 AB 段是渐增型,有利于防止共振的发生。当大端弹簧圈的半径 R_2 和小端弹簧圈的半径 R_1 之差 $(R_2 - R_1) \geq nd$ 时,弹簧压并后,所有各圈都落在支承座上,其压并高度 $H_b = d$ 。

常用的圆锥螺旋压缩弹簧有等节距型和等螺旋角型两种。它们的几何尺寸计算见表 3.4-18,变形和强度计算见表 3.4-19。

表 3.4-18 圆锥螺旋压缩弹簧的几何尺寸计算

名 称	等节距圆锥螺旋弹簧 $p = \text{常数}$	等螺旋角圆锥螺旋弹簧 $\alpha = \text{常数}$
有效圈数 n	$n = \frac{Gd^4}{16k} \left(\frac{R_2 - R_1}{R_2^4 - R_1^4} \right)$	$G \text{—切变模量 (MPa)}$ $k \text{—弹簧刚度 (N/mm)}$
弹簧圈压并时节距 p' /mm	$p' = d \sqrt{1 - \left(\frac{R_2 - R_1}{nd} \right)^2}$	
节距 p /mm	$p = \frac{f_b + np'}{n}$	$f_b \text{—压并变形量 (mm)}$
螺旋角 α /rad		$\alpha = \frac{32R_2^2 F}{\pi G d^4} + \frac{p'}{2\pi R_2}$ $F \text{—工作载荷 (N)}$
弹簧圈 i 的半径 R_i /mm	$R_i = R_2 - (R_2 - R_1) \frac{i}{n}$	$R_i = R_2 e^{-\frac{i \ln R_2}{n}} \text{ 或 } R_i \approx R_2 - (R_2 - R_1) \frac{i}{n}$
小端支承圈的半径 R'_1 /mm	$R'_1 = R_1 - \frac{n_2 d (R_2 - R_1)}{2 \sqrt{H_0'^2 - (R_2 - R_1)^2}}$	$n_2 \text{—支承圈数}$
大端支承圈的半径 R'_2 /mm	$R'_2 = R_2 + \frac{n_2 d (R_2 - R_1)}{2 \sqrt{H_0'^2 - (R_2 - R_1)^2}}$	
有效工作圈的自由高度 H'_0 /mm	$H'_0 = np$	$H'_0 = \pi n \alpha (R_2 - R_1)$
总圈数 n_1	当端部并紧,磨平支承圈为 1 时: $n_1 = n + 2$ 当端部并紧,磨平支承圈为 3/4 时: $n_1 = n + 1.5$	
自由高度 H_0 /mm	当 $n_1 = 2$ 时, $H_0 = H'_0 + 1.5d$ 当 $n_2 = 1.5$ 时, $H_0 = H'_0 + d$	
弹簧钢丝展开长度 L /mm	$L \approx \pi n_1 (R'_2 + R'_1)$	

注: 当 $(R_2 - R_1) \geq nd$ 时, 取 $p' = 0$ 。

表 3.4-19 圆锥螺旋压缩弹簧的变形和强度计算

		等节距圆锥螺旋弹簧 $p = \text{常数}$	等螺旋角圆锥螺旋弹簧 $\alpha = \text{常数}$
弹簧圈开始接触前	变形量 f/mm	$f = \frac{16nF}{Gd^4} \left(\frac{R_2^4 - R_1^4}{R_2 - R_1} \right)$ F —工作载荷 (N)	
	应力 τ/MPa	$\tau = \frac{16KFR_2}{\pi d^3}$ 式中 K —曲度系数, $K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$, 其中 $C = \frac{2R_2}{d}$	
	弹簧刚度 $k/(\text{N/mm})$	$k = \frac{F}{f} = \frac{Gd^4}{16n} \frac{(R_2 - R_1)}{(R_2^4 - R_1^4)}$	
弹簧圈开始接触后	载荷 F/N	$F_i = \frac{Gd^4}{64R_i^3} (p - p')$	$F_i = \frac{\pi Gd^4}{32R_i^2} \left(\alpha - \frac{p'}{2\pi R_i} \right)$
	变形量 f/mm	$f_i = \frac{n}{R_2 - R_1} \left[\frac{16F_i}{Gd^4} (R_i^4 - R_1^4) + (p - p') (R_2 - R_1) \right]$	$f_i = \frac{n}{R_2 - R_1} \left[\frac{16F_i}{Gd^4} (R_i^4 - R_1^4) + \pi \alpha (R_2^2 - R_1^2) - p' (R_2 - R_1) \right]$
	应力 τ/MPa	$\tau = \frac{16KR_i F_i}{\pi d^3}$	

注: 1. 当 $(R_2 - R_1) \geq nd$ 时, 取 $p' = 0$ 。

2. 当计算弹簧圈开始接触时的载荷 F_2 、变形量 f_2 或 τ_2 时, 取 $R_i = R_2$ 。

3. 当计算弹簧圈完全压并时的载荷 F_b 、变形量 f_b 或应力 τ_b 时, 取 $R_i = R_1$ 。

2 碟形弹簧

2.1 碟形弹簧的结构和尺寸系列

碟形弹簧是用钢板冲压成形的截锥形压缩弹簧。它有 3 个特点:

1) 刚度大。能以小变形承受大载荷, 适合于轴向空间要求小的场合。

2) 具有变刚度的性质。碟形弹簧压平时变形量 h_0 和厚度 t 的比值不同, 其特性曲线也不同, 当 h_0/t 为 0.4~0.8 时, 其特性曲线接近于直线; 当 h_0/t

大于 1.3 时, 则随着变形的增加, 其载荷增加却逐渐变小。

3) 用同样的碟形弹簧采用不同的组合方式, 能使弹簧特性在很大范围内变化。可采用对合、叠合的组合方式, 也可采用复合不同厚度、不同片数等的组合方式。

当叠合时, 相对于同一变形, 弹簧数越多则载荷越大。当对合时, 对于同一载荷, 弹簧数越多则变形越大。

碟形弹簧根据厚度分为无支承面碟簧和有支承面碟簧, 见图 3.4-15 和表 3.4-20。

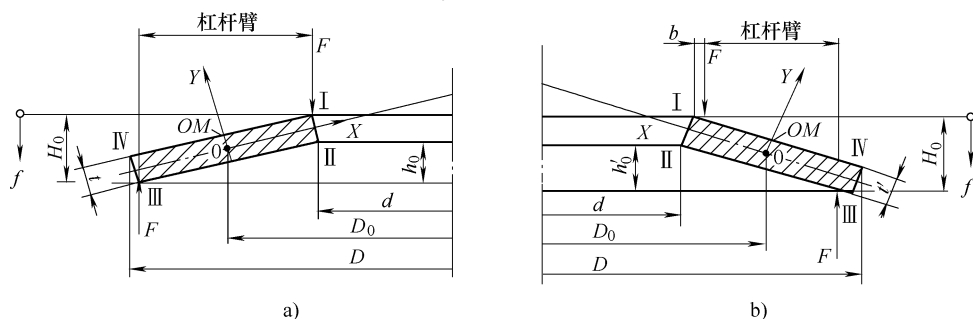


图 3.4-15 单个碟簧及计算应力的截面位置

a) 无支承面 b) 有支承面

D —弹簧外径 (mm) d —弹簧内径 (mm) D_0 —弹簧中性径 (mm), 为碟簧截面中性点所在圆直径,

其大小按 $D_0 = \frac{D-d}{\ln \frac{D}{d}}$ 计算 t —厚度 (mm) t' —减薄碟簧厚度 (mm) H_0 —自由高度 (mm)

h_0 —无支承面碟簧压平时变形量 (mm), $h_0 = H_0 - t$ h_0' —有支承面碟簧压平时变形量 (mm),

$h_0' = H_0 - t'$ b —支承面宽度 (mm), $b \approx D/150$ F —载荷 (N) f —变形量 (mm)

常用碟形弹簧还按其外径 D 、压平时变形量 h_0 的碟簧尺寸, 以及当变形量 $f=0.75h_0$ 时的载荷 F 和厚度 t 的比值 D/t 、 h_0/t 分为 3 个系列。各种大小 应力数值见表 3. 4-21。

表 3. 4-20 碟簧按厚度的分类 (摘自 GB/T1972—2005)

类 别	型式	碟簧厚度 t/mm	工 艺 方 法
1	无支承面	< 1.25	冷冲成形, 边缘倒圆角
2		$1.25 \sim 6.0$	1) 切削内外圆或平面, 边缘倒圆角, 冷成形或热成形 2) 精冲, 边缘倒圆角, 冷成形或热成形
3	有支承面	$> 6.0 \sim 16.0$	冷成形或热成形, 加工所有表面, 边缘倒圆角

表 3. 4-21 碟形弹簧的系列、尺寸和参数 (摘自 GB/T 1972—2005)

系列 A $\frac{D}{t} \approx 18; \frac{h_0}{t} \approx 0.4; E = 206\text{GPa}; \mu = 0.3$											
类 别	外径 D /mm	内径 d /mm	厚度 ^① $t(t')$ /mm	压平时 变形量 h_0 /mm	自由 高度 H_0 /mm	$f \approx 0.75h_0$					质量 Q /(kg/ 1000 件)
						F /N	f /mm	$H_0 - f$ /mm	σ_{OM} ^② /MPa	σ_{II} 或 σ_{III} ^③ /MPa	
1	8	4.2	0.4	0.2	0.6	210	0.15	0.45	-1200	1200 *	0.114
	10	5.2	0.5	0.25	0.75	329	0.19	0.56	-1210	1240 *	0.225
	12.5	6.2	0.7	0.3	1	673	0.23	0.77	-1280	1420 *	0.508
	14	7.2	0.8	0.3	1.1	813	0.23	0.87	-1190	1340 *	0.711
	16	8.2	0.9	0.35	1.25	1000	0.26	0.99	-1160	1290 *	1.050
	18	9.2	1	0.4	1.4	1250	0.3	1.1	-1170	1300 *	1.480
	20	10.2	1.1	0.45	1.55	1530	0.34	1.21	-1180	1300 *	2.010
2	22.5	11.2	1.25	0.5	1.75	1950	0.38	1.37	-1170	1320 *	2.940
	25	12.2	1.5	0.55	2.05	2910	0.41	1.64	-1210	1410 *	4.400
	28	14.2	1.5	0.65	2.15	2850	0.49	1.66	-1180	1280 *	5.390
	31.5	16.3	1.75	0.7	2.45	3900	0.53	1.92	-1190	1320 *	7.840
	35.5	18.3	2	0.8	2.8	5190	0.6	2.2	-1210	1330 *	11.40
	40	20.4	2.25	0.9	3.15	6540	0.68	2.47	-1210	1340	16.40
	45	22.4	2.5	1	3.5	7720	0.75	2.75	-1150	1300 *	23.50
	50	25.4	3	1.1	4.1	12000	0.83	3.27	-1250	1430 *	34.30
	56	28.5	3	1.3	4.3	11400	0.98	3.32	-1180	1280 *	43.00
	63	31	3.5	1.4	4.9	15000	1.05	3.85	-1140	1300 *	64.90
	71	36	4	1.6	5.6	20500	1.2	4.4	-1200	1330 *	91.80
	80	41	5	1.7	6.7	33700	1.28	5.42	-1260	1460 *	145.0
	90	46	5	2	7	31400	1.5	5.5	-1170	1300 *	184.5
	100	51	6	2.2	8.2	48000	1.65	6.55	-1250	1420 *	273.7
3	112	57	6	2.5	8.5	43800	1.88	6.62	-1130	1240 *	343.8
	125	64	8(7.5)	2.6	10.6	85900	1.95	8.65	-1280	1330 *	533.0
	140	72	8(7.5)	3.2	11.2	85300	2.4	8.8	-1260	1280 *	666.6
	160	82	10(9.4)	3.5	13.5	139000	2.63	10.87	-1320	1340 *	1094
	180	92	10(9.4)	4	14	125000	3	11	-1180	1200	1387
	200	102	12(11.25)	4.2	16.2	183000	3.15	13.05	-1210	1230 *	2100
	225	112	12(11.25)	5	17	171000	3.75	13.25	-1120	1140	2640
	250	127	14(13.1)	5.6	19.6	249000	4.2	15.4	-1200	1220	3750

(续)

系列 B $\frac{D}{t} \approx 28; \frac{h_0}{t} \approx 0.75; E = 206 \text{ GPa}; \mu = 0.3$

类别	外径 D /mm	内径 d /mm	厚度 ^① $t(t')$ /mm	压平时 变形量 h_0 /mm	自由 高度 H_0 /mm	$f \approx 0.75h_0$					质量 Q /(kg/ 1000 件)
						F /N	f /mm	$H_0 - f$ /mm	$\sigma_{\text{OM}}^{\text{②}}$ /MPa	σ_{II} 或 $\sigma_{\text{III}}^{\text{③}}$ /MPa	
1	8	4.2	0.3	0.25	0.55	119	0.19	0.36	-1140	1330	0.086
	10	5.2	0.4	0.3	0.7	213	0.23	0.47	-1170	1300	0.180
	12.5	6.2	0.5	0.35	0.85	291	0.26	0.59	-1000	1110	0.363
	14	7.2	0.5	0.4	0.9	279	0.3	0.6	-970	1100	0.444
	16	8.2	0.6	0.45	1.05	412	0.34	0.71	-1010	1120	0.698
	18	9.2	0.7	0.5	1.2	572	0.38	0.82	-1040	1130	1.030
	20	10.2	0.8	0.55	1.35	745	0.41	0.94	-1030	1110	1.460
	22.5	11.2	0.8	0.65	1.45	710	0.49	0.96	-962	1080	1.880
	25	12.2	0.9	0.7	1.6	868	0.53	1.07	-938	1030	2.640
	28	14.2	1	0.8	1.8	1110	0.6	1.2	-961	1090	3.590
2	31.5	16.3	1.25	0.9	2.15	1920	0.68	1.47	-1090	1190	5.600
	35.5	18.3	1.25	1	2.25	1700	0.75	1.5	-944	1070	7.130
	40	20.4	1.5	1.15	2.65	2620	0.86	1.79	-1020	1130	10.95
	45	22.4	1.75	1.3	3.05	3660	0.98	2.07	-1050	1150	16.40
	50	25.4	2	1.4	3.4	4760	1.05	2.35	-1060	1140	22.90
	56	28.5	2	1.6	3.6	4440	1.2	2.4	-963	1090	28.70
	63	31	2.5	1.75	4.25	7180	1.31	2.94	-1020	1090	46.40
	71	36	2.5	2	4.5	6730	1.5	3	-934	1060	57.70
	80	41	3	2.3	5.3	10500	1.73	3.57	-1030	1140	87.30
	90	46	3.5	2.5	6	14200	1.88	4.12	-1030	1120	129.1
	100	51	3.5	2.8	6.3	13100	2.1	4.2	-926	1050	159.7
	112	57	4	3.2	7.2	17800	2.4	4.8	-963	1090	229.2
	125	64	5	3.5	8.5	30000	2.63	5.87	-1060	1150	355.4
	140	72	5	4	9	27900	3	6	-970	1100	444.4
	160	82	6	4.5	10.5	41100	3.38	7.12	-1000	1110	698.3
	180	92	6	5.1	11.1	37500	3.83	7.27	-895	1040	885.4
3	200	102	8(7.5)	5.6	13.6	76400	4.2	9.4	-1060	1250	1369
	225	112	8(7.5)	6.5	14.5	70800	4.88	9.62	-951	1180	1761
	250	127	10(9.4)	7	17	119000	5.25	11.75	-1050	1240	2687

系列 C $\frac{D}{t} \approx 40; \frac{h_0}{t} \approx 1.3; E = 206 \text{ GPa}; \mu = 0.3$

类别	外径 D /mm	内径 d /mm	厚度 ^① $t(t')$ /mm	压平时 变形量 h_0 /mm	自由 高度 H_0 /mm	$f \approx 0.75h_0$					质量 Q /(kg/ 1000 件)
						F /N	f /mm	$H_0 - f$ /mm	$\sigma_{\text{OM}}^{\text{②}}$ /MPa	σ_{II} 或 $\sigma_{\text{III}}^{\text{③}}$ /MPa	
1	8	4.2	0.2	0.25	0.45	39	0.19	0.26	-762	1040	0.057
	10	5.2	0.25	0.3	0.55	58	0.23	0.32	-734	980	0.112
	12.5	6.2	0.35	0.45	0.8	152	0.34	0.46	-944	1280	0.251

(续)

系列 C $\frac{D}{t} \approx 40; \frac{h_0}{t} \approx 1.3; E = 206 \text{ GPa}; \mu = 0.3$

类别	外径 D /mm	内径 d /mm	厚度 ^① $t(t')$ /mm	压平时 变形量 h_0 /mm	自由 高度 H_0 /mm	$f \approx 0.75h_0$					质量 Q /(kg/ 1000 件)
						F /N	f /mm	$H_0 - f$ /mm	$\sigma_{OM}^{②}$ /MPa	σ_{II} 或 $\sigma_{III}^{③}$ /MPa	
1	14	7.2	0.35	0.45	0.8	123	0.34	0.46	-769	1060	0.311
	16	8.2	0.4	0.5	0.9	155	0.38	0.52	-751	1020	0.466
	18	9.2	0.45	0.6	1.05	214	0.45	0.6	-789	1110	0.661
	20	10.2	0.5	0.65	1.15	254	0.49	0.66	-772	1070	0.912
	22.5	11.2	0.6	0.8	1.4	425	0.6	0.8	-883	1230	1.410
	25	12.2	0.7	0.9	1.6	601	0.68	0.92	-936	1270	2.060
	28	14.2	0.8	1	1.8	801	0.75	1.05	-961	1300	2.870
	31.5	16.3	0.8	1.05	1.85	687	0.79	1.06	-810	1130	3.580
	35.5	18.3	0.9	1.15	2.05	831	0.86	1.19	-779	1080	5.140
	40	20.4	1	1.3	2.3	1020	0.98	1.32	-772	1070	7.300
2	45	22.4	1.25	1.6	2.85	1890	1.2	1.65	-920	1250	11.70
	50	25.4	1.25	1.6	2.85	1550	1.2	1.65	-754	1040	14.30
	56	28.5	1.5	1.95	3.45	2620	1.46	1.99	-879	1220	21.50
	63	31	1.8	2.35	4.15	4240	1.76	2.39	-985	1350	33.40
	71	36	2	2.6	4.6	5140	1.95	2.65	-971	1340	46.20
	80	41	2.25	2.95	5.2	6610	2.21	2.99	-982	1370	65.50
	90	46	2.5	3.2	5.7	7680	2.4	3.3	-935	1290	92.20
	100	51	2.7	3.5	6.2	8610	2.63	3.57	-895	1240	123.2
	112	57	3	3.9	6.9	10500	2.93	3.97	-882	1220	171.9
	125	64	3.5	4.5	8	15100	3.38	4.62	-956	1320	248.9
	140	72	3.8	4.9	8.7	17200	3.68	5.02	-904	1250	337.7
	160	82	4.3	5.6	9.9	21800	4.2	5.7	-892	1240	500.4
	180	92	4.8	6.2	11	26400	4.65	6.35	-869	1200	708.4
	200	102	5.5	7	12.5	36100	5.25	7.25	-910	1250	1004
3	225	112	6.5(6.2)	7.1	13.6	44600	5.33	8.27	-840	1140	1456
	250	127	7(6.7)	7.8	14.8	50500	5.85	8.95	-814	1120	1915

注：标记示例：一级精度，系列 A，外径 $D = 100 \text{ mm}$ 的第 2 类弹簧标记为：碟簧 A100-1 GB/T1972

二级精度，系列 B，外径 100 mm 的碟簧标记为：碟簧 B100 GB/T 1972。

- ① 表中给出的是碟簧厚度 t 的公称数值，在第 3 类碟簧中碟簧厚度减薄为 t' 。
- ② 表中 σ_{OM} 表示碟簧上表面 OM 点的计算应力（压应力）。
- ③ 表中给出的是碟簧下表面的最大计算拉应力，有 * 号的数值是在位置 II 处的拉应力，无 * 号的数值是位置 III 处的拉应力。

2.2 碟形弹簧的设计计算

2.2.1 单片碟形弹簧的计算

无支承面和有支承面碟簧使用相同的公式计算。
为使有支承面的计算载荷（在 $f = 0.75h_0$ 时）与相同尺寸（ D 、 d 、 H_0 ）的无支承面碟簧的计算载荷相

等，应将有支承面碟簧的厚度减薄，减薄量 t'/t 按表 3.4-22 计算。

表 3.4-22 有支承面碟簧厚度的减薄量

（摘自 GB/T 1972—2005）

系 列	A	B	C
t'/t	0.94	0.94	0.96

碟形弹簧各参数的计算公式如下:

碟簧载荷

$$F = \frac{4E}{1-\mu^2} \times \frac{t^4}{K_1 D^2} K_4^2 \frac{f}{t} \times \left[K_4^2 \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{t} \right) \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{2t} \right) + 1 \right] \quad (3.4-39)$$

当碟簧压平时, $f=h_0$, 上式简化为

$$F_c = F_{(f=h_0)} = \frac{4E}{1-\mu^2} \times \frac{t^3 h_0}{K_1 D^2} K_4^2 \quad (3.4-40)$$

计算应力

$$\sigma_{OM} = -\frac{4E}{1-\mu^2} \times \frac{t^2}{K_1 D^2} K_4 \frac{f}{t} \frac{3}{\pi} \quad (3.4-41)$$

$$\sigma_I = -\frac{4E}{1-\mu^2} \times \frac{t^2}{K_1 D^2} K_4 \frac{f}{t} \times \left[K_4 K_2 \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{2t} \right) + K_3 \right] \quad (3.4-42)$$

$$\sigma_{II} = -\frac{4E}{1-\mu^2} \times \frac{t^2}{K_1 D^2} K_4 \frac{f}{t} \times \left[K_4 K_2 \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{2t} \right) - K_3 \right] \quad (3.4-43)$$

$$\sigma_{III} = -\frac{4E}{1-\mu^2} \times \frac{t^2}{K_1 D^2} K_4 \frac{1}{C} \frac{f}{t} \times \left[K_4 (K_2 - 2K_3) \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{2t} \right) - K_3 \right] \quad (3.4-44)$$

$$\sigma_{IV} = -\frac{4E}{1-\mu^2} \times \frac{t^2}{K_1 D^2} K_4 \frac{1}{C} \frac{f}{t} \times \left[K_4 (K_2 - 2K_3) \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{2t} \right) + K_3 \right] \quad (3.4-45)$$

式 (3.4-39) ~ 式 (3.4-45) 中

F ——碟簧载荷 (N);

F_c ——碟簧压平时载荷 (N);

σ_{OM} ——碟簧 OM 点的应力 (MPa);

σ_I 、 σ_{II} 、 σ_{III} 、 σ_{IV} ——碟簧位置 I、II、III、IV 处的应力 (MPa);

E ——弹性模量 (MPa), 弹簧钢取

$E = 2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$;

μ ——泊松比, 弹簧钢取 $\mu = 0.3$;

C ——外径和内径之比, $C = D/d$;

K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 ——计算系数

$$K_1 = \frac{1}{\pi} \frac{\left(\frac{C-1}{C} \right)^2}{C+1 - \ln C} \quad (3.4-46)$$

$$K_2 = \frac{6}{\pi} \frac{\frac{C-1}{\ln C} - 1}{\ln C} \quad (3.4-47)$$

$$K_3 = \frac{3}{\pi} \frac{C-1}{\ln C} \quad (3.4-48)$$

$$K_4 = \sqrt{-\frac{C_1}{2} + \sqrt{\left(\frac{C_1}{2} \right)^2 + C_2}} \quad (3.4-49)$$

其中

$$C_1 = \frac{\left(\frac{t'}{t} \right)^2}{\left(\frac{H_0}{4t} - \frac{t'}{t} + \frac{3}{4} \right) \left(\frac{5}{8} \frac{H_0}{t} - \frac{t'}{t} + \frac{3}{8} \right)}$$

$$C_2 = \frac{C_1}{\left(\frac{t'}{t} \right)^3} \left[\frac{5}{32} \left(\frac{H_0}{t} - 1 \right)^2 + 1 \right]$$

计算系数 K_1 、 K_2 、 K_3 的值也可以根据 $C = D/d$ 从表 3.4-23 中查取。

在计算中, 对无支承面弹簧 $K_4 = 1$; 对有支承面弹簧, K_4 按式 (3.4-49) 计算, 并将各公式中的 t 用 t' 替代, h_0 用 h_0' 替代。计算得到的应力为正值时是拉应力, 负值时是压应力。

碟簧刚度

$$k = \frac{dF}{df} = \frac{4E}{1-\mu^2} \frac{t^3}{K_1 D^2} K_4^2 \times \left\{ K_4^2 \left[\left(\frac{h_0}{t} \right)^2 - 3 \frac{h_0}{t} \frac{f}{t} + \frac{3}{2} \left(\frac{f}{t} \right)^2 \right] + 1 \right\} \quad (3.4-50)$$

碟簧变形能

$$U = \int_0^f F df = \frac{2E}{1-\mu^2} \frac{t^5}{K_1 D^2} K_4^2 \left(\frac{f}{t} \right)^2 \times \left[K_4^2 \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{2t} \right)^2 + 1 \right] \quad (3.4-51)$$

碟簧特性线

碟形弹簧的特性线与 $\frac{h_0}{t}$ 或 $K_4 \frac{h_0'}{t'}$ 的比值有关,

见图 3.4-16。当 $f/h_0 > 0.75$ 时, 由于实际杠杆臂缩短, 弹簧载荷比计算值要大, 这部分的计算特性线与实测特性线有较大区别。

2.2.2 组合碟形弹簧的计算

叠合、对合和复合组合碟形弹簧的总载荷和总变形量的计算式见表 3.4-24。

为获得特殊的碟簧特性曲线, 除表 3.4-24 中 3 种组合形式外, 还可以采用不同厚度碟簧组成的对合组合碟簧, 或由尺寸相同, 但各组片数逐渐增加

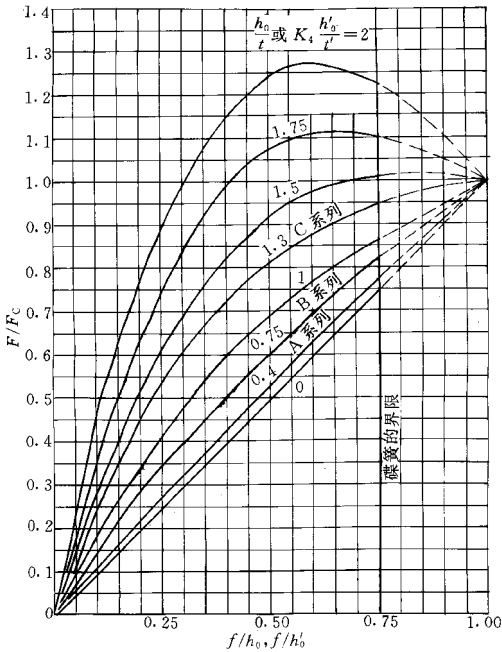


图 3.4-16 按不同 $\frac{h_0}{t}$ 或 $K_4 \frac{h'_0}{t'}$ 计算的碟簧特性曲线

表 3.4-23 计算系数 K_1 、 K_2 、 K_3 的值

$C = D/d$	1.90	1.92	1.94	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04	2.06
K_1	0.672	0.677	0.682	0.686	0.690	0.694	0.698	0.702	0.706
K_2	1.197	1.201	1.206	1.211	1.215	1.220	1.224	1.229	1.233
K_3	1.339	1.347	1.355	1.362	1.370	1.378	1.385	1.393	1.400

表 3.4-24 碟簧组合形式及计算公式

型 式	简图及特性	载荷及变形的计算公式	说 明
叠合组合		$F_z = nF$ $f_z = f$ $H_z = H_0 + (n - 1) t$	F ——单片碟簧的载荷 (N) F_z ——总载荷 (N) f ——单片碟簧变形量 (mm) f_z ——总变形量 (mm) n ——叠合层数
对合组合		$F_z = F$ $f_z = if$ $H_z = iH_0$	i ——对合片数 H ——单片碟簧的自由高度 (mm)
复合组合		$F_z = nF$ $f_z = if$ $H_z = i [H_0 + (n - 1) t]$	H_z ——组合碟簧的自由高度 (mm) t ——单片碟簧的厚度 (mm)

的复合组合碟簧，其总载荷和总变形量可参照表 3.4-24 中公式计算。

使用组合碟簧，必须考虑摩擦力对特性曲线的影响。摩擦力与组合碟簧的组数、每个叠层的片数有关，也与碟簧表面质量和润滑情况有关。由于摩擦力的阻尼作用，叠合组合碟簧的刚性比理论计算值大，对合组合碟簧的各片变形量将依次递减。在冲击载荷下使用组合碟簧，外力的传递对各片也依次递减。所以组合碟簧的片数不宜用得过多，尽可能采用直径较大、片数较少的组合碟簧。

考虑摩擦力影响时，碟簧载荷

$$F_R = F \frac{n}{1 \pm f_M (n - 1) \pm f_R} \quad (3.4-52)$$

式中 n ——叠合片数；

f_M ——碟簧锥面间的摩擦因数（见表 3.4-25）；

f_R ——承载边缘处的摩擦因数（见表 3.4-25）。

上式用于加载时取负号，卸载时取正号。

由多组叠合碟簧对合组成的复合碟簧，仅考虑叠合表面间摩擦时，可令式中 $f_R = 0$ 。式（16.2-14）也适用于单片碟簧，以 $n = 1$ 代入即可。

表 3.4-25 组合碟簧接触处的摩擦因数

(摘自 GB/T 1972—2005)

系 列	锥面间的摩擦因数 f_M	承载边缘处的摩擦因数 f_R
A	0.005 ~ 0.03	0.03 ~ 0.05
B	0.003 ~ 0.02	0.02 ~ 0.04
C	0.002 ~ 0.015	0.01 ~ 0.03

2.3 碟形弹簧的许用应力和疲劳极限

碟形弹簧按其载荷性质分为两类：

静载荷 作用载荷不变或在长时间内只有偶然变化，在规定寿命内变化次数小于 1×10^4 次。

变载荷 作用在碟簧上的载荷在预加载荷 F_1 和工作载荷 F_2 之间循环变化，在规定寿命内变化次数大于 1×10^4 次。

(1) 静载荷作用下碟簧许用应力

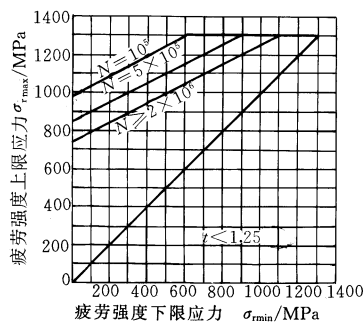
静载荷作用下的碟簧，应通过校核 OM 点的应力 σ_{OM} 来保证自由高度 H_0 的稳定。在压平时的 σ_{OM} 应接近弹簧材料的屈服强度。对于材料为 60Si2MnA 或 50CrVA 的弹簧，其屈服强度 = 1400 ~ 1600MPa。

(2) 变载荷作用下碟簧的疲劳极限

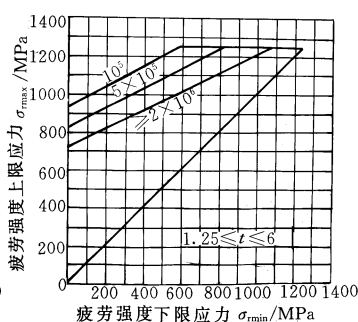
变载荷作用下碟簧使用寿命可分为：

1) 无限寿命 可以承受 2×10^6 或更多加载次数而不破坏。

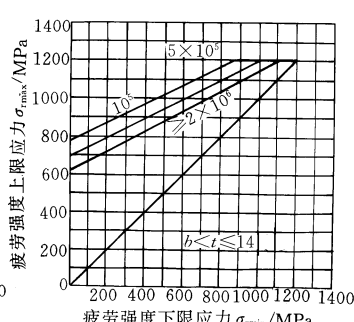
2) 有限寿命 可以在持久强度范围内承受 $1 \times$



a)



b)



c)

图 3.4-18 碟簧的疲劳极限曲线图

a) $t < 1.25 \text{ mm}$ b) $1.25 \text{ mm} \leq t \leq 6 \text{ mm}$ c) $6 \text{ mm} < t \leq 16 \text{ mm}$

2.4 碟形弹簧的技术要求

碟形弹簧不宜由棒料或其他形式的毛坯直接机械加工成截锥形，而要求冲压成形，以保证其承载能力。碟簧厚度 $t < 1 \text{ mm}$ 时，常用表面光洁的冷轧带钢，经退火后冷冲压成形；厚度为 $1 \sim 6 \text{ mm}$ 时，则在冷冲压成形后，切削加工内孔和外圆；厚度 $t \geq 6 \text{ mm}$ 时，可采用热轧带钢或钢板，在热冲压成形后

$10^4 \sim 2 \times 10^6$ 次有限的加载次数直至破坏。

受变载荷作用的碟形弹簧，疲劳破坏一般发生在最大拉应力位置 II 或 III 处 (图 3.4-15)，是 II 点还是 III 点，取决于 $C = D/d$ 值和 h_0/t (无支承面) 或 $K_4 \frac{h_0'}{t'}$ (有支承面)。图 3.4-17 显示了碟簧受疲劳破坏的区域范围，在过渡区内时，应同时校核其 σ_{II} 和 σ_{III} ，以确定其破坏部位在 II 点还是在 III 点。

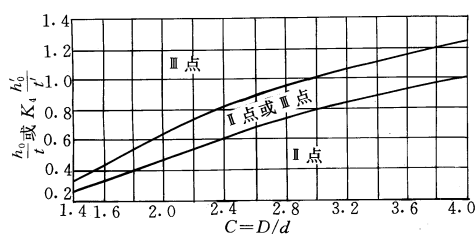


图 3.4-17 碟簧疲劳破坏的关键部位

受变载荷作用的碟形弹簧，安装时必须要有预压变形量 f_1 ，一般 $f_1 = 0.15h_0 \sim 0.20h_0$ 。此预压变形量 f_1 能防止 I 点附近产生径向小裂纹，对提高寿命也有作用。材料为 50CrVA 的变载荷作用下单个 (或不超过 10 片的对合组合) 碟簧的疲劳极限校核方法是：根据碟簧厚度计算出碟簧的上限应力 $\sigma_{\max}$ (对应于工作时最大变形量 f_2) 和下限应力 $\sigma_{\min}$ (对应于预压变形量 f_1)，由图 3.4-18 查取。

再切削加工各表面。GB/T1972—2005 规定了碟形弹簧的技术要求：

1) 碟簧各尺寸参数的公差及偏差见表 3.4-26。

2) 碟簧的表面粗糙度按表 3.4-27 的规定。碟簧表面不允许有毛刺、裂纹、斑疤等缺陷。

3) 碟簧材料应采用 60Si2MnA 或 50CrVA 带、板材或锻造坯料制造。

表 3.4-26 碟簧尺寸和参数的极限偏差 (摘自 GB/T 1972—2005)

名 称	偏 差					
外径 D 的极限偏差	一级精度	h12				
	二级精度	h13				
内径 d 的极限偏差	一级精度	H12				
	二级精度	H13				
厚度 t (t') 的极限偏差 /mm	t (t') /mm	0.2 ~ 0.6	>0.6 ~ <1.25	1.25 ~ 3.8	>3.8 ~ 6	>6 ~ 16
	一、二级精度	+0.02 -0.06	+0.03 -0.09	+0.04 -0.12	+0.05 -0.15	±0.10
自由高度 H_0 的极限偏差 /mm	t /mm	<1.25	1.25 ~ 2	>2 ~ 3	>3 ~ 6	>6 ~ 16
	一、二级精度	+0.10 -0.05	+0.15 -0.08	+0.20 -0.10	+0.30 -0.15	±0.30
载荷 F 在 $f=0.75h_0$ 时的 波动范围 (%)	t /mm	<1.25		1.25 ~ 3	>3 ~ 6	>6 ~ 16
	一级精度	+25 -7.5		+15 -7.5	+10 -5	±5
	二级精度	+30 -10		+20 -10	+15 -7.5	±10

注：在保证载荷偏差的条件下，厚度极限偏差在制造中可作适当调整，但其公差带不得超出表中规定的范围。

表 3.4-27 碟簧的表面粗糙度
(摘自 GB/T1972—2005)

类别	基本制造方法	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	
		上、下表面	内、外圆
1	冷成形，边缘倒圆角	3.2	12.5
2	冷成形或热成形，切削 内、外圆或平面，边缘倒 圆角	6.3	6.3
	精冲，边缘倒圆角	6.3	3.2
3	热成形，加工所有表面 边缘倒圆角	12.5	12.5

4) 碟簧成形后，必须进行热处理，即淬火、回火处理。淬火次数不得超过两次。

5) 碟簧淬火、回火后的硬度必须在 42 ~ 52HRC 范围内。

6) 经热处理后的碟簧，其表面脱碳层的深度，对于厚度小于 1.25mm 的碟簧，不得超过其厚度的

5%；对于不小于 1.25mm 的碟簧，不得超过其厚度的 3%。其最小值允许为 0.06mm。

7) 碟簧应全部进行强压处理，处理方法为：一次压平，持续时间不少于 12h，或短时压平。压平次数不少于 5 次，压平力不小于 2 倍的 $F_{f=0.75h_0}$ 。碟簧经强压处理后，自由高度尺寸应稳定。在规定的试验条件下，其自由高度应在表 3.4-26 规定的极限偏差范围内。

8) 对用于承受变载荷的弹簧，内锥面推荐进行表面强化处理，例如喷丸处理等。

9) 根据需要，碟簧表面应进行防腐处理（如磷化、氧化、镀锌等）。经电镀处理后的碟簧必须进行去氢处理。对承受变载荷作用的碟簧应避免采用电镀的方法。

碟簧的导向采用导杆或导套，导向件和碟簧之间的间隙采用表 3.4-28 中数值。优先采用内导向。

表 3.4-28 碟簧与导杆、导套之间的间隙 (摘自 GB/T 1972—2005) (mm)

D 或 d	~ 16	> 16 ~ 20	> 20 ~ 26	> 26 ~ 31.5	> 31.5 ~ 50	> 50 ~ 80	> 80 ~ 140	> 140 ~ 250
间隙	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.6

2.5 计算例题

例 1 设计一组合碟形弹簧，承受静载荷为 5000N 时变形量要求为 10mm。导杆最大直径为 20mm。

解

根据题意从表 3.4-21 系列 A、B、C 中各选一个规格，其尺寸和参数列在表 3.4-29 中。

方案 1：采用 A 系列 $D = 40\text{mm}$ 碟簧的对合弹簧

表 3.4-29 计算数据

碟簧	D /mm	d /mm	t /mm	h_0 /mm	H_0 /mm	$f = 0.75h_0$		
						F /N	f /mm	σ_{II} 或 σ_{III} /MPa
A40	40	20.4	2.25	0.9	3.15	6500	0.68	1340
B40	40	20.4	1.5	1.15	2.65	2620	0.86	1130
C40	40	20.4	1	1.30	2.30	1020	0.98	1070

组。

由 $C = \frac{D}{d} = \frac{40}{20.4} = 1.96$, 从表 3.4-23 查得 $K_1 =$

0.686, 碟簧无支承面时, $K_4 = 1$ 。

用式 (3.4-40) 计算得到

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{4E}{1-\mu^2} \times \frac{t^3 h_0}{K_1 D^2} K_4^2 \\ &= \frac{4 \times 2.06 \times 10^5}{1-0.3^2} \times \frac{2.25^3 \times 0.9}{0.686 \times 40^2} \times 1^2 \text{N} \\ &= 8457 \text{N} \end{aligned}$$

根据 $\frac{h_0}{t} = \frac{0.9}{2.25} = 0.4$ 和 $\frac{F_1}{F_c} = \frac{5000}{8457} = 0.59$ 由图

3.4-16 查得 $\frac{f_1}{h_0} = 0.57$, 由此变形量 $f_1 = 0.57h_0 = 0.57 \times 0.9 \text{mm} = 0.51 \text{mm}$ 。满足总变形量 $f_z = 10 \text{mm}$ 所需碟簧片数为

$$i = \frac{f_z}{f_1} = \frac{10}{0.51} = 19.6$$

取 20 片。

对合碟簧组的总自由高度为

$$H_z = iH_0 = 20 \times 3.15 \text{mm} = 63 \text{mm}$$

承受载荷 5000N 时的高度

$$H_1 = H_z - if_1 = (63 - 20 \times 0.51) \text{mm} = 52.8 \text{mm}$$

方案 2: 采用 B 系列 $D = 40 \text{mm}$ 碟簧的复合组合弹簧组。

取叠合片数 $n = 2$, 如不计摩擦力, 单片碟簧承受载荷为

$$F_1 = \frac{F_z}{n} = \frac{5000}{2} \text{N} = 2500 \text{N}$$

由式 (3.4-40) 计算得

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{4E}{1-\mu^2} \times \frac{t^3 h_0}{K_1 D^2} K_4^2 \\ &= \frac{4 \times 2.06 \times 10^5}{1-0.3^2} \times \frac{1.5^3 \times 1.15}{0.686 \times 40^2} \times 1^2 \text{N} \\ &= 3202 \text{N} \end{aligned}$$

根据 $\frac{h_0}{t} = \frac{1.15}{1.5} = 0.75$ 和 $\frac{F_1}{F_c} = \frac{2500}{3202} = 0.79$, 由图

3.4-16 查得 $\frac{f_1}{h_0} = 0.71$, 由此变形量 $f_1 = 0.71h_0 = 0.71 \times 1.15 \text{mm} = 0.82 \text{mm}$ 。满足总变形量 10mm 所需对合组数为

$$i = \frac{f_z}{f_1} = \frac{10}{0.82} = 12.2$$

取 13 个对合组。

复合组合碟簧组的总自由高度

$$H_z = i[H_0 + (n-1)t]$$

$$= 13 \times [2.65 + (2-1) \times 1.5] \text{mm} = 54 \text{mm}$$

承受载荷 5000N 后的高度

$$\begin{aligned} H_1 &= H_z - if_1 = (54 - 13 \times 0.82) \text{mm} \\ &= 43.34 \text{mm} \end{aligned}$$

考虑摩擦力时, 碟簧载荷应予修正。由表 3.4-25 取 $f_M = 0.015$, 修正后的单片碟簧载荷为

$$\begin{aligned} F_1 &= F_z \frac{1 - f_M(n-1)}{n} \\ &= 5000 \times \frac{1 - 0.015 \times (2-1)}{2} \text{N} = 2463 \text{N} \end{aligned}$$

根据 $\frac{h_0}{t} = 0.75$ 和 $\frac{F_1}{F_c} = \frac{2463}{3202} = 0.77$, 由图 3.4-16

查得 $\frac{f_1}{h_0} = 0.68$, 其变形量 $f_1 = 0.68h_0 = 0.68 \times 1.15 \text{mm} = 0.78 \text{mm}$, 则复合组数为

$$i = \frac{f_z}{f_1} = \frac{10}{0.78} = 12.82$$

仍取复合组数为 13。

载荷为 5000N 时的高度为

$$\begin{aligned} H_1 &= H_z - if_1 = (54 - 13 \times 0.78) \text{mm} \\ &= 43.86 \text{mm} \end{aligned}$$

方案 1 的碟簧片数较少; 方案 2 的碟簧组总高度较小, 单片碟簧的利用也较好。但因叠合组数为单数, 弹簧组一端为外圆支承, 另一端为内圆支承。一般情况下尽量以外圆支承较好。方案 3 的计算从略。

例 2 有一由 20 片碟簧 A40 (GB/T 1972) 对合组合的弹簧, 受预加载荷 $F_1 = 1500 \text{N}$, 工作载荷 $F_2 = 5000 \text{N}$, 循环加载, 验算此弹簧组的疲劳强度。

解

(1) 由 F_1 、 F_2 求 f_1 、 f_2

弹簧的直径比 $C = \frac{D}{d} = \frac{40}{20.4} = 1.96$, 从表 3.4-

23 查得 $K_1 = 0.686$, $K_2 = 1.211$, $K_3 = 1.362$ 。这个碟簧是无支承面的, $K_4 = 1$ 。

由式 (3.4-40) 计算得到

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{4E}{1-\mu^2} \times \frac{t^3 h_0}{K_1 D^2} K_4^2 \\ &= \frac{4 \times 2.06 \times 10^5}{1-0.3^2} \times \frac{2.25^3 \times 0.9}{0.686 \times 40^2} \times 1^2 \text{N} \\ &= 8457 \text{N} \end{aligned}$$

因此:

$$\frac{F_1}{F_c} = \frac{1500}{8457} = 0.18 \quad \frac{F_2}{F_c} = \frac{5000}{8457} = 0.59$$

按照 $h_0/t = 0.4$, 查图 3.4-16, 得到 $f_1/h_0 = 0.155$, $f_2/h_0 = 0.57$ 。由此

$$f_1 = 0.155h_0 = 0.155 \times 0.9\text{mm} = 0.14\text{mm}$$

$$f_2 = 0.57h_0 = 0.57 \times 0.9\text{mm} = 0.51\text{mm}$$

(2) 疲劳破坏的关键部位

由 $\frac{h_0}{t} = 0.4$ 和 $C = 1.96$ 从图 3.4-17 查得疲劳破

坏的关键部位在 II 点。

(3) 计算应力 σ_{II} 并检验碟簧寿命

按式 (3.4-43) 计算 σ_{II}

当 $f_1 = 0.14\text{mm}$ 时

$$\begin{aligned}\sigma_{II} &= -\frac{4E}{1-\mu^2} \times \frac{t^2}{K_1 D^2} K_4 \frac{f}{t} \left[K_4 K_2 \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{2t} \right) - K_3 \right] \\ &= -\frac{4 \times 2.06 \times 10^5}{1-0.3^2} \times \frac{2.25^2}{0.686 \times 40^2} \times 1 \times \frac{0.14}{2.25} \times \\ &\quad \left[1 \times 1.211 \times \left(\frac{0.9}{2.25} - \frac{0.14}{2 \times 2.25} \right) - 1.362 \right] \text{MPa} \\ &= 238\text{MPa}\end{aligned}$$

当 $f_2 = 0.51\text{mm}$ 时

$$\begin{aligned}\sigma_{II} &= -\frac{4E}{1-\mu^2} \times \frac{t^2}{K_1 D^2} K_4 \frac{f}{t} \times \\ &\quad \left[K_4 K_2 \left(\frac{h_0}{t} - \frac{f}{2t} \right) - K_3 \right] \\ &= -\frac{4 \times 2.06 \times 10^5}{1-0.3^2} \times \frac{2.25^2}{0.686 \times 40^2} \times 1 \times \frac{0.51}{2.25} \times \\ &\quad \left[1 \times 1.211 \times \left(\frac{0.9}{2.25} - \frac{0.51}{2 \times 2.25} \right) - 1.362 \right] \text{MPa} \\ &= 961\text{MPa}\end{aligned}$$

碟簧的计算应力幅为

$$\sigma_a = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = (961 - 238)\text{MPa} = 723\text{MPa}$$

由图 3.4-18b 查得: 当 $\sigma_{\min} = 238\text{MPa}$, 寿命 2×10^6 时的 $\sigma_{\max} = 840\text{MPa}$, 即疲劳强度应力幅 σ_{ra} 为

$$\sigma_{ra} = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = (840 - 238)\text{MPa} = 602\text{MPa}$$

即 $\sigma_a > \sigma_{ra}$, 不能满足无限寿命的要求。改进办法有:

1) 提高预加载荷。如必须满足上限应力 961MPa, 则由图 3.4-18b 可查出 $N = 2 \times 10^6$ 时的下限应力为 500MPa, 此时对应的预加弹簧变形量近似为

$$f_1 \geq \frac{500}{240} \times 0.14\text{mm} = 0.29\text{mm}$$

再由图 3.4-16, 按 $f_1/h_0 = 0.29/0.9 = 0.32$ 查出 $F_1/F_c = 0.35$, 则 $F_1 = 0.35 \times 8457\text{N} = 2960\text{N}$, 即预加载荷 F_1 为 2960N, 才能满足工作载荷 $F_2 = 5000\text{N}$ 的变载荷, 达到 $N = 2 \times 10^6$ 疲劳寿命要求。

2) 降低工作载荷。如仍保持预加载荷为 1500N,

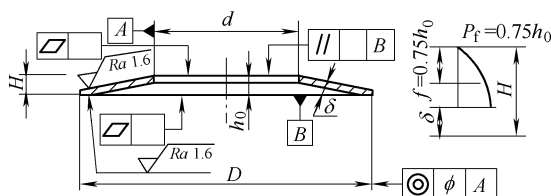
要求达到 $N = 2 \times 10^6$ 疲劳寿命要求, 则工作载荷应降低。由图 3.4-18b 查出 $\sigma_{\min} = 238\text{MPa}$, $N = 2 \times 10^6$ 时的 $\sigma_{\max} = 840\text{MPa}$ 。考虑安全系数, 取 $\sigma_{\max} = 800\text{MPa}$, 则

$$f_2 \approx \frac{800}{961} \times 0.51\text{mm} = 0.42\text{mm},$$

$$f_2/h_0 = 0.42/0.9 = 0.47$$

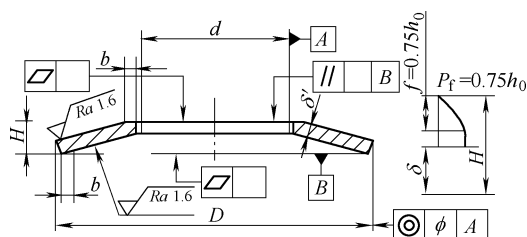
由图 3.4-16 查得 $F_2/F_c = 0.51$, $F_2 = 0.51 \times 8460\text{N} = 4315\text{N}$, 即工作载荷不大于 4315N 时, 能满足疲劳强度要求。

2.6 碟形弹簧工作图 (见图 3.4-19、图 3.4-20)



技术要求: 1) 精度等级; 2) 锐角倒圆;
3) 内锥面喷丸处理; 4) 热处理后硬度。

图 3.4-19 无支承面碟簧



技术要求: 1) 精度等级; 2) 锐角倒圆; 3) 内锥面喷丸处理; 4) 热处理后硬度。

图 3.4-20 有支承面碟簧

3 环形弹簧

3.1 环形弹簧的结构、特点和应用

环形弹簧由带有配合圆锥面的外圆环和内圆环组成 (图 3.4-21)。当环形弹簧承受轴向载荷 F 时, 内圆环受压缩而直径缩小, 外圆环受拉伸而直径扩大。内、外圆环沿圆锥面相对滑动产生轴向变形。

由于环形弹簧工作时摩擦力很大, 卸载时摩擦力阻滞了弹簧变形的恢复, 其加载和卸载时的特性曲线不重合。图 3.4-22 所示弹簧加载和卸载特性曲线所包围的面积, 即为摩擦力转化为热能所消耗的功, 其大小几乎可达加载时所作功的 60% ~ 70%,

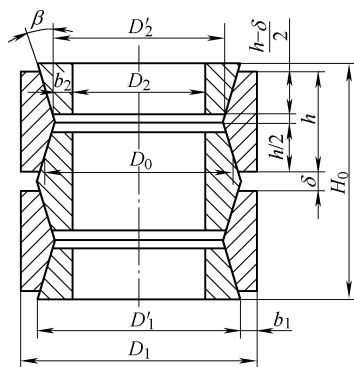


图 3.4-21 圆环弹簧

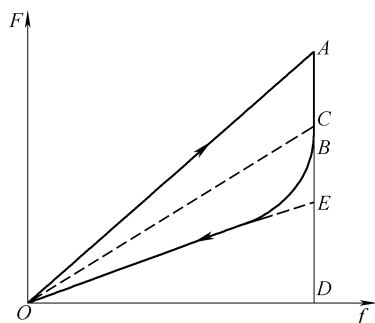


图 3.4-22 环形弹簧的特性曲线

因此环形弹簧的缓冲减振能力很高。单位体积材料的储能能力比其他类型弹簧大。

环形弹簧常用在空间尺寸受限制而又要求强力缓冲的场合。如大型管道的吊架、振动机械的支承,以及重型铁路车辆的连接部分等。近来还用来作为轴衬,以代替轴上装的销、键和花键等。

3.2 环形弹簧的设计计算

3.2.1 应力和变形量的计算

当环形弹簧受轴向力 F 时（见图 3.4-21），其内、外圆环中分别产生压应力和拉应力，计算公式为

外环面截面中的拉应力

$$\sigma_1 = \frac{F}{\pi A_1 \tan (\beta \pm \rho)} \quad (3.4-53a)$$

内环面截面中的压应力

$$\sigma_2 = \frac{F}{\pi A_2 \tan(\beta \pm \rho)} \quad (3.4-53b)$$

式中 A_1 ——外圆环截面积, $A_1 = hb_1 + \frac{h^2 \tan \beta}{4}$;

$$A_2\text{——内圆环截面积, } A_2 = hb_2 + \frac{h^2 \tan \beta}{4};$$

β ——圆锥面的圆锥角；

ρ ——摩擦角，摩擦因数 $\mu = \tan\rho$ 。当加载

时,取“+”,卸载时,取“-”。

内、外圆环的圆锥接触表面上还有压应力，它使接触表面在圆周方向产生拉应力。此应力与圆环截面中应力合成后，在外圆环的内表面产生最大应力为

$$\sigma_{1\max} = \frac{F}{\pi A_1 \tan(\beta + \rho)} \times \left[1 + \frac{2A_1}{\nu D_0 (h - \delta) (1 - \mu \tan \beta)} \right] \quad (3.4-54)$$

式中 ν ——材料的泊松比。

对于内圆环, 此拉压力与内圆环截面中压应力互相抵消, 因此内圆环的最大压应力不在接触表面, 仍在截面内。

受轴向力 F 后, 环形弹簧的变形量为

$$f = \frac{nF}{2\pi E \tan \beta \tan(\beta + \rho)} \left(\frac{D_{01}}{A_1} + \frac{D_{02}}{A_2} \right) \quad (3.4-55)$$

式中 n ——环形弹簧圆锥接触面的对数;

E ——材料的弹性模量;

D_{01} ——外圆环截面中心的直径,

$$D_{01} = D_1 - b_1 - \frac{h}{4} \tan \beta$$

D_{02} ——内圆环截面中心的直径,

$$D_{02} = D_2 + b_2 + \frac{h}{4} \tan \beta$$

环形弹簧的变形能, 加载时为

$$U = \frac{1}{2}Ff \quad (3.4-56)$$

卸载时，弹簧释放的变形能为

$$U_R = U \frac{\tan(\beta - \rho)}{\tan(\beta + \rho)} \quad (3.4-57)$$

3.2.2 设计参数的选择和几何尺寸的计算

(1) 圆锥角 β 圆锥角 β 较小, 则弹簧刚度较小; β 较大, 弹簧缓冲吸振能力减弱。设计时, 一般取 $\beta = 12^\circ \sim 30^\circ$, 接触表面加工精度一般时, 取 $\beta = 14^\circ 3'$, 即 $\tan \beta = \frac{1}{4}$; 加工精度较高时, 可取 $\beta = 12^\circ$ 。

润滑条件较差, 摩擦因数 μ 较大时, β 应取大些, 以免卸载时, $\beta < \rho$, 产生自锁, 不能回弹。

(2) 摩擦因数 μ 和摩擦角 ρ 具有良好润滑条件的环形弹簧, 圆锥接触表面的摩擦因数 μ 和摩擦角 ρ 可按下列条件选取:

接触面未经精加工, 重载荷时, $\rho \approx 9^\circ$, $\mu \approx 0.16$;

接触面经精加工, 重载荷时, $\rho \approx 8^\circ 30'$, $\mu \approx$

0.15;

接触面经精加工,轻载荷时, $\rho \approx 7^\circ$, $\mu \approx 0.12$ 。

(3) 圆环高度 h 一般取圆环直径的 16% ~ 20%。 h 过小则接触面的导向不足,表面应力较大,圆环截面积较小,内部应力较大; h 过大则环的厚度相对较薄,制造困难。

(4) 圆环厚度 b_1 和 b_2 圆环厚度直接影响强度,一般初选时取 $b_1 = b_2 \geq \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3}\right)h$ 。由于外圆环受拉应力,内圆环受压应力。材料的抗拉疲劳强度低于抗压疲劳强度,在圆环高度相同,材料相同的条件下,为使外圆环和内圆环的强度接近,应使 $b_1 > b_2$,一般取 $b_1 = 1.3b_2$ 。

(5) 圆环的外径和内径 它们相互间按下列公式计算

外圆环外径

$$D_1 = D_2 + 2(b_1 + b_2) + (h - \delta) \times \tan\beta$$

外圆环内径

$$D_1' = D_1 - 2\left(b_1 + \frac{h}{2}\tan\beta\right)$$

内圆环外径

$$D_2' = D_2 + 2\left(b_2 + \frac{h}{2}\tan\beta\right)$$

在安装空间允许的范围内,直径应尽量大些。

(6) 自由高度 H_0 和并紧高度 H_b

$$\text{自由高度 } H_0 = \frac{1}{2}n(h + \delta)$$

$$\text{并紧高度 } H_b = \frac{1}{2}nh$$

式中 n ——圆锥接触面的对数;

δ ——自由状态下相邻两外圆环(或内圆环)

间的间隙,一般取 $\delta = \frac{1}{4}h$ 。

环形弹簧并紧后,弹簧刚度趋向于无限大,失去弹簧作用。为避免发生此现象,应使弹簧在工作极限位置时,仍保留一定间隙。此最小间隙 $\geq 1\text{mm}$ 。

一般精度较低时,取 $\delta_{\min} \approx D_0/50$

精度较高时,取 $\delta_{\min} \approx D_0/100$

当弹簧的工作极限变形量为

$$f_j = \frac{n}{2}(\delta - \delta_{\min})$$

相应的工作极限载荷为

$$F_j = \frac{2\pi E \tan\beta \tan(\beta + \rho) f_j}{n \left(\frac{D_{01}}{A_1} + \frac{D_{02}}{A_2} \right)}$$

(7) 圆环件数 一般将两端的内圆环作成单锥面圆环,此时

$$\text{外圆环件数 } n_1 = \frac{n}{2}$$

$$\text{内圆环件数 } n_2 = \frac{n}{2} + 1$$

(8) 导向圆筒或芯轴与圆环的间隙 为保证受载荷后,外圆环外径增大,内圆环内径缩小,外圆环与导向圆筒间,内圆环与芯轴间应留有间隙,其值一般为直径的 2%。

3.3 环形弹簧的材料及许用应力

环形弹簧常用材料为 60Si2MnA 或 50CrMn 等弹簧钢,其许用应力见表 3.4-3。

表 3.4-3 环形弹簧的许用应力 (MPa)

加工和使用条件	平均许用应力 σ_{pm}	外圆环许用应力 σ_{p1}	内圆环许用应力 σ_{p2}
一般使用寿命	1000	800	1200
使用寿命短接触表面未经精加工	1150	1000	1300
使用寿命短接触表面经精加工	1350	1200	1500

3.4 环形弹簧的技术要求

少量生产时,用自由锻造获得毛坯后,经机械加工得到成品形状和尺寸。大量生产时,用无缝钢管下料,由专用套圈轧机轧制为成品形状和尺寸。成形后,经检验合格再进行热处理。必要时,在热处理后对接触表面进行磨削加工。一般圆锥接触表面的粗糙度要求 $Ra1.6 \sim 0.4\mu\text{m}$,热处理的表面硬度为 40 ~ 46HRC。

制造中应特别注意不要使圆环产生扭曲。为保证装配时,各圆环具有互换性,要求每个圆环的圆锥角和自由高度尺寸在公差范围内。在环形弹簧的零件工作图上,应注明每个圆锥接触面的试验载荷及相应的变形量,以便进行成品质量检查。

4 橡胶弹簧

4.1 橡胶弹簧的特性

橡胶弹簧具有下列优点:

(1) 形状不受限制,各方向的刚度可以根据设计要求自由选择;

(2) 弹性模量比金属小,可以得到较大的弹性变形,容易实现理想的非线性特性;

(3) 具有较高的内阻,吸收突然冲击和高频振

动以及隔音的效果良好;

(4) 同一橡胶弹簧能同时承受多方向载荷, 能使结构得到简化。

(5) 安装和拆卸方便, 不需要润滑, 有利于维修和保养。

橡胶弹簧的缺点是耐高低温性和耐油性比钢弹簧差, 但随着橡胶工业的发展是能逐步得到改善的。

橡胶弹簧的形状虽然比较简单, 但其力学性能比较复杂, 精确计算其弹性特性相当困难。

4.2 橡胶材料的静弹性特性

根据试验结果的统计分析, 橡胶材料在拉伸和压缩的作用下, 载荷和变形间关系为非线性, 但当应变在 ± 0.15 范围内, 可以将其应力 σ 和应变 ε 间关系近似地用下式表示。

$$\sigma = E\varepsilon \quad (3.4-58)$$

$$\text{或} \quad F = \frac{EAf}{h} \quad (3.4-59)$$

式中 E ——弹性模量;

F ——橡胶材料承受的载荷;

A ——橡胶材料的承载面积;

f ——橡胶材料的变形量;

h ——橡胶材料的高度。

橡胶材料在剪切载荷作用下, 当切应变不超过 1 的范围内, 切应力 τ 和切应变 γ 之间的关系可用下式表示。

$$\tau = G\gamma \quad (3.4-60)$$

式中 G ——切变模量。

由试验得到, 橡胶材料的弹性模量 E 和切变模量 G 之间有以下关系

$$E = 3G \quad (3.4-61)$$

橡胶材料的切变模量 G 与橡胶材料的牌号和组成成分几乎无关, 而与硬度有关。成分不同, 硬度相同的橡胶, 其切变模量之差很小。在设计时, 切变模量 G 的值由下式计算, 或由图 3.4-23 查取。

$$G = 0.117e^{0.034HS} \quad (3.4-62)$$

式中 HS——橡胶的肖氏硬度。

以上关于橡胶材料的应力和应变关系式, 是在理想条件下得到的, 即橡胶元件的端面充分润滑和没有任何约束。并且在承受载荷后仍保持为等截面。但在实际应用中做不到。考虑到这些因素的影响, 应将式 (3.4-58) 和 (3.4-60) 中弹性模量和切变模量, 以实际的表现弹性模量 E_a 和表现切变模量 G_a 代入, 即

$$\sigma = E_a\varepsilon \quad (3.4-63)$$

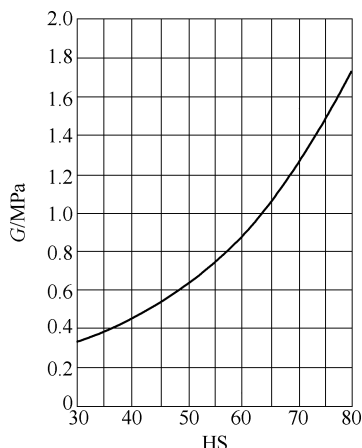


图 3.4-23 橡胶的切变模量 G 和硬度 HS 的关系

$$\tau = G_a\gamma \quad (3.4-64)$$

由试验表明, 对于拉伸变形 $E_a \approx E$ 。对于压缩变形, 表观弹性模量 E_a 为其几何形状和硬度的函数, 可以用应用系数 i 来表示这些因素的影响, 即

$$E_a = iG \quad (3.4-65)$$

对于圆柱形 $i = 3 + kS^2$

对于圆筒形 $i = 4 + 0.56kS^2$

对于长度为 a 、宽度为 b 的矩形块

$$i = \frac{1}{1 + \frac{b}{a}} \left[4 + 2 \frac{b}{a} + 0.56 \left(1 + \frac{b}{a} \right)^2 kS^2 \right]$$

以上式中 $k = 10.7 - 0.098HS$, HS 为橡胶材料的肖氏硬度;

S ——形状系数, $S = \frac{A_L}{A_F}$, A_L 为橡胶材料的

的承载面积, A_F 为橡胶材料的自由面积。对于直径为 d 、高度为 h 的圆柱体, $S = d/4h$; 对于外径为 d_1 , 孔径为 d_2 , 高度为 h 的圆筒形, $S = (d_1 - d_2)/4h$; 对于底面积为 $a \times b$ 、高为 h 的矩形块, $S = ab/2(a + b)h$ 。

对于剪切变形, 表现切变模量 G_a 也是其几何形状和硬度的函数, 也用应用系数 i 和形状系数 S 表示这些因素的影响, 即

对于直径为 d 、高度为 h_0 的圆柱体

$$G_a = \left(1 + \frac{1}{12iS^2} \right)^{-1} G \quad (3.4-66)$$

对于边长为 a 、高度为 h_0 的方块

$$G_a = \left(1 + \frac{1}{16iS^2} \right)^{-1} G \quad (3.4-67)$$

但当 h_0/d 及 h_0/a 小于 0.5 时, G_a 和 G 的差别不大, 相差不到 10%, 所以, 在实际应用中都近似地取

$$G_a = G \tag{3.4-68}$$

4.3 橡胶材料的动弹性特性

由于橡胶材料是粘—弹性体, 其应变总是滞后于应力, 若将其应力和应变曲线的斜率称为模量, 则其动表观切变模量的值和静表观切变模量的值不同。当承受冲击载荷或动载荷时, 应按动表观切变模量计算。由于橡胶的动表观切变模量不仅与生胶的型号和填充度有关, 还和橡胶的硬度、温度、变形速度和振幅, 以及橡胶的平均应力或平均应变等因素有关。目前关于橡胶方面的资料较缺乏, 难以精确计算。设计时应尽可能通过接近橡胶弹簧的使

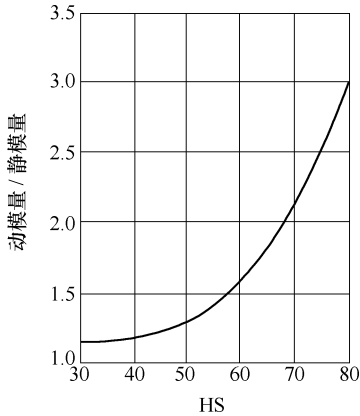


图 3.4-24 硬度与动、静模量的关系曲线

用条件来试验确定。要求不高时, 可暂用图 3.4-24 中的曲线关系进行动模量的计算。

4.4 橡胶弹簧的设计计算

橡胶压缩弹簧、剪切弹簧和扭转弹簧的变形和刚度计算公式见表 3.4-31 ~ 3.4-33。

对于图 3.4-26 所示由几个橡胶元件构成的组合式橡胶弹簧, 可以采用迭加法计算。当各橡胶元件并联时, 按下式计算

$$\left. \begin{aligned} K_z &= \sum (k_z)_i \\ K_y &= \sum (k_y)_i \end{aligned} \right\} \tag{3.4-69}$$

式中 K_z 、 K_y ——橡胶弹簧在 z 方向和 y 方向的总刚度;

$(k_z)_i$ 、 $(k_y)_i$ ——各橡胶元件在 z 方向和 y 方向的刚度。

当各橡胶元件串联时, 按下式计算

$$K = \left(\sum \frac{1}{k_i} \right)^{-1} \tag{3.4-70}$$

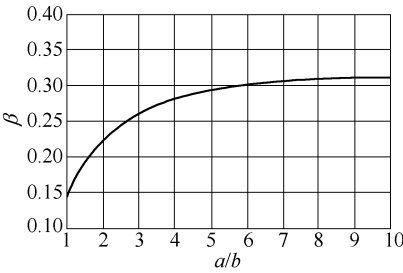


图 3.4-25 系数 β 和比值 a/b 的关系

表 3.4-31 橡胶压缩弹簧的计算

弹簧形状		变形量 f/mm	弹簧刚度 $k/\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$
圆柱体		$f = \frac{Fh}{\pi r^2 E_a}$	$k = \frac{\pi r^2 E_a}{h}$
衬套		$f = \frac{Fh}{\pi (r_2^2 - r_1^2) E_a}$	$k = \frac{\pi (r_2^2 - r_1^2) E_a}{h}$

(续)

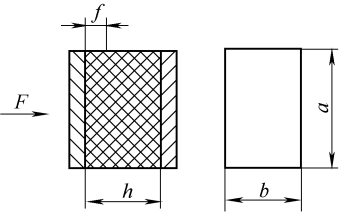
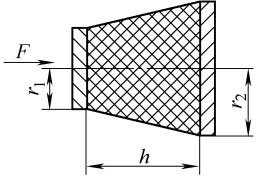
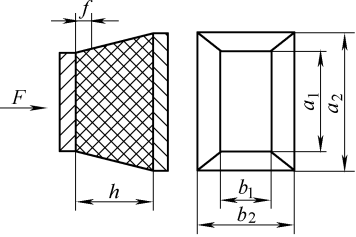
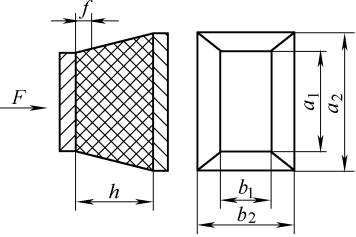
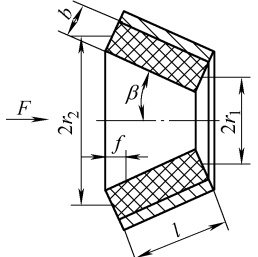
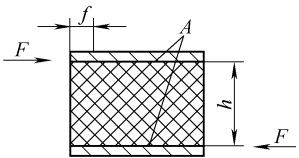
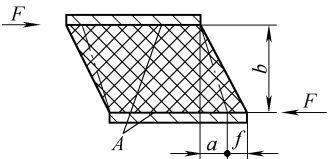
弹簧形状	变形的量 f/mm	弹簧刚度 $k/\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$
矩形块	 $f = \frac{Fh}{abE_a}$	$k = \frac{abE_a}{h}$
圆锥台	 $f = \frac{Fh}{\pi r_1 r_2 E_a}$	$k = \frac{\pi r_1 r_2 E_a}{h}$
矩形锥台	有公共锥顶  $f = \frac{Fh}{a_2 b_1 E_a}$	$k = \frac{a_2 b_1 E_a}{h}$
	无公共锥顶  $f = \frac{Fh \ln \frac{a_1 b_2}{a_2 b_1}}{(a_1 b_2 - a_2 b_1) E_a}$	$k = \frac{(a_1 b_2 - a_2 b_1) E_a}{h \ln \frac{a_1 b_2}{a_2 b_1}}$
空心圆锥	 $f = \frac{Fb}{\pi l (r_1 + r_2)} \times \frac{1}{(E_a \sin^2 \beta + G_a \cos^2 \beta)}$	$k = \frac{\pi (r_1 + r_2)}{b} \times (E_a \sin^2 \beta + G_a \cos^2 \beta)$

表 3.4-32 橡胶剪切弹簧的计算

弹簧形状	变形的量 f/mm	弹簧刚度 $k_r/\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$
矩形	 $f = \frac{Fh}{AG_a}$	$k_r = \frac{AG_a}{h}$
菱形	 $f = \frac{Fb}{AG_a} \left[1 + \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right]$ 近似计算式 $f = \frac{Fb}{AG_a}$	$k_r = \frac{AG_a}{b} \left[1 + \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right]^{-1}$ 近似计算式 $k_r = \frac{AG_a}{b}$

(续)

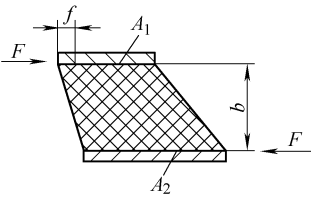
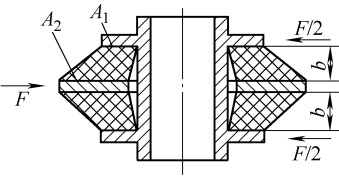
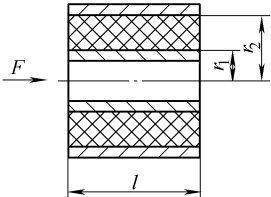
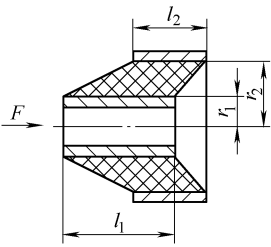
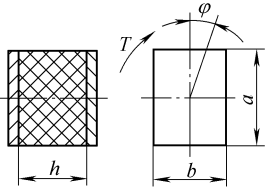
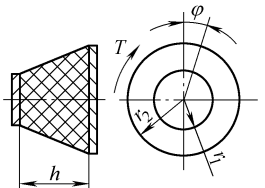
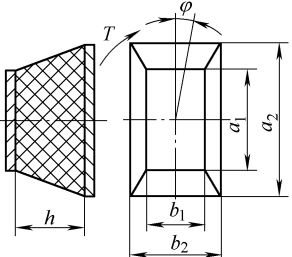
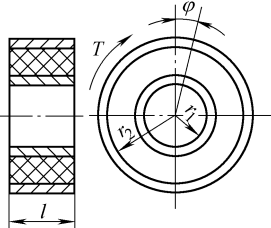
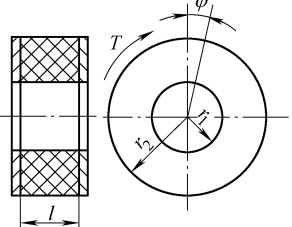
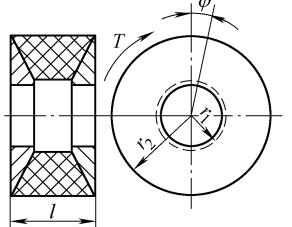
弹簧形状		变形量 f/mm	弹簧刚度 $k_t/\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$
梯 形		$f = \frac{F b \ln \frac{A_2}{A_1}}{(A_2 - A_1) G_a}$	$k_r = \frac{(A_2 - A_1) G_a}{b \ln \frac{A_2}{A_1}}$
		近似计算式 $f = \frac{2 F b}{(A_2 + A_1) G_a}$	近似计算式 $k_r = \frac{(A_2 + A_1) G_a}{2 b}$
盘 形		$f = \frac{F b \ln \frac{A_2}{A_1}}{2 (A_2 - A_1) G_a}$	$k_r = \frac{2 (A_2 - A_1) G_a}{b \ln \frac{A_2}{A_1}}$
		近似计算式 $f = \frac{F b}{(A_2 + A_1) G_a}$	近似计算式 $k_r = \frac{(A_2 + A_1) G_a}{b}$
衬 套		$f = \frac{F \ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \pi l G_a}$	$k_r = \frac{2 \pi l G_a}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$
		$f = \frac{F (r_2 - r_1) \ln \frac{l_1 r_2}{l_2 r_1}}{2 \pi (l_1 r_2 - l_2 r_1) G_a}$	$k_r = \frac{2 \pi (l_1 r_2 - l_2 r_1) G_a}{(r_2 - r_1) \ln \frac{l_1 r_2}{l_2 r_1}}$

表 3.4-33 橡胶扭转弹簧的计算

弹簧形状		变形量 φ/rad	弹簧刚度 $k/\text{N} \cdot \text{rad}^{-1}$
矩 形 块		$\varphi = \frac{T h}{\beta a b^3 G_a}$	$k = \frac{\beta a b^3 G_a}{h}$
圆 锥 台		$\varphi = \frac{2 T h (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)}{3 \pi r_1^3 r_2^3 G_a}$	$k = \frac{3 \pi r_1^3 r_2^3 G_a}{2 h (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)}$

(续)

	弹簧形状	变形量 φ/rad	弹簧刚度 $k/\text{N} \cdot \text{rad}^{-1}$
矩形锥台		有公共锥顶时 $\varphi = \frac{Th (b_1^2 + b_1 b_2 + b_2^2)}{3\beta a_2 b_1^3 b_2^2 G_a}$	有公共锥顶时 $k = \frac{3\beta a_2 b_1^3 b_2^2 G_a}{h (b_1^2 + b_1 b_2 + b_2^2)}$
衬套		$\varphi = \frac{T}{4\pi l G_a} \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right)$	$k = 4\pi l G_a \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right)^{-1}$
圆柱环形		$\varphi = \frac{2Tl}{\pi (r_2^4 - r_1^4) G_a}$	$k = \frac{\pi (r_2^4 - r_1^4) G_a}{2l}$
圆锥环形		$\varphi = \frac{3Tl}{2\pi r_2 (r_2^3 - r_1^3) G_a}$	$k = \frac{2\pi r_2 (r_2^3 - r_1^3) G_a}{3l}$

注：计算式中 β 由图 3.4-25 查取。

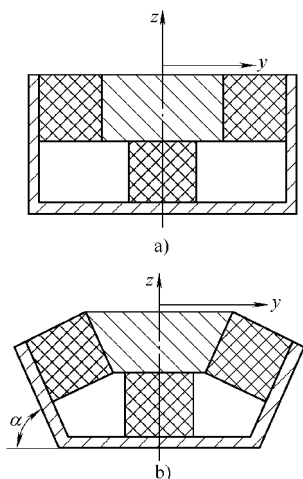


图 3.4-26 组合式橡胶弹簧

式中 K ——橡胶弹簧的总刚度；

k_i ——各橡胶元件的刚度。

4.5 橡胶弹簧的材料和使用寿命

4.5.1 材料的选择

对于橡胶弹簧，不仅要求其弹性特性不因使用条件的变化而产生太大的变化，还要求长期使用而性能不变。因此需针对各种使用条件选择相应的橡胶材质。

温度对橡胶的弹性模量影响较大，低温时更为显著。天然橡胶和顺丁橡胶的耐低温性能较好，氯丁橡胶和丁腈橡胶等的弹性模量受温度影响较大。

要求特别耐油的场合，应使用丁腈橡胶。要求轻度耐油时可使用氯丁橡胶。橡胶的耐油性能按油

的种类不同而有相当大的差异，最好通过试验确定。

氯丁橡胶、丁基橡胶和乙丙橡胶的耐臭氧性能和耐日光性能较好。

天然橡胶有优越的力学性能，被广泛用作减振弹簧，顺丁橡胶和丁苯橡胶也常用作减振弹簧。丁基橡胶的内阻较高，但力学性能比天然橡胶差得多。

长期使用，不能调换的橡胶防振弹簧，最好使用氯丁橡胶。

橡胶弹簧在承受载荷后，总有一定程度的蠕变。设计时，必需将一定量的蠕变预先考虑进去，并且尽可能地减少这种蠕变现象。天然橡胶和顺丁橡胶等其蠕变量较小，其他品种的生胶，只要配方合适，也能控制蠕变量。一般硫化充分的橡胶其蠕变量较小，填料会使橡胶的蠕变增加。

4.5.2 使用寿命

橡胶弹簧的疲劳损坏，主要是由于应力集中产生的裂纹，橡胶和金属粘合处的剥离，以及压缩时产生褶皱等逐渐发展造成损坏。

为了防止应力集中，橡胶弹簧的形状应尽量用圆孔代替方孔，用圆角代替方角或锐角。与橡胶接触的配件，表面不应有锐角、凸起部位和沟孔，并且在形状上尽量使橡胶表面的变形比较均匀。橡胶与金属结合端部制成圆角（图 3.4-27），可提高橡胶弹簧的疲劳寿命。

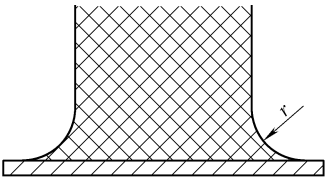


图 3.4-27 橡胶与金属
接合处制成圆角

对于带有金属配件的橡胶弹簧，其寿命主要决定于橡胶与金属粘合的牢靠程度，粘合时必须严格按照操作规程执行。

橡胶弹簧的使用寿命，在很大程度上，还和工作时的应力和应变状态有关，所以应合理地选取许用应力和许用应变。表 3.4-34 所列数值供设计时参考。这是一般形状和材质的平均数值，特殊形状和材质的橡胶弹簧应由实验确定。

表 3.4-34 橡胶的许用应力和许用应变

应力类型	许用应力/MPa		许用应变 (%)	
	静态	动态	静态	动态
压缩	3	± 1	15	5
剪切	1.5	± 0.4	25	8
扭转	2	± 0.7	—	—

参 考 文 献

- [1] 闻邦椿. 机械设计手册: 第2卷[M]. 5版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [2] 徐灏. 新编机械设计师手册: 上册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [3] 全国紧固件标准化技术委员会. 中国标准出版社第三编辑室. 紧固件标准汇编产品卷(上、下)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [4] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册, 第1, 3卷[M]. 5版. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [5] 吴宗泽. 简明机械零件设计手册[M]. 电子工业出版社, 2011.
- [6] 成大先. 机械设计手册(单行本): 连接与紧固[M]. 5版. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [7] 徐峰. 焊接工艺简明手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2009.
- [8] 张彦华. 焊接结构设计及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [9] 陈根座. 胶粘应用手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 1994.
- [10] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 8版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [11] 凌武宝. 可拆卸联接设计与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [12] 叶君. 实用紧固件手册[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [13] 张在新. 胶黏剂[M]. 4版. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [14] 李子东, 李广宇, 刘志军. 实用胶粘技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [15] 胡高平、袁红英、肖卫东. 金属用胶黏剂及粘接技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [16] 黄世强, 彭慧, 孙争光. 胶粘剂及其工程应用. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [17] 张英会. 弹簧[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

第 4 篇

机 械 传 动

第 1 章 摩擦轮传动与螺旋传动

1 摩擦轮传动

1.1 摩擦轮传动原理、特点及类型

1.1.1 摩擦轮传动原理及特点

摩擦轮传动是两个相互压紧的滚轮，通过接触面间的摩擦力传递运动和动力的。由于其结构简单、制造容易、运转平稳、噪声低，过载可以打滑（可防止设备中重要零部件的损坏），以及能连续平滑地调节其传动比，因而有着较大的应用范围，成为无级变速传动的主要元件。但由于在运转中有滑动（弹性滑动、几何滑动与打滑），影响从动轮的旋转精度，传动效率较低，结构尺寸较大，作用在轴和轴承上的载荷大，多用于中小功率传动。本章主要讨论定传动比摩擦轮传动。

1.1.2 摩擦轮传动的类型

根据润滑情况不同，摩擦轮传动可分为两种。一种是工作表面无润滑，其中一轮是组合的，即其轮毂是金属的，在轮毂上或轮缘表面固定有非金属材料（如皮革、橡胶、木材、混合织物等），虽有较高的摩擦因数，但允许的接触应力低，传递的功率较小。另一种是工作表面有润滑的，两滚轮均为经过硬化处理的金属轮。有润滑的摩擦轮传动可以分为弹性流体动压润滑状态和混合润滑状态。弹性流体动压润滑状态是摩擦轮工作在高粘度压力指数的润滑剂中，接触区内在高压下产生抗剪强度很高的瞬时润滑油膜，使其处于弹性流体润滑状态，从而产生了很大的牵引力，提高了传动装置的承载能力，又称为牵引传动。混合润滑状态的摩擦轮传动依赖摩擦副材料和润滑剂组合的摩擦特性而形成的传动。

金属滚轮有圆柱轮、圆锥轮、圆盘、圆环、圆球或弧锥轮等。其工作面是平面或槽形锥面。

1.2 定传动比摩擦轮传动设计

定传动比摩擦轮传动有圆柱平摩擦轮传动、圆柱槽形摩擦轮传动和圆锥摩擦轮传动等，分别用于平行轴和交叉轴间传动（见表 4.1-1）。

1.2.1 主要失效形式

1) 过载、压紧力的改变和摩擦因数减小，导致打滑，使摩擦传动表面产生局部磨损与烧伤。

2) 高的接触应力导致工作表面疲劳点蚀和表面压溃。

3) 高压紧力作用下高速运转，摩擦传动表面相对滑动速度较高，导致摩擦表面瞬时温度升高，产生胶合。当两轮面均为金属时，通常都是按表面疲劳强度进行计算。其中有一个轮摩擦表面为非金属材料时，目前多采用条件性计算，即计算单位接触长度的压力。

1.2.2 设计计算

定传动比摩擦轮传动设计计算见表 4.1-1。

1.2.3 摩擦轮传动的滑动

滑动对摩擦轮传动的性能影响很大。滑动的类型可分为如下 3 种：

(1) 弹性滑动 摩擦副工作时由于材料的弹性变形所造成的滑动称为弹性滑动。弹性滑动区位于接触区的出端，在接触区的入端没有滑动，即整个接触区分为静止区和滑动区。在滑动区主动轮超前，从动轮落后，二者间存在“滑差”。在滑动区的各微摩擦力矩之和与所受的外加转矩平衡，所以载荷越大，滑动区越大，滑差也越大。

弹性滑动的大小不仅与载荷有关，还与材料的弹性模量有关。弹性模量越大，弹性滑动越小。弹性滑动是不可避免的。

(2) 打滑 载荷大到整个接触区都出现滑动时，摩擦轮传动便出现打滑。打滑是一种过载现象。有几何滑动时，要同时考虑弹性滑动和几何滑动的影响。

打滑是摩擦传动失效的一种形式。它不仅会降低传力效率，工作不可靠，甚至会造成工作表面的磨损，严重会发生胶合。设计时应采取合适的安全系数。

影响打滑的因素有：摩擦轮传动的摩擦因数过小或牵引油的牵引因数过小，法向压力太小，摩擦副的弹性模量太小，几何形状与相对位置设计不合理等。

油膜牵引时，牵引因数与滑动率有关，要保证足够的牵引因数，就必须有一定的滑动率，此时不是打滑。

(3) 几何滑动 摩擦副工作时，由于几何形状的原因所造成的滑动称为几何滑动。例如圆柱体在

表 4.1-1 定传动比摩擦轮传动的设计与计算

种 类		圆柱摩擦轮传动	槽形摩擦轮传动	端面摩擦轮传动	圆锥摩擦轮传动
传 动 简 图					
传动比		$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1(1-\varepsilon)}$			当 $\varphi_1 + \varphi_2 = 90^\circ$ 时 $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{2m}}{d_{1m}(1-\varepsilon)} = \frac{\tan\varphi_2}{(1-\varepsilon)}$ 当 $\varphi_1 + \varphi_2 \neq 90^\circ$ 时 $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin\varphi_2}{(1-\varepsilon)\sin\varphi_1}$
压紧力		$Q = \frac{KF}{\mu} = \frac{2 \times 10^3 KT_1}{\mu d_1}$ $T_1 = 9.55 \times 10^3 \frac{P_1}{n_1}$	$Q = \frac{10^3 KT_1}{\mu d_1}$ $T_1 = 9.55 \times 10^3 \frac{P_1}{n_1}$	$Q = \frac{2 \times 10^3 KT_1}{\mu d_1}$ $T_1 = 9.55 \times 10^3 \frac{P_1}{n_1}$	$Q = \frac{2 \times 10^3 KT_1}{\mu d_{1m}}$ $T_1 = 9.55 \times 10^3 \frac{P_1}{n_1}$
作用在轴上的力	总压力	$R_1 = R_2 = \sqrt{F^2 + Q^2}$ $= \frac{2 \times 10^3 T_1}{d_1} \sqrt{1 + \left(\frac{K}{\mu}\right)^2}$	$R_1 = R_2 = \frac{2 \times 10^3 T_1}{d_1} \sqrt{1 + \left(\frac{K \sin\beta}{\mu}\right)^2}$	$R_1 = \frac{2 \times 10^3 T_1}{d_1} \sqrt{1 + \left(\frac{K}{\mu}\right)^2}$ $R_2 = \frac{2 \times 10^3 T_1}{d_1}$	$R_1 = \frac{2 \times 10^3 T_1}{d_{1m}} \sqrt{1 + \left(\frac{K}{\mu \cos\varphi_1}\right)^2}$ $R_2 = \frac{2 \times 10^3 T_1}{d_{1m}} \sqrt{1 + \left(\frac{K}{\mu \cos\varphi_2}\right)^2}$
	径向力、轴向力	$Q_r = Q$ $Q_a = 0$	$Q_r = \frac{2 \times 10^3 KT_1}{\mu d_1} (\sin\beta + \mu \cos\beta)$ $Q_a = 0$	$Q_{r1} = Q$ $Q_{a1} = 0, Q_{a2} = Q$	$Q_{r1} = Q_{a2}; Q_{r2} = Q_{a1}$ $Q_{a1} = Q \sin\varphi_1; Q_{a2} = Q \sin\varphi_2$

圆盘端面作绕圆盘中心的滚动,接触线上的速度分布呈“涡旋”,只有一点作纯滚动,此点称为节点。几何滑动的大小只与摩擦副元件的形状和相对位置有关。点接触的摩擦副也存在几何滑动。圆柱摩擦副或共顶的圆锥摩擦副没有几何滑动。几何滑动不是摩擦副的共性。

1.2.4 摩擦轮传动的效率

摩擦轮传动的总效率

$$\eta = \frac{P_1 - P_{\Sigma}}{P_1} \quad (4.1-1)$$

式中 P_1 ——输入功率;

P_{Σ} ——总功耗, $P_{\Sigma} = P_g + P_e + P_r + P_b + P_0$;

P_g ——几何滑动功耗,是摩擦传动的主要功率损失;

P_e ——弹性滑动功耗,高弹性模量的材料制成的摩擦副,其弹性滑动很小,弹性滑动功耗常可忽略不计;

P_r ——滚动滞后功耗,是由于滚动面的弹性变形,致使径向力偏离轴心所致;

P_b ——轴承功耗,通常按轴承的概略功率估算。压紧力很大,不带支承卸载装置的摩擦传动,轴承功耗是主要的;

P_0 ——介质功耗,包括搅油功耗和空气阻力功耗。

摩擦传动的效率比较复杂也难以精确计算,实用上多采用实测数据。

提高传动效率可采用如下措施:①尽量减少几何滑动;②尽量缩短接触线长度,或采用点接触;③采用摩擦因数小的轴承;④采用有卸载装置的支承结构;⑤采用自动压紧装置;⑥使刚性摩擦传动和支承具有足够的刚度;⑦摩擦轮的工作直径适当取大些;⑧采用高弹性模量、高硬度、高润滑油吸附性(湿式工作)和高摩擦因数(干式工作)的材料

制造摩擦传动件;⑨加工合理的精度和表面粗糙度;⑩采用合适的润滑油和润滑方式。

1.3 摩擦轮的材料、润滑剂

摩擦轮的主要失效形式是表面破坏,故制造摩擦轮的材料弹性模量应大,摩擦因数高,接触疲劳强度高和耐磨性好,吸湿小(对非金属材料),导热性好。

要求结构紧凑,传动承载能力高时,摩擦副材料都选用合金钢,经表面硬化处理后硬度达60HRC以上,如淬硬到60HRC以上滚动轴承钢(GCr6、GCr9、GCr9SiMn、GCr15、GCr15SiMn等)或渗碳淬硬60HRC以上的镍铬类渗碳钢(20CrMnTi、18CrNiW等)。高硬度钢的摩擦轮表面磨合性差,故摩擦轮的摩擦表面应有较高的加工精度和较小的表面粗糙度以及较高的安装精度,而且箱体应具备足够的刚度。金属摩擦副必须湿式工作,即工作时要有充足供油,否则,将产生严重磨损或者胶合。确定摩擦轮的设计参数和选择牵引油时还应保证其接触区形成弹性流体动压润滑油膜。

对于摩擦轮尺寸较大,结构复杂以及转速较低的开式传动的摩擦轮常采用白口铸铁与白口铸铁(或硬钢)相配的轮面。可采用冷铸或进行表面硬化处理。

要求较高的摩擦因数和低噪声时,可采用铸铁(或钢)与皮革、布质酚醛层压板、压制石棉纤维、弹胶体等材料覆盖的轮面,这种摩擦轮对于精度和表面粗糙度要求较低,但其接触强度低。

摩擦副材料组合应当是主动轮取较软的材料,从动轮取较硬材料,以保证从动轮面不被磨出凹坑。

各种摩擦轮材料的摩擦因数、许用接触应力和单位接触长度的许用线压力见表4.1-2。

表4.1-2 摩擦轮材料的摩擦因数 μ 、许用接触应力 σ_{HP} 和单位接触长度的许用线压力 $[p]$

摩擦轮轮面材料	工作条件	μ	σ_{HP}/MPa	$[p]/\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$
淬火钢—淬火钢 铸铁—铸铁	良好润滑	0.04 ~ 0.05 0.05 ~ 0.06	(25 ~ 30)HRC (1.5 ~ 1.8)HBW	150 ~ 200 105 ~ 135
钢—钢 铸铁—钢(铸铁) 布质酚醛层压板—钢(铸铁) 皮革—铸铁 纤维制品—钢(铸铁) 木材—铸铁 橡胶(弹胶体)—钢(铸铁) 石棉基材料—钢(铸铁)	无润滑	0.15 ~ 0.20 0.10 ~ 0.15 0.20 ~ 0.25 0.20 ~ 0.35 0.20 ~ 0.25 0.30 ~ 0.50 0.45 ~ 0.60 0.30 ~ 0.40	(1.2 ~ 1.5)HBW $1.5\sigma_{Bb}$ 50 ~ 100 12 ~ 15 — — — —	100 ~ 150 100 ~ 135 40 ~ 80 15 ~ 25 35 ~ 40 2.5 ~ 5 10 ~ 30 —

对于无润滑的摩擦副,滑动面上不允许有润滑剂,否则会使摩擦因数急剧下降,甚至导致轮面(如弹胶体)的损坏。

对于需润滑的摩擦副,润滑剂起着非常重要的作用。它不仅起牵引、润滑、冷却、防锈的作用,还影响摩擦因数和传动效率,进而影响传动的工作状态和承载能力。摩擦轮副应选用高的牵引因数的牵引油。牵引油的种类有石蜡基矿物油、环烷基矿物油和专用合成油等,以多环环烷基牵引油较好。市场已有商品牵引油供应,表4.1-3供选用参考。

表 4.1-3 牵引油及其牵引因数

名 称	牵引因数
多元醇酯 Mil—L 23699	0.035
双酯 Mil—L 7808	0.040
硅醇酯、聚乙二醇	0.045
石蜡基矿物油	0.050
芳香族变速器油	0.055
磷酸酯	0.060
环烷基矿物油 Mobil 62	0.058 ~ 0.065
硅油、氯苯基硅油	0.075 ~ 0.078
合成环己基油	0.084 ~ 0.095
Santotrac 30	0.084
Santotrac 40、50、70	0.095
S—20、30、80	0.118 (试验值)
聚异丁烯油	0.043 ~ 0.052
氢化环烷系矿物油	0.042
Ub—1、2、3、4 (无级变速器油)	0.184 ~ 0.109

注:牵引系数仅供选用参考,设计计算时应根据选用商品牵引油提供的性能及牵引因数。

1.4 摩擦轮传动加压装置

加压装置用来产生摩擦传动工作表面之间的压紧。压紧产生的压力的大小及变化直接影响传动的承载能力和工作性能。

常用的加压装置有:

1) 弹簧加压。一般采用圆柱螺旋弹簧或碟形弹通过其弹力使主、从动摩擦元件工作面彼此压紧。

表 4.1-4 螺旋传动的特点和应用

种类	滑动螺旋传动	滚动螺旋传动	静压螺旋传动
摩擦性质	滑动	滚动	油膜液体
特点	1. 摩擦阻力大,传动效率低(通常为30%~60%) 2. 结构简单,加工方便 3. 易于自锁	1. 摩擦阻力小,传动效率高(一般在90%以上) 2. 结构复杂,制造较难 3. 具有传动可逆性(可以把旋转运动变成直线运动,又可以把直线运动变成旋转运动),为了避免螺旋副受载后逆转,应设置防逆转机构	1. 摩擦阻力极小,传动效率高(可达99%) 2. 螺母结构复杂 3. 具有传动可逆性,必要时应设置防逆转机构

根据结构,有恒压式和非恒压式。

2) 端面凸轮加压。凹凸相对应的端面凸轮和凸轮分别安置在轴和轴套上。在传动装置空载转动时,相应的端面凸轮和凸轮槽完全嵌合在一起而成为刚性联轴器,使轴套和轴一起转动;但在负载工作时,凸轮槽随着负载的作用、变化彼此沿周向作相对转动,导致凸轮套产生轴向相对位移,致使摩擦元件面压紧,其压紧力的大小随负载大小变化,亦称自动加压。

3) 钢球(柱)V形槽加压。在摩擦元件和传动的端面圆周上各制成均布相应的V形槽,每条槽各安放一个钢球(柱)。与端面凸轮加压作用原理相同,也是自动加压装置。

通常自动加压式的端面凸轮加压或钢球(柱)V形槽加压装置皆与弹簧加压配合使用,由弹簧产生所预紧力,自动加压装置一般安装在转矩大的轴上,以保证加压可靠。

除上述加压装置外,摩擦轮传动还可以采用离心力加压、弹性环加压和摆动齿轮式加压方式,螺旋、齿轮、蜗轮以及液压、气压等机构也作为加压装置。

2 螺旋传动

2.1 螺旋传动的种类和应用

螺旋传动是通过螺母和螺杆的旋合传递运动和动力。它一般是将旋转运动变成直线运动,当螺旋不自锁时可将直线运动变成旋转运动。

螺旋传动按摩擦性质可分为滑动螺旋、滚动螺旋和静压螺旋。按用途可分为传力螺旋(以传递动力为主,如螺旋压力机、起重千斤顶螺旋等)、传动螺旋(以传递运动为主,并要求有较高的传动精度,如机床的进给螺旋等)和调整螺旋(用以调整零部件的相互位置,如轧钢机轧辊的压下螺旋等)。传动螺旋和调整螺旋有的也承受较大的轴向载荷。各类螺旋传动的特点和应用见表4.1-4。

(续)

种类	滑动螺旋传动	滚动螺旋传动	静压螺旋传动
特点	4. 运转平稳, 但低速或微调时可能出现爬行 5. 螺纹有侧向间隙, 反向时有空行程, 定位精度和轴向刚度较差(采用消除机构可提高定位精度) 6. 磨损快	4. 运转平稳, 启动时无颤动, 低速时不爬行 5. 螺母和螺杆经调整预紧, 可得到很高的定位精度($5\mu\text{m}/300\text{mm}$)和重复定位精度($1\sim 2\mu\text{m}$), 并可以提高轴向刚度 6. 工作寿命长, 故障率低 7. 抗冲击性能较差	4. 工作平稳, 无爬行现象 5. 反向时无空行程, 定位精度高, 并有很高的轴向刚度 6. 磨损小、寿命长 7. 需要配套压力稳定、温度恒定、过滤要求较高的供油系统
应用举例	金属切削机床的进给、分度机构的传动螺旋, 摩擦压力机、起重器的传力螺旋	金属切削机床(特别是加工中心、数控机床、精密机床)、测试机械、仪器的传动螺旋和调整螺旋, 升降、起重机构和汽车、拖拉机转向机构的传力螺旋, 飞机、导弹、船舶、铁路等自控系统的传动螺旋和传力螺旋	精密机床的进给、分度机构的传动螺旋

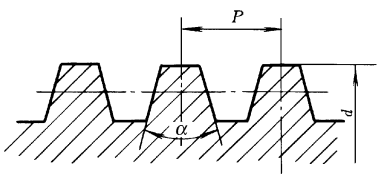
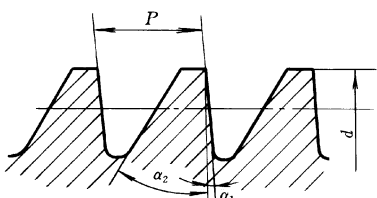
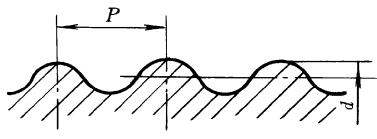
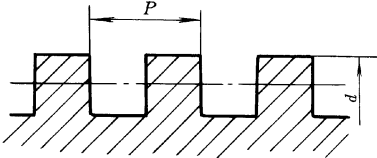
2.2 滑动螺旋传动

2.2.1 滑动螺旋副的螺纹

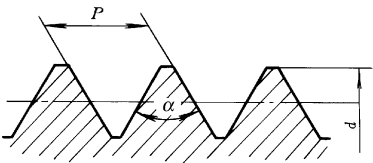
滑动螺旋副常用梯形、锯齿形和矩形螺纹等。

梯形螺纹应用多。锯齿形螺纹主要用于受单向轴向力。矩形螺纹传动效率较高, 但不易获得高的加工精度且强度较低, 应用较少。各种螺纹的特点和应用见表 4.1-5。

表 4.1-5 滑动螺旋的种类、特点和应用

种类	牙型图	特点	应用
梯形螺纹	 GB 5796.1~4—2005	牙型角 $\alpha = 30^\circ$, 螺纹副的大径和小径处有相等的径向间隙。牙根强度高, 螺纹的工艺性好(可以用高生产率的方法制造); 内外螺纹以锥面贴合, 对中性好, 不易松动; 采用剖分式螺母, 可以调整和消除间隙; 但其效率较低	用于传力螺旋和传动螺旋如金属切削机床的丝杆、载重螺旋式起重机、锻压机的传力螺旋
锯齿形螺纹	 GB/T 13576.1~4—2008	有两种牙型, 一种是工作面牙型斜角 $\alpha_1 = 3^\circ$ (便于加工), 非工作面牙型斜角 $\alpha_2 = 30^\circ$, 已制订 GB/T 13576—2008 的 $3^\circ/30^\circ$ 锯齿形螺纹; 另一种是 $\alpha_1 = 0^\circ$ 、 $\alpha_2 = 45^\circ$ 的 $0^\circ/45^\circ$ 锯齿形螺纹, 只有行业标准。其外螺纹的牙根处有相当大的圆角, 减小了应力集中, 提高了动载强度; 大径处无间隙, 便于对中; 和梯形螺纹一样都具有螺纹的强度高、工艺性好的特点, 但有更高的效率	用于单向受力的传力螺旋, 如初轧机的压下螺旋、大型起重机的螺旋千斤顶, 水压机的传力螺旋、火炮的炮栓机构
圆螺纹		螺纹强度高, 应力集中小; 和其他螺纹比, 对污物和腐蚀的敏感性小、但效率低	用于受冲击和变载荷的传力螺旋
矩形螺纹		牙型为正方形, 牙型角 $\alpha = 0^\circ$ 。传动效率高, 但保证精确困难(为便于加工, 可制成 10° 牙型角); 螺纹强度比梯形螺纹、锯齿形螺纹低, 对中精度低, 螺纹副磨损后的间隙难以补偿与修复	用于传力螺旋和传动螺旋, 如一般起重螺旋

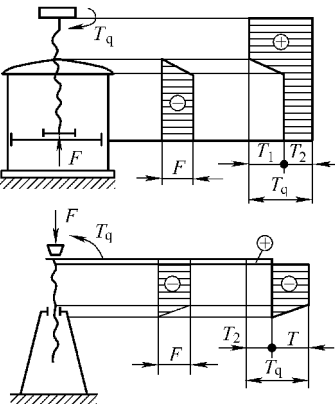
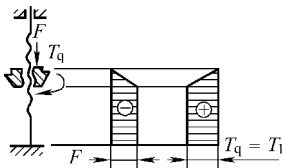
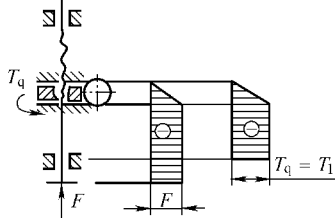
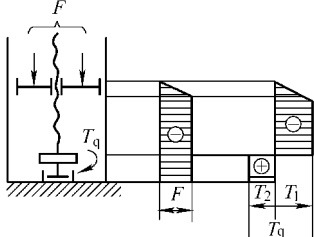
(续)

种类	牙型图	特点	应用
三角形螺纹		牙型角 $\alpha = 60^\circ$ 的特殊螺纹或米制普通螺纹。 自锁性好、效率低	用于小螺距的高强度调整螺旋，如仪表机构

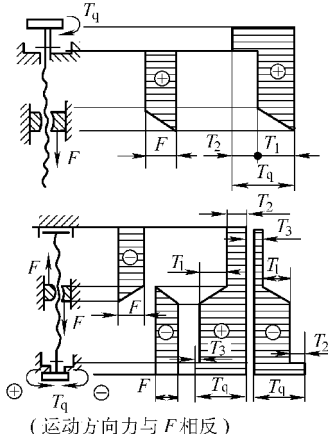
2.2.2 滑动螺旋传动的受力分析

滑动螺旋传动的受力情况列于表 4.1-6。螺旋的驱动转矩为

表 4.1-6 滑动螺旋传动的受力情况

螺杆、螺母的运动特点	传动简图	螺杆载荷图	
		载荷 F	转矩 T
螺母固定，螺杆转动并作直线运动			
螺杆固定，螺母转动并作直线运动			
螺母转动，螺杆作直线运动			
螺杆转动，螺母作直线运动			

(续)

螺杆、螺母的运动特点	传动简图	螺杆载荷图	
		载荷 F	转矩 T
螺杆转动，螺母作直线运动			

$$T_q = T_1 + T_2 + T_3 \quad (4.1-2)$$

式中 T_1 ——螺旋副的摩擦转矩(N·mm)

$$T_1 = \frac{1}{2} d_2 F \tan(\gamma + \rho_v) \quad (4.1-3)$$

F ——轴向载荷(N);

d_2 ——螺纹的中径(mm);

γ ——螺旋的导程角;

ρ_v ——螺旋副的当量摩擦角;

T_2 、 T_3 ——支承面的摩擦转矩(N·mm)。

对支承面为滑动摩擦的情况:

圆形支承面 T_2 (或 T_3) = $\frac{1}{3} \mu F D$, D 为支承面平均直径(mm); μ 为支承面上的滑动摩擦因数。

圆环形支承面 T_2 (或 T_3) = $\frac{1}{3} \mu F \frac{D_0^3 - d_0^3}{D_0^2 - d_0^2}$, D_0 、 d_0 为圆环形支承面的外径和内径(mm)。

对于支承面为滚动摩擦的情况:

T_2 (或 T_3) = $\frac{1}{2} \mu_g F d_m$, d_m 为滚动轴承滚动体中心的分布直径(mm); μ_g 为支承面的滚动摩擦因数。

2.2.3 滑动螺旋传动的设计计算

滑动螺旋传动的失效形式主要是螺母螺纹的磨

损，因此，螺杆的直径和螺母的高度通常是根据耐磨性确定的。传力螺旋传动应校核螺杆危险截面的强度。青铜或铸铁螺母以及承受重载的调整螺旋副应校核螺牙的抗剪和抗弯强度。要求自锁的螺旋副应校核其自锁性。精密的传导螺旋传动应校核螺杆的刚度。当螺杆受压力其长径比又很大时，应校核

其稳定性。螺杆较长而转速又较高时，可能产生横向振动，还应校核其临界转速。

调整螺旋和要求自锁的传力螺旋传动，应采用单线螺纹。为了提高传动的效率和移动件运动速度，可采用多线螺纹(2~4 甚至 6 线)。

滑动螺旋传动的设计计算见表 4. 1-7。

表 4. 1-7 滑动螺旋传动的设计计算

计算项目			符号	单位	计算公式及参数选定	说 明
耐 磨 性	螺杆中径		d_2	mm	梯形螺纹和矩形螺纹 $d_2 \geq 0.8 \sqrt{\frac{F}{\psi p_p}}$ 30°锯齿形螺纹 $d_2 \geq 0.65 \sqrt{\frac{F}{\psi p_p}}$	F —轴向载荷 (N)； p_p —许用比压 (MPa)，查表 4. 1-9，算出 d_2 应按国家标准选取相应的公称直径 d 及其螺距 P
	螺母高度		H	mm	$H = \psi d_2$	设计时 ψ 值可根据螺母形式选定： 整体式螺母取 $\psi = 1.2 \sim 2.5$ 剖分式螺母取 $\psi = 2.5 \sim 3.5$
	旋合圈数		z		$z = \frac{H}{P} \leq 10 \sim 12$	P —螺距 (mm)
	螺纹的工作高度		h	mm	梯形螺纹和矩形螺纹 $h = 0.5P$ 30°锯齿形螺纹 $h = 0.75P$	
	工作比压		p	MPa	$p = \frac{F}{\pi d_2 h n} \leq p_p$	用于校核
验 算 自 锁	导程角		γ		$\gamma = \arctan \frac{S}{\pi d_2} \leq \rho_v$ ，通常 $\gamma \leq 4^\circ 30'$ $\rho_v = \arctan \frac{\mu}{\cos \frac{\alpha}{2}}$	ρ_v —当量摩擦角 μ —摩擦因数 (查表 4. 1-8) S —螺纹导程 (mm) α —螺纹牙型角
螺 杆 强 度	当量应力		σ_{ca}	MPa	$\sigma_{ca} = \sqrt{\left(\frac{4F}{\pi d_1^2}\right)^2 + 3\left(\frac{T_1}{0.2d_1^3}\right)^2} \leq \sigma_p$	T_1 —转矩 (N·mm)，据转矩图确定 σ_p —螺杆材料的许用应力 (MPa) (见表 4. 1-10)
螺 牙 强 度	螺牙根部的宽度		b	mm	梯形螺纹 $b = 0.65P$ 矩形螺纹 $b = 0.5P$ 30°锯齿形螺纹 $b = 0.74P$	P —螺距 (mm) τ_p —材料的许用切应力 (MPa) (见表 4. 1-10) σ_{bbP} —材料的许用弯曲应力 (MPa) (见表 4. 1-10) 螺杆和螺母材料相同时，只需校核螺杆螺牙强度 d 、 d_2 、 d_1 —分别为螺杆的大、中、小直径 (mm)
	螺 杆	抗剪强度	τ	MPa	$\tau = \frac{F}{\pi d_1 b z} \leq \tau_p$	
		抗弯强度	σ_{bb}		$\sigma_{bb} = \frac{3F(d-d_2)}{\pi d_1 b^2 z} \leq \sigma_{bbP}$	
	螺 母	抗剪强度	τ		$\tau = \frac{F}{\pi d b z} \leq \tau_p$	
		抗弯强度	σ_{bb}		$\sigma_{bb} = \frac{3F(d-d_2)}{\pi d b^2 z} \leq \sigma_{bbP}$	

(续)

计算项目			符号	单位	计算公式及参数选定	说 明
螺 杆 的 稳 定 性	临界载荷	F_{cr}	N	$\frac{\mu_1 l}{i} > 85 \sim 90$ 时,	l —螺杆最大工作长度 (mm) I_a —螺杆危险截面的轴惯性矩 (mm ⁴) $I_a = \frac{\pi d_1^4}{64}$ i —螺杆危险截面的惯性半径 (mm) $i = \sqrt{\frac{I_a}{A}} = \frac{d_1}{4}$ A 是危险截面的面积 (mm ²) E —螺杆材料的弹性模量 (MPa), 对于钢 $E = 206 \times 10^3$ MPa μ_1 —长度系数, 与螺杆的端部结构有关 (见表 4.1-11)	
				$F_{cr} = \frac{\pi^2 E I_a}{(\mu_1 l)^2}$		
				$\frac{\mu_1 l}{i} < 90$ (未淬火钢) 时,		
				$F_{cr} = \frac{334}{1 + 1.3 \times 10^{-4} \left(\frac{\mu_1 l}{i}\right)^2} \times \frac{\pi d_1^2}{4}$		
				$\frac{\mu_1 l}{i} < 85$ (淬火钢) 时,		
				$F_{cr} = \frac{480}{1 + 2 \times 10^{-4} \left(\frac{\mu_1 l}{i}\right)^2} \times \frac{\pi d_1^2}{4}$		
				稳定条件是 $\frac{F_{cr}}{F} \geq 2.5 \sim 4$ 当不能满足此要求时, 应增大 d_1		
螺 杆 的 刚 度	轴向载荷使导程产生的弹性变形	δS_F	μm	$\delta S_F = \pm 10^3 \frac{FS}{EA} = \pm 10^3 \frac{4FS}{\pi E d_1^2}$	S —导程 (单线的为螺距) (mm) I_p —螺杆危险截面的极惯性矩 (mm ⁴) $I_p = \frac{\pi d_1^4}{32}$	
	转矩使导程产生的弹性变形	δS_T		$\delta S_T = \pm 10^3 \frac{16 T_1 S}{2 \pi G I_p} = \pm 10^3 \frac{16 T_1 S^2}{\pi^2 G d_1^4}$ G —螺杆材料的切变形模量 (MPa), 对于钢 $G = 83.3 \times 10^3$ MPa	伸长变形为 “+”, 压缩变形为 “-”; 设计时常按危险情况考虑取 $\delta S = \delta S_F + \delta S_T$	
	导程的总弹性变形量	δS		$\delta S = \pm \delta S_F + \pm \delta S_T = \pm 10^3 \frac{16 T_1 S^2}{\pi^2 G d_1^4} \pm 10^3 \frac{4FS}{\pi E d_1^2}$		
		每米螺纹距离上的弹性变形量	$\frac{\delta S}{S}$	$\mu\text{m}/\text{m}$	$\frac{\delta S}{S} \leq \left(\frac{\delta S}{S}\right)_p$	$\left(\frac{\delta S}{S}\right)_p$ —每米螺纹距离上弹性变形量的许用值 ($\mu\text{m}/\text{m}$) (见表 4.1-13)
横 向 振 动	临界转速	n_c	$\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	$n_c = \frac{60 \mu_c^2 i}{2 \pi l_c^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ 对钢制螺杆 $n_c = 12.3 \times 10^6 \frac{\mu_c^2 d_1^2}{l_c^2}$ 应使转速 $n \leq 0.8 n_c$	l_c —螺杆两支承间的最大距离 (mm) μ_c —系数与螺杆的端部结构有关, 见表 4.1-12 ρ —密度, 钢 $\rho = 7.8 \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$	
驱动力矩		T_q	N · mm	$T_q = T_1 + T_2 + T_3$	T_1 、 T_2 和 T_3 见式 (4.1-3) 和表 4.1-6	
效率		η		当 T_q 为主动时 $\eta = (0.95 \sim 0.99) \frac{\tan \gamma}{(\gamma \pm \rho_v)}$	0.95 ~ 0.99 是轴承效率; 轴向载荷 F 与运动方向相反时取 “+” 号	
牙面滑动速度		v_s	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$v_s = \frac{\pi d_2 v_1}{S \cos \gamma}$	v_1 —轴向相对运动速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) d_2 —中径 (mm) S —导程 (mm) γ —导程角 (°)	

表 4.1-8 螺旋副材料的摩擦因数 μ 值 (定期润滑条件下)

螺杆和螺母材料	μ 值 ^①	螺杆和螺母材料	μ 值 ^①
淬火钢对青铜	0.06 ~ 0.08	钢对灰铸铁	0.12 ~ 0.15
钢对青铜	0.08 ~ 0.10	钢对钢	0.11 ~ 0.17
钢对耐磨铸铁	0.10 ~ 0.12		

① 起动时取大值, 运转中取小值。

表 4.1-9 滑动螺旋副材料的许用比压 p_p

牙面滑动速度 $v_s/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	螺 杆 材 料	螺 母 材 料	许用比压 p_p/MPa
低速、 润滑良好	钢	钢 青铜	7.5 ~ 13 18 ~ 25
<2.4 <3.0	钢	铸铁 青铜	13 ~ 18 11 ~ 18
6 ~ 12	钢	铸铁	4 ~ 7
		耐磨铸铁	6 ~ 8
		青铜	7 ~ 10
>15	钢	青铜	10 ~ 13
		青铜	1 ~ 2

表 4.1-10 滑动螺旋副材料的许用应力 σ_p 、 τ_p 、 σ_{bbp}
(MPa)

螺 杆 强 度	$\sigma_p = \frac{R_{eL}}{3 \sim 5}$ R_{eL} —材料的屈服强度		
螺 牙 强 度	材料	剪切 τ_p	弯曲 σ_{bbp}
	钢	0.6 σ_p	(1.0 ~ 1.2) σ_p
	青铜	30 ~ 40	40 ~ 60
	铸铁	40	45 ~ 55
	耐磨铸铁	40	50 ~ 60

注：静载荷时，许用应力取大值。

表 4.1-11 长度系数 μ_l

螺 杆 端 部 结 构 ^①	系 数 μ_l
两端固定	0.5 (一端为不完全固定端时取 0.6)
一端固定，一端铰支	0.7
两端铰支	1
一端固定，一端自由	2

- ① 采用滑动支承时： $\frac{l_0}{d_0} < 1.5$ 铰支； $\frac{l_0}{d_0} = 1.5 \sim 3$ 不完全固定端； $\frac{l_0}{d_0} > 3$ 固定端 (l_0 —支承长度， d_0 —支承孔直径)。
采用滚动支承时：只有径向约束铰支；径向和轴向均有约束固定端。

表 4.1-12 系数 μ_e

螺 杆 端 部 结 构 ^①	系 数 μ_e
一端固定，一端自由	1.875
两端铰支	3.142
一端固定，一端铰支	3.927
两端固定	4.730

- ① 同表 4.1-11 注①。

表 4.1-13 螺杆每米长度上允许导程的变形 $\left(\frac{\delta S}{S}\right)_p$
($\mu\text{m}/\text{mm}$)

精度等级	5	6	7	8	9
$\left(\frac{\delta S}{S}\right)_p$	10	12	30	55	110

2.2.4 滑动螺旋副的材料和精度

(1) 材料 螺杆和螺母材料及其匹配在保证足够的强度和良好的加工性能的基础上，还要求具有较高的耐磨性和较低的摩擦因数。钢制螺杆一般应进行热处理，以保证其耐磨性。精密传动螺旋其钢制螺杆热处理后应保证有较好的尺寸精度。常用滑动螺旋副材料、热处理及其应用见表 4.1-14 和表 4.1-15。

表 4.1-14 螺杆材料及其选用

螺杆材料	热 处 理	应 用
45、50 Y40Mn		轻载、低速、精度不高的传动
45	正火 170 ~ 200HBW 调质 220 ~ 250HBW	中等精度的 一般传动
40Cr、40CrMn	调质 230 ~ 280HBW 淬火、低温回火 45 ~ 50HRC	
65Mn	表面淬火、低温回火 45 ~ 50HRC	
T10、T12	球化调质 200 ~ 230HBW 淬火、低温回火 56 ~ 60HRC	有较高的耐磨性，用于精度较高的重要传动
20CrMnTi	渗碳、高频淬火 56 ~ 62HRC	
CrWMn 9Mn2V	淬火、低温回火 55 ~ 60HRC	耐磨性高，有较好的尺寸稳定性，用于精密传动螺旋
38CrMoAl	氮化，氮化层深 0.45 ~ 0.6mm，850HV	

表 4.1-15 螺母材料及其选用

材 料	特点和应用
ZCuSn10Zn2 ZCuSn10Pb1 ZCuSn5Pb5Zn5	和钢制螺杆配合，摩擦因数低，有较好的抗胶合能力和耐磨性；但强度稍低。适用于轻载、中高速传动精度高的传动
ZQAl10Fe3 ZQAl10Fe3Mn2 ZCuZn25Al6Fe3Mn3	和钢螺杆配合，摩擦因数较低，强度高，抗胶合能力较低。适用于重载、低速传动
35 球墨铸铁	螺旋副的摩擦因数较高，强度高，用于重载调整螺旋
耐磨铸铁	强度高，用于低速、轻载传动

(2) 精度 各种牙型螺旋的精度见第 3 篇第 1 章相关内容 (矩形螺纹尚未标准化)。梯形螺纹可查 GB/T 5796.4—2005，3°/30° 锯齿形螺纹可查 GB/T 13576.4—1992。

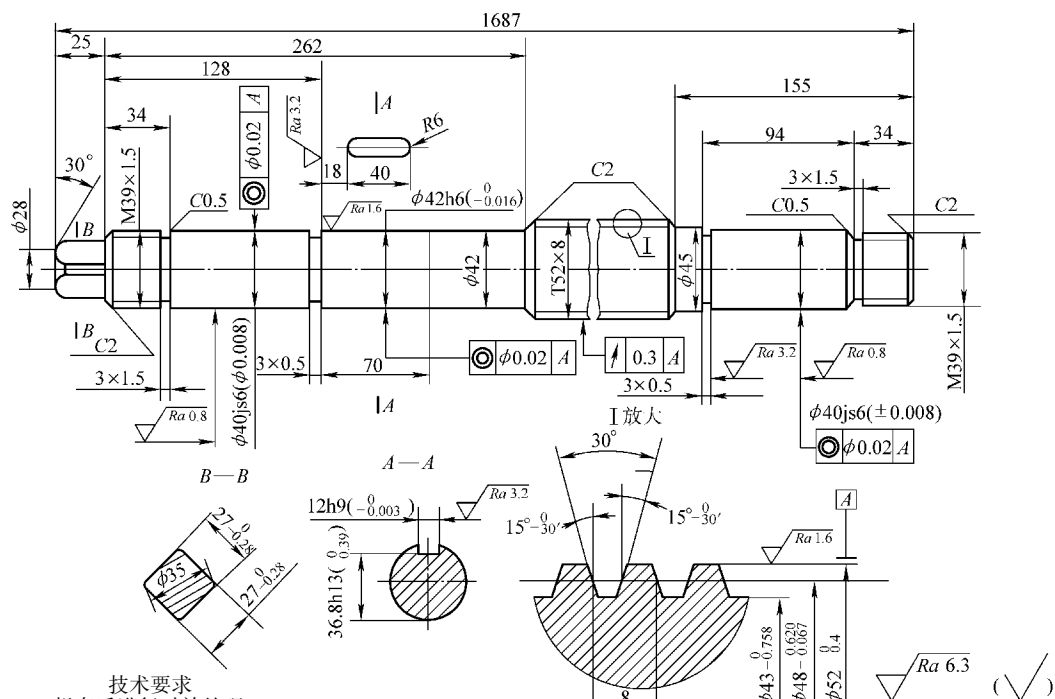
2.2.5 滑动螺旋传动设计举例

例 1 设计某滑动螺旋传动。已知螺旋轴向工作载荷 $F = 60\text{kN}$ ，轴向工作速度 $v_x = 0.15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，行程 $L = 1500\text{mm}$ ，要求自锁。

解:

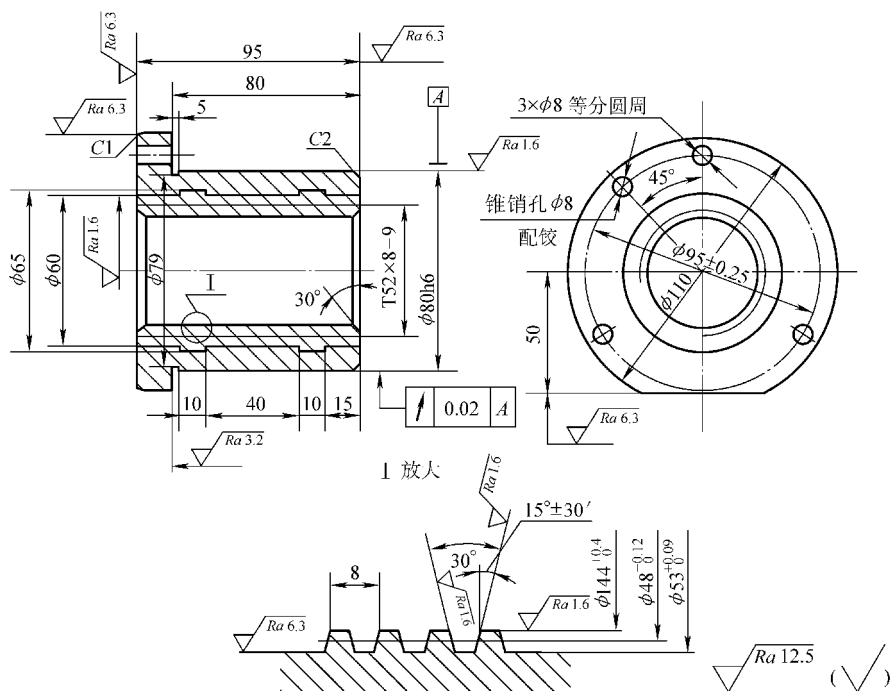
1. 牙型、材料和许用应力	采用梯形螺纹, 单线 $n=1$ 螺杆 45 钢, 螺母 ZCuSn5Pb5Zn5 由表 4.1-9, 初按滑动速度 $v_s < 3\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 许用比压 $p_p = 11 \sim 18\text{MPa}$, 取 $p_p = 11\text{MPa}$ 螺杆的许用应力: 45 钢上屈服强度 $R_{eL} = 340\text{MPa}$, 由表 4.1-10, $\sigma_p = \frac{R_{eL}}{3 \sim 5} = \frac{340}{3 \sim 5} = (113.4 \sim 68)\text{MPa}$, 取 $\sigma_p = 90\text{MPa}$ $\sigma_{bP} = (1.0 \sim 1.2)\sigma_p = (1.0 \sim 1.2) \times 90\text{MPa} = (90 \sim 108)\text{MPa}$, 取 $\sigma_{bP} = 99\text{MPa}$ $\tau_p = 0.6\sigma_p = 0.6 \times 90\text{MPa} = 54\text{MPa}$ 螺母的许用应力: $\sigma_{bP} = (40 \sim 60)\text{MPa}$, 取 $\sigma_{bP} = 50\text{MPa}$; $\tau_p = (30 \sim 40)\text{MPa}$, 取 $\tau_p = 35\text{MPa}$
2. 按耐磨性设计	采用整体式螺母, 取 $\psi = 1.8$ 计算螺杆中径 $d_2 \geq 0.8 \sqrt{\frac{F}{\psi p_p}} = 0.8 \sqrt{\frac{60 \times 10^3}{1.8 \times 11}} \text{mm} = 44.04\text{mm}$ 按梯形螺纹标准, 取螺杆螺纹参数: $P = 8\text{mm}$, $d = 52\text{mm}$, $d_2 = 48\text{mm}$, $d_1 = 43\text{mm}$。螺母螺纹参数略 螺母高度 $H = \psi d_2 = 1.8 \times 48\text{mm} = 86.4\text{mm}$, 取 $H = 86\text{mm}$ 螺纹旋合圈数 $z = \frac{H}{P} = \frac{86}{8} = 10.75$ 螺纹的工作高度 $h = 0.5P = 0.5 \times 8\text{mm} = 4\text{mm}$
3. 验算耐磨性	导程角 $\gamma = \arctan \frac{S}{\pi d_2} = \arctan \frac{8}{\pi \times 48} = 3.0368^\circ$ 牙面滑动速度 $v_s = \frac{\pi d_2 v_k}{S \cos \gamma} = \frac{\pi \times 48 \times 0.15}{8 \times \cos 3.0368^\circ} = 2.83\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 查表 4.1-9 许用比压 p_p 初取值合适, 不再作耐磨性验算
4. 验算自锁	查表 4.1-8, 摩擦因数 $\mu = 0.9$, 梯形螺纹牙型角 $\alpha = 30^\circ$ 当量摩擦角 $\rho_v = \arctan \frac{\mu}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \arctan \frac{0.9}{\cos \frac{30^\circ}{2}} = 5.3232^\circ$ $\gamma = 3.0368^\circ < \rho_v = 5.3232^\circ$, 满足自锁要求
5. 计算螺杆强度	螺纹摩擦转矩 $T_1 = \frac{1}{2} d_2 F \tan(\lambda + \rho_v) = \frac{1}{2} \times 48 \times 60 \times 10^3 \times \tan(3.0368 + 5.3232) = 2.116 \times 10^5 \text{N} \cdot \text{mm}$ $\sigma_{ca} = \sqrt{\left(\frac{4F}{\pi d_1^2}\right)^2 + 3\left(\frac{T_1}{0.2d_1^3}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{4 \times 60 \times 10^3}{\pi \times 43^2}\right)^2 + 3 \times \left(\frac{2.116 \times 10^5}{0.2 \times 43^3}\right)^2} \text{MPa} = 47.3\text{MPa}$ $\sigma_{ca} = 47.3\text{MPa} < \sigma_p = 90\text{MPa}$, 满足强度要求
6. 螺母强度计算	钢质螺杆螺母强度高于青铜质螺母, 只计算螺母的螺母强度 牙根宽度 $b = 0.65P = 0.65 \times 8\text{mm} = 5.2\text{mm}$ $\tau = \frac{F}{\pi dbz} = \frac{60 \times 10^3}{\pi \times 52 \times 5.2 \times 10.75} \text{MPa} = 6.57\text{MPa}$ $\sigma_b = \frac{3Fh}{\pi db^2 z} = \frac{3 \times 60 \times 10^3 \times 4}{\pi \times 52 \times 5.2^2 \times 10.75} = 15.16\text{MPa}$ $\tau = 6.57\text{MPa} < \tau_p = 35\text{MPa}$, 牙根剪切满足强度要求 $\sigma_b = 15.16\text{MPa} < \sigma_{bP} = 50\text{MPa}$, 牙根弯曲满足强度要求
7. 螺杆的受压稳定性计算	螺杆两端滚动轴承支承, 可视为两端铰支, 长度系数 $\mu_1 = 1$ 惯性半径 $i = \frac{d_1}{4} = \frac{43}{4} \text{mm} = 21.5\text{mm}$ 螺杆最大工作长度 $l \approx L = 1500\text{mm}$ 参数 $\frac{\mu_1 l}{i} = \frac{1 \times 1500}{21.5} = 69.8 < 85$ $\text{临界载荷 } F_{cr} = \frac{334}{1 + 1.3 \times 10^{-4} \left(\frac{\mu_1 l}{i}\right)^2} \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{334}{1 + 1.3 \times 10^{-4} \times 69.8^2} \frac{\pi \times 43^2}{4} \text{N} = 297062\text{N}$ $\frac{F_{cr}}{F} = \frac{297062}{60000} = 4.95 > (2.5 \sim 4)$, 螺杆满足受压稳定性要求

2.2.6 螺杆、螺母工作图 (见图 4.1-1、图 4.1-2)



- 技术要求
1. 粗车后进行时效处理
2. 一个螺距公差 (包括周期性误差) 0.025 材料: 45
3. 螺距累积公差:
在 $\leq 25\text{mm}$ 长度上为 0.035
在 $\leq 100\text{mm}$ 长度上为 0.050
在 $\leq 300\text{mm}$ 长度上为 0.070
在全长上为 0.150

图 4.1-1 螺杆(丝杠)工作图



材料: ZCuSn5Pb5Zn5

图 4.1-2 螺母工作图

2.3 滚动螺旋传动

2.3.1 工作原理和结构形式

滚动螺旋传动的牙面之间置入滚动体，滚动体大多数采用钢珠，也有采用滚子，螺旋副的旋合运动为滚动摩擦，摩擦因数低，传动效率高。滚动螺旋应轴向预紧以获得较高的传动精度。

根据用途，滚动螺旋传动分为传力和定位两

类。传力滚动螺旋(T类)主要用于传递动力。定位滚动螺旋(P类)用于通过转角或导程控制轴向位置。

滚动螺旋副有滚动体循环回路，形成自动循环，见图4.1-3。

根据螺纹滚道法面截形、钢球循环方式、消除轴向间隙和调整预紧力方法的不同，滚动螺旋副的结构有多种形式，见表4.1-16。

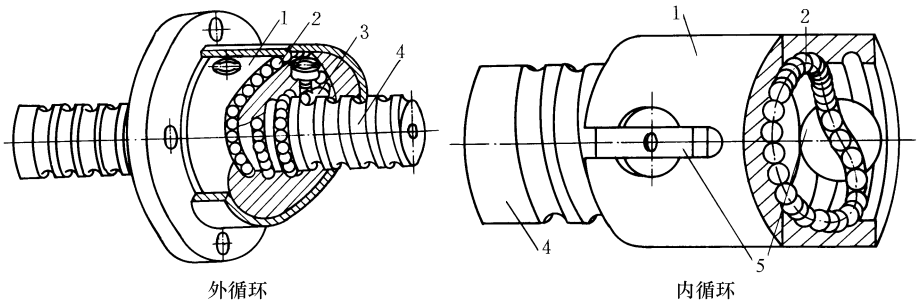
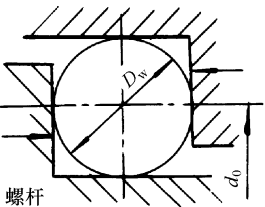
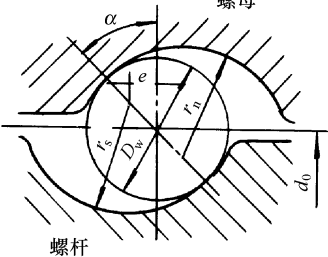
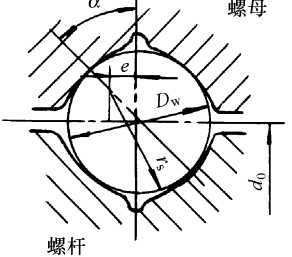


图 4.1-3 滚动螺旋传动

1—螺母 2—钢球 3—挡球器 4—螺杆 5—返向器

表 4.1-16 滚动螺旋副的结构

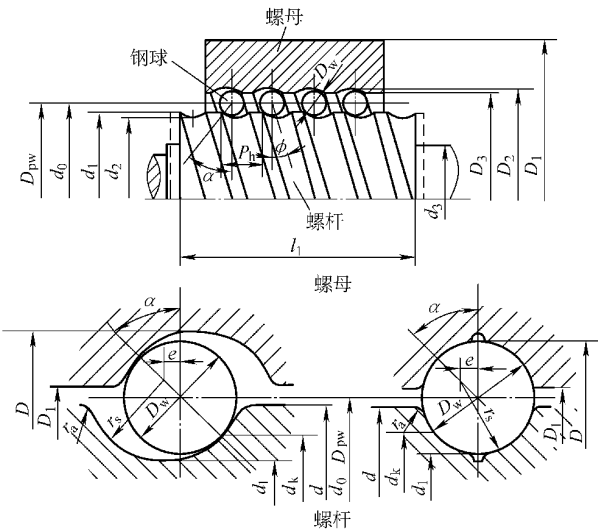
螺旋滚道法面截形		
滚道的法面截形	参 数 关 系	特 点
矩形 螺母  螺杆		制造容易，接触应力高，承载能力低，只用于轴向载荷小、要求不高的传动
半圆弧 螺母  螺杆	接触角 $\alpha = 45^\circ$ 适应度 $\frac{r_s}{D_w} = \frac{r_n}{D_w} = 0.51 \sim 0.56$ 常取 0.52、0.555 径向间隙 $\Delta d = 4 \left(r_s - \frac{D_w}{2} \right) (1 - \cos \alpha)$ 轴向间隙 $\Delta a = 4 \left(r_s - \frac{D_w}{2} \right) \sin \alpha$ 偏心距 $e = \left(r_s - \frac{D_w}{2} \right) \sin \alpha$	磨削滚道的砂轮成形简便，可得到较高的加工精度。有较高的接触强度，但适应度 $\frac{r_s}{D_w}$ 小，运行时摩擦损失增大 接触角 α 随初始间隙和轴向载荷的大小变化，为保证 $\alpha = 45^\circ$，必须严格控制径向间隙 消除间隙和调整预紧必须采用双螺母结构
双圆弧 螺母  螺杆	接触角 $\alpha = 45^\circ$ 适应度 $\frac{r_s}{D_w} = \frac{r_n}{D_w} = 0.51 \sim 0.56$ 常取 0.52、0.555 偏心距 $e = \left(r_s - \frac{D_w}{2} \right) \sin \alpha$	有较高的接触强度，轴向间隙和径向间隙理论上为零，接触角稳定；但加工较复杂 消除间隙和调整预紧通常是采用双螺母结构，也可采用单螺母和增大钢球直径

(续)

钢球的循环方式			
类别	形式	简 图	结 构 特 点
外 循 环	螺旋槽式		在螺母外圆柱面上有螺旋形回球槽，槽的两端有通孔与螺母的螺纹滚道相切，形成钢球循环通道 为引导钢球在通孔内顺利出入，在孔口置有挡球器 结构简单，承载能力较高。回球槽与通孔联接处曲率半径小，钢球的流畅性较差；挡球器端部易磨损
	插管式		将外接弯管的两端插入与螺母螺纹滚道相切的通孔，形成钢球循环通道。孔口有挡球器引导钢球出入通道 弯管有埋入式和凸出式两种 一个螺母上通常有 2 ~ 3 条循环回路 结构简单，工艺性好，弯管可制成钢球流畅性好的通道。螺母结构的外形尺寸较大；若用弯管端部作挡球器，耐磨性差。应用范围广泛
内 循 环	镶块式		在螺母上开有侧孔，孔内镶有反向器，将相邻两螺纹滚道连接起来，钢球从螺纹滚道进入反向器，越过螺杆牙顶，进入相邻螺纹滚道，形成钢球循环通道 反向器有固定式和浮动式两种 一个螺母上通常有 2 ~ 4 条循环回路 螺母的径向尺寸小，和滑动螺旋副大致相同。钢球循环通道短，有利于减少钢球数量，减小摩擦损失，提高传动效率。反向器回行槽加工要求高；不适于重载传动

2.3.2 滚动螺旋的几何尺寸 称直径(钢球中心圆直径) d_0 和导程 P_h 的标准系列见
滚动螺旋副的主要几何尺寸见表 4.1-17。其公 表 4.1-18。

表 4.1-17 滚动螺旋副的几何尺寸 (mm; 角度为°)



(续)

主 要 尺 寸		符 号	计 算 公 式
螺 纹 滚 道	公称直径、节圆直径	$d_0、D_{pw}$	一般 $d_0 = D_{pw}$ ，标准系列见表 4. 1-18
	导程	P_h	标准系列见表 4. 1-18
	接触角	α	$\alpha = 45^\circ$
	钢球直径	D_w	$D_w \approx 0.6 P_h$
	螺杆、螺母螺纹滚道半径	$r_s、r_n$	$r_s(r_n) = (0.51 \sim 0.56) D_w$
	偏心距	e	$e = \left(r_s - \frac{D_w}{2}\right) \sin \alpha$
	螺纹导程角	ϕ	$\phi = \arctan \frac{P_h}{\pi d_0} = \arctan \frac{P_h}{\pi D_{pw}}$
螺 杆	螺杆大径	d	$d = d_0 - (0.2 \sim 0.25) D_w$
	螺杆小径	d_1	$d_1 = d_0 + 2e - 2r_s$
	螺杆接触点直径	d_k	$d_k = d_0 - D_w \cos \alpha$
	螺杆牙顶圆角半径 (内循环用)	r_a	$r_a = (0.1 \sim 0.15) D_w$
	轴径直径	d_3	由结构和强度确定
螺 母	螺母螺纹大径	D	$D = d_0 - 2e + 2r_n$
	螺母螺纹小径	D_1	外循环 $D_1 = d_0 + (0.2 \sim 0.25) D_w$ 内循环 $D_1 = d_0 + 0.5 (d_0 - d)$

表 4. 1-18 滚动螺旋传动的公称直径 d_0 和基本导程 P_h (mm)

公称 直径 d_0	基 本 导 程 P_h														
	1	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40
6			●												
8			●												
10			●			●									
12			●			●			●						
16			●			●			●						
20					○	●			●			●			
25						●			●						
32					○	●			●			●			
40						●	○		●			●			●
50						●	○	○	●	○		●			●
63						●		○	●	○		●			●
80									●			●			●
100									●			●			●
125									●			●			●
180												●			●
200												●			●

注：应优先采用有●的组合，优先组合不够用时，推荐选用○的组合；只有优先组合和推荐组合不敷用时，才选用框内的普通组合。

2. 3. 3 滚动螺旋的代号和标注

滚动螺旋副的型号根据其结构、规格、精度和螺纹旋向等特征，按下列格式编写。

各种特征代号表示如下：

1) 循环方式代号

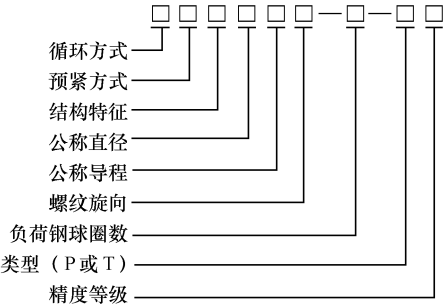
内循环浮动式—F

内循环固定式—G

外循环插管式—C

2) 预紧方式代号

单螺母变位导程预紧—B



单螺母增大钢球直径预紧—Z

双螺母垫片预紧—D

双螺母齿差预紧—C

双螺母圆螺母预紧—L

单螺母无预紧—W

3) 结构特征代号

埋入式外插管—M

凸出式外插管—T

4) 螺纹旋向代号

右旋—不标注

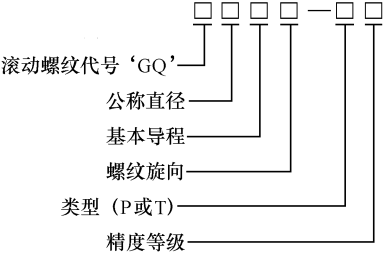
左旋—LH

5) 类型代号

定位滚动螺旋副—P

传力滚动螺旋副—T

螺旋副螺纹代号标注的表示方法如下：



标注示例：外循环插管式、双螺母垫片预紧、外插管埋入式滚动螺旋副，公称直径 50mm，基本导程 10mm，右旋，负荷钢球圈数 3 圈、精度 3 级。该滚动螺旋副代号为 CDM5010—3—P3，外、内螺纹代号为 GQ5010—P3。

2.3.4 滚动螺旋的选择计算

滚动螺旋已形成定型产品，由专业制造厂生产，用户可根据使用要求，确定类型、结构、精度等级，再按承载能力确定尺寸。

对于传力螺旋，转速较高工作时，应按寿命条件和静载荷条件选择尺寸；静止或转速低于 $10\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时，按静载荷条件选择尺寸。尺寸确定后再作稳定性、刚度等验算。

对于定位螺旋，根据载荷、速度、定位精度和系统刚性确定结构和尺寸，然后作静载荷、寿命、稳定性等项验算。

滚动螺旋副的承载能力指标参数包括轴向额定静载荷、轴向额定动载荷、寿命、弹性静刚度等，其计算根据滚珠丝杠副轴向静刚度 (GB/T 3408.4—2008) 和滚珠丝杠副轴向额定静载荷和动载荷及使用寿命 (GB/T 3408.5—2008) 整理。滚动螺旋副的承载能力计算见表 4.1-19。

表 4.1-19 滚动螺旋副的承载能力计算

根据工作要求，确定类型、结构、螺杆行程及支承长度 l_s 、精度等级、公称直径 d_0 (mm)、导程 P_h (mm)、滚珠直径 D_w (mm)、螺旋副节圆直径 D_{pw} (mm)、螺母滚道半径 r_n (mm)、螺杆滚道半径 r_s (mm) 等尺寸

参数	符号	单位	计 算 式	备 注
导程角	ϕ	($^{\circ}$)	$\phi = \arctan \frac{P_h}{\pi d_0} = \arctan \frac{P_h}{\pi D_{pw}}$	
结构系数	γ		$\gamma = D_w \cos \alpha / D_{pw}$	α 为接触角
适应度	f_{rs} f_{rn}		滚珠螺杆滚道适应度 $f_{rs} = r_s / D_w$ 滚珠螺母滚道适应度 $f_{rn} = r_n / D_w$	表中计算适用于 $f_{rs} > 0.5$ 和 $f_{rn} > 0.5$ 的滚动螺旋副
轴向额定静载荷	C_{0a}	N	$C_{0a} = k_0 z_1 i D_w^2 \sin \alpha \cos \phi \quad (1)$ 每圈承载滚珠数目 $z_1 = \text{INT} \left[\frac{\pi D_{pw}}{D_w \cos \phi} - z_2 \right]$ 轴向额定静载荷的特性数 $k_0 = \frac{19.615}{\sqrt{D_w (2 - 1/f_{rs}) / (1 - \gamma)}}$	轴向额定静载荷的定义：滚动螺旋副在转速 $n \leq 10\text{r/min}$ 条件下，受接触应力最大的钢球和滚道接触面产生的塑性变形量之和为钢球直径万分之一的轴向载荷； i 为承载滚珠圈数； z_2 为每圈不承载滚珠数目

(续)

参数	符号	单位	计 算 式	备 注
轴向额定动载荷	C_a	N	$C_a = C_s i^{0.86} \left[1 + \left(\frac{C_s}{C_n} \right)^{10/3} \right]^{-0.3} \quad (2)$ 螺杆单圈轴向额定动载荷 $C_s = f_c z_1^{2/3} D_w^{1.8} (\cos \alpha)^{0.86} (\cos \phi)^{1.3} \tan \alpha$ 几何系数 $f_c = 93.2 \left(1 - \frac{\sin \alpha}{3} \right) \left(\frac{2f_{rs}}{2f_{rs} - 1} \right)^{0.41} \frac{\gamma^{0.3} (1 - \gamma)^{1.39}}{(1 + \gamma)^{1/3}}$ 参数: $\frac{C_s}{C_n} = \left(\frac{1 - \gamma}{1 + \gamma} \right)^{1.732} \left(\frac{2 - 1/f_m}{2 - 1/f_{rs}} \right)^{0.41}$	轴向额定动载荷的定义: 一组相同参数的滚动螺旋副, 在相同条件下, 运转 10^6 转, 90% (即可靠度 0.9, 失效率 0.1) 的螺旋副 (滚动体或滚道表面) 不发生疲劳剥伤所能承受的纯轴向载荷
轴向额定静载荷修正值	C_{0am}	N	$C_{0am} = f_h f_{ac} C_{0a} \quad (3)$ 硬度修正系数 $f_h = \left(\frac{\text{实际硬度值 HV10}}{654 \text{HV10}} \right)^3$	f_{ac} 为精度修正系数, 见表 4.1-20
轴向额定动载荷修正值	C_{am}	N	$C_{am} = f_h f_{ac} f_m C_a \quad (4)$	f_m 为材料冶炼方法系数, 见表 4.1-21
当量转速	n_m	$r \cdot \min^{-1}$	转速稳定时, $n_m = n$ 转速变化时的当量转速 n_m $n_m = n_1 q_{n1} + n_2 q_{n2} + \cdots + n_k q_{nk} = \sum_{i=1}^k n_i q_{ni} \quad (5)$	n 为工作转速 ($r \cdot \min^{-1}$); n_i 、 q_{ni} 为各级转速和相应的工作时间与总工作时间的比
当量轴向载荷	F_m	N	(1) 有间隙的螺旋副 a. 稳定的载荷 $F_m = F$ b. 稳定的周期变载荷 $F_m = \frac{2F_{\max} + F_{\min}}{3}$ c. 转速稳定, 载荷变化时的当量载荷 F_m $F_m = \sqrt[3]{F_1^3 q_1 + F_2^3 q_2 + \cdots + F_k^3 q_k}$ $= \sqrt[3]{\sum_{i=1}^k F_i^3 q_i} \quad (6)$ d. 转速和载荷均变化时 $F_m = \sqrt[3]{\frac{F_1^3 n_1 q_1}{n_m} + \frac{F_2^3 n_2 q_2}{n_m} + \cdots + \frac{F_k^3 n_k q_k}{n_m}}$ $= \sqrt[3]{\sum_{i=1}^k \frac{F_i^3 n_i q_i}{n_m}} \quad (7)$ (2) 预载的螺旋副 a. 当 $F \leq F_{\lim}$ 时, 两个螺母承受不等的轴向载荷 $F_1 = 0.6 F_{a0} \left(1 + \frac{F}{1.697 F_{a0}} \right)^{1.5} \quad (8)$ $F_2 = F_1 - F \quad (9)$ b. 当 $F > F_{\lim}$ 时, 一个螺母承受全部外载荷, 另一个不承受载荷 $F_1 = F \quad (10)$ $F_2 = 0 \quad (11)$ c. 当量轴向载荷取两者大的, 即 $F_m = \max(F_1, F_2)$ d. 当转速和载荷变化时, 按式 (6) ~ (7) 计算螺旋副的当量转速和当量载荷	F、$F_{\max}$、$F_{\min}$ 为工作载荷、工作载荷最大和最小值; F_i、q_i 为各级载荷和相应的工作时间与总工作时间的比; 式 (6) 和式 (7) 为承受单向载荷的情况, 承受双向载荷时, 应分别各自计算当量载荷, 寿命的计算见式 (14) $F_{\lim}$ 为预载螺旋承受工作载荷不出现间隙的载荷极限值 (N) $F_{\lim} = 2.8284 F_{a0}$ F_{a0} 为预载轴向载荷 (N)

(续)

参数	符号	单位	计 算 式	备 注
寿命计算和寿命条件	L	10^6 r	$L = f_{rc} \left(\frac{C_{am}}{f_F F_m} \right)^3 \quad (12)$	f_{rc} 为可靠性系数, 见表 4.1-22 f_F 为载荷系数, 见表 4.1-23
	L_h	h	$L_h = \frac{10^6 L}{60 n_m} \quad (13)$	
			当螺旋副受双向载荷时, 应各自确定当量转速 n_{m1} 、 n_{m2} 和当量载荷 F_{m1} 、 F_{m2} , 并按式 (12) 计算各自作用下的寿命 L_1 、 L_2 , 再计算综合寿命 $L = (L_1^{-10/9} + L_2^{-10/9})^{-9/10} \quad (14)$	
			寿命条件 $L_h \geq L'_h \quad (15)$	
静载荷条件			$C_{0am} \geq f_F F_{\max} \quad (16)$	传力螺旋应进行此项计算
轴向静刚度	R	$\text{N} \cdot \mu\text{m}^{-1}$	滚动螺旋副的轴向刚度由螺杆的刚度和螺母刚度组成, 其中螺母的刚度有滚道-滚动体接触刚度和螺母自身的刚度两部分 $R = \frac{R_n R_s}{R_s + R_n} \quad (17)$	R_s 为螺杆刚度 R_n 为螺母刚度
			(1) 螺杆轴向刚度 R_s 一端固定 $R_s = \frac{A_s E}{10^3 l_s} \quad (18)$ 两端固定时的最小刚度 $R_{s\min} = \frac{4 A_s E}{10^3 l_s} \quad (19)$	A_s 为螺杆截面积 (mm^2) $A_s = \frac{1}{4} \pi (d_c^2 - d_{b0}^2)$ d_c 为螺杆当量直径 (mm) $d_c = D_{pw} - D_w \cos \alpha$ d_{b0} 为中心孔直径 (mm) E 为弹性模量 (MPa)
			(2) 螺母的轴向刚度 $R_n = f_{ar} \frac{R_{n1} R_{n2}}{R_{n1} + R_{n2}} \quad (20)$ a. 径向载荷引起的轴向刚度 R_{n1} 有间隙: $R_{n1} = R_0$ 预载的: $R_{n1} = 2R_0$ 基本值 $R_0 = \frac{2 \pi i P_h E \tan \alpha}{10^3 \times \left(\frac{D_1^2 + D_c^2}{D_1^2 - D_c^2} + \frac{d_c^2 + d_{b0}^2}{d_c^2 - d_{b0}^2} \right)}$ b. 滚道-滚珠的接触刚度 R_{n2} 有间隙: $R_{n2} = 1.5 \sqrt[3]{F (ik)^2}$ 预紧的: $R_{n2} = 2.8284 \sqrt[3]{F_{a0} (ik)^2}$ 轴承钢的刚度特性系数 $k = 10 z_1 (\sin \alpha \cos \phi)^{2.5} c_k^{-1.5}$ 参数: $c_k = Y_s \sqrt[3]{\rho_{\Sigma s}} + Y_n \sqrt[3]{\rho_{\Sigma n}}$ 滚动体与螺杆滚道的综合曲率 $\rho_{\Sigma s} = \frac{1}{D_w} \left(4 - \frac{1}{f_{rs}} + \frac{2}{1/\gamma - 1} \right)$	R_{n1} 为径向载荷引起的轴向刚度 R_{n2} 为滚道-滚珠的接触刚度 f_{ar} 为滚动螺旋的刚度精度系数, 见表 4.1-25 F 、 F_{a0} 为工作载荷和预紧力 (N) D_c 为螺母当量直径 (mm) $D_c = D_{pw} + D_w \cos \alpha$

(续)

参数	符号	单位	计 算 式	备 注
轴向静刚度	R	$\text{N} \cdot \mu\text{m}^{-1}$	滚动体与螺母滚道的综合曲率 $\rho_{\Sigma n} = \frac{1}{D_w} \left(4 - \frac{1}{f_m} - \frac{2}{1/\gamma + 1} \right)$ 辅助值 $Y_s = -0.1974 \sqrt{\sin \tau_s} + 1.728 \sqrt{\sin \tau_s} - 0.2487 \sin \tau_s$ $Y_n = -0.1974 \sqrt{\sin \tau_n} + 1.728 \sqrt{\sin \tau_n} - 0.2487 \sin \tau_n$ $\tau_s = \arccos \left 1 - \frac{4 - 2/f_{rs}}{D_w \rho_{\Sigma s}} \right $ $\tau_n = \arccos \left 1 - \frac{4 - 2/f_{rn}}{D_w \rho_{\Sigma n}} \right $	R_{n1} 为径向载荷引起的轴向刚度 R_{n2} 为滚道-滚珠的接触刚度 f_{ar} 为滚动螺旋的刚度精度系数, 见表 4.1-25 F、F_{a0} 为工作载荷和预紧力 (N) D_c 为螺母当量直径 (mm) $D_c = D_{pw} + D_w \cos \alpha$
螺杆的强度	σ	MPa	参照表 4.1-7	
螺杆稳定临界载荷	F_c	N	参照表 4.1-7	长径比较大的受压螺旋应做此项计算
临界转速	n_c	$\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	参照表 4.1-7	转速较高、支承距离较大的螺杆应做此项计算

表 4.1-20 滚动螺旋副精度修正系数 f_{ac}

精度等级	1 ~ 5	7	10
f_{ac}	1.0	0.9	0.7

表 4.1-21 材料冶炼方法系数 f_m

冶炼方法	空气熔炼	真空脱气	电渣重熔	真空再熔
f_m	1.0	1.25	1.44	1.71

表 4.1-22 可靠性系数 f_{rc}

可靠度	0.90	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
f_{rc}	1.0	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21

表 4.1-23 载荷系数

载 荷 性 质	载荷系数 f_F
平稳或轻微冲击	1.0 ~ 1.2
中等冲击	1.2 ~ 1.5
较大冲击和振动	1.5 ~ 2.5

表 4.1-24 滚动螺旋副的寿命要求

机 械 类 型	预期寿命 L_h/h
普通机械	5000 ~ 10000
普通金属切削机床	10000
数控机床、精密机械	15000
测试机械、仪器	15000
航空机械	1000

表 4.1-25 滚动螺旋的刚度精度系数 f_{ar}

精度等级	1	2	3	4	5
f_{ar}	0.6	0.58	0.55	0.53	0.5

2.3.5 材料及热处理

为使滚动螺旋传动有高的承载能力和一定的工作寿命, 满足工作性能的要求, 螺旋副元件应有足够的接触强度和耐磨性, 其工作表面必须具有一定的硬度。通常螺纹滚道表面应达到 58 ~ 60HRC, 钢球表面达到 62 ~ 64HRC。为此, 选择适当的材料并确定相应的热处理是十分重要的。

滚动螺旋副材料的选用及其热处理参见表 4.1-26。

整体淬火在热处理和磨削过程中变形较大, 工艺性差, 应尽可能采用表面硬化处理。对于高精度螺杆尚需进行稳定处理, 消除残余应力。

2.3.6 精度

GB/T 17587.2—1998 规定了公称直径 6 ~ 200mm 适用于机床的滚动螺旋副的精度和性能要求等, 分为 7 个精度等级, 即 1、2、3、4、5、7 和 10 级。其中 1 级精度最高, 10 级最低, 依次逐级降低。其他机械产品亦可参照选用。

为适应近代高精度化的要求, 还将规定更高的 0 级精度。

滚动螺旋副的行程误差是影响定位精度 (特别

表 4.1-26 滚动螺旋副的材料及其热处理

类别	适用范围	材料	热处理	硬度 (HRC)
精密螺杆	滚道长度≤1m	20CrMo	渗碳、淬火	60 ± 2
	滚道长度≤2. 5m	42CrMo	高、中频加热，表面淬火	
	滚道长度>2. 5m	38CrMoAl	渗氮	850 (HV)
普通螺杆	各种尺寸	50Mn、60Mn、55	高、中频加热、表面淬火	60 ± 2
	$d_0 \leq 40\text{mm}$	GCr15	整体淬火、低温回火	60 ± 2
	$d_0 \leq 40\text{mm}$ 、滚道长度≤2m	9Mn2V		
	$d_0 > 40\text{mm}$	GCr15SiMn		
	$d_0 > 40 \sim 80\text{mm}$ 、滚道长度≤2m	CrWMn		
抗蚀螺杆		9Cr18	中频加热、表面淬火	58 – 2
螺母		GCr15、CrWMn、9Cr18	整体淬火、低温回火	60 + 2
		20CrMnTi	渗碳、淬火	
		12Cr2Ni4		
返向器	内循环	CrWMn、GCr15	整体淬火、低温回火	60 + 2
		20CrMnTi	离子渗氮	850 (HV)
		20Cr、40Cr		
挡球器	外循环	45、65Mn	整体淬火、低温回火	40 ~ 50

注：1. 螺杆滚道长度 ≥1m 或精度要求高时，硬度可略低，但不得低于 56HRC。

2. 表面硬化层应保证磨削后的深度为：中频淬火 ≥2mm；高频淬火、渗碳淬火 ≥1mm；氮化 >0.4mm。

是 P 类定位滚动螺旋副) 的决定性因素，故在其几何精度中规定了目标行程公差 e_p 、有效行程内允许行程变动量 V_{up} 、300mm 行程内允许行程变动量 V_{300p} 和 2π 弧度内允许行程变动量 $V_{2\pi p}$ 等 4 项指标，并进行逐项检查。

表 4.1-27 为滚动螺旋副有效行程内的平均行程偏差 e_p 和行程变动量 V_{up} (右下标加符号“p”为允许带宽)，表 4.1-28 为任意 300mm 行程内的行程变动量 V_{300p} 和 2π 弧度内行程变动量 $V_{2\pi p}$ 。

对于传力滚动螺旋副只检验有效行程 l_u 内平均行程偏差 e 和任意 300mm 行程内行程变动量 V_{300} ，

且

$$e_p = 2 \frac{l_u}{300} V_{300p}$$

为了保证滚动螺旋传动的精度和性能要求，还应规定螺杆的位置公差，如螺杆外径、支承轴颈对螺纹轴线的径向圆跳动，支承轴颈肩面对螺纹轴线的圆跳动等。跳动和定位公差见 GB/T 17587.2—1998。

一般动力传动可选用 5、7 级精度，数控机床和精密机械用定位滚动螺旋，则根据其定位精度和重复定位精度要求选用 1~5 级精度。

表 4.1-27 定位滚动螺旋副有效行程内的平均偏差 e_p 和行程变动量 V_{up} (μm)

有效行程 l_u/mm	精 度 等 级									
	1		2		3		4		5	
	e_p	V_{up}	e_p	V_{up}	e_p	V_{up}	e_p	V_{up}	e_p	V_{up}
≤315	6	6	8	8	12	12	16	16	23	23
>315 ~ 400	7	6	9	8	13	12	18	17	25	25
>400 ~ 500	8	7	10	10	15	13	20	19	27	26
>500 ~ 630	9	7	11	11	16	14	22	21	30	29
>630 ~ 800	10	8	13	12	18	16	25	23	35	31
>800 ~ 1000	11	9	15	13	21	17	29	25	40	33
>1000 ~ 1250	13	10	18	14	24	19	34	29	46	39
>1250 ~ 1600	15	11	21	17	29	22	40	33	54	44
>1600 ~ 2000	18	13	25	19	35	25	48	38	65	51
>2000 ~ 2500	22	15	30	22	41	29	57	44	77	59
>2500 ~ 3150	26	17	36	25	50	34	69	52	93	69

表 4.1-28 任意 300mm 行程和 2π 弧度内行程变动量 V_{300p} 、 $V_{2\pi p}$ (μm)

精度等级	1	2	3	4	5	7	10
V_{300p}	6	8	12	16	23	52	210
$V_{2\pi p}$	4	5	6	7	8	—	—

2.3.7 预紧

为了消除滚动螺旋副的间隙, 提高定位精度、重复定位精度和轴向刚度, 应设计预紧结构, 常采用双螺母预紧。预紧后的螺旋在工作载荷作用时应保证不出现间隙, 其临界条件是

$$F_{\max} = F_{\lim}$$

这里, $F_{\max}$ 为螺旋最大工作载荷, $F_{\lim}$ 为预紧后螺旋受工作载荷不出现间隙的载荷极限值, 由表 4.1-19, $F_{\lim} = 2.8284F_{ao}$, F_{ao} 为轴向预紧力。预紧力的合理取值为 $F_{ao} \geq \frac{F_{\max}}{2.8284}$, 通常取 $F_{ao} \approx \frac{1}{3}F_{\max}$ 。

2.3.8 设计中应注意的问题

(1) 防止逆转 滚动螺旋传动的效率高, 不能自锁。为了使螺旋副受力后不逆转, 应考虑设置防止逆转装置, 如采用制动电动机、步进电动机, 在传动系统中设有能够自锁的机构 (如能自锁的蜗杆传动); 在螺杆、螺母或传动系统中装设单向离合器、双向离合器、制动器等。选用离合器时, 必须注意其可靠性。

(2) 防止螺母脱出 在滚动螺旋传动中, 特别是垂直传动, 容易发生螺母脱出造成事故, 设计时必须考虑防止螺母脱出的安全装置。

(3) 热变形 热变形对精密传动螺旋的定位精度、机床的加工精度等有着重要影响。其热源不单是螺旋副的摩擦热, 还有其他机械部件工作时产生的热, 致使螺杆热膨胀而伸长。为此必须分析热源的各因素, 采取措施控制热源各环节; 另一方面可采用预拉伸、强制冷却等减小螺杆热伸长的影响。

(4) 自重 细长而又水平放置的螺杆, 常因自重使轴线产生弯曲变形, 是影响导程累积误差的因素之一, 还会使螺母受载不均。设计长螺杆时, 应考虑防止或减小自重弯曲变形的措施。

(5) 防护与密封 尘埃和杂质等污物进入螺纹滚道会妨碍滚动体运转通畅, 加速滚动体与滚道的磨损, 使滚动螺旋副丧失精度。因此, 防护与密封是设计滚动螺旋传动必须考虑的一环。

简单的办法是在螺母两端加密封圈 (如橡胶、毛毡、聚氨酯、尼龙等密封圈), 但应注意不要使螺杆外露部分受机械损伤。要求高的都采用伸缩套、折叠式防尘罩或螺旋弹簧钢带套管等。

(6) 润滑 润滑是减小驱动转矩、提高传动效率、延长螺旋副使用寿命的重要一环。接触表面形成的油膜还有缓冲吸振、减小传动噪声的作用。

可根据传动的用途和转速合理选择润滑剂。低速时, 可选用锂基润滑脂、油脂容易粘附在螺纹滚道表面, 保持良好的润滑。低速重载时, 亦可选用粘度较高的润滑油 (粘度级 100、150 等)。高转速并考虑减小其热变形时, 宜选用低粘度润滑油 (粘度级 32、46 等) 循环润滑。

第2章 带 传 动

1 传动带的种类及其选择

1.1 带和带传动的形式

根据带传动原理不同，带传动可分为摩擦型和啮合型两大类，前者过载可以打滑，但传动比不准

确（弹性滑动率在 2% 以下）；后者可保证同步传动。根据带的形状，可分为平带传动、V 带传动和同步带传动。根据用途，有一般工业用、汽车用和农机用等之分。

传动带的类型、特点和应用见表 4.2-1。

表 4.2-1 传动带的类型、特点和应用

类型	简图	结构	特点	效率（%）	应用
平带	胶帆布平带	由数层挂胶帆布粘合而成，有开边式和包边式	抗拉强度较大，耐湿性好，价廉；耐热、耐油性能差；开边式较柔软	83~98 有张紧轮的平带按 80~95 复合平带取高值	$v < 30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $P < 500\text{kW}$ 、 $i < 6$ 轴间距较大的传动
	编织带	有棉织、毛织和缝合棉布带，以及用于高速传动的丝、麻、锦纶编织带。带面有覆胶和不覆胶两种	曲挠性好，传递功率小，易松弛		中、小功率传动
	锦纶片复合平带	承载层为锦纶片（有单层和多层粘合），工作面贴在铬鞣革、挂胶帆布或特殊织物等层压而成	强度高，摩擦因数大，曲挠性好，不易松弛		大功率传动，薄型可用于高速传动
	高速环形胶带	承载层为涤纶绳，橡胶高速带表面覆耐磨、耐油胶布	带体薄而软，曲挠性好，强度较高，传动平稳，耐油、耐磨性能好，不易松弛		高速传动
V带	普通V带	承载层为绳芯或胶帘布，楔角为 40°，相对高度近似为 0.7，梯形截面环形带	当量摩擦因数大，工作面与轮槽粘附着好，允许包角小、传动比大、预紧力小。绳芯结构带体较柔软，曲挠疲劳性好	帘布结构 87~92 绳芯结构 92~96	$v = 25 \sim 30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $P < 500\text{kW}$ 、 $i \leq 10$ 轴间距较小的传动
	窄V带	承载层为绳芯，楔角为 40°，相对高度近似为 0.9，梯形截面环形带	除具有普通 V 带的特点外，能承受较大的预紧力，允许速度和曲挠次数高，传递功率大，节能	90~95	$v = 35 \sim 40\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $P < 700\text{kW}$ 、 $i \leq 10$ 、结构紧凑的传动
	联组V带	将几根普通 V 带或窄 V 带的顶面用胶帘布等距粘结而成，有 2、3、4 或 5 根连成一组	传动中各根 V 带载荷均匀，可减少运转中振动和横转	95~98	$v < 40\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、传动功率大（比普通 V 带高 50%~1000%）、结构紧凑、性能要求较高的传动

(续)

类型	简图	结构	特点	效率 (%)	应用
特殊带	多楔带	在绳芯结构平带的基体下有若干纵向三角形楔的环形带,工作面是楔面,有橡胶和聚氨酯两种	具有平带的柔软, V带摩擦力大的特点;比 V带传动平稳,外廓尺寸小	92 ~ 97	结构紧凑的传动,特别是要求 V带根数多或轮轴垂直地面的传动
	圆形带	截面为圆形,有圆皮带、圆绳带、圆锦纶带等	结构简单	90 ~ 95	$v < 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $i = \frac{1}{2} \sim 3$ 的小功率传动
同步带	梯形齿同步带	工作面为梯形齿,承载层为玻璃纤维绳芯、钢丝绳等的环形带,有氯丁胶和聚氨酯橡胶两种	靠啮合传动,承载层保证带齿齿距不变,传动比准确,轴压力小,结构紧凑,耐油、耐磨性较好,但安装制造要求高	93 ~ 98	$v < 50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $P < 300 \text{ kW}$ 、 $i < 10$ 要求同步的传动,也可用于低速传动
	圆弧齿同步带	工作面为弧齿,承载层为玻璃纤维、合成纤维绳芯的环形带,带的基体为氯丁胶	与梯形齿同步带相同,但工作时齿根应力集中小	95 ~ 99	大功率传动

1.2 带传动设计的一般内容

带传动设计的典型问题、设计的主要内容和主要结果如下:

带传动设计的典型已知条件:原动机种类、工作机名称及其特性、原动机额定功率和转速、工作制度、带传动的传动比、高速轴(小带轮)转速、许用带轮直径、轴间距要求等。

设计要满足的条件有,运动学的条件:传动比 $i = n_1/n_2 \approx d_2/d_1$;几何条件:带轮直径、带长、中心距应满足一定的几何关系;传动能力条件:带传动有足够的传动能力和寿命;其他条件:中心距、小轮包角、带速度应在合理范围内。此外还应考虑经济性、工艺性要求。

设计结果:带的种类、带型、所需带根数或带宽、带长、带轮直径、轴间距、带轮的结构和尺寸、预紧力、轴载荷、张紧方法等。

2 V带传动

V带和带轮有两种宽度制,即基准宽度制和有效宽度制。

基准宽度制是以基准线的位置和基准宽度 b_d (图4.2-1a)来定义带轮的槽型和尺寸。当V带的节

面与带轮的基准直径重合时,带轮的基准宽度即为V带节面在轮槽内相应位置的槽宽,用以表示轮槽轮截面的特征值。它不受公差影响,是带轮与带标准化的基本尺寸。

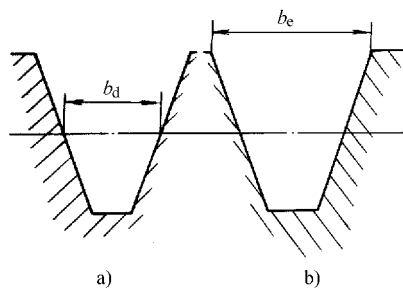


图 4.2-1 V带的两种宽度制

有效宽度制规定轮槽两侧边的最外端宽度为有效宽度 b_e (图4.2-1b)。该尺寸不受公差影响,在轮槽有效宽度处的直径是有效直径。

由于尺寸制的不同,带的长度分别以基准长度和有效长度来表示。基准长度是在规定的张紧力下,V带位于测量带轮基准直径处的周长;有效长度则是在规定的张紧力下,位于测量带轮有效直径处的周长。

普通V带是用基准宽度制,窄V带则由于尺寸

制的不同,有两种尺寸系列。在设计计算时,基本原理和计算公式是相同的,尺寸则有差别。

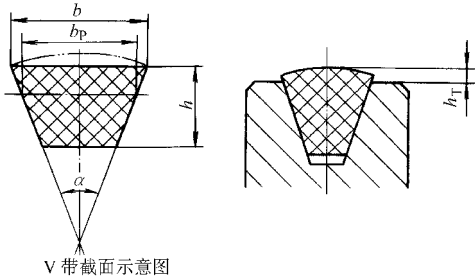
2.1 尺寸规格、结构

普通V带和窄V带(基准宽度制)的截面尺寸和露出高度见表4.2-2,有效宽度制窄V带截面尺寸见表4.2-3。普通V带的基准长度、极限偏差及配组

公差分别见表4.2-4和表4.2-5。基准宽度制窄V带的基准长度见表4.2-6,有效宽度制窄V带的有效长度见表4.2-7。

按GB/T 1171—2006的规定,一般传动用普通V带的疲劳寿命,A型和B型V带无扭矩疲劳寿命不小于 1.0×10^7 次,24h中心距变化率不大于2.0%。

表 4.2-2 V带(基准宽度制)的截面尺寸(摘自 GB/T11544—1997、GB/T 13575.1—2008)(mm)



规定标记:
型号为 SPA 型,基准长度为 1250mm 的窄 V 带
标记示例:
SPA1250 GB/T11544—1997

型 号		节宽 b_p	顶宽 b	高度 h	楔角 $\alpha(^{\circ})$	露出高度 h_T		适用槽形的 基准宽度
						最大	最小	
普通 V 带	Y	5.3	6	4.0	40	+0.8	-0.8	5.3
	Z	8.5	10	6.0		+1.6	-1.6	8.5
	A	11	13	8.0		+1.6	-1.6	11
	B	14	17	11.0		+1.6	-1.6	14
	C	19	22	14.0		+1.5	-2.0	19
	D	27	32	19.0		+1.6	-3.2	27
	E	32	38	23.0		+1.6	-3.2	32
窄 V 带	SPZ	8	10	8.0	40	+1.1	-0.4	8.5
	SPA	11	13	10.0		+1.3	-0.6	11
	SPB	14	17	14.0		+1.4	-0.7	14
	SPC	19	22	18.0		+1.5	-1.0	19

表 4.2-3 有效宽度制窄 V 带截面尺寸(摘自 GB/T13575.2—2008) (mm)

型 号	截面尺寸		最大露出高度 h_T
	顶宽 b	高度 h	
9N(3V)	9.5	8.0	2.5
15N(5V)	16.0	13.5	3.0
25N(8V)	25.5	23.0	4.1

表 4.2-4 普通 V 带基准长度(摘自 GB/T 13575.1—2008) (mm)

型 号							型 号							型 号			
Y	Z	A	B	C	D	E	Y	Z	A	B	C	D	E	A	B	C	D
200	405	630	930	1565	2740	4660	450	1080	1430	1950	3080	6100	12230	2300	3600	7600	15200
224	475	700	1000	1760	3100	5040	500	1330	1550	2180	3520	6840	13750	2480	4060	9100	
250	530	790	1100	1950	3330	5420		1420	1640	2300	4060	7620	15280	2700	4430	10700	
280	625	890	1210	2195	3730	6100		1540	1750	2500	4600	9140	16800		4820		
315	700	990	1370	2420	4080	6850			1940	2700	5380	10700			5370		
355	780	1100	1560	2715	4620	7650			2050	2870	6100	12200			6070		
400	820	1250	1760	2880	5400	9150			2200	3200	6815	13700					

表 4. 2-5 普通 V 带基准长度的极限偏差及配组公差 (摘自 GB/T 11544—1997) (mm)

基准长度 L_d	型号: Y、Z、A、B、C、D、E		基准长度 L_d	型号: Y、Z、A、B、C、D、E	
	极限偏差	配组公差		极限偏差	配组公差
≤ 250	+8 -4	2	$2000 < L_d \leq 2500$	+31 -16	8
$250 < L_d \leq 315$	+9 -4	2	$2500 < L_d \leq 3150$	+37 -18	8
$315 < L_d \leq 400$	+10 -5	2	$3150 < L_d \leq 4000$	+44 -22	12
$400 < L_d \leq 500$	+11 -6	2	$4000 < L_d \leq 5000$	+52 -26	12
$500 < L_d \leq 630$	+13 -6	2	$5000 < L_d \leq 6300$	+63 -32	20
$630 < L_d \leq 800$	+15 -7	2	$6300 < L_d \leq 8000$	+77 -38	20
$800 < L_d \leq 1000$	+17 -8	2	$8000 < L_d \leq 10000$	+93 -46	32
$1000 < L_d \leq 1250$	+19 -10	2	$10000 < L_d \leq 12500$	+112 -66	32
$1250 < L_d \leq 1600$	+23 -11	4	$12500 < L_d \leq 16000$	+140 -70	48
$1600 < L_d \leq 2000$	+27 -13	4	$16000 < L_d \leq 20000$	+170 -85	48

表 4. 2-6 基准宽度制窄 V 带的基准长度系列

(摘自 GB/T11544—1997、GB/T 13575. 1—2008) (mm)

基准长度 L_d		带型				配组公差	基准长度 L_d		带型				配组公差
基本尺寸	极限偏差	SPZ	SPA	SPB	SPC		基本尺寸	极限偏差	SPZ	SPA	SPB	SPC	
630	± 6	○				2	2800	± 32	○	○	○	○	4
							3150		○	○	○	○	
710	± 8	○					3550	± 40	○	○	○	○	6
800		○	○				4000			○	○	○	
900	± 10	○	○				4500	± 50		○	○	○	10
1000		○	○				5000				○	○	
1120	± 13	○	○			2	5600	± 63			○	○	10
1250		○	○	○			6300				○	○	
1400	± 16	○	○	○			7100	± 80			○	○	16
1600		○	○	○			8000				○	○	
1800	± 20	○	○	○		4	9000	± 100				○	16
2000		○	○	○	○		10000					○	
2240	± 25	○	○	○	○		11200	± 125				○	16
2500		○	○	○	○		12500					○	

表 4.2-7 有效宽度制窄 V 带长度系列
(摘自 GB/T11544—1997、GB/T 13575.2—2008) (mm)

公称有效长度			极限偏差	配组公差	公称有效长度			极限偏差	配组公差	公称有效长度			极限偏差	配组公差
型 号					型 号					型 号				
9N	15N	25N			9N	15N	25N			9N	15N	25N		
630			± 8	4	1800	1800		± 10	6				± 20	10
670			± 8	4	1900	1900		± 10	6		5080	5080	± 20	10
710			± 8	4							5380	5380	± 20	10
760			± 8	4	2030	2030		± 10	6		5690	5690	± 20	10
800			± 8	4	2160	2160		± 13	6		6000	6000	± 20	10
					2290	2290		± 13	6					
850			± 8	4	2410	2410		± 13	6		6350	6350	± 20	16
900			± 8	4	2540	2540	2540	± 13	6		6730	6730	± 20	16
950			± 8	4							7100	7100	± 20	16
1015			± 8	4	2690	2690	2690	± 15	6		7620	7620	± 20	16
1080			± 8	4	2840	2840	2840	± 15	10		8000	8000	± 25	16
					3000	3000	3000	± 15	10					
1145			± 8	4	3180	3180	3180	± 15	10		8500	8500	± 25	16
1205			± 8	4	3350	3350	3350	± 15	10		9000	9000	± 25	16
1270	1270		± 8	4								9500	± 25	16
1345	1345		± 10	4	3550	3550	3550	± 15	10			10160	± 25	16
1420	1420		± 10	6		3810	3810	± 20	10			10800	± 30	16
						4060	4060	± 20	10					
						4320	4320	± 20	10					
						4570	4570	± 20	10					
1525	1525		± 10	6								11430	± 30	16
1600	1600		± 10	6								12060	± 30	24
1700	1700		± 10	6		4830	4830	± 20	10			12700	± 30	24

2.2 V 带传动的设计

保证带在工作中不打滑,并具有一定的疲劳强度和使用寿命是 V 带传动设计的主要根据,也是靠摩擦传动的其他带传动设计的主要根据。

2.2.1 主要失效形式

- 1) 带在带轮上打滑,不能传递动力。
- 2) 带由于疲劳产生脱层、撕裂和拉断。
- 3) 带的工作面磨损。

2.2.2 设计计算

V 带传动的设计计算见表 4.2-8。

表 4.2-8 V 带传动的设计计算

序号	计算项目	符号	单位	计算公式和参数选定	说 明
1	设计功率	P_d	kW	$P_d = K_A P$	P —传递的功率(kW) K_A —工况系数,查表 4.2-9
2	选定带型			根据 P_d 和 n_1 由图 4.2-2、图 4.2-3 或图 4.2-4 选取	n_1 —小带轮转速($r \cdot \min^{-1}$)
3	传动比	i		$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{p2}}{d_{p1}}$ 若计入滑动率 $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{p2}}{(1-\varepsilon)d_{p1}}$ 通常 $\varepsilon = 0.01 \sim 0.02$	n_2 —大带轮转速($r \cdot \min^{-1}$) d_{p1} —小带轮的节圆直径(mm) d_{p2} —大带轮的节圆直径(mm) ε —弹性滑动率 通常带轮的节圆直径可视为基准直径
4	小带轮的基准直径	d_{d1}	mm	按表 4.2-16 ~ 表 4.2-18 选定	为提高 V 带的寿命,宜选取较大的直径;小带轮的基准直径应不小于表 4.2-18 的 d_{dmin}
5	大带轮的基准直径	d_{d2}	mm	$d_{d2} = id_{d1}(1-\varepsilon)$	d_{d2} 应按表 4.2-16、表 4.2-17 选取标准值
6	带速	v	$m \cdot s^{-1}$	$v = \frac{\pi d_{p1} n_1}{60 \times 1000} \leq v_{max}$ 普通 V 带 $v_{max} = 25 \sim 30$ 窄 V 带 $v_{max} = 35 \sim 40$	一般 v 不得低于 $5m \cdot s^{-1}$ 为充分发挥 V 带的传动能力,应使 $v \approx 20m \cdot s^{-1}$

(续)

序号	计算项目	符号	单位	计算公式和参数选定	说 明
7	初定轴间距	a_0	mm	$0.7(d_{d1} + d_{d2}) \leq a_0 < 2(d_{d1} + d_{d2})$	或根据结构要求定
8	所需基准长度	L_{d0}	mm	$L_{d0} = 2a_0 + \frac{\pi}{2}(d_{d1} + d_{d2}) + \frac{(d_{d2} - d_{d1})^2}{4a_0}$	由表 4.2-4 ~ 表 4.2-6 选取相近的 L_d , 对有效宽度制 V 带, 按有效直径计算所需带长度由表 4.2-7 选相近带长
9	实际轴间距	a	mm	$a \approx a_0 + \frac{L_d - L_{d0}}{2}$	安装时所需最小轴间距 $a_{\min} = a - i, i = 2b_d + 0.009L_d$ 张紧或补偿伸长所需最大轴间距 $a_{\max} = a + s, s = 0.02L_d$
10	小带轮包角	α_1	($^\circ$)	$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{d_{d2} - d_{d1}}{a} \times 57.3^\circ$	一般要求 $\alpha_1 \geq 120^\circ$, 最小不得低于 90° 如 α_1 较小, 应增大 a 或用张紧轮
11	单根 V 带传递的额定功率	P_1	kW	根据带型、 d_{d1} 和 n_1 查表 4.2-15a ~ n	P_1 是 $\alpha = 180^\circ$ 、载荷平稳时, 特定基准长度的单根 V 带基本额定功率
12	传动比 $i \neq 1$ 的额定功率增量	ΔP_1	kW	根据带型、 n_1 和 i 查表 4.2-15a ~ n	
13	V 带的根数	z		$z = \frac{P_d}{(P_1 + \Delta P_1) K_\alpha K_L}$	K_α —小带轮包角修正系数, 查表 4.2-10 K_L —带长修正系数, 查表 4.2-13、表 4.2-14
14	单根 V 带的预紧力	F_0	N	$F_0 = 500 \left(\frac{2.5}{K_\alpha} - 1 \right) \frac{P_d}{zv} + mv^2$	m —V 带单位长度质量(查表 4.2-11、表 4.2-12) ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$)
15	作用在轴上的力	F_r	N	$F_r = 2F_0 z \sin \frac{\alpha_1}{2}$	
16	带轮的结构和尺寸				见本章 2.3 节

注: 设计有效宽度制窄 V 带传动时, 应将表中的 d_{d1} 、 d_{d2} 、 L_{d0} 换为 d_{e1} 、 d_{e2} 、 L_{e0} 。

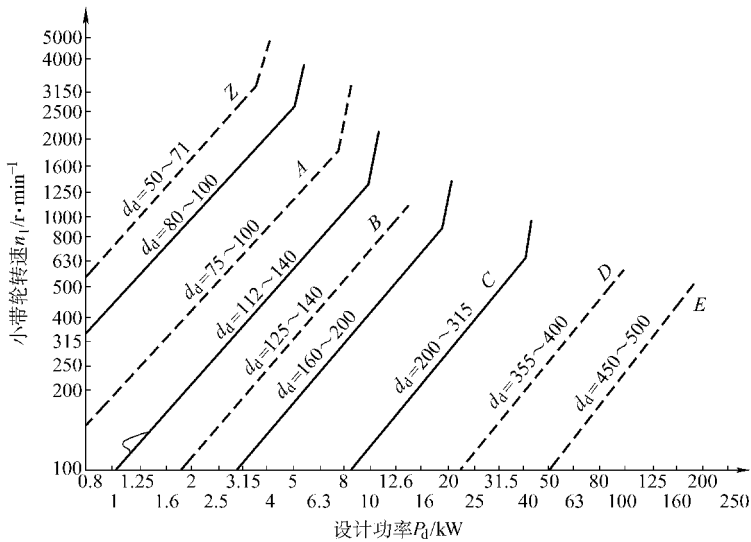


图 4.2-2 普通 V 带选型图(摘自 GB/T 13575.1—2008)

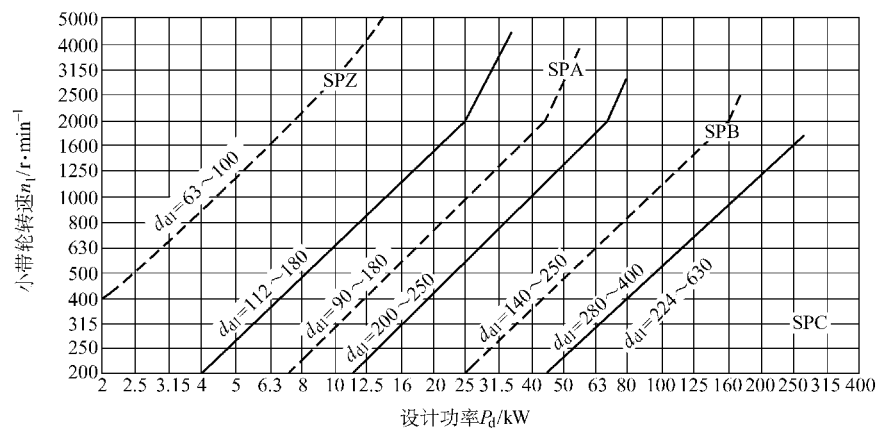


图 4.2-3 窄 V 带(基准宽度制)选型图(摘自 GB/T 13575. 1—2008)

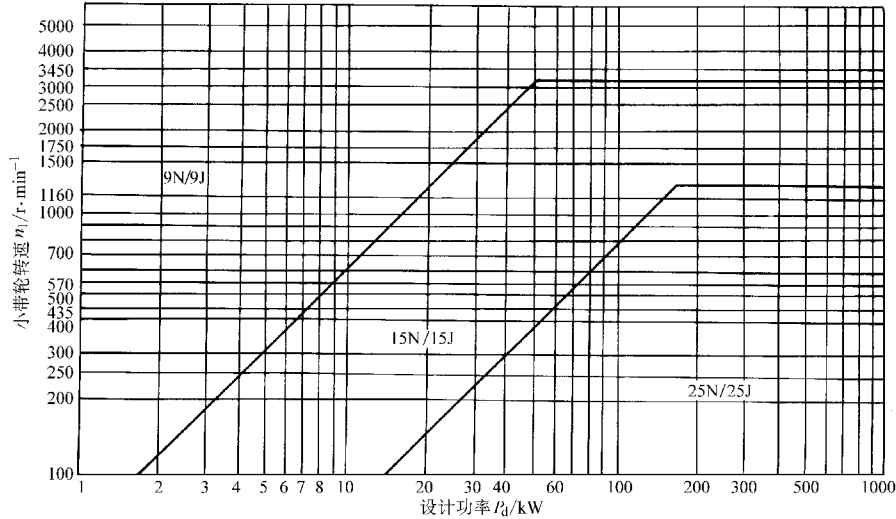


图 4.2-4 窄 V 带(有效宽度制)选型图(摘自 GB/T 13575. 2—2008)

表 4.2-9 工况系数 K_A (摘自 GB/T 13575. 1—2008)

工 况		K_A					
		空、轻载起动			重载起动		
		每天工作时间/h					
		< 10	10 ~ 16	> 16	< 10	10 ~ 16	> 16
载荷变动最小	液体搅拌机、通风机和鼓风机($P \leq 7.5 \text{ kW}$)、离心式水泵和压缩机、轻载荷输送机	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
载荷变动小	带式输送机(不均匀负荷)、通风机($P > 7.5 \text{ kW}$)、旋转式水泵和压缩机(非离心式)、发电机、金属切削机床、印刷机、旋转筛、锯木机和木工机械	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
载荷变动较大	制砖机、斗式提升机、往复式水泵和压缩机、起重机、磨粉机、冲剪机床、橡胶机械、振动筛、纺织机械、重载输送机	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
载荷变动很大	破碎机(旋转式、颚式等)、磨碎机(球磨、棒磨、管磨)	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

注：1. 空、轻载起动—电动机（交流起动、三角起动、直流并励），四缸以上的内燃机，装有离心式离合器、液力联轴器的动力机。
2. 重载起动—电动机（联机交流起动、直流复励或串励），四缸以下的内燃机。
3. 反复起动、正反转频繁、工作条件恶劣等场合， K_A 应乘 1.2，窄 V 带乘 1.1。
4. 增速传动时 K_A 应乘下列系数：

增速比	1.25 ~ 1.74	1.75 ~ 2.49	2.5 ~ 3.49	≥ 3.5
系数	1.05	1.11	1.18	1.25

表 4.2-10 小带轮包角修正系数 K_α
(摘自 GB/T 13575.1—2008)

小带轮包角 (°)	K_α	小带轮包角 (°)	K_α
180	1	140	0.89
175	0.99	135	0.88
170	0.98	130	0.86
165	0.96	120	0.82
160	0.95	110	0.78
155	0.93	100	0.74
150	0.92	95	0.72
145	0.91	90	0.69

表 4.2-11 基准宽度制 V 带单位长度质量 m
(摘自 GB/T 13575.1—2008)

带 型		$m/\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$
普通 V 带	Y	0.023
	Z	0.060
	A	0.105
	B	0.170
	C	0.300
	D	0.630
窄 V 带	E	0.970
	SPZ	0.072
	SPA	0.112
	SPB	0.192
	SPC	0.370

表 4.2-12 有效宽度制窄 V 带的单位长度质量 m (摘自 GB/T 13575.2—2008)

带型	$m/\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	带型	$m/\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$
9N	0.08	9J	0.122
15N	0.20	15J	0.252
25N	0.57	25J	0.693

表 4.2-13 基准宽度制普通 V 带和窄 V 带的带长修正系数 K_L (摘自 GB/T 13575.1—2008)

普通 V 带													
Y L_d	K_L	Z L_d	K_L	A L_d	K_L	B L_d	K_L	C L_d	K_L	D L_d	K_L	E L_d	K_L
200	0.81	405	0.87	630	0.81	930	0.83	1565	0.82	2740	0.82	4660	0.91
224	0.82	475	0.90	700	0.83	1000	0.84	1760	0.85	3100	0.86	5040	0.92
250	0.84	530	0.93	790	0.85	1100	0.86	1950	0.87	3330	0.87	5420	0.94
280	0.87	625	0.96	890	0.87	1210	0.87	2195	0.90	3730	0.90	6100	0.96
315	0.89	700	0.99	990	0.89	1370	0.90	2420	0.92	4080	0.91	6850	0.99
355	0.92	780	1.00	1100	0.91	1560	0.92	2715	0.94	4620	0.94	7650	1.01
400	0.96	920	1.04	1250	0.93	1760	0.94	2880	0.95	5400	0.97	9150	1.05
450	1.00	1080	1.07	1430	0.96	1950	0.97	3080	0.97	6100	0.99	12230	1.11
500	1.02	1330	1.13	1550	0.98	2180	0.99	3520	0.99	6840	1.02	13750	1.15
		1420	1.14	1640	0.99	2300	1.01	4060	1.02	7620	1.05	15280	1.17
		1540	1.54	1750	1.00	2500	1.03	4600	1.05	9140	1.08	16800	1.19
				1940	1.02	2700	1.04	5380	1.08	10700	1.13		
				2050	1.04	2870	1.05	6100	1.11	12200	1.16		
				2200	1.06	3200	1.07	6815	1.14	13700	1.19		
				2300	1.07	3600	1.09	7600	1.17	15200	1.21		
				2480	1.09	4060	1.13	9100	1.21				
				2700	1.10	4430	1.15	10700	1.24				
						4820	1.17						
						5370	1.20						
						6070	1.24						

(续)

窄 V 带					窄 V 带				
L_d	K_L				L_d	K_L			
	SPZ	SPA	SPB	SPC		SPZ	SPA	SPB	SPC
630	0.82				3150	1.11	1.04	0.98	0.90
710	0.84				3550	1.13	1.06	1.00	0.92
800	0.86	0.81			4000		1.08	1.02	0.94
900	0.88	0.83			4500		1.09	1.04	0.96
1000	0.90	0.85			5000			1.06	0.98
1120	0.93	0.87			5600			1.08	1.00
1250	0.94	0.89	0.82		6300			1.10	1.02
1400	0.96	0.91	0.84		7100			1.12	1.04
1600	1.00	0.93	0.86		8000			1.14	1.06
1800	1.01	0.95	0.88		9000				1.08
2000	1.02	0.96	0.90	0.81	10000				1.10
2240	1.05	0.98	0.92	0.83	11200				1.12
2500	1.07	1.00	0.94	0.86	12500				1.14
2800	1.09	1.02	0.96	0.88					

表 4.2-14 有效宽度制窄 V 带的带长修正系数 K_L (摘自 GB/T13575.2—2008)

L_c/mm	带 型			L_c/mm	带 型		
	9N、9J	15N、15J	25N、25J		9N、9J	15N、15J	25N、25J
630	0.83			2690	1.10	0.97	0.88
670	0.84			2840	1.11	0.98	0.88
710	0.85			3000	1.12	0.99	0.89
760	0.86			3180	1.13	1.00	0.90
800	0.87			3350	1.14	1.01	0.91
				3550	1.15	1.02	0.92
850	0.88			3810		1.03	0.93
900	0.89			4060		1.04	0.94
950	0.90			4320		1.05	0.94
1050	0.92			4570		1.06	0.95
1080	0.93			4830		1.07	0.96
				5080		1.08	0.97
1145	0.94			5380		1.09	0.98
1205	0.95			5690		1.09	0.98
1270	0.96	0.85		6000		1.10	0.99
1345	0.97	0.86					
1420	0.98	0.87		6350		1.11	1.00
				6730		1.12	1.01
1525	0.99	0.88		7100		1.13	1.02
1600	1.00	0.89		7620		1.14	1.03
1700	1.01	0.90		8000		1.15	1.03
1800	1.02	0.91					
1900	1.03	0.92		8500		1.16	1.04
				9000		1.17	1.05
				9500			1.06
2030	1.04	0.93		10160			1.07
2160	1.06	0.94					
2290	1.07	0.95		10800			1.08
2410	1.08	0.96		11430			1.09
2540	1.09	0.96	0.87	12060			1.09
				12700			1.10

表 4.2-15a Y 型 V 带的额定功率(摘自 GB/T13575.1—2008)

(kW)

$n_1/r \cdot \min^{-1}$	小带轮基准直径 d_{d1}/mm								传 动 比 i									
	20	25	28	31.5	35.5	40	45	50	1.00 ~ 1.01	1.02 ~ 1.04	1.05 ~ 1.08	1.09 ~ 1.12	1.13 ~ 1.18	1.19 ~ 1.24	1.25 ~ 1.34	1.35 ~ 1.50	1.51 ~ 1.99	≥ 2.00
	单根 V 带的基本额定功率 P_1								$i \neq 1$ 时额定功率的增量 ΔP_1									
200	—	—	—	—	—	—	—	0.04	0.00									
400	—	—	—	—	—	—	0.04	0.05										
700	—	—	—	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06										
800	—	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07										
950	0.01	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.01									
1200	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09										
1450	0.02	0.04	0.05	0.06	0.06	0.08	0.09	0.11										
1600	0.03	0.05	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.12										
2000	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.11	0.12	0.14	0.02									
2400	0.04	0.06	0.07	0.09	0.09	0.12	0.14	0.16										
2800	0.04	0.07	0.08	0.10	0.11	0.14	0.16	0.18										
3200	0.05	0.08	0.09	0.11	0.12	0.15	0.17	0.20										
3600	0.06	0.08	0.10	0.12	0.13	0.16	0.19	0.22	0.03									
4000	0.06	0.09	0.11	0.13	0.14	0.18	0.20	0.23										
4500	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.19	0.21	0.24										
5000	0.08	0.11	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.25										
5500	0.09	0.12	0.14	0.16	0.19	0.22	0.24	0.26										
6000	0.10	0.13	0.15	0.17	0.20	0.24	0.26	0.27										

表 4.2-15b Z 型 V 带的额定功率 (摘自 GB/T13575.1—2008)

(kW)

$\frac{n_1}{r \cdot \min^{-1}}$	小带轮基准直径 d_{d1}/mm						传 动 比 i									
	50	56	63	71	80	90	1.00 ~ 1.01	1.02 ~ 1.04	1.05 ~ 1.08	1.09 ~ 1.12	1.13 ~ 1.18	1.19 ~ 1.24	1.25 ~ 1.34	1.35 ~ 1.50	1.51 ~ 1.99	≥ 2.00
	单根 V 带的基本额定功率 P_1						$i \neq 1$ 时额定功率的增量 ΔP_1									
200	0.04	0.04	0.05	0.06	0.10	0.10	0.00									
400	0.06	0.06	0.08	0.09	0.14	0.14										
700	0.09	0.11	0.13	0.17	0.20	0.22										
800	0.10	0.12	0.15	0.20	0.22	0.24										
960	0.12	0.14	0.18	0.23	0.26	0.28										
1200	0.14	0.17	0.22	0.27	0.30	0.33	0.01									
1450	0.16	0.19	0.25	0.30	0.35	0.36										
1600	0.17	0.20	0.27	0.33	0.39	0.40	0.02									
2000	0.20	0.25	1.32	0.39	0.44	0.48										
2400	0.22	0.30	0.37	0.46	0.50	0.54	0.03									
2800	0.26	0.33	0.41	0.50	0.56	0.60										
3200	0.28	0.35	0.45	0.54	0.61	0.64	0.04									
3600	0.30	0.37	0.47	0.58	0.64	0.68										
4000	0.32	0.39	0.49	0.61	0.67	0.72	0.05									
4500	0.33	0.40	0.50	0.62	0.67	0.73										
5000	0.34	0.41	0.50	0.62	0.66	0.73	0.06									
5500	0.33	0.41	0.49	0.61	0.64	0.65										
6000	0.31	0.40	0.48	0.56	0.61	0.56										

表 4.2-15c A 型 V 带的额定功率(摘自 GB/T 13575.1—2008)

(kW)

$n_1/r \cdot \min^{-1}$	小带轮基准直径 d_{d1}/mm								传 动 比 i									
	75	90	100	112	125	140	160	180	1.00 ~ 1.01	1.02 ~ 1.04	1.05 ~ 1.08	1.09 ~ 1.12	1.13 ~ 1.18	1.19 ~ 1.24	1.25 ~ 1.34	1.35 ~ 1.51	1.52 ~ 1.99	≥2.00
	单根 V 带的基本额定功率 P_1								$i \neq 1$ 时额定功率的增量 ΔP_1									
200	0.15	0.22	0.26	0.31	0.37	0.43	0.51	0.59	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
400	0.26	0.39	0.47	0.56	0.67	0.78	0.94	1.09	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
700	0.40	0.61	0.74	0.90	1.07	1.26	1.51	1.76	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
800	0.45	0.68	0.83	1.00	1.19	1.41	1.69	1.97	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10
950	0.51	0.77	0.95	1.15	1.37	1.62	1.95	2.27	0.00	0.01	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11
1200	0.60	0.93	1.14	1.39	1.66	1.96	2.36	2.74	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15
1450	0.68	1.07	1.32	1.61	1.92	2.28	2.73	3.16	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17
1600	0.73	1.15	1.42	1.74	2.07	2.45	2.94	3.40	0.00	0.02	0.04	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19
2000	0.84	1.34	1.66	2.04	2.44	2.87	3.42	3.93	0.00	0.03	0.06	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.24
2400	0.92	1.50	1.87	2.30	2.74	3.22	3.80	4.32	0.00	0.03	0.07	0.10	0.13	0.16	0.19	0.23	0.26	0.29
2800	1.00	1.64	2.05	2.51	2.98	3.48	4.06	4.54	0.00	0.04	0.08	0.11	0.15	0.19	0.23	0.26	0.30	0.34
3200	1.04	1.75	2.19	2.68	3.16	3.65	4.19	4.58	0.00	0.04	0.09	0.13	0.17	0.22	0.26	0.30	0.34	0.39
3600	1.08	1.83	2.28	2.78	3.26	3.72	4.17	4.40	0.00	0.05	0.10	0.15	0.19	0.24	0.29	0.34	0.39	0.44
4000	1.09	1.87	2.34	2.83	3.28	3.67	3.98	4.00	0.00	0.05	0.11	0.16	0.22	0.27	0.32	0.38	0.43	0.48
4500	1.07	1.83	2.33	2.79	3.17	3.44	3.48	3.13	0.00	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	0.54
5000	1.02	1.82	2.25	2.64	2.91	2.99	2.67	1.81	0.00	0.07	0.14	0.20	0.27	0.34	0.40	0.47	0.54	0.60
5500	0.96	1.70	2.07	2.37	2.48	2.31	1.51	—	0.00	0.08	0.15	0.23	0.30	0.38	0.46	0.53	0.60	0.68
6000	0.80	1.50	1.80	1.96	1.87	1.37	—	—	0.00	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.49	0.57	0.65	0.73

表 4.2-15d B 型 V 带的额定功率(摘自 GB/T13575.1—2008)

(kW)

$n_1/r \cdot \min^{-1}$	小带轮基准直径 d_{d1}/mm								传 动 比 i									
	125	140	160	180	200	224	250	280	1.00 ~ 1.01	1.02 ~ 1.04	1.05 ~ 1.08	1.09 ~ 1.12	1.13 ~ 1.18	1.19 ~ 1.24	1.25 ~ 1.34	1.35 ~ 1.51	1.52 ~ 1.99	≥2.00
	单根 V 带的基本额定功率 P_1								$i \neq 1$ 时额定功率的增量 ΔP_1									
200	0.48	0.59	0.74	0.88	1.02	1.19	1.37	1.58	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06
400	0.84	1.05	1.32	1.59	1.85	2.17	2.50	2.89	0.00	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13
700	1.30	1.64	2.09	2.53	2.96	3.47	4.00	4.61	0.00	0.02	0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.22
800	1.44	1.82	2.32	2.81	3.30	3.86	4.46	5.13	0.00	0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.25
950	1.64	2.08	2.66	3.22	3.77	4.42	5.10	5.85	0.00	0.03	0.07	0.10	0.13	0.17	0.20	0.23	0.26	0.30
1200	1.93	2.47	3.17	3.85	4.50	5.26	6.04	6.90	0.00	0.04	0.08	0.13	0.17	0.21	0.25	0.30	0.34	0.38
1450	2.19	2.82	3.62	4.39	5.13	5.97	6.82	7.76	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.31	0.36	0.40	0.46
1600	2.33	3.00	3.86	4.68	5.46	6.33	7.20	8.13	0.00	0.06	0.11	0.17	0.23	0.28	0.34	0.39	0.45	0.51
1800	2.50	3.23	4.15	5.02	5.83	6.73	7.63	8.46	0.00	0.06	0.13	0.19	0.25	0.32	0.38	0.44	0.51	0.57
2000	2.64	3.42	4.40	5.30	6.13	7.02	7.87	8.60	0.00	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.56	0.63
2200	2.76	3.58	4.60	5.52	6.35	7.19	7.97	8.53	0.00	0.08	0.16	0.23	0.31	0.39	0.46	0.54	0.62	0.70
2400	2.85	3.70	4.75	5.67	6.47	7.25	7.89	8.22	0.00	0.08	0.17	0.25	0.34	0.42	0.51	0.59	0.68	0.76
2800	2.96	3.85	4.89	5.76	6.43	6.95	7.14	6.80	0.00	0.10	0.20	0.29	0.39	0.49	0.59	0.69	0.79	0.89
3200	2.94	3.83	4.80	5.52	5.95	6.05	5.60	4.26	0.00	0.11	0.23	0.34	0.45	0.56	0.68	0.79	0.90	1.01
3600	2.80	3.63	4.46	4.92	4.98	4.47	5.12	—	0.00	0.13	0.25	0.38	0.51	0.63	0.76	0.89	1.01	1.14
4000	2.51	3.24	3.82	3.92	3.47	2.14	—	—	0.00	0.14	0.28	0.42	0.56	0.70	0.84	0.99	1.13	1.27
4500	1.93	2.45	2.59	2.04	0.73	—	—	—	0.00	0.16	0.32	0.48	0.63	0.79	0.95	1.11	1.27	1.43
5000	1.09	1.29	0.81	—	—	—	—	—	0.00	0.18	0.36	0.53	0.71	0.89	1.07	1.24	1.42	1.60

表 4.2-15e C 型 V 带的额定功率 (摘自 GB/T13575.1—2008)

(kW)

$n_1/r \cdot \min^{-1}$	小带轮基准直径 d_{d1}/mm								传 动 比 i									
	200	224	250	280	315	355	400	450	1.00 ~ 1.01	1.02 ~ 1.04	1.05 ~ 1.08	1.09 ~ 1.12	1.13 ~ 1.18	1.19 ~ 1.24	1.25 ~ 1.34	1.35 ~ 1.51	1.52 ~ 1.99	≥2.00
	单根 V 带的基本额定功率 P_1								$i \neq 1$ 时额定功率的增量 ΔP_1									
200	1.39	1.70	2.03	2.42	2.84	3.36	3.91	4.51	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18
300	1.92	2.37	2.85	3.40	4.04	4.75	5.54	6.40	0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.26
400	2.41	2.99	3.62	4.32	5.14	6.05	7.06	8.20	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.23	0.27	0.31	0.35
500	2.87	3.58	4.33	5.19	6.17	7.27	8.52	9.81	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.24	0.29	0.34	0.39	0.44
600	3.30	4.12	5.00	6.00	7.14	8.45	9.82	11.29	0.00	0.06	0.12	0.18	0.24	0.29	0.35	0.41	0.47	0.53
700	3.69	4.64	5.64	6.76	8.09	9.50	11.02	12.63	0.00	0.07	0.14	0.21	0.27	0.34	0.41	0.48	0.55	0.62
800	4.07	5.12	6.23	7.52	8.92	10.46	12.10	13.80	0.00	0.08	0.16	0.23	0.31	0.39	0.47	0.55	0.63	0.71
950	4.58	5.78	7.04	8.49	10.05	11.73	13.48	15.23	0.00	0.09	0.19	0.27	0.37	0.47	0.56	0.65	0.74	0.83
1200	5.29	6.71	8.21	9.81	11.53	13.31	15.04	16.59	0.00	0.12	0.24	0.35	0.47	0.59	0.70	0.82	0.94	1.06
1450	5.84	7.45	9.04	10.72	12.46	14.12	15.53	16.47	0.00	0.14	0.28	0.42	0.58	0.71	0.85	0.99	1.14	1.27
1600	6.07	7.75	9.38	11.06	12.72	14.19	15.24	15.57	0.00	0.16	0.31	0.47	0.63	0.78	0.94	1.10	1.25	1.41
1800	6.28	8.00	9.63	11.22	12.67	13.73	14.08	13.29	0.00	0.18	0.35	0.53	0.71	0.88	1.06	1.23	1.41	1.59
2000	6.34	8.06	9.62	11.04	12.14	12.59	11.95	9.64	0.00	0.20	0.39	0.59	0.78	0.98	1.17	1.37	1.57	1.76
2200	6.26	7.92	9.34	10.48	11.08	10.70	8.75	4.44	0.00	0.22	0.43	0.65	0.86	1.08	1.29	1.51	1.72	1.94
2400	6.02	7.57	8.75	9.50	9.43	7.98	4.34	—	0.00	0.23	0.47	0.70	0.94	1.18	1.41	1.65	1.88	2.12
2600	5.61	6.93	7.85	8.08	7.11	4.32	—	—	0.00	0.25	0.51	0.76	1.02	1.27	1.53	1.78	2.04	2.29
2800	5.01	6.08	6.56	6.13	4.16	—	—	—	0.00	0.27	0.55	0.82	1.10	1.37	1.64	1.92	2.19	2.47
3200	3.23	3.57	2.93	—	—	—	—	—	0.00	0.31	0.61	0.91	1.22	1.53	1.63	2.14	2.44	2.75

表 4.2-15f D 型 V 带的额定功率 (摘自 GB/T13575.1—2008)

(kW)

$n_1/r \cdot \min^{-1}$	小带轮基准直径 d_{d1}/mm								传 动 比 i									
	355	400	450	500	560	630	710	800	1.00 ~ 1.01	1.02 ~ 1.04	1.05 ~ 1.08	1.09 ~ 1.12	1.13 ~ 1.18	1.19 ~ 1.24	1.25 ~ 1.34	1.35 ~ 1.51	1.52 ~ 1.99	≥2.00
	单根 V 带的基本额定功率 P_1								$i \neq 1$ 时额定功率的增量 ΔP_1									
100	3.01	3.66	4.37	5.08	5.91	6.88	8.01	9.22	0.00	0.03	0.07	0.10	0.14	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31
150	4.20	5.14	6.17	7.18	8.43	9.82	11.38	13.11	0.00	0.05	0.11	0.15	0.21	0.26	0.31	0.36	0.42	0.47
200	5.31	6.52	7.90	9.21	10.76	12.54	14.55	16.76	0.00	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.56	0.63
250	6.36	7.88	9.50	11.09	12.97	15.13	17.54	20.18	0.00	0.09	0.18	0.26	0.35	0.44	0.57	0.61	0.70	0.78
300	7.35	9.13	11.02	12.88	15.07	17.57	20.35	23.39	0.00	0.10	0.21	0.31	0.42	0.52	0.62	0.73	0.83	0.94
400	9.24	11.45	13.85	16.20	18.95	22.05	25.45	29.08	0.00	0.14	0.28	0.42	0.56	0.70	0.83	0.97	1.11	1.25
500	10.90	13.55	16.40	19.17	22.38	25.94	29.76	33.72	0.00	0.17	0.35	0.52	0.70	0.87	1.04	1.22	1.39	1.56
600	12.39	15.42	18.67	21.78	25.32	29.18	33.18	37.13	0.00	0.21	0.42	0.62	0.83	1.04	1.25	1.46	1.67	1.88
700	13.70	17.07	20.63	23.99	27.73	31.68	35.59	39.14	0.00	0.24	0.49	0.73	0.97	1.22	1.46	1.70	1.95	2.19
800	14.83	18.46	22.25	25.76	29.55	33.38	36.87	39.55	0.00	0.28	0.56	0.83	1.11	1.39	1.67	1.95	2.22	2.50
950	16.15	20.06	24.01	27.50	31.04	34.19	36.35	36.76	0.00	0.33	0.66	0.99	1.32	1.60	1.92	2.31	2.64	2.97
1100	16.98	20.99	24.84	28.02	30.85	32.65	32.52	29.26	0.00	0.38	0.77	1.15	1.53	1.91	2.29	2.68	3.06	3.44
1200	17.25	21.20	24.84	26.71	29.67	30.15	27.88	21.32	0.00	0.42	0.84	1.25	1.67	2.09	2.50	2.92	3.34	3.75
1300	17.26	21.06	24.35	26.54	27.58	26.37	21.42	10.73	0.00	0.45	0.91	1.35	1.81	2.26	2.71	3.16	3.61	4.06
1450	16.77	20.15	22.02	23.59	22.58	18.06	7.99	—	0.00	0.51	1.01	1.51	2.02	2.52	3.02	3.52	4.03	4.53
1600	15.63	18.31	19.59	18.88	15.13	6.25	—	—	0.00	0.56	1.11	1.67	2.23	2.78	3.33	3.89	4.45	5.00
1800	12.97	14.28	13.34	9.59	—	—	—	—	0.00	0.63	1.24	1.88	2.51	3.13	3.74	4.38	5.01	5.62

表 4.2-15g E 型 V 带的额定功率(摘自 GB/T13575.1—2008)

(kW)

$n_1/r \cdot \min^{-1}$	小带轮基准直径 d_{d1}/mm								传 动 比 i									
	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1.00 ~ 1.01	1.02 ~ 1.04	1.05 ~ 1.08	1.09 ~ 1.12	1.13 ~ 1.18	1.19 ~ 1.24	1.25 ~ 1.34	1.35 ~ 1.51	1.52 ~ 1.99	≥ 2.00
	单根 V 带的基本额定功率 P_1								$i \neq 1$ 时额定功率的增量 ΔP_1									
100	6.21	7.32	8.75	10.31	12.05	13.96	15.64	18.07	0.00	0.07	0.14	0.21	0.28	0.34	0.41	0.48	0.55	0.62
150	8.60	10.33	12.32	14.56	17.05	19.76	22.14	25.58	0.00	0.10	0.20	0.31	0.41	0.52	0.62	0.72	0.83	0.93
200	10.86	13.09	15.65	18.52	21.70	25.15	28.52	32.47	0.00	0.14	0.28	0.41	0.55	0.69	0.83	0.96	1.10	1.24
250	12.97	15.67	18.77	22.23	26.03	30.14	34.11	38.71	0.00	0.17	0.34	0.52	0.69	0.86	1.03	1.20	1.37	1.55
300	14.96	18.10	21.69	25.69	30.05	34.71	39.17	44.26	0.00	0.21	0.41	0.62	0.83	1.03	1.24	1.45	1.65	1.86
350	16.81	20.38	24.42	28.89	33.73	38.64	43.66	49.04	0.00	0.24	0.48	0.72	0.96	1.20	1.45	1.69	1.92	2.17
400	18.55	22.49	26.95	31.83	37.05	42.49	47.52	52.98	0.00	0.28	0.55	0.83	1.00	1.38	1.65	1.93	2.20	2.48
500	21.65	26.25	31.36	36.85	42.53	48.20	53.12	57.94	0.00	0.34	0.64	1.03	1.38	1.72	2.07	2.41	2.75	3.10
600	24.21	29.30	34.83	40.58	46.26	51.48	55.45	58.42	0.00	0.41	0.83	1.24	1.65	2.07	2.48	2.89	3.31	3.72
700	26.21	31.59	37.26	42.87	47.96	51.95	54.00	53.62	0.00	0.48	0.97	1.45	1.93	2.41	2.89	3.38	3.86	4.34
800	27.57	33.03	38.52	43.52	47.38	49.21	48.19	42.77	0.00	0.55	1.10	1.65	2.21	2.76	3.31	3.86	4.41	4.96
950	28.32	33.40	37.92	41.02	41.59	38.19	30.08	—	0.00	0.65	1.29	1.95	2.62	3.27	3.92	4.58	5.23	5.89
1100	27.30	31.35	33.94	33.74	29.06	17.65	—	—	0.00	0.76	1.52	2.27	3.03	3.79	4.40	5.30	6.06	6.82
1200	25.53	28.49	29.17	25.91	16.46	—	—	—										
1300	22.82	24.31	22.56	15.44	—	—	—	—										
1450	16.82	15.35	8.85	—	—	—	—	—										

表 4.2-15h SPZ 型窄 V 带的额定功率(摘自 GB/T 13575.1—2008)

d_{d1}/mm	i 或 $\frac{1}{i}$	小轮转速 $n_k/r \cdot \min^{-1}$															
		200	400	700	800	950	1 200	1 450	1 600	2 000	2 400	2 800	3 200	3 600	4 000	4 500	5 000
		额定功率 P_N/kW															
63	1	0.20	0.35	0.54	0.60	0.68	0.81	0.93	1.00	1.17	1.32	1.45	1.56	1.66	1.74	1.81	1.85
	1.2	0.22	0.39	0.61	0.68	0.78	0.94	1.08	1.17	1.38	1.57	1.74	1.89	2.03	2.15	2.27	2.37
	1.5	0.23	0.41	0.65	0.72	0.83	1.00	1.16	1.25	1.48	1.69	1.88	2.06	2.21	2.35	2.50	2.63
	≥ 3	0.24	0.43	0.68	0.76	0.88	1.06	1.23	1.33	1.58	1.81	2.03	2.22	2.40	2.56	2.74	2.88
71	1	0.25	0.44	0.70	0.78	0.90	1.08	1.25	1.35	1.59	1.81	2.00	2.18	2.33	2.46	2.59	2.68
	1.2	0.27	0.49	0.77	0.87	1.00	1.20	1.40	1.51	1.79	2.05	2.29	2.51	2.70	2.87	3.05	3.20
	1.5	0.28	0.51	0.81	0.91	1.04	1.26	1.47	1.59	1.90	2.18	2.43	2.67	2.88	3.08	3.28	3.45
	≥ 3	0.29	0.53	0.85	0.95	1.09	1.33	1.55	1.68	2.00	2.30	2.58	2.83	3.07	3.28	3.51	3.71
80	1	0.31	0.55	0.88	0.99	1.14	1.38	1.60	1.73	2.05	2.34	2.61	2.85	3.06	3.24	3.42	3.56
	1.2	0.33	0.59	0.96	1.07	1.24	1.50	1.75	1.89	2.25	2.59	2.90	3.18	3.43	3.65	3.89	4.07
	1.5	0.34	0.61	0.99	1.11	1.28	1.56	1.82	1.97	2.36	2.71	3.04	3.34	3.61	3.86	4.12	4.33
	≥ 3	0.35	0.64	1.03	1.15	1.33	1.62	1.90	2.06	2.46	2.84	3.18	3.51	3.80	4.06	4.35	4.58
90	1	0.37	0.67	1.09	1.21	1.40	1.70	1.98	2.14	2.55	2.93	3.26	3.57	3.84	4.07	4.30	4.46
	1.2	0.39	0.71	1.16	1.30	1.50	1.82	2.13	2.31	2.76	3.17	3.55	3.90	4.21	4.48	4.76	4.97
	1.5	0.40	0.74	1.19	1.34	1.55	1.88	2.20	2.39	2.86	3.30	3.70	4.06	4.39	4.68	4.99	5.23
	≥ 3	0.41	0.76	1.23	1.38	1.60	1.95	2.28	2.47	2.96	3.42	3.84	4.23	4.58	4.89	5.22	5.48
100	1	0.43	0.79	1.28	1.44	1.66	2.02	2.36	2.55	3.05	3.49	3.90	4.26	4.58	4.85	5.10	5.27
	1.2	0.45	0.83	1.35	1.52	1.76	2.14	2.51	2.72	3.25	3.74	4.19	4.59	4.95	5.26	5.57	5.79
	1.5	0.46	0.85	1.39	1.56	1.81	2.20	2.58	2.80	3.35	3.86	4.33	4.76	5.13	5.46	5.80	6.05
	≥ 3	0.47	0.87	1.43	1.60	1.86	2.27	2.66	2.88	3.46	3.99	4.48	4.92	5.32	5.67	6.03	6.30
112	1	0.51	0.93	1.52	1.70	1.97	2.40	2.80	3.04	3.62	4.16	4.64	5.06	5.42	5.72	5.99	6.14
	1.2	0.53	0.98	1.59	1.78	2.07	2.52	2.95	3.20	3.83	4.41	4.93	5.39	5.79	6.13	6.45	6.65
	1.5	0.54	1.00	1.63	1.83	2.12	2.58	3.03	3.28	3.93	4.53	5.07	5.55	5.98	6.33	6.68	6.91
	≥ 3	0.55	1.02	1.66	1.87	2.17	2.65	3.10	3.37	4.04	4.65	5.21	5.72	6.16	6.54	6.91	7.17
125	1	0.59	1.09	1.77	1.99	2.30	2.80	3.28	3.55	4.24	4.85	5.40	5.88	6.27	6.58	6.83	6.92
	1.2	0.61	1.13	1.84	2.07	2.40	2.93	3.43	3.72	4.44	5.10	5.69	6.21	6.64	6.99	7.29	7.44
	1.5	0.62	1.15	1.88	2.11	2.45	2.99	3.50	3.80	4.54	5.22	5.83	6.37	6.83	7.19	7.52	7.69
	≥ 3	0.63	1.17	1.91	2.15	2.50	3.05	3.58	3.88	4.65	5.35	5.98	6.53	7.01	7.40	7.75	7.95

(续)

d_{d1} /mm	i 或 $\frac{1}{i}$	小轮转速 $n_k/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$															
		200	400	700	800	950	1 200	1 450	1 600	2 000	2 400	2 800	3 200	3 600	4 000	4 500	5 000
		额定功率 P_N/kW															
140	1	0.68	1.26	2.06	2.31	2.68	3.26	3.82	4.13	4.92	5.63	6.24	6.75	7.16	7.45	7.64	7.60
	1.2	0.70	1.30	2.13	2.39	2.77	3.39	3.96	4.30	5.13	5.87	6.53	7.08	7.53	7.86	8.10	8.12
	1.5	0.71	1.32	2.17	2.43	2.82	3.45	4.04	4.38	5.23	6.00	6.67	7.25	7.72	8.07	8.33	8.37
	≥ 3	0.72	1.34	2.20	2.47	2.87	3.51	4.11	4.46	5.33	6.12	6.81	7.41	7.90	8.27	8.56	8.63
160	1	0.80	1.49	2.44	2.73	3.17	3.86	4.51	4.88	5.80	6.60	7.27	7.81	8.19	8.40	8.41	8.11
	1.2	0.82	1.53	2.51	2.82	3.27	3.98	4.66	5.05	6.00	6.84	7.56	8.13	8.56	8.81	8.88	8.62
	1.5	0.83	1.55	2.54	2.86	3.32	4.05	4.74	5.13	6.11	6.97	7.70	8.30	8.74	9.02	9.11	8.88
	≥ 3	0.84	1.57	2.58	2.90	3.37	4.11	4.81	5.21	6.21	7.09	7.85	8.46	8.93	9.22	9.34	9.14
180	1	0.92	1.71	2.81	3.15	3.65	4.45	5.19	5.61	6.63	7.50	8.20	8.71	9.01	9.08	8.81	8.11
	1.2	0.94	1.76	2.88	3.23	3.75	4.57	5.34	5.77	6.84	7.75	8.49	9.04	9.38	9.49	9.28	8.62
	1.5	0.95	1.78	2.92	3.28	3.80	4.63	5.41	5.86	6.94	7.87	8.63	9.21	9.57	9.70	9.51	8.88
	≥ 3	0.96	1.80	2.95	3.32	3.85	4.69	5.49	5.94	7.04	8.00	8.78	9.37	9.75	9.90	9.74	9.14

表 4.2-15i SPA 型窄 V 带的额定功率 (摘自 GB/T 13575.1—2008)

d_{d1} /mm	i 或 $\frac{1}{i}$	小轮转速 $n_k/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$															
		200	400	700	800	950	1 200	1 450	1 600	2 000	2 400	2 800	3 200	3 600	4 000	4 500	5 000
		额定功率 P_N/kW															
90	1	0.43	0.75	1.17	1.30	1.48	1.76	2.02	2.16	2.49	2.77	3.00	3.16	3.26	3.29	3.24	3.07
	1.2	0.47	0.85	1.34	1.49	1.70	2.04	2.35	2.53	2.96	3.33	3.64	3.90	4.09	4.22	4.28	4.22
	1.5	0.50	0.89	1.42	1.58	1.81	2.18	2.52	2.71	3.19	3.60	3.96	4.27	4.50	4.68	4.80	4.80
	≥ 3	0.52	0.94	1.50	1.67	1.92	2.32	2.69	2.90	3.42	3.88	4.29	4.63	4.92	5.14	5.32	5.37
100	1	0.53	0.94	1.49	1.65	1.89	2.27	2.61	2.80	3.27	3.67	3.99	4.25	4.42	4.50	4.48	4.31
	1.2	0.57	1.03	1.65	1.84	2.11	2.54	2.95	3.17	3.73	4.22	4.64	4.98	5.25	5.43	5.52	5.46
	1.5	0.60	1.08	1.73	1.93	2.22	2.68	3.11	3.36	3.96	4.50	4.96	5.35	5.66	5.89	6.04	6.04
	≥ 3	0.62	1.13	1.81	2.02	2.33	2.82	3.28	3.54	4.19	4.78	5.29	5.72	6.08	6.35	6.56	6.62
112	1	0.64	1.16	1.86	2.07	2.38	2.86	3.31	3.57	4.18	4.71	5.15	5.49	5.72	5.85	5.83	5.61
	1.2	0.69	1.26	2.02	2.26	2.60	3.14	3.65	3.94	4.64	5.27	5.79	6.23	6.55	6.77	6.87	6.76
	1.5	0.71	1.30	2.10	2.35	2.71	3.28	3.82	4.12	4.87	5.54	6.12	6.60	6.97	7.23	7.39	7.34
	≥ 3	0.74	1.35	2.18	2.44	2.82	3.42	3.98	4.30	5.11	5.82	6.44	6.96	7.38	7.69	7.91	7.91
125	1	0.77	1.40	2.25	2.52	2.90	3.50	4.06	4.38	5.15	5.80	6.34	6.76	7.03	7.16	7.09	6.75
	1.2	0.82	1.50	2.42	2.70	3.12	3.78	4.40	4.75	5.61	6.36	6.99	7.49	7.86	8.08	8.13	7.90
	1.5	0.84	1.54	2.50	2.80	3.23	3.92	4.56	4.93	5.84	6.63	7.31	7.86	8.28	8.54	8.65	8.48
	≥ 3	0.86	1.59	2.58	2.89	3.34	4.06	4.73	5.12	6.07	6.91	7.63	8.23	8.69	9.01	9.17	9.06
140	1	0.92	1.66	2.71	3.03	3.49	4.23	4.91	5.29	6.22	7.01	7.64	8.11	8.39	8.48	8.27	7.69
	1.2	0.96	1.77	2.87	3.21	3.71	4.50	5.24	5.66	6.68	7.56	8.29	8.85	9.22	9.40	9.31	8.85
	1.5	0.99	1.82	2.95	3.31	3.82	4.64	5.41	5.84	6.91	7.84	8.61	9.22	9.64	9.85	9.83	9.42
	≥ 3	1.01	1.86	3.03	3.40	3.93	4.78	5.58	6.03	7.14	8.12	8.94	9.59	10.05	10.32	10.35	10.00
160	1	1.11	2.04	3.30	3.70	4.27	5.17	6.01	6.47	7.60	8.53	9.24	9.72	9.94	9.87	9.34	8.28
	1.2	1.15	2.13	3.46	3.88	4.49	5.45	6.34	6.84	8.06	9.08	9.89	10.46	10.77	10.79	10.38	9.43
	1.5	1.18	2.18	3.55	3.98	4.60	5.59	6.51	7.03	8.29	9.36	10.21	10.83	11.18	11.25	10.90	10.01
	≥ 3	1.20	2.22	3.63	4.07	4.71	5.73	6.68	7.21	8.52	9.63	10.53	11.20	11.60	11.72	11.42	10.58
180	1	1.30	2.39	3.89	4.36	5.04	6.10	7.07	7.62	8.90	9.93	10.67	11.09	11.15	10.81	9.78	7.99
	1.2	1.34	2.49	4.05	4.54	5.25	6.37	7.41	7.99	9.37	10.49	11.32	11.83	11.98	11.73	10.81	9.15
	1.5	1.37	2.53	4.13	4.64	5.36	6.51	7.57	8.17	9.60	10.76	11.64	12.20	12.39	12.19	11.33	9.72
	≥ 3	1.39	2.58	4.21	4.73	5.47	6.65	7.74	8.35	9.83	11.04	11.96	12.56	12.81	12.65	11.85	10.30
200	1	1.49	2.75	4.47	5.01	5.79	7.00	8.10	8.72	10.13	11.22	11.92	12.19	11.98	11.25	9.50	6.75
	1.2	1.53	2.84	4.63	5.19	6.00	7.27	8.44	9.08	10.60	11.77	12.56	12.93	12.81	12.17	10.54	7.91
	1.5	1.55	2.89	4.71	5.29	6.11	7.41	8.61	9.27	10.83	12.05	12.89	13.30	13.23	12.63	11.06	8.43
	≥ 3	1.58	2.93	4.79	5.38	6.22	7.55	8.77	9.45	11.06	12.32	13.21	13.67	13.64	13.09	11.58	9.06
224	1	1.71	3.17	5.16	5.77	6.67	8.05	9.30	9.97	11.51	12.59	13.15	13.13	12.45	11.04	8.15	3.87
	1.2	1.75	3.26	5.32	5.96	6.89	8.33	9.63	10.34	11.97	13.14	13.79	13.86	13.28	11.96	9.19	5.02
	1.5	1.78	3.30	5.40	6.05	6.99	8.46	9.80	10.53	12.20	13.42	14.12	14.23	13.69	12.42	9.71	5.60
	≥ 3	1.80	3.35	5.48	6.14	7.10	8.60	9.96	10.71	12.43	13.69	14.44	14.60	14.11	12.89	10.23	6.17
250	1	1.95	3.62	5.88	6.59	7.60	9.15	10.53	11.26	12.85	13.84	14.13	13.62	12.22	9.83	5.29	
	1.2	1.99	3.71	6.05	6.77	7.82	9.43	11.06	11.83	13.31	14.39	14.77	14.36	13.05	10.75	6.33	
	1.5	2.02	3.75	6.13	6.87	7.93	9.56	11.03	11.81	13.54	14.67	15.10	14.73	13.47	11.21	6.85	
	≥ 3	2.04	3.80	6.21	6.96	8.04	9.70	11.19	12.00	13.77	14.95	15.42	15.10	13.83	11.67	7.36	

表 4.2-15j SPB 型窄 V 带的额定功率(摘自 GB/T 13575.1—2008)

d_{di} /mm	i 或 $\frac{1}{i}$	小轮转速 $n_k/r \cdot \min^{-1}$														
		200	400	700	800	950	1 200	1 450	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 800	3 200	3 600
		额定功率 P_N/kW														
140	1	1.08	1.92	3.02	3.35	3.83	4.55	5.19	5.54	5.95	6.31	6.62	6.86	7.15	7.17	6.89
	1.2	1.17	2.12	3.35	3.74	4.29	5.14	5.90	6.32	6.83	7.29	7.69	8.03	8.52	8.73	8.65
	1.5	1.22	2.21	3.53	3.94	4.52	5.43	6.25	6.71	7.27	7.70	8.23	8.61	9.20	9.51	9.52
	≥ 3	1.27	2.31	3.70	4.13	4.76	5.72	6.61	7.40	7.71	8.26	8.76	9.20	9.89	10.29	10.40
160	1	1.37	2.47	3.92	4.37	5.01	5.98	6.86	7.33	7.89	8.38	8.80	9.13	9.52	9.53	9.10
	1.2	1.46	2.66	4.27	4.76	5.47	6.57	7.56	8.11	8.77	9.36	9.87	10.30	10.89	11.09	10.86
	1.5	1.51	2.76	4.44	4.96	5.70	6.86	7.92	8.50	9.21	9.85	10.41	10.88	11.57	11.87	11.74
	≥ 3	1.56	2.86	4.61	5.15	5.93	7.15	8.27	8.89	9.65	10.33	10.94	11.47	12.25	12.65	12.61
180	1	1.65	3.01	4.82	5.37	6.16	7.38	8.46	9.05	9.74	10.34	10.83	11.21	11.62	11.49	10.77
	1.2	1.75	3.20	5.16	5.76	6.63	7.97	9.17	9.83	10.62	11.32	11.91	12.39	12.98	13.05	12.52
	1.5	1.80	3.30	5.33	5.96	6.86	8.26	9.53	10.22	11.06	11.80	12.44	12.97	13.66	13.83	13.40
	≥ 3	1.85	3.40	5.50	6.15	7.09	8.55	9.88	10.61	11.50	12.29	12.98	13.56	14.35	14.61	14.28
200	1	1.94	3.54	5.96	6.35	7.30	8.74	10.02	10.70	11.50	12.18	12.72	13.11	13.41	13.01	11.83
	1.2	2.03	3.74	6.03	6.75	7.76	9.33	10.73	11.48	12.38	13.15	13.79	14.28	14.78	14.57	13.69
	1.5	2.08	3.84	6.21	6.94	7.99	9.62	11.03	11.87	12.82	13.64	14.33	14.86	15.46	15.36	14.46
	≥ 3	2.13	3.93	6.38	7.14	8.23	9.91	11.43	12.26	13.26	14.13	14.86	15.45	16.14	16.14	15.34
224	1	2.28	4.18	6.73	7.52	8.63	10.33	11.81	12.59	13.49	14.21	14.76	15.10	15.14	14.22	12.23
	1.2	2.37	4.37	7.07	7.91	9.10	10.92	12.52	13.37	14.37	15.19	15.83	16.27	16.51	15.78	13.98
	1.5	2.42	4.47	7.24	8.10	9.33	11.21	12.87	13.76	14.80	15.68	16.37	16.86	17.19	16.57	14.86
	≥ 3	2.47	4.57	7.41	8.30	9.56	11.50	13.23	14.15	15.24	16.16	16.90	17.44	17.87	17.35	15.74
250	1	2.64	4.86	7.84	8.75	10.04	11.99	13.66	14.51	15.47	16.19	16.68	16.89	16.44	14.69	11.48
	1.2	2.74	5.05	8.18	9.14	10.50	12.57	14.37	15.29	16.35	17.17	17.75	18.06	17.81	16.25	13.23
	1.5	2.79	5.15	8.35	9.33	10.74	12.87	14.72	15.68	16.78	17.66	18.28	18.65	18.49	17.03	14.11
	≥ 3	2.83	5.25	8.52	9.53	10.97	13.16	15.07	16.07	17.22	18.15	18.82	19.23	19.17	17.81	14.99
280	1	3.05	5.63	9.09	10.14	11.62	13.82	15.65	16.56	17.52	18.17	18.48	18.43	17.13	14.04	8.92
	1.2	3.15	5.83	9.43	10.53	12.08	14.41	16.36	17.34	18.39	19.14	19.55	19.60	18.49	15.60	10.68
	1.5	3.20	5.93	9.60	10.72	12.32	14.70	16.72	17.73	18.83	19.63	20.09	20.18	19.18	16.38	11.56
	≥ 3	3.25	6.02	9.77	10.92	12.55	14.99	17.07	18.12	19.27	20.12	20.62	20.77	19.86	17.16	12.43
315	1	3.53	6.53	10.51	11.71	13.40	15.84	17.79	18.70	19.55	20.00	19.97	19.44	16.71	11.47	3.40
	1.2	3.63	6.72	10.85	12.11	13.86	16.43	18.50	19.48	20.44	20.97	21.05	20.61	18.07	13.03	5.16
	1.5	3.68	6.82	11.02	12.30	14.09	16.72	18.85	19.87	20.88	21.46	21.58	21.20	18.76	13.81	6.04
	≥ 3	3.73	6.92	11.19	12.50	14.32	17.01	19.21	20.26	21.32	21.95	22.12	21.78	19.44	14.59	6.91
355	1	4.08	7.53	12.10	13.46	15.33	17.99	19.96	20.78	21.39	21.42	20.79	19.46	14.45	5.91	
	1.2	4.17	7.73	12.44	13.85	15.80	18.57	20.67	21.56	22.27	22.39	21.87	20.63	15.81	7.47	
	1.5	4.22	7.82	12.61	14.04	16.03	18.86	21.02	21.95	22.71	22.88	22.40	21.22	16.50	8.25	
	≥ 3	4.27	7.92	12.78	14.24	16.26	19.16	21.37	22.34	23.15	23.37	22.94	21.80	17.18	9.03	
400	1	4.68	8.64	13.82	15.34	17.39	20.17	22.02	22.62	22.76	22.07	20.46	17.87	9.37		
	1.2	4.78	8.84	14.16	15.73	17.85	20.75	22.72	23.40	23.63	23.04	21.54	19.04	10.74		
	1.5	4.83	8.94	14.33	15.92	18.09	21.05	23.08	23.79	24.07	23.53	22.07	19.63	11.42		
	≥ 3	4.87	9.03	14.50	16.12	18.32	21.34	23.43	24.18	24.51	24.02	22.61	20.21	12.10		

表 4.2-15k SPC 型窄 V 带的额定功率 (摘自 GB/T 13575.1—2008)

d_{dl} /mm	i 或 $\frac{1}{i}$	小轮转速 $n_k/r \cdot \min^{-1}$														
		200	300	400	500	600	700	800	950	1 200	1 450	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400
		额定功率 P_N/kW														
224	1	2.90	4.08	5.19	6.23	7.21	8.13	8.99	10.19	11.89	13.22	13.81	14.35	14.58	14.47	14.01
	1.2	3.14	4.44	5.67	6.83	7.92	8.97	9.95	11.33	13.33	14.95	15.73	16.51	16.98	17.11	16.88
	1.5	3.26	4.62	5.91	7.13	8.28	8.39	10.43	11.90	14.05	15.82	16.69	17.59	18.17	18.43	18.32
	≥ 3	3.38	4.80	6.15	7.43	8.64	9.81	10.91	12.47	14.77	16.69	17.65	18.66	19.37	19.75	19.75
250	1	3.50	4.95	6.31	7.60	8.81	9.95	11.02	12.51	14.61	16.21	16.52	17.52	17.70	17.44	16.69
	1.2	3.74	5.31	6.79	8.19	9.53	10.79	11.98	13.64	16.05	17.95	18.83	19.67	20.10	20.08	19.57
	1.5	3.86	5.49	7.03	8.49	9.89	11.21	12.46	14.21	16.77	18.82	19.79	20.75	21.30	21.40	21.01
	≥ 3	3.98	5.67	7.27	8.79	10.25	11.63	12.94	14.78	17.49	19.69	20.75	21.83	22.50	22.72	22.45
280	1	4.18	5.94	7.59	9.15	10.62	12.01	13.31	15.10	17.60	19.44	20.20	20.75	20.75	20.13	18.86
	1.2	4.42	6.30	8.07	9.75	11.34	12.85	14.27	16.24	19.04	21.18	22.12	22.91	23.15	22.77	21.73
	1.5	4.54	6.48	8.31	10.05	11.70	13.27	14.75	16.81	19.76	22.05	23.07	23.99	24.34	24.09	23.17
	≥ 3	4.66	6.66	8.55	10.35	12.06	13.69	15.23	17.38	20.48	22.92	24.03	25.07	25.54	25.41	24.61
315	1	4.97	7.08	9.07	10.94	12.70	14.36	15.90	18.01	20.88	22.87	23.58	23.91	23.47	22.18	19.98
	1.2	5.21	7.44	9.55	11.54	13.42	15.20	16.86	19.15	22.32	24.60	25.50	26.07	25.87	24.82	32.86
	1.5	5.33	7.62	9.79	11.84	13.73	15.62	17.34	19.72	23.04	25.47	26.46	27.15	27.07	26.14	24.30
	≥ 3	5.45	7.80	10.03	12.14	14.14	16.04	17.82	20.29	23.76	26.34	27.42	28.23	28.26	27.46	25.74
355	1	5.87	8.37	10.72	12.94	15.02	16.96	18.76	21.17	23.34	26.29	26.80	26.62	25.37	22.94	19.22
	1.2	6.11	8.73	11.20	13.54	15.74	17.80	19.72	22.31	25.78	28.03	28.72	28.78	27.77	25.58	22.10
	1.5	6.23	8.91	11.44	13.84	16.10	18.22	20.20	22.88	26.50	28.90	29.68	29.86	28.97	26.90	23.54
	≥ 3	6.35	9.09	11.68	14.14	16.46	18.64	20.68	23.45	27.22	29.77	30.64	30.94	30.17	28.22	24.98
400	1	6.86	9.80	12.56	15.15	17.56	19.79	21.84	24.52	27.83	29.46	29.53	28.42	25.81	21.54	15.48
	1.2	7.10	10.16	13.04	15.75	18.28	20.63	22.80	25.66	29.27	31.20	31.45	30.58	28.21	24.18	18.35
	1.5	7.22	10.34	13.28	16.04	18.64	21.05	23.28	26.23	29.99	32.07	32.41	31.66	29.41	25.50	19.79
	≥ 3	7.34	10.52	13.52	16.34	19.00	21.47	23.76	26.80	30.70	32.94	33.37	32.74	30.60	26.82	21.23
450	1	7.96	11.37	14.56	17.54	20.29	22.81	25.07	27.94	31.15	32.06	31.33	28.69	23.95	16.89	
	1.2	8.20	11.73	15.04	18.13	21.01	23.65	26.03	29.08	32.59	33.80	33.25	30.85	26.34	19.53	
	1.5	8.32	11.91	15.28	18.43	21.37	24.07	26.51	29.65	33.31	34.67	34.21	31.92	27.54	20.85	
	≥ 3	8.44	12.09	15.52	18.73	21.73	24.48	26.99	30.22	34.03	35.54	35.16	33.00	28.74	22.17	
500	1	9.04	12.91	16.52	19.86	22.92	25.67	28.09	31.04	33.85	33.58	31.07	26.94	19.35		
	1.2	9.28	13.27	17.00	20.46	23.64	26.51	29.05	32.18	35.29	35.31	33.62	29.10	21.74		
	1.5	9.40	13.45	17.24	20.76	24.00	26.93	29.53	32.75	36.01	36.18	34.57	30.18	22.94		
	≥ 3	9.52	13.63	17.48	21.06	24.35	27.35	30.01	33.32	36.73	37.05	35.53	31.26	24.14		
560	1	10.32	14.74	18.82	22.56	25.93	28.90	31.43	34.29	36.18	33.83	30.05	21.90			
	1.2	10.56	15.09	19.30	23.16	26.65	29.74	32.39	35.43	37.62	35.57	31.97	24.05			
	1.5	10.68	15.27	19.54	23.46	27.01	30.16	32.87	36.00	38.34	36.44	32.93	25.14			
	≥ 3	10.80	15.45	19.78	23.76	27.37	30.58	33.35	36.57	39.06	37.31	33.89	26.22			
630	1	11.80	16.82	21.42	25.56	29.25	32.37	34.88	37.37	37.52	31.74	24.90				
	1.2	12.04	17.18	21.90	26.18	29.96	33.21	35.84	38.51	38.96	33.48	26.88				
	1.5	12.16	17.36	22.14	26.48	30.32	33.63	36.32	39.07	39.68	34.35	27.84				
	≥ 3	12.28	17.54	22.38	26.78	30.68	34.04	36.80	39.64	40.40	35.22	28.79				

表 4.2-15 1 9N、9J 型窄 V 带的额定功率(摘自 GB/T13575.2—2008)

(kW)

$\frac{n_1}{r \cdot \text{min}^{-1}}$	d_{cl}/mm														i										
	67	71	75	80	90	100	112	125	140	160	180	200	250	315	1.00 ~ 1.01	1.02 ~ 1.05	1.06 ~ 1.11	1.12 ~ 1.18	1.19 ~ 1.26	1.27 ~ 1.38	1.39 ~ 1.57	1.58 ~ 1.94	1.95 ~ 3.38	3.39 ~ 以上	
	P_1														ΔP_1										
100	0.12	0.13	0.15	0.17	0.21	0.24	0.29	0.34	0.39	0.47	0.54	0.61	0.79	1.02	0.0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
200	0.21	0.24	0.27	0.31	0.38	0.46	0.54	0.64	0.74	0.88	1.02	1.16	1.50	1.94	0.0	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
300	0.30	0.35	0.39	0.44	0.55	0.66	0.78	0.92	1.07	1.28	1.48	1.68	2.18	2.81	0.0	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
400	0.38	0.44	0.50	0.57	0.71	0.85	1.01	1.19	1.39	1.66	1.92	2.18	2.83	3.65	0.0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07	0.07
500	0.46	0.53	0.60	0.69	0.86	1.03	1.23	1.45	1.70	2.03	2.35	2.67	3.46	4.46	0.0	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09
600	0.54	0.62	0.70	0.80	1.01	1.21	1.45	1.71	2.00	2.39	2.77	3.15	4.08	5.25	0.0	0.01	0.02	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10
700	0.61	0.70	0.80	0.92	1.15	1.38	1.66	1.96	2.29	2.74	3.18	3.61	4.68	6.02	0.0	0.01	0.03	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	0.11	0.12
725	0.63	0.73	0.82	0.95	1.19	1.43	1.71	2.02	2.37	2.83	3.28	3.73	4.83	6.21	0.0	0.01	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13
800	0.68	0.79	0.89	1.03	1.29	1.55	1.87	2.20	2.58	3.08	3.58	4.07	5.26	6.76	0.0	0.01	0.03	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14
900	0.75	0.87	0.99	1.13	1.43	1.72	2.07	2.44	2.86	3.42	3.97	4.51	5.83	7.48	0.0	0.01	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15	0.15	0.16
950	0.78	0.91	1.03	1.19	1.50	1.80	2.17	2.56	3.00	3.59	4.17	4.73	6.11	7.83	0.0	0.01	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.16	0.17
1 000	0.81	0.94	1.08	1.24	1.56	1.89	2.27	2.68	3.14	3.75	4.36	4.95	6.39	8.17	0.0	0.01	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.17
1 200	0.94	1.09	1.25	1.44	1.83	2.21	2.66	3.14	3.68	4.40	5.10	5.79	7.46	9.48	0.0	0.02	0.05	0.08	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.20	0.21
1 400	1.06	1.24	1.42	1.64	2.08	2.51	3.03	3.58	4.21	5.02	5.82	6.60	8.46	10.67	0.0	0.02	0.06	0.10	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23	0.23	0.24
1 425	1.07	1.26	1.44	1.66	2.11	2.55	3.08	3.63	4.27	5.10	5.91	6.70	8.58	10.81	0.0	0.02	0.06	0.10	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23	0.23	0.25
1 500	1.12	1.31	1.50	1.73	2.20	2.67	3.21	3.80	4.46	5.32	6.17	6.99	8.93	11.22	0.0	0.02	0.06	0.10	0.14	0.17	0.20	0.23	0.25	0.25	0.26
1 600	1.17	1.38	1.58	1.83	2.32	2.81	3.39	4.01	4.71	5.62	6.50	7.36	9.39	11.74	0.0	0.02	0.06	0.11	0.15	0.18	0.21	0.24	0.26	0.26	0.28
1 800	1.28	1.51	1.73	2.01	2.56	3.10	3.74	4.42	5.19	6.19	7.16	8.09	10.25	12.67	0.0	0.03	0.07	0.12	0.17	0.21	0.24	0.27	0.30	0.30	0.31
2 000	1.39	1.63	1.88	2.19	2.79	3.38	4.08	4.82	5.66	6.74	7.77	8.77	11.03	13.45	0.0	0.03	0.08	0.14	0.19	0.23	0.27	0.30	0.33	0.33	0.35
2 200	1.49	1.76	2.02	2.35	3.01	3.65	4.41	5.21	6.11	7.26	8.36	9.40	11.73	14.07	0.0	0.03	0.09	0.15	0.21	0.25	0.29	0.33	0.36	0.36	0.38
2 400	1.58	1.87	2.16	2.52	3.22	3.91	4.72	5.58	6.53	7.75	8.90	9.98	12.33	14.52	0.0	0.03	0.10	0.17	0.23	0.27	0.32	0.36	0.39	0.39	0.42
2 600	1.67	1.98	2.29	2.68	3.43	4.16	5.03	5.93	6.94	8.21	9.41	10.51	12.84		0.0	0.04	0.10	0.18	0.25	0.30	0.35	0.39	0.43	0.43	0.45
2 800	1.76	2.09	2.42	2.83	3.63	4.41	5.32	6.27	7.32	8.64	9.87	10.98	13.24		0.0	0.04	0.11	0.19	0.26	0.32	0.37	0.42	0.46	0.46	0.49
3 000	1.84	2.19	2.54	2.97	3.82	4.64	5.59	6.59	7.68	9.04	10.29	11.40	13.53		0.0	0.04	0.12	0.21	0.28	0.34	0.40	0.45	0.49	0.49	0.52
3 200	1.92	2.29	2.66	3.11	4.00	4.86	5.86	6.89	8.02	9.41	10.66	11.75			0.0	0.05	0.13	0.22	0.30	0.37	0.43	0.48	0.52	0.52	0.56
3 400	2.00	2.39	2.77	3.25	4.17	5.07	6.11	7.18	8.33	9.74	10.98	12.04			0.0	0.05	0.14	0.24	0.32	0.39	0.45	0.51	0.56	0.56	0.59
3 600	2.07	2.47	2.88	3.37	4.34	5.27	6.34	7.44	8.62	10.04	11.25	12.25			0.0	0.05	0.14	0.25	0.34	0.41	0.48	0.54	0.59	0.59	0.63
3 800	2.13	2.56	2.98	3.49	4.50	5.46	6.57	7.69	8.88	10.29	11.47	12.40			0.0	0.06	0.15	0.26	0.36	0.43	0.51	0.57	0.62	0.62	0.66
4 000	2.19	2.64	3.07	3.61	4.65	5.64	6.77	7.91	9.12	10.51	11.63				0.0	0.06	0.16	0.28	0.38	0.46	0.54	0.60	0.66	0.66	0.69
4 200	2.25	2.71	3.16	3.72	4.79	5.81	6.96	8.12	9.32	10.68	11.74				0.0	0.06	0.17	0.29	0.40	0.48	0.56	0.63	0.69	0.69	0.73

表 4.2-15m 15N、15J 型窄 V 带的额定功率 (摘自 GB/T13575.2—2008)

(kW)

n_1 /r · min ⁻¹	d_{el}/mm													i									
	180	190	200	212	224	236	250	280	315	355	400	450	500	1.00	1.02	1.06	1.12	1.19	1.27	1.39	1.58	1.95	3.39
														~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
														1.01	1.05	1.11	1.18	1.26	1.38	1.57	1.94	3.38	以上
	P_1													ΔP_1									
50	0.62	0.67	0.73	0.79	0.86	0.93	1.00	1.17	1.36	1.57	1.81	2.07	2.34	0.0	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
60	0.73	0.79	0.86	0.94	1.02	1.09	1.19	1.38	1.60	1.86	2.14	2.46	2.77	0.0	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06
80	0.94	1.03	1.11	1.22	1.32	1.42	1.54	1.80	2.09	2.42	2.79	3.20	3.61	0.0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08
100	1.15	1.26	1.36	1.49	1.62	1.74	1.89	2.20	2.56	2.97	3.43	3.93	4.44	0.0	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.09	0.10
200	2.13	2.33	2.54	2.78	3.02	3.26	3.54	4.14	4.83	5.61	6.47	7.43	8.38	0.0	0.02	0.04	0.08	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.20
300	3.05	3.34	3.64	3.99	4.34	4.69	5.10	5.97	6.97	8.10	9.35	10.73	12.10	0.0	0.02	0.07	0.12	0.16	0.19	0.23	0.26	0.28	0.30
400	3.92	4.30	4.69	5.15	5.61	6.06	6.59	7.72	9.02	10.48	12.11	13.89	15.64	0.0	0.03	0.09	0.16	0.21	0.26	0.30	0.34	0.37	0.39
500	4.75	5.23	5.70	6.26	6.83	7.38	8.03	9.41	10.99	12.77	14.75	16.89	19.00	0.0	0.04	0.11	0.20	0.27	0.32	0.38	0.43	0.46	0.49
600	5.56	6.12	6.68	7.34	8.00	8.66	9.42	11.04	12.90	14.98	17.27	19.76	22.18	0.0	0.05	0.13	0.24	0.32	0.39	0.45	0.51	0.56	0.59
700	6.34	6.98	7.62	8.39	9.15	9.90	10.77	12.62	14.73	17.10	19.69	22.48	25.18	0.0	0.06	0.16	0.27	0.37	0.45	0.53	0.60	0.65	0.69
725	6.53	7.20	7.86	8.64	9.43	10.20	11.10	13.00	15.18	17.61	20.27	23.13	25.89	0.0	0.06	0.16	0.28	0.39	0.47	0.55	0.62	0.67	0.71
800	7.10	7.82	8.54	9.40	10.25	11.10	12.07	14.14	16.50	19.12	21.98	25.04	27.96	0.0	0.07	0.18	0.31	0.43	0.52	0.61	0.68	0.74	0.79
900	7.83	8.63	9.43	10.38	11.32	12.26	13.33	15.61	18.19	21.05	24.15	27.43	30.53	0.0	0.07	0.20	0.35	0.48	0.58	0.68	0.77	0.84	0.89
950	8.19	9.03	9.87	10.86	11.85	12.82	13.95	16.32	19.01	21.99	25.19	28.56	31.73	0.0	0.08	0.21	0.37	0.51	0.61	0.72	0.81	0.88	0.93
1 000	8.54	9.42	10.29	11.33	12.36	13.38	14.55	17.02	19.81	22.89	26.19	29.65	32.86	0.0	0.08	0.22	0.39	0.53	0.65	0.76	0.85	0.93	0.98
1 200	9.89	10.92	11.93	13.14	14.33	15.50	16.85	19.67	22.82	26.24	29.83	33.48	36.73	0.0	0.10	0.27	0.47	0.64	0.78	0.91	1.02	1.11	1.18
1 400	11.16	12.32	13.46	14.82	16.15	17.46	18.96	22.07	25.50	29.14	32.84	36.43	39.41	0.0	0.12	0.31	0.55	0.75	0.91	1.06	1.19	1.30	1.38
1425	11.31	12.49	13.65	15.02	16.37	17.69	19.21	22.35	25.81	29.46	33.17	36.73		0.0	0.12	0.32	0.56	0.76	0.92	1.08	1.21	1.32	1.40
1 500	11.76	12.98	14.19	15.61	17.01	18.38	19.94	23.17	26.70	30.39	34.08	37.54		0.0	0.12	0.34	0.59	0.80	0.97	1.14	1.28	1.39	1.48
1 600	12.33	13.61	14.88	16.36	17.82	19.25	20.87	24.20	27.80	31.52	35.13	38.38		0.0	0.13	0.36	0.63	0.85	1.03	1.21	1.36	1.49	1.57
1 800	13.41	14.80	16.17	17.77	19.33	20.85	22.56	26.03	29.70	33.33	36.63			0.0	0.15	0.40	0.71	0.96	1.16	1.36	1.53	1.67	1.77
2 000	14.39	15.88	17.33	19.02	20.66	22.24	24.02	27.55	31.15	34.52				0.0	0.17	0.45	0.78	1.07	1.29	1.51	1.70	1.86	1.97
2 200	15.27	16.83	18.35	20.11	21.80	23.42	25.22	28.71	32.11					0.0	0.18	0.49	0.86	1.17	1.42	1.67	1.88	2.04	2.16
2 400	16.03	17.65	19.22	21.03	22.74	24.37	26.15	29.51	32.56					0.0	0.20	0.54	0.94	1.28	1.55	1.82	2.05	2.23	2.36
2 600	16.67	18.34	19.94	21.76	23.47	25.07	26.79	29.89						0.0	0.21	0.58	1.02	1.39	1.68	1.97	2.22	2.41	2.56
2 800	17.19	18.88	20.49	22.30	23.97	25.51	27.12							0.0	0.23	0.63	1.10	1.49	1.81	2.12	2.39	2.60	2.75
3 000	17.59	19.28	20.87	22.63	24.23	25.67	27.11							0.0	0.25	0.67	1.18	1.60	1.94	2.27	2.56	2.79	2.95
3 500	17.95	19.54	20.97	22.48										0.0	0.29	0.79	1.37	1.87	2.26	2.65	2.98	3.25	3.44

表 4.2-15n 25N、25J 型窄 V 带的额定功率(摘自 GB/T13575.2—2008)

(kW)

n_1 $/r \cdot \min^{-1}$	d_{el}/mm													i									
	315	335	355	375	400	425	450	475	500	560	630	710	800	1.00	1.02	1.06	1.12	1.19	1.27	1.39	1.58	1.95	3.39
														~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
														1.01	1.05	1.11	1.18	1.26	1.38	1.57	1.94	3.38	以上
	P_1													ΔP_1									
10	0.62	0.68	0.75	0.81	0.89	0.97	1.05	1.13	1.21	1.40	1.62	1.86	2.14	0.0	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
20	1.16	1.28	1.41	1.53	1.68	1.84	1.99	2.14	2.29	2.66	3.08	3.55	4.08	0.0	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.09	0.10
30	1.67	1.85	2.03	2.21	2.44	2.66	2.89	3.11	3.33	3.86	4.48	5.18	5.95	0.0	0.01	0.03	0.06	0.08	0.10	0.12	0.13	0.14	0.15
40	2.16	2.40	2.64	2.88	3.17	3.47	3.76	4.05	4.34	5.04	5.84	6.75	7.77	0.0	0.02	0.05	0.08	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.20
50	2.64	2.94	3.23	3.52	3.89	4.25	4.61	4.97	5.33	6.19	7.18	8.30	9.56	0.0	0.02	0.06	0.10	0.14	0.16	0.19	0.22	0.24	0.25
60	3.11	3.46	3.81	4.15	4.59	5.02	5.44	5.87	6.30	7.31	8.49	9.82	11.31	0.0	0.03	0.07	0.12	0.16	0.20	0.23	0.26	0.28	0.30
70	3.57	3.97	4.37	4.78	5.27	5.77	6.27	6.76	7.25	8.42	9.78	11.32	13.04	0.0	0.03	0.08	0.14	0.19	0.23	0.27	0.30	0.33	0.35
80	4.02	4.48	4.93	5.39	5.95	6.51	7.08	7.63	8.19	9.52	11.06	12.80	14.74	0.0	0.03	0.09	0.16	0.22	0.26	0.31	0.35	0.38	0.40
100	4.90	5.46	6.02	6.58	7.28	7.97	8.66	9.35	10.04	11.67	13.57	15.71	18.10	0.0	0.04	0.11	0.20	0.27	0.33	0.39	0.43	0.47	0.50
120	5.76	6.43	7.09	7.75	8.58	9.40	10.22	11.03	11.85	13.78	16.02	18.56	21.39	0.0	0.05	0.14	0.24	0.33	0.39	0.46	0.52	0.57	0.60
140	6.60	7.37	8.14	8.90	9.85	10.80	11.75	12.69	13.62	15.86	18.44	21.36	24.61	0.0	0.06	0.16	0.28	0.38	0.46	0.54	0.61	0.66	0.70
160	7.42	8.29	9.16	10.03	11.11	12.18	13.25	14.31	15.37	17.90	20.82	24.12	27.79	0.0	0.07	0.18	0.32	0.43	0.53	0.62	0.69	0.76	0.80
180	8.22	9.20	10.17	11.14	12.34	13.54	14.73	15.91	17.09	19.91	23.16	26.83	30.91	0.0	0.08	0.21	0.36	0.49	0.59	0.69	0.78	0.85	0.90
200	9.02	10.09	11.16	12.23	13.55	14.87	16.18	17.49	18.79	21.89	25.46	29.50	33.98	0.0	0.08	0.23	0.40	0.54	0.66	0.77	0.87	0.94	1.00
300	12.82	14.38	15.93	17.48	19.40	21.30	23.20	25.09	26.96	31.42	36.53	42.28	48.62	0.0	0.13	0.34	0.60	0.81	0.99	1.16	1.30	1.42	1.50
400	16.38	18.41	20.42	22.42	24.91	27.37	29.82	32.24	34.65	40.35	46.86	54.12	62.03	0.0	0.17	0.46	0.80	1.09	1.32	1.54	1.73	1.89	2.00
500	19.75	22.22	24.67	27.10	30.12	33.10	36.06	38.98	41.88	48.70	56.43	64.94	74.08	0.0	0.21	0.57	1.00	1.36	1.64	1.93	2.17	2.36	2.50
600	22.93	25.82	28.69	31.53	35.03	38.50	41.92	45.29	48.62	56.42	65.16	74.64	84.61	0.0	0.25	0.69	1.20	1.63	1.97	2.31	2.60	2.83	3.00
700	25.93	29.22	32.47	35.69	39.65	43.55	47.38	51.15	54.86	63.47	72.98	83.08	93.40	0.0	0.29	0.80	1.40	1.90	2.30	2.70	3.03	3.30	3.50
725	26.66	30.04	33.38	36.68	40.75	44.75	48.68	52.55	56.33	65.12	74.78	84.98	95.30	0.0	0.30	0.83	1.44	1.97	2.38	2.79	3.14	3.42	3.63
800	28.75	32.41	36.02	39.58	43.95	48.23	52.43	56.54	60.55	69.78	79.79	90.13	100.24	0.0	0.34	0.91	1.59	2.17	2.63	3.08	3.47	3.78	4.00
900	31.38	35.38	39.32	43.18	47.91	52.53	57.03	61.40	65.65	75.29	85.49	95.63		0.0	0.38	1.03	1.79	2.44	2.96	3.47	3.90	4.25	4.50
950	32.62	36.79	40.87	44.87	49.76	54.52	59.15	63.63	67.96	77.72	87.89	97.75		0.0	0.40	1.09	1.89	2.58	3.12	3.66	4.12	4.49	4.75
1 000	33.82	38.13	42.35	46.49	51.52	56.41	61.14	65.71	70.10	79.93	89.98	99.42		0.0	0.42	1.14	1.99	2.71	3.29	3.85	4.33	4.72	5.00
1 100	36.05	40.64	45.11	49.48	54.76	59.85	64.74	69.41	73.87	83.61	93.14			0.0	0.46	1.26	2.19	2.98	3.62	4.24	4.77	5.19	5.50
1 200	38.07	42.90	47.59	52.13	57.60	62.82	67.78	72.48	76.90	86.28	94.87			0.0	0.50	1.37	2.39	3.26	3.95	4.62	5.20	5.67	6.00
1 300	39.87	44.89	49.75	54.42	60.01	65.28	70.24	74.86	79.12	87.84				0.0	0.55	1.49	2.59	3.53	4.27	5.01	5.63	6.14	6.50
1 400	41.43	46.61	51.59	56.34	61.96	67.21	72.06	76.50	80.50					0.0	0.59	1.60	2.79	3.80	4.60	5.39	6.07	6.61	7.00
1425	41.78	47.00	51.99	56.76	62.38	67.60	72.41	76.79	80.71					0.0	0.60	1.63	2.84	3.87	4.68	5.49	6.18	6.73	7.13
1 500	42.74	48.04	53.08	57.86	63.44	68.57	73.22	77.36	80.98					0.0	0.63	1.72	2.99	4.07	4.93	5.78	6.50	7.08	7.50
1 600	43.80	49.16	54.22	58.96	64.42	69.33	73.66	77.39						0.0	0.67	1.83	3.19	4.34	5.26	6.16	6.93	7.55	8.00
1 700	44.58	49.96	54.97	59.61	64.86	69.45	73.36							0.0	0.71	1.94	3.39	4.61	5.59	6.55	7.37	8.03	8.50
1 800	45.08	50.42	55.33	59.80	64.74	68.91								0.0	0.76	2.06	3.59	4.88	5.92	6.93	7.80	8.50	9.00
1 900	45.29	50.52	55.27	59.50	64.03									0.0	0.80	2.17	3.79	5.15	6.25	7.32	8.23	8.97	9.50

2.3 带轮

2.3.1 带轮设计的要求

设计带轮时，应使其结构便于制造，重量分布均匀，重量轻，并避免由于铸造产生过大的内应力。 $v > 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时要进行静平衡， $v > 25\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时则应进行动平衡。

轮槽工作表面应光滑，以减少 V 带的磨损。

2.3.2 带轮材料

带轮材料常采用灰铸铁、钢、铝合金或工程塑料等。灰铸铁应用最广，当 $v \leq 30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时用

HT200， $v = 25 \sim 45\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，则宜采用孕育铸铁或铸钢，也可用钢板冲压—焊接带轮。

小功率传动可用铸铝或塑料。

2.3.3 带轮的结构

带轮由轮缘、轮辐和轮毂 3 部分组成。

V 带轮的直径系列见表 4.2-16、表 4.2-17；轮缘尺寸见表 4.2-19 ~ 表 4.2-22。

轮辐部分有实心、辐板（或孔板）和椭圆轮辐三种，可根据带轮的基准直径参照表 4.2-22 决定。

V 带轮的典型结构见图 4.2-5。

表 4.2-16 普通和窄 V 带轮（基准宽度制）直径系列（摘自 GB/T13575.1—2008）（mm）

基准 直径 d_d	槽 型						基准 直径 d_d	槽 型						
	Y	Z SPZ	A SPA	B SPB	C SPC	圆跳 动公 差 t		Z SPZ	A SPA	B SPB	C SPC	D	E	圆跳 动公 差 t
20	+					0.2	265				⊕			0.5
22.4	+						280	⊕	⊕	⊕	⊕			
25	+						300				⊕			
28	+						315	⊕	⊕	⊕	⊕			
31.5	+						335				⊕			
35.5	+						355	⊕	⊕	⊕	⊕	+		0.6
40	+						375					+		
45	+						400	⊕	⊕	⊕	⊕	+		
50	+	+					425					+		
56	+	+					450		⊕	⊕	⊕	+		
63		⊕				0.3	475					+		0.8
71		⊕					500	⊕	⊕	⊕	⊕	+	+	
75		⊕	+				530					+	+	
80	+	⊕	+				560		⊕	⊕	⊕	+	+	
85			+				600			⊕	⊕	+	+	
90	+	⊕	⊕				630	⊕	⊕	⊕	⊕	+	+	1
95			⊕				670					+	+	
100	+	⊕	⊕				710		⊕	⊕	⊕	+	+	
106			⊕				750			⊕	⊕	+	+	
112	+	⊕	⊕				800		⊕	⊕	⊕	+	+	
118			⊕			0.4	900			⊕	⊕	+	+	1.2
125	+	⊕	⊕	+			1000			⊕	⊕	+	+	
132		⊕	⊕	+			1060					+	+	
140		⊕	⊕	⊕			1120			⊕	⊕	+	+	
150		⊕	⊕	⊕			1250				⊕	+	+	
160		⊕	⊕	⊕			1400				⊕	+	+	1.2
170				⊕			1500					+	+	
180		⊕	⊕	⊕			1600			⊕		+	+	
200		⊕	⊕	⊕	+		1800					+	+	
212					+		1900					+	+	
224		⊕	⊕	⊕	⊕		2000				⊕	+	+	1.2
236					⊕		2240						+	
250		⊕	⊕	⊕	⊕		2500						+	

注：1. 有 + 号的只用于普通 V 带，有 ⊕ 号的用于普通 V 带和窄 V 带。

2. 基准直径的极限偏差为 $\pm 0.8\%$ 。

3. 轮槽基准直径间的最大偏差，Y 型—0.3mm；Z、A、B、SPZ、SPA、SPB 型—0.4mm；C、D、E、SPC 型—0.5mm。

表 4.2-17 窄 V 带轮(有效宽度制)直径系列(摘自 GB/T10413—2002) (mm)

有效直径 d_e	槽 型				有效直径 d_e	槽 型					
	9N/9J		15N/15J			9N/9J		15N/15J		25N/25J	
	选用情况	2Δ <i>d</i>	选用情况	2Δ <i>d</i>		选用情况	2Δ <i>d</i>	选用情况	2Δ <i>d</i>	选用情况	2Δ <i>d</i>
67	○	4			315	◎	5	◎	7	◎	5
71	◎	4			335					○	5.4
75	○	4			355	○	5.7	○	7	◎	5.7
80	◎	4			375					○	6
85	○	4			400	◎	6.4	◎	7	◎	6.4
90	◎	4			425					○	6.8
95	○	4			450	○	7.2	○	7.2	◎	7.2
100	◎	4			475					○	7.6
106	○	4			500	◎	8	◎	8	◎	8
112	◎	4			530					○	
118	○	4			560	○	9	○	9	◎	9
125	◎	4			600					○	9.6
132	○	4			630	○	10.1	◎	10.1	◎	10.1
140	◎	4			710	○	11.4	○	11.4	◎	11.4
150	○	4			800	○	12.8	◎	12.8	◎	12.8
160	◎	4			900			○	14.4	○	14.4
180	○	4	◎	7	1000			◎	16	◎	16
190			○	7	1120			○	17.9	○	17.9
200	◎	4	◎	7	1250			◎	20	◎	20
212			○	7	1400			○	22.4	○	22.4
224	○	4	◎	7	1600					◎	25.6
236			○	7	1800					○	28.8
250	◎	4	◎	7	2000			○	25.6	◎	32
265			○	7	2240			○	28.8	◎	35.8
280	○	4.5	◎	7	2500					◎	40
300			○	7							

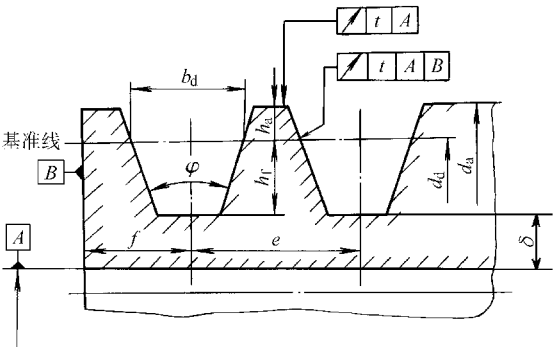
注：1. 有效直径 d_e 为其最小值，最大值 $d_{e\max} = d_e + 2\Delta d$

2. 选用情况◎—优先选用，○—可以选用。

表 4.2-18 带轮最小基准直径、有效直径（摘自 GB/T 13575.1、2—2008） (mm)

基准宽度制带轮最小基准直径											
槽型	Y	Z	A	B	C	D	E	SPZ	SPA	SPB	SPC
$d_{\min}$	20	50	75	125	200	355	500	63	90	140	224
有效宽度制窄 V 带带轮最小有效直径											
槽型	9N、9J			15N、15J			25N、25J				
$d_{\min}$	67			180			315				

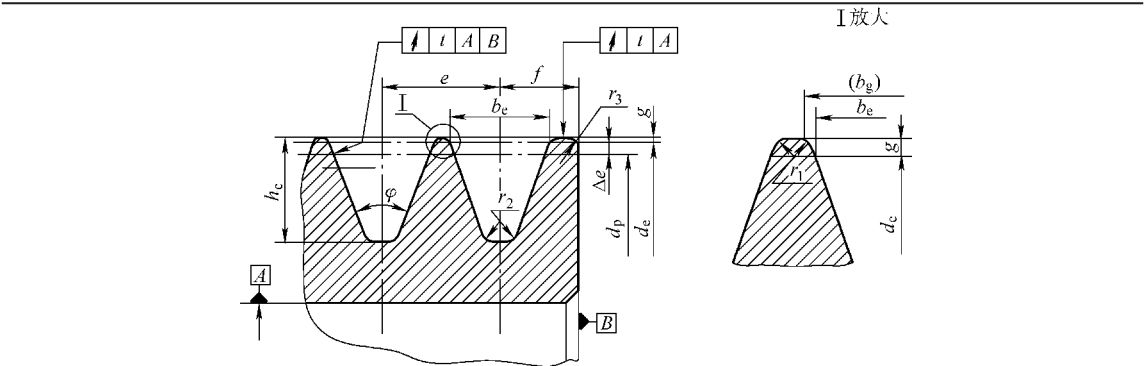
表 4.2-19 V 带轮（基准宽度制）轮槽截面及尺寸（摘自 GB/T 13575.1—2008） (mm)



(续)

项 目		符号	槽 型						
			Y	Z SPZ	A SPA	B SPB	C SPC	D	E
基准宽度		b_d	5.3	8.5	11.0	14.0	19.0	27.0	32.0
基准线上槽深		h_{amin}	1.6	2.0	2.75	3.5	4.8	8.1	9.6
基准线下槽深		h_{fmin}	4.7	7.0 9.0	8.7 11.0	10.8 14.0	14.3 19.0	19.9	23.4
槽间距		e	8 ± 0.3	12 ± 0.3	15 ± 0.3	19 ± 0.4	25.5 ± 0.5	37 ± 0.6	44.5 ± 0.7
第一槽对称面至端面的最小距离		f_{min}	6	7	9	11.5	16	23	28
槽间距累积极限偏差			± 0.6	± 0.6	± 0.6	± 0.8	± 1.0	± 1.2	± 1.4
带轮宽		B	$B = (z - 1)e + 2f$ z —轮槽数						
外 径		d_a	$d_a = d_d + 2h_a$						
轮 槽 角 φ	32°	相应的 基准直 径 d_d	≤60	—	—	—	—	—	—
	34°		—	≤80	≤118	≤190	≤315	—	—
	36°		> 60	—	—	—	—	≤475	≤600
	38°		—	> 80	> 118	> 190	> 315	> 475	> 600
极限偏差			±0.5°						

表 4.2-20 窄 V 带轮(有效宽度制)轮槽截面及尺寸(摘自 GB/T 13575.2—2008) (mm)



槽型	d_e	$\varphi(^{\circ})$	b_e	Δe	e	f_{min}	h_c	(b_g)	g	r_1	r_2	r_3
9N、9J	≤ 90	36	8.9	0.6	10.3 ± 0.25	9	$9.5^{+0.5}_0$	9.23 9.24 9.26 9.28	0.5	0.2 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1 ~ 2
	$> 90 \sim 150$	38										
	$> 150 \sim 305$	40										
	> 305	42										
15N、 15J	≤ 255	38	15.2	1.3	17.5 ± 0.25	13	$15.5^{+0.5}_0$	15.54 15.56 15.58	0.5	0.2 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	2 ~ 3
	$> 255 \sim 405$	40										
	> 405	42										
25N、 25J	≤ 405	38	25.4	2.5	28.6 ± 0.25	19	$25.5^{+0.5}_0$	25.74 25.76 26.78	0.5	0.2 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	3 ~ 5
	$> 405 \sim 570$	40										
	> 570	42										

表 4.2-21 有效宽度制窄 V 带轮的径向和轴向圆跳动公差(摘自 GB/T10413—2002) (mm)

有效直径基本值 d_e	径向圆跳动 t_1	轴向圆跳动 t_2	有效直径基本值 d_e	径向圆跳动 t_1	轴向圆跳动 t_2
$d_e \leq 125$	0.2	0.3	$1000 < d_e \leq 1250$	0.8	1
$125 < d_e \leq 315$	0.3	0.4	$1250 < d_e \leq 1600$	1	1.2
$315 < d_e \leq 710$	0.4	0.6	$1600 < d_e \leq 2500$	1.2	1.2
$710 < d_e \leq 1000$	0.6	0.8			

表 4.2-22 V 带轮的结构形式和辐板厚度

(mm)

槽型	孔径 d_0	带 轮 基 准 直 径 d_d																				槽数 z																		
		63	71	75	80	95	106	112	118	125	132	140	150	160	170	180	200	212	224	236	250		265	280	300	315	335	375	400	425	450	475	500	530	560	600	630	710	750/500	
		辐 板 厚 度 S																																						
Z	12 14					6																																		1-2
	16 18																																						1-3	
	20 22						7																																1-4	
	24 25																																						1-4	
	28 30																																						1-4	
A	32 35																																							2-4
	10 18																																						1-3	
	20 22																																						1-4	
	24 25																																						1-5	
	28 30																																						1-6	
B	32 35																																							2-6
	38 40																																						2-6	
	42 45																																						2-6	
	32 35																																						2-6	
	38 40																																						2-6	
C	42 45																																							3-8
	50 55																																						3-8	
	60 65																																						3-8	
	42 45																																						3-6	
	50 55																																						3-6	
D	60 65																																							3-7
	70 75																																						3-6	
	80 85																																						3-7	
	90 95																																						5-9	
	100 110																																						3-6	
E	80 85																																							3-6
	90 95																																						3-7	
	100 110																																						5-9	
	120 130																																						3-6	
	140 150																																						5-7	

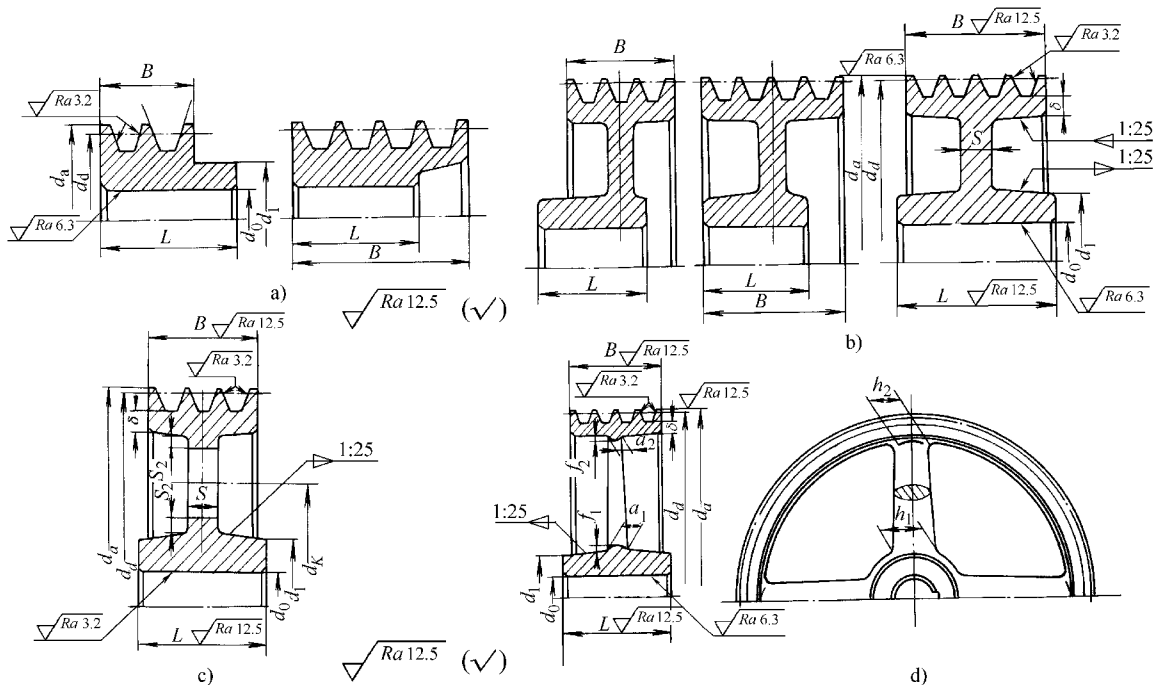


图 4.2-5 V 带轮的典型结构

a) 实心轮 b) 辐板轮 c) 孔板轮 d) 椭圆辐轮

$d_1 = (1.8 \sim 2) d_0$, $L = (1.5 \sim 2) d_0$, S 查表 4.2-22, $S_1 \geq 1.5S$, $S_2 \geq 0.5S$, $h_1 = 290 \sqrt[3]{\frac{P}{nA}}$, 式中: P —传递的功率 (kW),
 n —带轮的转速 ($r \cdot \min^{-1}$), A —轮幅数, $h_2 = 0.8h_1$, $a_1 = 0.4h_1$, $a_2 = 0.8a_1$, $f_1 = 0.2h_1$, $f_2 = 0.2h_2$

2.3.4 带轮的技术要求 (摘自 GB/T 11357—2008)

1) 带轮各工作面的表面粗糙度 Ra 应不超过以下推荐值:

V 带和多楔带轮槽和各种带轮轴孔的表面粗糙度 Ra 不应超过 $3.2\mu\text{m}$ 。

平带轮轮缘, 各种带轮轮缘棱边, 不应超过 $6.3\mu\text{m}$ 。

同步带轮的齿侧和齿顶, 对一般工业传动不应超过 $3.2\mu\text{m}$, 对高性能传动 (如汽车专用传动) 不应超过 $1.6\mu\text{m}$ 。

2) 带轮的平衡按 GB/T 11357—2008 的规定。

2.4 V 带传动设计中应注意的问题

1) V 带通常都是做成无端环带, 为便于安装、调整轴间距和预紧力, 要求轴承的位置能够移动。轴间距的调整范围见表 4.2-8。

2) 多根 V 带传动时, 为避免各根 V 带的载荷分布不均, 带的配组公差应满足表 4.2-5 ~ 表 4.2-7 的规定。若更换带必须全部同时更换。

3) 传动装置中, 各带轮轴线应相互平行, 带轮对应轮槽的对称平面应重合, 其角度偏差不得超过 $\pm 20'$ (见图 4.2-6)。

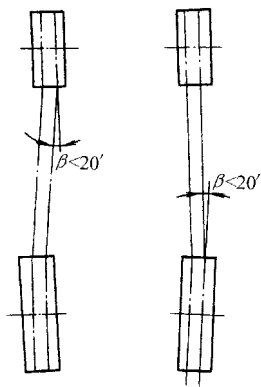


图 4.2-6 带轮装置安装的公差

4) 带传动的张紧方法见表 4.2-63。采用张紧轮的带传动, 可增大小轮包角, 有利于保持带的张紧力, 但会增加带的曲挠次数, 使带的寿命缩短。

2.5 设计实例

设计由电动机驱动旋转式水泵的普通 V 带传动。电动机为 Y160M-4, 额定功率 $P = 11\text{kW}$, 转速 $n_1 = 1460\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, 水泵轴转速 $n_2 = 400\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, 轴间距约为 1500mm , 每天工作 24h 。

(1) 设计功率 P_d 由表 4.2-9 查得工况系数 K_A

$= 1.3$

$$P_d = K_A P = 1.3 \times 11\text{kW} = 14.3\text{kW}$$

(2) 选定带型 根据 $P_d = 14.3\text{kW}$ 和 $n_1 = 1460\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, 由图 4.2-2 确定为 B 型。

(3) 传动比

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1460}{400} = 3.65$$

(4) 小轮基准直径 参考表 4.2-16 和图 4.2-2, 取 $d_{d1} = 140\text{mm}$ 。

大轮基准直径

$$d_{d2} = i d_{d1} (1 - \varepsilon) = 3.65 \times 140 (1 - 0.01)\text{mm} = 505.9\text{mm}$$

由表 4.2-16 取 $d_{d2} = 500\text{mm}$ 。

(5) 水泵轴的实际转速

$$n_2 = \frac{(1 - \varepsilon) n_1 d_{d1}}{d_{d2}} = \frac{(1 - 0.01) 1460 \times 140}{500} \text{r} \cdot \text{min}^{-1} = 404.7\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$$

(6) 带速

$$v = \frac{\pi d_{p1} n_1}{60 \times 1000} = \frac{\pi \times 140 \times 1460}{60 \times 1000} \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = 10.70\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

此处取 $d_{p1} = d_{d1}$ 。

(7) 初定轴间距 按要求取 $a_0 = 1500\text{mm}$ 。

(8) 所需基准长度

$$\begin{aligned} L_{d0} &= 2a_0 + \frac{\pi}{2}(d_{d1} + d_{d2}) + \frac{(d_{d2} - d_{d1})^2}{4a_0} \\ &= \left[2 \times 1500 + \frac{\pi}{2}(140 + 500) + \frac{(500 - 140)^2}{4 \times 1500} \right] \text{mm} \\ &= 4026.9\text{mm} \end{aligned}$$

由表 4.2-4 选取基准长度 $L_d = 4000\text{mm}$ 。

(9) 实际轴间距

$$a \approx a_0 + \frac{L_d - L_{d0}}{2} = \left(1500 + \frac{4000 - 4026.9}{2} \right) \text{mm} = 1487\text{mm}$$

安装时所需最小轴间距

$$a_{\min} = a - (2b_d + 0.009L_d) = [1487 - (2 \times 14 + 0.009 \times 4000)] \text{mm} = 1423\text{mm}$$

张紧或补偿伸长所需最大轴间距

$$\begin{aligned} a_{\max} &= a + 0.02L_d \\ &= (1487 + 0.02 \times 4000) \text{mm} = 1567\text{mm} \end{aligned}$$

(10) 小带轮包角

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{d_{d2} - d_{d1}}{a} \times 57.3^\circ$$

疲劳强度和寿命是设计平带传动的主要依据,而用调整设计参数、采取措施来避免振动,减轻磨损。

3.2 平型传动带的尺寸与公差

平带宽度及其极限偏差和荐用对应的带轮宽度见表 4.2-23。直线度误差在 10m 内不大于 20mm。厚度差不大于平均厚度的 10%。

环形带长度是平带在正常安装力作用下的内周长度,见表 4.2-24。有端平带供货最小长度见表 4.2-25。

表 4.2-23 平带宽度、极限偏差和荐用带轮宽度
(摘自 GB/T4489—2002) (mm)

平带宽度 公称值	平带宽度 极限偏差	荐用对 应轮宽	平带宽度 公称值	平带宽度 极限偏差	荐用对 应轮宽
16	± 2	20	140	± 4	160
20		25	160		180
25		32	180		200
32		40	200		224
40		50	224		250
50		63	250		280
63		71			
71	± 3	80	280	± 5	315
80		90	315		355
90		100	355		400
100		112	400		450
112		125	450		500
125		140	500		560

表 4.2-24 环形带的长度
(摘自 GB/T4489—2002) (mm)

优选系列	500	560	630	710	800	900
第二系列	530	600	670	750	850	
优选系列	1000	1120	1250	1400	1600	
第二系列	950	1060	1180	1320	1500	1700
优选系列	1800	2000	2240	2500	2800	3150
第二系列	1900					

注:如果给出的长度不够用,可按下列原则进行补充:系列两端以外,选用 R20 优先数系中的其他数,2000 ~ 5000mm 相邻长度值之间,选用 R40 数系中的数。

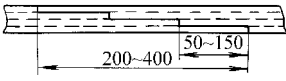
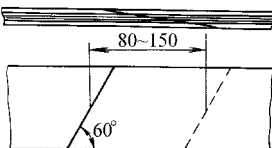
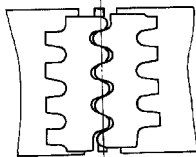
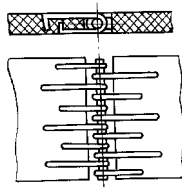
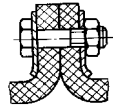
表 4.2-25 有端平带的最小长度
(摘自 GB/T4489—2002)

平带宽度 b/mm	$b \leq 90$	$90 < b \leq 250$	$b > 250$
有端平带最小长度/m	8	15	20

注:供货长度由供求双方协商确定,供货的有端平带可由若干段组成,其偏差范围为 $\pm (0\% \sim 2\%)$ 。

有端平带接头形式见表 4.2-26。

表 4.2-26 平带的接头形式

接头种类	简 图	特点及应用
硫化接头	胶帆布平带硫化接头 	接头平滑、可靠,连接强度高,但连接技术要求高;接头效率 80% ~ 90%
	锦纶片复合平带硫化接头 	用于不需经常改接的高速大功率传动和有张紧轮的传动
机械接头	带扣接头 	连接迅速、方便,其端部被削弱,运转中有冲击;接头效率 85% ~ 90% 用于经常改接的中小功率传动,胶帆布平带扣接头 $v < 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,铁丝钩接头 $v < 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
机械接头	铁丝钩接头 	连接迅速、方便,其端部被削弱,运转中有冲击;接头效率 85% ~ 90% 用于经常改接的中小功率传动,胶帆布平带扣接头 $v < 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,铁丝钩接头 $v < 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
	螺栓接头 	连接方便,接头强度高,只能单面传动;接头效率 30% ~ 65% 用于 $v < 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大功率胶帆布平带传动

3.3 胶帆布平带

3.3.1 规格

胶帆布平带的规格应参考生产厂的产品样本,可参照表 4. 2-27 提供的资料选取。有端平带按所需的长度截取,并将其端部连接起来。其接头形式见表 4. 2-26。

表 4. 2-27 胶帆布平带规格 (mm)

胶帆布层数 <i>z</i>	带厚 ^① <i>δ</i>	宽度范围 <i>b</i>	最小带轮直径 <i>d</i> _{min}	
			推荐	许用
3	3. 6	16 ~ 20	160	112
4	4. 8	20 ~ 315	224	160
5	6	63 ~ 315	280	200
6	7. 2	63 ~ 500	315	224
7	8. 4	200 ~ 500	355	280
8	9. 6		400	315
9	10. 8		450	355
10	12		500	400
11	13. 2	355 ~ 500	560	450
12	14. 4		630	500

宽度系列:

16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500

① 带厚为参考尺寸。

全厚度拉伸强度规格和要求见表 4. 2-28。

表 4. 2-28 全厚度拉伸强度规格和要求

(摘自 GB/T 524—2003)

拉伸强度规格	拉伸强度纵向最小值 /kN · m ⁻¹	拉伸强度横向最小 值/kN · m ⁻¹
190/40	190	75
190/60	190	110
240/40	240	95
240/60	240	140
290/40	290	115
290/60	290	175
340/40	340	130
340/60	340	200
385/60	385	225
425/60	425	250
450	450	
500	500	
560	560	

注:斜线前的数字表示纵向拉伸强度规格(以 kN · m⁻¹ 为单位);斜线后的数字表示横向强度对纵向强度的百分比(简称“横纵强度比”,省略“%”号);没有斜线时,数字表示纵向拉伸强度规格,且其对应的横纵强度比只有 40% 一种。

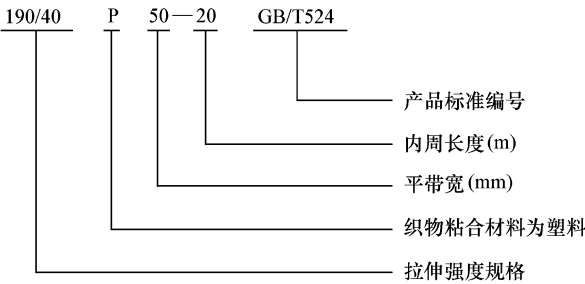
按所采用聚合物不同,平带应在下列环境温度中使用。

除氯丁胶以外的橡胶(普通用途型) - 35 ~ 65℃

氯丁胶 - 27 ~ 65℃

热塑性塑料 0 ~ 50℃

产品标记示例如下(摘自 GB/T 524—2003):



说明: 1. 非环形平带标记中无“内周长度规格”。

2. 织物粘合材料的类型: R—通用橡胶材料, C—氯丁胶材料, P—塑料。

3.3.2 设计计算 (见表 4. 2-29)

表 4. 2-29 胶帆布平带传动的设计计算

序号	计算项目	符号	单位	计算公式和参数选定	说 明
1	选定胶带				
2	小带轮直径	<i>d</i> ₁	mm	$d_1 = (1100 \sim 1350) \sqrt[3]{\frac{P}{n_1}}$ 或 $d_1 = \frac{6000v}{\pi n_1}$	<i>P</i> —传递的功率 (kW) <i>n</i> ₁ —小带轮转速 (r · min ⁻¹) <i>v</i> —带速(m · s ⁻¹),最有利的带速 <i>v</i> = 10 ~ 20m · s ⁻¹ <i>d</i> ₁ 应按表 4. 2-43 选取标准值

(续)

序号	计算项目	符号	单位	计算公式和参数选定	说 明
3	带速	v	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$v = \frac{\pi d_1 n_1}{60 \times 1000} \leq v_{\max}$ 胶帆布平带 $v_{\max} = 30 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	应使带速在最有利的带速范围内, 否则应改变 d_1 值
4	大带轮直径	d_2	mm	$d_2 = id_1 (1 - \varepsilon) = \frac{n_1}{n_2} d_1 (1 - \varepsilon)$ ε 取 0.01 ~ 0.02	n_2 —大带轮转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) ε —弹性滑动率 d_2 应按表 4.2-43 选取标准值
5	轴间距	a	mm	$a = (1.5 \sim 2) (d_1 + d_2)$ 且 $1.5 (d_1 + d_2) \leq a \leq 5 (d_1 + d_2)$	根据结构要求定
6	所需带长	L	mm	开口传动 $L = 2a + \frac{\pi}{2} (d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}$ 交叉传动 $L = 2a + \frac{\pi}{2} (d_1 + d_2) + \frac{(d_2 + d_1)^2}{4a}$ 半交叉传动 $L = 2a + \frac{\pi}{2} (d_1 + d_2) + \frac{d_1^2 + d_2^2}{4a}$	未考虑接头长度
7	小带轮包角	α_1	($^\circ$)	开口传动 $\alpha_1 = 180^\circ - \frac{d_2 - d_1}{a} \times 57.3^\circ \geq 150^\circ$ 交叉传动 $\alpha_1 \approx 180^\circ + \frac{d_2 - d_1}{a} \times 57.3^\circ$ 半交叉传动 $\alpha_1 \approx 180^\circ + \frac{d_1}{a} \times 57.3^\circ$	
8	曲挠次数	y	s^{-1}	$y = \frac{1000mv}{L} \leq y_{\max}$ $y_{\max} = 6 \sim 10$	m —带轮数
9	带厚	δ	mm	$\delta \leq \left(\frac{1}{40} \sim \frac{1}{30} \right) d_1$	按表 4.2-27 选取标准值
10	带的截面积	A	mm^2	$A = \frac{100K_A P}{P_0 K_\alpha K_\beta}$	K_A —工况系数, 查表 4.2-9 P_0 —胶带单位截面所能传递的基本额定功率 ($\text{kW} \cdot \text{cm}^{-2}$), 查表 4.2-30 K_α —包角修正系数, 查表 4.2-31 K_β —传动布置系数, 查表 4.2-32
11	带宽	b	mm	$b = \frac{A}{\delta}$	按表 4.2-23 选取标准值
12	作用在轴上的力	F_r	N	$F_r = 2\sigma_0 A \sin \frac{\alpha_1}{2}$ 推荐 $\sigma_0 = 1.8 \text{MPa}$	σ_0 —一带的预紧应力 (MPa)
13	带轮结构和尺寸				见本章 3.6 节

表 4.2-30 胶帆布平带单位截面传递的基本额定功率 P_0

($\alpha = 180^\circ$ 、载荷平稳、预紧应力 $\sigma_0 = 1.8 \text{MPa}$) (kW · cm⁻²)

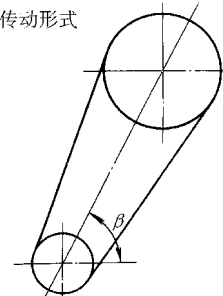
$\frac{d_1}{\delta}$	带 速 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$																				
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30
30	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.0	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	4.0	4.1	4.3	4.3	4.3
35	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.2	2.4	2.5	2.7	2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.7	3.8	4.0	4.1	4.3	4.4	4.4
40	1.1	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.9	4.1	4.3	4.4	4.4	4.5
50	1.2	1.4	1.6	1.8	2.1	2.3	2.5	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4	4.5	4.5	4.6
75	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.6	3.8	3.9	4.1	4.3	4.5	4.6	4.7	4.7
100	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.4	2.5	2.8	2.9	3.2	3.4	3.6	3.7	3.9	4.0	4.1	4.4	4.6	4.7	4.7	4.8

注：本表只适用于 $b < 300 \text{mm}$ 的胶帆布平带。

表 4.2-31 平带传动的包角修正系数 K_α

$\alpha (^{\circ})$	220	210	200	190	180	170
K_α	1.20	1.15	1.10	1.05	1.00	0.97
$\alpha (^{\circ})$	160	150	140	130	120	
K_α	0.94	0.91	0.88	0.85	0.82	

表 4.2-32 传动布置系数 K_β

传动形式 	两轮轴连心线与水平线交角 $\beta (^{\circ})$		
	0 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 90
	K_β		
自动张紧传动	1.0	1.0	1.0
简单开口传动 (定期张紧或改缝)	1.0	0.9	0.8
交叉传动	0.9	0.8	0.7
半交叉传动、有导轮的角度传动	0.8	0.7	0.6

3.4 聚酰胺片基平带 (摘自 GB/T 11063—2003)

聚酰胺 (PA 尼龙) 片基平带强度高, 摩擦因数大, 曲挠性好, 不易松弛, 适用于大功率传动, 薄型的可用于高速传动。

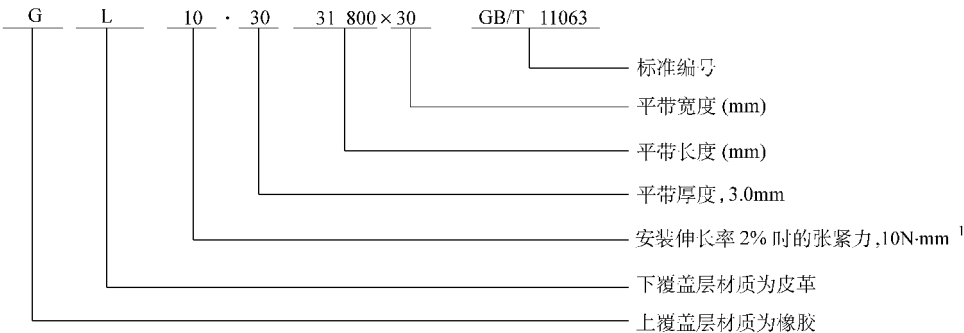


表 4.2-34 聚酰胺片基平带宽度和厚度的极限偏差 (摘自 GB/T 11063—2003) (mm)

宽度		极限偏差
环形平带	$b \leq 60$	± 1
	$60 < b \leq 150$	± 1.5
	$150 < b \leq 520$	± 2

3.4.1 结构

如图 4.2-8 所示, 以聚酰胺为片基, 按其使用和结构不同, 以覆盖层材料分类, GG 系列——上、下覆盖层均为橡胶层, LL 系列——上、下覆盖层均为皮革, GL 系列——上覆盖层为橡胶, 下覆盖层为皮革。

平带内周长度极限偏差 (环带)、宽度和厚度极限偏差见表 4.2-33、表 4.2-34, 拉伸性能见表 4.2-35。

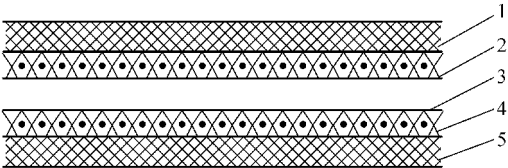


图 4.2-8 平带的结构

1—上覆盖层 2、4—布层 3—片基层
5—下覆盖层

表 4.2-33 聚酰胺片基平带内周长度的极限偏差 (摘自 GB/T 11063—2003) (mm)

内周长度	极限偏差
$L \leq 1000$	± 5
$1000 < L \leq 2000$	± 10
$2000 < L \leq 5000$	$\pm 0.5\%$
$5000 < L \leq 20000$	$\pm 0.3\%$
$20000 < L \leq 125000$	$\pm 0.2\%$

聚酰胺片基平带标记示例如下:

(续)

宽度		极限偏差
非环形平带		$+2\%$ 0
厚度	极限偏差	同卷或同条带极限偏差
< 3.0	± 0.2	± 0.1
≥ 3.0	± 0.3	$\pm 5\%$

表 4.2-35 平带的拉伸性能
(摘自 GB/T 11063—2003)

聚酰胺片基厚度/mm	平带1%定伸应力/MPa ≥	平带拉伸强度/MPa ≥	平带拉伸伸长率(%) ±5	安装伸长率2%时,张紧力/ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$
0.2	16	300	22	4.0
0.5	18	350	22	10.0
0.75	18	350	22	15.0
1.0	18	350	22	20.0
1.5	18	350	22	30.0

3.4.2 设计计算

1) 下面的计算方法参照 GB/T 11063—2003 及有关资料推荐。按带的拉伸强度, GB/T 11063—2003 规定有 3 种平带: L (轻型)、M (普通型)、H (重型)。

根据 GB/T 11063—2003, 由图 4.2-9 选择带型。

2) 小带轮直径 d_1 必须大于规定的 $d_{\min}$, 通常 d_1

$= \frac{60000v}{\pi n_1}$, $v = 10 \sim 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 为宜。

3) 曲挠次数 u 应小于 $u_{\max} = 15 \sim 50$, 小带轮直径大时取高值。

4) 确定带的宽度

$$b = \frac{P_c}{K_\alpha K_\beta P_0}$$

式中 $P_c = K_A P [K_A \text{ 查表 4.2-9, } P \text{ 为传递的功率 (kW)}]$;

P_0 ——单位带宽的基本额定功率 ($\text{kW} \cdot \text{mm}^{-1}$), 见表 4.2-36;

K_α ——包角系数, 查表 4.2-10;

K_β ——传动布置系数, 查表 4.2-32。

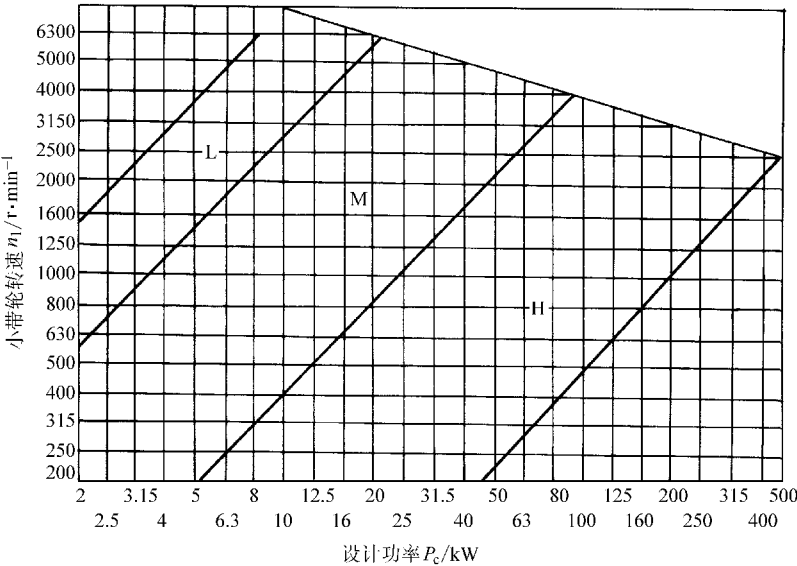


图 4.2-9 聚酰胺片基平带选型图

表 4.2-36 聚酰胺片基平带的基本额定功率 ($\alpha_1 = 180^\circ$, 载荷平稳) ($\text{kW} \cdot \text{mm}^{-1}$)

带型	带速 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$												$d_{\min}$ /mm
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55~60	65	70	
L	0.060	0.089	0.116	0.143	0.166	0.187	0.204	0.219	0.228	0.234	0.230	0.218	45
M	0.105	0.156	0.204	0.249	0.290	0.327	0.357	0.383	0.399	0.410	0.403	0.382	71
H	0.150	0.223	0.291	0.356	0.414	0.467	0.510	0.547	0.570	0.586	0.575	0.546	112

注: 初应力 $\sigma_0 = 3 \text{ MPa}$ 。

3.5 高速带传动

带速 $v > 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、高速轴转速 $n_1 = 10000 \sim 50000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 都属于高速带传动, 带速 $v \geq 100 \text{ m} \cdot$

s^{-1} 称为超高速带传动。

高速带传动通常都是开口的增速传动, 定期张紧时, i 可达到 4; 自动张紧时, i 可达到 6; 采用张紧轮传动时, i 可达到 8。小带轮直径一般取 $d_1 = 20 \sim 40 \text{ mm}$ 。

由于要求传动可靠,运转平稳,并有一定寿命,所以都采用重量轻、厚度薄而均匀、曲挠性好的环形平带,如特制的编织带(麻、丝、锦纶等)、薄型锦纶片复合平带、高速环形胶带等。高速带传动若采用硫化接头时,必须使接头与带的曲挠性能尽量接近。

高速带传动的缺点是带的寿命短,个别结构甚至只有几小时,传动效率亦较低。

3.5.1 规格

高速带规格见表 4.2-37。

标记示例:

聚氨酯高速带,带厚 1mm,宽 25mm,内周长 1120mm:

聚氨酯高速带 1×25×1120

3.5.2 设计计算

高速带传动的设计计算,可参照表 4.2-29 进行。但计算时应考虑下列几点:

1) 小带轮直径可取 $d_1 \geq d_0 + 2\delta_{\min}$ (d_0 ——轴直径; $\delta_{\min}$ ——最小轮缘厚度,通常取 3~5mm)。若带速和安装尺寸允许, d_1 应尽可能选较大值。

2) 带速 v 应小于表 4.2-38 中的 $v_{\max}$ 。

表 4.2-37 高速带规格 (mm)

带宽 b	内周长度 L_i 范围	内周长度系列
20	450~1000	450,480,500,530,560,600
25	450~1500	630,670,710,750,800,850
32	600~2000	900,950,1000,1060,1120,1180
40	710~3000	1250,1320,1400,1500,1600,1700
50	710~3000	1800,1900,2000,2120,2240,2350
60	1000~3000	2500,2650,2800,3000
带厚 δ	0.8,1.0,1.2,1.5,2.0,2.5,(3)	

注:1. 编织带带厚无 0.8mm 和 1.2mm。

2. 括号内的尺寸尽可能不用。

3) 带的曲挠次数 y 应小于表 4.2-38 中的 $y_{\max}$ 。

4) 带厚 δ 可根据 d_1 和表 4.2-38 中的 $\frac{\delta}{d_{\min}}$, 由表

表 4.2-40 传动比系数 K_i

主动轮转速 从动轮转速	$\geq \frac{1}{1.25}$	$< \frac{1}{1.25} \sim \frac{1}{1.7}$	$< \frac{1}{1.7} \sim \frac{1}{2.5}$	$< \frac{1}{2.5} \sim \frac{1}{3.5}$	$< \frac{1}{3.5}$
K_i	1	0.95	0.90	0.85	0.80

表 4.2-41 高速带的许用拉应力 $[\sigma]$

(MPa)

高速带种类	棉、麻、丝 编织带	锦纶编织带	橡胶高速带		聚氨酯高速带	薄型锦纶片 复合平带
			涤纶绳芯	棉绳芯		
$[\sigma]$	3.0	5.0	6.5	4.5	6.5	20

4.2-37 选定。

5) 带宽 b 由下式计算,并选取标准值

$$b = \frac{K_A P}{K_i K_\alpha K_\beta K_i ([\sigma] - \sigma_e) \delta v}$$

式中 P ——传递的功率 (kW);

K_A ——工况系数,查表 4.2-9;

K_i ——拉力计算系数,当 $i=1$ 、带轮为金属材料时:

纤维编织带 0.47

橡胶带 0.67

聚氨酯带 0.79

皮革带 0.72

K_α ——包角修正系数,查表 4.2-39;

K_β ——传动布置系数,查表 4.2-32;

K_i ——传动比系数,查表 4.2-40;

$[\sigma]$ ——带的许用拉应力 (MPa),查表 4.2-41;

σ_e ——带的离心拉应力 (MPa)

$$\sigma_e = \rho v^2$$

ρ ——带的密度 ($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-3}$),查表 4.2-42。

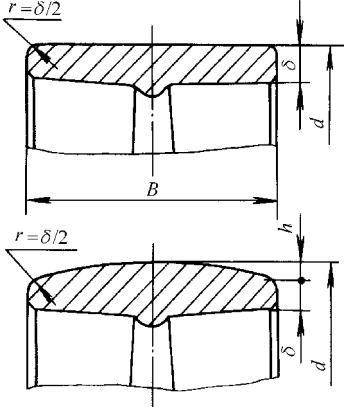
表 4.2-38 高速带传动的 $\frac{\delta}{d_{\min}}$ 、 $v_{\max}$ 和 $y_{\max}$

高速带种类			棉织带	麻、丝、 锦纶 织带	橡胶 高速 带	聚氨酯 高速带	薄型锦 纶片复 合平带	
$\frac{\delta}{d_{\min}}$	推荐	$\leq$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{100}$	
	许用		$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{50}$	
$v_{\max}/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$			40	50	40	50	80	
$\gamma_{\max}/\text{s}^{-1}$			60	60	100	100	50	

表 4.2-39 高速带传动的包角修正系数 K_α

$\alpha (^{\circ})$	220	210	200	190	180	170	160	150
K_α	1.20	1.15	1.10	1.05	1.0	0.95	0.90	0.85

表 4.2-44 平带轮轮缘尺寸 (摘自 GB/T11358—1999) (mm)

	带 宽 b		轮缘宽 B	
	基本尺寸	偏差	基本尺寸	偏差
	16	± 2	20	± 1
	20		25	
	25		32	
	32		40	
	40		50	
	50		63	
	63		71	
	71	± 3	80	± 1.5
	80		90	
	90		100	
	100		112	
	112		125	
	125		140	
	140	± 4	160	± 2
	160		180	
	180		200	
	200		224	
	224		250	
	250		280	
	280	± 5	315	± 3
	315		355	
	355		400	
	400		450	
	450		500	
	500		560	
	560		630	

轮缘厚度 $\delta = 0.005d + 3$
中凸度 h 查表 4.2-45

表 4.2-45 平带轮轮缘的中凸度 (摘自 GB/T11358—1999) (mm)

带轮直径	中凸度 $h_{\min}$
20 ~ 112	0.3
125 ~ 140	0.4
160 ~ 180	0.5
200 ~ 224	0.6
250 ~ 355	0.8
400 ~ 500	1.0
560 ~ 710	1.2
800 ~ 1000	1.2 ~ 1.5 ^①
1120 ~ 1400	1.5 ~ 2.0 ^①
1600 ~ 2000	1.8 ~ 2.5 ^①

① 轮宽 $B > 250\text{mm}$ 时, 取大值。

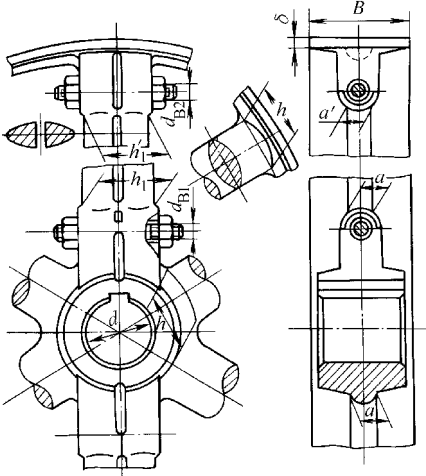


图 4.2-11 剖分式带轮

$d_{B1} = 0.15d + (8 \sim 12) \text{ mm}$ d —轴径 (mm)

$d_{B2} = 0.45\sqrt{B\delta} + 5\text{mm}$

表 4.2-46 带轮动平衡要求

带轮类型	允许重心偏 移量 $e/\mu\text{m}$	精度等级
一般机械带轮 ($n \leq 1000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	50	G6.3
机床小带轮 ($n = 1500\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	15	G2.5
主轴和一般磨头带轮 ($n = 6000 \sim 10000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	3 ~ 5	G2.5
高速磨头带轮 ($n = 15000 \sim 30000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	0.4 ~ 1.2	G1.0
精密磨床主轴带轮 ($n = 15000 \sim 50000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	0.08 ~ 0.25	G0.4

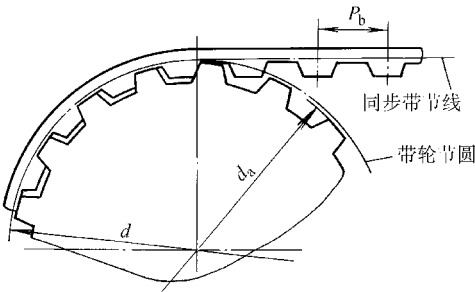


图 4.2-12 同步带传动

4.2 一般传动用同步带的类型和标记

包括梯形齿和圆弧齿的环形一般传动同步带（简称同步带）。其结构见图 4.2-13。其物理性能应符合表 4.2-47 的规定。

4 同步带传动

4.1 同步带传动常用术语（摘自 GB/T 6931.3—2008）

同步带 纵向截面具有等距横向齿的环形传动带（图 4.2-12）

带节距 P_b 在规定的张紧力下带的纵截面上相邻两齿对称中心线的直线距离。

节线 当带垂直其底边弯曲时，在带中保持原长不变的任意一条周线。其长度称为节线长（ L_p ）， L_p 为公称长度。

基准节圆柱面 与带轮同轴的假想圆柱面，在这个圆柱面上，带轮的节距等于带的节距。

节圆 基准节圆柱面与带轮轴线垂直平面的交线。

节径 d 节圆的直径。

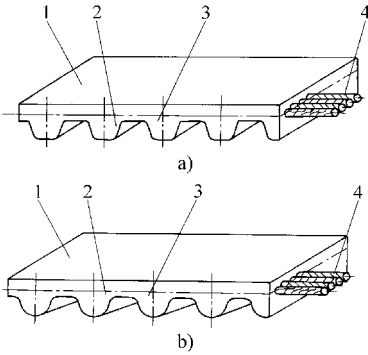


图 4.2-13 同步带结构

（摘自 GB/T13487—2002）

a) 梯形齿 b) 圆弧齿

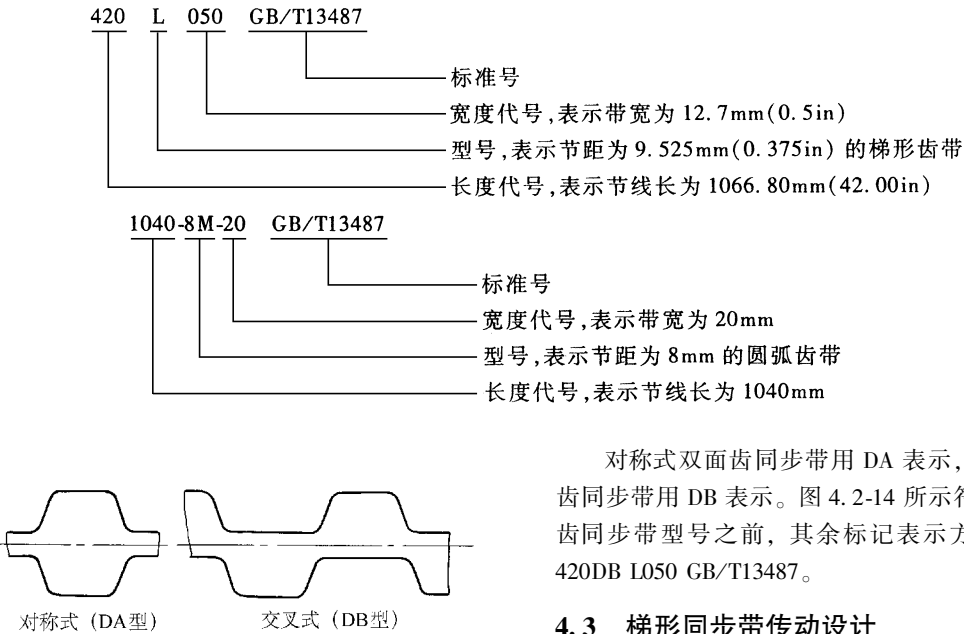
1—带背 2—包布 3—带齿 4—芯绳

表 4.2-47 一般传动用同步带的物理性能（GB/T13487—2002）

项 目	梯 形 齿					圆 弧 齿				
	XL	L	H	XH	XXH	3M	5M	8M	14M	20M
拉伸强度/ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1} \geq$	80	120	270	380	450	90	160	300	400	520
参考力/ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$	60	90	220	300	350	70	130	240	320	410
伸长率（%） $\leq$	4									
带背硬度（邵尔 A 型）	75 ± 5									
包布粘合强度/ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1} \geq$	5	6.5	8	10	12	—	6	10	12	15
芯绳粘合强度/ $\text{N} \geq$	200	380	600	800	1500	—	400	700	1200	1600
齿体剪切强度/ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1} \geq$	50	60	70	75	90	—	50	60	80	100

同步带有单面齿和双面齿两种。

单面齿同步带的规格标记示例：



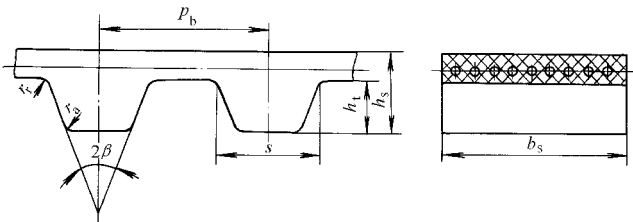
对称式双面齿同步带用 DA 表示,交叉式双面齿同步带用 DB 表示。图 4.2-14 所示符号加在单面齿同步带型号之前,其余标记表示方法不变,如 420DB L050 GB/T13487。

4.3 梯形同步带传动设计

4.3.1 梯形同步带的规格 (见表 4.2-48 ~ 表 4.2-50)

图 4.2-14 双面齿同步带

表 4.2-48 梯形齿标准同步带的齿形尺寸 (摘自 GB/T11616—1989) (mm)



带 型 ^①	节距 p_b	齿形角 2β (°)	齿根厚 s	齿高 h_t	带高 ^② h_s	齿根圆角半径 r_r	齿顶圆角半径 r_a
MXL	2.032	40	1.14	0.51	1.14	0.13	0.13
XXL	3.175	50	1.73	0.76	1.52	0.20	0.30
XL	5.080	50	2.57	1.27	2.3	0.38	0.38
L	9.525	40	4.65	1.91	3.6	0.51	0.51
H	12.700	40	6.12	2.29	4.3	1.02	1.02
XH	22.225	40	12.57	6.35	11.2	1.57	1.19
XXH	31.750	40	19.05	9.53	15.7	2.29	1.52

① 带型即节距代号, MXL—最轻型; XXL—超轻型; XL—特轻型; L—轻型; H—重型; XH—特重型; XXH—超重型。

② 系单面带的带高。

表 4.2-49 梯形齿同步带的节线长系列及极限偏差 (摘自 GB/T11616—1989)

带长 代号	节线长 L_p /mm		节线长上的齿数							带长 代号	节线长 L_p /mm		节线长上的齿数						
	基本 尺寸	极限 偏差	MXL	XXL	XL	L	H	XH	XXH		基本 尺寸	极限 偏差	MXL	XXL	XL	L	H	XH	XXH
36	91.44	± 0.41	45							345	876.30	± 0.66				92	—		
40	101.60		50							360	914.40					—	72		
44	111.76		55	—						367	933.45					98	—		
48	121.92		60	—						390	990.60					104	78		
50	127.00		—	40						420	1066.80	± 0.76				112	84		
56	142.24		70	—						450	1143.00					120	90	—	
60	152.40	± 0.46	75	48	30					480	1219.20					128	96	—	
64	162.56		80	—	—					507	1289.05					—	—	58	
70	177.80		—	56	35					510	1295.40	± 0.81				136	102	—	
72	182.88		90	—	—					540	1371.60					144	108	—	
80	203.20		100	64	40					560	1422.40					—	—	64	
88	223.52		110	—	—					570	1447.80					—	114	—	
90	228.60	± 0.51	125	80	50					600	1524.00	± 0.86				160	120	—	
100	254.00		—	88	55					630	1600.20					—	126	72	
110	279.40		140	—	—					660	1676.40					—	132	—	
112	284.48									700	1778.00						140	80	56
120	304.80	± 0.61	—	96	60	—				750	1905.00	± 0.91					150	—	—
124	314.33		—	—	—	33				770	1955.80						—	88	—
124	314.96		155	—	—	—				800	2032.00						160	—	64
130	330.20		—	104	65	—				840	2133.60	± 0.97					—	96	—
140	355.60		175	112	70	—				850	2159.00						170	—	—
150	381.00		—	120	75	40				900	2286.00						180	—	72
160	406.40	± 0.66	200	128	80	—				980	2489.20	± 1.02					—	112	—
170	431.80		—	—	85	—				1000	2540.00						200	—	80
180	457.20		225	144	90	—				1100	2794.00	± 1.07					220	—	—
187	476.25		—	—	—	50				1120	2844.80						—	128	—
190	482.60		—	—	95	—				1200	3048.00						—	—	96
200	508.00		250	160	100	—				1250	3175.00	± 1.17					250	—	—
210	533.40	± 0.61	—	—	105	56				1260	3200.40						—	144	—
220	558.80		—	176	110	—				1400	3556.00	± 1.22					280	160	112
225	571.50		—	—	60					1540	3911.60						—	176	—
230	584.20					115	—	—		1600	4064.00						—	—	128
240	609.60					120	64	48		1700	4318.00	± 1.37					340	—	—
250	635.00					125	—	—		1750	4445.00						—	200	—
255	647.70	± 0.66				—	68	—		1800	4572.00						—	—	144
260	660.40					130	—	—									—	—	
270	685.80						72	54				± 1.42					—	—	
285	723.90						76	—									—	—	
300	762.00						80	60									—	—	
322	819.15						86	—									—	—	
330	838.20						—	66									—	—	

表 4.2-50 梯形齿同步带宽度 b_s 系列 (mm)

带宽		极限偏差					带 型								
代号	尺寸系列	$L_p < 838.20$	$L_p > 838.20 \sim 1676.40$		$L_p > 1676.40$		MXL	XXL	XL	L	H	XH	XXH		
012	3.0	+0.5 -0.8	—		—		MXL	XXL							
019	4.8														
025	6.4														
031	7.9														
037	9.5														
050	12.7	±0.8	+0.8 -1.3		+0.8 -1.3										
075	19.1														
100	25.4														
150	38.1														
200	50.8	+0.8 ^(H) ① -1.3	±1.3(H)	±0.48	+1.3 ^(H) -1.5	±0.48					H				
300	76.2	+1.3 ^(H) -1.5	±1.5(H)		+1.5 ^(H) -2.0										
400	101.6														
500	127.0	—	—												

① 极限偏差只适用于括号内的带型。

4.3.2 梯形齿同步带的选型和基准额定功率(见图 4.2-15 和表 4.2-51)(摘自 GB/T 11362—2008)

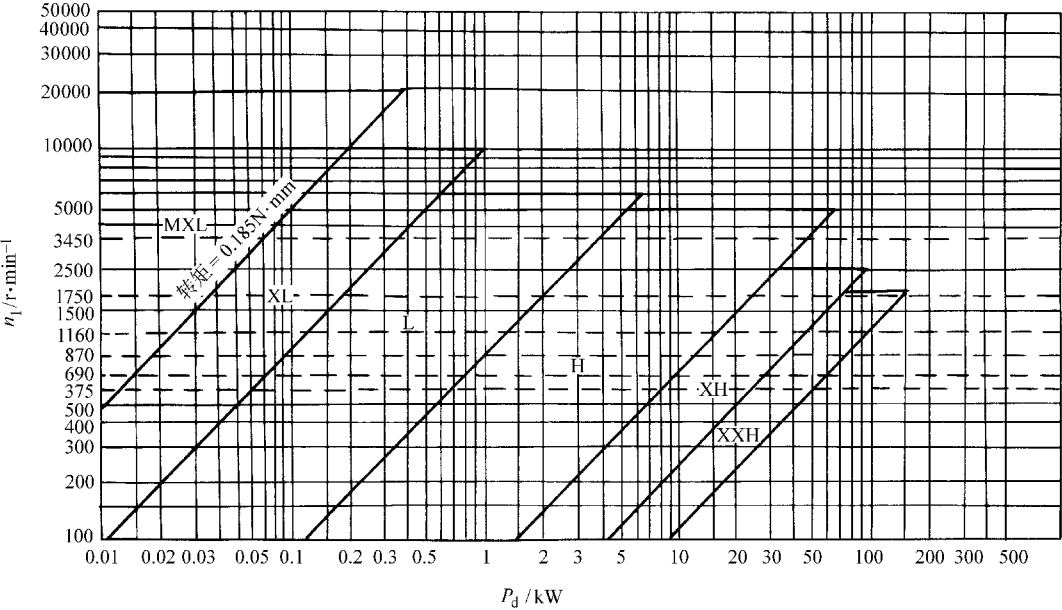


图 4.2-15 梯形齿同步带选型图(摘自 GB/T 11362—2008)

表 4.2-51a XL 型带(节距 5.080mm,基准宽度 9.5mm)基准额定功率 P_0 (kW)

小带轮 转速 n_1 / $r \cdot \min^{-1}$	小带轮齿数和节圆直径/mm									
	10 16.17	12 19.40	14 22.64	16 25.87	18 29.11	20 32.34	22 35.57	24 38.81	28 45.28	30 48.51
950	0.040	0.048	0.057	0.065	0.073	0.081	0.089	0.097	0.113	0.121
1 160	0.049	0.059	0.069	0.079	0.089	0.098	0.108	0.118	0.138	0.147
1 425	—	0.073	0.085	0.097	0.109	0.121	0.133	0.145	0.169	0.181
1 750	—	0.089	0.104	0.119	0.134	0.148	0.163	0.178	0.207	0.221
2 850	—	0.145	0.169	0.193	0.216	0.240	0.263	0.287	0.333	0.355

(续)

小带轮 转速 n_1 / $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	小带轮齿数和节圆直径/mm									
	10 16.17	12 19.40	14 22.64	16 25.87	18 29.11	20 32.34	22 35.57	24 38.81	28 45.28	30 48.51
3 450	—	0.175	0.204	0.232	0.261	0.289	0.317	0.345	0.399	0.425
100	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.009	0.010	0.012	0.013
200	0.009	0.010	0.012	0.014	0.015	0.017	0.019	0.020	0.024	0.026
300	0.013	0.015	0.018	0.020	0.023	0.026	0.028	0.031	0.036	0.038
400	0.017	0.020	0.024	0.027	0.031	0.034	0.037	0.041	0.048	0.051
500	0.021	0.026	0.030	0.034	0.038	0.043	0.047	0.051	0.060	0.064
600	0.026	0.031	0.036	0.041	0.046	0.051	0.056	0.061	0.071	0.076
700	0.030	0.036	0.042	0.048	0.054	0.060	0.065	0.071	0.083	0.089
800	0.034	0.041	0.048	0.054	0.061	0.068	0.075	0.082	0.095	0.102
900	0.038	0.046	0.054	0.061	0.069	0.076	0.084	0.092	0.107	0.115
1 000	0.043	0.051	0.060	0.068	0.076	0.085	0.093	0.102	0.119	0.127
1 100	0.047	0.056	0.065	0.075	0.084	0.093	0.103	0.112	0.131	0.140
1 200	—	0.061	0.071	0.082	0.092	0.102	0.112	0.122	0.142	0.152
1 300	—	0.066	0.077	0.088	0.099	0.110	0.121	0.132	0.154	0.165
1 400	—	0.071	0.083	0.095	0.107	0.119	0.131	0.142	0.166	0.178
1 500	—	0.076	0.089	0.102	0.115	0.127	0.140	0.152	0.178	0.190
1 600	—	0.082	0.095	0.109	0.122	0.136	0.149	0.163	0.189	0.203
1 700	—	0.087	0.101	0.115	0.130	0.144	0.158	0.173	0.201	0.215
1 800	—	0.092	0.107	0.122	0.137	0.152	0.168	0.183	0.213	0.228
2 000	—	0.102	0.119	0.136	0.152	0.169	0.186	0.203	0.236	0.252
2 200	—	0.112	0.131	0.149	0.168	0.186	0.204	0.223	0.259	0.277
2 400	—	0.122	0.142	0.163	0.183	0.203	0.223	0.242	0.282	0.301
2 600	—	0.132	0.154	0.176	0.198	0.219	0.241	0.262	0.304	0.325
2 800	—	0.142	0.166	0.189	0.213	0.236	0.259	0.282	0.327	0.349
3 000	—	0.152	0.178	0.203	0.228	0.252	0.277	0.301	0.349	0.373
3 200	—	0.163	0.189	0.216	0.242	0.269	0.295	0.321	0.371	0.396
3 400	—	0.173	0.201	0.229	0.257	0.285	0.312	0.340	0.393	0.420
3 600	—	0.183	0.213	0.242	0.272	0.301	0.330	0.359	0.415	0.443
3 800	—	—	—	0.256	0.287	0.317	0.348	0.378	0.436	0.465
4 000	—	—	—	0.269	0.301	0.333	0.365	0.396	0.458	0.487
4 200	—	—	—	0.282	0.316	0.349	0.382	0.415	0.478	0.509
4 400	—	—	—	0.295	0.330	0.365	0.400	0.433	0.499	0.531
4 600	—	—	—	0.308	0.345	0.381	0.417	0.452	0.519	0.552
4 800	—	—	—	0.321	0.359	0.396	0.433	0.470	0.539	0.573

表 4.2-51b L 型带(节距 9.525mm, 基准宽度 25.4mm) 基准额定功率 P_0 (kW)

小带轮 转速 n_1 / $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	小带轮齿数和节圆直径/mm														
	12 36.38	14 42.45	16 48.51	18 54.57	20 60.64	22 66.70	24 72.77	26 78.83	28 84.89	30 90.90	32 97.02	36 109.15	40 121.28	44 133.40	48 145.53
725	0.34	0.39	0.45	0.51	0.56	0.62	0.67	0.73	0.78	0.84	0.90	1.01	1.12	1.23	1.33
870	0.40	0.47	0.54	0.61	0.67	0.74	0.81	0.87	0.94	1.01	1.07	1.20	1.33	1.46	1.59
950	0.44	0.52	0.59	0.66	0.73	0.81	0.88	0.95	1.03	1.10	1.17	1.31	1.45	1.59	1.73
1 160	0.54	0.63	0.72	0.81	0.90	0.98	1.07	1.16	1.25	1.33	1.42	1.59	1.76	1.93	2.09
1 425	—	0.77	0.88	0.99	1.10	1.20	1.31	1.42	1.52	1.63	1.73	1.94	2.14	2.34	2.53
1 750	—	0.95	1.08	1.21	1.34	1.47	1.60	1.73	1.86	1.98	2.11	2.35	2.59	2.81	3.03
2 850	—	—	1.73	1.94	2.14	2.34	2.53	2.72	2.90	3.08	3.25	3.57	3.86	4.11	4.33
3 450	—	—	2.08	2.32	2.55	2.78	3.00	3.21	3.40	3.59	3.77	4.09	4.35	4.56	4.69
100	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19
200	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.20	0.22	0.23	0.25	0.28	0.31	0.34	0.37

(续)

小带轮 转速 n_1 / $r \cdot \min^{-1}$	小带轮齿数和节圆直径/mm														
	12 36.38	14 42.45	16 48.51	18 54.57	20 60.64	22 66.70	24 72.77	26 78.83	28 84.89	30 90.90	32 97.02	36 109.15	40 121.28	44 133.40	48 145.53
300	0.14	0.16	0.19	0.21	0.23	0.26	0.28	0.30	0.33	0.35	0.37	0.42	0.47	0.51	0.56
400	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.37	0.40	0.43	0.47	0.50	0.56	0.62	0.68	0.74
500	0.23	0.27	0.31	0.35	0.39	0.43	0.47	0.50	0.54	0.58	0.62	0.70	0.77	0.85	0.93
600	0.28	0.33	0.37	0.42	0.47	0.51	0.56	0.60	0.65	0.70	0.74	0.83	0.93	1.02	1.11
700	0.33	0.38	0.43	0.49	0.54	0.60	0.65	0.70	0.76	0.81	0.87	0.97	1.08	1.18	1.29
800	0.37	0.43	0.50	0.56	0.62	0.68	0.74	0.80	0.86	0.93	0.99	1.11	1.23	1.35	1.47
900	0.42	0.49	0.56	0.63	0.70	0.77	0.83	0.90	0.97	1.04	1.11	1.24	1.38	1.51	1.65
1 000	0.47	0.54	0.62	0.70	0.77	0.85	0.93	1.00	1.08	1.15	1.23	1.38	1.53	1.67	1.82
1 100	0.51	0.60	0.68	0.77	0.85	0.93	1.02	1.10	1.18	1.27	1.35	1.51	1.68	1.83	1.99
1 200	0.56	0.65	0.74	0.83	0.93	1.02	1.11	1.20	1.29	1.38	1.47	1.65	1.82	1.99	2.16
1 300	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.39	1.49	1.59	1.78	1.96	2.15	2.33
1 400	0.65	0.76	0.87	0.97	1.08	1.18	1.29	1.39	1.50	1.60	1.70	1.91	2.11	2.30	2.49
1 500	0.70	0.81	0.93	1.04	1.15	1.27	1.38	1.49	1.60	1.71	1.82	2.04	2.25	2.45	2.65
1 600	0.74	0.87	0.99	1.11	1.23	1.35	1.47	1.59	1.70	1.82	1.94	2.16	2.38	2.60	2.81
1 700	0.79	0.92	1.05	1.18	1.30	1.43	1.56	1.68	1.81	1.93	2.05	2.29	2.52	2.74	2.96
1 800	0.83	0.97	1.11	1.24	1.38	1.51	1.65	1.78	1.91	2.04	2.16	2.41	2.65	2.88	3.11
1 900	0.88	1.03	1.17	1.31	1.45	1.59	1.73	1.87	2.01	2.14	2.27	2.53	2.78	3.02	3.25
2 000	0.93	1.08	1.23	1.38	1.53	1.67	1.82	1.96	2.11	2.25	2.38	2.65	2.91	3.15	3.39
2 200	1.02	1.18	1.35	1.51	1.68	1.83	1.99	2.15	2.30	2.45	2.60	2.88	3.16	3.41	3.65
2 400	1.11	1.29	1.47	1.65	1.82	1.99	2.16	2.33	2.49	2.65	2.81	3.11	3.39	3.65	3.89
2 600	1.20	1.39	1.59	1.78	1.96	2.15	2.33	2.51	2.68	2.85	3.01	3.32	3.61	3.87	4.10
2 800	1.29	1.50	1.70	1.91	2.11	2.30	2.49	2.68	2.86	3.03	3.20	3.52	3.81	4.07	4.29
3 000	1.38	1.60	1.82	2.04	2.25	2.45	2.65	2.85	3.03	3.21	3.39	3.71	4.00	4.24	4.45
3 200	—	1.70	1.94	2.16	2.38	2.60	2.81	3.01	3.20	3.39	3.56	3.89	4.17	4.40	4.58
3 400	—	1.81	2.05	2.29	2.52	2.74	2.96	3.17	3.37	3.55	3.73	4.05	4.32	4.53	4.67
3 600	—	1.91	2.16	2.41	2.65	2.88	3.11	3.32	3.52	3.71	3.89	4.20	4.45	4.63	4.74
3 800	—	2.01	2.27	2.53	2.78	3.02	3.25	3.47	3.67	3.86	4.03	4.33	4.56	4.70	4.76
4 000	—	2.11	2.38	2.65	2.91	3.15	3.39	3.61	3.81	4.00	4.17	4.45	4.65	4.75	4.75
4 200	—	—	2.49	2.77	3.03	3.28	3.52	3.74	3.94	4.13	4.29	4.55	4.71	4.76	4.70
4 400	—	—	2.60	2.88	3.16	3.41	3.65	3.87	4.07	4.24	4.40	4.63	4.75	4.74	4.60
4 600	—	—	2.70	3.00	3.27	3.53	3.77	3.99	4.18	4.35	4.49	4.69	4.76	4.69	4.46
4 800	—	—	2.81	3.11	3.39	3.65	3.89	4.10	4.29	4.45	4.58	4.74	4.75	4.60	4.27

注: 为带轮圆周速度在 $33\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上时的功率值, 设计时带轮用碳素钢或铸钢。表 4.2-51c H 型带 (节距 12.7mm, 基准宽度 76.2mm) 基准额定功率 P_0 (kW)

小带轮 转速 n_1 / $r \cdot \min^{-1}$	小带轮齿数和节圆直径/mm														
	14 56.60	16 64.68	18 72.77	20 80.85	22 88.94	24 97.02	26 105.11	28 113.19	30 121.28	32 129.36	36 145.53	40 161.70	44 177.87	48 194.04	
725	4.51	5.15	5.79	6.43	7.08	7.71	8.35	8.99	9.63	10.26	11.53	12.79	14.05	15.30	
870	5.41	6.18	6.95	7.71	8.48	9.25	10.01	10.77	11.53	12.29	13.80	15.30	16.79	18.26	
950	—	6.74	7.58	8.42	9.26	10.09	10.92	11.75	12.58	13.40	15.04	16.66	18.28	19.87	
1 160	—	8.23	9.25	10.26	11.28	12.29	13.30	14.30	15.30	16.29	18.26	20.21	22.13	24.03	
1 425	—	—	11.33	12.57	18.81	15.04	16.26	17.47	18.68	19.87	22.24	24.56	26.83	29.06	
1 750	—	—	13.88	15.38	16.88	18.36	19.83	21.29	22.73	24.16	26.95	29.67	32.30	34.84	
2 850	—	—	—	24.56	26.84	29.06	31.22	33.33	35.37	37.33	41.04	44.40	47.39	49.96	
3 450	—	—	—	29.29	31.90	34.41	36.82	39.13	41.32	43.38	47.09	50.20	52.64	54.35	
100	0.62	0.71	0.80	0.89	0.98	1.07	1.16	1.24	1.33	1.42	1.60	1.78	1.96	2.13	
200	1.25	1.42	1.60	1.78	1.96	2.13	2.31	2.49	2.67	2.84	3.20	3.56	3.91	4.27	
300	1.87	2.13	2.40	2.67	2.93	3.20	3.47	3.73	4.00	4.27	4.80	5.33	5.86	6.39	
400	2.49	2.84	3.20	3.56	3.91	4.27	4.62	4.97	5.33	5.68	6.39	7.10	7.80	8.51	
500	3.11	3.56	4.00	4.44	4.89	5.33	5.77	6.21	6.66	7.10	7.98	8.86	9.74	10.61	
600	3.73	4.27	4.80	5.33	5.86	6.39	6.92	7.45	7.98	8.51	9.56	10.61	11.66	12.71	
700	4.35	4.97	5.59	6.21	6.83	7.45	8.07	8.68	9.30	9.91	11.14	12.36	13.57	14.78	
800	4.97	5.68	6.39	7.10	7.80	8.51	9.21	9.91	10.61	11.31	12.71	14.09	15.47	16.83	
900	—	6.39	7.19	7.98	8.77	9.56	10.35	11.14	11.92	12.71	14.26	15.81	17.35	18.87	
1 000	—	7.10	7.98	8.86	9.74	10.61	11.49	12.36	13.23	14.09	15.81	17.52	19.20	20.87	
1 100	—	7.80	8.77	9.74	10.70	11.66	12.62	13.57	14.52	15.47	17.35	19.20	21.04	22.85	
1 200	—	8.51	9.56	10.61	11.66	12.71	13.75	14.78	15.81	16.83	18.87	20.87	22.85	24.80	

(续)

小带轮 转速 $n_1 /$ $r \cdot \min^{-1}$	小带轮齿数和节圆直径/mm													
	14 56.60	16 64.68	18 72.77	20 80.85	22 88.94	24 97.02	26 105.11	28 113.19	30 121.28	32 129.36	36 145.53	40 161.70	44 177.87	48 194.04
1 300	—	9.21	10.35	11.49	12.62	13.74	14.87	15.98	17.09	18.19	20.38	22.53	24.64	26.72
1 400	—	9.91	11.14	12.36	13.57	14.78	15.98	17.18	18.36	19.54	21.87	24.16	26.40	28.59
1 500	—	10.61	11.92	13.23	14.52	15.81	17.09	18.36	19.62	20.87	23.34	25.76	28.13	30.43
1 600	—	11.31	12.71	14.09	15.47	16.83	18.19	19.54	20.88	22.20	24.80	27.35	29.82	32.23
1 700	—	12.01	13.49	14.95	16.41	17.85	19.29	20.71	22.12	23.51	26.24	28.90	31.48	33.98
1 800	—	12.71	14.26	15.81	17.35	18.87	20.38	21.87	23.34	24.80	27.66	30.43	33.11	35.68
1 900	—	13.40	15.04	16.66	18.28	19.87	21.46	23.02	24.56	26.08	29.06	31.93	34.69	37.33
2 000	—	14.09	15.81	17.52	19.20	20.87	22.53	24.16	25.76	27.35	30.43	33.40	36.24	38.93
2 100	—	—	16.58	18.36	20.13	21.87	23.59	25.28	26.95	28.59	31.78	34.84	37.74	40.47
2 200	—	—	17.35	19.20	21.04	22.85	24.64	26.40	28.13	29.82	33.11	36.24	39.19	41.96
2 300	—	—	18.11	20.04	21.95	23.83	25.68	27.50	29.29	31.03	34.41	37.60	40.60	43.38
2 400	—	—	18.87	20.87	22.85	24.80	26.72	28.59	30.43	32.23	35.68	38.93	41.96	44.73
2 500	—	—	19.62	21.70	23.75	25.76	27.74	29.67	31.56	33.40	36.92	40.22	43.26	46.02
2 600	—	—	20.38	22.53	24.64	26.72	28.75	30.73	32.67	34.55	38.14	41.47	44.51	47.24
2 800	—	—	21.87	24.16	26.40	28.59	30.73	32.82	34.84	36.79	40.47	43.84	46.84	49.45
3 000	—	—	23.35	25.76	28.13	30.43	32.67	34.84	36.93	38.93	42.67	46.02	48.93	51.35
3 200	—	—	24.80	27.35	29.82	32.23	34.55	36.79	38.93	40.97	44.73	48.01	50.75	52.91
3 400	—	—	26.24	28.90	31.49	33.98	36.38	38.67	40.85	42.91	46.64	49.79	52.30	54.11
3 600	—	—	—	30.43	33.11	35.68	38.14	40.47	42.68	44.73	48.38	51.35	53.55	54.92
3 800	—	—	—	31.93	34.69	37.33	39.84	42.20	44.40	46.43	49.96	52.67	54.49	55.33
4 000	—	—	—	33.40	36.24	38.93	41.47	43.84	46.02	48.01	51.35	53.75	55.10	55.31
4 200	—	—	—	34.84	37.74	40.47	43.03	45.39	47.53	49.45	52.55	54.56	55.37	54.84
4 400	—	—	—	36.24	39.19	41.96	44.51	46.84	48.93	50.75	53.55	55.10	55.27	53.90
4 600	—	—	—	37.60	40.60	43.38	45.92	48.20	50.20	51.91	54.35	55.36	54.78	52.46
4 800	—	—	—	38.93	41.96	44.73	47.24	49.45	51.35	52.91	54.92	55.31	53.90	50.50

注：为带轮圆周速度在 $33\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上时的功率值，设计时带轮用碳素钢或铸钢。

表 4.2-51d XH 型带（节距 22.225mm，基准宽度 101.6mm）基准额定功率 P_0 (kW)

小带轮 转速 $n_1 /$ $r \cdot \min^{-1}$	小带轮齿数和节圆直径/mm						
	22 155.64	24 169.79	26 183.94	28 198.08	30 212.23	32 226.38	40 282.98
575	18.82	20.50	22.17	23.83	25.48	27.13	33.58
585	19.14	20.85	22.55	24.23	25.91	27.58	34.13
690	22.50	24.49	26.47	28.43	30.38	32.30	39.81
725	23.62	25.70	27.77	29.81	31.84	33.85	41.65
870	28.18	30.63	33.05	35.44	37.80	40.13	49.01
950	30.66	33.30	35.91	38.47	41.00	43.47	52.85
1160	37.02	40.13	43.17	46.13	49.01	51.81	62.06
1425	44.70	48.28	51.73	55.05	58.22	61.24	71.52
1 750	53.44	57.40	61.40	64.62	62.83	70.74	79.12
2 850	—	78.45	80.45	81.36	81.10	79.57	—
3 450	—	81.37	80.10	78.90	71.62	64.10	—
100	3.30	3.60	3.90	4.20	4.50	4.80	5.99
200	6.59	7.19	7.79	8.39	8.98	9.58	11.96
300	9.88	10.77	11.66	12.55	13.44	14.33	17.87
400	13.15	14.33	15.51	16.69	17.87	19.04	23.69
500	16.40	17.87	19.33	20.79	22.24	23.69	29.39
600	19.62	21.37	23.11	24.84	26.56	28.26	34.95
700	22.82	24.84	26.84	28.83	30.80	32.75	40.34
800	25.99	28.26	30.52	32.75	34.95	37.13	45.52
900	29.11	31.64	34.13	36.59	39.01	41.39	50.47
1 000	32.19	34.95	37.67	40.34	42.96	45.52	55.17
1 100	35.23	38.21	41.13	43.99	46.78	49.50	59.57
1 200	38.21	41.39	44.50	47.53	50.47	53.32	63.65

(续)

小带轮 转速 n_1 /r·min ⁻¹	小带轮齿数和节圆直径/mm						
	22 155.64	24 169.79	26 183.94	28 198.08	30 212.23	32 226.38	40 282.98
1 300	41.13	44.50	47.78	50.95	54.02	56.96	67.39
1 400	43.99	47.53	50.96	54.25	57.40	60.41	70.74
1 500	46.78	50.47	54.02	57.40	60.62	63.65	73.70
1 600	49.50	53.32	56.96	60.41	63.65	66.67	76.22
1 700	52.15	56.07	59.78	63.26	66.48	69.45	78.27
1 800	54.71	58.71	62.46	65.93	69.11	71.98	79.84
1 900	57.18	61.24	65.00	68.43	71.52	74.24	80.88
2 000	59.57	63.65	67.39	70.74	73.70	76.22	81.37
2 100	61.85	65.94	69.61	72.85	75.63	77.90	81.28
2 200	64.04	68.09	71.67	74.76	77.30	79.27	80.59
2 300	66.12	70.10	73.56	76.44	78.71	80.32	79.26
2 400	68.09	71.98	75.26	77.90	79.84	81.02	77.26
2 500	—	73.70	76.78	79.12	80.67	81.37	74.56
2 600	—	75.26	78.09	80.09	81.19	81.35	71.15
2 800	—	77.90	80.09	81.24	81.28	80.13	—
3 000	—	79.84	81.19	81.28	80.00	77.26	—
3 200	—	81.02	81.35	80.13	77.26	72.60	—
3 400	—	81.41	80.48	77.11	72.95	66.05	—
3 600	—	80.94	78.24	73.94	66.98	—	—

注：□为带轮圆周速度在 $33\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上时的功率值，设计时带轮用碳素钢或铸钢。

表 4.2-51e XXH 型带(节距 31.75mm, 基准宽度 127mm) 基准额定功率 P_0 (kW)

小带轮 转速 n_1 /r·min ⁻¹	小带轮齿数和节圆直径/mm					
	22 222.34	24 242.55	26 262.76	30 303.19	34 343.62	40 404.25
575	42.09	45.76	49.39	56.52	63.45	73.41
585	42.79	46.52	50.21	57.44	64.46	74.53
690	50.11	54.40	58.62	66.83	74.70	85.74
725	52.51	56.98	61.36	69.87	77.97	89.25
870	62.23	67.36	72.34	81.85	90.66	102.38
950	67.41	72.85	78.10	88.01	97.01	108.55
1160	80.31	86.35	92.06	102.38	111.05	120.49
1425	94.85	101.13	106.80	116.11	122.36	125.12
1 750	109.43	115.05	119.53	124.72	124.25	111.30
100	7.44	8.122	8.80	10.15	11.50	13.52
200	14.87	16.21	17.55	20.23	22.91	26.90
300	22.24	24.24	26.23	30.20	34.14	39.99
400	29.54	32.18	34.80	39.99	45.12	52.67
500	36.75	39.99	43.21	49.55	55.76	64.78
600	43.85	47.66	51.42	58.80	65.96	76.19
700	50.80	55.14	59.41	67.70	75.64	86.75
800	57.59	62.41	67.12	76.19	84.72	96.33
900	64.19	69.44	74.53	84.20	93.10	104.78
1 000	70.58	76.19	81.58	91.67	100.71	111.97
1 100	76.74	82.64	88.26	98.56	107.45	117.75
1 200	82.64	88.75	94.50	104.79	113.25	121.98
1 300	88.26	94.50	100.28	110.30	118.00	124.53
1 400	93.57	99.86	105.56	115.05	121.63	125.24
1 500	98.56	104.78	110.30	118.96	124.06	123.99
1 600	103.19	109.26	114.46	121.98	125.18	120.62
1 700	107.45	113.24	118.00	124.06	124.93	115.00
1 800	111.31	116.71	120.88	125.12	123.20	106.99

注：□为带轮圆周速度在 $33\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上时的功率值，设计时带轮用碳素钢或铸钢。

4.3.3 梯形齿同步带传动设计方法(见表 4.2-52)

表 4.2-52 梯形齿同步带传动设计方法(摘自 GB/T 11362—2008)

计算项目	代号	公式及数据	单位	说 明
设计功率	P_d	$P_d = K_A P$	kW	K_A —载荷修正系数,见表 4.2-53 P —需传递的功率
带型	MXL XXL XL L H XH XXH	根据 P_d 和 n_1 由图 4.2-15 选择 n_1 —小带轮转速($r \cdot \min^{-1}$)		当选择的带型与相邻带型较接近时,将两种带型作平行设计,择优选用
节距	P_b	具体带型对应的节距	mm	见表 4.2-51
小带轮齿数	z_1	按 GB/T 11361 选取,应使 $z_1 \geq z_{\min}$, $z_{\min}$ 见表 4.2-54		
大带轮齿数	z_2	$z_2 = iz_1$		i 为传动比;计算结果按 GB/T 11361 圆整(见注 1)
小带轮节径	d_1	$d_1 = P_b z_1 / \pi$	mm	
大带轮节径	d_2	$d_2 = P_b z_2 / \pi$	mm	
带速	v	$v = \frac{\pi d_1 n_1}{60000} = \frac{\omega P_b z_1 10^{-3}}{2\pi} < v_{\max}$	$m \cdot s^{-1}$	$v_{\max}$ 见注 2
节线长	L_p	$L_p = 2a_0 \cos \phi + \frac{\pi(d_2 + d_1)}{2} + \frac{\pi\phi(d_2 - d_1)}{180}$ 按 GB/T 11616 表 4.2-49 选择最接近的标准带长	mm	a_0 —初定中心距(mm); $\phi = \arcsin\left(\frac{d_2 - d_1}{2a}\right)$
计算中心距 a) 近似公式 b) 精确公式	a	$a \approx M + \sqrt{M^2 - \frac{1}{8} \left[\frac{P_b(z_2 - z_1)}{\pi} \right]^2}$ $a = \frac{P_b(z_2 - z_1)}{2\pi \cos \theta}$ $\text{inv} \theta = \pi \frac{z_b - z_2}{z_2 - z_1}$ $\text{inv} \theta = \tan \theta - \theta$	mm	$M = \frac{P_b}{8}(2z_b - z_1 - z_2)$ z_b —一带的齿数 z_2/z_1 较大时,采用方法 b) z_2/z_1 接近 1 时,采用方法 a) θ (见注 3 图)的数值可用逐步逼近法或查渐开线函数表来确定
小带轮 啮合齿数	z_m	$z_m = \text{ent} \left[\frac{z_1}{2} - \frac{P_b z_1}{2\pi^2 a} (z_2 - z_1) \right]$		$\text{ent}[\]$ —取括号内的整数部分
基准额定功率 (XL~XXH 型, $z_m \geq 6$ 时)	P_0	$P_0 = \frac{(T_a - mv^2)v}{1000}$ 表 4.2-51 给出了 XL~XXH 型带的基准额定功率值	kW	T_a —带宽 b_{s0} 的许用工作拉力(N)(见表 4.2-56); b_{s0} —带的基准宽度(见表 4.2-51 或表 4.2-55)(mm); m —带宽 b_{s0} 的单位长度的质量(见表 4.2-56)($kg \cdot m^{-1}$); v —带的速度($m \cdot s^{-1}$)
啮合齿数 系数	K_Z	$z_m \geq 6$ 时, $K_Z = 1$; $z_m < 6$ 时, $K_Z = 1 - 0.2(6 - z_m)$		
额定功率	P_r	$P_r = \left(K_Z K_W T_a - \frac{b_s m v^2}{b_{s0}} \right) \times v \times 10^{-3}$ $P_r \approx K_Z K_W P_0$	kW	K_W —宽度系数; $K_W = \left(\frac{b_s}{b_{s0}} \right)^{1.14}$

(续)

计算项目	代号	公式及数据	单位	说 明
带宽	b_s	根据设计要求, $P_d \leq P_r$ 故带宽 $b_s \geq b_{d0} \left(\frac{P_d}{K_Z P_0} \right)^{1/1.14}$	mm	b_{d0} 见表 4.2-55 计算结果按 GB/T 11616 确定带宽。一般应使 $b_s < d_1$
验算工作能力	P	$P_r = \left(K_Z K_W T_a - \frac{b_s m v^2}{b_{s0}} \right) \times v \times 10^{-3} > P_d$ 时, 传递能力足够	kW	T_a 和 m 查表 4.2-56 $v = \frac{P_d d_1 n_1}{60000}$

- 注:1. GB/T 11361—2008 推荐梯形带轮齿数:10~20(取整数)、(21)、22、(23)、(24)、25、(26)、(27)、28、(30)、32、36、40、48、60、72、84、96、120、156,括号内的尺寸尽量不采用(参见表 4.2-59)。
2. GB/T 11362—2008 规定同步带允许最大线速度 $v_{\max}$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$): MXL、XXL、XL 型带—40~50, L、H 型带—35~40, XH、XXH 型带—25~30。
3. 计算辅助角 θ 的公式

$$\text{inv} \theta = \pi \frac{z_b - z_2}{z_2 - z_1}$$

式中 $\text{inv} \theta = \tan \theta - \theta$, θ (见下图) 的数值可用逐步逼近法或查渐开线函数表来确定。

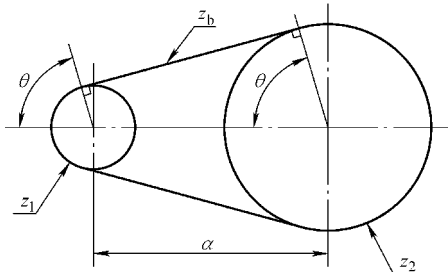


表 4.2-53 载荷修正系数 K_A (GB/T11362—2008, JB/T7512.3—1994 综合)

工 作 机	原 动 机					
	交流电动机(普通转矩笼型、同步电动机), 直流电动机(并励), 多缸内燃机			交流电动机(大转矩、大滑差率、单相、滑环), 直流电动机(复励、串励), 单缸内燃机		
	运 转 时 间			运 转 时 间		
	断续使用 每 日 3~5h	普通使用 每 日 8~10h	连续使用 每 日 16~24h	断续使用 每 日 3~5h	普通使用 每 日 8~10h	连续使用 每 日 16~24h
	K_A					
复印机、计算机、医疗器械	1.0	1.2	1.4	1.2	1.4	1.6
清扫机、缝纫机、办公机械、带锯盘	1.2	1.4	1.6	1.4	1.6	1.8
轻载荷传送带、包装机、筛子	1.3	1.5	1.7	1.5	1.7	1.9
液体搅拌机、圆形带锯、平碾盘、洗涤机、造纸机、印刷机械	1.4	1.6	1.8	1.6	1.8	2.0
搅拌机(水泥、粘性体)、带式输送机(矿石、煤、砂)、牛头刨床、中挖掘机、离心压缩机、振动筛、纺织机械(整经机、绕线机)、回转压缩机、往复式发动机	1.5	1.7	1.9	1.7	1.9	2.1
输送机(盘式、吊式、升降式) 抽水泵、洗涤机、鼓风机(离心式、引风、排风)、发动机、激励机、卷扬机、起重机、橡胶加工机(压延、滚轧压出机)、纺织机械(纺纱、精纺、捻纱机、绕纱机)	1.6	1.8	2.0	1.8	2.0	2.2
离心分离器、输送机(货物、螺旋)、锤击式粉碎机、造纸机(碎浆)	1.7	1.9	2.1	1.9	2.1	2.3
陶土机械(硅、粘土搅拌)、矿山用混料机、强制送风机	1.8	2.0	2.2	2.0	2.2	2.4

注:1. 当增速传动时,将下列系数加到载荷修正系数 K_A 中去:

增速比	1.00~1.24	1.25~1.74	1.75~2.49	2.50~3.49	≥ 3.50
系 数	0	0.1	0.2	0.3	0.4

2. 当使用张紧轮时,还要将下列系数加到载荷修正系数 K_A 中去:

张紧轮的位置	松边内侧	松边外侧	紧边内侧	紧边外侧
系 数	0	0.1	0.1	0.2

3. 对带型为 14M 和 20M 的传动,当 $n_1 \leq 600 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,应追加系数(加进 K_A 中)

$n_1 / \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	≤ 200	201 ~ 400	401 ~ 600
K_A 增加值	0.3	0.2	0.1

4. 对频繁正反转、严重冲击、紧急停机等非正常传动,视具体情况修正 K_A

表 4.2-54 小带轮的最小齿数 $z_{\min}$ (摘自 GB/T11362—2008)

小带轮转速 $n_1 / \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	带 型						
	MXL	XXL	XL	L	H	XH	XXH
<900			10	12	14	22	22
$\geq 900 \sim 1200$	12	12	10	12	16	24	24
$\geq 1200 \sim 1800$	14	14	12	14	18	26	26
$\geq 1800 \sim 3600$	16	16	12	16	20	30	—
$\geq 3600 \sim 4800$	18	18	15	18	22	—	—

表 4.2-55 同步带的基准宽度 b_{so} (摘自 GB/T11362—2008) (mm)

带 型	MXL	XXL	XL	L	H	XH	XXH
b_{so}	6.4		9.5	25.4	76.2	101.6	127.0

表 4.2-56 基准宽度同步带的许用工作拉力 T_a 和单位长度的质量 m

带 型	MXL	XXL	XL	L	H	XH	XXH
T_a / N	27	31	50.17	244.46	2100.85	4048.90	6398.03
$m / \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	0.007	0.01	0.022	0.095	0.448	1.484	2.473

4.3.4 梯形齿同步带带轮

同步带轮的齿形一般推荐采用渐开线齿形,并由渐开线齿形带轮刀具用展成法加工而成,因此齿形尺寸取决于其加工刀具的尺寸。表 4.2-57 给出了加工渐开线齿形的齿条刀具尺寸和公差。也可以使用直边齿形,表 4.2-58 给出了直边齿带轮的尺寸和公差。

标准同步带轮的直径见表 4.2-59,带轮宽度见表 4.2-60,带轮的挡圈尺寸见表 4.2-61。

带轮的公差和表面粗糙度见表 4.2-62,同步带传动安装要求见图 4.2-16。

带轮的结构形式参看本章 2.3.3 节。

带轮在安装时,必须注意带轮轴线的平行度,使各带轮的传动中心平面位于同一平面内,防止因带轮偏斜而使带侧压紧在挡圈上,造成带侧面磨损加剧,甚至带被挡圈切断。偏斜角 θ_m (图 4.2-16) 的允许最大值是:

带宽 (mm)	$\tan \theta_m$ 允许最大值
≤ 25.4	$\leq 6/1000$
38.1 ~ 50.8	$\leq 4.5/1000$
≥ 76.2	$\leq 3/1000$

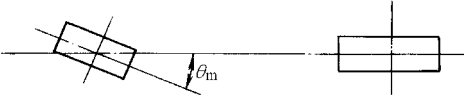
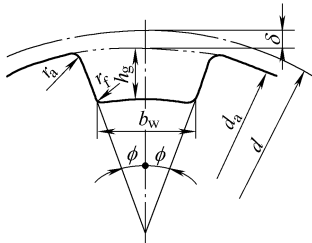


图 4.2-16 带轮安装要求

表 4.2-57 渐开线齿形带轮加工刀具一齿条的尺寸和公差 (摘自 GB/T 11361—2008) (mm)

项 目	槽 型						
	MXL	XXL	XL	L	H	XH	XXH
带轮齿数	10 ~ 23 ≥ 24	≥ 10	≥ 10	≥ 10	14 ~ 19 ≥ 20	≥ 18	≥ 18
节距 $p_b \pm 0.003$	2.032	3.175	5.080	9.525	12.700	22.225	31.750
齿形角 $A \pm 0.12^\circ$	28 20	25	25	20	20	20	20
齿高 $h_r \pm 0.05$	0.64	0.84	1.40	2.13	2.59	6.88	10.29
齿顶厚 $b_g^{+0.05}_0$	0.61 0.67	0.96	1.27	3.10	4.24	7.59	11.61
齿顶圆角半径 $r_1 \pm 0.03$	0.30	0.30	0.61	0.86	1.47	2.01	2.69
齿根圆角半径 $r_2 \pm 0.03$	0.23	0.28	0.61	0.53	1.04 1.42	1.93	2.82
两倍节根距 $2a$	0.508	0.508	0.508	0.762	1.372	2.794	3.048

表 4.2-58 直边齿带轮的尺寸和极限偏差（摘自 GB/T11361—2008）（mm）



项 目	符 号	槽 型						
		MXL	XXL	XL	L	H	XH	XXH
齿槽底宽	b_w	0.84 ± 0.05	$0.96^{+0.05}_0$	1.32 ± 0.05	3.05 ± 0.10	4.19 ± 0.13	7.90 ± 0.15	12.17 ± 0.18
齿高	h_g	$0.69^{+0.05}_0$	$0.84^{+0.05}_0$	$1.65^{+0.08}_0$	$2.67^{+0.10}_0$	$3.05^{+0.13}_0$	$7.14^{+0.13}_0$	$10.31^{+0.13}_0$
槽半角	$\phi \pm 1.5^\circ$	20	25	25	20	20	20	20
齿根圆角半径	r_f	0.25	0.35	0.41	1.19	1.60	1.98	3.96
齿顶圆角半径	r_a	$0.13^{+0.05}_0$	0.30 ± 0.05	$0.64^{+0.05}_0$	$1.17^{+0.13}_0$	$1.60^{+0.13}_0$	$2.39^{+0.13}_0$	$3.18^{+0.13}_0$
两倍节顶距	2δ	0.508	0.508	0.508	0.762	1.372	2.794	3.048
外圆直径	d_a	$d_a = d - 2\delta$						
外圆节距	p_a	$p_a = \frac{\pi d_a}{z}$ (z —带轮齿数)						
根圆直径	d_f	$d_f = d_a - 2h_g$						

表 4.2-59 标准同步带轮的直径（摘自 GB/T11361—2008）（mm）

带轮齿数 $z_{1,2}$	标 准 直 径													
	MXL		XXL		XL		L		H		XH		XXH	
	d	d_a	d	d_a	d	d_a	d	d_a	d	d_a	d	d_a	d	d_a
10	6.47	5.96	10.11	9.60	16.17	15.66								
11	7.11	6.61	11.12	10.61	17.79	17.28								
12	7.76	7.25	12.13	11.62	19.40	18.90	36.38	35.62						
13	8.41	7.90	13.14	12.63	21.02	20.51	39.41	38.65						
14	9.06	8.55	14.15	13.64	22.64	22.13	42.45	41.69	56.60	55.23				
15	9.70	9.19	15.16	14.65	24.26	23.75	45.48	44.72	60.64	59.27				
16	10.35	9.84	16.17	15.66	25.87	25.36	48.51	47.75	64.68	63.31				
17	11.00	10.49	17.18	16.67	27.49	26.98	51.54	50.78	68.72	67.35				
18	11.64	11.13	18.19	17.68	29.11	28.60	54.57	53.81	72.77	71.39	127.34	124.55	181.91	178.86
19	12.29	11.78	19.20	18.69	30.72	30.22	57.61	56.84	76.81	75.44	134.41	131.62	192.02	188.97
20	12.94	12.43	20.21	19.70	32.34	31.83	60.64	59.88	80.85	79.48	141.49	138.69	202.13	199.08
(21)	13.58	13.07	21.22	20.72	33.96	33.45	63.67	62.91	84.89	83.52	148.56	145.77	212.23	209.18
22	14.23	13.72	22.23	21.73	35.57	35.07	66.70	65.94	88.94	87.56	155.64	152.84	222.34	219.29
(23)	14.88	14.37	23.24	22.74	37.19	36.68	69.73	68.97	92.98	91.61	162.71	159.92	232.45	229.40
(24)	15.52	15.02	24.26	23.75	38.81	38.30	72.77	72.00	97.02	95.65	169.79	166.99	242.55	239.50
25	16.17	15.66	25.27	24.76	40.43	39.92	75.80	75.04	101.06	99.69	176.86	174.07	252.66	249.61
(26)	16.82	16.31	26.28	25.77	42.04	41.53	78.83	78.07	105.11	103.73	183.94	181.14	262.76	259.72
(27)	17.46	16.96	27.29	26.78	43.66	43.15	81.86	81.10	109.15	107.78	191.01	188.22	272.87	269.82
28	18.11	17.60	28.30	27.79	45.28	44.77	84.89	84.13	113.19	111.82	198.08	195.29	282.98	279.93
(30)	19.40	18.90	30.32	29.81	48.51	48.00	90.96	90.20	121.28	119.90	212.23	209.44	303.19	300.14
32	20.70	20.19	32.34	31.83	51.74	51.24	97.02	96.26	129.36	127.99	226.38	223.59	323.40	320.35
36	23.29	22.78	36.38	35.87	58.21	57.70	109.15	108.39	145.53	144.16	254.68	251.89	363.83	360.78
40	25.37	25.36	40.43	39.92	64.68	64.17	121.28	120.51	161.70	160.33	282.98	280.18	404.25	401.21
48	31.05	30.54	48.51	48.00	77.62	77.11	145.53	144.77	194.04	192.67	339.57	336.78	485.10	482.06
60	38.81	38.30	60.64	60.13	97.02	96.51	181.91	181.15	242.55	241.18	424.47	421.67	606.38	603.33
72	46.57	46.06	72.77	72.26	116.43	115.92	218.30	217.53	291.06	289.69	509.36	506.57	727.66	724.61
84							254.68	253.92	339.57	338.20	594.25	591.46	848.93	845.88
96							291.06	290.30	388.08	386.71	679.15	676.35	970.21	967.16
120							363.83	363.07	483.73	482.36	848.93	846.14	1212.76	1209.71
156									630.64	629.26				

注：括号中的齿数为非优先的直径尺寸。

表 4.2-60 同步带轮的宽度（摘自 GB/T11361—2008）（mm）



--	--

(续)

槽型	轮宽		带轮的最小宽度 b_f		槽型	轮宽		带轮的最小宽度 b_f	
	代号	基本尺寸	双边挡圈	无挡圈		代号	基本尺寸	双边挡圈	无挡圈
MXL XXL	012	3.2	3.8	5.6	H	075	19.1	20.3	24.8
	019	4.8	5.3	7.1		100	25.4	26.7	31.2
	025	6.4	7.1	8.9		150	38.1	39.4	43.9
XL	025	6.4	7.1	8.9		200	50.8	52.8	57.3
	031	7.9	8.6	10.4		300	76.2	79.0	83.5
	037	9.5	10.4	12.2	XH	200	50.8	56.6	62.6
L	050	12.7	14.0	17.0		300	76.2	83.8	89.8
	075	19.1	20.3	23.3		400	101.6	110.7	116.7
	100	25.4	26.7	29.7	XXH	200	50.8	56.6	64.1
						300	76.2	83.8	91.3
						400	101.6	110.7	118.2
						500	127.0	137.7	145.2

表 4.2-61 同步带轮的挡圈尺寸 (摘自 GB/T11361—2008)

	带型	MXL	XXL	XL	L	H	XH	XXH
	$K_{\min}$	0.5	0.8	1.0	1.5	2.0	4.8	6.1
	t (参考)	0.5 ~ 1.0	0.5 ~ 1.5	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 2.0	1.5 ~ 2.5	4.0 ~ 5.0	5.0 ~ 6.5
	d_o —带轮外径 (mm) d_w —挡圈弯曲处直径 (mm), $d_w = (d_o + 0.38) \pm 0.25$ $K_{\min}$ —挡圈最小高度 (mm)							

- 注: 1. 一般小带轮均装双边挡圈, 或大、小轮的不同侧各装单边挡圈。
2. 轴间距 $a > 8d_1$ (d_1 —小带轮节径), 两轮均装双边挡圈。
3. 轮轴垂直水平面时, 两轮均应装双边挡圈; 或至少主动轮装双边挡圈, 从动轮下侧装单边挡圈。

表 4.2-62 同步带轮的公差和表面粗糙度 (摘自 GB/T11361—2008) (mm)

项 目		符号	带 轮 外 径 d_a								
			≤ 25.4	> 25.4 ~ 50.8	> 50.8 ~ 101.6	> 101.6 ~ 177.8	> 177.8 ~ 304.8	> 304.8 ~ 508	> 508 ~ 762	> 762 ~ 1016	> 1016
外径极限偏差		Δd_a	$+0.05$ 0	$+0.08$ 0	$+0.10$ 0	$+0.13$ 0	$+0.15$ 0	$+0.18$ 0	$+0.20$ 0	$+0.23$ 0	$+0.25$ 0
节距偏差	任意两相邻齿	Δp	± 0.03								
	90°弧内累积	Δp_{Σ}	± 0.05	± 0.08	± 0.10	± 0.13	± 0.15			± 0.18	± 0.20
外圆径向圆跳动公差		δt_2	0.13					$0.13 + (d_a - 203.2) \times 0.0005$			
端面轴向圆跳动公差		δt_1	0.10			$0.001d_a$			$0.25 + (d_a - 254.0) \times 0.0005$		
轮齿与轴孔平行度公差			$< 0.001B$ (B —轮宽, $B < 10\text{mm}$ 时, 按 10mm 计算)								
外圆锥度			$< 0.001B$ ($B < 10\text{mm}$ 时, 按 10mm 计算)								
轴孔直径极限偏差		Δd_0	H7 或 H8								
外圆、齿面的表面粗糙度			$Ra3.2 \sim 6.3$								

4.3.5 设计实例

例 设计精密车床的梯形齿同步带传动。电动机为 Y112M4, 其额定功率 $P = 4\text{kW}$, 额定转速 $n_1 = 1440\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, 传动比 $i = 2.4$ (减速), 轴间距约为 450mm。每天两班制工作 (按 16h 计)。

解 1) 设计功率 P_d 由表 4.2-53 查得 $K_A = 1.6$

$$P_d = K_A P = 1.6 \times 4\text{kW} = 6.4\text{kW}$$

2) 选定带型和节距 根据 $P_d = 6.4\text{kW}$ 和 $n_1 =$

$1440\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, 由图 4.2-15 确定为

H 型, 节距 $p_b = 12.7\text{mm}$

3) 小带轮齿数 z_1 根据带型 H 和小带轮转速 n_1 , 由表 4.2-54 查得小带轮的最小齿数 $z_{1\min} = 18$, 此处取 $z_1 = 20$ 。

4) 小带轮节圆直径 d_1

$$d_1 = \frac{z_1 p_b}{\pi} = \frac{20 \times 12.7}{\pi} \text{mm} = 80.85\text{mm}$$

由表 4.2-58 查得其外径 $d_{a1} = d_1 - 2\delta = (80.85$

$-1.37) \text{ mm} = 79.48 \text{ mm}$ 。

5) 大带轮齿数 z_2

$$z_2 = iz_1 = 2.4 \times 20 = 48$$

6) 大带轮节圆直径 d_2

$$d_2 = \frac{z_2 p_b}{\pi} = \frac{48 \times 12.7}{\pi} \text{ mm} = 194.04 \text{ mm}$$

由表 4.2-58 查得其外径 $d_{a2} = d_2 - 2\delta = (194.04$

$-1.37) \text{ mm} = 192.67 \text{ mm}$ 。

7) 带速 v

$$v = \frac{\pi d_1 n_1}{60 \times 1000} = \frac{\pi \times 80.85 \times 1440}{60 \times 1000} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \\ = 6.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

8) 初定轴间距 a_0 取 $a_0 = 450 \text{ mm}$ 。

9) 带长及其齿数

$$L_p = 2a_0 \cos \phi + \frac{\pi (d_1 + d_2)}{2} + \frac{\pi \phi (d_2 - d_1)}{180} \\ = 2 \times 450 \cos 7.23^\circ + \frac{\pi (194.04 + 80.85)}{2} \\ + \frac{\pi 7.23 (194.04 - 80.85)}{180} \text{ mm} = 1338.91 \text{ mm}$$

$$\text{式中 } \phi = \arcsin \left(\frac{d_2 - d_1}{2a} \right) = 7.23^\circ$$

由表 4.2-49 查得应选用带长代号为 510 的 H 型同步带，其节线长 $L_p = 1295.4 \text{ mm}$ ，节线上的齿数 $z = 102$ 。

10) 实际轴间距 a 此结构的轴间距可调整

$$a \approx a_0 + \frac{L_p - L_0}{2} = \left[450 + \frac{1295.4 - 1338.91}{2} \right] \text{ mm} \\ = 428.25 \text{ mm}$$

11) 小带轮啮合齿数 z_m

$$z_m = \text{ent} \left[\frac{z_1}{2} - \frac{p_b z_1}{2\pi^2 a} (z_2 - z_1) \right] \\ = \text{ent} \left[\frac{20}{2} - \frac{12.7 \times 20}{2\pi^2 \times 428.25} (48 - 20) \right] = 9$$

12) 基本额定功率

$$P_0 = \frac{(T_a - mv^2) v}{1000}$$

由表 4.2-56 查得 $T_a = 2100.85 \text{ N}$ ， $m = 0.448 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$

$$P_0 = \frac{(2100.85 - 0.448 \times 6.1^2) \times 6.1}{1000} \text{ kW} \\ = 12.71 \text{ kW}$$

此值也可由表 4.2-51c 用插值法求得。

13) 所需带宽

$$b_s = b_{so} \sqrt[1.14]{\frac{P_d}{K_z P_0}}$$

由表 4.2-55 查得 H 型带 $b_{so} = 76.2 \text{ mm}$ ， $z_m = 9$ ； $K_z = 1$ 。

$$b_s = 76.2 \sqrt[1.14]{\frac{6.4}{12.71}} \text{ mm} \\ = 41.74 \text{ mm}$$

由表 4.2-50 查得，应选带宽代号为 200 的 H 型带，其 $b_s = 50.8 \text{ mm}$ 。

14) 带轮结构和尺寸 传动选用的同步带为 510H200；

小带轮： $z_1 = 20$ ， $d_1 = 80.85 \text{ mm}$ ， $d_{a1} = 79.48 \text{ mm}$

大带轮： $z_2 = 48$ ， $d_2 = 194.04 \text{ mm}$ ， $d_{a2} = 192.67 \text{ mm}$

可根据上列参数决定带轮的结构和全部尺寸（本题略）。

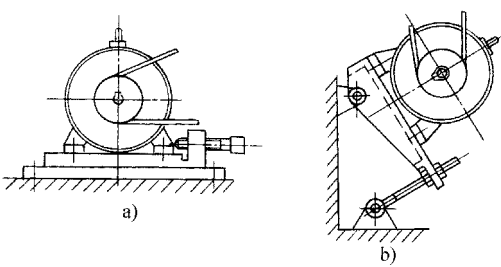
圆弧齿同步带传动设计内容参见参考文献 [1]。

5 带传动的张紧

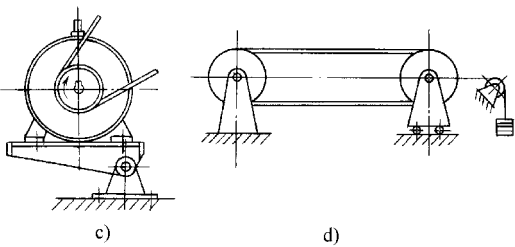
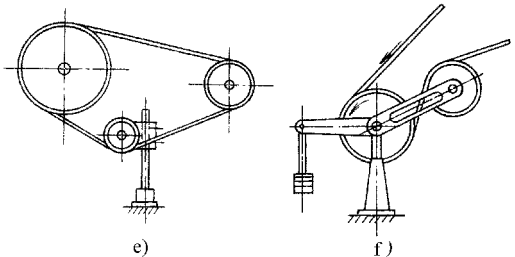
5.1 张紧方法

带传动的张紧方法见表 4.2-63。

表 4.2-63 带传动的张紧方法

张紧方法	简 图	特点和应用
调节轴间距 定期张紧	 a) b)	图 a 多用于水平或接近水平的传动 图 b 多用于垂直或接近垂直的传动 是最简单的通用方法

(续)

张紧方法	简 图	特点和应用
调节轴间距		图 c 是靠电动机的自重或定子的反力矩张紧，多用于小功率传动。应使电动机和带轮的转向有利于减轻配重或减小偏心距 图 d 常用于带传动的试验装置
张紧轮		可任意调节预紧力的大小、增大包角，容易装卸；但影响带的寿命，不能逆转 张紧轮的直径 $d_z \geq (0.8 \sim 1) d_1$ 应安装在带的松边 图 e 为定期张紧 图 f 为自动张紧，应使 $\alpha_1 \geq d_1 + d_z, \alpha_z \leq 120^\circ$
改变带长	对有接头的平带，常采用定期截去带长使带张紧，截去长度 $\Delta L = 0.01L$ (L —带长)	

5.2 张紧力的控制

带的预紧力对其传动能力、寿命和轴压力都有很大影响。预紧力不足，传递载荷的能力降低，效率低，且使小带轮急剧发热，胶带磨损；预紧力过大，则会使带的寿命降低，轴和轴承上的载荷增大，轴承发热与磨损。因此，适当的预紧力是保证带传动正常工作的重要因素。

在带传动中，预紧力是通过在带与带轮的切边中点处加一垂直于带边的载荷 G ，使其产生规定的挠度 f 来控制（图 4.2-17）。

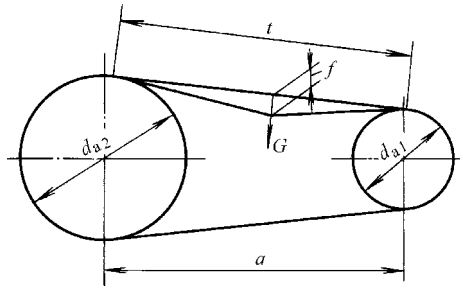


图 4.2-17 带传动预紧力的控制

切边长 t 可以实测，或用下式计算

$$t = \sqrt{a^2 - \frac{(d_{a2} - d_{a1})^2}{4}}$$

式中 a ——两轮轴间距 (mm)；

d_{a1} ——小带轮外径 (mm)；

d_{a2} ——大带轮外径 (mm)。

5.2.1 V 带的预紧力

单根 V 带的预紧力 F_0

$$F_0 = 500 \left(\frac{2.5}{K_\alpha} - 1 \right) \frac{P_d}{z v} + m v^2$$

式中 P_d ——设计功率 (kW)；

z ——V 带的根数；

v ——带速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)；

K_α ——包角修正系数，查表 4.2-10；

m ——V 带每米长的质量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$)，查表 4.2-64。

对于有效宽度制的窄 V 带，上式中的系数 500 改为 450。

为了测定所需的预紧力 F_0 ，通常是在带的切边中点加一规定的载荷 G ，使切边长每 100mm 产生 1.6mm 挠度，即 $f = \frac{1.6t}{100}$ 来保证。

载荷 G (N) 的值可由下式算出

$$\text{新安装的 V 带 } G = \frac{1.5F_0 + \Delta F_0}{16}$$

$$\text{运转后的 V 带 } G = \frac{1.3F_0 + \Delta F_0}{16}$$

$$\text{最小极限值 } G_{\min} = \frac{F_0 + \Delta F_0}{16}$$

式中 F_0 ——预紧力 (N)；

ΔF_0 ——预紧力的修正值, 查表 4.2-64 (N)。

表 4.2-64 V 带的质量 m 和预紧力修正值 ΔF_0

带 型		$\frac{m}{\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}}$	$\frac{\Delta F_0}{\text{N}}$	
普通 V 带	Y	0.04	6	
	Z	0.06	10	
	A	0.10	15	
	B	0.17	20	
	C	0.30	29	
	D	0.60	59	
	E	0.87	108	
窄 V 带	基准宽度制	SPZ	0.07	12
		SPA	0.12	19
		SPB	0.20	32
		SPC	0.37	55
	有效宽度制	9N (3V)	0.08	20
		15N (5V)	0.20	40
		25N (8V)	0.57	100
联组 V 带	9J	0.122	20	
	15J	0.252	40	
	25J	0.693	100	

测定预紧力所需的垂直力 G 亦可参考表 4.2-65 给定。其高值用于新安装的 V 带或必须保持高张紧的严酷传动 (如高速、小包角、超载起动、频繁的高转矩起动等)。

表 4.2-65 测定预紧力所需垂直力 G

(N/根)

带 型	小带轮 直径 d_{d1}/mm	带速 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$			
		0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	
普通 V带	Z	50 ~ 100 > 100	5 ~ 7 7 ~ 10	4. 2 ~ 6 6 ~ 8. 5	3. 5 ~ 5. 5 5. 5 ~ 7
	A	75 ~ 140 > 140	9. 5 ~ 14 14 ~ 21	8 ~ 12 12 ~ 18	6. 5 ~ 10 10 ~ 15
	B	125 ~ 200 > 200	18. 5 ~ 28 28 ~ 42	15 ~ 22 22 ~ 33	12. 5 ~ 18 18 ~ 27
	C	200 ~ 400 > 400	36 ~ 54 54 ~ 85	30 ~ 45 45 ~ 70	25 ~ 38 38 ~ 56
	D	355 ~ 600 > 600	74 ~ 108 108 ~ 162	62 ~ 94 94 ~ 140	50 ~ 75 75 ~ 108
	E	500 ~ 800 > 800	145 ~ 217 217 ~ 325	124 ~ 186 186 ~ 280	100 ~ 150 150 ~ 225
窄 V带	SPZ	67 ~ 95 > 95	9. 5 ~ 14 14 ~ 21	8 ~ 13 13 ~ 19	6. 5 ~ 11 11 ~ 18
	SPA	100 ~ 140 > 140	18 ~ 26 26 ~ 38	15 ~ 21 21 ~ 32	12 ~ 18 18 ~ 27
	SPB	160 ~ 265 > 265	30 ~ 45 45 ~ 38	26 ~ 40 40 ~ 52	22 ~ 34 34 ~ 47
	SPC	224 ~ 355 > 355	58 ~ 82 82 ~ 106	48 ~ 72 72 ~ 96	40 ~ 64 64 ~ 90

5.2.2 平带的预紧力

平带的预紧力通常是给定合适的预紧应力 σ_0 。也可以根据下式计算平带单位宽度的预紧力 F'_0 (N · mm⁻¹)

$$F'_0 = 500 \left(\frac{3.2}{K_\alpha} - 1 \right) \frac{P_d}{bv} + mv^2$$

式中 P_d ——设计功率 (kW);

b ——带宽 (mm);

v ——带速 (m · s⁻¹);

K_α ——包角修正系数, 查表 4.2-31;

m ——单位长度、单位宽度平带的质量 (kg · m⁻¹ · mm⁻¹)。

为了测定所需的预紧力 F_0 ($F_0 = F'_0 b$), 通常是在带的切边中点加一规定的载荷 G , 使切边长每

100mm 产生 1.0mm 的挠度, 即 $f = \frac{t}{100}$ 来保证。

表 4.2-66 是测定胶帆布平带预紧应力 $\sigma_0 = 1.8\text{MPa}$ 单位宽度所需施加的载荷 G 值。

表 4.2-66 测定胶帆布平带预紧力的 G 值

(产生挠度 $f = \frac{t}{100}$ 的载荷 $G = G'b$)

胶帆布带层数	单位带宽的载荷 $G'/\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$
3	0.26
4	0.35
5	0.43
6	0.52
7	0.61
8	0.69
9	0.78
10	0.86
11	0.95
12	1.04

注: 1. 按本表控制, 带的 $\sigma_0 = 1.8\text{MPa}$ 。

2. 轴间距小, 倾斜角大于 60° 时, G 值可减小 10%。

3. 自动张紧传动 G 值应增大 10%。

4. 新传动带 G 值应增大 30% ~ 50%。

表 4.2-67 是测定锦纶片复合平带预紧应力 $\sigma_0 = 3\text{MPa}$ 单位宽度所需施加的载荷 G 值。

表 4.2-67 测定锦纶片复合平带预紧力的 G 值

(产生挠度 $f = \frac{t}{100}$ 的载荷 $G = G'b$)

带型	单位带宽的载荷 $G'/\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$
L	0.055
M	0.085
H	0.12
EM	0.17

注: 1. 按本表控制, 带的 $\sigma_0 = 3\text{MPa}$ 。

2. 新传动带 G 值应增大 30% ~ 50%。

5.2.3 同步带的预紧力

同步带合适的预紧力见表 4.2-68。

为了测定所需的预紧力 F_0 , 通常是在带的切边中点加一规定的载荷 G , 使切边长每 100mm 产生

1.6mm 的挠度, 即 $f = \frac{1.6t}{100}$ 来保证。

表 4.2-68 同步带的预紧力 F_0 值 (N)

带型	带宽/mm		6.4	7.9	9.5	12.7	19.1	25.4	38.1	50.8	76.2	101.6	127.0
	F_0 、Y 值												
XL	F_0	最大值	29.40	37.30	44.70								
		推荐值	13.70	19.60	25.50								
	Y		0.40	0.55	0.77								
L	F_0	最大值				76.5	125	175					
		推荐值				52	87	123					
	Y					4.5	7.7	11					
H	F_0	最大值					293	421	646	890	1392		
		推荐值					222	312	486	668	1047		
	Y						14.5	21	32	43	69		
XH	F_0	最大值								1009	1583	2242	
		推荐值								909	1427	2021	
	Y									86	139	200	
XXH	F_0	最大值								2471.5	3884	5507	7110
		推荐值								1114	1750	2479	3203
	Y									141	227	322	418

载荷

t ——切边长 (mm)；
 L_p ——同步带的节线长 (mm)；
 Y ——修正系数，查表 4.2-68。

$$G = \frac{F_0 + \frac{t}{L_p} \times Y}{16}$$

式中 F_0 ——预紧力 (N)，查表 4.2-68；

第3章 链 传 动

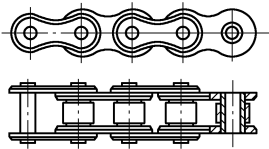
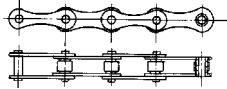
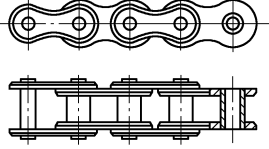
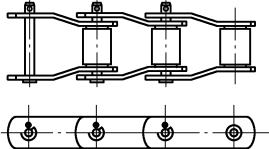
1 链传动的类型、特点和应用

链传动是一种具有中间挠性件——链的啮合传动。链传动的主要优点是：结构简单，平均传动比准确，能在较大的轴间距间传动，有一定缓冲作用，能在较恶劣的环境条件下工作，作用在轴上的载荷上，维护容易等。链传动的主要缺点是：不能保持瞬时传动比恒定，用于高速工况有冲击，工作中有噪声，磨损后易发生跳齿，不适于要求中心距小以及急速反向传动的场合。

按用途不同，链条可分为：传动链、输送链和

起重链。在链条的生产与应用中，传动用短节距精密滚子链（简称滚子链）占有最主要的地位。通常滚子链的传动功率在100kW以下，链速在 $15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下。先进的链传动技术已能使优质滚子链的传动功率达5000kW，速度可达 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ；高速齿形链的速度则可达 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。链传动的效率，对于一般传动，其值约为0.94~0.96；对于用循环压力供油润滑的高精度传动，其值约为0.98。链传动的传动比最大可达8。传动链条的主要类型、特点和应用，见表4.3-1。

表 4.3-1 传动链条的主要类型特点和应用

种 类	简 图	结 构 和 特 点	应 用
传动用短节距精密滚子链 (简称滚子链) GB/T 1243—2006		由外链节和内链节铰接而成。销轴和外链板、套筒和内链板为静配合；销轴和套筒为动配合；滚子空套在套筒上可以自由转动，以减少啮合时的摩擦和磨损，并可以缓和冲击	动力传动
双节距滚子链 GB/T 5269—2008		除链板节距为滚子链的两倍外，其他尺寸与滚子链相同时，链条质量减轻	中小载荷、中低速和中心距较大的传动装置，亦可用于输送装置
传动用短节距精密套筒链（简称套筒链） GB/T 1243—2006		除无滚子外，结构和尺寸同滚子链。质量轻、成本低，并可提高节距精度 为提高承载能力，可利用原滚子的空间加大销轴和套筒尺寸，增大承压面积	不经常工作的传动，中低速传动或起重装置（如配重、铲车起升装置）等
弯板滚子传动链（简称弯板链）		无内外链节之分，磨损后链节节距仍较均匀。弯板使链条的弹性增加，抗冲击性能好。销轴、套筒和链板间的间隙较大，对链轮共面性要求较低。销轴拆装容易，便于维修和调整松边下垂量	低速或极低速、载荷大、有尘土的开式传动和两轮不易共面处，如挖掘机等工程机械的行走机构、石油机械等

(续)

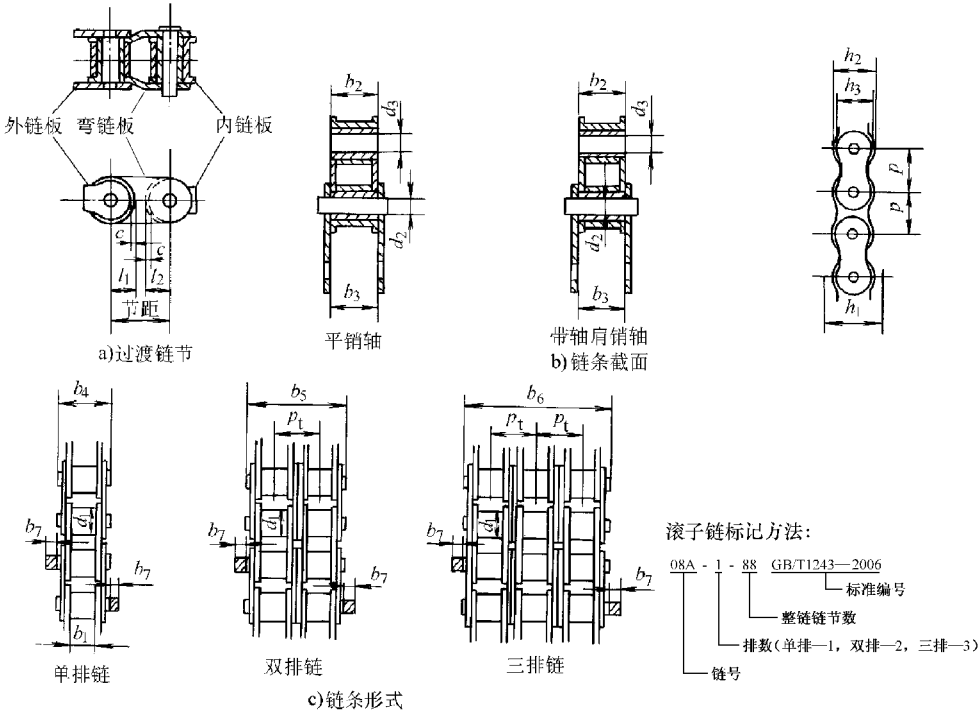
种 类	简 图	结 构 和 特 点	应 用
齿形传动链（又名无声链） GB/T 10855—2003		由多个齿形链片并列铰接而成。链片的齿形部分和链轮啮合，有共轭啮合和非共轭啮合两种。传动平稳准确，振动、噪声小，强度高，工作可靠；但质量较重，装拆较困难	高速或运动精度要求较高的传动，如机床主传动、发动机正时传动、石油机械以及重要的操纵机构等
成形链		链节由可锻铸铁或钢制造，装拆方便	用于农业机械和链速在 $3\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下的传动

2 滚子链的基本参数和尺寸

参数、尺寸标记方法、抗拉强度及动载强度参见表 4.3-2。

短节距传动用精密滚子链（简称滚子链）基本

表 4.3-2 链条基本参数、尺寸、抗拉强度及动载强度



(续)

链号 ^①	节距 p	滚子 直径 d_1	内节 内宽 b_1	销轴 直径 d_2	套筒 孔径 d_3	链条 通道 高度 h_1	内链 板高 度 h_2	排距 p_t	内节 外宽 b_2	外节 内宽 b_3	销轴长度			止锁 件附 加宽 度 ^② b_7	抗拉强度 F_u			动载强 度 ^{③④⑤}
		max	min	max	min	min	max		max	min	单排 b_4	双排 b_5	三排 b_6		单排 min	双排 min	三排 min	单排 F_d
												max	max		max			
		mm													kN			N
04C	6.35	3.30 ^⑥	3.10	2.31	2.34	6.27	6.02	6.40	4.80	4.85	9.1	15.5	21.8	2.5	3.5	7.0	10.5	630
06C	9.525	5.08 ^⑥	4.68	3.60	3.62	9.30	9.05	10.13	7.46	7.52	13.2	23.4	33.5	3	7.9	15.8	23.7	1410
05B	8.00	5.00	3.00	2.31	2.36	7.37	7.11	5.64	4.77	4.90	8.6	14.3	19.9	3.1	4.4	7.8	11.1	820
06B	9.525	6.35	5.72	3.28	8.33	8.52	8.26	10.24	8.53	8.66	13.5	23.8	84.0	3.3	8.9	16.9	24.9	1290
08A	12.70	7.92	7.85	3.98	4.00	12.33	12.07	14.38	11.17	11.23	17.8	32.3	46.7	3.9	13.9	27.8	41.7	2480
08B	12.70	8.51	7.75	4.45	4.50	12.07	11.81	13.92	11.30	11.43	17.0	31.0	44.9	3.9	17.8	31.1	44.5	2480
081	12.70	7.75	3.30	3.66	3.71	10.17	9.91	—	5.80	5.93	10.2	—	—	1.5	8.0	—	—	
083	12.70	7.75	4.88	4.09	4.14	10.56	10.30	—	7.90	8.03	12.9	—	—	1.5	11.6	—	—	
084	12.70	7.75	4.88	4.09	4.14	11.41	11.15	—	8.80	8.93	14.8	—	—	1.5	15.6	—	—	
085	12.70	7.77	6.25	3.60	3.62	10.17	9.91	—	9.06	9.12	14.0	—	—	2.0	6.7	—	—	1340
10A	15.875	10.16	9.40	5.09	5.12	15.35	15.09	18.11	13.84	13.89	21.8	39.9	57.9	4.1	21.8	43.6	65.4	3850
10B	15.875	10.16	9.65	5.08	5.13	14.99	14.73	16.59	13.28	13.41	19.6	36.2	52.8	4.1	22.2	44.5	66.7	3330
12A	19.05	11.91	12.57	5.96	5.98	18.34	18.10	22.78	17.75	17.81	26.9	49.8	72.6	4.6	31.3	62.6	93.9	5490
12B	19.05	12.07	11.68	5.72	5.77	16.39	16.13	19.46	15.62	15.75	22.7	42.2	61.7	4.6	28.9	57.8	86.7	3720
16A	25.40	15.88	15.75	7.94	7.96	24.39	24.13	29.29	22.60	22.66	33.5	62.7	91.9	5.4	55.6	111.2	166.8	9550
16B	25.40	15.88	17.02	8.28	8.33	21.34	21.08	31.88	25.45	25.58	36.1	68.0	99.9	5.4	60.0	106.0	160.0	9530
20A	31.75	19.05	18.90	9.54	9.56	30.48	30.17	35.76	27.45	27.51	41.1	77.0	113.0	6.1	87.0	174.0	261.0	14600
20B	31.75	19.05	19.56	10.19	10.24	26.68	26.42	36.45	29.01	29.14	43.2	79.7	116.1	6.1	95.0	170.0	250.0	13500
24A	38.10	22.23	25.22	11.11	11.14	36.55	36.2	45.44	35.45	35.51	50.8	96.3	141.7	6.6	125.0	250.0	375.0	20500
24B	38.10	25.40	25.40	14.63	14.68	33.73	33.4	48.36	37.92	38.05	53.4	101.8	150.2	6.6	160.0	280.0	425.0	19700
28A	44.45	25.40	25.22	12.71	12.74	42.67	42.23	48.87	37.18	37.24	54.9	103.6	152.4	7.4	170.0	340.0	510.0	27300
28B	44.45	27.94	30.99	15.90	15.95	37.46	37.08	59.56	46.58	46.71	65.1	124.7	184.3	7.4	200.0	360.0	530.0	27100
32A	50.80	28.58	31.55	14.29	14.31	48.74	48.26	58.55	45.21	45.26	65.5	124.2	182.9	7.9	223.0	446.0	669.0	34800
32B	50.80	29.21	30.99	17.81	17.86	42.72	42.29	58.55	45.57	45.70	67.4	126.0	184.5	7.9	250.0	450.0	670.0	29900
36A	57.15	35.71	35.48	17.46	17.49	54.86	54.56	65.84	50.85	50.90	73.9	140.0	206.0	9.1	281.0	562.0	843.0	44500

(续)

链号 ^①	节距 p	滚子 直径 d_1	内节 内宽 b_1	销轴 直径 d_2	套筒 孔径 d_3	链条 通道 高度 h_1	内链 板高 度 h_2	排距 p_t	内节 外宽 b_2	外节 内宽 b_3	销轴长度			止锁 件附 加宽 度 ^③ b_7	抗拉强度 F_u			动载强 度 ^{③④⑤}
		max	min	max	min	min	max		max	min	单排 b_4	双排 b_5	三排 b_6		单排 min	双排 min	三排 min	单排 F_d
		max	min	max	min	min	max		max	min	max	max	max		max	min	min	min
mm															kN			N
40A	63.50	39.68	37.85	19.85	19.87	60.93	60.33	71.55	54.88	54.94	80.3	151.9	223.5	10.2	347.0	694.0	1041.0	53600
40B	63.50	39.37	38.10	22.89	22.94	53.49	52.96	72.29	55.75	55.88	82.6	154.9	227.2	10.2	355.0	630.0	950.0	41800
48A	76.20	47.63	47.35	23.81	23.84	73.13	72.89	87.83	67.81	67.87	95.5	183.4	271.3	10.5	500.0	1000.0	1500.0	73100
48B	76.20	48.26	45.72	29.24	29.29	64.52	63.88	91.21	70.56	70.69	99.1	190.4	281.6	10.5	560.0	1000.0	1500.0	63600
56B	88.90	53.98	53.34	34.32	34.37	78.64	77.85	106.60	81.33	81.46	114.6	221.2	327.8	11.7	850.0	1600.0	2240.0	88900
64B	101.60	63.50	60.96	39.40	39.45	91.08	90.17	119.89	92.02	92.15	130.9	250.8	370.7	13.0	1120.0	2000.0	3000.0	106900
72B	114.30	72.39	68.58	44.48	44.53	104.67	103.63	136.27	103.81	103.94	147.4	283.7	420.0	14.3	1400.0	2500.0	3750.0	132700
60H	19.05	11.91	12.57	5.96	5.98	18.34	18.10	26.11	19.43	19.48	30.2	56.3	82.4	4.6	31.3	62.6	93.9	6330
80H	25.40	15.88	15.75	7.94	7.96	24.39	24.13	32.59	24.28	24.33	37.4	70.0	102.6	5.4	55.6	112.2	166.8	10700
100H	31.75	19.05	18.90	9.54	9.56	30.48	30.17	39.09	29.10	29.16	44.5	83.6	122.7	6.1	87.0	174.0	261.0	16000
120H	38.10	22.23	25.22	11.11	11.14	36.55	36.2	48.87	37.18	37.24	55.0	103.9	152.8	6.6	125.0	250.0	375.0	22200
140H	44.45	25.40	25.22	12.71	12.74	42.67	42.23	52.20	38.86	38.91	59.0	111.2	163.4	7.4	170.0	340.0	510.0	29200
160H	50.80	28.58	31.55	14.29	14.31	48.74	48.26	61.90	46.88	46.94	69.4	131.3	193.2	7.9	223.0	446.0	669.0	36900
180H	57.15	35.71	35.48	17.46	17.49	54.86	54.30	69.16	52.50	52.55	77.3	146.5	215.7	9.1	281.0	562.0	843.0	46900
200H	63.50	39.68	37.85	19.85	19.87	60.93	60.33	78.31	58.29	58.34	87.1	165.4	243.7	10.2	347.0	694.0	1041.0	58700
240H	76.20	47.63	47.35	23.81	23.84	73.13	72.39	101.22	74.54	74.60	111.4	212.6	313.8	10.5	500.0	1000.0	1500.0	84400

- 注:1. 尺寸 c 表示弯链板与直链板之间回转间隙。
2. 链条通道高度 h_1 是装配好的链条要通过的通道最小高度。
3. 用止锁零件接头的链条全宽是:当一端有带止锁件的接头时,对端部铆头销轴长度为 b_4 、 b_5 或 b_6 再加上 b_7 (或带头锁轴的加 $1.6b_7$),当两端都有止锁件时加 $2b_7$ 。
4. 对三排以上的链条,其链条全宽为 $b_4 + p_t$ (链条排数 - 1)。
- ① 对于高应力使用场合,不推荐使用过渡链节。
- ② 止锁件的实际尺寸取决于其类型,但都不应超过规定尺寸,使用者应从制造商处获取详细资料。
- ③ 动载强度值不适用于过渡链节、连接链节或带有附件的链条。
- ④ 双排链和三排链的动载试验不能用单排链的值按比例套用。
- ⑤ 动载强度值是基于 5 个链节的试样,不含 36A、40A、40B、48A、48B、56B、64B、72B、180H、200H 和 240H,这些链条是基于 3 个链节的试样。
- ⑥ 套筒直径。

3 滚子链传动的设计

3.1 滚子链传动选择指导

国家标准 GB/T 18150—2006《滚子链传动选择指导》，是链传动设计选择标准，也是确保链条质量的标准，而且是对链条质量最低要求的标准。此标准等同采用 ISO10823：2004。

3.2 滚子链传动的设计计算

设计链传动的已知条件：

- 1) 所传递的功率 P (kW)。
- 2) 主动和从动机械的类型。
- 3) 主、从动轴的转速 n_1 、 n_2 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 和直径。
- 4) 中心距要求和布置。
- 5) 环境条件。

滚子链传动的一般设计计算方法见表 4.3-3。

图 4.3-1 和图 4.3-2 是在下列条件下建立的典型链条承载能力图表。

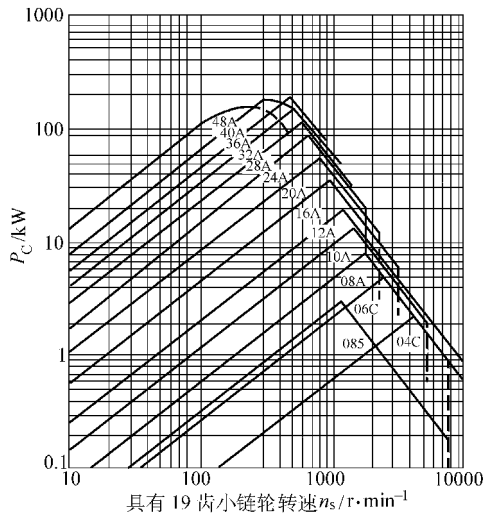


图 4.3-1 符合 GB/T 1243A 系列单排链条的典型承载能力图

n_s —小链轮转速 P_c —修正功率

- 注：1. 双排链的额定功率可由单排链的 P_c 值乘以 1.7 得到。
2. 三排链的额定功率可由单排链的 P_c 值乘以 2.5 得到。

- 1) 安装在水平平行轴上的两链轮传动。
- 2) 小链轮齿数 $z_1 = 19$ 。
- 3) 无过渡链节的单排链。
- 4) 链长为 120 链节（链长小于此长度时，使用寿命将按比例减少）。
- 5) 传动比为从 1:3 到 3:1。

- 6) 链条预期使用寿命为 15000h。
- 7) 工作环境温度在 $-5 \sim 70^\circ\text{C}$ 之间。
- 8) 链轮正确对中，链条调节保持正确。
- 9) 平稳运转，绝无过载、振动或频繁起动。
- 10) 清洁和合适的润滑。

图 4.3-1 ~ 图 4.3-3 给出的是在一些链条制造厂

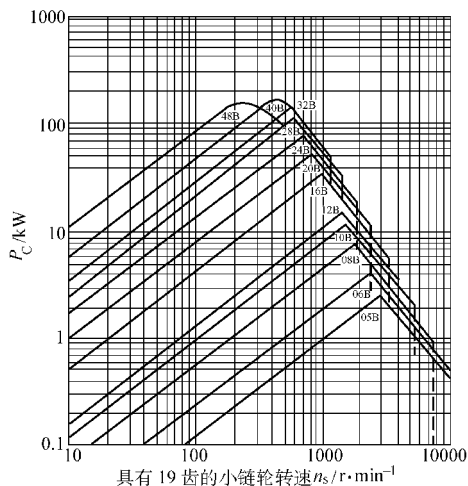


图 4.3-2 符合 GB/T 1243B 系列链条的典型承载能力图

n_s —小链轮转速 P_c —修正功率

- 注：1. 双排链的额定功率可由单排链的 P_c 值乘以 1.7 得到。
2. 三排链的额定功率可由单排链的 P_c 值乘以 2.5 得到。

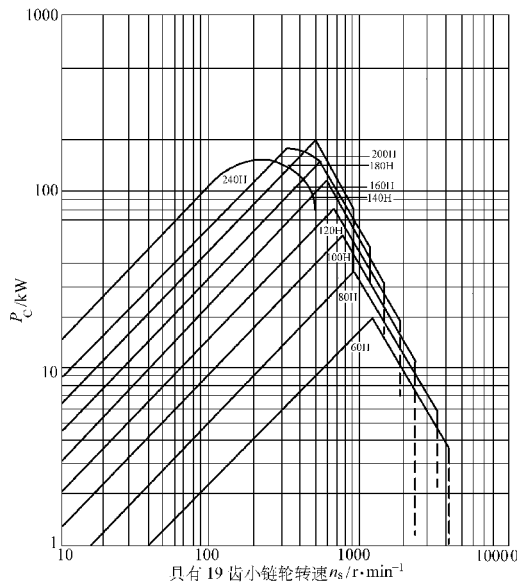


图 4.3-3 符合 GB/T 1243H 系列重载单排链条的典型承载能力图

n_s —小链轮转速 P_c —修正功率

- 注：1. 双排链的额定功率可由单排链的 P_c 值乘以 1.7 得到。
2. 三排链的额定功率可由单排链的 P_c 值乘以 2.5 得到。

表 4.3-3 滚子链传动的设计计算 (摘自 GB/T 18150—2006)

项目	符号	单位	公式和参数选定	说 明
小链轮 齿数 大链轮 齿数	z_1 z_2		传动比 $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$ $z_{\min} = 17, z_{\max} = 114$	为传动平稳, 链速增高时, 应选较大 z_1 , 高速或受冲击载荷的链传动, z_1 至少选 25 齿, 且链轮齿应淬硬
修正 功率	P_C	kW	$P_C = P f_1 f_2$ 计算 f_2 的公式: $f_2 = \left(\frac{19}{z_1}\right)^{1.08}$	P ——输入功率 (kW) f_1 ——工况系数, 见表 4.3-4 f_2 ——小链轮齿数 (z_1) 系数, 见图 4.3-4
链条节距	p	mm	根据修正功率 P_C 和小链轮转速由图 4.3-1 ~ 图 4.3-3 选用合理的节距 p	为使传动平稳, 在高速下, 宜选用节距较小的双排或多排链。但应注意多排链传动对脏污和误差比较敏感
初定中心距	a_0	mm	推荐 $a_0 = (30 \sim 50) p$ 脉动载荷无张紧装置时, $a_0 < 25p$ $a_{0\max} = 80p$	首先考虑结构要求定中心距 a_0 , 有张紧装置或托板时, a_0 可大于 $80p$; 对中心距不能调整的传动, $a_{0\min} = 30p$ 采用左边推荐的 $a_{0\min}$ 计算式, 可保证小链轮的包角不小于 120° , 且大小链轮不会相碰
			i < 4 ≥ 4	
			$a_{0\min}$ $0.2z_1 (i+1) p$ $0.33z_1 (i-1) p$	
链长 节数	X_0		$X_0 = \frac{2a_0}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{f_3 p}{a_0}$ 式中 $f_3 = \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi}\right)^2$ f_3 也可由表 4.3-5 查得	X_0 应圆整成整数 X , 宜取偶数, 以避免过渡链节。有过渡链节的链条 (X_0 为奇数时), 其极限拉伸载荷为正常值的 80%
实际 链条 节数	X		X_0 圆整成 X 链条长度 $L = \frac{Xp}{1000}$	
最大 中心距 (理论中 心距)	a	mm	$a = \frac{p}{4} [c + \sqrt{c^2 - 8f_3}]$ 式中 $c = X - \frac{z_1 + z_2}{2}$ 最大中心距也可用下列方法计算 $z_1 = z_2 = z$ 时 ($i = 1$) $a = p \left(\frac{X - z}{2}\right)$ $z_1 \neq z_2$ 时 ($i \neq 1$) $a = f_4 \times p [2X - (z_1 + z_2)]$	X —圆整成整数的链节数 f_4 的计算值见表 4.3-6, 当 $\frac{X - z_1}{z_2 - z_1}$ 在表中二相邻值之间时可采用线性插值计算
实际 中心距	a'	mm	$a' = a - \Delta a$ $\Delta a = (0.002 \sim 0.004) a$	Δa 应保证链条松边有合适的垂度 $f = (0.01 \sim 0.03) a$ 对中心距可调的传动, Δa 可取较大的值
链速	v	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$v = \frac{z_1 n_1 p}{60 \times 1000} = \frac{z_2 n_2 p}{60 \times 1000}$	$v \leq 0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 低速传动 $v > 0.6 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 中速传动 $v > 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 高速传动
有效 圆周力	F	N	$F = \frac{1000P}{v}$	
作用于轴 上的拉力	F_Q	N	对水平传动和倾斜传动 $F_Q = (1.15 \sim 1.20) f_1 F$ 对接近垂直布置的传动 $F_Q = 1.05 f_1 F$	
润滑				参见图 4.3-5、表 4.3-7
小链轮 包角	α_1	($^\circ$)	$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{(z_2 - z_1) p}{\pi a} \times 57.3^\circ$	要求 $\alpha_1 \geq 120^\circ$

表 4.3-4 工况系数 f_1 (摘自 GB/T 18150—2006)

机械示例			主动机械特性		
			平稳运转	轻微冲击	中等冲击
			电动机、汽轮机和燃气汽轮机、带有液力变矩器的内燃机	六缸或六缸以上带机械式联轴器的内燃机、频繁起动的电动机（一日两次以上）	少于六缸带机械式联轴器的内燃机
从 动 机 械 特 性	平稳 运转	离心式的泵和压缩机、印刷机械、平衡载荷的带式输送机、纸张压光机、自动扶梯、液体搅拌机和混料机、回转干燥炉、风机	1.0	1.1	1.3
	中等 振动	三缸或三缸以上的泵和压缩机、混凝土搅拌机、载荷不均匀的输送机、固体搅拌机和混料机	1.4	1.5	1.7
	严重 振动	电铲、轧机、球磨机、橡胶加工机械、压力机、剪板机、单缸或双缸的泵和压缩机、石油钻采设备	1.8	1.9	2.1

表 4.3-5 系数 f_3 的计算值 (摘自 GB/T 18150—2006)

$ z_2 - z_1 $	f_3	$ z_2 - z_1 $	f_3	$ z_2 - z_1 $	f_3	$ z_2 - z_1 $	f_3	$ z_2 - z_1 $	f_3
1	0.0252	21	11.171	41	42.580	61	94.254	81	166.191
2	0.1013	22	12.260	42	44.683	62	97.370	82	170.320
3	0.2280	23	13.400	43	46.836	63	100.536	83	174.500
4	0.4053	24	14.590	44	49.040	64	103.753	84	178.730
5	0.6333	25	15.831	45	51.294	65	107.021	85	183.011
6	0.912	26	17.123	46	53.599	66	110.339	86	187.342
7	1.241	27	18.466	47	55.955	67	113.708	87	191.724
8	1.621	28	19.859	48	58.361	68	117.128	88	196.157
9	2.052	29	21.303	49	60.818	69	120.598	89	200.640
10	2.533	30	22.797	50	63.326	70	124.119	90	205.174
11	3.065	31	24.342	51	65.884	71	127.690	91	209.759
12	3.648	32	25.938	52	68.493	72	131.313	92	214.395
13	4.281	33	27.585	53	71.153	73	134.986	93	219.081
14	4.965	34	29.282	54	73.863	74	138.709	94	223.817
15	5.699	35	31.030	55	76.624	75	142.483	95	228.605
16	6.485	36	32.828	56	79.436	76	146.308	96	233.443
17	7.320	37	34.677	57	82.298	77	150.184	97	238.333
18	8.207	38	36.577	58	85.211	78	154.110	98	243.271
19	9.144	39	38.527	59	88.175	79	158.087	99	248.261
20	10.132	40	40.529	60	91.189	80	162.115	100	253.302

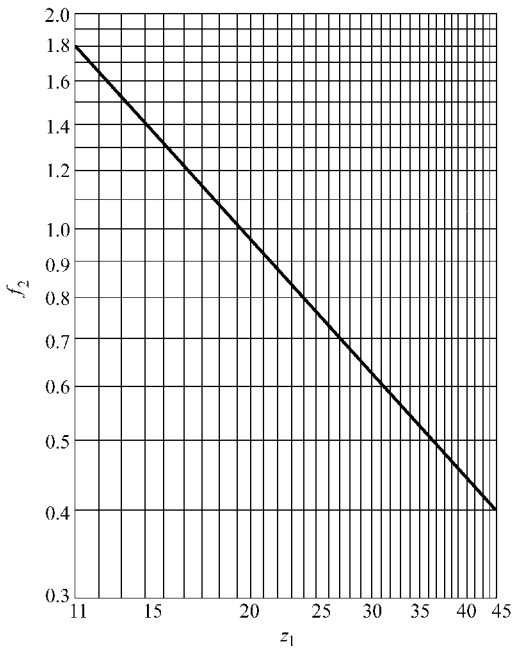


图 4.3-4 小链轮齿数系数 f_2

表 4.3-6 f_4 的计算值 (摘自 GB/T 18150—2006)

$\frac{X-z_1}{z_2-z_1}$	f_4	$\frac{X-z_1}{z_2-z_1}$	f_4	$\frac{X-z_1}{z_2-z_1}$	f_4
13	0.24991	2.00	0.24421	1.33	0.22968
12	0.24990	1.95	0.24380	1.32	0.22912
11	0.24988	1.90	0.24333	1.31	0.22854
10	0.24986	1.85	0.24281	1.30	0.22793
9	0.24983	1.80	0.24222	1.29	0.22729
8	0.24978	1.75	0.24156	1.28	0.22662
7	0.24970	1.70	0.24081	1.27	0.22593
6	0.24958	1.68	0.24048	1.26	0.22520
5	0.24937	1.66	0.24013	1.25	0.22443
4.8	0.24931	1.64	0.23977	1.24	0.22361
4.6	0.24925	1.62	0.23938	1.23	0.22275
4.4	0.24917	1.60	0.23897	1.22	0.22185
4.2	0.24907	1.58	0.23854	1.21	0.22090
4.0	0.24896	1.56	0.23807	1.20	0.21990
3.8	0.24883	1.54	0.23758	1.19	0.21884
3.6	0.24868	1.52	0.23705	1.18	0.21771
3.4	0.24849	1.50	0.23648	1.17	0.21652
3.2	0.24825	1.48	0.23588	1.16	0.21526
3.0	0.24795	1.46	0.23524	1.15	0.21390
2.9	0.24778	1.44	0.23455	1.14	0.21245
2.8	0.24758	1.42	0.23381	1.13	0.21090
2.7	0.24735	1.40	0.23301	1.12	0.20923
2.6	0.24708	1.39	0.23259	1.11	0.20744
2.5	0.24678	1.38	0.23215	1.10	0.20549
2.4	0.24643	1.37	0.23170	1.09	0.20336
2.3	0.24602	1.36	0.23123	1.08	0.20104
2.2	0.24552	1.35	0.23073	1.07	0.19848
2.1	0.24493	1.34	0.23022	1.06	0.19564

发布的此类图表中具有代表性的承载能力图表。各厂的链条有不同的等级，建议使用者向厂方咨询他们自己的承载能力图表。

3.3 润滑范围选择 (见图 4.3-5)

- 范围 1: 用油壶或油刷定期人工润滑;
- 范围 2: 滴油润滑;
- 范围 3: 油池润滑或油盘飞溅润滑;
- 范围 4: 油泵压力供油润滑, 带过滤器; 必要时带油冷却器。

当链传动为密闭传动, 并作高速、大功率传动时, 则有必要使用油冷却器。

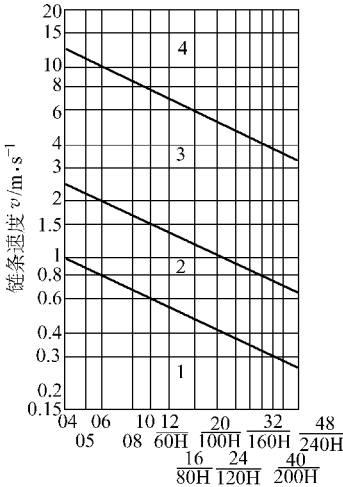


图 4.3-5 润滑范围选择图

(摘自 GB/T 18150—2006)

不同工作环境温度下的滚子链传动用润滑油粘度等级见表 4.3-7。

表 4.3-7 滚子链传动用润滑油的粘度等级

(摘自 GB/T 18150—2006)

环境温度	$\geq -5^{\circ}\text{C}$ $\leq +5^{\circ}\text{C}$	$> +5^{\circ}\text{C}$ $\leq +25^{\circ}\text{C}$	$> +25^{\circ}\text{C}$ $\leq +45^{\circ}\text{C}$	$> +45^{\circ}\text{C}$ $\leq +70^{\circ}\text{C}$
润滑油的 粘度级别	VG68 (SAE20)	VG100 (SAE30)	VG150 (SAE40)	VG220 (SAE50)

注: 应保证润滑油不被污染, 特别不能有磨料性微粒存在。

3.4 滚子链的静强度计算

在低速重载链传动中, 链条的静强度占有主要地位。通常 $v < 0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 视为低速传动。如果低速链也按疲劳考虑, 用额定功率曲线选择和计算, 结果常不经济。因为额定功率曲线上各点其相应的条

件性安全系数 n 大于 $8 \sim 20$ ，比静强度安全系数大。

链条的静强度计算式为

$$n = \frac{F_u}{f_1 F + F_c + F_f} \geq [n] \tag{4.3-1}$$

式中 n ——静强度安全系数；

F_u ——链条极限拉伸载荷 (N)，查表 4.3-2；

f_1 ——工况系数，查表 4.3-4；

F ——有效拉力 (即有效圆周力) (N)，见表 4.3-3；

F_c ——离心力引起的拉力 (N)，其计算式为 $F_c = qv^2$ ； q 为链条每米质量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$)，见表 4.3-8； v 为链速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)；当 $v < 4 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时， F_c 可忽略不计；

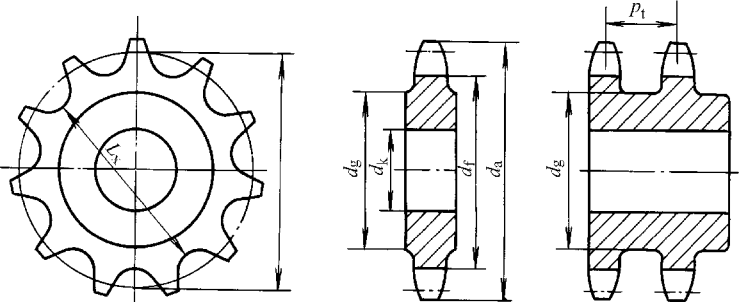
F_f ——悬垂拉力 (N)，见图 4.3-6，在 F'_f 和 F''_f 中选用大者；

$[n]$ ——许用安全系数，一般为 $4 \sim 8$ ；如果按最大尖峰载荷 $F_{\max}$ 来代替 $f_1 F$ 进行计算，则可为 $3 \sim 6$ ；对于速度较低、从动系统惯性较小、不太重要的传动或作用力的确定比较准确时， $[n]$ 可取较小值。

表 4.3-8 滚子链每米重量

节距 p/mm	8.00	9.525	12.7	15.875	19.05	25.40
单排每米质量 $q/\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	0.18	0.40	0.65	1.00	1.50	2.60
节距 p/mm	31.75	38.10	44.45	50.80	63.50	76.20
单排每米质量 $q/\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	3.80	5.60	7.50	10.10	16.10	22.60

表 4.3-9 滚子链链轮的基本参数和主要尺寸 (摘自 GB/T1243—2006) (mm)



名 称		符号	计 算 公 式	说 明
基本参数	链轮齿数	z		设计计算结果 (见表 4.3-3)
	配用链条的			
	节距	p		
	滚子外径	d_1		设计计算结果 (见表 4.3-2 和表 4.3-3)
	排距	p_t		

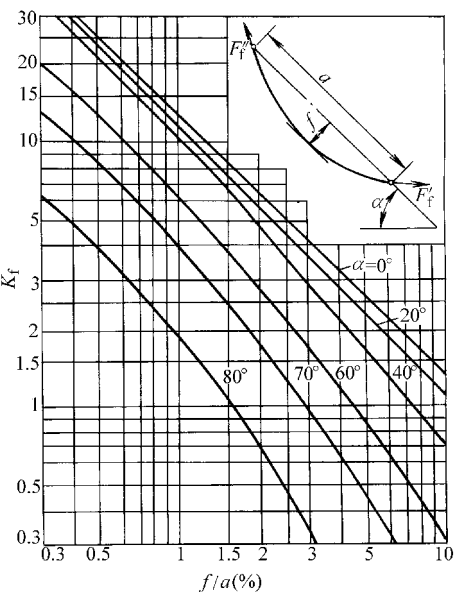


图 4.3-6 悬垂拉力的确定

$$F'_f = K_f q a \times 10^{-2}, F''_f = (K_f + \sin \alpha) q a \times 10^{-2}$$

式中： a 的单位 mm， q 的单位 kgf/m ， F'_f 、 F''_f 单位 N。

4 滚子链链轮

4.1 基本参数和主要尺寸 (见表 4.3-9)

4.2 齿槽形状

滚子链与链轮的啮合属非共轲啮合，其链轮齿形的设计可以有较大的灵活性。GB/T1243—2006 中没有规定具体的链轮齿形，仅仅规定了最大齿槽形状和最小齿槽形状及其极限参数，见表 4.3-10。在

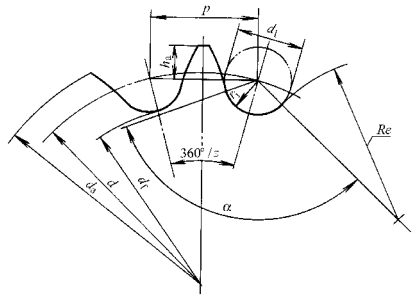
(续)

名 称	符号	计 算 公 式	说 明
分度圆直径	d	$d = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z}}$	
齿顶圆直径	d_a	$d_{amax} = d + 1.25p - d_1$ $d_{amin} = d + \left(1 - \frac{1.6}{z}\right)p - d_1$ 若为三圆弧一直线齿形, 则 $d_a = p \left(0.54 + \cot \frac{180^\circ}{z}\right)$	可在 d_{amax} 与 d_{amin} 范围内选取, 但当选用 d_{amax} 时, 应注意用展成法加工时有可能发生顶切
齿根圆直径	d_f	$d_f = d - d_1$	
分度圆弦齿高	h_a	$h_{amax} = 0.625p - 0.5d_1 + \frac{0.8p}{z}$ $h_{amin} = 0.5(p - d_1)$ 若为三圆弧一直线齿形, 则 $h_a = 0.27p$	h_a 查表 4.3-11 插图 h_a 是为简化放大齿形图的绘制而引入的辅助尺寸, h_{amax} 相应于 d_{amax} , h_{amin} 相应于 d_{amin}
最大齿根距离	L_x	奇数齿 $L_x = d \cos \frac{90^\circ}{z} - d_1$ 偶数齿 $L_x = d_f = d - d_1$	
齿侧凸缘 (或排间槽) 直径	d_g	对链号为 04C 和 06C 的链条 $d_g = p \cot \frac{180^\circ}{z} - 1.05h_2 - 1.00 - 2r_a$ 对所有其他的链条 $d_g < p \cot \frac{180^\circ}{z} - 1.04h_2 - 0.76\text{mm}$	h_2 —内链板高度, 查表 4.3-2 r_a —齿侧肩部圆角, 查表 4.3-12

注: d_a 、 d_g 计算值舍小数取整数, 其他尺寸精确到 0.01mm。

表 4.3-10 最大和最小齿槽形状 (摘自 GB/T1243—2006)

(mm)



名 称	符号	计 算 公 式	
		最大齿槽形状	最小齿槽形状
齿侧圆弧半径	r_e	$r_{emin} = 0.008d_1 (z^2 + 180)$	$r_{emax} = 0.12d_1 (z + 2)$
滚子定位圆弧半径	r_i	$r_{imax} = 0.505d_1 + 0.069 \sqrt[3]{d_1}$	$r_{imin} = 0.505d_1$
滚子定位角	α	$\alpha_{min} = 120^\circ - \frac{90^\circ}{z}$	$\alpha_{max} = 140^\circ - \frac{90^\circ}{z}$

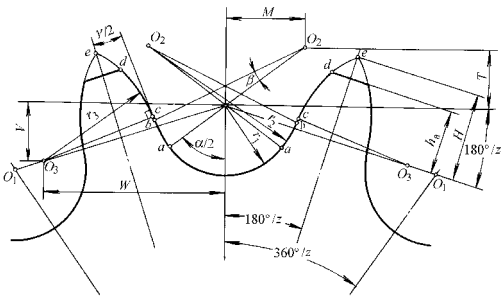
两个极限齿槽形状之间的各种标准齿形均可采用。

推荐一种三圆弧一直线齿形 (或称凹齿形), 其几何计算见表 4.3-11。这种齿形与滚子啮合时接触

应力较小, 作用角随齿数增加而增大, 性能较好。它的缺点之一是切齿滚刀的制造比较麻烦。链轮也可用渐开线齿形。可用 GB/T1243—1997 附录规定的刀具进行加工。

表 4.3-11 三圆弧—直线齿槽形状

(mm)



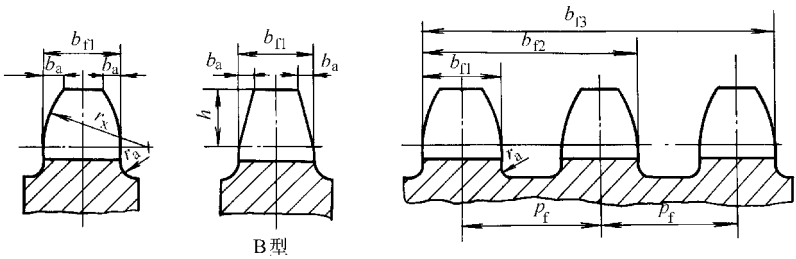
名 称	符号	计 算 公 式
齿沟圆弧半径	r_1	$r_1 = 0.5025d_1 + 0.05$
齿沟半角 (°)	$\frac{\alpha}{2}$	$\frac{\alpha}{2} = 55^\circ - \frac{60^\circ}{z}$
工作段圆弧中心 O_2 的坐标	M	$M = 0.8d_1 \sin \frac{\alpha}{2}$
	T	$T = 0.8d_1 \cos \frac{\alpha}{2}$
工作段圆弧半径	r_2	$r_2 = 1.3025d_1 + 0.05$
工作段圆弧中心角 (°)	β	$\beta = 18^\circ - \frac{56^\circ}{z}$
齿顶圆弧中心 O_3 的坐标	W	$W = 1.3d_1 \cos \frac{180^\circ}{z}$
	V	$V = 1.3d_1 \sin \frac{180^\circ}{z}$
齿形半角	$\frac{\gamma}{2}$	$\frac{\gamma}{2} = 17^\circ - \frac{64^\circ}{z}$
齿顶圆弧半径	r_3	$r_3 = d_1 \left(1.3 \cos \frac{\gamma}{2} + 0.8 \cos \beta - 1.3025 \right) - 0.05$
工作段直线部分长度	bc	$bc = d_1 \left(1.3 \sin \frac{\gamma}{2} - 0.8 \sin \beta \right)$
e 点至齿沟圆弧中心连线的距离	H	$H = \sqrt{r_3^2 - \left(1.3d_1 - \frac{p_0}{2} \right)^2}$ 、 $p_0 = p \left(1 + \frac{2r_1 - d_1}{d} \right)$

注：齿沟圆弧半径 r_1 允许比表中公式计算的大 $0.0015d_1 + 0.06\text{mm}$ 。

4.3 轴向齿廓（见表 4.3-12）

表 4.3-12 轴向齿廓及尺寸（摘自 GB/T1243—2006）

(mm)



(续)

名称		符号	计算公式		备 注
			$p \leq 12.7$	$p > 12.7$	
齿宽	单排 双排、三排 四排以上	b_{fl}	$0.93b_1$ $0.91b_1$ $0.88b_1$	$0.95b_1$ $0.93b_1$	$p > 12.7$ 时, 经制造厂同意, 亦可使用 $p \leq 12.7$ 时的齿宽。 b_1 —内链节内宽, 查表 4.3-2, 公差为 $h14$
齿侧倒角		b_a	$b_{a\text{公称}} = 0.06p$		适用于 081、083、084 规格链条
			$b_{a\text{公称}} = 0.13p$		适用于其余链条
齿侧半径		r_s	$r_{s\text{公称}} = p$		
齿全宽		b_{fm}	$b_{\text{fm}} = (m - 1)p_t + b_{\text{fl}}$		m —排数

4.4 链轮结构

小尺寸的链轮采用表 4.3-13 所列的整体式结构, 大链轮可做成板式齿圈的焊接结构或装配结构, 见图 4.3-7。

大型链轮除按表 4.3-14、表 4.3-15 外, 也可采用轮辐式铸造结构, 轮辐剖面可用椭圆形或十字形, 可参考铸造齿轮结构。

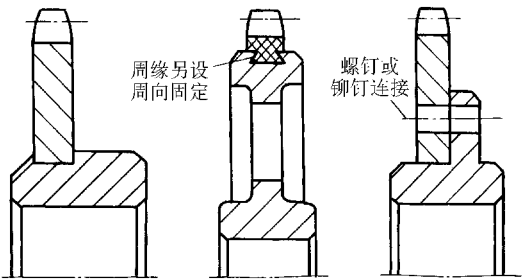
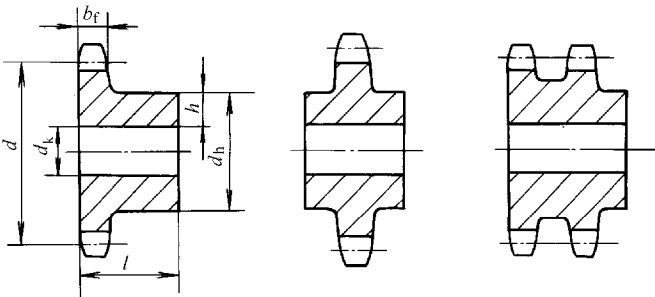


图 4.3-7 链轮结构

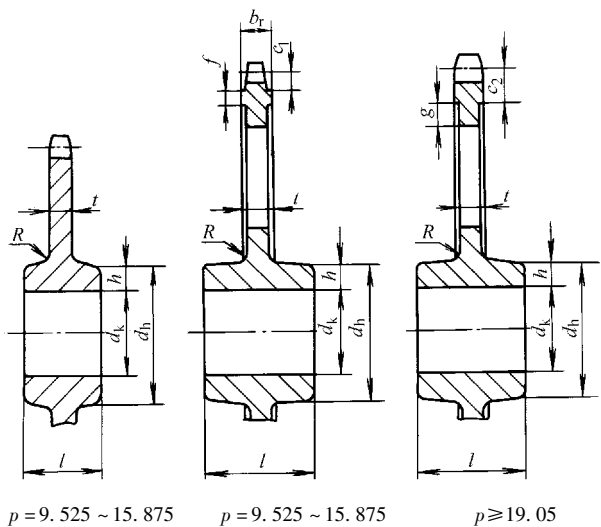
表 4.3-13 整体式钢制小链轮主要结构尺寸 (mm)



名 称	符 号	结构尺寸 (参考)										
轮毂厚度	h	$h = K + \frac{d_k}{6} + 0.01d$ 常数 K: <table><tr><td>d</td><td><50</td><td>50 ~ 100</td><td>100 ~ 150</td><td>>150</td></tr><tr><td>K</td><td>3.2</td><td>4.8</td><td>6.4</td><td>9.5</td></tr></table>	d	<50	50 ~ 100	100 ~ 150	>150	K	3.2	4.8	6.4	9.5
d	<50	50 ~ 100	100 ~ 150	>150								
K	3.2	4.8	6.4	9.5								
轮毂长度	l	$l = 3.3h$$l_{\min} = 2.6h$										
轮毂直径	d_h	$d_h = d_k + 2h$$d_{h\max} < d_g, \quad d_g \text{ 见表 4.3-9}$										
齿宽	b_f	见表 4.3-12										

表 4.3-14 腹板式、单排铸造链轮主要结构尺寸

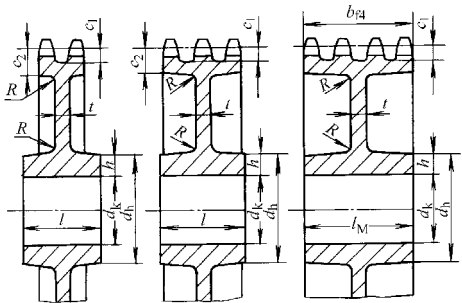
(mm)



名 称	符 号	结构尺寸 (参考)
轮毂厚度	h	$h = 9.5 + \frac{d_k}{6} + 0.01d$
轮毂长度	l	$l = 4h$
轮毂直径	d_h	$d_h = d_k + 2h, d_{hmax} < d_g, d_g$ 查表 4.3-9
齿侧凸缘宽度	b_r	$b_r = 0.625p + 0.93b_1, b_1$ —内链节内宽, 查表 4.3-2
轮缘部分尺寸	c_1	$c_1 = 0.5p$
	c_2	$c_2 = 0.9p$
	f	$f = 4 + 0.25p$
	g	$g = 2t$
圆角半径	R	$R = 0.04p$
腹板厚度	t	p
		$9.525 \quad 15.875 \quad 25.4 \quad 38.1 \quad 50.8 \quad 76.2$
		$12.7 \quad 19.05 \quad 31.75 \quad 44.45 \quad 63.5$
	t	$7.9 \quad 10.3 \quad 12.7 \quad 15.9 \quad 22.2 \quad 31.8$
		$9.5 \quad 11.1 \quad 14.3 \quad 19.1 \quad 28.6$

表 4.3-15 腹板式多排铸造链轮主要结构尺寸

(mm)



名 称	符 号	结构尺寸 (参考)
圆角半径	R	$R = 0.5t$
轮毂长度	l	$l = 4h$ 对四排链, $l_M = b_{r4}, b_{r4}$ 见表 4.3-12

(续)

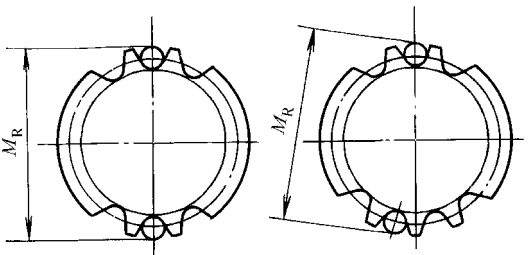
名 称	符 号	结构尺寸 (参考)						
腹板厚度	t	p	9.525	12.7	15.585	19.05	25.4	31.75
		t	9.5	10.3	11.1	12.7	14.3	15.9
		p	38.1	44.45	50.8	63.5	76.2	
		t	19.1	22.2	25.4	31.8	38.1	
其余结构尺寸		同表 4.3-14						

4.5 链轮公差 (见表 4.3-16 ~ 表 4.3-18) 对一般用途的滚子链链轮, 其轮齿经机械加工后, 齿表面粗糙度为 $Ra6.3\mu m$ 。

表 4.3-16 滚子链链轮齿根圆直径极限偏差及量柱测量距极限偏差 (摘自 GB/T1243—2006)

项 目	尺寸段	上偏差	下偏差	备 注
齿根圆极限偏差 量柱测量距极限偏差	$d_f \leq 127$	0	-0.25	链轮齿根圆直径下偏差为负值。它可以用量柱法间接测量, 量柱测量距 M_R 的公称尺寸值见表 4.3-17
	$127 < d_f \leq 250$	0	-0.30	
	$250 < d_f$	0	h11	

表 4.3-17 滚子链链轮的量柱测量距 M_R (摘自 GB/T1243—2006)

		项 目	符 号
		量柱测量距	M_R
		量柱直径	d_R
		M_R 计算公式	
偶数齿		$M_R = d + d_{Rmin}$	
奇数齿		$M_R = d \cos \frac{90^\circ}{z} + d_{Rmin}$	

注: 量柱直径 d_R = 滚子外径 d_1 。量柱的技术要求为: 极限偏差为 $+0.01$ 。

表 4.3-18 滚子链链轮齿根圆径向圆跳动和端面圆跳动 (摘自 GB/T1243—2006)

项 目	要 求
链轮孔和根圆直径之间的径向圆跳动量	不应超过下列两数值中的较大值 ($0.0008d_f + 0.08$) mm 或 0.15mm 最大到 0.76mm
轴孔到链轮齿侧平直部分的端面圆跳动量	不应超过下列计算值 ($0.0009d_f + 0.08$) mm 最大到 1.14mm 对焊接链轮, 如果上式计算值小, 可采用 0.25mm

4.6 链轮材料及热处理 (见表 4.3-19)

表 4.3-19 链轮材料及热处理

材 料	热 处 理	齿 面 硬 度	应 用 范 围
15、20	渗碳、淬火、回火	50 ~ 60HRC	$z \leq 25$ 有冲击载荷的链轮
35	正火	160 ~ 200HBW	$z > 25$ 的主、从动链轮
45、50	淬火、回火	40 ~ 50HRC	无剧烈冲击振动和要求耐磨损的主、从动链轮
45Mn、ZG310-570			
15Cr、20Cr	渗碳、淬火、回火	55 ~ 60HRC	$z < 30$ 传递较大功率的重要链轮
40Cr、35SiMn、35CrMo	淬火、回火	40 ~ 50HRC	要求强度较高和耐磨损的重要链轮
Q235、Q275	焊接后退火	$\approx 140HBW$	中低速、功率不大的较大链轮
不低于 HT200 的灰铸铁	淬火、回火	260 ~ 280HBW	$z > 50$ 的从动链轮以及外形复杂或强度要求一般的链轮
夹布胶木			$P < 6kW$, 速度较高, 要求传动平稳、噪声小的链轮

5 链传动的布置、张紧与润滑方式

5.1 链传动的布置

链传动一般应布置在铅垂平面内, 尽可能避免布置在水平或倾斜平面内。如确有需要, 则应考虑加装托板或张紧轮等装置, 并且设计较紧凑的中心距。

链传动的安装一般应使两轮轮宽的中心平面轴向位移误差 $\Delta e \leq \frac{0.2}{100}a$, 两链轮旋转平面间的夹角误差 $\Delta\theta \leq \frac{0.6}{100}\text{rad}$, 见图 4.3-8。

差 $\Delta\theta \leq \frac{0.6}{100}\text{rad}$, 见图 4.3-8。

链传动的布置应考虑表 4.3-20 提出的一些布置

原则。

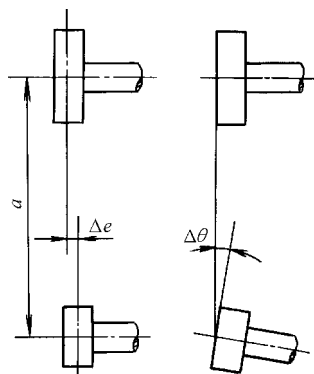


图 4.3-8 链轮的安装误差

表 4.3-20 链传动的布置

传动条件	正确布置	不正确布置	说 明
i 与 a 较佳场合: $i = 2 \sim 3$ $a = (30 \sim 50)p$			两链轮中心连线最好成水平, 或与水平面成 60° 以下的倾角。紧边在上面较好
i 大 a 小场合: $i > 2$ $a < 30p$			两轮轴线不在同一水平面上, 此时松边应布置在下面, 否则松边下垂量增大后, 链条易与小链轮齿钩住
i 小 a 大场合: $i < 1.5$ $a > 60p$			两轮轴线在同一水平面上, 松边应布置在下面, 否则松边下垂量增大后, 松边会与紧边相碰。此外, 需经常调整中心距
垂直传动场合: i 、 a 为任意值			两轮轴线在同一铅垂面内, 此时下垂量集中在下端, 所以要尽量避免这种垂直或接近垂直的布置, 否则会减少下面链轮的有效啮合齿数, 降低传动能力。应采用: a) 中心距可调; b) 张紧装置; c) 上下两轮错开, 使其轴线不在同一铅垂面内, d) 尽可能将小链轮布置在上方等措施
反向传动 $ i < 8$			为使两轮转向相反, 应加装 3 和 4 两个导向轮, 且其中至少有一个是可以调整张紧的。紧边应布置在 1 和 2 两轮之间, 角 δ 的大小应使 2 轮的啮合包角满足传动要求

5.2 链传动的张紧

链传动的张紧程度可用测量松边垂度 f 的大小来表示。图4.3-9a为近似的测量 f 的方法,即近似认为两轮公切线与松边最远点的距离为垂度 f 。对于图4.3-9b所示的双侧测量,其松边垂度 f 相当为

$$f = \sqrt{f_1^2 + f_2^2}$$

合适的松边垂度推荐为

$$f = (0.01 \sim 0.02)a$$

或

$$\left. \begin{aligned} f_{\min} &\leq f \leq f_{\max} \\ f_{\min} &= \frac{0.00036 \sqrt{a^3}}{K_v} \cos \alpha \\ f_{\max} &= 3f_{\min} \end{aligned} \right\}$$

式中 a ——传动中心距 (mm);

$f_{\min}$ ——最小垂度 (mm);

$f_{\max}$ ——最大垂度 (mm);

α ——松边对水平面的倾角,见图4.3-6;

K_v ——速度系数,当 $v \leq 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $K_v = 1.0$; 当 $v > 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $K_v = 0.1v$ 。

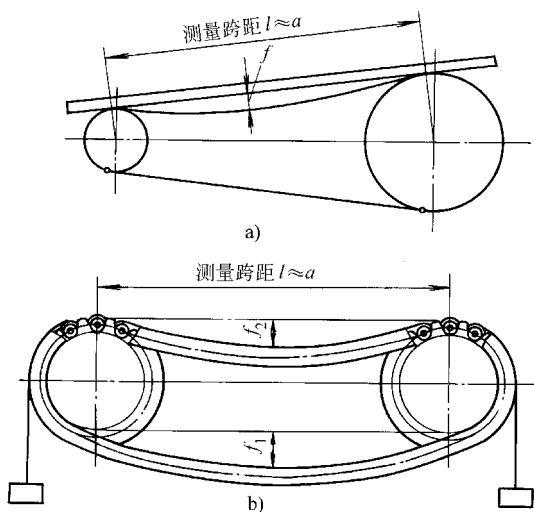


图 4.3-9 垂度测量

对于重载、经常启动、制动和反转的链传动以及接近垂直的链传动,其松边垂度应适当减小。

链传动的张紧可以采用下列方法:

(1) 用调整中心距方法张紧 对于滚子链传动,其中心距调整量可取为 $2p$;对于齿形链传动,可取为 $1.5p$, p 为链条节距。

(2) 用缩短链长方法张紧 当传动没有张紧装置而中心距又不可能调整时,可采用缩短链长(即

拆去链节)的方法对因磨损而伸长的链条重新张紧,如图4.3-10所示。图4.3-10a是偶数节链条缩短一节的方法(图中拆去3个链节即两个内链节一个外链节,换上一个复合过渡链节即一个内链节和一个过渡链节),采用过渡链节使抗拉强度有所降低;缩短两节虽可避免使用过渡链节,有时又会过分张紧。图4.3-10b是奇数节链条缩短一节的方法,即把过渡链节去掉,比较简单。

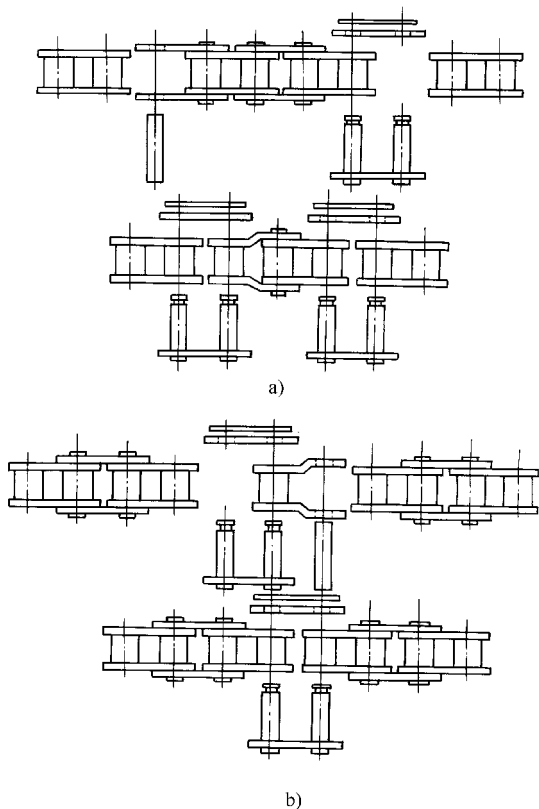


图 4.3-10 链条的缩短方法

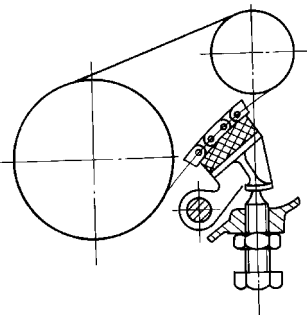
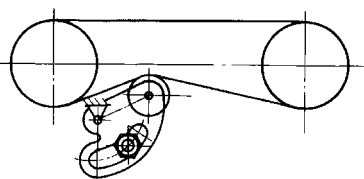
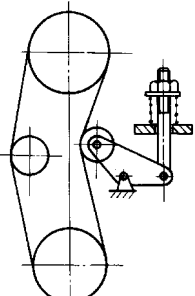
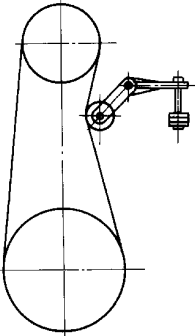
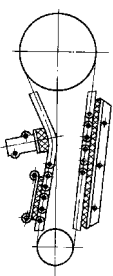
a) 偶数节链条缩短一节的方法

b) 奇数节链条缩短一节的方法

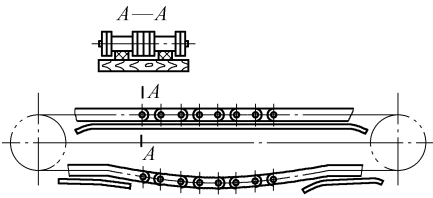
(3) 用张紧装置张紧 下列情况应增设张紧装置(张紧装置示例见表4.3-21):

- 1) 两轴中心距较大($a > 50p$ 和脉动载荷下 $a > 25p$);
- 2) 两轴中心距过小,松边在上面;
- 3) 两轴布置使倾角 α 接近 90° ;
- 4) 需要严格控制张紧力;
- 5) 多链轮传动或反向传动;
- 6) 要求减小冲击振动,避免共振;
- 7) 需要增大链轮啮合包角;
- 8) 采用调整中心距或缩短链长的方法有困难。

表 4.3-21 张紧装置示例

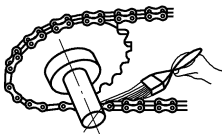
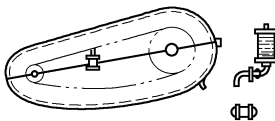
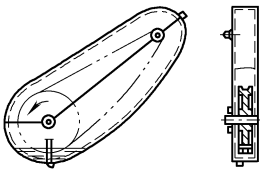
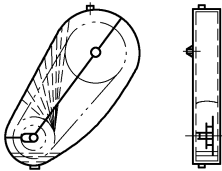
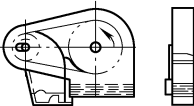
类 型	张紧调节形式	简 图	说 明
定 期 张 紧	螺纹调节		调节螺钉可采用细牙螺纹并带锁紧螺母
	偏心调节		
自 动 张 紧	弹簧调节		张紧轮一般布置在链条松边, 根据需要可以靠近小链轮或大链轮, 或者布置在中间位置。张紧轮可以是链轮或辊轮。张紧链轮的齿数常等于小链轮齿数。张紧辊轮常用于垂直或接近于垂直的链传动, 其直径可取为 $(0.6 \sim 0.7)d$, d 为小链轮直径
自 动 张 紧	挂重调节		
	液压调节		采用液压块与导板相结合的形式, 减振效果好, 适用于高速场合, 如发动机的正时链传动

(续)

类 型	张紧调节形式	简 图	说 明
承托装置	托板和托架		适用于中心距较大的场合，托板上可衬以软钢、塑料或耐油橡胶，滚子可在其上滚动，更大中心距时，托板可以分成两段，借中间 6 ~ 10 节链条的自重下垂张紧

5.3 链传动的润滑方式（见表 4. 3-22）

表 4. 3-22 链传动的润滑方式

润滑方式	简图	说明	供 油																								
人 工 定 期 润 滑		定期在链条松边内外链板间隙中注油	每班注油一次																								
滴 油 润 滑		具有简单外壳，用油杯通过油管向松边的内外链板间隙处滴油	单排链每分钟滴油 5 ~ 20 滴，速度高时取大值																								
油 浴 润 滑		具有密封的外壳，链条从油池中通过	链条浸油深度约 6 ~ 12mm；过浅，润滑不可靠；边深，搅油损失大，润滑油易发热、变质																								
飞 溅 润 滑		具有密封的外壳，甩油盘将油甩起，经壳体上的集油装置将油导流到链条上。甩油盘圆周速度 $v > 3\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ；当链宽大于 130mm 时，应在链轮两侧装甩油盘	链条不浸入油池，甩油盘浸油深度为 12 ~ 15mm																								
压 力 润 滑		具有密封的外壳，油泵供油。循环油可起冷却作用。喷油口设在链条啮入处。喷油口应比链条排数多一个	<table><tr><th rowspan="2">链速 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$</th><th colspan="4">节距 p/mm</th></tr><tr><th>≤ 19.05</th><th>25.4 ~ 31.75</th><th>38.1 ~ 44.45</th><th>≥ 50.8</th></tr><tr><td>8 ~ 13</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>2.5</td></tr><tr><td>> 13 ~ 18</td><td>2.0</td><td>2.5</td><td>3.0</td><td>3.5</td></tr><tr><td>> 18 ~ 24</td><td>3.0</td><td>3.5</td><td>4.0</td><td>4.5</td></tr></table>	链速 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	节距 p/mm				≤ 19.05	25.4 ~ 31.75	38.1 ~ 44.45	≥ 50.8	8 ~ 13	1.0	1.5	2.0	2.5	> 13 ~ 18	2.0	2.5	3.0	3.5	> 18 ~ 24	3.0	3.5	4.0	4.5
链速 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	节距 p/mm																										
	≤ 19.05	25.4 ~ 31.75	38.1 ~ 44.45	≥ 50.8																							
8 ~ 13	1.0	1.5	2.0	2.5																							
> 13 ~ 18	2.0	2.5	3.0	3.5																							
> 18 ~ 24	3.0	3.5	4.0	4.5																							

注：开式传动和不易润滑的链传动，可定期用煤油拆洗，干燥后浸入 70 ~ 80℃ 润滑油中，使铰链间隙充油后安装使用。

6 滚子链传动设计计算示例

设计一带式输送机驱动装置低速级用的滚子链传动。已知小链轮轴功率 $P = 2.5\text{kW}$ ，小链轮转速 $n_1 = 265\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，传动比 $i = 2.5$ ，工作载荷平稳，小链轮悬臂装于轴上，轴直径为 50mm ，链传动中心距可调，两轮中心连线与水平面夹角近于 30° ，传动简图见图 4.3-11。

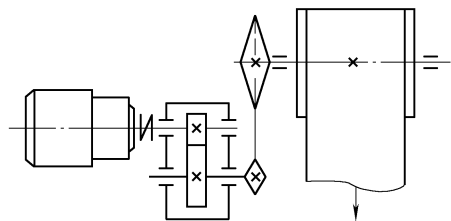


图 4.3-11 传动简图

解

1) 链轮齿数

小链轮齿数

取 $z_1 = 25$

大链轮齿数

$z_2 = iz_1 = 2.5 \times 25 = 62.5$ ，取 62

2) 实际传动比 i

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{62}{25} = 2.48$$

3) 链轮转速

小链轮转速 $n_1 = 265\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$

大链轮转速

$$\begin{aligned} n_2 &= \frac{n_1}{i} = \frac{265}{2.48} \text{r} \cdot \text{min}^{-1} \\ &= 107 \text{r} \cdot \text{min}^{-1} \end{aligned}$$

4) 修正功率 P_c

$$\begin{aligned} P_c &= P f_1 f_2 = 2.5 \times 1.4 \times 0.76 \text{kW} \\ &= 2.66 \text{kW} \end{aligned}$$

式中 由表 4.3-4，工况系数 $f_1 = 1.4$ ，

由图 4.3-4，小链轮齿数系数， $f_2 = 0.76$

5) 链条节距 p 由修正功率 $P_c = 2.66\text{kW}$ 和小链轮转速 $n_1 = 265\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 在图 4.3-1 上选得节距 p 为 12A 即 19.05mm 。

6) 初定中心距 a_{0p} 因结构上未限定，暂取 $a_{0p} \approx 35p$

7) 链长节数 X_0

$$\begin{aligned} X_0 &= 2a_{0p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{c}{a_{0p}} \\ &= 2 \times 35 + \frac{25 + 62}{2} + \frac{34.68}{35} \\ &= 114.49 \end{aligned}$$

取 $X_0 = 114$ 节

$$\text{式中, } f_3 = \left(\frac{62 - 25}{2\pi} \right)^2 = 34.68$$

8) 链条长度 L

$$\begin{aligned} L &= \frac{X_0 p}{1000} = \frac{114 \times 19.05}{1000} \text{m} \\ &\approx 2.17 \text{m} \end{aligned}$$

9) 理论中心距 a

$$\begin{aligned} a &= p (2X_0 - z_2 - z_1) f_4 \\ &= 19.05 (2 \times 114 - 62 - 25) \times 0.24645 \text{mm} \\ &= 661.98 \text{mm} \end{aligned}$$

式中， $f_4 = 0.24645$ ，按 $\frac{X - z_1}{z_2 - z_1} = \frac{114 - 25}{62 - 25} = 24.05$ ，由表 4.3-6 插值法求得。

10) 实际中心距 a'

$$\begin{aligned} a' &= a - \Delta a \\ &= (661.98 - 0.004 \times 661.98) \text{mm} \\ &= 659.3 \text{mm} \end{aligned}$$

11) 链速 v

$$\begin{aligned} v &= \frac{z_1 n_1 p}{60 \times 1000} = \frac{25 \times 265 \times 19.05}{60 \times 1000} \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \\ &= 2.1 \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

12) 有效圆周力 F

$$F = \frac{1000P}{v} = \frac{1000 \times 2.5}{2.1} \text{N} = 1190 \text{N}$$

13) 作用于轴上的拉力 F_Q

$$F_Q \approx 1.20 f_1 F = 1.2 \times 1 \times 1190 \text{N} = 1429 \text{N}$$

14) 计算链轮几何尺寸并绘制链轮工作图，其中小链轮工作图如图 4.3-12 所示。

15) 润滑方式的选定

根据链号 12A 和链条速度 $v = 2.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，由图 4.3-5 选用润滑范围 3，即油池润滑或油盘飞溅润滑。

16) 链条标记

根据设计计算结果，采用单排 12A 滚子链，节距为 19.05mm ，节数为 114 节，其标记为：

12A-1×114 GB/T1243—2006

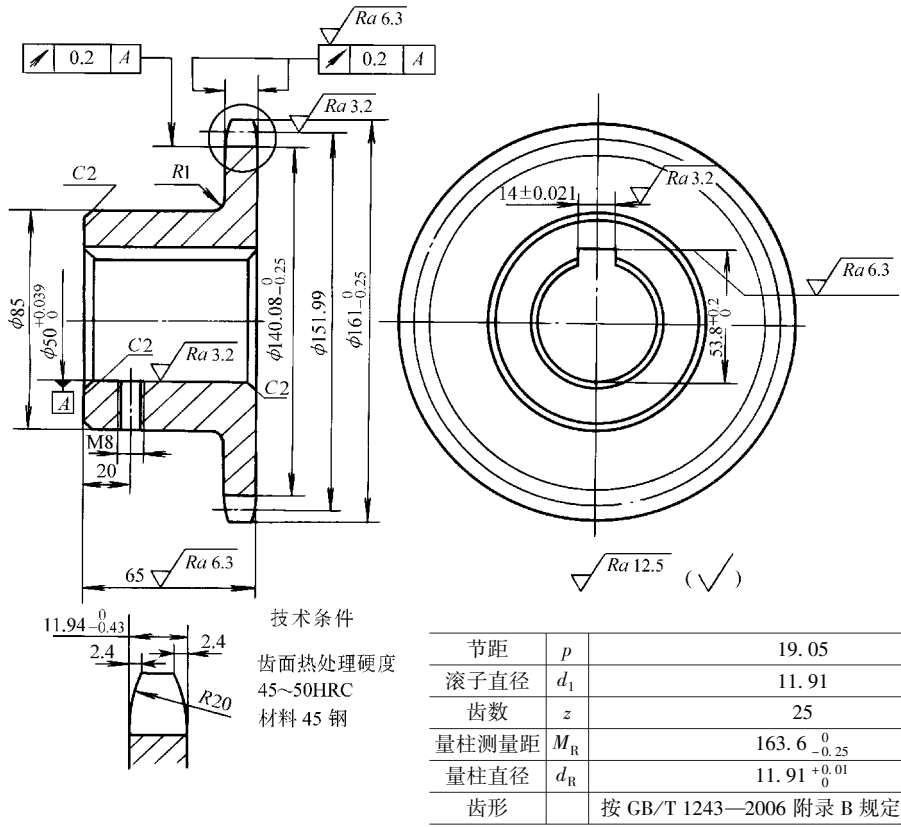


图 4.3-12 小链轮工作图示例

第 4 章 渐开线圆柱齿轮传动

1 渐开线圆柱齿轮传动的类型、特点、性能和应用举例（见表 4. 4-1）

表 4. 4-1 渐开线圆柱齿轮传动的类型、特点、性能和应用举例

类型	主要特点	功率 P /kW	速度 v /m · s ⁻¹	效率 η	单级传 动比 i	应用举例
按齿线可分为： 直齿斜齿和人字齿 渐开线圆柱齿轮	传动的功率和速度可以 很大，效率高；对中心距 的敏感性小；装配维修方 便；可进行变位、修形、 修缘和精密加工；易得到 高质量的传动	已 达 65000，一 般 <3000	已 达 210，实 验室已达 300	与制造 精度有关， 一般 0.97 ~ 0.99， 最高 0.995	一般软 齿 面 ≤ 7.1，硬齿 面 ≤ 6.3， 最大 10	可在绝大多 数机器中使用， 如机床、汽车、 汽轮机、工程 机械等

2 渐开线圆柱齿轮基本齿廓和模数系列（见表 4. 4-2 ~ 表 4. 4-5）

表 4. 4-2 渐开线标准基本齿条齿廓（摘自 GB/T 1356—2001）

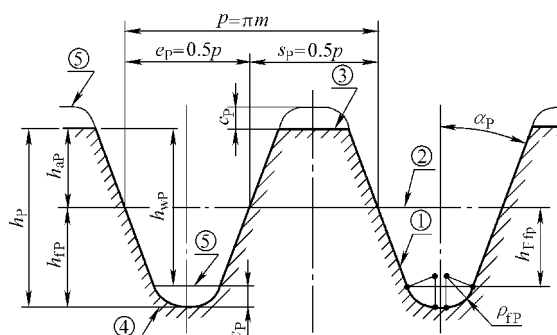
	符号	意 义	数 值
	α_P	压力角	20°
	h_{aP}	标准基本齿条轮齿齿顶高	1m
	c_P	标准基本齿条轮齿与相啮合标准基本齿条轮齿之间的顶隙	0.25m
	h_{fP}	标准基本齿条轮齿齿根高	1.25m
	ρ_{fP}	基本齿条的齿根圆角半径	0.38m

表 4. 4-3 不同使用场合下推荐的基本齿条齿廓（摘自 GB/T 1356—2001）

项目代号	基本齿条齿廓类别			
	A	B	C	D
a_P	20°	20°	20°	20°
h_{aP}	1m	1m	1m	1m
c_P	0.25m	0.25m	0.25m	0.4m
h_{fP}	1.25m	1.25m	1.25m	1.4m
ρ_{fP}	0.38m	0.3m	0.25m	0.39m

- 注：1. A 型标准基本齿条齿廓推荐用于传递大转矩的齿轮。根据不同的使用要求可以使用替代的基本齿条齿廓（GB/T 1356—2001）。
2. B 型和 C 型基本齿条齿廓推荐用于普通的场合。用标准滚刀加工时，可以用 C 型。
3. D 型基本齿条齿廓的齿根圆角为单圆弧。当保持最大齿根圆角半径时，增大的齿根高（ $h_{fP} = 1.4m$ ，齿根圆角半径 $\rho_{fP} = 0.39m$ ）使得精加工刀具能在没有干涉的情况下工作。这种齿廓推荐用于高精度、传递大转矩的齿轮；齿廓精加工用磨齿或剃齿，并要小心避免齿根圆角处产生凹痕，凹痕会导致应力集中。

表 4.4-4 国外圆柱齿轮常用基本齿廓主要参数

国 别	齿形种类	标 准 号	m 或 P	α	h_a^*	c^*	ρ_f	备注
国际标准化组织	标准齿高	ISO R53—1974	m	20°	1	0.25	$0.38m$	
德 国	标准齿高 短 齿	DIN 867	m	20°	1	0.1 ~ 0.3		
			m	20°	0.8	0.1 ~ 0.3		
日 本	标准齿高	JIS B1701—1973	m	20°	1	0.25		
法 国	标准齿高	NFE 23—011—1979	m	20°	1	0.25	$0.38m$	
瑞 士	标准齿高 马格齿形	VSM 15520	m	20°	1	0.25		用于插齿法
			m	15°	1	0.167		
			m	20°	1	0.167		
英 国	标准齿高	BS436—1940	P	14.5°	1	0.157		
	标准齿高	BS436: Part 1—1967	P	20°	1	0.25 ~ 0.4	0.25 ~ 0.39	
	标准齿高	BS436: Part 2—1970	m	20°	1	0.25 ~ 0.4	0.25 ~ 0.39	
美 国	标准齿高	ASAB6.1—1968	P	20°	1	0.25 ~ 0.35 0.40	0.3 × 1/ P	> $P20$ 剃齿法 > $P20$ 剃齿法 < $P20$ 剃齿法
	标准齿高	ASAB6.1—1968	P	25°	1	0.25 ~ 0.35 0.40		
	标准齿高	ASAB6.1—1968	P	20°	1	0.20 0.35		
	短齿	ASME	P	22.5°	0.875	0.125		
原 苏 联	标准齿高	ГОСТ 13755—1968	m	20°	1	0.25		
	短 齿	ГОСТ 13755—1968	m	20°	0.8	0.30	$0.4m$	

注：表中径节 $P = \frac{z}{d} 1/\text{in}$, $m = \frac{25.4}{P} \text{mm}$ 。

表 4.4-5 通用机械和重型机械用渐开线圆柱齿轮法向模数（摘自 GB/T 1357—2008）（mm）

第 I 系列	1		1.25		1.5		2		2.5		3	
第 II 系列		1.125		1.375		1.75		2.25		2.75		3.5
第 I 系列	4		5		6			8		10		12
第 II 系列		4.5		5.5		(6.5)	7		9		11	
第 I 系列		16		20		25		32		40		50
第 II 系列	14		18		22		28		36		45	

注：1. 优先选用第 I 系列法向模数，避免采用括号内数值。

2. 本标准不适用于汽车齿轮。

3 渐开线圆柱齿轮的齿形修缘

对于圆周速度较大的齿轮传动，为减少齿轮的啮入、啮出冲击，降低振动噪声，增加传动平稳性，提高抗胶合能力，可通过齿顶修缘来实现。

对于 6 ~ 8 级的圆柱齿轮传动，当圆周速度大于表 4.4-6 中数值需要修缘时，推荐使用表 4.4-7 中的数值。

以下情况 不进行齿顶修缘：

1) 因修缘的结果，在直齿轮传动中使重合度 $\varepsilon < 1.089$ ，在斜齿轮传动中使端面重合度 $\varepsilon_\alpha < 1$ 。

2) 当斜齿轮的螺旋角 $\beta > 17^\circ 45'$ 时。

对外啮合高变位齿轮传动 ($x_1 + x_2 = 0$)，齿顶修

缘后使重合度(或端面重合度)达到 1.089（直齿）或 1.0（斜齿）的条件，可按图 4.4-1 求得，即此时齿轮的变位系数 x 不得大于按图 4.4-1 求得的数值。

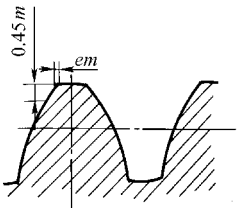
表 4.4-6 外啮合圆柱齿轮的许用圆周速度

齿轮类型	精度等级		
	6 级	7 级	8 级
	圆周速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		
直齿圆柱齿轮	10	6	4
斜齿圆柱齿轮	16	10	6

例 一对外啮合高变位直齿圆柱齿轮， $z_1 = 20$ 。由图可知，当 $x_1 = 0.62$ 时，端面重合度 $\varepsilon_\alpha = 1.089$ ；如果 $x_1 > 0.62$ ，则 $\varepsilon_\alpha < 1.089$ 。

表 4.4-7 齿顶修缘高度和深度

(mm)

图 形	精 度 等 级					
	6 级		7 级		8 级	
	m	e	m	e	m	e
	2 ~ 2.75	0.01	2 ~ 2.5	0.015	2 ~ 2.75	0.02
	3 ~ 4.5	0.008	2.75 ~ 3.5	0.012	3 ~ 3.5	0.0175
	5 ~ 10	0.006	3.75 ~ 5	0.010	3.75 ~ 5	0.015
	11 ~ 16	0.005	5.5 ~ 7	0.009	5.5 ~ 8	0.012
			8 ~ 11	0.008	9 ~ 16	0.010
			12 ~ 20	0.007	18 ~ 25	0.009
			22 ~ 30	0.006	28 ~ 50	0.008

注：1. 表中的数值是指在基准齿形上的修缘数值。

2. 基准齿形上的修缘部分是一条直线，也允许采用均匀的凸形曲线。

3. 在大批量生产中，对于特别重要的传动齿轮以及受工艺要求所限制时，允许改变修缘形状和数值。

4. 内啮合齿轮传动也可以应用本表数值。

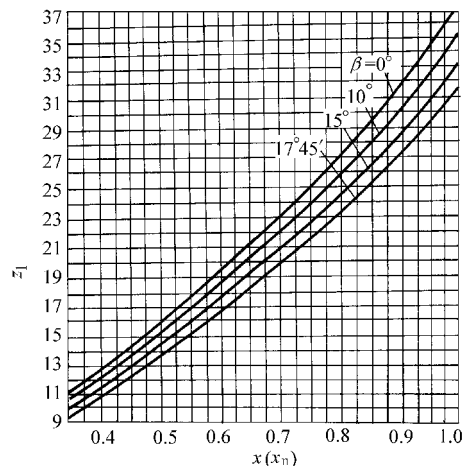


图 4.4-1 高变位齿轮传动在端面重合度 $\varepsilon_\alpha = 1.089$ (直齿) 和 1.0 (斜齿) 时, 齿数 z_1 与螺旋角 β 及变位系数 $x(x_n)$ 的关系

4 渐开线圆柱齿轮传动的几何尺寸计算

4.1 标准圆柱齿轮传动的几何尺寸计算

4.1.1 外啮合标准圆柱齿轮传动的几何尺寸计算

外啮合标准圆柱齿轮传动如图 4.4-2 所示, 其几何计算公式见表 4.4-8。

4.1.2 内啮合标准圆柱齿轮传动的几何尺寸计算

内啮合标准圆柱齿轮传动如图 4.4-3 所示, 其几何计算公式见表 4.4-9。

4.2 变位圆柱齿轮传动的几何尺寸计算

4.2.1 变位齿轮传动的特点与功用

各种变位齿轮传动的特点及其与标准齿轮传动

的比较见表 4.4-10。

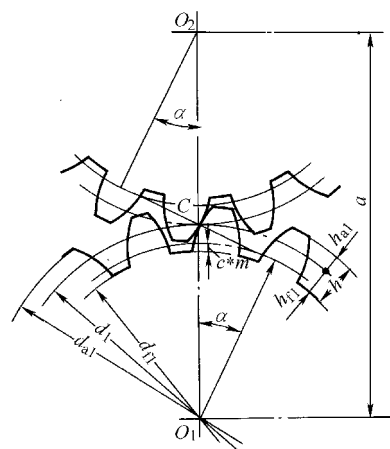


图 4.4-2 外啮合标准圆柱齿轮传动

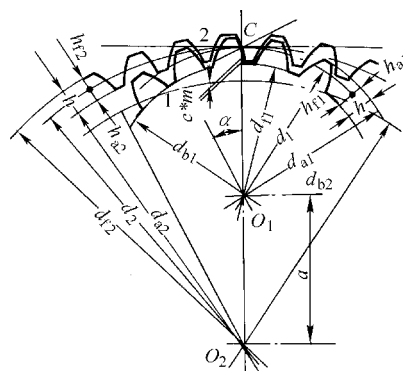


图 4.4-3 内啮合标准圆柱齿轮传动

应用渐开线变位齿轮传动, 可以解决以下方面的问题:

1) 避免根切。当齿轮的齿数 $z < z_{\min}$ 时, 利用正变位可以避免根切, 提高齿根抗弯强度。

表 4.4-8 外啮合标准圆柱齿轮传动几何尺寸计算公式

名称	代 号	直 齿 轮	斜齿（人字齿）轮
模数	m 或 m_n	m 按强度计算或结构设计确定，并按表 4.4-5 取标准值	m_n 按强度计算或结构设计确定，并按表 4.4-5 取标准值。 $m_t = m_n / \cos\beta$
压力角	α 或 α_n	α 取标准值	α_n 取标准值， $\tan\alpha_t = \tan\alpha_n / \cos\beta$
分度圆直径	d	$d = zm$	$d = zm_t = zm_n / \cos\beta$
齿顶高	h_a	$h_a = h_a^* m$	$h_a = h_{an}^* m_n$
齿根高	h_f	$h_f = (h_a^* + c^*) m$	$h_f = (h_{an}^* + c_n^*) m_n$
全齿高	h	$h = h_a + h_f$	$h = h_a + h_f$
齿顶圆直径	d_a	$d_a = d + 2h_a$	$d_a = d + 2h_a$
齿根圆直径	d_f	$d_f = d - 2h_f$	$d_f = d - 2h_f$
中心距	a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m_n(z_1 + z_2)}{2\cos\beta}$
基圆直径	d_b	$d_b = d\cos\alpha$	$d_b = d\cos\alpha_t$
齿顶圆压力角	α_a	$\alpha_a = \arccos \frac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at} = \arccos \frac{d_b}{d_a}$
重合度	端面重合度	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} [z_1 (\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha) + z_2 (\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha)]$	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} [z_1 (\tan\alpha_{at1} - \tan\alpha_t) + z_2 (\tan\alpha_{at2} - \tan\alpha_t)]$
		$\alpha = 20^\circ$ （或 $\alpha_n = 20^\circ$ ）时，可由图 4.4-8 查出	
	纵向重合度	$\varepsilon_\beta = 0$	$\varepsilon_\beta = \frac{b\sin\beta}{\pi m_n}$
			可由图 4.4-10 查出
	总重合度	$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$	
当量齿数	z_v	$z_v = z$	$z_v = \frac{z}{\cos^3\beta}$

表 4.4-9 内啮合标准圆柱齿轮传动几何尺寸计算公式

名称	代 号	直 齿 轮	斜齿（人字齿）轮
模数	m 或 m_n	m 按强度计算或结构设计确定，并按表 4.4-5 取标准值	m_n 按强度计算或结构设计确定，并按表 4.4-5 取标准值。 $m_t = m_n / \cos\beta$
压力角	α 或 α_n	α 取标准值	α_n 取标准值， $\tan\alpha_t = \tan\alpha_n / \cos\beta$
分度圆直径	d	$d_1 = z_1 m$ $d_2 = z_2 m$	$d_1 = z_1 m_t = \frac{z_1 m_n}{\cos\beta}$ $d_2 = z_2 m_t = \frac{z_2 m_n}{\cos\beta}$
齿顶高	h_a	$h_{a1} = h_a^* m$ $h_{a2} = (h_a^* - \Delta h_a^*) m$ $\Delta h_a^* = \frac{h_a^{*2}}{z_2 \tan^2 \alpha}$ 是为了避免过渡曲线干涉的齿顶高系数减少量。当 $h_a^* = 1$ ， $\alpha = 20^\circ$ 时， $\Delta h_a^* = \frac{7.55}{z_2}$	$h_{a1} = h_{an}^* m_n$ $h_{a2} = (h_{an}^* - \Delta h_{an}^*) m_n$ $\Delta h_{an}^* = \frac{h_{an}^{*2} \cos^3 \beta}{z_2 \tan^2 \alpha_n}$ 是为了避免过渡曲线干涉的齿顶高系数减少量。当 $h_{an}^* = 1$ ， $\alpha_n = 20^\circ$ 时， $\Delta h_{an}^* = \frac{7.55 \cos^3 \beta}{z_2}$
齿根高	h_f	$h_f = (h_a^* + c^*) m$	$h_f = (h_{an}^* + c_n^*) m_n$
全齿高	h	$h_1 = h_{a1} + h_f$ $h_2 = h_{a2} + h_f$	$h_1 = h_{a1} + h_f$ $h_2 = h_{a2} + h_f$
齿顶圆直径	d_a	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$ $d_{a2} = d_2 - 2h_{a2}$	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$ $d_{a2} = d_2 - 2h_{a2}$

(续)

名称	代号	直 齿 轮	斜齿 (人字齿) 轮
齿根圆直径	d_f	$d_{f1} = d_1 - 2h_f$ $d_{f2} = d_2 + 2h_f$	$d_{f1} = d_1 - 2h_f$ $d_{f2} = d_2 + 2h_f$
中心距	a	$a = \frac{d_2 - d_1}{2} = \frac{m(z_2 - z_1)}{2}$	$a = \frac{d_2 - d_1}{2} = \frac{m_n(z_2 - z_1)}{2\cos\beta}$
基圆直径	d_{b1}	$d_{b1} = d_1 \cos\alpha$ $d_{b2} = d_2 \cos\alpha$	$d_{b1} = d_1 \cos\alpha_1$ $d_{b2} = d_2 \cos\alpha_1$
齿顶圆压力角	α_a	$\alpha_{a1} = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}}$ $\alpha_{a2} = \arccos \frac{d_{b2}}{d_{a2}}$	$\alpha_{a1} = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}}$ $\alpha_{a2} = \arccos \frac{d_{b2}}{d_{a2}}$
重 合 度	端面重合度	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} [z_1 (\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha) - z_2 (\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha)]$	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} [z_1 (\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha_1) - z_2 (\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha_1)]$
		$\alpha = 20^\circ$ (或 $\alpha_n = 20^\circ$) 时, 可由图 4.4-9 查出	
	纵向重合度	$\varepsilon_\beta = 0$	$\varepsilon_\beta = \frac{b \sin\beta}{\pi m_n}$ 可由图 4.4-10 查出
	总重合度	ε_γ	$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$
当量齿数	z_v	$z_v = z$	$z_v = \frac{z}{\cos^3\beta}$

表 4.4-10 变位齿轮传动的特点及其与标准齿轮传动的比较

名 称	代 号	特点比较			
		标准齿轮传动 $x_\Sigma = x_1 = x_2 = 0$	高度变位齿轮传动 $x_\Sigma = x_1 + x_2 = 0$	角度变位齿轮传动 $x_\Sigma = x_1 + x_2 \neq 0$	
				$x_\Sigma = x_1 + x_2 > 0$	$x_\Sigma = x_1 + x_2 < 0$
分度圆直径	d	$d = mz$			
基圆直径	d_b	$d_b = mz \cos\alpha$			
分度圆齿距	p	$p = \pi m$			
中心距	a	$a = \frac{1}{2}m(z_1 + z_2)$		$a' > a$	$a' < a$
啮合角	α'	$\alpha' = \alpha = \alpha_0$		$\alpha' > \alpha$	$\alpha' < \alpha$
节圆直径	d'	$d' = d$		$d' > d$	$d' < d$
分度圆齿厚	s	$s = \frac{1}{2}\pi m$	$x > 0, s > \frac{1}{2}\pi m; x < 0, s < \frac{1}{2}\pi m$		

(续)

齿顶厚	s_a	$s_a = d_a \left(\frac{\pi}{2z} + \text{inv}\alpha - \text{inv}\alpha_a \right)$	$x > 0, s_a$ 减小; $x < 0, s_a$ 增大		
齿根厚	s_f	小齿轮齿根较薄	$x > 0$, 齿根增厚; $x < 0$, 齿根变薄		
齿顶高	h_a	$h_a = h_a^* m$	$x > 0, h_a > h_a^* m$; $x < 0, h_a < h_a^* m$		
齿根高	h_f	$h_f = (h_a^* + c^*) m$	$x > 0, h_f < (h_a^* + c^*) m$; $x < 0, h_f > (h_a^* + c^*) m$		
全齿高	h	$h = (2h_a^* + c^*) m$	$h = (2h_a^* + c^*) m$	$h < (2h_a^* + c^*) m$	$h < (2h_a^* + c^*) m$
重合度	ε	一般可保证 ε 大于许用值	略减小	减小	增大
滑动率	η	小齿轮齿根有较大的 $\eta_{1\max}$	$\eta_{1\max}$ 减小, 可使 $\eta_{1\max} = \eta_{2\max}$		增大
几何压力系数	ψ	小齿轮齿根有较大的 $\psi_{1\max}$	$\psi_{1\max}$ 减小, 可使 $\psi_{1\max} = \psi_{2\max}$		增大
效率			提高	提高	降低
齿数限制		$z_1 > z_{\min}, z_2 > z_{\min}$	$z_1 + z_2 \geq 2z_{\min}$	$z_1 + z_2$ 可以小于 $2z_{\min}$	$z_1 + z_2 > 2z_{\min}$

2) 得到不同的中心距。在齿数 z_1 、 z_2 不变的情况下, 通过改变啮合角 α' , 可以得到不同的中心距。

3) 提高齿面接触强度, 减小或平衡齿面的磨损。采用正传动, 并适当分配变位系数 x_1 、 x_2 , 既可降低齿面接触应力, 又可降低齿面间的滑动率。

4) 修复被磨损的齿轮。在齿轮传动中, 小齿轮比大齿轮磨损的严重, 利用负变位把大齿轮齿面磨损部分切去, 配一个正变位的小齿轮使用。

4.2.2 外啮合圆柱齿轮传动的变位系数选择

正确地选择变位系数(包括选定 x_s 以及将 x_s 适当地分配为 x_1 和 x_2)是设计变位齿轮的关键, 应根据所设计的齿轮传动的具体工作要求认真考虑, 如果变位系数选择不适当, 也可能出现齿顶变尖, 齿廓干涉等一系列问题, 破坏正常啮合。

表 4.4-11 列出了选择外啮合齿轮变位系数的限制条件。

表 4.4-11 选择外啮合齿轮变位系数的限制条件

限制条件	校验公式	说 明
加工时不根切	1. 用齿条型刀具加工时 $z_{\min} = 2h_a^* / \sin^2 \alpha$ $x_{\min} = h_a^* \frac{z_{\min} - z}{z_{\min}} = h_a^* - \frac{z \sin^2 \alpha}{2}$ 2. 用插齿刀加工时 $z'_{\min} = \sqrt{z_0^2 + \frac{4h_{a0}^*}{\sin^2 \alpha} (z_0 + h_{a0}^*)} - z_0$ $x_{\min} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{(z_0 + 2h_{a0}^*)^2 + (z^2 + 2zz_0) \cos^2 \alpha} - (z_0 + z) \right]$	齿数太少 ($z < z_{\min}$) 或变位系数太小 ($x < x_{\min}$), 或负变位系数过大时, 都会产生根切 h_a^* —齿轮的齿顶高系数 z —被加工齿轮的齿数 α —插齿刀或齿轮的分度圆压力角 z_0 —插齿刀齿数 h_{a0}^* —插齿刀的齿顶高系数
加工时不顶切	用插齿刀加工标准齿轮时 $z_{\max} = \frac{z_0^2 \sin^2 \alpha - 4h_a^{*2}}{4h_a^* - 2z_0 \sin^2 \alpha}$	当被加工齿轮的齿顶圆超过刀具的极限啮合点时, 将产生“顶切”
齿顶不过薄	$s_a = d_a \left(\frac{\pi}{2z} + \frac{2x \tan \alpha}{z} + \text{inv}\alpha - \text{inv}\alpha_a \right) \geq (0.25 \sim 0.4) m$ 一般要求齿顶厚 $s_a \geq 0.25m$ 对于表面淬火的齿轮, 要求 $s_a > 0.4m$	正变位的变位系数过大(特别是齿数较少)时, 就可能发生齿顶过薄 d_a —齿轮的齿顶圆直径 α —齿轮的分度圆压力角 α_a —齿轮的齿顶压力角 $\alpha_a = \arccos(d_b/d_a)$
保证重合度	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} [z_1 (\tan \alpha_{a1} - \tan \alpha') + z_2 (\tan \alpha_{a2} - \tan \alpha')] \geq 1.2$	变位齿轮传动的重合度 ε 随着啮合角 α' 的增大而减小 α' —齿轮传动的啮合角 α_{a1} 、 α_{a2} —齿轮 1、2 的齿顶压力角

(续)

限制条件	校验公式	说 明
不产生过渡曲线干涉	1. 用齿条型刀具加工的齿轮啮合时	当一齿轮的齿顶与另一齿轮根部的过渡曲线接触时, 不能保证其传动比为常数, 此种情况称为过渡曲线干涉 当所选的变位系数的绝对值过大时, 就可能发生这种干涉 用插齿刀加工的齿轮比用齿条型刀具加工的齿轮容易产生这种干涉 α—齿轮 1、2 的分度圆压力角 α'—该对齿轮的啮合角 α_{a1}、α_{a2}—齿轮 1、2 的齿顶压力角 x_1、x_2—齿轮 1、2 的变位系数
	(1) 小齿轮齿根与大齿轮齿顶不产生干涉的条件	
	$\tan\alpha' - \frac{z_2}{z_1} (\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha') \geq \tan\alpha - \frac{4(h_a^* - x_1)}{z_1 \sin 2\alpha}$	
	(2) 大齿轮齿根与小齿轮齿顶不产生干涉的条件	
	$\tan\alpha' - \frac{z_1}{z_2} (\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha') \geq \tan\alpha - \frac{4(h_a^* - x_2)}{z_2 \sin 2\alpha}$	
	2. 用插齿刀加工的齿轮啮合时	
	(1) 小齿轮齿根与大齿轮齿顶不产生干涉的条件	
	$\tan\alpha' - \frac{z_2}{z_1} (\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha') \geq \tan\alpha'_{01} - \frac{z_0}{z_1} (\tan\alpha_{a0} - \tan\alpha'_{01})$	
	(2) 大齿轮齿根与小齿轮齿顶不产生干涉的条件	
	$\tan\alpha' - \frac{z_1}{z_2} (\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha') \geq \tan\alpha'_{02} - \frac{z_0}{z_2} (\tan\alpha_{a0} - \tan\alpha'_{02})$	

注: 本表给出的是直齿轮的公式, 对斜齿轮, 可用其端面参数按本表计算。

现有许多变位系数表和线图所推荐的变位方案都是在满足上述基本限制条件之下分别侧重于某些传动性能指标的改善(例如为了获得最大的接触强度, 或为了使一对齿轮均衡地磨损等)。利用“封闭线图”有可能综合考虑各种性能指标, 较合理地选择变位系数。

图 4.4-4 ~ 图 4.4-6 是一种比较简明的外啮合渐开线齿轮变位系数选择线图。它在满足基本的限制条件之下, 提供了根据各种具体的工作条件多方面改进传动性能的可能性, 而且按这种方法选择变位系数, 不会产生轮齿不完全切削的现象, 因此, 对于用标准滚刀切制的齿轮不需要进行齿数和模数的验算。

利用图 4.4-4 可以根据不同的要求在相应的区间按 $z_\Sigma = z_1 + z_2$ 选定 $x_\Sigma = x_1 + x_2$ 。 $P_6 \sim P_9$ 为齿根弯曲

及齿面接触承载能力较高的区域, $P_3 \sim P_6$ 为轮齿承载能力和运转平稳性等综合性能比较好的区域, $P_1 \sim P_3$ 为重合度较大的区域。 P_9 以上的“特殊应用区”是具有大啮合角而重合度相应减少的区域。 P_1 以下的“特殊应用区”是具有较小的啮合角而重合度相应增大的区域。在这个特殊应用区内, 对减速传动当 $1 < i < 2.5$ 的情况下有齿廓干涉危险, 对增速传动当 $x \leq -0.6$ 时有齿廓干涉危险。

利用图 4.4-5 和图 4.4-6, 将 x_Σ 分配为 x_1 和 x_2 。图 4.4-5 用于减速传动, 图 4.4-6 用于增速传动。图 4.4-5 和图 4.4-6 的变位系数分配线 $L_1 \sim L_{17}$ 及 $S_1 \sim S_{13}$ 是根据两齿轮的齿根抗弯强度近似相等, 主动轮齿顶的滑动速度稍大于从动轮齿顶的滑动速度, 避免过大的滑动比的条件而绘出的。当变位系数 x_1 或 x_2 位于图 4.4-5 下部的阴影区内时, 应验算过渡曲

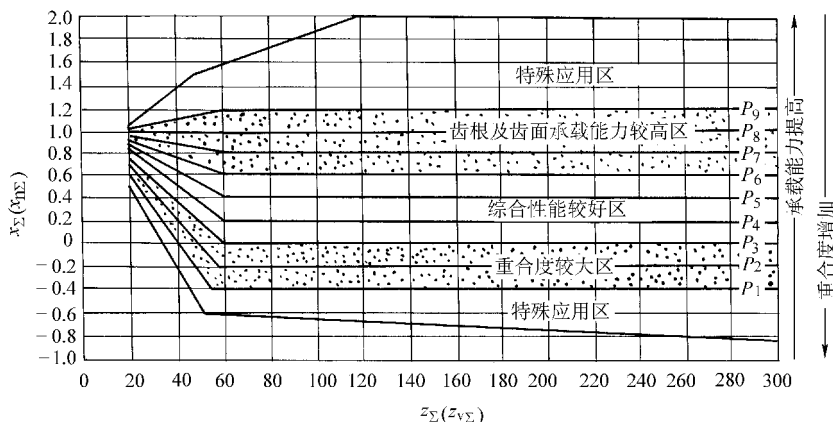


图 4.4-4 变位系数和 x_Σ ($x_{n\Sigma}$) 的选择

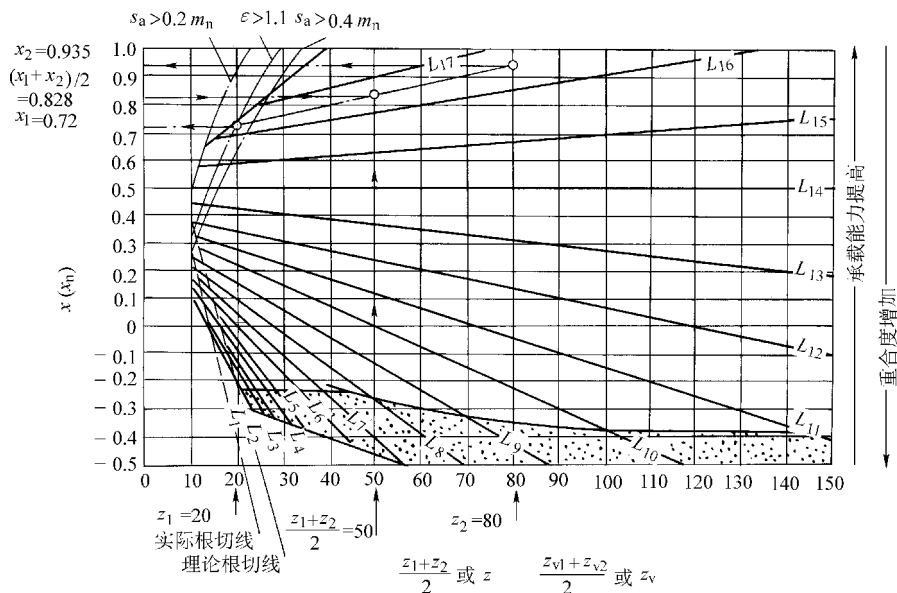


图 4.4-5 将 $x_{\Sigma}(x_{n\Sigma})$ 分配为 $x_1(x_{1n})$ 及 $x_2(x_{2n})$ 的线图(用于减速传动)

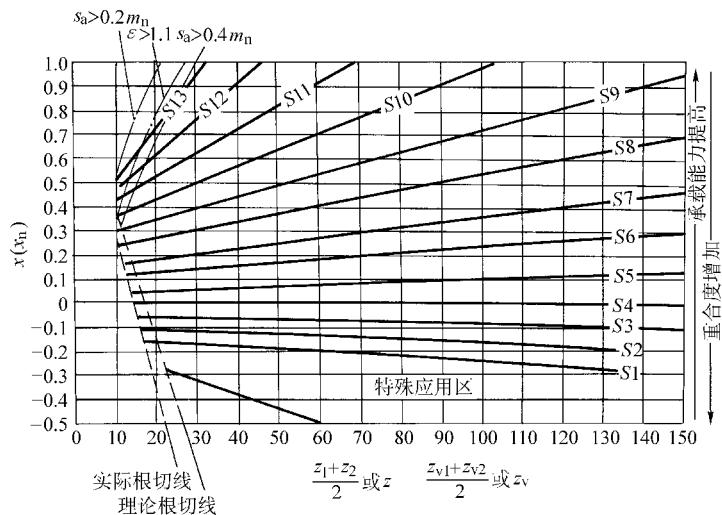


图 4.4-6 将 $x_{\Sigma}(x_{n\Sigma})$ 分配为 $x_1(x_{1n})$ 及 $x_2(x_{2n})$ 的线图(用于增速传动)

线干涉。图 4.4-6 下部的“特殊应用区”是具有较小的啮合角而重合度相应增大的区域。

利用图 4.4-5(或图 4.4-6)分配变位系数时,首先在图 4.4-5(或图 4.4-6)上找出由 $\frac{z_1+z_2}{2}$ 和 $\frac{x_{\Sigma}}{2}$ 所决定的点,由此点按 L (或 S)射线的方向作一射线,在此射线上找出与 z_1 和 z_2 相应的点,然后即可从纵坐标轴上查得 x_1 和 x_2 。

当齿数 $z > 150$ 时,按 $z = 150$ 处理。

图 4.4-5、图 4.4-6 亦可用于斜齿轮传动,这时

变位系数应按当量齿数 $z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta}$ 来选择。

例 1 已知直齿圆柱齿轮, $z_1 = 20$ 、 $z_2 = 80$ 、 $m = 10\text{mm}$,减速传动,希望提高承载能力,试选择变位系数。

解: 按 $z_{\Sigma} = z_1 + z_2 = 100$ 从图 4.4-4 中 P_9 线的上方区域初选 $x_{\Sigma} = 1.6$, 利用表 4.4-19 中的公式求出 $a' = 514.45\text{mm}$, 取 $a' = 515\text{mm}$, 则

$$y = \frac{a'}{m} - \frac{z_1 + z_2}{2} = 1.5$$

$$\cos\alpha' = \frac{\cos 20^\circ}{\frac{2\gamma}{z_1 + z_2} + 1}, \quad \alpha' = 24.1716^\circ$$

$$x_\Sigma = (\operatorname{inv}\alpha' - \operatorname{inv}20^\circ) \frac{z_1 + z_2}{2 \tan 20^\circ} = 1.655$$

在图 4.4-5 中找出 $\frac{z_\Sigma}{2} = 50$ 和 $\frac{x_\Sigma}{2} = 0.828$ 决定的点, 由此点按 L 射线的方向引一射线, 在此射线上按 $z_1 = 20$ 、 $z_2 = 80$ 选定 $x_1 = 0.72$, $x_2 = 0.935$ 。

例 2 重型机械设备中的减速齿轮, $z_1 = 40$ 、 $z_2 = 250$ 、 $m_n = 10\text{mm}$ 、 $\beta = 25^\circ$, 希望大小齿轮有均衡的承载能力和耐磨损性能, 试选择变位系数。

解: $z_{v1} = \frac{z_1}{\cos^3\beta} = \frac{40}{\cos^3 25^\circ} \approx 54$, $z_{v2} = \frac{z_2}{\cos^3\beta} = \frac{250}{\cos^3 25^\circ} \approx 337$, 因为 $z_{v2} > 150$, 取 $z_{v2} = 150$ 。

根据所提出的要求, 从图 4.4-4 中按 $z_{v1} + z_{v2} = 54 + 150 = 204$ 选取 $x_{n\Sigma} = 0.4$ 。

在图 4.4-5 中, 从 $\frac{54+150}{2} = 102$ 及 $\frac{x_{n\Sigma}}{2} = 0.2$ 决定的点引 L 射线, 在此射线上按 $z_{v1} = 54$, $z_{v2} = 150$ 选得 $x_{n1} = 0.32$, $x_{n2} = 0.08$ 。

4.2.3 内啮合圆柱齿轮传动的干涉及变位系数选择

表 4.4-12 列出了内啮合齿轮的干涉现象及防止干涉的条件。

内齿轮采用正变位($x_2 > 0$)有利于避免渐开线干涉和径向干涉。采用正传动($x_2 - x_1 > 0$)有利于避免过渡曲线干涉、重叠干涉和提高齿面接触强度(由于内啮合是凸齿面和凹齿面的接触, 齿面接触强度高, 往往不需要再通过变位来提高接触强度), 但重合度随之降低。

表 4.4-12 内啮合齿轮的干涉现象和防止干涉的条件

名称	简图	定义	不产生干涉的条件	防止干涉的措施	说明
渐开线干涉		当实际啮合线的端点 B_2 落在理论啮合线的极限点 N_1 的左侧时, 便发生渐开线干涉	$\frac{z_{02}}{z_2} \geq 1 - \frac{\tan\alpha_{a2}}{\tan\alpha'_{02}}$ 对于标准齿轮 ($x_1 = x_2 = 0$) $z_2 \geq \frac{z_1^2 \sin^2\alpha - 4(h_{a2}/m)^2}{2z_1 \sin^2\alpha - 4(h_{a2}/m)}$	1. 加大齿形角 2. 加大内齿轮和小齿轮的变位系数	用插齿刀加工内齿轮时, 在这种干涉下, 内齿轮产生展成顶切。不产生顶切的插齿刀最少齿数见表 4.4-13、表 4.4-14 和表 4.4-15
齿廓重叠干涉		结束啮合的小齿轮的齿顶在退出内齿轮齿槽时, 与内齿轮齿顶发生的重叠干涉称为齿廓重叠干涉	$z_1(\operatorname{inv}\alpha_{a1} + \delta_1) - z_2(\operatorname{inv}\alpha_{a2} + \delta_2) + (z_2 - z_1)\operatorname{inv}\alpha' \geq 0$ 式中 $\delta_1 = \arccos \frac{r_{a2}^2 - r_{a1}^2 - a'^2}{2r_{a1}a'}$ $\delta_2 = \arccos \frac{a'^2 + r_{a2}^2 - r_{a1}^2}{2r_{a2}a'}$	1. 增大齿形角 2. 减小齿顶高 3. 加大内齿轮和小齿轮的齿数差 4. 加大内齿轮的变位系数(增大小齿轮的变位系数, 容易引起干涉)	用插齿刀加工内齿轮时, 在这种干涉下, 内齿轮的齿顶渐开线部分将遭到顶切, 不产生重叠干涉时的 $(z_2 - z_1)_{\min}$ 值见表 4.4-16 α_{a1} 、 α_{a2} —齿轮 1、2 的齿顶压力角 α' —啮合角

(续)

名称	简图	定义	不产生干涉的条件	防止干涉的措施	说明
过渡曲线干涉		当小齿轮的齿顶与内齿轮的齿根过渡曲线部分接触,或者内齿轮的齿顶与小齿轮的齿根过渡曲线部分接触时,便引起过渡曲线干涉	1. 不产生内齿轮齿根过渡曲线干涉的条件 $(z_2 - z_1) \tan \alpha' + z_1 \tan \alpha_{a1} \leq (z_2 - z_{02}) \tan \alpha'_{02} + z_{02} \tan \alpha_{a02}$ 2. 不产生小齿轮齿根过渡曲线干涉的条件 小齿轮用齿条型刀具加工时 $z_2 \tan \alpha_{a2} - (z_2 - z_1) \tan \alpha' \geq z_1 \tan \alpha - \frac{4(h_a^* - x_1)}{\sin 2\alpha}$ 小齿轮用插齿刀加工时 $z_2 \tan \alpha_{a2} - (z_2 - z_1) \tan \alpha' \geq (z_1 + z_{01}) \tan \alpha'_{01} - z_{01} \tan \alpha_{a01}$	1. 增大内齿轮的变位系数 2. 减少齿顶高	小齿轮齿根容易发生过渡曲线干涉,尤其是标准、高变位及啮合角小的角变位齿轮。相反,内齿轮齿根过渡曲线干涉较不易发生,只有当 $z_1 \gg z_0, x_1 \gg x_0$ 时才会发生 z_{01}, z_{02} —加工齿轮 1、齿轮 2 时,插齿刀齿数 $\alpha'_{01}, \alpha'_{02}$ —加工齿轮 1、齿轮 2 时的啮合角 $\alpha_{a01}, \alpha_{a02}$ —加工齿轮 1、齿轮 2 时的插齿刀的齿顶压力角
径向干涉		当把小齿轮从内齿轮的中心位置沿径向装入啮合位置时,若 $DE > FG$, 则引起径向干涉	$\arcsin \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{\cos \alpha_{a1}}{\cos \alpha_{a2}}\right)^2}{1 - \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^2}} + \text{inv} \alpha_{a1} - \text{inv} \alpha' - \frac{z_2}{z_1} \left[\arcsin \sqrt{\frac{\left(\frac{\cos \alpha_{a2}}{\cos \alpha_{a1}}\right)^2 - 1}{\left(\frac{z_2}{z_1}\right)^2 - 1}} + \text{inv} \alpha_{a2} - \text{inv} \alpha' \right] \geq 0$ 对标准齿轮 ($x_1 = x_2 = 0$) 可用以下近似式计算: $\begin{cases} z_2 - z_1 \geq \frac{2(h_{a1} + h_{a2})}{m \sin^2 \delta} \\ \frac{2\delta - \sin 2\delta}{1 - \cos 2\delta} = \tan \alpha \end{cases}$	1. 增大齿形角 2. 减小齿顶高 3. 加大内齿轮和小齿轮的齿数差 4. 加大内齿轮的变位系数(增大小齿轮的变位系数时,容易引起干涉)	1. 用插齿刀加工内齿轮时,在这种干涉下,内齿轮将产生径向切入顶切 2. 满足径向干涉条件,自然满足齿廓重叠干涉条件 不产生径向切入顶切的内齿轮最少齿数见表 4.4-17

表 4.4-13 加工标准内齿轮不产生展成顶切的插齿刀最少齿数 $z_{0\min}$ $(x_2 = 0, x_{02} = 0, \alpha = 20^\circ)$

插齿刀最少齿数 $z_{0\min}$			29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14
齿顶高系数	$h_a^* = 1$	内齿轮齿数 z_2	34	35	36	37	38 ~ 39	40 ~ 41	42 ~ 45	46 ~ 52	53 ~ 63	64 ~ 85	86 ~ 160	≥ 160				
	$h_a^* = 0.8$							27	—	28	29	30 ~ 31	32 ~ 34	35 ~ 40	41 ~ 50	51 ~ 76	77 ~ 269	≥ 270

表 4.4-14 加工内齿轮不产生展成顶切的插齿刀最少齿数 $z_{0\min}$ $(x_2 - x_{02} \geq 0, h_a^* = 0.8, \alpha = 20^\circ)$

x_{02}	0								-0.105							
x_2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
$z_{0\min}$	内 齿 轮 齿 数 z_2															
10					20~35	20~53	20~74	20~97					20~27	20~39	20~53	20~69
11				20~28	36~52	54~79	75~100	98~100				20~21	28~36	40~52	54~71	70~100
12				29~48	53~89	80~100						22~30	37~50	53~73	72~98	
13			20~27	49~100	90~100							31~44	51~75	74~100	99~100	
14			28~100								20~28	45~78	76~100			
15	≥ 77	≥ 39									29~94	79~100				
16	51~76	28~38								≥ 57	≥ 95					
17	41~50	24~27							≥ 67	29~56						
18	35~40	22, 23							47~66	23~28						
19	32~34	21							39~46	21, 22						
20	30, 31								34~38							
21	29								31~33							
22	28								30							
23	—								29							
24	27								28							
25									27							

x_{02}	-0.263								-0.315							
x_2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
$z_{0\min}$	内 齿 轮 齿 数 z_2															
10					20~21	20~30	20~39	20~49					20	20~28	20~36	20~46
11					22~27	31~37	40~48	50~60					21~25	29~34	37~44	47~56
12				20~22	28~34	38~47	49~61	62~77				20~21	26~31	35~42	45~55	57~69
13				23~38	35~43	48~60	62~78	78~98				22~26	32~39	43~53	56~69	70~86
14				29~37	44~57	61~79	79~100	99~100				27~33	40~50	54~68	70~88	87~100
15		20~26		38~52	58~79	80~100					20~23	34~44	51~66	69~90	89~100	
16		27~40		53~79	80~100						24~33	45~61	67~92	91~100		
17		41~77		80~100							34~51	62~95	93~100			
18		78~100									52~100	96~100				
19	≥ 94	≥ 22								≥ 23						
20	51~93								≥ 77	22						
21	39~50								46~76							
22	34~38								36~45							
23	31~33								32~35							
24	29~30								29~31							
25	28								28							

注:1. 此表是按内齿轮齿顶圆公式 $d_{a2} = m(z_2 - 2h_a^* + 2x_2)$ 做出的。2. 当设计内齿轮齿顶圆直径应用 $d_{a2} = m(z_2 - 2h_a^* + 2x_2 - 2\Delta y)$ 计算时,内齿轮齿顶高比用注1. 公式计算的高 $\Delta y m$, 即内齿轮的实际齿顶高系数应为 $(h_a^* + \Delta y)$, 则查此表时所采用的齿顶高系数应等于或略大于内齿轮的实际齿顶高系数。例如:一内齿轮 $h_a^* = 0.8$, 计算得 $\Delta y = 0.1316$, 其实际齿顶高系数 $h_a^* + \Delta y = 0.9316$, 则应按 $h_a^* = 1$ 查表 4.4-15 有关数值。

表 4.4-15 加工内齿轮不产生展成顶切的插齿刀最少齿数 $z_{0\min}$

$$(x_2 - x_{02} \geq 0, h_a^* = 1, \alpha = 20^\circ)$$

x_{02}	0								-0.105							
x_2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
$z_{0\min}$	内 齿 轮 齿 数 z_2															
10						20~23	20~33	20~43						20	20~28	20~37
11						24~29	34~41	44~55						21~25	29~35	38~45
12					20~24	30~38	42~54	56~71					20, 21	26~31	36~43	46~56
13					25~32	39~51	55~72	72~95					22~26	32~39	44~54	57~70
14				20	33~45	52~71	73~100	96~100					27~34	40~51	55~70	71~90
15				21~32	46~70	72~100						20~23	35~45	52~68	71~93	91~100
16				33~64	71~100							24~34	46~64	69~98	94~100	
17				65~100								35~54	65~100	97~100		
18		≥ 95	≥ 27									55~100				
19	≥ 86	53~94	22~26								≥ 23					
20	64~85	41~52								≥ 69	22					
21	53~63	35~40							≥ 79	44~68						
22	46~52	32~34							60~78	36~43						
23	42~45	30, 31							56~59	32~35						
24	40, 41	28, 29							45~49	29~31						
25	38, 39								41~44	28						
26	37								39, 40							
27	36								37, 38							
28	35								36							
29	34								35							
30									—							
31									34							

x_{02}	-0.263								-0.315							
x_2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
$z_{0\min}$	内 齿 轮 齿 数 z_2															
10							20~24	20~30							20~23	20~29
11							20~22	25~29	31~37					20, 21	24~27	30~35
12							23~26	30~34	38~44					22~25	28~33	36~41
13					20~22	27~31	35~41	45~53					20, 21	26~30	34~39	42~49
14					23~27	32~38	42~50	54~64					22~25	31~36	40~46	50~58
15					28~33	39~47	51~62	65~78					26~31	37~43	47~56	59~70
16				20~25	34~41	48~58	63~77	79~97				20~23	32~38	44~52	57~69	71~86
17				26~32	42~52	59~75	78~98	98~100				24~29	39~47	53~65	70~86	87~100
18				33~43	53~70	76~100	99~100					30~38	48~60	66~84	87~100	
19				44~62	71~100							39~51	61~81	85~100		
20			22~38	63~100							20~30	52~74	82~100			
21			39~100								31~55	75~100				
22		≥ 89									56~100					
23	≥ 98	40~88							≥ 56							
24	65~97	32~39							≥ 87	34~55						
25	52~64	29~31							61~86	29~33						
26	45~51	28							49~60	28						
27	41~44								43~48							
28	39, 40								40~42							
29	37, 38								37~39							
30	36								36							
31	35								35							
32	34								34							

注:与表 4.4-14 同。

表 4.4-16 不产生重叠干涉的 $(z_2 - z_1)_{\min}$ 值

z_2	34 ~ 77	78 ~ 200	z_2	22 ~ 32	33 ~ 200
$(z_2 - z_1)_{\min}$ 当 $d_{a2} = d_2 - 2m_n$ 时	9	8	$(z_2 - z_1)_{\min}$ 当 $d_{a2} = d_2 - 2m_n + \frac{15.1m_n}{z_2} \cos^3 \beta$ 时	7	8

表 4.4-17 新直齿插齿刀的基本参数和被加工内齿轮不产生径向切入顶切的最少齿数 $z_{2\min}$

插齿刀形式	插齿刀分度圆直径 d_0/mm	模数 m/mm	插齿刀齿数 z_0	插齿刀变位系数 x_0	插齿刀齿顶圆直径 d_{a0}/mm	插齿刀齿高系数 h_{a0}^*	x_2									
							0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	
							$z_{2\min}$									
盘形直齿插齿刀 碗形直齿插齿刀	76	1	76	0.630	79.76	1.25	115	107	101	96	91	87	84	81	79	
	75	1.25	60	0.582	79.58		96	89	83	78	74	70	67	65	62	
	75	1.5	50	0.503	80.26		83	76	71	66	62	59	57	54	52	
	75.25	1.75	43	0.464	81.24		74	68	62	58	54	51	49	47	45	
	76	2	38	0.420	82.68		68	61	56	52	49	46	44	42	40	
	76.5	2.25	34	0.261	83.30		59	54	49	45	43	40	39	37	36	
	75	2.5	30	0.230	82.41	54	49	44	41	38	34	34	33	31		
	77	2.75	28	0.224	85.37	1.3	52	47	42	39	36	34	33	31	30	
	75	3	25	0.167	83.81		48	43	38	35	33	31	29	28	26	
	78	3.25	24	0.149	87.42		46	41	37	34	31	29	28	27	25	
77	3.5	22	0.126	86.98	44		39	35	31	29	27	26	25	23		
盘形直齿插齿刀	75	3.75	20	0.105	85.55	1.3	41	36	32	29	27	25	24	22	21	
	76	4	19	0.105	87.24		40	35	31	28	26	24	23	21	20	
	76.5	4.25	18	0.107	88.46		39	34	30	27	25	23	22	20	19	
	76.5	4.5	17	0.104	89.15		38	33	29	26	24	22	21	19	18	
盘形直齿插齿刀 碗形直齿插齿刀	100	1	100	1.060	104.6	1.25	156	147	139	132	125	118	114	110	105	
	100	1.25	80	0.842	105.22		126	118	111	105	99	94	91	87	83	
	102	1.5	68	0.736	107.96		110	102	95	89	85	80	77	74	71	
	101.5	1.75	58	0.661	108.19		96	89	83	77	73	69	66	63	61	
	100	2	50	0.578	107.31		85	78	72	67	63	60	57	55	52	
	101.25	2.25	45	0.528	109.29		78	71	66	61	57	54	52	49	47	
	100	2.5	40	0.442	108.46	70	64	59	54	51	48	46	44	42		
	99	2.75	36	0.401	108.36	1.3	65	58	53	49	47	44	42	40	38	
	102	3	34	0.337	111.28		60	54	50	46	44	41	39	37	35	
	100.75	3.25	31	0.275	110.99		56	50	46	42	40	37	36	34	33	
	98	3.5	28	0.231	108.72		54	46	42	39	37	34	33	31	30	
	101.25	3.75	27	0.180	112.34		49	44	40	37	35	33	31	30	28	
	100	4	25	0.168	111.74		47	42	38	35	33	31	29	28	26	
	99	4.5	22	0.105	111.65		42	38	34	31	29	27	26	24	23	
	100	5	20	0.105	114.05		40	36	32	29	27	25	24	22	21	
	104.5	5.5	19	0.105	119.96		39	35	31	28	26	24	23	21	20	
	102	6	17	0.105	118.86		37	33	29	26	24	22	21	20	18	
	104	6.5	16	0.105	122.27		36	32	28	25	23	21	20	18	17	
	锥柄直齿插齿刀	25	1.25	20	0.106		28.39	1.25	40	35	32	29	26	25	24	22
27		1.5	18	0.103	31.06		38		33	30	27	24	23	22	20	19
26.25		1.75	15	0.104	30.99	35	30		26	23	21	20	19	17	16	
26		2	13	0.085	31.34	34	28		24	21	19	17	17	15	14	
27		2.25	12	0.083	33.0	32	27		23	20	18	16	16	14	13	
25		2.5	10	0.042	31.46	30	25		21	18	16	14	14	12	11	
27.5		2.75	10	0.037	34.58	30	25		21	18	16	14	14	12	11	

注:表中数值是按新插齿刀和内齿轮齿顶圆直径 $d_{a2} = d_2 - 2m(h_a^* - x_2)$ 计算而得。若用旧插齿刀或内齿轮齿顶圆直径加

大 $\Delta d_a = \frac{15.1}{z_2} m$ 时,表中数值是更安全的。

内啮合齿轮推荐采用高变位，也可以采用角变位。

选择内啮合齿轮的变位系数以不使齿顶过薄、重合度不过小、不产生任何形式的干涉为限制条件。

对高变位齿轮，一般可选取：

$$x_1 = x_2 = 0.5 \sim 0.65$$

对角变位齿轮，目前尚无选择变位系数的较好

方法，需要时可以参考有关资料。

行星齿轮传动内啮合齿轮副的变位系数的选择见其他篇章。

4.2.4 外啮合变位圆柱齿轮传动的几何尺寸计算

外啮合高变位圆柱齿轮传动的几何尺寸计算公式见表 4.4-18，外啮合角变位圆柱齿轮传动的几何尺寸计算公式见表 4.4-19。

表 4.4-18 外啮合高变位圆柱齿轮传动几何尺寸计算公式

名称		代 号	直 齿 轮	斜齿（人字齿）轮
模数		m 或 m_n	m 按强度计算或结构设计确定，并按表 4.4-5 取标准值	m_n 按强度计算或结构设计确定，并按表 4.4-5 取标准值。 $m_t = m_n/\cos\beta$
压力角		α 或 α_n	α 取标准值	α_n 取标准值， $\tan\alpha_t = \tan\alpha_n/\cos\beta$
分度圆直径		d	$d_1 = z_1 m$ $d_2 = z_2 m$	$d_1 = z_1 m_t = \frac{z_1 m_n}{\cos\beta}$ $d_2 = z_2 m_t = \frac{z_2 m_n}{\cos\beta}$
齿顶高		h_a	$h_{a1} = (h_a^* + x_1) m$ $h_{a2} = (h_a^* + x_2) m$	$h_{a1} = (h_{an}^* + x_{n1}) m_n$ $h_{a2} = (h_{an}^* + x_{n2}) m_n$
齿根高		h_f	$h_{f1} = (h_a^* + c^* - x_1) m$ $h_{f2} = (h_a^* + c^* - x_2) m$	$h_{f1} = (h_{an}^* + c_n^* - x_{n1}) m_n$ $h_{f2} = (h_{an}^* + c_n^* - x_{n2}) m_n$
全齿高		h	$h_1 = h_{a1} + h_{f1}$ $h_2 = h_{a2} + h_{f2}$	$h_1 = h_{a1} + h_{f1}$ $h_2 = h_{a2} + h_{f2}$
齿顶圆直径		d_a	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$ $d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}$	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$ $d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}$
齿根圆直径		d_f	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$ $d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}$	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$ $d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}$
中心距		a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m_n(z_1 + z_2)}{2\cos\beta}$
基圆直径		d_b	$d_{b1} = d_1 \cos\alpha$ $d_{b2} = d_2 \cos\alpha$	$d_{b1} = d_1 \cos\alpha_t$ $d_{b2} = d_2 \cos\alpha_t$
齿顶圆压力角		α_a	$\alpha_{a1} = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}}$ $\alpha_{a2} = \arccos \frac{d_{b2}}{d_{a2}}$	$a_{a1} = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}}$ $a_{a2} = \arccos \frac{d_{b2}}{d_{a2}}$
重 合 度	端面重合度	ε_α	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} [z_1 (\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha') + z_2 (\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha')]$	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} [z_1 (\tan\alpha_{at1} - \tan\alpha'_t) + z_2 (\tan\alpha_{at2} - \tan\alpha'_t)]$
			$\alpha = 20^\circ$ （或 $\alpha_n = 20^\circ$ ）时，可由图 4.4-9 查出	
	纵向重合度	ε_β	$\varepsilon_\beta = 0$	$\varepsilon_\beta = \frac{b\sin\beta}{\pi m_n}$
				可由图 4.4-10 查出
总重合度		ε_γ	$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$	
当量齿数		z_v	$z_v = z$	$z_v = \frac{z}{\cos^3\beta}$

表 4.4-19 外啮合角变位圆柱齿轮传动几何尺寸计算公式

名称		代号	直 齿 轮	斜 齿 (人字齿) 轮
模数		m 或 m_n	m 按强度计算或结构设计确定, 并按表 4.4-5 取标准值	m_n 按强度计算或结构设计确定, 并按表 4.4-5 取标准值。 $m_t = m_n / \cos\beta$
压力角		α 或 α_n	α 取标准值	α_n 取标准值, $\tan\alpha_t = \tan\alpha_n / \cos\beta$
分度圆直径		d	$d_1 = z_1 m$ $d_2 = z_2 m$	$d_1 = z_1 m_t = \frac{z_1 m_n}{\cos\beta}$ $d_2 = z_2 m_t = \frac{z_2 m_n}{\cos\beta}$
给定 a' 求 s	不变位 中心距	a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m_n(z_1 + z_2)}{2\cos\beta}$
	中心距 变动系数	y	$y = \frac{a' - a}{m}$	$y_t = \frac{a' - a}{m_t}$ $y_n = \frac{a' - a}{m_n}$
	啮合角	α'	$\cos\alpha' = \frac{a}{a'} \cos\alpha$ $\alpha'、\alpha'_t$ 可由图 4.4-7 查出	$\cos\alpha'_t = \frac{a}{a'} \cos\alpha_t$ $\alpha'、\alpha'_t$ 可由图 4.4-7 查出
	总变位 系数	x_Σ	$x_\Sigma = (z_1 + z_2) \frac{\text{inv}\alpha' - \text{inv}\alpha}{2\tan\alpha}$ $\text{inv}\alpha_t、\text{inv}\alpha'_t、\text{inv}\alpha'、\text{inv}\alpha$ 可由表 4.4-23 查出	$x_{n\Sigma} = (z_1 + z_2) \frac{\text{inv}\alpha'_t - \text{inv}\alpha_t}{2\tan\alpha_n}$ $\text{inv}\alpha_t、\text{inv}\alpha'_t、\text{inv}\alpha'、\text{inv}\alpha$ 可由表 4.4-23 查出
	变位系数 分配	$x_1、x_2$	$x_\Sigma = x_1 + x_2$, 按图 4.4-5 或图 4.4-6 分配 $x_1、x_2$	$x_{n\Sigma} = x_{n1} + x_{n2}$, 按图 4.4-5 或图 4.4-6 分配 $x_{n1}、x_{n2}$
给定 x 求 a'	啮合角	α'	$\text{inv}\alpha' = \frac{2(x_1 + x_2)\tan\alpha}{z_1 + z_2} + \text{inv}\alpha$ $\text{inv}\alpha_t、\text{inv}\alpha$ 可由表 4.4-23 查出	$\text{inv}\alpha'_t = \frac{2(x_{n1} + x_{n2})\tan\alpha_t}{z_1 + z_2} + \text{inv}\alpha_t$ $\text{inv}\alpha_t、\text{inv}\alpha$ 可由表 4.4-23 查出
	中心距 变动系数	y	$y = \frac{z_1 + z_2}{2} \left(\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'} - 1 \right)$	$y = \frac{z_1 + z_2}{2} \left(\frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha'_t} - 1 \right)$ $y_n = \frac{y_t}{\cos\beta}$
	中心距	a'	$a' = \frac{d_1 + d_2}{2} + ym = m \left(\frac{z_1 + z_2}{2} + y \right)$	$a' = \frac{d_1 + d_2}{2} + y_t m_t = m_n \left(\frac{z_1 + z_2}{2\cos\beta} + y_n \right)$
齿顶高变动系数		Δy	$\Delta y = x_1 + x_2 - y$	$\Delta y_n = x_{n1} + x_{n2} - y_n$
齿顶高		h_a	$h_{a1} = (h_a^* + x_1 - \Delta y) m$ $h_{a2} = (h_a^* + x_2 - \Delta y) m$	$h_{a1} = (h_{an}^* + x_{n1} - \Delta y_n) m_n$ $h_{a2} = (h_{an}^* + x_{n2} - \Delta y_n) m_n$
齿根高		h_f	$h_{f1} = (h_a^* + c^* - x_1) m$ $h_{f2} = (h_a^* + c^* - x_2) m$	$h_{f1} = (h_{an}^* + c_n^* - x_{n1}) m_n$ $h_{f2} = (h_{an}^* + c_n^* - x_{n2}) m_n$
全齿高		h	$h_1 = h_{a1} + h_{f1}$ $h_2 = h_{a2} + h_{f2}$	$h_1 = h_{a1} + h_{f1}$ $h_2 = h_{a2} + h_{f2}$
齿顶圆直径		d_a	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$ $d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}$	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$ $d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}$
齿根圆直径		d_f	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$ $d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}$	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$ $d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}$

(续)

名称		代 号	直 齿 轮	斜齿（人字齿）轮
基圆直径		d_{b1}	$d_{b1} = d_1 \cos\alpha$ $d_{b2} = d_2 \cos\alpha$	$d_{b1} = d_1 \cos\alpha_1$ $d_{b2} = d_2 \cos\alpha_1$
齿顶圆压力角		α_a	$\alpha_{a1} = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}}$ $\alpha_{a2} = \arccos \frac{d_{b2}}{d_{a2}}$	$\alpha_{a1} = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}}$ $\alpha_{a2} = \arccos \frac{d_{b2}}{d_{a2}}$
重 合 度	端面重合度	ε_α	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} \left[z_1 \left(\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha' \right) + z_2 \left(\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha' \right) \right]$	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} \left[z_1 \left(\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha'_1 \right) + z_2 \left(\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha'_1 \right) \right]$
			$\alpha = 20^\circ$ （或 $\alpha_n = 20^\circ$ ）时，可由图 4.4-9 查出	
	纵向重合度	ε_β	$\varepsilon_\beta = 0$	$\varepsilon_\beta = \frac{b \sin\beta}{\pi m_n}$
				可由图 4.4-10 查出
总重合度		ε_γ	$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$	
当量齿数		z_v	$z_v = z$	$z_v = \frac{z}{\cos^3\beta}$

4.2.5 内啮合变位圆柱齿轮传动的几何尺寸计算 式见表 4.4-20，内啮合角变位圆柱齿轮传动的几何尺寸计算公式见表 4.4-21。

表 4.4-20 内啮合高变位圆柱齿轮传动几何尺寸计算公式

名称	代 号	直 齿 轮	斜齿（人字齿）轮
模数	m 或 m_n	m 按强度计算或结构设计确定，并按表 4.4-5 取标准值	m_n 按强度计算或结构设计确定，并按表 4.4-5 取标准值。 $m_t = m_n / \cos \beta$
压力角	α 或 α_n	α 取标准值	α_n 取标准值， $\tan \alpha_1 = \tan \alpha_n / \cos \beta$
分度圆直径	d	$d_1 = z_1 m$ $d_2 = z_2 m$	$d_1 = z_1 m_t = \frac{z_1 m_n}{\cos \beta}$ $d_2 = z_2 m_t = \frac{z_2 m_n}{\cos \beta}$
齿顶高	h_a	$h_{a1} = (h_a^* + x_1) m$ $h_{a2} = (h_a^* - \Delta h_a^* - x_2) m$ $\Delta h_a^* = \frac{(h_a^* - x_2)^2}{z_2 \tan^2 \alpha}$ 是为了避免过渡曲线干涉的齿顶高系数减少量。当 $h_a^* = 1$ ， $\alpha = 20^\circ$ 时， $\Delta h_a^* = \frac{7.55 (1 - x_2)^2}{z_2}$	$h_{a1} = (h_{an}^* + x_{n1}) m_n$ $h_{a2} = (h_{an}^* - \Delta h_{an}^* - x_{n2}) m_n$ $\Delta h_{an}^* = \frac{(h_{an}^* - x_{n2})^2 \cos^3 \beta}{z_2 \tan^2 \alpha_n}$ 是为了避免过渡曲线干涉的齿顶高系数减少量。当 $h_{an}^* = 1$ ， $\alpha_n = 20^\circ$ 时， $\Delta h_{an}^* = \frac{7.55 (1 - x_{n2})^2 \cos^3 \beta}{z_2}$
齿根高	h_f	$h_{f1} = (h_a^* + c^* - x_1) m$ $h_{f2} = (h_a^* + c^* + x_2) m$	$h_{f1} = (h_{an}^* + c_n^* - x_{n1}) m_n$ $h_{f2} = (h_{an}^* + c_n^* + x_{n2}) m_n$
全齿高	h	$h_1 = h_{a1} + h_{f1}$ $h_2 = h_{a2} + h_{f2}$	$h_1 = h_{a1} + h_{f1}$ $h_2 = h_{a2} + h_{f2}$
齿顶圆直径	d_a	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$ $d_{a2} = d_2 - 2h_{a2}$	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$ $d_{a2} = d_2 - 2h_{a2}$

(续)

名称	代号	直 齿 轮	斜齿 (人字齿) 轮
齿根圆直径	d_f	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$ $d_{f2} = d_2 + 2h_{f2}$	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$ $d_{f2} = d_2 + 2h_{f2}$
中心距	a	$a = \frac{d_2 - d_1}{2} = \frac{m(z_2 - z_1)}{2}$	$a = \frac{d_2 - d_1}{2} = \frac{m_n(z_2 - z_1)}{2\cos\beta}$
基圆直径	d_b	$d_{b1} = d_1 \cos\alpha$ $d_{b2} = d_2 \cos\alpha$	$d_{b1} = d_1 \cos\alpha_1$ $d_{b2} = d_2 \cos\alpha_1$
齿顶圆压力角	α_a	$\alpha_{a1} = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}}$ $\alpha_{a2} = \arccos \frac{d_{b2}}{d_{a2}}$	$\alpha_{a1} = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}}$ $\alpha_{a2} = \arccos \frac{d_{b2}}{d_{a2}}$
重合度	端面重合度	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} [z_1 (\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha') - z_2 (\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha')]$	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} [z_1 (\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha'_1) - z_2 (\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha'_1)]$
		$\alpha = 20^\circ$ (或 $\alpha_n = 20^\circ$) 时, 可由图 4.4-9 查出	
	纵向重合度	$\varepsilon_\beta = 0$	$\varepsilon_\beta = \frac{b \sin\beta}{\pi m_n}$
			可由图 4.4-10 查出
	总重合度	ε_γ	$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$
当量齿数	z_v	$z_v = z$	$z_v = \frac{z}{\cos^3\beta}$

注: 插齿加工的齿轮要求准确的标准顶隙时, d_a 和 d_f 按表 4.4-21 中的插齿加工计算。

表 4.4-21 内啮合角变位圆柱齿轮传动几何尺寸计算公式

名称		代 号	直 齿 轮	斜齿（人字齿）轮
模数		m 或 m_n	m 按强度计算或结构设计确定，并按表 4.4-5 取标准值	m_n 按强度计算或结构设计确定，并按表 4.4-5 取标准值。 $m_t = m_n / \cos\beta$
压力角		α 或 α_n	α 取标准值	α_n 取标准值， $\tan\alpha_t = \tan\alpha_n / \cos\beta$
分度圆直径		d	$d_1 = z_1 m$ $d_2 = z_2 m$	$d_1 = z_1 m_t = \frac{z_1 m_n}{\cos\beta}$ $d_2 = z_2 m_t = \frac{z_2 m_n}{\cos\beta}$
给定 a' 求 x	不变位 中心距	a	$a = \frac{d_2 - d_1}{2} = \frac{m(z_2 - z_1)}{2}$	$a = \frac{d_2 - d_1}{2} = \frac{m_n(z_2 - z_1)}{2\cos\beta}$
	中心距 变动系数	y	$y = \frac{a' - a}{m}$	$y_t = \frac{a' - a}{m_t}$ $y_n = \frac{a' - a}{m_n}$
	啮合角	α'	$\cos\alpha' = \frac{a}{a'} \cos\alpha$	$\cos\alpha'_t = \frac{a}{a'} \cos\alpha_t$
			α' 、 α'_t 可由图 4.4-7 查出	

(续)

名称		代 号	直 齿 轮	斜齿 (人字齿) 轮
给定 a' 求 x	总变位 系数	x_{Σ}	$x_{\Sigma} = (z_2 - z_1) \frac{\text{inv}\alpha' - \text{inv}\alpha}{2\tan\alpha}$	$x_{n\Sigma} = (z_2 - z_1) \frac{\text{inv}\alpha'_t - \text{inv}\alpha_t}{2\tan\alpha_n}$
	变位系数 分配	x_1, x_2	$x_{\Sigma} = x_1 + x_2$	$x_{n\Sigma} = x_{n1} + x_{n2}$
给定 x 求 a'	啮合角	α'	$\text{inv}\alpha' = \frac{2(z_2 - z_1) \tan\alpha}{z_2 - z_1} + \text{inv}\alpha$	$\text{inv}\alpha'_t = \frac{2(z_{n2} - z_{n1}) \tan\alpha_n}{z_2 - z_1} + \text{inv}\alpha_t$
	中心距 变动系数	y	$y = \frac{z_2 - z_1}{2} \left(\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'} - 1 \right)$	$y_t = \frac{z_2 - z_1}{2} \left(\frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha'_t} - 1 \right)$ $y_n = \frac{y_t}{\cos\beta}$
	中心距	a'	$a' = \frac{d_2 - d_1}{2} + ym = m \left(\frac{z_2 - z_1}{2} + y \right)$	$a' = \frac{d_2 - d_1}{2} + y_1 m_1 = m_n \left(\frac{z_2 - z_1}{2 \cos\beta} + y_n \right)$
滚 齿 加 工	齿顶高变 动系数	Δy	$\Delta y = x_2 - x_1 - y$	$\Delta y_n = x_{n2} - x_{n1} - y_n$
	齿顶高	h_a	$h_{a1} = (h_a^* + x_1 + \Delta y) m$ $h_{a2} = (h_a^* - x_2 + \Delta y) m$	$h_{a1} = (h_{an}^* + x_{n1} + \Delta y_n) m_n$ $h_{a2} = (h_{an}^* - x_{n2} + \Delta y_n) m_n$
	齿根高	h_f	$h_{f1} = (h_a^* + c^* - x_1) m$ $h_{f2} = (h_a^* + c^* + x_2) m$	$h_{f1} = (h_{an}^* + c_n^* - x_{n1}) m_n$ $h_{f2} = (h_{an}^* + c_n^* + x_{n2}) m_n$
	全齿高	h	$h_1 = h_{a1} + h_{f1}$ $h_2 = h_{a2} + h_{f2}$	$h_1 = h_{a1} + h_{f1}$ $h_2 = h_{a2} + h_{f2}$
	齿顶圆直径	d_a	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$ $d_{a2} = d_2 - 2h_{a2}$	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$ $d_{a2} = d_2 - 2h_{a2}$
	齿根圆直径	d_f	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$ $d_{f2} = d_2 + 2h_{f2}$	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$ $d_{f2} = d_2 + 2h_{f2}$
插 齿 加 工	插齿时 啮合角	α'_0	$\text{inv}\alpha'_{01} = \frac{2(z_1 + x_0) \tan\alpha}{z_1 + z_0} + \text{inv}\alpha$ $\text{inv}\alpha'_{02} = \frac{2(z_2 - x_0) \tan\alpha}{z_1 - z_0} + \text{inv}\alpha$	$\text{inv}\alpha'_{01} = \frac{2(z_{n1} + x_{n0}) \tan\alpha_n}{z_1 + z_0} + \text{inv}\alpha_t$ $\text{inv}\alpha'_{02} = \frac{2(z_{n2} - x_{n0}) \tan\alpha_n}{z_2 - z_0} + \text{inv}\alpha_t$
	插齿时 中心距	a'_0	$a'_{01} = \frac{m(z_1 + z_0)}{2} \frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'_{01}}$ $a'_{02} = \frac{m(z_2 - z_0)}{2} \frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'_{02}}$	$a'_{01} = \frac{m_n(z_1 + z_0)}{2 \cos\beta} \frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha'_{01}}$ $a'_{02} = \frac{m_n(z_2 - z_0)}{2 \cos\beta} \frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha'_{02}}$
	齿根圆直径	d_f	$d_{f1} = 2a'_{01} - d_{a0}$ $d_{f2} = 2a'_{02} + d_{a0}$	$d_{f1} = 2a'_{01} - d_{a0}$ $d_{f2} = 2a'_{02} + d_{a0}$
	齿顶圆直径	d_a	$d_{a1} = d_{f2} - 2a' - 2c^* m$ $d_{a2} = d_{f1} + 2a' + 2c^* m$	$d_{a1} = d_{f2} - 2a' - 2c_n^* m_n$ $d_{a2} = d_{f1} + 2a' + 2c_n^* m_n$

(续)

名称	代号	直 齿 轮	斜齿 (人字齿) 轮
基圆直径	d_b	$d_{b1} = d_1 \cos \alpha$ $d_{b2} = d_2 \cos \alpha$	$d_{b1} = d_1 \cos \alpha_t$ $d_{b2} = d_2 \cos \alpha_t$
齿顶圆压力角	α_a	$\alpha_{a1} = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}}$ $\alpha_{a2} = \arccos \frac{d_{b2}}{d_{a2}}$	$\alpha_{a1} = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}}$ $\alpha_{a2} = \arccos \frac{d_{b2}}{d_{a2}}$
重合度	端面重合度	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} [z_1 (\tan \alpha_{a1} - \tan \alpha') - z_2 (\tan \alpha_{a2} - \tan \alpha')]$	$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} [z_1 (\tan \alpha_{at1} - \tan \alpha'_t) - z_2 (\tan \alpha_{at2} - \tan \alpha'_t)]$
	纵向重合度	$\varepsilon_\beta = 0$	$\varepsilon_\beta = \frac{b \sin \beta}{\pi m_n}$ 可由图 4.4-10 查出
	总重合度	ε_γ	$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$
当量齿数	z_v	$z_v = z$	$z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta}$

注：刀具参数 z_0 、 d_{a0} 按表 4.4-22 确定。

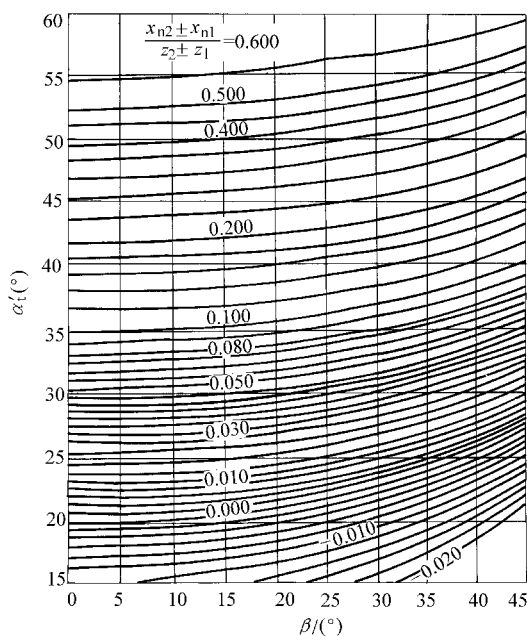


图 4.4-7 端面啮合角 α'_t ($\alpha = \alpha_n = 20^\circ$)

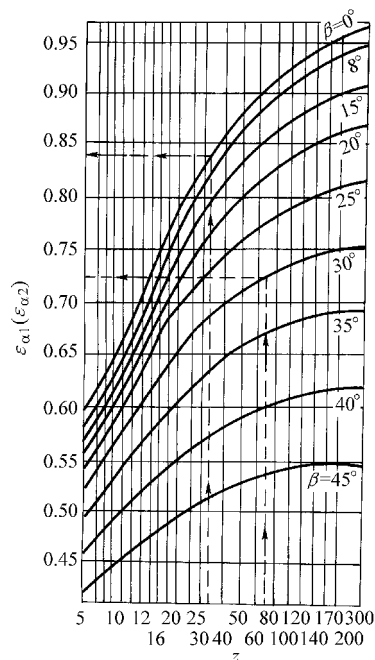


图 4.4-8 标准外啮合圆柱齿轮端面重合度

$$\varepsilon_\alpha \quad (\alpha = \alpha_n = 20^\circ, h_a^* = h_{an}^* = 1)$$

注：一对标准斜齿圆柱齿轮传动， $z_1 = 48$ ， $z_2 = 69$ ， $\alpha = 20^\circ$ ， $\beta = 30^\circ$ ， $b/m_n = 10$ 。由图 4.4-8 查得 $\varepsilon_{\alpha 1} = 0.71$ ， $\varepsilon_{\alpha 2} = 0.725$ ，由图 4.4-10 查得 $\varepsilon_\beta = 1.6$ ，所以 $\varepsilon_\gamma = \varepsilon_{\alpha 1} + \varepsilon_{\alpha 2} + \varepsilon_\beta = 0.71 + 0.725 + 1.6 = 3.035$ 。

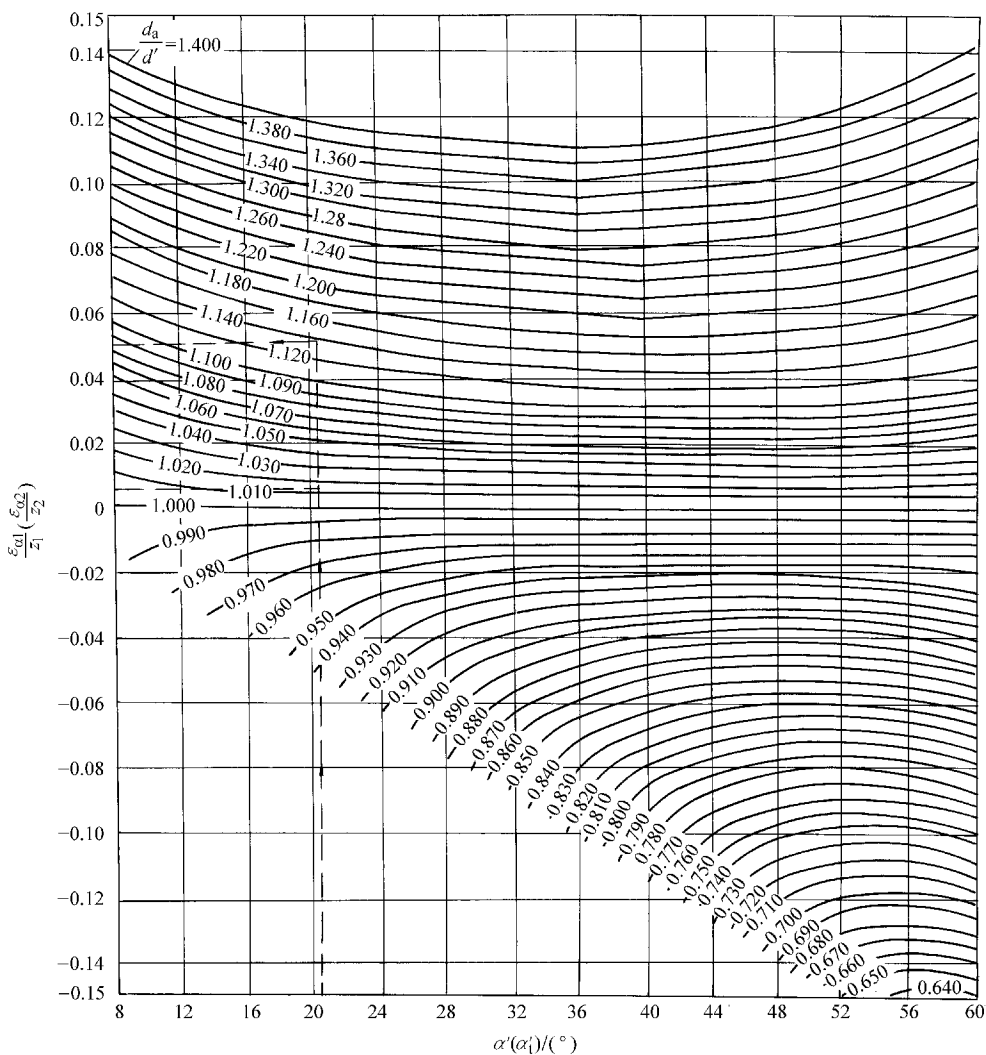


图 4.4-9 确定 $\frac{\varepsilon_{\alpha 1}}{z_1} \left(\frac{\varepsilon_{\alpha 2}}{z_2} \right)$ 的线图

注: 1. 本图适用于 α (或 α_n) = 20° 的各种平行轴齿轮传动。对于外啮合的标准齿轮传动, 使用图 4.4-8 则更为方便。

2. 使用方法: 按 α'_1 和 $\frac{d_{a1}}{d'_1}$ 查出 $\frac{\varepsilon_{\alpha 1}}{z_1}$, 按 α'_1 和 $\frac{d_{a2}}{d'_2}$ 查出 $\frac{\varepsilon_{\alpha 2}}{z_2}$, 则 $\varepsilon_{\alpha} = z_1 \left(\frac{\varepsilon_{\alpha 1}}{z_1} \right) \pm z_2 \left(\frac{\varepsilon_{\alpha 2}}{z_2} \right)$, 式中“+”用于外啮合,“-”用于内啮合。

3. α'_1 可由图 4.4-7 查得。

4. 例 一对外啮合斜齿圆柱齿轮传动, $z_1 = 21$, $z_2 = 74$, $m_n = 3\text{mm}$, $\beta = 12^\circ$, $x_{n1} = 0.5$, $x_{n2} = -0.5$, 求端面重合度 ε_{α} 。

解: 根据计算 $d'_1 = 64.408\text{mm}$, $d_{a1} = 73.408\text{mm}$, $d'_2 = 226.960\text{mm}$, $d_{a2} = 229.960\text{mm}$ 。

$$\frac{d_{a1}}{d'_1} = \frac{73.408}{64.408} = 1.14, \quad \frac{d_{a2}}{d'_2} = \frac{229.960}{226.960} = 1.013$$

按 $\beta = 12^\circ$, $\frac{x_{n2} + x_{n1}}{z_2 + z_1} = 0$, 由图 4.4-7 查得 $\alpha'_1 \approx 20^\circ 24'$

根据 $\alpha'_1 \approx 20^\circ 24'$ 和 $\frac{d_a}{d'}$, 由图 4.4-9 查得 $\frac{\varepsilon_{\alpha 1}}{z_1} = 0.052$, $\frac{\varepsilon_{\alpha 2}}{z_2} = 0.006$

$$\text{所以 } \varepsilon_{\alpha} = z_1 \left(\frac{\varepsilon_{\alpha 1}}{z_1} \right) + z_2 \left(\frac{\varepsilon_{\alpha 2}}{z_2} \right) = 21 \times 0.052 + 74 \times 0.006 = 1.53$$

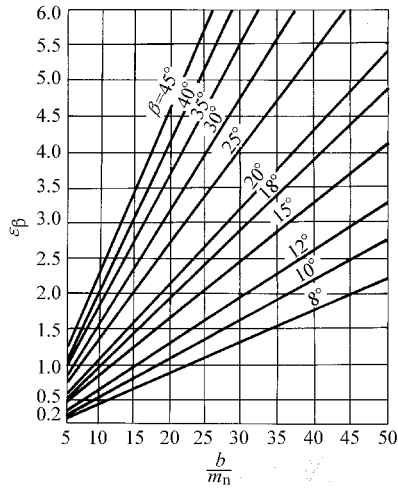


图 4.4-10 斜齿圆柱齿轮的纵向重合度

表 4.4-22 直齿插齿刀的基本参数

(摘自 GB/T 6081—2001)

插齿刀 形式	m /mm	z_0	d_{f0} /mm	d_{a0} /mm		h_{a0}^*
				I 型	II 型	
I 型盘形 直齿插齿刀 II 型碗形 直齿插齿刀 公称分度 圆直径 75mm	1	76	76	78.50	78.72	1.25
	1.25	60	75	78.56	78.38	
	1.5	50	75	79.56	79.04	
	1.75	43	75.25	80.67	79.99	
	2	38	76	82.24	81.40	
	2.25	34	76.5	83.48	82.56	
	2.5	30	75	82.34	81.76	
	2.75	28	77	84.92	84.42	
	3	25	75	83.34	83.10	
	3.25	24	78	86.96	86.78	
	3.5	22	77	86.44	86.44	
	3.75	20	75	84.90	85.14	
	4	19	76	86.32	86.80	
I 型盘形 直齿插齿刀 II 型碗形 直齿插齿刀 公称分度 圆直径 100mm	1	100	100	102.62		$m_n \leq 4\text{mm}$ $h_{a0}^* = 1.25$
	1.25	80	100	103.94		
	1.5	63	102	107.14		
	1.75	58	101.5	107.62		
	2	50	100	107.00		
	2.25	45	101.25	109.09		
	2.5	40	100	108.36		$m_n > 4\text{mm}$ $h_{a0}^* = 1.3$
	2.75	36	99	107.86		
	3	34	102	111.54		
	3.25	31	100.75	110.71		
	3.5	29	101.5	112.08		
	3.75	27	101.25	112.35		
	4	25	100	111.46		
	4.5	22	99	111.78		
	5	20	100	113.90		
	5.5	19	104.5	119.68		
	6	18	108	124.56		

(续)

插齿刀 形式	m /mm	z_0	d_{f0} /mm	d_{a0} /mm		h_{a0}^*
				I 型	II 型	
I 型盘形 直齿插齿刀 II 型碗形 直齿插齿刀 公称分度 圆直径 125mm	4	31	124	136.80		1.3
	4.5	28	126	140.14		
	5	25	125	140.20		
	5.5	23	126.5	143.00		
	6	21	126	143.52		
	6.5	19	123.5	141.96		
	7	18	126	145.74		
	8	16	128	149.92		
I 型盘形 直齿插齿刀 公称分度 圆直径 160mm	6	27	162	178.20		1.25
	6.5	25	162.5	180.06		
	7	23	161	179.90		
	8	20	160	181.60		
	9	18	162	186.30		
	10	16	160	187.00		
I 型盘形 直齿插齿刀 公称分度 圆直径 200mm	8	25	200	221.60		1.25
	9	22	198	222.30		
	10	20	200	227.00		
	11	18	198	227.70		
	12	17	204	236.40		
II 型碗形 直齿插齿刀 公称分度 圆直径 50mm	1	50	50	52.72		1.25
	1.25	40	50	53.38		
	1.5	34	51	55.04		
	1.75	29	50.75	55.49		
	2	25	50	55.40		
	2.25	22	49.5	55.56		
	2.5	20	50	56.76		
	2.75	18	49.5	56.92		
	3	17	51	59.10		
	3.25	15	48.75	57.53		
	3.5	14	49	58.44		
III 型锥柄 直齿插齿刀 公称分度 圆直径 25mm	1	26	26	28.72		1.25
	1.25	20	25	28.38		
	1.5	18	27	31.04		
	1.75	15	26	30.89		
	2	13	26	31.24		
	2.25	12	27	32.90		
	2.5	10	25	31.26		
	2.75	10	27	34.48		
III 型锥柄 直齿插齿刀 公称分度 圆直径 38mm	1	38	38	40.72		1.25
	1.25	30	37.5	40.88		
	1.5	25	37.5	41.54		
	1.75	22	38.5	43.24		
	2	19	38	43.40		
	2.25	16	36	41.98		
	2.5	15	37.5	44.26		
	2.75	14	38.5	45.88		
	3	12	36	43.74		
	3.25	12	39	47.58		
	3.5	11	38.5	47.52		
	3.75	10	37.5	46.88		

表 4.4-23 渐开线函数 $\text{inv}\alpha_k = \tan\alpha_k - \alpha_k$

$\alpha_k (^{\circ})$		0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'
10	0.00	17941	18397	18860	19332	19812	20299	20795	21299	21810	22330	22859	23396
11	0.00	23941	24495	25057	25628	26208	26797	27394	28001	28616	29241	29875	30518
12	0.00	31171	31832	32504	33185	33875	34575	35285	36005	36735	37474	38224	38984
13	0.00	39754	40534	41325	42126	42938	43760	44593	45437	46291	47157	48033	48921
14	0.00	49819	50729	51650	52582	53526	54482	55448	56427	57417	58420	59434	60460
15	0.00	61498	62548	63611	64686	65773	66873	67985	69110	70248	71398	72561	73738
16	0.0	07493	07613	07735	07857	07982	08107	08234	08362	08492	08623	08756	08889
17	0.0	09025	09161	09299	09439	09580	09722	09866	10012	10158	10307	10456	10608
18	0.0	10760	10915	11071	11228	11387	11547	11709	11873	12038	12205	12373	12543
19	0.0	12715	12888	13063	13240	13418	13598	13779	13963	14148	14334	14523	14713
20	0.0	14904	15098	15293	15490	15689	15890	16092	16296	16502	16710	16920	17132
21	0.0	17345	17560	17777	17996	18217	18440	18665	18891	19120	19350	19583	19817
22	0.0	20054	20292	20533	20775	21019	21266	21514	21765	22018	22272	22529	22788
23	0.0	23049	23312	23577	23845	24114	24386	24660	24936	25214	25495	25778	26062
24	0.0	26350	26639	26931	27225	27521	27820	28121	28424	28729	29037	29348	29660
25	0.0	29975	30293	30613	30935	31260	31587	31917	32249	32583	32920	33260	33602
26	0.0	33947	34294	34644	34997	35352	35709	36069	36432	36798	37166	37537	37910
27	0.0	38287	38666	39047	39432	39819	40209	40602	40997	41395	41797	42201	42607
28	0.0	43017	43430	43845	44264	44685	45110	45537	45967	46400	46837	47276	47718
29	0.0	48164	48612	49064	49518	49976	50437	50901	51368	51838	52312	52788	53268
30	0.0	53751	54238	54728	55221	55717	56217	56720	57226	57736	58249	58765	59285
31	0.0	59809	60336	60866	61400	61937	62478	63022	63570	64122	64677	65236	65799
32	0.0	66364	66934	67507	68084	68665	69250	69838	70430	71026	71626	72230	72838
33	0.0	73449	74064	74684	75307	75934	76565	77200	77839	78483	79130	79781	80437
34	0.0	81097	81760	82428	83100	83777	84457	85142	85832	86525	87223	87925	88631
35	0.0	89342	90058	90777	91502	92230	92963	93701	94443	95190	95942	96698	97459
36	0.	09822	09899	09977	10055	10133	10212	10292	10371	10452	10533	10614	10696
37	0.	10778	10861	10944	11028	11113	11197	11283	11369	11455	11542	11630	11718
38	0.	11806	11895	11985	12075	12165	12257	12348	12441	12534	12627	12721	12815
39	0.	12911	13006	13102	13199	13297	13395	13493	13592	13692	13792	13893	13995
40	0.	14097	14200	14303	14407	14511	14616	14722	14829	14936	15043	15152	15261
41	0.	15370	15480	15591	15703	15815	15928	16041	16156	16270	16386	16502	16619
42	0.	16737	16855	16974	17093	17214	17336	17457	17579	17702	17826	17951	18076
43	0.	18202	18329	18457	18585	18714	18844	18975	19106	19238	19371	19505	19639
44	0.	19774	19910	20047	20185	20323	20463	20603	20743	20885	21028	21171	21315
45	0.	21460	21606	21753	21900	22049	22198	22348	22499	22651	22804	22958	23112
46	0.	23268	23424	23582	23740	23899	24059	24220	24382	24545	24709	24874	25040
47	0.	25206	25374	25543	25713	25883	26055	26228	26401	26576	26752	26929	27107
48	0.	27285	27465	27646	27828	28012	28196	28381	28567	28755	28943	29133	29324
49	0.	29516	29709	29903	30098	30295	30492	30691	30891	31092	31295	31498	31703
50	0.	31909	32116	32324	32534	32745	32957	33171	33385	33601	33818	34037	34257
51	0.	34478	34700	34924	35149	35376	35604	35833	36063	36295	36529	36763	36999
52	0.	37237	37476	37716	37958	38202	38446	38693	38941	39190	39441	39693	39947
53	0.	40202	40459	40717	40977	41239	41502	41767	42034	42302	42571	42843	43116
54	0.	43390	43667	43945	44225	44506	44789	45074	45361	45650	45940	46232	46526
55	0.	46822	47119	47419	47720	48023	48328	48635	48944	49255	49568	49882	50199
56	0.	50518	50838	51161	51486	51813	52141	52472	52805	53141	53478	53817	54159
57	0.	54503	54849	55197	55547	55900	56255	56612	56972	57333	57698	58064	58433
58	0.	58804	59178	59554	59933	60314	60697	61083	61472	61863	62257	62653	63052
59	0.	63454	63858	64265	64674	65086	65501	65919	66340	66763	67189	67618	68050

注：1. $\text{inv}27^{\circ}15' = 0.039432$ ；

$$\text{inv}27^{\circ}17' = 0.039432 + \frac{2}{5} \times 0.000387 = 0.039432 + 0.000155 = 0.039587。$$

2. $\text{inv}\alpha = 0.0060460$ ，由表求得 $\alpha = 14^{\circ}55'$ 。

5 渐开线圆柱齿轮齿厚的测量与计算

5.2 公法线长度

5.1 齿厚测量方法的比较和应用 (见表 4.4-24)

5.2.1 公法线长度计算公式 (见表 4.4-25)

5.2.2 公法线长度数值表 (见表 4.4-26 ~ 表 4.4-29)

表 4.4-24 齿厚测量方法的比较和应用

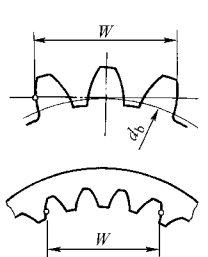
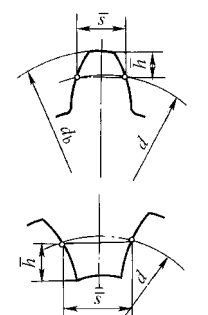
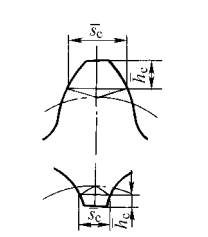
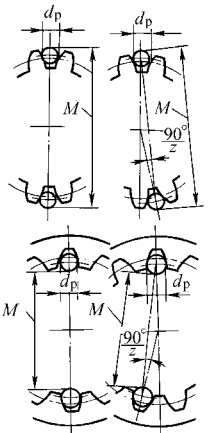
测量方法	简 图	优 点	缺 点	应 用
公法线长度		1. 测量时不以齿顶圆为基准, 因此不受齿顶圆误差的影响, 测量精度较高并可放宽对齿顶圆的精度要求 2. 测量方便 3. 与量具接触的齿廓曲率半径较大, 量具的磨损较轻	1. 对斜齿轮, 当 $b < W_n \sin \beta$ 时不能测量 2. 当用于斜齿轮时, 计算比较麻烦	广泛用于各种齿轮的测量, 但是对于大型齿轮因受量具限制使用不多
分度圆弦齿厚		与固定弦齿厚相比, 当齿轮的模数较小, 或齿数较少时, 测量比较方便	1. 测量时以齿顶圆为基准, 因此对齿顶圆的尺寸偏差及径向圆跳动有严格的要求 2. 测量结果受齿顶圆误差的影响, 精度不高 3. 当变位系数较大 ($x > 0.5$) 时, 可能不便于测量 4. 对斜齿轮, 计算时要换算成当量齿数, 增加了计算工作量 5. 齿轮卡尺的卡爪尖部容易磨损	适用于大型齿轮的测量, 也常用于精度要求不高的小型齿轮的测量
固定弦齿厚		计算比较简单, 特别是用于斜齿轮时, 可省去当量齿数 z_v 的换算	1. 测量时以齿顶圆为基准, 因此对齿顶圆的尺寸偏差及径向圆跳动有严格的要求 2. 测量结果受齿顶圆误差的影响, 精度不高 3. 齿轮卡尺的卡爪尖部容易磨损 4. 对模数较小的齿轮, 测量不够方便	适用于大型齿轮的测量
量柱 (球) 测量距		测量时不以齿顶圆为基准, 因此不受齿顶圆误差的影响, 并可放宽对齿顶圆的加工要求	1. 对大型齿轮测量不方便 2. 计算麻烦	多用于内齿轮和小模数齿轮的测量

表 4.4-25 公法线长度计算公式

项 目		直齿轮 (内啮合、外啮合)	斜齿轮 (内啮合、外啮合)
标准 齿 轮	公法线跨齿数 (内齿轮为跨 齿槽数) k	$k = \frac{\alpha}{180^\circ} z + 0.5$ k 值四舍五入取整数 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, k 值可按 z 查表 4.4-26	$k = \frac{\alpha_n}{180^\circ} z' + 0.5$ $z' = z \frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n}$ k 值四舍五入取整数 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, 比值 $\frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n}$ 可查表 4.4-27 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, k 可按 z' 查表 4.4-26
	公法线长度 W_k 或 W_{kn}	$W_k = W_k^* m$ $W_k^* = \cos\alpha [\pi (k - 0.5) + z \text{inv}\alpha]$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, W_k^* 可按 z 查表 4.4-26	$W_k = W_{kn}^* m_n$ $W_{kn}^* = \cos\alpha_n [\pi (k - 0.5) + z' \text{inv}\alpha_n]$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, W_{kn}^* 可按 z' 查表 4.4-26
变 位 齿 轮	公法线跨齿数 (内齿轮为跨 齿槽数) k	$k = \frac{\alpha}{180^\circ} z + 0.5 + \frac{2x \cot\alpha}{\pi}$ k 值四舍五入取整数 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, k 可按 z 查表 4.4-26	$k = \frac{\alpha_n}{180^\circ} z' + 0.5 + \frac{2x_n \cot\alpha_n}{\pi}$ $z' = z \frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n}$ k 值四舍五入取整数 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, 比值 $\frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n}$ 可查表 4.4-27 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, k 可按 z' 查表 4.4-26
	公法线长度 W_k 或 W_{kn}	$W_k = (W_k^* + \Delta W^*) m$ $W_k^* = \cos\alpha [\pi (k - 0.5) + z \text{inv}\alpha]$ $\Delta W^* = 2x \sin\alpha$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, W_k^* 可按 z 查表 4.4-26; ΔW^* 查表 4.4-29	$W_{kn} = (W_{kn}^* + \Delta W_n^*) m_n$ $W_{kn}^* = \cos\alpha_n [\pi (k - 0.5) + z' \text{inv}\alpha_n]$ $\Delta W_n^* = 2x_n \sin\alpha_n$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, W_{kn}^* 可按 z' 查表 4.4-26; ΔW_n^* 查表 4.4-29

表 4.4-26 公法线长度 W_k^* (W_{kn}^*) ($\alpha_n = \alpha = 20^\circ, m_n = m = 1 \text{ mm}$)

(mm)

$z(z')$	$x(x_n)$	k	$W_k^* (W_{kn}^*)$	$z(z')$	$x(x_n)$	k	$W_k^* (W_{kn}^*)$	$z(z')$	$x(x_n)$	k	$W_k^* (W_{kn}^*)$
7	≤ 0.80	2	4.526	23	≤ 0.60	3	7.702	32	≤ 0.60	4	10.781
8	≤ 0.80	2	4.540		$> 0.60 \sim 1.40$	4	10.655		$> 0.60 \sim 1.30$	5	13.733
9	≤ 0.80	2	4.554						$> 1.30 \sim 1.80$	6	16.685
10	≤ 0.90	2	4.568	24	≤ 0.55	3	7.716	33	≤ 0.55	4	10.795
11	≤ 0.90	2	4.582		$> 0.55 \sim 1.20$	4	10.669		$> 0.55 \sim 1.30$	5	13.747
					$> 1.20 \sim 1.60$	5	13.621		$> 1.30 \sim 1.80$	6	16.699
12	≤ 0.80	2	4.596	25	≤ 0.50	3	7.730	34	≤ 0.50	4	10.809
	$> 0.80 \sim 1.20$	3	7.548		$> 0.50 \sim 1.20$	4	10.683		$> 0.50 \sim 1.20$	5	13.761
13	≤ 0.70	2	4.610		$> 1.20 \sim 1.60$	5	13.635		$> 1.20 \sim 1.80$	6	16.713
	$> 0.70 \sim 1.20$	3	7.562	26	≤ 0.40	3	7.744	35	≤ 0.40	4	10.823
14	≤ 0.60	2	4.624		$> 0.40 \sim 1.20$	4	10.697		$> 0.40 \sim 1.10$	5	13.775
	$> 0.60 \sim 1.20$	3	7.576		$> 1.20 \sim 1.60$	5	13.649		$> 1.10 \sim 1.90$	6	16.727
15	≤ 0.60	2	4.638	27	≤ 0.80	4	10.711	36	≤ 0.30	4	10.837
	$> 0.60 \sim 1.20$	3	7.590		$> 0.80 \sim 1.60$	5	13.663		$> 0.30 \sim 1.0$	5	13.789
16	≤ 0.50	2	4.652		$> 1.60 \sim 1.80$	6	16.615		$> 1.0 \sim 1.90$	6	16.741
	$> 0.50 \sim 1.20$	3	7.604	28	≤ 0.80	4	10.725	37	≤ 0.70	5	13.803
17	≤ 1.0	3	7.618		$> 0.80 \sim 1.60$	5	13.677		$> 0.70 \sim 1.70$	6	16.755
	$> 1.0 \sim 1.20$	4	10.571		$> 1.60 \sim 1.80$	6	16.629		$> 1.70 \sim 2.00$	7	19.707
18	≤ 1.0	3	7.632	29	≤ 0.70	4	10.739	38	≤ 0.70	5	13.817
	$> 1.0 \sim 1.20$	4	10.585		$> 0.70 \sim 1.50$	5	13.691		$> 0.70 \sim 1.70$	6	16.769
19	≤ 0.90	3	7.646		$> 1.50 \sim 1.80$	6	16.643		$> 1.70 \sim 2.00$	7	19.721
	$> 0.90 \sim 1.20$	4	10.599	30	≤ 0.60	4	10.753	39	≤ 0.70	5	13.831
20	≤ 0.80	3	7.660		$> 0.60 \sim 1.40$	5	13.705		$> 0.70 \sim 1.70$	6	16.783
	$> 0.80 \sim 1.25$	4	10.613		$> 1.40 \sim 1.80$	6	16.657		$> 1.70 \sim 2.00$	7	19.735
21	≤ 0.70	3	7.674	31	≤ 0.60	4	10.767	40	≤ 0.60	5	13.845
	$> 0.70 \sim 1.30$	4	10.627		$> 0.60 \sim 1.40$	5	13.719		$> 0.60 \sim 1.60$	6	16.797
22	≤ 0.65	3	7.688		$> 1.40 \sim 1.80$	6	16.671		$> 1.60 \sim 2.00$	7	19.749
	$> 0.65 \sim 1.40$	4	10.641								

(续)

$z(z')$	$x(x_n)$	k	$W_k^* (W_{kn}^*)$	$z(z')$	$x(x_n)$	k	$W_k^* (W_{kn}^*)$	$z(z')$	$x(x_n)$	k	$W_k^* (W_{kn}^*)$
41	≤ 0.50	5	13.859	59	≤ 0.65	7	20.015	75	≤ 0.80	9	26.144
	$> 0.50 \sim 1.40$	6	16.811		$> 0.65 \sim 1.3$	8	22.967		$> 0.8 \sim 1.5$	10	29.096
	$> 1.40 \sim 2.00$	7	19.763		$> 1.3 \sim 2.0$	9	25.919		$> 1.5 \sim 2.1$	11	32.048
42	≤ 0.40	5	13.873		$> 2.0 \sim 2.4$	10	28.872		$> 2.1 \sim 2.8$	12	35.000
	$> 0.40 \sim 1.20$	6	16.825	60	≤ 0.50	7	20.029	76	≤ 0.80	9	26.158
	$> 1.20 \sim 2.20$	7	19.777		$> 0.5 \sim 1.2$	8	22.981		$> 0.8 \sim 1.4$	10	29.110
43	≤ 0.30	5	13.887		$> 1.2 \sim 2.0$	9	25.933		$> 1.4 \sim 2.0$	11	32.062
	$> 0.30 \sim 1.10$	6	16.839		$> 2.0 \sim 2.6$	10	28.886		$> 2.0 \sim 2.8$	12	35.014
	$> 1.10 \sim 2.20$	7	19.791	61	≤ 0.40	7	20.043	77	≤ 0.70	9	26.172
44	≤ 0.20	5	13.901		$> 0.40 \sim 1.1$	8	22.995		$> 0.70 \sim 1.3$	10	29.124
	$> 0.20 \sim 1.0$	6	16.853		$> 1.1 \sim 1.9$	9	25.947		$> 1.3 \sim 1.9$	11	32.076
	$> 1.0 \sim 1.6$	7	19.805		$> 1.9 \sim 2.6$	10	28.900		$> 1.9 \sim 2.7$	12	35.028
	$> 1.6 \sim 2.2$	8	22.757	62	≤ 0.30	7	20.057	78	≤ 0.60	9	26.186
45	≤ 0.20	5	13.915		$> 0.30 \sim 1.0$	8	23.009		$> 0.60 \sim 1.2$	10	29.138
	$> 0.20 \sim 1.0$	6	16.867		$> 1.0 \sim 1.8$	9	25.961		$> 1.2 \sim 1.8$	11	32.090
	$> 1.0 \sim 1.6$	7	19.819		$> 1.8 \sim 2.6$	10	28.914		$> 1.8 \sim 2.6$	12	35.042
	$> 1.6 \sim 2.2$	8	22.771	63	≤ 0.20	7	20.071	79	≤ 0.50	9	26.200
46	≤ 0.60	6	16.881		$> 0.20 \sim 0.9$	8	23.023		$> 0.50 \sim 1.1$	10	29.152
	$> 0.60 \sim 1.5$	7	19.833		$> 0.9 \sim 1.7$	9	25.975		$> 1.1 \sim 1.8$	11	32.104
	$> 1.5 \sim 2.2$	8	22.785		$> 1.7 \sim 2.6$	10	28.928		$> 1.8 \sim 2.5$	12	35.056
47	≤ 0.55	6	16.895	64	≤ 0.80	8	23.037	80	≤ 0.40	9	26.214
	$> 0.55 \sim 1.55$	7	19.847		$> 0.80 \sim 1.6$	9	25.989		$> 0.40 \sim 1.0$	10	29.166
	$> 1.55 \sim 2.2$	8	22.799		$> 1.6 \sim 2.4$	10	28.942		$> 1.0 \sim 1.8$	11	32.118
48	≤ 0.50	6	16.909		$> 2.4 \sim 2.6$	11	31.894		$> 1.8 \sim 2.4$	12	35.070
	$> 0.50 \sim 1.4$	7	19.861	65	≤ 0.80	8	23.051	81	≤ 0.30	9	26.228
	$> 1.4 \sim 2.2$	8	22.813		$> 0.80 \sim 1.5$	9	26.003		$> 0.30 \sim 0.9$	10	29.180
	$> 2.2 \sim 2.5$	9	25.765		$> 1.5 \sim 2.3$	10	28.956		$> 0.9 \sim 1.8$	11	32.182
49	≤ 0.50	6	16.923		$> 2.3 \sim 2.6$	11	31.908		$> 1.8 \sim 2.4$	12	35.084
	$> 0.50 \sim 1.4$	7	19.875	66	≤ 0.80	8	23.065	82	≤ 0.80	10	29.194
	$> 1.4 \sim 2.2$	8	22.827		$> 0.80 \sim 1.5$	9	26.017		$> 0.8 \sim 1.6$	11	32.146
	$> 2.2 \sim 2.5$	9	25.779		$> 1.5 \sim 2.2$	10	28.970		$> 1.6 \sim 2.2$	12	35.098
50	≤ 0.50	6	16.937		$> 2.2 \sim 2.6$	11	31.922		$> 2.2 \sim 2.8$	13	38.050
	$> 0.50 \sim 1.3$	7	19.889	67	≤ 0.80	8	23.079	83	≤ 0.80	10	29.208
	$> 1.3 \sim 2.0$	8	22.841		$> 0.80 \sim 1.4$	9	26.031		$> 0.8 \sim 1.5$	11	32.160
	$> 2.0 \sim 2.4$	9	25.793		$> 1.4 \sim 2.1$	10	28.984		$> 1.5 \sim 2.2$	12	35.112
51	≤ 0.45	6	16.951		$> 2.1 \sim 2.8$	11	31.936		$> 2.2 \sim 2.8$	13	38.064
	$> 0.45 \sim 1.2$	7	19.903	68	≤ 0.80	8	23.093	84	≤ 0.80	10	29.222
	$> 1.2 \sim 1.9$	8	22.855		$> 0.80 \sim 1.3$	9	26.045		$> 0.8 \sim 1.4$	11	32.174
	$> 1.9 \sim 2.4$	9	25.807		$> 1.3 \sim 2.0$	10	28.998		$> 1.4 \sim 2.2$	12	35.126
52	≤ 0.40	6	16.965		$> 2.0 \sim 2.8$	11	31.950		$> 2.2 \sim 2.8$	13	38.078
	$> 0.40 \sim 1.1$	7	19.917	69	≤ 0.70	8	23.107	85	≤ 0.70	10	29.236
	$> 1.1 \sim 1.8$	8	22.869		$> 0.70 \sim 1.2$	9	26.059		$> 0.7 \sim 1.3$	11	32.188
53	≤ 0.30	6	16.979		$> 1.2 \sim 1.9$	10	29.012		$> 1.3 \sim 2.1$	12	35.140
	$> 0.30 \sim 1.0$	7	19.931		$> 1.9 \sim 2.7$	11	31.964		$> 2.1 \sim 2.8$	13	38.092
	$> 1.0 \sim 1.7$	8	22.883	70	≤ 0.60	8	23.121	86	≤ 0.60	10	29.250
54	$> 1.7 \sim 2.4$	9	25.835		$> 0.60 \sim 1.2$	9	26.073		$> 0.6 \sim 1.2$	11	32.202
	≤ 0.20	6	16.993		$> 1.2 \sim 1.8$	10	29.026		$> 1.2 \sim 2.0$	12	35.154
	$> 0.20 \sim 1.0$	7	19.945		$> 1.8 \sim 2.6$	11	31.978		$> 2.0 \sim 2.8$	13	38.106
55	$> 1.0 \sim 1.6$	8	22.897	71	≤ 0.50	8	23.135	87	≤ 0.60	10	29.264
	$> 1.6 \sim 2.4$	9	25.849		$> 0.50 \sim 1.1$	9	26.087		$> 0.6 \sim 1.2$	11	32.216
	≤ 0.80	7	19.959		$> 1.1 \sim 1.7$	10	29.040		$> 1.2 \sim 1.9$	12	35.168
56	$> 0.80 \sim 1.7$	8	22.911		$> 1.7 \sim 2.5$	11	31.992		$> 1.9 \sim 2.7$	13	38.120
	$> 1.7 \sim 2.4$	9	25.863	72	≤ 0.40	8	23.149	88	≤ 0.60	10	29.278
	≤ 0.80	7	19.973		$> 0.4 \sim 1.0$	9	26.101		$> 0.6 \sim 1.2$	11	32.230
57	$> 0.80 \sim 1.6$	8	22.925		$> 1.0 \sim 1.6$	10	29.054		$> 1.2 \sim 1.8$	12	35.182
	$> 1.6 \sim 2.4$	9	25.877		$> 1.6 \sim 2.4$	11	32.006		$> 1.8 \sim 2.6$	13	38.134
	≤ 0.80	7	19.987	73	≤ 0.80	9	26.115	89	≤ 0.50	10	29.292
	$> 0.80 \sim 1.5$	8	22.939		$> 0.80 \sim 1.7$	10	29.068		$> 0.5 \sim 1.1$	11	32.244
58	$> 1.5 \sim 2.0$	9	25.891		$> 1.7 \sim 2.3$	11	32.020		$> 1.1 \sim 1.7$	12	35.196
	$> 2.0 \sim 2.4$	10	28.844		$> 2.3 \sim 2.8$	12	34.972		$> 1.7 \sim 2.5$	13	38.148
	≤ 0.80	7	20.001	74	≤ 0.80	9	26.129	90	≤ 0.40	10	29.306
	$> 0.80 \sim 1.4$	8	22.953		$> 0.8 \sim 1.6$	10	29.082		$> 0.4 \sim 1.1$	11	32.258
	$> 1.4 \sim 2.0$	9	25.905		$> 1.6 \sim 2.2$	11	32.034		$> 1.1 \sim 1.6$	12	35.210
	$> 2.0 \sim 2.4$	10	28.858		$> 2.2 \sim 2.8$	12	34.986		$> 1.6 \sim 2.4$	13	38.162

(续)

$z(z')$	$x(x_n)$	k	$W_k^* (W_{kn}^*)$	$z(z')$	$x(x_n)$	k	$W_k^* (W_{kn}^*)$	$z(z')$	$x(x_n)$	k	$W_k^* (W_{kn}^*)$
91	≤ 0.80	11	32.272	112	≤ 0.60	13	38.470	129	≤ 0.50	15	44.612
	$>0.8 \sim 1.5$	12	35.224		$>0.6 \sim 1.4$	14	41.422		$>0.5 \sim 1.5$	16	47.565
	$>1.5 \sim 2.2$	13	38.176		$>1.4 \sim 2.0$	15	44.374		$>1.5 \sim 2.0$	17	50.517
	$>2.2 \sim 2.8$	14	41.128		$>2.0 \sim 2.8$	16	47.326		$>2.0 \sim 2.5$	18	53.469
92	≤ 0.80	11	32.286	113	≤ 0.60	13	38.484	130	≤ 0.50	15	44.626
	$>0.8 \sim 1.4$	12	35.238		$>0.6 \sim 1.3$	14	41.436		$>0.5 \sim 1.5$	16	47.579
	$>1.4 \sim 2.2$	13	38.190		$>1.3 \sim 1.9$	15	44.388		$>1.5 \sim 2.0$	17	50.531
	$>2.2 \sim 2.8$	14	41.142		$>1.9 \sim 2.7$	16	47.340		$>2.0 \sim 2.5$	18	53.483
93	≤ 0.70	11	32.300	114	≤ 0.60	13	38.498	131	≤ 0.50	15	44.641
	$>0.7 \sim 1.3$	12	35.252		$>0.6 \sim 1.2$	14	41.450		$>0.5 \sim 1.5$	16	47.593
	$>1.3 \sim 2.1$	13	38.204		$>1.2 \sim 1.8$	15	44.402		$>1.5 \sim 2.0$	17	50.545
	$>2.1 \sim 2.8$	14	41.156		$>1.8 \sim 2.6$	16	47.354		$>2.0 \sim 2.5$	18	53.497
94	≤ 0.60	11	32.314	115	≤ 0.50	13	38.512	132	≤ 0.50	15	44.654
	$>0.6 \sim 1.2$	12	35.266		$>0.5 \sim 1.1$	14	41.464		$>0.5 \sim 1.5$	16	47.607
	$>1.2 \sim 2.0$	13	38.218		$>1.1 \sim 1.8$	15	44.416		$>1.5 \sim 2.0$	17	50.559
	$>2.0 \sim 2.8$	14	41.170		$>1.8 \sim 2.5$	16	47.368		$>2.0 \sim 2.5$	18	53.511
95	≤ 0.60	11	32.328	116	≤ 0.40	13	38.526	133	≤ 0.50	15	44.668
	$>0.6 \sim 1.2$	12	35.280		$>0.4 \sim 1.0$	14	41.478		$>0.5 \sim 1.5$	16	47.621
	$>1.2 \sim 2.0$	13	38.232		$>1.0 \sim 1.8$	15	44.430		$>1.5 \sim 2.0$	17	50.573
	$>2.0 \sim 2.6$	14	41.148		$>1.8 \sim 2.5$	16	47.382		$>2.0 \sim 2.5$	18	53.525
96	≤ 0.60	11	32.342	117	≤ 0.80	14	41.492	134	≤ 0.50	15	44.682
	$>0.6 \sim 1.2$	12	35.294		$>0.8 \sim 1.6$	15	44.444		$>0.5 \sim 1.5$	16	47.635
	$>1.2 \sim 2.0$	13	38.246		$>1.6 \sim 2.2$	16	47.396		$>1.5 \sim 2.0$	17	50.587
	$>2.0 \sim 2.6$	14	41.198		$>2.2 \sim 2.6$	17	50.348		$>2.0 \sim 2.5$	18	53.539
97	≤ 0.50	11	32.356	118	≤ 0.80	14	41.506	135	≤ 0.50	16	47.649
	$>0.5 \sim 1.1$	12	35.308		$>0.8 \sim 1.6$	15	44.458		$>0.5 \sim 1.5$	17	50.601
	$>1.1 \sim 1.9$	13	38.260		$>1.6 \sim 2.2$	16	47.410		$>1.5 \sim 2.0$	18	53.553
	$>1.9 \sim 2.5$	14	41.212		$>2.2 \sim 2.6$	17	50.362		$>2.0 \sim 2.5$	19	56.505
98	≤ 0.40	11	32.370	119	≤ 0.80	14	41.520	136	≤ 0.50	16	47.663
	$>0.4 \sim 1.0$	12	35.322		$>0.8 \sim 1.5$	15	44.472		$>0.5 \sim 1.5$	17	50.615
	$>1.0 \sim 1.8$	13	38.274		$>1.5 \sim 2.1$	16	47.424		$>1.5 \sim 2.0$	18	53.567
	$>1.8 \sim 2.5$	14	41.226		$>2.1 \sim 2.5$	17	50.376		$>2.0 \sim 2.5$	19	56.519
99	≤ 0.30	11	32.384	120	≤ 0.80	14	41.534	137	≤ 0.50	16	47.671
	$>0.3 \sim 0.9$	12	35.336		$>0.8 \sim 1.4$	15	44.486		$>0.5 \sim 1.5$	17	50.629
	$>0.9 \sim 1.7$	13	38.288		$>1.4 \sim 2.0$	16	47.438		$>1.5 \sim 2.0$	18	53.581
	$>1.7 \sim 2.4$	14	41.240		$>2.0 \sim 2.5$	17	50.390		$>2.0 \sim 2.5$	19	56.533
100	≤ 0.80	12	35.350	121	≤ 0.50	14	41.548	138	≤ 0.50	16	47.691
	$>0.8 \sim 1.6$	13	38.302		$>0.5 \sim 1.5$	15	44.500		$>0.5 \sim 1.5$	17	50.643
	$>1.6 \sim 2.2$	14	41.254		$>1.5 \sim 2.0$	16	47.453		$>1.5 \sim 2.0$	18	53.595
	$>2.2 \sim 2.8$	15	44.206		$>2.0 \sim 2.5$	17	50.405		$>2.0 \sim 2.5$	19	56.547
102	≤ 0.60	12	35.378	122	≤ 0.50	14	41.562	139	≤ 0.50	16	47.705
	$>0.6 \sim 1.4$	13	38.330		$>0.5 \sim 1.5$	15	44.514		$>0.5 \sim 1.5$	17	50.657
	$>1.4 \sim 2.0$	14	41.282		$>1.5 \sim 2.0$	16	47.467		$>1.5 \sim 2.0$	18	53.609
	$>2.0 \sim 2.8$	15	44.234		$>2.0 \sim 2.5$	17	50.419		$>2.0 \sim 2.5$	19	56.561
104	≤ 0.40	12	35.406	123	≤ 0.50	14	41.576	140	≤ 0.50	16	47.719
	$>0.4 \sim 1.2$	13	38.358		$>0.5 \sim 1.5$	15	44.528		$>0.5 \sim 1.5$	17	50.671
	$>1.2 \sim 2.0$	14	41.310		$>1.5 \sim 2.0$	16	47.481		$>1.5 \sim 2.0$	18	53.623
	$>2.0 \sim 2.7$	15	44.262		$>2.0 \sim 2.5$	17	50.433		$>2.0 \sim 2.5$	19	56.575
105	≤ 0.40	12	35.420	124	≤ 0.50	14	41.590	141	≤ 0.50	16	47.733
	$>0.4 \sim 1.2$	13	38.372		$>0.5 \sim 1.5$	15	44.542		$>0.5 \sim 1.5$	17	50.685
	$>1.2 \sim 1.9$	14	41.324		$>1.5 \sim 2.0$	16	47.495		$>1.5 \sim 2.0$	18	53.637
	$>1.9 \sim 2.6$	15	44.276		$>2.0 \sim 2.5$	17	50.447		$>2.0 \sim 2.5$	19	56.589
106	≤ 0.40	12	35.434	125	≤ 0.50	14	41.604	142	≤ 0.50	16	47.747
	$>0.4 \sim 1.2$	13	38.386		$>0.5 \sim 1.5$	15	44.556		$>0.5 \sim 1.5$	17	50.699
	$>1.2 \sim 1.8$	14	41.338		$>1.5 \sim 2.0$	16	47.509		$>1.5 \sim 2.0$	18	53.651
	$>1.8 \sim 2.5$	15	44.290		$>2.0 \sim 2.5$	17	50.461		$>2.0 \sim 2.5$	19	56.603
108	≤ 0.20	12	35.462	126	≤ 0.50	15	44.570	143	≤ 0.50	16	47.761
	$>0.2 \sim 1.0$	13	38.414		$>0.5 \sim 1.5$	16	47.523		$>0.5 \sim 1.5$	17	50.713
	$>1.0 \sim 1.6$	14	41.366		$>1.5 \sim 2.0$	17	50.475		$>1.5 \sim 2.0$	18	53.665
	$>1.6 \sim 2.4$	15	44.318		$>2.0 \sim 2.5$	18	50.427		$>2.0 \sim 2.5$	19	56.617
110	≤ 0.80	13	38.442	127	≤ 0.50	15	44.585	144	≤ 0.50	17	50.727
	$>0.8 \sim 1.5$	14	41.394		$>0.5 \sim 1.5$	16	47.537		$>0.5 \sim 1.5$	18	53.679
	$>1.5 \sim 2.2$	15	44.346		$>1.5 \sim 2.0$	17	50.489		$>1.5 \sim 2.0$	19	56.631
	$>2.2 \sim 2.8$	16	47.298		$>2.0 \sim 2.5$	18	53.441		$>2.0 \sim 2.5$	20	59.583
111	≤ 0.70	13	38.456	128	≤ 0.50	15	44.598	145	≤ 0.50	17	50.741
	$>0.7 \sim 1.4$	14	41.408		$>0.5 \sim 1.5$	16	47.551		$>0.5 \sim 1.5$	18	53.693
	$>1.4 \sim 2.1$	15	44.360		$>1.5 \sim 2.0$	17	50.503		$>1.5 \sim 2.0$	19	56.645
	$>2.1 \sim 2.8$	16	47.312		$>2.0 \sim 2.5$	18	53.455		$>2.0 \sim 2.5$	20	59.597

(续)

$z(z')$	$x(x_n)$	k	$W_k^* (W_{kn}^*)$	$z(z')$	$x(x_n)$	k	$W_k^* (W_{kn}^*)$	$z(z')$	$x(x_n)$	k	$W_k^* (W_{kn}^*)$
146	≤ 0.50	17	50.755	158	≤ 0.50	18	53.875	170	≤ 0.50	19	56.995
	$> 0.5 \sim 1.5$	18	53.707		$> 0.5 \sim 1.5$	19	56.827		$> 0.5 \sim 1.5$	20	59.947
	$> 1.5 \sim 2.0$	19	56.659		$> 1.5 \sim 2.0$	20	59.779		$> 1.5 \sim 2.0$	21	62.900
	$> 2.0 \sim 2.5$	20	59.611		$> 2.0 \sim 2.5$	21	62.732		$> 2.0 \sim 2.5$	22	65.852
147	≤ 0.50	17	50.769	159	≤ 0.50	18	53.889	171	≤ 0.50	20	59.961
	$> 0.5 \sim 1.5$	18	53.721		$> 0.5 \sim 1.5$	19	56.841		$> 0.5 \sim 1.5$	21	62.914
	$> 1.5 \sim 2.0$	19	56.673		$> 1.5 \sim 2.0$	20	59.793		$> 1.5 \sim 2.0$	22	65.866
	$> 2.0 \sim 2.5$	20	59.625		$> 2.0 \sim 2.5$	21	62.746		$> 2.0 \sim 2.5$	23	68.818
148	≤ 0.50	17	50.783	160	≤ 0.50	18	53.903	172	≤ 0.50	20	59.975
	$> 0.5 \sim 1.5$	18	53.735		$> 0.5 \sim 1.5$	19	56.855		$> 0.5 \sim 1.5$	21	62.928
	$> 1.5 \sim 2.0$	19	56.687		$> 1.5 \sim 2.0$	20	59.807		$> 1.5 \sim 2.0$	22	65.880
	$> 2.0 \sim 2.5$	20	59.639		$> 2.0 \sim 2.5$	21	62.760		$> 2.0 \sim 2.5$	23	68.832
149	≤ 0.50	17	50.797	161	≤ 0.50	19	56.869	173	≤ 0.50	20	59.990
	$> 0.5 \sim 1.5$	18	53.749		$> 0.5 \sim 1.5$	20	59.821		$> 0.5 \sim 1.5$	21	62.942
	$> 1.5 \sim 2.0$	19	56.701		$> 1.5 \sim 2.0$	21	62.774		$> 1.5 \sim 2.0$	22	65.894
	$> 2.0 \sim 2.5$	20	59.653		$> 2.0 \sim 2.5$	22	65.726		$> 2.0 \sim 2.5$	23	68.846
150	≤ 0.50	17	50.811	162	≤ 0.50	19	56.883	174	≤ 0.50	20	60.003
	$> 0.5 \sim 1.5$	18	53.763		$> 0.5 \sim 1.5$	20	59.835		$> 0.5 \sim 1.5$	21	62.956
	$> 1.5 \sim 2.0$	19	56.715		$> 1.5 \sim 2.0$	21	62.788		$> 1.5 \sim 2.0$	22	65.908
	$> 2.0 \sim 2.5$	20	59.667		$> 2.0 \sim 2.5$	22	65.740		$> 2.0 \sim 2.5$	23	68.860
151	≤ 0.50	17	50.825	163	≤ 0.50	19	56.897	175	≤ 0.50	20	60.017
	$> 0.5 \sim 1.5$	18	53.777		$> 0.5 \sim 1.5$	20	59.849		$> 0.5 \sim 1.5$	21	62.970
	$> 1.5 \sim 2.0$	19	56.729		$> 1.5 \sim 2.0$	21	62.802		$> 1.5 \sim 2.0$	22	65.922
	$> 2.0 \sim 2.5$	20	59.681		$> 2.0 \sim 2.5$	22	65.754		$> 2.0 \sim 2.5$	23	68.874
152	≤ 0.50	17	50.839	164	≤ 0.50	19	56.911	176	≤ 0.50	20	60.031
	$> 0.5 \sim 1.5$	18	53.791		$> 0.5 \sim 1.5$	20	59.863		$> 0.5 \sim 1.5$	21	62.984
	$> 1.5 \sim 2.0$	19	56.743		$> 1.5 \sim 2.0$	21	62.816		$> 1.5 \sim 2.0$	22	65.936
	$> 2.0 \sim 2.5$	20	59.695		$> 2.0 \sim 2.5$	22	65.768		$> 2.0 \sim 2.5$	23	68.888
153	≤ 0.50	18	53.805	165	≤ 0.50	19	56.925	177	≤ 0.50	20	60.045
	$> 0.5 \sim 1.5$	19	56.757		$> 0.5 \sim 1.5$	20	59.877		$> 0.5 \sim 1.5$	21	62.998
	$> 1.5 \sim 2.0$	20	59.709		$> 1.5 \sim 2.0$	21	62.830		$> 1.5 \sim 2.0$	22	65.950
	$> 2.0 \sim 2.5$	21	62.662		$> 2.0 \sim 2.5$	22	65.782		$> 2.0 \sim 2.5$	23	68.902
154	≤ 0.50	18	53.819	166	≤ 0.50	19	56.939	178	≤ 0.50	20	60.059
	$> 0.5 \sim 1.5$	19	56.771		$> 0.5 \sim 1.5$	20	59.891		$> 0.5 \sim 1.5$	21	63.012
	$> 1.5 \sim 2.0$	20	59.723		$> 1.5 \sim 2.0$	21	62.844		$> 1.5 \sim 2.0$	22	65.964
	$> 2.0 \sim 2.5$	21	62.676		$> 2.0 \sim 2.5$	22	65.769		$> 2.0 \sim 2.5$	23	68.916
155	≤ 0.50	18	53.833	167	≤ 0.50	19	56.953	179	≤ 0.50	20	60.074
	$> 0.5 \sim 1.5$	19	56.785		$> 0.5 \sim 1.5$	20	59.906		$> 0.5 \sim 1.5$	21	63.026
	$> 1.5 \sim 2.0$	20	59.737		$> 1.5 \sim 2.0$	21	62.858		$> 1.5 \sim 2.0$	22	65.978
	$> 2.0 \sim 2.5$	21	62.690		$> 2.0 \sim 2.5$	22	65.810		$> 2.0 \sim 2.5$	23	68.930
156	≤ 0.50	18	53.847	168	≤ 0.50	19	56.967	180	≤ 0.50	21	63.040
	$> 0.5 \sim 1.5$	19	56.799		$> 0.5 \sim 1.5$	20	59.919		$> 0.5 \sim 1.5$	22	65.992
	$> 1.5 \sim 2.0$	20	59.751		$> 1.5 \sim 2.0$	21	62.872		$> 1.5 \sim 2.0$	23	68.944
	$> 2.0 \sim 2.5$	21	62.704		$> 2.0 \sim 2.5$	22	65.824		$> 2.0 \sim 2.5$	24	71.896
157	≤ 0.50	18	53.861	169	≤ 0.50	19	56.981				
	$> 0.5 \sim 1.5$	19	56.813		$> 0.5 \sim 1.5$	20	59.933				
	$> 1.5 \sim 2.0$	20	59.765		$> 1.5 \sim 2.0$	21	62.886				
	$> 2.0 \sim 2.5$	21	62.718		$> 2.0 \sim 2.5$	22	65.838				

注:1. $W_k^* (W_{kn}^*)$ 为 $m=1\text{mm}$ (或 $m_n=1\text{mm}$) 时标准齿轮的公法线长度;当模数 $m \neq 1\text{mm}$ (或 $m_n \neq 1\text{mm}$) 时标准齿轮的公法线长度应为 $W_k = W_k^* m$ (或 $W_{kn} = W_{kn}^* m_n$)。变位齿轮的公法线长度应按式 $W_k = m(W_k^* + \Delta W^*)$ 或 $W_{kn} = m_n(W_{kn}^* + \Delta W_n^*)$ 计算,式中 $\Delta W^* (\Delta W_n^*)$ 见表 4.4-29。

2. 对直齿轮表中 $z' = z$; 对斜齿轮, $z' = z \frac{\text{inv}\alpha_1}{0.0149}$ (比值 $\frac{\text{inv}\alpha_1}{0.0149}$ 列于表 4.4-27), 按此式算出的 z' 后面如有小数部分时, 应利用表 4.4-28 的数值, 按插入法进行补偿计算。

例: 确定斜齿轮的公法线长度。已知 $z=23, m_n=4\text{mm}, \alpha_n=20^\circ, \beta=29^\circ 48'$ 。

1) 假想齿数 $z' = z \frac{\text{inv}\alpha_1}{0.0149}$, 由表 4.4-27 查出 $\frac{\text{inv}\alpha_1}{0.0149} = 1.4953$ (插入法计算);

$z' = 1.4953 \times 23 = 34.39$ (取到小数点后两位数值)。

2) 查表 4.4-26, $z' = 34$ 为 10.809mm } $W_{kn}^* = (10.809 + 0.0055)\text{mm} = 10.8145\text{mm}$ 。
查表 4.4-28, $z' = 0.39$ 为 0.0055mm

3) $W_{kn} = W_{kn}^* m_n = 10.8145 \times 4\text{mm} = 43.258\text{mm}$ 。

表 4.4-27 比值 $\frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n} = \frac{\text{inv}\alpha_t}{0.0149}$ ($\alpha_n = 20^\circ$)

β	$\frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n}$	β	$\frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n}$	β	$\frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n}$	β	$\frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n}$	β	$\frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n}$	β	$\frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n}$	β	$\frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n}$
7.00°	1.021595	12.00°	1.065083	17.00°	1.135833	22.00°	1.240111	27.00°	1.387956	32.00°	1.595175	37.00°	1.886893
7.10°	1.022225	12.10°	1.066215	17.10°	1.137564	22.10°	1.242600	27.10°	1.391453	32.10°	1.600076	37.10°	1.893834
7.20°	1.022864	12.20°	1.067357	17.20°	1.139308	22.20°	1.245106	27.20°	1.394974	32.20°	1.605012	37.20°	1.900824
7.30°	1.023513	12.30°	1.068511	17.30°	1.141065	22.30°	1.247629	27.30°	1.398519	32.30°	1.609981	37.30°	1.907865
7.40°	1.024170	12.40°	1.069676	17.40°	1.142836	22.40°	1.250170	27.40°	1.402087	32.40°	1.614984	37.40°	1.914956
7.50°	1.024838	12.50°	1.070851	17.50°	1.144621	22.50°	1.252728	27.50°	1.405680	32.50°	1.620021	37.50°	1.922098
7.60°	1.025515	12.60°	1.072038	17.60°	1.146419	22.60°	1.255305	27.60°	1.409297	32.60°	1.625093	37.60°	1.929292
7.70°	1.026201	12.70°	1.073235	17.70°	1.148231	22.70°	1.257899	27.70°	1.412938	32.70°	1.630200	37.70°	1.936537
7.80°	1.026897	12.80°	1.074444	17.80°	1.150056	22.80°	1.260511	27.80°	1.416604	32.80°	1.635342	37.80°	1.943835
7.90°	1.027603	12.90°	1.075664	17.90°	1.151896	22.90°	1.263141	27.90°	1.420294	32.90°	1.640519	37.90°	1.951185
8.00°	1.028318	13.00°	1.076895	18.00°	1.153729	23.00°	1.265789	28.00°	1.424010	33.00°	1.645732	38.00°	1.958588
8.10°	1.029043	13.10°	1.078137	18.10°	1.155616	23.10°	1.268455	28.10°	1.427750	33.10°	1.650980	38.10°	1.966045
8.20°	1.029777	13.20°	1.079390	18.20°	1.157497	23.20°	1.271140	28.20°	1.431516	33.20°	1.656265	38.20°	1.973556
8.30°	1.030521	13.30°	1.080655	18.30°	1.159392	23.30°	1.273844	28.30°	1.435307	33.30°	1.661587	38.30°	1.981122
8.40°	1.031275	13.40°	1.081931	18.40°	1.161302	23.40°	1.276566	28.40°	1.439124	33.40°	1.666945	38.40°	1.988742
8.50°	1.032038	13.50°	1.083219	18.50°	1.163225	23.50°	1.279306	28.50°	1.442967	33.50°	1.672340	38.50°	1.996418
8.60°	1.032811	13.60°	1.084518	18.60°	1.165163	23.60°	1.282066	28.60°	1.446835	33.60°	1.677772	38.60°	2.004149
8.70°	1.033594	13.70°	1.085828	18.70°	1.167116	23.70°	1.284844	28.70°	1.450730	33.70°	1.683242	38.70°	2.011937
8.80°	1.034386	13.80°	1.087150	18.80°	1.169082	23.80°	1.287642	28.80°	1.454650	33.80°	1.688750	38.80°	2.019782
8.90°	1.035189	13.90°	1.088484	18.90°	1.171064	23.90°	1.290458	28.90°	1.458598	33.90°	1.694296	38.90°	2.027684
9.00°	1.036001	14.00°	1.089829	19.00°	1.173060	24.00°	1.293294	29.00°	1.462572	34.00°	1.699880	39.00°	2.035644
9.10°	1.036823	14.10°	1.091186	19.10°	1.175070	24.10°	1.2961949	29.10°	1.466573	34.10°	1.705503	39.10°	2.043663
9.20°	1.037655	14.20°	1.092554	19.20°	1.177095	24.20°	1.299024	29.20°	1.470601	34.20°	1.711166	39.20°	2.051740
9.30°	1.038497	14.30°	1.093934	19.30°	1.179135	24.30°	1.301919	29.30°	1.474656	34.30°	1.716867	39.30°	2.059876
9.40°	1.039349	14.40°	1.095326	19.40°	1.181190	24.40°	1.304833	29.40°	1.478738	34.40°	1.722609	39.40°	2.068073
9.50°	1.040211	14.50°	1.096730	19.50°	1.183260	24.50°	1.307767	29.50°	1.482848	34.50°	1.728390	39.50°	2.076329
9.60°	1.041083	14.60°	1.098146	19.60°	1.185345	24.60°	1.310721	29.60°	1.486986	34.60°	1.734211	39.60°	2.084647
9.70°	1.041964	14.70°	1.099574	19.70°	1.187445	24.70°	1.313695	29.70°	1.491152	34.70°	1.740073	39.70°	2.093026
9.80°	1.042856	14.80°	1.101014	19.80°	1.189560	24.80°	1.316690	29.80°	1.495346	34.80°	1.745977	39.80°	2.101467
9.90°	1.043758	14.90°	1.102466	19.90°	1.191691	24.90°	1.319704	29.90°	1.499569	34.90°	1.751921	39.90°	2.109970
10.00°	1.044670	15.00°	1.103930	20.00°	1.193837	25.00°	1.322740	30.00°	1.503820	35.00°	1.757907	40.00°	2.118537
10.10°	1.045592	15.10°	1.105406	20.10°	1.195998	25.10°	1.325795	30.10°	1.508100	35.10°	1.763935	40.10°	2.127167
10.20°	1.046525	15.20°	1.106894	20.20°	1.198175	25.20°	1.328872	30.20°	1.512409	35.20°	1.770005	40.20°	2.135862
10.30°	1.047467	15.30°	1.108395	20.30°	1.200367	25.30°	1.331970	30.30°	1.516747	35.30°	1.776117	40.30°	2.144621
10.40°	1.048420	15.40°	1.109907	20.40°	1.202573	25.40°	1.335088	30.40°	1.521115	35.40°	1.782273	40.40°	2.153445
10.50°	1.049383	15.50°	1.111433	20.50°	1.204799	25.50°	1.338228	30.50°	1.525512	35.50°	1.788472	40.50°	2.162335
10.60°	1.050356	15.60°	1.112970	20.60°	1.207039	25.60°	1.341389	30.60°	1.529939	35.60°	1.794714	40.60°	2.171292
10.70°	1.051340	15.70°	1.114520	20.70°	1.209295	25.70°	1.344571	30.70°	1.534396	35.70°	1.801001	40.70°	2.180316
10.80°	1.052334	15.80°	1.116083	20.80°	1.211567	25.80°	1.347775	30.80°	1.538883	35.80°	1.807332	40.80°	2.189408
10.90°	1.053339	15.90°	1.117658	20.90°	1.213855	25.90°	1.351001	30.90°	1.543401	35.90°	1.813707	40.90°	2.198567
11.00°	1.054353	16.00°	1.119246	21.00°	1.216159	26.00°	1.354249	31.00°	1.547950	36.00°	1.820128		
11.10°	1.055379	16.10°	1.120847	21.10°	1.218479	26.10°	1.357518	31.10°	1.552529	36.10°	1.826594		
11.20°	1.056414	16.20°	1.122460	21.20°	1.220816	26.20°	1.360810	31.20°	1.557140	36.20°	1.833105		
11.30°	1.057461	16.30°	1.124086	21.30°	1.223169	26.30°	1.364124	31.30°	1.561782	36.30°	1.839663		
11.40°	1.058518	16.40°	1.125725	21.40°	1.225539	26.40°	1.367460	31.40°	1.566455	36.40°	1.846268		
11.50°	1.059585	16.50°	1.127377	21.50°	1.227925	26.50°	1.370819	31.50°	1.571161	36.50°	1.852919		
11.60°	1.060663	16.60°	1.129042	21.60°	1.230329	26.60°	1.374200	31.60°	1.575899	36.60°	1.859617		
11.70°	1.061752	16.70°	1.130720	21.70°	1.232749	26.70°	1.377604	31.70°	1.580669	36.70°	1.866364		
11.80°	1.062852	16.80°	1.132411	21.80°	1.235186	26.80°	1.381032	31.80°	1.585471	36.80°	1.873158		
11.90°	1.063962	16.90°	1.134115	21.90°	1.237640	26.90°	1.384482	31.90°	1.590306	36.90°	1.880001		

表 4.4-28 假想齿数的小数部分公法线长度 W_k^* (W_{kn}^*) $(m_n = m = 1 \text{ mm}, \alpha_n = \alpha = 20^\circ)$

(mm)

z'	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0001	0.0003	0.0004	0.0006	0.0007	0.0008	0.0010	0.0011	0.0013
0.1	0.0014	0.0015	0.0017	0.0018	0.0020	0.0021	0.0022	0.0024	0.0025	0.0027
0.2	0.0028	0.0029	0.0031	0.0032	0.0034	0.0035	0.0036	0.0038	0.0039	0.0041
0.3	0.0042	0.0043	0.0045	0.0046	0.0048	0.0049	0.0051	0.0052	0.0053	0.0055
0.4	0.0056	0.0057	0.0059	0.0060	0.0061	0.0063	0.0064	0.0066	0.0067	0.0069
0.5	0.0070	0.0071	0.0073	0.0074	0.0076	0.0077	0.0079	0.0080	0.0081	0.0083
0.6	0.0084	0.0085	0.0087	0.0088	0.0089	0.0091	0.0092	0.0094	0.0095	0.0097
0.7	0.0098	0.0099	0.0101	0.0102	0.0104	0.0105	0.0106	0.0108	0.0109	0.0111
0.8	0.0112	0.0114	0.0115	0.0116	0.0118	0.0119	0.0120	0.0122	0.0123	0.0124
0.9	0.0126	0.0127	0.0129	0.0130	0.0132	0.0133	0.0135	0.0136	0.0137	0.0139

表 4.4-29 变位齿轮的公法线长度附加量 ΔW^* $(m = m_n = 1, \alpha = \alpha_n = 20^\circ)$

(mm)

x (或 x_n)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0068	0.0137	0.0205	0.0274	0.0342	0.0410	0.0479	0.0547	0.0616
0.1	0.0684	0.0752	0.0821	0.0889	0.0958	0.1026	0.1094	0.1163	0.1231	0.1300
0.2	0.1368	0.1436	0.1505	0.1573	0.1642	0.1710	0.1779	0.1847	0.1915	0.1984
0.3	0.2052	0.2121	0.2189	0.2257	0.2326	0.2394	0.2463	0.2531	0.2599	0.2668
0.4	0.2736	0.2805	0.2873	0.2941	0.3010	0.3078	0.3147	0.3215	0.3283	0.3352
0.5	0.3420	0.3489	0.3557	0.3625	0.3694	0.3762	0.3831	0.3899	0.3967	0.4036
0.6	0.4104	0.4173	0.4241	0.4309	0.4378	0.4446	0.4515	0.4583	0.4651	0.4720
0.7	0.4788	0.4857	0.4925	0.4993	0.5062	0.5130	0.5199	0.5267	0.5336	0.5404
0.8	0.5472	0.5541	0.5609	0.5678	0.5746	0.5814	0.5883	0.5951	0.6020	0.6088
0.9	0.6156	0.6225	0.6293	0.6362	0.6430	0.6498	0.6567	0.6635	0.6704	0.6772
1.0	0.6840	0.6909	0.6977	0.7046	0.7114	0.7182	0.7251	0.7319	0.7388	0.7456
1.1	0.7524	0.7593	0.7661	0.7730	0.7798	0.7866	0.7935	0.8003	0.8072	0.8140
1.2	0.8208	0.8277	0.8345	0.8414	0.8482	0.8551	0.8619	0.8687	0.8756	0.8824
1.3	0.8893	0.8961	0.9029	0.9098	0.9166	0.9235	0.9303	0.9371	0.9440	0.9508
1.4	0.9577	0.9645	0.9713	0.9782	0.9850	0.9919	0.9987	1.0055	1.0124	1.0192
1.5	1.0261	1.0329	1.0397	1.0466	1.0534	1.0603	1.0671	1.0739	1.0808	1.0876
1.6	1.0945	1.1013	1.1081	1.1150	1.1218	1.1287	1.1355	1.1423	1.1492	1.1560
1.7	1.1629	1.1697	1.1765	1.1834	1.1902	1.1971	1.2039	1.2108	1.2176	1.2244
1.8	1.2313	1.2381	1.2450	1.2518	1.2586	1.2655	1.2723	1.2792	1.2860	1.2928
1.9	1.2997	1.3065	1.3134	1.3202	1.3270	1.3339	1.3407	1.3476	1.3544	1.3612

5.3 分度圆弦齿厚

5.3.1 分度圆弦齿厚计算公式(见表 4.4-30)

表 4.4-30 分度圆弦齿厚计算公式

项 目			直齿轮(内啮合、外啮合)	斜齿轮(内啮合、外啮合)
外 齿 轮	标准 齿 轮	分度圆 弦齿厚 $\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{s} = z m \sin \frac{90^\circ}{z}$ $\bar{s}$ 查表 4.4-31	$\bar{s}_n = z_v m_n \sin \frac{90^\circ}{z_v}$ $\bar{s}_n$ 查表 4.4-31
		分度圆 弦齿高 $\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{h}_a = m \left[1 + \frac{z}{2} \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{z} \right) \right]$ $\bar{h}_a$ 查表 4.4-31	$\bar{h}_{an} = m_n \left[1 + \frac{z_v}{2} \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{z_v} \right) \right]$ $\bar{h}_{an}$ 查表 4.4-31
	变位 齿 轮	分度圆 弦齿厚 $\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{s} = z m \sin \Delta, \Delta = \frac{90^\circ + 41.7^\circ x}{z}$ $\bar{s}$ 查表 4.4-32	$\bar{s}_n = z_v m_n \sin \Delta, \Delta = \frac{90^\circ + 41.7^\circ x_n}{z_v}$ $\bar{s}_n$ 查表 4.4-32
		分度圆 弦齿高 $\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{h}_a = h_a + \frac{zm}{2} (1 - \cos \Delta)$ $\bar{h}_a$ 查表 4.4-32	$\bar{h}_{an} = h_a + \frac{z_v m_n}{2} (1 - \cos \Delta)$ $\bar{h}_{an}$ 查表 4.4-32

(续)

项 目		直齿轮(内啮合/外啮合)	斜齿轮(内啮合/外啮合)
内 齿 轮	分度圆弦齿厚 $\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{s}_2 = z_2 m \sin \Delta_2, \Delta_2 = \frac{90^\circ - 41.7^\circ x_2}{z_2}$	$\bar{s}_{n2} = z_{v2} m_n \sin \Delta_2, \Delta_2 = \frac{90^\circ - 41.7^\circ x_{n2}}{z_{v2}}$
	分度圆弦齿高 $\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{h}_{a2} = h_{a2} - \frac{z_2 m}{2}(1 - \cos \Delta_2) + \Delta h$ $\Delta h = \frac{d_{a2}}{2}(1 - \cos \delta_a)$ $\delta_a = \frac{\pi}{2z_2} - \text{inv} \alpha - \frac{2x_2}{z_2} \tan \alpha + \text{inv} \alpha_{a2}$	$\bar{h}_{an2} = h_{a2} - \frac{z_{v2} m_n}{2}(1 - \cos \Delta_2) + \Delta h$ $\Delta h = \frac{d_{a2}}{2}(1 - \cos \delta_a)$ $\delta_a = \frac{\pi}{2z_{v2}} - \text{inv} \alpha_1 - \frac{2x_{n2}}{z_{v2}} \tan \alpha_1 + \text{inv} \alpha_{a2}$

5.3.2 分度圆弦齿厚数值表(见表4.4-31、表4.4-32)

表 4.4-31 外啮合标准齿轮分度圆弦齿厚 $\bar{s}(\bar{s}_n)$ 和弦齿高 $\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$ $(m_n = m = 1\text{mm}, \alpha_n = \alpha = 20^\circ, \bar{h}_{an}^* = \bar{h}_a^* = 1)$

(mm)

齿数 $z(z_v)$	分度圆 弦齿厚 $\bar{s}(\bar{s}_n)$	分度圆 弦齿高 $\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	齿数 $z(z_v)$	分度圆 弦齿厚 $\bar{s}(\bar{s}_n)$	分度圆 弦齿高 $\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	齿数 $z(z_v)$	分度圆 弦齿厚 $\bar{s}(\bar{s}_n)$	分度圆 弦齿高 $\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	齿数 $z(z_v)$	分度圆 弦齿厚 $\bar{s}(\bar{s}_n)$	分度圆 弦齿高 $\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$
6	1.5529	1.1022	40	1.5704	1.0154	74	1.5707	1.0084	108	1.5707	1.0057
7	1.5568	1.0873	41	1.5704	1.0150	75	1.5707	1.0083	109	1.5707	1.0057
8	1.5507	1.0769	42	1.5704	1.0147	76	1.5707	1.0081	110	1.5707	1.0056
9	1.5628	1.0684	43	1.5705	1.0143	77	1.5707	1.0080	111	1.5707	1.0056
10	1.5643	1.0616	44	1.5705	1.0140	78	1.5707	1.0079	112	1.5707	1.0055
11	1.5654	1.0559	45	1.5705	1.0137	79	1.5707	1.0078	113	1.5707	1.0055
12	1.5663	1.0514	46	1.5705	1.0134	80	1.5707	1.0077	114	1.5707	1.0054
13	1.5670	1.0474	47	1.5705	1.0131	81	1.5707	1.0076	115	1.5707	1.0054
14	1.5675	1.0440	48	1.5705	1.0129	82	1.5707	1.0075	116	1.5707	1.0053
15	1.5679	1.0411	49	1.5705	1.0126	83	1.5707	1.0074	117	1.5707	1.0053
16	1.5683	1.0385	50	1.5705	1.0123	84	1.5707	1.0074	118	1.5707	1.0053
17	1.5686	1.0362	51	1.5706	1.0121	85	1.5707	1.0073	119	1.5707	1.0052
18	1.5688	1.0342	52	1.5706	1.0119	86	1.5707	1.0072	120	1.5707	1.0052
19	1.5690	1.0324	53	1.5706	1.0117	87	1.5707	1.0071	121	1.5707	1.0051
20	1.5692	1.0308	54	1.5706	1.0114	88	1.5707	1.0070	122	1.5707	1.0051
21	1.5694	1.0294	55	1.5706	1.0112	89	1.5707	1.0069	123	1.5707	1.0050
22	1.5695	1.0281	56	1.5706	1.0110	90	1.5707	1.0068	124	1.5707	1.0050
23	1.5696	1.0268	57	1.5706	1.0108	91	1.5707	1.0068	125	1.5707	1.0049
24	1.5697	1.0257	58	1.5706	1.0106	92	1.5707	1.0067	126	1.5707	1.0049
25	1.5698	1.0247	59	1.5706	1.0105	93	1.5707	1.0067	127	1.5707	1.0049
26	1.5698	1.0237	60	1.5706	1.0102	94	1.5707	1.0066	128	1.5707	1.0048
27	1.5699	1.0228	61	1.5706	1.0101	95	1.5707	1.0065	129	1.5707	1.0048
28	1.5700	1.0220	62	1.5706	1.0100	96	1.5707	1.0064	130	1.5707	1.0047
29	1.5700	1.0213	63	1.5706	1.0098	97	1.5707	1.0064	131	1.5708	1.0047
30	1.5701	1.0205	64	1.5706	1.0097	98	1.5707	1.0063	132	1.5708	1.0047
31	1.5701	1.0199	65	1.5706	1.0095	99	1.5707	1.0062	133	1.5708	1.0047
32	1.5702	1.0193	66	1.5706	1.0094	100	1.5707	1.0061	134	1.5708	1.0046
33	1.5702	1.0187	67	1.5706	1.0092	101	1.5707	1.0061	135	1.5708	1.0046
34	1.5702	1.0181	68	1.5706	1.0091	102	1.5707	1.0060	140	1.5708	1.0044
35	1.5702	1.0176	69	1.5707	1.0090	103	1.5707	1.0060	145	1.5708	1.0042
36	1.5703	1.0171	70	1.5707	1.0088	104	1.5707	1.0059	150	1.5708	1.0041
37	1.5703	1.0167	71	1.5707	1.0087	105	1.5707	1.0059	齿 条	1.5708	1.0000
38	1.5703	1.0162	72	1.5707	1.0086	106	1.5707	1.0058			
39	1.5704	1.0158	73	1.5707	1.0085	107	1.5707	1.0058			

注:1. 对于斜齿圆柱齿轮和锥齿轮,本表也可以用,所不同的是,齿数要改为当量齿数 z_v 。

2. 如果当量齿数带小数,就要用比例插入法,把小数部分考虑进去。

3. 当模数 m (或 m_n) $\neq 1\text{mm}$ 时,应将查得的 $\bar{s}(\bar{s}_n)$ 和 $\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$ 乘以 $m(m_n)$ 。

表 4.4-32 外啮合变位齿轮的分度圆弦齿厚 $\bar{s}(\bar{s}_n)$ 和分度圆弦齿高 $\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$ $(\alpha = \alpha_n = 20^\circ, m = m_n = 1, h_a = h_{an} = 1)$

(mm)

$z(z_v)$	10		11		12		13		14		15		16		17	
$x(x_n)$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$
0.02											1.604	1.093	1.604	1.090	1.583	1.057
0.05											1.626	1.124	1.626	1.121	1.605	1.088
0.08											1.640	1.145	1.641	1.142	1.626	1.119
0.10									1.639	1.148	1.640	1.145	1.641	1.142	1.641	1.140
0.12									1.654	1.169	1.655	1.166	1.655	1.163	1.655	1.160
0.15							1.675	1.204	1.676	1.200	1.677	1.197	1.677	1.194	1.677	1.192
0.18							1.697	1.236	1.698	1.232	1.698	1.228	1.699	1.225	1.699	1.223
0.20					1.710	1.261	1.711	1.257	1.712	1.253	1.713	1.249	1.713	1.246	1.713	1.243
0.22					1.725	1.282	1.726	1.278	1.726	1.273	1.727	1.270	1.728	1.267	1.728	1.264
0.25	1.744	1.327	1.745	1.320	1.746	1.314	1.747	1.309	1.748	1.305	1.749	1.301	1.749	1.298	1.750	1.295
0.28	1.765	1.359	1.767	1.351	1.768	1.346	1.769	1.341	1.770	1.336	1.770	1.332	1.771	1.329	1.771	1.326
0.30	1.780	1.380	1.781	1.373	1.782	1.367	1.783	1.362	1.784	1.357	1.785	1.353	1.785	1.350	1.786	1.347
0.32	1.794	1.401	1.796	1.394	1.797	1.388	1.798	1.383	1.798	1.378	1.799	1.374	1.800	1.371	1.800	1.368
0.35	1.815	1.433	1.817	1.426	1.819	1.419	1.820	1.414	1.820	1.410	1.821	1.405	1.822	1.402	1.822	1.399
0.38	1.837	1.465	1.839	1.457	1.841	1.451	1.841	1.446	1.842	1.441	1.843	1.437	1.843	1.433	1.844	1.430
0.40	1.851	1.486	1.853	1.479	1.855	1.472	1.856	1.467	1.857	1.462	1.857	1.458	1.858	1.454	1.858	1.451
0.42	1.866	1.508	1.867	1.500	1.870	1.493	1.870	1.488	1.871	1.483	1.872	1.479	1.872	1.475	1.873	1.472
0.45	1.887	1.540	1.889	1.532	1.891	1.525	1.892	1.519	1.893	1.514	1.893	1.510	1.894	1.506	1.895	1.503
0.48	1.908	1.572	1.910	1.564	1.917	1.557	1.913	1.551	1.914	1.546	1.915	1.541	1.916	1.538	1.916	1.534
0.50	1.923	1.593	1.925	1.585	1.926	1.578	1.928	1.572	1.929	1.567	1.929	1.562	1.930	1.558	1.931	1.555
0.52	1.937	1.615	1.939	1.606	1.941	1.599	1.942	1.593	1.943	1.588	1.944	1.583	1.945	1.579	1.945	1.576
0.55	1.959	1.647	1.961	1.638	1.962	1.631	1.964	1.625	1.965	1.620	1.966	1.615	1.966	1.611	1.967	1.607
0.58	1.980	1.679	1.982	1.670	1.984	1.663	1.985	1.656	1.986	1.651	1.987	1.646	1.988	1.642	1.988	1.638
0.60	1.994	1.700	1.996	1.691	1.998	1.684	1.999	1.677	2.001	1.673	2.002	1.667	2.002	1.663	2.003	1.659
$z(z_v)$	18		19		20		21		22		23		24		25	
$x(x_n)$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$	$\bar{s}(\bar{s}_n)$	$\bar{h}_a(\bar{h}_{an})$
-0.12					1.482	0.908	1.482	0.906	1.482	0.905	1.482	0.904	1.483	0.903	1.483	0.902
-0.10			1.496	0.930	1.497	0.928	1.497	0.297	1.497	0.925	1.497	0.924	1.497	0.923	1.497	0.922
-0.08			1.511	0.950	1.511	0.949	1.511	0.947	1.511	0.946	1.511	0.945	1.511	0.944	1.512	0.943
-0.05	1.533	0.983	1.533	0.981	1.533	0.979	1.533	0.978	1.533	0.977	1.533	0.976	1.534	0.975	1.534	0.974
-0.02	1.554	1.014	1.554	1.012	1.555	1.010	1.555	1.009	1.555	1.008	1.555	1.006	1.555	1.005	1.555	1.004
0.00	1.569	1.034	1.569	1.032	1.569	1.031	1.569	1.029	1.569	1.028	1.569	1.027	1.570	1.026	1.570	1.025
0.02	1.583	1.055	1.584	1.053	1.584	1.051	1.584	1.050	1.584	1.049	1.584	1.047	1.584	1.046	1.584	1.045
0.05	1.605	1.086	1.605	1.084	1.605	1.082	1.606	1.081	1.606	1.079	1.606	1.078	1.606	1.077	1.606	1.076
0.08	1.627	1.117	1.627	1.115	1.627	1.113	1.627	1.112	1.628	1.110	1.628	1.109	1.628	1.108	1.628	1.107
0.10	1.641	1.138	1.642	1.136	1.642	1.134	1.642	1.132	1.642	1.131	1.642	1.130	1.642	1.128	1.642	1.127
0.12	1.656	1.158	1.656	1.156	1.656	1.154	1.656	1.153	1.657	1.151	1.657	1.150	1.657	1.149	1.657	1.147
0.15	1.678	1.189	1.678	1.187	1.678	1.185	1.678	1.184	1.678	1.182	1.678	1.181	1.679	1.179	1.679	1.178
0.18	1.699	1.220	1.700	1.218	1.700	1.216	1.700	1.215	1.700	1.213	1.700	1.212	1.700	1.210	1.701	1.209
0.20	1.714	1.241	1.714	1.239	1.714	1.237	1.714	1.235	1.715	1.234	1.715	1.232	1.715	1.231	1.715	1.229
0.22	1.728	1.262	1.729	1.259	1.729	1.257	1.729	1.256	1.729	1.254	1.729	1.253	1.729	1.251	1.730	1.250
0.25	1.750	1.293	1.750	1.290	1.750	1.288	1.751	1.287	1.751	1.285	1.751	1.283	1.751	1.281	1.751	1.280
0.28	1.772	1.324	1.772	1.321	1.772	1.319	1.773	1.318	1.773	1.316	1.773	1.314	1.773	1.313	1.773	1.311
0.30	1.786	1.344	1.787	1.342	1.787	1.340	1.787	1.338	1.787	1.336	1.787	1.335	1.788	1.333	1.788	1.332
0.32	1.801	1.365	1.801	1.363	1.801	1.361	1.802	1.359	1.802	1.357	1.802	1.355	1.802	1.354	1.802	1.353
0.35	1.822	1.396	1.823	1.394	1.823	1.392	1.823	1.390	1.824	1.388	1.824	1.386	1.824	1.385	1.824	1.383
0.38	1.844	1.427	1.844	1.425	1.845	1.423	1.845	1.421	1.845	1.419	1.845	1.417	1.846	1.415	1.846	1.414
0.40	1.858	1.448	1.859	1.446	1.859	1.443	1.859	1.441	1.860	1.439	1.860	1.438	1.860	1.436	1.860	1.435

(续)

$z(z_v)$	18		19		20		21		22		23		24		25	
$x(x_n)$	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)
0.42	1.873	1.469	1.873	1.466	1.874	1.464	1.874	1.462	1.874	1.460	1.874	1.458	1.875	1.457	1.875	1.455
0.45	1.895	1.500	1.895	1.497	1.896	1.495	1.896	1.493	1.896	1.491	1.896	1.489	1.896	1.488	1.897	1.486
0.48	1.916	1.531	1.917	1.529	1.917	1.526	1.918	1.524	1.918	1.522	1.918	1.520	1.918	1.518	1.918	1.517
0.50	1.931	1.552	1.931	1.549	1.932	1.547	1.932	1.545	1.932	1.543	1.933	1.541	1.933	1.539	1.933	1.537
0.52	1.945	1.573	1.946	1.570	1.946	1.568	1.947	1.565	1.947	1.563	1.947	1.562	1.947	1.560	1.947	1.558
0.55	1.967	1.604	1.968	1.601	1.968	1.599	1.968	1.596	1.969	1.594	1.969	1.593	1.969	1.591	1.969	1.589
0.58	1.989	1.635	1.989	1.632	1.990	1.630	1.990	1.627	1.990	1.625	1.991	1.624	1.991	1.621	1.991	1.620
0.60	2.003	1.656	2.004	1.653	2.004	1.650	2.005	1.648	2.005	1.646	2.005	1.645	2.005	1.642	2.005	1.641
$z(z_v)$	26 ~ 30	31 ~ 69	70 ~ 200	26	28	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	
$x(x_n)$	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	
-0.60	1.134	1.134	1.134	0.413	0.412	0.411	0.408	0.406	0.405	0.405	0.404	0.404	0.404	0.403	0.402	
-0.58	1.148	1.149	1.149	0.433	0.432	0.431	0.428	0.427	0.426	0.425	0.424	0.424	0.424	0.423	0.422	
-0.55	1.170	1.170	1.170	0.463	0.462	0.461	0.459	0.457	0.456	0.455	0.454	0.454	0.454	0.453	0.452	
-0.52	1.192	1.192	1.192	0.494	0.493	0.492	0.489	0.487	0.486	0.485	0.485	0.484	0.484	0.483	0.482	
-0.50	1.206	1.207	1.207	0.514	0.513	0.512	0.509	0.507	0.506	0.505	0.505	0.504	0.504	0.503	0.502	
-0.48	1.221	1.221	1.221	0.534	0.533	0.532	0.529	0.528	0.526	0.525	0.525	0.524	0.524	0.523	0.522	
-0.45	1.243	1.243	1.243	0.565	0.564	0.563	0.560	0.558	0.557	0.556	0.555	0.554	0.554	0.553	0.552	
-0.42	1.265	1.265	1.266	0.595	0.594	0.593	0.590	0.588	0.587	0.586	0.585	0.584	0.584	0.583	0.582	
-0.40	1.279	1.280	1.280	0.616	0.615	0.614	0.610	0.608	0.607	0.606	0.605	0.605	0.604	0.603	0.602	
-0.38	1.294	1.294	1.294	0.636	0.635	0.634	0.630	0.628	0.627	0.626	0.625	0.625	0.624	0.623	0.622	
-0.35	1.316	1.316	1.316	0.667	0.665	0.664	0.661	0.659	0.657	0.656	0.655	0.655	0.654	0.653	0.652	
-0.32	1.337	1.338	1.338	0.697	0.696	0.695	0.691	0.689	0.687	0.686	0.686	0.685	0.685	0.683	0.682	
-0.30	1.352	1.352	1.352	0.718	0.716	0.715	0.711	0.709	0.708	0.707	0.706	0.705	0.705	0.703	0.702	
-0.28	1.366	1.367	1.367	0.738	0.737	0.736	0.732	0.729	0.728	0.727	0.726	0.725	0.725	0.723	0.722	
-0.25	1.388	1.389	1.389	0.769	0.767	0.766	0.762	0.760	0.758	0.757	0.756	0.755	0.755	0.753	0.752	
-0.22	1.410	1.411	1.411	0.799	0.798	0.797	0.792	0.790	0.788	0.787	0.786	0.786	0.785	0.784	0.783	
-0.20	1.425	1.425	1.425	0.819	0.818	0.817	0.813	0.810	0.809	0.807	0.806	0.806	0.805	0.804	0.803	
-0.18	1.439	1.440	1.440	0.840	0.838	0.837	0.833	0.830	0.829	0.827	0.826	0.826	0.825	0.824	0.823	
-0.15	1.461	1.462	1.462	0.871	0.869	0.868	0.863	0.861	0.859	0.858	0.857	0.856	0.855	0.854	0.853	
-0.12	1.483	1.483	1.483	0.901	0.899	0.898	0.894	0.891	0.889	0.888	0.887	0.886	0.886	0.884	0.883	
-0.10	1.497	1.497	1.498	0.922	0.920	0.919	0.914	0.911	0.909	0.908	0.907	0.906	0.906	0.904	0.903	
-0.08	1.512	1.512	1.513	0.942	0.940	0.939	0.934	0.931	0.929	0.928	0.927	0.926	0.926	0.924	0.923	
-0.05	1.534	1.534	1.534	0.973	0.971	0.970	0.965	0.962	0.960	0.959	0.957	0.957	0.956	0.954	0.953	
-0.02	1.555	1.555	1.556	1.003	1.001	1.000	0.995	0.992	0.990	0.989	0.988	0.987	0.986	0.984	0.983	
0.00	1.570	1.571	1.571	1.024	1.022	1.021	1.015	0.012	1.010	1.009	1.008	1.007	1.006	1.004	1.003	
0.02	1.585	1.585	1.585	1.044	1.042	1.041	1.036	1.033	1.031	1.029	1.028	1.027	1.026	1.025	1.023	
0.05	1.606	1.607	1.607	1.075	1.073	1.072	1.066	1.063	1.061	1.059	1.058	1.057	1.057	1.055	1.053	
0.08	1.628	1.629	1.629	1.106	1.104	1.102	1.097	1.093	1.091	1.089	1.088	1.088	1.087	1.085	1.083	
0.10	1.643	1.643	1.644	1.126	1.124	1.122	1.117	1.114	1.111	1.110	1.108	1.108	1.107	1.105	1.103	
0.12	1.657	1.658	1.658	1.147	1.145	1.143	1.137	1.134	1.132	1.130	1.129	1.128	1.127	1.125	1.124	
0.15	1.679	1.679	1.680	1.177	1.175	1.173	1.168	1.164	1.162	1.160	1.159	1.158	1.157	1.155	1.154	
0.18	1.701	1.702	1.702	1.208	1.206	1.204	1.198	1.195	1.192	1.190	1.189	1.188	1.187	1.186	1.184	
0.20	1.715	1.716	1.716	1.228	1.226	1.224	1.218	1.215	1.212	1.210	1.209	1.208	1.207	1.206	1.204	
0.22	1.730	1.731	1.731	1.249	1.247	1.245	1.239	1.235	1.233	1.231	1.229	1.228	1.228	1.226	1.224	
0.25	1.752	1.753	1.753	1.280	1.278	1.276	1.269	1.265	1.263	1.261	1.260	1.259	1.258	1.256	1.254	
0.28	1.774	1.774	1.775	1.310	1.308	1.306	1.300	1.296	1.293	1.291	1.290	1.289	1.288	1.286	1.284	
0.30	1.788	1.789	1.789	1.331	1.329	1.327	1.320	1.316	1.313	1.311	1.310	1.309	1.308	1.306	1.304	
0.32	1.803	1.804	1.804	1.351	1.349	1.347	1.340	1.336	1.334	1.332	1.330	1.329	1.328	1.326	1.324	
0.35	1.824	1.825	1.826	1.382	1.380	1.378	1.371	1.367	1.364	1.362	1.360	1.359	1.358	1.356	1.354	
0.38	1.846	1.847	1.847	1.413	1.410	1.408	1.401	1.397	1.394	1.392	1.391	1.389	1.389	1.386	1.384	
0.40	1.861	1.862	1.862	1.433	1.431	1.429	1.422	1.417	1.414	1.412	1.411	1.410	1.409	1.407	1.404	

(续)

$z(z_v)$	26~30	31~69	70~200	26	28	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
$x(x_n)$	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{s}$ ($\bar{s}_n$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)	$\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$)
0.42	1.875	1.876	1.877	1.454	1.451	1.449	1.442	1.438	1.435	1.433	1.431	1.430	1.429	1.427	1.424
0.45	1.897	1.898	1.898	1.485	1.482	1.480	1.473	1.468	1.465	1.463	1.461	1.460	1.459	1.457	1.455
0.48	1.919	1.920	1.920	1.516	1.513	1.511	1.503	1.498	1.495	1.493	1.492	1.490	1.489	1.487	1.485
0.50	1.933	1.934	1.935	1.536	1.533	1.531	1.523	1.519	1.516	1.513	1.512	1.510	1.509	1.507	1.505
0.52	1.948	1.949	1.949	1.557	1.554	1.552	1.544	1.539	1.536	1.534	1.532	1.531	1.530	1.527	1.525
0.55	1.970	1.970	1.971	1.587	1.585	1.582	1.574	1.569	1.566	1.564	1.562	1.561	1.560	1.557	1.555
0.58	1.992	1.993	1.993	1.618	1.615	1.613	1.605	1.600	1.597	1.594	1.592	1.591	1.590	1.587	1.585
0.60	2.006	2.007	2.008	1.639	1.636	1.634	1.625	1.620	1.617	1.614	1.613	1.611	1.610	1.608	1.605

注:1. 本表可直接用于高变位齿轮($h_a = m$ 或 $h_{an} = m_n$),对于角变位齿轮,应将表中查出的 $\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$) 减去齿顶高变动系数 Δy (Δy_n)。

2. 当模数 m (或 m_n) $\neq 1\text{mm}$ 时,应将查得的 $\bar{s}$ ($\bar{s}_n$) 和 $\bar{h}_a$ ($\bar{h}_{an}$) 乘以 m (m_n)。

3. 对于斜齿轮,用 z_v 查表, z_v 有小数时,按插入法计算。

5.4 固定弦齿厚

5.4.1 固定弦齿厚计算公式(见表 4.4-33)

表 4.4-33 固定弦齿厚计算公式

项 目			直齿轮(内啮合、外啮合)	斜齿轮(内啮合、外啮合)
外 齿 轮	标准 齿 轮	固定 弦齿 厚 $\bar{s}_c$ ($\bar{s}_{cn}$)	$\bar{s}_c = \frac{\pi m}{2} \cos^2 \alpha$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时,可查表 4.4-34	$\bar{s}_{cn} = \frac{\pi m_n}{2} \cos^2 \alpha_n$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时,可查表 4.4-34
		固定 弦齿 高 $\bar{h}_c$ ($\bar{h}_{cn}$)	$\bar{h}_c = m \left(1 - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha \right)$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时,可查表 4.4-34	$\bar{h}_{cn} = m_n \left(1 - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha_n \right)$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时,可查表 4.4-34
	变位 齿 轮	固定 弦齿 厚 s_c (s_{cn})	$\bar{s}_c = m \cos^2 \alpha \left(\frac{\pi}{2} + 2x \tan \alpha \right)$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时,可查表 4.4-35	$\bar{s}_{cn} = m_n \cos^2 \alpha_n \left(\frac{\pi}{2} + 2x_n \tan \alpha_n \right)$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时,可查表 4.4-35
		固定 弦齿 高 $\bar{h}_c$ ($\bar{h}_{cn}$)	$\bar{h}_c = h_a - 0.182 \bar{s}_c$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时,可查表 4.4-35	$\bar{h}_{cn} = h_a - 0.182 \bar{s}_{cn}$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时,可查表 4.4-35
内 齿 轮	固定弦齿厚 s_c		$\bar{s}_{c2} = m \cos^2 \alpha \left(\frac{\pi}{2} - 2x_2 \tan \alpha \right)$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, $\bar{s}_{c2} = (1.3870 - 0.6428x_2)m$	$\bar{s}_{cn2} = m_n \cos^2 \alpha_n \left(\frac{\pi}{2} - 2x_{n2} \tan \alpha_n \right)$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, $\bar{s}_{cn2} = (1.3870 - 0.6428x_{n2})m_n$
	固定弦齿高 $\bar{h}_c$		$\bar{h}_{c2} = h_{a2} - 0.182 \bar{s}_{c2} + \Delta h$ $\Delta h = \frac{d_{a2}}{2} (1 - \cos \delta_a)$ $\delta_a = \frac{\pi}{2z_2} - \text{inv} \alpha - \frac{2x_2}{z_2} \tan \alpha + \text{inv} \alpha_{a2}$	$\bar{h}_{cn2} = h_{a2} - 0.182 \bar{s}_{cn2} + \Delta h$ $\Delta h = \frac{d_{a2}}{2} (1 - \cos \delta_a)$ $\delta_a = \frac{\pi}{2z_{v2}} - \text{inv} \alpha_t - \frac{2x_{n2}}{z_{v2}} \tan \alpha_t + \text{inv} \alpha_{at2}$

5.4.2 固定弦齿厚数值表(见表4.4-34、表4.4-35)

表 4.4-34 外啮合标准齿轮固定弦齿厚 $\bar{s}_c(\bar{s}_{cn})$ 和固定弦齿高 $\bar{h}_c(\bar{h}_{cn})$ $(\alpha_n = \alpha = 20^\circ, h_{an}^* = h_a^* = 1.0)$

(mm)

$m(m_n)$	$\bar{s}_c(\bar{s}_{cn})$	$\bar{h}_c(\bar{h}_{cn})$	$m(m_n)$	$\bar{s}_c(\bar{s}_{cn})$	$\bar{h}_c(\bar{h}_{cn})$	$m(m_n)$	$\bar{s}_c(\bar{s}_{cn})$	$\bar{h}_c(\bar{h}_{cn})$	$m(m_n)$	$\bar{s}_c(\bar{s}_{cn})$	$\bar{h}_c(\bar{h}_{cn})$
1	1.387	0.748	3.5	4.855	2.617	12	16.645	8.971	30	41.612	22.427
1.25	1.734	0.934	4	5.548	2.990	14	19.419	10.466	33	45.773	24.670
1.5	2.081	1.121	5	6.935	3.738	16	22.193	11.961	36	49.934	26.913
1.75	2.427	1.308	6	8.322	4.485	18	24.967	13.456	40	55.482	29.903
2	2.774	1.495	7	9.709	5.233	20	27.741	14.952	45	62.417	33.641
2.25	3.121	1.682	8	11.096	5.981	22	30.515	16.447	50	69.353	37.379
2.5	3.468	1.869	9	12.483	6.728	25	34.676	18.690			
3	4.161	2.243	10	13.871	7.476	28	38.837	20.932			

注: $\bar{s}_c = 1.3870m, \bar{s}_{cn} = 1.3870m_n; \bar{h}_c = 0.7476m, \bar{h}_{cn} = 0.7476m_n$ 。表 4.4-35 外啮合变位齿轮固定弦齿厚 $\bar{s}_c(\bar{s}_{cn})$ 和固定弦齿高 $\bar{h}_c(\bar{h}_{cn})$ $(m_n = m = 1\text{mm}, \alpha_n = \alpha = 20^\circ, h_{an}^* = h_a^* = 1)$

(mm)

$x(x_n)$	$\bar{s}_c(\bar{s}_{cn})$	$\bar{h}_c(\bar{h}_{cn})$	$x(x_n)$	$\bar{s}_c(\bar{s}_{cn})$	$\bar{h}_c(\bar{h}_{cn})$	$x(x_n)$	$\bar{s}_c(\bar{s}_{cn})$	$\bar{h}_c(\bar{h}_{cn})$	$x(x_n)$	$\bar{s}_c(\bar{s}_{cn})$	$\bar{h}_c(\bar{h}_{cn})$
-0.40	1.1299	0.3944	-0.11	1.3163	0.6504	0.18	1.5027	0.9065	0.47	1.6892	1.1626
-0.39	1.1364	0.4032	-0.10	1.3228	0.6593	0.19	1.5092	0.9154	0.48	1.6956	1.1714
-0.38	1.1428	0.4120	-0.09	1.3292	0.6681	0.20	1.5156	0.9242	0.49	1.7020	1.1803
-0.37	1.1492	0.4209	-0.08	1.3356	0.6769	0.21	1.5220	0.9330	0.50	1.7084	1.1891
-0.36	1.1556	0.4297	-0.07	1.3421	0.6858	0.22	1.5285	0.9418	0.51	1.7149	1.1979
-0.35	1.1621	0.4385	-0.06	1.3485	0.6946	0.23	1.5349	0.9507	0.52	1.7213	1.2068
-0.34	1.1685	0.4474	-0.05	1.3549	0.7034	0.24	1.5413	0.9595	0.53	1.7277	1.2156
-0.33	1.1749	0.4562	-0.04	1.3613	0.7123	0.25	1.5477	0.9683	0.54	1.7342	1.2244
-0.32	1.1814	0.4650	-0.03	1.3678	0.7211	0.26	1.5542	0.9772	0.55	1.7406	1.2332
-0.31	1.1878	0.4738	-0.02	1.3742	0.7299	0.27	1.5606	0.9860	0.56	1.7470	1.2421
-0.30	1.1942	0.4827	-0.01	1.3806	0.7387	0.28	1.5670	0.9948	0.57	1.7534	1.2509
-0.29	1.2006	0.4915	0.00	1.3870	0.7476	0.29	1.5735	1.0037	0.58	1.7599	1.2597
-0.28	1.2071	0.5003	0.01	1.3935	0.7564	0.30	1.5799	1.0125	0.59	1.7663	1.2686
-0.27	1.2135	0.5092	0.02	1.3999	0.7652	0.31	1.5863	1.0213	0.60	1.7727	1.2774
-0.26	1.2199	0.5180	0.03	1.4063	0.7741	0.32	1.5927	1.0301	0.61	1.7791	1.2862
-0.25	1.2263	0.5268	0.04	1.4128	0.7829	0.33	1.5992	1.0390	0.62	1.7856	1.2951
-0.24	1.2328	0.5357	0.05	1.4192	0.7917	0.34	1.6056	1.0478	0.63	1.7920	1.3039
-0.23	1.2392	0.5445	0.06	1.4256	0.8006	0.35	1.6120	1.0566	0.64	1.7984	1.3127
-0.22	1.2456	0.5533	0.07	1.4320	0.8094	0.36	1.6185	1.0655	0.65	1.8049	1.3215
-0.21	1.2521	0.5621	0.08	1.4385	0.8182	0.37	1.6249	1.0743	0.66	1.8113	1.3304
-0.20	1.2585	0.5710	0.09	1.4449	0.8271	0.38	1.6313	1.0831	0.67	1.8177	1.3392
-0.19	1.2649	0.5798	0.10	1.4513	0.8359	0.39	1.6377	1.0920	0.68	1.8241	1.3480
-0.18	1.2713	0.5886	0.11	1.4578	0.8447	0.40	1.6442	1.1008	0.69	1.8306	1.3569
-0.17	1.2778	0.5975	0.12	1.4642	0.8535	0.41	1.6506	1.1096	0.70	1.8370	1.3657
-0.16	1.2842	0.6063	0.13	1.4706	0.8624	0.42	1.6570	1.1184	0.71	1.8434	1.3745
-0.15	1.2906	0.6151	0.14	1.4770	0.8712	0.43	1.6634	1.1273	0.72	1.8499	1.3834
-0.14	1.2971	0.6240	0.15	1.4835	0.8800	0.44	1.6699	1.1361	0.73	1.8563	1.3922
-0.13	1.3035	0.6328	0.16	1.4899	0.8889	0.45	1.6763	1.1449	0.74	1.8627	1.4010
-0.12	1.3099	0.6416	0.17	1.4963	0.8977	0.46	1.6827	1.1538	0.75	1.8691	1.4098

注:1. 模数 $m \neq 1\text{mm}$ ($m_n \neq 1\text{mm}$) 时的 $\bar{s}_c(\bar{s}_{cn})$ 和 $\bar{h}_c(\bar{h}_{cn})$, 应将表中数值乘以模数 $m(m_n)$ 。2. 对角变位齿轮, 表中的 $\bar{h}_c(\bar{h}_{cn})$ 数值应减去 $\Delta y(\Delta y_n)$ 。 $\Delta y(\Delta y_n)$ 为齿高变动系数。

5.5 量柱(球)测量跨距

5.5.1 量柱(球)测量跨距计算公式(见表4.4-36)

表 4.4-36 量柱(球)测量跨距计算公式

名 称			直齿轮(外啮合、内啮合)	斜齿轮(外啮合、内啮合)
标准 齿 轮	量柱(球) 直径 d_p	外齿轮	对 α (或 α_n) = 20° 的齿轮,按 z (斜齿轮用 z_v) 和 $x_n = 0$ 查图 4.4-11	
		内齿轮	$d_p = 1.68m$ 或 $d_p = 1.44m$	$d_p = 1.68m_n$ 或 $d_p = 1.44m_n$
	量柱(球)中心 所在圆的压力角 α_M		$\text{inv}\alpha_M = \text{inv}\alpha \pm \frac{d_p}{mz\cos\alpha} \mp \frac{\pi}{2z}$	$\text{inv}\alpha_{M1} = \text{inv}\alpha_1 \pm \frac{d_p}{m_n z \cos\alpha_n} \mp \frac{\pi}{2z}$
	量柱(球)测 量距 M	偶数齿	$M = \frac{mz\cos\alpha}{\cos\alpha_M} \pm d_p$	$M = \frac{m_t z \cos\alpha_t}{\cos\alpha_{M1}} \pm d_p$
		奇数齿	$M = \frac{mz\cos\alpha}{\cos\alpha_M} \cos \frac{90^\circ}{z} \pm d_p$	$M = \frac{m_t z \cos\alpha_t}{\cos\alpha_{M1}} \cos \frac{90^\circ}{z} \pm d_p$
变 位 齿 轮	量柱(球) 直径 d_p	外齿轮	对 α (或 α_n) = 20° 的齿轮,按 z (斜齿轮用 z_v) 和 x_n 查图 4.4-11	
		内齿轮	$d_p = 1.68m$ 或 $d_p = 1.44m$	$d_p = 1.68m_n$ 或 $d_p = 1.44m_n$
	量柱(球)中心 所在圆的压力角 α_M		$\text{inv}\alpha_M = \text{inv}\alpha \pm \frac{d_p}{mz\cos\alpha} \mp \frac{\pi}{2z} + \frac{2x_n \tan\alpha}{z}$	$\text{inv}\alpha_{M1} = \text{inv}\alpha_1 \pm \frac{d_p}{m_n z \cos\alpha_n} \mp \frac{\pi}{2z} + \frac{2x_n \tan\alpha_n}{z}$
	量柱(球)测 量距 M	偶数齿	$M = \frac{mz\cos\alpha}{\cos\alpha_M} \pm d_p$	$M = \frac{m_t z \cos\alpha_t}{\cos\alpha_{M1}} \pm d_p$
		奇数齿	$M = \frac{mz\cos\alpha}{\cos\alpha_M} \cos \frac{90^\circ}{z} \pm d_p$	$M = \frac{m_t z \cos\alpha_t}{\cos\alpha_{M1}} \cos \frac{90^\circ}{z} \pm d_p$

注:1. 有“ $\pm$ ”或“ $\mp$ ”号处,上面的符号用于外齿轮,下面的符号用于内齿轮。

- 量柱(球)直径 d_p 按本表的方法确定后,推荐圆整成接近的标准钢球的直径(以便用标准钢球测量)。
- 直齿轮可以使用量柱或量球,斜齿轮使用量球。
- 标准直齿内齿圆柱齿轮的 M 可查表 4.4-37。

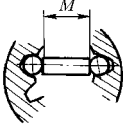
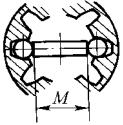
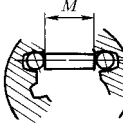
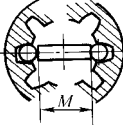
5.5.2 量柱(球)测量跨距数值表(见表4.4-37)

表 4.4-37 标准直齿内齿圆柱齿轮量柱直径 d_p 及测量跨距值 M

(mm)

模数 m		测量跨距值 M ($\alpha = 20^\circ, m = 1\text{mm}, d_p = 1.44m$)							
		量柱直径		齿 数		齿 数		齿 数	
		$d_p = 1.44m$		奇 数		偶 数		奇 数	
1	1.44	13.5801	15	14	12.6627	67.6469	69	68	66.6649
1.25	1.80	15.5902	17	16	14.6630	69.6475	71	70	68.6649
1.5	2.16	17.5981	19	18	16.6633	71.6480	73	72	70.6649
1.75	2.52	19.6045	21	20	18.6635	73.6484	75	74	72.6649
2	2.88	21.6099	23	22	20.6636	75.6489	77	76	74.6649
2.25	3.24	23.6143	25	24	22.6638	77.6493	79	78	76.6649
2.5	3.60	25.6181	27	26	24.6639	79.6497	81	80	78.6649
3	4.32	27.6214	29	28	26.6640	81.6501	83	82	80.6649
3.5	5.04	29.6242	31	30	28.6641	83.6505	85	84	82.6649
4	5.76	31.6267	33	32	30.6642	85.6508	87	86	84.6650
4.5	6.48	33.6289	35	34	32.6642	87.6511	89	88	86.6650
5	7.20	35.6310	37	36	34.6643	89.6514	91	90	88.6650
5.5	7.92	37.6327	39	38	36.6643	91.6517	93	92	90.6650
6	8.64	39.6343	41	40	38.6644	93.6520	95	94	92.6650
7	10.08	41.6357	43	42	40.6644	95.6523	97	96	94.6650
8	11.52	43.6371	45	44	42.6645	97.6526	99	98	96.6650

(续)

模数 m	量柱直径	测量跨距值 M ($\alpha = 20^\circ, m = 1\text{mm}, d_p = 1.44m$)							
			齿 数				齿 数		
	$d_p = 1.44m$		奇数	偶数			奇数	偶数	
9	12.96	45.6383	47	46	44.6645	99.6528	101	100	98.6650
10	14.40	47.6394	49	48	46.6646	101.6531	103	102	100.6650
12	17.28	49.6404	51	50	48.6646	103.6533	105	104	102.6650
14	20.16	51.6414	53	52	50.6646	105.6535	107	106	104.6650
16	23.04	53.6422	55	54	52.6647	107.6537	109	108	106.6650
18	25.92	55.6431	57	56	54.6647	109.6539	111	110	108.6651
20	28.80	57.6438	59	58	56.6648	111.6541	113	112	110.6651
22	31.68	59.6445	61	60	58.6648	113.6543	115	114	112.6651
25	36.00	61.6452	63	62	60.6648	115.6545	117	116	114.6651
28	40.32	63.6458	65	64	62.6648	117.6547	119	118	116.6651
30	43.20	65.6464	67	66	64.6649	119.6548	121	120	118.6651

(续)

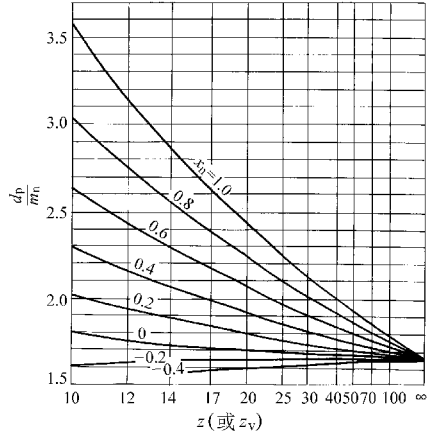


图 4.4-11 测量外齿轮用的量柱(球)
直径 d_p ($\alpha_n = \alpha = 20^\circ$)

作用力	计 算 公 式	
	直齿轮	斜齿(人字齿)轮
轴向力 F'_x /N		$F'_x = F'_t \tan\beta$ (人字齿轮 $F'_x = 0$)
转矩 T /N · m	$T = \frac{1000P}{\omega} = \frac{9549P}{n}$	
说明	P —齿轮传递的功率(kW) ω —齿轮的角速度($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$), $\omega = \frac{\pi n}{30}$ n —齿轮的转速($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	

注: 1. 表中 d 、 d' 分别为齿轮的分度圆直径和节圆直径(mm)。

2. 计算齿轮的强度时应使用 F_t ; 计算轴和轴承时应使用 F'_t 、 F'_r 、 F'_x 。

6 渐开线圆柱齿轮传动的设计计算

6.1 圆柱齿轮传动的作用力计算(见表 4.4-38)

表 4.4-38 圆柱齿轮传动的作用力计算

作用力	计 算 公 式	
	直齿轮	斜齿(人字齿)轮
分度圆上的圆周力 F_t /N	$F_t = \frac{2000T}{d}$	
节圆上的圆周力 F'_t /N	$F'_t = \frac{2000T}{d'}$	
径向力 F'_r /N	$F'_r = F'_t \tan\alpha'$	$F'_r = F'_t \frac{\tan\alpha'_n}{\cos\beta}$

6.2 主要参数的选择

1) 齿数比 u 。齿数比 $u = \frac{z_2}{z_1}$ 。对于一般减速传动, 取 $u \leq 6 \sim 8$ 。开式传动或手动传动, 有时 u 可达 $8 \sim 12$ 。

2) 齿数 z 。当中心距一定时, 齿数取多, 则重合度 ε_α 增大, 改善了传动的平稳性; 同时, 齿数多则模数小、齿顶圆直径小, 可使滑动比减小, 因此磨损小、胶合的危险性也小, 并且又能减少金属切削量, 节省材料, 降低加工成本。但是齿数增多则模数减小, 轮齿的抗弯强度降低, 因此, 在满足抗弯强度的条件下, 宜取较多的齿数。

通常取 $z_1 \geq 18 \sim 30$, 闭式传动, 硬度小于 350HBW, 过载不大, 宜取较大值; 硬度大于 350HBW, 过载

大,宜取较小值;开式传动宜取较小值。对于载荷平稳、不重要的手动机构,甚至可取到 $z_1 = 10 \sim 12$ 。而对高速、胶合危险性大的传动,荐用 $z_1 \geq 25 \sim 27$ 。一般减速器中常取 $z_1 + z_2 = 100 \sim 200$ 。

当齿轮的齿数 $z > 100$ 时,为了便于加工,尽量不使齿数 z 为质数。在满足传动要求的前提下,尽量使 z_1 、 z_2 互为质数,以便分散和消除齿轮制造误差对传动的影响。

3) 模数 m 。模数由强度计算或结构设计确定,要求圆整为标准值。传递动力的齿轮传动 $m \geq 2\text{mm}$ 。

初步确定模数时,一般对于软齿面齿轮(齿面硬度 $\leq 350\text{HBW}$)外啮合传动 $m = (0.007 \sim 0.02)a$;对于硬齿面齿轮(齿面硬度 $> 350\text{HBW}$)外啮合传动 $m = (0.016 \sim 0.0315)a$;载荷平稳,中心距大时取小值,反之取大值。开式齿轮传动 $m = 0.02a$ 左右。

4) 螺旋角 β 。 β 角太小,将失去斜齿轮的优点;但太大将会引起很大的轴向力。一般取 $\beta = 8^\circ \sim 15^\circ$,常取 $8^\circ \sim 12^\circ$;人字齿轮一般取 $\beta = 25^\circ \sim 40^\circ$,常取稍大于 30° 。

5) 齿宽系数 ϕ_a 。齿宽系数取大些,可使中心距及直径 d 减小;但是齿宽越大,载荷沿齿宽分布不均的现象越严重。

$$\text{齿宽系数常表示为: } \phi_a = \frac{b}{a}, \phi_d = \frac{b}{d_1}, \phi_m = \frac{b}{m}。$$

一般 $\phi_a = 0.1 \sim 1.2$ 。闭式传动常用 $\phi_a = 0.3 \sim 0.6$,通用减速器常取 $\phi_a = 0.4$,变速器中换挡齿轮常用 $\phi_a = 0.12 \sim 0.15$ 。开式传动常用 $\phi_a = 0.1 \sim 0.3$ 。在设计标准减速器时, ϕ_a 要符合标准中规定的数值,其值为:0.2, 0.25, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2。

$\phi_d = 0.5(i \pm 1)\phi_a$,一般 $\phi_d = 0.2 \sim 2.4$ 。对于闭式传动:当齿面硬度小于 350HBW 、齿轮对称轴承布置并靠近轴承时, $\phi_d = 0.8 \sim 1.4$;齿轮不对称轴承或悬臂布置、结构刚度较大时,取 $\phi_d = 0.6 \sim 1.2$;结构刚度较小时, $\phi_d = 0.4 \sim 0.9$;当齿面硬度大于

350HBW 时, ϕ_d 的数值应降低一倍。对开式齿轮传动: $\phi_d = 0.3 \sim 0.5$ 。

$\phi_m = 0.5(i \pm 1)\phi_a z_1 = \phi_d z_1$ 。一般 $\phi_m = 8 \sim 25$ 。当加工和安装精度高时,可取大些;对于开式齿轮传动可取 $\phi_m = 8 \sim 15$;对重载低速齿轮传动,可取 $\phi_m = 20 \sim 25$ 。

6.3 主要尺寸的初步确定

一般,设计齿轮传动时,已知的条件是:传递的功率 $P(\text{kW})$ 或转矩 $T(\text{N} \cdot \text{m})$;转速 $n(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$;传动比 i ;预定的寿命 (h) ;原动机及工作机的载荷特性;结构要求及外形尺寸限制等。

设计开始时,往往不知道齿轮的尺寸和参数,无法准确定出某些系数的数值,因而不能进行精确的计算。所以通常需要先初步选择某些参数,按简化计算方法初步确定出主要尺寸,然后再进行精确的校核计算。当主要参数和几何尺寸都已经合适之后,再进行齿轮的结构设计,并绘制零件工作图。

齿轮传动的主要尺寸(中心距 a 或小齿轮分度圆直径 d_1 或模数 m)可按下述方法之一初步确定。

1) 参照已有的工作条件相同或类似的齿轮传动,用类比方法初步确定主要尺寸。

2) 根据齿轮传动在设备上的安装、结构要求,例如中心距、中心高以及外廓尺寸等要求,定出主要尺寸。

3) 根据表4.4-39的简化设计计算公式估算主要尺寸。

利用简化计算公式确定尺寸时,对闭式齿轮传动,若两个齿轮或两齿轮之一为软齿面(齿面硬度 $\leq 350\text{HBW}$),可只按接触强度的计算公式确定尺寸;若两齿轮均为硬齿面(齿面硬度 $> 350\text{HBW}$),则应同时按接触强度及抗弯强度的计算公式确定尺寸,并取其中大值。对开式齿轮传动,可只按抗弯强度的计算公式确定模数 m ,并应将求得的 m 值加大 $10\% \sim 20\%$,以考虑磨损的影响。

表 4.4-39 圆柱齿轮传动简化设计计算公式(摘自 GB/T 10063—1988)

齿轮类型	接 触 强 度	弯 曲 强 度
直齿轮	$a \geq 483(u \pm 1) \sqrt[3]{\frac{KT_1}{\phi_a \sigma_{\text{HP}}^2 u}}$ $d_1 \geq 766 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{\phi_d \sigma_{\text{HP}}^2} \frac{u \pm 1}{u}}$	$m \geq 12.6 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{\phi_m z_1} \frac{Y_{\text{FS}}}{\sigma_{\text{FP}}}}$
斜齿轮	$a \geq 476(u \pm 1) \sqrt[3]{\frac{KT_1}{\phi_a \sigma_{\text{HP}}^2 u}}$ $d_1 \geq 756 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{\phi_d \sigma_{\text{HP}}^2} \frac{u \pm 1}{u}}$	$m_n \geq 12.4 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{\phi_m z_1} \frac{Y_{\text{FS}}}{\sigma_{\text{FP}}}}$

(续)

齿轮类型	接 触 强 度	弯 曲 强 度
人字齿轮	$a \geq 447 (u \pm 1) \sqrt[3]{\frac{KT_1}{\phi_a \sigma_{HP}^2 u}}$ $d_1 \geq 709 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{\phi_d \sigma_{HP}^2} \frac{u \pm 1}{u}}$	$m_n \geq 11.5 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{\phi_m z_1} \frac{Y_{FS}}{\sigma_{FP}}}$

各式中的符号

- a —中心距 (mm)
 d_1 —小齿轮的分度圆直径 (mm)
 m, m_n —分别为端面模数及法向模数 (mm)
 z_1 —小齿轮的齿数
 ϕ_a, ϕ_d, ϕ_m —齿宽系数, 见本章 6.2 节
 u —齿数比, $u = z_2/z_1$
 Y_{FS} —复合齿形系数, 按图 4.4-27 及图 4.4-28 确定
 σ_{HP} —许用接触应力 (MPa), 简化计算中近似取 $\sigma_{HP} \approx \sigma_{Hlim}/S_{Hmin}$ 。 σ_{Hlim} 为试验齿轮的接触疲劳极限应力 (MPa), 按图 4.4-17 查取。 S_{Hmin} 为接触强度计算的最小安全系数, 可取 $S_{Hmin} \geq 1.1$
 σ_{FP} —许用弯曲应力 (MPa), 简化计算中可近似取 $\sigma_{FP} \approx \sigma_{FE}/S_{Fmin}$, σ_{FE} 为齿轮材料的弯曲疲劳强度基本值, 按图 4.4-30 查取。 S_{Fmin} 为抗弯强度计算的最小安全系数, 可取 $S_{Fmin} \geq 1.4$
 T_1 —小齿轮传递的额定转矩 (N·m)
 K —载荷系数。若原动机采用电动机或汽轮机、燃气轮机时, 一般可取 $K = 1.2 \sim 2$ 。当载荷平稳、精度较高 (6 级以上)、速度较低、齿轮对称于轴承布置时, 应取较小值; 对直齿轮应取较大值。若采用单缸内燃机, 应将 K 值加大 1.2 倍左右

- 注: 1. 各式内 $(u \pm 1)$ 项中, “+”号用于外啮合传动, “-”号用于内啮合传动。
2. 接触强度计算公式中的 σ_{HP} 应代入 σ_{HP1} 及 σ_{HP2} 中的小值; 抗弯强度计算公式中的 $\frac{Y_{FS}}{\sigma_{FP}}$ 应代入 $\frac{Y_{FS1}}{\sigma_{FP1}}$ 及 $\frac{Y_{FS2}}{\sigma_{FP2}}$ 中的大值。
3. 表中的接触强度计算公式适用于钢制齿轮; 对于钢对铸铁, 铸铁对铸铁齿轮传动, 应将求得的 a 或 d_1 分别乘以表 4.4-40 中的修正系数。

表 4.4-40 修正系数

小齿轮	钢			铸 钢			球墨铸铁		灰铸铁
大齿轮	铸钢	球墨铸铁	灰铸铁	铸钢	球墨铸铁	灰铸铁	球墨铸铁	灰铸铁	灰铸铁
修正系数	0.997	0.970	0.906	0.994	0.967	0.898	0.943	0.880	0.836

根据简化计算定出主要尺寸之后, 对重要的传动还应进行校核计算, 并根据校核计算的结果重新调整初定尺寸。对低速不重要的传动, 可不必进行强度校核计算。

6.4 齿面接触疲劳强度与齿根弯曲疲劳强度校核计算

本节内容主要依据 GB/T 3480—1997《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》及 GB/T 19406—2003《渐开线直齿和斜齿圆柱齿轮承载能力计算方法 工业齿轮应用》编写而成。

本节提供两个层次的强度校核计算公式, 见表 4.4-41。其中, 简化方法主要适用于一般要求的齿轮传动; 一般方法适用于对计算精度要求较高的齿轮

传动。当计算结果有争议时, 以一般方法为准。
国家标准把赫兹应力作为齿面接触应力计算的基础, 用来评价接触强度。本节中的公式适用于端面重合度 $\varepsilon_\alpha < 2.5$ 的齿轮副。
国家标准把载荷作用侧的齿廓根部最大拉应力作为名义弯曲应力, 经相应的系数修正后作为计算弯曲应力。本节中的公式适用于齿根以内轮缘厚度不小于 $3.5m_n$ 的圆柱齿轮。
表 4.4-41 公式中某些参数的确定有简化方法和一般方法。建议使用简化计算方法校核齿轮强度时, 公式中的参数用 6.5 节中的简化方法确定; 用一般计算方法校核齿轮强度时, 公式中的参数用 6.5 节中的一般方法确定。表 4.4-42 中给出了表 4.4-41 中公式参数的意义和确定方法。

表 4.4-41 齿面接触疲劳强度与齿根弯曲疲劳强度校核计算公式

		简化计算方法	一般计算方法	
齿面接触疲劳强度	强度条件	$\sigma_H \leq \sigma_{HP}$ 或 $S_H \geq S_{Hmin}$		
	计算应力	$\sigma_H = Z_H Z_E Z_{\varepsilon\beta} \sqrt{\frac{F_t}{bd_1} \frac{u \pm 1}{u} K_A K_v K_{H\beta} K_{H\alpha}}$	小轮	$\sigma_{H1} = Z_B Z_H Z_E Z_{\varepsilon} Z_{\beta} \sqrt{\frac{F_t}{bd_1} \frac{u \pm 1}{u} K_A K_v K_{H\beta} K_{H\alpha}}$
			大轮	$\sigma_{H2} = Z_D Z_H Z_E Z_{\varepsilon} Z_{\beta} \sqrt{\frac{F_t}{bd_1} \frac{u \pm 1}{u} K_A K_v K_{H\beta} K_{H\alpha}}$
	许用应力	$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim} Z_{NT} Z_L Z_V Z_R Z_W Z_x}{S_{Hmin}}$		
	安全系数	$S_H = \frac{\sigma_{Hlim} Z_{NT} Z_L Z_V Z_R Z_W Z_x}{\sigma_H}$		
齿根弯曲疲劳强度	强度条件	$\sigma_F \leq \sigma_{FP}$ 或 $S_F \geq S_{Fmin}$		
	计算应力	$\sigma_F = \frac{F_t}{bm_n} K_A K_v K_{F\beta} K_{F\alpha} Y_{FS} Y_{\varepsilon\beta}$	$\sigma_F = \frac{F_t}{bm_n} K_A K_v K_{F\beta} K_{F\alpha} Y_F Y_S Y_{\beta}$	
	许用应力	$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{FE} Y_{NT} Y_{\delta rel} Y_{Rrel} Y_x}{S_{Fmin}}$		
	安全系数	$S_F = \frac{\sigma_{FE} Y_{NT} Y_{\delta rel} Y_{Rrel} Y_x}{\sigma_F}$		

表 4.4-42 表 4.4-41 中公式参数的意义和确定方法

代 号	意 义	确定方法	
		简化方法公式中	一般方法公式中
K_A	使用系数	表 4. 4-43	
K_v	动载系数	表 4. 4-53 或图 4. 4-12	表 4. 4-46
$K_{H\beta}$	接触强度计算的齿向载荷分布系数	表 4. 4-62 和表 4. 4-63	表 4. 4-54
$K_{F\beta}$	弯曲强度计算的齿向载荷分布系数	式(4. 4-2)	式(4. 4-1)
$K_{H\alpha}$	接触强度计算的齿间载荷分配系数	表 4. 4-66	表 4. 4-64
$K_{F\alpha}$	弯曲强度计算的齿间载荷分配系数		
Z_H	节点区域系数	式(4. 4-3)或图 4. 4-14	
Z_E	弹性系数	式(4. 4-4)或表 4. 4-68	
Z_{ε}	接触强度计算的重合度系数		式(4. 4-5)
Z_{β}	接触强度计算的螺旋角系数		式(4. 4-6)
$Z_{\varepsilon\beta}$	接触强度计算的重合度与螺旋角系数	式(4. 4-5)和式(4. 4-6) 或图 4. 4-15	
Z_B	小齿轮单对齿啮合系数		表 4. 4-69
Z_D	大齿轮单对齿啮合系数		
σ_{Hlim}	试验齿轮的接触疲劳极限	图 4. 4-17	
Z_{NT}	接触强度计算的寿命系数	图 4. 4-18 或表 4. 4-70	
$Z_L、Z_V、Z_R$	润滑油膜影响系数	表 4. 4-72	表 4. 4-71 或图 4. 4-19 ~ 图 4. 4-21
Z_W	工作硬化系数	式(4. 4-8)或图 4. 4-22	
Z_x	接触强度计算的尺寸系数	表 4. 4-74 或图 4. 4-23	
$S_{Hmin}、S_{Fmin}$	最小安全系数	表 4. 4-75	
Y_F	齿形系数		表 4. 4-76 和表 4. 4-77
Y_S	应力修正系数		式(4. 4-9)
Y_{FS}	复合齿形系数	图 4. 4-27 和图 4. 4-28	
Y_{ε}	弯曲强度计算的重合度系数		式(4. 4-11)

(续)

代 号	意 义	确定方法	
		简化方法公式中	一般方法公式中
Y_{β}	弯曲强度计算的螺旋角系数	式(4.4-11)和式(4.4-12)	
$Y_{\epsilon\beta}$	弯曲强度计算的重合度与螺旋角系数	或图 4.4-29	
σ_{FE}	齿轮材料的弯曲疲劳强度基本值	图 4.4-30	
Y_{NT}	弯曲强度计算的寿命系数	表 4.4-78 或图 4.4-31	
Y_x	弯曲强度计算的尺寸系数	表 4.4-79 或图 4.4-32	
$Y_{\delta relT}$	相对齿根圆角敏感系数	式(4.4-18)	式(4.4-15)或图 4.4-33 和式(4.4-17)
Y_{RrelT}	相对齿根表面状况系数	表 4.4-83	表 4.4-82 或图 4.4-34

6.5 齿轮传动设计与强度校核计算中各参数的确定

6.5.1 分度圆上的圆周力 F_t

可按齿轮传递的额定转矩或额定功率按表 4.4-38 中公式计算。变动载荷时, 如果已经确定了齿轮传动的载荷图谱, 则应按当量转矩计算分度圆上的切向力, 见 6.7 节。

6.5.2 使用系数 K_A

K_A 是考虑由于原动机和工作机械的载荷变动、冲击、过载等对齿轮产生的外部附加动载荷的系数。 K_A 与原动机和工作机械的特性、重量比、联轴器的类型以及运行状态等有关。如有可能, K_A 应通过精确测量或对系统进行分析来确定。一般当按额定载荷计算齿轮时, 可参考表 4.4-43 选取 K_A 值; 当已知载荷图谱, 按当量载荷计算齿轮时, 则应取 $K_A = 1$ 。

表 4.4-43 使用系数 K_A

原动机 工作特性	工作机工作特性			
	均匀平稳	轻微振动	中等振动	强烈振动
均匀平稳	1.00	1.25	1.50	1.75
轻微振动	1.10	1.35	1.60	1.85
中等振动	1.25	1.50	1.75	2.0
强烈振动	1.50	1.75	2.0	2.25 或更大

注: 1. 表中数值仅适用于在非共振速度区运转的齿轮装置。至少应取最小抗弯强度安全系数 $S_{Fmin} = 1.25$ 。

- 2. 对于重载运转、起动力矩大、间歇运行以及有反复振动载荷等情况, 就需要校核静强度和有限寿命强度。
- 3. 对于增速传动, 根据经验, 建议取表中数值的 1.1 倍。
- 4. 当外部机械与齿轮装置之间有挠性连接时, 通常 K_A 值可适当减小。

表 4.4-43 中原动机的工作特性可参考表 4.4-44;

工作机的工作特性可参考表 4.4-45。

表 4.4-44 原动机工作特性示例

工作特性	原 动 机
均匀平稳	电动机(例如直流电动机), 均匀运转的蒸汽轮机、燃气轮机(小的, 起动转矩很小)
轻微振动	蒸汽轮机、燃气轮机、液压马达、电动机(经常起动, 起动转矩较大)
中等振动	多缸内燃机
强烈振动	单缸内燃机

表 4.4-45 工作机工作特性示例

工作特性	工 作 机
均匀平稳	发电机, 均匀传送的带式输送机或板式输送机, 螺旋输送机, 轻型升降机, 包装机, 机床进给传动, 通风机, 轻型离心机, 离心泵, 轻质液态物质或均匀密度材料搅拌机, 剪切机、冲压机 ^① , 车床, 行走机构 ^②
轻微振动	不均匀传动(包装件)的带式输送机或板式输送机, 机床主传动, 重型升降机, 起重机旋转机构, 工业和矿用通风机, 重型离心分离器, 离心泵, 黏稠液体或变密度材料搅拌机, 多缸活塞泵, 给水泵, 普通挤压机, 压光机, 转炉, 轧机 ^③ (锌条、铝条以及线材和棒料连续轧机)
中等振动	橡胶挤压机, 橡胶和塑料搅拌机, 球磨机(轻型), 木工机械(锯片、木车床), 钢坯初轧机 ^{④⑤} , 提升机构, 单缸活塞泵
强烈振动	挖掘机(铲斗传动装置、多斗传动装置、筛分传动装置, 动力铲), 球磨机(重型), 橡胶搓揉机, 破碎机(石块、矿石), 冶金机械, 重型给水泵, 旋转式钻机, 压砖机, 去皮机卷筒, 落砂机, 带材冷轧机 ^⑤ , 碾碎机

- ① 额定转矩 = 最大切削、压制、冲压转矩。
- ② 额定转矩 = 最大起动转矩。
- ③ 额定转矩 = 最大轧制转矩。
- ④ 用电流控制力矩限制器。
- ⑤ 由于轧制带材经常开裂, 可提高 K_A 至 2.0。

6.5.3 动载系数 K_v

K_v 是考虑齿轮传动在啮合过程中, 大、小齿轮啮合振动所产生的内部附加动载荷影响的系数。影响 K_v 的主要因素有: 基节偏差、齿形误差、圆周速度、大小齿轮的质量、轮齿的啮合刚度及其在啮合过程中的变化、载荷、轴及轴承的刚度、齿轮系统的阻尼特性等。

(1) 确定 K_v 的一般方法 (见表 4.4-46)

(2) 确定 K_v 的简化方法

对传动精度系数 $C \leq 5$ 的高精度齿轮, 在良好的安装和对中精度以及合适的润滑条件下, K_v 为 1.0 ~ 1.1。对其他齿轮, K_v 值可按图 4.4-12 选取, 也可由表 4.4-53 的公式计算。

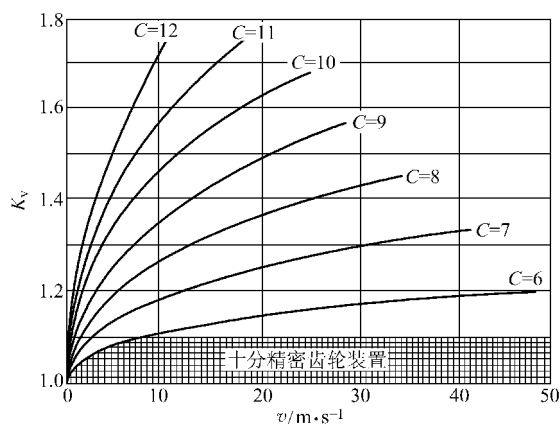


图 4.4-12 动载荷系数 K_v

表 4.4-46 运行转速区间及其动载系数 K_v 的计算公式

运行转速区间	临界转速比 N	对运行的齿轮装置的要求	K_v 计算公式	备 注
亚临界区	$N \leq N_s$	多数通用齿轮在此区工作	$K_v = NK + 1 = N(C_{v1}B_p + C_{v2}B_f + C_{v3}B_k) + 1$ (1)	在 $N = 1/2$ 或 $2/3$ 时可能出现共振现象, K_v 大大超过计算值, 直齿轮尤甚, 此时应修改设计。在 $N = 1/4$ 或 $1/5$ 时共振影响很小
主共振区	$N_s < N \leq 1.15$	一般精度不高的齿轮(尤其是未修缘的直齿轮)不宜在此区运行。 $\varepsilon_\gamma > 2$ 的高精度斜齿轮可在此区工作	$K_v = C_{v1}B_p + C_{v2}B_f + C_{v4}B_k + 1$ (2)	在此区内 K_v 受阻尼影响极大, 实际动载与按式(2)计算所得值相差可达 40%, 尤其是对未修缘的直齿轮
过渡区	$1.15 < N < 1.5$		$K_v = K_{v(N=1.5)} + \frac{K_{v(N=1.15)} - K_{v(N=1.5)}}{0.35} \times (1.5 - N)$ (3)	$K_{v(N=1.5)}$ 按式(4)计算 $K_{v(N=1.15)}$ 按式(2)计算
超临界区	$N \geq 1.5$	绝大多数透平齿轮及其他高速齿轮在此区工作	$K_v = C_{v5}B_p + C_{v6}B_f + C_{v7}$ (4)	1. 可能在 $N = 2$ 或 3 时出现共振, 但影响不大 2. 当轴齿轮系统的横向振动固有频率与运行的啮合频率接近或相等时, 实际动载与按式(4)计算所得值可相差 100%, 应避免此情况

注: 1. 表中各式均将每一齿轮副按单级传动处理, 略去多级传动的其他各级的影响。非刚性连接的同轴齿轮, 可以这样简化, 否则应按表 4.4-49 中第 2 类型情况处理。

2. 当 $(F_t K_A)/b < 100 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ 时, $N_s = 0.5 + 0.35 \sqrt{\frac{F_t K_A}{1000b}}$; 其他情况时, $N_s = 0.85$ 。

3. 表内各式中, N 为临界转速比, 见表 4.4-47。

$C_{v1} \sim C_{v7}$ 数值见表 4.4-50。

B_p, B_f, B_k 的计算公式见表 4.4-51。

表 4.4-47 临界转速比

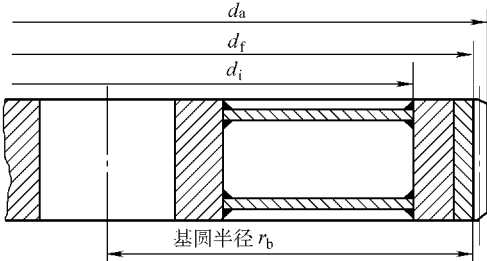
项目	单位	计算公式或图示	备 注
临界转速比 N		$N = \frac{n_1}{n_{E1}}$	m_{red} —齿轮副的诱导质量,即每个齿轮的单位齿宽质量的诱导质量,与其基圆半径或啮合线有关;对行星齿轮和其他较特殊的齿轮 m_{red} 见表 4.4-48、表 4.4-49 n_1 —小轮转速 ($r \cdot \min^{-1}$) z_1 —小轮齿数 c_γ —轮齿啮合刚度 ($\text{MPa} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$), 见 6.5.6 节 ρ_1, ρ_2 —小轮、大轮的材料密度 ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$)
临界转速 n_{E1}	$r \cdot \min^{-1}$	$n_{E1} = \frac{30 \times 10^3}{\pi z_1} \sqrt{\frac{c_\gamma}{m_{red}}}$	
齿轮副诱导质量 m_{red}	$\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1}$	$m_{red} = \frac{J_1^* J_2^*}{J_1^* r_{b2}^2 + J_2^* r_{b1}^2}$	
小、大齿轮的单位齿宽的转动惯量 $J_{1,2}^*$	$\text{kg} \cdot \text{mm}$	$J_1^* = \frac{\pi}{32} \rho_1 (1 - q_1^4) d_{m1}^4$ $J_2^* = \frac{\pi}{32} \rho_2 (1 - q_2^4) d_{m2}^4$	
轮缘内腔直径比 q		$q_1 = d_{i1} / d_{m1}$ $q_2 = d_{i2} / d_{m2}$	
小、大轮齿高中部直径 d_{m1}, d_{m2}	mm	$d_{m1} = (d_{a1} + d_{f1}) / 2$ $d_{m2} = (d_{a2} + d_{f2}) / 2$	
齿轮结构参数	mm		r_{b1}, r_{b2} —小轮、大轮的基圆半径 (mm) d_{i1}, d_{i2} —小轮、大轮的内腔直径 (mm) d_{a1}, d_{a2} —小轮、大轮的顶圆直径 (mm) d_{f1}, d_{f2} —小轮、大轮的根圆直径 (mm)

表 4.4-48 行星传动齿轮的诱导质量 m_{red}

齿轮组合	m_{red} 计算公式或提示	备 注
太阳轮和行星轮	$m_{red} = \frac{J_{pla}^* J_{sun}^*}{(p J_{pla}^* r_{bsun}^2) + (J_{sun}^* r_{bpla}^2)}$	J_{sun}^*, J_{pla}^* —分别为太阳轮与一个行星轮单位齿宽的转动惯量 ($\text{kg} \cdot \text{mm}^2 / \text{mm}$); 可按表 4.4-47 计算 p —计算轮系中行星轮的个数 r_{bsun}, r_{bpla} —分别为太阳轮与行星轮基圆半径 (mm)
行星轮和固定内齿圈	$m_{red} = \frac{J_{pla}^*}{r_{bpla}}$	
行星轮和转动内齿圈	内齿圈的当量质量按外齿轮即表 4.4-47 处理; 行星轮的诱导质量可按式 $m_{red} = \frac{J_{pla}^*}{r_{bpla}}$ 计算; 有若干个行星轮时可按单个行星轮分别计算	

表 4.4-49 较特殊结构形式的齿轮的诱导质量 m_{red}

齿轮结构形式	计算公式或提示	备 注
1 小轮的平均直径与轴颈相近	采用表 4.4-47 一般外啮合的计算公式 因为结构引起的小轮当量质量增大和扭转刚度增大(使实际啮合刚度 c_γ 增大)对计算临界转速 n_{E1} 的影响大体上相互抵消	

(续)

齿轮结构形式		计算公式或提示	备 注
2	两刚性连接的同轴齿轮	较大的齿轮重量必须计入,而较小的齿轮重量可以略去	若两个齿轮直径无显著差别时,一起计入
3	两个小轮驱动一个大轮	可分别按小轮1-大轮和小轮2-大轮两个独立齿轮副分别计算	此时的大轮重量总是比小轮重量大得多
4	中间轮	$m_{\text{red}} = \frac{2}{\left[\frac{r_{b1}^2}{J_1^*} + \frac{2r_{b2}^2}{J_2^*} + \frac{r_{b3}^2}{J_3^*} \right]}$ 等效刚度 $c_{\gamma} = \frac{1}{2}(c_{\gamma 1-2} + c_{\gamma 2-3})$	J_1^*, J_2^*, J_3^* —主动轮、中间轮、从动轮单位齿宽的转动惯量 $c_{\gamma 1-2}$ —主动轮、中间轮啮合刚度,见 6.5.6 节 $c_{\gamma 2-3}$ —中间轮、从动轮啮合刚度,见 6.5.6 节

表 4.4-50 $C_{v1} \sim C_{v7}$ 数值

代号	代号意义	$1 < \varepsilon_{\gamma} \leq 2$		$\varepsilon_{\gamma} > 2$
C_{v1}	考虑齿距偏差的影响系数	0.32		
C_{v2}	考虑齿廓偏差的影响系数	0.34		$\frac{0.57}{\varepsilon_{\gamma} - 0.3}$
C_{v3}	考虑啮合刚度周期变化的影响系数	0.23		$\frac{0.096}{\varepsilon_{\gamma} - 1.56}$
C_{v4}	考虑啮合刚度周期变化引起齿轮副扭转共振的影响系数	0.90		$\frac{0.57 - 0.05\varepsilon_{\gamma}}{\varepsilon_{\gamma} - 1.44}$
C_{v5}	在超临界区内考虑齿距偏差的影响系数	0.47		
C_{v6}	在超临界区内考虑齿廓偏差的影响系数	0.47		$\frac{0.12}{\varepsilon_{\gamma} - 1.74}$
C_{v7}	考虑因啮合刚度的变动,在恒速运行时与齿轮弯曲变形产生的分力有关的系数	$1 < \varepsilon_{\gamma} \leq 1.5$	$1.5 < \varepsilon_{\gamma} \leq 2.5$	$\varepsilon_{\gamma} > 2.5$
		0.75	$0.125 \sin[\pi(\varepsilon_{\gamma} - 2)] + 0.875$	1.0

表 4.4-51 系数 B_p, B_f, B_k 的计算公式

项 目	计算公式		备 注
B_p	$B_p = \frac{c' f_{p\text{beff}}}{(F_t K_A)/b}$		考虑齿距偏差的影响
B_f	$B_f = \frac{c' f_{f\text{eff}}}{(F_t K_A)/b}$		考虑齿形偏差的影响
B_k	$B_k = \left 1 - \frac{c' C_a}{(F_t K_A)/b} \right $		考虑齿轮修缘的影响 齿轮精度低于 5 级时, $B_k = 1$
c' —单对齿轮刚度,见 6.5.6 节 C_a —沿齿廓法线方向计量的修缘量(μm),无修缘时,用由跑合产生的齿顶磨合量 C_{ay} (μm)值代替 $f_{p\text{beff}}, f_{f\text{eff}}$ —分别为有效基节偏差和有效齿廓公差(μm),与相应的磨合量 y_p, y_f 有关	C_{ay}	当大、小轮材料相同时 $C_{ay} = \frac{1}{18} \left(\frac{\sigma_{H\text{lim}}}{97} - 18.45 \right)^2 + 1.5$	C_{ay1}, C_{ay2} 分别按上式计算
		当大、小轮材料不同时 $C_{ay} = 0.5(C_{ay1} + C_{ay2})$	
	$f_{p\text{beff}}$	$f_{p\text{beff}} = f_{pb} - y_p$	如无 y_p, y_f 的可靠数据,可近似取 $y_p = y_f = y_{\alpha}$ y_{α} 见表 4.4-52 f_{pb}, f_f 通常按大齿轮查取
	$f_{f\text{eff}}$	$f_{f\text{eff}} = f_f - y_f$	

表 4.4-52 齿廓磨合量 y_α

齿轮材料	齿廓磨合量 $y_\alpha/\mu\text{m}$	限制条件
结构钢、调质钢、珠光体和贝氏体球墨铸铁	$y_\alpha = \frac{160}{\sigma_{\text{Hlim}}} f_{\text{pb}}$	$v > 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $y_\alpha \leq \frac{6400}{\sigma_{\text{Hlim}}} \mu\text{m}, f_{\text{pb}} \leq 40\mu\text{m}$ $5 < v \leq 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $y_\alpha \leq \frac{12800}{\sigma_{\text{Hlim}}} \mu\text{m}, f_{\text{pb}} \leq 80\mu\text{m}$ $v \leq 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, y_α 无限制
铸铁、铁素体球墨铸铁	$y_\alpha = 0.275 f_{\text{pb}}$	$v > 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $y_\alpha \leq 11\mu\text{m}, f_{\text{pb}} \leq 40\mu\text{m}$ $5 < v \leq 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $y_\alpha \leq 22\mu\text{m}, f_{\text{pb}} \leq 80\mu\text{m}$ $v \leq 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, y_α 无限制
渗碳淬火钢或渗氮钢、氮碳共渗钢	$y_\alpha = 0.075 f_{\text{pb}}$	$y_\alpha \leq 3\mu\text{m}$

注:1. f_{pb} —齿轮基节极限偏差 (μm); σ_{Hlim} —齿轮接触疲劳极限 (MPa)。

2. 当大、小齿轮的材料和热处理不同时,其齿廓磨合量可取为相应两种材料齿轮副磨合量的算术平均值。

表 4.4-53 K_v 的简化计算公式

项 目	计算公式	备 注
传动精度系数 C	$C = -0.5048 \ln(z) - 1.144 \ln(m_n) + 2.852 \ln(f_{\text{pt}}) + 3.32$	分别以 $z_1, f_{\text{pt}1}$ 和 $z_2, f_{\text{pt}2}$ 代入计算,取大值,并将 C 值圆整, $C = 6 \sim 12$
动载系数 K_v	$K_v = \left[\frac{A}{A + \sqrt{200v}} \right]^{-B}$ $A = 50 + 56(1.0 - B)$ $B = 0.25(C - 5.0)^{0.667}$	适用的条件 a. 法向模数 $m_n = 1.25 \sim 50\text{mm}$; b. 齿数 $z = 6 \sim 1200$ 当 $m_n > 8.33\text{mm}$ 时, $z = 6 \sim \frac{10000}{m_n}$ c. 传动精度系数 $C = 6 \sim 12$ d. 齿轮节圆线速度 $v \leq \frac{[A + (14 - C)]^2}{200}$

6.5.4 齿向载荷分布系数 $K_{\text{H}\beta}$ 、 $K_{\text{F}\beta}$

齿向载荷分布系数是考虑沿齿向载荷分布不均匀的影响系数。在接触强度计算中记为 $K_{\text{H}\beta}$, 在弯曲强度计算中记为 $K_{\text{F}\beta}$ 。影响 $K_{\text{H}\beta}$ 、 $K_{\text{F}\beta}$ 的主要因素有: 轮齿、轴系及箱体的刚度, 齿宽系数, 齿向误差, 轴线平行度, 载荷, 磨合情况及齿向修形等。齿向载荷分布系数是影响齿轮承载能力的重要因素, 应通过改善结构、改进工艺等措施使载荷沿齿向分布均匀, 以降低它的影响。如果通过测量和检查能够确切掌握轮齿的接触情况, 并作相应的修形(如螺旋角修形、鼓形修形等), 可取 $K_{\text{H}\beta} = K_{\text{F}\beta} = 1$ 。如果对齿轮的结构作特殊处理或经过仔细磨合, 能使载荷沿齿向均匀分布, 也可取 $K_{\text{H}\beta} = K_{\text{F}\beta} = 1$ 。

(1) $K_{\text{H}\beta}$ 计算的一般方法(表 4.4-54) 基本假定和适用范围:

1) 沿齿宽将轮齿视为具有啮合刚度 c_y 的弹性体, 载荷和变形都呈线性分布。

2) 轴齿轮的扭转变形按载荷沿齿宽均布计算, 弯曲变形按载荷集中作用于齿宽中点计算, 没有其他额外的附加载荷。

3) 箱体、轴承、大齿轮及其轴的刚度足够大,

其变形可忽略。

4) 等直径轴或阶梯轴, d_{sh} 为与实际轴产生同样弯曲变形量的当量轴径。

5) 轴和小齿轮的材料都为钢; 小齿轮轴可以是实心轴或空心轴(其内径应 $< 0.5d_{\text{sh}}$), 齿轮的结构支承形式见表 4.4-58。

表 4.4-54 $K_{\text{H}\beta}$ 计算公式

项 目	公 式
$K_{\text{H}\beta}$	$\sqrt{\frac{2F_t K_A K_v / b}{F_{\beta y} c_y}} \leq 1$ 时 $K_{\text{H}\beta} = \sqrt{\frac{2F_{\beta y} c_y}{F_t K_A K_v / b}}$
	$\sqrt{\frac{2F_t K_A K_v / b}{F_{\beta y} c_y}} > 1$ 时 $K_{\text{H}\beta} = 1 + 0.5 \frac{F_{\beta y} c_y}{F_t K_A K_v / b}$
磨合后啮合螺旋线偏差 $F_{\beta y} / \mu\text{m}$	$F_{\beta y} = F_{\beta x} - y_{\beta} = F_{\beta x} x_{\beta}$
初始啮合螺旋线偏差 $F_{\beta x} / \mu\text{m}$	受载时接触不良 $F_{\beta x} = 1.33 f_{\text{sh}} + f_{\text{ma}}; F_{\beta x} \geq F_{\beta x \min}$
	受载时接触良好 $F_{\beta x} = 1.33 f_{\text{sh}} - f_{\beta 6} ; F_{\beta x} \geq F_{\beta x \min}$
	受载时接触理想 $F_{\beta x} = F_{\beta x \min}$
	$F_{\beta x \min}$ $\max[0.005 F_t K_A K_v / b, 0.5 F_{\beta}]$

(续)

项 目	公 式
综合变形产生的啮合螺旋线偏差分量 $f_{sh}/\mu\text{m}$	$f_{sh} = \frac{F_t K_A K_v}{b} f_{sh0}$
单位载荷作用下的啮合螺旋线偏差 $f_{sh0}/\mu\text{m} \cdot \text{mm} \cdot \text{N}^{-1}$	一般齿轮 0.023 γ
	齿端修薄的齿轮 0.016 γ
	修形或鼓形修整的齿轮 0.012 γ

注:1. γ_β, x_β 分别为螺旋线磨合量和螺旋线磨合系数,见表 4.4-55。

2. f_{ma} 为制造、安装误差产生的啮合螺旋线偏差分量,见表 4.4-56。

3. $f_{\beta 6}$ 为 GB/T 10095.1 或 ISO 1328-1:1995 规定的 6 级精度的螺旋线总偏差的允许值 F_β 。

4. γ 为小齿轮结构尺寸系数,见表 4.4-57。

5. c_γ 为轮齿啮合刚度,见 6.5.6 节。

$K_{H\beta}$ 的计算公式见表 4.4-54,当 $K_{H\beta} > 1.5$ 时,通

表 4.4-55 y_β, x_β 计算公式

齿轮材料	螺旋线磨合量 $y_\beta(\mu\text{m})$, 磨合系数 x_β	适用范围及限制条件
结构钢、调质钢、珠光体和贝氏体球墨铸铁	$y_\beta = \frac{320}{\sigma_{Hlim}} F_{\beta x}$ $x_\beta = 1 - \frac{320}{\sigma_{Hlim}}$	$v > 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $x_\beta \leq 12800/\sigma_{Hlim}$, $F_{\beta x} \leq 40\mu\text{m}$ $5 < v \leq 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $y_\beta \leq 25600/\sigma_{Hlim}$, $F_{\beta x} \leq 80\mu\text{m}$ $v \leq 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, y_β 无限制
灰铸铁、铁素体球墨铸铁	$y_\beta = 0.55 F_{\beta x}$ $x_\beta = 0.45$	$v > 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $y_\beta \leq 22\mu\text{m}$, $F_{\beta x} \leq 40\mu\text{m}$ $5 < v \leq 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $y_\beta \leq 45\mu\text{m}$, $F_{\beta x} \leq 80\mu\text{m}$ $v \leq 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, y_β 无限制
渗碳淬火钢、表面硬化钢、渗氮钢、氮碳共渗钢、表面硬化球墨铸铁	$y_\beta = 0.15 F_{\beta x}$ $x_\beta = 0.85$	$y_\beta \leq 6\mu\text{m}$, $F_{\beta x} \leq 40\mu\text{m}$

注:1. σ_{Hlim} —齿轮接触疲劳极限值(MPa),见 6.5.11 节。

2. 当大小齿轮材料不同时, $y_\beta = (y_{\beta 1} + y_{\beta 2})/2$, $x_\beta = (x_{\beta 1} + x_{\beta 2})/2$, 式中下标 1, 2 分别表示小、大齿轮。

表 4.4-56 f_{ma} 计算公式(μm)

类 别	确定方法或公式
粗略数值	某些高精度的高速齿轮 $f_{ma} = 0$
	一般工业齿轮 $f_{ma} = 15$
给定精度等级	装配时无检验调整 $f_{ma} = 1.0 F_\beta$
	装配时进行检验调整(对研,轻载磨合,调整轴承,螺旋线修形,鼓形齿等) $f_{ma} = 0.5 F_\beta$
	齿端修薄 $f_{ma} = 0.7 F_\beta$
给定空载下接触斑点长度 b_{c0}	$f_{ma} = \frac{b}{b_{c0}} S_c$ S_c—涂色层厚度,一般为 $2 \sim 20\mu\text{m}$, 计算时可取 $S_c = 6\mu\text{m}$ 如按最小接触斑点长度 b_{c0min} 计算 $f_{ma} = \frac{2}{3} \times \frac{b}{b_{c0min}} S_c$ 如测得最长和最短的接触斑点长度 $f_{ma} = \frac{1}{2} \left(\frac{b}{b_{c0min}} + \frac{b}{b_{c0max}} \right) S_c$

常应采取措施降低 $K_{H\beta}$ 值。

(2) 典型结构齿轮的 $K_{H\beta}$ 适用条件:符合 6.5.4 节(1)中 1)、2)、3), 并且小齿轮直径和轴径相近,轴齿轮为实心或空心轴(内孔径应小于 $0.5d_{sh}$), 对称布置在两轴承之间, ($s/l \approx 0$); 非对称布置时, 应把估算出的附加弯曲变形量加到 f_{ma} 上。

符合上述条件的单对齿轮、轧机齿轮和简单行星传动的 $K_{H\beta}$ 值可按表 4.4-59、表 4.4-60 和表 4.4-61 中的公式计算。

(3) $K_{H\beta}$ 的简化计算公式 适用范围如下:

1) 中等或较重载荷工况:对调质齿轮,单位齿宽载荷 F_m/b 为 $400 \sim 1000\text{N/mm}$; 对硬齿面齿轮, F_m/b 为 $800 \sim 1500\text{N/mm}$ 。

2) 刚性结构和刚性支承, 受载时两轴承变形较小可忽略; 齿宽偏置度 s/l (见表 4.4-58) 较小, 符合表 4.4-62、表 4.4-63 限定范围。

表 4.4-57 小齿轮结构尺寸系数 γ

齿轮形式	γ 的计算公式	B^*	
		功率不分流	功率分流, 通过该对齿轮 $k\%$ 的功率
直齿轮及单斜齿轮	$\left[B^* + K' \frac{ls}{d_1^2} \left(\frac{d_1}{d_{sh}} \right)^4 - 0.3 \right] + 0.3 \left(\frac{b}{d_1} \right)^2$	$B^* = 1$	$B^* = 1 + 2(100 - k)/k$
人字齿轮或双斜齿轮	$2 \left[B^* + K' \frac{ls}{d_1^2} \left(\frac{d_1}{d_{sh}} \right)^4 - 0.3 \right] + 0.3 \left(\frac{b_B}{d_1} \right)^2$	$B^* = 1.5$	$B^* = 0.5 + (200 - k)/k$

注: l —轴承跨距(mm); s —小轮齿宽中点至轴承跨距中点的距离(mm); d_1 —小轮分度圆直径(mm); d_{sh} —小轮轴弯曲变形当量直径(mm); K' —结构系数, 见表 4.4-58; b_B —单斜齿轮宽度(mm)。

表 4.4-58 小齿轮结构系数 K'

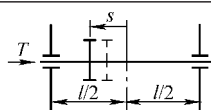
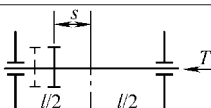
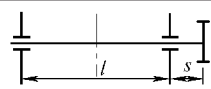
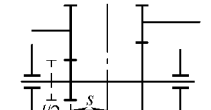
结构支承形式		条件	K'		备 注
			刚性	非刚性	
a		$s/l < 0.3$	0.48	0.8	对人字齿轮或双斜齿轮,实线、虚线各代表半边斜齿轮中点的位置,s 按用实线表示的变形大的半边斜齿轮的位置计算 $d_1/d_{sh} \geq 1.15$ 为刚性轴,$d_1/d_{sh} < 1.15$ 为非刚性轴,通常采用的键联接的套装齿轮属非刚性轴 齿轮位于轴承跨距中心时($s \approx 0$),最好按表 4.4-59 ~ 表 4.4-61 中的公式计算
b		$s/l < 0.3$	-0.48	-0.8	
c		$s/l < 0.5$	1.33	1.33	
d		$s/l < 0.3$	-0.36	-0.6	
e		$s/l < 0.3$	-0.6	-1.0	

表 4.4-59 单对齿轮的 $K_{H\beta}$ 计算公式

齿轮类型	修形情况	$K_{H\beta}$ 计算公式
直齿轮、斜齿轮	不修形	$K_{H\beta} = 1 + \frac{4000}{3\pi} x_{\beta} \frac{c_{\gamma}}{E} \left(\frac{b}{d_1} \right)^2 \left[5.12 + \left(\frac{b}{d_1} \right)^2 \left(\frac{l}{b} - \frac{7}{12} \right) \right] + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{2F_m/b}$ (1)
	部分修形	$K_{H\beta} = 1 + \frac{4000}{3\pi} x_{\beta} \frac{c_{\gamma}}{E} \left(\frac{b}{d_1} \right)^4 \left(\frac{l}{b} - \frac{7}{12} \right) + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{2F_m/b}$ (2)
	完全修形	$K_{H\beta} = 1 + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{2F_m/b}$, 且 $K_{H\beta} \geq 1.05$ (3)
人字齿轮或双斜齿轮	不修形	$K_{H\beta} = 1 + \frac{4000}{3\pi} x_{\beta} \frac{c_{\gamma}}{E} \left[3.2 \left(\frac{2b_B}{d_1} \right)^2 + \left(\frac{B}{d_1} \right)^4 \left(\frac{l}{B} - \frac{7}{12} \right) \right] + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{F_m/b_B}$ (4)
	完全修形	$K_{H\beta} = 1 + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{F_m/b_B}$, 且 $K_{H\beta} \geq 1.05$ (5)

注: 1. 本表各公式适用于全部转矩从轴的一端输入的情况, 如同时从轴的两端输入或双斜齿轮从两半边斜齿轮的中间输入, 则应作更详细的分析。

2. 部分修形指只补偿扭转变形的螺旋线修形; 完全修形指同时可补偿弯曲、扭转变形的螺旋线修形。

3. B —包括空刀槽在内的双斜齿全齿宽(mm); b_B —单斜齿轮宽度(mm), 对因结构要求而采用超过一般工艺需要的大齿槽宽度的双斜齿轮, 应采用一般方法计算; F_m —分度圆上平均切向力(N)。

表 4.4-60 轧机齿轮的 $K_{H\beta}$ 计算公式

是否修形	齿轮类型	$K_{H\beta}$ 计算公式
不修形	直齿轮、斜齿轮	$1 + \frac{4000}{3\pi} x_{\beta} \frac{c_{\gamma}}{E} \left(\frac{b}{d_1} \right)^2 \left[5.12 + 7.68 \frac{100-k}{k} + \left(\frac{b}{d_1} \right)^2 \left(\frac{l}{b} - \frac{7}{12} \right) \right] + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{2F_m/b}$
	双斜齿轮或人字齿轮	$1 + \frac{4000}{3\pi} x_{\beta} \frac{c_{\gamma}}{E} \left[\left(\frac{2b_B}{d_1} \right)^2 \left(1.28 + 1.92 \frac{100-k/2}{k/2} \right) + \left(\frac{B}{d_1} \right)^4 \left(\frac{l}{B} - \frac{7}{12} \right) \right] + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{F_m/b_B}$
完全修形	直齿轮、斜齿轮	按表 4.4-59 式(3)
	双斜齿轮或人字齿轮	按表 4.4-59 式(5)

注:1. 如不修形按双斜齿或人字齿轮公式计算的 $K_{H\beta} > 2$, 应检查设计, 最好用更精确的方法重新计算。

2. B 为包括空刀槽在内的双斜齿宽度(mm); b_B 为单斜齿轮宽度(mm)。

3. k 表示当采用一对轴齿轮, $u=1$, 功率分流, 被动齿轮传递 $k\%$ 的转矩, $(100-k)\%$ 的转矩由主动齿轮的轴端输出, 两齿轮皆对称布置在两端轴承之间。

表 4.4-61 行星传动齿轮的 $K_{H\beta}$ 计算公式

	齿轮副	轴承形式	修形情况	$K_{H\beta}$ 计算公式
直齿轮、单斜齿轮	太阳轮(S) 行星轮(P)	I	不修形	$1 + \frac{4000}{3\pi} n_P x_{\beta} \frac{c_{\gamma}}{E} \times 5.12 \left(\frac{b}{d_s} \right)^2 + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{2F_m/b}$
			修形（仅补偿扭转变形）	按表 4.4-59 式(3)
		II	不修形	$1 + \frac{4000}{3\pi} x_{\beta} \frac{c_{\gamma}}{E} \left[5.12 n_P \left(\frac{b}{d_s} \right)^2 + 2 \left(\frac{b}{d_p} \right)^4 \left(\frac{l_p}{b} - \frac{7}{12} \right) \right] + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{2F_m/b}$
			完全修形（弯曲和扭转变形完全补偿）	按表 4.4-59 式(3)
	内齿轮(H) 行星轮(P)	I	修形或不修形	按表 4.4-59 式(3)
		II	不修形	$1 + \frac{8000}{3\pi} x_{\beta} \frac{c_{\gamma}}{E} \left(\frac{b}{d_p} \right)^4 \left(\frac{l_p}{b} - \frac{7}{12} \right) + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{2F_m/b}$
			修形（仅补偿弯曲变形）	按表 4.4-59 式(3)
人字齿轮或双斜齿轮	太阳轮(S) 行星轮(P)	I	不修形	$1 + \frac{4000}{3\pi} n_P x_{\beta} \frac{c_{\gamma}}{E} \times 3.2 \left(\frac{2b_B}{d_s} \right)^2 + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{F_m/b_B}$
			修形（仅补偿扭转变形）	按表 4.4-59 式(5)
		II	不修形	$1 + \frac{4000}{3\pi} x_{\beta} \frac{c_{\gamma}}{E} \left[3.2 n_P \left(\frac{2b_B}{d_s} \right)^2 + 2 \left(\frac{B}{d_p} \right)^4 \left(\frac{l_p}{B} - \frac{7}{12} \right) \right] + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{F_m/b_B}$
			完全修形（弯曲和扭转变形完全补偿）	按表 4.4-59 式(5)
	内齿轮(H) 行星轮(P)	I	修形或不修形	按表 4.4-59 式(5)
		II	不修形	$1 + \frac{8000}{3\pi} x_{\beta} \frac{c_{\gamma}}{E} \left(\frac{B}{d_p} \right)^4 \left(\frac{l_p}{B} - \frac{7}{12} \right) + \frac{x_{\beta} c_{\gamma} f_{ma}}{F_m/b_B}$
			修形（仅补偿弯曲变形）	按表 4.4-59 式(5)

注:1. I、II 表示行星轮及其轴承在行星架上的安装形式; I—轴承装在行星轮上, 转轴刚性固定在行星架上; II—行星轮两端带轴颈的轴齿轮, 轴承装在转架上。

2. d_s —太阳轮分度圆直径(mm); d_p —行星轮分度圆直径(mm); l_p —行星轮轴承跨距(mm); B —包括空刀槽在内的双斜齿宽度(mm); b_B —单斜齿轮宽度(mm)。

3. $F_m = F_t K_A K_v K_r / n_P$

K_r —行星传动不均载系数;

n_P —行星轮个数。

表 4.4-62 调质齿轮 $K_{H\beta}$ 的简化计算公式

$$K_{H\beta} = a_1 + a_2 \left[1 + a_3 \left(\frac{b}{d_1} \right)^2 \right] \left(\frac{b}{d_1} \right)^2 + a_4 b$$

公差等级		a_1	a_2	a_3 (支撑方式)			a_4
				对称	非对称	悬臂	
装配时不作 检验调整	5	1.14	0.18	0	0.6	6.7	2.3×10^{-4}
	6	1.15	0.18	0	0.6	6.7	3.0×10^{-4}
	7	1.17	0.18	0	0.6	6.7	4.7×10^{-4}
	8	1.23	0.18	0	0.6	6.7	6.1×10^{-4}
装配时检验调 整或对研磨合	5	1.10	0.18	0	0.6	6.7	1.2×10^{-4}
	6	1.11	0.18	0	0.6	6.7	1.5×10^{-4}
	7	1.12	0.18	0	0.6	6.7	2.3×10^{-4}
	8	1.15	0.18	0	0.6	6.7	3.1×10^{-4}

表 4.4-63 硬齿面齿轮 $K_{H\beta}$ 的简化计算公式

$$K_{H\beta} = a_1 + a_2 \left[1 + a_3 \left(\frac{b}{d_1} \right)^2 \right] \left(\frac{b}{d_1} \right)^2 + a_4 b$$

装配时不作检验调整; 首先用 $K_{H\beta} \leq 1.34$ 计算

公差等级		a_1	a_2	a_3 (支撑方式)			a_4
				对称	非对称	悬臂	
$K_{H\beta} \leq 1.34$	5	1.09	0.26	0	0.6	6.7	2.0×10^{-4}
$K_{H\beta} > 1.34$		1.05	0.31	0	0.6	6.7	2.3×10^{-4}
$K_{H\beta} \leq 1.34$	6	1.09	0.26	0	0.6	6.7	$3.3 \times 10^{-4} \text{①}$
$K_{H\beta} > 1.34$		1.05	0.31	0	0.6	6.7	3.8×10^{-4}

装配时检验调整或磨合; 首先用 $K_{H\beta} \leq 1.34$ 计算

$K_{H\beta} \leq 1.34$	5	1.05	0.26	0	0.6	6.7	1.0×10^{-4}
$K_{H\beta} > 1.34$		0.99	0.31	0	0.6	6.7	1.2×10^{-4}
$K_{H\beta} \leq 1.34$	6	1.05	0.26	0	0.6	6.7	1.6×10^{-4}
$K_{H\beta} > 1.34$		1.00	0.31	0	0.6	6.7	1.9×10^{-4}

① GB/T 3480—1997 误为 0.47×10^{-3} 。

3) 齿宽 b 为 50 ~ 400mm, 齿宽与齿高比 b/h 为 3 ~ 12, 小齿轮宽径比 b/d_1 对调质处理的应小于 2.0, 对硬齿面的应小于 1.5。

4) 轮齿啮合刚度 c_γ 为 $15 \sim 25 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 。

5) 齿轮制造精度对调质齿轮为 5 ~ 8 级, 对硬齿面齿轮为 5 ~ 6 级; 满载时齿宽全长或接近全长接触 (一般情况下未经螺旋线修形)。

6) 矿物油润滑。

符合上述范围齿轮的 $K_{H\beta}$ 值可按表 4.4-62 和表 4.4-63 中的公式计算。

(4) $K_{F\beta}$ 的计算公式 对于所有的实际应用范围, $K_{F\beta}$ 可按下式计算

$$K_{F\beta} = (K_{H\beta})^N \tag{4.4-1}$$
$$N = \frac{(b/h)^2}{1 + (b/h) + (b/h)^2}$$

式中 $K_{H\beta}$ ——接触强度计算的齿向载荷分布系数;
 N ——幂指数;

b ——齿宽 (mm), 对人字齿或双斜齿齿轮, 用单个斜齿轮的齿宽;

h ——齿高 (mm)。

b/h 应取大小齿轮中的小值。

(5) 确定 $K_{F\beta}$ 的简化方法 在简化计算中, 可按式(4.4-2)确定, 这样取值偏于安全。

$$K_{F\beta} = K_{H\beta} \tag{4.4-2}$$

6.5.5 齿间载荷分配系数 $K_{H\alpha}$ 、 $K_{F\alpha}$

齿间载荷分配系数是考虑同时啮合的各对轮齿间载荷分配不均匀影响的系数。在齿面接触强度计算中记为 $K_{H\alpha}$, 在轮齿弯曲强度计算中记为 $K_{F\alpha}$ 。影响 $K_{H\alpha}$ 和 $K_{F\alpha}$ 的主要因素有: 轮齿啮合刚度、基节偏差、重合度、载荷、磨合情况等。

(1) $K_{H\alpha}$ 和 $K_{F\alpha}$ 计算的一般方法 (表 4.4-64)

(2) $K_{H\alpha}$ 、 $K_{F\alpha}$ 计算的简化方法

简化方法适用于满足下列条件的工业齿轮传动和类似的齿轮传动: 钢制的基本齿廓符合 GB/T 1356 的外啮合和内啮合齿轮; 直齿轮和 $\beta \leq 30^\circ$ 的斜齿轮;

单位齿宽载荷 $K_{Ht}/b \geq 350\text{N/mm}$ (当 $F_{Ht}/b \geq 350\text{N/mm}$ 时, 计算结果偏于安全; 当 $F_{Ht}/b < 350\text{N/mm}$ 时, 因 $K_{H\alpha}$ 、 $K_{F\alpha}$ 的实际值较表值大, 计算结果偏于不安全)。 $K_{H\alpha}$ 和 $K_{F\alpha}$ 可按表 4.4-66 查取。

表 4.4-64 $K_{H\alpha}$ 、 $K_{F\alpha}$ 计算公式

项 目	计 算 公 式	备 注
计算 $K_{H\alpha}$ 时的切向力 F_{Ht}/N	$F_{Ht} = F_t K_A K_v K_{H\beta}$	
齿间载荷分配系数 $K_{H\alpha}$ $K_{F\alpha}$	$\varepsilon_\gamma \leq 2$ $K_{H\alpha} = \frac{\varepsilon_\gamma}{2} \left[0.9 + 0.4 \frac{c_\gamma (f_{pb} - y_\alpha)}{F_{Ht}/b} \right] = K_{F\alpha}$	对于斜齿轮, 如计算的 $K_{H\alpha}$ 值过大, 应调整设计参数, 使得 $K_{H\alpha}$ 及 $K_{F\alpha}$ 不大于 ε_α ε_γ —总重合度 c_γ —啮合刚度, 见 6.5.6 节 f_{pb} —基节极限偏差 (μm), 通常以大齿轮的基节极限偏差计算。当有适宜的修缘时, 按此值的一半计算 y_α —齿廓磨合量 (μm), 见表 4.4-65。 z_e —接触强度计算的重合度系数, 见 6.5.9 节
	$\varepsilon_\gamma > 2$ $K_{H\alpha} = 0.9 + 0.4 \sqrt{\frac{2(\varepsilon_\gamma - 1)c_\gamma (f_{pb} - y_\alpha)}{\varepsilon_\gamma F_{Ht}/b}} = K_{F\alpha}$	
限制条件	若 $K_{H\alpha} > \frac{\varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\alpha z_e^2}$, 则取 $K_{H\alpha} = \frac{\varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\alpha z_e^2}$ 若 $K_{F\alpha} > \frac{\varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\alpha Y_e}$, 则取 $K_{F\alpha} = \frac{\varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\alpha Y_e}$ 若 $K_{H\alpha} < 1.0$, 则取 $K_{H\alpha} = 1.0$ 若 $K_{F\alpha} < 1.0$, 则取 $K_{F\alpha} = 1.0$	

表 4.4-65 齿廓磨合量 y_α

齿轮材料	齿廓磨合量 y_α	限制条件	备 注
结构钢、调质钢、珠光体和贝氏体球墨铸铁	$y_\alpha = \frac{160}{\sigma_{Hlim}} f_{pb}$	$v > 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时: $y_\alpha \leq \frac{6400}{\sigma_{Hlim}} \mu\text{m}, f_{pb} \leq 40\mu\text{m}$ $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1} < v \leq 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时: $y_\alpha \leq \frac{12800}{\sigma_{Hlim}} \mu\text{m}, f_{pb} \leq 80\mu\text{m}$ $v \leq 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, y_α 无限制	当大、小齿轮的材料和热处理不同时, 其齿廓磨合量可取为两种材料齿轮副磨合量的平均值 f_{pb} —基节极限偏差 (μm) σ_{Hlim} —接触疲劳极限 (MPa), 见 6.5.11 节
铸铁、铁素体球墨铸铁	$y_\alpha = 0.275 f_{pb}$	$v > 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时: $y_\alpha \leq 11\mu\text{m}, f_{pb} \leq 40\mu\text{m}$ $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1} < v \leq 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时: $y_\alpha \leq 22\mu\text{m}, f_{pb} \leq 80\mu\text{m}$ $v \leq 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, y_α 无限制	
渗碳淬火钢或渗氮钢、氮碳共渗钢	$y_\alpha = 0.075 f_{pb}$	$y_\alpha \leq 3\mu\text{m}$	

表 4.4-66 齿间载荷分配系数 $K_{H\alpha}$ 和 $K_{F\alpha}$

$K_A F_t/b$	$\geq 100\text{N/mm}$						$< 100\text{N/mm}$
公差等级	5	6	7	8	9	10 11~12	5级及更低
硬齿面直齿轮	$\frac{K_{H\alpha}}{K_{F\alpha}}$		1.0	1.1	1.2	$1/Z_e^2 \geq 1.2$ $1/Y_e \geq 1.2$	
硬齿面斜齿轮	$\frac{K_{H\alpha}}{K_{F\alpha}}$		1.0	1.1	1.2	1.4	$\varepsilon_\alpha / \cos^2 \beta_b \geq 1.4$
非硬齿面直齿轮	$\frac{K_{H\alpha}}{K_{F\alpha}}$		1.0		1.1	1.2	$1/Z_e^2 \geq 1.2$ $1/Y_e \geq 1.2$
非硬齿面斜齿轮	$\frac{K_{H\alpha}}{K_{F\alpha}}$		1.0	1.1	1.2	1.4	$\varepsilon_\alpha / \cos^2 \beta_b \geq 1.4$

注: 1. 经修形的 6 级公差、硬齿面斜齿轮, 取 $K_{H\alpha} = K_{F\alpha} = 1.0$ 。

2. 表右部第 5、8 行若计算 $K_{F\alpha} > \frac{\varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\alpha Y_e}$, 则取 $K_{F\alpha} = \frac{\varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\alpha Y_e}$ 。

3. Z_e 见 6.5.9 节, Y_e 见 6.5.20 节。

4. 硬齿面和软齿面相啮合的齿轮副, 齿间载荷分配系数取平均值。

5. 小齿轮和大齿轮公差等级不同时, 则按公差等级较低的取值。

6. 本表也可以用于灰铸铁和球墨铸铁齿轮的计算。

6.5.6 轮齿刚度 c' 、 c_γ

轮齿刚度定义为使一对或几对同时啮合的精确轮齿在 1mm 齿宽上产生 $1\mu\text{m}$ 挠度所需的啮合线上的载荷。轮齿刚度分为单对齿刚度 c' 和啮合刚度 c_γ 。

单对齿刚度 c' 是指一对轮齿在法向内的最大刚度。经计算可知, 对标准齿轮传动, 约在节点处的刚度最大。因此, c' 通常指一对齿在节点啮合时的刚度。

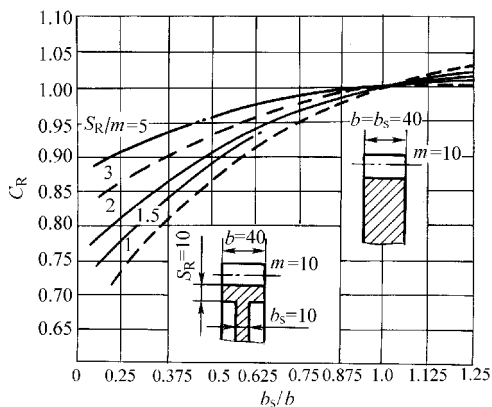
啮合刚度 c_γ 是指啮合区中啮合轮齿在端截面内总刚度的平均值。

(1) c_γ 和 c' 计算的一般方法 对于基本齿廓符合 GB/T 1356、单位齿宽载荷 $K_A F_t/b \geq 100\text{N/mm}$ 、轴-毂处圆周方向传力均匀 (小齿轮为轴齿轮形式、大轮过盈连接或花键连接)、钢质直齿轮和螺旋角 $\beta \leq 45^\circ$ 的外啮合齿轮, c' 和 c_γ 可按表 4.4-67 给出的公式计算。对于不满足上述条件的齿轮, 如内啮合、非钢质材料的组合、其他形式的轴-毂连接、单位齿宽载荷 $K_A F_t/b < 100\text{N/mm}$ 的齿轮, 也可近似应用。

表 4.4-67 c' 、 c_γ 计算公式

项 目		计 算 公 式	
钢对钢齿轮	单对齿刚度 $c'/N \cdot mm^{-1} \cdot \mu m^{-1}$	$\frac{K_A F_t}{b} \geq 100 N/mm$	$c' = 0.8 c'_{th} C_R C_B \cos \beta^{①}$
		$\frac{K_A F_t}{b} < 100 N/mm$	$c' = 0.8 c'_{th} C_R C_B \cos \beta \left[\frac{F_t K_A}{100b} \right]^{0.25}$
	单对齿刚度的理论值 $c'_{th}/N \cdot mm^{-1} \cdot \mu m^{-1}$	$c'_{th} = \frac{1}{q}$ $q = 0.04723 + \frac{0.15551}{z_{v1}} + \frac{0.25791}{z_{v2}} - 0.00635 x_{n1} - 0.11654 \frac{x_{n1}}{z_{v1}} \mp 0.00193 x_{n2} \mp 0.24188 \frac{x_{n2}}{z_{v2}} + 0.0529 x_{n1}^2 + 0.00182 x_{n2}^2$ 对于“$\mp$”，“-”用于外啮合齿轮，“+”用于内啮合齿轮 x_{n1}、x_{n2}—小轮及大轮的齿向变位系数 z_{v1}、z_{v2}—小轮及大轮的当量齿数，内齿轮，近似取 $z_v = \infty$	
	轮坯结构系数 C_R	对于实心齿轮，可取 $C_R = 1$ 对于非实心齿轮 $C_R = 1 + \frac{\ln(b_s/b)}{5e^{(S_R/5m_n)}}$ 或由图 4.4-13 查取， b_s—腹板厚度 (mm) S_R—轮缘厚度 (mm) b—齿宽 (mm) 若 $b_s/b < 0.2$，取 $b_s/b = 0.2$；若 $b_s/b > 1.2$，取 $b_s/b = 1.2$；若 $S_R/m_n < 1$，取 $S_R/m_n = 1$	
	基本齿廓系数 C_B	$C_B = [1 + 0.5(1.2 - h_{fp}/m_n)] \times [1 - 0.02(20^\circ - \alpha_n)]$ 对基本齿廓符合 $\alpha = 20^\circ$、$h_{ap} = m_n$、$h_{fp} = 1.2m_n$、$\rho_{fp} = 0.2$ 的齿轮，$C_B = 1$ 若小轮和大轮的齿根高不一致 $C_B = 0.5(C_{B1} + C_{B2})$。$C_{B1}$、$C_{B2}$ 分别为小、大齿轮基本齿廓系数，按上式计算	
其他材料齿轮	啮合刚度 $c_\gamma/N \cdot mm^{-1} \cdot \mu m^{-1}$	$c_\gamma = (0.75\varepsilon_\alpha + 0.25) c'$ 上式适用于直齿圆柱齿轮和 $\beta \leq 30^\circ$ 的斜齿圆柱齿轮；端面重合度 $\varepsilon_\alpha < 1.2$ 的直齿圆柱齿轮将计算值减少 10%	
	单对齿刚度 $c'/N \cdot mm^{-1} \cdot \mu m^{-1}$	$c' = c'_{st} \xi$	$\xi = \frac{E}{E_{st}} \quad E = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}$ E_1、E_2 为小齿轮和大齿轮材料的弹性模量 带有下标 st 的参数为钢的参数 钢对铸铁，取 $\xi = 0.74$；铸铁对铸铁，取 $\xi = 0.59$
	啮合刚度 $c_\gamma/N \cdot mm^{-1} \cdot \mu m^{-1}$	$c_\gamma = c_{\gamma st} \xi$	

- ① 一对齿轮副中，若一个齿轮为平键连接，配对齿轮为过盈或花键连接，由公式计算的 c' 增大 5%；若两个齿轮都为平键连接，由公式计算的 c' 增大 10%。

图 4.4-13 轮坯结构系数 C_R

(2) 确定 c_γ 、 c' 的简化方法 对基本齿廓符合

GB/T 1356 的钢制刚性盘状齿轮，当 $\beta \leq 30^\circ$ 、 $1.2 < \varepsilon_\alpha < 1.9$ 且 $K_A F_t/b \geq 100 N/mm$ 时，取 $c' = 14 N \cdot mm^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ 、 $c_\gamma = 20 N/(mm \cdot \mu m)$ 。非实心齿轮的 c' 、 c_γ 用轮坯结构系数 C_R 折算。其他基本齿廓的齿轮的 c' 、 c_γ 可用表 4.4-67 中基本齿廓系数 C_B 折算。非钢对钢配对的齿轮的 c' 、 c_γ 可用表 4.4-67 中 c' 、 c_γ 计算式折算。

6.5.7 节点区域系数 Z_H

Z_H 是考虑节点啮合处法向曲率与端面曲率的关系，并把节圆上的圆周力换算为分度圆上的圆周力，把法向圆周力换算为端面圆周力的系数，其计算公式为

$$Z_H = \sqrt{\frac{2 \cos \beta_b}{\cos^2 \alpha_t \tan \alpha'_t}} \quad (4.4-3)$$

式中 α_t ——分度圆端面压力角；

α'_t ——节圆端面啮合角；

β_b ——基圆柱螺旋角。

对于 $\alpha = 20^\circ$ 的外啮合和内啮合齿轮，其 Z_H 值

可根据 $\frac{x_2 \pm x_1}{z_2 \pm z_1}$ 及 β 由图 4.4-14 查得。其中“+”号用于外啮合；“-”号用于内啮合。

6.5.8 弹性系数 Z_E

Z_E 是考虑配对齿轮的材料弹性模量 E 和泊松比 ν 对接触应力影响的系数。其计算公式为

$$Z_E = \sqrt{\frac{1}{\pi \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)}} \quad (4.4-4)$$

式中 E_1 、 E_2 ——小、大齿轮的弹性模量 (MPa)；

ν_1 、 ν_2 ——小、大齿轮材料的泊松比。

某些材料配对时的 Z_E 值，见表 4.4-68。

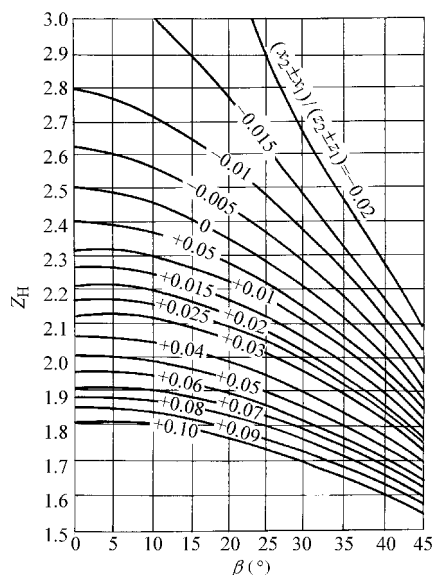


图 4.4-14 节点区域系数 Z_H ($\alpha = 20^\circ$)

表 4.4-68 弹性系数 Z_E

齿轮 1			齿轮 2			Z_E
材料	弹性模量 E_1/MPa	泊松比 ν_1	材料	弹性模量 E_2/MPa	泊松比 ν_2	$\sqrt{\text{MPa}}$
钢	206000	0.3	钢	206000	0.3	189.8
			铸钢	202000		188.9
			球墨铸铁	173000		181.4
			灰铸铁	118000 ~ 126000		162.0 ~ 165.4
			锡青铜	113000		159.8
			铸锡青铜	103000		155.0
			织物层压塑料	7850	0.5	56.4
铸钢	202000	0.3	铸钢	202000	0.3	188.0
			球墨铸铁	173000		180.5
			灰铸铁	118000		161.4
球墨铸铁	173000	0.3	球墨铸铁	173000	0.3	173.9
			灰铸铁	118000		156.6
灰铸铁	118000 ~ 126000	0.3	灰铸铁	118000	0.3	143.7 ~ 146.0

6.5.9 接触强度计算的重合度系数 Z_ϵ 、螺旋角系数

的系数，其计算公式为

Z_β 及重合度与螺旋角系数 $Z_{\epsilon\beta}$

(1) 接触强度计算的重合度系数 Z_ϵ 。 Z_ϵ 是考虑端面重合度 ϵ_α 、纵向重合度 ϵ_β 对齿面接触应力影响

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{4 - \epsilon_\alpha}{3} (1 - \epsilon_\beta)} + \frac{\epsilon_\beta}{\epsilon_\alpha} \quad (4.4-5)$$

当 $\epsilon_\beta > 1$ 时，按 $\epsilon_\beta = 1$ 代入式(4.4-5)计算。

(2) 接触强度计算的螺旋角系数 Z_β Z_β 是考虑螺旋角 β 对齿面接触应力影响的系数, 其计算公式为

$$Z_\beta = \sqrt{\cos\beta} \quad (4.4-6)$$

(3) 接触强度计算的重合度与螺旋角系数 $Z_{\varepsilon\beta}$ 在接触强度校核计算的简化计算方法中, 重合度与螺旋角系数 $Z_{\varepsilon\beta} = Z_\varepsilon Z_\beta$ 。

$Z_{\varepsilon\beta}$ 可按式(4.4-5)和式(4.4-6)计算或由图 4.4-

15 查取。

6.5.10 小齿轮及大齿轮单对齿啮合系数 Z_B 、 Z_D

$\varepsilon_\alpha \leq 2$ 时的单对齿啮合系数 Z_B 是把小齿轮节点 C 处的接触应力转化到小轮单对齿啮合区内界点 B 处的接触应力的系数; Z_D 是把大齿轮节点 C 处的接触应力转化到大轮单对齿啮合区内界点 D 处的接触应力的系数, 见图 4.4-16。

单对齿啮合系数由表 4.4-69 公式计算与判定。

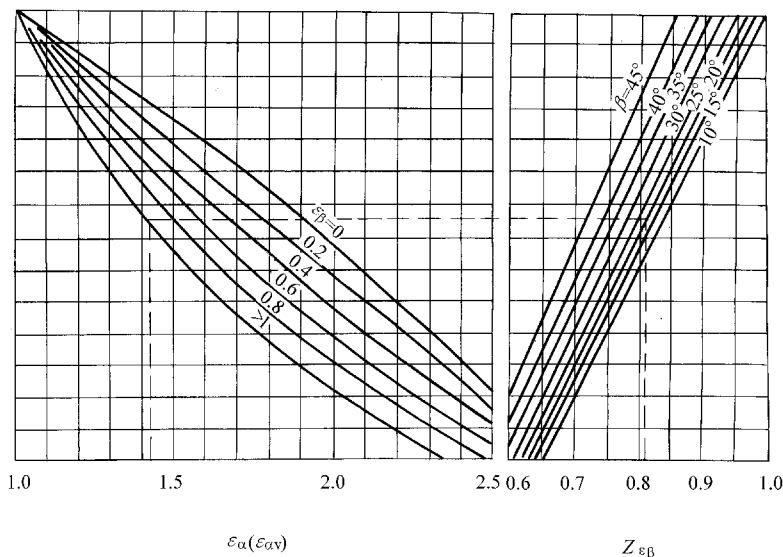


图 4.4-15 接触强度计算的重合度与螺旋角系数 $Z_{\varepsilon\beta}$

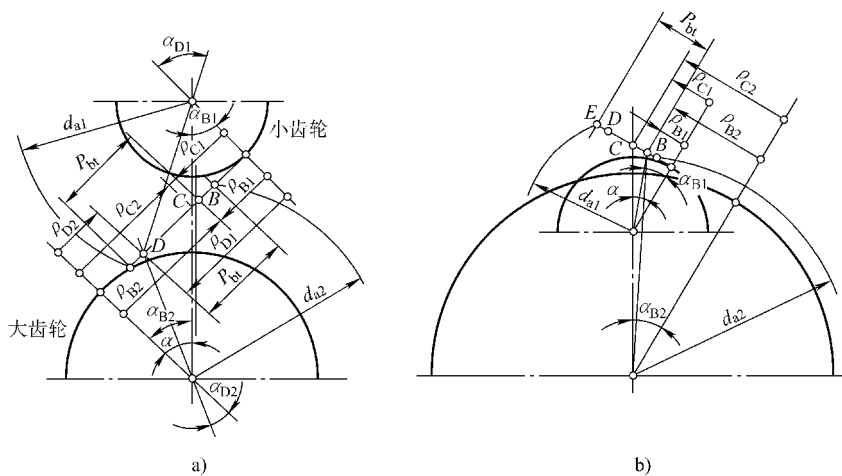


图 4.4-16 节点 c 及单对齿啮合区 B 、 D 处的曲率半径

a) 外啮合 b) 内啮合

表 4.4-69 Z_B 和 Z_D 的计算公式

项 目		计 算 公 式			
直齿轮参数 M_1		$M_1 = \frac{\tan\alpha'_t}{\sqrt{\left(\sqrt{\frac{d_{a1}^2}{d_{b1}^2}} - 1 - \frac{2\pi}{z_1}\right)\left(\sqrt{\frac{d_{a2}^2}{d_{b2}^2}} - 1 - (\varepsilon_\alpha - 1) \frac{2\pi}{z_2}\right)}}$			
直齿轮参数 M_2		$M_2 = \frac{\tan\alpha'_t}{\sqrt{\left(\sqrt{\frac{d_{a2}^2}{d_{b2}^2}} - 1 - \frac{2\pi}{z_2}\right)\left(\sqrt{\frac{d_{a1}^2}{d_{b1}^2}} - 1 - (\varepsilon_\alpha - 1) \frac{2\pi}{z_1}\right)}}$			
外啮合齿轮	直齿轮	端面重合度 $\varepsilon_\alpha < 2$			$\varepsilon_\alpha > 2$ 时 对于 $2 < \varepsilon_\alpha \leq 3$ 的高精度齿轮副，任何端截面内的总切向力由连续啮合的两对或三对轮齿共同承担。对于这样的齿轮副，取两对齿啮合外界点计算其接触应力。可用本表中的公式计算 M_1 和 M_2 ，但此时用表 4.4-41 中的公式计算 σ_H 时，应用总切向力来代替式中的 F_t 。这样计算的接触应力偏大，因此，安全系数偏于保守
		Z_B	当 $M_1 > 1$ 时， $Z_B = M_1$ ；当 $M_1 \leq 1$ 时， $Z_B = 1$		
		Z_D	当 $M_2 > 1$ 时， $Z_D = M_2$ ；当 $M_2 \leq 1$ 时， $Z_D = 1$		
	斜齿轮	Z_B	$\varepsilon_\beta \geq 1$	$Z_B = 1$	
			$\varepsilon_\beta < 1$	按插值计算： $Z_B = M_1 - \varepsilon_\beta (M_1 - 1)$ ，当 $Z_B < 1$ 时取 $Z_B = 1$	
		Z_D	$\varepsilon_\beta \geq 1$	$Z_D = 1$	
			$\varepsilon_\beta < 1$	按插值计算： $Z_D = M_2 - \varepsilon_\beta (M_2 - 1)$ ，当 $Z_D < 1$ 时取 $Z_D = 1$	
	内啮合齿轮		Z_B	1	
Z_D			1		

对于 $2 < \varepsilon_\alpha \leq 3$ 的高精度齿轮副, 任何端面内的总切向力由连续啮合的两对或三对轮齿共同承担。对于这样的齿轮副, 取两对齿啮合外界点计算其接触应力。可用表中的公式计算 M_1 和 M_2 , 但此时用表 4.4-41 中的公式计算 σ_H 时, 应用总切向力来代替式中的 F_t 。这样计算的接触应力偏大, 因此, 安全系数偏于保守

6.5.11 试验齿轮的接触疲劳极限 σ_{Hlim}

σ_{Hlim} 是指某种材料的齿轮经长期持续的重复载荷作用(对大多数材料, 其应力循环数为 5×10^7)后, 齿面不出现进展性点蚀时的极限应力。主要影响因素有: 材料成分, 力学性能, 热处理及硬化层深度、硬度梯度, 结构(锻、轧、铸), 残余应力, 材料的纯度和缺陷等。

σ_{Hlim} 可由齿轮的负荷运转试验或使用经验的统计数据得出。此时需说明线速度、润滑油黏度、表面粗糙度、材料组织等变化对许用应力的影响所引起的误差。无资料时, 可由图 4.4-17 查取。图中的 σ_{Hlim} 值是试验齿轮的失效概率为 1% 时的轮齿接触疲劳极限。图中硬化齿轮的疲劳极限值对渗碳齿轮适用于有效硬化层深度(加工后的) $\delta \geq 0.15m_n$, 对于渗氮齿轮, 其有效硬化层深度 $\delta = 0.4 \sim 0.6mm$ 。

在图中, 代表材料质量等级的 ML、MQ、ME 和 MX 线所对应的材料处理要求见 GB/T 8539 《齿轮材料热处理质量检验的一般规定》。

图中 ML 线表示齿轮材料质量和热处理质量达到最低要求时的疲劳极限取值线; MQ 线表示齿轮材料质量和热处理质量达到中等要求时的疲劳极限取

值线, 此中等要求是有经验的工业齿轮制造者以合理的生产成本能达到的; ME 线表示齿轮材料质量和热处理质量达到很高要求时的疲劳极限取值线。这种要求只有在具备高水平的制造过程可控能力时才能达到。图中 MX 线是指对淬透性及金相组织有特殊考虑的调质合金钢疲劳极限取值线。

工业齿轮通常按 MQ 级质量要求选取 σ_{Hlim} 值。

6.5.12 接触强度计算的寿命系数 Z_{NT}

Z_{NT} 是考虑齿轮只要求有限寿命时, 齿轮的齿面接触疲劳极限可以提高的系数。 Z_{NT} 可根据齿面接触应力的循环次数 N_L 按图 4.4-18 查取, 或按表 4.4-70 中公式计算。齿面接触应力的循环次数按式(4.4-7) 计算

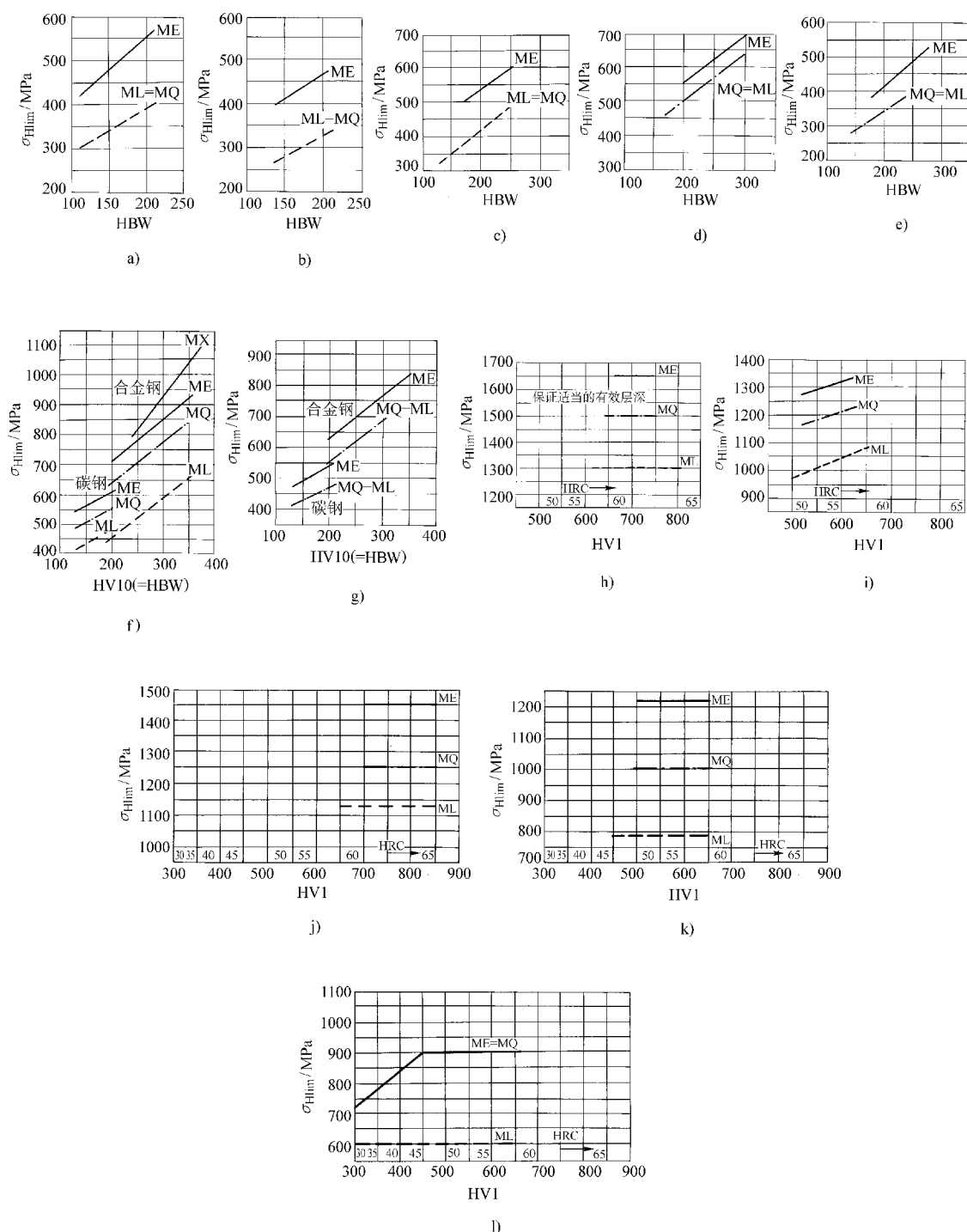
$$N_L = 60nkh \quad (4.4-7)$$

式中 n ——齿轮的转速($r \cdot \min^{-1}$);

k ——齿轮转一周, 同侧齿面的接触次数;

h ——齿轮的工作寿命(h)。

当齿轮在变载荷工况下工作并有载荷图谱可用时, 应按 6.7 节的方法核算其强度安全系数; 对于缺乏工作载荷图谱的非恒定载荷齿轮, 可近似地按名义载荷乘以使用系数 K_A 来核算其强度。

图 4.4-17 齿面接触疲劳极限 σ_{Hlim}

- a) 正火处理的结构钢 b) 铸钢 c) 可锻铸铁 d) 球墨铸铁 e) 灰铸铁 f) 调质钢 g) 铸钢
 h) 渗碳淬火钢 i) 火焰或感应加热淬火钢 j) 调质—气体渗氮处理的渗氮钢
 k) 调质—气体渗氮处理的调质钢 l) 调质或正火—氮碳共渗处理的调质钢

表 4.4-70 接触强度的寿命系数 Z_{NT}

材料及热处理		静强度最大 循环次数 N_0	持久寿命条 件循环次数 N_c	应力循环次数 N_L	Z_{NT} 计算公式
结构钢	允许有一定点蚀	$N_0 = 6 \times 10^5$	$N_c = 10^9$	$N_L \leq 6 \times 10^5$	$Z_{NT} = 1.6$
调质钢				$6 \times 10^5 < N_L \leq 10^7$	$Z_{NT} = 1.3 \left(\frac{10^7}{N_L} \right)^{0.0738}$
球墨铸铁; (珠光体、贝氏体) 珠光体可锻铸铁; 渗碳淬火的渗碳钢; 感应加热淬火或火焰淬火的钢和球墨铸铁				$10^7 < N_L \leq 10^9$	$Z_{NT} = \left(\frac{10^9}{N_L} \right)^{0.057}$
	不允许点蚀	$N_0 = 10^5$	$N_c = 5 \times 10^7$	$10^9 < N_L \leq 10^{10}$	$Z_{NT} = \left(\frac{10^9}{N_L} \right)^{0.0706} \text{①}$
				$N_L \leq 10^5$	$Z_{NT} = 1.6$
				$10^5 < N_L \leq 5 \times 10^7$	$Z_{NT} = \left(\frac{5 \times 10^7}{N_L} \right)^{0.0756}$
灰铸铁、球墨铸铁 (铁素体); 渗氮处理的渗氮钢、调质钢、渗碳钢		$N_0 = 10^5$	$N_c = 2 \times 10^6$	$5 \times 10^7 < N_L \leq 10^{10}$	$Z_{NT} = \left(\frac{5 \times 10^7}{N_L} \right)^{0.0306} \text{①}$
				$N_L \leq 10^5$	$Z_{NT} = 1.3$
				$10^5 < N_L \leq 2 \times 10^6$	$Z_{NT} = \left(\frac{2 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.0875}$
氮碳共渗的调质钢、渗碳钢		$N_0 = 10^5$	$N_c = 2 \times 10^6$	$2 \times 10^6 < N_L \leq 10^{10}$	$Z_{NT} = \left(\frac{2 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.0191} \text{①}$
				$N_L \leq 10^5$	$Z_{NT} = 1.1$
				$10^5 < N_L \leq 2 \times 10^6$	$Z_{NT} = \left(\frac{2 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.0318}$
				$2 \times 10^6 < N_L \leq 10^{10}$	$Z_{NT} = \left(\frac{2 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.0191} \text{①}$

① 当优选材料、制造工艺和润滑剂, 并经生产实践验证时, 这几个式子可取 $Z_{NT} = 1.0$ 。

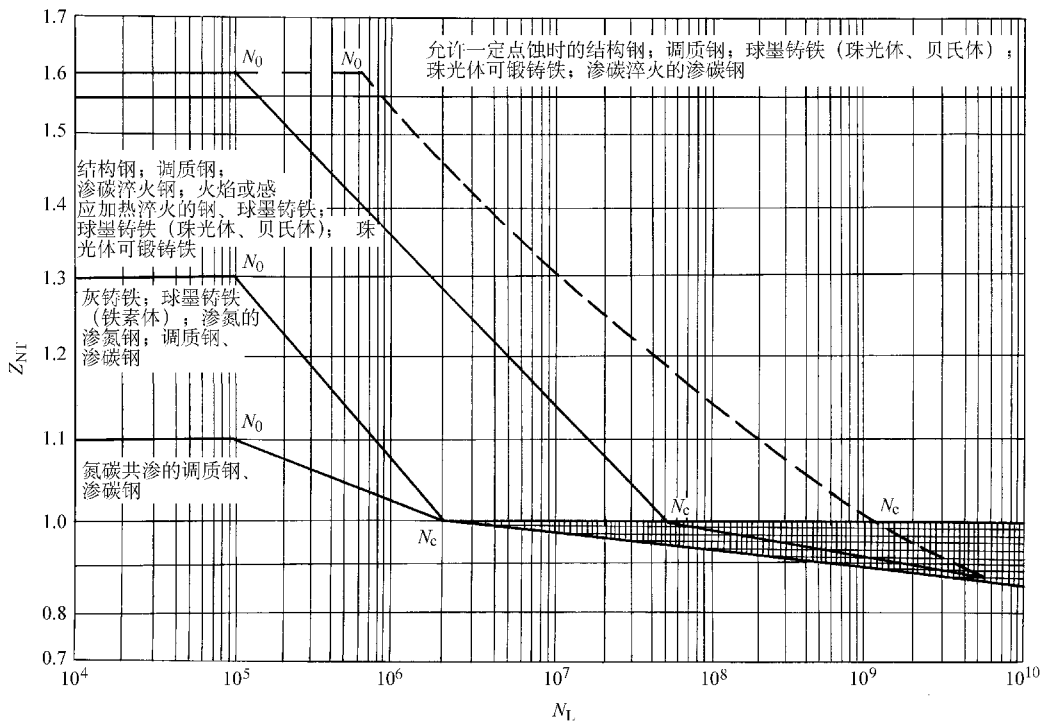


图 4.4-18 接触强度计算的寿命系数 Z_{NT}

6.5.13 润滑油膜影响系数 Z_L 、 Z_V 、 Z_R

齿面间的润滑油膜影响齿面承载能力。润滑油的油黏度、相啮面间的相对速度、齿面粗糙度对齿面间润滑油膜状况的影响分别以润滑剂系数 Z_L 、速度系数 Z_V 和表面粗糙度系数 Z_R 来考虑。齿面载荷和齿面相对曲率半径对齿面间润滑油膜状况也有影响。

确定润滑油膜影响系数的理想方法是总结现场

使用经验或用类比试验。当所有试验条件(尺寸、材料、润滑剂及运行条件等)与设计齿轮完全相同并由以此确定其承载能力或寿命系数时, Z_L 、 Z_V 和 Z_R 的值均等于 1.0。当无资料时,可按下述方法之一确定。

(1) 确定 Z_L 、 Z_V 、 Z_R 的一般方法

计算公式见表 4.4-71,也可查图 4.4-19、图

4.4-20 和图 4.4-21。

表 4.4-71 Z_L 、 Z_V 、 Z_R 计算公式

有限寿命设计 ($N_L < N_e$ 时)	持久强度设计 ($N_L \geq N_e$ 时)	静强度 ($N_L \leq N_0$) 时
$Z_L = \left(\frac{N_0}{N_L} \right) \left(\frac{\lg Z_{LC}}{K_n} \right)$ $Z_V = \left(\frac{N_0}{N_L} \right) \left(\frac{\lg Z_{VC}}{K_n} \right)$ $Z_R = \left(\frac{N_0}{N_L} \right) \left(\frac{\lg Z_{RC}}{K_n} \right)$ $K_n = \lg (N_0 / N_e)$ 对于结构钢,调质钢,球墨铸铁(珠光体、贝氏体),珠光体可锻铸铁,渗碳淬火钢,感应加热淬火或火焰淬火的钢、球墨铸铁 $K_n = -3.222 \text{ (允许一定点蚀)}$ $K_n = -2.699 \text{ (不允许点蚀)}$ 对于可锻铸铁,球墨铸铁(铁素体),渗氮处理的渗氮钢、调质钢、渗碳钢,氮碳共渗的调质钢、渗碳钢 $K_n = -1.301$ 式中: Z_{LC}、Z_{VC}、Z_{RC} 为 $N_L = N_e$ 时得到的持久强度的值(即表中按 $N_L = N_e$ 算得的 Z_L、Z_V、Z_R) N_0、N_e 值见表 4.4-70	$Z_L = C_{ZL} + \frac{4(1.0 - C_{ZL})}{\left(1.2 + \frac{80}{\nu_{50}}\right)^2} = C_{ZL} + \frac{4(1.0 - C_{ZL})^{①②}}{\left(1.2 + \frac{134}{\nu_{40}}\right)^2}$ 当 $850\text{MPa} \leq \sigma_{Hlim} \leq 1200\text{MPa}$ 时 $C_{ZL} = \frac{\sigma_{Hlim}}{4375} + 0.6357^{②}$ 当 $\sigma_{Hlim} < 850\text{MPa}$ 时取 $C_{ZL} = 0.83$ 当 $\sigma_{Hlim} > 1200\text{MPa}$ 时取 $C_{ZL} = 0.91$ $Z_V = C_{ZV} + \frac{2(1.0 - C_{ZV})}{\sqrt{0.8 + \frac{32}{v}}}$ 当 $850\text{MPa} \leq \sigma_{Hlim} \leq 1200\text{MPa}$ 时 $C_{ZV} = 0.85 + \frac{\sigma_{Hlim} - 850}{350} \times 0.08$ 当 $\sigma_{Hlim} < 850\text{MPa}$ 时以 850MPa 代入计算 当 $\sigma_{Hlim} > 1200\text{MPa}$ 时以 1200MPa 代入计算 v—节点线速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) $Z_R = \left(\frac{3}{R_{z10}} \right)^{C_{zR}} \text{ (极限条件为: } Z_R \leq 1.15 \text{)}^{③}$ 当 $850\text{MPa} \leq \sigma_{Hlim} \leq 1200\text{MPa}$ 时 $C_{zR} = 0.32 - 0.0002\sigma_{Hlim}$ 当 $\sigma_{Hlim} < 850\text{MPa}$ 时, $C_{zR} = 0.15$ 当 $\sigma_{Hlim} > 1200\text{MPa}$ 时, $C_{zR} = 0.08$ Z_L、Z_V、Z_R 也可由图 4.4-19 ~ 图 4.4-20 查取^②	$Z_L = Z_V = Z_R = 1$

① ν_{50} ——在 50°C 时润滑油的名义运动粘度 ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (cSt));

ν_{40} ——在 40°C 时润滑油的名义运动粘度 ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (cSt))。

② 公式及图 4.4-19 适用于矿物油(加或不加添加剂)。应用某些具有较小摩擦系数的合成油时,对于渗碳钢齿轮 Z_L 应乘以系数 1.1,对于调质钢齿轮应乘以系数 1.4。

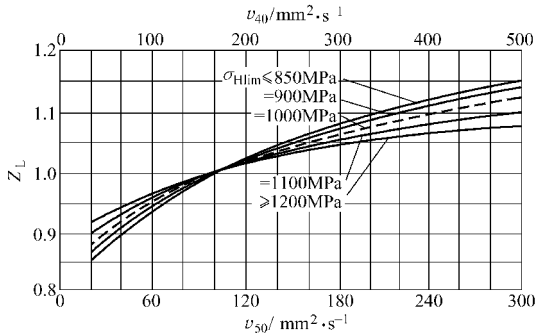
③ R_{z10} ——相对(峰-谷)平均表面粗糙度

$$R_{z10} = \frac{R_{z1} + R_{z2}}{2} \sqrt[3]{\frac{10}{\rho_{red}}}$$

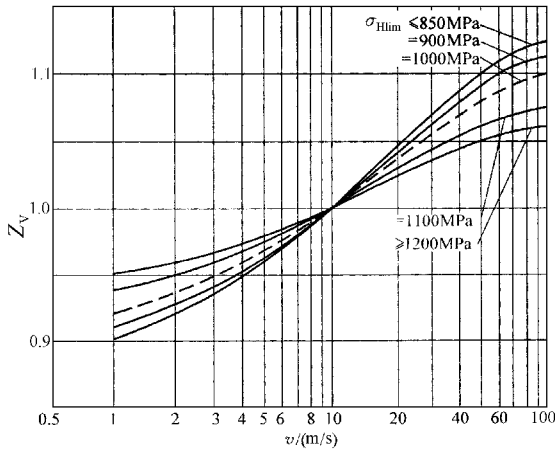
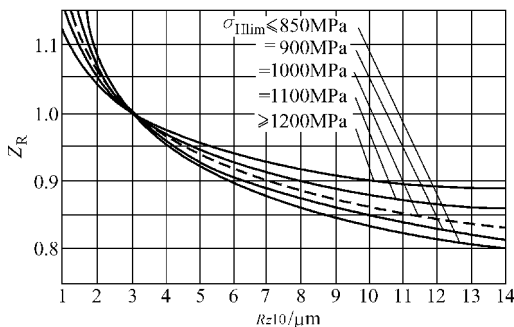
R_{z1} 、 R_{z2} ——小齿轮及大齿轮的齿面微观不平度 10 点高度 (μm)。如经事先磨合,则 R_{z1} 、 R_{z2} 应为磨合后的数值;

若表面粗糙度以 R_a 值 ($R_a = \text{CLA 值} = \text{AA 值}$) 给出,则可近似取 $R_z \approx 6R_a$ 。

ρ_{red} ——节点处诱导曲率半径 (mm); $\rho_{red} = \rho_1 \rho_2$ ($\rho_1 \pm \rho_2$)。式中“+”用于外啮合,“-”用于内啮合, ρ_1 、 ρ_2 分别为小轮及大轮节点处曲率半径;对于小齿轮-齿条啮合, $\rho_{red} = \rho_1$; $\rho_{1,2} = 0.5d_{b1,2} \tan \alpha'_t$, 式中 d_b 为基圆半径。

图 4.4-19 润滑剂系数 Z_L

注：见表 4.4-71 注②。

图 4.4-20 速度系数 Z_v 图 4.4-21 表面粗糙度系数 Z_R

(2) 确定 Z_L 、 Z_v 、 Z_R 的简化方法 Z_L 、 Z_v 、 Z_R 的乘积在持久强度和静强度设计时由表 4.4-72 查得。对于应力循环次数 N_L 小于持久寿命条件循环次数 N_e 的有限寿命设计, ($Z_L Z_v Z_R$) 值由其持久强度 $N_L \geq N_e$ 和静强度 $N_L \leq N_0$ 时的值, 参照表 4.4-71 的

公式插值确定。

表 4.4-72 $Z_L Z_v Z_R$ 的值

计算类型	加工工艺及齿面粗糙度 $Rz10$	($Z_L Z_v Z_R$)
持久强度 ($N_L \geq N_e$)	研磨、磨削或剃齿轮齿 ($Rz10 > 4\mu m$)	0.92
	滚削、插削或刨削的齿轮与 $Rz10 \leq 4\mu m$ 磨削或剃削加工的轮齿啮合	0.92
	$Rz10 \leq 4\mu m$ 的磨削或剃削齿轮传动	1.0
	不符合以上三种情况或经滚削、插削或刨削的齿轮	0.85
静强度 ($N_L \leq N_0$)	各种加工方法	1.0

注： $Rz10$ 与 Ra 的对比参见表 4.4-73。表 4.4-73 Ra 与 $Rz10$ 对比 (参照)

$Ra/\mu m$	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.63	1.25	2.5
$Rz10/\mu m$	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	10

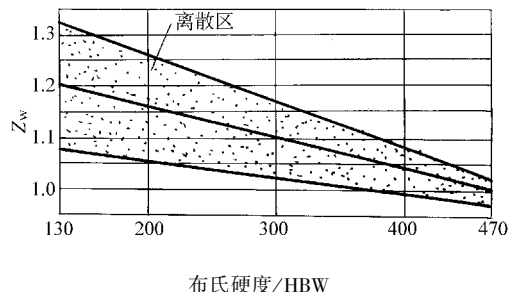
6.5.14 工作硬化系数 Z_w

Z_w 是考虑经光整加工的硬齿面小齿轮在运转过程中对调质钢大齿轮齿面产生冷作硬化, 从而使大齿轮的齿面接触疲劳极限提高的系数。

对硬度范围为 130~470HBW 的调质钢或结构钢的大齿轮与齿面光滑 ($Ra \leq 1\mu m$ 或 $Ra \leq 6\mu m$) 的硬化小齿轮相啮合时, Z_w 按式 (4.4-8) 计算或按图 4.4-22 查取

$$Z_w = 1.2 - \frac{HBW - 130}{1700} \quad (4.4-8)$$

HBW 是大齿轮齿面布氏硬度值。HBW < 130 时, $Z_w = 1.2$; HBW > 470 时, $Z_w = 1.0$ 。

图 4.4-22 工作硬化系数 Z_w 6.5.15 接触强度计算的尺寸系数 Z_x

Z_x 是考虑计算齿轮的模数大于试验齿轮的模数时, 由于尺寸效应使齿轮的齿面接触疲劳极限降低的系数。 Z_x 可按图 4.4-23 查取, 或按表 4.4-74 中公式计算。在强度计算的简化方法中, Z_x 可按持久寿命取值。

表 4.4-74 接触强度计算的尺寸系数 Z_x

	材 料	Z_x	备 注
持久寿命 $N_L \geq N_e$	调质钢、结构钢	$Z_x = 1.0$	
	短时间液体渗氮钢、气体渗氮钢	$Z_x = 1.067 - 0.0056m_n$	$m_n < 12$ 时, 取 $m_n = 12$ $m_n > 30$ 时, 取 $m_n = 30$
	渗碳淬火钢、感应或火焰淬火表面硬化钢	$Z_x = 1.076 - 0.0109m_n$	$m_n < 7$ 时, 取 $m_n = 7$ $m_n > 30$ 时, 取 $m_n = 30$
有限寿命 $N_0 < N_L < N_e$		$Z_x = \left(\frac{N_0}{N_L}\right)^{\frac{\lg Z_{xc}}{\lg \left(\frac{N_0}{N_e}\right)}}$	Z_{xc} —持久寿命时的尺寸系数 N_0 、 N_L 、 N_e 见表 4.4-70
静强度 $N_L \leq N_0$		$Z_x = 1.0$	

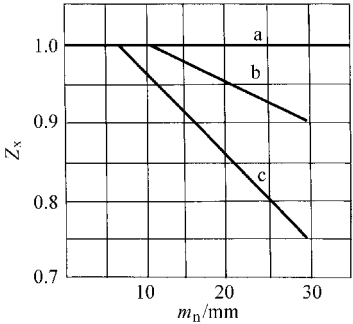


图 4.4-23 接触强度计算的尺寸系数 Z_x ($N_L \geq N_e$)

- a—调质钢、正火钢疲劳强度；静强度所有材料
- b—短时间液体或气体渗氮、长时间气体渗氮钢
- c—渗碳淬火、感应或火焰淬火表面硬化钢

6.5.16 最小安全系数 S_{Hmin} 、 S_{Fmin}

S_{Hmin} 、 S_{Fmin} 是考虑齿轮工作可靠性的系数。齿轮的使用场合不同，对其可靠性的要求也不同， S_{Hmin} 、 S_{Fmin} 应根据对齿轮可靠性的要求来决定。

S_{Hmin} 、 S_{Fmin} 值可参考表 4.4-75 确定。

6.5.17 齿形系数 Y_F

齿形系数 Y_F 是考虑载荷作用于单对齿啮合区外界点时齿形对名义弯曲应力的影响。

(1) 外齿轮的齿形系数 Y_F 对于 30° 切线的切点位于由刀具齿顶圆角所展成的齿根过渡曲线上(图 4.4-24)、且刀具齿顶圆角 $\rho_r \neq 0$ (刀具的基本齿廓尺寸见图 4.4-25) 的由齿条刀具加工的外齿轮，齿形系数 Y_F 可按表 4.4-76 中的公式计算。

表 4.4-75 最小安全系数 S_{Fmin} 、 S_{Hmin} 参考值

使用要求	失效概率	使用场合	S_{Fmin}	S_{Hmin}
高可靠度	1/10000	特殊工作条件下要求可靠度很高的齿轮	2.00	1.50 ~ 1.60
较高可靠度	1/1000	长期连续运转和较长的维修间隔；设计寿命虽不长，但可靠性要求较高，一旦失效可能造成严重的经济损失或安全事故	1.6	1.25 ~ 1.30
一般可靠度	1/100	通用齿轮和多数工业用齿轮，对设计寿命和可靠度有一定要求	1.25	1.00 ~ 1.10
低可靠度	1/10	齿轮设计寿命不长，易于更换的不重要齿轮；或者设计寿命虽不短，但对可靠度要求不高	1.00	0.85

- 注：1. 在经过使用验证或对材料强度、载荷工况及制造精度拥有较准确的数据时，可取表中 S_{Hmin} 的下限值。
2. 一般齿轮传动不推荐采用低可靠度的安全系数值。
3. 采用低可靠度的接触安全系数值时，可能在点蚀前出现齿面塑性变形。

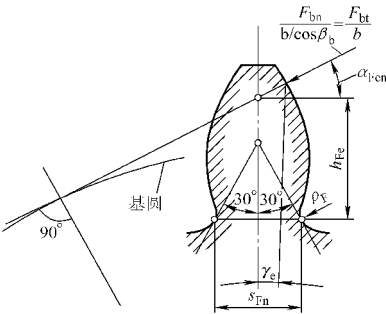


图 4.4-24 影响外齿轮齿形系数 Y_F 的各参数

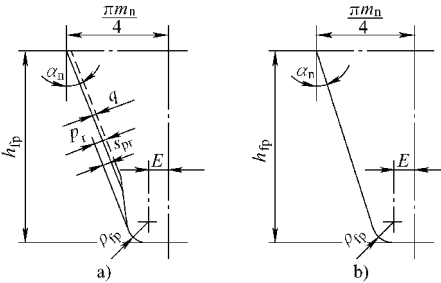


图 4.4-25 刀具基本齿廓尺寸
a) 挖根型 b) 普通型

(2) 内齿轮的齿形系数 Y_F 内齿轮的齿形系数不仅与齿数和变位系数有关, 且与插齿刀的参数有关。为了简化计算, 可近似地按替代齿条计算 (见图 4.4-26)。替代齿条的法向齿廓与基本齿条相似,

齿高与内齿轮相同, 法向载荷作用角 α_{Fen} 等于 α_n , 并以下角标 2 表示内齿轮, Y_F 可按表 4.4-77 中的公式计算。

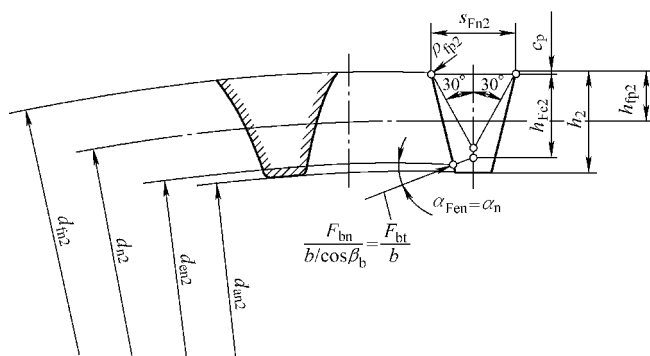


图 4.4-26 影响内齿轮齿形系数 Y_F 的各参数

表 4.4-76 外齿轮齿形系数 Y_F 的有关公式

序号	名称	代号	计算公式	备注
1	刀尖圆心至刀齿对称线的距离	E	$\frac{\pi m_n}{4} - h_{fp} \tan \alpha_n + \frac{s_{pr}}{\cos \alpha_n} - (1 - \sin \alpha_n) \frac{\rho_{fp}}{\cos \alpha_n}$	h_{fp} —基本齿廓齿根高 $s_{pr} = p_r - q$, 见图 4.4-25
2	辅助值	G	$\frac{\rho_{fp}}{m_n} - \frac{h_{fp}}{m_n} + x$	ρ_{fp} —基本齿条的齿根圆角半径 x —法向变位系数
3	基圆螺旋角	β_b	$\arccos [\sqrt{1 - (\sin \beta \cos \alpha_n)^2}]$	
4	当量齿数	z_v	$\frac{z}{\cos^2 \beta_b \cos \beta} \approx \frac{z}{\cos^3 \beta}$	
5	辅助值	H	$\frac{2}{z_v} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{E}{m_n} \right) - \frac{\pi}{3}$	
6	辅助角	θ	$(2G/z_v) \tan \theta - H$	用牛顿法解时可取初始值 $\theta = -H / (1 - 2G/z_v)$
7	危险截面齿厚与模数之比	$\frac{s_{Fn}}{m_n}$	$z_v \sin \left(\frac{\pi}{3} - \theta \right) + \sqrt{3} \left(\frac{G}{\cos \theta} - \frac{\rho_{fp}}{m_n} \right)$	
8	30°切点处曲率半径与模数之比	$\frac{\rho_F}{m_n}$	$\frac{\rho_{fp}}{m_n} + \frac{2G^2}{\cos \theta (z_v \cos^2 \theta - 2G)}$	
9	当量直齿轮端面重合度	$\varepsilon_{\alpha v}$	$\frac{\varepsilon_{\alpha}}{\cos^2 \beta_b}$	
10	当量直齿轮分度圆直径	d_v	$\frac{d}{\cos^2 \beta_b} = m_n z_v$	
11	当量直齿轮基圆直径	d_{bv}	$d_v \cos \alpha_n$	
12	当量直齿轮顶圆直径	d_{av}	$d_v + d_a - d$	d_a —齿顶圆直径 d —分度圆直径
13	当量直齿轮单对齿啮合区外界点直径	d_{ev}	$2 \sqrt{\left[\sqrt{\left(\frac{d_{av}}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_{bv}}{2} \right)^2} \mp \pi m_n \cos \alpha_n (\varepsilon_{\alpha v} - 1) \right]^2 + \left(\frac{d_{bv}}{2} \right)^2}$ 注: 式中“ $\mp$ ”处对外啮合取“ $-$ ”, 对内啮合取“ $+$ ”	

(续)

序号	名称	代号	计算公式	备注
14	当量齿轮单齿啮合外界点压力角	α_{ev}	$\arccos\left(\frac{d_{bv}}{d_{ev}}\right)$	
15	外界点处的齿厚半角	γ_e	$\frac{1}{z_v}\left(\frac{\pi}{2} + 2x\tan\alpha_n\right) + \text{inv}\alpha_n - \text{inv}\alpha_{ev}$	
16	当量齿轮单齿啮合外界点载荷作用角	α_{Fev}	$\alpha_{ev} - \gamma_e$	
17	弯曲力臂与模数比	$\frac{h_{Fe}}{m_n}$	$\frac{1}{2}\left[(\cos\gamma_e - \sin\gamma_e\tan\alpha_{Fev})\frac{d_{ev}}{m_n} - z_v\cos\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right) - \frac{G}{\cos\theta} + \frac{\rho_F}{m_n}\right]$	
18	齿形系数	Y_F	$\frac{6\left(\frac{h_{Fe}}{m_n}\right)\cos\alpha_{Fev}}{\left(\frac{s_{Fn}}{m_n}\right)^2\cos\alpha_n}$	

注：表中长度单位为 mm；角度单位为 rad。

表 4.4-77 内齿轮齿形系数 Y_F 的有关公式

序号	名称	代号	计算公式	备注
1	当量内齿轮分度圆直径	d_{v2}	$\frac{d_2}{\cos^2\beta_b} = m_n z_v$	d_2 —内齿轮分度圆直径
2	当量内齿轮根圆直径	d_{fv2}	$d_{v2} + d_{f2} - d_2$	d_{f2} —内齿轮根圆直径
3	当量齿轮单齿啮合区外界点直径	d_{ev2}	同表 4.4-76	式中“±”、“±”符号应采用内啮合的
4	当量内齿轮齿根高	h_{f2}	$\frac{d_{fv2} - d_{v2}}{2}$	
5	内齿轮齿根过渡圆半径	ρ_{F2}	当 ρ_{F2} 已知时取已知值； 当 ρ_{F2} 未知时取为 $0.15m_n$	
6	刀具圆角半径	ρ_{f2}	当齿轮型插齿刀顶端 ρ_{f2} 已知时取已知值；当 ρ_{f2} 未知时，取 $\rho_{f2} \approx \rho_{F2}$	
7	危险截面齿厚与模数之比	$\frac{s_{Fn2}}{m_n}$	$2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{h_{f2} - \rho_{f2}}{m_n}\tan\alpha_n + \frac{\rho_{f2} - s_{pr}}{m_n\cos\alpha_n} - \frac{\rho_{f2}}{m_n}\cos\frac{\pi}{6}\right)$	$s_{pr} = p_r - q$ 见图 4.4-25
8	弯曲力臂与模数之比	$\frac{h_{Fe2}}{m_n}$	$\frac{d_{fv2} - d_{ev2}}{2m_n} - \left[\frac{\pi}{4} - \left(\frac{d_{fv2} - d_{ev2}}{2m_n} - \frac{h_{f2}}{m_n}\right)\tan\alpha_n\right]\tan\alpha_n - \frac{\rho_{f2}}{m_n}\left(1 - \sin\frac{\pi}{6}\right)$	
9	齿形系数	Y_F	$\left(\frac{6h_{Fe2}}{m_n}\right) / \left(\frac{s_{Fn2}}{m_n}\right)^2$	

注：1. 表中长度单位为 mm；角度单位为 rad。

2. 表中公式适用于 $z_2 > 70$ 的内齿轮。**6.5.18 应力修正系数 Y_s**

应力修正系数 Y_s 是将名义弯曲应力换算成齿根局部应力的系数。它考虑了齿根过渡曲线处的应力

集中效应，以及弯曲应力以外的其他应力对齿根应力的影响。

应力修正系数 Y_s 用于载荷作用于单对齿啮合区

外界点的计算方法。对于齿形角为 20° 、 $1 \leq q_s < 8$ 的齿轮, Y_s 可按下式计算, 对其他齿形角的齿轮, 也可按此式近似计算。

$$Y_s = (1.2 + 0.13L) q_s \left(\frac{1}{1.21 + 2.3/L} \right) \quad (4.4-9)$$

式中 L ——齿根危险截面处齿厚与弯曲力臂的比

$$\text{值: } L = \frac{s_{Fn}}{h_{Fe}}$$

s_{Fn} ——齿根危险截面齿厚, 外齿轮按表 4.4-76 中序号 7 的公式计算, 内齿轮按表 4.4-77 中序号 7 的公式计算;

h_{Fe} ——弯曲力臂, 外齿轮按表 4.4-76 中序号 17 的公式计算, 内齿轮按表 4.4-77 中序号 8 的公式计算;

q_s ——齿根圆角参数:

$$q_s = \frac{s_{Fn}}{2\rho_F} \quad (4.4-10)$$

ρ_F —— 30° 切线切点处的曲率半径, 外齿轮按表 4.4-76 中序号 8 的公式计算, 内齿轮按表 4.4-77 中序号 5 的公式计算。

6.5.19 复合齿形系数 Y_{FS}

$Y_{FS} = Y_{Fa} Y_{Sa}$, 其中 Y_{Fa} 为力作用于齿顶时的齿形系数, 它是考虑齿形对齿根弯曲应力影响的系数; Y_{Sa} 为力作用于齿顶时的应力修正系数, 它是考虑齿根过渡曲线处的应力集中效应以及弯曲应力以外的其他应力对齿根应力影响的系数。

Y_{FS} 可根据齿数 $z(z_v)$ 、变位系数 x 由图 4.4-27 及图 4.4-28 查取。

内齿轮的齿形系数 Y_{FS} 用替代齿条 ($z = \infty$) 来确定, 见图 4.4-27 的图注。

6.5.20 弯曲强度计算的重合度系数 Y_e 、螺旋角系数 Y_β 及重合度与螺旋角系数 $Y_{e\beta}$

(1) 弯曲强度计算的重合度系数 Y_e

重合度系数 Y_e 是将载荷由齿顶转换到单对齿啮合区外界点的系数。

Y_e 可用下式计算

$$Y_e = 0.25 + \frac{0.75}{\varepsilon_{av}} \quad (4.4-11)$$

式中 ε_{av} ——当量齿轮的端面重合度

$$\varepsilon_{av} = \frac{\varepsilon_\alpha}{\cos^2 \beta_b}$$

(2) 弯曲强度计算的螺旋角系数 Y_β

螺旋角系数 Y_β 是考虑螺旋角造成的接触线倾斜对齿根应力产生影响的系数。其数值可由下式计算

$$Y_\beta = 1 - \varepsilon_\beta \frac{\beta}{120^\circ} \geq Y_{\beta min} \quad (4.4-12)$$

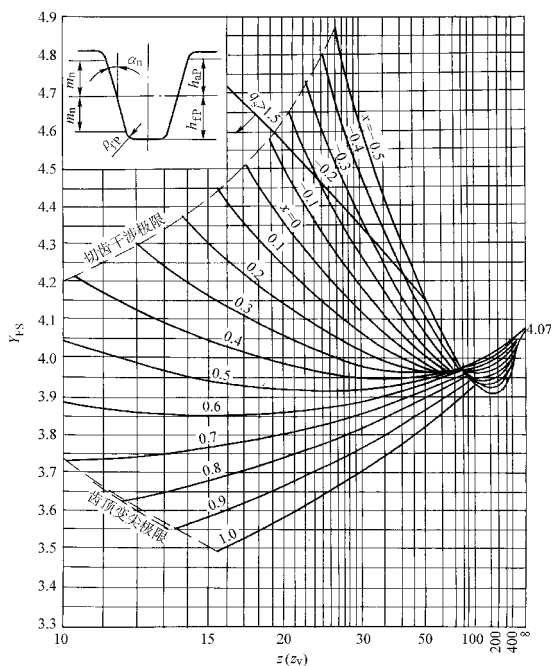


图 4.4-27 外齿轮的复合齿形系数 Y_{FS}

$\alpha_n = 20^\circ$, $h_{ap}/m_n = 1$, $h_{fp}/m_n = 1.25$,

$\rho_{fp}/m_n = 0.38$ 。对内齿轮, 当 $\rho_{fp}/m_n = 0.15$,

$h_{ap}/m_n = 1.0$, $h_{fp}/m_n = 1.25$ 时, $Y_{FS} = 5.44$ 。

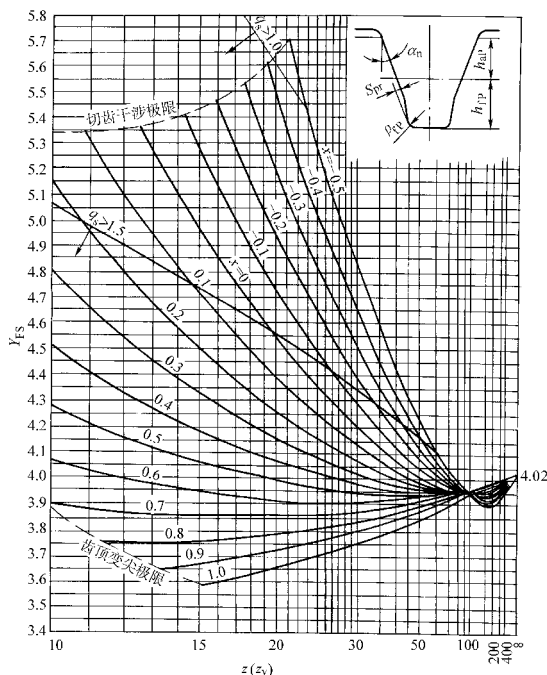


图 4.4-28 外齿轮的复合齿形系数 Y_{FS}

$\alpha_n = 20^\circ$, $h_{ap}/m_n = 1.0$, $h_{fp}/m_n = 1.4$,

$\rho_{fp}/m_n = 0.4$, $S_{pr} = 0.02m_o$ 。

$$Y_{\beta\min} = 1 - 0.25\varepsilon_{\beta} \geq 0.75 \quad (4.4-13)$$

上面式中: 当 $\varepsilon_{\beta} > 1$ 时, 按 $\varepsilon_{\beta} = 1$ 计算; 当 $Y_{\beta} < 0.75$ 时, 取 $Y_{\beta} = 0.75$; 当 $\beta > 30^\circ$ 时, 按 $\beta = 30^\circ$ 计值。

(3) 弯曲强度计算的重合度与螺旋角系数 $Y_{\varepsilon\beta}$

在弯曲强度校核计算的简化方法中, 重合度与螺旋角系数 $Y_{\varepsilon\beta} = Y_{\varepsilon}Y_{\beta}$, $Y_{\varepsilon\beta}$ 可按图 4.4-29 查取, 或按式 (4.4-10) 和式 (4.4-11) 计算。

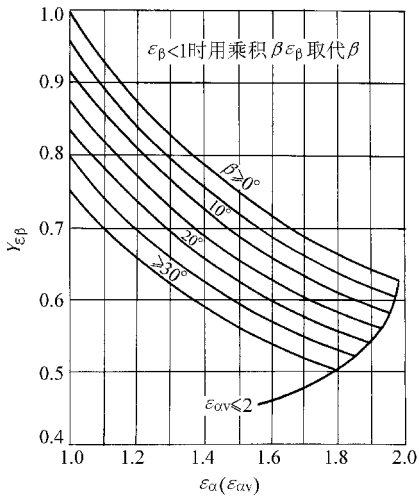


图 4.4-29 弯曲强度计算的重合度与螺旋角系数 $Y_{\varepsilon\beta}$

6.5.21 齿轮材料的弯曲疲劳强度基本值 σ_{FE}

σ_{FE} 是用齿轮材料制成的无缺口试件, 在完全弹性范围内经受脉动载荷作用时的名义弯曲疲劳极限。

$$\sigma_{FE} = \sigma_{F\lim} Y_{ST} \quad (4.4-14)$$

式中 $\sigma_{F\lim}$ ——试验齿轮的弯曲疲劳极限, 它是指某种材料的齿轮经长期持续的重复载荷作用后 (对大多数齿轮材料不少于 3×10^6), 齿根保持不破坏时的极限应力;

Y_{ST} ——试验齿轮的应力修正系数, $Y_{ST} = 2.0$ 。

σ_{FE} 及 $\sigma_{F\lim}$ 值可从图 4.4-30 中查取。图中的 ML、MQ、ME 和 MX 的意义与图 4.4-17 中的意义相同。对工业齿轮, 通常按 MQ 级质量要求选取 σ_{FE} 及 $\sigma_{F\lim}$ 值。

对于在对称循环载荷下工作的齿轮 (如行星齿轮、中间齿轮), 应将从图中查出的 σ_{FE} 及 $\sigma_{F\lim}$ 值乘以系数 0.7。对于双向运转工作的齿轮, 其 σ_{FE} 及 $\sigma_{F\lim}$ 值所乘系数可以稍大于 0.7。

使用图 4.4-30h、i 时, 对表面淬火齿轮, 硬化层的深度应不小于 $0.15m_n$, 且硬化层应包括齿根圆角部分; 当齿根圆角部分不淬硬时, 则取值应为淬硬时的 70% ~ 80%。

使用图 4.4-30j、k 时, 对气体渗氮齿轮, 渗氮层的深度应为 0.4 ~ 0.6mm。

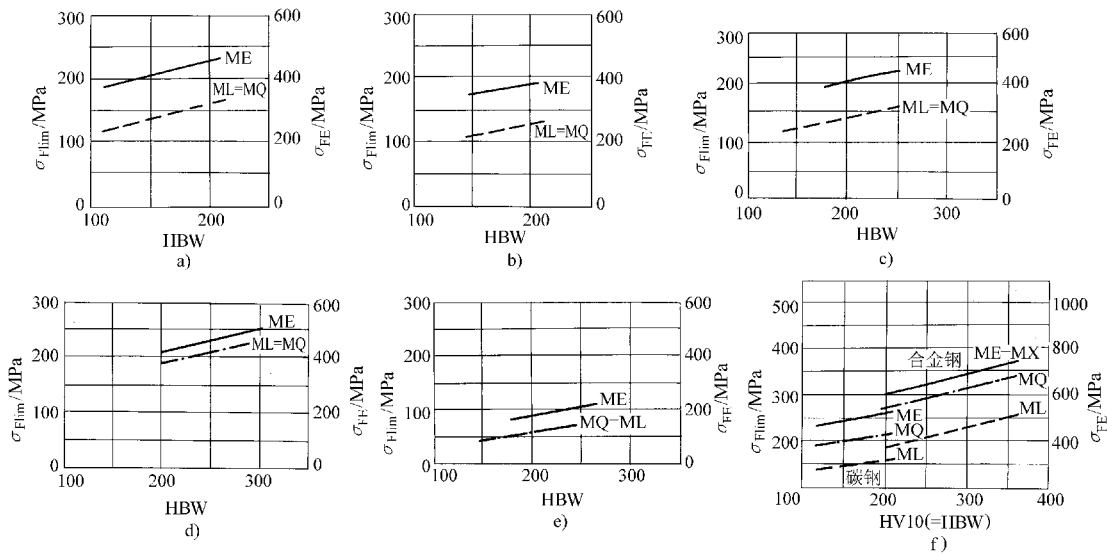


图 4.4-30 齿根弯曲疲劳极限 $\sigma_{F\lim}$ 及基本值 σ_{FE}

a) 正火处理的结构钢 b) 铸钢 c) 球墨铸铁 d) 可锻锻铁 e) 灰铸铁 f) 调质钢

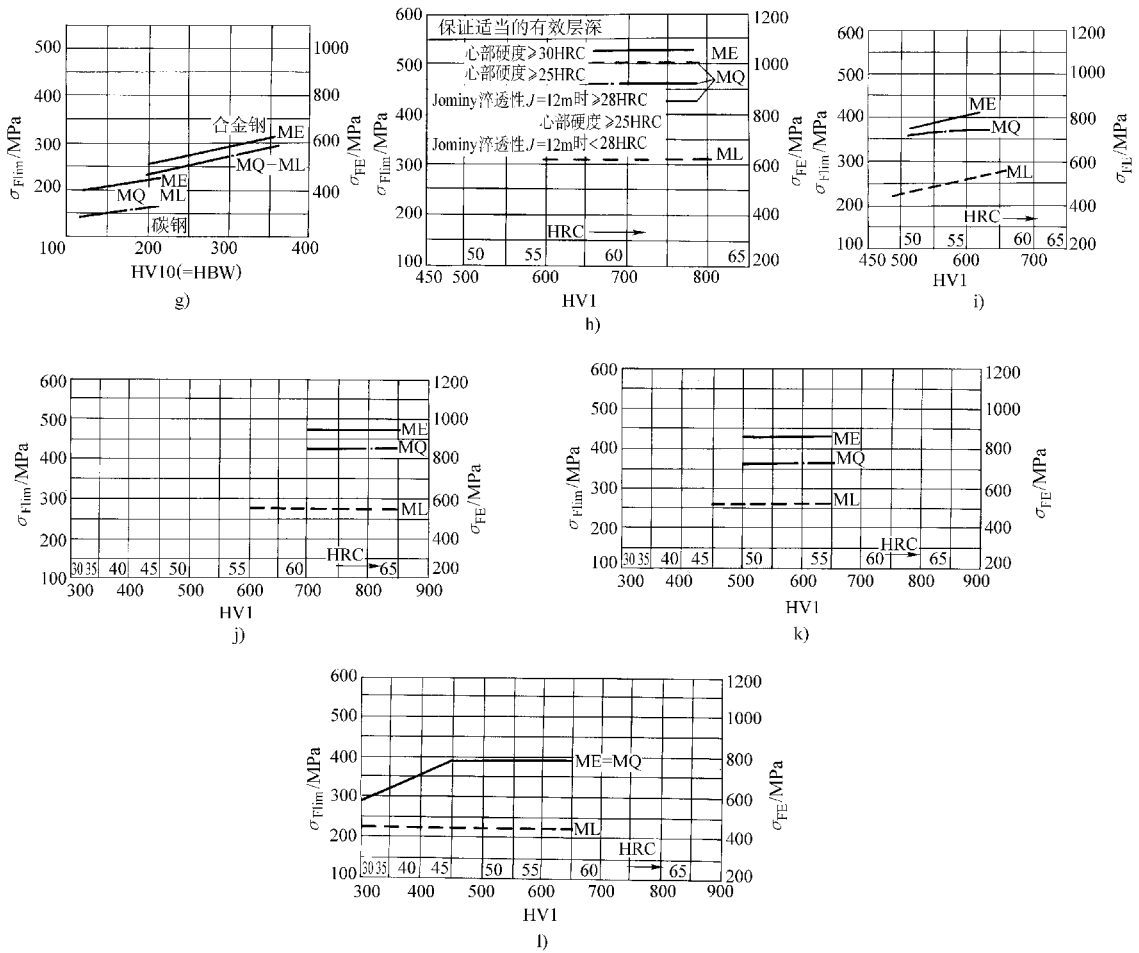


图 4.4-30 (续)

g) 铸钢 h) 渗碳淬火钢 i) 表面硬化钢 j) 调质—气体渗氮处理的渗氮钢 (不含铝)
k) 调质—气体渗氮处理的调质钢 l) 调质或正火—氮碳共渗处理的调质钢

6.5.22 弯曲强度计算的寿命系数 Y_{NT}

Y_{NT} 是考虑齿轮只要求有限寿命时, 齿轮的齿根弯曲疲劳极限可以提高的系数。 Y_{NT} 可根据齿根弯曲应力的循环次数 N_L 按图 4.4-31 查取, 或按表 4.4-78 中的公式计算。齿根弯曲应力的循环次数按式 (4.4-7)

计算。

当齿轮在变载荷工况下工作并有载荷图谱可用时, 应按 6.7 节所述方法核算其强度安全系数, 对于无载荷图谱的非恒定载荷齿轮, 可近似地按名义载荷乘以使用系数 K_A 来核算其强度。

表 4.4-78 弯曲强度的寿命系数 Y_{NT}

材料及热处理	静强度最大循环次数 N_0	持久寿命条件循环次数 N_c	应力循环次数 N_L	Y_{NT} 计算公式
球墨铸铁 (珠光体、贝氏体); 珠光体可锻铸铁; 调质钢	$N_0 = 10^4$	$N_c = 3 \times 10^6$	$N_L \leq 10^4$ $10^4 < N_L \leq 3 \times 10^6$ $3 \times 10^6 < N_L \leq 10^{10}$	$Y_{NT} = 2.5$ $Y_{NT} = \left(\frac{3 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.16}$ $Y_{NT} = \left(\frac{3 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.02 \text{ ①}}$

(续)

材料及热处理	静强度最大 循环次数 N_0	持久寿命条 件循环次数 N_c	应力循环次数 N_L	Y_{NT} 计算公式
渗碳淬火的渗碳钢；火焰淬 火、全齿廓感应淬火的钢、球 墨铸铁	$N_0 = 10^3$	$N_c = 3 \times 10^6$	$N_L \leq 10^3$ $10^3 < N_L \leq 3 \times 10^6$ $3 \times 10^6 < N_L \leq 10^{10}$	$Y_{NT} = 2.5$ $Y_{NT} = \left(\frac{3 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.115}$ $Y_{NT} = \left(\frac{3 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.02 \text{ ①}}$
结构钢；渗氮处理的渗氮 钢、调质钢、渗碳钢；灰铸 铁、球墨铸铁（铁素体）			$N_L \leq 10^3$ $10^3 < N_L \leq 3 \times 10^6$ $3 \times 10^6 < N_L \leq 10^{10}$	$Y_{NT} = 1.6$ $Y_{NT} = \left(\frac{3 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.05}$ $Y_{NT} = \left(\frac{3 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.02 \text{ ①}}$
氮碳共渗的调质钢、渗碳钢			$N_L \leq 10^3$ $10^3 < N_L \leq 3 \times 10^6$ $3 \times 10^6 < N_L \leq 10^{10}$	$Y_{NT} = 1.1$ $Y_{NT} = \left(\frac{3 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.012}$ $Y_{NT} = \left(\frac{3 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.02 \text{ ①}}$

① 当优选材料、制造工艺和润滑剂，并经生产实践验证时，这些计算式可取 $Y_{NT} = 1.0$ 。

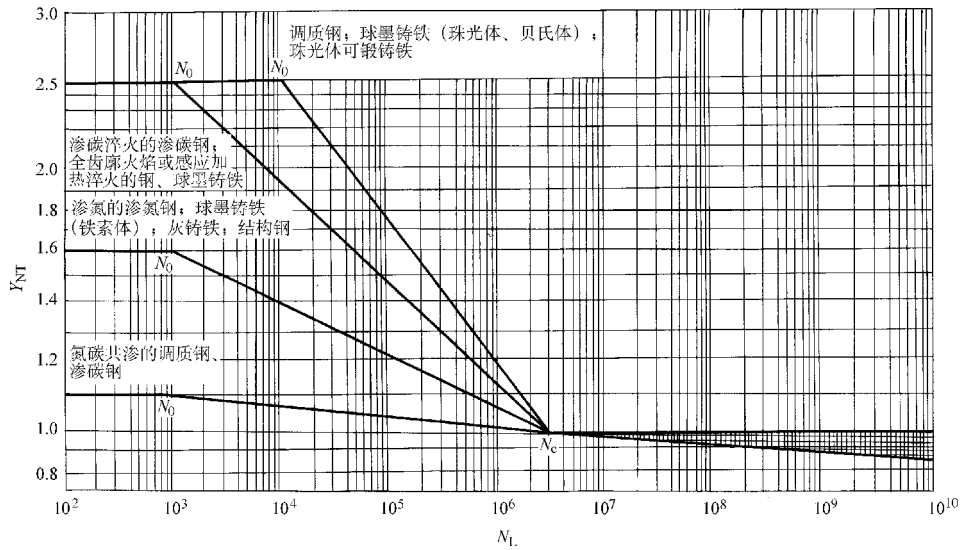


图 4.4-31 弯曲强度计算的寿命系数 Y_{NT}

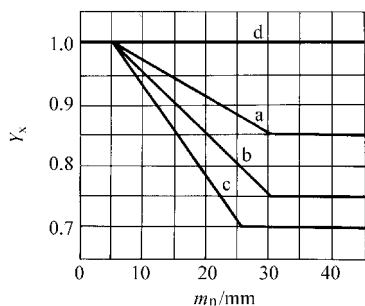
6.5.23 弯曲强度计算的尺寸系数 Y_x Y_x 可按图 4.4-32 查取，或按表 4.4-79 中公式计算。
 Y_x 是考虑计算齿轮的模数大于试验齿轮的模数，在强度计算的简化方法中， Y_x 可按持久寿命取值。
由于尺寸效应使齿轮的弯曲疲劳极限降低的系数。

表 4.4-79 弯曲强度计算的尺寸系数 Y_x

	材 料	Y_x	备 注
持久寿命 $N_L \geq N_c$	结构钢、调质钢、球墨铸铁（珠光体、贝氏体）、珠光体可锻铸铁	$1.03 \sim 0.006m_n$	当 $m_n < 5$ 时，取 $m_n = 5$ 当 $m_n > 30$ 时，取 $m_n = 30$
	渗碳淬火钢和全齿廓感应或火焰淬火的钢、渗氮钢或氮碳共渗钢	$1.05 \sim 0.01m_n$	当 $m_n < 5$ 时，取 $m_n = 5$ 当 $m_n > 25$ 时，取 $m_n = 25$
	灰铸铁、球墨铸铁（铁素体）	$1.075 \sim 0.015m_n$	当 $m_n < 5$ 时，取 $m_n = 5$ 当 $m_n > 25$ 时，取 $m_n = 25$

(续)

有限寿命 $N_0 < N_L < N_c$	$Y_x = \left(\frac{N_0}{N_L} \right)^{\frac{\lg Y_{xc}}{\lg \left(\frac{N_0}{N_c} \right)}}$	Y_{xc} —持久寿命时的尺寸系数 N_0 、 N_L 、 N_c 见表 4.4-78
静强度 $N_L \leq N_0$	$Y_x = 1.0$	

图4.4-32 弯曲强度计算的尺寸系数 $Y_x (N_L \geq N_c)$

- a—结构钢、调质钢、球墨铸铁(珠光体、贝氏体)、珠光体可锻铸铁
b—渗碳淬火钢和全齿廓感应或火焰淬火钢, 渗氮或氮碳共渗钢
c—灰铸铁, 球墨铸铁(铁素体)
d—静强度计算时的所有材料

6.5.24 相对齿根圆角敏感系数 $Y_{\delta relT}$

相对齿根圆角敏感系数 $Y_{\delta relT}$ 是考虑所计算齿轮的材料、几何尺寸等对齿根应力的敏感度与试验齿轮不同而引进的系数。定义为所计算齿轮的齿根圆角敏感系数与试验齿轮的齿根圆角敏感系数的比值。

(1) 确定 $Y_{\delta relT}$ 的一般方法

1) 持久寿命时的相对齿根圆角敏感系数 $Y_{\delta relT}$
持久寿命时的相对齿根圆角敏感系数 $Y_{\delta relT}$ 可按下式计算得出, 也可由图 4.4-33 查得(当齿根圆角参数在 $1.5 < q_s < 4$ 的范围内时, $Y_{\delta relT}$ 可近似地取为 1, 其误差不超过 5%)。

$$Y_{\delta relT} = \frac{1 + \sqrt{\rho' X^*}}{1 + \sqrt{\rho' X_T^*}} \quad (4.4-15)$$

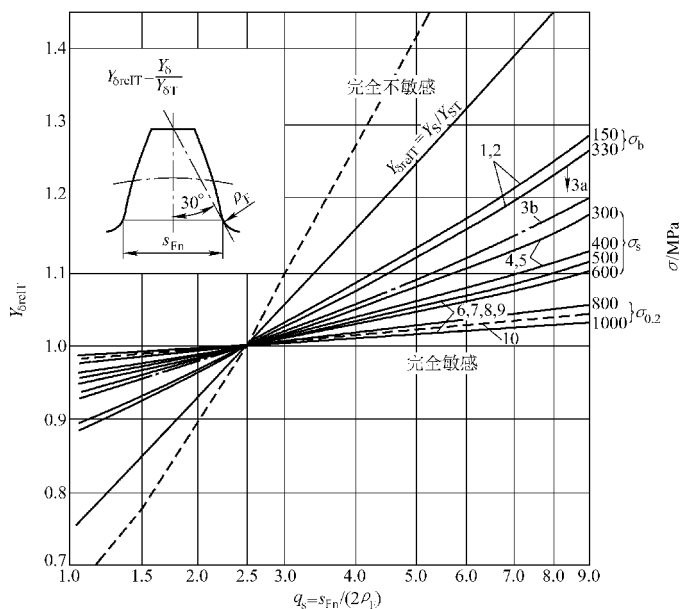
式中 ρ' ——材料滑移层厚度 (mm), 可由表 4.4-80 按材料查取;

X^* ——齿根危险截面处的应力梯度与最大应力的比值, 其值

$$X^* \approx \frac{1}{5} (1 + 2q_s) \quad (4.4-16)$$

q_s ——齿根圆角参数, 见式 (4.4-10);

X_T^* ——试验齿轮齿根危险截面处的应力梯度与最大应力的比值, 仍可用式 (4.4-16) 计算, 式中 q_s 取为 $q_{sT} = 2.5$, 此式适用于 $m = 5\text{mm}$, 其尺寸的影响用 Y_x 来考虑。

图 4.4-33 持久寿命时的相对齿根圆角敏感系数 $Y_{\delta relT}$

注: 图中材料数字代号见表 4.4-80 中的序号。

表 4. 4-80 不同材料的滑移层厚度 ρ'

序号	材 料	滑移层厚度 ρ'/mm
1	灰铸铁	$R_m = 150\text{MPa}$ 0. 3124
2	灰铸铁、球墨铸铁（铁素体）	$R_m = 300\text{MPa}$ 0. 3095
3a	球墨铸铁（珠光体）	0. 1005
3b	渗氮处理的渗氮钢、调质钢	
4	结构钢	$R_{eL} = 300\text{MPa}$ 0. 0833
5	结构钢	$R_{eL} = 400\text{MPa}$ 0. 0445
6	调质钢，球墨铸铁（珠光体、贝氏体）	$R_{eL} = 500\text{MPa}$ 0. 0281
7	调质钢，球墨铸铁（珠光体、贝氏体）	$R_{p0.2} = 600\text{MPa}$ 0. 0194
8	调质钢，球墨铸铁（珠光体、贝氏体）	$R_{p0.2} = 800\text{MPa}$ 0. 0064
9	调质钢，球墨铸铁（珠光体、贝氏体）	$R_{p0.2} = 1000\text{MPa}$ 0. 0014
10	渗碳淬火钢，火焰淬火或全齿廓感应加热淬火的钢和球墨铸铁	0. 0030

2) 静强度的相对齿根圆角敏感系数 $Y_{\delta\text{relT}}$ 。静强度的 $Y_{\delta\text{relT}}$ 值可按表 4. 4-81 中的相应公式计算得出（当应力修正系数在 $1.5 < Y_S < 3$ 的范围内时，静强度的相对敏感系数 $Y_{\delta\text{relT}}$ 近似地可取为： Y_S/Y_{ST} ；但

此近似数不能用于渗氮的调质钢与灰铸铁）。

3) 有限寿命的齿根圆角敏感系数 $Y_{\delta\text{relT}}$ 。有限寿命的 $Y_{\delta\text{relT}}$ 可用线性插入法从持久寿命的 $Y_{\delta\text{relT}}$ 和静强度的 $Y_{\delta\text{relT}}$ 之间得到。

表 4. 4-81 静强度的相对齿根圆角敏感系数 $Y_{\delta\text{relT}}$

计 算 公 式	备 注
结构钢 $Y_{\delta\text{relT}} = \frac{1 + 0.93 (Y_S - 1) \sqrt[4]{\frac{200}{\sigma_s}}}{1 + 0.93 \sqrt[4]{\frac{200}{\sigma_s}}}$	Y_S —应力修正系数，见 6. 5. 18 节 R_{eL} —屈服强度
调质钢、铸铁和球墨铸铁（珠光体、贝氏体） $Y_{\delta\text{relT}} = \frac{1 + 0.82 (Y_S - 1) \sqrt[4]{\frac{300}{\sigma_{0.2}}}}{1 + 0.82 \sqrt[4]{\frac{300}{\sigma_{0.2}}}}$	$R_{p0.2}$ —规定非比例延伸强度
渗碳淬火钢、火焰淬火和全齿廓感应加热淬火的钢、球墨铸铁 $Y_{\delta\text{relT}} = 0.44Y_S + 0.12$	表层发生裂纹的应力极限
渗氮处理的渗氮钢、调质钢 $Y_{\delta\text{relT}} = 0.20Y_S + 0.60$	表层发生裂纹的应力极限
灰铸铁和球墨铸铁（铁素体） $Y_{\delta\text{relT}} = 1.0$	断裂极限

$$Y_{\delta\text{relT}} = Y_{\delta\text{relTc}} + \frac{\lg\left(\frac{N_L}{N_c}\right)}{\lg\left(\frac{N_0}{N_c}\right)} \times (Y_{\delta\text{relT0}} - Y_{\delta\text{relTc}}) \tag{4. 4-17}$$

式中 $Y_{\delta\text{relTc}}$ 、 $Y_{\delta\text{relT0}}$ ——持久寿命和静强度的相对齿根圆角敏感系数。

(2) 确定 $Y_{\delta\text{relT}}$ 的简化方法 在简化计算中，可取

$$Y_{\delta\text{relT}} = 1.0 \tag{4. 4-18}$$

6. 5. 25 相对齿根表面状况系数 Y_{RrelT}

相对齿根表面状况系数 Y_{RrelT} 为所计算齿轮的齿根表面状况系数与试验齿轮的齿根表面状况系数的比值。

(1) 确定 Y_{RrelT} 的一般方法 相对齿根表面状况系数 Y_{RrelT} 可按表 4. 4-82 中的相应公式计算，持久寿命时的相对齿根表面状况系数 Y_{RrelT} 可由图 4. 4-34 查出。

表 4.4-82 相对齿根表面状况系数 Y_{RrelT}

持久寿命 $N_L \geq N_c$	计算公式或取值		
	材料	$Rz < 1\mu m$	$1\mu m \leq Rz < 40\mu m$
	调质钢，球墨铸铁（珠光体、贝氏体）， 渗碳淬火钢，火焰和全齿廓感应加热淬火的钢和球墨铸铁	$Y_{RrelT} = 1.120$	$Y_{RrelT} = 1.674 - 0.529 (Rz + 1)^{0.1}$
	结构钢	$Y_{RrelT} = 1.070$	$Y_{RrelT} = 5.306 - 4.203 (Rz + 1)^{0.01}$
有限寿命 $N_0 < N_L < N_c$	灰铸铁，球墨铸铁（铁素体），渗氮的渗氮钢、调质钢	$Y_{RrelT} = 1.025$	$Y_{RrelT} = 4.299 - 3.259 (Rz + 1)^{0.005}$
	$Y_{RrelT} = Y_{RrelTc} + \frac{\lg\left(\frac{N_L}{N_c}\right)}{\lg\left(\frac{N_0}{N_c}\right)} \times (1 - Y_{RrelTc})$ Y_{RrelTc} 为持久寿命的相对齿根表面状况系数		
静强度 $N_L \leq N_0$	$Y_{RrelT} = 1.0$		

注：1. Rz 为齿根表面微观不平度 10 点高度， $Rz \approx 6Ra$ 。
2. N_0 、 N_c 见表 4.4-78。
3. 对经过强化处理（如喷丸）的齿轮，其 Y_{RrelT} 值要稍大于表中方法所确定的数值。
4. 对有表面氧化或化学腐蚀的齿轮，其 Y_{RrelT} 值要稍小于表中方法所确定的数值。

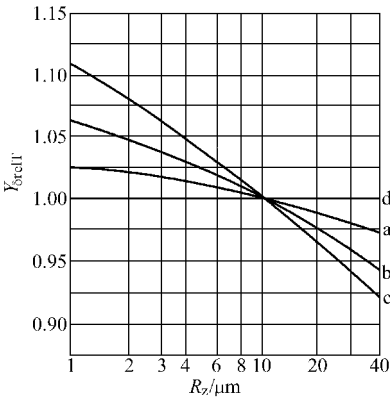


图 4.4-34 持久寿命的相对齿根表面状况系数 Y_{RrelT}

a—灰铸铁，铁素体球墨铸铁，渗氮处理的渗氮钢、调质钢 b—结构钢 c—调质钢，球墨铸铁（珠光体、铁素体），渗碳淬火钢，全齿廓感应加热或火焰淬火钢 d—静强度计算时的所有材料

(2) 确定 Y_{RrelT} 的简化方法 在简化计算中，可按表 4.4-83 查取 Y_{RrelT}

表 4.4-83 相对齿根表面状况系数 Y_{RrelT}

齿根表面粗糙度	Y_{RrelT} 值	
	疲劳强度计算	静强度计算
$Rz \leq 16\mu m$ 或 $Ra \leq 2.6\mu m$	1.0	1.0
$Rz > 16\mu m$ 或 $Ra > 2.6\mu m$	0.9	

6.6 齿轮静强度校核计算 (GB/T 3480—1997)

当齿轮工作可能出现短时间、少次数的（不大于表 4.4-70 和表 4.4-78 中规定的 N_0 值）超过额定工况的大载荷，如使用大起动转矩电动机，在运行中出现异常的重载荷或有重复性的中等甚至严重冲击时，应进行静强度校核计算。作用次数超过上述表中规定的载荷作用次数时，应纳入疲劳强度计算。

齿轮静强度校核计算的公式见表 4.4-84。

表 4.4-84 静强度核算公式

强度条件	齿面静强度 $\sigma_{Hst} \leq \sigma_{HPst}$ 当大、小齿轮材料 σ_{HPst} 不同时，应取小者进行核算	σ_{Hst} —静强度最大齿面应力 (MPa) σ_{HPst} —静强度许用齿面应力 (MPa)
	弯曲静强度 $\sigma_{Fst} \leq \sigma_{FPst}$	σ_{Fst} —静强度最大齿根弯曲应力 (MPa) σ_{FPst} —静强度许用齿根弯曲应力 (MPa)

(续)

静强度最大 齿面应力 σ_{Hst}	$\sigma_{Hst} = \sqrt{K_v K_{H\beta} K_{H\alpha}} Z_H Z_E Z_\epsilon Z_\beta \sqrt{\frac{F_{cal}}{d_1 b} \frac{u \pm 1}{u}}$		K_v —动载系数, 对在起动或堵转时产生的最大载荷或低速工况, $K_v = 1$; 其余情况同 6.5.3 节 $K_{H\beta}$ $K_{F\beta}$ —齿向载荷分布系数, 见 6.5.4 节 $K_{H\alpha}$ $K_{F\alpha}$ —齿间载荷分配系数, 见 6.5.5 节 Z_H —节点区域系数, 见 6.5.7 节 Z_E —弹性系数, 见 6.5.8 节 Z_ϵ 、 Z_β —接触强度计算的重合度系数和螺旋角系数, 见 6.5.9 节 Y_F —齿形系数, 见 6.5.17 节 Y_S —应力修正系数, 见 6.5.18 节 Y_{FS} —复合齿形系数, 见 6.5.19 节 Y_β —抗弯强度计算的螺旋角系数, 见 6.5.20 节 $Y_{\epsilon\beta}$ —抗弯强度计算的重合度与螺旋角系数, 见 6.5.20 节
静强度最大的 齿根弯曲应力 σ_{Fst}	简化计算方法	$\sigma_{Fst} = K_v K_{F\beta} K_{F\alpha} \frac{F_{cal}}{b m_n} Y_{FS} Y_{\epsilon\beta}$	
	一般计算方法	$\sigma_{Fst} = K_v K_{F\beta} K_{F\alpha} \frac{F_{cal}}{b m_n} Y_F Y_S Y_\beta$	
静强度许用 齿面接触应力 σ_{HPst}	$\sigma_{HPst} = \frac{\sigma_{Hlim} Z_{NT}}{S_{Hmin}} Z_W$		σ_{Hlim} —接触疲劳极限应力(MPa) 见 6.5.11 节 Z_{NT} —静强度接触寿命系数, 此时取 $N_1 = N_0$, 见表 4.4-70 Z_W —齿面工作硬化系数, 见 6.5.14 节 S_{Hmin} —接触强度最小安全系数见 6.5.16 节
静强度许用 齿根弯曲应力 σ_{FPst}	$\sigma_{FPst} = \frac{\sigma_{Flim} Y_{ST} Y_{NT}}{S_{Fmin}} Y_{\delta relT}$		σ_{Flim} —弯曲疲劳极限应力(MPa), 见 6.5.21 节 Y_{ST} —试验齿轮的应力修正系数, $Y_{ST} = 2.0$ Y_{NT} —抗弯强度寿命系数, 此时取 $N_L = N_0$, 见表 4.4-78 $Y_{\delta relT}$ —相对齿根圆角敏感系数, 见 6.5.24 节 S_{Fmin} —抗弯强度最小安全系数, 见 6.5.16 节
计算切向力	$F_{cal} = \frac{2000 T_{max}}{d}$		F_{cal} —计算切向载荷(N) d —齿轮分度圆直径(mm) T_{max} —最大转矩(N·m)

注: 1. 因已按最大载荷计算, 取使用系数 $K_A = 1$ 。

2. 应取载荷谱中或实测的最大载荷确定计算切向力。无上述数据时, 可取预期的最大载荷 T_{max} (如起动转矩、堵转转矩、短路或其他最大过载转矩) 为静强度计算载荷。

6.7 变载荷作用下的齿轮强度校核计算

在变动载荷下工作的齿轮, 应通过测定和分析计算确定其整个寿命的载荷图谱, 按疲劳累积假说(Miner 法则) 确定当量转矩 T_{eq} , 并以当量转矩 T_{eq} 代替名义转矩 T , 按表 4.4-38 求出切向力 F_t , 再应用表 4.4-41 中的公式分别进行齿面接触强度核算和轮齿抗弯强度核算, 此时取 $K_A = 1$ 。

当量载荷 (当量转矩 T_{eq}) 可按如下方法确定。

图 4.4-35 是以对数为坐标的某齿轮的承载能力曲线与其整个工作寿命的载荷图谱, 图中 T_1 、 T_2 、 $T_3 \dots$ 为经整理后的实测的各级载荷, N_1 、 N_2 、 $N_3 \dots$ 为与 T_1 、 T_2 、 $T_3 \dots$ 相对应的应力循环次数。小于名义载荷 T 的 50% 的载荷 (如图中 T_5), 认为对齿轮

的疲劳损伤不起作用, 故略去不计, 则当量循环次数 N_{Leq} 为

$$N_{Leq} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \quad (4.4-19)$$

$$N_i = 60 n_i k h_i \quad (4.4-20)$$

式中 N_i ——第 i 级载荷应力循环次数;

n_i ——第 i 级载荷作用下齿轮的转速;

k ——齿轮每转一周同侧齿面的接触次数;

h_i ——在 i 级载荷作用下齿轮的工作小时数。

根据 Miner 法则 (疲劳累积假说), 此时的当量载荷为

$$T_{eq} = \left(\frac{N_1 T_1^p + N_2 T_2^p + N_3 T_3^p + N_4 T_4^p}{N_{Leq}} \right)^{1/p} \quad (4.4-21)$$

式中 p ——齿轮材料的试验指数。

常用齿轮材料的特性数 N_0 及 p 值列于表 4.4-85。

表 4.4-85 常用的齿轮材料的特性数

计算方法	齿轮材料及热处理方法	N_0	工作循环次数 N_L	p
接触强度 (疲劳点蚀)	结构钢, 调质钢, 珠光体、贝氏体球墨铸铁, 珠光体可锻铸铁, 调质钢、渗碳钢经表面淬火 (允许有一定量点蚀)	6×10^5	$6 \times 10^5 < N_L \leq 10^7$	6.77
			$10^7 < N_L \leq 10^9$	8.78
			$10^9 < N_L \leq 10^{10}$	7.08
	结构钢, 调质钢, 珠光体、贝氏体球墨铸铁, 珠光体可锻铸铁, 调质钢、渗碳钢经表面淬火	10^5	$10^5 < N_L \leq 5 \times 10^7$	6.61
			$5 \times 10^7 < N_L \leq 10^{10}$	16.30
	调质钢、渗氮钢经渗氮, 灰铸铁, 铁素体球墨铸铁	10^5	$10^5 < N_L \leq 2 \times 10^6$	5.71
			$2 \times 10^6 < N_L \leq 10^{10}$	26.20
	调质钢、渗碳钢经碳氮共渗	10^5	$10^5 < N_L \leq 2 \times 10^6$ $2 \times 10^6 < N_L \leq 10^{10}$	15.72 26.20
弯曲强度	调质钢, 珠光体、贝氏体球墨铸铁, 珠光体可锻铸铁	10^4	$10^4 < N_L \leq 3 \times 10^6$ $3 \times 10^6 < N_L \leq 10^{10}$	6.23 49.91
	调质钢、渗碳钢经表面淬火	10^3	$10^3 < N_L \leq 3 \times 10^6$ $3 \times 10^6 < N_L \leq 10^{10}$	8.74 49.91
	调质钢、渗氮钢经渗氮, 结构钢, 灰铸铁, 铁素体球墨铸铁	10^3	$10^3 < N_L \leq 3 \times 10^6$ $3 \times 10^6 < N_L \leq 10^{10}$	17.03 49.91
	调质钢、渗碳钢经碳氮共渗	10^3	$10^3 < N_L \leq 3 \times 10^6$ $3 \times 10^6 < N_L \leq 10^{10}$	84.00 49.91

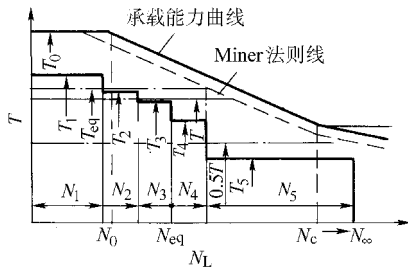


图 4.4-35 承载能力曲线与载荷图谱

当计算 T_{eq} 时, 若 $N_{eq} < N_0$ (材料疲劳破坏最少应力循环次数) 时, 取 $N_{eq} = N_0$; 当 $N_{eq} > N_c$ 时, 取 $N_{eq} = N_c$ 。

在变动载荷下工作的齿轮又缺乏载荷图谱可用时, 可近似地用常规的方法即用名义载荷乘以使用系数 K_A 来确定计算载荷。当无合适的数值可用时, 使用系数 K_A 可参考表 4.4-43 确定。这样, 就将变动载荷工况转化为非变动载荷工况来处理, 并按表 4.4-41 有关公式核算齿轮强度。

6.8 开式齿轮传动的计算

开式齿轮传动的主要破坏形式是磨损, 关于齿轮的磨损计算, 目前尚没有成熟的计算方法。一般可在计入磨损的影响后, 借用闭式齿轮传动强度计

算的公式进行条件性计算。

通常, 开式齿轮只需计算齿根抗弯强度, 计算时可根据齿厚磨损量的指标, 由表 4.4-86 查得磨损系数 K_m , 并将计算弯曲应力 σ_F 乘以 K_m 。

表 4.4-86 磨损系数 K_m

允许齿厚的磨损量占原齿厚的百分数 (%)	K_m	说 明
10	1.25	这个百分数是开式齿轮传动磨损报废的主要指标, 可按有关机器设备维修规程的要求确定
15	1.40	
20	1.60	
25	1.80	
30	2.00	

对低速重载的开式齿轮传动, 除按上述方法计算齿根抗弯强度外, 建议还进行齿面接触强度计算, 不过这时齿面接触许用应力应取为 $\sigma_{HP} = (1.05 \sim 1.1) \sigma_{Hlimin}$ 。当速度较低及润滑剂较净时, 可取较大值。 σ_{Hlimin} 是两轮 σ_{Hlim} 值中较小值。

7 齿轮的材料

齿轮常用钢材的力学性能见表 4.4-87, 齿轮工作齿面硬度及其组合应用示例见表 4.4-88。

表 4.4-87 齿轮常用钢材的力学性能

--

(续)

材 料	热处理种类	截 面 尺 寸/mm		力 学 性 能		硬 度	
		直径 d	壁厚 S	R_m /MPa	R_{eL} /MPa	HBW	表面淬火(HRC) (渗氮 HV)
调 质 钢							
45	正 火	≤100	≤50	588	294	169 ~ 217	40 ~ 50
		101 ~ 300	51 ~ 150	569	284	162 ~ 217	
		301 ~ 500	151 ~ 250	549	275	162 ~ 217	
		501 ~ 800	251 ~ 400	530	265	156 ~ 217	
45	调 质	≤100	≤50	647	373	229 ~ 286	40 ~ 50
		101 ~ 300	51 ~ 150	628	343	217 ~ 255	
		301 ~ 500	151 ~ 250	608	314	197 ~ 255	
34CrNi3Mo	调 质	≤200 201 ~ 600	≤100 101 ~ 300	900 855	785 735	269 ~ 341	
S34CrNiMo	调 质	≤200 201 ~ 320 321 ~ 500	≤100 101 ~ 160 161 ~ 250	1000 ~ 1200 900 ~ 1100 800 ~ 950	800 700 600	248	52 ~ 58
40CrNiMo	调 质		25	980	833	心部 > 255 表层 293 ~ 330	
42CrMo4V	调 质		10 ~ 40 41 ~ 100 101 ~ 160 161 ~ 250 251 ~ 500	1000 ~ 1200 900 ~ 1100 800 ~ 950 750 ~ 900 690 ~ 810	750 650 550 500 460	255 ~ 286	48 ~ 56
42CrMo	调 质		25	1079	931	255 ~ 286	48 ~ 56
37SiMn2MoV	调 质	≤200 201 ~ 400 401 ~ 600	≤100 101 ~ 200 201 ~ 300	863 814 765	686 637 588	269 ~ 302 241 ~ 286 241 ~ 269	50 ~ 55
40Cr	调 质	≤100 101 ~ 300 301 ~ 500 501 ~ 800	≤50 51 ~ 150 151 ~ 250 251 ~ 400	735 686 637 588	539 490 441 343	241 ~ 286 241 ~ 286 229 ~ 269 217 ~ 255	48 ~ 55
35CrMo	调 质	≤100 101 ~ 300 301 ~ 500 501 ~ 800	≤50 51 ~ 150 151 ~ 250 251 ~ 400	735 686 637 588	539 490 441 392	241 ~ 286 241 ~ 286 229 ~ 269 217 ~ 255	45 ~ 55
渗碳钢、渗氮钢							
20Cr	渗碳、淬火、回火	≤60		637	392		渗碳 56 ~ 62
20CrMnTi	渗碳、淬火、回火	15		1079	834		渗碳 56 ~ 62
20CrMnMo	渗碳、淬火、回火 两次淬火、回火	15 ≤30 ≤100		1170 1079 834	883 786 490	28 ~ 33HRC	渗碳 56 ~ 62

(续)

材 料	热处理种类	截 面 尺 寸 /mm		力 学 性 能		硬 度	
		直径 d	壁厚 S	R_m /MPa	R_{eL} /MPa	HBW	表面淬火(HRC) (渗氮 HV)
渗碳钢、渗氮钢							
16MnCr5	渗碳、淬火、回火		≤11 >11 ~ 30 >30 ~ 63	880 ~ 1180 780 ~ 1080 640 ~ 930	640 590 440		渗碳 54 ~ 62
17CrNiMo6	渗碳、淬火、回火		≤11 >11 ~ 30 >30 ~ 63	1180 ~ 1420 1080 ~ 1320 980 ~ 1270	835 785 685		心部 30 ~ 42
20CrNi3	渗碳、淬火、回火		≤11	931	735		
S16MnCr	渗碳、淬火、回火		≤30 31 ~ 63	780 ~ 1080 640 ~ 930	590 440	207	56 ~ 62
S17Cr2Ni2Mo	渗碳、淬火、回火		≤30 31 ~ 63	1080 ~ 1320 980 ~ 1270	780 685	229	56 ~ 62
38CrMoAlA	调 质	30		98	834	229	渗氮 HV > 850
30CrMoSiA	调 质	100		1079	883	210 ~ 280	渗氮 47 ~ 51
铸 钢							
ZG310 – 570	正火			570	310	163 ~ 197	
ZG340 – 640	正火			640	340	179 ~ 207	
ZG35SiMn	正火、回火 调 质			569 637	343 412	163 ~ 217 197 ~ 248	45 ~ 53
ZG42SiMn	正火、回火 调 质			588 637	373 441	163 ~ 217 197 ~ 248	45 ~ 53
ZG35CrMo	正火、回火 调 质			588 686	392 539	179 ~ 241 179 ~ 241	
ZG35CrMnSi	正火、回火 调 质			686 785	343 588	163 ~ 217 197 ~ 269	
铸 铁							
HT250			>4.0 ~ 10 >10 ~ 20 >20 ~ 30 >30 ~ 50	270 240 220 200		175 ~ 263 164 ~ 247 157 ~ 236 150 ~ 225	
HT300			>10 ~ 20 >20 ~ 30 >30 ~ 50	290 250 230		182 ~ 273 169 ~ 255 160 ~ 241	
HT350			>10 ~ 20 >20 ~ 30 >30 ~ 50	340 290 260		197 ~ 298 182 ~ 273 171 ~ 257	
QT500 – 7				500	320	170 ~ 230	
QT600 – 3				600	370	190 ~ 270	
QT700 – 2				700	420	225 ~ 305	
QT800 – 2				800	480	245 ~ 335	
QT900 – 2				900	600	280 ~ 360	

注：1. 表中合金钢的调质硬度可提高到 320~340HBW。

2. 钢号前加“S”为采用德国西马克公司(SMS)的钢号。

表 4. 4-88 齿轮工作齿面硬度及其组合应用举例

齿面类型	齿轮种类	热处理		两轮工作	工作齿面硬度举例		备 注
		小齿轮	大齿轮	齿面硬度差	小齿轮	大齿轮	
软齿面 ($\leq 350\text{HBW}$)	直齿	调质	正火 调质 调质 调质	$0 < (\text{HBW}_1)_{\min}$ $- (\text{HBW}_2)_{\max}$ $\leq 20 \sim 25$	240 ~ 270HBW 260 ~ 290HBW 280 ~ 310HBW 300 ~ 330HBW	180 ~ 220HBW 220 ~ 240HBW 240 ~ 260HBW 260 ~ 280HBW	用于重载中低速固定式传动装置
	斜齿及人字齿	调质	正火 正火 调质 调质	$(\text{HBW}_1)_{\min}$ $- (\text{HBW}_2)_{\max}$ $\geq (40 \sim 50)$	240 ~ 270HBW 260 ~ 290HBW 270 ~ 300HBW 300 ~ 330HBW	160 ~ 190HBW 180 ~ 210HBW 200 ~ 230HBW 230 ~ 260HBW	
软硬组合齿面 ($> 350\text{HBW}_1$, $\leq 350\text{HBW}_2$)	斜齿及人字齿	表面 淬火	调质	齿面硬度差很大	45 ~ 50HRC	200 ~ 230HBW 230 ~ 260HBW	用于冲击载荷及过载都不大的重载中低速固定式传动装置
		渗碳	调质		56 ~ 62HRC	270 ~ 300HBW 300 ~ 330HBW	
硬齿面 ($> 350\text{HBW}$)	直齿、斜齿及人字齿	表面 淬火	表面 淬火	齿面硬度大致相同	45 ~ 50HRC		用在传动尺寸受结构条件限制的情形和运输机器上的传动装置
		渗碳	渗碳		56 ~ 62HRC		

注：1. 重要齿轮的表面淬火，应采用高频或中频感应淬火；模数较大时，应沿齿沟加热和淬火。

2. 通常渗碳后的齿轮要进行磨齿。

3. 为了提高抗胶合性能，建议小轮和大轮采用不同牌号的钢来制造。

8 圆柱齿轮的结构（见表 4. 4-89）

表 4. 4-89 圆柱齿轮的结构

序号	齿坯	结 构 图	结构尺寸
1	齿 轮 轴		当 $d_a < 2d$ 或 $X \leq 2.5m_t$ 时，应将齿轮做成齿轮轴
2	锻 造 齿 轮		$D_1 = 1.6d_h$ $l = (1.2 \sim 1.5)d_h, l \geq b$ $\delta = 2.5m_n$ ，但不小于 8 ~ 10mm $n = 0.5m_n$ $D_0 = 0.5(D_1 + D_2)$ $d_0 = 10 \sim 29\text{mm}$ ，当 d_a 较小时不钻孔

(续)

序号	齿坯	结 构 图	结构尺寸
3	锻 造 齿 轮	$d_a \leq 500\text{mm}$ 	$D_1 = 1.6d_h$ $l = (1.2 \sim 1.5)d_h, l \geq b$ $\delta = (2.5 \sim 4)m_n$, 但不小于 8 ~ 10mm $n = 0.5m_n$ $r \approx 0.5C$ $D_0 = 0.5(D_1 + D_2)$ $d_0 = 15 \sim 25\text{mm}$ $C = (0.2 \sim 0.3)b$, 模锻; 0.3b 自由锻
4	铸 造 齿 轮	平辐板 $d_a \leq 500\text{mm}$ 斜辐板 $d_a \leq 600\text{mm}$ 	$D_1 = 1.6d_h$ (铸钢) $D_1 = 1.8d_h$ (铸铁) $l = (1.2 \sim 1.5)d_h, l \geq b$ $\delta = (2.5 \sim 4)m_n$, 但不小于 8 ~ 10mm $n = 0.5m_n$ $r \approx 0.5C$ $D_0 = 0.5(D_1 + D_2)$ $d_0 = 0.25(D_2 - D_1)$ $C = 0.2b$, 但不小于 10mm
5	铸 造 齿 轮	$d_a = 400 \sim 1000\text{mm} \quad b \leq 200\text{mm}$ 	$D_1 = 1.6d_h$ (铸钢) $D_1 = 1.8d_h$ (铸铁) $l = (1.2 \sim 1.5)d_h, l > b$ $\delta = (2.5 \sim 4)m_n$, 但不小于 8mm $n = 0.5m_n, r \approx 0.5C$
6	齿 轮	$d_a > 1000, b = 200 \sim 450\text{mm}$ (上半部) $b > 450\text{mm}$ (下半部) 	$C = H/5$; $S = H/6$, 但不小于 10mm $e = 0.8\delta$ $H = 0.8d_h; H_1 = 0.8H$ $t = 0.8e$

(续)

序号	齿坯	结 构 图	结构尺寸
7	镶套齿轮	$d_a > 600\text{mm}$	$D_1 = 1.6d_h$ (铸钢) $D_1 = 1.8d_h$ (铸铁) $l = (1.2 \sim 1.5)d_h, l \geq b$ $\delta = 4m_n$, 但不小于 15mm $n = 0.5m_n$ $C = 0.15b$ $e = 0.8\delta$ $H = 0.8d_h; H_1 = 0.8H$ $d_1 = (0.05 \sim 0.1)d_h$ $l_2 = 3d_1$
8	铸造轮辐剖面		图 a: 椭圆形, 用于轻载荷齿轮, $a = (0.4 \sim 0.5)H$ 图 b: T 字形, 用于中等载荷齿轮 $C = H/5, S = H/6$ 图 c: 十字形, 用于中等载荷齿轮 $C = H/5, S = H/6$ 图 d、e: 工字形, 用于重载荷齿轮, $C = S = H/5$
9	焊接齿轮	$d_a < 1000\text{mm} \quad b < 240\text{mm}$	$D_1 = 1.6d_h$ $l = (1.2 \sim 1.5)d_h, l \geq b$ $\delta = 2.5m_n$, 但不小于 8mm $n = 0.5m_n$, $C = (0.1 \sim 0.15)b$, 但不小于 8mm $S = 0.8C$ $D_0 = 0.5(D_1 + D_2)$ $d_0 = 0.2(D_2 - D_1)$
10	焊接齿轮	$d_a > 1000\text{mm} \quad b > 240\text{mm}$	$d_1 = 1.6d_h$ $l = (1.2 \sim 1.5)d_h, l \geq b$ $\delta = 2.5m_n$, 但不小于 8mm $C = (0.1 \sim 0.15)b$, 但不小于 8mm $S = 0.8C$ $n = 0.5m_n$ $H = 0.8d_h$ $e = 0.2d$

(续)

序号	齿坯	结 构 图	结构尺寸
11	焊 接 齿 轮		图 a、图 b 用于焊接性良好的轮缘材料,低载荷及损伤危险性不严重场合。图 b 轮缘厚度可减小约 5mm 图 c 用于焊接含碳量较高,高合金成分及高强度的轮缘材料(如 45、34CrMo4、42CrMo4 等),采用中介材料堆焊 图 d 应力集中小,较图 a、图 b、图 c 成本高,但焊接性及可检验性好
12	剖 分 式 齿 轮		1. 轮辐数和齿数应取偶数 2. 剖分轮辐的尺寸 $D_1 = 1.8d \quad 1.5d_h > l \geq b$ $\delta = (4 \sim 5)m_t \quad H = 0.8d_h$ $H_1 = 0.8H$ $H_2 = (1.4 \sim 1.5)H$ $H_3 = 0.8H_2 \quad c = 0.2b$ $S = 0.8c \quad S_1 = 0.75S$ $e = 1.5\delta \quad n = 0.5m_n$ 3. 连接螺栓直径 d_2 按下值选取 轮缘处: 根据计算确定 轮毂处 单排螺栓 ($b < 100\text{mm}$) $d_2 = 0.15d_h + (8 \sim 15)\text{mm}$ 双排螺栓 ($b > 100\text{mm}$) $d_2 = 0.12d_h + (8 \sim 15)\text{mm}$ 4. 连接螺栓应尽量靠近轮缘或轴线;在轮缘处用双头螺柱;在轮毂处若螺栓为单排、轮辐数大于 4,应采用双头螺柱;若螺栓为双排,可采用螺栓

注: 1. 对工字形轮辐,若两肋板之间距离超过 400mm 时,须在中间增加第三根补强肋,见图 4.4-36。

2. 当 $d_h > 100\text{mm}$, 轮毂长度 $l \geq d_h$ 时,则轮毂孔内中部要制出一个凹沟,其直径 $d'_h \approx d_h + 16\text{mm}$,长度 $E = \frac{1}{2} - 12\text{mm}$,轮毂长度 $l = (1.5 \sim 2)d_h$,但不应小于齿宽 b 。
3. 对于 $b \leq 250\text{mm}$ 和直径小于 1800mm 的镶套式齿轮,其轮心可采用单辐板式,辐板厚度由 δ 到 2δ (齿宽越大取较大值)。当 $v > 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,采用单辐板式结构尤为有利。
4. 镶套式结构齿圈与铸铁轮心的配合推荐采用 H7/s6 (或 H7/u7)。对于用两个齿圈镶套的人字齿轮 (图 4.4-37) 应该用于转矩方向固定的场合,并在选择轮齿倾斜方向时应注意使轴向力方向朝齿圈中部。
5. 对于采用镶套式结构的大型重要齿轮,建议在轮心的缘部开出缝隙 (图 4.4-38),缝隙的数目一般为轮辐数之半,这时应在两侧加定位螺钉 6~12 个。
6. 焊接齿轮仅限于用在承载不大的不重要的传动。通常齿圈用 35 钢或 45 钢;轮毂、辐板和肋板用 Q235;电焊条为 T42。
7. 表中尺寸 δ 与模数的关系式,适用于 $m = (0.01 \sim 0.02)a$ 时,当模数小于以上范围时, δ 值应相应增大。

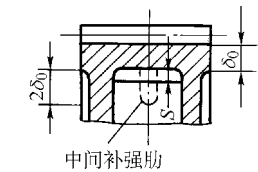


图 4.4-36 带有中间补强肋的齿轮结构

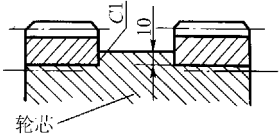


图 4.4-37 双弧圈人字齿轮

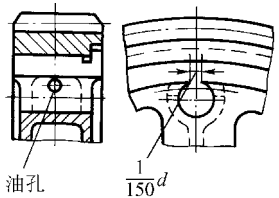


图 4.4-38 轮心缘部缝隙的结构和尺寸

9 渐开线圆柱齿轮精度

GB/T 10095《圆柱齿轮 精度制》由第1部分：轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值(GB/T 10095.1—2008，等同采用 ISO 1328-1: 1995)、第2部分：径向综合偏差与径向跳动的定义和允许值(GB/T 10095.2—2008，等同采用 ISO 1328-2: 1997)及指导性技术文件 GB/Z 18620《圆柱齿轮 检验实施规范》组成。

GB/T 10095.1—2008 规定了单个渐开线圆柱齿轮轮齿同侧齿面的精度制、轮齿各项精度术语的定义、齿轮精度制的结构以及齿距偏差、齿廓偏差、螺旋线偏差和切向综合偏差的允许值。此标准只适用于单个齿轮的每一要素，不包括齿轮副。

GB/T 10095.2—2008 规定了单个渐开线圆柱齿轮径向综合偏差和径向跳动的精度制，齿轮精度术语的定义、齿轮精度制的结构和所述偏差的允许值。径向综合偏差的公差仅适用于产品齿轮与测量齿轮的啮合检验，而不适用于两个产品齿轮的啮合检验。

GB/Z 18620《圆柱齿轮 检验实施规范》是关于齿轮检验方法的描述和意见，它包括四部分：第1部分：轮齿同侧齿面的检验(GB/Z 18620.1—2008，等同采用 ISO/TR 1064-1: 1992)，第2部分：径向综合偏差、径向跳动、齿厚和侧隙的检验(GB/Z 18620.2—2008 等同采用 ISO/TR 1064-2: 1996)，第3部分：齿轮坯、轴中心距和轴线平行度的检验(GB/Z 18620.3—2008，等同采用 ISO/TR 1064-3: 1996)，第4部分：表面结构和轮齿接触斑点的检验(GB/Z 18620.4—2008，等同采用 ISO/TR 1064-4: 1998)。指导性技术文件所提供的数值不作为严格的精度判据，而作为共同协议的关于钢或铁制齿轮的指南来使用。

使用 GB/T 10095.1 的各方，应十分熟悉 GB/Z 18620.1 所述方法和步骤，不采用上述方法和技术而采用 GB/T 10095.1 规定的允许值是不适宜的。

9.1 齿轮偏差的定义和代号(见表 4.4-90)

表 4.4-90 齿轮偏差的定义和代号

名称	定 义	备 注
单个齿距偏差 f_{pt}	在端平面上，在接近齿高中部的一个与齿轮轴线同心的圆上，实际齿距与理论齿距的代数差(图 4.4-39)	1) 属于 GB/T 10095.1—2008 2) 在接近齿高和齿宽中部测量。如果齿宽大于 250mm，应在距齿宽每侧约 15% 的齿宽处增加两个测量部位
齿距累积偏差 F_{pk}	任意 k 个齿距的实际弧长与理论弧长的代数差。理论上它等于这 k 个齿距的各单个齿距偏差的代数和(图 4.4-39)	3) f_{pt} 需对每个轮齿的两侧都进行测量 4) 除非另有规定， F_{pk} 值被限定在不大于 $1/8$ 的圆周上评定。因此， F_{pk} 的允许值适用于齿距数 k 为 2 到小于 $z/8$ 的弧段内。通常， F_{pk} 取 $k = z/8$ 就足够了，但对于特殊的应用(如高速齿轮)，还需要检验较小弧段，并规定相应的 k 值
齿距累积总偏差 F_p	齿轮同侧齿面任意弧段 ($k = 1$ 至 $k = z$) 内的最大齿距累积偏差。它表现为齿距累积偏差曲线的总幅值(图 4.4-39)	
齿廓总偏差 F_α	在计值范围 L_α 内，包容实际齿廓迹线的两条设计齿廓迹线间的距离(图 4.4-40a)	1) 属于 GB/T 10095.1—2008 2) 齿廓偏差是实际齿廓偏离设计齿廓的量，该量在端面内且垂直于渐开线齿廓的方向计算

(续)

名称	定义	备注
齿廓偏差	齿廓形状偏差 f_{α} 在计值范围 L_{α} 内, 包容实际齿廓迹线的与平均齿廓迹线完全相同的两条迹线间的距离, 且两条曲线与平均齿廓的距离为常数(图 4.4-40b)	3) 设计齿廓指符合设计规定的齿廓, 无其他限时时, 指端面齿廓 4) 平均齿廓是指设计齿廓迹线的纵坐标减去一条斜直线的相应纵坐标后得到的一条迹线。使得在计值范围内, 实际齿廓迹线与平均齿廓迹线偏差的平方和最小
	齿廓倾斜偏差 $f_{H\alpha}$ 在计值范围 L_{α} 内, 两端与平均齿廓迹线相交的两条设计齿廓迹线间的距离(图 4.4-40c)	5) 在齿宽中部测量。如果齿宽大于 250mm, 应在距齿宽每侧约 15% 的齿宽处增加两个测量部位。应至少测量沿齿轮圆周均布的三个齿的两侧齿面 6) 齿廓形状偏差和齿廓倾斜偏差不是强制性的单项检验项目
螺旋线偏差	螺旋线总偏差 F_{β} 在计值范围 L_{β} 内, 包容实际螺旋线迹线的两条设计螺旋线迹线间的距离(图 4.4-41a)	1) 属于 GB/T 10095.1—2008 2) 螺旋线偏差是在齿轮端面基圆切线方向测得的实际螺旋线偏离设计螺旋线的量, 且应在沿齿轮圆周均布的至少三个齿的两侧齿面的齿高中部测量
	螺旋线形状偏差 f_{β} 在计值范围 L_{β} 内, 包容实际螺旋线迹线的与平均螺旋线迹线完全相同的、两条曲线间的距离, 且两条曲线与平均螺旋线的距离为常数(图 4.4-41b)	3) 设计螺旋线是指符合设计规定的螺旋线 4) 平均螺旋线是指从设计螺旋线迹线的纵坐标减去一条斜直线的相应纵坐标后得到的一条迹线。使得在计值范围内, 实际螺旋线迹线与平均螺旋线迹线偏差的平方和最小
	螺旋线倾斜偏差 $f_{H\beta}$ 在计值范围 L_{β} 的两端与平均螺旋线迹线相交的、两条设计螺旋线迹线间的距离(图 4.4-41c)	5) 螺旋线形状偏差和螺旋线倾斜偏差不是强制性的单项检验项目
切向综合偏差	切向综合总偏差 F'_i 被测齿轮与测量齿轮单面啮合检验时, 被测齿轮一转内, 齿轮分度圆上实际圆周位移与理论圆周位移的最大差值(图 4.4-42)	1) 属于 GB/T 10095.1—2008 2) 在检测过程, 齿轮的同侧齿面处于单面啮合状态
	一齿切向综合偏差 f'_i 在一个齿距内的切向综合偏差值(图 4.4-42)	3) 切向综合偏差不是强制性检验项目。经供需双方同意时, 这种方法最好与轮齿接触的检验同时进行, 有时可以用来替代其他检测方法
径向综合偏差	径向综合总偏差 F''_i 在径向(双面)综合检验时, 产品齿轮的左右齿面同时与测量齿轮接触, 并转过一整圈时出现的中心距最大值和最小值之差(图 4.4-43)	1) 属于 GB/T 10095.2—2008 2) 产品齿轮是指正在被测量或被评定的齿轮
	一齿径向综合偏差 f''_i 当产品齿轮啮合一整圈时, 对应一个齿距($360^\circ/z$)的径向综合偏差(图 4.4-43)	3) 产品齿轮所有轮齿的 f''_i 的最大值不应超过规定的允许值
径向跳动 F_r	适当的测头(球、砧、圆柱或棱柱体)在齿轮旋转时逐齿地置于每个齿槽内, 相对于齿轮基准轴线的最大和最小径向位置之差(图 4.4-44)	1) 属于 GB/T 10095.2—2008 2) 检测中, 测头在近似齿高中部与左右齿面接触。图 4.4-45 中偏心量是径向圆跳动的一部分 3) 当齿轮径向综合偏差被测量时, 就不必再测量径向圆跳动

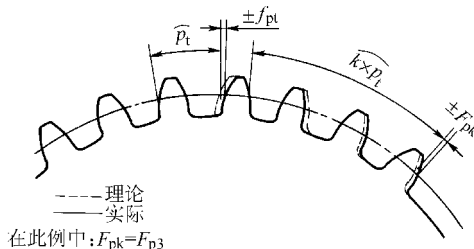


图 4.4-39 齿距偏差

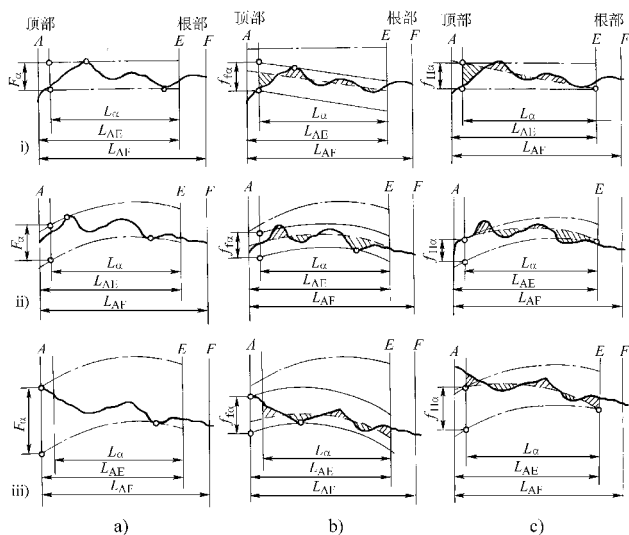


图 4.440 齿廓偏差

a) 总偏差 b) 形状偏差 c) 倾斜偏差

注: 1. 图中, — — — 设计齿廓; ~~~~ 实际齿廓; - - - - 平均齿廓。

i) 设计齿廓: 未修形的渐开线; 实际齿廓: 在减薄区偏向体内。

ii) 设计齿廓: 修形的渐开线(举例); 实际齿廓: 在减薄区偏向体内。

iii) 设计齿廓: 修形的渐开线(举例); 实际齿廓: 在减薄区偏向体外。

2. L_{AF} —可用长度等于两条端面基圆切线长之差。其中一条从基圆延伸到可用齿廓的外界限点, 另一条从基圆延伸到可用齿廓的内界限点。依据设计, 可用长度被齿顶、齿顶倒棱或齿顶倒圆的起始点(A点)限定, 对于齿根, 可用长度被齿根圆角或挖根的起始点(F点)限定。

3. L_{AE} —有效长度, 可用长度对应有有效齿廓的部分。对于齿顶, 与可用长度有同样的限定(A点)。对于齿根, 有效长度延伸到与之配对齿轮有效啮合的终止点E(即有效齿廓起始点)。如不知道配对齿轮, 则E点为与基本齿条相啮合的有效齿廓的起始点。

4. L_{α} —齿廓计值范围, 可用长度中的一部分, 在 L_{α} 范围内应遵照规定精度等级的公差。除另有规定外, 其长度等于从点E开始的有效长度 L_{AE} 的92%。

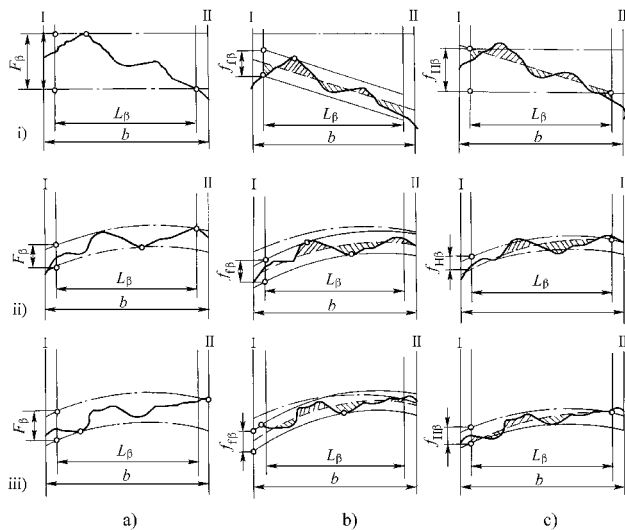


图 4.441 螺旋线偏差

a) 总偏差 b) 形状偏差 c) 倾斜偏差

注: 1. 图中, — — — 设计螺旋线; ~~~~ 实际螺旋线; - - - - 平均螺旋线。

i) 设计螺旋线: 未修形的渐开线; 实际螺旋线: 在减薄区偏向体内。

ii) 设计螺旋线: 修形的渐开线(举例); 实际螺旋线: 在减薄区偏向体内。

iii) 设计螺旋线: 修形的渐开线(举例); 实际螺旋线: 在减薄区偏向体外。

2. L_{β} —螺旋线计值范围。除另有规定外, L_{β} 等于在轮齿两端各减去5%的齿宽或一个模数的长度后的数值较大者。

3. b —齿宽。

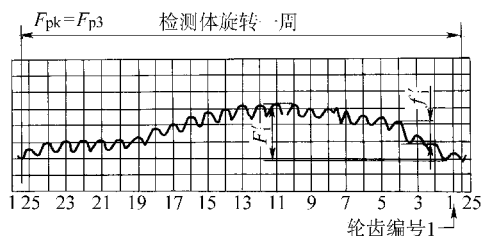


图 4.4-42 切向综合偏差

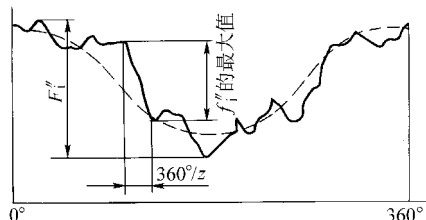


图 4.4-43 径向综合偏差

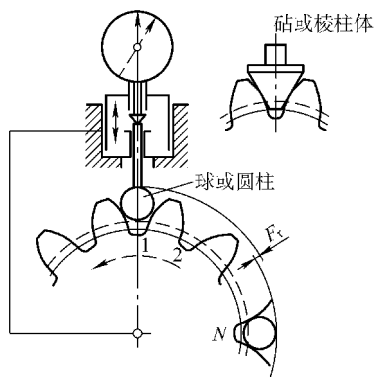


图 4.4-44 测量径向跳动的原理

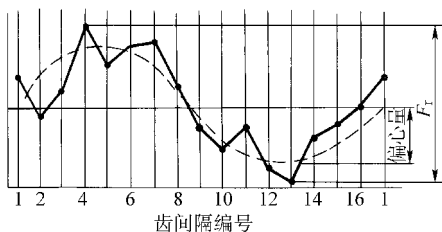


图 4.4-45 16 个齿的齿轮径向跳动示图

9.2 精度等级及其选择

齿轮的精度等级见表 4.4-91。

0~2 级精度的齿轮要求非常高，各项偏差的允许值很小，是有待发展的精度等级。通常，将 3~5 级称为高精度等级，6~8 级称为中等精度等级，9~12 级称为低精度等级。

一般情况下，如所要求的齿轮精度为 GB/T 10095.1 (或 GB/T 10095.2) 的某个精度等级，则齿距偏差、齿廓偏差、螺旋线偏差 (或径向综合偏差、径向跳动) 的公差均按该精度等级。也可以按协议，对工作齿面和非工作齿面可规定不同的精度等级，或对于不同的偏差项目可规定不同的精度等级。另外，也可仅对工作齿面规定所要求的精度等级。

径向综合偏差不一定与 GB/T 10095.1 中的偏差项目选用相同的精度等级。

选择齿轮精度时，必须根据其用途、工作条件等来确定。即必须考虑齿轮的工作速度、传递功率、工作的持续时间、振动、噪声和使用寿命等方面的要求。

表 4.4-91 齿轮精度等级

标 准	偏差项目	精度等级												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GB/T 10095. 1	f_{pt} 、 F_{pk} 、 F_p 、 F_a 、 F_{β} 、 F'_i 、 f'_i													
GB/T 10095. 2	F_r													
	F''_i 、 f''_i													

表 4.4-92 给出了各类机械传动中所应用的齿轮精度等级，表 4.4-93 给出了圆柱齿轮传动各级精度

的应用范围。

表 4.4-92 各类机械传动中所应用的齿轮精度等级

产品类型	精度等级	产品类型	精度等级	产品类型	精度等级
测量齿轮	2~5	轻型汽车	5~8	轧钢机	6~10
透平齿轮	3~6	载货汽车	6~9	矿用绞车	8~10
金属切削机床	3~8	航空发动机	4~8	起重机械	7~10
内燃机车	6~7	拖拉机	6~9	农业机械	8~11
汽车底盘	5~8	通用减速器	6~9		

注：本表不属于国家标准内容，仅供参考。

表 4. 4-93 各精度等级齿轮的适用范围

精度等级	工作条件与适用范围	圆周速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		齿面的最后加工
		直齿	斜齿	
3	用于最平稳且无噪声的极高速下工作的齿轮；特别精密的分度机构齿轮；特别精密机械中的齿轮；控制机构齿轮；检测 5、6 级的测量齿轮	> 50	> 75	特精密的磨齿和珩磨；用精密滚刀滚齿或单边剃齿后的大多数不经淬火的齿轮
4	用于精密分度机构的齿轮；特别精密机械中的齿轮；高速涡轮机齿轮；控制机构齿轮；检测 7 级的测量齿轮	> 40	> 70	精密磨齿；大多数用精密滚刀滚齿和珩齿或单边剃齿
5	用于高平稳且低噪声的高速传动中的齿轮；精密机构中的齿轮；涡轮机传动的齿轮；检测 8、9 级的测量齿轮 重要的航空、船用齿轮箱齿轮	> 20	> 40	精密磨齿；大多数用精密滚刀加工，进而研齿或剃齿
6	用于高速下平稳工作，需要高效率及低噪声的齿轮；航空、汽车用齿轮；读数装置中的精密齿轮；机床传动链齿轮；机床传动齿轮	到 15	到 30	精密磨齿或剃齿
7	在中速或大功率下工作的齿轮；机床变速箱进给齿轮；减速器齿轮；起重机齿轮；汽车以及读数装置中的齿轮	到 10	到 15	无需热处理的齿轮，用精确刀具加工 对于淬硬齿轮必须精整加工（磨齿、研齿、珩磨）
8	一般机器中无特殊精度要求的齿轮；机床变速齿轮；汽车制造业中不重要齿轮；冶金、起重机械齿轮；通用减速器的齿轮；农业机械中的重要齿轮	到 6	到 10	滚、插齿均可，不用磨齿；必要时剃齿或研齿
9	用于不提出精度要求的粗糙工作的齿轮；因结构上考虑，受载低于计算载荷的传动用齿轮；低速不重要工作机械的动力齿轮；农机齿轮	到 2	到 4	不需要特殊的精加工工序

9.3 齿轮的检验

根据 GB/T 10095.1—2008 和 GB/T 10095.2—2008 两项标准，齿轮的检验可分为单项检验和综合检验，综合检验又分为单面啮合综合检验和双面啮合综合检验，见表 4. 4-94。两种检验形式不能同时使用。

表 4. 4-94 齿轮的检验项目

单项检验项目	综合检验项目	
	单面啮合综合检验	双面啮合综合检验
齿距偏差 f_{pt} 、 F_{pk} 、 F_p	切向综合总偏差 F_i'	径向综合总偏差 F_i''
齿廓总偏差 F_α	一齿切向综合偏差 f_i'	一齿径向综合偏差 f_i''
螺旋线总偏差 F_β		
齿厚偏差		
径向跳动 F_r		

标准没有规定齿轮的公差组和检验组，能明确评定齿轮精度等级的是单个齿距偏差 f_{pt} 、齿距累积总偏差 F_p 、齿廓总偏差 F_α 、螺旋线总偏差 F_β 的允许值。一般节圆线速度大于 $15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的高速齿轮，

加检齿距累积偏差 F_{pk} 。建议供货方根据齿轮的使用要求、生产批量，在下述建议的检验组中选取一个检验组，评定齿轮质量。

- 1) f_{pt} 、 F_p 、 F_α 、 F_β 、 F_r 。
- 2) F_{pk} 、 f_{pt} 、 F_p 、 F_α 、 F_β 、 F_r 。
- 3) F_i'' 、 f_i'' 。
- 4) f_{pt} 、 F_r (10 ~ 12 级)。
- 5) F_i' 、 f_i' (有协议要求时)。

9.4 齿轮偏差数值表和齿轮偏差计算公式

齿轮的单个齿距偏差 f_{pt} 、齿距累积总公差 F_p 、齿廓总公差 F_α 、齿廓形状公差 $F_{\alpha\alpha}$ 、齿廓倾斜偏差 $F_{H\alpha}$ 、螺旋线总公差 F_β 、螺旋线形状公差 $f_{H\beta}$ 、螺旋线倾斜偏差 $f_{H\beta}$ ，一齿切向综合偏差 f_i' (测量一齿切向综合偏差 f_i' 时，其值受总重合度 ε_γ 影响、故标准给出了 f_i'/K 值)、径向综合总偏差 F_i'' 、一齿径向综合偏差 f_i'' 、径向跳动 F_r 等允许值，见表 4. 4-95 ~ 表 4. 4-106。

齿轮的齿距累积偏差 F_{pk} 、切向综合总偏差 F_i' 应按表 2-150 中的计算或计算。

5 级精度齿轮的偏差计算公式见表 4. 4-106。

表 4.4-95 单个齿距偏差 $\pm f_{pt}$

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级						分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级					
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
		$\pm f_{\text{pt}}/\mu\text{m}$								$\pm f_{\text{pt}}/\mu\text{m}$					
$5 \leq d \leq 20$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	3.3	4.7	6.5	9.5	13.0	19.0	$280 < d \leq 560$	$6 < m_n \leq 10$	6.0	8.5	12.0	17.0	25.0	35.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	3.7	5.0	7.5	10.0	15.0	21.0		$10 < m_n \leq 16$	7.0	10.0	14.0	20.0	29.0	41.0
$20 < d \leq 50$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	3.5	5.0	7.0	10.0	14.0	20.0	$560 < d \leq 1000$	$2 < m_n \leq 3.5$	5.5	8.0	11.0	16.0	23.0	32.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	3.9	5.5	7.5	11.0	15.0	22.0		$3.5 < m_n \leq 6$	6.0	8.5	12.0	17.0	24.0	35.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	4.3	6.0	8.5	12.0	17.0	24.0		$6 < m_n \leq 10$	7.0	9.5	14.0	19.0	27.0	38.0
	$6 < m_n \leq 10$	4.9	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0		$10 < m_n \leq 16$	8.0	11.0	16.0	22.0	31.0	44.0
$50 < d \leq 125$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	3.8	5.5	7.5	11.0	15.0	21.0	$1000 < d \leq 1600$	$2 \leq m_n \leq 3.5$	6.5	9.0	13.0	18.0	26.0	36.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	4.1	6.0	8.5	12.0	17.0	23.0		$3.5 < m_n \leq 6$	7.0	9.5	14.0	19.0	27.0	39.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	4.6	6.5	9.0	13.0	18.0	26.0		$6 < m_n \leq 10$	7.5	11.0	15.0	21.0	30.0	42.0
	$6 < m_n \leq 10$	5.0	7.5	10.0	15.0	21.0	30.0		$10 < m_n \leq 16$	8.5	12.0	17.0	24.0	34.0	48.0
	$10 < m_n \leq 16$	6.5	9.0	13.0	18.0	25.0	35.0								
$125 < d \leq 280$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	4.2	6.0	8.5	12.0	17.0	24.0	$1600 < d \leq 2500$	$3.5 \leq m_n \leq 6$	7.5	11.0	15.0	21.0	30.0	43.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	4.6	6.5	9.0	13.0	18.0	26.0		$6 < m_n \leq 10$	8.5	12.0	17.0	23.0	33.0	47.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	5.0	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0		$10 < m_n \leq 16$	9.5	13.0	19.0	26.0	37.0	53.0
	$6 < m_n \leq 10$	5.5	8.0	11.0	16.0	23.0	32.0		$16 < m_n \leq 25$	11.0	15.0	22.0	31.0	43.0	61.0
	$10 < m_n \leq 16$	6.5	9.5	13.0	19.0	27.0	38.0		$25 < m_n \leq 40$	13.0	19.0	27.0	38.0	53.0	75.0
$280 < d \leq 560$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	4.7	6.5	9.5	13.0	19.0	27.0	$2500 < d \leq 4000$	$6 < m_n \leq 10$	9.0	13.0	18.0	26.0	37.0	52.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	5.0	7.0	10.0	14.0	20.0	29.0		$10 < m_n \leq 16$	10.0	15.0	21.0	29.0	41.0	58.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	5.5	8.0	11.0	16.0	22.0	31.0		$16 < m_n \leq 25$	12.0	17.0	24.0	33.0	47.0	67.0
									$25 < m_n \leq 40$	14.0	20.0	29.0	40.0	57.0	81.0

表 4.4-96 齿距累积总偏差 F_p

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级						分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级					
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
		$F_p/\mu\text{m}$								$F_p/\mu\text{m}$					
$5 \leq d \leq 20$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	8.0	11.0	16.0	23.0	32.0	45.0	$280 < d \leq 560$	$6 < m_n \leq 10$	24.0	34.0	48.0	68.0	97.0	137.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	8.5	12.0	17.0	23.0	33.0	47.0		$10 < m_n \leq 16$	25.0	36.0	50.0	71.0	101.0	143.0
$20 < d \leq 50$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	10.0	14.0	20.0	29.0	41.0	57.0	$560 < d \leq 1000$	$2 < m_n \leq 3.5$	30.0	42.0	59.0	84.0	119.0	168.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	10.0	15.0	21.0	30.0	42.0	59.0		$3.5 < m_n \leq 6$	30.0	43.0	60.0	85.0	120.0	170.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	11.0	15.0	22.0	31.0	44.0	62.0		$6 < m_n \leq 10$	31.0	44.0	62.0	87.0	123.0	174.0
	$6 < m_n \leq 10$	12.0	16.0	23.0	33.0	46.0	65.0		$10 < m_n \leq 16$	32.0	45.0	64.0	90.0	127.0	180.0
$50 < d \leq 125$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	13.0	18.0	26.0	37.0	52.0	74.0	$1000 < d \leq 1600$	$2 \leq m_n \leq 3.5$	37.0	52.0	74.0	105.0	148.0	209.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	13.0	19.0	27.0	38.0	53.0	76.0		$3.5 < m_n \leq 6$	37.0	53.0	75.0	106.0	149.0	211.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	14.0	19.0	28.0	39.0	55.0	78.0		$6 < m_n \leq 10$	38.0	54.0	76.0	108.0	152.0	215.0
	$6 < m_n \leq 10$	14.0	20.0	29.0	41.0	58.0	82.0		$10 < m_n \leq 16$	39.0	55.0	78.0	111.0	156.0	221.0
		$10 < m_n \leq 16$	15.0	22.0	31.0	44.0	62.0	88.0							
$125 < d \leq 280$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	17.0	24.0	35.0	49.0	69.0	98.0	$1600 < d \leq 2500$	$3.5 \leq m_n \leq 6$	45.0	64.0	91.0	129.0	182.0	257.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	18.0	25.0	35.0	50.0	70.0	100.0		$6 < m_n \leq 10$	46.0	65.0	92.0	130.0	184.0	261.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	18.0	25.0	36.0	51.0	72.0	102.0		$10 < m_n \leq 16$	47.0	67.0	94.0	133.0	189.0	267.0
	$6 < m_n \leq 10$	19.0	26.0	37.0	53.0	75.0	106.0		$16 < m_n \leq 25$	49.0	69.0	97.0	138.0	195.0	276.0
	$10 < m_n \leq 16$	20.0	28.0	39.0	56.0	79.0	112.0		$25 < m_n \leq 40$	51.0	72.0	102.0	145.0	205.0	290.0
$280 < d \leq 560$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	23.0	32.0	46.0	64.0	91.0	129.0	$2500 < d \leq 4000$	$6 < m_n \leq 10$	56.0	80.0	113.0	159.0	225.0	318.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	23.0	33.0	46.0	65.0	92.0	131.0		$10 < m_n \leq 16$	57.0	81.0	115.0	162.0	229.0	324.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	24.0	33.0	47.0	66.0	94.0	133.0		$16 < m_n \leq 25$	59.0	83.0	118.0	167.0	286.0	333.0
									$25 < m_n \leq 40$	61.0	87.0	123.0	174.0	245.0	347.0

表 4.4-97 齿廓总偏差 F_{α}

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级						分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级					
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
		$F_{\alpha}/\mu\text{m}$								$F_{\alpha}/\mu\text{m}$					
$5 \leq d \leq 20$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	3.2	4.6	6.5	9.0	13.0	18.0	$280 < d \leq 560$	$6 < m_n \leq 10$	10.0	14.0	20.0	28.0	40.0	56.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	4.7	6.5	9.5	13.0	19.0	26.0		$10 < m_n \leq 16$	12.0	16.0	23.0	33.0	47.0	66.0
$20 < d \leq 50$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	3.6	5.0	7.5	10.0	15.0	21.0	$560 < d \leq 1000$	$2 < m_n \leq 3.5$	8.5	12.0	17.0	24.0	34.0	48.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	5.0	7.0	10.0	14.0	20.0	29.0		$3.5 < m_n \leq 6$	9.5	14.0	19.0	27.0	38.0	54.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	6.0	9.0	12.0	18.0	25.0	35.0		$6 < m_n \leq 10$	11.0	16.0	22.0	31.0	44.0	62.0
	$6 < m_n \leq 10$	7.5	11.0	15.0	22.0	31.0	43.0		$10 < m_n \leq 16$	13.0	18.0	26.0	36.0	51.0	72.0
$50 < d \leq 125$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	4.1	6.0	8.5	12.0	17.0	23.0	$1000 < d \leq 1600$	$2 \leq m_n \leq 3.5$	9.5	14.0	19.0	27.0	39.0	55.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	5.5	8.0	11.0	16.0	22.0	31.0		$3.5 < m_n \leq 6$	11.0	15.0	22.0	31.0	43.0	61.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	6.5	9.5	13.0	19.0	27.0	38.0		$6 < m_n \leq 10$	12.0	17.0	25.0	35.0	49.0	70.0
	$6 < m_n \leq 10$	8.0	12.0	16.0	23.0	33.0	46.0		$10 < m_n \leq 16$	14.0	20.0	28.0	40.0	56.0	80.0
	$10 < m_n \leq 16$	10.0	14.0	20.0	28.0	40.0	56.0								
$125 < d \leq 280$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	4.9	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0	$1600 < d \leq 2500$	$3.5 \leq m_n \leq 6$	12.0	17.0	25.0	35.0	49.0	70.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	6.5	9.0	13.0	18.0	25.0	36.0		$6 < m_n \leq 10$	14.0	19.0	27.0	39.0	55.0	78.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	7.5	11.0	15.0	21.0	30.0	42.0		$10 < m_n \leq 16$	15.0	22.0	31.0	44.0	62.0	88.0
	$6 < m_n \leq 10$	9.0	13.0	18.0	25.0	36.0	50.0		$16 < m_n \leq 26$	18.0	25.0	35.0	50.0	70.0	99.0
	$10 < m_n \leq 16$	11.0	15.0	21.0	30.0	43.0	60.0		$25 < m_n \leq 40$	20.0	29.0	40.0	57.0	81.0	114.0
$280 < d \leq 560$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	6.0	8.5	12.0	17.0	23.0	33.0	$2500 < d \leq 4000$	$6 < m_n \leq 10$	16.0	22.0	31.0	44.0	62.0	88.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	7.5	10.0	15.0	21.0	29.0	41.0		$10 < m_n \leq 16$	17.0	24.0	35.0	49.0	69.0	98.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	8.5	12.0	17.0	24.0	34.0	48.0		$16 < m_n \leq 25$	19.0	27.0	39.0	55.0	77.0	110.0
									$25 < m_n \leq 40$	22.0	31.0	44.0	62.0	88.0	124.0

表 4.4-98 齿廓形状偏差 f_{α}

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级						分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级					
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
		$f_{\text{ia}}/\mu\text{m}$								$f_{\text{ia}}/\mu\text{m}$					
$5 \leq d \leq 20$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	2.5	3.5	5.0	7.0	10.0	14.0	$280 < d \leq 560$	$6 < m_n \leq 10$	7.5	11.0	15.0	22.0	31.0	43.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	3.6	5.0	7.0	10.0	14.0	20.0		$10 < m_n \leq 16$	9.0	13.0	18.0	26.0	36.0	51.0
$20 < d \leq 50$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	2.8	4.0	5.5	8.0	11.0	16.0	$560 < d \leq 1000$	$2 < m_n \leq 3.5$	6.5	9.0	13.0	18.0	26.0	37.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	3.9	5.5	8.0	11.0	16.0	22.0		$3.5 < m_n \leq 6$	7.5	11.0	15.0	21.0	30.0	42.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	4.8	7.0	9.5	14.0	19.0	27.0		$6 < m_n \leq 10$	8.5	12.0	17.0	24.0	34.0	48.0
	$6 < m_n \leq 10$	6.0	8.5	12.0	17.0	24.0	34.0		$10 < m_n \leq 16$	10.0	14.0	20.0	28.0	40.0	56.0
$50 < d \leq 125$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	3.2	4.5	6.5	9.0	13.0	18.0	$1000 < d \leq 1600$	$2 \leq m_n \leq 3.5$	7.5	11.0	15.5	21.0	30.0	42.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	4.3	6.0	8.5	12.0	17.0	24.0		$3.5 < m_n \leq 6$	8.5	12.0	17.0	24.0	34.0	48.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	5.0	7.5	10.0	15.0	21.0	29.0		$6 < m_n \leq 10$	9.5	14.0	19.0	27.0	38.0	54.0
	$6 < m_n \leq 10$	6.5	9.0	13.0	18.0	25.0	36.0		$10 < m_n \leq 16$	11.0	15.0	22.0	31.0	44.0	62.0
	$10 < m_n \leq 16$	7.5	11.0	15.0	22.0	31.0	44.0								
$125 < d \leq 280$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	3.8	5.5	7.5	11.0	15.0	21.0	$1600 < d \leq 2500$	$3.5 \leq m_n \leq 6$	9.5	13.0	19.0	27.0	38.0	54.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	4.9	7.0	9.5	14.0	19.0	28.0		$6 < m_n \leq 10$	11.0	15.0	21.0	30.0	43.0	60.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	6.0	8.0	12.0	16.0	23.0	33.0		$10 < m_n \leq 16$	12.0	17.0	24.0	34.0	48.0	68.0
	$6 < m_n \leq 10$	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0	39.0		$16 < m_n \leq 25$	14.0	19.0	27.0	39.0	55.0	77.0
	$10 < m_n \leq 16$	8.5	12.0	17.0	23.0	33.0	47.0	$25 < m_n \leq 40$	16.0	22.0	31.0	44.0	63.0	89.0	
$280 < d \leq 560$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	4.5	6.5	9.0	13.0	18.0	26.0	$2500 < d \leq 4000$	$6 < m_n \leq 10$	12.0	17.0	24.0	34.0	48.0	68.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	5.5	8.0	11.0	16.0	22.0	32.0		$10 < m_n \leq 16$	13.0	19.0	27.0	38.0	54.0	76.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	6.5	9.0	13.0	18.0	26.0	37.0		$16 < m_n \leq 25$	15.0	21.0	30.0	42.0	60.0	85.0
									$25 < m_n \leq 40$	17.0	24.0	34.0	48.0	68.0	96.0

表 4.4-99 齿廓倾斜偏差 $\pm f_{H\alpha}$

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级						分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级					
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
		$\pm f_{H\alpha}/\mu\text{m}$								$\pm f_{H\alpha}/\mu\text{m}$					
$5 \leq d \leq 20$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	2.1	2.9	4.2	6.0	8.5	12.0	$280 < d \leq 560$	$6 < m_n \leq 10$	6.5	9.0	13.0	18.0	25.0	35.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	3.0	4.2	6.0	8.5	12.0	17.0		$10 < m_n \leq 16$	7.5	10.0	15.0	21.0	29.0	42.0
$20 < d \leq 50$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	2.3	3.3	4.6	6.5	9.5	13.0	$560 < d \leq 1000$	$2 < m_n \leq 3.5$	5.5	7.5	11.0	15.0	21.0	30.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	3.2	4.5	6.5	9.0	13.0	18.0		$3.5 < m_n \leq 6$	6.0	8.5	12.0	17.0	24.0	34.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	3.9	5.5	8.0	11.0	16.0	22.0		$6 < m_n \leq 10$	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0	40.0
	$6 < m_n \leq 10$	4.8	7.0	9.5	14.0	19.0	27.0		$10 < m_n \leq 16$	8.0	11.0	16.0	23.0	32.0	46.0
$50 < d \leq 125$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	2.6	3.7	5.5	7.5	11.0	15.0	$1000 < d \leq 1600$	$2 \leq m_n \leq 3.5$	6.0	8.5	12.0	17.0	25.0	35.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	3.5	5.0	7.0	10.0	14.0	20.0		$3.5 < m_n \leq 6$	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0	39.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	4.3	6.0	8.5	13.0	17.0	24.0		$6 < m_n \leq 10$	8.0	11.0	16.0	22.0	31.0	44.0
	$6 < m_n \leq 10$	5.0	7.5	10.0	15.0	21.0	29.0		$10 < m_n \leq 16$	9.0	13.0	18.0	25.0	36.0	50.0
$125 < d \leq 280$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	3.1	4.4	6.0	9.0	12.0	18.0	$1600 < d \leq 2500$	$3.5 \leq m_n \leq 6$	8.0	11.0	16.0	22.0	31.0	44.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	4.0	5.5	8.0	11.0	16.0	23.0		$6 < m_n \leq 10$	8.5	12.0	17.0	25.0	35.0	49.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	4.7	6.5	9.5	13.0	19.0	27.0		$10 < m_n \leq 16$	10.0	14.0	20.0	28.0	39.0	55.0
	$6 < m_n \leq 10$	5.5	8.0	11.0	16.0	23.0	32.0		$16 < m_n \leq 25$	11.0	16.0	22.0	31.0	44.0	68.0
$280 < d \leq 560$	$0.5 \leq m_n \leq 2$	3.7	5.5	7.5	11.0	15.0	21.0	$2500 < d \leq 4000$	$6 < m_n \leq 10$	10.0	14.0	20.0	28.0	39.0	56.0
	$2 < m_n \leq 3.5$	4.6	6.5	9.0	13.0	18.0	26.0		$10 < m_n \leq 16$	11.0	15.0	22.0	31.0	44.0	62.0
	$3.5 < m_n \leq 6$	5.5	7.5	11.0	15.0	21.0	30.0		$16 < m_n \leq 25$	12.0	17.0	24.0	35.0	49.0	69.0
									$25 < m_n \leq 40$	14.0	20.0	28.0	39.0	55.0	78.0

表 4.4-100 螺旋线总偏差 F_β

分度圆直径 d/mm	齿 宽 b/mm	精 度 等 级						分度圆直径 d/mm	齿 宽 b/mm	精 度 等 级					
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
		$F_{\beta}/\mu\text{m}$								$F_{\beta}/\mu\text{m}$					
$5 \leq d \leq 20$	$4 \leq b \leq 10$	4.3	6.0	8.5	12.0	17.0	24.0	$280 < d \leq 560$	$20 < b \leq 40$	6.5	9.5	13.0	19.0	27.0	38.0
	$10 < b \leq 20$	4.9	7.0	9.5	14.0	19.0	28.0		$40 < b \leq 80$	7.5	11.0	15.0	22.0	31.0	44.0
	$20 < b \leq 40$	5.5	8.0	11.0	16.0	22.0	31.0		$80 < b \leq 160$	9.0	13.0	18.0	26.0	36.0	52.0
	$40 < b \leq 80$	6.5	9.5	13.0	19.0	26.0	37.0		$160 < b \leq 250$	11.0	15.0	21.0	30.0	43.0	60.0
$20 < d \leq 50$	$4 \leq b \leq 10$	4.5	6.5	9.0	13.0	18.0	25.0	$560 < d \leq 1000$	$80 < b \leq 160$	9.5	14.0	19.0	27.0	39.0	55.0
	$10 < b \leq 20$	5.0	7.0	10.0	14.0	20.0	29.0		$160 < b \leq 250$	11.0	16.0	22.0	32.0	45.0	63.0
	$20 < b \leq 40$	5.5	8.0	11.0	16.0	23.0	32.0		$250 < b \leq 400$	13.0	18.0	26.0	36.0	51.0	73.0
	$40 < b \leq 80$	6.5	9.5	13.0	19.0	27.0	38.0		$400 < b \leq 650$	15.0	21.0	30.0	42.0	60.0	85.0
$50 < d \leq 125$	$80 < b \leq 160$	8.0	11.0	16.0	23.0	32.0	46.0	$1000 < d \leq 1600$	$80 < b \leq 160$	10.0	14.0	20.0	29.0	41.0	58.0
	$4 \leq b \leq 10$	4.7	6.5	9.5	13.0	19.0	27.0		$160 < b \leq 250$	12.0	17.0	24.0	33.0	47.0	67.0
	$10 < b \leq 20$	5.5	7.5	11.0	15.0	21.0	30.0		$250 < b \leq 400$	13.0	19.0	27.0	38.0	54.0	76.0
	$20 < b \leq 40$	6.0	8.5	12.0	17.0	24.0	34.0		$400 < b \leq 650$	16.0	22.0	31.0	44.0	62.0	88.0
$125 < d \leq 280$	$40 < b \leq 80$	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0	39.0	$1600 < d \leq 2500$	$80 < b \leq 160$	11.0	15.0	22.0	31.0	43.0	61.0
	$80 < b \leq 160$	8.5	12.0	17.0	24.0	33.0	47.0		$160 < b \leq 250$	12.0	18.0	25.0	35.0	50.0	70.0
	$160 < b \leq 250$	10.0	14.0	20.0	28.0	40.0	56.0		$250 < b \leq 400$	14.0	20.0	28.0	40.0	56.0	80.0
	$10 < b \leq 20$	5.5	8.0	11.0	16.0	22.0	32.0		$400 < b \leq 650$	16.0	23.0	32.0	46.0	65.0	92.0
$280 < d \leq 560$	$20 < b \leq 40$	6.5	9.0	13.0	18.0	25.0	36.0	$2500 < d \leq 4000$	$160 < b \leq 250$	13.0	19.0	26.0	37.0	53.0	75.0
	$40 < b \leq 80$	7.5	10.0	15.0	21.0	29.0	41.0		$250 < b \leq 400$	15.0	21.0	30.0	42.0	59.0	84.0
	$80 < b \leq 160$	8.5	12.0	17.0	25.0	35.0	49.0		$400 < b \leq 650$	17.0	24.0	34.0	48.0	68.0	96.0
	$160 < b \leq 250$	10.0	14.0	20.0	29.0	41.0	58.0		$650 < b \leq 1000$	20.0	28.0	39.0	55.0	78.0	111.0

表 4.4-101 螺旋线形状偏差 $f_{\text{H}\beta}$ 和螺旋线倾斜偏差 $f_{\text{H}\beta}$

分度圆直径 d/mm	齿 宽 b/mm	精 度 等 级						分度圆直径 d/mm	齿 宽 b/mm	精 度 等 级					
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
		$f_{\text{H}\beta}, \pm f_{\text{H}\beta}/\mu\text{m}$								$f_{\text{H}\beta}, \pm f_{\text{H}\beta}/\mu\text{m}$					
$5 \leq d \leq 20$	$4 \leq b \leq 10$	3.1	4.4	6.0	8.5	12.0	17.0	$280 < d \leq 560$	$20 < b \leq 40$	4.8	7.0	9.5	14.0	19.0	27.0
	$10 < b \leq 20$	3.5	4.9	7.0	10.0	14.0	20.0		$40 < b \leq 80$	5.5	8.0	11.0	16.0	22.0	31.0
	$20 < b \leq 40$	4.0	5.5	8.0	11.0	16.0	22.0		$80 < b \leq 160$	6.5	9.0	13.0	18.0	26.0	37.0
	$40 < b \leq 80$	4.7	6.5	9.5	13.0	19.0	26.0		$160 < b \leq 250$	7.5	11.0	15.0	22.0	30.0	43.0
$20 < d \leq 50$	$4 \leq b \leq 10$	3.2	4.5	6.5	9.0	13.0	18.0	$560 < d \leq 1000$	$80 < b \leq 160$	7.0	9.5	14.0	19.0	27.0	39.0
	$10 < b \leq 20$	3.6	5.0	7.0	10.0	14.0	20.0		$160 < b \leq 250$	8.0	11.0	16.0	23.0	32.0	45.0
	$20 < b \leq 40$	4.1	6.0	8.0	12.0	16.0	23.0		$250 < b \leq 400$	9.0	13.0	18.0	26.0	37.0	52.0
	$40 < b \leq 80$	4.8	7.0	9.5	14.0	19.0	27.0		$400 < b \leq 650$	11.0	15.0	21.0	30.0	43.0	60.0
$50 < d \leq 125$	$4 \leq b \leq 10$	3.4	4.8	6.5	9.5	13.0	19.0	$1000 < d \leq 1600$	$80 < b \leq 160$	7.5	10.0	15.0	21.0	29.0	41.0
	$10 < b \leq 20$	3.8	5.5	7.5	11.0	15.0	21.0		$160 < b \leq 250$	8.5	12.0	17.0	24.0	34.0	47.0
	$20 < b \leq 40$	4.3	6.0	8.5	12.0	17.0	24.0		$250 < b \leq 400$	9.5	13.0	19.0	27.0	38.0	54.0
	$40 < b \leq 80$	5.0	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0		$400 < b \leq 650$	11.0	16.0	22.0	31.0	44.0	63.0
$125 < d \leq 280$	$40 < b \leq 80$	6.0	8.5	12.0	17.0	24.0	34.0	$1600 < d \leq 2500$	$80 < b \leq 160$	7.5	11.0	15.0	22.0	31.0	44.0
	$80 < b \leq 160$	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0	40.0		$160 < b \leq 250$	9.0	12.0	18.0	25.0	35.0	50.0
	$160 < b \leq 250$	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0	40.0		$250 < b \leq 400$	10.0	14.0	20.0	28.0	40.0	57.0
									$400 < b \leq 650$	12.0	16.0	23.0	33.0	46.0	65.0
$125 < d \leq 280$	$10 < b \leq 20$	4.0	5.5	8.0	11.0	16.0	23.0	$2500 < d \leq 4000$	$160 < b \leq 250$	9.5	13.0	19.0	27.0	38.0	53.0
	$20 < b \leq 40$	4.5	6.5	9.0	13.0	18.0	25.0		$250 < b \leq 400$	11.0	15.0	21.0	30.0	42.0	60.0
	$40 < b \leq 80$	5.0	7.5	10.0	15.0	21.0	29.0		$400 < b \leq 650$	12.0	17.0	24.0	34.0	48.0	68.0
	$80 < b \leq 160$	6.0	8.5	12.0	17.0	25.0	35.0		$650 < b \leq 1000$	14.0	20.0	28.0	39.0	56.0	79.0
	$160 < b \leq 250$	7.5	10.0	15.0	21.0	29.0	41.0								

表 4.4-102 比值 f_i'/K

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级						分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级					
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
		$(f_i'/K)\mu\text{m}$								$(f_i'/K)\mu\text{m}$					
$5\leq d\leq 20$	$0.5\leq m_n\leq 2$	9.5	14.0	19.0	27.0	38.0	54.0	$280 < d\leq 560$	$6 < m_n\leq 10$	19.0	27.0	38.0	54.0	76.0	108.0
	$2 < m_n\leq 3.5$	11.0	16.0	23.0	32.0	45.0	64.0		$10 < m_n\leq 16$	22.0	31.0	44.0	62.0	88.0	124.0
$20 < d\leq 50$	$0.5\leq m_n\leq 2$	10.0	14.0	20.0	29.0	41.0	58.0	$560 < d\leq 1000$	$2 < m_n\leq 3.5$	17.0	24.0	34.0	49.0	69.0	97.0
	$2 < m_n\leq 3.5$	12.0	17.0	24.0	34.0	48.0	68.0		$3.5 < m_n\leq 6$	19.0	27.0	38.0	53.0	75.0	106.0
	$3.5 < m_n\leq 6$	14.0	19.0	27.0	38.0	54.0	77.0		$6 < m_n\leq 10$	21.0	30.0	42.0	59.0	84.0	118.0
	$6 < m_n\leq 10$	16.0	22.0	31.0	44.0	63.0	89.0		$10 < m_n\leq 16$	24.0	33.0	47.0	67.0	95.0	134.0
$50 < d\leq 125$	$0.5\leq m_n\leq 2$	11.0	16.0	22.0	31.0	44.0	62.0	$1000 < d\leq 1600$	$2\leq m_n\leq 3.5$	19.0	27.0	38.0	54.0	77.0	108.0
	$2 < m_n\leq 3.5$	13.0	18.0	25.0	36.0	51.0	72.0		$3.5 < m_n\leq 6$	21.0	29.0	41.0	59.0	83.0	117.0
	$3.5 < m_n\leq 6$	14.0	20.0	29.0	40.0	57.0	81.0		$6 < m_n\leq 10$	23.0	32.0	46.0	65.0	91.0	129.0
	$6 < m_n\leq 10$	16.0	23.0	33.0	47.0	66.0	93.0		$10 < m_n\leq 16$	26.0	36.0	51.0	73.0	103.0	145.0
	$10 < m_n\leq 16$	19.0	27.0	38.0	54.0	77.0	109.0								
$125 < d\leq 280$	$0.5\leq m_n\leq 2$	12.0	17.0	24.0	34.0	49.0	69.0	$1600 < d\leq 2500$	$3.5\leq m_n\leq 6$	23.0	32.0	46.0	65.0	92.0	130.0
	$2 < m_n\leq 3.5$	14.0	20.0	28.0	39.0	56.0	79.0		$6 < m_n\leq 10$	25.0	35.0	50.0	71.0	100.0	142.0
	$3.5 < m_n\leq 6$	15.0	22.0	31.0	44.0	62.0	88.0		$10 < m_n\leq 16$	28.0	39.0	56.0	79.0	111.0	158.0
	$6 < m_n\leq 10$	18.0	25.0	35.0	50.0	70.0	100.0		$16 < m_n\leq 25$	31.0	45.0	63.0	89.0	126.0	178.0
	$10 < m_n\leq 16$	20.0	29.0	41.0	58.0	82.0	115.0		$25 < m_n\leq 40$	37.0	52.0	73.0	103.0	146.0	207.0
$280 < d\leq 560$	$0.5\leq m_n\leq 2$	14.0	19.0	27.0	39.0	54.0	77.0	$2500 < d\leq 4000$	$6 < m_n\leq 10$	28.0	39.0	56.0	79.0	111.0	157.0
	$2 < m_n\leq 3.5$	15.0	22.0	31.0	44.0	62.0	87.0		$10 < m_n\leq 16$	31.0	43.0	61.0	87.0	122.0	173.0
	$3.5 < m_n\leq 6$	17.0	24.0	34.0	48.0	68.0	96.0		$16 < m_n\leq 25$	34.0	48.0	68.0	97.0	137.0	194.0
									$25 < m_n\leq 40$	39.0	56.0	79.0	111.0	157.0	222.0

注: f_i' 的公差值, 由表中值乘以 K 计算得出。 K 值见表 4.4-106。

表 4.4-103 径向综合总偏差 F_i''

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级						分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级					
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
		$F_i''/\mu\text{m}$								$F_i''/\mu\text{m}$					
$5 \leq d \leq 20$	$0.2 \leq m_n \leq 0.5$	7.5	11	15	21	30	42	$50 < d \leq 125$	$1.5 < m_n \leq 2.5$	15	22	31	43	61	86
	$0.5 < m_n \leq 0.8$	8.0	12	16	23	33	46		$2.5 < m_n \leq 4.0$	18	25	36	51	72	102
	$0.8 < m_n \leq 1.0$	9.0	12	18	25	35	50		$4.0 < m_n \leq 6.0$	22	31	44	62	88	124
	$1.0 < m_n \leq 1.5$	10	14	19	27	38	54	$125 < d \leq 280$	$0.2 \leq m_n \leq 0.5$	15	21	30	42	60	85
	$1.5 < m_n \leq 2.5$	11	16	22	32	45	63		$0.5 < m_n \leq 0.8$	16	22	31	44	63	89
	$2.5 < m_n \leq 4.0$	14	20	28	39	56	79		$0.8 < m_n \leq 1.0$	16	23	33	46	65	92
$20 < d \leq 50$	$0.2 \leq m_n \leq 0.5$	9.0	13	19	26	37	52		$1.0 < m_n \leq 1.5$	17	24	34	48	68	97
	$0.5 < m_n \leq 0.8$	10	14	20	28	40	56		$1.5 < m_n \leq 2.5$	19	26	37	53	75	106
	$0.8 < m_n \leq 1.0$	11	15	21	30	42	60		$2.5 < m_n \leq 4.0$	21	30	43	61	86	121
	$1.0 < m_n \leq 1.5$	11	16	23	32	45	64	$4.0 < m_n \leq 6.0$	25	36	51	72	102	144	
	$1.5 < m_n \leq 2.5$	13	18	26	37	52	73	$280 < d \leq 560$	$0.2 \leq m_n \leq 0.5$	19	28	39	55	78	110
	$2.5 < m_n \leq 4.0$	16	22	31	44	63	89		$0.5 < m_n \leq 0.8$	20	29	40	57	81	114
$4.0 < m_n \leq 6.0$	20	28	39	56	79	111	$0.8 < m_n \leq 1.0$		21	29	42	59	83	117	
$50 < d \leq 125$	$0.2 \leq m_n \leq 0.5$	12	16	23	33	46	66		$1.0 < m_n \leq 1.5$	22	30	43	61	86	122
	$0.5 < m_n \leq 0.8$	12	17	25	35	49	70		$1.5 < m_n \leq 2.5$	23	33	46	65	92	131
	$0.8 < m_n \leq 1.0$	13	18	26	36	52	73		$2.5 < m_n \leq 4.0$	26	37	52	73	104	146
	$1.0 < m_n \leq 1.5$	14	19	27	39	55	77	$4.0 < m_n \leq 6.0$	30	42	60	84	119	169	

表 4.4-104 一齿径向综合偏差 f_i''

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级						分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级					
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
		$f_i''/\mu\text{m}$								$f_i''/\mu\text{m}$					
$5 \leq d \leq 20$	$0.2 \leq m_n \leq 0.5$	1.0	2.0	2.5	3.5	5.0	7.0	$50 < d \leq 125$	$1.5 < m_n \leq 2.5$	4.5	6.5	9.5	13	19	26
	$0.5 < m_n \leq 0.8$	2.0	2.5	4.0	5.5	7.5	11		$2.5 < m_n \leq 4.0$	7.0	10	14	20	29	41
	$0.8 < m_n \leq 1.0$	2.5	3.5	5.0	7.0	10	14		$4.0 < m_n \leq 6.0$	11	15	22	31	44	62
	$1.0 < m_n \leq 1.5$	3.0	4.5	6.5	9.0	13	18	$125 < d \leq 280$	$0.2 \leq m_n \leq 0.5$	1.5	2.0	2.5	3.5	5.5	7.5
	$1.5 < m_n \leq 2.5$	4.5	6.5	9.5	13	19	26		$0.5 < m_n \leq 0.8$	2.0	3.0	4.0	5.5	8.0	11
	$2.5 < m_n \leq 4.0$	7.0	10	14	20	29	41		$0.8 < m_n \leq 1.0$	2.5	3.5	5.0	7.0	10	14
$20 < d \leq 50$	$0.2 \leq m_n \leq 0.5$	1.5	2.0	2.5	3.5	5.0	7.0	$125 < d \leq 280$	$1.0 < m_n \leq 1.5$	3.0	4.5	6.5	9.0	13	18
	$0.5 < m_n \leq 0.8$	2.0	2.5	4.0	5.5	7.5	11		$1.5 < m_n \leq 2.5$	4.5	6.5	9.5	13	19	27
	$0.8 < m_n \leq 1.0$	2.5	3.5	5.0	7.0	10	14		$2.5 < m_n \leq 4.0$	7.5	10	15	21	29	41
	$1.0 < m_n \leq 1.5$	3.0	4.5	6.5	9.0	13	18	$280 < d \leq 560$	$4.0 < m_n \leq 6.0$	11	15	22	31	44	62
	$1.5 < m_n \leq 2.5$	4.5	6.5	9.5	13	19	26		$0.2 \leq m_n \leq 0.5$	1.5	2.0	2.5	4.0	5.5	7.5
	$2.5 < m_n \leq 4.0$	7.0	10	14	20	29	41		$0.5 < m_n \leq 0.8$	2.0	3.0	4.0	5.5	8.0	11
$50 < d \leq 125$	$4.0 < m_n \leq 6.0$	11	15	22	31	43	61	$280 < d \leq 560$	$0.8 < m_n \leq 1.0$	2.5	3.5	5.0	7.5	10	15
	$0.2 \leq m_n \leq 0.5$	1.5	2.0	2.5	3.5	5.0	7.5		$1.0 < m_n \leq 1.5$	3.5	4.5	6.5	9.0	13	18
	$0.5 < m_n \leq 0.8$	2.0	3.0	4.0	5.5	8.0	11		$1.5 < m_n \leq 2.5$	5.0	6.5	9.5	13	19	27
	$0.8 < m_n \leq 1.0$	2.5	3.5	5.0	7.0	10	14		$2.5 < m_n \leq 4.0$	7.5	10	15	21	29	41
	$1.0 < m_n \leq 1.5$	3.0	4.5	6.5	9.0	13	18		$4.0 < m_n \leq 6.0$	11	15	22	31	44	62

表 4.4-105 径向跳动公差 F_r

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级						分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精 度 等 级					
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
		$F_r/\mu\text{m}$								$F_r/\mu\text{m}$					
$5 \leq d \leq 20$	$0.5 \leq m_n \leq 2.0$	6.5	9.0	13	18	25	36	$280 < d \leq 560$	$6.0 < m_n \leq 10$	19	27	39	55	77	109
	$2.0 < m_n \leq 3.5$	6.5	9.5	13	19	27	38		$10 < m_n \leq 16$	20	29	40	57	81	114
$20 < d \leq 50$	$0.5 < m_n \leq 2.0$	8.0	11	16	23	32	46	$560 < d \leq 1000$	$2.0 < m_n \leq 3.5$	24	34	48	67	95	134
	$2.0 < m_n \leq 3.5$	8.5	12	17	24	34	47		$3.5 < m_n \leq 6.0$	24	34	48	68	96	136
	$3.5 < m_n \leq 6.0$	8.5	12	17	25	35	49		$6.0 < m_n \leq 10$	25	35	49	70	98	139
	$6.0 < m_n \leq 10$	9.5	13	19	26	37	52		$10 < m_n \leq 16$	25	36	51	72	102	144
$50 < d \leq 125$	$0.5 \leq m_n \leq 2.0$	10	15	21	29	42	59	$1000 < d \leq 1600$	$2.0 \leq m_n \leq 3.5$	30	42	59	84	118	167
	$2.0 < m_n \leq 3.5$	11	15	21	30	43	61		$3.5 < m_n \leq 6.0$	30	42	60	85	120	169
	$3.5 < m_n \leq 6.0$	11	16	22	31	44	62		$6.0 < m_n \leq 10$	30	43	61	86	122	172
	$6.0 < m_n \leq 10$	12	16	23	33	46	65		$10 < m_n \leq 16$	31	44	63	88	125	177
	$10 < m_n \leq 16$	12	18	25	35	50	70	$1600 < d \leq 2500$	$3.5 \leq m_n \leq 6.0$	36	51	73	103	145	206
$125 < d \leq 280$	$0.5 \leq m_n \leq 2.0$	14	20	28	39	55	78		$6.0 < m_n \leq 10$	37	52	74	104	148	209
	$2.0 < m_n \leq 3.5$	14	20	28	40	56	80		$10 < m_n \leq 16$	38	53	75	107	151	213
	$3.5 < m_n \leq 6.0$	14	20	29	41	58	82		$16 < m_n \leq 25$	39	55	78	110	156	220
	$6.0 < m_n \leq 10$	15	21	30	42	60	85		$25 < m_n \leq 40$	41	58	82	116	164	232
	$10 < m_n \leq 16$	16	22	32	45	63	89	$2500 < d \leq 4000$	$6.0 < m_n \leq 10$	45	64	90	127	180	255
$280 < d \leq 560$	$0.5 \leq m_n \leq 2.0$	18	26	36	51	73	103		$10 < m_n \leq 16$	46	65	92	130	183	259
	$2.0 < m_n \leq 3.5$	18	26	37	52	74	105		$16 < m_n \leq 25$	47	67	94	133	180	267
	$3.5 < m_n \leq 6.0$	19	27	38	53	75	106		$25 < m_n \leq 40$	49	69	98	139	196	278

表 4.4-106 5 级精度齿轮允许值计算式

项目代号	计 算 式	级间公比 φ	项目代号	计 算 式	级间公比 φ
f_{pt}	$0.3(m_n + 0.4\sqrt{d}) + 4$	$\sqrt{2}$	F_i'	$F_p + f_i'$	$\sqrt{2}$
F_{pk}	$f_{pt} + 1.6\sqrt{(k-1)m_n}$		f_i'	$K(4.3 + f_{pt} + F_\alpha) = K(9 + 0.3m_n + 3.2\sqrt{m_n} + 0.34\sqrt{d})$	
F_p	$0.3m_n + 1.25\sqrt{d} + 7$			当 $\varepsilon_\gamma < 4$ 时, $K = 0.2\left(\frac{\varepsilon_\gamma + 4}{\varepsilon_\gamma}\right)$	
F_α	$3.2\sqrt{m_n} + 0.22\sqrt{d} + 0.7$			当 $\varepsilon_\gamma \geq 4$ 时, $K = 0.4$	
$f_{H\alpha}$	$2.5\sqrt{m_n} + 0.17\sqrt{d} + 0.5$		F_i''	$F_i + f_i'' = 3.2m_n + 1.01\sqrt{d} + 6.4$	
F_β	$0.1\sqrt{d} + 0.63\sqrt{b} + 4.2$		f_i''	$2.96m_n + 0.01\sqrt{d} + 0.8$	
$f_{i\beta} = f_{H\beta}$	$0.07\sqrt{d} + 0.45\sqrt{b} + 3$		F_r	$0.8F_p = 0.24m_n + 1.0\sqrt{d} + 5.6$	

9.5 齿厚与侧隙

9.5.1 齿厚

在分度圆柱上法向平面的公称齿厚是指齿厚理论

值,具有理论齿厚的齿轮与具有理论齿厚的相配齿轮在理论中心距下无侧隙啮合。公称齿厚 s_n 的计算公式为

外齿轮 $s_n = m_n \left(\frac{\pi}{2} + 2\tan\alpha_n x \right)$ (4.4-22)

$$\text{内齿轮 } s_n = m_n \left(\frac{\pi}{2} - 2 \tan \alpha_n x \right) \quad (4.4-23)$$

式中 m_n ——法向模数 (mm);
 α_n ——法向压力角 ($^\circ$);
 x ——径向变位系数。

对于斜齿轮, s_n 值在法向测量。

为保证一对齿轮在规定的侧隙下运行, 控制相配齿轮的齿厚是十分重要的。在有些情况下, 由于齿顶高的变位, 要在分度圆直径 d 处测量齿厚不太容易, 因而在表 4.4-107 中给出任意直径 d_y 处齿厚 (图 4.4-46) 的计算式。

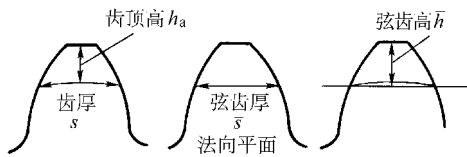


图 4.4-46 弦齿顶高和弦齿厚

表 4.4-107 任意直径 d_y 处齿厚计算式

测量位置 d_y	$d_y = d + 2m_n x$
弦齿厚 $\bar{s}$	$\bar{s} = d_{yn} \sin \left(\frac{s}{d_{yn}} \frac{180}{\pi} \right)$ 式中 $d_{yn} = d_y - d + \frac{d}{\cos^2 \beta_b}$ $s = s_{yt} \cos \beta_y$ $s_{yt} = d_y \left(\frac{s_n}{d \cos \beta} + \text{inv} \alpha_t - \text{inv} \alpha_{yt} \right)$ $\cos \alpha_{yt} = \frac{d \cos \alpha_t}{d_y}$ $\tan \beta_y = \frac{d_y \tan \beta}{d}$ $\sin \beta_b = \sin \beta \cos \alpha_n$
弦齿高 $\bar{h}$	$\bar{h} = h + \frac{d_{yn}}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{s}{d_{yn}} \frac{180}{\pi} \right) \right]$ 式中 $h = \frac{d_a - d_y}{2}$

注: 1. 标准推荐在 $d_y = d + 2m_n x$ 处测量齿厚。

2. 本表中公式适用于用齿厚游标卡尺测量外齿轮的齿厚。

9.5.2 关于侧隙的术语和定义 (见表 4.4-108)

表 4.4-108 术语及定义

侧隙	两相啮合齿轮工作齿面接触时, 在两非工作齿面间形成的间隙, 它是节圆上齿槽宽度超过相啮合的轮齿齿厚的量	
圆周侧隙 j_{wt}	两相啮合齿轮中的一个齿轮固定时, 另一个齿轮能转过的节圆弧长的最大值	
最小侧隙 j_{wtmin}	节圆上的最小圆周侧隙。即具有最大允许实效齿厚的齿轮与也具有最大允许实效齿厚的配对齿轮相啮合时, 在静态条件下, 在最紧允许中心距时的圆周侧隙	1. 属于 GB/Z 18620.2—2008 2. 最紧中心距, 对于外齿轮是指最小的工作中心距, 对于内齿轮是指最大的工作中心距 3. 法向侧隙与圆周侧隙的关系 (图 4.4-47)
最大侧隙 j_{wtmax}	节圆上的最大圆周侧隙。即具有最小允许实效齿厚的齿轮与也具有最小允许实效齿厚的配对齿轮相啮合时, 在静态条件下, 在最大允许中心距时的圆周侧隙	$j_{bn} = j_{wt} \cos \alpha_t \cos \beta_b$ β_b —基圆螺旋角
法向侧隙 j_{bn}	两相啮合齿轮工作齿面接触时, 在两非工作齿面间的最短距离 (图 4.4-48)	4. 径向侧隙与圆周侧隙的关系 $j_r = \frac{j_{wt}}{2 \tan \alpha_t}$
径向侧隙 j_r	将两相啮合齿轮的中心距缩小, 直到其左右两齿面都相接触时, 这个缩小量即为径向侧隙	5. 齿厚上偏差与最小法向侧隙 J_{bnmin} 的关系 $J_{bnmin} = (E_{sns1} + E_{sns2}) \cos \alpha_n$

9.5.3 最小法向侧隙

侧隙受一对齿轮运行时的中心距以及每个齿轮的实际齿厚所控制。运行时还因速度、温度、载荷等的变化而变化。在静态可测量的条件下, 必须要有足够的侧隙, 以保证在带载荷运行最不利的工作

条件下仍有足够的侧隙。

表 4.4-109 列出了对工业传动装置推荐的最小法向侧隙。这些传动装置是用黑色金属齿轮和箱体制造的, 工作时节圆线速度小于 $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 其箱体、轴和轴承都采用常用商业制造公差。

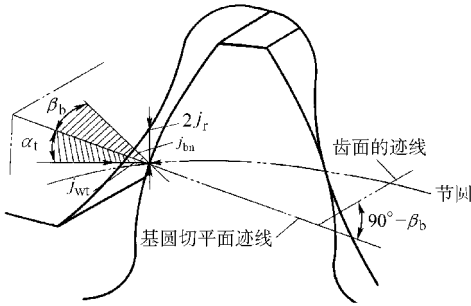


图4.4-47 圆周侧隙 j_{wt} 、法向侧隙 j_{bn} 与径向侧隙 j_r 之间的关系

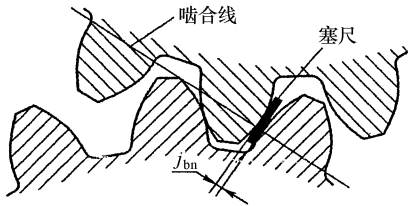


图 4.4-48 用塞尺测量法向侧隙

表 4.4-109 对于中、大模数齿轮最小法向侧隙 j_{bnmin} 的推荐数据 (mm)

m_n	最小中心距 a_i					
	50	100	200	400	800	1600
1.5	0.09	0.11	—	—	—	—
2	0.10	0.12	0.15	—	—	—
3	0.12	0.14	0.17	0.24	—	—
5	—	0.18	0.21	0.28	—	—
8	—	0.24	0.27	0.34	0.47	—
12	—	—	0.35	0.42	0.55	—
18	—	—	—	0.54	0.67	0.94

表 4.4-109 中数值是按下式计算的。

表 4.4-111 齿厚公差 T_{sn}

齿厚公差/ μm	$T_{sn} = 2 \tan \alpha_n \sqrt{F_r^2 + b_r^2}$							
	F_r —径向跳动公差 (μm), 见表 4.4-105							
	α_n —法向压力角							
	b_r —一切齿径向进刀公差 (μm)							
齿轮精度等级	3	4	5	6	7	8	9	10
b_r	IT7	1.26IT7	IT8	1.26IT8	IT9	1.26IT9	IT10	1.26IT10

注: IT 为标准公差单位, 按齿轮分度圆直径查取数值。

$$j_{bnmin} = \frac{2}{3}(0.06 + 0.0005a_i + 0.03m_n)$$
(4.4-24)

需要时, 可以根据齿轮副的工作条件, 如工作速度、温度、负载、润滑条件等通过计算确定齿轮副的最小侧隙 j_{bnmin} 。

$$j_{bnmin} = j_{bnmin1} + j_{bnmin2}$$
(4.4-25)

其中, j_{bnmin1} 为补偿温度变化引起的齿轮及箱体热变形所必需的最小侧隙。

$$j_{bnmin1} = 1000a(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2) 2 \sin \alpha_n (\mu\text{m})$$
(4.4-26)

式中 a ——齿轮副中心距 (mm);
 α_1 、 α_2 ——分别为箱体、齿轮材料的线膨胀系数;
 Δt_1 、 Δt_2 ——分别为齿轮温度 t_1 、箱体温度 t_2 与标准温度之差 ($^{\circ}\text{C}$);
 $\Delta t_1 = t_1 - 20^{\circ}\text{C}$, $\Delta t_2 = t_2 - 20^{\circ}\text{C}$
 α_n ——法向压力角。

j_{bnmin2} 为保证正常润滑条件所必需的最小侧隙, 可根据润滑方式和圆周速度查表 4.4-110。

表 4.4-110 最小侧隙 j_{bnmin2}

润滑方式	齿轮圆周速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$			
	≤ 10	$> 10 \sim 25$	$> 25 \sim 60$	> 60
喷油润滑	$10m_n$	$20m_n$	$30m_n$	$(30 \sim 50)m_n$
油池润滑	$(5 \sim 10)m_n$			

9.5.4 齿厚的公差与偏差

齿厚公差的选择, 基本上与轮齿的精度无关。在很多应用场合, 允许用较宽的齿厚公差或工作侧隙。这样做不会影响齿轮的性能和承载能力, 却可以获得较经济的制造成本。除非十分必要, 不应选择很紧的齿厚公差。如果出于工作运行的原因必须控制最大侧隙时, 则必须对各影响因素仔细研究, 对有关齿轮的精度等级、中心距公差和测量方法予以仔细地规定。

当设计者在无经验的情况下, 可参考表 4.4-111 来计算齿厚公差。

齿厚偏差是指实际齿厚与公称齿厚之差(对于斜齿轮系指法向齿厚)。为了获得齿轮副最小侧隙,必须对齿厚削薄。其最小削薄量即齿厚上偏差除了取决于最小侧隙外,还要考虑齿轮和齿轮副的加工和

安装误差的影响。例如中心距的下偏差($-f_a$)、轴线平行度($f_{\Sigma\beta}$ 、 $f_{\Sigma\delta}$)、基节偏差($-f_{pb}$)、螺旋线总偏差(F_{β})等,可参考表 4.4-112 确定齿厚偏差。

表 4.4-112 齿厚偏差

(μm)

大、小齿轮齿厚上偏差之和 $E_{sns1} + E_{sns2} = -2f_a \tan \alpha_n - \frac{j_{bmin} + J_n}{\cos \alpha_n}$	
f_a	中心距偏差, 见表 4.4-123
J_{bmin}	最小法向侧隙
J_n	齿轮和齿轮副的加工和安装误差对侧隙减少的补偿量 $J_n = \sqrt{(f_{pt1} \cos \alpha_t)^2 + (f_{pt2} \cos \alpha_t)^2 + (F_{\beta 1} \cos \alpha_n)^2 + (F_{\beta 2} \cos \alpha_n)^2 + (f_{\Sigma\delta} \sin \alpha_n)^2 + (f_{\Sigma\beta} \cos \alpha_n)^2}$ f_{pt1}、f_{pt2}—小齿轮与大齿轮的基圆齿距偏差 (μm), 见表 4.4-95 $F_{\beta 1}$、$F_{\beta 2}$—小齿轮与大齿轮的螺旋线总偏差 (μm), 见表 4.4-100 α_t、α_n—分别为端面和法向压力角 $f_{\Sigma\delta}$、$f_{\Sigma\beta}$—齿轮副轴线的平行度偏差 (μm) $f_{\Sigma\beta} = 0.5 \left(\frac{L}{b} \right) F_{\beta}^{\text{①}}, f_{\Sigma\delta} = 2f_{\Sigma\beta}$ L—轴承跨距 (mm) b—齿宽 (mm)
齿厚上偏差	将大、小齿轮齿厚上偏差之和分配给小齿轮和大齿轮, 有两种方法: 方法一: 等值分配, 大、小齿轮齿厚上偏差相等, $E_{sns1} = E_{sns2}$; 方法二: 不等值分配, 大齿轮齿厚的减薄量大于小齿轮齿厚的减薄量, $ E_{sns1} < E_{sns2} $
齿厚下偏差	$E_{sni1} = E_{sns1} - T_{sn}$ $E_{sni2} = E_{sns2} - T_{sn}$

① 两齿轮分别计算, 取小值。

9.5.5 公法线长度偏差

当齿厚有减薄量时, 公法线长度也变小。因此, 齿厚偏差也可用公法线长度偏差 E_{bn} 代替。GB/Z 18620.2—2008 给出了齿厚偏差与公法线长度偏差的关系式。

公法线长度上偏差

$$E_{bns} = E_{sns} \cos \alpha_n \quad (4.4-27)$$

公法线长度下偏差

$$E_{bni} = E_{sni} \cos \alpha_n \quad (4.4-28)$$

公法线测量对内齿轮是不适用的。另外对斜齿轮而言, 公法线测量受齿轮齿宽的限制, 只有满足下式条件时才可能。

$$b > 1.015 W_k \sin \beta_b \quad (4.4-29)$$

9.5.6 量柱(球)测量跨距偏差

对于内齿轮或齿宽较窄的斜齿轮, 可以采用间接检验齿厚的方法, 即把两个量柱(球)置于尽可能在直径上相对的齿槽内(见图 4.4-49), 然后测量跨

球(圆柱)尺寸。GB/Z 18620.2—2008 给出了齿厚偏差与跨球(圆柱)尺寸偏差的关系式。

测量偶数齿齿轮时

量柱(球)测量跨距上偏差

$$E_{yns} = E_{sns} \frac{\cos \alpha_t}{\sin \alpha_{Mt} \cos \beta_b} \quad (4.4-30)$$

量柱(球)测量跨距下偏差

$$E_{yni} = E_{sni} \frac{\cos \alpha_t}{\sin \alpha_{Mt} \cos \beta_b} \quad (4.4-31)$$

测量奇数齿齿轮时

量柱(球)测量跨距上偏差

$$E_{yns} = E_{sns} \frac{\cos \alpha_t}{\sin \alpha_{Mt} \cos \beta_b} \cos \frac{90^\circ}{z} \quad (4.4-32)$$

量柱(球)测量跨距下偏差

$$E_{yni} = E_{sni} \frac{\cos \alpha_t}{\sin \alpha_{Mt} \cos \beta_b} \cos \frac{90^\circ}{z} \quad (4.4-33)$$

式(4.4-30)~式(4.4-33)中

$$\text{inv}\alpha_{M_t} = \text{inv}\alpha_t \pm \frac{D_M}{m_n z \cos\alpha_n} \pm \frac{2 \tan\alpha_n x}{z} \mp \frac{\pi}{2z}$$

(4.4-34)

“±”或“∓”——上面符号用于外齿轮,下面符号用于内齿轮;

D_M ——量柱(球)的直径(mm)。

式(4.4-34)中

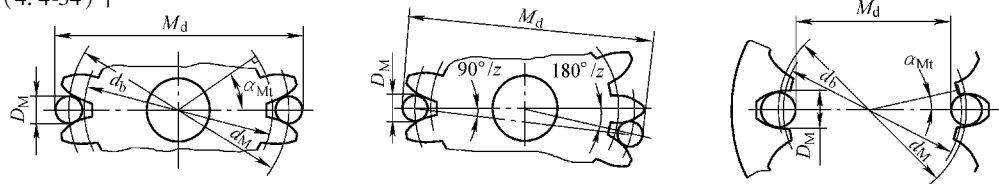


图 4.4-49 直齿轮的跨球(圆柱)尺寸 M_d

9.6 齿轮坯的精度

齿轮坯是指在轮齿加工前供制造齿轮用的工件。有关齿轮坯的术语和定义见表 4.4-113。

表 4.4-113 齿轮坯术语和定义

术 语	定 义
工作安装面	用来安装齿轮的面
工作轴线	齿轮工作时绕其旋转的轴线,由工作安装面的中心确定。工作轴线只有考虑整个齿轮组件时才有意义
基准面	用来确定基准轴线的面
基准轴线	由基准面的中心确定,齿轮依此轴线来确定齿轮的细节,特别是确定齿距、齿廓和螺旋线的公差
制造安装面	齿轮制造或检验时用来安装齿轮的面

齿轮坯的尺寸偏差和齿轮箱体尺寸偏差,对于齿轮副的接触条件和运行状况有极大的影响,由于在加工齿轮坯和箱体时保持较紧的公差,比加工高

精度的轮齿要经济得多,因此,应首先根据拥有的制造设备的条件,尽量使齿轮坯和箱体的制造公差保持最小值。可使加工的齿轮有较松的公差,从而获得更为经济的整体设计。

在齿轮坯上,影响轮齿加工和齿轮传动质量的有三个表面上的误差,见表 4.4-114。

(1) 基准轴线及其确定方法 有关齿轮轮齿精度(齿廓偏差、相邻齿距偏差等)参数的数值,只有明确其特定的旋转轴线时才有意义。因此在齿轮的图样上必须把规定轮齿公差的基准轴线明确表示出来。

确定基准轴线最常用的方法是使其与工作轴线重合,即将安装面作基准面。通常先确定一条基准轴线,再将其他所有轴线(包括工作轴线及可能的一些制造轴线)用适当的公差与之相联系,并考虑公差链中所增加的链环影响。表 4.4-115 给出了确定基准轴线的方法。

(2) 齿轮坯的公差及应用示例

1) 齿轮坯的公差。齿轮坯的公差要求见表 4.4-116。

表 4.4-114 齿轮坯上影响齿轮加工和传动质量的误差

误 差	说 明	图 示
带孔齿轮的孔(或轴齿轮的轴颈)的直径偏差和形状误差	孔是齿轮加工、检验、安装的基准面,孔(或轴颈)的轴线是整个齿轮回轮的基准轴线。孔径(或轴径)误差过大、将会产生齿圈径向跳动,进而影响齿轮传动质量	
齿轮轴轴向基准面 S_i 的端面跳动	齿轮轴轴向基准面 S_i 在加工中常用作定位面,则其端面跳动常影响齿轮齿向精度 齿轮的轴向定位基准面紧靠配合轴的轴肩时,其对基准轴线的跳动会使齿轮安装歪斜,造成齿轮回转轴线与基准轴线的交叉,齿轮回转时产生摇摆进而影响承载能力	
径向基准面 S_r 或齿顶圆柱面的直径偏差和径向跳动	径向基准面 S_r 和齿顶圆柱面,在齿轮加工或检验时常作为齿轮坯的安装基准或齿厚检验的测量基准。它们的直径偏差和对基准轴线的径向跳动会造成加工误差和测量误差	

表 4.4-115 基准轴线的确定方法 (摘自 GB/Z 18620.3—2008)

方法	内 容	图形表示
1	用两个“短的”圆柱或圆锥形基准面上设定的两个圆的圆心来确定轴线上的两个点	
2	用一个“长的”圆柱或圆锥形的面来同时确定轴线的方向和位置。孔的轴线可以用与之相匹配正确地装配的工作心轴的轴线来代表	
3	基准轴线的位置是用一个“短的”圆柱形基准面上的一个圆的圆心来确定，而其方向则由垂直于此轴线的基准端面来确定，在该方法中，基准端面的直径越大越好	
4	在制造、检验一个齿轮轴时，常将其安置在两端的顶尖上，这样两个顶尖孔就确定了其基准轴线。必须注意中心孔 60° 接触角范围内表面应接触良好	

表 4.4-116 齿轮坯的公差要求

部 位	要 求
基准面	1. 基准面的要求精度的极限值应确定得大大紧于单个轮齿的极限值 2. 基准面的相对位置跨距占轮齿分度圆直径的比例越大，给定的公差可以越松 3. 基准面的形状公差不应大于表 4.4-117 中所规定的数值，且应使公差值减至能经济制造的最小值 4. 轮坯基准面径向和端面圆跳动公差参见表 4.4-118 5. 轴向和径向基准面应加工得与齿轮坯的实际轴孔、轴颈和肩部完全同轴（见图 4.4-50） 当在机床上精加工时，或安装在检测仪上，以及最后在使用中安装时，用它们可以进行找正 6. 对高精度齿轮，必须设置专用的基准面（见图 4.4-51）；对特高精度的齿轮，加工前需先装在轴上，此时，轴颈可用作基准面
安装面	1. 如果工作安装面被选择为基准面，其形状公差，不应大于表 4.4-117 中所规定的数值，且公差应减至能经济地制造的最小值 2. 当基准轴线与工作轴线并不重合时，则工作安装面相对于基准轴线的圆跳动公差必须在齿轮零件图样上予以控制，圆跳动公差不应大于表 4.4-119 中规定的数值 3. 为了保证切齿和测量的精度，选择安装面时实际旋转轴线与图样规定的基准轴线越接近越好，如图 4.4-52 所示，并尽量将加工内孔、切齿的安装面和齿顶面上用来校核径向跳动的那部分在一次装夹中完成，见图 4.4-53

(续)

部 位	要 求
齿轮顶圆、齿轮内孔和配合轴径	设计者应适当选择齿顶圆直径的公差，以保证最小限度的设计重合度，同时又具有足够的顶隙。如果把齿顶圆柱面作基准面，其形状公差不应大于表 4.4-117 中的适当数值 表 4.4-120 提供的齿顶圆、内孔和配合轴径的公差供参考
其他齿轮的安装面	与小齿轮做成一体的轴上常有一段安装大齿轮，安装面的公差值必须选择得与大齿轮的质量要求相适应

表 4.4-117 基准面与安装面的形状公差

(续)

确定轴线的基准面	公 差 项 目		
	圆 度	圆柱度	平面度
两个“短的”圆柱或圆锥形基准面	$0.04(L/b)F_\beta$ 或 $0.1F_p$ 取两者中小值		
一个“长的”圆柱或圆锥形基准面		$0.04(L/b)F_\beta$ 或 $0.1F_p$ 取两者中之小值	
一个短的圆柱面和一个端面	$0.06F_p$		$0.06(D_d/b)F_\beta$

确定轴线的基准面	跳 动 量 (总的指示幅度)	
	径 向	轴向端面
一圆柱基准面和一端面基准面	$0.3F_p$	$0.2(D_d/b)F_\beta$

注：见表 4.4-117 注。

- 注：1. 齿轮坯的公差应减至能经济地制造的最小值。
2. D_d —基准面直径。
3. L —两轴承跨距的大值。
4. b —齿宽。

表 4.4-118 齿坯基准面径向和端面圆跳动公差
(μm)

分度圆直径/mm		精度等级		
大于	到	5 和 6	7 和 8	9 和 10
—	125	11	18	28
125	400	14	22	36
400	800	20	32	50
800	1600	28	45	71
1600	2500	40	63	100
2500	4000	63	100	160

注：本表不属国家标准，仅供参考。

表 4.4-119 安装面的圆跳动公差

确定轴线的基准面	跳 动 量 (总的指示幅度)	
	径 向	轴向端面
仅圆柱或圆锥形基准面	$0.15(L/b)F_\beta$ 或 $0.3F_p$ 取两者中之大值	

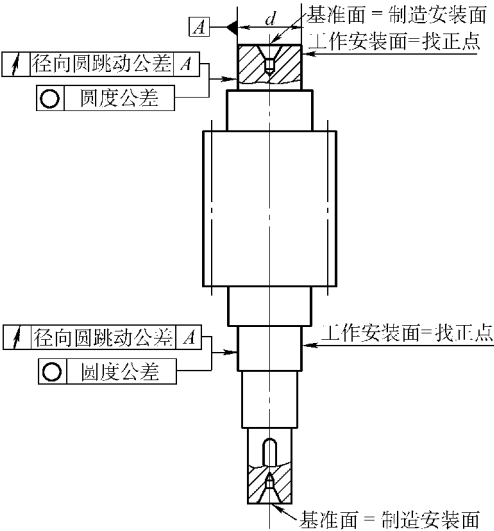


图 4.4-50 切削齿时轴齿轮的安装示例

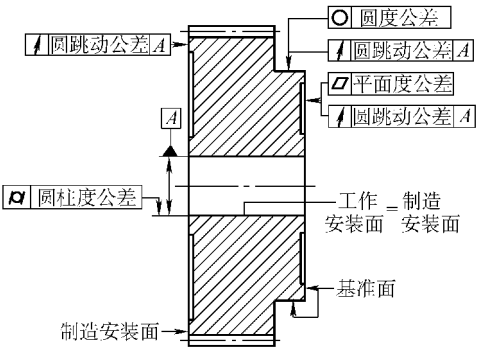


图 4.4-51 高精度齿轮带有基准面

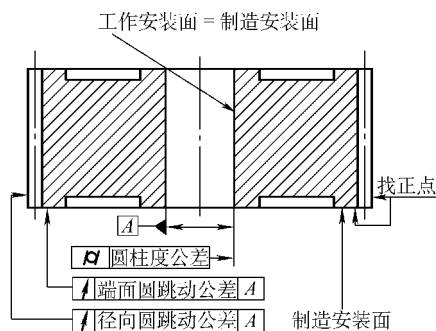


图 4.4-52 切削齿时齿轮安装的示例

表 4.4-120 齿坯公差

齿轮精度等级 ^①		5	6	7	8	9	10
孔	尺寸公差	IT5	IT6	IT7		IT8	
轴	尺寸公差	IT5		IT6		IT7	
顶圆直径 ^②		IT7	IT8			IT9	
基准面的径向跳动 ^③ 基准面的端面跳动		见表 4. 4-118					

注：1. 表中 IT 为标准公差单位。

2. 本表不属国家标准内容，仅供参考。

- ① 当齿轮各项精度等级不同时，按最高的精度等级确定公差值。
- ② 当顶圆不作测量齿厚的基准时，尺寸公差按 IT11 给定，但不大于 $0.1m_n$ 。
- ③ 当以顶圆作基准面时，本栏就指顶圆的径向跳动。

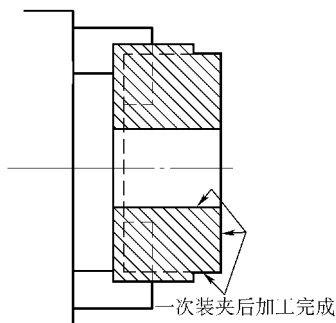


图 4.4-53 在一次装夹后加工的几个面

2) 齿轮坯公差应用示例（见图 4.4-54）。

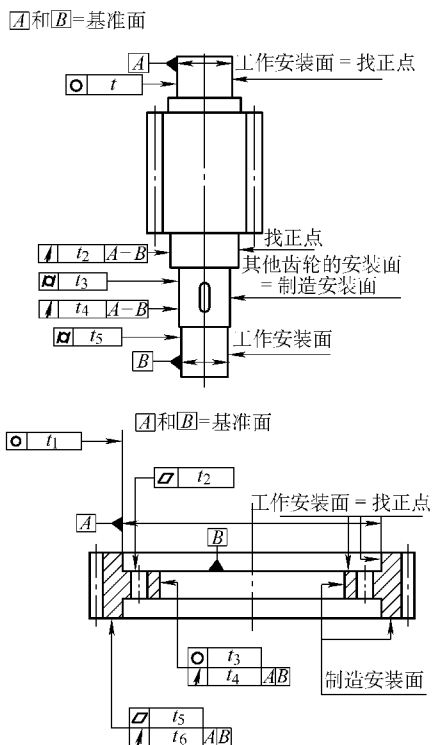


图 4.4-54 齿坯公差应用示例

9.7 齿面粗糙度

圆柱齿轮经过试验研究和经验表明，齿面粗糙度对齿轮抗点蚀能力、抗胶合能力和抗弯强度有影响，也影响齿轮的传动精度（噪声和振动）。因此设计者应在齿轮零件图样上标注出成品状态齿面粗糙度的数值。

直接测得的表面粗糙度参数值，可直接与规定的允许值比较。规定的参数值应优先从表 4.4-121 中给出的范围中选择，无论是 R_a 还是 R_z 均可作为一种判断依据。表 4.4-121 给出的 R_a 和 R_z 的推荐极限值，主要是考虑加工后轮齿表面结构及测量仪器和方法。但必须指出，若同时按 R_a 、 R_z 进行评定，可能得到不一致的结论，主要是由于表面轮廓特征不同时， R_z 和 R_a 比值也不同。所以， R_z 和 R_a 不应在同一部分使用。

GB/T 10095.1—2008 中规定的齿轮精度等级与表 4.4-121 中表面粗糙度等级之间没有直接的关系。在上述表中，相同的表面状况等级并不与特定的制造工艺相对应。表 4.4-122 给出了齿轮精度等级与齿面粗糙度的关系，供参考。

表 4.4-121 齿面粗糙度及图样标注 (摘自 GB/Z 18620.4—2008)

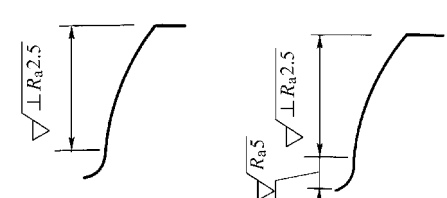
算术平均偏差 R_a 的 推荐值/ μm			微观不平度十点高度 R_z 的 推荐值/ μm			图样标注		
等级	模数/mm			等级	模数/mm			
	$m \leq 6$	$6 < m \leq 25$	$m > 25$		$m \leq 6$	$6 < m \leq 25$	$m > 25$	
5	0.5	0.63	0.8	5	3.2	4.0	5.0	
6	0.8	1.00	1.25	6	5.0	6.3	8.0	
7	1.25	1.6	2.0	7	8.0	10.0	12.5	
8	2.0	2.5	3.2	8	12.5	16	20	
9	3.2	4.0	5.0	9	20	25	32	
10	5.0	6.3	8.0	10	32	40	50	

表 4.4-122 齿轮精度等级与齿面粗糙度 R_a
(μm)

齿轮精度等级	4		5		6	
齿面	硬	软	硬	软	硬	软
齿面粗糙度 R_a	≤ 0.4	≤ 0.8	≤ 1.6	≤ 0.8	< 1.6	
齿轮精度等级	7		8		9	
齿面	硬	软	硬	软	硬	软
齿面粗糙度 R_a	≤ 1.6	≤ 3.2	≤ 6.3	≤ 3.2	≤ 6.3	

注：本表不属于国家标准中内容，供参考。

9.8 中心距公差

在齿轮只是单方向带载荷运转而不很经常反转的情况下，中心距允许偏差主要取决于重合度的考虑。

在控制运动用的齿轮中，其侧隙必须控制；还有当轮齿上的载荷常常反向时，对中心距的公差必须仔细地考虑下列因素：

- 1) 轴、箱体和轴承的偏斜。
- 2) 由于箱体的偏差和轴承的间隙导致齿轮轴线的不一致。
- 3) 由于箱体的偏差和轴承的间隙导致齿轮轴线的错斜。
- 4) 安装误差。
- 5) 轴承跳动。
- 6) 温度的影响(随箱体和齿轮零件间的温差、中心距和材料不同而变化)。
- 7) 旋转件的离心伸长。
- 8) 其他因素，例如润滑剂污染的允许程度及非金属齿轮材料的溶胀。

GB/Z 18620.3 没有推荐中心距公差，设计者可以借鉴某些成熟产品的设计经验来确定中心距公差，

也可参照表 4.4-123 中的齿轮副中心距极限偏差数值。

表 4.4-123 中心距极限偏差 $\pm f_a$ 值
(μm)

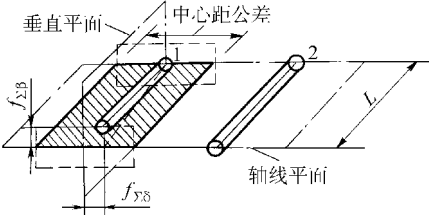
齿轮精度等级			5 ~ 6	7 ~ 8	9 ~ 10
f_a			$\frac{1}{2}$ -IT7	$\frac{1}{2}$ -IT8	$\frac{1}{2}$ -IT9
齿 轮 副 的 中 心 距 a /mm	大于 6	到 10	7.5	11	18
	10	18	9	13.5	21.5
	18	30	10.5	16.5	26
	30	50	12.5	19.5	31
	50	80	15	23	37
	80	120	17.5	27	43.5
	120	180	20	31.5	50
	180	250	23	36	57.5
	250	315	26	40.5	65
	315	400	28.5	44.5	70
	400	500	31.5	48.5	77.5
	500	630	35	55	87
	630	800	40	62	100
	800	1000	45	70	115
	1000	1250	52	82	130
	1250	1600	62	97	155
	1600	2000	75	115	185
	2000	2500	87	140	220
	2500	3150	105	165	270

注：本表不属国家标准内容，仅供参考。

9.9 轴线平行度偏差

由于轴线平行度偏差与其向量的方向有关，所以分别规定了“轴线平面内的偏差” $f_{\Sigma\delta}$ 和“垂直平面上的偏差” $f_{\Sigma\beta}$ (见表 4.4-124)。

表 4. 4-124 轴线平行度偏差 f_{Σ} (摘自 GB/Z 18620. 3—2008)

项 目	内 容	最大推荐值
1	“轴线平面内的偏差” $f_{\Sigma\delta}$ 是在两轴线的公共平面上测量的，这公共平面是用两轴承跨距中较长的一个 L 和另一根轴上的一个轴承来确定的，如果两个轴承的跨距相同，则用小齿轮轴和大齿轮轴的一个轴承	$f_{\Sigma\delta} = 2f_{\Sigma\beta}$
2	“垂直平面上的偏差” $f_{\Sigma\beta}$ 是在与轴线公共平面相垂直的“交错轴平面”上测量的	$f_{\Sigma\beta} = 0.5 \left(\frac{L}{b} \right) F_{\beta}$
图形说明		

注：b—齿宽。

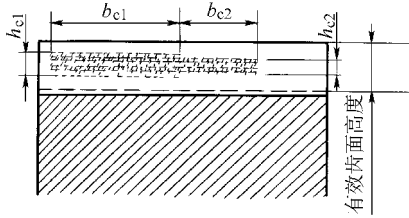
9. 10 接触斑点

接触斑点是指在箱体或实验台上装配好的齿轮副，在轻微制动力下运转后齿面的接触痕迹。检验产品齿轮副在其箱体内啮合所产生接触斑点，可评估轮齿的载荷分布；产品齿轮和测量齿轮的接触斑点，可用于评估装配后齿轮螺旋线和齿廓精度。图

4. 4-55 所示为产品齿轮和测量齿轮对滚产生的典型的接触斑点示意图。

表 4. 4-125 给出了齿轮装配后（空载）检测时，预计的齿轮精度等级和接触斑点分布之间关系。对此不能理解是为证明齿轮精度等级的替代方法。实际的接触斑点不一定与表中的图一致。

表 4. 4-125 轮齿的接触斑点 (摘自 GB/Z 18620. 4—2008)

精度等级按 ISO 1328	斜齿轮装配后的接触斑点				直齿轮装配后的接触斑点				接触斑点分布的示意
	b_{c1}	h_{c1}	b_{c2}	h_{c2}	b_{c1}	h_{c1}	b_{c2}	h_{c2}	
	(%) 齿宽 方向	(%) 齿高 方向	(%) 齿宽 方向	(%) 齿高 方向	(%) 齿宽 方向	(%) 齿高 方向	(%) 齿宽 方向	(%) 齿高 方向	
4 级及更高	50	50	40	30	50	70	40	50	
5 级和 6 级	45	40	35	20	45	50	35	30	
7 级和 8 级	35	40	35	20	35	50	35	30	
9 级至 12 级	25	40	25	20	25	50	25	30	
检测 条件	产品齿轮和测量齿轮在轻载下的接触斑点，可以从安装在机架上的两相啮合的齿轮得到，但两轴线的平行度在产品齿轮齿宽上要小于 0.005mm，并且测量齿轮的齿宽不小于产品齿轮的齿宽 用于检测用的印痕涂料有装配工用的蓝色印痕涂料和其他专用涂料。涂层厚度为 0.006 ~ 0.012mm 通常用勾画草图、照片、录像等形式记录接触斑点，或用透明胶带覆盖其上，然后撕下贴在白纸上保存备查								

注：1. 本表对齿廓和螺旋线修形的齿面不适用。

2. 本表试图描述那些通过直接测量，证明符合表列精度的齿轮副中获得的最好接触斑点，不能作为证明齿轮精度等级的可替代方法。

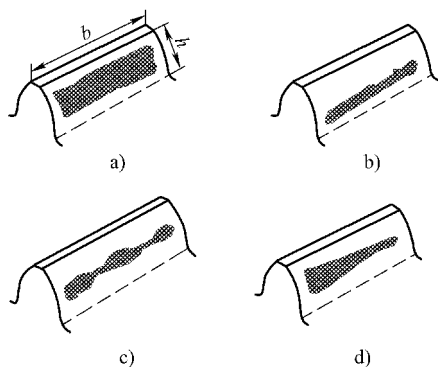


图 4.4-55 产品齿轮和测量齿轮对滚产生的典型的接触斑点示意图

- a) 典型的规范: 接触近似为齿宽 b 的 80%、有效齿面高度 h 的 70%, 齿端修薄
b) 齿长方向配合正确, 有齿廓偏差
c) 波纹度 d) 有螺旋线偏差, 齿廓正确, 有齿端修薄

9.11 图样标注

(1) 需要在齿轮图样上标注的尺寸数据

- 1) 顶圆直径及其公差。
- 2) 分度圆直径。
- 3) 齿宽。
- 4) 孔或轴径及其公差。
- 5) 定位面及其要求(径向和端面跳动公差应标注在分度圆附近)。

6) 齿轮表面粗糙度(标在齿高中部或另行用图示表示)。

(2) 需要在参数表中列出的数据

- 1) 法向模数。
- 2) 齿数。
- 3) 齿廓类型(基本齿廓符合《通用机械和重型机械用圆柱齿轮 标准基本齿条齿廓》时, 仅注明齿形角, 不符合时应以图样详细描述其特性)。

4) 齿顶高系数。

5) 螺旋角。

6) 螺旋方向。

7) 径向变位系数。

8) 齿厚公称值及其上、下偏差(法向齿厚公称值及其上、下偏差, 或公法线长度及其上、下偏差, 或跨球(圆柱)尺寸及其上、下偏差)。

9) 精度等级(若齿轮的检验项目同为 7 级精度时, 应注明: 7 GB/T10095.1 或 7 GB/T10095.2; 若齿轮的各检验项目精度等级不同, 例如, 齿廓总偏差 F_α 为 6 级, 齿距累积总偏差 F_p 和螺旋线总偏差 F_β 均为 7 级时, 应注明: 6(F_α)、7(F_p 、 F_β) GB/

T10095.1)。

10) 齿轮副中心距及其偏差。

11) 配对齿轮的图号及其齿数。

12) 检验项目代号及其公差(或极限偏差)值。

参数表一般放在图样的右上角。参数表中列出的参数项目可以根据需要增减。

(3) 需要标注的其他数据

1) 根据齿轮的具体形状及其技术要求, 还应给出在加工和测量时所必需的数据。如对于做成齿轮轴的小齿轮, 以及轴或孔不做定心基准的大齿轮, 在切齿前作定心检查用的表面应规定其最大径向跳动量。

2) 为检查齿轮的加工精度, 对某些齿轮还需指出其他一些技术参数(如基圆直径、接触线长度等), 或其他检验用的尺寸参数的形位公差(如齿顶圆柱面)。

3) 当采用设计齿廓、设计螺旋线时应用图样详述其参数。

4) 图样中的技术要求一般放在图样的右下角。

10 渐开线圆柱齿轮传动设计计算示例及零件工作图

10.1 设计示例

例 3 设计图 4.4-56 所示的球磨机的单级圆柱齿轮减速器的斜齿圆柱齿轮传动。已知小齿轮传递的额定功率 $P = 80\text{kW}$, 小齿轮转速 $n_1 = 730\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, 传动比 $i = 3.11$, 单向运转, 满载工作时间 35000h。

解:

(1) 选择齿轮材料, 确定试验齿轮的疲劳极限应力

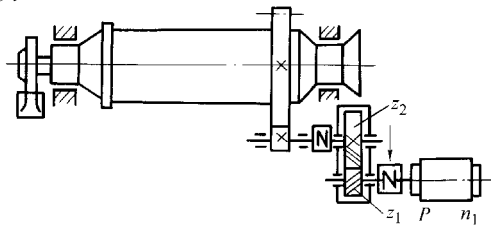


图 4.4-56 球磨机传动简图

参考表 4.4-87、表 4.4-88, 选择齿轮的材料为小齿轮: 38SiMnMo, 调质处理, 表面硬度 320 ~ 340HBW

大齿轮: 35SiMn, 调质处理, 表面硬度 280 ~ 300HBW

由图 4.4-17 和图 4.4-30, 按 MQ 级质量要求取值, 查得

$$\sigma_{Hlim1} = 800\text{MPa}, \sigma_{Hlim2} = 760\text{MPa}$$

$$\sigma_{FE1} = 640 \text{MPa}, \sigma_{FE2} = 600 \text{MPa}$$

(2) 按齿面接触强度初步确定中心距, 并初选

主要参数

按表 4.4-39

$$\alpha \geq 476 (u+1) \sqrt[3]{\frac{KT_1}{2\phi_a \sigma_{HP}^2 u}}$$

1) 小齿轮传递转矩 T_1 :

$$T_1 = 9549 \times \frac{P}{n_1} = 9549 \times \frac{80}{730} \text{N} \cdot \text{m} = 1046 \text{N} \cdot \text{m}$$

2) 载荷系数 K : 考虑齿轮对称轴承布置, 速度较低, 冲击负荷较大, 取 $K = 1.6$

3) 齿宽系数 ϕ_a : 取 $\phi_a = 0.4$

4) 齿数比 u : 暂取 $u = i = 3.11$

5) 许用接触应力 σ_{HP} : 按表 4.4-39, $\sigma_{HP} =$

$\frac{\sigma_{Hlim}}{S_{Hmin}}$, 取最小安全系数 $S_{Hmin} = 1.1$, 按大齿轮计算

$$\sigma_{HP2} = \frac{\sigma_{Hlim2}}{S_{Hmin}} = \frac{760}{1.1} \text{MPa} = 691 \text{MPa}$$

6) 将以上数据代入计算中心距的公式

$$a \geq 476 \times (3.11 + 1) \sqrt[3]{\frac{1.6 \times 1046}{0.4 \times 691^2 \times 3.11}} = 276.67 \text{mm}$$

圆整为标准中心距 $a = 300 \text{mm}$ 。

7) 确定模数: 按经验公式 $m_n = (0.007 \sim 0.02)$

$$a = (0.007 \sim 0.02) \times 300 \text{mm} = 2.1 \sim 6 \text{mm}$$

取标准模数 $m_n = 4 \text{mm}$

8) 初取螺旋角 $\beta = 9^\circ$, $\cos \beta = \cos 9^\circ = 0.98800$

$$9) \text{ 确定齿数: } z_1 = \frac{2a \cos \beta}{m_n (u+1)} = \frac{2 \times 300 \times 0.988}{4 \times (3.11 + 1)}$$

$$= 36.06$$

$$z_2 = z_1 u = 36.06 \times 3.11 = 112.15$$

$$\text{取 } z_1 = 36, z_2 = 112$$

$$\text{实际传动比 } i_{\text{实}} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{112}{36} = 3.111$$

10) 精求螺旋角 β :

$$\cos \beta = \frac{m_n (z_1 + z_2)}{2a} = \frac{4 \times (36 + 112)}{2 \times 300} = 0.98667$$

$$\text{所以 } \beta = 9^\circ 22'$$

11) 计算分度圆直径:

$$d_1 = \frac{m_n z_1}{\cos \beta} = \frac{4 \times 36}{0.98667} = 145.946 \text{mm}$$

$$d_2 = \frac{m_n z_2}{\cos \beta} = \frac{4 \times 112}{0.98667} = 454.053 \text{mm}$$

$$12) \text{ 确定齿宽: } b = \phi_a \times a = 0.4 \times 300 = 120 \text{mm}$$

13) 计算齿轮圆周速度:

$$v = \frac{\pi d_1 n_1}{60 \times 1000} = \frac{\pi \times 145.946 \times 730}{60 \times 100} = 5.58 \text{m/s}$$

根据齿轮圆周速度, 参考表 4.4-92 和表 4.4-93, 选择齿轮精度等级为 7 级

(3) 校核齿面接触疲劳强度

根据表 4.4-41

$$\sigma_H = Z_H Z_E Z_{\epsilon\beta} \sqrt{\frac{F_t}{bd_1} \frac{u+1}{u} K_A \times K_v \times K_{H\beta} \times K_{H\alpha}}$$

1) 分度圆上圆周力 F_t :

$$F_t = \frac{2T_1}{d_1} = \frac{2 \times 1046 \times 10^3}{145.946} \text{N} = 14334 \text{N}$$

2) 使用系数 K_A : 参考表 4.4-44、表 4.4-45, 查表 4.4-43, $K_A = 1.5$

3) 动载荷系数 K_v :

根据表 4.4-53 计算传动精度系数 C

$$C1 = -0.5048 \ln(z_1) - 1.144 \ln(m_n) + 2.852 \ln(f_{p1}) + 3.32$$

$$= -0.5048 \ln(36) - 1.144 \ln(4) + 2.852 \ln$$

$$(14) + 3.32 = 7.45$$

$$C2 = -0.5048 \ln(z_2) - 1.144 \ln(m_n) + 2.852 \ln(f_{p2}) + 3.32$$

$$= -0.5048 \ln(112) - 1.144 \ln(4) + 2.852 \ln$$

$$(16) + 3.32 = 7.26$$

$$C = \text{int}(\max\{C1, C2\}) = 8$$

$$B = 0.25(C - 5)^{0.667} = 0.520$$

$$A = 50 + 56(1.0 - B) = 76.88$$

$$K_v = \left(\frac{A}{A + \sqrt{200v}} \right)^{-B} = 1.206$$

4) 接触强度计算的齿向载荷分布系数 $K_{H\beta}$:

根据表 4.4-62, 装配时检验调整

$$K_{H\beta} = 1.12 + 0.18 \times \left(\frac{b}{d_1} \right)^2 + 2.3 \times 10^{-4} \times b$$

$$= 1.12 + 0.18 \times \left(\frac{120}{145.946} \right)^2 + 2.3 \times 10^{-4}$$

$$\times 120 = 1.269$$

5) 齿间载荷分配系数 $K_{H\alpha}$:

$$\text{查表 4.4-66, 因为 } \frac{K_A F_t}{b} = \frac{1.5 \times 14334}{120} =$$

$$179.175 \text{N/mm}, K_{H\alpha} = 1.1$$

6) 节点区域系数 Z_H

查图 4.4-14, $Z_H = 2.47$

7) 弹性系数 Z_E

查表 4.4-68, $Z_E = 189.8 \sqrt{\text{MPa}}$

8) 接触强度计算的重合度与螺旋角系数 $Z_{\epsilon\beta}$

$$\text{当量齿数 } z_{v1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta} = \frac{36}{0.98667^3} = 37.5$$

$$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta} = \frac{112}{0.98667^3} = 116.6$$

当量齿轮的端面重合度 ε_{va} : $\varepsilon_{va} = \varepsilon_{\alpha I} + \varepsilon_{\alpha II}$

查图 4.4-8, 分别得到 $\varepsilon_{\alpha I} = 0.83$, $\varepsilon_{\alpha II} = 0.91$,

$$\varepsilon_{av} = 0.83 + 0.91 = 1.74$$

查图 4.4-10, $\varepsilon_{\beta} = 1.55$

查图 4.4-15, $Z_{\varepsilon\beta} = 0.76$

9) 将以上数据代入公式计算接触应力

$$\begin{aligned}\sigma_H &= 2.47 \times 189.8 \times 0.76 \times \\ &\sqrt{\frac{14334}{120 \times 145.946} \frac{3.11 + 1}{3.11}} \times \\ &\sqrt{1.5 \times 1.206 \times 1.269 \times 1.1} \text{MPa} \\ &= 588.79 \text{MPa}\end{aligned}$$

10) 计算安全系数 S_H

根据表 4.4-41,

$$S_H = \frac{\sigma_{Hlim} Z_{NT} Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X}{\sigma_H}$$

寿命系数 Z_{NT} : 按式 (4.4-7),

$$N_1 = 60n_1kh = 60 \times 730 \times 1 \times 35000 = 1.533 \times 10^9$$

$$N_2 = \frac{N_1}{i} = \frac{1.533 \times 10^9}{3.11} = 4.93 \times 10^8$$

对调质钢 (允许有一定的点蚀), 查图 4.4-18,

$$Z_{NT1} = 0.98, Z_{NT2} = 1.04$$

滑油膜影响系数 Z_L 、 Z_V 、 Z_R : 查表 4.4-72, 因为 $N_1 > N_c$ (表 4.4-70), 齿轮经滚齿加工, $R_{z10} > 0.4\mu\text{m}$, 滑油膜影响系数 Z_L 、 Z_V 、 Z_R 之积 ($Z_L Z_V Z_R$) = 0.85。

工作硬化系数 Z_W : 因小齿轮未硬化处理, 齿面未光整, 故 $Z_W = 1$ 。

尺寸系数 Z_X : 查图 4.4-23, $Z_{x1} = Z_{x2} = 1.0$

将各参数代入公式计算安全系数 S_H

$$\begin{aligned}S_{H1} &= \frac{\sigma_{Hlim1} Z_{NT1} Z_L Z_V Z_R Z_W Z_{x1}}{\sigma_H} \\ &= \frac{800 \times 0.98 \times 0.85 \times 1}{588.79} = 1.13\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{H2} &= \frac{\sigma_{Hlim2} Z_{NT2} Z_L Z_V Z_R Z_W Z_{x2}}{\sigma_H} \\ &= \frac{760 \times 1.04 \times 0.85 \times 1 \times 1}{588.79} = 1.14\end{aligned}$$

根据表 4.4-75, 一般可靠度 $S_{Hmin} = 1.00 \sim 1.10$, $S_H > S_{Hmin}$, 故安全。

(4) 校核齿根弯曲疲劳强度

根据表 4.4-4

$$\sigma_F = \frac{F_1}{bm_n} K_A K_V K_{F\beta} K_{F\alpha} Y_{FS} Y_{\varepsilon\beta}$$

1) 弯曲强度计算的齿向载荷分布系数 $K_{F\beta}$:

根据式 (4.4-2) 取 $K_{F\beta} = K_{H\beta} = 1.269$

2) 弯曲强度计算的齿间载荷分配系数 $K_{F\alpha}$:

查表 4.4-66, $K_{F\alpha} = 1.1$

3) 复合齿形系数 Y_{FS}

查图 4.4-27, $Y_{FS1} = 4.03$, $Y_{FS2} = 3.96$

4) 弯曲强度计算的重合度与螺旋角系数 $Y_{\varepsilon\beta}$

查图 4.4-29, $Y_{\varepsilon\beta} = 0.63$

5) 将以上数据代入公式计算弯曲应力

$$\begin{aligned}\sigma_{F1} &= \frac{14334}{120 \times 4} \times 1.5 \times 1.206 \times \\ &1.269 \times 1.1 \times 4.03 \times 0.63 \text{MPa} = 191.45 \text{MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{F2} &= \frac{14334}{120 \times 4} \times 1.5 \times 1.206 \times \\ &1.269 \times 1.1 \times 3.96 \times 0.63 \text{MPa} = 188.13 \text{MPa}\end{aligned}$$

6) 计算安全系数 S_F

$$\text{根据表 4.4-41, } S_F = \frac{\sigma_{FE} Y_{NT} Y_{\delta relt} Y_{Rrelt} Y_X}{\sigma_F}$$

寿命系数 Y_{NT} : 对调质钢, 查图 4.4-31, $Y_{NT1} = 0.89$, $Y_{NT2} = 0.9$

相对齿根圆角敏感系数 $Y_{\delta relt}$: 根据式 (4.4-18), $Y_{\delta relt1} = Y_{\delta relt2} = 1.0$

相对齿根表面状况系数 Y_{Rrelt} : 查表 4.4-83, 根据齿面粗糙度 $Ra1 = Ra2 = 1.6$, $Y_{Rrelt1} = Y_{Rrelt2} = 1.0$

弯曲强度计算的尺寸系数 Y_X : 查图 4.4-32, $Y_{x1} = Y_{x2} = 1$

将各参数代入公式计算安全系数 S_F

$$\begin{aligned}S_{F1} &= \frac{\sigma_{FE1} Y_{NT1} Y_{\delta relt1} Y_{Rrelt1} Y_{x1}}{\sigma_{F1}} \\ &= \frac{640 \times 0.89 \times 1 \times 1 \times 1}{191.45} = 2.97\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{F2} &= \frac{\sigma_{FE2} Y_{NT2} Y_{\delta relt2} Y_{Rrelt2} Y_{x2}}{\sigma_{F2}} = \frac{600 \times 0.9 \times 1 \times 1 \times 1}{188.13} \\ &= 2.87\end{aligned}$$

根据表 4.4-75, 高可靠度 $S_{Hmin} = 2.0$, $S_H > S_{Hmin}$, 故安全。

(5) 齿轮主要几何尺寸

$$m_n = 4\text{mm}, \beta = 9^\circ 22'$$

$$z_1 = 36, z_2 = 112$$

$$d_1 = \frac{m_n z_1}{\cos \beta} = \frac{4 \times 36}{0.98667} \text{mm} = 145.946 \text{mm}$$

$$d_2 = \frac{m_n z_2}{\cos \beta} = \frac{4 \times 112}{0.98667} \text{mm} = 454.053 \text{mm}$$

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a = 145.946 \text{mm} + 2 \times 4 \text{mm} = 153.946 \text{mm}$$

$$\begin{aligned}d_{a2} &= d_2 + 2h_a = 454.053 \text{mm} + 2 \times 4 \text{mm} \\ &= 462.053 \text{mm}\end{aligned}$$

$$b_2 = b = \phi_a \times a = 0.4 \times 300 \text{mm} = 120 \text{mm}$$

$$b_1 = 125 \text{mm}$$

(6) 齿轮的结构和零件工作图 (略)

10.2 渐开线圆柱齿轮零件工作图(见图 4.4-57、图 4.4-58)

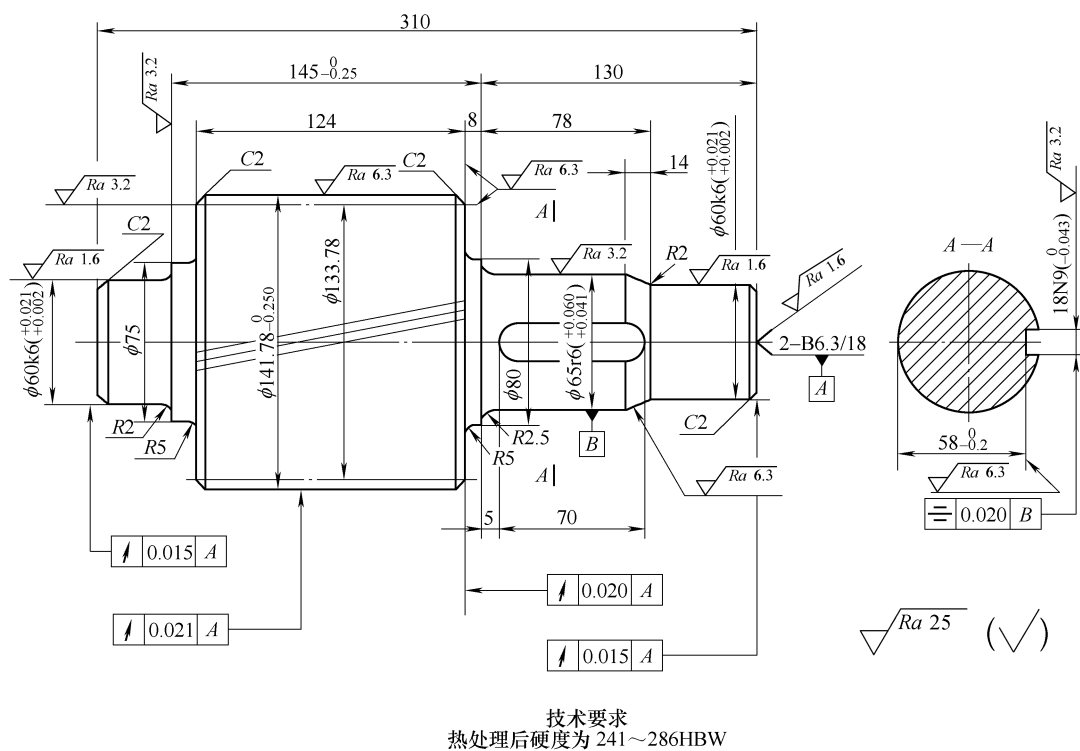
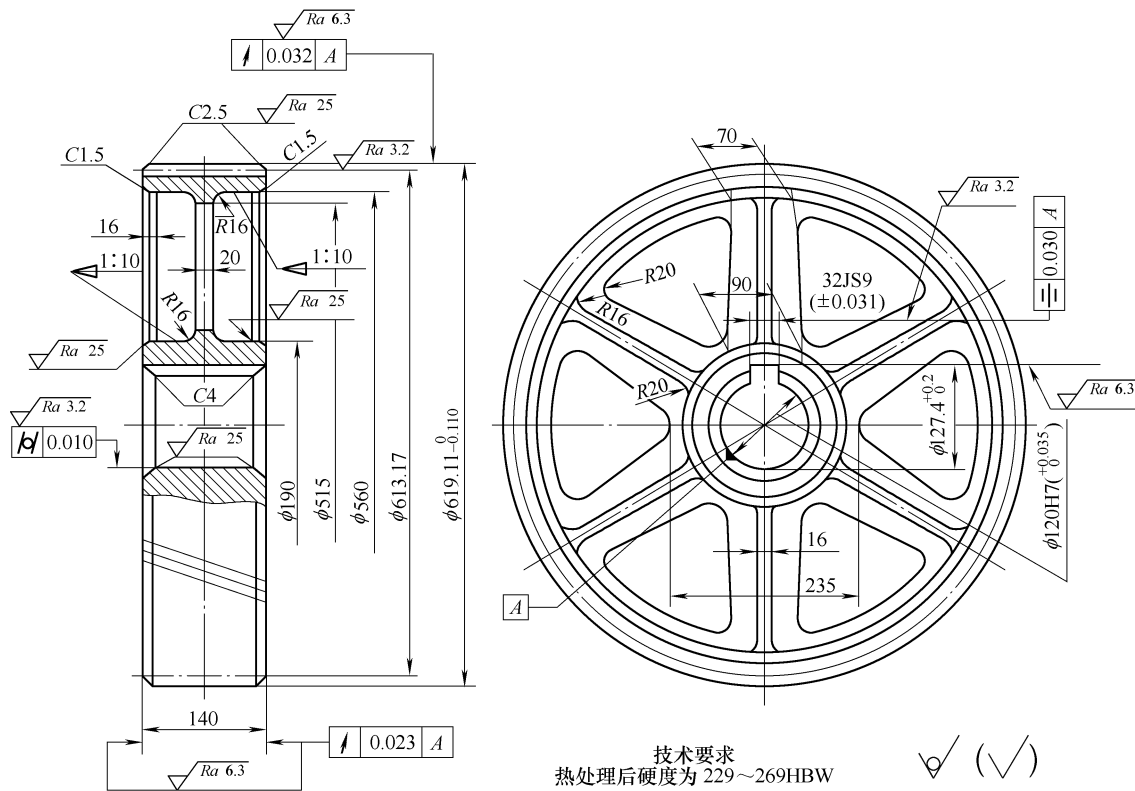


图 4.4-57 圆柱齿轮工作图之一

法向模数	m_n	4
齿数	z	33
齿形角	α	20°
齿顶高系数	h_a^*	1
螺旋角	β	$9^\circ 22'$
螺旋线方向	左	
法向变位系数	x_n	0
精度等级	$7(F_\beta)$ 、 $8(F_p, f_{pt}, F_\alpha)$ GB/T 10095.1—2008 $8(F_r)$ GB/T 10095.2—2008	
中心距及其极限偏差	$a \pm f_a$	300 ± 0.041
配对齿轮	图号	
	齿数	115
单个齿距偏差	$\pm f_{pt}$	± 0.020
齿距累积总偏差	F_p	0.072
齿廓总偏差	F_α	0.030
螺旋线总偏差	F_β	0.025
径向跳动公差	F_r	0.058
公法线及其偏差	W_{kn}	$43.25_{-0.246}^{-0.151}$
	k	4



法向模数	m_n	5
齿数	z	121
压力角	α	20°
齿顶高系数	h_a^*	1
螺旋角	β	$9^\circ 22'$
螺旋线方向	右	
法向变位系数	x_n	-0.405
精度等级	$7(F_\beta)$ 、 $8(F_p, f_{pt}, F_\alpha)$ GB/T 10095.1—2008 $8(F_r)$ GB/T 10095.2—2008	
中心距及其极限偏差	$a \pm f_a$	350 ± 0.045
配对齿轮	图号	
	齿数	17
单个齿距偏差	$\pm f_{pt}$	± 0.024
齿距累积总偏差	F_p	0.120
齿廓总偏差	F_α	0.038
螺旋线总偏差	F_β	0.027
径向跳动公差	F_r	0.096
弦齿厚及弦齿高	$\bar{s}$	$7.766_{-0.355}^{-0.180}$
	$\bar{h}$	7.049

图 4.4-58 圆柱齿轮工作图之二

第5章 圆弧齿轮传动

1 圆弧齿轮传动的类型、特点和应用

圆弧齿轮即圆弧圆柱齿轮，国际上称为 Wildhaber-Novikov 齿轮，简称 W-N 齿轮。与渐开线齿轮相比，圆弧齿轮具有承载能力强、工艺简单、制造成本低等优点。我国自 1958 年开始圆弧齿轮的研究、实验和推广工作，制定了一系列的技术标准：齿轮模数(GB/T 1840—1989)、双圆弧齿轮基本齿廓(GB/T 12759—1991)、双圆弧齿轮承载能力计算方法(GB/T 13799—1992)、双圆弧齿轮滚刀(GB/T 14348—2008)、基本术语(GB/T 15752—1995)、齿轮精度(GB/T 15753—1995)。目前圆弧齿轮已在冶金、矿山、起重运输机械和高速齿轮传动中得到广泛应用。最大模数为 30mm，最大传动功率 6300kW，最大圆周速度 $117\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

图 4.5-1 为圆弧齿轮传动的外形图，它是一种以圆弧做齿廓的斜齿（或人字齿）轮。为加工方便，一般法向齿廓做成圆弧，而端面齿廓只是近似的圆弧。

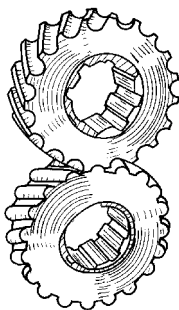


图 4.5-1 圆弧齿轮传动

按照圆弧齿轮的齿廓组成，圆弧齿轮可分为单圆弧齿轮传动和双圆弧齿轮传动两种形式。单圆弧齿轮传动如图 4.5-2 所示，通常小齿轮的轮齿做成凸圆弧形，大齿轮的轮齿做成凹圆弧形。双圆弧齿轮传动如图 4.5-3 所示，其大、小齿轮均采用同一种齿廓：其齿顶部分的齿廓为凸圆弧，齿根部分的齿廓为凹圆弧，整个齿廓由凸凹圆弧组成。

1.1 单圆弧齿轮传动

图 4.5-4 为一对单圆弧齿轮的啮合简图，其中小齿轮采用凸齿，大齿轮采用凹齿。凸齿齿廓的圆心

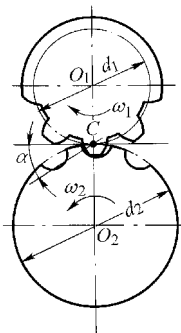


图 4.5-2 单圆弧齿轮传动

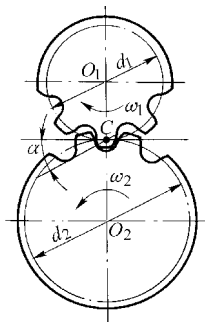


图 4.5-3 双圆弧齿轮传动

C 位于节圆上，凹齿齿廓的圆心 M 位于节圆外，并且凹齿齿廓的圆弧半径 ρ_2 取成比凸齿齿廓的圆弧半径 ρ_1 稍大些，因此理论上两齿廓是点接触，故圆弧齿轮又称圆弧点啮合齿轮。

图 4.5-4 所示为圆弧齿轮两端面齿廓在 K 点啮合

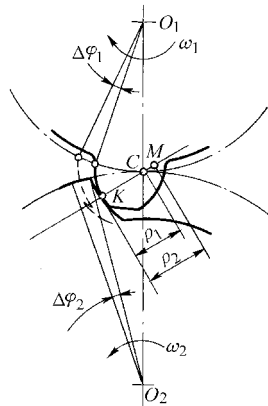


图 4.5-4 单圆弧齿轮传动的啮合

合的情况,此时啮合点 K 处的公法线通过节点 C 。当小齿轮转过角度 $\Delta\varphi_1$,同时大齿轮以一定的传动比转过 $\Delta\varphi_2$ 之后(如图中虚线所示),两齿廓之间就一定会出现间隙而脱离接触。显然,若将圆弧齿轮做成直齿轮($\beta=0^\circ$),则端面重合度 ε_α 为零,是不能实现连续传动的。因此,为了保证连续传动,必须制成斜齿轮,并使纵向重合度 ε_β 大于 1。

圆弧齿轮的啮合过程如图 4.5-5 所示。当前一对端面齿廓离开瞬时啮合点时,与其相邻的一对端面齿廓将进入啮合,啮合点 K 沿平行于轴线的 KK' 线移动,即两螺旋齿面沿直线 KK' 做相对滚动。直线 KK' 称为啮合线。螺旋线 KK_1 、 KK_2 是齿面上接触点的轨迹,称为接触迹线。因为各瞬时啮合点的齿廓公法线均通过节点,所以节点 C 将沿着直线 CC' 作轴向移动,直线 CC' 称为节线。

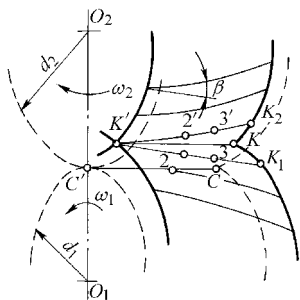


图 4.5-5 圆弧齿轮传动的啮合过程

单圆弧齿轮传动的主要优点是:

1) 圆弧齿轮在理论上为点接触,但实际上经磨合后,在齿廓法面上呈线接触(图 4.5-6)。在垂直于瞬时接触线 L_n 的截面($n-n$)中,当量曲率半径按下式计算:

$$\rho_e = \frac{\rho_{\beta 1} \rho_{\beta 2}}{\rho_{\beta 1} + \rho_{\beta 2}} = \frac{id_1}{2(i+1) \sin^2 \beta \sin \alpha_n} \quad (4.5-1)$$

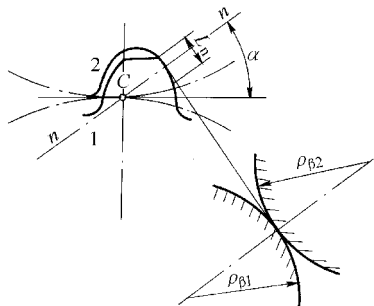


图 4.5-6 圆弧齿轮传动的接触情况

当接触点处的实际压力角 $\alpha_n = 28^\circ$, 在 $\beta = 10^\circ \sim 30^\circ$ 范围内,圆弧齿轮的当量曲率半径比参数与尺寸相同的渐开线齿轮的当量曲率半径约增大 20 ~ 200 倍。因此,虽然圆弧齿轮接触线长度很短,但其

齿面接触强度仍远比渐开线齿轮为高。单圆弧齿轮传动的接触强度承载能力一般比渐开线齿轮高 1 ~ 1.5 倍。

2) 在齿面上,两接触线沿齿长方向的滚动速度很大,有利于油膜形成,因此摩擦损失小,效率高(可达 0.99 ~ 0.995),齿面磨损小。

3) 齿面间沿齿高方向各点的相对滑动速度相等,因此齿面磨损均匀,齿面容易磨合,具有良好的磨合性能。

4) 圆弧齿轮无根切现象,所以小齿轮齿数可以小($z_{\min} = 6 \sim 8$),其最小齿数主要是受轴的强度及刚度限制。

单圆弧齿轮传动的主要缺点是:

1) 圆弧齿轮传动中心距及切齿深的偏差,引起齿高方向接触位置变化,这对于传动承载能力影响较大,因此对中心距及切齿精度的精度要求高。此外,圆弧齿轮对螺旋角 β 的精度要求也高,因为螺旋角误差(齿向偏差)将影响传动的平稳性及齿宽方向的接触情况。

2) 一对单圆弧齿轮需用两把滚刀切制凸齿和凹齿,而切制一对渐开线齿轮只需要一把滚刀。

3) 轮齿抗弯强度较弱。

1.2 双圆弧齿轮传动

如图 4.5-7 所示,双圆弧齿轮传动的大、小齿轮均采用同一种齿廓,其齿廓由两段圆弧组成,齿顶部分为凸圆弧,齿根部分为凹圆弧。因此,双圆弧齿轮传动就相当于两对单圆弧齿轮复合在一起工作。传动过程中,一对是凸齿带动凹齿工作,瞬时接触点 K_T ;另一对是凹齿带动凸齿工作,瞬时接触点 K_A 。因此,在传动过程中,在节点前后同时有两条啮合线,且瞬时接触点 K_T 、 K_A 分别沿各自的啮合线作轴向移动。两个瞬时接触点 K_T 、 K_A 分别位于两个不同的端截面内,其沿轴向上的距离 q_{TA} 称为同一齿上两个同时接触点的轴向距离。正因为一对齿面有两点在两条啮合线上同时接触,故又称这种传动为双啮合线传动。

按基本齿廓的形式,目前在生产中应用的双圆弧齿轮有公切线式和分阶式两种。图 4.5-8a 是公切线式双圆弧齿轮的基本齿廓,其齿顶部分的凸圆弧和齿根部分的凹圆弧是由一小段公切线连接起来。用这种基本齿廓的滚刀滚切出来的齿轮在节线附近的过渡齿廓为渐开线。实践证明,经过磨合以后,这段过渡齿廓也参与了啮合,并很容易产生点蚀。此外,这种双圆弧齿轮传动,虽然接触强度和抗弯

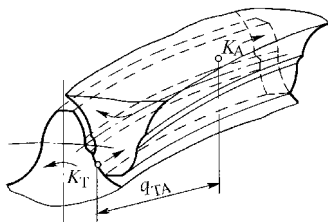


图 4.5-7 双圆弧齿轮传动啮合示意图

强度较单圆弧齿轮传动为高,但在提高齿根抗弯强度方面还没有充分发挥双圆弧齿轮的优越性。

图 4.5-8b 为分阶式双圆弧齿轮的基本齿廓。与公切线式双圆弧齿轮相比,其齿顶(凸齿)部分的齿厚减小了,而齿根(凹齿)部分的齿厚增大了。因此,凸凹齿形间的非工作齿面形成了一个台阶,此处的过渡曲线是一小段圆弧。这种齿轮在啮合时,非工作齿面间形成了一个较大的空隙,避免了非工作齿面接触的缺陷。此外,由于齿根厚度加大了,因此齿根抗弯强度较公切线式圆弧齿轮提高了。而且若节圆齿厚比 $\frac{s_2}{s_1}$ 选择适当,可使齿腰和齿根的抗弯强度大致相等,从而获得最大的承载能力。分阶式双圆弧齿轮的承载能力大概比单圆弧齿轮高 40% ~ 60%。由于分阶式双圆弧齿轮传动具有一系列优点受到各国齿轮界的普遍重视。

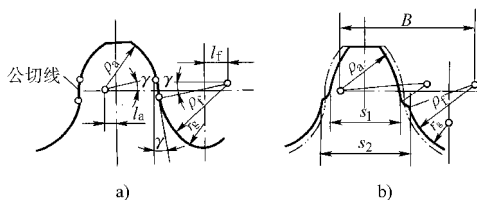


图 4.5-8 双圆弧齿轮的基本齿廓

a) 公切线式 b) 分阶式

和单圆弧齿轮传动比较,双圆弧齿轮传动具有下列特点:

1) 抗弯强度高。在几何参数相同的条件下,同时参加工作的接触点数量增加一倍,相应地每个接触点所分担的载荷在理论上将只有一半。因此,双圆弧齿轮的强度比较高。齿形设计恰当时,其抗弯强度承载能力较渐开线齿轮可提高 30%。

2) 接触强度高。除接触点增多外,磨合后所形成的两条瞬时接触线的总长也比单圆弧齿轮长,并且压力角一般比单圆弧齿轮取得小,因此双圆弧齿轮的接触强度比单圆弧齿轮有显著提高。

3) 双圆弧齿轮传动的两个齿轮均采用齿顶为凸齿、齿根为凹齿的凸-凹齿形,因此一对齿轮可用同

一把滚刀加工。

4) 双圆弧齿轮传动较平稳,振动、噪声都比单圆弧齿轮小。

和单圆弧齿轮一样,双圆弧齿轮对于中心距偏差、切齿深度偏差以及滚刀齿形压力角偏差的敏感性较大。在设计、制造和装配时,同样应予充分注意。

2 圆弧齿轮传动的啮合特性

齿轮传动的啮合特性是检查齿轮传动平稳性的重要质量指标。为保证齿轮连续平稳地传动,不仅要求一对轮齿齿面能够实现定传动比传动,而且要求传动时各对轮齿的“衔接”也要平稳,这就要由重合度来保证。合理地选择重合度不仅能保证传动的平稳性,而且能提高传动的承载能力,这在双圆弧齿轮传动中尤为突出。

2.1 单圆弧齿轮传动的啮合特性

单圆弧齿轮传动,经磨合后在端面内为瞬时接触,传动的连续性和平稳性是靠纵向重合度 ε_β 保证的, ε_β 值可由式(4.5-2)计算

$$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\beta = \frac{b}{p_x} = \frac{b \sin \beta}{p_n} = \frac{b \sin \beta}{\pi m_n} > 1 \quad (4.5-2)$$

式中 b ——齿宽;

p_x ——轴向齿距;

p_n ——法向齿距;

β ——螺旋角。

各尺寸及 β 角见图 4.5-9。

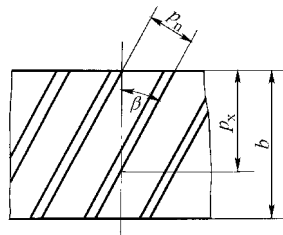


图 4.5-9 圆弧齿轮分度圆柱展开图

由上式可知,只要选择较大的螺旋角 β ,即使齿宽 b 一定,也能获得足够大的重合度 ε_γ 。但 β 的选取还应考虑轮齿强度、轴承寿命、传动效率等因素。

2.2 双圆弧齿轮传动的啮合特性

讨论双圆弧齿轮传动的啮合特性问题,要比讨论单圆弧齿轮复杂,因为双圆弧齿轮传动的啮合特性必须用两个指标才能表达全面,这两个指标是多点啮合系数和多对齿啮合系数。在分析这两个系数

之前,应该先求得同一工作齿面上两个同时接触点间的轴向距离 q_{TA} 。

2.2.1 同一工作齿面上两个同时接触点间的轴向距离 q_{TA}

根据两齿面在接触点处的公法线必须与节线相交,可以由图 4.5-10 近似地求得工作齿面上同时接触的两点 K_T 、 K_A 在轴向的距离 q_{TA} 为

$$q_{TA} = \frac{0.5\pi m_n + 2l_a - 0.5j_n + 2x_a \cot \alpha_n}{\sin \beta} - 2\left(\rho_a + \frac{x_a}{\sin \alpha_n}\right) \cos \alpha_n \sin \beta \quad (4.5-3)$$

式中 j_n ——法向侧隙。

q_{TA} 与轴向齿距 p_x 的比值称为双点距离系数 λ

$$\lambda = \frac{q_{TA}}{p_x} \quad (4.5-4)$$

表 4.5-1 多点啮合系数计算公式

啮合系数名称	代号	情况 I	情况 II	情况 III
		当 $\Delta b \leq p_x - q_{TA}$ 时	当 $(p_x - q_{TA}) < \Delta b < q_{TA}$ 时	当 $\Delta b \geq q_{TA}$ 时
2m 点啮合系数	ε_{2md}	$1 - \frac{2\Delta b}{p_x}$	$\frac{q_{TA} - \Delta b}{p_x}$	—
$(2m+1)$ 点啮合系数	$\varepsilon_{(2m+1)d}$	$\frac{2\Delta b}{p_x}$	$\frac{2(p_x - q_{TA})}{p_x}$	$2 - \frac{2\Delta b}{p_x}$
$(2m+2)$ 点啮合系数	$\varepsilon_{(2m+2)d}$	—	$\frac{\Delta b - (p_x - q_{TA})}{p_x}$	$\frac{2\Delta b}{p_x} - 1$

2.2.3 多对齿啮合系数

传动工作中,同时工作的齿的对数也是周期地改变的。在转过一齿的范围内,可能有 m 对齿、 $(m+1)$ 对齿、 $(m+2)$ 对齿参加工作。相应的齿对数工作时,所转过的节圆弧长与周节之比称为多对齿啮合系数,记作 ε_{mz} 、 $\varepsilon_{(m+1)z}$ 、 $\varepsilon_{(m+2)z}$ 。按照 Δb 的大小,多对齿啮合系数可分为两种情况,按表 4.5-2 计算。

表 4.5-2 多对齿啮合系数计算公式

啮合系数名称	代号	情况 I	情况 II
		当 $\Delta b \leq (p_x - q_{TA})$ 时	当 $\Delta b > (p_x - q_{TA})$ 时
m 对齿啮合系数	ε_{mz}	$1 - \frac{q_{TA} + \Delta b}{p_x}$	—
$(m+1)$ 对齿啮合系数	$\varepsilon_{(m+1)z}$	$\frac{q_{TA} + \Delta b}{p_x}$	$2 - \frac{q_{TA} + \Delta b}{p_x}$
$(m+2)$ 对齿啮合系数	$\varepsilon_{(m+2)z}$	—	$\frac{q_{TA} + \Delta b}{p_x} - 1$

图 4.5-10 所示情况, $\Delta b \leq p_x - q_{TA}$, 所以 $\varepsilon_{1z} = 1 - \frac{q_{TA} + \Delta b}{p_x}$, $\varepsilon_{2z} = \frac{q_{TA} + \Delta b}{p_x}$ 。其最少工作的齿对数为 1 对,因此在进行强度计算时,应按一对齿、两点

λ 不仅由齿形参数决定,而且随螺旋角 β 的改变而变化。

2.2.2 多点啮合系数

在齿轮传动的过程中,轮齿同时接触的点数将周期地改变。若齿轮的工作齿宽 $b = mp_x + \Delta b$ (m 为整数, Δb 为尾数),则在转过一齿的范围内,可能有 $2m$ 点、 $2m+1$ 点、 $2m+2$ 点接触。相应接触点数工作时,所转过的节圆弧长与齿距之比称为多点啮合系数,分别记作 ε_{2md} 、 $\varepsilon_{(2m+1)d}$ 、 $\varepsilon_{(2m+2)d}$ 。根据 Δb 与 q_{TA} 的大小,多点啮合系数分为三种情况,按表 4.5-1 进行计算。

例如对于图 4.5-10 所示情况, $\Delta b < (p_x - q_{TA})$,

因此, $\varepsilon_{2d} = 1 - \frac{2\Delta b}{p_x}$, $\varepsilon_{3d} = 2 \frac{\Delta b}{p_x}$ 。

啮合情况考虑。

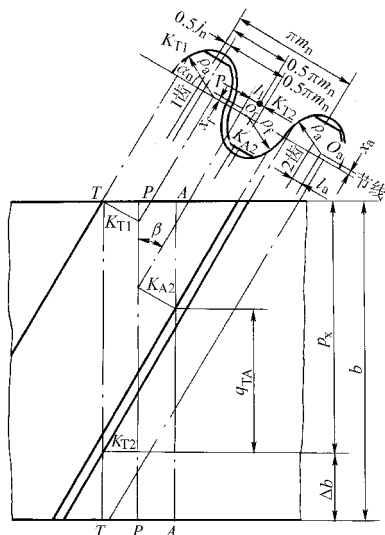


图 4.5-10 双圆弧齿轮接触点轴向距离

2.2.4 齿宽 b 的确定

双圆弧齿轮传动,存在多对齿啮合和多点啮合,情况比较复杂。因此,当要求有不同的啮合齿对数

和不同的接触点数时，其最小齿宽 $b_{\min}$ 也不同。双圆弧齿轮最小齿宽 $b_{\min}$ 按表 4.5-3 计算。

表 4.5-3 最小齿宽计算表

设计要求	计算公式
至少 m 对齿， $2m$ 个接触点同时工作	$b_{\min} = mp_x$
至少 m 对齿， $2m-1$ 个接触点同时工作	$b_{\min} = (m + \lambda - 1) p_x$
至少 m 对齿， $2m-2$ 个接触点同时工作	$b_{\min} = (m - \lambda) p_x$

例如，至少 2 对齿两点接触，其最小齿宽

$$b_{\min} = (m - \lambda) p_x = (2 - \lambda) p_x$$

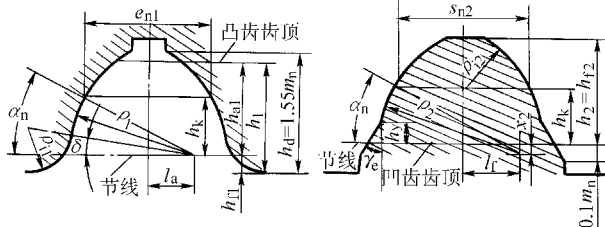
至少 2 对齿 3 点接触，其最小齿宽

$$b_{\min} = (m + \lambda - 1) p_x = (1 + \lambda) p_x$$

齿宽 b 按式 (4.5-5) 确定：

$$b = b_{\min} + \Delta b \tag{4.5-5}$$

表 4.5-4 “67 型” 单圆弧齿轮滚刀的法向齿廓及其参数 (摘自 JB929—1967)



原始齿廓参数名称	代 号	凸 齿	凹 齿	
		$m_n = 2 \sim 32\text{mm}$	$m_n = 2 \sim 6\text{mm}$	$m_n = 7 \sim 32\text{mm}$
压力角	α_n	30°	30°	30°
接触点移距	l	$1.5m_n$		
接触点离节线高度	h_k	$0.75m_n$	$0.75m_n$	$0.75m_n$
齿廓半径	ρ	$1.5m_n$	$1.65m_n$	$1.55m_n + 0.6$
凹凸齿廓半径差	$\Delta\rho$		$0.15m_n$	$0.05m_n + 0.6$
工作齿高	h'	$1.2m_n$	$1.2m_n$	$1.2m_n$
齿顶高	h_a	$1.2m_n$	0	0
齿根高	h_f	$0.3m_n$	$1.36m_n$	$1.36m_n$
全齿高 (切深)	h	$1.5m_n$	$1.36m_n$	$1.36m_n$
齿廓圆心偏移量	$l_a、l_f$	$0.5290m_n$	$0.6289m_n$	$0.5523m_n + 0.5196$
齿廓圆心移距量	x_2	0	$0.075m_n$	$0.025m_n + 0.3$
接触点处槽宽	e_{n1}	$1.54m_n$	$1.5416m_n$	$1.5616m_n$
接触点处齿厚	s_{n2}	$1.6016m_n$	$1.60m_n$	$1.58m_n$
接触点处侧隙	c_y		$0.06m_n$	$0.04m_n$
齿顶倒角高度	h_y		$0.26m_n$	$0.26m_n$
齿顶倒角	γ_e		30°	30°
工艺角	δ	$8^\circ47'34''$		
齿根圆角半径	ρ_i	$0.6248m_n$	$0.6227m_n$	$\frac{\rho_2 + h_2 + x_2}{2} - \frac{l_f^2}{2(\rho_2 - h_2 - x_2)}$

推荐最小齿宽按式 (4.5-6) 选择：

$$b_{\min} = (m - \lambda) p_x \tag{4.5-6}$$

Δb 按式 (4.5-7) 选择：

$$\Delta b = (0.25 \sim 0.35) p_x \tag{4.5-7}$$

3 圆弧齿轮的基本齿廓及模数系列

圆弧齿轮的基本齿廓是指基齿条的法向齿廓。如以基齿条的齿为槽，或以基齿条的槽为齿所得到的齿廓，即为滚刀的法向齿廓。

3.1 单圆弧齿轮的基本齿廓 (摘自 JB929—1967)

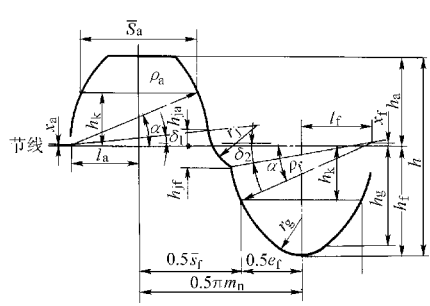
“67 型” 单圆弧齿轮滚刀的法向齿廓及其参数列于表 4.5-4。

3.2 双圆弧齿轮的基本齿廓 (摘自 GB/T 12759—1991)

双圆弧圆柱齿轮基本齿廓的国家标准 (GB/T

12759—1991) 适用于法向模数 $m_n = 1.5 \sim 50\text{mm}$ 的双圆弧圆柱齿轮及其传动。该基本齿廓及其参数列于表 4.5-5。

表 4.5-5 双圆弧齿轮的基本齿廓及其参数 (摘自 GB/T 12759—1991)



代号: α —压力角; h —全齿高; h_a —齿顶高; h_f —齿根高; ρ_a —凸齿齿廓圆弧半径; ρ_f —凹齿齿廓圆弧半径; x_a —凸齿齿廓圆心移距量; x_f —凹齿齿廓圆心移距量; $\bar{s}_a$ —凸齿接触点处弦齿厚; h_k —接触点到节线的距离; l_a —凸齿齿廓圆心偏移量; l_f —凹齿齿廓圆心偏移量; h_{ja} —过渡圆弧和凸齿圆弧的切点到节线的距离; h_{jf} —过渡圆弧和凹齿圆弧的切点到节线的距离; $\bar{e}_f$ —凹齿接触点处齿槽宽; $\bar{s}_f$ —凹齿接触点处弦齿厚; δ_1 —凸齿工艺角; δ_2 —凹齿工艺角; r_j —过渡圆弧半径; r_g —齿根圆弧半径; h_g —齿根圆弧和凹齿圆弧的切点到节线的距离; j —侧向间隙

法向模数 m_n/mm	基本齿廓的参数											
	α	h^*	h_a^*	h_f^*	ρ_a^*	ρ_f^*	x_a^*	x_f^*	$\bar{s}_a^*$	h_k^*	l_a^*	
1.5 ~ 3	24°	2	0.9	1.1	1.3	1.420	0.0163	0.0325	1.1173	0.5450	0.6289	
> 3 ~ 6	24°	2	0.9	1.1	1.3	1.410	0.0163	0.0285	1.1173	0.5450	0.6289	
> 6 ~ 10	24°	2	0.9	1.1	1.3	1.395	0.0163	0.0224	1.1173	0.5450	0.6289	
> 10 ~ 16	24°	2	0.9	1.1	1.3	1.380	0.0163	0.0163	1.1173	0.5450	0.6289	
> 16 ~ 32	24°	2	0.9	1.1	1.3	1.360	0.0163	0.0081	1.1173	0.5450	0.6289	
> 32 ~ 50	24°	2	0.9	1.1	1.3	1.340	0.0163	0.0000	1.1173	0.5450	0.6289	
法向模数 m_n/mm	基本齿廓的参数											
	l_f^*	h_{ja}^*	h_{jf}^*	e_f^*	$\bar{s}_f^*$	δ_1	δ_2	r_j^*	r_g^*	h_g^*	j^*	
1.5 ~ 3	0.7086	0.16	0.20	1.1773	1.9643	6°20'52"	9°25'31"	0.5049	0.4030	0.9861	0.06	
> 3 ~ 6	0.6994	0.16	0.20	1.1773	1.9643	6°20'52"	9°19'30"	0.5043	0.4004	0.9883	0.06	
> 6 ~ 10	0.6957	0.16	0.20	1.1573	1.9843	6°20'52"	9°10'21"	0.4884	0.3710	1.0012	0.04	
> 10 ~ 16	0.6820	0.16	0.20	1.1573	1.9843	6°20'52"	9°0'59"	0.4877	0.3663	1.0047	0.04	
> 16 ~ 32	0.6638	0.16	0.20	1.1573	1.9843	6°20'52"	8°48'11"	0.4868	0.3595	1.0095	0.04	
> 32 ~ 50	0.6455	0.16	0.20	1.1573	1.9843	6°20'52"	8°35'01"	0.4858	0.3520	1.0145	0.04	

注: 表中带 * 号的尺寸参数是指该尺寸与法向模数 m_n 的比值, 用这些比值乘以法向模数 m_n 即得该尺寸值, 例如: $h^* m_n = h$, $\rho_a^* m_n = \rho_a$ 等。

3.3 圆弧齿轮的法向模数系列

圆弧齿轮的法向模数系列见表 4.5-6。

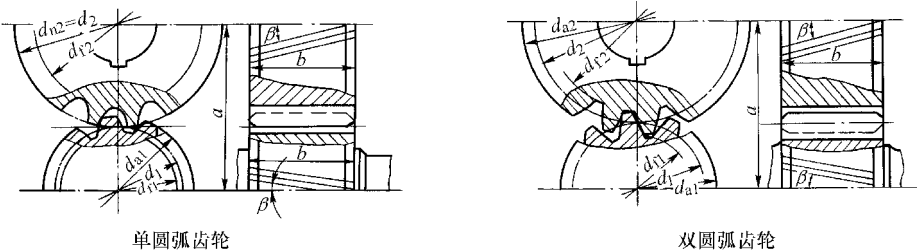
表 4.5-6 圆弧齿轮的法向模数 m_n 系列 (摘自 GB/T 1840—1989) (mm)

第一系列	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50
第二系列		2.25	2.75	3.5	4.5	5.5	7	9		14	18	22	28	36	45	

4 圆弧齿轮传动的几何尺寸计算

单圆弧齿轮传动及双圆弧齿轮传动的几何尺寸计算见表 4.5-7。

表 4.5-7 圆弧齿轮传动的几何尺寸计算



(续)

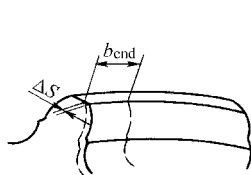
名 称	代 号	计 算 公 式	
		单圆弧齿轮	双圆弧齿轮
中心距	a	$a = \frac{1}{2} (d_1 + d_2) = \frac{m_n (z_1 + z_2)}{2 \cos \beta}$ 由强度计算或结构设计确定, 减速器 a 取标准值	
法向模数	m_n	由轮齿抗弯强度计算或结构设计确定, 取标准值 (见表 4.5-6)	
齿数和	z_Σ	$z_\Sigma = z_1 + z_2 = \frac{2a \cos \beta}{m_n}$ 初选螺旋角, 斜齿轮 $\beta = 10^\circ \sim 20^\circ$; 人字齿轮 $\beta = 25^\circ \sim 35^\circ$	
齿数	z	$z_1 = \frac{z_\Sigma}{1+i} = \frac{2a \cos \beta}{(1+i)m_n}; z_2 = iz_1$ i —给定的传动比; 齿数取整数	
螺旋角	β	$\cos \beta = \frac{m_n (z_1 + z_2)}{2a}$ 准确到秒	
轴向齿距	p_x	$p_x = \frac{\pi m_n}{\sin \beta}$	
齿宽	b	$b = \phi_a a$	
		或按要求的轴向重合度确定 $b = \frac{\pi m_n \varepsilon_\beta}{\sin \beta}$	或按要求的接触点数确定 $b = b_{\min} + (0.25 \sim 0.35) p_x$ $b_{\min}$ 见表 4.5-3
纵向重合度	ε_β	$\varepsilon_\beta = \frac{b}{p_x} = \frac{b \sin \beta}{\pi m_n}$	
接触点距离系数	λ		$\lambda = \frac{q_{TA}}{p_x}; q_{AT}$ 由式 (4.5-3) 计算
总重合度	ε_γ	$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\beta$	$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\beta + \lambda$
分度圆直径	d	$d = m_t z = \frac{m_n z}{\cos \beta}$	
齿顶高	h_a	凸齿 $h_{a1} = 1.2 m_n$ 凹齿 $h_{a2} = 0$	$h_a = 0.9 m_n$
齿根高	h_f	凸齿 $h_{f1} = 0.3 m_n$ 凹齿 $h_{f2} = 1.36 m_n$	$h_f = 1.1 m_n$
全齿高	h	凸齿 $h_1 = h_{a1} + h_{f1} = 1.5 m_n$ 凹齿 $h_2 = h_{a2} + h_{f2} = 1.36 m_n$	$h = h_a + h_f = 2 m_n$
齿顶圆直径	d_a	凸齿 $d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} = d_1 + 2.4 m_n$ 凹齿 $d_{a2} = d_2$	$d_a = d + 2h_a = d + 1.8 m_n$
齿根圆直径	d_f	凸齿 $d_{f1} = d_1 - 2h_{f1} = d_1 - 0.6 m_n$ 凹齿 $d_{f2} = d_2 - h_{f2} = d_2 - 2.72 m_n$	$d_f = d - 2h_f = d - 2.2 m_n$
齿端修薄量 修薄宽度 (见附图 a)	Δs b_{end}	$\Delta s = (0.01 \sim 0.02) m_n \quad b_{\text{end}} = (0.1 \sim 0.2) p_x$ $\varepsilon_\beta \geq 3$ 时, 小齿轮齿端必须修薄, 修薄量和修薄宽度啮入端稍大; 螺旋角大时取较大系数。不修薄齿轮的有效齿宽应保证总重合度稍大于某一整数	
接触点处弦齿厚 (见附图 b)	$\bar{s}_k$	$\bar{s}_{ak} = 2\rho_a \cos(\alpha + \delta_{ak}) - (z_v m_n + 2x_a) \sin \delta_{ak}$ $\bar{s}_{fk} = z_v m_n \sin\left(\frac{\pi}{z_v} + \delta_{fk}\right) - 2\left(\rho_f - \frac{x_f}{\sin \alpha}\right) \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{z_v} - \delta_{fk}\right)$ $\text{式中 } \delta_{ak} = \frac{2l_a}{z_v m_n + 2x_a} \quad \delta_{fk} = \frac{2(l_f - x_f \cot \alpha)}{z_v m_n}$ 以上公式对于单、双圆弧齿轮均适用	

(续)

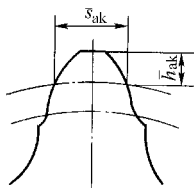
名 称	代 号	计 算 公 式	
		单圆弧齿轮	双圆弧齿轮
接触点处弦齿高 (见附图 b)	$\bar{h}_k$	凸齿 $\bar{h}_{ak} = h_a - h_k + \frac{(0.5s_{ak})^2}{z_v m_n + 2h_k}$ $h_k = \left(0.75 + \frac{1.688}{z_v + 1.5}\right) m_n$	$h_k = \left(0.545 + \frac{1.498}{z_v + 1.09}\right) m_n$ 凹齿 $\bar{h}_{bk} = h_a + h_k + \frac{(0.5s_{bk})^2}{z_v m_n - 2h_k}$ $h_k = \left(0.75 - \frac{1.688}{z_v - 1.5}\right) m_n$
弦齿深 (法面) (见附图 c、d)	$\bar{h}$	$\bar{h} = h - h_g + \frac{1}{2} (d_a' - d_a)$ 式中 h —全齿高; d_a 、 d_a' —齿顶圆直径及其实测值; h_g —弓高 对于单圆弧齿轮凸齿和双圆弧齿轮 $h_g = \frac{1}{4} (z_v m_n + 2h_a) \left(\frac{\pi}{z_v} - \frac{s_a}{z_v m_n + 2h_a} \right)^2$ 式中 s_a —齿顶厚, 随齿数减少而变窄, 可拟合如下: 单圆弧齿轮凸齿 $s_a = (0.742 - \frac{0.43}{z_v}) m_n$ 双圆弧齿轮 $s_a = (0.6491 - \frac{0.61}{z_v}) m_n$ h_a —凸齿齿顶高; z_v —当量齿数 对于单圆弧齿轮凹齿 $h_{g2} = \left(\sqrt{\rho_f^2 - (h_y + x_f)^2} + h_y \tan \gamma_e - l_f \right)^2 \frac{1}{z_v m_n}$ 当 $m_n = 2 \sim 6\text{mm}$ 时 $h_{g2} = \frac{1.285 m_n \cos^3 \beta}{z_2}$ 当 $m_n = 7 \sim 32\text{mm}$ 时 $h_{g2} = \frac{(1.25 m_n + 0.08) \cos^3 \beta}{z_1}$	
公法线跨齿数	k	凸齿 $k_a = \frac{z}{\pi} [\alpha_t \text{ (rad)} + \frac{1}{2} \tan^2 \beta \sin 2\alpha_t] + \frac{2}{\pi} \left(\frac{l_a}{m_n} + \frac{x_a \cot \alpha}{m_n} \right) + 1$ 取整数 凹齿 $k_f = \frac{z}{\pi} [\alpha_t \text{ (rad)} + \frac{1}{2} \tan^2 \beta \sin 2\alpha_t] - \frac{2}{\pi} \left(\frac{l_f}{m_n} - \frac{x_f \cot \alpha}{m_n} \right)$ 取整数 式中 α_t 为理论接触点处的端面压力角, $\tan \alpha_t = \frac{\tan \alpha}{\cos \beta}$, α 为基本齿廓压力角	
公法线长度	W_k	凸齿 $W_{ka} = \frac{d \sin^2 \alpha_{ta} + 2x_a}{\sin \alpha_n} + 2\rho_a$ 凹齿 $W_{kf} = \frac{d \sin^2 \alpha_{tf} + 2x_f}{\sin \alpha_n} - 2\rho_f$ 式中 α_n —测点法向压力角, $\tan \alpha_n = \tan \alpha_t \cos \beta$ α_t —测点端面压力角, 求解超越方程 凸齿 $\alpha_{ta} = M_a - B \sin 2\alpha_{ta} - Q_a \cot \alpha_{ta} \text{ (rad)}$ 凹齿 $\alpha_{tf} = M_f - B \sin 2\alpha_{tf} - Q_f \cot \alpha_{tf} \text{ (rad)}$ 式中 $M_a = \frac{1}{z} \left[(k_a - 1) \pi - \frac{2l_a}{m_n} \right]$ $M_f = \frac{1}{z} \left(k_f \pi + \frac{2l_f}{m_n} \right)$ $B = \frac{1}{2} \tan^2 \beta$ $Q_a = \frac{2x_a}{zm_n \cos \beta}$ $Q_f = \frac{2x_f}{zm_n \cos \beta}$ 用迭代法解上述超越方程时, 可取公式右边的 α_t 的初值为 α_0 。计算出公式左边的 α_t , 再取作公式右边 α_t 的值, 重复计算, 直到误差在 $1''$ 以内为止, 计算精度应为小数第五位 公法线长度测量时, 工作齿宽 b 应大于 $b_{\min}$ $b_{\min} = \frac{1}{2} d \sin 2\alpha_t \tan \beta + 5$	
齿根圆斜径 (见附图 e)	L_f	当齿数为偶数时, 推荐测量齿根圆直径 d_f , 当齿数为奇数时, 可测量齿根斜径 L_f $L_f = d_f \cos \frac{90^\circ}{z}$	

(续)

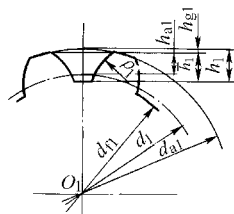
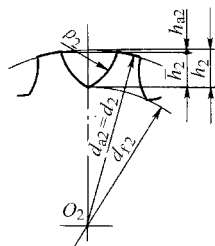
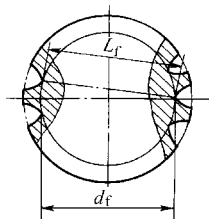
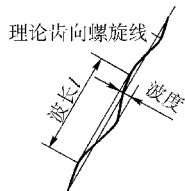
名 称	代 号	计 算 公 式	
		单圆弧齿轮	双圆弧齿轮
螺旋线波度的波长 (见附图 f)	l	沿螺旋线测量螺旋线波度时,按下式计算波长 l $l = \frac{\pi d}{z_k \sin \beta} = \frac{2\pi m_n z}{z_k \sin 2\beta}$ 式中 z_k —滚齿机分度蜗轮齿数; d —工件分度圆直径	



a) 齿端修薄量及修薄宽度



b) 接触点处弦齿厚及弦齿高

c) 凸齿圆弧齿轮的弦齿深 $\bar{h}_1$ d) 凹齿圆弧齿轮的弦齿深 $\bar{h}_2$ e) 齿根圆斜径 L_f f) 螺旋线波度的波长 l

5 圆弧齿轮传动基本参数的选择

圆弧齿轮传动的基本参数: m_n 、 z 、 β 、 ε_β 、 ϕ_d 和 ϕ_a 等, 对传动的承载能力和工作质量有很大的影响, 各参数之间有密切联系, 互相制约, 选择时应注意它们之间的基本关系:

$$d_1 = z_1 m_n / \cos \beta \quad (4.5-8)$$

$$\varepsilon_\beta = b/p_x = b \sin \beta / (\pi m_n) \quad (4.5-9)$$

$$\phi_d = b/d_1 = \pi \varepsilon_\beta / (z_1 \tan \beta) = 0.5 \phi_a (1 + u) \quad (4.5-10)$$

$$\phi_a = b/a = 2\phi_d / (1 + u) = 2\pi \varepsilon_\beta / [(z_1 + z_2) \tan \beta] \quad (4.5-11)$$

设计时, 应根据具体情况予以综合考虑。

5.1 齿数 z 和模数 m_n

当齿轮的中心距和齿宽一定时, 取较多的齿数并相应减小模数, 不仅可以增大重合度、提高传动的平稳性, 而且可以减小相对滑动速度, 提高传动效率, 防止胶合。但模数太小, 轮齿弯曲强度将不够。因此, 在满足轮齿弯曲强度的条件下, 宜选用较小的模数。

一般取 $m_n = (0.01 \sim 0.02)a$ (a 为中心距)。对大中心距、载荷平稳、工作连续的传动, 选取较小的数值; 对小中心距、载荷不平稳、工作间断的传动, 选取较大的数值。在通用减速器中, 常取 $m_n = (0.0133 \sim 0.016)a$ 。在特殊情况, 如对轧钢机人字齿轮机座等有显著尖峰载荷的场合, 可取 $m_n = (0.025 \sim 0.04)a$ 。在高速齿轮传动中, 为使工作平稳应取较小的法向模数。

另外, 在设计中, 也可以先取定齿数, 后定模数。通常取 $z_1 \geq 18 \sim 30$ 。齿面硬度小于 350HBW、过载不大, 宜取较大值; 齿面硬度大于 350HBW、过载大, 宜取较小值; 齿轮的速度高宜取较大值。圆弧齿轮不存在根切现象, 最少齿数不受根切限制; 但齿数太少、模数过大, 不易保证重合度的数值。

5.2 重合度 ε_β

选取较大的重合度, 可以提高传动的平稳性, 降低噪声, 提高承载能力。对中低速传动, 常取 $\varepsilon_\beta > 2$; 对高速齿轮传动, 推荐取 $\varepsilon_\beta > 3$, 或更大值。采用大重合度时, 必须严格限制齿距误差、齿向误差、轴线平行度误差和轴系变形量, 否则不能保证

几个接触迹均匀地承担载荷, 不能达到传动平稳和应有的承载能力。

重合度由整数部分 μ_e 和尾数 $\Delta\varepsilon$ 组成, 即 $\varepsilon_\beta = \mu_e + \Delta\varepsilon$ 。重合度的尾数 $\Delta\varepsilon$ 的取值大小对传动的承载能力和平稳性有很大影响。通常尾数 $\Delta\varepsilon$ 的取值范围为: 0.15~0.35。

$\Delta\varepsilon$ 取得太小时, 则当接触迹进入或脱开齿面时, 容易引起齿端崩角, 且不利于平稳传动。随着 $\Delta\varepsilon$ 的增大, 端部应力将有所减小, 但 $\Delta\varepsilon$ 增大到 0.4 以上时, 应力减少缓慢; $\Delta\varepsilon$ 取得太大时, 增加了齿轮宽度而不能使每一瞬间都增加接触迹数目。

5.3 螺旋角 β

螺旋角 β 对传动质量影响较大。 β 角增大, 将使当量曲率半径减小, 从而降低齿面接触强度, 同时也使齿根弯曲强度降低, 另外将使轴向力增大而降低轴承寿命。但是 β 角增加, 将使重合度 ε_β 增大, 若能得到: $\varepsilon_\beta = 2.15 \sim 2.35$ 或 $\varepsilon_\beta = 3.15 \sim 3.35$ 时, 则传动平稳性、振动、噪声将有所改善, 接触强度、弯曲强度都会有所提高。因此要根据具体情况, 合理的选择 β 角。一般推荐: 斜齿轮, $\beta = 10^\circ \sim 20^\circ$; 人字齿轮, $\beta = 25^\circ \sim 35^\circ$ 。

5.4 齿宽系数 ϕ_d 、 ϕ_a

齿宽系数 $\phi_d = \frac{b}{d_1}$ 、 $\phi_a = \frac{b}{a}$, 可参照本篇第 4 章渐开线圆柱齿轮传动选取。

ϕ_d 和 ϕ_a 的换算关系见式 (4.5-10) 和式 (4.5-11)。当确定了 z_1 、 β 和 ε_β 后, 可按式 (4.5-10) 和式 (4.5-11) 校核 ϕ_d 或 ϕ_a 。也可以先定齿宽系数, 然后用这些公式来调整 z_1 、 β 和 ε_β 的数值。

当 ε_β 值为 1.25、2.25、3.25 时, 可利用图 4.5-11 来选一组合适的 ϕ_d 、 z_1 和 β 值。

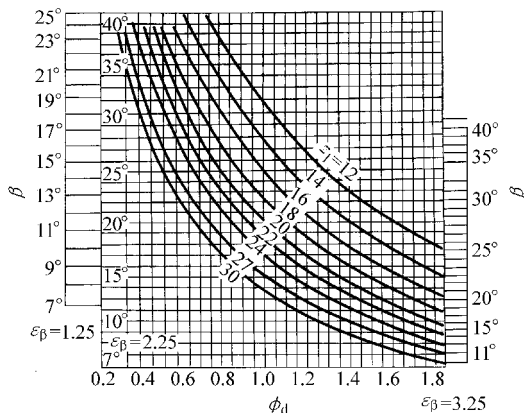


图 4.5-11 ϕ_d 与 z_1 、 β 、 ε_β 的关系

6 圆弧齿轮的强度计算

圆弧齿轮的失效形式主要是轮齿的弯曲折断、齿面点蚀、齿面胶合和塑性变形。由于圆弧齿轮受力情况比较复杂, 因此, 其强度计算多以三维应力分析和大量的试验研究为基础。1992 年我国制定了 GB/T 13799—1992《双圆弧圆柱齿轮承载能力计算方法》; 而单圆弧圆柱齿轮承载能力计算方法目前尚未制订标准。本手册编入的圆弧齿轮的弯曲强度计算和接触强度计算方法, 双圆弧齿轮是以 GB/T 13799—1992 为依据; 对单圆弧齿轮主要是介绍哈尔滨工业大学的计算方法。

6.1 圆弧齿轮传动的强度计算公式

双圆弧齿轮传动和单圆弧齿轮传动的齿根弯曲疲劳强度和齿面接触疲劳强度的计算公式列于表 4.5-8 和表 4.5-9。

表 4.5-8 双圆弧齿轮传动的疲劳强度计算公式

项 目	齿根弯曲疲劳强度计算	齿面接触疲劳强度计算
计算应力 /MPa	$\sigma_F = \left(\frac{T_1 K_A K_V K_I K_{F2}}{2\mu_e + K_{\Delta\varepsilon}} \right)^{0.86} \frac{Y_E Y_u Y_\beta Y_F Y_{end}}{z_1 m_n^{2.58}}$	$\sigma_H = \left(\frac{T_1 K_A K_V K_I K_{H2}}{2\mu_e + K_{\Delta\varepsilon}} \right)^{0.73} \frac{Z_E Z_u Z_\beta Z_a}{z_1 m_n^{2.19}}$
法向模数 /mm	$m_n \geq \left(\frac{T_1 K_A K_V K_I K_{F2}}{2\mu_e + K_{\Delta\varepsilon}} \right)^{1/3} \left(\frac{Y_E Y_u Y_\beta Y_F Y_{end}}{z_1 \sigma_{FP}} \right)^{1/2.58}$	$m_n \geq \left(\frac{T_1 K_A K_V K_I K_{H2}}{2\mu_e + K_{\Delta\varepsilon}} \right)^{1/3} \left(\frac{Z_E Z_u Z_\beta Z_a}{z_1 \sigma_{HP}} \right)^{1/2.19}$
小齿轮转矩 /N·mm	$T_1 = \frac{2\mu_e + K_{\Delta\varepsilon}}{K_A K_V K_I K_{F2}} m_n^3 \left(\frac{z_1 \sigma_{FP}}{Y_E Y_u Y_\beta Y_F Y_{end}} \right)^{1/0.86}$	$T_1 = \frac{2\mu_e + K_{\Delta\varepsilon}}{K_A K_V K_I K_{H2}} m_n^3 \left(\frac{z_1 \sigma_{HP}}{Z_E Z_u Z_\beta Z_a} \right)^{1/0.73}$
许用应力 /MPa	$\sigma_{FP} = \sigma_{Flim} Y_N Y_x / S_{Fmin} \geq \sigma_F$	$\sigma_{HP} = \sigma_{Hlim} Z_N Z_L Z_V / S_{Hmin} \geq \sigma_H$
安全系数	$S_F = \sigma_{Flim} Y_N Y_x / \sigma_F \geq S_{Fmin}$	$S_H = \sigma_{Hlim} Z_N Z_L Z_V / \sigma_H \geq S_{Hmin}$

注: 对人字齿轮传动, 转矩按 $0.5T_1$ 计算, $(2\mu_e + K_{\Delta\varepsilon})$ 按一半齿宽计算。

表 4.5-9 单圆弧齿轮传动的疲劳强度计算公式

项 目	齿根弯曲疲劳强度计算	齿面接触疲劳强度计算
计算应力 /MPa	凸齿 $\sigma_{F1} = \left(\frac{T_1 K_A K_v K_1 K_{F2}}{\mu_e + K_{\Delta e}} \right)^{0.79} \frac{Y_{E1} Y_{u1} Y_{\beta1} Y_{F1} Y_{end1}}{z_1 m_n^{2.37}}$	$\sigma_H = \left(\frac{T_1 K_A K_v K_1 K_{H2}}{\mu_e + K_{\Delta e}} \right)^{0.7} \frac{Z_E Z_u Z_{\beta} Z_a}{z_1 m_n^{2.1}}$
	凹齿 $\sigma_{F2} = \left(\frac{T_1 K_A K_v K_1 K_{F2}}{\mu_e + K_{\Delta e}} \right)^{0.73} \frac{Y_{E2} Y_{u2} Y_{\beta2} Y_{F2} Y_{end2}}{z_1 m_n^{2.19}}$	
法向模数 /mm	凸齿 $m_n \geq \left(\frac{T_1 K_A K_v K_1 K_{F2}}{\mu_e + K_{\Delta e}} \right)^{1/3} \left(\frac{Y_{E1} Y_{u1} Y_{\beta1} Y_{F1} Y_{end1}}{z_1 \sigma_{FP1}} \right)^{1/2.37}$	$m_n \geq \left(\frac{T_1 K_A K_v K_1 K_{H2}}{\mu_e + K_{\Delta e}} \right)^{1/3} \left(\frac{Z_E Z_u Z_{\beta} Z_a}{z_1 \sigma_{HP}} \right)^{1/2.1}$
	凹齿 $m_n \geq \left(\frac{T_1 K_A K_v K_1 K_{F2}}{\mu_e + K_{\Delta e}} \right)^{1/3} \left(\frac{Y_{E2} Y_{u2} Y_{\beta2} Y_{F2} Y_{end2}}{z_1 \sigma_{FP2}} \right)^{1/2.19}$	
小齿轮 (凸齿) 转矩 /N·m	凸齿 $T_1 = \frac{\mu_e + K_{\Delta e}}{K_A K_v K_1 K_{F2}} m_n^3 \left(\frac{z_1 \sigma_{FP1}}{Y_{E1} Y_{u1} Y_{\beta1} Y_{F1} Y_{end1}} \right)^{1/0.79}$	$T_1 = \frac{\mu_e + K_{\Delta e}}{K_A K_v K_1 K_{H2}} m_n^3 \left(\frac{z_1 \sigma_{HP}}{Z_E Z_u Z_{\beta} Z_a} \right)^{1/0.7}$
	凹齿 $T_1 = \frac{\mu_e + K_{\Delta e}}{K_A K_v K_1 K_{F2}} m_n^3 \left(\frac{z_1 \sigma_{FP2}}{Y_{E2} Y_{u2} Y_{\beta2} Y_{F2} Y_{end2}} \right)^{1/0.73}$	
许用应力 /MPa	$\sigma_{FP} = \sigma_{Flim} Y_N Y_X / S_{Fmin} \geq \sigma_F$	$\sigma_{HP} = \sigma_{Hlim} Z_N Z_L Z_V / S_{Hmin} \geq \sigma_H$
安全系数	$S_F = \sigma_{Flim} Y_N Y_X / \sigma_F \geq S_{Fmin}$	$S_H = \sigma_{Hlim} Z_N Z_L Z_V / \sigma_H \geq S_{Hmin}$

注：对人字齿轮传动，转矩按 $0.5T_1$ 计算， $\mu_e + K_{\Delta e}$ 按一半齿宽计算。

表 4.5-8 和表 4.5-9 公式中参数的意义和确定方法见表 4.5-10。

表 4.5-10 表 4.5-8 和表 4.5-9 中公式参数的意义和确定方法

代 号	意 义	确 定 方 法
K_A	使用系数	表 4.4-43
K_v	动载系数	图 4.5-12
K_1	接触迹间载荷分配系数	图 4.5-13
K_{F2}	弯曲强度计算的接触迹内载荷分布系数	表 4.5-11
K_{H2}	接触强度计算的接触迹内载荷分布系数	
$K_{\Delta e}$	接触迹系数	图 4.5-14
Z_E	接触强度计算的材料弹性系数	表 4.5-12
Y_E	弯曲强度计算的材料弹性系数	
Z_u	接触强度计算的齿数比系数	图 4.5-15
Y_u	弯曲强度计算的齿数比系数	
Z_{β}	接触强度计算的螺旋角系数	图 4.5-16
Y_{β}	弯曲强度计算的螺旋角系数	
Y_F	齿形系数	图 4.5-17
Y_{end}	齿端系数	图 4.5-18
Z_a	接触弧长系数	图 4.5-19
σ_{Flim}	试验齿轮的弯曲疲劳极限	图 4.5-20
σ_{Hlim}	试验齿轮的接触疲劳极限	图 4.5-21
Z_N	接触强度计算的寿命系数	图 4.5-22
Y_N	弯曲强度计算的寿命系数	
Y_X	弯曲强度计算的尺寸系数	图 4.5-23
Z_L	接触强度计算的润滑剂系数	图 4.5-24
Z_V	接触强度计算的速度系数	图 4.5-25
μ_e	重合度的整数部分	本章 5.2 节
$S_{Hmin}、S_{Fmin}$	最小安全系数	表 4.5-13

6.2 各参数符号的意义及各系数的确定

- 1) 小齿轮齿数 z_1 , 选取见本章 5.1 节。
- 2) 重合度的整数部分 μ_e , 见本章 5.2 节。
- 3) 使用系数 K_A , 见表 4.4-43。对高速齿轮传动, 在使用表值时, 根据经验建议: 当 $v=40 \sim 70\text{m/s}$ 时, 取表值的 1.02 ~ 1.15 倍; 当 $v=70 \sim 100\text{m/s}$ 时, 取表值的 1.15 ~ 1.3 倍; 当 $v>100\text{m/s}$ 时, 取表值的 1.3 倍以上。

4) 动载系数 K_v , 见图 4.5-12。

5) 接触迹间载荷分配系数 K_I , 见图 4.5-13。

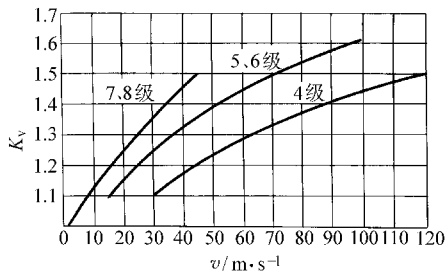


图 4.5-12 动载系数 K_v

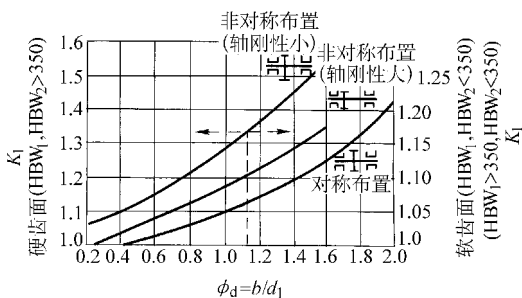


图 4.5-13 接触迹间载荷分配系数

注: 人字齿轮 b 用半齿宽。

6) 接触迹内载荷分布系数 K_{F2} 、 K_{H2} , 它是考虑由于齿面接触迹线位置沿齿高的偏移而引起接触迹内应力分布不均影响的系数, K_{F2} 、 K_{H2} 见表 4.5-11。

7) 接触迹系数 $K_{\Delta\epsilon}$, 它是考虑由于重合度尾数 $\Delta\epsilon$ 的增大而使每个接触迹上的正压力减小的系数。

圆弧齿轮传动的接触迹系数见图 4.5-14。

表 4.5-11 接触迹内载荷分布系数

Ⅲ 组精度等级		5	6	7	8
K_{F2}		1. 08		1. 10	
K_{H2}	双圆弧齿轮	1. 15	1. 23	1. 39	1. 49
	单圆弧齿轮	1. 16	1. 24	1. 41	1. 52

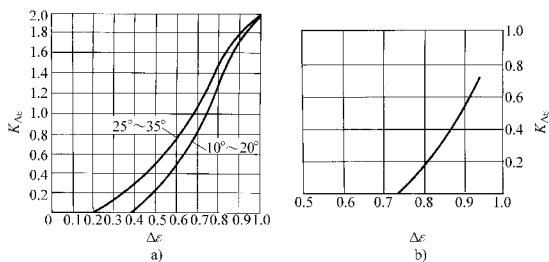


图 4.5-14 圆弧齿轮的接触迹系数 $K_{\Delta\epsilon}$

a) 双圆弧齿轮 b) 单圆弧齿轮

8) 弹性系数 Y_E 、 Z_E , 它是考虑材料的弹性模量 E 及泊松比 ν 对轮齿应力影响的系数。 Y_E 、 Z_E 见表 4.5-12。

9) 齿数比系数 Y_u 、 Z_u , 见图 4.5-15。

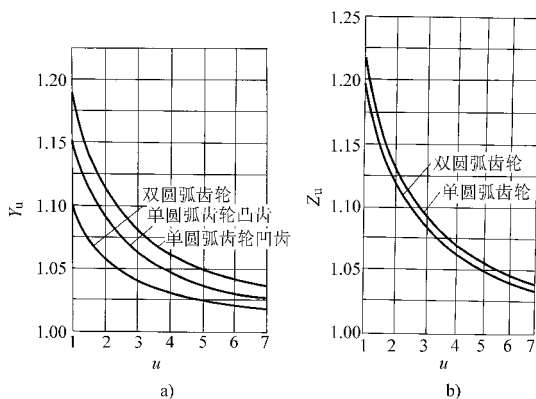


图 4.5-15 齿数比系数 Y_u 、 Z_u

a) Y_u b) Z_u

表 4.5-12 弹性系数 Y_E 、 Z_E

项 目		单 位	锻钢-锻钢	锻钢-铸钢	锻钢-球墨铸铁	其 他 材 料
双圆弧齿轮	Y_E	$\text{MPa}^{0.14}$	2.079	2.076	2.053	$0.370E^{0.14}$
	Z_E	$\text{MPa}^{0.27}$	31.346	31.263	30.584	$1.123E^{0.27}$
单圆弧齿轮	Y_{E1}	$\text{MPa}^{0.21}$	6.580	6.567	6.456	$0.494E^{0.21}$
	Y_{E2}	$\text{MPa}^{0.27}$	16.748	16.703	16.341	$0.600E^{0.27}$
	Z_E	$\text{MPa}^{0.3}$	31.436	31.343	30.589	$0.778E^{0.3}$
诱导弹性模量	E	MPa	$E = \frac{2}{\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}}$			

注: E_1 、 E_2 和 ν_1 、 ν_2 分别为小齿轮和大齿轮材料的弹性模量和泊松比。

10) 螺旋角系数 Y_β 、 Z_β ，见图 4.5-16。

11) 齿形系数 Y_F ，见图 4.5-17。

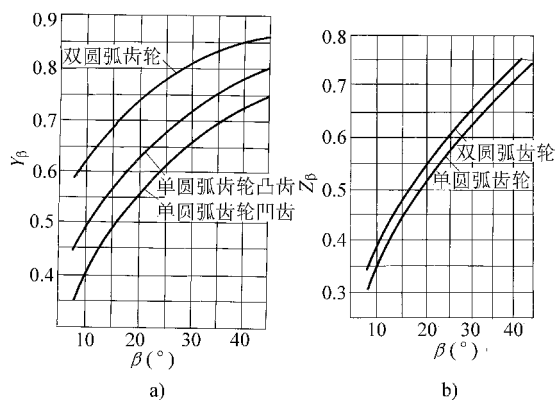


图 4.5-16 螺旋角系数 Y_β 、 Z_β

a) Y_β b) Z_β

12) 齿端系数 Y_{end} ，它是考虑当瞬时接触迹在齿端时，端部齿根应力增大的系数。其值为端部齿根最大应力与齿宽中部齿根最大应力的比值，圆弧齿轮的齿端系数见图 4.5-18。对于经过齿端修薄的齿轮，取 $Y_{end} = 1$ 。

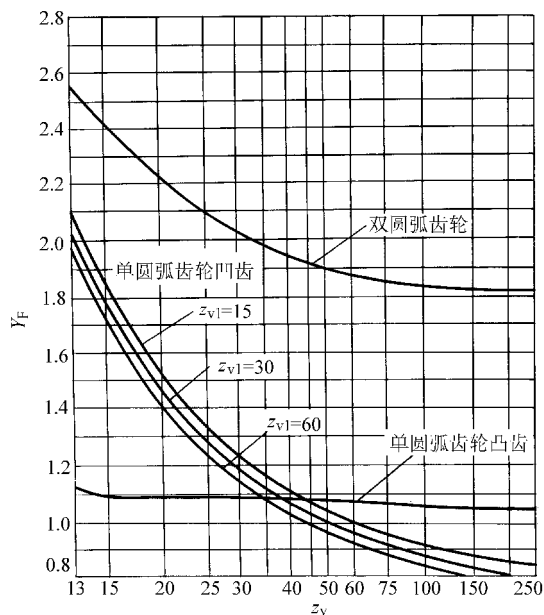


图 4.5-17 齿形系数

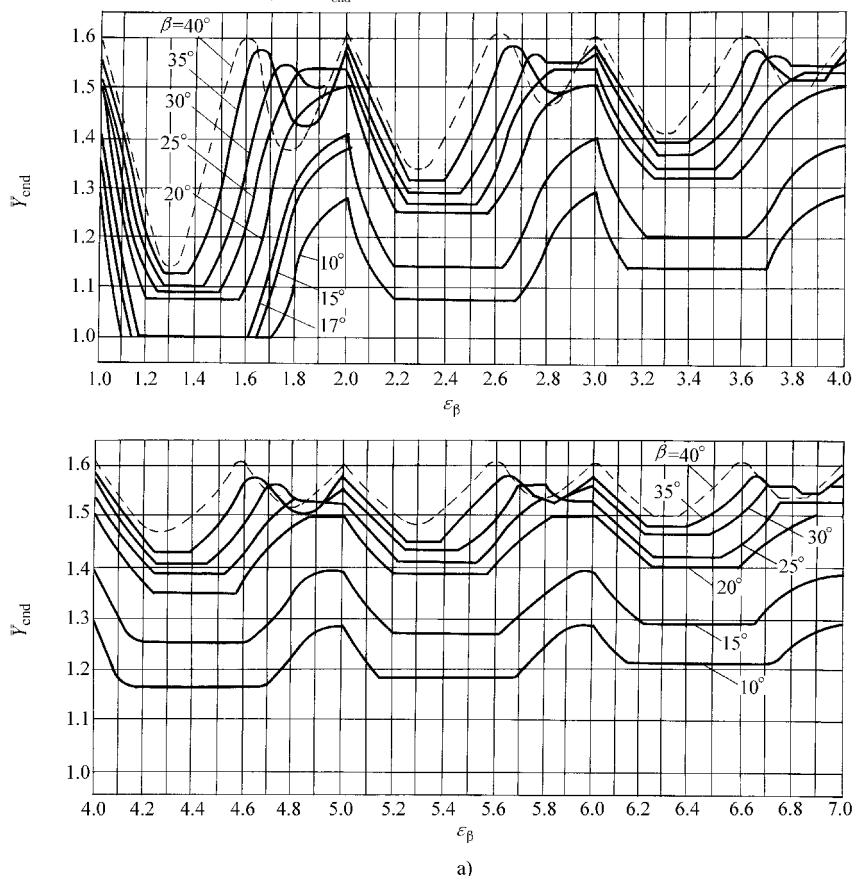


图 4.5-18 圆弧齿轮的齿端系数 Y_{end}

a) 双圆弧齿轮的齿端系数

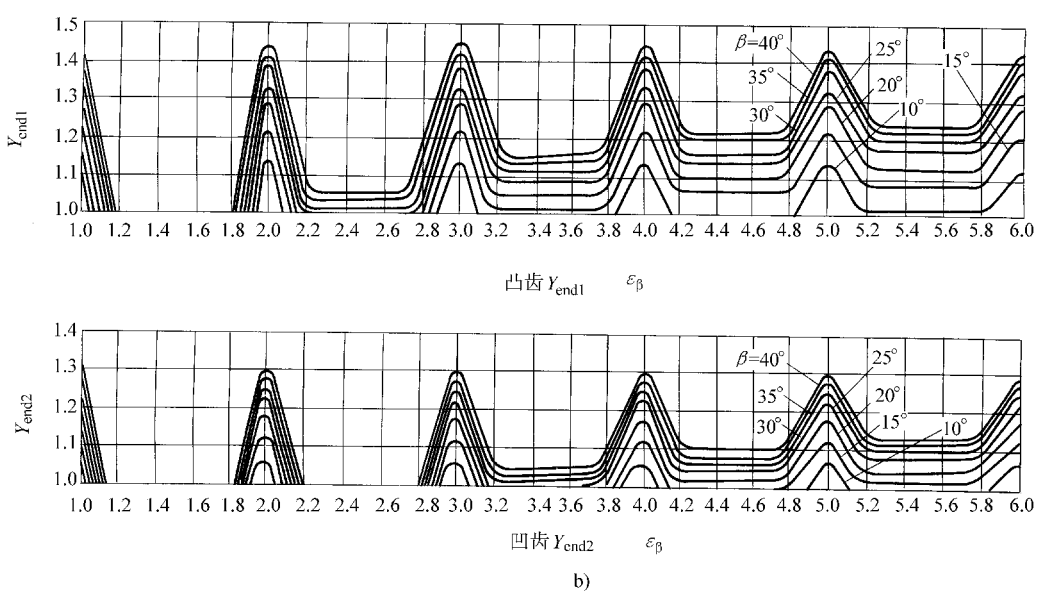


图 4.5-18 (续)

b) 单圆弧齿轮的齿端系数

13) 接触弧长系数 Z_a ，它是考虑模数和当量齿数对接触弧长影响的系数，见图 4.5-19。双圆弧齿轮，当齿数比 u 不为 1 时，一个齿轮的上齿

面和下齿面的接触弧长并不相同，故其接触弧长系数需采用 Z_{a1} 及 Z_{a2} 的平均值，即 $Z_{am} = 0.5 \times (Z_{a1} + Z_{a2})$ 。

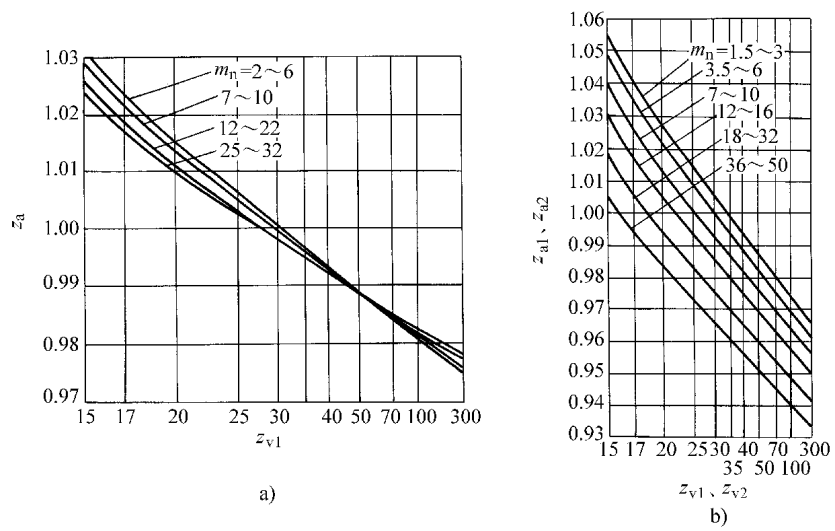
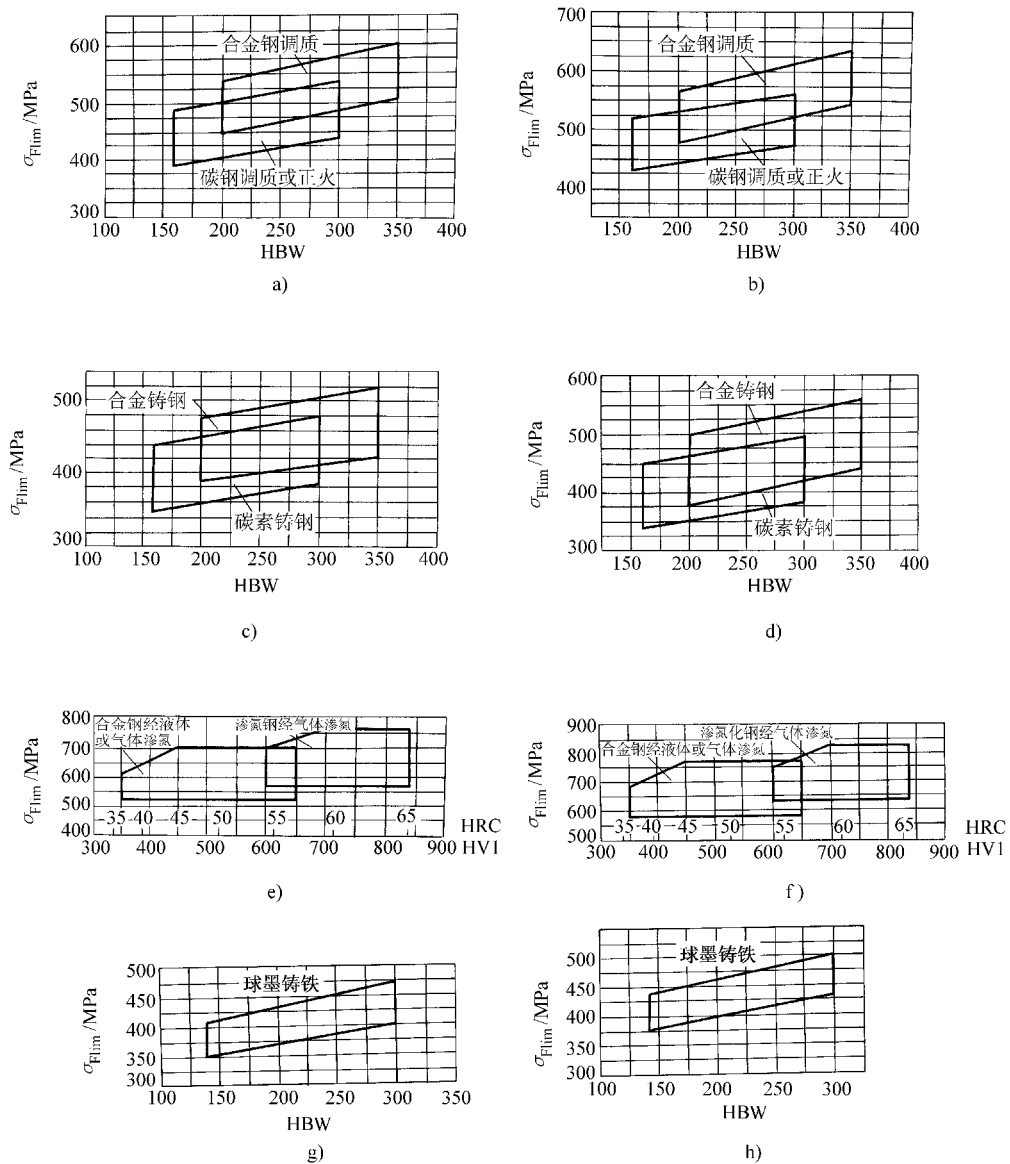


图 4.5-19 接触弧长系数 Z_a

a) 单圆弧齿轮 b) 双圆弧齿轮, $Z_{am} = 0.5(Z_{a1} + Z_{a2})$

14) 试验齿轮的弯曲疲劳极限 σ_{Flim} ，见图 4.5-20。一般取所给范围的中间值。只有当材料和热处理质量能够保证良好，而且有适合于热处理的良好

结构时，方可取上半部。对于对称循环应力下工作的齿轮，其 σ_{Flim} 值应从图中选取的数值乘以 0.7。

图 4.5-20 试验齿轮的弯曲疲劳极限 σ_{Flim}

- a) 双圆弧齿轮的弯曲疲劳极限 σ_{Flim} 调质钢 b) 单圆弧齿轮的弯曲疲劳极限 σ_{Flim} 调质钢
c) 双圆弧齿轮的弯曲疲劳极限 σ_{Flim} 铸钢 d) 单圆弧齿轮的弯曲疲劳极限 σ_{Flim} 铸钢
e) 双圆弧齿轮的弯曲疲劳极限 σ_{Flim} 渗氮钢 f) 单圆弧齿轮的弯曲疲劳极限 σ_{Flim} 渗氮钢
g) 双圆弧齿轮的弯曲疲劳极限 σ_{Flim} 球墨铸铁 h) 单圆弧齿轮的弯曲疲劳极限 σ_{Flim} 球墨铸铁

15) 试验齿轮接触疲劳极限 σ_{Hlim} , 见图 4.5-21。一般取所给范围的中间值。只有当材料和热处理质量能够保证良好, 而且有适合于热处理的良好结构时, 方可取上半部。

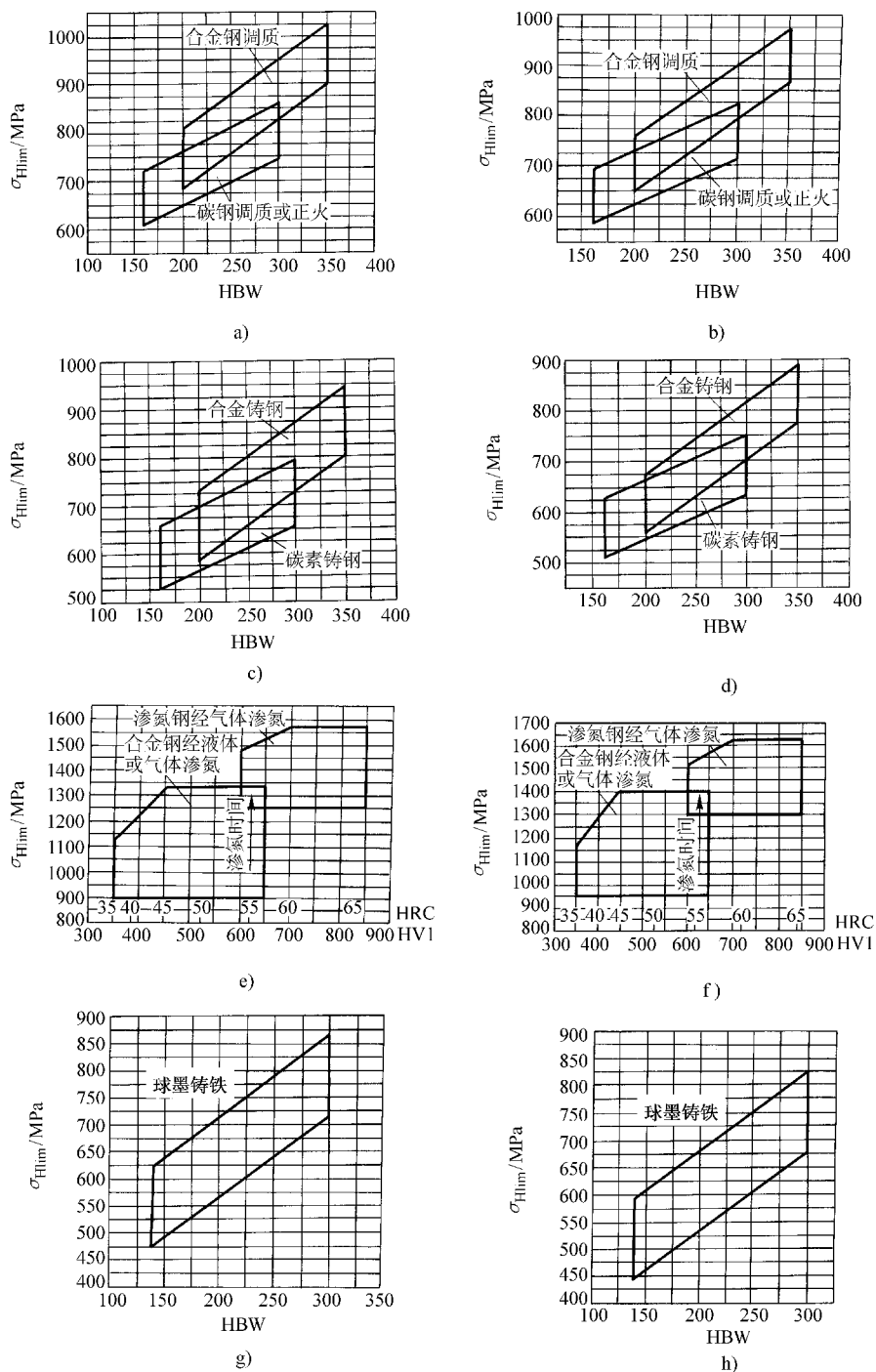
16) 寿命系数 Y_N 、 Z_N , 见图 4.5-22。

17) 尺寸系数 Y_X , 见图 4.5-23。

18) 润滑剂系数 Z_L , 见图 4.5-24。

19) 速度系数 Z_V , 见图 4.5-25。

20) 最小安全系数 S_{Fmin} 、 S_{Hmin} , 见表 4.5-13。

图 4.5-21 试验齿轮的接触疲劳极限应力 σ_{Hlim}

- a) 双圆弧齿轮的接触疲劳极限 σ_{Hlim} 调质钢 b) 单圆弧齿轮的接触疲劳极限 σ_{Hlim} 调质钢
c) 双圆弧齿轮的接触疲劳极限 σ_{Hlim} 铸钢 d) 单圆弧齿轮的接触疲劳极限 σ_{Hlim} 铸钢
e) 双圆弧齿轮的接触疲劳极限 σ_{Hlim} 渗氮钢 f) 单圆弧齿轮的接触疲劳极限 σ_{Hlim} 渗氮钢
g) 双圆弧齿轮的接触疲劳极限 σ_{Hlim} 球墨铸铁 h) 单圆弧齿轮的接触疲劳极限 σ_{Hlim} 球墨铸铁

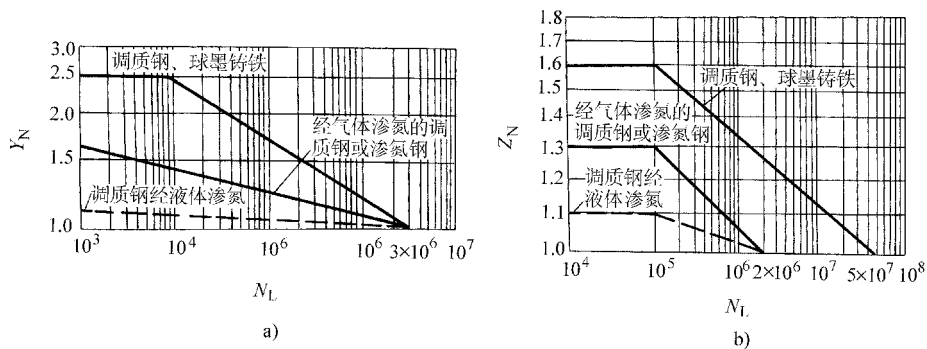


图 4.5-22 寿命系数 Y_N 、 Z_N

a) 抗弯强度计算的寿命系数 Y_N b) 接触强度计算的寿命系数 Z_N

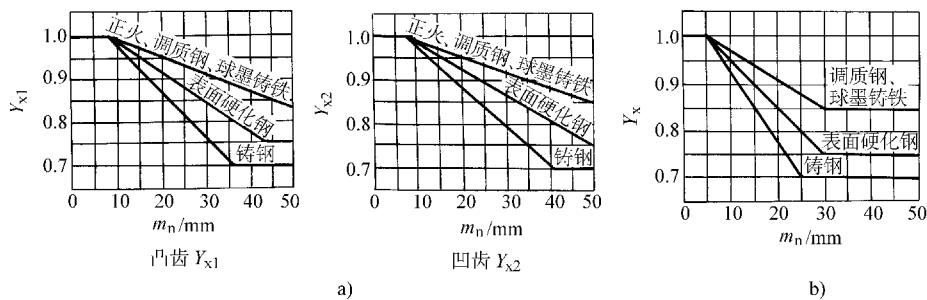


图 4.5-23 尺寸系数 Y_x

a) 单圆弧齿轮的 Y_x b) 双圆弧齿轮的 Y_x

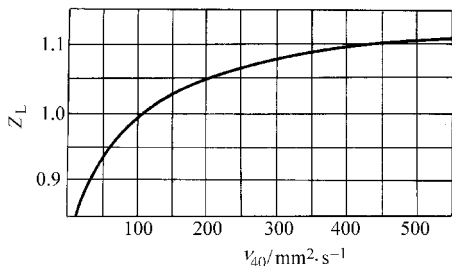


图 4.5-24 润滑系数 Z_L

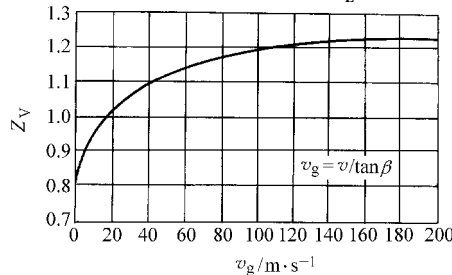


图 4.5-25 速度系数 Z_V

表 4.5-13 最小安全系数的参考值

S_{Fmin}	> 1.6
S_{Hmin}	> 1.3

7 圆弧圆柱齿轮的精度 (摘自 GB/T 15753—1995)

本节摘要介绍 (GB/T 15753—1995) 《圆弧圆柱齿轮精度》，它适用于法向模数 $m_n = 1.5 \sim 40\text{mm}$ 、分度圆直径小于 4000mm 、有效齿宽小于 630mm 的圆弧圆柱齿轮及其齿轮副。其基本齿廓按 JB929—1967 《圆弧圆柱齿轮滚刀的法面齿形》或 GB/T 12759—1991 《双圆弧齿轮基本齿廓》的规定。

当齿轮规格超出本标准表列范围时，可按本章 7.7 节规定处理。

7.1 误差的定义和代号 (见表 4.5-14)

7.2 精度等级及其选择

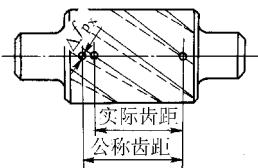
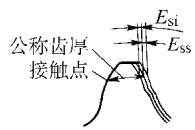
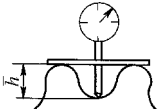
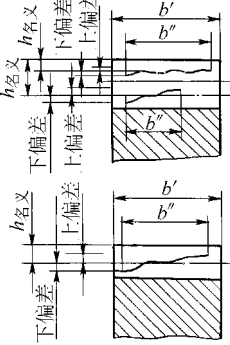
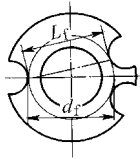
圆弧齿轮和齿轮副共分五个精度等级，按精度高低依次定为 4、5、6、7、8 级。齿轮副中两个齿轮的精度等级一般取成相同，也允许取成不相同。

按照误差的特性及它们对传动性能的主要影响，将齿轮的各项公差分成三个组，见表 4.5-15。

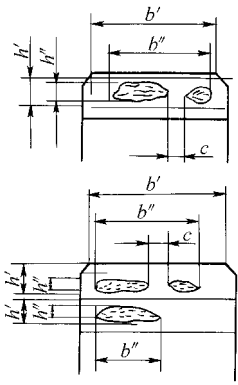
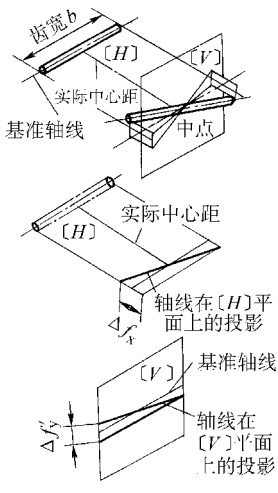
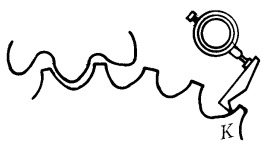
表 4.5-14 齿轮、齿轮副误差及侧隙的定义和代号

名称及代号	定 义	名称及代号	定 义
切向综合误差 $\Delta F_i'$	被测齿轮与理想精确的测量齿轮单面啮合时, 在被测齿轮一转内, 实际转角与公称转角之差的总幅度值, 以分度圆弧长计值	齿圈径向圆跳动 ΔF_r	在齿轮一转范围内, 测头在齿槽内, 于凸齿或凹齿中部双面接触, 测头相对于齿轮轴线的最大变动量
切向综合公差 F_i'		齿圈径向圆跳动公差 F_r	
		公法线长度变动 ΔF_w	在齿轮一周范围内, 实际公法线长度最大值与最小值之差 $\Delta F_w = W_{\max} - W_{\min}$
一齿切向综合误差 $\Delta f_i'$	被测齿轮与理想精确的测量齿轮单面啮合时, 在被测齿轮一齿距角内, 实际转角与公称转角之差的总幅度值, 以分度圆弧长计	公法线长度变动公差 F_w	
一齿切向综合公差 f_i'		齿距偏差 Δf_{pt}	在检查圆上实际齿距与公称齿距之差 用相对法测量时, 公称齿距是指所有实际齿距的平均值
齿距累积误差 ΔF_p	在检查圆①上, 任意两个同侧齿面间实际弧长与公称弧长之差的最大差值	齿距极限偏差 $\pm f_{pt}$	
		齿向误差 ΔF_β	在检查圆柱面上, 在有效齿宽范围内 (端部倒角部分除外), 包容实际齿向线的两条最近的设计齿线之间的端面距离
		一个轴向齿距内的齿向误差 Δf_β	在有效齿宽中, 任一轴向齿距范围内, 包容实际齿线的两条最近的设计齿线之间的端面距离
k 个齿距累积误差 ΔF_{pk}	在检查圆上, k 个齿距间的实际弧长与公称弧长之差的最大差值。 k 为 2 到小于 $z/2$ 的整数	齿向公差 F_β	设计齿线可以是修正的圆柱螺旋线, 包括齿端修薄及其他修形曲线
		一个轴向齿距内的齿向公差 f_β	齿宽两端的齿向误差只允许逐渐偏向齿体内
齿距累积公差 F_p			
k 个齿距累积公差 F_{pk}			

(续)

名称及代号	定 义	名称及代号	定 义
轴向齿距偏差 ΔF_{px} 一个轴向齿距偏差 Δf_{px}^f  轴向齿距极限偏差 $\pm F_{px}$ 一个轴向齿距极限偏差 $\pm f_{px}^f$	在有效齿宽范围内, 与齿轮基准轴线平行而大约通过凸齿或凹齿中部的一条直线上, 任意两个同侧齿面间的实际距离与公称距离之差。沿齿面法线方向计值 在有效齿宽范围内, 与齿轮基准轴线平行而大约通过凸齿或凹齿中部的一条直线上, 任一轴向齿距内, 两个同侧齿面间的实际距离与公称距离之差。沿齿面法线方向计值	齿厚偏差 ΔE_s  齿厚极限偏差 上偏差 E_{ss} 下偏差 E_{si} 公法线长度偏差 ΔE_w 公法线长度极限偏差 上偏差 E_{ws} 下偏差 E_{wi}	接触点所在圆柱面上, 法向齿厚实际值与公称值之差 在齿轮一周内, 公法线实际长度值与公称值之差
螺旋线波度误差 Δf_{β}  螺旋线波度公差 f_{β}	在有效齿宽范围内, 凸齿或凹齿中部实际齿线波纹的最大波幅。沿齿面法线方向计值	齿轮副的切向综合误差 $\Delta F'_{ic}$ 齿轮副的切向综合公差 F'_{ic} 齿轮副的一齿切向综合误差 $\Delta f'_{ic}$ 齿轮副的一齿切向综合公差 f'_{ic}	在设计中心距下安装好的齿轮副, 在啮合转动足够多的转数内, 一个齿轮相对于另一个齿轮的实际转角与公称转角之差的总幅度值。以分度圆弧长计值 安装好的齿轮副, 在啮合转动足够多的转数内, 一个齿轮相对于另一个齿轮, 一个齿距的实际转角与公称转角之差的最大幅度值。以分度圆弧长计值
弦齿深偏差 ΔE_h  弦齿深极限偏差 $\pm E_h$	在齿轮一周内, 实际弦齿深减去实际外圆直径偏差后与公称弦齿深之差 在法向测量	齿轮副的接触迹线 接触迹线位置偏差  接触迹线沿齿宽分布的长度	凸凹齿面瞬时接触时, 由于齿面接触弹性变形而形成的挤压痕迹 装配好的齿轮副, 磨合之前, 着色检验, 在轻微制动下, 齿面实际接触迹线偏离名义接触迹线的高度 对于双圆弧齿轮: 凸齿: $h_{名义} = \left(0.355 - \frac{1.498}{z_v + 1.09}\right)m_n$ 凹齿: $h_{名义} = \left(1.445 - \frac{1.498}{z_v - 1.09}\right)m_n$ 对于单圆弧齿轮: 凸齿: $h_{名义} = \left(0.45 - \frac{1.688}{z_v + 1.5}\right)m_n$ 凹齿: $h_{名义} = \left(0.75 - \frac{1.688}{z_v - 1.5}\right)m_n$ z_v —当量齿数 $z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta}$ 沿齿长方向, 接触迹线的长度 b'' 与工作长度 b' 之比即 $\frac{b''}{b'} \times 100\%$
齿根圆直径偏差 ΔE_{df}  齿根圆直径极限偏差 $\pm E_{df}$	齿根圆直径实际尺寸和公称尺寸之差 对于奇数齿可用齿根圆斜径代替。斜径公称尺寸 L_f 为 $L_f = d_f \cos \frac{90^\circ}{z}$		

(续)

名称及代号	定 义	名称及代号	定 义
齿轮副的接触斑点 	装配好的齿轮副，经空载检验，在名义接触迹线位置附近齿面上分布的接触擦亮痕迹 接触痕迹的大小在齿面展开图上用百分数计算 沿齿长方向：接触痕迹的长度 b'' (扣除超过一个模数的断开部分 c) 与工作长度 b' 之比的百分数，即 $\frac{b'' - c}{b'} \times 100\%$ 沿齿高方向：接触痕迹的平均高度 h'' 与工作高度 h' 之比的百分数，即 $\frac{h''}{h'} \times 100\%$	齿轮副的中心距偏差 Δf_a 齿轮副的中心距极限偏差 $\pm f_a$ 轴线的平行度误差 x 方向轴线的平行度误差 $\Delta f'_x$ y 方向轴线的平行度误差 $\Delta f'_y$ 	在齿轮副的齿宽中间平面内，实际中心距与公称中心距之差 一对齿轮的轴线在其基准平面 $[H]$ 上投影的平行度误差。在等于齿宽的长度上测量 一对齿轮的轴线，在垂直于基准平面，并且平行于基准轴线的平面 $[V]$ 上投影的平行度误差。在等于齿宽的长度上测量 注：包含基准轴线，并通过由另一轴线与齿宽中间平面相交的点所形成的平面，称为基准平面，两条轴线中任何一条轴线都可以作为基准轴线 x 方向轴线的平行度公差 f_x y 方向轴线的平行度公差 f_y
齿轮副的侧隙 圆周侧隙 j_t  法向侧隙 j_n 最大极限侧隙 j_{tmax} j_{nmax} 最小极限侧隙 j_{tmin} j_{nmin}	装配好的齿轮副，当一个齿轮固定时，另一个齿轮的圆周晃动量，以接触点所在圆的弧长计值 装配好的齿轮副，当工作齿面接触时，非工作齿面之间的最小距离		

① 检查圆是指位于凸齿中部(对于单圆弧齿轮则为凸齿或凹齿中部)与分度圆同心的圆。

表 4.5-15 圆弧齿轮各项公差的分组

公差组	公差与极限偏差项目	误差特性	对传动性能的主要影响
I	$F'_i, F_p, F_{pk}, F_r, F_w$	以齿轮一转为周期的误差	传递运动的准确性
II	$f'_i, f_{pt}, f_{\beta}, f_{\beta p}, f_{px}$	在齿轮一周内，多次周期地重复出现的误差	传动的平稳性、噪声、振动
III	$F_{\beta}, F_{px}, E_{df}, E_h$	齿向误差，轴向齿距偏差，齿形的径向位置误差	载荷沿齿宽分布的均匀性，齿高方向的接触部位和承载能力

根据使用要求的不同，允许各公差组选用不同的精度等级；但在同一公差组内，各项公差与极限偏差应保持相同的精度等级。

齿轮的精度应根据传动的用途、使用条件、传递功率、圆周速度以及其他经济、技术要求决定。精度等级的选择可参考表 4.5-16。

表 4.5-16 精度等级的选择

精度等级	加工方法	工作情况	圆周速度 $/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
5 级 (高精度级)	在高精度滚齿机上用高精度滚刀切齿，淬硬齿轮必须磨齿	要求工作平稳，振动、噪声小，速度高及载荷较大的齿轮，例如，透平齿轮	> 75
6 级 (精密级)	在精密滚齿机上，用精密滚刀切齿，淬硬齿轮必须磨齿，渗氮处理齿轮允许研齿	对于工作平稳性有一定要求，转速高或载荷较大的齿轮，例如中小型汽轮机用齿轮	≤ 75

(续)

精度等级	加工方法	工作情况	圆周速度 /m·s ⁻¹
7级 (中等精度级)	在较精密滚齿机上,用较精密滚刀切齿,表面硬化处理齿轮,应作适当研齿	速度较高的中等载荷齿轮,例如轧钢机齿轮	≤25
8级 (低精度级)	在普通滚齿机上,用普通级滚刀切齿	普通机器制造业中精度要求一般的齿轮,例如,标准减速器,矿山、冶金设备用齿轮	≤10

注:本表不属于 GB/T 15753—1995,仅供参考。

7.3 侧隙

圆弧齿轮传动的侧隙基本上由基本齿廓决定。按 GB/T 12759—1991 规定,当 $m_n = 1.5 \sim 6\text{mm}$ 时,法面侧隙为 $0.06m_n$;当 $m_n = 7 \sim 50\text{mm}$ 时,法面侧隙为 $0.04m_n$ 。切齿深度偏差、中心距偏差会引起侧隙改变,实际侧隙不得小于上述数值的 $2/3$ 。

由于侧隙基本上由基本齿廓决定,故不能依靠加工时刀具的径向变位和改变中心距的偏差来获得各种侧隙的配合。如对侧隙有特殊要求,可用标准刀具借切向移距来增加所需的侧隙,也可以提出设计要求,

采用具有特殊侧隙的刀具加工齿轮来获得要求的侧隙。

7.4 推荐的检验项目

GB/T 15753—1995 中规定了齿轮和齿轮副的检验要求,标准把各公差组的项目分为若干检验组,根据工作要求和生产规模,对每个齿轮须在三个公差组中各选一个检验组来检定和验收;另外再选择第四个检验组来检定齿轮副的精度。对于一般 $4 \sim 8$ 级精度的齿轮传动,本手册推荐的检验项目列于表 4.5-17。

表 4.5-17 推荐的检验项目

I 组 精度		$\Delta F'_i$; ΔF_p (ΔF_{pk}) ^① ; ΔF_r 与 ΔF_w ^②
II 组 精度		$\Delta f'_i$; Δf_{pt} 、 Δf_β (或 Δf_{px}); Δf_{pt} , 对于 6 级及高于 6 级精度的斜齿轮或人字齿轮, 检验 f_{pt} 时, 推荐加检 $\Delta f_{\beta\beta}$
III 组 精度		ΔF_β 与 ΔE_{df} (或 ΔE_h) ^③ ; ΔF_{px} 与 ΔE_{df} (或 ΔE_h) ^③
齿 轮 箱		检验 Δf_a 、 Δf_x 、 Δf_y 三项
装配检验	III 组精度	接触迹线长度及位置偏差; 接触斑点
	传动侧隙	用百分表测量圆周侧隙 j_t , 法向侧隙 $j_n = j_t \cos\beta$

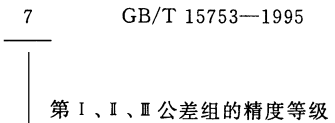
- ① ΔF_{pk} 仅在必要时加检。
- ② 当其中有一项超差时,应按 ΔF_p 检定和验收齿轮精度。
- ③ 对不便于测量齿根圆直径的大直径齿轮,可检查 ΔE_h 。

7.5 图样标注

在齿轮工作图上应标注齿轮的精度等级和侧隙系数。

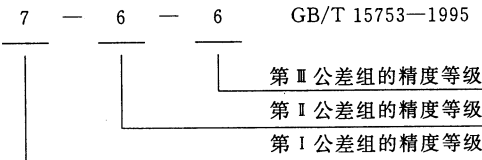
标注示例:

1) 齿轮的三个公差组精度同为 7 级,采用标准齿形的滚刀加工时,可不标注侧隙系数。

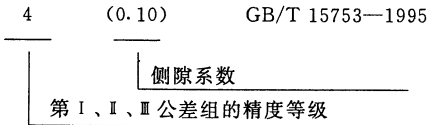


2) 齿轮第 I 公差组精度为 7 级,第 II 公差组精度为 6 级,第 III 公差组精度为 6 级,采用标准齿廓

的滚刀加工时,可不标注侧隙系数。



3) 齿轮的三个公差组精度同为 4 级,侧隙有特殊要求 $j_n = 0.10 m_n$ 。



7.6 圆弧齿轮精度数值表(见表 4.5-18 ~ 表 4.5-30)

表 4.5-18 齿距累积公差 F_p 及 k 个齿距累积公差 F_{pk} (μm)

精度等级	L/mm												
	≤32	>32 ~50	>50 ~80	>80 ~160	>160 ~315	>315 ~630	>630 ~1000	>1000 ~1600	>1600 ~2500	>2500 ~3150	>3150 ~4000	>4000 ~5000	>5000 ~7200
4	8	9	10	12	18	25	32	40	45	56	63	71	80
5	12	14	16	20	28	40	50	63	71	90	100	112	125
6	20	22	25	32	45	63	80	100	112	140	160	180	200
7	28	32	36	45	63	90	112	140	160	200	224	250	280
8	40	45	50	63	90	125	160	200	224	280	315	355	400

注: 1. F_p 和 F_{pk} 按分度圆弧长 L 查表:

查 F_p 时, 取 $L = \frac{1}{2} \pi d = \frac{\pi m_n z}{2 \cos \beta}$; 查 F_{pk} 时, 取 $L = \frac{k \pi m_n}{\cos \beta}$ (k 为 2 到小于 $z/2$ 的整数)

式中 d —分度圆直径; m_n —法向模数; z —齿数; β —分度圆螺旋角。

2. 除特殊情况外, 对于 F_{pk} , k 值规定取为小于 $z/6$ 或 $z/8$ 的最大整数。

表 4.5-19 齿圈径向跳动公差 F_r (μm)

精度等级	法 向 模 数 /mm	分 度 圆 直 径 /mm					
		≤ 125	$> 125 \sim 400$	$> 400 \sim 800$	$> 800 \sim 1600$	$> 1600 \sim 2500$	$> 2500 \sim 4000$
4	$> 1.5 \sim 3.5$	9	10	11	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	11	13	13	14	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	13	14	14	16	18	—
	$> 10 \sim 16$	—	16	18	18	20	22
	$> 16 \sim 25$	—	20	22	22	25	25
	$> 25 \sim 40$	—	—	28	28	32	32
5	$> 1.5 \sim 3.5$	14	16	18	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	16	18	20	22	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	20	22	22	25	28	—
	$> 10 \sim 16$	22	25	28	28	32	36
	$> 16 \sim 25$	—	32	36	36	40	40
	$> 25 \sim 40$	—	—	45	45	50	50
6	$> 1.5 \sim 3.5$	22	25	28	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	28	32	32	36	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	32	36	36	40	45	—
	$> 10 \sim 16$	36	40	45	45	50	56
	$> 16 \sim 25$	—	50	56	56	63	63
	$> 25 \sim 40$	—	—	71	71	80	80
7	$> 1.5 \sim 3.5$	36	40	45	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	45	50	50	56	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	50	56	56	63	71	—
	$> 10 \sim 16$	56	63	71	71	80	90
	$> 16 \sim 25$	—	80	90	90	100	100
	$> 25 \sim 40$	—	—	112	112	125	125
8	$> 1.5 \sim 3.5$	50	56	63	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	63	71	71	80	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	71	80	80	90	100	—
	$> 10 \sim 16$	80	90	100	100	112	125
	$> 16 \sim 25$	—	112	125	125	140	140
	$> 25 \sim 40$	—	—	160	160	180	180

表 4.5-20 齿距极限偏差 $\pm f_{pt}$ (μm)

精度等级	法向模数 /mm	分 度 圆 直 径 /mm					
		≤ 125	$> 125 \sim 400$	$> 400 \sim 800$	$> 800 \sim 1600$	$> 1600 \sim 2500$	$> 2500 \sim 4000$
4	$> 1.5 \sim 3.5$	4	4.5	5	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	5	5.5	5.5	6	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	5.5	6	7	7	8	—
	$> 10 \sim 16$	—	7	9	8	9	10
	$> 16 \sim 25$	—	9	10	10	11	11
	$> 25 \sim 40$	—	—	13	13	14	14
5	$> 1.5 \sim 3.5$	6	7	8	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	8	9	9	10	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	9	10	10	11	13	—
	$> 10 \sim 16$	10	11	11	13	14	16
	$> 16 \sim 25$	—	14	13	16	18	18
	$> 25 \sim 40$	—	—	16	20	22	22
6	$> 1.5 \sim 3.5$	10	11	13	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	13	14	14	16	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	14	16	18	18	20	—
	$> 10 \sim 16$	16	18	20	20	22	25
	$> 16 \sim 25$	—	22	25	25	28	28
	$> 25 \sim 40$	—	—	32	32	36	36
7	$> 1.5 \sim 3.5$	14	16	18	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	18	20	20	22	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	20	22	25	25	28	—
	$> 10 \sim 16$	22	25	28	28	32	36
	$> 16 \sim 25$	—	32	36	36	40	40
	$> 25 \sim 40$	—	—	45	45	50	50
8	$> 1.5 \sim 3.5$	20	22	25	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	25	28	28	32	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	28	32	36	36	40	—
	$> 10 \sim 16$	32	36	40	40	45	50
	$> 16 \sim 25$	—	45	50	50	56	56
	$> 25 \sim 40$	—	—	63	63	71	71

表 4.5-21 齿向公差 F_{β}
(一个轴向齿距内齿向公差 f_{β}) (μm)

精度等级	齿轮宽度 (轴向齿距) /mm					
	≤ 40	$> 40 \sim 100$	$> 100 \sim 160$	$> 160 \sim 250$	$> 250 \sim 400$	$> 400 \sim 630$
4	5.5	8	10	12	14	17
5	7	10	12	16	18	22
6	9	12	16	19	24	28
7	11	16	20	24	28	34
8	18	25	32	38	45	55

注：一个轴向齿距内齿向公差按轴向齿距查表。

表 4.5-22 公法线长度变动公差 F_w
(μm)

精度等级	分 度 圆 直 径 /mm					
	≤ 125	$> 125 \sim 400$	$> 400 \sim 800$	$> 800 \sim 1600$	$> 1600 \sim 2500$	$> 2500 \sim 4000$
4	8	10	12	16	18	25
5	12	16	20	25	28	40
6	20	25	32	40	45	63
7	28	36	45	56	71	90
8	40	50	63	80	100	125

表 4.5-23 轴线平行度公差

x 方向轴线平行度公差 $f_x = F_{\beta}$	F_{β} 见表 4.5-21
y 方向轴线平行度公差 $f_y = \frac{1}{2} F_{\beta}$	

表 4.5-24 中心距极限偏差 $\pm f_a$ (μm)

精度等级	中 心 距 /mm													
	≤120	>120 ~180	>180 ~250	>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800	>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500	>2500 ~3150
4	11	12.5	14.5	16	18	20	22	25	28	33	39	46	55	67.5
5、6	17.5	20	23	26	28.5	31.5	35	40	45	52	62	75	87	105
7、8	27	31.5	36	40.5	44.5	48.5	55	62	70	82	97	115	140	165

表 4.5-25 弦齿深极限偏差 $\pm E_h$ (μm)

精度等级	法 向 模 数 /mm	分 度 圆 直 径 /mm										
		≤50	>50 ~ 80	>80 ~ 120	>120 ~ 200	>200 ~ 320	>320 ~ 500	>500 ~ 800	>800 ~ 1250	>1250 ~ 2000	>2000 ~ 3150	>3150 ~ 4000
4	1.5 ~ 3.5	10	11	12	13	15	17	18	—	—	—	—
	>3.5 ~ 6.3	12	13	14	15	17	18	27	23	25	27	30
	>6.3 ~ 10	—	15	17	18	20	21	23	25	27	30	36
	>10 ~ 16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5、6	1.5 ~ 3.5	12	14	15	16	18	21	23	—	—	—	—
	>3.5 ~ 6.3	15	16	18	19	21	23	26	28	31	34	38
	>6.3 ~ 10	—	19	21	23	24	26	28	31	34	38	45
7、8	1.5 ~ 3.5	15	17	18	21	23	24	—	—	—	—	—
	>3.5 ~ 6.3	19	20	21	23	26	27	30	34	38	—	—
	>6.3 ~ 10	—	24	26	27	30	32	34	38	42	45	49
	>10 ~ 16	—	—	32	34	36	38	42	45	49	53	57
	>16 ~ 32	—	—	—	49	53	57	57	60	68	68	75

注：对于单圆弧齿轮，弦齿深极限偏差取 $\pm E_h/0.75$ 。

表 4.5-26 齿根圆直径极限偏差 $\pm E_{df}$ (μm)

精度等级	法 向 模 数 /mm	分 度 圆 直 径 /mm										
		≤50	>50 ~80	>80 ~120	>120 ~200	>200 ~320	>320 ~500	>500 ~800	>800 ~1250	>1250 ~2000	>2000 ~3150	>3150 ~4000
4	1.5 ~3.5	15	17	19	22	24	27	32	41	48	60	—
	>3.5 ~6.3	19	21	23	26	29	32	36	46	—	—	—
	>6.3 ~10	—	27	29	32	34	38	41	—	—	—	—
5、6	1.5 ~3.5	19	21	24	27	30	34	39	—	—	—	—
	>3.5 ~6.3	24	26	28	32	36	39	45	51	—	—	—
	>6.3 ~10	—	34	36	39	42	48	51	57	60	75	—
7、8	1.5 ~3.5	23	26	29	33	38	42	—	—	—	—	—
	>3.5 ~6.3	30	33	36	38	42	50	53	60	—	—	—
	>6.3 ~10	—	42	45	49	53	57	60	68	75	—	—
	>10 ~16	—	—	57	60	64	68	75	83	90	105	120
	>16 ~32	—	—	—	90	94	98	105	113	120	135	150

注：对于单圆弧齿轮，齿根圆直径极限偏差取 $\pm E_{df}/0.75$ 。

表 4.5-27 接触迹线长度和位置偏差

精度等级	单圆弧齿轮		双圆弧齿轮		
	接触迹线位置偏差	按齿长不少于工作齿长 (%)	接触迹线位置偏差	按齿长不少于工作齿长 (%)	
				第一条	第二条
4	$\pm 0.15m_n$	95	$\pm 0.11m_n$	95	75
5 6	$\pm 0.20m_n$	90	$\pm 0.15m_n$	90	70
				90	60
7 8	$\pm 0.25m_n$	85	$\pm 0.18m_n$	85	50
				80	40

表 4.5-28 接触斑点 (%)

精度等级	单圆弧齿轮		双圆弧齿轮		
	按齿高不少于工作齿高	按齿长不少于工作齿长	按齿高不少于工作齿高	按齿长不少于工作齿长	
				第一条	第二条
4	60	95	60	95	90
5	55	95	55	95	85
6	50	90	50	90	80
7	45	85	45	85	70
8	40	80	40	80	60

注：对于齿面硬度 $\geq 300\text{HBW}$ 的齿轮副，其接触斑点沿齿高方向应为 $\geq 0.3m_n$ 。

表 4.5-29 齿坯公差

齿轮精度等级 ^①		4	5	6	7	8
孔	尺寸公差	IT4	IT5	IT6	IT7	
	形状公差	IT4	IT5	IT6	IT7	
轴	尺寸公差	IT4	IT5	IT6	IT7	
	形状公差	IT4	IT5	IT6	IT7	
顶圆直径 ^②		IT6	IT7	IT8	IT9	IT10

- 注：IT—标准公差单位，数值见标准公差数值表。
- ① 当三个公差组的精度等级不同时，按最高的精度等级确定公差值。
- ② 当顶圆不作测量齿深和齿厚的基准时，尺寸公差按 IT11 给定，但不大于 $0.1m_n$ 。

表 4.5-30 齿轮基准面径向和端面跳动公差 (μm)

分度圆直径/mm		精度等级		
大于	到	4	5 和 6	7 和 8
—	125	7/2.8	11/7	18/11
125	400	9/3.6	14/9	22/14

(续)

分度圆直径/mm		精度等级		
大于	到	4	5 和 6	7 和 8
400	800	12/5	20/12	32/20
800	1600	18/7	28/18	45/28
1600	2500	25/10	40/25	63/40
2500	4000	40/16	63/40	100/63

注：分子是径向跳动公差，分母是端面跳动公差。

7.7 极限偏差及公差与齿轮几何参数的关系式

1) 切向综合公差 F_i' ，一齿切向综合公差 f_i' ，螺旋线波度公差 f_{β} ，轴向齿距极限偏差 F_{px} ，一个轴向齿距极限偏差 f_{px} ，中心距极限偏差 f_a 分别按下列计算式计算

$$F_i' = F_p + f_{\beta}$$
$$f_i' = 0.6(f_{pt} + f_{\beta})$$
$$f_{\beta} = f_i' \cos \beta$$
$$F_{px} = F_{\beta}$$
$$f_{px} = f_{\beta}$$
$$f_a = 0.5(IT6, IT7, IT8)$$

式中 β ——分度圆螺旋角。

2) 公法线长度极限偏差 E_w 、齿厚极限偏差 E_s 分别按下式计算

$$E_{ws} = -2\sin \alpha (-E_h)$$
$$E_{wi} = -2\sin \alpha (+E_h)$$
$$T_w = E_{ws} - E_{wi}$$
$$E_{ss} = -2\tan \alpha (-E_h)$$
$$E_{si} = -2\tan \alpha (+E_h)$$
$$T_{ss} = E_{ss} - E_{si}$$

式中 α ——齿形角。

3) 齿轮副的切向综合公差 F_{ic}' 等于两齿轮的切向综合公差 F_i' 之和。当两齿轮的齿数比为不大于 3 的整数，且采用选配时， F_i' 可比计算值压缩 25% 或更多。

齿轮副的一齿切向综合公差 f_{ic}' 等于两齿轮的一齿切向综合公差 f_i' 之和。

4) 极限偏差、公差与齿轮几何参数的关系式见表 4.5-31。

表 4.5-31 极限偏差、公差与齿轮几何参数的关系式

精度等级	F_p		F_r		F_w		f_{pt}		F_β		E_h			E_{df}	
	$A\sqrt{L}+C$		$Am_n+B\sqrt{d}+C$ $B=0.25A$		$B\sqrt{d}+C$		$Am_n+B\sqrt{d}+C$ $B=0.25A$		$A\sqrt{b}+C$		$Am_n+B\sqrt[3]{d}+C$			$Am_n+B\sqrt[3]{d}$	
	A	C	A	C	B	C	A	C	A	C	A	B	C	A	B
4	1.0	2.5	0.56	7.1	0.34	5.4	0.25	3.15	0.63	3.15	0.72	1.44	2.16	1.44	2.88
5	1.6	4	0.90	11.2	0.54	8.7	0.40	5	0.80	4	0.9	1.8	2.7	1.8	3.6
6	2.5	6.3	1.40	18	0.87	14	0.63	8	1	5					
7	3.55	9	2.24	28	1.22	19.4	0.90	11.2	1.25	6.3	1.125	2.25	3.375	2.25	4.5
8	5	12.5	3.15	40	1.7	27	1.25	16	2	10					

注: d —齿轮分度圆直径; b —轮齿宽度; L —分度圆弧长。

8 圆弧圆柱齿轮设计计算实例及零件工作图

8.1 设计计算实例

例 1 设计中型轧钢机用单级圆柱齿轮减速器的人字齿双圆弧齿轮传动。已知小齿轮传递的功率 $P=2000\text{kW}$, 小齿轮转速 $n_1=495\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$, 传动比 $i=4.81$ 。单向运转, 满载工作 70000h。齿轮精度 8-8-7GB/T 15753—1995。要求齿根弯曲疲劳强度的最小安全系数 $S_{Fmin}=2.2$ 。

解: 1) 选择齿轮材料及参数

小齿轮材料: 42CrMo, 调质硬度 255~286HBW。

大齿轮材料: 35CrMo, 调质硬度 217~241HBW。

查图 4.5-20 及图 4.5-21, 取框图中间值:

$$\sigma_{Flim1}=530\text{MPa}, \sigma_{Hlim1}=830\text{MPa}_0$$

$$\sigma_{Flim2}=490\text{MPa}, \sigma_{Hlim2}=760\text{MPa}_0$$

暂取齿数比 $u \approx i=4.81$ 。

取齿数 $z_1=25$, 则 $z_2=u z_1=4.81 \times 25=120.25$,

取 $z_2=120$, 故齿数比 $u=z_2/z_1=120/25=4.8$ 。

采用人字齿, 暂取 $\beta=30^\circ$ 。暂取 $\phi_a=0.5$ 。

$$\begin{aligned} \varepsilon_\beta &= \phi_a(z_1+z_2)\tan\beta/2\pi = 0.5 \times (25+120) \\ &\quad \tan 30^\circ / (2 \times 3.1416) \\ &= 2 \times 3.33 \end{aligned}$$

取 $\mu_e=2 \times 3$, $\Delta\varepsilon=2 \times 0.3$ 。

2) 按齿根弯曲疲劳强度初定模数

由表 4.5-8

$$m_n \geq \left(\frac{T_1 K_A K_V K_i K_{F2}}{2\mu_e + K_{\Delta\varepsilon}} \right)^{1/3} \left(\frac{Y_E Y_u Y_\beta Y_F Y_{end}}{z_1 \sigma_{FP}} \right)^{1/2.58}$$

小齿轮转矩:

$$\begin{aligned} T_1 &= 9549 \times 10^3 \frac{P}{n_1} = 9549 \times 10^3 \times \frac{2000}{495} \text{ N} \cdot \text{mm} \\ &= 38582 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}_0 \end{aligned}$$

暂取载荷系数 $K=K_A K_V K_i K_{F2}=2$ 。

查图 4.5-14a, 当 $\Delta\varepsilon=0.3$, $\beta=30^\circ$ 时, $K_{\Delta\varepsilon}=0.15$ 。

查表 4.5-12, $Y_E=2.079\text{MPa}^{0.14}$ 。

查图 4.5-15a, 当 $u=4.8$ 时, $Y_u=1.025$ 。

查图 4.5-16a, 当 $\beta=30^\circ$ 时, $Y_\beta=0.81$ 。

查图 4.5-17, 当 $z_{v1}=z_1/\cos^3\beta=25/\cos^3 30^\circ=38.49$ 时, $Y_{F1}=1.95$; 当 $z_{v2}=z_2/\cos^3\beta=z_2/\cos^3 30^\circ=184.75$ 时, $Y_{F2}=1.82$ 。

齿端修薄, 取 $Y_{end}=1$ 。

由表 4.5-8, 许用应力为

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{Flim} Y_N Y_x}{S_{Fmin}}$$

暂取 $Y_{N1}=Y_{N2}=1$; $Y_{x1}=Y_{x2}=1$ 。

考虑到轧钢机齿轮轮齿弯曲折断的严重性, 参考表 4.5-13, 根据设计要求, 取 $S_{Fmin}=2.2$ 。

$$\sigma_{FP1} = \frac{530 \times 1 \times 1}{2.2} \text{ MPa} = 241 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{FP2} = \frac{490 \times 1 \times 1}{2.2} \text{ MPa} = 223 \text{ MPa}$$

因 $Y_{F1}/\sigma_{FP1}=1.95/241=0.0081 < Y_{F2}/\sigma_{FP2}=1.82/223=0.0082$, 故按大齿轮计算。

$$\begin{aligned} m_n &\geq \left(\frac{38582 \times 10^3 \times 2}{2 \times (2 \times 3 + 0.15)} \right)^{1/3} \times \\ &\quad \left(\frac{2.079 \times 1.025 \times 0.81 \times 1.82 \times 1}{25 \times 223} \right)^{1/2.58} \text{ mm} \\ &= 10.15 \text{ mm} \end{aligned}$$

取 $m_n=12\text{mm}$

3) 初定齿轮传动参数

$$a = \frac{m_n(z_1+z_2)}{2\cos\beta} = \frac{12 \times (25+120)}{2\cos 30^\circ} \text{ mm} = 1004.5899 \text{ mm}$$

取 $a=1000\text{mm}$

$$\cos\beta = \frac{m_n(z_1+z_2)}{2a} = \frac{12 \times (25+120)}{2 \times 1000} = 0.87000$$

$$\beta = 29^\circ 32' 29''$$

$$d_1 = \frac{m_n z_1}{\cos\beta} = \frac{12 \times 25}{\cos 29^\circ 32' 29''} \text{ mm} = 344.828 \text{ mm}$$

$$b = \frac{\varepsilon_{\beta} \pi m_n}{\sin \beta} = \frac{2 \times 3.3 \times 3.1416 \times 12}{\sin 29^{\circ} 32' 29''} \text{mm} = 504.640 \text{mm}$$

$$b_h = b/2 = 504.64/2 \text{mm} = 252.32 \text{mm}, \text{取 } b_h = 250 \text{mm}, b = 2b_h = 2 \times 250 \text{mm}。$$

4) 校核齿根弯曲疲劳强度

由表 4.5-8, 齿根弯曲应力按下式计算

$$\sigma_F = \left(\frac{T_1 K_A K_V K_{F1} K_{F2}}{2\mu_e + K_{\Delta e}} \right)^{0.86} \times \frac{Y_E Y_u Y_{\beta} Y_F Y_{\text{end}}}{z_1 m_n^{2.58}}$$

查表 4.4-43, 因载荷有严重冲击, 取 $K_A = 1.85$ 。

查图 4.5-12, 当 $v = \pi d_1 n_1 / (60 \times 10^3) = 3.1416 \times 344.828 \times 495 / (60 \times 10^3) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 8.94 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 齿轮 II 组精度为 8 级时, $K_V = 1.11$ 。

查图 4.5-13, 当 $\phi_d = b_h/d_1 = 250/344.828 = 0.725$ 时, 按对称布置, $K_{F1} = 1.05$ 。

查表 4.5-11, $K_{F2} = 1.1$ 。

查图 4.5-16a, 当 $\beta = 29^{\circ} 32' 29''$ 时, $Y_{\beta} = 0.81$ 。

查图 4.5-17, 当 $z_{v1} = z_1 / \cos^3 \beta = 25 / \cos^3 29^{\circ} 32' 29'' = 37.96$ 时, $Y_{F1} = 1.95$; 当 $z_{v2} = z_2 / \cos^3 \beta = 120 / \cos^3 29^{\circ} 32' 29'' = 182.23$ 时, $Y_{F2} = 1.82$ 。

$$\sigma_{F1} = \left(\frac{38582 \times 10^3 \times 1.85 \times 1.11 \times 1.05 \times 1.1}{2 \times (2 \times 3 + 0.15)} \right)^{0.86} \times \frac{2.079 \times 1.025 \times 0.81 \times 1.95 \times 1}{25 \times 12^{2.58}} \text{MPa}$$

$$= 180 \text{MPa}$$

$$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \frac{Y_{F2}}{Y_{F1}} = 180 \times \frac{1.82}{1.95} \text{MPa} = 168 \text{MPa}$$

由表 4.5-8, 安全系数

$$S_F = \frac{\sigma_{F\text{lim}} Y_N Y_x}{\sigma_F}$$

小齿轮应力循环次数:

$$N_1 = 60 k n_1 h = 60 \times 1 \times 495 \times 70000 = 2.08 \times 10^9$$

大齿轮应力循环次数:

$$N_2 = N_1 / u = 2.08 \times 10^9 / 4.8 = 4.33 \times 10^8$$

查图 4.5-22a, $N_{\infty} = 3 \times 10^6$ 。因为 $N_1 > N_{\infty}$ 、 $N_2 > N_{\infty}$, 故 $Y_{N1} = Y_{N2} = 1$ 。

查图 4.5-23a, 当 $m_n = 12 \text{mm}$ 时, $Y_{x1} = 0.96$, $Y_{x2} = 0.96$ 。所以

$$S_{F1} = \frac{530 \times 1 \times 0.96}{180} = 2.83 > S_{F\text{min}} = 2.2$$

$$S_{F2} = \frac{490 \times 1 \times 0.96}{168} = 2.80 > S_{F\text{min}} = 2.2$$

安全。

5) 校核齿面接触疲劳强度

由表 4.5-8, 齿面接触应力按下式计算

$$\sigma_H = \left(\frac{T_1 K_A K_V K_{H1} K_{H2}}{2\mu_e + K_{\Delta e}} \right)^{0.73} \frac{Z_E Z_u Z_{\beta} Z_a}{z_1 m_n^{2.19}}$$

查表 4.5-11 齿轮 III 组精度为 7 级时, $K_{H2} = 1.39$ 。

查表 4.5-12, $Z_E = 31.346 \text{MPa}^{0.27}$ 。

查图 4.5-15b, 当 $u = 4.8$ 时, $Z_u = 1.05$ 。

查图 4.5-16b, 当 $\beta = 29^{\circ} 32' 29''$ 时, $Z_{\beta} = 0.67$ 。

查图 4.5-19, 当 $m_n = 12 \text{mm}$ 、 $z_{v1} = 37.976$ 时, $Z_{a1} = 0.976$; 当 $z_{v2} = 182.23$ 时, $Z_{a2} = 0.952$; 故 $Z_a = 0.5 \times (Z_{a1} + Z_{a2}) = 0.5 \times (0.976 + 0.952) = 0.964$ 。

$$\sigma_H = \left(\frac{38582 \times 10^3 \times 1.85 \times 1.11 \times 1.05 \times 1.39}{2 \times (2 \times 3 + 0.15)} \right)^{0.73} \times \frac{31.346 \times 1.051 \times 0.67 \times 0.964}{25 \times 12^{2.19}} \text{MPa}$$

$$= 454 \text{MPa}$$

由表 4.5-8, 安全系数

$$S_H = \frac{\sigma_{H\text{lim}} Z_N Z_L Z_V}{\sigma_H}$$

查图 4.5-22, $N_{\infty} = 5 \times 10^7$, 因为 N_1 、 N_2 均大于 5×10^7 , 故 $Z_{N1} = Z_{N2} = 1$ 。

查图 4.5-24, 当采用 320 号中极压工业齿轮油润滑, $\nu_{40} = 320 \text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $Z_L = 1.07$ 。

按 $v_g = v / \tan \beta = 8.94 / \tan 29^{\circ} 32' 29'' \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 15.775 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 查图 4.5-25, $Z_V = 1.0$ 。

查表 4.5-13, $S_{H\text{min}} = 1.3$ 。所以

$$S_{H1} = \frac{830 \times 1 \times 1.07 \times 1}{454} = 1.96 > S_{H\text{min}} = 1.3$$

$$S_{H2} = \frac{760 \times 1 \times 1.07 \times 1}{454} = 1.79 > S_{H\text{min}} = 1.3$$

安全。

6) 主要参数与几何尺寸计算

$m_n = 12 \text{mm}$, $m_t = 13.793103 \text{mm}$, $z_1 = 25$, $z_2 = 120$, $\beta = 29^{\circ} 32' 29''$

$$d_1 = \frac{m_n z_1}{\cos \beta} = \frac{12 \times 25}{\cos 29^{\circ} 32' 29''} \text{mm} = 344.828 \text{mm}$$

$$d_2 = \frac{m_n z_2}{\cos \beta} = \frac{12 \times 120}{\cos 29^{\circ} 32' 29''} \text{mm} = 1655.172 \text{mm}$$

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a^* m_n = 344.828 \text{mm} + 2 \times 0.9 \times 12 \text{mm} = 366.428 \text{mm}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2h_a^* m_n = 1655.172 \text{mm} + 2 \times 0.9 \times 12 \text{mm} = 1676.772 \text{mm}$$

$$d_{f1} = d_1 - 2h_f^* m_n = 344.828 \text{mm} - 2 \times 1.1 \times 12 \text{mm} = 318.428 \text{mm}$$

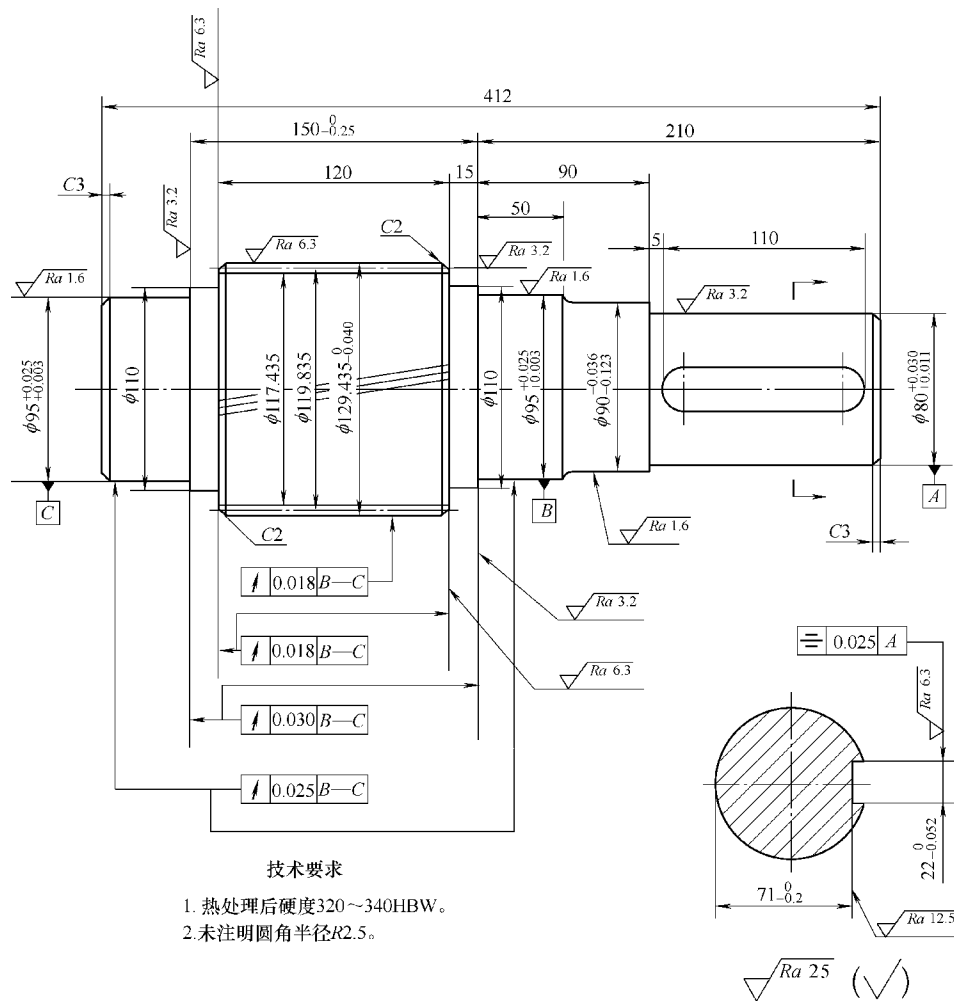
$$d_{f2} = d_2 - 2h_f^* m_n = 1655.172 \text{mm} - 2 \times 1.1 \times 12 \text{mm} = 1628.772 \text{mm}$$

$$a = \frac{1}{2} (d_1 + d_2) = \frac{1}{2} (344.828 + 1655.172) \text{mm} = 1000 \text{mm}$$

$$b_1 = b_2 = 2b_h = 2 \times 250 \text{mm}$$

$$e = 120 \text{mm}$$

8.2 圆弧圆柱齿轮零件工作图(见图 4.5-26 ~ 图 4.5-29)

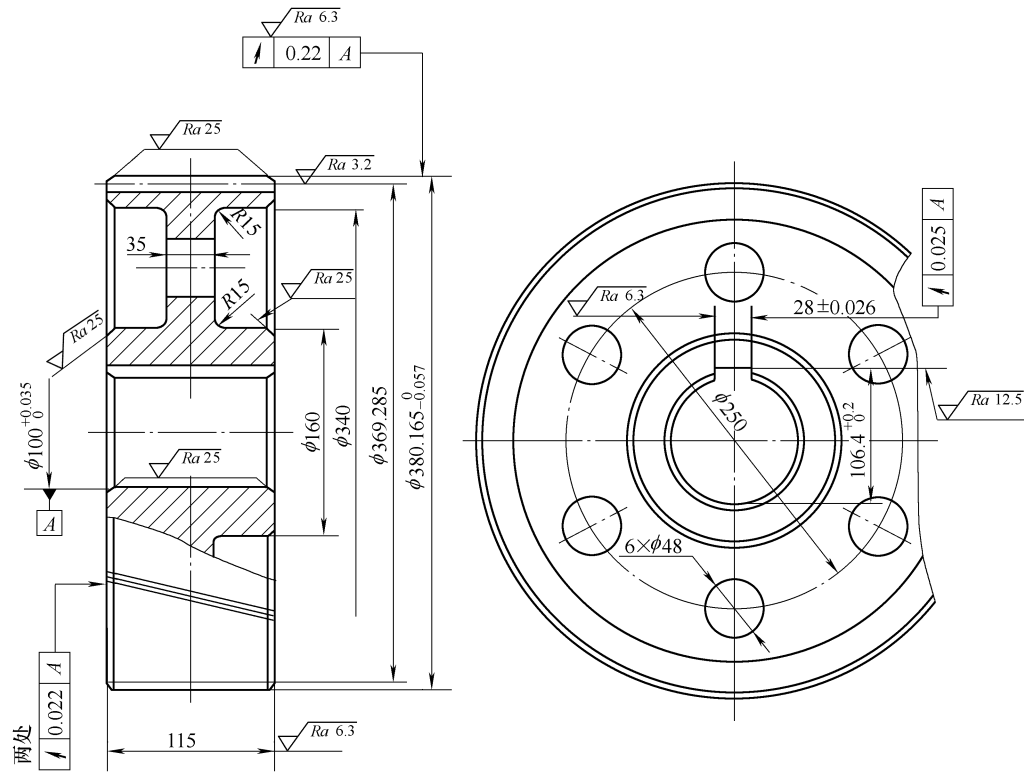


法向模数	m_n	4
齿数	z	29
压力角	α_n	30°
齿顶高系数	h_a^*	1.2
螺旋角	β	14°32'02"
螺旋方向	左	
齿型	单圆弧凸齿	
全齿高	$\bar{h}$	6
名义弦齿深	$\bar{h}$	5.805
精度等级	8-8-7 GB/T 15753—1995	
齿轮副中心距及其极限偏差	$a \pm f_a$	250 ± 0.036
配对齿轮	图号	92
	齿数	
齿距累积公差	F_p	0.090
齿距极限偏差	f_{pt}	± 0.025
轴向齿距极限偏差	F_{px}	± 0.020
弦齿深极限偏差	E_h	± 0.028

实际弦齿深

$$\bar{h}_s = 5.805 + \frac{1}{2} (d'_a - d_a)$$

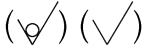
图 4.5-26 单圆弧齿轮(凸齿)零件工作图



技术要求

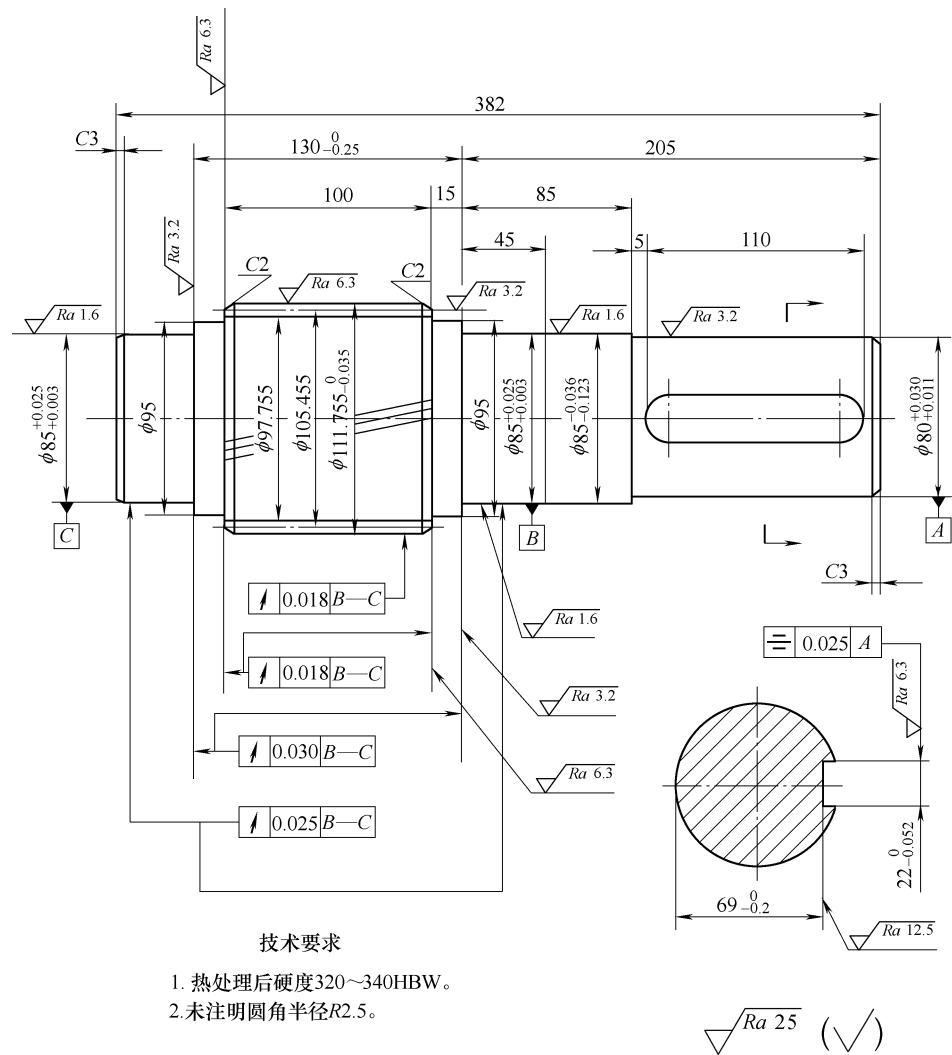
1. 热处理后硬度280~300HBW。

2. 未注倒角C2。



法向模数	m_n	4
齿数	z	92
压力角	α_n	30°
齿顶高系数	h_a^*	1.2
螺旋角	β	14°32'02"
螺旋方向	右	
齿型	单圆弧凹齿	
全齿高	h	5.44
名义弦齿深	$\bar{h}$	5.279
精度等级	8-8-7 GB/T 15753—1995	
齿轮副中心距及其极限偏差	$a \pm f_a$	250 ± 0.036
配对齿轮	图号	
	齿数	29
齿距累积公差	F_p	0.125
齿距极限偏差	f_{pt}	± 0.028
轴向齿距极限偏差	F_{px}	± 0.020
弦齿深极限偏差	E_h	± 0.036
实际弦齿深		
$\bar{h}_x = 5.279 + \frac{1}{2}(d'_a - d_a)$		

图 4.5-27 单圆弧齿轮(凹齿)零件工作图

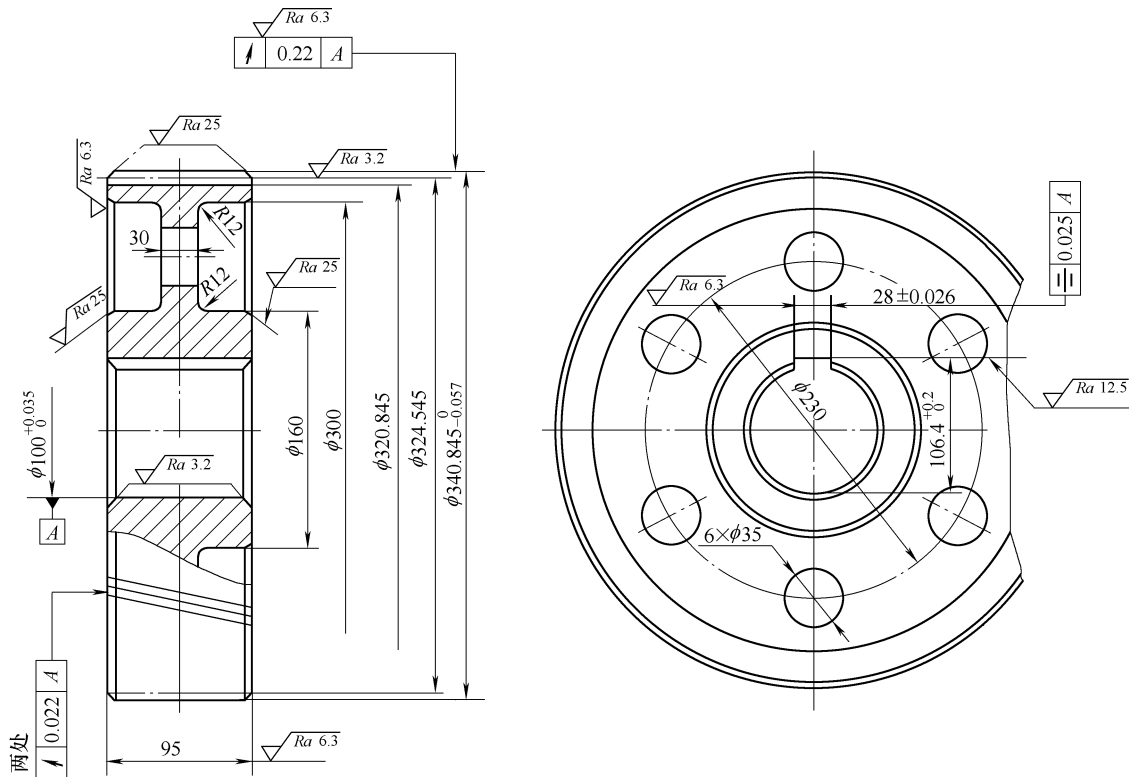


法向模数	m_n	3.5
齿数	z	29
压力角	α_n	24°
齿顶高系数	h_a^*	0.9
螺旋角	β	15°44'26"
螺旋方向	左	
齿型	双圆弧	
全齿高	h	7
名义弦齿深	$\bar{h}$	6.922
精度等级	8-8-7 GB/T 15753—1995	
齿轮副中心距及其极限偏差	$a \pm f_a$	220 ± 0.036
配对齿轮	图号	
	齿数	92
齿距累积公差	F_p	0.090
齿距极限偏差	f_{pt}	± 0.020
轴向齿距极限偏差	F_{ps}	± 0.016
弦齿深极限偏差	E_h	± 0.021

实际弦齿深

$$\bar{h}_x = 6.922 + \frac{1}{2}(d'_a - d_a)$$

图 4.5-28 双圆弧齿轮(主动轮)零件工作图



法向模数	m_n	3.5
齿数	z	92
压力角	α_n	24°
齿顶高系数	h_a^*	0.9
螺旋角	β	$15^\circ 44' 26''$
螺旋方向	右	
齿型	双圆弧	
全齿高	h	7
名义弦齿深	$\bar{h}$	6.975
精度等级	8-8-7 GB 15753—1995	
齿轮副中心距及其极限偏差	$a \pm f_a$	220 ± 0.036
配对齿轮	图号	
	齿数	29
齿距累积公差	F_p	0.125
齿距极限偏差	f_{pt}	± 0.022
轴向齿距极限偏差	F_{ps}	± 0.016
弦齿深极限偏差	E_h	± 0.027

实际弦齿深

$$\bar{h}_x = 6.975 + \frac{1}{2} (d'_a - d_a)$$

图 4.5-29 双圆弧齿轮(从动轮)零件工作图

第 6 章 锥齿轮传动

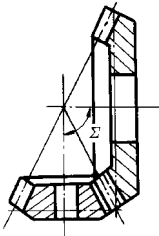
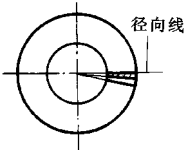
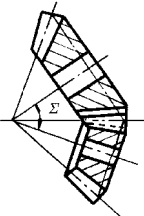
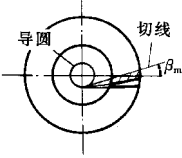
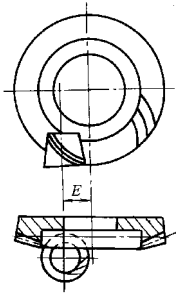
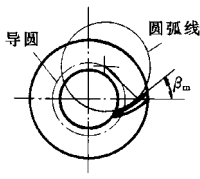
锥齿轮用于轴线相交的传动，轴线间交角 Σ 可为任意角度，但常用的 $\Sigma=90^\circ$ 。

准双曲面齿轮外形与锥齿轮相同，但传动的两轴线不相交，而是互相交错。这两种齿轮在设计及制造上有许多相同之处，故合在一章。

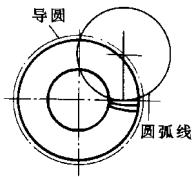
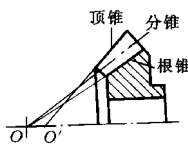
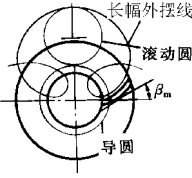
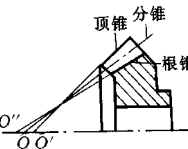
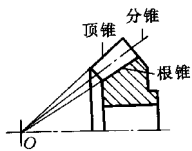
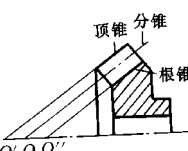
1 概述

1.1 分类、特点和应用（见表 4.6-1）

表 4.6-1 锥齿轮、准双曲面齿轮传动的分类、特点和应用

分类方法	类型	示意图	特点和应用	分类方法	类型	示意图	特点和应用
按轴线位置	正交		两轮轴线共面，轴交角 $\Sigma=90^\circ$ 最常用	按齿线形状	直齿锥齿轮		制造容易，成本低；对安装误差和变形很敏感，为减小载荷集中可制成鼓形齿；承载能力低；噪声大 多用于低速、轻载而稳定的传动，一般速度 $v_m \leq 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ；对大型锥齿轮，当用仿形加工时， $v_m \leq 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ；磨削加工的锥齿轮 $v_m \leq 75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
	斜交		两轮轴线共面，轴交角 $\Sigma \neq 90^\circ$ 特殊需要时才用，可用于 $10^\circ \leq \Sigma \leq 170^\circ$		斜齿锥齿轮		产形冠轮上的齿线是与导圆相切而不通过锥顶的直线；制造较容易，承载能力较高，噪声较小；轴向力大，且随转向变化 多用于 $m > 15 \text{ mm}$ 的大型齿轮；在 $v_m < 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、重载或有冲击传动中，用弧齿锥齿轮在制造上有困难时，可用这种齿轮代替
	轴线偏置		利用准双曲面齿轮，小轮轴线偏置一个距离 E ，利用偏置距离，增大小轮的直径，因而可以增大小轮的刚度，并实现两端支承，传动平稳 可满足特殊要求，如越野车通过性高，轿车舒适性好。节圆平均速度 $v_m \leq 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，传动比 $i = 1 \sim 10$ ，传递功率 $P \leq 750 \text{ kW}$		弧齿锥齿轮		产形冠轮上的齿线是圆弧；承载能力高，运转平稳，噪声小；对安装误差和变形不敏感；轴向力大，且随转向变化 用于 $v_m \geq 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或转速 $n > 1000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 及重载的传动；适于成批生产；磨齿后可用于高速 $v_m = (40 \sim 100) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

(续)

分类方法	类型	示意图	特点和应用	分类方法	类型	示意图	特点和应用
按齿线形状	零度锥齿轮		齿线是一段圆弧, 齿宽中点螺旋角 $\beta_m = 0^\circ$; 载荷能力略高于直齿, 轴向力与转向无关; 运转平稳性好 可用以代替直齿锥齿轮; 适用 $v_m \leq 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $n \leq 1000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的传动中; 经磨削的齿轮 $v_m \leq 50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	按齿高形式	等顶隙收缩齿		齿轮副的顶隙沿齿长保持与大端相等 (即一齿轮的顶锥母线与配对齿轮的根锥母线相平行), 顶锥的顶点不与分锥和根锥的顶点重合; 齿根的圆角半径增大, 减小应力集中, 提高齿根强度; 同时可增大刀具刀尖圆角, 提高了刀具寿命; 增加小端齿顶厚度; 减少因齿轮错位而造成小端“咬死”的可能性 直齿锥齿轮推荐使用这种类型 弧齿锥齿轮 $m > 2.5 \text{ mm}$ 的零度锥齿轮, 大多采用等顶隙收缩齿
	摆线齿锥齿轮		齿线是长幅外摆线; 加工时机床调整方便, 计算简单; 不能磨齿 应用情况与弧齿锥齿轮相同, 虽不能磨齿, 但采用刮削, 在硬齿面的条件下所得到的精度和表面粗糙度不亚于磨齿; 尤其适于单件或小批生产		双重收缩齿		顶锥、分锥和根锥的顶点不重合、分别与轴线交于三点。顶隙沿齿长保持相等, 齿高收缩显著。特点与等顶隙收缩齿相同 格利森零度锥齿轮和 $m < 2.5 \text{ mm}$ 的弧齿锥齿轮一般都采用双重收缩齿
按齿高形式	不等顶隙收缩齿		顶锥、根锥和分锥的顶点相重合; 齿轮副的顶隙由大端到小端逐渐减小; 齿根圆角较小, 齿根强度较弱; 小端齿顶薄弱 以往广泛地应用于直齿锥齿轮中, 因缺点较严重, 近来有被等顶隙收缩齿代替的趋势	等高齿		大端与小端的齿高相等, 即齿轮的顶锥角、分锥角和根锥角都相等; 加工时机床调整方便, 计算简单; 小端易产生根切和齿顶过薄 摆线齿锥齿轮都采用等高齿; 弧齿锥齿轮也可采用 齿宽系数 $\phi_R \leq 0.28$ 小轮齿数 $z_1 \geq 9$ 假想平面齿轮齿数 $z_e \geq 25$	

1.2 基本齿制

渐开线锥齿轮的齿制较多, 表 4.6-2 列出了我国常用的几种齿制的基本齿廓。

1.3 模数

锥齿轮的模数是一个变量, 由大端向小端逐渐

缩小。直齿和斜齿锥齿轮以大端面模数 m_e 为准, 并取为标准轮系列值 (见表 4.6-3)。对曲线齿 (弧齿、零度、摆线齿) 锥齿轮可用大端面模数 m_e 或齿宽中点法向模数 m_{mn} 为准; 其数值不一定是整数, 更不一定要符合标准系列, 主要取决于计算。

表 4.6-2 渐开线锥齿轮常用齿制的基本齿廓

齿 线 种 类	齿 制	基 准 齿 制 参 数				变位方式	齿高种类
		α_n	h_a^*	c^*	β_m		
直 齿 斜 齿	GB/T 12369—1990	20°	1	0.2	直 齿 为 0°, 斜齿由 计算确定	径向 + 切向变位	等顶隙收缩齿
	格里森 (Gleason)	20°, 14.5° 25°	1	$0.188 + \frac{0.05}{m_e}$			荐用等顶隙收缩 齿, 也可用不等顶 隙收缩齿
	埃尼姆斯 (ЗНИМС)	20°	1	0.2			
弧 齿	格里森	20°	0.85	0.188	35°		等顶隙收缩齿
	埃尼姆斯	20°	0.82	0.2	>35°		
零度	格里森	20° 对于重载可用 225°或 25°	1	$0.188 + \frac{0.05}{m_e}$	0°		一般用等顶隙收 缩齿; 当 $m_e \leq 2.5$ 时, 用双重收缩齿
摆线齿	奥利康 (Oerlikon)	20°, 17.5°	1	0.15	$\beta_p、\beta_m$ = 30° ~ 45°		等高齿
	克林根贝尔格 (Klingelnberg)	20°	1	0.25			

注: 1. GB/T12369—1990 基本齿廓的齿根圆角 $\rho_f = 0.3m_{ne}$, 在啮合条件允许下, 可取 $\rho_f = 0.35m_{ne}$; 齿廓可修缘, 齿顶最大修缘量: 齿高方向 $0.6m_n$, 齿厚方向 $0.02m_n$; 齿形角也可采用 $\alpha_n = 14.5^\circ$ 及 25° 。与齿高有关的各参数为大端法向值。

2. 在一般传动中, 格里森和埃尼姆斯齿制可以互相代用。

3. 对格里森齿, 当 $m_{nm} > 2.5\text{ mm}$ 时, 全齿高在粗切时, 应加深 0.13 mm , 以免在精切时发生刀具顶部切削。

表 4.6-3 锥齿轮大端端面模数 (摘自 GB/T 12368—1990) (mm)

0.1	0.12	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5
0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.125	1.25	1.375	1.5
1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75
4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	8	9
10	11	12	14	16	18	20	22	25
28	30	32	36	40	45	50		

注: 表中值适用于直齿、斜齿及曲线齿锥齿轮。

1.4 锥齿轮的变位

锥齿轮的变位可分为切向变位(齿厚变位)和径向变位(齿高变位)。

1.4.1 切向变位

用展成法加工锥齿时, 当加工轮齿的两侧刀刃在其所构成的产形齿轮的分度面上的距离为 $\frac{\pi m}{2}$ 时, 加工出来的齿轮为标准齿轮; 若改变两刀刃之间的距离, 则加工出来的齿轮为切向变位。变位量用 $x_t m$ 表示, x_t 为切向变位系数(或称齿厚变位系数), 如图 4.6-1 所示。变位使齿厚增加时 x_t 为正值; 使齿厚减薄时 x_t 为负值。为了均衡大小齿轮的齿根抗弯强度, 常采用 $x_{t1} = -x_{t2}$ 。这种变位, 除齿厚有所变化外, 其他参数不改变, 可提高小轮的齿根抗弯强度。

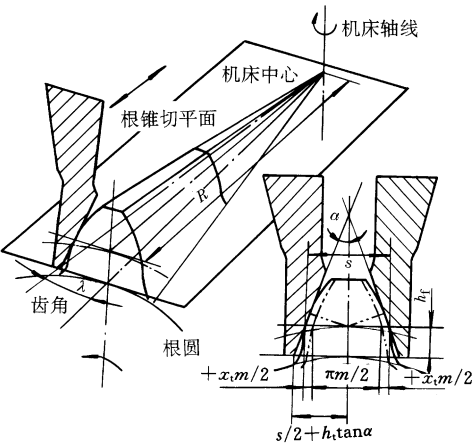


图 4.6-1 锥齿轮的切向变位

1.4.2 径向变位(高变位)

用展成法加工锥齿轮时,若刀具所构成的产形齿轮的齿条中线与被加工锥齿轮的当量圆柱齿轮的分度圆相切,加工出来的齿轮为标准齿轮;当齿条中线沿当量圆柱齿轮的径向移开一段距离 xm 时,加工出来的齿轮为径向变位齿轮,如图 4.6-2 所示。 xm 为变位量, x 为变位系数。刀具远离当量圆柱齿轮轴线时, x 为正值;刀具靠近当量圆柱齿轮轴线时, x 为负值。在齿轮副中,若 $x_1 = -x_2$,称为高变位传动;若 $x_1 \neq -x_2$,则称为角变位传动。径向变位可以避免根切,提高齿轮的承载能力和改善传动的性能。高变位传动锥齿轮几何计算简单,应用较广。角变位传动锥齿轮几何计算复杂,应用较少,本手册不作详细介绍。

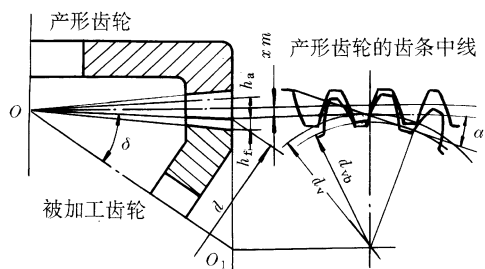
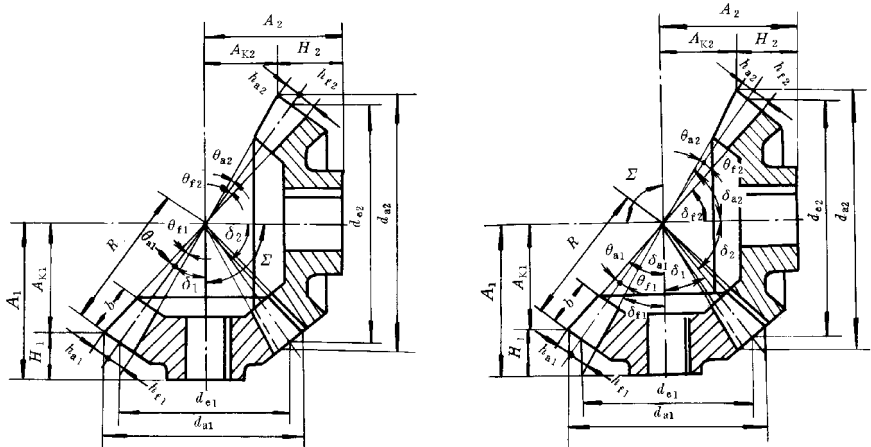


图 4.6-2 锥齿轮的径向变位(高变位)

2 锥齿轮传动的几何尺寸计算

2.1 直齿锥齿轮传动的几何尺寸计算(见表 4.6-4)

表 4.6-4 标准和高变位直齿锥齿轮传动的几何尺寸计算



不等顶隙收缩齿

等顶隙收缩齿

名 称	代 号	小 齿 轮	大 齿 轮
齿数比	u	$u = z_2/z_1$, 按传动要求确定, 通常 $u = 1 \sim 10$	
大端分度圆直径	d_e	d_{e1} 根据强度计算初定, 或按结构确定	
齿数	z	一般 $z_1 = 16 \sim 30$; 当 d_{e1} 已确定, 可按图 4.6-3 选取 z_1 ; 最少的 z_1 推荐按表 4.6-5 选取	$z_2 = uz_1$
大端模数	m_e	$m_e = d_{e1}/z_1$, 按表 4.6-3 取成标准系列值后, 再确定 $d_{e1} = z_1 m_e$	$d_{e2} = z_2 m_e$
分锥角	δ	当 $\Sigma = 90^\circ$ 时 $\delta_1 = \arctan \frac{z_1}{z_2}$ 当 $\Sigma < 90^\circ$ 时, $\delta_1 = \arctan \frac{\sin \Sigma}{u + \cos \Sigma}$ 当 $\Sigma > 90^\circ$ 时, $\delta_1 = \arctan \frac{\sin(180^\circ - \Sigma)}{u - \cos(180^\circ - \Sigma)}$	$\delta_2 = \Sigma - \delta_1$
外锥距	R_e	$R_e = d_{e1}/2 \sin \delta_1$	

(续)

名 称	代 号	小 齿 轮		大 齿 轮
齿 宽	b	$b = \phi_{\text{R}} R_{\text{e}}$		
齿宽系数	ϕ_{R}	$\phi_{\text{R}} = \frac{b}{R_{\text{e}}}$ 一般 $\phi_{\text{R}} = \frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$, 常用 0.3		
平均分度圆直径	d_{m}	$d_{\text{m}1} = d_{\text{e}1} (1 - 0.5 \phi_{\text{R}})$	$d_{\text{m}2} = d_{\text{e}2} (1 - 0.5 \phi_{\text{R}})$	
中锥距	R_{m}	$R_{\text{m}} = R_{\text{e}} (1 - 0.5 \phi_{\text{R}})$		
平均模数	m_{m}	$m_{\text{m}} = m_{\text{e}} (1 - 0.5 \phi_{\text{R}})$		
切向变位系数	x_{i}	$x_{\text{i}1}$ 荐用值见图 4. 6-4	$x_{\text{i}2} = -x_{\text{i}1}$	
径向变位系数	x	当 $z_1 \geq 13$ 时, $x_1 = 0.46 \left(1 - \frac{\cos \delta_2}{u \cos \delta_1} \right)$ 亦可按表 4. 6-6 选取	$x_2 = -x_1$	
齿顶高	h_{a}	$h_{\text{a}1} = m_{\text{e}} (1 + x_1)$	$h_{\text{a}2} = (1 + x_2) m_{\text{e}}$	
齿根高	h_{f}	$h_{\text{f}1} = m_{\text{e}} (1 + c^* - x_1)$, c^* 见表 4. 6-2	$h_{\text{f}2} = (1 + c^* - x_2) m_{\text{e}}$	
顶隙	c	$c = c^* m$		
齿顶角	θ_{a}	不等顶隙收缩齿	$\theta_{\text{a}1} = \arctan (h_{\text{a}1} / R_{\text{e}})$	$\theta_{\text{a}2} = \arctan (h_{\text{a}2} / R_{\text{e}})$
		等顶隙收缩齿	$\theta_{\text{a}1} = \theta_{\text{f}2}$	$\theta_{\text{a}2} = \theta_{\text{f}1}$
齿根角	θ_{f}	$\theta_{\text{f}1} = \arctan (h_{\text{f}1} / R_{\text{e}})$		$\theta_{\text{f}2} = \arctan (h_{\text{f}2} / R_{\text{e}})$
顶锥角	δ_{a}	不等顶隙收缩齿	$\delta_{\text{a}1} = \delta_1 + \theta_{\text{a}1}$	$\delta_{\text{a}2} = \delta_2 + \theta_{\text{a}2}$
		等顶隙收缩齿	$\delta_{\text{a}1} = \delta_1 + \theta_{\text{f}2}$	$\delta_{\text{a}2} = \delta_2 + \theta_{\text{f}1}$
根锥角	δ_{f}	$\delta_{\text{f}1} = \delta_1 - \theta_{\text{f}1}$		$\delta_{\text{f}2} = \delta_2 - \theta_{\text{f}2}$
齿顶圆直径	d_{a}	$d_{\text{a}1} = d_{\text{e}1} + 2h_{\text{a}1} \cos \delta_1$	$d_{\text{a}2} = d_{\text{e}2} + 2h_{\text{a}2} \cos \delta_2$	
安装距	A	根据结构确定		
冠顶距	A_{K}	当 $\Sigma = 90^{\circ}$ 时	$A_{\text{K}1} = d_{\text{e}2} / 2 - h_{\text{a}1} \sin \delta_1$	$A_{\text{K}2} = d_{\text{e}1} / 2 - h_{\text{a}2} \sin \delta_2$
		当 $\Sigma \neq 90^{\circ}$ 时	$A_{\text{K}1} = R_{\text{e}} \cos \delta_1 - h_{\text{a}1} \sin \delta_1$	$A_{\text{K}2} = R_{\text{e}} \cos \delta_2 - h_{\text{a}2} \sin \delta_2$
轮冠距	H	$H_1 = A_1 - A_{\text{K}1}$		$H_2 = A_2 - A_{\text{K}2}$
大端分度圆齿厚	s	$s_1 = m_{\text{e}} \left(\frac{\pi}{2} + 2x_1 \tan \alpha + x_{\text{i}1} \right)$		$s_2 = \pi m_{\text{e}} - s_1$
大端分度圆弦齿厚	$\bar{s}$	$\bar{s}_1 = s_1 \left(1 - \frac{s_1^2}{6d_{\text{e}1}^2} \right)$		$\bar{s}_2 = s_2 \left(1 - \frac{s_2^2}{6d_{\text{e}2}^2} \right)$
大端分度圆弦齿高	$\bar{h}_{\text{a}}$	$\bar{h}_{\text{a}1} = h_{\text{a}1} + \frac{s_1^2 \cos \delta_1}{4d_{\text{e}1}}$		$\bar{h}_{\text{a}2} = h_{\text{a}2} + \frac{s_2^2 \cos \delta_2}{4d_{\text{e}2}}$
端面当量齿数	z_{v}	$z_{\text{v}1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1}$		$z_{\text{v}2} = \frac{z_2}{\cos \delta_2}$
端面重合度	$\varepsilon_{\text{v}\alpha}$	$\varepsilon_{\text{v}\alpha} = \frac{1}{2\pi} \left[z_{\text{v}1} (\tan \alpha_{\text{va}1} - \tan \alpha) + z_{\text{v}2} (\tan \alpha_{\text{va}2} - \tan \alpha) \right]$ 式中 $\alpha_{\text{va}1} = \arccos \frac{z_{\text{v}1} \cos \alpha}{z_{\text{v}1} + 2h_{\text{a}}^* + 2x_1}$, $\alpha_{\text{va}2} = \arccos \frac{z_{\text{v}2} \cos \alpha}{z_{\text{v}2} + 2h_{\text{a}}^* + 2x_2}$		

注: 当齿数很少($z < 13$)时, 应按下述公式计算最少齿数 $z_{\min}$ 和最小变位系数 $x_{\min}$ 。用刀尖无圆角的刀具加工时, $z_{\min} \approx$

$$\frac{2.4 \cos\delta}{\sin^2\alpha}, \quad x_{\min} \approx 1.2 - \frac{z \sin^2\alpha}{2 \cos\delta}。 \text{用刀尖有 } 0.2m_e \text{ 的圆角的刀具加工时, } z_{\min} \approx \frac{2 \cos\delta}{\sin^2\alpha}, \quad x_{\min} \approx 1 - \frac{z \sin^2\alpha}{2 \cos\delta}。$$

表 4.6-5 锥齿轮的最少齿数 $z_{\min}$

α_n	直齿锥齿轮		弧齿锥齿轮		零度锥齿轮	
	小轮	大轮	小轮	大轮	小轮	大轮
20°	16	16	17	17	17	17
	15	17	16	18	16	20
	14	20	15	19	15	25
	13	31	14	20		
			13	22		
14.5°			12	26		
			28	28		
			27	29		
			26	30		
			25	32		
			24	33		
			23	36		
			22	40		
22.5°	13	13	14	14	14	14
					13	15
25°	12	12	12	12	13	13

注：1. 本表是根据无根切和两轮齿顶厚大致相同及其等强度而制订的。

2. 考虑了格里森齿制的变位方式。

3. 对于汽车齿轮常采用比本表更少的齿数。

4. 斜齿锥齿轮可近似按弧齿锥齿轮选取最少齿数。

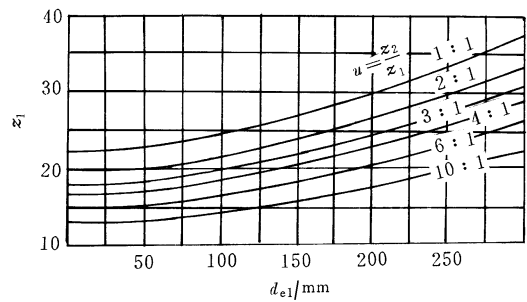


图4.6-3 渗碳淬火的直齿或零度锥齿轮的小轮齿数调质的齿轮， z_1 可比由图求得的大20%左右

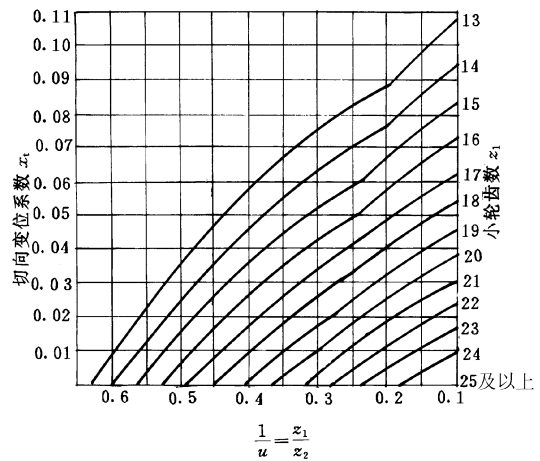


图 4.6-4 直齿及零度锥齿轮的切向变位系数 x_t (压力角 20°)

表 4.6-6 直齿及零度弧齿锥齿轮径向变位系数 x (格里森齿制)

u	x	u	x	u	x	u	x
<1.00	0.00	1.15 ~ 1.17	0.12	1.42 ~ 1.45	0.24	2.06 ~ 2.16	0.36
1.00 ~ 1.02	0.01	1.17 ~ 1.19	0.13	1.45 ~ 1.48	0.25	2.16 ~ 2.27	0.37
1.02 ~ 1.03	0.02	1.19 ~ 1.21	0.14	1.48 ~ 1.52	0.26	2.27 ~ 2.41	0.38
1.03 ~ 1.04	0.03	1.21 ~ 1.23	0.15	1.52 ~ 1.56	0.27	2.41 ~ 2.58	0.39
1.04 ~ 1.05	0.04	1.23 ~ 1.25	0.16	1.56 ~ 1.60	0.28	2.58 ~ 2.78	0.40
1.05 ~ 1.06	0.05	1.25 ~ 1.27	0.17	1.60 ~ 1.65	0.29	2.78 ~ 3.05	0.41
1.06 ~ 1.08	0.06	1.27 ~ 1.29	0.18	1.65 ~ 1.70	0.30	3.05 ~ 3.41	0.42
1.08 ~ 1.09	0.07	1.29 ~ 1.31	0.19	1.70 ~ 1.76	0.31	3.41 ~ 3.94	0.43
1.09 ~ 1.11	0.08	1.31 ~ 1.33	0.20	1.76 ~ 1.82	0.32	3.94 ~ 4.82	0.44
1.11 ~ 1.12	0.09	1.33 ~ 1.36	0.21	1.82 ~ 1.89	0.33	4.82 ~ 6.81	0.45
1.12 ~ 1.14	0.10	1.36 ~ 1.39	0.22	1.89 ~ 1.97	0.34	>6.81	0.46
1.14 ~ 1.15	0.11	1.39 ~ 1.42	0.23	1.97 ~ 2.06	0.35		

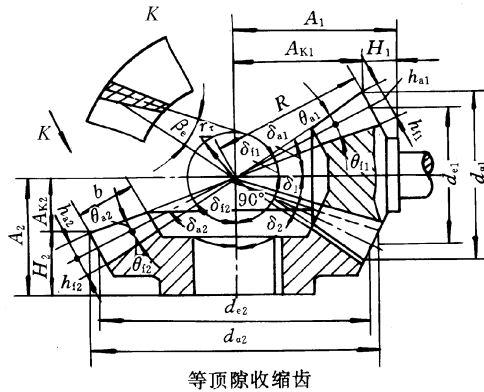
2.2 斜齿锥齿轮传动的几何尺寸计算(见表 4.6-7)

2.3 弧齿锥齿轮传动和零度弧齿锥齿轮传动的几何尺寸计算

弧齿锥齿轮通常用收缩齿，也用等高齿。零度弧齿锥齿轮是弧齿锥齿轮的一种特殊形式，这种锥齿轮中点螺旋角按 $\beta_m = 0^\circ$ 计算。本节给出的弧齿锥齿轮和零度弧齿锥齿轮采用格里森制。

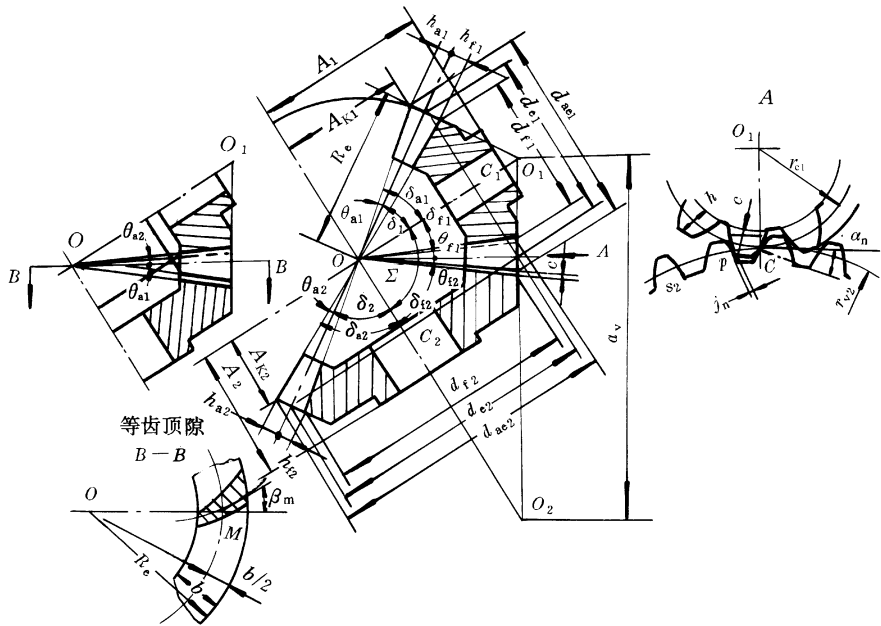
弧齿锥齿轮传动和零度弧齿锥齿轮传动的几何尺寸计算分别列入表 4.6-8 ~ 表 4.6-12。

表 4.6-7 斜齿锥齿轮传动的几何尺寸计算



名 称	代号	小 齿 轮	大 齿 轮
主要参数及尺寸		根据强度计算或结构要求初定 d_{e1} ，然后按表 4.6-4 方法确定 z , m_e , d_e , δ , R_e , b , R_m 等	
大端螺旋角	β_e	$\tan \beta_e \geq \frac{\pi(R_e - b)m_e}{R_e b}$ 1. 轮齿旋向的规定：由锥顶看齿轮齿线从小端到大端顺时针为右旋；反之为左旋 2. 轮齿旋向的选用：大小齿轮轮齿旋向相反；应使小轮上的轴向分力指向大端（轴向力的确定见表 4.6-25）	
齿根角	θ_f	$\theta_{f1} = \arctan \frac{h_{f1}}{R_e \cos^2 \beta_e}$	$\theta_{f2} = \arctan \frac{h_{f2}}{R_e \cos^2 \beta_e}$
导圆半径	r_τ	$r_\tau = R_e \sin \beta_e$	
大端分度圆齿厚	s	$s_1 = \left(\frac{\pi}{2} + \frac{2x_1 \tan \alpha_n}{\cos \beta_e} + x_{t1} \right) m_e$	$s_2 = \pi m_e - s_1$
大端分度圆法向弦齿厚	$\bar{s}_n$	$\bar{s}_{n1} = \left(1 - \frac{s_1 \sin 2\beta_e}{4R_e} \right) \left(s_1 - \frac{s_1^3 \cos^2 \delta_1}{6d_{e1}^2} \right) \cos \beta_e$	$\bar{s}_{n2} = \left(1 - \frac{s_2 \sin 2\beta_e}{4R_e} \right) \left(s_2 - \frac{s_2^3 \cos^2 \delta_2}{6d_{e2}^2} \right) \cos \beta_e$
弦 齿 高	$\bar{h}_n$	$\bar{h}_{n1} = \left(1 - \frac{s_1 \sin 2\beta_e}{4R_e} \right) \left(\bar{h}_{a1} + \frac{s_1^2}{4d_1} \cos \delta_1 \right)$	$\bar{h}_{n2} = \left(1 - \frac{s_2 \sin 2\beta_e}{4R_e} \right) \left(\bar{h}_{a2} + \frac{s_2^2}{4d_2} \cos \delta_2 \right)$
法向当量齿数	z_{vn}	$z_{vn1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1 \cos^3 \beta_m}$	$z_{vn2} = \frac{z_2}{\cos \delta_2 \cos^3 \beta_m}$
齿宽中点的螺旋角	β_m	$\beta_m = \arcsin \frac{R_e \sin \beta_e}{R_m}$	
端面重合度	ε_{va}	$\varepsilon_{va} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{z_1}{\cos \delta_2} (\tan \alpha_{va1} - \tan \alpha_1) + \frac{z_2}{\cos \delta_2} (\tan \alpha_{va2} - \tan \alpha_1) \right]$ 式中 $\alpha_1 = \arctan \left(\frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta_e} \right)$, $\alpha_{va1} = \arccos \frac{z_1 \cos \alpha_1}{z_1 + 2(h_a^* + x_1) \cos \delta_1}$, $\alpha_{va2} = \arccos \frac{z_2 \cos \alpha_1}{z_2 + 2(h_a^* + x_2) \cos \delta_2}$	
纵向重合度	$\varepsilon_{v\beta}$	$\varepsilon_{v\beta} = \frac{b \sin \beta_m}{\pi m_{nm}}$	
法向重合度	ε_{van}	$\varepsilon_{van} = \varepsilon_{va} / \cos \beta_{vb}$ $\beta_{vb} = \arcsin (\sin \beta_m \cdot \cos \alpha_n)$	
总重合度	$\varepsilon_{v\gamma}$	$\varepsilon_{v\gamma} = \sqrt{\varepsilon_{va}^2 + \varepsilon_{v\beta}^2}$	

表 4.6-8 弧齿锥齿轮几何尺寸计算($\Sigma=90^\circ$)



名 称	代 号	小 齿 轮	大 齿 轮	举 例
齿数比	u	$u = \frac{z_2}{z_1}$, 按传动要求确定, 通常 $u = 1 \sim 10$		3
大端分度圆直径	d_e	d_{e1} 根据强度计算 (按表 4.6-26) 或结构初定	$d_{e2} = z_2 m_e$	按 $T_1 = 600 \text{ N} \cdot \text{m}$ $K = 1.5$, $\sigma_{\text{HP}} = 1350 \text{ MPa}$, 得 $d_{e1} \approx 90 \text{ mm}$, $d_{e2} = 276 \text{ mm}$
齿数	z	z_1 按图 4.6-5 选取	$z_2 = z_1 u$, 尽可能使 z_1, z_2 互为质数	$z_1 = 15, z_2 = 46$
大端模数	m_e	$\frac{d_{e1}}{z_1}$ 可适当圆整		6 mm
分锥角	δ	$\delta_1 = \arctan \frac{z_1}{z_2}$	$\delta_2 = 90^\circ - \delta_1$	$\delta_1 = 18^\circ 03' 37''$ $\delta_2 = 71^\circ 56' 23''$
外锥距	R_e	$R_e = d_{e1} / 2 \sin \delta_1$		145.153 mm
齿宽系数	ϕ_R	$\phi_R = \frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$, 常取 0.3		0.30313
齿宽	b	$b = \phi_R R_e$ 适当圆整		44 mm
中点模数	m_m	$m_m = m_e (1 - 0.5 \phi_R)$		5.0906 mm
中点法向模数	m_{nm}	$m_{nm} = m_m \cos \beta_m$		4.17 mm
切向变位系数	x_t	x_{t1} 按表 4.6-9 选取	$x_{t2} = -x_{t1}$	$x_{t1} = 0.085$ $x_{t2} = -0.085$
径向变位系数	x	$x_1 = 0.39 (1 - 1/u^2)$ 或查表 4.6-10 选取	$x_2 = -x_1$	$x_1 = 0.35$ $x_2 = -0.35$
齿宽中点螺旋角	β_m	等顶隙收缩齿的标准螺旋角 $\beta_m = 35^\circ$, 一般 $\beta_m = 10^\circ \sim 35^\circ$, 两轮的螺旋角相等, 旋向相反。决定 β_m 大小时, 至少使 $\varepsilon_{v\beta} \geq 1.25$, 如果条件允许, 应当 $\varepsilon_{v\beta} = 1.5 \sim 2.0$, β_m 与 $\varepsilon_{v\beta}$ 之关系可由图 4.6-7 确定; β_m 的旋向, 应使小轮上的轴向力指向大端 (参见表 4.6-25)		35°

(续)

名 称	代 号	小 齿 轮	大 齿 轮	举 例
压力角	α_n	$\alpha_n = 20^\circ$		20°
齿顶高	h_a	$h_a = (h_a^* + x)m_e$ $h_a^* = 0.85$		$h_{a1} = 7.2 \text{ mm}$ $h_{a2} = 3 \text{ mm}$
齿根高	h_f	$h_f = (h_a^* + c^* - x)m_e$		$h_{f1} = 4.128 \text{ mm}$ $h_{f2} = 8.328 \text{ mm}$
顶隙	c	$c = c^* m_e$ $c^* = 0.188$		1.128 mm
齿顶角	θ_a	等顶隙收缩齿 $\theta_{a1} = \theta_{f2}$	$\theta_{a2} = \theta_{f1}$	$\theta_{a1} = 3^\circ 17' 01''$ $\theta_{a2} = 1^\circ 37' 44''$
齿根角	θ_f	$\theta_{f1} = \arctan \frac{h_{f1}}{R_e}$	$\theta_{f2} = \arctan \frac{h_{f2}}{R_e}$	$\theta_{f1} = 1^\circ 37' 44''$ $\theta_{f2} = 3^\circ 17' 01''$
顶锥角	δ_a	等顶隙收缩齿 $\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{f2}$	$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{f1}$	$\delta_{a1} = 21^\circ 20' 38''$ $\delta_{a2} = 73^\circ 34' 07''$
根锥角	δ_f	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$	$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$	$\delta_{f1} = 16^\circ 25' 53''$ $\delta_{f2} = 68^\circ 39' 22''$
齿顶圆直径	d_{ae}	$d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{a1} \cos \delta_1$	$d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{a2} \cos \delta_2$	$d_{ae1} = 103.69 \text{ mm}$ $d_{ae2} = 277.86 \text{ mm}$
锥顶到轮冠距离	A_K	$A_{K1} = \frac{d_{e2}}{2} - h_{a1} \sin \delta_1$	$A_{K2} = \frac{d_{e1}}{2} - h_{a2} \sin \delta_2$	$A_{K1} = 135.77 \text{ mm}$ $A_{K2} = 42.15 \text{ mm}$
中点法向齿厚	s_{mn}	$s_{mn1} = (0.5\pi \cos \beta_m + 2x_1 \tan \alpha_n + x_{f1})m_m$	$s_{mn2} = \pi m_m \cos \beta_m - s_{mn1}$	$s_{mn1} = 8.28 \text{ mm}$ $s_{mn2} = 4.82 \text{ mm}$
中点法向齿厚半角	ψ_{mn}	$\psi_{mn} = \frac{s_{mn} \cos \delta}{m_m z} \cos^2 \beta_m$		$\psi_{mn1} = 0.0692$ $\psi_{mn2} = 0.01313$
中点齿厚角系数	$K_{\psi mn}$	$K_{\psi mn} = 1 - \frac{\psi_{mn}^2}{6}$		$K_{\psi mn1} = 0.9992$ $K_{\psi mn2} = 0.99997$
中点分度圆弦齿厚	$\bar{s}_{mn}$	$\bar{s}_{mn} = s_{mn} K_{\psi mn}$		$\bar{s}_{mn1} = 2.2734 \text{ mm}$ $\bar{s}_{mn2} = 4.82 \text{ mm}$
中点分度圆弦齿高	h_{am}	$h_{am1} = h_{a1} - 0.5b \tan \theta_{f1} + 0.25s_{mn1} \psi_{mn1}$ $h_{am2} = h_{a2} - 0.5b \tan \theta_{f2} + 0.25s_{mn2} \psi_{mn2}$		$\bar{h}_{am1} = 6.08 \text{ mm}$ $\bar{h}_{am2} = 2.3 \text{ mm}$
切齿刀盘直径	D_0	由表 4.6-11 查取		$D_0 = 210 \text{ mm}$
当量齿数	z_{vn}	$z_{vn} = \frac{z}{\cos \delta \cos^3 \beta_m}$		$z_{vn1} = 28.7$ $z_{vn2} = 270$
端面重合度	$\varepsilon_{v\alpha}$	当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, $\varepsilon_{v\alpha}$ 查图 4.6-6		1.8
纵向重合度	$\varepsilon_{v\beta}$	$\varepsilon_{v\beta} \approx \frac{b \sin \beta_m}{\pi m_{nm}}$, 当 $\phi_R = 0.3$ 时, 可查图 4.6-7		1.9
总重合度	$\varepsilon_{v\gamma}$	$\varepsilon_{v\gamma} = \sqrt{\varepsilon_{v\alpha}^2 + \varepsilon_{v\beta}^2}$		2.62
任意点螺旋角	β_x	$\sin \beta_x = \frac{1}{D_0} \left[R_x + \frac{R_m (D_0 \sin \beta_m - R_m)}{R_x} \right]$ R_x ——任意点的锥距, 大端的为 R_e , 中点的为 R_m		
刀号	N_o	$N_o = \frac{\theta_{f1} + \theta_{f2}}{20} \sin \beta_m$ 式中 θ_{f1} 、 θ_{f2} —小、大齿轮的根锥角, 以分为单位; 刀号标准为 $3\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$, $5\frac{1}{2}$, $6\frac{1}{2}$, $\dots$, $20\frac{1}{2}$, 共 18 种; 单刀号单面切削法, 一般采用 $7\frac{1}{2}$ 刀号, 此时, 中点螺旋角应重新计算 $\sin \beta_m = \frac{20N_{o\text{标}}}{\theta_{f1} + \theta_{f2}} \quad (N_{o\text{标}} = 7\frac{1}{2})$		$N_o = \frac{197 + 97.7}{20}$ $\times \sin 35^\circ$ $= 8.45$ 选最接近的刀号为 $N_o = 8 \frac{1}{2}$

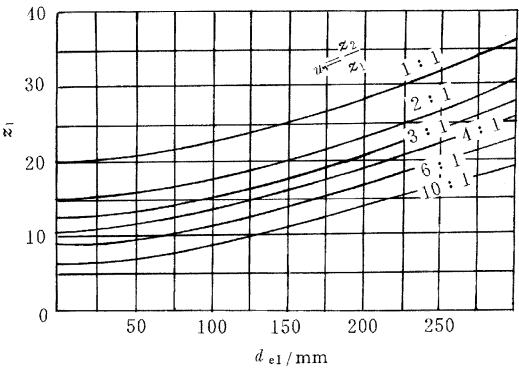


图 4.6-5 弧齿锥齿轮的小轮齿数

表 4.6-9 弧齿锥齿轮切向变位系数 x_t

小齿轮 齿数	齿 数 比														
	1.00 ~ 1.25	1.25 ~ 1.50	1.50 ~ 1.75	1.75 ~ 2.00	2.00 ~ 2.25	2.25 ~ 2.50	2.50 ~ 2.75	2.75 ~ 3.00	3.00 ~ 3.25	3.25 ~ 3.50	3.50 ~ 3.75	3.75 ~ 4.00	4.00 ~ 4.50	4.50 ~ 5.00	≥5.00
5	0.020	0.040	0.075	0.110	0.135	0.155	0.170	0.185	0.200	0.215	0.230	0.240	0.255	0.270	0.285
6	0.010	0.035	0.060	0.085	0.105	0.130	0.150	0.165	0.180	0.195	0.210	0.220	0.235	0.250	0.265
7	0.000	0.025	0.050	0.075	0.095	0.115	0.135	0.155	0.170	0.185	0.195	0.205	0.220	0.235	0.250
8	0.000	0.010	0.030	0.045	0.065	0.080	0.095	0.110	0.125	0.135	0.145	0.155	0.170	0.180	0.195
9	0.000	0.010	0.025	0.040	0.055	0.070	0.085	0.095	0.105	0.115	0.125	0.135	0.150	0.165	0.185
10	0.020	0.055	0.085	0.105	0.125	0.125	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.155	0.160	0.170	0.180
11	0.030	0.075	0.105	0.075	0.085	0.095	0.105	0.115	0.125	0.135	0.140	0.145	0.150	0.155	0.160
12	0.005	0.015	0.025	0.035	0.045	0.055	0.065	0.075	0.085	0.095	0.105	0.115	0.125	0.135	0.135
13	0.005	0.015	0.025	0.035	0.045	0.055	0.065	0.075	0.085	0.095	0.105	0.115	0.125	0.135	0.135
14 ~ 16	0.000	0.005	0.015	0.025	0.035	0.050	0.060	0.075	0.085	0.095	0.100	0.105	0.105	0.105	0.105
17 ~ 19	0.000	0.000	0.005	0.015	0.025	0.035	0.050	0.065	0.075	0.085	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
> 19	0.000	0.000	0.000	0.015	0.025	0.040	0.050	0.055	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060

表 4.6-10 弧齿锥齿轮径向变位系数 x (格里森齿制)

u	x	u	x	u	x	u	x
< 1.00	0.00	1.15 ~ 1.17	0.10	1.41 ~ 1.44	0.20	1.99 ~ 2.10	0.30
1.00 ~ 1.02	0.01	1.17 ~ 1.19	0.11	1.44 ~ 1.48	0.21	2.10 ~ 2.23	0.31
1.02 ~ 1.03	0.02	1.19 ~ 1.21	0.12	1.48 ~ 1.52	0.22	2.23 ~ 2.38	0.32
1.03 ~ 1.05	0.03	1.21 ~ 1.23	0.13	1.52 ~ 1.57	0.23	2.38 ~ 2.58	0.33
1.05 ~ 1.06	0.04	1.23 ~ 1.26	0.14	1.57 ~ 1.63	0.24	2.58 ~ 2.82	0.34
1.06 ~ 1.08	0.05	1.26 ~ 1.28	0.15	1.63 ~ 1.68	0.25	2.82 ~ 3.17	0.35
1.08 ~ 1.09	0.06	1.28 ~ 1.31	0.16	1.68 ~ 1.75	0.26	3.17 ~ 3.67	0.36
1.09 ~ 1.11	0.07	1.31 ~ 1.34	0.17	1.75 ~ 1.82	0.27	3.67 ~ 4.56	0.37
1.11 ~ 1.13	0.08	1.34 ~ 1.37	0.18	1.82 ~ 1.90	0.28	4.56 ~ 7.00	0.38
1.13 ~ 1.15	0.09	1.37 ~ 1.41	0.19	1.90 ~ 1.99	0.29	> 7.00	0.39

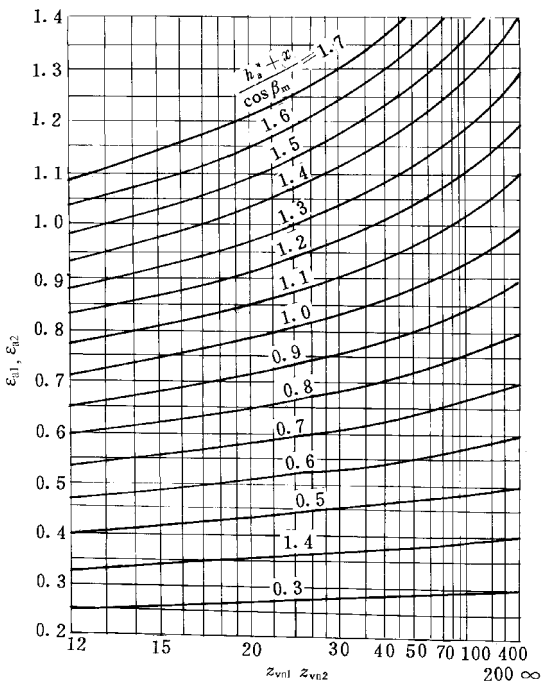


图 4.6-6 锥齿轮传动的端面重合度 ϵ_{α} ($\alpha = 20^\circ$)

- 1. 对直齿轮, 按 z_{vn1} 和 z_{vn2} 查出 $\epsilon_{\alpha1}$ 和 $\epsilon_{\alpha2}$, $\epsilon_{\alpha} = \epsilon_{\alpha1} + \epsilon_{\alpha2}$ 。
- 2. 对曲线齿, 按 z_{vn1} 和 z_{vn2} 查出 $\epsilon_{\alpha1}$ 和 $\epsilon_{\alpha2}$, $\epsilon_{\alpha} = K(\epsilon_{\alpha1} + \epsilon_{\alpha2})$,

K 值如下:

β_m	15°	20°	25°	30°	35°
K	0.941	0.897	0.842	0.779	0.709

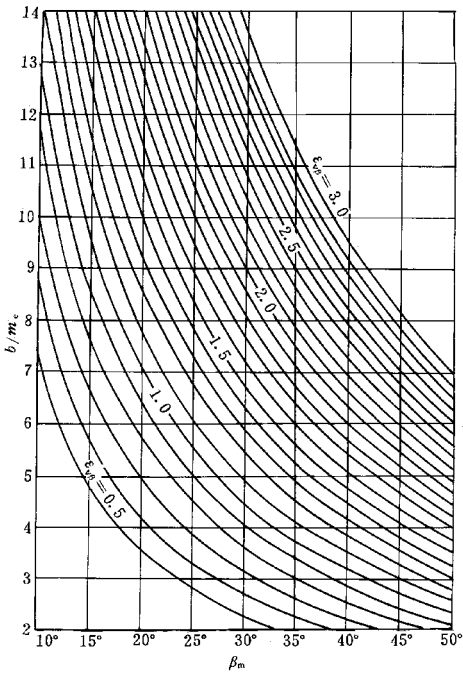


图 4.6-7 弧齿锥齿轮传动纵向重合度 $\epsilon_{v\beta}$

表 4.6-11 弧齿锥齿轮铣刀盘名义直径的选择

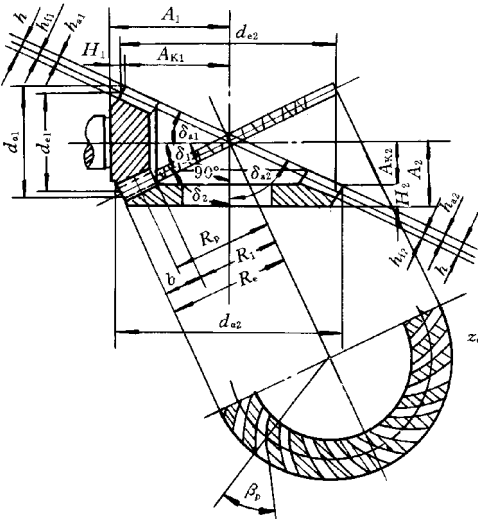
公称直径 D_0		螺旋角 $\beta_m (^\circ)$	外锥距 R_e / mm	最大齿高 h / mm	最大齿宽 b / mm	最大模数 m_e / mm
in	mm					
1/2	12.7	>20	6.35 ~ 12.7	3.2	3.97	1.69
1 ¹ / ₁₀	27.94	>20	12.7 ~ 19.05	3.2	6.35	1.69
1 ¹ / ₂	38.1	>20	19.05 ~ 25.4	4.7	7.9	2.54
2	50.8	>20	25.4 ~ 38.1	4.7	9.5	2.54
3 ¹ / ₂ ~ 6	88.9 ~ 152.4	0 ~ 15 >15	20 ~ 40 35 ~ 65	8.7	20	3.5
6 ~ 7 ¹ / ₂	152.4 ~ 190.5	0 ~ 15 >15	30 ~ 70 60 ~ 100	10	30	4.5 5.0
7 ¹ / ₂ ~ 9	190.5 ~ 228.6	0 ~ 15 15 ~ 25 >25	60 ~ 120 90 ~ 160 90 ~ 160	15	50	6.5 7.5 8.0
9 ~ 12	228.6 ~ 304.8	0 ~ 15 15 ~ 25 >25	90 ~ 180 140 ~ 210 140 ~ 210	20	65	9.0 10 11
12 ~ 18	304.8 ~ 457.2	0 ~ 15 15 ~ 25 25 ~ 30 30 ~ 40	160 ~ 240 190 ~ 320 190 ~ 320 320 ~ 420	28	100	12 14 15 15

表 4.6-12 零度锥齿轮几何尺寸计算($\Sigma = 90^\circ$)

名 称	代号	小 齿 轮	大 齿 轮
		除下列各项外、其余用弧齿锥齿轮几何尺寸公式计算 (见表 4.6-8)	
齿数	z	当 d_{e1} 已知, z_1 可按图 4.6-3 选取	$z_2 = uz_1$
齿宽	b	$b = \phi_R R_e \leq 10m_e$ $\phi_R \leq 0.25$	
切向变位系数	x_t	x_{t1} 按图 4.6-4 选取	$x_{t2} = -x_{t1}$
径向变位系数	x	x_1 按表 4.6-6 选取	$x_2 = -x_1$
中点螺旋角	β_m	$\beta_m = 0^\circ$, 配对齿轮的螺旋角方向相反	
齿顶高	h_a	$h_a = (h_a^* + x) m_e$	$h_a^* = 1$
顶隙	c	$c = c^* m_e$ $c^* = 0.188 + \frac{0.05}{m_e}$	
齿根角	θ_f	等顶隙收缩齿: $\theta_f = \arctan \frac{h_f}{R_e}$; 双重收缩齿: $\theta_f = \arctan \frac{h_f}{R_e} + \Delta\theta_f$	
齿根角修正量	$\Delta\theta_f$	采用双重收缩齿时: $\alpha_n = 20^\circ: \Delta\theta_f = \frac{6668}{\sqrt{z_1^2 + z_2^2}} - \frac{1512}{\sqrt{z_1^2 + z_2^2}} \frac{\sqrt{d_{e1} \sin \delta_2}}{b} - \frac{355.6}{\sqrt{z_1^2 + z_2^2} m_e}$ $\alpha_n = 22^\circ 30': \Delta\theta_f = \frac{4868}{\sqrt{z_1^2 + z_2^2}} - \frac{1512}{\sqrt{z_1^2 + z_2^2}} \frac{\sqrt{d_{e1} \sin \delta_2}}{b} - \frac{355.6}{\sqrt{z_1^2 + z_2^2} m_e}$ $\alpha_n = 25^\circ: \Delta\theta_f = \frac{3412}{\sqrt{z_1^2 + z_2^2}} - \frac{1512}{\sqrt{z_1^2 + z_2^2}} \frac{\sqrt{d_{e1} \sin \delta_2}}{b} - \frac{355.6}{\sqrt{z_1^2 + z_2^2} m_e}$	

2.4 奥利康锥齿轮传动的几何尺寸计算(见表 4.6-13)

表 4.6-13 奥利康锥齿轮传动的几何尺寸计算($\Sigma = 90^\circ$)



名 称	代号	计算公式及说明	举 例
压力角	α_n	EN 刀盘: $\alpha_n = 20^\circ$, TC 刀盘: $\alpha_n = 17^\circ 30'$ FS、FSS 刀盘: α_n 可调, 最大 $\alpha_n = 25^\circ$	选用 EN 刀盘 $\alpha_n = 20^\circ$
齿数比	u	$u = z_2/z_1$, 按传动要求确定, 通常 $u = 1 \sim 10$	1.35
估算小轮大端 分度圆直径	d'_{e1}	d'_{e1} 根据强度计算(按表 4.6-26)或按结构确定	145.62 mm

(续)

名 称	代号	计算公式及说明	举 例
齿数	z	z_1 和 z_2 尽可能互质, 与刀片组数 z_0 也尽可能互质 $z_2 = uz_1, z_1 \geq 5$	$z_1 = 23$ $z_2 = 31$ 实际齿数比 $u = 1.3479$
大端端面模数	m_e	$m_e = d'_{e1}/z_1$	$m_e = 6.331\text{mm}$, 取 $m_e = 6.35\text{mm}$
分锥角	δ	$\delta_1 = \arctan(z_1/z_2) \quad \delta_2 = 90^\circ - \delta_1$	$\delta_1 = 36.573^\circ = 36^\circ 34' 22''$ $\delta_2 = 53.427^\circ = 53^\circ 25' 38''$
大端分度圆直径	d_e	$d_{e1} = z_1 m_e; \quad d_{e2} = z_2 m_e$	$d_{e1} = 146.05\text{mm}$ $d_{e2} = 196.85\text{mm}$
外锥距	R_e	$R_e = \frac{d_e}{2\sin\delta}$	122.56mm
齿宽系数	ϕ_R	$\phi_R = b/R_e = \frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$	$\phi_R = 0.26$
齿宽	b	$b = \phi_R R_e$, 圆整	32mm
中点分度圆直径	d_m	$d_m = d_e(1 - 0.5\phi_R)$	$d_{m1} = 126.983\text{mm}$ $d_{m2} = 171.152\text{mm}$
冠轮齿数	z_c	$z_c = z/\sin\delta$	38.6
小端锥距	R_i	$R_i = R_e - b$	90.56mm
EN 刀 盘 或 TC 刀 盘	基准点锥距	$R_p = R_e - 0.415b$	109.28mm
	中点螺旋角	$\beta_m = 30^\circ \sim 45^\circ$, 一般 $\beta_m = 35^\circ$	初选 $\beta_m = 35^\circ$ 小轮右旋, 大轮左旋
	初定基准点螺旋角	$\beta'_p = 0.914(\beta_m + 6^\circ)$	37.474°
	选择铣刀盘半径	根据 R_p 和 β'_p 按图 4.6-8 决定刀盘的半径 r_0 , 并按选用的 r_0 求出相应的螺旋角 β''_p , 然后由表 4.6-14 确定刀盘号和刀片组数 z_0	由图 4.6-8 确定 $r_0 = 70\text{mm}$, $\beta''_p = 39.5^\circ$, 由表 4.6-14 选刀盘号为 EN5-70, $z_0 = 5$
	选择刀片型号	根据 z_c 及 β''_p 按图 4.6-9 及表 4.6-14 确定刀片号, 并查出刀片平均节点半径 r_w 的平方值 r_w^2	由图 4.6-9 查出 A 点, 它介于 2 号与 3 号刀片之间, 由表 4.6-14 选 3 号刀片, $r_w^2 = 5039.24\text{mm}^2$
	基准点法向模数	$m_p = 2 \sqrt{\frac{R_p^2 - r_w^2}{z_c^2 - z_0^2}}$	4.3414mm
	基准点实际螺旋角	$\beta_p = \arccos \frac{m_p z_c}{2R_p}$	$39.938^\circ = 39^\circ 56'$
FS 刀 盘 或 FSS 刀 盘	基准点法向模数	硬齿面: $m_p = (0.1 \sim 0.14)b$ 调质钢软齿面: $m_p = (0.083 \sim 0.1)b$	4.2mm
	基准点螺旋角	$\beta_p = \arccos \left(\frac{z_c m_p}{d_e - b \sin\delta} \right)$ 要求 $\beta_p = 30^\circ \sim 45^\circ$	40.4712°
	铣刀盘名义半径	r_0	$r_0 = 88\text{mm}$, $z_0 = 13$ $h_{w0} = 119\text{mm}$, 刀盘 FS13-88R1 1.5-4.5 FS13-88L2 1.5-4.5
	刀齿组数	z_0	
	刀齿节点高度	h_{w0}	
	刀号		
齿高	h	$h = 2.15m_p + 0.35$	9.68mm
铣刀轴倾角	$\Delta\alpha$	应尽量使 δ_2 小于由图 4.6-11 所确定的 $\delta_{2\max}$, 这时 $\Delta\alpha = 0$ 。若 $\delta_2 > \delta_{2\max}$, 应通过加大螺旋角, 增加齿数, 降低齿顶高(最低可到 $0.9m_p$)等方法使 $\delta_2 < \delta_{2\max}$; 另外, 也可以通过倾斜铣刀轴的方法加大 $\delta_{2\max}$, 铣刀轴倾角 $\Delta\alpha$ 可为 $1^\circ 30'$ 或 3° , 其相应的 $\delta_{2\max}$ 见图 4.6-12 和图 4.6-13	由 $\frac{r_0}{h} = \frac{70}{9.684} = 7.2284$ 及 $\beta_p = 39^\circ 56'$ 查图 4.6-11 得 $\delta_{2\max} = 79^\circ 48' > \delta_2$ 故 $\Delta\alpha = 0$
径向变位系数	x	$z_1 \geq 16$ 时 $x_1 = 0$ $z_1 < 16$ 时 $x_1 \geq 1 - \frac{R_i}{m_p} \frac{z_1}{z_2} f - 0.35$ $f = \frac{\sin^2(\alpha_n - \Delta\alpha)}{\cos^2\beta_i}$ β_i —小端螺旋角, 查图 4.6-14。 $x_2 = -x_1$	因 $z_1 = 23 > 16$, $x_1 = x_2 = 0$

(续)

名 称	代号	计算公式及说明	举 例
齿顶高	h_a	$h_a = (1+x)m_p$	$h_{a1} = 4.34\text{mm}$ $h_{a2} = 4.34\text{mm}$
齿根高	h_f	$h_f = h - h_a$	$h_{f1} = 5.34 = h_{f2}\text{mm}$
切向变位系数	x_t	$x_{t1} = \frac{u-1}{50}$, 当 $u < 2$ 时, $x_{t1} = 0$ $x_{t2} = -x_{t1}$	$x_{t1} = x_{t2} = 0$
大端齿顶圆直径	d_{ae}	$d_{ae} = d_e + 2h_a \cos\delta$	$d_{ae1} = 153.02\text{mm}$ $d_{ae2} = 202.02\text{mm}$
锥顶到轮冠距离	A_K	$A_{K1} = \frac{d_{e2}}{2} + h_{a1} \sin\delta_1$ $A_{K2} = \frac{d_{e1}}{2} + h_{a2} \sin\delta_2$	$A_{K1} = 95.84\text{mm}$ $A_{K2} = 69.54\text{mm}$
安装距	A	按结构确定	$A_1 = 134\text{ mm}$, $A_2 = 145\text{ mm}$
大端螺旋角	β_e	参考图 4.6-15	由 $\beta_p = 39^\circ 56'$ 及 $\frac{R_e}{R_p} = 1.12$ 查得 $\beta_e = 47^\circ 54'$
大端分度圆齿厚	s_e	$s_{e1} = m_e \left(\frac{\pi}{2} + 2x_1 \frac{\tan\alpha_n}{\cos\beta_e} + x_{t1} \right)$ $s_{e2} = \pi m_e - s_{e1}$	$s_{e1} = 9.975\text{mm}$ $s_{e2} = 9.975\text{mm}$

注: 1. 用 EN 型、TC 型刀盘加工时, 奥利康锥齿轮的基准点在分度圆锥母线距大端 $0.415b$ (b 为齿宽) 处。齿宽中点分

度圆螺旋角 β_m 由 $\frac{R_m}{R_p}$ 和 β_p 查图 4.6-14 或图 4.6-15 确定。齿宽中点端面模数 $m_m = m_e(1 - 0.5\phi_R)$, 齿宽中点法向模数 $m_{nm} = m_m / \cos\beta_m$ 。

2. 用 FS 型、FSS 型刀盘加工时, 基准点在分度圆锥母线齿宽中点处。齿宽中点分度圆螺旋角 $\beta_m = \beta_p$, 齿宽中点法向模数 $m_{nm} = m_p$, 齿宽中点端面模数 $m_m = m_{nm} / \cos\beta_m$ 。

3. 表中算例以 EN 型刀盘计算。FS、FSS 刀盘栏中数据作为样例。

4. 对于 EN 型、TC 型刀盘, EN 型刀盘工作转速高, 铣齿效率高, 改善齿面粗糙度, 利于去毛刺。

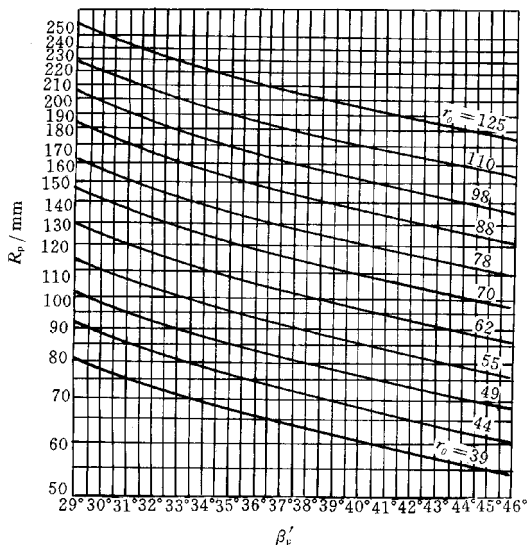


图 4.6-8 选择奥利康锥齿铣刀盘用的线图 (EN、TC 刀盘)

例 当 $R_p = 110\text{mm}$ 、 $\beta'_p = 37.5^\circ$ 时, 查得 r_0 在 62 和 70 之间 (靠近 70), 选取标准刀盘半径 $r_0 = 70\text{mm}$, 则对应的螺旋角 $\beta''_p = 39.5^\circ$ 。

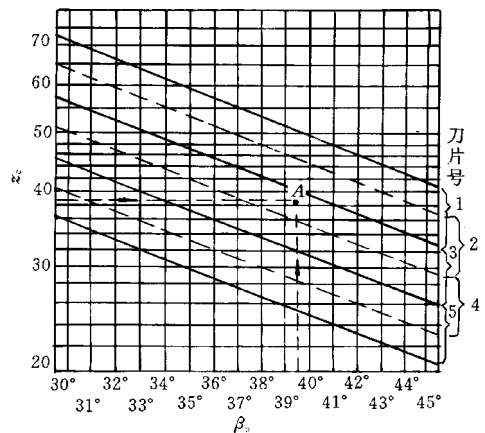


图 4.6-9 选择奥利康锥齿轮刀片型号用的线图 (EN、TC 刀盘)

例 选用 EN5-70 刀盘时, $z_c = 38.6$, $\beta''_p = 39.5^\circ$, 其交点 A 介于 3 号及 2 号刀片之间, 由表 4.6-13 选为 3 号刀片, 即刀片号为 70/3。

表 4. 6-14 EN 型及 TC 型刀盘及刀片参数 (mm)

刀盘号	刀片组数 z_0	刀盘半径 r_0		刀片号	基准点法向模数 m_p		滚动圆半径 E_{hw}	刀片平均节点半径的平方 r_w^2	EN 型刀尖圆角半径 r_{hw}
		公称值	使用范围		公称值	使用范围			
EN3-39 TC3-39	3	39	36.7 ~ 41.3	39/2 39/3 39/5	2.35 2.65 3.35	2.1 ~ 2.65 2.35 ~ 3.00 3.0 ~ 3.75	3.5 4 5	1533.25 1537 1546	0.70 0.75 0.90
EN4-44 TC4-44	4	44	41.3 ~ 46.6	44/1 44/3 44/5	2.35 3.00 3.75	2.1 ~ 2.65 2.65 ~ 3.35 3.35 ~ 4.25	4.7 6 7.5	1958.09 1972 1992.25	0.70 0.80 0.95
EN4-49 TC4-49	4	49	46.6 ~ 51.9	49/1 49/3 49/5	2.65 3.35 4.25	2.35 ~ 3.00 3.0 ~ 3.75 3.75 ~ 4.75	5.3 6.7 8.4	2429.09 2445.89 2471.56	0.75 0.90 1.05
EN4-55 TC4-55	4	55	51.9 ~ 58.3	55/1 55/3 55/5	3.00 3.75 4.75	2.65 ~ 3.35 3.35 ~ 4.25 4.25 ~ 5.3	6 7.5 9.5	3061 3081.25 3115.25	0.80 0.95 1.15
EN5-62 TC5-62	5	62	58.3 ~ 65.7	62/1 62/3 62/5	3.35 4.25 5.3	3.0 ~ 3.75 3.75 ~ 4.75 4.75 ~ 6.0	8.4 10.5 13.3	3914.56 3954.25 4020.89	0.90 1.05 1.25
EN5-70 TC5-70	5	70	65.7 ~ 74.2	70/1 70/3 70/5	3.75 4.75 6.0	3.35 ~ 4.25 4.25 ~ 5.3 5.3 ~ 6.7	9.4 11.8 14.9	4988.36 5039.24 5122.01	0.95 1.15 1.40
EN5-78 TC5-78	5	78	74.2 ~ 82.7	78/1 78/3 78/5	4.25 5.3 6.7	3.74 ~ 4.75 4.75 ~ 6.0 6.0 ~ 7.5	10.5 13.3 16.7	6194.25 6260.89 6362.89	1.05 1.25 1.50
EN5-88 TC5-88	5	88	82.7 ~ 93.2	88/1 88/3 88/5	4.75 6.0 7.5	4.25 ~ 5.3 5.3 ~ 6.7 6.7 ~ 8.5	11.8 14.9 18.7	7883.24 7966.01 8093.69	1.15 1.40 1.65
EN5-98 TC5-98	5	98	93.2 ~ 103.9	98/1 98/3 98/5	5.3 6.7 7.5	4.75 ~ 6.0 6.0 ~ 7.5 6.7 ~ 8.5	13.3 16.7 18.7	9780.89 9882.89 9953.69	1.25 1.50 1.65
EN6-110 TC5-110	6	110	103.9 ~ 116.6	110/1 110/3	6.0 7.5	5.3 ~ 6.7 6.7 ~ 8.5	17.9 22.5	12420.41 12606.25	1.40 1.65
EN7-125 TC5-125	7	125	116.6 ~ 132.5	125/1 125/2	6.7 7.5	6.0 ~ 7.5 6.7 ~ 8.5	23.4 26.2	16172.56 16311.44	1.50 1.65

表 4. 6-15 FS 型刀盘参数 (模数 1.5 ~ 4.5mm)

刀片组数	名义半径	旋向		刀盘规格	节点高度	刀片组数	名义半径	旋向		刀盘规格	节点高度
					h_{w0}/mm						h_{w0}/mm
5	39	左旋	—	FS 5-39 L1 1.5-3.75	119	11	74	左旋	—	FS 11-74 L1 1.5-4.5	119
		—	右旋	FS 5-39 R2 1.5-3.75				—	右旋	FS 11-74 R2 1.5-4.5	
		右旋	—	FS 5-39 R1 1.5-3.75				右旋	—	FS 11-74 R1 1.5-4.5	
		—	左旋	FS 5-39 L2 1.5-3.75				—	左旋	FS 11-74 L2 1.5-4.5	
7	49	左旋	—	FS 7-49 L1 1.5-4.5	119	13	88	左旋	—	FS 13-88 L1 1.5-4.5	119
		—	右旋	FS 7-49 R2 1.5-4.5				—	右旋	FS 13-88 R2 1.5-4.5	
		右旋	—	FS 7-49 R1 1.5-4.5				右旋	—	FS 13-88 R1 1.5-4.5	
		—	左旋	FS 7-49 L2 1.5-4.5				—	左旋	FS 13-88 L2 1.5-4.5	

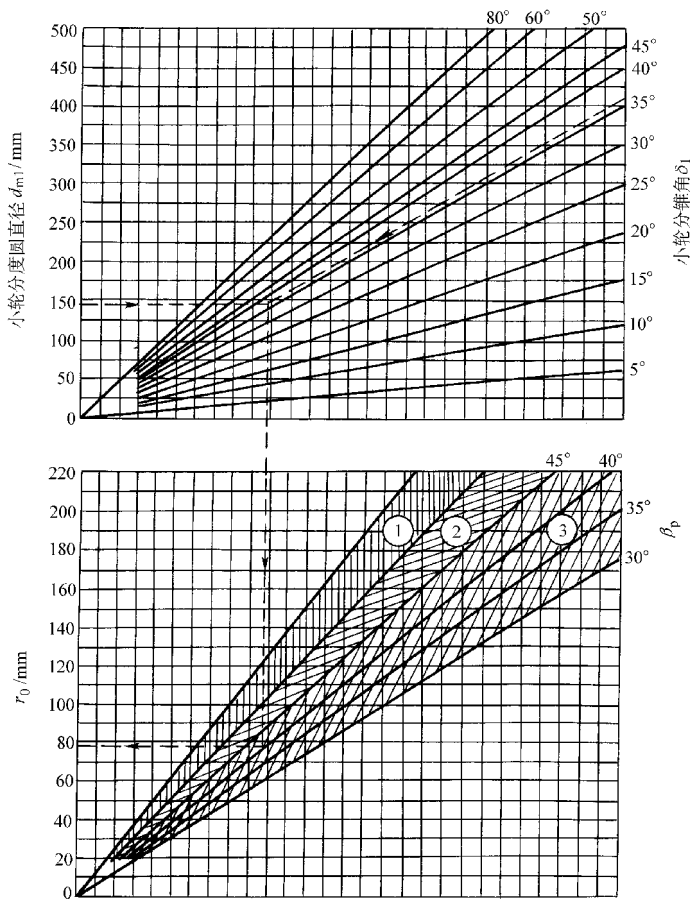


图 4.6-10 选择奥利康刀盘半径 r_0 用的线图 (FS、FSS 刀盘)

- ① 区优先考虑低噪声运行(准双曲面齿轮大轮偏置角 $\eta > 25^\circ$)。
- ② 区优先考虑低噪声运行(准双曲面齿轮大轮偏置角 $\eta < 25^\circ$)。
- ③ 区优先考虑承载能力较高。

表 4.6-16 FS 型刀盘参数(模数 4.5~8.5mm) (续)

刀片组数	名义半径	旋 向		刀 盘 规 格	节点高度
z_0	r_0/mm				h_{w0}/mm
5	62	左旋	—	FS 5-62 L1 4.5-7.5	124
		—	右旋	FS 5-62 R2 4.5-7.5	
		右旋	—	FS 5-62 R1 4.5-7.5	
		—	左旋	FS 5-62 L2 4.5-7.5	
7	88	左旋	—	FS 7-88 L1 4.5-8.5	124
		—	右旋	FS 7-88 R2 4.5-8.5	
		右旋	—	FS 7-88 R1 4.5-8.5	
		—	左旋	FS 7-88 L2 4.5-8.5	
11	140	左旋	—	FS 11-140 L1 4.5-8.5	109
		—	右旋	FS 11-140 R2 4.5-8.5	
		右旋	—	FS 11-140 R1 4.5-8.5	
		—	左旋	FS 11-140 L2 4.5-8.5	
13	160	左旋	—	FS 13-160 L1 4.5-8.5	109
		—	右旋	FS 13-160 R2 4.5-8.5	
		右旋	—	FS 13-160 R1 4.5-8.5	
		—	左旋	FS 13-160 L2 4.5-8.5	

(续)

刀片 组数	名义 半径	旋 向		刀 盘 规 格	节点 高度
	z_0				h_{w0}/mm
13	181	左旋	—	FS 13-180 L1 4.5-8.5	109
		—	右旋	FS 13-180 R2 4.5-8.5	
		右旋	—	FS 13-180 R1 4.5-8.5	
		—	左旋	FS 13-180 L2 4.5-8.5	

表 4.6-17 FSS 型刀盘参数(模数 5.0 ~ 10.0mm)

刀片 组数	名义 半径	旋 向		刀 盘 规 格	节点 高度
	z_0				h_{w0}/mm
11	160	左旋	—	FSS 11-160 L1 5.0-10.0	116
		—	右旋	FSS 11-160 R2 5.0-10.0	
		右旋	—	FSS 11-160 R1 5.0-10.0	
		—	左旋	FSS 11-160 L2 5.0-10.0	
13	181	左旋	—	FSS 13-181 L1 5.0-10.0	116
		—	右旋	FSS 13-181 R2 5.0-10.0	
		右旋	—	FSS 13-181 R1 5.0-10.0	
		—	左旋	FSS 13-181 L2 5.0-10.0	

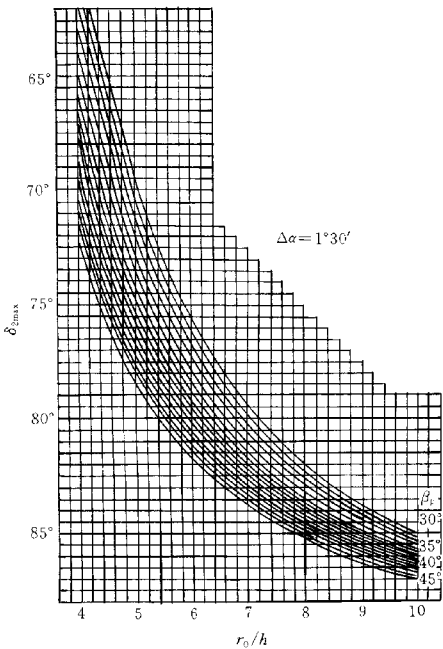


图 4.6-12 刀轴倾斜角 $\Delta\alpha = 1^\circ 30'$ 时所能加工的奥利康锥齿轮最大分锥角 $\delta_{2\max}$

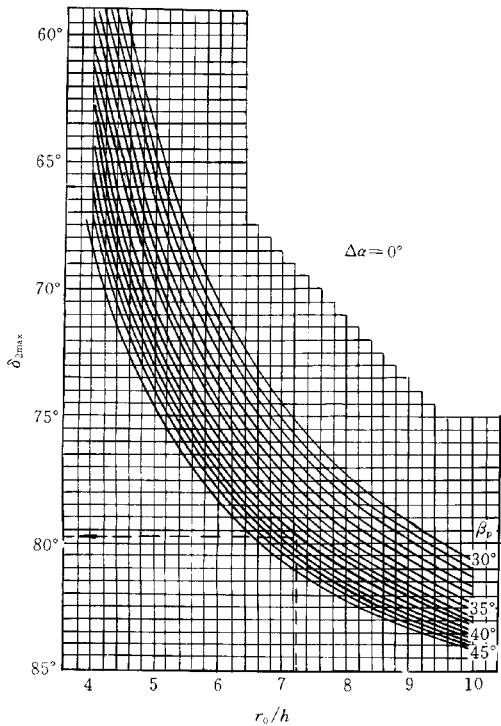


图 4.6-11 刀轴不倾斜时($\Delta\alpha = 0^\circ$)所能加工的奥利康锥齿轮最大分锥角 $\delta_{2\max}$

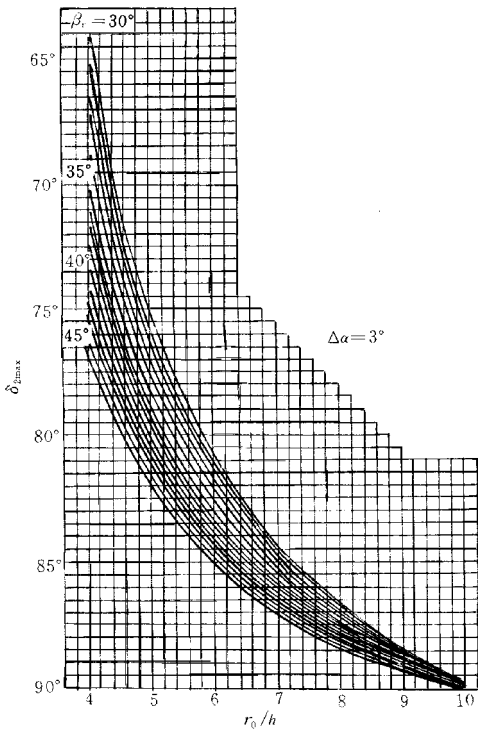
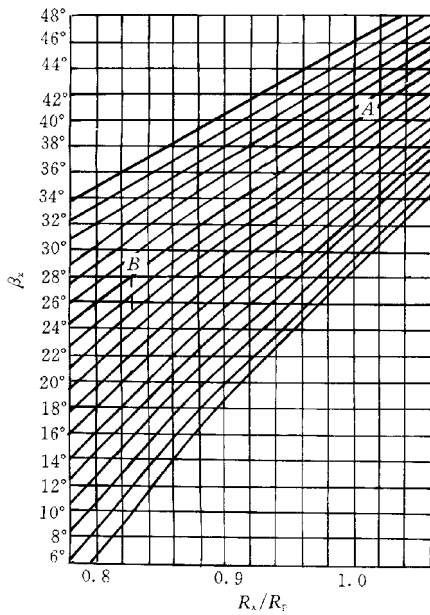
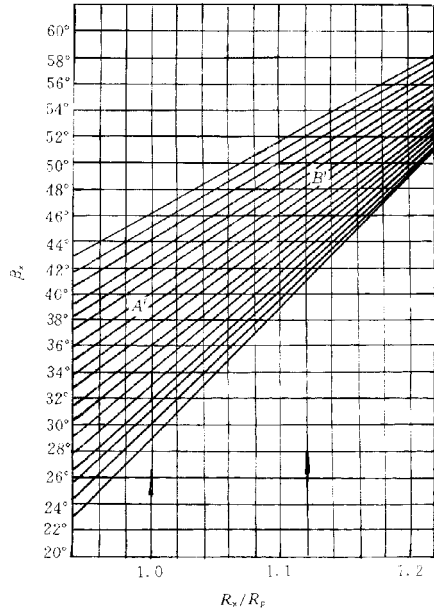


图 4.6-13 刀轴倾斜角 $\Delta\alpha = 3^\circ$ 时所能加工的奥利康锥齿轮最大分锥角 $\delta_{2\max}$

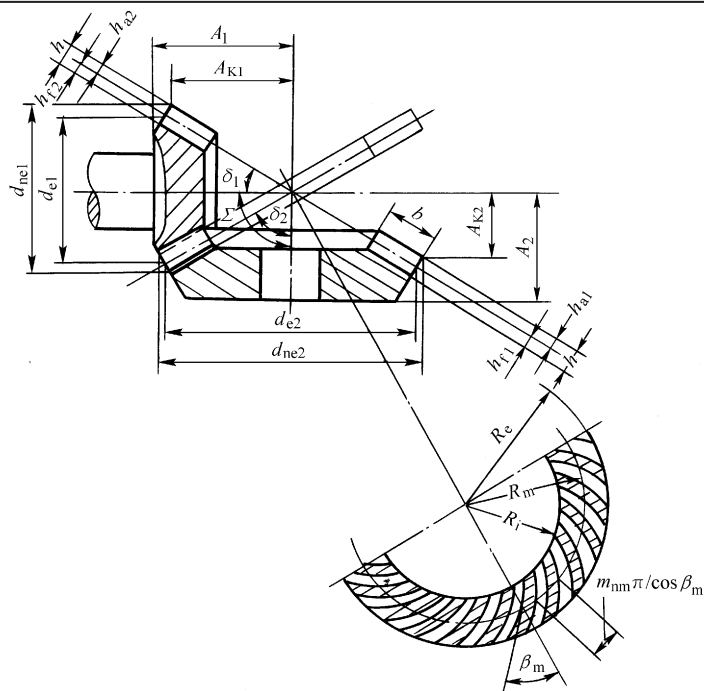
图 4.6-14 奥利康锥齿轮靠近小端任意点螺旋角 β_x

例 已知 $\beta_p = 39^\circ 56'$ ，求 $\frac{R_x}{R_p} = 0.829$ 处的 β_x 。先由 $\frac{R_x}{R_p} = 1$ 和 $\beta_p = 39^\circ 56'$ 确定 A 点，由 A 点沿图中曲线方向去和横坐标 $\frac{R_x}{R_p} = 0.829$ 的垂线相交，其交点 B 的纵坐标即为 $\beta_x = 27.8^\circ$ 。

图 4.6-15 奥利康锥齿轮靠大端任意点的螺旋角 β_x

例 已知 $\beta_p = 39^\circ 56'$ ，求 $\frac{R_x}{R_p} = 1.12$ 处的 β_x 。由 $\frac{R_x}{R_p} = 1$ 和 $\beta_p = 39^\circ 56'$ 确定 A' 点，由 A' 点沿图中曲线方向去和横坐标 $\frac{R_x}{R_p} = 1.12$ 的垂线相交，其交点 B' 的纵坐标即为 $\beta_x = 47.9^\circ$ 。

2.5 克林根贝尔格锥齿轮传动的几何尺寸计算(见表 4.6-18)

表 4.6-18 克林根贝尔格锥齿轮传动几何尺寸计算($\Sigma = 90^\circ$)

(续)

名 称	代号	计算公式及说明	算 例
齿形角	α_n	$\alpha_n = 20^\circ$	20°
齿数比	u	按传动要求确定, 通常 $u = 1 \sim 10$	5.486
估算大端分度圆直径	d_e	d_{e1} 根据强度计算(表 4.6-26)或结构确定	$d_{e1} = 130\text{mm}$, 详见例 4.6-2
分锥角	δ	$\delta_1 = \arctan(1/u)$ $\delta_2 = 90^\circ - \delta_1$	$\delta_1 = 10.3311^\circ$ $\delta_2 = 79.6689^\circ$
外锥距	R_e	$R_e = d_e/2\sin\delta$	362.447mm
齿宽系数	ϕ_R	轻载和中载传动: $\phi_R = 0.2 \sim 0.286$; 重载传动: $\phi_R = 0.286 \sim 0.333$	初取 $\phi_R = 0.286$
齿宽	b	$b = \phi_R R_e$, 圆整	105mm
中点法向模数	m_{nm}	硬齿面: $m_{nm} = (0.1 \sim 0.14)b$ 调质钢软齿面: $m_{nm} = (0.083 \sim 0.1)b$	10.5mm
初定中点螺旋角	β_m	一般 $\beta_m = 30^\circ \sim 45^\circ$, 常用 $\beta_m = 35^\circ$	35°
选择刀盘、刀片参数		由图 4.6-16 和图 4.6-17 根据中点法向模数 m_{nm} 选择机床、刀盘半径 r_0 , 刀片模数 m_0 和刀片组数 z_0	AMK852 机床, $r_0 = 210\text{mm}$, $m_0 = 10\text{mm}$, $z_0 = 5$
齿数	z	$z_1 = \frac{(d_{e1} - b\sin\delta_1)\cos\beta_m}{m_{nm}}$, 圆整。 $z_2 = uz_1$, 圆整。 z_1, z_2 和刀片组数 z_0 三者尽可能互质	$z_1 = 8.68$, 取 $z_1 = 9, z_2 = 49$
实际齿数比	u	$u = z_2/z_1$	5.4444
实际分锥角	δ	$\delta_1 = \arctan \frac{1}{u}, \delta_2 = 90^\circ - \delta_1$	$\delta_1 = 10.40771 = 10^\circ 24' 28''$ $\delta_2 = 79.59230 = 79^\circ 35' 32''$
实际外锥距	R_e	$R_e = d_{e1}/2\sin\delta_1$	359.8088
实际齿宽系数	ϕ_R	$\phi_R = b/R_e$	0.29182
大轮大端分度圆直径	d_{e2}	$d_{e2} = ud_{e1}$	707.7778mm
刀盘平面倾角	θ_k	当齿轮分锥角大和小端有轴伸时(图 4.6-18), 应检查加工时刀盘是否与轴伸相干涉。若相干涉, 应把刀盘板一倾角 θ_k 。 $\theta_k \leq \pm 4^\circ $	$\theta_k = 0^\circ$
中点锥距	R_m	$R_m = R_e - 0.5b\cos\theta_k$	307.3088mm
内锥距	R_i	$R_i = R_e - b\cos\theta_k$	254.8088mm
假想平面齿轮齿数	z_c	$z_c = z/\sin\delta$	49.81968
实际中点螺旋角	β_m	$\beta_m = \arccos \frac{m_{nm}z_c}{2R_m}$	$31.6675^\circ = 31^\circ 40' 3''$
机床距(图 4.6-19)检验	M_d	$M_d = \sqrt{R_m^2 + r_0^2 - 2R_mr_0\sin(\beta_m - \gamma)}$ 式中: 刀盘导程角 $\gamma = \arcsin \frac{m_{nm}z_0}{2r_0}$ 要求 $M_{dmin} < M_d < M_{dmax}$ 。 M_{dmin} 和 M_{dmax} 见表 4.6-19	AMK852 机床 $M_{dmin} = 0, M_{dmax} = 440\text{mm}$ 。 $M_d = 291.62 < 440\text{mm}$, 可以在 AMK852 型铣齿机上加工
基圆半径	r_b	$r_b = \frac{M_d}{1 + \frac{z_0}{z_c}}$	265.0208mm
R_e 处辅助角	φ_e	$\varphi_e = \arccos \frac{R_e^2 + M_d^2 - r_0^2}{2R_eM_d}$	$35.70706^\circ = 35^\circ 42' 25''$
R_i 处辅助角	φ_i	$\varphi_i = \arccos \frac{R_i^2 + M_d^2 - r_0^2}{2R_eM_d}$	$44.57146^\circ = 44^\circ 34' 17''$
大端螺旋角	β_e	$\beta_e = \arctan \frac{R_e - r_b\cos\varphi_e}{r_b\sin\varphi_e}$	$43.07324^\circ = 43^\circ 4' 24''$
小端螺旋角	β_i	$\beta_i = \arctan \frac{R_i - r_b\cos\varphi_i}{r_b\sin\varphi_i}$	$19.54145^\circ = 19^\circ 32' 29''$
大端法向模数	m_{ne}	$m_{ne} = \frac{2R_e\cos\beta_e}{z_c}$	10.5514mm

(续)

名 称	代号	计算公式及说明	算 例
小端法向模数	m_{ni}	$m_{ni} = 2R_i \cos \beta_i / z_c$	9.64mm
模数检验		若满足 m_{ne} 大于 m_{nm} 和 m_{ni} , 轮齿厚比例正常, 否则应重新设计	$m_{ne} = 10.5514 > m_{nm} = 10.5$ $m_{ne} = 10.5514 > m_{ni} = 9.64$, 通过
法向齿槽最大处的锥距	R_y	$R_y = \sqrt{\left(\frac{z_c - z_0}{z_c + z_0}\right)^2 M_d^2 + r_0^2}$	337.0884mm
齿高系数	h_a^*	$h_a^* = 1.0$	1.0
刀具齿顶高	h_{a0}	$h_{a0} = 1.25h_a^* m_{nm}$	13.125mm
切向变位系数	x_i	为平衡两轮齿根弯曲强度, 一般取 $x_{i1} = 0.05$, 当小轮齿根弯曲强度足够时取 $x_{i1} = 0$ 。 $x_{i2} = -x_{i1}$	$x_{i1} = 0.05$ $x_{i2} = -0.05$
辅助值	H_w	$H_w = 2(x_{i1} m_{nm} + h_{a0} \tan \alpha_n)$	10.604mm
法向最大齿槽宽 见图 4.6-20	E_{nmax}	当 $R_i < R_y < R_c$, $E_{nmax} = \max[E_{ny1}, E_{ny2}]$; 当 $R_y > R_c$, $E_{nmax} = \max[E_{ne1}, E_{ne2}]$ 。 这里: $E_{ny1} = \frac{\pi r_b}{z_c} - H_w$; $E_{ny2} = E_{ny1} + 4x_{i1} m_{nm}$ $E_{ne1} = \frac{\pi m_{ne}}{2} - H_w$; $E_{ne2} = E_{ne1} + 4x_{i1} m_{nm}$	8.2078mm
法向最小齿槽宽	E_{nmin}	$E_{nmin} = \max[E_{ni1}, E_{ni2}]$; 这里: $E_{ni1} = \frac{\pi m_{ni}}{2} - H_w$; $E_{ni2} = E_{ni1} + 4x_{i1} m_{nm}$	4.538mm
大端槽底检验		若 $E_{nmax} < k_e E_{nmin}$, 槽底不留脊。否则槽底切削不完全, 应重新设计。 $z_0 = 3, k_e = 3; z_0 = 5, k_e = 3.8$	$E_{nmax} = 8.2078\text{mm} < k_e E_{nmin} = 17.246\text{mm}$, $k_e = 3.8$, 通过
小端二次切削检验		若 $E_{nmin} > 0.2m_{nm}$, 不发生二次切削。否则, 小端二次切削、降低强度, 应重新设计	$E_{nmin} = 4.538\text{mm} > 0.2m_{nm} = 2.1\text{mm}$ 通过
不产生根切的径向变位系数	x_g	$x_g = 1.1h_a^* - \frac{m_{ni} z_{vil} \sin^2 \alpha_n + b \sin \theta_k}{2m_{nm}}$ 式中: $z_{vil} = z_1 / \cos \delta_1 \cos^3 \beta_i$	$z_{vil} = 10.93306$ $x_g = 0.5129103$
径向变位系数	x	x_1 求法如下 $f(x_1) = \frac{u^2}{\sqrt{[1 + k(h_a^* - x_1)]^2 - \cos^2 \alpha_{tm}}} - \frac{1}{\sqrt{[1 + u^2 k(h_a^* + x_1)]^2 - \cos^2 \alpha_{tm}}} - \frac{u^2 - 1}{\sin \alpha_{tm}}$ $f'(x_1) = \frac{u^2 k[1 + k(h_a^* - x_1)]}{(\sqrt{[1 + k(h_a^* - x_1)]^2 - \cos^2 \alpha_{tm}})^3} + \frac{u^2 k[1 + u^2 k(h_a^* + x_1)]}{(\sqrt{[1 + u^2 k(h_a^* + x_1)]^2 - \cos^2 \alpha_{tm}})^3}$ $(x_1)_{n+1} = (x_1)_n - \frac{f(x_1)_n}{f'(x_1)_n}$ 由 $n = 1$ 开始迭代计算, 初值 $(x_1)_1 = x_g$, 计算精度为 $ (x_1)_{n+1} - (x_1)_n \leq 0.01$ 。取 $x_1 \geq \max[(x_g, x_1)_n]$ 式中: $k = \frac{2 \cos \beta_m}{z_2 \sqrt{u^2 + 1}}$ $\alpha_{tm} = \arctan \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta_m}$ $x_2 = -x_1$	$k = 0.00628$ $\alpha_{tm} = 23.1536^\circ$ $ (x_1)_2 - (x_1)_1 = 0.5138922 - 0.5129103 = 0.000982 < 0.01$ 取 $x_1 = 0.515$ $x_2 = -0.515$
齿顶高	h_a	$h_{a1} = (h_a^* + x_1) m_{nm}$ $h_{a2} = (h_a^* + x_2) m_{nm}$	$h_{a1} = 15.9075\text{mm}$ $h_{a2} = 5.0925\text{mm}$
全齿高	h	$h = h_{a0} + h_a^* m_{nm} = 2.25h_a^* m_{nm}$	23.625mm
当量齿轮齿数	z_{vn}	$z_{vn} = z / \cos \delta_n \cos^3 \beta_m$	$z_{vn1} = 14.842$ $z_{vn2} = 439.946$
工艺分锥角	δ_E	$\delta_{E1} = \delta_1 - \theta_k$, $\delta_{E2} = \delta_2 + \theta_k$	$\delta_{E1} = 10.40771^\circ = 10^\circ 24' 28''$ $\delta_{E2} = 79.5923^\circ = 79^\circ 35' 32''$

(续)

名 称	代号	计算公式及说明	算 例
刀盘干涉检验 (见图 4.6-21)		若满足 $M_A < r_0 + h_{a0} \tan \alpha_n$ 和 $M_B < r_0 + h_{a0} \tan \alpha_n$ 则不发生刀盘干涉。否则发生刀盘干涉;应选用较大的刀盘半径 r_0 式中: $M_A = \sqrt{(X_A - X_M)^2 + (Y_A - Y_M)^2}$ $M_B = \sqrt{(X_B - X_M)^2 + (Y_B - Y_M)^2}$ $X_M = M_d \sin(\varphi_e - \lambda)$ $Y_M = M_d \cos(\varphi_e - \lambda)$ $\lambda = \frac{[h_{a0} + x_1 m_{nm} - 0.5 b \sin \theta_k] \operatorname{ctg} \alpha_n + h_{a0} \tan \alpha_n}{R_e}$ $X_A = \sqrt{2h(R_e + \tan \delta_{E2} + h_{a2} - \Delta h) - (h/\cos \delta_{E2})^2}$ $Y_A = R_e - h \tan \delta_{E2}$ $X_B = \sqrt{2h(R_i \tan \delta_{E2} + h_{a2} - \Delta h) - (h/\cos \delta_{E2})^2}$ $Y_B = R_i - h \tan \delta_{E2}$ $\Delta h = R_m \tan \theta_k \cos \delta_{E2}$	$\Delta h = 0$ $\lambda = 8.8688^\circ$ $X_M = 131.6582 \text{ mm}$ $Y_M = 260.207 \text{ mm}$ $X_A = 275.134 \text{ mm}$ $Y_A = 231.1838 \text{ mm}$ $X_B = 220.653 \text{ mm}$ $Y_B = 126.184 \text{ mm}$ $M_A = 146.382 \text{ mm}$ $M_B = 160.880 \text{ mm}$ $r_0 + h_{a0} \tan \alpha_n = 214.777 \text{ mm}$ M_A 和 M_B 均小于 $r_0 + h_{a0} \tan \alpha_n$ 通过,刀盘不干涉
小齿轮坯修正检验		若满足未修正的小轮小端齿顶弧齿厚 $s_{\text{ani}} \geq 0.3m_{\text{nm}}$,不修正,否则齿顶太薄,应作修正 式中: $s_{\text{ani}} = \psi_{\text{ani}} d_{\text{ani}}$ $d_{\text{ani}} = m_{\text{ni}} z_{\text{vil}} + 2(h_{\text{ap}}^* + x_1) m_{\text{nm}}$ $\psi_{\text{ani}} = \psi_{\text{ni}} + \operatorname{inv} \alpha_n - \operatorname{inv} \alpha_{\text{ani}}$ $\psi_{\text{ni}} = \frac{\pi m_{\text{ni}} + 4m_{\text{nm}}(x_{\text{tl}} + x_1 \tan \alpha_n)}{2m_{\text{ni}} z_{\text{vil}}}$ $\alpha_{\text{ani}} = \arccos \left(\frac{m_{\text{ni}} z_{\text{vil}} \cos \alpha_n}{d_{\text{ani}}} \right)$	$d_{\text{ani}} = 137.2101 \text{ mm}$ $\psi_{\text{ani}} = 0.011438 \text{ rad}$ $\psi_{\text{ni}} = 0.190985 \text{ rad}$ $\alpha_{\text{ani}} = 0.76439 \text{ rad}$ $s_{\text{ani}} = 1.569 \leq 0.3m_{\text{nm}} = 3.15$ 小齿轮坯应作修正
小齿轮坯修正计算齿高修正量、齿长修正量 (见图 4.6-22)	$k_c m_{\text{nm}}$ b_{kc}	k_c 求法如下 $d_{\text{anic}} = d_{\text{ani}} = 2k_c m_{\text{nm}}$ $\alpha_{\text{anic}} = \arccos \left(\frac{m_{\text{ni}} z_{\text{vil}} \cos \alpha_n}{d_{\text{anic}}} \right)$ $\psi_{\text{nie}} = \frac{\pi m_{\text{ni}} + 4m_{\text{nm}}(x_{\text{tl}} + x_1 \tan \alpha_n)}{2m_{\text{ni}} z_{\text{vil}}}$ $\psi_{\text{anic}} = \psi_{\text{nie}} + \operatorname{inv} \alpha_n - \operatorname{inv} \alpha_{\text{anic}}$ $\Delta k_c = \frac{0.3 - s_{\text{anic}}/m_{\text{nm}}}{2 \tan(\alpha_{\text{anic}} - \psi_{\text{anic}})}$ 从 $n=1$、初值 $(k_c)_1 = \frac{0.3 - s_{\text{ani}}/m_{\text{nm}}}{2 \tan(\alpha_{\text{ani}} - \psi_{\text{ani}})}$ 开始迭代计算,以后的 k_c 用 $(k_c)_{n+1} = (k_c)_n + (\Delta k)_n$,直到 $(s_{\text{anic}})_n \geq 0.3m_{\text{nm}}$ 为止。$k_c = (k_c)_n$。齿高修正量为 $k_c m_{\text{nm}}$ b_{kc} 求法如下 $b_{\text{kc}} = \frac{b'_k}{\cos(\delta_{\text{akl}} - \delta_{\text{E1}})}$ $\delta_{\text{akl}} = \delta_{\text{E1}} + \arctan \left(\frac{k_c m_{\text{nm}}}{b'_k} \right)$ $b'_k = \frac{b(0.3m_{\text{nm}} - s_{\text{ani}})}{2(s_{\text{anm}} - s_{\text{ani}})}$ $s_{\text{anm}} = \psi_{\text{anm}} d_{\text{anm}}$ $d_{\text{anm}} = m_{\text{nm}} z_{\text{vil}} + 2(h_a^* + x_1) m_{\text{nm}}$ $\psi_{\text{anm}} = \psi_{\text{nm}} + \operatorname{inv} \alpha_n - \operatorname{inv} \alpha_{\text{anm}}$ $\psi_{\text{nm}} = \frac{\pi + 4(x_{\text{tl}} + x_1 \tan \alpha_n)}{2z_{\text{vil}}}$ $\alpha_{\text{anm}} = \arccos \left(\frac{m_{\text{ni}} z_{\text{vil}} \cos \alpha_n}{d_{\text{anm}}} \right)$	$(s_{\text{anic}})_2 = 3.15029 > 0.3m_{\text{nm}} = 3.15 \text{ mm}$ $k_c = 0.08103$ $k_c m_{\text{nm}} = 0.851 \text{ mm}$ $\alpha_{\text{anm}} = 0.67553 \text{ rad}$ $\psi_{\text{nm}} = 0.13783 \text{ rad}$ $\psi_{\text{anm}} = 0.02697 \text{ rad}$ $s_{\text{anm}} = 5.0616 \text{ mm}$ $b'_k = 23.7614 \text{ mm}$ $\delta_{\text{akl}} = 12.4584^\circ$ $b_{\text{kc}} = 23.777 \text{ mm}$
中点分度圆直径	d_m	$d_m = d_e - b \cos \theta_k \sin \delta_E$	$d_{m1} = 111.0316 \text{ mm}$ $d_{m2} = 604.505 \text{ mm}$
大端齿顶圆直径	d_{ae}	$d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{a1} \cos \delta_{E1} - b \sin \theta_k \cos \delta_{E1}$ $d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{a2} \cos \delta_{E2} + b \sin \theta_k \cos \delta_{E2}$	$d_{ae1} = 161.2916 \text{ mm}$ $d_{ae2} = 709.6178 \text{ mm}$
小端齿顶圆直径	d_{ai}	$d_{ai} = d_{ae} - 2b \cos \theta_k \sin \delta_E$	$d_{ai1} = 123.3547 \text{ mm}$ $d_{ai2} = 503.0729 \text{ mm}$

(续)

名 称	代号	计算公式及说明	算 例
小齿轮坯修正后小端齿顶圆直径	d_{aie1}	$d_{aie1} = d_{a1} - 2k_c m_{nm} \cos \delta_{E1}$	121.6811mm
轮冠到轴相交点的距离	A_K	$A_{K1} = \frac{d_{e2}}{2} - h_{a1} \sin \delta_{E1} + \frac{b}{2} \sin \theta_k \sin \delta_{E1}$ $A_{K2} = \frac{d_{e1}}{2} - h_{a2} \sin \delta_{E2} - \frac{b}{2} \sin \theta_k \sin \delta_{E2}$	$A_{K1} = 351.0152\text{mm}$ $A_{K2} = 59.9913\text{mm}$
实际齿宽	$\bar{b}$	$\bar{b} = b \cos \theta_k$	$\bar{b} = 105\text{mm}$
安装距	A	按结构确定	$A_1 = 400\text{mm}; A_2 = 180\text{mm}$
中点分度圆处的法向弦齿厚	$\bar{s}_n$	$\bar{s}_n = m_{nm} z_{vn} \sin \psi_{nm}$ 式中: $\psi_{nm} = \frac{180^\circ}{z_v \pi} \left(\frac{\pi}{2} + 2x_t + 2x_t \tan \alpha_n + \frac{j_t}{2m_{nm}} \cos \beta_m + \frac{2j_s}{m_{nm}} \right)$ j_t —中点齿侧间隙, $j_t = 0.14 \sim 0.45\text{mm}$ j_s —精加工时单面留量, $j_s = 0.2 \sim 0.3\text{mm}$	取 $j_t = 0.3\text{mm}, j_s = 0.2\text{mm}$ $\psi_{nm1} = 8.091141^\circ$ $\psi_{nm2} = 0.149269^\circ$ $\bar{s}_{n1} = 21.9343\text{mm}$ $\bar{s}_{n2} = 12.0347\text{mm}$
中点分度圆处的法向弦齿高	$\bar{h}_n$	$\bar{h}_n = h_a + \frac{m_{nm} z_{vn} (1 - \cos \psi_{nm})}{2}$	$\bar{h}_{n1} = 16.6832\text{mm}$ $\bar{h}_{n2} = 5.1002\text{mm}$

表 4.6-19 克林根贝尔格锥齿轮铣齿机床距许用范围

(mm)

机床型号	FK41B	AMK250	AMK400	AMK630/650	KNC40/60	AMK850/852	AMK855	AMK1602
M_{dmin}	0							250
M_{dmax}	70	150	250	280	290	400	460	900

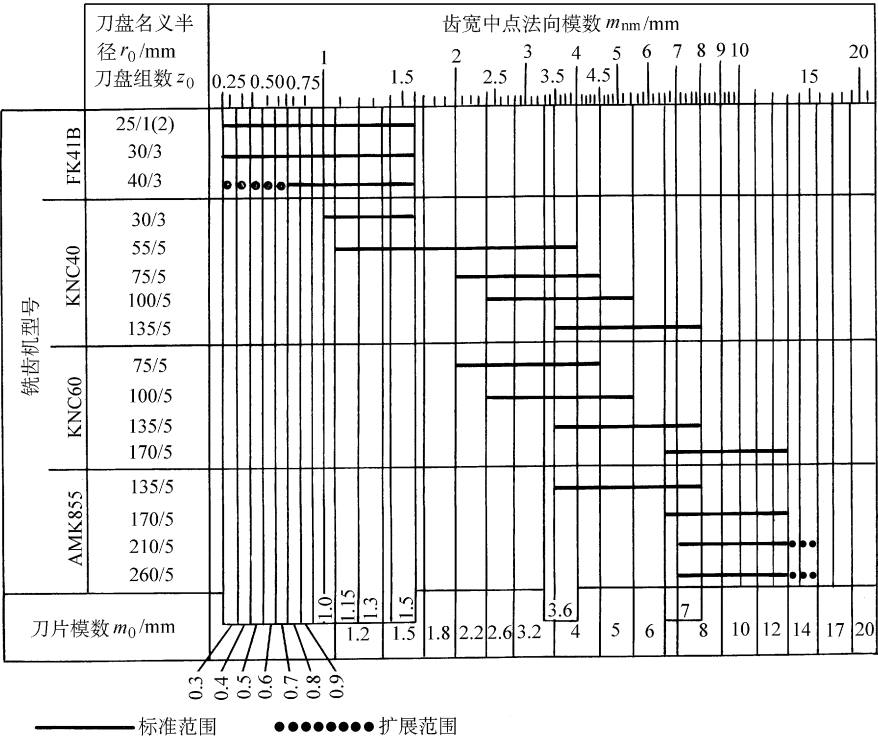


图 4.6-16 克林根贝尔格锥齿轮铣齿机刀盘参数选择用图(一)

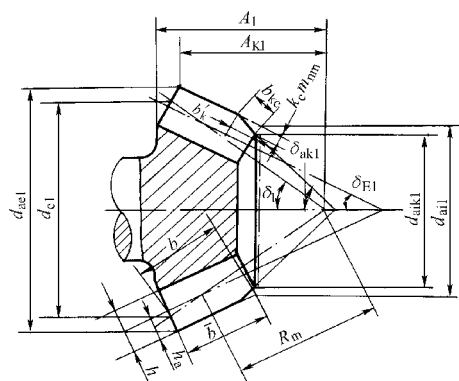


图 4.6-22 克林根贝尔格锥齿轮小轮轮坯修正

2.6 准双曲面齿轮传动的几何尺寸计算

轴线相交错齿轮传动的相对运动是螺旋运动,其螺旋轴线绕两齿轮的轴线旋转形成一对单叶双曲面。因双曲面形状复杂,不易制作,取其一段用简单的回转曲面——圆锥面来近似作为节曲面。因此,把这种齿轮称为准双曲面齿轮传动。

准双曲面齿轮的基本几何关系,如图 4.6-23 所示。小轮轴线 I 和大轮轴线 II 相交错,其公垂线为 A_1A_2 ,轴交角为 Σ ,偏置距 $E = A_1A_2$ 。在 A_1A_2 线之外取 P 点作为基准点,过 P 点可作唯一直线 K_1K_2 (分度线) 与 I、II 轴线相交。过 P 点并垂直于直线 K_1K_2 的平面 T 与 I、II 轴线分别交于 O_1 、 O_2 点。平面 T 称为分度平面。 PO_1 和 PO_2 为两轮的节锥面的生成母线,节锥角 $\delta_1 = \angle PO_1K_1$, $\delta_2 = \angle PO_2K_2$ 。准双曲面齿轮的偏置角 $\varphi = \angle O_1PO_2$, 小轮偏置角 $\varepsilon = \angle A_1K_1A_2$, 大轮偏置角 $\eta = \angle A_2K_2A_1$ 。 K_1K_2 在 II 轴上的投影称为截距 Q 。

格利森制准双曲面齿轮把基准点 P 设在齿宽中点的生成母线上,即齿宽中点节点。 B_1 、 B_2 点分别为 P 点在 I、II 轴线上的垂足,中点节圆半径 $r_{m1} = PB_1$,

$r_{m2} = PB_2$, 中点锥距 $R_{m1} = PO_1$, $R_{m2} = PO_2$, 中点螺旋角为 β_{m1} 、 β_{m2} 。为增大小轮的直径, $\beta_{m1} > \beta_{m2}$, 取 $\beta_{m1} = \beta_{m2} + \varphi$; 为使传动中大小轮具有互相推开的轴向力, 小轮偏置有两种形式 (图 4.6-24); 为提高传动啮合效率使两轮轮齿螺旋方向相反。格利森准双曲面齿轮传动的几何尺寸计算见表 4.6-20。

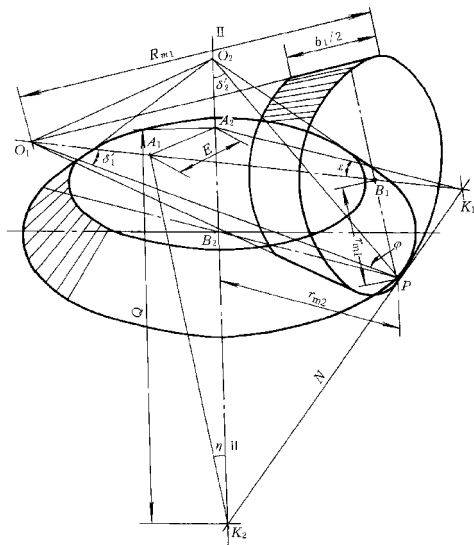


图 4.6-23 准双曲面齿轮传动原理

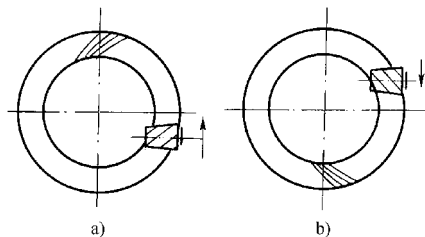
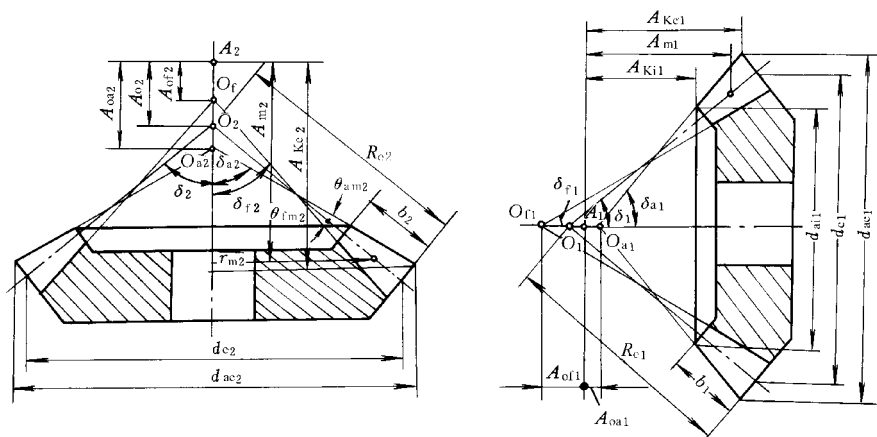


图 4.6-24 准双曲面齿轮的小轮偏置形式

a) 小轮左旋下偏置 b) 小轮右旋上偏置

表 4.6-20 准双曲面齿轮传动的几何尺寸计算 ($\Sigma = 90^\circ$)

(续)

序号	名 称	代 号	计 算 说 明 ^①	举 例		
1	小轮齿数	z_1	$z_1 \geq 6$, 并使 $z_1 + z_2 \geq 40$, 一般荐按表 4.6-21	取 11		
2	大轮齿数	z_2	$z_2 = iz_1$, z_1 与 z_2 互质	$43 (i \approx 3.9)$		
3	齿数比的倒数	z_1/z_2	$(1)/(2)$	0.255814		
4	齿宽	b_2	$0.155d_2$ 圆整, 且满足 $0.3R_e \geq b_2 \leq 10m_e$	30mm		
5	偏置距	E	一般工业, 轻型汽车 $E \leq 0.5R_m$; 重型载货汽车拖拉机 $E \leq 0.2R_e$	34mm		
6	大轮分度圆直径	d_{e2}	由表 4.6-26 按强度确定	205mm		
7	刀盘名义半径	r_0	由表 4.6-22 确定	95.05mm		
8	初选小轮螺旋角	β_{m1c}	一般 $\beta_{m1} = 50^\circ$; 当 $u < 3.3$ 且 $z_1 < 14$ 时取 $\beta_{m1} = 45^\circ$	50°		
9	β_{m1} 正切值	$\tan\beta_{m1c}$	$\tan\beta_{m1c}$	1.191754		
10	初选大轮分锥角之余切值	$\cot\delta_{2c}$	1.2(3)	0.3069768		
11	δ_{2c} 之正弦值	$\sin\delta_{2c}$	$\sin\left[\arctan\frac{1}{(10)}\right]$	0.9559711		
12	初定大轮中点分度圆半径	r_{m2c}	$\frac{(6) - (4)(11)}{2}$	88.16043		
13	大、小轮螺旋角差角正弦值	$\sin\varphi_e$	$\frac{(5)(11)}{(12)}$	0.3686803		
14	φ_e 之余弦值	$\cos\varphi_e$	$\sqrt{1 - (13)^2}$	0.9295562		
15	初定小轮扩大系数	K_e	$(14) + (9)(13)$	1.368932		
16	小轮中点分度圆半径换算值	r_{m1H}	$(3)(12)$	22.55267		
17	初定小轮中点分度圆半径	r_{m1c}	$(15)(16)$	30.87308		
18	轮齿收缩系数	H	当 $z_1 < 12$ 时, $0.02(1) + 1.06; z_1 \geq 12$ 时, 1.30	1.28		
19	近似计算公法线 K_1K_2 在大轮轴线上的投影	Q	$\frac{(12)}{(10)} + (17)$	318.0624		
				第一次试算	第二次试算	第三次试算
20	大轮轴线在小轮回转平面内偏置角	$\tan\eta$	$\frac{(5)}{(19)}$	0.1068973	0.117587	0.111794
21	η 角余弦	$\cos\eta$	$\sqrt{1 + (20)^2}$	1.005697	1.00689	1.00623
22	η 角正弦	$\sin\eta$	$\frac{(20)}{(21)}$	0.1062917	0.1167824	0.1111019
23	大轮轴线在小轮回转平面内偏置角	η	$\arctan(20)$	6.101593°	6.706444°	6.378837°
24	初算大轮回转平面内偏置角正弦	$\sin\varepsilon_c$	$\frac{(5) - (17)(22)}{(12)}$	0.3484381	0.3447643	0.3467536
25	ε_c 角正切	$\tan\varepsilon_c$	$\frac{(24)}{\sqrt{1 - (24)^2}}$	0.371734	0.3672827	0.3696905
26	初算小轮分锥角正切	$\tan\delta_{1c}$	$\frac{(22)}{(25)}$	16.38286	18.21796	17.21891
27	δ_{1c} 角余弦	$\cos\delta_{1c}$	$\frac{1}{\sqrt{1 + (26)^2}}$	0.961468	0.9529859	0.9576874
28	第一次校正螺旋角差值 φ' 的正弦	$\sin\varphi'$	$\frac{(24)}{(27)}$	0.3624022	0.3617727	0.3620739

(续)

序号	名 称	代 号	计 算 说 明 ^①	举 例		
				第一次试算	第二次试算	第三次试算
29	φ' 角余弦	$\cos\varphi'$	$\sqrt{1-(28)^2}$	0.9320219	0.9322664	0.9321494
30	第一次校正小轮螺旋角正切	$\tan\beta'_{m1}$	$\frac{(15)-(29)}{(28)}$	1.205596	1.207018	1.206337
31	扩大系数的修正量	ΔK	$(28)[(9)-(30)]$	-0.00501645	-0.00552207	-0.00528016
32	大轮扩大系数修正量的换算值	ΔK_H	$(3)(31)$	-0.00128328	-0.00141262	-0.00135074
33	校正后大轮偏置角的正弦值	$\sin\varepsilon$	$(24)-(22)(32)$	0.3485745	0.3449293	0.3469036
34	ε 角正切	$\tan\varepsilon$	$\frac{(33)}{\sqrt{1-(33)^2}}$	0.3718996	0.3674821	0.3698724
35	校正后小轮分锥角正切	$\tan\delta_1$	$\frac{(22)}{(34)}$	0.2858076	0.3177908	0.3003789
36	δ_1 角	δ_1	$\arctan(35)$	15.95034°	17.62978°	16.71916°
37	δ_1 角的余弦	$\cos\delta_1$	$\cos(36)$	0.9615003	0.9530334	0.9577264
38	第二次校正后的螺旋角差值的正弦	$\sin\varphi$	$\frac{(33)}{(37)}$	0.3625319	0.3619278	0.3622158
39	φ 值	φ	$\arctan \frac{(38)}{\sqrt{1-(38)^2}}$	21.25577°	21.21863°	21.23634°
40	φ 角余弦	$\cos\varphi$	$\cos(39)$	0.9319714	0.9322062	0.9320942
41	第二次校正后小轮螺旋角的正切值	$\tan\beta_{m1}$	$\frac{(15)+(31)-(40)}{(38)}$	1.191467	1.191409	1.191439
42	β_{m1} 值	β_{m1}	$\arctan(41)$	49.99321°	49.99185°	49.99255°
43	β_{m1} 余弦	$\cos\beta_{m1}$	$\cos(42)$	0.6428785	0.6428966	0.6428873
44	确定大轮螺旋角	β_{m2}	$(42)-(39)$	28.73745°	28.77321°	28.7562°
45	β_{m2} 余弦	$\cos\beta_{m2}$	$\cos(44)$	0.8768322	0.8765319	0.8766746
46	β_{m2} 正切	$\tan\beta_{m2}$	$\tan(44)$	0.5483337	0.5491459	0.5487596
47	大轮分锥角余切	$\cot\delta'_2$	$\frac{(20)}{(33)}$	0.3066699	0.3409018	0.3222624
48	δ'_2 值	δ'_2	$\arctan \frac{1}{(47)}$	72.95081°	71.17567°	72.13783°
49	δ'_2 正弦	$\sin\delta'_2$	$\sin(48)$	0.9560534	0.9465123	0.9517971
50	δ'_2 余弦	$\cos\delta'_2$	$\cos(48)$	0.2931927	0.3226677	0.3067284
51		B_{1c}	$\frac{(17)+(12)(32)}{(37)}$	31.99161	32.26387	32.11147
52		B_{2c}	$\frac{(12)}{(50)}$	300.6911	273.2236	287.4218
53	两背锥之和	B_{12}	$(51)+(52)$	332.6827	305.4875	319.5333
54	大轮锥距在螺旋线中点切线方向投影	T_2	$\frac{(12)(45)}{(49)}$	80.85522	81.64228	81.2022
55	小轮锥距在螺旋线中点切线方向投影	T_1	$\frac{(43)(51)}{(35)}$	71.96003	65.2704	68.7267
56	极限齿形角正切负值	$-\tan\alpha_0$	$\frac{(41)(55)-(46)(54)}{(53)}$	0.1244499	0.1077957	0.1168052
57	极限齿形角负值	$-\alpha_0$	$\arctan(56)$	7.09398°	6.15248°	6.662256°
58	$\Delta\alpha_0$ 的余弦	$\cos\Delta\alpha_0$	$\cos(57)$	0.9923449	0.9942402	0.9932474
59		B_{59}	$\frac{(41)(56)}{(51)}$	0.00463490	0.00398058	0.00433385
60		B_{60}	$\frac{(46)(56)}{(52)}$	0.00022694	0.00021665	0.00022301

(续)

序号	名 称	代 号	计 算 说 明 ^①	举 例		
				第一次试算	第二次试算	第三次试算
61	齿线中点曲率半径	B_{61}	$\frac{(54)}{(55)}$	5818.344	5328.824	5580.759
62		B_{62}	$\frac{(54) - (55)}{(61)}$	0.00152882	0.00307233	0.00223545
63		B_{63}	$(59) + (60) + (62)$	0.00639066	0.00726956	0.00679231
64		B_{64}	$\frac{(41) - (46)}{(63)}$	100.6364	88.34972	94.61864
65		r'_0	$\frac{(64)}{(58)}$	101.4127	88.86154	95.26191
66		V	$\frac{(7)}{(65)}$	0.9392317	1.071892	0.9998749
67	r_{m2} 圆心至轴线交叉点距离 大轮分锥顶点至轴线交叉点距离	$\begin{cases} A_{67} \\ A_7 \end{cases}$	$\begin{cases} (3)(50) \\ 1 - (3) \end{cases}$	$\begin{cases} 0.07846541 \\ 0.7441861 \end{cases}$		
68		$\begin{cases} A_{68} \\ A_8 \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{(5)}{(34)} - (17)(35) \\ (35)(37) \end{cases}$	$\begin{cases} 82.64997 \\ 0.2876808 \end{cases}$		
69		A_{69}	$(39) + (40)(67)$	1.030864		
70		A_{m2}	$(49)(51)$	30.5636		
71		A_{02}	$(12)(47) - (70)$	-2.132551		
72	大轮分锥上中点锥距	R_{m2}	$\frac{(12)}{(49)}$	92.69102		
73	大轮分锥上外锥距	R_2	$\frac{(6)}{2(49)}$	107.691		
74	大轮分锥上齿宽之半	$0.5b_m$	$(73) - (72)$	15		
75	大轮在平均锥距上工作齿高 ^③	h'_m	$\frac{K(12)(45)}{(2)}$	7.374556		
76	两侧压力角总和 ^④ α_e 角正弦值 平均压力角 α 角余弦 α 角正切	A_{76}	$\frac{(12)(46)}{(7)}$	0.5082756		
77		A_{77}	$\frac{(49)}{(45)} - (76)$	0.5774147		
78		α_e	轿车取 38°	38°		
79		$\sin\alpha_e$	$\sin(78)$	0.6156615		
80		α	$\frac{(78)}{2}$	19°		
81		$\cos\alpha$	$\cos(80)$	0.9455186		
82		$\tan\alpha$	$\tan(80)$	0.3443276		
83		A_{83}	$\frac{(77)}{(82)}$	1.676934		
84		θ_Σ	$\frac{176(83)}{(2)}$	6.86373°		
85		h_{a2}^*	表 4.6-24	0.17		
86	大轮齿根高系数	h_{f2}^*	$1.15 - (85)$	0.9799999		
87	大轮中点齿顶高	h_{am2}	$(75)(85)$	1.253675		

(续)

序号	名 称	代 号	计 算 说 明 ^①	举 例
88	大轮中点齿根高	h_{fm2}	$(75)(86) + 0.05$	7.277065
89	大轮齿顶角 ^⑥	θ_{a2}	$(84)(85)$	1.166834°
90	θ_{a2} 正弦	$\sin\theta_{a2}$	$\sin(89)$	2.036369E-02
91	大轮齿根角 ^⑦	θ_{f2}	$(84) - (89)$	5.696895°
92	θ_{f2} 角正弦	$\sin\theta_{f2}$	$\sin(91)$	9.926583E-0.2
93	大轮大端齿顶高	h_{ae2}	$(87) + (74)(90)$	1.55913
94	大端齿根高	h_{fe2}	$(88) + (74)(92)$	8.766052
95	径向间隙	c	$0.15(75) + 0.05$	1.156183
96	大端齿高	h_{e2}	$(93) + (94)$	10.32518
97	大轮大端工作齿高	h'_{e2}	$(96) - (95)$	9.168999
98	大轮顶锥角	δ_{a2}	$(48) + (89)$	73.30466°
99	δ_{a2} 角正弦	$\sin\delta_{a2}$	$\sin(98)$	0.9578458
100	δ_{a2} 角余弦	$\cos\delta_{a2}$	$\cos(98)$	0.2872827
101	大轮根锥角	δ_{f2}	$(48) - (91)$	64.44093°
102	δ_{f2} 角正弦	$\sin\delta_{f2}$	$\sin(101)$	0.9166484
103	δ_{f2} 角余弦	$\cos\delta_{f2}$	$\cos(101)$	0.3996944
104	δ_{f2} 角余切	$\cot\delta_{f2}$	$\cot(101)$	0.436039
105	大轮大端齿顶圆直径	d_{ae2}	$\frac{(93)(50)}{0.5} + 6$	205.9565
106	大端分度圆中心至轴线交叉点距离	A_{Km2}	$(70) + (74)(50)$	35.16445
107	大轮轮冠至轴线交叉点距离	A_{Ke2}	$(106) - (93)(49)$	33.68047
108	大端顶圆齿顶与分度圆处齿高之差	Δh_{am}	$\frac{(72)(90) - (87)}{(99)}$	0.6617522
109	大端分度圆处与根圆处在齿高方向上高度差	Δh_{mf}	$\frac{(72)(92) - (88)}{(102)}$	2.098936
110	大轮顶锥锥顶到轴线交叉点距离 ^⑧	A_{oa2}	$(71) - (108)$	-2.794304
111	大轮根锥顶点到轴线交叉点的距离 ^⑨	A_{of2}	$(71) + (109)$	-0.0336151
112		A_{112}	$(12) + (70)(104)$	101.5499
113	修正后小轮轴线在大轮回转平面内的偏置角正弦	$\sin\varepsilon$	$\frac{(5)}{(112)}$	0.3348107
114	ε 角余弦	$\cos\varepsilon$	$\sqrt{1 - (113)^2}$	0.9422854
115	ε 角正切	$\tan\varepsilon$	$\frac{(113)}{(114)}$	0.3553177
116	小轮顶锥角正弦	$\sin\delta_{a1}$	$(103)(114)$	0.3766262
117	小轮顶锥角 δ_{a1}	δ_{a1}	$\arctan \frac{(116)}{\sqrt{1 - (116)^2}}$	22.12486°
118	δ_{a1} 角余弦	$\cos\delta_{a1}$	$\cos(117)$	0.9263654
119	δ_{a1} 角正切	$\tan\delta_{a1}$	$\tan(117)$	0.4065634

(续)

序号	名 称	代 号	计 算 说 明 ^①	举 例
120	小轮顶锥顶点到轴线交叉点的距离 ^⑩	A_{120}	$\frac{(102)(111)+(95)}{(103)}$	2. 815576
121		A_{0a1}	$\frac{(5)(113)-(120)}{(114)}$	9. 092771
122		A_{122}	$\frac{(38)A_{(67)}}{(69)}$	0. 0275705
123		$\begin{cases} A_{123} \\ A_3 \end{cases}$	$\begin{cases} \arctan(122) \\ \frac{1}{\sqrt{1+(122)^2}} \end{cases}$	0. 0275635 0. 9996201
124		$\begin{cases} A_{124} \\ A_4 \end{cases}$	$\begin{cases} (39)-A_{123} \\ \cos[(39)-A_{123}]+ \end{cases}$	0. 3430806 0. 9417229
125		$\begin{cases} A_{125} \\ A_5 \end{cases}$	$\begin{cases} (117)-(36) \\ \cos[(117)-(36)] \end{cases}$	0. 0943473 0. 9955527
126		$\begin{cases} A_{126} \\ A_6 \end{cases}$	$\begin{cases} (113)A_7-A_8 \\ -(113)A_7-A_8 \end{cases}$	-0. 0385194 -0. 5368423
127		A_{127}	$\frac{A_3}{A_4}$	1. 06148
128		A_{128}	$A_{68}+(87)A_8$	83. 01063
129			A_{129}	$\frac{(118)}{A_5}$
130		A_{130}	$(74)(127)$	15. 9222
131	小轮轮冠到轴线交叉点的距离	A_{Kel}	$(128)+(129)(130)+(75)A_{126}$	97. 54223
132	小轮前轮冠到轴线交叉点的距离		$(4)(127)-(130)$	31. 8444
133		A_{Kil}	$(128)-(129)(130)+(75)A_6$	64. 236
134	小轮大端齿顶圆直径		$(121)+(131)$	106. 635
135		d_{ae1}	$2(119)(134)$	86. 70777
136			$\frac{(70)(100)}{(99)}+(12)$	97. 38983
137	在大轮回转平面内偏置角正弦	$\sin\varepsilon$	$\frac{(5)}{(136)}$	0. 3491124
138	大轮回转平面内偏置角	ε	$\arctan \frac{(137)}{\sqrt{1-(137)^2}}$	20. 43304°
139	ε 角余弦	$\cos\varepsilon$	$\cos(138)$	0. 9370809
140	从小轮根锥顶点到轴线交叉点距离 ^⑪		$\frac{(99)(110)+(95)}{(100)}$	-5. 292099
141		A_{of1}	$\frac{(5)(137)-(140)}{(139)}$	18. 31424
142			$(100)(139)$	0. 2692071
143		小轮根锥角	δ_{f1}	$\arctan \frac{(142)}{\sqrt{1-(142)^2}}$
144		$\cos\delta_{f1}$	$\cos(143)$	0. 9630823
145		$\tan\delta_{f1}$	$\tan(143)$	0. 2795266
146	允许的最小侧隙	$j_{\text{min}}^{\text{⑫}}$	见 ^⑫	0. 1016

(续)

序号	名 称	代 号	计 算 说 明 ^①	举 例
147	允许的最大侧隙	$j_{n\max}$ ^⑫	见 ^⑫	0.1524
148			(90) + (92)	0.1196295
149			(96) - (4) (148)	6.736297
150	大轮内锥距		(73) - (4)	77.69102

- ① 本表计算公式中括号内的数字指表中的项目(序号)。
- ② 当第一次试算结果 $0.99 < V_1 < 1.01$, 说明齿线中点曲率半径与所选刀盘半径误差小于1%, 可继续按表中顺序往下计算。否则需要重新试算。若 $V_1 > 1.01$, 则取 $(20)_2 = 1.1(20)_1$ 重新试算; 若 $V_1 < 0.99$, 则取 $(20)_2 = 0.9(20)_1$ 。第二次试算结果若仍不能满足精度要求, 应按插值法进行第三次试算:

$$(20)_3 = \frac{(20)_2 - (20)_1}{V_2 - V_1} (1 - V_1) + (20)_1$$

- 下标1,2,3 分别指试算的次数。因 η 值较小时, $\tan\eta$ 一般近似线性变化, 按插值法确定的 $(20)_3$ 值, 一般都能使 V_3 满足精度要求。
- ③ 大轮平均工作齿高 h'_m 计算公式中的齿高系数 K , 按表 4.6-23 选取。一般按普通型选取, 在第(38)项中压力角总和为 38° 时, 或小轮轮齿凹面的压力角为 12° 或更大些时以及大轮齿顶高系数按第(85)项选取时, 按轿车型选取 K 值。
- ④ 工业传动中, 当 $z_1 \geq 8$ 时, 取 $\alpha_c = 42^\circ 30'$, 否则取 45° 。对于载重汽车和拖拉机, 使用 45° , 对于轿车, 取 $\alpha_c = 38^\circ$ 。
- ⑤ (84)项公式, 仅适用于双重收缩齿。标准收缩齿 θ_Σ 的计算见(89)项注解。
- ⑥ (89)项公式, 只适用于双重收缩齿。当采用倾斜根线收缩齿时, $\theta_{a2} = \frac{57.3(85)(18)[(87) + (88)]}{(72)}$ 。判别条件是:

$$(84) < \frac{57.3(18)[(87) + (88)]}{(72)}$$

- 时, 采用双重收缩齿; 反之采用倾斜根线收缩齿。
- ⑦ (91)项公式, 只适用于双重收缩齿。当采用倾斜根线收缩齿时, θ_{a2} 按倾斜根线收缩齿计算,
- $$\theta_{t2} = [1 - (85)(18)]\theta_{a2}$$
- ⑧ $A_{oa2} > 0$, 表示大轮顶锥顶点位于轴线交叉点之外; 反之, 锥顶位于轴线交叉点之内。
- ⑨ $A_{of2} > 0$, 表示大轮根锥顶点位于轴线交叉点之外; 反之, 锥顶位于轴线交叉点之内。
- ⑩ $A_{oa1} > 0$, 表示小轮顶锥顶点位于轴线交叉点之外; 反之, 表示锥顶位于交叉点之内。
- ⑪ $A_{of1} > 0$, 表示小轮根锥顶点位于轴线交叉点之外; 反之, 表示锥顶位于交叉点之内。

- ⑫ 按 $m_m = \frac{2r_{m2c}}{z_2}$ 查下表确定 $j_{\min}$ 及 $j_{\max}$ 。

(mm)

m_m	≤ 1.25	1.25 ~ 2.5	2.5 ~ 4.5	4.5 ~ 6.5	6.5 ~ 9	9 ~ 12	12 ~ 25
$j_{\min}$	0.0254	0.0508	0.1016	0.1524	0.2032	0.3048	0.508
$j_{\max}$	0.762	0.1016	0.1524	0.2032	0.2794	0.4064	0.762

表 4.6-21 汽车弧齿锥齿轮及准双曲面齿轮最少齿数

传动比	小齿轮齿数	允许范围	传动比	小齿轮齿数	允许范围	传动比	小齿轮齿数	允许范围
1.50 ~ 1.75	14	12 ~ 16	3.0 ~ 3.5	10	9 ~ 11	5.0 ~ 6.0	7	6 ~ 8
1.75 ~ 2.00	13	11 ~ 15	3.5 ~ 4.0	10	9 ~ 11	6.0 ~ 7.5	6	5 ~ 7
2.0 ~ 2.5	11	10 ~ 13	4.0 ~ 4.5	9	8 ~ 10	7.5 ~ 10.0	5	5 ~ 6
2.5 ~ 3.0	10	9 ~ 11	4.5 ~ 5.0	8	7 ~ 9			

表 4.6-22 准双曲面齿轮刀盘半径的选择

大轮节圆直径 d_{a2}/mm	刀盘半径 r_0	大轮节圆直径 d_{a2}/mm	刀盘半径 r_0
17 ~ 135	44.45mm (1.75in)	165 ~ 285	95.25mm (3.75in)
100 ~ 170	57.15mm (2.25in)	195 ~ 345	114.3mm (4.5in)
110 ~ 190	63.5mm (2.5in)	260 ~ 455	152.4mm (6in)
130 ~ 230	76.2mm (3in)	350 ~ 610	203.2mm (8in)
135 ~ 240	79.375mm (3.125in)	455 ~ 800	266.7mm (10.5in)

表 4.6-23 齿高系数 K

小轮齿数 z_1	齿 高 系 数 K		小轮齿数 z_1	齿 高 系 数 K	
	轿车型	普通型		轿车型	普通型
6	—	3.5	10	4.0	3.9
7	—	3.6	11	4.1	4.0
8	3.8	3.7	12 及更大	4.2	4.0
9	3.9	3.8			

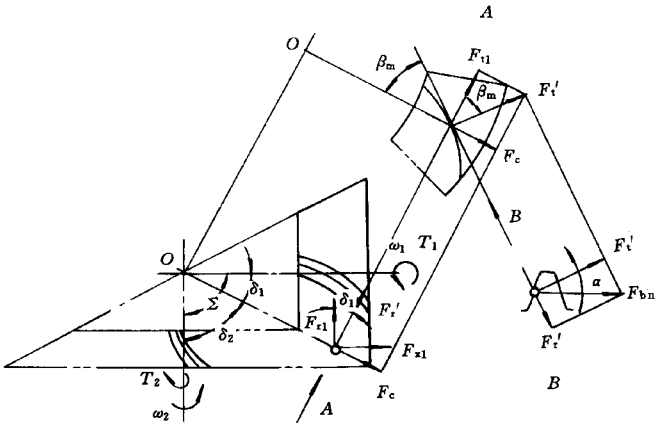
表 4.6-24 大轮齿顶高系数 h_{a2}^*

适 用 于	$\frac{z_2}{z_1}$	h_{a2}^*	适 用 于	z_1	h_{a2}^*
$z_1 \geq 21$	1	0.500	$z_1 < 21$ 及 传动比 $i > 2$	6	0.110
	1.1	0.450		7	0.130
	1.25	0.425		8	0.150
	1.43	0.400		9 ~ 20	0.170
	1.67	0.375			
	2	0.350			
	2.5	0.325			
	3.3	0.300			

3 锥齿轮传动的设计计算

3.1 轮齿受力分析(见表 4.6-25)

表 4.6-25 轮齿受力分析计算公式

			
作用力/N	直齿和零度锥齿轮		斜齿和曲线齿锥齿轮
中点分度圆的切向力	$F_t = \frac{2000T}{d_m}$ T —转矩(N·m), d_m —中点分度圆直径(mm)		
径 向 力	$F_r = F_t \tan \alpha \cos \delta$		$F_r^{①} = \frac{F_t}{\cos \beta_m} (\tan \alpha_n \cos \delta \mp \sin \beta_m \sin \delta)$
轴 向 力	$F_x = F_t \tan \alpha \sin \delta$		$F_x^{①} = \frac{F_t}{\cos \beta_m} (\tan \alpha_n \sin \delta \mp \sin \beta_m \cos \delta)$
外加转矩 T 的旋向 ^②	齿旋向 ^③	求 F_r	求 F_x
顺时针	右旋	—	+
	左旋	+	—
逆时针	右旋	+	—
	左旋	—	+

① F_r 指向轮心的方向为正, F_x 指向大端为正。公式中的“ $\mp$ ”号按上表规定确定。
② 外加转矩的旋向是由锥顶向大端方向观察来判定顺或逆时针旋向。
③ 从齿顶看齿轮, 齿线从小端到大端顺时针旋转为右旋, 反之为左旋。

3.2 主要尺寸的初步确定

锥齿轮传动的主要尺寸可按传动的结构要求和类比法初步确定,也可用表 4.6-26 中所列的计算式估算,必要时作校核验算。闭式传动可按齿面接触强度估算。开式传动按齿根抗弯强度估算,并将计算载荷乘以磨损系数 K_m (见本篇第 4 章,表 4.4-86)。

算,必要时作校核验算。闭式传动可按齿面接触强度估算。开式传动按齿根抗弯强度估算,并将计算载荷乘以磨损系数 K_m (见本篇第 4 章,表 4.4-86)。

表 4.6-26 锥齿轮传动简化设计计算公式

(mm)

锥齿轮种类	齿面接触强度 ^①	齿根抗弯强度
直齿和零度齿	$d_{e1} \geq 1172 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{(1-0.5\phi_R)^2 \phi_R u \sigma'_{HP}{}^2}}$ $\approx 1951 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{u \sigma'_{HP}{}^2}}$	$m_e \geq 19.2 \sqrt[3]{\frac{KT_1 Y_{FS}}{z_1^2 (1-0.5\phi_R)^2 \phi_R \sqrt{u^2+1} \sigma'_{FP}}}$ $\approx 32 \sqrt[3]{\frac{KT_1 Y_{FS}}{z_1^2 \sqrt{u^2+1} \sigma'_{FP}}}$
$\beta=8^\circ \sim 15^\circ$ 的斜齿和曲线齿	$d_{e1} \geq 1096 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{(1-0.5\phi_R)^2 \phi_R u \sigma'_{HP}{}^2}}$ $\approx 1825 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{u \sigma'_{HP}{}^2}}$	$m_e \geq 18.7 \sqrt[3]{\frac{KT_1 Y_{FS}}{z_1^2 (1-0.5\phi_R)^2 \phi_R \sqrt{u^2+1} \sigma'_{FP}}}$ $\approx 31.1 \sqrt[3]{\frac{KT_1 Y_{FS}}{z_1^2 \sqrt{u^2+1} \sigma'_{FP}}}$
$\beta \approx 35^\circ$ 的斜齿和曲线齿 ^②	$d_{e1} \geq 983 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{(1-0.5\phi_R)^2 \phi_R u \sigma'_{HP}{}^2}}$ $\approx 1636 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{u \sigma'_{HP}{}^2}}$	$m_e \geq 15.8 \sqrt[3]{\frac{KT_1 Y_{FS}}{z_1^2 (1-0.5\phi_R)^2 \phi_R \sqrt{u^2+1} \sigma'_{FP}}}$ $\approx 26.3 \sqrt[3]{\frac{KT_1 Y_{FS}}{z_1^2 \sqrt{u^2+1} \sigma'_{FP}}}$

说明

K —载荷系数,当原动机为电动机、汽轮机时,一般可取 $K=1.2 \sim 1.8$ 。当载荷平稳、传动精度较高、速度较低、斜齿、曲线齿以及大、小齿轮皆两侧布置轴承时 K 取较小值。如采用多缸内燃机驱动时, K 值应增大 1.2 倍左右。 T_1 —小轮转矩(N·m)。 σ'_{HP} —设计齿轮的许用接触应力, $\sigma'_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim}}{S'_H}$, 试验齿轮接触疲劳极限 σ_{Hlim} 查图 4.4-17。估算时接触强度的安全系数 $S'_H = 1 \sim 1.2$, 当齿轮精度较高, 计算载荷精确, 设备不甚重要时, 可取低值。 σ'_{FP} —设计齿轮的许用弯曲应力, $\sigma'_{FP} = \frac{\sigma_{FE}}{S'_F}$; 材料抗弯强度基本值 σ_{FE} 查图 4.4-30。估算时抗弯强度的安全系数 $S'_F = 1.4 \sim 2$, 对模数较小, 精度较高, 设备不甚重要及计算载荷较准时, 取小值。 Y_{FS} —复合齿形系数, 查图 4.6-25 ~ 图 4.6-27。

① 齿面接触强度计算公式仅适用于钢配对齿轮, 非钢配对齿轮要将按表中公式求得的 d_{e1} 乘以下表的系数:

齿 轮 1	齿 轮 2	系 数	齿 轮 1	齿 轮 2	系 数
钢	球墨铸铁	0.97	球墨铸铁	球墨铸铁	0.94
				灰 铸 铁	0.88
	灰 铸 铁	0.91	灰 铸 铁	灰 铸 铁	0.84

② 钢制硬齿面正交克林根贝儿格锥齿轮可按下式估算:

$$d_{e2} = 11.788 n_1^{\frac{1}{4}} \left(\frac{T_1 u^3}{1+u^2} \right)^{\frac{1}{2.8}}$$

式中 n_1 —小轮转速($r \cdot \min^{-1}$);

T_1 —小轮转矩(N·mm)。

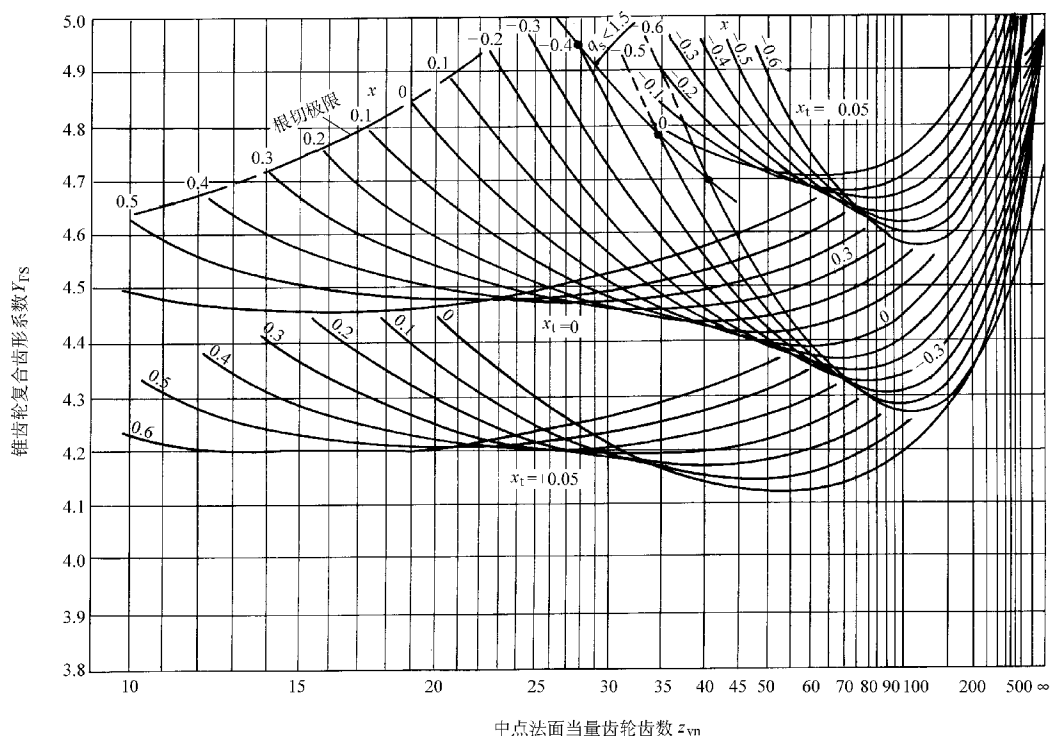


图 4.6-25 基本齿条为 $\alpha_n = 20^\circ$, $h_a/m_{nm} = 1$, $h_f/m_{nm} = 1.25$
 $\rho_f/m_{nm} = 0.2$ 的展成锥齿轮的复合齿形系数 Y_{FS}

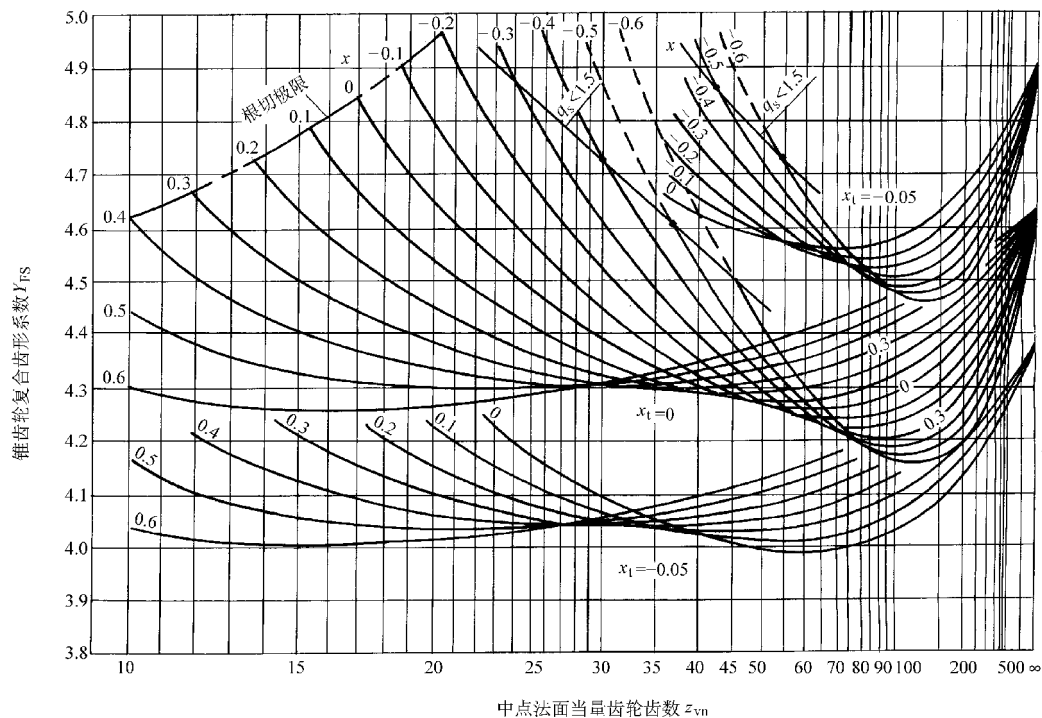


图 4.6-26 基本齿条为 $\alpha_n = 20^\circ$, $h_a/m_{nm} = 1$, $h_f/m_{nm} = 1.25$
 $\rho_f/m_{nm} = 0.25$ 的展成锥齿轮的复合齿形系数 Y_{FS}

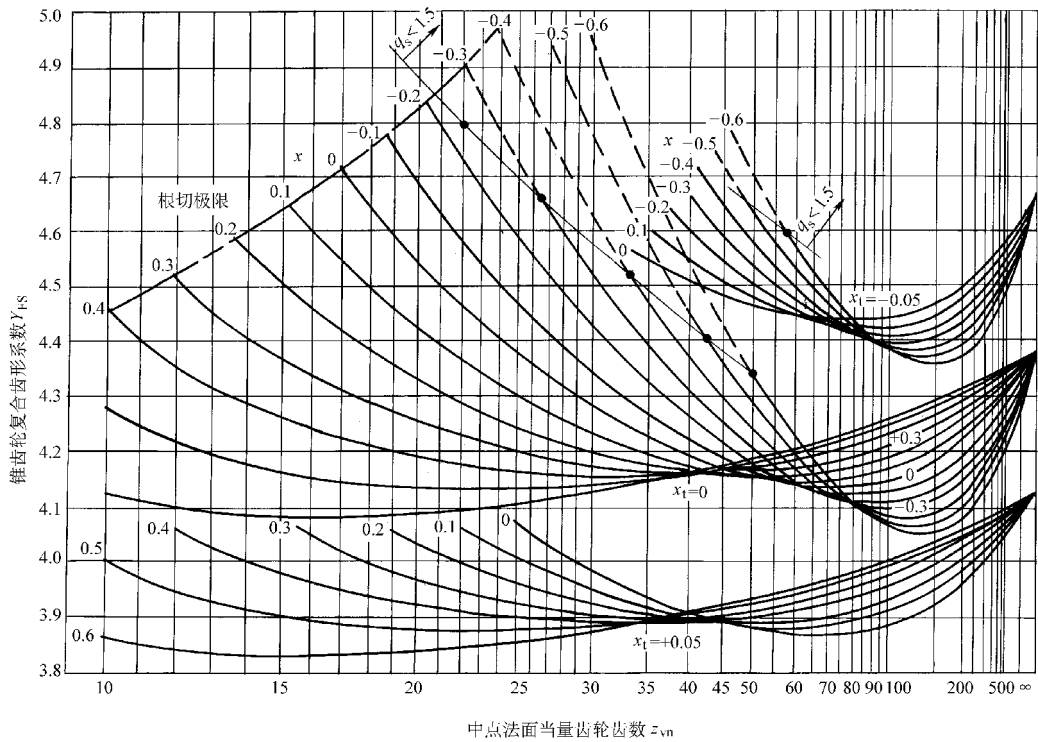


图 4.6-27 基本齿条为 $\alpha_n = 20^\circ$, $h_a/m_{nm} = 1$, $h_f/m_{nm} = 1.25$
 $\rho_f/m_{nm} = 0.3$ 的展成锥齿轮的复合齿形系数 Y_{FS}

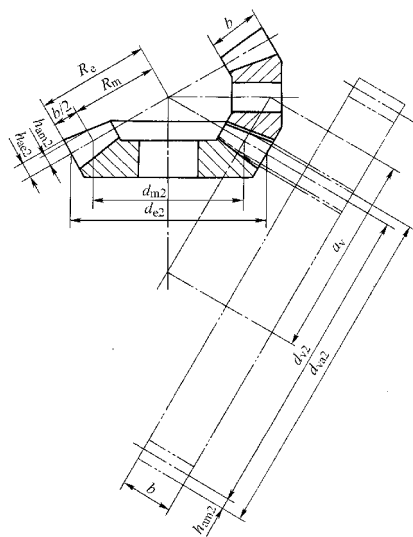
3.3 锥齿轮传动的疲劳强度校核计算

锥齿轮传动的强度校核按《锥齿轮承载能力计算方法》(GB/T 100062.1~3—2003)进行。该标准以锥

齿轮齿宽中点的齿轮尺寸为基准,以中点当量圆柱齿轮为计算点。

3.3.1 锥齿轮传动的当量齿轮参数计算(见表 4.6-27)

表 4.6-27 锥齿轮传动的当量齿轮参数计算($\Sigma = 90^\circ$)



(续)

名称	代号	计 算 公 式
锥齿轮原始几何参数		
齿形压力角 α_n , 齿数 z , 齿数比 u , 分锥角 δ , 齿宽 b , 外锥距 R_e , 中点锥距 $R_m = R_e - b/2$, 大端分度圆直径 d_e , 中点分度圆直径 $d_m = d_e - b \sin \delta$, 中点法面模数 m_{nm} , 中点螺旋角 β_m , 中点端面模数 $m_m = m_{nm} / \cos \beta_m$, 大端端面模数 $m_e = d_e / z$, 齿顶高 h_a		
中点端面当量圆柱齿轮参数		
当量齿数	z_v	$z_v = z / \cos \delta$
齿数比	u_v	$u_v = u^2$
分度圆直径	d_v	$d_{v1} = d_{m1} \frac{\sqrt{u^2 + 1}}{u}, d_{v2} = u^2 d_{v1}$
中心距	a_v	$a_v = \frac{1}{2} (d_{v1} + d_{v2})$
顶圆直径	d_{va}	$d_{va} = d_v + 2h_a$
当量齿轮端面压力角	α_{vt}	$\alpha_{vt} = \arctan \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta_m}$
基圆直径	d_{vb}	$d_{vb} = d_v \cos \alpha_{vt}$
基圆螺旋角	β_{vb}	$\beta_{vb} = \arcsin (\sin \beta_m \cos \alpha_n)$
端面基圆齿距	p_{vb}	$p_{vb} = \pi m_m \cos \alpha_{vt}$
啮合线长度	$g_{v\alpha}$	$g_{v\alpha} = \frac{1}{2} (\sqrt{d_{va1}^2 - d_{vb1}^2} + \sqrt{d_{va2}^2 - d_{vb2}^2}) - a_v \sin \alpha_{vt}$
端面重合度	$\varepsilon_{v\alpha}$	$\varepsilon_{v\alpha} = \frac{g_{v\alpha}}{p_{vb}} = \frac{g_{v\alpha} \cos \beta_m}{\pi m_{nm} \cos \alpha_{vt}}$
纵向重合度	$\varepsilon_{v\beta}$	$\varepsilon_{v\beta} = \frac{b \sin \beta_m}{\pi m_{nm}}$
总重合度	$\varepsilon_{v\gamma}$	$\varepsilon_{v\gamma} = \sqrt{\varepsilon_{v\alpha}^2 + \varepsilon_{v\beta}^2}$
齿中部接触线长度	l_{bm}	对于 $\varepsilon_{v\beta} < 1, l_{bm} = \frac{b \varepsilon_{v\alpha}}{\cos \beta_{vb}} \frac{\sqrt{\varepsilon_{v\gamma}^2 - [(2 - \varepsilon_{v\gamma})(1 - \varepsilon_{v\beta})]^2}}{\varepsilon_{v\gamma}^2}$ 对于 $\varepsilon_{v\beta} \geq 1, l_{bm} = \frac{b \varepsilon_{v\alpha}}{\varepsilon_{v\gamma} \cos \beta_{vb}}$ 对于直齿锥齿轮和零度锥齿轮, $\varepsilon_{v\beta} = 0; l_{bm} = \frac{2b \sqrt{\varepsilon_{v\alpha} - 1}}{\varepsilon_{v\alpha}}$
齿中部接触线的投影影响长度	l'_{bm}	$l'_{bm} = l_{bm} \cos \beta_{vb}$
中点法面当量直齿圆柱齿轮参数		
齿数	z_{vn}	$z_{vn} = \frac{z}{\cos^2 \beta_{vb} \cos \beta_m \cos \delta} \approx \frac{z}{\cos^3 \beta_m \cos \delta}$
分度圆直径	d_{vn}	$d_{vn} = d_v / \cos^2 \beta_{vb} = z_{vn} m_{nm}$
中心距	a_{vn}	$a_{vn} = \frac{1}{2} (d_{vn1} + d_{vn2})$
顶圆直径	d_{van}	$d_{van} = d_{vn} + 2h_a$
基圆直径	d_{vbn}	$d_{vbn} = d_{vn} \cos \alpha_n = z_{vn} m_{nm} \cos \alpha_n$
啮合线长度	g_{van}	$g_{van} = \frac{1}{2} (\sqrt{d_{van1}^2 - d_{vbn1}^2} + \sqrt{d_{van2}^2 - d_{vbn2}^2}) - a_{vn} \sin \alpha_n$
法面重合度	ε_{van}	$\varepsilon_{van} = \varepsilon_{v\alpha} / \cos^2 \beta_{vb}$

3.3.2 锥齿轮传动齿面接触疲劳强度和齿根弯曲疲劳强度的校核计算公式(见表4.6-28)

表4.6-28 锥齿轮传动齿面接触疲劳强度和齿根弯曲疲劳强度的校核计算公式

计 算 公 式		
齿面接触 疲劳强度	强度条件	$\sigma_H \leq \sigma_{HP}$ (1)
	齿面接触应力	$\sigma_H = Z_M Z_H Z_E Z_{LS} Z_\beta Z_K \sqrt{\frac{K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha} F_t}{d_{m1} l_{bm}}} \cdot \frac{\sqrt{u^2 + 1}}{u}$ (2)
	许用应力	$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim} Z_{NT} Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X}{S_{Hmin}}$ (3) 大小轮分别计算,以较小的为准
齿根弯曲 疲劳强度	强度条件	$\sigma_F \leq \sigma_{FP}$ (4) 大小轮分别计算
	齿根弯曲应力	$\sigma_F = \sigma_{F0} K_A K_V K_{F\beta} K_{F\alpha}$ (5)
	齿根弯曲应力基本 值	$\sigma_{F0} = \frac{F_t}{b m_{nm}} Y_{Fa} Y_{Sa} Y_\varepsilon Y_K Y_{LS}$ (6)
		$\sigma_{F0} = \frac{F_t m_m Y_A}{b m_c^2 Y_J}$ (7) 式(6)通用于各类锥齿轮,式(7)用于渗碳和表面硬化的锥齿轮(格利森制锥齿轮推荐采用)
	许用应力	$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{FE} Y_{NT} Y_{\delta relT} Y_{RrelT} Y_X}{S_{Fmin}}$ (8)
计算参数的意义及确定方法		
参 数	符 号	确 定 方 法
使用系数	K_A	本篇第4章表4.4-43
动载系数	K_V	一般计算方法:表4.6-29;简化计算方法:图4.6-28
齿向载荷分配系数	$K_{H\beta}$ 、 $K_{F\beta}$	$K_{H\beta}$:式(4.6-1)、式(4.6-2); $K_{F\beta}$:式(4.6-3)、式(4.6-4)
端面载荷系数	$K_{H\alpha}$ 、 $K_{F\alpha}$	一般计算方法:表4.6-31;简化计算方法:图4.6-32
节点区域系数	Z_H	式(4.6-5)、图4.6-29
中点区域系数	Z_M	式(4.6-6)
弹性系数	Z_E	本篇第4章表4.4-68
计算齿面接触强度螺旋角系数	Z_β	式(4.6-7)
计算齿面接触强度的锥齿轮系数	Z_K	式(4.6-8)
计算齿面接触强度载荷分配系数	Z_{LS}	式(4.6-9)、式(4.6-10)
试验齿轮的接触疲劳极限应力	σ_{Hlim}	本篇第4章图4.4-17
计算齿面接触强度的寿命系数	Z_{NT}	本篇第4章表4.4-70或图4.4-18
润滑油膜影响系数	Z_L 、 Z_V 、 Z_R	一般计算方法:本篇第4章表4.4-71;简化计算方法:表4.6-34
工作硬化系数	Z_W	本篇第4章图4.4-22
计算齿面接触强度的尺寸系数	Z_X	本篇第4章图4.4-23
最小安全系数	S_{Hmin} 、 S_{Fmin}	本篇第4章表4.4-75
齿形系数	Y_{Fa}	式(4.6-12)、式(4.6-16)
齿根应力修正系数	Y_{Sa}	式(4.6-17)、图4.6-30
计算齿根强度的重合度系数	Y_ε	式(4.6-18)~式(4.6-20)
计算齿根强度的锥齿轮系数	Y_K	式(4.6-21)
计算齿根强度的载荷分配系数	Y_{LS}	式(4.6-22)
计算齿根强度的校正系数	Y_A	式(4.6-23)
计算齿根强度的几何系数	Y_J	图4.6-31~图4.6-39
齿轮材料的弯曲疲劳极限应力基本值	σ_{FE}	本篇第4章图4.4-30
相对齿根圆角敏感系数	$Y_{\delta relT}$	本篇第4章,一般计算方法:式(4.4-15);简化计算方法:式(4.4-18)
相对齿根表面状况系数	Y_{RrelT}	本篇第4章,一般计算方法:表4.4-82;简化计算方法:表4.4-83
计算齿根强度的尺寸系数	Y_X	本篇第4章表4.4-7

3.3.3 疲劳强度校核计算中参数的确定

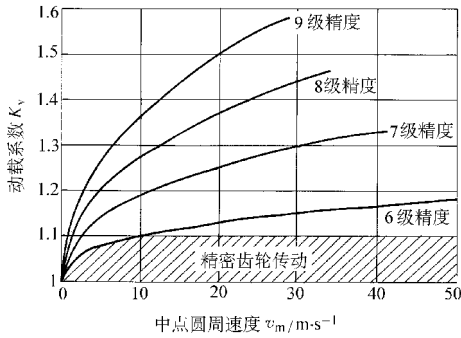
(1) 通用系数

- 1) 使用系数 K_A 见本篇第4章表4.4-43。
- 2) 动载系数 K_v
- 3) 齿向分配系数 $K_{H\beta}$ 、 $K_{F\beta}$
- 锥齿轮动载系数 K_v 一般计算方法 (GB-B 法) 计

表 4.6-29 锥齿轮动载系数 K_v 一般计算方法

参数计算			
参 数	符 号	计 算 公 式	
轮齿刚度平均值	c_γ / $N \cdot mm^{-1} \cdot \mu m^{-1}$	$c_\gamma = c_{\gamma 0} C_F C_b$ (1)	
		$c_{\gamma 0}$ —轮齿刚度平均值, 一般 $c_{\gamma 0} = 20N \cdot mm^{-1} \cdot \mu m^{-1}$	
		修正系数 C_F :	
		当 $F_t K_A / b_e \geq 100N \cdot mm^{-1}$ 时, $C_F = 1$;	
		当 $F_t K_A / b_e < 100N \cdot mm^{-1}$ 时, $C_F = \frac{F_t K_A}{100b_e}$	
		修正系数 C_b :	
当 $b_e / b \geq 0.85$ 时, $C_b = 1$			
当 $b_e / b < 0.85$ 时, $C_b = \frac{b_e}{0.85b}$			
b_e —有效齿宽, 取接触斑点的实际长度, 保守取 $b_e = 0.85b$			
诱导质量	m_{red} / $kg \cdot mm^{-1}$	$m_{red} = \frac{m_1^* m_2^*}{m_1^* + m_2^*}$ (2)	
		$m^* = \frac{1}{8} \pi \rho \frac{d_{red}}{\cos^2 \alpha_n} \frac{u^2}{1 + u^2}$	
		ρ —齿轮材料的质量密度; d_{red} —锥齿轮诱导直径, 近似取齿宽中点平均半径 $d_{red} = d_m$	
量纲为 1 的基准速度	N	$N = \frac{n_1}{n_{E1}}$ (3)	
		n_1 —小齿轮转速; n_{E1} —共振转速	
		钢制齿轮 $\rho = 7.86 \times 10^{-6} MPa, c_\gamma = 20N \cdot mm^{-1} \cdot \mu m^{-1}$	
		$N = 0.084 \frac{z_1 v_m}{100} \sqrt{\frac{u^2}{1 + u^2}}$ (4)	
共振转速	n_{E1} / $r \cdot min^{-1}$	$n_{E1} = \frac{30000}{\pi z_1} \sqrt{\frac{c_\gamma}{m_{red}}}$ (5)	
锥齿轮的单齿刚度	c' / $N \cdot mm^{-1} \cdot \mu m^{-1}$	$c' = c'_0 C_F C_b$ (6)	
		一般 $c'_0 = 14N \cdot mm^{-1} \cdot \mu m^{-1}$	
有效齿距偏差	f_{peff} / μm	$f_{peff} = f_{pt} - \gamma_\alpha$ (7)	
		f_{pt} —齿距偏差 (μm); γ_α —齿距偏差磨合量 (μm)	
K_v 的计算			
运行区间	N	计算公式	备注
亚共振区	$N \leq 0.75$	$K_v = N \left(\frac{b f_{peff} c'}{F_t K_A} (c_{v1} + c_{v2}) + c_{v3} \right) + 1$ (8)	
主共振区	$0.75 < N < 1.2$	$K_v = \frac{b f_{peff} c'}{F_t K_A} (c_{v1} + c_{v2}) + c_{v4}$ (9)	应避免在该区段运行
过渡区	$1.25 < N < 1.5$	$K_v = (4N - 3) K_v _{N=1.5} + 4(1 - N) K_v _{N=1.25}$ (10)	由式(8)和式(9)线性插值计算
超临界区	$N \geq 1.5$	$K_v = \frac{b f_{peff} c'}{F_t K_A} (c_{v5} + c_{v6}) + c_{v7}$ (11)	

注:1. 齿距偏差磨合量 y_α , 见本篇第4章表4.4-48, 用 v_m 代替表中的 v_o 。
2. 式(8)~(9)中的参数 $c_{v1} \sim c_{v7}$ 见本篇第4章表4.4-46。计算时用锥齿轮的 ε_{vy} 代替表中的 ε_γ 。

图 4.6-28 锥齿轮的动载系数 K_v (a) $K_{H\beta}$ 当有效工作齿宽 $b_e > 0.85b$:

$$K_{H\beta} = 1.5K_{H\beta e} \quad (4.6-1)$$

当有效工作齿宽 $b_e \leq 0.85b$:

$$K_{H\beta} = 1.275K_{H\beta e} \frac{b}{b_e} \quad (4.6-2)$$

式中锥齿轮装配系数 $K_{H\beta e}$ 见表 4.6-30。表 4.6-30 锥齿轮装配系数 $K_{H\beta e}$

接触区检验条件	大、小轮的装配条件		
	两轮均跨装支承	一轮均跨装支承	两轮均悬臂支承
满载下装机全部检验	1.00	1.00	1.00
轻载下全部检验	1.05	1.10	1.25
满载下抽样检验	1.20	1.32	1.50

(b) $K_{F\beta}$

$$K_{F\beta} = \frac{K_{H\beta}}{K_{F0}} \quad (4.6-3)$$

 K_{F0} 为齿长曲率系数。对于直齿锥齿轮和零度锥齿轮, $K_{F0} = 1$; 对于弧齿锥齿轮,

$$K_{F0} = 0.211 + \left(\frac{r_{c0}}{R_m} \right)^q + 0.789 \quad (4.6-4)$$

 r_{c0} 为刀盘半径, 指数 $q = \frac{0.279}{\ln(\sin \beta_m)}$ 。4) 端面载荷系数 $K_{H\alpha}$ 和 $K_{F\alpha}$ 端面载荷系数 $K_{H\alpha}$ 的一般计算方法 (GB-B 法) 计算见表 4.6-31, 简化计算方法见表 4.6-32。表 4.6-31 端面载荷系数 $K_{H\alpha}$ 和 $K_{F\alpha}$ 计算

项 目	计算公式	备 注
计算用载荷 F_{tH}/N	$F_{tH} = K_A K_V K_{H\beta} F_t$	
端面载荷系数 $K_{H\alpha}$ 、 $K_{F\alpha}$	$\varepsilon_{vy} \leq 2$ $K_{H\alpha} = K_{F\alpha} = \frac{\varepsilon_{vy}}{2} \left[0.9 + 0.4 \frac{c_{\gamma} f_{peff}}{F_{tH}/b} \right]$	ε_{vy} 、 ε_{va} 见表 4.6-27 c_{γ} 见表 4.6-29 式(1) f_{peff} 见表 4.6-29 式(7) Z_{LS}^2 见式(4.6-9)、式(4.6-10) Y_e 见式(4.6-18) ~ 式(4.6-20)
	$\varepsilon_{vy} > 2$ $K_{H\alpha} = K_{F\alpha} = 0.9 + 0.4 \sqrt{\frac{2(\varepsilon_{vy} - 1)}{\varepsilon_{vy}} \frac{c_{\gamma} f_{peff}}{F_{tH}/b}}$	
限制条件	若 $K_{H\alpha}$ 计算值小于 1, 取 $K_{H\alpha} = 1$ 若计算值 $K_{H\alpha} > \frac{\varepsilon_{vy}}{\varepsilon_{va} Z_{LS}^2}$, 取 $K_{H\alpha} = \frac{\varepsilon_{vy}}{\varepsilon_{va} Z_{LS}^2}$ 若 $K_{F\alpha}$ 计算值小于 1, 取 $K_{F\alpha} = 1$ 若计算值 $K_{F\alpha} > \frac{\varepsilon_{vy}}{\varepsilon_{va} Y_e}$, 取 $K_{F\alpha} = \frac{\varepsilon_{vy}}{\varepsilon_{va} Y_e}$	

表 4.6-32 锥齿轮端面载荷系数 $K_{H\alpha}$ 、 $K_{F\alpha}$

单位齿宽载荷 F_t/b_e			$\geq 100N \cdot mm^{-1}$						$< 100N \cdot mm^{-1}$
精度等级			6 级及以上	7	8	9	10	11	12
硬齿面	直齿	$K_{H\alpha}$	1.0		1.1	1.2	$\max[1/Z_{LS}^2, 1.2]$		
		$K_{F\alpha}$					$\max[1/Y_e^2, 1.2]$		
	斜齿、曲线齿	$K_{H\alpha}$	1.0	1.1	1.2	1.4	$\max[\varepsilon_{v\alpha n}, 1.4]$		
		$K_{F\alpha}$							
软齿面	直齿	$K_{H\alpha}$	1.0			1.1	1.2	$\max[1/Z_{LS}^2, 1.2]$	
		$K_{F\alpha}$						$\max[1/Y_e^2, 1.2]$	
	斜齿、曲线齿	$K_{H\alpha}$	1.0		1.1	1.2	1.4	$\max[\varepsilon_{v\alpha n}, 1.4]$	
		$K_{F\alpha}$							

注: Z_{LS} 按式(4.6-9)、式(4.6-10)计算; Y_e 按式(4.6-18) ~ 式(4.6-20)计算, ε_{van} 见表 4.6-27。(2) 齿面接触应力 σ_H 的修正系数1) 节点区域系数 Z_H

对于零高度变位和未高度变位的锥齿轮

$$Z_H = 2 \sqrt{\cos\beta_{vb}/\sin\alpha_{vt}} \quad (4.6-5)$$

也可查图 4.6-29。

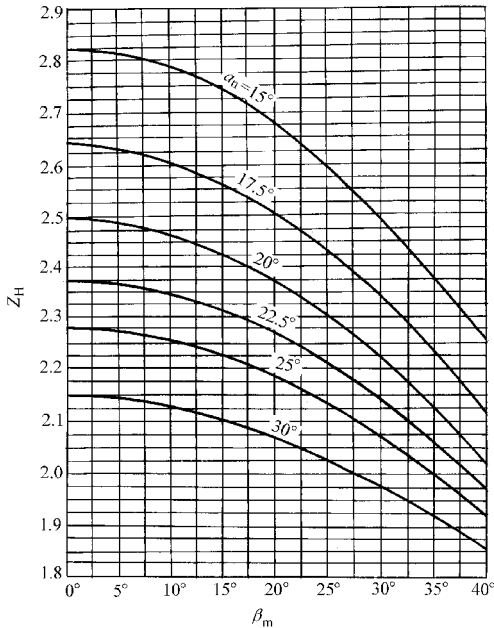


图 4.6-29 零高度变位和未高度变位的锥齿轮的节点区域系数 Z_H

2) 中点区域系数 Z_M

$$Z_M =$$

$$\frac{\tan\alpha_{vt}}{\sqrt{\left[\sqrt{\left(\frac{d_{va1}}{d_{vb1}}\right)^2 - 1} - \frac{\pi F_1}{z_{v1}}\right] \left[\sqrt{\left(\frac{d_{va2}}{d_{vb2}}\right)^2 - 1} - \frac{\pi F_2}{z_{v2}}\right]}} \quad (4.6-6)$$

式中参数 F_1 和 F_2 按表 4.6-33 计算。

表 4.6-33 计算 Z_M 用的参数 F_1 和 F_2

纵向重合度 $\varepsilon_{v\beta}$	F_1	F_2
0	2	$2(\varepsilon_{v\alpha} - 1)$
$0 < \varepsilon_{v\beta} < 1$	$2 + (\varepsilon_{v\alpha} - 2)\varepsilon_{v\beta}$	$2(\varepsilon_{v\alpha} - 1) + (\varepsilon_{v\alpha} - 2)\varepsilon_{v\beta}$
$\varepsilon_{v\beta} > 1$		$\varepsilon_{v\alpha}$

3) 弹性系数 Z_E

弹性系数 Z_E 见本篇第 4 章表 4.4-68。

4) 计算齿面接触强度的螺旋角系数 Z_β

$$Z_\beta = \sqrt{\cos\beta_m} \quad (4.6-7)$$

5) 计算齿面接触强度的锥齿轮系数 Z_K

$$Z_K = 0.8 \quad (4.6-8)$$

6) 计算齿面接触强度的载荷分配系数 Z_{LS}

当 $\varepsilon_{vy} \leq 2$ 时

$$Z_{LS} = 1 \quad (4.6-9)$$

当 $\varepsilon_{vy} > 2$ 和 $\varepsilon_{v\beta} > 1$ 时,

$$Z_{LS} = \left\{ 1 + 2 \left[1 - \left(\frac{2}{\varepsilon_{vy}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{1 - \frac{4}{\varepsilon_{vy}^2}} \right\}^{-0.5} \quad (4.6-10)$$

(3) 齿面接触强度计算的极限应力 σ_{Hlim} 和系数

1) 试验齿轮的接触疲劳极限应力 σ_{Hlim}

σ_{Hlim} 见本篇第 4 章图 4.4-17。

2) 寿命系数 Z_{NT}

Z_{NT} 见本篇第 4 章表 4.4-70 或图 4.4-18。

3) 润滑油膜影响系数 Z_L 、 Z_V 、 Z_R

确定 Z_L 、 Z_V 、 Z_R 的一般方法 (GB-B 法) 见本篇第 4 章表 4.4-71。简化方法见表 4.6-34。

表 4.6-34 Z_L 、 Z_V 、 Z_R 的值

加工工艺及齿面粗糙度 R_{z10}		Z_L 、 Z_V 、 Z_R 积
调质钢经铣切的锥齿轮副		0.85
铣切后研磨的锥齿轮副		0.92
硬化后磨削或用硬刮的锥齿轮副	$R_{z10} \leq 4\mu\text{m}$	1.0
	$R_{z10} > 4\mu\text{m}$	0.92

4) 齿面工作硬化系数 Z_W

Z_W 见本篇第 4 章图 4.4-22。

5) 尺寸系数 Z_x

Z_x 见本篇第 4 章图 4.4-23。

6) 齿面接触强度的安全系数

S_{Hmin} 见本篇第 4 章表 4.4-75。

(4) 齿根弯曲应力 σ_F 的修正系数

1) 齿形系数 Y_{Fa} 、齿根应力修正系数 Y_{Sa} 和复合齿形系数 Y_{FS}

$$Y_{FS} = Y_{Fa} Y_{Sa} \quad (4.6-11)$$

对于展成法加工的锥齿轮, 当符合条件时 Y_{FS} 按齿面当量齿轮齿数 z_{vn} 查图 4.6-25 ~ 图 4.6-27。对于不符合条件的, 分别计算 Y_{Fa} 和 Y_{Sa} 。

(a) 展成法加工齿轮的齿形系数 Y_{Fa}

$$Y_{Fa} = \frac{6 \frac{h_{Fa}}{m_{nm}} \cos\alpha_{Fan}}{\left(\frac{S_{Fn}}{m_{nm}}\right)^2 \cos\alpha_n} \quad (4.6-12)$$

式中 S_{Fn} ——齿根危险截面弦齿厚

$$\frac{S_{Fn}}{m_{nm}} = z_{vn} \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right) + \sqrt{3} \left(\frac{G}{\cos\theta} - \frac{\rho_{a0}}{m_{nm}} \right) \quad (4.6-13)$$

h_{Fa} ——弯曲力臂

$$\begin{aligned} \frac{h_{Fa}}{m_{nm}} = & \frac{1}{2} \left[(\cos\gamma_a - \sin\gamma_a \tan\alpha_{Fan}) \frac{d_{van}}{m_{nm}} \right. \\ & \left. - z_{vn} \cos\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right) - \frac{G}{\cos\theta} + \frac{\rho_{a0}}{m_{nm}} \right] \\ & \alpha_{Fan} = \arccos\left(\frac{d_{vbn}}{d_{van}}\right) \end{aligned} \quad (4.6-14)$$

$$\gamma_a = \frac{1}{z_{vn}} \left[\frac{\pi}{2} + 2(x + \tan\alpha_n + x_t) \right]$$

$$\alpha_{Fa} = \alpha_{an} - \gamma_a$$

作上述计算用到的辅助参数为

$$E = \left(\frac{\pi}{4} - x_t \right) m_{nm} - h_{a0} \tan\alpha_n - \frac{\rho_{a0}(1 - \sin\alpha_n) - S_{pr}}{\cos\alpha_n}$$

$$G = \frac{\rho_{a0}}{m_{nm}} - \frac{h_{a0}}{m_{nm}} + x$$

$$H = \frac{2}{z_{vn}} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{E}{m_{nm}} \right) - \frac{\pi}{3}$$

$$\theta = \frac{2G}{z_{vn}} \tan\theta - H \quad (4.6-15)$$

式(4.6-15)为非线性的超越方程,以 $\theta = \frac{\pi}{6}$ 为初始值,可作迭代计算。式中 ρ_{a0} 为刀尖圆角半径, S_{pr} 为刀具凸台量。

(b) 成形法加工齿轮的齿形系数 Y_{Fa}

$$Y_{Fa} = \frac{6h_{Fa}}{m_{nm}} \left(\frac{S_{Fn}}{m_{nm}} \right)^2 \quad (4.6-16)$$

式中, $h_{Fa} = h_{a0} - \frac{\rho_{a0}}{2} + m_{nm} - \left(\frac{\pi}{4} + x_t - \tan\alpha_n \right) m_{nm} \tan\alpha_n$

$$S_{Fn} = \pi m_{nm} - 2E - 2\rho_{a0} \cos 30^\circ$$

E, ρ_{a0}, h_{a0} 同前。

用于半展成锥齿轮副中的成形法加工的大齿轮。

(c) 齿根应力修正系数 Y_{Sa}

$$Y_{Sa} = (1.2 + 0.13L_a)q_s \left(\frac{1}{1.21 + 2.3/L_a} \right) \quad (4.6-17)$$

式中, $L_a = \frac{S_{Fn}}{S_{Fa}}, q_s = \frac{S_{Fn}}{2\rho_{a0}}$

式(4.6-17)中的参数 q_s 的有效范围是 $1 \leq q_s \leq 8$ 。刀具基本齿廓为 $\alpha_n = 20^\circ, h_{a0}/m_{nm} = 1.25, \rho_{a0}/m_{nm} = 0.25$ 和 $x_t = 0$ 的锥齿轮, Y_{Sa} 可查图4.6-30。

2) 计算齿根弯曲强度的重合度系数 Y_ε

Y_ε 计算如下:

当 $\varepsilon_{v\beta} = 0$ 时,

$$Y_\varepsilon = 0.25 + 0.75/\varepsilon_{v\alpha} \geq 0.625 \quad (4.6-18)$$

当 $0 < \varepsilon_{v\beta} \leq 1$ 时,

$$Y_\varepsilon = 0.25 + 0.75/\varepsilon_{v\alpha} - 0.75\varepsilon_{v\beta}/\varepsilon_{v\alpha} \geq 0.625 \quad (4.6-19)$$

当 $\varepsilon_{v\beta} > 1$ 时,

$$Y_\varepsilon = 0.625 \quad (4.6-20)$$

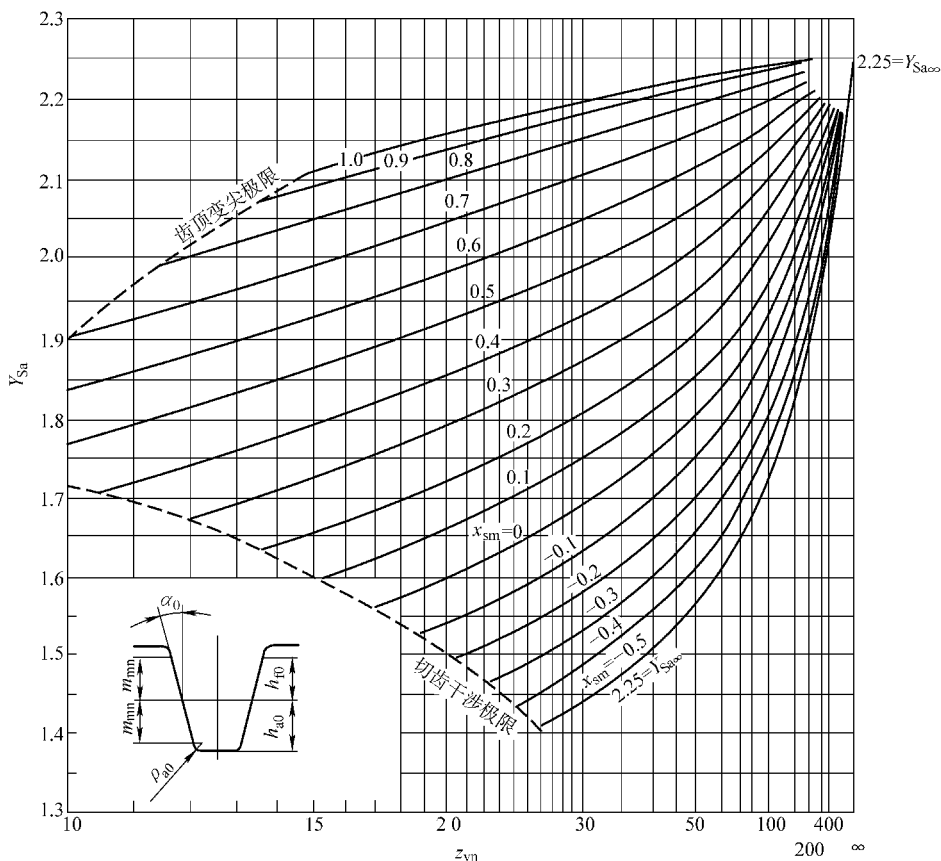


图 4.6-30 齿根应力修正系数 Y_{Sa}

3) 计算齿根弯曲强度的锥齿轮系数 Y_k

$$Y_k = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{l'_{bm}}{b} \right)^2 \frac{b}{l'_{bm}} \quad (4.6-21)$$

$$Y_A = \frac{Y_f}{2.3 \left(1 - \frac{S_{Fn}}{3h_{Fa}} \tan \alpha_n \right)} \quad (4.6-23)$$

4) 计算齿根弯曲强度的载荷分配系数 Y_{LS}

$$Y_{LS} = Z_{LS}^2 \quad (4.6-22)$$

式中, $Y_f = \sqrt{Y_{Sa}/2.3}$ 。

6) 几何系数 Y_J

5) 校正系数 Y_A

当锥齿轮的齿形尺寸、齿厚、齿宽、刀刃半径、

对于 $m_{nm} = 5\text{mm}$ 、 $\alpha_n = 20^\circ$ 、 $\beta_m = 35^\circ$ 的渗碳锥齿轮, $Y_A = 1.2$ 。其他参数的锥齿轮按式(4.6-23)计算。

压力角、螺旋角等参数相符合时, 几何系数 Y_J 按图

4.6-31 ~ 图 4.6-39 查取。

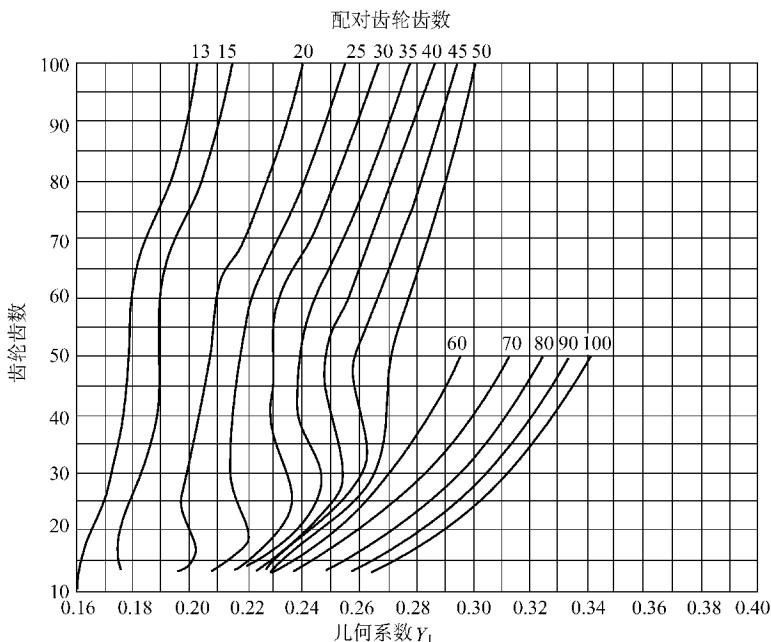


图 4.6-31 $\Sigma = 90^\circ$ 、 $\alpha_n = 20^\circ$ 、刀刃半径 $0.12m_e$ 的直齿锥齿轮的几何系数 Y_J

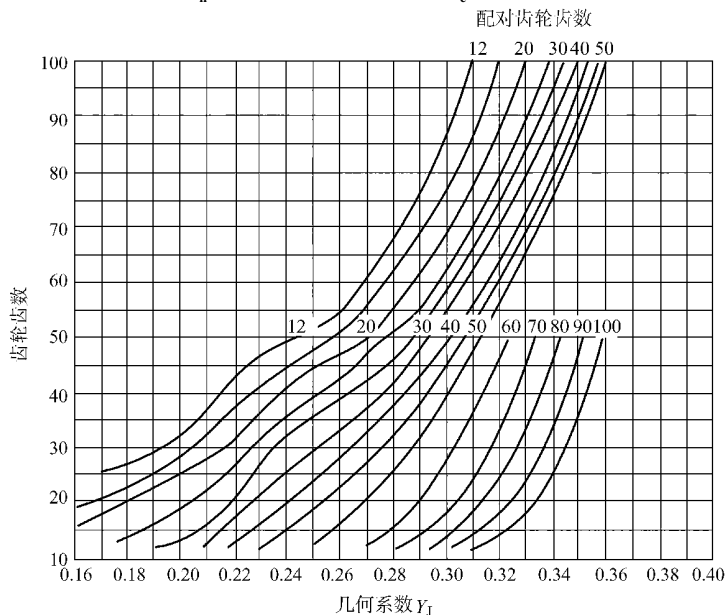


图 4.6-32 $\Sigma = 90^\circ$ 、 $\alpha_n = 20^\circ$ 、 $\beta_m = 35^\circ$ 、刀刃半径 $0.12m_e$ 的弧齿锥齿轮的几何系数 Y_J

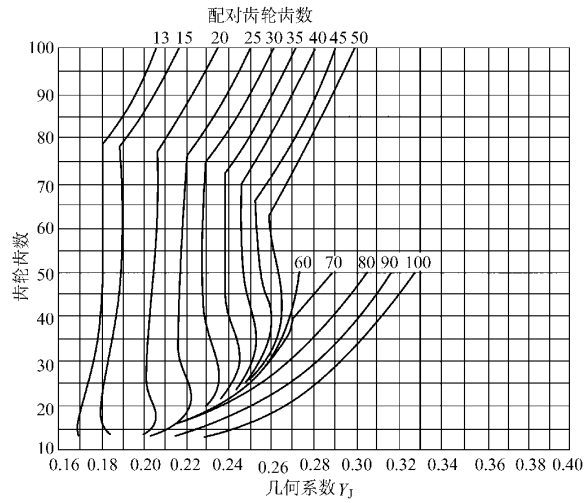


图 4.6-33 $\Sigma = 90^\circ$ 、 $\alpha_n = 20^\circ$ 、刀刃半径 $0.12m_e$ 的大模数零度齿锥齿轮的几何系数 Y_J

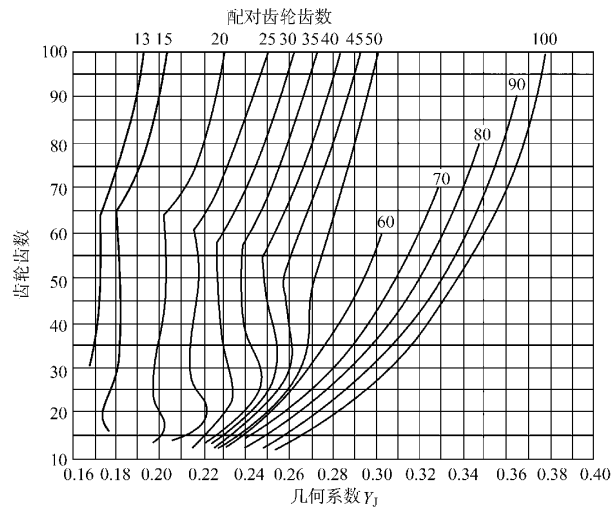


图 4.6-34 $\Sigma = 90^\circ$ 、 $\alpha_n = 20^\circ$ 鼓形直齿锥齿轮的几何系数 Y_J

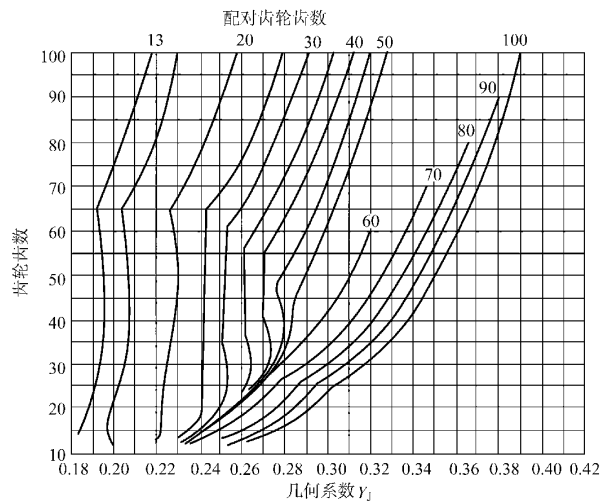


图 4.6-35 $\Sigma = 90^\circ$ 、 $\alpha_n = 25^\circ$ 鼓形直齿锥齿轮的几何系数 Y_J

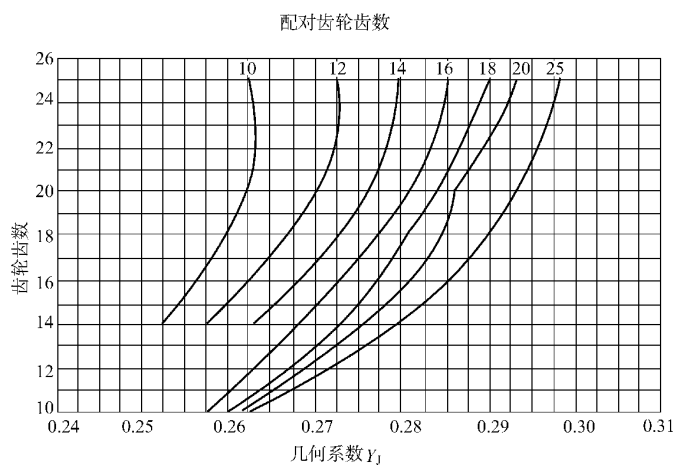


图 4.6-36 $\Sigma = 90^\circ$ 、 $\alpha_n = 22.5^\circ$ 鼓形直齿锥齿轮的几何系数 Y_J

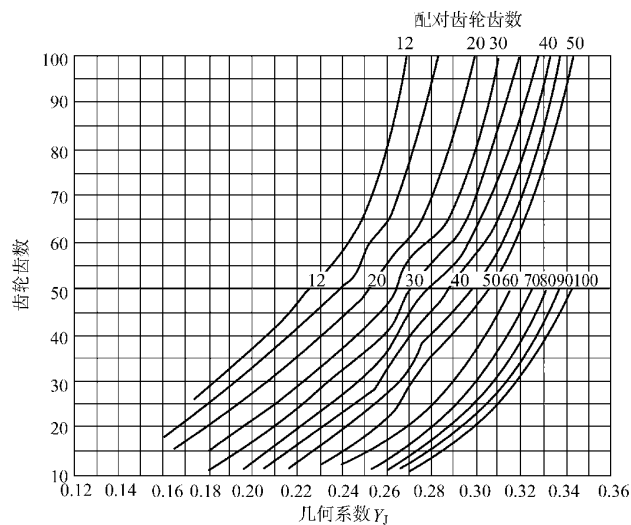


图 4.6-37 $\Sigma = 90^\circ$ 、 $\alpha_n = 20^\circ$ 、 $\beta_m = 35^\circ$ 弧齿锥齿轮的几何系数 Y_J

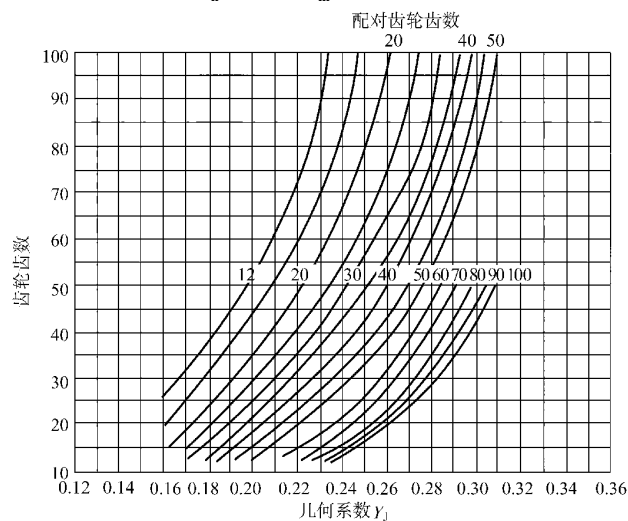


图 4.6-38 $\Sigma = 90^\circ$ 、 $\alpha_n = 20^\circ$ 、 $\beta_m = 15^\circ$ 弧齿锥齿轮的几何系数 Y_J

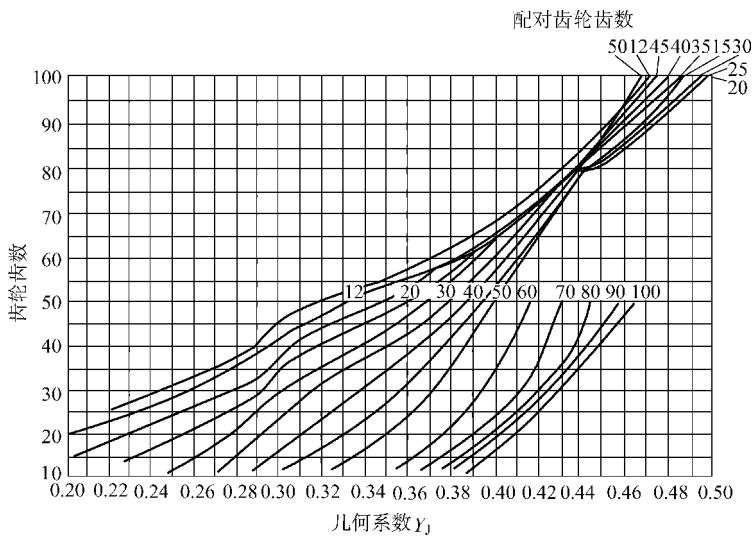


图 4.6-39 $\Sigma = 90^\circ$ 、 $\alpha_n = 25^\circ$ 、 $\beta_m = 35^\circ$ 弧齿锥齿轮的几何系数 Y_j

(5) 齿根弯曲强度计算的强度基本值 σ_{FE} 和系数

S_{Fmin} 见本篇第 4 章表 4.4-75。

1) 齿轮材料的弯曲强度基本值 σ_{FE}

3.3.4 开式锥齿轮传动的强度计算

σ_{FE} 见本篇第 4 章图 4.4-30。

开式锥齿轮传动只进行齿根弯曲强度计算。计算出的 σ_F 乘以磨损系数 K_m 后作校核。磨损系数 K_m 见本篇第 4 章表 4.4-86。

2) 寿命系数 Y_{NT}

Y_{NT} 见本篇第 4 章图 4.4-31。

3) 相对齿根圆角敏感系数 $Y_{\delta relT}$

3.4 锥齿轮传动设计举例

$Y_{\delta relT}$ 见本篇第 4 章，一般计算方法：式 (4.4-15)；简化计算方法：式 (4.4-18)。

4) 相对齿根表面状况系数 Y_{RrelT}

例 4.6-1 设计某机床主传动用 6 级直齿锥齿轮传动。已知：小轮传动的转矩 $T_1 = 140N \cdot m$ ，小轮转速 $n_1 = 960r \cdot min^{-1}$ ；大轮转速 $n_2 = 325r \cdot min^{-1}$ 。两轮轴线相交成 90° ，小轮悬臂支承，大轮两端支承。大、小轮均采用 20Cr 渗碳、淬火，齿面硬度 $58 \sim 63HRC$ 。齿面粗糙度 $R_{z1} = R_{z2} = 3.2\mu m$ 。采用 100 号中极压齿轮润滑油，齿轮长期工作。

Y_{RrelT} 见本篇第 4 章，一般计算方法：表 4.4-82；简化计算方法：表 4.4-83。

5) 尺寸系数 Y_x

Y_x 按中点法面模数 m_{mm} 查本篇第 4 章表 4.4-79。

6) 齿根弯曲强度的安全系数 S_{Fmin}

解：

计 算 项 目	计 算 和 说 明
1. 初步设计	
设计公式	$d'_{el} \geq 1951 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{u\sigma_{HP}^2}}$ (查表 4.6-26, 闭式直齿锥齿轮)
载荷系数	$K = 1.5$
齿数比	$u = i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{960}{325} = 2.954$
估算时的齿轮许用接触应力	$\sigma'_{HP} = \frac{\sigma'_{Hlim}}{S'_H} = \frac{1300}{1.1} MPa = 1182 MPa$ 式中，试验齿轮的接触疲劳强度极限 $\sigma_{Hlim} = 1300 MPa$ (查图 4.4-17h)，估算时的安全系数 $S'_H = 1.1$
估算结果	$d'_{el} \geq 1951 \sqrt[3]{\frac{1.5 \times 140}{2.954 \times 1182^2}} mm = 72.296 mm$
2. 几何计算	
齿数	取 $z_1 = 21$ ， $z_2 = uz_1 = 2.954 \times 21 = 62$ ，实际齿数比 $u = z_2/z_1 = 62/21 = 2.9524$
分锥角	$\delta_1 = \arctan \frac{z_1}{z_2} = \arctan \frac{21}{62} = 18.71174^\circ = 18^\circ 42' 42''$

(续)

计 算 项 目	计 算 和 说 明
	$\delta_2 = \arctan \frac{z_1}{z_2} = \arctan \frac{62}{21} = 71.28826^\circ = 71^\circ 17' 18''$
大端模数	$m_e = \frac{d'_{e1}}{z_1} = \frac{72.296}{21} = 3.44\text{mm}$, 取 $m_e = 3.5\text{mm}$, 表 4.6-3
大端分度圆直径	$d_{e1} = z_1 m_e = 21 \times 3.5\text{mm} = 73.5\text{mm}$ $d_{e2} = z_2 m_e = 62 \times 3.5\text{mm} = 217\text{mm}$
外锥距	$R_e = d_{e1} / 2 \sin \delta_1 = 114.555\text{mm}$
齿宽系数	取 $\phi_R = 0.3$
齿宽	$b = \phi_R R_e = 0.3 \times 114.555 = 34.366$, 取 $b = 34\text{mm}$ 实际齿宽系数 $\phi_R = \frac{b}{R_e} = \frac{34}{114.555} = 0.2968$
中点模数	$m_m = m_e (1 - 0.5\phi_R) = 2.9806\text{mm}$
中点分度圆直径	$d_{m1} = d_{e1} (1 - 0.5\phi_R) = 62.593\text{mm}$ $d_{m2} = d_{e2} (1 - 0.5\phi_R) = 184.797\text{mm}$
切向变位系数	$x_{t1} = 0 \quad x_{t2} = 0$
高变位系数	$x_1 = 0 \quad x_2 = 0$
顶隙	$c = c^* m_e = 0.2 \times 3.5 = 0.875\text{mm}$ (GB 12369—1990 齿制 $c^* = 0.2$)
大端齿顶高	$h_{a1} = (1 + x_1) m_e = (1 + 0) \times 3.5 = 3.5\text{mm}$, $h_{a2} = 3.5\text{mm}$
大端齿根高	$h_{f1} = (1 + c^* - x_1) m_e = (1 + 0.2 - 0) \times 3.5 = 4.2\text{mm}$ $h_{f2} = (1 + c^* - x_2) m_e = (1 + 0.2 - 0) \times 3.5 = 4.2\text{mm}$
全齿高	$h = (2 + c^*) m_e = (2 + 0.2) \times 3.5 = 7.7\text{mm}$
齿根角	$\theta_{f1} = \arctan \frac{h_{f1}}{R_e} = \arctan \frac{4.2}{114.555} = 2.09973^\circ = 2^\circ 05' 59''$ $\theta_{f2} = \arctan \frac{h_{f2}}{R_e} = 2^\circ 05' 59''$
齿顶角	$\theta_{a1} = \theta_{f2} = 2^\circ 05' 59''$, $\theta_{a2} = \theta_{f1} = 2^\circ 05' 59''$ (采用等顶隙收缩齿)
顶锥角	$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{a1} = 18^\circ 42' 42'' + 2^\circ 05' 59'' = 20^\circ 48' 41''$ $\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{a2} = 71^\circ 17' 18'' + 2^\circ 05' 59'' = 73^\circ 23' 17''$
根锥角	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1} = 18^\circ 42' 42'' - 2^\circ 05' 59'' = 16^\circ 36' 43''$ $\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2} = 71^\circ 17' 18'' - 2^\circ 05' 59'' = 69^\circ 11' 19''$
大端齿顶圆直径	$d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{a1} \cos \delta_1 = (73.5 + 2 \times 3.5 \cos 18^\circ 71' 17'') \text{mm} = 80.130\text{mm}$ $d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{a2} \cos \delta_2 = (217 + 2 \times 3.5 \cos 71.2883^\circ) \text{mm} = 219.246\text{mm}$
安装距	$A_1 = 120.179\text{mm} \quad A_2 = 105\text{mm}$
冠顶距	$A_{K1} = \frac{d_{e2}}{2} - h_{a1} \sin \delta_1 = \left(\frac{217}{2} - 3.5 \sin 18.7117^\circ \right) \text{mm} = 107.377\text{mm}$ $A_{K2} = \frac{d_{e1}}{2} - h_{a2} \sin \delta_2 = \left(\frac{73.5}{2} - 3.5 \sin 71.2883^\circ \right) \text{mm} = 33.435\text{mm}$
大端分度圆弧齿厚	$s_1 = m_e \left(\frac{\pi}{2} + 2x_1 \tan \alpha + x_{t1} \right) = \left[3.5 \times \left(\frac{\pi}{2} - 2 \times 0 \times \tan 20^\circ + 0 \right) \right] \text{mm} = 5.4978\text{mm}$ (标准压力角 $\alpha = 20^\circ$) $s_2 = \pi m_e - s_1 = 5.4978\text{mm}$
大端分度圆弦齿厚	$\bar{s}_1 = s_1 \left(1 - \frac{s_1^2}{6d_{e1}^2} \right) = \left[5.4978 \times \left(1 - \frac{5.4978^2}{6 \times 73.5^2} \right) \right] \text{mm} = 5.4927\text{mm}$ $\bar{s}_2 = s_2 \left(1 - \frac{s_2^2}{6d_{e2}^2} \right) = \left[5.4978 \times \left(1 - \frac{5.4978^2}{6 \times 217^2} \right) \right] \text{mm} = 5.4972\text{mm}$
大端分度圆弦齿高	$\bar{h}_1 = h_{a1} + \frac{s_1^2 \cos \delta_1}{4d_{e1}} = \left[3.5 + \frac{5.4927^2 \cos 18.7117^\circ}{4 \times 73.5} \right] \text{mm} = 3.5972\text{mm}$ $\bar{h}_2 = h_{a2} + \frac{s_2^2 \cos \delta_2}{4d_{e2}} = \left[3.5 + \frac{5.4978^2 \cos 71.28826^\circ}{4 \times 217} \right] \text{mm} = 3.5112\text{mm}$
当量齿数	$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1} = \frac{21}{\cos 18.7117^\circ} = 22.172$, $z_{v2} = \frac{z_2}{\cos \delta_2} = \frac{62}{\cos 71.2883^\circ} = 193.263$

(续)

计 算 项 目	计 算 和 说 明
当量齿轮分度圆直径	$d_{v1} = d_{m1} \frac{\sqrt{u^2 + 1}}{u} = \left(62.593 \times \frac{\sqrt{2.9524^2 + 1}}{2.5924} \right) \text{mm} = 66.086 \text{mm}$
当量齿轮顶圆直径	$d_{v2} = u^2 d_{v1} = (2.5924^2 \times 62.593) \text{mm} = 576.042 \text{mm}$ $d_{va1} = d_{v1} + 2h_a = (66.086 + 2 \times 1 \times 2.9608) \text{mm} = 72.047 \text{mm}$ $d_{va2} = d_{v2} + 2h_a = (576.042 + 2 \times 1 \times 2.9608) \text{mm} = 582.003 \text{mm}$
当量齿轮根圆直径	$d_{vb1} = d_{v1} \cos \alpha = (66.086 \times \cos 20^\circ) \text{mm} = 62.100 \text{mm}$ $d_{vb2} = d_{v2} \cos \alpha = (576.042 \times \cos 20^\circ) \text{mm} = 541.302 \text{mm}$
当量齿轮传动中心距	$a_v = \frac{1}{2}(d_{v1} + d_{v2}) = \left[\frac{1}{2} \times (66.086 + 576.042) \right] \text{mm} = 321.064 \text{mm}$
当量齿轮基圆齿距	$p_{vb} = \pi m_m \cos \alpha = [3.14 \times 2.9608 \times \cos 20^\circ] \text{mm} = 8.7991 \text{mm}$
啮合线长度	$g_{v\alpha} = \frac{1}{2}(\sqrt{d_{va1}^2 - d_{vb1}^2} + \sqrt{d_{va2}^2 - d_{vb2}^2}) - a_v \sin \alpha_{vt}$ $= \left[\frac{1}{2}(\sqrt{72.047^2 - 62.1^2} + \sqrt{582.003^2 - 542.302^2}) - 321.064 \times \sin 20^\circ \right] \text{mm} = 15.365 \text{mm}$
端面重合度	$\varepsilon_{v\alpha} = \frac{g_{v\alpha}}{p_{vb}} = \frac{15.365}{8.799} = 1.746$
齿中部接触线长度	$l_{bm} = \frac{2b \sqrt{\varepsilon_{v\alpha} - 1}}{\varepsilon_{v\alpha}} = \frac{2 \times 34 \times \sqrt{1.746 - 1}}{1.746} \text{mm} = 33.63 \text{mm}$
齿中部接触线的投影长度	$l'_{bm} = l_{bm} = 33.63 \text{mm}$
3. 齿面接触疲劳强度校核	
计算公式	由表 4.6-28 强度条件 $\sigma_H \leq \sigma_{HP}$ 齿面接触应力 $\sigma_H = Z_M Z_H Z_E Z_{LS} Z_\beta Z_K \sqrt{\frac{K_A K_v K_{H\beta} K_{H\alpha} F_t}{d_{m1} l_{bm}}} \times \frac{\sqrt{u^2 + 1}}{u}$ 许用接触应力 $\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim} Z_{NT} Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X}{S_{Hmin}}$
中点分度圆上的切向力	$F_t = \frac{2000 T_1}{d_{m1}} = \frac{2000 \times 140}{62.593} \text{N} = 4473 \text{N}$
使用系数	$K_A = 1.25$ (表 4.4-43)
动载系数	由 6 级精度和中点节线速度 $v_m = \frac{\pi d_{m1} n_1}{60 \times 1000} = \frac{\pi \times 62.593 \times 960}{60 \times 1000} \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = 3.145 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 查图 4.6-28, $K_v = 1.045$
齿向载荷分布系数	由表 4.6-30 取 $K_{H\beta e} = 1.1$, 有效工作齿宽 $b_e > 0.85b$, 按式 (4.6-2), $K_{H\beta} = 1.5 K_{H\beta e} = 1.5 \times 1.1 = 1.65$
端面载荷系数	$F_t/b_e \approx F_t/b = 4473/34 = 131.5 > 100 \text{N/mm}$, 由表 4.6-32, $K_{H\alpha} = 1.0$
节点区域系数	$Z_H = 2.5$, 图 4.6-29
中点区域系数	由式 (4.6-6) 计算: $Z_M = \frac{\tan \alpha_{vt}}{\sqrt{\left[\sqrt{\left(\frac{d_{va1}}{d_{vb1}} \right)^2 - 1} - \frac{\pi F_1}{z_{v1}} \right] \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{d_{va2}}{d_{vb2}} \right)^2 - 1} - \frac{\pi F_2}{z_{v2}} \right] \tan 20^\circ}}$ $= \frac{\tan 20^\circ}{\sqrt{\left[\sqrt{\left(\frac{72.047}{62.1} \right)^2 - 1} - \frac{\pi \times 2}{22.172} \right] \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{582.003}{541.302} \right)^2 - 1} - \frac{\pi \times 1.492}{193.263} \right]}}$ $= 1.082$
弹性系数	参数 F_1 和 F_2 按表 4.6-33 计算: $F_1 = 2; F_2 = 2(\varepsilon_{v\alpha} - 1) = 2 \times (1.746 - 1) = 1.492$
螺旋角系数	$Z_E = 189.8 \sqrt{\text{N/mm}^2}$ (表 4.4-68)
锥齿轮系数	直齿轮, $Z_\beta = 1$
载荷分配系数	由式 (4.6-8), $Z_K = 0.8$ 由式 (4.6-9), $Z_{LS} = 1$

(续)

计 算 项 目	计 算 和 说 明
计算接触应力	$\sigma_H = \left(\sqrt{\frac{1.25 \times 1.045 \times 1.65 \times 1.0 \times 4473}{62.593 \times 33.63}} \cdot \frac{\sqrt{2.9524^2 + 1}}{2.9524} \right. \\ \left. \times 1.083 \times 2.5 \times 189.8 \times 1 \times 1 \times 0.8 \right) \text{MPa} = 904 \text{MPa}$
试验齿轮的接触疲劳极限	$\sigma_{Hlim} = 1300 \text{MPa}$ (图 4.4-17h)
寿命系数	$Z_N = 1$, 长期工作, 取为无限寿命设计
润滑油影响系数	$Z_L Z_V Z_R = 0.92$ (表 4.6-34)
工作硬化系数	$Z_W = 1$
尺寸系数	$Z_s = 1$
最小安全系数	$S_{Hmin} = 1.1$
许用接触应力值	$\sigma_{HP} = \left(\frac{1300}{1.1} \times 1 \times 0.92 \times 1 \times 1 \right) \text{MPa} = 1087.3 \text{MPa}$
齿面接触强度校核结果	$\sigma_H = 904 \text{MPa} < \sigma_{HP} = 1087.3 \text{MPa}$; 通过
4. 齿根抗弯疲劳强度校核	
计算公式	由表 4.6-28, 强度条件 $\sigma_F \leq \sigma_{FP}$ 齿面接触应力 $\sigma_F = \sigma_{F0} K_A K_V K_{F\beta} K_{F\alpha}$ 齿根弯曲应力基本值 $\sigma_{F0} = \frac{F_t}{b m_{nm}} Y_{Fa} Y_{Sa} Y_\varepsilon Y_K Y_{LS}$ 许用弯曲应力 $\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{FE} Y_{NT} Y_{\delta relT} Y_{RrelT} Y_s}{S_{Fmin}}$
通用系数	$K_A = 1.25$; $K_V = 1.045$; $K_{F\beta} = K_{H\beta} = 1.65$; $K_{F\alpha} = K_{H\alpha} = 1.0$; $F_t = 4473 \text{N}$ 。同前
复合齿形系数	$Y_{FS1} = Y_{Fa1} Y_{Sa1} = 4.72$, $Y_{FS2} = Y_{Fa2} Y_{Sa2} = 4.2$ 。 按当量齿轮齿数 $z_{v1} = 22.172$ 、 $z_{v2} = 193.263$ (图 4.6-25)
重合度系数	$Y_\varepsilon = 0.25 + 0.75/\varepsilon_{v\alpha} = 0.25 + 0.75/1.746 = 0.68$, 式 (4.6-18)
锥齿轮系数	按式 (4.6-21) 计算
	$Y_K = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{l'_{bm}}{b} \right)^2 \frac{b}{l'_{bm}} = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{33.63}{34} \right)^2 \times \frac{34}{33.63} = 1$
载荷分配系数	$Y_{LS} = Z_{LS}^2 = 1$, 式 (4.6-22)
齿根弯曲应力计算值	$\sigma_{F1} = \left(\frac{1.25 \times 1.045 \times 1.65 \times 1.0 \times 4473}{34 \times 2.9806} \times 4.72 \times 0.68 \times 1 \times 1 \right) \text{MPa} = 305.3 \text{MPa}$ $\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \frac{Y_{FS2}}{Y_{FS1}} = 305.3 \times \frac{4.2}{4.72} \text{MPa} = 271.7 \text{MPa}$
齿根弯曲疲劳强度基本值	$\sigma_{FE} = 630 \text{MPa}$ (图 4.4-30)
寿命系数	$Y_{NT} = 1$, 长期工作, 取为无限寿命设计
相对齿根圆角敏感系数	$R_{\delta relT} = 1$
相对齿根表面状况系数	$R_{RrelT} = 1$
尺寸系数	$Y_{s1} = Y_{s2} = 1$ (表 4.4-79)
最小安全系数	$S_{Fmin} = 1.4$
许用弯曲应力值	$\sigma_{FP1} = \sigma_{FP2} = \left(\frac{630}{1.4} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \right) \text{MPa} = 450 \text{MPa}$
齿根弯曲强度校核结果	$\sigma_{F1} = 305.3 \text{MPa} < \sigma_{FP1} = 450 \text{MPa}$; $\sigma_{F2} = 271.7 \text{MPa} < \sigma_{FP2} = 450 \text{MPa}$ 。通过
5. 结构和工作图	小轮结构为齿轮轴, 工作图见 4.6-41; 大齿轮为锻造孔板式, 工作图略

例 4.6-2 设计某运输机用 6 级精度克林根贝尔格锥齿轮传动。已知: 小齿轮传动的转矩 $T_1 = 750 \text{N} \cdot \text{m}$, 转速 $n_1 = 960 \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$; 大轮转速 $n_2 = 175 \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。轴交角 90° , 小轮悬臂支承, 大轮跨支。

小轮用 20CrMnMo 经渗碳淬火, 齿面硬度 $56 \sim 62 \text{HRC}$ 。大轮用 42CrMo 调质, 齿面硬度 $250 \sim 300 \text{HBW}$ 。齿面粗糙度 $R_{z1} = R_{z2} = 3.2 \mu\text{m}$ 。采用 100 号中极压齿轮润滑油, 齿轮长期工作。

解:

计 算 项 目	计 算 和 说 明
1. 初步设计	
设计公式	$d_{e1} \geq 1636 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{u\sigma_{HP}^2}}$ 闭式曲线锥齿轮, $\beta_m \approx 35^\circ$ (表 4.6-26)
载荷系数	$K = 1.7$
齿数比	$u = i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{960}{175} = 5.486$
估算时的许用接触应力	$\sigma'_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_H} = \frac{770}{1.1} \text{MPa} = 700 \text{MPa}$ 式中, 试验齿轮的接触疲劳极限 $\sigma_{Hlim1} = 1300 \text{MPa}$, 查图 4.4-17h; $\sigma_{Hlim2} = 770 \text{MPa}$, 查图 4.4-17f; 安全系数 $S_H = 1.1$
计算结果	$d_{e1} \geq 1636 \sqrt[3]{\frac{1.7 \times 750}{5.486 \times 700^2}} \text{mm} = 127.6 \text{mm}, \text{ 取 } d_{e1} = 130 \text{mm}$
2. 几何计算	下列参数见表 4.6-18 举例栏: 齿数 $z_1 = 0, z_2 = 49$ 实际齿数比 $u = 5.4444$ 齿宽 $b = 105 \text{mm}$ 中点分度圆直径 $d_{m1} = 111.032 \text{mm}, d_{m2} = 604.505 \text{mm}$ 分锥角 $\delta_1 = 10.40771^\circ, \delta_2 = 79.59230^\circ$ 中点法面模数 $m_{nm} = 10.5 \text{mm}$ 中点螺旋角 $\beta_m = 31.6675^\circ = 31^\circ 40' 03''$ 当量齿轮分度圆直径 $d_{v1} = d_{m1} \frac{\sqrt{u^2 + 1}}{u} = \left(111.032 \times \frac{\sqrt{5.4444^2 + 1}}{5.4444} \right) \text{mm} = 112.889 \text{mm}$ $d_{v2} = u^2 d_{v1} = (5.4444^2 \times 112.889) \text{mm} = 3346.263 \text{mm}$ 当量齿轮顶圆直径 $d_{va1} = d_{v1} + 2h_a = d_{v1} + 2h_a^* m_{nm} = (112.889 + 2 \times 1 \times 10.5) \text{mm} = 132.032 \text{mm}$ $d_{va2} = d_{v2} + 2h_a = (3346.263 + 2 \times 1 \times 10.5) \text{mm} = 3367.263 \text{mm}$ 当量齿轮基圆直径 $d_{vb1} = d_{v1} \cos \alpha_{vt} = (112.889 \times \cos 23.1536^\circ) \text{mm} = 103.796 \text{mm}$ $d_{vb2} = d_{v2} \cos \alpha_{vt} = (3346.263 \times \cos 23.1536^\circ) \text{mm} = 3076.735 \text{mm}$ 当量齿轮端面压力角 $\alpha_{vt} = \arctan \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta_m} = \arctan \frac{\tan 20^\circ}{\cos 31.6675^\circ} = 23.1536^\circ$ 当量齿轮传动中心距 $a_v = \frac{1}{2} (d_{v1} + d_{v2}) = \left[\frac{1}{2} \times (112.889 + 3346.263) \right] \text{mm} = 1729.576 \text{mm}$ 当量齿轮基圆螺旋角 $\beta_{vb} = \arcsin (\sin \beta_m \cos \alpha_n) = \arcsin (\sin 31.6675^\circ \times \cos 20^\circ) = 29.5596^\circ$ 当量圆柱齿轮齿数 $z_{v1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1} = \frac{9}{\cos 10.40771^\circ} = 9.15, z_{v2} = \frac{z_2}{\cos \delta_1} = \frac{49}{\cos 79.59230^\circ} = 271.2$ 当量法面圆柱齿轮齿数 $z_{vn1} = \frac{z_1}{\cos^2 \beta_{vb} \cos \beta_m \cos \delta_1} = \frac{9}{\cos^2 29.5596^\circ \cos 31.6675^\circ \cos 10.40771^\circ} = 14.2$ $z_{vn2} = \frac{z_2}{\cos^2 \beta_{vb} \cos \beta_m \cos \delta_2} = \frac{49}{\cos^2 29.5596^\circ \cos 31.6675^\circ \cos 79.59230^\circ} = 421.2$ 当量齿轮基圆端面齿距 $p_{vb} = \pi m_{nm} \cos \alpha_{vt} = \pi \times 10.5 \times \cos 23.1536^\circ = 30.330 \text{mm}$ 啮合线长度 $g_{va} = \frac{1}{2} (\sqrt{d_{va1}^2 - d_{vb1}^2} + \sqrt{d_{va2}^2 - d_{vb2}^2}) - a_v \sin \alpha_{vt}$ $= \left[\frac{1}{2} (\sqrt{132.032^2 - 103.796^2} + \sqrt{3367.263^2 - 3076.735^2}) - 1729.576 \times \sin 23.1536^\circ \right] \text{mm}$ $= 44.72 \text{mm}$ 端面重合度 $\varepsilon_{va} = \frac{g_{va}}{p_{vb}} = \frac{44.72}{30.33} = 1.474$

(续)

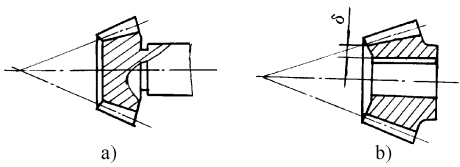
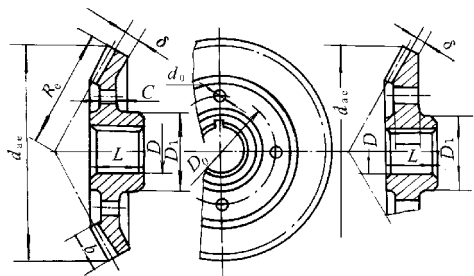
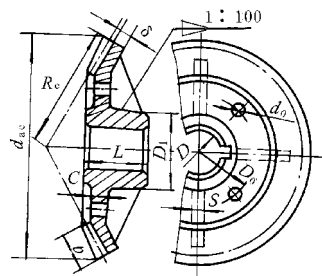
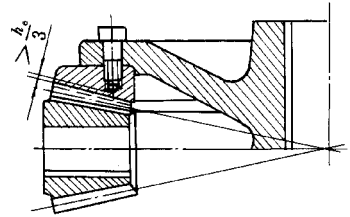
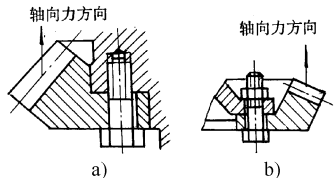
计 算 项 目	计 算 和 说 明
纵向重合度	$\varepsilon_{v\beta} = \frac{b \sin \beta_m}{\pi m_{nm}} = \frac{105 \times \sin 31.6675^\circ}{\pi \times 10.5} = 1.671$
总重合度	$\varepsilon_{v\gamma} = \sqrt{\varepsilon_{v\alpha}^2 + \varepsilon_{v\beta}^2} = \sqrt{1.474^2 + 1.671^2} = 2.228$
齿中部接触线长度	由 $\varepsilon_{v\beta} = 2.228 \geq 1$, $l_{bm} = \frac{b \varepsilon_{v\alpha}}{\varepsilon_{v\gamma} \cos \beta_{vb}} = \frac{105 \times 1.474}{2.228 \times \cos 29.5596^\circ} \text{mm} = 79.86 \text{mm}$
齿中部接触线的投影长度	$l'_{bm} = l_{bm} \cos \beta_{vb} = (79.86 \times \cos 29.5596^\circ) \text{mm} = 69.5 \text{mm}$
3. 齿面接触疲劳强度校核 计算公式	由表 4.6-28 强度条件 $\sigma_H \leq \sigma_{HP}$ 齿面接触应力 $\sigma_H = Z_M Z_H Z_E Z_{LS} Z_\beta Z_K \sqrt{\frac{K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha} F_t}{d_{m1} l_{bm}}} \times \frac{\sqrt{u^2 + 1}}{u}$ 许用接触应力 $\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim} Z_{NT} Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X}{S_{Hmin}}$
中点分度圆切向力	$F_t = \frac{2000 T_1}{d_{m1}} = \frac{2000 \times 750}{111.032} = 13510 \text{N}$
使用系数	$K_A = 1.25$, 表 4.4-29
动载系数	由 6 级精度和中点节线速度 $v_m = \frac{\pi d_{m1} n_1}{60 \times 1000} = \frac{\pi \times 111.032 \times 960}{60 \times 1000} \text{m/s} = 5.58 \text{m/s}$, 查图 4.6-28。 $K_V = 1.08$
齿向载荷分布系数	由表 4.6-30 取 $K_{H\beta e} = 1.1$, 有效工作齿宽 $b_e > 0.85b$, 按式 (4.6-2) $H_{H\beta} = 1.5 K_{H\beta e} = 1.5 \times 1.1 = 1.65$
端面载荷系数	$F_t/b_e \approx F_t/b = 13510/105 \text{N/mm} = 128.7 \text{N/mm} > 100 \text{N/mm}$, 由表 4.6-32, $K_{H\alpha} = 1.0$
节点区域系数	由式 4.6-5, $Z_H = 2\sqrt{\cos \beta_{vb} / \sin(2\alpha_{vt})} = 2\sqrt{\cos 29.5596^\circ / \sin(2 \times 23.1536^\circ)} = 2.194$
中点区域系数	由式 (4.6-6) 计算: $Z_M = \frac{\tan \alpha_{vt}}{\sqrt{\left[\sqrt{\left(\frac{d_{va1}}{d_{vb1}} \right)^2 - 1} - \frac{\pi F_1}{z_{v1}} \right] \left[\sqrt{\left(\frac{d_{va2}}{d_{vb2}} \right)^2 - 1} - \frac{\pi F_2}{z_{v2}} \right] \tan 23.1536^\circ}}$ $= \frac{\tan 23.1536^\circ}{\sqrt{\left[\sqrt{\left(\frac{132.032}{103.796} \right)^2 - 1} - \frac{\pi \times 1.474}{9.15} \right] \left[\sqrt{\left(\frac{3367.263}{3076.735} \right)^2 - 1} - \frac{\pi \times 1.474}{271.2} \right]}}$ $= 1.236$ 参数 F_1 和 F_2 按表 4.6-33 计算: $F_1 = F_2 = \varepsilon_{v\alpha} = 1.474$
弹性系数	$Z_E = 189.8 \sqrt{\text{N/mm}^2}$ (表 4.4-68)
螺旋角系数	由式 (4.6-7) 计算: $Z_\beta = \sqrt{\cos \beta_m} = \sqrt{\cos 31.6675^\circ} = 0.922$
锥齿轮系数	由式 (4.6-8), $Z_K = 0.8$
载荷分配系数	由式 (4.6-10) 计算 $Z_{LS} = \left\{ 1 + 2 \left[1 - \left(\frac{2}{\varepsilon_{v\gamma}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{1 - \frac{4}{\varepsilon_{v\gamma}^2}} \right\}^{-0.5}$ $= \left\{ 1 + 2 \left[1 - \left(\frac{2}{2.228} \right)^{1.5} \right] \sqrt{1 - \frac{4}{2.228^2}} \right\}^{-0.5} = 0.94$
计算接触应力	$\sigma_H = \left(\sqrt{\frac{1.25 \times 1.08 \times 1.65 \times 1.0 \times 13510}{111.032 \times 79.86}} \times \frac{\sqrt{5.444^2 + 1}}{5.444} \right. \\ \left. \times 1.236 \times 2.194 \times 189.8 \times 0.94 \times 0.922 \times 0.8 \right) \text{MPa} = 662 \text{MPa}$
许用接触应力	$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_{Hmin}} Z_{NT} Z_{LVR} Z_X Z_W$
试验齿轮的接触疲劳极限	$\sigma_{Hlim1} = 1300 \text{MPa}$, $\sigma_{Hlim2} = 770 \text{MPa}$ (图 4.4-17)

(续)

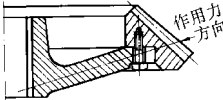
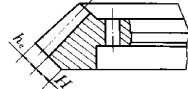
计 算 项 目	计 算 和 说 明
寿命系数	$Z_{NT1} = Z_{NT2} = 1$, 长期工作, 取为无限寿命设计
润滑油膜影响系数	按中点节线速度 $V_m = 5.58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $\sigma_{Hlim1} = 1300 \text{ MPa}$ 、 $\sigma_{Hlim2} = 770 \text{ MPa}$, 润滑油粘度 $\nu = (90 \sim 100) \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (40°C), 查表 4.4-71, $Z_{L1} = 0.96$, $Z_{L2} = 0.94$, $Z_{V1} = 0.96$, $Z_{V2} = 0.98$, $Z_{R1} = Z_{R2} = 1.0$
工作硬化系数	$Z_{W1} = 1$, $Z_{W2} = 1.12$ (图 4.4-22)
尺寸系数	$Z_{s1} = 0.95$, $Z_{s2} = 1$ (图 4.4-23)
最小安全系数	$S_{Hmin} = 1.1$
许用接触应力值	$\sigma_{HP1} = \frac{1300}{1.1} \times 1 \times 0.96 \times 0.96 \times 1 \times 1 \times 0.95 \text{ MPa} = 1035 \text{ MPa}$ $\sigma_{HP2} = \frac{770}{1.1} \times 1 \times 0.94 \times 0.98 \times 1 \times 1.12 \times 1 \text{ MPa} = 722 \text{ MPa}$ $\sigma_{HP} = \min(\sigma_{Hlim1}, \sigma_{Hlim2}) = \min(1035, 722) = 722 \text{ MPa}$
齿面接触强度校核结果	$\sigma_H = 662 \text{ MPa} < \sigma_{HP} = 722 \text{ MPa}$ 。通过
4. 齿根弯曲疲劳强度校核	
计算公式	由表 4.6-28 强度条件 $\sigma_F \leq \sigma_{FP}$ 齿面接触应力 $\sigma_F = \sigma_{F0} K_A K_V K_{F\beta} K_{F\alpha}$ 齿根弯曲应力基本值 $\sigma_{F0} = \frac{F_t}{bm_{nm}} Y_{Fa} Y_{Sa} Y_\varepsilon Y_K Y_{LS}$ 许用弯曲应力 $\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{FE} Y_{NT} Y_{\delta relT} Y_{R relT} Y_s}{S_{Fmin}}$
通用系数	$K_A = 1.25$; $K_V = 1.08$; $K_{F\beta} = K_{HP} = 1.65$; $K_{F\alpha} = K_{H\alpha} = 1.0$; $F_t = 13510 \text{ N}$
复合齿形系数	按当量齿轮齿数 $z_{vn1} = 14.2$ 、 $z_{vn2} = 421.1$ 查图 4.6-25; $Y_{FS1} = Y_{Fa1} Y_{Sa1} = 3.9$, $Y_{FS2} = Y_{Fa2} Y_{Sa2} = 4.08$
重合度系数	按式(4.6-20), $Y_\varepsilon = 0.65$
锥齿轮系数	按式(4.6-21)计算: $Y_K = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{l'_{bm}}{b} \right)^2 \frac{b}{l'_{bm}} = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{69.5}{105} \right)^2 \times \frac{105}{69.5} = 1.043$
载荷分配系数	由式(4.6-22)计算, $Y_{LS} = Z_{LS}^2 = 0.94^2 = 0.884$
齿根弯曲应力计算值	$\sigma_{F1} = \frac{1.25 \times 1.08 \times 1.65 \times 1.0 \times 13510}{105 \times 10.5} \times 3.9 \times 0.625 \times 0.884 \times 1.043 \text{ MPa} = 61.3 \text{ MPa}$ $\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \frac{Y_{FS2}}{Y_{FS1}} = 61.3 \times \frac{4.08}{3.9} \text{ MPa} = 64.2 \text{ MPa}$
齿根弯曲疲劳强度基本值	$\sigma_{FE1} = 620 \text{ MPa}$, 图 4.4-30h; $\sigma_{FE2} = 450 \text{ MPa}$ (图 4.4-30f)
寿命系数	$Y_{NT} = 1$, 长期工作, 取为无限寿命设计
相对齿根圆角敏感系数	$R_{\delta relT} = 1$, 式(4.4-18)
相对齿根表面状况系数	$R_{R relT} = 1$ (表 4.4-83)
尺寸系数	$Y_{s1} = 0.95$, $Y_{s2} = 0.96$ (表 4.4-79)
最小安全系数	$S_{Fmin} = 1.4$
许用弯曲应力值	$\sigma_{FP1} = \frac{620}{1.4} \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.95 = 420 \text{ MPa}$ $\sigma_{FP1} = \frac{450}{1.4} \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.96 = 308.6 \text{ MPa}$
齿根弯曲强度校核结果	$\sigma_{F1} = 61.3 \text{ MPa} < \sigma_{FP1} = 420 \text{ MPa}$; $\sigma_{F2} = 64.2 \text{ MPa} < \sigma_{FP2} = 308.6 \text{ MPa}$, 通过
5. 结构和工作图	小轮结构为齿轮轴, 工作图略; 大齿轮为锻造孔板式, 工作图见图 4.6-43

4 锥齿轮的结构(见表 4.6-35)

表 4.6-35 锥齿轮的结构

图 形	结构尺寸和说明
 a) b)	当小端齿根圆与键槽顶部的距离 $\delta < 1.6m_e$ (图 b) 时, 齿轮与轴作成整体(图 a)
$d_{ac} \leq 500\text{mm}$ 铸造圆锥齿轮  模锻 自由锻	$D_1 = 1.6D$ $L = (1 \sim 1.2)D$ $\delta = (3 \sim 4)m_e$, 但不小于 10 mm $C = (0.1 \sim 0.17)R_c$ D_0 、 d_0 按结构确定
$d_{ac} > 300\text{mm}$ 锻造自由锻锥齿轮 	$D_1 = 1.6D$ (铸钢) $D_1 = 1.8D$ (铸铁) $L = (1 \sim 1.2)D$ $\delta = (3 \sim 4)m_e$, 但不得小于 10 mm $C = (0.1 \sim 0.17)R_c$, 但不小于 10 mm $S = 0.8C$, 但不小于 10 mm D_0 、 d_0 按结构确定
	常用于轴向力指向大端的场合 螺孔底部与齿根间最小厚度不小于 $\frac{h_e}{3}$ (h_e 为大端齿高) 为防止螺钉松动, 可用销钉锁紧 (如图)
 a) b)	当轴向力指向锥顶时, 为使螺钉不承受拉力, 应按图示方向连接, 图 a 常用于双支承结构; 图 b 用于悬臂支承结构

(续)

图 形	结构尺寸和说明
	常用于分锥角近于 45° 的场合 轴向与径向力的合力方向和辐板方向一致, 以减小变形
	轴向力指向大端 螺栓连接 $H = (3 \sim 4) m_e > h_e$

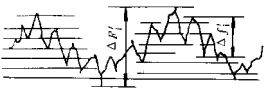
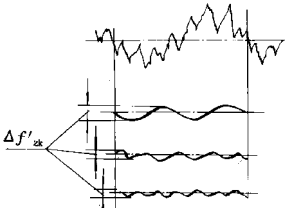
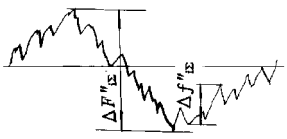
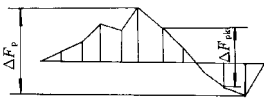
5 锥齿轮的精度 (GB/T 11365—1989)

本节采用的锥齿轮精度来自 GB/T 11365—1989,

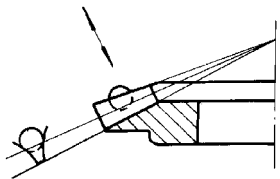
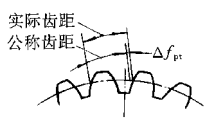
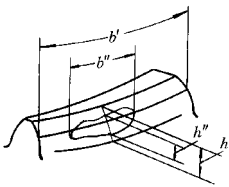
适用于中点模数 $m_{mm} > 1\text{mm}$ 的直齿、斜齿和曲线齿及准双曲面齿轮(以下简称锥齿轮或齿轮)。

5.1 术语和定义 (见表 4. 6-36)

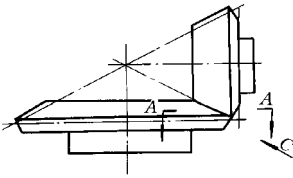
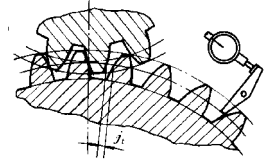
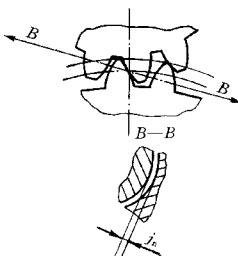
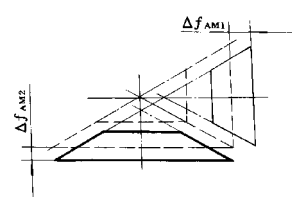
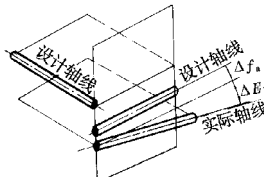
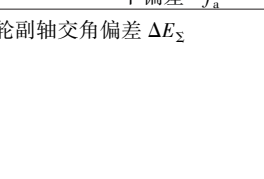
表 4. 6-36 锥齿轮、齿轮副误差与侧隙的定义和代号

名 称	定 义	名 称	定 义
切向综合误差 $\Delta F'_i$ 	被测齿轮与理想精确的测量齿轮按规定的安装位置单面啮合时, 被测齿轮一转内, 实际转角与理论转角之差的总幅度值。以齿宽中点分度圆弧长计	一齿轴交角综合误差 $\Delta f''_{\Sigma}$ 一齿轴交角综合公差 f''_{Σ}	被测齿轮与理想精确的测量齿轮在分锥顶点重合的条件下双面啮合时, 被测齿轮一齿距角内, 齿轮副轴交角的最大变动量。以齿宽中点处线值计
一齿切向综合误差 $\Delta f'_i$	被测齿轮与理想精确的测量齿轮按规定的安装位置单面啮合时, 被测齿轮一齿距角内, 实际转角与理论转角之差的总幅度值。以齿宽中点分度圆弧长计	周期误差 $\Delta f'_{zk}$ 	被测齿轮与理想精确的测量齿轮按规定的安装位置单面啮合时, 被测齿轮一转内, 二次(包括二次)以上各次谐波的总幅度值
一齿切向综合公差 f'_i		周期误差的公差 f'_{zk}	
轴交角综合误差 $\Delta F''_{\Sigma}$ 	被测齿轮与理想精确的测量齿轮在分锥顶点重合的条件下双面啮合时, 被测齿轮一转内, 齿轮副轴交角的最大变动量。以齿宽中点处线值计	齿距累积误差 ΔF_p 	在中点分度圆 ^① 上, 任意两个同侧齿面间的实际弧长与公称弧长之差的绝对值
轴交角综合公差 F''_{Σ}		齿距累积公差 F_p	

(续)

名 称	定 义	名 称	定 义
k 个齿距累积误差 $\Delta F'_{pk}$	在中点分度圆 ^① 上, k 个齿距的实际弧长与公称弧长之差的绝对值。 k 为 2 到小于 $z/2$ 的整数	齿轮副一齿切向综合误差 $\Delta f'_{ic}$	齿轮副按规定的安装位置单面啮合时, 在一齿距角内, 一个齿轮相对于另一个齿轮的实际转角与理论转角之差的最大值。在整周期 ^② 内取值。以齿宽中点分度圆弧长计
k 个齿距累积公差 F_{pk}		齿轮副一齿切向综合公差 f'_{ic}	
齿圈圆跳动 ΔF_r	齿轮在一转范围内, 测头在齿槽内与齿面中部双面接触时, 沿分锥法向相对齿轮轴线的最大变动量	齿轮副轴交角综合误差 $\Delta F''_{i\sum c}$	齿轮副在分锥顶点重合条件下双面啮合时, 在转动的整周期内, 轴交角的最大变动量。以齿宽中点处线值计
		齿轮副轴交角综合公差 $F''_{i\sum c}$	
齿圈圆跳动公差 F_r		齿轮副一齿轴交角综合误差 $\Delta f''_{i\sum c}$	齿轮副在分锥顶点重合条件下双面啮合时, 在一齿距角内, 轴交角的最大变动量。在整周期内取值, 以齿宽中点处线值计
齿距偏差 Δf_{pt}	在中点分度圆 ^① 上, 实际齿距与公称齿距之差	齿轮副一齿轴交角综合公差 $f''_{i\sum c}$	
		齿轮副周期误差 $\Delta f'_{zkc}$	齿轮副按规定的安装位置单面啮合时, 在大轮一转范围内, 二次(包括二次)以上各次谐波总幅度的值
齿距极限偏差 上偏差 $+f_{pt}$ 下偏差 $-f_{pt}$		齿轮副周期误差的公差 f'_{zkc}	
齿形相对误差 Δf_c	齿轮绕工艺轴线旋转时, 各轮齿实际齿面相对于基准实际齿面传递运动的转角之差。以齿宽中点处线值计	齿轮副齿频周期误差 $\Delta f'_{z\sum c}$	齿轮副按规定的安装位置单面啮合时, 以齿数为频率的谐波的总幅度值
齿形相对误差的公差 f_c		齿轮副齿频周期误差的公差 $f'_{z\sum c}$	
齿厚偏差 ΔE_s	齿轮中点法向弦齿厚的实际值与公称值之差	接触斑点	安装好的齿轮副(或被测齿轮与测量齿轮)在轻微力的制动下运转后, 在齿轮工作齿面上得到的接触痕迹 接触斑点包括形状、位置和大小三方面的要求 接触痕迹的大小按百分率确定 沿齿长方向, 接触痕迹长度 b'' 与工作长度 b' 之比, 即 $\frac{b''}{b} \times 100\%$ 沿齿高方向, 接触痕迹高度 h'' 与接触痕迹中部的工作齿高 h' 之比, 即 $\frac{h''}{h'} \times 100\%$
齿厚极限偏差 上偏差 $E_{s\max}$ 下偏差 $E_{s\min}$ 公差 T_s			
齿轮副切向综合误差 $\Delta F'_{ic}$	齿轮副按规定的安装位置单面啮合时, 在转动的整周期 ^② 内, 一个齿轮相对另一个齿轮的实际转角与理论转角之差的总幅度值。以齿宽中点分度圆弧长计		
齿轮副切向综合公差 F'_{ic}			

(续)

名 称	定 义	名 称	定 义
齿轮副侧隙  圆周侧隙 j_t 圆周侧隙 j_t : A—A 旋转放大  最小圆周侧隙 j_{tmin} 最大圆周侧隙 j_{tmax} 法向侧隙 j_n C 旋转放大  最小法向侧隙 j_{nmin} 最大法向侧隙 j_{nmax}	齿轮副按规定的位置安装后, 其中一个齿轮固定时, 另一个齿轮从工作齿面接触到非工作齿面接触所转过的齿宽中点分度圆弧长 齿轮副按规定的位置安装后, 工作齿面接触时, 非工作齿面间的最短距离。以齿宽中点处计 $j_n = j_t \cos \beta \cos \alpha$	齿圈轴向位移 Δf_{AM}  齿圈轴向位移极限偏差 上偏差 $+f_{AM}$ 下偏差 $-f_{AM}$ 齿轮副轴间距偏差 Δf_a  齿轮副轴间距极限偏差 上偏差 $+f_a$ 下偏差 $-f_a$ 齿轮副轴交角偏差 ΔE_Σ  齿轮副轴交角极限偏差 上偏差 $+E_\Sigma$ 下偏差 $-E_\Sigma$	齿轮装配后, 齿圈相对于滚动检查机上确定的最佳啮合位置的轴向位移量 齿轮副实际轴间距与公称轴间距之差 齿轮副实际轴交角与公称轴交角之差。以齿宽中点处线值计
齿轮副侧隙变动量 ΔF_{vj} 齿轮副侧隙变动公差 F_{vj}	齿轮副按规定的位置安装后, 在转动的整周期内, 法向侧隙的最大值与最小值之差		

① 允许在齿面中部测量。

② 齿轮副转动整周期按下式计算: $n_2 = \frac{z_1}{\omega}$, 其中 n_2 为大轮转数, z_1 为小轮齿数, ω 为大、小轮齿数的最大公约数。

5.2 精度等级

国标对齿轮和齿轮副规定了 12 个精度等级, 第 1 级的精度最高, 第 12 级的精度最低。

按照公差的特性对传动性能的不同影响, 将公

差项目分成三个公差组, 见表 4.6-37。

根据使用要求, 允许各公差组选用不同精度等级。但对齿轮副中大、小轮的同一公差组、应规定同一精度等级。

除 $F''_{i\Sigma}$ 、 $F''_{i\Sigma c}$ 、 $f''_{i\Sigma}$ 、 $f''_{i\Sigma c}$ 、 F_r 和 F_{vj} 以外, 允许

表 4.6-37 锥齿轮精度的公差组和检查项目

公差组	I	II	III
齿 轮	F'_i 、 $F''_{i\Sigma}$ 、 F_p 、 F_{pk} 、 F_r	f'_i 、 $f''_{i\Sigma}$ 、 f'_{zk} 、 f_{pt} 、 f_c	接触斑点
齿 轮 副	F'_{ic} 、 $F''_{i\Sigma c}$ 、 F_{vj}	f'_{ic} 、 $f''_{i\Sigma c}$ 、 f'_{zkc} 、 f'_{zxc} 、 f_{AM}	接触斑点、 f_a

工作齿面和非工作齿面选用不同的精度等级。

5.3.2 锥齿轮的公差

齿轮各检验项的公差数值，如下确定：

5.3 锥齿轮的检验组和公差

根据齿轮的工作要求和生产规模，在以下各公差组中任选一个检验组评定和验收齿轮的精度等级。

$$F'_i = F_p + 1.15f_c \quad (4.6-24)$$

$$f'_i = 0.8 (f_{pt} + 1.15f_c) \quad (4.6-25)$$

$$F''_{i\Sigma} = 0.7F''_{i\Sigma c} \quad (4.6-26)$$

$$f''_{i\Sigma} = 0.7f''_{i\Sigma c} \quad (4.6-27)$$

5.3.1 锥齿轮的检验组（见表 4.6-38）

表 4.6-38 锥齿轮的检验组

公差组	检验组	适 用 于
I	$\Delta F'_i$ $\Delta F''_{i\Sigma}$ ΔF_p ΔF_p 与 ΔF_{pk} ΔF_r	4~8 级精度 7~12 级精度的直齿锥齿轮；9~12 级精度的斜齿、曲线齿锥齿轮 7~8 级精度 4~6 级精度 7~12 级精度，其中 7、8 级用于 $d_m > 1600\text{mm}$ 的锥齿轮
II	$\Delta f'_i$ $\Delta f''_{i\Sigma}$ $\Delta f'_{zk}$ Δf_{pt} 和 Δf_c Δf_{pt}	4~8 级精度 7~12 级精度的直齿锥齿轮；9~12 级精度的斜齿、曲线齿锥齿轮 4~8 级精度、轴向重合度 $\varepsilon_{v\beta}$ 大于表 4.6-39 中界限值的齿轮 4~6 级精度 4~12 级精度
III	接触斑点	4~12 级精度

表 4.6-39 纵向重合度 $\varepsilon_{v\beta}$ 的界限值

接触精度等级	4, 5	6, 7	8
纵向重合度 $\varepsilon_{v\beta}$ 的界限值	1.35	1.55	2.0

F_p 和 F_{pk} 查表 4.6-45； F_r 查表 4.6-46； f'_{zk} 查表 4.6-47； f_{pt} 查表 4.6-48； f_c 查表 4.6-49； $F''_{i\Sigma c}$ 查表 4.6-50； $f''_{i\Sigma c}$ 查表 4.6-52。

接触斑点的形状、位置和大小，由设计者根据齿轮的用途、载荷和轮齿刚度及齿线形状特点等条件自行规定。对齿面修形的齿轮，在大端、小端和齿顶边缘的齿面上不允许出现接触斑点。表 4.6-53 中所列出的接触斑点的大小与精度等级的关系仅供参考。

5.4 锥齿轮副的检验和公差

5.4.1 齿轮副的检验项目

齿轮副检验内容包括 I、II、III 公差组和侧隙。齿轮副安装在实际装置上后，应检验安装误差项目 Δf_{AM} 、 Δf_a 、 ΔE_Σ ，其极限偏差值列于表 4.6-59 ~ 表 4.6-61。

5.4.2 齿轮副的检验组

根据齿轮副的工作要求和生产规模，在以下各公差组中（表 4.6-40），任选一个检验组评定和验收齿轮副的精度。

5.4.3 齿轮副的公差

各精度等级的齿轮副各项公差数值，确定如下：

$$F'_{ic} = F'_{i1} + F'_{i2} \quad (4.6-28)$$

当齿轮副的齿数比为 1、2、3 且采用选配时, 可将按式 (4.6-28) 求得的 F'_{ic} 值减小 25% 或更多。

$$f'_{ic} = f'_{i1} + f'_{i2} \quad (4.6-29)$$

F'_i 、 f'_i 的求法, 按式 (4.6-24)、式 (4.6-25)。

f'_{zkc} 的值列于表 4.6-47; $F''_{i\Sigma c}$ 、 F'_{vj} 、 $f''_{i\Sigma c}$ 的值列于表 4.6-50 ~ 表 4.6-52; f'_{zkc} 的值列于表 4.6-54。

5.5 锥齿轮副的侧隙

齿轮副的最小法向侧隙分为 6 种: a、b、c、d、e 和 h, 最小法向侧隙值 a 为最大, 依次递减, h 为零 (如图 4.6-40 所示)。最小法向侧隙种类与精度等级无关。

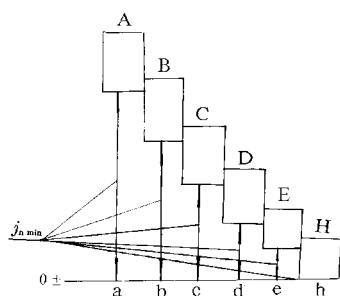


图 4.6-40 侧隙种类

最小法向侧隙种类确定后, 按表 4.6-56 确定 E_{ss} , 按表 4.6-61 查取 $\pm E_{\Sigma}$ 。最小法向侧隙 j_{nmin} 值查表 4.6-55。有特殊要求时, j_{nmin} 可不按表 4.6-55 中值确定。此时, 用线性插值法由表 4.6-56 和表 4.6-61 计算 E_{ss} 和 $\pm E_{\Sigma}$ 。

最大法向侧隙 j_{nmax}

$$j_{nmax} = (|E_{ss1}^- + E_{ss2}^-| + T_{s1}^- + T_{s2}^- + E_{s\Delta 1}^- + E_{s\Delta 2}^-) \cos \alpha_n \quad (4.6-30)$$

式中 $E_{s\Delta}$ ——制造误差的补偿部分, 由表 4.6-58 查取。

齿轮副的法向侧隙公差有 5 种: A、B、C、D 和 H。推荐法向侧隙公差种类与最小侧隙种类的对关系如图 4.6-40 所示。

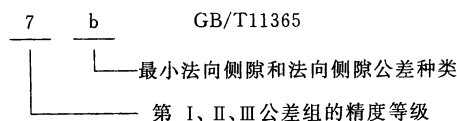
齿厚公差 T_s 值列于表 4.6-57。

5.6 图样标注

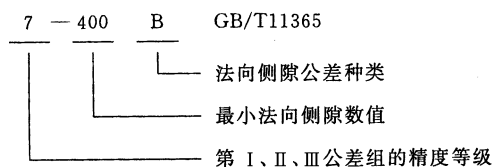
在齿轮工作图上应标注齿轮的精度等级和最小法向侧隙种类及法向侧隙公差种类的数字、代号。

标注示例如下:

1) 齿轮的三个公差组精度同为 7 级, 最小法向侧隙种类为 b, 法向侧隙公差种类为 B:



2) 齿轮的三个公差组精度同为 7 级, 最小法向侧隙为 400μm, 法向侧隙公差种类为 B:



3) 齿轮的第 I 公差组精度为 8 级, 第 II、III 公差组精度为 7 级, 最小法向侧隙种类为 C、法向侧隙公差种类为 B:

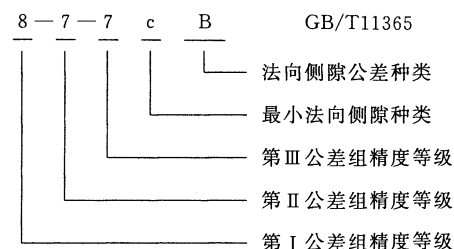


表 4.6-40 锥齿轮副的检验组

公差组	检验组	适用于
I	$\Delta F'_{ic}$	4 ~ 8 级精度
	$\Delta F''_{i\Sigma c}$	7 ~ 12 级精度的直齿; 9 ~ 12 级精度的斜齿、曲线齿
	ΔF_{vj}	9 ~ 12 级精度
II	$\Delta f'_{ic}$	4 ~ 8 级精度
	$\Delta f''_{i\Sigma c}$	7 ~ 12 级精度的直齿; 9 ~ 12 级精度的斜齿、曲线齿
	$\Delta f'_{zkc}$	4 ~ 8 级精度, $\varepsilon_{v\beta}$ 大于等于表 4.6-39 中的齿轮
	Δf_{zkc}	4 ~ 8 级精度, $\varepsilon_{v\beta}$ 大于等于表 4.6-39 中的齿轮
III	接触精度	4 ~ 12 级精度

5.7 应用示例

已知正交弧齿锥齿轮副：齿数 $z_1 = 30$ ；齿数 $z_2 = 28$ ；中点法向模数 $m_{nm} = 2.7376\text{mm}$ ；中点法向压力角 $\alpha_n = 20^\circ$ ；中点螺旋角 $\beta_m = 35^\circ$ ；齿宽 $b = 27\text{mm}$ ；精度等级 6—7—6cGB/T11365。该齿轮副的

各项公差或极限偏差见表 4.6-41。

5.8 齿坯的要求

齿轮的加工、检验和安装的定位基准面应尽量一致，并在齿轮零件图上予以标注。齿坯各项公差和偏差见表 4.6-42 ~ 表 4.6-44。

表 4.6-41 锥齿轮精度应用示例 (μm)

检验对象	项 目 名 称	代 号	公差或 极限偏差		说 明		
			大轮	小轮			
齿 轮	切向综合公差	F'_i	41		$F'_i = F_p + 1.15f_c$		
	齿距累积公差	F_p	32		按表 4.6-45		
	k 个齿距累积公差	F_{pk}	25		按表 4.6-45		
	一齿切向综合公差	f'_i	19		$f'_i = 0.8(f_{pt} + 1.15f_c)$		
	周期误差的公差	f'_{zk}	17		$\geq 2 \sim 4$	周 期 数 k	纵 向 重 合 度 $\varepsilon_{v\beta}$ 大于表 4.6-39 界限值按表 4.6-47
			13		$> 4 \sim 8$		
			10		$> 8 \sim 16$		
			8		$> 16 \sim 32$		
			6		$> 32 \sim 63$		
			5.3		$> 63 \sim 125$		
			4.5		$> 125 \sim 250$		
			4.5		$> 250 \sim 500$		
	4		> 500				
	齿距极限偏差	$\pm f_{pt}$	± 14		按表 4.6-48		
	齿形相对误差的公差	f_c	8		按表 4.6-49		
齿厚上偏差	E_{ss}^-	-59	-54	按表 4.6-56 求			
齿厚公差	T_s^-	52		按表 4.6-57			
齿 副	齿轮副切向综合公差	F'_{ic}	82		$F'_{ic} = F'_{i1} + F'_{i2}$		
	齿轮副切向相邻齿综合公差	f'_{ic}	38		$f'_{ic} = f'_{i1} + f'_{i2}$		
	齿轮副周期误差的公差	f'_{zkc}	同 f'_{zk}		按表 4.6-47		
	接触斑点	沿齿长	50% ~ 70%		按表 4.6-53		
		沿齿高	55% ~ 75%				
	最小法向侧隙	j_{nmin}	74		按表 4.6-55		
最大法向侧隙	j_{nmax}	240		$j_{nmax} = E_{ss1}^- + E_{ss2}^- + T_{s1}^- + T_{s2}^- + E_{s\Delta 1}^- + E_{s\Delta 2}^-$			
安 装 精 度	齿圈轴向位移极限偏差	$\pm f_{AM}$	± 24	± 56	按表 4.6-59		
	轴间距极限偏差	$\pm f_a$	± 20		按表 4.6-60		
	轴交角极限偏差	$\pm E_{\Sigma}$	± 32		按表 4.6-61		

5.9 锥齿轮精度数值表(表 4.6-42 ~ 表 4.6-61)

表 4.6-42 齿坯尺寸公差

精度等级	4	5	6	7	8	9	10
轴径尺寸公差	IT4	IT5		IT6		IT7	
孔径尺寸公差	IT5	IT6		IT7		IT8	
外径尺寸极限偏差	0 - IT7	0 - IT8		0 - IT9			

注：1. IT 为标准公差按 GB/T 1800—1997 ~ 1999 《公差与配合 标准公差为基本偏差》。
2. 当三个公差精度等级不同时，公差值按最高的精度等级查取。

表 4.6-43 齿坯顶锥母线圆跳动和基准端面圆跳动公差 (μm)

		大于	到	精度等级 ^①			
				4	5 ~ 6	7 ~ 8	9 ~ 10
顶锥母线圆跳动公差	外 径	—	30	10	15	25	50
		30	50	12	20	30	60
		50	120	15	25	40	80
		120	250	20	30	50	100
		250	500	25	40	60	120
		500	800	30	50	80	150
		800	1250	40	60	100	200
		1250	2000	50	80	120	250
		2000	3150	60	100	150	300
基准端面圆跳动公差	基 准 端 面 直 径	—	30	4	6	10	15
		30	50	5	8	12	20
		50	120	6	10	15	25
		120	250	8	12	20	30
		250	500	10	15	25	40
		500	800	12	20	30	50
		800	1250	15	25	40	60
		1250	2000	20	30	50	80
		2000	3150	25	40	60	100

① 当三个公差组精度等级不同时，按最高的精度等级确定公差值。

表 4.6-44 齿坯轮冠距和顶锥角极限偏差

中点法向模数/mm	轮冠距极限偏差 /μm	顶锥角极限偏差 (′)
≤1.2	0 -50	+50 0
>1.2 ~ 10	0 -75	+8 0
>10	0 -100	+8 0

表 4.6-45 齿距累积公差 F_p 和 k 个齿距累积公差 F_{pk} 值 (μm)

L/mm		精 度 等 级					
大于	到	4	5	6	7	8	9
—	11.2	4.5	7	11	16	22	32
11.2	20	6	10	16	22	32	45
20	32	8	12	20	28	40	56
32	50	9	14	22	32	45	63
50	80	10	16	25	36	50	71
80	160	12	20	32	45	63	90
160	315	18	28	45	63	90	125
315	630	25	40	63	90	125	180
630	1000	32	50	80	112	160	224
1000	1600	40	63	100	140	200	280
1600	2500	45	71	112	160	224	315
2500	3150	56	90	140	200	280	400
3150	4000	63	100	160	224	315	450
4000	5000	71	112	180	250	355	500

注： F_p 和 F_{pk} 按中点分度圆弧长 L 查表：

查 F_p 时，取 $L = \frac{1}{2} \pi d_m = \frac{\pi m_{nm} z}{2 \cos \beta_m}$ ；

查 F_{pk} 时，取 $L = \frac{k \pi m_{nm}}{\cos \beta_m}$ （没有特殊要求时， k 值取 $z/6$ 或最接近的整齿数）。

表 4.6-46 齿圈圆跳动公差 F_r 值 (μm)

中点分度圆直径 /mm		中点法向模数 /mm	精 度 等 级					
大于	到		4	5	6	7	8	9
—	125	$\geq 1 \sim 3.5$	10	16	25	36	45	56
		$> 3.5 \sim 6.3$	11	18	28	40	50	63
		$> 6.3 \sim 10$	13	20	32	45	56	71
		$> 10 \sim 16$	—	22	36	50	63	80
125	400	$\geq 1 \sim 3.5$	15	22	36	50	63	80
		$> 3.5 \sim 6.3$	16	25	40	56	71	90
		$> 6.3 \sim 10$	18	28	45	63	80	100
		$> 10 \sim 16$	—	32	50	71	90	112
		$> 16 \sim 25$	—	—	—	80	100	125
400	800	$\geq 1 \sim 3.5$	18	28	45	63	80	100
		$> 3.5 \sim 6.3$	20	32	50	71	90	112
		$> 6.3 \sim 10$	20	36	56	80	100	125
		$> 10 \sim 16$	—	40	63	90	112	140
		$> 16 \sim 25$	—	—	—	100	125	160
		$> 25 \sim 40$	—	—	—	—	140	180
800	1600	$\geq 1 \sim 3.5$	—	—	—	—	—	—
		$> 3.5 \sim 6.3$	22	36	56	80	100	125
		$> 6.3 \sim 10$	25	40	63	90	112	140
		$> 10 \sim 16$	—	45	71	100	125	160
		$> 16 \sim 25$	—	—	—	112	140	180
		$> 25 \sim 40$	—	—	—	—	160	200
1600	2500	$\geq 1 \sim 3.5$	—	—	—	—	—	—
		$> 3.5 \sim 6.3$	—	—	—	—	—	—
		$> 6.3 \sim 10$	28	45	71	100	125	160
		$> 10 \sim 16$	—	50	80	112	140	180
		$> 16 \sim 25$	—	—	—	125	160	200
		$> 25 \sim 40$	—	—	—	—	190	240
		$> 40 \sim 55$	—	—	—	—	220	280

注：GB/T 11365 中没有 4、5、6 精度等级的数值。

表 4.6-47 周期误差的公差 f'_{ak} 值 (齿轮副周期误差的公差 f'_{akc} 值)

(μm)

中点分度圆 直径/mm		中点法向 模 数 /mm	精 度 等 级																					
			4										5										6	
			齿轮在一转（齿轮副在大轮一转）内的周期数																					
大于	到		≥ 2 ~ 4	> 4 ~ 8	> 8 ~ 16	> 16 ~ 32	> 32 ~ 63	> 63 ~ 125	> 125 ~ 250	> 250 ~ 500	> 500	≥ 2 ~ 4	> 4 ~ 8	> 8 ~ 16	> 16 ~ 32	> 32 ~ 63	> 63 ~ 125	> 125 ~ 250	> 250 ~ 500	> 500	≥ 2 ~ 4	> 4 ~ 8	> 8 ~ 16	
—	125	≥1 ~ 6.3	4.5	3.2	2.4	1.9	1.5	1.3	1.2	1.1	1	7.1	5	3.8	3	2.5	2.1	1.9	1.7	1.6	11	8	6	
		>6.3 ~ 10	5.3	3.8	2.8	2.2	1.8	1.5	1.4	1.2	1.1	8.5	6	4.5	3.6	2.8	2.5	2.1	1.9	1.8	13	9.5	7.1	
125	400	≥1 ~ 6.3	6.3	4.5	3.4	2.8	2.2	1.9	1.8	1.5	1.4	10	7.1	5.6	4.5	3.4	3	2.8	2.4	2.2	16	11	8.5	
		>6.3 ~ 10	7.1	5	4	3	2.5	2.1	1.9	1.7	1.6	11	8	6.5	4.8	4	3.2	3	2.6	2.5	18	13	10	
400	800	≥1 ~ 6.3	8.5	6	4.5	3.6	2.8	2.5	2.2	2	1.9	13	9.5	7.1	5.6	4.5	4	3.4	3	2.8	21	15	11	
		>6.3 ~ 10	9	6.7	5	3.8	3	2.6	2.2	2.1	2	14	10.5	8	6	5	4.2	3.6	3.2	3	22	17	12	
800	1600	≥1 ~ 6.3	9	6.7	5	4	3.2	2.6	2.4	2.2	2	14	10.5	8	6.3	5	4.2	3.8	3.4	3.2	24	17	15	
		>6.3 ~ 10	11	8	6	4.8	3.8	3.2	2.5	2.6	2.5	16	15	10	7.5	6.3	5.3	4.8	4.2	4	27	20	15	
1600	2500	≥1 ~ 6.3	10.5	7.5	5.6	4.5	3.6	3	2.6	2.5	2.2	16	11	8.5	7.1	5.6	4.8	4.2	4	3.6	26	19	14	
		>6.3 ~ 10	12	8.5	6.5	5	4	3.6	3	2.8	2.6	19	14	10.5	8	6.7	5.6	5	4.5	4.2	30	21	16	

中点分度圆 直径/mm		中点法向 模 数 /mm	精 度 等 级																							
			6										7										8			
			齿轮在一转（齿轮副在大轮一转）内的周期数																							
大于	到		> 16 ~ 32	> 32 ~ 63	> 63 ~ 125	> 125 ~ 250	> 250 ~ 500	≥ 2 ~ 4	> 4 ~ 8	> 8 ~ 16	> 16 ~ 32	> 32 ~ 63	> 63 ~ 125	> 125 ~ 250	> 250 ~ 500	≥ 2 ~ 4	> 4 ~ 8	> 8 ~ 16	> 16 ~ 32	> 32 ~ 63	> 63 ~ 125	> 125 ~ 250	> 250 ~ 500	> 500		
—	125	≥1 ~ 6.3	4.8	3.8	3.2	3	2.6	2.5	17	13	10	8	6	5.3	4.5	4.2	4	25	18	13	10	8.5	7.5	6.7	6	5.6
		>6.3 ~ 10	5.6	4.5	3.8	3.4	3	2.8	21	15	11	9	7.1	6	5.3	5	4.5	28	21	16	12	10	8.5	7.5	7	6.7
125	400	≥1 ~ 6.3	6.7	5.6	4.8	4.2	3.8	3.6	25	18	13	10	9	7.5	6.7	6	5.6	36	26	19	15	12	10	9	8.5	8
		>6.3 ~ 10	7.5	6	5.3	4.5	4.2	4	28	20	16	12	10	8	7.5	6.7	6.3	40	30	22	17	14	12	10.5	10	8.5
400	800	≥1 ~ 6.3	9	7.1	6	5.3	5	4.8	32	24	18	14	11	10	8.5	8	7.5	45	32	25	19	16	13	12	11	10
		>6.3 ~ 10	9.5	7.5	6.7	6	5.3	5	36	26	19	15	12	10	9.5	8.5	8	50	36	28	21	17	15	13	12	11
800	1600	≥1 ~ 6.3	10	8	7.5	7	6.3	6	36	26	20	16	13	11	10	8.5	8	53	38	28	22	18	15	14	12	11
		>6.3 ~ 10	12	9.5	8	7.1	6.7	6.3	42	30	22	18	15	12	11	10	9.5	63	44	32	26	22	18	16	14	13
1600	2500	≥1 ~ 6.3	11	9	7.5	6.7	6.3	5.6	40	30	22	17	14	12	11	9.5	9	56	42	30	24	20	17	15	14	13
		>6.3 ~ 10	12	10	8	7.5	7.1	6.7	45	34	26	20	16	14	12	11	10	67	50	36	28	22	19	17	16	15

表 4.6-48 齿距极限偏差 $\pm f_{pt}$ 值 (μm)

中点分度圆直径 /mm		中点法向模数 /mm	精 度 等 级					
大于	到		4	5	6	7	8	9
—	125	$\geq 1 \sim 3.5$	4	6	10	14	20	28
		$> 3.5 \sim 6.3$	5	8	13	18	25	36
		$> 6.3 \sim 10$	5.5	9	14	20	28	40
		$> 10 \sim 16$	—	11	17	24	34	48
125	400	$\geq 1 \sim 3.5$	4.5	7	11	16	22	32
		$> 3.5 \sim 6.3$	5.5	9	14	20	28	40
		$> 6.3 \sim 10$	6	10	16	22	32	45
		$> 10 \sim 16$	—	11	18	25	36	50
		$> 16 \sim 25$	—	—	—	32	45	63
400	800	$\geq 1 \sim 3.5$	5	8	13	18	25	36
		$> 3.5 \sim 6.3$	5.5	9	14	20	28	40
		$> 6.3 \sim 10$	7	11	18	25	36	50
		$> 10 \sim 16$	—	12	20	28	40	56
		$> 16 \sim 25$	—	—	—	36	50	71
		$> 25 \sim 40$	—	—	—	—	63	90
800	1600	$\geq 1 \sim 3.5$	—	—	—	—	—	—
		$> 3.5 \sim 6.3$	—	10	16	22	32	45
		$> 6.3 \sim 10$	7	11	18	25	36	50
		$> 10 \sim 16$	—	13	20	28	40	56
		$> 16 \sim 25$	—	—	—	36	50	71
		$> 25 \sim 40$	—	—	—	—	63	90
1600	2500	$\geq 1 \sim 3.5$	—	—	—	—	—	—
		$> 3.5 \sim 6.3$	—	—	—	—	—	—
		$> 6.3 \sim 10$	8	13	20	28	40	56
		$> 10 \sim 16$	—	14	22	32	45	63
		$> 16 \sim 25$	—	—	—	40	56	80
		$> 25 \sim 40$	—	—	—	—	71	100
		$> 40 \sim 55$	—	—	—	—	90	125

表 4.6-49 齿形相对误差的公差 f_c 值 (μm)

中点分度圆直径 /mm		中点法向模数 /mm	精 度 等 级					中点分度圆直径 /mm		中点法向模数 /mm	精 度 等 级				
大于	到		4	5	6	7	8	大于	到		4	5	6	7	8
—	125	≥1 ~ 3.5	3	4	5	8	10	400	800	> 10 ~ 16	—	9	13	20	30
		> 3.5 ~ 6.3	4	5	6	9	13			> 16 ~ 25	—	—	—	25	38
		> 6.3 ~ 10	4	6	8	11	17			> 25 ~ 40	—	—	—	—	53
		> 10 ~ 16	—	7	10	15	22			> 3.5 ~ 6.3	6	9	13	19	28
125	400	≥1 ~ 3.5	4	5	7	9	13	800	1600	> 6.3 ~ 10	7	10	14	21	32
		> 3.5 ~ 6.3	4	6	8	11	15			> 10 ~ 16	—	11	16	25	38
		> 6.3 ~ 10	5	7	9	13	19			> 16 ~ 25	—	—	—	30	48
		> 10 ~ 16	—	8	11	17	25			> 25 ~ 40	—	—	—	—	60
		> 16 ~ 25	—	—	—	22	34			> 6.3 ~ 10	9	13	19	28	45
400	800	≥1 ~ 3.5	5	6	9	12	18	1600	2500	> 10 ~ 16	—	14	21	32	50
		> 3.5 ~ 6.3	5	7	10	14	20			> 16 ~ 25	—	—	—	38	56
		> 6.3 ~ 10	6	8	11	16	24			> 25 ~ 40	—	—	—	—	71

注：表中数值用于测量齿轮加工机床滚切传动链误差的方法，当采用选择基准齿面的方法时，表中数值乘以 1.1。

表 4.6-50 齿轮副轴交角综合公差 $F''_{i\sum c}$ 值 (μm)

中点分度圆直径 /mm		中点法向模数 /mm	精 度 等 级				中点分度圆直径 /mm		中点法向模数 /mm	精 度 等 级			
大于	到		7	8	9	10	大于	到		7	8	9	10
—	125	≥1 ~ 3.5	67	85	110	130	400	800	> 6.3 ~ 10	150	190	240	300
		> 3.5 ~ 6.3	75	95	120	150			> 10 ~ 16	160	200	260	320
		> 6.3 ~ 10	85	105	130	170			> 16 ~ 25	180	240	280	360
		> 10 ~ 16	100	120	150	190			> 25 ~ 40	—	280	340	420
125	400	≥1 ~ 3.5	100	125	160	190	800	1600	≥1 ~ 3.5	150	180	240	280
		> 3.5 ~ 6.3	105	130	170	200			> 3.5 ~ 6.3	160	200	250	320
		> 6.3 ~ 10	120	150	180	220			> 6.3 ~ 10	180	220	280	360
		> 10 ~ 16	130	160	200	250			> 10 ~ 16	200	250	320	400
		> 16 ~ 25	150	190	220	280			> 16 ~ 25	—	280	340	450
400	800	≥1 ~ 3.5	130	160	200	260			> 25 ~ 40	—	320	400	500
		> 3.5 ~ 6.3	140	170	220	280							

表 4.6-51 侧隙变动公差 F_{vj} 值 (μm)

直 径 /mm		中点法向模数 /mm	精 度 等 级				直 径 /mm		中点法向模数 /mm	精 度 等 级			
大于	到		9	10	11	12	大于	到		9	10	11	12
—	125	≥1 ~ 3.5	75	90	120	150	400	800	>16 ~ 25	200	250	300	380
		>3.5 ~ 6.3	80	100	130	160			>25 ~ 40	240	300	380	450
		>6.3 ~ 10	90	120	150	180	800	1600	>3.5 ~ 6.3	170	220	280	360
		>10 ~ 16	105	130	170	200			>6.3 ~ 10	200	250	320	400
125	400	≥1 ~ 3.5	110	140	170	200			>10 ~ 16	220	270	340	440
		>3.5 ~ 6.3	120	150	180	220			>16 ~ 25	240	300	380	480
		>6.3 ~ 10	130	160	200	250			>25 ~ 40	280	340	450	530
		>10 ~ 16	140	170	220	280	1600	2500	>3.5 ~ 6.3	—	—	—	—
400	800	>16 ~ 25	160	200	250	320			>6.3 ~ 10	220	280	340	450
		≥1 ~ 3.5	140	180	220	280			>10 ~ 16	250	300	400	500
		>3.5 ~ 6.3	150	190	240	300			>16 ~ 25	280	360	450	560
		>6.3 ~ 10	160	200	260	320			>25 ~ 40	320	400	500	630
		>10 ~ 16	180	220	280	340			>40 ~ 55	360	450	560	710

注:1. 取大小轮中点分度圆直径之和的一半作为查表直径。
2. 对于齿数比为整数且不大于3(1.2、3)的齿轮副,当采用选配时,可将侧隙变动公差 F_{vj} 值减小25%或更多些。

表 4.6-52 齿轮副一齿轴交角综合公差 f''_{isc} 值 (μm)

中点分度圆 直径 /mm		中点法向模数 /mm	精 度 等 级				中点分度圆 直径 /mm		中点法向模数 /mm	精 度 等 级			
大于	到		7	8	9	10	大于	到		7	8	9	10
—	125	≥1 ~ 3.5	28	40	53	67	400	800	>6.3 ~ 10	50	71	85	105
		>3.5 ~ 6.3	36	50	60	75			>10 ~ 16	56	80	100	130
		>6.3 ~ 10	40	56	71	90	800	1600	≥1 ~ 3.5	—	—	—	—
		>10 ~ 16	48	67	85	105			>3.5 ~ 6.3	45	63	80	105
125	400	≥1 ~ 3.5	32	45	60	75			>6.3 ~ 10	50	71	90	120
		>3.5 ~ 6.3	40	56	67	80			>10 ~ 16	56	80	110	140
		>6.3 ~ 10	45	63	80	100	1600	2500	≥1 ~ 3.5	—	—	—	—
		>10 ~ 16	50	71	90	120			>3.5 ~ 6.3	—	—	—	—
400	800	≥1 ~ 3.5	36	50	67	80			>6.3 ~ 10	56	80	100	130
		>3.5 ~ 6.3	40	56	75	90			>10 ~ 16	63	110	120	150

表 4.6-53 接触斑点大小与精度等级的关系

精度等级	4 ~ 5	6 ~ 7	8 ~ 9	10 ~ 12	精度等级	4 ~ 5	6 ~ 7	8 ~ 9	10 ~ 12
沿齿长方向 (%)	60 ~ 80	50 ~ 70	35 ~ 65	25 ~ 55	沿齿高方向 (%)	65 ~ 85	55 ~ 75	40 ~ 70	30 ~ 60

注:表中数值范围用于齿面修形的齿轮。对齿面不作修形的齿轮,其接触斑点大小不小于其平均值。

表 4.6-54 齿轮副齿频周期误差的公差 $f'_{z\omega}$ 值

(μm)

齿数		中点法向模数 /mm	精度等级					齿数		中点法向模数 /mm	精度等级				
大于	到		4	5	6	7	8	大于	到		4	5	6	7	8
—	16	$\geq 1 \sim 3.5$	4.5	6.7	10	15	22	63	125	$> 10 \sim 16$	—	15	22	34	48
		$> 3.5 \sim 6.3$	5.6	8	12	18	28	125	250	$\geq 1 \sim 3.5$	5.6	8.5	13	19	28
		$> 6.3 \sim 10$	6.7	10	14	22	32			$> 3.5 \sim 6.3$	7.1	11	16	24	34
16	32	$\geq 1 \sim 3.5$	5	7.1	10	16	24	250	500	$> 6.3 \sim 10$	8.5	13	19	30	42
		$> 3.5 \sim 6.3$	5.6	8.5	13	19	28			$> 10 \sim 16$	—	16	24	36	53
		$> 6.3 \sim 10$	7.1	11	16	24	34			$\geq 1 \sim 3.5$	6.3	9.5	14	21	30
		$> 10 \sim 16$	—	13	19	28	42			$> 3.5 \sim 6.3$	8	12	18	28	40
32	63	$\geq 1 \sim 3.5$	5	7.5	11	17	24	500	—	$> 6.3 \sim 10$	9	15	22	34	48
		$> 3.5 \sim 6.3$	6	9	14	20	30			$> 10 \sim 16$	—	18	28	42	60
		$> 6.3 \sim 10$	7.1	11	17	24	36			$\geq 1 \sim 3.5$	7.1	11	16	24	34
		$> 10 \sim 16$	—	14	20	30	45			$> 3.5 \sim 6.3$	9	14	21	30	45
63	125	$\geq 1 \sim 3.5$	5.3	8	12	18	25	500	—	$> 6.3 \sim 10$	11	14	25	38	56
		$> 3.5 \sim 6.3$	6.7	10	15	22	32			$> 10 \sim 16$	—	21	32	48	71
		$> 6.3 \sim 10$	8	12	18	26	38								

注：1. 表中齿数为齿轮副中大轮的齿数。

2. 表中数值用于纵向有效重合度 $\varepsilon_{\beta e} \leq 0.45$ 的齿轮副。对 $\varepsilon_{\beta e} > 0.45$ 的齿轮副，表中的 $f'_{z\omega}$ 值按以下规定减小： $\varepsilon_{\beta e} > 0.45 \sim 0.58$ ，表中值乘以 0.6； $\varepsilon_{\beta e} > 0.58 \sim 0.67$ ，乘以 0.4； $\varepsilon_{\beta e} > 0.67$ ，乘以 0.3。
3. 纵向有效重合度 $\varepsilon_{\beta e}$ 等于名义纵向重合度 $\varepsilon_{\beta \beta}$ 乘以齿长方向接触斑点大小百分率的平均值。

表 4.6-55 最小法向侧隙 $j_{n\min}$ 值

(μm)

中点锥距 /mm		小轮分锥角 (°)		最小法向侧隙种类						中点锥距 /mm		小轮分锥角 (°)		最小法向侧隙种类					
大于	到	大于	到	h	e	d	c	b	a	大于	到	大于	到	h	e	d	c	b	a
—	50	—	15	0	15	22	36	58	90	200	400	25	—	0	52	81	130	210	320
		15	25	0	21	33	52	84	130	400	800	—	15	0	40	63	100	160	250
		25	—	0	25	39	62	100	160			15	25	0	57	89	140	230	360
50	100	—	15	0	21	33	52	84	130	800	1600	25	—	0	70	110	175	280	440
		15	25	0	25	39	62	100	160			—	15	0	52	81	130	210	320
		25	—	0	30	46	74	120	190			15	25	0	80	125	200	320	500
100	200	—	15	0	25	39	62	100	160	1600	—	25	—	0	105	165	260	420	660
		15	25	0	35	54	87	140	220			—	15	0	70	110	175	280	440
		25	—	0	40	63	100	160	250			15	25	0	125	195	310	500	780
200	400	—	15	0	30	46	74	120	190	1600	—	25	—	0	175	280	440	710	1100
		15	25	0	46	72	115	185	290										

注：1. 正交齿轮副按中点锥距 R_m 查表；非正交齿轮副按下式算出的 R' 查表：

$$R' = \frac{R_m}{2} (\sin 2\delta_1 - \sin 2\delta_2)$$

式中 δ_1 和 δ_2 为大、小轮分锥角。

2. 准双曲面齿轮副按大轮中点锥距查表。

表 4.6-56 齿厚上偏差 E_{ss} 值的求法 (μm)

基本值	中点法向模数 /mm	中 点 分 度 圆 直 径 /mm											
		125			> 125 ~ 400			> 400 ~ 800			> 800 ~ 1600		
		分 锥 角 (°)											
	≤20	>20 ~ 45	>45	≤20	>20 ~ 45	>45	≤20	>20 ~ 45	>45	≤20	>20 ~ 45	>45	
	≥1 ~ 3. 5	- 20	- 20	- 22	- 28	- 32	- 30	- 36	- 50	- 45	—	—	—
	> 3. 5 ~ 6. 3	- 22	- 22	- 25	- 32	- 32	- 30	- 38	- 55	- 45	- 75	- 85	- 80
	> 6. 3 ~ 10	- 25	- 25	- 28	- 36	- 36	- 34	- 40	- 55	- 50	- 80	- 90	- 85
	> 10 ~ 16	- 28	- 28	- 30	- 36	- 38	- 36	- 48	- 60	- 55	- 80	- 100	- 85
	> 16 ~ 25	—	—	—	- 40	- 40	- 40	- 50	- 65	- 60	- 80	- 100	- 90

系 数	最小法向 侧隙种类	第Ⅱ公差组精度等级					系 数	最小法向 侧隙种类	第Ⅱ公差组精度等级				
		4 ~ 6	7	8	9	10			4 ~ 6	7	8	9	10
	h	0. 9	1. 0	—	—	—		c	2. 4	2. 7	3. 0	3. 2	—
	e	1. 45	1. 6	—	—	—		b	3. 4	3. 8	4. 2	4. 6	4. 9
	d	1. 8	2. 0	2. 2	—	—		a	5. 0	5. 5	6. 0	6. 6	7. 0

注：1. 各最小法向侧隙种类和各精度等级齿轮的 E_{ss}^- 值，由基本值栏查出的数值乘以系数得出。

2. 当轴交角公差带相对零线不对称时， E_{ss}^- 值应作修正；当增大轴交角上偏差时， E_{ss}^- 加上 $(E_{\Sigma s} - |E_{\Sigma}|) \tan \alpha$ ；当减小轴交角上偏差时， E_{ss}^- 减去 $(|E_{\Sigma i}| - |E_{\Sigma}|) \tan \alpha$ 。 $E_{\Sigma s}$ 、 $E_{\Sigma i}$ 分别为修改后的轴交角上、下偏差； E_{Σ} 见表 4.6-61。

3. 允许把大、小轮齿厚上偏差 (E_{ss1}^- 、 E_{ss2}^-) 之和，重新分配在两个齿轮上。

表 4.6-57 齿厚公差 T_s 值 (μm)

齿 圈 圆 跳 动 公 差		法 向 侧 隙 公 差 种 类				
大于	到	H	D	C	B	A
—	8	21	25	30	40	52
8	10	22	28	34	45	55
10	12	24	30	36	48	60
12	16	26	32	40	52	65
16	20	28	36	45	58	75
20	25	32	42	52	65	85
25	32	38	48	60	75	95
32	40	42	55	70	85	110
40	50	50	65	80	100	130
50	60	60	75	95	120	150
60	80	70	90	110	130	180
80	100	90	110	140	170	220
100	125	110	130	170	200	260
125	160	130	160	200	250	320
160	200	160	200	260	320	400
200	250	200	250	320	380	500
250	320	240	300	400	480	630
320	400	300	380	500	600	750
400	500	380	480	600	750	950
500	630	450	500	750	950	1180

表 4.6-58 最大法向侧隙($j_{n\max}$)的制造误差补偿部分 $E_{s\Delta}$ 值

(μm)

第Ⅱ公差组精度等级	中点法向模数 /mm	中 点 分 度 圆 直 径 /mm											
		≤125			> 125 ~ 400			>400 ~ 800			>800 ~ 1600		
		分 锥 角 (°)											
		≤20	>20 ~45	>45	≤20	>20 ~45	>45	≤20	>20 ~45	>45	≤20	>20 ~45	>45
4 ~ 6	≥1 ~ 3.5	18	18	20	25	28	28	32	45	40	—	—	—
	>3.5 ~ 6.3	20	20	22	28	28	28	34	50	40	67	75	72
	>6.3 ~ 10	22	22	25	32	32	30	36	50	45	72	80	75
	>10 ~ 16	25	25	28	32	34	32	45	55	50	72	90	75
	>16 ~ 25	—	—	—	36	36	36	45	56	55	72	90	85
7	≥1 ~ 3.5	20	20	22	28	32	30	36	50	45	—	—	—
	>3.5 ~ 6.3	22	22	25	32	32	30	38	55	45	75	85	80
	>6.3 ~ 10	25	25	28	36	36	34	40	55	50	80	90	85
	>10 ~ 16	28	28	30	36	38	36	48	60	55	80	100	85
	>16 ~ 25	—	—	—	40	40	40	50	65	60	80	100	95
8	≥1 ~ 3.5	22	22	24	30	36	32	40	55	50	—	—	—
	>3.5 ~ 6.3	24	24	28	36	36	32	42	60	50	80	90	85
	>6.3 ~ 10	28	28	30	40	40	38	45	60	55	85	100	95
	>10 ~ 16	30	30	32	40	42	40	55	65	60	85	110	95
	>16 ~ 25	—	—	—	45	45	45	55	72	65	85	110	105
9	≥1 ~ 3.5	24	24	25	32	38	36	45	65	55	—	—	—
	>3.5 ~ 6.3	25	25	30	38	38	36	45	65	55	90	100	95
	>6.3 ~ 10	30	30	32	45	45	40	48	65	60	95	110	100
	>10 ~ 16	32	32	36	45	45	45	48	70	65	95	120	100
	>16 ~ 25	—	—	—	48	48	48	60	75	70	95	120	115
10	≥1 ~ 3.5	25	25	28	36	42	40	48	65	60	—	—	—
	>3.5 ~ 6.3	28	28	32	42	42	40	50	70	60	95	110	105
	>6.3 ~ 10	32	32	36	48	48	45	50	70	65	105	115	110
	>10 ~ 16	36	36	40	48	50	48	60	80	70	105	130	110
	>16 ~ 25	—	—	—	50	50	50	65	85	80	105	130	125

表 4.6-59 齿圈轴向位移极限偏差 $\pm f_{AM}$ 值

(μm)

中点锥距 /mm		分锥角 (°)		精 度 等 级															
				4			5				6				7				
				中 点 法 向 模 数 /mm															
大于	到	大于	到	≥1 ~3.5	>3.5 ~6.3	>6.3 ~10	≥1 ~3.5	>3.5 ~6.3	>6.3 ~10	>10 ~16	≥1 ~3.5	>3.5 ~6.3	>6.3 ~10	>10 ~16	≥1 ~3.5	>3.5 ~6.3	>6.3 ~10	>10 ~16	>16 ~25
—	50	—	20	5.6	3.2	—	9	5	—	—	14	8	—	—	20	11	—	—	—
		20	45	4.8	2.6	—	7.5	4.2	—	—	12	6.7	—	—	17	9.5	—	—	—
		45	—	2	1.1	—	3	1.7	—	—	5	2.8	—	—	7	4	—	—	—
50	100	—	20	19	10.5	6.7	30	16	11	8	48	26	17	13	67	38	24	18	—
		20	45	16	9	5.6	25	14	9	7.1	40	22	15	11	56	32	21	16	—
		45	—	6.5	3.6	2.4	10.5	6	3.8	3	17	9.5	6	4.5	24	13	8.5	6.7	—
100	200	—	20	42	22	15	60	36	24	16	105	60	38	28	150	80	53	40	30
		20	45	36	19	13	50	50	20	14	90	50	32	24	130	71	45	34	26
		45	—	15	8	5	21	13	8.5	5.6	38	21	13	10	53	30	19	14	11
200	400	—	20	95	50	32	130	80	53	36	240	130	85	60	340	180	120	85	67
		20	45	80	42	28	110	67	45	30	200	105	71	50	280	150	100	71	56
		45	—	34	18	12	48	28	18	12	85	45	30	21	120	63	40	30	22
400	800	—	20	210	110	71	300	170	110	75	530	280	180	130	750	400	250	180	140
		20	45	180	95	60	250	160	95	63	450	240	150	110	630	340	210	160	120
		45	—	75	40	25	105	63	40	26	190	100	63	45	270	140	90	67	50
800	1600	—	20	—	—	160	—	—	750	160	—	—	380	280	—	—	560	400	300
		20	45	—	—	—	—	—	—	140	—	—	—	240	—	—	—	340	250
		45	—	—	—	—	—	—	—	60	—	—	—	100	—	—	—	140	105

中点锥距 /mm		分锥角 (°)		精 度 等 级															
				8				9				10							
				中 点 法 向 模 数 /mm															
大于	到	大于	到	≥1 ~3.5	>3.5 ~6.3	>6.3 ~10	>10 ~16	>16 ~25	≥1 ~3.5	>3.5 ~6.3	>6.3 ~10	>10 ~16	>16 ~25	≥1 ~3.5	>3.5 ~6.3	>6.3 ~10	>10 ~16	>16 ~25	
—	50	—	20	28	16	—	—	—	40	22	—	—	—	56	32	—	—	—	
		20	45	24	13	—	—	—	34	19	—	—	—	48	26	—	—	—	
		45	—	10	5.6	—	—	—	14	8	—	—	—	20	11	—	—	—	
50	100	—	20	95	53	34	26	—	140	75	50	38	—	190	105	71	50	—	
		20	45	80	45	30	22	—	120	63	42	30	—	160	90	60	45	—	
		45	—	34	17	12	9	—	48	26	17	13	—	67	38	24	18	—	
100	200	—	20	200	120	75	56	45	300	160	105	80	63	420	240	150	110	85	
		20	45	180	100	63	48	38	260	140	90	67	53	360	190	130	95	75	
		45	—	75	40	26	20	15	105	60	38	28	22	150	80	53	40	30	
200	400	—	20	480	250	170	120	95	670	360	240	170	130	950	500	320	240	190	
		20	45	400	210	140	100	80	560	300	200	150	110	800	420	280	200	160	
		45	—	170	90	60	42	32	240	130	85	60	48	340	180	120	85	67	
400	800	—	20	1050	560	360	260	200	1500	800	500	380	280	2100	1100	710	500	400	
		20	45	900	480	300	220	170	1300	670	440	300	240	1700	950	600	440	340	
		45	—	380	200	125	90	70	530	280	180	130	100	750	400	250	180	140	
800	1600	—	20	—	—	750	560	420	—	—	1100	800	600	—	—	1500	1100	420	
		20	45	—	—	—	480	360	—	—	—	670	500	—	—	—	950	360	
		45	—	—	—	—	200	150	—	—	—	280	210	—	—	—	400	150	

注:1. 表中数值用于非修形齿轮,对修形齿轮允许采用低1级的 $\pm f_{AM}$ 值。2. 表中数值用于 $\alpha = 20^\circ$ 的齿轮,对 $\alpha \neq 20^\circ$ 的齿轮,将表中数值乘以 $\sin 20^\circ / \sin \alpha$ 。

表 4.6-60 轴间距极限偏差 $\pm f_a$ 值

(μm)

中点锥距/mm		精 度 等 级					
大于	到	4	5	6	7	8	9
—	50	10	10	12	18	28	36
50	100	12	12	15	20	30	45
100	200	13	15	18	25	36	55
200	400	15	18	25	30	45	75
400	800	18	25	30	36	60	90
800	1600	25	36	40	50	85	130
1600	—	32	45	56	67	100	160

注:1. 表中数值用于无纵向修形的齿轮副。对纵向修形的齿轮副,允许采用低1级的 $\pm f_a$ 值。

2. 对准双曲面齿轮副,按大轮中点锥距查表。

表 4.6-61 轴交角极限偏差 $\pm E_\Sigma$ 值

(μm)

中点锥距/mm		小轮分锥角(°)		最小法向侧隙种类					中点锥距/mm		小轮分锥角(°)		最小法向侧隙种类						
大于	到	大于	到	h	e	d	c	b	a	大于	到	大于	到	h	e	d	c	b	a
—	50	—	15	7.5	11	18	30	45	45	200	400	25	—	26	40	63	100	160	160
		15	25	10	16	26	42	63	63	400	800	—	15	20	32	50	80	125	
		25	—	12	19	30	50	80	80			15	25	28	45	71	110	180	
50	100	—	15	10	16	26	42	63	63	800	1600	25	—	34	56	85	140	220	220
		15	25	12	19	30	50	80	80			—	15	26	40	63	100	160	160
		25	—	15	22	32	60	95	95			15	25	40	63	100	160	250	250
100	200	—	15	12	19	30	50	80	80	1600	—	25	—	53	85	130	210	320	320
		15	25	17	26	45	71	110	110			—	15	34	66	85	140	222	222
		25	—	20	32	50	80	125	125			15	25	63	95	160	250	380	380
200	400	—	15	15	22	32	60	95	95			25	—	85	140	220	340	530	530
		12	25	24	36	56	90	140	140										

注:1. $\pm E_\Sigma$ 的公差带位置相对于零线,可以不对称或取在一侧。

2. 准双曲面齿轮副按大轮中点锥距查表。

3. 表中数值用于正交齿轮副。对非正交齿轮副的 $\pm E_\Sigma$ 值为 $\pm j_{\min}/2$ 。

4. 表中数值用于 $\alpha = 20^\circ$ 的齿轮副。对 $\alpha \neq 20^\circ$ 的齿轮副要将表中数值乘以 $\sin 20^\circ / \sin \alpha$ 。

5.10 锥齿轮极限偏差及公差与齿轮几何参数的关系式(见表 4.6-62)

表 4.6-62 锥齿轮极限偏差及公差与齿轮几何参数的关系式

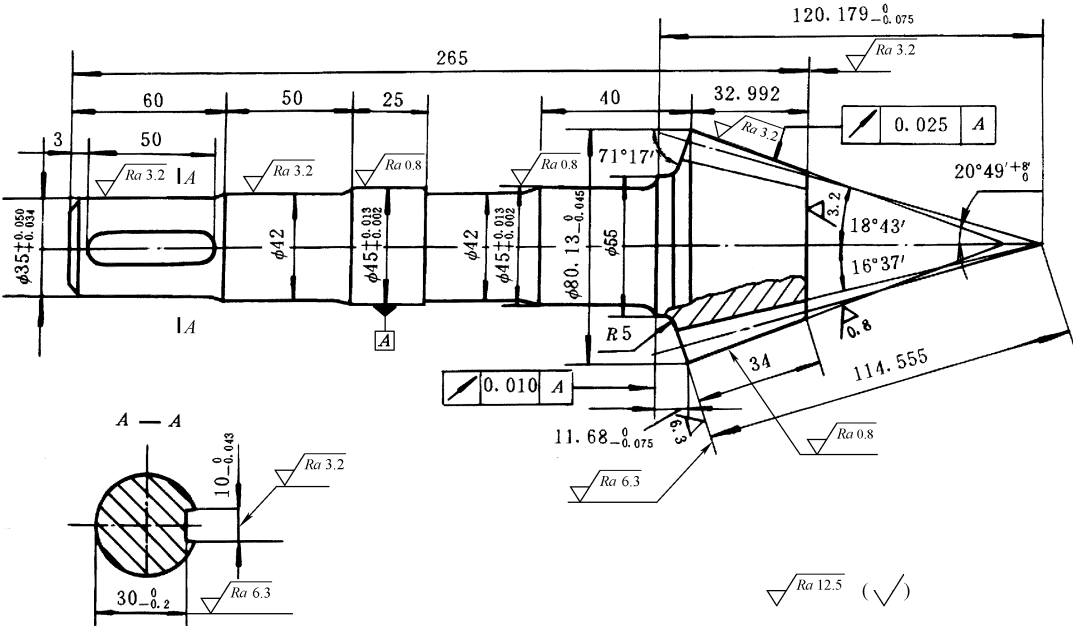
精度等级	F_p		F_r				f_{pt}		f_c		f'_{zkc}			f_a	
	$F_p = B\sqrt{d_m} + C$		1		2		$Am_{nm} + B\sqrt{d_m} + C$		$0.84(Am_{nm} + Bd_m + C)$		$Am_{nm}B + zC$			$A\sqrt{0.3R_m} + C$	
	$F_{pk} = 0.8B\sqrt{L} + C$		$Am_{nm} + B\sqrt{d_m} + C$		$Am_{nm} + B\sqrt{d_m} + C$		$B = 0.25A$		$B = 0.0125A$						
	B	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	B	C	A	C
4	1.25	2.5	0.9	11.2	0.4	4.8	0.25	3.15	0.21	3.4	2.5	0.315	0.115	0.94	4.7
5	2	4	1.4	18	0.63	7.5	0.4	5	0.34	4.2	3.46	0.349	0.123	1.2	6
6	3.15	6	2.24	28	1	12	0.63	8	0.53	5.3	5.15	0.344	0.126	1.5	7.5
7	4.45	9	3.15	40	1.4	17	0.9	11.2	0.84	6.7	7.69	0.348	0.125	1.87	9.45
8	6.3	12.5	4	50	1.75	21	1.25	16	1.34	8.4	9.27	0.185	0.072	3	15
9	9	18	5	63	2.2	26.5	1.8	22.4	2.1	13.4	—	—	—	4.75	24
10	12.5	25	6.3	80	2.75	33	2.5	31.5	3.35	21	—	—	—	7.5	37.5
11	17.5	35.5	8	100	3.44	41.5	3.55	45	5.3	34	—	—	—	12	60
12	25	50	10	125	4.3	51.5	5	63	8.4	53	—	—	—	19	94.5

$$F_{vj} = 1.36F_r, f'_{zk} = f'_{zkc} = (k^{-0.6} + 0.13)F_r \text{ (按高1级精度的 } F_r \text{ 值计算)}; \pm f_{AM} = \frac{R_m \cos \delta}{8m_{nm}}; F''_{i\sum c} = 1.96F_r; f''_{i\sum c} = 1.96f_{pt}$$

说明 d_m —中点分度圆直径; m_{nm} —中点法向模数; z —齿数; L —中点分度圆弧长; R_m —中点锥距; δ —分锥角;
 k —齿轮在一转(齿轮副在大轮一转)内的周期数

注: F_r 值,取表中关系式1和关系式2计算所得的较小值。

6 锥齿轮工作图例(见图 4.6-41 ~ 图 4.6-43)

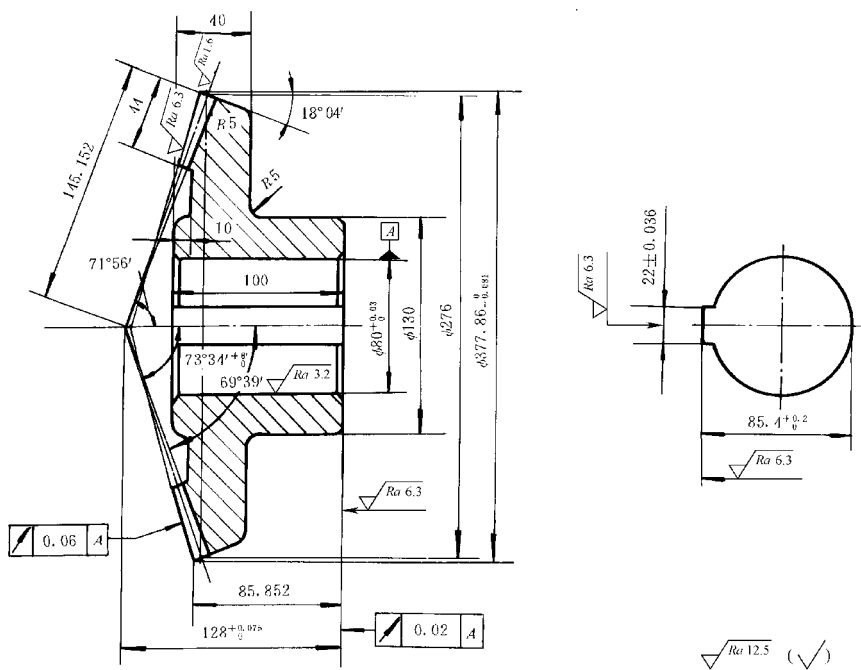


技 术 要 求

- 1. 渗碳淬火后齿面硬度 58 ~ 63HRC;
- 2. 未注明倒角为 C2;
- 3. 未注明圆角半径为 R2;
- 4. 两轴端中心孔为 A5/10.6 GB/T145—2001。

齿制		直齿 GB/T 12369—1990	
大端端面模数		m_e	3.5
齿数		z	21
中点螺旋角		β_m	0°
螺旋方向			
压力角		α	20°
齿顶高系数		h_a^*	1
切向变位系数		x_t	0
径向变位系数		x	0
大端齿高		h_e	7.7
配对齿轮	图 号		
	齿 数		59
精度等级		6 c B GB/T 11365—1989	
大端分度圆弦齿厚		$\bar{s}$	$5.452_{-0.113}^{-0.048}$
大端分度圆弦齿高		$\bar{h}_{ac}$	3.608
公差组		检验项目	数值
Ⅰ		F'_i	0.038
Ⅱ		f'_i	0.013
Ⅲ	沿齿长接触率 > 60%		
	沿齿高接触率 > 65%		

图 4.6-41 直齿锥齿轮工作图

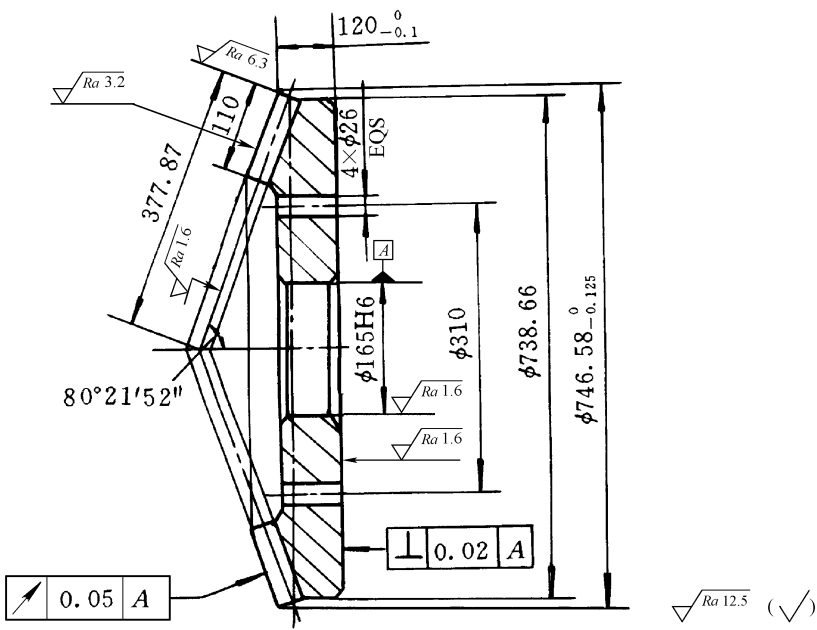


技 术 要 求

1. 材料 20MnVB, 渗碳淬火, 齿面 56 ~ 62HRC.
心部 280 ~ 320HBW, 渗碳层深度 1 ~ 1.4 mm.
2. 全部倒角 C2. 5.
3. 未注圆角 R3。

齿 制	格 利 森	
齿宽中点模数	m_{mm}	5.096
齿 数	z	46
齿宽中点螺旋角	β_m	35°
螺旋方向		右旋
压力角	α_n	20°
齿顶高系数	h_a^*	0.85
切向变位系数	x_t	-0.085
径向变位系数	x	-0.35
全齿高	h	11.328
配对齿轮	图号	
	齿数	15
精度等级		7 d GB/T 11365—1989
中点分度圆弦齿厚	$\bar{s}_m$	4.82 ^{-0.060} _{-0.135}
中点分度圆弦齿高	$\bar{h}_{am}$	2.39
最小侧隙	j_{nmin}	0.054
刀盘直径	D_0	210
刀号	N_o	8 $\frac{1}{2}$
公差组	检验项目	数值
I	F_p	0.09
II	$\pm f_{pt}$	± 0.02
III	沿齿长接触率 > 50 (%)	
	沿齿高接触率 > 55 (%)	

图 4.6-42 格里森锥齿轮工作图



技 术 要 求

- 1. 渗碳淬火后,齿面硬度 58 ~ 62HRC;
- 2. 未注明倒角为 C3。

制		克林根贝尔格	
齿宽中点模数	m_{nm}	10.5	
齿数	z	53	
齿宽中点螺旋角	β_m	29°11'23"	
螺旋方向		左	
压力角	α_n	20°	
齿顶高系数	h_a^*	1	
切向变位系数	x_t	-0.05	
径向变位系数	x	-0.552	
齿高	h	23.625	
齿顶高	h_a	4.704	
配对齿轮	图 号		
	齿 数	9	
精度等级		6 b	
		GB/T 11365—1989	
齿宽中点法向齿厚	$\bar{s}_n$	11.51	-0.12 -0.25
齿宽中点法向齿高	$\bar{h}$	4.711	
刀盘半径	r_0	210	
刀片组数	z_0	5	
公差组	检验项目	数值	
I	F'_i	0.115	
II	f'_i	0.028	
III	沿齿长接触率	>60%	
	沿齿高接触率	>60%	

图 4.6-43 克林根贝尔格锥齿轮工作图

第7章 蜗杆传动

1 概述

蜗杆传动用于交错轴间传递运动及动力。通常交错角 $\Sigma = 90^\circ$ 。它的主要优点：传动比大，工作较平稳，噪声低，结构紧凑，可以自锁。主要缺点：效率低，易发热，蜗轮制造需要贵重的减摩性有色金属。

常用蜗杆的种类、加工原理和特点等列于表 4.7-1。

影响蜗杆传动承载能力的主要因素：接触线长度、当量曲率半径、接触线分布情况、接触线与相对滑动速度之间夹角 Ω 的大小等。图 4.7-1 表示出三种蜗杆传动接触线分布情况及 Ω 角的大小。直廓环面蜗杆传动的 Ω 角接近 90° ，形成油膜的条件好，同时接触的齿数多，当量曲率半径大，所以承载能力高。圆弧圆柱蜗杆传动与普通圆柱蜗杆传动相比， Ω 角和当量曲率半径都较大，所以承载能力亦较高。

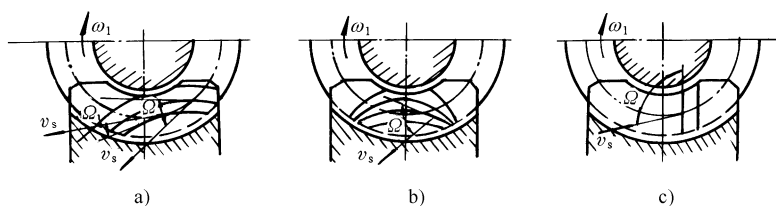
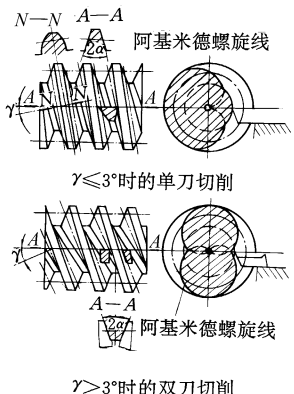
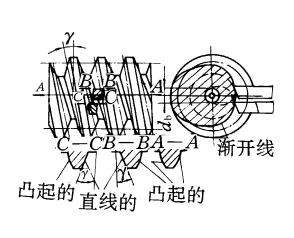


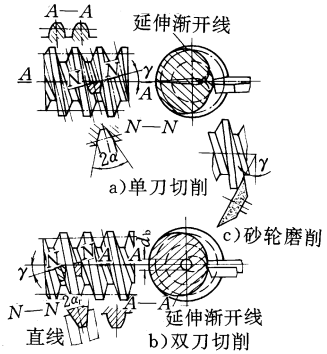
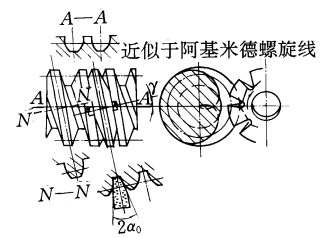
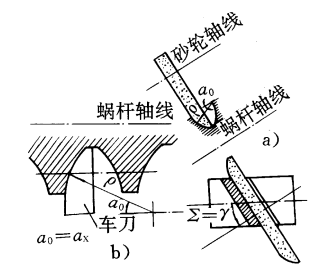
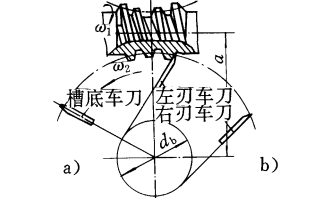
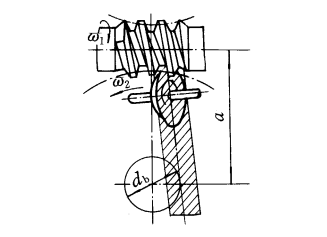
图 4.7-1 三种蜗杆传动接触线分布情况及 Ω 角的大小

a) 阿基米德蜗杆传动 b) 圆弧圆柱蜗杆传动 c) 直廓环面蜗杆传动

表 4.7-1 常用蜗杆的种类、加工原理和特点

种 类		蜗 杆 加 工 情 况	特 点 和 应 用	效 率
圆柱蜗杆传动	普通圆柱蜗杆 (ZA 型)	 $N-N$ $A-A$ 阿基米德螺旋线 $\gamma \leq 3^\circ$ 时的单刀切削 $A-A$ 阿基米德螺旋线 $\gamma > 3^\circ$ 时的双刀切削	车制，车刀刀刃平面通过蜗杆轴线，这种蜗杆在轴向剖面 $A-A$ 上具有直线齿廓，法向剖面 $N-N$ 上齿廓为外凸曲线；而端面上的齿廓曲线为阿基米德螺旋线。磨削时砂轮需经修正，才能磨出正确的齿廓 这种蜗杆加工方便，应用广泛，但导程角大时加工困难，齿面磨损较快。因此，一般用于头数较少，载荷较小、低速或不太重要的传动	0.5 ~ 0.8 (自锁时蜗杆传动 0.4 ~ 0.45)
	渐开线圆柱蜗杆 (ZI 型)	 渐开线 凸起的直线的 凸起的	一般车制，车刀刀刃平面与基圆 d_b 相切，被切出的蜗杆齿面是渐开线螺旋面，端面齿廓为渐开线 这种蜗杆可以磨削，加工精度容易保证，传动效率高。一般用于蜗杆头数较多 (3 头以上)，转速较高和要求较精密的传动，如滚齿机、磨齿机上的精密蜗杆副等，荐用这种传动	可达 0.9

(续)

种 类	蜗 杆 加 工 情 况	特 点 和 应 用	效 率
普通圆柱蜗杆传动	法向直廓蜗杆 (ZN 型) 	亦称延伸渐开线蜗杆, 车制时刀刃平面放在螺旋线的法面上, 蜗杆在剖面 $N-N$ 上具有直线齿廓, 在端面上为延伸渐开线齿廓。用单刀切制的蜗杆, 齿槽在法向剖面上具有对称的直线齿廓 (图 a); 用双刀切出的螺牙在法向剖面上具有对称的直线齿廓 (图 b)。这种蜗杆可用砂轮磨齿 (图 c), 加工较简单 常用来作机床的多头精密蜗杆副	可达 0.9
	锥面包络圆柱蜗杆 (ZK 型) 	蜗杆螺旋面由锥面盘状铣刀或砂轮包络而成。包络形成的螺旋面是非线性的。齿廓在各个截面均呈曲线状。由于锥形盘状铣刀的成形线是直线, 刀具易于制造、刃磨、修整及检验, 也使蜗杆的磨削及相应蜗轮滚刀的磨削较容易	可达 0.9
	圆弧圆柱蜗杆 (ZC 型) 	蜗杆齿面一般为凹面的圆柱蜗杆, 是用凸圆弧刃的工具加工而成, 称为齿形 C 若是用圆环面砂轮作工具, 与蜗杆作螺旋运动, 砂轮轴线与蜗杆轴线的交角 Σ 等于蜗杆的导程角 γ, 这种蜗杆的齿形称为齿形 C_1 (图 a); 若 $\Sigma \neq \gamma$, 其齿形称为齿形 C_2, 如果蜗杆齿面是由蜗杆轴平面上圆弧形车刀车出来的, 这种齿形称为齿形 C_3 (图 b) 这种传动具有承载能力大、效率高的优点	
环面蜗杆传动	直廓环面蜗杆 (TSL 型) 	蜗杆的螺旋面可以用一把直刃车刀 (图 a), 在专用的机床上, 同时切制齿槽的两侧齿面; 也可以用两把车刀 (图 b) 分别切制齿的两侧齿面。蜗杆的齿面为不可展的直纹曲面, 难以精确磨削。其承载能力为普通圆柱蜗杆传动的 4 倍, 应用较广泛。缺点: 工艺复杂, 蜗杆齿修形技术难掌握	可达 0.92
	平面包络环面蜗杆 (TOP 型) 	用平面盘状铣刀或平面砂轮在专用的机床上按包络原理加工蜗杆的螺旋面, 用此蜗杆与平面齿蜗轮组成的传动, 称为平面一次包络环面蜗杆传动。若以上述蜗杆的螺旋面为母面, 按包络原理加工出蜗轮齿面, 用此蜗轮与上述蜗杆组成的传动称为平面二次包络环面蜗杆传动 (TOP 型) 这种蜗杆齿面可淬硬磨削, 加工精度高, 效率较高, 承载能力与 TSL 型相当, 应用日益广泛	可达 0.97

2 普通圆柱蜗杆传动

2.1 普通圆柱蜗杆传动的主要参数

1) 模数 m 。对于 $\Sigma = 90^\circ$ 的传动, 蜗杆的轴向模数 m_x 和蜗轮的端面模数 m_t 相等, 均以 m 表示之。蜗杆模数 m 见表 4.7-2。

表 4.7-2 蜗杆模数 m 值

(摘自 GB 10088—1988)

1, 1.25, (1.5), 1.6, 2, 2.5, (3), 3.15, (3.5), 4, (4.5), 5, (5.5), (6), 6.3, (7), 8, 10, (12), 12.5, (14), 16, 20, 25, 31.5, 40

注: 括号中数字为第二系列, 尽量不用; 其余为第一系列。

2) 蜗杆分度圆直径 d_1 。当用滚刀切制蜗轮时, 为了减少蜗轮滚刀的规格, 蜗杆分度圆直径 d_1 亦标准化, 见表 4.7-3, 且与 m 有一定的匹配, 其匹配组合见表 4.7-4。

表 4.7-3 蜗杆分度圆直径 d_1 值

(摘自 GB 10088—1988)

4, 4.5, 5, 5.6, 6.3, 7.1, (7.5), 8, (8.5), 9, 10, 11.2, 12.5, 14, (15), 16, 18, 20, 22.4, 25, 28, (30), 31.5, (35.5), (38), 40, 45, (48), 50, (53), 56, (60), 63, (67), 71, (75), 80, (85), 90, (95), 100, (106), 112, (118), 125, (132), 140, (144), 160, (170), 180, (190), 200, 224, 250, 280, (300), 315, 355, 400
--

注: 括号中数字为第二系列, 尽量不用; 其余为第一系列。

表 4.7-4 蜗杆传动的 m 与 d_1 的匹配 (根据 GB 10085—1988)

m/mm	1	1. 25		1. 6		2				2. 5				3. 15				
d_1/mm	18	20	22. 4	20	28	(18)	22. 4	(28)	35. 5	(22. 4)	28	(35. 5)	45	(28)	35. 5	(45)	56	
m^2d_1/mm^3	18	31. 3	35	51. 2	71. 7	72	89. 6	112	142	140	175	222	281	278	352	447	556	
m/mm	4				5				6. 3				8				10	
d_1/mm	(31. 5)	40	(50)	71	(40)	50	(63)	90	(50)	63	(80)	112	(63)	80	(100)	140	(71)	90
m^2d_1/mm^3	504	640	800	1136	1000	1250	1575	2250	1985	2500	3175	4445	4032	5376	6400	8960	7100	9000
m/mm	10		12. 5			16				20				25				
d_1/mm	(112)	160	(90)	112	(140)	200	(112)	140	(180)	250	(140)	160	(224)	315	(180)	200	(280)	400
m^2d_1/mm^3	11200	16000	14062	17500	21875	31250	28672	35940	46080	64000	56000	64000	89600	126000	112500	125000	175000	250000

注: 1. $m^2 d_1$ 值非标准内容, 系编者所加。

2. 括号中的数字尽可能不采用。

3) 蜗杆导程角 γ 。 γ 与 m 及 d_1 有下列关系:

$$\tan \gamma = \frac{z_1 m}{d_1} \quad (4.7-1)$$

或

$$d_1 = \frac{z_1}{\tan \gamma} m = qm$$

$$q = \frac{z_1}{\tan \gamma} = \frac{d_1}{m} \quad (4.7-2)$$

q 称为蜗杆直径系数。

在动力传动中, 为提高传动的效率, 应力求取大的 γ 值, 即应选用多头数、小分度圆直径 d_1 的蜗杆传动。对于要求具有自锁性能的传动, 则应采用 $\gamma < 3^\circ 30'$ 的蜗杆传动。

4) 蜗杆头数 z_1 和蜗轮齿数 z_2 。蜗杆头数一般为 $z_1 = 1 \sim 10$, 常用为 1, 2, 4, 6。 z_1 过多时制造较高精度的蜗杆和蜗轮滚刀有困难。传动比大及要求自锁的蜗杆传动取 $z_1 = 1$ 。

蜗轮齿数一般取 $z_2 = 27 \sim 80$ 。 z_2 增多虽然可增加同时接触的齿数、运转平稳性也得到改善, 但 $z_2 > 80$ 后, 会导致模数过小而削弱轮齿的齿根强度或

使蜗杆轴刚度降低。 $z_2 < 27$ 时蜗轮齿将产生根切与干涉。 z_1 和 z_2 荐用值见表 4.7-5。

表 4.7-5 各种传动比时推荐的 z_1 、 z_2 值

i	5~6	7~8	9~13	14~24	25~27	28~40	>40
z_1	6	4	3~4	2~3	2~3	1~2	1
z_2	29~36	28~32	27~52	28~72	50~81	28~80	>40

5) 中心距 a 。普通圆柱蜗杆传动的中心距尾数应取为 0 或 5mm; 减速器的中心距应取为标准系列值, 见表 4.7-6。大于 500mm 的中心距可按优先数系 R20 选用。

6) 传动比 i 。普通圆柱蜗杆减速器的传动比 i 的标准系列公称值, 列于表 4.7-6 中, 其中带①者为基本传动比, 应优先采用。

7) 蜗轮的变位系数 x_2 。普通圆柱蜗杆传动变位的主要目的是配凑中心距。此外还可以提高传动的承载能力和效率, 消除蜗轮的根切。

蜗轮的变位系数 x_2 取得过大会产生蜗轮齿顶变尖; 过小又会产生蜗轮轮齿根切。一般取 $x_2 = -1 \sim +1$, 常用 $x_2 = -0.7 \sim +0.7$ 。

表 4.7-6 普通圆柱蜗杆传动的基本参数及其匹配 (摘自 GB 10085—1988)

a /mm	i	m /mm	d_1 /mm	z_1	z_2	x_2	γ	a /mm	i	m /mm	d_1 /mm	z_1	z_2	x_2	γ
40	4.83	2	22.4	6	29	-0.100	28°10'43"	80	62	2	35.5	1	62	+0.125	3°13'28"
	7.25	2	22.4	4	29	-0.100	19°39'14"		69	2	22.4	1	69	-0.100	5°06'08"
	9.5 ^①	1.6	20	4	38	-0.250	17°44'41"		82 ^①	1.6	28	1	82	+0.250	3°16'14"
	—	—	—	—	—	—	—	100	5.17	5	50	6	31	-0.500	30°57'50"
	14.5	2	22.4	2	29	-0.100	10°07'29"		7.75	5	50	4	31	-0.500	21°48'05"
	19 ^①	1.6	20	2	38	-0.250	9°05'25"		10.25 ^①	4	40	4	41	-0.500	21°48'05"
	29	2	22.4	1	29	-0.100	5°06'08"		13.25	3.15	35.5	4	53	-0.3889	19°32'29"
	38 ^①	1.6	20	1	38	-0.250	4°34'26"		15.5	5	50	2	31	-0.500	11°18'36"
	49	1.25	20	1	49	-0.500	3°34'35"		20.5 ^①	4	40	2	41	-0.500	11°18'36"
	62	1	18	1	62	0.000	3°10'47"		26.5	3.15	35.5	2	53	-0.3889	10°03'48"
	—	—	—	—	—	—	—		31	5	50	1	31	-0.500	5°42'38"
	82 ^①	1	18	1	82	0.000	3°10'47"		41 ^①	4	40	1	41	-0.500	5°42'38"
50	4.83	2.5	28	6	29	-0.100	28°10'43"	125	53	3.15	35.5	1	53	-0.3889	5°04'15"
	7.25	2.5	28	4	29	-0.100	19°39'14"		62	2.5	45	1	62	0.000	3°10'47"
	9.75 ^①	2	22.4	4	39	-0.100	19°39'14"		70	2.5	28	1	70	-0.600	5°06'08"
	12.75	1.6	20	4	51	-0.500	17°44'41"		82 ^①	2	35.5	1	82	+0.125	3°13'28"
	14.5	2.5	28	2	29	-0.100	10°07'29"	160	5.17	6.3	63	6	31	-0.6587	30°57'50"
	19.5 ^①	2	22.4	2	39	-0.100	10°07'29"		7.75	6.3	63	4	31	-0.6587	21°48'05"
	25.5	1.6	20	2	51	-0.500	9°05'25"		10.25 ^①	5	50	4	41	-0.500	21°48'05"
	29	2.5	28	1	29	-0.100	5°06'08"		12.75	4	40	4	51	+0.750	21°48'05"
	39 ^①	2	22.4	1	39	-0.100	5°06'08"		15.5	6.3	63	2	31	-0.6587	11°18'36"
	51	1.6	20	1	51	-0.500	4°34'26"		20.5 ^①	5	50	2	41	-0.500	11°18'36"
	62	1.25	22.4	1	62	+0.040	3°11'38"		25.5	4	40	2	51	+0.750	11°18'36"
	—	—	—	—	—	—	—		31	6.3	63	1	31	-0.6587	5°42'38"
	82 ^①	1	18	1	82	0.000	3°10'47"		41 ^①	5	50	1	41	-0.500	5°42'38"
	—	—	—	—	—	—	—	180	51	4	40	1	51	+0.750	5°42'38"
63	4.83	3.15	35.5	6	29	-0.1349	28°01'50"		62	3.15	56	1	62	-0.2063	3°13'10"
	7.25	3.15	35.5	4	29	-0.1349	19°32'29"		69	3.15	35.5	1	09	-0.4524	5°04'15"
	9.75 ^①	2.5	28	4	39	+0.100	19°39'14"		82 ^①	2.5	45	1	82	0.000	3°10'47"
	12.75	2	22.4	4	51	+0.400	19°39'14"	80	5.17	8	80	6	31	-0.500	30°57'50"
	14.5	3.15	35.5	2	29	-0.1349	10°03'48"		7.75	8	80	4	31	-0.500	21°48'05"
	19.5 ^①	2.5	28	2	39	+0.100	10°07'29"		10.25 ^①	6.3	63	4	41	-0.1032	21°48'05"
	25.5	2	22.4	2	51	+0.400	10°07'29"		13.25	5	50	4	53	+0.500	21°48'05"
	29	3.15	35.5	1	29	-0.1349	5°04'15"		15.5	8	80	2	31	-0.500	11°18'36"
	39 ^①	2.5	28	1	39	+0.100	5°06'08"		20.5 ^①	6.3	63	2	41	-0.1032	11°18'36"
	51	2	22.4	1	51	+0.400	5°06'08"		26.5	5	50	2	53	+0.500	11°18'36"
	61	1.6	28	1	61	+0.125	3°16'14"		31	8	80	1	31	-0.500	5°42'38"
	67	1.6	20	1	67	-0.375	4°34'26"		41 ^①	6.3	63	1	41	-0.1032	5°42'38"
	82 ^①	1.25	22.4	1	82	+0.440	3°11'38"		53	5	50	1	53	+0.500	5°42'38"
80	5.17	4	40	6	31	-0.500	30°57'50"	160	62	4	71	1	62	+0.125	3°13'28"
	7.75	4	40	4	31	-0.500	21°48'05"		70	4	40	1	70	0.000	5°42'38"
	9.75 ^①	3.15	35.5	4	39	+0.2619	19°32'29"		83 ^①	3.15	56	1	83	+0.4048	3°13'10"
	13.25	2.5	28	4	53	-0.100	19°39'14"	180	—	—	—	—	—	—	—
	15.5	34	40	2	31	-0.500	11°18'36"		7.25	10	(71)	4	29	-0.050	29°23'46"
	19.5 ^①	3.15	35.5	2	39	+0.2619	10°03'48"		9.5 ^①	8	(63)	4	38	-0.4375	26°53'40"
	26.5	2.5	28	2	53	-0.100	10°07'29"		—	—	—	—	—	—	—
	31	4	40	1	31	-0.500	5°42'38"		—	—	—	—	—	—	—
	39 ^①	3.15	35.5	1	39	+0.2619	5°04'15"		—	—	—	—	—	—	—
	53	2.5	28	1	53	-0.100	5°06'08"		—	—	—	—	—	—	—

(续)

$\frac{a}{\text{mm}}$	i	$\frac{m}{\text{mm}}$	$\frac{d_1}{\text{mm}}$	z_1	z_2	x_2	γ	$\frac{a}{\text{mm}}$	i	$\frac{m}{\text{mm}}$	$\frac{d_1}{\text{mm}}$	z_1	z_2	x_2	γ	
180	12	6.3	63	4	48	-0.4286	21°48'05"	250	70	6.3	63	1	70	-0.3175	5°42'38"	
	15.25	5	50	4	61	+0.500	21°48'05"		81 ^①	5	90	1	81	+0.500	3°10'47"	
	19 ^①	8	(63)	2	38	-0.4375	14°15'00"	280	7.25	16	(112)	4	29	-0.500	29°44'42"	
	24	6.3	63	2	48	-0.4286	11°18'36"		9.5 ^①	12.5	(90)	4	38	-0.200	29°03'17"	
	30.5	5	50	2	61	+0.500	11°18'36"		12	10	90	4	48	-0.500	23°57'45"	
	38 ^①	8	63	1	38	-0.4375	7°14'13"		15.25	8	80	4	61	-0.500	21°48'05"	
	48	6.3	63	1	48	-0.4286	5°42'38"		19 ^①	12.5	(90)	2	38	-0.200	15°31'27"	
	61	5	50	1	61	+0.500	5°42'38"		24	10	90	2	48	-0.500	12°31'44"	
	71	4	71	1	71	+0.625	3°13'28"		30.5	8	80	2	61	-0.500	11°18'36"	
	80 ^①	4	40	1	80	0.000	5°42'38"		38 ^①	12.5	(90)	1	38	-0.200	7°50'26"	
200	5.17	10	90	6	31	0.000	33°41'24"		315	48	10	90	1	48	-0.500	6°20'25"
	7.75	10	90	4	31	0.000	23°57'45"			61	8	80	1	61	-0.500	5°42'38"
	10.25 ^①	8	80	4	41	-0.500	21°48'05"	71		6.3	112	1	71	+0.0556	3°13'10"	
	13.25	69.3	63	4	53	+0.246	21°48'05"	80 ^①		6.3	63	1	80	-0.5556	5°42'38"	
	15.5	10	90	2	31	0.000	12°31'44"	355	7.75	16	140	4	31	-0.1875	24°34'02"	
	20.5 ^①	8	80	2	41	-0.500	11°18'36"		10.25 ^①	12.5	112	4	41	+0.220	24°03'26"	
	26.5	6.3	63	2	53	+0.246	11°18'36"		13.25	10	90	4	53	+0.500	23°57'45"	
	31	10	90	1	31	0.000	6°20'25"		15.5	16	140	2	31	-0.1875	12°52'30"	
	41 ^①	8	80	1	41	-0.500	5°42'38"		20.5 ^①	12.5	112	2	41	+0.220	12°34'59"	
	53	6.3	63	1	53	+0.246	5°42'38"		26.5	10	90	2	53	+0.500	12°31'44"	
	62	5	90	1	62	0.000	3°10'47"		31	16	140	1	31	+0.1875	6°31'11"	
	70	5	50	1	70	0.000	5°42'38"		41 ^①	12.5	112	1	41	+0.220	6°22'06"	
82 ^①	4	71	1	82	+0.125	3°13'28"	53		10	90	1	53	+0.500	6°20'25"		
225	7.25	12.5	(90)	4	29	-0.100	29°03'17"		400	61	8	140	1	61	+0.125	3°16'14"
	9.5 ^①	10	(71)	4	38	-0.050	29°23'46"	69		8	80	1	69	-0.125	5°42'38"	
	11.75	8	80	4	47	-0.375	21°48'05"	82 ^①		6.3	112	1	82	+0.1111	3°13'10"	
	15.25	6.3	63	4	61	+0.2143	21°48'05"	7.25		20	(140)	4	29	-0.250	29°44'42"	
	19.5 ^①	10	(71)	2	38	-0.050	15°43'55"	9.5 ^①		16	(112)	4	38	-0.3125	29°44'42"	
	23.5	8	80	2	47	-0.375	11°18'36"	12.25		12.5	112	4	49	-0.580	24°03'26"	
	30.5	6.3	63	2	61	+0.2143	11°18'36"	15.25		10	90	4	61	+0.500	23°57'45"	
	38 ^①	10	(71)	1	38	-0.050	8°01'02"	19 ^①		16	(112)	2	38	-0.3125	15°56'43"	
	47	8	80	1	47	-0.375	5°42'38"	24.5		12.5	112	2	49	-0.580	12°34'59"	
	61	6.3	63	1	61	+0.2143	5°42'38"	30.5		10	90	2	61	+0.500	12°31'44"	
71	5	90	1	71	+0.500	3°10'47"	38 ^①	16		(112)	1	38	-0.3125	8°07'48"		
80 ^①	5	50	1	80	0.000	5°42'38"	49	12.5		112	1	49	-0.580	6°22'06"		
250	7.75	12.5	112	4	31	+0.020	24°03'26"	400	61	10	90	1	61	+0.500	6°20'25"	
	10.25 ^①	10	90	4	41	0.000	23°57'45"		71	8	140	1	71	+0.125	3°16'14"	
	13	8	80	4	52	+0.250	21°48'05"		79 ^①	8	80	1	79	-0.125	5°42'38"	
	15.5	12.5	112	2	31	+0.020	12°34'59"		7.75	20	160	4	31	+0.500	26°33'54"	
	20.5 ^①	10	90	2	41	0.000	12°31'44"		10.25 ^①	16	140	4	41	+0.125	24°34'02"	
	26	8	80	2	52	+0.250	11°18'36"		13.5	12.5	112	4	54	+0.520	24°03'26"	
	31	12.5	112	1	31	+0.020	6°22'06"		15.5	20	160	2	31	+0.500	14°02'10"	
	41 ^①	10	90	1	41	0.000	6°20'25"		20.5 ^①	16	140	2	41	+0.125	12°52'30"	
	52	8	80	1	52	+0.250	5°42'38"		27	12.5	112	2	54	+0.520	12°34'59"	
	61	6.3	112	1	61	+0.2937	3°13'10"		31	20	160	1	31	+0.050	7°07'30"	

(续)

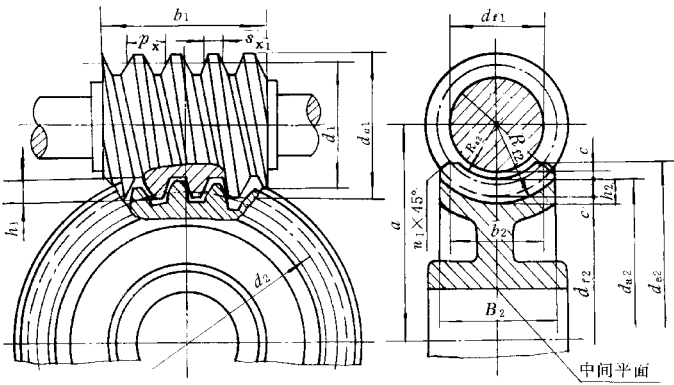
a /mm	i	m /mm	d_1 /mm	z_1	z_2	x_2	γ	a /mm	i	m /mm	d_1 /mm	z_1	z_2	x_2	γ
400	41 ^①	16	140	1	41	+0.125	6°31'11"	450	73	10	160	1	73	+0.500	3°50'26"
	54	12.5	112	1	54	+0.520	6°22'06"		81 ^①	10	90	1	81	0.000	6°20'25"
	63	10	160	1	63	+0.500	3°34'35"		7.75	25	200	4	31	+0.500	26°33'54"
	71	10	90	1	71	0.000	6°20'25"		10.25 ^①	20	160	4	41	+0.500	26°33'54"
	82 ^①	8	140	1	82	+0.250	3°16'14"		13.25	16	140	4	53	+0.375	24°34'02"
450	7.25	25	(180)	4	29	-0.100	27°03'17"	500	15.5	25	200	2	31	+0.500	14°02'10"
	9.75 ^①	20	(140)	4	39	-0.500	29°44'42"		20.5 ^①	20	160	2	41	+0.500	14°02'10"
	12.25	16	(112)	4	49	+0.125	29°44'42"		26.5	16	140	2	53	+0.375	12°52'30"
	15.75	12.5	112	4	63	+0.020	24°03'26"		31	25	200	1	31	+0.500	7°07'30"
	19.5 ^①	20	(140)	2	39	-0.500	15°56'43"		41 ^①	20	160	1	41	+0.500	7°07'30"
	24.5	16	(112)	2	49	+0.125	15°56'43"		53	16	140	1	53	+0.375	6°31'11"
	31.5	12.5	112	2	63	+0.020	12°34'59"		63	12.5	200	1	63	+0.500	3°34'35"
	39 ^①	20	(140)	1	39	-0.500	8°07'48"		71	12.5	112	1	71	+0.020	6°22'06"
	49	16	(112)	1	49	+0.125	8°07'48"		83 ^①	10	160	1	83	+0.500	3°34'35"
	63	12.5	112	1	63	+0.020	6°22'06"								

注： $\gamma < 3^\circ 17'$ 者有自锁能力。

① 为基本传动比。

2.2 普通圆柱蜗杆传动的几何尺寸计算（见表 4.7-7、表 4.7-8）

表 4.7-7 普通圆柱蜗杆传动几何尺寸计算



名 称	代 号	公 式 及 说 明	
中心距	a	$a = (d_1 + d_2 + 2x_2m)/2$, 要满足强度要求, 可按表 4.7-6 选取	
蜗杆头数	z_1	常用 $z_1 = 1, 2, 4, 6$	按表 4.7-5 选取
蜗轮齿数	z_2	$z_2 = iz_1$, 传动比 $i = \frac{n_1}{n_2}$	
压力角	α	ZA 型 $\alpha_s = 20^\circ$, 其余 $\alpha_n = 20^\circ$, $\tan\alpha_n = \tan\alpha_s \cos\gamma$	
模数	m	$m = m_x = m_n/\cos\gamma$ 按表 4.7-2 或表 4.7-6 选取	
蜗轮变位系数	x_2	$x_2 = \frac{a}{m} - \frac{d_1 + d_2}{2m}$	
蜗杆轴向齿距	p_x	$p_x = \pi m$	
蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = mz_1/\tan\gamma$ 按表 4.7-3 或表 4.7-6 选取, 与 m 匹配	
蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} = d_1 + 2h_a^* m$	
蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1} = d_1 - 2m(h_a^* + c^*)$	

(续)

名 称	代 号	公 式 及 说 明
蜗杆齿顶高	h_{a1}	$h_{a1} = h_a^* m$, 齿顶高系数, 一般 $h_a^* = 1$, 短齿 $h_a^* = 0.8$
顶隙	c	$c = c^* m$, 一般顶隙系数 $c^* = 0.2$
蜗杆齿根高	h_{f1}	$h_{f1} = (h_a^* + c^*) m = \frac{1}{2}(d_1 - d_{f1})$
蜗杆齿高	h_1	$h_1 = h_{a1} + h_{f1} = \frac{1}{2}(d_{a1} - d_{f1})$
渐开线蜗杆基圆直径	d_{b1}	$d_{b1} = d_1 \tan \gamma / \tan \gamma_b = z_1 m / \tan \gamma_b$
渐开线蜗杆基圆导程角	γ_b	$\cos \gamma_b = \cos \gamma \cos \alpha_n$
蜗杆齿宽	b_1	见表 4.7-8
蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2 = m z_2 = 2a - d_1 - 2x_2 m$
蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}$
蜗轮齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}$
蜗轮齿顶高	h_{a2}	$h_{a2} = (d_{a2} - d_2) / 2 = m(h_a^* + x_2)$
蜗轮齿根高	h_{f2}	$h_{f2} = \frac{1}{2}(d_2 - d_{f2}) = m(h_a^* - x_2 + c^*)$
蜗轮齿高	h_2	$h_2 = h_{a2} + h_{f2} = \frac{1}{2}(d_{a2} - d_{f2})$
蜗轮顶圆直径	d_{e2}	当 $z_1 = 1$ 时, $d_{e2} \leq d_{a2} + 2m$; $z_1 = 2 \sim 3$ 时, $d_{e2} \leq d_{a2} + 1.5m$; $z_1 = 4 \sim 6$ 时, $d_{e2} = d_{a2} + m$ 或按结构设计
蜗轮齿宽	b_2	当 $z_1 \leq 3$ 时, $b_2 \leq 0.75d_{a1}$; $z_1 = 4 \sim 6$ 时, $b_2 \leq 0.67d_{a1}$
蜗轮齿顶圆半径	R_{a2}	$R_{a2} = \frac{d_1}{2} - m$
蜗轮齿根圆半径	R_{f2}	$R_{f2} = \frac{d_{a1}}{2} + c^* m$
蜗杆轴向齿厚	s_{x1}	$s_{x1} = \frac{1}{2} p_x = \frac{1}{2} m \pi$
蜗杆法向齿厚	s_{n1}	$s_{n1} = s_{x1} \cos \gamma$
蜗轮分度圆齿厚	s_2	$s_2 = (0.5\pi + 2x_2 \tan \alpha_x) m$
蜗杆齿厚测量高度	$\bar{h}_{a1}$	$\bar{h}_{a1} = m$; 短齿 $\bar{h}_{a1} = 0.8m$
蜗杆节圆直径	d'_1	$d'_1 = d_1 + 2x_2 m$
蜗轮节圆直径	d'_2	$d'_2 = d_2$

表 4.7-8 普通圆柱蜗杆传动的蜗杆齿宽 b_1

x_2	z_1		
	1 ~ 2	3 ~ 4	5 ~ 6
-1	$b_1 \geq (10.5 + z_1) m$	$b_1 \geq (10.5 + z_1) m$	按结构设计
-0.5	$b_1 \geq (8 + 0.06z_2) m$	$b_1 \geq (9.5 + 0.09z_2) m$	
0	$b_1 \geq (11 + 0.06z_2) m$	$b_1 \geq (12.5 + 0.09z_2) m$	
0.5	$b_1 \geq (11 + 0.1z_2) m$	$b_1 \geq (12.5 + 0.1z_2) m$	
1	$b_1 \geq (12 + 0.1z_2) m$	$b_1 \geq (13 + 0.1z_2) m$	

注: 1. 当变位系数 x_2 为中间值时, b_1 按相邻两值中的较大者确定。

2. 对磨削的蜗杆, 应将求得的 b_1 值增大。 $m < 10\text{mm}$ 时, 增大 15 ~ 25mm; $m = 10 \sim 14\text{mm}$ 时, 增大 35mm; $m \geq 16\text{mm}$ 时, 增大 50mm。

2.3 普通圆柱蜗杆传动的承载能力计算

蜗杆与蜗轮齿面间滑动速度较大, 蜗杆传动的失效形式主要是蜗轮齿面的点蚀、磨损和胶合, 有时也出现蜗轮轮齿齿根折断。因此, 对闭式传动, 一般按齿面接触强度设计, 按条件考虑蜗轮齿面胶合和点蚀强度; 只是当 $z_2 > 80 \sim 100$, 或蜗

轮负变位时, 才进行蜗轮轮齿齿根强度验算; 另外, 蜗杆传动热损耗较大, 应进行散热计算。对开式传动按蜗轮轮齿齿根强度设计, 用降低许用应力或增大模数的办法加大齿厚, 来考虑磨损的储备量。对蜗杆需按轴的计算方法校核其强度和刚度。

2.3.1 齿上受力和滑动速度计算 (见表 4.7-9)

表 4.7-9 齿上受力和滑动速度计算

名 称	代 号	公 式 及 说 明
蜗杆圆周力/N (蜗轮轴向力)	F_{t1}	$F_{t1} = -F_{x2} = \frac{2000T_1}{d_1}$, F_{t1} 产生的转矩与外加转矩 T_1 方向相反
蜗杆轴向力/N (蜗轮圆周力)	F_{x1}	$F_{x1} = -F_{t2} = \frac{2000T_2}{d_2 + 2x_2m}$, F_{t2} 产生的转矩与外加转矩 T_2 方向相反
蜗杆径向力/N (蜗轮径向力)	F_{r1}	$F_{r1} = -F_{r2} \approx -F_{t2} \tan \alpha_x$, 从啮合点向各自的中心
法向力/N	F_n	$F_n = \frac{F_{x1}}{\cos \gamma \cos \alpha_n} \approx \frac{-F_{t2}}{\cos \gamma \cos \alpha_x} = \frac{-2000T_2}{d_2 \cos \gamma \cos \alpha_x}$, 垂直于接触齿面
蜗轮轴工作转矩/N·m	T_2	$T_2 = iT_1 \eta \approx 9550 \frac{P_1}{n_1} i \eta$
蜗杆传动效率	η ①	估计值: $z_1 = 1$ 时, $\eta = 0.7 \sim 0.75$; $z_1 = 2$ 时, $\eta = 0.75 \sim 0.82$; $z_1 = 3$ 时, $\eta = 0.82 \sim 0.87$; $z_1 = 4$ 时, $\eta = 0.87 \sim 0.92$ 。 η 的计算见式 (4.7-3)
滑动速度/ $m \cdot s^{-1}$	v_s	$v_s = \frac{v_1}{\cos \gamma} = \frac{d_1 n_1}{19100 \cos \gamma}$, v_s 的估计值可查图 4.7-2
蜗杆圆周速度/ $m \cdot s^{-1}$	v_1	$v_1 = \frac{\pi d_1 n_1}{60 \times 1000} = \frac{d_1 n_1}{19100}$, 当 $v_1 > 4 m \cdot s^{-1}$ 时, 为减小搅油损耗, 宜采用蜗杆上置式

注: 表中, T_1 —蜗杆外加转矩 (N·m); d_1 —蜗杆分度圆直径 (mm); d_2 —蜗轮分度圆直径 (mm); m —模数 (mm); P_1 —蜗杆传递功率 (kW)。

① 圆弧圆柱蜗杆传动的 η 可提高 3%~9%。

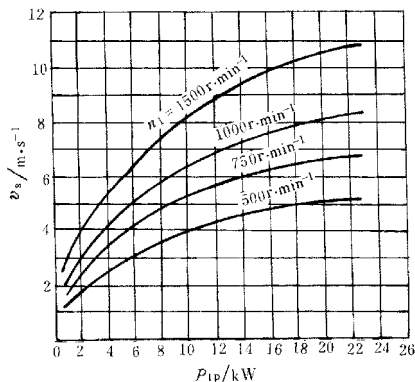


图 4.7-2 v_s 的估计值

2.3.2 普通圆柱蜗杆传动的强度和刚度计算 (见表 4.7-10)

表 4.7-10 中符号的意义和求法如下:

T_2 ——作用于蜗轮轴上的名义转矩 (N·m);

K ——载荷系数, 一般 $K = 1 \sim 1.4$ 。当载荷平稳, 蜗轮的圆周速度 $v_2 \leq 3 m \cdot s^{-1}$ 和 7 级精度以上时, 取较小值, 否则取较大值;

K_A ——使用系数, 查表 4.7-11;

K_v ——动载系数。当 $v_2 \leq 3 m \cdot s^{-1}$ 时, $K_v = 1 \sim 1.1$; 当 $v_2 > 3 m \cdot s^{-1}$ 时, $K_v = 1.1 \sim 1.2$;

表 4.7-10 普通圆柱蜗杆传动的强度和刚度计算

公 式 用 途	齿 面 接 触 强 度	齿 根 弯 曲 强 度
传动设计	$m^2 d_1 \geq \left(\frac{15000}{\sigma_{HP} z_2} \right)^2 K T_2$ 查表 4.7-4 确定 m 、 d_1	$m^2 d_1 \geq \frac{6000 K T_2 Y_{FS}}{z_2 \sigma_{FP}}$ 查表 4.7-4 确定 m 、 d_1
传动验算	$\sigma_H = Z_E \sqrt{\frac{9400 T_2}{d_1 d_2^2}} K_A K_V K_\beta \leq \sigma_{HP}$	$\sigma_F = \frac{666 T_2 K_A K_V K_\beta}{d_1 d_2 m} Y_{FS} Y_\beta \leq \sigma_{FP}$
蜗杆轴刚度验算	$y_1 = \frac{\sqrt{F_{t1}^2 + F_{r1}^2}}{48EI} L^3 \leq y_P, y_P = (0.001 \sim 0.0025) d_1$	

K_β ——载荷分布系数。载荷平稳时, $K_\beta = 1$;
载荷变化时, $K_\beta = 1.1 \sim 1.3$;

σ_{HP} ——许用接触应力 (MPa), 与蜗轮轮缘的材料有关: 对无锡青铜、黄铜和铸铁的轮缘, σ_{HP} 取决于胶合, 其值列于表 4.7-15; 对锡青铜的轮缘, σ_{HP} 取决于疲劳点蚀, $\sigma_{HP} = \sigma'_{HP} Z_{vs} Z_N$ (MPa);

σ'_{HP} —— $N_L = 10^7$ 时的轮缘材料的许用接触应力 (MPa), 其值见表 4.7-14;

σ_{FP} ——蜗轮齿根许用弯曲应力, $\sigma_{FP} = \sigma'_{FP} Y_N$ (MPa);

σ'_{FP} —— $N_L = 10^6$ 时的轮缘材料许用弯曲应力 (MPa), 其值见表 4.7-14;

Z_{vs} ——滑动速度影响系数, 查图 4.7-3;

Z_E ——弹性系数 ($\sqrt{\text{MPa}}$), 查表 4.7-12;

Y_{FS} ——蜗轮的复合齿形系数, 按 $z_{v2} = \frac{z_2}{\cos^3 \gamma}$ 及变位系数 x_2 , 由本篇第 4 章图 4.4-27 近似查取;

Y_β ——导程角系数, $Y_\beta = 1 - \frac{\gamma}{120^\circ}$;

Z_N 、 Y_N ——分别是齿面接触强度和齿根抗弯强度的寿命系数。按应力循环次数 N_L 查图 4.7-4。

不同转速和载荷时,

$$\text{齿面接触强度 } N_L = 60 \sum n_i t_i \left(\frac{T_{2i}}{T_{2\max}} \right)^4$$

$$\text{齿根抗弯强度 } N_L = 60 \sum n_i t_i \left(\frac{T_{2i}}{T_{2\max}} \right)^8$$

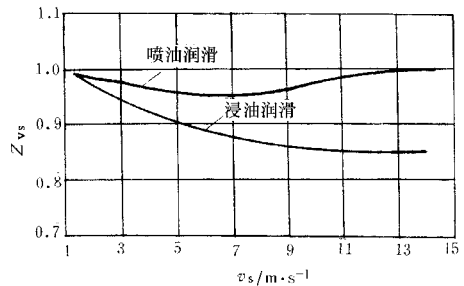
其中, n_i 、 t_i 、 T_{2i} 分别为不同载荷下的转速 ($r \cdot \min^{-1}$)、工作时间 (h) 和转矩 ($N \cdot m$); $T_{2\max}$ 为最大转矩 ($N \cdot m$);

y_1 ——蜗杆中央部分的挠度 (mm);

I ——蜗杆齿根截面的惯性矩 (mm^4), $I = \frac{\pi d_{f1}^4}{64}$;

E ——蜗杆材料的弹性模量, $E = 207000$ (MPa);

L ——蜗杆的跨度 (mm)。

图 4.7-3 滑动速度影响系数 Z_{vs} 表 4.7-11 使用系数 K_A

原 动 机	工 作 特 点		
	平 稳	中等冲击	严重冲击
电动机、汽轮机	0.8 ~ 12.5	0.9 ~ 1.5	1 ~ 1.75
多缸内燃机	0.9 ~ 1.5	1 ~ 17.5	1.25 ~ 2
单缸内燃机	1 ~ 17.5	1.25 ~ 2	1.5 ~ 2.25

注: 表中小值用于间歇工作, 大值用于连续工作。

表 4.7-12 弹性系数 Z_E ($\sqrt{\text{MPa}}$)

蜗杆材料	蜗 轮 材 料			
	铸锡青铜	铸铝青铜	灰铸铁	球墨铸铁
钢	155	156	162	181.4

2.3.3 蜗杆、蜗轮的材料和许用应力

由于蜗杆副中滑动速度较大, 要求其材料应具备良好的减摩性和抗胶合性能, 所以通常蜗轮采用青铜或铸铁做轮缘, 蜗杆尽量采用淬硬的钢制造。常用的材料牌号、热处理要求、表面粗糙度、适用的场合和许用应力, 见表 4.7-13 ~ 表 4.7-15。

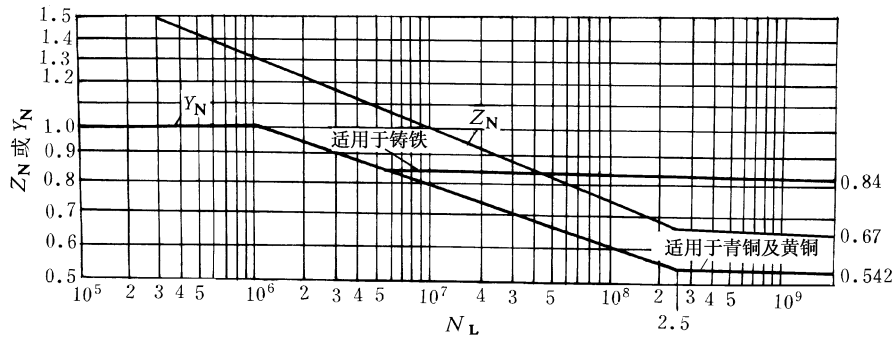


图 4.7-4 寿命系数 Z_N 、 Y_N

表 4.7-13 蜗杆常用的材料及技术要求

材 料	热处理	硬 度	齿面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$
45, 42SiMn, 37SiMn2MoV, 40Cr, 35CrMo, 38SiMnMo, 42CrMo, 40CrNi	表面淬火	45 ~ 55HRC	1.6 ~ 0.8
15CrMn, 20CrMn, 20Cr, 20CrNi, 20CrMnTi, 18Cr2Ni4W	渗碳淬火	58 ~ 63HRC	1.6 ~ 0.8
45 (用于不重要的传动)	调质	< 270HBW	6.3

表 4.7-14 蜗轮材料及 $N_L = 10^7$ 时的许用接触应力 σ'_{HP} 、 $N_L = 10^6$ 时的许用弯曲应力 σ'_{FP} (MPa)

蜗轮材料	铸造方法	适用的滑动速度 $v_s/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	力学性能		σ'_{HP}		σ'_{FP}	
			$\sigma_{0.2}$	R_m	蜗杆齿面硬度		一侧受载	两侧受载
					$\leq 350\text{HBW}$	$> 45\text{HRC}$		
ZCuSn10P1	砂 模	≤ 12	130	220	180	200	51	32
	金属模	≤ 25	170	310	200	220	70	40
ZCuSn5Pb5Zn5	砂 模	≤ 10	90	200	110	125	33	24
	金属模	≤ 12	100	250	135	150	40	29
ZCuAl10Fe3	砂 模	≤ 10	180	490	见表 4.7-15		82	64
	金属模	≤ 10	200	540			90	80
ZCuAl10Fe3Mn2	砂 模	≤ 10	—	490			—	—
	金属模	≤ 10	—	540			100	90
ZCuZn38Mn2Pb2	砂 模	≤ 10	—	245			62	56
	金属模	≤ 10	—	345			—	—
HT150	砂 模	≤ 2	—	150			40	25
HT200	砂 模	$\leq 2 \sim 5$	—	200			48	30
HT250	砂 模	$\leq 2 \sim 5$	—	250			56	35

表 4.7-15 无锡青铜、黄铜及铸铁的许用接触应力 σ_{HP} (MPa)

蜗轮材料	蜗杆材料	滑动速度 $v_s/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$							
		0.25	0.5	1	2	3	4	6	8
ZCuAl9Fe3, ZCuAl10Fe3Mn2	钢经淬火 ^①	—	250	230	210	180	160	120	90
ZCuZn38Mn2Pb2	钢经淬火 ^①	—	215	200	180	150	135	95	75
HT200, HT150 (120 ~ 150HBW)	渗碳钢	160	130	115	90	—	—	—	—
HT150 (120 ~ 150HBW)	调质或淬火钢	140	110	90	70	—	—	—	—

① 蜗杆如未经淬火，表中 σ_{HP} 值需降低 20%。

2.3.4 蜗杆传动的效率和散热计算

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \tag{4.7-3}$$

(1) 蜗杆传动效率的计算 蜗杆传动效率为 式中 η_1 ——蜗杆传动的啮合效率

蜗杆为主动时

$$\eta_1 = \frac{\tan \gamma}{\tan (\gamma + \rho_v)} \quad (4.7-4)$$

蜗轮为主动时

$$\eta_1 = \frac{\tan (\gamma - \rho_v)}{\tan \gamma} \quad (4.7-5)$$

当量摩擦角 ρ_v 的实验值见表 4.7-16;

η_2 ——考虑搅油损耗的效率, 一般 $\eta_2 = 0.94 \sim 0.99$;

η_3 ——轴承效率, 每对滚动轴承 $\eta_3 = 0.98 \sim 0.99$; 滑动轴承 $\eta_3 = 0.97 \sim 0.99$ 。

(2) 散热计算 对于连续工作的闭式传动, 有时因传动温升过高破坏了润滑, 引起传动的损坏。

传动工作中损耗的功率为

$$P_s = P_1 (1 - \eta) \quad (4.7-6)$$

式中 P_1 ——输入功率 (W)。

此损耗功率变为热量, 使传动装置温度升高, 同时传动因温差而散热。设计要求: 传动装置在允许的温升范围内它所能散出的功率 P_e 要大于或等于损耗的功率 P_s , 即 $P_e \geq P_s$ 。各种散热方式的 P_e 计算公式列于表 4.7-17。

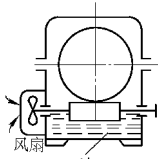
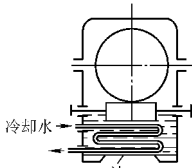
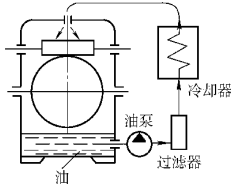
表 4.7-16 蜗杆传动的当量摩擦角 ρ_v

蜗轮材料		锡青铜		无锡青铜	灰铸铁	
钢蜗杆齿面硬度		$\geq 45\text{HRC}$	其他情况	$\geq 45\text{HRC}$	$\geq 45\text{HRC}$	其他情况
滑动速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	0.01	6°17'	6°51'	10°12'	10°12'	10°45'
	0.05	5°09'	5°43'	7°58'	7°58'	9°05'
	0.10	4°31'	5°09'	7°24'	7°24'	7°58'
	0.25	3°43'	4°17'	5°43'	5°43'	6°51'
	0.50	3°09'	3°43'	5°09'	5°09'	5°43'
	1.0	2°35'	3°09'	4°00'	4°00'	5°09'
	1.5	2°17'	2°52'	3°43'	3°43'	4°34'
	2.0	2°00'	2°35'	3°09'	3°09'	4°00'
	2.5	1°43'	2°17'	2°52'		
	3.0	1°36'	2°00'	2°35'		
	4	1°22'	1°47'	2°17'		
	5	1°16'	1°40'	2°00'		
	8	1°02'	1°29'	1°43'		
	10	0°55'	1°22'			
	15	0°48'	1°09'			
	24	0°45'				

注: 1. 蜗杆螺旋表面粗糙度 Ra 为 $1.6 \sim 0.4\mu\text{m}$ 。

2. 对圆弧圆柱蜗杆传动 ρ_v 可减小 $10\% \sim 20\%$ 。

表 4.7-17 各种冷却方法的散热计算

自然通风	箱体表面散出的热量折合为功率 $P_e = kA(t_1 - t_2)$ 式中 k——传热系数, 一般可在下列范围内选取: $k = 8.7 \sim 17.5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ A——传动装置散热的计算面积 $A = A_1 + 0.5A_2$ A_1——内面被油浸溅着而外面又被自然循环的空气所冷却的箱壳表面积(m^2) A_2——A_1 计算表面的补强肋和凸座的表面以及装在金属底座或机械框架上的箱壳底面积(m^2) t_1——润滑油的温度($^\circ\text{C}$), 对齿轮传动允许到 70°C, 对蜗杆传动允许到 95°C t_2——周围空气的温度($^\circ\text{C}$), 一般可取 $t_2 = 20^\circ\text{C}$ 传动装置箱体周围空气循环及油池中油的循环条件良好时(如有较好的自然通风, 外壳上无灰尘杂物, 箱体内边无肋板阻碍油的循环, 油的运动速度快, 及油的运动粘度小等)可取较大值, 反之则取较小值。在自然通风良好的地方 $k = 14 \sim 17.5$; 在没有循环空气流动的地方 $k = 8.7 \sim 10.5$		
强迫冷却方法	 风扇吹风冷却	 蛇形水管冷却	 循环润滑

(续)

强迫冷却时传动装置散出的功率 P_e 的计算	$P_e = (kA'' + k'A')(t_1 - t_2)$ k' —风吹表面传热系数: $k' = 16.05 \sqrt{v_f}$ 风速 $v_f/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 其概略值如下:		$P_e = kA(t_1 - t_2) + k''A_g \times [t_1 - 0.5(t_{1s} + t_{2s})]$ k'' —蛇形管冷却的传热系数, 纯铜管或黄铜管的 $k''(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$, 如下:				$P_e = kA(t_1 - t_2) + Q_y \rho_y C_y (t_{1y} - t_{2y}) \eta_y$ Q_y —循环润滑油量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) C_y —润滑油比热容, $C_y = 1.675 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ρ_y —润滑油的密度, $\rho_y \approx 900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ t_{1y} —循环油排出的温度 ($^\circ\text{C}$) t_{2y} —循环油进入的温度 ($^\circ\text{C}$) $t_{1y} = t_{2y} + (5 \sim 8) ^\circ\text{C}$ η_y —循环油的利用系数, 取 $\eta_y = 0.5 \sim 0.8$ k, A, t_1, t_2 见“自然通风”一项			
	蜗杆的转速 $/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	$v_f/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	齿轮或蜗杆的圆周速度 $/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	冷却水的流速 $/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$						
					0.1	0.2	≥ 0.4			
	750	3.75	≤ 4	146	157	165				
	1000	5	4 ~ 6	153	163	174				
1500	7.5	6 ~ 8	162	174	186					
		8 ~ 10	168	180	195					
		12	174	186	203					
A' —箱壳被风吹的表面积 (m^2) A'' —箱壳不被风吹的表面积 (m^2) k, t_1, t_2 见“自然通风”一项		对壁厚 1 ~ 3mm 的钢管, 表中的值应降低 5% ~ 15% A_g —蛇形管冷却的外表面积 (m^2) t_{1s} —蛇形管出水温度 ($^\circ\text{C}$) t_{2s} —蛇形管进水温度 ($^\circ\text{C}$) $t_{1s} \approx t_{2s} + (5 \sim 10) ^\circ\text{C}$ k, A, t_1, t_2 见“自然通风”一项								

2.4 提高圆柱蜗杆传动承载能力的方法

通过实现合理的啮合部位、扩大实际接触面积和制造人工油涵等方法, 可有效地降低接触应力和摩擦因数从而提高蜗杆传动的承载能力和传动效率。

(1) 调整蜗轮的位置 采用啮出侧接触 (图 4.7-5), 使啮入侧自然形成“人工油涵”; 并充分利用啮出侧接触线与滑动速度的夹角 Ω 大的特点。一般使啮出侧接触面积占全齿面的 30%~40%。

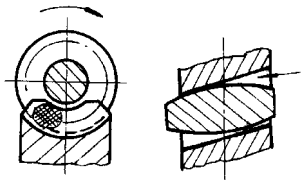


图 4.7-5 啮出侧的接触部位

(2) 消除不利的啮合部位 普通圆柱蜗杆传动, 在轮齿中间偏齿根一带是不利于动压油膜形成的区域, 往往在此区域内发生早期破坏。采用缺口整形蜗轮 (图 4.7-6) 或挖窝蜗轮 (图 4.7-7) 将啮合不利的区域切除, 以实现合理啮合。挖窝的蜗轮不仅轮齿的弯曲强度较缺口的高, 而且窝内可贮油以利润滑。通常用立铣刀挖窝, 窝要略偏入口处。铣刀

的外径 d_x 可取

$$d_x = \pi m \left(0.9 - \frac{2.4}{z_2} \right) \quad (4.7-7)$$

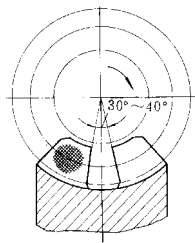


图 4.7-6 缺口整形蜗轮

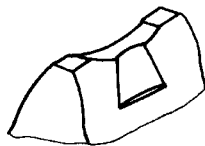


图 4.7-7 挖窝

(3) 制造人工油涵

1) 利用比蜗杆直径大的滚刀切削蜗轮 (图 4.7-8)。图中 R_a 为滚刀半径, O_2 为滚刀轴心, O_1 为蜗杆轴心。 $\overline{O_1 O_2} = (1.1 \sim 1.25)m$ 。加工蜗轮时的中心距为 $a_0 = a + \overline{O_1 O_2}$ (a 为传动的中心距)。蜗轮齿顶圆弧半径也应相应增大, 以免干涉。

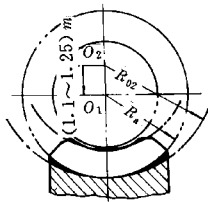


图 4.7-8 用大滚刀切人工油涵

2) 偏移滚刀制造人工油涵(图 4.7-9), 按通常加工蜗轮方法, 进刀达到齿深后将刀退出, 然后将刀偏移 $(0.3 \sim 0.6)m$, 再进行加工, 进刀到齿深切出入口油涵。再向反向移动刀架切出入口油涵, 刀具偏移量一般取 $(0.2 \sim 0.4)m_0$ 。

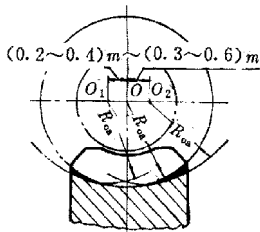


图 4.7-9 移动滚刀位置切削人工油涵

3) 扳刀架角度加工蜗轮, 切出人工油涵(图 4.7-10), 加工入口油涵时扳 $1^\circ 30'$; 加工出口“油涵”时扳 $30'$ (按蜗轮螺旋角增加方向)。

2.5 蜗杆、蜗轮的结构

蜗杆一般与轴做成一体(图 4.7-11), 只在个别

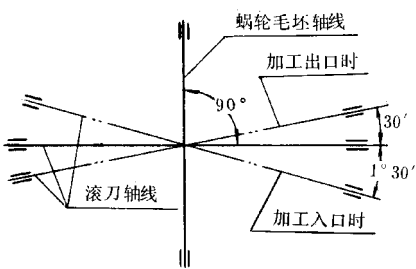


图 4.7-10 扳刀架角度切人工油涵

情况下 $\left(\frac{d_{f1}}{d} \geq 1.7\right)$ 才采用蜗杆齿圈装配于轴上。
车制的蜗杆, 轴径 $d = d_{f1} - (2 \sim 4) \text{ mm}$ (图 4.7-11a); 铣制的蜗杆, 轴径 d 可大于 d_{f1} (图 4.7-11b)。

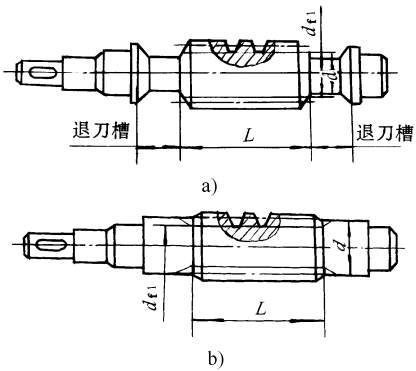
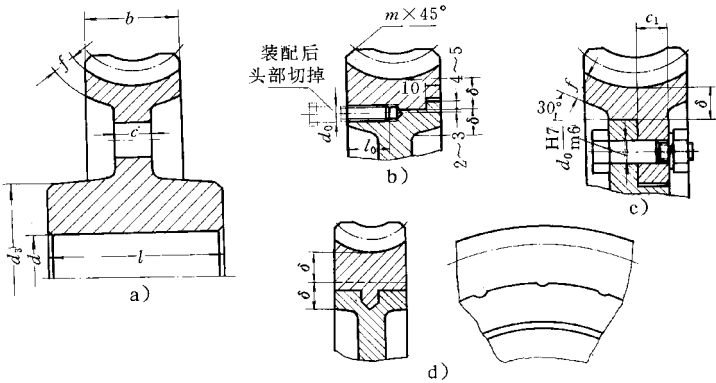


图 4.7-11 蜗杆轴的典型结构

a) 车制蜗杆 b) 铣制蜗杆

蜗轮的典型结构见表 4.7-18。

表 4.7-18 蜗轮的典型结构



$f = 1.7m \geq 10\text{mm}$
 $\delta = 2m \geq 10\text{mm}$
 $d_3 = (1.6 \sim 1.8)d$
 $l = (1.2 \sim 1.8)d$
 $d_0 = (0.075 \sim 0.12)d \geq 5\text{mm}$
 $l_0 = 2d_0$
 $c \approx 0.3b$
 $c_1 \approx 0.25b$

结 构 型 式	特 点
a) 整体式	当直径小于 100mm 时, 可用青铜铸成整体, 当滑动速度 $v_s \leq 2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 可用铸铁铸成整体
b) 轮箍式	青铜轮缘与铸铁轮心通常采用 $\frac{H7}{s6}$ 配合, 并加台肩和螺钉固定。螺钉数 6~12 个

(续)

结构型式	特点
c) 螺栓连接式	以光制螺栓连接, 螺栓孔要同时铰制, 其配合为 $\frac{H7}{m6}$ 。螺栓数按剪切计算确定, 并以轮缘受挤压, 校核轮缘材料, 许用挤压应力 $\sigma_{jp} = 0.3\sigma_s$, σ_s —轮缘材料屈服极限
d) 镶铸式	青铜轮缘镶铸在铸铁轮心上, 并在轮心上预制出榫槽, 以防滑动 (适用大批生产)

2.6 普通圆柱蜗杆传动的设计实例

例 4.7-1 设计驱动链运输机的蜗杆传动。已知: 蜗杆输入功率 $P = 10\text{kW}$, 转速 $n_1 = 1460\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, 蜗轮转速 $n_2 = 73\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, 要求使用寿命 4 年, 每年工作 300d, 每天工作 8h, $J_C = 40\%$, 环境温度 30°C , 批量生产。

解

(1) 选择传动的类型, 精度等级和材料

考虑到传递的功率不大, 转速较低, 选用 ZA 蜗杆传动, 精度 8 c GB 10089—1988。

蜗杆用 35CrMo, 表面淬火, 硬度为 45~50 HRC; 表面粗糙度 $R_a \leq 1.6\mu\text{m}$ 。蜗轮轮缘选用 ZCuSn10P1 金属模铸造。

(2) 选择蜗杆、蜗轮的齿数

$$\text{传动比 } i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1460}{73} = 20$$

参考表 4.7-5, 取 $z_1 = 2$, $z_2 = iz_1 = 20 \times 2 = 40$

(3) 确定许用应力

$$\sigma_{HP} = \sigma'_{HP} Z_{vs} Z_N$$

由表 4.7-14 查得 $\sigma'_{HP} = 220\text{MPa}$, $\sigma'_{FP} = 70\text{MPa}$ 。按图 4.7-2 查得 $v_s \approx 8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 再查图 4.7-3, 采用浸油润滑, 得 $Z_{vs} = 0.87$ 。

轮齿应力循环次数

$$\begin{aligned} N_L &= 60n_2jL_h \\ &= 60 \times 73 \times 1 \times 300 \times 4 \times 8 \times 0.4 \\ &= 1.7 \times 10^7 \end{aligned}$$

查图 4.7-4 得 $Z_N = 0.94$, $Y_N = 0.74$

$$\sigma_{HP} = 220 \times 0.87 \times 0.94\text{MPa} = 180\text{MPa}$$

$$\sigma_{FP} = \sigma'_{FP} Y_N = 70 \times 0.74\text{MPa} = 52\text{MPa}$$

(4) 接触强度设计

$$m^2 d_1 \geq \left(\frac{15000}{\sigma_{HP} z_2} \right)^2 K T_2$$

载荷系数取 $K = 1.2$

蜗轮轴的转矩

$$T_2 = 9550 \frac{P_1 \eta}{n_2} = 9550 \frac{10 \times 0.82}{73} \text{N} \cdot \text{m} = 1073 \text{N} \cdot \text{m}$$

(式中暂取 $\eta = 0.82$)。代入上式

$$\begin{aligned} m^2 d_1 &\geq \left(\frac{15000}{180 \times 40} \right)^2 1.2 \times 1073 \text{mm}^3 \\ &= 5588.5 \text{mm}^3 \end{aligned}$$

查表 4.7-4, 接近于 $m^2 d_1 = 5588.5\text{mm}^3$ 的是 5376mm^3 , 相应的 $m = 8\text{mm}$, $d_1 = 80\text{mm}$ 。

查表 4.7-6, 按 $i = 20$, $m = 8\text{mm}$, $d_1 = 80\text{mm}$, 其 $a = 200\text{mm}$, $z_2 = 41$, $z_1 = 2$, $x_2 = -0.5$

蜗轮分度圆直径 $d_2 = m z_2 = 8 \times 41\text{mm} = 328\text{mm}$

$$\begin{aligned} \text{导程角 } \gamma &= \arctan \frac{z_1 m}{d_1} \\ &= \arctan \frac{2 \times 8}{80} = 11.31^\circ = 11^\circ 18' 36'' \end{aligned}$$

(5) 求蜗轮的圆周速度, 并校核效率

实际传动比

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{41}{2} = 20.5$$

$$n_2 = \frac{1460}{20.5} \text{r} \cdot \text{min}^{-1} = 71.22 \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$$

蜗轮的圆周速度

$$v_2 = \frac{\pi d_2 n_2}{60000} = \frac{\pi \times 328 \times 71.22}{60000} \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = 1.223 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

滑动速度

$$\begin{aligned} v_s &= \frac{\pi d_1 n_1}{60000 \cos \gamma} = \frac{\pi \times 80 \times 1460}{60000 \cos 11.31^\circ} \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \\ &= 6.24 \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

求传动的效率, 按式 (4.7-3) $\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$

式中

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \frac{\tan \gamma}{\tan(\gamma + \rho_v)} \\ &= \frac{\tan 11.31^\circ}{\tan(11.31^\circ + 1.167^\circ)} = 0.904 \end{aligned}$$

ρ_v 由表 4.7-16 查得 $\rho_v = 1^\circ 10' = 1.167^\circ$; 取 $\eta_2 = 0.96$; 取 $\eta_3 = 0.98$ 。则

$$\eta = 0.904 \times 0.96 \times 0.98 = 0.85$$

与暂取值 0.82 接近。

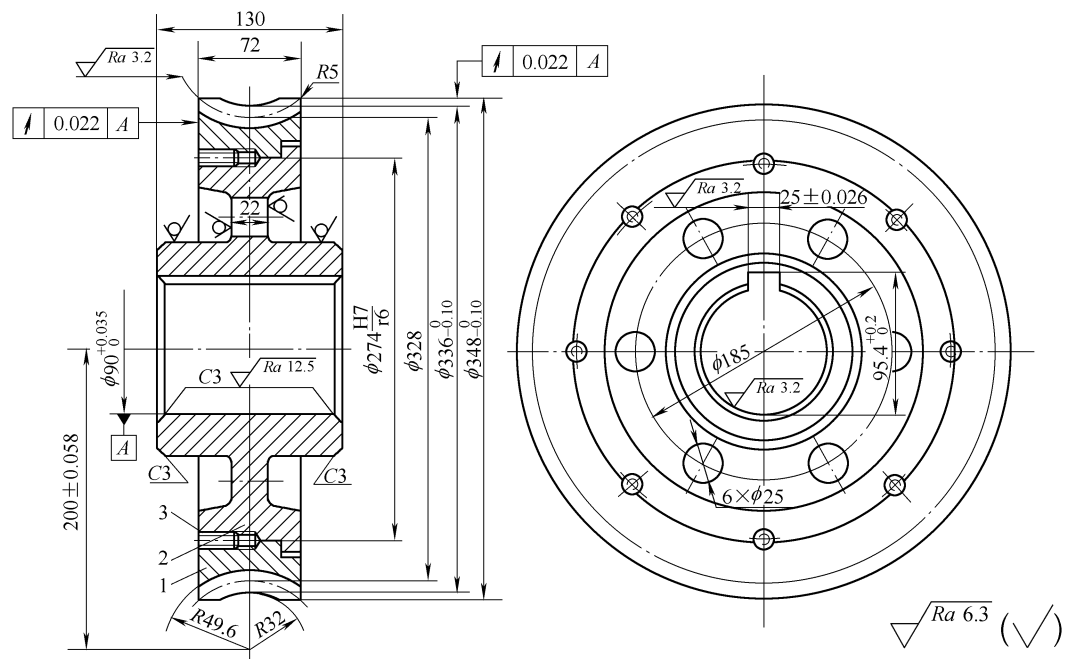
(6) 校核蜗轮齿面的接触强度

按表 4.7-10, 齿面接触强度验算公式为

$$\sigma_H = Z_E \sqrt{\frac{9400 T_2}{d_1 d_2^2} K_A K_V K_B} \leq \sigma_{HP} \text{MPa}$$

式中, 按表 4.7-11 取 $K_A = 0.9$ (间歇工作); 取 $K_B = 1.1$; 取 $K_V = 1.1$; 查表 4.7-12 得 $Z_E = 155 \sqrt{\text{N}/\text{mm}^2}$ 。

$$\begin{aligned} \text{蜗轮传递的实际转矩 } T_2 &= 9550 \times \frac{10 \times 0.85}{71.22} \text{N} \cdot \text{m} \\ &= 1139.8 \text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$



技术要求
轮缘和轮心装配后再精车和切制轮齿。

传动类型		ZA 型蜗杆副	
蜗轮端面模数	m		8
蜗杆头数	z_1		2
导程角	γ		$11^{\circ}18'36''$
螺旋线方向			右旋
蜗杆轴向剖面内的齿形角	α		20°
蜗轮齿数	z_2		41
蜗轮变位系数	x_2		-0.5
中心距	a		200
配对蜗杆图号			
精度等级			蜗轮 8 c GB 10089—1988
蜗轮齿距累积公差	F_p		0.125
蜗轮齿距极限偏差	f_{pt}		± 0.032
蜗轮齿厚	s_2		$9.65^{+0.16}_0$

3	GB/T 5783—2000	螺栓 M10 × 30	6	
2	W200—12—02	轮 心	1	HT200
1	W200—12—01	蜗轮轮缘	1	ZCuSn10P1
件号	代 号	名 称	数量	备 注

图 4.7-13 蜗轮工作图

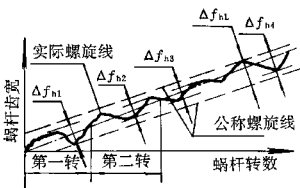
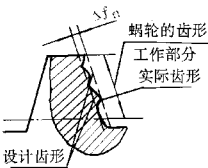
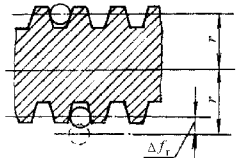
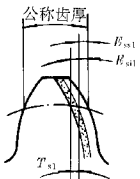
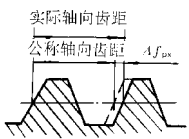
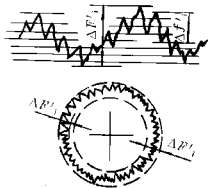
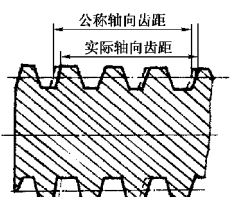
2.7 圆柱蜗杆、蜗轮精度（摘自 GB 10089—1988）

圆柱蜗杆、蜗轮精度是根据 GB 10089—1988 编写的，适用于轴交角 $\Sigma=90^{\circ}$ ，模数 $m \geq 1\text{mm}$ ，蜗杆分度圆

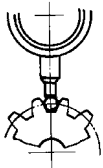
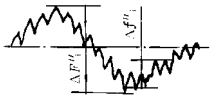
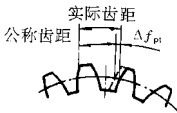
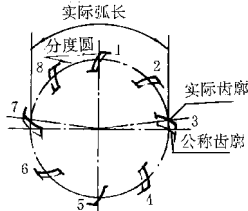
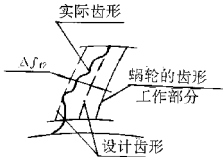
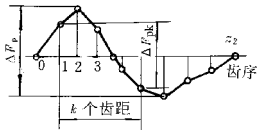
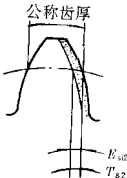
直径 $d_1 \leq 400\text{mm}$ ，蜗轮分度圆直径 $d_2 \leq 4000\text{mm}$ ；基本蜗杆可为阿基米德蜗杆（ZA 蜗杆）、渐开线蜗杆（ZI 蜗杆）、法向直廓蜗杆（ZN 蜗杆）、锥面包络圆柱蜗杆（ZK 蜗杆）和圆弧圆柱蜗杆（ZC 蜗杆）。

2.7.1 术语定义和代号（见表 4.7-19）

表 4.7-19 蜗杆、蜗轮的误差、传动的误差和侧隙的术语定义和代号

术语及代号	定 义	术语及代号	定 义
蜗杆螺旋线误差 Δf_{hl} 	在蜗杆轮齿的工作齿宽范围（两端不完整齿部分应除外）内，蜗杆分度圆柱面 ^① 上，包容实际螺旋线的最近两条公称螺旋线间的法向距离	蜗杆齿形误差 Δf_{fi} 	在蜗杆轮齿给定截面上的齿形工作部分内，包容实际齿形且距离最小的两条设计齿形间的法向距离 当两条设计齿形线为非等距离的曲线时，应在靠近齿体内的设计齿形线的法线上确定其两者间的法向距离
蜗杆螺旋线公差 f_{hl}		蜗杆齿槽径向圆跳动 Δf_r 	在蜗杆任意一转范围内，测头在齿槽内与齿高中部的齿面双接触，其测头相对于蜗杆轴线的径向最大变动量
蜗杆一转螺旋线误差 Δf_h	在蜗杆轮齿的一转范围内，在蜗杆分度圆柱面 ^① 上，包容实际螺旋线的最近两条理论螺旋线间的法向距离	蜗杆齿槽径向圆跳动公差 f_r	
蜗杆一转螺旋线公差 f_h		蜗杆齿厚偏差 ΔE_{s1} 	在蜗杆分度圆柱上，法向齿厚的实际值与公称值之差
蜗杆轴向齿距偏差 Δf_{px} 	在蜗杆轴向截面上实际齿距与公称齿距之差	蜗杆齿厚极限偏差 上偏差 E_{ss1} 下偏差 E_{si1} 蜗杆齿厚公差 T_{s1}	
蜗杆轴向齿距极限偏差 上偏差 $+f_{px}$ 下偏差 $-f_{px}$		蜗轮切向综合误差 $\Delta F'_t$ 	被测蜗轮与理想精确的测量蜗杆 ^② 在公称轴线位置上单面啮合时，在被测蜗轮一转范围内实际转角与理论转角之差的总幅度值。以分度圆弧长计
蜗杆轴向齿距累积误差 Δf_{pxL} 	在蜗杆轴向截面上的工作齿宽范围（两端不完整齿部分应除外）内，任意两个同侧齿面间实际轴向距离与公称轴向距离之差的绝对值	蜗轮切向综合公差 F'_t	
蜗杆轴向齿距累积公差 f_{pxL}			

(续)

术语及代号	定 义	术语及代号	定 义
蜗轮一齿切向综合误差 $\Delta f'_i$	被测蜗轮与理想精确的测量蜗杆 ^② 在公称轴线位置上单面啮合时, 在被测蜗轮一齿距角范围内实际转角与理论转角之差的最大幅度值。以分度圆弧长计	蜗轮齿圈径向圆跳动 ΔF_r	在蜗轮一转范围内, 测头在靠近中间平面的齿槽内与齿高中部的齿面双面接触, 其测头相对于蜗轮轴线径向距离的最大变动量
蜗轮一齿切向综合公差 f'_i			
蜗轮径向综合误差 $\Delta F''_i$	被测蜗轮与理想精确的测量蜗杆双面啮合时, 在被测蜗轮一转范围内, 双啮中心距的最大变动量	蜗轮齿圈径向圆跳动公差 F_r	
			
蜗轮径向综合公差 F''_i			
蜗轮一齿径向综合误差 $\Delta f''_i$	被测蜗轮与理想精确的测量蜗杆双面啮合时, 在被测蜗轮一齿距角范围内双啮中心距的最大变动量	蜗轮齿距偏差 Δf_{pt}	在蜗轮分度圆上 ^③ , 实际齿距与公称齿距之差 用相对法测量时, 公称齿距是指所有实际齿距的平均值
蜗轮一齿径向综合公差 f''_i			
蜗轮齿距累积误差 ΔF_p	在蜗轮分度圆上 ^③ , 任意两个同侧齿面间的实际弧长与公称弧长之差的绝对值	蜗轮齿距极限偏差 上偏差 $+f_{pt}$ 下偏差 $-f_{pt}$	
			
蜗轮齿距累积公差 F_p		蜗轮齿形误差 Δf_{f2}	在蜗轮齿形给定截面上的齿形工作部分内, 包容实际齿形且距离最小的两条设计齿形间的法向距离 当两条设计齿形线为非等距离曲线时, 应在靠近齿体内的设计齿形线的法线上确定其两者间的法向距离
蜗轮 k 个齿距累积误差 ΔF_{pk}	在蜗轮分度圆上 ^③ , k 个齿距内同侧齿面间的实际弧长与公称弧长之差的绝对值 k 为 2 到小于 $\frac{1}{2}z_2$ 的整数		
		蜗轮齿形公差 f_{f2}	
蜗轮 k 个齿距累积公差 F_{pk}		蜗轮齿厚偏差 ΔE_{s2}	在蜗轮中间平面上, 分度圆齿厚的实际值与公称值之差
			
		蜗轮齿厚极限偏差 上偏差 E_{s2} 下偏差 E_{s12}	
		蜗轮齿厚公差 T_{s2}	

(续)

术语及代号	定 义	术语及代号	定 义
蜗杆副的切向综合误差 $\Delta F'_{ic}$	安装好的蜗杆副啮合转动时,在蜗轮和蜗杆相对位置变化的一个整周期内,蜗轮的实际转角与理论转角之差的总幅度值。以蜗轮分度圆弧长计	蜗杆副的中间平面偏差 Δf_x	在安装好的蜗杆副中,蜗轮中间平面与传动中间平面之间的距离
蜗杆副的切向综合公差 F'_{ic}		蜗杆副的中间平面极限偏差 上偏差 $+f_x$ 下偏差 $-f_x$	
蜗杆副的一齿切向综合误差 $\Delta f'_{ic}$	安装好的蜗杆副啮合转动时,在蜗轮一转范围内多次重复出现的周期性转角误差的最大幅度值。以蜗轮分度圆弧长计	蜗杆副的轴交角偏差 Δf_z	在安装好的蜗杆副中,实际轴交角与公称轴交角之差 偏差值按蜗轮齿宽确定,以其线性值计
蜗杆副的一齿切向综合公差 f'_{ic}		蜗杆副的轴交角极限偏差 上偏差 $+f_z$ 下偏差 $-f_z$	
蜗杆副的接触斑点	安装好的蜗杆副中,在轻微力的制动下,蜗杆与蜗轮啮合运转后,在蜗轮齿面上分布的接触痕迹。接触斑点以接触面积大小、形状和分布位置表示 接触面积大小按接触痕迹的百分比计算确定: 沿齿长方向,接触痕迹的长度 b'' 与工作长度 b' 之比的百分数 即 $b''/b' \times 100\%$ 沿齿高方向,接触痕迹的平均高度 h'' 与工作高度 h' 之比的百分数 即 $h''/h' \times 100\%$ 接触形状以齿面接触痕迹总的几何形状的状态确定 接触位置以接触痕迹离齿面啮入、啮出端或齿顶、齿根的位置确定	蜗杆副的侧隙	在安装好的蜗杆副中,蜗杆固定不动时,蜗轮从工作齿面接触到非工作齿面接触所转过的分度圆弧长
蜗杆副的中心距偏差 Δf_a	在安装好的蜗杆副中间平面内,实际中心距与公称中心距之差	圆周侧隙 j_t 法向侧隙 j_n 最小圆周侧隙 j_{tmin} 最大圆周侧隙 j_{tmax} 最小法向侧隙 j_{nmin} 最大法向侧隙 j_{nmax}	在安装好的蜗杆副中,蜗杆和蜗轮的工作齿面接触时,两非工作面齿间的最小距离
蜗杆副的中心距极限偏差 上偏差 $+f_a$ 下偏差 $-f_a$			

- ① 允许在靠近蜗杆分度圆柱的同轴圆柱面上检验。
- ② 允许用配对蜗杆代替测量蜗杆进行检验。
- ③ 允许在靠近中间平面的齿高中部进行测量。
- ④ 在确定接触痕迹长度 b'' 时,应扣除超过模数值的断开部分。

2.7.2 精度等级

国标对蜗杆、蜗轮和蜗杆传动规定 12 个精度等级,第 1 级精度最高,第 12 级精度最低。

按照公差的特性对传动性能的主要保证作用,将公差(或极限偏差)分成三个公差组:

第 I 公差组:蜗杆:—

蜗轮: $F'_i, F''_i, F_p, F_{pk}, F_r$

传动: F'_{ic} ;

第 II 公差组:蜗杆: $f_h, f_{hl}, f_{px}, f_{pxL}, f_r$

蜗轮: f'_i, f''_i, f_{pt}

传动: f'_{ic} ;

第 III 公差组:蜗杆: f_{f1}

蜗轮: f_{f2}

传动: 接触斑点, f_a, f_s, f_x 。

根据使用要求不同,允许各公差组选用不同的精度等级组合,但在同一公差组中,各项公差与极限偏差应保持相同的精度等级。

蜗杆和配对蜗轮的精度等级一般取成相同,也允许取成不相同。对有特殊要求的蜗杆传动,除 F_r, F'_i, f'_i, f_r 项目外,其蜗杆、蜗轮左右齿面的精度等级也可取成不相同。

2.7.3 齿坯的要求

蜗杆、蜗轮的加工、检验和安装的径向、轴向基准面应尽可能一致,并应在相应的零件工作图上予以标注。蜗杆、蜗轮的齿坯公差,包括轴、孔的尺寸、形状和位置公差以及基准面的跳动公差列于表 4.7-20、表 4.7-21。

2.7.4 蜗杆、蜗轮的检验和公差

(1) 蜗杆、蜗轮的检验 根据蜗杆传动的工作要求和生产规模,在各公差组中,选定一个检验组来评定和验收蜗杆、蜗轮的精度。当检验组中有两项以上的误差时,按最低的一项精度来评定蜗杆、蜗轮的精度等级。

第 I 公差组的检验组

蜗杆:—

蜗轮: $\Delta F'_i; \Delta F_p, \Delta F_{pk}; \Delta F_p$ (用于 5~12 级); ΔF_r (用于 9~12 级); $\Delta F''_i$ (用于 7~12 级)。

第 II 公差组的检验组

蜗杆: $\Delta f_h, f_{hl}$ (用于单头蜗杆); $\Delta f_{px}, \Delta f_{hl}$, (用于多头蜗杆); $\Delta f_{px}, \Delta f_{pxL}, \Delta f_r; \Delta f_{px}, \Delta f_{pxL}$ (用于 7~9 级); Δf_{px} (用于 10~12 级)。

蜗轮: $\Delta F'_i; \Delta F''_i$ (用于 7~12 级); Δf_{pt} (用于 5~12 级)

第 III 公差组的检验组

蜗杆: Δf_{f1} 。

蜗轮: Δf_{f2} 。

当蜗杆副对接触斑点有要求时,蜗轮的齿形误差 Δf_{f2} 可不进行检验。

若制造厂与订货者有专门协议时,应按协议进行蜗杆、蜗轮精度的验收、评定。

(2) 蜗杆、蜗轮的公差和极限偏差 蜗杆的各项公差和极限偏差列于表 4.7-22、表 4.7-23; 蜗轮的各项公差和极限偏差列于表 4.7-24、表 4.7-25。

蜗轮的 F'_i, f'_i 值按式 (4.7-8)、式 (4.7-9) 计算

$$F'_i = F_p + f_{f2} \quad (4.7-8)$$

$$f'_i = 0.6(f_{pt} + f_{f2}) \quad (4.7-9)$$

上述公差和偏差值都是以蜗杆、蜗轮的工作轴线为测量的基准轴线。当实际测量基准不符合本规定时,应从测量结果中消除基准不同所带来的影响。

当基本蜗杆齿形角 $\alpha \neq 20^\circ$ 时,上述表中的 f_r, F_r, F''_i, f'_i 值乘以 $\sin 20^\circ / \sin \alpha$ 。

2.7.5 蜗杆传动副的检验和公差

(1) 蜗杆传动的检验 蜗杆传动的精度主要以蜗杆副的切向综合误差 $\Delta F'_{ic}$ 、蜗杆副的一齿切向综合误差 $\Delta f'_{ic}$ 和蜗杆副的接触斑点的形状、分布位置和面积大小来评定。

对 5 级和 5 级精度以下的传动,允许用蜗杆副的切向综合误差 ($\Delta F'_i$) 和蜗轮一齿切向综合误差 ($\Delta f'_i$) 代替 $\Delta F'_{ic}, \Delta f'_{ic}$ 的检验,或以蜗杆、蜗轮相应公差组的检验组中最低结果来评定传动的第 I、II 公差组的精度等级。

对不可调中心距的蜗杆传动,检验接触斑点的同时,还应检验 $\Delta f_a, \Delta f_x$ 和 Δf_s 。

(2) 蜗杆传动各检验项目的公差或极限偏差 F'_{ic}, f'_{ic} 值计算式

$$F'_{ic} = F_p + f'_{ic} \quad (4.7-10)$$

$$f'_{ic} = 0.7(f'_i + f_h) \quad (4.7-11)$$

接触斑点的要求列于表 4.7-28, f_a, f_x, f_s 值列于表 4.7-26、表 4.7-27。

进行了 $\Delta F'_{ic}, \Delta f'_{ic}$ 和接触斑点检验的蜗杆传动,允许相应的第 I、II、III 公差组的蜗杆、蜗轮检验组和 $\Delta f_a, \Delta f_x, \Delta f_s$ 中任意一项误差超差。

2.7.6 蜗杆传动副的侧隙规定

GB 10089—1988 中规定蜗杆传动的侧隙共分八种: a、b、c、d、e、f、g 和 h。最小法向侧隙值以 a 为最大,其他依次减小, h 为零,如图 4.7-14 所示。侧隙种类与精度等级无关。

根据工作条件和使用要求来选择传动的侧隙

种类。各种侧隙的最小法向侧隙 $j_{\min}$ 值列于表 4.7-29。

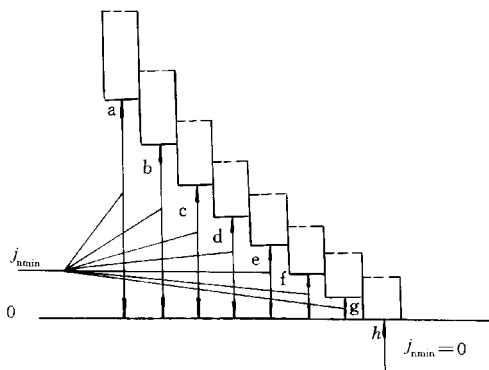


图 4.7-14 蜗杆传动的法向侧隙

传动的最小法向侧隙由蜗杆齿厚的减薄量来保证，即取蜗杆齿厚上偏差 $E_{ss1} = -(j_{\min}/\cos\alpha_n + E_{s\Delta})$ ，蜗杆齿厚下偏差 $E_{s11} = E_{ss1} - T_{s1}$ ， $E_{s\Delta}$ 为制造误差的补偿部分，其值列于表 4.7-31， T_{s1} 为蜗杆齿厚公差，其值列于表 4.7-30。

蜗轮齿厚上偏差 $E_{ss2} = 0$ ，蜗轮齿厚下偏差 $E_{s12} = -T_{s2}$ ， T_{s2} 为蜗轮齿厚公差，其值列于表 4.7-32。

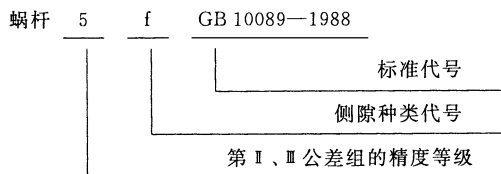
对于可调中心距传动或不要求互换的传动，其蜗轮的齿厚公差可不作规定，蜗杆齿厚的上、下偏差由设计确定。

对各种侧隙表列数值系蜗杆传动在 20℃ 时的情况，未计入传动发热和传动弹性变形的影响。传动中心距的极限偏差 $\pm f_a$ 见表 4.7-26。

2.7.7 工作图上的标注

在蜗杆、蜗轮工作图上，应分别标注精度等级，齿厚极限偏差或相应的侧隙种类代号和圆柱蜗杆、蜗轮精度国标的代号。标注示例如下：

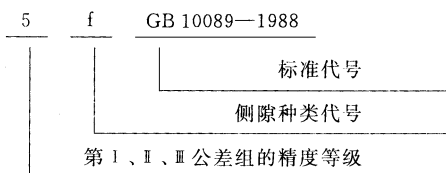
1) 蜗杆第 II、III 公差组的精度为 5 级，齿厚极限偏差为标准值，相配的侧隙种类为 f，则标注为



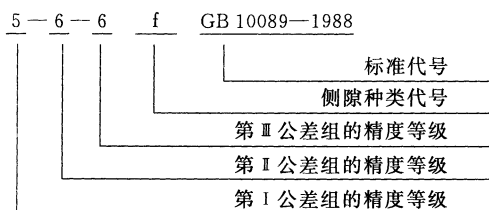
2) 蜗杆第 II、III 公差组为 5 级精度，齿厚极限偏差为非标准值，如上偏差为 -0.27mm，下偏差为 -0.4mm，则标注为

蜗杆 $5 \begin{pmatrix} -0.27 \\ -0.40 \end{pmatrix} \text{GB 10089—1988}$

3) 蜗轮的三个公差组的精度同为 5 级，齿厚极限偏差为标准值，相配的侧隙种类为 f，则标注为



4) 蜗轮的第 I 公差组为 5 级精度，第 II、III 公差组的精度为 6 级，齿厚极限偏差为标准值，相配的侧隙种类为 f。则标注为

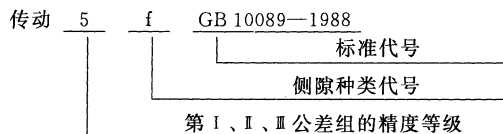


5) 蜗轮的精度同上，齿厚无公差要求，则标注为 5-6-6 GB 10089—1988

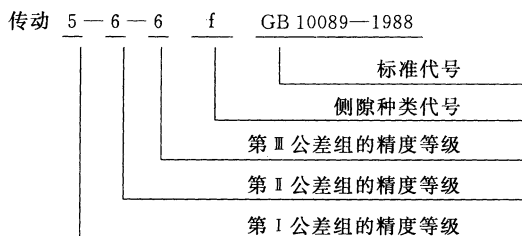
2.7.8 装配图上的标注

在蜗杆传动的装配图上，应标注出配对蜗杆、蜗轮的精度等级，侧隙种类代号和圆柱蜗杆、蜗轮精度的国标代号，标注示例如下。

1) 传动的三个公差组的精度同为 5 级，侧隙种类为 f，则标注为



2) 传动的第 I 公差组的精度为 5 级，第 II、III 公差组的精度为 6 级，侧隙种类为 f，则标注为



3) 上例精度的蜗杆、蜗轮，若传动的侧隙为非标准值，如 $j_{\min} = 0.03\text{mm}$ ， $j_{\max} = 0.06\text{mm}$ ，则标注为

传动 $5-6-6 \begin{pmatrix} 0.03 \\ 0.06 \end{pmatrix} \text{GB 10089—1988}$

$j_{\min} = 0.03\text{mm}$ ， $j_{\max} = 0.06\text{mm}$ ，则标注为

传动 $5-6-6 \begin{pmatrix} 0.03 \\ 0.06 \end{pmatrix} \text{GB 10089—1988}$

2.7.9 公差数值表（见表 4.7-20 ~ 表 4.7-32）

表 4.7-20 蜗杆、蜗轮齿坯尺寸和形状公差

精 度 等 级		4	5	6	7	8	9
孔	尺寸公差	IT4	IT5	IT6	IT7		IT8
	形状公差	IT3	IT4	IT5	IT6		IT7
轴	尺寸公差	IT4	IT5		IT6		IT7
	形状公差	IT3	IT4		IT5		IT6
齿顶圆直径公差		IT7			IT8		IT9

- 注：1. 当三个公差组的精度等级不同时，按最高精度等级确定公差。
2. 当齿顶圆不作测量齿厚基准时，尺寸公差按 IT11 确定，但不得大于 0.1mm。
3. IT 为标准公差，按 GB/T 1800—2009《公差与配合 标准公差与基本偏差》的规定确定。

表 4.7-21 蜗杆、蜗轮齿坯基准面径向和端面圆跳动公差 (μm)

基准面直径 d /mm	精度等级			
	4	5 6	7 8	9
≤31.5	2.8	4	7	10
>31.5 ~ 63	4	6	10	16
>63 ~ 125	5.5	8.5	14	22
>125 ~ 400	7	11	18	28
>400 ~ 800	9	14	22	36
>800 ~ 1600	12	20	32	50
>1600 ~ 2500	18	28	45	71
>2500 ~ 4000	25	40	63	100

- 注：1. 当三个公差组的精度等级不同时，按最高精度等级确定公差。
2. 当以齿顶圆作为测量基准时，也即为蜗杆、蜗轮的齿坯基准面。

表 4.7-22 蜗杆的公差和极限偏差 f_h 、 f_{hL} 、 f_{px} 、 f_{pxL} 、 f_{fl} 值 (μm)

名称	代号	模数 m /mm	精度等级					
			4	5	6	7	8	9
蜗杆—转螺旋线公差	f_h	≥1 ~ 3.5	4.5	7.1	11	14	—	—
		>3.5 ~ 6.3	5.6	9	14	20	—	—
		>6.3 ~ 10	7.1	11	18	25	—	—
		>10 ~ 16	9	15	24	32	—	—
		>16 ~ 25	—	—	32	45	—	—
蜗杆螺旋线公差	f_{hL}	≥1 ~ 3.5	9	14	22	32	—	—
		>3.5 ~ 6.3	11	17	28	40	—	—
		>6.3 ~ 10	14	22	36	50	—	—
		>10 ~ 16	18	32	45	63	—	—
		>16 ~ 25	—	—	63	90	—	—
蜗杆轴向齿距极限偏差	f_{px}	≥1 ~ 3.5	±3.0	±4.8	±7.5	±11	±14	±20
		>3.5 ~ 6.3	±3.6	±6.3	±9	±14	±20	±25
		>6.3 ~ 10	±4.8	±7.5	±12	±17	±25	±32
		>10 ~ 16	±6.3	±10	±16	±22	±32	±46
		>16 ~ 25	—	—	±22	±32	±45	±63
蜗杆轴向齿距累积公差	f_{pxL}	≥1 ~ 3.5	5.3	8.5	13	18	25	36
		>3.5 ~ 6.3	6.7	10	16	24	34	48
		>6.3 ~ 10	8.5	13	21	32	45	63
		>10 ~ 16	11	17	28	40	56	80
		>16 ~ 25	—	—	40	53	75	100
蜗杆齿形公差	f_{fl}	≥1 ~ 3.5	4.5	7.1	11	16	22	32
		>3.5 ~ 6.3	5.6	9	14	22	32	45
		>6.3 ~ 10	7.5	12	19	28	40	53
		>10 ~ 16	11	16	25	36	53	75
		>16 ~ 25	—	—	36	53	75	100

表 4.7-23 蜗杆齿槽径向圆跳动公差 f_r 值

(μm)

分度圆直径 d_1/mm	模数 m /mm	精度等级						分度圆直径 d_1/mm	模数 m /mm	精度等级					
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
≤ 10	$\geq 1 \sim 3.5$	4.5	7.1	11	14	20	28	$> 80 \sim 125$	$\geq 1 \sim 16$	6.3	10	16	20	28	40
$> 10 \sim 18$	$\geq 1 \sim 3.5$	4.5	7.1	12	15	21	29	$> 125 \sim 180$	$\geq 1 \sim 25$	7.5	12	18	25	32	45
$> 18 \sim 31.5$	$\geq 1 \sim 6.3$	4.8	7.5	12	16	22	30	$> 180 \sim 250$	$\geq 1 \sim 25$	8.5	14	22	28	40	53
$> 31.5 \sim 50$	$\geq 1 \sim 10$	5.0	8.0	13	17	23	32	$> 250 \sim 315$	$\geq 1 \sim 25$	10	16	25	32	45	63
$> 50 \sim 80$	$\geq 1 \sim 16$	5.6	9.0	14	18	25	36	$> 315 \sim 400$	$\geq 1 \sim 25$	11.5	18	28	36	53	71

表 4.7-24 蜗轮齿距累积公差 F_p 及 k 个齿距累积公差 F_{pk} 值

(μm)

分度圆弧长 L/mm	精度等级						分度圆弧长 L/mm	精度等级					
	4	5	6	7	8	9		4	5	6	7	8	9
≤ 11.2	4.5	7	11	16	22	32	$> 630 \sim 1000$	32	50	80	112	160	224
$> 11.2 \sim 20$	6	10	16	22	32	45	$> 1000 \sim 1600$	40	63	100	140	200	280
$> 20 \sim 32$	8	12	20	28	40	56	$> 1600 \sim 2500$	45	71	112	160	224	315
$> 32 \sim 50$	9	14	22	32	45	63	$> 2500 \sim 3150$	56	90	140	200	280	400
$> 50 \sim 80$	10	16	25	36	50	71	$> 3150 \sim 4000$	63	100	160	224	315	450
$> 80 \sim 160$	12	20	32	45	63	90	$> 4000 \sim 5000$	71	112	180	250	355	500
$> 160 \sim 315$	18	28	45	63	90	125	$> 5000 \sim 6300$	80	125	200	280	400	560
$> 315 \sim 630$	25	40	63	90	125	180							

注：1. F_p 和 F_{pk} 按分度圆弧长 L 查表。查 F_p 时，取 $L = \frac{1}{2}\pi d_2 = \frac{1}{2}\pi m z_2$ ；查 F_{pk} 时，取 $L = k\pi m$ (k 为 2 到小于 $z_2/2$ 的整数)。

2. 除特殊情况外，对于 F_{pk} ， k 值规定取为小于 $z_2/6$ 的最大整数。

表 4.7-25 蜗轮的 F_r 、 F''_i 、 f''_i 、 f_{pt} 、 f_{t2}

(μm)

分度圆直径 d_2/mm		模 数 m/mm	蜗轮齿圈径向圆跳动公差 F_r						蜗轮径向综合公差 F''_i			蜗轮一齿径向综合公差 f''_i		
			精 度 等 级											
大于	到		4	5	6	7	8	9	7	8	9	7	8	9
	125	$\geq 1 \sim 3.5$	11	18	28	40	50	63	56	71	90	20	28	36
		$> 3.5 \sim 6.3$	14	22	36	50	63	80	71	90	112	25	36	45
		$> 6.3 \sim 10$	16	25	40	56	71	90	80	100	125	28	40	50
125	400	$\geq 1 \sim 3.5$	13	20	32	45	56	71	63	80	100	22	32	40
		$> 3.5 \sim 6.3$	16	25	40	56	71	90	80	100	125	28	40	50
		$> 6.3 \sim 10$	18	28	45	63	80	100	90	112	140	32	45	56
		$> 10 \sim 16$	20	32	50	71	90	112	100	125	160	36	50	63
400	800	$\geq 1 \sim 3.5$	18	28	45	63	80	100	90	112	140	25	36	45
		$> 3.5 \sim 6.3$	20	32	50	71	90	112	100	125	160	28	40	50
		$> 6.3 \sim 10$	22	36	56	80	100	125	112	140	180	32	45	56
		$> 10 \sim 16$	28	45	71	100	125	160	140	180	224	40	56	71
		$> 16 \sim 25$	36	56	90	125	160	200	180	224	280	50	71	90

(续)

分度圆直径 d_2/mm		模 数 m/mm	蜗轮齿圈径向圆跳动公差 F_r						蜗轮径向综合公差 F''_i			蜗轮一齿径向综合公差 f''_i		
			精 度 等 级											
大于	到		4	5	6	7	8	9	7	8	9	7	8	9
800	1600	$\geq 1 \sim 3.5$	20	32	50	71	90	112	100	125	160	28	40	50
		$> 3.5 \sim 6.3$	22	36	56	80	100	125	112	140	180	32	45	56
		$> 6.3 \sim 10$	25	40	63	90	112	140	125	160	200	36	50	63
		$> 10 \sim 16$	28	45	71	100	125	160	140	180	224	40	56	71
		$> 16 \sim 25$	36	56	90	125	160	200	180	224	280	50	71	90
1600	2500	$\geq 1 \sim 3.5$	22	36	56	80	100	125	112	140	180	32	45	56
		$> 3.5 \sim 6.3$	25	40	63	90	112	140	125	160	200	36	50	63
		$> 6.3 \sim 10$	28	45	71	100	125	160	140	180	224	40	56	71
		$> 10 \sim 16$	32	50	80	112	140	180	160	200	250	45	63	80
		$> 16 \sim 25$	40	63	100	140	180	224	200	250	315	56	80	100

分度圆直径 d_2/mm		模 数 m/mm	蜗轮齿距极限偏差($\pm f_{pt}$) 的 f_{pt}						蜗轮齿形公差 f_{t2}					
			精 度 等 级											
大于	到		4	5	6	7	8	9	4	5	6	7	8	9
	125	$\geq 1 \sim 3.5$	4.0	6	10	14	20	28	4.8	6	8	11	14	22
		$> 3.5 \sim 6.3$	5.0	8	13	18	25	36	5.3	7	10	14	20	32
		$> 6.3 \sim 10$	5.5	9	14	20	28	40	6.0	8	12	17	22	36
125	400	$\geq 1 \sim 3.5$	4.5	7	11	16	22	32	5.3	7	9	13	18	28
		$> 3.5 \sim 6.3$	5.5	9	14	20	28	40	6.0	8	11	16	22	36
		$> 6.3 \sim 10$	6.0	10	16	22	32	45	6.5	9	13	19	28	45
		$> 10 \sim 16$	7.0	11	18	25	36	50	7.5	11	16	22	32	50
400	800	$\geq 1 \sim 3.5$	5.0	8	13	18	25	36	6.5	9	12	17	25	40
		$> 3.5 \sim 6.3$	5.5	9	14	20	28	40	7.0	10	14	20	28	45
		$> 6.3 \sim 10$	7.0	11	18	25	36	50	7.5	11	16	24	36	56
		$> 10 \sim 16$	8.0	13	20	28	40	56	9.0	13	18	26	40	63
		$> 16 \sim 25$	10	16	25	36	50	71	10.5	16	24	36	56	90
800	1600	$\geq 1 \sim 3.5$	5.5	9	14	20	28	40	8.0	11	17	24	36	56
		$> 3.5 \sim 6.3$	6.0	10	16	22	32	45	9.0	13	18	28	40	63
		$> 6.3 \sim 10$	7.0	11	18	25	36	50	9.5	14	20	30	45	71
		$> 10 \sim 16$	8.0	13	20	28	40	56	10.5	15	22	34	50	80
		$> 16 \sim 25$	10	16	25	36	50	71	12	19	28	42	63	100
1600	2500	$\geq 1 \sim 3.5$	6.0	10	16	22	32	45	11	16	24	36	50	
		$> 3.5 \sim 6.3$	7.0	11	18	25	36	50	11.5	17	25	38	56	90
		$> 6.3 \sim 10$	8.0	13	20	28	40	56	12	18	28	40	63	100
		$> 10 \sim 16$	9.0	14	22	32	45	63	13	20	30	45	71	112
		$> 16 \sim 25$	11	18	28	40	56	80	15	22	36	53	80	125

注：1. 蜗轮切向综合公差 $F'_i = F_p + f_{t2}$ 。2. 蜗轮切向相邻齿综合公差 $f'_i = 0.6 (f_{pt} + f_{t2})$ 。

表 4.7-26 蜗杆副的中心距极限偏差 ($\pm f_a$) 的 f_a 和蜗杆副
的中间平面极限偏差 ($\pm f_x$) 的 f_x

(μm)

传动中心距 a /mm	传动中心距极限 偏差($\pm f_a$)的 f_a					传动中间平面极限 偏差($\pm f_x$)的 f_x							传动中心距 a /mm	传动中心距极限 偏差($\pm f_a$)的 f_a					传动中间平面极限 偏差($\pm f_x$)的 f_x							
	精 度 等 级													精 度 等 级												
	5	6	7	8	9	4	5	6	7	8	9	5		6	7	8	9	4	5	6	7	8	9			
≤ 30	17		26		42	9		14		21		34		$> 315 \sim 400$	45		70		115	23		36		56		92
$> 30 \sim 50$	20		31		50	10.5		16		25		40		$> 400 \sim 500$	50		78		125	26		40		63		100
$> 50 \sim 80$	23		37		60	12		18.5		30		48		$> 500 \sim 630$	55		87		140	28		44		70		112
$> 80 \sim 120$	27		44		70	14.5		22		36		56		$> 630 \sim 800$	62		100		160	32		50		80		130
$> 120 \sim 180$	32		50		80	16		27		40		64		$> 800 \sim 1000$	70		115		180	36		56		92		145
$> 180 \sim 250$	36		58		92	18.5		29		47		74		$> 1000 \sim 1250$	82		130		210	42		66		105		170
$> 250 \sim 315$	40		65		105	21		32		52		85		$> 1250 \sim 1600$	97		155		250	50		78		125		200

注：仅对中心距不可调的蜗杆传动检验 f_a 及 f_x 。

表 4.7-27 蜗杆副的轴交角极限偏差 ($\pm f_{\Sigma}$) 的 f_{Σ}

(μm)

蜗轮齿宽 b_2 /mm	精 度 等 级						蜗轮齿宽 b_2 /mm	精 度 等 级					
	4	5	6	7	8	9		4	5	6	7	8	9
≤ 30	6	8	10	12	17	24	$> 120 \sim 180$	11	14	17	22	28	42
$> 30 \sim 50$	7.1	9	11	14	19	28	$> 180 \sim 250$	13	16	20	25	32	48
$> 50 \sim 80$	8	10	13	16	22	32	> 250	—	—	22	28	36	53
$> 80 \sim 120$	9	12	15	19	24	36							

注：仅对中心距不可调的蜗杆传动检验 f_{Σ} 。

表 4.7-28 蜗杆副的接触斑点的要求

精度等级	接触面积的百分比 (%)		接 触 形 状	接 触 位 置
	沿齿高不小于	沿齿长不小于		
4	70	65	接触斑点在齿高方向无断缺，不允许成带状条纹	接触斑点痕迹的分布位置趋近齿面中部，允许略偏于啮入端。在齿顶和啮入、啮出端的棱边处不允许接触
5 和 6	65	60		
7 和 8	55	50	不作要求	接触斑点痕迹应偏于啮出端，但不允许在齿顶和啮入、啮出端的棱边接触
9	45	40		

注：采用修形齿面的蜗杆传动，接触斑点的要求可不受本标准规定的限制。

表 4.7-29 蜗杆副的最小法向侧隙 j_{min} 值

(μm)

传动中心距 a /mm	侧 隙 种 类								传动中心距 a /mm	侧 隙 种 类							
	h	g	f	e	d	c	b	a		h	g	f	e	d	c	b	a
≤ 30	0	9	13	21	33	52	84	130	$> 315 \sim 400$	0	25	36	57	89	140	230	360
$> 30 \sim 50$	0	11	16	25	39	62	100	160	$> 400 \sim 500$	0	27	40	63	97	155	250	400
$> 50 \sim 80$	0	13	19	30	46	74	120	190	$> 500 \sim 630$	0	30	44	70	110	175	280	440
$> 80 \sim 120$	0	15	22	35	54	87	140	220	$> 630 \sim 800$	0	35	50	80	125	200	320	500
$> 120 \sim 180$	0	18	25	40	63	100	160	250	$> 800 \sim 1000$	0	40	56	90	140	230	360	560
$> 180 \sim 250$	0	20	29	46	72	115	185	290	$> 1000 \sim 1250$	0	46	66	105	165	260	420	660
$> 250 \sim 315$	0	23	32	52	81	130	210	320	$> 1250 \sim 1600$	0	54	78	125	195	310	500	780

注：传动的最小圆周侧隙 $j_{\text{min}} \approx (j_{\text{min}} / \cos \gamma') \cos \alpha_n$ 。 γ' 为蜗杆节圆柱导程角； α_n 为蜗杆法向齿形角。

表 4.7-30 蜗杆齿厚公差 T_{s1} 值 (μm)

模数 m /mm	精度等级						模数 m /mm	精度等级					
	4	5	6	7	8	9		4	5	6	7	8	9
$\geq 1 \sim 3.5$	25	30	36	45	53	67	$> 10 \sim 16$	50	60	80	95	120	150
$> 3.5 \sim 6.3$	32	38	45	56	71	90	$> 16 \sim 25$	—	85	110	130	160	200
$> 6.3 \sim 10$	40	48	60	71	90	110							

注：1. 精度等级按蜗杆第Ⅱ公差组确定。
2. 对传动最大法向侧隙 $j_{n\max}$ 无要求时，允许蜗杆齿厚公差 T_{s1} 增大，最大不超过两倍。

表 4.7-31 蜗杆齿厚上偏差 (E_{s1}) 中的误差补偿部分 $E_{s\Delta}$ (μm)

精度等级	模数 m /mm	传动中心距 a /mm													
		≤ 30	$> 30 \sim 50$	$> 50 \sim 80$	$> 80 \sim 120$	$> 120 \sim 180$	$> 180 \sim 250$	$> 250 \sim 315$	$> 315 \sim 400$	$> 400 \sim 500$	$> 500 \sim 630$	$> 630 \sim 800$	$> 800 \sim 1000$	$> 1000 \sim 1250$	$> 1250 \sim 1600$
4	$\geq 1 \sim 3.5$	15	16	18	20	22	25	28	30	32	36	40	46	53	63
	$> 3.5 \sim 6.3$	16	18	19	22	24	26	30	32	36	38	42	48	56	63
	$> 6.3 \sim 10$	19	20	22	24	25	28	30	32	36	38	45	50	56	65
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	28	30	32	32	36	38	40	45	50	56	65
5	$\geq 1 \sim 3.5$	25	25	28	32	36	40	45	48	51	56	63	71	85	100
	$> 3.5 \sim 6.3$	28	28	30	36	38	40	45	50	53	58	65	75	85	100
	$> 6.3 \sim 10$	—	—	—	38	40	45	48	50	56	60	68	75	85	100
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	—	45	48	50	56	60	65	71	80	90	105
6	$> 1 \sim 3.5$	30	30	32	36	40	45	48	50	56	60	65	75	85	100
	$> 3.5 \sim 6.3$	32	36	38	40	45	48	50	56	60	63	70	75	90	100
	$> 6.3 \sim 10$	42	45	45	48	50	52	56	60	63	68	75	80	90	105
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	58	60	63	65	68	71	75	80	85	95	110
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	75	78	80	85	85	90	95	100	110	120
7	$\geq 1 \sim 3.5$	45	48	50	56	60	71	75	80	85	95	105	120	135	160
	$> 3.5 \sim 6.3$	50	56	58	63	68	75	80	85	90	100	110	125	140	160
	$> 6.3 \sim 10$	60	63	65	71	75	80	85	90	95	105	115	130	140	165
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	80	85	90	95	100	105	110	125	135	150	170
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	115	120	120	125	130	135	145	155	165	185
8	$\geq 1 \sim 3.5$	50	56	58	63	68	75	80	85	90	100	110	125	140	160
	$> 3.5 \sim 6.3$	68	71	75	78	80	85	90	95	100	110	120	130	145	170
	$> 6.3 \sim 10$	80	85	90	90	95	100	100	105	110	120	130	140	150	175
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	110	115	115	120	125	130	135	140	155	165	185
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	150	155	155	160	160	170	175	180	190	210
9	$\geq 1 \sim 3.5$	75	80	90	95	100	110	120	130	140	155	170	190	220	260
	$> 3.5 \sim 6.3$	90	95	100	105	110	120	130	140	150	160	180	200	225	260
	$> 6.3 \sim 10$	110	115	120	125	130	140	145	155	160	170	190	210	235	270
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	160	165	170	180	185	190	200	220	230	255	290
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	215	220	225	230	235	245	255	270	290	320

表 4.7-32 蜗轮齿厚公差 T_{s2} (μm)

分度圆直径 d_2/mm	模 数 m / mm	精 度 等 级					
		4	5	6	7	8	9
≤ 125	$\geq 1 \sim 3.5$	45	56	71	90	110	130
	$> 3.5 \sim 6.3$	48	63	85	110	130	160
	$> 6.3 \sim 10$	50	67	90	120	140	170
$> 125 \sim 400$	$\geq 1 \sim 3.5$	48	60	80	100	120	140
	$> 3.5 \sim 6.3$	50	67	90	120	140	170
	$> 6.3 \sim 10$	56	71	100	130	160	190
	$> 10 \sim 16$	—	80	110	140	170	210
	$> 16 \sim 25$	—	—	130	170	210	260
$> 400 \sim 800$	$\geq 1 \sim 3.5$	48	63	85	110	130	160
	$> 3.5 \sim 6.3$	50	67	90	120	140	170
	$> 6.3 \sim 10$	56	71	100	130	160	190
	$> 10 \sim 16$	—	85	120	160	190	230
	$> 16 \sim 25$	—	—	140	190	230	290
$> 800 \sim 1600$	$\geq 1 \sim 3.5$	50	67	90	120	140	170
	$> 3.5 \sim 6.3$	56	71	100	130	160	190
	$> 6.3 \sim 10$	60	80	110	140	170	210
	$> 10 \sim 16$	—	85	120	160	190	230
	$> 16 \sim 25$	—	—	140	190	230	290
$> 1600 \sim 2500$	$\geq 1 \sim 3.5$	56	71	100	130	160	190
	$> 3.5 \sim 6.3$	60	80	110	140	170	210
	$> 6.3 \sim 10$	63	85	120	160	190	230
	$> 10 \sim 16$	—	90	130	170	210	260
	$> 16 \sim 25$	—	—	160	210	260	320

注：1. 精度等级按蜗轮第Ⅱ公差组确定。
2. 在最小法向侧隙能保证的条件下， T_{s2} 公差带允许采用对称分布。

2.7.10 误差与相关关系式（见表 4.7-33 ~ 表 4.7-35）

表 4.7-33 极限偏差和公差与蜗杆几何参数的关系式

精度等级	f_h		f_{hL}		$\pm f_{px}$		f_{pxL}		f_r		f_{f1}		T_{s1}	
	$f_h = Am + C$		$f_{hL} = Am + C$		$f_{px} = Am + C$		$f_{pxL} = Am + C$		$f_r = Ad_1 + C$		$f_{f1} = Am + C$		$T_{s1} = Am + C$	
	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C
4	0.45	3.3	0.91	6.56	0.3	2.28	0.53	4.03	0.018	3.8	0.53	3.3	2.4	17.3
5	0.72	5.2	1.44	10.4	0.48	3.6	0.84	6.38	0.028	6.0	0.84	5.2	3.0	21.6
6	1.14	8.2	2.28	16.5	0.76	5.7	1.33	10.1	0.044	9.5	1.33	8.2	3.8	27

(续)

精度等级	f_h		f_{hl}		$\pm f_{px}$		f_{pxL}		f_r		f_{fl}		T_{sl}	
	$f_h = Am + C$		$f_{hl} = Am + C$		$f_{px} = Am + C$		$f_{pxL} = Am + C$		$f_r = Ad_1 + C$		$f_{fl} = Am + C$		$T_{sl} = Am + C$	
	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C
7	1.6	11.5	3.2	23.1	1.08	8.2	1.88	14.3	0.063	13.4	1.88	11.8	4.7	33.8
8	—	—	—	—	1.51	11.4	2.64	20	0.088	18.8	2.64	16.3	5.9	42.2
9	—	—	—	—	2.10	16	3.8	28	0.124	26.4	3.69	22.8	7.3	52.8

注：m—蜗杆轴向模数(mm)； d_1 —蜗杆分度圆直径(mm)。

表 4.7-34 极限偏差和公差与蜗轮几何参数的关系式

精度等级	F_p (或 F_{pk})		F_r		F''_i		$\pm f_{pt}$		f''_i		f_{f2}		$\pm f_{\Sigma}$	
	$F_p = B\sqrt{L} + C$		$F_r = Am + B\sqrt{d_2} + C$ $B = 0.25A$		$F''_i = Am + B\sqrt{d_2} + C$ $B = 0.25A$		$f_{pt} = Am + B\sqrt{d_2} + C$ $B = 0.25A$		$f''_i = Am + B\sqrt{d_2} + C$ $B = 0.25A$		$f_{f2} = Am + B\sqrt{d_2} + C$ $B = 0.0125A$		$f_{\Sigma} = B\sqrt{b_2} + C$	
	B	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	B	C
4	1	2.5	0.90	11.2	—	—	0.25	3.15	—	—	0.25	4	0.63	3.2
5	1.6	4	1.40	18	—	—	0.40	5	—	—	0.40	5	0.8	4
6	2.5	6.3	2.24	28	—	—	0.63	8	—	—	0.63	6.3	1	5
7	3.55	9	3.15	40	4.5	56	0.90	11.2	1.25	16	1	8	1.25	6.3
8	5	12.5	4	50	5.6	71	1.25	16	1.8	22.4	1.6	10	1.8	8
9	7.1	18	5	63	7.1	90	1.8	22.4	2.24	28	2.5	16	2.5	11.2

注：1. m—模数(mm)； d_2 —蜗轮分度圆直径(mm)；L—蜗轮分度圆弧长(mm)； b_2 —蜗轮齿宽(mm)

2. $d_2 \leq 400\text{mm}$ 的 F_r 、 F''_i 公差按表中所列关系式再乘以 0.8 确定。

表 4.7-35 极限偏差或公差间的相关关系式

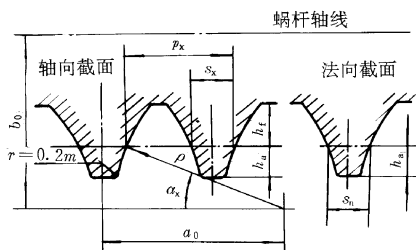
代号	精 度 等 级					
	4	5	6	7	8	9
f_{a}	$\frac{1}{2}\text{IT7}$	$\frac{1}{2}\text{IT8}$		$\frac{1}{2}\text{IT9}$		$\frac{1}{2}\text{IT10}$
f_{x}	$0.8f_{\text{a}}$					
j_{nmin}	$\text{h}(0), \text{g}(\text{IT5}), \text{f}(\text{IT6}), \text{e}(\text{IT7}), \text{d}(\text{IT8}), \text{c}(\text{IT9}), \text{b}(\text{IT10}), \text{a}(\text{IT11})$					
j_{nmax}	$(E_{\text{ssl}} + T_{\text{s1}} + T_{\text{s2}} \cos \gamma') \cos \alpha_{\text{n}} + 2 \sin \alpha_{\text{n}} \sqrt{\frac{1}{4} f_{\text{r}}^2 + f_{\text{a}}^2}$					
j_{t}	$\approx (j_{\text{n}} / \cos \gamma') \cos \alpha_{\text{n}}$					
E_{ssl}	$-(j_{\text{nmin}} / \cos \alpha_{\text{n}} + E_{\text{s}\Delta})$					
$E_{\text{s}\Delta}$	$\sqrt{f_{\text{a}}^2 + 10 f_{\text{px}}^2}$					
T_{s2}	$1.3 F_{\text{r}} + 25$					

注： γ' —蜗杆节圆柱导程角； α_n —蜗杆法向齿形角；IT—标准公差，按 GB/T1800—2009 规定

3 圆弧圆柱蜗杆传动

3.1 轴向圆弧齿圆柱蜗杆(ZC₃)传动

3.1.1 基本齿廓(见图 4.7-15)

图 4.7-15 ZC₃ 蜗杆基本齿廓

1) 齿廓曲率半径 ρ ρ 值影响当量曲率半径的大小、接触线形状、啮合区大小以及齿形等,推荐为

$$\rho = (5 \sim 5.5) m$$

当 $z_1 = 1.2$ 时, $\rho = 5m$; $z_1 = 3$ 时, $\rho = 5.3m$; $z_1 = 4$ 时,

$\rho = 5.5m_{\odot}$

- 2) 轴向齿形角 α_x $\alpha_x = 23^\circ$ 。
- 3) 齿顶高 h_a $h_a = m_o$ 。
- 4) 顶隙 c $c = 0.2m_o$ 。
- 5) 轴向齿厚 s_x $s_x = 0.4\pi m_o$ 。
- 6) 圆弧中心坐标 $a_0 = \rho \cos \alpha_x + \frac{1}{2}s_x$ ，

$$b_0 = \rho \sin \alpha_x + \frac{1}{2} d_1$$

- 7) 齿顶倒圆圆角半径 r $r = 0.2m$

3.1.2 ZC₃ 蜗杆传动的参数及其匹配 (摘自 JB2318—1979)

轴向圆弧齿圆柱蜗杆传动的参数意义与普通圆柱蜗杆传动相同。 m 与 d_1 的匹配及 $m^2 d_1$ 值见表 4.7-36, 传动参数的匹配见表 4.7-37。需要说明的是, 这种传动为了消除蜗轮轮齿的根切和改善接触线分布情况, 一般 $x_2 = 0.5 \sim 1.5$, 当 $x_2 > 1.5$ 可能发生蜗轮齿顶变尖。通常 $z_1 \leq 2$ 时, $x_2 = 1 \sim 1.5$; $z_1 > 2$ 时, $x_2 = 0.7 \sim 1.2$ 。

表 4.7-36 m 与 d_1 的匹配及 $m^2 d_1$ 值

m/mm	2. 5	3	3. 5	4	4. 5	5	5. 5	6		7	8	9	10
d_1/mm	32	38	44	44	52	55	62	63	74	76	80	90	98
$m^2 d_1/\text{mm}^3$	200	342	539	707	1053	1375	1875	2268	2664	3724	5120	7290	9800

m/mm	11	12		14		16		18		20		22		25
d_1/mm	112	114	132	126	144	128	144	144	168	156	180	170		190
$m^2 d_1/\text{mm}^3$	13552	16416	19008	24696	28224	32768	36864	46656	54432	62400	72000	82280		118750

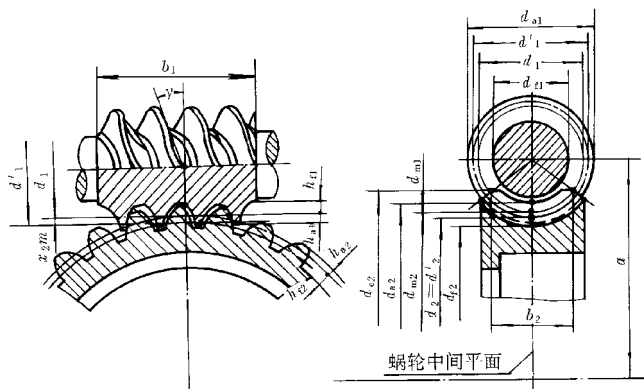
表 4.7-37 轴向圆弧齿圆柱蜗杆(ZC₃)传动参数匹配(摘自 JB2318—1979)

$\frac{a}{\text{mm}}$	i	$\frac{m}{\text{mm}}$	$\frac{d_1}{\text{mm}}$	$\frac{\rho}{\text{mm}}$	x_2	z_1	z_2	γ	$\frac{a}{\text{mm}}$	i	$\frac{m}{\text{mm}}$	$\frac{d_1}{\text{mm}}$	$\frac{\rho}{\text{mm}}$	x_2	z_1	z_2	γ
80	7. 75	3. 5	44	20	1. 071	4	31	17°39′	100	7. 75	4. 5	52	25	0. 944	4	31	19°09′34″
	10. 33			19		3		13°25′18″		10. 33			24		3		14°33′12″
	15. 5			18		2		9°02′22″		15. 5			23		2		9°49′09″
	31			18		1		4°32′52″		31			23		1		4°56′45″
	13	3	38	16	0. 833	3	39	13°19′28″		12. 67	4	44	21	0. 5	3	38	15°15′18″
	19. 5			15		2		8°58′21″		19			20		2		10°18′17″
	39	15	1	4°30′50″	38	20	1	5°11′39″									
	25	2. 5	32	13	0. 60	2	50	8°52′50″		26	3	38	15	1	2	52	9°58′21″
	50							4°28′01″									52

(续)

a /mm	i	m /mm	d_1 /mm	ρ /mm	x_2	z_1	z_2	γ	a /mm	i	m /mm	d_1 /mm	ρ /mm	x_2	z_1	z_2	γ
125	8.25	5.5	62	30	0.591	4	33	19°32'11"	320	7.75			88		4		26°33'54"
	10	6	63	32	0.583	3	30	16°58'16"		10.33	16	128	85	0.5	3	31	20°33'22"
	16.5	5.5	62	28	0.591	2	33	10°10'19"		15.5			80		2		14°02'10"
	33					1		5°04'09"		31			80		1		7°07'30"
	12.67	5	55	26	0.5	3	38	15°15'18"		13.33	12	132	64	1.167	3	40	5°11'40"
	21	4.5	52	23	1	2	42	9°49'09"		21	12	114	60	0.917	2	42	11°53'19"
160	42					1		4°56'45"	360	42					1		6°00'32"
	25	4	44	20	0.75	2	50	10°18'17"		26	10	98	50	1.1	2	52	11°32'05"
	50					1		5°11'39"		52					1		5°49'35"
	8.25	7	76	39	0.929	4	33	20°13'29"		7.75	18		99		4		26°33'54"
	9.67	8	80	42	0.5	3	29	16°41'57"		10.33		144	95	0.5	3	31	20°33'22"
	16.5	7	76	35	0.929	2	33	10°26'14"		15.5			90		2		14°02'10"
200	33					1		5°15'44"	400	31			90		1		7°07'30"
	13	6	74	32	1	3	39	13°40'16"		13	14		74	1.071	3	39	16°15'37"
	20.5	6	63	30	0.917	2	41	10°47'03"		20.5		126	70	0.714	2	41	12°31'43"
	41					1		5°26'25"		41					1		6°20'25"
	25.5	5	55	25	1	2	51	10°18'17"		24.5	12	114	60	0.75	2	49	11°53'19"
	51					1		5°11'39"		49					1		6°00'32"
250	8.25	9	90	50	0.722	4	33	21°48'05"	450	7.75			110		4		27°08'58"
	9.67	10	98	53	0.6	3	29	17°01'14"		10.33	20	156	106	0.6	3	31	21°02'15"
	16.5	9	90	45	0.722	2	33	11°18'35"		15.5			100		2		14°22'53"
	33					1		5°42'38"		31			100		1		7°18'21"
	13			42		3		16°41'57"		13			85		3		18°26'06"
	19.5	8	80	40	0.5	2	39	11°18'35"		19.5	16	144	80	1	2	39	12°31'44"
280	39			40		1		5°42'38"	500	39			80		1		6°20'24"
	26	6	74	30	1.167	2	52	9°12'39"		23.5	14	126	70	0.571	2	47	12°31'44"
	52					1		4°38'07"		47					1		6°20'24"
	7.75			66		4		22°50'01"		7.75			121		4		27°22'06"
	10.33	12	114	64	0.583	3	31	17°31'32"		10.33	22	170	117	1.091	3	31	21°13'05"
	15.5			60		2		11°53'19"		15.5			110		2		14°30'40"
320	31			60		1		6°00'32"	550	31			110		1		7°22'25"
	13			53		3		17°01'14"		13		168	95	0.833	3	39	17°49'08"
	19.5	10	98	50	0.6	2	39	11°32'04"		20.5	18		90	0.5	2	41	14°02'10"
	39			50		1		5°49'34"		41			90	0.5	1	41	7°07'30"
	25.5	8	80	40	0.76	2	51	11°18'36"		26	14	144	70	1	2	52	11°00'13"
	51					1		5°42'38"		52					1		5°33'11"
360	7.1			77		4		23°57'45"	600	7.75			138		4		27°45'31"
	10	14	126	74	0.5	3	30	18°26'06"		10.33	25	190	133	0.7	3	31	21°32'27"
	15			70		2		12°31'44"		15.5			125		2		14°44'37"
	30			70		1		6°20'24"		31			125		1		7°29'45"
	13			58		3		16°25'02"		13		180	106	1	3	39	18°26'06"
	19.5	11	112	55	0.864	2	39	11°06'47"		20.5	20	156	100	0.6	2	41	14°22'53"
400	39			55		1		5°36'33"	650	41		156	100	0.6	1	41	7°18'20"
	25.5	9	90	45	0.611	2	51	11°18'36"		26	16	144	80	0.75	2	26	12°31'44"
	51					1		5°42'38"		52					1	52	6°20'25"

3.1.3 ZC₃ 蜗杆传动的几何尺寸计算(见表 4.7-38)

表 4.7-38 轴向圆弧圆柱蜗杆(ZC₃)传动的几何尺寸计算

名 称	代 号	公 式 及 说 明
中心距	a	$a = (d_1 + d_2 + 2x_2m)/2$, 要满足强度要求, 可按表 4. 7-37 选取
传动比	i	$i = \frac{z_2}{z_1}$, 参考表 4. 7-37 选取
蜗杆头数	z_1	$z_1 = 1 \sim 4$, 主要与传动比有关, 参见表 4. 7-37
蜗轮齿数	z_2	$z_2 = iz_1$, 参见表 4. 7-37
轴向齿形角	α_x	推荐 $\alpha_x = 23^\circ$
模数	m	$m = \frac{d_2}{z_2}$, 按表 4. 7-36 或表 4. 7-37 选取
蜗轮变位系数	x_2	$x_2 = \frac{a}{m} - \frac{d_1 + d_2}{2m}$
蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = mz_1/\tan\gamma = mq$, 按表 4. 7-36 或 4. 7-37 选取
蜗杆齿顶高	h_{a1}	$h_{a1} = m$
蜗杆齿根高	h_{f1}	$h_{f1} = 1.2m$
顶隙	c	$c = 0.2m$
蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2m$
蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1} = d_1 - 2.4m$
导程角	γ	$\gamma = \arctan \frac{mz_1}{d_1}$, 见表 4. 7-37
蜗杆轴向齿厚	s_x	$s_x = 0.4\pi m$
蜗杆法向齿厚	s_n	$s_n = s_x \cos\gamma$
蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2 = mz_2$
蜗轮齿顶高	h_{a2}	$h_{a2} = m(1 + x_2)$
蜗轮齿根高	h_{f2}	$h_{f2} = m(1.2 - x_2)$
蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2m(1 + x_2)$
蜗轮齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2m(1.2 - x_2)$
蜗轮顶圆直径	d_{e2}	$d_{e2} \leq d_{a2} + (0.8 \sim 1)m$, 取整

(续)

名 称	代 号	公 式 及 说 明
蜗轮齿宽	b_2	$b_2 = (0.67 \sim 0.7) d_{al}$, 取整
蜗杆齿宽	b_1	$z_1 = 1, 2$ $x_2 < 1$ 时, $b_1 \geq (12.5 + 0.1z_2)m$; $x_2 \geq 1$ 时, $b_1 \geq (13 + 0.1z_2)m$
		$z_1 = 3, 4$ $x_2 < 1$ 时, $b_1 \geq (13.5 + 0.1z_2)m$; $x_2 \geq 1$ 时, $b_1 \geq (14 + 0.1z_2)m$
齿廓曲率半径	ρ	当 $z_1 = 1, 2$ 时, $\rho = 5m$; $z_1 = 3$ 时, $\rho = 5.3m$; $z_1 = 4$ 时, $\rho = 5.5m$
圆弧中心坐标	a_0	$a_0 = \rho \cos \alpha_x + \frac{1}{2} s_x$
	b_0	$b_0 = \rho \sin \alpha_x + \frac{1}{2} d_1$

参看图 4.7-15

3.1.4 ZC₃ 蜗杆传动强度计算及其他

轴向圆弧圆柱蜗杆传动的齿面接触强度计算可近似地采用普通圆柱蜗杆传动的齿面接触强度计算方法(见表 4.7-10), 由于这种传动是凹凸面接触, 当量曲率半径大, 接触线方向有利于润滑, 因此可视为接触应力较小。用表 4.7-10 的公式可将 σ_H 降低 10%, 或把 σ_{HP} 增大 11%。

由于这种传动的蜗轮齿根较厚, 一般不产生齿根折断。因此不必计算齿根的弯曲强度。

有关这种传动的材料、散热计算、蜗杆和蜗轮的结构、精度等见普通圆柱蜗杆传动。

3.2 环面包络圆柱蜗杆(ZC₁)传动

这种蜗杆传动比 ZC₃ 蜗杆传动承载能力高 30%, 效率高 4%。我国圆弧圆柱蜗杆减速器(JB/T 7935—1999)就是采用这种蜗杆。

3.2.1 基本齿廓

蜗杆法截面齿廓为基本齿廓, 圆环面砂轮包络成形, 在法截面和轴截面内的参数要符合下列规定(图 4.7-16):

- 1) 砂轮轴线与蜗杆轴线的公垂线: 对于单面砂

轮单面磨削通过分圆点(图 4.7-16a), 对双面砂轮两面依次磨削, 通过砂轮对称中间平面(图 4.7-16b)。

- 2) 砂轮轴线与蜗杆轴线的交角 Σ 等于蜗杆的导程角 γ 。

- 3) 砂轮轴截面圆弧半径 ρ : 当 $m \leq 10\text{mm}$ 时, $\rho = (5.5 \sim 6)m$; 当 $m > 10\text{mm}$ 时, $\rho = (5 \sim 5.5)m$ 。

- 4) 砂轮轴截面产形角 $\alpha_0 = 23^\circ \pm 0.5^\circ$ 。

- 5) 齿顶高 h_a : 当 $z_1 \leq 3$ 时, $h_a = m$; $z_1 > 3$ 时, $h_a = (0.85 \sim 0.95)m$ 。

- 6) 顶隙 $c \approx 0.16m$ 。

- 7) 轴向齿距 $p_x = \pi m$ 。

- 8) 轴向齿厚 $s_{x1} = 0.4\pi m$ 。

- 9) 法向齿厚 $s_{n1} = 0.4\pi m \cos \gamma$ 。

- 10) 砂轮圆弧中心坐标:

$$a_0 = \rho \cos \alpha_0, b_0 = \frac{d_1}{2} + \rho \sin \alpha_0$$

- 11) 齿顶倒圆、圆角半径不大于 $0.2m$ 。

3.2.2 ZC₁ 蜗杆传动的参数及其匹配(见表 4.7-39)

蜗轮的变位系数 x_2 荐用范围 $0 < x_2 \leq 1$, 常用 $x_2 = 0.7 \sim 1$ 。

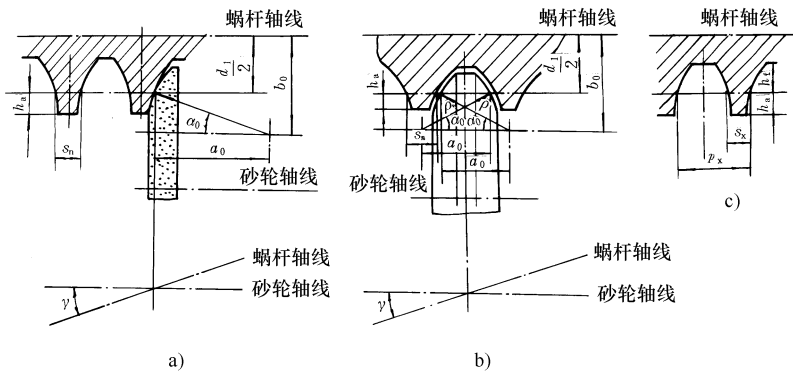


图 4.7-16 基本齿廓

a) 单面砂轮单面磨削 b) 双面砂轮两面依次磨削 c) 轴截面齿廓

表 4.7-39 环面包络圆柱蜗杆(ZC₁)传动参数匹配(摘自 GB 9147—1988)

a /mm	i	m /mm	d_1 /mm	z_1	z_2	x_2	γ	a /mm	i	m /mm	d_1 /mm	z_1	z_2	x_2	γ
63	4.8	3.6	35.4	5	24	0.583	26°57'08"	125	50	4	44	1	50	0.750	5°11'40"
	6.25	3.6	35.4	4	25	0.083	22°08'08"		59	3.5	39	1	59	0.643	5°07'41"
	7.75	3	30.4	4	31	0.433	21°32'28"	140	5.8	7.3	61.8	5	29	0.445	30°34'00"
	10.33	3	32	3	31	0.167	15°42'31"		7.25	7.3	61.8	4	29	0.445	25°17'25"
	12.67	2.5	30	3	38	0.2	14°02'11"		10.33	6.5	67	3	31	0.885	16°13'38"
	15.5	3	32	2	31	0.167	10°37'11"		11.67	6.2	57.6	3	35	0.435	17°53'46"
	19.5	2.5	26	2	39	0.5	10°53'08"		15.5	6.5	67	2	31	0.885	10°58'50"
	24.5	2	26	2	49	0.5	8°44'46"		19.5	5.6	58.8	2	39	0.250	10°47'03"
	31	3	32	1	31	0.167	5°21'21"		25.5	4.4	47.2	2	51	0.955	10°33'40"
	39	2.5	26	1	39	0.5	5°29'32"		31	6.5	67	1	31	0.885	5°32'28"
	49	2	26	1	49	0.5	4°23'55"		39	5.6	58.8	1	39	0.250	5°26'25"
									51	4.4	47.2	1	51	0.955	5°19'33"
80	4.8	4.5	43.6	5	24	0.933	27°17'45"	160	58	4	44	1	58	0.5	5°11'40"
	6.25	4.5	43.6	4	25	0.433	22°25'58"		4.8	9.5	73	5	24	1	33°03'05"
	8.25	3.6	35.4	4	33	0.806	22°08'08"	180	6.25	9.5	73	4	25	0.5	27°29'57"
	10.33	3.8	38.4	3	31	0.5	16°32'05"		8.5	7.3	61.8	4	34	0.685	25°17'25"
	12.33	3.2	36.6	3	37	0.781	14°41'50"		10.33	7.8	69.4	3	31	0.564	18°37'58"
	15.5	3.8	38.4	2	31	0.5	11°11'43"		12.33	6.5	67	3	37	0.962	16°13'38"
	20.5	3	32	2	41	0.833	10°37'11"		15.5	7.8	69.4	2	31	0.564	12°40'07"
	25.5	2.5	30	2	51	0.5	9°27'44"		20.5	6.2	57.6	2	41	0.661	12°08'57"
	31	3.8	38.4	1	31	0.5	5°39'06"		24.5	5.2	54.6	2	49	1.019	10°47'04"
	41	3	32	1	41	0.833	5°21'21"		31	7.8	69.4	1	31	0.564	6°24'46"
	51	2.5	30	1	51	0.5	4°45'49"		41	6.2	57.6	1	41	0.661	6°08'37"
	59	2.25	26.5	1	59	0.167	4°51'11"		50	5.2	54.6	1	50	0.519	5°26'25"
100	4.8	5.8	49.4	5	24	0.983	30°24'53"		61	4.4	47.2	1	61	0.5	5°19'33"
	6.25	5.8	49.4	4	25	0.483	25°09'23"	200	5.8	9.5	73	5	29	0.605	33°03'05"
	8.25	4.5	43.6	4	33	0.878	22°25'58"		7.25	9.5	73	4	29	0.605	27°29'57"
	10.33	4.8	46.4	3	31	0.5	17°14'29"		9.67	9.2	80.6	3	29	0.685	18°54'10"
	12.33	4	44	3	37	1	15°15'18"		12	7.8	69.4	3	36	0.628	18°37'58"
	15.5	4.8	46.4	2	31	0.5	11°41'22"		16.5	8.2	78.6	2	33	0.659	11°47'09"
	20.5	3.8	38.4	2	41	0.763	11°11'43"		19.5	7.1	70.8	2	39	0.866	11°20'28"
	24.5	3.2	36.6	2	49	1.031	9°55'07"		26	5.6	58.8	2	52	0.893	10°47'03"
	31	4.8	46.4	1	31	0.5	5°54'21"		33	8.2	78.6	1	33	0.659	5°57'21"
	41	3.8	38.4	1	41	0.763	5°39'06"		40	7.1	70.8	1	40	0.366	5°43'36"
	50	3.2	36.6	1	50	0.531	4°59'48"		52	5.6	58.8	1	52	0.893	5°26'25"
125	60	2.75	32.5	1	60	0.455	4°50'12"		60	5	55	1	60	0.5	5°11'40"
	4.8	7.3	61.8	5	24	0.890	30°34'00"	250	4.8	11.8	93.5	5	24	0.987	32°15'09"
	6.25	7.3	61.8	4	25	0.390	25°17'25"		6.25	11.8	93.5	4	25	0.487	26°47'06"
	8.25	5.8	49.4	4	33	0.793	25°09'23"		8.25	9.5	73	4	33	0.711	27°29'57"
	10.33	6.2	57.6	3	31	0.016	17°53'46"		10.33	10	82	3	31	0.4	20°05'43"
	12.33	5.2	54.6	3	37	0.288	15°56'43"		12.67	8.2	78.6	3	38	0.598	17°22'44"
	15.5	6.2	57.6	2	31	0.016	12°08'57"		15.5	10	82	2	31	0.4	13°42'25"
	20.5	4.8	46.4	2	41	0.708	11°41'22"		20.5	7.8	69.4	2	41	0.692	12°40'07"
	25.5	4	44	2	51	0.250	10°18'17"		25.5	6.5	67	2	51	0.115	10°58'50"
	30	6.2	57.6	1	30	0.516	6°08'37"		31	10	82	1	31	0.4	6°57'11"
	41	4.8	46.4	1	41	0.708	5°54'21"								

(续)

a /mm	i	m /mm	d_1 /mm	z_1	z_2	x_2	γ	a /mm	i	m /mm	d_1 /mm	z_1	z_2	x_2	γ
200	41	7.8	69.4	1	41	0.692	6°24'46"	315	31	16	124	1	31	0.3125	7°21'09"
	50	6.5	67	1	50	0.615	5°32'28"		41	12.5	105	1	41	0.5	6°47'20"
	60	5.6	58.8	1	60	0.464	5°26'25"		50	10.5	99	1	50	0.286	6°03'15"
225	5.8	11.8	93.5	5	29	0.606	32°15'09"		59	9.1	91.8	1	59	0.071	6°39'40"
	7.25	11.8	93.5	4	29	0.606	26°47'06"	355	5.8	19	141	5	29	0.474	33°58'14"
	10.67	10.5	99	3	32	0.714	17°39'00"		7.25	19	141	4	29	0.474	28°19'30"
	12	10	82	3	36	0.4	20°05'43"		10.33	18	136	3	31	0.444	21°39'22"
	16	10.5	99	2	32	0.714	11°58'34"		11.67	16	124	3	35	0.8125	21°09'41"
	19.5	9	84	2	39	0.833	12°05'41"		15.5	18	136	2	31	0.444	14°49'35"
	26	7.1	70.8	2	52	0.704	11°20'28"		19.5	14.5	127	2	39	0.603	12°51'46"
	32	10.5	99	1	32	0.714	6°03'15"		25.5	11.5	107	2	51	0.717	12°07'53"
	40	9	84	1	40	0.333	6°06'56"		31	18	136	1	31	0.444	7°32'22"
	52	7.1	70.8	1	52	0.704	5°43'36"		39	14.5	127	1	39	0.603	6°30'48"
	58	6.5	67	1	58	0.462	5°32'28"		51	11.5	107	1	51	0.717	6°08'04"
									58	10.5	99	1	58	0.095	6°03'15"
250	4.8	1.5	111	5	24	0.967	34°02'45"	400	5.17	20	165	6	31	0.375	36°01'39"
	6.25	15	111	4	25	0.467	28°23'35"		6.6	19	141	5	33	0.842	33°58'14"
	8.25	11.8	93.5	4	33	0.724	26°47'06"		8.25	19	141	4	33	0.842	28°19'30"
	10.33	12.5	105	3	31	0.3	19°39'14"		10.33	20	148	3	31	0.8	22°04'04"
	12.33	10.5	99	3	37	0.595	17°39'00"		11.67	18	136	3	35	0.944	21°39'22"
	15.5	12.5	105	2	31	0.3	13°23'33"		15.5	20	148	2	31	0.8	15°07'26"
	20.5	10	82	2	41	0.4	13°42'25"		20.5	16	124	2	41	0.625	14°28'13"
	25.5	8.2	78.6	2	51	0.195	11°47'09"		25.5	13	119	2	51	0.692	12°19'29"
	31	12.5	105	1	31	0.3	6°47'20"		31	20	148	1	31	0.8	7°41'46"
	41	10	82	1	41	0.4	6°57'11"		41	16	124	1	41	0.625	7°21'09"
	50	8.2	78.6	1	50	0.695	5°57'21"		51	13	119	1	51	0.692	6°14'04"
	59	7.1	70.8	1	59	0.725	5°43'36"		59	11.5	107	1	59	0.631	6°08'04"
280	5.8	15	111	5	29	0.467	34°02'45"	450	7.8	19	141	5	39	0.474	33°58'14"
	7.25	15	111	4	29	0.467	28°23'35"		9.75	19	141	4	39	0.474	28°19'30"
	10.67	13	119	3	32	0.962	18°08'44"		12.33	20	148	3	37	0.3	22°04'04"
	12	12.5	105	3	36	0.2	19°39'14"		15.67	16	124	3	47	0.75	21°09'41"
	16	13	119	2	32	0.962	12°19'29"		20.5	18	136	2	41	0.722	14°49'35"
	19.5	11.5	107	2	39	0.196	12°07'53"		26	14.5	127	2	52	0.655	12°51'46"
	25.5	9	84	2	51	0.944	12°05'41"		32	22	160	1	32	0.818	7°49'44"
	32	13	119	1	32	0.962	6°14'04"		41	18	136	1	41	0.722	7°32'22"
	39	11.5	107	1	39	0.196	6°08'04"		52	14.5	127	1	52	0.655	6°30'48"
	51	9	84	1	51	0.944	6°06'56"		59	13	119	1	59	0.538	6°14'04"
	59	7.9	82.2	1	59	0.741	5°29'23"		6.83	20	165	6	41	0.375	36°01'39"
315	4.8	19	141	5	24	0.868	33°58'14"	500	10.25	20	165	4	41	0.375	25°51'59"
	6.25	19	141	4	25	0.368	28°19'30"		12.33	22	160	3	37	0.591	22°24'58"
	8.25	15	111	4	33	0.8	28°23'35"		15.67	18	136	3	47	0.5	21°39'22"
	10.33	16	124	3	31	0.3125	21°09'41"		20.5	20	148	2	41	0.8	15°07'26"
	12.67	13	119	3	38	0.654	18°08'44"		25.5	16	165	2	51	0.594	10°58'32"
	15.5	16	124	2	31	0.3125	14°28'13"		33	24	172	1	33	0.75	7°56'36"
	20.5	12.5	105	2	41	0.5	13°23'33"		41	20	148	1	41	0.8	7°41'46"
	24.5	10.5	99	2	49	0.786	11°58'34"		51	16	165	1	51	0.594	5°32'19"
									59	14.5	127	1	59	0.604	6°30'48"

3.2.3 ZC₁ 蜗杆传动的几何尺寸计算 所列公式计算，但需将表中所指表 4.7-37 改为表 4.7-39。
ZC₁ 蜗杆传动除表 4.7-40 所列几点外，其他与 4.7-39。
ZC₃ 蜗杆传动的几何尺寸计算一样，可按表 4.7-38

表 4.7-40 ZC₁ 蜗杆传动的几何尺寸计算

名 称	代 号	计算公式及说明
蜗杆头数	z_1	$z_1 = 1 \sim 6$, 见表 4.7-39
蜗杆法向齿形角	α_{n1}	$\alpha_{n1} = \alpha_0 = 23^\circ \pm 0.5^\circ, \tan \alpha_{n1} = \tan \alpha_{x1} \cos \gamma$
蜗杆齿顶高	h_{a1}	$z_1 \leq 3$ 时, $h_{a1} = m$; $z_1 > 3$ 时, $h_{a1} = (0.85 \sim 0.95)m$
顶隙	c	$c = 0.16m$
蜗杆齿根高	h_{f1}	$h_{f1} = h_{a1} + c$
蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$
蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$
蜗杆齿宽	b_1	$b_1 \approx 2.5m \sqrt{z_2 + 2 + 2x_2}$
砂轮轴截面圆弧半径	ρ	$m \leq 10\text{mm}$ 时, $\rho = (5.5 \sim 6)m$; $m > 10\text{mm}$ 时, $\rho = (5 \sim 5.5)m$
砂轮圆弧中心坐标	a_0, b_0	$a_0 = \rho \cos \alpha_0, b_0 = \frac{d_1}{2} + \rho \sin \alpha_0$
蜗轮齿顶高	h_{a2}	$z_1 \leq 3$ 时, $h_{a2} = m + x_2m$; $z_1 > 3$ 时, $h_{a2} = (0.85 \sim 0.95)m + x_2m$
蜗轮齿根高	h_{f2}	$h_{f2} = h_{a2} + c - x_2m$
蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}$
蜗轮齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}$
蜗轮顶圆直径	d_{e2}	$d_{e2} = d_{a2} + (0.6 \sim 1.0)m$
蜗轮平均宽度	b_{m2}	$b_{m2} = 0.45(d_1 + 6m)$
蜗轮宽度	b_2	$b_2 \approx b_{m2}$ (用于锡青铜蜗轮); $b_2 \approx b_{m2} + 1.8m$ (用于铝青铜蜗轮)
蜗轮端面齿厚	s_2	$s_2 = 0.6\pi m + 2x_2 \tan \alpha_{x1}$
蜗轮齿顶圆弧半径	R_{a2}	$R_{a2} = \frac{d_{f1}}{2} + c$
蜗轮齿根圆弧半径	R_{f2}	$R_{f2} = \frac{d_{a1}}{2} + c$

3.2.4 ZC₁ 蜗杆传动承载能力计算 系数校核公式为

有关传动的齿上受力分析、滑动速度见表 4.7-9。

(1) ZC₁ 蜗杆传动的设计 已知条件：输入功率 P_1 ，输入轴的转速 n_1 ，传动比 i （或输出轴转速 n_2 ）以及载荷变化情况等。

根据 P_1 、 n_1 和 i 按图 4.7-17 确定减速器的中心距 a ，查表 4.7-39 确定蜗杆传动的主要参数，再按 3.2.3 节计算传动的几何尺寸。

若传动连续工作，减速器的尺寸往往取决于热平衡的功率 P_{T1} 的计算。此时，应按图 4.7-18 初定减速器的中心距 a ，然后再按上述的方法确定蜗杆传动的主要参数和几何尺寸。

(2) 齿面接触疲劳强度的安全系数校核 安全

式 中 σ_H ——齿面接触应力 (MPa)，见式 (4.7-13)；
 σ_{Hlim} ——蜗轮材料的接触疲劳极限 (MPa)，见式 (4.7-16)；
 S_{Hmin} ——最小安全系数，见表 4.7-45。
齿面接触应力

式 中 F_{t2} ——蜗轮平均圆的切向力

$$S_H = \frac{\sigma_{Hlim}}{\sigma_H} \geq S_{Hmin} \tag{4.7-12}$$

$$\sigma_H = \frac{F_{t2}}{Z_m Z_f b_{m2} (d_2 + 2x_2m)} \tag{4.7-13}$$

$$F_{t2} = \frac{2000T_2}{d_2 + 2x_2m} \tag{4.7-14}$$

Z_m ——系数;

$$Z_m = \sqrt{\frac{10m}{d_1}} \quad (4.7-15)$$

Z_z ——齿形系数, 查表 4.7-41;

b_{m2} ——蜗轮平均宽度 (mm)。

蜗轮材料的接触疲劳极限为

$$\sigma_{Hlim} = \sigma'_{Hlim} f_h f_w \leq \sigma'_{Hlim} \quad (4.7-16)$$

式中 σ'_{Hlim} ——蜗轮材料的接触疲劳极限的基本值, 见表 4.7-42;

f_h ——寿命系数, 见表 4.7-43;

f_n ——速度系数, 当转速不变时, f_n 值见表 4.7-44; 当转速变化时, f_n 值用式 (4.7-17) 计算; 式中设时间为 h' , 转速为 n' ; 时间为 h'' , 转速为

n'' ; ...; 按表 4.7-44 查得相应的速度系数为 $f'_n, f''_n, \dots$, 则平均速度系数 f_n 为

$$f_n = \frac{f'_n h' + f''_n h'' + \dots}{h' + h'' + \dots} \quad (4.7-17)$$

f_w ——载荷系数, 当载荷平稳时 $f_w = 1$;

当载荷变化时, 设整个工作时间为 h , 名义载荷为 T , 其中 h_1 时间对应的载荷为 $f_1 T$; h_2 时间对应的载荷为 $f_2 T$, ...; 则载荷系数为

$$f_w = \sqrt[3]{\frac{h + h_1 + h_2 + \dots}{h + f_1^3 h_1 + f_2^3 h_2 + \dots}} \quad (4.7-18)$$

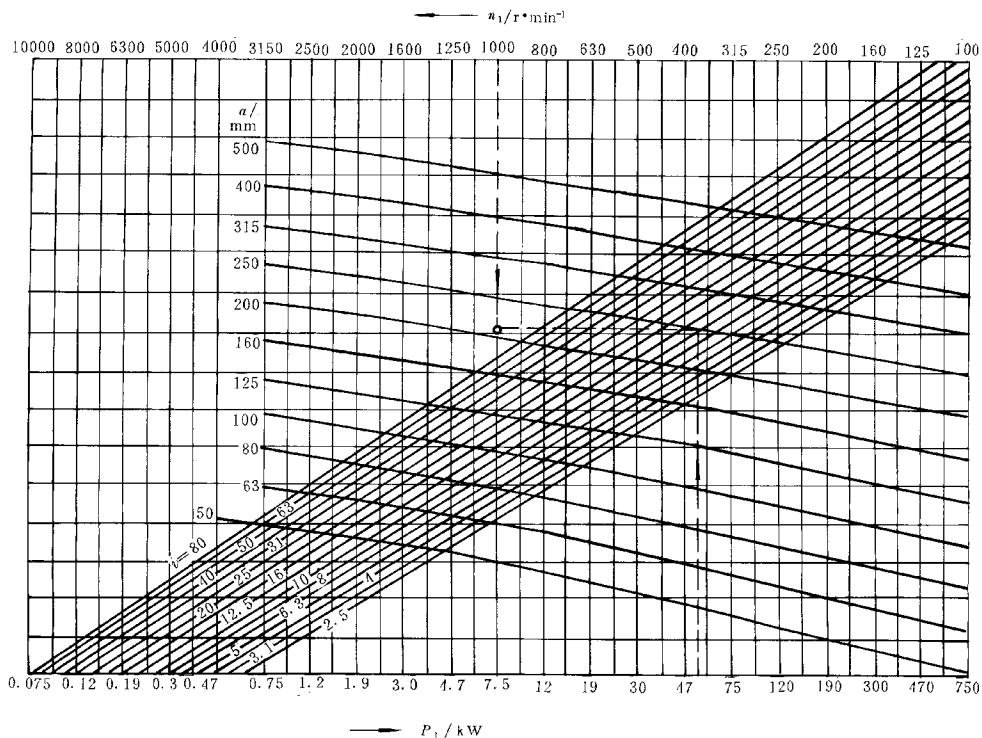


图 4.7-17 齿面疲劳强度估算线图

本线图是按磨削加工淬硬的钢质蜗杆与锡青铜蜗轮制定的。在其他条件时, 可传递的功率 P_1 , 随 σ_{Hlim} 增减而增减。

例: $P_1 = 53\text{kW}$, $n_1 = 1000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, $i = 10$, 沿图中虚线查得 $a = 210\text{mm}$ 。

表 4.7-41 齿形系数 Z_z

$\tan\gamma$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Z_z	0.695	0.666	0.638	0.618	0.600	0.590	0.583	0.580	0.576	0.575	0.570

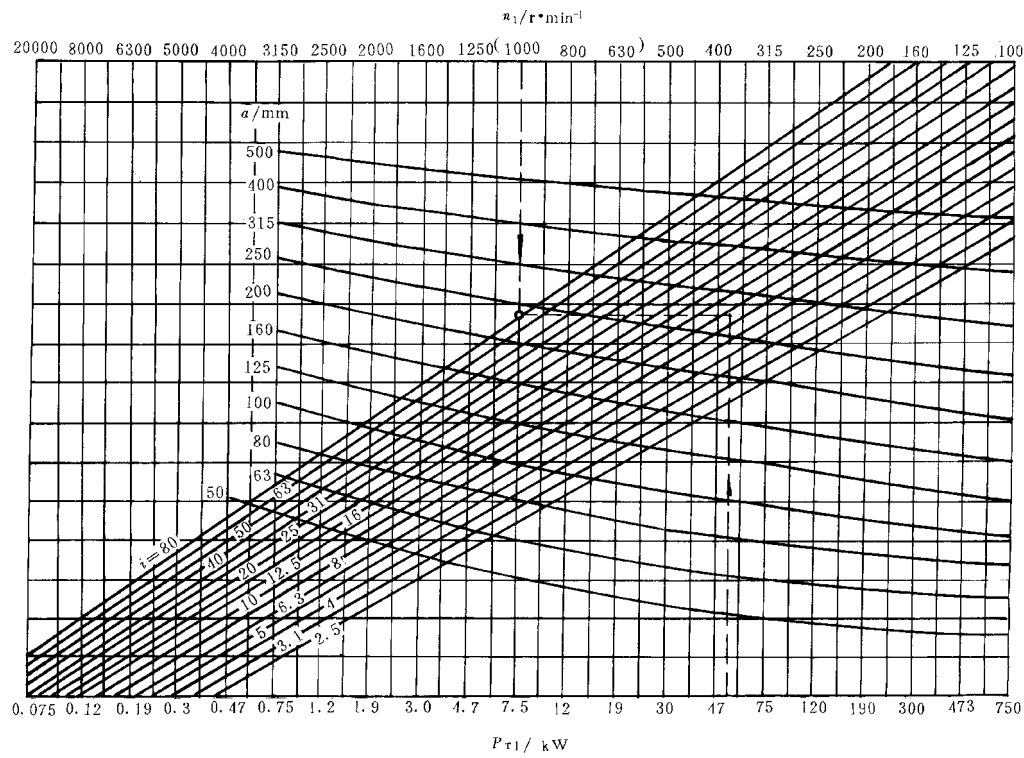


图 4.7-18 热平衡功率的估算线图

本线图是按蜗杆上装有风扇制定的。

例： $P_1=53\text{kW}$ ， $n_1=1000\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ ， $i=10$ ，沿图中虚线查得 $a=235\text{mm}$ 。

表 4.7-42 蜗轮材料接触疲劳极限的基本值 σ'_{Hlim}

蜗杆材料、工艺情况	蜗轮齿圈材料	$\sigma'_{Hlim}/\text{MPa}$	蜗杆材料、工艺情况	蜗轮齿圈材料	$\sigma'_{Hlim}/\text{MPa}$
钢、经淬火、磨齿	锡青铜	7.84	钢、调质、不磨齿	锡青铜	4.61
	铝青铜	4.17		铝青铜	2.45
	珠光体铸铁	11.76		黄铜	1.67

表 4.7-43 寿命系数 f_h

工作小时数 1000	0.75	1.5	3	6	12	24	48	96	190
f_h	2.5	2	1.6	1.26	1	0.8	0.63	0.5	0.4

表 4.7-44 速度系数 f_v

滑动速度 $v_s/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0.1	0.4	1	2	4	8	12	16	24	32	46	64
f_v	0.935	0.815	0.666	0.526	0.380	0.260	0.194	0.159	0.108	0.095	0.071	0.065

表 4.7-45 推荐最小的安全系数(用于动力传动)

蜗轮圆周速度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	>10	≤ 10	≤ 7.5	≤ 5
精度等级 (GB 10089—1988)	5	6	7	8
最小安全系数 S_{Hmin}	1.2	1.6	1.8	2.0

(3) 蜗轮齿根强度的安全系数校核

齿根强度的安全系数为

$$S_F = \frac{C_{Flim}}{C_{Fmax}} \geq 1 \quad (4.7-19)$$

式中 C_{Flim} ——蜗轮齿根应力系数极限, 见表 4.7-46;

C_{Fmax} ——蜗轮齿根最大应力系数 (MPa), 按下式求之:

$$C_{Fmax} = \frac{F_{t2max}}{m_n \pi \hat{b}_2} \quad (4.7-20)$$

式中 F_{t2max} ——作用于蜗轮平均圆上最大切向力 (N);

$\hat{b}_2$ ——蜗轮齿弧长。蜗轮齿圈为锡青铜

时, $\hat{b}_2 \approx 1.1b_2$; 为铝青铜时, $\hat{b}_2 \approx$

$1.17b_2$ 。

表 4.7-46 蜗轮齿根应力系数极限

蜗轮齿圈材料	锡青铜	铝青铜
C_{Flim}/MPa	39.2	18.62

有关 ZC_1 蜗杆传动的蜗杆、蜗轮的材料、结构及蜗杆轴的强度、刚度计算与普通圆柱蜗杆传动相同。其传动精度设计也参照普通圆柱蜗杆传动进行。

3.2.5 ZC_1 蜗杆传动设计实例

例 4.7-2 设计搅拌机(搅拌的物料密度均匀)传动装置所用的 ZC_1 蜗杆减速器。已知: 输入功率 $P_1 = 60 \text{ kW}$, 转速 $n_1 = 1000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 传动比 $i \approx 10$, 载荷平稳, 每天连续工作 8h, 启动时过载系数为 2, 要求工作寿命为 5 年, 每年工作 300 天。

解:

(1) 初步估算传动的中心距

蜗杆材料为 35CrMo, 表面淬火, 经磨齿。蜗轮齿圈材料为 ZCuSn10P1。

按齿面接触强度的要求, 查图 4.7-17 得中心距 $a = 225 \text{ mm}$ 。

按热平衡条件, 在蜗轴上装风扇, 查图 4.7-18 得中心距 $a = 250 \text{ mm}$ 。应按此中心距设计减速器。

(2) 确定传动主要的几何尺寸

按表 4.7-39, 当 $a = 250 \text{ mm}$, $i = 10.33$, 得 $m = 12.5 \text{ mm}$, $d_1 = 105 \text{ mm}$, $z_1 = 3$, $z_2 = 31$, $x_2 = 0.3$, $\gamma = 19^\circ 39' 14''$ 。

按表 4.7-38 及表 4.7-40 求其他几何尺寸。

$x_{n1} = 23^\circ$; $h_{a1} = m = 12.5 \text{ mm}$; $h_{f1} = h_{a1} + c = 12.5 \text{ mm} + 0.16 \times 12.5 \text{ mm} = 14.5 \text{ mm}$; $d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} = 105 \text{ mm} + 2 \times 12.5 \text{ mm} = 130 \text{ mm}$

$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1} = 105 \text{ mm} - 2 \times 14.5 \text{ mm} = 76 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} b_1 &\approx 2.5m\sqrt{z_2 + 2 + 2x_2} \\ &= 2.5 \times 12.5\sqrt{31 + 2 + 2 \times 0.3} \text{ mm} \\ &= 181.14 \text{ mm} \end{aligned}$$

取 $b_1 = 182 \text{ mm}$

$$h_{a2} = m + x_2m = 12.5 \text{ mm} + 0.3 \times 12.5 \text{ mm} = 16.25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} h_{f2} &= h_{a1} + 0.16m - x_2m = 12.5 + 0.16 \times 12.5 - \\ &\quad 0.3 \times 12.5 \text{ mm} = 10.75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d_2 = mz_2 = 12.5 \times 31 \text{ mm} = 387.5 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2} = 387.5 + 2 \times 16.25 \text{ mm} = 420 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2h_{f2} = 387.5 - 2 \times 10.75 \text{ mm} = 366 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d_{e2} &= d_{a2} + (0.6 \sim 1.0)m \\ &= 420 + (0.6 \sim 1.0) \times 12.5 \text{ mm} \\ &= 427.5 \sim 432.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

取 $d_{e2} = 430 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} b_{m2} &= 0.45(d_1 + 6m) \\ &= 0.45 \times (105 + 6 \times 12.5) \text{ mm} = 81 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b_2 \approx b_{m2} = 81 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho &= (5 \sim 5.5)m = (5 \sim 5.5) \times 12.5 \text{ mm} = 62.5 \sim \\ &\quad 68.75, \text{ 取 } \rho = 65 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$a_0 = \rho \cos \alpha_0 = 65 \times \cos 23^\circ = 59.83 \text{ mm}$$

$$b_0 = \frac{d_1}{2} + \rho \sin \alpha_0 = \frac{105}{2} + 65 \times \sin 23^\circ = 77.90 \text{ mm}$$

$$s_{x1} = 0.4\pi m = 0.4 \times \pi \times 12.5 = 15.70 \text{ mm}$$

$$s_{n1} = s_{x1} \cos \gamma = 15.70 \times \cos 19^\circ 39' 14'' = 14.79 \text{ mm}$$

$$R_{a2} = d_{f1}/2 + c = 76/2 + 0.16 \times 12.5 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$R_{f2} = d_{a1}/2 + c = 130/2 + 2 \text{ mm} = 152 \text{ mm}$$

(3) 齿面接触疲劳强度校核

1) 求传动效率 η :

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 = 0.947 \times 0.96 \times 0.98 = 0.89$$

$$(\eta_1 = \frac{\tan \gamma}{\tan(\gamma + \rho_v)} = \frac{\tan 19^\circ 39' 14''}{\tan(19^\circ 39' 14'' + 1^\circ)} = 0.947,$$

取 $\eta_2 = 0.96, \eta_3 = 0.98$)

2) 求作用在齿上的切向力 F_{t2} :

$$T_2 = 9550 \frac{P_1 \eta}{n_2} = 9550 \times \frac{60 \times 0.89}{96.8} \text{ N} \cdot \text{m} = 5268 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned} F_{t2} &= \frac{2000T_2}{d_2 + 2x_2m} = \frac{2000 \times 5268}{387.5 + 2 \times 0.3 \times 12.5} \text{ N} \\ &= 26675 \text{ N} \end{aligned}$$

3) 求齿面上的接触应力。按式(4.7-13)

$$\begin{aligned} \sigma_H &= \frac{F_{t2}}{Z_m Z_x b_{m2} (d_2 + 2x_2m)} \\ &= \frac{26675}{1.09 \times 0.61 \times 81 \times (387.5 + 2 \times 0.3 \times 12.5)} \\ &\quad \text{MPa} \\ &= 1.25 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$(Z_m = \sqrt{\frac{10m}{d_1}} = \sqrt{\frac{10 \times 12.5}{105}} = 1.09, \text{查表 4.7-42})$$

得 $Z_s = 0.61$)

4) 求接触疲劳极限。按式(4.7-16)

$$\sigma_{Hlim} = \sigma'_{Hlim} f_n f_h f_w$$

查表 4.7-42, $\sigma'_{Hlim} = 7.84 \text{ MPa}$; 查表 4.7-43, 按

$$\frac{\text{工作小时数}}{1000} = \frac{5 \times 300 \times 8}{1000} = 12, \text{得 } f_h = 1; \text{查表 4.7-44,}$$

$$\text{按 } v_s = \frac{d_1 n_1}{19100 \cos \gamma} = \frac{105 \times 1000}{19100 \times \cos 19.65^\circ} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 5.837 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

得 $f_n = 0.325; f_w = 1$ 。

$$\sigma_{Hlim} = 7.84 \times 1 \times 0.325 \times 1 \text{ MPa} = 2.55 \text{ MPa}$$

5) 安全系数校核。按式(4.7-12)

$$S_H = \frac{\sigma_{Hlim}}{\sigma_H} = \frac{2.55}{1.25} = 2.04 > S_{Hmin} = 2.0$$

$$(\text{由 } v_2 = \frac{d_2 n_2}{19100} = \frac{387.5 \times 96.8}{19100} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 1.96 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

查表 4.7-45, 可选用 8 级精度, $S_{Hmin} = 2.0$)

(4) 齿根强度校核

按式(4.7-19)

$$S_F = \frac{C_{Flim}}{C_{Fmax}} \geq 1$$

查表 4.7-46 得 $C_{Flim} = 39.2 \text{ MPa}$

按式(4.7-20)

$$\begin{aligned} C_{Fmax} &= \frac{F_{t2max}}{m_n \pi \hat{b}_2} = \frac{2F_{t2}}{\pi m \cos \gamma \times 1.1 b_2} \\ &= \frac{2 \times 26675}{\pi \times 12.5 \times \cos 19.65^\circ \times 1.1 \times 81} \text{ MPa} \\ &= 16.19 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

代入式(4.7-19)

$$S_F = \frac{C_{Flim}}{C_{Fmax}} = \frac{39.2}{16.19} = 2.42 > 1$$

(5) 工作图

ZC₁ 蜗杆传动的蜗轮工作图与 ZA 型的蜗轮工作图类同, 蜗杆工作图见图 4.7-19。

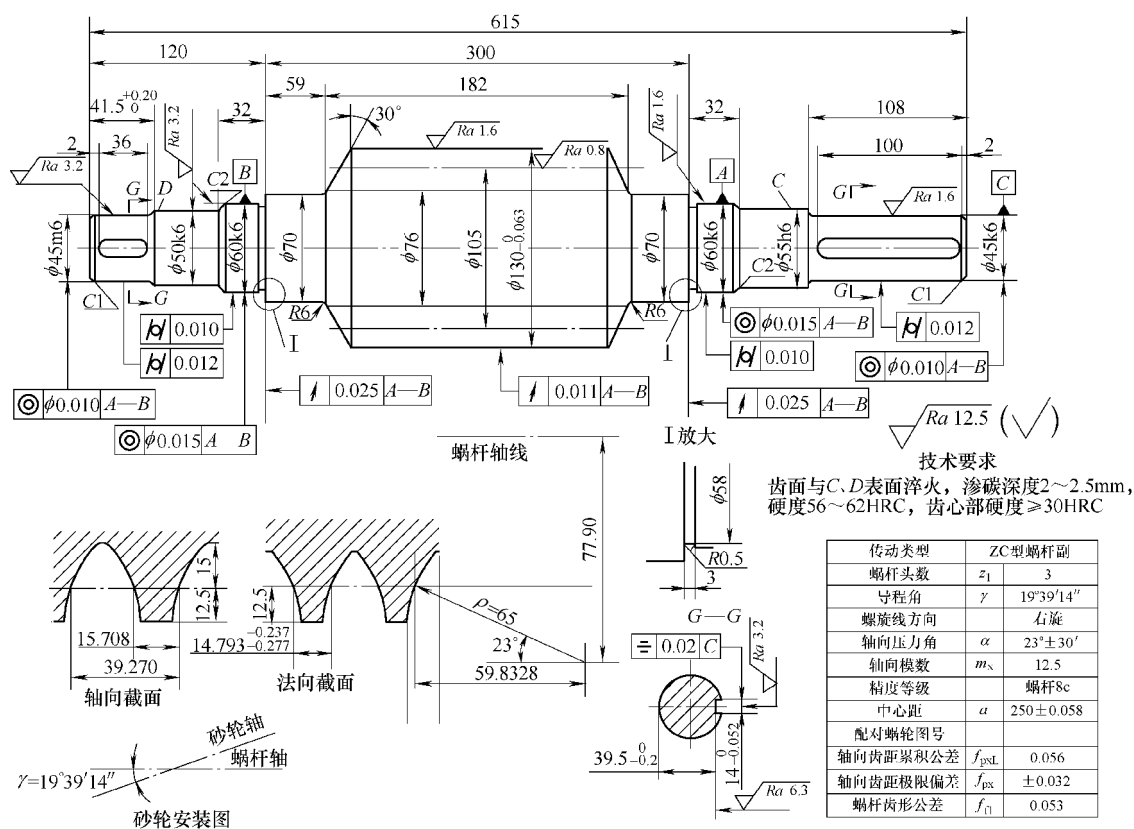


图 4.7-19 圆弧圆柱 (ZC₁ 型) 蜗杆工作图

4 环面蜗杆传动

环面蜗杆传动,其蜗杆是凹圆弧为母线的回转体。根据蜗杆螺旋面形成的母线或母面(平面、渐开面、锥面等),可分为直廓环面蜗杆、平面包络环面蜗杆、渐开面包络环面蜗杆、锥面包络环面蜗杆等。

4.1 环面蜗杆的形成原理

4.1.1 直廓环面蜗杆(TSL型)

如图4.7-20所示,蜗杆毛坯轴线 O_1-O_1 与刀座回转轴心 O_2 的垂距等于蜗杆传动的中心距 a ,毛坯以 ω_1 角速度回转,刀座以 ω_2 角速度回转, $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ 等于蜗杆传动的传动比,刀刃(即母线)为直线,这样切制出的螺旋面是“原始型”的直廓环面蜗杆的螺旋面。其轴向齿廓为直线。

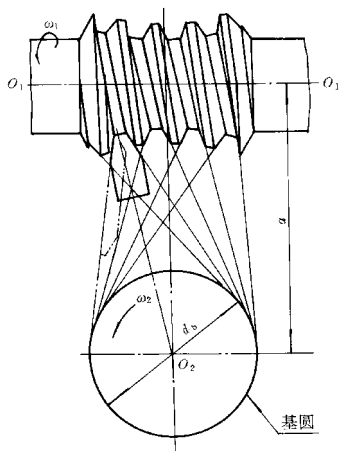


图 4.7-20 直廓环面蜗杆的形成

4.1.2 平面包络环面蜗杆

如图4.7-21所示,设平面 F 与基锥 A 相切并一起绕轴线 O_2-O_2 以角速度 ω_2 回转。与此同时蜗杆毛坯绕其轴线 O_1-O_1 以角速度 ω_1 回转,这样,平面 F 在蜗杆毛坯上包络出的曲面便是平面包络环面蜗杆的螺旋齿面。平面 F 就是母面,实际上是平面齿工艺齿轮的齿面,在传动中,也就是配对蜗轮的齿面。这种传动称为平面一次包络环面蜗杆传动。中间平面与基锥 A 截得的圆称为基圆,其直径为 d_b 。当平面 F 与轴线 O_2-O_2 的夹角 $\beta=0^\circ$ 时,是直齿平面包络环面蜗杆,适用于大传动比分度机构;当 $\beta>0^\circ$ 时,是斜齿平面包络环面蜗杆,适用于传递动力。

若再以上述蜗杆齿面为母面,即用与上述蜗杆

齿面相同的滚刀,对蜗轮毛坯进行滚切(包络),得到一种新型的蜗轮,用此蜗轮与上述蜗杆所组成的新型传动称为平面二次包络环面蜗杆(TOP)传动。

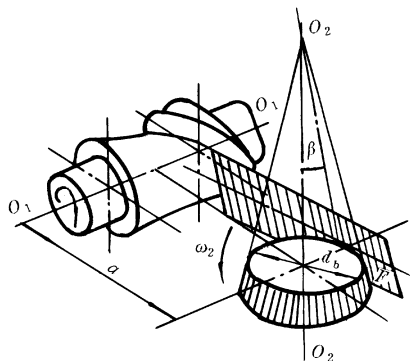


图 4.7-21 平面包络环面蜗杆的形成

直廓环面蜗杆传动和平面二次包络环面蜗杆传动,都是多齿啮合和双接触线接触,形成油膜的条件好,当量曲率半径大,因而传动效率较高,承载能力大。平面一次包络环面蜗杆传动,虽然是单线接触,但仍是多齿啮合,故承载能力也比圆柱蜗杆传动大得多。

平面包络环面蜗杆,容易磨削,故可制作淬火磨削的蜗杆,可保证传动的精度和提高传动的性能。

4.2 环面蜗杆的修形

环面蜗杆的修形是为了提高传动的承载能力和效率。在蜗杆啮入口修缘是为了使蜗杆螺旋面能平稳地进入或退出啮合。

4.2.1 直廓环面蜗杆的修形

直廓环面蜗杆的修形是将“原始型”的螺旋(如图4.7-22细线所示,是螺旋的展开图,各处齿厚相等)从中段向两端逐渐减薄(如图4.7-22实线所示,其特点是近似于“原始型”蜗杆磨损后的形状)。目前在工业中使用的直廓环面蜗杆传动,一般均经修形,即“修正型”。“修正型”中又有“全修正型”和“变参数修正型”。“全修正型”直廓环面蜗杆是将“原始型”的等螺距的螺旋线,按抛物线的规律,修正成不等螺距的螺旋线。其修正曲线的特征是:没有折点;极值点对应角度等于 $+0.43\phi_w$ 。修正曲线的方程为

$$\Delta_y = \Delta_f \left(0.3 - 0.7 \frac{\phi_y}{\phi_w} \right)^2 \quad (4.7-21)$$

式中 ϕ_y ——用来确定修形量 Δ_y 的角度值;

ϕ_w ——蜗杆工作包角之半,按表4.7-50计算;

Δ_f ——蜗杆啮入口修正量,按表4.7-50计算。

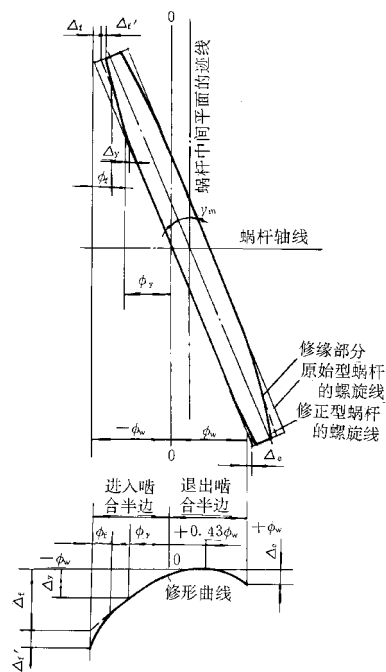


图 4.7-22 直廓环面蜗杆螺旋线沿分度圆展开图

制造“全修正型”直廓蜗杆，需要结构复杂的精密专用机床，不便推广。目前应用较广的是“变参数修形”，它是一种近似的“全修正型”，是在改变参数中心距 a_0 、传动比 i_0 、基圆直径 d_{b0} 的情况下，按“原始型”的办法加工蜗杆和蜗轮滚刀；再

用这样的滚刀，在传动的参数 a 、 i 、 d_b 情况下加工蜗轮。用这样加工出的蜗杆、蜗轮组成传动，就能达到接近抛物线修形的传动特性。“变参数修形”的计算见表 4.7-47。

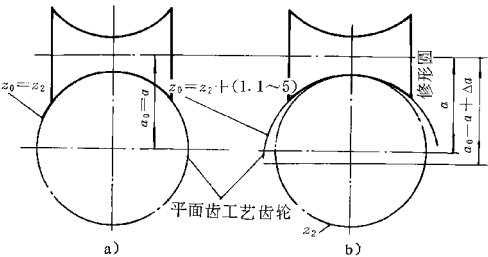


图 4.7-23 平面二次包络蜗杆的修形方法

a) 典型传动 b) 一般传动
 z_0 —平面齿工艺齿轮的齿数
 a_0 —加工蜗杆的工艺中心距

4.2.2 平面二次包络环面蜗杆的修形

平面一次包络环面蜗杆传动，通常不修形。

平面二次包络环面蜗杆的修形是靠增加工艺齿轮的齿数 z_0 来实现的。图 4.7-23a 为典型传动，平面齿工艺齿轮的齿数 z_0 与传动的蜗轮齿数 z_2 相等，用此法加工出的蜗杆没有修形 [实际中还是 $z_0 = z_2 + (0.1 \sim 1)$ ，以使蜗杆有微量的修形]。图 4.7-23b 为一般传动，其 $z_0 = z_2 + (1.1 \sim 5)$ ，这种传动有利于装配，推荐采用。

表 4.7-47 直廓环面蜗杆变参数修形计算

名 称	代 号	公式及说明
蜗杆螺旋面啮入口修形量	Δ_f	$\Delta_f = (0.0003 + 0.000034i) a$
变参数修形传动	i_0	$i_0 = \frac{i d_2}{d_2 - 65\Delta_f} = \frac{z_{20}}{z_1}$, z_{20} 是 z_1 除不尽的整数，以此来选取 i_0
传动比增量系数	K_i	$K_i = \frac{i_0 - i}{i_0}$
变参数修形中心距	a_0	$a_0 = a + \frac{K_i d_2}{1.9 - 2K_i}$, 圆整到小数一位
变参数修形基圆直径	d_{b0}	用滚刀加工蜗轮, $d_{b0} = d_b$ 用飞刀加工蜗轮, $d_{b0} = d_b + 2(a_0 - a) \sin \alpha$
蜗杆螺旋面啮入口修缘量	Δ_f'	$\Delta_f' = 0.6\Delta_f$
修缘长度对应角度值	ϕ_f	$\phi_f = 0.6\tau$, τ —齿距角, 见表 4.7-50
啮入口修缘时中心距再增加量	Δ_a'	$\Delta_a' = \frac{\Delta_f'}{\tan(\phi_f + \alpha - \phi_w) - \tan(\alpha - \phi_w)}$, ϕ_w —蜗杆工作包角之半, 见表 4.7-50
啮入口修缘时蜗杆轴向偏移量	Δ_x	$\Delta_x = \Delta_f' \tan(\phi_f + \alpha - \phi_w)$
蜗杆螺旋面啮入口修缘量	Δ_e	$\Delta_e = 0.16\Delta_f$

4.3 环面蜗杆传动的基本参数选择和几何尺寸计算

环面蜗杆传动的设计分标准参数和非标准参数设计。标准参数的传动,其标准参数是中心距和传动比。其标准系列参数见表 4.7-48、表 4.7-49。

为了使蜗轮毛坯、刀具和量具通用化,还规定了下列参数的推荐值(对照表 4.7-50 图中的符号):蜗轮喉圆直径 d_{a2} 、蜗轮宽度 b_2 、蜗轮齿圈内孔直径 d_{i2} 、蜗轮最大外径 d_{e2} 、蜗轮顶部圆弧半径 R_{a2} 。

形成圆或主基圆是加工蜗杆副时工具安装和检验的基准,为了使检验仪器、工量具通用化,根据中心距规定了主基圆(或形成圆)直径 d_b 的系列值。

对于非标准参数的传动,通常取中心距 a 和蜗杆齿根圆直径 d_{f1} 作为基本参数。中心距尽量按表 4.7-48 取标准系列值。但当中心距尺寸有特殊要求时,可取尾数为 0 或 5 的中心距。蜗杆齿根圆直径图中为 d_{f1} 推荐按图 4.7-24 确定,为提高传动的效率,应选用图中 1 和 2 线之间较小的 d_{f1} 值。对于低速重载、经常过载或 $L/a > 2.5$ 的传动,可选用较大的 d_{f1} 值(L 为蜗杆的跨度)。蜗杆的头数 z_1 和蜗轮的齿数 z_2 要根据传动比 i 和中心距 a 按表 4.7-49 选择。但是,为了容易磨

合,最好选用 z_2/z_1 为整数。

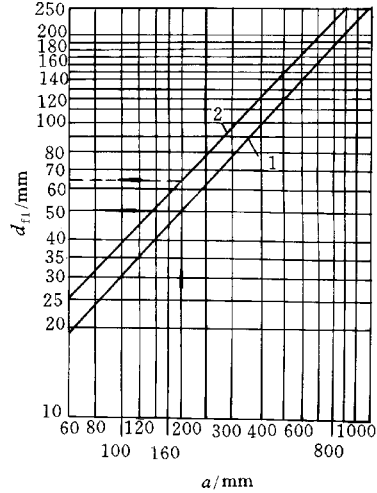


图 4.7-24 非标准设计环面蜗杆齿根圆直径 d_{f1} 的确定

蜗轮端面模数 m ,常不取标准值,只是在几何计算中应用。

直廓环面蜗杆传动的几何尺寸计算见表 4.7-50。

平面包络环面蜗杆传动的几何尺寸计算见表 4.7-51。

表 4.7-48 环面蜗杆传动基本参数及蜗轮齿圈尺寸

(mm)

中心距 a	第一系列								第二系列								成形圆(或主基圆)直径 d_b	
	蜗轮喉圆直径 d_{a2}	蜗轮宽度 b_2	蜗轮齿顶圆弧半径 R_{a2}	蜗轮顶圆直径 d_{e2}	蜗轮齿圈内孔直径 d_{i2}				蜗轮喉圆直径 d_{a2}	蜗轮宽度 b_2	蜗轮齿顶圆弧半径 R_{a2}	蜗轮顶圆直径 d_{e2}	蜗轮齿圈内孔直径 d_{i2}					
					蜗轮齿数 z_2								蜗轮齿数 z_2					
					35 ~ 45	46 ~ 72	50 ~ 63	64 ~ 94					35 ~ 45	46 ~ 72	50 ~ 63	64 ~ 94		
																	A 组	B 组
80	133	21	20	135	105	105	—	—	124	30	25	130	95	95	—	—	50	56
100	170	24	25	172	135	135	—	—	160	34	30	105	125	130	—	—	63	70
125	215	28	30	217	170	170	—	—	205	38	35	210	160	165	—	—	80	90
(140)	242	31	30	245	190	195	—	—	230	42	40	235	180	185	—	—	90	100
160	278	34	35	280	215	220	—	—	265	45	40	270	210	215	—	—	100	112
(180)	312	38	40	315	245	250	—	—	300	50	45	306	235	245	—	—	112	125
200	348	42	45	350	270	280	—	—	335	55	50	342	265	275	—	—	125	140
(225)	392	47	50	395	310	320	—	—	378	60	55	385	295	310	—	—	140	160
250	435	55	55	440	340	350	—	—	420	68	60	430	330	340	—	—	160	180
(280)	490	60	60	495	390	405	—	—	475	75	70	478	370	380	—	—	180	200
320	560	65	70	565	445	460	—	—	540	85	80	550	430	440	—	—	200	225
(360)	630	75	75	635	520	530	—	—	505	95	90	615	490	510	—	—	225	250
400	700	85	85	705	570	590	—	—	670	110	100	685	540	560	—	—	250	280
(450)	790	95	95	798	650	670	—	—	760	120	110	775	620	650	—	—	280	320

(续)

中心距 a	第一系列								第二系列								成形圆(或主基圆)直径	
	蜗轮喉圆直径 d_{a2}	蜗轮宽度 b_2	蜗轮齿顶圆弧半径 R_{a2}	蜗轮顶圆直径 d_{e2}	蜗轮齿圈内孔直径 d_{i2}				蜗轮喉圆直径 d_{a2}	蜗轮宽度 b_2	蜗轮齿顶圆弧半径 R_{a2}	蜗轮顶圆直径 d_{e2}	蜗轮齿圈内孔直径 d_{i2}					
					蜗轮齿数 z_2								蜗轮齿数 z_2					
					35 ~ 45	46 ~ 72	50 ~ 63	64 ~ 94					35 ~ 45	46 ~ 72	50 ~ 63	64 ~ 94		
					A 组	B 组												
500 (560)	880 980	105 120	105 120	890 990	720 800	740 820	— —	— —	840 940	140 150	125 140	855 955	680 760	700 790	— —	— —	320 360	360 400
630 (710)	1100 1240	135 150	135 150	1110 1255	900 —	930 —	— 1050	— 1070	1060 1200	170 190	160 175	1080 1230	860 —	890 —	— 1000	— 1030	400 450	450 500
800 (900)	1400 1580	170 190	170 190	1420 1600	— —	— —	1180 1330	1200 1360	1360 1520	210 240	190 220	1390 1560	— —	— —	1140 1280	1170 1300	500 560	560 630
1000 (1120)	1750 1970	210 230	215 235	1770 2040	— —	— —	1480 1670	1500 1700	1690 1910	260 280	250 260	1730 1950	— —	— —	1420 1610	1450 1640	630 710	710 800
1250 (1400)	2210 2480	250 280	255 280	2240 2510	— —	— —	1860 2100	1900 2140	2150 2400	300 340	290 325	2190 2450	— —	— —	1800 2000	1840 2060	800 900	900 1000
1600	2850	300	310	2880	—	—	2400	2460	2770	380	360	2830	—	—	2320	2400	1000	1120

注:1. 一般条件传动的基本参数优先按第一系列选取。

2. 属于下列条件之一的传动按第二系列选取:低速重载; $i < 12.5$;工作中经常过载及 $L/a > 2.5$ (L 为蜗杆的跨度)。

3. 直线型环面蜗杆传动的 d_b 值选取A组;平面包络弧面蜗杆传动的 d_b 值,当基本参数选用第一系列时,选取B组;选用第二系列时,选取A组。

表 4.7-49 中心距 a 、传动比 i 、蜗轮齿数 z_2 和蜗杆头数 z_1 的推荐值

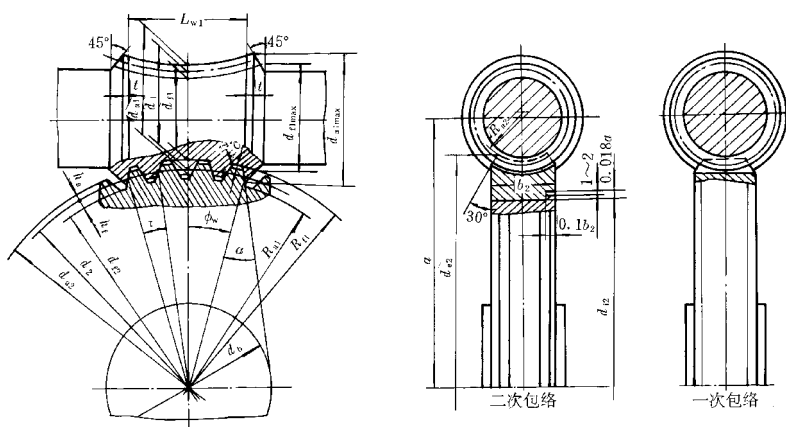
中心距 a /mm		公 称 传 动 比 i																	
		12.5	(14)	16	(18)	20	(22.5)	25	(28)	31.5	(16.5)	40	(45)	50	(56)	63	(71)	80	(90)
		z_2/z_1																	
80 ~ 320	A 组	38/3			37/2														
		或 41/3	49/3	或 41/2	45/2	49/2	55/2	63/2	36/1	40/1	45/1	50/1	56/1	63/1	—	—	—		
	B 组	49/4			56/3														
		或 36/3	42/3	48/3	或 36/2	40/2	46/2	50/2	56/2	64/2	36/1	40/1	45/1	50/1	56/1	63/1	—	—	—
> 320 ~ 630	A 组	48/4			54/3														
		或 41/2	45/2	或 49/2	55/2	63/2	或 36/1	40/1	45/1	50/1	56/1	63/1	71/1	—	—				
	B 组	49/4			56/3														
		或 61/3	67/3	或 50/2	56/2	64/2	或 71/2	40/1	45/1	50/1	56/1	63/1	71/1	—	—				
> 630 ~ 1000	A 组	40/2			46/2														
		或 40/2	46/2	或 50/2	56/2	64/2	或 36/1	40/1	45/1	50/1	56/1	63/1	71/1	—	—				
	B 组	48/4			54/3														
		或 60/3	66/3	或 50/2	56/2	64/2	或 72/2	40/1	45/1	50/1	56/1	63/1	71/1	—	—				
> 1000 ~ 1600	A 组	63/5	71/5	63/4	71/4	61/3	67/3	74/3	83/3	63/2	71/2	79/2	91/2	(50/1)	(56/1)	63/1	71/1	79/1	91/1
	B 组	65/5	70/5	64/4	72/4	60/3	66/3	75/3	84/3	64/2	72/2	80/2	90/2	(50/1)	(56/1)	63/1	71/1	80/1	91/1
> 1000 ~ 1600	A 组	74/6	71/5	79/5	71/4	79/4	91/4	74/3	83/3	91/3	71/2	79/2	91/2	(50/1)	(56/1)	(63/1)	71/1	79/1	91/1
	B 组	72/6	70/5	80/5	72/4	80/4	92/4	75/3	84/3	93/3	72/2	80/2	90/2	(50/1)	(56/1)	(63/1)	71/1	80/1	91/1

注:1. 括号内的传动比 i 和 z_2/z_1 值尽可能不用。

2. 表中B组 z_2/z_1 值以整数倍给出,适用于蜗轮采用滚刀加工的环面蜗杆传动。

3. 传动比 $i < 12.5$ 的传动,暂未给出,应按优先数系选取公称传动比[如 $i = 8; (9); 10; (11.2)$]。蜗轮齿数 z_2 应在表内相应中心距 a 的数值范围内选取。

表 4.7-51 平面包络环面蜗杆传动几何尺寸计算



项 目	代 号	计 算 公 式 及 说 明	例 题
中心距	a	由承载能力决定,按式(4.7-22) 标准参数传动,按表4.7-48 选取	$P_1=15\text{kW}, n_1=952\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}, i=40$ 蜗轮材料 ZCuSn10P1, 8 级精度。间断工作。查图 4.7-21 得 $a=220\text{mm}$ (二次包络)
传动比	i	$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$	$i=40$
蜗杆头数	z_1	标准参数传动按表 4.7-49 选取,非标准参数传动参考表 4.7-49 选取	$z_1=1$
蜗轮齿数	z_2		$z_2=40$
蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	查图 4.7-24	$d_{f1}=53\text{mm}$
蜗轮端面模数	m	$m = \frac{2a - d_{f1}}{z_2 + 1.8}$ (二次包络) $m = \frac{2a - d_{f1}}{z_2 + 1.9}$ (一次包络)	$m=9.258\text{mm}$
蜗杆包容蜗轮的齿数	z'	$z' = \frac{z_2}{10}, z_2 \leq 60$ 时,按 4 舍 5 入圆整; $z_2 > 60$ 时,取其整数部分	$z'=4$
蜗杆主基圆直径	d_b	标准参数传动, d_b 按表 4.7-48 取,非标准者,按靠近的标准中心距选取	$d_b=140\text{mm}$
齿顶高	h_a	二次包络 $h_a=0.7m$;一次包络 $h_a=0.75m$	$h_a=6.48\text{ mm}$
齿根高	h_f	二次包络 $h_f=0.9m$;一次包络 $h_f=0.95m$	$h_f=8.333\text{mm}$
齿顶隙	c	$c=0.2m$	$c=1.85\text{mm}$
蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2=z_2m$	$d_2=370.335\text{mm}$
蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2}=d_2+2h_a$,标准参数传动查表 4.7-48	$d_{a2}=383.295\text{mm}$
蜗轮齿顶圆半径	R_{a2}	标准传动按表 4.7-48 选取,非标准传动 $R_{a2}=0.53d_{f1\max}$	取 $R_{a2}=50\text{mm}$
蜗轮齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2}=d_2-2h_f$	$d_{f2}=353.67\text{mm}$
分度圆的压力角	α	$\alpha = \arcsin \frac{d_b}{d_2}$,推荐 $\alpha=22^\circ \sim 25^\circ$	$\alpha=22^\circ 12'43''$
蜗轮齿距角	τ	$\tau = \frac{360^\circ}{z_2}$	$\tau=9^\circ$
工作包角之半	ϕ_w	$\phi_w=0.5(z'-0.45)$	$\phi_w=15^\circ 58'30''$

(续)

项 目	代 号	计 算 公 式 及 说 明	例 题
蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = d_{f1} + 2h_f$	$d_1 = 69.666\text{mm}$
蜗杆喉部齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_a$	$d_{a1} = 82.626\text{mm}$
蜗杆喉部螺旋导程角	γ_m	$\gamma_m = \arctan \frac{d_2}{id_1}$	$\gamma_m = 7^\circ 34' 12''$
螺杆工作部分长度	L_{w1}	$L_{w1} = d_2 \sin \phi_w$	$L_{w1} = 101.92\text{mm}$
工艺齿轮的齿数	z_0	$z_0 = z_2 + \Delta z$, 一般传动 $\Delta z = 1.1 \sim 5$, 典型传动 $\Delta z = 0.1 \sim 1$	$z_0 = 42$
工艺中心距	a_0	$a_0 = a + \Delta a$, $\Delta a = \frac{m}{2} \Delta z$	$a_0 = 229.258\text{mm}$
蜗杆齿顶圆弧半径	R_{a1}	$R_{a1} = a_0 - 0.5d_{a1}$	$R_{a1} = 187.945\text{mm}$
蜗杆齿顶圆最大直径	$d_{a1\max}$	$d_{a1\max} = 2[a_0 - R_{a1} \cos(\varphi_w - 1^\circ)]$	$d_{a1\max} = 95.392\text{mm}$
蜗杆齿根圆最大直径	$d_{f1\max}$	$d_{f1\max} = 2[a_0 - \sqrt{R_{f1}^2 - (0.5L_{w1})^2}]$	$d_{f1\max} = 66.01\text{mm}$
蜗轮顶圆直径	d_{e2}	d_{e2} 标准参数传动查表 4.7-48, 非标准者按蜗轮结构绘图确定	$d_{e2} = 392\text{mm}$
蜗轮宽度	b_2	标准参数传动的 b_2 查表 4.7-48。非标准者, $b_2 = (0.8 \sim 1)d_{f1}$	$b_2 = 55.73\text{mm}$ 取 $b_2 = 55\text{mm}$
蜗轮分度圆齿距	p	$p = \pi m$	$p = 29.085\text{mm}$
蜗轮法面弦齿厚	$\bar{s}_{n2}$	$\bar{s}_{n2} = d_2 \sin(0.275\tau) \times \cos \gamma_m$	$\bar{s}_{n2} = 15.853\text{mm}$
蜗轮弦齿高	$\bar{h}_{a2}$	$\bar{h}_{a2} = h_a + 0.5d_2[1 - \cos(0.275\tau)]$	$\bar{h}_{a2} = 6.653\text{mm}$
齿侧间隙	j_n	j_n 查表 4.7-47	选用标准侧隙 $j_n = 0.2\text{mm}$
蜗杆喉部法面弦齿厚	$\bar{s}_{n1}$	$\bar{s}_{n1} = d_2 \sin(0.225\tau) \cos \gamma_m - j_n$	$\bar{s}_{n1} = 12.77\text{mm}$
蜗杆弦齿高	$\bar{h}_{a1}$	$\bar{h}_{a1} = h_a - 0.5d_2[1 - \cos(0.225\tau)]$	$\bar{h}_{a1} = 6.364\text{mm}$
母平面倾斜角	β	二次包络: $\beta = \arctan \left(\frac{\cos(\alpha + \Delta) \frac{d_2}{2a} \cos \alpha}{\cos(\alpha + \Delta) - \frac{d_2}{2a} \cos \alpha} \times \frac{1}{i} \right)$ 式中 Δ 值为: $\frac{i}{\Delta} \left \begin{array}{l} \leq 10 \\ 4^\circ \end{array} \right \left \begin{array}{l} 10 \sim 30 \\ 6^\circ \end{array} \right \left \begin{array}{l} > 30 \\ 8^\circ \end{array} \right $ 一次包络: $\beta = \arctan(K_1 \tan \gamma_m \cos \alpha)$ 当 $i \leq 20$ 时, $K_1 = 1.4 \sim 0.02i$ 当 $i > 20$ 时, $K_1 = 1$	$\beta = 11^\circ 12' 28''$ 蜗杆、蜗轮的工作图见图 4.7-28、图 4.7-29

4.4 环面蜗杆传动承载能力计算

目前我国(JB/T 7946—1999)、美国(AGMA441.04)和俄国制定了直廓环面蜗杆减速器的标准,我国制定了平面二次包络蜗杆减速器标准(GB/T 16444—2008),尚无 ISO 标准。

我国机械行业标准 JB/T 7946—1999 和国家标准 GB/T 16444—2008 分别给出了这两种环面蜗杆减速器的额定功率和额定输出转矩参数系列。对符合标准所列条件的可按标准选用相应的蜗杆传动副。

环面蜗杆传动的承载能力主要由蜗轮齿面接触强度决定。通常根据蜗杆传动的名义功率和额定功率的对比来校核和确定蜗杆传动的尺寸。

校核计算按式(4.7-22)进行

$$P_1 \leq P_{1P} \quad (4.7-22)$$

(1) 蜗杆传动的名义功率 P_1

$$P_1 = \frac{T_1 n_1}{9549} = \frac{T_2 n_2}{9549\eta} \quad (4.7-23)$$

式中 T_1 、 T_2 ——蜗杆轴和蜗轮轴的转矩(N·m);

n_1 、 n_2 ——蜗杆和蜗轮的转速(r·min⁻¹);

η ——传动效率,查图 4.7-25。

(2) 额定功率 P_{1P}

$$P_{1P} = K_1 K_2 K_3 K_4 P'_{1P} \quad (4.7-24)$$

式中, K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 为传动类型系数、工作类型系数、制造质量系数和材料系数,见表 4.7-52。

P'_{1P} 为蜗杆传动的许用功率,按中心距 a 、蜗杆转速 n_1 和传动比 i ,查图 4.7-26。该图为蜗杆传动的额定功率线图,其制作条件是:直廓环面蜗杆传动(平面包络蜗杆

传动作近似参考),昼夜连续平稳工作,7级精度,蜗轮材料为青铜,蜗杆齿面经硬化处理或调质处理 286 ~ 321HBW,蜗杆齿面经精整加工, $R_a \leq 1.6\mu\text{m}$ 。

设计计算按 $P'_{1P} \geq \frac{P_1}{K_1 K_2 K_3 K_4}$ 、蜗杆转速 n_1 和传

动比 i , 查图 4.7-26 确定传动中心距 a 。

表 4.7-52 环面蜗杆传动系数 K_1 , K_2 , K_3 , K_4 值

传动类型系数	K_1	精度等级		K_3
直廓环面蜗杆传动, 二次包络蜗杆传动	1.0	7		1.0
一次包络环面蜗杆传动	0.9	8		0.8
工作类型系数	K_2	材 料	适用滑动速度 $v_s/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	K_4
昼夜连续平稳工作	1.0	ZCuSn10P1	≤ 10	1.0
每天连续工作 8 h, 有冲击载荷	0.8	ZCuAl10Fe3Mn2	≤ 4	0.8
昼夜连续工作有冲击载荷	0.7	ZCuAl9Fe4Ni4Mn2	≤ 4	0.8
间断工作 (如每 2 h 工作 15 min)	1.3	HT150	≤ 2	0.5
间断工作, 有冲击载荷	1.06			

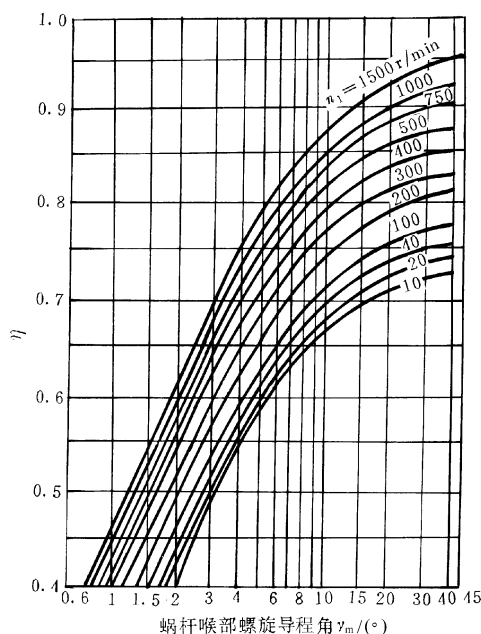


图 4.7-25 环面蜗杆传动效率 η

4.5 环面蜗杆传动设计算例

例 4.7-3 设计电梯曳引机用直廓环面蜗杆传动。

已知: 蜗杆传递功率 $P_1 = 18 \text{ kW}$, 转速 $n_1 = 1470 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 传动比 $i = 31.5$ 。蜗轮齿圈材料 ZCuSn10P1, 蜗杆材料 42CrMo, 调质硬度 241 ~ 280HBW。传动选用 8 级精度, 标准侧隙。

解:

(1) 求传动的中心距

按式(4.7-23)

$$P'_{1P} = \frac{P_1}{K_1 K_2 K_3 K_4} = \frac{18}{1 \times 1.06 \times 0.8 \times 1} \text{ kW} = 21.23 \text{ kW}$$

(式中, K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 查表 4.7-52 得 $K_1 = 1$, $K_2 = 1.06$, $K_3 = 0.8$, $K_4 = 1$)。

查图 4.7-26 得 $a = 195 \text{ mm}$, 取标准值 $a = 200 \text{ mm}$ 。

(2) 主要几何尺寸

按表 4.7-49 取 A 组, $\frac{z_2}{z_1} = \frac{63}{2}$

按表 4.7-48, 采用第一系列, 查得 $d_{a2} = 348 \text{ mm}$, $b_2 = 42 \text{ mm}$, $d_{e2} = 350 \text{ mm}$, $d_{i2} = 280 \text{ mm}$, $R_{a2} = 45 \text{ mm}$, $d_b = 125 \text{ mm}$

其余项目按表 4.7-50 中公式求之

$$m = \frac{d_{a2}}{z_2 + 1.5} = \frac{348}{63 + 1.5} \text{ mm} = 5.395 \text{ mm}$$

$$c = r = 0.2m = 0.2 \times 5.395 \text{ mm} = 1.078 \text{ mm} \approx 1 \text{ mm}$$

$$h_a = 0.75m = 0.75 \times 5.395 \text{ mm} = 4.046 \text{ mm}$$

$$h_f = h_a + c = 4.046 \text{ mm} + 1.078 \text{ mm} = 5.124 \text{ mm}$$

$$d_2 = d_{a2} - 2h_a = 348 \text{ mm} - 2 \times 4.046 \text{ mm} = 339.9 \text{ mm}$$

$$d_{i2} = d_2 - 2h_f = 339.9 \text{ mm} - 2 \times 5.124 \text{ mm} = 329.652 \text{ mm}$$

$$d_1 = 2a - d_2 = 2 \times 200 \text{ mm} - 339.9 \text{ mm} = 60.1 \text{ mm}$$

$$d_{f1} = d_1 - 2h_f = 60.1 \text{ mm} - 2 \times 5.124 \text{ mm} = 49.852 \text{ mm}$$

接近于图 4.7-24 查得的 $d_{f1} = 50 \text{ mm}$, 可以。

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a = 60.1 \text{ mm} + 2 \times 4.046 \text{ mm} = 68.192 \text{ mm}$$

$$R_{a1} = a - 0.5d_{a1} = 200 \text{ mm} - 0.5 \times 68.192 \text{ mm} = 165.904 \text{ mm}$$

$$R_{f1} = a - 0.5d_{f1} = 200 \text{ mm} - 0.5 \times 49.852 \text{ mm} = 175.074 \text{ mm}$$

$$\tau = \frac{360^\circ}{63} = 5.714^\circ$$

$$z' = \frac{z_2}{10} = \frac{63}{10} = 6.3 \quad \text{取 } z' = 6$$

$$\phi_w = 0.5(z' - 0.45)\tau = 0.5(6 - 0.45)5.714^\circ = 15.856^\circ = 15^\circ 51' 22''$$

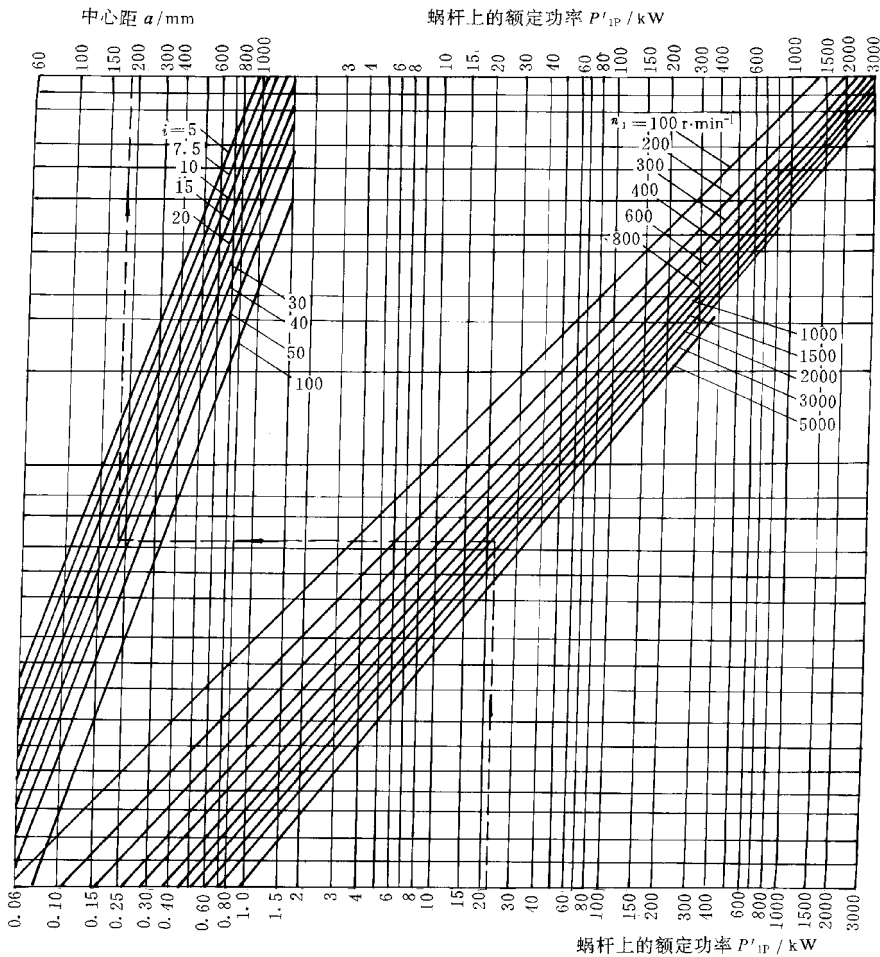


图 4.7-26 直廓环面蜗杆传动承载能力计算图

$$L_w = d_2 \sin \phi_w = 339.9 \sin 15.856^\circ = 92.868 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d_{f1\max} &= 2 \times [a - \sqrt{R_{f1}^2 - (0.5L_w)^2}] \\ &= 2 \times [200 - \sqrt{175.074^2 - (0.5 \times 92.868)^2}] \text{ mm} \\ &= 62.392 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{a1\max} &= 2 \times [a - R_{a1} \cos(\phi_w - 1^\circ)] \\ &= 2 \times [200 - 165.904 \times \cos(6^\circ - 1^\circ)] \\ &= 69.455 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma_m &= \arctan \frac{d_2}{id_1} = \arctan \frac{339.9}{31.5 \times 60.1} \\ &= 10.179^\circ = 10^\circ 10' 42'' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan \frac{d_b}{d_2} = \arcsin \frac{125}{339.9} = 23.9747^\circ \\ &= 23^\circ 58' 29'' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{s}_{n2} &= d_2 \sin(0.275\tau) \cos \gamma_m \\ &= 339.9 \times \sin(0.275 \times 5.714^\circ) \times \cos 10.179^\circ \text{ mm} \\ &= 8.253 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\bar{h}_{a2} = h_a + 0.5d_2 [1 - \cos(0.275\tau)]$$

$$\begin{aligned} &= 4.046 \text{ mm} + 0.5 \times 339.9 \times [1 - \cos(0.275 \times \\ &\quad 5.714^\circ)] \text{ mm} = 4.11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{s}_{n1} &= d_2 \sin(0.225\tau) \times \cos \gamma_m - 2\Delta_f \left(0.3 - \frac{50.4^\circ}{z_2 \phi_w}\right) \cos \gamma_m \\ &= 339.9 \times \sin(0.225 \times 5.714^\circ) \times \cos 10.179^\circ \text{ mm} - \\ &\quad 2 \times 0.274 \left(0.3 - \frac{50.4^\circ}{63 \times 15.856^\circ}\right) \times \cos 10.179^\circ \text{ mm} \\ &= 7.372 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{h}_{a1} &= h_a - 0.5d_2 [1 - \cos(0.225\tau)] \\ &= 4.046 - 0.5 \times 339.9 \times [1 - \cos(0.225 \times 5.714^\circ)] \\ &= 4.003 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_f &= (0.0003 + 0.000034i) a \\ &= (0.0003 + 0.000034 \times 31.5) \times 200 \text{ mm} \\ &= 0.274 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\Delta'_f = 0.6\Delta_f = 0.6 \times 0.274 \text{ mm} = 0.164 \text{ mm}$$

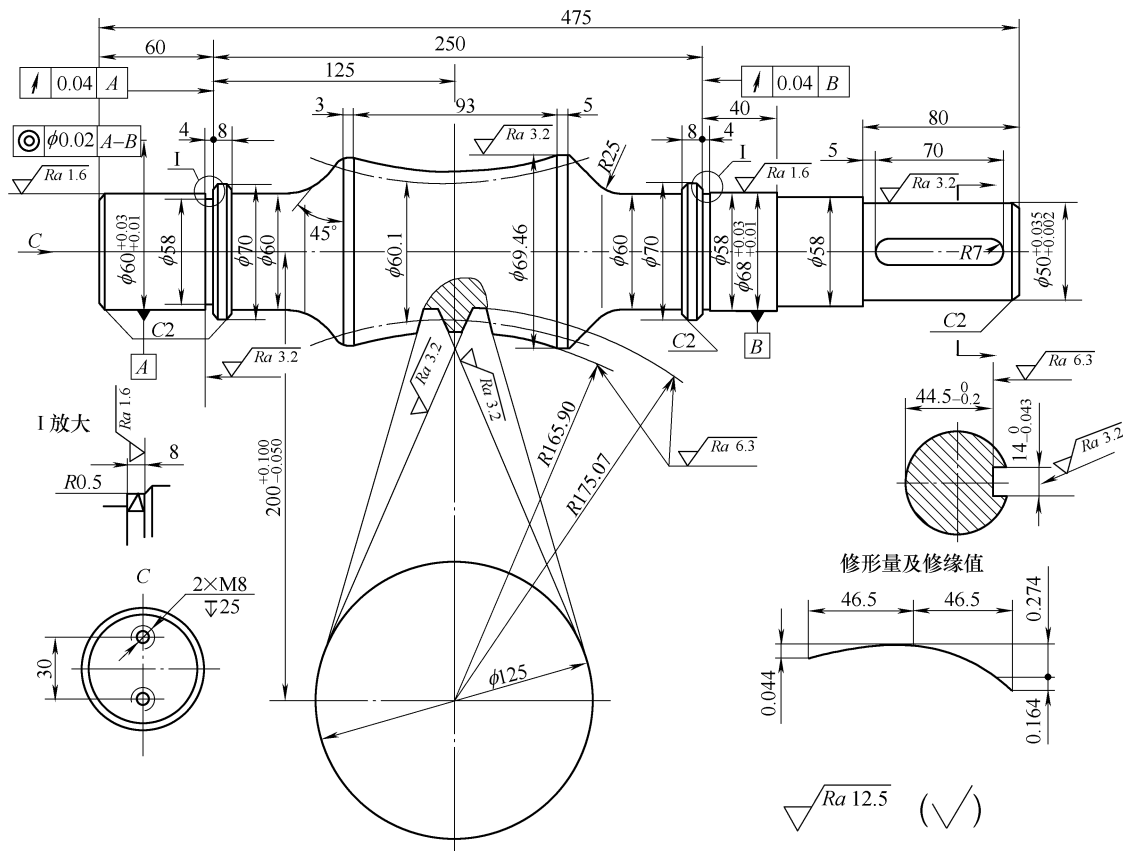
$$\Delta_e = 0.16\Delta_f = 0.16 \times 0.274 \text{ mm} = 0.044 \text{ mm}$$

$\phi_f = 0.6\tau = 0.6 \times 5.714^\circ = 3.428^\circ$ (本式见表 4.7-47)

$t = \pi d_2 / 5.5z_2 = \pi \times 339.9\text{mm} / 5.5 \times 63$

$= 3.082\text{mm}$

4.6 环面蜗杆、蜗轮工作图 (见图 4.7-27 ~ 图 4.7-29)

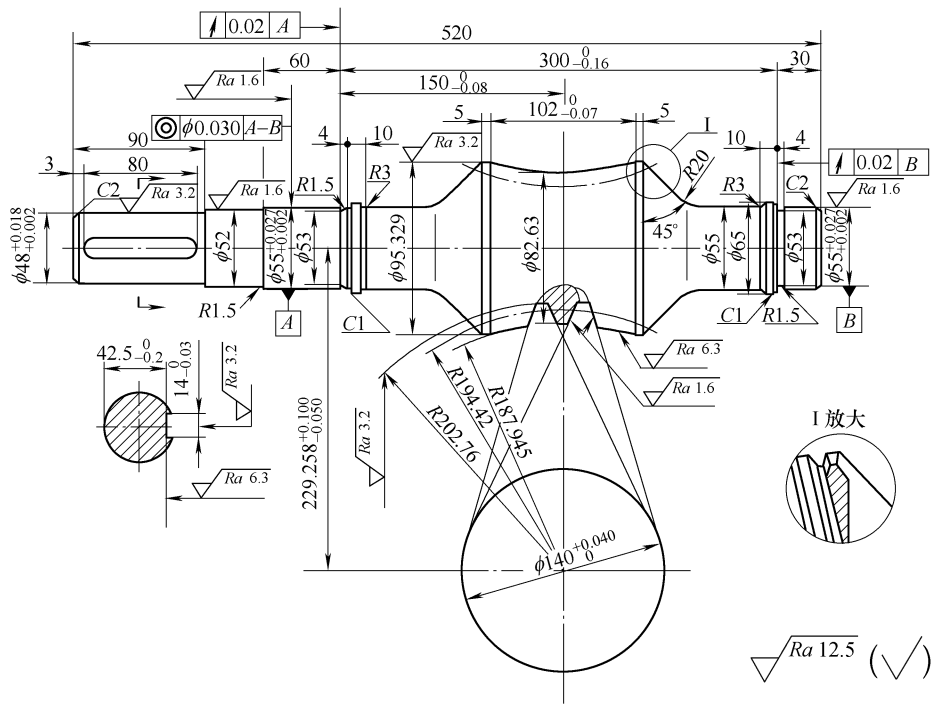


技术要求

- 1. 调质硬度为 241 ~ 280HBW。
- 2. 未注切削圆角 $R = 2.5\text{mm}$ 。
- 3. 啮入口修缘角 $\phi_f = 3^\circ 25' 40''$

传动类型	TSL 蜗杆副	
蜗杆头数	z_1	2
蜗轮齿数	z_2	63
蜗杆包围蜗轮齿数	z'	6
模 数	m	5.395
蜗杆喉部螺旋导程角	γ_m	$10^\circ 10' 42''$
轴向剖面的压力角	α	$23^\circ 58' 29''$
蜗杆工作包角之半	ϕ_w	$15^\circ 51' 2''$
蜗杆螺旋方向		右旋
精度等级		8
配对蜗轮图号		
蜗杆圆周齿距极限偏差	$\pm f_{px}$	± 0.025
蜗杆圆周齿距累积公差	f_{pxL}	0.050
蜗杆齿形公差	f_{Π}	0.040
蜗杆喉部法面弦齿厚	$\bar{s}_{n1}$	$7.37^{+0.52}_{-0.68}$
蜗杆喉部法面弦齿高	$\bar{h}_{a1}$	4.003

图 4.7-27 直廓环面蜗杆工作图

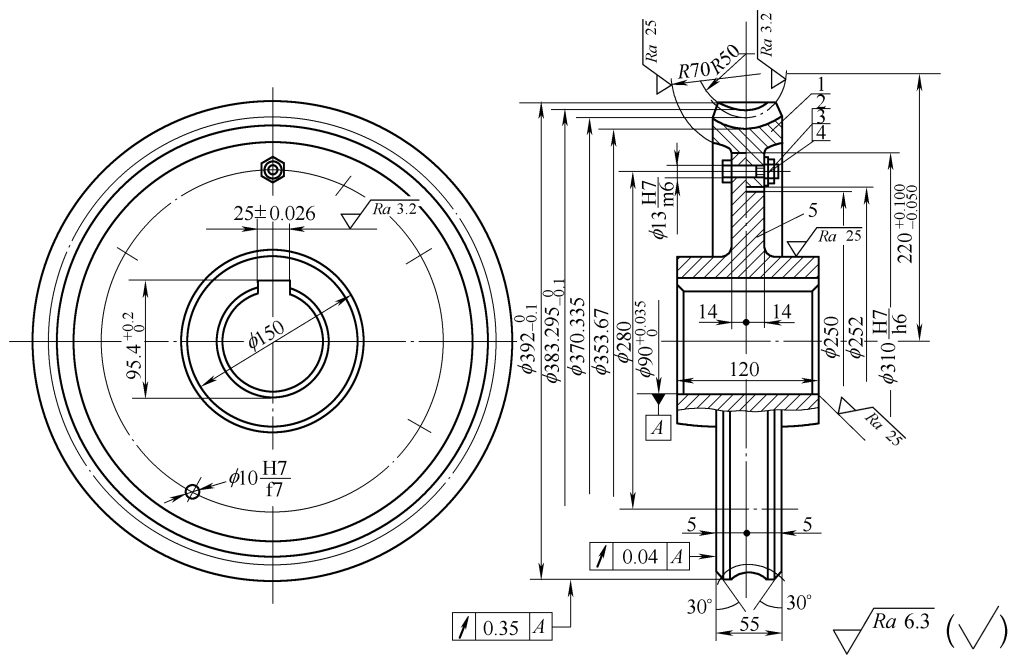


技 术 要 求

- 1. 保留 4 个完整齿, 多余的齿按放大图 I 所示铣去并将尖角倒圆。
- 2. 整体调质硬度为 230~260HBW, 齿面淬火硬度为 40~45HRC。

传动类型	TOP 型蜗轮副		传动中心距	a	220
蜗杆头数	z_1	1	配对蜗轮图号		
蜗轮齿数	z_2	40	精度等级		8
蜗杆包围蜗轮齿数	z'	4	工艺齿轮的齿数	z_0	42
模 数	m	9.258	工艺中心距	a_0	229.258
蜗杆喉部螺旋导程角	γ_m	$7^{\circ}34'12''$	蜗杆圆周齿距累积公差	F_{pl}	0.050
轴向剖面的压力角	α	$22^{\circ}12'43''$	蜗杆圆周齿距极限偏差	$\pm f_{pl}$	± 0.025
蜗杆工作半角	ϕ_w	$15^{\circ}58'30''$	蜗杆喉部法面弦齿厚	$\bar{s}_{n1}$	$12.77^{+0.41}_{-0.59}$
母平面倾斜角	β	$11^{\circ}12'28''$	蜗杆喉部弦齿高	$\bar{h}_{a1}$	6.364
蜗杆螺旋方向		右旋			

图 4.7-28 平面二次包络环面蜗杆工作图



技术要求

- 1. 轮缘和轮心装配好后再精车和切制轮齿。
- 2. $\phi 10$ 锥销孔配铰, 表面粗糙度 $R_a \leq 3.2 \mu\text{m}$ 。

5	轮 心	1	
4	垫圈 GB/T 861.1—1987 12	6	
3	螺栓 GB/T 27 —1988 M12×40	6	
2	螺母 GB/T 6170—2000 M12	6	
1	轮 缘	1	
序号	名 称	数量	备注

传动类型	TOP 型蜗杆副	
蜗杆头数	z_1	1
蜗轮齿数	z_2	40
蜗杆包围蜗轮齿数	z'	4
蜗轮端面模数	m	9.258
蜗杆喉部螺旋导程角	γ_m	$7^\circ 34' 12''$
蜗杆轴剖面的压力角	α	$22^\circ 12' 43''$
蜗杆工作半角	ϕ_w	$15^\circ 58' 30''$
母平面倾斜角	β	$11^\circ 12' 28''$
蜗杆螺旋方向		右旋
配对蜗杆图号		
精度等级		8
蜗轮齿距累积公差	F_{p2}	0.045
蜗轮齿圈径向跳动公差	F_{r2}	0.040
蜗轮法面弦齿厚	$\bar{s}_{n2}$	15.853
蜗轮弦齿高	$\bar{h}_{a2}$	6.653

图 4.7-29 平面二次包络蜗轮工作图

4.7 环面蜗杆、蜗轮的精度

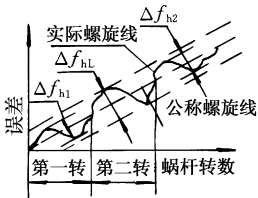
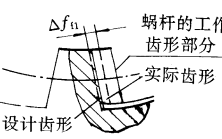
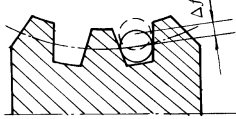
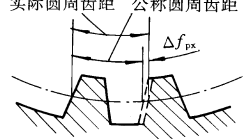
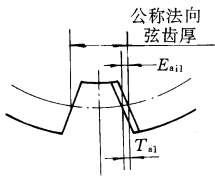
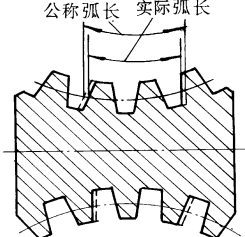
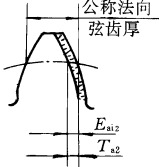
4.7.1 直廓环面蜗杆、蜗轮精度 (GB/T 16848—1999)

本精度适用于轴交角为 90°, 中心距为 80 ~

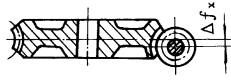
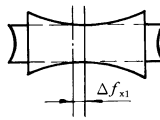
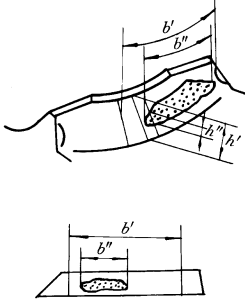
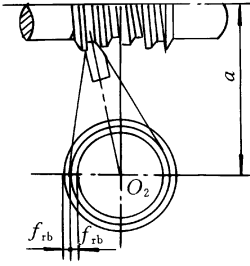
1250mm 的动力直廓环面蜗杆传动。

1) 术语定义及代号。直廓环面蜗杆、蜗轮及蜗杆副的误差, 以及传动的侧隙的定义和代号列于表 4.7-53。但与圆柱蜗杆、蜗轮精度相同者略去。

表 4.7-53 误差、侧隙的定义和代号

名 称、代 号	定 义	名 称、代 号	定 义
蜗杆螺旋线误差 Δf_{hl} 	在蜗杆的工作齿宽范围内,分度圆环面上,包容实际螺旋线的与公称螺旋线保持恒定间距的最近两条螺旋线间的法向距离 多头蜗杆的螺旋线误差分别由每条螺纹线测得	蜗杆齿形误差 Δf_{fi} 	在蜗杆的轴向剖面上,齿形工作部分内,包容实际齿形线的最近两条设计齿形线间的法向距离
蜗杆螺旋线公差 f_{hl}		蜗杆齿形公差 f_{fi}	
蜗杆一转螺旋线误差 Δf_h 蜗杆一转螺旋线公差 f_h	一转范围内的蜗杆螺旋线误差	蜗杆齿槽的径向圆跳动 Δf_r 	在蜗杆的轴向剖面上,一转范围内,测头在齿槽内与齿高中部齿面双面接触,其测头相对于配对蜗轮中心沿径向距离的最大变动量
蜗杆分度误差 Δf_{z1} 蜗杆分度公差 f_{z1}	多头蜗杆每条螺纹的等分性误差 在蜗杆喉部的分度圆环面上测得	蜗杆齿槽径向圆跳动公差 f_r	
蜗杆圆周齿距偏差 Δf_{px} 	在轴向剖面内,蜗杆分度圆环面上,两相邻同侧齿面间的实际弧长和公称弧长之差	蜗杆法向弦齿厚偏差 ΔE_{s1} 	在蜗杆喉部的法向弦齿高处,法向弦齿厚的实际值与公称值之差以弦长计
蜗杆圆周齿距极限偏差 上偏差 $+f_{px}$ 下偏差 $-f_{px}$		蜗杆法向弦齿厚极限偏差 上偏差 E_{ss1} 下偏差 E_{si1}	
蜗杆圆周齿距累积误差 Δf_{pxL} 	在轴向剖面内,蜗杆分度圆环面上,任意两个同侧齿面间(不包括修缘部分),实际弧长与公称弧长之差的绝对值	蜗杆法向弦齿厚公差 T_{s1}	
蜗杆圆周齿距累积公差 f_{pxL}		蜗轮法向弦齿厚偏差 ΔE_{s2} 	在蜗轮喉部的法向弦齿高处,法向弦齿厚的实际值与公称值之差以弦长计
		蜗轮法向弦齿厚极限偏差 上偏差 E_{ss2} 下偏差 E_{si2}	
		蜗轮法向弦齿厚公差 T_{s2}	

(续)

名 称、代 号	定 义	名 称、代 号	定 义
蜗杆副的蜗轮中间平面偏移 Δf_{x2}  蜗杆副的蜗轮中间平面偏移极限偏差 上偏差 $+f_{x2}$ 下偏差 $-f_{x2}$	在安装好的蜗杆副中,蜗轮中间平面的实际位置和公称位置之差	蜗杆副的蜗杆喉平面偏移 Δf_{x1}  蜗杆副的蜗杆喉平面偏移极限偏差 上偏差 $+f_{x1}$ 下偏差 $-f_{x1}$	在安装好的蜗杆副中,蜗杆喉平面的实际位置和公称位置之差
蜗杆副的接触斑点 	安装好的蜗杆副,在轻微制动下,转动后,蜗杆、蜗轮齿面上出现的接触痕迹 以接触面积大小、形状和分布位置表示,接触面积大小按接触痕迹的百分比计算确定: 沿齿长方向,接触痕迹的长度 b'' 与理论长度 b' 之比,即 $(b''/b') \times 100\%$ 沿齿高方向,接触痕迹的高度 h'' 与理论高度 h' 之比,即 $(h''/h') \times 100\%$ 蜗杆接触斑点的分布位置:齿高方向应趋于中间,齿长方向趋于入口处,齿顶和两端部棱边处不允许接触	主基圆半径误差 Δf_{rb}  主基圆半径公差 f_{rb}	加工蜗杆时,刀具的主基圆半径的实际值与公称值之差

2) 精度等级。直廓环面蜗杆、蜗轮和蜗杆传动共分6、7、8三个精度等级,6级最高,8级最低;按照公差的特性对传动性能的主要保证作用,将公差分为三个公差组。

根据使用要求不同,允许各公差组选用不同的公差等级组合,但在同一公差组中,各项公差与极限偏差应保持相同的精度等级。

蜗杆和配对蜗轮的精度等级一般取成相同,也允许取成不相同。对有特殊要求的蜗杆传动,除 F_r 、 f_r 项目外,其蜗杆、蜗轮左右齿面的精度等级也可取成不相同。

3) 蜗杆、蜗轮的检验与公差。根据蜗杆传动的工作要求和生产规模,在各公差组中选定一个检验组来评定和验收蜗杆、蜗轮的精度。当检验组中有两项或两项以上的误差时,应以检验组中最低的一项精度来评定蜗杆、蜗轮的精度等级。蜗杆、蜗轮的公差及极限偏差见表4.7-54。蜗杆副的公差及数据偏差见表4.7-55。

第Ⅰ公差组的检验组:

蜗杆: —

蜗轮: ΔF_p , ΔF_r 。

第Ⅱ公差组的检验组:

蜗杆: Δf_h , Δf_{hl} (用于单头蜗杆);

Δf_{zl} (用于多头蜗杆);

Δf_{px} , Δf_{pxL} , Δf_r ;

Δf_{px} , Δf_{pxL} ;

蜗轮: Δf_{pt}

第Ⅲ公差组的检验组:

蜗杆: Δf_{f1} ;

蜗轮: Δf_{f2}

当蜗杆副的接触斑点有要求时,蜗轮的齿形误差 Δf_{f2} 可不进行检验。

4) 齿坯要求。蜗杆、蜗轮在加工、检验和安装时的径向、轴向基准面应尽可能一致,并应在相应的零件工作图上予以标注。

加工蜗杆时,刀具的主基圆半径对蜗杆精度有较大影响,因此,应对主基圆半径公差作合理的控制。主基圆半径公差值见表4.7-56。

蜗杆、蜗轮的齿坯公差包括轴、孔的尺寸、形状和位置公差,以及基准面的跳动。各项公差值见表4.7-56。

表 4.7-54 蜗杆和蜗轮的公差及极限偏差

(μm)

名 称		代 号	中 心 距 /mm											
			80 ~ 160			> 160 ~ 315			> 315 ~ 630			> 630 ~ 1250		
			精 度 等 级											
			6	7	8	6	7	8	6	7	8	6	7	8
蜗杆螺旋线公差		f_{hl}	34	51	68	51	68	85	68	102	119	127	153	187
蜗杆一转螺旋线公差		f_h	15	22	30	21	30	37	30	45	53	45	60	68
蜗杆分 度误差	$z_2/z_1 \neq$ 整数	f_{zl}	20	30	40	28	40	50	40	60	70	60	80	90
	$z_2/z_1 =$ 整数		25	37	50	35	50	62	50	75	87	75	100	112
蜗杆圆周齿距极限偏差		f_{px}	± 10	± 15	± 20	± 14	± 20	± 25	± 20	± 30	± 35	± 30	± 40	± 45
蜗杆圆周齿距累积公差		f_{pxL}	20	30	40	30	40	50	40	60	70	75	90	110
蜗杆齿形公差		f_{f1}	14	22	32	19	28	40	25	36	53	36	53	75
蜗杆径向圆跳动公差		f_r	10	15	25	15	20	30	20	25	35	25	35	50
蜗杆法向弦齿厚上偏差		E_{ss1}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
蜗杆法向弦	双向回转	E_{s1l}	35	50	75	60	100	150	90	140	200	140	200	250
齿厚下偏差	单向回转		70	100	150	120	200	300	180	200	400	280	350	450
蜗轮齿距累积公差		F_p	67	90	125	90	135	202	135	180	247	180	270	360
蜗轮齿圈径向圆跳动公差		F_r	40	56	71	50	71	90	63	90	112	80	112	140
蜗轮齿距极限偏差		$\pm f_{pt}$	15	24	25	20	30	45	30	40	55	40	60	80
蜗轮齿形公差		f_{f2}	14	22	32	19	28	40	25	36	53	36	53	75
蜗轮法向弦齿厚上偏差		E_{ss2}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
蜗轮法向弦齿厚下偏差		E_{s12}	75	100	150	100	150	200	150	200	280	220	300	400

表 4.7-55 蜗杆副公差及极限偏差

(μm)

名 称	代 号	中 心 距 /mm											
		80 ~ 160			> 160 ~ 315			> 315 ~ 630			> 630 ~ 1250		
		精 度 等 级											
		6	7	8	6	7	8	6	7	8	6	7	8
蜗杆副的切向综合误差	F'_{ic}	63	90	125	10	112	160	100	140	200	140	200	280
蜗杆副的一齿切向综合误差	f'_{ic}	18	27	35	27	35	45	35	55	63	67	80	100
蜗杆副的中心距极限偏移	f_a	+ 20	+ 25	+ 60	+ 30	+ 50	+ 100	+ 45	+ 75	+ 120	+ 65	+ 100	+ 150
		- 10	- 15	- 30	- 20	- 30	- 50	- 25	- 45	- 75	- 35	- 60	- 100
蜗杆副的蜗杆中间平面偏移	f_{x1}	± 15	± 20	± 25	± 25	± 40	± 50	± 40	± 60	± 80	± 65	± 90	± 120
蜗杆副的蜗轮中间平面偏移	f_{x2}	± 30	± 50	± 75	± 60	± 100	± 150	± 100	± 150	± 220	± 150	± 200	± 300
蜗杆副的轴交角极限偏差	f_{Σ}	± 15	± 20	± 30	± 20	± 30	± 45	± 30	± 45	± 65	± 40	± 60	± 80
蜗杆副的圆周侧隙	j_1	250			380			530			750		
蜗杆副的最小圆周侧隙	$j_{\min}$	95			130			190			250		
蜗轮齿面接触斑点 (%)		在理论接触区上 按高度 不小于 85(6级)、80(7级)、70(8级) 按宽度 不小于80(6级)、70(7级)、60(8级)											
蜗杆齿面接触斑点 (%)		在工作长度上不小于 80(6级)、70(7级)、60(8级) 工作面入口可接触较重,两端修缘部分不应接触											

表 4.7-56 蜗杆、蜗轮齿坯和主基圆半径公差

(μm)

名 称	中 心 距 /mm											
	80 ~ 160			> 160 ~ 315			> 315 ~ 630			> 630 ~ 1250		
	精 度 等 级											
	6	7	8	6	7	8	6	7	8	6	7	8
蜗杆、蜗轮喉部直径公差	h7	h8	h9	h7	h8	h9	h7	h8	h9	h7	h8	h9
蜗杆基准轴颈径向圆跳动公差	12	15	30	15	20	35	20	27	48	25	35	55
蜗杆两定位端面圆跳动公差	12	15	20	17	24	25	22	25	30	27	30	35
蜗杆喉部径向圆跳动公差	15	20	25	20	25	27	27	35	45	35	45	60
蜗杆基准端面圆跳动公差	15	20	30	20	30	40	30	45	60	40	60	80

(续)

名 称	中 心 距 /mm											
	80 ~ 160			> 160 ~ 315			> 315 ~ 630			> 630 ~ 1250		
	精 度 等 级											
	6	7	8	6	7	8	6	7	8	6	7	8
蜗轮齿坯外径与轴孔的同心度公差	15	20	30	20	35	50	25	40	60	40	60	80
主基圆半径公差	20	30	45	25	40	60	35	55	80	50	80	120

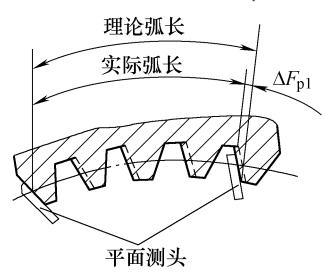
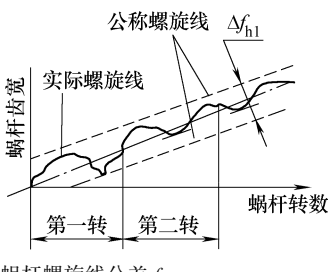
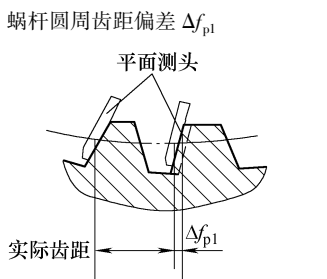
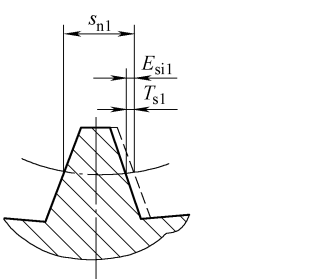
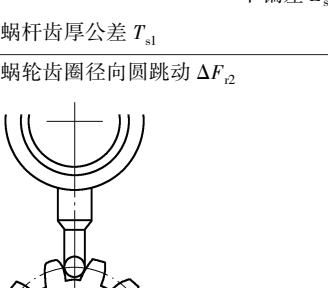
4.7.2 平面二次包络环面蜗杆、蜗轮精度 (摘自 GB/T 16445—1996)

本标准规定了平面二次包络环面蜗杆、蜗轮及其蜗杆副的误差定义、代号、精度等级、齿坯要求、检验与公差和图样标注。

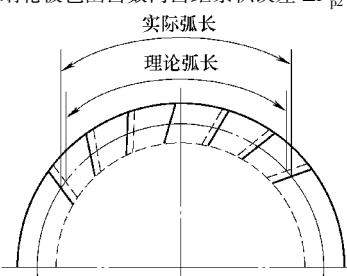
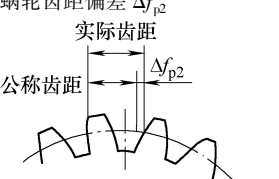
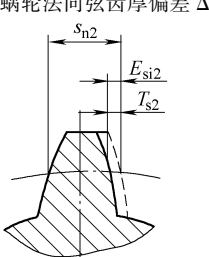
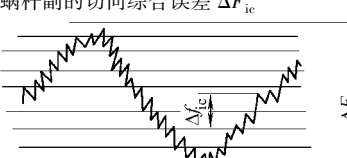
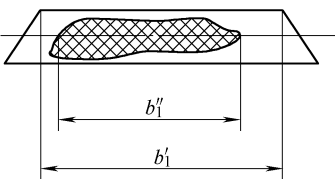
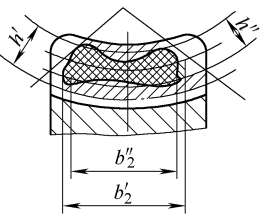
1) 定义及代号本标准适用于轴交角 $\Sigma = 90^\circ$, 中心距为 $0 \sim 1250\text{mm}$ 的平面二次包络环面蜗杆副。

蜗杆、蜗轮误差的定义及代号见表4.7-57。

表 4.7-57 平面二次包络环面蜗杆、蜗轮误差定义及代号

名称、术语	定 义	名称、术语	定 义
蜗杆圆周齿距累积误差 ΔF_{pl}  蜗杆圆周齿距累积公差 F_{pl}	用平面测头绕蜗轮轴线作圆弧测量时,在蜗杆有效螺纹长度内(不包含修缘部分),同侧齿面实际距离与公称距离之差的最大绝对值	蜗杆螺旋线误差 Δf_{hl}  蜗杆螺旋线公差 f_{hl}	在蜗杆轮齿的工作齿宽范围内(两端不完整齿部分除外),蜗杆分度圆环面上包容实际螺旋线的最近两条公称螺旋线间的法向距离
蜗杆圆周齿距偏差 Δf_{pl}  蜗杆圆周齿距极限偏差 上偏差 $+f_{pl}$ 下偏差 $-f_{pl}$	用平面测头绕蜗轮轴线作圆弧测量时,蜗杆相邻齿面间的实际距离与公称距离之差	蜗杆法向弦齿厚偏差 ΔE_{s1}  蜗杆法向弦齿厚极限偏差 上偏差 E_{ss1} 下偏差 E_{si1} 蜗杆齿厚公差 T_{s1}	蜗杆喉部法向截面上实际弦齿厚与公称弦齿厚之差
蜗杆分度误差 Δf_{z1} 蜗杆分度公差 f_{z1}	在垂直于蜗杆轴线的平面内,蜗杆每条螺纹的等分性误差。以喉平面上计算圆的弧长表示	蜗轮齿圈径向圆跳动 ΔF_{r2}  蜗轮齿圈径向圆跳动公差 F_{r2}	蜗轮齿槽相对蜗轮旋转轴线距离的变动量,在蜗轮中间平面上测量

(续)

名称、术语	定 义	名称、术语	定 义
蜗轮被包围齿数内齿距累积误差 ΔF_{p2}  蜗轮齿距累积公差 F_{p2}	在蜗轮计算圆上,被蜗杆包围齿数内,任意两个同名齿侧面实际弧长与公称弧长之差的最大绝对值	蜗杆副的中心距偏差 Δf_a 中心距极限偏差 上偏差 $+\Delta f_a$ 下偏差 $-\Delta f_a$	装配好的蜗杆副的实际中心距与公称中心距之差
蜗轮齿距偏差 Δf_{p2}  蜗轮齿距极限偏差 上偏差 $+f_{p2}$ 下偏差 $-f_{p2}$	在蜗轮计算圆上,实际齿距与公称齿距之差 用相对法测量时,公称齿距是指所有实际齿距的平均值	蜗杆和蜗轮的喉平面偏差 Δf_x 蜗杆喉平面极限偏差 上偏差 $+f_{x1}$ 下偏差 $-f_{x1}$ 蜗轮喉平面极限偏差 上偏差 $+f_{x1}$ 下偏差 $-f_{x1}$	在装配好的蜗杆副中,蜗杆和蜗轮的喉平面的实际位置与各自公称位置间的偏移量
蜗轮法向弦齿厚偏差 ΔE_{s2}  蜗轮法向弦齿厚极限偏差 上偏差 E_{ss2} 下偏差 E_{si2} 蜗轮齿厚公差 T_{s2}	蜗轮喉部法向截面上实际弦齿厚与公称弦齿厚之差	传动中蜗杆轴心线的歪斜度 Δf_y 轴心线歪斜公差 f_y	在装配好的蜗杆副中,蜗杆和蜗轮的轴心线相交角度之差。在蜗杆齿宽长度一半上以长度单位测量
蜗杆副的切向综合误差 ΔF_{ic}  蜗杆副的切向综合公差 F_{ic}	一对蜗杆副,在其标准位置正确啮合时,蜗轮旋转一周范围内,实际转角与理论转角之差的总幅度值,以蜗轮计算圆弧长计	接触斑点 蜗杆齿面接触斑点  蜗轮齿面接触斑点 	装配好的蜗杆副并经加载运转后,在蜗杆齿面与蜗轮齿面上分布的接触痕迹 接触斑点的大小按接触痕迹的百分比计算确定: 沿齿长方向,接触痕迹的长度与齿面理论长度之比的百分率。即: 蜗杆: $b''_1/b'_1 \times 100\%$ 蜗轮: $b''_2/b'_2 \times 100\%$ 沿齿高方向,蜗轮接触痕迹的平均高度 h'' 与工作高度 h' 之比的百分率。即: $h''/h' \times 100\%$
蜗杆副的一齿切向综合误差 Δf_{ic} 蜗杆副的一齿切向综合公差 f_{ic}	安装好的蜗杆副啮合转动时,在蜗轮一转范围内多次重复出现的周期性转角误差的最大幅度值,以蜗轮计算圆弧长计	蜗杆副的侧隙 j_t 圆周侧隙 法向侧隙 j_n	在安装好的蜗杆副中,蜗杆固定不动时,蜗轮从工作齿面接触到非工作齿面接触所转过的计算圆弧长 在安装好的蜗杆副中,蜗杆和蜗轮的工作齿面接触时,两非工作齿面间的最小距离

注:在计算蜗杆螺旋面理论长度 b'_1 时,应将不完整部分的出口和入口及入口处的修缘长度减去。

2) 精度等级。本标准根据使用要求,对蜗杆、蜗轮及蜗杆副规定了 6、7 及 8 三个精度等级。按公差特性对传动性能的主要保证作用,将蜗杆、蜗轮和蜗杆副的公差(或极限偏差)分成三个公差组:

第 I 公差组:蜗 杆: F_{p1}

蜗 轮: F_{p2}, F_{p2}

蜗杆副: F_i

第 II 公差组:蜗 杆: f_{p1}, f_{z1}, f_{h1}

蜗 轮: f_{p2}

蜗杆副: f_i

第 III 公差组:蜗 杆:—

蜗 轮:—

蜗杆副:接触斑点, f_a, f_{x1}, f_{x2}, f_y

3) 蜗杆、蜗轮及蜗杆副的检验:

蜗杆的检验: $T_{s1}, \Delta F_{p1}, f_{z1}$ (用于多头蜗杆) Δf_{h1}

蜗轮的检验: $T_{s2}, \Delta F_{p2}, \Delta f_{p2}, \Delta F_r$ (根据用户要求)。

蜗杆副的检验:对蜗杆副的接触斑点和齿侧的检验:当减速器整机出厂时,每台必须检测。若蜗杆副为成品

出厂时,允许按 10% ~ 30% 的比率进行抽检。但至少有一副进行对研检查(应使用 CT₁, CT₂ 专用涂料)。

对于蜗杆副的中心距偏差 f_a 、喉平面偏差 Δf_{x1} 和 Δf_{x2} 、轴线歪斜度 Δf_y 、一齿切向综合误差 Δf_{ic} , 当用户有特殊要求时检测;切向综合误差 ΔF_{ic} , 只在精度为 6 级, 用户又提出要求时,进行检测,其公差值及极限偏差值见表 4.7-58。

4) 蜗杆传动的侧隙规定。本标准根据用户使用要求将侧隙分为标准保证侧隙 j 和最小保证侧隙 j_{min} 。 j 为一般传动中应保证的侧隙。 j_{min} 用于要求侧隙尽可能小,而又不致卡死的场合。对特殊要求,允许在设计中具体确定。 j 与 j_{min} 与精度无关。具体数值见表 4.7-58。

蜗杆副的侧隙由蜗杆法向弦齿厚的减薄量来保证,即上偏差为 $E_{ss1} = j \cos \alpha$ (或 $j_{min} \cos \alpha$), 公差为 T_{s1} ; 蜗轮蜗轮法向弦齿厚的上偏差 $E_{ss2} = 0$, 下偏差即为公差 $E_{ss2} = T_{s2}$ 。蜗杆、蜗轮齿圈坯尺寸和形状公差见表 4.7-59。

表 4.7-58 蜗杆、蜗轮及蜗杆副极限偏差和公差

(μm)

名 称		代号	中 心 距/mm											
			≥80 ~ 160			160 ~ 315			315 ~ 630			630 ~ 1250		
			精 度 等 级											
			6	7	8	6	7	8	6	7	8	6	7	8
蜗杆圆周齿距累积公差		F_{p1}	20	30	40	30	40	50	40	60	70	75	90	110
蜗杆圆周齿距极限偏差		$\pm f_{p1}$	± 10	± 15	± 20	± 14	± 20	± 25	± 20	± 30	± 35	± 30	± 40	± 45
蜗杆分度公差	$z_2/z_1 \neq$ 整数	f_{z1}	10	15	20	14	20	25	20	30	35	30	40	45
	$z_2/z_1 =$ 整数		25	37	50	35	50	62	50	75	87	75	100	112
蜗杆螺旋线误差的公差		f_{h1}	28	40	—	36	50	—	45	63	—	63	90	—
蜗杆法向弦	双向回转	T_{s1}	35	50	75	60	100	150	90	140	200	140	200	250
齿厚公差	单向回转		70	100	150	120	200	300	180	280	400	280	350	450
蜗轮齿圈径向跳动公差		F_{r2}	15	20	30	20	30	40	25	40	60	35	55	80
蜗轮齿距累积公差		F_{p2}	15	20	25	20	30	45	25	40	60	40	60	80
蜗轮齿距极限偏差		$\pm f_{p2}$	± 13	± 18	± 25	± 18	± 25	± 36	± 20	± 28	± 40	± 26	± 36	± 50
蜗轮法向弦齿厚公差		T_{s2}	75	100	150	100	150	200	150	200	280	220	300	400
蜗杆副的切向综合公差		F_{iz}	63	90	125	80	112	160	100	140	200	140	200	280
蜗杆副的一齿切向综合公差		f_{iz}	40	63	80	60	75	110	70	100	140	100	140	200
中心距极限偏差		$\pm f_a$	+20 -10	+25 -15	+60 -30	+30 -20	+50 -30	+100 -50	+45 -25	+75 -45	+120 -75	+65 -35	+100 -60	+150 -100
蜗杆喉平面极限偏差		$\pm f_{x1}$	± 15	± 20	± 25	± 25	± 40	± 50	± 40	± 50	± 80	± 65	± 90	± 120
蜗轮喉平面极限偏差		$\pm f_{x2}$	± 30	± 50	± 75	± 60	± 100	± 150	± 100	± 150	± 220	± 150	± 200	± 300
轴线歪斜度公差		f_y	15	20	30	20	30	45	25	45	65	40	60	80
蜗杆齿面接触斑点(%)			在工作齿面上不小于 85(6 级), 80(7 级), 70(8 级) 工作面入口可接触较重, 两端修缘部分不应接触											
蜗轮齿面接触斑点(%)			在理论接触区上按高度不小于 85(6 级), 80(7 级), 70(8 级); 按宽度不小于 80(6 级), 70(7 级), 60(8 级)											
圆周侧隙	最小保证侧隙	$j_{\min}$	95			130			190			250		
	标准保证侧隙		250			380			530			750		

表 4. 7-59 蜗杆、蜗轮齿圈坯尺寸和形状公差 (μm)

名 称	代号	中 心 距 /mm											
		≥80 ~ 160			≥160 ~ 315			≥315 ~ 630			≥630 ~ 1250		
		精 度 等 级											
		6	7	8	6	7	8	6	7	8	6	7	8
蜗杆喉部外圆直径公差	t_1	h7	h8	h9	h7	h8	h9	h7	h8	h9	h7	h8	h9
蜗杆喉部径向圆跳动公差	t_2	12	15	20	15	20	35	20	27	40	25	35	50
蜗杆两基准端面圆跳动公差	t_3	12	15	20	17	20	25	22	25	30	27	30	35
蜗杆喉平面至基准面的圆跳动公差	t_4	± 50	± 75	± 100	± 75	± 100	± 130	± 100	± 130	± 180	± 130	± 180	± 200
蜗轮基准端面圆跳动公差	t_5	30	20	30	20	30	40	30	45	60	40	60	80
蜗轮齿坯外圆径与轴孔的同轴度公差	t_6	15	20	30	20	35	50	25	40	60	40	60	80
蜗轮喉部直径公差	t_7	h7	h8	h9	h7	h8	h9	h7	h8	h9	h7	h8	h9

第 8 章 减速器与无级变速器

1 一般减速器设计资料

1.1 常用减速器的类型、特点和应用

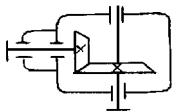
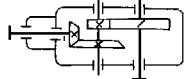
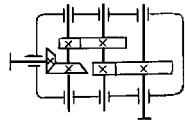
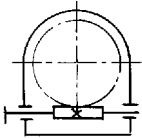
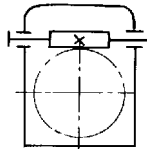
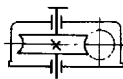
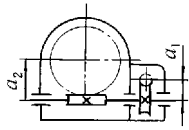
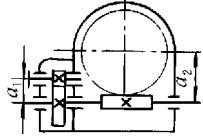
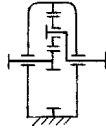
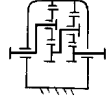
减速器是原动机和工作机之间的独立的闭式传动装置，用来降低转速和增大转矩，以满足工作需要。在某些场合也用来增速，称为增速器。

减速器的种类很多，按照传动类型可分为齿轮减速器、蜗杆减速器和行星减速器以及它们互相组合起来的减速器；按照传动的级数可分为单级和多级减速器；按照齿轮形状可分为圆柱齿轮减速器、圆锥齿轮减速器和圆锥-圆柱齿轮减速器；按照传动的布置形式又可分为展开式、分流式和同轴式减速器。常用的减速器型式及其特点和应用见表 4.8-1。

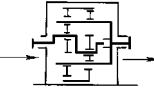
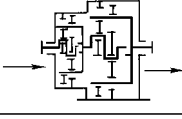
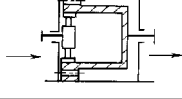
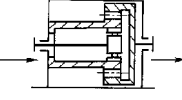
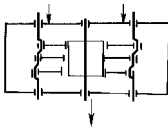
表 4.8-1 常用减速器的型式及特点和应用

名 称	运动简图	推荐传动比	特点和应用
单级圆柱齿轮减速器		$i \leq 8 \sim 10$	轮齿可做成直齿、斜齿和人字齿。直齿用于速度较低 ($v \leq 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、载荷较轻的传动；斜齿轮用于速度较高的传动，人字齿轮用于载荷较重的传动中，箱体通常用铸铁做成，单件或小批生产有时采用焊接结构。轴承一般采用滚动轴承，重载或特别高速时采用滑动轴承。其他型式的减速器与此类同
两级圆柱齿轮减速器	展开式	$i = i_1 i_2$ $i = 8 \sim 60$	结构简单，但齿轮相对于轴承的位置不对称，因此要求轴有较大的刚度。高速级齿轮布置在远离转矩输入端，这样，轴在转矩作用下产生的扭转变形和轴在弯矩作用下产生的弯曲变形可部分地互相抵消，以减缓沿齿宽载荷分布不均匀的现象。用于载荷比较平稳的场合。高速级一般做成斜齿，低速级可做成直齿
	分流式	$i = i_1 i_2$ $i = 8 \sim 60$	结构复杂，但由于齿轮相对于轴承对称布置，与展开式相比载荷沿齿宽分布均匀、轴承受载较均匀。中间轴危险截面上的转矩只相当于轴所传递转矩的一半。适用于变载荷的场合。高速级一般用斜齿，低速级可用直齿或人字齿
	同轴式	$i = i_1 i_2$ $i = 8 \sim 60$	减速器横向尺寸较小，两对齿轮浸入油中深度大致相同。但轴向尺寸和重量较大、且中间轴较长、刚度差，使沿齿宽载荷分布不均匀。高速轴的承载能力难于充分利用
两级圆柱齿轮减速器	同轴分流式	$i = i_1 i_2$ $i = 8 \sim 60$	每对啮合齿轮仅传递全部载荷的一半，输入轴和输出轴只承受转矩，中间轴只受全部载荷的一半，故与传递同样功率的其他减速器相比，轴颈尺寸可以缩小
三级圆柱齿轮减速器	展开式	$i = i_1 i_2 i_3$ $i = 40 \sim 400$	同两级展开式
	分流式	$i = i_1 i_2 i_3$ $i = 40 \sim 400$	同两级分流式

(续)

名 称		运动简图	推荐传动比	特点及应用
单级圆锥齿轮减速器			$i = 8 \sim 10$	轮齿可做成直齿、斜齿或曲线齿。用于两轴垂直相交的传动中，也可用于两轴垂直相错的传动中。由于制造安装复杂、成本高，所以仅在传动布置需要时才采用
两级圆锥-圆柱齿轮减速器			$i = i_1 i_2$ 直齿圆锥齿轮 $i = 8 \sim 22$ 斜齿或曲线齿圆锥齿轮 $i = 8 \sim 40$	特点同单级圆锥齿轮减速器，圆锥齿轮应在高速级，以使圆锥齿轮尺寸不致太大，否则加工困难
三级圆锥-圆柱齿轮减速器			$i = i_1 i_2 i_3$ $i = 25 \sim 75$	同两级圆锥-圆柱齿轮减速器
单级蜗杆减速器	蜗杆下置式		$i = 10 \sim 80$	蜗杆在蜗轮下方啮合处的冷却和润滑都较好，蜗杆轴承润滑也方便，但当蜗杆圆周速度高时，搅油损失大，一般用于蜗杆圆周速度 $v < 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的场合
	蜗杆上置式		$i = 10 \sim 80$	蜗杆在蜗轮上方，蜗杆的圆周速度可高些，但蜗杆轴承润滑不太方便
			$i = 10 \sim 80$	蜗杆在蜗轮侧面，蜗轮轴垂直布置，一般用于水平旋转机构的传动
两级蜗杆减速器			$i = i_1 i_2$ $i = 43 \sim 3600$	传动比大，结构紧凑，但效率低，为使高速级和低速级传动浸油深度大致相等，可取 $a_1 \approx \frac{a_2}{2}$
两级齿轮-蜗杆减速器			$i = i_1 i_2$ $i = 15 \sim 480$	有齿轮传动在高速级和蜗杆传动在高速级两种形式。前者结构紧凑，而后者传动效率高
行星齿轮减速器	单级 NGW		$i = 2.8 \sim 12.5$	与普通圆柱齿轮减速器相比，尺寸小，重量轻，但制造精度要求较高，结构较复杂，在要求结构紧凑的动力传动中应用广泛
	两级 NGW		$i = i_1 i_2$ $i = 14 \sim 160$	同单级 NGW 型

(续)

名 称		运动简图	推荐传动比	特点及应用
摆线针轮减速器	单级		$i = 11 \sim 87$	传动比大；传动效率较高；结构紧凑，相对体积小，重量轻；适用于中、小功率，适用性广，运转平稳，噪声低。结构复杂，制造精度要求较高，广泛用于动力传动中
	两级		$i = 121 \sim 7569$	
谐波齿轮减速器	单级		$i = 50 \sim 500$ 刚轮固定	传动比大，范围宽；在相同条件下可比一般齿轮减速器的元件少一半，体积和重量可减少 20% ~ 50%；承载能力大；运动精度高；可采用调整波发生器达到无侧隙啮合；运转平稳；噪声低；可通过密封壁传递运动；传动效率高且传动比大时，效率并不显著下降。主要零件柔轮的制造工艺较复杂。主要用于小功率、大传动比或仪表及控制系统中
			$i = 50 \sim 500$ 柔轮固定	
三环减速器	单级或组合多级		单级 $i = 11 \sim 99$ 两级 $i_{\max} = 9801$	结构紧凑、体积小、质量轻；传动比大；效率高，单级为 92% ~ 98%；噪声低，过载能力强。承载能力高，输出转矩高达 400kN · m。不用输出机构，轴承直径不受空间限制。使用寿命长。零件种类少，齿轮精度要求不高，无特殊材料，且不采用特殊加工方法就能制造，造价低、适应性广、派生系列多

1.2 减速器的基本参数

1.2.1 圆柱齿轮减速器的基本参数

(1) 中心距（见表 4.8-2 ~ 表 4.8-4，摘自 JB/T 9050.4—2006）

表 4.8-2 一级减速器和二级同轴线式减速器的中心距 a (mm)

系列 1	63	—	71	—	80	—	90	—	100	—	112	—	125	—
系列 2	—	67	—	75	—	85	—	95	—	106	—	118	—	132
系列 1	140	—	160	—	180	—	200	—	224	—	250	—	280	—
系列 2	—	150	—	170	—	190	—	212	—	236	—	265	—	300
系列 1	315	—	355	—	400	—	450	—	500	—	560	—	630	—
系列 2	—	335	—	375	—	425	—	475	—	530	—	600	—	670
系列 1	710	—	800	—	900	—	1000	—	1120	—	1250	—	1400	—
系列 2	—	750	—	850	—	950	—	1060	—	1180	—	1320	—	1500

注：1. 优先选用系列 1。

2. 当表中数值不够选用时，允许系列 1 按 R20、系列 2 按 R40 优先数系延伸。

表 4.8-3 二级减速器的总中心距 a 与高、低速级中心距 a_1 、 a_2 (mm)

系列 1	a_2	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355
	a_1	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250
	a	171	192	215	240	272	305	340	384	430	480	539	605
系列 2	a_2	106	118	132	150	170	190	212	236	265	300	335	375
	a_1	75	85	95	106	118	132	150	170	190	212	236	265
	a	181	203	227	256	288	322	362	406	455	512	571	640
系列 1	a_2	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400
	a_1	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
	a	680	765	855	960	1080	1210	1360	1530	1710	1920	2150	2400
系列 2	a_2	425	475	530	600	670	750	850	950	1060	1180	1320	
	a_1	300	353	375	425	475	530	600	670	750	850	950	
	a	725	810	905	1025	1145	1280	1450	1620	1810	2030	2270	

表 4.8-4 三级减速器的总中心距 a 与高、中、低速级中心距 a_1 、 a_2 、 a_3 (mm)

系列 1	a_3	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450
	a_2	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315
	a_1	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224
	a	311	352	395	440	496	555	620	699	785	880	989
系列 2	a_3	150	170	190	212	236	265	300	335	275	425	475
	a_2	106	118	132	150	170	190	212	236	265	300	335
	a_1	75	85	95	106	118	132	150	170	190	212	236
	a	331	373	417	468	524	587	662	741	830	937	1046
系列 1	a_3	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	
	a_2	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	
	a_1	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	
	a	1105	1240	1395	1565	1760	1980	2210	2480	2780	3110	
系列 2	a_3	530	600	670	750	850	950	1060	1180	1320		
	a_2	375	425	475	530	600	670	750	850	950		
	a_1	265	300	335	375	425	475	530	600	670		
	a	1170	1325	1480	1655	1875	2095	2340	2630	2940		

(2) 传动比 (见表 4.8-5 ~ 表 4.8-7, 摘自 JB/T 9050.4—2006)

表 4.8-5 一级减速器公称传动比 i

1.25	1.4	1.6	1.8	2	2.24	2.5	2.8
3.15	3.55	4	4.5	5	5.6	6.3	7.1

表 4.8-6 二级减速器的公称传动比 i

6.3	7.1	8	9	10	11.2	12.5	14	16	18
20	22.4	25	28	31.5	35.5	40	45	50	56

表 4.8-7 三级减速器的公称传动比 i

22.4	25	28	31.5	35.5	40	45	50	56	63	71	80
90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315

减速器的实际传动比相对公称传动比的允许相对偏差 Δi , 一般减速器 $|\Delta i| \leq 3\%$, 两级减速器 $|\Delta i| \leq 4\%$, 三级减速器 $|\Delta i| \leq 5\%$ 。

(3) 齿宽系数 (见表 4.8-8)

表 4.8-8 减速器的齿轮齿宽系数 φ_a

0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6
-----	------	-----	------	-----	------	-----	-----

注: $\varphi_a = \frac{b}{a}$; a —本齿轮副传动中心距; b —工作齿宽, 对于人字齿轮 (双斜齿轮) 为一个斜齿轮的工作齿宽。

1.2.2 圆柱蜗杆减速器的基本参数

(1) 圆柱蜗杆减速器中心距系列标准 (见表 4.8-9)

(2) 圆柱蜗杆减速器传动比系列标准 (见表

4.8-10)

圆柱齿轮减速器和圆柱蜗杆减速器的输入和输出轴中心线高度应按 GB12217—2005 《机器轴高》选取;

表 4.8-9 中心距 a (摘自 GB10085—1988)

40	50	63	80	100	125	160	(180)	200
(225)	250	(260)	315	(355)	400	(450)	500	

注: 1. 大于 500mm 的中心距可按优先数系 R20 的优先数选用。

2. 括号中的数字尽可能不采用。

表 4.8-10 传动比 i (摘自 GB10085—1988)

5	7.5	10	12.5	15	20	25	30	40	50	60	70	80
---	-----	----	------	----	----	----	----	----	----	----	----	----

注: 10; 20; 40 和 80 为基本传动比, 应优先采用。

圆柱齿轮减速器和圆柱蜗杆减速器的输入和输出轴轴伸尺寸应符合 GB1569—2005 《圆柱形轴伸》与 GB1570—2005 《圆锥形轴伸》。

1.3 减速器传动比的分配

在设计两级或多级减速器时, 合理地将传动比分配到各级非常重要。因它直接影响减速器的尺寸、重量、润滑方式和维护等。

分配传动比的基本原则是:

- 1) 使各级传动的承载能力接近相等 (一般指齿面接触强度)。
- 2) 使各级传动的大齿轮浸入油中的深度大致相等, 以使润滑简便。

3) 使减速器获得最小的外形尺寸和重量。

(1) 两级圆柱齿轮减速器 按齿面接触强度相等及较有利的润滑条件, 可按下面关系分配传动比, 高速级的传动比 i_1 为

$$i_1 = \frac{i - c \sqrt[3]{i}}{c \sqrt[3]{i-1}} \quad (4.8-1)$$

$$c = \frac{a_2}{a_1} \sqrt[3]{\left(\frac{\sigma_{HP1}}{\sigma_{HP2}}\right)^2 \frac{\varphi_{a2}}{\varphi_{a1}}} \quad (4.8-2)$$

式中 i ——总传动比;

a_1 、 a_2 ——高速级、低速级齿轮传动的中心距;

σ_{HP1} 、 σ_{HP2} ——高速级、低速级齿轮的接触疲劳许用应力;

φ_{a1} 、 φ_{a2} ——高速级、低速级齿轮的齿宽系数。

当高速级和低速级齿轮的材料和热处理条件相同时, 传动比的分配可按图 4.8-1 进行。

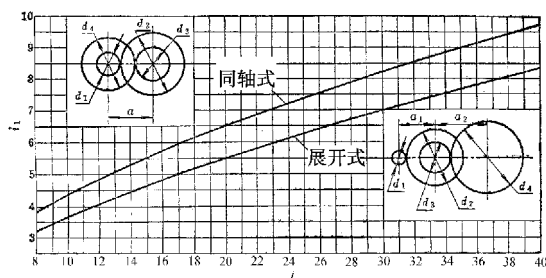


图 4.8-1 两级圆柱齿轮减速器传动比分配线图

两级卧式圆柱齿轮减速器, 按高速级和低速级的大齿轮浸入油中的深度大致相等的原则, 传动比的分配, 可按下述经验数据和经验公式进行:

对于展开式和分流式减速器, 由于中心距 $a_2 > a_1$, 所以常使 $i_1 > i_2$ 。

对于同轴式减速器, 由于 $a_1 = a_2$, 应使 $i_1 \approx i_2$, 或按下式计算, 使浸油深度相等

$$i_1 = \sqrt{i} - (0.01 \sim 0.05)i$$

也可近似地按图 4.8-2 进行传动比分配。为达到等强度要求, 应取 $\varphi_{a2} > \varphi_{a1}$ 。

(2) 两级圆锥—圆柱齿轮减速器 对这种减速器的传动比进行分配时, 要尽量避免圆锥齿轮尺寸过大、制造困难, 因而高速级圆锥齿轮的传动比 i_1 不宜太大, 通常取 $i_1 \approx 0.25i$, 最好使 $i_1 \leq 3$ 。当要求两级传动大齿轮的浸油深度大致相等时, 也可取 $i_1 = 3.5 \sim 4$ 。

(3) 三级圆柱和圆锥—圆柱齿轮减速器 按各级齿轮齿面接触强度相等, 并能获得较小的外形尺寸和重量的原则, 三级圆柱齿轮减速器的传动比分配可按图 4.8-3 进行, 三级圆锥—圆柱齿轮减速器的

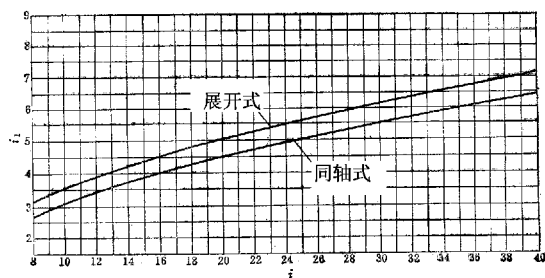


图 4.8-2 两级圆柱齿轮减速器按大轮浸油深度相近传动比分配线图

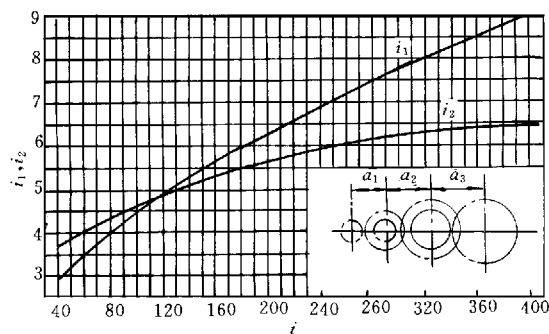


图 4.8-3 三级圆柱齿轮减速器传动比分配线图

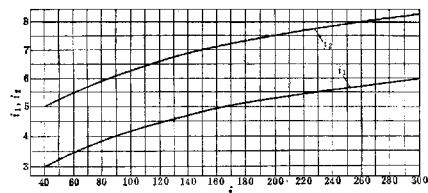


图 4.8-4 三级锥齿轮—圆柱齿轮减速器传动比分配线图

传动比分配可按图 4.8-4 进行。

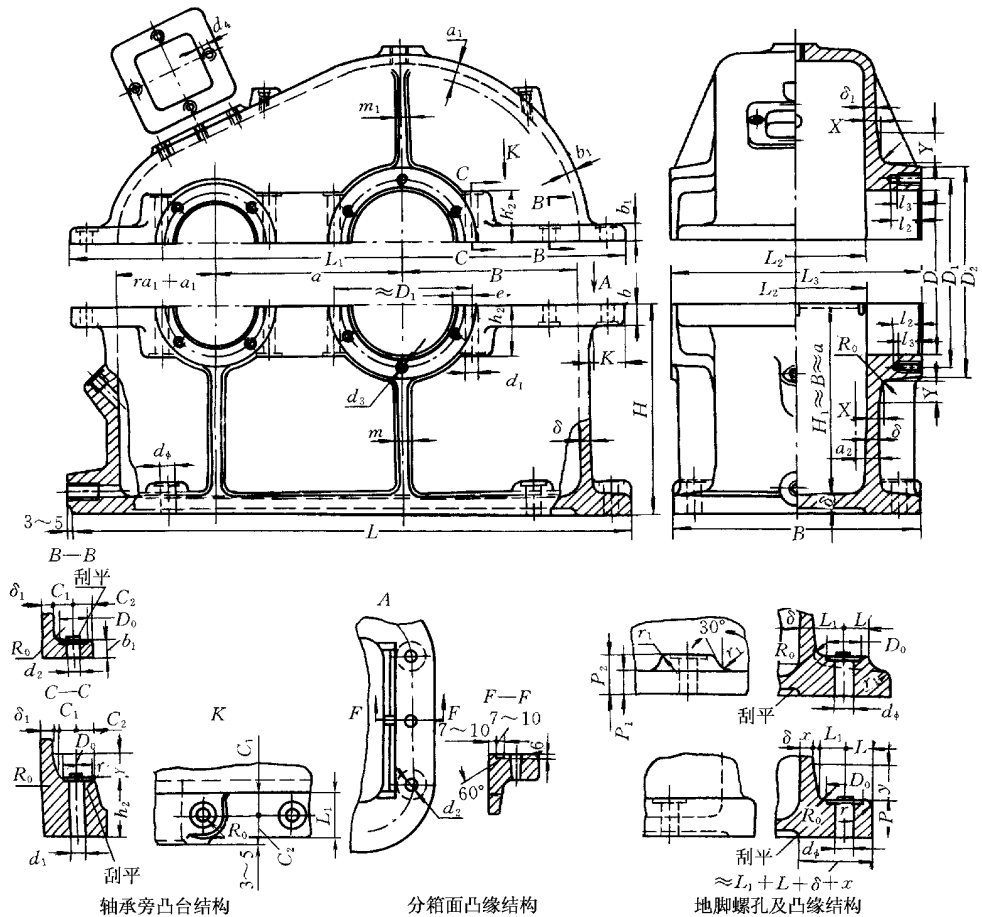
(4) 两级蜗杆减速器 这类减速器, 为满足 $a_1 \approx a_2/2$ 的要求, 使高速级和低速级传动浸油深度大致相等, 通常取 $i_1 = i_2 = \sqrt{i}$ 。

(5) 两级齿轮—蜗杆和蜗杆—齿轮减速器 这类减速器, 当齿轮传动布置在高速级时, 为使箱体结构紧凑和便于润滑, 通常取齿轮传动比 $i_1 \leq 2 \sim 2.5$ 。而当蜗杆布置在高速级时, 可使传动有较高的效率, 这时齿轮传动的传动比 $i_2 = (0.03 \sim 0.06)i$ 为宜。

1.4 齿轮、蜗杆减速器箱体结构尺寸 (见表 4.8-11、表 4.8-12 和图 4.8-5)

表 4.8-11 齿轮减速器箱体结构尺寸

(mm)



符 号	名 称	尺 寸
δ	单级减速器底座壁厚及肋厚	$\delta = 0.025a^{①} + 3 \geq 8$ 用于软齿面 $\delta = 0.03a + 3 \geq 8$ 用于硬齿面
δ_1	单级减速器箱盖壁厚及肋厚	$\delta = 0.02a + 3 \geq 8$ 用于软齿面 $\delta_1 = 0.025a + 3 \geq 8$ 用于硬齿面
δ	两、三级减速器底座壁厚及肋厚	$\delta = 0.025a + 5 \geq 8$ 用于软齿面 $\delta = 0.03a + 5 \geq 8$ 用于硬齿面
δ_1	两、三级减速器箱盖壁厚及肋厚	$\delta_1 = 0.02a + 5 \geq 8$ 用于软齿面 $\delta_1 = 0.025a + 5 \geq 8$ 用于硬齿面
b	底座上部凸缘厚度	$b = 1.5\delta$
b_1	箱盖凸缘厚度	$b_1 = 1.5\delta_1$
P	底座下部凸缘厚度	$P = 2.35\delta$ 无凸起承托面
P_2, P_1	底座下部凸缘厚度	$P_2 = (2.25 \sim 2.75) \delta$ $P_1 = 1.5\delta_1$ 有凸起承托面
m	底座加强肋厚度	$m = 0.85\delta$
m_1	箱盖加强肋厚度	$m_1 = 0.85\delta_1$
d_ϕ	地脚螺栓直径	见表 4.8-13
d_1	轴承旁连接螺栓直径	$d_1 = 0.75d_\phi$

(续)

符 号	名 称	尺 寸
d_2	底座与箱盖连接螺栓直径	$d_2 = (0.5 \sim 0.6) d_\phi$
d_3	轴承盖固定螺栓直径	见表 4.8-16
d_4	视孔盖固定螺栓直径	$d_4 = (0.3 \sim 0.4) d_p$
C_1	箱壳外壁至螺栓 (d_1 及 d_2) 中心线间的距离	$C_1 = 1.2d + (5 \sim 8)^{(2)}$
K	分箱面凸缘宽度 (无凸起承托面)	$K = C_1 + C_2^{(2)}$
R_δ r_1 R_0 r	凸起承托面圆弧半径 凸缘与凸起处圆角半径	$R_\delta = C_2$ $r_1 \approx 0.2C_2$ $R_0^{(2)}$ $r^{(2)}$
l_2	螺栓孔的钻孔深度	见表 3.1-40
l_3	内螺纹的攻螺纹深度	
e	轴承镗孔边至螺栓 d_1 中心线距离	$e \approx (1 \sim 1.2) d_1$ 尺寸 e 用作图法检查, 应保证 d_1 与 d_3 的中心线不相交
l_1	轴承座凸出部分宽度	$l_1 = C_1 + C_2 + (3 \sim 5)$ 按结构准确确定。应满足 $l > K$
D_1	轴承盖螺钉分布圆直径	$D_1 = D + 2.5d_3$ D 为轴承座镗孔直径
D_2	轴承座凸出部分端面直径	$D_2 = D_1 + 2.5d_3$
d_p	环首螺钉直径	$d_p = 0.8d_\phi$ 或按减速器重量确定
a_1	齿轮圆与箱壳内壁间最小间隙	$a_{1\min} = 1.2\delta$
a_2	齿轮端面与箱壳内壁间最小间隙	$a_{2\min} = \delta$
n	地脚螺栓数目	$n = \frac{L+B}{200 \sim 300}$ L 、 B 为底座的长度和宽度
X, Y	相连接部分尺寸	
D_0	镗孔直径 ^③	
L_1, L	地脚螺栓孔和凸缘尺寸 ^③	

① a —对圆柱齿轮传动, 为低速级中心距; 对圆锥齿轮传动, 为大小齿轮平均节圆半径之和。

② 轴承旁凸台和上、下箱凸缘配置尺寸。

(mm)

符号	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20	M22	M24	M27	M30
$C_{1\min}$	12	15	18	22	24	26	30	32	36	40	42
$C_{2\min}$	10	13	4	18	20	21	26	28	30	34	36
D_0	13	18	22	26	30	33	40	43	48	53	61
$R_{0\max}$	5	5	5	5	8	8	8	8	10	10	10
$r_{\max}$	3	3	4	4	5	5	5	5	8	8	8

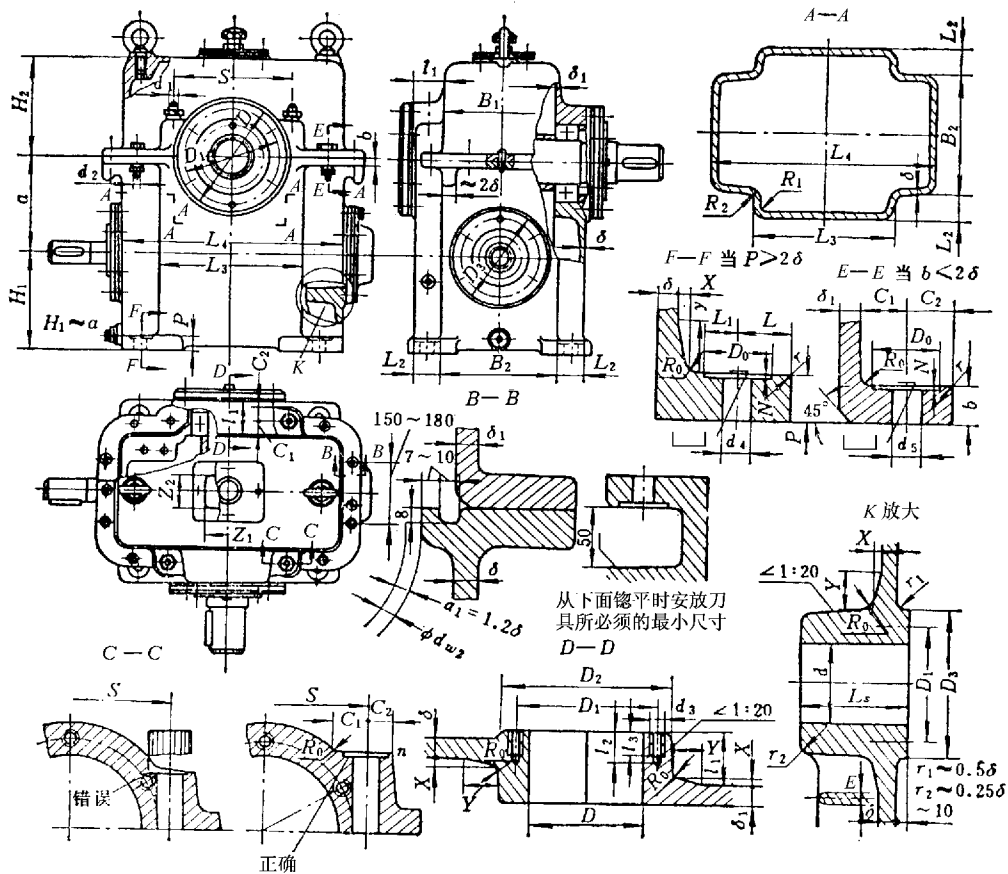
③ 地脚螺栓孔凸缘配置尺寸。

(mm)

符号	M14	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36	M42	M48	M56
$L_{1\min}$	22	25	30	35	42	50	55	60	70	95	
$L_{2\min}$	22	23	25	32	40	50	55	60	70	95	
D_0	42	45	48	60	70	85	100	110	130	170	

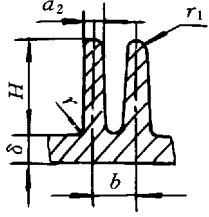
表 4.8-12 蜗杆减速器箱体结构尺寸

(mm)

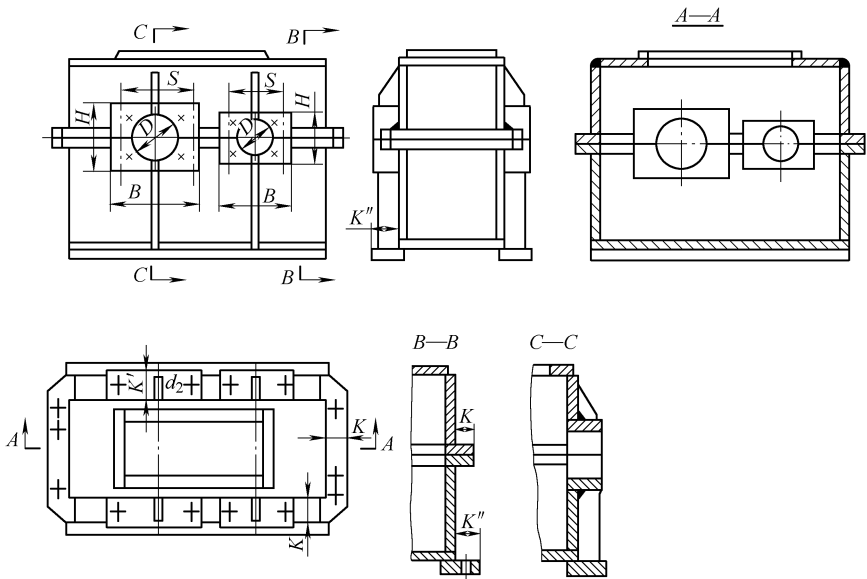


符 号	名 称	尺 寸
a C_1, C_2, R_0, r δ	中心距 螺栓孔承托面处尺寸 ^① 底座壁厚	由计算确定 $\delta = 0.04a + (2 \sim 3) \geq 8$
δ_1	箱盖壁厚 蜗杆上置式蜗轮传动 蜗杆下置式蜗轮传动	$\delta_1 = (0.8 \sim 0.85) \delta \geq 8$ $\delta_1 = \delta$
b P m d_ϕ	底座上部和箱盖凸缘厚度 底座下部凸缘厚度 加强肋厚度 地脚螺栓直径	$b = (1.5 \sim 1.75) \delta$ $P = (2.25 \sim 2.75) \delta$ $m = (0.8 \sim 0.85) \delta$ $d_\phi = (1.5 \sim 2) \delta$ d_ϕ 应用计算方法检查
d_1 d_2	固定箱盖和底座用 轴承螺栓直径 螺栓直径	$d_1 = 0.75d_\phi$ $d_2 = 0.75d_1$
d_5, d_4 D_0 N D d_3 D_1 D_2, D_3 d_{w2} S B_1, B_2 L_2, L_3 L_4 L_5	箱壳凸缘螺栓孔直径 镗孔直径 镗孔深度 轴承外径 轴承盖固定螺钉直径 轴承盖固定螺钉中心分布圆直径 D_2 —同侧轴承座凸缘外径 D_3 —当有衬套时两侧轴承座凸缘外径 蜗轮最大直径 轴承螺栓中心线间距离 减速器箱盖和底座宽度 底座凸出部分尺寸 底座长度 衬套长度	参阅一般资料 镗平为止 按标准选定 根据轴承座孔直径选定 $D_1 = D + 2.5d_3$ $D_2 = D_1 + 2.5d_3$ $D_3 = D_2 + 2s$ 衬套厚 $s = 8 \sim 12\text{mm}$ $d_{w2} = d_{a2} + m_t$ $S \approx D_2$ $B_1, B_2 \approx D_3 + (15 \sim 20)$ $L_2 = t_1 - 10, L_3 \approx S + 2C_2 + (5 \sim 7)$ $L_4 \geq d_{m2} + 4.5\delta + (30 \sim 40)$ 根据轴承尺寸及结构要求确定

(续)

符 号	名 称					尺 寸					
l_1	轴承座伸出部分长度					$l_1 \geq C_1 + C_2 + f; f = 10 \sim 12$					
l_2	螺纹孔的钻孔深度										
l_3	内螺纹攻螺纹长度										
R_1, R_2	箱壁圆角半径					按标准取 $R_1, R_2 = R_1 + \delta$					
X, Y	相连部分尺寸										
H_2	箱盖高度					$H_2 \geq \frac{d_{w2}}{2} + \delta_1 + (10 \sim 15)$					
Z_1, Z_2	检查孔尺寸					参阅标准减速器部分或按结构确定					
a_1	蜗轮最大直径与箱壳内壁间的间隙					$a_1 = (15 \sim 30)$ 或 $a_1 \approx 1.2\delta$					
L_1, L	地脚螺栓孔和凸缘尺寸										
地脚螺栓直径	M14	M16	M20	M22, M24	M27	M30	M36	M42	M48	M56	
L_1	22	25	30	35	42	50	55	60	70	95	
L	22	23	25	32	40	50	55	60	70	95	
说 明	表中所列尺寸关系同样适合于带有散热片的蜗杆减速器。散热片的尺寸按下列经验公式确定										
	$H = (4 \sim 5) \delta$										
	$a_2 = \delta$										
	$r = 0.5\delta$										
	$r_1 = 0.25\delta$										
	$b = 2\delta$										

① 见第 3 篇第 1 章螺纹与螺纹连接。



箱壁厚度约为铸造箱体的 0.7 倍左右
 $H = D + (5 \sim 5.5) d_3$
 $B = S + 2C_2$
 d_3 —轴承端盖螺钉直径
 K, K', K'' 按相应螺栓的扳手空间, 由 $(C_1 + C_2)$ 确定, C_1, C_2 见第 3 篇第 1 章螺纹与螺纹连接

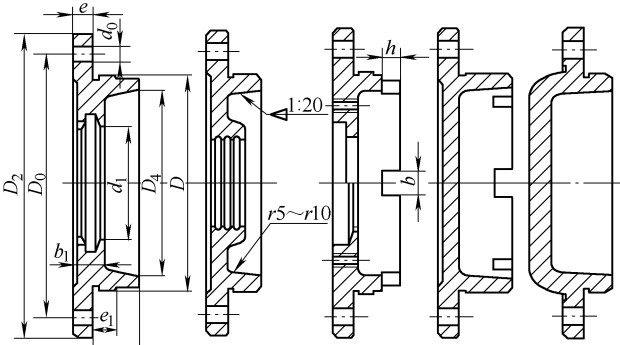
图 4.8-5 剖分式焊接箱体结构

1.5 减速器附件及其结构尺寸（见表 4.8-13 ~ 表 4.8-23）

表 4.8-13 地脚螺栓直径 d_ϕ 与数目

单级减速器			二级减速器			三级减速器		
a	d_ϕ	螺栓数目	$a_1 + a_2$	d_ϕ	螺栓数目	$a_1 + a_2 + a_3$	d_ϕ	螺栓数目
mm			mm			mm		
≤ 100	12	4	≤ 350	16	6	≤ 500	20	8
≤ 150	14		≤ 400	20		≤ 650	24	
≤ 200	16		≤ 600	24		≤ 950	30	
≤ 250	20		≤ 750	30		≤ 1250	36	
≤ 350	24		≤ 1000	36		≤ 1650	42	
≤ 450	30		≤ 1300	42		≤ 2150	48	
≤ 600	36							

表 4.8-14 螺栓连接式轴承盖 (mm)

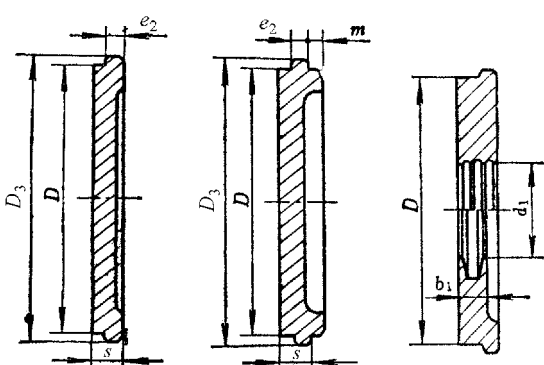


$d_0 = d_3 + 1\text{mm}$, d_3 —端盖连接螺栓直径, 尺寸见右表
 $D_0 = D + 2.5d_3$
 $D_2 = D_0 + 2.5d_3$
 $e = 1.2d_3$
 $e_1 \geq e$
 m 由结构确定
 $D_4 = D - (10 \sim 15)\text{mm}$
 b_1 、 d_1 由密封尺寸确定
 $b = 5 \sim 10\text{mm}$
 $h = (0.8 \sim 1) b$

轴承外径 D	螺栓 直径 d_3	端盖上 螺栓数目
45 ~ 65	8	4
70 ~ 100	10	4
110 ~ 140	12	6
150 ~ 230	16	6

材料: HT150

表 4.8-15 嵌入式轴承盖



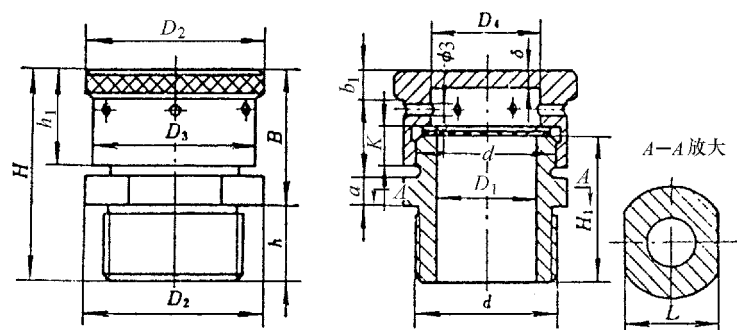
$e_2 = 5 \sim 10\text{mm}$
 $s = 10 \sim 15\text{mm}$
 m 由结构确定
 $D_3 = D + e_2$, 装有 O 形圈的, 按 O 形圈外径取整
 D_5 、 d_1 、 b_1 等由密封尺寸确定
 H 、 B 按 O 形圈沟槽尺寸确定
 $e_3 = 7 \sim 12\text{mm}$
材料: HT150

表 4.8-16 轴承盖固定螺栓直径

轴承座孔的直径/mm	螺栓直径 d_3 /mm	轴承盖上螺钉数目
45 ~ 65	8	4
70 ~ 100	10	4
110 ~ 140	12	6
150 ~ 230	16	6
230 以上	20	8

表 4.8-17 通气帽

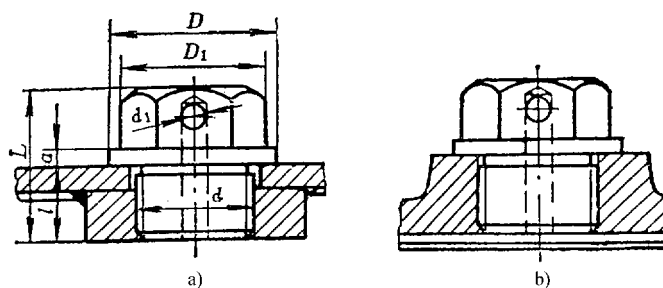
(mm)



d	D_1	B	h	H	D_2	H_1	a	δ	K	h_1	b_1	D_3	D_4	L	孔数
M27 × 1.5	15	≈30	15	≈45	36	32	6	4	10	22	6	32	18	32	6
M36 × 2	20	≈40	20	≈60	48	42	8	4	12	29	8	42	24	41	6
M48 × 3	30	≈45	25	≈70	62	52	10	5	15	32	10	56	36	55	8

表 4.8-18 通气塞

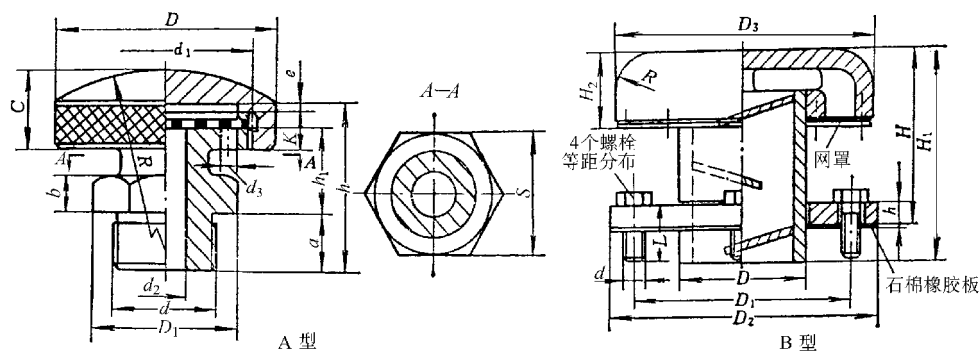
(mm)



d	D	D_1	L	l	a	d_1	d	D	D_1	L	l	a	d_1
M10 × 1	13	11.5	16	8	2	3	M27 × 1.5	38	31.2	34	18	4	8
M12 × 1.25	18	16.5	19	10	2	4	M30 × 2	42	36.9	36	18	4	8
M16 × 1.5	22	19.6	23	12	2	5	M33 × 2	45	36.9	38	20	4	8
M20 × 1.5	30	25.4	28	15	4	6	M36 × 3	50	41.6	46	25	5	8
M22 × 1.5	32	25.4	29	15	4	7							

表 4.8-19 通气罩

(mm)



A型通气罩

d	d_1	d_2	d_3	D	h	a	b	C	h_1	R	D_1	S	K	e
M18 × 1.5	M33 × 1.5	8	3	40	40	12	7	16	18	40	25.4	22	8	2
M27 × 1.5	M48 × 1.5	12	4.5	60	54	15	10	22	24	60	36.9	32	9	2
M36 × 1.5	M64 × 1.5	16	6	80	70	20	13	28	32	80	53.1	41	10	3

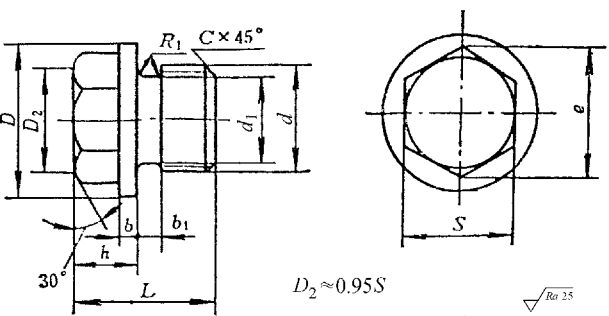
B型通气罩

No	D	D_1	D_2	D_3	H	H_1	H_2	R	h	螺栓 $d \times L$	质量/kg
1	60	100	125	125	77	95	35	20	6	M10 × 25	2.26
2	114	200	250	260	165	195	70	40	10	M20 × 50	14

表 4.8-20 外六角螺塞

(mm)

材料: 35



标记示例:

d 为 M10×1 的外六角螺塞:

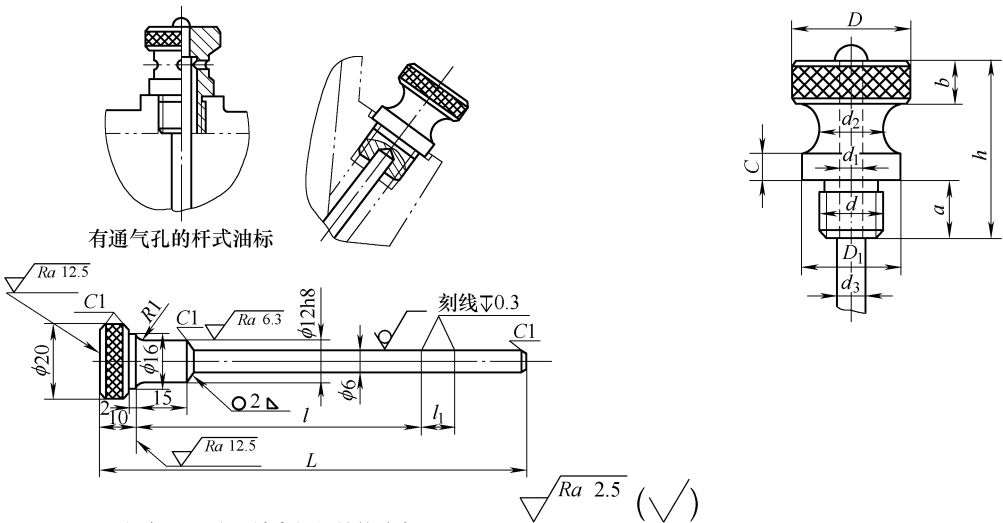
螺塞 M10×1

技术要求: 表面发蓝处理。

<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>D</i>	<i>e</i>	<i>S</i>		<i>L</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>b</i> ₁	<i>R</i> ₁	<i>C</i>	质量 /kg
				基本尺寸	极限偏差							
M8 × 1	6.5	14	12.7	11	0 - 0.24	18	10	3	2	0.5	0.7	0.013
M10 × 1	8.5	18	12.7	11		20						0.019
M12 × 1.25	10.2	22	15	13		24	12					0.032
M14 × 1.5	11.8	23	20.8	18		25						
M18 × 1.5	15.8	28	24.2	21	27	15	3	1	0.078			
M20 × 1.5	17.8	30			30				0.090			
M22 × 1.5	19.8	32			27.7				24	4	3	0.110
M24 × 2	21	34			31.2				27			32
M27 × 2	24	38	34.6	30	35	0.196						
M30 × 2	27	42	39.3	34	38	0.252						
M33 × 2	30	45	41.6	36	42	20	5		4	0.342		
M42 × 2	39	56	53.1	46	50	25				0.656		
M48 × 2	45	62	57.7	50	56	28				0.907		
M60 × 2	57	78	75	65	68	34				1.775		

表 4.8-21 杆式油标

(mm)



长度*l*₁、*L*由设计者根据结构确定。

<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	<i>d</i> ₃	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>D</i> ₁
M12	4	12	6	28	10	6	4	20	16
M16	4	16	6	35	12	8	5	26	22
M20	6	20	8	42	15	10	6	32	26

注: 杆式油标是一种结构简单的油面指示器, 通过杆上两条刻线来检查油面的合适位置。

表 4.8-22 起重吊耳和吊钩

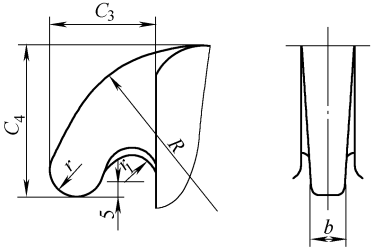
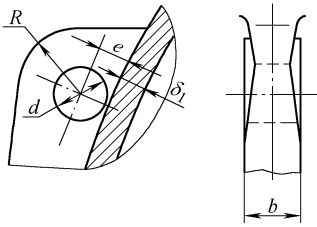
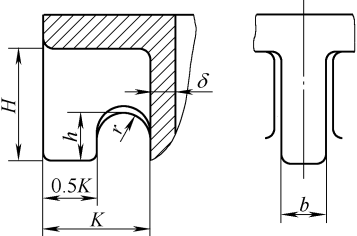
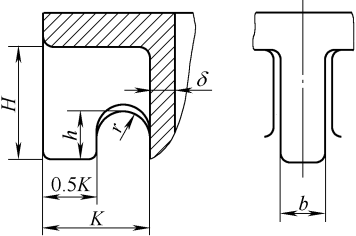
吊耳 (在箱盖上铸出)	
	
$C_3 = (4 \sim 5) \delta_1$ $b = (1.8 \sim 2.5) \delta_1$ $r_1 \approx 0.2 C_3$ δ_1 —箱盖壁厚	$C_4 = (1.3 \sim 1.5) C_3$ $R = C_4$ $r \approx 0.25 C_3$ $d = b$ $R \approx (1 \sim 1.2) d$ $b \approx (1.8 \sim 2.5) \delta_1$ $e \approx (0.8 \sim 1) d$
吊钩 (在箱座上铸出)	
	
$K = C_1 + C_2$ $H \approx 0.8 K$ $h \approx 0.5 H$ $r \approx 0.25 K$ $b \approx (1.8 \sim 2.5) \delta$ $C_1、C_2$ —见第 3 篇第 1 章螺纹与螺纹连接	$K = C_1 + C_2$ $H \approx 0.8 K$ $h \approx 0.5 H$ $r \approx K/6$ $b \approx (1.8 \sim 2.5) \delta$ H_1 —按结构确定 $C_1、C_2$ —见第 3 篇第 1 章螺纹与螺纹连接

表 4.8-23 视孔盖

(mm)

Technical drawing of a sight hole cover. The drawing shows a rectangular cover with rounded corners of radius R . The cover has a thickness δ and a central hole with diameter d . The overall width is b_1 and the overall height is b_2 . The distance between the centers of the two horizontal holes is l_1 , and the distance between the centers of the two vertical holes is l_2 . The cover is labeled with '盖厚 δ ' (Cover thickness δ) and '单级' (Single stage).

减速器中心距 $a、a_{\Sigma}$		l_1	l_2	b_1	b_2	d	δ	R			
						直径	孔数				
单级 $a \leq$	150	90	75	70	55	7	4	4	5		
单级 $a \leq$	250	120	105	90	75	7	4	4	5		
单级 $a \leq$	350	180	163	140	125	7	8	4	5		
单级 $a \leq$	450	200	180	180	160	11	8	4	10		
单级 $a \leq$	500	220	200	200	180	11	8	4	10		
单级 $a \leq$	700	270	240	220	190	11	8	6	15		
二级 $a_{\Sigma} \leq$	250	三级 $a_{\Sigma} \leq$	350	140	125	120	105	7	8	4	5
二级 $a_{\Sigma} \leq$	425	三级 $a_{\Sigma} \leq$	500	180	165	140	125	7	8	4	5
二级 $a_{\Sigma} \leq$	500	三级 $a_{\Sigma} \leq$	650	220	190	160	130	11	8	4	15
二级 $a_{\Sigma} \leq$	650	三级 $a_{\Sigma} \leq$	825	270	240	180	150	11	8	6	15
二级 $a_{\Sigma} \leq$	850	三级 $a_{\Sigma} \leq$	1100	350	320	220	190	11	8	10	15
二级 $a_{\Sigma} \leq$	1100	三级 $a_{\Sigma} \leq$	1250	420	390	260	230	13	10	10	15

注：视孔和视孔盖用于检查传动件的啮合情况及向箱中注油之用。

1.6 典型减速器结构图示例

1.6.1 装配图 (见图 4.8-6 ~ 图 4.8-17)

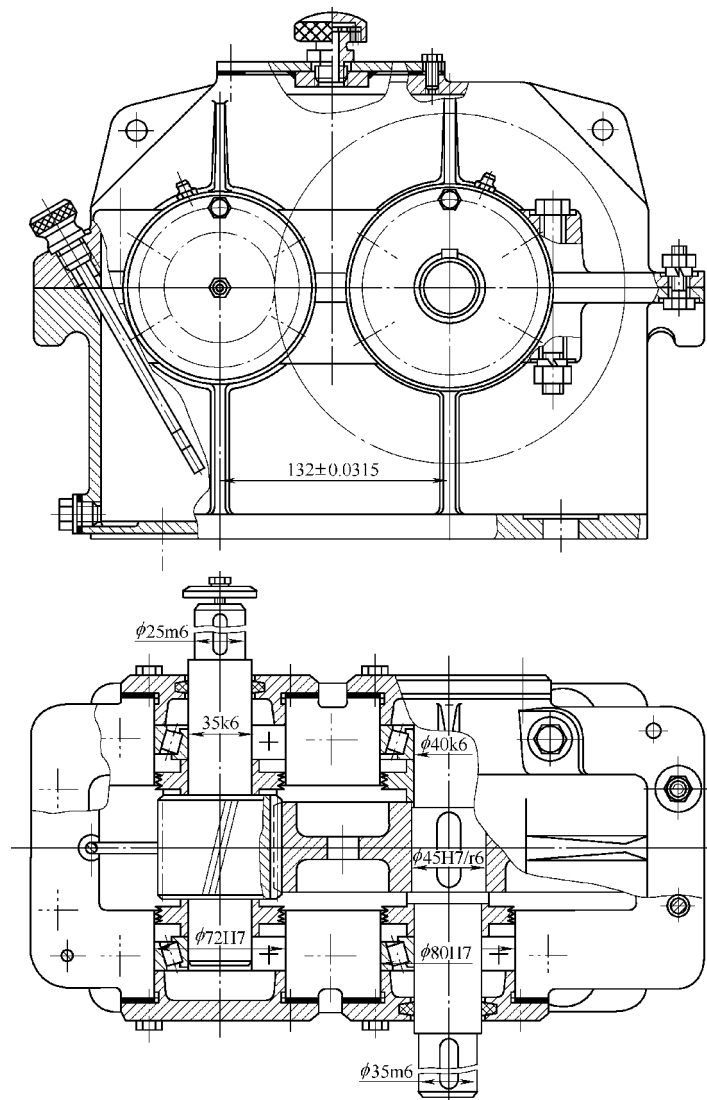


图 4.8-6 一级圆柱齿轮减速器 (脂润滑)

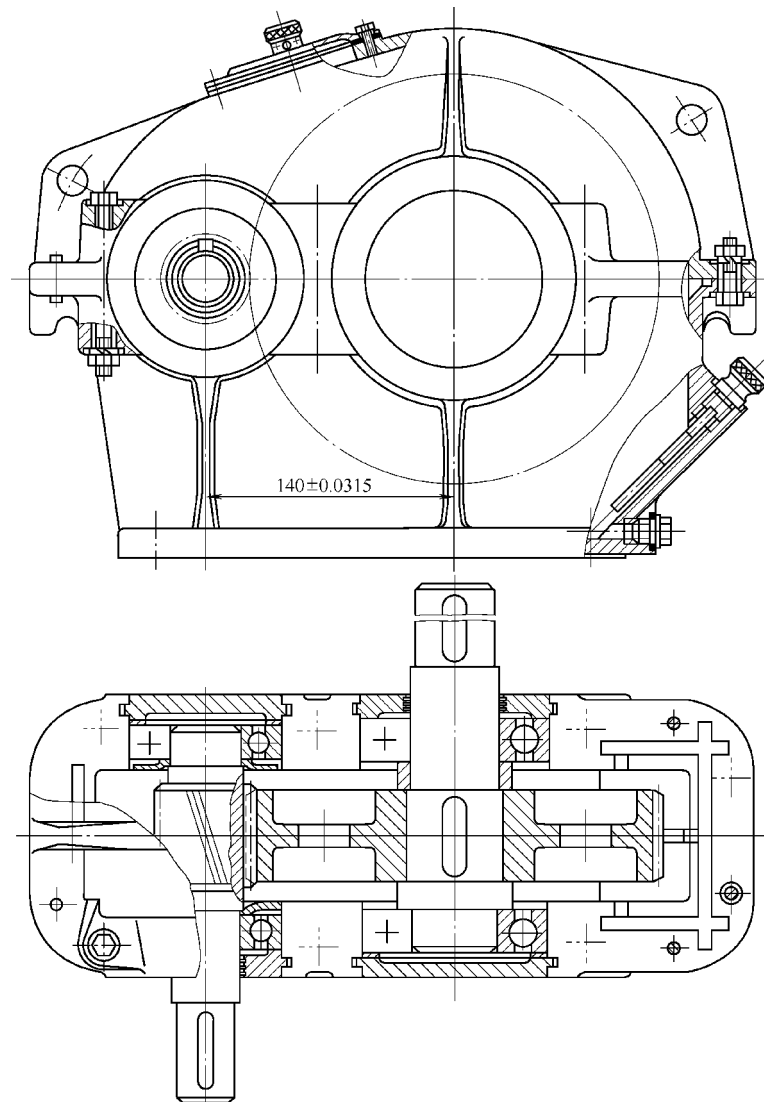


图 4.8-7 一级圆柱齿轮减速器 (油润滑)

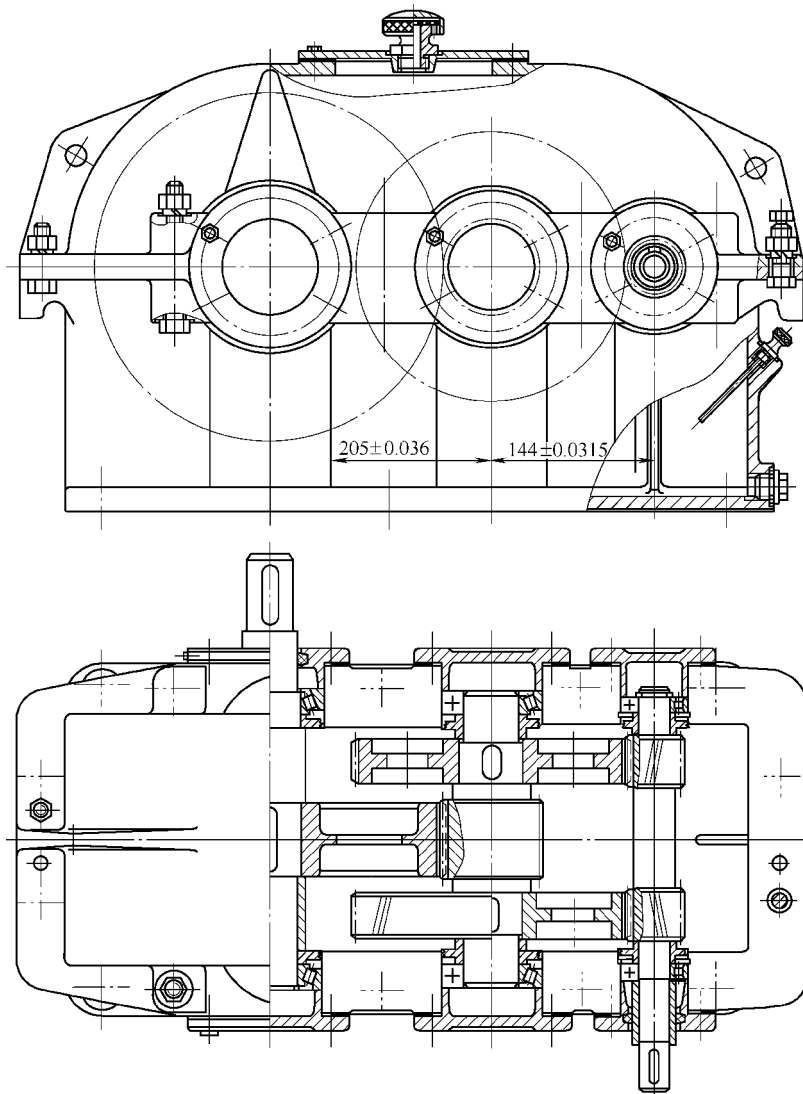


图 4.8-8 两级分流式圆柱齿轮减速器

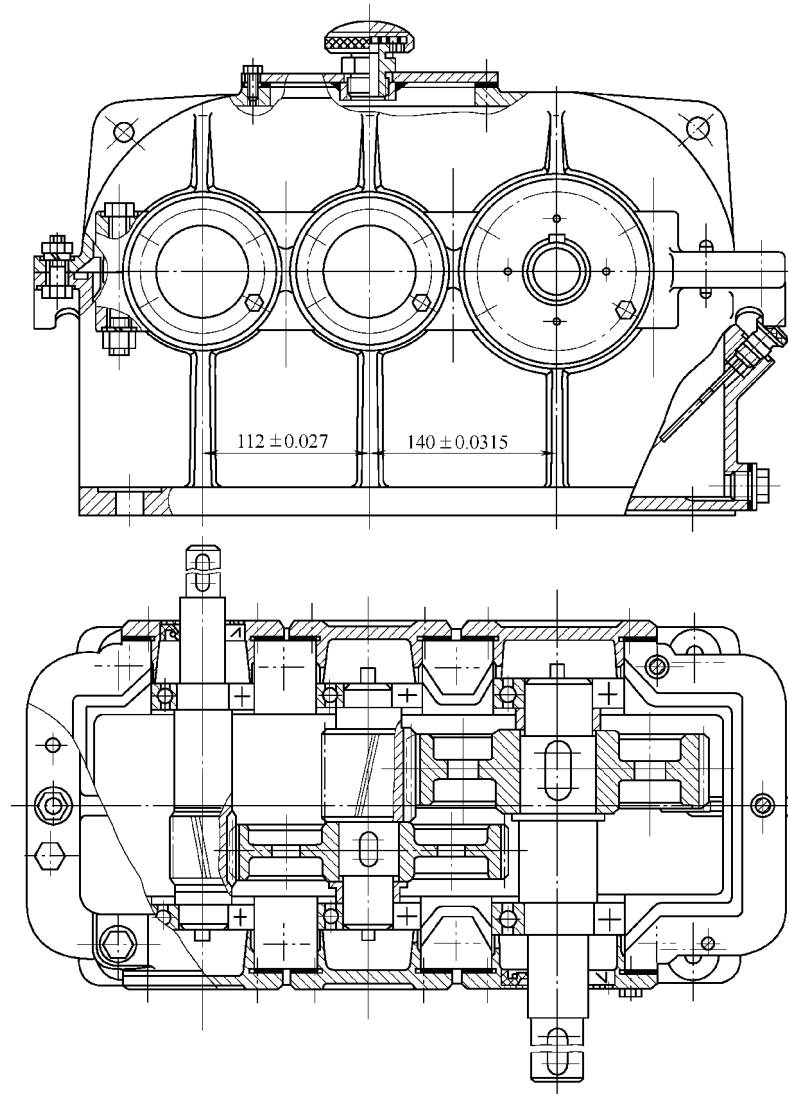


图 4.8-9 两级展开式圆柱齿轮减速器

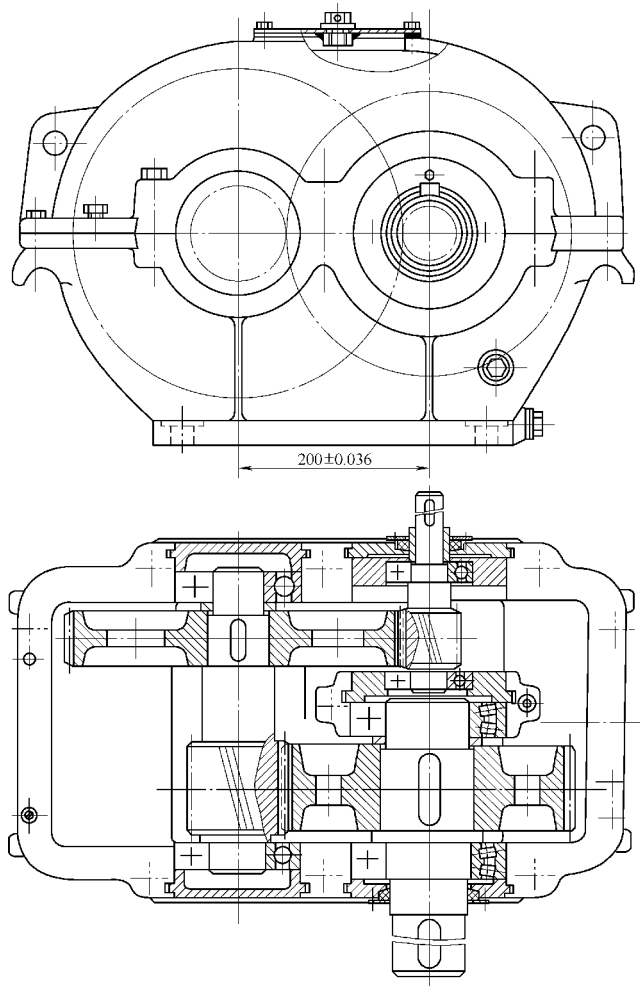


图 4.8-10 两级同轴式圆柱齿轮减速器

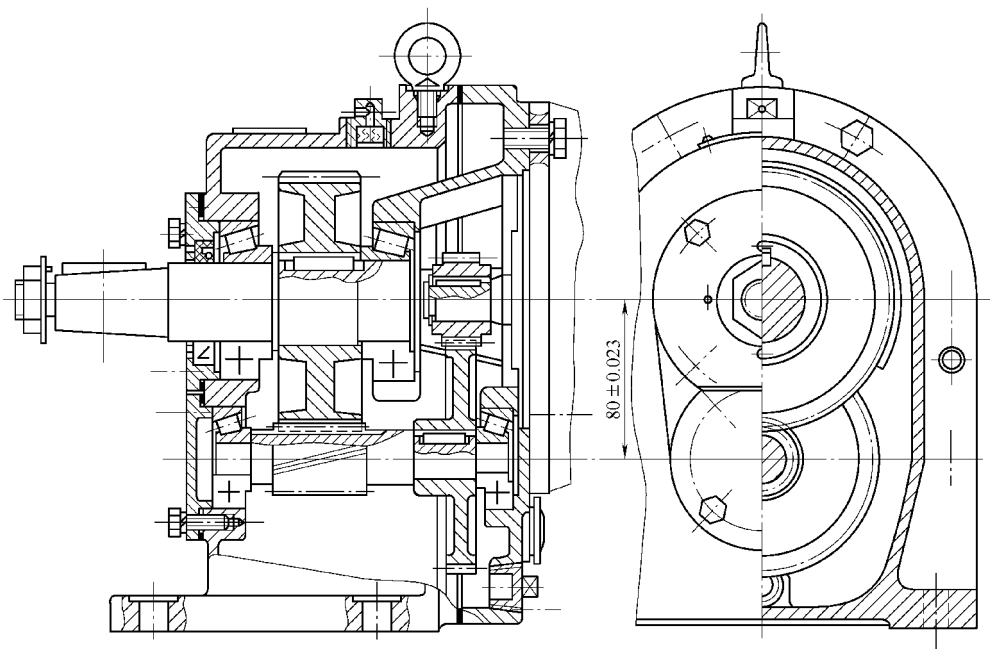


图 4.8-11 两级同轴式轴装圆柱齿轮减速器

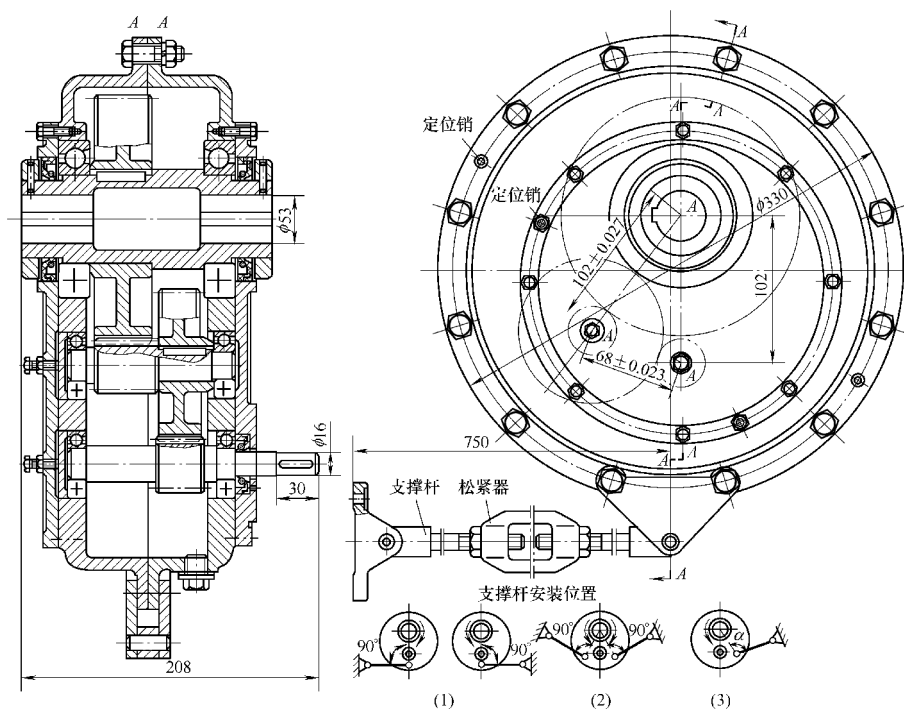


图 4.8-12 两级悬挂式轴装圆柱齿轮减速器

注:轴装式齿轮减速器不需底座,结构紧凑,装配方便,输出轴为空心轴,可直接套在被传动的轴上。为防止减速器绕空心轴回转,用支撑杆固定。支撑杆安装位置与空心轴转向有关,务使支撑杆受拉力。图(1)~图(3)为支撑杆的几种安装方式,安装角度 $\alpha=90^\circ\sim 150^\circ$,一般常用 90° 。

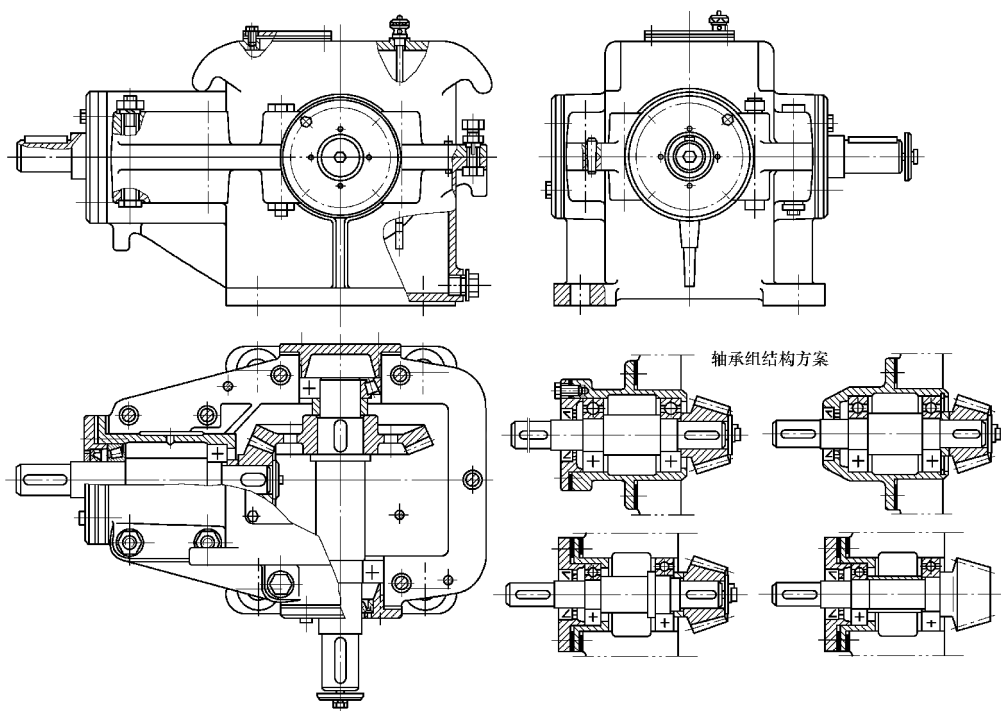


图 4.8-13 单级锥齿轮减速器

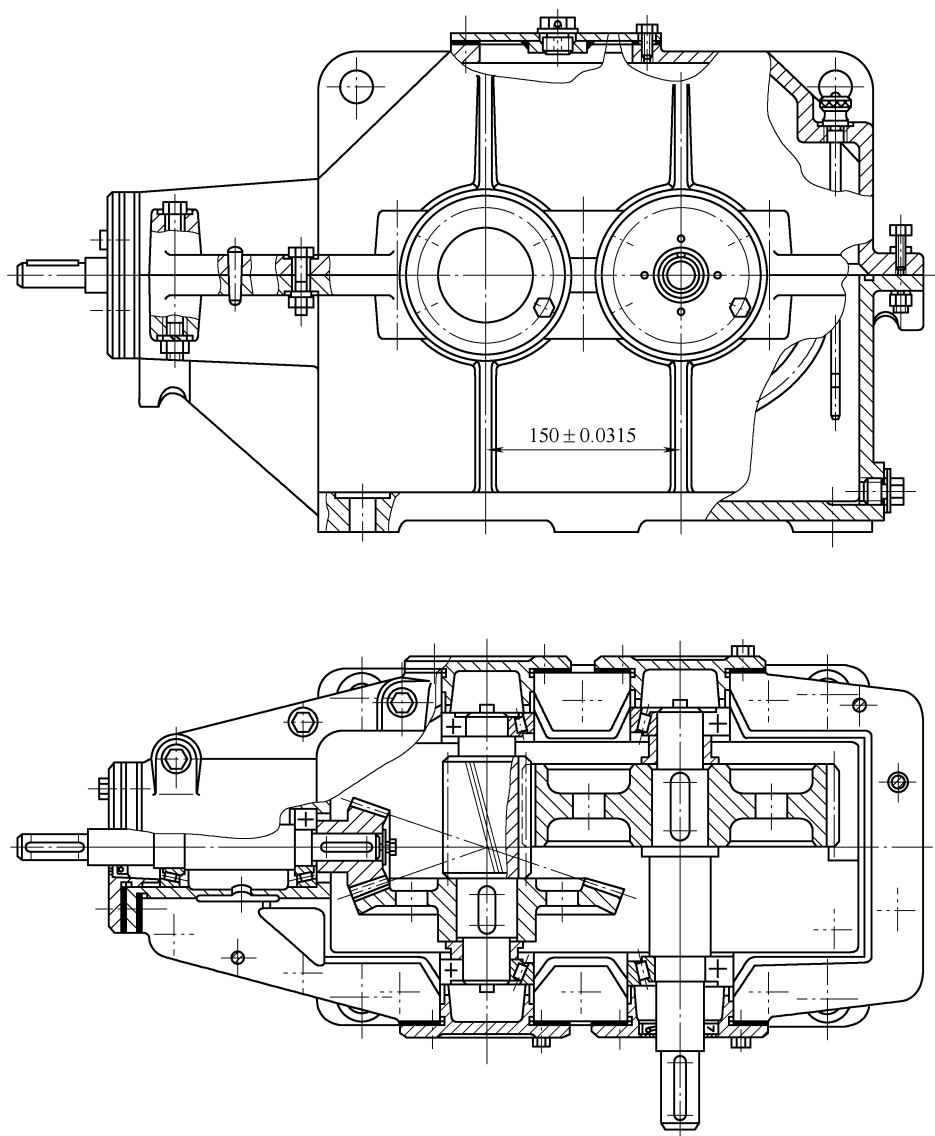


图 4.8-14 锥齿轮-圆柱齿轮减速器

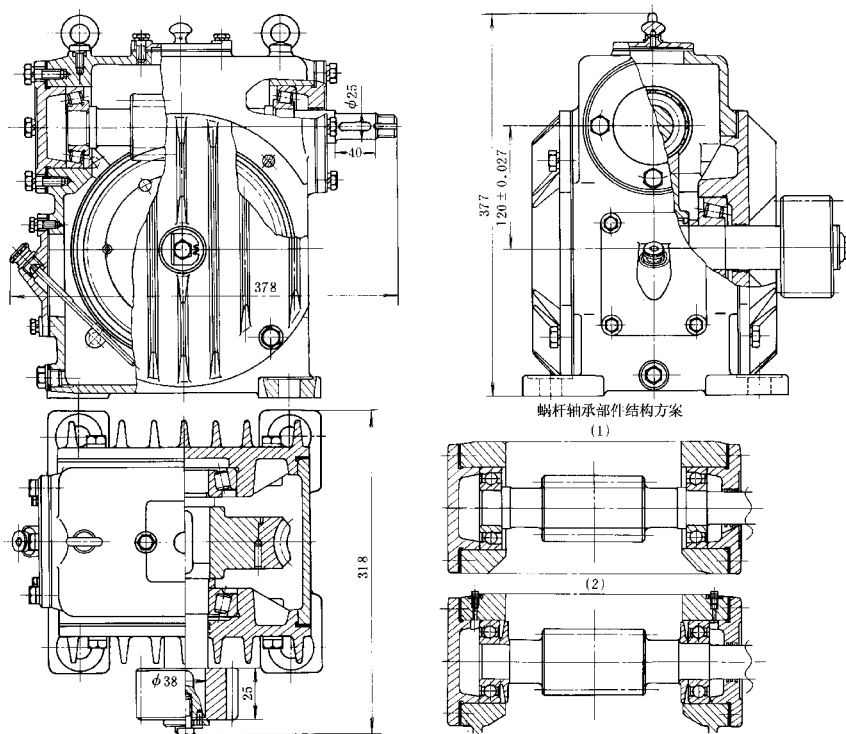


图 4.8-15 单级上置蜗杆减速器

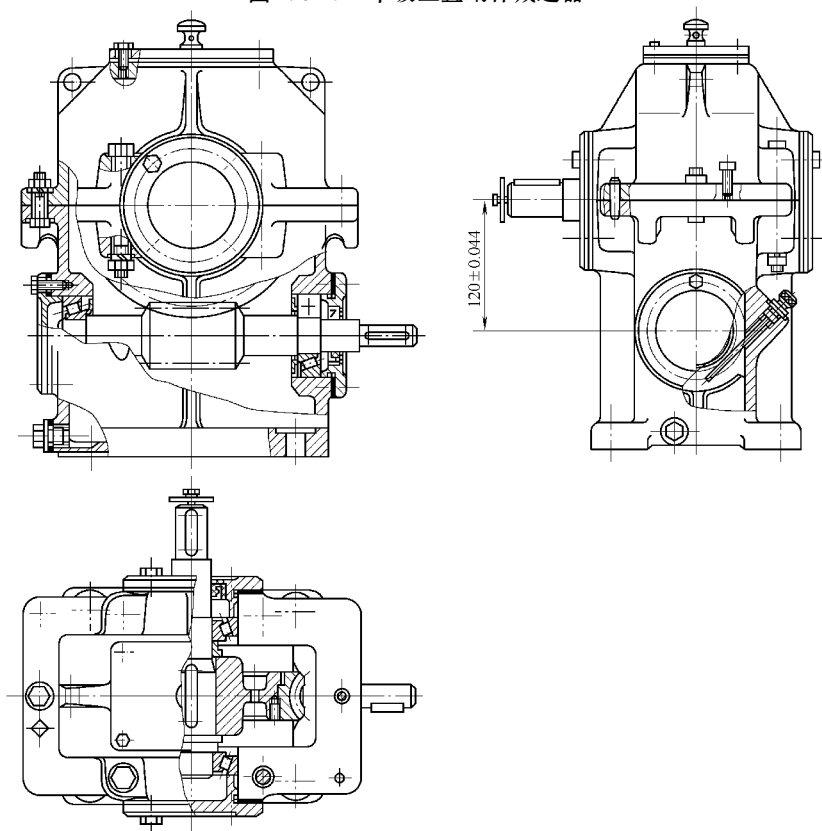


图 4.8-16 单级下置蜗杆减速器

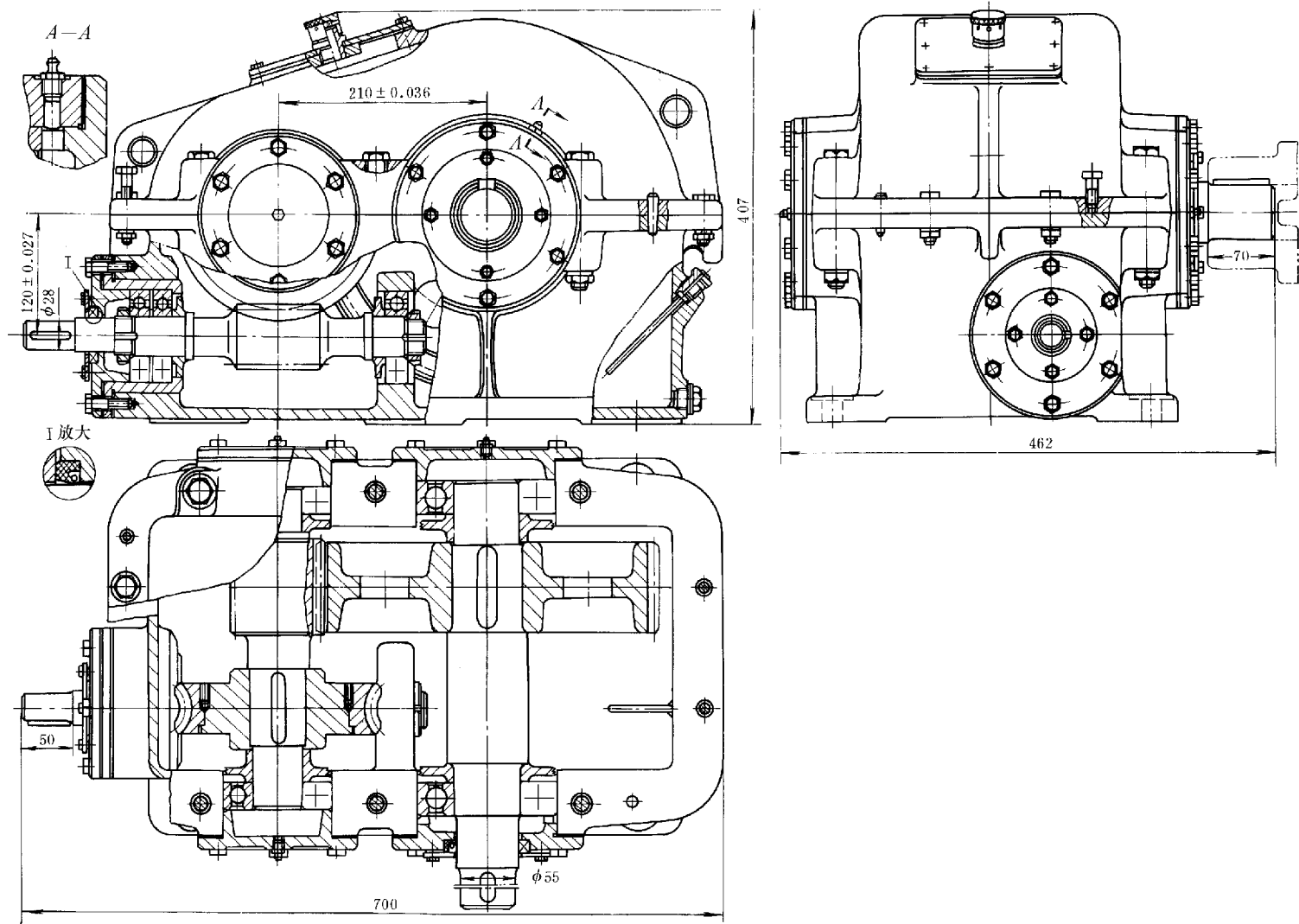


图 4.8-17 下置蜗杆-齿轮减速器

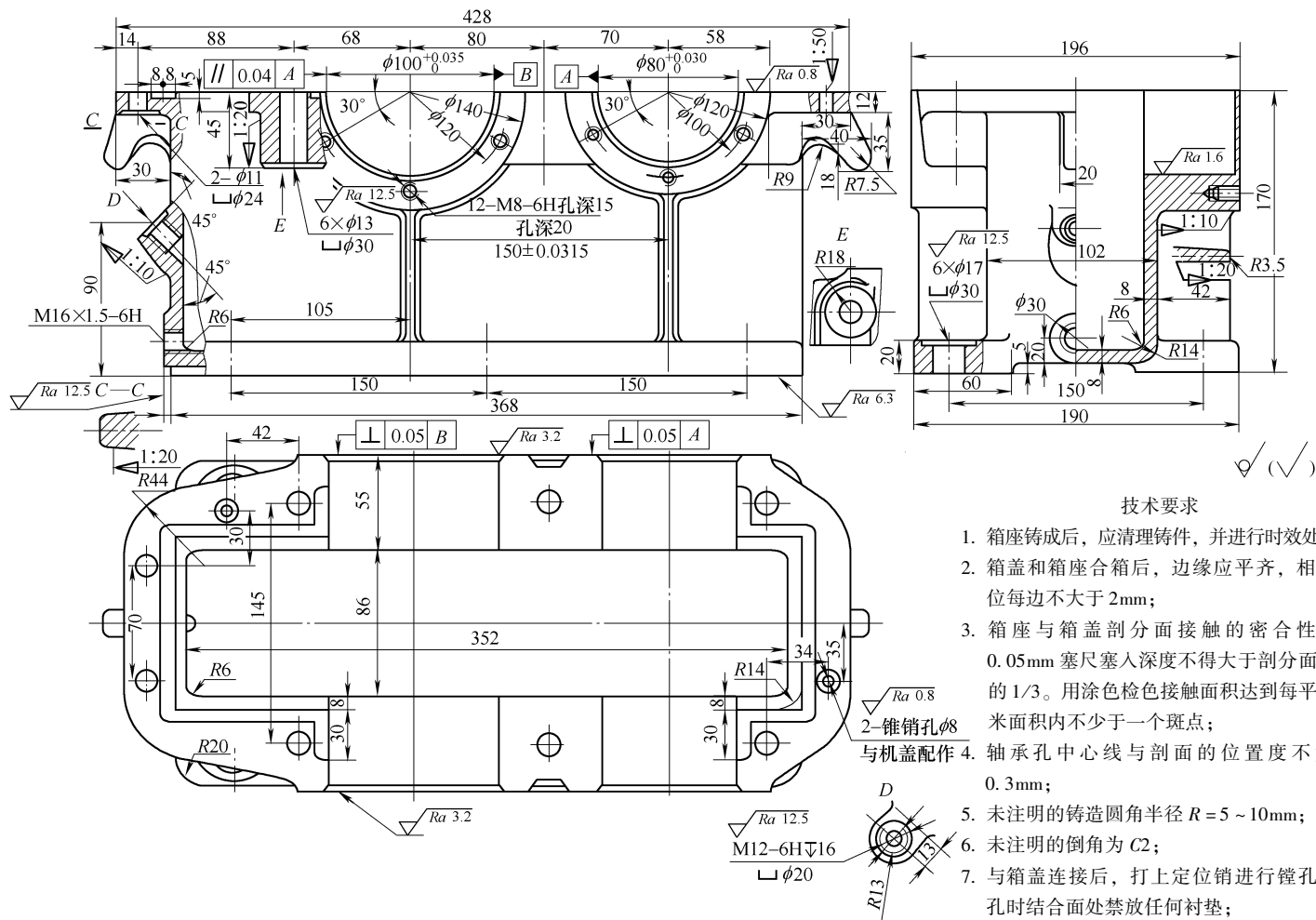
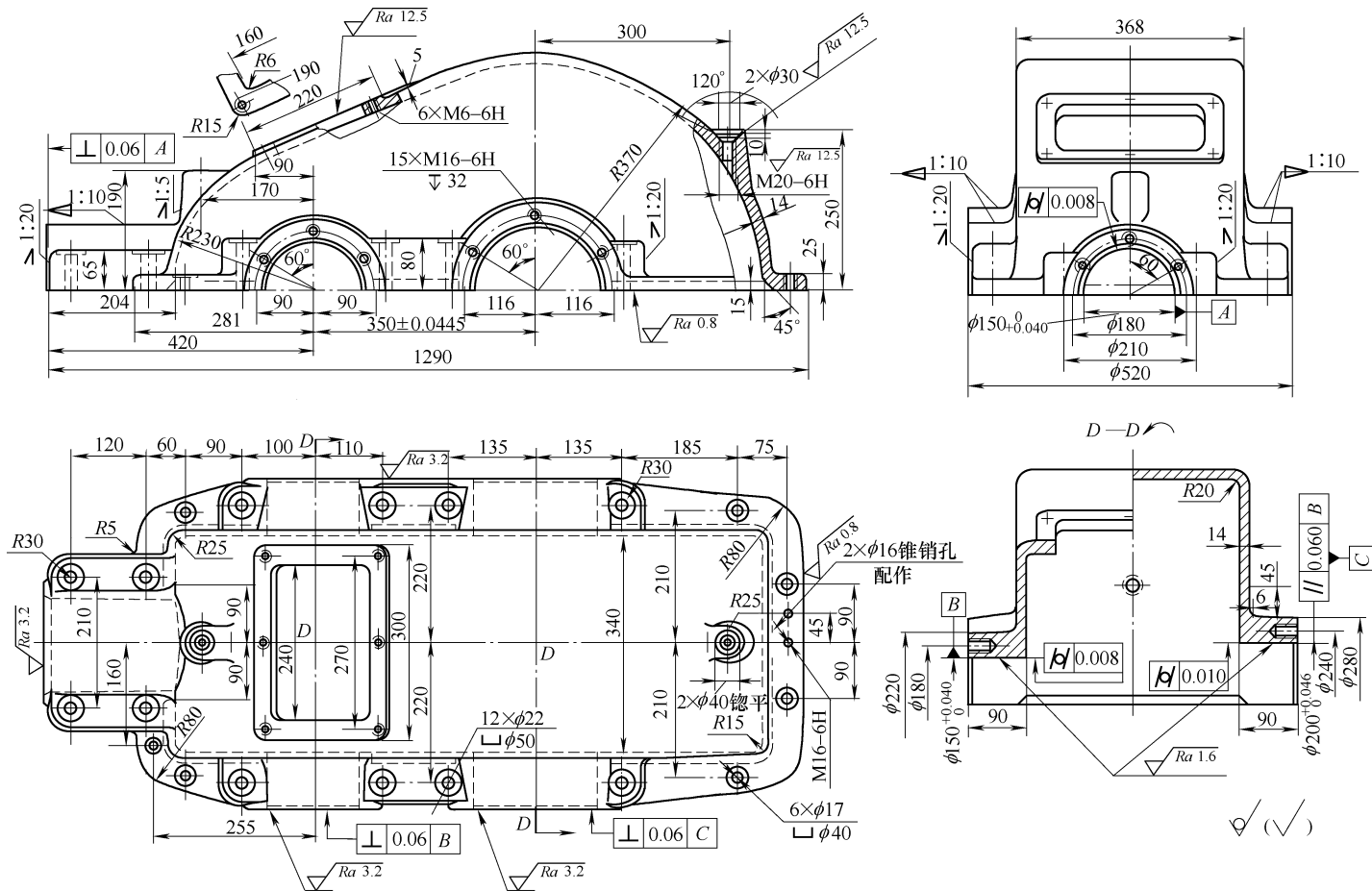


图 4.8-19 圆柱齿轮减速器箱座



技术要求

1. 机盖铸成后, 用清砂机清理, 并进行时效处理;
2. 机盖和机座合箱后, 边缘应平齐, 相互错位每边不大于2mm;
3. 与机座连接后, 打上定位销进行镗孔;
4. 应仔细检查机盖与机座剖分面接触的密合性, 用0.05mm塞尺塞入深度不得大于剖分面宽度的1/3; 用涂色检查接触面积, 达到每平方米面积内不少于一个斑点;
5. 未注明的铸造圆角半径 $R=5 \sim 10\text{mm}$;
6. 未注明的倒角为 C2, $\text{MRRRa}12.5$ 。

图 4.8-20 锥齿轮-圆柱齿轮减速器箱盖



技术要求

1. 机座铸成后, 用清砂机清理铸件, 并进行时效处理;
2. 机座与机盖合箱后, 边缘应平齐, 相互错位每边不大于 2mm;
3. 与机盖连接后, 打上定位销进行镗孔;
4. 应仔细检查机座与机盖剖分面接触的密合性, 用 0.05mm 塞尺塞入深度不得大于剖分面宽度的 1/3;
用涂色检查接触面积达到每平方厘米面积内不少于一个斑点;
5. 机座不准漏油;
6. 未注明的铸造圆角半径 $R = 5 \sim 10\text{mm}$;
7. 未注明的倒角为 C3, $\text{MRRR} \alpha 12.5$ 。

图 4.8-21 圆锥-圆柱齿轮减速器箱座

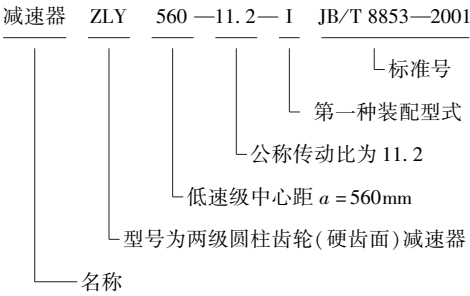
2 标准减速器

2.1 硬齿面圆柱齿轮减速器 (摘自 JB/T 8853—2001)

2.1.1 型式和标记方法

这类减速器是渐开线圆柱(Z)齿轮减速器,分单级(D)、两级(L)、三级(S)3个系列。主要用于冶金、矿山、运输、水泥、建筑、化工、纺织、轻工等行业。减速器高速轴转速不大于 $1500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,齿轮的圆周速度不大于 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;工作环境的温度范围 $-40\sim 45^{\circ}\text{C}$ 。低于 0°C 时,起动前润滑油应预热。

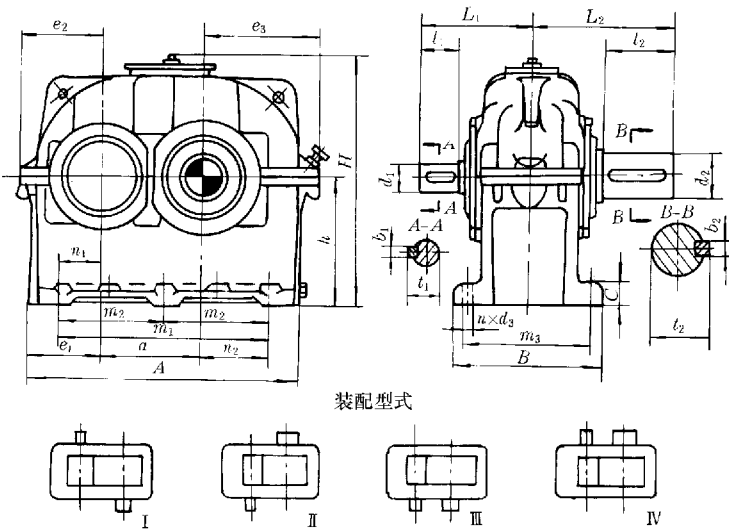
标记示例:



2.1.2 外形尺寸和安装尺寸

圆柱齿轮减速器外形尺寸及装配型式见表 4.8-24 ~ 表 4.8-26。

表 4.8-24 ZDY 型减速器外形尺寸及装配型式 (mm)

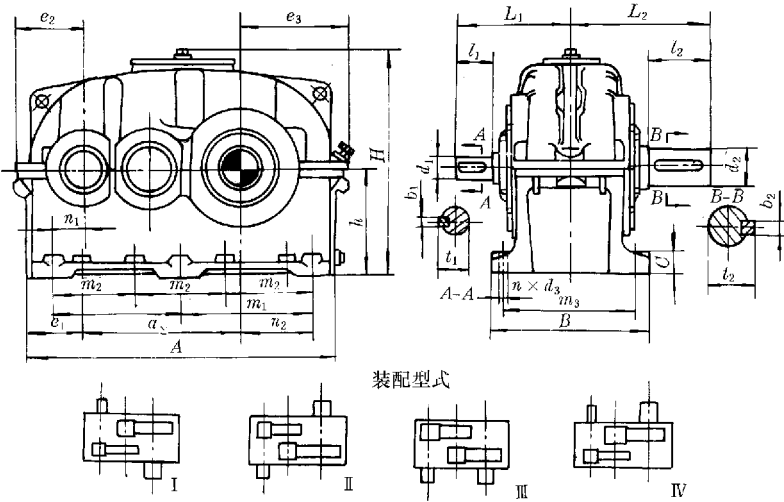


规格	A	B	H≈	a	i = 1.25 ~ 2.8					i = 3.15 ~ 4.5					i = 5 ~ 5.6				
					d ₁ (m6)	l ₁	L ₁	b ₁	t ₁	d ₁ (m6)	l ₁	L ₁	b ₁	t ₁	d ₁ (m6)	l ₁	L ₁	b ₁	t ₁
80	235	150	210	80	28	42	112	8	31	24	36	106	8	27	19	28	98	6	21.5
100	290	175	260	100	42	82	167	12	45	28	42	127	8	31	22	36	121	6	24.5
125	355	195	330	125	48	82	182	14	51.5	38	58	158	10	41	28	42	142	8	31
160	445	245	403	160	65	105	225	18	69	48	82	202	14	51.5	38	58	178	10	41
200	545	310	507	200	80	130	275	22	85	60	105	250	18	64	48	82	227	14	51.5
250	680	370	662	250	100	165	340	28	106	80	130	305	22	85	60	105	280	18	64
280	755	450	722	280	110	165	385	28	116	85	130	350	22	90	65	105	325	18	69
315	840	500	770	315	130	200	445	32	137	95	130	375	25	100	75	105	350	20	79.5
355	930	550	930	355	140	200	470	36	148	100	165	435	28	106	90	130	400	25	95
400	1040	605	982	400	150	200	485	36	158	110	165	450	28	116	95	130	415	25	100
450	1150	645	1090	450	160	240	545	40	169	120	165	470	32	127	100	165	470	28	106
500	1290	710	1270	500	180	240	580	45	190	130	200	540	32	137	120	165	505	32	127
560	1440	780	1360	560	200	280	660	45	210	150	200	580	36	158	130	200	580	32	137

(续)

8 规格	d_2 (m6)	l_2	L_2	b_2	t_2	C	m_1	m_2	m_3	n_1	n_2	e_1	e_2	e_3	h	地脚螺栓孔		质量 /kg	参考润 滑油量 /L
																d_3	n		
80	32	58	128	10	35	18	180	—	120	40	60	67.5	81	101	100	12	4	14	0.9
100	48	82	167	14	51.5	22	225	—	140	52.5	72.5	85	102	122	125	15	4	35	1.6
125	55	82	182	16	59	25	290	—	160	65	100	97.5	119	155	160	15	4	76	3.2
160	70	105	225	20	74.5	32	355	—	200	73	122	118	141	190	200	18.5	4	115	6.5
200	90	130	275	25	95	40	425	—	255	80	145	140	169	235	250	24	4	228	12.8
250	110	165	340	28	116	50	550	275	305	110	190	175	214	295	315	28	6	400	23
280	130	200	420	32	137	50	620	310	380	120	220	187.5	228	328	355	28	6	540	36
315	140	200	445	36	148	63	700	350	420	137.5	247.5	207.5	254	364	400	35	6	800	45
355	150	200	470	36	158	63	770	385	470	142.5	272.5	222.5	269	397	450	35	6	870	70
400	160	240	525	40	169	80	850	425	510	150	300	245	304	454	500	42	6	1640	90
450	170	240	545	40	179	80	950	475	550	165	335	265	331	501	560	42	6	2100	125
500	190	280	620	45	200	100	1080	540	610	190	390	295	418	618	630	42	6	3100	180
560	240	330	790	56	252	100	1200	600	680	205	435	325	432	662	710	48	6	3730	250

表 4.8-25 ZLY 型减速器外形尺寸及装配型式 (mm)



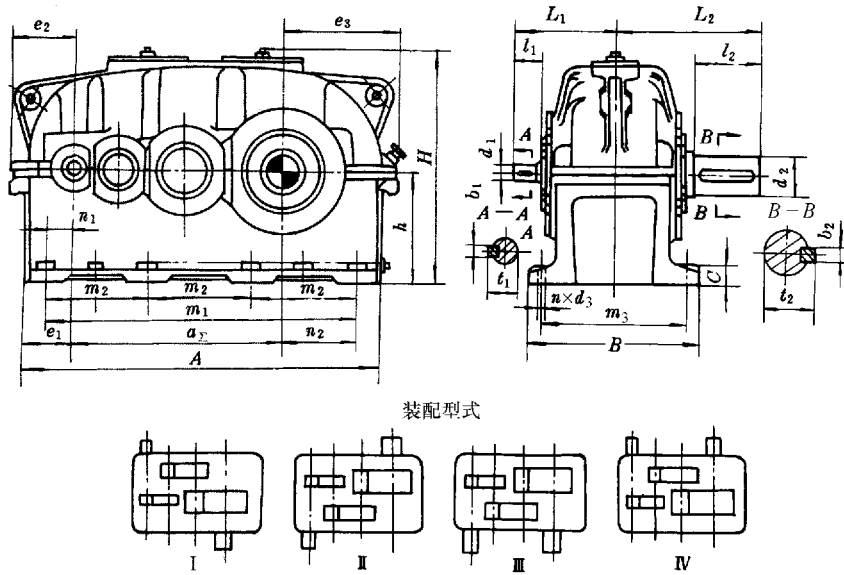
规格	A	B	$H \approx$	a	$i = 6.3 \sim 11.2$					$i = 12.5 \sim 20$					d_2 (m6)	l_2	L_2	b_2	t_2
					d_1	l_1	L_1	b_1	t_1	d_1	l_1	L_1	b_1	t_1					
112	385	215	265	192	24	36	141	8	27	22	36	141	6	24.5	48	82	192	14	51.5
125	425	235	309	215	28	42	157	8	31	24	36	151	8	27	55	82	207	16	59
140	475	245	335	240	32	58	183	10	35	28	42	167	8	31	65	105	230	18	69
160	540	290	375	272	38	58	198	10	41	32	58	198	10	35	75	105	245	20	79.5
180	600	320	435	305	42	82	232	12	45	32	58	208	10	35	85	130	285	22	90
200	665	355	489	340	48	82	247	14	51.5	38	58	223	10	41	95	130	300	25	100
224	755	390	515	384	48	82	267	14	51.5	42	82	267	12	45	100	165	355	28	106
250	830	450	594	430	60	105	315	18	64	48	82	292	14	51.5	110	165	380	28	116
280	920	500	670	480	65	105	340	18	69	55	82	317	16	59	130	200	440	32	137
315	1030	570	780	539	75	105	365	20	79.5	60	105	365	18	64	140	200	470	36	148
355	1150	600	870	605	85	130	410	22	90	70	105	385	20	74.5	170	240	530	40	179
400	1280	690	968	680	90	130	440	25	95	80	130	440	22	85	180	240	560	45	190
450	1450	750	1065	765	100	165	515	28	106	85	130	480	22	90	220	280	640	50	231
					$i = 6.3 \sim 12.5$					$i = 14 \sim 20$									
500	1600	830	1190	855	110	165	555	28	116	95	130	520	25	100	240	330	730	56	252
560	1760	910	1320	960	120	165	575	32	127	110	165	575	28	116	280	380	820	63	292
630	1980	1010	1480	1080	140	200	660	36	148	120	165	625	32	127	300	380	870	70	314
710	2220	1110	1653	1210	160	240	740	40	169	140	200	700	36	148	340	450	990	80	355

(续)

规格	C	m_1	m_2	m_3	n_1	n_2	e_1	e_2	e_3	h	地脚螺栓孔		质量 /kg	参考润滑油量 /L
											d_3	n		
112	22	160	—	180	43	85	75.5	92	134	125	15	6	60	3
125	25	180	—	200	45	100	77.5	98	153	140	15	6	69	4.3
140	25	200	—	210	47.5	112.5	85	106	171	160	15	6	105	6
160	32	225	—	245	58	120	103	126	188	180	18.5	6	155	8.5
180	32	250	—	275	60	135	110	134	209	200	18.5	6	185	11.5
200	40	280	—	300	65	155	117.5	148	238	225	24	6	260	16.5
224	40	310	—	335	70	165.5	137.5	168	263	250	24	6	370	23
250	50	350	—	380	80	190	145	184	293	280	28	6	527	32
280	50	380	—	430	75	205	155	195	325	315	28	6	700	46
315	63	420	—	490	78	223	173	219	364	355	35	6	845	65
355	63	475	—	520	92.5	252.5	192.5	238	398	400	35	6	1250	90
400	80	520	—	590	95	265	215	275	445	450	42	6	1750	125
450	80	—	400	650	117.5	317.5	242.5	305	505	500	42	8	2650	180
500	100	—	440	710	120	345	262.5	337	557	560	48	8	3400	250
560	100	—	490	790	120	390	265	354	624	630	48	8	4500	350
630	125	—	540	870	115	425	295	384	694	710	56	8	6800	350
710	125	—	610	950	140	480	335	440	780	800	56	8	8509	520

表 4.8-26 ZSY 型减速器外形尺寸及装配型式

(mm)



规格	A	B	$H \approx$	a_{Σ}	$i = 22.4 \sim 71$					$i = 80 \sim 100$					d_2 (m6)	l_2	L_2	b_2	t_2
					d_1 (m6)	l_1	L_1	b_1	t_1	d_1 (m6)	l_1	L_1	b_1	t_1					
160	600	290	375	352	24	36	166	8	27	19	28	158	6	21.5	75	105	245	20	79.5
180	665	320	435	395	28	42	187	8	31	22	36	181	6	24.5	85	130	285	22	90
200	745	355	492	440	32	58	218	10	35	22	36	196	6	24.5	95	130	300	25	100
224	840	390	535	496	38	58	233	10	41	24	36	211	8	27	100	165	355	28	106
250	930	450	589	555	42	82	282	12	45	32	58	258	10	35	110	165	380	28	116
280	1025	500	662	620	48	82	307	14	51.5	38	58	283	10	41	130	200	440	32	137
315	1160	570	749	699	48	82	337	14	51.5	42	82	337	12	45	140	200	470	36	148
规格	A	B	$H \approx$	a_{Σ}	$i = 22.4 \sim 35.5$					$i = 40 \sim 90$					d_2 (m6)	l_2	L_2	b_2	t_2
					d_1 (m6)	l_1	L_1	b_1	t_1	d_1 (m6)	l_1	L_1	b_1	t_1					
					d_1 (m6)	l_1	L_1	b_1	t_1	d_1 (m6)	l_1	L_1	b_1	t_1					
355	1280	600	870	785	60	105	380	18	64	48	82	357	14	51.5	170	240	530	40	179
400	1420	690	968	880	65	105	410	18	69	55	82	387	16	59	180	240	560	45	190
450	1610	750	1067	989	70	105	450	20	74.5	60	105	450	18	64	220	280	640	50	231
规格	A	B	$H \approx$	a_{Σ}	$i = 22.4 \sim 45$					$i = 50 \sim 90$					d_2 (m6)	l_2	L_2	b_2	t_2
					d_1 (m6)	l_1	L_1	b_1	t_1	d_1 (m6)	l_1	L_1	b_1	t_1					
					d_1 (m6)	l_1	L_1	b_1	t_1	d_1 (m6)	l_1	L_1	b_1	t_1					
					d_1 (m6)	l_1	L_1	b_1	t_1	d_1 (m6)	l_1	L_1	b_1	t_1					
500	1790	830	1170	1105	80	130	515	22	85	65	105	490	18	69	240	330	730	56	252
560	2010	910	1320	1240	95	130	530	25	100	75	105	505	20	79.5	280	380	820	63	292
630	2260	1030	1480	1395	110	165	625	28	116	85	130	590	22	90	300	380	880	70	314
710	2540	1160	1655	1565	120	165	685	32	127	90	130	650	25	95	340	450	1010	80	355

(续)

规格	C	m_1	m_2	m_3	n_1	n_2	e_1	e_2	e_3	h	地脚螺栓孔		质量 /kg	参考润滑 油量/L
											d_3	n		
160	32	510	170	245	38	120	83	107	188	180	18.5	8	170	10
180	32	570	190	275	37.5	137.5	85	109	209	200	18.5	8	205	14
200	40	630	210	300	40	150	97.5	128	238	225	24	8	285	19
224	40	705	235	335	43.5	165.5	110.5	141	263	250	24	8	395	26
250	50	810	270	380	60	195	120	158	293	280	28	8	540	36
280	50	855	285	430	35	200	120	160	325	315	28	8	750	53
315	63	960	320	490	40	218	143	189	364	355	35	8	940	75
355	63	1080	360	520	42.5	252.5	143	188	398	400	35	8	1400	115
400	80	1200	400	590	45	275	155	215	445	450	42	8	1950	160
450	80	1350	450	650	48	313	178	240	505	500	42	8	2636	220
500	100	1500	500	710	59	332.5	200	277	557	560	48	8	3800	300
560	100	1680	560	790	70	370	235	324	624	630	48	8	5100	450
630	125	1890	630	890	72.5	422.5	255	344	694	710	56	8	7060	520
710	125	2130	710	1000	92.5	472.5	297.5	400	780	800	56	8	9205	820

2.1.3 承载能力

减速器的承载能力受机械强度和热平衡许用功率两方面的限制，因此，减速器的选用必须通过两个功率表。减速器的功率 P_1 和热功率 P_{G1} 、 P_{G2} 列于

表 4.8-27 ~ 表 4.8-32。减速器的工况系数 K_A 列于表 4.8-33。减速器载荷分类列于表 4.8-34。热功率影响系数 f_1 、 f_2 、 f_3 列于表 4.8-35。减速器安全系数 S_A 见表 4.8-36。

表 4.8-27 ZDY 减速器功率 P_1

公 称 传动比 <i>i</i>	公称转速/ $r \cdot \min^{-1}$		规 格/mm													
	输入 n_1	输出 n_2	80	100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500	560	
			公称输入功率 P_1 /kW													
1. 25	1500	1200	57	103	205	360	633	1121	—	—	—	—	—	—	—	
	1000	800	40	69	140	260	446	807	—	—	—	—	—	—	—	
	750	600	31	52	105	190	348	636	—	—	—	—	—	—	—	
1. 4	1500	1070	53	96	194	326	616	1109	—	—	—	—	—	—	—	
	1000	715	37	65	132	240	433	794	—	—	—	—	—	—	—	
	750	535	29	48	102	180	337	624	—	—	—	—	—	—	—	
1. 6	1500	940	49	92	180	310	587	1068	1473	1996	2766	—	—	—	—	
	1000	625	34	63	125	217	410	760	1051	1430	1992	—	—	—	—	
	750	470	27	50	98	168	319	595	824	1124	1569	—	—	—	—	
1. 8	1500	835	45	87	173	290	557	1024	1411	1925	2663	—	—	—	—	
	1000	555	31	62	120	206	389	726	1002	1372	1906	—	—	—	—	
	750	415	24	48	95	160	302	567	784	1074	1497	—	—	—	—	
2	1500	750	39	80	158	278	526	970	1339	1827	2536	—	—	—	—	
	1000	500	27	55	110	194	367	684	946	1296	1806	2547	3578	4793	—	
	750	375	21	43	85	150	284	534	738	1013	1414	1999	2821	3775	5169	
2. 24	1500	670	36	70	141	264	484	914	1236	1711	2377	—	—	—	—	
	1000	445	25	49	98	183	337	645	874	1207	1683	2402	3397	4512	—	
	750	335	19	38	76	142	262	503	682	941	1314	1878	2667	3538	4833	
2. 5	1500	600	32	64	127	245	447	855	1154	1617	2264	—	—	—	—	
	1000	400	22	45	88	170	311	601	812	1136	1596	2235	3182	4353	—	
	750	300	17	35	68	132	241	468	633	884	1243	1742	2492	3406	4645	
2. 8	1500	535	27	53	115	224	409	789	1063	1489	2068	—	—	—	—	
	1000	360	19	37	80	155	284	552	746	1048	1456	2049	2945	4000	—	
	750	270	15	29	62	120	220	429	580	816	1134	1593	2296	3118	4232	
3. 15	1500	475	23	47	96	203	375	709	990	1359	1924	2658	3790	5036	6666	
	1000	315	16	33	67	140	260	496	695	952	1352	1817	2681	3607	4807	
	750	235	13	25	52	109	202	385	540	740	1052	1458	2084	2802	3747	

(续)

公 称 传动比 i	公称转速/ $r \cdot \min^{-1}$		规 格/mm												
	输入 n_1	输出 n_2	80	100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500	560
			公称输入功率 P_1/kW												
3.55	1500	425	20	41	85	179	337	639	898	1210	1730	2410	3407	4460	6119
	1000	280	14	28	59	124	234	446	628	845	1210	1694	2396	3196	4395
	750	210	11	22	46	96	181	346	488	655	940	1312	1856	2483	3419
4	1500	375	17	34	69	155	300	570	774	1095	1555	2146	2981	3985	5651
	1000	250	12	24	48	107	208	396	539	764	1088	1501	2090	2838	4033
	750	187	9	18	37	83	161	307	418	590	844	1160	1618	2199	3128
4.5	1500	335	14	29	55	137	260	495	703	997	1367	1878	2619	3635	4912
	1000	220	9.5	20	38	95	180	344	488	694	953	1311	1832	2582	3485
	750	166	7	15	30	73	139	266	378	536	738	1015	1416	1997	2694
5	1500	300	11	25	48	121	229	451	608	864	1179	1680	2340	3149	4400
	1000	200	8	17	33	84	159	313	422	599	820	1168	1629	2231	3125
	750	150	6	13	26	65	123	242	326	462	633	900	1257	1724	2418
5.6	1500	270	10	20	40	109	211	389	531	779	1031	1564	2038	2791	3778
	1000	180	7	14	27	75	146	270	368	540	716	1088	1417	1969	2670
	750	134	5	11	21	59	113	208	285	416	554	838	1092	1519	2061
6.3	1500	240		16	36	90	175	353	465	651	944	1313	1804	2547	3342
	1000	160		11	25	63	121	244	322	451	655	911	1252	1795	2356
	750	120		9	19	49	94	189	249	349	507	704	964	1388	1817

注: $i=6.3$ 无标准施工图样, 如欲采用 $i=6.3$, 需特殊设计齿轮轴与轴承结构。表 4.8-28 ZDY 减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2}

散热冷却条件			规 格/mm												
没有 冷却 措施	环境条件	环境气流速度 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	80	100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500	560
	小空间	≥ 0.5	13	20	31	48	77	115	145	182	228	286	365	440	542
	较大空间	≥ 1.4	18	29	43	68	110	160	210	270	320	415	515	620	770
	在户外露天	≥ 3.7	24	38	58	92	145	220	275	360	425	550	690	840	1020
盘状管 冷却或 循环油 润滑	环境条件	水管内径 d/mm	8	8	8	12	12	15	15	20	20	20	20	20	20
	环境条件	环境气流速度 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	P_{G2}/kW												
	小空间	≥ 0.5	48	65	90	180	300	415	490	610	695	870	1010	1190	1300
	较大空间	≥ 1.4	48	75	100	200	330	465	550	695	790	1000	1160	1380	1530
	在户外露天	≥ 3.7	54	90	120	220	365	520	625	790	900	1140	1340	1600	1780

注: 当采用循环油润滑时, 可按润滑系统计算适当提高 P_{G2} 。表 4.8-29 ZLY 减速器功率 P_1

公称 传动 比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		规 格/mm													
	输入 n_1	输出 n_2	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500
			公称输入功率 P_1/kW													
6.3	1500	240	37.4	54	73	114	157	221	305	424	578	791	1156	1650	2192	3132
	1000	160	26.4	37.4	50	78	109	153	211	294	400	548	802	1146	1558	2181
	750	120	19.5	28.6	38.5	60	84	119	163	227	308	422	618	884	1213	1685
7.1	11500	210	34	49	66	104	143	201	277	385	525	719	1051	1500	1993	2847
	1000	140	24	34	45.5	71	99	139	192	267	364	498	729	1042	1416	1983
	750	106	17.7	26	35	54.5	76	108	148	206	280	384	562	804	1103	1532
8	1500	185	32	43	61	94.5	130	181.5	250	347	469	678	932	1309	1869	2489
	1000	125	21.5	29.5	42.4	64	93	126	173	241	325	470	646	908	1298	1730
	750	94	17	23	33	49	69	97	133	186	251	362	498	700	1000	1333
9	1500	167	29	38.5	56	81	119	165.5	227	315	423	612	841	1182	1689	2248
	1000	111	20	27	38.5	55	82.5	115	157	218	293	424	583	819	1172	1561
	750	83	15	20.5	30	42	64	88	121	168	226	327	449	631	903	1202
10	1500	150	26	35	50	73	109	149	204	284	383	555	762	1070	1530	2038
	1000	100	18	24	35	50	75	103	142	197	266	384	528	742	1061	1414
	750	75	14	18.5	26.6	38	58	80	109	152	204	296	407	571	817	1088
11.2	1500	134	23	31.5	45	66	96	133	184	255	346	500	688	966	1381	1839
	1000	89	16	22	31	45	67	92	127	177	240	347	477	669	957	1275
	750	67	12	17	24	35	51	71	98	136	185	267	367	516	737	982
12.5	1500	120	21	28	40	59	83	116.5	165	229	311	450	618	869	1242	1654
	1000	80	14	19.5	28	40	57	81	114	159	216	312	428	601	860	1146
	750	60	11	15	21	31	44	63	88	122	166	240	330	463	663	882

(续)

公称传动比 <i>i</i>	公称转速 /r·min ⁻¹		规 格/mm																
	输入 <i>n</i> ₁	输出 <i>n</i> ₂	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710
			公称输入功率 <i>P</i> ₁ /kW																
14	1500	107	18.5	25	36	52.5	74	105	148	206	279	404	555	779	1115	1485	2162	2918	4318
	1000	71	12.5	17.5	25	36	51	73	102	142	193	280	384	540	772	1028	1455	2020	2996
	750	54	9.8	13	19	27.6	39	56	79	110	149	216	296	416	594	792	1120	1555	2310
16	1500	94	16	22	31	47.5	70.5	98	133	185	251	362	498	700	1000	1333	1887	2619	3879
	1000	62	11	15	21.5	32	49	68	92	128	174	251	345	484	693	923	1306	1812	2690
	750	47	8	11.5	17	25	38	53	71	99	134	193	266	373	533	711	1005	1395	2073
18	1500	83	14	19.5	28	42.5	60.5	86	115	161	225	326	448	629	899	1197	1697	2353	3487
	1000	56	10	13.5	19.6	29	42	59.5	80	111	156	226	310	435	622	829	1175	1628	2417
	750	42	7.5	10.5	15	22	32	46	61	86	120	174	239	335	479	638	905	1252	1861
20	1500	75	13	18	25.5	38	59	77	103	142	205	296	418	587	839	1120	1580	2200	3260
	1000	50	9	12	18	26.5	41	53.5	72	95	142	205	279	392	560	746	1050	1460	2170
	750	38	6.8	9.5	14	20	32	41	55	76	109	158	210	295	420	562	735	1120	1635

表 4.8-30 ZLY 减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2}

散热冷却条件			规 格/mm																
没有冷却措施	环境条件	环境气流速度 $v/m \cdot s^{-1}$	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710
	P_{G1}/kW																		
	小空间	≥ 0.5	16	20	24	30	38	48	60	74	92	115	145	181	226	276	345	430	540
	较大空间	≥ 1.4	20	28	35	43	54	67	87	105	130	165	210	255	320	405	485	620	760
	在户外露天	≥ 3.7	30	38	47	57	73	88	115	140	175	220	275	345	420	530	650	810	1000
盘状管冷却或循环油润滑	环境条件	水管内径 d/mm	8	8	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20	20	20	20	20	20
		环境气流速度 $v/m \cdot s^{-1}$	P_{G2}/kW																
		≥ 0.5	34	41	98	104	150	170	200	225	266	280	305	365	415	490	550	680	800
		≥ 1.4	38	50	109	116	170	190	225	260	305	330	370	440	510	620	690	870	1010
		≥ 3.7	48	60	120	130	200	210	250	295	350	385	435	530	610	750	860	1060	1250

注：当采用循环油润滑时，可按润滑系统计算适当提高 P_{G2} 。表 4.8-31 ZSY 减速器功率 P_1

公称传动比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		规 格/mm													
	输入 n_1	输出 n_2	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710
	公称输入功率 P_1/kW															
22.4	1500	67	34	51	68	98	131	182	270	400	530	780	1065	1450	1865	—
	1000	44	24	35	48	68	91	128	185	262	355	540	750	1025	1325	1905
	750	33	18	27	37	52	70	97	135	215	275	415	580	800	1030	1485
25	1500	60	32	46	63	96	115	157	240	365	470	705	1020	1405	1865	—
	1000	40	22	31	43	66	80	108	163	250	315	465	705	975	1325	1905
	750	30	16	24	33	51	60	84	122	195	240	350	540	750	1030	1485
28	1500	54	29	42	59	86	113	142	220	325	425	625	945	1260	1800	—
	1000	36	20	29	41	60	75	98	148	215	280	420	650	870	1245	1760
	750	27	15	22	31	46	56	76	114	160	210	310	500	670	960	1355
31.5	1500	48	26	37	51	79	95	127	197	290	395	560	840	1140	1600	—
	1000	32	17	26	35	55	63	86	132	195	370	585	790	1110	1565	—
	750	24	14	20	27	42	49	65	100	145	200	280	450	605	855	1200
35.5	1500	42	23	34	47	70	88	117	178	275	350	510	755	1025	1450	—
	1000	28	15	23	32	48	59	80	118	180	235	340	520	710	1000	1410
	750	21	12	18	25	37	44	61	90	140	175	255	405	545	750	1090
40	1500	38	21	30	42	64	79	107	158	235	325	465	675	930	1300	—
	1000	25	17	21	29	40	53	71	108	160	210	315	465	640	900	1315
	750	19	11	16	22	31	41	55	80	125	155	235	360	465	680	1015
45	1500	33	17	24	34	46	70	96	142	215	280	410	615	850	1130	—
	1000	22	12	16	24	32	47	64	95	145	185	280	425	590	770	1150
	750	17	9	12	18	25	36	50	74	110	140	210	320	450	600	885
50	1500	30	15	22	32	46	63	85	128	195	245	360	540	750	1030	1490
	1000	20	11	15	22	31	43	59	85	130	165	240	370	520	710	1030
	750	15	8	12	17	24	32	43	65	95	125	180	290	400	550	795
56	1500	27	15	21	31	43	56	76	112	170	220	310	480	675	955	1340
	1000	18	10	15	22	30	38	52	77	115	145	210	330	470	660	930
	750	13.4	8	11	17	23	28	40	58	90	110	160	255	360	510	715

(续)

公称传动比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		规格/mm													
	输入 n_1	输出 n_2	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710
公称输入功率 P_1/kW																
63	1500	24	12	17	23	37	45	61	102	145	195	280	425	605	860	1170
	1000	16	8	12	16	25	30	42	70	100	130	190	290	420	600	810
	750	12	6	9	12	20	23	32	52	75	100	140	225	325	460	620
71	1500	21	11	17	23	33	40	56	90	130	185	245	390	540	770	1045
	1000	14	8	11	15	23	27	38	60	90	115	170	270	370	540	725
	750	10.6	6	9	12	18	21	29	45	65	90	125	210	285	410	555
80	1500	18.8	9	13	18	26	36	51	80	115	155	225	340	470	675	960
	1000	12.5	6	9	12	18	24	34	54	80	100	150	240	330	470	665
	750	9.4	4	7	10	14	19	27	42	60	80	110	185	250	360	510
90	1500	16.7	8	12	18	25	33	46	74	105	140	200	305	395	590	765
	1000	11.1	6	8	12	17	22	30	49	70	95	130	200	278	405	530
	750	8.3	4	6	9	13	17	23	37	55	70	100	160	210	300	405
100	1500	15	8	11	16	24	30	43	60	—	—	—	—	—	—	—
	1000	10	5	7	11	16	21	29	40	—	—	—	—	—	—	—
	750	7.5	4	6	8	13	16	22	30	—	—	—	—	—	—	—

表 4.8-32 ZSY 减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2}

散热冷却条件			规格/mm													
没有冷却措施	环境条件	环境气流速度 $v/m \cdot s^{-1}$	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710
	P_{G1}/kW															
	小空间	≥ 0.5	24	30	37	45	56	69	86	110	135	165	208	258	322	400
	较大空间	≥ 1.4	34	42	52	64	80	98	116	155	190	235	300	365	450	570
盘状管冷却或循环润滑油	在户外露天	≥ 3.7	46	57	69	87	108	132	162	205	250	310	400	475	600	760
	水管内径 d/mm		15	15	15	15	15	15	15	20	20	20	20	20	20	20
	环境条件	环境气流速度 $v/m \cdot s^{-1}$	P_{G2}/kW													
	小空间	≥ 0.5	70	77	92	106	150	160	180	210	350	370	430	480	700	770
	较大空间	≥ 1.4	80	89	107	125	175	190	210	255	400	440	520	590	820	940
	在户外露天	≥ 3.7	90	105	124	148	200	225	255	310	460	510	620	700	970	1150

注：当采用循环润滑油时，可按润滑系统计算适当提高 P_{G2} 。表 4.8-33 减速器的工况系数 K_A

原动机	每日工作 时间/h	轻微冲击 (均匀) 载荷 U	中等冲击 载荷 M	强冲击 载荷 H	原动机	每日工作 时间/h	轻微冲击 (均匀) 载荷 U	中等冲击 载荷 M	强冲击 载荷 H	原动机	每日工作 时间/h	轻微冲击 (均匀) 载荷 U	中等冲击 载荷 M	强冲击 载荷 H
电动机 汽轮机 水力机	≤ 3	0.8	1	1.5	4~6 缸 的活塞 发动机	≤ 3	1	1.25	1.75	1~3 缸 的活塞 发动机	≤ 3	1.25	1.5	2
	$> 3 \sim 10$	1	1.25	1.75		$> 3 \sim 10$	1.25	1.5	2		$> 3 \sim 10$	1.5	1.75	2.25
	> 10	1.25	1.5	2		> 10	1.5	1.75	2.25		> 10	1.75	2	2.5

表 4.8-34 减速器载荷的分类

风机类	冷却滚筒 ^①	M	货物升降机	M	挖泥机类	
风机 (轴向和径向)	干燥滚筒 ^①	M	卷扬机 ^①	H	筒式传送轮	H
冷却塔风扇	搅拌机	M	倾斜卷扬机 ^①	H	筒式转向机	H
引风机	压缩机类	M	连杆式传送机	M	挖泥头	H
螺旋活塞式风机	活塞式压缩机	H	载人升降机	M	机动绞车	M
涡轮式风机	涡轮式压缩机	M	螺旋式升降机	M	泵	M
建筑机械类	传送运输机类	M	钢带式升降机	M	转向齿轮传动装置	M
混凝土搅拌机	平板传送机	M	链式槽式升降机	M	行走齿轮传动装置 (履带)	H
卷扬机	平衡块传送机	M	铰车运输机	M	行走齿轮传动装置 (铁轨)	M
路面建筑机械	槽式传送机	M	起重机类	M	食品机械类	
化工类	带式传送机 (大件) ^①	M	转臂式起重齿轮传动装置	M	灌注及装箱机器	U
搅拌机 (液体)	带式传送机 (碎料) ^①	H	卷扬机齿轮传动装置	U	甘蔗压榨机 ^①	M
搅拌机 (半液体)	筒式面粉传送机	U	吊杆起落齿轮传动装置	U	甘蔗切断机 ^①	M
离心机 (重型)	链式传送机	M	转向齿轮传动装置	M	甘蔗粉碎机	H
离心机 (轻型)	环式传送机	M	行走齿轮传动装置	H	搅拌机	M

(续)

酱状物吊桶	M	剪板机 ^①	H	转子钻机设备	H	挤压机 ^①	H
包装机	U	板材摆动升降机 ^①	M	制纸机类		混合搅拌机 ^①	M
糖甜菜切断机	M	轧辊调整装置 ^①	M	压光机 ^①	H	捏和机 ^①	H
糖甜菜清洗机	M	辊式矫直机 ^①	M	多层纸板机 ^①	H	滚压机 ^①	H
发动机及转换器		轧钢机辊道 (重型) ^①	H	干燥滚筒 ^①	H	石料、瓷土料加工机床类	
频率转换器	H	轧钢机辊道 (轻型) ^①	M	上光滚筒 ^①	H	球磨机 ^①	H
发动机	H	薄板轧机 ^①	H	搅浆机 ^①	H	挤压粉碎机 ^①	H
焊接发动机	H	修整剪切机 ^①	M	纸浆擦碎机 ^①	H	压破机	H
洗衣机类		焊管机	H	吸水滚 ^①	H	压砖机	H
滚筒	M	焊接机 (带材和线材)	M	吸水滚压机 ^①	H	锤粉碎机 ^①	H
洗衣机	M	线材拉拔机	M	潮纸滚压机 ^①	H	转炉 ^①	H
金属滚轧机类		金属加工机床类		威罗机	H	筒形磨机 ^①	H
钢坯剪切机 ^①	H	动力轴	U	泵类		纺织机床类	
链式输送机 ^①	M	锻造机	H	离心泵 (稀液体)	U	送料机	M
冷轧机 ^①	H	锻锤 ^①	H	离心泵 (半液体)	M	织布机	M
连铸成套设备 ^①	H	机床及辅助装置	U	活塞泵	H	印染机	M
冷床 ^①	M	机床及主要传动装置	M	柱塞泵 ^①	H	精制桶	M
剪料机头 ^①	H	金属刨床	H	压力泵 ^①	H	威罗机	M
交叉转弯输送机 ^①	M	板材校直机床	H	塑料工业类		水处理类	
除锈机 ^①	H	冲床	H	压光机 ^①	M	鼓风机 ^①	M
重型和中型板轧机 ^①	H	冲压机床	H	挤压机 ^①	M	螺杆泵	M
棒坯冷轧机 ^①	H	剪床	H	螺旋压出机 ^①	M	木料加工机床	
棒坯转运机械 ^①	H	薄板弯曲机床	M	混合机 ^①	M	剥皮机	H
棒坯推料机 ^①	H	石油工业机械类		橡胶机械类		刨床	M
推床 ^①	H	输油管油泵 ^①	M	压光机 ^①	M	锯床 ^①	H
						木料加工机床	U

注: U—均匀载荷, H—强冲击载荷, M—中等冲击载荷。

① 仅用于 24 h 工作制。

表 4.8-35 热功率影响系数 f_1 、 f_2 、 f_3

冷却情况		环境温度 /℃				
		10	20	30	40	50
无冷却	环境温度	0.9	1	1.15	1.35	1.65
冷却管冷却	系数 f_1	0.9	1	1.1	1.2	1.3
小时负荷率 (%)		100	80	60	40	20
负荷系数 f_2		1	0.94	0.86	0.74	0.56
许用功率利用率 P_1/P_{pl}		40%	50%	60%	70%	80~100%
功率利用系数 f_3		1.25	1.15	1.1	1.05	1

表 4.8-36 减速器安全系数 S_A

重 要 性 与 安 全 要 求	一般设备, 减速器失效 仅引起单机 停产且易更 换备件	重要设备, 减速器失效 引起机组、 生产线或全 厂停产	高度安全 要求, 减速 器失效引起 设备、人身 事故
S_A	1.1~1.3	1.3~1.5	1.5~1.7

2.1.4 选用方法

首先按减速器机械强度许用公称功率 P_1 选用, 如果减速器的实用输入转速与承载能力表中的 3 挡 (1500、1000、750 r·min⁻¹) 转速之某一挡转速相对误差不超过 4%, 可按该挡转速下的公称功率选用相当规格的减速器; 如果转速相对误差超过 4%, 则应按实用转速折算减速器的公称功率选用。然后校核减速器热平衡许用功率。

例 1 输送大件物品的带式传动机减速器, 电动机驱动, 通过中间减速, 输入转速 $n_1 = 1200$ r·min⁻¹, 传动比 $i = 4.5$, 负载功率 $P_2 = 380$ kW, 轴伸

承受纯转矩, 每日工作 24h, 最高环境温度 $t = 38$ ℃, 厂房较大, 自然通风冷却, 油池润滑。要求选用第 I 种装配型式标准减速器。

第一步, 按减速器的机械强度功率表选取, 要计入工况系数 K_A , 还要考虑安全系数 S_A 。

按表 4.8-34 查得, 带式传动机负荷为中等冲击, 减速器失效会引起生产线停产。查表 4.8-33、表 4.8-36 得: $K_A = 1.5$, $S_A = 1.5$, 机械强度计算功率 P_{2m} 为

$$P_{2m} = P_2 K_A S_A = 380 \times 1.5 \times 1.5 \text{ kW} = 855 \text{ kW}$$

$$\text{要求 } P_{2m} \leq P_1$$

按 $i = 4.5$ 及 $n_1 = 1200$ r·min⁻¹ 接近公称转速 1000 r·min⁻¹, 查表: ZDY355, $i = 4.5$, $n_1 = 1000$ r·min⁻¹, $P_1 = 953$ kW。当 $n_1 = 1200$ r·min⁻¹ 时, 折算公称功率

$$P_1 = 953 \times 1200/1000 \text{ kW} = 1143.6 \text{ kW}$$

$P_{2m} = 855 \text{ kW} \leq P_1 = 1143.6 \text{ kW}$, 可以选用 ZDY355 减速器。

第二步, 校核热功率 P_{2t} 能否通过。要计入系数 f_1 、 f_2 、 f_3 , 应满足

$$P_{2t} = P_2 f_1 f_2 f_3 \leq P_{G1}$$

查表 4.8-35 得

$$f_1 = 1.31$$

$$f_2 = 1 \text{ (每日 24h 连续工作)}$$

$$f_3 = 1.05 (P_2/P_1) = 1.05 \times 380/1143.6 = 0.35 \\ = 35\% \leq 40\%$$

$$P_{21} = 380 \times 1.31 \times 1.25 \text{ kW} = 622.3 \text{ kW}$$

查表 4.8-28 ZDY355, $P_{G1} = 320 \text{ kW}$, $P_{G1} < P_{21}$, 只有采用盘状管冷却时, $P_{G2} \approx 790 \text{ kW}$, $P_{G2} \approx P_{21}$ 。因此可以选定:

ZDY355—4.5—I 减速器, 采用油池润滑, 盘状水管通水冷却润滑油。

如果不采用盘状管冷却, 则需另选较大规格的减速器。按以上程序重新计算, 应选 ZDY500—4.5—I。

减速器的许用瞬时尖峰负荷 $P_{2\max} \leq 1.8P_1$ 。此例未给出运转中的瞬时尖峰负荷, 故不校核。

2.2 起重机用三支点减速器 (摘自 JB/T8905.1—1999)

JB/T8905.1—1999 中有 QJR、QJS 和 QJRS 3 个系列的斜齿圆柱齿轮减速器, 它适用于起重机的各种机构, 也可用于运输、冶金、矿山、化工、轻工等各种机械设备的传动中。其工作条件为: 齿轮圆周速度不大于 $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 高速轴转速不大于 $1000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$; 工作环境温度为 $-40 \sim 45^\circ \text{C}$; 可正反两向运转; 允许输出轴瞬时最大转矩为 2.7 倍的额定转矩。减速器是三支点安装形式。

2.2.1 型式和标记方法

1) 结构型式: QJ 型减速器分为 R 型——二级、S 型——三级和 RS 型——二、三级结合 3 种, 如图 4.8-24 所示。

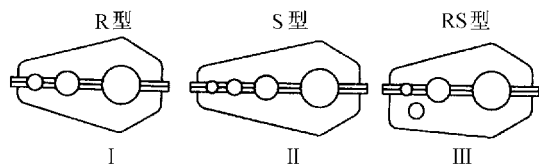


图 4.8-24 QJ 型减速器结构型式

2) 装配型式共 9 种, 如图 4.8-25 所示。

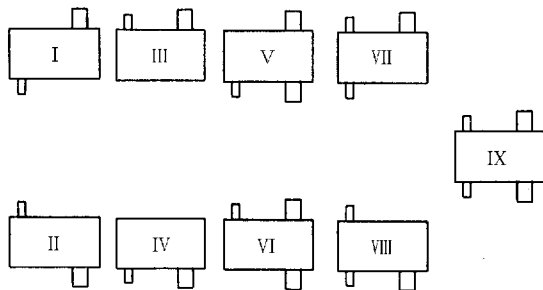


图 4.8-25 QJ 型减速器装配型式

3) 安装型式如图 4.8-26 所示, 可卧式 W 或立

式 L (V) 安装, 在 $\pm \alpha$ 角范围内为卧式安装, 在 L 角范围内为立式安装, α 角的大小与传动比有关, 应保证中间级的大齿轮浸油 1~2 个齿高深度。

4) 轴端型式, 高速轴端采用圆柱形轴伸平键连接, 输出轴端有 3 种, 其型式和尺寸见表 4.8-37。

5) 中心距: 减速器以输出级中心距为名义中心距 a 。

6) 标记示例: 起重机减速器三级传动, 名义中心距 560mm, 公称传动比 50, 装配型式第 III 种, 输出轴端为齿轮轴端, 卧式安装。

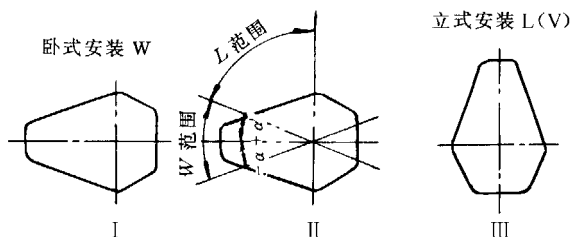
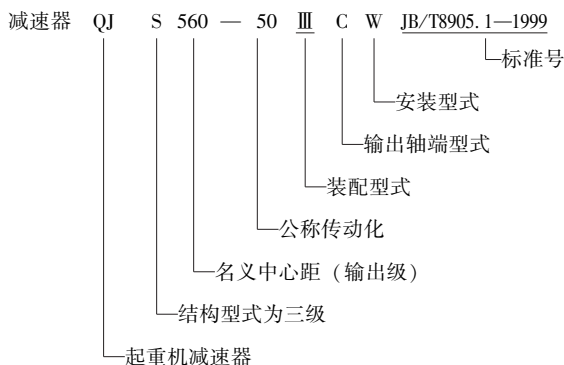


图 4.8-26 安装型式



7) 减速器输出轴端的型式和尺寸 见表 4.8-37。

2.2.2 减速器外形尺寸 (见表 4.8-38 ~ 表 4.8-40)

2.2.3 承载能力

QJR、QJS、QJRS 3 个系列的减速器的承载能力见表 4.8-41 ~ 表 4.8-44。

2.2.4 选用方法

选择减速器时首先要满足传动比的要求, 然后求名义功率, 计算公式为

$$P_n = \frac{P_c}{K} \approx \frac{K_A P}{K} \leq P_p \quad (4.8-3)$$

式中 P_c ——计算功率, 应按专业机器的规定来确定, 如无可靠数据, 可按 $P_c = K_A P$ 近似求之;

K_A ——工况系数, 查表 4.8-45;

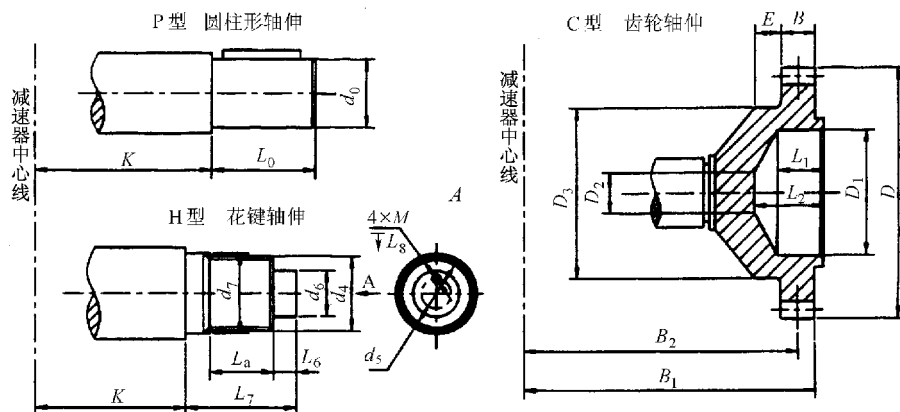
P ——传递的功率 (kW);

K ——系数, 查表 4.8-46;

P_p ——减速器的许用功率, 见表 4.8-41 ~ 表 4.8-44;

表 4.8-37 减速器输出轴端的型式和尺寸

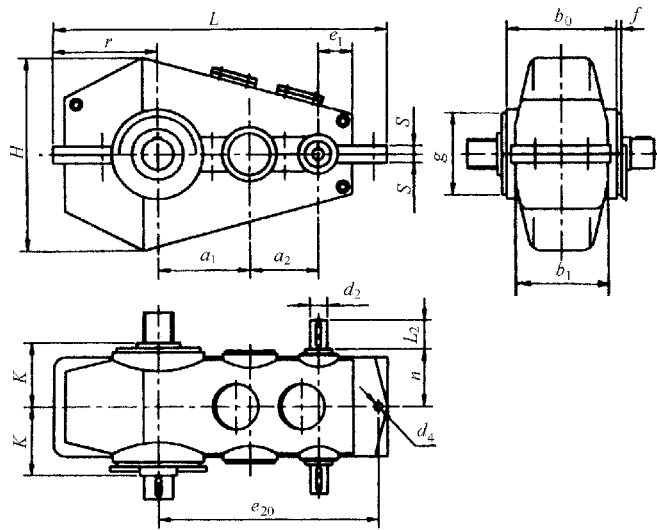
(mm)



名义 中心距 a_1	K	P 型		C 型											H 型									
		d_0	L_0	$m \times z$	D	D_1 (H7)	D_2	D_3	B_1	B_2	B	E	L_1	L_2	$m \times z$	d_4 (h11)	L_a	d_6 (k6)	L_6	d_7 (k6)	L_7	d_5	M	L_8
140	130	48	82												3×15	48	35	40	23	50	78	25	6	12
170	140	55	82												3×18	57	35	50	27	60	82	30	6	12
200	195	65	105												3×22	69	40	60	30	70	90	40	8	16
236	225	80	130	3×56	174	90	40	135	279.5	253	25	25	45	60	3×27	84	45	70	30	85	95	50	8	16
280	250	90	130	4×56	232	120	40	170	302.5	271	35	25	50	75	5×18	95	55	80	35	100	125	60	8	16
335	280	110	165	4×56	232	120	40	170	339.5	308	35	25	50	75	5×22	115	60	100	40	120	135	70	10	20
400	340	310 (140)	200	6×56	348	170	45	260	402	370	40	32	76	100	5×26	135	75	120	45	140	155	90	10	20
450	366	150	200	6×56	348	170	45	260	429	397	40	32	76	100	5×30	155	80	140	50	160	165	100	12	25
500	410	170 (180)	240	8×54	448	200	105	260	482	442	50	32	78	100	5×34	175	90	160	55	180	180	120	12	25
560	445	190 (200)	280	10×48	500	200	105	280	570	505	60	35	78	110	5×38	195	100	180	55	200	190	140	12	25
630	495	220	280												8×26	216	110	190	60	222	205	160	12	25
710	565	250 (260)	330												8×30	248	125	220	60	254	220	180	16	32
800	615	280	380												8×34	280	140	250	60	286	235	200	16	32
900	670	320	380												8×38	312	155	280	70	318	260	220	20	40
1000	740	360	450												8×44	360	175	320	75	366	285	250	20	40

表 4.8-38 QJR 减速器外形尺寸

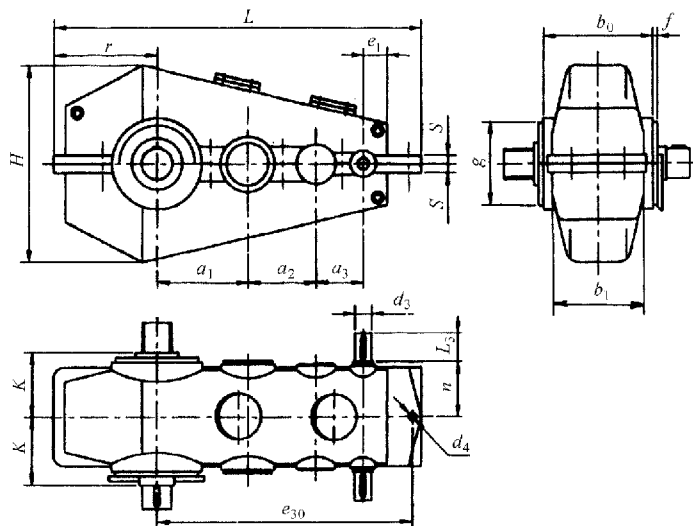
(mm)



名 义 中心距 a_1	a_2	a_{02}	输入轴端		L	H	n	K	$b_0 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.5 \end{smallmatrix}$	$f \begin{smallmatrix} +0.1 \\ 0 \end{smallmatrix}$	g (h9)	d_4	e_{20}	S	b_1	r	e_1	质量 /kg
			d_2	L_2														
140	100	240	22	50	505	320	120	130	190	16	130	12	320	12	128	170	50	59
170	118	288	28	60	600	386	135	140	215	18	150	15	380	14	148	202	60	85
200	140	340	32	80	707	455	180	195	250	20	170	18	450	17	182	232	70	133
236	170	406	38	80	828	518	210	225	300	20	200	18	530	17	218	272	85	240
280	200	480	48	110	974	584	235	250	335	25	240	22	630	22	255	314	100	330
335	236	571	55	110	1156	735	255	280	400	25	270	26	750	27	300	375	120	590
400	280	680	65	140	1387	867	285	340	475	30	320	33	900	27	364	447	140	850
450	315	765	80	170	1547	990	310	365	530	30	360	33	1000	32	404	506	160	1300
500	355	855	90	170	1720	1130	350	410	600	40	400	39	1120	32	471	554	180	1760
560	400	960	100	210	1922	1270	385	445	670	40	430	39	1250	37	515	626	200	2600
630	450	1080	110	210	2156	1380	425	495	750	40	480	45	1400	37	569	704	225	3550
710	500	1210	120	210	2433	1540	450	565	850	50	530	45	1600	42	654	781	250	4900
800	560	1360	130	250	2739	1712	490	615	950	50	580	52	1800	42	728	880	280	6600
900	630	1530	150	250	3043	1910	540	670	1060	50	650	62	2000	47	837	978	320	9200
1000	710	1710	170	300	3384	2150	610	740	1180	60	720	70	2240	55	922	1074	360	12000

表 4.8-39 QJS 减速器外形尺寸

(mm)

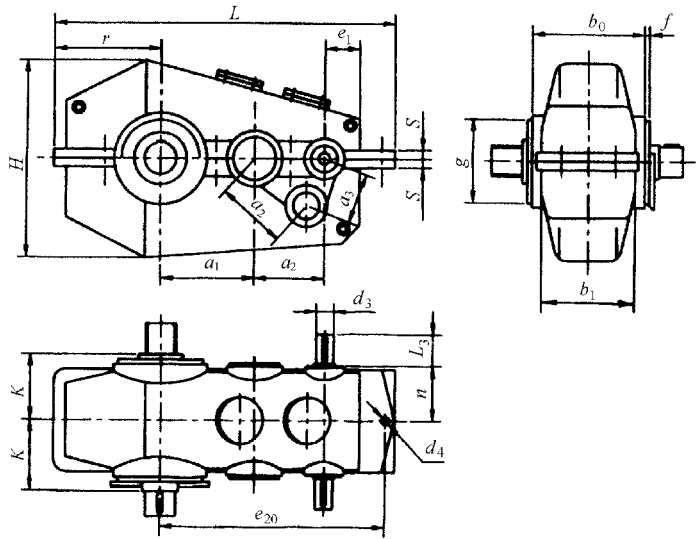


(续)

名义 中心距 a_1	a_2	a_3	a_{03}	输入轴端		L	H	n	K	$b_0^{0}_{-0.5}$	$f^{+0.1}_{-0}$	g	d_4	e_{30}	S	b_1	r	e_1	质量 /kg
				d_3	L_3														
140	100	71	311	18	40	567	320	120	130	190	16	130	12	380	12	128	170	40	64
170	118	85	373	22	50	673	386	135	140	215	18	150	15	450	14	148	202	48	95
200	140	100	440	28	60	793	455	180	195	250	20	170	18	530	17	182	232	56	170
236	170	118	524	32	80	928	518	210	225	300	20	200	18	630	17	218	272	67	256
280	200	140	620	38	80	1024	584	235	250	335	25	240	22	750	22	255	315	80	350
335	236	170	741	45	110	1301	735	255	280	400	25	270	26	900	27	300	375	95	654
400	280	200	880	50	110	1559	867	285	340	475	30	320	33	1060	27	364	447	112	940
450	315	224	989	55	110	1736	990	310	365	530	30	360	33	1180	32	404	506	125	1400
500	355	250	1105	60	140	1930	1130	350	410	600	40	400	39	1320	32	471	554	140	1850
560	400	280	1240	70	140	2162	1270	385	445	670	40	430	39	1500	37	515	626	160	2800
630	450	315	1395	80	170	2426	1380	425	495	750	40	480	45	1700	37	569	704	180	3500
710	500	355	1565	90	170	2738	1540	450	565	850	50	530	45	1900	42	654	781	200	4700
800	560	400	1760	100	210	3084	1712	490	615	950	50	580	52	2120	42	728	880	225	6400
900	630	450	1980	110	210	3423	1910	540	670	1060	50	650	62	2360	47	837	978	250	9000
1000	710	500	2210	130	250	3804	2150	610	740	1180	60	720	70	2650	55	922	1074	280	11700

表 4.8-40 QJRS 减速器外形尺寸

(mm)



名义 中心距 a_1	a_2	a_3	a_{03}	输入轴端		L	H	n	K	$b_0^{0}_{-0.5}$	$f^{+0.1}_{-0}$	g	d_4	e_{20}	S	b_1	r	e_1	质量 /kg
				d_3	L_3														
140	100	71	311	18	40	505	298	120	130	190	16	130	12	320	12	128	170	50	64
170	118	85	373	22	50	600	375	135	140	215	18	150	15	380	14	148	202	60	94
200	140	100	440	28	60	707	440	180	195	250	20	170	18	450	17	182	232	70	185
236	170	118	524	32	80	828	500	210	225	300	20	200	18	530	17	218	272	85	284
280	200	140	620	38	80	974	562	235	250	335	25	240	22	630	22	255	314	100	380
335	236	170	741	45	110	1156	710	255	280	400	25	270	26	750	27	300	375	120	650
400	280	200	880	50	110	1387	836	285	340	475	30	320	33	900	27	364	447	140	930
450	315	224	989	55	110	1547	980	310	365	530	30	360	33	1000	32	404	506	160	1410
500	355	250	1105	60	140	1720	1060	350	410	600	40	400	39	1120	32	471	554	180	1820
560	400	280	1240	70	140	1922	1240	385	445	670	40	430	39	1250	37	515	626	200	2890
630	450	315	1395	80	170	2156	1370	425	495	750	40	480	45	1400	37	569	704	225	3550
710	500	355	1565	90	170	2433	1530	450	565	850	50	530	45	1600	42	654	781	250	4900
800	560	400	1760	100	210	2739	1691	490	615	950	50	580	52	1800	42	728	880	280	6600
900	630	450	1980	110	210	3043	1900	540	670	1060	50	650	62	2000	47	837	978	320	9200
1000	710	500	2210	130	250	3384	2070	610	740	1180	60	720	70	2240	55	922	1074	360	12000

表 4.8-41 QJR 减速器工作级别 M5^①时的承载能力

输入轴转速 /r · min ⁻¹	名义中心距 a/mm	输出转矩 /N · m	公 称 传 动 比					
			10	12.5	16	20	25	31.5
			高速轴许用功率/kW					
600	140	820	5.3	4.3	3.4	2.7	2.1	1.6
	170	1360	9.0	7.2	5.7	4.5	3.5	2.8
	200	2650	15.5	12.4	9.7	7.8	6.2	4.9
	236	4500	26.0	21.0	16.5	13.3	10.5	8.4
	280	7500	44.0	35.0	27.0	22.0	17.6	13.9
	335	12500	73.0	59.0	46.0	37.0	29.0	23.0
	400	21200	124.0	99.0	78.0	62.0	50.0	39.0
	450	30000	176.0	141.0	110.0	83.0	70.0	56.0
	500	42500	249.0	199.0	155.0	124.0	100.0	79.0
	560	60000	351.0	281.0	220.0	176.0	141.0	112.0
	630	85000	497.0	398.0	311.0	249.0	199.0	159.0
	710	118000	691.0	552.0	432.0	345.0	276.0	219.0
	800	170000	995.0	796.0	622.0	497.0	398.0	316.0
750	900	236000	1381.0	1105.0	863.0	691.0	552.0	438.0
	1000	335000	1961.0	1568.0	1225.0	980.0	784.0	622.0
	140	820	6.4	5.2	4.1	3.3	2.6	2.0
	170	1360	10.7	8.8	7.0	5.7	4.5	3.4
	200	2650	19.3	15.5	12.1	9.7	7.7	6.1
	236	4500	33.0	26.0	20.0	16.4	13.4	10.4
	280	7500	55.0	44.0	34.0	27.0	22.0	17.4
	335	12500	91.0	73.0	57.0	46.0	36.0	29.0
	400	21200	155.0	124.0	97.0	77.0	62.0	49.0
	450	30000	219.0	175.0	137.0	109.0	88.0	69.0
	500	42500	310.0	248.0	194.0	155.0	124.0	98.0
	560	60000	437.0	350.0	273.0	219.0	175.0	139.0
	630	85000	620.0	496.0	387.0	310.0	248.0	197.0
1000	710	118000	860.0	688.0	538.0	430.0	364.0	273.0
	800	170000	1239.0	991.0	775.0	620.0	496.0	393.0
	900	236000	1720.0	1376.0	1025.0	860.0	688.0	546.0
	1000	335000	2442.0	1954.0	1526.0	1221.0	977.0	775.0
	140	820	7.9	6.5	5.2	4.2	3.3	2.6
	170	1350	13.2	10.9	8.7	7.1	5.7	4.4
	200	2650	26.0	21.0	16.2	12.9	10.3	8.2
	236	4500	44.0	35.0	27.0	22.0	17.6	13.9
	280	7500	73.0	59.0	46.0	37.0	29.0	23.0
	335	12500	122.0	98.0	76.0	61.0	49.0	39.0
	400	21200	207.0	165.0	129.0	103.0	83.0	66.0
	450	30000	293.0	234.0	183.0	146.0	117.0	93.0
	500	42500	415.0	332.0	259.0	207.0	166.0	132.0
	560	60000	585.0	468.0	366.0	293.0	234.0	186.0
	630	85000	829.0	665.0	518.0	415.0	332.0	263.0
	710	118000	1151.0	921.0	719.0	576.0	460.0	365.0
	800	170000	1668.0	1327.0	1036.0	829.0	663.0	526.0
	900	236000	2302.0	1842.0	1439.0	1151.0	921.0	731.0
	1000	335000	3268.0	2614.0	2042.0	1634.0	1307.0	1037.0

① GB/T3811—2008《起重机设计规范》将起重机各机构的工作级别，分为 M1 ~ M8 八种。

表 4.8-42 QJR 减速器连续工作^①时的承载能力

输入轴转速 /r · min ⁻¹	名义中心距 a/mm	输出转矩 /N · m	公 称 传 动 比					
			10	12.5	16	20	25	31.5
			高速轴许用功率/kW					
600	140	410	2.7	2.2	1.7	1.4	1.1	0.8
	170	680	4.5	3.6	2.9	2.3	1.8	1.4
	200	1325	7.8	6.2	4.9	3.9	3.1	2.5
	236	2250	13.0	10.5	6.3	6.6	5.3	4.2
	280	3750	22.0	17.5	13.5	11.0	8.8	7.0
	335	6250	36.5	29.5	23.0	18.5	14.5	11.5
	400	10600	62.0	49.5	39.0	31.0	25.0	19.5
	450	15000	88.0	70.5	55.0	44.0	35.0	28.0
	500	21250	124.5	99.5	77.5	62.0	50.0	39.5
	560	30000	175.5	140.5	110.0	88.0	70.5	56.8
	630	42500	248.5	199.0	155.5	124.5	99.5	79.0
	710	59000	345.5	276.0	216.0	172.5	138.0	109.5

(续)

输入轴转速 /r · min ⁻¹	名义中心距 a/mm	输出转矩 /N · m	公 称 传 动 比					
			10	12.5	16	20	25	31.5
			高速轴许用功率/kW					
600	800	85000	497.5	398.0	311.0	248.5	199.0	158.0
	900	118000	690.5	552.5	431.5	345.5	276.0	219.0
	1000	167500	980.5	784.0	612.5	490.0	392.0	311.0
750	140	410	3.2	2.6	2.1	1.7	1.3	1.0
	170	680	5.4	4.4	3.5	2.9	2.3	1.7
	200	1325	9.7	7.8	6.1	4.9	3.9	3.1
	236	2250	16.5	13.0	10.5	8.2	6.6	5.2
	280	3750	27.5	22.0	17.0	13.5	11.0	8.7
	335	6250	45.5	36.5	38.5	23.0	18.0	14.5
	400	10600	77.5	62.0	48.5	38.5	31.0	24.5
	450	15000	109.5	87.5	68.5	54.5	44.0	34.5
	500	21250	155.0	124.0	97.0	77.5	62.0	49.0
	560	30000	218.5	175.0	136.5	109.5	87.5	69.5
	630	42500	310.0	298.0	198.5	155.0	124.0	98.5
	710	59000	430.0	344.0	269.0	215.0	172.0	136.5
	800	85000	619.5	495.5	387.5	310.0	248.0	196.5
	900	118000	860.0	688.0	537.5	430.0	344.0	273.0
	1000	167500	1221.0	977.0	763.0	610.5	488.5	387.5
1000	140	410	3.9	3.2	2.6	2.1	1.6	1.3
	170	680	6.6	5.4	4.3	3.5	2.8	2.2
	200	1325	13.0	10.5	8.1	6.4	5.1	4.1
	236	2250	22.0	17.5	13.5	11.0	8.8	6.9
	280	3750	36.5	29.5	23.0	18.5	14.5	11.5
	335	6250	61.0	49.0	38.0	30.5	24.5	19.5
	400	10600	103.5	82.5	64.5	51.5	41.5	33.0
	450	15000	146.5	117.0	91.5	73.0	58.5	46.5
	500	21250	207.5	166.0	129.5	103.5	83.0	66.0
	560	30000	292.5	234.0	183.0	146.5	117.0	93.0
	630	42500	414.5	331.5	259.0	207.5	166.0	131.5
	710	59000	575.5	460.5	359.5	288.0	230.0	182.5
	800	85000	829.0	663.5	518.0	414.5	331.5	263.0
	900	118000	1151.0	921.0	719.5	575.5	460.5	365.5
	1000	167500	1634.0	1307.0	1021.0	817.0	653.5	518.5

① 连续工作类型减速器推荐用于除起重机以外的其他各种机械设备中。

表 4.8-43 QJS、QJRS 减速器工作级别 M5 时的承载能力

输入轴转速 /r · min ⁻¹	名义中心距 a/mm	输出转矩 /N · m	公 称 传 动 比							
			40	50	63	80	100	125	160	200
			高速轴许用功率/kW							
600	140	820	1.5	1.4	1.5	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3
	170	1360	2.5	2.1	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6	0.5
	200	2650	3.9	3.1	2.5	1.9	1.6	1.2	1.0	0.8
	236	4500	6.6	5.3	4.2	3.3	2.6	2.1	1.7	1.3
	280	7500	11.0	8.8	7.0	5.5	4.4	3.5	2.7	2.2
	335	12500	18.3	14.6	11.6	9.1	7.3	5.9	4.6	3.7
	400	21200	31.0	25.0	19.7	15.5	12.4	9.9	7.8	6.2
	450	30000	44.0	35.0	28.0	22.0	17.6	14.1	11.0	8.8
	500	42500	62.0	50.0	40.0	31.0	25.0	19.9	15.6	12.4
	560	60000	88.0	70.0	56.0	44.0	35.0	28.0	22.0	17.6
	630	85000	124.0	100.0	79.0	62.0	50.0	40.0	31.0	25.0
	710	118000	173.0	138.0	118.0	86.0	68.0	55.0	43.0	35.0
750	800	170000	249.0	199.0	158.0	124.0	100.0	80.0	62.0	50.0
	900	236000	345.0	276.0	219.0	173.0	138.0	111.0	86.0	69.0
	1000	335000	490.0	392.0	311.0	245.0	196.0	157.0	123.0	98.0
	140	820	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4
	170	1360	3.1	2.6	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6
	200	2650	4.8	3.9	3.1	2.4	1.9	1.6	1.2	4.0
	236	4500	8.2	6.6	5.2	4.1	3.3	2.6	2.1	1.9
	280	7500	13.7	10.9	8.7	6.8	5.5	4.4	3.4	2.7
	335	12500	23.0	18.2	14.5	11.4	9.1	7.3	5.7	4.6
	400	21200	39.0	31.0	25.0	19.3	15.5	12.4	9.7	7.7
	450	30000	55.0	44.0	35.0	27.0	22.0	17.5	19.7	10.9
	500	42500	78.0	62.0	49.0	39.0	31.0	25.0	19.4	15.5

(续)

输入轴转速 /r · min ⁻¹	名义中心距 a/mm	输出转矩 /N · m	公 称 传 动 比							
			40	50	63	80	100	125	160	200
			高速轴许用功率/kW							
750	560	60000	109.0	88.0	69.0	55.0	44.0	35.0	27.0	22.0
	630	85000	155.0	124.0	98.0	78.0	62.0	50.0	39.0	31.0
	710	115000	215.0	172.0	137.0	108.0	86.0	69.0	54.0	43.0
	800	170000	310.0	248.0	197.0	155.0	124.0	99.0	78.0	62.0
	900	236000	430.0	344.0	273.0	215.0	172.0	138.0	108.0	86.0
	1000	335000	611.0	488.0	388.0	305.0	244.0	195.0	153.0	122.0
1000	140	820	2.3	1.9	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5
	170	1360	3.9	3.2	2.6	2.1	1.7	1.3	1.0	0.8
	200	2650	6.5	5.2	4.1	3.2	2.6	2.1	1.6	1.3
	236	4500	11.0	8.8	7.0	5.5	4.4	3.5	2.7	2.2
	280	7500	18.3	14.6	11.6	9.1	7.3	5.9	4.6	3.7
	335	12500	31.0	24.0	19.4	15.2	12.2	9.8	7.6	6.1
	400	21200	52.0	41.0	33.0	26.0	21.0	16.5	12.9	10.3
	450	30000	73.0	59.0	47.0	37.0	29.0	23.0	18.3	14.6
	500	42500	104.0	83.0	66.0	52.0	42.0	33.0	26.0	21.0
	560	60000	146.0	117.0	95.0	73.0	59.0	47.0	37.0	29.0
	630	85000	207.0	166.0	132.0	104.0	83.0	66.0	52.0	42.0
	710	118000	288.0	230.0	183.0	144.0	115.0	92.0	72.0	58.0
	800	170000	415.0	332.0	263.0	207.0	166.0	133.0	104.0	83.0
	900	236000	576.0	460.0	365.0	288.0	230.0	184.0	144.0	115.0
	1000	335000	827.0	654.0	529.0	488.0	327.0	261.0	204.0	163.0

表 4.8-44 QJS、QJRS 减速器连续工作时的承载能力

输入轴转速 /r · min ⁻¹	名义中心距 a ₁ /mm	输出转矩 /N · m	公 称 传 动 比							
			40	50	63	80	100	125	160	200
			高速轴许用功率/kW							
600	140	410	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1
	170	680	1.3	1.1	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2
	200	1325	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4
	236	2250	3.3	2.7	2.1	1.7	1.3	1.1	0.9	0.7
	280	3750	5.5	4.4	3.5	2.8	2.2	1.8	1.4	1.1
	335	6250	9.2	7.3	5.8	4.6	3.7	3.0	2.3	1.9
	400	10600	15.5	12.5	9.9	7.8	6.2	5.0	3.9	3.4
	450	15000	22.0	17.5	14.0	11.0	8.8	7.1	5.5	4.4
	500	21250	31.0	25.0	20.0	15.5	12.5	10.0	7.8	6.2
	560	30000	44.0	35.0	28.0	22.0	17.5	14.0	11.0	8.0
	630	42500	62.0	50.0	39.5	31.0	25.0	20.0	15.5	12.5
	710	59000	86.5	69.0	55.0	43.0	34.5	27.5	21.5	17.5
	800	85000	124.5	99.5	79.0	62.0	50.0	40.0	31.0	25.0
	900	118000	172.5	138.0	109.5	86.5	69.0	55.5	43.0	34.5
	1000	167500	245.0	196.0	155.5	122.5	98.0	78.5	61.5	49.0
750	140	410	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
	170	680	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3
	200	1325	2.4	2.0	1.6	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5
	236	2250	4.1	3.3	2.6	2.1	1.7	1.3	1.1	0.8
	280	3750	6.9	5.5	4.4	3.4	2.8	2.2	1.7	1.3
	335	6250	11.5	9.1	7.3	5.7	4.6	3.7	2.9	2.3
	400	10600	19.5	15.5	12.5	9.7	7.8	6.2	4.9	3.9
	450	15000	27.5	22.0	17.5	13.5	11.0	8.8	6.9	5.5
	500	21250	39.0	31.0	24.5	19.5	15.5	12.5	9.7	7.8
	560	30000	54.5	44.0	34.5	27.5	22.0	17.5	13.5	11.0
	630	42500	77.5	62.0	49.0	39.0	31.0	25.0	19.5	15.5
	710	59000	107.5	86.0	68.5	54.0	43.0	34.5	27.0	21.5
	800	85000	155.0	124.0	98.5	77.5	62.0	49.5	39.0	31.0
	900	118000	215.0	172.0	136.5	107.5	86.0	69.0	54.0	43.0
	1000	167500	305.5	244.0	194.0	152.5	122.0	97.5	76.5	61.0
1000	140	410	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5	0.2
	170	680	1.9	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4
	200	1325	3.2	2.6	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6
	236	2250	5.5	4.4	3.5	2.7	2.2	1.7	1.3	1.1
	280	3750	9.1	7.3	5.8	4.5	3.6	2.9	2.3	1.8
	335	6250	15.5	12.0	9.7	7.6	6.1	4.9	3.8	3.0
	400	10600	26.0	20.5	16.5	13.0	10.5	8.2	6.4	5.1

(续)

输入轴转速 /r · min ⁻¹	名义中心距 a ₁ /mm	输出转矩 /N · m	公 称 传 动 比							
			40	50	63	80	100	125	160	200
			高速轴许用功率/kW							
1000	450	15000	36.0	29.5	23.5	18.5	14.5	11.5	9.1	7.3
	500	21250	52.0	41.5	33.0	26.0	21.0	16.5	13.0	10.5
	560	30000	73.0	58.5	46.5	36.5	29.5	23.5	18.5	14.5
	630	42500	103.5	83.0	66.0	52.0	41.5	33.0	26.0	21.0
	710	59000	144.0	115.0	91.5	72.0	57.5	46.0	36.0	29.0
	800	85000	207.5	166.0	131.5	103.5	83.0	66.5	52.0	41.5
	900	118000	288.0	230.0	182.5	144.0	115.0	92.0	72.0	57.5
	1000	167500	408.5	327.0	259.5	204.0	163.5	130.5	102.0	81.5

表 4.8-45 工况系数 K_A

原动机	每天工作时间/h	载荷种类			原动机	每天工作时间/h	载荷种类		
		U	M	H			U	M	H
电动机、涡轮机	≤3	1.0	1.0	1.50	4~6缸活塞发动机	>10~24	1.50	1.75	2.25
	>3~10	1.25	1.25	1.75		≤3	1.25	1.50	2.0
	>10~24	1.25	1.50	2.0		>3~10	1.50	1.75	2.25
4~6缸活塞发动机	≤3	1.0	1.25	1.75		>10~24	1.75	2.00	2.50
	>3~10	1.25	1.50	2.0					

注：U—平稳载荷；M—中等冲击载荷；H—重型冲击载荷；工作机械的载荷分类见表 4.8-34。

表 4.8-46 系数 K

减速器平均每天运转时间/h	≤1	1~3	3~6	1~3	≤1	>6	3~6	1~3	>6	>3
平均负荷	轻	中	轻	中	额定	轻	中	额定	中	额定
起重机械载荷状态	Q1		Q2		Q3		Q4			
系 数 K	1.25		1		0.80		0.63			

注：起重机械载荷状态分类见表 4.8-47。

表 4.8-47 起重机械载荷状态分类

起重设备名称	载荷状况	起重设备名称	载荷状况
电站用桥式起重机	Q1	砸铁起重机	Q2~Q3
金工车间装卸用起重机	Q1	脱锭起重机	Q3~Q4
仓库起重机	Q1~Q2	均热炉起重机	Q2~Q3
车间的吊钩起重机	Q2	平炉装料起重机	Q3~Q4
抓斗桥式起重机	Q1~Q3	锻造起重机	Q3~Q4
废料场起重机或电磁起重机	Q2~Q3	悬臂或伸缩臂起重机（根据用途）	
铸造起重机	Q4	堆料场用轨道式吊钩起重机	Q2~Q3
船坞抓斗起重机	Q2~Q3	轨道式抓斗起重机	Q2~Q4
特殊任务动臂起重机	Q1~Q4	车辆装卸用轨道式吊钩起重机	Q2~Q4
浮游装货起重机	Q1~Q2	装卸桥	Q2~Q4
浮游抓斗起重机	Q1~Q2	轨道式拆卸用起重机	Q1~Q2
建筑起重机	Q1~Q2	集装箱桥式起重机或动臂起重机	Q2~Q3
铁路急救起重机	Q1	装卸用动臂起重机	Q1~Q2
甲板起重机	Q2	吊钩动臂起重机	Q2~Q3
步行式起重机	Q2~Q3	抓斗动臂起重机	Q2~Q4
桅杆动臂起重机	Q1	造船动臂起重机	Q2
单轨起重机（根据用途）		船坞装货起重机	Q2~Q3

减速器输出轴端最大允许径向载荷（当 $n_1 = 1000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时）列于表 4.8-48。

表 4.8-48 输出轴端最大允许径向载荷（当 $n = 1000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时） (N)

名义中心距 a/mm	140	170	20	236	280	335	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
最大允许径向载荷	R 级	5000	7000	9000	15000	21000	28000	35000	55000	60000	75000	100000	107000	120000	200000
	S 级	5000	8000	10000	15000	30000	37000	55000	64000	93000	120000	150000	170000	200000	270000
	RS 级														

例 2 选择炼钢车间使用的铸造起重机的减速器， $P_c = 80\text{kW}$ ， $n = 750\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ， $i = 100$ 。

解：由表 4.8-46 及表 4.8-47，查出载荷状态为 Q4，经常是额定负荷，所以 $K = 0.63$ 。

$$P_n = \frac{80}{0.63} \text{kW} = 127\text{kW}$$

查表 4.8-43，选用 $a = 800\text{mm}$ ， $P_p = 124 \times \frac{750}{710} \text{kW} = 131\text{kW}$ ，故合适。

2.3 起重机底座式减速器（摘自 JB/T8905.2—1999）

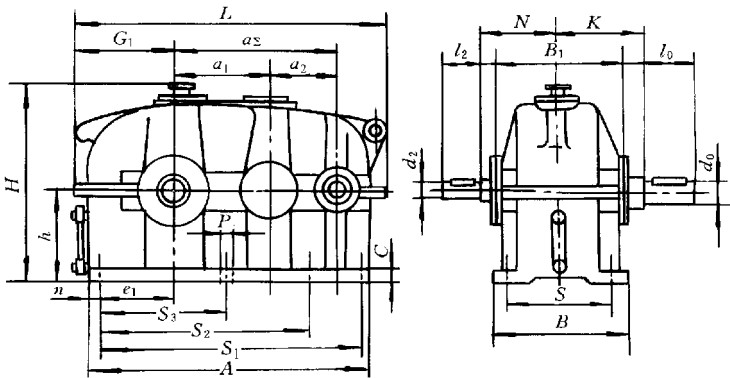
JB/T8905.2—1999 中有 QJR-D、QJS-D 和 QJRS-D 三个系列起重机底座式减速器，这种减速器除了外形尺寸及输出轴端的 K 值（见表 4.8-37）与 JB/T8905.1—1999 不同外，其他如：适用范围、结构型式、装配型式、轴端型式、中心

距以及承载能力和选择方法等都一样，因此，除外形尺寸本节单列外（见表 4.8-49 ~ 表 4.8-51），其他都按前面 2.2 节（JB/T8905.1—1999）相应的表图查，本节省略。

标记示例：起重机带底座的二级减速器，名义中心距 $a=560\text{mm}$ ，公称传动比 $i=20$ ，第Ⅳ种装配型式，轴端型式为 P 型的，标记为：

减速器 QJR-D560-20ⅣP JB/T 8905.2—1999

表 4.8-49 QJR-D 减速器的外形尺寸 (mm)



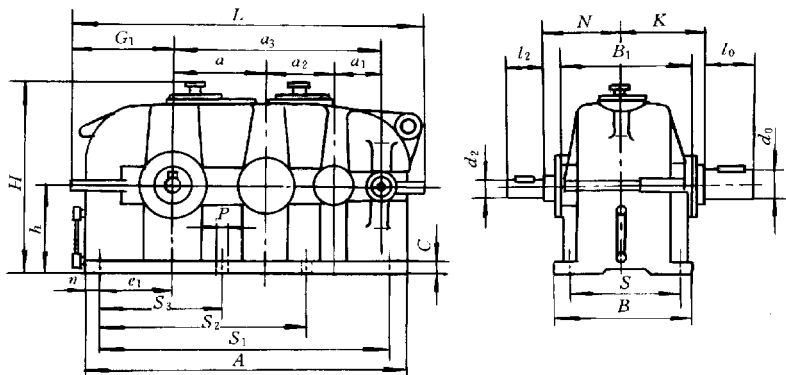
名义中心距 a_1	a_2	a_Σ	外 形 尺 寸			中心高	输 入 轴 端			
			L	H	B	h	N	d_2	l_2	
140	100	240	494	305	220	140	120	22	50	
170	118	288	577	365	250	170	135	28	60	
200	140	340	664	425	270	200	180	32	80	
236	170	406	796	497	330	236	210	38	80	
280	200	480	925	585	360	280	235	48	110	
335	236	571	1100	695	430	335	255	55	110	
400	280	680	1380	830	510	400	285	65	140	
450	315	765	1462	930	590	450	310	80	170	
500	355	855	1622	1030	640	500	350	90	170	
560	400	960	1822	1160	710	560	385	100	210	
630	450	1080	2037	1300	770	630	425	110	210	
710	500	1210	2278	1460	860	710	450	120	210	
800	560	1360	2538	1640	980	800	490	130	250	
900	630	1530	2860	1840	1100	900	540	150	250	
1000	710	1710	3200	2040	1200	1000	610	170	300	

名义中心距 a	地 脚 安 装 尺 寸							A	B_1	n	G_1	e_1
	S	S_1	S_2	S_3	C	P	孔数 (个)					
140	175	380		190	22	18	6	430	190	25	172	117
170	205	460		230	25	18	6	513	215	27	197	138
200	230	550		275	25	18	6	600	250	25	222	165
236	280	660		330	28	23	6	716	300	30	265	195
280	310	780		390	30	23	6	845	340	33	303	230
335	370	940		450	35	27	6	1006	400	35	362	280
400	450	1140		550	40	27	6	1195	490	50	422	325
450	490	1240	1000	600	40	33	8	1350	550	55	481	370
500	540	1390	1120	670	45	33	8	1510	620	60	531	415
560	600	1550	1250	750	50	39	8	1600	690	70	596	460
630	650	1750	1410	850	55	39	8	1905	770	80	666	520
710	740	1960	1580	950	60	45	8	2130	868	85	744	585
800	830	2195	1770	1060	65	45	8	2390	980	100	824	650
900	950	2480	2000	1200	70	52	8	2700	1130	110	930	740
1000	1050	2750	2220	1320	75	52	8	3020	1220	135	1040	815

生产厂：太原重型机器厂、上海起重运输机械厂、银川起重机械厂、大连起重机器厂。

表 4.8-50 QJRS-D 减速器的外形尺寸

(mm)



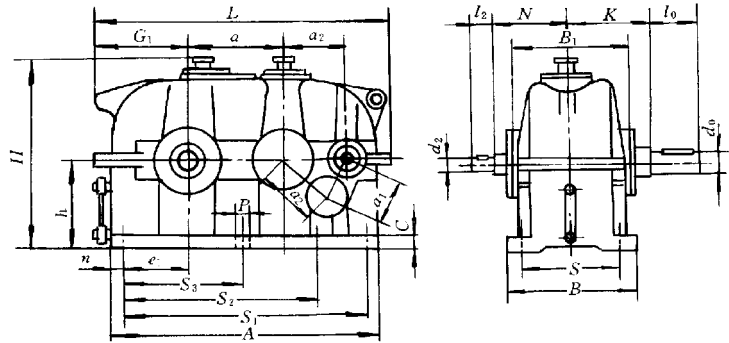
名义中心距 <i>a</i>	<i>a</i> ₂	<i>a</i> ₁	<i>a</i> _Σ	外形尺寸			中心高 <i>h</i>	输入轴端		
				<i>L</i>	<i>H</i>	<i>B</i>		<i>N</i>	<i>d</i> ₂	<i>l</i> ₂
140	100	71	311	560	305	220	140	120	18	40
170	118	85	373	652	365	250	170	135	22	50
200	140	100	440	750	425	275	200	180	28	60
236	170	118	524	896	497	330	236	210	32	80
280	200	140	620	1045	585	360	280	235	38	80
335	236	170	741	1245	695	430	335	255	45	110
400	280	200	880	1461	830	510	400	285	50	110
450	315	224	989	1651	930	590	450	310	55	110
500	355	250	1105	1832	1030	640	500	350	60	140
560	400	280	1240	2062	1160	710	560	385	70	140
630	450	315	1395	2307	1300	770	630	425	80	170
710	500	355	1565	2583	1460	860	710	450	90	170
800	560	400	1760	2883	1640	980	800	490	100	210
900	630	450	1980	3240	1840	1100	900	540	110	210
1000	710	500	2210	3620	2040	1200	1000	610	130	250

名义中心距 <i>a</i>	地 脚 安 装 尺 寸							<i>A</i>	<i>B</i> ₁	<i>n</i>	<i>G</i> ₁	<i>e</i> ₁
	<i>S</i>	<i>S</i> ₁	<i>S</i> ₂	<i>S</i> ₃	<i>C</i>	<i>P</i>	孔数(个)					
140	175	450		200	22	18	6	496	190	25	172	117
170	205	535		235	25	18	6	588	215	27	197	138
200	230	635		275	25	18	6	686	250	25	222	165
236	280	750		330	28	23	6	816	300	30	265	195
280	310	900		390	30	23	6	965	340	33	303	230
335	370	1050	750	450	35	27	6	1151	400	35	362	280
400	450	1270	900	550	40	27	6	1367	490	50	422	325
450	490	1425	1000	600	40	33	8	1539	550	55	481	370
500	540	1600	1120	670	45	33	8	1720	620	60	531	415
560	600	1780	1250	750	50	39	8	1930	690	70	596	460
630	650	2010	1410	850	55	39	8	2175	770	80	666	520
710	740	2265	1580	950	60	45	8	2435	868	85	744	585
800	830	2535	1770	1060	65	45	8	2735	980	100	824	650
900	950	2860	2000	1200	70	52	8	3080	1130	110	930	740
1000	1050	3170	2220	1320	75	52	8	3440	1220	135	1040	815

注：生产厂同前表。

表 4.8-51 QJRS-D 减速器的外形尺寸

(mm)



(续)

名义中心距 a	a_2	a_1	a_{03}	外形尺寸			中心高 h	输入轴端		
				L	H	B		N	d_2	l_2
140	100	71	311	494	305	220	140	120	18	40
170	118	85	374	577	365	250	170	135	22	50
200	140	100	440	664	425	275	200	180	28	60
236	170	118	524	796	497	330	236	210	32	80
280	200	140	620	925	585	360	280	235	38	80
335	236	170	741	1100	695	430	335	255	45	40
400	280	200	880	1289	830	510	400	285	50	110
450	315	224	989	1462	930	590	450	310	55	110
500	355	250	1105	1622	1030	640	500	350	60	140
560	400	280	1240	1872	1160	710	580	385	70	140
630	450	315	1395	2037	1300	770	630	425	80	170
710	500	355	1565	2278	1460	860	710	450	90	170
800	560	400	1760	2538	1640	980	800	490	100	210
900	630	450	1980	2860	1840	1100	900	540	110	210
1000	710	500	2210	3200	2040	1200	1000	610	130	250

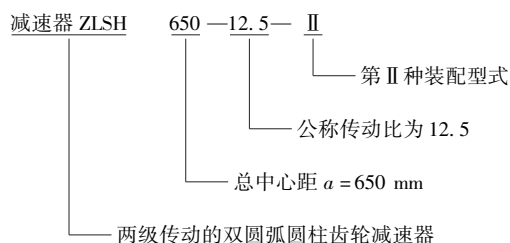
名义中心距 a	地脚安装尺寸							A	B_1	n	G_1	e_1
	S	S_1	S_2	S_3	C	P	孔数(个)					
140	175	380		190	22	18	6	480	190	25	172	115
170	205	460		230	25	18	6	513	215	26.5	197	138
200	230	550		275	25	18	6	600	250	25	222	165
236	280	660		330	28	23	6	716	300	26	265	195
280	310	780		390	30	23	6	845	340	33	303	230
335	370	940		450	35	27	6	1006	400	33	362	280
400	450	1100		550	40	27	6	1195	490	47	422	325
450	490	1240	1000	600	40	33	8	1350	550	52	481	370
500	540	1390	1120	670	45	33	8	1510	620	57	531	415
560	600	1550	1250	750	50	39	8	1690	690	67	596	460
630	650	1750	1410	850	55	39	8	1905	770	77.5	666	520
710	740	1960	1580	950	60	45	8	2130	860	85	744	585
800	830	2195	1770	1060	65	45	8	2390	980	97.5	824	650
900	950	2480	2000	1300	70	52	8	2700	1100	110	930	740
1000	1050	2750	2220	1320	75	52	8	3020	1200	135	1040	815

2.4 双圆弧圆柱齿轮减速器

ZDSh (单级)、ZLSh (两级)、ZSSh (三级) 双圆弧圆柱齿轮减速器, 主要用于冶金、矿山、建材、化工、纺织、轻工等工业领域, 其适用条件: 高速轴转速不大于 $1500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 工作环境的温度为 $-40^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$ 。可正、反双向运转。

齿轮为中硬齿面。本系列减速器的安装型式与连接尺寸与 JB1586—1975 的 ZDH、ZLH、ZSH 和 JB 1130—70 的 ZD、ZL、ZS 系列减速器相适应, 但其承载能力可相应提高 1~2 挡。

2.4.1 标记方法



2.4.2 装配型式和尺寸

减速器的装配型式和外形尺寸列于表 4.8-52 ~ 表 4.8-54。

2.4.3 承载能力

减速器的承载能力列于表 4.8-55 ~ 表 4.8-57。

2.4.4 选用方法

选用减速器时必须满足传动比的要求, 然后按计算功率 P_{cl} 选用减速器的型号, 即

$$P_{cl} = P_1 \cdot K_A \leq P'_{P1} = P_{P1} \frac{n'_1}{n_1} \quad (4.8-4)$$

式中 P_1 ——传递的功率 (kW);

K_A ——工况系数, 见表 4.8-33;

n'_1 ——要求的输入转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$);

n_1 ——承载能力表中靠近 n'_1 的转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$);

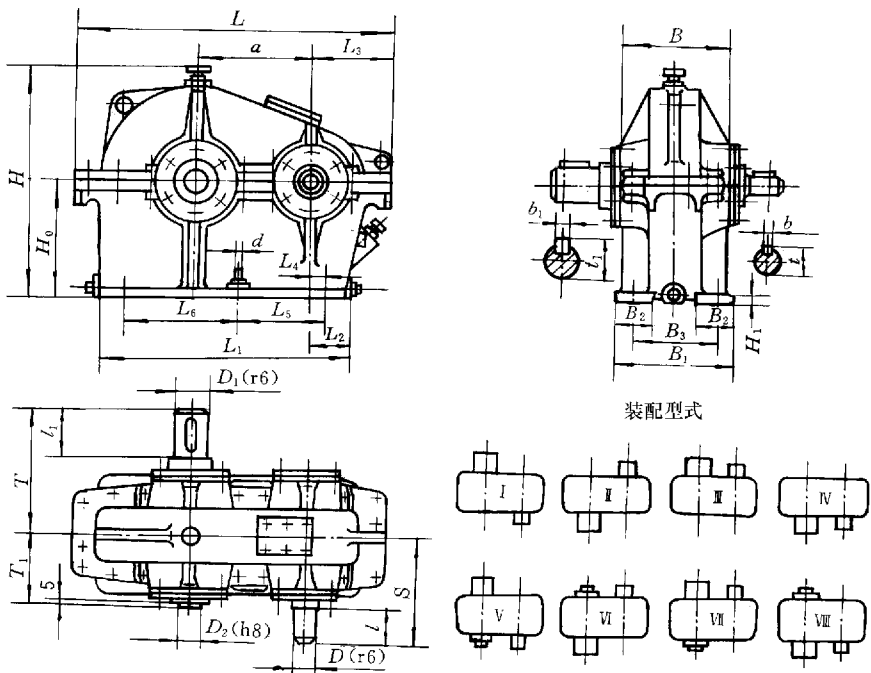
P_{P1} —— n_1 时的许用输入功率 (kW), 由表 4.8-55 ~ 表 4.8-57 中查出;

P'_{P1} ——对应于 n'_1 时的许用输入功率 (kW),

$$\text{当 } \frac{n'_1 - n_1}{n_1} \leq 0.04 \text{ 时取 } P'_{P1} = P_{P1}。$$

表 4. 8-52 ZDSH 减速器的装配型式及外形尺寸

(mm)



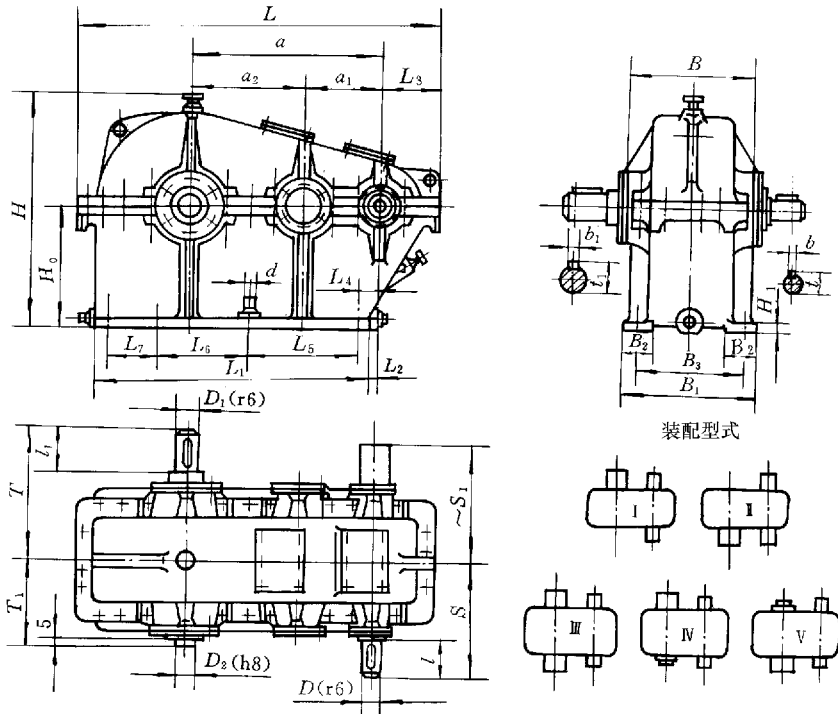
规格型号	中心距	中心高	轮廓尺寸			B_1	B_2	L_1	L_2	L_3	H_1	地脚螺钉			
	a	H_0	H	L	B							d	数量	B_3	L_4
ZDSH100	100	130 ⁰ _{-0.5}	240	335	140	150	48	245	35	95	16	M16	4	110	10
ZDSH150	150	200 ⁰ _{-0.5}	355	450	210	220	70	340	35	110	20			160	
ZDSH200	200	250 ⁰ _{-0.5}	493	575	250	250	80	440	45	145	20			170	
ZDSH250	250	300 ⁰ _{-0.5}	593	710	270	290	90	545	50	165	25	M20		210	20
ZDSH300	300	350 ⁰ _{-0.5}	683	835	300	320	100	650	64	195	30	M24		240	
ZDSH350	350	400 ⁰ _{-0.5}	778	955	350	360	110	750	68	215	30			280	
ZDSH400	400	450 ⁰ _{-0.5}	878	1085	390	400	120	850	67	240	32	M30		310	35
ZDSH450	450	500 ⁰ _{-0.5}	973	1210	430	450	130	970	92	265	40			340	
ZDSH500	500	550 ⁰ _{-1.0}	1106	1320	470	500	140	1070	97	275	40	M36		390	40
ZDSH600	600	650 ⁰ _{-1.0}	1301	1550	540	540	145	1265	97	310	45			430	
ZDSH700	700	750 ⁰ _{-1.0}	1496	1820	580	610	150	1490	128	370	52	M42		500	55

规格型号	地脚螺钉		高速轴				S	低速轴				T	T_1	D_2	最大质量 /kg
	L_5	L_6	l	D	b	t		l_1	D_1	b_1	t_1				
ZDSH100	—	195	55	25	8	27.5	155	55	30	8	32.5	155	95	14	32
ZDSH150	80	200	55	30	8	32.5	210	70	40	12	42.8	225	135	25	85
ZDSH200	130	220	70	40	12	42.8	255	85	55	16	58.5	270	160		155
ZDSH250	160	295	85	50	16	53.5	280	105	70	20	74.2	315	170		260
ZDSH300	205	350	105	60	18	63.9	315	115	85	24	90	340	185	75	375
ZDSH350	250	400	105	70	20	74.2	355	125	100	28	105.7	380	215		530
ZDSH400	280	470	125	80	24	85	400	140	110	32	116.5	415	235		735
ZDSH450	325	525	140	90	24	95	435	165	130	36	137.2	470	255		950
ZDSH500	335	600	160	100	28	105.7	475	180	140	36	147.2	500	275		1345
ZDSH600	440	700	165	120	32	126.5	515	200	170	40	178.5	570	310		1915
ZDSH700	550	790	180	140	36	147.2	580	240	200	45	209.7	630	335		2700

生产厂：郑州机械研究所齿轮中心新技术开发处。

表 4.8-53 ZLSH 型减速器的装配型式及外形尺寸

(mm)



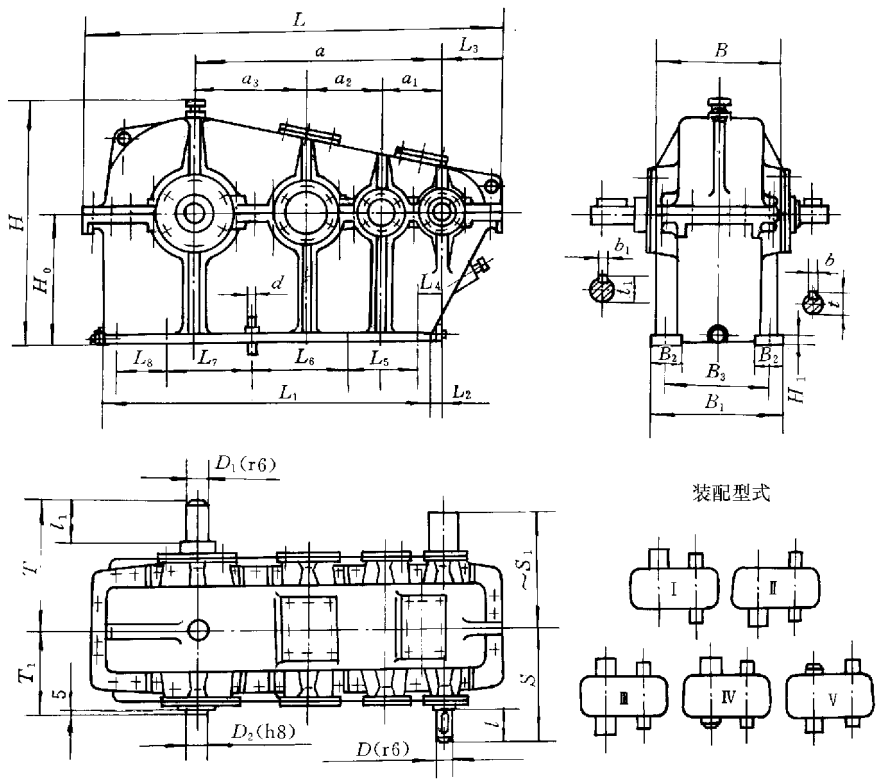
规格型号	中 心 距			中心高	轮 廓 尺 寸			B_1	B_2	L_1	$L_2^{①}$	L_3	H_1	地 脚 螺 钉		
	a	a_1	a_2	H_0	H	L	B							d	数量	B_3
ZLSH250	250	100	150	$200_{-0.5}^0$	398	560	256	256	70	435	-35	120	20	M20	6	210
ZLSH350	350	150	200	$250_{-0.5}^0$	493	720	316	316	80	585	-40	135	20			260
ZLSH425	425	175	250	$300_{-0.5}^0$	588	860	346	346	80	705	-39	149	25			280
ZLSH500	500	200	300	$350_{-0.5}^0$	688	1035	400	400	90	850	-58	185	30	M24	8	330
ZLSH600	600	250	350	$400_{-0.5}^0$	821	1185	460	460	100	945	-8	190	35			390
ZLSH650	650	250	400	$450_{-0.5}^0$	916	1300	500	500	110	1025	8	205	38	420		
ZLSH750	750	300	450	$500_{-0.5}^0$	1016	1460	570	570	120	1200	-18	214	40	480		
ZLSH850	850	350	500	$550_{-0.5}^0$	1116	1655	620	620	130	1320	12	251	45	530		
ZLSH1000	1000	400	600	$650_{-1.0}^0$	1306	1910	710	710	145	1550	22	265	50	610		
ZLSH1150	1150	450	700	$750_{-1.0}^0$	1496	2190	785	785	145	1770	42	295	55	700		
ZLSH1300	1300	500	800	$850_{-1.0}^0$	1691	2460	845	845	150	2015	42	317	60	M42		740

规格型号	地 脚 螺 钉				高 速 轴				S	S_1	低 速 轴				T	T_1	D_2	最大质量 /kg
	$L_4^{①}$	L_5	L_6	L_7	l	D	b	t			l_1	D_1	b_1	t_1				
ZLSH250	-5	175	205	—	55	25	8	27.5	235	245	70	40	12	42.8	250	160	25	135
ZLSH350	0	255	255	—	55	30	8	32.5	265	275	85	55	16	58.5	305	190		230
ZLSH425	10	275	335	—	55	35	10	37.8	280	290	105	70	20	74.2	355	210		305
ZLSH500	30	290	275	150	70	45	14	48.2	325	340	115	85	24	90	390	235	75	490
ZLSH600	30	370	310	180	85	50	16	53.5	375	386	140	100	28	105.7	450	270		725
ZLSH650	55	395	325	200	85	50	16	53.5	395	406	140	110	32	116.5	470	290		980
ZLSH750	25	485	370	240	105	60	18	63.9	450	463	165	130	36	137.2	540	325		1390
ZLSH850	65	505	445	250	105	70	20	74.2	490	500	180	140	36	147.2	580	350		1910
ZLSH1000	75	595	510	320	125	80	24	85	560	567	200	170	40	178.5	655	395		2730
ZLSH1150	105	655	595	380	140	90	24	95	610	620	240	200	45	209.7	735	435		4000
ZLSH1300	105	745	670	450	160	100	28	105.7	660	670	280	220	50	231	805	465		5430

① 带负号的尺寸在高速轴轴心线的右侧，不带负号的尺寸位置与图示位置相同。

表 4.8-54 ZSSH 型减速器的装配型式及外形尺寸

(mm)



规格型号	中 心 距				中心高		轮 廓 尺 寸			B ₁	B ₂	L ₁	L ₁ ^①	L ₃	H ₁	地 脚 螺 钉			
	a	a ₁	a ₂	a ₃	H ₀	H	L	B	d							数量	B ₃	L ₄	
ZSSH500	500	100	150	250	300 ^{0 -0.5}	588	910	346	346	90	760	-19	124	25	M20	8	10	280	15
ZSSH650	650	150	200	300	350 ^{0 -0.5}	688	1155	400	400	100	955	-13	155	30	M24			330	25
ZSSH750	750	150	250	350	400 ^{0 -0.5}	821	1305	460	460	105	1110	-23	160	35	M30	10	10	390	35
ZSSH825	825	175	250	400	450 ^{0 -0.5}	916	1450	500	500	110	1230	-22	180	38				M36	10
ZSSH950	950	200	300	450	500 ^{0 -0.5}	1016	1625	570	570	120	1360	21	180	40	M42	10	10		
ZSSH1100	1100	250	350	500	550 ^{0 -1.0}	1116	1865	620	620	130	1582	0	211	45				M42	10
ZSSH1250	1250	250	400	600	650 ^{0 -1.0}	1306	2115	710	710	145	1745	77	218	50	M42	10	10		
ZSSH1450	1450	300	450	700	750 ^{0 -1.0}	1496	2440	785	785	145	2040	72	245	55				M42	10
ZSSH1650	1650	350	500	800	850 ^{0 -1.0}	1691	2760	845	845	160	2305	102	267	60	M42	10	10		

规格型号	地 脚 螺 钉				高 速 轴				S	S ₁	低 速 轴				T	T ₁	D ₂	最大质量 /kg
	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	l	D	b	t			l ₁	D ₁	b ₁	t ₁				
ZSSH500	150	240	300	—	55	25	8	27.5	280	290	105	70	20	74.2	355	210	25	325
ZSSH650	220	260	400	—	55	30	8	32.5	305	317	115	85	24	90	390	235	75	580
ZSSH750	220	320	330	130	55	30	8	32.5	335	347	140	100	28	105.7	450	270		825
ZSSH825	230	320	380	195	55	35	10	37.8	355	367	140	110	32	116.5	470	290		1105
ZSSH950	280	350	380	250	70	40	12	42.8	415	425	165	130	36	137.2	540	325		1445
ZSSH1100	345	435	430	260	85	50	16	53.5	455	466	180	140	36	147.2	580	350		2100
ZSSH1250	300	510	490	330	85	50	16	53.5	500	511	200	170	40	178.5	655	395		2910
ZSSH1450	365	585	570	390	105	60	18	63.9	560	571	240	200	45	209.7	735	435		4020
ZSSH1650	415	640	650	460	105	70	20	74.2	605	613	280	220	50	231	805	465		5720

① 带负号的尺寸在高速轴轴心线的右侧，不带负号的尺寸位置与图示位置相同。

表 4. 8-55 ZDSH 型减速器公称功率

公称传动比 i	公称转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$		规 格 型 号 ZDSH										
	输入 n_1	输出 n_2	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
			公 称 输 入 功 率 P_{PI}/kW										
2	500	250	8.5	26.8	72.3	123	206	338	535	665	908	1500	2363
	750	375	12.5	39.8	105	179	300	488	780	960	1281	2120	3285
	1000	500	16.5	51.9	138	233	388	625	1005	1220	1640	—	—
	1500	750	24	74.8	200	328	550	—	—	—	—	—	—
2.24	500	223	7.5	23.8	64.5	111	185	305	485	595	828	1344	2125
	750	335	10.9	35.5	94.3	161	268	441	710	860	1170	1903	2963
	1000	446	14.5	46.3	123	210	348	569	913	1095	1498	—	—
	1500	670	21	67	178	298	493	794	—	—	—	—	—
2.5	500	200	6.7	21.8	58.5	100	169	278	438	543	748	1228	1958
	750	300	9.8	32.3	85.5	148	225	400	640	785	1063	1744	2738
	1000	400	13	42	111	190	318	519	825	1003	1363	2240	—
	1500	600	19	61.3	163	270	456	725	1160	—	—	—	—
2.8	500	179	5.9	18.8	52	87.3	148	245	390	475	650	1070	1745
	750	268	8.8	28.1	76.3	128	213	358	573	688	925	1528	2438
	1000	357	11.6	36.8	99.4	165	278	463	738	880	1188	1963	—
	1500	536	17	53.5	156	235	398	650	1044	—	—	—	—
3.15	500	159	5.2	16.8	45.8	77	131	218	345	423	575	956	1545
	750	238	7.8	25	67	113	190	315	503	615	823	1365	2188
	1000	317	11.5	32.5	87.5	148	248	410	650	785	1057	1756	2813
	1500	476	15	47.8	128	210	354	578	925	1106	—	—	—
3.55	500	141	4.6	14.5	39.3	67.5	115	188	295	373	506	865	1353
	750	211	6.8	21.9	57.8	98.8	168	275	435	543	725	1243	1910
	1000	282	8.98	28.8	75	128	218	358	563	695	933	1596	2460
	1500	423	13.3	42	110	185	313	506	803	983	1338	—	—
4	500	125	3.9	12.8	35.3	60.8	100	165	270	323	456	733	1181
	750	188	5.8	19	51.9	88.8	145	240	398	473	656	1055	1670
	1000	250	7.68	24.8	67.8	116	190	313	515	608	845	1355	2160
	1500	375	11.3	36.6	99.3	168	273	443	738	863	1215	—	—
4.5	500	111	3.3	11.4	28.5	51.9	89.5	145	238	290	388	660	1054
	750	167	4.87	17	42	75.8	131	213	348	425	538	953	1494
	1000	222	6.6	22.3	55.3	99.4	170	280	453	548	723	1223	1938
	1500	333	9.4	33	81	143	245	398	648	781	1044	1740	—
5	500	100	2.8	9.5	27.3	45.3	75.3	128	210	245	343	568	925
	750	150	4.2	14.3	40.3	66.5	110	188	306	358	495	820	1318
	1000	200	5.5	18.8	52.5	87	144	245	398	463	640	1056	1713
	1500	300	8.1	27.8	77	125	208	350	573	663	928	1508	2388
5.6	500	89	2.4	8.4	23.3	39.4	61.3	104	181	215	298	503	756
	750	134	3.6	12.8	34.5	57.5	90	153	265	319	431	755	1080
	1000	179	4.8	16.5	45.5	75.5	118	200	345	413	560	940	1410
	1500	269	7.1	24.6	66.5	110	170	285	500	594	813	1345	1970
6.3	500	79	1.95	7.2	18.5	34.3	57	90	158	185	258	431	658
	750	119	2.9	10.8	27.5	51.5	83.3	131	230	273	375	630	943
	1000	159	3.9	14.3	36	66	110	173	300	355	485	810	1235
	1500	238	5.8	21	53	99	160	250	435	513	710	1163	1728

表 4.8-56 ZLSH 型减速器公称功率

公称传动比 i	公称转速/ $r \cdot \min^{-1}$		规 格 型 号 ZLSH										
	输入 n_1	输出 n_2	250	350	425	500	600	650	750	850	1000	1150	1300
			公 称 输 入 功 率 P_{PI}/kW										
7.1	500	70	7.3	19.4	33.8	57.8	95.8	148	193	258	419	708	1133
	750	106	11	29	50.4	85.8	140	219	280	378	610	1030	1650
	1000	141	14.5	38.3	66	112	183	283	365	493	798	1338	2163
	1500	211	21.5	56.3	97	163	270	413	533	—	—	—	—
8	500	63	6.3	17.5	30	50	82.8	135	165	231	360	610	1033
	750	94	9.5	26.5	45	74	122	190	243	338	525	890	1280
	1000	125	12.5	35	59	97	160	248	315	443	678	1160	1980
	1500	188	18.5	51.8	86.8	140	235	363	460	—	—	—	—
9	500	56	5.5	15.5	27.3	45	75.3	123	145	210	325	543	940
	750	83	8.3	23.3	40.8	66.5	111	181	215	306	475	790	1369
	1000	111	11	31	53.8	87.5	145	235	280	403	620	1030	1805
	1500	167	16.3	45.6	78.8	128	213	345	408	580	—	—	—
10	500	50	5	15	25	40	67.8	112	133	190	306	494	853
	750	75	7.5	22	36.8	60	101	165	195	278	428	720	1244
	1000	100	10	29.4	48.5	78.8	131	215	255	363	560	940	1643
	1500	150	14.8	43.5	71.3	115	194	315	373	525	818	—	—
11.2	500	45	4.6	12.2	22	35.6	58.8	97.5	118	170	263	431	743
	750	67	6.9	18.3	33	53.3	87.5	145	173	248	385	631	1083
	1000	89	9.2	24.5	43.8	70.3	115	90	225	328	503	823	1330
	1500	167	13.8	36.5	64.4	103	169	278	328	473	733	—	—
12.5	500	40	4	11	20	31.5	52.3	86.3	105	153	233	390	665
	750	60	6.1	16.5	29.3	47.3	78.3	129	155	223	343	569	973
	1000	80	8.1	22	39	62.3	103	169	203	293	433	744	1281
	1500	120	12.1	32.8	57.3	91.5	150	248	295	423	631	1068	—
14	500	36	3.4	9.6	16.3	27.8	45.8	81.5	92.8	128	210	343	573
	750	54	5.1	14.4	24	42	68.5	122	138	188	308	500	838
	1000	71	6.8	19	32.8	55.6	90.3	160	180	248	400	655	1105
	1500	107	10.2	28.8	48.5	82	133	235	263	358	611	940	—
16	500	31	3	8.5	14.5	25	40	66.8	82.5	113	185	306	508
	750	47	4.6	12.8	21.8	36.8	60.6	100	124	168	273	448	745
	1000	63	6.1	17	29	49	80.3	133	163	220	355	585	983
	1500	94	9.1	25.6	43.5	72	118	194	236	319	519	845	1410
18	500	28	2.7	7.5	12.8	22.3	37	58.5	73	99	168	270	448
	750	42	4	11.3	19	33.3	55.5	87.5	110	148	250	398	658
	1000	56	5.4	15	25.3	44.5	74	117	144	194	325	520	865
	1500	83	8.1	22.5	37.8	66	109	170	210	281	475	753	1245
20	500	25	2.4	6.6	11.5	20.3	32	53.1	66.8	91	153	238	410
	750	38	3.6	9.9	17.3	30.3	48.3	80	100	135	228	350	603
	1000	50	4.7	13.2	23	40.3	64.4	106	133	179	298	458	793
	1500	75	7.1	19.8	34.5	60	95.3	158	194	263	433	663	1144
22.4	500	22	2	5.7	9.9	16.8	26.5	46	58.1	78.5	125	206	358
	750	33	3.1	8.6	14.8	25	39.5	69	87.3	118	188	306	525
	1000	45	4.1	11.4	20	33.5	53	92	116	155	245	403	690
	1500	67	6.2	17.1	29.5	50.3	78.8	138	170	228	358	583	1000

(续)

公称传动比 i	公称转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$		规 格 型 号 ZLSH										
			250	350	425	500	600	650	750	850	1000	1150	1300
	输入 n_1	输出 n_2	公 称 输 入 功 率 P_{PI}/kW										
25	500	20	1.9	5.2	8.9	15	23.8	41.5	48.1	70.8	113	188	323
	750	30	2.9	7.8	13.4	22.5	35.8	62.5	72.3	106	170	280	478
	1000	40	3.9	10.4	17.7	30	47.8	83.3	96.3	140	225	368	628
	1500	60	5.8	15.5	26.8	45	71.8	125	140	206	328	533	913
28	500	18	1.7	4.7	7.6	13.5	21.5	37.3	43.5	60	100	169	290
	750	27	2.5	7	11.3	20.3	32.3	56	65	90	150	253	431
	1000	36	3.3	9.4	15	27	43	74.8	86.9	120	200	333	568
	1500	54	5	14	22.5	40.5	64.4	112	128	175	294	483	828
31.5	500	16	1.5	4.2	6.7	11.9	19	33.3	38.8	53.1	89.3	150	258
	750	24	2.3	6.3	10	17.8	28.5	50	58.5	80	133	228	388
	1000	32	3.1	8.4	13.3	23.4	38	66.5	77.5	106	178	300	508
	1500	48	4.6	12.5	20	35.8	56.9	99.8	116	156	263	438	740
35.5	500	14	1.2	3.6	5.8	10.4	16.3	28.3	34	45.5	77.5	123	220
	750	21	1.9	5.4	8.8	15.6	24.5	42.5	51	68.3	116	183	331
	1000	28	2.4	7.1	11.7	20.8	32.5	56.8	68.1	91	155	244	435
	1500	42	3.7	10.7	17.5	31.3	48.8	85.3	102	135	228	356	638
40	500	13	1.1	3.2	5.5	9.1	14.4	25	30	42.5	67.8	108	194
	750	19	1.7	4.8	8.2	13.5	21.5	37.5	45.3	64	102	163	290
	1000	25	2.3	6.3	10.9	18.3	28.8	50	60.3	85.3	135	215	385
	1500	38	3.4	9.5	16.7	27.3	43	75	90.5	128	200	319	568
45	500	11	0.95	2.7	4.7	7.7	11.5	21.3	25.5	36.5	58	92	165
	750	17	1.4	4	7	11.6	17.3	32	38.3	55	87	138	250
	1000	22	1.9	5.4	9.3	15.5	23	42.5	51	73	116	183	331
	1500	33	2.9	8	14	23.1	34.5	63.8	76.5	110	173	273	488

表 4.8-57 ZSSH 型减速器公称功率

公称传动比 i	公称转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$		规 格 型 号 ZSSH								
			500	650	750	825	950	1100	1250	1450	1650
	输入 n_1	输出 n_2	公 称 输 入 功 率 P_{PI}/kW								
50	500	10	4.4	7.5	11.6	20.5	24.5	35.3	59	98.1	160
	750	15	6.6	11.2	17.3	30.8	36.8	52.8	88.5	148	240
	1000	20	8.8	15	23.1	40.8	49	70.5	118	195	320
	1500	30	13.1	22.5	34.5	61.3	73.3	106	178	294	480
56	500	8.9	4	6.5	10.8	18.3	21.8	30.5	51	85.5	143
	750	13.4	5.9	9.8	16.3	27.5	32.5	45.6	76.5	128	215
	1000	17.9	7.9	13	21.5	36.5	43.5	60.8	102	170	285
	1500	26.8	11.9	19.5	32.5	55	65.3	91.3	153	256	428
63	500	7.9	3.6	5.8	9.7	15.6	19.3	27	45.5	76.5	122
	750	11.9	5.3	8.8	14.5	23.5	28.8	40.6	68.5	115	183
	1000	15.9	7.1	11.7	19.4	31.3	38.5	54.3	91	153	244
	1500	23.8	10.7	17.5	29	47	57.8	81.3	135	228	365
71	500	7.0	3.1	5.3	8.4	14.3	17.5	24.5	41.3	67	111
	750	10.6	4.7	7.9	12.5	21.3	26.3	37	61.3	100	165
	1000	14.1	6.2	10.6	16.9	28.5	35	49.3	82.3	133	223
	1500	21.1	9.3	15.8	25.3	42.5	52.8	74	124	200	333

(续)

公称传动比 i	公称转速/ $r \cdot \min^{-1}$		规 格 型 号 ZSSH								
	输入 n_1	输出 n_2	500	650	750	825	950	1100	1250	1450	1650
			公 称 输 入 功 率 P_{PI}/kW								
80	500	6.3	2.8	4.7	8.3	13.1	15.5	21.8	36.3	60	102
	750	9.4	4.2	7.1	11.2	19.5	23.1	32.8	54.5	89.4	153
	1000	12.5	5.5	9.4	15	26.3	30.9	43.5	72.8	119	205
	1500	18.8	8.3	14	22.5	39.3	46.3	65.3	109	178	306
90	500	5.6	2.5	4.2	6.6	11.5	14	20	33.3	52.5	89.5
	750	8.3	3.7	6.2	9.9	17.3	21	30	50	78.8	133
	1000	11	4.9	8.3	13.3	22.8	28.1	40	66.8	105	178
	1500	16.7	7.4	12.5	19.8	34.4	42.3	60	100	158	268
100	500	5	2.2	3.8	6.1	10.4	12.8	17.3	29	48.1	81.3
	750	7.5	3.2	5.7	9.1	15.6	19	26	43.5	72.3	122
	1000	10	4.3	7.6	21.1	20.8	25.5	34.8	58	96.3	163
	1500	15	6.5	11.4	18.1	31.3	38.3	52	87	144	244
112	500	4.5	2	3.3	5.5	8.9	12	15.8	26.3	43.8	69.8
	750	6.7	3	5	8.3	13.3	17.8	23.5	39.4	65.8	105
	1000	8.9	4	6.6	11	17.8	23.8	31.3	52.5	87.8	138
	1500	13.4	6	9.9	16.5	26.8	35.8	47	78.5	131	208
125	500	4	1.7	2.9	4.7	7.6	10	13.5	23	36	60
	750	6	2.6	4.3	7	11.4	15	20.3	34.5	54.3	89.3
	1000	8	4.4	5.8	9.3	15.3	20	26.9	46	72.3	119
	1500	12	5.2	8.7	14	22.8	30	40.3	68.8	109	178
140	500	3.6	1.6	2.6	4.2	6.9	8.7	11.5	20	32.8	53.8
	750	5.4	2.4	3.9	6.3	10.3	13	17.3	29.3	49.3	80.6
	1000	7.1	3.1	5.2	8.4	13.8	17.3	23.1	39	65.6	108
	1500	10.7	4.7	7.8	12.8	20.6	36	34.5	58.5	98.5	160
160	500	3.1	1.4	2.4	3.6	6.2	7.7	10.4	17.5	28.3	48
	750	4.7	2	3.5	5.4	9.2	11.6	15.5	26.3	42.3	72
	1000	6.3	2.7	4.7	7.3	12.3	15.5	20.8	35	56.3	96
	1500	9.4	4.1	7	10.9	18.5	23.3	31	52.5	84.5	144
180	500	2.8	1.1	2.1	3.2	5.5	6.8	9.2	15.6	25.3	42.5
	750	4.2	1.7	3.2	4.9	8.2	10.3	13.8	23.3	37.8	63.8
	1000	5.6	2.3	4.2	6.5	10.9	13.8	18.3	31.3	50.5	85
	1500	8.3	34.3	6.3	9.7	16.3	20.5	27.5	46.8	75.6	128
200	500	2.5	1.0	1.9	2.9	4.9	6.2	8.2	15	22.8	38.1
	750	3.8	1.5	2.8	4.4	7.3	9.3	12.3	22	34	57
	1000	5	2.1	3.8	5.8	9.8	12.3	16.5	29.5	45.5	76.3
	1500	7.5	3.1	5.6	8.7	14.5	18.5	24.5	44	68.3	114
224	500	2.2	0.88	1.6	2.5	4.2	5.2	7.0	12.5	18.8	32.5
	750	3.3	1.3	2.4	3.7	6.3	7.8	10.6	18.5	28.3	48.8
	1000	4.5	1.8	3.2	5	8.4	10.4	14	24.8	37.8	65
	1500	6.7	2.6	4.8	7.4	12.5	15.6	21	37.3	56.8	97.5
250	500	2	0.8	1.4	2.2	3.7	4.6	6.2	11	16.8	28.5
	750	3	1.2	2.1	3.3	5.5	7.1	9.3	16.3	25	42.8
	1000	4	1.6	2.8	4.4	7.3	9.1	12.4	21.9	33.5	57
	1500	6	2.4	4.2	6.6	10.9	13.5	18.5	32.8	50.3	85.5
280	500	1.8	0.72	1.2	2.0	3.2	4.1	5.5	9.7	15	25.3
	750	2.7	1.1	1.9	2.9	4.9	6.1	8.2	14.5	22.5	38
	1000	3.6	1.4	2.5	3.9	6.5	8.2	11	19.4	30	50.8
	1500	5.4	2.2	3.7	5.9	9.7	11	16.5	29	45	76

2.5 运输机械用减速器（锥齿轮-圆柱齿轮减速器）（摘自 JB/T9002—1999）

JB/T9002—1999 规定的 DBY、DCY 型和 DBZ、DCZ 型二级、三级锥齿轮圆柱齿轮减速器，主要用于运输机械，也可用于冶金、矿山、化工、煤炭、建材、轻工、石油等各种通用机械。入轴转速不大于 $1500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，齿轮圆周速度不大于 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，

工作环境温度为 $-40 \sim 45^\circ\text{C}$ 。当环境温度低于 0°C 时，起动前润滑油应加热。

2.5.1 型式和标记方法

减速器按出轴型式可分为 I、II、III、IV 4 种装配型式，按旋转方向可分为顺时针（S）和逆时针（N）两种方向，见图 4.8-27、图 4.8-28。

标记示例：

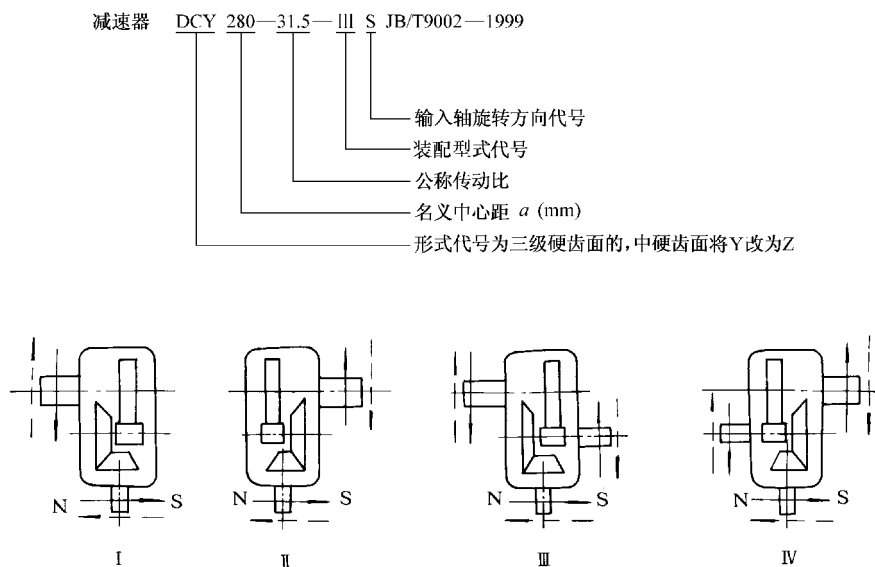


图 4.8-27 DBY（或 DBZ）型减速器装配型式

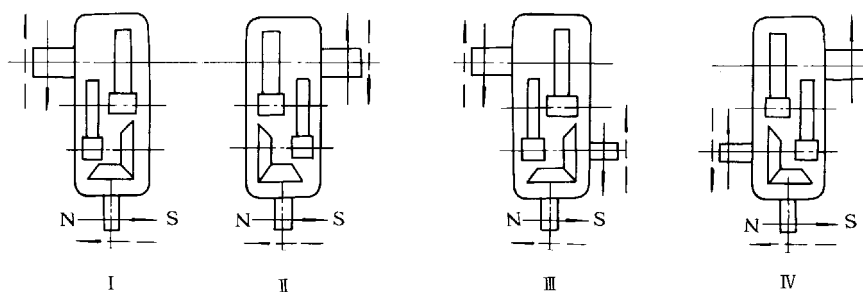


图 4.8-28 DCY（或 DCZ）型减速器装配型式

2.5.2 外形尺寸和安装尺寸

DBY 及 DBZ 型减速器外形尺寸和安装尺寸列于表 4.8-58。

DCY 及 DCZ 型减速器外形尺寸和安装尺寸列于表 4.8-59。

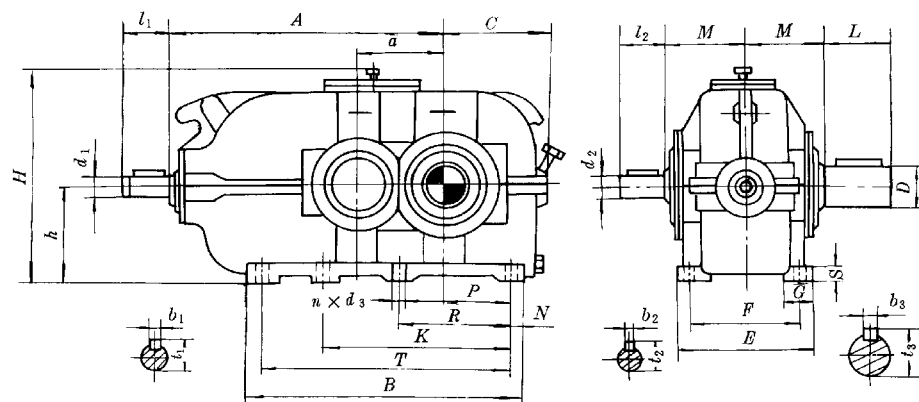
2.5.3 承载能力

DBY 型和 DBZ 型减速器承载能力见表 4.8-60、表 4.8-61。

DCY 型和 DCZ 型减速器承载能力见表 4.8-62、表 4.8-63。

表 4.8-58 DBY 及 DBZ 型减速器外形尺寸和安装尺寸

(mm)

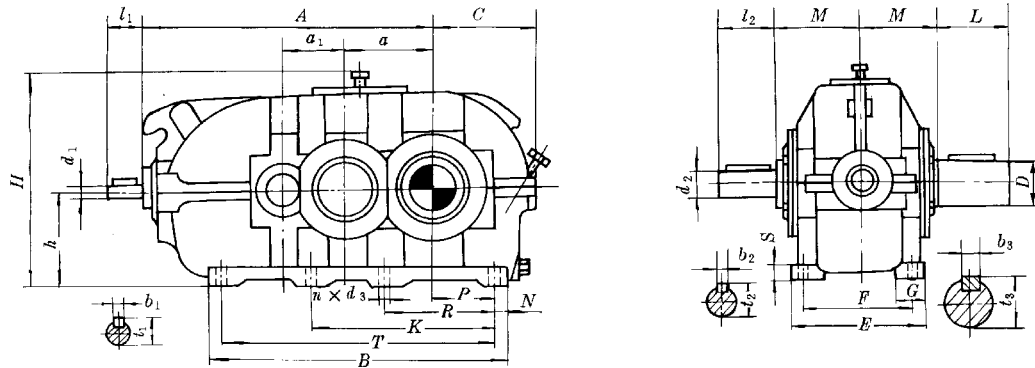


名义中心距 a	d_1	l_1	d_2	l_2	D	L	A	B	C	E	F	G	S	h	H	M	$n \times d_3$	N	P	R	K	T	b_1	t_1	b_2	t_2	b_3	t_3	质量 /kg	油量 /L
160	40	110	48	110	70	140	500	500	190	250	210	65	35	180	430	145	6×18	30	115	210	—	440	12	43	14	51.5	20	745	173	7
180	42	110	50	110	80	170	565	565	215	270	230	70	35	200	475	160	6×18	30	135	240	—	505	12	45	14	53.5	22	85	232	9
200	50	110	55	110	90	170	625	625	240	300	250	75	40	225	520	175	6×23	35	145	255	—	555	14	53.5	16	59	25	95	305	13
224	55	110	65	140	100	210	705	705	260	320	270	80	45	250	570	190	6×23	35	165	290	—	635	16	59	18	69	28	106	415	18
250	60	140	75	140	110	210	785	785	290	370	310	90	50	280	626	210	6×27	40	180	315	—	705	18	64	20	79.5	28	116	573	25
280	65	140	85	170	120	210	875	875	325	400	340	100	55	315	702	230	6×27	45	200	355	—	785	18	69	22	90	32	127	760	36
315	75	140	95	170	140	250	975	975	355	450	380	110	60	355	809	260	6×33	50	220	405	—	875	20	79.5	25	100	36	148	1020	51
355	90	170	100	210	160	300	1085	1085	390	480	410	120	65	400	900	285	6×33	55	245	450	—	975	25	95	28	106	40	169	1436	69
400	100	210	110	210	170	300	1215	1215	440	530	460	130	70	450	970	305	6×33	55	280	510	—	1105	28	106	28	116	40	179	1966	95
450	110	210	130	250	190	350	1365	1365	490	600	510	140	80	500	1071	345	8×39	60	315	575	940	1245	28	116	32	137	45	200	2532	130
500	120	210	150	250	220	350	1525	1525	570	650	560	150	90	560	1210	435	8×39	70	350	645	1050	1385	32	127	36	158	50	231	3633	185
560	130	250	160	300	250	410	1705	1705	610	750	640	160	100	630	1325	475	8×45	80	390	715	1165	1545	32	137	40	169	56	262	5020	260

生产厂：沈阳矿山机器厂。

表 4.8-59 DCY 及 DCZ 型减速器外形尺寸和安装尺寸

(mm)



名义中 心距 a	a_1	d_1	l_1	d_2	l_2	D	L	A	B	C	E	F	G	S	h	H	M	$n \times d_3$	N	P	R	K	T	b_1	t_1	b_2	t_2	b_3	t_3	质量 /kg	油量 /L
160	112	25	60	32	80	70	140	510	555	190	250	210	65	35	180	423	145	6×18	30	115	210	—	495	8	28	10	35	20	74.5	200	9
180	125	30	80	38	80	80	170	575	625	215	270	230	70	35	200	468	160	6×18	30	135	240	—	565	8	33	10	41	22	85	255	13
200	140	35	80	42	110	90	170	640	685	240	300	250	75	40	225	520	175	6×23	35	145	255	—	615	10	38	12	45	25	95	325	18
224	160	40	110	48	110	100	210	725	775	260	320	270	80	45	250	570	190	6×23	35	165	290	—	705	12	43	14	51.5	28	106	453	26
250	180	42	110	50	110	110	210	815	860	290	370	310	90	50	280	626	210	6×27	40	180	315	—	780	12	45	14	53.5	28	116	586	33
280	200	50	110	55	110	120	210	905	970	325	400	340	100	55	315	702	230	6×27	45	200	355	—	880	14	53.5	16	59	32	127	837	46
315	224	55	110	65	140	140	250	1020	1085	355	450	380	110	60	355	809	260	8×33	50	220	405	655	985	16	59	18	69	36	148	1100	65
355	250	60	140	75	140	160	300	1140	1220	390	480	410	120	65	400	900	285	8×33	55	245	450	740	1110	18	64	20	79.5	40	169	1550	90
400	280	65	140	85	170	170	300	1275	1355	440	530	460	130	70	450	970	305	8×33	55	280	510	840	1245	18	69	22	90	40	179	1967	125
450	315	75	140	95	170	190	350	1425	1520	490	600	510	140	80	500	1065	345	8×39	60	315	575	940	1400	20	79.5	25	100	45	200	265	180
500	355	90	170	100	210	220	350	1585	1690	570	650	560	150	90	560	1208	435	8×39	70	350	645	1050	1550	25	95	28	106	50	231	4340	240
560	400	100	210	110	210	250	410	1675	1895	610	750	640	160	100	630	1325	475	8×45	80	390	715	1165	1735	28	106	28	116	56	262	5320	335
630	450	110	210	130	250	300	470	1995	2145	675	800	690	170	110	710	1460	525	8×45	80	445	800	1305	1985	28	116	32	137	70	314	7170	480
710	500	120	210	150	250	340	550	2235	2400	760	900	770	190	125	800	1665	570	8×45	90	500	900	1490	2220	32	127	36	158	80	355	9600	690
800	560	130	250	160	300	400	650	2505	2700	840	1000	870	200	140	900	1870	625	8×45	90	600	1100	1680	2520	32	137	40	169	90	417	13340	940

生产厂：沈阳矿山机器厂。

表 4.8-60 DBY 型减速器承载能力

公 称 传动比 <i>i</i>	公称转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$		名 义 中 心 距 a/mm											
			160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560
	输入 n_1	输出 n_2	许 用 输 入 功 率 P_{Pl}/kW											
8	1500	188	81	115	145	205	320	435	610	750	1080 ^①	1680 ^①	2100 ^①	—
	1000	125	56	86	110	155	245	325	465	560	810	1260	1700	2200
	750	94	42	55	88	125	185	250	340	465	660	950	1400	1800
10	1500	150	67	92	130	165	255	345	480	610	910	1370	1900 ^①	—
	1000	100	44	69	94	125	195	260	360	465	620	950	1270	1700
	750	75	34	46	73	105	155	210	295	380	510	710	950	1300
11.2	1500	134	59	81	115	150	235	325	450	560	840	1200	1550	—
	1000	89	40	61	84	130	175	245	340	430	630	810	1030	1380
	750	67	31	41	65	98	140	185	240	350	470	610	780	1040
12.5	1500	120	53	75	105	140	210	285	390	500	760	980	1260	1550 ^①
	1000	80	36	56	74	105	145	215	265	380	480	660	850	1110
	750	60	27	36	56	76	110	150	190	270	365	500	640	840
14	1500	107	48	66	81	125	190	260	345	465	580	780	1000	1150
	1000	71	31	42	54	84	110	165	205	310	415	520	680	900
	750	53	23	31	38	60	80	115	145	235	310	400	510	690

① 需采用循环油润滑。

2.5.4 选用方法

选择的减速器必须满足传动比的要求，然后按承载能力选择减速器的型号，再校核起动转矩和热功率。方法如下：

选用型号

计算功率

$$P_{\text{cl}} = K_A P_1 \leq P'_{\text{Pl}} = P_{\text{Pl}} \frac{n'_1}{n_1} \quad (4.8-5)$$

式中 P_1 ——传递的功率 (kW)；

K_A ——工况系数，见表 4.8-66、表 4.8-68；

n'_1 ——要求的输入转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)；

P'_{Pl} ——对应于 n'_1 时的许用输入功率 (kW)；

n_1 ——承载能力表中靠近 n'_1 的转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)；

P_{Pl} —— n_1 时的许用输入功率 (kW)，由表 4.8-60 ~ 表 4.8-63 中查出。

校核起动转矩

$$\frac{T_{\text{max}} n'_1}{P'_{\text{Pl}} 9550} \leq 2.5 \quad (4.8-6)$$

校核热功率

当减速器不附加冷却装置时

$$P_1 \leq P_{\text{Gl}} f_w f_A \quad (4.8-7)$$

式中 P_{Gl} ——减速器的热功率 (kW)，见表 4.8-64、表 4.8-65，对 DBZ 型 DCZ 型无需校核；

f_w ——环境温度系数，见表 4.8-67；

f_A ——功率利用系数，见表 4.8-67。

如果满足不了式 (4.8-5) 时，则必须增大减速器的型号或增设冷却装置。

例 3 带式输送机，运搬大块岩石，重型冲击。

电动机功率 $P = 75 \text{ kW}$ ，转速 $n_1 = 1500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

起动转矩 $T_{\text{max}} = 955 \text{ N} \cdot \text{m}$ ；所需输入功率 $P_1 = 62 \text{ kW}$ ，滚筒转速 $n_2 = 60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，每天连续工作 24 h 露天作业，环境温度 40°C 。

解：(1) 需要的传动比

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1500}{60} = 25$$

选择 DCY 型减速器。

(2) 选择型号

$$P_{\text{cl}} = K_A P_1$$

根据表 4.8-68 载荷特性为 H，按表 4.8-66 查得 $K_A = 2.0$ ，每天连续工作 24 h， K_A 应加大 10%，即 $K_A = 2.2$ 。

$$P_{\text{cl}} = 2.2 \times 62 \text{ kW} = 136.4 \text{ kW}$$

查表 4.8-62 选用 DCY280 型， $P_{\text{Pl}} = 160 \text{ kW}$ 。

(3) 校核起动转矩

$$\frac{T_{\text{max}} n_1}{P_{\text{Pl}} \times 9550} = \frac{955 \times 1500}{160 \times 9550} = 0.94 < 2.5$$

(4) 校核减速器的热功率

$$P_1 \leq P_{\text{Gl}} f_w f_A$$

查表 4.8-65 得 $P_{\text{Gl}} = 124 \text{ kW}$

查表 4.8-67 得 $f_w = 0.75$ ，由

$$\frac{P_1}{P_{\text{Pl}}} \times 100\% = \frac{62}{160} \times 100\% = 38.4\% \approx 40\%$$

查表 4.8-67 得 $f_A = 0.79$

$124 \times 0.75 \times 0.79 \text{ kW} = 73.5 \text{ kW} > P_1 = 62 \text{ kW}$ ，符合要求。

工作机械载荷分类见表 4.8-68。

表 4.8-61 DBZ 型减速器承载能力

公 称 传动比 i	公称转速/ $r \cdot \min^{-1}$		名 义 中 心 距 a /mm											
			160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560
	输入 n_1	输出 n_2	许 用 输 入 功 率 P_{P1} /kW											
8	1500	188	29.0	39.0	55.0	80.0	120	170	215	320	490	600	930	—
	1000	125	18.8	26.0	36.0	55.0	78.0	110	150	220	320	450	650	930
	750	94	14.0	21.0	28.5	42.0	59.0	84.0	110	165	240	365	485	690
10	1500	150	18.0	32.0	45.0	65.0	90.0	130	180	260	370	550	760	—
	1000	100	12.0	21.0	29.0	42.0	62.0	87.0	120	175	250	370	510	680
	750	75	8.5	16.0	22.0	32.0	46.0	66.0	90.0	130	185	280	370	480
11.2	1500	134	17.5	26.0	36.0	57.0	75.0	115	150	215	330	480	670	—
	1000	89	10.5	17.0	24.0	38.0	51.0	74.0	100	150	220	325	440	650
	750	67	8.1	12.5	18.0	28.0	38.0	56.0	71.0	105	165	250	320	460
12.5	1500	120	14.0	24.0	32.0	52.0	70.0	105	140	205	300	430	600	800
	1000	80	9.0	15.0	22.0	34.0	49.0	69.0	95	140	200	295	400	550
	750	60	6.5	12.0	16.5	25.0	36.0	52.0	68.0	100	145	220	290	380
14	1500	107	13.5	20.0	28.0	45.0	61.0	91.0	120	170	265	390	510	770
	1000	71	8.8	12.0	18.0	30.0	40.0	60.0	85	115	175	260	350	500
	750	53	6.3	9.5	14.0	23.0	30.0	44.0	60.0	80.0	130	200	250	360

表 4.8-62 DCY 型减速器承载能力

公 称 传动比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		名 义 中 心 距 a /mm												
			160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
	输入 n_1	输出 n_2	许 用 输 入 功 率 P_{P1} /kW												
16	1500	94	45	61	80	120	160	230	305	440	600 ^①	830 ^①	1350 ^①	1850 ^①	—
	1000	63	30	43	60	85	115	170	230	330	440	630	1010	1420 ^①	2200 ^①
	750	47	24	35	45	70	85	140	185	270	360	510	830	1180	1600
18	1500	83	42	58	75	110	150	210	290	440	560	780 ^①	1350 ^①	1850 ^①	—
	1000	56	30	40	53	75	105	155	215	330	420	590	1000	1400 ^①	1860 ^①
	750	42	23	32	42	65	80	120	175	260	345	480	790	1120	1460
20	1500	75	39	53	68	100	135	195	270	430	550	780 ^①	1320 ^①	1800 ^①	—
	1000	50	27	36	48	70	95	140	200	315	380	550	880	1240 ^①	1640 ^①
	750	38	20	28	38	55	75	110	160	245	310	445	700	1000	1290
22.4	1500	67	34	50	65	94	130	175	250	400	510	730	1170 ^①	1540 ^①	—
	1000	45	23	34	48	65	90	130	185	290	360	520	780	1100	1450 ^①
	750	33	17	25	36	49	70	95	140	220	275	400	620	880	1140
25	1500	60	30	44	62	83	115	160	225	350	450	650	1030	1460 ^①	—
	1000	40	20	30	42	57	80	110	165	255	315	460	730	1040	1350 ^①
	750	30	15	23	32	43	60	85	125	195	240	350	550	780	1010
28	1500	54	22	37	48	75	92	140	215	320	405	590	910	1290 ^①	—
	1000	36	15	25	34	52	66	94	150	225	285	420	640	910	1190
	750	27	12	19	26	39	50	71	115	170	215	315	490	690	890
31.5	1500	48	20	33	44	69	85	120	195	290	385	550	820	1170	—
	1000	32	14	22	31	46	59	83	130	200	255	370	580	820	1070
	750	24	10	17	23	34	44	62	100	150	190	280	440	620	800
35.5	1500	42	18	30	40	62	77	110	180	260	345	500	770	1100	1430 ^①
	1000	28	12	20	28	42	53	75	120	180	230	340	510	720	950
	750	21	9	15	21	31	40	56	90	135	175	250	385	540	710
40	1500	38	17	27	36	56	69	98	160	235	310	450	690	990	1290
	1000	25	11	18	25	41	47	67	120	160	225	330	465	660	860
	750	19	8.5	14	19	29	36	52	82	125	155	230	350	495	640
45	1500	33.5	15	24	33	50	64	90	145	215	275	400	620	880	1150
	1000	22	10	16	22	33	42	60	95	145	180	265	455	640	840
	750	16.6	7.5	12	17	26	32	46	74	110	140	205	320	455	600
50	1500	30	13	21	30	44	57	80	130	195	245	360	550	780	1030
	1000	20	9	14	20	31	38	54	87	130	165	240	365	520	680
	750	15	7	11	15	23	29	41	65	99	120	180	290	410	540

① 需采用循环油润滑。

表 4.8-63 DCZ 型减速器承载能力

公 称 传动比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		名 义 中 心 距 a /mm												
			160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
	输入 n_1	输出 n_2	许 用 输 入 功 率 P_{P1} /kW												
16	1500	94	14.0	20.0	28.0	42.0	60.0	85.0	120	165	240	350	490	710	—
	1000	63	9.4	13.5	18.7	28.0	40.0	56.0	80.0	110	160	235	330	490	670
	750	47	7.0	10.0	13.9	21.0	30.0	41.0	60.0	85.0	120	175	250	350	500
18	1500	83	12.0	18.0	26.0	35.0	50.0	75.0	105	150	215	320	440	630	—
	1000	56	8.2	12.0	17.3	22.0	35.0	49.0	70.0	95.0	—	—	—	—	—
	750	42	6.1	8.8	12.8	18.0	26.0	36.0	51.0	73.0	110	160	223	320	440

(续)

公称传动比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		名义中心距 a /mm														
	输入 n_1	输出 n_2	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800
			许用输入功率 P_{p1} /kW														
20	1500	75	9.4	15.7	23.0	29.0	48.0	65.0	85.0	130	190	280	395	540	—	—	—
	1000	50	6.0	10.2	15.1	18.0	31.0	43.0	57.0	90.0	130	185	270	370	515	760	1050
	750	38	4.4	7.2	11.1	13.5	23.0	32.0	41.0	65.0	95.0	135	200	260	390	600	780
22.4	1500	67	9.1	14.0	19.0	28.0	39.0	53.0	75.0	110	155	210	260	450	—	—	—
	1000	45	6.1	9.3	13.0	17.5	26.0	37.0	50.0	75.0	105	159	190	320	420	630	900
	750	33	4.5	6.9	9.0	13.0	20.0	27.0	40.0	55.0	80.0	117	145	240	315	480	670
25	1500	60	8.0	10.7	16.0	26.5	35.0	50.0	68.0	105	140	200	250	430	—	—	—
	1000	40	5.5	6.9	11.0	17.5	23.0	33.0	45.0	70.0	93.0	145	175	290	395	580	795
	750	30	4.0	5.3	8.0	13.0	17.5	25.0	34.0	50.0	70.0	110	130	215	300	440	580
28	1500	54	7.0	10.5	15.0	22.5	32.0	45.0	63.0	90	130	190	245	380	—	—	—
	1000	36	4.8	7.3	10.4	14.0	21.0	29.0	41.0	62.0	87.0	135	165	255	365	540	750
	750	27	3.6	5.4	7.8	10.5	16.5	22.0	30.0	48.0	65.0	100	120	190	270	410	550
31.5	1500	48	6.3	8.9	12.5	21.0	28.0	40.0	56.0	82.0	115	180	220	350	—	—	—
	1000	32	4.2	5.7	8.8	14.0	19.0	27.0	38.0	54.0	80.0	125	145	235	330	490	665
	750	24	3.2	4.4	6.5	10.5	14.0	20.0	28.0	40.0	61.0	90.0	110	170	245	360	480
35.5	1500	42	5.6	8.3	12.0	18.0	26.0	35.0	48.0	70.0	100	160	190	300	420	650	—
	1000	28	3.9	5.5	8.0	11.5	17.0	23.0	33.0	48.0	70.0	105	125	195	275	435	525
	750	21	2.8	4.2	6.2	8.5	13.0	17.0	24.0	35.0	51.0	78.0	95.0	145	205	325	430
40	1500	38	5.1	6.9	10.5	17.0	23.0	32.0	43.0	65.0	91.0	145	170	270	390	590	—
	1000	25	3.4	4.6	7.2	11.5	15.5	21.0	29.0	42.0	61.0	97.0	115	175	250	400	520
	750	19	2.5	3.6	5.3	8.5	11.5	16.0	22.0	31.0	48.0	70.0	80	130	185	300	375
45	1500	33.5	4.5	6.7	9.0	13.7	19.0	27.0	39.0	55.0	80.0	121	150	240	330	530	685
	1000	22	2.9	4.3	6.2	9.0	13.0	18.0	25.0	36.0	55.0	85.0	98	155	225	345	450
	750	16.6	2.1	3.2	4.6	6.5	10.0	14.0	19.0	25.0	41.0	60.0	73	115	165	300	345
50	1500	30	3.8	5.1	7.8	13.0	18.0	25.0	34.0	51.0	71.0	112	130	215	310	465	610
	1000	20	2.6	3.3	5.2	8.7	12.0	17.0	23.0	33.0	48.0	76.0	87.0	140	200	300	405
	750	15	2.0	2.5	4.0	6.5	8.5	12.0	17.0	25.0	36.0	55.0	65.0	105	145	220	300

表 4.8-64 DBY 型减速器热功率

减 速 器 不 附 加 冷 却 装 置 的 热 功 率 P_{G1} /kW														
环 境 条 件	空气流速 $/m \cdot s^{-1}$	名 义 中 心 距 a /mm												
		160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	
狭小车间内	≥ 0.5	32	40	50	61	76	95	118	143	180	225	279	355	
中大型车间内	≥ 1.4	45	57	71	85	106	133	165	201	252	316	391	497	
室 外	≥ 3.7	62	77	96	116	144	181	224	272	342	429	531	675	

表 4.8-65 DCY 型减速器热功率

减 速 器 不 附 加 冷 却 装 置 的 热 功 率 P_{G1} /kW																
环 境 条 件	空气流速 /m · s ⁻¹	名 义 中 心 距 a /mm														
		160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800
狭小车间内	≥0.5	22	27	34	41	52	65	81	99	124	156	192	245	299	384	482
中大型车间内	≥1.4	31	38	48	58	73	91	114	139	174	218	270	343	419	537	675
室 外	≥3.7	42	52	65	79	99	124	155	189	237	296	366	465	568	730	910

表 4.8-66 工况系数 K_A

原 动 机	每天工作时间/h	载 荷 种 类		
		U	M	H
电动机、涡轮机	≤ 3	1.0	1.0	1.50
	$> 3 \sim 10$	1.25	1.25	1.75
	$> 10 \sim 24$	1.25	1.50	2.0
4~6 缸活塞发动机	≤ 3	1.0	1.25	1.75
	$> 3 \sim 10$	1.25	1.50	2.0
	$> 10 \sim 24$	1.50	1.75	2.25
1~3 缸活塞发动机	≤ 3	1.25	1.50	2.0
	$> 3 \sim 10$	1.50	1.75	2.25
	$> 10 \sim 24$	1.75	2.00	2.50

注：U—平稳载荷；M—中等冲击载荷；H—重型冲击载荷；工作机械的载荷分类见表 4.8-68。

表 4.8-67 环境温度系数 f_w 、功率利用系数 f_A

系 数	冷却方式	环境温度/ $^{\circ}\text{C}$	每 小 时 运 转 率 (%)				
			100	80	60	40	20
f_w	减速器不 附加外冷 却装置	10	1.12	1.18	1.30	1.51	1.93
		20	1.0	1.06	1.16	1.35	1.78
		30	0.89	0.93	1.02	1.33	1.52
		40	0.75	0.87	0.9	1.01	1.34
		50	0.63	0.67	0.73	0.85	1.12
	减速器附 加散热器	10	1.1	1.32	1.54	1.76	1.98
		20	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
		30	0.9	1.08	1.26	1.44	1.62
		40	0.85	1.02	1.19	1.36	1.53
		50	0.5	0.96	1.12	1.29	1.44
f_A	减 速 器 形 式	功 率 利 用 率 $P_1/P_{Pl} \times 100\%$					
		100	80	60	40		
	DBY DCY	1	0.96	0.89	0.79		

表 4.8-68 工作机械载荷分类

工 作 机 械	载 荷 分 类	工 作 机 械	载 荷 分 类	工 作 机 械	载 荷 分 类
挖掘机和堆料机		斗式提升机	H*	打光机	H*
链斗式挖掘机	H	带式输送机(件货,大块,散料)	H*	轮压机	M*
行走装置(履带式)	H	链式输送机	H	混合机	M*
行走装置(轨道式)	M	货物电梯	H	胶式压力机	H*
斗轮堆料机	H	板式输送机	H	湿性压榨机	H*
——堆废岩	H	振动输送机	H	吸入式压榨机	H*
——堆煤	H	螺旋输送机	H	钢铁工业	
——堆石灰石	H	吊斗提升机	H*	铸造起重机(提升齿轮)	H*
切割头	H	斜梯式输送机(扶梯)	M*	石渣车	U*
旋转机构	M	木材工业		烧结带	M*
钢缆操筒	M	滚式去皮机	H	破碎机	H*
卷扬机	M	刨削机	M	汽车倾卸机	H*
采矿,矿山工业		磨机		金属加工	
混凝土搅拌机	M	锤式磨机	H*	卷压机	H
破碎机	H	球磨机	H*	弯板机	M*
转炉	H*	辊式磨机	H*	钢板矫直机	H*
分选机	M	轧钢机		偏心压力机	H
混合机	M	板材翻转机	M*	锻锤	H*
大型通风机(矿用)	M*	推锭机	H*	刨削机	H
输 送 机		拉管机	H*	曲柄压力机	H
平稳载荷和中等载荷		连铸机	H*	锻压机	H
斗式提升机	M	管材焊接机	H*	锻压机	H
锅炉用输送机	M	板材,钢坯剪切机	H*	橡胶与塑料	
螺旋输送机	U	起重机		挤压机	
装配线输送机	U	臂架摆动机	U	——橡胶	H*
板式输送机	M	运行机构	M	——塑料	M*
链式输送机	M	提升机构	M	轮压机	M*
中等载荷和重载荷		变幅机构	M	揉压机(橡胶)	M*
装配线输送机	M	卷扬机构	U	混合机	M*
带式输送机	M*	造纸机械		粉碎机(橡胶)	M*
载人电梯	M	叠层机	H*	辊式破碎机(橡胶)	H*

注:U—平稳载荷;M—中等冲击载荷;H—重型冲击载荷;*—每天24 h连续工作,表4.8-66中 K_A 值要增大10%。

2.6 NGW 型行星齿轮减速器 (摘自 JB/T6502—1993)

NGW 型行星齿轮减速器 (以下简称为减速器) 主要适用于冶金、运输、建材、轻工、能源、交通等行业。工作环境温度为 $-40 \sim 45^{\circ}\text{C}$, 低于 0°C 时, 启动前应将润滑油预热至 0°C 以上。可正、反向工作。按减速器的规格, 高速轴的转速不得大于下列数值:

- 规格200 ~ 800 $n_{1\max} = 1500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$
- 900 ~ 1120 $n_{1\max} = 1000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$
- 1250 ~ 1600 $n_{1\max} = 750 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$
- 1800 ~ 2000 $n_{1\max} = 600 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$

齿轮的圆周速度不得大于 $15 \sim 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

2.6.1 型式与标记方法

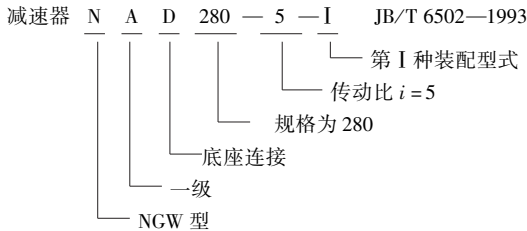
减速器有一级、二级和三级; 在与机架连接方式上分底座和法兰, 立式和卧式, 在行星齿轮传动

的末端可串联上定轴圆柱齿轮、圆锥齿轮。其标记符号为:

- N——NGW 型
- B——二级
- D——底座连接
- Z——定轴圆柱齿轮
- A——一级
- C——三级
- F——法兰连接

本手册仅载一、二级减速器。

标记示例:



2.6.2 公称传动比和实际传动比 (见表 4.8-69)

表 4.8-69 公称传动比与实际传动比

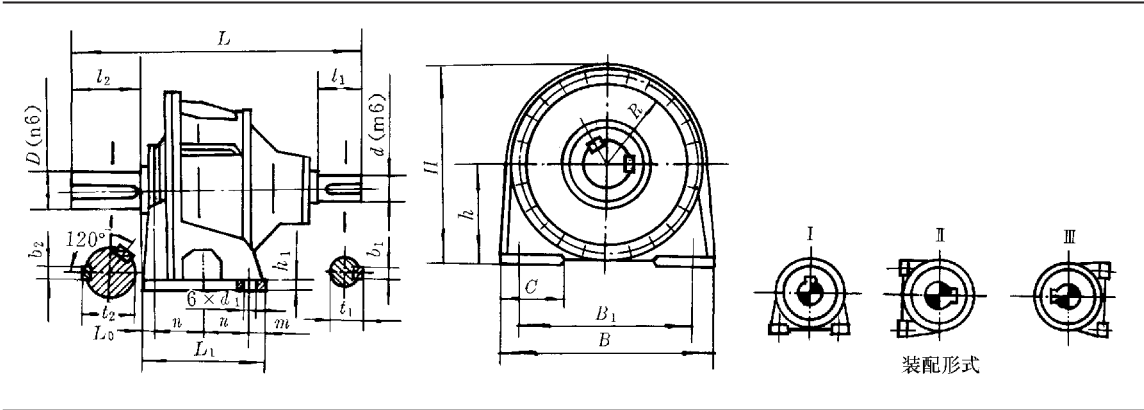
公称传动比 <i>i</i>					4	4.5	5	5.6	6.3	7.1	8	9
NAD NAF 规格	200 280 355 400	实际传动比	4.2	4.636	5.211	5.647	6.316	7.313	7.8	8.769		
	560 710 800											
	1120 1400 1600		4.2	4.636	5.211	5.647	6.3	7.235	7.688	9.231		
	315 630 1250											
	224 250 450 500										4.111	4.5
900 1000 1800												
	2000											

公称传动比 <i>i</i>					22	22.4	25	28	31.5	35.5	40	45	50
NBD NBF 规格	250 450 500 900 1000	实际传动比	21.42	23.21	25.97	30.06	32.91	35.10	39.46	43.85	49.69		
	280 315 560 1120		21.00	23.80	26.53	30.71	33.90	36.16	40.65	45.70	49.52		
	355 630 800 1250 1600		21.89	23.71	26.53	30.71	33.93	36.16	40.65	45.70	49.52		
	400 710 1400		21.89	23.71	26.46	30.39	33.54	35.64	42.79	41.10	52.12		
	1800 2000		20.56	23.30	25.97	30.06	32.91	35.10	39.46	43.85	49.69		

2.6.3 型式和尺寸 (见表 4.8-70 ~ 表 4.8-75)

表 4.8-70 200 ~ 560NAD 型减速器型式和尺寸

(mm)

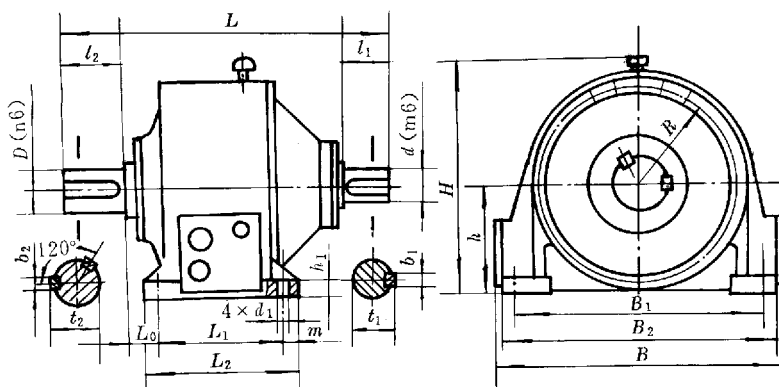


(续)

型号 规格	公称传 动比 <i>i</i>	外形及中心高					轴 伸								地 脚 尺 寸										质量 /kg	润滑 油量 /L
		<i>L</i>	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>R</i>	<i>d</i> (m6)	<i>D</i> (n6)	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>t</i> ₁	<i>b</i> ₁	<i>t</i> ₂	<i>b</i> ₂	<i>L</i> ₁	<i>L</i> ₀	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>h</i> ₁	<i>B</i> ₁	<i>C</i>	<i>d</i> ₁				
NAD 200	4~5.6	540	355	345	180	165	50	60	82	105	53.5	14	64	18	230	25	90	25	18	280	90	17.5	85	2		
	6.3~9	540					40		82		43	12														
NAD 224	4~5.6	610	400	385	200	185	55	70	82	105	59	16	74.5	20	240	30	95	25	20	310	105	20	120	3		
	6.3~9	610					45		82		48.5	14														
NAD 250	4~5.6	680	450	435	225	215	60	80	105	130	64	18	85	22	290	30	120	25	20	360	120	20	160	4		
	6.3~9	657					50		82		53.5	14														
NAD 280	4~5.6	750	500	465	236	230	65	100	105	165	69	18	106	28	300	35	120	30	23	410	130	22	230	6		
	6.3~9	727					55		82		59	16														
NAD 315	4~5.6	800	560	525	265	260	75	120	105	165	79.5	20	127	32	320	35	130	30	25	470	140	22	360	8		
	6.3~9	800					60		105		64	18														
NAD 355	4~5.6	895	630	590	300	290	85	140	130	200	90	22	148	36	380	38	155	35	28	520	170	26	420	10		
	6.3~9	870					65		105		69	18														
NAD 400	4~5.6	979	710	660	335	325	95	150	130	200	100	25	158	36	400	51	165	35	35	600	210	26	572	14		
	6.3~9	954					75		105		79.5	20														
NAD 450	4~5.6	1135	800	745	375	370	110	170	165	240	116	28	179	40	460	60	180	50	35	670	220	33	755	20		
	6.3~9	1100					80		130		85	22														
NAD 500	4~5.6	1250	900	835	425	410	120	200	165	280	127	32	210	45	500	80	200	50	40	770	240	33	1095	26		
	6.3~9	1215					90		130		95	25														
NAD 560	4~5.6	1355	1020	950	475	470	130	220	200	280	137	32	231	50	580	78.5	230	60	40	880	300	38	1510	34		
	6.3~9	1320					100		165		106	28														

表 4.8-71 630~2000NAD 型减速器型式和尺寸

(mm)



(续)

规格 型号	公称传 动比	外形尺寸		轴 伸								法兰尺寸						质量 /kg	润滑 油量 /L
		<i>L</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> (m6)	<i>D</i> (n6)	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>t</i> ₁	<i>b</i> ₁	<i>t</i> ₂	<i>b</i> ₂	<i>d</i> ₂	<i>d</i> ₃	<i>d</i> ₄	<i>l</i> ₀	<i>h</i>	<i>h</i> ₁		
NAF 450	4 ~ 5.6	1135	740	110	170	165	240	116	28	179	40	670	615	26	138	8	30	620	20
	6.3 ~ 9	1100		80		130		85	22										
NAF 500	4 ~ 5.6	1250	820	120	200	165	280	127	32	210	45	755	680	26	160	8	30	948	26
	6.3 ~ 9	1215		90		130		95	25										
NAF 560	4 ~ 5.6	1355	940	130	220	200	280	137	32	231	50	860	785	33	173.5	10	38	1280	34
	6.3 ~ 9	1320		100		165		106	28										

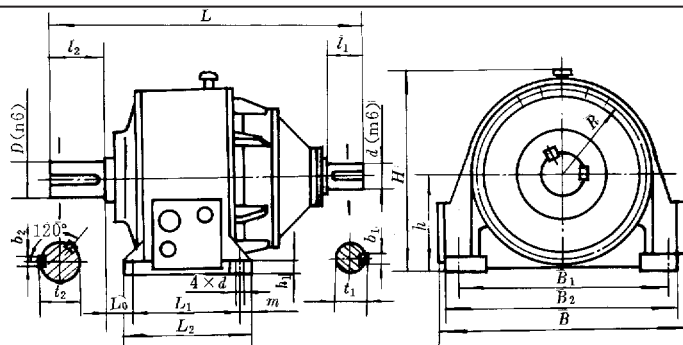
表 4.8-73 250~560NBD 型减速器型式和尺寸

(mm)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

表 4.8-74 630~2000NBD 型减速器外形尺寸

(mm)

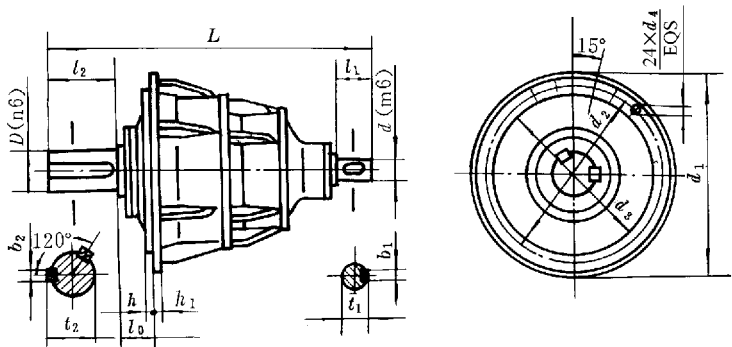


(续)

型号 规格	公称传 动比 <i>i</i>	外形及中心高					轴 伸								地 脚 尺 寸								质量 /kg	润滑 油量 /L
		<i>L</i>	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>R</i>	<i>d</i> (m6)	<i>D</i> (n6)	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>t</i> ₁	<i>b</i> ₁	<i>t</i> ₂	<i>b</i> ₂	<i>L</i> ₂	<i>L</i> ₀	<i>L</i> ₁	<i>m</i>	<i>h</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₁	<i>d</i> ₁		
NBD630	20~50	1580	1260	1095	500	485	90	240	130	330	95	25	252	56	740	118	560	90	80	1200	1040	74	2300	180
NBD710	20~50	1685	1360	1215	560	545	110	260	165	330	116	28	272	56	810	130	630	90	80	1320	1140	74	3700	240
NBD800	20~50	1955	1560	1335	630	625	120	280	165	380	127	32	292	63	870	163	670	100	100	1500	1300	82	5000	300
NBD900	20~50	2260	1750	1510	710	690	130	340	200	450	137	32	365	80	940	194	740	100	100	1680	1480	82	5600	450
NBD1000	20~50	2330	1900	1680	800	770	140	360	200	450	148	36	375	80	1140	166	900	120	120	1840	1600	101	8100	620
NBD1120	20~50	2580	2120	1880	900	870	160	400	240	540	169	40	417	90	1260	207	1000	130	120	2060	1800	101	13200	800
NBD1250	20~50	2850	2340	2060	1000	950	180	450	240	540	190	45	469	100	1400	225	1120	140	140	2280	2000	112	17000	1000
NBD1400	20~50	3120	2580	2280	1120	1050	200	500	280	540	210	45	519	100	1500	264	1200	150	150	2500	2200	112	19500	1500
NBD1600	20~50	3580	2970	2560	1250	1200	220	560	280	680	231	50	582	120	1600	350	1250	175	180	2890	2540	122	26400	2400
NBD1800	20~50	4150	3300	2860	1400	1350	260	600	330	680	272	56	625	140	1760	398	1420	180	200	3200	2880	137	37500	3000
NBD2000	20~50	4900	3700	3190	1600	1480	280	630	380	680	292	63	655	140	1960	440	1580	190	220	3620	3260	155	51000	3800

表 4.8-75 NBF 型减速器外形尺寸

(mm)



型号 规格	公称传 动比 <i>i</i>	外形尺寸		轴 伸								法 兰 尺 寸						质量 /kg	润滑油量 /L
		<i>L</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> (m6)	<i>D</i> (n6)	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>t</i> ₁	<i>b</i> ₁	<i>t</i> ₂	<i>b</i> ₂	<i>d</i> ₂	<i>d</i> ₃	<i>d</i> ₄	<i>l</i> ₀	<i>h</i>	<i>h</i> ₁		
NBF250	20~50	715	410	30	80	58	130	33	8	85	22	375	340	17.5	85	8	20	180	8
NBF280	20~50	760	460	35	100	58	165	38	10	106	28	420	385	17.5	95	8	20	235	10
NBF315	20~50	820	520	40	120	82	165	43	12	127	32	470	435	17.5	113	8	20	310	14
NBF355	20~50	900	585	50	140	82	200	53.5	14	148	36	525	485	22	120	8	25	403	20
NBF400	20~50	993	650	60	150	105	200	64	18	158	36	590	545	22	125	8	25	514	28
NBF450	20~50	1100	740	65	170	105	240	69	18	179	40	670	615	26	138	8	30	705	38
NBF500	20~50	1252	820	75	200	105	280	79.5	20	210	45	755	680	26	160	8	30	1095	45
NBF560	20~50	1340	940	80	220	130	280	85	22	231	50	860	785	33	173.5	10	38	1465	60

2.6.4 承载能力

减速器的公称功率利用率系数见表 4.8-76，NAD、NAF 型减速器高速轴许用输入功率见表 4.8-77，热功率见表 4.8-78；NBD、NBF 型减速器高速轴许用输入功率见表 4.8-79，热功率见表 4.8-80。

2.6.5 选用方法

1) 强度条件 选择减速器时必须首先满足传动比的要求，然后按计算功率 P_c 选择型号规格。

$$P_c = PK_A S_A \leq P'_{PI} = P_{PI} \frac{n'_1}{n_1} \quad (4.8-8)$$

式中 P ——传递的输入功率 (kW);

K_A ——工况系数, 见表 4.8-33;

n_1 ——承载能力表中四档转速之一的入轴转速
($r \cdot \min^{-1}$);

P_{PI} ——对应于 n_1 的许用输入功率 (kW), 见表 4.8-77 ~ 表 4.8-79;

n'_1 ——要求的输入转速 ($r \cdot \min^{-1}$), 当

$$\left| \frac{n'_1 - n_1}{n_1} \right| \leq 0.04 \text{ 时, 取 } \frac{n'_1}{n_1} = 1$$

P'_{PI} ——对应于 n'_1 的许用输入功率 (kW);

S_A ——安全系数。一般设备, 减速器失效仅引起单机停产, 且易更换备件, $S_A = 1.1 \sim 1.3$; 重要设备, 减速器失效引起机组、生产线或全厂停产, $S_A = 1.3 \sim 1.5$; 高安全度要求, 减速器失效引起设备、人身事故, $S_A = 1.5 \sim 1.7$ 。

必要时还应验算减速器的静强度, 减速器静强度为许用额定载荷的 2 倍。

2) 散热条件 用下式验算热功率 P_i

$$P_i = P f_1 f_2 f_3 \leq P_{GI(2)} \quad (4.8-9)$$

式中 f_1 ——环境温度系数, 见表 4.8-35;

f_2 ——负荷率系数, 见表 4.8-35;

f_3 ——公称功率利用率系数, 见表 4.8-76;

$P_{GI(2)}$ ——减速器热功率, 见表 4.8-78、表 4.8-80。

表 4.8-76 公称功率利用率系数 f_3

型式	公称功率利用率 ($P/P'_{PI} \times 100\%$) (%)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
NAD NAF	1.45	1.3	1.25	1.2	1.15	1.1	1	1
NBD NBF	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.05	1	1

3) 输出、输入轴轴伸中点允许的径向力 F_{PR} 列于表 4.8-81。

表 4.8-77 NAD、NAF 型减速器高速轴许用输入功率 P_{PI} (kW)

规 格	高速轴转速 n_1 / $r \cdot \min^{-1}$	公 称 传 动 比 i							
		4	4.5	5	5.6	6.3	7.1	8	9
200	600	54.5	45.0	34.2	28.4	23.3	16.1	13.9	10.0
	750	68.0	56.4	43.1	35.7	29.2	20.1	17.5	12.5
	1000	86.2	73.0	55.9	47.9	39.2	27.0	23.4	16.9
	1500	132.7	111.1	84.8	70.3	57.6	39.7	34.4	25.6
224	600	89.0	78.5	61.9	47.4	35.5	24.3	21.0	15.0
	750	109.8	95.6	77.8	59.5	44.6	30.5	26.4	18.8
	1000	144.5	125.7	101.1	77.4	59.9	40.9	35.4	25.3
	1500	218.0	193.3	153.3	117.3	87.9	60.1	52.0	37.1
250	600	105.8	95.1	76.3	58.7	46.3	31.8	27.7	19.9
	750	131.7	114.6	92.9	73.7	58.1	40.0	34.7	24.9
	1000	174.5	153.1	124.7	95.8	75.5	53.8	46.6	33.5
	1500	258.6	233.6	189.0	145.3	114.4	78.8	68.5	49.2
280	600	168.7	139.8	106.2	87.6	68.1	46.4	40.1	28.4
	750	212.0	170.1	129.2	110.1	85.6	58.3	50.4	35.7
	1000	284.9	228.6	173.7	143.2	111.3	75.8	67.6	48.0
	1500	414.4	346.7	263.4	217.2	168.8	114.9	99.3	70.5
315	600	226.6	187.3	147.1	121.9	96.3	67.5	59.1	38.2
	750	281.4	235.5	179.0	148.4	117.1	84.9	74.3	45.9
	1000	389.9	316.4	240.6	199.4	157.3	110.4	96.7	61.6
	1500	552.6	460.1	364.8	302.5	238.3	167.4	146.7	90.4
355	600	351.2	284.4	217.0	179.1	140.5	95.9	82.9	59.1
	750	437.1	357.5	272.7	225.3	171.1	120.6	104.2	74.2
	1000	578.6	480.4	366.5	310.4	229.8	156.8	135.6	96.5
	1500	855.8	698.4	532.9	440.4	348.2	237.7	205.7	146.4
400	600	432.5	367.3	280.1	232.3	190.4	135.4	117.6	84.4
	750	538.0	461.8	352.3	292.1	239.2	164.8	143.1	106.2
	1000	711.6	620.5	473.3	392.6	321.3	221.4	192.2	138.2
	1500	1067.5	901.4	688.1	571.1	467.1	335.7	291.6	209.6
450	600	702.5	621.2	506.6	387.6	290.5	198.6	177.6	126.7
	750	872.7	772.9	636.9	487.3	365.1	249.7	216.1	154.1
	1000	1152.1	1022.8	855.4	654.7	490.4	335.4	290.4	207.2
	1500	1694.4	1511.1	1242.1	951.7	712.5	487.8	440.3	314.3

(续)

规 格	高速轴转速 n_1	公 称 传 动 比 i							
	/r · min ⁻¹	4	4.5	5	5.6	6.3	7.1	8	9
500	600	831.2	749.3	624.5	480.2	378.3	260.6	226.2	167.8
	750	1032.0	931.7	785.1	605.8	475.4	327.5	284.4	204.4
	1000	1360.8	1231.5	1011.4	811.1	638.6	440.1	382.2	274.6
	1500	1997.4	1815.7	1530.0	1178.3	927.3	639.7	556.5	416.6
560	600	1296.6	1113.6	847.8	700.2	545.2	372.3	322.0	229.4
	750	1609.2	1400.0	1065.9	880.5	685.4	468.0	404.8	288.4
	1000	2120.4	1802.9	1373.3	1134.9	920.2	628.6	543.9	385.0
	1500	3107.6	2724.0	2077.4	1718.4	1335.6	913.6	790.7	564.0
630	600	1675.8	1476.7	1172.1	972.9	732.1	540.9	474.2	293.5
	750	2077.6	1834.0	1473.5	1223.4	907.1	680.0	596.1	369.2
	1000	2732.9	2419.5	1897.7	1576.4	1192.2	913.1	800.7	496.1
	1500	3991.9	3554.1	2867.5	2385.0	1738.6	1325.5	1163.2	721.8
710	600	2686.1	2362.3	1832.8	1514.2	1148.8	784.2	678.3	483.0
	750	3326.6	2895.8	2210.0	1826.5	1443.8	985.8	852.8	607.4
	1000	4368.0	3865.8	2965.6	2452.4	1858.6	1270.0	1145.6	816.3
	1500	6358.9	5670.1	4475.5	3706.4	2806.1	1921.5	1663.9	1187.1
800	600	3280.8	2893.9	2366.9	1963.5	1543.6	1107.2	961.6	691.0
	750	4058.6	3588.7	2853.4	2368.1	1908.7	1391.9	1209.0	869.1
	1000	5319.9	4722.1	3827.0	3178.2	2500.1	1792.7	1557.6	1120.3
	1500	—	6902.4	5673.6	4797.8	3622.4	2709.6	2356.2	1693.3
900	600	5284.6	4703.5	4101.3	3139.8	2412.4	1677.3	1452.3	1036.4
	750	6522.4	5822.2	5131.6	3945.1	2953.9	2022.4	1825.8	1303.4
	1000	8517.6	7639.1	6713.5	5289.4	3892.7	2713.9	2351.3	1680.0
	1500	—	—	9705.3	7834.7	5615.6	4097.3	3553.1	2543.7
1000	600	6217.3	5640.7	4888.3	3890.1	2941.6	2200.4	1911.2	1373.9
	750	7664.2	6973.6	6033.3	4886.3	3627.0	2652.8	2304.6	1727.7
	1000	9989.0	9131.3	7878.9	6530.2	4278.7	3542.9	3092.7	2226.4
	1500	—	—	—	9434.4	6791.7	5365.2	4668.2	3368.3
1120	600	9623.9	8516.5	6863.8	5673.9	4349.2	3143.1	2720.1	1938.9
	750	11855.4	10528.6	8615.2	7126.1	5410.1	3788.3	3278.4	2338.9
	1000	15434.1	13785.3	11525.8	9544.4	7037.0	5078.6	4398.7	3140.7
	1500	—	—	—	—	10063.3	7522.8	6631.4	4747.4
1250	600	12302.5	10923.6	9473.5	7879.1	5424.1	4377.6	3839.6	2481.8
	750	15124.5	13476.1	11666.1	9889.9	6659.0	5396.0	4822.1	2993.2
	1000	—	17585.1	15179.6	13014.5	8621.9	7291.1	6459.6	4017.7
	1500	—	—	—	—	—	10417.9	9550.9	6066.6
1400	600	19519.4	17337.9	14811.1	12254.1	8793.1	6347.9	5494.4	3917.3
	750	23953.8	21374.4	18494.4	15371.9	10784.9	7969.0	6900.3	4923.8
	1000	—	—	24001.6	20204.0	13943.2	10665.3	9241.6	6605.2
	1500	—	—	—	—	—	—	13654.9	9

表 4.8-78 NAD、NAF 型减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2} (kW)

散热冷却条件		规 格																				
		200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1100	1250	1400	1600	1800	2000
无冷却措施	环境条件	P_{G1}																				
	小空间、小厂房	6	9	12	17	24	30	37	49	61	73	90	111	145	182	237	285	375	453	610	816	1095
	较大空间或大厂房	9	13	18	26	36	45	55	74	92	110	135	166	217	273	356	425	563	679	915	1224	1543
	户外露天	12.5	15	25	37	51	64	78	104	130	155	190	234	306	385	502	599	794	957	1290	1725	2316
稀油站循环油润滑		P_{G2} 按 P_2 、工作条件、稀油站的流量和容积来确定																				

表 4.8-79 NBD、NBF 减速器高速轴许用输入功率 P_{pi}

(kW)

规格	高速轴 转速 n_1 $/r \cdot \min^{-1}$	公 称 传 动 比 i								
		20	22.4	25	28	31.5	35.5	40	45	50
250	600	20.5	18.9	13.9	11.4	11.4	10.2	7.6	7.6	7.6
	750	25.6	23.7	17.3	14.2	14.2	12.8	9.6	9.6	9.4
	1000	34.1	31.5	23.0	18.9	18.9	17.2	12.9	12.9	12.2
	1500	51.1	47.2	34.1	28.2	28.2	25.3	19.5	19.5	17.6
280	600	35.0	30.9	22.8	18.6	18.6	16.3	12.1	12.1	11.5
	750	43.7	38.6	28.4	23.2	23.2	20.5	15.3	15.3	14.1
	1000	58.3	51.5	37.7	31.1	31.1	27.5	20.4	20.4	18.2
	1500	85.6	75.4	56.0	45.9	45.9	40.4	30.0	30.0	26.2
315	600	45.7	38.9	28.1	23.2	23.2	20.9	15.6	15.6	15.6
	750	57.1	48.5	35.1	28.9	28.9	26.2	19.6	19.6	19.5
	1000	76.0	64.3	46.4	38.4	38.4	35.2	26.3	26.3	25.3
	1500	113.8	95.5	68.8	56.9	56.9	51.7	38.5	38.5	35.1
355	600	68.3	60.5	41.9	34.5	34.5	30.5	22.6	22.6	22.6
	750	85.3	76.0	52.3	43.1	43.1	38.2	28.3	28.3	28.3
	1000	113.6	98.9	69.3	56.5	56.5	51.4	38.1	38.1	38.1
	1500	170.0	150.5	102.8	85.0	85.0	75.4	56.0	56.0	53.2
400	600	84.3	77.8	52.7	43.8	43.8	41.3	28.2	28.2	28.2
	750	105.3	97.2	65.5	54.6	54.6	51.5	35.4	35.4	35.4
	1000	140.2	129.4	86.7	72.4	72.4	68.4	47.6	47.6	47.6
	1500	209.6	193.6	128.3	107.3	107.3	101.4	69.8	69.8	65.8
450	600	137.1	124.1	84.6	69.8	69.8	63.1	46.9	46.9	46.9
	750	171.1	156.0	105.3	86.9	86.9	79.3	52.8	52.8	52.8
	1000	228.4	208.6	139.4	115.2	115.2	103.1	76.6	76.6	76.6
	1500	341.7	304.9	205.8	170.6	170.6	156.4	116.3	116.3	115.0
500	600	163.1	150.5	110.2	91.0	91.0	85.5	64.5	64.5	62.5
	750	203.5	187.9	137.0	113.2	113.2	105.0	81.0	81.0	78.2
	1000	270.8	250.0	181.1	149.8	149.8	141.0	105.4	105.4	98.6
	1500	404.2	373.5	266.9	221.5	221.5	208.5	159.8	159.8	142.3
560	600	265.4	243.3	180.7	149.3	149.3	137.9	102.5	102.5	94.4
	750	331.3	292.5	224.6	185.7	185.7	167.89	124.6	124.6	115.4
	1000	440.6	389.3	296.5	245.5	245.5	225.5	167.5	167.5	143.7
	1500	657.7	581.4	436.0	362.2	362.2	341.1	254.1	251.9	207.4
630	600	330.4	305.0	272.9	235.80	235.8	193.7	172.3	150.5	129.1
	750	412.4	380.7	340.6	294.5	294.5	241.9	215.3	185.8	153.8
	1000	548.3	506.4	453.2	391.9	391.9	322.0	286.7	241.0	199.4
	1500	818.1	755.8	676.8	585.6	585.6	481.7	428.9	348.0	288.0
710	600	531.5	490.7	410.3	342.8	342.8	314.9	230.6	230.2	194.3
	750	663.2	612.4	508.2	425.1	425.1	393.2	289.9	277.2	228.2
	1000	881.6	814.2	667.4	559.5	559.5	523.5	389.5	359.6	296.1
	1500	1314.3	1214.4	971.8	818.3	818.3	773.8	566.6	519.2	427.6
800	600	651.6	601.6	538.3	465.4	407.0	381.7	339.6	297.1	253.3
	750	812.3	750.6	671.8	580.9	508.2	476.6	324.2	371.0	309.9
	1000	1080.0	997.6	893.2	772.6	676.3	634.4	564.7	486.2	402.0
	1500	1609.1	1487.0	1332.2	1153.3	1010.7	948.2	844.4	702.3	580.7
900	600	1057.9	976.9	844.9	700.0	665.8	624.4	527.4	493.9	405.1
	750	1318.9	1218.2	1044.3	866.3	831.1	779.5	663.2	616.5	505.8
	1000	1751.1	1617.9	1366.8	1137.7	1105.5	1037.0	854.9	820.2	669.9
	1500	2604.7	2408.0	1977.4	1655.0	1650.7	1548.9	1295.0	1224.7	968.0

(续)

规格	高速轴 转速 n_1 /r · min ⁻¹	公 称 传 动 比 i								
		20	22.4	25	28	31.5	35.5	40	45	50
1000	600	1301.8	1150.2	1033.1	893.4	802.0	752.2	669.5	583.8	481.1
	750	1622.4	1434.1	1288.4	1114.6	1001.0	938.9	835.8	728.7	600.5
	1000	2152.8	1903.9	1711.3	1481.1	1331.1	1248.8	1111.9	969.1	798.8
	1500	3198.2	2831.6	2547.2	2206.9	1986.4	1864.1	1660.7	1446.4	1192.7
1120	600	2019.9	1784.9	1603.2	1386.5	1211.1	1135.9	1011.0	885.7	759.8
	750	2517.1	2225.0	1999.1	1717.1	1511.5	1417.8	1262.1	1105.5	931.6
	1000	3339.0	2953.3	2654.7	2244.9	2010.1	1885.7	1679.1	1469.0	1209.4
	1500	—	4390.3	3857.9	3241.3	2999.4	2814.7	2507.7	2123.8	1748.5
1250	600	2496.3	2305.7	2064.3	1785.7	1565.4	1468.2	1307.0	1141.2	978.9
	750	3109.8	2873.0	2573.2	2226.8	1953.0	1832.0	1631.1	1423.9	1221.6
	1000	4123.2	3811.1	3415.1	2957.1	2595.9	2435.5	2169.2	1892.8	1624.1
	1500	—	—	5075.4	4400.1	3869.4	3631.8	3236.8	2822.2	2351.8
1400	600	3985.8	3682.0	3040.6	2554.1	2517.2	2370.3	1949.0	1732.9	1486.5
	750	4963.4	4586.4	3731.1	3142.3	3140.2	2957.2	2350.5	2162.0	1854.8
	1000	6575.3	6079.7	4827.6	4082.7	4082.7	3860.8	3154.7	2873.5	2465.7
	1500	—	—	—	5826.0	5826.0	5516.9	4685.7	4241.8	3492.7
1600	600	5380.0	4969.7	4449.8	3849.6	3040.3	2852.0	2539.2	2219.7	1904.3
	750	6700.8	6191.4	5545.6	4779.6	3791.7	3557.3	3167.9	2768.4	2375.4
	1000	8880.9	8209.6	7357.6	6371.9	5036.2	4726.0	4210.3	3677.4	3156.1
	1500	—	—	—	—	—	7038.3	6275.2	5475.1	4701.1
1800	600	7840.8	7243.4	6135.8	5118.6	4947.5	4640.8	4131.5	3671.2	1013.1
	750	9763.0	9012.8	7502.8	6279.0	6171.5	5789.6	5155.3	4579.7	3759.6
	1000	—	—	9653.6	8119.7	8119.7	7656.2	6853.7	6085.4	4997.9
	1500	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2000	600	9564.1	8457.5	7601.2	6578.4	5912.5	5546.4	4938.5	4305.2	3549.6
	750	11899.5	10528.4	9466.3	8196.7	7372.2	6216.8	6160.2	5368.8	4427.7
	1000	—	—	—	10870.9	9789.0	9186.7	8185.4	7130.5	5883.1
	1500	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 4.8-80 NBD、NBF 型减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2} (kW)

		规 格																		
		250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000
无冷却措施	环境条件	P_{G1}																		
	小空间, 小厂房	8	11	16	20	24. 5	33	41	49	60	71	93	117	153	182	242	292	393	526	707
	较大空间或厂房	12	17	24	30	36. 5	49	61	73. 5	90	107	140	176	230	274	363	438	590	790	1060
	户外露天	17	24	34	42	52	69	87	104	128	152	199	249	326	389	515	622	838	1121	1500
稀油站循环油润滑		P_{G2} 按 P_2 、工作条件、稀油站的流量和容积来确定																		

表 4.8-81 输出、输入轴轴伸中点允许的径向力 F_{PR} (kN)

	规格	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
输出轴	$n=375$	3.40	4.54	4.56	6.17	7.68	10.06	12.18	12.41	16.78	22.71	21.74	23.99			
	$n=250$	3.89	5.19	5.22	7.06	8.97	11.52	13.95	14.21	19.21	25.99	24.89	27.46	28.25	35.30	44.88
	$n=75$	5.81	7.76	7.79	10.55	13.14	17.21	20.83	21.22	28.69	38.83	37.17	41.02	42.20	52.73	67.04
	$n=13.4$	0.31	3.77	13.83	18.73	23.33	30.55	37.00	37.68	50.95	68.95	66.01	72.85	74.95	93.63	119.05
一级输入轴	$n=1500$	1.15	1.24	1.46	1.64	2.33	2.49	2.58	3.20	4.21	3.92	5.47	6.94	7.45	9.72	10.85
	$n=1000$	1.31	1.42	1.68	1.87	2.67	2.86	2.95	3.67	4.82	4.49	6.26	7.94	8.52	11.12	12.42
	$n=750$	1.44	1.57	1.85	2.06	2.94	3.14	3.25	4.03	5.31	4.94	6.89	8.74	9.38	12.24	13.67
	$n=600$	1.56	1.69		2.22	3.16	3.39	3.50	4.35	5.72	5.33	7.42	9.42	10.11	13.19	14.73
二级输入轴	$n=1500$			0.77	0.74	0.97	1.16	1.40	1.52	1.99	2.33	2.95	3.16	4.23	5.62	7.06
	$n=1000$			0.88	0.84	1.11	1.33	1.60	1.74	2.28	2.67	3.38	3.62	4.84	6.44	8.08
	$n=750$			0.97	0.93	1.22	1.47	1.77	1.92	2.51	2.93	3.72	3.98	5.33	7.09	8.89
	$n=600$			1.04	1.00	1.31	1.58	1.90	2.07	2.71	3.16	4.01	4.29	5.74	7.63	9.58

2.7 摆线针轮减速器（摘自 JB/T 2982—1994）

双轴型减速器工作环境温度不高于 40℃，直联型减速器应符合 ZB K22 007 的有关规定。

2.7.1 型号和标记方法

型号由产品代号、安装型式代号，电动机功率、机型号、传动比等组成。

产品代号为“Z”，安装型式代号见表 4.8-82。

表 4.8-82 安装型式代号

安装型式	一级	二级	三级
双轴型卧式	W	WE	WS
直联型卧式	WD	WED	WSD
双轴型立式	L	LE	LS
直联型立式	LD	LED	LSD

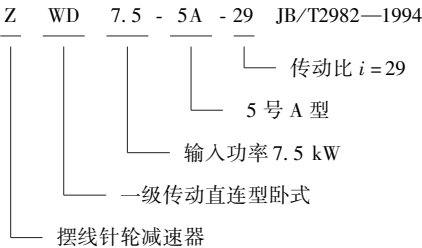
机型号由数字和字母两部分组成。

数字部分：一级减速器用 0, 1, 2, …, 12；二级

减速器用两个一级的数字组合，如 20, 42 ~ 128；三级减速器用三个一级的数字组合，如 420, 742 ~ 1285。

字母部分：外形安装连接尺寸用字母“A”和“B”表示。

标记示例：



一级摆线针轮减速器针齿中心圆直径 d_p 与机型号的关系见表 4.8-83。

本手册仅列出一级减速器。

表 4.8-83 针齿中心圆直径 d_p 与机型号

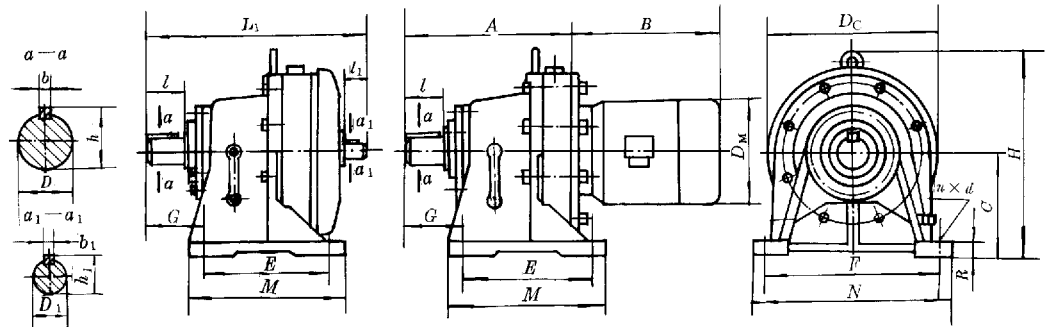
(mm)

机型号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
针齿中心圆直径 d_p	75 ~ 94	95 ~ 105	106 ~ 120	140 ~ 155	165 ~ 185	210 ~ 230	250 ~ 275	280 ~ 300	315 ~ 335	380 ~ 400	440 ~ 460	535 ~ 555	645 ~ 690

2.7.2 外形尺寸和安装尺寸（见表 4.8-84、表 4.8-85）

表 4.8-84 ZW、ZWD 外形、安装尺寸

(mm)



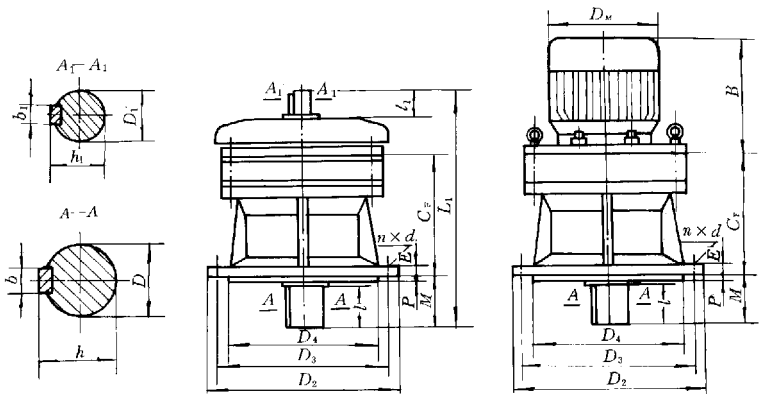
机型号		L_1	l	l_1	G	E	M	D_C	H	C	F	N	R	$n \times d$	D	b	h	D_1	b_1	h_1	A	B	D_M
A型	0	125	20	15	36	60	84	113	146.5	80	120	144	10	4 × 10	14	5	16	10	4	11.5	84	按电动机尺寸	
	1	202	35	25	60	90	120	150	175	100	150	180	12	4 × 12	25	8	31	15	5	17	159		
	2	214	34	25	101	90	120	150	175	100	180	210	15	4 × 12	25	8	28	15	5	17	159		
	3	266	55	35	151	100	150	200	240	140	250	290	20	4 × 16	35	10	38	18	6	20.5	192		
	4	320	74	40	169	145	195	230	275	150	290	330	22	4 × 16	45	14	48.5	22	6	24.5	240		
	5	416	91	45	206	150	260	300	356	160	370	420	25	4 × 16	55	16	59	30	8	33	310		
	6	476	89	54	125	275	335	340	425	200	380	430	30	4 × 22	65	18	69	35	10	38	352		
	7	529	109	65	145	320	380	360	460	220	420	470	30	4 × 22	80	22	85	40	12	43	390		
	8	600	120	70	155	380	440	430	529	250	480	530	35	4 × 22	90	25	95	45	14	48.5	448		
	9	723	141	80	186	480	560	500	614	290	560	620	40	4 × 26	100	28	106	50	14	53.5	552		
	10	813	150	100	230	500	600	580	706	325	630	690	45	4 × 30	110	28	116	55	16	60	612		
	11	1065	202	120	324	330 × 2	810	710	883	420	800	880	50	6 × 32	130	32	137	70	20	76	809		
12	1462	330	150	485	420 × 2	1040	990	1163	540	1050	1160	60	6 × 45	180	45	190	90	25	95	1154			

(续)

机型号	L_1	l	l_1	G	E	M	D_C	H	C	F	N	R	$n \times d$	D	b	h	D_1	b_1	h_1	A	B	D_M
B型	2	215	35	22	108	90	120	168	190	100	150	190	15	4 × 11	30	8	23	15	5	17	165	按电动机尺寸
	3	263	56	35	125	110	160	200	222	120	240	280	15	4 × 13	35	10	38.5	18	5	20	193.5	
	4	320	71	40	144	150	200	240	296	140	280	320	20	4 × 13	45	14	49	22	6	24.5	246	
	5	391	80	55	158	200	250	300	355	160	340	390	25	4 × 17	55	16	60	30	6	33	295	
	6	460	102	60	155	320	380	350	430	200	340	400	25	4 × 22	70	20	76	35	10	38.5	359	
	8	570	120	70	159	380	440	440	513	240	420	470	32	4 × 22	90	24	97	45	14	49	430	
	9	700	140	80	200	440	520	520	605	280	500	560	35	4 × 26	100	28	108	50	16	55	528	

表 4.8-85 ZL、ZLD 外形、安装尺寸

(mm)



机型号	L_1	l	l_1	P	E	M	$n \times d$	D_2	D_3	D_4	D	b	h	D_1	b_1	h_1	C_F	B	D_M
A型	0	125	20	15	3	8	29	6 × 10	120	102	80	14	5	16	10	4	11.5	57	按电动机尺寸
	1	202	35	25	3	9	48	4 × 12	160	134	110	25	8	31	15	5	17	111	
	2	212	34	25	3	42	42	6 × 12	180	160	130	25	8	28	15	5	17	115	
	3	267	45	35	4	15	50	6 × 12	230	200	170	35	10	38	18	6	20.5	143	
	4	324	63	40	4	15	79	6 × 12	260	230	200	45	14	48.5	22	6	24	161	
	5	417	79	45	4	20	93	6 × 12	340	310	270	55	16	59	30	8	33	219	
	6	478	80	54	5	22	92	8 × 16	400	360	316	65	18	69	35	10	38	262	
	7	532	98	65	5	22	114	8 × 18	430	390	345	80	22	85	40	12	43	279	
	8	602	110	70	6	30	112	12 × 18	490	450	400	90	25	95	45	14	48.5	335	
	9	723	129	80	8	35	170	12 × 22	580	520	455	100	28	106	50	14	53.5	382	
	10	814	140	100	10	40	174	12 × 22	650	590	520	110	28	116	55	16	60	438	
	11	1050	184	120	10	45	210	12 × 38	880	800	680	130	32	137	70	20	76	598	
B型	12	1148	320	150	10	60	370	8 × 39	1160	1020	900	180	45	190	90	25	95	796	
	2	215	35	22	3	10	39	4 × 11	190	160	140	30	8	33	15	5	17	126	
	3	263	45	35	4	10	60	6 × 11	230	200	178	35	10	38.5	18	5	20	133.5	
	4	320	61	40	4	16	70	6 × 11	260	230	200	45	14	49	22	6	24.5	176	
	5	391	75	55	5	20	80	6 × 13	340	310	270	55	16	60	30	8	33	215	
	6	462	92	60	5	22	100	8 × 15	400	360	320	70	20	76	35	10	38.5	349	
	8	578	108	70	5	30	115	12 × 18	490	450	400	90	24	97	45	14	49	315	
	9	700	130	80	8	35	130	12 × 22	580	520	460	100	28	108	50	16	55	389	

2.7.3 承载能力

摆线针轮减速器的承载能力列于表 4.8-86 ~ 表 4.8-88。

2.7.4 选用方法

选择减速器时, 首先满足传动比的要求, 然后按输入的计算功率 P_{ci} (或输出轴的计算转矩 T_c),

确定机型号。即

$$P_{Cl} = P_1 K_A \left(\frac{n_1}{n'_1} \right)^{0.3} \leq P_{P1} \quad (4.8-10)$$

或
$$T_C = T K_A \left(\frac{n'_1}{n_1} \right)^{0.3} \leq T_{P2} \quad (4.8-11)$$

式中 P_{Cl} ——计算输入功率 (kW);

P_1 ——输入功率 (kW);

K_A ——工况系数, 见表 4.8-33;

n_1 ——表 4.8-86、表 4.8-87 中指定的输入转

速 ($r \cdot \min^{-1}$);

n'_1 ——减速器实际入轴的转速 ($r \cdot \min^{-1}$);

P_{P1} ——在指定转速 n_1 时, 许用输入功率 (kW), 见表 4.8-86、表 4.8-87;

T_C ——计算输出转矩 ($N \cdot m$);

T ——名义输出转矩 ($N \cdot m$);

T_{P2} ——在指定转速 $n_1 = n_2 i$ 时, 减速器许用输出转矩 T_{P2} ($N \cdot m$), 见表 4.8-88。

表 4.8-86 双轴型一级减速器许用输入功率 P_{P1} (kW)

机 型 号	传 动 比 i								
	11	17	23	29	35	43	59	71	87
0	0.1	0.09	—	0.09	—	0.09	—	—	—
1	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	—	—	—
2	0.75	0.75	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	—	—
3	2.2	1.5	1.5	1.1	1.1	0.6	0.6	0.4	—
4	4	4	2.2	2.2	1.5	1.5	1.1	0.8	0.55
5	7.5	7.5	5.5	5.5	4	3	2.2	1.5	1.5
6	11	11	11	11	7.5	5.5	4	3	2.2
7	15	15	11	11	11	7.5	5.5	4	4
8	18.5	18.5	18.5	15	15	11	7.5	5.5	5.5
9	22	22	18.5	18.5	18.5	15	11	11	11
10	45	45	40	30	22	22	18.5	18.5	15
11	—	55	55	55	40	40	30	22	22
12	—	75	75	75	75	55	45	30	30

注: 表中粗线以上输入转速 $n_1 = 1500 r \cdot \min^{-1}$, 粗线以下输入转速 $n_1 = 1000 r \cdot \min^{-1}$ 。

表 4.8-87 直连型一级减速器许用输入功率 P_{P1} (kW)

机 型 号	传 动 比 i								
	11	17	23	29	35	43	59	71	87
0	0.09	0.09	—	0.09	—	0.09	—	—	—
1	0.37 0.25	0.37 0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	—	—	—
2	0.75 0.55	0.75 0.55	0.55	0.37	0.37	0.37	—	—	—
3	2.2 1.5	1.5 1.1	1.5 1.1	1.1 0.75	1.1 0.75	0.55	0.55	0.55	—
4	4 3	4 3	2.2 1.5	2.2 1.5	1.5 1.1	1.5 1.1	1.1 0.75	0.75	0.55
5	7.5 5.5	7.5 5.5	5.5 4	5.5 4	4 3	3 2.2	2.2 1.5	1.5	1.5
6	11 7.5	11 7.5	11 7.5	11 7.5	7.5 5.5	5.5 4	4 3	3 2.2	2.2
7	15 11	15 11	11 7.5	11 7.5	11 7.5	7.5 5.5	5.5 4	4	4
8	18.5 15	18.5 15	18.5 15	5 11	15 11	11 7.5	7.5 5.5	5.5	5.5
9	22 18.5	22 18.5	18.5 15	18.5 15	18.5 15	15 11	11	11	11
10	45 ^① 37	45 ^① 37	37 30	30 22	22 18.5	22 18.5	18.5 15	18.5 15	15
11	—	55 ^① 37	55 ^① 37	55 ^① 37	37 30	37 30	30 22	22	22
12	—	—	—	—	—	55 ^①	45 ^①	30	30

注: 1. 每格中数值大者为设计许用输入功率, 小者为可配备电动机的功率。

2. 表中粗线以上输入转速 $n_1 = 1500 r \cdot \min^{-1}$, 粗线以下输入转速 $n_1 = 1000 r \cdot \min^{-1}$ 。

① 仅立式减速器配备的功率。

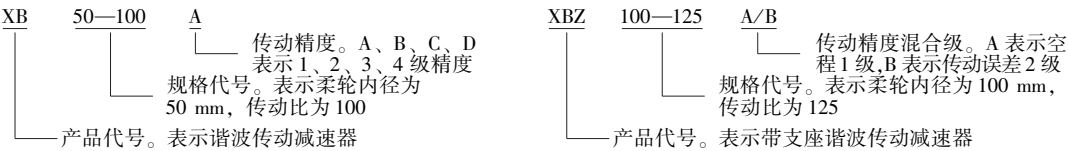
表 4.8-88 输出轴许用转矩 T_{P2} (N·m)

机型号 传动比	— 级												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	6.4	25.8	48.3	141.7	257.6	483.0	708.3	965.9	1787.0	2125.1	4346.8	—	—
17	9.0	39.8	74.6	149.3	398.1	746.4	1094.7	1492.8	2761.8	3284.3	6717.9	8210.7	11196.4
23	—	26.9	53.9	202.0	296.2	740.5	1481.1	1481.1	3736.5	3736.5	8079.0	11108.7	15148.1
29	15.3	34.0	67.9	186.7	373.5	933.7	1857.4	1867.4	2546.5	4711.3	7639.9	14006.5	19099.8
35	—	41.0	82.0	225.4	307.4	819.6	1536.7	2253.8	3073.4	5686.0	6761.8	12294.1	23051.4
43	22.7	50.3	100.7	151.0	377.6	755.2	1384.5	1887.9	2768.9	3775.8	8307.3	15104.2	20268.3
59	—	—	69.1	207.2	380.0	759.9	1381.5	1899.6	2590.4	3799.3	9585.0	15543.3	23304.9
71	—	—	—	166.3	332.5	623.5	1246.9	1662.5	2286.0	4572.0	11534.5	13716.7	18704.6
87	—	—	—	—	280.1	764.0	1120.5	2037.2	2801.2	7639.5	7640.0	16807.8	22919.8

注：1. 粗线以上为 $n_1=1500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ，粗线以下为 $n_1=1000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。
2. 短时过载能力可达 160%。

2.8 谐波传动减速器（摘自 GB/T 14118—1993）

2.8.1 标记方法



2.8.2 外形尺寸和安装尺寸（见表 4.8-89）

表 4.8-89 谐波传动减速器外形及安装尺寸 (mm)

尺寸 代号 机型号		d h6	d_1	d_2 h6	d_3	D	D_1	D_2	D_3	L	l_1	l_2	l_3	H	H_1	A	C	质量 /kg
25		4	6	8	M4	25	28	40	43	86	8	12	22	45	50	键 1×4	键 C2×10	0.3
32		6	10	12	M5	32	36	50	55	115	11	16	33	55	60	键 2×7	键 C4×14	0.5
40		8	12	15	M5	40	44	60	66	140	16	22	39	65	72	键 3×10	键 C5×18	1
50		10	14	18	M6	50	53	70	76	170	18	30	43	75	83	键 3×13	键 C6×25	1.5

(续)

尺寸 代号 机型	d h6	d_1	d_2 h6	d_3	D	D_1	D_2	D_3	L	l_1	l_2	l_3	H	H_1	A	C	质量 /kg
60	14	18	22	M6	60	68	85	100	205	18	35	43	92	101	键 5 × 14	键 C6 × 32	5.5
80	14	18	30	M10	80	85	115	130	240	20	43	48	122	132	键 5 × 16	键 C8 × 40	10
100	16	24	35	M12	100	100	135	155	290	24	55	54	142	155	键 5 × 20	键 C10 × 50	16
120	18	24	45	M14	120	114	170	195	340	28	68	67	180	220	键 6 × 25	键 C14 × 62	30
160	24	40	60	M20	160	140	220	245	430	38	88	77	230	265	键 8 × 32	键 C18 × 80	58
200	30	50	80	M24	200	180	270	300	530	48	108	102	280	320	键 8 × 40	键 C22 × 100	100
250	35	60	95	M27	250	215	330	360	669	60	128	156	345	423	键 10 × 50	键 C25 × 120	
320	40	80	110	M30	320	240	370	400	750	80	140	170	400	440	键 12 × 60	键 C28 × 130	

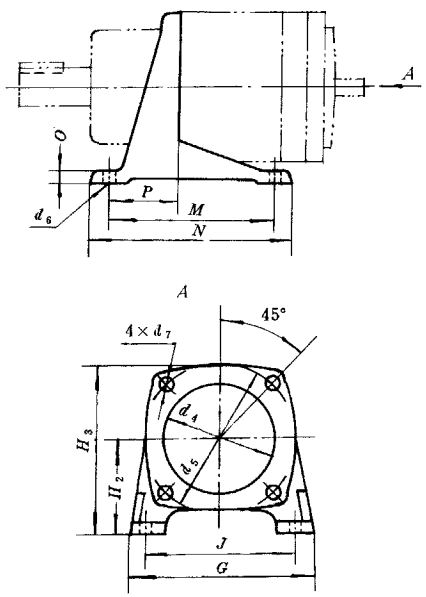
注：1. 25 ~ 50 机型，A 键按 GB 1099 选用；60 ~ 320 机型，A 键按 GB 1096 选用。

2. 25 ~ 320 机型，C 键按 GB 1096 选用。

支座外形及安装尺寸见表 4. 8-90。

表 4. 8-90 支座外形及安装尺寸

(mm)

机 型	代号	60	80	100	120	160	200	250	320
	代号								
	H_3	101	140	160	196	255	310	380	450
	G	112	140	168	205	260	320	400	480
	H_2	56	80	90	106	140	170	210	250
	J	92	116	138	175	220	280	340	400
	d_6	7	9	10	10	14	14	18	22
	d_4	68	85	100	114	140	180	215	240
	M	85	130	150	100	240	280	330	380
	N	115	160	180	215	280	330	390	450
	O	10	13	14	16	20	20	22	25
	P	54	61	67	80	90	110	120	140
	d_7	8	12	14	16	24	28	30	34
	d_5	100	130	155	195	245	300	350	400

2. 8. 3 承载能力

减速器的基本参数和性能见表 4. 8-91。

减速器重量指标见表 4. 8-92。

表 4.8-91 谐波传动减速器的基本参数和性能

机型	柔轮 内径 /mm	模数 /mm	传动 比 i	$n_1 = 3000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$			$n_1 = 1500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$			$n_1 = 1000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$			$n_1 = 750 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$			$n_1 = 500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$		
				P_{P1} /kW	n_2 /r · min ⁻¹	T_{P2} /N · m	P_{P1} /kW	n_2 /r · min ⁻¹	T_{P2} /N · m	P_{P1} /kW	n_2 /r · min ⁻¹	T_{P2} /N · m	P_{P1} /kW	n_2 /r · min ⁻¹	T_{P2} /N · m	P_{P1} /kW	n_2 /r · min ⁻¹	T_{P2} /N · m
25	25	0.2	63	0.0122	47.6	2	0.0071	23.8	2.5	0.0047	15.8	2.5	0.0035	11.9	2.5	0.0023	7.9	2.5
		0.15	80	0.0096	37.5	2	0.0056	18.8	2.5	0.0044	12.5	2.9	0.0033	9.4	3	0.0023	6.25	3.4
		0.1	125	0.0061	24	2	0.0035	12	2.5	0.0028	8	2.9	0.0021	6	3	0.0016	4	3.4
32	32	0.25	63	0.027	47.6	4.5	0.0015	23.8	5	0.012	15.8	6	0.010	11.9	6.5	0.007	7.9	7
		0.2	80	0.024	37.5	5	0.015	18.8	6.5	0.012	12.5	7.6	0.010	9.4	8	0.007	6.25	9
		0.15	100	0.023	30	6	0.014	15	7.5	0.011	10	8.6	0.008	7.5	9	0.006	5	10
		0.1	160	0.015	18.6	6	0.008	9.4	7.5	0.071	6.25	8.6	0.005	4.7	9	0.004	3	10
40	40	0.25	80	0.078	37.5	16	0.044	18.8	20	0.034	12.5	23	0.027	9.4	24	0.021	6.25	28
		0.2	100	0.061	30	16	0.035	15	20	0.028	10	23	0.021	7.5	24	0.016	5	28
		0.15	125	0.049	24	16	0.029	12	20	0.022	8	23	0.018	6	24	0.013	4	28
		0.1	200	0.033	15	16	0.020	7.5	20	0.016	5	23	0.012	3.8	24	0.009	2.5	28
50	50	0.3	80	0.135	37.5	28	0.068	18.8	30	0.045	12.5	30	0.034	9.4	30	0.022	6.25	30
		0.25	100	0.115	30	30	0.068	15	38	0.051	10	42	0.041	7.5	45	0.031	5	50
		0.2	125	0.093	24	30	0.055	12	38	0.040	8	42	0.033	6	45	0.025	4	52
		0.15	160	0.076	18.6	30	0.044	9.4	38	0.032	6.25	42	0.026	4.7	45	0.019	3	52
60	60	0.4	80	0.216	37.5	45	0.136	18.8	60	0.098	12.5	65	0.074	9.4	65	0.049	6.25	65
		0.3	100	0.193	30	50	0.114	15	63	0.087	10	72	0.068	7.5	75	0.049	5	82
		0.25	125	0.154	24	50	0.092	12	63	0.069	8	72	0.054	6	75	0.041	4	86
		0.2	160	0.127	18.6	50	0.072	9.4	63	0.054	6.25	72	0.042	4.7	75	0.031	3	86
80	80	0.5	80	0.481	37.5	100	0.284	18.8	125	0.226	12.5	150	0.171	9.4	150	0.113	6.25	150
		0.4	100	0.461	30	120	0.272	15	150	0.211	10	175	0.162	7.5	180	0.121	5	200
		0.3	125	0.369	24	120	0.218	12	150	0.169	8	175	0.130	6	180	0.101	4	210
		0.25	160	0.305	18.6	120	0.171	9.4	150	0.132	6.25	175	0.102	4.7	180	0.076	3	210
		0.2	200	0.249	15	120	0.135	7.5	150	0.106	5	175	0.082	3.8	180	0.064	2.5	210
100	100	0.6	80	0.961	37.5	200	0.454	18.8	200	0.301	12.5	200	0.227	9.4	200	0.151	6.25	200
		0.5	100	0.961	30	250	0.561	15	310	0.374	10	310	0.28	7.5	310	0.187	5	310
		0.4	125	0.769	24	250	0.449	12	310	0.338	8	350	0.268	6	370	0.183	4	380
		0.3	160	0.637	18.6	250	0.352	9.4	310	0.264	6.25	350	0.209	4.7	370	0.155	3	430
		0.25	200	0.513	15	250	0.317	7.5	310	0.239	5	350	0.192	3.8	370	0.147	2.5	430

(续)

机型	柔轮 内径 /mm	模数 /mm	传动 比 i	$n_1 = 3000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$			$n_1 = 1500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$			$n_1 = 1000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$			$n_1 = 750 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$			$n_1 = 500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$		
				P_{P1} /kW	n_2 /r · min ⁻¹	T_{P2} /N · m	P_{P1} /kW	n_2 /r · min ⁻¹	T_{P2} /N · m	P_{P1} /kW	n_2 /r · min ⁻¹	T_{P2} /N · m	P_{P1} /kW	n_2 /r · min ⁻¹	T_{P2} /N · m	P_{P1} /kW	n_2 /r · min ⁻¹	T_{P2} /N · m
120	120	0.8	80	1.828	37.5	380	0.862	18.8	380	0.573	12.5	380	0.431	9.4	380	0.287	6.25	380
		0.6	100	1.731	30	450	1.014	15	560	0.675	10	560	0.507	7.5	560	0.338	5	560
		0.5	125	1.385	24	450	0.811	12	560	0.618	8	610	0.485	6	670	0.328	4	680
		0.4	160	1.144	18.6	450	0.635	9.4	560	0.482	6.25	640	0.380	4.7	670	0.279	3	770
		0.3	200	0.923	15	450	0.575	7.5	560	0.437	5	640	0.348	3.8	670	0.263	2.5	770
160	160	1	80				1.814	18.8	800	1.207	12.5	800	0.907	9.4	800	0.604	6.25	800
		0.8	100				1.809	15	1000	1.387	10	1150	1.086	7.5	1200	0.604	5	1000
		0.6	125				1.448	12	1000	1.111	8	1150	0.868	6	1200	0.604	4	1250
		0.5	160				1.134	9.4	1000	0.867	6.25	1150	0.680	4.7	1200	0.488	3	1350
		0.4	200				1.025	7.5	1000	0.787	5	1150	0.750	3.8	1200	0.461	2.5	1350
		0.3	250				0.82	6	1000	0.629	4	1150	0.492	3	1200	0.369	2	1350
200	200	1	80				3.402	18.8	1500	2.262	12.5	1500	1.701	9.4	1500	1.132	6.25	1500
		0.8	100				3.620	15	2000	2.413	10	2000	1.809	7.5	2000	1.207	5	2000
		0.6	125				2.896	12	2000	2.886	8	2300	1.731	6	2390	1.164	4	2410
		0.5	160				2.268	9.4	2000	1.734	6.25	2300	1.355	4.7	2390	0.995	3	2750
		0.4	200				2.051	7.5	2000	1.572	5	2300	1.241	3.8	2390	0.940	2.5	2750
		0.3	250				1.641	6	2000	1.259	4	2300	0.980	3	2390	0.752	2	2750
250	250	1.5	80				6.68	18.8	2800	4.49	12.5	2800	3.37	9.4	2800	2.24	6.25	2800
		1.25	100				6.33	15	3500	4.49	10	3500	3.37	7.5	3500	2.24	5	3500
		1	125				5.07	12	3500	3.86	8	4000	3.04	6	4200	2.33	4	4830
		0.8	160				3.96	9.4	3500	3.01	6.25	4000	2.38	4.7	4200	1.75	3	4830
		0.6	200				3.59	7.5	3500	2.73	5	4000	2.19	3.8	4200	1.65	2.5	4830
		0.5	250				2.87	6	3500	2.19	4	4000	1.72	3	4200	1.32	2	4830
		0.4	320				2.25	4.7	3500	1.69	3.1	4000	1.32	2.3	4200	1.05	1.6	4830
320	320	2	80				12.27	18.8	5300	8.50	12.5	5300	6.40	9.4	5300	4.25	6.25	5300
		1.5	100				11.4	15	6300	8.08	10	6300	6.06	7.5	6300	4.04	5	6300
		1.25	125				9.12	12	6300	6.95	8	7200	5.44	6	7500	4.15	4	8600
		1	160				7.14	9.4	6300	5.44	6.25	7200	4.26	4.7	7500	3.12	3	8600
		0.8	200				6.47	7.5	6300	4.92	5	7200	3.89	3.8	7500	2.94	2.5	8600
		0.6	250				5.17	6	6300	3.93	4	7200	3.07	3	7500	2.35	2	8600
		0.5	3200				4.05	4.7	6300	3.05	3.1	7200	2.36	2.3	7500	1.88	1.6	8600

注： n_1 —输入转速； n_2 —输出转速； P_{P1} —输入功率； T_{P2} —输出转矩。

表 4.8-92 谐波传动减速器重量指标

机型	效率 η (%)	起动转矩 /N·cm	额定负荷下扭转刚 度/N·m/(°)	波发生器转动 惯量/kg·m ²
25	$i = 63 \sim 125$ $\eta = 75 \sim 90$ $i > 125$ $\eta = 70 \sim 85$	≤ 0.8	0.365	7×10^{-7}
32		≤ 1.25	0.725	2.8×10^{-6}
40		≤ 2	1.45	8.8×10^{-6}
50		≤ 3	2.90	2.5×10^{-5}
60		≤ 5	5.80	5.85×10^{-5}
80		≤ 8	11.65	1.77×10^{-4}
100		≤ 12.5	23.25	5.46×10^{-4}
120		≤ 20	46.55	1.18×10^{-3}
160	$i = 80 \sim 160$ $\eta = 80 \sim 90$ $i > 160$ $\eta = 70 \sim 80$	≤ 35	93.10	5.65×10^{-3}
200		≤ 60	186.20	1.72×10^{-2}
250		≤ 100	327.35	5.16×10^{-2}
320		≤ 150	744.65	1.52×10^{-1}

使用环境温度为 $-40 \sim 55^{\circ}\text{C}$; 相对湿度为 $95\% \pm 3\%$ (20°C); 振动频率为 $10 \sim 500\text{ Hz}$, 加速度为 $2g$, 扫频循环次数为 10 次。

2.9 圆弧圆柱蜗杆减速器 (摘自 JB/T 7935—1999)

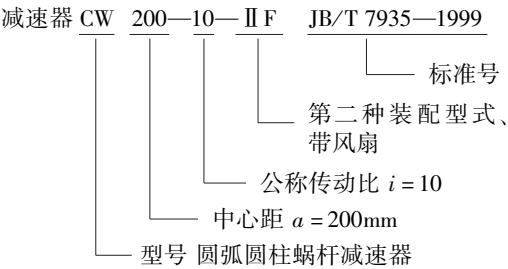
JB/T 7935 规定的单级圆弧圆柱蜗杆减速器, 主

要适用于冶金、矿山、起重、运输、化工、建筑等各种机械设备的减速传动。蜗杆转速不超过 $1500\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$; 工作温度为 $-40 \sim 40^{\circ}\text{C}$; 当工作环境低于 0°C 时, 起动前润滑油必须加温于 0°C 以上, 当环境温度高于 40°C 时, 必须采用冷却措施; 蜗杆轴可正、反两向运转。

2.9.1 型式和标记方法

减速器的装配型式有 10 种, 详见表 4.8-93。中心距 $a = 63 \sim 99\text{ mm}$ 为自然冷却; $a = 100 \sim 500\text{ mm}$ 为风扇冷却。

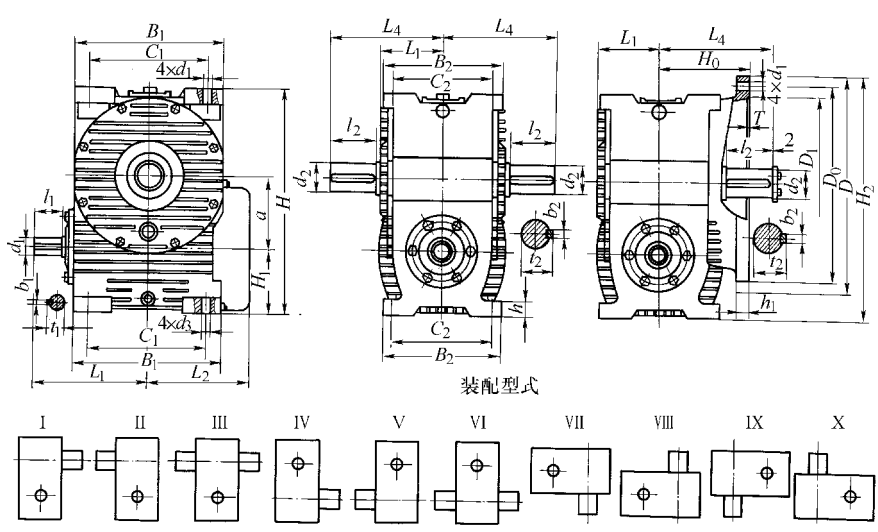
标记示例:



2.9.2 外形尺寸和安装尺寸

减速器的外形尺寸和装配型式见表 4.8-93。

表 4.8-93 CW 型减速器外形尺寸和装配型式 (mm)

															
a	B_1	B_2	C_1	C_2	H_1	H	L_1	L_2	L_3	L_4	h	d_1	b_1	t_1	l_1
63	145	125	95	100	65	228	120	120	62	130	16	19j6	6	21.5	28
80	170	160	120	130	80	280	142	140	80	150	20	24j6	8	27	36
100	215	190	170	155	100	340	178	170	95	190	28	28j6	8	31	42
125	260	220	200	180	112	412	215	195	110	205	32	32j6	10	35	58
140	280	240	220	195	125	455	225	215	120	238	35	38k6	10	41	58
160	330	270	275	230	140	500	380	243	140	258	38	42k6	12	45	82

(续)

a	B_1	B_2	C_1	C_2	H_1	H	L_1	L_2	L_3	L_4	h	d_1	b_1	t_1	l_1
180	360	305	280	255	160	570	295	265	150	270	40	42k6	12	45	82
200	420	340	335	285	180	620	320	295	170	320	45	48k6	14	51.5	82
225	460	360	370	300	200	700	350	320	180	325	50	48k6	14	51.5	82
250	515	390	425	325	200	740	380	350	195	375	55	55k6	16	59	82
280	560	430	450	360	225	840	425	390	215	395	60	60m6	18	64	105
315	620	470	500	395	250	940	460	430	235	415	65	65m6	18	69	105
355	700	520	560	440	280	1050	498	490	260	475	70	70m6	20	74.5	105
400	780	570	630	490	300	1160	545	525	295	510	75	75m6	20	79.5	105
d_2	l_2	b_2	t_2	d_3	D	D_0	D_1	T	h_1	H_0	H_2	质量/kg			
32k6	58	10	35	M10	240	210	170H8	5	15	100	248	20			
38k6	58	10	41	M12	275	240	200H8	5	15	125	298	35			
48k6	82	14	51.5	M12	320	285	245H8	5	16	140	360	60			
55k6	82	16	59	M16	400	355	300H8	6	20	160	437	100			
60m6	105	18	64	M16	435	390	340H8	6	22	175	482	130			
65m6	105	18	69	M16	490	455	395H8	6	25	195	545	145			
75m6	105	20	79.5	M20	530	480	425H8	6	28	210	605	190			
80m6	130	22	85	M20	580	530	475H8	6	30	230	670	250			
90m6	130	25	95	M24	660	605	525H8	6	30	250	755	305			
100m6	165	28	106	M24	705	640	580H8	6	32	270	808	420			
110m6	165	28	116	M30	800	720	635H8	6	35	300	905	540			
120m6	165	32	127	M30	890	810	725H8	8	40	325	1010	720			
130m6	200	32	137	M36	980	890	790H8	8	45	365	1125	920			
150m6	200	36	158	M36	1080	990	890H8	8	50	390	1240	1250			

2.9.3 承载能力

CW 型减速器的承载能力见表 4.8-94。

表 4.8-94 减速器的额定输入功率 P_1 及额定输出转矩 T_2

公称 传动 比 i	输入转速 n_1 /r · min ⁻¹	功率 转矩 代号	中心距 a /mm													
			63	80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
			额定输入功率 P_1 /kW 额定输出转矩 T_2 /N · m													
5	1500	P_1	4.03	7.35	15.75	26.5	—	46.9	—	68.1	—	103.4	—	149.0	—	197.0
		T_2	123	207	450	770	—	1365	—	1995	—	3050	—	4410	—	6300
	1000	P_1	3.44	5.60	12.60	22.4	—	37.4	—	56.4	—	96.4	—	142.5	—	203.3
		T_2	141	235	540	965	—	1630	—	2470	—	4250	—	6300	—	9030
	750	P_1	2.96	4.83	9.88	17.2	—	29.1	—	45.2	—	82.5	—	132.7	—	195.2
		T_2	162	270	560	990	—	1680	—	2625	—	4830	—	7770	—	11550
6.3	500	P_1	2.44	3.88	7.14	12.2	—	20.8	—	32.8	—	59.0	—	109.4	—	177.9
		T_2	198	322	600	1040	—	1785	—	2835	—	5145	—	9600	—	15750
	1500	P_1	3.68	6.33	13.15	22.4	28.9	40.3	50.9	58.2	72.6	88.0	107.6	127.8	158.0	193.6
		T_2	131	230	490	840	1010	1520	1785	2205	2570	3360	3830	4900	5640	7875
	1000	P_1	2.78	4.98	11.10	18.8	26.2	32.6	46.0	52.4	67.3	82.5	100.4	120.1	152.5	181.1
		T_2	146	270	610	1050	1365	1840	2415	2890	3570	4725	5355	6909	8160	11025
	750	P_1	2.40	4.13	8.65	14.9	20.5	26.0	36.2	39.1	59.8	73.3	93.2	112.6	141.5	174.8
		T_2	168	300	630	1100	1420	1945	2520	2940	4200	5565	6615	8610	10070	14175
	500	P_1	1.96	3.40	6.19	11.0	14.3	17.9	25.8	27.9	43.1	52.9	70.7	87.8	118.1	155.5
		T_2	202	362	670	1210	1470	1995	2680	3150	4515	5985	7455	10000	12590	18900

(续)

公称 传动 比 i	输入转速 n_1 $/r \cdot \min^{-1}$	功率 转矩 代号	中心距 a/mm													
			63	80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
			额定输入功率 P_1/kW							额定输出转矩 $T_2/N \cdot m$						
8	1500	P_1	3.37	5.60	9.45	17.9	25.5	29.9	45.7	50.7	64.4	77.5	96.3	119.3	142.8	174.3
		T_2	146	270	455	870	1100	1520	1995	2500	2835	3880	4250	6000	6340	8820
	1000	P_1	2.59	4.49	8.36	14.2	22.8	26.2	41.1	45.8	58.9	71.2	88.7	110.0	133.0	166.1
		T_2	168	316	600	1000	1470	1995	2600	3400	3885	5350	5880	8300	8860	12600
	750	P_1	2.26	3.83	7.38	13.6	17.5	22.4	32.2	36.8	52.9	65.4	81.3	99.9	119.7	156.3
		T_2	193	356	700	1300	1520	2250	2780	3620	4620	6510	7140	10000	10570	15750
10	1500	P_1	1.89	3.12	5.58	9.8	12.9	16.2	23.0	26.6	37.7	46.9	64.4	84.0	106.8	136.1
		T_2	240	431	780	1400	1620	2415	2940	3885	4880	6930	8400	12500	14000	20475
	1000	P_1	2.69	4.69	8.43	14.9	18.2	25.7	33.7	44.2	53.3	62.1	77.4	99.3	147.2	153.5
		T_2	152	270	500	890	1100	1575	1940	2730	3400	3990	4980	6200	7850	9660
	750	P_1	2.07	3.69	7.45	13.4	16.9	23.1	30.1	38.9	46.1	53.7	67.6	92.1	118.0	145.0
		T_2	172	316	660	1200	1520	2100	2570	3570	4400	5140	6500	8600	11000	13650
12.5	1500	P_1	1.83	3.14	6.24	11.1	13.6	18.3	24.9	30.3	36.9	48.7	60.8	84.8	105.2	138.6
		T_2	195	356	730	1310	1620	2200	2835	3675	4670	6190	7700	10500	13000	17300
	1000	P_1	1.46	2.53	4.56	8.1	9.8	13.5	17.8	21.9	27.7	37.4	47.8	67.8	86.9	124.0
		T_2	240	425	790	1410	1730	2415	2990	3935	5190	7000	9000	12500	16100	23100
	750	P_1	2.34	4.06	6.81	11.8	15.5	20.3	26.6	34.3	44.7	54.8	75.5	83.9	110.4	136.9
		T_2	158	276	475	840	1050	1470	1890	2570	3200	4040	5460	6400	8450	10500
16	1500	P_1	1.83	3.27	5.78	10.4	14.0	18.5	24.4	30.5	40.4	49.6	70.2	77.6	101.5	133.5
		T_2	182	328	600	1100	1400	1995	2570	3410	4300	5460	7560	8700	11580	15220
	1000	P_1	1.58	2.80	5.19	9.4	12.5	16.1	22.1	26.2	37.0	46.6	65.3	72.7	95.9	124.2
		T_2	209	374	710	1300	1680	2310	3090	3885	5250	6825	9345	11000	14595	18900
	750	P_1	1.29	2.26	4.08	7.1	9.6	11.7	16.8	18.5	29.1	34.6	47.3	58.2	80.2	106.4
		T_2	256	448	830	1470	1890	2460	3465	4000	6000	7450	9975	13000	18000	24150
20	1500	P_1	1.98	3.47	6.68	11.6	14.3	20.6	24.3	34.9	41.5	49.0	60.1	81.6	99.2	130.4
		T_2	158	287	570	1000	1260	1830	2310	3150	3885	4460	5670	7500	9360	12000
	1000	P_1	1.56	2.73	5.74	10.1	12.9	17.1	20.8	27.1	32.4	44.1	53.7	76.6	91.2	121.2
		T_2	182	333	730	1310	1680	2250	2940	3600	4500	5980	7560	10500	12580	16800
	750	P_1	1.35	2.33	4.61	8.3	10.4	13.6	16.4	21.7	27.9	39.1	47.3	68.9	88.1	111.7
		T_2	209	374	770	1410	1785	2360	3000	3830	5154	7000	8800	12510	16100	20400
25	1500	P_1	1.11	1.91	3.37	5.9	7.3	9.6	11.9	15.6	19.6	28.5	34.7	50.1	65.0	90.4
		T_2	256	460	830	1470	1830	2460	3300	4095	5350	7560	9550	13520	17600	24600
	1000	P_1	1.93	3.08	5.0	9.0	11.6	15.9	20.4	26.2	33.5	44.0	54.3	65.5	84.9	103.6
		T_2	188	328	550	1010	1260	1830	2250	3050	3780	5250	6195	7900	9700	12600
	750	P_1	1.53	2.41	4.30	8.2	9.8	13.7	17.5	23.1	28.4	39.5	49.2	61.3	78.9	95.5
		T_2	219	380	700	1310	1575	2360	2880	4000	4750	7030	8400	11000	13590	17320
31.5	1500	P_1	1.32	2.10	3.75	7.3	9.1	12.0	15.5	19.0	25.6	36.6	45.2	54.6	72.8	87.2
		T_2	252	437	810	1575	1940	2730	3360	4400	5670	8600	10185	13000	16600	21000
	1000	P_1	1.00	1.69	2.71	5.5	6.8	9.0	11.4	13.8	18.9	26.7	33.2	42.7	57.0	76.6
		T_2	282	518	850	1730	2100	2940	3620	4700	6195	9240	11000	15000	19100	27300
	750	P_1	1.38	2.47	3.94	6.9	8.7	12.4	14.9	19.3	23.4	32.3	39.9	54.0	71.1	87.8
		T_2	162	316	500	930	1200	1680	2150	2780	3465	4725	5880	7700	10570	13100
40	1500	P_1	1.16	2.04	3.41	5.6	7.1	10.9	12.7	17.3	20.8	28.9	36.8	47.1	63.6	77.8
		T_2	205	391	640	1150	1470	2200	2730	3675	4560	6300	8000	10000	14000	17300
	1000	P_1	0.95	1.74	2.82	5.1	6.4	9.9	11.7	15.5	18.8	26.3	33.3	44.6	60.0	72.9
		T_2	220	437	700	1365	1730	2620	3300	4350	5460	7560	9600	12500	17600	21500
	750	P_1	0.69	1.34	1.99	3.7	4.6	7.2	8.5	12.2	14.8	21.1	27.1	37.6	49.1	63.8
		T_2	235	500	730	1470	1830	2780	3500	5040	6300	8925	11500	15500	21100	27800

(续)

公称传动比 i	输入转速 n_1 /r · min ⁻¹	功率 转矩 代号	中心距 a /mm													
			63	80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
			额定输入功率 P_1 /kW							额定输出转矩 T_2 /N · m						
31.5	1500	P_1	1.21	2.08	4.27	7.6	8.8	12.7	15.2	22.6	25.9	30.2	36.8	52.9	68.9	—
		T_2	168	299	650	1150	1400	2100	2670	3780	4500	5145	6510	9200	12000	—
	1000	P_1	0.95	1.66	3.39	6.0	7.1	9.8	11.7	17.3	19.4	26.9	32.3	48.6	61.9	78.2
		T_2	193	350	770	1365	1680	2360	3045	3885	5040	6825	8500	12500	16100	20470
	750	P_1	0.79	1.41	2.67	4.8	5.8	7.8	9.3	12.5	15.7	22.3	26.6	38.3	51.3	71.4
		T_2	215	391	790	1400	1785	2460	3150	4040	5250	7350	9240	13000	17600	24670
	500	P_1	0.67	1.17	1.98	3.5	5.8	5.6	6.9	9.1	11.5	16.1	19.4	28.1	35.8	51.3
		T_2	262	472	840	1470	1830	2570	3400	4300	5670	7770	9765	14000	18100	26250
	1500	P_1	1.17	1.88	3.22	5.7	7.3	9.9	12.4	16.7	21.1	28.3	35.0	42.6	58.2	70.9
		T_2	198	345	620	1150	1410	2100	2570	3620	4500	6300	7450	9600	12580	16275
40	1000	P_1	0.90	1.47	2.19	4.9	6.2	8.8	10.9	13.9	18.0	24.1	31.4	39.1	51.9	66.3
		T_2	225	397	790	1470	1785	2730	3300	4410	5670	8190	9870	13000	16600	22575
	750	P_1	0.81	1.26	2.35	4.4	5.5	7.0	8.7	11.2	14.8	20.8	25.4	34.0	42.8	60.7
		T_2	262	449	870	1680	2040	2835	3465	4670	6090	8925	10500	15000	18100	27300
	500	P_1	0.64	1.02	1.68	3.2	3.9	5.2	6.5	8.0	11.0	15.2	19.3	25.0	31.6	46.8
		T_2	298	523	920	1785	2150	3045	3720	4880	6600	9450	11550	16000	19600	30975
	1500	P_1	0.91	1.64	2.55	4.4	5.6	7.6	9.3	12.7	15.2	21.3	26.7	33.7	45.3	56.3
		T_2	183	357	570	1040	1365	1890	2415	3255	4095	5565	7245	9000	12580	15750
	1000	P_1	0.74	1.32	2.18	3.8	4.7	6.7	8.2	11.0	14.0	19.0	23.5	31.3	41.6	52.1
		T_2	220	414	720	1315	1680	2465	3150	4200	5565	7350	9450	12510	17110	21525
50	750	P_1	0.60	1.11	1.77	3.4	4.0	6.1	7.3	9.5	11.9	16.9	21.8	28.6	38.1	48.2
		T_2	236	466	760	1520	1890	2885	3675	4670	6195	8610	11550	15000	20640	26250
	500	P_1	0.45	0.84	1.25	2.4	2.9	4.5	5.4	7.1	8.6	13.2	16.6	22.5	30.2	40.0
		T_2	256	523	790	1575	1995	3095	3885	5090	6510	9660	12600	17000	23650	32000
	1500	P_1	—	1.35	1.85	3.5	4.7	5.9	8.1	10.5	13.8	16.1	23.3	26.3	35.5	47.7
		T_2	—	322	470	935	1260	1730	2360	3150	4095	4830	6400	8200	11000	15220
	1000	P_1	—	0.99	1.44	2.6	3.6	4.4	6.7	8.2	12.1	14.0	21.4	23.9	32.9	44.7
		T_2	—	345	530	1000	1410	1890	2880	3570	5250	6195	8505	11000	15000	21000
	750	P_1	—	0.82	1.21	2.3	3.0	3.9	5.4	7.2	10.1	12.2	16.2	21.4	30.9	39.7
		T_2	—	374	580	1155	1575	2150	3045	4095	5775	7000	9550	13000	18600	24600
63	500	P_1	—	0.66	0.95	1.8	2.4	3.0	4.5	5.6	7.6	9.0	12.4	16.6	22.8	30.2
		T_2	—	449	660	1310	1785	2415	3500	4620	6300	7560	10500	14520	20100	27300

2.9.4 选用方法

表 4.8-94 适用于如下工作条件：减速器工作载荷平稳，无冲击，每日工作 8h，每小时起动 10 次，起动转矩不超过额定转矩的 2.5 倍，小时负荷率 $J_c = 100\%$ ，环境温度为 20℃。当上述条件不能满足时，应依据表 4.8-95 ~ 表 4.8-99 进行修正。

由式 (4.8-12) ~ 式 (4.8-15) 进行修正计算，再由计算结果的较大值由表 4.8-94 选取承载能力相符或偏大的减速器。

$$P_{1j} = P_{1B} f_1 f_2 \quad (4.8-12)$$

或

$$P_{1R} = P_{1B} f_3 f_4 \quad (4.8-13)$$

$$T_{2j} = T_{2B} f_1 f_2 \quad (4.8-14)$$

$$T_{2R} = T_{2B} f_3 f_4 \quad (4.8-15)$$

式中 P_{1j} ——减速器计算输入机械功率 (kW)；

P_{1R} ——减速器计算输入热功率 (kW)；

T_{2j} ——减速器计算输出机械转矩 (N · m)；

T_{2R} ——减速器计算输出热转矩 (N · m)；

P_{1B} ——减速器实际输入功率 (kW)；

T_{2B} ——减速器实际输出转矩 (N · m)；

f_1 ——工作载荷系数，查表 4.8-95；

f_2 ——起动频率系数，查表 4.8-96；

f_3 ——小时载荷率系数，查表 4.8-96；

f_4 ——环境温度系数，查表 4.8-97。

式 (4.8-13) 和式 (4.8-14) 是油温为 100℃ 时热平衡计算，如果采用循环油或水冷却，温升限制在允许范围内，则无需进行热平衡计算。

初选好减速器的规格后，还应校核减速器的最大尖峰载荷不超过额定承载能力的 2.5 倍，并按表 4.8-98 进行减速器输出轴上作用载荷的校核。

表 4.8-95 工作载荷系数 f_1

原动机	日运转时间	载荷性质及代号		
		均匀载荷 U ^②	中等冲击 载荷 M ^②	强冲击 载荷 H ^②
		f_1		
电动机 汽轮机 水力机	偶然性的 0.5h ^①	0.8	0.9	1.0
	间断性的 2h ^①	0.9	1.0	1.25
	2 ~ 10h	1.0	1.25	1.50
	10 ~ 24h	1.25	1.50	1.75
活塞发动机 (4 ~ 6 个气缸)	偶然性的 0.5h ^①	0.9	1.0	1.25
	间断性的 2h ^①	1.0	1.25	1.50
	2 ~ 10h	1.25	1.50	1.75
	10 ~ 24h	1.50	1.75	2.0
活塞发动机 (1 ~ 3 个气缸)	偶然性的 0.5h ^①	1.0	1.25	1.50
	间断性的 2h ^①	1.25	1.50	1.75
	2 ~ 10h	1.50	1.75	2.0
	10 ~ 24h	1.75	2.0	2.25

① 指在每日偶然和间歇运转时间的总和。

② U、M、H 参见表 4.8-34。

表 4.8-96 起动频率系数 f_2 和小时载荷率系数 f_3

每小时 启动次数	≤10	> 10 ~ 60	> 60 ~ 240	> 240 ~ 400	
f_2	1	1. 1	1. 2	1. 3	
小时载荷 率 J_C (%)	100	80	60	40	20
f_3	1	0. 94	0. 86	0. 74	0. 56

表 4.8-97 环境温度系数 f_4

环境温度/℃	10 ~ 20	>20 ~ 30	>30 ~ 40	>40 ~ 50
f_4	1	1.14	1.33	1.6

表 4.8-98 减速器输出轴轴端径向

许用载荷 F_R 或轴向许用载荷 F_A

中心距 a/mm	63	80	100	125	140	160	180
F_R 或 F_A/N	3500	5000	6000	8500	10000	11000	13000
中心距 a/mm	200	225	250	280	315	355	400
F_R 或 F_A/N	18000	20000	21000	27000	31000	35000	38000

例 4 试为一建筑卷扬机选择 CW 型蜗杆减速器，已知电动机转速 $n_1 = 725\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，传动比 $i = 20$ ，输出轴转矩 $T_{2B} = 2555\text{N} \cdot \text{m}$ ，起动转矩 $T_{2\text{max}} = 5100\text{N} \cdot \text{m}$ ，输出轴端径向载荷 $F_R = 11000\text{N}$ ，工作环

境温度 30°C ，减速器每日工作 8h，每小时起动次数 15 次，每次运行时间 3min，中等冲击载荷，装配型式为第 I 种。

由于给定条件与规定的工作应用条件不一致，故应进行有关选型计算。

由表 4.8-95 查得 $f_1 = 1.25$ ，由表 4.8-96 查得 $f_2 = 1.1$ ， $f_3 = 0.94$ ，由表 4.8-97 查得 $f_4 = 1.14$ ，由式 (4.8-14)、式 (4.8-15) 计算得

$$\begin{aligned} T_{2J} &= T_{2B} f_1 f_2 \\ &= 2555 \times 1.2 \times 1.1\text{N} \cdot \text{m} \\ &= 3372.6\text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{2R} &= T_{2B} f_3 f_4 \\ &= 2555 \times 0.93 \times 1.14\text{N} \cdot \text{m} \\ &= 2708.8\text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

按计算结果最大值 $3372.6\text{N} \cdot \text{m}$ 及 $i = 20$ ， $n_1 = 725\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，由表 4.8-94 初选减速器为 $a = 200\text{mm}$ ， $T_2 = 4400\text{N} \cdot \text{m}$ ，大于要求值，符合要求。

对减速器输出轴轴端载荷及最大尖峰载荷进行的校核均满足要求，故最后选定减速器的型号为

CW200-20- I F

2.10 平面二次包络环面蜗杆减速器（摘自 GB/T 16444—2008）

平面二次包络环面蜗杆减速器适用于冶金、矿山、起重、运输、石油、化工、建筑等行业机械设备的减速传动。

减速器的工作环境温度为 $-40 \sim 40^\circ\text{C}$ ，当环境温度低于 0°C 或高于 40°C 时，起动前润滑油要相应加热或冷却；蜗杆转速不超过 $1500\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ；两轴交角为 90° ；蜗杆轴可正、反向运转。

2.10.1 型式和标记方法

减速器的型号由减速器代号 PW、蜗杆位置 (U、O、S)、中心距（见表 4.8-99）、公称传动比（见表 4.8-100）、装配型式、冷却方式（风扇冷却“F”，自然冷却不标注）和标准号组成。

减速器包括 PWU（蜗杆在蜗轮之下）、PWO（蜗杆在蜗轮之上）、PWS（蜗杆在蜗轮一侧）3 个系列。每个系列有 3 种装配型式，用代号 I、II、III 表示（见表 4.8-101 ~ 表 4.8-105）。

表 4.8-99 减速器中心距 a (mm)

第一系列	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
第二系列			140	180	225	280	355	450	560	710

优先选用第一系列

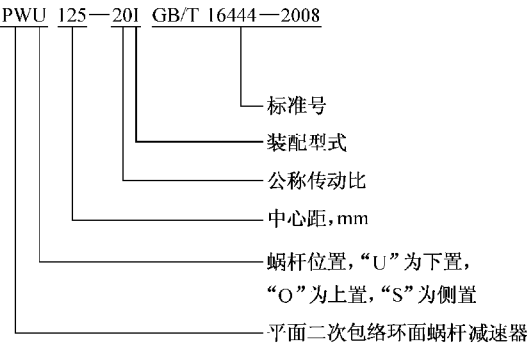
表 4.8-100 减速器公称传动比 *i*

第一系列	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63
第二系列			14	18	22.4	28	35.5	45	56

优先选用第一系列

标记示例

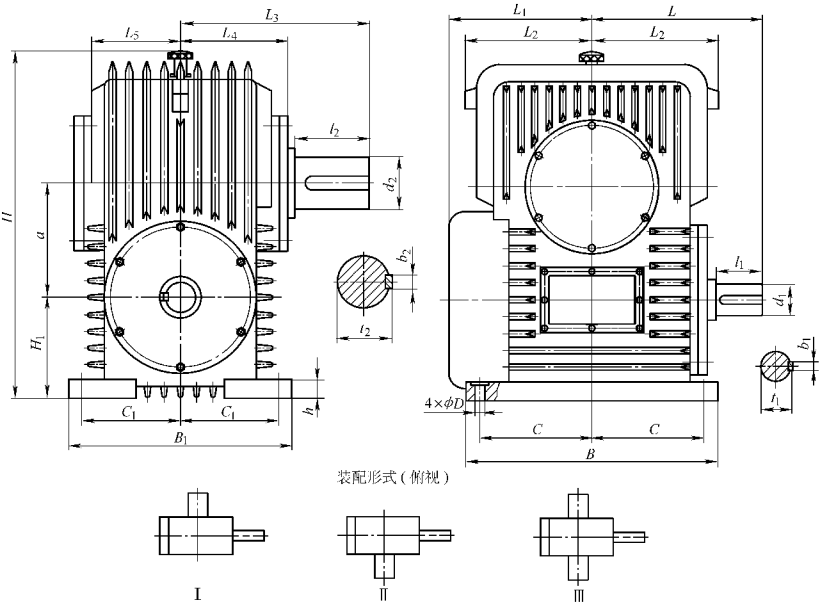
中心距 125mm，公称传动比 20，第一种装配，蜗杆下置的平面二次包络环面蜗杆减速器，自然冷却。
减速器



2.10.2 外形尺寸和安装尺寸

PW 减速器的外形尺寸和安装尺寸见表 4.8-101 ~ 表 4.8-105。

表 4.8-101 PWU 型减速器的外形尺寸和安装尺寸(整体式) (mm)

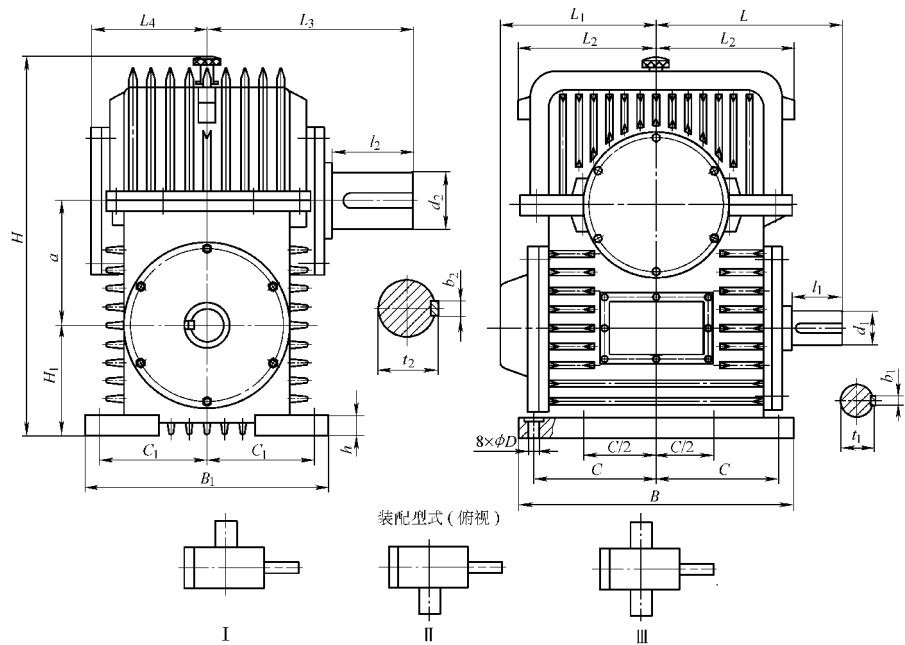


(续)

a	H_1	B	B_1	C	C_1	D	H	L	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	d_1	b_1	t_1	l_1	d_2	b_2	t_2	l_2	h
80	100	250	190	112	80	14	315	160	160	125	180	100	90	25	8	28	42	45	14	48.5	82	30
100	112	300	236	130	100	16	355	200	200	160	212	125	118	32	10	35	58	55	16	59	82	35
125	125	355	280	160	118	18	450	236	236	190	250	150	140	38	10	41	58	65	18	69	105	38
140	140	400	315	180	132	20	500	265	265	212	280	160	160	42	12	45	82	70	20	74.5	105	40
160	160	450	355	200	140	21	560	300	300	236	315	190	180	48	14	51.5	82	80	22	85	130	42
180	180	500	400	225	160	22	630	335	335	265	355	212	200	56	16	60	82	90	25	95	130	45
200	200	560	450	250	180	24	710	355	355	300	400	236	224	60	18	64	105	100	28	106	165	50
225	225	630	500	280	200	26	800	400	400	315	450	265	250	65	18	69	105	110	28	116	165	53
250	250	670	530	300	224	28	850	450	450	355	500	280	280	70	20	74.5	105	125	32	132	165	56
280	280	800	600	355	250	30	950	475	475	400	560	315	315	85	22	90	130	140	36	148	200	60
315	315	900	670	375	280	32	1060	560	560	450	630	355	355	90	25	95	130	150	36	158	200	67
355	355	1000	750	425	315	35	1250	670	670	500	710	400	400	100	28	106	165	170	40	179	240	75

表 4.8-102 PWU 型减速器的外形尺寸和安装尺寸(剖分式)

(mm)

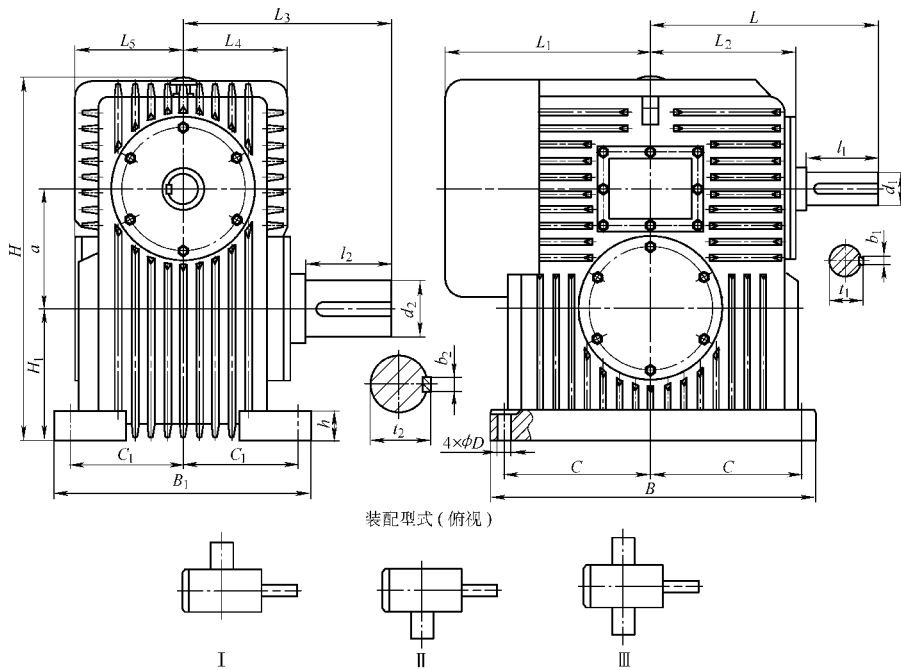


(续)

a	H_1	B	B_1	C	C_1	D	H	L	L_1	L_2	L_3	L_4	d_1	b_1	t_1	l_1	d_2	b_2	t_2	l_2	h
400	355	900	800	400	355	35	1250	670	600	450	630	375	110	28	116	165	180	45	190	240	55
450	400	1000	900	450	400	39	1400	750	670	500	710	425	125	32	132	165	200	45	210	280	60
500	450	1120	1000	500	450	42	1600	850	750	560	800	475	130	32	137	200	220	50	231	280	65
560	500	1250	1120	560	500	45	1800	950	850	630	900	530	150	36	158	200	250	56	262	330	72
630	560	1400	1250	630	560	48	2000	1060	950	710	1000	600	170	40	179	240	280	63	292	380	80
710	630	1600	1400	710	630	52	2240	1180	1060	800	1250	670	190	45	200	280	320	70	334	380	88

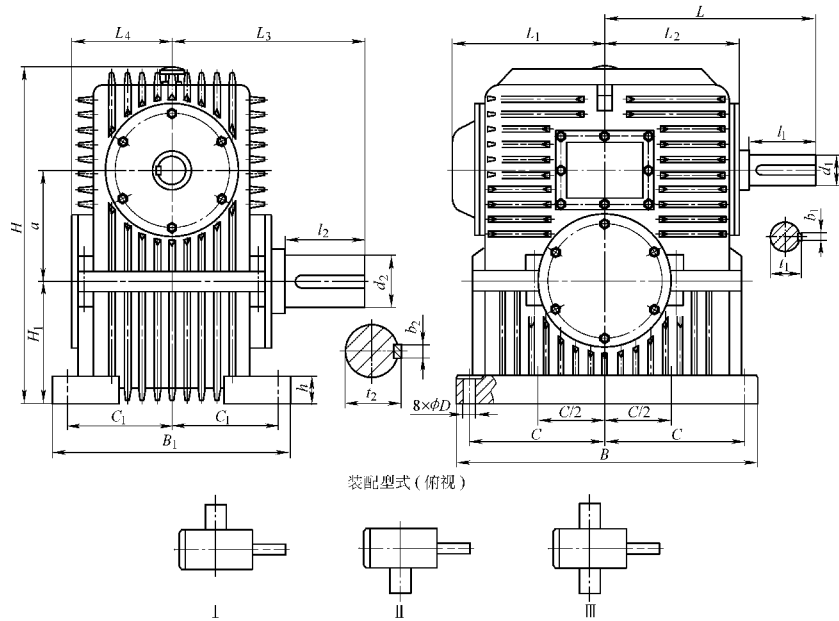
表 4.8-103 PWO 型减速器的外形尺寸和安装尺寸(整体式)

(mm)



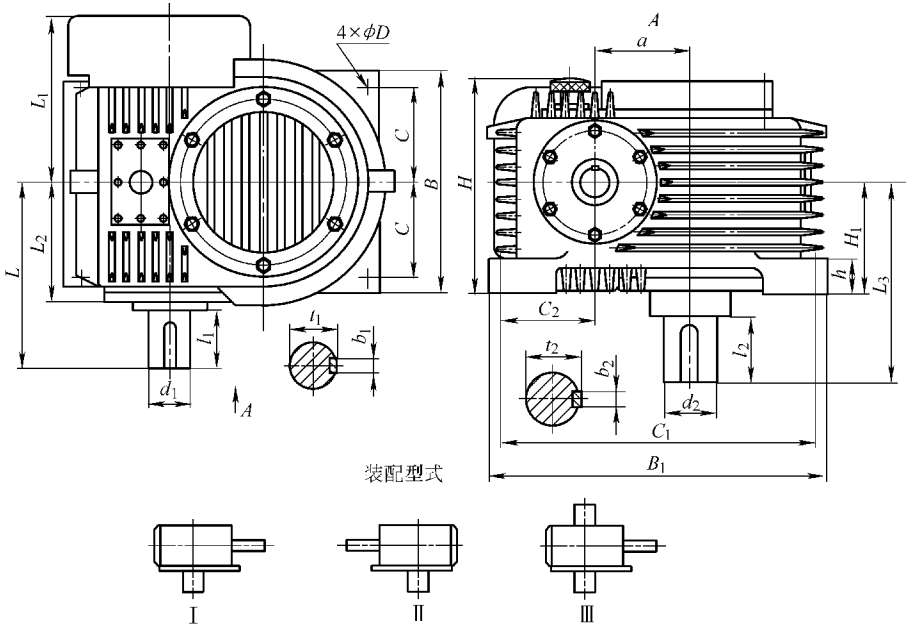
a	H_1	B	B_1	C	C_1	D	H	L	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	d_1	b_1	t_1	l_1	d_2	b_2	t_2	l_2	h
80	125	250	190	112	80	14	300	160	160	125	180	100	90	25	8	28	42	45	14	48.5	82	30
100	160	300	236	130	100	16	375	200	200	160	212	125	118	32	10	35	58	55	16	59	82	35
125	180	355	280	160	118	18	425	236	236	190	250	150	140	38	10	41	58	65	18	69	105	38
140	200	400	315	180	132	20	475	265	265	212	280	160	160	42	12	45	82	70	20	74.5	105	40
160	215	450	355	200	140	21	530	300	300	236	315	190	180	48	14	51.5	82	80	22	85	130	42
180	250	500	400	225	160	22	600	335	335	265	355	212	200	56	16	60	82	90	25	95	130	45
200	280	560	450	250	180	24	670	355	355	300	400	236	224	60	18	64	105	100	28	106	165	50
225	315	630	500	280	200	26	750	400	400	315	450	265	250	65	18	69	105	110	28	116	165	53
250	355	670	530	300	224	28	850	450	450	355	500	280	280	70	20	74.5	105	125	32	132	165	57
280	400	800	600	355	250	30	900	475	475	400	560	315	315	85	22	90	130	140	36	148	200	60
315	450	900	670	375	280	32	1000	560	560	450	630	355	355	90	25	95	130	150	36	158	200	67
355	500	1000	750	425	315	35	1180	670	670	500	710	400	400	100	28	106	165	170	40	179	240	75

表 4.8-104 PWO 型减速器的外形尺寸和安装尺寸 (剖分式) (mm)



a	H_1	B	B_1	C	C_1	D	H	L	L_1	L_2	L_3	L_4	d_1	b_1	t_1	l_1	d_2	b_2	t_2	l_2	h
400	500	900	800	400	355	35	1250	670	600	450	630	375	110	28	116	165	180	45	190	240	55
450	560	1000	900	450	400	39	1400	750	670	500	710	425	125	32	132	165	200	45	210	280	60
500	630	1120	1000	500	450	42	1600	850	750	560	800	475	130	32	137	200	220	50	231	280	65
560	710	1250	1120	560	500	45	1800	950	850	630	900	530	150	36	158	200	250	56	262	330	72
630	800	1400	1250	630	560	48	2000	1060	950	710	1000	600	170	40	179	240	280	63	292	380	80
710	900	1600	1400	710	630	52	2240	1180	1060	800	1250	670	190	45	200	280	320	70	334	380	88

表 4.8-105 PWS 型减速器的外形尺寸和安装尺寸 (mm)



(续)

a	H_1	B	B_1	C	C_1	C_2	D	H	L	L_1	L_2	L_3	d_1	b_1	t_1	l_1	d_2	b_2	t_2	l_2	h
80	95	100	315	80	265	80	14	200	160	118	118	170	25	8	28	42	45	14	48.5	82	30
100	125	125	355	100	315	100	16	236	200	140	140	212	32	10	35	58	55	16	59	82	35
125	140	140	400	118	355	118	18	280	236	170	170	250	38	10	41	58	65	18	69	105	38
140	160	160	450	132	400	132	20	300	265	190	190	280	42	12	45	82	70	20	74.5	105	40
160	180	180	500	150	450	150	21	335	300	212	212	315	48	14	51.5	82	80	22	85	130	42
180	200	200	560	170	500	160	22	375	335	236	236	355	56	16	60	82	90	25	95	130	45
200	224	224	630	190	560	170	24	425	355	265	265	400	60	18	64	105	100	28	106	165	48
225	250	250	710	212	630	190	26	475	400	300	300	425	65	18	69	105	110	28	116	165	50
250	280	280	800	245	710	200	28	530	450	355	355	475	70	20	74.5	105	125	32	132	165	52
280	315	315	900	265	800	224	30	600	500	375	375	530	85	22	90	130	140	36	148	200	55
315	355	355	1000	300	900	250	32	670	560	425	425	560	90	25	95	130	150	36	158	200	58
355	400	400	1120	335	1000	265	35	750	600	450	450	670	100	28	106	165	170	40	179	240	62
400	450	450	1250	375	1120	315	35	850	670	500	500	710	110	28	116	165	180	45	190	240	65
450	500	500	1400	425	1250	355	39	950	750	560	560	800	125	32	132	165	200	45	210	280	70
500	560	560	1600	475	1400	400	42	1060	800	600	600	900	130	32	137	200	220	50	231	280	75
560	630	630	1800	530	1600	450	45	1180	900	670	670	1000	150	36	158	200	250	56	262	330	78
630	710	710	2000	600	1800	500	48	1320	1000	750	750	1100	170	40	179	240	280	63	292	380	82
710	800	800	2240	670	2000	560	52	1500	1120	850	850	1250	190	45	200	280	320	70	334	380	88

2.10.3 承载能力

减速器的额定输入功率 P_1 (kW) 和额定输出

转矩 T_2 (N·m) 见表 4.8-106, 输出轴轴端许用径向力 F_r 见表 4.8-107, 传动效率 η 见表 4.8-108。

表 4.8-106 减速器的额定输入功率 P_1 和额定输出转矩 T_2

公称 传动比 i	输入转 速 $n_1 /$ $r \cdot \min^{-1}$	功率转矩 代号	中 心 距/mm																	
			80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710
			额定输入功率 P_1 / kW , 额定输出转矩 $T_2 / \text{N} \cdot \text{m}$																	
10	1500	P_1	6.71	11.5	19.7	25.9	35.7	47.5	61.2	81.4	105	138	183	245	326	434	—	—	—	—
		T_2	384	666	1141	1516	2093	2811	3626	4870	6280	8343	11087	14795	19716	26247	—	—	—	—
	1000	P_1	6.20	10.6	18.2	23.9	33.0	43.9	56.6	75.2	97.0	127	169	226	301	401	517	679	902	1204
		T_2	533	923	1581	2102	2901	3897	5025	6749	8703	11563	15366	20505	27305	36377	46900	61596	81825	109221
	750	P_1	5.22	8.94	15.3	20.1	27.8	36.9	47.6	63.3	81.6	107	143	190	254	337	435	572	760	1014
		T_2	591	1019	1755	2333	3220	4326	5579	7494	9664	12842	17064	22772	30399	40332	52061	68457	90957	121356
	500	P_1	4.20	7.20	12.3	16.2	22.4	29.7	38.3	50.9	65.7	86.3	115	153	204	271	350	460	611	816
		T_2	697	1202	2071	2754	3801	5107	6586	8849	11412	15167	20145	26896	35843	47615	61496	80822	107354	143373
12.5	1500	P_1	5.88	10.1	17.3	22.7	31.3	41.7	53.7	71.4	92.0	121	161	215	286	380	490	—	—	—
		T_2	417	722	1237	1645	2270	3066	3954	5311	6849	9100	12092	16137	21507	28575	36847	—	—	—
	1000	P_1	5.26	9.00	15.4	20.3	28.0	37.2	48.0	63.8	82.2	108	144	192	256	340	438	576	765	1012
		T_2	558	968	1658	2204	3042	4109	5298	7117	9178	12194	16204	21624	28876	38351	49405	64971	86290	114151
	750	P_1	4.31	7.39	12.7	16.7	23.0	30.5	39.4	52.3	67.5	88.7	118	157	210	279	360	473	628	838
		T_2	604	1041	1794	2386	3293	4448	5737	7665	9884	13135	17454	23292	31081	41295	53283	70008	92950	124032
	500	P_1	3.29	5.65	9.67	12.7	17.6	23.3	30.1	40.0	51.5	67.8	90.0	120	160	213	275	361	480	640
		T_2	676	1166	2009	2672	3688	4956	6392	8589	11076	14722	19563	25819	34758	46272	59741	78424	104275	139033
14	1500	P_1	5.45	9.34	16.0	21.0	29.0	38.6	49.8	66.1	85.3	112	149	199	265	352	454	597	—	—
		T_2	430	745	1277	1688	2330	3165	4082	5483	7070	9395	12484	16660	22201	29489	38035	50015	—	—
	1000	P_1	4.90	8.40	14.4	18.9	26.1	34.7	44.8	59.5	76.7	101	134	179	239	317	409	537	714	953
		T_2	580	1005	1723	2277	3143	4269	5506	7396	9537	12673	16840	22472	30034	39836	51397	67482	89725	119759
	750	P_1	4.00	6.85	11.7	15.4	21.3	28.3	36.5	48.5	62.6	82.3	109	146	195	259	334	438	583	777
		T_2	620	1075	1853	2464	3401	4544	5860	7917	10209	13568	18029	24060	31567	42704	55070	72217	96125	128111
	500	P_1	3.06	5.24	8.98	11.8	16.3	21.7	27.9	37.1	47.8	62.9	83.6	112	149	198	255	335	446	595
		T_2	695	1205	2078	2761	3814	5097	6572	8833	11391	15143	20122	26852	35855	47646	61362	80613	107323	143178
16	1500	P_1	4.98	8.54	14.6	19.2	26.5	35.3	45.5	60.4	77.9	102	136	182	242	322	415	546	—	—
		T_2	446	774	1326	1763	2433	3233	4169	5663	7303	9706	12897	17211	22924	30512	39311	51720	—	—
	1000	P_1	4.51	7.73	13.2	17.4	24.0	31.9	41.2	54.7	70.6	92.8	123	165	219	292	376	494	657	877
		T_2	606	1051	1801	2394	3305	4391	5663	7692	9920	13183	17517	23377	31118	41490	53426	70192	93353	124612
	750	P_1	3.65	6.25	10.7	14.1	19.4	25.8	33.3	44.3	57.1	75.0	99.7	133	177	236	304	400	531	709
		T_2	643	1108	1920	2553	3524	4735	6106	8114	10464	14062	18685	24935	33172	44230	56974	74966	99517	132877
	500	P_1	2.62	4.84	8.29	10.9	15.0	20.0	25.8	34.3	44.2	58.1	77.2	103	137	183	235	309	411	549
		T_2	725	1250	2154	2865	3954	5316	6855	9214	11881	15797	20991	28013	37258	49768	63910	84034	111774	149304

(续)

公称 传动比 i	输入转 速 $n_1 /$ $r \cdot \min^{-1}$	功率转矩 代号	中 心 距/mm																	
			80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710
			额定输入功率 P_1/kW , 额定输出转矩 $T_2/\text{N} \cdot \text{m}$																	
18	1500	P_1	4.59	7.86	13.5	17.7	24.4	32.5	41.9	55.7	71.8	94.4	125	167	223	297	383	503	—	—
		T_2	460	793	1359	1817	2508	3351	4321	5742	7405	9951	13223	17646	23509	31310	40376	53027	—	—
	1000	P_1	3.92	6.72	11.5	15.1	20.9	27.8	35.8	47.6	61.4	80.7	107	143	191	254	327	430	571	762
		T_2	587	1017	1742	2316	3197	4296	5540	7362	9493	12757	16952	22623	30203	40165	51708	67997	90293	120496
	750	P_1	3.29	5.65	9.67	12.7	17.6	23.3	30.1	40.0	51.5	67.8	90.0	120	160	213	275	361	480	640
		T_2	646	1113	1929	2565	3540	4785	6170	8246	10633	13978	18574	24787	33368	44421	57351	75287	100104	133472
	500	P_1	2.51	4.30	7.37	9.69	13.4	17.8	22.9	30.5	39.3	51.6	68.6	91.6	122	162	209	275	366	488
		T_2	716	1235	2128	2831	3908	5254	6776	9109	11746	15620	20756	27698	36907	49007	63225	83191	110720	147626
20	1500	P_1	4.20	7.19	12.3	16.2	22.4	29.7	38.3	50.9	65.7	86.3	115	153	204	271	350	460	—	—
		T_2	462	797	1365	1815	2505	3386	4367	5835	7524	9882	13144	17541	23636	31398	40551	53296	—	—
	1000	P_1	3.61	6.18	10.6	13.9	19.2	25.5	32.9	43.8	56.5	74.2	98.6	132	176	233	301	395	525	701
		T_2	593	1021	1761	2341	3231	4367	5632	7525	9704	12757	16952	22623	30587	40493	52311	68648	91241	121828
	750	P_1	2.98	5.11	8.75	11.5	15.9	21.1	27.2	36.2	46.6	61.3	81.5	109	145	193	248	327	434	579
		T_2	641	1106	1917	2549	3519	4783	6168	8243	10629	14052	18672	24918	33231	44231	56836	74941	99462	132693
	500	P_1	2.31	3.97	6.79	8.93	12.3	16.4	21.1	28.1	36.2	47.6	63.2	84.4	113	150	193	254	337	450
		T_2	725	1250	2154	2866	3956	5320	6860	9223	11894	15817	21018	28049	37550	49846	64135	84406	111987	149537
22.4	1500	P_1	3.84	6.59	11.3	14.8	20.5	27.2	35.1	46.6	60.1	79.1	105	140	187	248	320	421	—	—
		T_2	496	808	1384	1841	2541	3435	4429	5919	7633	10147	13483	17993	23999	31827	41068	54030	—	—
	1000	P_1	3.29	5.65	9.67	12.7	17.6	23.3	30.1	40.0	51.5	67.8	90.0	120	160	213	275	361	480	640
		T_2	599	1039	1780	2367	3267	4416	5695	7610	9813	13046	17336	23134	30801	41004	52939	69495	92404	123205
	750	P_1	2.75	4.70	8.06	10.6	14.6	19.4	25.1	33.3	43.0	56.5	75.0	100	134	177	229	301	400	534
		T_2	654	1134	1943	2584	3567	4851	6256	8360	10781	14334	19048	25419	34013	44927	58126	76401	101530	135543
	500	P_1	2.12	3.63	6.22	8.18	11.3	15.0	19.3	25.7	33.1	43.6	57.9	77.2	103	137	177	232	308	412
		T_2	729	1258	2155	2868	3959	5325	6867	9234	11908	15935	21174	28257	37674	50110	64740	84857	112656	150695
25	1500	P_1	3.45	5.91	10.1	13.3	18.4	24.4	31.5	41.9	54.0	71.0	94.3	126	168	223	288	378	—	—
		T_2	467	810	1387	1845	2546	3423	4414	5898	7606	10056	13363	17832	23796	31586	40793	53541	—	—
	1000	P_1	2.94	5.04	8.64	11.4	15.7	20.8	26.9	35.7	46.0	60.5	80.4	107	143	190	245	322	428	572
		T_2	590	1023	1773	2358	3255	4376	5643	7541	9724	12856	17083	22797	30383	40368	52054	68414	90935	121530
	750	P_1	2.51	4.30	7.37	9.69	13.4	17.8	22.9	30.5	39.3	51.6	68.6	91.6	122	162	209	275	366	488
		T_2	663	1143	1971	2622	3619	4865	6274	8434	10876	14463	19218	25646	34173	45377	58542	77029	102518	136691
	500	P_1	1.88	3.23	5.53	7.27	10.0	13.3	17.2	22.8	29.5	38.7	51.5	68.7	91.6	122	157	206	274	366
		T_2	710	1225	2112	2811	3880	5187	6689	9052	14091	15716	20883	27869	37174	49512	63716	83601	111198	148535

(续)

公称 传动比 i	输入转 速 $n_1 /$ $r \cdot \min^{-1}$	功率转矩 代号	中 心 距/mm																	
			80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710
			额定输入功率 P_1 / kW , 额定输出转矩 $T_2 / \text{N} \cdot \text{m}$																	
28	1500	P_1	3.10	5.31	9.10	12.0	16.5	21.9	28.3	37.6	48.7	63.7	84.7	113	151	200	250	340	—	—
		T_2	453	786	1354	1791	2472	3324	4287	5763	7432	9940	13209	17627	23551	31193	38992	53029	—	—
	1000	P_1	2.71	4.64	7.95	10.4	14.4	19.2	24.7	32.8	42.3	55.7	74.0	98.7	132	175	226	297	394	526
		T_2	593	1023	1764	2346	3239	4355	5616	7550	9737	13023	17306	23094	30881	40941	52872	69483	92176	123058
	750	P_1	2.27	3.90	6.68	8.78	12.1	16.1	20.8	27.6	35.6	46.8	62.2	83.0	111	147	190	249	331	442
		T_2	657	1133	1953	2589	3587	4823	6220	8364	10786	14346	19063	25439	34031	45068	58251	76340	101480	135511
	500	P_1	1.80	3.09	5.30	6.96	9.61	12.8	16.5	21.9	28.2	37.1	49.3	65.8	87.8	117	150	198	263	351
		T_2	743	1281	2196	2905	4010	5397	6959	9365	12077	16174	21492	28681	38265	50991	65372	86292	114620	152972
31.5	1500	P_1	2.78	4.77	8.18	10.7	14.8	19.7	25.4	33.8	43.6	57.3	76.1	102	135	180	232	305	—	—
		T_2	447	770	1328	1768	2440	3282	4232	5691	7339	9763	12974	17313	23010	30681	39544	51987	—	—
	1000	P_1	2.43	4.17	7.14	9.39	13.0	17.2	22.2	29.5	38.0	50.0	66.5	88.7	118	157	203	266	354	473
		T_2	585	1009	1740	2315	3196	4299	5543	7455	9614	12789	16994	22678	30170	40141	51902	68009	90509	120934
	750	P_1	1.80	3.09	5.30	6.96	9.61	12.8	16.5	21.9	28.2	37.1	49.3	65.8	87.8	117	150	198	263	351
		T_2	572	986	1700	2263	3123	4201	5418	7287	9397	12502	16613	22170	29578	39416	50533	66704	88602	118248
	500	P_1	1.57	2.69	4.61	6.06	8.36	11.1	14.3	19.0	24.5	32.3	42.9	57.2	76.3	101	131	172	228	305
		T_2	708	1221	2106	2787	3847	5146	6636	8932	11519	15337	20380	27196	36262	48001	62258	81744	108358	144952
35.5	1500	P_1	2.43	4.17	7.14	9.39	13.0	17.2	22.2	29.5	38.0	50.0	66.5	88.7	118	157	203	266	—	—
		T_2	431	744	1283	1697	2343	3152	4065	5468	7051	9439	12543	16738	22267	29627	38367	50195	—	—
	1000	P_1	2.20	3.76	6.45	8.48	11.7	15.6	20.0	26.6	34.4	45.2	60.0	80.1	107	142	183	241	320	427
		T_2	584	1008	1738	2299	3174	4270	5507	7408	9553	12788	16993	22677	30287	40194	51799	68217	90578	120865
	750	P_1	1.88	3.23	5.53	7.27	10.0	13.3	17.2	22.8	29.5	38.7	51.5	68.7	91.6	122	157	206	274	366
		T_2	655	1130	1949	2595	3582	4820	6216	8363	10784	14352	19072	25451	33950	45217	58189	76349	101552	135650
	500	P_1	1.49	2.55	4.38	5.75	7.94	10.6	13.6	18.1	23.3	30.6	40.7	54.4	72.5	96.4	124	163	217	290
		T_2	738	1273	2196	2906	4011	5402	6966	9318	12016	16108	21405	28565	38094	50652	65154	85646	114019	152376
40	1500	P_1	2.27	3.90	6.68	8.78	12.1	16.1	20.8	27.6	35.6	46.8	62.2	83.0	111	147	190	249	331	—
		T_2	440	759	1310	1744	2408	3240	4178	5623	7251	9651	12825	17115	22895	30320	39189	51358	68272	—
	1000	P_1	1.88	3.23	5.53	7.27	10.0	13.3	17.2	22.8	29.5	38.7	51.5	68.7	91.6	122	157	206	274	366
		T_2	547	943	1626	2165	2989	4022	5187	6980	9001	11981	15920	21246	28340	37745	48574	63734	84772	113235
	750	P_1	1.65	2.82	4.84	6.36	8.78	11.7	15.0	20.0	25.8	33.9	45.0	60.1	80.1	106	137	181	240	320
		T_2	629	1085	1872	2494	3442	4633	5975	8041	10370	13805	18345	24481	32635	43187	55817	73744	97782	130376
	500	P_1	1.22	2.08	3.57	4.69	6.48	8.61	11.1	14.8	19.0	25.0	33.2	44.3	59.2	78.6	101	133	177	236
		T_2	659	1138	1964	2617	3613	4867	6276	8452	10900	14520	19295	25748	34370	45634	58638	77217	102763	137017

(续)

公称 传动比 i	输入转 速 $n_1 /$ $r \cdot \min^{-1}$	功率转矩 代号	中 心 距/mm																	
			80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710
			额定输入功率 P_1 / kW , 额定输出转矩 $T_2 / \text{N} \cdot \text{m}$																	
45	1500	P_1	2.04	3.49	5.99	7.87	10.9	14.4	18.6	24.7	31.9	41.9	55.7	74.4	99.2	132	170	224	297	—
		T_2	435	751	1304	1737	2397	3227	4161	5600	7222	9614	12776	17049	22734	30251	38960	51335	68065	
	1000	P_1	1.76	3.02	5.18	6.81	9.40	12.5	16.1	21.4	27.6	36.3	48.2	64.4	85.9	114	147	193	257	343
		T_2	565	975	1693	2293	3112	4189	5401	7270	9375	12480	16584	22131	29259	39189	50533	66346	88347	117911
	750	P_1	1.57	2.69	4.61	6.06	8.36	11.1	14.3	19.0	24.5	32.3	42.9	57.2	76.3	101	131	172	228	305
		T_2	661	1140	1966	2602	3592	4837	6238	8343	10759	14237	18918	25246	33661	44558	43344	75880	100585	134555
	500	P_1	1.29	2.22	3.80	5.00	6.90	9.16	11.8	15.7	20.2	26.6	35.4	47.2	63.0	83.7	108	142	188	252
		T_2	773	1334	2303	3069	4238	5712	7364	9852	12705	17046	22651	30227	40336	53590	69148	90917	120369	161346
50	1500	P_1	1.84	3.16	5.41	7.12	9.82	13.1	16.8	22.4	28.8	37.9	50.4	87.2	89.7	119	154	202	268	—
		T_2	428	744	1275	1699	2345	3157	4072	5482	7069	9414	12510	16694	22270	29545	38234	50151	66537	
	1000	P_1	1.61	2.76	4.72	6.21	8.57	11.4	14.7	19.5	25.2	33.1	43.9	58.6	78.2	104	134	176	234	312
		T_2	560	974	1668	2223	3068	4132	5328	7173	9250	12318	16369	21844	29123	38731	49903	65544	87144	116192
	750	P_1	1.33	2.28	3.92	5.15	7.10	9.44	12.2	16.2	20.9	27.4	36.4	48.6	64.9	86.2	111	146	194	259
		T_2	611	1055	1820	2425	3347	4508	5814	7828	10095	13446	17867	23843	31813	42254	54410	71567	95095	126957
	500	P_1	1.02	1.74	2.99	3.94	5.43	7.22	9.31	12.4	16.0	21.0	27.9	37.2	49.6	65.9	85	112	149	198
		T_2	662	1143	1973	2631	3632	4895	6313	8507	10970	14622	19430	25929	34575	45937	59252	78073	103864	138021
56	1500	P_1	1.69	2.89	4.95	6.51	8.99	11.9	15.4	20.5	26.4	34.7	46.1	61.5	82.1	109	141	185	246	—
		T_2	430	747	1280	1706	2355	3172	4090	5471	7150	9523	12654	16887	22537	29921	38705	50783	67527	
	1000	P_1	1.45	2.49	4.26	5.60	7.73	10.3	13.2	17.6	22.7	29.8	39.7	52.9	70.6	93.8	121	159	211	282
		T_2	555	964	1652	2202	3039	4094	5279	7062	9228	12291	16332	21795	29070	38622	49822	65469	86880	116114
	750	P_1	1.33	2.28	3.92	5.14	7.10	9.44	12.2	16.2	20.9	27.4	36.4	48.6	64.9	86.2	111	146	194	259
		T_2	670	1157	1996	2661	3673	4948	6381	8595	11083	14766	19621	24184	34936	46402	59752	78593	104432	139422
	500	P_1	1.10	1.88	3.22	4.24	5.85	7.78	10.0	13.3	17.2	22.6	30.0	40.1	53.4	71.0	91.6	120	160	213
		T_2	787	1359	2345	3106	4287	5780	7453	10118	13048	17274	22954	30631	40834	54293	70045	91762	122349	162878
63	1500	P_1	1.49	2.55	4.38	5.75	7.94	10.6	13.6	18.1	23.3	30.7	40.7	54.4	72.5	96.4	124	163	217	—
		T_2	418	727	1246	1661	2293	3090	3984	5367	6921	9221	12254	16352	21807	28996	37298	49029	65272	
	1000	P_1	1.33	2.28	3.92	5.15	7.10	9.44	12.2	16.2	20.9	27.4	36.4	48.6	64.9	86.2	111	146	194	259
		T_2	562	976	1673	2230	3078	4147	5347	7203	9289	12376	16446	21946	29282	38893	50082	65874	87531	116858
	750	P_1	1.22	2.08	3.57	4.69	6.48	8.61	11.1	14.8	19.0	25.0	33.2	44.3	59.2	78.6	101	133	177	236
		T_2	673	1162	2005	2673	3690	4972	6412	8638	11279	14845	19726	26324	35139	46654	59950	78914	105061	140082
	500	P_1	0.82	1.41	2.42	3.18	4.39	5.83	7.52	9.99	12.9	16.9	22.5	30.0	40.1	53.2	68.7	90.3	120	160
		T_2	644	1112	1921	2563	3538	4771	6153	8297	10699	14269	18961	25303	33773	44806	57861	76053	101067	134755

表 4. 8-107 减速器输出轴轴端许用径向力 F_r

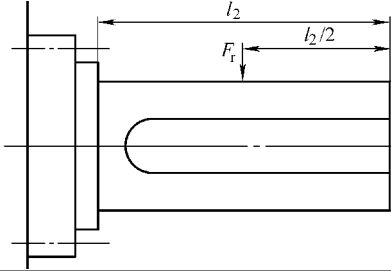
									
中心距/mm	80	100	125	140	160	180	200	225	250
许用径向力/N	2250	3500	5000	6500	9000	11000	14000	17000	21700
中心距/mm	280	315	355	400	450	500	560	630	710
许用径向力/N	27000	31000	35000	40000	43000	46000	49000	52000	56000

表 4. 8-108 减速器的传动效率 η

公称 传动比 i	输入转速 n_1 /r · min ⁻¹	中 心 距/mm									
		80	100	125	140	160	180	200	225	250	280 ~ 710
		传动效率 η (%)									
10	1500	90	91	91	92	92	93	93	94	94	95
	1000	90	91	91	92	92	93	93	94	94	95
	750	89	89.5	90	91	91	92	92	93	93	94
	500	87	87.5	88	89	89	90	90	91	91	92
12.5	1500	89	90	90	91	91	92.5	92.5	93.5	93.5	94.5
	1000	89	90	90	91	91	92.5	92.5	93.5	93.5	94.5
	750	88	88.5	89	90	90	91.5	91.5	92	92	93
	500	86	86.5	87	88	88	89	89	90	90	91
14	1500	88.5	89.5	89.5	91	91	92	92	93	93	94
	1000	88.5	89.5	89.5	91	91	92	92	93	93	94
	750	87	88	88.5	89.5	89.5	91	91	91.5	91.5	92.5
	500	85	86	86.5	87.5	87.5	88	88	89	89	90
16	1500	88	89	89	90	90	91	91	92	92	93
	1000	88	89	89	90	90	91	91	92	92	93
	750	86.5	87	88	89	89	90	90	91	91	92
	500	84	84.5	85	86	86	87	87	88	88	89
18	1500	87.5	88	88	89.5	89.5	90	90	91	91	92
	1000	87	88	88	89	89	90	90	91	91	92
	750	85.5	86	87	88	88	89.5	89.5	90	90	91
	500	83	83.5	84	85	85	86	86	87	87	88
20	1500	86.5	87	87	88	88	89.5	89.5	90	90	91
	1000	86	86.5	87	88	88	89.5	89.5	90	90	91
	750	84.5	85	86	87	87	89	89	89.5	89.5	90
	500	82	82.5	83	84	84	85	85	86	86	87
22.4	1500	85.5	86	86	87	87	88.5	88.5	89	89	90
	1000	85	86	86	87	87	88.5	88.5	89	89	90
	750	83.5	84.5	84.5	85.5	85.5	87.5	87.5	88	88	89
	500	80.5	81	81	82	82	83	83	84	84	85.5
25	1500	85	86	86	87	87	88	88	88.5	88.5	89
	1000	84	85	86	87	87	88	88	88.5	88.5	89
	750	83	83.5	84	85	85	86	86	87	87	88
	500	79	79.5	80	81	81	81.5	81.5	83	84	85

(续)

公称 传动比 i	输入转速 n_1 /r · min ⁻¹	中 心 距/mm									
		80	100	125	140	160	180	200	225	250	280 ~ 710
		传动效率 η (%)									
28	1500	82.5	83	83.5	84	84	85	85	86	86	87.5
	1000	82	82.5	83	84	84	85	85	86	86	87.5
	750	81	81.5	82	83	83	84	84	85	85	86
	500	77	77.5	77.5	78	78	79	79	80	80	81.5
31.5	1500	80	80.5	81	82	82	83	83	84	84	85
	1000	80	80.5	81	82	82	83	83	84	84	85
	750	79	79.5	80	81	81	82	82	83	83	84
	500	75	75.5	76	76.5	76.5	77	77	78	78	79
35.5	1500	78.5	79	79.5	80	80	81	81	82	82	83.5
	1000	78.5	79	79.5	80	80	81	81	82	82	83.5
	750	77	77.5	78	79	79	80	80	81	81	82
	500	73	73.5	74	74.5	74.5	75.5	75.5	76	76	77.5
40	1500	76	76.5	77	78	78	79	79	80	80	81
	1000	76	76.5	77	78	78	79	79	80	80	81
	750	75	75.5	76	77	77	78	78	79	79	80
	500	71	71.5	72	73	73	74	74	75	75	76
45	1500	74.5	75	76	77	77	78	78	79	79	80
	1000	74.5	75	76	77	77	78	78	79	79	80
	750	73.5	74	74.5	75	75	76	76	76.5	76.5	77
	500	69.5	70	70.5	71.5	71.5	72.5	72.5	73	73	74.5
50	1500	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78
	1000	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78
	750	72	72.5	73	74	74	75	75	76	76	77
	500	68	68.5	69	70	70	71	71	72	72	73
56	1500	71.5	72.5	72.5	73.5	73.5	74.5	74.5	75	76	77
	1000	71.5	72.5	72.5	73.5	73.5	74.5	74.5	75	76	77
	750	70.5	71	71.5	72.5	72.5	73.5	73.5	74.5	74.5	75.5
	500	67	67.5	68	68.5	68.5	69.5	69.5	71	71	71.5
63	1500	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75
	1000	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75
	750	69	69.5	70	71	71	72	72	73	73	74
	500	65	65.5	66	67	67	68	68	69	69	70

2.10.4 选用方法

1) 选用减速器应知原动机、工作机类型及载荷性质, 每日平均运转时间, 起动频率和环境温度。

2) 表 4.8-106 中的额定输入功率 P_1 及额定输出转矩 T_2 适用于减速器工作载荷平稳, 每日工作 8h, 每小时起动次数不大于 10 次, 起动转矩为额定转矩的 2.5 倍, 小时负荷率 $J_c = 100\%$, 环境温度为 20℃。

其他工作状态的减速器的额定输入功率 P_1 及额定输出转矩 T_2 可按表 4.8-106 选取, 用工作状况系数 (见表 4.8-109 ~ 表 4.8-113) 进行修正。

3) 计算输入功率 P_1 或计算输出转矩 T_2

机械功率 $P_1 \geq P_{1w} K_A K_1$

或 $T_2 \geq T_{2w} K_A K_1$

热功率 $P_1 \geq P_{1w} K_2 K_3 K_4$

或 $T_2 \geq T_{2w} K_2 K_3 K_4$

式中 P_{1w} ——减速器实际输入功率 (kW);

T_{2w} ——减速器实际输出转矩 (N · m);

K_A ——使用系数, 见表 4.8-109;

K_1 ——起动频率系数, 见表 4.8-110;

K_2 ——小时负荷率系数, 见表 4.8-111;

K_3 ——环境温度系数, 见表 4.8-112;

K_4 ——冷却方式系数, 见表 4.8-113。

4) 在下列间歇工作中可不校验输入热功率。

① 在 1h 内多次起动并且运转时间总和不超过 20min 的场合。

② 在一个工作周期内运转时间不超过 40min 并且间隔 2h 以上起动一次的场合。

5) 实际输入功率超过许用输入热功率, 则须采用强制冷却措施或选用更大规格的减速器。

选用示例

例 5 某重型卷扬机用平面二次包络环面蜗杆减速器(带风扇), 电动机功率 $P_{1w} = 15\text{kW}$, 减速器输入转速 $n_1 = 1000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, 传动比 $i = 40$, 每日工作 8h, 每小时起动 15 次, 每次工作 3min, 环境温度 30°C 。

选用计算: 由表 4.8-109 查得 $K_A = 1.3$, 由表

4.8-110 查得 $K_1 = 1.1$, 由 $J_e = \frac{3 \times 15}{60} \times 100\% = 75\%$,

由表 4.8-111 得 $K_2 = 0.93$, 由表 4.8-112 查得 $K_3 = 1.14$, 由表 4.8-113 查得 $K_4 = 1$, 计算输入功率

机械功率 $P_1 \geq P_{1w} K_A K_1$
 $= 15 \times 1.3 \times 1.1\text{kW} = 21.45\text{kW}$

热功率 $P_1 \geq P_{1w} K_2 K_3 K_4$
 $= 15 \times 0.93 \times 1.14 \times 1\text{kW}$
 $= 15.9\text{kW}$

查表 4.8-106 选择减速器中心距 $a = 225\text{mm}$, $n_1 = 1000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, $i = 40$, 额定输入功率 $P_1 = 22.8\text{kW}$, 可用。

表 4.8-109 使用系数 K_A

原 动 机	载荷性质 (工作机特性)	每日工作时间/h				
		≤ 0.5	$> 0.5 \sim 1$	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 10$	> 10
		K_A				
电动机, 汽轮机燃气轮机 (起动转矩小, 偶尔作用)	均匀	0.6	0.7	0.9	1	1.2
	轻度冲击	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3
	中等冲击	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5
	强烈冲击	1.1	1.2	1.3	1.5	1.75
汽轮机, 燃气轮机, 液动机或 电动机(起动转矩大, 经常作用)	均匀	0.7	0.8	1	1.1	1.3
	轻度冲击	0.9	1	1.1	1.3	1.4
	中等冲击	1	1.1	1.3	1.4	1.6
	强烈冲击	1.1	1.3	1.4	1.6	1.9
多缸内燃机	均匀	0.8	0.9	1.1	1.3	1.4
	轻度冲击	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5
	中等冲击	1.1	1.3	1.4	1.5	1.8
	强烈冲击	1.3	1.4	1.5	1.8	2
单缸内燃机	均匀	0.9	1.1	1.3	1.4	1.6
	轻度冲击	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8
	中等冲击	1.3	1.4	1.6	1.8	2
	强烈冲击	1.4	1.6	1.8	2	2.3 或更大

注: 工作机工作情况举例

均匀载荷: 发电机、均匀装料的带式或板式输送机, 螺旋输送机, 轻型卷扬机, 包装机械, 机床进给装置, 通风机, 轻型离心机, 离心泵, 稀液料和密度均匀物料搅拌机和混合机, 按最大剪切力矩设计的冲压机。

轻度冲击: 不均匀装料的带式或板式输送机, 机床主传动装置, 重型卷扬机, 起重机旋转机构, 工矿通风机, 重型离心机, 离心泵, 粘性液料及密度不均匀物料搅拌机和混合机, 多缸柱塞泵, 给料泵, 挤压机, 压延机, 回转窑, 锌、铝带材、线材、型材轧机。

中等冲击: 橡胶挤压机, 经常起动的橡胶和塑料混合机, 轻型球磨机, 木材加工机械, 钢坯初轧机, 单缸活塞泵。

强烈冲击: 铲斗链传动, 筛传动装置, 单斗挖土机, 重型球磨机, 橡胶混炼机, 冶金机械, 重型给料泵, 旋转式钻探设备, 压砖机, 除鳞机, 冷轧机, 压块机。

表 4.8-110 起动频率系数 K_1

每小时起动次数	≤ 10	$> 10 \sim 60$	$> 60 \sim 400$
起动频率系数 K_1	1	1.1	1.2

表 4.8-111 小时负荷率系数 K_2

小时负荷率 $J_e / (\%)$	100	80	60	40	20
小时负荷率系数 K_2	1	0.95	0.88	0.77	0.6

注: 1. $J_e = \frac{1\text{h 内负荷作用时间}(\text{min})}{60} \times 100\%$ 。

2. $J_e < 20\%$ 时按 $J_e = 20\%$ 计。

表 4.8-112 环境温度系数

环境温度/ $^\circ\text{C}$	$0 \sim 10$	$> 10 \sim 20$	$> 20 \sim 30$	$> 30 \sim 40$	$> 40 \sim 50$
环境温度系数 K_3	0.89	1	1.14	1.33	1.6

表 4.8-113 冷却方式系数 K_4

冷却方式	减速器中心距 a/mm	蜗杆转速 $n_1/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$			
		1500	1000	750	500
		冷却方式系数 K_4			
自然冷却 (无风扇)	80	1	1	1	1
	100 ~ 225	1.37	1.59	1.59	1.33
	250 ~ 710	1.51	1.85	1.89	1.78
风扇冷却	80 ~ 710	1			

2.10.5 润滑

减速器一般采用油池润滑，当蜗杆计算圆滑动速度 $v_s > 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时，采用强制润滑。减速器采用合成蜗轮蜗杆油，润滑油粘度指数（VI）应大于 100。减速器润滑油油品按表 4.8-114 规定，允许采用润滑性能相当或更高的油品。减速器轴承采用飞溅润滑，也可用脂润滑。

表 4.8-114 润滑油油品

输入转速 $/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	中心距/mm									
	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
			140	180	225	280	355	450	560	710
1500									320 蜗轮蜗杆油 ^①	
1000									460 蜗轮蜗杆油	
750									680 蜗轮蜗杆油	
500										

① 建议采用强制润滑。

3 机械无级变速器

机械无级变速器是在输入转速一定的情况下实现输出转速在一定范围内连续变化的一种运动和动力传递装置，由变速传动机构、调速机构及加压装置或输出机构组成。

机械无级变速器转速稳定、滑动率小、具有恒功率机械特性、传动效率较高，能更好地适应各种机械的工况要求及产品变换需要，易于实现整个系统的机械化、自动化，且结构简单，维修方便、价格相对便宜。广泛应用于纺织、轻工、机床、冶金、矿山、石油、化工、化纤、塑料、制药、电子、造纸等领域，近年来已开始应用于汽车的机械无级调速。

由于机械无级变速器绝大多数是依靠摩擦传递动力，故承受过载和冲击的能力差，且不能满足严

格的传动比要求。

3.1 常用机械无级变速器的类型、特性及选用

3.1.1 机械无级变速器的类型、特性及应用举例（见表 4.8-115）

机械无级变速器的机械特性可分为三种：

（1）恒功率特性 在传动过程中输出功率保持不变，输出转矩与输出转速呈双曲线关系，载荷的变化对转速影响小，工作中稳定性好，能充分利用原动机的全部功率。

（2）恒转矩特性 在传动过程中输出转矩保持恒定，输出功率与输出转速成正比关系，不能充分利用原动机的功率，常用于工作机转矩恒定的场合。

（3）变功率、变转矩特性 其特点介于上述二者之间。

表 4.8-115 机械无级变速器的类型、机械特性及应用举例

名 称	简 图	机 械 特 性	特 性 参 数	特点及应用举例
I. 无中间元件的机械无级变速器				
1. 多盘式 (Reier)			$i_s = 0.2 \sim 0.8$ (单级)、 $0.076 \sim 0.76$ (双级)； $R_b = 3 \sim 6$ (单级)、 $10 \sim 12$ (双级)； $P_1 = 0.5 \sim 150\text{kW}$ ； $\eta = 0.75 \sim 0.87$ ； $\varepsilon = 2\% \sim 5\%$ (单级)、 $4\% \sim 9\%$ (双级)	同轴线，降速型；用于化纤、纺织、造纸、橡塑、电缆、搅拌机、旋转泵等

(续)

名称	简图	机械特性	特性参数	特点及应用举例
II. 有中间元件机械无级变速器				
(1) 刚性中间元件无级变速器				
2. 滚轮整环式 (RF 单级) (Hayes 双级)			$i_s = 0.1 \sim 3.5$; $R_{bs} = 4 \sim 12$; $P_1 = 0.5 \sim 30\text{kW}$; $\eta = 0.8 \sim 0.95$	同轴线, 升降速型; 用于航空工业、汽车
3. 滚轮半环式 (Toroidal)			$i_s = 0.22 \sim 2.2$; $R_{bs} = 6 \sim 10$; $P_1 = 0.1 \sim 40\text{kW}$; $\eta = 0.9 \sim 0.92$	同轴线或相交轴, 升、降速型; 用于机床、拉丝机、汽车等
(2) 挠性中间元件无级变速器				
4. 齿链式 (PIV-A) (PIV-AS) (FMB) 滑片链			$i_s = 0.4 \sim 2.5$; $R_{bs} = 3 \sim 6$; $\eta = 0.9 \sim 0.95$ $P_1 = 0.75 \sim 22\text{kW}$ (A 型, 压靴加压) $P_1 = 0.75 \sim 7.5\text{kW}$ (AS 型, 剪式杠杆加压)	平行轴, 对称调速; 用于纺织、化工、重型机械, 无滑差机床等
5. 普通 V 带、宽 V 带、块带式			$i_s = 0.25 \sim 4$ (宽 V 带、块带) $R_{bs} = 3 \sim 6$ (宽 V 带); $P_1 \leq 55\text{kW}$; $R_{bs} = 2 \sim 10$ (16) (块带式); $P_1 \leq 44\text{kW}$; $R_{bs} = 1.6 \sim 2.5$ (普通 V 带); $P_1 \leq 40\text{kW}$ $\eta = 0.8 \sim 0.9$	平行轴, 对称调速, 尺寸大; 用于机床、印刷机械、电工、橡胶、农机、纺织、轻工机械等
6. 光面轮链式 a) 摆销链 (RH)			$i_s = 0.38 \sim 2.4$; $R_{bs} = 2.7 \sim 10$; $\eta \leq 0.93$ 摆销链 RH: $P_1 = 5.5 \sim 175\text{kW}$, $R_{bs} = 2 \sim 6$ RK: $P_2 = 3.7 \sim 16\text{kW}$, $R_{bs} = 3.6 \sim 10$	平行轴, 升降速型, 可停车调速; 用于重型机器、机床和汽车等
b) 金属带式			$i = 0.01 \sim 2.45$ $R \leq 6$ $P = 55 \sim 11.0\text{kW}$ $\eta \leq 0.92$	平行轴、升降速型; 适用于高速大功率传动 用于汽车等行业

(续)

名称	简图	机械特性	特性参数	特点及应用举例
Ⅲ. 行星无级变速器				
7. 内锥输出行星锥式 (B ₁ US)			$i_s = -\frac{1}{3} \sim -\frac{1}{115}; R_{bs} \leq 38.5 (\infty); P_1 \leq 2.2 \text{ kW}; \eta = 0.60 \sim 0.70$	同轴线, 降速型, 可在停车时调速; 用于机床进给系统
8. 外锥输出行星锥式 (RX)			$i_s = -0.57 \sim 0; R_{bs} = 33 (\infty); P_1 = 0.2 \sim 7.5 \text{ kW}; \eta = 0.6 \sim 0.8$	同轴线, 降速型; 广泛用于食品、化工、机床、印刷、包装、造纸、建筑机械等, 低速时效率低于 60%
Ⅳ. 脉动式无级变速器				
9. 四相摇杆脉动变速器 (Zero-Max)		基本为恒转矩	$i_s = 0 \sim 0.25; P_1 = 0.09 \sim 1.1 \text{ kW}; T_2 = 1.34 \sim 23 \text{ N} \cdot \text{m}$	平行轴, 降速型; 用于纺织、印刷、食品、农业机械等
10. 三相摇块脉动变速器 (Gusa)		低速时恒转矩 高速时恒功率	$i_s = 0 \sim 0.23; P_1 = 0.12 \sim 18 \text{ kW}; \eta = 0.6 \sim 0.85$	平行轴, 降速型; 用于塑料、食品、无线电装配运输带等

注: 1. 传动比 $i_{21} = \frac{n_2 (\text{输出轴转速})}{n_1 (\text{输入轴转速})}$, i_s 为使用的传动比。

2. 变速比 $R_b = \frac{n_{2\max} (\text{最高输出转速})}{n_{2\min} (\text{最低输出转速})}$, 表示变速器的变速能力; R_{bs} 为变速器的使用变速比。

3. 除注明者外, 均不可在停车时调速。

4. n —转速, 下标为构件代号; g —滚动体; T_2 —输出轴转矩; a 和 D 、 d —中心距和直径, 有下标 x 者为可变尺寸; η —效率; ε —滑差率; P —功率。

机械无级变速器的机械特性除与传动形式有关外, 还决定于加压装置的特性。

3.1.2 机械无级变速器的选用

机械无级变速器的选择必须综合考虑实际使用要求和变速器的特点。

1) 工作机转速变化范围应小于变速器的调速范围:

$$R'_b \leq R_b$$

2) 变速器的输出转速与工作机要求的转速有如下关系:

$$n_{2\max} > n'_{\max}$$

$$n_{2\min} < n'_{\min}$$

如果转速不合要求, 则要加减 (增) 速器相配, 有的无级变速器产品已经考虑到这种需要, 在输入轴或输出轴加上了相应的减 (增) 速装置, 成为一种派生型号供用户选用。

3) 在全部变速范围内变速器的许用功率和许用

转矩不小于工作机的功率和转矩,即

$$P_1 \geq P'$$

$$M_1 \geq M'$$

4) 变速器承载能力和性能表中所列的机械特性均是在一定输入转速情况下所具有的,如果输入转速不同于表中所规定的,则应依照厂家所给定的数据进行修正,这里特别要指出的是,有些变速器输入轴转速不允许太高,否则会损坏机件或降低寿命。

5) 机械无级变速器的传动除了齿链式具有“啮合”的特点外,几乎都是依靠摩擦和拖动油膜来传递载荷的,因而其传动效率便是很敏感的问题,也是无级变速器重要的质量指标之一。因此,在选择无级变速器时必须考虑其效率。尤其是在功率比较大、长期工作的情况下,更应选择效率高的,以提高整体的经济效果。一般说来,点、线接触类型的,如行星锥轮式、行星锥盘式、多盘式等效率偏低,一般为 $\eta = 65\% \sim 80\%$, 金属带式、链式效率较高, $\eta = 85\% \sim 93\%$ 。

机械无级变速器在我国是近年来才得到迅速发展的行业。由于产品种类很多,有些甚至是很先进的,但由于研制和生产时间还短,未能形成系列化生产,这里不能一一介绍。有的产品生产多年,逐渐形成系列,目前正在形成专业标准,本节所提供的是这些产品的数据。

3.2 齿链式无级变速器 (摘自 JB/T6952—1993)

齿链式无级变速器包括基本型、第一派生型、第二派生型和第三派生型。主要用于转速要求稳定且又需无级调节的各种场合,例如化纤、纺织、造纸、印刷、食品、化工、电工、塑料、仪表、木材、电子、玻璃制品等行业,使用条件为:

入轴转速不大于 $1500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ (第一、第三派生型);

入轴转速不大于 $760 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ (基本型和第二派

生型);

调速范围 $R_b = 2.8 \sim 6$;

传递功率 $P = 0.75 \sim 22 \text{ kW}$;

工作环境温度为 $-40 \sim 45^\circ\text{C}$ 。当环境温度低于 0°C 时,起动前润滑油应预热。

3.2.1 型式和标记方法

齿链式无级变速器有四种类型:基本型和三个派生型。

基本型——不包括任何减速装置,按功率大小分为 7 种型式: $P_0 \sim P_6$, 按输出输入轴的方位及轴伸的个数有 18 种安装型式。

第一派生型——在基本型的输入端加减速装置,按功率大小分为 7 种型式:直接装法兰电动机的: $PF_0 \sim PF_6$; 用联轴器或 V 带连接电动机的: $PN_0 \sim PN_6$; 按输入、输出轴的方位有两种安装型式。

第二派生型——在基本型的输出端加减速装置,按功率大小分为 7 种型式:一级齿轮减速的: $PB_0 \sim PB_6$; 两级齿轮减速的: $PC_0 \sim PC_6$; 三级齿轮减速的: $PD_1 \sim PD_4$ 。按输入、输出轴的方位有两种安装型式。

第三派生型——在基本型的输入端和输出端都加减速装置,是第一派生型和第二派生型的组合型式: $PFB_0 \sim PFB_6$ 、 $PFC_0 \sim PFC_6$ 、 $PFD_1 \sim PFD_4$ 、 $PNB_0 \sim PNB_6$ 、 $PNC_0 \sim PNC_6$ 、 $PND_1 \sim PND_4$ 。

结构型式与代号:

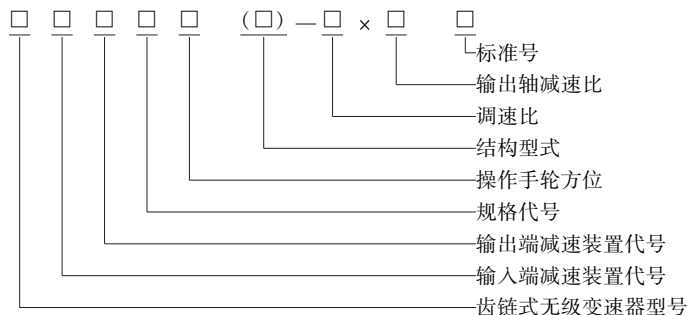
1) 操作者面对示速盘,左手操作调速手轮的代号为 L。

2) 操作者面对示速盘,右手操作调速手轮的代号为 R。

3) 输入轴和输出轴所在平面垂直于水平面的代号为 (立)。

4) 输入轴和输出轴在同一水平面上的代号为 (卧)。

标记方法:



标记示例:

1) 整机配用功率为 1.5kW, 出入轴两端均不加减速装置, 调速比为 3, 用左手操作调速手轮的立式齿链式无级变速器, 标记为:

P₁L (立) —3 JB/T6952—1993

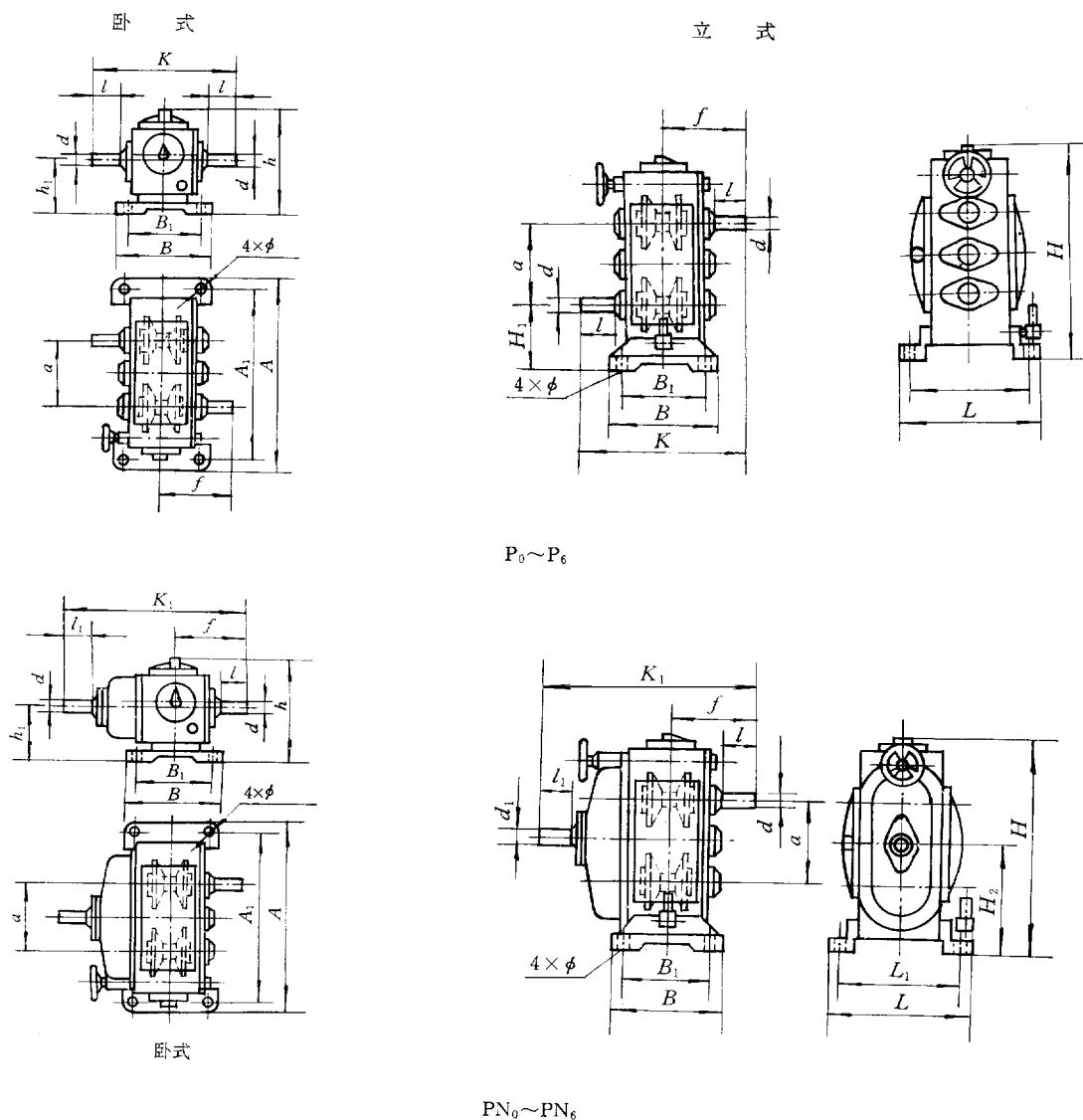
2) 输入轴端加装的减速装置与电动机直接连接, 输出轴端加装的减速装置内用两对齿轮减速的

第三类派生型, 电动机功率为 4kW, 右手操作, 调速比为 6, 输出轴减速比为 1/30 的卧式齿链式无级变速器, 标记为:

PFC₂R (卧) — $6 \times \frac{1}{30}$ JB/T 6952—1993

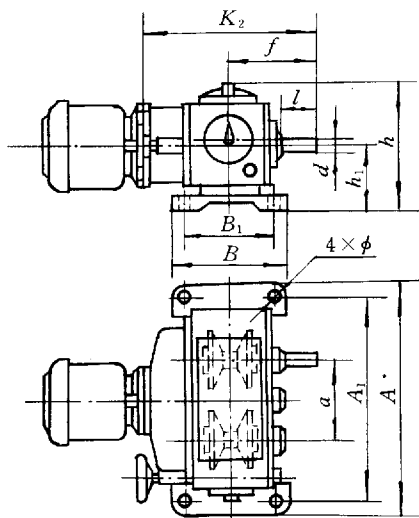
3.2.2 外形尺寸和安装尺寸 (表 4.8-116)

表 4.8-116 齿链式无级变速器外形尺寸及安装尺寸

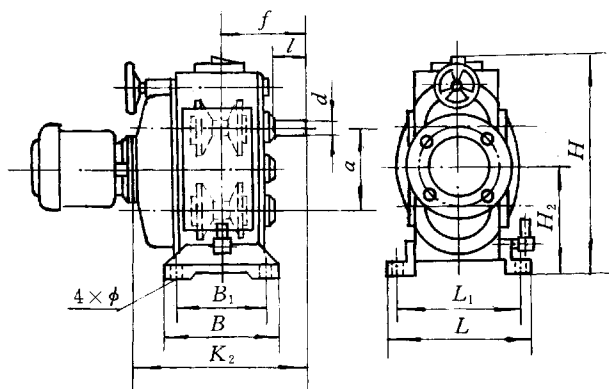
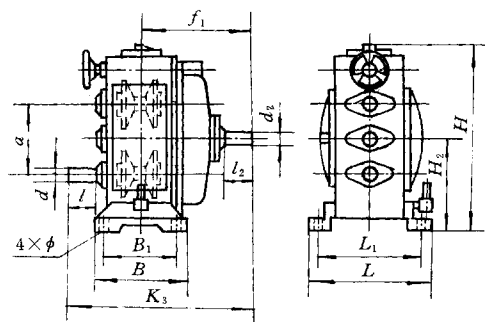
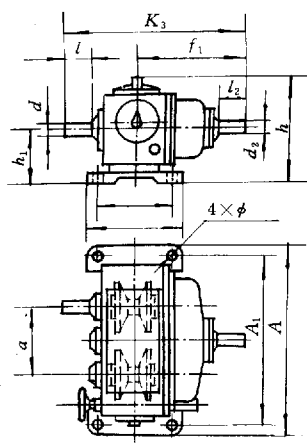
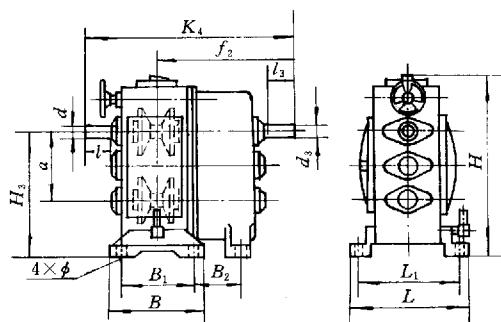
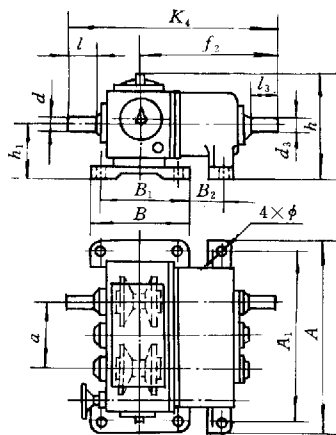


(续)

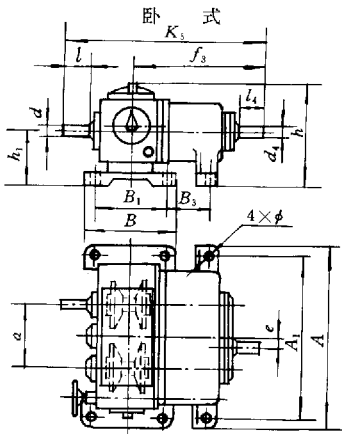
卧 式



立 式

PF₀~PF₆PB₀~PB₆PC₀~PC₆

(续)



PD₁~PD₄

(mm)

型 号	a	e	A	A_1	B	B_1	B_2	B_3	ϕ	d (j7)	d_1 (j7)	d_2 (j7)	d_3 (j7)
P ₀ , PF ₀ , PN ₀ , PB ₀ , PC ₀	120	—	350	325	136	110	—	—	12	16	16	22	28
P ₁ , PF ₁ , PN ₁ , PB ₁ , PC ₁ , PD ₁	160	4	450	410	185	150	130	130	14.5	24	24	28	38
P ₂ , PF ₂ , PN ₂ , PB ₂ , PC ₂ , PD ₂	190	4	540	495	235	200	150	150	18.5	28	28	38	45
P ₃ , PF ₃ , PN ₃ , PB ₃ , PC ₃ , PD ₃	248	5	660	615	300	265	170	200	18.5	32	32	45	55
P ₄ , PF ₄ , PN ₄ , PB ₄ , PC ₄ , PD ₄	304	5	810	755	345	295	208	208	24	38	32	50	75
P ₅ , PF ₅ , PN ₅ , PB ₅ , PC ₅	360	—	930	870	425	360	260	—	28	45	45	60	85
P ₆ , PF ₆ , PN ₆ , PB ₆ , PC ₆	430	—	1150	1060	510	410	305	—	35	60	55	80	100

型 号	d_4 (j7)	h	h_1	H	H_1	H_2	H_3	L	L_1	f	f_1	f_2
P ₀ , PF ₀ , PN ₀ , PB ₀ , PC ₀	28	182	90	308	90	150	210	217	192	110	200	227
P ₁ , PF ₁ , PN ₁ , PB ₁ , PC ₁ , PD ₁	38	240	132	427	132	212	292	285	250	160	243	332
P ₂ , PF ₂ , PN ₂ , PB ₂ , PC ₂ , PD ₂	45	275	150	505	150	245	340	345	300	180	310	414
P ₃ , PF ₃ , PN ₃ , PB ₃ , PC ₃ , PD ₃	55	330	170	614	170	294	418	390	350	233	395	523
P ₄ , PF ₄ , PN ₄ , PB ₄ , PC ₄ , PD ₄	75	380	200	753	215	367	519	470	410	572	435	585
P ₅ , PF ₅ , PN ₅ , PB ₅ , PC ₅	—	480	250	875	250	430	610	590	530	326	505	710
P ₆ , PF ₆ , PN ₆ , PB ₆ , PC ₆	—	590	300	1045	300	515	730	750	660	400	650	823

型 号	f_3	K	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	l	l_1	l_2	l_3	l_4
P ₀ , PF ₀ , PN ₀ , PB ₀ , PC ₀	—	222	311	273	222	378	—	31.5	31.5	50	60	—
P ₁ , PF ₁ , PN ₁ , PB ₁ , PC ₁ , PD ₁	334	320	381	305	403	492	494	60	60	60	80	80
P ₂ , PF ₂ , PN ₂ , PB ₂ , PC ₂ , PD ₂	430	360	443	370	490	594	610	60	60	80	110	110
P ₃ , PF ₃ , PN ₃ , PB ₃ , PC ₃ , PD ₃	502	466	579	475	628	756	735	80	80	110	140	110
P ₄ , PF ₄ , PN ₄ , PB ₄ , PC ₄ , PD ₄	585	514	662	522	692	842	842	80	80	110	140	140
P ₅ , PF ₅ , PN ₅ , PB ₅ , PC ₅	—	652	809	666	830	1036	—	110	100	140	170	—
P ₆ , PF ₆ , PN ₆ , PB ₆ , PC ₆	—	800	974	784	1051	1223	—	140	100	170	170	—

注：1. 第三派生型为第一派生型和第二派生型的组合形式，其在输入端的技术参数及外形尺寸与第一派生型相同，其在输出端的技术参数及外形尺寸则与第二派生型相同。

2. 生产厂：中国纺织机械厂（上海），大连橡胶塑料机械厂。

3.2.3 性能参数

减速器的性能参数见表 4.8-117、表 4.8-118。

表 4. 8-117 基本型和第一派生型额定性能参数 (摘自 JB/T 6952—1993)

型 号	配用电动机功率 /kW	输入轴转速 /r · min ⁻¹		调速范围 <i>R</i>	输出轴转速 <i>n</i> ₂ /r · min ⁻¹		输出功率 /kW		输出转矩 /N · m	
		基本型	第一派生型		max	min	<i>n</i> ₂ max 时	<i>n</i> ₂ min 时	<i>n</i> ₂ max 时	<i>n</i> ₂ min 时
P ₀ PF ₀ PN ₀	0. 75	820	1400	6 4. 5 3	1764 1525 1245	294 339 415	0. 56	0. 35 0. 35 0. 43	2. 94 3. 53 4. 31	9. 8
P ₁ PF ₁ PN ₁	1. 5	720	1400	6 4. 5 3	1770 1530 1245	295 340 415	1. 12	0. 59 0. 67 0. 82	6 7 8. 5	18. 5
P ₂ PF ₂ PN ₂	3	720	1420	6 4. 5 3	1770 1530 1245	295 340 415	2. 24	1. 12 1. 34 1. 64	12 14 17	37. 0
P ₃ PF ₃ PN ₃	4	720	1440	6 4. 5 3	1770 1530 1245	295 340 415	3. 73	1. 86 2. 06 2. 60	19. 5 22. 5 28. 0	58. 5
P ₄ PF ₄ PN ₄	7. 5	720	1440	6 4. 5 3	1770 1530 1245	295 340 415	5. 90	2. 97 3. 35 4. 10	31 36 44	93. 0
P ₅ PF ₅ PN ₅	11	720	1440	6 4. 5 3	1770 1530 1245	295 340 415	9. 48	4. 74 5. 33 6. 60	46. 5 58. 0 70. 5	149
	15	720	1460	6 4. 5 3	1770 1530 1245	295 340 415	10. 40 11. 20 11. 20	5. 60 6. 30 7. 80	55 68. 5 83	176. 5
P ₆ PF ₆ PN ₆	18. 5	550	1470	5. 6	1300	232	16. 40	7. 46	117	294
	22	625	1470	4 2. 8	1250 1045	312 375	18. 60 19. 40	9. 70 11. 50	137 176. 5	

表 4. 8-118 第二派生型额定性能参数 (摘自 JB/T 6952—1993)

型 号	配用电动机功率 /kW	输入轴 转速 n_1 /r · min ⁻¹	出轴端 减速比 i	调速 范围 R	输出轴转速 n_2 /r · min ⁻¹		输 出 功 率 /kW		输 出 转 矩 /N · m	
					max	min	n_2 max 时	n_2 min 时	n_2 max 时	n_2 min 时
PB ₀	0. 75	720	1/1. 96	6	990	150	0. 63	0. 31	6. 9	20
				4. 5	774	172		0. 36	8	
				3	636	212		0. 43	9. 8	
1/3. 47			6	504	84	0. 63	0. 31	12. 4	34	
			4. 5	440	98		0. 36	14. 2		
			3	360	120		0. 43	17. 3		
PC ₀			1/6. 5	6	270	45	0. 63	0. 31	23	50
				4. 5	234	52		0. 36	26	
				3	192	64		0. 43	32	
			1/10	6	176. 4	29. 4	0. 61	0. 27	33. 68	95
				4. 5	153	34. 0		0. 33	38. 83	
				3	124. 5	41. 5		0. 40	47. 72	
	1/17. 7	6	100	16. 7	0. 61	0. 27	59. 41	166. 5		
		4. 5	86. 4	19. 2		0. 33	68. 76			
		3	70. 3	23. 4		0. 40	84. 51			
1/31. 9	6	55. 2	9. 2	0. 61	0. 27	107. 6	185			
	4. 5	48. 15	10. 7		0. 33	123. 4				
	3	39	13		0. 40	152. 3				

(续)

型 号	配用电动机功率 /kW	输入轴 转速 n_1 /r · min ⁻¹	出轴端 减速比 i	调速 范围 R	输出轴转速 n_2 /r · min ⁻¹		输 出 功 率 /kW		输 出 转 矩 /N · m	
					max	min	n_2 max 时	n_2 min 时	n_2 max 时	n_2 min 时
PB ₁	1.5	720	1/1.96	6	900	150	1.12	0.60	11.8	37.2
				1.5	774	172	1.27	0.67	15.2	
				3	636	212	1.27	0.82	19.1	
			1/3.47	6	504	84	1.04	0.56	20.6	65.7
				4.5	440	98	1.23	0.63	27.4	
				3	360	120	1.23	0.78	33.3	
			1/6.5	6	270	45	1.12	0.48	38.2	98
				4.5	234	52	1.27	0.52	51	
				3	192	64	1.27	0.66	62.7	
PC ₁			1/10	6	174	29	1.04	0.56	56.8	181.3
				4.5	153	34	1.23	0.63	75.5	
				3	126	42	1.23	0.78	92.1	
			1/17.7	6	100	16.5	1.04	0.56	100	323.4
				4.5	87	15.2	1.23	0.63	133.3	
				3	69	23	1.23	0.78	163.7	
			1/33.2	6	54	9	1.04	0.34	187.2	343
				4.5	46	10.2	1.23	0.37	250	
				3	37.5	12.5	1.23	0.45	303.8	
PD ₁			1/39.8	6	44.4	7.4	1.04	0.26	249	343
				4.5	38.2	8.5	1.12	0.30	294	
				3	31.2	10.4	1.12	0.37	343	
			1/60.0	6	29.4	4.9	1.04	0.19	343	343
				4.5	25.6	5.6	0.93	0.20		
				3	21	7	0.75	0.26		
PB ₂	3	720	1/2.13	6	828	138	2.24	1.12	25.5	78.4
PB ₂		720	1/3.58	4.5	720	160		1.34	29.4	
				3	585	195		1.64	26.3	
				1/6	6	498	83	2.24	1.12	42.1
			4.5		432	96	1.34		49	
			3		354	118	1.64		59.8	
			1/10.6	6	294	49	2.24	1.04	72.5	196
				4.5	256	57		1.19	83.3	
				3	210	70		1.49	102.9	
PC ₂			1/10.6	6	168	28	2.16	1.12	117.6	372.4
				4.5	144	32		1.27	137.2	
				3	117	39		1.57	166.6	
			1/17.7	6	101	16.8	2.16	1.12	196	607.6
				4.5	85	19		1.27	225.4	
				5	70.5	28.5		1.57	274.4	
PD ₂			1/30	6	60	10	2.16	0.67	323.4	637
				4.5	51	11.4		0.78	382.2	
				3	42	14		0.97	470.4	
			1/39.5	6	45	7.5	2.01	0.52	421.4	637
				4.5	38.2	8.5		0.62	490	
				3	31.5	10.5		0.75	597.8	
1/35.6			6	31.8	5.3	2.01	0.37	597	637	
			4.5	27	6		0.41	631		
			3	22.5	7.5		0.52	631		

(续)

型 号	配用电动机功率 /kW	输入轴 转速 n_1 /r · min ⁻¹	出轴端 减速比 i	调速 范围 R	输出轴转速 n_2 /r · min ⁻¹		输 出 功 率 /kW		输 出 转 矩 /N · m	
					max	min	n_2 max 时	n_2 min 时	n_2 max 时	n_2 min 时
PB ₃	4	720	1/2	6	882	147	3.95	1.87	42	117
				4.5	765	170		2.09	49	
				3	624	208		2.16	58.6	
1/3.11			6	570	95	3.95	1.87	64.7	181.3	
			4.5	490	109		2.09	75.5		
			3	402	134		2.61	92.1		
1/6			6	294	49	3.95	1.49	125.4	294	
			4.5	256	57		1.79	146		
			3	210	70		2.16	178.4		
PC ₃			1/10.2	6	174	29	3.80	1.72	205.8	568.4
				4.5	148	33		2.01	235.2	
	3			123	41	2.46		289		
	1/15.8		6	111	18.5	3.80	1.72	318.5	882	
			4.5	97	21.5		2.01	367.5		
			3	78	26		2.46	450.8		
1/30.5	6		57.6	9.6	3.80	1.34	607.6	1274		
	4.5	50	11.1	1.49		705.6				
	3	40.5	13.5	1.87		872.2				
PD ₃	1/38.6	6	45.6	7.6	3.73	1.04	744.8	1274		
		4.5	39.6	8.8		1.19	882			
	3	32.4	10.8	1.49	1078					
	1/59.5	6	29.7	4.95	3.58	0.67	1127	1274		
4.5		25.7	5.7	3.51	0.82	1274				
		3	21	7	2.83	0.97	1274			
PB ₄	7.5		1/22.3	6	790	132	5.97	2.98	69.6	205.8
				4.5	685	152		3.36	81.3	
				3	555	185		4.10	98	
			1/4	6	440	74	5.97	2.98	125.4	372.4
				4.5	382	85		3.36	145	
				3	312	104		4.10	176.4	
1/6			6	295	49	5.97	2.54	187.2	490	
			4.5	255	57		2.98	215.6		
			3	216	70		3.66	264.4		
PC ₄			1/10.7	6	165	27.5	5.60	2.69	313.6	940.8
				4.5	143	31.8		3.21	362.6	
				3	117	39		3.88	441	
	1/19.2	6	92	15.2	5.60	2.69	568.4	1685.6		
		4.5	80	17.8		3.21	656.6			
		3	65	21.5		3.88	793.8			
1/32.5	6	54	9	5.60	2.16	960.4	2254			
	4.5	47	10.5		2.54	1107.4				
	3	38.5	12.8		3.13	1352.4				
PD ₄	1/41.3	6	42.8	7.1	5.30	1.72	1176	2254		
		4.5	37	8.2		2.01	1323			
		3	30	10		2.36	1666			
	1/62.5	6	28.2	4.7	5.30	1.13	1764	2254		
		4.5	24.5	5.4		5.22	1.34		1960	
		3	20	6.7		4.85	1.65		2254	

(续)

型 号	配用电动机功率 /kW	输入轴 转速 n_1 /r · min ⁻¹	出轴端 减速比 i	调速 范围 R	输出轴转速 n_2 /r · min ⁻¹		输 出 功 率 /kW		输 出 转 矩 /N · m	
					max	min	n_2 max 时	n_2 min 时	n_2 max 时	n_2 min 时
PB ₅	15	720	1/1.98	6	900	150	10.0	5.4	106	338
				4.5	780	173	11.0	6.1	134.3	
				3	635	212	11.0	7.6	166.6	
			1/8.4	6	520	87	10.0	5.4	183	582
				4.5	450	100	11.0	6.1	225	
				3	362	123	11.0	7.6	284.2	
PC ₅	15	720	1/5.9	6	300	50	10.0	4.85	318	864
				4.5	260	58	11.0	5.6	403	
				3	210	70	11.0	6.34	499	
			1/9.2	6	192	32	9.55	5.22	475.3	1519
				4.5	165	37	10.3	5.97	597.8	
				3	136	45.2	10.3	7.46	725.2	
PB ₆	18.5	550	1/1.62	5.6	802	144	16	7.46	191.1	475.3
					374	66.9	16.4	7.46	400	1000
					202	36	16.49	6.34	754.6	1666
					161	28.8	15.0	6.08	888.8	2009
					76.4	13.6	15.0	6.08	1862	4919.6
					40.5	7.2	15.0	5.53	3508.4	7350
PC ₆	22	625	1/32.25	4	650	232	19.4	11.56	284.2	475.3
					770	192	18.65	9.7	223.4	1000
					308	110	19.4	11.56	597.8	1666
					368	92	18.65	9.7	465.5	2009
					162	58	19.4	10.29	1127	4919.6
					195	48.7	18.65	8.58	882	7350
PB ₆	22	625	1/8.1	4	130	46.4	18.05	10.66	1323	2009
					154	38.4	17.27	9.00	1068.2	4919.6
					61.6	22	18.0	10.66	2759.7	7350
					73.6	18.4	17.27	9.11	2241.3	4919.6
					32.4	11.6	18.0	10.66	5243	7350
					39	9.5	17.27	9.00	4230.7	7350

3.2.4 选用方法

1) 根据工作机传动系统要求, 首先确定变速器输出轴的极限转速 $n_{2\max}$ 、 $n_{2\min}$ 及在两极限转速时所需输出的功率或转矩。算出变速范围 $R_b = \frac{n_{2\max}}{n_{2\min}}$, 考虑是否选用派生型。

当基本型变速器输出轴的极限转速 $n_{2\max}$ 或 $n_{2\min}$ 高于工作机的需要转速 n' 时, 则可选用第二类派生

型, 所加减速装置的速比可按 $i = \frac{n'_{\max}}{n_{2\max}}$ 或 $i = \frac{n'_{\min}}{n_{2\min}}$ 中较小者选用。

2) 根据所驱动工作机所需的功率、变速范围和速比, 确定变速器的型号。应该明确所驱动的工作机, 在转速变化时是按恒功率使用, 还是按恒转矩使用, 以及开停的频繁程度和持续运转的周期。

当作恒功率使用时, 应按最低转速时的输出功

率选用；当作恒转矩时，应按最高转速时的输出功率选用；当转矩在高低速之间达到最高值时，则应根据各种转速所对应功率的最大值来选用型号。

按计算功率 P_c 来选择变速器型号

$$P_c = KP \leq P_p$$

式中 K ——工作系数，查表 4.8-119；

P ——工作机需要传递的功率 (kW)；

P_p ——许用输出功率 (kW)，见表 4.8-117 ~ 表 4.8-118。

3) 根据驱动方式选取变速器型式。因为变速器入轴转速须低于 $720 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，故电动机与变速器之间一般需加减速装置。

若采用基本型，则需加带传动。

若直接装法兰式 4 极异步电动机驱动，则可选用第一派生型中的 PF 型。

若用地脚式 4 极异步电动机驱动，则可选用第一派生型中的 PN 型，用联轴器连接。

4) 根据使用要求确定结构型式（卧式或立式）和装配型式（如调速手轮所在方位、输入轴和输出轴所在方位以及轴伸的个数，手动调速还是遥控等）。

需要遥控时，可按遥控要求选用伺服调速装置及输出轴测速装置。0~3 号变速器的基本型和派生型都可装 TY3 伺服调速装置及 TY6 气动调速装置（瞬时降速用）。PC₂、PNC₂、PFC₂ 可装 ZCC3 测速装置。PC₃、PNC₃、PFC₃ 可装 ZCC₄ 测速装置。

例 6 已知某化纤设备传动轴需要在 $45 \sim 270 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 范围内无级变速，作恒转矩使用，在 $270 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时需用功率约为 2.2kW；工作中开停次数少，载荷平稳，三班连续工作。试选用齿链式无级变速器。

解

(1) 求变速范围

$$R_b = \frac{n_{2\max}}{n_{2\min}} = \frac{270}{45} = 6$$

(2) 求计算载荷

查表 4.8-119，取 $K = 1.3$ 。

$$P_c = KP = 1.3 \times 2.2 \text{ kW} = 2.86 \text{ kW}$$

(3) 选型号

查表 4.8-117 应选用 PF₃L (卧) —6 JB/T6952—1993。但该型号的变速器入轴转速为 $1440 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，出轴转速为 $295 \sim 1770 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，不合乎要求。为此，需要在出轴端加上传动比为 6.556 的减速传动装置。

表 4.8-119 工作系数 K 值

每天工作时间	连续工作 8 ~ 10 h	连续工作 10 ~ 24 h
开停次数少，无冲击	1.0	1.25 ~ 1.33
开停次数多，有冲击	1.25 ~ 1.33	1.5 ~ 1.7

$$\text{电动机功率 } P_1 = \frac{2.86}{\eta} = \frac{2.86}{0.812} \text{ kW} = 3.52 \text{ kW} <$$

3.73kW。

3.3 行星锥盘式无级变速器（摘自 JB/T6950—1993）

行星锥盘无级变速器包括基本型和派生型，主要用于食品、造纸、印刷、橡胶、塑料、陶瓷、制药、制革等轻工业部门以及机床、石油、化工等行业，使用条件为：

入轴转速不大于 $3000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

调速范围 $R_b = 4$ （恒功率型）、 $R_b = 5$ 和 $R_b = 7$ （恒转矩型）；

传递功率 $P = 0.09 \sim 7.5 \text{ kW}$ ；

工作环境温度 $-40 \sim 40^\circ\text{C}$ 。

3.3.1 型式和标记方法

变速器的标记包括产品代号、机型号、产品型号、电动机功率、机械特性（恒功率或恒转矩型）、装配型式、电动机极数。

行星锥盘无级变速器代号是“D”；

变速器型号有三种：A 型、B 型和 C 型三种结构型式；

变速器为恒功率型用“G”表示，恒转矩型不标；

装配型式分为 5 种，见表 4.8-120。

电动机极数用数字表示，4 极电动机不标。

标记示例：

无级变速器

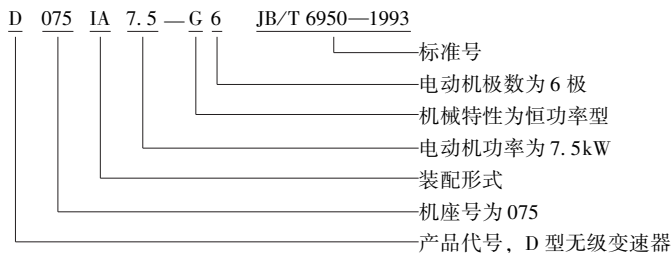


表 4.8-120 装配型式及代号

代号	I A、I B、I C	II A、II B、II C	III A、III B、III C	IV A、IV B、IV C	V A、V B、V C
装配形式					
结构特点	无凸缘端盖、有底脚	有凸缘端盖、无底脚	有凸缘端盖、有底脚	无凸缘端盖、有底脚	有凸缘端盖、无底脚

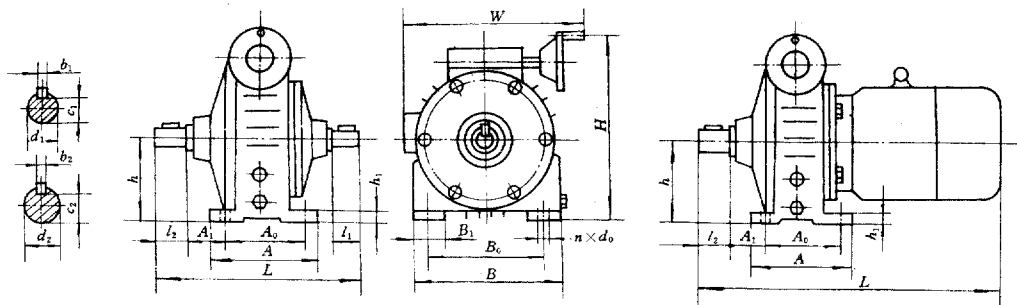
3.3.2 外形尺寸和安装尺寸

基本型减速器的外形尺寸和安装尺寸见表 4.8-121。

表 4.8-121 安装尺寸及外形尺寸 (摘自 JB/T 6950—1993)

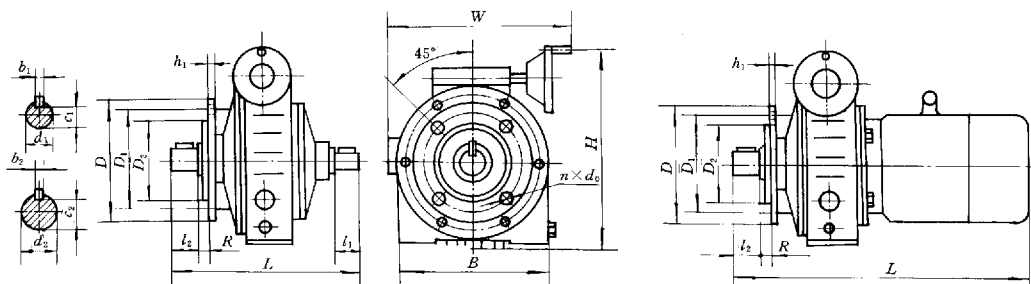
(mm)

I A、IV A



机座号	安 装 尺 寸														外 形 尺 寸							
	h	A ₀	A ₁	B ₀	B ₁	h ₁	n	d ₀	输 入 轴				输 出 轴				A	B	W	H	L	
									d ₁	b ₁	c ₁	l ₁	d ₂	b ₂	c ₂	l ₂					双轴型	直联型
001	80	100	22	125	30	12	4	10	11	4	8.5	23	14	5	11	30	125	160	225	200	170	290
002	90		28	140	35				180	245	220	195						300				
004	100	112	36	160	16	12		14	5	11	30	19	6	15.5	40	170	145	200	280	245	220	395
007	112	140	190	40				19	6	15.5	40						225	325	280	264	435	
015	140	178	40	216	55	20		15	24	8	20	50	24	8	20	50	195	260	360	320	315	485
022	160	210		254	60				28		24	60	28		24	60	295	360	430	390	625	
040	180	241	45	279	70	30		19	38	10	33	80	38	10	33	80	335	400	480	490	520	725
075	200	267	50	318	80				42	12	37	110	42	12	37	110	435	455	540	690	—	765
150	225	356	56	356		42		12	37	110	42	12	37	960								
220	250	349	70	406	90	35		24	—	—	—	—	48	14	42.5	110	435	490	630	620	—	1000
																						1065

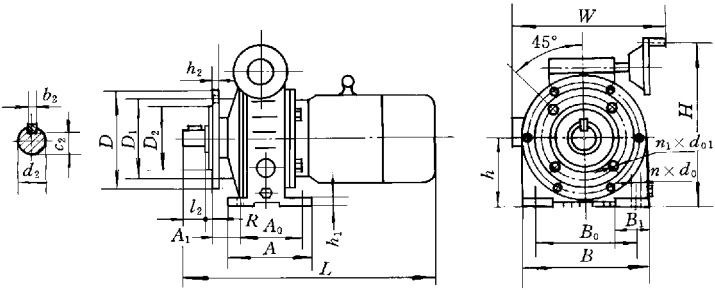
II A、V A



(续)

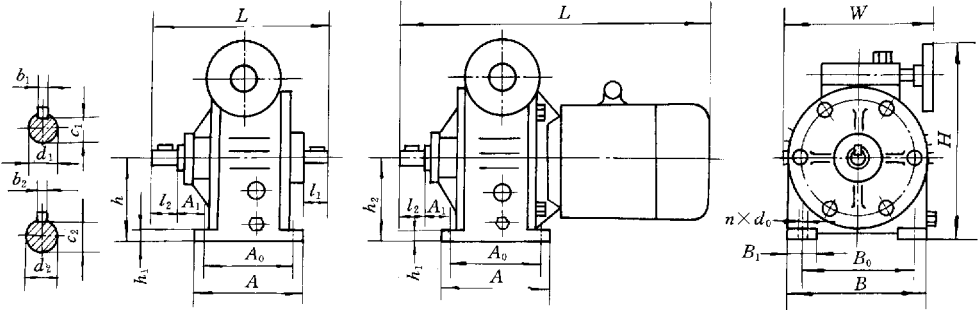
机座号	安 装 尺 寸														外 形 尺 寸										
	D_1	D_2	h_1	R	n	d_0	输 入 轴				输 出 轴				D	B	W	H	L						
							d_1	b_1	c_1	l_1	d_2	b_2	c_2	l_2					双轴型	直联型					
001	100	80	8	0	4	7	11	4	8.5	23	14	5	11	30	120	160	225	200	178	290					
002	115	95				10	14	5	11	30					140	180	245	220	195	300					
004	130	110					12	19	6	15.5					40	160	200	280	245	220	395				
007	165	130	12			12	24	8	20	50	24	8	20	50	200	225	325	280	264	435					
015							24		20	50	24		20	50		260	360	320	315	485					
022						215	180		15	15	28		24	60	28	24	60	250	325	400	390	370	595		
040	265	230	18			19	38	10	33	80	38	10	33	80	300	400	475	490	520	625					
075																				360	430	395	725		
150																				765					
220	300	250	22				42	12	37	110	42	12	37	110	350	455	540	690	960						
																			48	14	42.5	48	14	42.5	1000
																			1025						
																					1065				

Ⅲ A



机座号	安 装 尺 寸																		外 形 尺 寸															
	<i>h</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>A</i> ₀	<i>A</i> ₁	<i>B</i> ₀	<i>B</i> ₁	<i>h</i> ₁	<i>h</i> ₂	<i>R</i>	<i>n</i>	<i>d</i> ₀	<i>n</i> ₁	<i>d</i> ₀₁	<i>d</i> ₂	<i>b</i> ₂	<i>c</i> ₂	<i>l</i> ₂	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>W</i>	<i>H</i>	<i>L</i>										
001	80	100	80	100	22	125	30	12	12	0	4	10	4	7	14	5	11	30	120	125	160	225	200	290										
002	90	115	90		28	140	35												16		16	12	12	12	12	19	6	15.5	40	140	180	245	220	300
004	100	130	110		112	36																								160	20	16	15	15
007	112	165	130	140	40	190	40	200	170			225	325	280	435																			
015	132			170		216	55		195			260	360	320	485																			
022	160			210		254	60		250			260	325	400	390	510																		
040	180	215	180	241	45	279	70	20	16			15	15	28	8	24	60	250	295	360	430	430	595											
075	200	265	230	267	50	318	80											30	20	19	19	38	10	33	80	300	335	400	475	490	725			
150	225	300	250	356	56	356																				350	435	455	540	540	960			
																										1000								

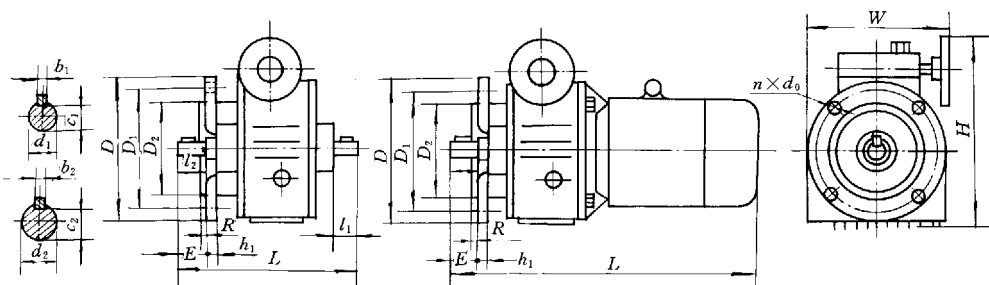
1B、IVB



(续)

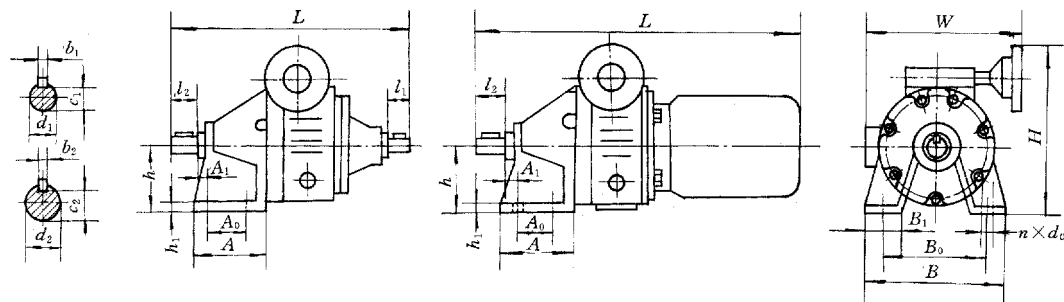
机座号	安 装 尺 寸														外 形 尺 寸							
	h	A_0	A_1	B_0	B_1	h_1	n	d_0	输 入 轴				输 出 轴				A	B	W	H	L	
									d_1	b_1	c_1	l_1	d_2	b_2	c_2	l_2					双轴型	直联型
002	75	105	18	110	25	13	4	9	14	5	11	25	14	5	11	30	125	146	165	200	195	357
004	90	105	30	120	30	15		10	14	5	11	30	14	5	11	30	135	160	170	218	221	390
007	106	125	30	160	40			12	19	6	15.5	30	20	6	15.5	40	150	190	200	249	243	427
015	125	140	50	180	50	18		12	24	8	20	40	25	8	21	50	165	230	240	313	314	488
022	150	230	25	245	55	20		14	24	8	20	50	30	8	26	60	270	300	290	355	387	588
040												50	30	8	26	60	270	300	290	355	387	608
075	200	250	33	315	70	30		18	32	10	27	60	35	10	30	70	290	365	430	475	428	714
																					754	

II B、VB



机座号	安 装 尺 寸														外 形 尺 寸					
	D_1	D_2	E	h_1	R	n	d_0	输 入 轴				输 出 轴				D	W	H	L	
								d_1	b_1	c_1	l_1	d_2	b_2	c_2	l_2				双轴型	直联型
002	130	110	30	12	3.5	4	10	14	5	11	25	14	5	11	30	160	172	197	193	355
004							12	14	5	11	30	14	5	11	30	200	179	215	221	376
007	165	130	40					19	6	15.5	30	20	6	15.5	40	200	200	246	243	425
015	215	180	50				15				40	25		21	50	250	245	309	314	483
022				6	4								8							508
040	265	230	60					24	8	20	50	30		26	60	300	305	350	387	588
075	300	250	70	20	5	6	19	32	10	27	60	35	10	30	75	350	430	460	428	714
																				754

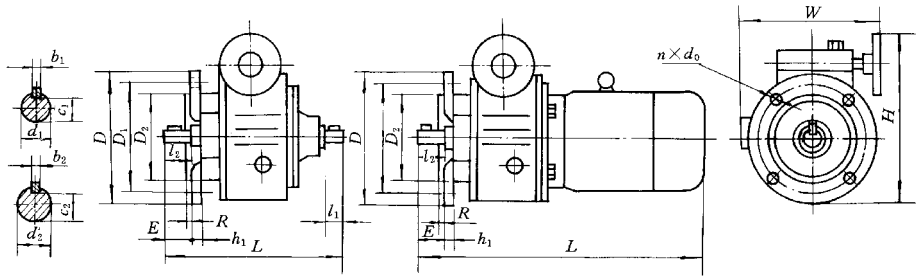
I C、IVC



(续)

机座号	安 装 尺 寸														外 形 尺 寸							
	h	A ₀	A ₁	B ₀	B ₁	h ₁	n	d ₀	输 入 轴				输 出 轴				A	B	W	H	L	
									d ₁	b ₁	c ₁	l ₁	d ₂	b ₂	c ₂	l ₂					双轴型	直联型
002	70	25	0	95	33	11	4	10	11	4	8.5	23	11	4	8.5	30	55	120	200	180	220	356
004	80	55	8	150	53				14	5	11	30	14	5	11	40	90	190	210	202	247	416
007	105	66	10	165	54				12	19	6	15.5	40	24	8	20	50	125	212	260	260	346
015	125	76	18	185	60			13	15	24	8	20	43	28	8	24	60	145	235	302	307	418
022	150	85		240	80	20	19	28	24	60		38	10	33	80	148	310	340	368	530	727	
040				350	747																	
075	190	120	17	295	100	26			38	10	33	70	42	12	37		185	380	400	452	608	980

II C、VC



机座号	安 装 尺 寸														外 形 尺 寸					
	D_1	D_2	E	h_1	R	n	d_0	输入轴				输出轴				D	W	H	L	
								d_1	b_1	c_1	l_1	d_2	b_2	c_2	l_2				双轴型	直联型
002	115	95	30	9	3	3.5	10	11	4	8.5	23	11	4	8.5	30	142	200	181	251	357
004	130	110	40	10	14			5	11	30	14	5	11	40	160	210	203	242	375	
007	165	130	50	12	12			19	6	15.5	40	24	8	20	50	200	260	255	318	453
015	215	180	60	15	4		24		20	43	28	24		60	250	302	307	420	592	
022	265	230	80				28		8	24	60	38	10	33	80	300	340	368	475	634
040							350	654												
075	300	250	18				5	19	38	10	33	70	42	12	37		350	400	436	608

3.3.3 性能参数

行星锥盘无级变速器包括恒功率型和恒转矩型两种基本型和由基本型和齿轮减速器或摆线针轮减

速器组合而成的派生型，这里给出基本型的参数（见表 4.8-122、表 4.8-123），如需派生型，可向厂家索取样本。

表 4.8-122 恒转矩型性能参数（摘自 JB/T 6950—1993）

性能参数		电动机功率 /kW	输出转矩 /N·m	性能参数	电动机功率/kW	输出转矩 /N·m	输出轴转速 $n_2/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$
机座号				机座号			
配套 二极电 动机	002	0.18	0.7~0.8	015	1.1	4.2~9.8	当 $R=5 \sim 6$ 时 $n_2=380 \sim 1900$
	004	0.25	0.8~1.9		1.5	6.5~13.5	
	007	0.37	1.5~3.7	022	2.2	9.6~18.5	
		0.55	2.1~5				
配套四 极电 动机	001	0.09	0.6~1.3	022	2.2	14.1~30.6	当 $R=5 \sim 6$ 时 $n_2=190 \sim 950$; 当 $R=7 \sim 8$ 时 $n_2=145 \sim 1015$
	002	0.12	0.7~1.6		3.0	18.8~46.6	
		0.18	1.1~2.5	040	4.0	25.5~55.7	
	004	0.25	1.5~3.3	5.5	35.3~76.7		
		0.37	2.2~5.1	075	7.5	47.0~104.5	
	007	0.55	3.1~7.6	150	11	70.6~153.3	
		0.75	4.7~10.7		15	94.1~209.1	
	配套六 极电 动机	015	1.1	7.0~15.3	220	18.5	
1.5			9.4~20.9	22		140~306.7	
0.75			6.7~17.7	075	4.0	35.9~94.3	
022		1.1	9.9~25.9	5.5	49.4~129.7		
		1.5	13.5~35.4	150	7.5	67.4~176.9	
		2.2	19.8~51.8	11	98.8~259.4		
配套八 极电 动机	075	3.0	27.0~70.7	220	15	134.7~353.7	当 $R=7 \sim 8$ 时 $n_2=75 \sim 510$
		2.2	25.8~61.8	150	5.5	64.6~169.4	
	3.0	35.2~92.5	7.5	88.1~231.8			
	150	4.0	47.0~123.4	220	11	129.2~229.2	

生产厂：温州变速机器厂。

表 4.8-123 恒功率型性能参数 (摘自 JB/T 6950—1993)

性能参数 机座号		电动机功 率/kW	输出转矩 /N·m	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	性能参数 机座号		电动机功 率/kW	输出转矩 /N·m	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$
配套 4 极 电 动 机	002	0.12	0.6 ~ 2.8	250 ~ 1000	015	1.5	8.6 ~ 35.3	250 ~ 1000	
		0.18	0.9 ~ 4.2		022	2.2	11.8 ~ 58.8		
	004	0.25	1.2 ~ 5.9			040	3.0		16.5 ~ 74.5
		0.37	1.8 ~ 8.7		4.0		24.3 ~ 93.1		
	007	0.55	2.6 ~ 12.7		075	5.5	31.4 ~ 117.6		
		0.75	3.6 ~ 17.6			7.5	43.1 ~ 176.4		
	015	1.1	6.6 ~ 30.4		150	11	63.6 ~ 235.2		

生产厂：温州变速机器厂。

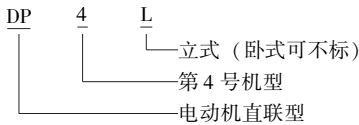
3.4 多盘式无级变速器

3.4.1 型式和标记方法

多盘式无级变速器按其结构大小分为六种机型，即 P₁、P₂、P₃、P₄、P₅、P₆，功率由 0.2 ~ 22kW。按其驱动形式分为普通型 (P 型) 和电动机直联型 (DP 型)。为了得到较低的输出轴转速，在出轴端附加齿轮减速器，即 PZ 型和 DPZ 型，齿轮减速装置的速比为 2、3、4、5。在出轴端加交换齿轮装置，还可把变速器的变速范围扩大到 10 或 12，即 PH 型和

DPH 型，按其安装方式不同，又可分为立式和卧式两种，立式用 “L” 表示。

标记示例



3.4.2 外形尺寸和安装尺寸

多盘式无级变速器的外形尺寸和安装尺寸见表 4.8-124 ~ 表 4.8-126。

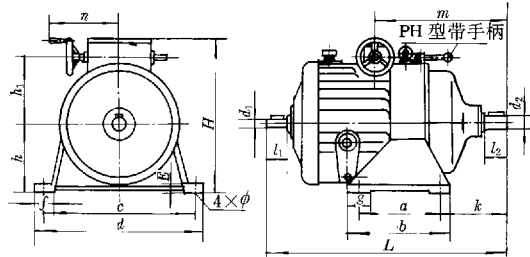
表 4.8-124 P、DP 型外形尺寸和安装尺寸 (mm)

P 型		DP 型	

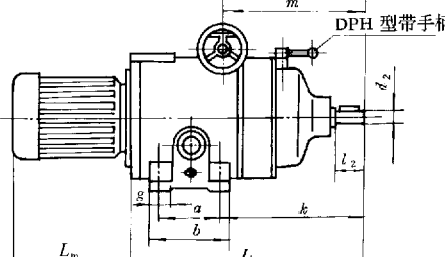
尺寸 机型	a	b	c	d	E	f	g	H	h	h ₁	L	m	n	k	d ₁	d ₂	l ₁	l ₂	φ
P1	105	135	190	218	20	50	/	275	130	110	280	110	145	119	18	22	35	35	11
P2	180	237	260	300	25	60	55	361	160	140	405	153	246	135	25	28	50	60	15
P3	150	350	310	350	25	75	55	414	180	170	485	185	300	160	32	40	60	70	15
P4	288	358	400	450	36	90	90	517	260	212	610	208	300	180	38	48	85	90	22
P5	180	230	500	550	40	95	/	598	270	265	635	208.5	295	198.5	42	50	90	100	22
P6	280	330	630	680	50	100	/	726	330	325	795	231.5	261	216.5	48	55	110	120	22

尺寸 机型	a	b	c	d	E	f	g	H	h	h ₁	L	L _m	m	n	k	d ₂	l ₂	φ
DP1	105	135	190	218	20	50	/	275	130	110	299	~250	110	145	119	22	35	11
DP2	180	237	260	300	25	60	55	361	160	140	399	~330	153	246	135	28	60	15

表 4.8-125 PZ、PH、DPZ、DPH 型外形尺寸及安装尺寸



PZ 型
PH 型



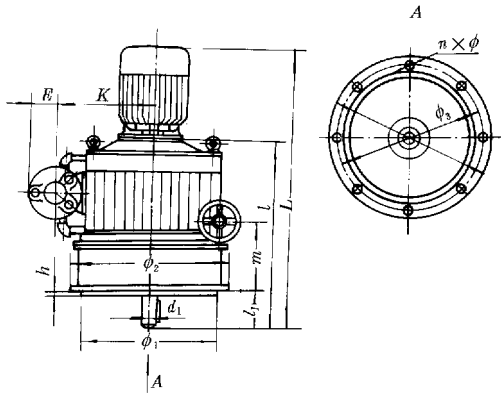
DPZ 型
DPH 型

(mm)																				
机 型	尺寸	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>E</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>h</i> ₁	<i>L</i>	<i>k</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	φ
P1	Z H	105	135	190	218	20	50		275	130	110	427	251	257	145	18	28	35	60	11
P2	Z H	180	237	260	300	25	60	55	361	160	140	560 (910)	290 (340)	310 (360)	246	28	35	50	70	15
P3	Z H	280	340	300	400	30	100	80	459	225	170	684 (759)	175 (250)	401 (476)	300	32	50	60	100	22
P4	Z H	300	360	520	570	35	62	70	527	250	212	860 (940)	200 (280)	458 (538)	300	38	55	85	120	22
P5	Z H	350	430	620	700	50	90	90	640	320	265	880 (960)	180 (260)	460 (540)	275	48	65	90	120	30
P6	Z H	520	600	700	780	55	90	100	730	350	325	1190 (1280)	230 (320)	635 (725)	312	48	85	110	160	33
机 型	尺寸	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>E</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>h</i> ₁	<i>L</i>	<i>L</i> _m	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>k</i>	<i>d</i> ₂	<i>l</i> ₂	φ	
DP1	H Z	105	135	190	218	20	50	/	275	130	110	414	~ 250	257	145	251	28	60	11	
DP2	H Z	180	237	260	300	25	60	55	361	160	140	530 (580)	~ 330	310 (360)	246	290 (340)	35	70	15	

注：() 内尺寸为大功率。

表 4.8-126 DPL 型外形尺寸及安装尺寸

(mm)



(续)

尺寸 机型	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ	n	h	d_1	l_1	m	l	L	K	E
DP1L	225	290	260	15	6	5	20	48	92	259	~520		
DP2L	280	350	315	15	6	5	28	34	173	367	~740 (755)		
DP3L	370	450	410	17	6	6	40	43	169	471	~820	~260	~85
DP4L	400	485	440	22	6	5	45	65	227	673	~1100 (1128)	~342	~140
DP5L	460	550	510	18	8	8	50	70	228	735	~1290 (1330)	~400	~140
DP6L	520	650	590	22	8	10	85	192	257	875	~1475 (1560)	~480	~168

注：() 内尺寸为大功率。

3.4.3 性能参数（见表 4.8-127 ~ 表 4.8-129）

表 4.8-127 P、DP 型性能参数

型 号	输 入 轴		变 速 比 I	变速范 围 R	调速丝杆 回转数/ r	输 出 轴 转速/ $r \cdot \min^{-1}$
	功率/ kW	转速/ $r \cdot \min^{-1}$				
P1 DP1	0.4 或 0.75	1500	0.23 ~ 0.76	3.3	14	345 ~ 1140
Δ P2 DP2	1.5 或 2.2	1500	0.2 ~ 0.8	4	33	300 ~ 1200
$\bigcirc$ P3	4	1500	0.2 ~ 0.8	4	28.5	300 ~ 1200
P4	5.5 或 7.5	1500	0.2 ~ 0.8	4	24	300 ~ 1200
P5	11	1000	0.28 ~ 1.12	4	21	280 ~ 1120
P6	15 (22)	1000	0.27 ~ 1.08	4	27	270 ~ 1080

注：“ Δ ”为已生产产品；“ $\bigcirc$ ”为暂时不生产的产品；其余为可按订货组织生产的产品。

表 4.8-128 PZ、PH、DPZ、DPH 型性能参数

型 号	输入轴		全变速 比 I	分挡变速 比 I		变速 范围 R	调速丝杆 回转数 / r	输 出 轴 转速/ $r \cdot \min^{-1}$	
	功 率 / kW	转 速 / $r \cdot \min^{-1}$							
P1H Δ DP1H	Δ 0.4 (或 0.75)	1500	0.076 ~ 0.76	高速挡 低速挡	0.23 ~ 0.76 0.076 ~ 0.251	10	14	高速挡 低速挡	345 ~ 1140 114 ~ 377
P2H DP2H	1.5 (或 2.2)	1500	0.067 ~ 0.8	高速挡 低速挡	0.2 ~ 0.8 0.067 ~ 0.267	12	33	高速挡 低速挡	300 ~ 1200 100 ~ 400
$\bigcirc$ P3H	4	1500	0.067 ~ 0.8	高速挡 低速挡	0.2 ~ 0.8 0.067 ~ 0.267	12	28.5	高速挡 低速挡	300 ~ 1200 100 ~ 400
P4H	5.5 (或 7.5)	1500	0.067 ~ 0.8	高速挡 低速挡	0.2 ~ 0.8 0.067 ~ 0.267	12	24	高速挡 低速挡	300 ~ 1200 100 ~ 400
P5H	11	1000	0.096 ~ 1.12	高速挡 低速挡	0.28 ~ 1.12 0.096 ~ 0.384	12	21	高速挡 低速挡	280 ~ 1120 95 ~ 384
Δ P6H	15 Δ (或 22)	1000	0.089 ~ 1.08	高速挡 低速挡	0.27 ~ 1.08 0.089 ~ 0.356	12	27	高速挡 低速挡	270 ~ 1080 89 ~ 356

(续)

型 号	输 入 轴		出轴侧 传动比 i	变速比 I	变速 范围 R	调速丝杆 回转速/ r	输出轴 转速/ $r \cdot \min^{-1}$
	功率/ kW	转速/ $r \cdot \min^{-1}$					
P1Z Δ DP1Z	Δ 0.4 (或 0.75)	1500	2	0.116 ~ 0.384	3.3	14	174 ~ 576
			3	0.076 ~ 0.251			114 ~ 377
			Δ 4	0.057 ~ 0.189			Δ 86 ~ 284
			5	0.046 ~ 0.153			69 ~ 229
P2Z Δ DP2Z	1.5 (或 2.2)	1500	2	0.1 ~ 0.4	4	33	150 ~ 600
			3	0.067 ~ 0.267			100 ~ 400
			Δ 4	0.05 ~ 0.2			Δ 75 ~ 300
$\bigcirc$ P3Z	4	1500	2	0.1 ~ 0.4	4	28.5	150 ~ 600
			3	0.06 ~ 0.267			100 ~ 400
			4	0.05 ~ 0.2			75 ~ 300
P4Z	5.5 (或 7.5)	1500	2	0.1 ~ 0.4	4	24	150 ~ 600
			3	0.067 ~ 0.267			100 ~ 400
			4	0.05 ~ 0.2			75 ~ 300
Δ P5Z	11	1000	2	0.14 ~ 0.56	Δ 4	21	140 ~ 560
			3	0.096 ~ 0.384			96 ~ 384
			Δ 4	0.07 ~ 0.28			Δ 70 ~ 280
P6Z	15 (或 22)	1000	2	0.135 ~ 0.54	4	27	135 ~ 540
			3	0.089 ~ 0.356			89 ~ 356
			4	0.067 ~ 0.268			67 ~ 268

注：“ Δ ”为已生产的产品；“ $\bigcirc$ ”为暂时不生产的产品；其余可按订货组织生产的产品。生产厂同前。

表 4.8-129 DPL 型性能参数

型 号	输 入 轴		变速比 I	变速范围 R	调速丝杆 回转速/ r	输出轴转速 / $r \cdot \min^{-1}$
	功 率 / kW	转 速 / $r \cdot \min^{-1}$				
$\bigcirc$ DP1L	0.4 (或 0.75)	1500	0.23 ~ 0.76	3.3	14	345 ~ 1140
$\bigcirc$ DP2L	1.5 (或 2.2)	1500	0.2 ~ 0.8	4	33	300 ~ 1200
$\bigcirc$ DP3L	4	1500	0.2 ~ 0.8	4	28.5	300 ~ 1200
DP4L	5.5 (或 7.5)	1500	0.2 ~ 0.8	4	24	300 ~ 1200
DP5L	11	1000	0.28 ~ 1.12	4	21	280 ~ 1120
$\bigcirc$ DP6L	15 (或 22)	1000	0.27 ~ 1.08	4	27	270 ~ 1080

注：“ $\bigcirc$ ”为暂时不生产的产品；其余为可按订货组织生产的产品。生产厂同前。

3.5 四相并列连杆脉动无级变速器 (摘自 JB/T7515—1994)

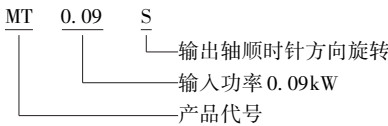
这种变速器由四组平行布置、其相位差为 90° 的单向超越离合器和曲柄摇杆机构组成，在承载或静止状态下均可调速；高速时，变速器呈恒功率特性，低速时呈恒转矩特性。输入功率范围为 0.09 ~ 0.37kW，以传递运动为主。

3.5.1 型式和标记方法

变速器输出轴旋转方向分为顺时针方向旋转

(以“S”表示)和逆时针方向旋转(以“N”表示)。

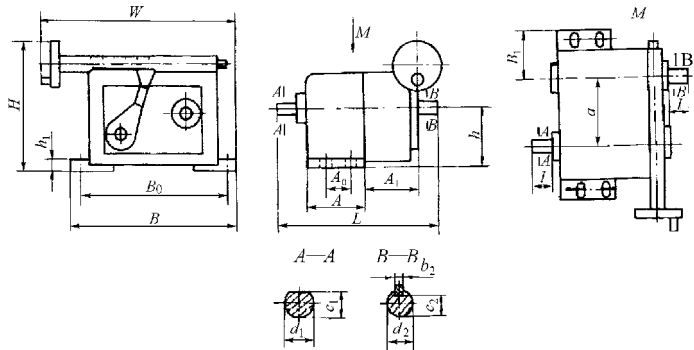
标记示例



3.5.2 外形尺寸和安装尺寸

变速器的外形尺寸及安装尺寸见表 4.8-130。

表 4.8-130 安装尺寸及外形尺寸 (摘自 JB/T7515—1994) (mm)



型号	安装尺寸										轴伸连接尺寸						外形尺寸		
	a	h	A	A ₀	A ₁	B	B ₀	B ₁	h ₁	配用螺栓	c ₁	d ₁	b ₂	c ₂	d ₂	l	W	H	L
MT0.09	63.5	57.3	64	30	39	165	149	51.5	10	4 × M5	8	10	4	7.5	10	20	186	122	139
MT0.18					67														167
MT0.37	90	67	90	56	34	226	200	68	18	4 × M8			5	12	15	23	234	172	158

3.5.3 性能参数

减速器的性能参数见表 4.8-131。

表 4.8-131 性能参数

项 目		型 号		
		MT0. 09	MT0. 18	MT0. 37
输入功率/kW		0. 09	0. 18	0. 37
输入转速/r · min ⁻¹		1440		
空载最大输入转矩/N · m		0. 597	1. 19	2. 45
最大输出转矩/N · m		2	4. 9	7. 2
最大输出功率/kW		0. 063	0. 136	0. 26
输出转速范围/r · min ⁻¹		0 ~ 300		
噪声声功率级/dB （A）		65		
滑差率 ε （%）		输出转速 $n_2 = 40\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时, $\varepsilon = 30$, $\eta = 38$ $n_2 = 150\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时, $\varepsilon = 12$, $\eta = 60$ $n_2 = 300\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时, $\varepsilon = 10$, $\eta = 70$		
效率 η （%）				
油池温升/℃	空载	20	25	30
	承载	35	37	38
振动速度有效值/mm · s ⁻¹		中心高 $h \leq 70\text{mm}$ 时为 2		
清洁度/mg · L ⁻¹		杂质含量 < 132		
轴伸径向圆跳动/mm		$d = 9 \sim 15\text{mm}$ 时为 0. 06		

注：1. 油池最高温度不得超过 78℃。

2. 空载运转时，变速器调节至最高输出转速，2min 内起动 5 次，不得出现任何故障。

3.6 金属带式无级变速器

金属带式无级变速器是荷兰 VDT 公司的工程师 Van Doorne 发明的,用金属带代替了胶带,大幅度提高了传动的效率、可靠性、功率和寿命,经过 30~40 年的研究开发,已经在汽车传动领域占有重要的地位。

金属带式无级变速器的核心元件是金属带组件。如图 4.8-29 所示,金属带组件由两组 9~12 层的钢环组和 350~400 片左右的摩擦片组成,其中钢环组的材料、尤其是制造工艺是最难的,要实现强度高 ($R_m > 2000\text{MPa}$),各层带环之间“无间隙”配合。

金属带式无级变速器的传动原理如图 4.8-30 所示,主、从动两对锥盘夹持金属带,靠摩擦力传递运动和转矩。主、从动边的动锥盘的轴向移动,使金属带径向工作半径发生无级变化,从而实现传动比的无级变化,即无级变速。

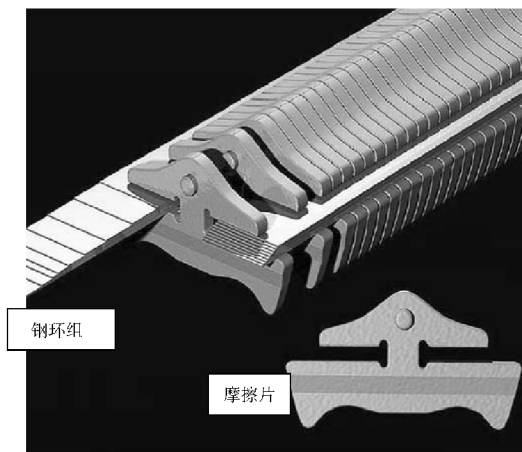


图 4.8-29 金属带组件

金属带式无级变速器的典型结构如图 4.8-31 所示。在这种结构中,采用带锁止离合器的液力变矩器作为起步离合器使用,液压泵提供锥盘加压、传动与调速系统用高压油,高压油通过液压缸、活塞作用于主、从动两对锥盘,夹持金属带,产生摩擦力传递运动和转矩,后面是齿轮传动和差速器传动。

图 4.8-32 是一种汽车用金属带式无级变速器的基本组成。图 4.8-33 为一种等强共轭母线锥盘传动的无级变速的示意图,其传动比为 $R_b = 6.02$;图 4.8-34 是一种非对称金属带式无级变速传动,其传动比可达 $R_b = 7.2$ 。

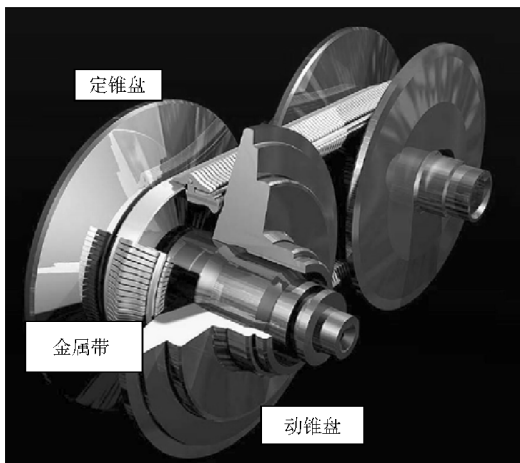


图 4.8-30 金属带式无级变速器的传动原理

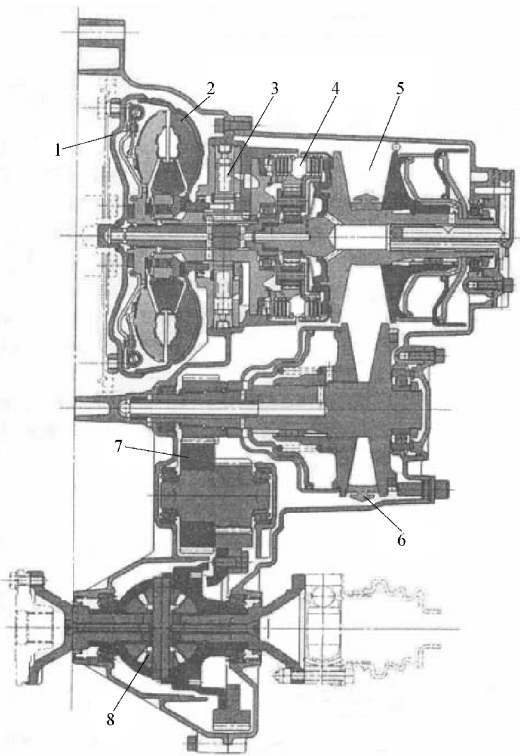


图 4.8-31 金属带式无级变速器的典型结构

- 1—变矩器离合器 2—液力变矩器
- 3—液压泵 4—前进、倒档离合器 5—锥盘变速装置
- 6—金属带 7—减速装置
- 8—差速器

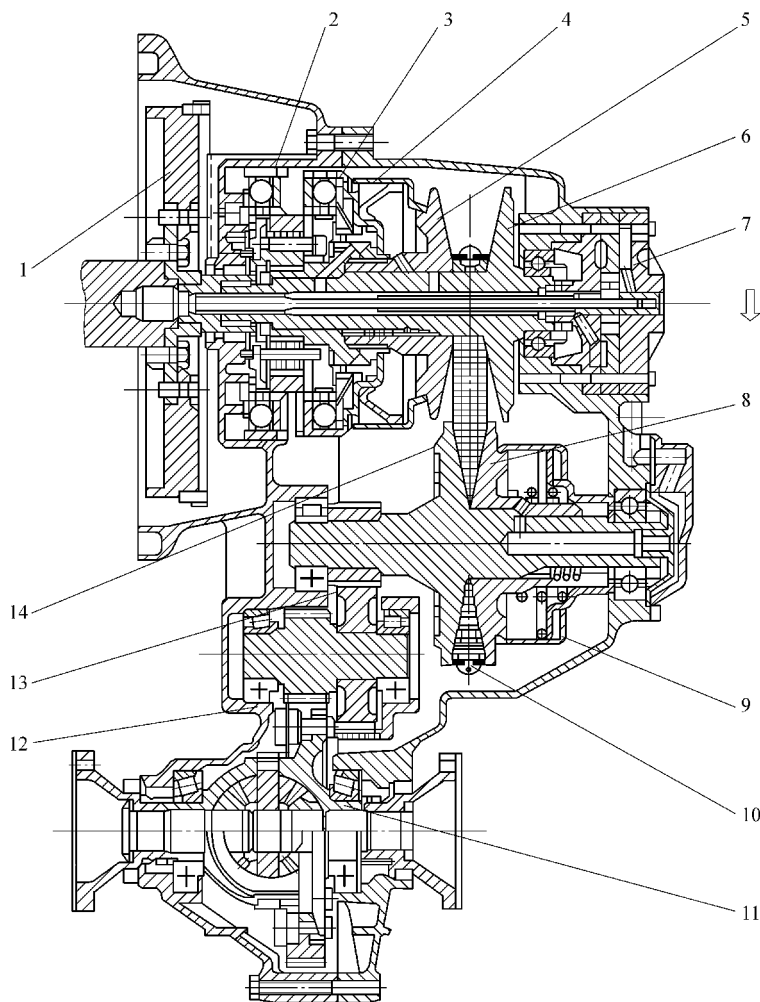


图 4.8-32 汽车用金属带式无级变速器的基本组成

- 1—发动机飞轮 2—倒档离合器 3—前进离合器 4—主动轮液压控制缸 5—主动移动锥盘
6—主动轴及主动固定锥盘 7—液压泵 8—从动移动锥盘 9—从动轮液压控制缸 10—金属带
11—差速器 12—主减速齿轮 13—中间减速齿轮 14—从动轴及从动固定锥盘

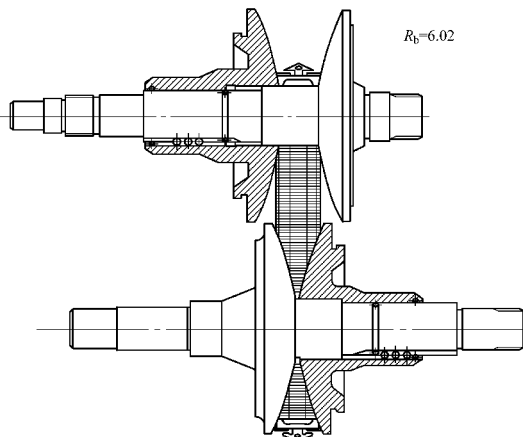


图 4.8-33 一种等强共母线锥盘传动的示意图

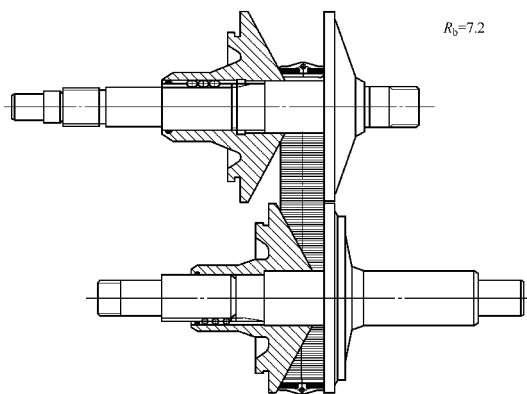


图 4.8-34 一种非对称金属带式无级变速传动

参考文献

- [1] 机械工程手册 电机工程手册编辑委员会. 机械工程手册: 机械零部件设计卷 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [2] 机械设计手册编辑委员会. 机械设计手册: 第 3 卷 [M]. 新版. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [3] 闻邦椿, 等. 机械设计手册: 第 2 卷 [M]. 5 版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [4] 徐灏. 新编机械设计师手册: 上册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [5] 机床设计手册编写组. 机床设计手册: 第 2 卷 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1980.
- [6] 齿轮手册编委会. 齿轮手册 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [7] 成大先. 机械设计手册: 第 3 卷 [M]. 5 版. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [8] 蔡春源. 机械零件设计手册: 上册 [M]. 3 版. 北京: 冶金工业出版社, 1994.
- [9] 朱孝录, 鄂中凯. 齿轮承载能力分析 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [10] 朱孝录, 等. 齿轮传动设计手册 [M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社. 2010.
- [11] 吴宗泽, 卢颂峰, 冼健生. 简明机械零件设计手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [12] 张民安, 等. 圆柱齿轮精度 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [13] 宋乐民, 等. 齿形与齿轮强度 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [14] 陈湛闻, 等. 圆弧圆柱齿轮传动 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1985.
- [15] 邵家辉, 等. 圆弧齿轮 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 1994.
- [16] 董学涿. 摆线锥齿轮及准双曲面齿轮设计和制造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [17] 王树人. 圆弧圆柱蜗杆传动 [M]. 天津: 天津大学出版社, 1991.
- [18] 王树人, 等. 圆柱蜗杆传动的啮合原理 [M]. 天津: 天津大学出版社, 1982.
- [19] 齐毓麟, 等. 蜗杆传动设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [20] 王树人. ZCI 蜗杆传动全新技术理论 [M]. 天津: 天津科技出版社, 1992.
- [21] 程乃士, 等. 减速器和变速器设计与选用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [22] 程乃士. 汽车金属带式无级变速器——CVT 原理和设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [23] 阮忠堂. 机械无级变速器设计与选用指南 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.

第 5 篇

轴系零件与轴承

第 1 章 轴

1 概述

1.1 轴的分类

(1) 按轴承受载荷情况分

1) 转轴 支承传动零件又传递动力, 即同时承受转矩和弯矩的轴。

2) 心轴 只支承传动零件而不传递动力, 即只承受弯矩的轴。心轴又分为固定心轴 (工作时轴不转动) 和转动心轴 (工作时轴转动)。

3) 传动轴 主要起传递动力作用, 即主要承受转矩的轴。

(2) 按轴的结构形状分

- 1) 光轴;
- 2) 阶梯轴;
- 3) 实心轴;
- 4) 空心轴。

(3) 按轴心线形状分

- 1) 直轴;
- 2) 曲轴;
- 3) 钢丝软轴。

1.2 轴的设计特点和步骤

轴通过轴承与机架相连, 与装在轴上的零件 (如齿轮、带轮、联轴器等) 构成了一个以轴为基础的轴系部件。所以轴的设计不能只考虑轴本身, 必须和装在轴上的零部件一起考虑。

由于在轴的具体结构确定之前, 轴上力的作用点和支点跨距未知, 不能精确计算弯矩, 所以轴的设计程序是先结构设计, 后强度校核, 对不满足强度要求的部位, 修改结构设计再校核强度, 即结构设计和强度计算交替进行。

轴设计的基本准则是:

1) 保证轴具有足够的强度和刚度, 使用中不发生断裂和过大的弹性变形;

2) 轴的结构具有良好的加工工艺性, 轴上零件定位可靠、装拆方便。

轴设计的步骤如下:

1) 根据机械传动方案的整体布局, 确定轴上零件的布置和装配方案;

2) 选择轴的材料;

3) 按纯转矩作用, 估算轴的最小直径;

4) 根据轴上零件的定位和装拆要求, 确定各轴段的轴向尺寸和径向尺寸;

5) 进行轴的强度和刚度计算;

6) 作轴承的寿命计算、键连接的强度计算;

7) 对于转速较高、跨距较大、外伸端较长的轴进行临界转速计算;

8) 根据计算结果修改设计;

9) 绘制轴的零件工作图。

1.3 轴的常用材料

轴的材料种类很多, 设计时主要根据对轴的强度、刚度、耐磨性等要求, 以及为实现这些要求而采用的热处理方式, 同时考虑制造工艺问题加以选用, 力求经济合理。

轴的常用材料是 35、45、50 优质碳素结构钢, 最常用的是 45 钢。对于受载较小或不太重要的轴, 也可用 Q235、Q275 等普通碳素结构钢。对于受力较大, 轴的尺寸和重量受到限制, 以及有某些特殊要求的轴, 可采用合金钢。

球墨铸铁和一些高强度铸铁, 由于铸造性能好, 容易铸成复杂形状, 且减振性能好, 应力集中敏感性低, 支点位移的影响小, 故常用于制造外形复杂的轴。

特别是我国研制成功的稀土—镁球墨铸铁, 冲击韧度好, 同时具有减摩、吸振和对应力集中敏感性小等优点, 已用于制造汽车、拖拉机、机床上的重要轴类零件。

根据工作条件要求, 轴可在加工前或加工后经过整体或表面处理, 以及表面强化处理 (如喷丸、辊压等) 和化学处理 (如渗碳、渗氮、氮化等), 以提高其强度 (尤其是疲劳强度) 和耐磨、耐腐蚀等性能。

在一般工作温度下, 合金钢的弹性模量与碳素钢相近, 所以只为了提高轴的刚度而选用合金钢是不合适的。

轴一般由轧制圆钢或锻件经切削加工制造。轴的直径较小, 可用圆钢棒制造; 对于重要的、大直径或阶梯直径变化较大的轴, 采用锻坯。为节约金

属和提高工艺性，直径大的轴还可以制成空心的，并且带有焊接的或者锻造的凸缘。

对于形状复杂的轴（如凸轮轴、曲轴）可采用铸造。

轴的常用材料及力学性能见表 5. 1-1。

轴的毛坯有以下几种：

1) 冷拉钢 用于制造直径小于 75mm 的直轴。

2) 轧制圆钢 用于毛坯直径小于 125mm，轴段直径相差不大，不太重要的直轴。轧制钢又分为冷

轧钢和热轧钢。热轧碳钢常用于制造直径小于 90mm 的轴。冷轧钢轴直径较小一些。

3) 锻件用于材质要求高、重要的或直径变化大的阶梯形直轴或形状复杂的曲轴。批量大时可采用模锻、精锻。

4) 焊接件 大型轴、毛坯各段尺寸差异大，要求空心，生产件数少时可采用焊接件。

5) 铸件 大型、形状复杂时采用，如曲轴。常用球墨铸铁或合金铸铁，要求高的轴可采用铸钢。

表 5. 1-1 轴的常用材料及其主要力学性能

材料牌号	热处理	毛坯直径 /mm	硬 度 HBW	抗拉强度	屈服 强度	弯曲疲 劳极限	扭转疲 劳极限	许用静 应力	许用疲 劳应力	备 注
				R_m	R_{eL}	σ_{-1}	τ_{-1}	$[\sigma_{+1}]$	$[\sigma_{-1}]$	
MPa										
Q235，Q235F				440	240	180	105	176	120 ~ 138	用于不重要或 载荷不大的轴
20	正火	25	≤156	420	250	180	100	168	120 ~ 138	用于载 荷 不 大，要求韧性较 高的轴
	正火	≤100	103 ~ 156	400	220	165	95	160	110 ~ 127	
		> 100 ~ 300		380	200	155	90	152	103 ~ 119	
		> 300 ~ 500		370	190	150	85	148	100 ~ 115	
回火	> 500 ~ 700			360	180	145	80	144	96 ~ 111	
35	正火	25	≤187	540	320	230	130	216	153 ~ 176	应用较广泛
	正火	≤100	149 ~ 187	520	270	210	120	208	140 ~ 161	
		> 100 ~ 300		500	260	205	115	200	136 ~ 158	
		> 300 ~ 500		480	240	190	110	192	126 ~ 146	
	回火	> 500 ~ 750	137 ~ 187	460	230	185	105	184	123 ~ 142	
		> 750 ~ 1000		440	220	175	100	176	116 ~ 134	
	调质	≤100	156 ~ 207	560	300	230	130	224	153 ~ 177	
		> 100 ~ 300		540	280	220	125	216	146 ~ 169	
45	正火	25	≤241	610	360	260	150	244	173 ~ 200	应用最广泛
	正火	≤100	170 ~ 217	600	300	240	140	240	160 ~ 184	
		> 100 ~ 300	162 ~ 217	580	290	235	135	238	156 ~ 180	
	回火	> 300 ~ 500	156 ~ 217	560	280	225	130	224	150 ~ 173	
		> 500 ~ 750	156 ~ 217	540	270	215	125	216	143 ~ 165	
调质	≤200	217 ~ 255	650	360	270	155	260	180 ~ 207		
40Cr	调质	25		1000	800	485	280	400	269 ~ 323	用于载 荷 较 大，而无很大冲 击的重要轴
		≤100	241 ~ 286	750	550	350	200	300	194 ~ 233	
		> 100 ~ 300	229 ~ 269	700	500	320	185	280	177 ~ 213	
		> 300 ~ 500		650	450	295	170	260	163 ~ 196	
		> 500 ~ 800	217 ~ 255	600	350	255	145	240	170 ~ 196	
35SiMn (42SiMn)	调质	25		900	750	445	255	360	178 ~ 247	性 能 接 近 于 40Cr，用于中小 型轴
		≤100	229 ~ 286	800	520	355	205	320	197 ~ 236	
		> 100 ~ 300	217 ~ 269	750	450	320	185	300	213 ~ 246	
		> 300 ~ 400	217 ~ 255	700	400	295	170	280	196 ~ 227	
		> 400 ~ 500	196 ~ 255	650	380	275	160	260	183 ~ 211	

(续)

材料牌号	热处理	毛坯直径 /mm	硬 度 HBW	抗拉强度	屈服强度	弯曲疲 劳极限	扭转疲 劳极限	许用静 应力	许用疲 劳应力	备 注
				R_m	R_{eL}	σ_{-1}	τ_{-1}	$[\sigma_{+1}]$	$[\sigma_{-1}]$	
MPa										
40MnB	调质	25		1000	800	485	280	400	269 ~ 323	性能接近于 40Cr, 用于重要的 轴
		≤200	241 ~ 286	750	500	335	195	300	186 ~ 223	
40CrNi	调质	25		1000	800	485	280	400	269 ~ 323	用于很重要的轴
35CrMo	调质	25		1000	850	50	285	400	200 ~ 277	性能接近于 40CrNi, 用于重 载荷的轴
		≤100	207 ~ 269	750	550	350	200	300	194 ~ 233	
		> 100 ~ 300		700	500	320	185	280	177 ~ 213	
		> 300 ~ 500		650	450	295	170	260	163 ~ 196	
		> 500 ~ 800		600	400	270	155	240	150 ~ 180	
38SiMnMo	调质	≤100	229 ~ 286	750	600	360	210	300	200 ~ 240	性能接近于 35CrMo
		> 100 ~ 300	217 ~ 269	700	550	335	195	280	186 ~ 223	
		> 300 ~ 500	196 ~ 241	650	500	310	175	260	172 ~ 206	
		> 500 ~ 800	187 ~ 241	600	400	270	155	240	150 ~ 180	
37SiMn- 2MoV	调质	25		1000	850	495	285	400	198 ~ 275	用于高强度、 大尺寸及重载荷 的轴
		≤200	269 ~ 302	880	700	425	245	352	236 ~ 283	
		> 200 ~ 400	241 ~ 286	830	650	395	230	332	219 ~ 263	
		> 400 ~ 600	241 ~ 269	780	600	370	215	312	205 ~ 246	
38Cr- MoAlA	调质	30	229	1000	850	495	285	400	198 ~ 275	用于要求高耐 磨性、高强度且 热处理变形很小 的（氮化）轴
20Cr	渗碳	15	表面	850	550	375	215	340	208 ~ 250	用于要求强度 和韧性均较高的 轴（如某些齿 轮轴、蜗杆等）
	淬火	30	56 ~ 62	650	400	280	160	260	155 ~ 186	
	回火	≤60	HRC	650	400	280	160	260	155 ~ 186	
20CrMnTi	渗碳 淬火 回火	15	表面 56 ~ 62 HRC	1100	850	525	300	440	291 ~ 350	
1Cr13	调质	≤60	187 ~ 217	600	420	275	155	240	152 ~ 183	用于在腐蚀条 件下工作的轴
2Cr13	调质	≤100	197 ~ 248	660	450	295	170	264	163 ~ 196	
1Cr18- Ni9Ti	淬火	≤60	≤192	550	220	205	120	220	136 ~ 157	用于在高、低 温及强腐蚀条件 下工作的轴
		> 60 ~ 180		540	200	195	115	216	130 ~ 150	
		> 100 ~ 200		500	200	185	105	200	123 ~ 142	
QT400-15			156 ~ 197	400	300	145	125	100		用于结构形状 复杂的轴
QT450-10			170 ~ 207	450	330	160	140	112		
QT500-7			187 ~ 255	500	380	180	155	125		
QT600-3			197 ~ 269	600	420	215	185	150		

注: 1. 表中所列疲劳极限数值, 均按下式计算 $\sigma_{-1} \approx 0.27 (R_m + R_{eL})$, $\tau_{-1} \approx 0.156 (R_m + R_{eL})$ 。

2. 其他性能, 一般可取 $\tau_s \approx (0.55 \sim 0.62) R_{eL}$, $\sigma_0 \approx 1.4 \sigma_{-1}$, $\tau_0 \approx 1.5 \tau_{-1}$ 。

3. 球墨铸铁 $\sigma_{-1} \approx 0.36 R_m$, $\tau_{-1} \approx 0.31 R_m$ 。

4. 许用静应力 $[\sigma_{+1}] = R_m / [S_s]$, 许用疲劳应力 $[\sigma_{-1}] = \sigma_{-1} / [S]$ 。

5. 选用 $[\sigma_{-1}]$ 值时, 重要零件取较小值, 一般零件取较大值。

2 轴的结构设计

2.1 轴上零件的布置

在拟定轴上零件的布置方案时,应考虑如下几个方面:

1) 载荷流的合理分配 图 5.1-1a 中,输入齿轮布置在轴的右端,转矩流不合理。图 5.1-1b 中输入齿轮位于中部,转矩双向分流,轴上最大转矩降低,布局合理。

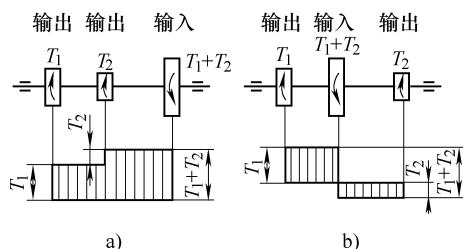


图 5.1-1 轴上转矩的合理分流

2) 支承载荷的合理分配 图 5.1-2a 中,由于齿轮啮合力及带传动周向拉力的作用,轴承 1 的支承力较大,图 5.1-2b 中 1 和 2 两轴承载荷接近,结构合理。

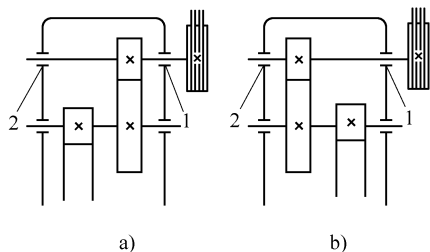


图 5.1-2 支承载荷的合理分配

3) 减载结构 图 5.1-3 中,带轮 5 上的周向拉力由套筒 7 承受,减轻了转轴 1 上的载荷。图 5.1-4a 的方案是大齿轮和卷筒联在一起,转矩经大齿轮直接传给卷筒,卷筒轴只受弯矩而不受转矩;而图 5.1-4b 的方案是大齿轮将转矩通过轴传到卷筒,因而卷筒轴既受弯矩又受转矩。在同样的载荷 F_Q 作用下,图 5.1-4a 中轴的直径显然可比图 5.1-4b 中的轴径小。图 5.1-5a 所示转动心轴设计改为图 5.1-5b 固定心轴设计,使轴由承受交变应力改为静应力,提高了强度。图 5.1-6a 中卷筒的轮毂很长,轴的弯曲力矩较大,如把轮毂分成两段(见图 5.1-6b),不仅可以减小轴的弯矩,提高轴的强度和刚度,而且能得到良好的轴孔配合。

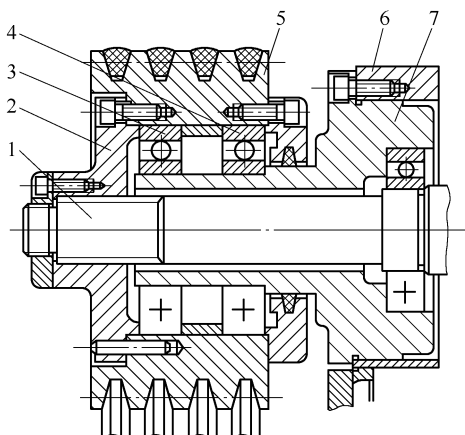


图 5.1-3 轴的减载结构

1—轴 2—套筒 3、4—轴承
5—V 带轮 6—机体 7—套筒

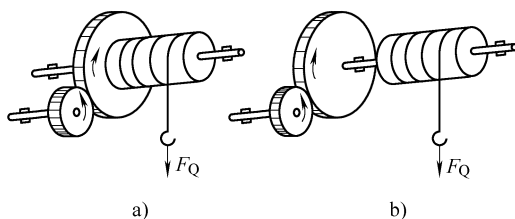


图 5.1-4 起重卷筒的两种安装方案

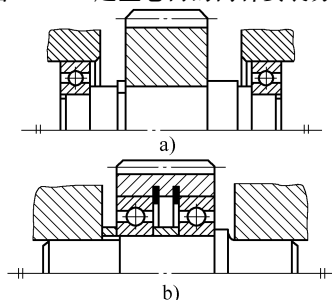


图 5.1-5 转动心轴改变为固定心轴

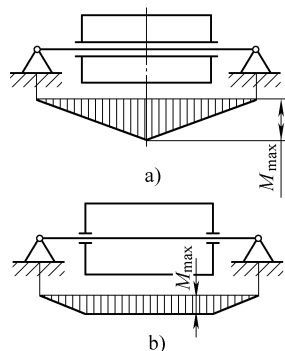


图 5.1-6 卷筒的两种轮毂结构

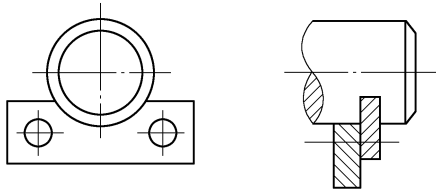
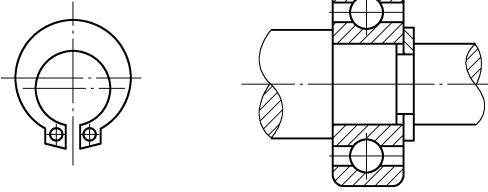
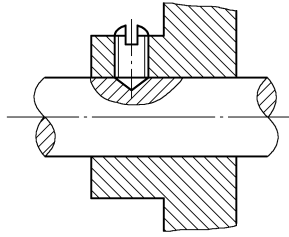
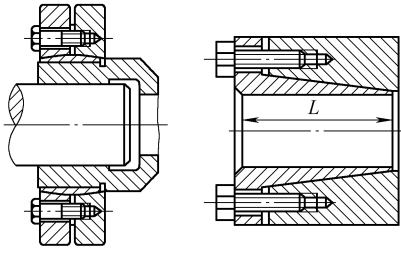
2.2 轴上零件的定位与固定

轴上零件的轴向定位与固定方法见表 5.1-2。

表 5.1-2 轴上零件轴向固定方法及特点

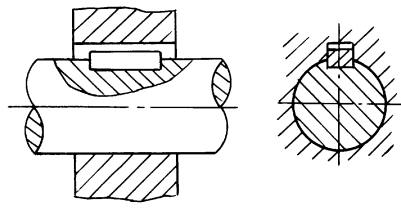
固定方法	简 图	特 点
轴肩、轴环	轴肩 轴环	结构简单，定位可靠，可承受较大轴向力。常用于齿轮、链轮、带轮、联轴器和轴承等定位 为保证零件紧靠定位面，应使 $r < c$ 或 $r < R$。 轴肩高度 a 应大于 R 或 c，通常取 $a = (0.07 \sim 0.1)d$ 轴环宽度 $b \approx 1.4a$ 与滚动轴承相配合处的 a 与 r 值应根据滚动轴承的类型与尺寸确定（见滚动轴承篇）
轴套		结构简单，定位可靠，轴上不需开槽、钻孔和切制螺纹，因而不影响轴的疲劳强度。一般用于零件间距较小场合，以免增加结构重量。轴的转速很高时不宜采用
锁紧挡圈		结构简单，不能承受大的轴向力，不宜用于高速。常用于光轴上零件的固定 螺钉锁紧挡圈的结构尺寸见 GB/T 884—1986
圆锥面		能消除轴与轮毂间的径向间隙，装拆较方便，可兼作周向固定，能承受冲击载荷。多用于轴端零件固定，常与轴端压板或螺母联合使用，使零件获得双向轴向固定 圆锥形轴伸见 GB/T 1570—2005
圆螺母		固定可靠，装拆方便，可承受较大轴向力。由于轴上切制螺纹，使轴的疲劳强度降低。常用双圆螺母或圆螺母与止动垫圈固定轴端零件，当零件间距较大时，亦可用圆螺母代替轴套以减小结构重量 圆螺母和止动垫圈的结构尺寸见 GB/T 810—1988，GB/T 812—1988 及 GB/T 858—1988
轴端挡圈		适用于固定轴端零件，可承受剧烈振动和冲击载荷 螺钉（螺栓）紧固轴端挡圈的结构尺寸见 GB/T 891—1986、GB/T 892—1986

(续)

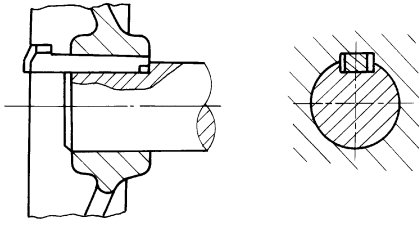
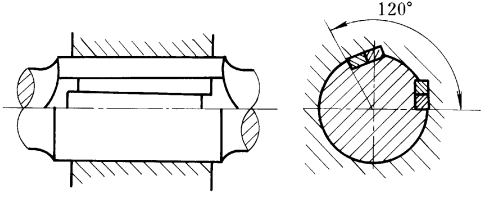
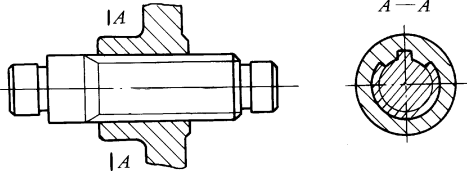
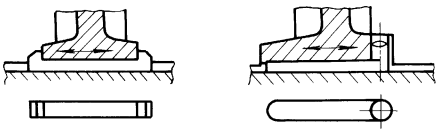
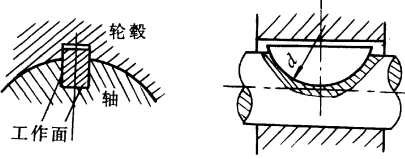
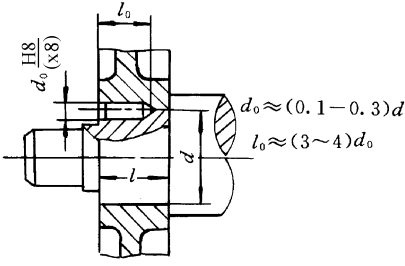
固定方法	简 图	特 点
轴端挡板		适用于心轴和轴端固定，既可轴向定位又可周向定位，只能承受小的轴向力
弹性挡圈		结构简单紧凑，只能承受很小的轴向力，常用于固定滚动轴承 轴用弹性挡圈的结构尺寸见 GB/T 894.1—1986
紧定螺钉		适用于轴向力很小，转速很低或仅为防止零件偶然沿轴向滑动的场合。为防止螺钉松动，可加锁圈 紧定螺钉同时亦起周向固定作用 紧定螺钉用孔的结构尺寸见 GB/T 71—1985
胀紧连接套		既用于轴向定位也用于周向定位 轴不需加工键槽，提高了轴的强度。对中性好，压紧力可调整，多次拆卸能保持良好的配合性质。轴的加工精度要求不高 可方便地在轴向和周向调整安装位置，拆装方便

轴上零件的周向定位与固定方法见表 5.1-3。

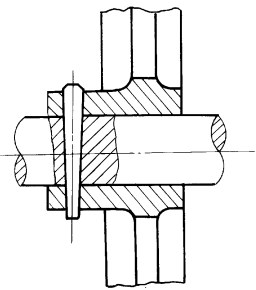
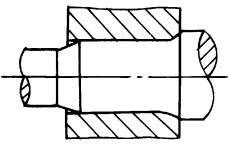
表 5.1-3 轴上零件的周向固定方式及特点

固定方法	简 图	特 点
平键		制造简单，拆装方便，对中性好。用于较高精度、高转速及受冲击或变载荷作用下的固定连接中，还可用于一般要求的导向连接中 齿轮、蜗轮、带轮与轴的连接常用此形式 平键断面及键槽见 GB/T 1096—2003 导向平键见 GB/T 1097—2003

(续)

固定方法	简 图	特 点
楔 键		能传递转矩,同时能承受单向轴向力。由于装配后造成轴上零件的偏心或偏斜,故不适于要求严格对中、有冲击载荷及高速传动连接 楔键及键槽见 GB/T 1563 ~ 1565—2003
切 向 键		可传递较大的转矩,对中性差,对轴的削弱较大,常用于重型机械中 一个切向键只能传递一个方向的转矩,传递双向转矩时,需用两个互成 120° 的切向键,见 GB/T 1974—2003
花 键		有矩形、渐开线及三角形花键之分 承载能力高、定心性及导向性好,制造困难,成本较高。适于载荷较大,对定心精度要求较高的滑动连接或固定连接 三角形齿细小,适于轴径小、轻载或薄壁套筒的连接,见 GB/T 1144—2001
滑 键		键固定在轮毂上,键随轮毂一同沿轴上键槽作轴向移动 常用于轴向移动距离较大的场合
半 圆 键		键在轴上键槽中能绕其几何中心摆动,故便于轮毂往轴上装配,但轴上键槽很深,削弱了轴的强度 用于载荷较小的连接或作为辅助性连接,也用于锥形轴及轮毂连接,见 GB/T 1098 ~ 1099—2003
圆 柱 销		适用于轮毂宽度较小 (如 $l/d < 0.6$), 用键连接难以保证轮毂和轴可靠固定的场合。这种连接一般采用过盈配合,并可同时采用几只圆柱销。为避免钻孔时钻头偏斜,要求轴和轮毂的硬度差不能太大

(续)

固定方法	简 图	特 点
圆 锥 销		用于固定不太重要、受力不大但同时需要轴向固定的零件，或作安全装置用。由于在轴上钻孔，对强度削弱较大，故对重载的轴不宜采用。有冲击或振动时可采用开尾锥销
过 盈 配 合		结构简单，对中性好，承载能力高，可同时起周向和轴向固定作用，但不宜用于常拆卸的场合。对于过盈量在中等以下的配合，常与平键连接同时采用，以承受较大的交变、振动和冲击载荷

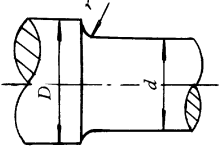
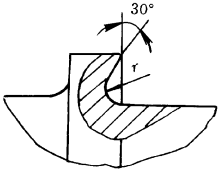
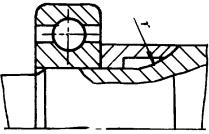
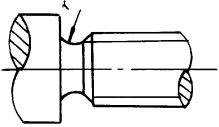
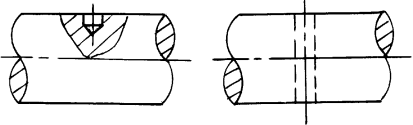
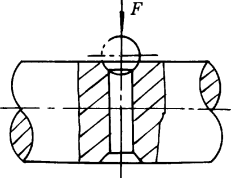
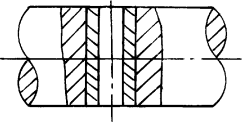
2.3 提高轴疲劳强度的结构措施

轴的破坏多属于疲劳破坏。在轴的截面变化处（如轴肩、键槽、横孔、环槽等），会产生应力集中，因此轴的疲劳破坏多发生在这些部位。所以设计轴的结构时应力求降低应力集中。表 5.1-4 列出了降低

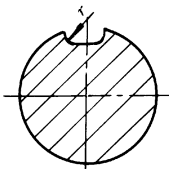
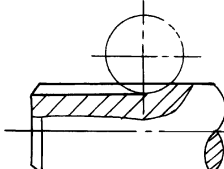
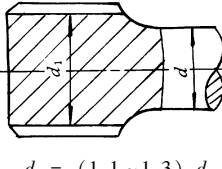
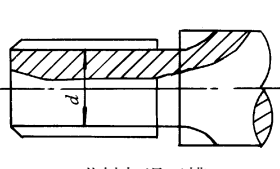
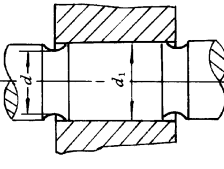
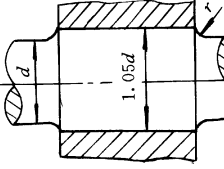
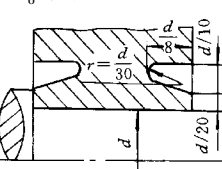
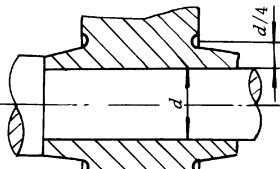
轴上应力集中的主要措施。

由于轴表面的工作应力最大，故提高轴的表面质量也是提高轴的疲劳强度的有力措施。提高轴的表面质量包括减小轴的表面粗糙度，对轴表面进行处理，如热处理、机械处理和化学处理等，都能达到提高轴的疲劳强度的目的。

表 5.1-4 降低轴应力集中的主要措施举例

结构名称	措 施			
圆角	 加大圆角半径 $r/d > 0.1$ ， 减小直径差 $D/d < 1.15 \sim 1.2$	 加内凹圆角	 加大圆角半径， 设中间环	 加退刀圆角
横孔	K_σ 减小约 30%  盲孔改成通孔		 孔上倒角或滚珠辗压	 压入弹性小的衬套

(续)

结构名称	措 施			
键槽花键	 底部加圆角	 用圆盘铣刀	 $d_1 = (1.1 \sim 1.3) d$ 增大花键直径	 花键加退刀槽
过盈配合	 K_σ 减小约 30%~40% $d = (0.92 \sim 0.95) d_1$ 轴上开卸载槽并滚压	 K_σ 减小约 40% $r \geq (0.1 \sim 0.2) d$ 增大配合处直径	 K_σ 减小约 15%~25% 轮毂上开卸载槽	 K_σ 减小约 15%~25% 减小轮毂端部厚度

注： K_σ 为弯曲时有效应力集中系数，其减小值为概略值，仅供参考。

2.4 轴的结构工艺性

设计轴的结构时，应使轴的结构形状便于加工、装配、测量和维修。

1) 在同一轴上直径相差不大的轴段上的键槽应尽可能采用同一规格的键槽截面尺寸，并应分布在同一加工直线上。

2) 对于需要磨削的轴段，应留有砂轮越程槽（见 GB/T 6403.5）；对于需要切削螺纹的轴段，应留有螺纹退刀槽（见 GB/T 3—1997）。

3) 为便于轴上零件的装配，轴端应加工成 45°

（或 30° 、 60° ）倒角；轴上过盈配合部分的装入端常加工出半锥为 10° 的导向锥面。

4) 轴上所有零件，都应无过盈地到达配合的部位。

5) 轴的配合直径应按 GB/T 2822 圆整为标准值。

6) 为保证轴向定位可靠，与轮毂配装的轴段长度，应略小于轮毂宽（长）度 $2 \sim 3\text{mm}$ 。

7) 为减少加工刀具种类和提高劳动生产率，轴上的倒角、圆角等应尽可能取相同尺寸。

滚动轴承支承的轴的典型结构，如图 5.1-7。各部分结构尺寸及公差等的确定，请参阅本手册有关章节。

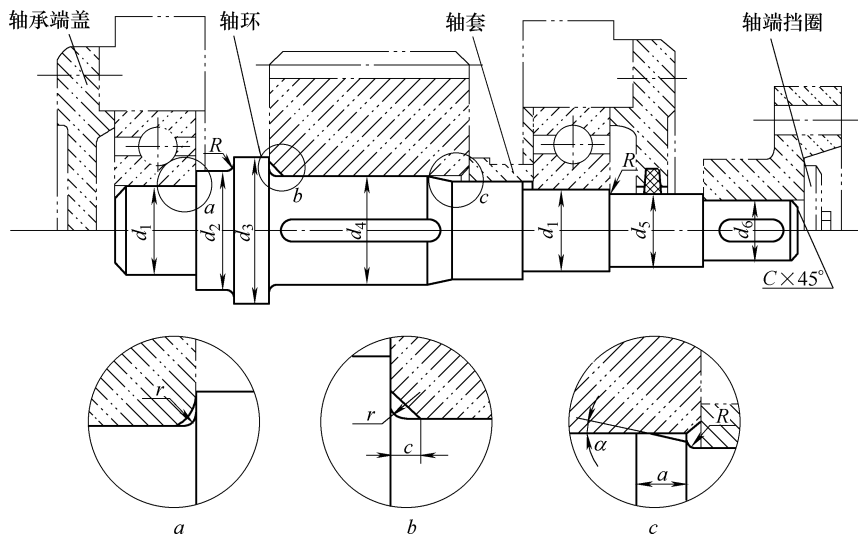


图 5.1-7 滚动轴承支承的轴的结构

3 轴的强度计算

轴的强度计算有3种方法：①按转矩估算轴径；②按当量弯矩近似计算；③安全系数的精确校核计算。

3.1 按转矩估算轴径

当轴的长度及跨度未定时，支座反力及弯矩无法求得，多支点或不太重要的轴，常根据轴所承受的转矩估算轴径。如果轴上还承受弯矩，则用降低许用应力的方法加以考虑。在此估算轴径的基础上进行轴的结构设计。

对于一般不十分重要的轴，此法也可作为最后计算结果。

轴的直径计算公式见表5.1-5。

表 5.1-5 按转矩计算轴径的计算公式

轴别	公 式	说 明
实 心 轴	$d \geq \sqrt[3]{\frac{5T}{[\tau]}}$ 或 $d \geq A \sqrt[3]{\frac{P}{n}}$	式中 d —计算截面处轴的直径 (mm) T —轴传递的额定转矩 (N·mm) $T = 9550000P/n$ P —轴传递的额定功率 (kW) n —轴的转速 (r·min ⁻¹) $[\tau]$ —轴的许用切应力 (MPa) 见表5.1-6 A —按 $[\tau]$ 定的系数，见表5.1-6 ν —空心圆轴的内径 d_0 与外径 d 之比 $\nu = \frac{d_0}{d}$ ，数值 $\sqrt[3]{\frac{1}{1-\nu^4}}$ 见 图5.1-8
空 心 轴	$d \geq \sqrt[3]{\frac{5T}{[\tau]}} \times \sqrt[3]{\frac{1}{1-\nu^4}}$ 或 $d \geq A \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \times \sqrt[3]{\frac{1}{1-\nu^4}}$	

表 5.1-6 几种轴用材料的 $[\tau]$ 及 A 值

轴的材料	Q235, 20	35	45	1Cr18Ni9Ti	40Cr, 35SiMn, 38SiMnMo 2Cr13, 42SiMn, 20CrMnTi
$[\tau] / \text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$	12 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	15 ~ 25	40 ~ 52
A	160 ~ 135	135 ~ 118	118 ~ 107	148 ~ 125	100.7 ~ 98

注：1. 当弯矩相对转矩很小或只受转矩时， $[\tau]$ 取较大值， A 取较小值；反之 $[\tau]$ 取较小值， A 取较大值。

2. 当用Q235及35SiMn时， $[\tau]$ 取较小值， A 取较大值。

3. 计算的截面上有一个键槽， A 值增大4%~5%，有两个键槽 A 值增大7%~10%。

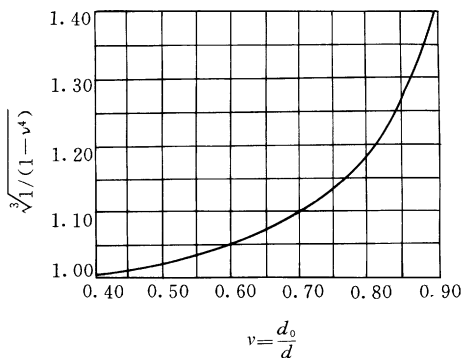


图 5.1-8 空心圆轴的 $\sqrt[3]{\frac{1}{1-\nu^4}}$ 数值

3.2 按当量弯矩近似计算轴的强度

当轴的结构确定后，轴的支承位置和轴所受载荷的作用点便确定了，可求出支点反力和弯矩，这时可按当量弯矩计算轴的强度。一般的轴用这种方法计算强度即可。计算步骤如下：

1) 作出轴的受力简图。轴的支承简化成铰支座，支反力的作用点根据轴承的类型及其组合的不同按图5.1-9确定，图b的 a 值查相应的滚动轴承参数表。

通常作用在轴上的载荷是由装在轴上的传动件（齿轮、带轮、链轮、联轴器等）传给。轴与轴上零件的自重通常忽略不计，但对于有不平衡重量的高速回转轴须计入惯性力。由于载荷在零件上的作

用宽度相对于轴的长度都较小,故将轴上的载荷简化为集中载荷,力的作用点取轮缘宽度的中点,力矩的作用点取轮毂宽度的中点。

- 2) 作出轴垂直面的受力简图和弯矩图 M_V 。
- 3) 作出轴水平面的受力简图和弯矩图 M_Z 。
- 4) 作出轴的合成弯矩图 M , $M = \sqrt{M_V^2 + M_Z^2}$ 。
- 5) 作出轴的扭矩图 T 。
- 6) 作出轴的当量弯矩图 M_V , $M_V = \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}$ 。

7) 确定危险截面(当量弯矩大,截面尺寸小的轴截面),按表 5.1-7 作强度计算。

轴上带有键槽时需加大轴径,其增大值见表 5.1-9。

如果轴端装有补偿式联轴器或弹性联轴器,由于安装误差和弹性元件的不均匀磨损,将会使轴及轴承受到附加载荷,附加载荷的方向不定。附加载荷计算公式见表 5.1-10。

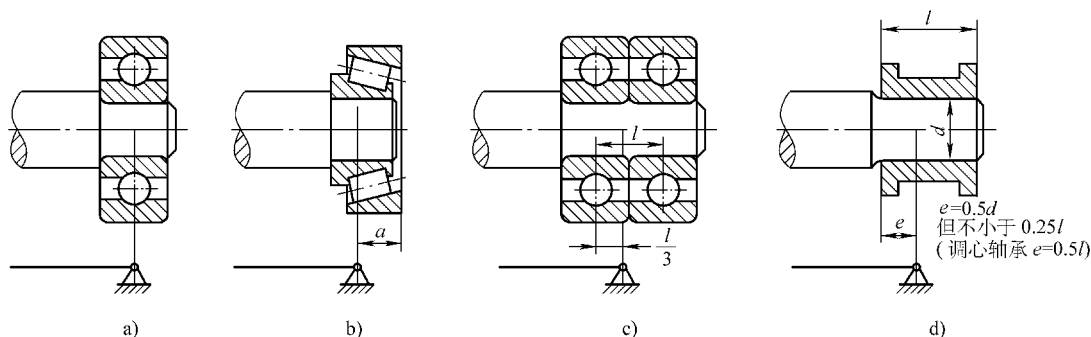


图 5.1-9 轴上支承反力作用点

a) 深沟球轴承 b) 圆锥滚子轴承 c) 两个深沟球轴承 d) 滑动轴承

表 5.1-7 按当量弯矩计算轴强度的计算公式

	公 式	说 明
实 心 轴	$\sigma = \frac{M_V}{0.1d^3} = \frac{10 \times \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{d^3} \leq [\sigma_{-1}]$ $d \geq \sqrt[3]{\frac{M_V}{0.1[\sigma_{-1}]}} = \sqrt[3]{\frac{10 \times \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{[\sigma_{-1}]}}$	σ—轴计算截面上的工作应力 (MPa) d—轴计算截面上的直径 (mm) M—轴计算截面上的合成弯矩 (N·mm) M_V—轴计算截面的当量弯矩 (N·mm) T—轴计算截面上的转矩 (N·mm) α—考虑转矩和弯矩的作用性质差异的系数,当切应力按对称循环变化时 $\alpha = 1$ 当切应力按脉动循环变化时 $\alpha = \frac{[\sigma_{-1}]}{[\sigma_0]} \approx 0.6$ 当切应力不变化时 $\alpha = \frac{[\sigma_{-1}]}{[\sigma_{+1}]} \approx 0.3$ $[\sigma_{-1}]$、$[\sigma_0]$、$[\sigma_{+1}]$—对称循环、脉动循环、静应力的许用弯曲应力 (MPa),见表 5.1-8 ν—空心轴内径 d_0 与外径 d 之比, $\nu = d_0/d$, 数值 $\sqrt[3]{\frac{1}{(1-\nu^4)}}$ 见图 5.1-8
空 心 轴	$\sigma = \frac{M_V}{0.1d^3} \times \frac{1}{1-\nu^4} = \frac{10 \times \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{d^3} \times \frac{1}{1-\nu^4} \leq [\sigma_{-1}]$ $d \geq \sqrt[3]{\frac{M_V}{0.1[\sigma_{-1}]}} \times \frac{1}{\sqrt[3]{1-\nu^4}}$ $= \sqrt[3]{\frac{10 \times \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{[\sigma_{-1}]}} \times \frac{1}{\sqrt[3]{1-\nu^4}}$	

表 5.1-8 轴的许用弯曲应力

(MPa)

材料	R_m	$[\sigma_{+1}]$	$[\sigma_0]$	$[\sigma_{-1}]$	材料	R_m	$[\sigma_{+1}]$	$[\sigma_0]$	$[\sigma_{-1}]$
碳钢	400	130	70	40	合金钢	1000	330	150	90
	500	170	75	45		1200	400	180	110
	600	200	95	55	铸钢	400	100	50	30
	700	230	110	65		500	120	70	40
合金钢	800	270	130	75	灰铸铁	400	65	35	25
	900	300	140	80					

表 5.1-9 有键槽时轴径的增大值

轴径/mm	<30	30~100	>100
有一个键槽时的增大值 (%)	7	5	3
有两个相隔 180°键槽时的增大值 (%)	15	10	7

表 5.1-10 附加载荷计算公式

联轴器名称	计算公式	说 明
齿式联轴器	$M' = K'T$	M' —附加弯矩 (N·mm) T —传递转矩 (N·mm)
十字滑块联轴器	$F_0 = (0.2 \sim 0.4) \frac{2T}{D}$	K' —系数,按下述原则选取: 用稀油或清洁的干油润滑 $K' = 0.07$ 用脏干油润滑 $K' = 0.13$ 不能保证及时润滑 $K' = 0.3$
NZ 挠性爪形联轴器	$F_0 = (0.1 \sim 0.3) \frac{2T}{D}$	F_0 —附加径向力 (N)
弹性圆柱销联轴器	$F_0 = (0.2 \sim 0.35) \frac{2T}{D_0}$	D —联轴器外径 (mm) D_0 —柱销中心圆直径 (mm)

3.3 轴安全系数的精确校核计算

对于重要的轴,应精确考虑影响轴强度的有关因素,按安全系数校核各危险截面,借以精确评定轴的安全裕度。

轴的安全系数校核计算包括:疲劳强度安全系数和静强度安全系数校核。

3.3.1 轴的疲劳强度安全系数校核

疲劳强度安全系数校核是经过初步计算和结构设计之后,根据轴的实际尺寸、承受的弯矩、转矩图,考虑应力集中、表面状态、尺寸影响等因素,以及轴材料的疲劳极限,计算轴的危险截面处的疲劳强度安全系数是否满足要求。

轴的疲劳强度是根据长期作用在轴上的最大变载荷进行校核计算。

危险截面安全系数 S 的校核计算公式为

$$S = \frac{S_\sigma S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} \geq [S] \quad (5.1-1)$$

式中 S_σ ——只考虑弯矩作用时的安全系数;

S_τ ——只考虑转矩作用时的安全系数;

$[S]$ ——按疲劳强度计算的许用安全系数,见

表 5.1-11。

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{\beta \varepsilon_\sigma} \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} \quad (5.1-2)$$

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{K_\tau}{\beta \varepsilon_\tau} \tau_a + \psi_\tau \tau_m} \quad (5.1-3)$$

σ_{-1} ——对称循环应力下的材料弯曲疲劳极限 (MPa) 见表 5.1-1;

τ_{-1} ——对称循环应力下的材料扭转疲劳极限 (MPa) 见表 5.1-1;

K_σ 、 K_τ ——弯曲和扭转时的有效应力集中系数,见表 5.1-12 ~ 表 5.1-14;

β ——表面质量系数,见表 5.1-15 ~ 表 5.1-18 (一般用表 5.1-15,轴表面强化处理后用表 5.1-16,有腐蚀情况时用表 5.1-17、表 5.1-18);

ε_σ 、 ε_τ ——弯曲和扭转时的尺寸影响系数,见表 5.1-19;

ψ_σ 、 ψ_τ ——材料拉伸和扭转的平均应力折算系数,见表 5.1-20;

σ_a 、 σ_m ——弯曲应力的应力幅和平均应力 (MPa),

见表 5.1-21。

τ_a 、 τ_m ——切应力的应力幅和平均应力 (MPa)，

见表 5.1-21。

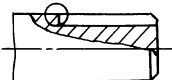
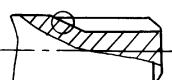
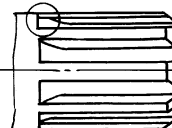
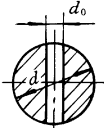
如果计算结果不能满足 $S \geq [S]$ ，应改进轴的结构以降低应力集中，其主要措施可参见表 5.1-4。亦可采用热处理、表面强化处理等工艺措施以及加

大轴径、改用较好材料等方法解决。

表 5.1-11 许用安全系数 $[S]$ 值

$[S]$	选取条件
1.3 ~ 1.5	载荷确定精确，材料性质较均匀
1.5 ~ 1.8	载荷确定不够精确，材料性质不够均匀
1.8 ~ 2.5	载荷确定不精确，材料性质均匀度较差

表 5.1-12 螺纹、键、花键、横孔处及配合的边缘处的有效应力集中系数

																			
		A 型				B 型				花 键				横 孔					
R_m /MPa	螺 纹 ($K_\tau = 1$)	键 槽				花 键				横 孔				配 合					
		K_σ		K_τ		K_σ	K_τ			K_σ		K_τ		H7/r6		H7/k6		H7/h6	
		A 型	B 型	A, B 型	矩形		渐开 线形	$\frac{d_0}{d} =$ 0.05 ~ 0.15	$\frac{d_0}{d} =$ 0.15 ~ 0.25	$\frac{d_0}{d} =$ 0.05 ~ 0.25	K_σ	K_τ	K_σ	K_τ	K_σ	K_τ			
400	1.45	1.51	1.30	1.20	1.35	2.10	1.40	1.90	1.70	1.70	2.05	1.55	1.55	1.25	1.33	1.14			
500	1.78	1.64	1.38	1.37	1.45	2.25	1.43	1.95	1.75	1.75	2.30	1.69	1.72	1.36	1.49	1.23			
600	1.96	1.76	1.46	1.54	1.55	2.35	1.46	2.00	1.80	1.80	2.52	1.82	1.89	1.46	1.64	1.31			
700	2.20	1.89	1.54	1.71	1.60	2.45	1.49	2.05	1.85	1.80	2.73	1.96	2.05	1.56	1.77	1.40			
800	2.32	2.01	1.62	1.88	1.65	2.55	1.52	2.10	1.90	1.85	2.96	2.09	2.22	1.65	1.92	1.49			
900	2.47	2.14	1.69	2.05	1.70	2.65	1.55	2.15	1.95	1.90	3.18	2.22	2.39	1.76	2.08	1.57			
1000	2.61	2.26	1.77	2.22	1.72	2.70	1.58	2.20	2.00	1.90	3.41	2.36	2.56	1.86	2.22	1.66			
1200	2.90	2.50	1.92	2.39	1.75	2.80	1.60	2.30	2.10	2.00	3.87	2.62	2.90	2.05	2.5	1.83			

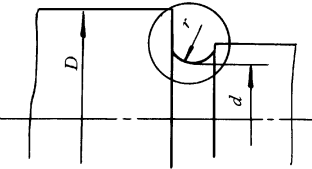
注：1. 滚动轴承与轴的配合按 H7/r6 配合选择系数。

2. 蜗杆螺旋根部有效应力集中系数可取 $K_\sigma = 2.3 \sim 2.5$ ； $K_\tau = 1.7 \sim 1.9$ 。

表 5.1-13 圆角处的有效应力集中系数

		K_σ								K_τ							
$\frac{D-d}{r}$	$\frac{r}{d}$	R_m /MPa															
		400	500	600	700	800	900	1000	1200	400	500	600	700	800	900	1000	1200
2	0.01	1.34	1.36	1.38	1.40	1.41	1.43	1.45	1.49	1.26	1.28	1.29	1.29	1.30	1.30	1.31	1.32
	0.02	1.41	1.44	1.47	1.49	1.52	1.54	1.57	1.62	1.33	1.35	1.36	1.37	1.37	1.38	1.39	1.42
	0.03	1.59	1.63	1.67	1.71	1.76	1.80	1.84	1.92	1.39	1.40	1.42	1.44	1.45	1.47	1.48	1.52
	0.05	1.54	1.59	1.64	1.69	1.73	1.78	1.83	1.93	1.42	1.43	1.44	1.46	1.47	1.50	1.51	1.54
	0.10	1.38	1.44	1.50	1.55	1.61	1.66	1.72	1.83	1.37	1.38	1.39	1.42	1.43	1.45	1.46	1.50
4	0.01	1.51	1.54	1.57	1.59	1.62	1.64	1.67	1.72	1.37	1.39	1.40	1.42	1.43	1.44	1.46	1.47
	0.02	1.76	1.81	1.86	1.91	1.96	2.01	2.06	2.16	1.53	1.55	1.58	1.59	1.61	1.62	1.65	1.68
	0.03	1.76	1.82	1.88	1.94	1.99	2.05	2.11	2.23	1.52	1.54	1.57	1.59	1.61	1.64	1.66	1.71
	0.05	1.70	1.76	1.82	1.88	1.95	2.01	2.07	2.19	1.50	1.53	1.57	1.59	1.62	1.65	1.68	1.74
6	0.01	1.86	1.90	1.94	1.99	2.03	2.08	2.12	2.21	1.54	1.57	1.59	1.61	1.64	1.66	1.68	1.73
	0.02	1.90	1.96	2.02	2.08	2.13	2.19	2.25	2.37	1.59	1.62	1.66	1.69	1.72	1.75	1.79	1.86
	0.03	1.89	1.96	2.03	2.10	2.16	2.23	2.30	2.44	1.61	1.65	1.68	1.72	1.74	1.77	1.81	1.88
10	0.01	2.07	2.12	2.17	2.23	2.28	2.34	2.39	2.50	2.12	2.18	2.24	2.30	2.37	2.42	2.48	2.60
	0.02	2.09	2.16	2.23	2.30	2.38	2.45	2.52	2.66	2.03	2.08	2.12	2.17	2.22	2.26	2.31	2.40

表 5.1-14 环槽处的有效应力集中系数



系数 $\frac{D-d}{r}$		$\frac{r}{d}$	R_m/MPa							
			400	500	600	700	800	900	1000	1200
K_σ	1	0.01	1.88	1.93	1.98	2.04	2.09	2.15	2.20	2.31
		0.02	1.79	1.84	1.89	1.95	2.00	2.06	2.11	2.22
		0.03	1.72	1.77	1.82	1.87	1.92	1.97	2.02	2.12
		0.05	1.61	1.66	1.71	1.77	1.82	1.88	1.93	2.04
		0.10	1.44	1.48	1.52	1.55	1.59	1.62	1.66	1.73
	2	0.01	2.09	2.15	2.21	2.27	2.37	2.39	2.45	2.57
		0.02	1.99	2.05	2.11	2.17	2.23	2.28	2.35	2.49
		0.03	1.91	1.97	2.03	2.08	2.14	2.19	2.25	2.36
		0.05	1.79	1.85	1.91	1.97	2.03	2.09	2.15	2.27
	4	0.01	2.29	2.36	2.43	2.50	2.56	2.63	2.70	2.84
		0.02	2.18	2.25	2.32	2.38	2.45	2.51	2.58	2.71
		0.03	2.10	2.16	2.22	2.28	2.35	2.41	2.47	2.59
	6	0.01	2.38	2.47	2.56	2.64	2.73	2.81	2.90	3.07
		0.02	2.28	2.35	2.42	2.49	2.56	2.63	2.70	2.84
K_τ	任何比值	0.01	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.10	2.20	2.40
		0.02	1.51	1.60	1.69	1.77	1.86	1.94	2.03	2.20
		0.03	1.44	1.52	1.60	1.67	1.75	1.82	1.90	2.05
		0.05	1.34	1.40	1.46	1.52	1.57	1.63	1.69	1.81
		0.10	1.17	1.20	1.23	1.26	1.28	1.31	1.34	1.40

表 5.1-15 不同表面粗糙度的表面质量系数 β

加 工 方 法	轴表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	R_m/MPa		
		400	800	1200
磨 削	0.4 ~ 0.2	1	1	1
车 削	3.2 ~ 0.8	0.95	0.90	0.80
粗 车	25 ~ 6.3	0.85	0.80	0.65
未加工的表面		0.75	0.65	0.45

表 5.1-16 各种强化方法的表面质量系数 β

强 化 方 法	心 部 强 度 R_m/MPa	β		
		光 轴	低应力集中的轴 $K_\sigma \leq 1.5$	高应力集中的轴 $K_\sigma \geq 1.8 \sim 2$
高频感应加热淬火	600 ~ 800	1.5 ~ 1.7	1.6 ~ 1.7	2.4 ~ 2.8
	800 ~ 1000	1.3 ~ 1.5		
氮 化	900 ~ 1200	1.1 ~ 1.25	1.5 ~ 1.7	1.7 ~ 2.1
渗 碳	400 ~ 600	1.8 ~ 2.0	3	
	700 ~ 800	1.4 ~ 1.5	2	
	1000 ~ 1200	1.2 ~ 1.3		
喷 丸 硬 化	600 ~ 1500	1.1 ~ 1.25	1.5 ~ 1.6	1.7 ~ 2.1
滚 子 滚 压	600 ~ 1500	1.1 ~ 1.3	1.3 ~ 1.5	1.6 ~ 2.0

注：1. 高频感应加热淬火系根据直径为 10 ~ 20mm，淬硬层厚度为 (0.05 ~ 0.20) d 的试件实验求得的数据；对大尺寸的试件强化系数的值会有某些降低。

2. 渗氮层厚度为 0.01 d 时用小值；在 (0.03 ~ 0.04) d 时用大值。

3. 喷丸硬化系根据 8 ~ 40mm 的试件求得的数据。喷丸速度低时用小值；速度高时用大值。

4. 滚子滚压系根据 17 ~ 130mm 的试件求得的数据。

表 5.1-17 各种腐蚀情况的表面质量系数 β

工 作 条 件	抗拉强度 R_m/MPa										
	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
淡水中, 有应力集中	0.7	0.63	0.56	0.52	0.46	0.43	0.40	0.38	0.36	0.35	0.33
淡水中, 无应力集中	0.58	0.50	0.44	0.37	0.33	0.28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19
海水中, 有应力集中											
海水中, 无应力集中	0.37	0.30	0.26	0.23	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.12

表 5.1-18 表面有防腐层轴的表面质量系数 β

材 料	表面处理方法	表层厚度/ μm	腐蚀介质	试验应力循环数 N 及转速 $n/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	β
碳钢 ($w(\text{C}) = 0.3\% \sim 0.5\%$)	电镀铬或镍	5 ~ 15 15 ~ 30	3% (质量分数) NaCl 溶液	$N = 10^7$ $n = 1500$	0.25 ~ 0.45 0.8 ~ 0.95
	喷铝	50		$N = 2 \times 10^7, n = 2200$	0.8
	滚子滚压	—	淡水	$N = 10^7, n = 1500$	1
渗氮钢 ($R_m = 700 \sim 1200\text{MPa}$)	渗氮	—		$N = 10^7 \sim 10^8$	1.2 ~ 1.4

注: 1. 表中数据为小直径($d = 8 \sim 10\text{mm}$)试样的试验数据。

2. 电镀铬和镍的轴, 在空气中的疲劳极限将降低, $\beta = 0.65 \sim 0.9$ 。

表 5.1-19 绝对尺寸影响系数 ϵ_σ 、 ϵ_τ

直径 d / mm		>20 ~ 30	>30 ~ 40	>40 ~ 50	>50 ~ 60	>60 ~ 70	>70 ~ 80	>80 ~ 100	>100 ~ 120	>120 ~ 150	>150 ~ 500
ϵ_σ	碳 钢	0.91	0.88	0.84	0.81	0.78	0.75	0.73	0.70	0.68	0.60
	合金钢	0.83	0.77	0.73	0.70	0.68	0.66	0.64	0.62	0.60	0.54
ϵ_τ	各种钢	0.89	0.81	0.78	0.76	0.74	0.73	0.72	0.70	0.68	0.60

表 5.1-20 钢的 ψ_σ 及 ψ_τ 值

应力种类	系 数	表 面 状 态				
		抛光	磨光	车削	热轧	锻造
弯 曲	ψ_σ	0.50	0.43	0.34	0.215	0.14
拉 压	ψ_σ	0.41	0.36	0.30	0.18	0.10
扭 转	ψ_τ	0.33	0.29	0.21	0.11	

表 5.1-21 应力幅及平均应力计算公式

循环特性	应力名称	弯 曲 应 力	切 应 力
对称 循环	应力幅	$\sigma_a = \sigma_{\max} = \frac{M}{W}$	$\tau_a = \tau_{\max} = \frac{T}{W_p}$
	平均应力	$\sigma_m = 0$	$\tau_m = 0$
脉动 循环	应力幅	$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max}}{2} = \frac{M}{2W}$	$\tau_a = \frac{\tau_{\max}}{2} = \frac{T}{2W_p}$
	平均应力	$\sigma_m = \sigma_a$	$\tau_m = \tau_a$
说明	M 、 T —轴危险截面上的弯矩和转矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$) W 、 W_p —轴危险截面的抗弯和抗扭截面系数 (mm^3), 见表 5.1-23 表 5.1-25		

3.3.2 轴的静强度安全系数校核

轴的静强度校核的目的在于评定轴对塑性变形的抵抗能力。静强度校核的根据是轴上作用的最大瞬时载荷 (包括动载荷和冲击载荷)。对于没有特殊安全保护装置的传动, 其最大瞬时载荷可按电动机过载能力一倍来计算。危险截面的位置应是静应力较大的若干截面。

危险截面安全系数的校核计算公式为

$$S_s = \frac{S_{s\sigma} S_{s\tau}}{\sqrt{S_{s\sigma}^2 + S_{s\tau}^2}} \geq [S_s] \quad (5.1-4)$$

式中 $S_{s\sigma}$ ——只考虑弯曲时的安全系数;

$S_{s\tau}$ ——只考虑扭转时的安全系数,

$$S_{s\sigma} = \frac{\sigma_s}{\frac{M_{\max}}{W}} \quad S_{s\tau} = \frac{\tau_s}{\frac{T_{\max}}{W_p}}$$

R_{eL} 、 τ_s ——材料的拉伸和扭转屈服强度 (MPa);
通常可取 $\tau_s \approx (0.55 \sim 0.62) R_{eL}$;

$M_{\max}$ 、 $T_{\max}$ ——轴危险截面上的最大弯矩和最大转

矩 (N · mm) ;

[S_s]——静强度的许用安全系数,其值见表 5.1-22;

W、W_p——轴危险截面的抗弯和抗扭截面系数 (mm³),见表 5.1-23 ~ 表 5.1-25。

表 5.1-22 静强度许用安全系数

$R_{\text{ct.}}/R_m$	0.45 ~ 0.55	0.55 ~ 0.7	0.7 ~ 0.9	铸 件
[S _s]	1.2 ~ 1.5	1.4 ~ 1.8	1.7 ~ 2.2	1.6 ~ 2.5

注:当最大载荷只能近似求得时,表中的[S_s]值应增大 20% ~ 50%。

表 5.1-23 轴抗弯和抗扭截面系数计算公式

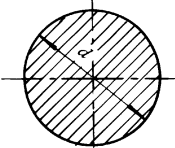
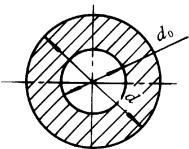
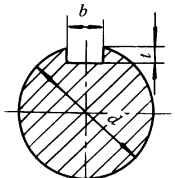
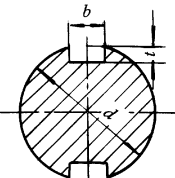
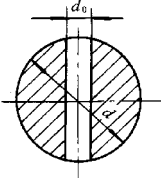
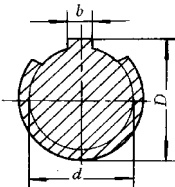
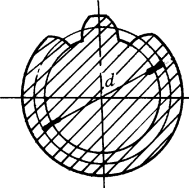
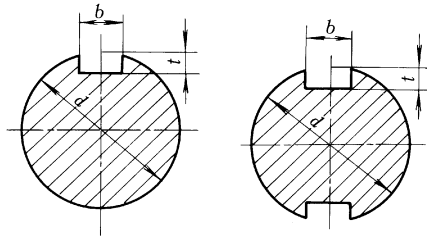
截 面 形 状	W	W _p
	$\frac{\pi d^3}{32} \approx 0.1 d^3$	$\frac{\pi d^3}{16} \approx 0.2 d^3$
	$\frac{\pi d^3}{32} (1 - \nu^4) \approx 0.1 d^3 (1 - \nu^4) \quad \left(\nu = \frac{d_0}{d} \right)$	$\frac{\pi d^3}{16} (1 - \nu^4) \approx 0.2 d^3 (1 - \nu^4)$
	$\frac{\pi d^3}{32} - \frac{bt(d-t)^2}{2d}$	$\frac{\pi d^3}{16} - \frac{bt(d-t)^2}{2d}$
	$\frac{\pi d^3}{32} - \frac{bt(d-t)^2}{d}$	$\frac{\pi d^3}{16} - \frac{bt(d-t)^2}{d}$
	$\frac{\pi d^3}{32} \left(1 - 1.54 \frac{d_0}{d} \right)$	$\frac{\pi d^3}{16} \left(1 - \frac{d_0}{d} \right)$
	$\frac{\pi d^4 + bz_n(D-d)(D+d)^2}{32D}$ (z _n —花键齿数)	$\frac{\pi d^4 + bz_n(D-d)(D+d)^2}{16D}$
	$\frac{\pi d^3}{32} \approx 0.1 d^3$	$\frac{\pi d^3}{16} \approx 0.2 d^3$

表 5.1-24 标准键槽处轴的截面系数及截面积

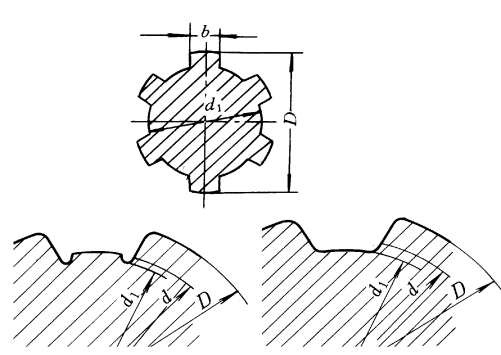


D /mm	$(b/\text{mm}) \times (h/\text{mm})$	单 键			双 键		
		W / cm^3	W_p / cm^3	A / cm^2	W / cm^3	W_p / cm^3	A / cm^2
20	6 × 6	0.643	1.43	2.93	0.5	0.28	2.72
21		0.756	1.66	3.25	0.603	1.51	3.04
22		0.889	1.92	3.59	0.719	1.78	3.38
24	8 × 7	1.06	2.42	4.20	0.825	2.13	3.88
25		1.25	2.79	4.59	0.97	2.5	4.27
26		1.43	3.15	4.99	1.13	2.85	4.67
28		1.83	3.98	5.84	1.49	3.65	5.52
30		2.29	4.94	6.75	1.93	4.58	6.43
32	10 × 8	2.65	5.86	7.54	2.08	5.30	7.04
34		3.24	7.14	8.58	2.62	6.48	8.08
35		3.57	7.78	9.12	2.93	7.14	8.62
38		4.67	10.05	10.8	3.95	9.34	10.3
40	12 × 8	5.36	11.65	12.0	4.45	10.72	11.4
42		6.30	13.57	13.3	5.32	12.59	12.7
45	14 × 9	7.61	16.56	15.1	6.29	15.23	14.4
48		9.41	20.27	17.3	7.97	18.82	16.6
50		10.75	23.02	18.9	9.22	21.5	18.1
52	16 × 10	11.85	25.66	20.3	9.90	23.7	19.3
55		14.24	30.58	22.8	12.14	28.48	21.8
58		16.92	36.08	25.5	14.69	33.84	24.5
60	18 × 11	18.26	39.47	27.0	15.31	36.52	25.8
65		23.72	50.67	31.9	20.44	47.44	30.7
70	20 × 12	29.5	63.18	37.0	25.32	58.98	35.5
75		36.87	78.3	42.7	32.32	73.74	41.2
80	22 × 14	44.85	94.32	48.3	37.78	89.7	46.3
85		53.67	114.05	54.8	46.98	107.32	52.8
90	25 × 14	63.4	134.9	61.4	55.08	126.7	59.1
95		75.44	159.63	68.6	66.7	150.87	66.4
100	28 × 16	87.89	168.09	75.7	77.6	175.76	72.9
105		101.65	215.32	83.8	89.68	203.3	81.0
110		118	248.7	92.2	105.3	236	89.4
115	32 × 18	132.8	282	100	116	265.6	96.8
120		152.3	322	110	135	304.5	106
130		196.5	412	129	177	393	126
140	36 × 20	244	514	150	219	488	145
150		304	635	172	276.6	608	168
160	40 × 22	367	769	196	332	734	191
170		444.7	927	222	407	889	217
180	45 × 25	521	1094	248	470	1042	241
190		619	1293	277	565	1238	270
200		728	1513	307	670	1455	301

注：表中键槽尺寸适用于 GB/T 1095—2003 平键。

表 5.1-25 矩形花键轴的截面系数及截

面积 ($W_p = 2W$)

				
公称尺寸/mm $z_n-D \times d \times b$	按 D 定 心		按 d 定 心	
	W /cm ³	A /cm ²	W /cm ³	A /cm ²
轻 系 列				
4—15 × 12 × 4	0.187	1.28	0.208	1.37
4—18 × 15 × 5	0.358	1.96	0.389	2.06
4—20 × 17 × 6	0.529	2.53	0.564	2.63
4—22 × 19 × 8	0.773	3.22	0.810	3.31
6—26 × 23 × 6	1.28	4.52	1.36	4.69
6—30 × 26 × 6	1.79	5.70	1.96	6.03
6—32 × 28 × 7	2.29	6.69	2.47	6.99
8—36 × 32 × 6	3.34	8.57	3.63	9.00
8—40 × 36 × 7	4.79	10.8	5.13	11.3
8—46 × 42 × 8	7.53	14.6	7.98	15.1
8—50 × 46 × 9	9.94	17.5	10.4	18.0
8—58 × 52 × 10	14.4	22.6	15.5	23.6
8—62 × 56 × 10	17.5	25.8	18.9	27.0
8—68 × 62 × 12	24.3	31.9	25.8	33.0
10—78 × 72 × 12	38.0	43.0	40.3	44.3
10—88 × 82 × 12	54.5	54.6	57.8	56.4
10—98 × 92 × 14	77.7	68.9	81.4	70.6
10—108 × 102 × 16	106	84.6	110	86.5
10—120 × 112 × 18	142	103	149	105
10—140 × 125 × 20	202	131	218	137
10—160 × 145 × 22	305	173	331	181
10—180 × 160 × 24	413	213	453	225
10—200 × 180 × 30	608	273	650	284
10—220 × 200 × 30	799	329	864	344
10—240 × 220 × 35	1080	401	1150	415
10—260 × 240 × 35	1360	468	1460	487
中 系 列				
6—16 × 13 × 3.5	0.253	1.54	0.278	1.64
6—20 × 16 × 4	0.462	2.31	0.516	2.49
6—22 × 18 × 5	0.681	2.97	0.741	3.14
6—25 × 21 × 5	0.976	3.81	1.08	4.06
6—28 × 23 × 6	1.37	4.75	1.50	5.05
6—32 × 26 × 6	1.86	5.88	2.11	6.39
6—34 × 28 × 7	2.41	6.95	2.66	7.41
8—38 × 32 × 6	3.47	8.85	3.87	9.48

(续)

公称尺寸/mm $z_n-D \times d \times b$	按 D 定 心		按 d 定 心	
	W /cm ³	A /cm ²	W /cm ³	A /cm ²
中 系 列				
8—42 × 36 × 7	4.94	11.1	5.44	11.8
8—48 × 42 × 8	7.66	14.9	8.39	15.7
8—54 × 46 × 9	10.4	18.3	11.4	19.5
8—60 × 52 × 10	14.7	23.0	16.1	24.4
8—65 × 56 × 10	17.8	26.4	19.9	28.2
8—72 × 62 × 12	25.1	33.0	27.6	35.0
10—82 × 72 × 12	39.6	44.4	43.0	46.7
10—92 × 82 × 12	54.9	55.5	60.5	58.8
10—102 × 92 × 14	78.5	70.1	85.1	73.4
10—112 × 102 × 16	108	86.4	115	89.7
10—125 × 112 × 18	145	105	156	110
重 系 列				
10—26 × 21 × 3	0.968	3.78	1.13	4.21
10—29 × 23 × 4	1.48	4.96	1.64	5.35
10—32 × 26 × 4	1.92	5.95	2.19	6.51
10—35 × 28 × 4	2.32	6.77	2.71	7.55
10—40 × 32 × 5	3.70	9.15	4.19	10.0
10—45 × 36 × 5	4.86	11.1	5.71	12.4
10—52 × 42 × 6	7.76	15.1	9.06	16.8
10—56 × 46 × 7	10.4	18.4	11.9	20.1
16—60 × 52 × 5	14.1	22.5	16.1	24.4
16—65 × 56 × 5	17.2	25.8	19.9	28.2
16—72 × 62 × 6	24.2	32.2	27.6	35.0
16—82 × 72 × 7	37.5	43.0	42.3	46.3
20—92 × 82 × 6	53.2	54.5	60.5	58.8
20—102 × 92 × 7	76.7	69.2	85.1	73.4
补 充 系 列				
6—35 × 30 × 10	3.27	8.36	3.40	8.56
6—38 × 33 × 10	4.10	9.76	4.30	10.0
6—40 × 35 × 10	4.77	10.8	5.00	11.1
6—42 × 36 × 10	5.20	11.5	5.55	11.9
6—45 × 40 × 12	7.10	14.0	7.39	14.3
6—48 × 42 × 12	8.28	15.6	8.64	16.0
6—50 × 45 × 12	9.61	17.2	10.0	17.7
6—55 × 50 × 14	13.2	21.2	13.7	21.7
6—60 × 54 × 14	16.4	24.6	17.3	25.4
6—65 × 58 × 16	20.9	28.9	21.9	29.7
6—70 × 62 × 16	25.1	32.8	26.7	34.0
6—75 × 65 × 16	28.7	36.1	31.2	37.9
6—80 × 70 × 20	37.9	43.1	40.0	44.4
6—90 × 80 × 20	53.2	54.2	56.7	56.2
10—30 × 26 × 4	1.81	5.72	2.01	6.11
10—32 × 28 × 5	2.40	6.84	2.58	7.15
10—35 × 30 × 5	2.92	7.83	3.21	8.31
10—38 × 33 × 6	4.00	9.61	4.30	10.0
10—40 × 35 × 6	4.63	10.6	5.00	11.1
10—42 × 36 × 6	5.06	11.3	5.55	11.9
10—45 × 40 × 7	6.85	13.7	7.34	14.3
16—38 × 33 × 3.5	3.80	9.32	4.22	9.95
16—50 × 43 × 5	8.91	16.3	9.74	17.3

3.4 轴的强度计算实例

例1 试设计带式运输机减速器的主动轴（图 5.1-10）。已知传递的功率 $P = 13\text{kW}$ ，转速 $n = 200\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，齿轮的齿宽 $B = 100\text{mm}$ ，齿数 $z = 40$ ，模数 $m_n = 5\text{mm}$ ，螺旋角 $\beta = 9^\circ 22'$ ，轴端装有联轴器。

解

1. 按转矩初步估算轴径和选择联轴器

选择轴的材料为 45 钢，经调质处理，由表 5.1-1 查得材料力学性能数据为

$$R_m = 650\text{MPa}$$

$$R_{eL} = 360\text{MPa}$$

$$\sigma_{-1} = 270\text{MPa}$$

$$\tau_{-1} = 155\text{MPa}$$

$$E = 2.15 \times 10^5\text{MPa}$$

根据表 5.1-5 公式初步计算轴径，由于材料为 45 钢，由表 5.1-6 选取 $A = 115$ ，则得

$$\begin{aligned} d_{\min} &= A \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \\ &= 115 \times \sqrt[3]{\frac{13}{200}} \text{mm} \\ &= 46.2\text{mm} \end{aligned}$$

考虑装联轴器加键，需将其轴径增加 4% ~ 5%，故取锥形轴伸的大端直径为 50mm。

考虑动载荷及过载，取联轴器工作情况系数 $K = 1.25$ （根据联轴器篇选取），则联轴器计算转矩

$$\begin{aligned} T_c &= KT = K \times 9550 \frac{P}{n} \\ &= 1.25 \times 9550 \times \frac{13}{200} \text{N} \cdot \text{m} \\ &= 775.93 \text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

根据工作要求选择弹性柱销联轴器。依轴径 $d = 50\text{mm}$ 和 T_c 选择联轴器的型号为：HL4 联轴器 $\frac{ZC50 \times 84}{YA50 \times 112}$ GB/T 5014—2003，允许最大转矩 $[T] = 1250 \text{N} \cdot \text{m}$

2. 轴的结构设计

如图 5.1-10a 所示，根据轴的受力，选取 6000 型滚动轴承。为便于轴承的装配，取装轴承处的直径 $d_1 = 55\text{mm}$ ，装齿轮处的轴径 $d_2 = 60\text{mm}$ ， $a = b = 80\text{mm}$ ， $c = 170\text{mm}$ ， $D_1 = 150\text{mm}$ 。初选滚动轴承 6311，其宽度 $B = 29\text{mm}$ ，根据结构要求取轴环宽度为 15mm。

3. 轴上受力分析

$$\text{轴传递的转矩 } T_1 = 9550 \frac{P}{n} = 9550 \times \frac{13}{200} \text{N} \cdot \text{m} =$$

$$620.75 \text{N} \cdot \text{m} = 620750 \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$\text{齿轮圆周力 } F_t = \frac{2T_1}{d_1} = \frac{2 \times 620750}{40 \times 5 / \cos 9^\circ 22'} \text{N} = 6124 \text{N}$$

$$\text{齿轮的径向力 } F_r = F_t \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} = 6124 \times \frac{0.364}{0.986} \text{N} =$$

$$2260 \text{N}$$

$$\text{齿轮的轴向力 } F_x = F_t \tan \beta = 6124 \times 0.164 \text{N} =$$

$$1004 \text{N}$$

联轴器因制造和安装误差所产生的附加圆周力 F_0 （方向不定）

$$\begin{aligned} F_0 &\approx 0.3 \frac{2T_1}{D_1} \\ &= 0.3 \times \frac{2 \times 620750}{150} \text{N} \\ &= 2483 \text{N} \end{aligned}$$

该轴受力简图见图 5.1-10b。

在水平平面内的支反力（图 5.1-10c）

由 $\sum M_A = 0$ 得

$$R_{Bz}(a+b) - F_r a + F_a \frac{d_1}{2} = 0$$

$$R_{Bz} = \frac{F_r a - F_a \frac{d_1}{2}}{a+b}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2260 \times 0.08 - 1004 \times \frac{0.202}{2}}{0.08 + 0.08} \text{N} \\ &= 496 \text{N} \end{aligned}$$

由 $\sum F_z = 0$ ，得 $R_{Az} = F_r - R_{Bz} = 2260 \text{N} - 496 \text{N} = 1764 \text{N}$

在垂直平面的支反力（图 5.1-10e），由图可知

$$\begin{aligned} R_{Ay} &= R_{By} = \frac{1}{2} F_t \\ &= \frac{6124}{2} \text{N} \\ &= 3062 \text{N} \end{aligned}$$

由于 F_0 的作用，在支点 A、B 处（图 5.1-10g）的支反力为

$$\text{由 } \sum M_B = 0 \text{ 得 } R_{A0}(a+b) - F_0 c = 0$$

$$\text{则 } R_{A0} = \frac{F_0 c}{a+b} = \frac{2483 \times 0.17}{0.08 + 0.08} \text{N} = 2638 \text{N}$$

$$\begin{aligned} R_{B0} &= F_0 + R_{A0} \\ &= 2483 \text{N} + 2638 \text{N} \\ &= 5121 \text{N} \end{aligned}$$

4. 弯矩图

由齿轮的作用力在水平平面的弯矩图（图 5.1-

10d), $M_{Dz} = R_{Az}a = 1764 \times 0.08 \text{ N} \cdot \text{m} = 141 \text{ N} \cdot \text{m}$;

$$\begin{aligned} M'_{Dz} &= M_{Dz} - F_a \frac{d_1}{2} \\ &= \left(141 - 1004 \times \frac{0.202}{2} \right) \text{ N} \cdot \text{m} \\ &= 40 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

由齿轮的作用力在垂直平面的弯矩图 (图 5.1-

10f), $M_{Dy} = R_{Ay}a = 3062 \times 0.08 \text{ N} \cdot \text{m} = 245 \text{ N} \cdot \text{m}$

由于齿轮作用力在 D 截面的最大合成弯矩

$$\begin{aligned} M'_D &= \sqrt{M_{Dz}^2 + M_{Dy}^2} \\ &= \sqrt{141^2 + 245^2} \text{ N} \cdot \text{m} \\ &= 282 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

由 F_0 的作用作出的弯矩图 (图 5.1-10h), $M_{B0} = F_0c = 2483 \times 0.17 \text{ N} \cdot \text{m} = 422 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。该弯矩图的作用平面不定, 但当其与上述合成弯矩图共面时是危险情况。这时其弯矩为二者之和, 如截面 D 的最大弯矩为

$$\begin{aligned} M_D &= M'_D + M_{D0} = (282 + 211) \text{ N} \cdot \text{m} \\ &= 493 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

5. 转矩图 (图 5.1-10i)

$$T_1 = 620.75 \text{ N} \cdot \text{m}$$

6. 确定危险截面并计算其安全系数

根据轴的结构尺寸及弯矩图、转矩图, 截面 B 处弯矩较大, 且有轴承配合引起的应力集中; 截面 E 处弯矩也较大, 直径较小, 又有圆角引起的应力集中; 截面 D 处弯矩最大, 且有齿轮配合与键槽引起的应力集中, 故属危险截面。下面以截面 D 为例进行其安全系数校核。

由于轴转动, 弯矩引起对称循环的弯曲应力, 其应力幅为

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \frac{M_D}{W} = \frac{493 \times 10^3}{18.26 \times 10^3} \text{ MPa} \\ &= 27 \text{ MPa} \end{aligned}$$

式中 W ——抗弯截面系数, 由表 5.1-24 查得

$$W = 18.26 \text{ cm}^3 = 18.26 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

弯曲正应力的平均应力 $\sigma_m = 0$

根据式 (5.1-2)

$$\begin{aligned} S_\sigma &= \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{\beta \varepsilon_\sigma} \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} \\ &= \frac{270}{\frac{2.62}{0.92 \times 0.81} \times 27 + 0} \\ &= 2.84 \end{aligned}$$

式中 σ_{-1} ——材料在对称循环应力时试件的弯曲疲

劳极限, 由表 5.1-1 查得 $\sigma_{-1} = 270 \text{ MPa}$;

K_σ ——正应力的有效应力集中系数, 由表 5.1-12 按键查得 $K_\sigma = 1.82$; 按配合查得 $K_\sigma = 2.62$, 此处取 $K_\sigma = 2.62$;

β ——表面质量系数, 轴经车削加工, 由表 5.1-15 查得 $\beta = 0.92$;

ε_σ ——尺寸系数, 由表 5.1-19 查得 $\varepsilon_\sigma = 0.81$ 。

转矩 $T_1 = 620.75 \text{ N} \cdot \text{m}$, 考虑到轴上作用的转矩总是有些变动, 故单向传递转矩的轴的切应力一般视为脉动循环应力。

$$\begin{aligned} \tau_m &= \tau_a = \frac{T_1}{2W_p} \\ &= \frac{620.75 \times 10^3}{2 \times 39.47 \times 10^3} \text{ MPa} \\ &= 7.86 \text{ MPa} \end{aligned}$$

式中 W_p ——抗扭截面系数, 由表 5.1-24 查得

$$W_p = 39.47 \text{ cm}^3 = 39.47 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

根据式 (5.1-3)

$$\begin{aligned} S_\tau &= \frac{\tau_{-1}}{\frac{K_\tau}{\beta \varepsilon_\tau} \tau_a + \psi_\tau \tau_m} \\ &= \frac{155}{\frac{1.88}{0.92 \times 0.76} \times 7.86 + 0.21 \times 7.86} \\ &= 6.80 \end{aligned}$$

式中 τ_{-1} ——材料在对称循环应力时试件的扭转疲劳极限, 由表 5.1-1 查得 $\tau_{-1} = 155 \text{ MPa}$;

ψ_τ ——平均应力折算系数, 由表 5.1-20 查得 $\psi_\tau = 0.21$;

K_τ ——切应力的有效应力集中系数, 由表 5.1-12, 按键查得 $K_\tau = 1.61$; 按配合查得 $K_\tau = 1.88$, 此处取 $K_\tau = 1.88$;

β 的取值同正应力情况。

ε_τ ——尺寸系数, 由表 5.1-19 查得 $\varepsilon_\tau = 0.76$ 。

按式 (5.1-1)

$$\begin{aligned} S &= \frac{S_\sigma S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} \\ &= \frac{2.84 \times 6.80}{\sqrt{2.84^2 + 6.80^2}} \\ &= 2.62 \end{aligned}$$

由表 5.1-11 可知, $[S] = 1.3 \sim 2.5$

故 $S > [S]$, 该轴 D 截面是安全的。

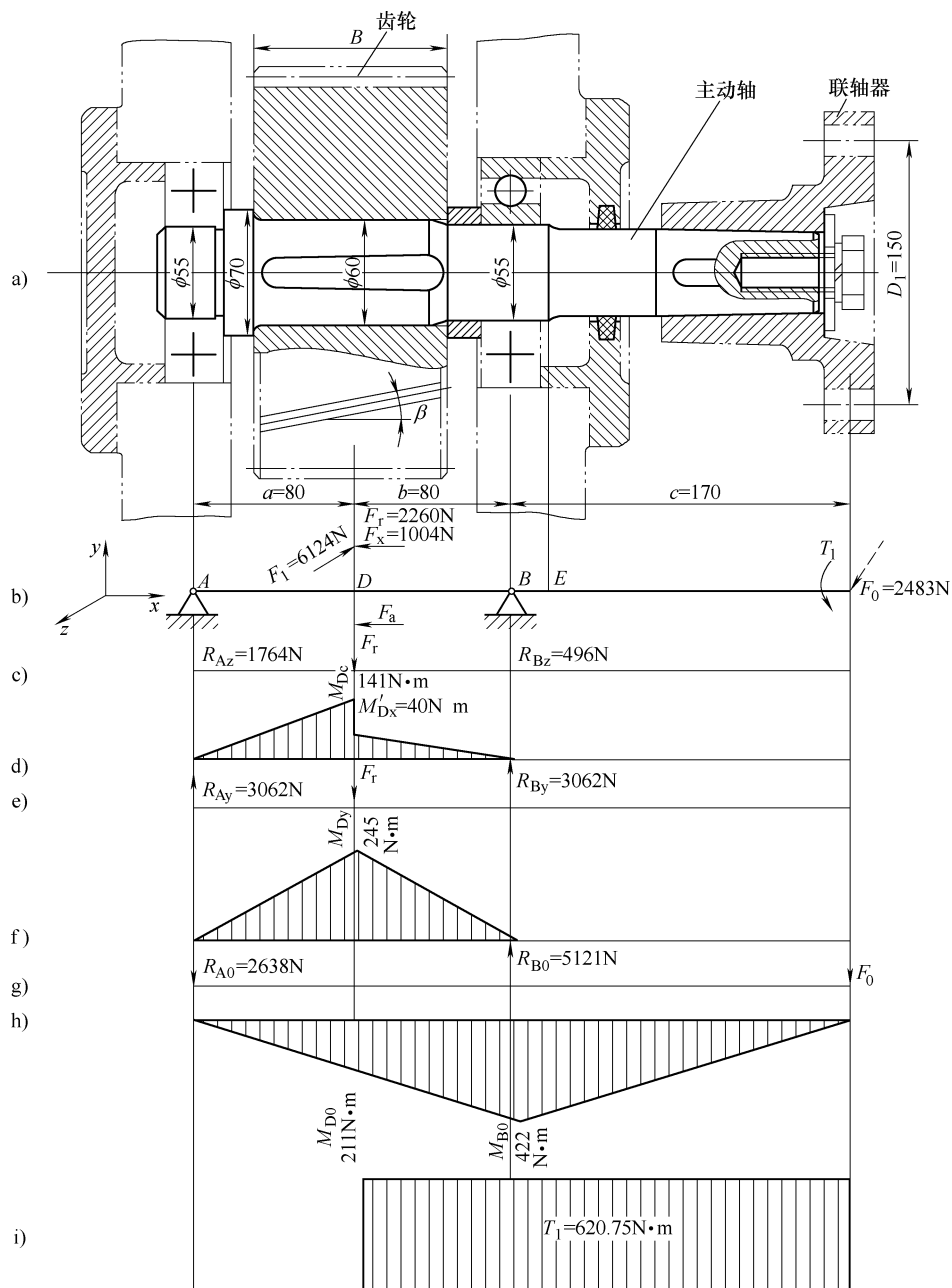


图 5.1-10 轴的载荷分布图

4 轴的刚度校核

轴的刚度分为弯曲刚度和扭转刚度，前者以挠度 y 和偏转角 θ 来度量，后者以扭转角 φ 来度量。

一般机械制造业中，轴的变形许用值见表 5.1-26。

4.1 轴的弯曲刚度校核

轴在载荷作用下若产生过大的弯曲变形，会影

响轴上零件的正常工作。例如，安装齿轮的轴，如轴的弯曲刚度不足而产生过大的挠度 y 和偏转角 θ ，会使齿轮轮齿啮合发生偏载。在电动机中，轴的过大挠度 y 会改变电动机转子与定子间的间隙，使电动机性能恶化。在滑动轴承中运转的轴颈，轴的偏转角 θ 过大，会使轴承与轴颈发生边缘接触，加剧磨损和导致胶合。对于用滚动轴承支承的轴，偏转角 θ 会使轴承内、外套圈互相倾斜，如偏转角超过

滚动轴承的允许转角,就显著降低滚动轴承的使用寿命。

表 5.1-26 轴的变形许用值

变 形	名 称	变形许用值
弯 曲 变 形	一般用途轴	$[y] = (0.0003 \sim 0.0005)L$
	刚度要求高的轴	$[y] = 0.0002L$
	安装齿轮的轴	$[y] = (0.01 \sim 0.03)m_n$
	安装蜗轮的轴	$[y] = (0.02 \sim 0.05)m_t$
	感应电动机轴	$[y] \leq 0.1\delta$
	滑动轴承处	$[\theta] = 0.001 \text{ rad}$
	深沟球轴承处	$[\theta] = 0.005 \text{ rad}$
	调心球轴承处	$[\theta] = 0.05 \text{ rad}$
	圆柱滚子轴承处	$[\theta] = 0.0025 \text{ rad}$
	圆锥滚子轴承处	$[\theta] = 0.0016 \text{ rad}$
扭 转 变 形	安装齿轮处	$[\theta] = (0.001 \sim 0.002) \text{ rad}$
	一般轴	$[\varphi] = 0.5^\circ \sim 1^\circ/\text{m}$
	精密传动轴	$[\varphi] = 0.25^\circ \sim 0.5^\circ/\text{m}$
	精度要求不高传动轴	$[\varphi] \geq 1^\circ/\text{m}$
	重型机床走刀轴	$[\varphi] = 5'/\text{m}$
说 明	起重机械传动轴	$[\varphi] = 15' \sim 20'/\text{m}$
	L —支承间跨距; δ —电动机定子与转子间的气隙; m_n —齿轮齿面模数; m_t —蜗轮端面模数	

要精确计算出轴的弯曲变形是比较困难的,由于轴承间隙、箱体刚度、配合在轴上的零件的刚度,以及轴的局部削弱等都影响到轴的变形。因此,在计算中要进行不同程度的简化。

轴的弯曲变形计算,可采用材料力学的图解法、当量直径法或能量法。图解法比较适用于求轴上多点变形量或整根轴的挠度曲线;当量直径法是把阶梯轴当作直径为 d_m 的等直径轴来计算,只适用于对各段直径相差很小的阶梯轴的近似计算;当只需比较精确地计算轴上某几个特定点的变形或利用计算机时,可用能量法。

4.1.1 能量法

用能量法计算轴的弯曲变形时,需先绘出轴的外形图和弯矩 M 图(图 5.1-11a、b),如果需计算 A 处的挠度 y_A ,则在 A 处加一单位力 $F_i = 1\text{N}$,单位力的方向与变形方向相同,并绘出其弯矩 M' 图,如图 5.1-11c 所示。若要计算 B 处的偏转角 θ_B ,则在 B 处加一个与变形方向相同的单位弯矩 $M_i = 1\text{N} \cdot \text{mm}$,并绘制出其弯矩 (M') 图(图 5.1-11d)。然后按 M 、 M' 及截面的连续性把轴分为若干段,如图 5.1-11c、d 所示,则变形量

$$\Delta_i = \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl \quad (5.1-5)$$

式中 Δ_i ——计算变形处的变形量(挠度 y 或转角 θ)(mm 或 rad);

M ——轴所受弯矩($\text{N} \cdot \text{mm}$);

M' ——在计算变形处加单位力 $F_i = 1\text{N}$ 或单位力矩 $M_i = 1\text{N} \cdot \text{mm}$ 时轴上引起的弯矩($\text{N} \cdot \text{mm}$);

E ——材料弹性模量,对于钢, $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$;

I ——截面惯性矩(mm^4);

l_i ——各轴段的长度(mm)。

各种轴段的积分值 $\int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$ 列于表 5.1-27 中。

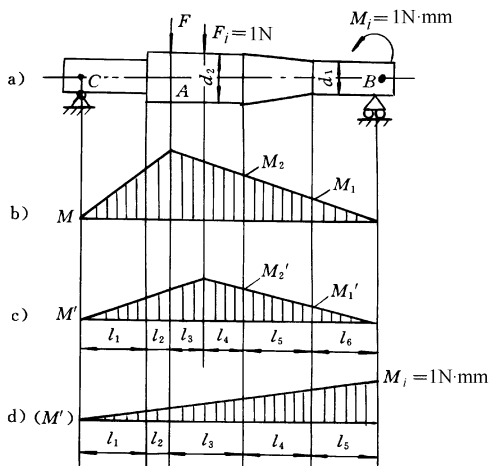


图 5.1-11 能量法计算轴变形简图

如果轴上各载荷不在同一平面内,可把这些载荷分解成为互相垂直的两个平面内的分力,分别算出在这两个平面内各截面处的 y 及 θ ,然后用矢量法求出合成挠度和合成偏转角。

4.1.2 当量直径法

把不等直径的阶梯轴,连同安装的零件,当成直径为 d_m 的等直径轴计算。其计算公式为

$$d_m = \sqrt[4]{\frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{d_i^4}}} \quad (5.1-6)$$

式中 l_i ——阶梯轴 i 段的长度;

d_i ——阶梯轴 i 段的直径;

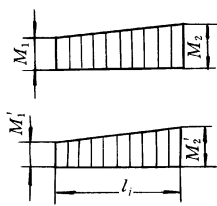
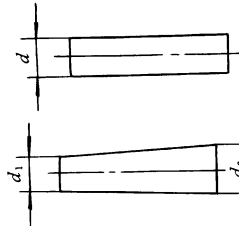
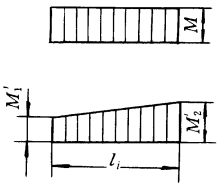
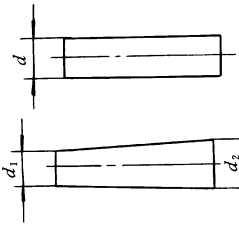
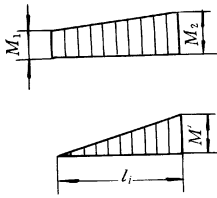
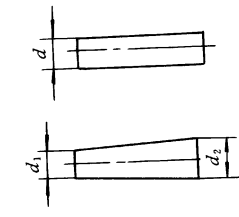
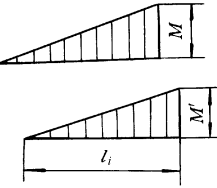
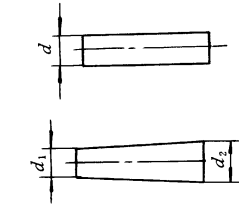
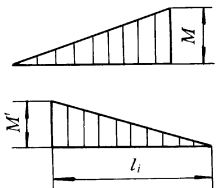
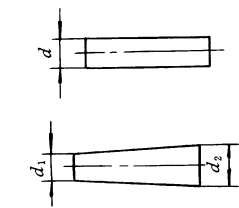
L ——两支承之间的长度;

当载荷作用于两支承之间时, $L = l$;

当载荷作用于悬臂端时, $L = l + K$,

K 为轴的悬臂长度。

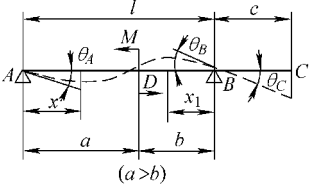
表 5.1-27 积分值 $\int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$

变矩图	轴段形状	$\int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$
		$\frac{l_i}{0.294Ed^4} [M_1 (2M'_1 + M'_2) + M_2 (2M'_2 + M'_1)]$
		$\frac{l_i}{0.294Ed_1^3d_2^3} [2d_2^2M_1M'_1 + d_1d_2 (M_1M'_2 + M'_1M_2) + 2d_1^2M'_2M_2]$
		$\frac{l_i}{0.098Ed^4} (M'_1 + M'_2) M$
		$\frac{l_i}{0.294Ed_1^3d_2^3} M [2d_2^2M'_1 + d_1d_2 (M'_1 + M'_2) + 2d_1^2M'_2]$
		$\frac{l_i}{0.294Ed^4} M' (M_1 + 2M_2)$
		$\frac{l_i}{0.294Ed_1^2d_2^3} (d_2M_1M' + 2d_1M_2M')$
		$\frac{l_i}{0.147Ed^4} MM'$
		$\frac{l_i}{0.147Ed_1d_2^3} MM'$
		$\frac{l_i}{0.294Ed^4} MM'$
		$\frac{l_i}{0.294Ed_1^2d_2^2} MM'$

注：1. 如 M 和 M' 的方向相反，则其中一个取“+”，另一个取“-”。

2. 如轴段为空心圆柱形，则表中的 d^4 要用 $(d^4 - d_0^4)$ 代替。

(续)

梁的类型及载荷简图	偏转角 θ/rad	挠度 y/mm
	$\theta_A = -\frac{Ml}{6 \times 10^4 d^4} \left[1 - 3 \left(\frac{b}{l} \right)^2 \right]$ $\theta_B = -\frac{Ml}{6 \times 10^4 d^4} \left[1 - 3 \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right]$ $\theta_C = \theta_B$ $\theta_D = \frac{Ml}{3 \times 10^4 d^4} \left[1 - 3 \left(\frac{a}{l} \right) + 3 \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right]$ $\theta_x = -\frac{Ml}{6 \times 10^4 d^4} \left[1 - 3 \left(\frac{b}{l} \right)^2 - 3 \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right]$ (在 A—D 段) $\theta_{x1} = -\frac{Ml}{6 \times 10^4 d^4} \left[1 - 3 \left(\frac{a}{l} \right)^2 - 3 \left(\frac{x_1}{l} \right)^2 \right]$ (在 B—D 段)	$y_C = \theta_B c$ $y_x = -\frac{Mlx}{6 \times 10^4 d^4} \left[1 - 3 \left(\frac{b}{l} \right)^2 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right]$ (在 A—D 段) $y_{x1} = \frac{Mlx_1}{6 \times 10^4 d^4} \left[1 - 3 \left(\frac{a}{l} \right)^2 - \left(\frac{x_1}{l} \right)^2 \right]$ (在 B—D 段) $y_D = -\frac{Mab}{3 \times 10^4 d^4} \left(1 - 2 \frac{b}{l} \right)$ $y_{\max}^* = -\frac{Ml^2}{9 \sqrt{3} \times 10^4 d^4} \left[1 - 3 \left(\frac{b}{l} \right)^2 \right]^{3/2}$ $\approx 0.384 l \theta_A \sqrt{1 - 3 \left(\frac{b}{l} \right)^2}$ (在 $x = \sqrt{\frac{l^2 - 3b^2}{3}} \approx 0.577 \sqrt{l^2 - 3b^2}$ 处)

- 注：1. 如果实际作用载荷的方向与图示相反，则公式中的正负号应相应改变。
2. 表中公式适用于弹性模量 $E = 206 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。
3. 标有“*”的 $y_{\max}$ 计算公式适用于 $a > b$ 的场合， $y_{\max}$ 产生在 A—D 段。当 $a < b$ 时， $y_{\max}$ 产生在 B—D 段，计算时应将式中的 b 换成 a ， x 换成 x_1 ， θ_A 换成 θ_B 。

4.2 轴的扭转刚度校核

轴的扭转刚度校核就是计算轴在工作时的扭转变形量。对于一般机器中的轴，扭转刚度并不是主要考虑的因素。但在某些类型机器中，轴的过大扭转变形会影响机器的性能和工作精度。例如，内燃机凸轮轴的扭转角 φ 如过大，会影响气门的正确启闭时间；龙门式起重机运行部分传动轴的扭转角过大会影响驱动轮的同步性；对于有发生扭转振动危险的轴以及操纵系统中的轴都必须具有较大的扭转

刚度。

对于圆形轴扭转角 φ 的简化计算公式见表 5.1-29。

对于实心圆形钢轴每米长度扭转角的校核计算公式为

$$\varphi = \frac{T}{138.5 d^4} \leq [\varphi] \quad (5.1-7)$$

满足此刚度要求的轴直径可由下式求得

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{T}{138.5 [\varphi]}} \quad (5.1-8)$$

表 5.1-29 圆轴扭转角 φ 的简化计算公式

轴的种类		公 式	说 明
光 轴	实心轴	$\varphi = 584 \frac{Tl}{Gd^4}$	T —轴传递的转矩 (N·mm) l —轴受转矩作用的长度 (mm) d —轴的外直径 (mm) d_0 —空心轴的内直径 (mm) G —材料的切变模量 (MPa) 对钢 $G = 8.1 \times 10^8 \text{ MPa}$ T_i, l_i, d_i, d_{0i} —分别代表阶梯轴第 i 段上所传递的转矩、长度、内、外直径
	空心轴	$\varphi = 584 \frac{Tl}{G(d^4 - d_0^4)}$	
阶梯轴	实心轴	$\varphi = \frac{584}{G} \sum_{i=1}^n \frac{T_i l_i}{d_i^4}$	
	空心轴	$\varphi = \frac{584}{G} \sum_{i=1}^n \frac{T_i l_i}{(d_i^4 - d_{0i}^4)}$	

4.3 轴的刚度计算实例

例1 轴的结构简图及其有关尺寸如图 5.1-13 所示,其中图 a 为结构简图,图 b 及图 c 分别为该轴在水平和垂直两个平面中的受力简图。轴的材料为 45 钢, $E = 2.15 \times 10^5 \text{ MPa}$, 试计算轴上截面 N 处的挠度 y_N 及支承 B 处的偏转角 θ_B , 齿轮模数 $m = 2 \text{ mm}$ 。

解 用能量法计算

1) 根据轴受力情况求出支反力之后(见图 5.1-13b、c),画出轴在水平和垂直两个平面中的弯矩 M_{xz} 及 M_{yz} 图,见图 5.1-13d、e。

2) 在截面 N 处加单位力 $F_i = 1 \text{ N}$,画弯矩 M' 图,见图 5.1-13f。

3) 在支承 B 处加单位力矩 $M_i = 1 \text{ N} \cdot \text{mm}$,画弯矩 M' 图,见图 5.1-13g。

4) 计算 y_N

① 计算水平平面中的挠度 $y_{N_{xz}}$ 。取矩形花键处的轴径为 $d_1 = d_8 = (25 + 22) / 2 = 23.5 \text{ mm}$ 。按图 5.1-13a、d、f 的数值及表 5.1-27 的相应算式,计算各轴段和累计挠度,计算结果列于 $y_{N_{xz}}$ 的计算表中。

② 计算垂直平面中的挠度 $y_{N_{yz}}$ 。

按图 5.1-13a、e、f 的数值及表 5.1-27 的相应算式计算,结果列于 $y_{N_{yz}}$ 的计算表中。

③ 计算合成挠度 y_N

$$\begin{aligned} y_N &= \sqrt{y_{N_{xz}}^2 + y_{N_{yz}}^2} \\ &= \sqrt{176.3^2 + 84.95^2} \times 10^{-4} \text{ mm} \\ &= 0.0196 \text{ mm} \end{aligned}$$

5) 计算 θ_B

① 水平平面中的偏转角 $\theta_{B_{xz}}$ 的计算,按图 5.1-13a、d、g 的数值及表 5.1-27 的相应算式进行计算,结果列于 $\theta_{B_{xz}}$ 的计算表中。

② 垂直平面中的偏转角 $\theta_{B_{yz}}$ 的计算,按图 5.1-13a、e、g 的数值及表 5.1-27 的相应公式计算,结果列于 $\theta_{B_{yz}}$ 的计算表中。

③ 计算合成偏转角 θ_B

$$\begin{aligned} \theta_B &= \sqrt{\theta_{B_{xz}}^2 + \theta_{B_{yz}}^2} = \sqrt{14.57^2 + 9.43^2} \times 10^{-5} \text{ rad} \\ &= 17.36 \times 10^{-5} \text{ rad} = 0.000174 \text{ rad} \end{aligned}$$

6) 许用变形值的计算

根据轴的变形许用值表 5.1-26 规定:安装齿轮轴的许用挠度 $[y] \leq (0.01 \sim 0.03) m_n = (0.01 \sim 0.03) \times 2 = 0.02 \sim 0.06 \text{ mm}$ 。

由表 5.1-26 查得,安装圆锥滚子轴承处,

$$[\theta] \leq 0.0016 \text{ rad}$$

该例中的轴计算结果:

$$y_N = 0.0196 \text{ mm} < [y] = 0.02 \sim 0.06 \text{ mm}$$

$$\theta_B = 0.000174 \text{ rad} < [\theta] = 0.0016 \text{ rad}$$

所以,实际变形 y_N 、 θ_B 均小于许用值,故轴的刚度完全满足要求。

$y_{N_{xz}}$ 的计算表

轴 段	$\int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$	计算结果 /mm
l_1	$\frac{11}{0.147 \times 2.15 \times 10^5 \times 23.5^4} \times 19800 \times 11$	2.49×10^{-4}
l_2	$\frac{41}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 30^4} [19800 \times (2 \times 11 + 52) + 93600 \times (2 \times 52 + 11)]$	97.9×10^{-4}
l_3	$\frac{3}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 30^4} [93600 \times (2 \times 52 + 50.2) + 88900 \times (2 \times 50.2 + 52)]$	16.4×10^{-4}
l_4	$\frac{76}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 35^4} [88900 \times (2 \times 50.2 + 1.9) + (-30600) \times (2 \times 1.9 + 50.2)]$	59.6×10^{-4}
l_5	$\frac{3}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 30^4} \times 1.9 [2 \times (-30600) + (-35300)]$	-0.107×10^{-4}
l_6, l_7, l_8	$M' = 0$	0
累 计	$y_{N_{xz}} = \Delta_i = \sum_{i=1}^8 \int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$	176.3×10^{-4}

y_{Nyz} 的计算表

轴 段	$\int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$	计算结果 /mm
l_1	$\frac{11}{0.147 \times 2.15 \times 10^5 \times 23.5^4} \times 7250 \times 11$	0.91×10^{-4}
l_2	$\frac{41}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 30^4} [7250 \times (2 \times 11 + 52) + 34300 \times (2 \times 52 + 11)]$	35.9×10^{-4}
l_3	$\frac{3}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 30^4} [34300 \times (2 \times 52 + 50.2) + 34200 \times (2 \times 50.2 + 52)]$	6.15×10^{-4}
l_4	$\frac{76}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 35^4} [34200 \times (2 \times 50.2 + 1.9) + 32000 \times (2 \times 1.9 + 50.2)]$	41.88×10^{-4}
l_5	$\frac{3}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 30^4} \times 1.9 \times (2 \times 31900 + 32000)$	0.107×10^{-4}
l_6, l_7, l_8	$M' = 0$	0
累 计	$y_{Nyz} = \Delta_i = \sum_{i=1}^8 \int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$	84.95×10^{-4}

 θ_{Bxz} 的计算表

轴 段	$\int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$	计算结果 /rad
l_1, l_2	$M' = 0$	0
l_3	$\frac{3}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 30^4} [93600 \times (2 \times 1 + 0.963) + 88900 \times (2 \times 0.963 + 1)]$	3.15×10^{-5}
l_4	$\frac{76}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 35^4} [88900 \times (2 \times 0.963 + 0.037) + (-30600) \times (2 \times 0.037 + 0.0963)]$	11.44×10^{-5}
l_5	$\frac{3}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 30^4} \times 0.037 \times [2 \times (-30600) + (-35300)]$	-0.021×10^{-5}
l_6, l_7, l_8	$M' = 0$	0
累 计	$\theta_{Bxz} = \Delta_i = \sum_{i=1}^8 \int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$	14.57×10^{-5}

 θ_{Byz} 的计算表

轴 段	$\int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$	计算结果 /rad
l_1, l_2	$M' = 0$	0
l_3	$\frac{3}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 30^4} [34300 \times (2 \times 1 + 0.963) + 34200 \times (2 \times 0.963 + 1)]$	1.18×10^{-5}
l_4	$\frac{76}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 35^4} [34200 \times (2 \times 0.963 + 0.037) + 32000 \times (2 \times 0.037 + 0.0963)]$	8.04×10^{-5}
l_5	$\frac{3}{0.294 \times 2.15 \times 10^5 \times 30^4} \times 0.037 \times (2 \times 32000 + 31900)$	0.021×10^{-5}
l_6, l_7, l_8	$M' = 0$	0
累 计	$\theta_{Byz} = \Delta_i = \sum_{i=1}^8 \int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$	9.43×10^{-5}

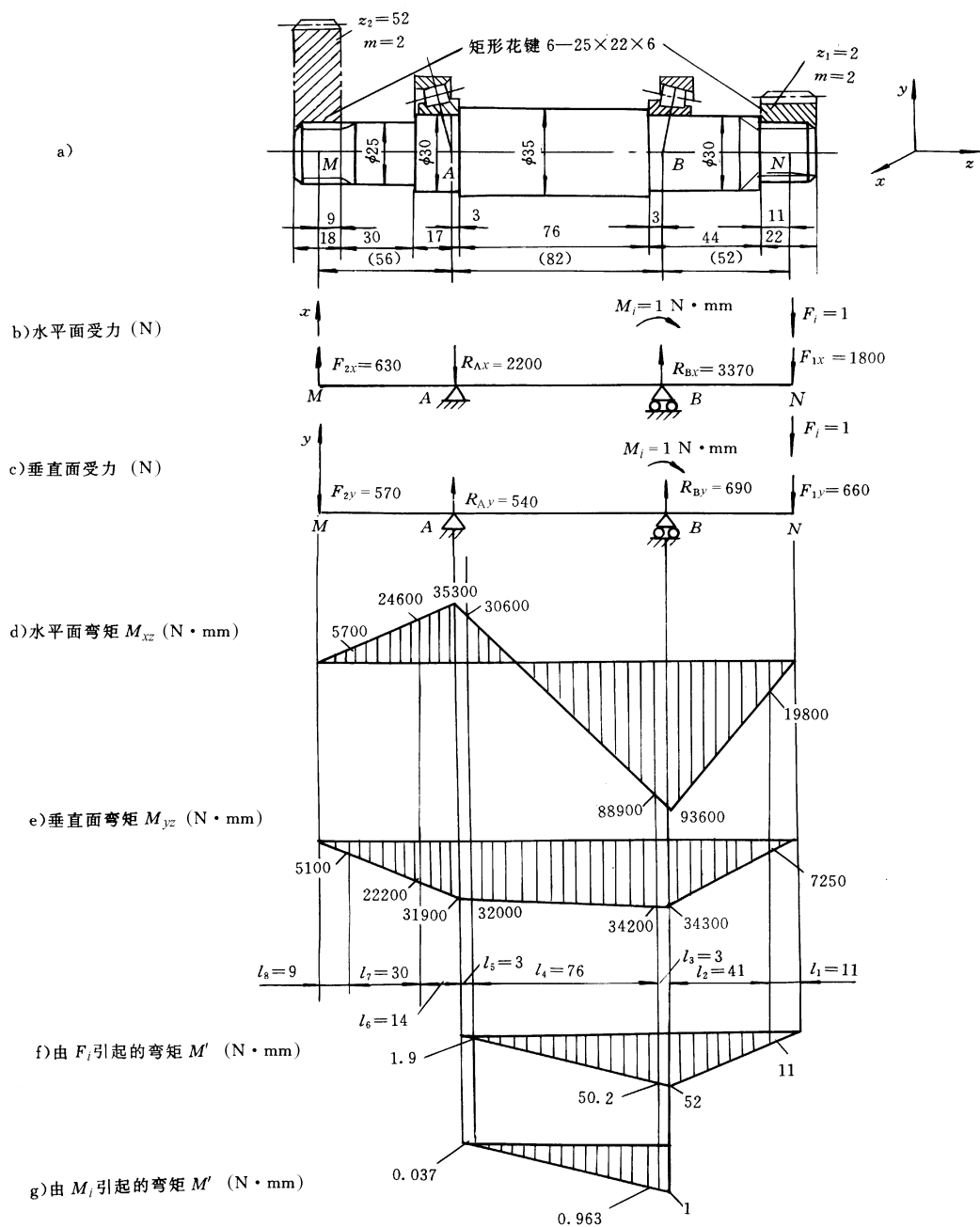


图 5.1-13 轴的变形计算用图

5 钢丝软轴

钢丝软轴主要用于两个传动零件的轴线不在同一直线上,或工作时彼此要求有相对运动的空间传动。也适合于受连续振动的场合以缓和冲击。它主要应用在:可移式机械化工具、主轴可调位的机床、混凝土振动器、砂轮机、医疗器械、里程表、遥控仪等传动中。

软轴安装简便、结构紧凑、工作适应性较强。适用于高转速、小转矩场合。当转速低、转矩大时,从动端的转速往往不均匀,扭转刚度也不易保证。

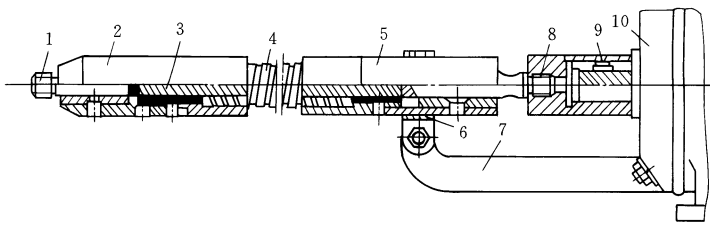
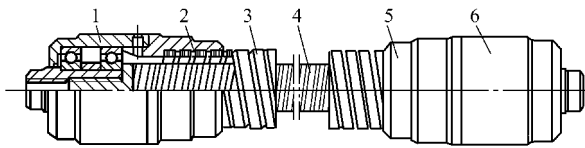
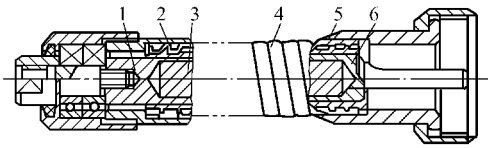
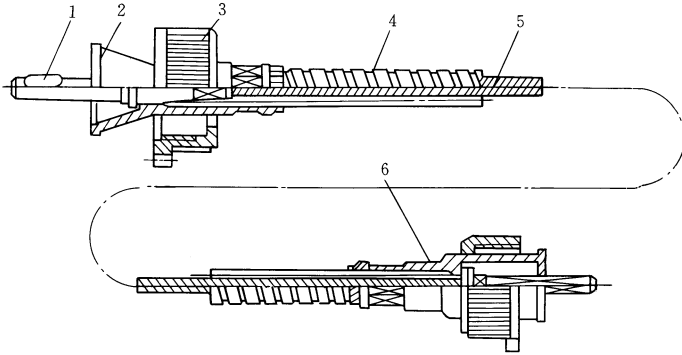
软轴传递功率范围一般不超过 5.5kW,转速可达 $20000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

5.1 软轴的结构形式和规格

软轴通常由钢丝软轴、软管、软轴接头和软管

接头等几部分组成。按照用途不同，软轴又分功率型（G型）和控制型（K型）两种。功率型软轴一般有防逆转装置，以保证单向传动。表 5.1-30 是 G 型和 K 型软轴的常用结构型式。

表 5.1-30 常用软轴的结构型式

类型	结 构	特 点
功率型 (动力传动用) 软轴	 1, 8—软轴接头 2, 5—软管接头 3—钢丝软轴 4—软管 6—卡箍 7—托架 9—联轴器 10—电动机	钢丝软轴接头端部为固定式（螺纹连接），软管接头内带滑动轴套（一般用青铜轴套）
	 1, 6—软轴接头 2, 5—软管接头 3—软管 4—钢丝软轴	钢丝软轴接头端部为固定式（螺纹连接），软管接头内带有滚动轴承
	 1, 6—软轴接头 2, 5—软管接头 3—钢丝软轴 4—软管	钢丝软轴接头端部，一端为固定式，另一端为滑动式，软管接头内带有滚动轴承
控制型 (控制仪器传动用) 软轴	 1—软轴接头 2, 6—软管接头 3—连接螺母 4—软管 5—钢丝软轴	钢丝软轴接头端部为滑动式，软管接头为锻压连接（用于解放牌汽车里程表）

5.1.1 钢丝软轴的结构与规格

钢丝软轴的结构如图 5.1-14 所示。它是由几层弹簧钢丝紧绕在一起而成，而每一层又用若干根钢丝卷绕而成。相邻钢丝层的缠绕方向相反。外层钢丝比内层钢丝要选得粗些。当传递转矩时，相邻两层钢丝中的一层趋于绕紧，另一层趋于旋松，使各层钢丝相互压紧。轴的旋转方向，应使表层钢丝趋于绕紧为合理。

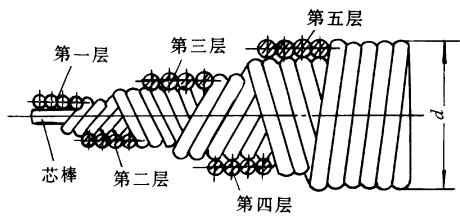


图 5.1-14 钢丝软轴的结构

钢丝软轴按表层钢丝缠绕方向分为左旋和右旋。一般常用左旋，如需要可制成右旋。

功率型钢丝软轴外层钢丝直径较大，层数较少，有的还不带芯棒，因而耐磨性和挠性都较好。

控制型钢丝软轴都有芯棒，钢丝层数和每层钢丝的根数较多，钢丝直径较小，扭转刚度较大。

常用钢丝软轴的规格尺寸见表 5.1-31 ~ 表 5.1-33。

表 5.1-31 钢丝软轴规格尺寸

公称直径 /mm	5	6	8	10	12	13	16	19
理论质量 /kg · m ⁻¹	0.12	0.18	0.32	0.50	0.72	0.85	1.28	1.81
最大转矩 /N · m	14	21	30	38	48	50	61	74
最小弯曲 半径/mm	120	140	160	180	190	200	230	280

注：上海公利振动器厂产品规格。

表 5.1-32 钢丝软轴技术规格

公称直径 /mm	8	10	12	13	16	20	25	30	40
最小弯曲 半径 /mm	160	180	190	200	230	280	350	400	600
最大转矩 /N · m	30	38	46	50	61	76	96	115	153
最大轴向 拉力/N	920	2000	2700	3000	4000	5200	6700	8200	11200

注：沈阳市金属软管软管厂产品规格，还可根据用户需要生产系列外各种规格软轴，长度按需而定。

表 5.1-33 常用软轴的尺寸规格 (mm)

型号	公称 直径	允许 偏差	端头允 许偏差	轴芯 直径	每层钢丝头数 × 钢丝直径							
					1	2	3	4	5	6	7	8
G 型 动 力 传 动 用	10	±0.10	+0.4	1.2	4 × 0.8	4 × 1.0	4 × 1.2	5 × 1.4				
	12	±0.15	+0.6	1.2	4 × 0.8	4 × 0.8	4 × 1.0	5 × 1.3	5 × 1.5			
	13	±0.15	+0.6	1.2	4 × 0.8	4 × 1.0	4 × 1.2	5 × 1.3	5 × 1.6			
	16	±0.15	+0.7	1.6	4 × 1.0	4 × 1.2	4 × 1.4	5 × 1.6	5 × 2.0			
	20	±0.20	+1.0	1.6	4 × 1.0	4 × 1.2	4 × 1.4	5 × 1.6	6 × 1.8	6 × 2.2		
	25	±0.5	+1.5	1.6	4 × 1.0	4 × 1.2	4 × 1.4	5 × 1.6	6 × 1.8	6 × 2.2	6 × 2.6	
	30	±1.0	+2.5	1.8	4 × 1.0	4 × 1.4	5 × 1.8	5 × 2.0	6 × 2.4	6 × 2.6	6 × 3.0	
	40	±1.5	+3.0	2.0	4 × 1.2	5 × 1.6	5 × 2.0	6 × 2.4	6 × 2.6	6 × 2.8	6 × 3.0	6 × 3.5
K 型 控 制 传 动 用	4	±0.2	+0.4	0.6	4 × 0.3	6 × 0.3	8 × 0.3	8 × 0.4	10 × 0.4			
	5	±0.2	+0.4	0.6	4 × 0.3	6 × 0.3	6 × 0.3	8 × 0.4	10 × 0.4	10 × 0.4		
	6	±0.25	+0.5	0.6	4 × 0.4	6 × 0.4	6 × 0.4	8 × 0.5	8 × 0.5	10 × 0.5		
	6.5	±0.25	+0.5	0.7	4 × 0.4	6 × 0.4	6 × 0.4	8 × 0.5	8 × 0.5	10 × 0.6		
	8	±0.3	+0.6	0.8	4 × 0.4	6 × 0.4	6 × 0.4	8 × 0.5	8 × 0.6	10 × 0.6		

注：沈阳振捣器厂软轴产品规格，长度可按需要订购。

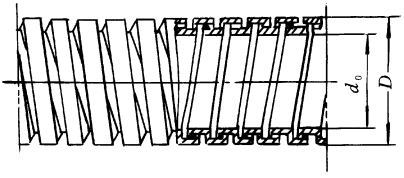
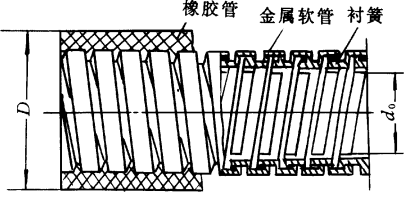
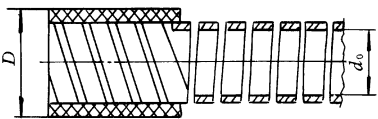
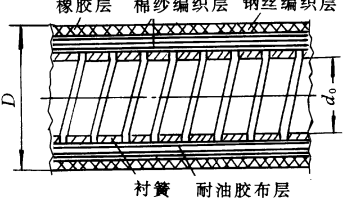
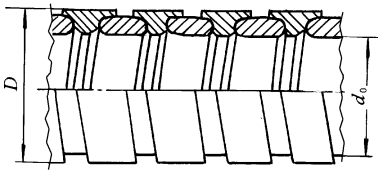
5.1.2 软管的结构与规格

传动时软管不随软轴转动。软管的作用是保护钢丝软轴，以免与外界机件接触，并保存润滑剂和防止尘垢侵入；工作时软管还起支承作用，使软轴

便于操作。

软管尺寸的选择取决于软轴直径。一般软管的内径较软轴外径大 20% ~ 30%，常用软管结构型式和选配尺寸见表 5.1-34。

表 5.1-34 常用软管的结构形式与规格尺寸

类型	结 构 简 图	软管主要尺寸/mm				特 点
		软管直径 d	软管内径 d_0	软管外径 D	最小弯曲半 径 $R_{\min}$	
金属软管		13 16 19	20 ± 0.5 25 ± 0.5 32 ± 0.5	25 ± 0.5 32 ± 0.5 38 ± 0.5	270 300 375	由镀锌的低碳钢带卷成, 钢带镶口内填以石棉或棉纱绳。结构较简单, 重量轻, 外径小, 但强度和耐磨性较差
橡胶金属软管		13	19 ± 0.5 21 ± 0.5	36^{+1}_0 40^{+1}_0	300 325	在上一种软管内衬以衬簧, 外面包上橡胶保护层。耐磨性及密封性均较上一种好
衬簧橡胶软管		8 10 13 16	$14^{+0.5}_0$ $16^{+0.5}_0$ $20^{+0.5}_0$ $24^{+0.5}_0$	22^{+1}_0 30^{+1}_0 36^{+1}_0 40^{+1}_0	225 320 360 400	在橡胶管内衬以衬簧, 比上一种结构简单。混凝土振动器多用此种软管
衬簧编织软管		13	$20^{+0.5}_0$	36^{+1}_0	360	衬簧由弹簧钢带卷成, 外面依次包上耐油胶布层、棉纱、钢丝编织层和耐磨橡胶。强度、挠性、耐磨性、密封性均较好
小金属软管		3.3 5	5.5 ± 0.1 8 ± 0.2	8 ± 0.1 10.5 ± 0.2	150 175	由两层成型钢带卷成, 挠性较好, 密封性较差 用于控制型软轴

注：由于目前尚未有软管统一标准，各厂家生产的规格尺寸不尽相同，设计选用时应以各厂的产品样本为准。表中所列仅是部分产品规格。

5.1.3 软轴的接头及连接

软轴接头用以连接动力输出轴及工作部件。其连接方式分固定式和滑动式两种。固定式多用于软轴较短，或工作中弯曲半径变化不大的场合。当软轴工作时弯曲半径变化较大时，允许软轴在软管内有较大的

窜动，以补偿软管弯曲时的长度变化。但弯曲半径不能过小，以防止接头滑出。常用软轴接头结构形式见表 5.1-35。常用软轴接头与轴端连接方式见表 5.1-36。为便于软轴拆卸检查和润滑，应使软轴接头一端的外径小于软管和软管接头的内直径。

表 5.1-35 常用软轴接头结构形式

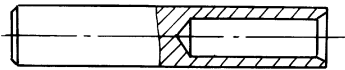
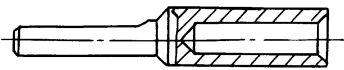
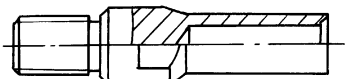
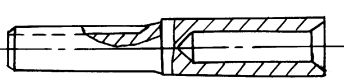
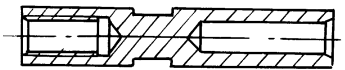
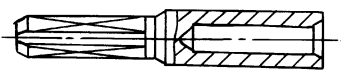
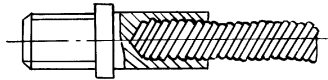
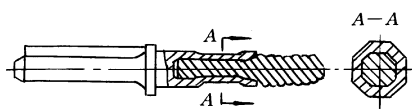
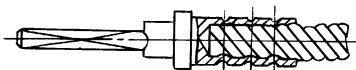
形式	结 构 简 图	特 点	形式	结 构 简 图	特 点
固 定 式		用紧定螺钉连接，装拆方便	滑 动 式		用鸭舌形插头连接，制造容易，装拆方便
		用螺纹连接，简单可靠，装拆较费时			用键连接，能传递较大转矩
		用内螺纹连接，简单可靠，装拆较费时			用方形插头连接，制造容易，装拆方便

表 5.1-36 常用软轴接头与轴端连接方式

方式	结 构 简 图	特 点
焊 接		接头用锡焊可重复使用，但费工费料，使用渐少
镦 压		工艺简单，应用广泛
滚 压		工艺简单，应用广泛

5.1.4 软管的接头及连接

软管接头是连接传动装置及工作部件的机体，有时也是软轴接头的轴承座。其连接方式分固定式

和滑动式两种。软管与软管接头常用的连接方式见表 5.1-37。

表 5.1-37 常用软管接头形式及连接方式

方式	结构简图	特点	方式	结构简图	特点
焊		用锡焊, 用于金属软管与接头的连接	滚		工艺简单, 用于有橡胶保护层的软管与接头的连接
固定式		工艺简单, 用于金属软管与接头的连接	压		
锥套连接		装拆较方便, 但结构较复杂。用于有橡胶保护层的软管与接头的连接	滑动式		软管接头为伸缩套式, 用于钢丝软轴两端均为固定式连接的场合

5.1.5 防逆转装置

软轴的防逆转装置, 可采用各种超越离合器。

图 5.1-15 所示为广东某厂生产的 S3SRD150 多速软轴砂轮机所采用的防逆转装置。

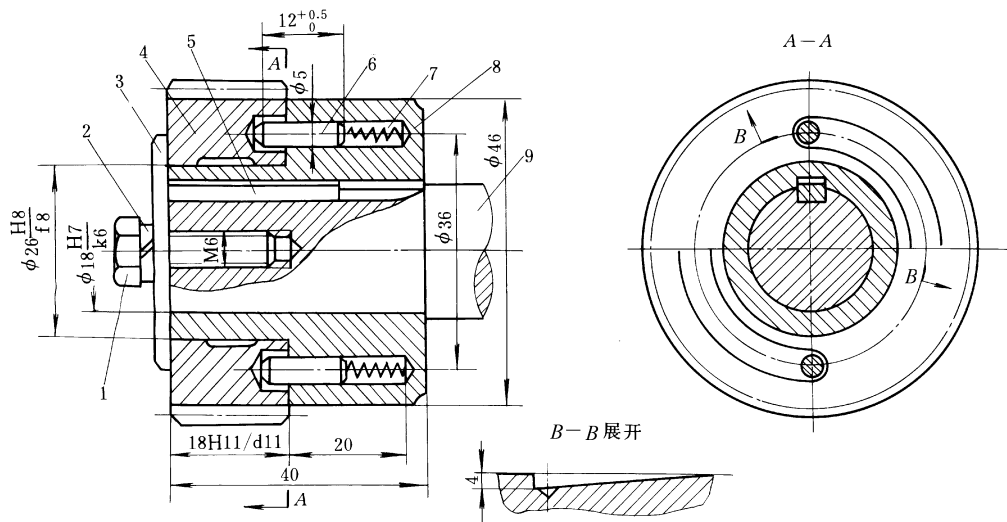


图 5.1-15 防逆转装置

1—螺钉 2—弹簧垫圈 3—垫圈 4—齿轮 5—键 6—传动销 7—弹簧 8—传动盘 9—电动机主轴

5.2 软轴的选择和使用

5.2.1 软轴的选择

软轴尺寸应根据所需传递的转矩、转速、旋转方向、工作中的弯曲半径，以及传递距离等使用要求选择。

低于额定转速时，软轴按恒转矩传递动力；高于额定转速时，按恒功率传递动力。软轴在额定转速下所能传递的最大转矩列于表 5.1-38。

软轴直径按下式可从表 5.1-38 中选定

$$T_0 \geq T \frac{k_1 k_2 k_3 n}{\eta n_0}$$

式中 T_0 ——软轴能传递的最大转矩 (N·cm)；
 n_0 ——额定转速，即与表 5.1-38 中 T_0 相应的转速 (r·min⁻¹)；
 T ——软轴从动端所需传递的转矩 (N·cm)；

n ——软轴的工作转速 (r·min⁻¹)，当 $n < n_0$ 时，用 n_0 代入；
 k_1 ——过载系数；当短时最大转矩小于软轴无弯曲时所能传递的最大转矩时， $k_1 = 1$ ；当大于此值时， k_1 可取与此值的比值；
 k_2 ——软轴转向系数；当旋转时，软轴外层钢丝趋于绕紧， $k_2 = 1$ ；如趋于旋松，则 $k_2 \approx 1.5$ ；
 k_3 ——软轴支承情况系数；当钢丝软轴在软管内，其支承跨距与软轴直径之比小于 50 时， $k_3 \approx 1$ ；当比值大于 150 时， $k_3 \approx 1.25$ ；
 η ——软轴传动的效率，通常 $\eta = 1 \sim 0.7$ ；当软轴无弯曲工作时， $\eta = 1$ ，弯曲半径越小，弯曲段越多， η 值越近下限。

表 5.1-38 软轴在额定转速 n_0 时能传递的最大转矩 T_0

软轴直径 /mm	无弯曲时	工作中弯曲半径/mm									额定转速 n_0 /r·min ⁻¹	最高转速 $n_{\max}$ /r·min ⁻¹
		1000	750	600	450	350	250	200	150	120		
	$T_0/\text{N} \cdot \text{cm}$											
6	150	140	130	120	100	80	60	50	40	30	3200	13000
8	240	220	200	180	160	140	120	90	60	—	2500	10000
10	400	360	330	300	260	230	190	150	—	—	2100	8000
13	700	600	520	460	400	340	280	—	—	—	1750	6000
16	1300	1200	1000	800	600	450	—	—	—	—	1350	4000
19	2000	1700	1400	1100	800	550	—	—	—	—	1150	3000
25	3300	2600	1900	1300	900	—	—	—	—	—	950	2000
30	5000	3800	2500	1650	1000	—	—	—	—	—	800	1600

5.2.2 软轴使用时的注意事项

软轴通常用在传动系统中转速较高的一级，并使其工作转速尽可能接近额定转速。传动的长度，一般是几米到十几米，如果要求更长时，建议只在弯曲处采用软轴。

在使用软轴时的注意事项：

- 1) 钢丝软轴必须定期涂润滑脂。润滑脂品种按工作温度选择。软管应定期清洗。
- 2) 切勿把控制型软轴与功率型软轴相互替

- 代。
- 3) 在运输和安装过程中，不得使软轴的弯曲半径小于允许最小半径（一般为钢丝软轴直径的 15 ~ 20 倍）。运转时应尽可能使软管夹定位置，并使其在靠近接头部分伸直。
- 4) 钢丝软轴和软管要分别与接头牢固连接。当工作中弯曲半径变化较大时，应使钢丝软轴或软管的接头有一端可以滑动，以补偿软轴弯曲时的长度变化。

第2章 滑动轴承

1 概述

1.1 滑动轴承的特点和分类

轴承分两大类：滚动轴承和滑动轴承。滚动轴承有很多优点，一般宜优先选用滚动轴承。但滑动轴承也有某些独到之处，如普通滑动轴承构造简单，制造方便，成本低；在高速时滑动轴承比滚动轴承寿命长，运转平稳，对冲击和振动敏感性小等。这些优点使滑动轴承在高速、高精度、重载、强冲击、轴承结构需要剖分，或低速轻载以及不重要的场合比滚动轴承显得优越。例如机床主轴轴承，大型汽轮机轴承，内燃机曲轴的轴承，轧机轴承，铁路车辆轴承以及简单机构的支承等方面广泛应用滑动轴

承。

根据润滑情况滑动轴承分为液体摩擦轴承和非液体摩擦轴承两大类。液体摩擦轴承又分为液体动压轴承、液体静压轴承和液体动静压轴承。凡是本身具备形成动压条件的，应尽量采用动压轴承；只靠本身条件形不成动压油膜，而又要求在液体摩擦条件下工作时，可采用静压轴承。

转速低或作间歇回转，本身形不成液体摩擦的轴承属于非液体摩擦轴承。精度要求不高和不甚重要的轴承，也没有必要设计成液体摩擦轴承。动压轴承在启动、停车和供油不充分时，也将处于非液体摩擦状态下工作。通用设备中大量应用的还是非液体摩擦轴承。

滑动轴承的主要分类见表 5.2-1。

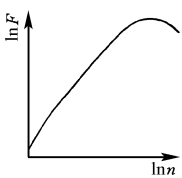
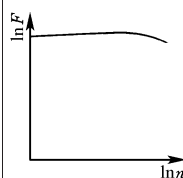
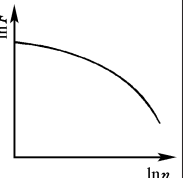
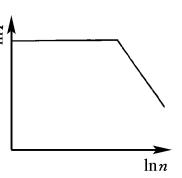
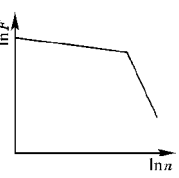
表 5.2-1 滑动轴承的主要分类

分类方法	类别	说 明
按载荷方向分	径向轴承	受径向力，载荷方向与轴中心线垂直
	推力轴承	受轴向力，载荷方向与轴中心线平行
	径向-推力轴承	同时受径向和轴向力，如圆锥轴承、球面轴承等
按摩擦状态分	液体摩擦轴承	滑动面完全被油膜分开，摩擦只有在液体分子间产生的轴承称为液体摩擦轴承
	非液体摩擦轴承	滑动表面不能完全被油膜分开的轴承
	干摩擦轴承	滑动面间没有油存在的称为干摩擦轴承，用石墨、二硫化钼、酞青颜料等粉末作为润滑剂的称为固体润滑轴承；用聚四氟乙烯、聚酰胺等本身有润滑作用的材料制造的轴承称自润滑轴承
按载荷大小分	轻载轴承	压力在 1MPa 以下
	中载轴承	压力在 1 ~ 10MPa
	重载轴承	压力大于 10MPa
按速度分	低速轴承	圆周速度在 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下
	中速轴承	圆周速度在 $5 \sim 60\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
	高速轴承	圆周速度大于 $60\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

1.2 滑动轴承的类型选择

1.2.1 滑动轴承性能比较（见表 5.2-2）

表 5.2-2 各类轴承的性能比较

轴承性能		轴承类型				滚动轴承
		动压轴承	静压轴承	含油轴承	固体摩擦轴承	
承载特性						
运 转 性 能	阻尼	中 ~ 大	大	较小	最小	最小
	起动转矩	中 ~ 大	最小	大	最大	小
	功耗	小 ~ 大, 与润滑剂粘度、转速成正比	最小 ~ 中, 与润滑剂粘度、转速成正比, 另有泵功耗	较大, 与载荷有较大关系	最大, 与轴瓦或润滑膜材料有较大关系	较小
	旋转精度	高	最高	中	低	高
	运转噪声	轴承本身很小, 但还有泵噪声		很小	稳定载荷下较小	小 ~ 中
	寿命	决定于起动次数	寿命极长	决定于轴瓦材料的耐磨性		决定于疲劳磨损
环 境 适 应 性 能	高温	决定于润滑剂的抗氧化能力或轴瓦材料		决定于润滑剂的抗氧化能力	决定于轴瓦材料	决定于轴承材料
	低温	决定于起动转矩			决定于轴瓦材料	决定于润滑剂
	真空	可以, 但要用特殊润滑剂			最好	可以, 但要用特殊润滑剂
	潮湿	好		可以, 注意密封	可以, 轴颈和轴瓦材料须耐腐蚀	可以, 注意密封
	尘埃	可以, 注意润滑系统密封和过滤	好, 注意润滑系统密封和过滤	可以, 注意密封	好, 密封更好	可以, 需仔细密封
	辐射	受润滑剂限制			好	受润滑剂限制
运 动 适 应 性 能	频繁起动	差	好			
	频繁改向	差	好	可以	很好	
	摆动	不可以	可以			
制 造 维 护 性 能	对制造安装误差的敏感性	很敏感	敏感	不敏感		敏感
	标准化程度	较差	最差	好	较好	最好
	润滑	循环润滑, 润滑剂用量多, 润滑装置复杂	循环润滑, 润滑剂用量最多, 润滑装置复杂	润滑装置简单, 用油量少	无需润滑	大多数润滑装置简单, 用油量有限
	维护	经常检查, 定期清洗润滑系统和更换润滑剂		定期补充润滑油	无需维护	定期清洗并更换润滑剂
经济性		制造成本高, 运转成本决定于润滑系统		成本较低	成本最低	成本低

注：不充分供油轴承的性能差异较大，当油膜面积较大时，它的性能接近动压轴承。

1.2.2 滑动轴承类型选择的特性曲线

几种主要径向滑动轴承在给定轴颈直径下, 宽径比为1时的极限承载能力与极限转速特性曲线如图5.2-1所示, 可供选择径向滑动轴承类型时参考。对动压轴承, 按中等粘度润滑油进行计算; 对混合润滑轴承和无润滑轴承及固体润滑轴承, 按磨损寿命为 10^4 h计算。同时标示疲劳寿命为 10^4 h的滚动轴承的相应曲线, 以便比较。

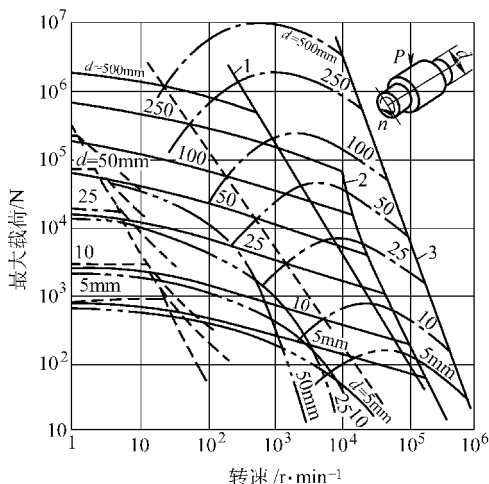


图 5.2-1 各类径向滑动轴承的适用区域

——滚动轴承 ---无润滑轴承
 ---粉末冶金含油轴承 ---液体动压轴承
 1—普通滚动轴承的极限转速

2—特殊球轴承的极限转速 3—实心轴断裂极限

注: 液体动压轴承 $B/D=1$, 中等粘度矿物油;
 其他轴承寿命为 10 000h。

几种推力轴承在给定轴颈直径等条件下极限承载能力与极限转速关系如图 5.2-2 所示。

不同润滑状态的滑动轴承适用范围如图 5.2-3。

2 非液体摩擦滑动轴承

2.1 径向轴承

2.1.1 结构型式的选用

径向滑动轴承按其结构分为两种: 整体式滑动轴承和对开式滑动轴承。在机器装拆允许条件下, 可采用整体式滑动轴承; 当机器装拆有困难时, 可采用对开式滑动轴承。

当采用对开式滑动轴承时, 要根据径向载荷方向来选定正滑动轴承 (图 5.2-4) 或斜滑动轴承 (图 5.2-5)。在正常工作情况下, 轴承所受径向载荷方向应该在垂直于分合面的轴承中心线左右 35° 的范

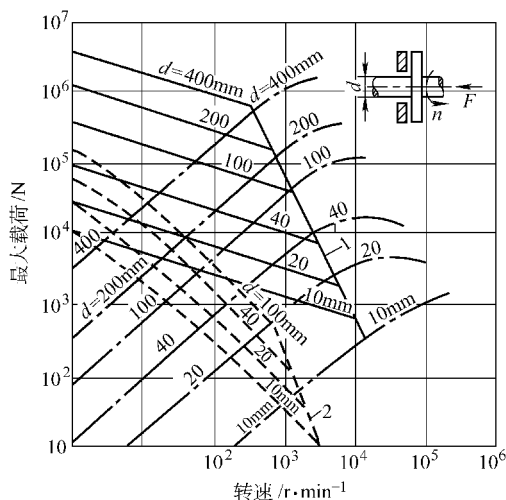


图 5.2-2 各类推力滑动轴承的适用区域

——滚动轴承 ---液体动压轴承

---无润滑轴承和粉末冶金含油轴承

1—普通滚动轴承的极限转速

2—无润滑轴承和粉末冶金含油轴承的极限转速

注: 轴承内、外径比为 1/2 (滚动轴承除外); 中等粘度矿物油; 其他轴承寿命为 10 000h。

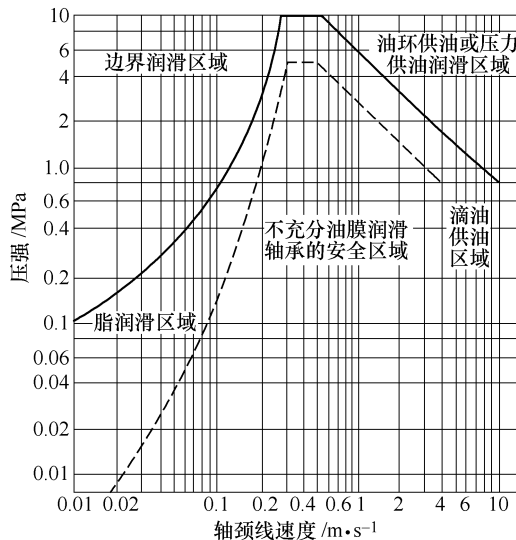


图 5.2-3 不同润滑状态的滑动轴承适用范围

围内, 如图 5.2-4 及图 5.2-5 中阴影部分所示。

2.1.2 轴颈与轴瓦的配合

荐用 $\frac{H7}{f6}; \frac{H8}{f7}; \frac{H8}{f8}; \frac{H9}{f9}$

2.1.3 轴承的验算

(1) 压强 p 的验算 间歇工作的轴承, 当其转动的延续时间小于或等于停歇时间, 以及轴颈速度

$v \leq 0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的轴承仅按压力 p 来计算。

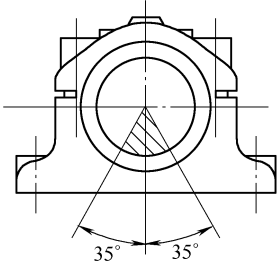


图 5.2-4 对开式正滑动轴承

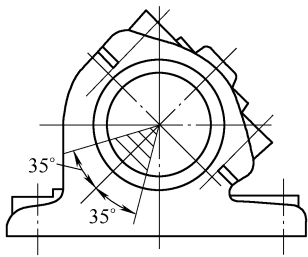


图 5.2-5 对开式斜滑动轴承

$$p_{\max} = \frac{F_{\max}}{dB} \leq [p] \quad \text{MPa} \quad (5.2-1)$$

式中 $F_{\max}$ ——轴承所受的最大径向载荷 (N)
 d ——轴颈直径 (mm)
 B ——轴承宽度 (mm)
 $[p]$ ——许用压力 (MPa), 见表 5.2-3、表 5.2-4。

(2) pv 值的验算

$$pv = \frac{Fn}{19100B} \leq [pv] \quad \text{MPa} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (5.2-2)$$

式中 F ——轴承所受的平均径向载荷 (N)
 n ——轴与轴瓦的相对转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)
 $[pv]$ ——许用 pv 值 ($\text{MPa} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), 见表 5.2-3、表 5.2-4。

(3) 滑动速度 v 的验算

$$v = \frac{\pi dn}{60 \times 1000} \leq [v] \quad (5.2-3)$$

式中 $[v]$ ——许用滑动速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), 见表 5.2-3、表 5.2-4。

表 5.2-3 常用金属轴承材料的性能和许用值

名称	代 号	许用值 ^①			最高 工作 温度 /℃	硬度 ^② HBW	性能比较 ^③				备 注
		$[p]$ /MPa	$[v]$ /m·s ⁻¹	$[pv]$ /MPa·m·s ⁻¹			抗咬 合性	^④ 顺嵌 应藏 性性	耐蚀 性	耐疲 性	
锡基轴承合金	ZSnSb12Pb10Cu4	平稳载荷			150	20 ~ 30 (150)	1	1	1	5	用于高速、重载下工 作的重要轴承。变载 下易疲劳。价贵
	ZSnSb11Cu6	25(40)	80	20(100)							
	ZSnSb8Cu4	冲击载荷									
	ZSnSb4Cu4	20	60	15							
铅基轴承合金	ZPbSb16Sn16Cu2	12	12	10(50)	150	15 ~ 30 (150)	1	1	3	5	用于中速、中载荷轴 承。不宜受显著冲击。 可作为锡基轴承合金 的代用品
	ZPbSb15Sn5Cu	5	8	5							
	ZPbSb15Sn10	20	15	15							
铸造铜合金	CuSn10P	15	10	15(25)	280	50 ~ 100 (200)	5	3	1	1	用于中速、重载及 受变载的轴承 用于中速、中载轴 承
	CuPb5Sn5Zn5	8	3	15							
	CuPb10Sn10	25	12	30(90)	280	40 ~ 280 (300)	3	4	4	2	用于高速、重载轴 承,能承受变载和冲 击载荷
	CuPb30										
	CuAl10Fe5Ni5	15(30)	4(10)	12(60)	280	100 ~ 120 (200)	5	5	5	2	最宜用于润滑充分 的低速重载轴承

(续)

名称	代 号	许用值 ^①			最高工作温度 /℃	硬度 ^② HBW	性能比较 ^③				备 注
		[<i>p</i>] /MPa	[<i>v</i>] /m·s ⁻¹	[<i>p</i> <i>v</i>] /MPa·m·s ⁻¹			抗咬合性	④ 顺嵌 应藏 性性	耐腐 蚀	耐疲 劳	
黄铜	ZCuZn38Mn2Pb2 ZCuZn16Si4	10 12	1 2	10 10	200	80~150 (200)	3	5	1	1	用于低速中载轴承,耐蚀、耐热
铝基轴承合金	20 高锡铝合金 铝硅合金	28~35	14		140	45~50 (300)	4	3	1	2	用于高速中载的变载荷轴承
三元电镀合金	如铝-硅-锡镀层	14~35			170	(200~300)	1	2	2	2	在钢背上镀铅锡青铜作中间层,再镀10~30μm三元减摩层。疲劳强度高,应急性、嵌藏性好
银	银-钢镀层	28~35			180	(300~400)	2	3	1	1	在钢背上镀银,上附薄层铅,再镀钢。常用于飞机发动机、柴油机轴承
铸铁	HT150、HT200 HT250	2~4	0.5~1	1~4	150	160~180 (200~250)	4	5	1	1	用于低速轻载的不重要轴承,价廉

- ① 括号内的数值为极限值,其余为一般值(润滑良好)。对于液体动压轴承,限制 [*p**v*] 值没有意义(因其与散热等条件关系很大)。
- ② 括号外的数值为合金硬度,括号内的数值为最小轴颈硬度。
- ③ 性能比较:1—最佳;2—良好;3—较好;4—一般;5—最差。
- ④ 顺应性是指轴承材料补偿对中误差和其他几何形状误差的能力;嵌藏性是指轴承材料嵌藏外来微粒和污物使之不外露,以防磨粒磨损的能力。对金属轴承材料,弹性模量小和塑性好的材料具有良好顺应性。顺应性好,一般嵌藏性也好。

表 5.2-4 常用非金属和多孔质金属轴承材料的性能和许用值

材料名称		最大许用值			最高工作温度 /℃	备 注
		[<i>p</i>] /MPa	[<i>v</i>] /m·s ⁻¹	[<i>p</i> <i>v</i>] /MPa·m·s ⁻¹		
非金属材料	酚醛树脂	41	13	0.18	120	由棉织物、石棉等填料经酚醛树脂粘结而成。抗咬合性好,强度、抗震性也极好。能耐酸碱。导热性差,重载时需用水或油充分润滑。易膨胀,轴承间隙宜取大些
	尼龙	14	3	0.11 (0.05m·s ⁻¹) 0.09 (0.5m·s ⁻¹) <0.09 (5m·s ⁻¹)	90	摩擦因数低,耐磨性好,无噪声。金属瓦上覆以尼龙薄层,能受中等载荷。加入石墨、二硫化钼等填料可提高其机械性能、刚性和耐磨性。加入耐热成分的尼龙可提高工作温度

(续)

材料名称		最大许用值			最高工作温度 /℃	备 注
		$[p]$ /MPa	$[v]$ /m·s ⁻¹	$[pv]$ /MPa·m·s ⁻¹		
非金属材料	聚碳酸酯	7	5	0.03 (0.05m·s ⁻¹) 0.01 (0.5m·s ⁻¹) <0.01 (5m·s ⁻¹)	105	聚碳酸酯、醛缩醇、聚酰亚胺等都是较新的塑料。物理性能好。易于喷射成型,比较经济。醛缩醇和聚碳酸酯稳定性好、填充石墨的聚酰亚胺温度可达280℃
	醛缩醇	14	3	0.1	100	
	聚酰亚胺	—	—	4 (0.05m·s ⁻¹)	260	
	聚四氟乙烯 (PTFE)	3	1.3	0.04 (0.05m·s ⁻¹) 0.06 (0.5m·s ⁻¹) <0.09 (5m·s ⁻¹)	250	摩擦因数很低,自润滑性能好,能耐任何化学药品的侵蚀,适用温度范围宽(>280℃时,有少量有害气体放出)。但成本高,承载能力低。用玻璃丝、石墨及其他惰性材料为填料,则承载能力和 pv 值可大为提高
	PTFE 织物	400	0.8	0.9	250	
	填充 PTFE	17	5	0.5	250	
	碳—石墨	4	13	0.5 (干) 5.25 (润滑)	400	有自润滑性,高温稳定性好,耐蚀能力强,常用于要求清洁的机器中
	木材	14	10	0.5	70	有自润滑性。能耐酸、油及其他强化学药品。用于要求清洁工作的轴承
多孔质金属材料	橡胶	0.34	5	0.53	65	橡胶能隔振、降低噪声、减小动载、补偿误差。导热性差,需加强冷却。常用于水、泥浆等工业设备中。温度高易老化
	多孔铁 (Fe95%, Cu2%,石 墨和其他 3%)	55 (低速,间歇) 21 (0.013m·s ⁻¹) 4.8 (0.51~ 0.76m·s ⁻¹) 2.1 (0.76~1m·s ⁻¹)	7.6	1.8	125	具有成本低、含油量多、耐磨性好、强度高等特点,应用最广
	多孔青 铜 (Cu90%, Sn10%)	27 (低速,间歇) 14 (0.013m·s ⁻¹) 3.4 (0.51~ 0.76m·s ⁻¹) 1.8 (0.76~1m·s ⁻¹)	4	1.6	125	孔隙度大的多用于高速轻载轴承,孔隙度小的多用于摆动或往复运动的轴承。长期运转而不补充润滑剂的应降低 $[pv]$ 值。高温或连续工作的应定期补充润滑剂

2.2 平面推力轴承

2.2.1 常用结构型式

平面推力轴承承受轴向载荷，常与径向轴承同时使用。其常用结构型式见表 5.2-5。

2.2.2 轴承的验算

(1) 压力 p 的验算

$$p = \frac{F_a}{\frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2)} \leq [p] \text{ MPa} \quad (5.2-4)$$

式中 F_a ——轴向载荷 (N)；
 d_2 、 d_1 ——端面的外径、内径 (mm)；

$[p]$ ——许用压力 (MPa)，见表 5.2-6。

(2) pv 值的验算

$$pv_m \leq [pv] \text{ MPa} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (5.2-5)$$

$$v_m = \frac{\pi d_m n}{60 \times 1000}$$

$$d_m = \frac{1}{2} (d_1 + d_2) \text{ mm}$$

式中 v_m ——平均速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)；
 d_m ——平均直径 (mm)；
 $[pv]$ ——许用 pv 值 ($\text{MPa} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)，见表 5.2-6。

2.2.3 常用滑动轴承材料的性能和许用值
见表 5.2-3、表 5.2-4 和表 5.2-6。

表 5.2-5 平面推力滑动轴承的常用结构型式

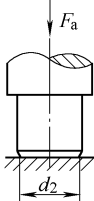
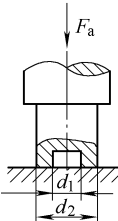
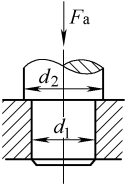
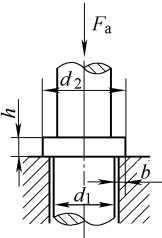
形式	结构简图	特点及应用	结构尺寸
实心推力轴承		在接触面上压力分布极不均匀，轴颈中心处压力（理论上）可达无穷大，对润滑极为不利	d_2 由轴颈结构决定
空心推力轴承		接触面上压力分布比较均匀，润滑条件有所改善	d_2 由轴结构决定 d_1 按下列公式确定： 一般 $d_1 = (0.4 \sim 0.6) d_2$ ；若结构上无限制 $d_1 = 0.5 d_2$
环形推力轴承		可利用轴套的端面推力，结构简单，润滑方便，广泛用于低速、轻载的场合	d_1 、 d_2 由轴的结构设计确定
			d_1 由轴的结构设计确定 $d_2 = (1.2 \sim 1.6) d_1$ $h = (0.12 \sim 0.15) d_1$ $b = (0.1 \sim 0.3) d_1$

表 5.2-6 推力轴承材料及许用 $[p]$ 、 $[pv]$ 值

轴材料	未淬火钢			淬火钢		
轴承材料	铸铁	青铜	轴承合金	青铜	轴承合金	淬火钢
$[p]$ /MPa	2~2.5	4~5	5~6	7.5~8	8~9	12~15
$[pv]$ /MPa·m·s ⁻¹	1~2.5					

3 液体动压滑动轴承

3.1 径向轴承

图 5.2-6 为液体动压径向轴承工作原理图。正常运转时，轴颈和轴瓦被一层油膜完全隔开，并在油膜中产生流体动压力，借以平衡外载荷。图中的 α 角是轴承包角，其大小取决于轴承结构。常用包角为 $\alpha = 180^\circ$ 和 $\alpha = 120^\circ$ ，有时用 $\alpha = 360^\circ$ 或 $\alpha = 90^\circ$ 。

在图 5.2-6 中， F 为轴承载荷， R 为轴瓦半径， r 为轴颈半径， B 为轴承宽度， O 为轴瓦中心， O_j 为轴颈中心， e 为偏心距， $h_{\min}$ 为最小油膜厚度， ω 为轴的角速度， ϕ 为偏位角。

轴承宽径比 $B/2r = B/d$

轴承半径间隙 $c = R - r$

轴承相对间隙 $\psi = c/r$

偏心率 $\varepsilon = e/c$

最小油膜厚度 $h_{\min} = c - e = c(1 - \varepsilon)$

在滑动轴承设计中，只有当轴承尺寸、轴承载荷、相对运动速度、油的粘度、轴承间隙以及表面粗糙度之间满足一定关系时，才能实现液体摩擦，否则，将出现非液体摩擦。但是，油膜愈厚，也就是偏心率愈小，摩擦因数愈大，有时还可能引起油膜振荡。因此，将油膜设计得过厚也不好。

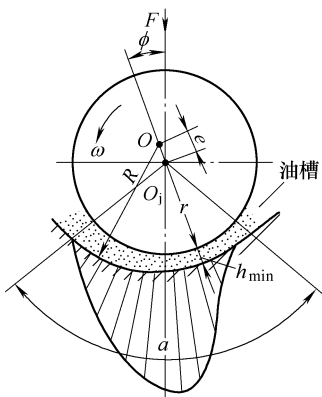


图 5.2-6 液体动压径向轴承工作原理

3.1.1 性能计算

性能计算的目的在于确定轴承在液体摩擦状态

下安全运转的有关参数。

(1) 承载能力 轴承的承载能力与偏心率 ε 、宽径比 B/d 及轴承包角 α 有关，通常用无量纲载荷系数 ϕ_F 表示。

$$\phi_F = \frac{10^6 p \psi^2}{\eta \omega} \quad (5.2-6)$$

$$p = \frac{F}{dB} \quad \text{MPa}$$

式中 p ——压强 (MPa)；

d ——轴颈直径 (mm)；

B ——轴承宽度 (mm)；

ω ——轴的角速度 ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)

η ——油在轴承平均工作温度下的动力粘度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)。

轴承包角 α 为 360° 、 180° 、 120° 时的无量纲载荷系数 ϕ_F 与 B/d 、 ε 间关系曲线见图 5.2-7 ~ 图 5.2-9。

(2) 摩擦功耗 轴承的摩擦功耗 P 按下式确定

$$P = \left(\frac{f}{\psi} + \frac{f'}{\psi} \right) \psi F v \quad \text{W} \quad (5.2-7)$$

$$\frac{f'}{\psi} = \xi \frac{\pi}{2} \frac{1}{\phi_F} \quad (5.2-8)$$

式中 f/ψ ——承载区转换摩擦因数，根据不同的包角由图 5.2-7 ~ 图 5.2-9 查得；

f'/ψ ——非承载区转换摩擦因数；

ξ ——修正系数， $\alpha = 120^\circ$ 时， $\xi = 0.75$ ； $\alpha = 180^\circ$ 时， $\xi = 1$ ； $\alpha = 360^\circ$ 时，由图 5.2-10 查出；

v ——轴颈的圆周速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

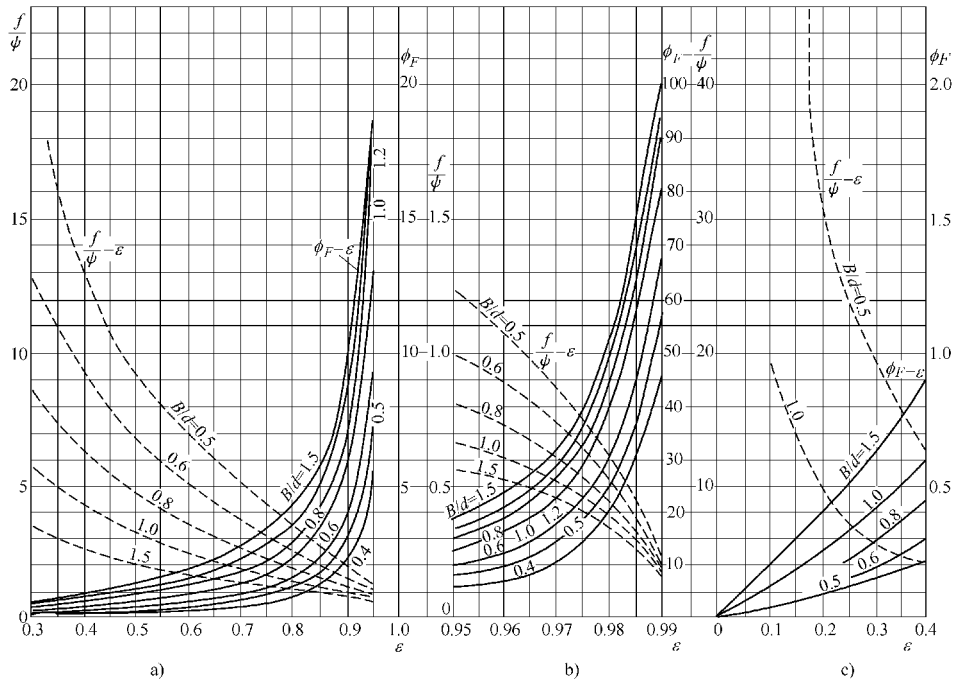
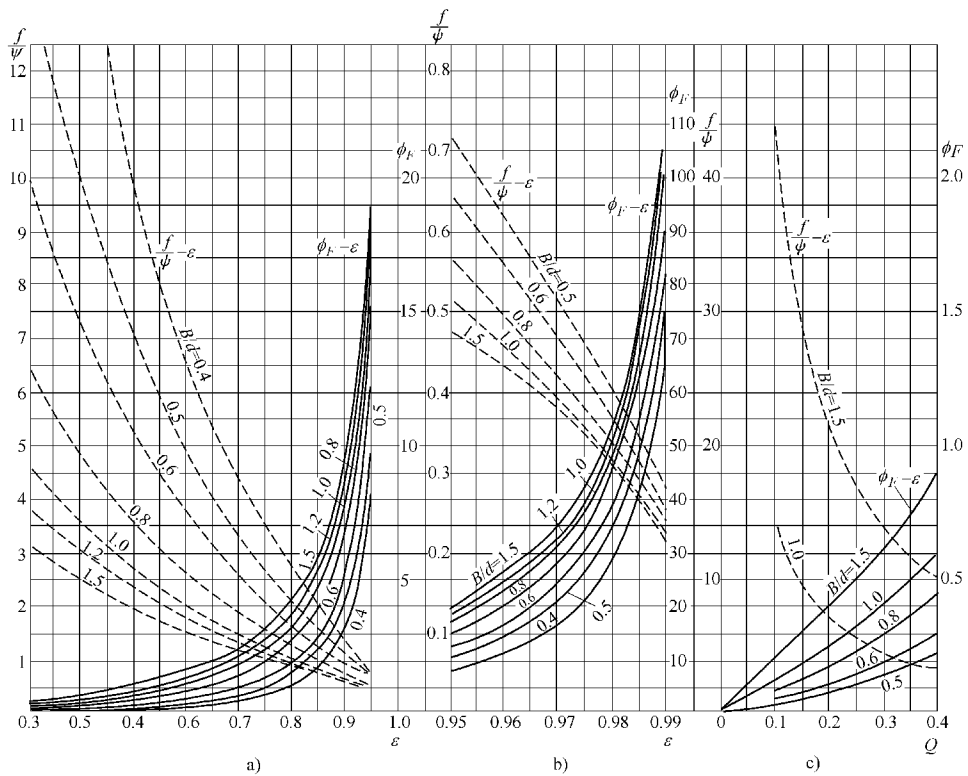
(3) 流量 进入轴承的总流量 Q 由三部分组成：承载区端泄流量 Q_1 ；非承载区端泄流量 Q_2 和轴瓦上供油槽两端流出的附加流量 Q_3 。

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = (\phi_{Q1} + \phi_{Q2} + \phi_{Q3}) \psi v B d \times 10^{-6} \quad (5.2-9)$$

式中 ϕ_{Q1} ——承载区端泄流量系数，根据不同的包角由图 5.2-11 ~ 图 5.2-13 查出；

ϕ_{Q2} ——非承载区端泄流量系数，按式 (5.2-10) 计算；

ϕ_{Q3} ——轴向供油槽端泄流量系数，按式 (5.2-11) 或式 (5.2-12) 计算。

图 5.2-7 包角为 360° 的轴承计算图a) $\varepsilon = 0.3 \sim 0.95$ b) $\varepsilon = 0.95 \sim 0.99$ c) $\varepsilon = 0 \sim 0.4$ 图 5.2-8 包角为 180° 的轴承计算图a) $\varepsilon = 0.3 \sim 0.95$ b) $\varepsilon = 0.95 \sim 0.99$ c) $\varepsilon = 0 \sim 0.4$

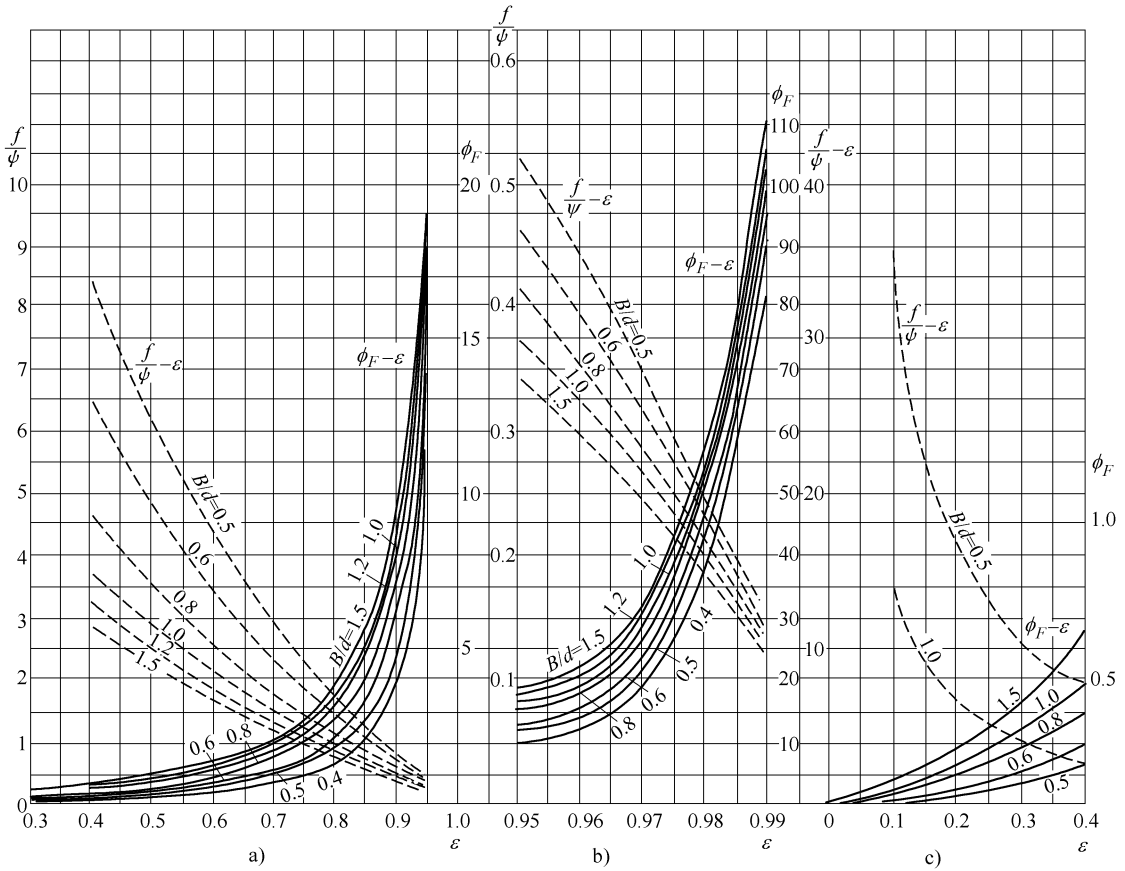
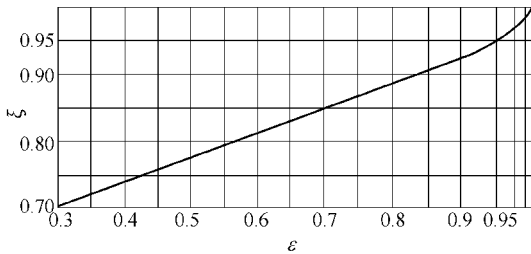


图 5.2-9 包角为 120° 的轴承计算图

a) $\varepsilon = 0.3 \sim 0.95$ b) $\varepsilon = 0.95 \sim 0.99$ c) $\varepsilon = 0 \sim 0.4$ 图 5.2-10 修正系数 ζ 非承载区端泄流量系数 ϕ_{Q_2} 为

$$\phi_{Q_2} = \zeta \phi_r \left(\frac{d}{B} \right)^2 \frac{p_g}{p} \quad (5.2-10)$$

式中 ζ ——修正系数, 由图 5.2-14 查出; p_g ——供油压力 (MPa)。轴向供油槽端泄流量系数 ϕ_{Q_3} 为

1) 见图 5.2-15 在轴瓦水平分合面上对称布置两个供油槽时

$$\phi_{Q_3} = \theta \phi_r \left(\frac{d}{B} \right)^2 \frac{H}{d} \left(\frac{B}{a} - 2 \right) \frac{p_g}{p} \quad (5.2-11)$$

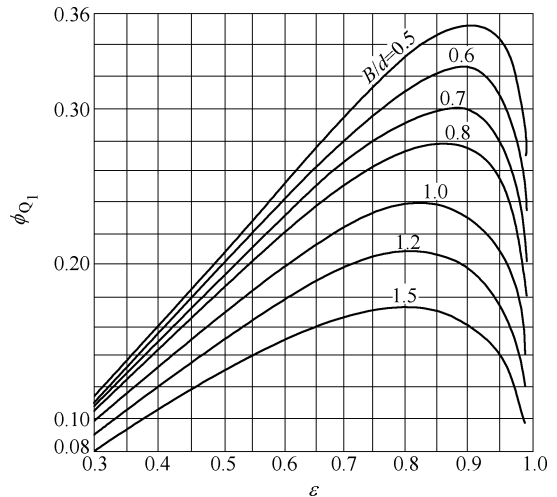


图 5.2-11 包角为 360° 的轴承流量计算图

式中 θ ——修正系数, 由图 5.2-14 查出; H 、 a ——供油槽尺寸, 见图 5.2-15。

2) 在轴瓦水平分合面上只有一个轴向供油槽时

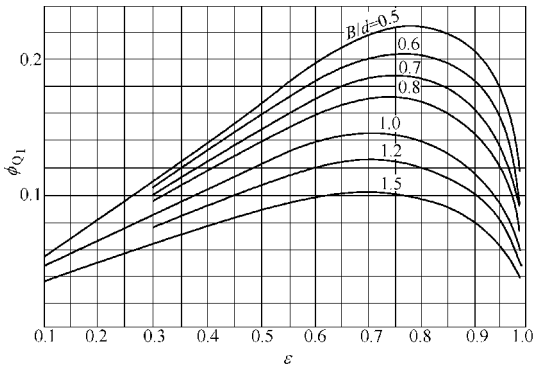


图 5.2-12 包角为 180° 的轴承流量计算图

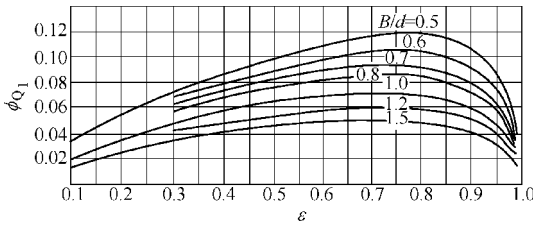


图 5.2-13 包角为 120° 的轴承流量计算图

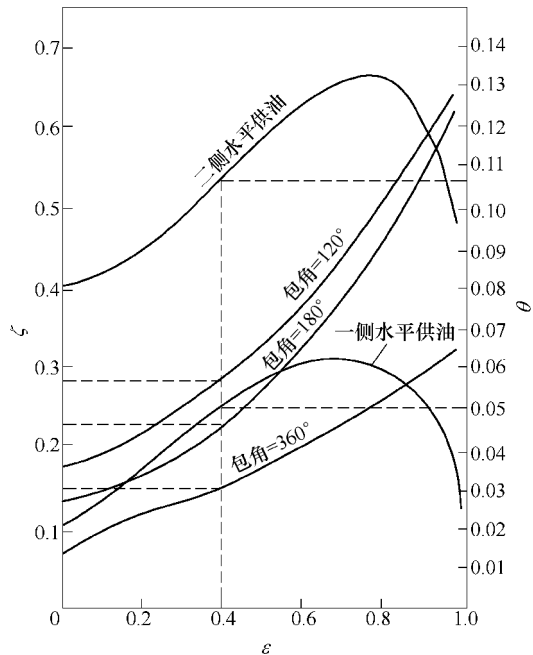


图 5.2-14 修正系数 ζ 和 θ

$$\phi_{03} = \frac{p_g H}{3\eta\psi\omega d^2 B^2} \left(\frac{B}{a} - 2 \right) h_x^3 \quad (5.2-12)$$

$$h_x = r\psi(1 + \varepsilon \cos \theta_x) \quad \text{mm} \quad (5.2-13)$$

$$\theta_x = 90^\circ - \phi \quad (5.2-14)$$

式中 h_x ——供油槽中线处的油膜厚度 (mm);
 θ_x ——从轴颈和轴承中心连线 $\overline{OO_j}$ 量起的供油

槽中线的角坐标;
 ϕ ——偏位角, 见图 5.2-17。

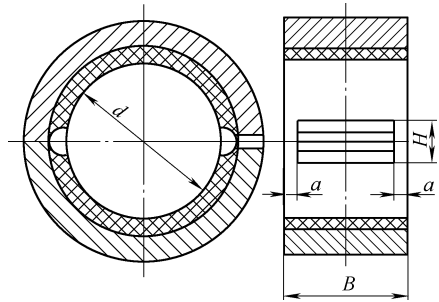


图 5.2-15 供油槽尺寸

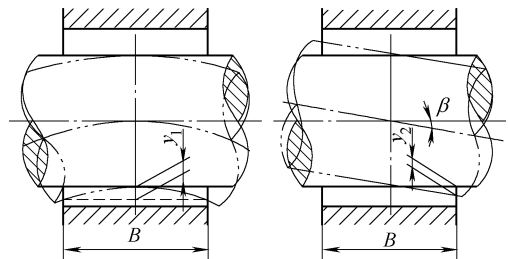


图 5.2-16 轴颈在轴承中变形

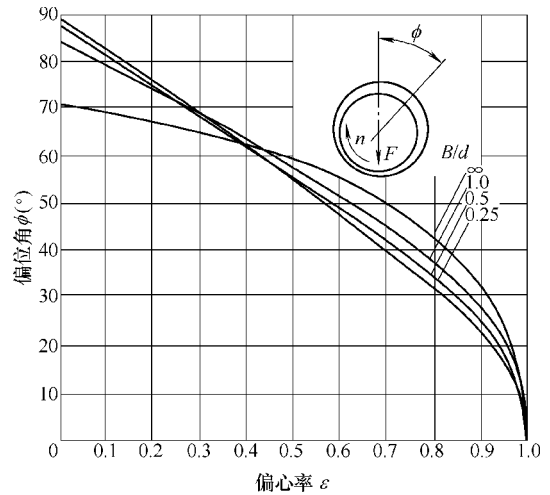


图 5.2-17 液体动压径向轴承的偏位角

(4) 温升

1) 压力供油轴承的温升 Δt

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{P}{CQ} \quad ^\circ\text{C} \quad (5.2-15)$$

式中 t_2 ——出油温度 ($^\circ\text{C}$);

P ——功率 (W);

Q ——进入轴承的总流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

t_1 ——进油温度 ($^\circ\text{C}$);

C ——体积热容 ($\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$), 润滑油可

取 $C = 1.72 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

2) 非压力供油轴承的温升 Δt

Δt 按式 (5.2-15) 计算, 但功率按式 (5.2-16) 计算。

$$P = CQ_1(t_2 - t_1) + kA(t_m - t_0) \quad (5.2-16)$$

$$Q_1 = \phi_{Q_1} \psi v d B \times 10^{-6} \quad (5.2-17)$$

式中 Q_1 ——承载区端泄流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

A ——轴承与空气相接触的散热面积 (m^2);

t_m ——平均油温 ($^{\circ}\text{C}$);

t_0 ——室温 ($^{\circ}\text{C}$);

k ——传热系数 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^{\circ}\text{C}$) 一般情况下, $k = 9 \sim 16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^{\circ}\text{C}$; 风冷时, 按式 (5.2-18) 计算。

$$k = 16 \sqrt{v_B} \quad (5.2-18)$$

式中 v_B ——风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

3.1.2 参数选择

(1) 宽径比 B/d 通常取 $B/d = 0.3 \sim 1.5$ 。宽径比小有利于增大平均压力、提高运转稳定性、增加流量、降低温升, 但承载能力也将降低; 宽径比大, 虽然轴承承载能力高, 但功耗大、温升高, 同时还提高了轴的刚度和轴承制造、安装精度要求。

高速重载轴承温升高, 有边缘接触的危险, B/d 宜取小值; 低速重载轴承为提高轴承整体刚性, B/d 宜取大值; 高速轻载轴承, 如对轴承刚性无过高要求, 可取小值; 对挠性转子宜取小值; 需要轴有较大刚性的机床轴承及刚性转子, 宜取较大值。

一些机器常用的 B/d 值为

汽轮机、风机 $0.3 \sim 1.0$

电动机、发电机、离心泵、齿轮变速装置 $0.6 \sim 1.5$

机床、拖拉机 $0.8 \sim 1.2$

轧钢机 $0.6 \sim 0.9$

(2) 相对间隙 ψ 一般取 $\psi = 0.0002 \sim 0.003$ 。

相对间隙 ψ 大时, 流量大, 温升低, 承载能力低。间隙的大小对运转平稳性有较大影响。一般, 压力小的轴承, 减小间隙可以提高运转平稳性; 压力大的轴承, 则增大间隙可提高运转平稳性。

相对间隙值主要根据载荷和速度选取。速度愈高, ψ 值应愈大; 载荷愈大, ψ 值则应愈小。此外, 直径大, 宽径比小, 调心性能好, 加工精度高时, ψ 可取小值, 反之, 取大值。

一般情况, ψ 值可按下面经验公式估取

$$\psi = n^{4/9} / 10^{31/9} \quad (5.2-19)$$

一些机器的相对间隙值介绍如下

汽轮机、电动机、齿轮变速装置

$$\psi = 0.001 \sim 0.002$$

离心泵、风机

$$\psi = 0.001 \sim 0.003$$

机床、内燃机

$$\psi = 0.0002 \sim 0.001$$

轧钢机、铁路车辆

$$\psi = 0.0002 \sim 0.0015$$

(3) 润滑油粘度 η 增大润滑油的粘度, 会使流量下降、功耗上升、温升增高, 但轴承的承载能力也随着增高。然而, 由于润滑油粘温特性所决定, 随着温度的升高粘度将下降, 因而靠提高粘度以增大承载能力会受到一定限制。

一般轴承, 润滑油在平均油温下的动力粘度可按下列经验公式确定。

$$\eta = n^{-1/3} / 10^{7/6} \text{ Pa} \cdot \text{s} \quad (5.2-20)$$

按式 (5.2-20) 计算所得的粘度, 可保证轴承温升不会过高。式 (5.2-19) 和式 (5.2-20) 中转速 n 的单位为 $\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(4) 最小油膜厚度许用值 $[h_{\min}]$ 考虑轴颈和轴瓦工作表面不平度、轴的挠曲和两轴承对中误差的影响, 最小油膜厚度的许用值 $[h_{\min}]$ 可按下式计算

$$[h_{\min}] = (1.1 \sim 1.5)(Rz_1 + Rz_2 + y_1 + y_2) \quad (5.2-21)$$

式中 Rz_1 、 Rz_2 ——轴颈、轴瓦表面的微观不平度十点高度 (mm), 数值见表 5.2-7;

y_1 ——轴颈在轴承中的挠度, 见图 5.2-16, 当压强 $p \leq 3 \text{ MPa}$ 时, y_1 可忽略不计; 当压强 $p > 3 \text{ MPa}$ 时, 按式 (5.2-22) 计算;

y_2 ——轴的变形和安装误差引起轴在轴承中的偏移量, 对于调心式轴承 $y_2 = 0$, 一般轴承按式 (5.2-23) 计算。

$$y_1 = 1.56 \times 10^{-9} p d \left[\left(\frac{B}{d} \right)^4 + 1.81 \left(\frac{B}{d} \right)^2 \right] \quad (5.2-22)$$

$$y_2 = \frac{B}{2} \tan \beta \quad (5.2-23)$$

式中 β ——轴承处轴的偏转角, 见图 5.2-16。

(5) 表面粗糙度 考虑到轴加工易于孔, 故建议轴颈表面粗糙度取 Ra 值为 $0.4 \sim 0.1 \mu\text{m}$ (或 Ra 值为 $3.2 \sim 0.8 \mu\text{m}$), 轴瓦表面粗糙度取 Ra 值为 $0.8 \sim 0.2 \mu\text{m}$ (或 Ra 值为 $6.3 \sim 1.6 \mu\text{m}$)。

(6) 偏位角 ϕ 轴颈中心与轴承孔中心的连线与载荷作用线之间的夹角 (锐角) 称为偏位角 ϕ ,

其值由图 5.2-17 查出。

(7) 油温 轴承的性能计算一般根据平均油温进行, 平均油温为

$$t_m = t_1 + \frac{1}{2}\Delta t \tag{5.2-24}$$

一般情况下取: 平均油温 $t_m = 50 \sim 55^{\circ}\text{C}$; 进口油温 $t_1 = 35 \sim 45^{\circ}\text{C}$ 。控制温升 $\Delta t = 10 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

为了保证轴承衬材料的机械性能, 需控制轴承的最高油温 $t_{\max}$, 可按式 (5.2-25) 进行估算

$$t_{\max} = 2(t_m - t_1) + t_1 \tag{5.2-25}$$

最高油温的允许值一般取决于轴承衬材料强度急剧下降的软化点, 对轴承合金, 其允许值为 $90 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 。

例1 计算线材轧机减速器的液体动压径向轴承。已知: 轴承载荷 $F = 60000\text{N}$; 轴承直径 $d = 200\text{mm}$; 轴的转速 $n = 1000\text{r} \cdot \text{min}^{-1} = 16.7\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$ 。轴承为自动调心式, 载荷垂直向下, 压力供油, 采用双轴向油槽, 供油槽开在水平分合面的两侧, 进油温度控制在 40°C 左右。

计算步骤及计算结果见表 5.2-8。

表 5.2-7 表面粗糙度 (摘自 GB/T 1031—2009) (μm)

表面轮廓算术平均 偏差 R_a	第一种方式	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05
	第二种方式	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025
表面微观不平度十 点高度 R_z	第一种方式	25	12.5						
	第二种方式	12.5		6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2

注: 对表面要求较高用数值较小的粗糙度, 如第二种方式; 对表面要求较低用数值较大的粗糙度, 如第一种方式。

表 5.2-8 液体动压径向轴承的设计计算

序号	计算项目	计算公式及说明	计算结果
1	宽径比	B/d 选定	1.0
2	轴承宽度	$B = (B/d) \cdot d = 1.0 \times 200$	200mm
3	角速度	$\omega = \frac{\pi}{30}n = \frac{\pi \times 1000}{30}$	$104.72\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
4	圆周速度	$v = \frac{\pi dn}{60 \times 1000} = \frac{\pi \times 200 \times 1000}{60 \times 1000}$	$10.47\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
5	平均压强	$P = \frac{F}{dB} = \frac{60000}{200 \times 200}$	1.5MPa
6	相对间隙	$\psi = n^{4/9}/10^{31/9} = 16.7^{4/9}/10^{31/9}$ [见式 (5.2-19)]	0.00126
7	半径间隙	$c = \psi \cdot d/2 = 0.00126 \times 200/2$	0.126mm
8	初定平均温度下的润滑油 粘度	$\eta = n^{-1/3}/10^{7/6} = 16.7^{-1/3}/10^{7/6}$ [见式 (5.2-20)]	$0.0266\text{Pa} \cdot \text{s}$
9	润滑油品种	根据 $\eta = 0.0266\text{Pa} \cdot \text{s}$ 和 $t_m = 50^{\circ}\text{C}$ 参考图 5.2-25 选定	液压油 L-HL46 GB11118
10	无量纲载荷系数	$\Phi_F = \frac{P\psi^2}{\eta\omega} \times 10^6 = \frac{1.5 \cdot (0.00126)^2}{0.0266 \times 104.72} \times 10^6$	0.85
11	偏心率	按 $\alpha = 180^{\circ}$ 及 Φ_F 、 B/d 由图 5.2-8 查出 ε	0.525
12	最小油膜厚度	$h_{\min} = c \cdot (1 - \varepsilon) = 0.126 \cdot (1 - 0.525)$	0.06mm
13	轴颈表面粗糙度	按要求选定 Ra_1 Rz_1	0.4μm 3.2μm
14	轴瓦表面粗糙度	按要求选定 Ra_2 Rz_2	0.8μm 6.3μm
15	轴颈挠度	因 $p < 3\text{MPa}$, 故略去 y_1	0
16	轴颈偏移量	因自动调心式轴承, 故不计 y_2	0

(续)

序号	计算项目	计算公式及说明	计算结果
17	许用最小油膜厚度 $[h_{\min}]$	$[h_{\min}] = 1.5 (Rz_1 + Rz_2 + y_1 + y_2)$ $= 1.5 (0.0032 + 0.0063 + 0 + 0)$	0.0143mm
18	油膜厚度校核	$h_{\min} > [h_{\min}]$	通过
19	承载区转换摩擦因数	按 $\alpha = 180^\circ$ 及 ε 、 B/d 值由图 5.2-8 查出 f/ψ	2.5
20	修正系数	ζ (因 $\alpha = 180^\circ$)	1
21	非承载区转换摩擦因数	$\frac{f'}{\psi} = \frac{\pi}{2} \frac{\zeta}{\Phi_F} = \frac{\pi}{2 \times 0.85}$	1.85
22	功耗	$P = \left(\frac{f}{\psi}\right) + \left(\frac{f'}{\psi}\right) \mu F v$ $= (2.5 + 1.85) \times 0.00126 \times 60000 \times 10.47$	$3.44 \times 10^3 \text{ W}$
23	承载区流量系数	按 $\alpha = 180^\circ$ 及 ε 、 B/d 由图 5.2-12 查出 Φ_{Q1}	0.125
24	供油压力	选定 P_g	0.6MPa
25	非承载区端泄流量修正系数	按 $\alpha = 180^\circ$ 、二侧水平供油及 ε 值由图 5.2-14 查出 ξ	0.28
26	非承载区端泄流量系数	$\phi_{Q2} = \xi \phi_F \left(\frac{d}{B}\right)^2 \frac{P_g}{p}$ $= 0.28 \times 0.85 \times 1^2 \times 0.6/1.5$	0.095
27	供油槽端泄流量修正系数	按 $\alpha = 180^\circ$ 、二侧水平供油及 ε 值由图 5.2-14 查出 θ	0.122
28	供油槽宽度	一般取 $H = (0.2 \sim 0.25) d = (0.2 \sim 0.25) \times 200$	取 40mm
29	阻油边宽度 a	一般取 $a = 0.05d = 0.05 \times 200$	10mm
30	供油槽端泄流量系数	$\phi_{Q3} = \theta \phi_F \left(\frac{d}{B}\right)^2 \frac{H}{d} \left(\frac{B}{a} - 2\right) \frac{P_g}{p}$ $= 0.122 \times 0.85 \times 1^2 \times \frac{40}{200} \left(\frac{200}{10} - 2\right) \frac{0.6}{1.5}$	0.15
31	流量	$Q = (\phi_{Q1} + \phi_{Q2} + \phi_{Q3}) \psi v B d \times 10^{-6}$ $= (0.125 + 0.095 + 0.15) \times 0.00126$ $\times 10.47 \times 200 \times 200 \times 10^{-6}$	$1.95 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
32	润滑油温升	$\Delta t = \frac{p}{CQ} = \frac{3.44 \times 10^3}{1.72 \times 10^6 \times 1.95 \times 10^{-4}}$	10.26℃
33	进油温度	$t_1 = t_m - \frac{\Delta t}{2} = 50 - \frac{10.26}{2}$	44.9℃
34	出油温度	$t_2 = t_m + \frac{\Delta t}{2} = 50 + \frac{10.26}{2}$	55.13℃
35	结论		合适

3.2 推力轴承

3.2.1 固定瓦推力轴承

为了在滑动面间形成液体动压油膜，以便得到必要的承载能力，在轴端和轴瓦之间必须做出楔形间隙，见图 5.2-18。为此，需在轴瓦上开出几个径向槽，将工作面分成几个相等的区域，每段称为扇

形瓦。为了减少润滑油的径向泄漏，径向供油槽不要开到头，应在外边缘处剩下 $(0.1 \sim 0.2) (r_2 - r_1)$ 的宽度。

扇形瓦表面与轴端平面成 α 角。有相对运动时，相对滑动面间形成油楔，产生动压力，见图 5.2-19 所示。

(1) 性能计算

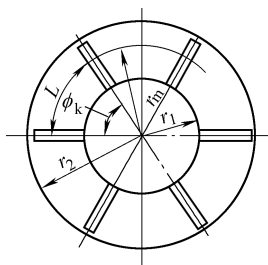


图 5.2-18 推力轴承

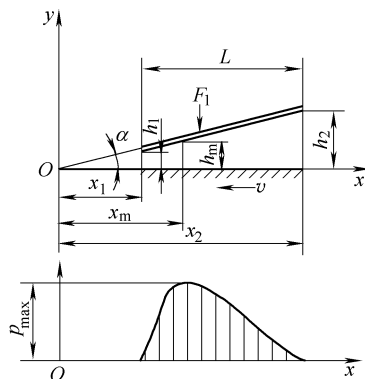


图 5.2-19 扇形瓦计算简图

1) 单个扇形瓦的承载能力 F_1 的计算公式如下

$$F_1 = \frac{\eta v B L^2}{h_1^2} \phi_F \times 10^{-3} \quad (5.2-26)$$

$$V = r_D \omega \times 10^{-3} \quad (5.2-27)$$

$$r_D = \frac{2}{3} \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2} \quad (5.2-28)$$

$$B = r_2 - r_1 \quad (5.2-29)$$

$$L = r_m \phi_k \quad (5.2-30)$$

$$r_m = \frac{1}{2}(r_1 + r_2) \quad (5.2-31)$$

式中 η ——润滑油的动力粘度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$);

v ——当量半径 r_D 处的圆周速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);

r_D ——当量半径 (mm);

ω ——轴颈回转角速度 ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$);

B ——轴瓦宽度 (mm);

L ——平均半径 r_m 处扇形瓦长度 (mm);

r_m ——平均半径 (mm);

h_1 ——最小油膜厚度 (mm), 初算时可取 $h_1 \geq 20 \mu\text{m} = 0.02 \text{mm}$;

ϕ_F ——考虑径向泄油后的无量纲载荷系数, 由图 5.2-20 查出;

ϕ_k ——瓦块斜面部分对应角 (rad)。

2) 全部扇形瓦的摩擦功耗 P 及摩擦力矩 M_T 按式 (5.2-32) 和式 (5.2-33) 计算

$$P = M_T \omega \quad (5.2-32)$$

$$M_T = \sqrt{10^{-3} F_1 \eta v B z r_D} \phi_T \times 10^{-3} \quad (5.2-33)$$

式中 z ——扇形瓦数;

ϕ_T ——无量纲力矩系数, 由图 5.2-21 查出。

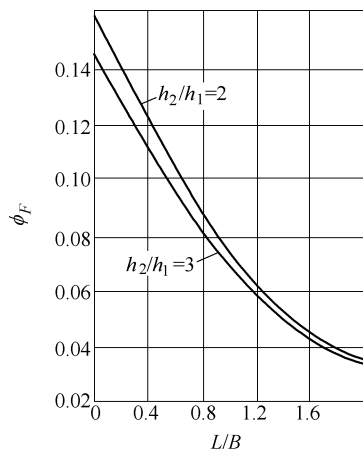


图 5.2-20 无量纲载荷系数

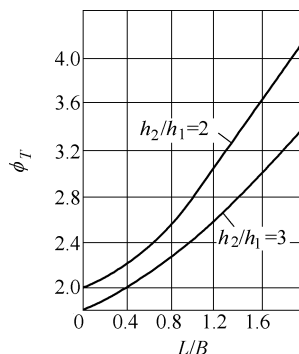


图 5.2-21 无量纲力矩系数

3) 泄油流量 Q 按式 (5.2-34) 计算

$$Q = \sqrt{\frac{\eta v B \times 10^{-3}}{F_1}} z v B L \phi_Q \times 10^{-6} \quad (5.2-34)$$

式中 ϕ_Q ——无量纲泄油系数, 在不计离心力对泄油量影响的条件下可由图 5.2-22 查出。

4) 温升 Δt 按式 (5.2-35) 计算

$$\Delta t = \frac{P}{CQ} \quad (5.2-35)$$

式中 C ——体积热容 ($\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$), 润滑油可取 $C = 1.72 \times 10^6 \text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

(2) 参数选择

1) 内外径比 r_2/r_1 一般取 $r_2/r_1 = 1.5 \sim 2.5$, r_1

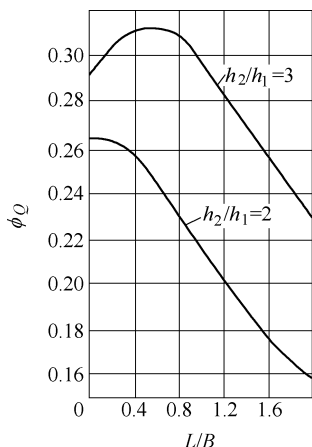


图 5.2-22 无量纲泄油系数

由结构确定, 取其稍大于轴的半径。

2) 长宽比 L/B 通常取 $L/B = 0.5 \sim 1.6$, 建议取 L/B 等于或稍大于 1。

3) 瓦数 z 最少 $z = 3$, 一般 $z = 6 \sim 12$ 。瓦数多会增加安装、调整困难, 同时降低承载能力。

4) 填充系数 k 它是瓦面平均周长之和 zL 与轴承平均圆周长 $2\pi r_m$ 之比, 建议取 $k = 0.7 \sim 0.85$ 。 k 值过大, 油沟槽宽度过小, 由前一瓦排出的热油易于进入下一瓦面, 使进瓦油温升高, 油粘度降低, 影响承载能力。

5) 间隙比 $h_2/h_1 = 1.8 \sim 2.8$

6) 瓦面斜度 $\alpha = (1.4 \sim 1.5) \frac{h_1}{L} \text{ rad}$

7) 最小油膜厚度 h_1 考虑到制造工艺和安全运转的需要, 建议取 $h_1 \geq 0.02 \sim 0.05 \text{ mm}$, 小值用于小尺寸轴承, 大值用于大型轴承。

8) 润滑油温度 轴承性能计算按平均温度进行, 通常取平均油温 $t_m = 45 \sim 55^\circ\text{C}$; 控制进油温度 $t_1 = 35 \sim 45^\circ\text{C}$; 温升 $\Delta t = 10 \sim 20^\circ\text{C}$ 。

当轴向力较小时, 整个扇形瓦面做成一斜面, 见图 5.2-18。而当轴向力较大时, 常将每个扇形瓦的工作面做成斜面和平面的两部分, 见图 5.2-23, 由斜面与旋转平面构成油楔。运转时, 在整个瓦面上均形成动压油膜。这种由斜面和平面的两部分构成的推力轴承称为斜—平面固定瓦推力轴承。当斜面与平面部分的长度比等于 4 时, 轴承具有最大的承载能力。立式推力轴承要由平面部分承受全部静载荷, 故应校核平面部分的压强。对于斜—平面固定瓦推力轴承, 作性能计算时还应考虑平面部分所增加的摩擦力矩 M_a , 其值按式 (5.2-36) 计算

$$M_a = \varphi_a z \frac{\eta \omega}{4h_1} (r_2^4 - r_1^4) \times 10^{-9} \quad (5.2-36)$$

式中 φ_a ——瓦面平面部分对应圆心角 (rad)。

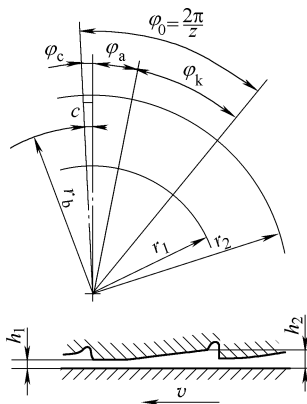


图 5.2-23 斜—平面扇形止推瓦示意图

例 2 设计斜—平面固定瓦推力轴承。已知: 轴向工作载荷 $F_a = 31000 \text{ N}$, 转速 $n = 3600 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1} = 60 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$, 轴径 $d = 2r = 165 \text{ mm}$, 立式轴的静载荷 $F_{as} = 2000 \text{ N}$ 。轴的材料为淬火钢, 轴承材料为轴承合金。采用油池润滑。

计算步骤及计算结果见表 5.2-9。

表 5.2-9 液体动压斜—平面固定瓦推力轴承设计计算

序号	计算项目	计算公式及说明	计算结果
1	角速度	$\omega = \frac{\pi}{30} n = \frac{\pi}{30} \times 3600$	$377 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
2	轴承内径	一般荐用 $d_1 = 2r_1 = d + (8 \sim 15) \text{ mm} = 165 + (8 \sim 15)$ r_1	取 180mm 取 90mm
3	内外径比	$r_2/r_1 = 1.5 \sim 2.5$	取 1.6
4	轴承外径	$d_2 = 2r_2 = 2 \left(\frac{r_2}{r_1} \right) r_1 = 2 \times 1.6 \times 90$ $r_2 = 1.6 \times 90$	288mm 144mm

(续)

序号	计算项目	计算公式及说明	计算结果
5	轴承平均半径	$r_m = \frac{1}{2} (r_2 + r_1) = \frac{1}{2} (144 + 90)$	117mm
6	轴承瓦宽	$B = r_2 - r_1 = 144 - 90$	54mm
7	瓦数	选取 z	10
8	轴承许用压强	按表 5.2-6 选取	8MPa
9	长宽比	$L/B = 0.5 \sim 1.6$	取 1
10	扇形瓦平均弧长	$L = \left(\frac{L}{B} \right) B = 1 \times 54$	54mm
11	填充系数	$k = \frac{zL}{2\pi r_m} = \frac{10 \times 54}{2\pi \times 117}$	0.735 (合适)
12	扇形瓦平面部分平均弧长	$L' = 0.2L = 0.2 \times 54$	10.8mm
13	扇形瓦斜面部分平均弧长	$L'' = 0.8L = 0.8 \times 54$	43.2mm
14	回油槽宽 (弧长)	$c = \frac{1}{z} (2\pi r_m - zL) = \frac{1}{10} (2\pi \times 117 - 10 \times 54)$	19.5mm
15	扇形瓦平面部分对应角	$\varphi_a = \frac{L'}{r_m} = \frac{10.8}{117}$	0.0923rad
16	扇形瓦斜面部分对应角	$\varphi_k = \frac{L''}{r_m} = \frac{43.2}{117}$	0.3692rad
17	回油槽对应角	$\varphi_c = \frac{c}{r_m} = \frac{19.5}{117}$	0.166rad
18	平面部分面积	$A_l = zL'B = 10 \times 10.8 \times 54$	5832mm ²
19	静载压强	$p_s = \frac{F_{as}}{A_l} = \frac{2000}{5832}$	0.34MPa (可用)
20	间隙比	$h_2/h_1 = 1.8 \sim 2.8$	取 2.5
21	当量半径	$r_D = \frac{2}{3} \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2} = \frac{2}{3} \times \frac{144^3 - 90^3}{144^2 - 90^2}$	119mm
22	当量半径 r_D 处的圆周速度	$v = r_D \omega \times 10^{-3} = 119 \times 377 \times 10^{-3}$	44.9m · s ⁻¹
23	单个扇形瓦上载荷	$F_1 = \frac{Fa}{z} = \frac{31000}{10}$	3100N
24	无量纲载荷系数	按 $L/B = 1$ 及 $h_2/h_1 = 2.5$ 由图 5.2-20 查得 ϕ_F	0.067
25	润滑油牌号	选用	汽轮机油 L-TSA46 GB11120
26	平均油温	设定 t_m	50℃
27	温度为 t_m 时的润滑油粘度	当 $t_m = 50^\circ\text{C}$ 时, 由图 5.2-25 查得 η	0.028Pa · s
28	最小油膜厚度	$h_1 = L \sqrt{\frac{\eta v B \phi_F}{F_1 \times 10^3}} = 54 \sqrt{\frac{0.028 \times 44.9 \times 54 \times 0.067}{3100 \times 10^3}}$	0.065mm
29	扇形瓦斜面部分的斜度	$\alpha = \frac{h_2 - h_1}{L''} = \frac{(2.5 - 1) \times 0.065}{43.2}$	0.00226rad
30	无量纲泄油系数	按 $L/B = 1$ 及 $h_2/h_1 = 2.5$ 由图 5.2-23 查得 ϕ_O	0.255

(续)

序号	计算项目	计算公式及说明	计算结果
31	流量	$Q = \sqrt{\frac{\eta v B \times 10^{-3}}{F_1}} v B L z \Phi_Q \times 10^{-6}$ $= \sqrt{\frac{0.028 \times 44.9 \times 54}{3100 \times 1000}} \times 44.9$ $\times 54 \times 54 \times 10 \times 0.255 \times 10^{-6}$	$0.001562 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
32	无量纲摩擦力矩系数	按 $L/B=1$ 及 $h_2/h_1=2.5$ 由图 5.2-22 查得 ϕ_T	2.6
33	斜面部分总摩擦力矩	$M_T = \sqrt{F_1 \eta v B \times 10^{-3}} z r_D \phi_T \times 10^{-3}$ $= \sqrt{3100 \times 0.028 \times 44.9 \times 54 \times 10^{-3}} \times 10 \times 119 \times$ 2.6×10^{-3}	$44.9 \text{ N} \cdot \text{m}$
34	平面部分总摩擦力矩	$M_a = \varphi_a z \frac{\eta \omega}{4 h_1} (r_2^4 - r_1^4) \times 10^{-9}$ $= 0.0923 \times 10 \frac{0.028 \times 377}{4 \times 0.065} \times (144^4 - 90^4) \times 10^{-9}$	$13.65 \text{ N} \cdot \text{m}$
35	总功耗	$P = (M_T + M_a) \omega = (44.9 + 13.65) \times 377$	$2.2 \times 10^4 \text{ W}$
36	温升	$\Delta t = \frac{P}{CQ} = \frac{2.2 \times 10^4}{1.72 \times 10^6 \times 1.56 \times 10^{-3}}$	8.2°C
37	进油温度	$t_1 = t_m - \frac{\Delta t}{2} = 50 - \frac{8.2}{2}$	45.9°C
38	出油温度	$t_2 = t_m + \frac{\Delta t}{2} = 50 + \frac{8.2}{2}$	54.1°C
39	结论		合适

3.2.2 可倾瓦推力轴承

可倾瓦推力轴承见图 5.2-24。与固定瓦不同，可倾瓦能适应工况的变化而自动调节瓦块的斜度，瓦的最小油膜厚度 h_1 也相应改变。故可倾瓦在工作过程中不能维持瓦面斜率不变，只维持间隙比 h_2/h_1 不变。

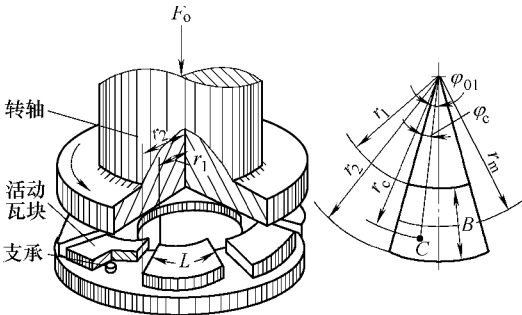


图 5.2-24 可倾瓦推力轴瓦

可倾瓦推力轴承适用于载荷或速度经常变化的场合，尤其广泛应用于大型轴承。

(1) 性能计算

1) 一块瓦块的承载能力按下列公式计算

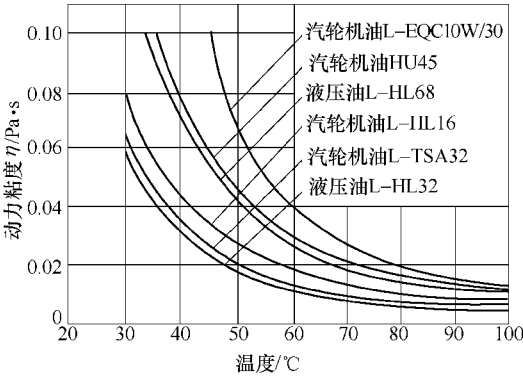


图 5.2-25 滑动轴承常用润滑油的动力粘度 η

$$F_1 = \frac{\eta \omega r_1^4}{h_1^2} \varphi_0 \phi_F \times 10^{-6} \tag{5.2-37}$$

$$\varphi_0 = \frac{2\pi k}{z} \tag{5.2-38}$$

$$k = \frac{2L}{2\pi r_m} \tag{5.2-39}$$

$$r_m = \frac{1}{2}(r_2 + r_1)$$

式中 ϕ_F ——无量纲载荷系数，见表 5.2-10；

k ——填充系数；

r_m ——瓦块平均半径 (mm);

z ——瓦块数。

2) 最小油膜厚度 h_1 可由式 (5.2-37) 解得

$$h_1 = r_1^2 \sqrt{\frac{\eta \omega \varphi_0 \phi_F}{F_1 \times 10^6}} \quad (5.2-40)$$

3) 一块瓦块的摩擦力矩 M_T 按式 (5.2-41) 计算

$$M_T = \frac{\eta \omega r_1^4}{h_1} \varphi_0 \phi_T \times 10^{-9} \quad (5.2-41)$$

式中 ϕ_T ——无量纲摩擦因数, 见表 5.2-10。

4) 总摩擦力矩 M_Σ

$$M_\Sigma = z M_T$$

5) 每块瓦块的泄油量

计算供油量时, 每块瓦块的泄油量 Q_1 按式 (5.2-42) 计算

$$Q_1 = h_1 \omega r_1^2 \phi_Q \times 10^{-9} \quad (5.2-42)$$

式中 ϕ_Q ——无量纲总泄油量系数, 见表 5.2-10。

计算温升时, 泄油量按 Q_m 计算 (因有侧泄, 所以不是所有进来的油都能带走热量)。 Q_m 的计算公式如下

$$Q_m = h_1 \omega r_1^2 \phi_{Q_m} \times 10^{-9} \quad (5.2-43)$$

式中 ϕ_{Q_m} ——无量纲平均泄油量系数, 见表 5.2-10。

6) 压力中心 (即 C 点) 所在位置

$$r_c = \theta_r r_1 \quad (5.2-44)$$

$$\varphi_c = \theta_\varphi \varphi_0 \quad (5.2-45)$$

式中 θ_r ——系数, 见表 5.2-10;

θ_φ ——系数, 见表 5.2-10。

7) 温升 Δt

$$\Delta t = \frac{M_T \omega}{C Q_m} \quad (5.2-46)$$

(2) 参数选择 (同固定瓦推力轴承)

表 5.2-10 无量纲系数 ϕ_F , ϕ_T , ϕ_Q , ϕ_{Q_m} , θ_r , θ_φ

圆心角 φ_0	半径比 r_2/r_1							
	1.7		2.0		2.5		3.0	
无量纲载荷系数 ϕ_F								
20	0.152		0.332		0.888		1.878	
30	0.113		0.262		0.744		1.620	
40	0.090		0.219		0.636		1.415	
50	0.068		0.176		0.531		1.206	
无量纲摩擦系数 ϕ_T								
20	1.35		2.76		7.04		14.80	
30	1.33		2.73		6.97		14.68	
40	1.32		2.71		6.92		14.58	
50	1.31		2.69		6.86		14.47	
无量纲总泄油量系数 ϕ_Q								
20	0.76		1.18		2.01		3.03	
30	0.81		1.24		2.10		3.11	
40	0.84		1.28		2.16		3.21	
50	0.86		1.33		2.25		3.35	
无量纲平均泄油量系数 ϕ_{Q_m}								
20	0.66		1.035		1.805		2.745	
30	0.68		1.06		1.84		2.76	
40	0.69		1.08		1.86		2.80	
50	0.69		1.09		1.89		2.85	
	系 数							
	θ_r	θ_φ	θ_r	θ_φ	θ_r	θ_φ	θ_r	θ_φ
20	1.36	—	1.58	—	1.88	—	2.30	—
30	1.39	0.397	1.58	0.386	1.91	0.367	2.28	0.340
40	1.385	0.415	1.58	0.42	1.90	0.425	2.25	0.43
50	1.38	0.387	1.57	0.37	1.90	0.358	2.23	0.337

4 含油轴承

利用材质的多孔特性或润滑油亲和特性,在轴瓦安装和使用前,使润滑油浸润轴承材料,轴承工作期间可以不加或较长时间不加润滑油,这样的轴承称为含油轴承。根据含油轴承材料能浸渍润滑油的特性不同分为两大类。一类是多孔质含油轴承,轴瓦以多孔材料制成,浸渍润滑油后孔隙中充满了润滑油。这类材料包含粉末冶金、成长铸铁、铸造铜合金、木材和某些材料。另一类是利用材料与润滑油有亲和力和相溶,经适当工艺处理,使润滑油均匀分散在材料中的含油轴承,轴瓦多由塑料制成,这种塑料包括含油酚醛树脂等。含油轴承已广泛用于轻型机械、家用电器、汽车、纺织等机械中。含油轴承中目前用得最多的是粉末冶金含油轴承。

4.1 粉末冶金含油轴承

粉末冶金含油轴承是用金属粉末和减摩材料粉末,经压制、烧结、整形和浸油制成,孔隙约占体积的10%~35%。使用前将它置热油中数小时,浸透后孔隙中充满了润滑油。工作时,由于轴颈转动的抽吸作用及轴承发热时膨胀作用,孔隙减小,油便进入摩擦表面间起润滑作用;不工作时,因毛细管作用,油便被吸回到轴承内部,因而在相当长时间内,即使不加润滑油仍能很好地工作,特别适用于加油不易或密封器件之内。它韧性较小,宜用于平稳无冲击轻载荷及低中速场合。这类轴承通常工作在混合润滑状态,有时也能形成薄膜润滑。如果润滑条件具备,它可代替铜轴承在重负荷和高速下工作。

轴承材料的物理和力学性能见表5.2-11。

4.1.1 滑动轴承烧结轴套的尺寸和公差

滑动轴承烧结轴套有圆柱轴套、翻边轴套和球面轴套三种形式,其尺寸和公差见表5.2-12、表5.2-13。

4.1.2 参数选择

(1) 宽径比 因轴套两端孔隙度一般比中间小,故轴套不宜过窄,但也不宜过宽,当宽径比大于2~3时,会出现压粉不均匀,最好宽径比接近于1。

(2) 压入过盈量 轴套压入轴承座内的平均过盈量为

$$\delta = 0.025 + 0.0075 \sqrt{D} \quad (5.2-47)$$

式中 D ——轴套外径 (mm)。

选择轴承座孔直径公差时,应使最大过盈不大

于2倍平均过盈,最小过盈不小于平均过盈的1/2。

应该用压力机将轴套压入轴承座,不许用锤击打。轴套压入轴承座后,轴套孔径会收缩变小,确定轴颈尺寸时应考虑到该收缩量。收缩量与过盈量、轴套内外径尺寸和孔隙度有关。图5.2-26给出不同内外径尺寸时收缩量与过盈量之比值 K 的曲线。材料弹性较大、轴承座刚度较大时,收缩量应按图中查出的 K 值再大些,反之则取小些的值。

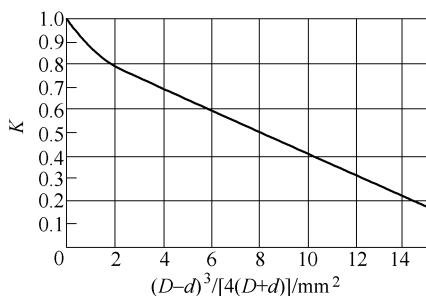


图 5.2-26 孔径收缩量与过盈量之比值 K

(3) 轴承间隙 间隙过大,在循环载荷作用下运转会出现过大噪声;间隙过小,摩擦力增大,轴承温度升高,材料热胀导致间隙进一步缩小,很易损坏轴承。所以尤应注意高速轴承间隙的选取。根据轴径和速度从图5.2-27选相对间隙 $\varphi = \Delta/d$, Δ 为轴承孔径与轴颈直径 d 之间的工作间隙。此时,亦可参照表5.2-14选取。

(4) 对偶轴颈表面硬度和粗糙度 轴颈表面硬度推荐不低于250HBW,表面粗糙度不大于 $1.6\mu\text{m}$ 。

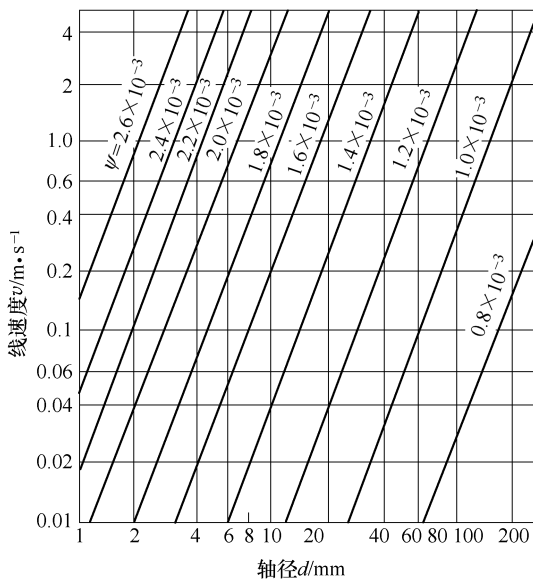


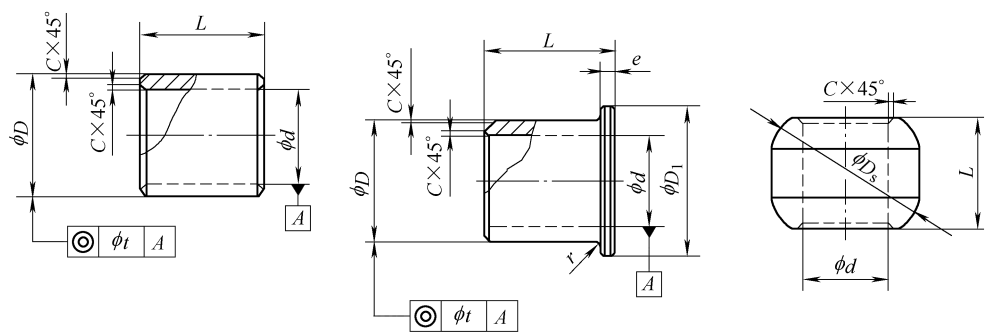
图 5.2-27 相对间隙的选择线图

表 5.2-11 粉末冶金含油轴承材料的物理、力学性能（摘自 GB 2688—1981）

轴承材料		牌号	含油密度 /g · cm ⁻³	含油率 (%)	线胀 ^① 系数 (10 ⁻⁶ /K)	热导率 ^① /W · (m · K) ⁻¹	弹性 ^① 模量 /GPa	径向压 溃强度 /MPa	表观硬度 (HBW)	最大压强 p /MPa						最大速度 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	最大 pv 值 /MPa · m · s ⁻¹
										线速度 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$							
										间断运行 ≈0.125	>0.125 ~0.25	>0.25 ~0.5	>0.5 ~0.75	>0.75 ~1.0	>1.0	$p <$ 0.5MPa	$v > 1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时
铁基	铁	FZ1160	5.7 ~ 6.2	≥18	11 ~ 12	41.9 ~ 125.6	80 ~ 100	>200	30 ~ 70	23	13	3.2	2.1	1.6	0.5/ v	3	自润滑 1.0 适当补充润滑 2.0 润滑充分 4.0
		FZ1165	>6.2 ~ 6.6	≥12				>250	40 ~ 80								
	铁碳	FZ1260	5.7 ~ 6.2	≥18				>250	50 ~ 100								
		FZ1265	>6.2 ~ 6.6	≥12				>300	60 ~ 110								
	铁碳铜	FZ1360	5.7 ~ 6.2	≥18				>350	60 ~ 110								
		FZ1365	>6.2 ~ 6.6	≥12				>400	70 ~ 120								
	铁铜	FZ1460	5.8 ~ 6.3	≥18				>300	50 ~ 100								
		FZ1465	>6.3 ~ 6.7	≥12				>350	60 ~ 110								
铜基	铜锡 铅锌	FZ2170	6.6 ~ 7.2	≥18	16 ~ 18	41.9 ~ 58.6	60 ~ 70	>150	20 ~ 50	22.5	14	3.9	2.6	2.0	0.3/ v	4	自润滑 1.75 适当补充润滑 3.5
		FZ2175	>7.2 ~ 7.8	≥12				>200	30 ~ 60								
	铜锡	FZ2265	6.2 ~ 6.8	≥18				>150	25 ~ 55								
		FZ2270	>6.8 ~ 7.4	≥12				>200	35 ~ 65								
	铜锡铅	FZ2365	6.3 ~ 6.9	≥18				>150	20 ~ 50								

① 该三项内容不是国家标准内容，仅供参考。

表 5.2-12 滑动轴承烧结轴套的尺寸 (摘自 GB/T 18323—2001) (mm)



圆柱轴套

翻边轴套

球面轴套

内径 d	外径 D		圆柱轴套	翻边轴套						球面轴套	
	常用 系列	薄壁 系列	长度 L	翻边直径 D_1		翻边厚度 e		长度 L		球面直径 D_s	长度 L
				常用 系列	薄壁 系列	常用 系列	薄壁 系列	常用系列	薄壁系列		
1	3	—	1.2	5		1		2		3	2
1.5	4	—	1.2	6		1		2		4.5	3
2	5	—	2.3	8		1.5		3		5	3
2.5	6	—	3.3	9		1.5		3		6	4
3	6	5	3.4	9		1.5		4		8	6
4	8	7	3-4-6	12		2		3-4-6		10	8
5	9	8	4-5-8	13		2		4-5-8		12	9
6	10	9	4-6-10	14		2		4-6-10		14	10
7	11	10	5-8-10	15		2		5-8-10		16	11
8	12	11	6-8-12	16		2		6-8-12		16	11
9	14	12	6-10-14	19		2.5		6-10-14		18	12
10	16	14	8-10-16	22	18	3	2	8-10-16	8-10-16	20, 22	13, 14
12	18	16	8-12-20	24	20	3	2	8-12-20	8-12-20	22	15
14	20	18	10-14-20	26	22	3	2	10-14-20	10-14-20	24	17
15	21	19	10-15-25	27	23	3	2	10-15-25	10-15-25	27	20
16	22	20	12-16-25	28	24	3	2	12-16-25	12-16-25	28	20
18	24	22	12-18-30	30	26	3	2	12-18-30	12-18-30	30	20
20	26	25	15-20-25-30	32	30	3	2.5	15-20-25-30	15-20-25	36	25
22	28	27	15-20-25-30	34	32	3	2.5	15-20-25-30	15-20-25		
25	32	30	20-25-30-35	39	35	3.5	2.5	20-25-30	20-25-30		
28	36	33 (34)	20-25-30-40	44		4		20-25-30			
30	38	35 (36)	20-25-30-40	46		4		20-25-30			
32	40	38	20-25-30-40	48		4		20-25-30			
35	45	41	25-35-40-50	55		5		25-35-40			
38	48	44	25-35-45-55	58		5		25-35-45			
40	50	46	30-40-50-60	60		5		30-40-50			
42	52	48	30-40-50-60	62		5		30-40-50			
45	55	51	35-45-55-65	65		5		35-45-55			

(续)

内径 d	外径 D		圆柱轴套		翻边轴承						球面轴套	
			长度 L	翻边直径 D_1		翻边厚度 e		长度 L		球面直径 D_s	长度 L	
	常用 系列	薄壁 系列		常用 系列	薄壁 系列	常用 系列	薄壁 系列	常用系列	薄壁系列			
48	58	55	35-50-70	68		5		35-50				
50	60	58	35-50-70	70		5		35-50				
55	65	63	40-55-70	75		5		40-55				
60	72	68	50-60-70	84		6		50-60				

圆柱轴套和翻边轴套倒角 C 和圆角 r 最大值										球面轴套倒角 C 最大值			
壁厚 $(D-d)/2$	≤ 1	$>1\leq 2$	$>2\leq 3$	$>3\leq 4$	$>4\leq 5$	>5	壁厚 $(D-d)/2$	≤ 12	$<12\leq 30$	>30	内径 d	≤ 12	>5
C	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	r	0.3	0.6	0.8	C	0.3	0.5

注：1. 圆柱轴套从内径为 20mm（含 20mm）开始，长度的最后一个值不能用于薄壁系列。
2. 括号内的尺寸应用作“第二系列”。

表 5.2-13 滑动轴承烧结轴套的公差（摘自 GB/T 18323—2001）

圆柱轴套和翻边轴套							球面轴套		
外径 D 的尺寸	内径 d 的公差	外径 D 的公差	外径 D 对 内表面直 径的同轴 度的公差	轴承长度 L ， 翻边直径 D_1 ， 翻边厚度 e 的 公差	轴承座 公差	装配后的 轴承座孔 公差	内径 d 的公差	球面直径 D_s 的公差	轴承长度 L 的公差
≤ 50	F7 ~ G7	r6 ~ s7	IT9	js13	H7	H7	H7	h11	js13
> 50	F8 ~ G8	r7 ~ s8	IT10			H8			

表 5.2-14 推荐的最小轴承间隙值（mm）

轴直径	推荐的最小轴承间隙值
≤ 6	0.008
$> 6 \sim 10$	0.010
$> 10 \sim 18$	0.012
$> 18 \sim 30$	0.025
$> 30 \sim 50$	0.040
$> 50 \sim 60$	0.050

4.1.3 润滑

(1) 润滑方式 含油轴承也可在连续或间歇供油下运转，以提高其承载能力和许用滑动速度。润滑方式的选取见图 5.2-28。粉末冶金含油轴承的供油方法见图 5.2-29。

(2) 润滑油选择 粉末冶金含油轴承轴套在使用前需浸入 80 ~ 120℃ 的润滑油中约 1h，浸透后装入轴承座内使用。润滑油必须有高的氧化安定性、油膜强度和粘温指数，千万不能采用悬浮有固体颗粒的润滑油或润滑脂。粉末冶金含油轴承常用的润滑油是汽油机油，高速轻载时也可以用主轴油

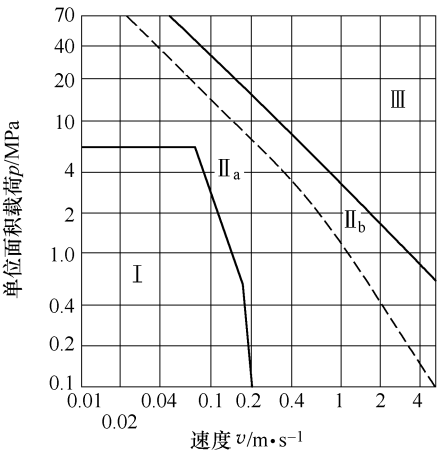


图 5.2-28 润滑方式的选取

I—无需供油 II_a—需补充供油
II_b—需补充供油并采用高孔隙率材料 III—需连续供油
(F 类)。润滑油粘度可按图 5.2-30 选用。

(3) 重新浸油时间 鉴于油损耗和变质情况，每

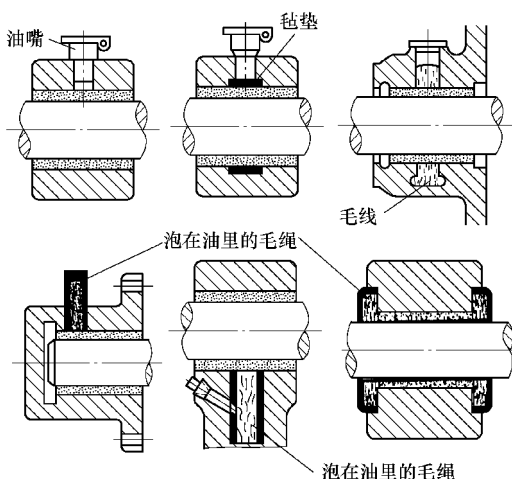


图 5.2-29 粉末冶金含油轴承的供油方法

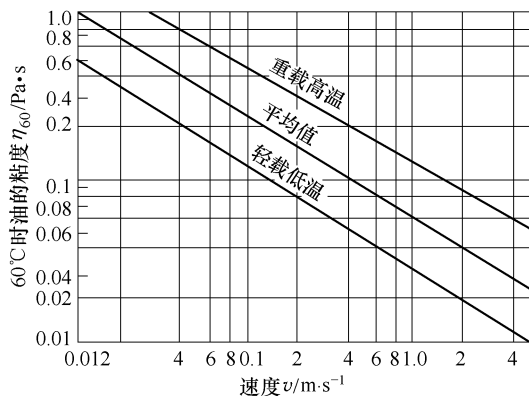


图 5.2-30 含油轴承适宜的油粘度

工作较长时间后,需拆下轴套重新浸一次油。重新浸油时间可按图 5.2-31 根据线速度和工作温度确定。采用真空浸渍或热油浸渍。热油浸渍一般是将油加热到 80~120℃,将轴套放入,并随油冷却到室温。

4.1.4 使用安装 (GB/T 2688—1981)

1) 轴承成品工作表面一般应尽可能不切削加

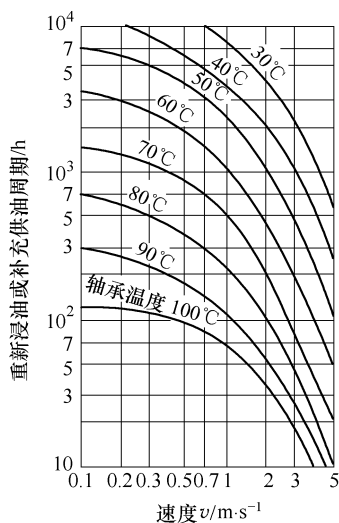


图 5.2-31 重新浸油时间

工,必要时非工作表面可进行切削加工。

2) 轴承压入座孔后,若内径收缩过大,可采用光轴或钢球、无齿铰刀、无齿锥刀等以无切削加工方法进行扩孔。若内径必须切削加工,宜采用车、镗等方法,而不宜采用磨削等方法,以免细屑堵塞孔隙降低供油能力。

3) 轴承装配前,轴承须在规定的油中浸泡和清洗,但切忌用煤油,汽油以及能溶解所浸渍润滑油的其他溶剂等清洗。

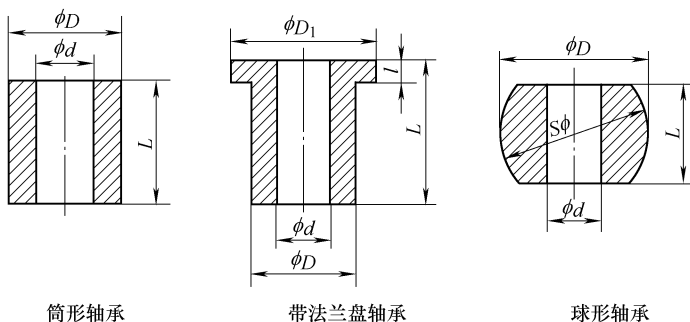
4.2 青铜石墨含油轴承

将青铜粉末与石墨颗粒混合,烧结成多孔质材料,浸渍润滑油,构成青铜石墨含油轴承。它具有较高的耐磨性和良好的减磨性。在汽车、拖拉机、洗衣机以及小型电动机中均有应用。

青铜石墨含油轴承形式与粉末冶金含油轴承的一样有三种,其尺寸和公差见表 5.2-15。

表 5.2-15 青铜石墨含油轴承 (摘自 JB/T 3729—2008)

(mm)



(续)

型号	内径 d	外径 D	长度 L	法兰盘 外径 D_1	法兰盘 厚度 l	内倒角	外倒角	同轴度 公差	径向抗压 强度 /MPa	体积浸 油率 (%)
筒形轴承	Z-6	$6^{+0.030}_{+0.005}$	$10^{+0.065}_{+0.035}$	10 ± 0.3	—	—	—	$1 \times 45^\circ$	—	70
	Z-10	$10^{+0.022}_{+0}$	$16^{+0.046}_{+0.028}$	14	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	$0.5 \times 45^\circ$	$\phi 0.03$	
			$13^{+0.045}_{+0.010}$	10 ± 0.2	—	—	—	$0.3 \times 15^\circ$	$\phi 0.05$	
			$20^{+0.039}_{+0.025}$	14	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	$0.5 \times 45^\circ$	$\phi 0.04$	
	Z-11	$11^{+0.060}_{+0.025}$	$15^{+0.075}_{+0.045}$	$16^{+0}_{-0.5}$	—	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	—	
	Z-11.9	$11.9^{+0}_{-0.10}$	$16^{+0.045}_{+0.010}$	13 ± 0.2	—	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	$\phi 0.10$	
	Z-12	$12^{+0.04}_{+0.01}$	$22^{+0.095}_{+0.050}$	15 ± 0.2	—	—	$1 \times 45^\circ$	$1 \times 45^\circ$	$\phi 0.07$	
	Z-12.3	$12.3^{+0}_{-0.10}$	$16^{+0.07}_{-0.05}$	23.5 ± 0.5	—	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	$\phi 0.10$	
	Z-12.4	$12.4^{+0}_{-0.01}$	$16^{+0.045}_{+0.010}$	$18.5^{+0.5}_{-1.0}$	—	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	$\phi 0.10$	
	Z-12.5	$12.5^{+0.045}_{+0.010}$	$18.5^{+0.5}_{-1.0}$	—	—	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	$\phi 0.10$	
		$12.5^{+0.045}_{-0.010}$	$16^{+0.045}_{+0.010}$	—	—	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	$\phi 0.10$	
	Z-12.7	$12.7^{+0.040}_{+0.010}$	$16^{+0.080}_{+0.045}$	23.5 ± 0.5	—	—	—	—	$\phi 0.10$	
		$12.7^{+0}_{-0.010}$	$16^{+0.070}_{-0.050}$	23.5 ± 0.5	—	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	$\phi 0.10$	
	Z-14	$14^{+0.035}_{+0}$	$18^{+0.045}_{+0.010}$	20 ± 0.4	—	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	—	
			$17^{+0.115}_{+0.080}$	$16.4^{+0}_{-0.24}$	—	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	$\phi 0.10$	
	Z-15	$15^{+0.055}_{+0.020}$	$21^{+0.100}_{+0.055}$	20 ± 0.3	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	$0.5 \times 45^\circ$	—	
	Z-15.9	$15.9^{+0.045}_{+0}$	$20^{+0.095}_{+0.050}$	$21^{+0}_{-1.0}$	—	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	$\phi 0.05$	
	Z-16	$16^{+0.027}_{+0}$	$20^{+0.074}_{+0.041}$	15	—	—	—	$0.4 \times 45^\circ$	$\phi 0.06$	
	Z-16.2	$16.2^{+0.050}_{+0.010}$	$19.25^{+0.085}_{+0.060}$	$15^{+0.5}_{-1.0}$	—	—	—	$0.4 \times 45^\circ$	$\phi 0.10$	
	Z-18.2	$18.2^{+0.065}_{+0.020}$	$24^{+0.100}_{+0.055}$	25 ± 0.4	—	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	—	
	Z-19	$19^{+0.210}_{+0.160}$	$21.7^{+0.075}_{+0.050}$	$17^{+0}_{-1.1}$	—	—	—	$0.5 \times 45^\circ$	$\phi 0.15$	
		$19^{+0.033}_{+0}$	$23^{+0.074}_{+0.041}$	20	—	—	—	—	$\phi 0.06$	
	Z-25	$25^{+0.045}_{+0}$	$32^{+0.115}_{+0.065}$	$18^{+0}_{-1.0}$	—	—	—	—	$\phi 0.05$	
	Z-28	38 ± 0.5	58.5 ± 0.5	$11^{+1.0}_{+0}$	—	—	—	—	—	
	Z-45	$45^{+0.10}_{+0.04}$	$55^{+0.050}_{-0.013}$	38 ± 0.25	—	—	$1.5 \times 45^\circ$	$1.5 \times 45^\circ$	—	
	Z-11	11	$28^{+0.036}_{+0.015}$	3	—	—	—	—	—	
带法兰盘轴承	Z-10B	$10^{+0.018}_{+0}$	$15.2^{+0.046}_{+0.028}$	13	19	2	$0.5 \times 45^\circ$	$0.5 \times 45^\circ$	—	—
	Z-101B	$10^{+0.022}_{+0}$	$18^{+0.034}_{+0.012}$	40	24	3	$0.8 \times 45^\circ$ (上)	$0.8 \times 45^\circ$ (下)	—	
	Z-10B	$10^{+0.016}_{-0.010}$	$15^{+0.030}_{+0}$	35	20	7.5	$0.5 \times 45^\circ$ (上)	$0.5 \times 45^\circ$ (下)	—	
	Z-12Q	$12^{+0.027}_{+0}$	$21.6^{+0}_{-0.10}$	$16.5^{+0.20}_{+0}$	$22^{+0}_{-0.26}$	—	$0.5 \times 45^\circ$	—	$\phi 0.025$	
球形轴承	Z-8Q	$8^{+0.015}_{+0}$	$15.5^{+0}_{-0.2}$	11.2 ± 0.08	$15.9^{+0}_{-0.11}$	—	—	—	$\phi 0.06$	—
	Z-10Q	$10^{+0.016}_{+0}$	15.5 ± 0.2	11 ± 0.12	$16^{+0}_{-0.12}$	—	—	—	$\phi 0.10$	
	Z-10Q	$10^{+0.022}_{+0}$	$19.6^{+0.075}_{+0.035}$	15	20 ± 0.10	—	—	—	$\phi 0.08$	
	Z-12Q	$12^{+0.027}_{+0}$	$21.6^{+0}_{-0.10}$	$16.5^{+0.20}_{+0}$	$22^{+0}_{-0.26}$	—	$0.5 \times 45^\circ$	—	$\phi 0.025$	

青铜石墨含油轴承所含的润滑油的体积分数为12%~30%，筒形轴承的径向抗压强度为70MPa。

青铜石墨含油轴承径向破坏载荷按下式计算

$$F = \sigma_{bc} L (D - d)^2 / [2(D + d)] \quad (5.2-48)$$

式中 σ_{bc} ——轴承径向抗压强度。

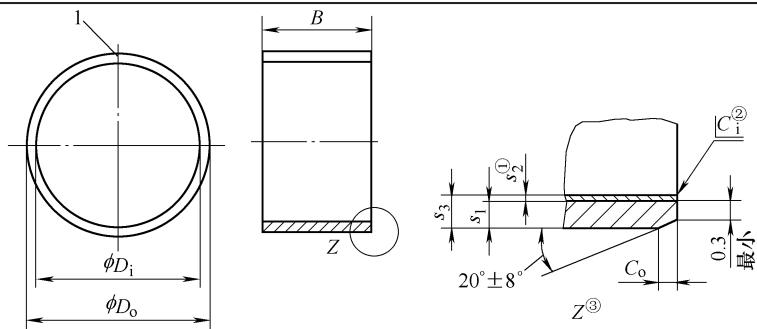
5 轴套与轴瓦

5.1 轴套

5.1.1 卷制轴套 (表 5.2-16 ~ 表 5.2-23)

表 5.2-16 卷制轴套内径 D_i 、外径 D_o 、壁厚 s_3 和宽度 B 的优选公称尺寸 (摘自 GB/T 12613.1—2002)

(mm)



1—开缝

① 轴承材料层的厚度：仅适用于按照 GB/T 12613.2 的计算。

② C_i 可以是圆弧或倒角，按照 ISO 13715。

③ 图示为多层材料制成的轴套。

D_i	D_o	s_3	$B^{\textcircled{1}}$													D_i	D_o	s_3	$B^{\textcircled{1}}$							
			4	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	30				40	50	60	70	80	100		
4	5.5	0.75	a	a											60	65	2.5	a	b	b		c				
6	8	1		a		a									65	70	2.5	a		b		c				
8	10	1			a	a	a								70	75	2.5	a		b		c				
10	12	1				a	a	b							75	80	2.5		b		b		c			
12	14	1				a		b	b						80	85	2.5		b		b		c	c		
13	15	1				a		b	b						85	90	2.5		b		b		c	c		
14	16	1						b	b	b					90	95	2.5		b		b			c		
15	17	1						b	b	b					95	100	2.5				b			c		
16	18	1						b	b	b					100	105	2.5			b	b			c		
18	20	1						b	b	b					105	110	2.5				b			c		
18	21	1.5						a	b	b					110	115	2.5				b			c		
20	23	1.5						a	b	b	b				115	120	2.5				b			c		
22	25	1.5						a	b	b	b				120	125	2.5				b			c		
24	27	1.5						a	b	b					125	130	2.5				b			c		
25	28	1.5						a			b				130	135	2.5				b			c		
28	31	1.5							b	b	b				135	140	2.5				b			c		
28	32	2							a	a	b				140	145	2.5				b			c		
30	34	2							a		b	b			150	155	2.5				b			c		
32	36	2							a		b	b			160	165	2.5				b			c		
35	39	2							a		b	b			170	175	2.5							c		
38	42	2							a		b	b			180	185	2.5							c		
40	44	2							a		b	b			200	205	2.5							c		
45	50	2.5							a		b	b	b		220	225	2.5							c		
50	55	2.5								a		b	b	b	250	255	2.5							c		
55	60	2.5									a	b		b	300	305	2.5							c		

注：当轴套宽度 B 超出范围时， a 、 b 、 c 的值应与制造者协商并在标准指定的公称尺寸后给出；如需要使用非标准的宽度 B ，则在 $D_i \leq 50\text{mm}$ 时，应有一个 2、5 和 8 的尾数；当 $D_i > 50\text{mm}$ 时，有一个 5 的尾数。轴套宽度 B 的检测应符合 ISO 12301 的规定。

① 宽度 B 的公差范围： a 为 $\pm 0.25\text{mm}$ ， b 为 $\pm 0.5\text{mm}$ ， c 为 $\pm 0.75\text{mm}$ 。

表 5.2-17 卷制轴套外倒角 C_o 和内倒角 C_i 尺寸 (摘自 GB/T 12613.1—2002) (mm)

壁厚 s_3	倒角 C_o		倒角 C_i	壁厚 s_3	倒角 C_o		倒角 C_i
	机加工	碾制			机加工	碾制	
0.75	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3	-0.4 -0.1	2	1.2 ± 0.4	1 ± 0.4	-0.7 -0.1
1	0.6 ± 0.4	0.6 ± 0.4	-0.5 -0.1	2.5	1.8 ± 0.6	1.2 ± 0.4	-1 -0.2
1.5	0.6 ± 0.4	0.6 ± 0.4	-0.7 -0.1				

表 5.2-18 A、B、C、D 系列的壁厚 s_3 、钢层厚度 s_1 的公称尺寸和公差
(按照 GB/T 12613.2—2002, 检验方法 A) (mm)

公称尺寸		壁厚 s_3				多层金属材料制造的 轴套钢层厚度 $s_1^{\text{①}}$	
		公差					
		轴承孔不预留加工余量			轴承孔预留 加工余量		
		系列 A	系列 B	系列 D	系列 C	范围	公差
0.75		0 −0.015	0 −0.020	—	+0.25 +0.15	$0.38 \leq s_1 \leq 0.53$	±0.08
1		0 −0.015	+0.005 −0.020	+0.020 −0.045	+0.25 +0.15	$0.45 \leq s_1 \leq 0.68$	±0.13
1.5		0 −0.015	+0.005 −0.020	+0.025 −0.055	+0.25 +0.15	$0.85 \leq s_1 \leq 1.1$	±0.15
2		0 −0.015	+0.005 −0.030	+0.030 −0.065	+0.25 +0.15	$1.3 \leq s_1 \leq 1.55$	±0.2
2.5	$D_o \leq 80$	0 −0.020	+0.005 −0.040	+0.040 −0.085	+0.30 −0.15	$1.8 \leq s_1 \leq 2.05$	±0.2
	$80 < D_o \leq 120$	0 −0.025	+0.010 −0.060				
	$D_o > 120$	0 −0.030	+0.035 −0.085				

注：1. 按 GB/T 12613.4—2002 材料 P1 制造的轴套，只用于 B 系列；对按 GB/T 12613.4—2002 材料 P2 制造的轴套，则优先用于 D 系列；
2. 根据制造工艺，通常轴套背部会出现分散的轻微凹陷。因此，壁厚的测量部位应离开这些凹陷区，即在“承载部位”。
① 钢层平均厚度取决于衬层材料的种类。

表 5.2-19 W 系列环规内轴套内径 $D_{i, ch}$ 的公差
(按照 GB/T 12613.2—2002, 检验方法 C) (mm)

D_i 公称	>	—	10	18	30	50	80	120
	≤	10	18	30	50	80	120	175
$D_{i, ch}$ 公差		+0.036 0	+0.043 0	+0.052 0	+0.062 0	+0.074 0	+0.087 0	+0.100 0

注：除非另有异议，轴套内径与外径的同轴度为 0.05mm。

表 5.2-20 用于检验轴套内径 $D_{i, ch}$ 的环规内径尺寸 $d_{ch, 1}$

(按照 GB/T 12613.2—2002, 检验方法 C) (mm)

D_o 公称	>	—	10	18	30	50	80	120
	≤	10	18	30	50	80	120	180
$d_{ch, 1}$ ①		$D_o + 0.008$	$D_o + 0.009$	$D_o + 0.011$	$D_o + 0.013$	$D_o + 0.015$	$D_o + 0.018$	$D_o + 0.020$

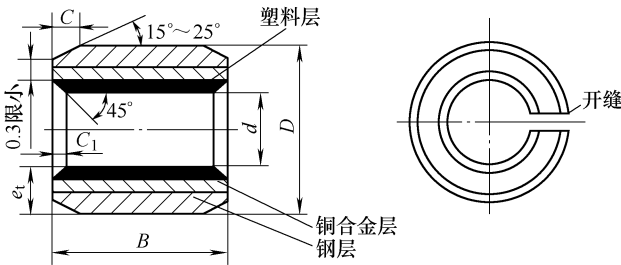
① 环规内径 $d_{ch, 1}$ 的尺寸 D_o , 其公差范围的圆整平均值为 H7。

表 5.2-21 外径 D_o 尺寸 (按照 GB/T 12613.2—2002, 检验方法 A 和 D) (mm)

测试		A								D
D_o 公称	>	—	10	18	30	40	50	80	120	140 ^①
	≤	10	18	30	40	50	80	120	140	—
轴套公差	钢	+0.055	+0.065	+0.075	+0.085	+0.085	+0.100	+0.120	+0.170	+0.225
	钢/轴承材料	+0.025	+0.030	+0.035	+0.045	+0.045	+0.055	+0.070	+0.100	+0.125
	铜合金	+0.075	+0.080	+0.095	+0.110	+0.110	+0.125	+0.140	+0.190	+0.245
		+0.045	+0.050	+0.055	+0.065	+0.065	+0.075	+0.090	+0.120	+0.145

① 对于 $D_o > 140\text{mm}$ 的轴套, 其外径可根据 GB/T 12613.2—2002 检验方法 D 的精密测量, 通过圆整比较测量进行控制。

表 5.2-22 覆有减摩塑料层双金属卷制轴套的尺寸 (摘自 GB/T 12949—1991) (mm)



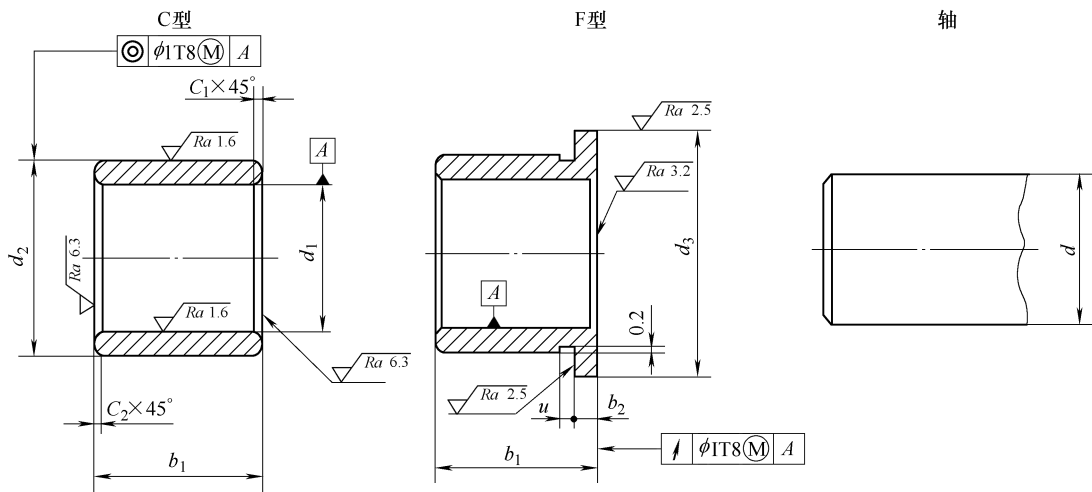
壁厚 e_1	1	1.5	2.0	2.5	宽 度	壁厚 e_1	1	1.5	2.0	2.5	宽 度
外径 D	内 径 d				B	外径 D	内 径 d				B
6	4				4, 6, 8	34			30		12, 15, 20, 25, 30, 40
7	5				4, 5, 6, 8	36			32		20, 30
8	6				6, 8, 10	39			35		12, 20, 25, 30, 40, 50
9	7				10, 12	42			38		30, 40
10	8				6, 8, 10, 12	44			40		12, 20, 25, 30, 40, 50
12	10				6, 8, 10, 12, 15, 20	50				45	20, 25, 30, 40, 50
14	12				6, 8, 10, 12, 15, 20	55				50	20, 30, 40, 60
16	14				10, 12, 15, 20	60				55	30, 40, 60
17	15				10, 12, 15, 20, 25	65				60	30, 40, 60
18	16				10, 12, 15, 20, 25	70				65	30, 40, 60
20	18				10, 12, 15, 20, 25	75				70	40, 60, 80
23		20			10, 12, 15, 20, 25, 30	80				75	30, 40, 60, 80
25		22			10, 12, 15, 20, 25	85				80	40, 60, 80
27		24			15, 20, 25, 30	90				85	40, 60, 80
28		25			10, 12, 15, 20, 25, 30	95				90	40, 60, 90
30			28		20, 30	105				100	50, 95

表 5.2-23 覆有减振塑料层双金属卷制轴套的公差及表面粗糙度 (摘自 GB/T 12949—1991)

项目名称		外径 D	内径 d	宽度 B	与外径相配的座孔
尺寸公差		IT7	H7	h13	H7
形位公差		符合 GB 12613—2002 的规定			
表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	外表面	3.2			
	其余加工部位	25			

5.1.2 整体轴套（见表 5.2-24 ~ 表 5.2-27）

表 5.2-24 铜合金轴套（摘自 GB/T 18324—2001） (mm)



F型其他尺寸和说明见C型。

标记示例：

C 型轴套内径 $d_1 = 20\text{mm}$ ，外径 $d_2 = 24\text{mm}$ ，宽度 $b_1 = 20\text{mm}$ ，协商而定的外圆倒角 C_2 为 15° （Y），材料为符合 GB/T 18324 的 CuSn8P，标记为：轴套 GB/T 18324—C20 × 24 × 20Y—CuSn8P

C 型铜合金轴套

内径 d_1	外径 d_2			宽度 b_1			倒角		内径 d_1	外径 d_2			宽度 b_1			倒角	
							45° C_1, C_2 max	15° C_2 max								45° C_1, C_2 max	15° C_2 max
6	8	10	12	6	10	—	0.3	1	48	53	56	58	40	50	60	0.8	3
8	10	12	14	6	10	—	0.3	1	50	55	58	60	40	50	60	0.8	3
10	12	14	16	6	10	—	0.3	1	55	60	63	65	40	50	70	0.8	3
12	14	16	18	10	15	20	0.5	2	60	65	70	75	40	50	80	0.8	3
14	16	18	20	10	15	20	0.5	2	65	70	75	80	50	60	80	1	4
15	17	19	21	10	15	20	0.5	2	70	75	80	85	50	70	90	1	4
16	18	20	22	12	15	20	0.5	2	75	80	85	90	50	70	90	1	4
18	20	22	24	12	20	30	0.5	2	80	85	90	95	60	80	100	1	4
20	23	24	26	15	20	30	0.5	2	85	90	95	100	60	80	100	1	4
22	25	26	28	15	20	30	0.5	2	90	100	105	110	60	80	120	1	4
(24)	27	28	30	15	20	30	0.5	2	95	105	110	115	60	100	120	1	4
25	28	30	32	20	30	40	0.5	2	100	110	115	120	80	100	120	1	4
(27)	30	32	34	20	30	40	0.5	2	105	115	120	125	80	100	120	1	4
28	32	34	36	20	30	40	0.5	2	110	120	125	130	80	100	120	1	4
30	34	36	38	20	30	40	0.5	2	120	130	135	140	100	120	150	1	4
32	36	38	40	20	30	40	0.8	3	130	140	145	150	100	120	150	2	5
(33)	37	40	42	20	30	40	0.8	3	140	150	155	160	100	150	180	2	5
35	39	41	45	30	40	50	0.8	3	150	160	165	170	120	150	180	2	5
(36)	40	42	46	30	40	50	0.8	3	160	170	180	185	120	150	180	2	5
38	42	45	48	30	40	50	0.8	3	170	180	190	195	120	180	200	2	5
40	44	48	50	30	40	60	0.8	3	180	190	200	210	150	180	250	2	5
42	46	50	52	30	40	60	0.8	3	190	200	210	220	150	180	250	2	5
45	50	53	55	30	40	60	0.8	3	220	210	220	230	180	200	250	2	5

(续)

F 型铜合金轴套

内径 d_1	外径 d_2	翻边 外径 d_3	翻边 宽度 b_2	外径 d_2	翻边 外径 d_3	翻边 宽度 b_2	宽度 b_1			倒角		退刀槽 宽度 u
										45° C_1, C_2 max	15° C_2 max	
第一系列				第二系列								
6	8	10	1	12	14	3	—	10	—	0.3	1	1
8	10	12	1	14	18	3	—	10	—	0.3	1	1
10	12	14	1	16	20	3	—	10	—	0.3	1	1
12	14	16	1	18	22	3	10	15	20	0.5	2	1
14	16	18	1	20	25	3	10	15	20	0.5	2	1
15	17	19	1	21	27	3	10	15	20	0.5	2	1
16	18	20	1	22	28	3	12	15	20	0.5	2	1.5
18	20	22	1	24	30	3	12	20	30	0.5	2	1.5
20	23	26	1.5	26	32	3	15	20	30	0.5	2	1.5
22	25	28	1.5	28	34	3	15	20	30	0.5	2	1.5
(24)	27	30	1.5	30	36	3	15	20	30	0.5	2	1.5
25	28	31	1.5	32	38	4	20	30	40	0.5	2	1.5
(27)	30	33	1.5	34	40	4	20	30	40	0.5	2	1.5
28	32	36	2	36	42	4	20	30	40	0.5	2	1.5
30	34	38	2	38	44	4	20	30	40	0.5	2	2
32	36	40	2	40	46	4	20	30	40	0.8	3	2
(33)	37	41	2	42	48	5	20	30	40	0.8	3	2
35	39	43	2	45	50	5	30	40	50	0.8	3	2
(36)	40	44	2	46	52	5	30	40	50	0.8	3	2
38	42	46	2	48	54	5	30	40	50	0.8	3	2
40	44	48	2	50	58	5	30	40	60	0.8	3	2
42	46	50	2	52	60	5	30	40	60	0.8	3	2
45	50	55	2.5	55	63	5	30	40	60	0.8	3	2
48	53	58	2.5	58	66	5	40	50	60	0.8	3	2
50	55	60	2.5	60	68	5	40	50	60	0.8	3	2
55	60	65	2.5	65	73	5	40	50	70	0.8	3	2
60	65	70	2.5	75	83	7.5	40	60	80	0.8	3	2
65	70	75	2.5	80	88	7.5	50	60	80	1	4	2
70	75	80	2.5	85	95	7.5	50	70	90	1	4	2
75	80	85	2.5	90	100	7.5	50	70	90	1	4	3
80	85	90	2.5	95	105	7.5	60	80	100	1	4	3
85	90	95	2.5	100	110	7.5	60	80	100	1	4	3
90	100	110	5	110	120	10	60	80	120	1	4	3
95	105	115	5	115	125	10	60	100	120	1	4	3
100	110	120	5	120	130	10	80	100	120	1	4	3
105	115	125	5	125	135	10	80	100	120	1	4	3
110	120	130	5	130	140	10	80	100	120	1	4	3
120	130	140	5	140	150	10	100	120	150	1	4	3
130	140	150	5	150	160	10	100	120	150	2	5	4
140	150	160	5	160	170	10	100	150	180	2	5	4
150	160	170	5	170	180	10	120	150	180	2	5	4
160	170	180	5	185	200	12.5	120	150	180	2	5	4
170	180	190	5	195	210	12.5	120	180	200	2	5	4
180	190	200	5	210	220	15	150	180	250	2	5	4
190	200	210	5	220	230	15	150	180	250	2	5	4
200	210	220	5	230	240	15	180	200	250	2	5	4

- 注：1. 括号内的值仅作特殊用途，应尽可能避免使用。
2. 外圆倒角 C_2 为 45° 的，不要求进行专门详细的标记。外圆倒角 C_2 为 15° 的，规定在标记中另加 Y。
3. F 型翻边轴套是否带退刀槽（尺寸 u ）应根据供需双方协议而定。

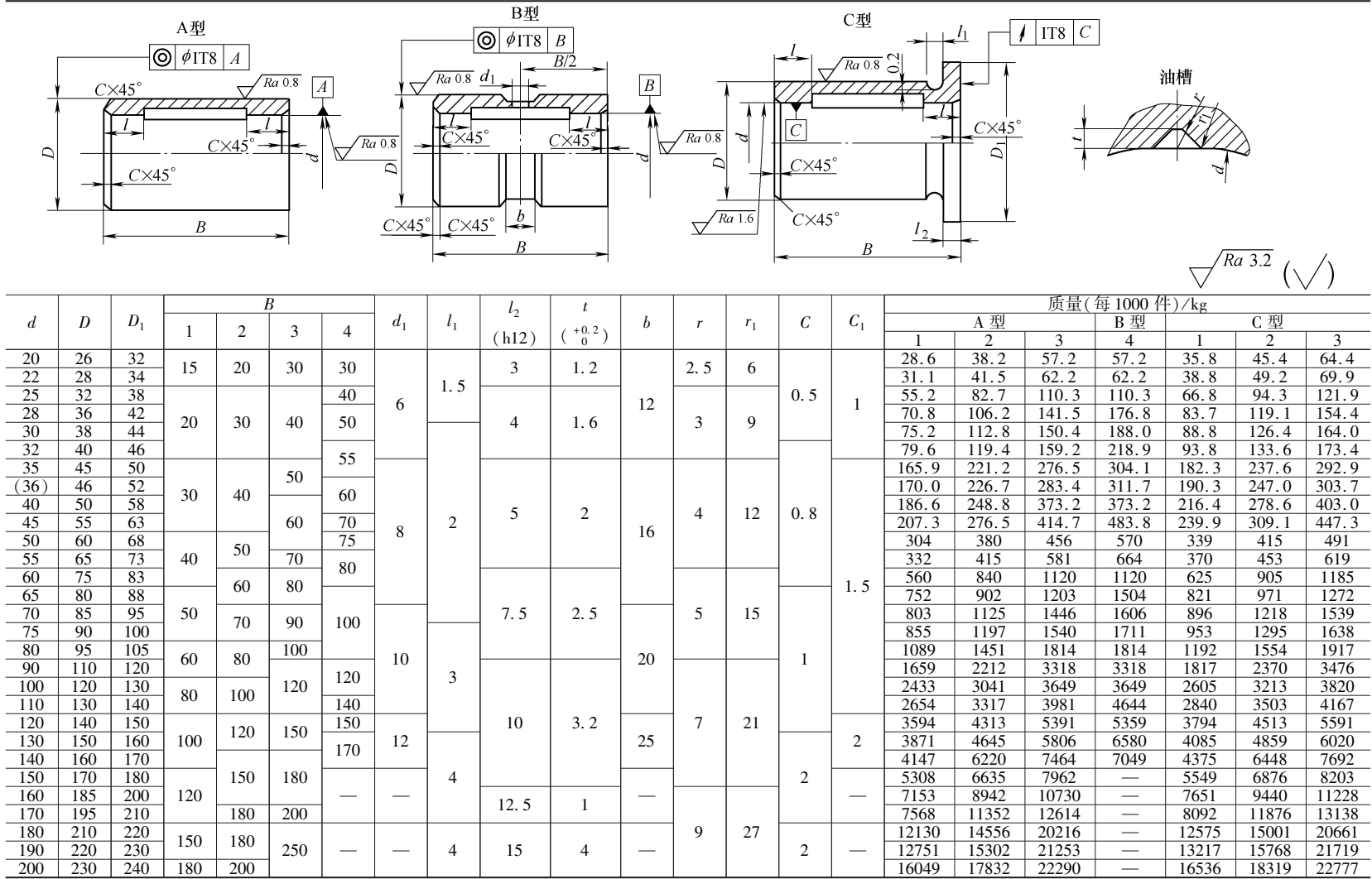
表 5.2-25 铜合金轴套公差与表面粗糙度

公差	内径 d_1	外径 d_2		翻边外径 d_3	宽度 b_1	轴承座孔	轴径 d
	E6 ^①	≤120	s6	d11	h13	H7	e7 或 g7 ^②
		>120	r6				

- 注：用尺寸 d_2 来确定关于同轴度公差 IT 值。用尺寸 d_3 来确定关于轴肩端面跳动的 IT 值。
① 冲压后 d_1 通常可达到公差位置 H，公差等级大约为 IT8。
② 根据使用情况来推荐所用的公差。如果轴套与公差位置 h 的精密磨削轴制成品相配合，内径 d_1 的公差应为 D6，它装配后的概率公差为 F8；如果轴套内孔是装配后加工，内径 d_1 的尺寸公差应由供需双方协议而定。

表 5.2-26 整体轴套尺寸 (摘自 JB/ZQ 4613—2006)

(mm)



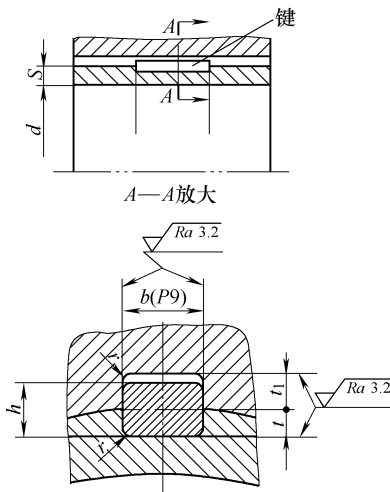
注: 1. 当 $B=15 \sim 30\text{mm}$ 时, $l=3\text{mm}$; 当 $B>30 \sim 60\text{mm}$ 时, $l=4\text{mm}$; 当 $B>60 \sim 100\text{mm}$ 时, $l=6\text{mm}$; 当 $B>100\text{mm}$ 时, $l=10\text{mm}$ 。2. 轴套的材料: ZCuAl10Fe3。3. B 型轴套适用于 JB/T 2560—2007《整体有衬正滑动轴承座型式与尺寸》规定的轴承座。4. 油槽应符合 JB/ZQ 4615—2006。5. 括号内尺寸尽量不选用。

表 5.2-27 整体轴套的公差配合 (摘自 JB/ZQ 4613—2006)

尺 寸		装配形式					
		压入			粘合		
d	装入前	G7	E9	D10	H7	H8	E9
	装入后	H7	H8	E9			
	相配轴的公差	g6, f7, e9			h9, h11	g6, f7, e9	
D	≤120mm	s6			g6		
	> 120mm	r6					
轴承座孔的公差		H7					

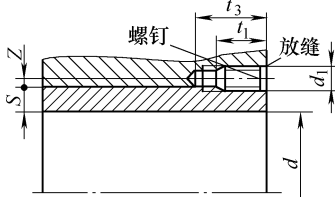
5.1.3 轴套的固定 (见表 5.2-28、表 5.2-29)

表 5.2-28 重载轴套固定方式 (摘自 JB/ZQ 4616—2006) (mm)

	轴套直径 $d (D)$	壁厚 S	键的尺寸 $b \times h$	轮毂槽深 t_1 及公差	轴套槽深 t 及公差	r
	>80 ~ 200	7.5 ~ 10	6 × 4 ~ 12 × 6	按 GB/T 1566 ~ 1567 《薄型平键和键槽的剖面尺寸》规定		0.25
	>200 ~ 300	12.5 ~ 15	12 × 6 ~ 20 × 8			0.40
	>300 ~ 450	17.5 ~ 20	20 × 8 ~ 28 × 10			1.00
	>450 ~ 600	20 ~ 25	28 × 10 ~ 32 × 11			1.20
	>600 ~ 900 >900 ~ 1250	>25	32 × 11			

注：外径小于等于 100mm，其极限偏差按 k6；外径大于 100mm 时见原标准。

表 5.2-29 轻载轴套固定方式 (摘自 JB/ZQ 4616—2006) (mm)

	轴套直径 $d (D)$	壁厚 S	螺钉 (GB/T 73)		t_3	Z
			$d_1 \times t_1$	数量		
	>30 ~ 50	4	M6 × 15	1	20	1.5
	>50 ~ 80	5	M8 × 20	1	25	2
	>80 ~ 200	7.5 ~ 10	M8 × 20	2	25	2
	>200 ~ 300	12.5 ~ 15	M10 × 20	2	26	2
	>300 ~ 450	17.5 ~ 20	M12 × 25	2	31	3
	>450 ~ 600	>20 ~ 25	M16 × 30	3	37	4

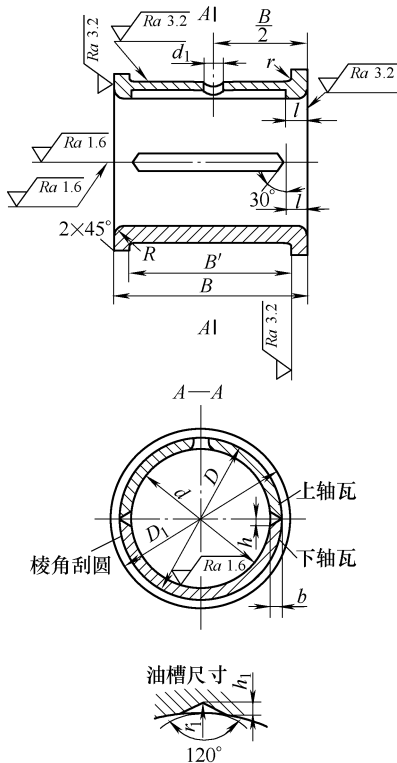
5.2 轴瓦

5.2.1 厚壁轴瓦 (见表 5.2-30)

表 5.2-30 轴瓦尺寸

(mm)

	d (H8)	D (k6)	D_1	d_1	B' (H8)	B	l	b	h	h_1	R	r	r_1	轴颈 圆角 半径
	30	40	50	10.5	50	60	8	1	7	1.5	2	2	1	1.5
	30	45	55	10.5	50	60	8	1	7	1.5	2.5	2	1	2
	40	50	60	10.5	60	70	8	1	7	1.5	2.5	2	1	
	45	55	65	10.5	60	70	8	1	7	1.5	2.5	2.5	1	
	50	60	70	10.5	65	80	10	1	7	2	2.5	2.5	1.5	
	55	65	75	10.5	65	80	10	1	7	2	2.5	2.5	1.5	
	60	70	80	10.5	65	80	10	1	8	2	2.5	2.5	1.5	3
	65	80	95	10.5	65	80	10	1	8	2	2.5	2.5	1.5	
	70	85	100	10.5	75	90	10	1	8	2.5	2.5	3	2	
	75	90	105	10.5	75	90	10	1	8	2.5	4	3	2	
	80	95	110	10.5	75 120	90 140	10	1	8	2.5	4	3	2	
	85	100	115	10.5	85 140	100 160	12	1.5	10	3	4	3	2	4
	90	105	120	10.5	85 140	100 160	12	1.5	10	3	4	3	2	
	95	115	130	10.5	90 140	110 160	12	1.5	10	3	4	3	2	
	100	120	140	10.5	90 160	110 180	12	1.5	10	3	4	3	2	
	110	130	150	10.5	100 160	120 180	12	2	13	3.5	5	4	2	
	120	140	160	10.5	110 180	130 200	12	2	13	3.5	5	4	2	5
	130	150	175	10.5	120 200	140 220	14	2	16	4	5	4	3	
	140	165	190	10.5	130 200	150 220	14	2	16	4	5	4	3	
	150	175	200	10.5	140 220	160 240	14	3	20	4.5	5	4	3	
	160	185	210	10.5	155 220	170 240	14	3	20	4.5	5	4	3	
	180	210	240	12.5	240	270	16	3	20	4.5	6	5	3	6
	200	230	260	12.5	270	300	16	4	25	5	6	5	4	
	220	250	280	12.5	270	300	16	4	25	5	8	5	4	6



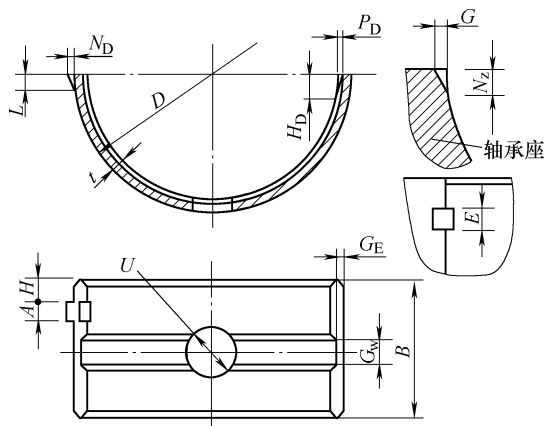
注:1. 加工时,上下轴瓦必须一起加工。

2. 与轴瓦配合的轴颈最好进行表面淬火。

5.2.2 薄壁轴瓦(见表 5.2-31 ~ 表 5.2-34)

表 5.2-31 薄壁不翻边轴瓦外径与壁厚(摘自 GB/T 7308—2008)

(mm)



外 径 D	壁 厚 t	外 径 D	壁 厚 t
20,21,22,24,25,26,28,30	1.25,1.50,1.75	170,180,190,200	3.5,4.0,4.5,5.0
32,34,36,38	1.50,1.75,2.0	210,220,240,250,260	4.0,4.5,5.0,6.0
40,42,45,48,50,53,56,60,63	1.75,2.0,2.5	280,300,320,340	5.0,6.0,8.0
67,71,75,80,85	2.0,2.5,3.0	360,380,400	6.0,8.0,10.0
90,95,100,105,110,120	2.5,3.0,3.5	420,450,480,500	8.0,10.0,12.0
125,130,140,150,160	3.0,3.5,4.0		

注: 1. 对于铸铁和钢质轴承座, 座孔直径 D 公差按 GB/T 1801 规定的 H6; 对高热膨胀系数材料的轴承座, 其座孔直径公差可以不按 H6, 但应按 IT6 级公差。

2. 轴瓦内圆表面粗糙度 Ra 最大值为 $0.8\mu\text{m}$ 。对于轴瓦外径大于 200mm 的轴瓦, 内圆表面粗糙度 Ra 最大值为 $1.6\mu\text{m}$ 。

3. 轴瓦外圆表面粗糙度: 外径 $D \leq 250\text{mm}$ 时, $Ra = 1.25\mu\text{m}$; $D > 250 \sim 500\text{mm}$ 时, $Ra = 1.6\mu\text{m}$ 。

4. 油槽宽度 G_W 根据使用要求按下列数值选取: 2.0mm、2.5mm、3.0mm、3.5mm、4.0mm、5.0mm、6.0mm、8.0mm、9.0mm、10mm, 其极限偏差为 $\pm 0.25\text{mm}$ 。

5. 槽底壁厚 $G_E = (1/2 \sim 1/3) t$, 但应取 $G_E \geq 0.7 \text{ mm}$ (对应 G_W 为 2.0 ~ 6.0 的 G_E) 和 $G_E \geq 1.2 \text{ mm}$ (对应 G_W 为 8.0 ~ 10 的 G_E)。

6. 油孔直径 U 应根据使用要求确定, 但不应等于油槽宽度。

表 5.2-32 薄壁不翻边轴瓦各部位尺寸公差 (摘自 GB/T 7308—2008)

$$(\text{mm})$$

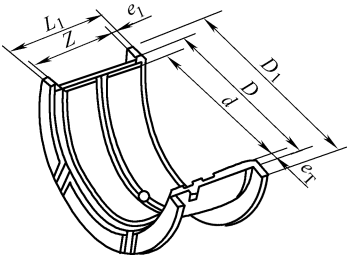
轴瓦外径 D		壁厚公差		半周 周长 公差	宽度 B 公差 带 ^①	定位唇尺寸与公差带				座孔定位槽尺寸与公差带			瓦口削薄尺寸 与公差带	
大于	至	双层 瓦	三层 瓦			宽度 A	长度 L	高度 H_D	位置 ^② H	宽度 E	长度 N_Z	深度 G	削薄量 P_D	高度 ^③ H_D
	38	0.008	0.013	0.030	0 -0.25	2.8 ⁰ _{-0.12}	4.0 ⁰ _{-1.2}	1.1 ⁰ _{-0.3}	+0.15 0	2.9 ^{+0.12} ₀	4.5 ^{+1.0} ₀	1.0 ^{+0.4} ₀	0.035 ⁰ _{-0.020}	0 -2.0
38	45					3.8 ⁰ _{-0.12}	6.0 ⁰ _{-1.2}	1.2 ⁰ _{-0.3}		3.9 ^{+0.12} ₀	7.0 ^{+1.5} ₀	1.0 ^{+0.4} ₀		
45	75	0.012	0.017	0.035		4.8 ⁰ _{-0.14}	6.0 ⁰ _{-1.2}	1.5 ⁰ _{-0.3}		4.9 ^{+0.14} ₀	8.0 ^{+2.0} ₀	2.0 ^{+0.6} ₀	0.040 ⁰ _{-0.025}	0 -3.0
75	110	0.013	0.018	0.040		5.8 ⁰ _{-0.14}	7.0 ⁰ _{-1.2}	1.7 ⁰ _{-0.4}		5.9 ^{+0.14} ₀	9.0 ^{+3.0} ₀	2.5 ^{+0.8} ₀	0.045 ⁰ _{-0.030}	0 -4.0

(续)

轴瓦外径 D		壁厚公差		半周 周长 公差	宽度 B 公差带①	定位唇尺寸与公差带				座孔定位槽尺寸与公差带			瓦口削薄尺寸 与公差带	
大于	至	双层 瓦	三层 瓦			宽度 A	长度 L	高度 H_D	位置② H	宽度 E	长度 N_Z	深度 G	削薄量 P_D	高度③ H_D
110	160	0.018	0.025	0.045	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.40 \end{smallmatrix}$	$7.8 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.16 \end{smallmatrix}$	$10.0 \begin{smallmatrix} 0 \\ -1.5 \end{smallmatrix}$	$2.0 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.5 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0.20 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$7.9 \begin{smallmatrix} +0.16 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$12.0 \begin{smallmatrix} +3.5 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$3.0 \begin{smallmatrix} +1.0 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$0.050 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.035 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -5.0 \end{smallmatrix}$
160	200			0.050										
200	250			0.055										
250	300	0.025	0.035	0.060	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.52 \end{smallmatrix}$	$9.8 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.16 \end{smallmatrix}$	$13.0 \begin{smallmatrix} 0 \\ -1.5 \end{smallmatrix}$	$2.5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.5 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0.30 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$9.9 \begin{smallmatrix} +0.16 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$15.0 \begin{smallmatrix} +5.0 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$3.5 \begin{smallmatrix} +1.2 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$0.070 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.040 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -6.0 \end{smallmatrix}$
300	340			0.070										
340	400			0.080										
400	500	0.03	0.040	0.080		$14.70 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.20 \end{smallmatrix}$	$18.0 \begin{smallmatrix} 0 \\ -2.0 \end{smallmatrix}$	$3.5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.5 \end{smallmatrix}$		$14.9 \begin{smallmatrix} +0.20 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$20.0 \begin{smallmatrix} +6.0 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$4.5 \begin{smallmatrix} +1.5 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$0.10 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.060 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -8.0 \end{smallmatrix}$

- ① 轴瓦宽度 B 根据使用要求而定，本标准不予规定，但宽度极限偏差应按表中的规定。
- ② 尺寸 H 推荐按 $H \geq 1.5t$ 选用，但不得小于 3mm，并使定位唇距油槽边缘不小于 2mm，否则取 $H=0$ 或使定位唇与油槽连通。
- ③ 瓦口削薄高度 H_D 推荐取 $D/6$ ，或由用户与制造者商定，其极限偏差应按表中的规定。

表 5.2-33 薄壁翻边轴瓦基本尺寸 (摘自 GB/T 7308—2008) (mm)

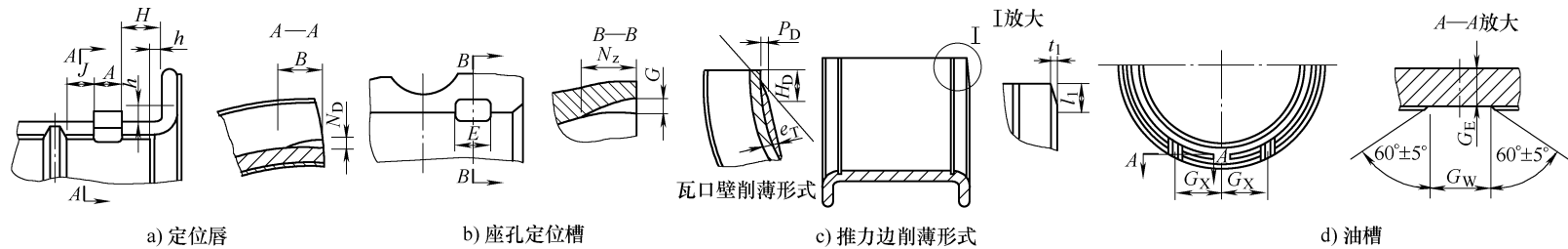


外径 <i>D</i>	壁厚 <i>e_T</i>							止推边 外径 <i>D</i> ₁	止推边间距 <i>Z</i>				外径 <i>D</i>	壁厚 <i>e_T</i>							止推边 外径 <i>D</i> ₁	止推边间距 <i>Z</i>			
	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0		15	17	19	22		2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0		36	43	53	62
	内径 <i>d</i>													内径 <i>d</i>											
40	36	35						52	15	17	21	105		99	98				129	36	43	53			
42	38	37						54	16	18	22	110		104	103				134	38	45	55			
45	41	40						57	17	19	24	120		114	113				144	41	49	60			
48	44	43						60	18	21	25	125				118	117			149	42	50	62		
50	46	45						62	18	21	26	130				123	122			154	44	52	65		
53	49	48						65	19	23	28	140				132	132			170	47	56	70		
56	52	51						68	20	24	30	150				142	142			180	51	60	75		
60	56	55						72	22	25	31	160				152	152			190	54	64	80		
63	59	58						79	23	27	33	170					162	160		200	57	68	84		
67		62	61					83	24	28	34	180					172	170		210	60	72	89		
71		66	65					87	25	29	36	190					182	180		220	64	76	94		
75		70	69					91	26	31	38	200					192	190		230	67	80	99		
80		75	74					96	28	33	41	210						200	198	250	70	83	103		
85		80	79					105	30	35	43	220						210	208	260	73	87	108		
90			84	83				110	31	37	45	240						230	228	280	80	95	118		
95			89	88				115	33	39	48	250						240	238	290	83	99	123		
100			94	93				120	34	41	50														

- 注：1. 材料为铸铁或钢的轴承座孔直径 D_L （与瓦外径 D 配合）的公差为 GB/T 1801 规定的 H6、H7；其他材料时，其直径公差应达到 IT6 ~ IT7 级。
2. 止推边外径 D_1 应小于轴肩直径。
3. 轴承座孔直径 D_L 应符合 GB 321《优先数和优先数系》R40 系列。

表 5.2-34 薄壁翻边轴瓦各部位要素尺寸与公差 (摘自 GB/T 7308—2008)

(mm)



各部位尺寸公差		轴 瓦 内 径 d															说 明	
		≤45	≤60	45 ~ 65	45 ~ 75	60 ~ 80	65 ~ 85	75 ~ 110	80 ~ 100	85 ~ 120	100 ~ 120	110 ~ 160	120 ~ 140	140 ~ 160	120 ~ 200	160 ~ 200		200 ~ 250
轴瓦壁厚 e_T 公差	双层瓦	0.008			0.008			0.010				0.015				0.015	0.020	测量 高出度 是指在 给定试 验载荷 下将轴 瓦压入 检验座 孔 时, 轴瓦超 过检验 座孔半 圆周长的尺寸
	三层瓦	0.012			0.012			0.015				0.022				0.022	0.030	
测 量 高 出 度 (S_N)公差		0.030			0.035			0.040				0.045				0.050	0.055	
止 推 边 间 距 Z 的极限偏差		+0.05 0			+0.05 0			+0.07 0				+0.07 0				+0.07 0	+0.07 0	
轴 承 座 孔 宽 度 L_L 极限偏差		-0.02 -0.07			-0.02 -0.07			-0.02 -0.07				-0.02 -0.10				-0.02 -0.10	-0.02 -0.10	
轴 瓦 总 宽 度 L_1 极限偏差		0 -0.12			0 -0.12			0 -0.12				0 -0.20				0 -0.20	0 -0.20	
止 推 边 厚 度 e_1 极限偏差		0 -0.05			0 -0.05			0 -0.05				0 -0.05				0 -0.05	0 -0.05	
止 推 边 外 径 D_1 极限偏差		±1			±1			±1				±1.5				±1.5	±1.5	

(续)

各部位尺寸公差	轴 瓦 内 径 d																说 明
	≤45	≤60	45 ~ 65	45 ~ 75	60 ~ 80	65 ~ 85	75 ~ 110	80 ~ 100	85 ~ 120	100 ~ 120	110 ~ 160	120 ~ 140	140 ~ 160	120 ~ 200	160 ~ 200	200 ~ 250	
定位唇宽度 A 的尺寸	2.2 ~ 2.35		3.2 ~ 3.35			4.2 ~ 4.35			5.2 ~ 5.35					6.2 ~ 6.35		7.2 ~ 7.35	图 a
定位唇长度 B 的尺寸	3 ~ 4		5 ~ 6			5 ~ 6			6 ~ 7					8.5 ~ 10		11.5 ~ 13	
定位唇高度 N_D 的尺寸	0.8 ~ 1.1		1 ~ 1.3			1.2 ~ 1.5			1.4 ~ 1.7					1.5 ~ 2		2 ~ 2.5	
定位唇与止推边的间距 H 的极限偏差	+0.15 0		+0.15 0			+0.15 0			+0.15 0					+0.2 0		+0.2 0	
轴承座孔定位槽宽度 E 的尺寸	3.06 ~ 2.94		4.06 ~ 3.94			5.07 ~ 4.93			6.07 ~ 5.93					8.08 ~ 7.92		10.08 ~ 9.92	图 b
轴承座孔定位槽长度 N_Z 尺寸	5.5 ~ 4.5		8.5 ~ 7			10 ~ 8			12 ~ 9					15.5 ~ 12		20 ~ 15	
轴承座孔定位槽深度 G 的尺寸	1.75 ~ 1.50		2.15 ~ 1.75			2.60 ~ 2			3 ~ 2.25					4 ~ 3		4.70 ~ 3.50	
瓦口削薄长度 H_D 极限偏差	0 -3		0 -3			0 -3			0 -4					0 -5		0 -6	图 c
瓦口削薄深度 P_D 尺寸	0.012 ~ 0.025		0.012 ~ 0.025			0.012 ~ 0.025			0.015 ~ 0.020					0.020 ~ 0.040		0.055 ~ 0.080	
止推边削薄长度 l_1 公差带	5.5 ± 2		5.5 ± 2			5.5 ± 2			5.5 ± 2					8 ± 2		8 ± 2	
止推边削薄深度 t_1 公差带	0.1 $^{+0.2}_0$		0.1 $^{+0.2}_0$			0.1 $^{+0.2}_0$			0.1 $^{+0.2}_0$					0.2 $^{+0.2}_0$		0.2 $^{+0.2}_0$	
止推边上油槽宽 G_W 的公差带		3.5 $^{+0.5}_0$			4.5 $^{+0.5}_0$			4.5 $^{+0.5}_0$		4.5 $^{+0.5}_0$		4.5 $^{+0.5}_0$	4.5 $^{+0.5}_0$				图 d
止推边上油槽位置 G_X 的公差带		12.5 ± 1.5			17.5 ± 2.5			22.5 ± 2.5		27.5 ± 2.5		32.5 ± 2.5	37.5 ± 2.5				
止推边上油槽底壁厚 G_E 极限偏差		0 -0.3			0 -0.3			0 -0.3		0 -0.3		0 -0.3	0 -0.3				

注:图 a 中 $(H-h)$ 值应不小于 2mm ($D_L \leq 120$ 时, $h=2$ mm; $120 < D_L \leq 250$ 时, $h=3$ mm); J 应不小于 2mm 但允许定位唇与油槽重叠。

5.3 推力垫圈

推力垫圈是与轴瓦或轴套配套使用的滑动推力轴瓦，有整圆推力垫圈和半圆推力垫圈。

整圆推力垫圈与卷制轴套或整体轴套相配，半圆推力垫圈与轴瓦相配。推力垫圈一般不承受大的轴向载荷，只起防止轴的轴向窜动的作用。

(1) 整圆推力垫圈

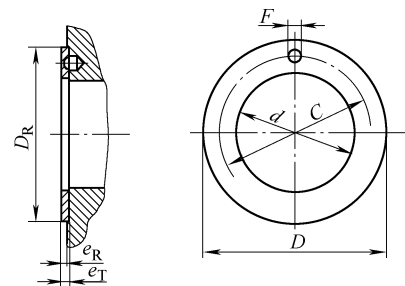
GB/T 10446—2008 规定了整圆推力垫圈的型式、尺寸和公差。

垫圈上要开设油槽，其形状与轴套上的油槽相同，标准对油槽尺寸未作规定。垫圈的平面度公差：直径未超过 80mm 者为 0.10mm，超过 80mm 者为 0.12mm。

整圆推力垫圈主要尺寸及其公差见表 5.2-35。

整圆推力垫圈装在轴承座的凹座内，图中尺寸 D_R 与 e_R 分别为凹座的直径和深度，凹座直径 $D_R = D$ ，其公差为 G10，深度 e_R 取决于推力垫圈可能出现的磨损量、载荷条件，并要求卸荷后保证推力垫圈不脱落。

表 5.2-35 整圆推力垫圈主要尺寸和公差（摘自 GB/T 10446—2008） (mm)



卷制轴套外径	d	D	e_T	C	F	卷制轴套外径	d	D	e_T	C	F			
轴套 外 径	6	16	1.0	11	1.5	轴套 外 径	(27), 28	28	1.5	39	4.0			
	7	17		12			30, 32	32		43				
	8	18		13			34, 36	36		48				
	9	19		14			38, (39), 40	40		52				
	10	22		16			42, (44), 45	45		57.5				
	11, 12	24	1.5	18	2.0		48, 50	50	2.0	63	5.0			
	13, 14	26		20			53, (55)	55		67.5				
	15, 16	30		23			56, (57), 60	60		75				
	17, 18	32		25			63, (65)	65		83.5				
	19, 20	36		28	3.0		67, (70)	70		88				
	21, 22	38		30			71, 75	75		92.5				
	(23), 24	42		33			80	120		100				
	25, 26	44		35										
公差		+0.25 0	0 -0.25	0 -0.05	+0.15 -0.15	公差		+0.25 0	0 -0.25	0 -0.05	+0.15 -0.15	+0.40 -0.10		

注：括号内轴套外径仅作参考用途，应尽可能避免使用。

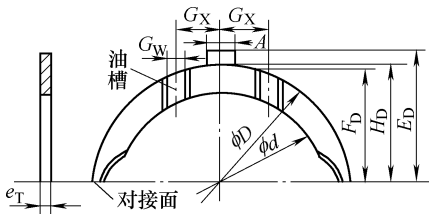
(2) 半圆推力垫圈

GB/T 10447—2008 只规定了半圆推力垫圈各尺寸要素的公差，未对尺寸作规定。各尺寸要素的公差见表 5.2-36。

垫圈设定位凸缘，以防止垫圈转动。推荐的凸缘尺寸及公差见表 5.2-37。

对接面宽度尺寸的计算式为 $L_{\min} = (D - d) / 4$ ，但不得小于 3mm。

表 5.2-36 半圆推力垫圈各尺寸要素的公差（摘自 GB/T 10447—2008） (mm)



(续)

尺寸元素		垫圈外径 D	垫圈内径 d	垫圈高度 H_D	垫圈厚度 e_T	油槽底部宽度 G_W	油槽距中心轴线距离 G_X	平面度 p
垫圈 外径 d_0	~80	0	+0.25	0	0 -0.05	+0.50 0	±1.5	0.10
	80~120	-0.25	0	-0.20	0 -0.06		±2.5	0.12
	120~160	0 -0.35	+0.35 0	0 -0.25	0 -0.07			0.15

注：平面度公差 p 应在推力垫圈自由状态下测量。

表 5.2-37 凸缘尺寸推荐值及公差 (摘自 GB/T 10047—2008) (mm)

尺寸元素		顶部高度 E_D	根部高度 F_D		宽度 A		轴承座定位槽公差
			尺寸	公差	尺寸	公差	
垫圈外径 d_0	~80	$H_D + 5$	$H_{Dmin} - r_{2max} - 0.5$	0 -0.5	8	-0.25 -0.50	JS13
	80~120				10		
	120~160				12		

5.4 润滑孔和润滑槽

5.4.1 润滑孔 (见表 5.2-38、表 5.2-39)

表 5.2-38 润滑孔 (摘自 GB/T 12613.3—2002) (mm)

The image shows three technical drawings of lubrication holes in a shaft, labeled A型, B型, and L型. Each drawing is a cross-section showing the hole's geometry and dimensions.

- A型 (90°):** The hole has a 90-degree conical bottom. Dimensions include d_3 (hole diameter), t_1 (hole depth), d_2 (bottom diameter), d_1 (shaft diameter), and s (bottom thickness).
- B型 (120°):** The hole has a 120-degree conical bottom. Dimensions include d_3 (hole diameter), t_1 (hole depth), d_2 (bottom diameter), d_1 (shaft diameter), and s (bottom thickness).
- L型:** The hole has a flat bottom. Dimensions include d_3 (hole diameter), t_1 (hole depth), d_2 (bottom diameter), d_1 (shaft diameter), and s (bottom thickness).

d_2		2.5	3	4	5	6	8	10	12
t_1		1	1.5	2	2.5	3	4	5	6
$d_3 \approx$	A 型	4.5	6	8	10	12	16	20	24
	B 型	6	8.2	10.8	13.6	16.2	21.8	27.2	32.6
s	>	—	2	2.5	3	4	4	7.5	10
	~	2	2.5	3	4	5	7.5	10	—
$d_1 \approx$		≤30		>30 ~ 100			>100		

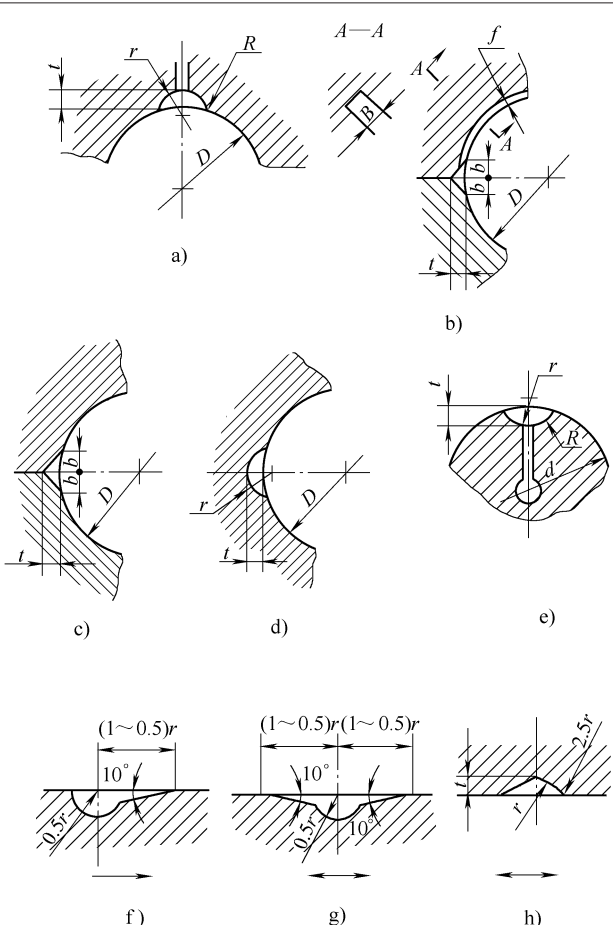
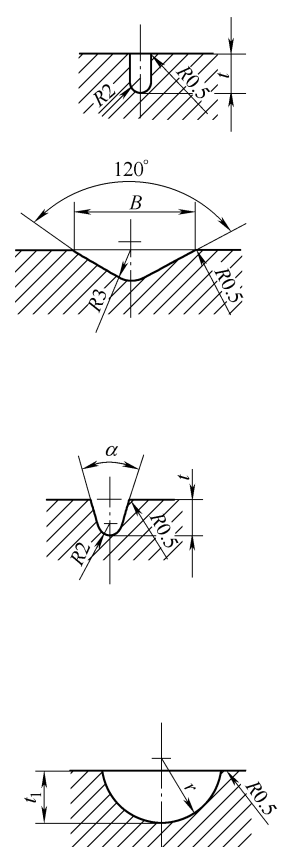
表 5.2-39 轴端润滑油孔 (摘自 GB/T 12613.3—2002) (mm)

螺纹直径 d	d_1	d_2	L_{max}	L_{1min}	L_{2min}	C
M6—7H	5	5	100	10	15	0.5
M10×1—7H	9		150	12		
M14×1.5—7H	12.5	10	400	20	25	1
M20×1.5—7H	18.5	12	800	25	30	

5.4.2 润滑槽 (见表 5.2-40、表 5.2-41)

表 5.2-40 润滑槽 (摘自 GB/T 6403.2—2008)

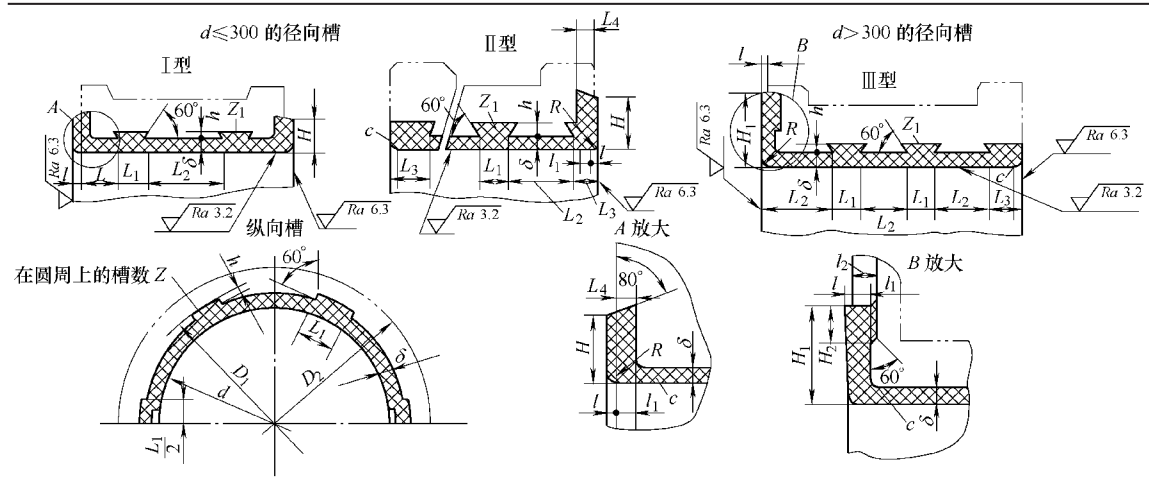
(mm)

滑动轴承上用的润滑槽形式							平面上用的润滑槽形式
 a) b) c) d) e) f) g) h)							
a、b、c、d 用于径向轴承的轴瓦上；e 用于径向轴承的轴上； f、g 用于推力轴承上；h 用于推力轴承端面上							
直径		t	r	R	B	f	b
D	d						
<50		0.8	1.0	1.0	—	—	—
		1.0	1.6	1.6	—	—	—
		1.6	3.0	6.0	5.0	1.6	4.0
>50 ~ 120		2.0	4.0	10	8.0	2.0	6.0
		2.6	5.0	16	10	2.0	8.0
		3.0	6.0	20	12	2.5	10
>120		4.0	8.0	25	16	3.0	12
		5.0	10	32	20	3.0	16
		6.0	12	40	25	4.0	20

 B : 4, 6, 10, 12, 16mm α : 15°, 30°, 45° t : 3, 4, 5mm t_1 : 1, 1.6, 2mm r : 1.6, 2.5, 4mm

注：标准中未注明尺寸的棱边，按小于 0.5mm 倒圆。

表 5.2-41 轴承合金浇铸用槽 (摘自 JB/ZQ 4259—2006) (mm)



比例关系: $D_2:D_1 \geq 1.2$ (铸铁)
 $D_2:D_1 \approx 1.1 \sim 1.14$ (钢)

轴 径 d	浇 铸 尺 寸																纵、径向槽数 $Z、Z_1$
	δ		h	H	H_1	H_2	L	L_1	L_2	L_3	L_4	l	l_1	l_2	R	c	
	铸铁	铜															
30 ~ 50	2.5	2	—	6	—	—	—	—	—	—	3	1	2	—	3	1	—
> 50 ~ 80	3	2.5	2	8	—	—	20	9	50	10	4	1	3	—	4	1	2
> 80 ~ 100	3.5	3	2	10	—	—	25	10	60	12	5	1.5	4	—	4	2	2
> 100 ~ 150	3.5	3	2.5	12	—	—	30	10	80	14	6	1.5	5	—	6	2	3
> 150 ~ 200	4	3.5	2.5	16	—	—	35	15	90	16	7	1.5	5	—	8	3	3
> 200 ~ 300	5	4	3	20	—	—	40	18	100	18	8	2	6	—	12	5	3
> 300 ~ 400	6	4	3	25	35	15	—	20	110	20	8	2	6	11	15	5	3
> 400 ~ 500	7	5	3	30	40	15	—	25	150	22	10	2	8	12	20	6	3
> 500 ~ 650	7	5	3	35	45	15	—	30	150	22	10	2.5	8	13	25	7	3
> 650 ~ 800	7	5	3	40	50	20	—	30	160	22	12	2.5	9	13	30	10	3
> 800 ~ 1000	8	6	4	45	55	20	—	35	160	24	12	3	9	15	30	10	4
> 1000 ~ 1300	8	6	4	50	60	20	—	40	170	24	15	3	12	17	40	15	4

- 注: 1. 纵向槽数 Z 平均分布于圆周上。
2. 本标准所规定的纵向槽数 Z 是必要的最少数量, 但径向槽数 Z_1 在轴衬全长上不允许大于 4 个。
3. 轴承衬材料为铸铁时, 径向槽和纵向槽的数量应按表内的规定增加 1.5 ~ 2 倍。
4. 对重要的轴承, 受有相当的轴向力和冲击等的情况下, 为取得较大的支承面, 轴端结构形式应按 II、III 型选择, 如无轴向力, 可不带支承面。
5. 燕尾槽全部按表面粗糙度 Ra 的最大允许值为 $25\mu\text{m}$ 加工。
6. 轴承合金层不应有气泡、气孔、杂质等缺陷。

5.5 滑动轴承间隙与配合的选择

几种机床及通用设备滑动轴承的配合和间隙的选择见表 5.2-42 ~ 表 5.2-45。

表 5.2-42 几种机床及通用设备滑动轴承的配合

设备类别	配 合
磨床与车床分度头主轴承	H7/g6
铣床、钻床及车床的轴承, 汽车发动机曲轴的主轴承及连杆轴承, 齿轮减速器及蜗杆减速器轴承	H7/f7
电机、离心泵、风扇及惰齿齿轮轴的轴承, 蒸汽机与内燃机曲轴的主轴承和连杆轴承	H9/f9
农业机械用的轴承	H11/d11
汽轮发电机轴、内燃机凸轮轴、高速转轴、刀架丝杠、机车多支点轴等的轴承	H7/e8
农业机械用的轴承	H11/b11

表 5.2-43 活塞式发动机和油膜轴承的配合（摘自 JB/ZQ 4614—2006）（mm）

本标准适用于活塞式发动机和油膜轴承。轴颈最大圆周速度为 $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ；润滑油的粘度不大于 $120\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。选择配合间隙时，应考虑到轴承的平均间隙为 $e = \frac{d}{1000}$					轴承直径		孔		轴	
					d		公差代号	极限偏差	公差代号	极限偏差
					> 30 ~ 50		H7	+0. 025 0	f7	- 0. 025 - 0. 050
					> 50 ~ 80		H7	+0. 030 0	f7	- 0. 030 - 0. 060
					> 80 ~ 120		H7	+0. 035 0	e8	- 0. 072 - 0. 126
					> 120 ~ 180		H7	+0. 040 0	e8	- 0. 085 - 0. 148
> 180 ~ 250		H7	+0. 046 0	e8	- 0. 100 - 0. 172					
轴承直径	孔		轴		轴承直径	孔		轴		
d	公差代号	极限偏差	给定尺寸 d_1	极限偏差	d	公差代号	极限偏差	给定尺寸 d_1	极限偏差	
260	H7	+0. 052 0	259. 74	$\pm 0. 03$	480	H7	+0. 063 0	479. 52	$\pm 0. 03$	
280			279. 72		500			499. 50		
300			299. 70		530	529. 47				
320	H7	+0. 057 0	319. 68		560	H7	+0. 070 0	559. 44		
340			339. 66		600			599. 40		
360			359. 64		630			629. 37		
380			379. 62		670			669. 33		
400			399. 60		710	H7	+0. 080 0	709. 49		
420	H7	+0. 063 0	419. 58		750			749. 45		
450			449. 55		800			799. 40		

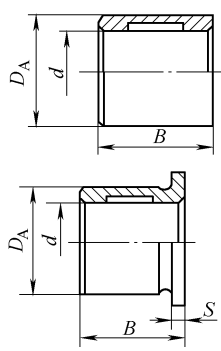
注：轴的给定尺寸 *d*₁ 按下式计算：

$$d_1 = d - \frac{d}{1000}$$

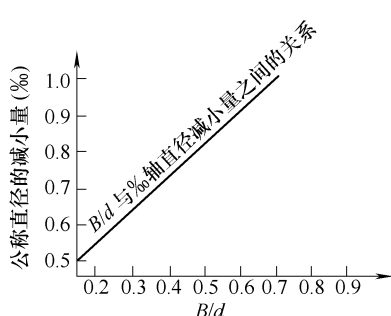
表 5.2-44 活塞式发动机和油膜轴承的轴承间隙（摘自 JB/ZQ 4614—2006）（mm）

轴承直径 <i>d</i>	最小间隙	平均间隙	最大间隙	轴承直径 <i>d</i>	最小间隙	平均间隙	最大间隙
> 30 ~ 50	0.025	0.050	0.075	340	0.30	0.34	0.38
> 50 ~ 80	0.030	0.060	0.090	360	0.32	0.36	0.40
> 80 ~ 120	0.072	0.117	0.161	380	0.34	0.38	0.42
130	0.085	0.137	0.188	400	0.36	0.40	0.44
140	0.085	0.137	0.188	420	0.38	0.42	0.46
150	0.12	0.15	0.19	450	0.41	0.45	0.49
160	0.13	0.16	0.20	480	0.44	0.48	0.52
180	0.15	0.18	0.21	500	0.46	0.50	0.54
200	0.17	0.20	0.28	530	0.49	0.53	0.57
220	0.19	0.22	0.25	560	0.52	0.56	0.60
240	0.21	0.24	0.27	600	0.56	0.60	0.64
250	0.22	0.25	0.28	630	0.59	0.63	0.67
260	0.23	0.26	0.29	670	0.62	0.67	0.72
280	0.25	0.28	0.31	710	0.66	0.71	0.76
300	0.27	0.30	0.33	750	0.70	0.75	0.80
320	0.28	0.32	0.36	800	0.75	0.80	0.85

表 5.2-45 机械压力机整体式滑动轴承的配合及间隙选择 (摘自 JB/ZQ 4616—2006) (mm)

轴套外径公差			轴套外径 D_A	轴套外径 D_A 及极限偏差	轴套外径 D_A	轴套外径 D_A 及极限偏差	$D_A \leq 100$ 的极限偏差按 k6。 D_S 为与滑动轴套外径相配的孔的实测尺寸				
			> 100 ~ 180	$D_A = D_S^{+0.025}_{+0.015}$	> 630 ~ 800	$D_A = D_S^{+0.050}_{+0.030}$					
			> 180 ~ 315	$D_A = D_S^{+0.035}_{+0.025}$	> 800 ~ 1000	$D_A = D_S^{+0.055}_{+0.035}$					
			> 315 ~ 400	$D_A = D_S^{+0.040}_{+0.030}$	> 1000 ~ 1250	$D_A = D_S^{+0.065}_{+0.045}$					
			> 400 ~ 630	$D_A = D_S^{+0.045}_{+0.030}$	> 1250 ~ 1600	$D_A = D_S^{+0.075}_{+0.055}$					
轴承温升 /℃	轴承直径 d	轴、孔偏差		应用实例							
		孔	轴径减小 (%)								
< 10	(≤80 时) ≥80 ~ 1000	H7 (H7)	- 0.8 (轴偏差为 e8)	平锻机曲柄轴承, 偏心轴承, 辊锻机轧辊轴承							
≥10 ~ 30		H7	- 1.0	曲柄压力机压杆偏心轴承, 冷压机、切边压力机的偏心轴承							
≥30 ~ 50		H7	- 1.2	热模锻压力机支架和压杆中的偏心轴承							
> 50		H7	- 1.4								
润滑脂润滑的轴承间隙	轴颈加工的极限 偏差 Δ	轴颈直径	Δ	轴颈直径	Δ	轴颈直径	Δ	轴颈直径	Δ	轴颈直径	Δ
		> 80 ~ 120	0 -0.02	> 180 ~ 250	0 -0.03	> 315 ~ 400	0 -0.05	> 500 ~ 630	0 -0.07	> 800 ~ 1000	0 -0.09
		> 120 ~ 180	0 -0.03	> 250 ~ 315	0 -0.04	> 400 ~ 500	0 -0.06	> 630 ~ 800	0 -0.08		
一般宽度轴承间隙	轴承直径 d	极限偏差		轴承间隙	轴承直径 d	极限偏差		轴承间隙			
	孔	轴	孔		轴						
	> 30 ~ 50	H7	-0.034 -0.050	0.034 ~ 0.075	> 315 ~ 400	H7	-0.178 -0.214	0.178 ~ 0.271			
	> 50 ~ 80		-0.061 -0.080	0.061 ~ 0.110	> 400 ~ 500		-0.192 -0.232	0.192 ~ 0.295			
	> 80 ~ 120		-0.088 -0.110	0.088 ~ 0.145	> 500 ~ 630		-0.211 -0.255	0.211 ~ 0.325			
	> 120 ~ 180		-0.115 -0.140	0.115 ~ 0.180	> 630 ~ 800		-0.235 -0.285	0.235 ~ 0.365			
	> 180 ~ 250		-0.143 -0.172	0.143 ~ 0.218	> 800 ~ 1000		-0.254 -0.310	0.254 ~ 0.400			
	> 250 ~ 315		-0.159 -0.191	0.159 ~ 0.243							

(续)

	轴承直径	孔的极限偏差	轴的减小量 (按轴直径的减小量与 B/d 的关系确定)
窄型轴承间隙 ($\frac{B}{d} < 0.7$, d 为轴径, B 为轴承宽度)	$> 80 \sim 1000$	H7	

注：对工作条件类似的轴承也适用。

6 滑动轴承的润滑（见表 5. 2-46 ~ 表 5. 2-50）

表 5. 2-46 滑动轴承润滑方法的选择

K	润滑方法	K 值计算方式	说 明
≤ 2 $> 2 \sim 15$ $> 15 \sim 30$ > 30	用润滑脂润滑（可用黄油杯） 用润滑油润滑（可用针阀油杯等） 用油环，飞溅润滑，需用水或循环油冷却 必须用循环压力润滑	$K = \sqrt{pv^3}$ $p = \frac{P}{d \times B}$	p —轴颈上的平均压强（MPa） v —轴颈的圆周速度（ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ） P —轴承所受的最大径向载荷（N） d —轴颈直径（mm） B —轴承工作宽度（mm）

表 5. 2-47 滑动轴承对润滑脂的要求

要求项目	对润滑脂要求
针入度	主要是根据加脂的方法来选定针入度的大小，以便于加入轴承，形成润滑膜，同时又不致往外流失。对于油集中润滑系统，为保证系统的泵送性能，润滑脂应适当软些，即针入度大些，一般应在 270 以上。手动油枪及脂环用脂的针入度为 240 ~ 260。轴承载荷大、转速低时，应选针入度小的润滑脂，反之要选针入度大的。高速轴承选针入度小的、机械安定性好的润滑脂
滴点	一般应高于工作温度 20 ~ 30℃，以避免工作时由于温度影响使润滑脂变稀，造成过多流失浪费。同时引起轴承缺脂而过早磨损。高温连续运转情况，不要超过润滑脂允许的使用温度范围
轴承的工作环境	如有水淋和潮湿的地方，应选用具有抗水性的钙基、铝基或锂基润滑脂，不宜用钠基脂。如在高温、干燥环境下工作，应选用钠基脂、钙-钠基脂或高温合成脂。如在高温又有蒸汽的环境中工作，应选用复合锂（或铝）基脂；环境或温差范围变化很大时，则应采用温度范围适应较广的硅酸脂
承受特大载荷的轴承	采用有极压添加剂的润滑脂。如要求使用寿命较长的，采用加抗氧化添加剂的润滑脂。如要求对轴承周围环境气氛控制很严的，可采用挥发性较小的润滑脂
粘附性能	具有较好的粘附性能

表 5.2-48 滑动轴承润滑脂的选择

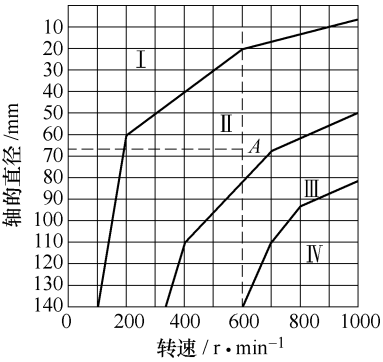
平均压强/MPa	圆周速度/m·s ⁻¹	最高工作温度/℃	选用润滑脂
<1	≤1	75	3 号钙基脂
1~6.5	0.5~5	55	2 号钙基脂
>6.5	≤0.5	75	3 号钙基脂
>6.5	0.5~5	120	2 号钠基脂
>6.5	≤0.5	110	1 号钙-钠基脂
1~6.5	≤1	50~100	锂基脂
>6.5	0.5	60	2 号压延机脂

注：1. 在潮湿环境，温度在 75~120℃ 的条件下，应考虑用钙-钠基润滑脂。
2. 在潮湿环境，工作温度在 75℃ 以下，没有 3 号钙基脂也可以用铝基脂。
3. 工作温度在 110~120℃ 可用锂基脂或钼基脂。
4. 集中润滑时，稠度要小些。

表 5.2-49 滑动轴承的加脂周期

工作条件	轴的转速 /r·min ⁻¹	加脂周期	工作条件	轴的转速 /r·min ⁻¹	加脂周期
偶然工作，不重要的零件	<200	5 天 1 次	连续工作，其工作温度 < 40℃	<200	1 天 1 次
	>200	3 天 1 次		>200	每班 1 次
间断工作	<200	2 天 1 次	连续工作，其工作温度 40~100℃	<200	每班 1 次
	>200	1 天 1 次		>200	每班 2 次

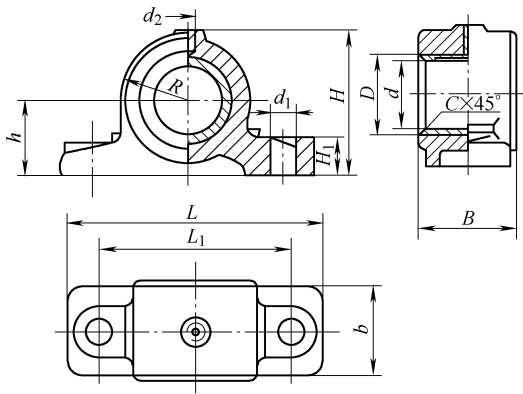
表 5.2-50 滑动轴承润滑油的选用

	平均压力 /MPa	机械油牌号			
		I	II	III	IV
	<0.5	20 号	20 号	10 号	10 号
	0.5~6.5	50 号	40 号	30 号	20 号
	6.5~15	70 号	50 号	40 号	30 号
(1) 在下列情况下应比本表内用油的粘度大 10~20mm²·s⁻¹；①温度超过 60℃ 的工作条件；②在工作过程中有严重振动、冲击和作往复运动；③经常起动及在运动中速度经常变化 (2) 在 10℃ 以下的工作条件及用于循环系统时，则要比本表内用油的粘度小些					

7 滑动轴承座

7.1 整体滑动轴承（见表 5.2-51）

表 5.2-51 整体有衬正滑动轴承（摘自 JB/T 2560—2007）(mm)

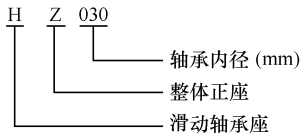


适于环境温度为 -20 ~ 80℃ 的工作条件。

标记示例：

$d = 30\text{mm}$ 的整体有衬正滑动轴承座

HZ030 轴承座 JB/T 2560—2007



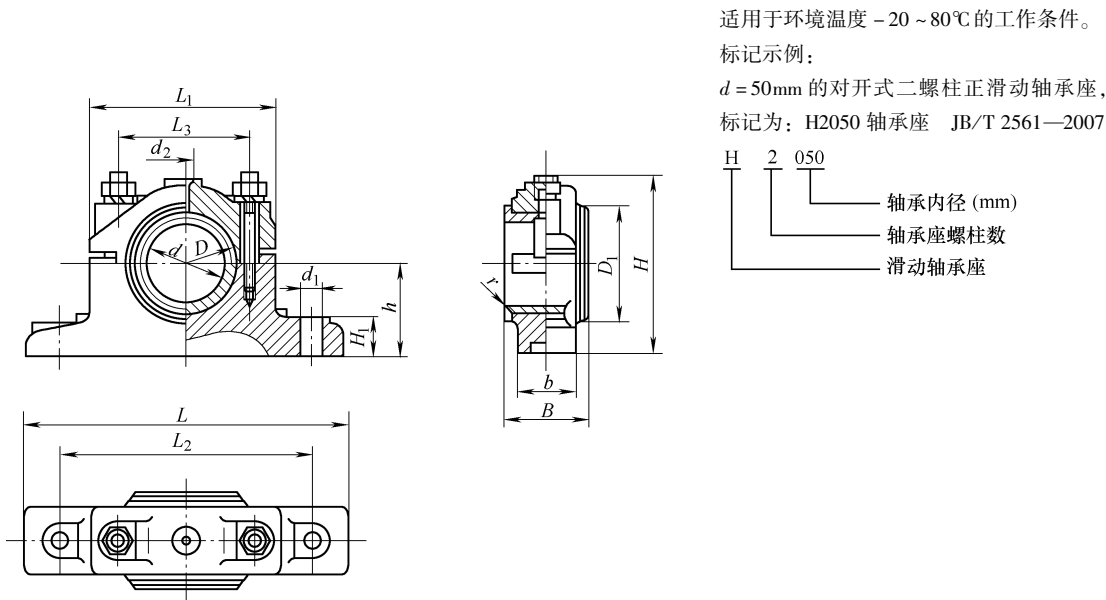
型 号	D (H8)	D_1	R	B	b	L	L_1	H $\approx$	h (h12)	H_1	d_1	d_2	C	质量 /kg $\approx$
HZ020	20	28	26	30	25	105	80	50	30	14	12	M10 $\times$ 1	1.5	0.6
HZ025	25	32	30	40	35	125	95	60	35	16	14.5			0.9
HZ030	30	38	30	50	40	150	110	70	35	20	18.5		1.7	
HZ035	35	45	38	55	45	160	120	84	42	20	18.5		1.9	
HZ040	40	50	40	60	50	165	125	88	45	20	18.5		2.4	
HZ045	45	55	45	70	60	185	140	90	50	25	24		3.6	
HZ050	50	60	45	75	65	185	140	100	50	25	24			3.8
HZ060	60	70	55	80	70	225	170	120	60	30	28	M14 $\times$ 1.5	2.5	6.5
HZ070	70	85	65	100	80	245	190	140	70	30	28			9.0
HZ080	80	95	70	100	80	255	200	155	80	30	28			10.0
HZ090	90	105	75	120	90	285	220	165	85	40	35		3	13.2
HZ100	100	115	85	120	90	305	240	180	90	40	35			15.5
HZ110	110	125	90	140	100	315	250	190	95	40	35			21.0
HZ120	120	135	100	150	110	370	290	210	105	45	42			27.0
HZ140	140	160	115	170	130	400	320	240	120	45	42			

注：1. 轴承座壳体和轴套可单独订货，但在订货时必须说明。

2. 技术条件应符合 JB/T 2564—2007 的规定。

7.2 对开式滑动轴承（见表 5.2-52 ~ 表 5.2-54）

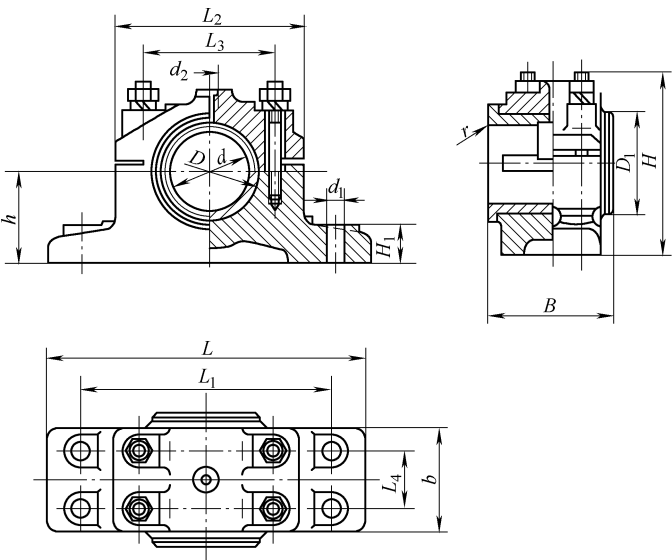
表 5.2-52 对开式二螺柱正滑动轴承（摘自 JB/T 2561—2007） (mm)



型 号	d (H8)	D	D_1	B	b	H $\approx$	h (h12)	H_1	L	L_1	L_2	L_3	d_1	d_2	r	质量 /kg $\approx$
H2030	30	38	48	34	22	70	35	15	140	85	115	60	10	M10 × 1	1.5	0.8
H2035	35	45	55	45	28	87	42	18	165	100	135	75	12			1.2
H2040	40	50	60	50	35	90	45	20	170	110	140	80	14.5		2	1.8
H2045	45	55	65	55	40	100	50	20	175	110	145	85	14.5			2.3
H2050	50	60	70	60	40	105	50	25	200	120	160	90	18.5			2.9
H2060	60	70	80	70	50	125	60	25	240	140	190	100	24	M14 × 1.5	2.5	4.6
H2070	70	85	95	80	60	140	70	30	260	160	210	120	24			7.0
H2080	80	95	110	95	70	160	80	35	290	180	240	140	28			10.5
H2090	90	105	120	105	80	170	85	35	300	190	250	150	28			12.5
H2100	100	115	130	115	90	185	90	40	340	210	280	160	35		3	17.5
H2110	110	125	140	125	100	190	95	40	350	220	290	170	35			19.5
H2120	120	135	150	140	110	205	105	45	370	240	310	190	35			25.0
H2140	140	160	175	160	120	230	120	50	390	260	330	210	35		4	33.5
H2160	160	180	200	180	140	250	130	50	410	280	350	230	35			45.5

注：1. 与轴承座配合的轴颈应进行表面硬化。
2. 轴颈圆角尺寸按 GB/T 6403.4—2008 选取。
3. 技术条件应符合 JB/T 2564—2007 的规定。

表 5.2-53 对开式四螺柱正滑动轴承 (摘自 JB/T 2562—2007) (mm)

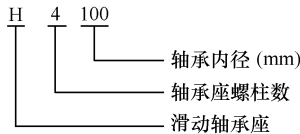


适用于环境温度 -20 ~ 80℃ 的工作条件。

标记示例：

$d = 100\text{mm}$ 的对开式四螺柱正滑动轴承座，

标记为：H4100 轴承座 JB/T 2562—2007



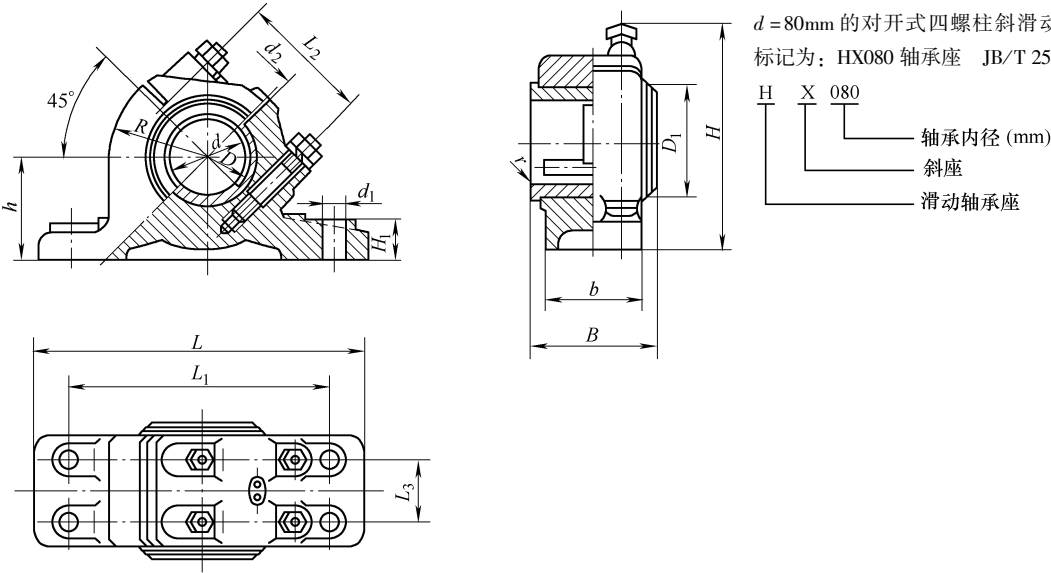
型 号	d (H8)	D	D_1	B	b	H $\approx$	h (h12)	H_1	L	L_1	L_2	L_3	L_4	d_1	d_2	r	质量 /kg $\approx$
H4050	50	60	70	75	60	105	50	25	200	160	120	90	30	14.5	M10 $\times$ 1	2.5	4.2
H4060	60	70	80	90	75	125	60	25	240	190	140	100	40	18.5			6.5
H4070	70	85	95	105	90	135	70	30	260	210	160	120	45	18.5			9.5
H4080	80	95	110	120	100	160	80	35	290	240	180	140	55	24			14.5
H4090	90	105	120	135	115	165	85	35	300	250	190	150	70	24			18.0
H4100	100	115	130	150	130	175	90	40	340	280	210	160	80	24	M14 $\times$ 1.5	3	23.0
H4110	110	125	140	165	140	185	95	40	350	290	220	170	85	24			30.0
H4120	120	135	150	180	155	200	105	40	370	310	240	190	90	28		4	41.5
H4140	140	160	175	210	170	230	120	45	390	330	260	210	100	28			51.0
H4160	160	180	200	240	200	250	130	50	410	350	280	230	120	28			59.5
H4180	180	200	220	270	220	260	140	50	460	400	320	260	140	35	5	5	73.0
H4200	200	230	250	300	245	295	160	55	520	440	360	300	160	42			98.0
H4220	220	250	270	320	265	360	170	60	550	470	390	330	180	42			125.0

注：1. 与轴承座配合的轴颈应进行表面硬化。
2. 轴颈圆角尺寸按 GB/T 6403.4—2008 选取。
3. 技术条件应符合 JB/T 2564—2007 的规定。

表 5.2-54 对开式四螺柱斜滑动轴承（摘自 JB/T 2563—2007）

(mm)

适用于环境温度 -20 ~ 80℃ 的工作条件。
标记示例：
 $d=80\text{mm}$ 的对开式四螺柱斜滑动轴承座，
标记为：HX080 轴承座 JB/T 2563—2009



型 号	d (H8)	D	D_1	B	b	H $\approx$	h (h12)	H_1	L	L_1	L_2	L_3	R	d_1	d_2	r	质量 /kg $\approx$
HX050	50	60	70	75	60	140	65	25	200	160	90	30	60	14.5	M10 $\times$ 1	2.5	5.1
HX060	60	70	80	90	75	160	75	25	240	190	100	40	70	18.5			8.1
HX070	70	85	95	105	90	185	90	30	260	210	120	45	80	18.5			12.5
HX080	80	95	110	120	100	215	100	35	290	240	140	55	90	24			17.5
HX090	90	105	120	135	115	225	105	35	300	250	150	70	95	24			21.0
HX100	100	115	130	150	130	250	115	40	340	280	160	80	105	24	M14 $\times$ 1.5	3	29.5
HX110	110	125	140	165	140	260	120	40	350	290	170	85	110	24			32.5
HX120	120	135	150	180	155	275	130	40	370	310	190	90	120	28			40.5
HX140	140	160	175	210	170	300	140	45	390	330	210	100	130	28			53.5
HX160	160	180	200	240	200	335	150	50	410	350	230	120	140	35		4	76.5
HX180	180	200	220	270	220	375	170	50	460	400	260	140	160	35			94.0
HX200	200	230	250	300	245	425	190	55	520	440	300	160	180	42			120.0
HX220	220	250	270	320	265	440	205	60	550	470	330	180	195	42		5	140.0

- 注：1. 与轴承座配合的轴颈应进行表面硬化。
2. 轴颈圆角尺寸按 GB/T 6403.4—2008 选取。
3. 技术条件应符合 JB/T 2564—2007 的规定。

第3章 滚动轴承

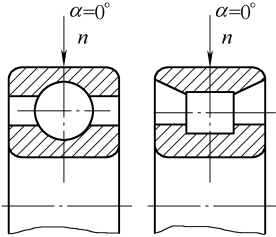
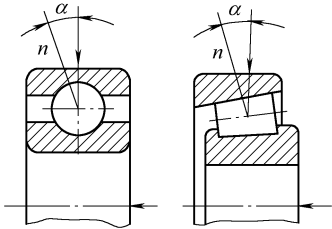
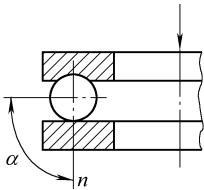
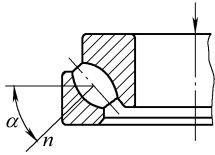
1 滚动轴承的分类、代号

按 ISO 规定，滚动轴承按运动形式分三大类：
旋转运动的滚动轴承，简称通用轴承；摆动或倾斜运动的关节轴承；直线运动的直线运动滚动轴承。

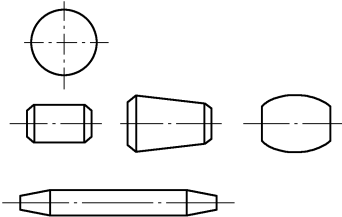
1.1 通用滚动轴承的分类（摘自 GB/T 271—2008）

通用滚动轴承从不同角度有多种分类，见表 5.3-1。

表 5.3-1 通用滚动轴承的分类

分类方法	类型名称及特点		
按承受载荷方向或公称接触角 α 大小不同	向心轴承	1) 径向接触轴承。 $\alpha = 0^\circ$ ，主要承受径向载荷，有的可承受较小轴向载荷	
		2) 角接触向心轴承。 $0^\circ < \alpha \leq 45^\circ$ ，能同时承受径向载荷及轴向载荷联合作用，一般以径向载荷为主	
	推力轴承	1) 轴向接触轴承。 $\alpha = 90^\circ$ ，只能承受轴向载荷	
		2) 角接触推力轴承。 $45^\circ < \alpha < 90^\circ$ ，主要承受轴向载荷，也可以承受较小的径向载荷	

(续)

分类方法	类型名称及特点
按滚动体种类	球轴承：滚动体为球体，点接触 滚子轴承：1) 圆柱滚子轴承：滚动体为圆柱滚子 2) 圆锥滚子轴承：滚动体为圆锥滚子 3) 调心滚子轴承：滚动体为球面滚子 4) 滚针轴承：滚动体为滚针 
按载荷方向或公称接触角、滚动体的种类、列数及能否调心综合分类	滚动轴承 向心轴承 角接触向心球轴承—深沟球轴承 角接触向心滚子轴承 { 圆柱滚子轴承, 滚针轴承 } 角接触向心球轴承 { 调心球轴承, 角接触球轴承 } 角接触向心滚子轴承 { 圆锥滚子轴承, 调心滚子轴承 } 推力轴承 轴向接触球轴承—推力球轴承 轴向接触滚子轴承 { 推力圆柱滚子轴承, 推力滚针轴承 } 角接触推力球轴承—推力角接触球轴承 角接触推力滚子轴承 { 推力圆锥滚子轴承, 推力调心滚子轴承 } 组合轴承

1.2 通用滚动轴承代号 (摘自 GB/T 272—1993, JB/T 2974—2004)

置代号构成, 其排列按下图

前置代号

基本代号

后置代号

通用滚动轴承代号由基本代号、前置代号和后通用滚动轴承代号组成见表 5.3-2。

表 5.3-2 通用滚动轴承代号组成

轴 承 代 号												
前置代号	基 本 代 号			后置代号 (组)								
				1	2	3	4	5	6	7	8	
成套轴承分部件	类型代号	尺寸系列代号	内径代号	内部结构	密封与防尘	套圈变型	保持架及其材料	轴承材料	公差等级	游 隙	配 置	其 他

1.2.1 基本代号

基本代号表示轴承的基本类型、结构和尺寸, 是轴承代号的基础。除滚针轴承外, 轴承外形尺寸符合有关标准规定的外形尺寸, 其基本代号由轴承类型代号、尺寸系列代号及内径代号构成。

(1) 类型代号 滚动轴承类型代号用数字或大写拉丁字母表示, 见表 5.3-3。

(2) 尺寸系列代号 轴承尺寸系列代号由轴承的宽(高)度系列代号和直径系列代号组合而成, 表示轴承外形尺寸。直径系列指对应同样的轴承内径时, 变化的外径尺寸系列。宽度系列是同样轴承外径时, 变化的宽度尺寸系列。向心轴承直径系列与宽度系列及推力轴承直径系列与高度系列代号见表 5.3-4。

表 5.3-3 通用滚动轴承类型代号

轴承类型	代号	轴承类型	代号
双列角接触球轴承	0	角接触球轴承	7
调心球轴承	1	推力圆柱滚子轴承	8
调心滚子轴承和推力调心滚子轴承	2	圆柱滚子轴承	N
圆锥滚子轴承	3	双列或多列圆柱滚子轴承	NN
双列深沟球轴承	4	外球面球轴承	U
推力球轴承	5	四点接触球轴承	QJ
深沟球轴承	6		

表 5.3-4 尺寸系列代号

直径 系列 代号	向心轴承								推力轴承			
	宽度系列代号（由小到大）								高度系列代号			
	8	0	1	2	3	4	5	6	7	9	1	2
	尺寸系列代号											
7	—	—	17	—	37	—	—	—	—	—	—	—
8	—	08	18	28	38	48	58	68	—	—	—	—
9	—	09	19	29	39	49	59	69	—	—	—	—
0	—	00	10	20	30	40	50	60	70	90	10	—
1	—	01	11	21	31	41	51	61	71	91	11	—
2	82	02	12	22	32	42	52	62	72	92	12	22
3	83	03	13	23	33	—	—	—	73	93	13	23
4	—	04	—	24	—	—	—	—	74	94	14	24
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	95	—	—

(3) 内径代号（见表 5.3-5）

表 5.3-5 内径代号

轴承公称内径/mm		内径代号	示 例
0.6 ~ 10（非整数）		用公称内径毫米数直接表示，在其与尺寸系列代号之间用“/”分开	深沟球轴承 618/ <u>2.5</u> $d = 2.5\text{mm}$
1 ~ 9（整数）		用公称内径毫米数直接表示，对深沟球轴承及角接触球轴承 7、8、9 直径系列，内径与尺寸系列代号之间用“/”分开	深沟球轴承 62 <u>5</u> 618/ <u>5</u> $d = 5\text{mm}$
10 ~ 17	10	00	深沟球轴承 62 <u>00</u> $d = 10\text{mm}$
	12	01	
	15	02	
	17	03	
20 ~ 480（22，28，32 除外）		公称内径除以 5 的商数，商数为个位数，需在商数左边加“0”，如 08	调心滚子轴承 232 <u>08</u> $d = 40\text{mm}$
大于和等于 500 以及 22，28，32		用公称内径毫米数直接表示，但在与尺寸系列之间“/”分开	调心滚子轴承 230/ <u>500</u> $d = 500\text{mm}$ 深沟球轴承 62/ <u>22</u> $d = 22\text{mm}$

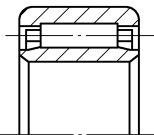
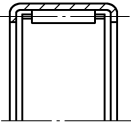
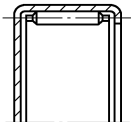
例：调心滚子轴承 23224 2—类型代号；32—尺寸系列代号；24—内径代号 $d = 120\text{mm}$ 。

1.2.2 滚针轴承基本代号

轴承外形尺寸符合 GB/T 5801、GB/T 290 等标准的滚针轴承，其基本代号由轴承类型代号和表示

轴承配合安装特征的尺寸构成。类型代号用字母表示，表示轴承配合安装特征的尺寸用尺寸系列、内径代号或者直接用毫米数表示，见表 5.3-6。

表 5.3-6 滚针轴承基本代号

轴承类型	简图	类型代号	配合安装特征尺寸表示		轴承基本代号	轴承代号举例
滚针轴承	 GB/T 5801	NA	用尺寸系列代号、内径代号表示		NA4800 NA4900 NA6900	NA 4904 NA-类型代号 49-尺寸系列代号 04-内径代号 $d = 20\text{mm}$
			尺寸系列代号 48 49 69	内径代号 ^② 表 5.3-5		
穿孔型冲压外圈滚针轴承	 GB/T 290	HK	$F_w B^{\text{①}}$		$HKF_w B$	HK 2010 HK-类型代号 20- $F_w = 20\text{mm}$ 10- $B = 10\text{mm}$
封口型冲压外圈滚针轴承	 GB/T 290	BK	$F_w B^{\text{①}}$		$BKF_w B$	BK 0408 BK-类型代号 04- $F_w = 4\text{mm}$ 08- $B = 8\text{mm}$

注：表中 F_w —无内圈滚针轴承滚针总内径； B —轴承宽度。

① 尺寸直接用毫米数表示时，如是个位数，需在其左边加“0”。如 8mm 用 08 表示。

② 内径代号除 $d < 10\text{mm}$ 用“/实际公称毫米数”表示外，其余按表 5.3-5 规定。

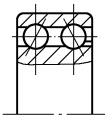
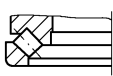
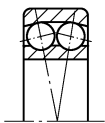
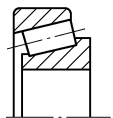
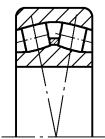
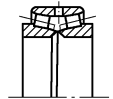
1.2.3 基本代号编制规则

基本代号中当轴承类型代号用字母表示时，编排时应与表示轴承尺寸的系列代号、内径代号或安

装配合特征尺寸的数字之间空半个汉字距。例：NJ 230、NA 4800。

1.2.4 通用轴承类型、结构及基本代号

表 5.3-7 通用轴承类型、结构及基本代号

轴承类型	简图	类型代号	尺寸系列代号	基本代号	标准号	轴承类型	简图	类型代号	尺寸系列代号	基本代号	标准号
双列角接触球轴承		(0) (0)	32 33	3200 3300	GB/T 296	推力调心滚子轴承		2 2 2	92 93 94	29200 29300 29400	GB/T 5859
调心球轴承		1 (1) 1 (1)	(0)2 22 (0)3 23	1200 2200 1300 2300	GB/T 281	单列圆锥滚子轴承		3 3 3 3 3 3 3 3	02 03 13 20 22 23 29 30 31 32	30200 30300 31300 32000 32200 32300 32900 33000 33100 33200	GB/T 297
调心滚子轴承		2 2 2 2 2 2 2 2	13 22 23 30 31 32 40 41	21300 22200 22300 23000 23100 23200 24000 24100	GB/T 288	双内圈、双列圆锥滚子轴承		35	—	350000	GB/T 299

(续)

轴承类型	简图	类型代号	尺寸系列代号	基本代号	标准号	轴承类型	简图	类型代号	尺寸系列代号	基本代号	标准号
双列深沟球轴承		4 4	(2)2 (2)3	4200 4300	—	外圈无挡边圆柱滚子轴承		N N N N N N	10 (0)2 22 (0)3 23 (0)4	N1000 N200 N2200 N300 N2300 N400	GB/T 283
单向推力球轴承		5 5 5 5	11 12 13 14	51100 51200 51300 51400	GB/T 301	内圈无挡边圆柱滚子轴承		NU NU NU NU NU NU	10 (0)2 22 (0)3 23 (0)4	NU1000 NU200 NU2200 NU300 NU2300 NU400	
双向推力球轴承		5 5 5	22 23 24	52200 52300 52400		内圈单挡边圆柱滚子轴承		NJ NJ NJ NJ NJ	(0)2 22 (0)3 23 (0)4	NJ200 NJ2200 NJ300 NJ2300 NJ400	
带球座圈推力球轴承		5 5 5	32 ^① 33 34	53200 53300 53400		内圈单挡边并带平挡圈圆柱滚子轴承		NUP NUP NUP NUP	(0)2 22 (0)3 23	NUP200 NUP2200 NUP300 NUP2300	
带球面座圈双向推力球轴承		5 5 5	42 ^② 43 44	54200 54300 54400		外圈单挡边圆柱滚子轴承		NF NF NF	(0)2 (0)3 23	NF200 NF300 NF2300	
深沟球轴承		6 6 6 6 16 6 6 6 6	17 37 18 19 (0)0 (1)0 (0)2 (0)3 (0)4	61700 63700 61800 61900 16000 6000 6200 6300 6400	GB/T 276	双列圆柱滚子轴承		NN	30	NN3000	GB/T 285
角接触球轴承		7 7 7 7 7	19 (1)0 (0)2 (0)3 (0)4	71900 7000 7200 7300 7400	GB/T 292	内圈无挡边、双列圆柱滚子轴承		NNU	49	NNU4900	
推力圆柱滚子轴承		8 8	11 12	81100 81200	GB/T 4663	四点接触球轴承		QJ QJ QJ	10 (0)2 (0)3	QJ1000 QJ200 QJ300	GB/T 294

(续)

轴承类型	简图	类型代号	尺寸系列代号	基本代号	标准号	轴承类型	简图	类型代号	尺寸系列代号	基本代号	标准号
带紧定螺钉外球面球轴承		UC UC	2 3	UC200 UC300	GB/T 3882	圆锥孔外球面球轴承		UK UK	2 3	UK200 UK300	GB/T 3882
带偏心套外球面球轴承		UEL UEL	2 3	UEL200 UEL300							

注：表中用“（）”号括住的数字表示在组合代号中省略。

- ① 尺寸系列实为 12, 13, 14, 分别用 32, 33, 34 表示；
- ② 尺寸系列实为 22, 23, 24, 分别用 42, 43, 44 表示。

1.2.5 前置、后置代号

前置、后置代号是轴承在结构形状、尺寸、公差、技术要求等有改变时，在其基本代号左右添加的补充代号。其排列见表 5.3-2。

(1) 前置代号 前置代号表示成套轴承分部件，用字母表示。代号及其含义见表 5.3-8。

(2) 后置代号 后置代号表示轴承的内部结构变化、密封防尘及外部形状变化、保持架及材料变化、轴承材料改变、公差等级、游隙组别、配置形式等特征。其代号及含义按顺序介绍如下。

1) 内部结构代号及含义，见表 5.3-9。

2) 密封、防尘与外部形状变化代号及含义，见表 5.3-10。

表 5.3-8 前置代号

代号	含 义	示 例
L	可分离轴承的可分离内圈或外圈	LNU 207 LN 207
R	不带可分离内圈或外圈的轴承 (滚针轴承仅适用于 NA 型)	RNU 207 RNA 6904
K	滚子和保持架组件	K 81107
WS	推力圆柱滚子轴承轴圈	WS 81107
GS	推力圆柱滚子轴承座圈	GS 81107

表 5.3-9 滚动轴承内部结构变化代号

代号	含 义	示 例
A	双列角接触或深沟球轴承，无装球缺口	3205A
B	1. 角接触球轴承 公称接触角 $\alpha = 40^\circ$ 2. 圆锥滚子轴承 接触角加大	7210B 32310B

(续)

代号	含 义	示 例
C	1. 角接触球轴承 公称接触角 $\alpha = 15^\circ$	7005C
	2. 调心滚子轴承	
	C 型 内圈无挡边，冲压保持架	23122C
	CA 型 内圈有挡边，实体保持架	23024CA/W33
	CC 型 滚子引导方式有改变	22205CC
E	加强型 改进设计承载能力大	NU207E
AC	角接触球轴承 $\alpha = 25^\circ$	7210AC
D	部分式轴承	K50 $\times$ 55 $\times$ 20D
ZW	滚针保持架组件，双列	K20 $\times$ 25 $\times$ 40ZW

3) 保持架结构、材料改变代号及含义，见表 5.3-11。

4) 轴承零件材料改变代号及含义，见表 5.3-12。

5) 公差等级代号，见表 5.3-13。

6) 游隙代号。游隙代号分为 6 组，常用基本组代号为 0，一般不予标注，其他组均应标注，见表 5.3-14。公差等级代号与游隙代号需同时表示时，可进行简化，取公差等级代号加上游隙组号（0 组不表示）组合表示。

例：/P63 表示轴承公差等级 P6 级，径向游隙 3 组。

/P52 表示轴承公差等级 P5 级，径向游隙 2 组。

7) 常用配置、预紧及轴向游隙代号，见表 5.3-15。

表 5.3-10 密封、防尘与外部形状变化代号

代 号	含 义	示 例
K	圆锥孔轴承 锥度 1:12 (外球面球轴承除外)	1210K
K30	圆锥孔轴承 锥度 1:30	24122K30
R	轴承外圈有止动挡边 (凸缘外圈) (不适用于内径小于 10mm 的向心球轴承)	30307R
N	轴承外圈上有止动槽	6210N
NR	轴承外圈上有止动槽, 并带止动环	6210NR
-RS	轴承一面带骨架式橡胶密封圈 (接触式)	6210-RS
-2RS	轴承两面带骨架式橡胶密封圈 (接触式)	6210-2RS
-RZ	轴承一面带骨架式橡胶密封圈 (非接触式)	6210-RZ
-2RZ	轴承两面带骨架式橡胶密封圈 (非接触式)	6210-2RZ
-Z	轴承一面带防尘盖	6210-Z
-2Z	轴承两面带防尘盖	6210-2Z
-RSZ	轴承一面带骨架式橡胶密封圈 (接触式)、一面带防尘盖	6210-RSZ
-RZZ	轴承一面带骨架式橡胶密封圈 (非接触式)、一面带防尘盖	6210-RZZ
-ZN	轴承一面带防尘盖, 另一面外圈有止动槽	6210-ZN
-ZNR	轴承一面带防尘盖, 另一面外圈有止动槽并带止动环	6210-ZNR
-ZNB	轴承一面带防尘盖, 同一面外圈有止动槽	6210-ZNB
-2ZN	轴承两面带防尘盖, 外圈有止动槽	6210-2ZN
U	推力球轴承 带球面垫圈	53210U

注: 密封圈代号与防尘盖代号, 可以与止动槽代号进行多种组合。

表 5.3-11 保持架结构、材料代号

保持架材料代号	保持架结构型式及表面处理代号
F—钢、球墨铸铁或粉末冶金实体保持架, 其中: F1—碳钢; F3—球墨铸铁; F2—石墨钢; F4—粉末冶金 Q—青铜实体保持架, 其中: Q1—铝铁锰青铜; Q2—硅铁锌青铜; Q3—硅镍青铜; Q4—铝青铜 M—黄铜实体保持架 L—轻合金实体保持架, 其中: L1—2A11CZ; L2—2A12CZ T—酚醛层压布管实体保持架 TH—玻璃纤维增强酚醛树脂保持架 (筐型) TN—工程塑料模注保持架, 其中: TN1—尼龙; TN2—聚砜; TN3—聚酰亚胺; TN4—聚碳酸酯; TN5—聚甲醛 J—钢板冲压保持架, 材料有变化时附加数字区别 Y—铜板冲压保持架, 材料有变化时附加数字区别 SZ—保持架由弹簧丝或弹簧制造	H—自锁兜孔保持架 W—焊接保持架 R—铆接保持架 (用于大型轴承) E—磷化处理保持架 D—碳氮共渗保持架 D1—渗碳保持架; D2—渗氮保持架 C—有镀层的保持架 (C1—镀银) A—外圈引导 B—内圈引导 P—由内圈或外圈引导的拉孔或冲孔的窗形保持架 S—引导面有润滑油槽 V—满装滚动体 (无保持架) 标记示例: 例 1: MPS—有拉孔或冲孔 (窗形保持架) 的黄铜实体保持架, 外圈或内圈引导, 引导面有润滑油槽 例 2: JA—钢板冲压保持架, 外圈引导 例 3: FE—经磷化处理的钢制实体保持架 例 4: 6208V 装满球深沟球轴承

表 5.3-12 轴承零件材料改变代号

后置代号	含 义	示 例
/HE	套圈、滚动体和保持架或仅是套圈和滚动体由电渣重熔轴承钢（军甲钢）ZGCr15 钢制造	6204/HE
/HA	套圈、滚动体和保持架或仅是套圈和滚动体由真空冶炼轴承钢制造	6204/HA
/HU	套圈、滚动体和保持架或仅是套圈和滚动体由不可淬硬不锈钢 1Cr18Ni9Ti 制造	6004/HU
/HV	套圈、滚动体和保持架或仅是套圈和滚动体由可淬硬不锈钢（/HV—9Cr18；/HV1—9Cr18Mo）制造	6014/HV
/HN	套圈和滚动体由耐热钢（/HN—Cr4Mo4V；/HN1—Cr14Mo4；/HN2—Cr15Mo4V；/HN3—W18Cr4V）制造	NU208/HN
/HC	套圈和滚动体或仅是套圈由渗碳钢（/HC—20Cr2Ni4A；/HC1—20Cr2Mn2MoA；/HC2—15Mn）制造	—
/HP	套圈和滚动体由铍青铜或其他防磁材料制造，材料有变化时，附加数字表示	—
/HQ	套圈和滚动体由不常用的材料（/HQ—塑料；/HQ1—陶瓷合金）制造	—
/HG	套圈和滚动体或仅是套圈由其他轴承钢（/HG—5CrMnMo；/HG1—55SiMoVA）制造	—

表 5.3-13 公差等级代号

代 号	含 义	示 例
/P0	公差等级符合标准规定的 0 级 0 级不标注 /P0	6203
/P6	公差等级符合标准规定的 6 级	6203/P6
/P6x	公差等级符合标准规定的 6x 级	30210/P6x
/P5	公差等级符合标准规定的 5 级	6203/P5
/P4	公差等级符合标准规定的 4 级	6203/P4
/P2	公差等级符合标准规定的 2 级	6203/P2

表 5.3-14 游隙代号

代号	含 义	示 例
/C1	游隙符合标准规定的 1 组	NN 3006K/C1
/C2	游隙符合标准规定的 2 组	6210/C2
—	游隙符合标准规定的 0 组	6210
/C3	游隙符合标准规定的 3 组	6210/C3
/C4	游隙符合标准规定的 4 组	NN 3006K/C4
/C5	游隙符合标准规定的 5 组	NNU 4920K/C5

表 5.3-15 常用配置、预紧及轴向游隙代号

常用配置代号及含义			预紧代号及含义	轴向游隙及载荷分布代号及含义
/DB 成对背对背安装 /DF 成对面对面安装 /DT 成对串联安装 /TT 三套，串联 /QT 四套，串联	配置组中 轴承数目	/D 两套轴承 /T 三套轴承 /Q 四套轴承	GA 轻预紧 GB 中预紧 GC 重预紧 用于深沟球轴承和角接 触球轴承。当用于角接 触球轴承时“G”省略	CA 轴向游隙较小 CB 轴向游隙较 CA 大 CC 轴向游隙较 CB 大 CG 轴向游隙为零 R 载荷均匀分布 其中：CA、CB、CC 用于深沟球轴承及角接 触球轴承；CG 用于圆锥滚子轴承
示 例	6210/DFGA	深沟球轴承，修磨端面后，成对面对面安装，轻预紧		
	7210C/DBA	接触角 $\alpha = 15^\circ$ 的角接触球轴承，成对背对背安装，轻预紧		
	32208/DF	圆锥滚子轴承，成对面对面安装		
	7210C/DT	角接触球轴承，成对串联安装		
	NU210/QTR	圆柱滚子轴承，四套串联，载荷均匀分布		

8) 其他特征代号。在轴承振动、噪声、摩擦力矩、工作温度、润滑等要求特殊时，其代号按 JB/T 2974—2004 的规定，见表 5.3-16。

(3) 后置代号的编排规则

1) 后置代号置于基本代号的右边并与基本代号空半个汉字距（代号中有符号“—”、“/”除外）。当改变项目多，具有多组后置代号，按表 5.3-2 所列

从左至右的顺序排列。

2) 改变为 4 组（含 4 组）以后的内容，则在其代号前用“/”与前面代号隔开。

例：6205-2Z/P6 22308/P63

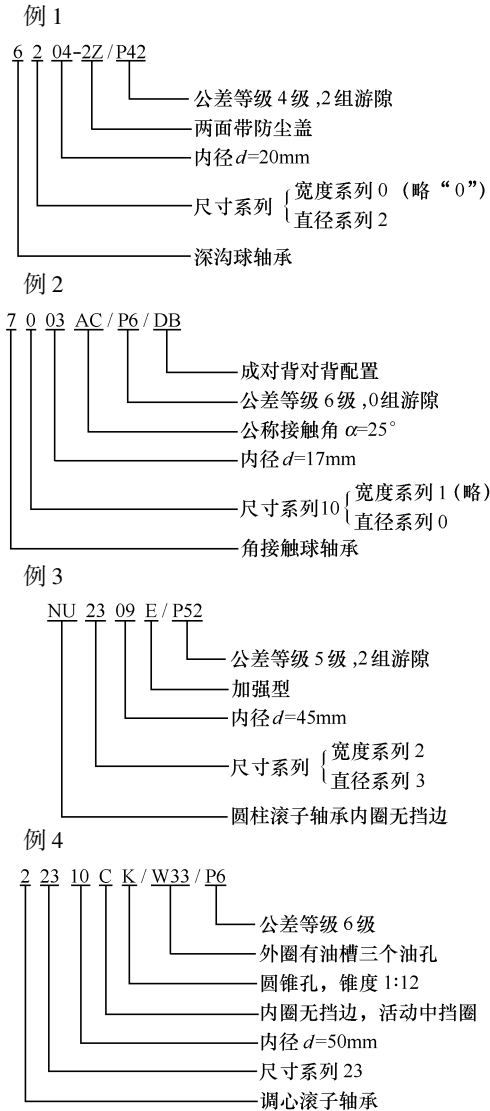
3) 改变内容为第 4 组后的两组，在前组与后组代号中的数字或文字表示含义可能混淆时，两代号间空半个汉字字距。例 6208/P63 V1。

表 5.3-16 其他特性代号及含义

代 号	含 义	示 例
/Z	轴承的振动加速度级极值组别。附加数字表示极值不同 Z1—振动加速度级极值符合标准规定的 Z1 组 Z2—振动加速度级极值符合标准规定的 Z2 组 Z3—振动加速度级极值符合标准规定的 Z3 组	6204/Z1 6205-2RS/Z2
/V	轴承的振动速度级极值组别。附加数字表示极值不同 V1—振动速度级极值符合标准规定的 V1 组 V2—振动速度级极值符合标准规定的 V2 组 V3—振动速度级极值符合标准规定的 V3 组	6306/V1 6304/V2
/ZC	轴承噪声级值有规定, 附加数字表示极值不同	—
/T	对起动力矩有要求的轴承, 后接数字表示起动力矩	—
/RT	对转动力矩有要求的轴承, 后接数字表示转动力矩	—
/S0	轴承套圈经过高温回火处理, 工作温度可达 150℃	N 210/S0
/S1	轴承套圈经过高温回火处理, 工作温度可达 200℃	NUP 212/S1
/S2	轴承套圈经过高温回火处理, 工作温度可达 250℃	NU 214/S2
/S3	轴承套圈经过高温回火处理, 工作温度可达 300℃	NU 308/S3
/S4	轴承套圈经过高温回火处理, 工作温度可达 350℃	NU 214/S4
/W20	轴承外圈上有三个润滑油孔	—
/W26	轴承内圈上有六个润滑油孔	—
/W33	轴承外圈上有润滑油槽和三个润滑油孔	23120 CC/W33
/W33X	轴承外圈上有润滑油槽和六个润滑油孔	—
/W513	W26 + W33	—
/W518	W20 + W26	—
/AS	外圈有油孔, 附加数字表示油孔数 (滚针轴承)	HK 2020/AS1
/IS	内圈有油孔, 附加数字表示油孔数 (滚针轴承)	NAO 17 × 30 × 13/IS1
	在 AS、IS 后加 “R” 分别表示内圈或外圈上有润滑油孔和沟槽	NAO 15 × 28 × 13/ASR
/HT	轴承内充特殊高温润滑脂。当轴承内润滑脂的装填量和标准值不同时附加字母表示: A—润滑脂装填量少于标准值 B—润滑脂装填量多于标准值 C—润滑脂装填量多于 B (充满)	NA 6909/ISR/HT
/LT	轴承内充特殊低温润滑脂。附加字母的含义同 HT	—
/MT	轴承内充特殊中温润滑脂。附加字母的含义同 HT	—
/LHT	轴承内充特殊高、低温润滑脂。附加字母的含义同 HT	—
/Y	Y 和另一个字母 (如 YA, YB) 或再加数字组合用来识别无法用现有后置代号表达的非成系列的改变 YA—结构改变 (综合表达) YA1—轴承外圈外表面与标准设计有差异 YA2—轴承内圈内孔与标准设计有差异 YA3—轴承套圈端面与标准设计有差异 YA4—轴承套圈滚道与标准设计有差异 YA5—轴承滚动体与标准设计有差异 YB—技术条件改变 (综合表达) YB1—轴承套圈表面有镀层 YB2—轴承尺寸和公差要求改变 YB3—轴承套圈表面粗糙度要求改变 YB4—热处理要求 (如硬度) 改变	—

注: 凡轴承代号中有 Y 和另一个字母或加数字的后置代号, 必须查阅图样或补充技术条件才能了解改变的具体内容。

1.2.6 滚动轴承代号示例



2 滚动轴承的选择与计算

2.1 滚动轴承的选择

滚动轴承的选择与计算, 是根据轴承的工作条件, 合理地选择轴承类型、尺寸、公差等级及游隙等, 并验算轴承寿命 (或承载能力)、静强度及极限转速。

常用滚动轴承的一般特性, 见表 5.3-18。

2.1.1 滚动轴承类型选择

各种类型的轴承具有各自的特性, 具有各自应用场合。通常选择轴承类型时应综合考虑下列各主要因素。

(1) 载荷情况 载荷是选择轴承最主要的依据,

通常应根据载荷的大小、方向和性质选择轴承。

1) 载荷大小: 一般情况下相同外形尺寸, 滚子轴承由于是线接触, 承载能力大, 适于承受较大载荷。球轴承由于是点接触, 承载能力小, 适用于轻、中等载荷。各种轴承载荷能力一般以额定动载荷比表示, 参见表 5.3-18。

2) 载荷方向: 纯径向力作用, 宜选用深沟球轴承、圆柱滚子轴承或滚针轴承, 也可考虑选用调心轴承。纯轴向载荷作用, 选用推力球轴承或推力滚子轴承。径向载荷及轴向载荷联合作用时, 一般选用角接触球轴承或圆锥滚子轴承, 这两种轴承随接触角 α 增大承受轴向载荷能力提高。若径向载荷较大而轴向载荷较小时, 也可选用深沟球轴承和内、外圈都有挡边的圆柱滚子轴承。若轴向载荷较大而径向载荷较小时, 可选用推力角接触球轴承。

3) 载荷性质: 有冲击载荷时, 宜选用滚子轴承。

(2) 速度性能 各种轴承允许的极限转速见滚动轴承主要尺寸和性能表。一般讲, 深沟球轴承和角接触球轴承, 圆柱滚子轴承具有较高的极限转速, 四点接触球轴承极限转速较高, 推力轴承极限转速低, 圆锥滚子轴承、调心轴承、滚针轴承极限转速较低。各种轴承转速比, 见表 5.3-18。

高速重要的轴承要验算其极限转速 (见计算部分)。

(3) 调心性能 当轴两端轴承孔同心性差 (制造误差或安装误差所致) 或轴的刚度小、变形较大, 以及多支点轴, 均要求轴承调心性好, 这时应选用调心球轴承或调心滚子轴承。各种轴承容许调心范围见表 5.3-17。

表 5.3-17 轴承容许的调心范围

轴 承 类 型		允许角度误差
深沟球轴承 (0 组游隙)		8'
深沟球轴承 (3 组游隙)		12'
深沟球轴承 (4 组游隙)		16'
圆柱滚子轴承 (N、NU 型)		4'
圆柱滚子轴承 (其他结构)		2'
单列圆锥滚子轴承		2'
调心球轴承	12、22	2.5°
	13、14、23	3°
调心滚子轴承	213	1°
	222、230、231、239	1.5°
	223、240	2°
	232、241	2.5°
推力调心滚子轴承	292	1.5°
	293	2°
	294	2.5°

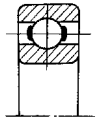
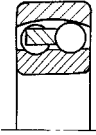
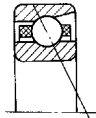
(4) 允许的空间 径向尺寸受限制的机械装置，可选用滚针轴承或内径一定时外径小轴承；轴向尺寸受限制时，宜选用宽度尺寸小的轴承。

(5) 安装与拆卸方便 整体式轴承座或频繁装卸时应优先选用内、外圈可分离的轴承，如 N0000

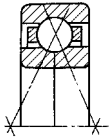
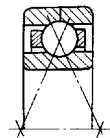
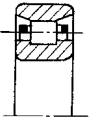
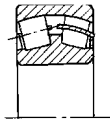
型、30000 型及 S7000 型。轴承装在长轴上时，为装卸方便可选用带锥孔和紧定套的轴承。

(6) 经济性 在使用条件相近情况下，选用价格便宜轴承。轴承价格比见表 5.3-18。

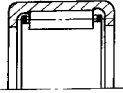
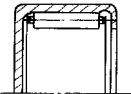
表 5.3-18 常用滚动轴承特性及某些性能比较

轴承类型	一般特性	其他特性	额定动载荷比	转速比	使用寿命	价格比
深沟球轴承 	1. 承载能力较小 2. 主要承受径向载荷，也可同时承受少量的轴向载荷。加大径向游隙时可承受较大的轴向载荷 3. 允许一定的轴向位移，但轴向位移限于轴向游隙范围内 4. 摩擦因数小，极限转速高	结构简单，使用方便，工作期间不需保养，适于高速，应用极为广泛 有多种防尘、密封、止动槽结构变化供选用	1.0	1.0	长	1.0
调心球轴承 	1. 承载能力较小 2. 主要承受径向载荷，也可同时承受少量的轴向载荷，不宜承受纯轴向载荷 3. 具有良好的调心性，可自动补偿轴承内外圈的同轴度误差，适用于支承座孔不能严格对中的部件中 4. 极限转速中	带紧定套的调心球轴承，可用于无轴肩的光轴、安装拆卸方便，还可微调轴承的径向游隙	0.6 ~ 0.9	0.7	较短	1.8
角接触球轴承 	1. 承载能力较大 2. 可以同时承受径向载荷和轴向载荷，也可承受纯轴向载荷，接触角越大，轴向承载能力越大 3. 只能承受单向轴向载荷，在承受径向载荷时会产生内部轴向力。一般成对使用 4. 极限转速高	1. 成对安装时 (/DT 型) 可承受较大的轴向载荷 2. 成对安装时 (/DB、/DF 型) 能承受双向轴向载荷，通过预紧可限制轴或外壳的轴向位移，增加轴承的刚度和旋转精度 3. 可分离型轴承的内外圈可分别安装，用于安装条件受到限制的部位	7000 型 1 ~ 1.4	$\alpha = 15^\circ$ 1.4 $\alpha = 40^\circ$ 0.8	长	2.1

(续)

轴承类型	一般特性	其他特性	额定动载荷比	转速比	使用寿命	价格比
四点接触球轴承 (双半内圈) 	1. 装球数量多, 故承载能力较大 2. 可承受双向轴向载荷, 可限制轴或外壳在两个方向的轴向位移 3. 具有成对安装的角接触球轴承的特性, 但占用轴向空间更小	结构紧凑, 属可分离型轴承, 接触角为 35°	1.4 ~ 1.8	0.8	—	—
四点接触球轴承 (双半外圈) 	4. 无载荷或纯径向载荷作用时, 钢球与套圆呈四点接触; 在纯轴向载荷作用时, 钢球与套圆为二点接触 5. 极限转速较高					
圆柱滚子轴承 (外圈无挡边) 	1. 承载能力大 2. 不能承受轴向载荷 3. 不能限制轴和外壳的轴向位置 4. 属分离型轴承, 安装、拆卸、方便 5. 极限转速较高	1. 无挡边轴承常用作游动支承 2. 带挡边轴承 (NF、NJ 型) 能承受较小的轴向载荷, 需成对使用 3. 双列轴承 (NN、NNU 型) 结构紧凑、刚性好, 适用于作机床主轴轴承	N、NU、NJ、NF、NUP 型 1.5 ~ 3	1	很长	2
调心滚子轴承 	1. 承载能力大 2. 主要承受径向载荷, 也能承受任一方向的轴向载荷, 适用于重载, 振动条件, 不能承受纯轴向载荷 3. 轴和外壳的轴向位移限制在轴向游隙范围内 4. 调心性良好, 可自动补偿同轴度误差 5. 极限转速低	1. 改进型 (CC、CACM 型) 轴承结构经优化设计, 承载能力提高, 应优先选用 2. 圆锥孔轴承, 内圈沿轴向移动, 可微量调整轴承的径向游隙 3. 带紧定套的轴承可用于无轴肩的光轴。适用于经常安装和拆卸轴承场合	2.3 ~ 5.2	0.6	较长	4.4

(续)

轴承类型	一般特性	其他特性	额定动 载荷比	转速比	使用 寿命	价格比
穿孔型冲压外圈 滚针轴承 	1. 由薄壁冲压外圈、保持架和整组滚针组成，成本低，载荷容量大 2. 装配前注入足量的润滑脂，工作时一般不再润滑 3. 极限转速低	径向尺寸小，适用于径向尺寸受限场合		有保持架 0.6	较长	较低
封口型冲压外圈 滚针轴承 		用于轴颈无伸出端的支承，能承受小的轴向游动，端面起密封作用				

2.1.2 滚动轴承公差等级选择

滚动轴承按基本尺寸公差与旋转精度（均为产品的制造精度）分为5级：P0、P6（6x）、P5、P4、P2，等级依次由低到高。各类轴承的公差等级分级略有不同，向心轴承（圆锥滚子轴承除外）公差等级分为P0、P6、P5、P4、P2五个等级；圆锥滚子轴

承公差等级分为P0、P6x、P5、P4四个等级，推力轴承公差等级有P0、P6、P5、P4四个等级。P0级为普通级，各类轴承都制造有P0级产品，应用最广。只有在高精度机械中才选用公差等级高的轴承，相应的轴与壳体孔的加工精度也应提高。表5.3-19公差等级高的轴承应用实例。

表 5.3-19 高公差等级轴承应用实例

设备类型	轴 承 公 差 等 级				
	深沟球 轴 承	圆柱滚 子轴承	角接触 球轴承	圆锥滚 子轴承	推力与角接触 推力球轴承
普通车床主轴		/P5、/P4	/P5	/P5	/P5、/P4
精密车床主轴		/P4	/P5、/P4	/P5、/P4	/P5、/P4
铣床主轴		/P5、/P4	/P5	/P5	/P5、/P4
镗床主轴		/P5、/P4	/P5、/P4	/P5、/P4	/P5、/P4
坐标镗床主轴		/P4、/P2	/P4、/P2	/P4、/P2	/P4
机械磨头			/P5、/P4	/P4	/P5
高速磨头			/P4	/P2	/P4、/P2
精密仪表	/P5、/P4		/P5、/P4		
增压器	/P5		/P5		
航空发动机主轴	/P5	/P5	/P5、/P4		

2.1.3 滚动轴承游隙选择

滚动轴承游隙分径向游隙 u_r 和轴向游隙 u_a ，它们分别表示一个套圈固定时，另一个套圈沿径向及轴向由一个极限位置到另一个极限位置的移动量（见图5.3-1）。各类轴承的 u_r 与 u_a 之间有一定的对应关系。

径向游隙又分为原始游隙，安装游隙和工作游

隙。表5.3-20、表5.3-21所示为原始游隙，即未安装前（制造出厂时游隙）游隙。

轴承游隙大小对承载能力有影响，试验分析表明工作游隙比零稍小的负值时轴承寿命最大。产品样本中所列的基本额定动载荷 C_r ，及基本额定静载荷 C_r ，是工作游隙为零时的载荷数值。

合理的选择轴承径向游隙，应在原始游隙的基

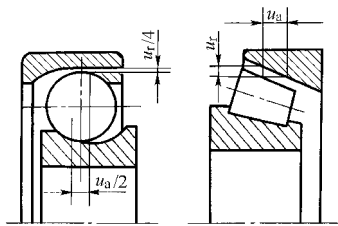


图 5.3-1 滚动轴承游隙

基础上，考虑因配合、内外圈的温度差以及载荷等因素所引起的游隙变化，以使工作游隙接近于最佳状态。在正常工作时，球轴承通常在运转温度下，游隙应接近零。对滚子轴承，应留有一定的径向游隙。轴承工作时因内外圈温度差导致径向游隙减小，径向游隙的减小量 Δu (mm) 由下式估定

$$\Delta u = \Delta t \alpha (d + D) / 2 \tag{5.3-1}$$

式中 α ——钢的线膨胀系数， $\alpha = 0.000011$ ；
 Δt ——内外圈温度差，一般情况下内圈温度较外圈温度高，则 Δt 约为 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ ，当工作温度较高以及轴承散热条件不好时， Δt 可达 $15 \sim 20^{\circ}\text{C}$ ，有外部热源影响轴承时，可使径向游隙减小，也可使径向游隙增大，主要取决热量是从轴颈还是外壳导入轴承，要具体分析；
 d 、 D ——轴承内、外径尺寸 (mm)。

过盈配合会使轴承径向游隙减小，这时的游隙称为安装游隙，用 u_p 表示。轴承在工作时，由于载荷的作用以及内外套圈温差影响，工作时轴承的实际游隙称工作游隙，用 u_g 表示。通常 $u_o > u_g > u_p$ ， u_o 为原始游隙。

安装游隙可根据原始游隙与配合尺寸近似计算：

内圈与轴过盈配合时： $u_p = u_o - 0.65 \times$ 配合的名义过盈量

外圈与壳孔过盈配合时： $u_p = u_o - 0.55 \times$ 配合的名义过盈量

在正常工作状态下，如果球轴承内圈与轴配合为 j5、…、k5，外圈与外壳孔配合为 J6；滚子轴承和滚针轴承内圈与轴配合为 k5、…、m5，外圈与外壳孔配合为 K6 时，应优先选用基本游隙组 0 组。当温差较大或有外部热源造成游隙减小，或大冲击、重载荷或配合的过盈量较大时，以及在需要降低摩擦力矩、改善调心性能、深沟球轴承承受较大轴向力时，宜采用较大游隙组，如用第 3 组、第 4 组。当运转精度要求较高，或需严格限制轴向位移时，宜选用较小游隙组（2 组游隙）。

角接触球轴承、圆锥滚子轴承及内圈带锥孔的轴承，其工作游隙可以在安装或使用中调整。

转速很低或在回转中产生振荡的轴承，则采用无游隙或预紧安装。

表 5.3-20 几种轴承径向游隙 (摘自 GB/T 4604—2006) (μm)

轴承类型	公称内径 <i>d</i> /mm	2 组		0 组		3 组		4 组		5 组	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
深沟球轴承	> 10 ~ 18	0	9	3	18	11	25	18	33	25	45
	> 18 ~ 24	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48
	> 24 ~ 30	1	11	5	20	13	28	23	41	30	53
	> 30 ~ 40	1	11	6	20	15	33	28	46	40	64
	> 40 ~ 50	1	11	6	23	18	36	30	51	45	73
	> 50 ~ 65	1	15	8	28	23	43	38	61	55	90
	> 65 ~ 80	1	15	10	30	25	51	46	71	65	105
	> 80 ~ 100	1	18	12	36	30	58	53	84	75	120
	> 100 ~ 120	2	20	15	41	36	66	61	97	90	140
	> 120 ~ 140	2	23	18	48	41	81	71	114	105	160
	> 140 ~ 160	2	23	18	53	46	91	81	130	120	180
	> 160 ~ 180	2	25	20	61	53	102	91	147	135	200
	> 180 ~ 200	2	30	25	71	63	117	107	163	150	230
圆锥孔调心球轴承	> 10 ~ 14	2 (-)	10 (-)	6 (-)	19 (-)	13 (-)	26 (-)	21 (-)	35 (-)	30 (-)	48 (-)
	> 14 ~ 18	3 (-)	12 (-)	8 (-)	21 (-)	15 (-)	28 (-)	23 (-)	37 (-)	32 (-)	50 (-)
	> 18 ~ 24	4 (7)	14 (17)	10 (13)	23 (26)	17 (20)	30 (33)	25 (28)	39 (42)	34 (37)	52 (55)
	> 24 ~ 30	5 (9)	16 (20)	11 (15)	24 (18)	19 (23)	35 (39)	29 (33)	46 (50)	40 (44)	58 (62)
	> 30 ~ 40	6 (12)	18 (24)	13 (19)	29 (35)	23 (29)	40 (46)	34 (40)	53 (59)	46 (52)	66 (72)
	> 40 ~ 50	6 (14)	19 (27)	14 (22)	31 (39)	25 (33)	44 (52)	37 (45)	57 (65)	50 (58)	71 (79)

(续)

轴承 类型	公称内径 d/mm	2 组		0 组		3 组		4 组		5 组	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
圆圆柱锥 孔孔 调 心 球 轴 承	> 50 ~ 65	7 (18)	21 (32)	16 (27)	36 (47)	30 (41)	50 (61)	45 (56)	69 (80)	62 (73)	88 (99)
	> 65 ~ 80	8 (23)	24 (39)	18 (35)	40 (57)	35 (50)	60 (75)	54 (69)	83 (98)	76 (91)	108 (123)
	> 80 ~ 100	9 (29)	27 (47)	22 (42)	48 (68)	42 (62)	70 (90)	64 (84)	96 (116)	89 (109)	124 (144)
	> 100 ~ 120	10 (35)	31 (56)	25 (50)	56 (81)	50 (75)	83 (108)	75 (100)	114 (139)	105 (130)	145 (170)
	> 120 ~ 140	10 (40)	38 (68)	30 (60)	68 (98)	60 (90)	100 (130)	90 (120)	135 (165)	125 (155)	175 (205)
	> 140 ~ 160	15 (45)	44 (74)	35 (65)	80 (110)	70 (100)	120 (150)	110 (140)	161 (191)	150 (180)	210 (240)
圆圆柱锥 孔孔 调 心 滚 子 轴 承	> 14 ~ 18	10 (—)	20 (—)	20 (—)	35 (—)	35 (—)	45 (—)	45 (—)	60 (—)	60 (—)	75 (—)
	> 18 ~ 24	10 (15)	20 (25)	20 (25)	35 (35)	35 (35)	45 (45)	45 (45)	60 (60)	60 (60)	75 (75)
	> 24 ~ 30	15 (20)	25 (30)	25 (30)	40 (40)	40 (40)	55 (55)	55 (55)	75 (75)	75 (75)	95 (95)
	> 30 ~ 40	15 (25)	30 (35)	30 (35)	45 (50)	45 (50)	60 (65)	60 (65)	80 (85)	80 (85)	100 (105)
	> 40 ~ 50	20 (30)	35 (45)	35 (45)	55 (60)	55 (60)	75 (80)	75 (80)	100 (100)	100 (100)	125 (130)
	> 50 ~ 65	20 (40)	40 (55)	40 (55)	65 (75)	65 (75)	90 (95)	90 (95)	120 (120)	120 (120)	150 (160)
	> 65 ~ 80	30 (50)	50 (70)	50 (70)	80 (95)	80 (95)	110 (120)	110 (120)	145 (150)	145 (150)	180 (200)
	> 80 ~ 100	35 (55)	60 (80)	60 (80)	100 (110)	100 (110)	135 (140)	135 (140)	180 (180)	180 (180)	225 (230)
	> 100 ~ 120	40 (65)	75 (100)	75 (100)	120 (135)	120 (135)	160 (170)	160 (170)	210 (220)	210 (220)	260 (280)
	> 120 ~ 140	50 (80)	95 (120)	95 (120)	145 (160)	145 (160)	190 (200)	190 (200)	240 (260)	240 (260)	300 (330)
	> 140 ~ 160	60 (90)	110 (130)	110 (130)	170 (180)	170 (180)	220 (230)	220 (230)	280 (300)	280 (300)	350 (380)
	> 160 ~ 180	65 (100)	120 (140)	120 (140)	180 (200)	180 (200)	240 (260)	240 (260)	310 (340)	310 (340)	390 (430)
	> 180 ~ 200	70 (110)	130 (160)	130 (160)	200 (220)	200 (220)	260 (290)	260 (290)	340 (370)	340 (370)	430 (470)
圆柱滚子轴承及滚针轴承	> 10 ~ 24	0	25	20	45	35	60	50	75	65	90
	> 24 ~ 30	0	25	20	45	35	60	50	75	70	95
	> 30 ~ 40	5	30	25	50	45	70	60	85	80	105
	> 40 ~ 50	5	35	30	60	50	80	70	100	95	125
	> 50 ~ 65	10	40	40	70	60	90	80	110	110	140
	> 65 ~ 80	10	45	40	75	65	100	90	125	130	165
	> 80 ~ 100	15	50	50	85	75	110	105	140	155	190
	> 100 ~ 120	15	55	50	90	85	125	125	165	180	220
	> 120 ~ 140	15	60	60	105	100	145	145	190	200	245
	> 140 ~ 160	20	70	70	120	115	165	165	215	225	275
	> 160 ~ 180	25	75	75	125	120	170	170	220	250	300
	> 180 ~ 200	35	90	90	145	140	195	195	250	275	330

注：1. 其他尺寸及有关类型轴承径向游隙见 GB/T 4604—2006。

2. 调心球轴承、调心滚子轴承表中括号内数字为圆锥孔球轴承、圆锥孔滚子轴承的径向游隙。

表 5.3-21 四点接触球轴承轴向游隙 (摘自 JB/T 6643—2004)

(μm)

公称内径 d/mm	2 组		0 组		3 组		4 组	
	min	max	min	max	min	max	min	max
> 10 ~ 18	15	55	45	85	75	115	105	145
> 18 ~ 40	26	66	56	106	96	146	136	186
> 40 ~ 60	36	86	76	126	116	166	156	206
> 60 ~ 80	46	96	86	136	126	176	166	216
> 80 ~ 100	56	116	96	156	136	196	176	236
> 100 ~ 140	66	136	116	176	156	216	196	256
> 140 ~ 180	76	156	136	196	176	236	216	276
> 180 ~ 220	96	176	156	216	196	256	236	296

2.2 滚动轴承的计算

2.2.1 滚动轴承的寿命计算

在一般条件下工作的轴承，只要类型选择合适，安装、维护得好，绝大多数均因疲劳点蚀而报废。因此，滚动轴承的尺寸（型号）主要取决于疲劳寿命。

在轴承寿命计算中常用下列术语：

寿命：单个轴承，其中一个套圈（或垫圈）或滚动体首次出现疲劳扩展之前，一套圈（或垫圈）相对另一套圈（或垫圈）的转数或在一定转速下工作的小时数。

基本额定寿命：一批同型号的轴承，在相同条件下运转，当有 10% 的轴承发生疲劳点蚀时，轴承所经历的转数定义为这批轴承的基本额定寿命，用 L_{10} 表示，单位为 10^6 转，或用一定转速下运转的小时数 L_{10h} （h）表示。设计中用基本额定寿命作为轴承的寿命指标。即对某一具体单个轴承能达到基本额定寿命的可靠度为 90%。

基本额定动载荷：同一批轴承，其基本额定寿命为一百万转时所能承受的载荷，用 C 表示。对向心轴承，这一载荷为纯径向载荷，称为径向基本额定动载荷，用 C_r 表示。对于推力轴承，这一载荷为纯轴向载荷，称为轴向基本额定动载荷，用 C_a 表示。

表 5.3-22 常用机械设备轴承的使用寿命

使 用 条 件	使用寿命/h
不经常使用的仪器和设备	300 ~ 3000
短期或间断使用的机械，中断使用不致引起严重后果，如手动机械、农业机械、装配吊车、自动送料装置	3000 ~ 8000
间断使用的机械，中断使用将引起严重后果，如发电站辅助设备、流水作业的传动装置、带式输送机、车间吊车	8000 ~ 12000
每天 8h 工作的机械，但经常不是满载荷使用，如电机、一般齿轮装置、压碎机、起重机和一般机械	10000 ~ 25000
每天 8h 工作，满载荷使用，如机床、木材加工机械、工程机械、印刷机械、分离机、离心机	20000 ~ 30000
24h 连续工作的机械，如压缩机、泵、电动机、轧机齿轮装置、纺织机械	40000 ~ 50000
24h 连续工作的机械，中断使用将引起严重后果，如纤维机械、造纸机械、电站主要设备、给排水设备、矿用泵、矿用通风机	≈ 100000

（2）滚动轴承修正的寿命 按式（5.3-3）算出的轴承基本额定寿命是适用于常规轴承材料，正常运转条件和可靠度为 90% 的寿命，对于非常规材料或运转条件，可靠度不是 90% 时，轴承基本额定寿命修正公式为：

$$L_{nh} = a_1 a_2 a_3 L_{10h} \quad (5.3-4)$$

式中 L_{nh} ——失效概率 $n\%$ 的小时寿命；

示。常用滚动轴承的基本额定动载荷数值，见表 5.3-30 ~ 表 5.3-43。

当量动载荷：是指一大小和方向恒定的载荷。在这一载荷的作用下，轴承寿命与实际载荷作用下的寿命相等。

（1）滚动轴承基本额定寿命 滚动轴承基本额定寿命计算公式如下：

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^\varepsilon \quad (5.3-2)$$

式中 L_{10} ——失效概率 10%（可靠度为 90%）的基本额定寿命（ $10^6 r$ ）；

C ——基本额定动载荷（N），对向心轴承 $C = C_r$ ，对推力轴承， $C = C_a$ ；

P ——当量动载荷（N）；

ε ——寿命指数，对球轴承 $\varepsilon = 3$ ，滚子轴承 $\varepsilon = 10/3$ 。

对于给定转速 n 时，轴承寿命可用小时表示，小时寿命计算公式为

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^\varepsilon \quad (5.3-3)$$

式中 L_{10h} ——基本额定寿命（h）， L_{10h} 应大于或等于轴承的预期使用寿命，常用机械设备轴承使用寿命见表 5.3-22；

n ——轴承工作转速（ $r \cdot \min^{-1}$ ）。

a_1 ——可靠度的寿命修正系数；见表 5.3-23；

a_2 ——材料的寿命修正系数，一般由轴承厂家根据实验结果及经验给出，常规轴承钢 $a_2 = 1$ ；

a_3 ——运转条件的寿命修正系数，当转速特别低 [$n \cdot D_{pw} < 10000 \text{ mm} \cdot r \cdot \min^{-1}$ ， D_{pw} 为轴承滚动体组的节圆直径 mm；

(球心或滚子中部轴心线所在圆直径), n 为轴承转速, $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$] 或高温工作使润滑剂的粘度对球轴承小于 $13\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 对滚子轴承小于 $20\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 应考虑降低 a_3 值, 取 $a_3 < 1$; 润滑条件特别优越, 足以在轴承滚动接触表面形成弹性流体动压油膜时, 取 $a_3 > 1$ 。一般运转条件下, $a_3 = 1$ 。

表 5.3-23 可靠度的寿命修正系数 a_1

可靠度 (%)	90	95	96	97	98	99
a_1	1	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21

(3) 滚动轴承的修正额定动载荷 轴承的基本额定动载荷 C 是按常规材料, 轴承工作温度低于 120°C , 轴承零件表面硬度为 $60 \sim 65\text{HRC}$ 的条件下实验得出的, 条件改变时应进行修正, 修正的额定动载荷按下式确定

$$C_{\text{MTH}} = g_{\text{M}} g_{\text{T}} g_{\text{H}} C \quad (5.3-5)$$

式中 C_{MTH} ——修正的额定动载荷 (N);

g_{M} ——材质系数;

GB/T 6391—2003 规定, 滚动轴承基本额定动载荷计算是按优质淬硬的真空脱氧钢。轴承性能表中所给 C 值就是针对真空脱氧钢而确定的。即 $g_{\text{M}} = 1$; 若采用普通电炉轴承钢, C 值降低, 即 $g_{\text{M}} < 1$; 若采用真空重熔、电渣重熔轴承钢, C 值提高, 即 $g_{\text{M}} > 1$ 。 C 值降低或提高数值查阅有关资料。

g_{T} ——温度系数, 见表 5.3-24;

g_{H} ——硬度系数, 当轴承零件的表面硬度低于 58HRC 时, 需将 C 值乘以硬度系数, g_{H} 按下式计算

$$g_{\text{H}} = \left(\frac{\text{硬度值}}{58} \right)^{3.6} \quad (5.3-6)$$

表 5.3-24 温度系数 g_{T}

轴承的工作温度 / $^\circ\text{C}$	<120	125	150	175	200	225	250	300
g_{T}	1	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.60

(4) 滚动轴承的当量动载荷 滚动轴承的实际运转条件一般与确定基本额定动载荷的假定条件不同。为了进行寿命计算, 须将实际载荷换算成与基本额定动载荷的假定条件相一致的载荷, 称当量动载荷

1) 当量动载荷计算

当量动载荷的一般计算公式为

$$P = XF_r + YF_a \quad (5.3-7)$$

式中 F_r ——轴承所受的径向载荷 (N);

F_a ——轴承所受的轴向载荷 (N);

X ——径向系数;

Y ——轴向系数。

各类轴承系数 X 与 Y 的值见各类轴承尺寸与性能表。

当考虑轴承受力矩载荷和冲击载荷作用时, 当量动载荷可按式 (5.3-8) 计算

$$P = f_{\text{m}} f_{\text{d}} (XF_r + YF_a) \quad (5.3-8)$$

式中 f_{d} ——冲击载荷系数, 见表 5.3-25;

f_{m} ——力矩载荷系数, 见表 5.3-26。

表 5.3-25 冲击载荷系数 f_{d}

载荷性质	f_{d}	举 例
无冲击或轻微冲击	1.0 ~ 1.2	电机, 汽轮机, 通风机, 水泵等
中等冲击或中等惯性力	1.2 ~ 1.8	车辆, 动力机械, 起重机, 造纸机, 冶金机械, 选矿机, 水力机械, 木材加工机械, 卷扬机, 机床, 传动装置等
强大冲击	1.8 ~ 3.0	破碎机, 轧钢机, 石油钻机, 振动筛等

表 5.3-26 力矩载荷系数 f_{m}

载荷大小	f_{m}
力矩载荷较小时	1.5
力矩载荷较大时	2

2) 角接触向心轴承的轴向载荷计算

① 载荷作用中心 角接触向心轴承在计算支承反力时, 首先要确定载荷作用中心 O 点的位置 (图 5.3-2), 其位置参数 α 的数值见表 5.3-33、表 5.3-38。

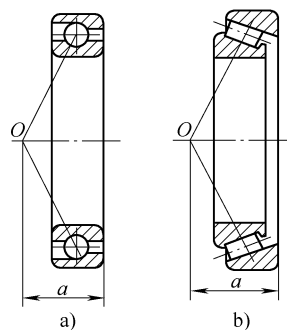


图 5.3-2 角接触向心轴承的载荷作用中心

a) 角接触球轴承 b) 圆锥滚子轴承

② 内部附加轴向力 角接触向心轴承在承受纯径向载荷时, 将产生附加轴向力 S , 其计算公式为角接触向心球轴承 (7000 型)

$$\begin{aligned} S &= eF_r & (\alpha = 15^\circ) \\ S &= 0.68F_r & (\alpha = 25^\circ) \\ S &= 1.14F_r & (\alpha = 40^\circ) \end{aligned} \quad (5.3-9)$$

式中, e 值见表 5.3-33。

圆锥滚子轴承

$$S = F_r/2Y \quad (5.3-10)$$

式中, Y 应取轴承性能表中 $F_a/F_r > e$ 的数值。

③ 成对安装的角接触向心轴承轴向载荷计算 成对安装的角接触向心轴承, 在计算轴向载荷时要

同时考虑由径向载荷引起的内部附加轴向力 S 和作用于轴上的轴向工作载荷 F_A , 计算方法如下。

图 5.3-3 所示的轴承组, F_A 与 S_1 方向一致

$$\begin{aligned} \text{若} \quad & F_A + S_1 > S_2 \\ \text{则} \quad & \begin{cases} F_{a1} = S_1 \\ F_{a2} = S_1 + F_A \end{cases} \end{aligned} \quad (5.3-11)$$

$$\begin{aligned} \text{若} \quad & S_1 + F_A < S_2 \\ \text{则} \quad & \begin{cases} F_{a1} = S_2 - F_A \\ F_{a2} = S_2 \end{cases} \end{aligned} \quad (5.3-12)$$

若外加轴向力的方向与图示方向相反, 则需要将轴承 I 和轴承 II 交换一个标号, 仍使 F_A 与 S_1 同向, 计算公式仍为上面各式。

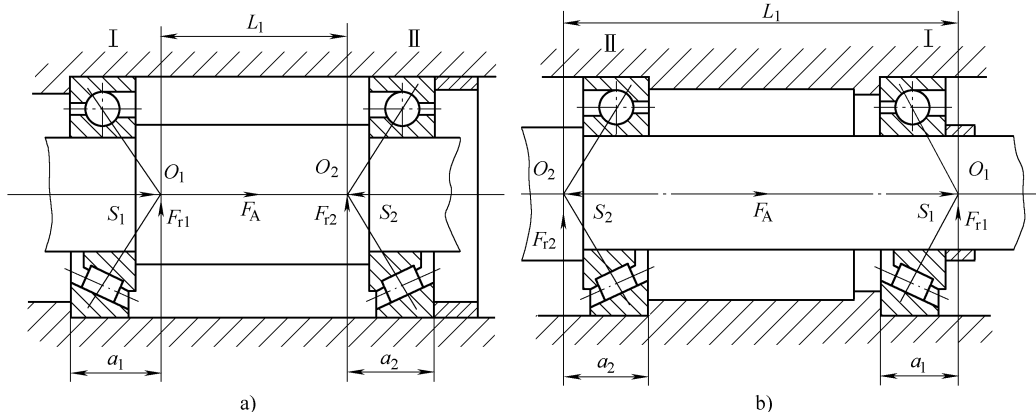


图 5.3-3 角接触向心轴承轴向载荷计算

a) 面对面配置 b) 背对背配置

3) 同一点成对安装同型号角接触向心轴承的计算特点。

图 5.3-4 所示实际为三支点静不定轴系, 近似计算时, 可将成对安装的角接触向心轴承看成是一个点, 并认为径向力的作用点位于两轴承的中点, 附加轴向力和为零, 但在计算其当量动载荷 P 时, 系数 X 与 Y 采用双列轴承的数值。基本额定动载荷 $C_{1\Sigma}$ 应为

角接触球轴承

$$C_{1\Sigma} = 2^{0.7} C_r = 1.625 C_r \quad (5.3-13)$$

圆锥滚子轴承

$$C_{1\Sigma} = 2^{7/9} C_r = 1.71 C_r \quad (5.3-14)$$

实际上, 力的作用点应在受轴向力轴承支点与两轴承中点之间, 随轴向力的大小而变, 具体求法可参考有关资料。

4) 变载荷、变转速下工作的轴承平均当量动载荷和平均转速计算

若轴承是在变动载荷和变转速下工作, 在计算

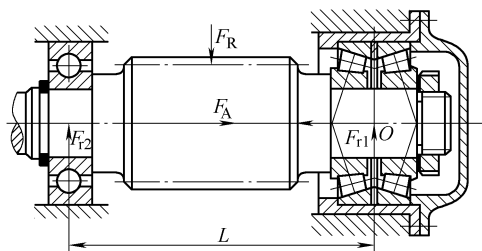


图 5.3-4 同一点成对安装同型号角接触向心轴承

轴承寿命时, 则应用平均当量动载荷和平均转速来计算。

图 5.3-5 所示规律性非稳定载荷作用时, 平均当量动载荷 P_m 及平均转速 n_m 计算公式为

$$P_m = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i P_i^3}{\sum_{i=1}^k n_i t_i}} \quad (5.3-15)$$

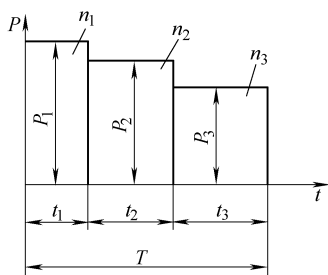


图 5.3-5 非稳定载荷图

$$n_m = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^k n_i t_i \quad (5.3-16)$$

式中 P_m ——平均当量动载荷 (N)；

P_i ——各级载荷下计算的当量动载荷 (N)；

n_i —— P_i 对应的转速 ($r \cdot \min^{-1}$), $i = 1, \dots, k$ ；

t_i —— P_i 作用的时间 (h)；

T ——总的运转时间, $T = \sum_{i=1}^k t_i$ ；

k ——一个循环中载荷变化次数。

把 P_m 及 n_m 代入式 (5.3-3) 中计算轴承的寿命。

2.2.2 滚动轴承的静载荷计算

对于工作于静止状态、缓慢摆动或极低速 ($n < 10r \cdot \min^{-1}$) 运转的轴承, 主要是防止滚动体与滚道接触处产生过大的塑性变形, 以保证轴承轻快、平稳的工作。此时, 应按静载荷计算选择轴承尺寸。对一般回转工作轴承, 也应进行静载荷验算。

基本额定静载荷 系指一个轴承在静止状态 (或套圈间相对转速为零) 或很慢的回转运动时假想所能承受的一个大小和方向恒定的载荷。在这一载荷作用下, 应力最大的滚动体和滚道接触处, 套圈和滚动体的总永久变形量为滚动体直径的 0.0001 倍, 或者接触处的接触应力为

- 4600MPa, 调心球轴承；
- 4200MPa, 其他向心球轴承；
- 4000MPa, 向心滚子轴承；
- 4200MPa, 推力球轴承；
- 3000MPa, 推力滚子轴承。

这时载荷为基本额定静载荷。对向心轴承为径向基本额定静载荷, 用 C_{0r} 表示；对于单列角接触轴承为使轴承套圈之间只产生纯径向位移的载荷的径向分量；对于推力轴承为轴向基本额定静载荷, 用 C_{0a} 表示。常用滚动轴承 C_{0r} 、 C_{0a} 值见滚动轴承主要尺寸和性能表。

对于同一支点成对安装角接触向心轴承 (面对面或背对背), 径向基本额定静载荷为单列轴承额定

静载荷的两倍。

当量静载荷 系指一大小的方向和方向恒定的静载荷。在这一载荷作用下, 应力最大的滚动体和滚道接触处, 引起的总永久变形量与实际载荷条件下相同。用 P_0 表示当量静载荷。

(1) 轴承基本额定静载荷的计算 按额定静载荷选择轴承的基本公式为

$$C_0 = S_0 P_0 \leq C_{0r} \text{ (或 } C_{0a}) \text{ N} \quad (5.3-17)$$

式中 C_0 ——基本额定静载荷计算值 (N)；

C_{0r} ——基本额定静载荷 (N) 见表 5.3-30 ~ 43；

P_0 ——当量静载荷 (N)；

S_0 ——安全系数, 见表 5.3-27、表 5.3-28。

(2) 当量静载荷的计算 向心轴承的径向当量静载荷按下列公式计算 $\alpha = 0^\circ$ 的向心轴承 (圆柱滚子轴承、滚针轴承等)

$$P_{0r} = F_r \quad (5.5-18)$$

$\alpha \neq 0^\circ$ 的向心轴承 (深沟球轴承、角接触轴承和调心球轴承等)

$$\begin{cases} F_{0r} = X_0 F_r + Y_0 F_a \\ P_{0r} = F_r \end{cases} \quad (5.3-19)$$

取上两式计算的较大值。

式中 X_0 ——径向静载荷系数；

Y_0 ——轴向静载荷系数。

各类轴承 X_0 和 Y_0 的数值, 见表 5.3-30 ~ 43。

推力轴承的轴向当量静载荷按下列公式计算

$\alpha = 90^\circ$ 的推力球轴承和推力圆柱滚子轴承

$$P_{0a} = F_a \quad (5.3-20)$$

$\alpha \neq 90^\circ$ 的推力调心滚子轴承 当 $F_r \leq 0.55 F_a$ 时

$$P_{0a} = F_a + 2.7 F_r \quad (5.3-21)$$

(3) 安全系数的选取 对静止轴承、缓慢摆动和转速极低轴承, S_0 参照表 5.3-27 选取；对旋转轴承, S_0 参照表 5.3-28 选取。对于轴承刚度低时, S_0 取大值, 反之取小值。对推力调心滚子轴承, 无论其旋转与否, 均选取 $S_0 \geq 4$ 。

表 5.3-27 静止轴承的安全系数 S_0

轴承的使用场合	S_0
飞机变距螺旋桨叶片	≥ 0.5
水坝闸门装置	≥ 1
吊桥	≥ 1.5
附加动载荷较小的大型起重机吊钩	≥ 1
附加动载荷很大的小型装卸起重机吊钩	≥ 1.6

表 5.3-28 旋转轴承的安全系数 S_0

使用要求或载荷性质	S_0	
	球轴承	滚子轴承
对旋转精度及平稳性能要求较高, 或承受强大的冲击载荷	1.5 ~ 2	2.5 ~ 4
正常使用	0.5 ~ 2	1 ~ 3.5
对旋转精度及平稳性能要求较低, 没有冲击和振动	0.5 ~ 2	1 ~ 3

2.2.3 滚动轴承的极限转速

滚动轴承的极限转速是指在一定的载荷、润滑条件下轴承允许的最高转速, 它与轴承类型、尺寸、载荷的大小与方向、润滑剂的种类与数量、润滑方法、轴承精度、游隙、保持架材料与结构及冷却条件等多种因素有关。轴承性能表中列出各种型号轴承极限转速是在脂润滑和油浴润滑条件下确定的, 适用于当量动载荷 $P \leq 0.1C$ (C 为基本额定动载荷)、润滑与冷却条件正常, 向心轴承仅受径向载荷, 推力轴承仅受轴向载荷的 0 级公差轴承。

当轴承的 $P > 0.1C$ 时, 由于接触面上的接触应力增大, 致使轴承温度升高, 影响润滑性能。因此, 须将性能表所列极限转速乘以载荷系数 f_1 , f_1 可由图 5.3-6 查得。

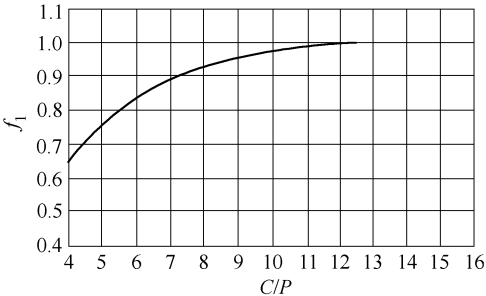


图 5.3-6 载荷系数

当轴承在径向和轴向载荷联合作用下工作时, 由于承受载荷的滚动体数量增加, 摩擦与润滑条件恶化。因此需要根据轴承的类型和轴向载荷的大小将极限转速乘以载荷分布系数 f_2 , f_2 可由图 5.3-7 查得。

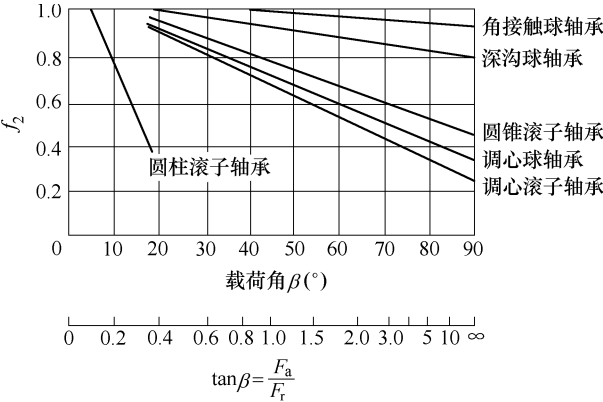


图 5.3-7 载荷分布系数

这样, 实际工作条件下轴承允许的最高转速 $n_{\max}$ 为

$$n_{\max} \leq f_1 f_2 n_{\lim} \quad (5.3-22)$$

式中 $n_{\lim}$ ——轴承性能表中给出的极限转速 ($r \cdot \min^{-1}$)。

2.2.4 推力轴承需要的最小轴向载荷

推力轴承运转时, 特别是高速旋转时, 滚动体受离心力矩作用, 使滚动体与滚道之间产生相对滑动, 导致轴圈与座圈相互分离, 影响轴承正常工作。为保证推力轴承正常工作, 必须施加一定的轴向载荷预紧。所需的轴向载荷最小值为最小轴向载荷 $F_{\min}$ 。

各种推力轴承的 $F_{\min}$ 计算见表 5.3-29。

当计算所得的最小轴向载荷大于作用于轴承上实际轴向载荷时, 轴承必须预紧。

表 5.3-29 $F_{\min}$ 的计算式

轴承类型		$F_{\min}/\text{kN}$
推力球轴承		$F_{\min} > A \left(\frac{n}{1000} \right)^2$
推力角接触球轴承	$\alpha = 45^\circ$	$F_{\min} > 1.9 F_r + A \left(\frac{n}{1000} \right)^2$
	$\alpha = 60^\circ$	$F_{\min} > 3.3 F_r + A \left(\frac{n}{1000} \right)^2$

(续)

轴承类型	$F_{\min}/\text{kN}$
推力滚子轴承	$\frac{C_{0a}}{1000} \leq F_{\min} > A \left(\frac{n}{1000} \right)^2$
推力调心滚子轴承	$\frac{C_{0a}}{1000} \leq F_{\min} > 1.8 F_r \left(\frac{n}{1000} \right)^2$

注: α —接触角; A —最小载荷常数, 列于轴承性能表中; n —轴承转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$); F_r —径向载荷 (kN); C_{0a} —基本额定静载荷 (kN)。

2.2.5 例题

例1 已知某减速器轴的两个轴承中受载较大的轴承所受的径向载荷 $F_r = 2500\text{N}$, 轴向载荷 $F_a = 1100\text{N}$, 轴的转速 $n = 900\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, 轴颈的直径 $d = 50\text{mm}$, 载荷平稳, 要求轴承寿命 15000h , 试计算选择轴承型号。

解:

(1) 初选轴承型号

根据已知轴颈初选 6210 型轴承, 由表 5.3-30 查得 $C_r = 35000\text{N}$, $C_{0r} = 23200\text{N}$ 。

(2) 校核轴承寿命

因 $F_a/C_{0r} = 1100/23200 = 0.047$

故由表 5.3-30 查得 $e \approx 0.25$

由于 $F_a/F_r = 1100/2500 = 0.44 > e$

故由表 5.3-30 查得

$$X = 0.56 \quad Y = 1.78$$

当量动载荷为

$$\begin{aligned} P &= XF_r + YF_a \\ &= 0.56 \times 2500\text{N} + 1.78 \times 1100\text{N} \\ &= 3358\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{10h} &= \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C_r}{P} \right)^3 \\ &= \frac{10^6}{60 \times 900} \left(\frac{35000}{3358} \right)^3 \text{h} = 20968\text{h} \end{aligned}$$

$$L_{10h} = 20968\text{h} > 15000\text{h}$$

满足要求, 故应用 6210 型轴承合适。

例2 某锥齿轮减速器主动轴, 选用一对相同的单列圆锥滚子轴承支承, 如图 5.3-8 所示。两个支承承受的径向载荷分别为 $F_{r1} = 2640\text{N}$, $F_{r2} = 1150\text{N}$, 作用于轴上的轴向载荷 $F_a = 288\text{N}$, 轴的转速 $n = 960\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, 轴颈的直径为 $d = 40\text{mm}$, 工作中有中等冲击, 要求轴承寿命不低于 40000h , 试选择轴承型号。

解:

(1) 初选轴承型号

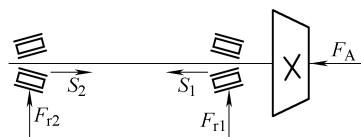


图 5.3-8 圆锥滚子轴承组受载简图

根据已知轴颈和工作条件, 初选 30208 型轴承。由 5.3-38 查得 $C_r = 63000\text{N}$, $e = 0.37$, $Y = 1.6$ 。

(2) 计算当量动载荷

由式 (5.3-10), 轴承内部附加轴向力为

$$S_1 = \frac{F_{r1}}{2Y} = \frac{2640}{2 \times 1.6}\text{N} = 825\text{N}$$

$$S_2 = \frac{F_{r2}}{2Y} = \frac{1150}{2 \times 1.6}\text{N} \approx 359\text{N}$$

因为 $S_1 + F_a = 825\text{N} + 288\text{N} = 1113\text{N} > S_2 = 359\text{N}$ 。所以

$$F_{a1} = S_1 = 825\text{N}$$

$$F_{a2} = S_1 + F_a = 825\text{N} + 288\text{N} = 1113\text{N}$$

对于轴承 1, $F_{a1}/F_{r1} = 825/2640 = 0.312 < e = 0.37$, 故由表 5.3-38 知, $X = 1$, $Y = 0$ 。

考虑轴承 1 承受力矩载荷, 工作中有中等冲击, 由式 (5.3-8) 当量动载荷为

$$P_1 = f_m f_d F_{r1}$$

由表 5.3-25 及表 5.3-26, 取 $f_m = 1.5$, $f_d = 1.4$, 代入得

$$P_1 = 1.5 \times 1.4 \times 2640\text{N} = 5544\text{N}$$

对轴承 2, $F_{a2}/F_{r2} = 1113/1150 = 0.968 > e = 0.37$, 故由表 5.3-38 知, $X = 0.4$, $Y = 1.6$ 。

考虑轴承 2 不承受力矩载荷, 工作中有中等冲击, 由式 (5.3-8) 当量动载荷为

$$\begin{aligned} P_2 &= f_d (XF_{r2} + YF_{a2}) \\ &= 1.4 \times (0.4 \times 1150 + 1.6 \times 1113)\text{N} \\ &= 3137\text{N} \end{aligned}$$

(3) 计算轴承寿命

由于 $P_1 > P_2$, 因此按 P_1 计算。

由式 (5.3-3), 轴承寿命为

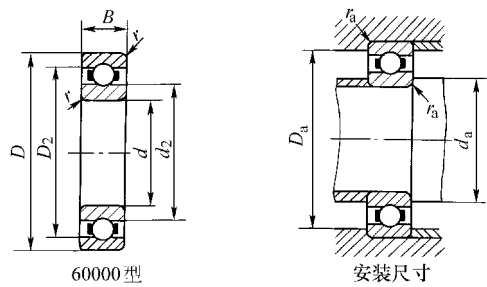
$$\begin{aligned} L_{10h} &= \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C_r}{P_1} \right)^e \\ &= \frac{10^6}{60 \times 960} \times \left(\frac{63000}{5544} \right)^{10/3} = 57275\text{h} \end{aligned}$$

$L_{10h} = 57275\text{h} > 40000\text{h}$, 满足要求, 故选用 30208 型轴承。

3 常用滚动轴承主要尺寸和性能表

3.1 深沟球轴承

表 5.3-30 深沟球轴承 (摘自 GB/T 276—1994) (1)



60000 型

当量动载荷 $P_r = XF_r + YF_a$
当量静载荷 $P_{0r} = 0.6F_r + 0.5F_a$
当 $P_{0r} < F_r$ 取 $P_{0r} = F_r$

$\frac{F_a}{C_{0r}}$	e	$F_a/F_r \leq e$		$F_a/F_r > e$	
		X	Y	X	Y
0.014	0.19	1	0	0.56	2.30
0.028	0.22				1.99
0.056	0.26				1.71
0.084	0.28				1.55
0.11	0.30				1.45
0.17	0.34				1.31
0.28	0.38				1.15
0.42	0.42				1.04
0.56	0.44				1.00

轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定载荷 /kN		极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
	d	D	B	d _a min	D _a max	r _a max	d ₂ ≈	D ₂ ≈	r min	C _r	C _{0r}	脂	油	W ≈
60000 型														
61800	10	19	5	12.4	16.6	0.3	12.6	16.4	0.3	1.80	0.93	28000	36000	0.005
61900		22	6	12.4	19.6	0.3	13.0	18.1	0.3	2.70	1.30	25000	32000	0.008
6000		26	8	12.4	23.6	0.3	14.9	21.3	0.3	4.58	1.98	22000	30000	0.019
6200		30	9	15.0	25	0.6	17.4	23.8	0.6	5.10	2.38	20000	26000	0.032
6300		35	11	15.0	30.0	0.6	19.4	27.6	0.6	7.65	3.48	18000	24000	0.053
61801	12	21	5	14.4	18.6	0.3	15.0	18.2	0.3	1.90	1.00	24000	32000	0.005
61901		24	6	14.4	21.6	0.3	15.5	20.6	0.3	2.90	1.50	22000	28000	0.008
16001		28	7	14.4	25.6	0.3	16.7	23.3	0.3	5.10	2.40	20000	26000	0.015
6001		28	8	14.4	25.6	0.3	17.4	23.8	0.3	5.10	2.38	20000	26000	0.022
6201		32	10	17.0	27	0.6	18.3	26.1	0.6	6.82	3.05	19000	24000	0.035
6301		37	12	18.0	31	1	19.3	29.7	1	9.72	5.08	17000	22000	0.051
61802	15	24	5	17.4	21.6	0.3	17.9	21.1	0.3	2.10	1.30	22000	30000	0.005
61902		28	7	17.4	25.6	0.3	18.4	24.7	0.3	4.30	2.30	20000	26000	0.012
16002		32	8	17.4	29.6	0.3	20.3	26.8	0.3	5.60	2.80	19000	24000	0.023
6002		32	9	17.4	29.6	0.3	20.4	26.6	0.3	5.58	2.85	19000	24000	0.031
6202		35	11	20.0	30.0	0.6	21.6	29.4	0.6	7.65	3.72	18000	22000	0.045
6302		42	13	21.0	36	1	24.3	34.7	1	11.5	5.42	16000	20000	0.080
61803	17	26	5	19.4	23.6	0.3	20.2	23.2	0.3	2.20	1.5	20000	28000	0.007
61903		30	7	19.4	27.6	0.3	20.4	26.7	0.3	4.60	2.6	19000	24000	0.014
16003		35	8	19.4	32.6	0.3	22.8	29.5	0.3	6.00	3.3	18000	22000	0.028
6003		35	10	19.4	32.6	0.3	22.9	29.1	0.3	6.00	3.25	17000	21000	0.040
6203		40	12	22.0	35	0.6	24.6	33.4	0.6	9.58	4.78	16000	20000	0.064
6303		47	14	23.0	41.0	1	26.8	38.2	1	13.5	6.58	15000	18000	0.109
6403		62	17	24.0	55.0	1	31.9	47.1	1.1	22.7	10.8	11000	15000	0.268
61804	20	32	7	22.4	29.6	0.3	24.0	28.3	0.3	3.50	2.20	18000	24000	0.015
61904		37	9	22.4	34.6	0.3	25.6	31.4	0.3	6.40	3.70	17000	22000	0.031
16004		42	8	22.4	39.6	0.3	27.2	34.6	0.3	7.90	4.50	16000	19000	0.052
6004		42	12	25.0	37.0	0.6	26.9	35.1	0.6	9.38	5.02	16000	19000	0.068
6204		47	14	26.0	41	1	29.3	39.7	1	12.8	6.65	14000	18000	0.103
6304		52	15	27.0	45.0	1	29.8	42.2	1.1	15.8	7.88	13000	16000	0.142
6404		72	19	27.0	65.0	1	38.0	56.1	1.1	31.0	15.2	9500	13000	0.400

(续)

轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定载荷 /kN		极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
60000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₂</i> ≈	<i>D₂</i> ≈	<i>r</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
61805	25	37	7	27.4	34.6	0.3	29.0	33.0	0.3	4.3	2.90	16000	20000	0.017
61905		42	9	27.4	39.6	0.3	30.2	36.8	0.3	7.0	4.50	14000	18000	0.038
16005		47	8	27.4	44.6	0.3	33.3	40.7	0.3	8.8	5.60	13000	17000	0.059
6005		47	12	30	42.0	0.6	31.9	40.1	0.6	10.0	5.85	13000	17000	0.078
6205		52	15	31	46.0	1	33.8	44.2	1	14.0	7.88	12000	15000	0.127
6305		62	17	32	55	1	36.0	51.0	1.1	22.2	11.5	10000	14000	0.219
6405		80	21	34	71	1.5	42.3	62.7	1.5	38.2	19.2	8500	11000	0.529
61806	30	42	7	32.4	39.6	0.3	33.8	38.2	0.3	4.70	3.60	13000	17000	0.019
61906		47	9	32.4	44.6	0.3	35.2	41.8	0.3	7.20	5.00	12000	16000	0.043
16006		55	9	32.4	52.6	0.3	38.0	47.3	0.3	11.2	7.40	11000	14000	0.084
6006		55	13	36	49.0	1	38.4	47.7	1	13.2	8.30	11000	14000	0.113
6206		62	16	36	56	1	40.8	52.2	1	19.5	11.5	9500	13000	0.200
6306		72	19	37	65	1	44.8	59.2	1.1	27.0	15.2	9000	11000	0.349
6406		90	23	39	81	1.5	48.6	71.4	1.5	47.5	24.5	8000	10000	0.710
61807	35	47	7	37.4	44.6	0.3	38.8	43.2	0.3	4.90	4.00	11000	15000	0.023
61907		55	10	40	50	0.6	41.6	48.6	0.6	9.50	6.80	10000	13000	0.078
16007		62	9	37.4	59.6	0.3	44.0	53.3	0.3	12.2	8.80	9500	12000	0.107
6007		62	14	41	56	1	43.3	53.7	1	16.2	10.5	9500	12000	0.148
6207		72	17	42	65	1	46.8	60.2	1.1	25.5	15.2	8500	11000	0.288
6307		80	21	44	71	1.5	50.4	66.6	1.5	33.4	19.2	8000	9500	0.455
6407		100	25	44	91	1.5	54.9	80.1	1.5	56.8	29.5	6700	8500	0.926
61808	40	52	7	42.4	49.6	0.3	43.8	48.2	0.3	5.10	4.40	10000	13000	0.026
61908		62	12	45	57	0.6	47.0	55.2	0.6	13.7	9.90	9500	12000	0.103
16008		68	9	42.4	65.6	0.3	49.4	57.0	0.3	12.6	9.60	9000	11000	0.125
6008		68	15	46	62	1	48.8	59.2	1	17.0	11.8	9000	11000	0.185
6208		80	18	47	73	1	52.8	67.2	1.1	29.5	18.0	8000	10000	0.368
6308		90	23	49	81	1.5	56.5	74.6	1.5	40.8	24.0	7000	8500	0.639
6408		110	27	50	100	2	63.9	89.1	2	65.5	37.5	6300	8000	1.221
61809	45	58	7	47.4	55.6	0.3	48.7	54.3	0.3	6.40	5.60	9000	12000	0.030
61909		68	12	50	63	0.6	52.3	60.8	0.6	14.1	10.90	8500	11000	0.123
16009		75	10	50	70	0.6	55.0	65.4	0.6	15.6	12.2	8000	10000	0.155
6009		75	16	51	69	1	54.2	65.9	1	21.0	14.8	8000	10000	0.230
6209		85	19	52	78	1	58.8	73.2	1.1	31.5	20.5	7000	9000	0.416
6309		100	25	54	91	1.5	63.0	84.0	1.5	52.8	31.8	6300	7500	0.837
6409		120	29	55	110	2	70.7	98.3	2	77.5	45.5	5600	7000	1.520
61810	50	65	7	52.4	62.6	0.3	54.7	60.3	0.3	6.6	6.1	8500	10000	0.043
61910		72	12	55	67	0.6	56.8	65.3	0.6	14.5	11.7	8000	9500	0.122
16010		80	10	55	75	0.6	60.0	70.4	0.6	16.1	13.1	8000	9500	0.166
6010		80	16	56	74	1	59.2	70.9	1	22.0	16.2	7000	9000	0.250
6210		90	20	57	83	1	62.4	77.6	1.1	35.0	23.2	6700	8500	0.463
6310		110	27	60	100	2	69.1	91.9	2	61.8	38.0	6000	7000	1.082
6410		130	31	62	118	2.1	77.3	107.8	2.1	92.2	55.2	5300	6300	1.855

(续)

轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定载荷 /kN		极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
60000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₂</i> ≈	<i>D₂</i> ≈	<i>r</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
61811	55	72	9	57.4	69.6	0.3	60.2	66.8	0.3	9.1	8.4	8000	9500	0.070
61911		80	13	61	74	1	63.0	72.1	1	15.9	13.2	7500	9000	0.170
16011		90	11	60	85	0.6	67.0	78.0	0.6	19.4	16.2	7000	8500	0.207
6011		90	18	62	83	1	65.4	79.7	1.1	30.2	21.8	7000	8500	0.362
6211		100	21	64	91	1.5	68.9	86.1	1.5	43.2	29.2	6000	7500	0.603
6311		120	29	65	110	2	76.1	100.9	2	71.5	44.8	5600	6700	1.367
6411		140	33	67	128	2.1	82.8	115.2	2.1	100	62.5	4800	6000	2.316
61812	60	78	10	62.4	75.6	0.3	65.8	72.4	0.3	9.1	8.7	7000	8500	0.093
61912		85	13	66	79	1	68.0	77.1	1	16.4	14.2	6700	8000	0.181
16012		95	11	65	90	0.6	72.0	83.4	0.6	19.9	17.5	6300	7500	0.224
6012		95	18	67	88	1	71.4	85.7	1.1	31.5	24.2	6300	7500	0.385
6212		110	22	69	101	1.5	76.0	94.1	1.5	47.8	32.8	5600	7000	0.789
6312		130	31	72	118	2.1	81.7	108.4	2.1	81.8	51.8	5000	6000	1.710
6412		150	35	72	138	2.1	87.9	122.2	2.1	109	70.0	4500	5600	2.811
61813	65	85	10	70	80	0.6	71.1	79.1	0.6	11.9	11.5	6700	8000	0.13
61913		90	13	71	84	1	73.0	82.1	1	17.4	16.0	6300	7500	0.196
16013		100	11	70	95	0.6	76.5	88.5	0.6	20.5	18.6	6000	7000	0.241
6013		100	18	72	93	1	75.3	89.7	1.1	32.0	24.8	6000	7000	0.410
6213		120	23	74	111	1.5	82.5	102.5	1.5	57.2	40.0	5000	6300	0.990
6313		140	33	77	128	2.1	88.1	116.9	2.1	93.8	60.5	4500	5300	2.100
6413		160	37	77	148	2.1	94.5	130.6	2.1	118	78.5	4300	5300	3.342
61814	70	90	10	75	85	0.6	76.1	83.9	0.6	12.1	11.9	6300	7500	0.138
61914		100	16	76	94	1	79.6	90.6	1	23.7	21.1	6000	7000	0.336
16014		110	13	75	105	0.6	83.3	97.1	0.6	27.9	25.0	5600	6700	0.386
6014		110	20	77	103	1	82.0	98.0	1.1	38.5	30.5	5600	6700	0.575
6214		125	24	79	116	1.5	89.0	109.0	1.5	60.8	45.0	4800	6000	1.084
6314		150	35	82	138	2.1	94.8	125.3	2.1	105	68.0	4300	5000	2.550
6414		180	42	84	166	2.5	105.6	146.4	3	140	99.5	3800	4500	4.896
61815	75	95	10	80	90	0.6	81.1	88.9	0.6	12.5	12.8	6000	7000	0.147
61915		105	16	81	99	1	84.6	95.6	1	24.3	22.5	5600	6700	0.355
16015		115	13	80	110	0.6	88.3	102.0	0.6	28.7	26.8	5300	6300	0.411
6015		115	20	82	108	1	88.0	104.0	1.1	40.2	33.2	5300	6300	0.603
6215		130	25	84	121	1.5	94.0	115.0	1.5	66.0	49.5	4500	5600	1.171
6315		160	37	87	148	2.1	101.3	133.7	2.1	113	76.8	4000	4800	3.050
6415		190	45	89	176	2.5	112.1	155.9	3	154	115	3600	4300	5.739
61816	80	100	10	85	95	0.6	86.1	93.9	0.6	12.7	13.3	5600	6700	0.155
61916		110	16	86	104	1	89.6	101	1	24.9	23.9	5300	6300	0.375
16016		125	14	85	120	0.6	95.3	110	0.6	33.1	31.4	5000	6000	0.539
6016		125	22	87	118	1	95.2	112.8	1.1	47.5	39.8	5000	6000	0.821
6216		140	26	90	130	2	100.0	122.0	2	71.5	54.2	4300	5300	1.448
6316		170	39	92	158	2.1	107.9	142.2	2.1	123	86.5	3800	4500	3.610
6416		200	48	94	186	2.5	117.1	162.9	3	163	125	3400	4000	6.752

(续)

轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定载荷 /kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
60000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₂</i> ≈	<i>D₂</i> ≈	<i>r</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
61817	85	110	13	91	104	1	92.5	103.0	1	19.2	19.8	5000	6300	0.245
61917		120	18	92	113	1	96.1	109	1.1	31.9	29.7	4800	6000	0.507
16017		130	14	90	125	0.6	100.0	115	0.6	34	33.3	4500	5600	0.568
6017		130	22	92	123	1	99.4	117.6	1.1	50.8	42.8	4500	5600	0.848
6217		150	28	95	140	2	107.1	130.9	2	83.2	63.8	4000	5000	1.803
6317		180	41	99	166	2.5	114.4	150.6	3	132	96.5	3600	4300	4.284
6417		210	52	103	192	3	123.5	171.5	4	175	138	3200	3800	7.933
61818	90	115	13	96	109	1	97.5	108.0	1	19.5	20.5	4800	6000	0.258
61918		125	18	97	118	1	101.0	114.0	1.1	32.8	31.5	4500	5600	0.533
16018		140	16	96	134	1	106.0	124.0	1	41.5	39.3	4300	5300	0.671
6018		140	24	99	131	1.5	107.2	126.8	1.5	58.0	49.8	4300	5300	1.10
6218		160	30	100	150	2	111.7	138.4	2	95.8	71.5	3800	4800	2.17
6318		190	43	104	176	2.5	120.8	159.2	3	145	108	3400	4000	4.97
6418		225	54	108	207	3	131.8	183.2	4	192	158	2800	3600	9.56
61819	95	120	13	101	114	1	102	113.0	1	19.8	21.3	4500	5600	0.27
61919		130	18	102	123	1	106.0	119.0	1.1	33.7	33.3	4300	5300	0.56
16019		145	16	101	139	1	111.0	129.0	1	42.7	41.9	4000	5000	0.71
6019		145	24	104	136	1.5	110.2	129.8	1.5	57.8	50.0	4000	5000	1.15
6219		170	32	107	158	2.1	118.1	146.9	2.1	110	82.8	3600	4500	2.62
6319		200	45	109	186	2.5	127.1	167.9	3	157	122	3200	3800	5.74
61820		125	13	106	119	1	107.0	118.0	1	20.1	22.0	4300	5300	0.28
61920	100	140	20	107	133	1	112.0	128.0	1.1	42.7	41.9	4000	5000	0.77
16020		150	16	106	144	1	116.0	134.0	1	43.8	44.3	3800	4800	0.74
6020		150	24	109	141	1.5	114.6	135.4	1.5	64.5	56.2	3800	4800	1.18
6220		180	34	112	168	2.1	124.8	155.3	2.1	122	92.8	3400	4300	3.19
6320		215	47	114	201	2.5	135.6	179.4	3	173	140	2800	3600	7.09
6420		250	58	118	232	3	146.4	203.6	4	223	195	2400	3200	12.9
61821		130	13	111	124	1	112.0	123.0	1	20.3	22.7	4000	5000	0.30
61921	105	145	20	112	138	1	117.0	133.0	1.1	43.9	44.3	3800	4800	0.81
16021		160	18	111	154	1	123.0	142.0	1	51.8	50.6	3600	4500	1.00
6021		160	26	115	150	2	121.5	143.6	2	71.8	63.2	3600	4500	1.52
6221		190	36	117	178	2.1	131.3	163.7	2.1	133	105	3200	4000	3.78
6321		225	49	119	211	2.5	142.1	187.9	3	184	153	2600	3200	8.05
61822		140	16	116	134	1	119.0	132.0	1	28.1	30.7	3800	5000	0.50
61922		150	20	117	143	1	122.0	138.0	1.1	43.6	44.4	3600	4500	0.84
16022	110	170	19	116	164	1	130.0	150.0	1	57.4	56.7	3400	4300	1.27
6022		170	28	120	160	2	129.1	152.9	2	81.8	72.8	3400	4300	1.89
6222		200	38	122	188	2.1	138.9	173.2	2.1	144	117	3000	3800	4.42
6322		240	50	124	226	2.5	150.2	199.8	3	205	178	2400	3000	9.53
6422		280	65	128	262	3	163.6	226.5	4	225	238	2000	2800	18.34
61824		150	16	126	144	1	129.0	141.0	1	28.9	32.9	3400	4300	0.54
61924		165	22	127	158	1	134.0	151.0	1.1	55.0	56.9	3200	4000	1.13
16024	120	180	19	126	174	1	139.0	161.0	1	58.8	60.4	3000	3800	1.374
6024		180	28	130	170	2	137.7	162.4	2	87.5	79.2	3000	3800	1.99
6224		215	40	132	203	2.1	149.4	185.6	2.1	155	131	2600	3400	5.30
6324		260	55	134	246	2.5	163.3	216.7	3	228	208	2200	2800	12.2
6424		300	70	138	280	3	176.6	240.1	4	255	238	1800	2200	20.5

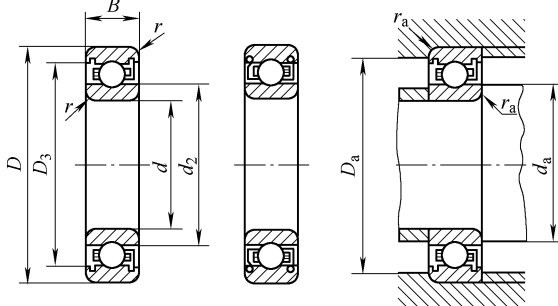
(续)

轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定载荷 /kN		极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
60000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₂</i> ≈	<i>D₂</i> ≈	<i>r</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
61826	130	165	18	137	158	1	140.8	154.2	1.1	37.9	42.9	3200	4000	0.736
61926		180	24	139	171	1.5	145.0	165.0	1.5	65.1	67.2	3000	3800	1.496
16026		200	22	137	193	1	153.0	177.0	1.1	79.7	79.2	2800	3600	1.868
6026		200	33	140	190	2	151.4	178.7	2	105	96.8	2800	3600	3.08
6226		230	40	144	216	2.5	162.9	199.1	3	165	148.0	2400	3200	6.12
6326		280	58	148	262	3	176.2	233.8	4	253	242	2000	2600	14.77
61828	140	175	18	147	168	1	150.8	164.2	1.1	38.2	44.3	3000	3800	0.784
61928		190	24	149	181	1.5	155.0	175.0	1.5	66.6	71.2	2800	3600	1.589
16028		210	22	147	203	1	163.0	187.0	1.1	82.1	85	2400	3200	2.00
6028		210	33	150	200	2	160.6	189.5	2	116	108	2400	3200	3.17
6228		250	42	154	236	2.5	175.8	214.2	3	179	167	2000	2800	7.77
6328		300	62	158	282	3	189.5	250.5	4	275	272	1900	2400	18.33
61830	150	190	20	157	183	1	162.3	177.8	1.1	49.1	57.1	2800	3400	1.114
61930		210	28	160	200	2	168.6	191.4	2	84.7	90.2	2600	3200	2.454
16030		225	24	157	218	1	174.0	201.0	1.1	91.9	98.5	2200	3000	2.638
6030		225	35	162	213	2.1	172.0	203.0	2.1	132	125	2200	3000	3.903
6230		270	45	164	256	2.5	189.0	231.0	3	203	199	1900	2600	9.78
6330		320	65	168	302	3	203.6	266.5	4	288	295	1700	2200	21.87
61832	160	200	20	167	193	1	173.0	188.0	1.1	49.6	59.1	2600	3200	1.176
61932		220	28	170	210	2	178.6	201.4	2	86.9	95.5	2400	3000	2.589
16032		240	25	169	231	1.5	185.0	215.0	1.5	98.7	107	2000	2800	2.835
6032		240	38	172	228	2.1	183.8	216.3	2.1	145	138	2000	2800	4.83
6232		290	48	174	276	2.5	203.1	246.9	3	215	218	1800	2400	12.22
6332		340	68	178	322	3	221.6	284.5	4	313	340	1600	2000	26.43
61834	170	215	22	177	208	1	183.7	201.3	1.1	61.5	73.3	2200	3000	1.545
61934		230	28	180	220	2	188.6	211.4	2	88.8	100	2000	2800	2.725
16034		260	28	179	251	1.5	201.4	228.7	1.5	118	130	1900	2600	4.157
6034		260	42	182	248	2.1	196.8	233.2	2.1	170	170	1900	2600	6.50
6234		310	52	188	292	3	216.0	264.0	4	245	260	1700	2200	15.241
6334		360	72	188	342	3	237.0	303.0	4	335	378	1500	1900	31.14
61836	180	225	22	187	218	1	193.7	211.3	1.1	62.3	75.9	2000	2800	1.621
61936		250	33	190	240	2	201.6	228.5	2	118	133	1900	2600	4.062
16036		280	31	190	270	2	214.5	245.5	2	144	157	1800	2400	5.135
6036		280	46	192	268	2.1	212.4	251.6	2.1	188	198	1800	2400	8.51
6236		320	52	198	302	3	227.5	277.9	4	262	285	1600	2000	15.518
61838		240	24	199	231	1.5	205.2	224.9	1.5	75.1	91.6	1900	2600	2.1
61938	190	260	33	200	250	2	211.6	238.5	2	117	133	1800	2400	4.216
16038		290	31	200	280	2	224.5	255.5	2	149	168	1700	2200	5.429
6038		290	46	202	278	2.1	220.4	259.7	2.1	188	200	1700	2200	8.865
6238		340	55	208	322	3	241.2	294.6	4	285	322	1500	1900	18.691
61840		250	24	209	241	1.5	215.2	234.9	1.5	74.2	91.2	1800	2400	2.178
61940		280	38	212	268	2.1	224.5	255.5	2.1	149	168	1700	2200	5.879
16040	200	310	34	210	300	2	238.5	271.6	2	167	191	1800	2000	6.624
6040		310	51	212	298	2.1	234.2	275.8	2.1	205	225	1600	2000	11.64
6240		360	58	218	342	3	253.0	307.0	4	288	332	1400	1800	22.577

(续)

轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定载荷 /kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
60000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₂ ≈	<i>D</i> ₂ ≈	<i>r</i> min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>W</i> ≈
61844	220	270	24	229	261	1.5	235.2	254.9	1.5	76.4	97.8	1700	2200	2.369
61944		300	38	232	288	2.1	244.5	275.5	2.1	152	178	1600	2000	6.340
16044		340	37	232	328	2.1	262.5	297.6	2.1	181	216	1400	1800	9.285
6044		340	56	234	326	2.5	257.0	304.0	3	252	268	1400	1800	18.0
6244		400	65	238	382	3	282.0	336.0	4	355	365	1200	1600	36.5

表 5.3-31 带防尘盖的深沟球轴承（摘自 GB/T 276—1994）（2）



60000-Z型 60000-2Z型 安装尺寸

代号含义

Z——一面带防尘盖

2Z——两面带防尘盖

当量动载荷、当量静载荷计算见表 5.3-30

轴承代号		基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
60000-Z 型	60000-2Z 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₂ ≈	<i>D</i> ₃ ≈	<i>r</i> min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>W</i> ≈
61800-Z	61800-2Z	10	19	5	12.4	16.6	0.3	12.6	16.4	0.3	1.8	0.93	28000	36000	0.005
62800-Z	62800-2Z		19	6	12.4	16.6	0.3	12.6	16.4	0.3	1.6	0.75	26000	34000	0.0063
61900-Z	61900-2Z		22	6	12.4	19.6	0.3	13.5	19.4	0.3	2.7	1.3	25000	32000	0.008
62900-Z	62900-2Z		22	8	12.4	19.6	0.3	13.5	18.5	0.3	2.7	1.28	25000	32000	0.015
6000-Z	6000-2Z		26	8	12.4	23.6	0.3	14.9	22.6	0.3	4.58	1.98	22000	30000	0.020
6200-Z	6200-2Z		30	9	15	25	0.6	17.4	23.8	0.6	5.10	2.38	20000	26000	0.030
6300-Z	6300-2Z		35	11	15	30	0.6	19.4	29.5	0.6	7.65	3.48	18000	24000	0.050
61801-Z	61801-2Z	12	21	5	14.4	18.6	0.3	14.6	18.2	0.3	1.9	1.0	24000	32000	0.005
61901-Z	61901-2Z		24	6	14.4	21.6	0.3	15.5	20.6	0.3	2.9	1.5	22000	28000	0.008
6001-Z	6001-2Z		28	8	14.4	25.6	0.3	17.4	24.8	0.3	5.10	2.38	20000	26000	0.022
6201-Z	6201-2Z		32	10	17	27.0	0.6	18.3	26.1	0.6	6.82	3.05	19000	24000	0.040
6301-Z	6301-2Z		37	12	18	31.0	1	19.3	29.7	1	9.72	5.08	17000	22000	0.060
61802-Z	61802-2Z	15	24	5	17.4	21.6	0.3	17.6	21.1	0.3	2.1	1.3	22000	30000	0.005
61902-Z	61902-2Z		28	7	17.4	25.6	0.3	18.3	24.7	0.3	4.3	2.3	20000	26000	0.012
6002-Z	6002-2Z		32	9	17.4	29.6	0.3	20.4	28.5	0.3	5.58	2.85	19000	24000	0.030
6202-Z	6202-2Z		35	11	20	30.0	0.6	21.6	29.4	0.6	7.65	3.72	18000	22000	0.040
6302-Z	6302-2Z		42	13	21	36.0	1	24.3	34.7	1	11.5	5.42	16000	20000	0.080
61803-Z	61803-2Z	17	26	5	19.4	23.6	0.3	20.2	23.2	0.3	2.2	1.5	20000	28000	0.007
61903-Z	61903-2Z		30	7	19.4	27.6	0.3	20.3	26.7	0.3	4.6	2.6	19000	24000	0.014
6003-Z	6003-2Z		35	10	19.4	32.6	0.3	22.9	31.0	0.3	6.00	3.25	17000	21000	0.040
6203-Z	6203-2Z		40	12	22	35.0	0.6	24.6	33.4	0.6	9.58	4.78	16000	20000	0.060
6303-Z	6303-2Z		47	14	23	41	1	26.8	38.2	1	13.5	6.58	15000	18000	0.110
61804-Z	61804-2Z	20	32	7	22.4	29.6	0.3	23.5	28.3	0.3	3.5	2.2	18000	24000	0.015
61904-Z	61904-2Z		37	9	22.4	34.6	0.3	25.2	32.9	0.3	6.4	3.7	17000	22000	0.031
6004-Z	6004-2Z		42	12	25	37.0	0.6	26.9	35.1	0.6	9.38	5.02	16000	19000	0.070
6204-Z	6204-2Z		47	14	26	41.0	1	29.3	39.7	1	12.8	6.65	14000	18000	0.10
6304-Z	6304-2Z		52	15	27	45	1	29.8	44.4	1.1	15.8	7.88	13000	16000	0.140

(续)

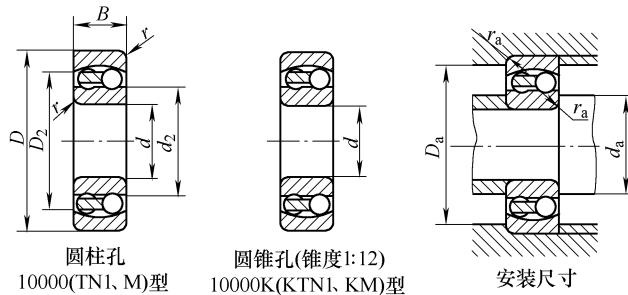
轴承代号		基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定 载荷/kN		极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
60000-Z 型	60000-2Z 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₂ ≈	<i>D</i> ₃ ≈	<i>r</i> min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>W</i> ≈
61805-Z	61805-2Z	25	37	7	27.4	34.6	0.3	28.2	33.0	0.3	4.3	2.9	16000	20000	0.017
61905-Z	61905-2Z		42	9	27.4	39.6	0.3	30.2	37.9	0.3	7.0	4.5	14000	18000	0.038
6005-Z	6005-2Z		47	12	30	42.0	0.6	31.9	40.1	0.6	10.0	5.85	13000	17000	0.080
6205-Z	6205-2Z		52	15	31	46.0	1	33.8	44.2	1	14.0	7.88	12000	15000	0.120
6305-Z	6305-2Z		62	17	32	55	1	36.0	53.2	1.1	22.2	11.5	10000	14000	0.220
61806-Z	61806-2Z	30	42	7	32.4	39.6	0.3	33.2	38.2	0.3	4.7	3.6	13000	17000	0.019
61906-Z	61906-2Z		47	9	32.4	44.6	0.3	35.2	42.9	0.3	7.2	5.0	12000	16000	0.043
6006-Z	6006-2Z		55	13	36	49.0	1	38.4	47.7	1	13.2	8.3	11000	14000	0.120
6206-Z	6206-2Z		62	16	36	56	1	40.8	54.4	1	19.5	11.5	9500	13000	0.190
6306-Z	6306-2Z		72	19	37	65	1	44.8	61.4	1.1	27.0	15.2	9000	11000	0.350
61807-Z	61807-2Z	35	47	7	37.4	44.6	0.3	38.2	43.2	0.3	4.9	4.0	11000	15000	0.023
61907-Z	61907-2Z		55	10	40	50	0.6	41.1	48.6	0.6	9.5	6.8	10000	13000	0.078
6007-Z	6007-2Z		62	14	41	56	1	43.3	53.7	1	16.2	10.5	9500	12000	0.160
6207-Z	6207-2Z		72	17	42	65	1	46.8	62.4	1.1	25.5	15.2	8500	11000	0.270
6307-Z	6307-2Z		80	21	44	71	1.5	50.4	68.8	1.5	33.4	19.2	8000	9500	0.420
61808-Z	61808-2Z	40	52	7	42.4	49.6	0.3	43.2	48.2	0.3	5.1	4.4	10000	13000	0.026
61908-Z	61908-2Z		62	12	45	57	0.6	46.3	55.2	0.6	13.7	9.9	9500	12000	0.103
6008-Z	6008-2Z		68	15	46	62	1	48.8	59.2	1	17.0	11.8	9000	11000	0.190
6208-Z	6208-2Z		80	18	47	73	1	52.8	69.4	1.1	29.5	18.0	8000	10000	0.370
6308-Z	6308-2Z		90	23	49	81	1.5	56.5	77.0	1.5	40.8	24.0	7000	8500	0.630
61809-Z	61809-2Z	45	58	7	47.4	55.6	0.3	48.3	54.3	0.3	6.4	5.6	9000	12000	0.030
61909-Z	61909-2Z		68	12	50	63	0.6	51.8	60.8	0.6	14.1	10.9	8500	11000	0.123
6009-Z	6009-2Z		75	16	51	69	1	54.2	68.1	1	21.0	14.8	8000	10000	0.230
6209-Z	6209-2Z		85	19	52	78	1	58.8	75.7	1.1	31.5	20.5	7000	9000	0.420
6309-Z	6309-2Z		100	25	54	91	1.5	63.0	86.5	1.5	52.8	31.8	6300	7500	0.830
61810-Z	61810-2Z	50	65	7	52.4	62.6	0.3	54.3	61.8	0.3	6.6	6.1	8500	10000	0.043
61910-Z	61910-2Z		72	12	55	67	0.6	56.3	65.3	0.6	14.5	11.7	8000	9500	0.122
6010-Z	6010-2Z		80	16	56	74	1	59.2	73.1	1	22.0	16.2	7000	9000	0.280
6210-Z	6210-2Z		90	20	57	83	1	62.4	80.1	1.1	35.0	23.2	6700	8500	0.470
6310-Z	6310-2Z		110	27	60	100	2	69.1	94.4	2	61.8	38.0	6000	7000	1.080
61811-Z	61811-2Z	55	72	9	57.4	69.6	0.3	60.2	68.3	0.3	9.1	8.4	8000	9500	0.070
61911-Z	61911-2Z		80	13	61	74	1	62.9	72.1	1	15.9	13.2	7500	9000	0.170
6011-Z	6011-2Z		90	18	62	83	1	65.4	82.2	1.1	30.2	21.8	7000	8500	0.380
6211-Z	6211-2Z		100	21	64	91	1.5	68.9	88.6	1.5	43.2	29.2	6000	7500	0.580
6311-Z	6311-2Z		120	29	65	110	2	76.1	103.4	2	71.5	44.8	5600	6700	1.370
61812-Z	61812-2Z	60	78	10	62.4	75.6	0.3	66.2	74.6	0.3	9.1	8.7	7000	8500	0.093
61912-Z	61912-2Z		85	13	66	79	1	67.9	77.1	1	16.4	14.2	6700	8000	0.181
6012-Z	6012-2Z		95	18	67	88	1	71.4	85.7	1.1	31.5	24.2	6300	7500	0.390
6212-Z	6212-2Z		110	22	69	101	1.5	76.0	96.5	1.5	47.8	32.8	5600	7000	0.770
6312-Z	6312-2Z		130	31	72	118	2.1	81.7	111.1	2.1	81.8	51.8	5000	6000	1.710
61813-Z	61813-2Z	65	85	10	70	80	0.6	71.1	79.1	0.6	11.9	11.5	6700	8000	0.130
61913-Z	61913-2Z		90	13	71	84	1	72.9	82.1	1	17.4	16.0	6300	7500	0.196
6013-Z	6013-2Z		100	18	72	93	1	75.3	92.2	1.1	32.0	24.8	6000	7000	0.420
6213-Z	6213-2Z		120	23	74	111	1.5	82.5	105.0	1.5	57.2	40.0	5000	6300	0.980
6313-Z	6313-2Z		140	33	77	128	2.1	88.1	119.7	2.1	93.8	60.5	4500	5300	2.090
61814-Z	61814-2Z	70	90	10	75	85	0.6	76.1	83.9	0.6	12.1	11.9	6300	7500	0.138
61914-Z	61914-2Z		100	16	76	94	1	79.3	92.6	1	23.7	21.1	6000	7000	0.336
6014-Z	6014-2Z		110	20	77	103	1	82.0	100.5	1.1	38.5	30.5	5600	6700	0.570
6214-Z	6214-2Z		125	24	79	116	1.5	89.0	111.8	1.5	60.8	45.0	4800	6000	1.040
6314-Z	6314-2Z		150	35	82	138	2.1	94.8	128.0	2.1	105	68.0	4300	5000	2.60

(续)

轴承代号		基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
60000-Z 型	60000-2Z 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₂</i> ≈	<i>D₃</i> ≈	<i>r</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
61815-Z	61815-2Z	75	95	10	80	90	0.6	81.1	88.9	0.6	12.5	12.8	6000	7000	0.147
61915-Z	61915-2Z		105	16	81	99	1	84.3	97.6	1	24.3	22.5	5600	6700	0.355
6015-Z	6015-2Z		115	20	82	108	1	88.0	106.5	1.1	40.2	33.2	5300	6300	0.640
6215-Z	6215-2Z		130	25	84	121	1.5	94.0	117.8	1.5	66.0	49.5	4500	5600	1.180
6315-Z	6315-2Z		160	37	87	148	2.1	101.3	136.5	2.1	113	76.8	4000	4800	3.050
61816-Z	61816-2Z	80	100	10	85	95	0.6	86.1	93.9	0.6	12.7	13.3	5600	6700	0.155
61916-Z	61916-2Z		110	16	86	104	1	89.3	102.6	1	24.9	23.9	5300	6300	0.375
6016-Z	6016-2Z		125	22	87	118	1	95.2	115.6	1.1	47.5	39.8	5000	6000	0.830
6216-Z	6216-2Z		140	26	90	130	2	100.0	124.8	2	71.5	54.2	4300	5300	1.380
6316-Z	6316-2Z		170	39	92	158	2.1	107.9	144.9	2.1	123	86.5	3800	4500	3.620
61817-Z	61817-2Z	85	110	13	91	104	1	92.5	103.0	1	19.2	19.8	5000	6300	0.245
61917-Z	61917-2Z		120	18	92	113	1	95.8	111.1	1.1	31.9	29.7	4800	6000	0.507
6017-Z	6017-2Z		130	22	92	123	1	99.4	120.4	1.1	50.8	42.8	4500	5600	0.860
6217-Z	6217-2Z		150	28	95	140	2	107.1	133.7	2	83.2	63.8	4000	5000	1.750
6317-Z	6317-2Z		180	41	99	166	2.5	114.4	153.4	3	132	96.5	3600	4300	4.270
61818-Z	61818-2Z	90	115	13	96	109	1	97.5	108.0	1	19.5	20.5	4800	6000	0.258
61918-Z	61918-2Z		125	18	97	118	1	100.8	116.1	1.1	32.8	31.5	4500	5600	0.533
6018-Z	6018-2Z		140	24	99	131	1.5	107.2	129.6	1.5	58.0	49.8	4300	5300	1.10
6218-Z	6218-2Z		160	30	100	150	2	111.7	141.1	2	95.8	71.5	3800	4800	2.20
61819-Z	61819-2Z	95	120	13	101	114	1	102.5	113.0	1.0	19.8	21.3	4500	5600	0.27
61919-Z	61919-2Z		130	18	102	123	1	105.8	121.1	1.1	33.7	33.3	4300	5300	0.558
6019-Z	6019-2Z		145	24	104	136	1.5	110.2	132.6	1.5	57.8	50.0	4000	5000	1.14
6219-Z	6219-2Z		170	32	107	158	2.1	118.1	149.7	2.1	110	82.8	3600	4500	2.62
61820-Z	61820-2Z	100	125	13	106	119	1	107.5	118.0	1.0	20.1	22.0	4300	5300	0.283
61920-Z	61920-2Z		140	20	107	133	1	112.3	130.1	1.1	42.7	41.9	4000	5000	0.774
6020-Z	6020-2Z		150	24	109	141	1.5	114.6	138.2	1.5	64.5	56.2	3800	4800	1.250
6220-Z	6220-2Z		180	34	112	168	2.1	124.8	158.0	2.1	122	92.8	3400	4300	3.200
61821-Z	61821-2Z	105	130	13	111	124	1	112.5	123.0	1.0	20.3	22.7	4000	5000	0.295
61921-Z	61921-2Z		145	20	112	138	1	117.3	135.1	1.1	43.9	44.3	3800	4800	0.808
6021-Z	6021-2Z		160	26	115	150	2	121.5	146.4	2	71.8	63.2	3600	4500	1.52
61822-Z	61822-2Z	110	140	16	116	134	1	119.3	133.0	1.0	28.1	30.7	3800	5000	0.496
61922-Z	61922-2Z		150	20	117	143	1	122.3	140.1	1.1	43.6	44.4	3600	4500	0.835
6022-Z	6022-2Z		170	28	120	160	2	129.1	155.7	2	81.8	72.8	3400	4300	1.87
61824-Z	61824-2Z	120	150	16	126	144	1	129.3	143.0	1.0	28.9	32.9	3400	4300	0.536
61924-Z	61924-2Z		165	22	127	158	1	133.7	153.6	1.1	55	56.9	3200	4000	1.131
6024-Z	6024-2Z		180	28	130	170	2	137.7	165.2	2	87.5	79.2	3000	3800	2.00
61826-Z	61826-2Z	130	165	18	137	158	1	140.8	156.5	1.1	37.9	42.9	3200	4000	0.736
61926-Z	61926-2Z		180	24	139	171	1.5	145.2	167.1	1.5	65.1	67.2	3000	3800	1.496
61828-Z	61828-2Z	140	175	18	147	168	1	150.8	166.5	1.1	38.2	44.3	3000	3800	0.784

3.2 调心球轴承

表 5.3-32 调心球轴承(摘自 GB/T 281—1994)



当量动载荷

$$P_r = F_r + Y_1 F_a \quad \text{当 } F_a / F_r \leq e$$

$$P_r = 0.65 F_r + Y_2 F_a \quad \text{当 } F_a / F_r > e$$

当量静载荷

$$P_{0r} = F_r + Y_0 F_a$$

代号含义:

K——圆锥孔(锥度 1:12)

TN1——尼龙保持架

M——黄铜实体保持架

轴承代号		基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm			基本额定载荷/kN		极限转速/ $r \cdot \min^{-1}$		计算系数				质量/kg
圆柱孔 10000 (TN1、M) 型	圆锥孔 10000 K (KTN1、KM) 型	d	D	B	d_a max	D_a max	r_a max	d_2	D_2	r min	C_r	C_{0r}	脂	油	e	Y_1	Y_2	Y_0	W $\approx$
1200	1200 K	10	30	9	15	25	0.6	16.7	24.4	0.6	5.48	1.20	24000	28000	0.32	2.0	3.0	2.0	0.035
1200 TN1	1200 KTN1		30	9	15	25	0.6	16.7	23.5	0.6	5.40	1.20	24000	28000	0.31	2.1	3.17	2.1	0.035
2200	2200 K		30	14	15	25	0.6	15.3	23.32	0.6	7.12	1.58	24000	28000	0.62	1.0	1.6	1.1	0.050
2200 TN1	—		30	14	15	25	0.6	15.6	23.3	0.6	8.00	1.70	24000	28000	0.48	1.3	2.0	1.4	0.054
1300	1300 K		35	11	15	30	0.6	—	—	0.6	7.22	1.62	20000	24000	0.33	1.9	3.0	2.0	0.06
1300 TN1	—		35	11	15	30	0.6	18.5	26.4	0.6	7.30	1.60	20000	24000	0.33	1.9	3.0	2.0	0.062
2300	2300 K		35	17	15	30	0.6	—	—	0.6	11.0	2.45	18000	22000	0.66	0.95	1.5	1.0	0.09
2300 TN1	—		35	17	15	30	0.6	17.1	25.4	0.6	10.8	2.40	18000	22000	0.56	1.1	1.7	1.1	0.097
1201	1201 K	12	32	10	17	27	0.6	18.5	26.2	0.6	5.55	1.25	22000	26000	0.33	1.9	2.9	2.0	0.042
1201 TN1	1201 KTN1		32	10	17	27	0.6	18.4	25.5	0.6	6.20	1.40	22000	26000	0.32	1.9	3.0	2.1	0.042
2201	2201 K		32	14	17	27	0.6	—	—	0.6	8.80	1.80	22000	26000	—	—	—	—	—
2201 TN1	—		32	14	17	27	0.6	17.6	25.6	0.6	8.50	1.90	22000	26000	0.45	1.4	2.2	1.5	0.059
1301	1301 K		37	12	18	31	1	20.0	30.8	1	9.42	2.12	18000	22000	0.35	1.8	2.8	1.9	0.07
1301 TN1	—		37	12	18	31	1	20.0	29.2	1	9.40	2.10	18000	22000	0.34	1.8	2.8	1.9	0.071
2301	2301 K		37	17	18	31	1	—	—	1	12.5	2.72	17000	22000	—	—	—	—	—
2301 TN1	—		37	17	18	31	1	18.8	27.5	1	11.5	2.60	17000	22000	0.53	1.1	1.9	1.3	0.105
1202	1202 K	15	35	11	20	30	0.6	20.9	29.9	0.6	7.48	1.75	18000	22000	0.33	1.9	3.0	2.0	0.051
1202 TN1	1202 KTN1		35	11	20	30	0.6	21.0	29.0	0.6	7.40	1.70	18000	22000	0.30	2.1	3.2	2.2	0.051
2202	2202 K		35	14	20	30	0.6	20.8	30.4	0.6	7.65	1.80	18000	22000	0.50	1.3	2.0	1.3	0.06
2202 TN1	—		35	14	20	30	0.6	20.5	28.6	0.6	8.70	2.00	18000	22000	0.39	1.6	2.5	1.7	0.066
1302	1302 K		42	13	21	36	1	23.6	34.1	1	9.50	2.28	16000	20000	0.33	1.9	2.9	2.0	0.1
1302 TN1	—		42	13	21	36	1	23.9	33.7	1	10.8	2.60	16000	20000	0.31	2.0	3.1	2.1	0.097
2302	2302 K		42	17	21	36	1	23.2	35.2	1	12.0	2.88	14000	18000	0.51	1.2	1.9	1.3	0.11
2302 TN1	—		42	17	21	36	1	23.9	33.5	1	11.8	2.90	14000	18000	0.46	1.4	2.1	1.4	0.126

(续)

轴承代号		基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm			基本额定载荷/kN		极限转速/r · min ⁻¹		计算系数				质量/kg
圆柱孔 10000 (TN1、M) 型	圆锥孔 10000 K (KTN1、KM) 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i> _a max	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₂	<i>D</i> ₂	<i>r</i> min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i> ₁	<i>Y</i> ₂	<i>Y</i> ₀	<i>W</i> ≈
1203	1203 K	17	40	12	22	35	0.6	24.2	33.7	0.6	7.90	2.02	16000	20000	0.31	2.0	3.2	2.1	0.076
1203 TN1	1203 KTN1		40	12	22	35	0.6	24.1	32.8	0.6	8.90	2.20	16000	20000	0.30	2.1	3.2	2.2	0.075
2203	2203 K		40	16	22	35	0.6	23.5	34.3	0.6	9.00	2.45	16000	20000	0.50	1.2	1.9	1.3	0.09
2203 TN1	—		40	16	22	35	0.6	23.6	33.1	0.6	10.5	2.50	16000	20000	0.40	1.6	2.4	1.6	0.098
1303	1303 K		47	14	23	41	1	26.4	38.3	1	12.5	3.18	14000	17000	0.33	1.9	3.0	2.0	0.14
1303 TN1	—		47	14	23	41	1	28.9	39.5	1	12.8	3.40	14000	17000	0.30	2.1	3.2	2.2	0.131
2303	2303 K		47	19	23	41	1	25.8	39.4	1	14.5	3.58	13000	16000	0.52	1.2	1.9	1.3	0.17
2303 TN1	—		47	19	23	41	1	26.5	37.5	1	14.5	3.60	13000	16000	0.50	1.3	1.9	1.3	0.175
1204	1204 K	20	47	14	26	41	1	28.9	39.1	1	9.95	2.65	14000	17000	0.27	2.3	3.6	2.4	0.12
1204 TN1	1204 KTN1		47	14	26	41	1	29.2	39.6	1	12.8	3.40	14000	17000	0.30	2.1	3.2	2.2	0.12
2204	2204 K		47	18	26	41	1	28.0	40.4	1	12.5	3.28	14000	17000	0.48	1.3	2.0	1.4	0.15
2204 TN1	2204 KTN1		47	18	26	41	1	27.4	39.3	1	16.8	4.20	14000	17000	0.40	1.6	2.4	1.6	0.152
1304	1304 K		52	15	27	45	1	31.3	43.6	1.1	12.5	3.38	12000	15000	0.29	2.2	3.4	2.3	0.17
1304 TN1	1304 KTN1		52	15	27	45	1	32.4	43.4	1.1	14.2	4.00	12000	15000	0.28	2.2	3.4	2.3	0.169
2304	2304 K		52	21	27	45	1	28.8	43.7	1.1	17.8	4.75	11000	14000	0.51	1.2	1.9	1.3	0.22
2304 TN1	2304 KTN1		52	21	27	45	1	29.5	40.9	1.1	18.2	4.70	11000	14000	0.44	1.4	2.2	1.5	0.238
1205	1205 K	25	52	15	31	46	1	33.1	44.9	1	12.0	3.30	12000	14000	0.27	2.3	3.6	2.4	0.14
1205 TN1	1205 KTN1		52	15	31	46	1	33.3	44.2	1	14.2	4.00	12000	14000	0.28	2.3	3.5	2.4	0.148
2205	2205 K		52	18	31	46	1	33.0	44.7	1	12.5	3.40	12000	14000	0.41	1.5	2.3	1.5	0.19
2205 TN1	2205 KTN1		52	18	31	46	1	32.6	44.6	1	16.8	4.40	12000	14000	0.33	1.9	3.0	2.0	0.17
1305	1305 K		62	17	32	55	1	37.8	52.5	1.1	17.8	5.05	10000	13000	0.27	2.3	3.5	2.4	0.26
1305 TN1	1305 KTN1		62	17	32	55	1	37.3	50.3	1.1	18.8	5.50	10000	13000	0.28	2.2	3.5	2.3	0.272
2305	2305 K		62	24	32	55	1	35.2	52.5	1.1	24.5	6.48	9500	12000	0.47	1.3	2.1	1.4	0.35
2305 TN1	2305 KTN1		62	24	32	55	1	36.1	50.0	1.1	24.5	6.50	9500	12000	0.41	1.5	2.3	1.6	0.375
1206	1206 K	30	62	16	36	56	1	40.1	53.2	1	15.8	4.70	10000	12000	0.24	2.6	4.0	2.7	0.23
1206 TN1	1206 KTN1		62	16	36	56	1	40.0	51.7	1	15.5	4.70	10000	12000	0.25	2.5	3.9	2.7	0.228
2206	2206 K		62	20	36	56	1	40.0	53.0	1	15.2	4.60	10000	12000	0.39	1.6	2.4	1.7	0.26
2206 TN1	2206 KTN1		62	20	36	56	1	38.8	53.4	1	23.8	6.60	10000	12000	0.33	1.9	3.0	2.0	0.275
1306	1306 K		72	19	37	65	1	44.9	60.9	1.1	21.5	6.28	8500	11000	0.26	2.4	3.8	2.6	0.4
1306 TN1	1306 KTN1		72	19	37	65	1	44.9	59.0	1.1	21.2	6.30	8500	11000	0.25	2.5	3.9	2.6	0.399
2306	2306 K		72	27	37	65	1	41.7	60.9	1.1	31.5	8.68	8000	10000	0.44	1.4	2.2	1.5	0.5
2306 TN1	2306 KTN1		72	27	37	65	1	41.9	58.5	1.1	31.5	8.70	8000	10000	0.43	1.5	2.3	1.5	0.556

(续)

轴承代号		基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm			基本额定载荷/kN		极限转速/ /r · min ⁻¹		计算系数				质量/kg
圆柱孔 10000 (TN1、M)型	圆锥孔 10000 K (KTN1、KM)型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i> _a max	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₂	<i>D</i> ₂	<i>r</i> _{min}	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i> ₁	<i>Y</i> ₂	<i>Y</i> ₀	<i>W</i> ≈
1207	1207 K	35	72	17	42	65	1	47.5	60.7	1.1	15.8	5.08	8500	10000	0.23	2.7	4.2	2.9	0.32
1207 TN1	1207 KTN1		72	17	42	65	1	47.1	60.2	1.1	18.8	5.90	8500	10000	0.23	2.7	4.2	2.9	0.328
2207	2207 K		72	23	42	65	1	46.0	62.2	1.1	21.8	6.65	8500	10000	0.38	1.7	2.6	1.8	0.44
2207 TN1	2207 KTN1		72	23	42	65	1	45.1	61.9	1.1	30.5	8.70	8500	10000	0.31	2.0	3.1	2.1	0.425
1307	1307 K		80	21	44	71	1.5	51.5	69.5	1.5	25.0	7.95	7500	9500	0.25	2.6	4.0	2.7	0.54
1307 TN1	1307 KTN1		80	21	44	71	1.5	51.7	67.1	1.5	26.2	8.50	7500	9500	0.25	2.5	3.9	2.6	0.534
2307	2307 K		80	31	44	71	1.5	46.5	68.4	1.5	39.2	11.0	7100	9000	0.46	1.4	2.1	1.4	0.68
2307 TN1	2307 KTN1		80	31	44	71	1.5	47.7	66.6	1.5	39.5	11.2	7100	9000	0.39	1.6	2.5	1.7	0.763
1208	1208 K	40	80	18	47	73	1	53.6	68.8	1.1	19.2	6.40	7500	9000	0.22	2.9	4.4	3.0	0.41
1208 TN1	1208 KTN1		80	18	47	73	1	53.6	66.7	1.1	20.0	6.90	7500	9000	0.22	2.9	4.5	3.0	0.43
2208	2208 K		80	23	47	73	1	52.4	68.8	1.1	22.5	7.38	7500	9000	0.24	1.9	2.9	2.0	0.53
2208 TN1	2208 KTN1		80	23	47	73	1	52.1	69.3	1.1	31.8	10.2	7500	9000	0.29	2.2	3.4	2.3	0.523
1308	1308 K		90	23	49	81	1.5	57.5	76.8	1.5	29.5	9.50	6700	8500	0.24	2.6	4.0	2.7	0.71
1308 TN1	1308 KTN1		90	23	49	81	1.5	60.6	78.7	1.5	33.7	11.3	6700	8500	0.24	2.6	4.1	2.8	0.723
2308	2308 K		90	33	49	81	1.5	53.5	76.8	1.5	44.8	13.2	6300	8000	0.43	1.5	2.3	1.5	0.93
2308 TN1	2308 KTN1		90	33	49	81	1.5	53.4	76.2	1.5	54.0	15.8	6300	8000	0.40	1.6	2.5	1.7	1.013
1209	1209 K	45	85	19	52	78	1	57.3	73.7	1.1	21.8	7.32	7100	8500	0.21	2.9	4.6	3.1	0.49
1209 TN1	1209 KTN1		85	19	52	78	1	57.4	71.7	1.1	23.5	8.30	7100	8500	0.22	2.9	4.5	3.0	0.489
2209	2209 K		85	23	52	78	1	57.5	74.1	1.1	23.2	8.00	7100	8500	0.31	2.1	3.2	2.2	0.55
2209 TN1	2209 KTN1		85	23	52	78	1	55.3	72.4	1.1	32.5	10.5	7100	8500	0.26	2.4	3.8	2.5	0.574
1309	1309 K		100	25	54	91	1.5	63.7	85.7	1.5	38.0	12.8	6000	7500	0.25	2.5	3.9	2.6	0.96
1309 TN1	1309 KTN1		100	25	54	91	1.5	67.7	87.0	1.5	38.8	13.5	6000	7500	0.23	2.7	4.2	2.8	0.978
2309	2309 K		100	36	54	91	1.5	60.2	86.0	1.5	55.0	16.2	5600	7100	0.42	1.5	2.3	1.6	1.25
2309 TN1	2309 KTN1		100	36	54	91	1.5	60.0	85.0	1.5	63.8	19.2	5600	7100	0.37	1.7	2.6	1.8	1.351
1210	1210 K	50	90	20	57	83	1	62.3	78.7	1.1	22.8	8.08	6300	8000	0.20	3.1	4.8	3.3	0.54
1210 TN1	1210 KTN1		90	20	57	83	1	62.3	77.5	1.1	26.5	9.50	6300	8000	0.21	3.0	4.6	3.1	0.55
2210	2210 K		90	23	57	83	1	62.5	79.3	1.1	23.2	8.45	6300	8000	0.29	2.2	3.4	2.3	0.68
2210 TN1	2210 KTN1		90	23	57	83	1	61.3	79.3	1.1	33.5	11.2	6300	8000	0.24	2.7	4.1	2.8	0.596
1310	1310 K		110	27	60	100	2	70.1	95.0	2	43.2	14.2	5600	6700	0.24	2.7	4.1	2.8	1.21
1310 TN1	1310 KTN1		110	27	60	100	2	70.3	90.6	2	43.8	15.2	5600	6700	0.24	2.7	4.1	2.8	1.301
2310	2310 K		110	40	60	100	2	65.8	94.4	2	64.5	19.8	5000	6300	0.43	1.5	2.3	1.6	1.64
2310 TN1	2310 KTN1		110	40	60	100	2	67.7	91.4	2	64.8	20.2	5000	6300	0.34	1.9	2.9	2.0	1.839

(续)

轴承代号		基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm			基本额定载荷/kN		极限转速/ $r \cdot \min^{-1}$		计算系数				质量/kg
圆柱孔 10000 (TN1、M)型	圆锥孔 10000 K (KTN1、KM)型	d	D	B	d_a max	D_a max	r_a max	d_2	D_2	r min	C_r	C_{0r}	脂	油	e	Y_1	Y_2	Y_0	W $\approx$
1211	1211 K	55	100	21	64	91	1.5	70.1	88.4	1.5	26.8	10.0	6000	7100	0.20	3.2	5.0	3.4	0.72
1211 TN1	1211 KTN1		100	21	64	91	1.5	70.7	86.4	1.5	27.8	10.5	6000	7100	0.19	3.3	5.1	3.4	0.717
2211	2211 K		100	25	64	91	1.5	69.7	87.8	1.5	26.8	9.95	6000	7100	0.28	2.3	3.5	2.4	0.81
2211 TN1	2211 KTN1		100	25	64	91	1.5	67.6	87.4	1.5	39.2	13.5	6000	7100	0.23	2.7	4.2	2.8	0.81
1311	1311 K		120	29	65	110	2	77.7	104	2	51.5	18.2	5000	6300	0.23	2.7	4.2	2.8	1.58
1311 TN1	1311 KTN1		120	29	65	110	2	78.7	101.5	2	52.8	18.8	5000	6300	0.23	2.7	4.2	2.8	1.641
2311	2311 K		120	43	65	110	2	72	103	2	75.2	23.5	4800	6000	0.41	1.5	2.4	1.6	2.1
2311 TN1	2311 KTN1		120	43	65	110	2	73.9	99.7	2	75.2	24.0	4800	6000	0.33	1.9	3.0	2.0	2.345
1212	1212 K	60	110	22	69	101	1.5	77.8	97.5	1.5	30.2	11.5	5300	6300	0.19	3.4	5.3	3.6	0.9
1212 TN1	1212 KTN1		110	22	69	101	1.5	78.6	95.7	1.5	31.2	12.2	5300	6300	0.18	3.4	5.3	3.6	0.917
2212	2212 K		110	28	69	101	1.5	75.5	96.1	1.5	34.0	12.5	5300	6300	0.28	2.3	3.5	2.4	1.1
2212 TN1	2212 KTN1		110	28	69	101	1.5	74.8	96.0	1.5	46.5	16.2	5300	6300	0.24	2.6	4.0	2.7	1.109
1312	1312 K		130	31	72	118	2.1	87	115	2.1	57.2	20.8	4500	5600	0.23	2.8	4.3	2.9	1.96
1312 TN1	1312 KTN1		130	31	72	118	2.1	87.1	111.5	2.1	58.2	21.2	4500	5600	0.23	2.8	4.3	2.9	2.023
2312	2312 K		130	46	72	118	2.1	76.9	112	2.1	86.8	27.5	4300	5300	0.41	1.6	2.5	1.6	2.6
2312 TN1	2312 KTN1		130	46	72	118	2.1	80.0	108.5	2.1	87.5	28.2	4300	5300	0.33	1.9	3.0	2.0	2.912
1213	1213 K	65	120	23	74	111	1.5	85.3	105	1.5	31.0	12.5	4800	6000	0.17	3.7	5.7	3.9	0.92
1213 TN1	1213 KTN1		120	23	74	111	1.5	85.7	104	1.5	35.0	13.8	4800	6000	0.18	3.6	5.6	3.8	1.155
2213	2213 K		120	31	74	111	1.5	81.9	105	1.5	43.5	16.2	4800	6000	0.28	2.3	3.5	2.4	1.5
2213 TN1	2213 KTN1		120	31	74	111	1.5	80.9	104.5	1.5	56.8	20.2	4800	6000	0.24	2.6	4.0	2.7	1.504
1313	1313 K		140	33	77	128	2.1	92.5	122	2.1	61.8	22.8	4300	5300	0.23	2.8	4.3	2.9	2.39
1313 TN1	1313 KTN1		140	33	77	128	2.1	90.4	115.7	2.1	62.8	22.8	4300	5300	0.23	2.7	4.2	2.9	2.528
2313	2313 K		140	48	77	128	2.1	85.5	122	2.1	96.0	32.5	3800	4800	0.38	1.6	2.6	1.7	3.2
2313 TN1	2313 KTN1		140	48	77	128	2.1	87.6	118.4	2.1	97.2	31.8	3800	4800	0.32	2.0	3.1	2.1	3.477
1214	1214 K	70	125	24	79	116	1.5	87.4	109	1.5	34.5	13.5	4800	5600	0.18	3.5	5.4	3.7	1.29
1214 M	1214 KM		125	24	79	116	1.5	88.7	106.9	1.5	34.5	13.5	4800	5600	0.18	3.5	5.4	3.7	1.345
2214	2214 K		125	31	79	116	1.5	87.5	111	1.5	44.0	17.0	4500	5600	0.27	2.4	3.7	2.5	1.62
2214 TN1	2214 KTN1		125	31	79	116	1.5	88.1	109.3	1.5	55.2	19.5	4500	5600	0.23	2.7	4.2	2.9	1.575
1314	1314 K		150	35	82	138	2.1	97.7	129	2.1	74.5	27.5	4000	5000	0.22	2.8	4.4	2.9	3.0
1314 M	1314 KM		150	35	82	138	2.1	97.2	125.1	2.1	75.0	28.5	4000	5000	0.23	2.8	4.3	2.9	3.267
2314	2314 K		150	51	82	138	2.1	91.6	130	2.1	110	37.5	3600	4500	0.38	1.7	2.6	1.8	3.9
2314 M	2314 KM		150	51	82	138	2.1	91.7	126.1	2.1	113	37.2	3600	4500	0.37	1.7	2.6	1.8	5.358

(续)

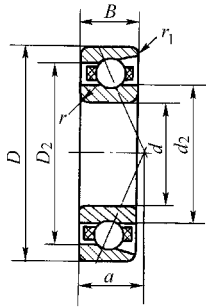
轴承代号		基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm			基本额定载荷/kN		极限转速/ /r · min ⁻¹		计算系数				质量/kg
圆柱孔 10000 (TN1、M)型	圆锥孔 10000 K (KTN1、KM)型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i> _a max	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₂	<i>D</i> ₂	<i>r</i> min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i> ₁	<i>Y</i> ₂	<i>Y</i> ₀	<i>W</i> ≈
1215	1215 K	75	130	25	84	121	1.5	93	116	1.5	38.8	15.2	4300	5300	0.17	3.6	5.6	3.8	1.35
1215 M	1215 KM		130	25	84	121	1.5	93.9	113.3	1.5	38.8	15.5	4300	5300	0.17	3.7	5.7	3.8	1.461
2215	2215 K		130	31	84	121	1.5	93.1	117	1.5	44.2	18.0	4300	5300	0.25	2.5	3.9	2.6	1.72
2215 TN1	2215 KTN1		130	31	84	121	1.5	93.2	113.9	1.5	56.5	20.8	4300	5300	0.22	2.9	4.4	3.0	1.619
1315	1315 K		160	37	87	148	2.1	104	138	2.1	79.0	29.8	3800	4500	0.22	2.8	4.4	3.0	3.6
1315 M	1315 KM		160	37	87	148	2.1	106.0	135.0	2.1	78.8	30.0	3800	4500	0.22	2.8	4.4	3.0	3.898
2315	2315 K		160	55	87	148	2.1	97.8	139	2.1	122	42.8	3400	4300	0.38	1.7	2.6	1.7	4.7
2315 M	2315 KM		160	55	87	148	2.1	98.8	135.2	2.1	126	42.2	3400	4300	0.37	1.7	2.7	1.8	6.535
1216	1216 K	80	140	26	90	130	2	101	125	2	39.5	16.8	4000	5000	0.18	3.6	5.5	3.7	1.65
1216 M	1216 KM		140	26	90	130	2	102	121.7	2	39.5	16.2	4000	5000	0.17	3.7	5.7	3.9	1.792
2216	2216 K		140	33	90	130	2	98.8	124	2	48.8	20.2	4000	5000	0.25	2.5	3.9	2.6	2.19
2216 TN1	2216 KTN1		140	33	90	130	2	98.9	124.5	2	65.2	25.5	4000	5000	0.22	2.9	4.4	3.0	2.057
1316	1316 K		170	39	92	158	2.1	109	147	2.1	88.5	32.8	3600	4300	0.22	2.9	4.5	3.1	4.2
1316 M	1316 KM		170	39	92	158	2.1	110.2	140.7	2.1	86.5	32.8	3600	4300	0.22	2.8	4.4	3.0	4.648
2316	2316 K		170	58	92	158	2.1	104	148	2.1	128	45.5	3200	4000	0.39	1.6	2.5	1.7	5.7
2316 M	2316 KM		170	58	92	158	2.1	105.4	144.4	2.1	137	47.5	3200	4000	0.37	1.7	2.6	1.8	7.785
1217	1217 K	85	150	28	95	140	2	107	134	2	48.8	20.5	3800	4500	0.17	3.7	5.7	3.9	2.1
1217 M	1217 KM		150	28	95	140	2	107.1	129	2	47.8	19.5	3800	4500	0.17	3.6	5.6	3.8	2.240
2217	2217 K		150	36	95	140	2	105	133	2	58.2	23.5	3800	4500	0.25	2.5	3.8	2.6	2.53
2217 TN1	2217 KTN1		150	36	95	140	2	104.7	130.3	2	66.3	26.2	3800	4500	0.22	2.9	4.5	3.0	2.611
1317	1317 K		180	41	99	166	2.5	117	158	3	97.8	37.8	3400	4000	0.22	2.9	4.5	3.0	5.0
1317 M	1317 KM		180	41	99	166	2.5	117.4	149.4	3	97.8	38.5	3400	4000	0.22	2.9	4.4	3.0	5.475
2317	2317 K		180	60	99	166	2.5	111	157	3	140	51.0	3000	3800	0.38	1.7	2.6	1.7	6.70
2317 M	2317 KM		180	60	99	166	2.5	114.6	153.6	3	140	51.5	3000	3800	0.36	1.8	2.7	1.8	8.982
1218	1218 K	90	160	30	100	150	2	112	142	2	56.5	23.2	3600	4300	0.17	3.8	5.7	4.0	2.5
1218 M	1218 KM		160	30	100	150	2	113.9	137.2	2	52.5	21.7	3600	4300	0.18	3.6	5.5	3.7	2.753
2218	2218 K		160	40	100	150	2	112	142	2	70.0	28.5	3600	4300	0.27	2.4	3.7	2.5	3.22
2218 M	2218 KM		160	40	100	150	2	112.6	139	2	70.2	28.5	3600	4300	0.26	2.4	3.7	2.5	4.073
1318	1318 K		190	43	104	176	2.5	122	165	3	115	44.5	3200	3800	0.22	2.8	4.4	2.9	6.0
1318 M	1318 KM		190	43	104	176	2.5	126.7	162.4	3	115.8	46.2	3200	3800	0.23	2.7	4.2	2.9	6.418
2318	2318 K		190	64	104	176	2.5	115	164	3	142	57.2	2800	3600	0.39	1.6	2.5	1.7	7.9
2318 M	2318 KM		190	64	104	176	2.5	119.4	160.5	3	152	57.8	2800	3600	0.37	1.7	2.6	1.8	10.722

(续)

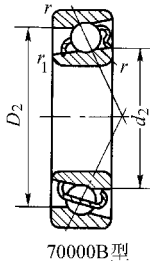
轴承代号		基本尺寸/mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定载 荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数				质量 /kg
圆柱孔 10000 (TN1、M)型	圆锥孔 10000 K (KTN1、KM)型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i> _a max	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₂	<i>D</i> ₂	<i>r</i> min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i> ₁	<i>Y</i> ₂	<i>Y</i> ₀	<i>W</i> ≈
1219	1219 K	95	170	32	107	158	2.1	120	151	2.1	63.5	27.0	3400	4000	0.17	3.7	5.7	3.9	3.0
1219 M	1219 KM		170	32	107	158	2.1	121.8	147.6	2.1	63.8	26.8	3400	4000	0.17	3.7	5.7	3.8	3.314
2219	2219 K		170	43	107	158	2.1	118	151	2.1	82.8	33.8	3400	4000	0.26	2.4	3.7	2.5	4.2
2219 M	2219 KM		170	43	107	158	2.1	119.1	147.9	2.1	83.2	34.2	3400	4000	0.27	2.3	3.6	2.5	5.024
1319	1319 K		200	45	109	186	2.5	127	174	3	132	50.8	3000	3600	0.23	2.8	4.3	2.9	7.0
1319 M	1319 KM		200	45	109	186	2.5	131.1	170.2	3	132	52.4	3000	3600	0.24	2.6	4.0	2.7	7.5
2319	2319 K		200	67	109	186	2.5	—	—	3	162	64.2	2800	3400	0.38	1.7	2.6	1.8	9.2
2319 M	2319 KM		200	67	109	186	2.5	125.1	168.6	3	165	64.2	2800	3400	0.37	1.7	2.7	1.8	12.414
1220	1220 K	100	180	34	112	168	2.1	127	159	2.1	68.5	29.2	3200	3800	0.18	3.5	5.4	3.7	3.7
1220 M	1220 KM		180	34	112	168	2.1	128.5	155.4	2.1	69.2	29.5	3200	3800	0.17	3.7	5.7	3.8	3.979
2220	2220 K		180	46	112	168	2.1	125	160	2.1	97.2	40.5	3200	3800	0.27	2.3	3.6	2.5	5.0
2220 M	2220 KM		180	46	112	168	2.1	125.7	156.8	2.1	97.5	40.5	3200	3800	0.27	2.4	3.7	2.5	6.065
1320	1320 K		215	47	114	201	2.5	—	185	3	142	57.2	2800	3400	0.24	2.7	4.1	2.8	8.64
1320 M	1320 KM		215	47	114	201	2.5	140.3	181	3	145	59.5	2800	3400	0.24	2.7	4.1	2.8	9.240
2320	2320 K		215	73	114	201	2.5	—	—	3	192	78.5	2400	3200	0.37	1.7	2.6	1.8	12.4
2320 M	2320 KM		215	73	114	201	2.5	134.5	182.5	3	192	78.5	2400	3200	0.37	1.7	2.6	1.8	15.949
1221	1221 K	105	190	36	117	178	2.1	134	167	2.1	74	32.2	3000	3600	0.18	3.5	5.5	3.7	4.4
1221 M	1221 KM		190	36	117	178	2.1	135.6	163.7	2.1	74.5	32.2	3000	3600	0.17	3.7	5.7	3.9	4.727
2221	2221 K		190	50	117	178	2.1	—	—	2.1	—	—	3000	3600	—	—	—	—	—
2221 M	—		190	50	117	178	2.1	131.9	164.8	2.1	110	46.5	3000	3600	0.27	2.3	3.6	2.4	7.391
1321	1321 K		225	49	119	211	2.5	—	—	3	152	64.5	2600	3200	0.24	2.6	4.1	2.7	9.55
1321 M	—		225	49	119	211	2.5	148.5	190.8	3	150	63.5	2600	3200	0.24	2.7	4.3	2.8	10.544
2321 M	2321 KM		225	77	119	211	2.5	140.8	190.9	3	205	86.8	2400	3000	0.36	1.7	2.7	1.8	18.284
1222	1222 K	110	200	38	122	188	2.1	140	176	2.1	87.2	37.5	2800	3400	0.17	3.6	5.6	3.8	5.2
1222 M	1222 KM		200	38	122	188	2.1	142.5	173.2	2.1	88.0	38.5	2800	3400	0.17	3.6	5.6	3.8	5.578
2222	2222 K		200	53	122	188	2.1	137	177	2.1	125	52.2	2800	3400	0.28	2.2	3.5	2.4	7.2
2222 M	2222 KM		200	53	122	188	2.1	138.3	174.1	2.1	125	52.2	2800	3400	0.28	2.3	3.5	2.4	8.759
1322	1322 K		240	50	124	226	2.5	154	206	3	162	72.8	2400	3000	0.23	2.8	4.3	2.9	11.8
1322 M	1322 KM		240	50	124	226	2.5	157.8	201.9	3	162	72.5	2400	3000	0.23	2.8	4.3	2.9	12.452
2322	2322 K		240	80	124	226	2.5	—	—	3	215	94.2	2200	2800	0.39	1.6	2.5	1.7	17.6
2322 M	2322 KM		240	80	124	226	2.5	149.8	202.6	3	215	94.2	2200	2800	0.37	1.7	2.7	1.8	21.967

3.3 角接触球轴承

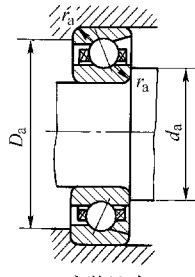
表 5.3-33 角接触球轴承(摘自 GB/T 292—2007)



70000C(AC)型



70000B型



安装尺寸

代号含义:
C— $\alpha = 15^\circ$
AC— $\alpha = 25^\circ$
B— $\alpha = 40^\circ$

轴承型号 接触角 α	当量 载荷	单个轴承	面对面 /DF 背对背 /DB	7000C 型 $\alpha = 15^\circ$				
				$\frac{F_a}{C_{0r}}$	e	Y	Y_1	Y_2
7000C 型 $\alpha = 15^\circ$	当量动 载荷	$P_r = F_r$ 当 $F_a/F_r \leq e$ $P_r = 0.44F_r + YF_a$ 当 $F_a/F_r > e$	$P_r = F_r + Y_1F_a$ 当 $F_a/F_r \leq e$ $P_r = 0.72F_r + Y_2F_a$ 当 $F_a/F_r > e$	0.015	0.38	1.47	1.65	2.39
				0.029	0.40	1.40	1.57	2.28
	当量静 载荷	$P_{0r} = 0.5F_r + 0.46F_a$ 当 $P_{0r} < F_r$ 取 $P_{0r} = F_r$	$P_{0r} = F_r + 0.92F_a$	0.058	0.43	1.30	1.46	2.11
				0.087	0.46	1.23	1.38	2.00
7000AC 型 $\alpha = 25^\circ$	当量动 载荷	$P_r = F_r$ 当 $F_a/F_r \leq 0.68$ $P_r = 0.41F_r + 0.87F_a$ 当 $F_a/F_r > 0.68$	$P_r = F_r + 0.92F_a$ 当 $F_a/F_r \leq 0.68$ $P_r = 0.67F_r + 1.41F_a$ 当 $F_a/F_r > 0.68$	0.12	0.47	1.19	1.34	1.93
				0.17	0.50	1.12	1.26	1.82
	当量静 载荷	$P_{0r} = 0.5F_r + 0.38F_a$ 当 $P_{0r} < F_r$ 取 $P_{0r} = F_r$	$P_{0r} = F_r + 0.76F_a$	0.29	0.55	1.02	1.14	1.66
				0.44	0.56	1.00	1.12	1.63
7000B 型 $\alpha = 40^\circ$	当量动 载荷	$P_r = F_r$ 当 $F_a/F_r \leq 1.14$ $P_r = 0.35F_r + 0.57F_a$ 当 $F_a/F_r > 1.14$	$P_r = F_r + 0.55F_a$ 当 $F_a/F_r \leq 1.14$ $P_r = 0.57F_r + 0.93F_a$ 当 $F_a/F_r > 1.14$	0.58	0.56	1.00	1.12	1.63
	当量静 载荷	$P_{0r} = 0.5F_r + 0.26F_a$ 当 $P_{0r} < F_r$ 取 $P_{0r} = F_r$	$P_{0r} = F_r + 0.52F_a$					

轴承代号	基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm					基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
	d	D	B	d_a min	D_a max	r_a max	d_2 $\approx$	D_2 $\approx$	a	r min	r_1 min	C_r	C_{0r}	脂	油	W $\approx$
70000 C (AC, B) 型																
7000 C	10	26	8	12.4	23.6	0.3	14.9	21.1	6.4	0.3	0.15	4.92	2.25	19000	28000	0.018
7000 AC		26	8	12.4	23.6	0.3	14.9	21.1	8.2	0.3	0.15	4.75	2.12	19000	28000	0.018
7200 C		30	9	15	25	0.6	17.4	23.6	7.2	0.6	0.15	5.82	2.95	18000	26000	0.03
7200 AC		30	9	15	25	0.6	17.4	23.6	9.2	0.6	0.15	5.58	2.82	18000	26000	0.03
7001 C	12	28	8	14.4	25.6	0.3	17.4	23.6	6.7	0.3	0.15	5.42	2.65	18000	26000	0.02
7001 AC		28	8	14.4	25.6	0.3	17.4	23.6	8.7	0.3	0.15	5.20	2.55	18000	26000	0.02
7201 C		32	10	17	27	0.6	18.3	26.1	8	0.6	0.15	7.35	3.52	17000	24000	0.035
7201 AC		32	10	17	27	0.6	18.3	26.1	10.2	0.6	0.15	7.10	3.35	17000	24000	0.035
7002 C	15	32	9	17.4	29.6	0.3	20.4	26.6	7.6	0.3	0.15	6.25	3.42	17000	24000	0.028
7002 AC		32	9	17.4	29.6	0.3	20.4	26.6	10	0.3	0.15	5.95	3.25	17000	24000	0.028
7202 C		35	11	20	30	0.6	21.6	29.4	8.9	0.6	0.15	8.68	4.62	16000	22000	0.043
7202 AC		35	11	20	30	0.6	21.6	29.4	11.4	0.6	0.15	8.35	4.40	16000	22000	0.043

(续)

轴承代号	基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm					基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
70000 C (AC,B)型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₂</i> ≈	<i>D₂</i> ≈	<i>a</i>	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
7003 C	17	35	10	19.4	32.6	0.3	22.9	29.1	8.5	0.3	0.15	6.60	3.85	16000	22000	0.036
7003 AC		35	10	19.4	32.6	0.3	22.9	29.1	11.1	0.3	0.15	6.30	3.68	16000	22000	0.036
7203 C		40	12	22	35	0.6	24.6	33.4	9.9	0.6	0.3	10.8	5.95	15000	20000	0.062
7203 AC		40	12	22	35	0.6	24.6	33.4	12.8	0.6	0.3	10.5	5.65	15000	20000	0.062
7004 C	20	42	12	25	37	0.6	26.9	35.1	10.2	0.6	0.15	10.5	6.08	14000	19000	0.064
7004 AC		42	12	25	37	0.6	26.9	35.1	13.2	0.6	0.15	10.0	5.78	14000	19000	0.064
7204 C		47	14	26	41	1	29.3	39.7	11.5	1	0.3	14.5	8.22	13000	18000	0.1
7204 AC		47	14	26	41	1	29.3	39.7	14.9	1	0.3	14.0	7.82	13000	18000	0.1
7204 B		47	14	26	41	1	30.5	37	21.1	1	0.3	14.0	7.85	13000	18000	0.11
7005 C	25	47	12	30	42	0.6	31.9	40.1	10.8	0.6	0.15	11.5	7.45	12000	17000	0.074
7005 AC		47	12	30	42	0.6	31.9	40.1	14.4	0.6	0.15	11.2	7.08	12000	17000	0.074
7205 C		52	15	31	46	1	33.8	44.2	12.7	1	0.3	16.5	10.5	11000	16000	0.12
7205 AC		52	15	31	46	1	33.8	44.2	16.4	1	0.3	15.8	9.88	11000	16000	0.12
7205 B		52	15	31	46	1	35.4	42.1	23.7	1	0.3	15.8	9.45	9500	14000	0.13
7305 B		62	17	32	55	1	39.2	48.4	26.8	1.1	0.6	26.2	15.2	8500	12000	0.3
7006 C	30	55	13	36	49	1	38.4	47.7	12.2	1	0.3	15.2	10.2	9500	14000	0.11
7006 AC		55	13	36	49	1	38.4	47.7	16.4	1	0.3	14.5	9.85	9500	14000	0.11
7206 C		62	16	36	56	1	40.8	52.2	14.2	1	0.3	23.0	15.0	9000	13000	0.19
7206 AC		62	16	36	56	1	40.8	52.2	18.7	1	0.3	22.0	14.2	9000	13000	0.19
7206 B		62	16	36	56	1	42.8	50.1	27.4	1	0.3	20.5	13.8	8500	12000	0.21
7306 B		72	19	37	65	1	46.5	56.2	31.1	1.1	0.6	31.0	19.2	7500	10000	0.37
7007 C	35	62	14	41	56	1	43.3	53.7	13.5	1	0.3	19.5	14.2	8500	12000	0.15
7007 AC		62	14	41	56	1	43.3	53.7	18.3	1	0.3	18.5	13.5	8500	12000	0.15
7207 C		72	17	42	65	1	46.8	60.2	15.7	1.1	0.6	30.5	20.0	8000	11000	0.28
7207 AC		72	17	42	65	1	46.8	60.2	21	1.1	0.6	29.0	19.2	8000	11000	0.28
7207 B		72	17	42	65	1	49.5	58.1	30.9	1.1	0.6	27.0	18.8	7500	10000	0.3
7307 B		80	21	44	71	1.5	52.4	63.4	34.6	1.5	0.6	38.2	24.5	7000	9500	0.51
7008 C	40	68	15	46	62	1	48.8	59.2	14.7	1	0.3	20.0	15.2	8000	11000	0.18
7008 AC		68	15	46	62	1	48.8	59.2	20.1	1	0.3	19.0	14.5	8000	11000	0.18
7208 C		80	18	47	73	1	52.8	67.2	17	1.1	0.6	36.8	25.8	7500	10000	0.37
7208 AC		80	18	47	73	1	52.8	67.2	23	1.1	0.6	35.2	24.5	7500	10000	0.37
7208 B		80	18	47	73	1	56.4	65.7	34.5	1.1	0.6	32.5	23.5	6700	9000	0.39
7308 B		90	23	49	81	1.5	59.3	71.5	38.8	1.5	0.6	46.2	30.5	6300	8500	0.67
7408 B		110	27	50	100	2	64.6	85.4	38.7	2	1	67.0	47.5	6000	8000	1.4
7009 C	45	75	16	51	69	1	54.2	65.9	16	1	0.3	25.8	20.5	7500	10000	0.23
7009 AC		75	16	51	69	1	54.2	65.9	21.9	1	0.3	25.8	19.5	7500	10000	0.23
7209 C		85	19	52	78	1	58.8	73.2	18.2	1.1	0.6	38.5	28.5	6700	9000	0.41
7209 AC		85	19	52	78	1	58.8	73.2	24.7	1.1	0.6	36.8	27.2	6700	9000	0.41
7209 B		85	19	52	78	1	60.5	70.2	36.8	1.1	0.6	36.0	26.2	6300	8500	0.44
7309 B		100	25	54	91	1.5	66	80	42.0	1.5	0.6	59.5	39.8	6000	8000	0.9
7010 C	50	80	16	56	74	1	59.2	70.9	16.7	1	0.3	26.5	22.0	6700	9000	0.25
7010 AC		80	16	56	74	1	59.2	70.9	23.2	1	0.3	25.2	21.0	6700	9000	0.25
7210 C		90	20	57	83	1	62.4	77.7	19.4	1.1	0.6	42.8	32.0	6300	8500	0.46
7210 AC		90	20	57	83	1	62.4	77.7	26.3	1.1	0.6	40.8	30.5	6300	8500	0.46
7210 B		90	20	57	83	1	65.5	75.2	39.4	1.1	0.6	37.5	29.0	5600	7500	0.49
7310 B		110	27	60	100	2	74.2	88.8	47.5	2	1	68.2	48.0	5000	6700	1.15
7410 B		130	31	62	118	2.1	77.6	102.4	46.2	2.1	1.1	95.2	64.2	5000	6700	2.08

(续)

轴承代号	基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm					基本额定 载荷/kN		极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
70000 C (AC, B)型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₂</i> ≈	<i>D₂</i> ≈	<i>a</i>	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
7011 C	55	90	18	62	83	1	65.4	79.7	18.7	1.1	0.6	37.2	30.5	6000	8000	0.38
7011 AC		90	18	62	83	1	65.4	79.7	25.9	1.1	0.6	35.2	29.2	6000	8000	0.38
7211 C		100	21	64	91	1.5	68.9	86.1	20.9	1.5	0.6	52.8	40.5	5600	7500	0.61
7211 AC		100	21	64	91	1.5	68.9	86.1	28.6	1.5	0.6	50.5	38.5	5600	7500	0.61
7211 B		100	21	64	91	1.5	72.4	83.4	43	1.5	0.6	46.2	36.0	5300	7000	0.65
7311 B		120	29	65	110	2	80.5	96.3	51.4	2	1	78.8	56.5	4500	6000	1.45
7012 C	60	95	18	67	88	1	71.4	85.7	19.4	1.1	0.6	38.2	32.8	5600	7500	0.4
7012 AC		95	18	67	88	1	71.4	85.7	27.1	1.1	0.6	36.2	31.5	5600	7500	0.4
7212 C		110	22	69	101	1.5	76	94.1	22.4	1.5	0.6	61.0	48.5	5300	7000	0.8
7212 AC		110	22	69	101	1.5	76	94.1	30.8	1.5	0.6	58.5	46.2	5300	7000	0.8
7212 B		110	22	69	101	1.5	79.3	91.5	46.7	1.5	0.6	56.0	44.5	4800	6300	0.84
7312 B		130	31	72	118	2.1	87.1	104.2	55.4	2.1	1.1	90.0	66.3	4300	5600	1.85
7412 B		150	35	72	138	2.1	91.4	118.6	55.7	2.1	1.1	118	85.5	4300	5600	3.56
7013 C	65	100	18	72	93	1	75.3	89.8	20.1	1.1	0.6	40.0	35.5	5300	7000	0.43
7013 AC		100	18	72	93	1	75.3	89.8	28.2	1.1	0.6	38.0	33.8	5300	7000	0.43
7213 C		120	23	74	111	1.5	82.5	102.5	24.2	1.5	0.6	69.8	55.2	4800	6300	1
7213 AC		120	23	74	111	1.5	82.5	102.5	33.5	1.5	0.6	66.5	52.5	4800	6300	1
7213 B		120	23	74	111	1.5	88.4	101.2	51.1	1.5	0.6	62.5	53.2	4300	5600	1.05
7313 B		140	33	77	128	2.1	93.9	112.4	59.5	2.1	1.1	102	77.8	4000	5300	2.25
7014 C	70	110	20	77	103	1	82	98	22.1	1.1	0.6	48.2	43.5	5000	6700	0.6
7014 AC		110	20	77	103	1	82	98	30.9	1.1	0.6	45.8	41.5	5000	6700	0.6
7214 C		125	24	79	116	1.5	89	109	25.3	1.5	0.6	70.2	60.0	4500	6700	1.1
7214 AC		125	24	79	116	1.5	89	109	35.1	1.5	0.6	69.2	57.5	4500	6700	1.1
7214 B		125	24	79	116	1.5	91.1	104.9	52.9	1.5	0.6	70.2	57.2	4300	5600	1.15
7314 B		150	35	82	138	2.1	100.9	120.5	63.7	2.1	1.1	115	87.2	3600	4800	2.75
7015 C	75	115	20	82	108	1	88	104	22.7	1.1	0.6	49.5	46.5	4800	6300	0.63
7015 AC		115	20	82	108	1	88	104	32.2	1.1	0.6	46.8	44.2	4800	6300	0.63
7215 C		130	25	84	121	1.5	94	115	26.4	1.5	0.6	79.2	65.8	4300	5600	1.2
7215 AC		130	25	84	121	1.5	94	115	36.6	1.5	0.6	75.2	63.0	4300	5600	1.2
7215 B		130	25	84	121	1.5	96.1	109.9	55.5	1.5	0.6	72.8	62.0	4000	5300	1.3
7315 B		160	37	87	148	2.1	107.9	128.6	68.4	2.1	1.1	125	98.5	3400	4500	3.3
7016 C	80	125	22	87	118	1	95.2	112.8	24.7	1.1	0.6	58.5	55.8	4500	6000	0.85
7016 AC		125	22	87	118	1	95.2	112.8	34.9	1.1	0.6	55.5	53.2	4500	6000	0.85
7216 C		140	26	90	130	2	100	122	27.7	2	1	89.5	78.2	4000	5300	1.45
7216 AC		140	26	90	130	2	100	122	38.9	2	1	85.0	74.5	4000	5300	1.45
7216 B		140	26	90	130	2	103.2	117.8	59.2	2	1	80.2	69.5	3600	4800	1.55
7316 B		170	39	92	158	2.1	114.8	136.8	71.9	2.1	1.1	135	110	3600	4800	3.9
7017 C	85	130	22	92	123	1	99.4	117.6	25.4	1.1	0.6	62.5	60.2	4300	5600	0.89
7017 AC		130	22	92	123	1	99.4	117.6	36.1	1.1	0.6	59.2	57.2	4300	5600	0.89
7217 C		150	28	95	140	2	107.1	131	29.9	2	1	99.8	85.0	3800	5000	1.8
7217 AC		150	28	95	140	2	107.1	131	41.6	2	1	94.8	81.5	3800	5000	1.8
7217 B		150	28	95	140	2	110.1	126	63.6	2	1	93.0	81.5	3400	4500	1.95
7317 B		180	41	99	166	2.5	121.2	145.6	76.1	3	1.1	148	122	3000	4000	4.6
7018 C	90	140	24	99	131	1.5	107.2	126.8	27.4	1.5	0.6	71.5	69.8	4000	5300	1.15
7018 AC		140	24	99	131	1.5	107.2	126.8	38.8	1.5	0.6	67.5	66.5	4000	5300	1.15
7218 C		160	30	100	150	2	111.7	138.4	31.7	2	1	22	105	3600	4800	2.25
7218 AC		160	30	100	150	2	111.7	138.4	44.2	2	1	118	100	3600	4800	2.25
7218 B		160	30	100	150	2	118.1	135.2	67.9	2	1	105	94.5	3200	4300	2.4
7318 B		190	43	104	176	2.5	128.6	153.2	80.2	3	1.1	158	138	2800	3800	5.4

(续)

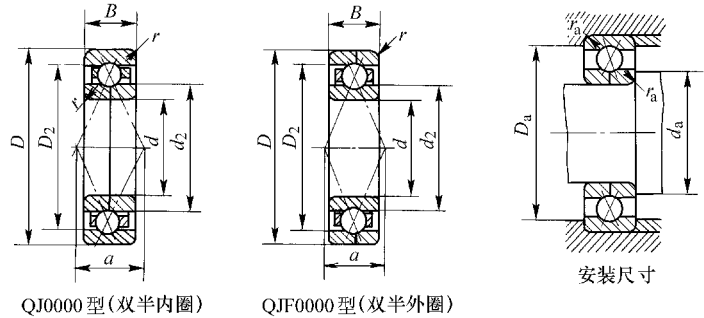
轴承代号	基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm					基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
70000 C (AC,B)型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₂</i> ≈	<i>D₂</i> ≈	<i>a</i>	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
7019 C	95	145	24	104	136	1.5	110.2	129.8	28.1	1.5	0.6	73.5	73.2	3800	5000	1.2
7019 AC		145	24	104	136	1.5	110.2	129.8	40	1.5	0.6	69.5	69.8	3800	5000	1.2
7219 C		170	32	107	158	2.1	118.1	147	33.8	2.1	1.1	135	115	3400	4500	2.7
7219 AC		170	32	107	158	2.1	118.1	147	46.9	2.1	1.1	128	108	3400	4500	2.7
7219 B		170	32	107	158	2.1	126.1	144.4	72.5	2.1	1.1	120	108	3000	4000	2.9
7319 B		200	45	109	186	2.5	135.4	161.5	84.4	3	1.1	172	155	2800	3800	6.25
7020 C	100	150	24	109	141	1.5	114.6	135.4	28.7	1.5	0.6	79.2	78.5	3800	5000	1.25
7020 AC		150	24	109	141	1.5	114.6	135.4	41.2	1.5	0.6	75	74.8	3800	5000	1.25
7220 C		180	34	112	168	2.1	124.8	155.3	35.8	2.1	1.1	148	128	3200	4300	3.25
7220 AC		180	34	112	168	2.1	124.8	155.3	49.7	2.1	1.1	142	122	3200	4300	3.25
7220 B		180	34	112	168	2.1	130.9	150.5	75.7	2.1	1.1	130	115	2600	3600	3.45
7320 B		215	47	114	201	2.5	144.5	172.5	89.6	3	1.1	188	180	2400	3400	7.75
7021 C	105	160	26	115	150	2	121.5	143.6	30.8	2	1	88.5	88.8	3600	4800	1.6
7021 AC		160	26	115	150	2	121.5	143.6	43.9	2	1	83.8	84.2	3600	4800	1.6
7221 C		190	36	117	178	2.1	131.3	163.8	37.8	2.1	1.1	162	145	3000	4000	3.85
7221 AC		190	36	117	178	2.1	131.3	163.8	52.4	2.1	1.1	155	138	3000	4000	3.85
7221 B		190	36	117	178	2.1	137.5	159	79.9	2.1	1.1	142	130	2600	3600	4.1
7321 B		225	49	119	211	2.5	151.4	180.7	93.7	3	1.1	202	195	2200	3200	8.8
7022 C	110	170	28	120	160	2	129.1	152.9	32.8	2	1	100	102	3600	4800	1.95
7022 AC		170	28	120	160	2	129.1	152.9	46.7	2	1	95.5	97.2	3600	4800	1.95
7222 C		200	38	122	188	2.1	138.9	173.2	39.8	2.1	1.1	175	162	2800	3800	4.55
7222 AC		200	38	122	188	2.1	138.9	173.2	55.2	2.1	1.1	168	155	2800	3800	4.55
7222 B		200	38	122	188	2.1	144.8	166.8	84	2.1	1.1	155	145	2400	3400	4.8
7322 B		240	50	124	226	2.5	160.3	192	98.4	3	1.1	225	225	2000	3000	10.5
7024 C	120	180	28	130	170	2	137.7	162.4	34.1	2	1	108	110	2800	3800	2.1
7024 AC		180	28	130	170	2	137.7	162.4	48.9	2	1	102	105	2800	3800	2.1
7224 C		215	40	132	203	2.1	149.4	185.7	42.4	2.1	1.1	188	180	2400	3400	5.4
7224 AC		215	40	132	203	2.1	149.4	185.7	59.1	2.1	1.1	180	172	2400	3400	5.4
7026 C	130	200	33	140	190	2	151.4	178.7	38.6	2	1	128	135	2600	3600	3.2
7026 AC		200	33	140	190	2	151.4	178.7	54.9	2	1	122	128	2600	3600	3.2
7226 C		230	40	144	216	2.5	162.9	199.3	44.3	3	1.1	205	210	2200	3200	6.25
7226 AC		230	40	144	216	2.5	162.9	199.3	62.2	3	1.1	195	200	2200	3200	6.25
7028 C	140	210	33	150	200	2	162	188	40	2	1	140	145	2400	3400	3.62
7028 AC		210	33	150	200	2	162	188	59.2	2	1	140	150	2200	3200	3.62
7228 C		250	42	154	236	2.5	—	—	41.7	3	1.1	230	245	1900	2800	9.36
7228 AC		250	42	154	236	2.5	—	—	68.6	3	1.1	230	235	1900	2800	9.24
7328 B		300	62	158	282	3	—	—	111	4	1.5	288	315	1700	2400	22.44
7030 C	150	225	35	162	213	2.1	174	201	43	2.1	1	160	155	2200	3200	4.83
7030 AC		225	35	162	213	2.1	174	201	63.2	2.1	1	152	168	2000	3000	4.83
7232 C	160	290	48	174	276	2.5	—	—	47.9	3	1.1	262	298	1700	2400	14.5
7232 AC		290	48	174	276	2.5	—	—	78.9	3	1.1	248	278	1700	2400	14.5
7034 AC	170	260	42	182	248	2.1	—	—	73.4	2.1	1.1	192	222	1800	2600	8.25
7234 C		310	52	188	292	3	—	—	51.5	4	1.5	322	390	1600	2200	19.2
7234 AC		310	52	188	292	3	—	—	84.5	4	1.5	305	368	1600	2200	17.2

(续)

轴承代号	基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm					基本额定载荷/kN		极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₂ ≈	<i>D</i> ₂ ≈	<i>a</i>	<i>r</i> min	<i>r</i> ₁ min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>W</i> ≈
70000 C (AC,B)型																
7236 C	180	320	52	198	302	3	—	—	52.6	4	1.5	335	415	1500	2000	18.1
7236 AC		320	52	198	302	3	—	—	87	4	1.5	315	388	1500	2000	18.1
7038 AC	190	290	46	202	278	2.1	—	—	81.5	2.1	1.1	215	262	1600	2200	10.7
7040 AC	200	310	51	212	298	2.1	—	—	87.7	2.1	1.1	252	325	1500	2000	14.04
7240 C		360	58	218	342	3	—	—	58.8	4	1.5	360	475	1300	1800	25.2
7240 AC		360	58	218	342	3	—	—	97.3	4	1.5	345	448	1300	1800	25.2
7244 AC	220	400	65	238	382	3	—	—	108.1	4	1.5	358	482	1100	1600	38.5

3.4 四点接触球轴承

表 5.3-34 四点接触球轴承(摘自 GB/T 294—2007)



当量动载荷
 $P_r = F_r$ 当 $F_a/F_r \leq 0.95$
 $P_r = 0.37F_r + 0.66F_a$ 当 $F_a/F_r > 0.95$
当量静载荷
 $P_{0r} = 0.5F_r + 0.29F_a$
当 $P_{0r} < F_r$ 取 $P_{0r} = F_r$

轴承代号	基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm				基本额定载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
QJ 0000 型 QJF 0000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₂ ≈	<i>D</i> ₂ ≈	<i>a</i>	<i>r</i> min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>W</i> ≈
QJ 306	30	72	19	37	65	1	45.8	58.2	36	1.1	44.5	31.2	6700	9000	0.42
QJF 207	35	72	17	42	65	1	—	—	—	1.1	28.0	25.8	6300	8500	0.356
QJ 307		80	21	44	71	1.5	50.7	64.3	40	1.5	53.2	37.2	6000	8000	0.57
QJF 208	40	80	18	47	73	1	—	—	—	1.1	36.0	32.0	6000	8000	0.394
QJ 208		80	18	47	73	1	54	66	42	1.1	40.5	37.0	6700	9000	0.391
QJF 209	45	85	19	52	78	1	—	—	—	1.1	40.0	37.8	5300	7000	0.43
QJF 309		100	25	54	91	1.5	—	—	—	1.5	55.5	50.2	4800	6300	0.923
QJF 210	50	90	20	57	83	1	—	—	—	1.1	41.8	40.2	5000	6700	0.514
QJ 210		90	20	57	83	1	63.5	76.5	49	1.1	55.5	44.8	5000	6700	0.52
QJF 310		110	27	60	100	2	—	—	—	2	73.5	72.2	4500	6000	1.2
QJ 310		110	27	60	100	2	70	90	56	2	85.0	80.0	5000	6700	1.33
QJF 211	55	100	21	64	91	1.5	—	—	—	1.5	50.2	50.2	4500	6000	0.76
QJ 211		100	21	64	91	1.5	70.3	84.7	54	1.5	71.0	62.0	5300	7000	0.769
QJF 311		120	29	65	110	2	—	—	—	2	86.5	85.0	4000	5300	1.48
QJ 311		120	29	65	110	2	77.2	97.8	61	2	115	86.5	4000	5300	1.48

(续)

轴承代号	基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm				基本额定载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
QJ 0000 型 QJF 0000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₂ ≈	<i>D</i> ₂ ≈	<i>a</i>	<i>r</i> min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>W</i> ≈
QJF 212	60	110	22	69	101	1.5	—	—	—	1.5	62.8	63.8	4300	5600	1.0
QJ 212		110	22	69	101	1.5	77	93	60	1.5	81.0	71.0	4800	6300	0.99
QJF 312		130	31	72	118	2.1	—	—	—	2.1	93.5	93.2	3800	5000	2.2
QJF 213	65	120	23	74	111	1.5	—	—	—	1.5	65.2	67.8	3800	5000	1.12
QJ 213		120	23	74	111	1.5	84.5	101	65	1.5	90.0	83.0	4300	5600	1.2
QJF 313		140	33	77	128	2.1	—	—	—	2.1	105	102	3400	4500	2.32
QJ 214	70	125	24	79	116	1.5	89	106	68	1.5	98.0	91.5	4300	5600	2.32
QJ 314		150	35	82	138	2.1	97.3	123	77	2.1	168	132	3200	4300	3.15
QJ 215	75	130	25	84	121	1.5	93.8	112	72	1.5	108	98.0	4000	5300	1.45
QJ 317	85	180	41	99	166	2.5	117	148	93	3	210	188	2600	3600	5.5
QJ 1018	90	140	24	99	131	1.5	—	—	—	1.5	102	130	3200	4300	—
QJ 218		160	30	100	150	2.0	114	136	88	2	165	150	3200	4300	2.91
QJ 318		190	43	104	176	2.5	124	156	98	3	238	228	2400	3400	6.41
QJ 220	100	180	34	112	168	2.1	127	153	98	2.1	212	192	2800	3800	4.05
QJ 1022	110	170	28	120	160	2	—	—	—	2	150	195	3000	4000	—
QJ 222		200	38	122	188	2.1	141	169	109	2.1	255	245	2400	3400	5.76
QJ 322		240	50	122	188	2.5	154	196	23	3	328	345	2000	3000	12.4
QJ 1024	120	180	28	130	170	2	—	—	—	2	152	208	2200	3200	—
QJ 224		215	40	132	203	2.1	152	183	117	2.1	280	275	2200	3200	6.49
QJ 324		260	55	134	246	2.5	169	211	133	3	352	392	1600	2200	15.3
QJ 1026	130	200	33	140	190	2	—	—	—	2	202	230	2000	2700	—
QJ 226		230	40	144	216	2.5	165	195	126	3	288	290	1900	2800	7.28
QJ 1028	140	210	33	150	200	2	—	—	—	2	205	242	1900	2600	—
QJ 228		250	42	154	236	2.5	179	211	137	3	292	352	1500	2000	10.5
QJ 328		300	62	158	282	3	196	244	154	4	422	512	1300	1800	22.4
QJ 1030	150	225	35	162	213	2.1	174	201	131	2.1	225	275	1800	2400	4.59
QJ 230		270	45	164	256	2.5	194	226	147	3	302	372	1400	1900	12.4
QJ 1032	160	240	38	172	228	2.1	—	—	140	2.1	260	318	1600	2200	—
QJ 232		290	48	174	276	2.5	207	243	158	3	352	455	1300	1800	14.7
QJ 1034	170	260	42	182	248	2.1	198.8	231.2	151	2.1	200	350	1500	2000	7.45
QJ 234		310	52	188	292	3	222	258	168	4	358	480	1200	1700	18.1
QJ 1036	180	280	46	192	268	2.1	212.7	247.8	161	2.1	335	408	1400	1800	10.7
QJ 236		320	52	198	302	3	231	269	175	4	392	545	1100	1600	—
QJ 1038	190	290	46	202	278	2.1	—	—	168	2.1	348	430	1300	1700	—
QJ 1040	200	310	51	212	298	2.1	—	—	179	2.1	382	498	1200	1600	—
QJ 1044	220	340	56	234	326	2.5	259	301	196	3	448	622	1000	1400	18
QJ 1048	240	360	56	254	346	2.5	282.2	318	210	3	458	655	950	1300	21
QJ 1052	260	400	65	278	382	3	—	—	—	4	510	765	850	1200	—
QJ 1056	280	420	65	298	402	3	—	—	245	4	540	835	800	1000	—
QJ 1060	300	460	74	318	442	3	—	—	—	4	630	1040	700	950	—
QJ 1064	320	480	74	338	462	3	—	—	280	4	650	1090	650	850	—
QJ 1068	340	520	82	362	498	4	—	—	301	5	725	1270	600	800	—
QJ 1072	360	540	82	382	518	4	—	—	—	5	768	1380	530	700	—
QJ 1076	380	560	82	402	538	4	—	—	—	5	805	1430	500	670	—

(续)

轴承代号			基本尺寸/mm				安装尺寸/mm							其他尺寸/mm				基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
NU 型	NJ 型	NUP 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>F_w</i>	<i>d_a</i> max	<i>d_a</i> min	<i>d_b</i> min	<i>d_c</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>d₂</i>	<i>D₂</i>	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
NU 1006	—	—	30	55	13	36.5	35	34	38	—	50	1	0.6	—	45.6	1	0.6	13.0	12.8	9500	12000	0.12
NU 206 E	NJ 206 E	NUP 206 E		62	16	37.5	37	34	40	44	57	1	0.6	41.3	52.3	1	0.6	36.0	35.5	8500	11000	0.214
NU 2206 E	NJ 2206 E	NUP 2206 E		62	20	37.5	37	34	40	44	57	1	0.6	41.3	52.3	1	0.6	45.5	48.0	8500	11000	0.268
NU 306 E	NJ 306 E	NUP 306 E		72	19	40.5	40	36.5	44	48	65.5	1	1	45	58.6	1.1	1.1	49.2	48.2	8000	10000	0.377
NU 2306 E	NJ 2306 E	NUP 2306 E		72	27	40.5	40	36.5	44	48	65.5	1	1	45	58.6	1.1	1.1	70.0	75.5	8000	10000	0.538
NU 406	NJ 406	NUP 406		90	23	45	44	38	47	52	82	1.5	1.5	50.5	65.8	1.5	1.5	57.2	53.0	7000	9000	0.73
NU 1007	—	—	35	62	14	42	41	39	44	—	57	1	0.6	—	54.5	1	0.6	19.5	18.8	8500	11000	0.16
NU 207 E	NJ 207 E	NUP 207 E		72	17	44	43	39	46	50	65.5	1	0.6	48.3	60.5	1.1	0.6	46.5	48.0	7500	9500	0.311
NU 2207 E	NJ 2207 E	NUP 2207 E		72	23	44	43	39	46	50	65.5	1	0.6	48.3	60.5	1.1	0.6	57.5	63.0	7500	9500	0.414
NU 307 E	NJ 307 E	NUP 307 E		80	21	46.2	45	41.5	48	53	72	1.5	1	51.1	66.3	1.5	1.1	62.0	63.2	7000	9000	0.501
NU 2307 E	NJ 2307 E	NUP 2307 E		80	31	46.2	45	41.5	48	53	72	1.5	1	51.1	66.3	1.5	1.1	87.5	98.2	7000	9000	0.738
NU 407	NJ 407	NUP 407		100	25	53	52	43	55	61	92	1.5	1.5	59	75.3	1.5	1.5	70.8	68.2	6000	7500	0.94
NU 1008	NJ 1008	—	40	68	15	47	46	44	49	—	63	1	0.6	—	57.6	1	0.6	21.2	22.0	7500	9500	0.22
NU 208 E	NJ 208 E	NUP 208 E		80	18	49.5	49	46.5	52	56	73.5	1	1	54.2	67.6	1.1	1.1	51.5	53.0	7000	9000	0.394
NU 2208 E	NJ 2208 E	NUP 2208 E		80	23	49.5	49	46.5	52	56	73.5	1	1	54.2	67.6	1.1	1.1	67.5	75.2	7000	9000	0.507
NU 308 E	NJ 308	NUP 308 E		90	23	52	51	48	55	60	82	1.5	1.5	57.7	75.4	1.5	1.5	76.8	77.8	6300	8000	0.68
NU 2308 E	NJ 2308 E	NUP 2308 E		90	33	52	51	48	55	60	82	1.5	1.5	57.7	75.4	1.5	1.5	105	118	6300	8000	0.974
NU 408	NJ 408	NUP 408		110	27	58	57	49	60	67	101	2	2	64.8	83.3	2	2	90.5	89.8	5600	7000	1.25
NU 1009	NJ 1009	—	45	75	16	52.5	52	49	54	—	70	1	0.6	—	63.9	1	0.6	23.2	23.8	6500	8500	0.26
NU 209 E	NJ 209 E	NUP 209 E		85	19	54.5	54	51.5	57	61	78.5	1	1	59.2	72.6	1.1	1.1	58.5	63.8	6300	8000	0.45
NU 2209 E	NJ 2209 E	NUP 2209 E		85	23	54.5	54	51.5	57	61	78.5	1	1	59.2	72.6	1.1	1.1	71.0	82.0	6300	8000	0.55
NU 309 E	NJ 309 E	NUP 309 E		100	25	58.5	57	53	60	66	92	1.5	1.5	64.7	83.6	1.5	1.5	93.0	98.0	5600	7000	0.93
NU 2309 E	NJ 2309 E	NUP 2309 E		100	36	58.5	57	53	60	66	92	1.5	1.5	64.7	83.6	1.5	1.5	130	152	5600	7000	1.34
NU 409	NJ 409	NUP 409		120	29	64.5	63	54	66	74	111	2	2	71.8	91.4	2	2	102	100	5000	6300	1.8
NU 1010	NJ 1010	—	50	80	16	57.5	57	54	59	—	75	1	0.6	—	68.9	1	0.6	25.0	27.5	6300	8000	—
NU 210 E	NJ 210 E	NUP 210 E		90	20	59.5	58	56.5	62	67	83.5	1	1	64.2	77.6	1.1	1.1	61.2	69.2	6000	7500	0.505
NU 2210 E	NJ 2210 E	NUP 2210 E		90	23	59.5	58	56.5	62	67	83.5	1	1	64.2	77.6	1.1	1.1	74.2	88.8	6000	7500	0.59
NU 310 E	NJ 310 E	NUP 310 E		110	27	65	63	59	67	73	101	2	2	71.2	91.7	2	2	105	112	5300	6700	1.2
NU 2310 E	NJ 2310 E	NUP 2310 E		110	40	65	63	59	67	73	101	2	2	71.2	91.7	2	2	155	185	5300	6700	1.79
NU 410	NJ 410	NUP 410		130	31	70.8	69	61	73	81	119	2.1	2.1	78.8	101	2.1	2.1	120	120	4800	6000	2.3

(续)

轴承代号			基本尺寸/mm				安装尺寸/mm							其他尺寸/mm				基本额定 载荷/kN		极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
NU 型	NJ 型	NUP 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>F_w</i>	<i>d_a</i> max	<i>d_a</i> min	<i>d_b</i> min	<i>d_c</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>d₂</i>	<i>D₂</i>	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
NU 1011	NJ 1011	—	55	90	18	64.5	63	60	66	—	83.5	1	1	—	79	1.1	1	35.8	40.0	5600	7000	0.45
NU 211 E	NJ 211 E	NUP 211 E		100	21	66	65	61.5	68	73	92	1.5	1	70.9	86.2	1.5	1.1	80.2	95.5	5300	6700	0.68
NU 2211 E	NJ 2211 E	NUP 2211 E		100	25	66	65	61.5	68	73	92	1.5	1	70.9	86.2	1.5	1.1	94.8	118	5300	6700	0.81
NU 311 E	NJ 311 E	NUP 311 E		120	29	70.5	69	64	72	80	111	2	2	77.4	100.6	2	2	128	138	4800	6000	1.53
NU 2311 E	NJ 2311 E	NUP 2311 E		120	43	70.5	69	64	72	80	111	2	2	77.4	100.6	2	2	190	228	4800	6000	2.28
NU 411	NJ 411	NUP 411		140	33	77.2	76	66	79	87	129	2.1	2.1	85.2	108	2.1	2.1	128	132	4300	5300	2.8
NU 1012	NJ 1012	—	60	95	18	69.5	68	65	71	—	88.5	1	1	—	81.6	1.1	1	38.5	45.0	5300	6700	0.48
NU 212 E	NJ 212 E	NUP 212 E		110	22	72	71	68	75	80	102	1.5	1.5	77.7	95.8	1.5	1.5	89.8	102	5000	6300	0.86
NU 2212 E	NJ 2212 E	NUP 2212 E		110	28	72	71	68	75	80	102	1.5	1.5	77.7	95.8	1.5	1.5	122	152	5000	6300	1.12
NU 312 E	NJ 312 E	NUP 312 E		130	31	77	75	71	79	86	119	2.1	2.1	84.3	109.9	2.1	2.1	142	155	4500	5600	1.87
NU 2312 E	NJ 2312 E	NUP 2312 E		130	46	77	75	71	79	86	119	2.1	2.1	84.3	109.9	2.1	2.1	212	260	4500	5600	2.81
NU 412	NJ 412	NUP 412		150	35	83	82	71	85	94	139	2.1	2.1	91.8	116	2.1	2.1	155	162	4000	5000	3.4
NU 1013	NJ 1013	—	65	100	18	74.5	73	70	76	—	93.5	1	1	—	86.6	1.1	1	39	46.5	4800	6000	0.51
NU 213 E	NJ 213 E	NUP 213 E		120	23	78.5	77	73	81	87	112	1.5	1.5	84.6	104	1.5	1.5	102	118	4500	5600	1.08
NU 2213 E	NJ 2213 E	NUP 2213 E		120	31	78.5	77	73	81	87	112	1.5	1.5	84.6	104	1.5	1.5	142	180	4500	5600	1.48
NU 313 E	NJ 313 E	NUP 313 E		140	33	82.5	81	76	85	93	129	2.1	2.1	90.6	118.8	2.1	2.1	170	188	4000	5000	2.31
NU 2313 E	NJ 2313 E	NUP 2313 E		140	48	82.5	81	76	85	93	129	2.1	2.1	90.6	118.8	2.1	2.1	235	285	4000	5000	3.34
NU 413	NJ 413	NUP 413		160	37	89.5	88	76	91	100	149	2.1	2.1	98.5	124	2.1	2.1	170	178	3800	4800	4
NU 1014	NJ 1014	—	70	110	20	80	78	75	82	—	103.5	1	1	—	95.4	1.1	1	47.5	57.0	4800	6000	0.71
NU 214 E	NJ 214 E	NUP 214 E		125	24	83.5	82	78	86	92	117	1.5	1.5	89.6	109	1.5	1.5	112	135	4300	5300	1.2
NU 2214 E	NJ 2214 E	NUP 2214 E		125	31	83.5	82	78	86	92	117	1.5	1.5	89.6	109	1.5	1.5	148	192	4300	5300	1.56
NU 314 E	NJ 314 E	NUP 314 E		150	35	89	87	81	92	100	139	2.1	2.1	97.5	127	2.1	2.1	195	220	3800	4800	2.86
NU 2314 E	NJ 2314 E	NUP 2314 E		150	51	89	87	81	92	100	139	2.1	2.1	97.5	127	2.1	2.1	260	320	3800	4800	4.1
NU 414	NJ 414	NUP 414		180	42	100	99	83	102	112	167	2.5	2.5	110	139	3	3	215	232	3400	4300	5.9
NU 1015	NJ 1015	—	75	115	20	85	83	80	87	—	108.5	1	1	—	101	1.1	1	51.5	61.2	4500	5600	0.74
NU 215 E	NJ 215 E	NUP 215 E		130	25	88.5	87	83	90	96	122	1.5	1.5	94.6	114	1.5	1.5	125	155	4000	5000	1.32
NU 2215 E	NJ 2215 E	NUP 2215 E		130	31	88.5	87	83	90	96	122	1.5	1.5	94.6	114	1.5	1.5	155	205	4000	5000	1.64
NU 315 E	NJ 315 E	NUP 315 E		160	37	95	93	86	97	106	149	2.1	2.1	104.2	136.5	2.1	2.1	228	260	3600	4500	3.43
NU 2315	NJ 2315	NUP 2315		160	55	95.5	93	86	98	107	149	2.1	2.1	104	129	2.1	2.1	245	308	3600	4500	5.4
NU 415	NJ 415	NUP 415		190	45	104.5	103	88	107	118	177	2.5	2.5	116	147	3	3	250	272	3200	4000	7.1

(续)

轴承代号			基本尺寸/mm				安装尺寸/mm							其他尺寸/mm				基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
NU 型	NJ 型	NUP 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>F_w</i>	<i>d_a</i> max	<i>d_a</i> min	<i>d_b</i> min	<i>d_c</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>d₂</i>	<i>D₂</i>	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
NU 1016	NJ 1016	—	80	125	22	91.5	90	85	94	—	118.5	1	1	—	109	1.1	1	59.2	77.8	4300	5300	1
NU 216 E	NJ 216 E	NUP 216 E		140	26	95.3	94	89	97	104	131	2	2	101.1	123.1	2	2	132	165	3800	4800	1.58
NU 2216 E	NJ 2216 E	NUP 2216 E		140	33	95.3	94	89	97	104	131	2	2	101.1	123.1	2	2	178	242	3800	4800	2.05
NU 316 E	NJ 316 E	NUP 316 E		170	39	101	99	91	105	114	159	2.1	2.1	110.1	144.2	2.1	2.1	245	282	3400	4300	4.05
NU 2316	NJ 2316	NUP 2316		170	58	103	99	91	106	114	159	2.1	2.1	111	136	2.1	2.1	258	328	3400	4300	6.4
NU 416	NJ 416	NUP 416		200	48	110	109	93	112	124	187	2.5	2.5	122	156	3	3	285	315	3000	3800	8.3
NU 1017	NJ 1017	—	85	130	22	96.5	95	90	99	—	123.5	1	1	—	114	1.1	1	64.5	81.6	4000	5000	1.05
NU 217 E	NJ 217 E	NUP 217 E		150	28	100.5	99	94	104	110	141	2	2	107.1	131.7	2	2	158	192	3600	4500	2
NU 2217 E	NJ 2217 E	NUP 2217 E		150	36	100.5	99	94	104	110	141	2	2	107.1	131.7	2	2	205	272	3600	4500	2.58
NU 317 E	NJ 317 E	NUP 317 E		180	41	108	106	98	110	119	167	2.5	2.5	117.4	153	3	3	280	332	3200	4000	4.82
NU 2317	NJ 2317	NUP 2317		180	60	108	106	98	111	120	167	2.5	2.5	117	144	3	3	295	380	3200	4000	7.4
NU 417	NJ 417	NUP 417		210	52	113	111	101	115	128	194	3	3	126	162	4	4	312	345	2800	3600	9.8
NU 1018	NJ 1018	—	90	140	24	103	101	96.5	106	—	132	1.5	1	—	122	1.5	1.1	74.0	94.8	3800	4800	1.36
NU 218 E	NJ 218 E	NUP 218 E		160	30	107	105	99	110	116	151	2	2	113.9	140	2	2	172	215	3400	4300	2.44
NU 2218 E	NJ 2218 E	NUP 2218 E		160	40	107	105	99	110	116	151	2	2	113.9	140	2	2	230	312	3400	4300	3.26
NU 318 E	NJ 318 E	NUP 318 E		190	43	113.5	111	103	117	127	177	2.5	2.5	123.7	161.9	3	3	298	348	3000	3800	5.59
NU 2318	NJ 2318	NUP 2318		190	64	115	111	103	118	128	177	2.5	2.5	125	153	3	3	310	395	3000	3800	8.4
NU 418	NJ 418	NUP 418		225	54	123.5	122	106	125	139	209	3	3	137	175	4	4	352	392	2400	3200	11
NU 1019	NJ 1019	—	95	145	24	108	106	101.5	111	—	137	1.5	1	—	127	1.5	1.1	75.5	98.5	3600	4500	1.4
NU 219 E	NJ 219 E	NUP 219 E		170	32	112.5	111	106	116	123	159	2.1	2.1	120.2	148.9	2.1	2.1	208	262	3200	4000	2.96
NU 2219 E	NJ 2219 E	NUP 2219 E		170	43	112.5	111	106	116	123	159	2.1	2.1	120.2	148.9	2.1	2.1	275	368	3200	4000	3.97
NU 319 E	NJ 319 E	NUP 319 E		200	45	121.5	119	108	124	134	187	2.5	2.5	131.7	169.9	3	3	315	380	2800	3600	6.52
NU 2319	NJ 2319	NUP 2319		200	67	121.5	119	108	124	135	187	2.5	2.5	132	161	3	3	370	500	2800	3600	10.4
NU 419	NJ 419	NUP 419		240	55	133.5	132	111	136	149	224	3	3	147	185	4	4	378	428	2200	3000	14
NU 1020	NJ 1020	—	100	150	24	113	111	106.5	116	—	142	1.5	1	—	132	1.5	1.1	78.0	102	3400	4300	1.5
NU 220 E	NJ 220 E	NUP 220 E		180	34	119	117	111	122	130	169	2.1	2.1	127	157.2	2.1	2.1	235	302	3000	3800	3.58
NU 2220 E	NJ 2220 E	NUP 2220 E		180	46	119	117	111	122	130	169	2.1	2.1	127	157.2	2.1	2.1	318	440	3000	3800	4.86
NU 320 E	NJ 320 E	NUP 320 E		215	47	127.5	125	113	132	143	202	2.5	2.5	139.1	182.3	3	3	365	425	2600	3200	7.89
NU 2320	NJ 2320	NUP 2320		215	73	129.5	125	113	132	143	202	2.5	2.5	140	172	3	3	415	558	2600	3200	13.5
NU 420	NJ 420	NUP 420		250	58	139	137	116	141	156	234	3	3	153	194	4	4	418	480	2000	2800	16

(续)

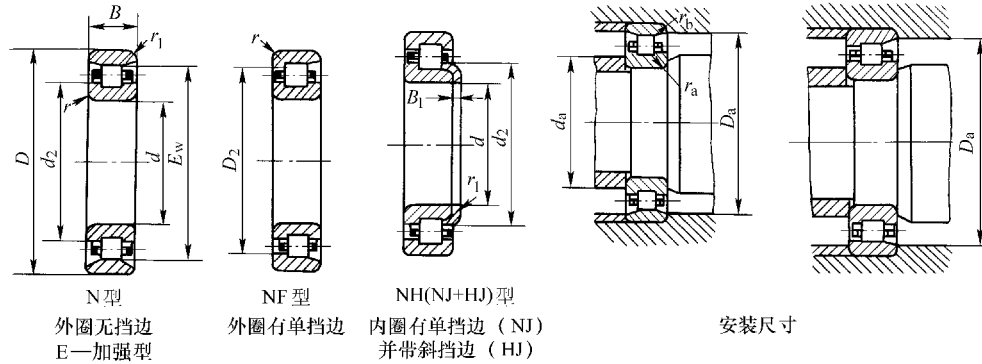
轴承代号			基本尺寸/mm				安装尺寸/mm							其他尺寸/mm				基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
NU 型	NJ 型	NUP 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>F_w</i>	<i>d_a</i> max	<i>d_a</i> min	<i>d_b</i> min	<i>d_c</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>d₂</i>	<i>D₂</i>	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
NU 1021	NJ 1021	—	105	160	26	119.5	118	112	122	—	151	2	1	—	140	2	1.1	91.5	122	3200	4000	1.9
NU 221	NJ 221	NUP 221		190	36	126.8	124	116	129	137	179	2.1	2.1	135	159	2.1	2.1	185	235	2800	3600	4
NU 321	NJ 321	NUP 321		225	49	135	132	118	137	149	212	2.5	2.5	147	181	3	3	322	392	2200	3000	—
NU 421	NJ 421	NUP 421		260	60	144.5	143	121	147	162	244	3	3	159	202	4	4	508	602	1900	2600	—
NU 1022	NJ 1022	—	110	170	28	125	124	116.5	128	—	161	2	1	131	149	2	1.1	115	155	3000	3800	2.3
NU 222 E	NJ 222 E	NUP 222 E		200	38	132.5	130	121	137	144	189	2.1	2.1	141.3	174.1	2.1	2.1	278	360	2600	3400	5.02
NU 2222	NJ 2222	NUP 2222		200	53	132.5	130	121	135	144	189	2.1	2.1	141	167	2.1	2.1	312	445	2600	3400	7.5
NU 322	NJ 322	NUP 322		240	50	143	140	123	145	158	227	2.5	2.5	155	192	3	3	352	428	2000	2800	11
NU 2322	NJ 2322	NUP 2322		240	80	143	140	123	145	158	227	2.5	2.5	155	201	3	3	535	740	2000	2800	17.5
NU 422	NJ 422	NUP 422		280	65	155	153	126	157	173	264	3	3	171	216	4	4	515	602	1800	2400	22
NU 1024	NJ 1024	—	120	180	28	135	134	126.5	138	—	171	2	1	—	159	2	1.1	130	168	2600	3400	2.96
NU 224 E	NJ 224 E	NUP 224 E		215	40	143.5	141	131	144	156	204	2.1	2.1	153	188.1	2.1	2.1	322	422	2200	3000	6.11
NU 2224	NJ 2224	NUP 2224		215	58	143.5	141	131	146	156	204	2.1	2.1	153	180	2.1	2.1	345	522	2200	3000	9.5
NU 324	NJ 324	NUP 324		260	55	154	151	133	156	171	247	2.5	2.5	168	209	3	3	440	552	1900	2600	14
NU 2324	NJ 2324	NUP 2324		260	86	154	151	133	156	171	247	2.5	2.5	168	219	3	3	632	868	1900	2600	22.5
NU 424	NJ 424	NUP 424		310	72	170	168	140	172	190	290	4	4	188	238	5	5	642	772	1700	2200	30
NU 1026	NJ 1026	—	130	200	33	148	146	136.5	151	—	191	2	1	—	175	2	1.1	152	212	2400	3200	3.7
NU 226	NJ 226	NUP 226		230	40	156	151	143	158	168	217	2.5	2.5	165	192	3	3	258	352	2000	2800	7
NU 2226	NJ 2226	NUP 2226		230	64	156	151	143	158	168	217	2.5	2.5	—	—	3	3	368	552	2000	2800	11.5
NU 326	NJ 326	NUP 326		280	58	167	164	146	169	184	264	3	3	182	225	4	4	492	620	1700	2200	18
NU 2326	NJ 2326	NUP 2326		280	93	167	164	146	169	184	264	3	3	182	236	4	4	748	1060	1700	2200	28.5
NU 426	NJ 426	NUP426		340	78	185	183	150	187	208	320	4	4	—	—	5	5	782	942	1500	1900	39
NU 1028	NJ 1028	—	140	210	33	158	156	146.5	161	—	201	2	1	—	185	2	1.1	158	220	2000	2800	4
NU 228	NJ 228	NUP 228		250	42	169	166	153	171	182	237	2.5	2.5	179	208	3	3	302	415	1800	2400	9.1
NU 2228	NJ 2228	NUP 2228		250	68	169	166	153	171	182	237	2.5	2.5	179	208	3	3	438	700	1800	2400	15
NU 328	NJ 328	NUP 328		300	62	180	176	156	182	198	284	3	3	196	241	4	4	545	690	1600	2000	22
NU 2328	NJ 2328	NUP 2328		300	102	180	176	156	182	198	284	3	3	192	252	4	4	825	1180	1600	2000	37
NU 428	NJ 428	NUP 428		360	82	198	195	160	200	222	340	4	4	—	—	5	5	845	1020	1400	1800	—

(续)

轴承代号			基本尺寸/mm				安装尺寸/mm							其他尺寸/mm				基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
NU 型	NJ 型	NUP 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>F_w</i>	<i>d_a</i> max	<i>d_a</i> min	<i>d_b</i> min	<i>d_c</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>d₂</i>	<i>D₂</i>	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
NU 1030	NJ 1030	—	150	225	35	169.5	167	158	173	—	214	2.1	1.5	—	198	2.1	1.5	188	268	1900	2600	4.8
NU 230	NJ 230	NUP 230		270	45	182	179	163	184	196	257	2.5	2.5	193	225	3	3	360	490	1700	2200	11
NU 2230	NJ 2230	NUP 2230		270	73	182	179	163	184	196	257	2.5	2.5	193	225	3	3	530	772	1700	2200	17
NU 330	NJ 330	NUP 330		320	65	193	190	166	195	213	304	3	3	209	270	4	4	595	765	1500	1900	26
NU 2330	NJ 2330	NUP 2330		320	108	193	190	166	195	213	304	3	3	209	270	4	4	930	1340	1500	1900	45
NU 430	NJ 430	NUP 430		380	85	213	208	170	216	237	360	4	4	—	—	5	5	912	1100	1300	1700	53
NU 1032	NJ 1032	—	160	240	38	180	178	168	184	—	229	2.1	1.5	—	211	2.1	1.5	212	302	1800	2400	6
NU 232	NJ 232	NUP 232		290	48	195	192	173	197	210	277	2.5	2.5	206	250	3	3	405	552	1600	2000	14
NU 2232	NJ 2232	NUP 2232		290	80	195	190	173	196	209	277	2.5	2.5	205	252	3	3	590	898	1600	2000	25
NU 332	NJ 332	NUP 332		340	68	208	200	176	211	228	324	3	3	—	—	4	4	628	825	1400	1800	31.6
NU 2332	NJ 2332	NUP 2332		340	114	208	200	176	211	228	324	3	3	—	—	4	4	972	1430	1400	1800	55.8
NU 1034	NJ 1034	—	170	260	42	193	190	181	197	—	249	2.1	2.1	—	227	2.1	2.1	255	365	1700	2200	8.14
NU 234	NJ 234	NUP 234		310	52	208	204	186	211	223	294	3	3	220	269	4	4	425	650	1500	1900	17.1
NU 334	NJ 334	NUP 334		360	72	220	216	186	223	241	344	3	3	—	290	4	4	715	952	1300	1700	36
NU 2334	NJ 2334	NUP 2334		360	120	220	212	186	223	241	344	3	3	—	290	4	4	1110	1650	1300	1700	63
NU 1036	NJ 1036	—	180	280	46	205	203	191	209	—	269	2.1	2.1	215	244	2.1	2.1	300	438	1600	2000	10.1
NU 236	NJ 236	NUP 236		320	52	218	214	196	221	233	304	3	3	230	279	4	4	425	650	1400	1800	18
NU 336	NJ 336	NUP 336		380	75	232	227	196	235	255	364	3	3	252	306	4	4	835	1100	1200	1600	42
NU 2336	NJ 2336	NUP 2336		380	126	232	222	196	236	255	364	3	3	252	306	4	4	1210	1780	1200	1600	71.2
NU 1038	NJ 1038	—	190	290	46	215	213	201	219	—	279	2.1	2.1	—	254	2.1	2.1	335	495	1500	1900	12
NU 238	NJ 238	NUP 238		340	55	231	227	206	234	247	324	3	3	244	295	4	4	512	745	1300	1700	23
NU 2238	NJ 2238	NUP 2238		340	92	231	227	206	234	247	324	3	3	—	295	4	4	975	1570	1300	1700	38.5
NU 338	NJ 338	NUP 338		400	78	245	240	210	248	268	380	4	4	—	322	5	5	882	1190	1100	1500	50

注：质量以 NJ 型为主。

表 5.3-36 圆柱滚子轴承(摘自 GB/T 283—2007)(2)



当量动载荷

$$P_r = F_r$$

对轴向承载圆柱滚子轴承 (NF、NH 型)

对于 2、3 系列

$$P_r = F_r + 0.3F_a \quad \text{当 } 0 < F_a/F_r \leq 0.12$$

$$P_r = 0.94F_r + 0.8F_a \quad \text{当 } 0.12 < F_a/F_r \leq 0.3$$

对于 22、23 系列

$$P_r = F_r + 0.2F_a \quad \text{当 } 0 < F_a/F_r \leq 0.18$$

$$P_r = 0.94F_r + 0.53F_a \quad \text{当 } 0.18 < F_a/F_r \leq 0.3$$

当量静载荷

$$P_{0r} = F_r$$

轴承代号			基本尺寸/mm				安装尺寸/mm				其他尺寸/mm					基本额定载荷/kN		极限转速/r · min ⁻¹		质量/kg
N 型	NF 型	NH (NJ + HJ) 型	d	D	B	E _w	d _a min	D _a max	r _a max	r _b max	d ₂	D ₂	B ₁	r min	r ₁ min	C _r	C _{0r}	脂	油	W ≈
N 202E	NF 202E	—	15	35	11	30.3	19	—	0.6	0.3	22	26.4	—	0.6	0.3	16.4	7.72	15000	19000	—
N 203E	NF 203E	—	17	40	12	35.1	21	—	0.6	0.3	25.5	30.9	—	0.6	0.3	19.2	10.5	14000	18000	—
—	NF 204	NJ 204 + HJ 204	20	47	14	40	25	42	1	0.6	29.9	36.7	3	1	0.6	12.5	11.0	12000	16000	0.11
N 204 E	—	—		47	14	41.5	25	42	1	0.6	29.7	—	—	1	0.6	25.8	24.0	12000	16000	0.117
N 2204 E	—	—		47	18	41.5	25	42	1	0.6	29.7	—	—	1	0.6	30.8	30.0	12000	16000	0.149
—	NF 304	NJ 304 + HJ 304		52	15	44.5	26.5	47	1	0.6	31.8	39.8	4	1.1	0.6	18.0	15.0	11000	15000	0.17
N 304 E	—	—		52	15	45.5	26.5	47	1	0.6	31.2	—	—	1.1	0.6	29.0	25.5	11000	15000	0.155
N 2304 E	—	—		52	21	45.5	26.5	47	1	0.6	31.2	—	—	1.1	0.6	39.2	37.5	10000	14000	0.216
N 1005	—	—	25	47	12	41.5	29	—	1	0.3	—	—	—	1	0.3	11.0	10.2	11000	15000	0.1
—	NF 205	NJ 205 + HJ 205		52	15	45	30	47	1	0.6	34.9	41.6	3	1	0.6	14.2	12.8	11000	14000	0.16
N 205 E	—	—		52	15	46.5	30	47	1	0.6	34.7	—	—	1	0.6	27.5	26.8	11000	14000	0.14
—	—	NJ 2205 + HJ 2205		52	18	—	30	—	1	0.6	34.9	41.6	3	1	0.6	21.2	19.8	11000	14000	—
N 2205 E	—	—		52	18	46.5	30	47	1	0.6	34.7	—	—	1	0.6	32.8	33.8	11000	14000	0.168
—	NF 305	NJ 305 + HJ 305		62	17	53	31.5	55	1	1	39	48	4	1.1	1.1	25.5	22.5	9000	12000	0.2
N 305 E	—	—		62	17	54	31.5	55	1	1	38.1	—	—	1.1	1.1	38.5	35.8	9000	12000	0.251
—	NF 2305	—		62	24	53	31.5	55	1	1	39	48	—	1.1	1.1	38.5	39.2	9000	12000	—
N 2305 E	—	—		62	24	54	31.5	55	1	1	38.1	—	—	1.1	1.1	53.2	54.5	9000	12000	0.355
—	NF 206	NJ 206 + HJ 206	30	62	16	53.5	36	56	1	0.6	41.8	49.1	4	1	0.6	19.5	18.2	8500	11000	0.2
N 206 E	—	—		62	16	55.5	36	56	1	0.6	41.3	—	—	1	0.6	36.0	35.5	8500	11000	0.214
—	—	NJ 2206 + HJ 2206		62	20	53.5	36	—	1	0.6	41.8	49.1	4	1	0.6	28.8	30.2	8500	11000	0.29
N 2206 E	—	—		62	20	55.5	36	56	1	0.6	41.3	—	—	1	0.6	45.5	48.0	8500	11000	0.268

(续)

轴承代号			基本尺寸/mm				安装尺寸/mm				其他尺寸/mm					基本额定载荷/kN		极限转速/r·min ⁻¹		质量/kg
N 型	NF 型	NH (NJ + HJ) 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>E_w</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>d</i> ₂	<i>D</i> ₂	<i>B</i> ₁	<i>r</i> min	<i>r</i> ₁ min	<i>C_r</i>	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>W</i> ≈
—	NF 306	NJ 306 + HJ 306	30	72	19	62	37	64	1	1	45.9	56.7	5	1.1	1.1	33.5	31.5	8000	10000	0.3
N 306 E	—	—		72	19	62.5	37	64	1	1	45	—	—	1.1	1.1	49.2	48.2	8000	10000	0.377
—	NF 2306	—		72	27	62	37	64	1	1	45.9	56.7	—	1.1	1.1	46.5	47.5	8000	10000	0.6
N 2306 E	—	—		72	27	62.5	37	64	1	1	45	—	—	1.1	1.1	70.0	75.5	8000	10000	0.538
N 406	—	NJ 406 + HJ 406		90	23	73	39	—	1.5	1.5	50.5	65.8	7	1.5	1.5	57.2	53.0	7000	9000	0.73
—	NF 207	NJ 207 + HJ 207	35	72	17	61.8	42	64	1	0.6	47.6	56.8	4	1.1	0.6	28.5	28.0	7500	9500	0.3
N 207 E	—	—		72	17	64	42	64	1	0.6	48.3	—	—	1.1	0.6	46.5	48.0	7500	9500	0.311
—	—	NJ 2207 + HJ 2207		72	23	61.8	42	—	1	0.6	47.6	56.8	4	1.1	0.6	43.8	48.5	7500	9500	0.45
N 2207 E	—	—		72	23	64	42	64	1	0.6	48.3	—	—	1.1	0.6	57.5	63.0	7500	9500	0.414
—	NF 307	NJ 307 + HJ 307		80	21	68.2	44	71	1.5	1	50.8	62.4	6	1.5	1.1	41.0	39.2	7000	9000	0.56
N307 E	—	—		80	21	70.2	44	71	1.5	1	51.1	—	—	1.5	1.1	62.0	63.2	7000	9000	0.501
—	NF 2307	—		80	31	68.2	44	71	1.5	1	50.8	62.4	—	1.5	1.1	54.8	57.0	7000	9000	0.85
N 2307 E	—	—		80	31	70.2	44	71	1.5	1	51.5	—	—	1.5	1.1	87.5	98.2	7000	9000	0.738
N 407	—	NJ 407 + HJ 407		100	25	83	44	—	1.5	1.5	59	75.3	8	1.5	1.5	70.8	68.2	6000	7500	0.94
N 1008	—	—		40	68	15	61	45	—	1	0.6	50.3	—	—	1	0.6	21.2	22.0	7500	9500
—	NF 208	NJ 208 + HJ 208	80		18	70	47	72	1	1	54.2	64.7	5	1.1	1.1	37.5	38.2	7000	9000	0.4
N 208 E	—	—	80		18	71.5	47	72	1	1	54.2	—	—	1.1	1.1	51.5	53.0	7000	9000	0.394
—	—	NJ 2208 + HJ 2208	80		23	70	47	—	1	1	54.2	64.7	5	1.1	1.1	52.0	57.8	7000	9000	0.53
N 2208 E	—	—	80		23	71.5	47	72	1	1	54.2	—	—	1.1	1.1	67.5	75.2	7000	9000	0.507
—	NF 308	NJ 308 + HJ 308	90		23	77.5	49	80	1.5	1.5	58.4	71.2	7	1.5	1.5	48.8	47.5	6300	8000	0.7
N 308 E	—	—	90		23	80	49	80	1.5	1.5	57.7	—	—	1.5	1.5	76.8	77.8	6300	8000	0.68
—	NF 2308	—	90		33	77.5	49	80	1.5	1.5	58.4	71.2	—	1.5	1.5	70.8	76.8	6300	8000	1.1
N 2308 E	—	—	90		33	80	49	80	1.5	1.5	57.7	—	—	1.5	1.5	105	118	6300	8000	0.974
N 408	—	NJ 408 + HJ 408	110		27	92	50	—	2	2	64.8	83.3	8	2	2	90.5	89.8	5600	7000	1.25
—	NF 209	NJ 209 + HJ 209	45	85	19	75	52	77	1	1	59	69.7	5	1.1	1.1	39.8	41.0	6300	8000	0.5
N 209 E	—	—		85	19	76.5	52	77	1	1	59.2	—	—	1.1	1.1	58.5	63.8	6300	8000	0.45
—	—	NJ 2209 + HJ 2209		85	23	75	52	—	1	1	59	69.7	5	1.1	1.1	54.8	62.2	6300	8000	0.59
N 2209 E	—	—		85	23	76.5	52	77	1	1	59.2	—	—	1.1	1.1	71.0	82.0	6300	8000	0.55
—	NF 309	NJ 309 + HJ 309		100	25	86.5	54	89	1.5	1.5	64	79.3	7	1.5	1.5	66.8	66.8	5600	7000	0.9
N 309 E	—	—		100	25	88.5	54	89	1.5	1.5	64.7	—	—	1.5	1.5	93.0	98.0	5600	7000	0.93
—	NF 2309	—		100	36	86.5	54	89	1.5	1.5	64	79.6	—	1.5	1.5	91.5	100	5600	7000	1.5
N 2309 E	—	—		100	36	88.5	54	89	1.5	1.5	64.7	—	—	1.5	1.5	130	152	5600	7000	1.34
N 409	—	N 409 + HJ 409		120	29	100.5	55	—	2	2	71.8	91.4	8	2	2	102	100	5000	6300	1.8
N 1010	—	—	50	80	16	72.5	55	—	1	0.6	—	—	—	1	0.6	25.0	27.5	6300	8000	—

(续)

轴承代号			基本尺寸/mm				安装尺寸/mm				其他尺寸/mm					基本额定载荷/kN		极限转速/r·min ⁻¹		质量/kg
N 型	NF 型	NH(NJ + HJ) 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>E_w</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>d₂</i>	<i>D₂</i>	<i>B₁</i>	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
—	NF 210	NJ 210 + HJ 210	50	90	20	80.4	57	83	1	1	64.6	75.1	5	1.1	1.1	43.2	48.5	6000	7500	0.6
N 210 E	—	—		90	20	81.5	57	83	1	1	64.2	—	—	1.1	1.1	61.2	69.2	6000	7500	0.505
—	—	NJ 2210 + HJ 2210		90	23	80.4	57	—	1	1	64.6	75.1	5	1.1	1.1	57.2	69.2	6000	7500	0.65
N 2210 E	—	—		90	23	81.5	57	83	1	1	64.2	—	—	1.1	1.1	74.2	88.8	6000	7500	0.59
—	NF 310	NJ 310 + HJ 310		110	27	95	60	98	2	2	71	87.3	8	2	2	76.0	79.5	5300	6700	1.2
N 310 E	—	—		110	27	97	60	98	2	2	71.2	—	—	2	2	105	112	5300	6700	1.2
—	NF 2310	—		110	40	95	60	98	2	2	71	87.3	8	2	2	112	132	5300	6700	1.85
N 2310 E	—	—		110	40	97	60	98	2	2	71.2	—	—	2	2	155	185	5300	6700	1.79
N 410	—	NJ 410 + HJ 410		130	31	110.8	62	—	2.1	2.1	78.8	101	9	2.1	2.1	120	120	4800	6000	2.3
N 1011	—	—	55	90	18	80.5	61.5	—	1	1	—	—	—	1.1	1	35.8	40.0	5600	7000	0.45
—	NF 211	NJ 211 + HJ 211		100	21	88.5	64	91	1.5	1	70.8	82.7	6	1.5	1.1	52.8	60.2	5300	6700	0.7
N 211 E	—	—		100	21	90.0	64	91	1.5	1	70.2	—	—	1.5	1.1	80.2	95.5	5300	6700	0.68
—	—	NJ 2211 + HJ 2211		100	25	88.5	64	—	1.5	1	70.8	82.7	6	1.5	1.1	70.8	87.5	5300	6700	0.86
N 2211 E	—	—		100	25	90	64	91	1.5	1	70.9	—	—	1.5	1.1	94.8	118	5300	6700	0.81
—	NF 311	NJ 311 + HJ 311		120	29	104.5	65	107	2	2	77.2	95.8	9	2	2	97.8	105	4800	6000	1.7
N 311 E	—	—		120	29	106.5	65	107	2	2	77.4	—	—	2	2	128	138	4800	6000	1.53
—	NF 2311	NJ 2311 + HJ 2311		120	43	104.5	65	107	2	2	77.2	95.8	9	2	2	130	148	4800	6000	2.4
N 2311 E	—	—		120	43	106.5	65	107	2	2	77.4	—	—	2	2	190	228	4800	6000	2.28
N 411	—	NJ 411 + HJ 411		140	33	117.2	67	—	2.1	2.1	85.2	108	10	2.1	2.1	128	132	4300	5300	2.8
N 1012	—	—	60	95	18	85.5	66.5	—	1	1	72.9	—	—	1.1	1	38.5	45.0	5300	6700	0.48
—	NF 212	NJ 212 + HJ 212		110	22	97	69	100	1.5	1.5	—	—	6	1.5	1.5	62.8	73.5	5000	6300	0.9
N 212 E	—	—		110	22	100	69	100	1.5	1.5	77.7	—	—	1.5	1.5	89.8	102	5000	6300	0.86
—	—	NJ 2212 + HJ 2212		110	28	97	69	—	1.5	1.5	—	—	6	1.5	1.5	91.2	118	5000	6300	1.25
N 2212 E	—	—		110	28	100	69	100	1.5	1.5	77.7	—	—	1.5	1.5	122	152	5000	6300	1.12
—	NF 312	NJ 312 + HJ 312		130	31	113	72	116	2.1	2.1	84.2	104	9	2.1	2.1	118	128	4500	5600	2
N 312 E	—	—		130	31	115	72	116	2.1	2.1	84.3	—	—	2.1	2.1	142	155	4500	5600	1.87
—	NF 2312	NJ 2312 + HJ 2312		130	46	113	72	116	2.1	2.1	84.2	104	9	2.1	2.1	155	195	4500	5600	2
N 2312 E	—	—		130	46	115	72	116	2.1	2.1	84.3	—	—	2.1	2.1	212	260	4500	5600	2.81
N 412	—	NJ 412 + HJ 412		150	35	127	72	—	2.1	2.1	91.8	116	10	2.1	2.1	155	162	4000	5000	3.4
—	NF 213	NJ 213 + HJ 213	65	120	23	105.5	74	108	1.5	1.5	84.8	98.9	6	1.5	1.5	73.2	87.5	4500	5600	1.1
N 213 E	—	—		120	23	108.5	74	108	1.5	1.5	84.6	—	—	1.5	1.5	102	118	4500	5600	1.08
—	—	NJ 2213 + HJ 2213		120	31	105.5	74	—	1.5	1.5	84.8	98.6	6	1.5	1.5	108	145	4500	5600	—
N 2213 E	—	—		120	31	108.5	74	108	1.5	1.5	84.6	—	—	1.5	1.5	142	180	4500	5600	1.48
—	NF 313	NJ 313 + HJ 313		140	33	121.5	77	125	2.1	2.1	91	112	10	2.1	2.1	125	135	4000	5000	2.5
N 313 E	—	—		140	33	124.5	77	125	2.1	2.1	90.6	—	—	2.1	2.1	170	188	4000	5000	2.31

(续)

轴承代号			基本尺寸/mm				安装尺寸/mm				其他尺寸/mm					基本额定载荷/kN		极限转速/r·min ⁻¹		质量/kg
N 型	NF 型	NH (NJ + HJ) 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>E_w</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>d₂</i>	<i>D₂</i>	<i>B₁</i>	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
—	NF 2313	NJ 2313 + HJ 2313	65	140	48	121.5	77	125	2.1	2.1	91	112	10	2.1	2.1	175	210	4000	5000	4
N 2313 E	—	—		140	48	124.5	77	125	2.1	2.1	90.6	—	—	2.1	2.1	235	285	4000	5000	3.34
N 413	—	NJ 413 + HJ 413		160	37	135.3	77	—	2.1	2.1	98.5	124	11	2.1	2.1	170	178	3800	4800	4
N 1014	—	—	70	110	20	100	76.5	—	1	1	84.5	—	—	1.1	1	47.5	57.0	4800	6000	0.71
—	NF 214	NJ 214 + HJ 214		125	24	110.5	79	114	1.5	1.5	89.6	104	7	1.5	1.5	73.2	87.5	4300	5300	1.3
N 214 E	—	—		125	24	113.5	79	114	1.5	1.5	89.6	—	—	1.5	1.5	112	135	4300	5300	1.2
—	—	NJ 2214 + HJ 2214	70	125	31	110.5	79	—	1.5	1.5	89.6	104	7	1.5	1.5	108	145	4300	5300	1.7
N 2214 E	—	—		125	31	113.5	79	114	1.5	1.5	89.6	—	—	1.5	1.5	148	192	4300	5300	1.56
—	NF 314	NJ 314 + HJ 314		150	35	130	82	134	2.1	2.1	98	120	10	2.1	2.1	145	162	3800	4800	3.1
N 314 E	—	—	70	150	35	133	82	134	2.1	2.1	97.5	—	—	2.1	2.1	195	220	3800	4800	2.86
—	NF 2314	NJ 2314 + HJ 2314		150	51	130	82	134	2.1	2.1	98	120	10	2.1	2.1	212	260	3800	4800	4.4
N 2314 E	—	—		150	51	133	82	134	2.1	2.1	97.5	—	—	2.1	2.1	260	320	3800	4800	4.1
N 414	—	NJ 414 + HJ 414	75	180	42	152	84	—	2.5	2.5	110	139	12	3	3	215	232	3400	4300	5.9
—	NF215	NJ 215 + HJ 215		130	25	116.5	84	120	1.5	1.5	94	110	7	1.5	1.5	89.0	110	4000	5000	1.4
N 215 E	—	—		130	25	118.5	84	120	1.5	1.5	94.6	—	—	1.5	1.5	125	155	4000	5000	1.32
—	—	NJ 2215 + HJ 2215	75	130	31	116.5	84	—	1.5	1.5	94	110	7	1.5	1.5	125	165	4000	5000	1.8
N 2215 E	—	—		130	31	118.5	84	120	1.5	1.5	94.6	—	—	1.5	1.5	155	205	4000	5000	1.64
—	NF 315	NJ 315 + HJ 315		160	37	139.5	87	143	2.1	2.1	104	129	11	2.1	2.1	165	188	3600	4500	3.7
N 315 E	—	—	75	160	37	143	87	143	2.1	2.1	104.2	—	—	2.1	2.1	228	260	3600	4500	3.43
N 2315	NF 2315	NJ 2315 + 5HJ 2315		160	55	139.5	87	143	2.1	2.1	104	129	11	2.1	2.1	245	308	3600	4500	5.4
N 415	—	NJ 415 + HJ 415		190	45	160.5	89	—	2.5	2.5	116	147	13	3	3	250	272	3200	4000	7.1
N 1016	—	—	80	125	22	113.5	86.5	—	1	1	—	—	—	1.1	1	59.2	77.8	4300	5300	1
—	NF 216	NJ 216 + HJ 216		140	26	125	90	128	2	2	101	118	8	2	2	102	125	3800	4800	1.7
N 216 E	—	—		140	26	127.3	90	128	2	2	101.1	—	—	2	2	132	165	3800	4800	1.58
—	—	NJ 2216 + HJ 2216	80	140	33	125	90	—	2	2	101	118	8	2	2	145	195	3800	4800	2.2
N 2216 E	—	—		140	33	127.3	90	128	2	2	101.1	—	—	2	2	178	242	3800	4800	2.05
—	NF 316	NJ 316 + HJ 316		170	39	147	92	151	2.1	2.1	111	136	11	2.1	2.1	175	200	3400	4300	4.4
N 316 E	—	—	80	170	39	151	92	151	2.1	2.1	110.1	—	—	2.1	2.1	245	282	3400	4300	4.05
N 2316	NF 2316	NJ 2316 + HJ 2316		170	58	147	92	151	2.1	2.1	111	136	11	2.1	2.1	258	328	3400	4300	6.4
N 416	—	NJ 416 + HJ 416		200	48	170	94	—	2.5	2.5	122	156	13	3	3	285	315	3000	3800	8.3
—	NF 217	NJ 217 + HJ 217	85	150	28	133.8	95	137	2	2	108	126	8	2	2	115	145	3600	4500	2.1
N 217 E	—	—		150	28	136.5	95	137	2	2	107.1	—	—	2	2	158	192	3600	4500	2
—	—	NJ 2217 + HJ 2217		150	36	133.8	95	—	2	2	108	126	8	2	2	165	230	3600	4500	2.8
N 2217 E	—	—	85	150	36	136.5	95	137	2	2	107.1	—	—	2	2	205	272	3600	4500	2.58

(续)

轴承代号			基本尺寸/mm				安装尺寸/mm				其他尺寸/mm					基本额定载荷/kN		极限转速/r·min ⁻¹		质量/kg
N 型	NF 型	NH(NJ + HJ) 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>E_w</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>d₂</i>	<i>D₂</i>	<i>B₁</i>	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
—	NF 317	NJ 317 + HJ 317	85	180	41	156	99	160	2.5	2.5	117	144	12	3	3	212	242	3200	4000	5.2
N 317 E	—	—		180	41	160	99	160	2.5	2.5	117.4	—	—	3	3	280	332	3200	4000	4.82
N 2317	NF 2317	NJ 2317 + HJ 2317		180	60	156	99	160	2.5	2.5	117	144	12	3	3	295	380	3200	4000	7.4
N 417	—	NJ 417 + HJ 417		210	52	179.5	103	—	3	3	126	162	14	4	4	312	345	2800	3600	9.8
N 1018	—	—	90	140	24	127	98	—	1.5	1	—	—	—	1.5	1.1	74.0	94.8	3800	4800	1.36
—	NF 218	NJ 218 + HJ 218		160	30	143	100	146	2	2	114	134	9	2	2	142	178	3400	4300	2.5
N 218 E	—	—		160	30	145	100	146	2	2	113.9	—	—	2	2	172	215	3400	4300	2.44
—	—	NJ 2218 + HJ 2218		160	40	143	100	—	2	2	114	134	9	2	2	192	268	3400	4300	3.5
N 2218 E	—	—		160	40	145	100	146	2	2	113.9	—	—	2	2	230	312	3400	4300	3.26
—	NF 318	NJ 318 + HJ 318		190	43	165	104	169	2.5	2.5	125	153	12	3	3	228	265	3000	3800	6.1
N 318 E	—	—		190	43	169.5	104	169	2.5	2.5	123.7	—	—	3	3	298	348	3000	3800	5.59
N 2318	NF 2318	NJ 2318 + HJ 2318		190	64	165	104	169	2.5	2.5	125	153	12	3	3	310	395	3000	3800	8.4
N 418	—	NJ 418 + HJ 418		225	54	191.5	108	—	3	3	137	175	14	4	4	352	392	2400	3200	11
—	NF 219	NJ 219 + HJ 219	95	170	32	151.5	107	155	2.1	2.1	121	142	9	2.1	2.1	152	190	3200	4000	3.2
N 219 E	—	—		170	32	154.5	107	155	2.1	2.1	120.2	—	—	2.1	2.1	208	262	3200	4000	2.96
—	—	NJ 2219 + HJ 2219		170	43	151.5	107	—	2.1	2.1	121	142	9	2.1	2.1	215	298	3200	4000	4.5
N 2219 E	—	—		170	43	154.5	107	155	2.1	2.1	120.2	—	—	2.1	2.1	275	368	3200	4000	3.97
—	NF 319	NJ 319 + HJ 319		200	45	173.5	109	178	2.5	2.5	132	161	13	3	3	245	288	2800	3600	7
N 319 E	—	—		200	45	177.5	109	178	2.5	2.5	131.7	—	—	3	3	315	380	2800	3600	6.52
N 2319	NF 2319	NJ 2319 + HJ 2319		200	67	173.5	109	178	2.5	2.5	132	161	13	3	3	370	500	2800	3600	10.4
N 419	—	NJ 419 + HJ 419		240	55	201.5	113	—	3	3	147	185	15	4	4	378	428	2200	3000	14
N 1020	—	—	100	150	24	137	108	—	1.5	1	—	—	—	1.5	1.1	78.0	102	3400	4300	1.5
—	NF 220	NJ 220 + HJ 220		180	34	160	112	164	2.1	2.1	128	150	10	2.1	2.1	168	212	3000	3800	3.5
N 220 E	—	—		180	34	163	112	164	2.1	2.1	127	—	—	2.1	2.1	235	302	3000	3800	3.58
—	—	NJ 2220 + HJ 2220		180	46	160	112	—	2.1	2.1	128	150	10	2.1	2.1	240	335	3000	3800	5.2
N 2220 E	—	—		180	46	163	112	164	2.1	2.1	127	—	—	2.1	2.1	318	440	3000	3800	4.86
—	NF 320	NJ 320 + HJ 320		215	47	185.5	114	190	2.5	2.5	140	172	13	3	3	282	340	2600	3200	8.6
N 320 E	—	—		215	47	191.5	114	190	2.5	2.5	139.1	—	—	3	3	365	425	2600	3200	7.89
N 2320	NF 2320	NJ 2320 + HJ 2320		215	73	185.5	114	190	2.5	2.5	140	172	13	3	3	415	558	2600	3200	13.5
N 420	—	NJ 420 + HJ 420		250	58	211	118	—	3	3	153	194	16	4	4	418	480	2000	2800	16
N 1021	—	—	105	160	26	145.5	114	—	2	1	125.5	—	—	2	1.1	91.5	122	3200	4200	1.9
N 221	NF 221	NJ 221 + HJ 221		190	36	168.8	117	173	2.1	2.1	135	159	10	2.1	2.1	185	235	2800	3600	4
N 321	NF 321	NJ 321 + HJ 321		225	49	196	119	199	2.5	2.5	147	181	13	3	3	322	392	2200	3000	—

(续)

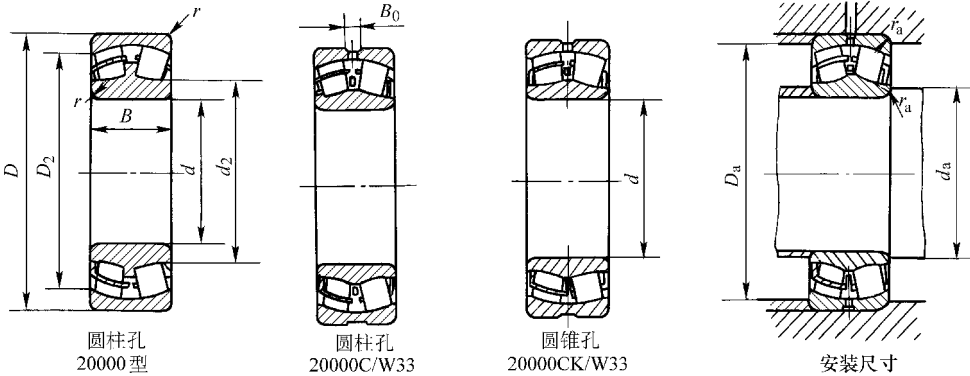
轴承代号			基本尺寸/mm				安装尺寸/mm				其他尺寸/mm					基本额定载荷/kN		极限转速/r·min ⁻¹		质量/kg
N 型	NF 型	NH(NJ + HJ) 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>E_w</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>d</i> ₂	<i>D</i> ₂	<i>B</i> ₁	<i>r</i> min	<i>r</i> ₁ min	<i>C_r</i>	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>W</i> ≈
N 421	—	NJ 421 + HJ 421	105	260	60	220.5	123	—	3	3	159	202	16	4	4	508	602	1900	2600	—
N 1022	—	—	110	170	28	155	119	—	2	1	131	—	—	2	1.1	115	155	3000	3800	2.3
—	NF 222	NJ 222 + HJ 222		200	38	178.5	122	182	2.1	2.1	141	167	11	2.1	2.1	220	285	2600	3400	5
N 222 E	—	—		200	38	180.5	122	182	2.1	2.1	141.3	—	—	2.1	2.1	278	360	2600	3400	5.02
N 2222	NF 2222	NJ 2222 + HJ 2222		200	53	178.5	122	—	2.1	2.1	141	167	11	2.1	2.1	312	445	2600	3400	7.5
N 322	NF 322	NJ 322 + HJ 322		240	50	207	124	211	2.5	2.5	155	192	14	3	3	352	428	2000	2800	11
N 2322	NF 2322	NJ 2322 + HJ 2322		240	80	207	124	211	2.5	2.5	155	201	14	3	3	535	740	2000	2800	7.5
N 422	—	NJ 422 + HJ 422		280	65	235	128	—	3	3	171	216	17	4	4	515	602	1800	2400	22
N 1024	—	—	120	180	28	165	129	—	2	1	156	—	—	2	1.1	130	168	2600	3400	2.96
—	NF 224	NJ 224 + HJ 224		215	40	191.5	132	196	2.1	2.1	153	180	11	2.1	2.1	230	332	2200	3000	6.4
N 224 E	—	—		215	40	195.5	132	196	2.1	2.1	153	—	—	2.1	2.1	322	422	2200	3000	6.11
N 2224	—	NJ 2224 + HJ 2224		215	58	191.5	132	—	2.1	2.1	153	180	11	2.1	2.1	345	522	2200	3000	9.5
N 324	NF 324	NJ 324 + HJ 324		260	55	226	134	230	2.5	2.5	168	209	14	3	3	440	552	1900	2600	14
N 2324	NF 2324	NJ 2324 + HJ 2324		260	86	226	134	230	2.5	2.5	168	219	14	3	3	632	868	1900	2600	22.5
N 424	—	NJ 424 + HJ 424		310	72	260	142	—	4	4	188	238	17	5	5	642	772	1700	2200	30
N 1026	—	—	130	200	33	182	139	—	2	1	156	—	—	2	1.1	152	212	2400	3200	3.7
N 226	NF 226	NJ 226 + HJ 226		230	40	204	144	208	2.5	2.5	165	192	11	3	3	258	352	2000	2800	7
N 2226	NF 2226	NJ 2226 + HJ 2226		230	64	204	144	—	2.5	2.5	167	195	11	3	3	368	552	2000	2800	11.5
N 326	NF 326	NJ 326 + HJ 326		280	58	243	148	247	3	3	182	225	14	4	4	492	620	1700	2200	18
N 2326	NF 2326	NJ 2326 + HJ 2326		280	93	243	148	247	3	3	182	236	14	4	4	748	1060	1700	2200	28.5
N 426	—	NJ 426 + HJ 426		340	78	285	152	—	4	4	—	—	18	5	5	782	942	1500	1900	39
N 1028	—	—	140	210	33	192	149	—	2	1	—	—	—	2	1.1	158	220	2000	2800	4
N 228	NF 228	NJ 228 + HJ 228		250	42	221	154	—	2.5	2.5	179	208	11	3	3	302	415	1800	2400	9.1
N 2228	—	NJ 2228 HJ 2228		250	68	221	154	—	2.5	2.5	179	208	11	3	3	438	700	1800	2400	15
N 328	NF 328	NJ 328 + HJ 328		300	62	260	158	—	3	3	196	241	15	4	4	545	690	1600	2000	22
N 2328	NF 2328	NJ 2328 + HJ 2328		300	102	260	158	—	3	3	192	252	15	4	4	825	1180	1600	2000	37
N 428	—	NJ 428 + HJ 428		360	82	304	162	—	4	4	—	—	18	5	5	845	1020	1400	1800	—
N 1030	—	—	150	225	35	205.5	161	—	2.1	1.5	177	—	—	2.1	1.5	188	268	1900	2600	4.8
N 230	NF 230	NJ 230 + HJ 230		270	45	238	164	—	2.5	2.5	193	225	12	3	3	360	490	1700	2200	11
N 2230	NF 2230	NJ 2230 + HJ 2230		270	73	238	164	—	2.5	2.5	193	225	12	3	3	530	772	1700	2200	17
N 330	NF 330	NJ 330 + HJ 330		320	65	277	168	—	3	3	209	270	15	4	4	595	765	1500	1900	26
N 2330	NF 2330	NJ 2330 + HJ 2330		320	108	277	168	—	3	3	209	270	15	4	4	930	1340	1500	1900	45
N 430	—	NJ 430 + HJ 430		380	85	321	172	—	4	4	—	—	20	5	5	912	1100	1300	1700	53

(续)

轴承代号			基本尺寸/mm				安装尺寸/mm				其他尺寸/mm					基本额定载荷/kN		极限转速/r·min ⁻¹		质量/kg
N 型	NF 型	NH(NJ + HJ) 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>E_w</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>d</i> ₂	<i>D</i> ₂	<i>B</i> ₁	<i>r</i> min	<i>r</i> ₁ min	<i>C_r</i>	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>W</i> ≈
N 1032	—	—	160	240	38	220	171	—	2.1	1.5	—	—	—	2.1	1.5	212	302	1800	2400	6
N 232	NF 232	NJ 232 + HJ 232		290	48	255	174	—	2.5	2.5	206	250	12	3	3	405	552	1600	2000	14
N 2232	—	NJ 2232 + HJ 2232		290	80	255	174	—	2.5	2.5	205	252	12	3	3	590	898	1600	2000	25
N 332	NF 332	NJ 332 + HJ 332		340	68	292	178	—	3	3	—	—	—	4	4	628	825	1400	1800	31.6
N 2332	NF 2332	—		340	114	292	178	—	3	3	—	—	—	4	4	972	1430	1400	1800	55.8
N 1034	—	—	170	260	42	237	181	—	2.1	2.1	201	—	—	2.1	2.1	255	365	1700	2200	8.14
N 234	NF 234	NJ 234 + HJ 234		310	52	272	188	—	3	3	220	269	12	4	4	425	650	1500	1900	17.1
N 334	—	—		360	72	310	188	—	3	3	—	—	—	4	4	715	952	1300	1700	36
N 2334	NF 2334	—		360	120	310	188	—	3	3	—	290	—	4	4	1110	1650	1300	1700	63
N 1036	—	—	180	280	46	255	191	—	2.1	2.1	215	—	—	2.1	2.1	300	438	1600	2000	10.1
N 236	NF 236	NJ 236 + HJ 236		320	52	282	198	—	3	3	230	279	12	4	4	425	650	1400	1800	18
N 336	—	—		380	75	328	198	—	3	3	252	—	—	4	4	835	1100	1200	1600	42
N 2336	NF 2336	—		380	126	328	198	—	3	3	—	306	—	4	4	1210	1780	1200	1600	71.2
N 1038	—	—	190	290	46	265	201	—	2.1	2.1	225	—	—	2.1	2.1	335	495	1500	1900	10.0
N 238	NF 238	NJ 238 + HJ 238		340	55	299	208	—	3	3	244	295	13	4	4	512	745	1300	1700	23
N 2238	—	NJ 2238 + HJ 2238		340	92	299	208	—	3	3	—	295	13	4	4	975	1570	1300	1700	38.5
N 338	—	—		400	78	345	212	—	4	4	264	—	—	5	5	882	1190	1100	1500	50
N 1040	—	—	200	310	51	281	211	—	2.1	2.1	239	—	—	2.1	2.1	408	615	1400	1800	14.3
N 240	NF 240	NJ 240 + HJ 240		360	58	316	218	—	3	3	258	312	14	4	4	570	842	1200	1600	26
N 2240	—	NJ 2240 + HJ 2240		360	98	316	218	—	3	3	256	313	14	4	4	1120	1725	1200	1600	—
N 340	—	—		420	80	360	222	—	4	4	280	—	—	5	5	972	1290	1000	1400	—
N 1044	—	—	220	340	56	310	233	—	2.5	2.5	—	—	—	3	3	448	685	1200	1600	—
N 244	NF 244	NJ 244 + HJ 244		400	65	350	238	—	3	3	286	332	15	4	4	702	1050	1000	1400	36
N 2244	—	—		400	108	350	238	—	3	3	—	—	—	4	4	1360	2330	1000	1400	62
N 1048	—	—	240	360	56	330	253	—	2.5	2.5	282	—	—	3	3	470	745	1000	1400	21
N 248	NF 248	NJ 248 + HJ 248		440	72	385	258	—	3	3	313	365	16	4	4	880	1345	900	1200	48.2
N 348	—	—		500	95	430	262	—	4	4	—	—	—	5	5	1290	1810	800	1000	97.1
N 1052	—	—	260	400	65	364	276	—	3	3	309	—	—	4	4	592	932	950	1300	31
N 1056	—	—	280	420	65	384	296	—	3	3	329	—	—	4	4	600	965	850	1100	33
N 1060	—	—	300	460	74	420	316	—	3	3	356	—	—	4	4	880	1470	800	1000	44.4
N 260	—	—		540	85	475	322	487	4	4	—	—	—	5	5	1360	2190	700	900	87.2
N 1064	—	—	320	480	74	440	336	—	3	3	376	—	—	4	4	890	1520	750	950	47
N 1080	—	—	400	600	90	550	420	—	4	4	470	—	—	5	5	1420	2480	560	700	88.8

3.6 调心滚子轴承

表 5.3-37 调心滚子轴承(摘自 GB/T 288—1994)



代号含义:
C—内圈无挡边,带活动中挡圈,冲压保持架
K—圆锥孔,锥度 1:12
W33—外圈有润滑油槽和 3 个油孔
TN1—尼龙保持架
径向当量动载荷:
当 $F_a/F_r \leq e$ 时, $P_r = F_r + Y_1 F_a$
当 $F_a/F_r > e$ 时, $P_r = 0.67 F_r + Y_2 F_a$
径向当量静载荷:
 $P_{0r} = F_r + Y_0 F_a$

轴承代号		基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm				基本额定载荷/kN		极限转速 /r · min ⁻¹		计算系数				质量/kg
圆柱孔	圆锥孔	d	D	B	d _a min	D _a max	r _a max	d ₂ ≈	D ₂ ≈	B ₀	r min	C _r	C _{0r}	脂	油	e	Y ₁	Y ₂	Y ₀	W ≈
22206	—	30	62	20	36	56	1	40.6	52.1	—	1	30.5	38.2	5300	6700	0.35	1.9	2.8	1.9	—
22206 C	—		62	20	36	56	1	40.0	52.7	5.5	1	51.8	56.8	6300	8000	0.33	2.0	3.0	2.0	0.3
22207	—	35	72	23	42	65	1	44.5	59.3	—	1.1	45.2	59.5	4800	6000	0.36	1.9	2.8	1.8	0.43
22207 C/W33	—		72	23	42	65	1	46.5	61.1	5.5	1.1	66.5	76.0	5300	6700	0.31	2.1	3.2	2.1	0.45
21307 TN1	21307 KTN1		80	21	44	71	1.5	47.6	67.8	—	1.5	72.2	75.5	4000	5300	0.27	2.5	3.8	2.5	0.507
22208	22208 K	40	80	23	47	73	1	52.6	66.5	—	1.1	49.8	68.5	4500	5600	0.32	2.1	3.1	2.1	0.55
22208 C/W33	22208 CK/W33		80	23	47	73	1	52.6	69.4	5.5	1.1	78.5	90.8	5000	6000	0.28	2.4	3.6	2.3	0.54
22308	22308 K		90	33	49	81	1.5	—	—	—	1.5	73.5	90.5	4000	5000	0.42	1.6	2.4	1.6	1.03
22308 C/W33	22308 CK/W33		90	33	49	81	1.5	51.2	74.1	5.5	1.5	120	138	4300	5300	0.38	1.8	2.6	1.7	1.0
22308 TN1/W33	22308 KTN1/W33		90	33	48	81	1.5	50.9	74.8	5.5	1.5	130	148	4500	6000	0.38	1.8	2.7	1.8	1.02

(续)

轴承代号		基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm				基本额定载荷/kN		极限转速 /r · min ⁻¹		计算系数				质量/kg
圆柱孔	圆锥孔	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₂</i> ≈	<i>D₂</i> ≈	<i>B₀</i>	<i>r</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>e</i>	<i>Y₁</i>	<i>Y₂</i>	<i>Y₀</i>	<i>W</i> ≈
22209	22209 K	45	85	23	52	78	1	58.1	71.7	—	1.1	52.2	73.2	4000	5000	0.30	2.3	3.4	2.2	0.59
22209 C/W33	22209 CK/W33		85	23	52	78	1	56.6	73.5	5.5	1.1	82.0	97.5	4500	5600	0.27	2.5	3.8	2.5	0.58
22309	22309 K		100	36	54	91	1.5	—	—	—	1.5	108	140	3600	4500	0.41	1.6	2.4	1.6	1.4
22309 C/W33	22309 CK/W33		100	36	54	91	1.5	57.3	82	5.5	1.5	142	170	3800	4800	0.38	1.8	2.6	1.7	1.38
22309 TN1/W33	22309 KTN1/W33		100	36	54	91	1.5	57.6	83.3	5.5	1.5	160	185	4000	5300	0.37	1.8	2.7	1.8	1.39
22210	22210K	50	90	23	57	83	1	63.1	76.9	—	1.1	52.2	73.2	3800	4800	0.30	2.4	3.6	2.4	0.87
22210 C/W33	22210 CK/W33		90	23	57	83	1	61.6	78.7	5.5	1.1	84.5	105	4000	5000	0.24	2.8	4.1	2.7	0.62
22310	22310 K		110	40	60	100	2	66.5	90.9	—	2	128	170	3400	4300	0.41	1.6	2.4	1.6	1.9
22310 C/W33	22310 CK/W33		110	40	60	100	2	63.2	92.1	5.5	2	175	210	3400	4300	0.37	1.8	2.7	1.8	1.85
22310 TN1/W33	22310 KTN1/W33		110	40	60	100	2	64.1	92.7	5.5	2	192	228	3800	4800	0.37	1.8	2.8	1.8	1.84
22211	22211 K	55	100	25	64	91	1.5	69.6	85	—	1.5	60	87.2	3400	4300	0.28	2.5	3.7	2.4	—
22211 C/W33	22211 CK/W33		100	25	64	91	1.5	68	87.9	5.5	1.5	102	125	3600	4500	0.24	2.8	4.1	2.7	0.84
22311	22311 K		120	43	65	110	2	—	—	—	2	155	198	3000	3800	0.39	1.7	2.6	1.7	2.4
22311 C/W33	22311 CK/W33		120	43	65	110	2	68.9	100.5	5.5	2	208	250	3000	3800	0.37	1.8	2.7	1.8	2.35
22311 TN1/W33	22311 KTN1/W33		120	43	65	110	2	68.8	101.2	5.5	2	225	262	3400	4300	0.36	1.9	2.8	1.8	2.32
22212	22212 K	60	110	28	69	101	1.5	75.7	93.5	—	1.5	81.8	122	3200	4000	0.28	2.4	3.6	2.4	1.22
22212 C/W33	22212 CK/W33		110	28	69	101	1.5	75	96.4	5.5	1.5	122	155	3200	4000	0.24	2.8	4.1	2.7	1.2
22312	22312 K		130	46	72	118	2.1	79	107.9	—	2.1	168	225	2800	3600	0.40	1.7	2.5	1.6	3.0
22312 C/W33	22312 CK/W33		130	46	72	118	2.1	74.7	108.8	5.5	2.1	238	285	2800	3600	0.37	1.8	2.7	1.8	2.95
22312 TN1/W33	22312 KTN1/W33		130	46	72	118	2.1	75.5	109.6	5.5	2.1	262	312	3200	4000	0.36	1.9	2.8	1.9	2.96
22213	22213 K	65	120	31	74	111	1.5	83	102.3	—	1.5	88.5	128	2800	3600	0.28	2.4	3.6	2.4	1.63
22213 C/W33	22213 CK/W33		120	31	74	111	1.5	81	103.9	5.5	1.5	150	195	2800	3600	0.25	2.7	4.0	2.6	1.6
22313	22313 K		140	48	77	128	2.1	—	—	—	2.1	188	252	2400	3200	0.39	1.7	2.6	1.7	3.6
22313 C/W33	22313 CK/W33		140	48	77	128	2.1	81.4	117.3	5.5	2.1	260	315	2400	3200	0.35	1.9	2.9	1.9	3.55
22313 TN1/W33	22313 KTN1/W33		140	48	77	128	2.1	81.5	118.5	5.5	2.1	295	355	3000	3800	0.35	2.0	2.9	1.9	3.57

(续)

轴承代号		基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm				基本额定载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数				质量/kg
圆柱孔	圆锥孔	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₂</i> ≈	<i>D₂</i> ≈	<i>B₀</i>	<i>r</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>e</i>	<i>Y₁</i>	<i>Y₂</i>	<i>Y₀</i>	<i>W</i> ≈
22214	22214 K	70	125	31	79	116	1.5	87.4	106	—	1.5	95	142	2600	3400	0.27	2.4	3.7	2.4	1.66
22214 C/W33	22214 CK/W33		125	31	79	116	1.5	85.8	109.5	5.5	1.5	158	205	2600	3400	0.23	2.9	4.3	2.8	1.7
22314	22314 K		150	51	82	138	2.1	92	126.6	—	2.1	230	315	2200	3000	0.37	1.8	2.7	1.8	4.4
22314 C/W33	22314 CK/W33		150	51	82	138	2.1	88.1	125.9	8.3	2.1	292	362	2200	3000	0.35	1.9	2.9	1.9	4.4
22314 TN1/W33	22314 KTN1/W33		150	51	82	138	2.1	87.7	126.5	8.3	2.1	332	405	2800	3400	0.34	2.0	2.9	1.9	4.35
22215	22215 K	75	130	31	84	121	1.5	94	113.3	—	1.5	95	142	2400	3200	0.26	2.6	3.9	2.6	1.75
22215 C/W33	22215 CK/W33		130	31	84	121	1.5	90.5	114.7	5.5	1.5	162	215	2400	3200	0.22	3.0	4.5	2.9	1.8
22315	22315 K		160	55	87	148	2.1	—	—	—	2.1	262	388	2000	2800	0.36	1.7	2.6	1.7	5.4
22315 C/W33	22315 CK/W33		160	55	87	148	2.1	94.5	133.6	8.3	2.1	342	438	2000	2800	0.35	1.9	2.9	1.9	5.25
22315 TN1/W33	22315 KTN1/W33		160	55	87	148	2.1	93.7	135.1	8.3	2.1	380	470	2600	3200	0.35	2.0	2.9	1.9	5.33
22216	22216 K	80	140	33	90	130	2	99	120.7	—	2	115	180	2200	3000	0.25	2.7	4.0	2.6	2.2
22216 C/W33	22216 CK/W33		140	33	90	130	2	97.6	120.7	5.5	2	175	238	2200	3000	0.22	3.0	4.5	2.9	2.2
22316	22316 K		170	58	92	158	2.1	105	143.7	—	2.1	288	405	1900	2600	0.37	1.8	2.7	1.8	6.4
22316 C/W33	22316 CK/W33		170	58	92	158	2.1	100.4	142.5	8.3	2.1	385	498	1900	2600	0.35	1.9	2.9	1.9	6.39
22316 TN1/W33	22316 KTN1/W33		170	58	92	158	2.1	100.4	143.6	8.3	2.1	412	515	2400	3000	0.34	2.0	2.9	1.9	6.27
22217	22217 K	85	150	36	95	140	2	105	129.5	—	2	145	228	2000	2800	0.26	2.6	3.9	2.5	2.8
22217 C/W33	22217 CK/W33		150	36	95	140	2	103.4	132.1	8.3	2	210	278	2000	2800	0.22	3.0	4.4	2.9	2.7
22317	22317 K		180	60	99	166	2.5	—	—	—	3	308	440	1800	2400	0.37	1.8	2.7	1.8	7.4
22317 C/W33	22317 CK/W33		180	60	99	166	2.5	106.3	151.4	8.3	3	420	540	1800	2400	0.34	1.9	3.0	2.0	7.25
22317 TN1/W33	22317 KTN1/W33		180	60	99	166	2.5	105.3	152.6	8.3	3	460	572	2200	2800	0.34	2.0	3.0	2.0	7.27
22218	22218 K	90	160	40	100	150	2	112	138.3	—	2	168	272	1900	2600	0.27	2.5	3.8	2.5	4.0
22218 C/W33	22218 CK/W33		160	40	100	150	2	111	141	8.3	2	240	322	1900	2600	0.23	2.9	4.4	2.8	3.28
22318	22318K		190	64	104	176	2.5	118	159.2	—	3	365	542	1700	2200	0.37	1.8	2.7	1.8	8.8
22318 C/W33	22318 CK/W33		190	64	104	176	2.5	112.7	159.5	8.3	3	475	622	1800	2400	0.34	2.0	2.9	2.0	8.6

(续)

轴承代号		基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm				基本额定载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数				质量/kg
圆柱孔	圆锥孔	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₂ ≈	<i>D</i> ₂ ≈	<i>B</i> ₀	<i>r</i> min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i> ₁	<i>Y</i> ₂	<i>Y</i> ₀	<i>W</i> ≈
22318 TN1/W33	22318 KTN1/W33	90	190	64	104	176	2.5	111.8	160.8	8.3	3	518	660	2200	2600	0.34	2.0	3.0	2.0	8.72
22219	22219 K	95	170	43	107	158	2.1	119	148.4	—	2.1	212	322	1800	2400	0.27	2.5	3.7	2.4	4.2
22219 C/W33	22219 CK/W33		170	43	107	158	2.1	117	148.4	8.3	2.1	278	380	1900	2600	0.24	2.9	4.4	2.7	4.1
22319	22319 K		200	67	109	186	2.5	—	—	—	3	385	570	1600	2000	0.38	1.8	2.7	1.8	10.3
22319 C/W33	22319 CK/W33		200	67	109	186	2.5	118.5	168	8.3	3	520	688	1700	2200	0.34	2.0	3.0	2.0	10.1
22319 TN1/W33	22319 KTN1/W33		200	67	109	186	2.5	117.5	169.2	8.3	3	568	728	2000	2600	0.34	2.0	3.0	2.0	10.1
23120 C/W33	23120 CK/W33	100	165	52	110	155	2	115.4	144.1	5.5	2	320	505	1600	2000	0.30	2.3	3.4	2.2	5
22220	22220 K		180	46	112	168	2.1	125	156.1	—	2.1	222	358	1700	2200	0.27	2.5	3.7	2.4	5
22220 C/W33	22220 CK/W33		180	46	112	168	2.1	124	158	8.3	2.1	310	425	1800	2400	0.23	2.9	4.3	2.8	5
23220 C/W33	23220 CK/W33		180	60.3	112	168	2.1	118.5	154.4	5.5	2.1	415	618	1600	2000	0.33	2.0	3.0	2.0	6.7
22320	22320 K		215	73	114	201	2.5	135	181.5	—	3	450	668	1400	1800	0.37	1.8	2.7	1.8	13
22320 C/W33	22320 CK/W33		215	73	114	201	2.5	126.5	179.6	11.1	3	608	815	1400	1800	0.35	1.9	2.9	1.9	13.4
22320 TN1/W33	22320 KTN1/W33		215	73	114	201	2.5	125.7	180.9	11.1	3	658	855	1900	2400	0.34	2.0	2.9	1.9	13
23121	23121 K		175	56	119	161	2.5	—	—	—	2	242	480	1400	1800	0.32	2.1	3.1	2.1	6.64
23022	23022 K	110	170	45	120	160	2	—	—	—	2	195	410	1400	1800	0.26	2.6	3.9	2.6	3.9
23022 C/W33	23022CK/W33		170	45	120	160	2	125.4	152	5.5	2	270	448	1400	1800	0.24	2.8	4.2	2.8	3.9
23122	23122 K		180	56	120	170	2	—	—	—	2	262	475	1300	1700	0.32	2.1	3.1	2.1	3.1
23122 C/W33	23122 CK/W33		180	56	120	170	2	126.3	157.8	5.5	2	375	595	1300	1700	0.29	2.3	3.4	2.3	6.25
22222	22222 K		200	53	122	188	2.1	138	173.4	—	2.1	288	465	1500	1900	0.28	2.4	3.6	2.3	7.4
22222 C/W33	22222 CK/W33		200	53	122	188	2.1	137	173.6	8.3	2.1	405	575	1700	2200	0.25	2.7	4.0	2.6	7.2
23222 C/W33	23222 CK/W33		200	69.8	122	188	2.1	130.1	169	5.5	2.1	515	785	1400	1800	0.33	2.0	3.0	2.0	9.7
22322	22322 K		240	80	124	226	2.5	149	201.1	—	3	545	832	1200	1600	0.37	1.9	2.7	1.8	18.1
22322 C/W33	22322 CK/W33		240	80	124	226	2.5	140.9	199.4	13.9	3	695	935	1500	1900	0.34	2.0	2.9	1.9	18
22322 TN1//W33	22322 KTN1/W33		240	80	124	226	2.5	140	200.7	13.9	3	795	1058	1700	2200	0.34	2.0	3.0	2.0	18.2

(续)

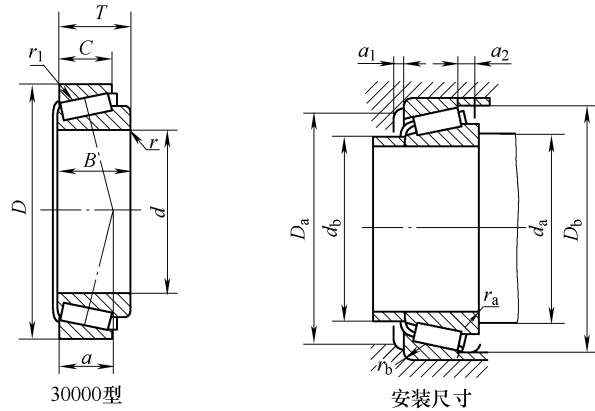
轴承代号		基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm				基本额定载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数				质量/kg
圆柱孔	圆锥孔	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₂</i> ≈	<i>D₂</i> ≈	<i>B₀</i>	<i>r</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>e</i>	<i>Y₁</i>	<i>Y₂</i>	<i>Y₀</i>	<i>W</i> ≈
23024	23024 K	120	180	46	130	170	2	—	—	—	2	212	470	1200	1600	0.25	2.7	4.0	2.6	4.3
23024 C/W33	23024 CK/W33		180	46	130	170	2	134.5	162.1	5.5	2	295	495	1400	1800	0.22	3.0	4.6	2.8	—
23124	23124 K		200	62	130	190	2	139.1	175	—	2	290	572	1100	1500	0.32	2.1	3.1	2.0	7.63
23124 C/W33	23124 CK/W33		200	62	130	190	2	139.1	175	5.5	2	450	715	1300	1700	0.28	2.4	3.6	2.5	—
22224	22224 K		215	58	132	203	2.1	149	187.7	—	2.1	342	565	1300	1700	0.29	2.4	3.5	2.3	9.2
22224 C/W33	22224 CK/W33		215	58	132	203	2.1	148	187.9	11.1	2.1	470	678	1600	2000	0.24	2.8	4.1	2.7	8.9
23224 C/W33	23224 CK/W33		215	76	132	203	2.1	141	182.5	8.3	2.1	602	940	1300	1700	0.35	1.9	2.9	1.9	12
22324	22324 K		260	86	134	246	2.5	162	218.4	—	3	645	992	1100	1500	0.37	1.9	2.7	1.8	22
22324 C/W33	22324 CK/W33		260	86	134	246	2.5	152	216.5	13.9	3	822	1120	1300	1700	0.34	2.0	2.9	1.9	22
22324 TN1/W33	22324 KTN1/W33		260	86	134	246	2.5	152.4	216.6	13.9	3	910	1230	1500	1900	0.34	2.0	3.0	2.0	22.9
23026	23026 K	130	200	52	140	190	2	—	—	—	2	270	608	1100	1500	0.26	2.6	3.8	2.5	6.2
23026 C/W33	23026 CK/W33		200	52	140	190	2	148.5	180.3	5.5	2	372	625	1200	1600	0.23	2.9	4.4	2.8	—
23126 C/W33	23126 CK/W33		210	64	140	200	2	148	183.8	8.3	2	478	788	1300	1700	0.28	2.4	3.6	2.5	—
22226	22226 K		230	64	144	216	2.5	161	201	—	3	408	708	1200	1600	0.29	2.3	3.4	2.3	11.2
22226 C/W33	22226 CK/W33		230	64	144	216	2.5	159	200.7	11.1	3	550	810	1400	1800	0.26	2.6	3.9	2.5	11.2
23226 C/W33	23226 CK/W33		230	80	144	216	2.5	152.1	196.2	8.3	3	668	1060	1200	1600	0.33	2.0	3.0	2.0	14
22326	22326 K		280	93	148	262	3	176	234.3	—	4	722	1140	950	1300	0.39	1.7	2.6	1.7	29
22326 C/W33	22326 CK/W33		280	93	148	262	3	164	233.2	16.7	4	942	1300	1200	1600	0.34	1.9	2.9	1.9	28.5
22326 TN1/W33	22326 KTN1/W33		280	93	148	262	3	164.6	233.5	16.7	4	1050	1440	1400	1800	0.34	2.0	3.0	2.0	28.6
23028	23028 K	140	210	53	150	200	2	—	—	—	2	285	635	950	1300	0.25	2.7	4.0	2.6	6.7
23028 C/W33	23028 CK/W33		210	53	150	200	2	158.2	190.2	8.3	2	402	698	1100	1500	0.22	3.0	4.6	2.8	—
23128	23128 K		225	68	152	213	2.1	—	—	—	2.1	398	605	950	1300	0.29	2.3	3.4	2.3	10.9
23128 C/W33	23128 CK/W33		225	68	152	213	2.1	159.7	197.2	8.3	2.1	545	925	1100	1500	0.28	2.4	3.6	2.5	—
22228	22228 K		250	68	154	236	2.5	175	219.7	—	3	478	805	1000	1400	0.29	2.3	3.5	2.3	14.5
22228 C/W33	22228 CK/W33		250	68	154	236	2.5	173	218.3	11.1	3	628	930	1300	1700	0.25	2.7	3.9	2.5	14.5
23228 C/W33	23228 CK/W33		250	88	154	236	2.5	163.6	212.4	11.1	3	802	1280	1000	1400	0.35	1.9	2.9	1.9	18.5
22328	22328 K		300	102	158	282	3	184.5	246.6	—	4	825	1340	900	1200	0.38	1.8	2.6	1.7	36
22328 C/W33	22328 CK/W33		300	102	158	282	3	177.2	250.1	16.7	4	1110	1570	1100	1500	0.34	1.9	2.9	1.9	34.5
22328 TN1/W33	22328 KTN1/W33		300	102	158	282	3	176.3	250.3	16.7	4	1230	1720	1300	1700	0.34	2.0	2.9	1.9	36.2

(续)

轴承代号		基本尺寸/mm			安装尺寸/mm			其他尺寸/mm				基本额定载荷/kN		极限转速 /r · min ⁻¹		计算系数				质量/kg
圆柱孔	圆锥孔	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₂ ≈	<i>D</i> ₂ ≈	<i>B</i> ₀	<i>r</i> min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i> ₁	<i>Y</i> ₂	<i>Y</i> ₀	<i>W</i> ≈
23030	23030 K	150	225	56	162	213	2.1	—	—	—	2.1	328	768	900	1200	0.25	2.7	4.0	2.5	8.14
23030 C/W33	23030 CK/W33		225	56	162	213	2.1	168.8	202.9	8.3	2.1	438	762	1100	1400	0.22	3.0	4.6	2.8	—
23130	23130 K		250	80	162	238	2.1	—	—	—	2.1	512	1080	850	1100	0.33	2.0	3.0	2.0	16.1
23130 C/W33	23130 CK/W33		250	80	162	238	2.1	173.1	216.3	11.1	2.1	725	1230	1000	1300	0.30	2.3	3.4	2.2	—
22230	22230 K		270	73	164	256	2.5	188	236.2	—	3	508	875	950	1300	0.29	2.3	3.5	2.3	18.5
22230 C/W33	22230 CK/W33		270	73	164	256	2.5	185	234.7	13.9	3	738	1100	1200	1600	0.26	2.6	3.9	2.5	18.6
23230 C/W33	23230 CK/W33		270	96	164	256	2.5	176.6	228.5	11.1	3	935	1520	950	1300	0.35	1.9	2.9	1.9	24
22330	22330 K		320	108	168	302	3	198	269.2	—	4	1020	1740	850	1100	0.36	1.9	2.8	1.8	43
22330 TN1/W33	22330 KTN1/W33		320	108	168	302	3	190.8	267.3	16.7	4	1370	1970	1200	1500	0.34	2.0	3.0	1.9	43.6
23032	23032 K	160	240	60	172	228	2.1	—	—	—	2.1	368	825	850	1100	0.25	2.7	4.0	2.6	10
23032 C/W33	23032 CK/W33		240	60	172	228	2.1	179.5	216.3	11.1	2.1	500	875	1000	1300	0.22	3.0	4.6	2.8	—
23132	23132 K		270	86	172	258	2.1	—	—	—	2.1	520	1110	800	1000	0.34	2.0	2.9	2.0	19.7
23132 C/W33	23132 CK/W33		270	86	172	258	2.1	185.4	234.4	13.9	2.1	845	1420	900	1200	0.30	2.3	3.4	2.2	—
22232	22232 K		290	80	174	276	2.5	200	252.2	—	3	642	1140	900	1200	0.30	2.3	3.4	2.2	22.2
22232 C/W33	22232 CK/W33		290	80	174	276	2.5	199	251.2	13.9	3	825	1250	1000	1400	0.26	2.6	3.9	2.5	23.1
23232 C/W33	23232 CK/W33		290	104	174	276	2.5	189	244.9	13.9	3	1080	1760	900	1200	0.35	1.9	2.9	1.9	30
22332	22332 K		340	114	178	322	3	213	279.4	—	4	1040	1770	800	1000	0.38	1.8	2.7	1.8	51
23034	23034 K	170	260	67	182	248	2.1	—	—	—	2.1	445	1010	800	1000	0.26	2.6	3.8	2.5	13
23034 C/W33	23034 CK/W33		260	67	182	248	2.1	192.8	233	11.1	2.1	608	1080	900	1200	0.23	2.9	4.4	2.8	—
23134 C/W33	23134 CK/W33		280	88	182	268	2.1	195.5	244.3	13.9	2.1	885	1520	850	1100	0.30	2.3	3.4	2.2	—
22234	22234 K		310	86	188	292	3	212	267.5	—	4	720	1300	850	1100	0.30	2.3	3.4	2.2	29
22334	22334 K		360	120	188	342	3	227.4	319	—	4	1150	2060	750	950	0.39	1.7	2.6	1.7	60
23036	23036 K	180	280	74	192	268	2.1	—	—	—	2.1	540	1230	750	950	0.26	2.6	3.8	2.5	17.6
23036 C/W33	23036 CK/W33		280	74	192	268	2.1	205	249.8	13.9	2.1	710	1260	800	1000	0.24	2.8	4.2	2.8	—
23136	23136 K		300	96	194	286	2.5	—	—	—	3	695	1480	750	900	0.32	2.1	3.1	2.1	27.1
23136 C/W33	23136 CK/W33		300	96	194	286	2.5	208.6	260.7	13.9	3	1030	1800	800	1000	0.30	2.3	3.4	2.2	—
22236	22236 K		320	86	198	302	3	222	276.9	—	4	735	1370	800	1000	0.29	2.3	3.5	2.3	30.0
22336	22336 K		380	126	198	362	3	240.8	336.5	—	4	1260	2270	700	900	0.38	1.8	2.6	1.7	70

3.7 圆锥滚子轴承

表 5.3-38 单列圆锥滚子轴承(摘自 GB/T 297—1994)



径向当量动载荷:

$$P_r = F_r \quad \text{当 } F_a/F_r \leq e$$

$$P_r = 0.4F_r + YF_a \quad \text{当 } F_a/F_r > e$$

径向当量静载荷:

$$P_{0r} = 0.5F_r + Y_0F_a$$

若 $P_{0r} < F_r$ 取 $P_{0r} = F_r$

附加轴向力

$$S \approx F_r / (2Y)$$

最小径向载荷 $F_{rmin} = 0.02C_r$

轴承代号	基本尺寸/mm					安装尺寸/mm										其他尺寸/mm			基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数			质量 /kg
30000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>d</i> _a min	<i>d</i> _b min	<i>D</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>D</i> _b min	<i>a</i> ₁ min	<i>a</i> ₂ min	<i>r</i> _a max	<i>r</i> _b max	<i>a</i> ≈	<i>r</i> min	<i>r</i> ₁ min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i>	<i>Y</i> ₀	<i>W</i> ≈	
32904	20	37	12	12	9	—	—	—	—	—	—	—	0.3	0.3	8.2	0.3	0.3	13.2	17.5	9500	13000	0.32	1.9	1	0.056	
32004		42	15	15	12	25	25	36	37	39	3	3	0.6	0.6	10.3	0.6	0.6	25.0	28.2	8500	11000	0.37	1.6	0.9	0.095	
30204		47	15.25	14	12	26	27	40	41	43	2	3.5	1	1	11.2	1	1	28.2	30.5	8000	10000	0.35	1.7	1	0.126	
30304		52	16.25	15	13	27	28	44	45	47	3	3.5	1.5	1.5	11.1	1.5	1.5	33.0	33.2	7500	9500	0.3	2	1.1	0.165	
32304		52	22.25	21	18	27	26	43	45	47	3	4.5	1.5	1.5	13.6	1.5	1.5	42.8	46.2	7500	9500	0.3	2	1.1	0.230	
329/22	22	40	12	12	9	—	—	—	—	—	—	—	0.3	0.3	8.5	0.3	0.3	15.0	20.0	8500	11000	0.32	1.9	1	0.065	
320/22		44	15	15	11.5	27	27	38	39	41	3	3.5	0.6	0.6	10.8	0.6	0.6	26.0	30.2	8000	10000	0.40	1.5	0.8	0.100	
32905	25	42	12	12	9	—	—	—	—	—	—	—	0.3	0.3	8.7	0.3	0.3	16.0	21.0	6300	10000	0.32	1.9	1	0.064	
32005		47	15	15	11.5	30	30	40	42	44	3	3.5	0.6	0.6	11.6	0.6	0.6	28.0	34.0	7500	9500	0.43	1.4	0.8	0.11	
33005		47	17	17	14	30	30	40	42	45	3	3	0.6	0.6	11.1	0.6	0.6	32.5	42.5	7500	9500	0.29	2.1	1.1	0.129	
30205		52	16.25	15	13	31	31	44	46	48	2	3.5	1	1	12.5	1	1	32.2	37.0	7000	9000	0.37	1.6	0.9	0.154	
33205		52	22	22	18	31	30	43	46	49	4	4	1	1	14.0	1	1	47.0	55.8	7000	9000	0.35	1.7	0.9	0.216	
30305		62	18.25	17	15	32	35	54	55	57	3	3.5	1.5	1.5	13.0	1.5	1.5	46.8	48.0	6300	8000	0.3	2	1.1	0.263	
31305		62	18.25	17	13	32	35	47	55	59	3	5.5	1.5	1.5	20.1	1.5	1.5	40.5	46.0	6300	8000	0.83	0.7	0.4	0.262	
32305		62	25.25	24	20	32	33	52	55	57	3	5.5	1.5	1.5	15.9	1.5	1.5	61.5	68.8	6300	8000	0.3	2	1.1	0.368	

(续)

轴承代号	基本尺寸/mm					安装尺寸/mm									其他尺寸/mm			基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数			质量 /kg
30000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>d_a</i> min	<i>d_b</i> max	<i>D_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>D_b</i> min	<i>a₁</i> min	<i>a₂</i> min	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>a</i> ≈	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i>	<i>Y₀</i>	<i>W</i> ≈
329/28	28	45	12	12	9	—	—	—	—	—	—	—	0.3	0.3	9.0	0.3	0.3	16.8	22.8	7500	9500	0.32	1.9	1	0.069
320/28		52	16	16	12	34	33	45	46	49	3	4	1	1	12.6	1	1	31.5	40.5	6700	8500	0.43	1.4	0.8	0.142
332/28		58	24	24	19	34	33	49	52	55	4	5	1	1	15.0	1	1	58.0	68.2	6300	8000	0.34	1.8	1.0	0.286
32906	30	47	12	12	9	—	—	—	—	—	—	—	0.3	0.3	9.2	0.3	0.3	17.0	23.2	7000	9000	0.32	1.9	1	0.072
32006		55	17	17	13	36	35	48	49	52	3	4	1	1	13.3	1	1	35.8	46.8	6300	8000	0.43	1.4	0.8	0.170
33006		55	20	20	16	36	35	48	49	52	3	4	1	1	12.8	1	1	43.8	58.8	6300	8000	0.29	2.1	1.1	0.201
30206		62	17.25	16	14	36	37	53	56	57	2	3.5	1	1	13.8	1	1	43.2	50.5	6000	7500	0.37	1.6	0.9	0.231
32206		62	21.25	20	17	36	37	52	56	58	3	4.5	1	1	15.6	1	1	51.8	63.8	6000	7500	0.37	1.6	0.9	0.287
33206		62	25	25	19.5	36	36	53	56	59	5	5.5	1	1	15.7	1	1	63.8	75.5	6000	7500	0.34	1.8	1	0.342
30306		72	20.75	19	16	37	41	62	65	66	3	5	1.5	1.5	15.3	1.5	1.5	59.0	63.0	5600	7000	0.31	1.9	1.1	0.387
31306		72	20.75	19	14	37	38	55	65	68	3	7	1.5	1.5	23.1	1.5	1.5	52.5	60.5	5600	7000	0.83	0.7	0.4	0.392
32306		72	28.75	27	23	37	39	59	65	66	4	6	1.5	1.5	18.9	1.5	1.5	81.5	96.5	5600	7000	0.31	1.9	1.1	0.562
329/32	32	52	14	14	10	37	37	46	47	49	3	4	0.6	0.6	10.2	0.6	0.6	23.8	32.5	6300	8000	0.32	1.9	1	0.106
320/32		58	17	17	13	38	38	50	52	55	3	4	1	1	14.0	1	1	36.5	49.2	6000	7500	0.45	1.3	0.7	0.187
332/32		65	26	26	20.5	38	38	55	59	62	5	5.5	1	1	16.6	1	1	68.8	82.2	5600	7000	0.35	1.7	1	0.385
32907	35	55	14	14	11.5	40	40	49	50	52	3	2.5	0.6	0.6	10.1	0.6	0.6	25.8	34.8	6000	7500	0.29	2.1	1.1	0.114
32007		62	18	18	14	41	40	54	56	59	4	4	1	1	15.1	1	1	43.2	59.2	5600	7000	0.44	1.4	0.8	0.224
33007		62	21	21	17	41	41	54	56	59	3	4	1	1	13.5	1	1	46.8	63.2	5600	7000	0.31	2	1.1	0.254
30207		72	18.25	17	15	42	44	62	65	67	3	3.5	1.5	1.5	15.3	1.5	1.5	54.2	63.5	5300	6700	0.37	1.6	0.9	0.331
32207		72	24.25	23	19	42	43	61	65	67	3	5.5	1.5	1.5	17.9	1.5	1.5	70.5	89.5	5300	6700	0.37	1.6	0.9	0.445
33207		72	28	28	22	42	42	61	65	68	5	6	1.5	1.5	18.2	1.5	1.5	82.5	102	5300	6700	0.35	1.7	0.9	0.515
30307		80	22.75	21	18	44	45	70	71	74	3	5	2	1.5	16.8	2	1.5	75.2	82.5	5000	6300	0.31	1.9	1.1	0.515
31307		80	22.75	21	15	44	43	62	71	76	4	8	2	1.5	25.8	2	1.5	65.8	76.8	5000	6300	0.83	0.7	0.4	0.514
32307		80	32.75	31	25	44	44	66	71	74	4	8	2	1.5	20.4	2	1.5	99.0	118	5000	6300	0.31	1.9	1.1	0.763
32908	40	62	15	15	12	45	45	55	57	59	3	3	0.6	0.6	11.1	0.6	0.6	31.5	46.0	5600	7000	0.29	2.1	1.1	0.155
32008		68	19	19	14.5	46	46	60	62	65	4	4.5	1	1	14.9	1	1	51.8	71.0	5300	6700	0.38	1.6	0.9	0.267
33008		68	22	22	18	46	46	60	62	64	3	4	1	1	14.1	1	1	60.2	79.5	5300	6700	0.28	2.1	1.2	0.306
33108		75	26	26	20.5	47	47	65	68	71	4	5.5	1.5	1.5	18.0	1.5	1.5	84.8	110	5000	6300	0.36	1.7	0.9	0.496
30208		80	19.75	18	16	47	49	69	73	74	3	4	1.5	1.5	16.9	1.5	1.5	63.0	74.0	5000	6300	0.37	1.6	0.9	0.422
32208		80	24.75	23	19	47	48	68	73	75	3	6	1.5	1.5	18.9	1.5	1.5	77.8	97.2	5000	6300	0.37	1.6	0.9	0.532
33208		80	32	32	25	47	47	67	73	76	5	7	1.5	1.5	20.8	1.5	1.5	105	135	5000	6300	0.36	1.7	0.9	0.715
30308		90	25.25	23	20	49	52	77	81	82	3	5.5	2	1.5	19.5	2	1.5	90.8	108	4500	5600	0.35	1.7	1	0.747
31308		90	25.25	23	17	49	49	71	81	86	4	8.5	2	1.5	29.0	2	1.5	81.5	96.5	4500	5600	0.83	0.7	0.4	0.727
32308	90	35.25	33	27	49	50	73	81	82	4	8.5	2	1.5	23.3	2	1.5	115	148	4500	5600	0.35	1.7	1	1.04	

(续)

轴承代号	基本尺寸/mm					安装尺寸/mm									其他尺寸/mm			基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数			质量 /kg
30000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>d</i> _a min	<i>d</i> _b max	<i>D</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>D</i> _b min	<i>a</i> ₁ min	<i>a</i> ₂ min	<i>r</i> _a max	<i>r</i> _b max	<i>a</i> ≈	<i>r</i> min	<i>r</i> ₁ min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i>	<i>Y</i> ₀	<i>W</i> ≈
32909	45	68	15	15	12	50	50	61	63	65	3	3	0.6	0.6	12.2	0.6	0.6	32.0	48.5	5300	6700	0.32	1.9	1	0.180
32009		75	20	20	15.5	51	51	67	69	72	4	4.5	1	1	16.5	1	1	58.5	81.5	5000	6300	0.39	1.5	0.8	0.337
33009		75	24	24	19	51	51	67	69	72	4	5	1	1	15.9	1	1	72.5	100	5000	6300	0.32	1.9	1	0.398
33109		80	26	26	20.5	52	52	69	73	77	4	5.5	1.5	1.5	19.1	1.5	1.5	87.0	118	4500	5600	0.38	1.6	1	0.535
30209		85	20.75	19	16	52	54	74	78	80	3	5	1.5	1.5	18.6	1.5	1.5	67.8	83.5	4500	5600	0.4	1.5	0.8	0.474
32209		85	24.75	23	19	52	53	73	78	80	3	6	1.5	1.5	20.1	1.5	1.5	80.8	105	4500	5600	0.4	1.5	0.8	0.573
33209		85	32	32	25	52	52	72	78	81	5	7	1.5	1.5	21.9	1.5	1.5	110	145	4500	5600	0.39	1.5	0.9	0.771
30309		100	27.25	25	22	54	59	86	91	92	3	5.5	2	1.5	21.3	2	1.5	108	130	4000	5000	0.35	1.7	1	0.984
31309		100	27.25	25	18	54	55	79	91	95	4	9.5	2	1.5	31.7	2	1.5	95.5	115	4000	5000	0.83	0.7	0.4	0.944
32309		100	38.25	36	30	54	56	82	91	93	4	8.5	2	1.5	25.6	2	1.5	145	188	4000	5000	0.35	1.7	1	1.40
32910	50	72	15	15	12	55	55	64	67	69	3	3	0.6	0.6	13.0	0.6	0.6	36.8	56.0	5000	6300	0.34	1.8	1	0.181
32010		80	20	20	15.5	56	56	72	74	77	4	4.5	1	1	17.8	1	1	61.0	89.0	4500	5600	0.42	1.4	0.8	0.366
33010		80	24	24	19	56	56	72	74	76	4	5	1	1	17.0	1	1	76.8	110	4500	5600	0.32	1.9	1	0.433
33110		85	26	26	20	57	56	74	78	82	4	6	1.5	1.5	20.4	1.5	1.5	89.2	125	4300	5300	0.41	1.5	0.8	0.572
30210		90	21.75	20	17	57	58	79	83	85	3	5	1.5	1.5	20.0	1.5	1.5	73.2	92.0	4300	5300	0.42	1.4	0.8	0.529
32210		90	24.75	23	19	57	58	78	83	85	3	6	1.5	1.5	21.0	1.5	1.5	82.8	108	4300	5300	0.42	1.4	0.8	0.626
33210		90	32	32	24.5	57	57	77	83	87	5	7.5	1.5	1.5	23.2	1.5	1.5	112	155	4300	5300	0.41	1.5	0.8	0.825
30310		110	29.25	27	23	60	65	95	100	102	4	6.5	2	2	23.0	2.5	2	130	158	3800	4800	0.35	1.7	1	1.28
31310		110	29.25	27	19	60	60	87	100	105	4	10.5	2	2	34.8	2.5	2	108	128	3800	4800	0.83	0.7	0.4	1.21
32310		110	42.25	40	33	60	62	90	100	102	5	9.5	2	2	28.2	2.5	2	178	235	3800	4800	0.35	1.7	1	1.89
32911	55	80	17	17	14	61	60	71	74	77	3	3	1	1	14.3	1	1	41.5	66.8	4800	6000	0.31	1.9	1.1	0.262
32011		90	23	23	17.5	62	63	81	83	86	4	5.5	1.5	1.5	19.8	1.5	1.5	80.2	118	4000	5000	0.41	1.5	0.8	0.551
33011		90	27	27	21	62	63	81	83	86	5	6	1.5	1.5	19.0	1.5	1.5	94.8	145	4000	5000	0.31	1.9	1.1	0.651
33111		95	30	30	23	62	62	83	88	91	5	7	1.5	1.5	21.9	1.5	1.5	115	165	3800	4800	0.37	1.6	0.9	0.843
30211		100	22.75	21	18	64	64	88	91	94	4	5	2	1.5	21.0	2	1.5	90.8	115	3800	4800	0.4	1.5	0.8	0.713
32211		100	26.75	25	21	64	63	87	91	95	4	6	2	1.5	22.8	2	1.5	108	142	3800	4800	0.4	1.5	0.8	0.853
33211		100	35	35	27	64	62	85	91	96	6	8	2	1.5	25.1	2	1.5	142	198	3800	4800	0.4	1.5	0.8	1.15
30311		120	31.5	29	25	65	71	104	110	112	4	6.5	2.5	2	24.9	2.5	2	152	188	3400	4300	0.35	1.7	1	1.63
31311		120	31.5	29	21	65	64	94	110	114	4	10.5	2.5	2	37.5	2.5	2	130	158	3400	4300	0.83	0.7	0.4	1.56
32311		120	45.5	43	35	65	68	99	110	111	5	10.5	2.5	2	30.4	2.5	2	202	270	3400	4300	0.35	1.7	1	2.37
32912	60	85	17	17	14	66	65	75	79	82	3	3	1	1	15.1	1	1	46.0	73.0	4000	5000	0.33	1.8	1	0.279
32012		95	23	23	17.5	67	67	85	88	91	4	5.5	1.5	1.5	20.9	1.5	1.5	81.8	122	3800	4800	0.43	1.4	0.8	0.584
33012		95	27	27	21	67	67	85	88	90	5	6	1.5	1.5	19.8	1.5	1.5	96.8	150	3800	4800	0.33	1.8	1	0.691
33112		100	30	30	23	67	67	88	93	96	5	7	1.5	1.5	23.1	1.5	1.5	118	172	3600	4500	0.4	1.5	0.8	0.895
30212		110	23.75	22	19	69	70	96	101	103	4	5	2	1.5	22.3	2	1.5	102	130	3600	4500	0.4	1.5	0.8	0.904

(续)

轴承代号	基本尺寸/mm					安装尺寸/mm										其他尺寸/mm			基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数			质量 /kg
30000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>d_a</i> min	<i>d_b</i> max	<i>D_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>D_b</i> min	<i>a₁</i> min	<i>a₂</i> min	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>a</i> ≈	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i>	<i>Y₀</i>	<i>W</i> ≈	
32212	60	110	29.75	28	24	69	69	95	101	104	4	6	2	1.5	25.0	2	1.5	132	180	3600	4500	0.4	1.5	0.8	1.17	
33212		110	38	38	29	69	69	93	101	105	6	9	2	1.5	27.5	2	1.5	165	230	3600	4500	0.4	1.5	0.8	1.51	
30312		130	33.5	31	26	72	77	112	118	121	5	7.5	2.5	2.1	26.6	3	2.5	170	210	3200	4000	0.35	1.7	1	1.99	
31312		130	33.5	31	22	72	70	103	118	124	5	11.5	2.5	2.1	40.4	3	2.5	145	178	3200	4000	0.83	0.7	0.4	1.90	
32312		130	48.5	46	37	72	73	107	118	121	6	11.5	2.5	2.1	32.0	3	2.5	228	302	3200	4000	0.35	1.7	1	2.90	
32913	65	90	17	17	14	71	70	80	84	87	3	3	1	1	16.2	1	1	45.5	73.2	3800	4800	0.35	1.7	0.9	0.295	
32013		100	23	23	17.5	72	72	90	93	97	4	5.5	1.5	1.5	22.4	1.5	1.5	82.8	128	3600	4500	0.46	1.3	0.7	0.620	
33013		100	27	27	21	72	72	89	93	96	5	6	1.5	1.5	20.9	1.5	1.5	98.0	158	3600	4500	0.35	1.7	1	0.732	
33113		110	34	34	26.5	72	73	96	103	106	6	7.5	1.5	1.5	26.0	1.5	1.5	142	220	3400	4300	0.39	1.6	0.9	1.30	
30213		120	24.75	23	20	74	77	106	111	113	4	5	2	1.5	23.8	2	1.5	120	152	3200	4000	0.4	1.5	0.8	1.13	
32213		120	32.75	31	27	74	75	104	111	115	4	6	2	1.5	27.3	2	1.5	160	222	3200	4000	0.4	1.5	0.8	1.55	
33213		120	41	41	32	74	74	102	111	115	7	9	2	1.5	29.5	2	1.5	202	282	3200	4000	0.39	1.5	0.9	1.99	
30313		140	36	33	28	77	83	122	128	131	5	8	2.5	2.1	28.7	3	2.5	195	242	2800	3600	0.35	1.7	1	2.44	
31313		140	36	33	23	77	76	111	128	133	5	13	2.5	2.1	44.2	3	2.5	165	202	2800	3600	0.83	0.7	0.4	2.37	
32313		140	51	48	39	77	80	117	128	131	6	12	2.5	2.1	34.3	3	2.5	260	350	2800	3600	0.35	1.7	1	3.51	
32914		70	100	20	20	16	76	76	90	94	96	4	4	1	1	17.6	1	1	70.8	115	3600	4500	0.32	1.9	1	0.471
32014	110		25	25	19	77	78	98	103	105	5	6	1.5	1.5	23.8	1.5	1.5	105	160	3400	4300	0.43	1.4	0.8	0.839	
33014	110		31	31	25.5	77	79	99	103	105	5	5.5	1.5	1.5	22.0	1.5	1.5	135	220	3400	4300	0.28	2	1	1.07	
33114	120		37	37	29	79	79	104	111	115	6	8	2	1.5	28.2	2	1.5	172	268	3200	4000	0.39	1.5	1.2	1.70	
30214	125		26.25	24	21	79	81	110	116	118	4	5.5	2	1.5	25.8	2	1.5	132	175	3000	3800	0.42	1.4	0.8	1.26	
32214	125		33.25	31	27	79	80	108	116	119	4	6.5	2	1.5	28.8	2	1.5	168	238	3000	3800	0.42	1.4	0.8	1.64	
33214	125		41	41	32	79	79	107	116	120	7	9	2	1.5	30.7	2	1.5	208	298	3000	3800	0.41	1.5	0.8	2.10	
30314	150		38	35	30	82	89	130	138	140	5	8	2.5	2.1	30.7	3	2.5	218	272	2600	3400	0.35	1.7	1	2.98	
31314	150		38	35	25	82	81	118	138	142	5	13	2.5	2.1	46.8	3	2.5	188	230	2600	3400	0.83	0.7	0.4	2.86	
32314	150		54	51	42	82	86	125	138	140	6	12	2.5	2.1	36.5	3	2.5	298	408	2600	3400	0.35	1.7	1	4.34	
32915	75	105	20	20	16	81	81	94	99	102	4	4	1	1	18.5	1	1	78.2	125	3400	4300	0.33	1.8	1	0.490	
32015		115	25	25	19	82	83	103	108	110	5	6	1.5	1.5	25.2	1.5	1.5	102	160	3200	4000	0.46	1.3	0.7	0.875	
33015		115	31	31	25.5	82	83	103	108	110	6	5.5	1.5	1.5	22.8	1.5	1.5	132	220	3200	4000	0.3	2	1	1.12	
33115		125	37	37	29	84	84	109	116	120	6	8	2	1.5	29.4	2	1.5	175	280	3000	3800	0.4	1.5	0.8	1.78	
30215		130	27.25	25	22	84	86	115	121	124	4	5.5	2	1.5	27.4	2	1.5	138	185	2800	3600	0.44	1.4	0.8	1.36	
32215		130	33.25	31	27	84	85	115	121	125	4	6.5	2	1.5	30.0	2	1.5	170	242	2800	3600	0.44	1.4	0.8	1.74	
33215		130	41	41	31	84	83	111	121	125	7	10	2	1.5	31.9	2	1.5	208	300	2800	3600	0.43	1.4	0.8	2.17	
30315		160	40	37	31	87	95	139	148	149	5	9	2.5	2.1	32.0	3	2.5	252	318	2400	3200	0.35	1.7	1	3.57	
31315		160	40	37	26	87	87	127	148	153	6	14	2.5	2.1	49.7	3	2.5	208	258	2400	3200	0.83	0.7	0.4	3.38	
32315		160	58	55	45	87	91	133	148	150	7	13	2.5	2.1	39.4	3	2.5	348	482	2400	3200	0.35	1.7	1	5.37	

(续)

轴承代号	基本尺寸/mm					安装尺寸/mm										其他尺寸/mm			基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数			质量 /kg
30000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>d_a</i> min	<i>d_b</i> max	<i>D_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>D_b</i> min	<i>a₁</i> min	<i>a₂</i> min	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>a</i> ≈	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i>	<i>Y₀</i>	<i>W</i> ≈	
32916	80	110	20	20	16	86	85	99	104	107	4	4	1	1	19.6	1	1	79.2	128	3200	4000	0.35	1.7	0.9	0.514	
32016		125	29	29	22	87	89	112	117	120	6	7	1.5	1.5	26.8	1.5	1.5	140	220	3000	3800	0.42	1.4	0.8	1.27	
33016		125	36	36	29.5	87	90	112	117	119	6	7	1.5	1.5	25.2	1.5	1.5	182	305	3000	3800	0.28	2.2	1.2	1.63	
33116		130	37	37	29	89	89	114	121	126	6	8	2	1.5	30.7	2	1.5	180	292	2800	3600	0.42	1.4	0.8	1.87	
30216		140	28.25	26	22	90	91	124	130	133	4	6	2.1	2	28.1	2.5	2	160	212	2600	3400	0.42	1.4	0.8	1.67	
32216		140	35.25	33	28	90	90	122	130	134	5	7.5	2.1	2	31.4	2.5	2	198	278	2600	3400	0.42	1.4	0.8	2.13	
33216		140	46	46	35	90	89	119	130	135	7	11	2.1	2	35.1	2.5	2	245	362	2600	3400	0.43	1.4	0.8	2.83	
30316		170	42.5	39	33	92	102	148	158	159	5	9.5	2.5	2.1	34.4	3	2.5	278	352	2200	3000	0.35	1.7	1	4.27	
31316		170	42.5	39	27	92	92	134	158	160	6	15.5	2.5	2.1	52.8	3	2.5	230	288	2200	3000	0.83	0.7	0.4	4.05	
32316		170	61.5	58	48	92	98	142	158	160	7	13.5	2.5	2.1	42.1	3	2.5	388	542	2200	3000	0.35	1.7	1	6.38	
32917	85	120	23	23	18	92	92	111	113	115	4	5	1.5	1.5	21.1	1.5	1.5	96.8	165	3400	3800	0.33	1.8	1	0.767	
32017		130	29	29	22	92	94	117	122	125	6	7	1.5	1.5	28.1	1.5	1.5	140	220	2800	3600	0.44	1.4	0.8	1.32	
33017		130	36	36	29.5	92	94	118	122	125	6	6.5	1.5	1.5	26.2	1.5	1.5	180	305	2800	3600	0.29	2.1	1.1	1.69	
33117		140	41	41	32	95	95	122	130	135	7	9	2.1	2	33.1	2.5	2	215	355	2600	3400	0.41	1.5	0.8	2.43	
30217		150	30.5	28	24	95	97	132	140	141	5	6.5	2.1	2	30.3	2.5	2	178	238	2400	3200	0.42	1.4	0.8	2.06	
32217		150	38.5	36	30	95	96	130	140	143	5	8.5	2.1	2	33.9	2.5	2	228	325	2400	3200	0.42	1.4	0.8	2.68	
33217		150	49	49	37	95	95	128	140	144	7	12	2.1	2	36.9	2.5	2	282	415	2400	3200	0.42	1.4	0.8	3.52	
30317		180	44.5	41	34	99	107	156	166	168	6	10.5	3	2.5	35.9	4	3	305	388	2000	2800	0.35	1.7	1	4.96	
31317		180	44.5	41	28	99	98	143	166	170	6	16.5	3	2.5	55.6	4	3	255	318	2000	2800	0.83	0.7	0.4	4.69	
32317		180	63.5	60	49	99	103	150	166	168	8	14.5	3	2.5	43.5	4	3	422	592	2000	2800	0.35	1.7	1	7.31	
32918	90	125	23	23	18	97	96	113	117	121	4	5	1.5	1.5	22.2	1.5	1.5	95.8	165	3200	3600	0.34	1.8	1	0.796	
32018		140	32	32	24	99	100	125	131	134	6	8	2	1.5	30.0	2	1.5	170	270	2600	3400	0.42	1.4	0.8	1.72	
33018		140	39	39	32.5	99	100	127	131	135	7	6.5	2	1.5	27.2	2	1.5	232	388	2600	3400	0.27	2.2	1.2	2.20	
33118		150	45	45	35	100	100	130	140	144	7	10	2.1	2	34.9	2.5	2	252	415	2400	3200	0.4	1.5	0.8	3.13	
30218		160	32.5	30	26	100	103	140	150	151	5	6.5	2.1	2	32.3	2.5	2	200	270	2200	3000	0.42	1.4	0.8	2.54	
32218		160	42.5	40	34	100	101	138	150	153	5	8.5	2.1	2	36.8	2.5	2	270	395	2200	3000	0.42	1.4	0.8	3.44	
33218		160	55	55	42	100	100	134	150	154	8	13	2.1	2	40.8	2.5	2	330	500	2200	3000	0.4	1.5	0.8	4.55	
30318		190	46.5	43	36	104	113	165	176	177	6	10.5	3	2.5	37.5	4	3	342	440	1900	2600	0.35	1.7	1	5.80	
31318		190	46.5	43	30	104	103	151	176	180	6	16.5	3	2.5	58.5	4	3	282	358	1900	2600	0.83	0.7	0.4	5.46	
32318		190	67.5	64	53	104	108	157	176	178	8	14.5	3	2.5	46.2	4	3	478	682	1900	2600	0.35	1.7	1	8.81	
32919	95	130	23	23	18	102	101	117	122	126	4	5	1.5	1.5	23.4	1.5	1.5	97.2	170	2600	3400	0.36	1.7	0.9	0.831	
32019		145	32	32	24	104	105	130	136	140	6	8	2	1.5	31.4	2	1.5	175	280	2400	3200	0.44	1.4	0.8	1.79	
33019		145	39	39	32.5	104	104	131	136	139	7	6.5	2	1.5	28.4	2	1.5	230	390	2400	3200	0.28	2.2	1.2	2.26	
33119		160	49	49	38	105	105	138	150	154	7	11	2.1	2	37.3	2.5	2	298	498	2200	3000	0.39	1.5	0.8	3.94	
30219		170	34.5	32	27	107	109	149	158	160	5	7.5	2.5	2.1	34.2	3	2.5	228	308	2000	2800	0.42	1.4	0.8	3.04	

(续)

轴承代号	基本尺寸/mm					安装尺寸/mm								其他尺寸/mm			基本额定 载荷/kN		极限转速 /r · min ⁻¹		计算系数			质量 /kg	
30000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>d_a</i> min	<i>d_b</i> max	<i>D_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>D_b</i> min	<i>a₁</i> min	<i>a₂</i> min	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>a</i> ≈	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i>	<i>Y₀</i>	<i>W</i> ≈
32219	95	170	45.5	43	37	107	107	145	158	162	5	8.5	2.5	2.1	39.2	3	2.5	302	448	2000	2800	0.42	1.4	0.8	4.24
33219		170	58	58	44	107	105	144	158	163	9	14	2.5	2.1	42.7	3	2.5	378	568	2000	2800	0.41	1.5	0.8	5.48
30319		200	49.5	45	38	109	118	172	186	185	6	11.5	3	2.5	40.1	4	3	370	478	1800	2400	0.35	1.7	1	6.80
31319		200	49.5	45	32	109	108	157	186	188	6	17.5	3	2.5	61.2	4	3	310	400	1800	2400	0.83	0.7	0.4	6.46
32319		200	71.5	67	55	109	114	166	186	187	8	16.5	3	2.5	49.0	4	3	515	738	1800	2400	0.35	1.7	1	10.1
32920	100	140	25	25	20	107	108	128	132	136	4	5	1.5	1.5	24.3	1.5	1.5	128	218	2400	3200	0.33	1.8	1	1.12
32020		150	32	32	24	109	109	134	141	144	6	8	2	1.5	32.8	2	1.5	172	282	2200	3000	0.46	1.3	0.7	1.85
33020		150	39	39	32.5	109	108	135	141	143	7	6.5	2	1.5	29.1	2	1.5	230	390	2200	3000	0.29	2.1	1.2	2.33
33120		165	52	52	40	110	110	142	155	159	8	12	2.1	2	40.3	2.5	2	308	528	2000	2800	0.41	1.5	0.8	4.31
30220		180	37	34	29	112	115	157	168	169	5	8	2.5	2.1	36.4	3	2.5	255	350	1900	2600	0.42	1.4	0.8	3.72
32220		180	49	46	39	112	113	154	168	171	5	10	2.5	2.1	41.9	3	2.5	340	512	1900	2600	0.42	1.4	0.8	5.10
33220		180	63	63	48	112	112	151	168	172	10	15	2.5	2.1	45.5	3	2.5	438	665	1900	2600	0.4	1.5	0.8	6.71
30320		215	51.5	47	39	114	127	184	201	198	6	12.5	3	2.5	42.2	4	3	405	525	1600	2000	0.35	1.7	1	8.22
31320		215	56.5	51	35	114	117	168	201	203	7	21.5	3	2.5	68.4	4	3	372	488	1600	2000	0.83	0.7	0.4	8.59
32320		215	77.5	73	60	114	123	177	201	201	8	17.5	3	2.5	52.9	4	3	600	872	1600	2000	0.35	1.7	1	13.0
32921	105	145	25	25	20	112	112	132	137	141	5	5	1.5	1.5	25.4	1.5	1.5	128	225	2200	3000	0.34	1.8	1	1.16
32021		160	35	35	26	115	116	143	150	154	6	9	2.1	2	34.6	2.5	2	205	335	2000	2800	0.44	1.4	0.7	2.40
33021		160	43	43	34	115	116	145	150	153	7	9	2.1	2	30.8	2.5	2	258	438	2000	2800	0.28	2.1	1.2	2.97
33121		175	56	56	44	115	115	149	165	170	8	12	2.1	2	42.9	2.5	2	352	608	1900	2600	0.4	1.5	0.8	5.29
30221		190	39	36	30	117	122	165	178	178	6	9	2.5	2.1	38.5	3	2.5	285	398	1800	2400	0.42	1.4	0.8	4.38
32221		190	53	50	43	117	119	161	178	180	5	10	2.5	2.1	45.0	3	2.5	380	578	1800	2400	0.42	1.4	0.8	6.26
33221		190	68	68	52	117	117	159	178	182	12	16	2.5	2.1	48.6	3	2.5	498	770	1800	2400	0.4	1.5	0.8	8.12
30321		225	53.5	49	41	119	133	193	211	207	7	12.5	3	2.5	43.6	4	3	432	562	1500	1900	0.35	1.7	1	9.38
31321		225	58	53	36	119	122	176	211	212	7	22	3	2.5	70.0	4	3	398	525	1500	1900	0.83	0.7	0.4	9.58
32321		225	81.5	77	63	119	128	185	211	210	8	18.5	3	2.5	55.1	4	3	648	945	1500	1900	0.35	1.7	1	14.8
32922	110	150	25	25	20	117	117	137	142	146	5	5	1.5	1.5	26.5	1.5	1.5	130	232	2000	2800	0.36	1.7	0.9	1.20
32022		170	38	38	29	120	122	152	160	163	7	9	2.1	2	36.6	2.5	2	245	402	1900	2600	0.43	1.4	0.8	3.02
33022		170	47	47	37	120	123	152	160	161	7	10	2.1	2	33.2	2.5	2	288	502	1900	2600	0.29	2.1	1.2	3.74
33122		180	56	56	43	120	121	155	170	174	9	13	2.1	2	44.0	2.5	2	372	638	1800	2400	0.42	1.4	0.8	5.50
30222		200	41	38	32	122	129	174	188	188	6	9	2.5	2.1	40.4	3	2.5	315	445	1700	2200	0.42	1.4	0.8	5.21
32222		200	56	53	46	122	125	170	188	191	6	10	2.5	2.1	47.3	3	2.5	430	665	1700	2200	0.42	1.4	0.8	7.43
30322		240	54.5	50	42	124	142	206	226	221	8	12.5	3	2.5	45.1	4	3	472	612	1400	1800	0.35	1.7	1	11.0
31322		240	63	57	38	124	132	188	226	225	7	25	3	2.5	75.3	4	3	458	610	1400	1800	0.83	0.7	0.4	12.1
32322		240	84.5	80	65	124	137	198	226	223	9	19.5	3	2.5	57.8	4	3	725	1060	1400	1800	0.35	1.7	1	17.8
32924	120	165	29	29	23	127	128	150	157	160	6	6	1.5	1.5	29.3	1.5	1.5	172	318	1800	2400	0.35	1.7	1	1.78

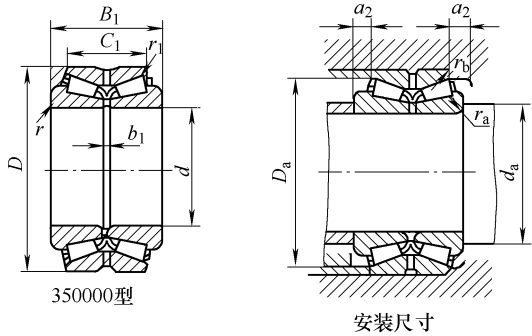
(续)

轴承代号	基本尺寸/mm					安装尺寸/mm								其他尺寸/mm			基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数			质量 /kg	
30000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>d_a</i> min	<i>d_b</i> max	<i>D_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>D_b</i> min	<i>a₁</i> min	<i>a₂</i> min	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>a</i> ≈	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i>	<i>Y₀</i>	<i>W</i> ≈
32024	120	180	38	38	29	130	131	161	170	173	7	9	2.1	2	39.3	2.5	2	242	405	1700	2200	0.46	1.3	0.7	3.18
33024		180	48	48	38	130	132	160	170	171	6	10	2.1	2	35.5	2.5	2	298	535	1700	2200	0.31	2	1.1	4.07
33124		200	62	62	48	130	130	172	190	192	10	14	2.1	2	47.6	2.5	2	448	778	1600	2000	0.40	1.5	0.8	7.68
30224		215	43.5	40	34	132	140	187	203	202	6	9.5	2.5	2.1	44.1	3	2.5	338	482	1500	1900	0.44	1.4	0.8	6.20
32224		215	61.5	58	50	132	135	181	203	205	7	11.5	2.5	2.1	52.3	3	2.5	478	758	1500	1900	0.44	1.4	0.8	9.26
30324		260	59.5	55	46	134	153	221	246	238	8	13.5	3	2.5	49.0	4	3	562	745	1300	1700	0.35	1.7	1	14.2
31324		260	68	62	42	134	141	203	246	245	9	26	3	2.5	81.8	4	3	535	725	1300	1700	0.83	0.7	0.4	15.3
32324		260	90.5	86	69	134	148	213	246	241	9	21.5	3	2.5	61.6	4	3	825	1230	1300	1700	0.35	1.7	1	22.1
32926	130	180	32	32	25	140	139	164	171	174	6	7	2	1.5	31.6	2	1.5	205	380	1700	2200	0.34	1.8	1	2.34
32026		200	45	45	34	140	144	178	190	192	8	11	2.1	2	43.3	2.5	2	335	568	1600	2000	0.43	1.4	0.8	4.94
33026		200	55	55	43	140	140	178	190	192	8	12	2.1	2	42.0	2.5	2	400	728	1600	2000	0.34	1.8	1	6.14
30226		230	43.75	40	34	144	150	203	216	218	7	10	3	2.5	46.1	4	3	365	520	1400	1800	0.44	1.4	0.8	6.94
32226		230	67.75	64	54	144	144	193	216	220	7	14	3	2.5	56.6	4	3	552	888	1400	1800	0.44	1.4	0.8	11.4
30326		280	63.75	58	49	145	164	239	262	257	8	15	4	3	53.2	5	4	640	855	1100	1500	0.35	1.7	1	17.3
31326		280	72	66	44	147	151	218	262	263	9	28	4	3	87.2	5	4	592	805	1100	1500	0.83	0.7	0.4	18.4
32928		140	190	32	32	25	150	150	177	181	184	6	6	2	1.5	33.8	2	1.5	208	392	1600	2000	0.36	1.7	0.9
32028	210		45	45	34	150	153	187	200	202	8	11	2.1	2	46.0	2.5	2	330	568	1400	1800	0.46	1.3	0.7	5.15
33028	210		56	56	44	150	150	186	200	202	8	12	2.1	2	45.1	2.5	2	408	755	1400	1800	0.36	1.7	0.9	6.57
30228	250		45.75	42	36	154	163	219	236	235	9	11	3	2.5	49.0	4	3	408	585	1200	1600	0.44	1.4	0.8	8.73
32228	250		71.75	68	58	154	157	210	236	239	8	14	3	2.5	60.7	4	3	645	1050	1200	1600	0.44	1.4	0.8	14.4
30328	300		67.75	62	53	155	176	255	282	275	9	15	4	3	56.5	5	4	722	975	1000	1400	0.35	1.7	1	21.4
31328	300		77	70	47	157	163	235	282	282	9	30	4	3	94.1	5	4	678	928	1000	1400	0.83	0.7	0.4	22.8
32930	150		210	38	38	30	160	162	192	200	202	7	8	2.1	2	36.4	2.5	2	260	510	1400	1800	0.33	1.8	1
32030		225	48	48	36	162	164	200	213	216	8	12	2.5	2.1	49.2	3	2.5	368	635	1300	1700	0.46	1.3	0.7	6.25
33030		225	59	59	46	162	162	200	213	218	9	13	2.5	2.1	48.2	3	2.5	460	875	1300	1700	0.36	1.7	0.9	7.98
30230		270	49	45	38	164	175	234	256	251	9	11	3	2.5	52.4	4	3	450	645	1100	1500	0.44	1.4	0.8	10.8
32230		270	77	73	60	164	170	226	256	256	8	17	3	2.5	65.4	4	3	720	1180	1100	1500	0.44	1.4	0.8	18.2
30330		320	72	65	55	165	189	273	302	294	9	17	4	3	60.6	5	4	802	1090	950	1300	0.35	1.7	1	25.2
31330		320	82	75	50	167	174	251	302	302	9	32	4	3	100.1	5	4	772	1070	950	1300	0.83	0.7	0.4	27.4
32932		160	220	38	38	30	170	170	199	210	214	7	8	2.1	2	38.7	2.5	2	262	525	1300	1700	0.35	1.7	1
32032	240		51	51	38	172	175	213	228	231	8	13	2.5	2.1	52.6	3	2.5	420	735	1200	1600	0.46	1.3	0.7	7.66
30232	290		52	48	40	174	189	252	276	270	9	12	3	2.5	55.5	4	3	512	738	1000	1400	0.44	1.4	0.8	13.3
32232	290		84	80	67	174	181	242	276	276	10	17	3	2.5	70.9	4	3	858	1430	1000	1400	0.44	1.4	0.8	23.3
30332	340		75	68	58	175	201	290	322	312	9	17	4	3	63.3	5	4	878	1190	900	1200	0.35	1.7	1	29.5
32934	170	230	38	38	30	180	183	213	220	222	7	8	2.1	2	41.9	2.5	2	280	560	1200	1600	0.38	1.6	0.9	4.33

(续)

轴承代号	基本尺寸/mm					安装尺寸/mm										其他尺寸/mm			基本额定 载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数			质量 /kg
30000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>d_a</i> min	<i>d_b</i> max	<i>D_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>D_b</i> min	<i>a₁</i> min	<i>a₂</i> min	<i>r_a</i> max	<i>r_b</i> max	<i>a</i> ≈	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i>	<i>Y₀</i>	<i>W</i> ≈	
32034	170	260	57	57	43	182	187	230	248	249	10	14	2.5	2.1	56.4	3	2.5	520	920	1100	1500	0.44	1.4	0.7	10.4	
30234		310	57	52	43	188	201	269	292	290	9	14	4	3	60.4	5	4	590	865	1000	1300	0.44	1.4	0.8	16.6	
32234		310	91	86	71	188	194	259	292	296	10	20	4	3	76.3	5	4	968	1640	1000	1300	0.44	1.4	0.8	28.6	
30334		360	80	72	62	185	214	307	342	331	10	18	4	3	68.0	5	4	995	1370	850	1100	0.35	1.7	1	35.6	
32936	180	250	45	45	34	190	193	225	240	241	8	11	2.1	2	54.0	2.5	2	340	708	1100	1500	0.48	1.3	0.7	6.44	
32036		280	64	64	48	192	199	247	268	267	10	16	2.5	2.1	60.1	3	2.5	640	1150	1000	1400	0.42	1.4	0.8	14.1	
30236		320	57	52	43	198	209	278	302	299	9	14	4	3	62.8	5	4	610	912	900	1200	0.45	1.3	0.7	17.3	
32236		320	91	86	71	198	202	267	302	305	10	20	4	3	78.8	5	4	998	1720	900	1200	0.45	1.3	0.7	29.9	
30336		380	83	75	64	198	228	327	362	351	10	19	4	3	70.9	5	4	1090	1500	900	1100	0.35	1.7	1	40.7	
32938	190	260	45	45	34	200	204	235	250	251	8	11	2.1	2	55.2	2.5	2	360	740	1000	1400	0.48	1.3	0.7	6.66	
32038		290	64	64	48	202	209	257	278	279	10	16	2.5	2.1	62.8	3	2.5	652	1180	950	1300	0.44	1.4	0.8	14.6	
30238		340	60	55	46	208	223	298	322	320	9	14	4	3	65.0	5	4	698	1030	850	1100	0.44	1.4	0.8	20.8	
32238		340	97	92	75	208	215	286	322	325	10	22	4	3	82.1	5	4	1120	1900	850	1100	0.44	1.4	0.8	36.1	
32940	200	280	51	51	39	212	214	257	268	271	9	12	2.5	2.1	54.2	3	2.5	460	950	950	1300	0.39	1.5	0.8	9.43	
32040		310	70	70	53	212	221	273	298	297	11	17	2.5	2.1	66.9	3	2.5	782	1420	900	1200	0.43	1.4	0.8	18.9	
30240		360	64	58	48	218	235	315	342	338	9	16	4	3	69.3	5	4	765	1140	800	1000	0.44	1.4	0.8	24.7	
32240		360	104	98	82	218	222	302	342	342	11	22	4	3	85.1	5	4	1320	2180	800	1000	0.41	1.5	0.8	43.2	
32944	220	300	51	51	39	232	234	275	288	290	10	12	2.5	2.1	59.1	3	2.5	470	978	900	1200	0.43	1.4	0.8	10.0	
32044		340	76	76	57	234	243	300	326	326	12	19	3	2.5	73.0	4	3	908	1670	800	1000	0.43	1.4	0.8	24.4	
32948	240	320	51	51	39	252	254	290	308	311	10	12	2.5	2.1	64.7	3	2.5	520	1060	800	1000	0.46	1.3	0.7	10.7	
32048		360	76	76	57	254	261	318	346	346	12	19	3	2.5	78.4	4	3	920	1730	700	900	0.46	1.3	0.7	25.9	
32952	260	360	63.5	63.5	48	272	279	328	348	347	11	15.5	2.5	2.1	69.6	3	2.5	688	1470	700	900	0.41	1.5	0.8	18.6	
32052		400	87	87	65	278	287	352	382	383	14	22	4	3	85.6	5	4	1120	2170	670	850	0.43	1.4	0.8	38.0	
32956	280	380	63.5	63.5	48	292	298	344	368	368	11	15	2.5	2.1	74.5	3	2.5	745	1580	630	800	0.43	1.4	0.7	19.7	
32056		420	87	87	65	298	305	370	402	402	14	22	4	3	90.3	5	4	1190	2290	600	750	0.46	1.3	0.7	40.2	
32960	300	420	76	76	57	315	324	379	406	405	13	19	3	2.5	80.0	4	3	1020	2200	600	750	0.39	1.5	0.8	31.5	
32060		460	100	100	74	318	329	404	442	439	15	26	4	3	97.7	5	4	1520	2940	560	700	0.43	1.4	0.8	57.5	
32964	320	440	76	76	57	335	343	398	426	426	13	19	3	2.5	85.1	4	3	1040	2320	560	700	0.42	1.4	0.8	33.3	
32064		480	100	100	74	338	350	424	462	461	15	26	4	3	103.5	5	4	1540	3000	530	670	0.46	1.3	0.7	60.6	
32968	340	460	76	76	57	355	362	417	446	446	13	19	3	2.5	90.5	4	3	1050	2380	530	670	0.44	1.4	0.8	34.8	

表 5.3-39 双列圆锥滚子轴承(摘自 GB/T 299—2008)



径向当量动载荷:
 $P_r = F_r + Y_1 F_a$ 当 $F_a/F_r \leq e$
 $P_r = 0.67 F_r + Y_2 F_a$ 当 $F_a/F_r > e$
径向当量静载荷:
 $P_{0r} = F_r + Y_0 F_a$
式中 F_r 、 F_a 均指作用于轴承上的总载荷
最小径向载荷 $F_{rmin} = 0.02 C_r$

代号含义:
E—加强型
X2—宽度(高度)非标准

轴承代号 ^①	基本尺寸/mm			安装尺寸/mm					其他尺寸/mm				基本额定载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数				质量 /kg
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i> ₁	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a min	<i>a</i> ₂ min	<i>r</i> _a max	<i>r</i> _b max	<i>C</i> ₁	<i>b</i> ₁	<i>r</i> min	<i>r</i> ₁ min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i> ₁	<i>Y</i> ₂	<i>Y</i> ₀	<i>W</i> ≈
350000 型																					
351305 E	25	62	42	32	59	5.5	1.5	0.6	31.5	8	1.5	0.6	66.5	100	4600	5600	0.83	0.8	1.2	0.8	—
351306 E	30	72	47	37	68	7	1.5	0.6	33.5	9	1.5	0.6	85	125	4000	5000	0.83	0.8	1.2	0.8	—
351307 E	35	80	51	44	76	8	2	0.6	35.5	9	2	0.6	108	160	3600	4500	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352208 X2	40	80	55	48	74	8	1.5	0.6	40	8	1.5	0.6	108	65.8	3800	4500	0.38	1.8	2.6	1.7	—
352208 E		80	55	47	75	6	1.5	0.6	43.5	9	1.5	0.6	128	188	3800	4500	0.37	1.8	2.7	1.8	1.18
351308 E		90	56	49	87	8.5	2	0.6	39.5	10	2	0.6	132	170	3200	4000	0.83	0.8	1.2	0.8	1.56
352209 E	45	85	55	52	81	6	1.5	0.6	43.5	9	1.5	0.6	135	200	3200	4000	0.4	1.7	2.5	1.6	1.27
351309 E		100	60	54	96	9.5	2	0.6	41.5	10	2	0.6	152	218	2900	3600	0.83	0.8	1.2	0.8	2.11
352210 E	50	90	55	57	86	6	1.5	0.6	43.5	9	1.5	0.6	145	218	3200	3800	0.42	1.6	2.4	1.6	1.36
351310 E		110	64	60	105	10.5	2.1	0.6	43.5	10	2.5	0.6	175	260	2700	3400	0.83	0.8	1.2	0.8	2.65
352211 E	55	100	60	64	96	6	2	0.6	48.5	10	2	0.6	175	270	3800	3400	0.4	1.7	2.5	1.6	1.85
351311 E		120	70	65	114	10.5	2.1	0.6	49	12	2.5	0.6	208	305	2400	3000	0.83	0.8	1.2	0.8	3.92
352212 E	60	110	66	69	105	6	2	0.6	54.5	10	2	0.6	215	330	2600	3200	0.4	1.7	2.5	1.6	—

(续)

轴承代号 ^①	基本尺寸/mm			安装尺寸/mm					其他尺寸/mm				基本额定载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数				质量 /kg
350000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i> ₁	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a min	<i>a</i> ₂ min	<i>r</i> _a max	<i>r</i> _b max	<i>C</i> ₁	<i>b</i> ₁	<i>r</i> min	<i>r</i> ₁ min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i> ₁	<i>Y</i> ₂	<i>Y</i> ₀	<i>W</i> ≈
351312 E	60	130	74	72	124	11.5	2.5	1	51	12	3	1	235	350	2300	2800	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352213 X2	65	120	70	74	114	7.5	2	0.6	55	8	2	0.6	220	365	2200	3000	0.37	1.8	2.7	1.8	—
352213 E		120	73	74	115	6	2	0.6	61.5	11	2	0.6	260	410	2200	3000	0.4	1.7	2.5	1.6	2.49
351313 E		140	79	77	134	13	2.5	1	53	13	3	1	268	410	2000	2600	0.83	0.8	1.2	0.8	5.16
352214 X2	70	125	70	79	118	8	2	0.6	55	8	2	0.6	230	388	2200	2800	0.39	1.7	2.6	1.7	—
352214 E		125	74	79	120	6.5	2	0.6	61.5	12	2	0.6	272	440	2200	2800	0.42	1.6	2.4	1.6	3.56
351314 E		150	83	82	143	13	2.5	1	57	13	3	1	302	460	1900	2400	0.83	0.8	1.2	0.8	6.23
352215 E	75	130	74	84	126	6.5	2	0.6	61.5	12	2	0.6	275	445	2000	2600	0.44	1.6	2.3	1.5	3.68
352215 X2		130	75	84	124	7	2	0.6	62	8	2	0.6	235	412	2000	2600	0.41	1.7	2.5	1.6	3.6
351315 E		160	88	87	153	14	2.5	1	60	14	3	1	338	510	1700	2200	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352216 E	80	140	78	90	135	7.5	2.1	0.6	63.5	12	2.5	0.6	320	530	1900	2400	0.42	1.6	2.4	1.6	4.58
352216 X2		140	80	90	133	8	2.1	0.6	65	10	2.5	0.6	270	480	1900	2400	0.4	1.7	2.5	1.6	4.97
351316 E		170	94	92	161	15.5	2.5	1	63	16	3	1	370	590	1600	2200	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352217 X2	85	150	85	95	142	11	2.1	0.6	65	10	2.5	0.6	315	560	1700	2200	0.4	1.7	2.5	1.6	6.01
352217 E		150	86	95	143	8.5	2.1	0.6	69	14	2.5	0.6	368	600	1700	2200	0.42	1.6	2.4	1.6	5.85
351317 E		180	99	99	171	16.5	3	1	66	17	4	1	408	660	1400	2000	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352218 E	90	160	94	100	153	8.5	2.1	0.6	77	14	2.5	0.6	440	720	1600	2200	0.42	1.6	2.4	1.6	7.35
352218 X2		160	95	100	152	9.5	2.1	0.6	78	10	2.5	0.6	358	630	1600	2200	0.39	1.7	2.6	1.7	7.46
351318 E		190	103	104	181	16.5	3	1	70	17	4	1	455	738	1300	1900	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352219 E	95	170	100	107	163	8.5	2.5	1	83	14	3	1	492	835	1400	2000	0.42	1.6	2.4	1.6	9.04
351319 E		200	109	109	189	17.5	3	1	74	19	4	1	502	830	1300	1700	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352220 E	100	180	107	112	172	10	2.5	1	87	15	3	1	555	925	1400	1900	0.42	1.6	2.4	1.6	10.7
352220 X2		180	112	111	172	11	2.5	1	92	10	3	1	458	860	1400	1900	0.39	1.7	2.6	1.7	11.5
351320 E		215	124	114	204	21.5	3	1	81	22	4	1	602	1010	1100	1400	0.83	0.8	1.2	0.8	—

(续)

轴承代号 ^①	基本尺寸/mm			安装尺寸/mm					其他尺寸/mm				基本额定载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数				质量 /kg
350000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i> ₁	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a min	<i>a</i> ₂ min	<i>r</i> _a max	<i>r</i> _b max	<i>C</i> ₁	<i>b</i> ₁	<i>r</i> min	<i>r</i> ₁ min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i> ₁	<i>Y</i> ₂	<i>Y</i> ₀	<i>W</i> ≈
352221 E	105	190	115	117	182	10	2.5	1	95	15	3	1	618	1080	1300	1700	0.42	1.6	2.4	1.6	13.1
352221 X2		190	118	116	181	12	2.5	1	96	12	3	1	532	982	1300	1700	0.4	1.7	2.5	1.7	13
351321 E		225	127	119	213	22	3	1	83	21	4	1	640	1080	1100	1400	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352122	110	180	95	120	173	10.5	2	0.6	76	11	2	0.6	422	840	1300	1700	0.25	2.7	4	2.6	10
352222 E		200	121	122	192	10	2.5	1	101	15	3	1	698	1210	1200	1600	0.42	1.6	2.4	1.6	15.5
352222 X2		200	125	121	191	11.5	2.5	1	102	12	3	1	595	1120	1200	1600	0.39	1.7	2.6	1.7	16.4
351322 E		240	137	124	226	25	3	1	87	23	4	1	752	1290	1000	1300	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352124	120	200	110	130	194	11	2	0.6	90	14	2	0.6	508	910	1100	1500	0.3	2.2	3.3	2.2	12.6
352224 E		215	132	132	206	11.5	2.5	1	109	16	3	1	775	1360	1100	1400	0.44	1.6	2.3	1.5	18.9
352224 X2		215	132	132	206	14	2.5	1	106	12	3	1	698	1340	1100	1400	0.41	1.6	2.5	1.6	19.1
351324 E		260	148	134	246	26	3	1	96	24	4	1	862	1490	900	1200	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352926 X2	130	180	70	139	174	11	2	0.6	50	10	2	0.6	258	565	1200	1600	0.27	2.5	3.7	2.4	4.88
352026 X2		200	95	140	194	11	2.1	0.6	75	10	2.5	0.6	422	830	1100	1500	0.35	1.9	2.9	1.9	9.72
352126		210	110	141	203	11	2	0.6	90	14	2	0.6	540	1000	1000	1400	0.26	2.6	3.8	2.5	12.9
352226 E		230	145	144	221	14	3	1	117.5	17	4	1	895	1630	1000	1300	0.44	1.6	2.3	1.5	24.1
352226 X2		230	150	142	222	16	3	1	120	12	4	1	700	1400	1000	1300	0.39	1.7	2.6	1.7	26.2
351326 E		280	156	147	263	28	4	1	100	24	5	1.1	968	1640	800	1100	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352028 X2	140	210	95	150	204	11	2.1	0.6	75	12	2.5	0.6	448	900	950	1300	0.37	1.8	2.7	1.8	8.35
352128		225	115	151	217	13.5	2.1	1	90	15	2.5	1	560	1110	950	1300	0.34	2	3	2	15.3
352228 E		250	153	154	240	14	3	1	125.5	17	4	1	1050	1840	850	1100	0.44	1.6	2.3	1.5	30.1
352228 X2		250	158	153	241	16	3	1	128	12	4	1	985	1840	850	1100	0.33	2.1	3.1	2	30.6
351328 E		300	168	157	283	30	4	1	108	28	5	1.1	1110	1940	700	1000	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352930 X2	150	210	80	159	204	10	2.1	0.6	62	10	2.5	0.6	352	790	950	1300	0.27	2.5	3.7	2.4	9.32

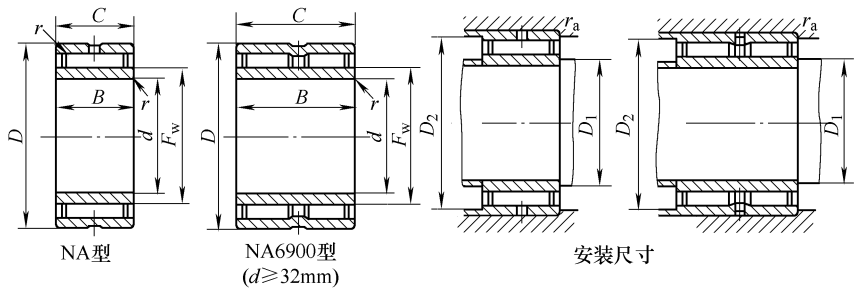
(续)

轴承代号 ^①	基本尺寸/mm			安装尺寸/mm					其他尺寸/mm				基本额定载荷/kN		极限转速 /r·min ⁻¹		计算系数				质量 /kg
350000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i> ₁	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a min	<i>α</i> ₂ min	<i>r</i> _a max	<i>r</i> _b max	<i>C</i> ₁	<i>b</i> ₁	<i>r</i> min	<i>r</i> ₁ min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>e</i>	<i>Y</i> ₁	<i>Y</i> ₂	<i>Y</i> ₀	<i>W</i> ≈
352130	150	250	138	163	242	14	2.1	1	112	18	2.5	1	778	1560	850	1100	0.3	2.2	3.3	2.2	25.8
352230 E		270	164	164	256	17	3	1	130	18	4	1	1170	2140	800	1100	0.44	1.6	2.3	1.5	37.3
352230 X2		270	172	164	260	18	3	1	138	12	4	1	1070	2180	800	1100	0.39	1.7	2.6	1.7	38.9
351330 E		320	178	167	302	32	4	1	114	28	5	1.1	1260	2250	670	950	0.83	0.8	1.2	0.8	—
352032 X2	160	240	115	171	234	13.5	2.5	1	90	12	3	1	608	1260	850	1100	0.37	1.8	2.7	1.8	16.5
352132		270	150	174	262	16	2.1	1	120	18	2.5	1	872	1720	800	1000	0.36	1.9	2.8	1.8	28.2
352232 E		290	178	174	276	17	3	1	144	18	4	1	1390	2840	700	1000	0.44	1.6	2.3	1.5	46.9
352934 X2	170	230	82	180	223	9.5	2.1	0.6	65	10	2.5	0.6	395	922	850	1100	0.28	2.4	3.6	2.3	8.11
352034 X2		260	120	183	252	13.5	2.5	1	95	12	3	1	672	1460	800	1000	0.31	2.2	3.2	2.1	20.4
352134		280	150	184	271	16	2.1	1	120	18	2.5	1	962	2000	750	950	0.38	1.8	2.6	1.7	35.6
352234 E		310	192	188	296	20	4	1	152	20	5	1.1	1580	3200	750	950	0.44	1.6	2.3	1.5	58.2
352936 X2	180	250	95	190	243	11.5	2.1	0.6	74	10	2.5	0.6	468	1080	800	1000	0.37	1.8	2.7	1.8	13
352036 X2		280	134	191	272	14	2.5	1	108	12	3	1	742	1540	750	950	0.28	2.4	3.6	2.4	28.5
352136		300	164	196	287	16	2.5	1	134	20	3	1	1100	2350	700	900	0.26	2.6	3.8	2.6	39.9
352236 X2		320	190	196	308	23.5	4	1	145	12	5	1.1	1390	2770	670	850	0.36	1.9	2.8	1.8	51.5
352236 E		320	192	198	306	20	4	1	152	20	5	1.1	1620	3350	670	850	0.45	1.5	2.2	1.5	63.8
352938 X2	190	260	95	200	253	11	2.1	0.6	75	12	2.5	0.6	522	1270	750	950	0.38	1.8	2.6	1.7	13.3
352038 X2		290	134	202	282	16	2.5	1	104	12	3	1	742	1540	700	900	0.45	1.5	2.2	1.5	28.8
352138		320	170	207	306	21	2.5	1	130	14	3	1	1160	2420	670	850	0.31	2.2	3.2	2.1	52
352238 E		340	204	208	326	22	4	1	160	20	5	1.1	1740	3350	600	800	0.44	1.6	2.3	1.5	69.8

① 按国标 GB/T299 规定,优化设计的轴承代号后不加“E”。为了与老结构区分,本样本中优化设计的双列圆锥滚子轴承代号后均加“E”。

3.8 成套滚针轴承

表 5.3-40 成套滚针轴承(摘自 GB/T 5801—2006)



NA49 $d = 5 \sim 140\text{mm}$ 当量动载荷 $P_r = F_r$

NA48 $d = 110 \sim 360\text{mm}$

NA69 $d = 12 \sim 100\text{mm}$ 当量静载荷 $P_{0r} = F_r$

代号含义:

NA—外圈有双挡边,内圈无挡边 NKL—外圈有双挡边,内圈无挡边(轻系列)

轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm		基本额定载荷 /kN		极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /g
	d	D	B、C	D ₁ min	D ₂ max	r _a max	F _w	r min	C _r	C _{0r}	脂	油	W ≈
NA 4900	10	22	13	12	20	0.3	14	0.3	8.60	9.2	15000	22000	24.3
NA 4901	12	24	13	14	22	0.3	16	0.3	9.60	10.8	13000	19000	27.6
NA 6901		24	22	14	22	0.3	16	0.3	16.2	21.5	13000	19000	46.9
NA 4902	15	28	13	17	26	0.3	20	0.3	10.2	12.8	10000	16000	35.9
NA 6902		28	23	17	26	0.3	20	0.3	17.5	25.2	10000	16000	63.7
NA 4903	17	30	13	19	28	0.3	22	0.3	11.2	14.5	9500	15000	39.4
NA 6903		30	23	19	28	0.3	22	0.3	19.0	28.8	9500	15000	69.9
NA 4904	20	37	17	22	35	0.3	25	0.3	21.2	25.2	9000	14000	79.9
NA 6904		37	30	22	35	0.3	25	0.3	35.2	48.5	9000	14000	141
NA 49/22	22	39	17	24	37	0.3	28	0.3	23.2	29.2	9000	13000	85.4
NA 69/22		39	30	24	37	0.3	28	0.3	38.5	56.2	9000	13000	151
NA 4905	25	42	17	27	40	0.3	30	0.3	24.0	31.2	8000	12000	94.7
NA 6905		42	30	27	40	0.3	30	0.3	40.0	60.2	8000	12000	167
NA 49/28	28	45	17	30	43	0.3	32	0.3	24.8	33.2	7500	11000	104
NA 69/28		45	30	30	43	0.3	32	0.3	41.5	64.2	7500	11000	183
NA 4906	30	47	17	32	45	0.3	35	0.3	25.5	35.5	7000	10000	108
NA 6906		47	30	32	45	0.3	35	0.3	42.8	68.5	7000	10000	191
NA 49/32	32	52	20	36	48	0.6	40	0.6	31.5	48.5	6300	9000	168
NA 69/32		52	36	36	48	0.6	40	0.6	48.0	83.2	6300	9000	—

(续)

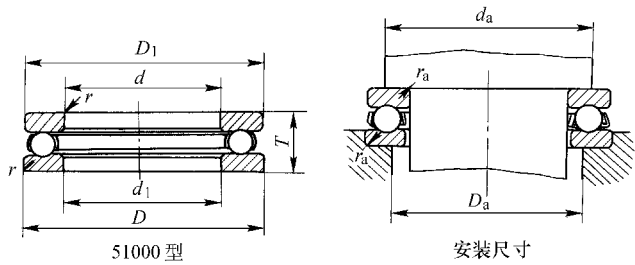
轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm		基本额定载荷 /kN		极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /g
NA 型 NKI 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i> 、 <i>C</i>	<i>D</i> ₁ min	<i>D</i> ₂ max	<i>r</i> _a max	<i>F</i> _W	<i>r</i> min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>W</i> ≈
NA 4907	35	55	20	39	51	0.6	42	0.6	32.5	51.0	6000	8500	181
NA 6907		55	36	39	51	0.6	42	0.6	49.5	87.2	6000	8500	—
NKI 38/20	38	53	20	40	51	0.3	43	0.3	27.5	50.8	5600	8000	136
NKI 38/30		53	30	40	51	0.3	43	0.3	41.5	86.5	5600	8000	205
NA 4908	40	62	22	44	58	0.6	48	0.6	43.5	66.2	5000	7000	240
NA 6908		62	40	44	58	0.6	48	0.6	62.8	108	5000	7000	—
NKI 42/20	42	57	20	44	55	0.3	47	0.3	29.2	56.5	5000	7000	148
NKI 42/30		57	30	44	55	0.3	47	0.3	44.2	96.2	5000	7000	223
NA 4909	45	68	22	49	64	0.6	52	0.6	46.0	73.0	4800	6700	284
NA 6909		68	40	49	64	0.6	52	0.6	67.2	118	4800	6700	—
NA 4910	50	72	22	54	68	0.6	58	0.6	48.2	80.0	4500	6300	287
NA 6910		72	40	54	68	0.6	58	0.6	70.2	128	4500	6300	—
NA 4911	55	80	25	60	75	1	63	1	58.5	99.0	4000	5600	416
NA 6911		80	45	60	75	1	63	1	87.8	168	4000	5600	—
NA 4912	60	85	25	65	80	1	68	1	61.2	108	3800	5300	448
NA 6912		85	45	65	80	1	68	1	90.8	182	3800	5300	—
NA 4913	65	90	25	70	85	1	72	1	62.2	112	3600	5000	479
NA 6913		90	45	70	85	1	72	1	93.2	188	3600	5000	—
NA 4914	70	100	30	75	95	1	80	1	84.0	152	3200	4500	762
NA 6914		100	54	75	95	1	80	1	130	260	3200	4500	—
NA 4915	75	105	30	80	100	1	85	1	85.5	158	3000	4300	805
NA 6915		105	54	80	100	1	85	1	130	270	3000	4300	—
NA 4916	80	110	30	85	105	1	90	1	89.0	170	2800	4000	852
NA 6916		110	54	85	105	1	90	1	135	292	2800	4000	—
NA 4917	85	120	35	91.5	113.5	1	100	1.1	112	235	2400	3600	1280
NA 6917		120	63	91.5	113.5	1	100	1.1	155	365	2400	3600	—
NA 4918	90	125	35	96.5	118.5	1	105	1.1	115	250	2200	3400	1340
NA 6918		125	63	96.5	118.5	1	105	1.1	165	388	2200	3400	—
NA 4919	95	130	35	101.5	123.5	1	110	1.1	120	265	2000	3200	1410
NA 6919		130	63	101.5	123.5	1	110	1.1	172	412	2000	3200	—
NA 4920	100	140	40	106.5	133.5	1	115	1.1	130	270	2000	3200	1960
NA 6920		140	71	106.5	133.5	1	115	1.1	202	480	2000	3200	—

(续)

轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm		基本额定载荷 /kN		极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /g
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i> 、 <i>C</i>	<i>D</i> ₁ min	<i>D</i> ₂ max	<i>r</i> _a max	<i>F</i> _W	<i>r</i> min	<i>C</i> _r	<i>C</i> _{0r}	脂	油	<i>W</i> ≈
NA 型													
NKI 型													
NA 4822	110	140	30	115	135	1	120	1	93.0	210	2000	3200	1130
NA 4922		150	40	116.5	143.5	1	125	1.1	138	295	1900	3000	2120
NA 4824	120	150	30	125	145	1	130	1	96.2	225	1900	3000	1220
NA 4924		165	45	126.5	158.5	1	135	1.1	180	382	1800	2800	2910
NA 4826	130	165	35	136.5	158.5	1	145	1.1	118	302	1700	2600	—
NA 4926		180	50	138	172	1.5	150	1.5	202	460	1600	2400	3960
NA 4828	140	175	35	146.5	168.5	1	155	1.1	122	320	1600	2400	1980
NA 4928		190	50	148	182	1.5	160	1.5	210	488	1500	2200	4220
NA 4830	150	190	40	156.5	183.5	1	165	1.1	152	395	1500	2200	2800
NA 4832	160	200	40	166.5	193.5	1	175	1.1	158	418	1500	2200	2970
NA 4834	170	215	45	176.5	208.5	1	185	1.1	192	520	1300	2000	4080
NA 4836	180	225	45	186.5	218.5	1	195	1.1	198	552	1200	1900	4290
NA 4838	190	240	50	198	232	1.5	210	1.5	230	688	1200	1800	5700
NA 4840	200	250	50	208	242	1.5	220	1.5	235	725	1100	1700	5970

3.9 推力轴承

表 5.3-41 单向推力球轴承 (摘自 GB/T301—1995)



轴向当量动载荷: $P_a = F_a$
轴向当量静载荷: $P_{0a} = F_a$
最小轴向载荷 $F_{amin} = A \left(\frac{n}{1000} \right)^2$
式中 n —转速 (r·min⁻¹)

轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定载荷 /kN		最小载 荷常数	极限转速 /r·min ⁻¹		质量 /kg
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₁ min	<i>D</i> ₁ max	<i>r</i> min	<i>C</i> _a	<i>C</i> _{0a}	<i>A</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
51000 型															
51104	20	35	10	29	26	0.3	21	35	0.3	14.2	24.5	0.004	4800	6700	0.036
51204		40	14	32	28	0.6	22	40	0.6	22.2	37.5	0.007	3800	5300	0.075
51304		47	18	36	31	1	22	47	1	35.0	55.8	0.016	3600	4500	0.15
51105	25	42	11	35	32	0.6	26	42	0.6	15.2	30.2	0.005	4300	6000	0.055
51205		47	15	38	34	0.6	27	47	0.6	27.8	50.5	0.013	3400	4800	0.11
51305		52	18	41	36	1	27	52	1	35.5	61.5	0.021	3000	4300	0.17
51405		60	24	46	39	1	27	60	1	55.5	89.2	0.044	2200	3400	0.31
51106	30	47	11	40	37	0.6	32	47	0.6	16.0	34.2	0.007	4000	5600	0.062

(续)

轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定载荷 /kN		最小载荷 常数	极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₁</i> min	<i>D₁</i> max	<i>r</i> min	<i>C_a</i>	<i>C_{0a}</i>		脂	油	<i>W</i> ≈
51000 型															
51206	30	52	16	43	39	0.6	32	52	0.6	28.0	54.2	0.016	3200	4500	0.13
51306		60	21	48	42	1	32	60	1	42.8	78.5	0.033	2400	3600	0.26
51406		70	28	54	46	1	32	70	1	72.5	125	0.082	1900	3000	0.51
51107	35	52	12	45	42	0.6	37	52	0.6	18.2	41.5	0.010	3800	5300	0.077
51207		62	18	51	46	1	37	62	1	39.2	78.2	0.033	2800	4000	0.21
51307		68	24	55	48	1	37	68	1	55.2	105	0.059	2000	3200	0.37
51407		80	32	62	53	1	37	80	1.1	86.8	155	0.13	1700	2600	0.76
51108	40	60	13	52	48	0.6	42	60	0.6	26.8	62.8	0.021	3400	4800	0.11
51208		68	19	57	51	1	42	68	1	47.0	98.2	0.050	2400	3600	0.26
51308		78	26	63	55	1	42	78	1	69.2	135	0.096	1900	3000	0.53
51408		90	36	70	60	1	42	90	1.1	112	205	0.22	1500	2200	1.06
51109	45	65	14	57	53	0.6	47	65	0.6	27.0	66.0	0.024	3200	4500	0.14
51209		73	20	62	56	1	47	73	1	47.8	105	0.059	2200	3400	0.30
51309		85	28	69	61	1	47	85	1	75.8	150	0.13	1700	2600	0.66
51409		100	39	78	67	1	47	100	1.1	140	262	0.36	1400	2000	1.41
51110	50	70	14	62	58	0.6	52	70	0.6	27.2	69.2	0.027	3000	4300	0.15
51210		78	22	67	61	1	52	78	1	48.5	112	0.068	2000	3200	0.37
51310		95	31	77	68	1	52	95	1.1	96.5	202	0.21	1600	2400	0.92
51410		110	43	86	74	1.5	52	110	1.5	160	302	0.50	1300	1900	1.86
51111	55	78	16	69	64	0.6	57	78	0.6	33.8	89.2	0.043	2800	4000	0.22
51211		90	25	76	69	1	57	90	1	67.5	158	0.13	1900	3000	0.58
51311		105	35	85	75	1	57	105	1.1	115	242	0.31	1500	2200	1.28
51411		120	48	94	81	1.5	57	120	1.5	182	355	0.68	1100	1700	2.51
51112	60	85	17	75	70	1	62	85	1	40.2	108	0.063	2600	3800	0.27
51212		95	26	81	74	1	62	95	1	73.5	178	0.16	1800	2800	0.66
51312		110	35	90	80	1	62	110	1.1	118	262	0.35	1400	2000	1.37
51412		130	51	102	88	1.5	62	130	1.5	200	395	0.88	1000	1600	3.08
51113	65	90	18	80	75	1	67	90	1	40.5	112	0.07	2400	3600	0.31
51213		100	27	86	79	1	67	100	1	74.8	188	0.18	1700	2600	0.72
51313		115	36	95	85	1	67	115	1.1	115	262	0.38	1300	1900	1.48
51413		140	56	110	95	2	68	140	2	215	448	1.14	900	1400	3.91
51114	70	95	18	85	80	1	72	95	1	40.8	115	0.078	2200	3400	0.33
51214		105	27	91	84	1	72	105	1	73.5	188	0.19	1600	2400	0.75
51314		125	40	103	92	1	72	125	1.1	148	340	0.60	1200	1800	1.98
51414		150	60	118	102	2	73	150	2	255	560	1.71	850	1300	4.85
51115	75	100	19	90	85	1	77	100	1	48.2	140	0.11	2000	3200	0.38
51215		110	27	96	89	1	77	110	1	74.8	198	0.21	1500	2200	0.82
51315		135	44	111	99	1.5	77	135	1.5	162	380	0.77	1100	1700	2.58
51415		160	65	125	110	2	78	160	2	268	615	2.00	800	1200	6.08
51116	80	105	19	95	90	1	82	105	1	48.5	145	0.12	1900	3000	0.40
51216		115	28	101	94	1	82	115	1	83.8	222	0.27	1400	2000	0.90

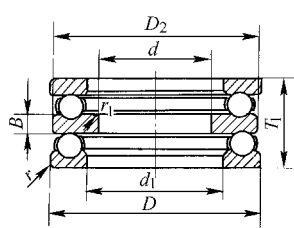
(续)

轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定载荷 /kN		最小载 荷常数	极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
51000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₁</i> min	<i>D₁</i> max	<i>r</i> min	<i>C_a</i>	<i>C_{0a}</i>	<i>A</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
51316	80	140	44	116	104	1.5	82	140	1.5	160	380	0.81	1000	1600	2.69
51416		170	68	133	117	2.1	83	170	2.1	292	692	2.55	750	1100	7.12
51117	85	110	19	100	95	1	87	110	1	49.2	150	0.13	1800	2800	0.42
51217		125	31	109	101	1	88	125	1	102	280	0.41	1300	1900	1.21
51317		150	49	124	111	1.5	88	150	1.5	208	495	1.28	950	1500	3.47
51417		180	72	141	124	2.1	88	177	2.1	318	782	3.24	700	1000	8.28
51118	90	120	22	108	102	1	92	120	1	65.0	200	0.21	1700	2600	0.65
51218		135	35	117	108	1	93	135	1.1	115	315	0.52	1200	1800	1.65
51318		155	50	129	116	1.5	93	155	1.5	205	495	1.34	900	1400	3.69
51418		190	77	149	131	2.1	93	187	2.1	325	825	3.71	670	950	9.86
51120	100	135	25	121	114	1	102	135	1	85.0	268	0.37	1600	2400	0.95
51220		150	38	130	120	1	103	150	1.1	132	375	0.75	1100	1700	2.21
51320		170	55	142	128	1.5	103	170	1.5	235	595	1.88	800	1200	4.86
51420		210	85	165	145	2.5	103	205	3	400	1080	6.17	600	850	13.3
51122	110	145	25	131	124	1	112	145	1	87.0	288	0.43	1500	2200	1.03
51222		160	38	140	130	1	113	160	1.1	138	412	0.89	1000	1600	2.39
51322		190	63	158	142	2	113	187	2	278	755	2.97	700	1100	7.05
51422		230	95	181	159	2.5	113	225	3	490	1390	10.4	530	750	20.0
51124	120	155	25	141	134	1	122	155	1	87.0	298	0.48	1400	2000	1.10
51224		170	39	150	140	1	123	170	1.1	135	412	0.96	950	1500	2.62
51324		210	70	173	157	2.1	123	205	2.1	330	945	4.58	670	950	9.54
51424		250	102	196	174	3	123	245	4	412	1220	12.4	480	670	25.5
51126	130	170	30	154	146	1	132	170	1	108	375	0.74	1300	1900	1.70
51226		190	45	166	154	1.5	133	187	1.5	188	575	1.75	900	1400	3.93
51326		225	75	186	169	2.1	134	220	2.1	358	1070	5.91	600	850	11.7
51426		270	110	212	188	3	134	265	4	630	2010	21.1	430	600	32.0
51128	140	180	31	164	156	1	142	178	1	110	402	0.84	1200	1800	1.85
51228		200	46	176	164	1.5	143	197	1.5	190	598	1.96	850	1300	4.27
51328		240	80	199	181	2.1	144	235	2.1	395	1230	7.84	560	800	14.1
51428		280	112	222	198	3	144	275	4	630	2010	22.2	400	560	32.2
51130	150	190	31	174	166	1	152	188	1	110	415	0.93	1100	1700	1.95
51230		215	50	189	176	1.5	153	212	1.5	242	768	3.06	800	1200	5.52
51330		250	80	209	191	2.1	154	245	2.1	405	1310	8.80	530	750	14.9
51430		300	120	238	212	3	154	295	4	670	2240	27.9	380	530	38.2
51132	160	200	31	184	176	1	162	198	1	110	428	1.01	1000	1600	2.06
51232		225	51	199	186	1.5	163	222	1.5	240	768	3.23	750	1100	5.91
51332		270	87	225	205	2.5	164	265	3	470	1570	12.8	500	700	18.9
51134	170	215	34	197	188	1	172	213	1.1	135	528	1.48	950	1500	2.71
51234		240	55	212	198	1.5	173	237	1.5	280	915	4.48	700	1000	7.31
51334		280	87	235	215	2.5	174	275	3	470	1580	13.8	480	670	22.5

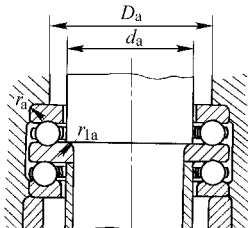
(续)

轴承代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm			基本额定载荷 /kN		最小载 荷常数	极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₁</i> min	<i>D₁</i> max	<i>r</i> min	<i>C_a</i>	<i>C_{0a}</i>	<i>A</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
51000 型															
51136	180	225	34	207	198	1	183	222	1.1	135	528	1.56	900	1400	2.77
51236		250	56	222	208	1.5	183	247	1.5	285	958	4.91	670	950	7.84
51336		300	95	251	229	2.5	184	295	3	518	1820	17.9	430	600	28.7
51138	190	240	37	220	210	1	193	237	1.1	172	678	2.41	850	1300	3.61
51238		270	62	238	222	2	194	267	2	328	1160	6.97	630	900	10.5
51338		320	105	266	244	3	195	315	4	608	2220	26.7	400	560	41.1
51140	200	250	37	230	220	1	203	247	1.1	172	698	2.60	800	1200	3.77
51240		280	62	248	232	2	204	277	2	332	1210	7.59	600	850	11.0
51340		340	110	282	258	3	205	335	4	600	2220	28.0	360	500	44.0

表 5.3-42 双向推力球轴承 (摘自 GB/T 301—1995)



52000 型



安装尺寸

轴向当量动载荷

$P_a = F_a$

轴向当量静载荷

$P_{0a} = F_a$

轴承 代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm				其他尺寸 /mm					基本额定 载荷/kN		最小载 荷常数	极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T₁</i>	<i>d_a</i> max	<i>D_a</i> min	<i>r_a</i>	<i>r_{1a}</i>	<i>d₁</i> min	<i>D₂</i> max	<i>B</i>	<i>r</i> min	<i>r₁</i> min	<i>C_a</i>	<i>C_{0a}</i>	<i>A</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
52000 型																		
52202	10	32	22	15	22	0.6	0.3	17	32	5	0.6	0.3	16.5	24.8	0.003	4800	6700	0.08
52204	15	40	26	20	28	0.6	0.3	22	40	6	0.6	0.3	22.2	37.5	0.007	3800	5300	0.15
52405		60	45	25	39	1	0.6	27	60	11	1	0.6	55.5	89.2	0.044	2200	3400	0.61
52205	20	47	28	25	34	0.6	0.3	27	47	7	0.6	0.3	27.8	50.5	0.013	3400	4800	0.21
52305		52	34	25	36	1	0.3	27	52	8	1	0.3	35.5	61.5	0.021	3000	4300	0.32
52406		70	52	30	46	1	0.6	32	70	12	1	0.6	72.5	125	0.082	1900	3000	0.97
52206	25	52	29	30	39	0.6	0.3	32	52	7	0.6	0.3	28.0	54.2	0.016	3200	4500	0.24
52306		60	38	30	42	1	0.3	32	60	9	1	0.3	42.8	78.5	0.033	2400	3600	0.47
52407		80	59	35	53	1	0.6	37	80	14	1.1	0.6	86.8	155	0.13	1700	2600	1.41
52207	30	62	34	35	46	1	0.3	37	62	8	1	0.3	39.2	78.2	0.033	2800	4000	0.41
52307		68	44	35	48	1	0.3	37	68	10	1	0.3	55.2	105	0.059	2000	3200	0.68
52208		68	36	40	51	1	0.6	42	68	9	1	0.6	47.0	98.2	0.050	2400	3600	0.53
52308		78	49	40	55	1	0.6	42	78	12	1	0.6	69.2	135	0.098	1900	3000	1.03
52408		90	65	40	60	1	0.6	42	90	15	1.1	0.6	112	205	0.22	1500	2200	1.94
52209	35	73	37	45	56	1	0.6	47	73	9	1	0.6	47.8	105	0.059	2200	3400	0.59

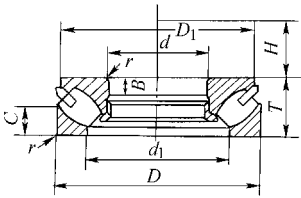
(续)

轴承 代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm				其他尺寸 /mm					基本额定 载荷/kN		最小载 荷常数	极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
52000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i> ₁	<i>d</i> _a max	<i>D</i> _a min	<i>r</i> _a	<i>r</i> _{1a}	<i>d</i> ₁ min	<i>D</i> ₂ max	<i>B</i>	<i>r</i> min	<i>r</i> ₁ min	<i>C</i> _a	<i>C</i> _{0a}	<i>A</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
52309	35	85	52	45	61	1	0.6	47	85	12	1	0.6	75.8	150	0.13	1700	2600	1.25
52409		100	72	45	67	1	0.6	47	100	17	1.1	0.6	140	262	0.36	1400	2000	2.64
52210	40	78	39	50	61	1	0.6	52	78	9	1	0.6	48.5	112	0.068	2000	3200	0.69
52310		95	58	50	68	1	0.6	52	95	14	1.1	0.6	96.5	202	0.21	1600	2400	1.76
52410		110	78	50	74	1.5	0.6	52	110	18	1.5	0.6	160	302	0.50	1300	1900	3.40
52211	45	90	45	55	69	1	0.6	57	90	10	1	0.6	67.5	158	0.13	1900	3000	1.17
52311		105	64	55	75	1	0.6	57	105	15	1.1	0.6	115	242	0.31	1500	2200	2.38
52411		120	87	55	81	1.5	0.6	57	120	20	1.5	0.6	182	355	0.68	1100	1700	4.54
52212	50	95	46	60	74	1	0.6	62	95	10	1	0.6	73.5	178	0.16	1800	2800	1.21
52312		110	64	60	80	1	0.6	62	110	15	1.1	0.6	118	262	0.35	1400	2000	2.54
52412		130	93	60	88	1.5	0.6	62	130	21	1.5	0.6	200	395	0.88	1000	1600	5.58
52413		140	101	65	95	2	1	68	140	23	2	1	215	448	1.14	900	1400	7.07
52213	55	100	47	65	79	1	0.6	67	100	10	1	0.6	74.8	188	0.18	1700	2600	1.32
52313		115	65	65	85	1	0.6	67	115	15	1.1	0.6	115	262	0.38	1300	1900	2.72
52214		105	47	70	84	1	1	72	105	10	1	1	73.5	188	0.19	1600	2400	1.42
52314		125	72	70	92	1	1	72	125	16	1.1	1	148	340	0.60	1200	1800	3.64
52414		150	107	70	102	2	1	73	150	24	2	1	255	560	1.71	850	1300	8.71
52215	60	110	47	75	89	1	1	77	110	10	1	1	74.8	198	0.21	1500	2200	1.50
52315		135	79	75	99	1.5	1	77	135	18	1.5	1	162	380	0.77	1100	1700	4.72
52415		160	115	75	110	2	1	78	160	26	2	1	268	615	2.00	800	1200	10.7
52216	65	115	48	80	94	1	1	82	115	10	1	1	83.8	222	0.27	1400	2000	1.63
52316		140	79	80	104	1.5	1	82	140	18	1.5	1	160	380	0.81	1000	1600	4.92
52416		170	120	80	117	2.1	1	83	170	27	2.1	1	292	692	2.55	750	1100	12.5
52417		180	128	85	124	2.1	1	88	179.5	29	2.1	1.1	318	782	3.24	700	1000	14.8
52217	70	125	55	85	109	1	1	88	125	12	1	1	102	280	0.41	1300	1900	2.27
52317		150	87	85	114	1.5	1	88	150	19	1.5	1	208	495	1.28	950	1500	6.26
52418		190	135	90	131	2.1	1	93	189.5	30	2.1	1.1	325	825	3.71	670	950	17.3
52218	75	135	62	90	108	1	1	93	135	14	1.1	1	115	315	0.52	1200	1800	3.05
52318		155	88	90	116	1.5	1	93	155	19	1.5	1	205	495	1.34	900	1400	6.56
52420	80	210	150	100	145	2.5	1	103	209.5	33	3	1.1	400	1080	6.17	600	850	23.5
52220	85	150	67	100	120	1	1	103	150	15	1.1	1	132	375	0.75	1100	1700	4.03
52320		170	97	100	128	1.5	1	103	170	21	1.5	1	235	595	1.88	800	1200	8.62
52422	90	230	166	110	159	2.5	1	113	229	37	3	1.1	490	1390	10.4	530	750	33.0
52222	95	160	67	110	130	1	1	113	160	15	1.1	1	138	412	0.89	1000	1600	4.38
52322		190	110	110	142	2	1	113	189.5	24	2	1	278	755	2.97	700	1100	12.4

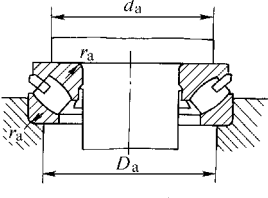
(续)

轴承 代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm				其他尺寸 /mm					基本额定 载荷/kN		最小载 荷常数	极限转速 /r · min ⁻¹		质量 /kg
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i> ₁	<i>d</i> _a max	<i>D</i> _a min	<i>r</i> _a	<i>r</i> _{1a}	<i>d</i> ₁ min	<i>D</i> ₂ max	<i>B</i>	<i>r</i> min	<i>r</i> ₁ min	<i>C</i> _a	<i>C</i> _{0a}	<i>A</i>	脂	油	<i>W</i> ≈
52000 型																		
52224	100	170	68	120	140	1	1	123	170	15	1.1	1.1	135	412	0.96	950	1500	4.82
52324		210	123	120	157	2.1	1	123	209.5	27	2.1	1.1	330	945	4.58	670	950	17.1
52426		270	192	130	188	3	2	134	269	42	4	2	630	2010	21.1	430	600	55.0
52226	110	190	80	130	154	1.5	1	133	189.5	18	1.5	1.1	188	575	1.75	900	1400	7.36
52326		225	130	130	169	2.1	1	134	224	30	2.1	1.1	358	1070	5.91	600	850	20.8
52428		280	196	140	198	3	2	144	279	44	4	2	630	2010	22.2	400	560	61.2
52228	120	200	81	140	164	1.5	1	143	199.5	18	1.5	1.1	190	598	1.96	850	1300	7.80
52328		240	140	140	181	2.1	1	144	239	31	2.1	1.1	395	1230	7.84	560	800	25.0
52430		300	209	150	212	3	2	154	299	46	4	2	670	2240	27.9	380	530	68.1
52230	130	215	89	150	176	1.5	1	153	214.5	20	1.5	1.1	242	768	3.06	800	1200	10.3
52330		250	140	150	191	2.1	1	154	249	31	2.1	1.1	405	1310	8.80	530	750	26.4
52232	140	225	90	160	186	1.5	1	163	224.5	20	1.5	1.1	240	768	3.23	750	1100	10.9
52332		270	153	160	205	2.5	1	164	269	33	3	1.1	470	1570	12.8	500	700	33.6
52234	150	240	97	170	198	1.5	1	173	239.5	21	1.5	1.1	280	915	4.48	700	1000	13.4
52334		280	153	170	215	2.5	1	174	279	33	3	1.1	470	1580	13.8	480	670	15.0
52236		250	98	180	208	1.5	2	183	249	21	1.5	2	285	958	4.91	670	950	14.6
52336		300	165	180	229	2.5	2	184	299	37	3	2	518	1820	17.9	430	600	49.0
52238	160	270	109	190	222	2	2	194	269	24	2	2	328	1160	6.97	630	900	19.5
52240	170	280	109	200	232	2	2	204	279	24	2	2	332	1210	7.59	500	850	20.4

表 5.3-43 推力调心滚子轴承 (摘自 GB/T 5859—2008)



29000 型



安装尺寸

轴向当量动载荷:

当 $F_r \leq 0.55F_a$ 时, $P_a = F_a + 1.2F_r$

轴向当量静载荷:

当 $F_r \leq 0.55F_a$ 时, $P_{0a} = F_a + 2.7F_r$

最小轴向载荷:

$\frac{C_{0a}}{1000} \leq F_{amin} > 1.8F_r + A \left(\frac{n}{1000} \right)^2$

式中 n —转速(r · min⁻¹)

当 $F_r > 0.55F_a$ 时,不适用

轴承 代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm						基本额定 载荷/kN		最小载 荷常数	极限转速 /r · min ⁻¹	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₁ max	<i>D</i> ₁ max	<i>B</i> min	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>r</i> min	<i>C</i> _a	<i>C</i> _{0a}	<i>A</i>	油	
29000 型																	
29412	60	130	42	90	107	1.5	89	123	15	20	38	1.5	319	897	0.086	2400	
29413	65	140	45	100	115	2	96	133	16	21	42	2	371	1048	0.118	2200	
29414	70	150	48	105	124	2	103	142	17	23	44	2	416	1198	0.155	2000	

(续)

轴承 代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm						基本额定 载荷/kN		最小载 荷常数	极限转速 /r · min ⁻¹
29000 型	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>d_a</i> min	<i>D_a</i> max	<i>r_a</i> max	<i>d₁</i> max	<i>D₁</i> max	<i>B</i> min	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>r</i> min	<i>C_a</i>	<i>C_{0a}</i>	<i>A</i>	油
29415	75	160	51	115	132	2	109	152	18	24	47	2	468	1367	0.21	1900
29416	80	170	54	120	141	2.1	117	162	19	26	50	2.1	532	1563	0.263	1800
29317	85	150	39	115	129	1.5	114	143.5	13	19	50	1.5	326	1037	0.105	2200
29417		180	58	130	150	2.1	125	170	21	28	54	2.1	582	1708	0.304	1700
29318	90	155	39	118	135	1.5	117	148.5	13	19	52	1.5	335	1089	0.116	2200
29418		190	60	135	158	2.1	132	180	22	29	56	2.1	642	1904	0.392	1600
29320	100	170	42	132	148	1.5	129	163	14	20.8	58	1.5	390	1284	0.166	2000
29420		210	67	150	175	2.5	146	200	24	32	62	3	778	2343	0.588	1400
29322	110	190	48	145	165	2	143	182	16	23	64	2	487	1625	0.279	1800
29422		230	73	165	192	2.5	162	220	26	35	69	3	923	2854	0.724	1300
29324	120	210	54	160	182	2.1	159	200	18	26	70	2.1	620	2066	0.44	1600
29424		250	78	180	210	3	174	236	29	37	74	4	1074	3308	0.933	1200
29326	130	225	58	170	195	2.1	171	215	19	28	76	2.1	663	2235	0.543	1500
29426		270	85	195	227	3	189	255	31	41	81	4	1249	3918	1.64	1100
29328	140	240	60	185	208	2.1	183	230	20	29	82	2.1	719	2539	0.71	1400
29428		280	85	205	237	3	199	268	31	41	86	4	1288	4133	1.796	1000
29330	150	250	60	195	220	2.1	194	240	20	29	87	2.1	781	2753	0.774	1300
29430		300	90	220	253	3	214	285	32	44	92	4	1452	4680	2.285	950
29332	160	270	67	210	236	2.5	208	260	23	32	92	3	927	3253	1.063	1200
29432		320	95	230	271	4	229	306	34	45	99	5	1589	5315	2.969	900
29334	170	280	67	220	247	2.5	216	270	23	32	96	3	940	3358	1.16	1100
29434		340	103	245	288	4	243	324	37	50	104	5	1878	6265	4.015	850
29336	180	300	73	235	263	2.5	232	290	25	35	103	3	1111	4056	1.628	1000
29436		360	109	260	305	4	255	342	39	52	110	5	2056	6867	4.936	750
29338	190	320	78	250	281	3	246	308	27	38	110	4	1301	4861	2.294	900
29438		380	115	275	322	4	271	360	41	55	117	5	2297	7774	6.228	700
29240	200	280	48	235	258	2	236	271	15	24	108	2	612	2518	0.759	1400
29340		340	85	265	298	3	261	325	29	41	116	4	1430	5181	2.827	900
29440		400	122	290	338	4	286	380	43	58	122	5	2483	8368	7.588	700
29244	220	300	48	260	277	2	254	292	15	24	117	2	634	2705	0.749	1300
29344		360	85	285	316	3	280	345	29	41	125	4	1524	5661	3.21	850
29444		420	122	310	360	5	308	400	43	59	132	6	2588	8990	8.583	670

(续)

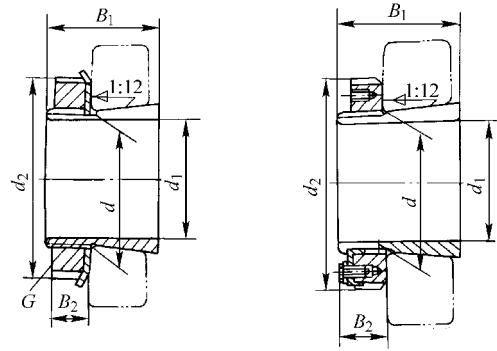
轴承 代号	基本尺寸 /mm			安装尺寸 /mm			其他尺寸 /mm						基本额定 载荷/kN		最小载 荷常数	极限转速 /r · min ⁻¹
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>d</i> _a min	<i>D</i> _a max	<i>r</i> _a max	<i>d</i> ₁ max	<i>D</i> ₁ max	<i>B</i> min	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>r</i> min	<i>C</i> _a	<i>C</i> _{0a}	<i>A</i>	油
29000 型																
29248	240	340	60	285	311	2.1	283	330	19	30	130	2.1	915	3951	1.483	1100
29348		380	85	300	337	3	300	365	29	41	135	4	1583	6014	3.569	800
29448		440	122	330	381	5	326	420	43	59	142	6	2725	9771	9.656	630
29252	260	360	60	305	331	2.1	302	350	19	30	139	2.1	944	4207	1.754	1000
29352		420	95	330	372	4	329	405	32	45	148	5	1940	7716	6.073	750
29452		480	132	360	419	5	357	460	48	64	154	6	3247	11930	14.45	600
29256	280	380	60	325	351	2.1	323	370	19	30	150	2.1	954	4348	1.855	950
29356		440	95	350	394	4	348	423	32	46	158	5	2023	8207	6.782	670
29456		520	145	390	446	5	387	495	52	68	166	6	3753	13794	20.73	530
29260	300	420	73	355	386	2.5	353	405	21	38	162	3	1340	6057	3.43	900
29360		480	109	380	429	4	379	460	37	50	168	5	2554	10396	10.2	630
29460		540	145	410	471	5	402	515	52	70	175	6	3895	14689	22.95	480

注: *C* 为参考尺寸。

3.10 滚动轴承附件及滚动轴承座

3.10.1 滚动轴承附件(紧定套、退卸衬套、止推环)

表 5.3-44 紧定套(摘自 JB/T 7919.2—1999)



本紧定套适用于安装锥孔(锥度为 1:12)轴承于无轴肩的圆柱形轴上

基本代号	尺 寸/mm						质量/kg	组成零件		
紧定套	<i>d</i> ₁	<i>d</i>	<i>d</i> ₂	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>G</i>	<i>W</i> ≈	紧定衬套	锁紧螺母	锁紧垫圈
H202	12	15	25	19	6	M15 × 1	—	A202	KM02	MB02
H302			25	22	6	M15 × 1	—	A302	KM02	MB02
H2302			25	25	6	M15 × 1	—	A2302	KM02	MB02
H203	14	17	28	20	6	M17 × 1	—	A203	KM03	MB03
H303			28	24	6	M17 × 1	—	A303	KM03	MB03
H2303			28	27	6	M17 × 1	—	A2303	KM03	MB03
H204	17	20	32	24	7	M20 × 1	—	A204	KM04	MB04
H304			32	28	7	M20 × 1	—	A304	KM04	MB04

(续)

基本代号	尺寸/mm						质量/kg	组成零件		
紧定套	d_1	d	d_2	B_1	B_2	G	W $\approx$	紧定衬套	锁紧螺母	锁紧垫圈
H2304	17	20	32	31	7	M20 $\times$ 1	—	A2304	KM04	MB04
H205	20	25	38	26	8	M25 $\times$ 1.5	0.070	A205	KM05	MB05
H305			38	29	8	M25 $\times$ 1.5	0.075	A305	KM05	MB05
H2305			38	35	8	M25 $\times$ 1.5	—	A2305	KM05	MB05
H206	25	30	45	27	8	M30 $\times$ 1.5	0.10	A206	KM06	MB06
H306			45	31	8	M30 $\times$ 1.5	0.11	A306	KM06	MB06
H2306			45	38	8	M30 $\times$ 1.5	—	A2306	KM06	MB06
H207	30	35	52	29	9	M35 $\times$ 1.5	0.13	A207	KM07	MB07
H307			52	35	9	M35 $\times$ 1.5	0.14	A307	KM07	MB07
H2307			52	43	9	M35 $\times$ 1.5	0.17	A2307	KM07	MB07
H208	35	40	58	31	10	M40 $\times$ 1.5	0.17	A208	KM08	MB08
H308			58	36	10	M40 $\times$ 1.5	0.19	A308	KM08	MB08
H2308			58	46	10	M40 $\times$ 1.5	0.22	A2308	KM08	MB08
H209	40	45	65	33	11	M45 $\times$ 1.5	0.23	A209	KM09	MB09
H309			65	39	11	M45 $\times$ 1.5	0.25	A309	KM09	MB09
H2309			65	50	11	M45 $\times$ 1.5	0.28	A2309	KM09	MB09
H210	45	50	70	35	12	M50 $\times$ 1.5	0.27	A210	KM10	MB10
H310			70	42	12	M50 $\times$ 1.5	0.30	A310	KM10	MB10
H2310			70	55	12	M50 $\times$ 1.5	0.36	A2310	KM10	MB10
H211	50	55	75	37	12	M55 $\times$ 2	0.31	A211	KM11	MB11
H311			75	45	12	M55 $\times$ 2	0.42	A311	KM11	MB11
H2311			75	59	12	M55 $\times$ 2	0.42	A2311	KM11	MB11
H212	55	60	80	38	13	M60 $\times$ 2	0.35	A212	KM12	MB12
H312			80	47	13	M60 $\times$ 2	0.39	A312	KM12	MB12
H2312			80	62	13	M60 $\times$ 2	0.48	A2312	KM12	MB12
H213	60	65	85	40	14	M65 $\times$ 2	0.40	A213	KM13	MB13
H313			85	50	14	M65 $\times$ 2	0.46	A313	KM13	MB13
H2313			85	65	14	M65 $\times$ 2	0.55	A2313	KM13	MB13
H214		70	92	41	14	M70 $\times$ 2	—	A214	KM14	MB14
H314			92	52	14	M70 $\times$ 2	—	A314	KM14	MB14
H2314			92	68	14	M70 $\times$ 2	0.90	A2314	KM14	MB14
H215	65	75	98	43	15	M75 $\times$ 2	0.71	A215	KM15	MB15
H315			98	55	15	M75 $\times$ 2	0.83	A315	KM15	MB15
H2315			98	73	15	M75 $\times$ 2	1.05	A2315	KM15	MB15
H216	70	80	105	46	17	M80 $\times$ 2	0.88	A216	KM16	MB16
H316			105	59	17	M80 $\times$ 2	1.00	A316	KM16	MB16

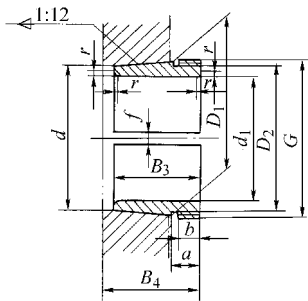
(续)

基本代号	尺寸/mm						质量/kg	组成零件		
紧定套	d_1	d	d_2	B_1	B_2	G	W ≈	紧定衬套	锁紧螺母	锁紧垫圈
H2316			105	78	17	M80 × 2	1.30	A2316	KM16	MB16
H217	75	85	110	50	18	M85 × 2	1.00	A217	KM17	MB17
H317			110	63	18	M85 × 2	1.20	A317	KM17	MB17
H2317			110	82	18	M85 × 2	1.45	A2317	KM17	MB17
H218	80	90	120	52	18	M90 × 2	1.20	A218	KM18	MB18
H318			120	65	18	M90 × 2	1.35	A318	KM18	MB18
H2318			120	86	18	M90 × 2	1.70	A2318	KM18	MB18
H219	85	95	125	55	19	M95 × 2	1.35	A219	KM19	MB19
H319			125	68	19	M95 × 2	1.55	A319	KM19	MB19
H2319			125	90	19	M95 × 2	1.90	A2319	KM19	MB19
H220	90	100	130	58	20	M100 × 2	1.50	A220	KM20	MB20
H320			130	71	20	M100 × 2	1.70	A320	KM20	MB20
H3120			130	76	20	M100 × 2	—	A3120	KM20	MB20
H2320			130	97	20	M100 × 2	2.15	A2320	KM20	MB20
H221	95	105	140	60	20	M105 × 2	1.70	A221	KM21	MB21
H321			140	74	20	M105 × 2	1.95	A321	KM21	MB21
H222	100	110	145	63	21	M110 × 2	1.90	A222	KM22	MB22
H322			145	77	21	M110 × 2	2.20	A322	KM22	MB22
H3122			145	81	21	M110 × 2	—	A3122	KM22	MB22
H2322			145	105	21	M110 × 2	2.75	A2322	KM22	MB22
H3024	110	120	145	72	22	M120 × 2	1.95	A3024	KML24	MBL24
H3124			155	88	22	M120 × 2	2.65	A3124	KM24	MB24
H2324			155	112	22	M120 × 2	3.20	A2324	KM24	MB24
H3026	115	130	155	80	23	M130 × 2	2.85	A3026	KML26	MBL26
H3126			165	92	23	M130 × 2	3.65	A3126	KM26	MB26
H2326			165	121	23	M130 × 2	4.60	A2326	KM26	MB26
H3028	125	140	165	82	24	M140 × 2	3.15	A3028	KML28	MBL28
H3128			180	97	24	M140 × 2	4.35	A3128	KM28	MB28
H2328			180	131	24	M140 × 2	5.55	A2328	KM28	MB28
H3030	135	150	180	87	26	M150 × 2	3.90	A3030	KML30	MBL30
H3130			195	111	26	M150 × 2	5.50	A3130	KM30	MB30
H2330			195	139	26	M150 × 2	6.60	A2330	KM30	MB30
H3032	140	160	190	93	28	M160 × 3	5.20	A3032	KML32	MBL32
H3132			210	119	28	M160 × 3	7.65	A3132	KM32	MB32
H2332			210	147	28	M160 × 3	9.15	A2332	KM32	MB32
H3034	150	170	200	101	29	M170 × 3	6.00	A3034	KML34	MBL34

(续)

基本代号	尺寸/mm						质量/kg	组成零件		
紧定套	d_1	d	d_2	B_1	B_2	G	W ≈	紧定衬套	锁紧螺母	锁紧垫圈
H3134	150	170	220	122	29	M170 × 3	8.40	A3134	KM34	MB34
H2334			220	154	29	M170 × 3	10.0	A2334	KM34	MB34
H3036	160	180	210	109	30	M180 × 3	6.85	A3036	KML36	MBL36
H3136			230	131	30	M180 × 3	9.50	A3136	KM36	MB36
H2336			230	161	30	M180 × 3	11.0	A2336	KM36	MB36
H3038	170	190	220	112	31	M190 × 3	7.45	A3038	KML38	MBL38
H3138			240	141	31	M190 × 3	11.0	A3138	KM38	MB38
H2338			240	169	31	M190 × 3	12.5	A2338	KM38	MB38

表 5.3-45 退卸衬套 (摘自 JB/T 7919.1—1999)



退卸衬套适用于将锥孔(锥度为 1:12 或 1:30)轴承安装于圆柱形轴上。轴承安装于紧靠轴肩处,退卸衬套被压入轴承内孔,直到轴承径向游隙减小到合适值为止。拆卸轴承时,拧紧螺母使退卸衬套退出

基本代号	尺寸/mm											质量/kg	配用螺母 代号
退卸衬套	d_1	d	B_3 max	B_4	D_1	D_2	a	b	f	r	G	W ≈	
AH208	35	40	25	27	41.50	41.0	9	6	2	0.5	M45 × 1.5	—	KM09
AH308			29	32	41.92	41.0	9	6	2	0.5	M45 × 1.5	0.09	KM09
AH2308			40	43	42.75	42.0	10	7	2	0.5	M45 × 1.5	0.128	KM09
AH209	40	45	26	29	46.67	46.0	9	6	2	0.5	M50 × 1.5	—	KM10
AH309			31	34	47.08	46.5	9	6	2	0.5	M50 × 1.5	0.109	KM10
AH2309			44	47	48.08	47.5	10	7	2	0.5	M50 × 1.5	0.164	KM10
AH210	45	50	28	31	51.15	51.0	10	7	2	0.5	M55 × 2	—	KM11
AH310			35	38	52.33	51.5	10	7	2	0.5	M55 × 2	0.137	KM11
AH2310			50	53	53.50	52.0	12	9	2	0.5	M55 × 2	0.209	KM11
AH211	50	55	29	32	56.83	56.0	10	7	3	0.5	M60 × 2	—	KM12
AH311			37	40	57.50	56.5	10	7	3	0.5	M60 × 2	0.161	KM12
AH2311			54	57	58.67	57.0	13	10	3	0.5	M60 × 2	0.253	KM12
AH212	55	60	32	35	62.00	61.5	11	8	3	0.5	M65 × 2	—	KM13
AH312			40	43	62.67	61.5	11	8	3	0.5	M65 × 2	0.189	KM13
AH2312			58	61	63.92	62.0	14	11	3	0.5	M65 × 2	0.297	KM13
AHX213	60	65	32.5	36	67.08	66.5	11	8	3	1	M70 × 2	—	KM14
AHX313			42	45	67.83	67.0	11	8	3	1	M70 × 2	0.253	KM14
AHX2313			61	64	69.08	68.5	15	12	3	1	M70 × 2	0.395	KM14

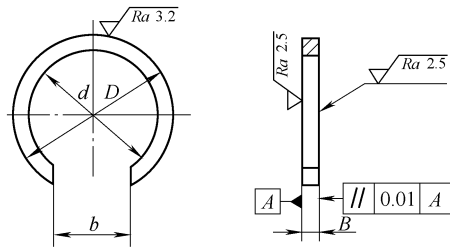
(续)

基本代号	尺寸/mm											质量/kg	配用螺母 代号
退卸衬套	d_1	d	B_3 max	B_4	D_1	D_2	a	b	f	r	G	W ≈	
AHX214	65	70	33.5	37	72.17	71.5	11	8	3	1	M75 × 2	—	KM15
AHX314			43	47	73.00	72.5	11	8	3	1	M75 × 2	0.28	KM15
AHX2314			64	68	74.42	73.5	15	12	3	1	M75 × 2	0.466	KM15
AHX215	70	75	34.5	38	77.25	76.5	11	8	3	1	M80 × 2	—	KM16
AHX315			45	49	78.17	77.5	11	8	3	1	M80 × 2	0.313	KM16
AHX2315			68	72	79.75	79.0	15	12	3	1	M80 × 2	0.534	KM16
AH216	75	80	35.5	39	82.33	81.5	11	8	3	1	M90 × 2	—	KM18
AH316			48	52	83.42	82.5	11	8	3	1	M90 × 2	0.365	KM18
AH2316			71	75	85.00	84.5	15	12	3	1	M90 × 2	0.597	KM18
AH217	80	85	38.5	42	87.50	87.0	12	9	3	1	M95 × 2	—	KM19
AH317			52	56	88.67	88.0	12	9	3	1	M95 × 2	0.429	KM19
AH2317			74	78	90.17	89.5	16	13	3	1	M95 × 2	0.69	KM19
AH218	85	90	40	44	92.67	92.0	12	9	3	1	M100 × 2	—	KM20
AH318			53	57	93.75	93.0	12	9	3	1	M100 × 2	0.461	KM20
AH3218			63	67	94.50	94.0	13	10	3	1	M100 × 2	0.576	KM20
AH2318			79	83	95.50	95.0	17	14	3	1	M100 × 2	0.779	KM20
AH219	90	95	43	47	97.83	97.0	13	10	4	1	M105 × 2	—	KM21
AH319			57	61	99.00	98.5	13	10	4	1	M105 × 2	0.532	KM21
AH3219			67	71	99.75	99.0	14	11	4	1	M105 × 2	—	KM21
AH2319			85	89	100.83	100.0	19	16	4	1	M105 × 2	0.886	KM21
AH220	95	100	45	49	103.00	102.5	13	10	4	1	M110 × 2	—	KM22
AH320			59	63	104.17	103.5	13	10	4	1	M110 × 2	0.582	KM22
AH3120			64	68	104.50	104.0	14	11	4	1	M110 × 2	0.650	KM22
AH3220			73	77	105.25	104.5	14	11	4	1	M110 × 2	0.767	KM22
AH2320			90	94	106.25	105.5	19	16	4	1	M110 × 2	0.998	KM22
AH222	105	110	50	54	113.33	112.5	14	11	4	1	M120 × 2	—	KM24
AH322			63	67	114.33	113.5	15	12	4	1	M120 × 2	0.663	KM24
AH3122			68	72	114.83	114.0	14	11	4	1	M120 × 2	0.760	KM24
AHX3222			82	86	116.00	115.5	14	11	4	1	M120 × 2	0.883	KM24
AHX2322			98	102	116.92	116.0	19	16	4	1	M120 × 2	1.350	KM24
AH224	115	120	53	57	123.50	123.0	15	12	4	1	M130 × 2	—	KM26
AH3024			60	64	124.00	123.5	16	13	4	1	M130 × 2	0.750	KM26
AH324			69	73	124.75	124.0	16	13	4	1	M130 × 2	—	KM26
AH3124			75	79	125.33	124.0	15	12	4	1	M130 × 2	0.950	KM26
AHX3224			90	94	126.50	126.0	16	13	4	1	M130 × 2	1.110	KM26
AHX2324			105	109	127.42	126.5	20	17	4	1	M130 × 2	1.600	KM26
AH226	125	130	53	57	133.50	133.0	15	12	4	1	M140 × 2	—	KM28
AH3026			67	71	134.50	134.0	17	14	4	1	M140 × 2	0.930	KM28
AH326			74	78	135.08	134.5	17	14	4	1	M140 × 2	—	KM28
AH3126			78	82	135.58	135.0	15	12	4	1	M140 × 2	1.080	KM28

(续)

基本代号	尺寸/mm											质量/kg	配用螺母 代号
退卸衬套	d_1	d	B_3 max	B_4	D_1	D_2	a	b	f	r	G	W ≈	
AHX3226	125	130	98	102	137.00	136.5	18	15	4	1	M140 × 2	1.580	KM28
AHX2326			115	119	138.08	137.5	22	19	4	1	M140 × 2	1.970	KM28
AH228	135	140	56	61	143.75	143.0	16	13	4	1	M150 × 2	—	KM30
AH3028			68	73	144.67	144.0	17	14	4	1	M150 × 2	1.010	KM30
AH328			77	82	145.42	144.5	17	14	4	1	M150 × 2	—	KM30
AH3128			83	88	145.92	145.0	17	14	4	1	M150 × 2	1.280	KM30
AHX3228			104	109	147.58	147.0	18	15	4	1	M150 × 2	1.840	KM30
AHX2328			125	130	148.92	148.0	23	20	4	1	M150 × 2	2.330	KM30
AH230	145	150	60	65	154.00	153.5	17	14	4	1	M160 × 3	—	KM32
AH3030			72	77	154.92	154.0	18	15	4	1	M160 × 3	1.150	KM32
AHX330			83	88	155.83	155.0	18	15	4	1	M160 × 3	—	KM32
AHX3130			96	101	156.92	156.0	18	15	4	1	M160 × 3	1.790	KM32
AHX3230			114	119	158.25	157.5	20	17	4	1	M160 × 3	2.220	KM32
AHX2330			135	140	159.42	158.5	27	24	4	1	M160 × 3	2.820	KM32
AH232	150	160	64	69	164.25	163.0	18	15	5	2	M170 × 3	—	KM34
AH3032			77	82	165.25	164.0	19	16	5	2	M170 × 3	2.060	KM34
AHX332			88	93	166.17	165.0	19	16	5	2	M170 × 3	—	KM34
AHX3132			103	108	167.42	166.0	19	16	5	2	M170 × 3	2.870	KM34
AHX3232			124	130	168.92	167.0	23	20	5	2	M170 × 3	4.080	KM34
AHX2332			140	146	169.92	168.0	27	24	5	2	M170 × 3	4.72	KM34
AH234	160	170	69	74	174.58	173.0	19	16	5	2	M180 × 3	—	KM36
AH3034			85	90	175.83	174.0	20	17	5	2	M180 × 3	2.430	KM36
AHX334			93	98	176.50	175.0	20	17	5	2	M180 × 3	—	KM36
AHX3134			104	109	177.00	176.0	19	16	5	2	M180 × 3	3.040	KM36
AHX3234			134	140	179.42	178.0	27	24	5	2	M180 × 3	4.80	KM36
AHX2334			146	152	180.42	179.0	27	24	5	2	M180 × 3	5.25	KM36
AH236	170	180	69	74	184.58	183.0	19	16	5	2	M190 × 3	—	KM38
AH3036			92	98	186.25	185.0	23	17	5	2	M190 × 3	2.81	KM38
AHX2236			105	110	187.50	186.0	20	17	5	2	M190 × 3	—	KM38
AHX3136			116	122	188.33	187.0	22	19	5	2	M190 × 3	3.76	KM38
AHX3236			140	146	189.22	188.0	27	24	5	2	M190 × 3	5.32	KM38
AHX2336			154	160	190.92	189.0	29	26	5	2	M190 × 3	5.83	KM38
AHX238	180	190	73	78	194.58	193.0	23	17	5	2	M200 × 3	—	KM40
AHX3038			96	102	196.50	195.0	24	18	5	2	M200 × 3	3.32	KM40
AHX2238			112	117	197.75	196.0	24	18	5	2	M200 × 3	—	KM40
AHX3138			125	131	198.75	197.0	26	20	5	2	M200 × 3	4.89	KM40
AHX3238			145	152	200.08	199.0	31	25	5	2	M200 × 3	5.90	KM40
AHX2338			160	167	201.25	200.0	32	26	5	2	M200 × 3	6.63	KM40

表 5.3-46 止推环(摘自 GB/T 7813—2008)



(mm)

型 号	D	d	B	b	型 号	D	d	B	b
SR52 × 5	52	45	5	32	SR190 × 10	190	173	10	130
SR52 × 7	52	45	7	32	SR190 × 15.5	190	173	15.5	130
SR62 × 7	62	54	7	38	SR200 × 10	200	180	10	130
SR62 × 8.5	62	54	8.5	38	SR200 × 13.5	200	180	13.5	130
SR62 × 10	62	54	10	38	SR200 × 16	200	180	16	130
SR72 × 8	72	64	8	47	SR200 × 21	200	180	21	130
SR72 × 9	72	64	9	47	SR215 × 10	215	195	10	140
SR72 × 10	72	64	10	47	SR215 × 14	215	195	14	140
SR80 × 7.5	80	70	7.5	52	SR215 × 18	215	195	18	140
SR80 × 10	80	70	10	52	SR230 × 10	230	210	10	150
SR85 × 6	85	75	6	57	SR230 × 13	230	210	13	150
SR85 × 8	85	75	8	57	SR240 × 10	240	218	10	150
SR90 × 6.5	90	80	6.5	62	SR240 × 20	240	218	20	150
SR90 × 10	90	80	10	62	SR250 × 10	250	230	10	160
SR100 × 6	100	90	6	68	SR250 × 15	250	230	15	160
SR100 × 8	100	90	8	68	SR260 × 10	260	238	10	170
SR100 × 10	100	90	10	68	SR270 × 10	270	248	10	170
SR100 × 10.5	100	90	10.5	68	SR270 × 16.5	270	248	16.5	170
SR110 × 8	110	99	8	73	SR280 × 10	280	255	10	170
SR110 × 10	110	99	10	73	SR290 × 10	290	268	10	180
SR110 × 11.5	110	99	11.5	73	SR290 × 17	290	268	17	180
SR120 × 10	120	108	10	78	SR300 × 10	300	275	10	190
SR120 × 12	120	108	12	78	SR310 × 5	310	285	5	190
SR125 × 10	125	113	10	84	SR310 × 10	310	285	10	190
SR125 × 13	125	113	13	84	SR320 × 5	320	296	5	200
SR130 × 8	130	118	8	88	SR320 × 10	320	296	10	200
SR130 × 10	130	118	10	88	SR340 × 5	340	314	5	210
SR130 × 12.5	130	118	12.5	88	SR340 × 10	340	314	10	210
SR140 × 8.5	140	127	8.5	93	SR360 × 6	360	332	5	210
SR140 × 10	140	127	10	93	SR360 × 10	360	332	10	210
SR140 × 12.5	140	127	12.5	93	SR370 × 10	370	337	10	210
SR150 × 9	150	135	9	98	SR380 × 5	380	342	5	210
SR150 × 10	150	135	10	98	SR400 × 5	400	369	5	210
SR150 × 13	150	135	13	98	SR400 × 10	400	369	10	210
SR160 × 10	160	144	10	105	SR420 × 5	420	379	5	220
SR160 × 11.2	160	144	11.2	105	SR440 × 5	440	420	5	220
SR160 × 14	160	144	14	105	SR440 × 10	440	420	10	220
SR160 × 16.2	160	144	16.2	105	SR460 × 5	460	430	5	200
SR170 × 10	170	154	10	112	SR460 × 10	460	430	10	200
SR170 × 10.5	170	154	10.5	112	SR480 × 5	480	451	5	240
SR170 × 14.5	170	154	14.5	112	SR500 × 5	500	461	5	220
SR180 × 10	180	163	10	120	SR500 × 10	500	461	10	220
SR180 × 12.1	180	163	12.1	120	SR540 × 5	540	487	5	240
SR180 × 14.5	180	163	14.5	120	SR540 × 10	540	487	10	240
SR180 × 18.1	180	163	18.1	120	SR580 × 5	580	524	5	260

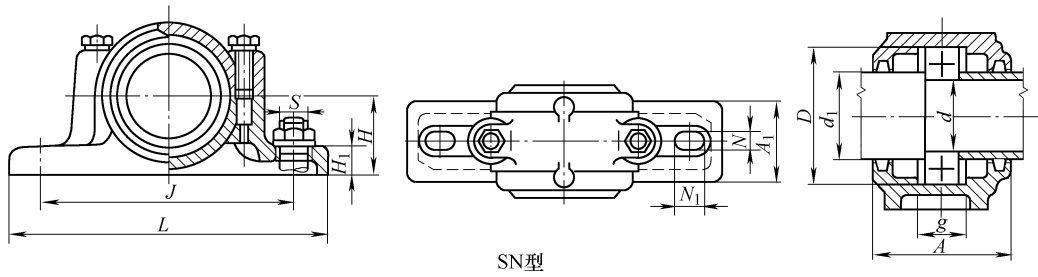
3.10.2 滚动轴承座

适用于直径系列 2(22) 和直径系列 3(23) 的调心球轴承、调心滚子轴承和带紧定套的调心球轴承、调

心滚子轴承。

适用于线速度 $\leq 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，工作温度 $\leq 90^{\circ}\text{C}$ 的工作条件。

表 5.3-47 适用圆柱孔轴承的等径孔滚动轴承座(摘自 GB/T 7813—2008)



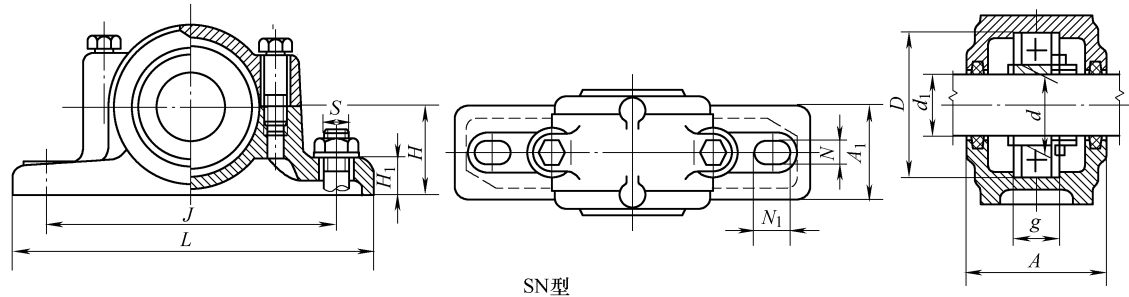
SN型

轴承座 代号	适用轴承代号					尺寸/mm													质量 /kg
SN 型	调心球轴承		调心滚子轴承 ^①			<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>D</i>	<i>g</i>	<i>A</i> max	<i>A</i> ₁	<i>H</i>	<i>H</i> ₁ max	<i>L</i> max	<i>J</i>	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>N</i> ₁ min	<i>W</i> ≈
SN205 SN305	1205 1305	2205 2305	22205C —	— —	25	30	52 62	25 34	72 82	46 52	40 50	22 22	170 185	130 150	M12 M12	15 15	15 20	1.3 1.9	
SN206 SN306	1206 1306	2206 2306	22206C —	— —	30	35	62 72	30 37	82 85	52 52	50 50	22 22	190 185	150 150	M12 M12	15 15	15 20	1.8 2.1	
SN207 SN307	1207 1307	2207 2307	22207C —	— —	35	45	72 80	33 41	85 92	52 60	50 60	22 25	190 205	150 170	M12 M12	15 15	15 20	2.1 3.0	
SN208 SN308	1208 1308	2208 2308	22208C 22308C	— 21308C	40	50	80 90	33 43	92 100	60 60	60 60	25 25	210 205	170 170	M12 M12	15 15	15 20	2.6 3.3	
SN209 SN309	1209 1309	2209 2309	22209C 22309C	— 21309C	45	55	85 100	31 46	92 105	60 70	60 70	25 28	210 255	170 210	M12 M16	15 18	15 23	2.8 4.6	
SN210 SN310	1210 1310	2210 2310	22210C 22310C	— 21310C	50	60	90 110	33 50	100 115	60 70	60 70	25 30	210 255	170 210	M12 M16	15 18	15 23	3.1 5.1	
SN211 SN311	1211 1311	2211 2311	22211C 22311C	— 21311C	55	65	100 120	33 53	105 120	70 80	70 80	28 30	270 275	210 230	M16 M16	18 18	18 23	4.3 6.5	
SN212 SN312	1212 1312	2212 2312	22212C 22312C	— 21312C	60	70	110 130	38 56	115 125	70 80	70 80	30 30	270 280	210 230	M16 M16	18 18	18 23	5.0 7.3	
SN213 SN313	1213 1313	2213 2313	22213C 22313C	— 21313C	65	75	120 140	43 58	120 135	80 90	80 95	30 32	290 315	230 260	M16 M20	18 22	18 27	6.3 9.7	
SN214 SN314	1214 1314	2214 2314	22214C 22314C	— 21314C	70	80	125 150	44 61	120 140	80 90	80 95	30 32	290 320	230 260	M16 M20	18 22	18 27	6.1 11.0	
SN215 SN315	1215 1315	2215 2315	22215C 22315C	— 21315C	75	85	130 160	41 65	125 145	80 100	80 100	30 35	290 345	230 290	M16 M20	18 22	18 27	7.0 14.0	
SN216 SN316	1216 1316	2216 2316	22216C 22316C	— 21316C	80	90	140 170	43 68	135 150	90 100	95 112	32 35	330 345	260 290	M20 M20	22 22	22 27	9.3 13.8	
SN217 SN317	1217 1317	2217 2317	22217C 22317C	— 21317C	85	95	150 180	46 70	140 165	90 110	95 112	32 40	330 380	260 320	M20 M24	22 26	22 32	9.8 15.8	
SN218 SN220 SN222	1218 1220 1222	2218 2220 2222	22218C 22220C 22222C	— 23220C 23222C	90 100 110	100 115 125	160 180 200	62.4 70.3 80	145 165 177	100 110 120	100 112 125	35 40 45	360 400 420	290 320 350	M20 M24 M24	22 26 26	22 26 26	12.3 16.5 19.3	
SN224 ^② SN226 ^② SN228 ^②	— — —	— — —	22224C 22226C 22228C	23224C 23226C 23228C	120 130 140	135 145 155	215 230 250	86 90 98	187 192 207	120 130 150	140 150 150	45 50 50	420 450 510	350 380 420	M24 M24 M30	26 26 35	26 26 35	24.6 30.0 37.0	
SN230 ^② SN232 ^②	— —	— —	22230C 22232C	23230C 23232C	150 160	165 175	270 290	106 114	224 237	160 160	160 170	60 60	540 560	450 470	M30 M30	35 35	35 35	45.0 53.0	

① 所列调心滚子轴承代号为 C 型结构,同时适用非对称型调心滚子轴承(22205、22206、22207 除外)和对称型调心滚子轴承基型、CC 型结构。

② SN224 ~ SN232 应装有吊环螺钉。

表 5.3-48 适用带紧定套轴承的等径孔滚动轴承座 (摘自 GB/T 7813—2008)



SN型

轴承座代号	适用轴承代号				尺寸/mm														质量/kg
SN 型	调心球轴承		调心滚子轴承 ^②		d_1	d	D	g	$A_{\max}$	A_1	H	$H_{1\max}$	$L_{\max}$	J	S	N	$N_{1\min}$	$W_{\approx}$	
SN505	1205K + H205	2205K + H305	—	—	20	25	52	25	72	46	40	22	170	130	M12	15	15	1.4	
SN605	1305K + H305	2305K + H2305	—	—			62	34	82	52	50	22	190	150	M12	15	15	2.0	
SN506	1206K + H206	2206K + H306	—	—	25	30	62	30	82	52	50	22	190	150	M12	15	15	1.9	
SN606	1306K + H306	2306K + H2306	—	—			72	37	85	52	50	22	190	150	M12	15	15	2.2	
SN507	1207K + H207	2207K + H307	—	—	30	35	72	33	85	52	50	22	190	150	M12	15	15	2.1	
SN607	1307K + H307	2307K + H2307	—	—			80	41	92	60	60	25	210	170	M12	15	15	3.3	
SN508	1208K + H208	2208K + H308	22208CK + H308	—	35	40	80	33	92	60	60	25	210	170	M12	15	15	3.1	
SN608	1308K + H308	2308K + H2308	—	22308CK + H2308			90	43	100	60	60	25	210	170	M12	15	15	3.4	
SN509	1209K + H209	2209K + H309	22209CK + H309	—	40	45	85	31	92	60	60	25	210	170	M12	15	15	2.9	
SN609	1309K + H309	2309K + H2309	—	22309CK + H2309			100	46	105	70	70	28	270	210	M16	18	18	4.7	
SN510	1210K + H210	2210K + H310	22210CK + H310	—	45	50	90	33	100	60	60	25	210	170	M12	15	15	3.3	
SN610	1310K + H310	2310K + H2310	—	22310CK + H2310			110	50	115	70	70	30	270	210	M16	18	18	5.0	
SN511	1211K + H211	2211K + H311	22211CK + H311	—	50	55	100	33	105	70	70	28	270	210	M16	18	18	4.6	
SN611	1311K + H311	2311K + H2311	—	22311CK + H2311			120	53	120	80	80	30	290	230	M16	18	18	6.6	
SN512	1212K + H212	2212K + H312	22212CK + H312	—	55	60	110	38	115	70	70	30	270	210	M16	18	18	5.4	
SN612	1312K + H312	2312K + H2312	—	22312CK + H2312			130	56	125	80	80	30	290	230	M16	18	18	7.3	
SN513	1213K + H213	2213K + H313	22213CK + H313	—	60	65	120	43	120	80	80	30	290	230	M16	18	18	6.7	
SN613	1313K + H313	2313K + H2313	—	22313CK + H2313			140	58	135	90	95	32	330	260	M20	22	22	9.9	

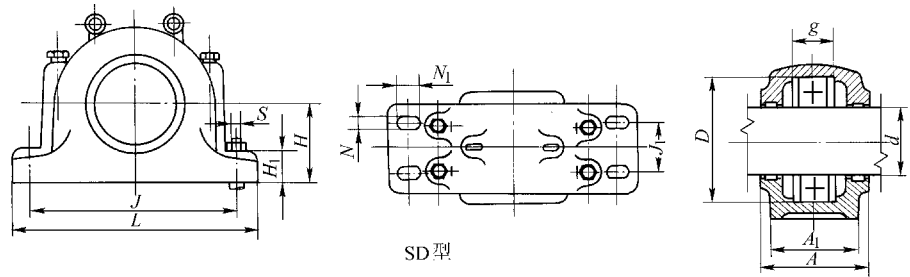
(续)

轴承座代号	适用轴承代号				尺寸/mm														质量/kg
SN 型	调心球轴承		调心滚子轴承 ^②		d_1	d	D	g	$A_{\max}$	A_1	H	$H_1_{\max}$	$L_{\max}$	J	S	N	$N_1_{\min}$	$W_{\approx}$	
SN515 SN615	1215K + H215 1315K + H315	2215K + H315 2315K + H2315	22215CK + H315 —	— 22315CK + H2315	65	75	130 160	41 65	125 145	80 100	80 100	30 35	290 360	230 290	M16 M20	18 22	18 22	7.3 13.3	
SN516 SN616	1216K + H216 1316K + H316	2216K + H316 2316K + H2316	22216CK + H316 —	— 22316CK + H2316	70	80	140 170	43 68	135 150	90 100	95 112	32 35	330 360	260 290	M20 M20	22 22	22 22	9.3 14.3	
SN517 SN617	1217K + H217 1317K + H317	2217K + H317 2317K + H2317	22217CK + H317 —	— 22317CK + H2317	75	85	150 180	46 70	140 165	90 110	95 112	32 40	330 400	260 320	M20 M24	22 26	22 26	9.8 15	
SN518 SN618	1218K + H218 1318K + H318	2218K + H318 2318K + H2318	22218CK + H318 —	23218CK + H2318 22318CK + H2318	80	90	160 190	62.4 74	145 165	100 110	100 112	35 40	360 405	290 320	M20 M24	22 26	22 26	12.5 —	
SN619	1319K + H319	2319K + H2319	—	22319CK + H2319	85	95	200	77	177	120	125	45	420	350	M24	26	26	—	
SN520 SN620	1220K + H220 1320K + H320	2220K + H320 2320K + H2320	22220CK + H320 —	23220CK + H2320 22320CK + H2320	90	100	180 215	70.3 83	165 187	110 120	112 140	40 45	400 420	320 350	M24 M24	26 26	26 26	17 —	
SN522 SN622	1222K + H222 1322K + H322	2222K + H322 2322K + H2322	22222CK + H322 —	23222CK + H2322 22322CK + H2322	100	110	200 240	80 90	177 195	120 130	125 150	45 50	420 475	350 390	M24 M24	26 28	26 28	18.5 —	
SN524 ^① SN624 ^①	— —	— —	22224CK + H3124 —	23224CK + H2324 22324CK + H2324	110	120	215 260	86 96	187 210	120 160	140 160	45 60	420 545	350 450	M24 M30	26 35	26 35	24.5 —	
SN526 ^① SN626 ^①	— —	— —	22226CK + H3126 —	23226CK + H2326 22326CK + H2326	115	130	230 280	90 103	192 225	130 160	150 170	50 60	450 565	380 470	M24 M30	28 35	28 35	30 —	
SN528 ^① SN628 ^①	— —	— —	22228CK + H3128 —	23228CK + H2328 22328CK + H2328	125	140	250 300	98 112	207 237	150 170	150 180	50 65	510 630	420 520	M30 M30	35 35	35 35	38 —	
SN530 ^① SN630 ^①	— —	— —	22230CK + H3130 —	23230CK + H2330 22330CK + H2330	135	150	270 320	106 118	224 245	160 180	160 190	60 65	540 680	450 560	M30 M30	35 35	35 35	45.6 —	
SN532 ^① SN632 ^①	— —	— —	22232CK + H3132 —	23232CK + H2332 22332CK + H2332	140	160	290 340	114 124	237 260	160 190	170 200	60 70	560 710	470 580	M30 M36	35 42	35 42	53.8 —	

① SN524 ~ SN532、SN624 ~ SN632 应装有吊环螺钉。

② 所列调心滚子轴承代号为 C 型结构,同时适用非对称型调心滚子轴承(21300 系列除外)和对称型调心滚子轴承基型、CC 型结构。

表 5.3-49 适用带紧定套轴承的四螺柱滚动轴承座 (摘自 GB/T 7813—2008)



紧定套未在图中表示,其内径为 d_1

轴承座代 号 SD 型	适用轴承代号 ^⑤	尺寸/mm													
		d_1	d	D	$g^{①②}$	$A_{\max}$	$A_1^{③}$	H	H_1	$L^{④}$	J	J_1	S	N	N_1 min
SD 3134TS ^⑥	23134 CK + H 3134	150	170	280	108	235	180	170	70	515	430	100	M24	28	28
SD 534	22234 CK + H 3134			310	96	270	230	180	60	620	510	140	M30	35	35
SD 634	22334 CK + H 2334			360	130	300	270	210	65	740	610	170	M30	35	35
SD 3136 TS	23136 CK + H 3136	160	180	300	116	245	190	180	75	535	450	110	M24	28	28
SD 536	22236 CK + H 3136			320	96	280	240	190	60	650	540	150	M30	35	35
SD 636	22336 CK + H 2336			380	136	320	290	225	70	780	640	180	M36	40	40
SD 3138 TS	23138 CK + H 3138	170	190	320	124	265	210	190	80	565	480	120	M24	28	28
SD 538	22238 CK + H 3138			340	102	290	260	200	65	700	570	160	M30	35	35
SD 638	22338 CK + H 2338			400	142	330	300	240	70	820	680	190	M36	40	40
SD 3140 TS	23140 CK + H 3140	180	200	340	132	285	230	210	85	615	510	130	M30	35	35
SD 540	22240 CK + H 3140			360	108	300	270	210	65	740	610	170	M30	35	35
SD 640	22340 CK + H 2340			420	148	350	320	250	85	860	710	200	M36	42	42
SD 3144 TS	23144 CK + H 3144	200	220	370	140	295	240	220	90	645	540	140	M30	35	35
SD 544	22244 CK + H 3144			400	118	330	300	240	70	820	680	190	M36	40	40
SD 644	22344 CK + H 2344			460	155	360	330	280	85	920	770	210	M36	42	42
SD 3148 TS	23148 CK + H 3148	220	240	400	148	315	260	240	95	705	600	150	M30	42	42
SD 548	22248 CK + H 3148			440	130	340	310	260	85	880	740	200	M36	42	42
SD 648	22348 CK + H 2348			500	165	390	370	300	100	990	830	230	M42	50	50
SD 3152 TS	23152 CAK + H 3152	240	260	440	164	325	280	260	100	775	650	160	M36	42	42
SD 552	22252 CAK + H 3152			480	140	370	340	280	85	940	790	210	M36	42	42
SD 652	22352 CAK + H 2352			540	175	410	390	325	100	1060	890	250	M42	50	50
SD 3156 TS	23156 CAK + H 3156	260	280	460	166	325	280	280	105	795	670	160	M36	42	42
SD 556	22256 CAK + H 3156			500	140	390	370	300	100	990	830	230	M42	50	50
SD 656	22356 CAK + H 2356			580	185	440	420	355	110	1110	930	270	M48	57	57
SD 3160 TS	23160 CAK + H 3160	280	300	500	180	355	310	300	110	835	710	190	M36	42	42
SD 560	22260 CAK + H 3160			540	150	410	390	325	100	1060	890	250	M42	50	50
SD 3164 TS	23164 CAK + H 3164	300	320	540	196	375	330	320	115	885	750	200	M36	42	42
SD 564	22264 CAK + H 3164			580	160	440	420	355	110	1110	930	270	M48	57	57

- ① 对 SD 3100 不利用止推环使轴承在轴承座内固定时,该值减小 20mm。
② 对 SD 500、SD 600 不利用止推环使轴承在轴承座内固定时,该值减小 10mm。
③ SD 500、SD 600 系列 A_1 为最小值。SD552、SD644 及以前 A_1 最大值比最小值大 20mm,其余大 10mm。
④ 对 SD 3100 系列 L 为最大值。
⑤ 所列调心滚子轴承代号为 C 型结构,同时适用非对称型调心滚子轴承和 CC 型结构。
⑥ TS 表示轴承座带迷宫式密封圈。

4 滚动轴承的组合设计

为保证滚动轴承正常工作，除了合理选择轴承类型及尺寸外，还应正确地进行轴承的组合设计。轴承的组合设计主要应合理选择支承结构形式、轴承的配合、紧固、游隙、润滑、密封及装拆等问题。

4.1 支承结构的基本形式

一般滚动轴承支承由两个支承点限定径向位置，而轴向位置限定基本上有三种结构形式。

(1) 两端固定支承 两个支承端各限制一个方向的轴向位移支承形式。用于普通工作温度下的短轴（跨度小于400mm）。轴承安装时，一端应留有0.25~0.5mm 轴向间隙。

(2) 固定—游动支承 一个支承端双向轴向固定，另一端为游动支承形式。用于轴较长，工作温度较高，允许轴热胀冷缩伸缩量较大处。

(3) 两端游动支承 两个支承端均为游动支承形式。安装时不必调整轴承的轴向游隙。用于轴的轴向位置被其他零件限定场合，如人字齿轮轴支承。

三种支承结构形式 详见表 5.3-50。

表 5.3-50 常见支承结构形式

支承形式	序号	简图	轴承配置		承受轴向载荷情况	轴热伸长补偿方式	其他特点
			固定端	游动端			
两端固定支承	1		一对深沟球轴承		能承受单向轴向载荷（应指向不留间隙的一端）	外圈端面与端盖间的间隙	转速高，结构简单，调整方便
	2		一对外球面深沟球轴承		能承受双向轴向载荷	轴承游隙	
	3		一对角接触球轴承面对面排列，支点跨度变小				
	4		一对角接触球轴承背对背排列，支点跨度变大				
	5		一对外圈单挡边圆柱滚子轴承		能承受较小的双向轴向载荷	外圈端面与端盖间隙	结构简单，调整方便
	6		一对圆锥滚子轴承面对面排列，支点跨度变小		能承受双向轴向载荷	轴承游隙	
	7		一对圆锥滚子轴承背靠背排列，支点跨度变大				
	8		两套深沟球轴承与推力球轴承组合				
	9		角接触球轴承串联构成背对背排列			轴热伸长后轴承游隙增大，靠预紧弹簧保持预紧量	用于转速较高的场合
	10		深沟球轴承，推力球轴承与带锥度双列圆柱滚子轴承组合			轴承游隙	通过径向预紧可提高支承刚性

(续)

支承形式	序号	简 图	轴承配置		承受轴向 载荷情况	轴热伸长 补偿方式	其他特点
			固定端	游动端			
固 定 游 动 支 承	11		深沟球轴承		能承受双向轴向载荷	右端深沟球轴承外圈与轴承座孔为间隙配合	允许转速高, 结构简单, 调整方便
	12		深沟球轴承	外圈无挡边圆柱滚子轴承			结构简单, 调整方便
	13		成对安装角接触球轴承 (背对背)	同上		滚子相对外圈滚道轴向移动	通过轴向预紧提高刚性
	14		成对安装角接触球轴承 (面对面)	同上			
	15		三点接触球轴承与外圈无挡边圆柱滚子轴承	同上			允许转速较高, 能承受较大的径向载荷, 结构紧凑
	16		圆锥孔双列圆柱滚子轴承与双向推力球轴承	圆锥孔双列圆柱滚子轴承		左端支承滚子相对外圈滚道轴向移动	可承受较大的径、轴向载荷, 支承刚性好
	17		成对安装圆锥滚子轴承 (背对背)	外圈无挡边圆柱滚子轴承			可承受较大的径、轴向载荷, 结构简单, 调整方便
	18		成对安装圆锥滚子轴承 (面对面)	外圈无挡边圆柱滚子轴承		左端支承滚子相对外圈滚道轴向移动	
	19		成对安装角接触球轴承 (背对背)	成对安装角接触球轴承 (串联)		右端轴承外圈与轴承座孔为间隙配合	允许转速较高
	20		双向推力角接触球轴承与圆锥孔双列圆柱滚子轴承	内圈无挡边圆柱滚子轴承		左端支承滚子相对内圈滚道轴向移动	旋转精度较高, 能承受较大的径、轴向载荷, 刚性好
固 定 游 动 支 承	21		一对调心滚子轴承		能承受较小的双向轴向载荷	左端轴承外圈与轴承座为间隙配合	适用于径向载荷较大的轴, 具有调心性能

(续)

支承形式	序号	简图	轴承配置		承受轴向载荷情况	轴热伸长补偿方式	其他特点
			固定端	游动端			
两端游动支承	22		一对外圈无挡边圆柱滚子轴承		不能承受轴向载荷	两端轴承的滚子相对外圈滚动移动	用于要求轴会产生轴向游动的场合
	23		一对无内圈滚针轴承			两端支承处滚针相对轴移动	

注：简图中轴承端面所画短竖线，表示内圈、外圈或内外圈固定。

4.2 滚动轴承的配合（摘自 GB/T 307.1—2005, GB/T 307.4—2002, GB/T 275—1993）

滚动轴承内圈与轴的配合采用基孔制，外圈与壳体的配合采用基轴制。轴承内、外径的上偏差均为零，见图 5.3-9。

由于内圈基孔制与一般圆柱体孔公差带方向相反，故在配合种类相同条件下，内圈与轴颈的配合较紧。轴承与轴颈和外壳孔配合常用公差带见图 5.3-9。与内圈配合的轴和与外圈配合的孔选用标准的圆柱极限偏差和配合，见图 5.3-9。

选择轴颈与座孔公差等级与轴承精度有关，P0 级公差滚动轴承常用配合及轴颈和座孔的公差带，见图 5.3-9。

安装向心轴承的轴公差带和座孔的公差带见表 5.3-51 和表 5.3-52。安装推力轴承的轴公差带和外壳孔公差带见表 5.3-53 和表 5.3-54。

为保证配合质量，轴颈和壳孔的表面粗糙度和表面形状与位置公差应满足轴承配合精度要求。通用轴承配合面的表面粗糙度见表 5.3-55，通用轴承轴和外壳孔的形位公差见表 5.3-56。

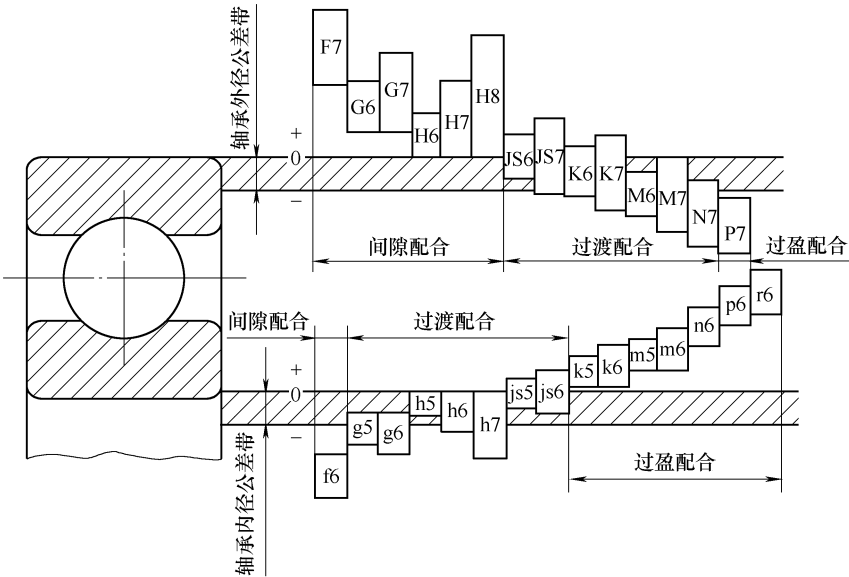


图 5.3-9 滚动轴承（P0 级公差）的配合

表 5.3-51 安装向心轴承的轴公差带

内圈工作条件			应用举例	深沟球轴承、 角接触球轴承 和调心球轴承	圆柱滚子轴承 和圆锥滚子 轴承	调心滚子 轴承	轴公 差带
旋转状态	载荷状态			轴承公称内径 d/mm			
内圈相对 于载荷方向 旋转或载荷 方向摆动	轻载荷 球轴承 $P_r \leq 0.07C_r$ 圆柱滚子轴 承 $P_r \leq 0.08C_r$ 圆锥滚子轴 承 $P_r \leq 0.13C_r$		电器仪表、机 床主 轴 精 密 机 械、泵、通 风 机、传送带	$d \leq 18$ $18 < d \leq 100$ $100 < d \leq 200$ —	— $d \leq 40$ $40 < d \leq 140$ $140 < d \leq 200$	— $d \leq 40$ $40 < d \leq 100$ $100 < d \leq 200$	h5 j6 ^① k6 ^① m6 ^①
	正常载荷 球 轴 承 $0.07C_r < P_r \leq 0.15C_r$ 圆柱滚子轴 承 $0.08C_r < P_r \leq 0.18C_r$ 圆锥滚子轴承 $0.13C_r < P_r \leq 0.26C_r$		一般通用机 械、电动机、涡 轮机、泵、内 燃 机、变速箱、木 工机械	$d \leq 18$ $18 < d \leq 100$ $100 < d \leq 140$ $140 < d \leq 200$ $200 < d \leq 280$ — —	— $d \leq 40$ $40 < d \leq 100$ $100 < d \leq 140$ $140 < d \leq 200$ $200 < d \leq 400$ —	— $d \leq 40$ $40 < d \leq 65$ $65 < d \leq 100$ $100 < d \leq 140$ $140 < d \leq 280$ $280 < d \leq 500$	j5 js5 k5 ^② m5 ^② m6 n6 p6 r6
	重载荷 球轴承 $P_r > 0.15C_r$ 圆柱滚子轴 承 $P_r > 0.18C_r$ 圆锥滚子轴 承 $P_r > 0.26C_r$		铁路车辆和电 车的轴箱、牵引 电动机、轧机、 破碎机 等 重 型 机 械	— — — —	$50 < d \leq 140$ $140 < d \leq 200$ $d > 200$ —	$50 < d \leq 100$ $100 < d \leq 140$ $140 < d \leq 200$ $d > 200$	n6 ^③ p6 ^③ r6 ^③ r7 ^③
	内圈相对 载荷方向静 止	所有载 荷	内圈必须在轴向容 易移动	静止轴上的各 种轮子	所有尺寸		
内圈不必要在轴向 移动			张紧滑轮、绳 索轮、振动筛				
仅有轴向载荷			所有应用场合	所有尺寸			
圆锥孔轴承（带锥形套）							
所有载荷	机车和电车的轴箱			装在退卸衬套上的所有尺寸			h8（IT6） ^{④⑤}
	一般机械传动			装在紧定套上的所有尺寸			h9（IT7） ^{④⑤}

- ① 凡对精度有较高要求的场合，应用 j5、k5…代替 j6、k6…。
- ② 单列圆锥滚子轴承和单列角接触球轴承，因配合对游隙的影响不大，可用 k6 和 m6 代替 k5 和 m5。
- ③ 重载荷下轴承游隙应选择大于 0 组滚子轴承。
- ④ 凡有较高的公差等级或转速要求的场合，应选用 h7（IT5）代替 h8（IT6）等。
- ⑤ IT6、IT7 表示圆柱度公差数值。

表 5.3-52 向心轴承和外壳孔的配合 孔公差带代号

运 转 状 态		载荷状态	其他状况	公差带 ^①	
说 明	举 例			球轴承	滚子轴承
固定的外圈载荷	一般机械、铁路机 车车辆轴箱、电动机、 泵、曲轴主轴承	轻、正常、重 冲击	轴向易移动，可采用剖分式外壳	H7、G7 ^②	
摆动载荷		轻、正常 正常、重 冲击	轴向能移动，可采用整体或剖 分式外壳	J7、JS7	
		轴向不移动，采用整体式外壳		K7	
				M7	
旋转的外圈载荷	张紧滑轮、轮毂轴 承	轻	J7		K7
		正常	K7、M7		M7、N7
		重	—		N7、P7

- ① 并列公差带随尺寸的增大从左至右选择，对旋转精度有较高要求时，可相应提高一个公差等级。
- ② 不适用于剖分式外壳。

表 5.3-53 推力轴承和轴的配合 轴公差带代号

运转状态	载荷状态	推力球和推力滚子轴承	推力调心滚子轴承 ^②	公差带
		轴承公称内径 d/mm		
仅有轴向载荷		所有尺寸		j6、js6
固定的轴圈载荷	径向和轴向联合载荷	—	$d \leq 250$	j6
		—	$d > 250$	js6
旋转的轴圈载荷或摆动载荷		—	$k6^{①}$	
		—	$m6$	
		—	$n6$	

- ① 要求较小过盈时，可分别用 $j6、k6、m6$ 代替 $k6、m6、n6$ 。
② 也包括推力圆锥滚子轴承，推力角接触球轴承。

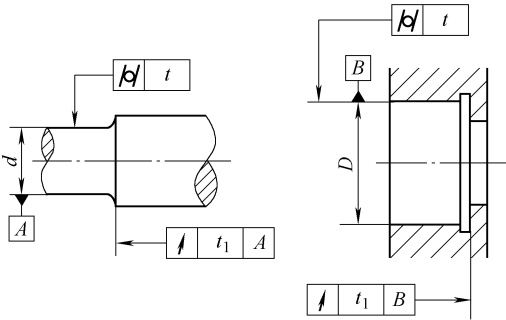
表 5.3-54 推力轴承和外壳孔的配合 孔公差带代号

运转状态	载荷状态	轴承类型	公差带	备注
仅有轴向载荷		推力球轴承	H8	
		推力圆柱、圆锥滚子轴承	H7	
		推力调心滚子轴承		外壳孔与座圈间的间隙为 $0.001D$ (D 为轴承公称外径)
固定的座圈载荷	径向和轴向联合载荷	推力角接触球轴承、推力调心滚子轴承、推力圆锥滚子轴承	H7	
旋转的座圈载荷 或摆动载荷			K7	普通使用条件
			M7	有较大径向载荷时

表 5.3-55 通用轴承配合面的表面粗糙度 (μm)

轴或轴承座直径 /mm		轴或外壳配合表面直径公差等级								
		IT7			IT6			IT5		
		表面粗糙度								
超过	到	Rz	Ra		Rz	Ra		Rz	Ra	
			磨	车		磨	车		磨	车
80	80	10	1.6	3.2	6.3	0.8	1.6	4	0.4	0.8
	500	16	1.6	3.2	10	1.6	3.2	6.3	0.8	1.6
端面		25	3.2	6.3	25	3.2	6.3	10	1.6	3.2

表 5.3-56 通用轴承轴和外壳孔的形位公差



(续)

基 本 尺 寸 /mm		圆 柱 度 t				端 面 圆 跳 动 t_1			
		轴 颈		外 壳 孔		轴 肩		外 壳 孔 肩	
		轴 承 公 差 等 级							
		/P0	/P6(/P6x)	/P0	/P6(/P6x)	/P0	/P6(/P6x)	/P0	/P6(/P6x)
超 过	到	公 差 值/ μm							
	6	2.5	1.5	4	2.5	5	3	8	5
6	10	2.5	1.5	4	2.5	6	4	10	6
10	18	3.0	2.0	5	3.0	8	5	12	8
18	30	4.0	2.5	6	4.0	10	6	15	10
30	50	4.0	2.5	7	4.0	12	8	20	12
50	80	5.0	3.0	8	5.0	15	10	25	15
80	120	6.0	4.0	10	6.0	15	10	25	15
120	180	8.0	5.0	12	8.0	20	12	30	20
180	250	10.0	7.0	14	10.0	20	12	30	20
250	315	12.0	8.0	16	12.0	25	15	40	25
315	400	13.0	9.0	18	13.0	25	15	40	25
400	500	15.0	10.0	20	15.0	25	15	40	25

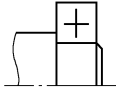
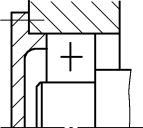
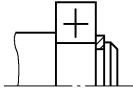
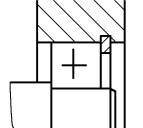
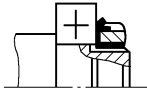
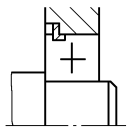
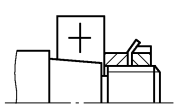
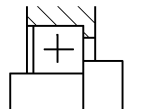
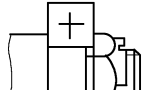
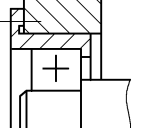
4.3 滚动轴承的轴向紧固

为防止工作时滚动轴承在轴上或外壳孔内发生不必要的轴向移动，轴承内圈或外圈应作轴向紧固。

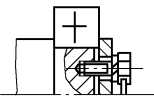
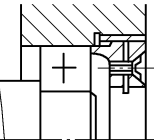
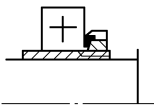
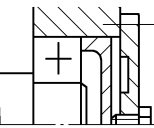
轴向紧固包括轴向定位和轴向固定。

轴承的轴向紧固方式很多，选用时考虑轴向载荷大小，转速高低，轴承类型及装拆等，表 5.3-57 所示为常见的紧固方式。

表 5.3-57 轴承内圈和外圈紧固方式

序号	内圈紧固方式			外圈紧固方式		
	简 图	紧固方式	特 点	简 图	紧固方式	特 点
1		内圈靠轴肩定位，外圈外侧用端盖紧固	结构简单、装拆方便，占用空间小，可用于两端固定支承中		外圈用端盖紧固	结构简单，紧固可靠，调整方便
2		内圈用弹性挡圈紧固	结构简单、装拆方便，占用空间小，多用于向心轴承的紧固		外圈用弹性挡圈紧固	结构简单、装拆方便、占用空间小，多用于向心轴承
3		内圈用圆螺母与止动垫圈紧固	结构简单、装拆方便、紧固可靠		外圈用止动环紧固	用于轴向尺寸受限制的部件，外壳孔不需加工凸肩
4		用圆螺母及止动垫圈和套筒紧固	可调整轴承的径向游隙，适用锥孔轴承		外圈由挡肩定位，再用端盖紧固	结构简单，工作可靠
5		用螺母紧固内圈，开口销防松	防松可靠，常用于振动较大的场合，装配工艺性不好		外圈由套筒上的挡肩定位，再用端盖紧固	结构简单，外壳孔可为通孔，利用垫片可调整轴系的轴向位置，装配工艺性好

(续)

序号	内圈紧固方式			外圈紧固方式		
	简图	紧固方式	特点	简图	紧固方式	特点
6		在轴端用压板和螺钉紧固, 用弹簧垫片和铁丝防松	不能调整轴承游隙, 多用于轴颈 $d > 70\text{mm}$ 场合, 允许转速较高		外圈由带螺纹的端盖紧固, 端盖上有一开口槽, 用螺钉拧入即可防松	多用于角接触轴承。缺点是要在孔内加工螺纹
7		用紧定套 (或退卸套) 螺母, 止动垫圈紧固内圈	轴向位置和径向游隙可调。装拆方便, 多用于调心球轴承内圈紧固, 适用于不便加工轴肩的多支点轴支承		外圈用螺钉和调节环紧固	便于调整轴承游隙, 用于角接触轴承的紧固

4.4 滚动轴承的游隙调整与预紧

4.4.1 轴向游隙的调整

按轴承结构和游隙调整方式的不同, 轴承大体可分为非调整式和调整式两大类。向心轴承 (深沟球轴承、圆柱滚子轴承、调心球轴承、调心滚子轴承等) 属于非调整式轴承, 此类轴承在制造时已按不同的游隙组留有规定范围的径向游隙, 可根据使用条件选用, 安装时一般不再调整; 角接触球轴承、圆锥滚子轴承、推力轴承等属于调整式轴承, 此类轴承在安装中根据使用情况对轴向游隙进行调整。

轴向游隙的大小是通过调整轴承内外圈之间的相

互活动位置达到的。这类轴承正常工作的轴向游隙范围列于表 5.3-58 ~ 表 5.3-61。表中值为非标准, 供参考。选用时如果轴承本身及机体配合部件加工较精密, 工作时也不致因轴的热胀冷缩有使轴承损坏的危险, 调整轴承时可采用表列较小的轴向游隙值, 反之应适当取较大值, 必要时还应根据具体情况再稍加大。

轴因热胀伸长的尺寸可按下式近似计算

$$\Delta l \approx \frac{1.13 (t_2 - t_1) l}{100000} \quad (5.2-23)$$

式中 l ——轴的原有长度 (mm);

t_1 ——周围环境温度 ($^{\circ}\text{C}$);

t_2 ——运转时轴的温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

表 5.3-58 角接触球轴承轴向游隙

(μm)

轴承公称内径 d/mm	允许轴向游隙的范围						Ⅱ型轴承间 允许的距离 (大概值)
	接触角 $\alpha = 15^\circ$				$\alpha = 25^\circ$ 及 $\alpha = 40^\circ$		
	Ⅰ型		Ⅱ型		Ⅰ型		
	min	max	min	max	min	max	
~ 30	20	40	30	50	10	20	$8d$
> 30 ~ 50	30	50	40	70	15	30	$7d$
> 50 ~ 80	40	70	50	100	20	40	$6d$
> 80 ~ 120	50	100	60	150	30	50	$5d$
> 120 ~ 180	80	150	100	200	40	70	$4d$
> 180 ~ 260	120	200	150	250	50	100	$2 \sim 3d$

注: I 型为固定——游动式结构; II 型为两端固定式结构。

表 5.3-59 圆锥滚子轴承轴向游隙

(μm)

轴承公称内径 d/mm	允许轴向游隙的范围						Ⅱ型轴承间 允许的距离 (大概值)
	接触角 $\alpha = 10^{\circ} \sim 17^{\circ}$				$\alpha = 25^{\circ} \sim 29^{\circ}$		
	Ⅰ型		Ⅱ型		Ⅰ型		
	min	max	min	max	min	max	
~30	20	40	40	70	—	—	$14d$

(续)

轴承公称内径 d/mm	允许轴向游隙的范围						Ⅱ型轴承间 允许的距离 (大概值)
	$\alpha = 10^{\circ} \sim 17^{\circ}$				$\alpha = 25^{\circ} \sim 29^{\circ}$		
	Ⅰ型		Ⅱ型		Ⅰ型		
	min	max	min	max	min	max	
> 30 ~ 50	40	70	50	100	20	40	12 <i>d</i>
> 50 ~ 80	50	100	80	150	30	50	11 <i>d</i>
> 80 ~ 120	80	150	120	200	40	70	10 <i>d</i>
> 120 ~ 180	120	200	200	300	50	100	9 <i>d</i>
> 180 ~ 260	160	250	250	350	80	150	6.5 <i>d</i>
> 260 ~ 360	200	300	—	—	—	—	—
> 360 ~ 400	250	350	—	—	—	—	—

注：尺寸系列 13 型轴承 $\alpha = 28^\circ 48' 39''$ ，其余尺寸系列轴承 α 在 $10^\circ \sim 17^\circ$ 之间。

表 5.3-60 双列圆锥滚子轴承轴向游隙 (μm)

轴承公称内径 d/mm	原始轴向游隙							
	0 组				3、4、5 组			
	接触角 α							
	9° ~ 13°		13° ~ 17°		9° ~ 13°		13° ~ 17°	
	min	max	min	max	min	max	min	max
~ 80	200	300	150	250	400	500	300	400
> 80 ~ 120	300	400	200	300	500	700	400	500
> 120 ~ 180	400	500	300	400	700	900	500	700
> 180 ~ 260	500	650	350	500	900	1200	700	900
> 260 ~ 360	650	850	450	600	1200	1500	900	1200
> 360 ~ 500	800	1000	500	700	—	—	—	—
> 500 ~ 630	950	1200	700	900	—	—	—	—
> 630 ~ 800	1200	1500	800	1000	—	—	—	—
> 800 ~ 1000	1500	1800	1000	1300	—	—	—	—

表 5.3-61 单向推力球轴承轴向游隙 (μm)

轴承公称内径 d/mm	允许轴向游隙的范围					
	轴 承 系 列					
	51100		51200 及 51300		51400	
	min	max	min	max	min	max
~ 50	10	20	20	40	—	—
> 50 ~ 120	20	40	40	60	60	80
> 120 ~ 140	40	60	60	80	80	120

4.4.2 轴承的预紧

轴承的预紧是指安装时使轴承内部滚动体与内、外圈之间产生一定的预压力和弹性变形——预紧状态。目的是提高轴承支承的刚度、提高轴的旋转精度，降低轴的振动和噪声。预紧分为轴向预紧和径向预紧，轴向预紧又分定位预紧和定压预紧。

(1) 定位预紧 定位预紧是使轴承的轴向位置在使用中保持不变的轴向预紧方式。安装时可采用

将一对轴承内圈或外圈磨去一定厚度或在其间加装垫片（图 5.3-10）或加内、外套筒方法（图 5.3-12）。

预紧前，两轴承的内圈或外圈间存在间隙 $2\delta_0$ ，施加轴向预紧力 F_{a0} 后，轴向间隙 $2\delta_0$ 消除，轴承 I 与 II 内部均产生轴向变形 $\delta_{a0} = \delta_0$ 。

当继续施加轴向载荷 F_A 时，两轴承的轴向变形和轴向载荷情况见图 5.3-11。

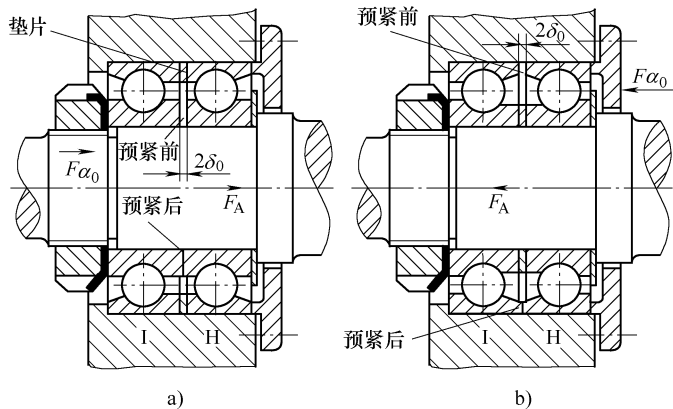


图 5.3-10 定位预紧结构

a) 外圈间加垫片预紧 b) 内圈间加垫片预紧

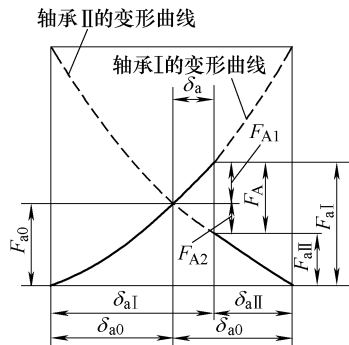


图 5.3-11 定位预紧原理

轴承 I $\begin{cases} \delta_{aI} = \delta_{a0} + \delta_a \\ F_{aI} = F_{a0} + F_{A1} \end{cases}$

轴承 II $\begin{cases} \delta_{aII} = \delta_{a0} - \delta_a \\ F_{aII} = F_{a0} - F_{A2} \end{cases}$

当 F_A 增加到使 $F_{A2} = F_{a0}$ 时，轴承 II 将处于卸载状态，此时支承系统的轴向变形量为 $\delta_a = \delta_{a0}$ 。

若不加预紧力，使轴承 II 处于卸载状态时，支承系统变形量即轴承 I 的变形量 $\delta_a = 2\delta_{a0}$ 。

由上可见，与不预紧相比，定位预紧可提高支承刚度一倍。

预紧量过小将达不到预紧的目的，预紧量过大又会使轴承中的接触应力和摩擦阻力增大，从而导致轴承寿命降低，合适的预紧量应根据表 5.3-62 中公式，作出轴承的载荷—变形曲线，再根据不同载荷情况和使用要求确定。

表 5.3-62 轴向变形量计算公式

轴承类型	深沟球轴承角接触球轴承	圆锥滚子轴承	推力球轴承
轴向变形量 δ_a /mm	$\frac{0.002F_A^{2/3}}{D_g^{1/3} Z^{2/3} (\sin\alpha)^{5/3}}$	$\frac{0.0006F_A^{2/3}}{Z^{0.9} L^{0.8} (\sin\alpha)^{1.9}}$	$\frac{0.0024F_A^{2/3}}{D_g^{1/3} Z^{2/3} (\sin\alpha)^{5/3}}$

式中 F_A —轴向载荷 (N)； D_g —滚动体直径 (mm)， Z —滚子数， L —滚子长 (mm)； α —接触角 (°)。

最小轴向预紧载荷的选取：

预紧载荷的大小，应根据工作载荷情况和使用要求而定，一般来说，高速轻载荷条件下，或为提高旋转精度及减少支承系统的振动，则选择较轻的预紧载荷；在中速中载荷或低速重载荷条件下，以及为增加支承系统的刚度，则选用中预紧载荷或重预紧载荷。预紧载荷过大，支承刚度不能得到显著

提高，反而会使轴承摩擦阻力增大，温度升高，轴承寿命降低。一般应通过计算并结合使用经验决定预紧载荷大小。

定位预紧时，应使滚动体与滚道始终保持接触，这时，需要的最小的轴向预紧载荷 F_{a0min} 可按表 5.3-63 中公式计算。

表 5.3-63 定位预紧的最小预紧载荷 F_{a0min}

轴承类型	载荷情况	最小预紧载荷 F_{a0min}
角接触球轴承	纯轴向载荷 F_A	$F_{a0min} \geq 0.35 F_A$
	径向载荷 F_r 与轴向载荷 F_A 联合作用	$F_{a0min} \geq 1.7 F_{rI} \tan \alpha_I - 0.5 F_A$
		$F_{a0min} \geq 1.7 F_{rII} \tan \alpha_{II} + 0.5 F_A$ } 大者
圆锥滚子轴承	纯轴向载荷 F_A	$F_{a0min} \geq 0.5 F_A$
	径向载荷 F_r 与轴向载荷 F_A 联合作用	$F_{a0min} \geq 1.9 F_{rI} \tan \alpha_I - 0.5 F_A$
		$F_{a0min} \geq 1.9 F_{rII} \tan \alpha_{II} + 0.5 F_A$ } 大者

式中 F_{rI} 、 F_{rII} ——分别为轴承 I、II 所受径向载荷。

α_I 、 α_{II} ——分别为轴承 I、II 的接触角。

定位预紧可在一对轴承内、外圈分别装入长度不等的套筒实现预紧，见图 5.3-12。预紧力大小通过套筒长度差控制，这种方法刚性大。

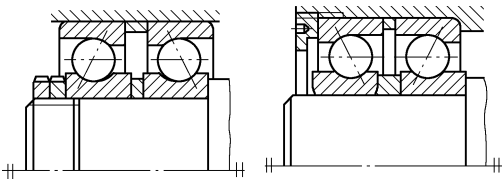


图 5.3-12 装入长度不等的套筒预紧

(2) 定压预紧 利用弹簧力使轴承受一定的轴向载荷并产生预紧变形的方 法，称为定压预紧，见图 5.3-13。图 5.3-14 是一对角接触球轴承成对安装并采用定压预紧的原理图。图中弹簧产生的预紧载荷为 F_{a0} ，当外加轴向载荷 F_A 作用在轴上时，轴承 I 的轴向变形量增加 δ_a ，而轴承 II 的变形量几乎不变。可见，定压预紧不会出现卸荷状态，且预紧量不受温度变化的影响，但对轴承刚度提高不大。

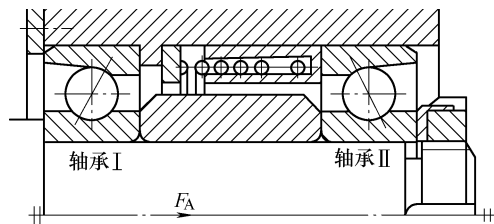


图 5.3-13 用弹簧定压预紧

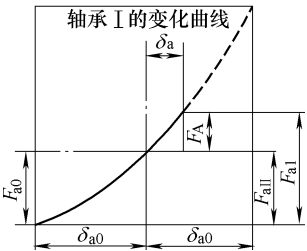


图 5.3-14 定压预紧原理

(3) 径向预紧 径向预紧是指利用过盈配合使轴承内圈膨胀，消除径向游隙，使轴承达到预紧状态的一种方法。

径向预紧可增加载荷区滚动体数目，提高支承刚度，减少高速轴承中离心力作用及滚动体与滚道间打滑现象。

圆锥形内孔的轴承，用锁紧螺母调整内圈与紧定套的相对位置，减小轴承的径向游隙，实现径向预紧。

4.5 滚动轴承的润滑

轴承润滑主要目的是减少摩擦与磨损，同时起到冷却、吸振、防锈及密封等作用。

常用的润滑剂有润滑油、润滑脂及固体润滑剂（二硫化钼）。选择润滑剂应考虑工作温度，轴承载荷、转速及其工作环境影 响。一般来说，温度高、载荷大、转速低时选用粘度高的润滑剂。各种轴承在不同润滑剂和润滑方法时允许的 dn 值见表 5.3-64。

表 5.3-64 各种润滑方式下轴承的允许 dn 值 (mm · r · min⁻¹)

轴承类型	脂润滑	油 润 滑			
		油浴润滑	滴油润滑	循环油润滑	喷雾润滑
深沟球轴承	160000	250000	400000	600000	> 600000
调心球轴承	160000	250000	400000		
角接触球轴承	160000	250000	400000	600000	> 600000
圆柱滚子轴承	120000	250000	400000	600000	> 600000
圆锥滚子轴承	100000	160000	230000	300000	
调心滚子轴承	80000	120000		250000	
推力球轴承	40000	60000	120000	150000	

注：d—轴承内径 (mm)；n—转速 (r · min⁻¹)。

4.5.1 润滑脂的选择

在低速时，按 dn 值选用脂润滑时，还必须解决以下几个方面问题。

1) 确定润滑脂种类。根据稠化剂种类，润滑脂分为钙基脂、钠基脂、钙钠基脂、锂基脂、铝基脂、二硫化钼润滑脂和各种复合脂等，并可根据抗氧化、防锈、极压性的要求加入适量添加剂。（详见各种润滑脂性能表）。

润滑脂的主要性能指标是锥入度、滴点、氧化安定性、机械安定性和温度性能。不同的锥入度及其应用场合，见表 5.3-65。

2) 轴承的工作温度应低于润滑脂滴点 10 ~

20℃。合成润滑脂的使用温度应低于滴点 20 ~ 30℃。

3) 润滑脂填充量，以填满轴承与外壳空间的 1/3 ~ 1/2 为宜。高速时应仅充填到 1/3 或更少，转速很低而且要求密封较严格情况下，可以充满壳体空间。

4) 润滑脂更换或补充周期。当轴承工作温度不超过 70℃ 时，可根据轴承内径及转速从图查出深沟球轴承及圆柱滚子轴承（图 5.3-15a）、圆锥及调心滚子轴承（图 5.3-15b）的润滑脂更换的大致时间。

当轴承工作温度大于 70℃ 时，每上升 15℃，补充周期应减半。如果轴承用于多尘处，且密封不可靠的场合，补充周期可缩短到图示值的 1/2 或 1/10。

表 5.3-65 锥入度与使用条件

锥入度代号	0	1	2	3	4
锥入度值	385 ~ 355	340 ~ 310	295 ~ 265	250 ~ 220	205 ~ 175
使用场合	用于易微动磨损的场合，集中加注脂处	低温或集中加注脂处	一般密封球轴承，没特殊要求处	一般高温用密封球轴承	高温用，脂密封场合

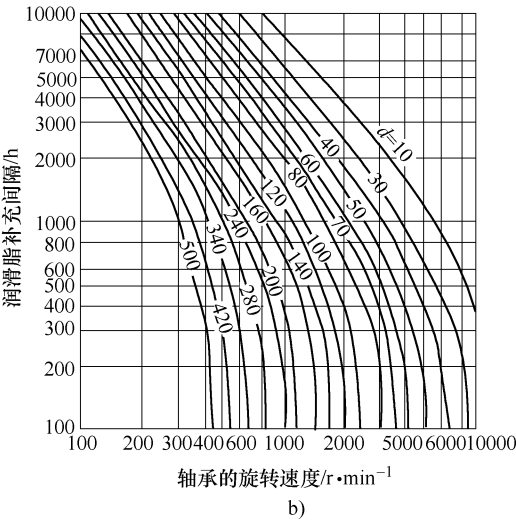
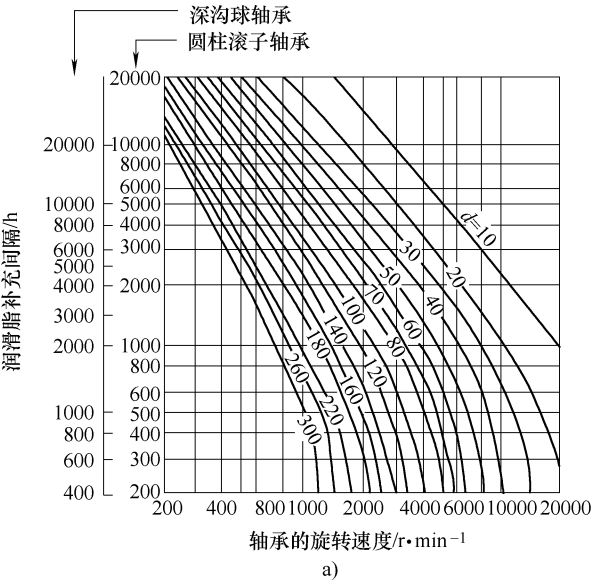


图 5.3-15 润滑脂更换周期

a) 深沟球轴承及圆柱滚子轴承 b) 圆锥滚子轴承及调心滚子轴承

4.5.2 润滑油的选择

常用的润滑油有：机械油、高速机械油、汽轮机油、压缩机油、变压器油、气缸油等。润滑油主要性能指标有粘度、粘温特性、酸值、闪点等。粘度是选择润滑油的重要依据。一般而言，轴承转速越高，则选用较低粘度的润滑油。载荷越重则选用粘度较高的润滑油。

润滑方法选用

油浴润滑：是普遍采用而又简单易行。适用于低、中速轴承的润滑。当轴承静止时，浸油油面不超过最低滚动体的中心。

循环油润滑：用在高速轴承中，散热效果好。循环油润滑是用油泵以一定压力将油输送到润滑部位，通过油嘴把油喷到轴承上。喷油嘴的位置应放

在内圈与保持架之间。喷油量大小取决于油应排出的热量。表 5.3-66 给出喷油量的大概值。根据确定的油量，确定喷嘴直径和压力大小，当喷嘴前的油压 $\leq 10\text{MPa}$ 时，喷嘴直径一般可取 $0.7 \sim 2.0\text{mm}$ 之间。

表 5.3-66 循环油润滑的用油量

轴承内径/mm	≤ 50	$> 50 \sim 120$	> 120
需油量/ $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	$0.5 \sim 1.5$	$1.1 \sim 2.4$	2.5

油雾润滑：用干燥的压缩空气，在压力调整在 $0.05 \sim 0.1\text{MPa}$ 之间，与润滑油混合成油雾，经喷雾器通入轴承中。适用于高速、高温轴承部件的润滑，油量可以精确调节。

4.5.3 固体润滑

在一些特殊条件下，脂润滑和油润滑受到限制时，可采用固体润滑。固体润滑方法有多种，常用的有：在润滑脂中加入 3% 或 5% 的二硫化钼。在工程塑料及粉末冶金中加入固体润滑剂形成自润滑性能的轴承零件。

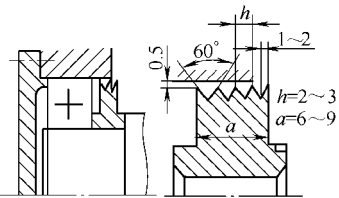
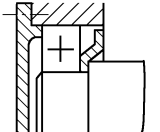
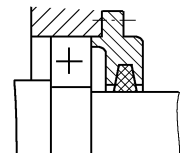
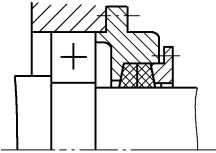
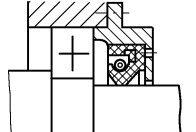
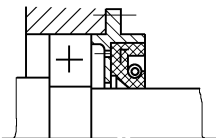
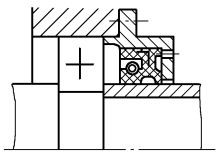
4.6 滚动轴承的密封

为保持轴承良好润滑及工件环境，防止润滑剂泄出及灰尘、杂物和水份侵入，必须进行密封。密封装置分为非接触式、接触式及综合式，各种形式密封装置的结构、特点及应用见表 5.3-67。

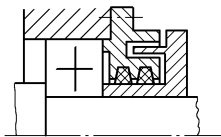
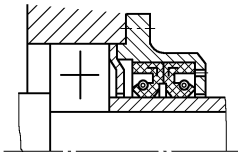
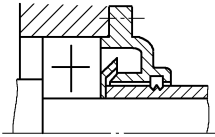
表 5.3-67 密封装置类型、特点及应用

密封型式		简 图	特 点	应用范围
非接触式	间隙式		一般间隙为 $0.1 \sim 0.3\text{mm}$ ，间隙越小，间隙宽度越长，密封效果越好	适用于环境比较干净的脂润滑
			在端盖配合面上开 3 个以上宽 $3 \sim 4\text{mm}$ 深 $4 \sim 5\text{mm}$ 的沟槽，并在其中充填润滑脂	适于脂润滑，速度不限
			在轴或套上开有“W”形槽，用来甩回渗漏的油，并在端盖上开回油孔（槽），使油回流到轴承或箱内	适于油润滑，速度不限
	迷宫式		径向迷宫曲路由套和端盖径向间隙组成。端盖剖分。曲路沿轴向展开，径向尺寸紧凑	适用于比较脏的工作环境，如金属切削机床的工作端。可用于油润滑或脂润滑
			轴向迷宫曲路由套和端盖轴向间隙组成。曲路沿径向展开，装拆方便。端盖不需剖分	与径向迷宫应用相同，但较径向迷宫用的更广
			组合迷宫曲路由几组“L”形垫圈组成，占用空间小，成本低，组数越多密封效果越好	适用于成批生产的条件，可用于油或脂密封

(续)

密封型式			简 图	特 点	应用范围
非接触式	垫圈式	挡油盘		挡油盘随轴一起转动，转速越高，密封效果越好	用于防止轴承中脂泄出，又可防止外油流冲击或杂质侵入
		挡油环		挡油环随轴一起转动，转速越高，密封效果越好	用于防止啮合件产生轴向油流冲击轴承
接触式	毡圈密封	单毡圈		用羊毛毡充填槽中，使毡圈与轴表面经常摩擦实现密封	用于干净、干燥环境的脂密封，一般接触处圆周速度不大于 $4 \sim 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，抛光轴可达 $7 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，允许工作温度可达 90°
		双毡圈		毡圈可间歇调紧，密封效果更好，而且拆换毛毡方便	同单毡圈结构应用情况
	唇形密封圈密封	密封唇向里		密封圈用弹簧圈把唇紧箍在轴上，密封唇朝向轴承，防止油泄出	用于油润滑密封，滑动速度不大于 $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，工作温度不大于 100°C
		密封唇向外		密封唇背向轴承，以防止外界尘杂物侵入，也可防止油外泄	同密封唇向里的结构
		双唇式		采用双唇密封圈，既可防油外泄，又可防尘杂物侵入	

(续)

密封型式	简 图	特 点	应用范围
综 合 式		迷宫与毡圈密封组合，密封效果好	适用于油或脂润滑的密封，接触处圆周速度不大于 $7\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
		挡油环与唇形密封圈密封组合	适用于油或脂润滑的密封，接触处圆周速度一般不大于 $7\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，接触面精加工时圆周速度可达 $15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
		甩油环与“W”形间隙组合，无摩擦阻力损失，密封效果可靠	适用于油、脂润滑的密封，不受圆周速度限制，圆周速度越大效果越好

4.7 滚动轴承的装拆

为保证轴承的工作精度及寿命，防止装配与拆卸不正确造成轴承损坏，故滚动轴承必须合理地仔细地安装与拆卸。

滚动轴承一般内圈和轴颈配合较紧，常用加力或加温法，加力方法；一是对中、小型轴承用手锤敲击装配套筒（铜管），二是对大型轴承常用压力机压套。加温方法是将轴承放在油池中加热至 $80 \sim$

100°C 后热装。

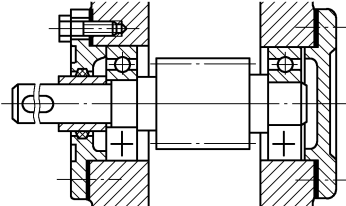
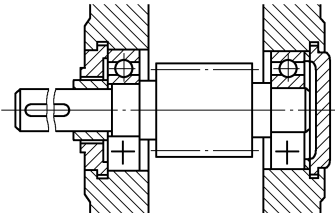
拆卸轴承时，需用拆卸器拆内圈。

对于圆锥孔轴承，是用紧定套或退卸衬套装拆。

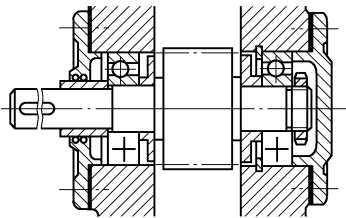
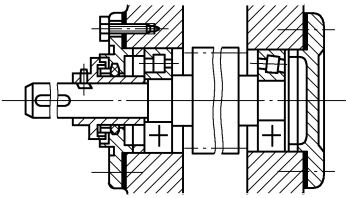
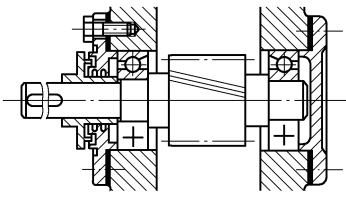
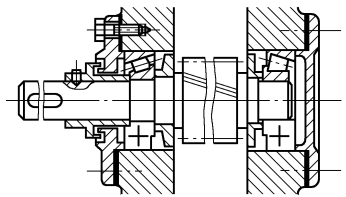
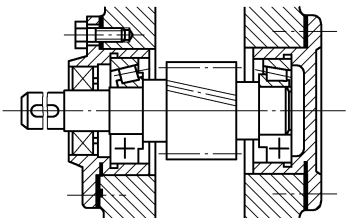
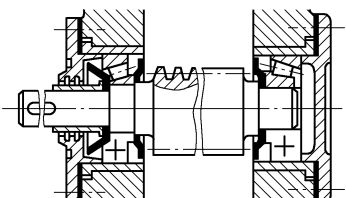
总之，滚动轴承的装拆方法，应根据轴承类型、尺寸大小及配合性质而定。安装拆卸轴承的作用力应加在紧配合的套圈上，切不可通过滚动体传递压力，以免造成轴承损坏。

4.8 滚动轴承组合的典型结构

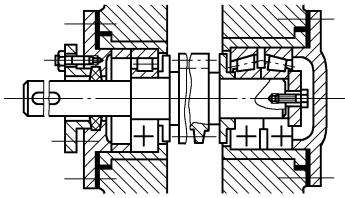
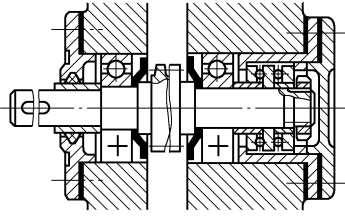
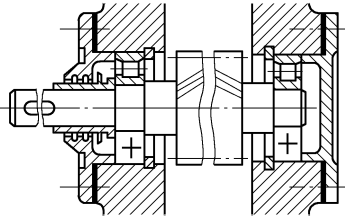
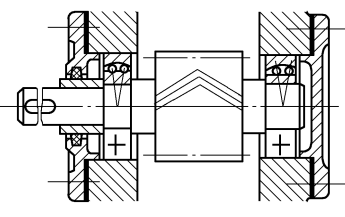
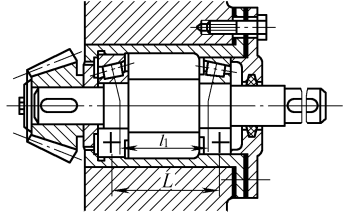
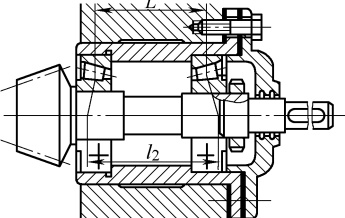
表 5.3-68 滚动轴承组合的典型结构

结 构 型 式	特 点 与 应 用
	深沟球轴承，轴承靠端盖轴向固定。在右端轴承外圈与端盖间留有 $0.25 \sim 0.5\text{mm}$ 的轴向间隙，以补偿轴的热伸长量。毡圈式密封，润滑油润滑。适用于轻载，毡圈处滑动速度 $v \leq 4 \sim 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，环境清洁时
	基本与前方案相同，不同点：嵌入式端盖；靠右端轴承外圈与端盖间调整垫来保证轴承有必要的轴向间隙，以便游动。缝隙式密封

(续)

结 构 型 式	特 点 与 应 用
	基本与前方案相同，不同点：右端轴承将轴双向轴向固定；可承受径向载荷及不大的双向轴向载荷，轴承的内侧加挡油板，防止轴承孔中润滑脂被稀释而流失。可用于轴承跨距较大的支承。油沟式密封
	圆柱滚子轴承，其内圈外侧无挡边，轴承外圈（图中右端）与调整垫间留有间隙，以便游动；综合式密封，适用于：较大的纯径向载荷，工作环境较差，轴承跨距小于 600mm 时
	角接触球轴承，综合式密封，迷宫和油沟组合。靠端盖与箱壳间的调整垫片，安装时保证轴承具有合适的轴向间隙，以便游动；可同时受径向载荷及较大的双向轴向载荷，适用于轻载高速，轴承跨距较小时（一般跨距小于 300mm）
	圆锥滚子轴承，特点与前方案相同，迷宫式密封；适用于中载中速
	基本与前方案相同，不同者为唇形密封圈密封；轴承装于端盖中，以便提高轴承孔的配合精度，但结构复杂
	基本与前方案相同，不同者装轴承的套杯与端盖分制；综合式密封，甩油环及油沟组合；轴承的内侧加挡油环，以免过多的油及杂物浸入轴承孔中

(续)

结 构 型 式	特 点 与 应 用
	右端装两个圆锥滚子轴承, 并双向轴向固定; 左端装一可游动的圆柱滚子轴承, 适用情况同前方案, 不过轴承跨距可大
	右端装双向的推力轴承和深沟球轴承, 左端装可游动的深沟球轴承; 可承受很大的双向轴向载荷同时受径向载荷; 可允许很大的游动量; 靠端盖与箱壳间调整垫片来得到推力轴承中合适的轴向间隙; 毡圈式密封
	外圈无挡边的圆柱滚子轴承。在人字齿轮传动中, 需有一根轴 (往往高速轴) 采用这种轴双向可游动的方案, 以便能自动调节, 使啮合的齿受力均匀。采用综合式密封, 甩油盘和油沟组合
	调心球轴承, 用于人字齿轮, 轴是游动的, 可自动调节人字齿轮受力均匀。本方案要改用调心滚子轴承, 其承载能力更可提高, 一般用于重载; 毡圈式密封
	适用于小圆锥齿轮的支承, 与下一方案比较有下述优点: 1) 轴向载荷由受径向载荷小的右端轴承承受 2) 调整轴承的轴向间隙借调整端盖与套杯间的垫片组即可, 调整方便 3) 结构简单, 如不需要轴向紧固的圆螺母等 4) 结构刚性较小, $l_1 < L$ 5) 毡圈式密封
	与上方案比较有以下优点: 1) 允许轴热胀量大 2) 结构刚性较大; 如当轴承跨距 L 相等时, 这两轴承反力作用点的距离 $l_2 > l_1$ (见上图) 3) 两种方案均用套杯与箱壳间的垫片组调整锥齿轴的轴向位置

第 4 章 联轴器、离合器与制动器

1 联轴器

1.1 常用联轴器的类型、性能、特点及应用（见表 5. 4-1）

表 5. 4-1 常用联轴器的类型、性能、特点及应用

类型	联轴器名称	转矩范围 /N·m	轴径范围 /mm	最高转速 /r·min ⁻¹	许用相对位移			特点及应用说明
					轴向 /mm	径向 /mm	角向	
固定式刚性联轴器	套筒联轴器	圆锥销： 0.3~4000 平键： 71~5600 半圆键： 8~450 花键： 150~12500	4~100 20~100 10~35 25~102	一般 ≤200	无补偿性能 要求两轴严格精确对中			结构简单，制造容易，径向尺寸小，成本低，但装拆时需沿轴向移动较大的距离，而且只能用于连接两轴直径相同的圆柱形轴伸，一般用于工作平稳的小功率传动轴系
	凸缘联轴器 (GB/T5843—2003)	10~20000	10~180	13000~2300	无补偿性能 要求两轴严格精确对中			结构简单，制造容易，工作可靠，装拆方便，刚性好，传递转矩大，但不能吸收冲击。当两轴对中精度较低时，将引起较大的附加载荷，适用于工作平稳的一般传动，高速传动时需要有高的对中和制造精度
可移式刚性联轴器	滑块联轴器 (JB/ZQ 4384—2006)	金属滑块： 120~20000 尼龙滑块： 16~5000	15~150 10~100	250~100 10000~1500	≤0.2	0.04d 1~2	30′ ≤40′	结构简单，径向尺寸较小，许用两轴径向位移较大，尼龙滑块还有一定减振缓冲作用，但对角位移较敏感，传动效率低，主要用于径向位移较大的两轴连接，尼龙滑块工作温度-20~70℃
	齿式联轴器 (JB/T5514—2007) (JB/T8854.3—2001) (JB/T8854.2—2001)	TGL 型： 10~2500 GICL、 GICLZ 型： 630~2.8×10 ⁶ GIICL、 GIICLZ 型： 400~5×10 ⁶	6~125 16~620 16~1000	10000~2120 4000~500 4000~460	±1 较大 较大	0.3~1.1 1.96~21.7 1.0~8.5	1° 3° 3°	承载能力大，补偿两轴相对位移性能好，工作可靠，但制造困难，工作时需良好润滑，适用于正反转多变、起动频繁的传动轴系，其中 TGL 型有缓冲吸振性能，适用于中小功率传动，GIICL、GIICLZ 型传递转矩能力较高，但补偿性能不如 GICL、GICLZ，通常后者应用较广，GICLZ、GIICLZ 型需加中间轴可增加径向位移和角位移

(续)

类型	联轴器名称	转矩范围 /N · m	轴径范围 /mm	最高转速 /r · min ⁻¹	许用相对位移			特 点 及 应 用 说 明
					轴向 /mm	径向 /mm	角向	
可 移 式 刚 性 联 轴 器	滚子链联轴器 (GB/T6069—2002)	40 ~ 25000	16 ~ 190	4500 ~ 900	1.4 ~ 9.5	0.19 ~ 1.27	1°	结构简单, 采用标准件, 工艺性好, 制造容易, 对安装精度要求不高, 且有一定补偿能力, 对环境适应范围广, 但吸振和缓冲性能差, 安全性也差, 可用于连续运转的一般水平传动轴系
	十字轴式万向联轴器 (JB/T5901—1991) (JB/T3241—2005)	WS、WSD 型: 11.2 ~ 1120 SWP 型: (1.6 ~ 125) × 10 ⁴	8 ~ 42 160 ~ 640 (回转直径)				≤45° ≤10°	径向外形尺寸小, 紧凑, 维修方便, 传递转矩大, 传动效率高, 使用寿命长, 噪声低, 能传递空间两相交轴之间的传动, 两轴之间的夹角大, 但当采用单个万向联轴器时, 从动轴转速会呈周期性波动现象, 主要用于相交轴之间的传动连接
非 金 属 弹 性 元 件 联 轴 器	弹性套柱销联轴器 (GB/T4323—2002)	6.3 ~ 16000	9 ~ 170	8800 ~ 1150	较大	0.1 ~ 0.3	15' ~ 45'	结构紧凑, 装配方便, 具有一定的弹性和缓冲性能, 补偿两轴相对位移量不大, 当位移量太大时, 弹性件易损坏, 主要用于一般的中小功率传动轴系, 工作温度 -20 ~ 70℃
	弹性柱销联轴器 (GB/T5014—2003)	160 ~ 160000	12 ~ 340	7100 ~ 850	±(0.5 ~ 3.0)	0.15 ~ 0.25	0°30'	结构简单, 制造容易, 更换方便, 柱销较耐磨, 但弹性差, 补偿两轴相对位移量不大, 主要用于载荷较平稳、起动频繁、轴向窜动量较大、对缓冲要求不高的传动轴系, 工作温度 -20 ~ 70℃
	弹性柱销齿式联轴器 (GB/T5015—2003)	100 ~ 25 × 10 ⁵	12 ~ 850	4000 ~ 460	±(1.5 ~ 5)	0.3 ~ 1.5	0°30'	有一定的弹性, 能缓冲, 且制造容易, 不需润滑, 更换方便, 传递转矩范围大, 可代替部分齿式联轴器, 适用于正反转多变、起动频繁、转矩变化不大的传动轴系, 工作温度 -20 ~ 70℃
	梅花形弹性联轴器 (GB/T5272—2002)	16 ~ 25000	12 ~ 160	15300 ~ 1900	1.2 ~ 5.0	0.2 ~ 0.8	1° ~ 0.5°	结构简单, 维修方便, 有缓冲减振性能, 安全可靠, 耐磨, 对加工精度要求不高, 适应范围广, 可用于各种中小功率的水平和垂直传动轴系, 工作温度 -35 ~ 80℃

(续)

类型	联轴器名称	转矩范围 /N·m	轴径范围 /mm	最高转速 /r·min ⁻¹	许用相对位移			特点及应用说明
					轴向 /mm	径向 /mm	角向	
非金属弹性元件联轴器	芯型弹性联轴器 (GB/T10614—2008)	6.3~8000	10~140	4000~1400	0.5~3.0	0.5~1.0	1°30'~0°30'	结构简单, 径向尺寸小, 具有补偿两轴相对位移和减振的性能, 但橡胶环寿命较短, 不耐酸碱和有机溶剂, 可用于中小功率的水平和垂直轴系, 工作温度-20~70℃
	轮胎式联轴器 (GB/T5844—2002)	10~25000	11~180	5000~800	1.0~8.0	1.0~5.0	1°30'	结构简单, 弹性好, 扭转刚度小, 减振能力强, 补偿两轴相对位移量大, 但径向外形尺寸大, 传动时有附加轴向载荷, 主要用于有较大冲击载荷, 正、反转多变, 起动频繁的传动轴系, 工作环境温度-20~80℃
	H形弹性块联轴器 (JB/T5511—2006)	18~63000	12~250	5000~800	2~6	0.5~2.0	1°30'~1°	径向尺寸紧凑, 具有一定补偿两轴相对位移和缓冲减振性能, 但橡胶块寿命较短, 不耐酸碱和有机溶剂, 可用于水平和垂直传动轴系, 工作温度-30~80℃
	多角形橡胶联轴器 (JB/T5512—1991)	50~8000	12~160	5000~900	±(2~5)	1~2	5°~2°	结构简单, 弹性好, 具有补偿两轴相对位移和减振、缓冲性能, 拆、修方便, 可用于角位移较大、有较大冲击、正反转多变、起动频繁的传动轴系, 工作温度-30~60℃
金属弹性元件联轴器	膜片联轴器 (JB/T9147—2000)	JMI型 25~160000 JM I J型 25~6300 JM II型 40~180000 JM II J型 63~10 ⁷	14~320 14~125 14~340 20~950	6000~710 6000~1600 10700~1050 9300~350	1~12	与中间轴长度有关	1°~2°	易平衡, 不需润滑, 对环境适应性强, 且结构简单, 装拆方便, 工作可靠, 无噪声, 有一定的补偿性能和缓冲性能, 主要用于载荷较平稳的中、高速传动, 可部分代替齿式联轴器

(续)

类型	联轴器名称	转矩范围 /N·m	轴径范围 /mm	最高转速 /r·min ⁻¹	许用相对位移			特点及应用说明
					轴向 /mm	径向 /mm	角向	
金属弹性元件联轴器	蛇形弹簧联轴器 (JB/T8869—2000)	JS 型 45 ~ 8 × 10 ⁵	18 ~ 500	4500 ~ 540	± (0.3 ~ 1.3)	0.31 ~ 1.02	0°9' ~ 0°57'	弹性好, 缓冲减振能力强, 工作可靠, 径向尺寸小, 具有较好的补偿综合位移的能力, 且耐久, 承载能力高, 结构形式多, 但结构复杂, 需润滑, 主要用于有严重冲击载荷的中、大功率传动轴系。工作温度范围 -30 ~ 150℃
		JSB 型 45 ~ 63000	18 ~ 260	6000 ~	± (0.3 ~ 1.3)			

1.2 机械式联轴器的选择

1.2.1 联轴器类型的选择

在选择标准联轴器时应根据使用要求和工作条件, 如承载能力、转速、两轴相对位移、缓冲吸振以及装拆、维修、更换易损元件等综合分析来确定。具体选择时可顺序考虑以下几点。

1) 原动机和工作机的机械特性。原动机的类型不同, 其输出功率和转速, 有的是平稳恒定的, 有的是波动不均匀的。而各种工作机的载荷性质差异更大, 有的平稳, 有的有冲击甚至强烈冲击或振动。这将直接影响联轴器类型的选择, 是选型的首要依据之一。对于载荷为平稳的, 则可选用刚性联轴器, 否则宜选用弹性联轴器。

2) 联轴器连接的轴系及其运转情况。对于连接轴系的重量大、转动惯量大, 而又经常起动、变速或反转的, 则应考虑选用能承受较大瞬时过载, 并能缓冲吸振的弹性联轴器。

3) 工作机的转速高低。对于需高速运转的两轴连接, 应考虑选择联轴器的结构具有高平衡精度特性, 以消除离心力而产生的振动和噪声, 增加相关元件的磨损和发热而降低传动重量和使用寿命。其中膜片联轴器对高速运转适应性较好。

4) 联轴器的对中和对中保持程度良好是使运转正常的前提, 也可防止产生过大附加载荷及其他不良工况。联轴器的对中调整难易, 除与本身结构有关外, 还应与机械类型在对中时采用的措施相适应。同时还需计及机械工作时有关零件因受载和温升产生变形及零件相对滑动而发生磨损, 从而使两轴发生附加的相对位移。所以, 选择的联轴器不但要补偿安装时难免存在的一定相对偏差, 还应预计到能补偿两轴在运转中出现的相对位移的能力。

5) 联轴器的结构及工作特性, 联轴器的外形尺

寸, 安装、拆卸所需的空间大小和难易程度以及对维护的要求等都应与连接机组的具体配置位置和要求相适应, 例如连接两轴垂直时, 有些齿式联轴器就不适用。此外还应考虑机组对联轴器主、从动轴转速的同步性 (包括转速波动和弹性回差) 是否有要求。如单十字轴式万向联轴器的从动轴转速有周期性波动, 一般弹性联轴器在起动和载荷或转速改变时, 从动轴有弹性回差现象。

6) 联轴器的可靠性、使用寿命和工作环境。对于要求运转可靠, 不允许运转工作临时中断的传动, 最好选用不需润滑、无非金属弹性元件的联轴器。高温和有油类、酸、碱及其他腐蚀性介质的场所, 或有光辐射存在应尽量不用含有橡胶弹性元件的联轴器。有灰尘、潮湿的环境, 应用有罩壳的联轴器。对环境有清洁要求时就应尽量不用油润滑的联轴器。

7) 联轴器的制造、安装和维护的成本, 在满足使用要求的条件下, 应使选择的联轴器成本低, 不需维护, 以降低经常费用。

1.2.2 联轴器型号的选择

在选用标准联轴器或已有推荐的系列尺寸的联轴器型号时, 一般都是以联轴器所需传递的计算转矩 T_c 小于所选联轴器的许用转矩 $[T]$ 或标准联轴器的公称转矩 T_n 为原则。由于传动轴系载荷变化性质不同以及联轴器本身的结构特点和性能不同, 联轴器实际传递的转矩不等于传动轴系理论上需传递的转矩 T , 通常

$$T_c = T K K_w K_z K_t = 9550 \frac{P}{n} K K_w K_z K_t \leq T_n \quad (5.4-1)$$

式中 T ——理论转矩 (N·m), 在有制动器的传动系统, 当制动器的理论转矩大于动力机的理论转矩时, 应按前者计算联轴器;

P_w 、 n ——分别为驱动功率（kW）和转速（r · min⁻¹）；
 K ——工作情况系数，见表 5.4-2；

K_w ——动力机系数，见表 5.4-3；
 K_z ——起动系数，见表 5.4-4；
 K_t ——温度系数，见表 5.4-5。

表 5.4-2 工作情况系数 K （摘自 JB/T7511—1994）

载荷性质	工作机类型	K	载荷性质	工作机类型	K
均匀载荷	转向机构、加煤机风筛、装罐机械	1.0	中等冲击载荷	通风机（冷却塔式、引风机）	2.00
	鼓风机、风扇、泵（离心式）	1.0		泵（单~多缸）	1.75~2.25
	鼓风机、风扇（轴流式）、泵（回转式）	1.5		往复式压缩机	2.00
	压缩机（离心式、轴流式）	1.25~1.50		搅拌机（筒形、混凝土）	1.50~1.75
	液体搅拌设备，酿造、蒸馏设备，均匀加载运输机	1.0~1.25		运输机（板式、螺旋式、往复式）	1.50~2.50
	不均匀加载运输机、提升机（自动式、重力卸料式）	1.25~1.5		提升机（离心式、料斗式、普通货车用）	1.50~2.00
	给料机（板式、带式、圆盘式、螺旋式）	1.25		造纸设备	1.50~2.25
	废水处理设备	1.25		食品机械（切割、搅面、绞肉）	1.75~2.00
	纺织机械	1.25~1.50		木材加工机械	1.50~2.00
	造纸设备（漂白、校平、卷取、清洗机）	1.0~1.50		工具机（刨床、弯曲机、压力机、攻丝机）	1.50~2.50
	传动装置（主、辅传动）	1.25~1.50		石油机械（石蜡过滤机、油井泵、旋转窑）	1.75~2.00
	食品机械（瓶、罐装机，谷类脱粒机）	1.0~1.25		轧制设备（剪切、绕线、拉拔机、成形、压延等）	1.50~2.25
	印刷机械	1.50		旋转式粉碎机	2.00~2.25
重、特重冲击载荷			重、特重冲击载荷	橡胶机械	2.00~2.50
				起重机、卷扬机	1.50~2.00
				挖泥机及附属设备	1.50~2.25
				粘土加工设备	1.75~2.00
				洗衣机、锤式粉碎机	2.00
				旋转式筛石机	1.50
			重、特重冲击载荷	碎矿（石）机	2.75
				摆动运输机、往复式给料机	2.50
				可逆输送辊道	2.50
			重、特重冲击载荷	初轧、中厚板轧机、剪切机、压力机、机架辊	>2.75

注：表中 K 值的范围根据同类机械中载荷性质的差异而定。

表 5.4-3 动力机系数 K_w

动力机			
电动机、汽轮机	内燃机		
	四缸及以上	双缸	单缸
1.0	1.2	1.4	1.6

表 5.4-5 温度系数 K_t

环境温度 /℃	天然橡胶 (NR)	聚氨基甲酸酯弹性体 (PUR)	丁腈橡胶 (NBR)
-20~30	1.0	1.0	1.0
>30~40	1.1	1.2	1.0
>40~60	1.4	1.5	1.0
>60~80	1.8	不允许	1.2

表 5.4-4 起动系数 K_z

≤120z/h	>120~240z/h	>240z/h
1.0	1.3	由制造厂定

1.3 固定式刚性联轴器

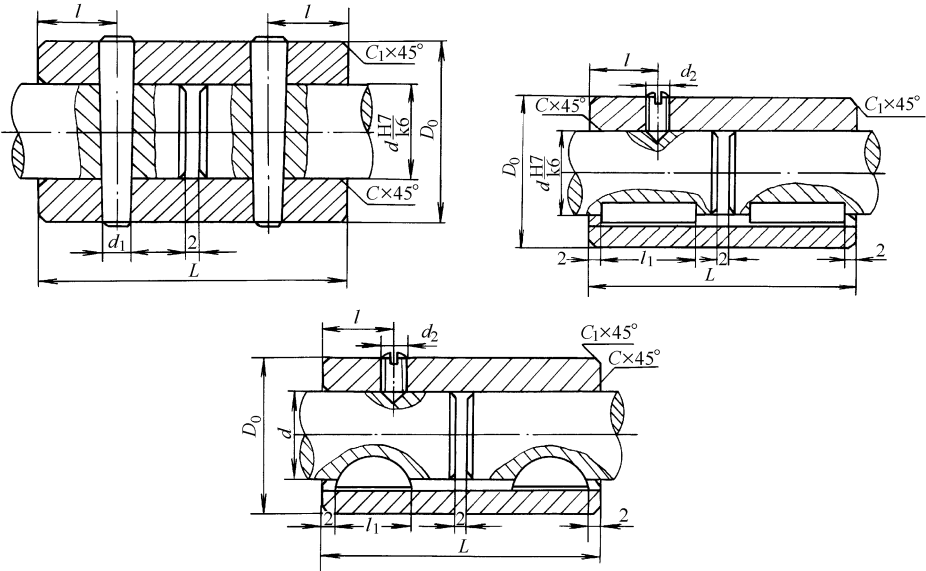
(1) 非花键套筒联轴器 (见表 5.4-6)

(2) 花键套筒联轴器 (见表 5.4-7)

1.3.1 套筒联轴器

1.3.2 凸缘联轴器 (见表 5.4-8)

表 5.4-6 非花键套筒联轴器的基本参数和主要尺寸 (mm)



轴直径 <i>d</i> H7	许用转矩/N·m			<i>D</i> ₀	<i>L</i>	<i>l</i>	<i>C</i>	<i>C</i> ₁	圆锥销	紧定螺钉	平键	半圆键		
	I ①	II ①	III ①						GB/T117— 2000	GB/T71— 1985	GB/T1096— 2003	GB/T1099— 2003		
10	4.5		8	18	35	8	0.5	0.5	2.5×18	M4×8		3×6.5×16		
12	7.5		20	22	40				3×22					
14	16		28	25	45				4×25				M5×8	4×7.5×19
16	28		40	28	45				5×28					
18	32		56	32	55	12	1.0	1.0	5×32	M5×10		5×7.5×19		
20	50	71	90	35	60	15			6×35	M6×10	6×22	5×9×22		
22	56	90	110		65				6×35		6×25			
25	112	125	160	40	75	20			8×40	M8×12	8×28	6×10×25		
28	127	170	220	45	80				8×45		8×32		8×11×28	
30	132	212	280		90	25			1.2	1.0	10×50	10×25	10×13×32	
35	250	355	450	50	105						10×60	M8×12		12×50
40	280	450		60	120						12×70	M10×20		14×60
45	530	710		70	140						12×80	M12×20		
50	600	850		80	150	35			1.8	2.0	12×90	M12×25	16×70	
55	630	1060		90	160		16×100	M12×25 ^②			18×80			
60	1060	1500		100	180		16×110	M16×25 ^②			20×90			
70	1250	2240		110	200		20×120				22×100			
80	2240	3150		120	220	20×130	25×110							
90	2500	4000		130	240	25×140	M20×25 ^②	28×125						
100	4000	5600		140	280	60								

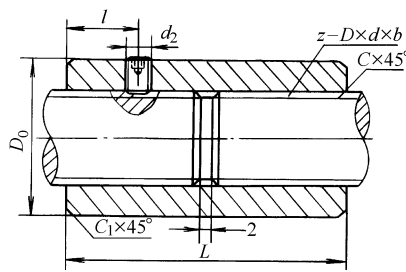
注：键槽对套筒中心线的对称度根据使用要求，按 GB/T1184—1996 对称度选取 7~9 级。

① I—圆锥销套筒联轴器，II—平键套筒联轴器，III—半圆键套筒联轴器。

② 螺钉为 GB/T78—2007 内六角锥端紧定螺钉。

表 5.4-7 花键套简联轴器的基本参数和主要尺寸

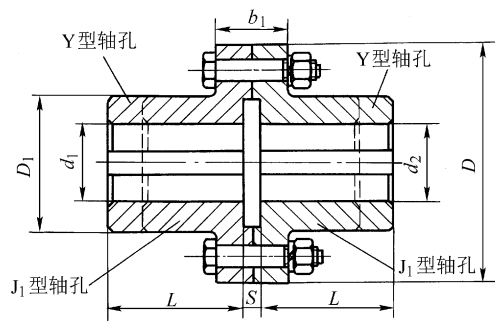
(mm)



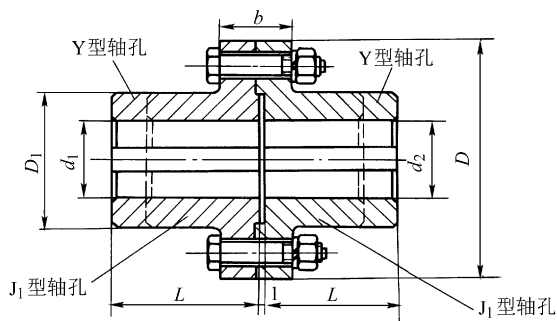
花键尺寸 $z\text{—}D\times d\times b$	键槽宽 b 公差	D_0	L	l	C	C_1	许用转矩 〔 T 〕 /N·m	内六角紧定 螺钉 GB/T77 —2000	质量 /kg	
6—25×21×5	+0.038 +0.020	35	45	10	1.0	1.0	150	M6×8	0.19	
6—28×23×6		40	50	12			250		0.29	
6—32×26×6		45	55				360	M6×10	0.41	
6—34×28×7	+0.047 +0.025		60	1.2	420		M6×8	0.4		
8—38×32×6	+0.038 +0.020	50	70		15		650	M6×10	0.56	
8—42×36×7	+0.047 +0.025	55	80				20		900	0.74
8—48×42×8		60	90		1250			M8×10	0.88	
8—54×46×9		70	100		1.8		2000	M8×12	1.48	
8—60×52×10		80	110				25	2500	M8×16	2.22
8—65×56×10		90	120				30	3250	M10×18	3.33
8—72×62×12	+0.059 +0.032	100	130		35	4750	4.44			
10—82×72×12		110	150	40	7500	5.68				
10—92×82×12		120	170	45	10000	M12×18	7.24			
10—102×92×14		130	190	45	12500		8.83			

注：花键采用小径定心，花键槽直径 D 按 H7 制造。

表 5.4-8 凸缘联轴器的基本参数和主要尺寸 (摘自 GB/T 5843—2003)

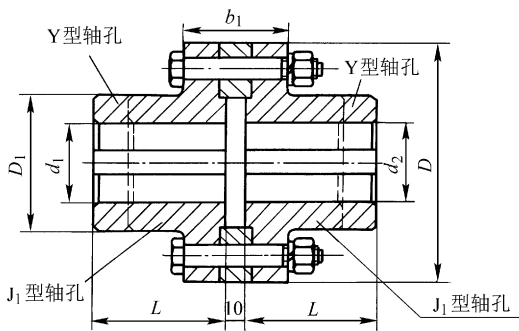


GY 型凸缘联轴器



GYS 型凸缘联轴器

(续)



GYH 型凸缘联轴器

型号	公称转矩 $T_n/\text{N} \cdot \text{m}$	许用转速 $[n]/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	轴孔直径 d_1, d_2		轴孔长度 L		D	D_1	b	b_1	S	转动惯量 $J/\text{kg} \cdot \text{m}^2$	质量 m/kg
			Y	J ₁									
			mm										
GY1 GYS1 GYH1	25	12 000	12	32	27	80	30	26	42	6	0.000 8	1.16	
			14										
			16	42	30								
			18										
			19										
GY2 GYS2 GYH2	63	10 000	16	42	30	90	40	28	44	6	0.001 5	1.72	
			18										
			19										
			20	52	38								
			22										
			24										
25	62	44											
GY3 GYS3 GYH3	112	9 500	20	52	38	100	45	30	46	6	0.002 5	2.38	
			22										
			24										
			25	62	44								
			28										
GY4 GYS4 GYH4	224	9 000	25	62	44	105	55	32	48	6	0.003	3.15	
			28										
			30	82	60								
			32										
			35										
GY5 GYS5 GYH5	400	8 000	30	82	60	120	68	36	52	8	0.007	5.43	
			32										
			35										
			38										
			40	112	84								
			42										

(续)

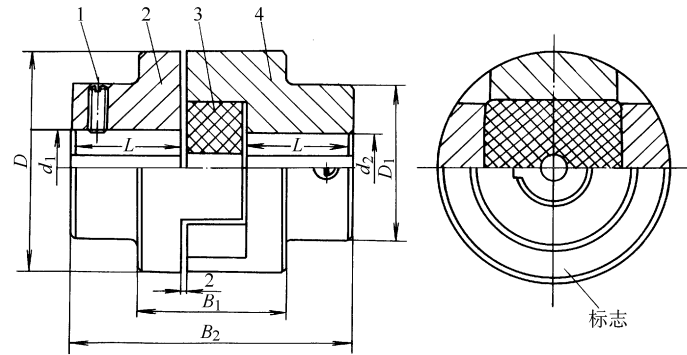
型号	公称转矩 $T_n/\text{N} \cdot \text{m}$	许用转速 $[n]/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	轴孔直径 $d_1、d_2$	轴孔长度 L		D	D_1	b	b_1	S	转动惯量 $J/\text{kg} \cdot \text{m}^2$	质量 m/kg		
				Y	J ₁									
			mm											
GY6 GYS6 GYH6	900	6 800	38	82	60	140	80	40	56	8	0.015	7.59		
			40	112	84									
			42											
			45											
			48											
			50											
GY7 GYS7 GYH7	1 600	6 000	48	112	84	160	100	40	56	8	0.031	13.1		
			50											
			55											
			56											
			60										142	107
			63											
GY8 GYS8 GYH8	3 150	4 800	60	142	107	200	130	50	68	10	0.103	27.5		
			63											
			65											
			70											
			71											
			75											
			80	172	132									
GY9 GYS9 GYH9	6 300	3 600	75	142	107	260	160	66	84	10	0.319	47.8		
			80	172	132									
			85											
			90											
			95											
			100										212	167
GY10 GYS10 GYH10	10 000	3 200	90	172	132	300	200	72	90	10	0.720	82.0		
			95	212	167									
			100											
			110											
			120											
			125											
GY11 GYS11 GYH11	25 000	2 500	120	212	167	380	260	80	98	10	2.278	162.2		
			125	252	202									
			130											
			140											
			150											
			160										302	242
GY12 GYS12 GYH12	50 000	2 000	150	252	202	460	320	92	112	12	5.923	285.6		
			160	302	242									
			170											
			180											
			190										353	282
			200											
GY13 GYS13 GYH13	100 000	1 000	190	352	282	590	400	110	130	12	19.978	611.9		
			200											
			220											
			240										410	330
			250											

注：质量、转动惯量是按 GY 型联轴器 Y/ J_1 轴孔组合形式和最小轴孔直径计算的。

1.4 可移式刚性联轴器

1.4.1 滑块联轴器 (见表 5.4-9)

表 5.4-9 滑块联轴器的基本参数和主要尺寸 (摘自 JB/ZQ 4384—2006)



1—螺钉 2、4—半联轴器 3—滑块

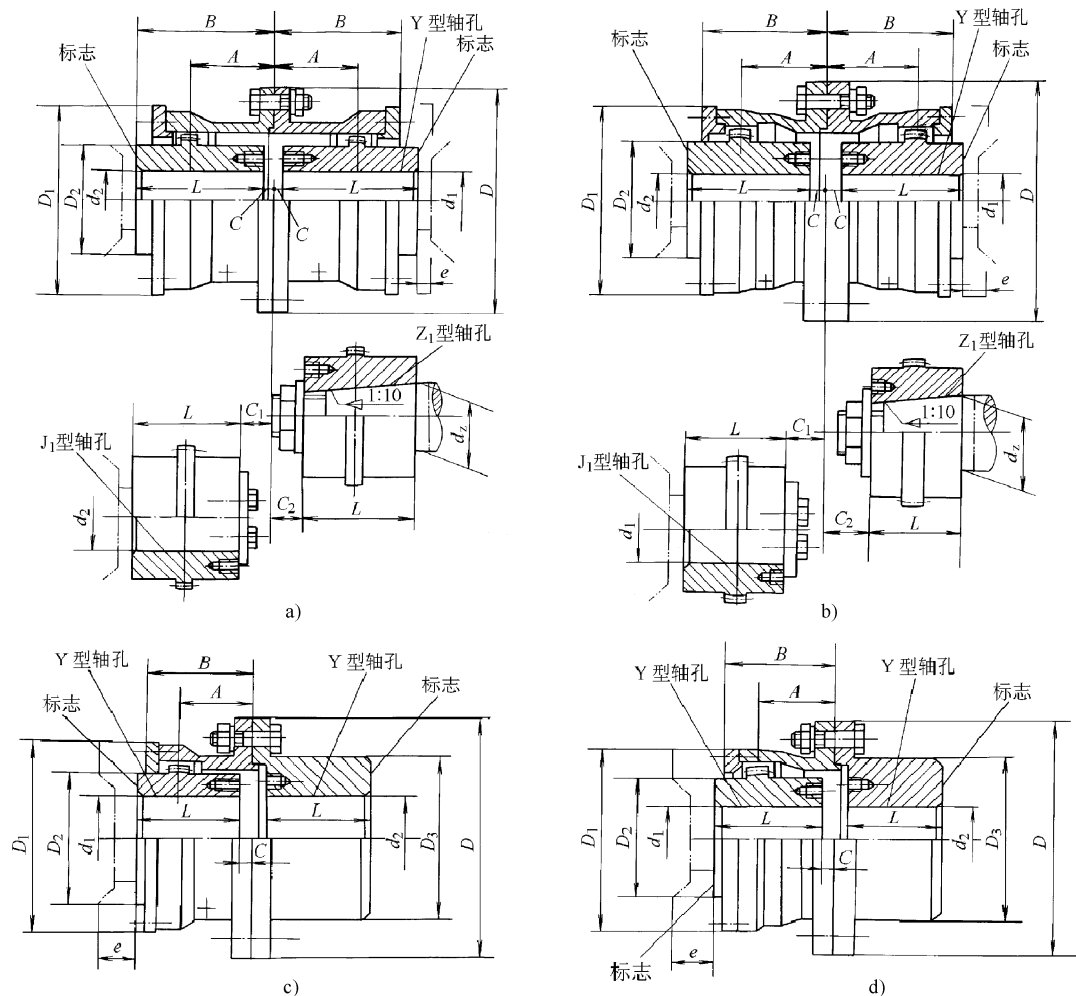
型 号	许用转矩 〔T〕 /N·m	许用转速 〔n〕 /r·min ⁻¹	轴孔直径	轴孔长度 <i>L</i>		<i>D</i>	<i>D</i> ₁	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	转动惯量 <i>J</i> /kg·m ²	质量 /kg
			<i>d</i> ₁ 、 <i>d</i> ₂	Y	J ₁						
				mm							
KL1	16	10000	10, 11 12, 14	25 32	22 27	40	30	52	67 81	0.0007	0.6
KL2	31.5	8200	12, 14 16, 18	32 42	27 30	50	32	56	86 106	0.0038	1.5
KL3	63	7000	18, 19 20, 22	42 52	30 38	70	40	60	106 126	0.0063	1.8
KL4	160	5700	20, 22, 24 25, 28	52 62	38 44	80	50	64	126 146	0.013	2.5
KL5	280	4700	25, 28 30, 32, 35	62 82	44 60	100	70	75	151 191	0.045	5.8
KL6	500	3800	30, 32, 35, 38 40, 42, 45	82 112	60 84	120	80	90	201 261	0.12	9.5
KL7	900	3200	40, 42, 45, 48 50, 55	112	84	150	100	120	266	0.43	25
KL8	1800	2400	50, 55 60, 63, 65, 70	112 142	84 107	190	120	150	276 336	1.98	55
KL9	3550	1800	65, 70, 75 80, 85	142 172	107 132	250	150	180	346 406	4.9	85
KL10	5000	1500	80, 85, 90 95, 100	172 212	132 167	330	190	180	406 486	7.5	120

注: 1. 适用于控制器和油泵装置或其他传递转矩较小的场合。
2. 表中联轴器质量和转动惯量是按最小轴孔直径和最大长度计算的近似值。
3. 装配时两轴的许用补偿量为: 轴向 $\Delta x = 1 \sim 2\text{mm}$; 径向 $\Delta y \leq 0.2\text{mm}$; 角向 $\Delta \alpha \leq 0^\circ 40'$ 。
4. 联轴器的工作温度为 $-20 \sim 70^\circ\text{C}$ 。
5. 生产厂: 浙江乐清柳市镇, 乐清市联轴器厂。

1.4.2 齿式联轴器

(1) G I CL、G I CLZ 型鼓形齿式联轴器(见表 5.4-10)

表 5.4-10 G I CL、G I CLZ 型鼓形齿式联轴器的基本参数和主要尺寸(摘自 JB/T 8854.3—2001)



5 - 206

型号	公称 转矩 T_n /N·m	许用 转速 [n]/ r·min ⁻¹	轴孔直径 d_1 、 d_2 、 d_z	轴孔长度 L		D	D_1	D_2	D_3	B	A	G I CL		C	e	转动 惯量 J /kg·m ²	润滑脂 用量 /mL	质量 /kg	许用 径向 位移 ΔY /mm
				G I CL G I CLZ	G I CL														
				Y 型	J、Z ₁ 型														
				mm															
$\frac{G\ I\ CL1}{G\ I\ CLZ1}$	630	4000	16、18、19	42	—	125	95	60	80	57	37	—	—	20	30	$\frac{0.01}{0.01}$ ^①	$\frac{55}{30}$ ^①	$\frac{5.9}{5.4}$ ^①	$\frac{1.96}{}$
			20、22、24	52	38							—	24	10					
			25、28	62	44							—	19	2.5					
			30、32*、35*、38*	82	60							15	22						
			40*、42*、45*、48*、50*	112	—							—	—						
$\frac{G\ I\ CL2}{G\ I\ CLZ2}$	1120	4000	25、28	62	44	144	120	75	95	67	44	—	29	10.5	30	$\frac{0.02}{0.02}$	$\frac{100}{60}$	$\frac{9.7}{9.2}$	2.36
			30、32、35、38	82	60							12.5	30	2.5					
			40、42*、45*、48*、50*、55*、56*	112	84							13.5	28						
			60*	142	—							—	—						
			$\frac{G\ I\ CL3}{G\ I\ CLZ3}$	2240	4000							30、32、35、38	82						
40、42、45、48、50、55、56	112	84				17	28												
60、63*、65*、70*	142	107				17	35												
32、35、38	82	60				37	32	14											
$\frac{G\ I\ CL4}{G\ I\ CLZ4}$	3550	3600	40、42、45、48、50、55、56	112	84	196	165	115	130	89	62	17	28	3	30	$\frac{0.09}{0.08}$	$\frac{170}{90}$	$\frac{24.9}{22.7}$	$\frac{3.27}{}$
			60、63*、65*、70*、71*、75*	142	107							17	35						
			80*	172	—							—	—						
$\frac{G\ I\ CL5}{G\ I\ CLZ5}$	5000	3300	40、42、45、48、50、55、56	112	84	224	183	130	150	99	71	25	28	3	30	$\frac{0.17}{0.15}$	$\frac{270}{140}$	$\frac{38}{36.2}$	$\frac{3.8}{}$
			60、63、65、70、71、75	142	107							20	25						
			80、85*、90*	172	132							22	43						
$\frac{G\ I\ CL6}{G\ I\ CLZ6}$	7100	3000	48、50、55、56	112	84	241	200	145	170	109	80	35	35	6	30	$\frac{0.27}{0.24}$	$\frac{380}{200}$	$\frac{48.2}{46.2}$	$\frac{4.3}{}$
			60、63、65、70、71、75	142	107							20	35	4					
$\frac{G\ I\ CL6}{G\ I\ CLZ6}$	7100	3000	80、85*、90*、95*	172	132	241	200	145	170	109	80	22	43	4	30	$\frac{0.27}{0.24}$	$\frac{380}{200}$	$\frac{48.2}{46.2}$	$\frac{4.3}{}$
			100*	212	—							—	—						
$\frac{G\ I\ CL7}{G\ I\ CLZ7}$	10000	2680	60、63、65、70、71、75	142	107	265	230	160	190	122	90	25	35	4	30	$\frac{0.45}{0.43}$	$\frac{570}{290}$	$\frac{68.9}{68.4}$	$\frac{4.7}{}$
			80、85、90、95	172	132							22	43						
			100、110*、120*	212	167							22	48						
$\frac{G\ I\ CL8}{G\ I\ CLZ8}$	14000	2500	65、70、71、75	142	107	285	245	175	210	132	96	35	35	5	30	$\frac{0.65}{0.61}$	$\frac{660}{350}$	$\frac{83.3}{81.1}$	$\frac{5.24}{}$
			80、85、90、95	172	132							22	43						
			100、110*、120*	212	167							—	48						
			130*	252	—							—	—						
$\frac{G\ I\ CL9}{G\ I\ CLZ9}$	18000	2350	70、71、75	142	107	314	270	200	225	142	104	45	45	10	30	$\frac{1.04}{0.94}$	$\frac{700}{370}$	$\frac{110}{100.1}$	$\frac{5.63}{}$
			80、85、90、95	172	132							22	43						
			100、110、120	212	167							22	49						
			130*、140*	252	—							—	—						

(续)

型号	公称 转矩 T_n /N · m	许用 转速 [n]/ r · min ⁻¹	轴孔直径 d_1 、 d_2 、 d_z	轴孔长度 L		D	D_1	D_2	D_3	B	A	G I CL		C	e	转动 惯量 J /kg · m ²	润滑脂 用量 /mL	质量 /kg	许用 径向 位移 ΔY /mm
				G I CL G I CLZ	G I CL							G I CL							
				Y 型	J、Z ₁ 型														
				mm															
$\frac{G \text{ I CL}10}{G \text{ I CLZ}10}$	31500	2150	80、85、90、95	172	132	346	300	220	250	165	124	43	43	5	30	$\frac{1.88}{1.67}$	$\frac{900}{500}$	$\frac{157}{147.1}$	$\frac{6.81}{}$
			100、110、120、125	212	167							22	49						
			130、140*、150*	252	202							29	54						
			160*、170*、180*	302	—							—	—						
$\frac{G \text{ I CL}11}{G \text{ I CLZ}11}$	40000	1880	100、110、120	212	167	385	330	260	285	180	133		49	6	40	$\frac{3.28}{2.98}$	$\frac{1200}{650}$	$\frac{217}{206.3}$	$\frac{7.46}{}$
			130、140、150	252	202							29	54						
			160、170*、180*	302	242								64						
$\frac{G \text{ I CL}12}{G \text{ I CLZ}12}$	56000	1680	120	212	167	442	380	290	325	208	156	57	57	6	40	$\frac{5.08}{5.31}$	$\frac{2000}{1100}$	$\frac{305}{284.5}$	$\frac{8.77}{}$
			130、140、150	252	202							29	55						
$\frac{G \text{ I CL}12}{G \text{ I CLZ}12}$	56000	1680	160、170、180*	302	242	442	380	290	325	208	156	29	68	6	40	$\frac{5.08}{5.31}$	$\frac{2000}{1100}$	$\frac{305}{284.5}$	$\frac{8.77}{}$
			190*、200*	352	—							—	—						
$\frac{G \text{ I CL}13}{G \text{ I CLZ}13}$	80000	1530	140、150	252	202	482	420	320	360	238	182	54	57	7	40	$\frac{10.06}{9.16}$	$\frac{3000}{1600}$	$\frac{419}{402}$	$\frac{10.08}{}$
			160、170、180	302	242							32	70						
			190、200*、220*	352	282								80						
$\frac{G \text{ I CL}14}{G \text{ I CLZ}14}$	112000	1300	160、170、180	302	242	520	465	360	410	266	207	42	70	8	40	$\frac{16.774}{15.92}$	$\frac{4500}{2300}$	$\frac{594}{582.2}$	$\frac{11.15}{}$
			190、200、210、220*	352	282							32	80						
			240*、250*	410	—							—	—						
$\frac{G \text{ I CL}15}{G \text{ I CLZ}15}$	160000	1180	190、200、220	352	282	590	510	400	450	278	214	34	80	10	40	$\frac{26.55}{25.9}$	$\frac{5000}{2600}$	$\frac{783}{778.2}$	$\frac{11.36}{}$
			240、250*、260*	410	330							38	—						
			280*	470	—							—	—						
$\frac{G \text{ I CL}16}{G \text{ I CLZ}16}$	250000	1000	200、220	352	282	680	595	465	500	320	250	58	80	10	50	$\frac{52.22}{46.89}$	$\frac{8000}{4100}$	$\frac{1134}{1071}$	$\frac{13.3}{}$
			240、250、260	410	330							38	—						
			280、300*、320*	470	380														
$\frac{G \text{ I CL}17}{G \text{ I CLZ}17}$	280000	980	220	352	282	728	645	495	530	336	256	74	80	10	50	$\frac{69}{60.59}$	$\frac{10000}{5100}$	$\frac{1305}{12}$	$\frac{13.87}{}$
			240、250、260	410	330							39	—						
			280、290、300*、320*	470	380														

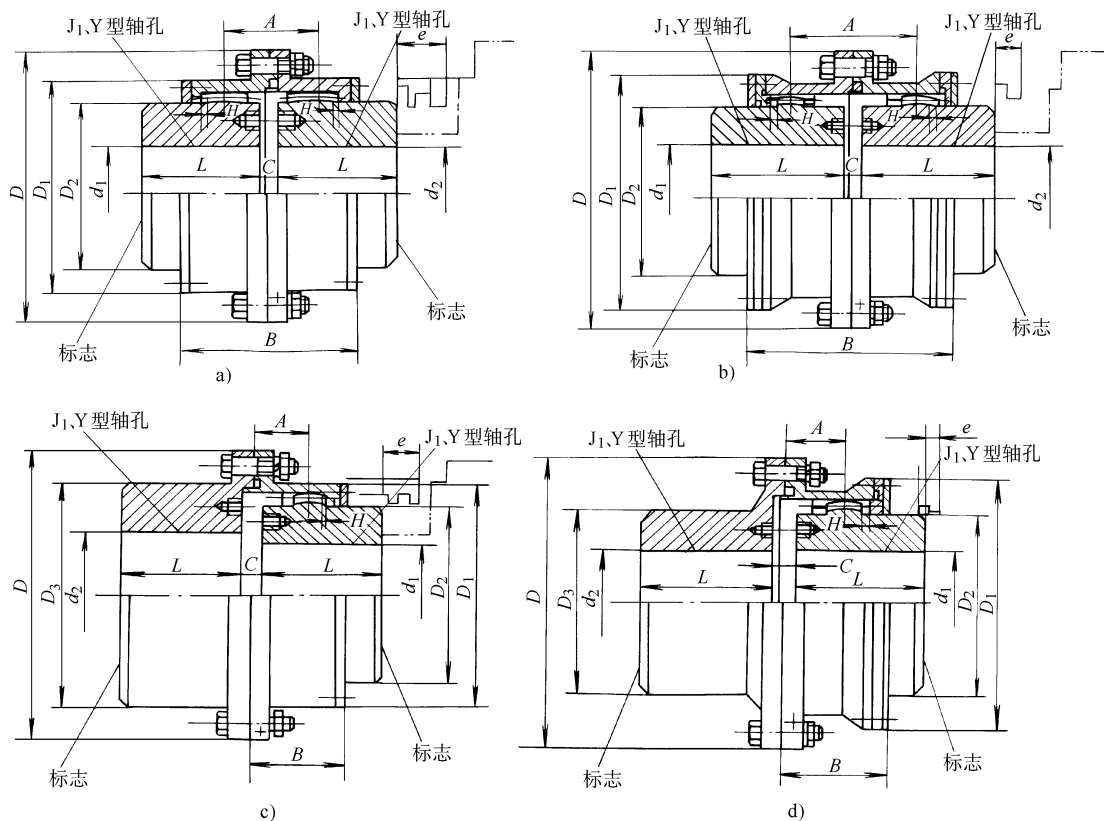
注:1. 联轴器质量和转动惯量是按各型号中轴孔最小直径和最大长度计算的近似值。

2. 表中标记“*”号的轴孔尺寸只适合于 G I CLZ 型的 d_2 选用。
3. G I CLZ 型无 d_z 轴孔。带有制动轮、接中间套等其他结构与尺寸见生产厂样本。
4. 推荐选用 J₁ 型轴孔长度。
5. 生产厂:宁波市东钱湖区,宁波伟隆传动机械有限公司;浙江乐清联轴器厂。

① 上面一行数字为 G I CL 型,下面一行数字为 G I CLZ 型的值。

(2) G II CL、G II CLZ 型鼓形齿式联轴器(见表 5.4-11)

表 5.4-11 G II CL、G II CLZ 型鼓形齿式联轴器的基本参数和主要尺寸(摘自 JB/T 8854.2—2001)



a) G II CL1 ~ G II CL13 型 b) G II CL14 ~ G II CL25 型
标记示例: G II CL15 型鼓形齿式联轴器

主动端: J₁ 型轴孔、B 型键槽, $d_1 = 220\text{mm}$, $L = 282\text{mm}$

从动端: J₁ 型轴孔、A 型键槽, $d_2 = 190\text{mm}$, $L = 282\text{mm}$

G II CL15 联轴器 $\frac{J_1 B220 \times 282}{J_1 190 \times 282}$ JB/T8854.2—2001

c) G II CLZ1 ~ G II CLZ13 型

d) G II CLZ14 ~ G II CLZ25 型

标记示例: G II CLZ15 型鼓形齿式联轴器

主动端: Y 型轴孔、A 型键槽, $d_1 = 200\text{mm}$, $L = 352\text{mm}$

从动端: Y 型轴孔、B 型键槽, $d_1 = 240\text{mm}$, $L = 410\text{mm}$

G II CLZ15 联轴器 $\frac{200 \times 352}{B240 \times 410}$ JB/T8854.2—2001

(续)

型号	公称 转矩 T_n /N · m	许用 转速 [n]/ r · min ⁻¹	轴孔直径 d_1 、 d_2	轴孔长度 L		D	D_1	D_2	D_3	C	H	A	B	e	G II CL			G II CLZ			许用 径向 位移 ΔY /mm
				Y 型	J ₁ 型										转动 惯量 J /kg · m ²	润滑脂 用量 /mL	质量 /kg	转动 惯量 J /kg · m ²	润滑脂 用量 /mL	质量 /kg	
$\frac{G II CL1}{G II CLZ1}$	400	4000	16、18、19	42	—	109	71	50	71	8	2	$\frac{36}{18}$	$\frac{76}{38}$	38	0.014	51	5.1	0.016	31	3.5	<u>1.0</u>
			20、22、24	52	38										0.014		3	0.015		3.3	
			25、28	62	44										0.014		3.1	0.016		3.5	
			30、32、35、38 *	82	60										0.015		3.6	0.020		4.1	
			40 *、42 *、45 *、48 *、50 *	112	84										—		—	0.028		5.7	
$\frac{G II CL2}{G II CLZ2}$	710	4000	20、22、24	52	38	120	83	60	83	8	2	$\frac{42}{21}$	$\frac{88}{44}$	42	0.023	70	4.9	0.027	42	5.3	<u>1.0</u>
			25、28	62	44										0.022		4.5	0.025		4.8	
			30、32、35、38	82	60										0.024		5.1	0.028		5.7	
			40、42、45、48 *、50 *、55 *、56 *	112	84										0.027		6.2	0.032		7.2	
			60 *	142	107										—		—	0.040		9.2	
$\frac{G II CL3}{G II CLZ3}$	1120	4000	22、24	52	38	133	95	75	95	8	2	$\frac{44}{22}$	$\frac{90}{45}$	42	0.042	68	7.5	0.036	42	3.8	<u>1.1</u>
			25、28	62	44										0.040		7	0.044		7.8	
			30、32、35、38	82	60										0.040		6.9	0.044		7.6	
			40、42、45、48、50、55、56 *	112	84										0.045		8.6	0.053		9.8	
			60 *、63 *、65 *、70 *	142	107										—		—	0.067		12.5	
$\frac{G II CL4}{G II CLZ4}$	1800	4000	38	82	60	149	116	90	116	8	2	$\frac{49}{24.5}$	$\frac{98}{49}$	42	0.080	87	10.1	0.085	53	10.5	<u>1.2</u>
			40、42、45、48、50、55、56	112	84										0.089		12.2	0.102		13.5	
			60、63、65、70 *、71 *、75 *	142	107										0.098		14.5	0.156		16.5	
			80 *	172	132										—		—	0.195		19.4	
$\frac{G II CL5}{G II CLZ5}$	3150	4000	40、42、45、48、50、55、56	112	84	167	134	105	134	10	2.5	$\frac{55}{27.5}$	$\frac{108}{54}$	42	0.151	125	16.4	0.176	77	18.1	<u>1.4</u>
			60、63、65、70、71、75	142	107										0.173		19.6	0.207		23.1	
			80 *、85 *、90 *	172	132										—		—	0.250		28.5	
$\frac{G II CL6}{G II CLZ6}$	5000	4000	45、48、50、55、56	112	84	187	153	125	153	10	2.5	$\frac{56}{28}$	$\frac{110}{55}$	42	0.265	148	22.1	0.300	91	23.9	<u>1.4</u>
			60、63、65、70、71、75	142	107										0.300		26.5	0.356		29.3	
			80、85、90、95 *	172	132										0.337		31.2	0.417		35.4	
			100 *	212	167										—		—	0.426		36.2	

(续)

型号	公称 转矩 T_n /N · m	许用 转速 [n]/ r · min ⁻¹	轴孔直径 d_1 、 d_2	轴孔长度 L		D	D_1	D_2	D_3	C	H	A	B	e	G II CL			G II CLZ			许用 径向 位移 ΔY /mm
				Y 型	J ₁ 型										转动 惯量 J /kg · m ²	润滑脂 用量 /mL	质量 /kg	转动 惯量 J /kg · m ²	润滑脂 用量 /mL	质量 /kg	
				mm																	
$\frac{G II CL7}{G II CLZ7}$	7100	3750	50、55、56	112	84	204	170	140	170	10	2.5	$\frac{60}{30}$	$\frac{118}{59}$	42	0.405	175	27.6	0.458	108	29.6	<u>1.5</u>
			60、63、65、70、71、75	142	107										0.460		33.1	0.534		36.3	
			80、85、90、95	172	132										0.519		39.2	0.628		43.8	
			100、110 *	212	167										0.602		47.5	0.76		54.3	
$\frac{G II CL8}{G II CLZ8}$	10000	3300	55、56	112	84	230	186	155	186	12	3	$\frac{67}{33.5}$	$\frac{142}{71}$	47	0.668	268	35.5	0.734	161	37.8	<u>1.7</u>
			60、63、65、70、71、75	142	107										0.750		42.3	0.86		46.1	
			80、85、90、95	172	132										0.839		49.7	1.00		54.9	
			100、110、120 *、125 *	212	167										0.964		60.2	1.19		67.4	
$\frac{G II CL9}{G II CLZ9}$	16000	3000	60、63、65、70、71、75	142	107	260	212	180	212	12	3	$\frac{69}{34.5}$	$\frac{146}{37}$	47	1.264	310	55.6	1.43	184	60	<u>1.8</u>
			80、85、90、95	172	132										1.425		65.6	1.66		71.8	
			100、110、120、125	212	167										1.652		79.6	2.00		88	
			130、140 *、150 *	252	202										1.878		95.8	2.3		104.4	
$\frac{G II CL10}{G II CLZ10}$	22400	2650	65、70、71、75	142	107	292	239	200	239	14	3.5	$\frac{78}{39}$	$\frac{164}{82}$	47	2.05	472	72	2.32	276	76.1	<u>2.0</u>
			80、85、90、95	172	132										2.30		84.4	2.69		91.1	
			100、110、120、125	212	167										2.64		101	3.21		111.5	
			130、140、150	252	202										2.98		119	3.74		133.5	
$\frac{G II CL11}{G II CLZ11}$	35500	2350	70 ^① 、71 ^① 、75 ^①	142	107	325	276	235	250	14	3.5	$\frac{81}{40.5}$	$\frac{170}{85}$	47	5.81	550	97	—	322	—	<u>2.1</u>
			80 ^① 、85 ^① 、90 ^① 、95 ^①	172	132										4.94		114	—		—	
			100 ^① 、110 ^① 、120 ^① 、125 ^①	212	167										4.94		138	4.90		—	
			130、140、150	252	202										5.60		161	5.64		162	
			160、170	302	242										6.35		189	6.5		193	

(续)

型号	公称 转矩 T_n /N · m	许用 转速 [n]/ r · min ⁻¹	轴孔直径 d_1 、 d_2	轴孔长度 L		D	D_1	D_2	D_3	C	H	A	B	e	G II CL			G II CLZ			许用 径向 位移 ΔY /mm
				Y 型	J ₁ 型										转动 惯量 J /kg · m ²	润滑脂 用量 /mL	质量 /kg	转动 惯量 J /kg · m ²	润滑脂 用量 /mL	质量 /kg	
$\frac{G \text{ II CL12}}{G \text{ II CLZ12}}$	50000	2100	75 ^①	142	107	362	313	270	286	16	4	$\frac{80}{44.5}$	$\frac{190}{95}$	49	6.49	695	128	—	404	—	<u>2.3</u>
			80 ^① 、85 ^① 、90 ^① 、95 ^①	172	132										7.31		150	—		—	
			100 ^① 、110 ^① 、120 ^① 、125 ^①	212	167										8.45		205	—		—	
			130、140、150	252	202										9.6		213	9.56		213	
			160、170	302	242										10.91		248	11.05		268	
			190、200	352	282										12.2		285	12.37		290	
$\frac{G \text{ II CL13}}{G \text{ II CLZ13}}$	71000	1850	150	252	202	412	350	300	322	18	4.5	$\frac{98}{49}$	$\frac{208}{104}$	49	15.70	1019	269	15.72	585	272	<u>2.6</u>
			160、170、180	302	242										17.70		315	18.14		320	
			190、200、220	352	282										19.70		360	25.36		370	
$\frac{G \text{ II CL14}}{G \text{ II CLZ14}}$	112000	1650	170、180	302	242	468	420	335	420	22	5.5	$\frac{172}{86}$	$\frac{296}{148}$	63	32.10	3900	421	27.6	1600	389	<u>4.5</u>
			190、200、220	352	282										35.2		476	30.7		438	
			240、250	410	330										38.9		544	34.4		509	
$\frac{G \text{ II CL15}}{G \text{ II CLZ15}}$	180000	1500	190、200、220	352	282	512	470	380	470	22	5.5	$\frac{182}{91}$	$\frac{316}{158}$	63	57.2	3700	608	49.7	2100	566	<u>4.8</u>
			240、250、260	410	330										63.4		696	55.9		650	
			280	470	380										69.8		786	62.3		740	
$\frac{G \text{ II CL16}}{G \text{ II CLZ16}}$	250000	1300	220	352	282	580	522	430	522	28	7	$\frac{209}{104.5}$	$\frac{354}{177}$	67	95.7	4500	799	84.8	2500	751	<u>5.3</u>
			240、250、260	410	330										105.8		913	94.9		857	
			280、300、320	470	380										116.4		1027	105.4		974	
$\frac{G \text{ II CL17}}{G \text{ II CLZ17}}$	355000	1200	250、260	410	330	644	582	490	582	28	7	$\frac{198}{99}$	$\frac{364}{182}$	67	172.3	4900	1176	155	2700	1110	<u>5.4</u>
			280、300、320	470	380										190.1		1322	173		1255	
			340、360	550	450										214.9		1532	198		1465	

- 注：1. 转动惯量与质量按 J₁ 型轴伸计算并包括轴伸在内。
 2. 轴孔直径栏中标注“*”号的轴孔尺寸，只适合 G II CLZ 型的 d_2 选用。
 3. 轴孔长度推荐选用 J₁ 型轴伸系列。带有制动轮或接中间套等其他结构与尺寸见生产厂样本。
 4. 生产厂：宁波市东钱湖区，宁波伟隆传动机械有限公司；浙江乐清柳市镇，乐清联轴器厂。
 ① 仅适用 G II CL 型。

(续)

型号	公称 转矩 $T_n /$ $\text{N} \cdot \text{m}$	许用 转速 $[n] / \text{r}$ $\cdot \text{min}^{-1}$	轴孔直径 d_1, d_2	轴孔 长度	D		D_1	B		B_1		S	d	质 量 /kg		转动惯量 $J / \text{kg} \cdot \text{m}^2$	
				J ₁ 型	A 型	C 型		A 型	C 型	A 型	C 型			A 型	C 型	A 型	C 型
				L	B 型			B 型		B 型				B 型			
mm																	
TGLA6	80	6700	16、18、19	30	82	90	58	48	58	22	27	4	M8	2.02	2.15	0.0012	0.0015
TGLB6			20、22、24	38													
TGLC6			25、28	44													
			30、32、35、38	60													
TGLA7	100	6000	20、22、24	38	92	100	65	50	60	23	28	4	M8	3.01	3.14	0.0024	0.0027
TGLB7			25、28	44													
TGLC7			30、32、35、38	60													
			40、42	84													
TGLA8	140	5600	22、24	38	100	100	72	50	60	23	28	4	M8	4.06	4.18	0.0037	0.0039
TGLB8			25、28	44													
TGLC8			30、32、35、38	60													
			40、42、45、48	84													
TGLA9	355	4000	25、28	44	140	140	96	72	85	34	41	4	M10	8.25	8.51	0.0155	0.0166
TGLB9			30、32、35、38	60													
			40、42、45、48	84													
			50、55、56														
			60、63、65、70	107													
TGLA10	710	3150	30、32、35、38	60	175	175	128	95	95	45	45	6	M10	16.92	17.10	0.0520	0.0535
TGLB10			40、42、45、48	84													
			50、55、56														
			60、63、65、70	107													
			71、75														
TGLC10	80、85	132															
TGLA11	1250	3000	40、42、45、48	84	210	210	165	102	102	48	48	8	M10	34.26	34.56	0.1624	0.165
TGLB11			50、55、56														
			60、63、65、70	107													
			71、75														
			80、85、90、95	132													
TGLC11	100、110	167															
TGLA12	2500	2120	50、55、56	84	270	270	192	135	135	63	63	10	M16	66.42	66.86	0.4674	0.4731
TGLB12			60、63、65、70	107													
			71、75														
			80、85、90、95	132													
TGLC12	100、110、120、125	167															

- 注：1. 瞬时过载转矩不得大于联轴器公称转矩的2倍。
2. 质量和转动惯量是各型号中最大值的近似计算值。
3. B_1 是保证原动机或工作机安装所必需的最小尺寸。
4. 推荐 TGL10 ~ TGL12 采用 B 型。
5. 联轴器许用相对位移：轴向 $\Delta X = \pm 1\text{mm}$ ，角向 $\Delta\alpha$ （每半联轴器） $= 1^\circ$ ，径向 ΔY ：TGL1 ~ $2\Delta Y = 0.3\text{mm}$ ，TGL3 ~ $8\Delta Y = 0.4\text{mm}$ ，TGL9 ~ $12\Delta Y$ 分别为 0.6mm 、 0.7mm 、 0.8mm 、 1.1mm 。
6. 尼龙内齿圈的使用寿命不低于2年，工作环境温度为一20 ~ 80℃。

(续)

型号	公称 转矩 [T_n]/ N·m	许用转速 [n]/ r·min ⁻¹		轴孔直径 d_1 、 d_2 /mm	轴孔长度 /mm		链 号	链 条 节 距 p /mm	齿 数 z	D	B_n	S	A	D_1	$D_k \times L_k$ (max)	质量 /kg	许用位移		
					Y 型	J ₁ 型				ΔY	ΔX	$\Delta\alpha$ (°)							
		无罩壳	有罩壳		L	L_1				mm							mm		
GL8	1000	500	2240	45~55	112	84	16A	25.40	16	154.33	15.0	14.3	12 —	110	180×135	11.1	0.5	3.8	1
GL9	1600	400	2000	60~70	142	107	16A	25.40	20	186.50	15.0	14.3	12 —	120	215×145	20.0			
				50、55	112	84							12 —						
				60~75	142	107							—						
GL10	2500	315	1600	80	172	132	20A	31.75	18	213.02	18.0	17.8	6 —	140	245×165	26.1	0.63	4.7	
				60~75	142	107							—						
				80~90	172	132							—						
GL11	4000	250	1500	75	142	107	24A	38.1	16	231.49	24.0	21.5	35 —	160	270×195	39.2	0.76	5.7	
				80~95	172	132							10 —						
				100	212	167							—						
GL12	6300	250	1250	85~95	172	132	28A	44.45	16	270.08	24.0	24.9	20 —	170	310×205	59.4	0.88	6.6	
				100~120	212	167							—						
GL13	10000	200	1120	100~125	212	167	32A	50.8	18	340.80	30.0	28.6	14 —	200	380×230	86.5	1.0	7.6	
				130、140	252	202							—						
GL14	16000	200	1000	120、125	212	167	32A	50.8	22	405.22	30.0	28.6	14 —	220	450×250	150.8			
				130~150	252	202							—						
				160	302	242							—						
GL15	2500	200	900	140、150	252	202	40A	63.5	20	466.25	36.0	35.6	18 —	280	510×285	234.4	1.27	9.5	
				160、180	302	242							—						
				190	352	282							—						

注：1. 有罩壳时，型号后加“F”，即为GLF。
2. 径向位移量的测量部位，在半联轴器轮毂外圆宽度的1/2处。
3. 联轴器轴孔直径标准系列和键槽形式见GB/T 3852—2008。
4. 生产厂：浙江乐清柳市镇，乐清联轴器厂。

1.5 十字轴式万向联轴器

1.5.1 WS型和WSD型十字轴式万向联轴器

- (1) 基本参数和主要尺寸（见表5.4-14）
(2) 选择计算
1) 要保证旋转运动的等角速和主、从动轴之间保持同步转动，应选用双十字轴万向联轴器或两个单十字轴万向联轴器组合在一起使用，并满足以下3个条件：

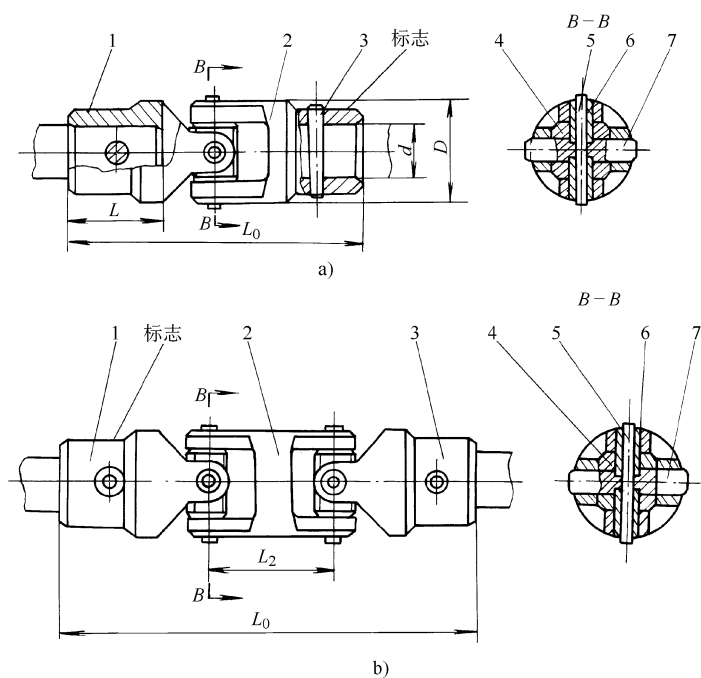
① 相等；

- ② 中间轴两端叉头的对称面在同一平面内；
③ 中间轴与主动轴、从动轴三轴线在同一平面内。

2) 采用滑动轴承的十字轴万向联轴器的功率曲线见图5.4-1，当夹角等于10°时，单十字轴万向联轴器在长期使用中能传递的功率和转矩与转速有关；当夹角大于10°时，必须根据图5.4-2查出修正系数 η ，再按式（5.4-2）计算修正功率 P' ：

$$P' = \frac{P}{\eta} \tag{5.4-2}$$

表 5.4-14 WS 型和 WSD 型十字轴式万向联轴器的基本参数和主要尺寸
(摘自 JB/T 5901—1991)



a) WSD 型

1、2—半联轴器 3—圆锥销 4—十字轴 5—销钉 6—套筒 7—圆柱销

b) WS 型

1、3—半联轴器 2—叉形接头 4—十字轴 5—销钉 6—套筒 7—圆柱销

标记示例: WS4 双十字轴万向联轴器, 采用带键槽圆柱形孔和四方形孔

主动端: Y 型轴孔、A 型键槽, $d = 16\text{mm}$, $D = 32\text{mm}$

从动端: $S = 14\text{mm}$, $D = 32\text{mm}$

采用滑动轴承时的标记为:

WS4 联轴器 $\frac{16}{S14} \times 32$ (H) JB/T5901—1991

型 号	公称转矩 [T_n] /N · m	d H7 /mm	D /mm	L_0 /mm				L /mm		L_2 /mm	质 量 /kg				转动惯量 J /kg · m ²											
				WSD 型		WS 型					WSD 型		WS 型		WSD 型		WS 型									
				Y 型	J ₁ 型	Y 型	J ₁ 型	Y 型	J ₁ 型		Y 型	J ₁ 型	Y 型	J ₁ 型	Y 型	J ₁ 型	Y 型	J ₁ 型								
WS1 WSD1	11. 2	8	16	60	—	80	—	20	—	20	0. 23	—	0. 32	—	0. 06	—	0. 08	—								
		9		66	60	86	80	25	22			0. 20		0. 29		0. 05		0. 07								
		10																								
WS2 WSD2	22. 4	10	20	70	64	96	90	25	22	26	0. 64	0. 57	0. 93	0. 88	0. 10	0. 09	0. 15	0. 15								
		11		84	74	110	100																			
		12																								
WS3 WSD3	45	12	25	90	80	122	112	32	27	32	1. 45	1. 30	2. 10	1. 95	0. 17	0. 15	0. 24	0. 22								
		14																								
WS4 WSD4	71	16	32	116	82	154	130	42	30										38	5. 92	4. 86	8. 56	0. 48	0. 39	0. 32	0. 56
		18																								
WS5 WSD5	140	19	40	144	116	192	164	52	38	48	16. 3	12. 9	24. 0	20. 6	0. 72	0. 59	1. 04	0. 91								
		20																								
		22																								

(续)

型 号	公称转矩 [T_n] /N · m	d H7 /mm	D /mm	L_0 /mm				L /mm		L_2 /mm	质 量 /kg				转动惯量 J /kg · m ²			
				WSD 型		WS 型					WSD 型		WS 型		WSD 型		WS 型	
				Y 型	J ₁ 型	Y 型	J ₁ 型	Y 型	J ₁ 型		Y 型	J ₁ 型	Y 型	J ₁ 型	Y 型	J ₁ 型	Y 型	J ₁ 型
WS6 WSD6	280	24	50	152	124	210	182	52	38	58	45.7	36.7	68.9	59.7	1.28	1.03	1.89	1.64
		25		172	136	330	194	62	44									
		28																
WS7 WSD7	560	30	60	226	182	296	252	82	60	70	148	117	207	177	2.82	2.31	3.90	3.38
		32																
		35																
WS8 WSD8	1120	38	75	240	196	332	288	112	84	92	396	338	585	525	5.03	4.41	7.25	6.63
		40		300	244	392	336											
		42																

- 注：1. WS 表示双十字轴万向联轴器，WSD 表示单十字轴万向联轴器。
2. 当轴线夹角 $\alpha \neq 0^\circ$ 时，联轴器的许用转矩 $[T] = T_n \cos \alpha$ 。
3. 中间轴尺寸 L_2 可根据需要选取。

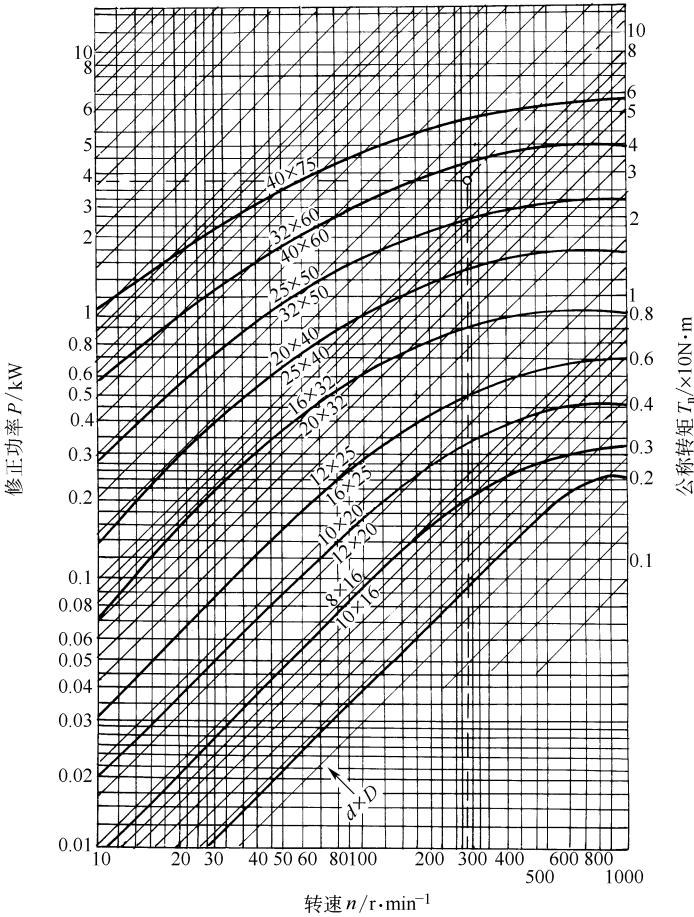
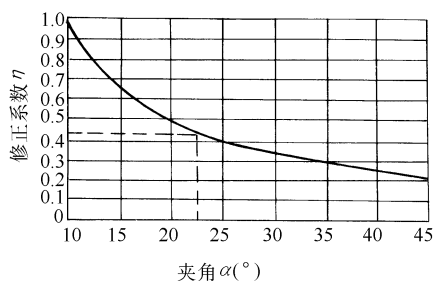


图 5.4-1 采用滑动轴承时功率曲线图

图 5.4-2 采用滑动轴承时的修正系数 η

式中 P ——传递的功率 (kW)。

若夹角在 $0^\circ \sim 5^\circ$ 之间，可使 P' 提高 25%；当夹角在 $5^\circ \sim 10^\circ$ 之间，可在线性区内用插值求得。

双十字轴万向联轴器可传递的功率，仅为单十字轴万向联轴器修正值的 90%。

3) 采用滚针轴承的十字轴万向联轴器的功率曲线见图 5.4-3，修正系数 η_g 的曲线见图 5.4.4。此时修正的转矩

$$T' = T\eta_g\eta_2 \quad (5.4-3)$$

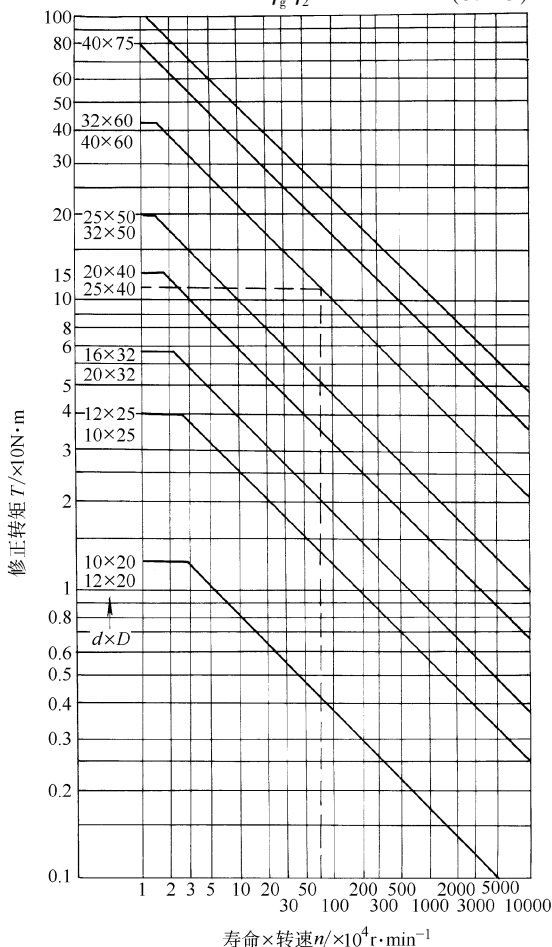
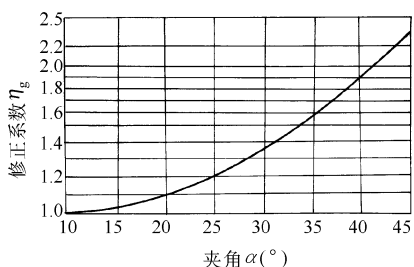


图 5.4-3 采用滚针轴承时的功率曲线图

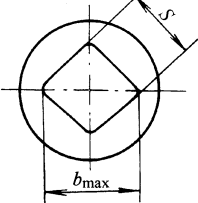
式中 T ——传递的转矩；

η_2 ——冲击系数，其值为 1.5。

图 5.4-4 采用滚针轴承时的修正系数 η_g

4) 四方形孔的主要尺寸 (见表 5.4-15)。

表 5.4-15 四方形孔主要尺寸

(mm)					
	S	10	14	19	24
	$b_{\max}$	13	18	25	32
	S	30	36	46	
	$b_{\max}$	40	48	60	

1.5.2 SWP 型、SWP 型 (G 型) 剖分轴承座十字轴式万向联轴器

(1) 基本参数和主要尺寸 (见表 5.4-16 ~ 表 5.4-19)

(2) 选择计算

联轴器的计算转矩 T_c 按下式计算并满足如下条件

$$T_c = TK_n K_h K_\alpha K_a \leq T_n \quad (5.4-4)$$

或在交变载荷作用下 $T_c \leq T_f$

式中 T ——联轴器的理论转矩 ($N \cdot m$)；

$$T = 9550 \frac{P_w}{n} \quad (5.4-5)$$

P_w 、 n ——分别为驱动功率 (kW) 和工作转速 ($r \cdot \min^{-1}$)；

T_n ——联轴器的公称转矩 ($N \cdot m$)，对于 JB/T 3241—2005 规定的联轴器， T_n 是在 $n = 10r \cdot \min^{-1}$ ，轴承寿命 $L_h = 5000h$ ，轴间角 $\alpha = 3^\circ$ 以及载荷平稳等给定条件下的数值，见表 5.4-16；

T_f ——在交变载荷作用时，联轴器允许的疲劳转矩 ($N \cdot m$)，见表 5.4-16；

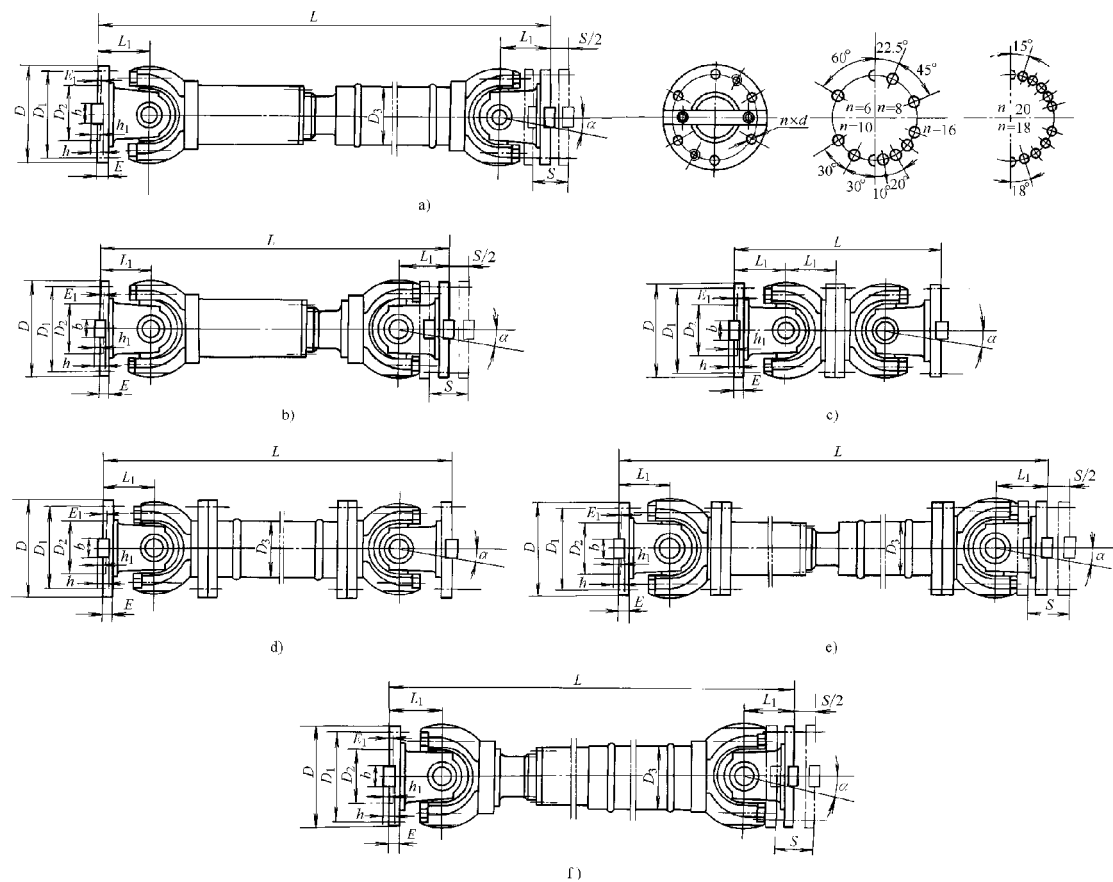
K_n ——联轴器的转速系数，见图 5.4-5；

K_h ——轴承寿命系数，见图 5.4-6；

K_α ——联轴器的轴间角系数，见图 5.4-7；

K_a ——载荷性质系数，见表 5.4-20。

表 5.4-16 SWP 型剖分轴承座十字轴式万向联轴器的基本参数和主要尺寸
(摘自 JB/T 3241—2005)



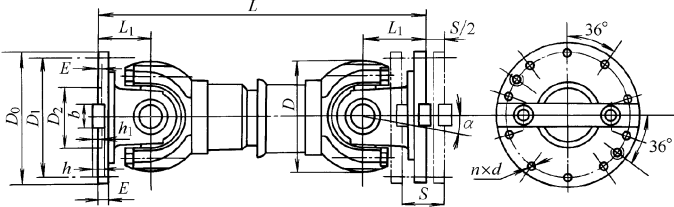
(续)

型 号	回转直 径 D /mm	公称转 矩 T_n /kN·m	脉动疲 劳转矩 T_p / kN·m	交变疲 劳转矩 T_f / kN·m	轴线 折角 B (°)	伸缩量 S /mm		尺 寸 /mm										
						A 型 B 型 E 型	F 型	$L_{\min}$					L	D_1	D_2 H7	D_3	E	E_1
								A 型	B 型	D 型	E 型	F 型	C 型					
SWP160□	160	20	14	10	≤15	50	150	655	575	450	710	715	360	140	95	121	15	4
SWP180□	180	28	20	14	≤15	60	170	760	650	515	810	785	420	155	105	127	15	4
SWP200□	200	40	28	20	≤15	70	190	825	735	585	885	955	480	175	125	140	17	5
SWP225□	225	56	40	28	≤15	80	210	950	850	700	1020	1020	580	196	135	168	20	5
SWP250□	250	80	56	40	≤15	90	220	1055	920	810	1135	1120	660	218	150	219	25	5
SWP285□	285	112	78	56	≤15	100	240	1200	1070	880	1280	1270	720	245	170	219	27	7
SWP315□	315	160	112	80	≤15	110	270	1330	1200	1000	1430	1415	820	280	185	273	32	7
SWP350□	350	224	157	112	≤15	120	290	1480	1330	1100	1580	1555	900	310	210	273	35	8
SWP390□	390	315	220	158	≤10	120	315	1480	1290	1100	1600	1522.5	960	345	235	273	40	8
SWP435□	435	450	315	225	≤10	150	335	1670	1520	1220	1825	1712.5	980	385	255	325	42	10
SWP480□	480	630	440	315	≤10	170	350	1860	1690	1400	2080	1905	1100	425	275	351	47	12
SWP550□	550	900	630	450	≤10	190	360	2100	1850	1520	2300	2050	1220	492	320	426	50	12
SWP600□	600	1250	875	625	≤10	210	370	2520	2480	1880	2865	2655	1480	544	380	480	55	15
SWP650□	650	1600	1120	800	≤10	230	380	2630	2580	2040	3140	2750	1620	585	390	500	60	15

型 号	尺 寸 /mm				转动惯量 $J/\text{kg} \cdot \text{m}^2$								质 量 /kg							
	$b \times h$	h_1	L	$n \times d$	A 型	B 型	D 型	E 型	F 型	A 型、D 型、 E 型、F 型 增长 100 mm	B 型 增长 100 mm	C 型	A 型	B 型	D 型	E 型	F 型	A 型、D 型、 E 型、F 型 增长 100 mm	B 型 增长 100 mm	C 型
					$L_{\min}$								$L_{\min}$							
SWP160□	20 × 12	6	90	6 × φ13	0.167	0.148	0.116	0.192	0.179	0.008	0.004	0.103	52	46	36	60	56	2.5	3.92	32
SWP180□	24 × 14	7	105	6 × φ15	0.304	0.268	0.211	0.345	0.312	0.012	0.006	0.195	75	66	52	85	77	3.4	4.75	48
SWP200□	28 × 16	8	120	8 × φ15	0.490	0.430	0.345	0.540	0.520	0.016	0.009	0.325	98	86	69	108	104	3.8	6.64	65
SWP225□	32 × 18	9	145	8 × φ17	0.916	0.826	0.692	1.024	0.979	0.039	0.013	0.628	143	129	108	160	153	6.2	8.05	98
SWP250□	40 × 25	12.5	165	8 × φ19	1.763	1.553	1.373	1.997	1.872	0.079	0.026	1.163	226	199	176	256	240	7.2	12.54	149
SWP285□	40 × 30	15	180	8 × φ21	3.193	2.856	2.367	3.560	3.366	0.099	0.043	2.163	313	280	232	349	330	9.4	15.18	212
SWP315□	40 × 30	15	205	10 × φ23	5.270	4.774	3.993	5.952	5.555	0.219	0.078	3.671	425	385	322	480	448	12.8	19.25	296
SWP350□	50 × 32	16	225	10 × φ23	8.645	7.788	6.426	9.639	9.027	0.226	0.097	6.197	565	509	420	630	590	13.9	22.75	405
SWP390□	70 × 36	18	215	10 × φ25	12.920	11.628	9.690	14.687	13.623	0.303	0.122	9.728	680	612	510	773	717	21.1	25.62	512
SWP435□	80 × 40	20	245	16 × φ28	24.240	22.032	17.712	27.576	25.200	0.545	0.176	17.112	1010	918	738	1149	1050	25.7	29.12	713
SWP480□	90 × 45	22.5	275	16 × φ31	38.736	35.482	29.088	45.274	40.320	0.755	0.238	27.072	1345	1232	1010	1572	1400	30.7	35.86	940
SWP550□	100 × 45	22.5	305	16 × φ31	76.570	67.868	50.252	87.172	76.152	1.435	0.341	56.050	2015	1786	1454	2294	2004	38.1	40.33	1475
SWP600□	90 × 55	27.5	370	22 × φ34	134.100	137.115	100.575	160.155	141.300	2.493	0.467	95.760	2980	3047	2235	3559	3140	53.2	47.65	2128
SWP650□	100 × 60	30	405	18 × φ38	192.720	194.991	152.064	241.930	205.498	3.210	0.623	144.408	3650	3693	2880	4582	3892	65.1	54.48	2735

注: $L(\geq L_{\min})$ 为缩短后的最小长度, 不包括伸缩量 S 。安装长度 (L 加分配 S 的缩量值) 按需要确定。

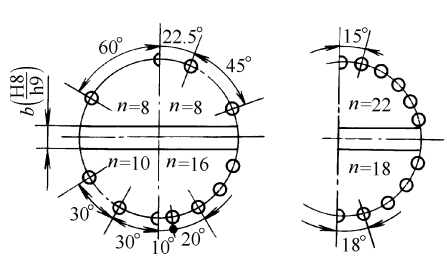
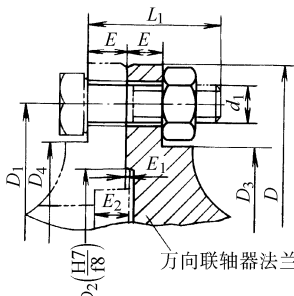
表 5.4-17 SWP 型（G 型）剖分轴承座十字轴式万向联轴器的基本参数和主要尺寸
(摘自 JB/T 3241—2005)



G 型—有伸缩超短型

型 号	回转直径 D /mm	公称 转矩 T _n /kN·m	疲劳 转矩 T _f /kN·m	轴线 折角 α (°)	伸缩量 S /mm	尺 寸 /mm										转动 惯量 / kg·m ²	质量 /kg
						L	D ₀	D ₁ Js11	D ₂ H7	E	E ₁	b × h	h ₁	L ₁	n × d		
SWP225G	225	56	28	≤5	40	470	275	248	135	15	5	32 × 18	9	80	10 × 15	0.512	78
SWP250G	250	80	40	≤5	40	600	305	275	150	15	5	40 × 25	9	100	10 × 17	1.128	142
SWP285G	285	112	56	≤5	40	665	348	314	170	18	7	40 × 30	12	120	10 × 19	1.956	190
SWP315G	315	160	80	≤5	40	740	360	328	185	18	7	40 × 30	12	135	10 × 19	3.264	260
SWP350G	350	224	112	≤5	55	850	405	370	210	22	8	50 × 32	16	150	10 × 21	5.461	355

表 5.4-18 SWP 型十字轴式万向联轴器配件的连接尺寸及螺栓预紧力矩



万向联轴器法兰

型 号	回转直径 D /mm	螺栓数 n	螺栓规格 (d ₁ × L ₁) /mm	预紧力矩 M _a /N·m	尺 寸 /mm							
					D ₁ js11	D ₂ f8	D ₃	D ₄	E	E ₁	E ₂	b H8
SWP160□	160	6	M12 × 1.5 × 50	120	140	95	118	121	15	3.5	12	20
SWP180□	180	6	M14 × 1.5 × 50	190	155	105	128	133	15	3.5	13	24
SWP200□	200	8	M14 × 1.5 × 55	190	175	125	146	153	17	4.5	15	28
SWP225□	225	8	M16 × 1.5 × 65	295	196	135	162	171	20	4.5	16	32
SWP250□	250	8	M18 × 1.5 × 75	405	218	150	180	190	25	4.5	20	40
SWP285□	285	8	M20 × 1.5 × 85	580	245	170	205	214	27	6.0	23	40
SWP315□	315	10	M22 × 1.5 × 95	780	280	185	235	245	32	6.0	23	40
SWP350□	350	10	M22 × 1.5 × 100	780	310	210	260	280	35	7.0	25	50
SWP390□	390	10	M24 × 2 × 110	1000	345	235	290	308	40	7.0	28	70
SWP435□	435	16	M27 × 2 × 120	1500	385	255	325	342	42	9.0	32	80
SWP480□	480	16	M30 × 2 × 130	2000	425	275	370	377	47	11	36	90
SWP550□	550	16	M30 × 2 × 140	2000	492	320	435	444	50	11	36	100
SWP600□	600	22	M33 × 2 × 150	2650	544	380	480	492	55	13	43	100

(续)

型 号	回转直径 D /mm	螺栓数 n	螺栓规格 ($d_1 \times L_1$) /mm	预紧力矩 M_a /N · m	尺 寸 /mm							
					D_1 js11	D_2 f8	D_3	D_4	E	E_1	E_2	b H8
SWP650□	650	18	M36 × 3 × 165	3170	585	390	515	528	60	13	45	100
SWP700□	700	22	M36 × 3 × 165	3170	635	420	565	578	60	13	45	100

注：□表示 A、B、C、D、E、F、G 中任意一个型号。

表 5.4-19 SWP 型标准规定安装长度选用
(摘自 JB/T 3241—2005) (mm)

型 号	安装长度 L	型 号	安装长度 L
SWP160□	800 ~ 1600	SWP350□	1600 ~ 3550
SWP180□	1000 ~ 1800	SWP390□	1800 ~ 4000
SWP200□	1000 ~ 2000	SWP435□	2000 ~ 4500
SWP225□	1250 ~ 2240	SWP480□	2240 ~ 5000
SWP250□	1250 ~ 2500	SWP550□	2500 ~ 5600
SWP285□	1400 ~ 2800	SWP600□	3150 ~ 6300
SWP315□	1600 ~ 3150	SWP640□	3550 ~ 6300

注：1. L 的标准系列长度 (mm)：800、1000、1250、1400、1600、1800、2000、2240、2500、2800、3150、3550、4000、4500、5000、5600、6300。

2. □表示 A、D、E、F 中任意一个形式。

3. 安装长度包括 $S/2$ 。

4. 选用表列以外的安装长度时，可与制造厂商定。

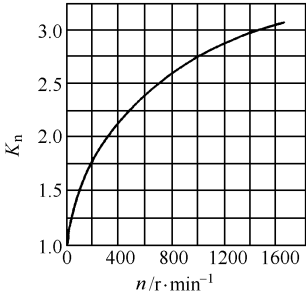


图 5.4-5 联轴器转速系数 K_n

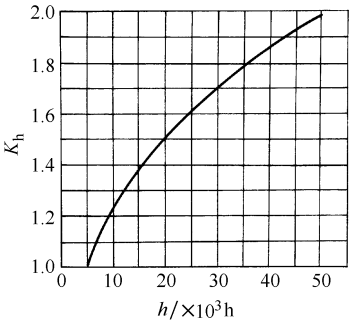


图 5.4-6 轴承寿命系数 K_h

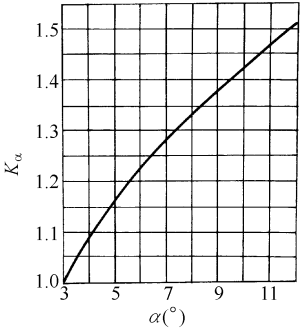


图 5.4-7 轴间角系数 K_α

表 5.4-20 载荷性质系数 K_a

工作机构载荷性质	K_a
载荷均匀，工作平稳	1.0
载荷不均匀，中等冲击	1.1 ~ 1.3
较大冲击载荷和频繁正反转	1.3 ~ 1.5
特大冲击载荷和频繁正反转	> 1.5

1.6 弹性联轴器

1.6.1 弹性套柱销联轴器

弹性套柱销联轴器以柱销与两半联轴器的凸缘相连，柱销的一端以圆锥面和螺母与半联轴器凸缘上的锥形销孔形成固定配合，另一端带有弹性套装在另一半联轴器凸缘上的柱销孔中。弹性套的外表带有梯形槽以增加弹性变形量，并由于弹性套外径略小于销孔直径，从而获得补偿两轴相对位移的性能。

由于弹性套工作时受挤压发生的变形量不大，且因弹性套与销孔的配合间隙不宜过大，因此这种联轴器的缓冲和减振性能不高，补偿两轴相对位移量较小。如若工作时两轴相对位移过大，则联轴器的运转性能将趋恶化，弹性套的磨损加剧，很易损坏。为了适应角位移较大传动的需要，可改用鼓形弹性套。

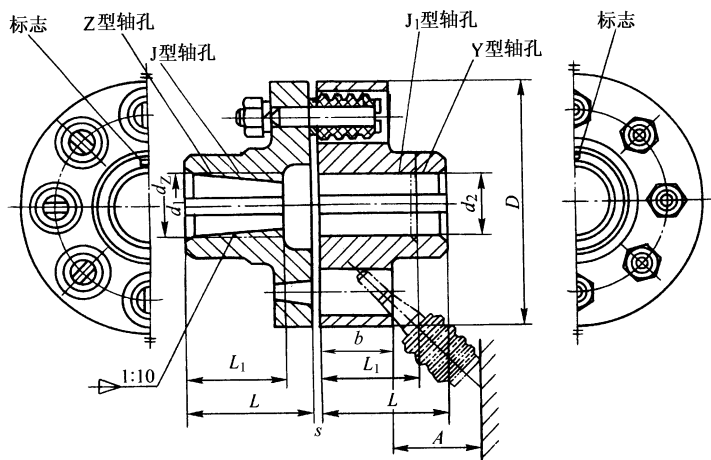
弹性套用天然橡胶或合成橡胶制成，硬度为邵氏 A70 ± 5，抗拉强度 > 15MPa，伸长率 > 300%。

弹性套柱销联轴器的特点是结构简单，安装方便，更换容易，尺寸小，重量轻。如果安装调整后能保持两轴相对位移量在规定的范围内，则联轴器会有满意的使用性能和较长的工作寿命。因此，它广泛应用于冲击载荷不大，由电动机驱动底座刚性

较好，对中精确的各种中小功率传动轴系中。

(1) LT 型弹性套柱销联轴器 (见表 5.4-21)

表 5.4-21 LT 型弹性套柱销联轴器的基本参数和主要尺寸(摘自 GB/T 4323—2002)



标记示例:LT3 弹性套柱销联轴
轴器

主动端:Z 型轴孔,C 型键槽,
 $d_2 = 16\text{mm}, L = 30\text{mm}$

从动端: J 型轴孔, B 型键槽
 $d_2 = 18\text{mm}, L = 42\text{mm}$

LT3 联轴器 $\frac{ZC16 \times 30}{JB18 \times 42}$ GB/T
4323—2002

型号	公称 转矩 $T_n /$ $N \cdot m$	许用转速 〔 n 〕 $/r \cdot \min^{-1}$		轴孔直径 $d_1、d_2、d_z$		轴孔长度			D	b	s	A	质量 /kg	转动 惯量 /kg·m ²	许用安 装补偿		
						Y 型	J、J ₁ 、Z 型	$L_{推荐}$							ΔY /mm	$\Delta\alpha$	
		铁	钢	L	L_1	L											
		铁	钢	mm													
LT1	6.3	6600	8800	9		20	14	—	25	71	16	3	18	0.82	0.0005	0.1	45′
				10、11		25	17										
				12	12、14	32	20										
LT2	16	5500	7600	12、14		42	30	42	35	80	23	4	35	1.20	0.0008		
				16	16、18、19												
LT3	31.5	4700	6300	16、18、19		52	38	52	38	95	23	4	35	2.20	0.0023		
				20	20、22											62	44
LT4	63	4200	5700	20、22、24		62	44	62	40	106	38	5	45	2.84	0.0037		
				—	25、28											82	60
LT5	125	3600	4600	25、28		82	60	82	50	130	38	5	45	6.05	0.012		
				30、32	30、32、35											55	160
LT6	250	3300	3800	32、35、38		112	84	112	65	190	48	6	65	14.01	0.055		
				40	40、42											70	224
LT7	500	2800	3600	40、42、45		142	107	142	80	250	58	8	80	30.69	0.213		
				45、48	—											100	315
LT8	710	2400	3000	45、48、50、55		172	132	172	115	400	73	10	100	120.70	2.122		
				—	56											212	167
LT9	1000	2100	2850	50、55、56		142	107	142	80	250	58	8	80	61.40	0.660		
				60、63	65、70、71											172	132
LT10	2000	1700	2300	63、65、70、71、75		172	132	172	100	315	58	8	80	61.40	0.660		
				80、85	80、85、90、95											212	167
LT11	4000	1350	1800	80、85、90、96		212	167	212	115	400	73	10	100	120.70	2.122		
				100、110	100、110、120、125											212	167
LT12	8000	1100	1450	100、110、120、125		252	202	252	135	475	90	12	130	210.34	5.390		
				—	130											252	202

(续)

型号	公称 转矩 $T_n /$ $N \cdot m$	许用转速 $[n]$ $/r \cdot \min^{-1}$		轴孔直径 $d_1、d_2、d_z$		轴孔长度			D	b	s	A	质量 /kg	转动 惯量 /kg · m ²	许用安 装补偿		
						Y 型	J、J ₁ 、Z 型	$L_{推荐}$							ΔY /mm	$\Delta\alpha$	
		铁	钢	L	L_1	L											
		mm															
LT13	16000	800	1150	120、125		212	167	212	160	600	110	14	180	419.36	17.580	0.3	15°
				130、140、150		252	202	252									
				160	160、170	302	242	302									

注：1. 优先选用 $L_{\text{推荐}}$ 轴孔长度。

2. 质量、转动惯量是按材料为钢、最大轴孔、 $L_{推荐}$ 计算的近似值。

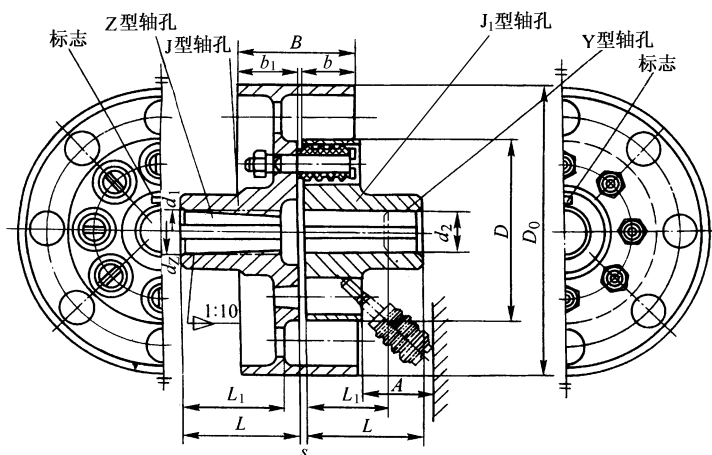
3. 联轴器许用运转补偿量为安装补偿量的一倍。

4. 联轴器短时过载不得超过公称转矩的二倍。

5. 尺寸 b 、 s 摘自重型机械标准。

(2) LTZ 型带制动轮弹性套柱销联轴器 (见表 5.4-22)

表 5.4-22 LTZ 型带制动轮弹性套柱销联轴器的基本参数和主要尺寸 (摘自 GB/T4323—2002)



标记示例：LTZ6 带制动轮弹性套柱销联轴器

主动端: J 型轴孔, B 型键槽, $d_1 = 65\text{mm}$, $L = 142\text{mm}$

从动端: J 型轴孔, B 型键槽, $d_2 = 70\text{mm}$, $L = 107\text{mm}$

LTZ6 联轴器 $\frac{JB65 \times 142}{JB70 \times 107}$ GB/
T4323—2002

型号	公称 转矩 T_n /N·m	许用 转速 [n] /r·min ⁻¹	轴孔直径 $d_1、d_2、d_z$	轴孔长度			$L_{推荐}$	D_0	D	B	b	b_1	s	$A \geq$	质量 /kg	转动 惯量 J/ kg·m ²
				Y 型	J、J ₁ 、Z 型											
				L	L_1	L										
mm																
LTZ1	125	3800	25、38 30、32、35	62 82	44 60	62 82	50	200	130	85		38	42	5 45	12.507	0.04097
LTZ2	250	3000	32、35、38 40、42	112	84	112	55	250	160	105		62			19.8803	0.1037
LTZ3	500	2400	40、42、 45、48	112	84	112	65		190		132	38	89	5 45	32.927	0.24964
LTZ4	710		45、48、50、 55、56				70	315	224							
LTZ5	1000		60、63、 55、56	142	107	142				48	78	6 65		53.162	0.40219	
				60、63、 65、70	142	107	142	80		250		168				
LTZ6	2000	1900	63、65、70、 71、75							100	400		315		58	102
			80、85、 90、95	172	132	172										
LTZ7	4000	1500	80、85、 90、95							115	500	400	210	73	127	10 100
			100、110													
LTZ8	8000	1200	100、110、 120、125	212	167	212										
			130	252	202	252	135	630	475	265	90	163	12 130	338.71	12.2353	

(续)

型号	公称 转矩 T_n /N·m	许用 转速 [n] /r·min ⁻¹	轴孔直径 $d_1、d_2、d_z$	轴孔长度			$L_{推荐}$	D_0	D	B	b	b_1	s	$A \geq$	质量 /kg	转动 惯量 J/ kg·m ²
				Y 型	J、J ₁ 、Z 型											
				L	L_1	L										
				mm												
LTZ9	16000	1000	120、125	212	167	212	160	710	600	298	110	174	14	180	576.69	29.7103
			130、140、150	252	202	252										
			160、170	302	242	302										

注：1. 见表 5.4-21 注中的 1、2、3、5。

2. 联轴器许用安装补偿量

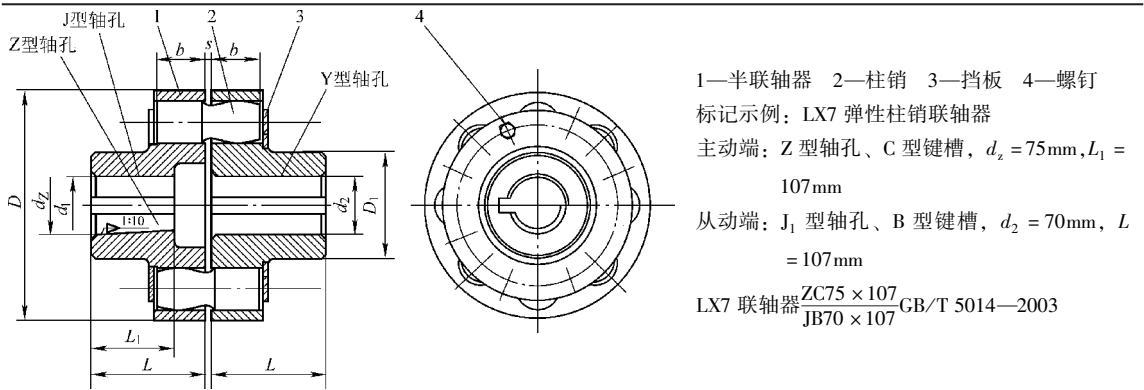
型号	径向 ΔY /mm	角向 $\Delta \alpha / (^{\circ})$
LTZ1 ~ 3	0.15	LTZ1 45'
LTZ4 ~ 6	0.2	30'
LTZ7 ~ 8	0.25	15'
LTZ9	0.3	

许用运转补偿量为上值的一倍。

1.6.2 弹性柱销联轴器

(1) LX 型弹性柱销联轴器（见表 5.4-23）

表 5.4-23 LX 型弹性柱销联轴器的基本参数和主要尺寸（摘自 GB/T 5014—2003）



型号	公称转矩 T_n /N·m	许用转速 $[n]$ /r·min ⁻¹	轴孔直径 $d_1、d_2、d_z$	轴孔长度			D	D_1	b	s	转动惯量 J /kg·m ²	质量 /kg
				Y 型	J、J ₁ 、Z 型							
L	L	L_1										
mm												
LX1	250	8500	12、14	32	27	—	90	40	20	2.5	0.002	2
			16、18、19	42	30	42						
			20、22、24	52	38	52						
LX2	560	6300	20、22、24	52	38	52	120	55	28	2.5	0.009	5
			25、28	62	44	62						
			30、32、35	82	60	82						
LX3	1250	4750	30、32、35、38	82	60	82	160	75	36	2.5	0.026	8
			40、42、45、48	112	84	112						
			40、42、45、48、50、55、56	112	84	112						
LX4	2500	3870	60、63	142	107	142	195	100	45	3	0.109	22
			50、55、56	112	84	112						
			60、63、65、70、71、75	142	107	142						
LX5	3150	3450	60、63、65、70、71、75	142	107	142	220	120	45	3	0.191	30
			80、85	172	132	172						
			70、71、75	142	107	142						
LX6	6300	2720	80、85、90、95	172	132	172	280	140	56	4	0.543	53
			100、110	212	167	212						
			80、85、90、95	172	132	172						
LX7	11200	2360	100、110、120、125	212	167	212	320	170	56	4	1.314	98
			80、85、90、95	172	132	172						
			100、110、120、125	212	167	212						
LX8	16000	2120					360	200	56	5	2.023	119

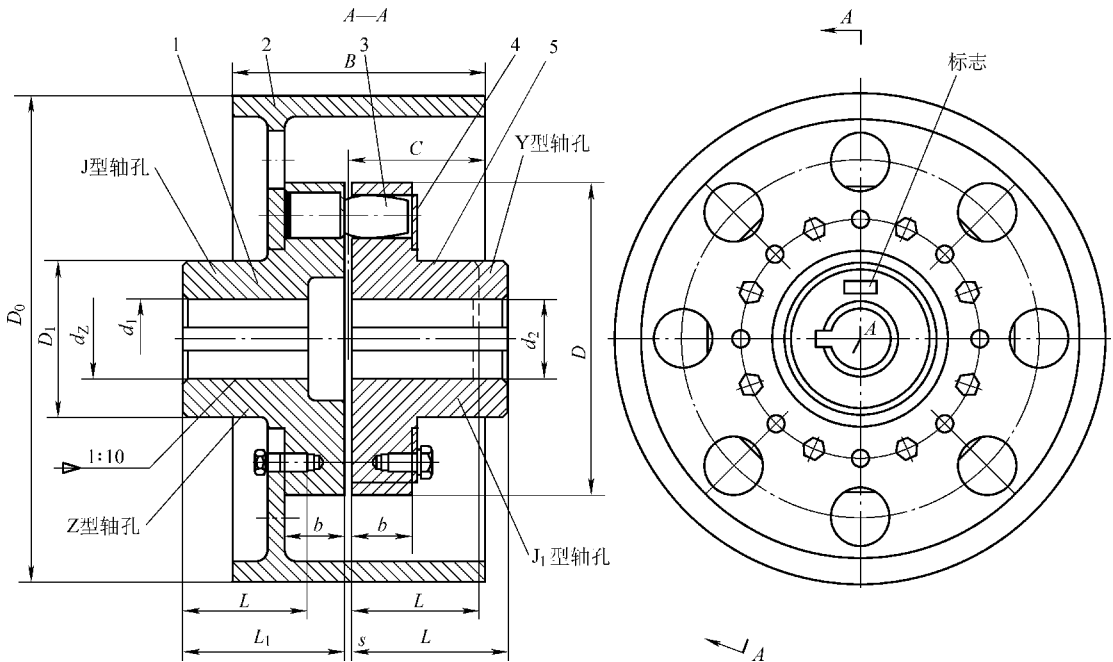
(续)

型号	公称转矩 T_n /N · m	许用转速 $[n]$ /r · min ⁻¹	轴孔直径 d_1 、 d_2 、 d_z	轴孔长度			D	D_1	b	s	转动惯量 J /kg · m ²	质量 /kg
				Y 型	J、J ₁ 、Z 型							
				L	L	L_1						
				mm								
LX9	22400	1850	100、110、120、125	212	167	212	410	230	63	5	4.386	197
			130、140	252	202	252						
LX10	35500	1600	110、120、125	212	167	212	480	280	75	6	9.760	322
			130、140、150	252	202	252						
			160、170、180	302	242	302						
LX11	50000	1400	130、140、150	252	202	252	540	340	75	6	20.05	520
			160、170、180	302	242	302						
			190、200、220	352	282	352						
LX12	80000	1220	160、170、180	302	242	302	630	400	90	7	37.71	714
			190、200、220	352	282	352						
			240、250、260	410	330	—						
LX13	125000	1080	190、200、220	352	282	352	710	465	100	8	71.37	1057
			240、250、260	410	330	—						
			280、300	470	380	—						
LX14	180000	95	240、250、260	410	330	—	800	530	110	8	170.6	1956
			280、300、320	470	380	—						
			340	550	450	—						

注：质量、转动惯量是按 J/Y 轴孔组合形式和最小轴孔直径计算的。

(2) LXZ 型带制动轮弹性柱销联轴器（见表 5.4-24）

表 5.4-24 LXZ 型带制动轮弹性柱销联轴器的基本参数和主要尺寸
(摘自 GB/T 5014—2003)



1、5—半联轴器 2—外套 3—柱销 4—外挡板
标记示例：LXZ3 型弹性柱销联轴器
主动端：Y 型轴孔、B 型键槽， $d_1 = 32\text{mm}$ ， $L = 82\text{mm}$
从动端：J₁ 型轴孔、D 型键槽， $d_2 = 35\text{mm}$ ， $L = 60\text{mm}$

LXZ3 联轴器 $\frac{\text{YB32} \times 82}{\text{J}_1 \text{D35} \times 60}$ GB/T 5015—2003

(续)

型号	公称转矩 T_n /N·m	许用转速 $[n]$ /r·min ⁻¹	轴孔直径 d_1 、 d_2 、 d_z	轴孔长度			D_0	D	D_1	B	b	s	C	转动惯量 J /kg·m ²	质量 /kg
				Y 型	J、J ₁	Z 型									
				L	L	L_1									
mm															
LXZ1	560	5600	20、22、24	52	38	52	200	120	55	85	28	2.5	42	0.055	11
			25、28	62	44	62									
			30、32、35	82	60	82									
LXZ2	1250	3750	30、32、35、38	82	60	82	200	160	75	85	36	2.5	40	0.072	14
			40、42、45、48	112	84	112									
LXZ3	1250	2430	30、32、35、38	82	60	82	315	160	75	132	36	2.5	66	0.313	25
			40、42、45、48	112	84	112									
LXZ4	2500	2430	40、42、45、48、50、55、56	112	84	112	315	195	100	132	45	3	66	0.504	40
			60、63	142	107	142									
LXZ5	2500	1900	40、42、45、48、50、55、56	112	84	112	400	195	100	168	45	3	84	1.192	59
			60、63	142	107	142									
LXZ6	3150	1900	50、55、56	112	84	112	400	220	120	168	45	3	84	1.402	69
			60、63、65、70、71、75	142	107	142									
LXZ7	3150	1500	50、55、56	112	84	112	500	220	120	210	45	3	105	2.872	91
			60、63、65、70、71、75	142	107	142									
LXZ8	6300	1800	60、63、65、70、71、75	142	107	142	400	280	140	108	56	4	84	1.800	88
			80、85	172	132	172									
LXZ9	6300	1500	60、63、65、70、71、75	142	107	142	500	280	140	210	56	4	105	3.582	113
			80、85	172	132	172									
LXZ10	11200	1500	70、71、75	142	107	142	500	320	170	210	56	4	105	4.970	156
			80、85、90、95	172	132	172									
			100、110	212	167	212									
LXZ11	11200	1220	70、71、75	142	107	142	630	320	170	265	56	4	132	9.392	187
			80、85、90、95	172	132	172									
			100、110	212	167	212									
LXZ12	16000	1220	80、85、90、95	172	132	172	630	360	200	265	56	5	132	16.43	326
			100、110、120、125	212	167	212									
LXZ13	22400	1080	100、110、120、125	212	167	212	710	410	230	298	63	5	149	21.66	337
			130、140	252	202	252									
LXZ14	35500	1080	100、120、125	212	167	212	710	480	280	298	75	6	149	29.55	458
			130、140、150	252	202	252									
			160、170、180	302	242	302									
LXZ15	35500	950	110、120、125	212	167	212	800	480	280	335	75	6	168	41.08	504
			130、140、150	252	202	252									
			160、170、180	302	242	302									

(续)

联轴器许用补偿量														
项目	型 号													
	LX1	LX2	LX3	LX4	LX5	LX6	LX7	LX8	LX9	LX10	LX11	LX12	LX13	LX14
		LXZ1	LXZ2 LXZ3	LXZ4 LXZ5	LXZ6 LXZ7	LXZ8 LXZ9	LXZ10 LXZ11	LXZ12	LXZ13	LXZ14 LXZ15	—	—	—	—
轴向 ΔX /mm	±0.5	±1	±1	±1.5	±1.5	±2	±2	±2	±2	±2.5	±2.5	±2.5	±3	±3
径向 ΔY /mm	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
角向 Δα	≤30′													

- 注：1. 质量、转动惯量是按 J/Y 轴孔组合形式和最小轴孔直径计算的。
2. 径向补偿量的测量部位在半联轴器最大外圆宽度的二分之一处。
3. 表中所列补偿量是指由于安装误差、冲击、振动、变形、温度变化等因素形成的两轴相对偏移量，其安装误差必须小于表中数值。

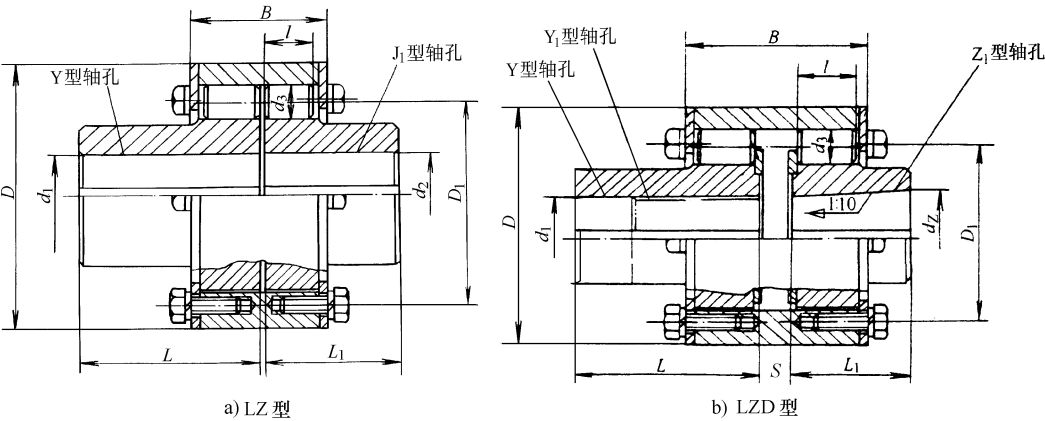
1.6.3 弹性柱销齿式联轴器

(1) LZ 型、LZD 型弹性柱销齿式联轴器（见表 5.4-25、表 5.4-26）

表 5.4-25 LZ 型、LZD 型弹性柱销齿式联轴器的基本参数和主要尺寸
(摘自 GB/T 5015—2003)

标记示例：LZ3 型弹性柱销齿式联轴器 主动端：Y 型轴孔，B 型键槽， $d_1 = 32\text{mm}$ ， $L = 82\text{mm}$

从动端：J₁ 型轴孔，D 型键槽， $d_2 = 35\text{mm}$ ， $L = 60\text{mm}$ LZ3 联轴器 $\frac{\text{YB}32 \times 82}{\text{J}_1 \text{D}35 \times 60}$ GB/T 5015—2003



型号	公称 转矩 T_n /N·m	许用 转速 〔n〕 /r·min ⁻¹	轴孔直径 $d_1、d_2、d_z$	轴孔长度		D	B		S		d_3	l	转动 惯量 J /kg·m ²	质量 /kg
				Y 型	J ₁ Z ₁ 型		LZ 型	LZD 型	LZ 型	LZD 型				
				L	L ₁		mm							
$\frac{LZ1}{LZD1}$	100	4000	12、14	32	27 ^①	76	42	56	2.5	13	10	15	$\frac{0.0004}{0.0007}$	$\frac{0.86}{0.73}$
			16、18、19	42	30			58		15				
			20、22、24	52	38			66		13				
$\frac{LZ2}{LZD2}$	250	4000	16、18、19	42	30	(LZ)	50	66		13		18	$\frac{0.003}{0.004}$	$\frac{3.23}{3.9}$
			20、22、24	52	38	92		68		15				
			25、28	62	44	(LZD)		72		19				
			30、22	82	60	90		76		23				

(续)

型号	公称 转矩 T_n /N·m	许用 转速 [n] /r·min ⁻¹	轴孔直径 d_1 、 d_2 、 d_z	轴孔长度		D	B		S		d_3	l	转动 惯量 J /kg·m ²	质量 /kg
				Y 型	J ₁ Z ₁ 型		LZ 型	LZD 型	LZ 型	LZD 型				
				L	L_1		mm							
$\frac{LZ3}{LZD3}$	630	4000	25、28 30、32、35、38 40、42	62 82 112	44 60 84	118	69	94 98 104	3	20 24 30	15	25	$\frac{0.011}{0.015}$	$\frac{6.57}{8.6}$
$\frac{LZ4}{LZD4}$	1600	4000	40、42、45、48、50、 55、56 60	112 142	84 107	158	89	124 131	4	30 37	20	35	$\frac{0.046}{0.057}$	$\frac{14.8}{18.1}$
$\frac{LZ5}{LZD5}$	4000	4000	50、55、56 60、63、65、70、71、75 80	112 142 172	84 107 132	192	89	124 131 136	4	30 37 42	20	35	$\frac{0.114}{0.14}$	$\frac{24.8}{29.2}$
$\frac{LZ6}{LZD6}$	6300	3300	60、63、65、70、71、75 80、85、90、95	142 172	107 132	230	111	151 156	5	37 42	30	45	$\frac{0.28}{0.31}$	$\frac{42.5}{47.2}$
$\frac{LZ7}{LZD7}$	10000	2900	70、71、75 80、85、90、95 100、110	142 172 212	107 132 167	260	113	153 158 163	5	37 42 47	30	45	$\frac{0.56}{0.62}$	$\frac{66.3}{73}$
$\frac{LZ8}{LZD8}$	16000	2500	80、85、90、95 100、110、120、125 130	172 212 252	132 167 202	300	136	177 182 187	6	44 49 54	50	50	$\frac{1.21}{1.29}$	$\frac{107.3}{115}$
$\frac{LZ9}{LZD9}$	25000	2300	90、95 100、110、120、125 130、140、150	172 212 252	132 167 202	335	149	197 202 207	7	44 49 54	35	60	$\frac{1.98}{2.1}$	$\frac{140.9}{151}$
$\frac{LZ10}{LZD10}$	31500	2100	100、110、120、125 130、140、150 160、170	212 252 302	167 202 242	355	151	202 207 217	7	49 54 64	40	70	$\frac{2.85}{3.1}$	$\frac{180.9}{196}$
$\frac{LZ11}{LZD11}$	40000	2000	110、120、125 130、140、150 160、170、180	212 252 302	167 202 242	380	170	222 227 237	8	49 54 64	40	70	$\frac{3.90}{4.3}$	$\frac{219.3}{237}$
$\frac{LZ12}{LZD12}$	63000	1700	130、140、150 160、170、180 190、200	252 302 352	202 242 282	445	183	237 247 257	8	54 64 74	45	75	$\frac{9.20}{9.9}$	$\frac{371.4}{399}$
$\frac{LZ13}{LZD13}$	100000	1500	150 160、170、180 190、200、220 240	252 302 352 410	202 242 282 330	515	218	276 286 296 —	8	54 64 74 —	50	90	$\frac{15.6}{16.6}$	$\frac{470}{502}$
LZ14	125000	1400	170、180 190、200、220 240、250、260	302 352 410	242 282 330	560	218	—	10	—	55	100	27.8	708
LZ15	160000	1300	190、200、220 240、250、260 280、300	352 410 470	282 330 380	590	238	—	10	—	55	100	33.4	768

注:1. 联轴器质量和转动惯量是按半联轴器最小轴孔直径、最大轴孔长度计算的近似值。

2. 短时过载不得超过公称转矩的2倍。

3. 联轴器轴孔和连接形式与尺寸应符合 GB/T 3852—2008。

4. 联轴器许用补偿量见表 5.4-26。

5. d_3 、 l 分别为柱销的直径和长度。

6. 生产厂:浙江乐清柳市镇,乐清联轴器厂;江苏扬中市,江苏联大集团有限公司。

① 对 LZD 型 27 为 20。

表 5.4-26 LZ 型、LZD 型联轴器许用补偿量(摘自 GB/T 5015—2003)

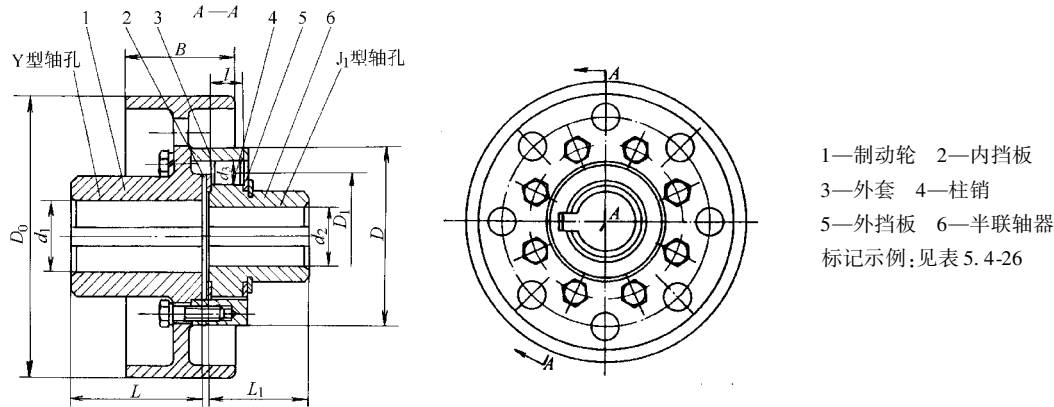
型号		LZ1 ~ LZ3 LZD1 ~ LZD3	LZ4 ~ LZ7 LZD4 ~ LZD7	LZ8 ~ LZ13 LZD8 ~ LZD13	LZ14 ~ LZ17	LZ18 ~ LZ21	LZ22 ~ LZ23
项目	mm	± 1.5		± 2.5		± 5.0	
		0.3	0.4	0.6	1.0		1.5
角向 Δα		0°30′					

(续)

型号		LZJ1 ~ LZJ3	LZJ4 ~ LZJ6	LZJ7 ~ LZJ8	LZJ9 ~ LZJ10	LZJ11 ~ LZJ15	LZJ16 ~ LZJ19	LZJ20 ~ LZJ23
项目								
轴向 ΔX	mm	+1	+3	+5	+10	+15		+20
径向 ΔY		0.15	0.2		0.3		0.5	0.75
角向 $\Delta\alpha$		$0^{\circ}30'$	1°	$1^{\circ}30'$	2°		$2^{\circ}30'$	

注：1. 径向补偿量的测量部位在半联轴器最大外圆宽度的 1/2 处。
2. 所列补偿量是指由安装误差、冲击、振动、变形、温度变化等因素所形成的两轴相对位移量。
(2) LZZ 型带制动轮弹性柱销齿式联轴器 (见表 5. 4-27)

表 5. 4-27 LZZ 型带制动轮弹性柱销齿式联轴器的基本参数和主要尺寸 (摘自 GB/T 5015—2003)



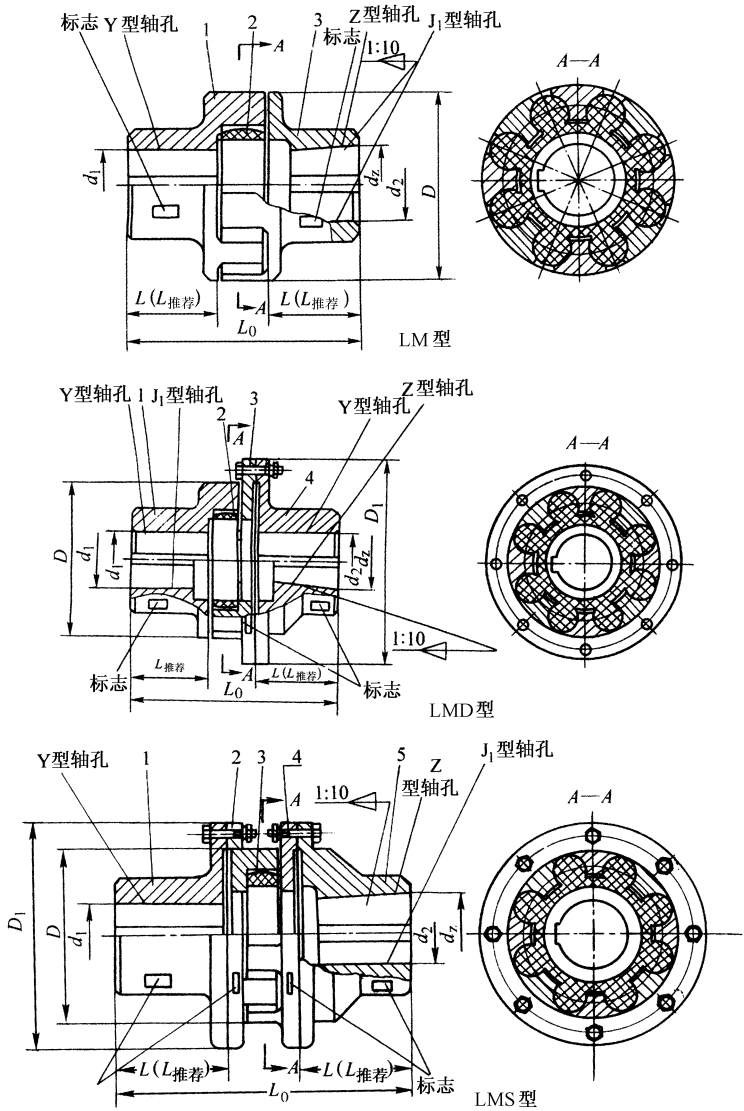
型号	公称 转矩 T_n /N · m	许用 转速 〔n〕 /r·min ⁻¹	轴孔直径 d_1 、 d_2	轴孔长度		D_0	D	B	d_3	l	转动 惯量 J /kg · m ²	质量 /kg	许用位移		
				Y 型	J ₁ 型								径向 ΔY	轴向 ΔX	角向 $\Delta \alpha$
				L	L_1								mm		
LZZ1	250	4000	16、18、19	42	—	160	98	68	10	18	0.022	7	0.15	1	0°30′
			20、22、24	52	38										
			25、28	62	44										
			30、32、(35)、(38)	82	60										
LZZ2	630	3800	25、28	62	—	200	124	85	15	25	0.063	12.6	0.15	1	
			30、32、35、38	82	60										
			40、42、(45)、(48)	112	84										
LZZ3	1600	3000	40、42、45、48、50、55、56	112	84	250	166	105	20	35	0.24	30.4	0.2	3	
			60、(63)、(65)、(70)	142	107										
LZZ4	4000	2400	50、55、56	112	84	315	214	132	30	45	0.65	52.4	0.2	5	
			60、63、65、70、71、75	142	107										
LZZ5	6300	1900	80、(85)、(90)	172	132	400	240	168	30	45	1.03	81.3	0.2	5	
			60、63、65、70、71、75	142	107										
			80、85、90、95	172	132										
LZZ6	10000	1500	100、110、(120)	212	167	500	280	210	30	45	4.4	139.8	0.2	5	
			80、85、90、95	172	132										
LZZ7	16000	1200	100、110、120、125	212	167	630	330	265	35	50	12.8	257	0.2	5	
			80、85、90、95	172	132										
			130	252	202										
LZZ8	25000	1050	90、95	172	132	710	370	298	35	60	20.9	331	0.3	10	
			100、110、120、125	212	167										
			130、140、150	252	202										
			(160)、(170)、(180)	302	242										
LZZ9	31500	950	100、110、120、125	212	167	800	384	335	35	60	33.5	424	0.3	10	
			130、140、150	252	202										
			160、170	302	242										

注：1. 制动轮应安装在从动端。
2. 其他见表 5. 4-25 中注 1、2、3、5、6。

1.6.4 梅花形弹性联轴器

(1) LM型、LMD型、LMS型梅花形弹性联轴器(见表5.4-28)

表 5.4-28 LM型、LMD型、LMS型梅花形弹性联轴器的基本参数和主要尺寸
(摘自 GB/T 5272—2002)



1、3—半联轴器 2—梅花形弹性元件
标记示例:LM3 型梅花形弹性联轴器

MT3 弹性件硬度为 a
主动端: Z 型轴孔, A 型键槽, $d_1 = 30\text{mm}$, $L_1 = 60\text{mm}$

从动端: Y 型轴孔, B 型键槽, $d_2 = 25\text{mm}$, $L = 62\text{mm}$

LM3 联轴器 $\frac{\text{ZA30} \times 60}{\text{YB25} \times 62}$ MT3aGB/T 5272—2002

1、4—半联轴器 2—梅花形弹性元件
3—法兰连接件

1、5—法兰半联轴器 2、4—法兰连接件
3—梅花形弹性元件

型号	公称转矩 $T_n/\text{N} \cdot \text{m}$		许用转速 $[n]/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$		轴孔直径 d_1, d_2, d_z		轴孔长度 Y 型 J、Z 型 L 型 $L_{\text{推荐}}$		L_0 推荐			D		D_1		弹性件 型号	质量 /kg	转动 惯量 J / $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	许用安 装误差			
	弹性件硬度		LM	LMD、 LMS										LM	LMD、 LMS							
	a/H_A	b/H_D																				
	80 ± 5	90 ± 5																				mm
	LM1 LMD1 LMS1	25																				45
LM2 LMD2 LMS2	50	100	12000	7600	16、18、19 20、22、24 25、28 30	42 30 38 44 60	38	95	101.5	108	60	44	100	MT2 ^{-a} -b	0.93 1.65 1.736	0.0004 0.0014 0.0021	0.3	1.3				

(续)

型号	公称转矩 $T_w/N \cdot m$		许用转速 $[n]/r \cdot \min^{-1}$		轴孔直径 d_1, d_2, d_z	轴孔长度			L_0 推荐			D	D_1		弹性件 型号	质量 /kg	转动 惯量 $J/kg \cdot m^2$	许用安 装误差				
	弹性件硬度		LM	LMD、 LMS		Y 型	J,Z 型	L 推荐					LM	LMD							LMS	LM
	a/ H_A	b/ H_D							LM	LMD	LMS											
	80 ±5	90 ±5							LM	LMD、 LMS	LM					LMD	LMS	LM	LMD	LMS		
																	mm			(°)		
<u>LM3</u> <u>LMD3</u> <u>LMS3</u>	100	200	10900	6900	20,22,24 25,28 30,32	52 62 82	38 44 60	40	103	110	117	70	48	110	MT3 ^{-a} _{-b}	1.41 2.36 2.33	0.0009 0.0024 0.0034	0.4	2	1		
<u>LM4</u> <u>LMD4</u> <u>LMS4</u>	140	280	9000	6200	32,24 25,28 30,32,35,38 40	52 62 82 112	38 44 60 84	45	114	122	130	85	60	125	MT4 ^{-a} _{-b}	2.18 3.56 3.35	0.002 0.005 0.0064					
<u>LM5</u> <u>LMD5</u> <u>LMS5</u>	350	400	7300	5000	25,28 30,32,35,38 40,42,45	62 82 112	44 60 84	50	127	138.5	150	105	72	150	MT5 ^{-a} _{-b}	3.60 6.36 6.07	0.005 0.0135 0.0175					
<u>LM6</u> <u>LMD6</u> <u>LMS6</u>	400	710	6100	4100	30,32,35,38 40,42,45,48	82 112	60 84	55	143	155	167	125	90	185	MT6 ^{-a} _{-b}	6.07 10.77 10.47	0.0114 0.0329 0.0444	0.5	3	0.7		
<u>LM7</u> <u>LMD7</u> <u>LMS7</u>	630	1120	5300	3700	35°,38° 40°,42° 45,48,50,55	82 112	60 84	60	159	172	185	145	104	205	MT7 ^{-a} _{-b}	9.09 15.30 14.22	0.0232 0.0581 0.0739					
<u>LM8</u> <u>LMD8</u> <u>LMS8</u>	1120	2240	4500	3100	45°,48° 50,55,56 60,63,65	112 142	84 107	70	181	195	209	170	130	240	MT8 ^{-a} _{-b}	13.56 22.72 21.16	0.0468 0.1175 0.1493					
<u>LM9</u> <u>LMD9</u> <u>LMS9</u>	1800	3550	3800	2800	50°,55° 56° 60,63,65 70,71,75 80	112 142 172	84 107 132	80	208	224	240	200	156	270	MT9 ^{-a} _{-b}	21.40 34.44 30.70	0.1041 0.2333 0.2767	0.7	4	0.5		
<u>LM10</u> <u>LMD10</u> <u>LMS10</u>	2800	5600	3300	2500	60°,63° 65°,70,71,75 80,85,90,95 100	142 172 212	107 132 167	90	230	248	268	230	180	305	MT10 ^{-a} _{-b}	32.03 51.36 44.55	0.2105 0.4594 0.5262					
<u>LM11</u> <u>LMD11</u> <u>LMS11</u>	4500	9000	2900	2200	70°,71° 75° 80°,85° 90,95 100,110,120	142 172 212	107 132 167	100	260	284	308	260	205	350	MT11 ^{-a} _{-b}	49.52 81.30 70.72	0.4338 0.9777 1.1362					
<u>LM12</u> <u>LMD12</u> <u>LMS12</u>	6300	12500	2500	1900	80°,85° 90°,95° 100,110, 120,125 130	172 212 252	132 167 202	115	297	321	345	300	245	400	MT12 ^{-a} _{-b}	73.45 115.53 99.54	0.8205 1.751 1.9998	0.8	0.5	0.5		
<u>LM13</u> <u>LMD13</u> <u>LMS13</u>	11200	2000	2100	1600	90°,95° 100°,110° 120°,125° 130,140,150	172 212 252	132 167 202	125	323	348	373	360	300	460	MT13 ^{-a} _{-b}	103.86 161.79 137.53	1.6718 3.3667 3.6719					
<u>LM14</u> <u>LMD14</u> <u>LMS14</u>	12500	25000	1900	1500	100°,110° 120°,125° 130°,140° 150 160	212 252 302	167 202 242	135	333	358	383	400	335	500	MT14 ^{-a} _{-b}	127.59 196.32 165.25	2.499 4.8669 5.1581					

注：1. 优先选用 $L_{\text{推荐}}$ 轴孔长度，相应联轴器长度为 L_0 推荐。若轴孔长度选用其他尺寸时，请与生产厂家联系。

2. 质量、转动惯量按 $L_{\text{推荐}}$ 最小轴孔计算的近似值。

3. 带 * 号轴孔直径可用于 Z 型轴孔。

4. a、b 为弹性件两种不同材质、硬度的代号。

5. 许用运转补偿量约为许用安装误差的一倍。

6. 轴孔和键槽形式按 GB/T 3852—2008 选。

7. 生产厂：宁波东钱湖区，宁波伟隆传动机械有限公司；浙江乐清柳市镇，乐清联轴器厂。

(续)

型 号	公称转矩 $T_n/N \cdot m$		许用 转速 $[n]$ /r · min ⁻¹	轴孔直径 $d_1、d_2、d_z$	轴孔长度			L_0 推荐		D_0	B	D	弹性件 型号	质量 /kg	转动惯 量 J /kg · m ²	许用安装误差						
	弹性件硬度				Y 型	J、Z 型	L 推荐	LMZ -I	LMZ -II							径向 ΔY	轴 向 ΔX	角向 $\Delta \alpha$				
	a/H _A	b/H _D																				
	80 ±5	90 ±5			mm											mm		(°)				
$\frac{LMZ9-I-315}{LMZ9-II-315}$	1800	3550	2400	50°、55°、 56°	112	84	80	208	319	315	135	200	MT9 ^{-a} - _b	$\frac{41.67}{32.16}$	$\frac{0.45}{0.4039}$	4	0.7					
$\frac{LMZ9-I-400}{LMZ9-II-400}$				60、63、65、 70、71、75	142	107								354	$\frac{65.61}{40.18}$				$\frac{1.259}{1.0863}$			
80				172	132																	
$\frac{LMZ9-I-400}{LMZ9-II-400}$	1800	3550	1900	50°、55°、 56°	112	84	80	208	354	400	170	230	MT10 ^{-a} - _b	$\frac{65.61}{40.18}$	$\frac{1.259}{1.0863}$	0.7	4.5					
$\frac{LMZ10-I-400}{LMZ10-II-400}$				60、63、65、 70、71、75	142	107								423	$\frac{74.53}{50.72}$				$\frac{1.4}{1.17}$			
80				172	132																	
$\frac{LMZ10-I-400}{LMZ10-II-400}$	2800	5600	1500	60°、63°、 65°、70、71、 75	142	107	90	230	369	500	210	230	MT10 ^{-a} - _b	$\frac{74.53}{50.72}$	$\frac{1.4}{1.17}$	0.7	4.5					
$\frac{LMZ10-I-500}{LMZ10-II-500}$				80、85、90、95	172	132								423	$\frac{110.6}{64.14}$				$\frac{3.472}{3.0039}$			
100				212	167																	
$\frac{LMZ11-I-500}{LMZ11-II-500}$	4500	9000	1500	60°、63°、 65°、70、71、 75	142	107	100	260	448	500	210	260	MT11 ^{-a} - _b	$\frac{110.6}{64.14}$	$\frac{3.472}{3.0039}$	0.7	4.5					
$\frac{LMZ10-I-500}{LMZ10-II-500}$				80、85、90、95	172	132								423	$\frac{110.6}{64.14}$				$\frac{3.472}{3.0039}$			
100				212	167																	
$\frac{LMZ11-I-500}{LMZ11-II-500}$	4500	9000	1500	70°、71°、 75°	142	107	100	260	448	500	210	260	MT11 ^{-a} - _b	$\frac{121.7}{81.75}$	$\frac{3.715}{3.1957}$	0.7	4.5					
$\frac{LMZ11-I-500}{LMZ11-II-500}$				80°、85°、 90、95	172	132								423	$\frac{110.6}{64.14}$				$\frac{3.472}{3.0039}$			
100、110、120				212	167																	
$\frac{LMZ12-I-630}{LMZ12-II-630}$	6300	12500	1200	80°、85°、 90°、95°	172	132	115	297	523	630	265	300	MT12 ^{-a} - _b	$\frac{121.7}{81.75}$	$\frac{3.715}{3.1957}$	0.7	4.5					
$\frac{LMZ12-I-630}{LMZ12-II-630}$				100、110、 120、125	212	167								423	$\frac{110.6}{64.14}$				$\frac{3.472}{3.0039}$			
130				252	202																	
$\frac{LMZ13-I-710}{LMZ13-II-710}$	11200	20000	1050	90°、95°	172	132	125	323	583	710	300	360	MT13 ^{-a} - _b	$\frac{121.7}{81.75}$	$\frac{3.715}{3.1957}$	0.8	5					
$\frac{LMZ13-I-710}{LMZ13-II-710}$				100°、110°、 120°、125°	212	167								423	$\frac{110.6}{64.14}$				$\frac{3.472}{3.0039}$			
130、140、150				252	202																	
$\frac{LMZ14-I-800}{LMZ14-II-800}$	12500	25000	950	100°、110°、 120°、125°	212	167	135	333	633	800	340	400	MT14 ^{-a} - _b	$\frac{510.1}{294.51}$	$\frac{39.36}{3.985}$	0.8	5					
$\frac{LMZ14-I-800}{LMZ14-II-800}$				130°、140°、 150	252	202								423	$\frac{110.6}{64.14}$				$\frac{3.472}{3.0039}$			
160				302	242																	

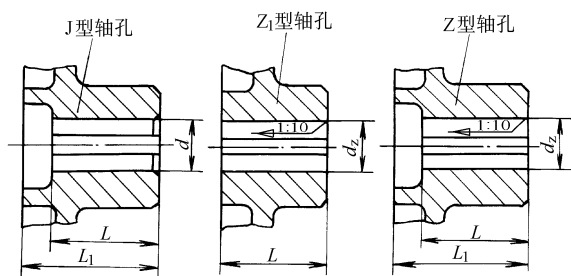
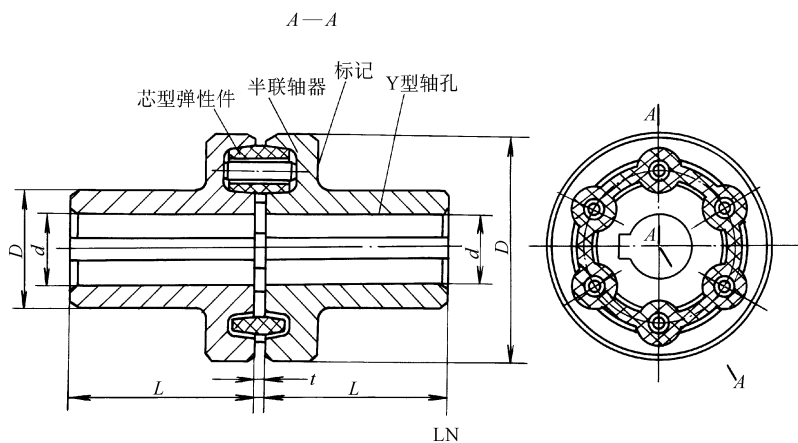
注：1. 制动轮定位尺寸请向生产厂咨询。
2. LMZ- I 型制动轮与半联轴器连接螺栓的预紧力矩：

螺栓规格	M8	M10	M12	M16	M20
预紧力矩/N · m	26	45	80	200	400

3. 许用运转补偿量为许用安装误差的一倍。
4. 其他同表 5.4-28 中的 1、2、3、4、6、7。

1.6.5 芯型弹性联轴器(见表 5.4-30、表 5.4-31)

表 5.4-30 芯型弹性联轴器的基本参数和主要尺寸
(摘自 GB/T 10614—2008)



标记示例:LN3 芯型弹性联轴器

主动端:Z 型轴孔、C 型键槽,

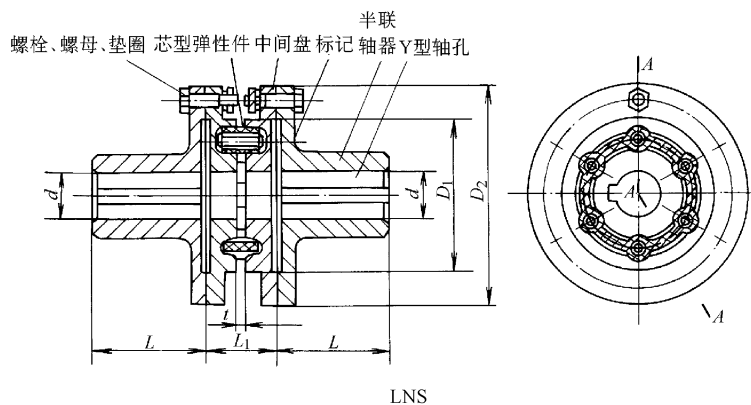
$d_z = 28\text{mm}$, $L = 44\text{mm}$

从动端:J 型轴孔、B 型键槽,

$d_1 = 32\text{mm}$, $L = 60\text{mm}$

LN3 联轴器

ZC28 × 44
JB32 × 60 GB/T 10614—2008



(续)

代号	公称转矩 T_n /N · m	瞬时最大转矩 T_{max} /N · m	许用 转速 $[n]$ /r · min ⁻¹	轴孔直径 d 、 d_z	轴孔长度			D	D_1	D_2	t	质量 /kg	转动 惯量 J /kg · m ²
					Y 型	J、Z、Z ₁ 型							
					L	L_1	L						
mm													
$\frac{LN1}{LNS1}$	6.3	20	4000	10、11	25	— 22 *		33	70	115	3	$\frac{1.1}{2.7}$	$\frac{0.0006}{0.0036}$
				12、14	32	27 *							
				16、18、19	42	42 **	30						
				20、22	52	52 **	38						
$\frac{LN2}{LNS2}$	25	80	3500	16、18、19	42	42	30	42	85	120	3	$\frac{2.0}{3.8}$	$\frac{0.0015}{0.0054}$
				20、22、24	52	52	38						
				25、28	62	62 **	44						
$\frac{LN3}{LNS3}$	63	180	3000	20、22、24	52	52	38	52.5	105	150	3	$\frac{3.7}{7.3}$	$\frac{0.0039}{0.0162}$
				25、28	62	62	44						
				30、32、35	82	82 **	60						
$\frac{LN4}{LNS4}$	100	315	3000	24	52	52	38	63	120	165	3	$\frac{6.0}{11.2}$	$\frac{0.0087}{0.0301}$
				25、28	62	62	44						
				30、32、35、38	82	82	60						
				40、42	112	112 **	84						
$\frac{LN5}{LNS5}$	160	500	3000	28	62	62	44	72	140	185	3	$\frac{9.0}{15.4}$	$\frac{0.0169}{0.0498}$
				30、32、35、38	82	82	60						
				40、42	112	112	84						
				45、48		112 **							
$\frac{LN6}{LNS6}$	250	710	2500	32、35、38	82	82	60	84	160	215	3	$\frac{14.1}{23.7}$	$\frac{0.0354}{0.1018}$
				40、42	112	112	84						
				45、48、50、55、56		112 **							
$\frac{LN7}{LNS7}$	400	1120	2500	38	82	82	60	90	180	235	4	$\frac{16.8}{29.6}$	$\frac{0.0575}{0.1654}$
				40、42	112	112	84						
				45、48、50、55、60		112 **							
				60	142	142	107						
$\frac{LN8}{LNS8}$	630	1800	2000	45、48	112	112	84	105	200	255	4	$\frac{24.1}{42.1}$	$\frac{0.0971}{0.2752}$
				50、55、56		112 **							
				60、63、65、70	142	142 **	107						
$\frac{LN9}{LNS9}$	900	2240	2000	48、50、55、56	112	112	84	112.5	220	275	4	$\frac{30.7}{51.4}$	$\frac{0.1412}{0.3788}$
				60、63、65	142	142	107						
				70、71、75		142 **							
$\frac{LN10}{LNS10}$	1250	3150	1600	55、56	112	112	84	120	240	300	5	$\frac{38.5}{64.1}$	$\frac{0.2304}{0.5842}$
				60、63、65	142	142	107						
				70、71、75		142 **							
				80	172	172 **	132						
$\frac{LN11}{LNS11}$	1600	4000	1600	60、63、65	142	142	107	135	250	310	5	$\frac{45.2}{75.4}$	$\frac{0.2889}{0.7886}$
				70、71、75		142 **							
				80、85、90	172	172 **	132						
$\frac{LN12}{LNS12}$	2500	6300	1600	70、71、75	142	142	107	142.5	320	380	6	$\frac{76.2}{120.3}$	$\frac{0.7902}{1.7446}$
				80、85、90、95	172	172	132						
$\frac{LN13}{LNS13}$	4000	10000	1600	80、85、90、95	172	172	132	180	360	435	7	$\frac{118}{176.5}$	$\frac{1.4711}{3.1462}$
				100、110	212	212	167						
				120		212 **							
$\frac{LN14}{LNS14}$	8000	16000	1400	100、110、120、125	212	212	167	210	420	495	7	$\frac{171.6}{251.5}$	$\frac{2.9312}{5.9174}$
				130、140	252	252 **	202						

注：1. 表中有横线的栏目中横线上、下分别为 LN 型及 LNS 型的数值。

2. 带 * 的轴孔长度仅适用于 J₁ 型轴孔，对于 Z₁ 型轴孔，应把 22 改为 17，27 改为 20。

3. 带 ** 的 LN 型无此轴孔形式。

4. 轴孔形式可根据需要选取。

5. 联轴器质量和转动惯量是各个代号中最大的钢制半联轴器的计算近似值。

表 5.4-31 芯型弹性联轴器的许用补偿量 (摘自 GB/T10614—2008)

代号 许用补偿量	LN1 LNS1	LN2 LNS2	LN3 LNS3	LN4 LNS4	LN5 LNS5	LN6 LNS6	LN7 LNS7	LN8 LNS8	LN9 LNS9	LN10 LNS10	LN11 LNS11	LN12 LNS12	LN13 LNS13	LN14 LNS14
径向 $\Delta Y/\text{mm}$	0.5		0.8				1.2				2		3	
轴向 $\Delta X/\text{mm}$	0.5						1							
角向 $\Delta\alpha$	1.5°					1°				30′				

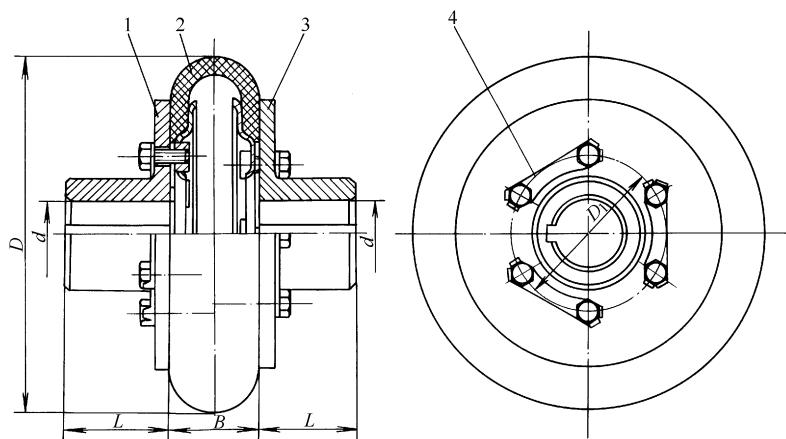
注: 1. 表中所列补偿量是指由于制造误差、安装误差、工作时载荷变化所引起的冲击、振动、零件变形和温度变化等因素所形成的两轴相对偏移量的补偿能力。

2. 径向偏移量的测量部位在半联轴器最大外圆宽度的二分之一处。

3. 标注示例见表 5.4-30。

1.6.6 轮胎式联油器 (见表 5.4-32)

表 5.4-32 UL 型轮胎式联轴器的基本参数和主要尺寸 (摘自 GB/T 5844—2002)



标记示例：

UL5 轮胎式联轴器

主动端: Y 型轴孔、A 型键槽 $d = 28\text{mm}$, $L = 62\text{mm}$

从动端: J₁ 型轴孔、B 型键槽 $d = 32\text{mm}$, $L = 62\text{mm}$

UL5 联轴器 $\frac{28 \times 62}{J_1 B 32 \times 62}$ GB/T5844—

2002

1、3—半联轴器

2—轮胎环 4—止退垫板

型号	许用 转矩 [T] /N·m	瞬时最大 转矩 T _{max} /N·m	许用转速 [n] /r·min ⁻¹		轴 孔 直 径 dH7/mm		轴孔长度 L/mm		D	B	D ₁	质量 /kg	转动 惯量 J/ kg·m ²	许用位移						
			钢	铁	钢	铁	J、J ₁ 型	Y 型						mm	径向 ΔY	轴向 ΔX	角向 Δα (°)			
															mm					
UL1	10	31.5	5000	3500	11	11	22	25	80	20	42	0.7	0.0003	1.0	1.0	1				
					12、14	12、14	27	32												
					16、18	16	30	42												
UL2	25	80	5000	3000	14	14	27	32	100	26	51	1.2	0.0008	1.0	1.0		1			
					16、18、19	16、18、19	30	42												
					20、22	20	38	52												
UL3	63	180	4800	3000	18、19	18、19	30	42	120	32	62	1.8	0.0022	1.6	2.0			1		
					20、22、24	20、22	38	52												
					25	—	44	62												
UL4	100	315	4500	3000	20、22、24	20、22、24	38	52	140	38	69	3	0.0044	1.6	2.0				1	
					25、28	25	44	62												
					30	—	60	82												
UL5	160	500	4000	3000	24	24	38	52	160	45	80	4.6	0.0084	1.6	2.0					1
					25、28	25、28	44	62												
					30、32、35	30	60	82												
UL6	250	710	3600	2500	28	28	44	62	180	50	90	7.1	0.0164	1.6	2.0	1				
					30、32、35、38	30、32、35	60	82												
					40	—	84	112												
UL7	315	900	3200	2500	32、35、38	32、35、38	60	82	200	56	104	10.9	0.029	2.0	2.5		1			
					40、42、45、48	40、42	84	112												

(续)

型号	许用 转矩 [T] / N · m	瞬时最大 转矩 T _{max} / N · m	许用转速 [n] / r · min ⁻¹		轴 孔 直 径 dH7/mm		轴孔长度 L/mm		D	B	D ₁	质量 /kg	转动 惯量 J/ kg · m ²	许用位移			
			钢	铁	钢	铁	J、J ₁ 型	Y 型						mm	径向 ΔY	轴向 ΔX	角向 Δα (°)
															mm		
UL8	400	1250	3000	2000	38 40、42、45、48、50	38 40、42、45	60 84	82 112	220	63	110	13	0.0448	2.5	3.0	1°30′	
UL9	630	1800	2800	2000	42、45、48、50、55、56 60	42、45、48、50、55 —	84 107	112 142	250	71	130	20	0.0898				
UL10	800	2240	2400	1600	45°、48°、50、55、56 60、63、65、70	— 60、63、65	84 107	112 142	280	80	148	30.6	0.1596	3.0	3.6		
UL11					1000	2500	2100	1600	50°、55°、56° 60、63、65、70、71、75	— 60、63、65	84 107	112 142	320				90
UL12	1600	4000	2000	1600	55°、56° 60°、63°、65°、70、71、75 80、85	55°、56° — 80	84 107 132	112 142 172	360	100	188	59	0.5356	3.6	4.0		
UL13	2500	6300	1800	1600	63°、65°、70°、71°、75° 80、85、90、95	— —	107 132	142 172	400	110	210	81	0.896	4.0	4.5		
UL14	4000	10000	1600	1400	75° 80°、85°、90°、95° 100、110	75° — 100、110	107 132 167	142 172 212	480	130	254	145	2.2616		5.0		
UL15	6300	14000	1200	1120	85°、90°、95° 100°、110°、120°、125°	—、90°、95° —	132 167	172 212	560	150	300	222	4.6456	5.0	5.6		
UL16	10000	20000	1000	1000	100°、110°、120°、125° 130、140	— 130、140	167 202	212 252	630	180	335	302	8.0924		6.0		
UL17					16000	31500	900	850	120°、125° 130°、140°、150° 160°	— — 160°	167 202 242	212 252 302	750		210		405
UL18	25000	59000	800	750	140°、150° 160°、170°、180°	— —	202 242	252 302	900	250	490	818	43.053		8.0		

注：1. 轴孔直径有*号者为结构允许制成J型轴孔。

2. 联轴器质量和转动惯量是各型号中最大值的计算近似值。

3. 生产厂：江苏扬中市江苏联大集团有限公司；四川德阳市二重基础件厂。

1.6.7 H 型弹性块联轴器

K₁——温度系数，对丁腈橡胶，当 t > 60℃ 时

K₁ = 1.2，其余为 1。

(1) 基本参数和主要尺寸（见表 5.4-33）

(2) 选择计算

选择联轴器型号时的计算转矩

$$T_c = KK_1 T \leq T_n \quad (5.4-6)$$

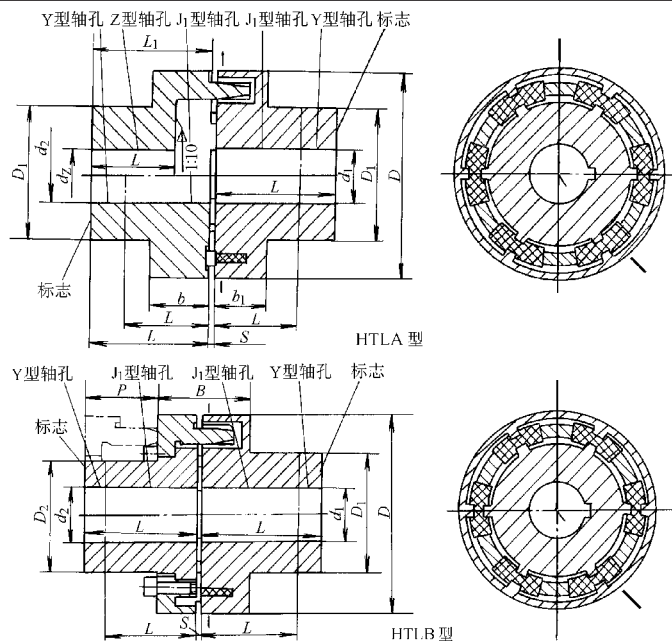
式中 T——联轴器需传递的转矩（N·m）；

K——工况系数；

若起动数值次数 > 25 次/h，则系数取邻近的大一档值，括号内数值（3）仅适用于起动次数 > 25 次/h；

载荷性质 原动机	均匀 载荷	中等冲 击载荷	强烈冲击载荷
电动机、汽轮机 液压马达	1	1.25	1.75
内燃机	4~6 缸	1.25	1.5
	1~3 缸	1.5	2.0

表 5.4-33 HTLA 型和 HTLB 型 H 型弹性块联轴器的基本参数和主要尺寸(摘自 JB/T 5511—2006)



标记示例:HTLA5 型弹性块联轴器

主动端: Y 型轴孔、B₁ 型键槽, $d_1 = 35\text{mm}$, $L = 82\text{mm}$

从动端: J₁ 型轴孔, B₁ 型键槽, $d_2 = 35\text{mm}$, $L = 60\text{mm}$

HTLA5 联轴器 $\frac{B_1 35 \times 82}{J_1 B_1 35 \times 60}$ JB/T 5511—
2006

型号	公称转矩 T_n /N · m	许用转速 $[n]$ /r · min ⁻¹	轴孔直径 $d_1、d_2、d_z$	轴孔长度			b		b_1	B	D	D_1	D_2	S	P	质量 /kg	转动惯量 $J/\text{kg} \cdot \text{m}^2$	许用补偿量											
				Y 型	J ₁ Z 型		Y、J ₁	Z 型										径向 ΔY	轴向 ΔX	角向 $\Delta \alpha$									
				L	L	L ₁	型	型										mm											
HTLA1	20	5000	12、14	32	27	—	8	22	20	—	58	40	—	2	—	1.00	0.0003	0.5	+2	1°30'									
			16、18、19	42	30	44																							
			20、22、24	52	38	52																							
HTLA2	35.5	5000	16、18、19	42	30	48	8	26	20	—	70	48	—	2	—	1.65	0.0006				0.5	+2	1°30'						
			20、22、24	52	38	56																							
			25、28	62	44	62																							
HTLA3	71	5000	20、22、24	52	38	60	10	32	21	—	82	60	—	2	—	3.22	0.0017							0.5	+2	1°30'			
			25、28	62	44	66																							
			30、32	82	60	82																							
HTLA4	112	5000	24	52	38	66	12	40	24	—	95	70	—	2	—	5.15	0.0041										0.5	+2	1°30'
			25、28	62	44	72																							
			30、32、35、38	82	60	88																							
			40	112	84	112																							
HTLA5 HTLB1	180	5000	28	62	44	72	14	42	27	49	110	80	62	2	33	7.39 6.0	0.008 0.007	0.8	+4	1°30'									
			30、32、35、38	82	60	88																							
			40 *、42 *、45 *	112	84	112																							
HTLA6 HTLB2	280	4500	32、35、38	82	60	88	17	45	31	56	125	92	75	2	38	10.85 9.2	0.014 0.012				0.8	+4	1°30'						
			40、42、45、48 *	112	84	—																							
			50 *	112	—	—																							
HTLA7 HTLB3	400	4000	38	82	60	88	20	48	34	62	140	100	80	2	43	12.97 11.2	0.020 0.020							0.8	+4	1°30'			
			40、42、45、48、 50、55 *、56 *	112	—	112																							
			84	—	—	—																							
HTLA8 HTLB4	630	3500	42、45、48、50、 55、56	112	—	119	20	55	39	69	160	110	95	2	47	20.15 17.8	0.033 0.039										1	+4	1°30'
			60 *、63 *、65 *	142	107	142																							
			50、55、56	112	84	119																							
HTLA9 HTLB5	1000	3100	60、63、65、 70 *、71 *、75 *	142	—	142	20	55	42	74	180	125	108	2	50	26.12 25.4	0.061 0.072	1	+4	1°30'									
			107	—	—																								
			147	—	—																								
HTLA10 HTLB6	1600	2800	60、63、65、70、 71、75	142	—	147	22	62	47	81	200	140	122	2	53	38.90 31.3	0.13 0.117				1	+4	1°30'						
			80 *、85 *	172	132	172																							
			65、70、71、75	142	107	147																							
HTLA11 HTLB7	2240	2500	80、85、90 *	172	132	172	22	62	52	92	225	150	138	2	61	43.13 43.4	0.19 0.183							1	+4	1°30'			
			80、85、90 *	172	132	172																							

(续)

型号	公称转矩 T_n /N · m	许用转速 $[n]$ /r · min ⁻¹	轴孔直径 d_1, d_2, d_z	轴孔长度			b		b_1	B	D	D_1	D_2	S	P	质量 /kg	转动惯量 $J/\text{kg} \cdot \text{m}^2$	许用补偿量		
				Y型	J ₁ Z型	Y、J ₁ Z型	ΔY	轴向 ΔX										角向 $\Delta \alpha$		
				L	L	L ₁													mm	
				mm																
HTLA12 HTLB8	3150	2200	71、75	142	107	152	22	67	60	105	250	165	155	3	69	57.55 58.5	0.33 0.35	1.5	+5	1°00′
			80、85、90、95	172	132	177														
			100 *	212	167	212														
HTLA13 HTLB9	4500	2000	80、85、90、95	172	132	177	24	69	65	110	280	180	172	3	73	80.33 81.0	0.52 0.55			
			100、110 *	212	167	212														
			90、95	172	132	—														
HTLB10	6300	1800	100、110、120、125	212	167	—	—	—	—	120	315	200	200	3	78	98.9	0.9			
			100、110、120、125	212	167	—														
HTLB11	8000	1600	100、110、120、125	212	167	—	—	—	—	128	350	230	230	3	83	152.0	1.6			
			130、140	252	202	—														
HTLB12	11200	1400	110、120、125	212	167	—	—	—	—	137	400	250	250	3	88	182.8	2.7			
			130、140、150	252	202	—														
HTLB13	14000	1300	120、125	212	167	—	—	—	—	155	440	265	265	5	99	204.0	3.9			
			130、140、150	252	202	—														
			160	302	242	—														
HTLB14	18000	1200	130、140、150	252	202	—	—	—	—	160	480	300	300	5	104	277.6	5.9			
			160、170	302	242	—														
HTLB15	22400	1100	140、150	252	202	—	—	—	—	175	520	315	315	5	115	348.3	8.6			
			160、170、180	302	242	—														
HTLB16	31500	1000	160、170、180	302	242	—	—	—	—	201	560	320	320	6	125	496.9	13.9			
			190、200	352	282	—														
			170、180	302	242	—														
HTLB17	40000	900	190、200、220	352	282	—	—	—	—	215	610	352	352	6	135	582.0	20.2			
			190、200、220	352	282	—														
HTLB18	50000	860	180	302	242	—	—	—	—	234	660	384	384	6	145	706.2	29.7			
			190、200、220	352	282	—														
			240	410	330	—														
HTLB19	71000	800	200、220	352	382	—	—	—	—	246	710	416	416	6	155	917.2	43.2			
			240、250	410	330	—														

注:1. 质量和转动惯量是按铸铁件最小轴孔尺寸计算的近似值,横线上下分别代表 HTLA 和 HTLB 型的数值。

2. HTLB 型轴孔直径无 d_z , 标记“*”号的轴孔直径不适用 HTLB 型的 d_2 。

3. 瞬时过载转矩不得大于公称转矩值的 2 倍。

4. 表中尺寸 P 为拆卸拨爪的最小尺寸。

1.6.8 多角形橡胶联轴器

(1) 基本参数和主要尺寸 (见表 5.4-34)

(2) 选择计算

选择多角形橡胶联轴器型号时的计算转矩

$$T_c = KT \leq T_n \quad (5.4-7)$$

式中 T ——联轴器需传递的转矩 (N·m);

K ——工作情况系数。

工作机		I	II	III	IV
原动机					
电动机		1.0	1.5	2.0	2.5
内燃机	>4 缸	1.5	2.0	2.5	3.0
	<3 缸	2.0	2.5	3.0	3.5

I 类——转矩变化小的机械;

II 类——转矩变化较小的机械;

III 类——转矩变化中等的机械;

IV 类——转矩变化大的机械。

1.6.9 膜片联轴器

膜片联轴器采用一种厚度很薄的弹簧片制成各种形状,用螺栓分别与主、从动轴上的两半联轴器连接,其弹性元件为若干多边形环形的膜片,在膜片的圆周上有若干螺栓孔。为了获得相对位移,常采用中间轴,其两端各有一组膜片组成两个膜片联轴器,分别与主从动轴连接。

(1) JM I 型、JM I J 型膜片联轴器

1) 基本参数和主要尺寸见表 5.4-35。

2) 选择计算:

① 联轴器的计算转矩

$$T_c = KK_1 T = KK_1 9550 \frac{P_w}{n} \quad (5.4-8)$$

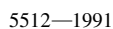
式中 P_w ——驱动功率 (kW);

n ——工作转速 (r·min⁻¹);

K ——工作情况系数,见表 5.4-2;

K_1 ——考虑角位移对传递转矩的影响系数,见图 5.4-8。

(摘自 JB/T5512—1991)



型号	公称 转矩 T_n /N·m	许用 转速 [n] /r·min ⁻¹	轴孔直径 d_1 、 d_2 、 d_z	轴孔长度		A	D	B	F	P	质量 /kg	转动 惯量 J /kg·m ²	许用补偿量				
				Y 型	J ₁ 、Z ₁ 型								径向 ΔY	轴向 ΔX	角向 Δα (°)		
				L	L ₁												
				mm												mm	
LD1	50	5000	12、14	32	—	96	42	28	4	75	1.9	0.001	1	±2	5		
			16、18、19	42	30												
			20、22、24	52	38												
			25	62	44												
LD2	80	4000	16、18、19	42	30	118	55	32	5	85	3.9	0.0031		±2.5			
			20、22、24	52	38												
			25、28	62	44												
			30、32	82	60												
LD3	160	3150	20、22、24	52	38	142	68	46	7	105	8.0	0.0089	±3		4		
			25、28	62	44												
			30、32、35、38	82	60												
			40	112	84												
LD4	280	2500	22、24	52	38	182	92	52	9	120	14.2	0.026		±3.5			
			25、28	62	44												
			30、32、35、38	82	60												
			40、42、45、48、50、55	112	84												
LD5	560	2000	25、28	62	44	235	122	62	12	140	31.4	0.095	1.5		±4	3	
			30、32、35、38	82	60												
			40、42、45、48、50、55、56	112	84												
			60、63、65、70、71	142	107												
LD6	800	1800	28	62	44	258	128	68	12	150	35.6	0.132		±4			3
			30、32、35、38	82	60												
			40、42、45、48、50、55、56	112	84												
			60、63、65、70、71、75	142	107												

(续)

型号	公称 转矩 T_n /N·m	许用 转速 [n] /r·min ⁻¹	轴孔直径 d_1 、 d_2 、 d_z	轴孔长度		A	D	B	F	P	质量 /kg	转动 惯量 J /kg·m ²	许用补偿量		
				Y 型	J ₁ 、Z ₁ 型								径向 ΔY	轴向 ΔX	角向 Δα (°)
				L	L ₁								mm		
mm															
LD7	1250	1600	35、38	82	60	282	148	78	13.5	185	58.4	0.287	2	±4	3
			40、42、45、48、50、55、56	112	84										
			60、63、65、70、71、75	142	107										
			80、85	172	132										
LD8	2500	1250	40、42、45、48、50、55、56	112	84	372	190	100	15	230	117.1	0.952	2	±4.5	2
			60、63、65、70、71、75	142	107										
			80、85、90、95	172	132										
			100、110	212	167										
LD9	3550	1120	45、48、50、55、56	112	84	420	220	115	15	270	171.8	1.981	2	±5	2
			60、63、65、70、71、75	142	107										
			80、85、90、95	172	132										
			100、110、120、125、130	212	167										
LD10	5600	1000	50、55、56	112	84	465	242	130	15	295	252.9	3.606	2	±5	2
			60、63、65、70、71、75	142	107										
			80、85、90、95	172	132										
			100、110、120、125	212	167										
			130、140、150	252	202										
LD11	8000	900	60、63、65、70、71、75	142	107	520	260	150	20	365	386.7	7.48	2	±5	2
			80、85、90、95	172	132										
			100、110、120、125	212	167										
			130、140、150	252	202										
			160	302	242										

注：1. 许用转速是指角向补偿量 1°范围内的允许转速，许用补偿量是指转速小于 70% [n] 时可使用的范围。

2. LD1 ~ LD6 多角橡胶弹性件为六角形；LD7 ~ LD11 多角橡胶弹性件为八角形。

3. 联轴器轴孔组合形式有 Y—J₁、Y—Z、J₁—Z₁、Y—Y、J₁—J₁。

4. 瞬时冲击转矩不大于公称转矩的 2.3 倍。

5. 质量及转动惯量均是各型号中最大值的近似计算值。

6. 许用扭转角为 4° (LD1、LD2 为 5°)。

② 对于接中间轴的 JM I J、JM II J 型，当 $L_{1min} > 10d(d_1)$ 时，应考虑验算工作转速与临界转速的关系

$$n_k = 1.2 \times 10^8 \times \frac{\sqrt{D_2^2 + D_3^2}}{L_1^2} \quad (5.4-9)$$

D_2 、 D_3 、 L_1 ——分别为中间轴的外径、内径和长度 (mm)。

当轴线偏角 $\Delta\alpha \leq 1.5^\circ$ 时

$$n \leq 0.85n_k \quad (5.4-10)$$

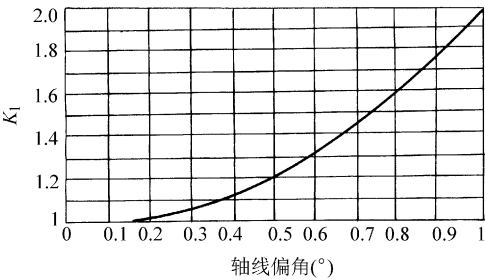
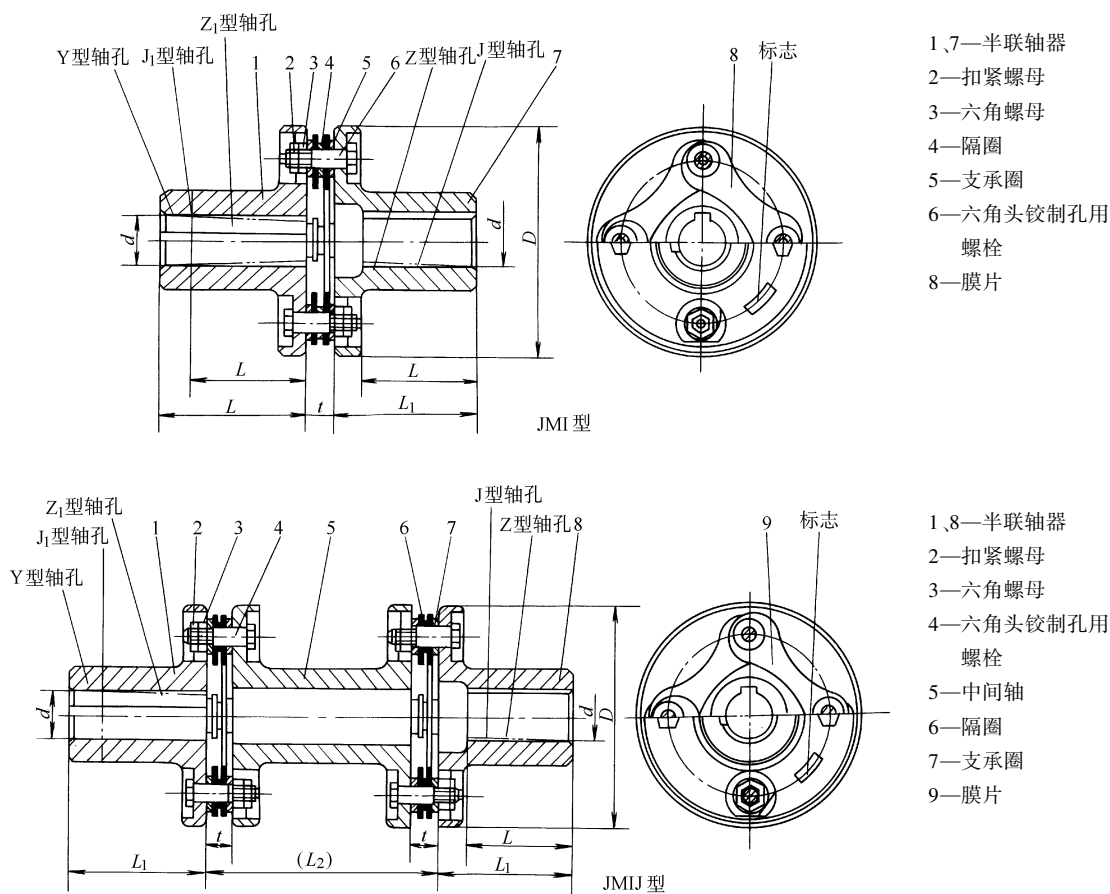


图 5.4-8 中间轴选择

表 5.4-35 JMI 型、JMIJ 型膜片联轴器的基本参数和主要尺寸(摘自 JB/T 9147—1999)



型 号	公称 转矩	瞬时最 大转矩	许用 转速	轴孔直径 d	轴孔长度			D	t	L_{2min}	JM I 型 扭转刚度 $C/$ $N \cdot m \cdot$ rad^{-1}	质量 /kg	转动 惯量 $J/$ $kg \cdot m^2$	
	T_n	T_{max}	$n_p/$		Y 型	J、J ₁ 、 Z、Z ₁ 型								$L_{推荐}$
	$/N \cdot$	$/N \cdot$	$r \cdot$											
	m	m	min^{-1}											
mm														
JM I1 JM IJ1	25	80	6000	14	32	—	J、J ₁ 27 Z、Z ₁ 20	35	90	8. 8	100	1×10^4	$\frac{1}{1. 8}$	$\frac{0. 0007}{0. 0013}$
				16, 18, 19	42		30							
				20, 22	52		38							
				18, 19	42		30							
JM I2 JM IJ2	63	180	5000	20, 22, 24	52	—	38	45	100	9. 5		$1. 4 \times 10^4$	$\frac{2. 3}{2. 4}$	$\frac{0. 001}{0. 002}$
				25	62		44							
				20, 22, 24	52		38							
				25, 28	62		44							
JM I3 JM IJ3	100	315	5000	20, 22, 24	52	—	38	50	120	11	120	$1. 87 \times 10^4$	$\frac{2. 3}{4. 1}$	$\frac{0. 0024}{0. 0047}$
				25, 28	62		44							
				30	82		60							

(续)

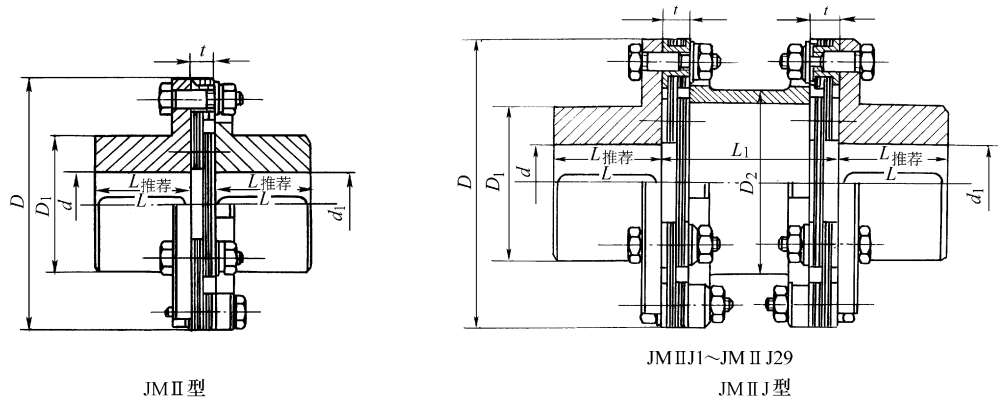
型 号	公称 转矩	瞬时最 大转矩	许用 转速	轴孔直径 d	轴孔长度			D	t	L_{2min}	JM I 型 扭转刚度 $C/$ $N \cdot m \cdot$ rad^{-1}	质量 /kg	转动 惯量 $J/$ $kg \cdot m^2$	
	T_n	T_{max}	$n_p/$ $r \cdot$ min^{-1}		Y 型	J、J ₁ 、 Z、Z ₁ 型								$L_{推荐}$
	$/N \cdot$ m	$/N \cdot$ m	$r \cdot$ min^{-1}			L	L_1							
mm														
$\frac{JM\ I4}{JM\ IJ4}$	160	500	4500	24	52	—	38	55	130	12. 5	120	3.12×10^4	$\frac{3.3}{5.4}$	$\frac{0.0024}{0.0069}$
				25,28	62		44							
				30,32,35	82		60							
$\frac{JM\ I5}{JM\ IJ5}$	250	710	4000	28	62	—	44	60	150	14	140	4.32×10^4	$\frac{5.3}{8.8}$	$\frac{0.0083}{0.0281}$
				30,32,35,38	82		60							
				40	112		84							
$\frac{JM\ I6}{JM\ IJ6}$	400	1120	3600	32,35,38	82	82	60	65	170	15. 5		6.88×10^4	$\frac{8.7}{13.4}$	$\frac{0.0159}{0.0281}$
				40,42,45,48,50	112	84								
$\frac{JM\ I7}{JM\ IJ7}$	630	1800	3000	40,42,45,48,50,55,56	112	112	107	70	210	19	150	10.35×10^4	$\frac{14.3}{22.3}$	$\frac{0.0432}{0.076}$
				60	142	—								
$\frac{JM\ I8}{JM\ IJ8}$	1000	2500	2800	45,48,50,55,56	112	112	84	80	240	22. 5	180	16.11×10^4	$\frac{22}{36}$	$\frac{0.0879}{0.1602}$
				60,63,65,70	142	—	107							
$\frac{JM\ I9}{JM\ IJ9}$	1600	4000	2500	55,56	112	112	84	85	260	24	220	26.17×10^4	$\frac{29}{48}$	$\frac{0.1415}{0.2509}$
				60,63,70,71,75	142	—	107							
				80	172	—	132							
$\frac{JM\ I10}{JM\ IJ10}$	2500	6300	2000	63,65,70,71,75	142	142	107	90	280	17	250	7.88×10^4	$\frac{52}{85}$	$\frac{0.2974}{0.5195}$
				80,85,90,95	172	—	132							
$\frac{JM\ I11}{JM\ IJ11}$	4000	9000	1800	75	142	142	107	95	300	19. 5	290	10.49×10^4	$\frac{69}{112}$	$\frac{0.4782}{0.8223}$
				80,85,90,95	172	172	132							
				100,110	212	—	167							
$\frac{JM\ I12}{JM\ IJ12}$	6300	12500	1600	90,95	172	—	132	120	340	23	300	14.07×10^4	$\frac{94}{152}$	$\frac{0.8067}{1.4109}$
				100,110,120,125	212		167							
JM I13	10000	18000	1400	100,110,120,125	252	—	167	135	380	28	—	19.2×10^4	128	1.7053
				130,140										
JM I14	16000	28000	1200	120,125	212	—	167	150	420	31	—	30.0×10^4	184	2.6832
				130,140,150	252		202							
				160	302		242							
JM I15	25000	40000	1120	140,150	252	—	202	180	480	37. 5	—	47.46×10^4	262	4.8015
				160,170,180	302		242							
JM I16	40000	56000	1000	160,170,180	352	—	282	200	560	41	—	48.09×10^4	384	9.4118
				190,200										
JM I17	63000	80000	900	190,200,220	410	—	330	220	630	47	—	10.13×10^4	561	18.3753
				140										

(续)

型 号	公称 转矩 T_n /N · m	瞬时最 大转矩 T_{max} /N · m	许用 转速 n_p / r · min ⁻¹	轴孔直径 d	轴孔长度			D	t	L_{2min}	JM I 型 扭转刚度 C / N · m · rad ⁻¹	质量 /kg	转动 惯量 J / kg · m ²		
					Y 型	J、J ₁ 、 Z、Z ₁ 型								$L_{推荐}$	
						L	L_1								L
JM I18	100000	125000	800	220	352	—	282	250	710	54.5	—	16.14 × 10 ⁴	723	28.2033	
				240,250,260											410
JM I19	160000	200000	710	250,260	—	330	280	800	48	—	79.8 × 10 ⁴	1267	66.5813		
				280,300,320										470	380

- 注：1. 质量、转动惯量为计算近似值；许用补偿量见表 5.4-37。
2. L 推荐为优选轴 3 L 长度。
3. 标记方法：
- 联轴器型号 联轴器轴孔形式代号 键槽形式代号 轴孔直径 × 轴孔长度（主动端）标准号
轴孔形式代号 键槽形式代号 轴孔直径 × 轴孔长度（从动端）
- Y 型轴孔、A 型键槽的代号，标记中可予省略；
- 联轴器主、从动端连接形式与尺寸相同时，只标记一端，另一端省略。
4. 工作温度为 -20 ~ 250℃。
5. 联轴器轴孔和连接形式应符合 GB/T 3852—2008。
6. 生产厂：宁波东钱湖区，宁波伟隆传动机械有限公司；四川德阳市，二重基础件厂。
- (2) JM II 型、JM II J 型膜片联轴器（见表 5.4-36、表 5.4-37）

表 5.4-36 JM II 型、JM II J 型膜片联轴器的基本参数和主要尺寸 (摘自 JB/T 9147—1999)



标注方法:见表 5.4-35 注

(续)

型号	公称 转矩 $T_n /$ $N \cdot m$	瞬时 最大 转矩 $T_{max} /$ $N \cdot m$	最大 转速 $n_{max} /$ $r \cdot min^{-1}$	轴孔直径 $d、d_1$	轴孔长度			D	D_1	D_2	L_{1min}	t	JM II 型		质量/kg		转动 惯量 $J /$ $kg \cdot m^2$
					J ₁ 型	Y 型	$L_{推荐}$						扭转刚度 $/ \times 10^6$	质量 /kg	L_{1min} 质量	每增 加 1m	
					L												
					mm												
JM II 1	40	63	10700	14	27	32	35	80	39	—	—	8 ± 0.2	0.37	0.9	—	—	0.0005
				16,18,19	30	42											
				20,22,24	38	52											
				25, 28	44	62											
$\frac{JM II J1}{JM II 2}$	63	100	9300	20,22,24	38	52	40	92	53		70		0.45	1.4	2		$\frac{0.002}{0.0011}$
				25, 28	44	62											
				30 ~ 38	60	82											
$\frac{JM II J2}{JM II 3}$	100	200	8400	25, 28	44	62	45	102	63		80	8 ± 0.2	0.56	2.1	2.9	4.1	$\frac{0.003}{0.002}$
				30 ~ 38	60	82											
				40,42,45	84	112											
$\frac{JM II J3}{JM II 4}$	250	400	6700	30 ~ 38	60	82	55	128	77		96		0.81	4.2	5.7		$\frac{0.009}{0.006}$
				40 ~ 55	84	112											
$\frac{JM II J4}{JM II 5}$	500	800	5900	35, 38	60	82	65	145	91	76	116	11 ± 0.3	1.2	6.4	8.5	8	$\frac{0.017}{0.012}$
				40 ~ 56	84	112											
				60,63,65	107	142											
$\frac{JM II J5}{JM II 6}$	800	1250	5100	40 ~ 56	84	112	75	168	105		136	14 ± 0.3	1.42	9.6	12.5		$\frac{0.034}{0.024}$
				60 ~ 75	107	142											
$\frac{JM II J6}{JM II 7}$	1250	2000	4750	45 ~ 56	84	112	80	180	112	102		15 ± 0.4	1.9	12.5	16.5	12	$\frac{0.053}{0.0365}$
				60 ~ 75	107	142											
				80	132	172											
$\frac{JM II J7}{JM II 8}$	2000	3150	4300	50,55,56	84	112	80	200	120	114		20 ± 0.4	2.35	15.5	21		$\frac{0.082}{0.057}$
				60 ~ 75	107	142											
				80, 85	132	172											
$\frac{JM II J8}{JM II 9}$	2500	4000	4200	55, 56	84	112		205	120				2.7	16.5	23		$\frac{0.092}{0.065}$
				60 ~ 75	107	142											
				80, 85	132	172											

(续)

型号	公称 转矩 $T_n /$ $N \cdot m$	瞬时 最大 转矩 $T_{max} /$ $N \cdot m$	最大 转速 $n_{max} /$ $r \cdot min^{-1}$	轴孔直径 $d、d_1$		轴孔长度			D	D_1	D_2	L_{1min}	t	JM II 型		质量/kg		转动 惯量 $J /$ $kg \cdot m^2$
						J _I 型	Y 型	$L_{推荐}$						扭转刚度 $/ \times 10^6$ $N \cdot m \cdot rad^{-1}$	质量 /kg	L_{1min} 质量	每增 加 1m	
						L												
				mm													$N \cdot m \cdot rad^{-1}$	
JM II J9 JM II 10	3150	5000	4000	55, 56	84	112	90	215	128	127	160	20 ± 0.4	3.02	19.5	27	21	0.117 0.083	
				60 ~ 75	107	142												
				80,85,90	132	172												
JM II J10 JM II 11	4000	6300	3650	60 ~ 75	107	142	235	132	170	23 ± 0.5	3.46	25	36	26	0.191 0.131			
				80 ~ 95	132	172												
JM II J11 JM II 12	5000	8000	3400	60 ~ 75	107	142	250	145	140	190	27 ± 0.6	7.8	45	66	47	0.56 0.38		
				80 ~ 95	132	172												
				100	167	212												
JM II J12 JM II 13	6300	10000	3200	60 ~ 75	107	142	110	270	155	220	32 ± 0.9	22.13	170	245	89	4.98 3.28		
				80 ~ 95	132	172												
				100、110	167	212												
JM II J13 JM II 14	8000	12500	2850	60 ~ 75	107	142	115	300	162	200	38 ± 0.9	14.26	150	220	89	6.28 4.28		
				80 ~ 95	132	172												
				100、110	167	212												
JM II J14 JM II 15	10000	16000	2700	70、71、75	107	142	125	320	176	219	290	38 ± 0.9	23.7	200	275	89		
				80 ~ 95	132	172												
				100 ~ 125	167	212												
JM II J15 JM II 16	12500	20000	2450	75	107	142	140	350	186	240	300	38 ± 0.9	22.13	170	245	89		
				80 ~ 95	132	172												
				100 ~ 125	167	212												
				130	202	252												
JM II J16 JM II 17	16000	25000	2300	80 ~ 95	132	172	145	370	203	250	32 ± 0.7	10.97	85	125	72	2.45 1.65		
				100 ~ 125	167	212												
				130、140	202	252												
JM II J17 JM II 18	20000	31500	2150	90、95	132	172	165	400	230	219	290	38 ± 0.9	13.07	115	160	72		
				100 ~ 125	167	212												
				130 ~ 150	202	252												
JM II J18 JM II 19	25000	40000	1950	100 ~ 125	167	212	175	440	245	267	320	38 ± 0.9	14.26	150	220	89		
				130 ~ 150	202	252												
				160、170	242	302												
JM II J19 JM II 20	31500	50000	1850	100 ~ 125	167	212	185	460	260	267	320	38 ± 0.9	22.13	170	245	89		
				130 ~ 150	202	252												
				160 ~ 180	242	302												
JM II J20 JM II 21	35500	56000	1800	120、125	167	212	200	480	280	267	350	38 ± 0.9	23.7	200	275	89		
				130 ~ 150	202	252												
				160 ~ 180	242	302												
				190、200	282	352												

(续)

型号	公称 转矩 $T_n /$ $N \cdot m$	瞬时 最大 转矩 $T_{max} /$ $N \cdot m$	最大 转速 $n_{max} /$ $r \cdot min^{-1}$	轴孔直径 $d、d_1$	轴孔长度			D	D_1	D_2	L_{1min}	t	JM II 型		质量/kg		转动 惯量 $J /$ $kg \cdot m^2$							
					J _I 型	Y 型	$L_{推荐}$						扭转刚度 $/ \times 10^6$ $N \cdot m \cdot rad^{-1}$	质量 $/kg$	L_{1min} 质量	每增 加 1m								
					L																			
					mm																			
JM II J21 JM II 22	40000	63000	1700	120 *、125 * 130 ~ 150 160 ~ 180 190、200	167 202 242 282	212 252 302 352	210	500	295	267	370	38 ± 0.9	24.6	230	320	89	$\frac{7.68}{5.18}$							
JM II J22 JM II 23	50000	80000	1600	140、150 160 ~ 180 190 ~ 220	202 242 282	252 302 352											220	540	310	299	380	44 ± 1	29.71	275
JM II J23 JM II 24	63000	100000	1450	140、150 160 ~ 180 190 ~ 220 240	202 242 282 330	252 302 352 410					240	600												
JM II J24 JM II 25	80000	125000	1400	160 ~ 180 190 ~ 220 240、250	242 282 330	302 352 410											255	620	350	356	440	37.69	410	620
JM II J25 JM II 26	90000	140000	1300	180 190 ~ 220 240 ~ 260 280 *	242 282 330 380	302 352 410 470	275	660	385				480	50.43	510									
JM II J26 JM II 27	112000	180000	1200	180 * 190 ~ 220 240 ~ 260 280、300 *	242 282 330 380	302 352 410 470					295	720				410		510	71.51	620	970	190	$\frac{50.4}{32.4}$	
JM II J27 JM II 28	140000	200000	1150	220 240 ~ 260 280、300、 320 *	282 330 380	352 410 470	300	740	420				520	93.37	680								1050	$\frac{57}{36}$
JM II J28 JM II 29	160000	224000	1100	240 ~ 260 280、300 250、260	330 380 330	410 470 410					320	770				450		560	114.53	780	1200			215
JM II J29 JM II 30	180000	280000	1050	280 ~ 320 340	380 450	470 550	350	820	490				600	130.76	950							1400	$\frac{95.5}{60.5}$	

- 注：1. 表中带 * 轴孔直径只适用 JM II J 型。
2. 轴孔直径范围内的直径系列尺寸应符合 GB/T 3852—2008。
3. 其余见表 5.4-35 注 1~6。

表 5.4-37 膜片联轴器的许用补偿量

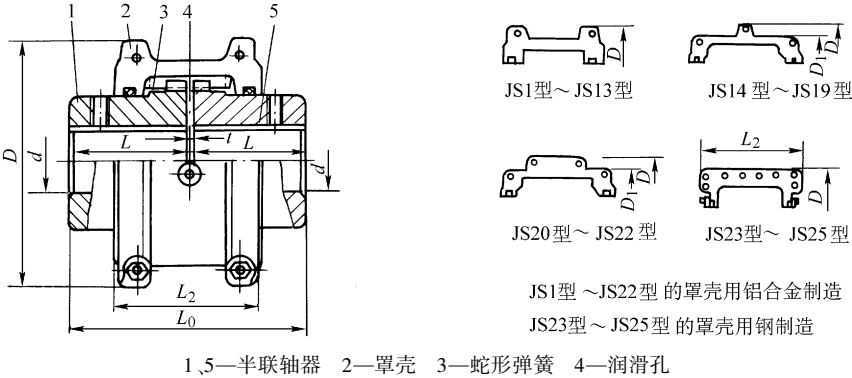
型 号	JM I1 ~ JM I6	JM I7 ~ JM I10	JM I11 ~ JM I19	JM II1 ~ JM II8	JM II9 ~ JM II17	JM II18 ~ JM II26	JM II27 ~ JM II30
轴 向 Δx /mm	JM IJ1 ~ JM IJ6	JM IJ7 ~ JM IJ10	JM IJ11 ~ JM IJ12	JM IIJ1 ~ JM IIJ8	JM IIJ9 ~ JM IIJ17	JM IIJ18 ~ JM IIJ26	JM IIJ27 ~ JM IIJ42
角 向 $\Delta \alpha$	1 2	1.5 3	2 4	1 2	2.5 5	4 8	6 12
	1° 2°		30' 1°	1° 2°			

- 注：1. 表中所列许用补偿量是指在工作状态下，允许的由于制造误差、安装误差、工作载荷变化引起的振动、冲击、变形、温度变化等综合因素形成的两轴相对偏移量。
2. 本联轴器最大允许安装角向偏差应不超过 $\pm 5'$ 。

1. 6. 10 蛇形弹簧联轴器

(1) JS 型罩壳径向安装型 (基本型) 联轴器 (见表 5. 4-38)

表 5. 4-38 JS 型罩壳径向安装型 (基本型) 联轴器的基本参数和主要尺寸
(摘自 JB/T 8869—2000)



工作温度: -30 ~ 150℃
标记方法:

联轴器型号 联轴器 轴孔形式代号 键槽形式代号 轴孔直径 × 轴孔长度 (主动端) 标准号
轴孔形式代号 键槽形式代号 轴孔直径 × 轴孔长度 (从动端)
联轴器主、从动端连接形式与尺寸相同时,只标记一端,另一端省略

型号	公称 转矩 T_n /N·m	许用 转速 n_p /r·min ⁻¹	轴孔直径 d	轴孔 长度 L	总长 L_0	L_2	D	D_1	间隙 t	质量 /kg	转动 惯量 J /kg·m ²	润滑油 /kg	许用位移量		
													径向 Δy	轴向 Δx	角向 $\Delta \alpha$ (°)
													mm		mm
JS1	45	4500	18 ~ 28	47	97	66	95	—	3	1.91	0.00141	0.0272	0.15 (0.31)	±0.3	0.076 (0.25)
JS2	140		22 ~ 35			68	105			2.59	0.00223	0.0408			0.076 (0.31)
JS3	224		25 ~ 42	50	103	70	115			3.36	0.00327	0.0544	0.15 (0.31)	±0.3	0.076 (0.33)
JS4	400		32 ~ 50	60	123	80	130			5.45	0.00727	0.068	0.20 (0.41)		0.1 (0.4)
JS5	630	4350	40 ~ 56	63	129	92	150			7.26	0.0119	0.0862			0.127 (0.45)
JS6	900	4125	48 ~ 65	76	155	95	160			10.44	0.0185	0.113			0.127 (0.5)
JS7	1800	3600	55 ~ 80	89	181	116	190			17.7	0.0451	0.172			0.15 (0.6)
JS8	3150		65 ~ 95	98	199	122	210			25.42	0.0787	0.254			0.18 (0.7)
JS9	5600	2440	75 ~ 110	120	245	155	250		5	42.22	0.178	0.426	0.25 (0.51)	±0.5	0.2 (0.84)
JS10	8000	2250	85 ~ 120	127	259	162	270			54.45	0.27	0.508			0.23 (0.9)
JS11	12500	2025	90 ~ 140	149	304	192	310			6	81.27	0.514	0.735	0.28 (0.56)	±0.6

(续)

型号	公称 转矩 T_n /N·m	许用 转速 n_p /r· min ⁻¹	轴孔直径 d	轴孔 长度 L	总长 L_0	L_2	D	D_1	间隙 t	质量 /kg	转动 惯量 J /kg·m ²	润滑油 /kg	许用位移量			
													径向 Δ_y	轴向 Δ_x	角向 $\Delta\alpha$ (°)	
													mm			
JS12	18000	1800	110~170	162	330	195	346	—	6	121	0.989	0.908	0.28 (0.56)	± 0.6	0.3 (1.2)	
JS13	25000	1650	120~200	184	374	201	384			178	1.85	1.135			0.33 (1.35)	
JS14	35500	1500	140~200	183	372	271	450			391	234.26	3.49			1.952	0.30 (0.61)
JS15	50000	1350	160~240	198	402	279	500			431	316.89	5.82	2.815		0.45 (1.78)	
JS16	63000	1225	180~280	216	438	304	566			487	448.1	10.4	3.496		0.5 (2)	
JS17	90000	1100	200~300	239	484	322	630			555	619.71	18.3	3.76		0.38 (0.76)	0.56 (2.26)
JS18	125000	1050	240~320	260	526	356	675			608	776.34	26.1	4.4			0.6 (2.46)
JS19	160000	900	280~360	280	566	355	756			660	1058.27	43.5	5.63			0.68 (2.72)
JS20	224000	820	300~380	305	623	432	845	751	13	1425.56	75.5	10.53	0.46 (0.92)	± 1.3	0.74 (2.99)	
JS21	315000	730	320~420	325	663	490	920	822		1786.49	113	16.07			0.8 (3.28)	
JS22	400000	680	340~450	345	703	546	1000	905		2268.64	175	24.06	0.48 (0.97)		0.89 (3.6)	
JS23	500000	630	360~480	368	749	648	1087	—		2950.82	339	33.82			0.96 (3.9)	
JS24	630000	580	400~460	401	815	698	1180			3836.3	524	50.17	0.5 (1.02)		1.07 (4.29)	
JS25	800000	540	420~500	432	877	762	1260			4686.19	711	67.24			1.77 (4.65)	

- 注:1. 轴孔直径范围内的直径系列尺寸见 GB/T 3852—2008。
2. 括号内的许用位移量指工作状态由安装误差、振动、冲击、温度变化等综合因素所形成的两轴相对位移的最大补偿量(无括号为安装误差最大值),角向补偿量 $\Delta \alpha = A - A_1$ 。
3. 质量、转动惯量按无孔计算。
4. 联轴器安装后应注入润滑油(脂)。
5. 选用其他标准轴孔,应与制造商协商。
6. 生产厂:宁波东钱湖区,宁波伟隆传动机械有限公司。
- (2) JSB 型罩壳径向安装型联轴器(见表 5.4-39)

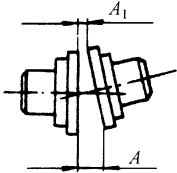
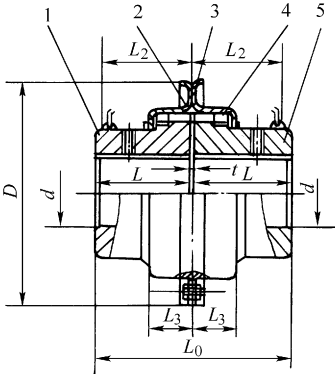


表 5.4-39 JSB 型罩壳径向安装型联轴器的基本参数和主要尺寸(摘自 JB/T 8869—2000)



1、5—半联轴器 2—润滑孔 3—罩壳 4—蛇形弹簧

工作温度: $-30 \sim 150^{\circ}\text{C}$
标记方法: 见表 5.4-38

(续)

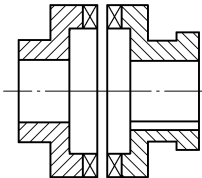
型号	公称 转矩 T_n /N·m	许用 转速 n_p /r·min ⁻¹	轴孔直径 d	轴孔 长度 L	总长 L_0	L_2	L_3	D	间隙 t	质量 /kg	润滑油 /kg	许用位移量			
												径向 Δy	轴向 Δx	角向 $\Delta \alpha$ (°)	
															mm
JSB1	45	6000	18 ~ 28	47	97	48	24	112	3	1.95	0.0272	0.15 (0.31)	±0.3	0.076 (0.25)	
JSB2	140		22 ~ 35				25	122		2.59	0.048			0.076 (0.31)	
JSB3	224		25 ~ 42	50	103	51	26	130		3.36	0.0544			0.076 (0.33)	
JSB4	400		32 ~ 50	60	123	61	31	149		5.45	0.068	0.20 (0.41)		0.10 (0.40)	
JSB5	630		40 ~ 56	63	129	64	32	163		7.26	0.0862			0.127 (0.45)	
JSB6	900	5500	48 ~ 65	76	155	67	34	174		10.44	0.113			0.127 (0.50)	
JSB7	1800	4750	55 ~ 80	89	181	89	44	200		17.7	0.172	0.25 (0.51)		±0.5	0.15 (0.60)
JSB8	3150	4000	65 ~ 95	98	199	96	47	233		25.42	0.254				0.18 (0.70)
JSB9	5600	3250	75 ~ 110	120	245	121	60	268	6	42.22	0.427	0.28 (0.56)	±0.6	0.20 (0.84)	
JSB10	8000	3000	80 ~ 120	127	259	124	63	287		54.48	0.508			0.23 (0.90)	
JSB11	12500	2700	90 ~ 140	149	304	143	74	320		81.72	0.735	0.3 (0.61)		±0.6	0.25 (1.0)
JSB12	18000	2400	110 ~ 170	162	330	146	75	379		122.58	0.908				0.30 (1.2)
JSB13	25000	2200	120 ~ 200	184	374	156	78	411		180.24	1.135				0.33 (1.35)
JSB14	35500	2000	140 ~ 200	183	372	204	107	476		230.18	1.952	0.45 (1.78)			
JSB15	50000	1750	160 ~ 240	216	438	216	115	533		321.43	2.815				0.50 (2.0)
JSB16	63000	1600	180 ~ 260			226	120	584		448.55	3.496				

- 注:1. 质量按无孔计算。
2. L_2 为罩壳安装时需要的尺寸。
3. 其他见表 5.4-38 注中的 1、2、4、5、6。

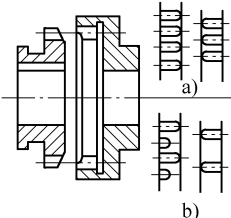
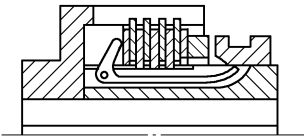
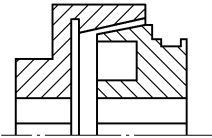
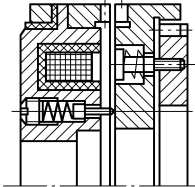
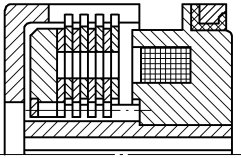
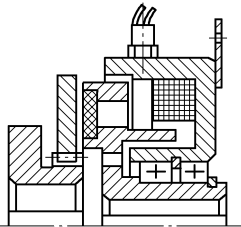
2 离合器

2.1 常用离合器的类型、性能、特点与应用（见表 5.4-40）

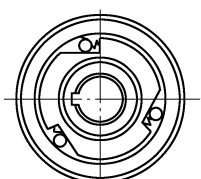
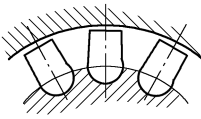
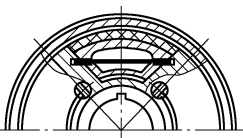
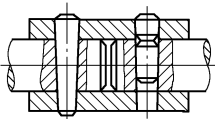
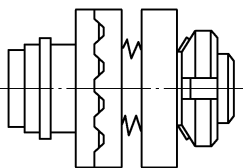
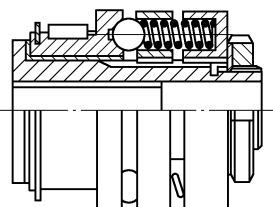
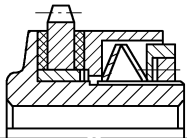
表 5.4-40 各类离合器的类型、性能、特点与应用

分类	名 称 和 简 图	转矩范围/ N·m	特 点 和 应 用
机械操纵	牙嵌离合器 	63 ~ 4100	结构简单,外形尺寸小,传递转矩大,接合后主、从动轴无相对滑动,传动比不变。但接合时有冲击,适合于静止接合,或转速差较小时接合(对矩形牙转速差 $\leq 10r \cdot \min^{-1}$,对其余牙型转速差 $\leq 300r \cdot \min^{-1}$),主要用于低速机械不需经常离合的传动轴系

(续)

分类	名称和简图	转矩范围/ N · m	特 点 和 应 用
机械操纵	齿式离合器 		利用一对可沿轴向离合、具有相同齿数的内、外齿轮传递转矩。其特点是传递转矩大,外形尺寸小,并可传递双向转矩 适用于转速差不大,带载荷进行接合,且传递转矩较大的机械主传动或变速机械的传动轴系
	圆盘摩擦离合器 	20 ~ 16000	利用摩擦片或摩擦盘作为接合元件,结构形式多,传递转矩大,安装调整方便,摩擦材料种类多,能保证在不同工况下,具有良好的工作性能,并能高速下进行平稳离合,过载时打滑,有安全保护作用,但接合过程有摩擦发热,同时还要调整摩擦面间隙。广泛应用于交通运输、机床、建筑、轻工和纺织等机械中
	圆锥摩擦离合器 	5000 ~ 286000	可通过空心轴同轴安装,在相同直径及传递相同转矩条件下,比单盘摩擦离合器的接合力小2/3,且脱开时分离彻底,其缺点是外形尺寸大,起动时惯性大,锥盘轴向移动困难,实用上常制成双锥盘的结构形式
电磁操纵	牙嵌式电磁离合器 	12 ~ 10000	外形尺寸小,传递转矩大,传动比恒定,无空转转矩,不产生摩擦热,使用寿命长,可远距离操纵,但有转速差时,接合会发生冲击,不能在半接合状态下传递转矩。适用于低速下接合的各种机床、高速数控机床、包装机械等
	带滑环多片摩擦电磁离合器 	盘式 1000 ~ 1600 多片干式 100 ~ 25000	其中单盘和双盘式的结构简单、传递转矩大、反应快、无空转转矩、散热条件好、接合频率较高。多片式的径向尺寸小、结构紧凑、便于调整 单盘和双盘式主要为干式,多片式有干式和湿式两种 干式的动作快、价格低、控制容易、转矩较大,工作性能好,但摩擦面易磨损,需定期调整和更换。适用于快速接合、高频操作的机械,如机床、计算机外围设备、包装机械、纺织机械及起重运输机械等
	无滑环单盘摩擦电磁离合器 	多片湿式 12 ~ 4000	湿式的尺寸小、传递转矩范围大、磨损轻微、寿命长,但有空转转矩,操作频率受限制,且需供油,常用于各种机械的起动、停止、变速和定位装置中

(续)

分类	名称和简图	转矩范围/ N·m	特点和应用
超越式	滚柱超越离合器 	滚柱式 3~4000	分嵌合式和摩擦式两类。均以传递单向转矩为主,并可用于变换转速防止逆转、间歇运动的传动系统,其中摩擦式具有体积小、传递转矩大、接合平稳、工作无噪声、可在高速下接合等优点
	楔块超越离合器 	楔块式 31.5~25000	滚柱式的结构简单、制造容易、溜滑角小,主要用于机床和无级变速器等传动装置中 楔块式尺寸小、传递转矩能力大,适用于传递转矩大、要求结构紧凑的场合,如石油钻机、提升机和锻压机械等
离心式	闸块式离心离合器 	自由闸块式 1.3~5100	利用自身的转速来控制两轴的自动接合或脱开,其特点是可以直接与电动机连接,使电动机在空载下平稳启动,改善电动机的发热,但由于未达到额定转速前,因打滑产生摩擦热,故不宜用于频繁启动的场合,且输出功率与转速有关,也不宜用于变速传动的轴系
	弹簧闸块式 	弹簧闸块式 0.7~4500	自由闸块式结构简单,重量轻,但平稳性差,接合时间长 弹簧闸块式接合平稳,适用于接合时间短,惯量小的轴系
安全式	剪销式安全离合器 	剪销式 30~2000	通过设计限制传递的转矩,防止过载和发生机械事故,并能充分发挥机械的效能 剪销式结构简单,制造容易,尺寸紧凑,保护严密,但工作精度不高,可用于偶然过载的传动
	牙嵌式安全离合器 	牙嵌式 4~400	嵌合式中的牙嵌式在断开瞬间会产生冲击力,可能折断牙,故宜用于转速不高、从动部分转动惯量不大的轴系
	钢球式安全离合器 	钢球式 13~4880	钢球式制造简单,工作可靠,过载时滑动摩擦力小,动作灵敏度高,可适用于转速较高的传动
	摩擦安全离合器 	摩擦式 0.1~200000	摩擦式过载时因摩擦消耗能量能缓和冲击,故工作平稳,调整和使用方便,维修简单,灵敏度高,可用于转速高、转动惯量大的传动装置

2.2 离合器的选用与计算

2.2.1 离合器的型式与结构选择

(1) 离合器接合元件的选择

接合元件应根据离合器使用的工况条件选择,可按下面几种情况考虑:

1) 刚性嵌合式接合元件:适用低速、停止转动下离合,不频繁离合。刚性嵌合式元件具有传递转矩大、转速完全同步、不产生摩擦热、外形尺寸小等特点。但因刚性大,在有转速差下接合瞬时,主、从动轴上将有较大冲击,引起振动和噪声。因此,这种接合元件限于静止或相对转速差较小、空载或轻载下接合的传动系统。

2) 摩擦式接合元件:用于系统要求缓冲,通过离合器吸收峰值力矩,允许主、从动接合元件间存在一定滑差的情况,接合时较为柔性,冲击小。但滑动会产生摩擦热,引起能量损耗。

3) 长期打滑的工况:应选用电磁和液体传递能量的离合器,如磁粉离合器。

(2) 离合器操纵方式的选择

1) 人力操纵:依靠人力的各种机械操纵离合器,手操纵力不大($<400\text{N}$),动作行程一般 $\leq 250\text{mm}$,脚踏板操纵时操纵力一般为 $100\sim 200\text{N}$,行程一般为 $100\sim 150\text{mm}$ 。反应慢,接合频率较低,主要用于中小功率的机械设备上。

2) 电磁操纵:电磁操纵比较方便,接合迅速,时间短,可以并入控制电路系统实行自动控制,且易实现远距离控制,特别适合于各种操纵频率高的中小型以及微型离合器。

(3) 环境条件

开式结构可用于宽敞无污染的环境,而封闭式结构则能适应有粉尘和存在污染的场合。对于有防爆要求的环境,不宜采用普通的电磁离合器。具有橡胶元件的离合器,则应考虑环境温度和有害介质的影响。

(4) 关于离合器的转矩容量

离合器的转矩容量应按2.2.2节的内容进行计算。当考虑原动机的起动特性时,对于用三相笼型异步电动机系统,可以允许有较大的超载范围,可选用较大容量的离合器,以便加载接合时能迅速驱动,不致出现长时打滑,造成发热。对于内燃机驱动,为了避免起动时原动机转速过分下降,应采用离合器工作容量储备较小的离合器。

2.2.2 离合器的选用计算 (见表5.4-41)

表 5.4-41 计算转矩

类 型	计算公式
嵌合式离合器	$T_c = KT$
摩擦式离合器	$T_c = \frac{KT}{K_m K_v}$

注: T_c —离合器计算转矩,选用离合器时, T_c 小于等于离合器的额定转矩;

T —离合器的理论转矩,对于嵌合式离合器, T 为稳定运转中的最大工作转矩或原动机的公称转矩;对于摩擦式离合器,可取运转中的最大工作转矩或接合过程中工作转矩与惯性转矩之和作为理论转矩;

K —离合器工况系数,见表5.4-42,对于干式摩擦离合器可取较大值,对于湿式摩擦离合器可取较小值;

K_m —离合器接合频率系数,见表5.4-43;

K_v —离合器滑动速度系数,见表5.4-44。

表 5.4-42 离合器工况系数 (概略值) K

机械类别	K
金属切削机床	1.3~1.5
汽车、车辆	1.2~3
船舶	1.3~2.5
起重运输机械	
在最大载荷下接合	1.35~1.5
在空载下结合	1.25~1.35
活塞泵 (多缸)、通风机 (中等)、压力机	1.3
冶金矿山机械	1.8~3.2
曲柄式压力机械	1.1~1.3
拖拉机	1.5~3
轻纺机械	1.2~2
农业机械	2~3.5
挖掘机械	1.2~2.5
钻探机械	2~4
活塞泵 (单缸)、大型通风机、压缩机、木材加工机床	1.7

表 5.4-43 离合器接合频率系数 K_m

离合器每小时接合次数	≤ 100	120	180	240	300	≥ 350
K_m	1.00	0.96	0.84	0.72	0.60	0.50

表 5.4-44 离合器滑动速度系数 K_v

摩擦面平均圆周速度 $v_m/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1.0	1.5	2.0	2.5	3	4
K_v	1.35	1.19	1.08	1.00	0.94	0.86
摩擦面平均圆周速度 $v_m/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	5	6	8	10	13	15
K_v	0.80	0.75	0.68	0.63	0.59	0.55

注: $v_m = \frac{\pi D_m n}{60000}$; $D_m = \frac{D_1 + D_2}{2}$; D_1 、 D_2 —摩擦面的内、

外直径 (mm); n —离合器的转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)。

2.3 嵌合式离合器

5.4-45)

(2) 牙嵌离合器的材料与许用应力 (见表 5.4-

2.3.1 牙嵌离合器

46、表 5.4-47)

(1) 牙嵌离合器的牙型、特点与应用 (见表

(3) 牙嵌离合器的计算 (见表 5.4-48)

表 5.4-45 牙嵌离合器的牙型、特点与应用

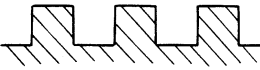
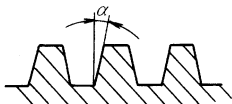
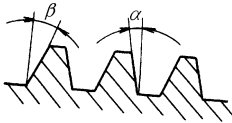
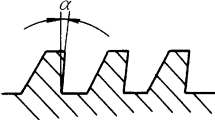
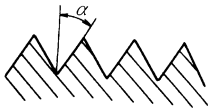
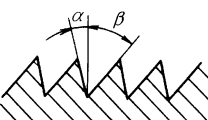
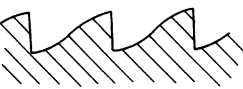
牙 型	结 构 特 点 与 应 用
矩形形式 $z=3 \sim 15$ 	制造容易,牙的强度高,传递转矩大,可正反转传动,但接合和分离都比较困难,动态接合时冲击较大,无自动脱开的轴向分力,只能在静止或相对转速差不大于 $10r \cdot \min^{-1}$ 的条件下接合,适宜于不经常离合的传动和手动调整机构。为了容易接合,可采用较大的牙侧间隙,或将牙端倒成较大的斜角或圆弧
正梯形牙 $\alpha=2^{\circ} \sim 8^{\circ} \quad z=3 \sim 15$  斜梯形牙 $\alpha=2^{\circ} \sim 8^{\circ} \quad \beta=50^{\circ} \sim 70^{\circ} \quad z=3 \sim 15$ 	牙的强度高,传递转矩大,结合时冲击比矩形牙小,并可消除牙侧间隙,分离时容易脱开,工作时轴向有分力,当工作面的倾斜角 $\alpha=2^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 时,产生的轴向分力不会自动脱开;当 $\alpha=15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 时,需加轴向压力防止轴向分力使牙自动退出,常用于电磁或液压操纵离合器,斜梯形牙适用于单向传动,可使牙的接合更加容易些
锯齿形牙 $\alpha=1^{\circ} \sim 1.5^{\circ} \quad z=3 \sim 15$ 	另一侧的牙型与斜梯型牙相同,传递转矩的能力与矩形牙相同,但只能传递单向的转矩,且宜于静止中接合,可用于不需经常进行离合的传动轴系
正三角形牙 $\alpha=30^{\circ}, 45^{\circ} \quad z=15 \sim 60$  斜三角形牙 $\alpha=2^{\circ} \sim 8^{\circ} \quad \beta=50^{\circ} \sim 70^{\circ} \quad z=15 \sim 60$ 	这种牙型的牙数较多,牙的接合容易,嵌入快,但牙的强度较弱,只有当牙数多并加大轴向压力时,才能传递较大的转矩,适宜于从动部分惯性较小,接合频率较高的传动。在有载荷或相对转速差较大时进行接合,容易损坏牙尖。采用不对称的斜三角形牙可增加牙的强度,但只适用于单向传动
螺旋形牙 $z=2 \sim 3$ 	牙的强度高,接合和脱开较容易,允许接合的转速差高于上述几种牙型,但牙的加工复杂。在弹簧压紧力作用下,牙型对称的可传递双向转矩,过载时会自动脱开;不对称牙型传递单向转矩,而反转时会自动脱开

表 5.4-46 牙嵌离合器的材料及应用范围

材料	热处理规范	应用范围
HT200 HT300	170 ~ 240HBW	低速、轻载牙嵌离合器的牙及齿轮离合器的齿轮
45	淬火 38 ~ 46HRC 高频感应加热淬火 48 ~ 55HRC	载荷不大、转速不高的离合器

(续)

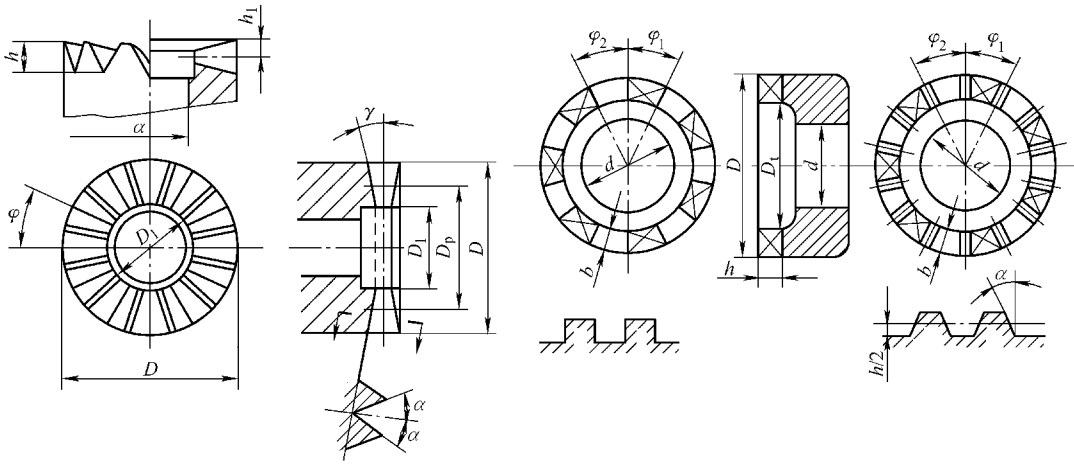
材料	热处理规范	应用范围
20Cr, 20MnV 20Mn2B	渗碳 0.5 ~ 1.0mm 淬火、回火 56 ~ 62HRC	中等尺寸的高速元件和中等压强的元件
40Cr, 45MnB	高频感应加热淬火、回火 48 ~ 58HRC	重载、压强高、冲击不大的牙嵌离合器的牙及齿轮、滑销
18CrMnTi, 12CrNi4A 12CrNi3	渗碳 0.8 ~ 1.2mm 淬火、回火 58 ~ 62HRC	高速冲击、大压强的牙嵌离合器的牙及齿轮
50CrNi, T7	淬火、回火 40 ~ 50HRC 淬火 52 ~ 57HRC	转键、滑销

表 5.4-47 牙嵌离合器的许用应力 (N · mm⁻²)

接合情况	静止时接合	运转中接合	
		低 速	高 速
许用挤压应力 σ_{pp}	88 ~ 117	49 ~ 68	34 ~ 44
许用弯曲应力 σ_{bp}	$\sigma_s/1.5$	$\sigma_s/5.9 \sim 4.5$	

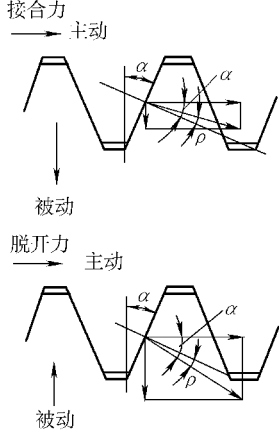
- 注: 1. 齿数多, 许用应力值取小值; 齿数少, 取大值。
2. 表中许用挤压应力适用于渗碳淬火钢, 硬度 56 ~ 62HRC。
3. 表中高、低速是指许用接合圆周速度差 (Δv)。低速 $\Delta v = 0.7 \sim 0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 高速 $\Delta v = 0.8 \sim 1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

表 5.4-48 牙嵌离合器的计算



计 算 项 目		公式及数据	单位	说 明
基本参数	牙齿外径	$D = (1.5 \sim 3) d$	mm	d —离合器轴径 (mm)
	牙齿内径	D_1 —根据结构确定, 通常 $D_1 = (0.7 \sim 0.75) D$		φ —牙的中心角 ($^\circ$), 三角形、梯形牙啮合
	牙齿平均直径	$D_p = \frac{D + D_1}{2}$		$\varphi = \varphi_1 = \varphi_2 = \frac{360^\circ}{z}$
	牙齿宽度	$b = \frac{D - D_1}{2}$		矩形牙啮合 $\varphi_1 = \frac{360^\circ}{2z} - (1^\circ \sim 2^\circ)$

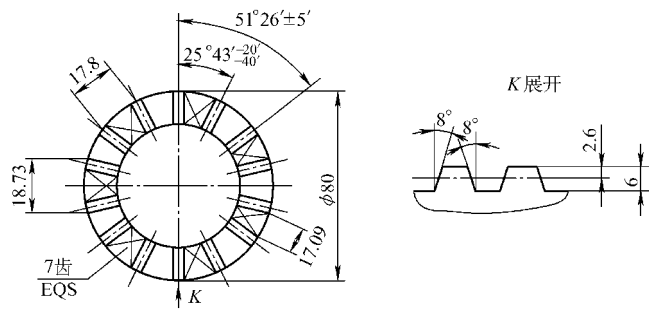
(续)

计 算 项 目		公式及数据	单位	说 明
基本参数	牙齿高度	$h = (0.6 \sim 1)b$		$\varphi_2 = \frac{360^\circ}{2z} + (1^\circ \sim 2^\circ)$
	齿顶高	h_1		z —牙数,常取 z 为奇数,以便于加工
	齿根高	h_2 应大于 h_1 0.5mm 左右		n_0 —接合前,两个半离合器的转速差 ($r \cdot \min^{-1}$)
	牙齿齿数	$z = \frac{60}{n_0 t}$ 或根据结构、强度确定		t —最大接合时间(s),一般 $t = 0.05 \sim 0.1s$
	牙齿工作面的倾斜角	$\alpha = 2^\circ \sim 8^\circ$ (梯形牙) $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ (三角形牙)	(°)	
	分度线上的齿宽	$l_m = D_p \sin \frac{\varphi_1}{2}$	mm	齿数多,制造精度低时, z' 取小值
	齿顶宽	$l_d = l_m - 2h_1 \tan \alpha$	mm	齿数多,制造精度高时, z' 取大值
	齿根宽	$l_g = l_m + 2h_2 \tan \alpha$	mm	
	计算牙数	$z' = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) z$		
强度校核	牙齿工作面的挤压应力	$\sigma_p = \frac{2T_c}{D_p z' A} \leq \sigma_{pp}$ 对三角形牙 $A = D_p b \tan \gamma$ 对矩形牙 $A = hb$	$N \cdot mm^{-2}$	T_c —计算转矩 ($N \cdot mm$), $T_c = KT$, 见表 5.4-41 A —牙的承压工作面积 (mm^2) σ_{pp}, σ_{bp} —牙齿许用挤压应力和许用弯曲应力 ($N \cdot mm^{-2}$), 见表 5.4-47
	牙齿根部的弯曲应力	$\sigma_b = \frac{6T_c h}{D_p z' b l_g^2} \leq \sigma_{bp}$	$N \cdot mm^{-2}$	淬硬钢的离合器 $z > 7$, 未经热处理的离合器 $z > 5$ 才进行弯曲强度校核
移动离合器所需的力		离合器的接合力 $S_h = \frac{2T_c}{D_p} \left[\mu' \frac{D_p}{d} + \tan(\alpha + \rho) \right]$ 离合器的脱开力 $S_k = \frac{2T_c}{D_p} \left[\mu \frac{D_p}{d} - \tan(\alpha - \rho) \right]$	N N	μ' —离合器与花键的摩擦因数,一般取 $\mu' = 0.15 \sim 0.20$ μ —离合器牙面间的摩擦因数,一般取 $\mu = 0.15 \sim 0.20$ ρ —牙上的摩擦角 $\rho = \arctan \mu$
使用条件	牙的自锁条件	$\tan \alpha \leq \mu + \mu' \frac{D_p}{d}$		Δv —许用接合圆周速度差 ($m \cdot s^{-1}$), 一般 $\Delta v < 0.8 m \cdot s^{-1}$
	接合时的许用转差	$\Delta n = \frac{60000}{\pi D_p} \Delta v$	$r \cdot \min^{-1}$	
	接合时间	$t = \frac{60}{\Delta n z}$	s	

注:离合器有弹簧压紧装置时,接合力与脱开力还应考虑弹簧作用力。本表仅考虑离合器在花键轴上的滑动、离合器的牙面之间相对滑动所需克服的摩擦力。

(4) 牙嵌离合器尺寸的标注示例(见图 5.4-9)

(5) 牙嵌离合器的结构尺寸(见表 5.4-49 ~ 表 5.4-52)

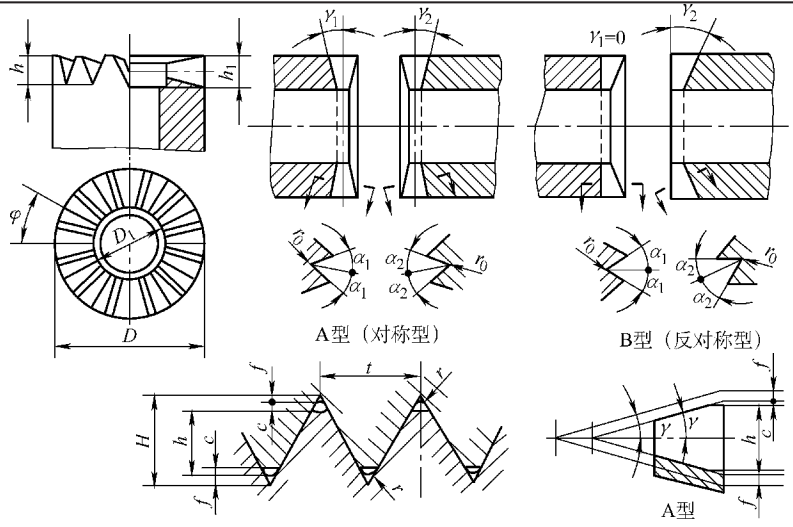


图中角度 $25^{\circ}43' \pm \frac{20'}{40'}$ 控制齿厚, $51^{\circ}26' \pm 5'$ 控制牙齿分布的均匀性, 弦长 17.09mm、17.8mm、18.73mm 提供加工者参考, 齿顶高小于齿根高, 保证齿顶与槽底有足够的轴向间隙, 以便消除侧隙

图 5.4-9 牙嵌离合器标注方法

表 5.4-49 正三角形牙型尺寸

(mm)



$r_0 = 0.2; 0.5; 0.8 \quad r = r_0 / \cos \gamma \approx r_0 \quad \alpha_1 = 30^{\circ} \quad c = 0.5r; f = r \quad \alpha_1 = 45^{\circ}$
 $c = 0.3r; f = 0.4r \quad h = H - (2f + c)$

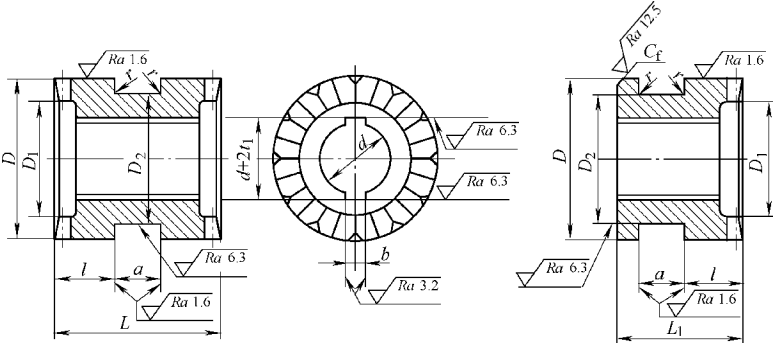
牙 型 角 $2\alpha=60^{\circ}$ $r=0.2$															
D	D_1	h_1	普 通 牙						细 牙						
			z/个	γ	t	H	h	许用转矩 /N·m	z/个	γ	t	H	h	许用转矩 /N·m	
32	22	5	24	$6^{\circ}31'$	4.19	3.62	3.07	45	48	$3^{\circ}15'$	2.09	1.81	1.26	36	
40	28				5.24	4.53	3.98	90			2.62	2.27	1.72	76	
45	32				5.89	5.10	4.55	120			2.94	2.55	2.00	108	
55	40		36	$4^{\circ}20'$	4.80	4.15	3.60	210	72	$2^{\circ}10'$	2.39	2.07	1.52	150	
60	45				5.24	4.53	3.98	250			2.62	2.27	1.72	190	
65	50	5.67			4.91	4.36	305	2.83			2.45	1.90	227		
75	55	8	48	$3^{\circ}15'$	4.91	4.25	3.70	520	96	$1^{\circ}37'$	2.45	2.12	1.57	377	
85	60				5.56	4.81	4.26	830			2.78	2.40	1.85	620	
90	65				5.89	5.10	4.55	950			2.95	2.55	2.00	720	
100	70				6.54	5.66	5.11	1400			3.27	2.83	2.28	1070	
110	80				7.20	6.23	4.68	1440			3.60	3.12	2.57	1350	
120	90				5.24	4.53	3.98	1350			2.62	2.27	1.72	1000	
125					5.45	4.72	4.17	2170			2.73	2.36	1.81	1570	
140	100				72	$2^{\circ}10'$	6.11	5.28			4.73	3140	144	$1^{\circ}05'$	3.05
145			6.33	5.47			4.92	3750	3.16	2.74	2.19	2790			
160	120		6.98	6.05			5.50	4260	3.49	3.03	2.48	3200			
180	140		7.85	6.80			6.25	5540	3.93	3.39	2.84	4200			
200	150		96	$1^{\circ}37'$	6.54	5.66	5.11	8250	192	$0^{\circ}50'$	3.27	2.83	2.28	6140	
220	170				7.20	6.23	5.68	10220			3.60	3.12	2.57	7710	
250	190				8.18	7.08	6.53	15900			4.09	3.54	2.99	12140	
280	220				9.16	7.93	7.38	20440			4.58	3.97	3.42	15780	

(续)

		牙 型 角 $2\alpha=90^\circ$							$r=0.2$					
D	D_1	h_1	普 通 牙						细 牙					
			$z/\text{个}$	γ	t	H	h	许用转矩 / $\text{N}\cdot\text{m}$	$z/\text{个}$	γ	t	H	h	许用转矩 / $\text{N}\cdot\text{m}$
32	22	5	24	$3^\circ45'$	4.19	2.10	1.81	26	48	$1^\circ52'$	2.10	1.05	0.76	20
40	28				5.24	2.62	2.33	50			2.62	1.31	1.02	45
45	32				5.89	2.95	2.66	72			2.95	1.48	1.19	60
55	40		36	$2^\circ30'$	4.80	2.40	2.11	120	72	$1^\circ15'$	2.40	1.20	0.91	90
60	45				5.24	2.62	2.33	150			2.62	1.31	1.02	110
65	50				5.67	2.84	2.55	180			2.84	1.42	1.13	135
75	55	8	48	$1^\circ52'$	4.91	2.46	2.17	305	96	$0^\circ57'$	2.46	1.23	0.94	225
85	60				5.56	2.78	2.49	480			2.78	1.39	1.10	370
90	65				5.89	2.95	2.66	560			2.95	1.48	1.19	430
100	70				6.54	3.27	2.98	820			3.27	1.64	1.35	640
110	80				7.20	3.60	3.31	1020			3.60	1.80	1.51	800
120	90				5.24	2.62	2.33	790			2.62	1.31	1.02	600
125			72	$1^\circ15'$	5.45	2.73	2.44	1270	2.73	1.37	1.08	940		
140	6.11				3.06	2.77	1840	3.06	1.53	1.24	1380			
145	100				6.33	3.17	2.88	2200	3.17	1.58	1.29	1640		
160					6.98	3.49	3.20	2480	3.49	1.75	1.46	1890		
180					7.85	3.93	3.64	3230	3.93	1.97	1.68	2480		
200	150				96	$0^\circ57'$	6.54	3.27	2.98	4820	192	$0^\circ28'$	3.27	1.64
220	170		7.20	3.60			3.31	5960	3.60	1.80			1.51	4530
250	190		8.18	4.09			3.80	9260	4.09	2.05			1.76	7150
280	220		9.16	4.58			4.29	11880	4.58	2.29			2.00	9230

注：1. 表中许用转矩值是按照低速时接合，由牙工作面压强条件确定的，对于静止状态接合，表值应乘以1.75。
2. D₁、h₁尺寸根据结构尺寸选择，表值仅供参考。

表 5.4-50 α=30°、45°三角形牙牙嵌离合器尺寸 (mm)



D	D_1	D_2	l	a	L	L_1	r	f	d H7	b H9	t_1 H12	许用转矩 /N·m
32	22	25	12	8	32	25	0.2	0.5	16	5	2.3	25
40	28	30	15	10	40	30	0.3		20	6	2.3	45
45	32	35	15	15	45	30			22			50
55	40	44	20		55	40			28	8	3.3	130
60	45	48	22	16	60	45		30	160			
65	50	55	23	18	64	50		32	10	180		
75	55	60	28		74	55		38		200		
85	60	65	32	20	84	65		42	12	450		
90	65	70	35		90	70		45	14	3.8	550	
100	70	80	40		100	80		50			730	

(续)

D	D_1	D_2	l	a	L	L_1	r	f	d H7	b H9	t_1 H12	许用转矩 /N·m
110	80	90	45	20	110	90	0.5	1.5	55	16	4.3	970
120	90	95	50		120	95			60	18	4.4	1300
125	90	100	50		125	100			65			1700
140	100	115	55	25	135	110			70	20	4.9	2200
145	120	125	60		145	115			75	20	4.9	2600
160	120	135	65		155	120			80	22	5.4	3000
180	140	145	70	30	170	130	2		90	25		4500
200	150	165	75		180	135			100	28	6.4	6100

- 注：1. 牙型结构尺寸见表 5.4-49。
2. 表中许用转矩为双键轴所能承受的转矩，牙的强度足够。
3. 半离合器材料：45、40Cr 或 20Cr，牙部硬度为 48~52HRC 或 58~62HRC。

表 5.4-51 矩形牙、正梯形牙的尺寸系列 (mm)

D	D_1	牙数 z	矩 形 牙				正 梯 形 牙				h	h_1	h_2	接合时要求同时接触牙数 z'
			$\varphi \pm 10'$	φ_1	(φ_2)	s	$\varphi \pm 5'$	$\varphi_1^{-20'}$ $-40'$	$(\varphi_2^{+40'})$ $+20'$	s				
40	28	5	72°	35°	37°	12.03	72°	36°	36°	12.36	5	6	2.1	3
50	35					15.04				15.45				
60	45					12.84				13.35				
70	50					14.98				13.57				
80	60					17.12				17.80				
90	65	7	51°26'	24°43'	26°43'	19.26	51°26'	25°43'	25°43'	20.03	6	8	2.6	4
100	75					21.40				22.25				
120	90					19.29				20.84				
140	100	9	40°	18°30'	21°30'	22.50	40°	20°	20°	24.31	8	10	3.6	5
160	120					20.01				22.77				
180	130					22.51				25.62				6
200	150					25.01				28.47				

表 5.4-52 矩形牙、梯形牙嵌离合器的尺寸系列 (mm)

--

(续)

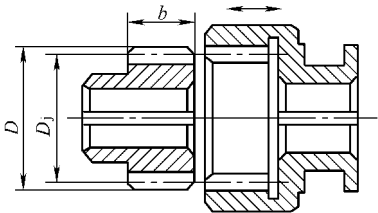
D	D ₁	牙数 z	D ₂	l	a	双向 L	单向 L ₁	r	f	双 键 孔			花 键 孔			许用 转矩 /N·m
										d H7	b H9	t H12	D _H H7	d _H b12	b _H D9	
40	28	5	30	15	10	40	30	0.5	0.5	20	6	2.3	20	17	6	77.1
50	35		38	20	12	50	38	0.8		25	8	3.2	25	21	5	120
60	45	7	48	22	16	60	45	1.0	1.0	32	10	3.3	32	28	7	246
70	50		54	28		70	50			35			30	10	375	
80	60		60	30	20	80	60	1.2		40	12	40	35		437	
90	65		70	35		90	70			45	14	45	40	12	605	
100	75	80	40	100		80	50	16	3.8	50	45	644				
120	90	9	100	50		25	120	100	1.5	1.5	60	18	4.4	60	54	14
140	100		115	55	140		110	70			20	4.9	70	62	16	2580
160	120	11	135	65	160		120	80			22	5.4	80	70	20	3630
180	130		150	75	180		130	90			25		90	80		5020
200	150		160	85	200	140	100	28	6.4	5670						

- 注：1. 牙型结构尺寸见表 5.4-51。
2. 表中许用转矩是按低速运转时接合，按牙工作面压强条件计算得出的值，对于静止接合，许用转矩值可乘以 1.75 倍。
3. 半离合器材料 45 或 20Cr，硬度为 48~52HRC 或 58~62HRC。

2.3.2 齿式离合器

(1) 齿式离合器的计算（见表 5.4-53）

表 5.4-53 齿式离合器的计算公式



计算项目	计算公式	说 明
齿轮的分度圆直径	$D_j = mz$	z —齿数 m —模数 (mm)
内齿轮宽度	$b = (0.1 \sim 0.2) D_j$	ε —载荷不均匀系数, $\varepsilon = 0.7 \sim 0.8$ p_p —齿面许用压强 (MPa)
齿面压强	$p = \frac{2T_c}{1.5D_j z b m \varepsilon} \leq p_p$	未经热处理 $p_p = 25 \sim 40$ MPa 调质、淬火 $p_p = 47 \sim 70$ MPa 齿式离合器的材料与齿轮相同

(2) 齿式离合器的防脱与接合的结构设计

为了使离合器接合容易，进入接合侧的齿的顶端要加工出很大的倒角（10°~15°）。此外，有的离

合器将被连接的那个半离合器的齿设计成每隔一齿（或几个齿）齿长缩短一半。还有的离合器另一半的内齿每隔一齿取消一个齿。接合过程如图 5.4-10 所

示。第一步，离合器 2 的齿（带阴影的齿）进入 1 的长齿之间的宽间隔中，离合器 1 和 2 的齿侧面互相冲击，使它们的速度相等。第二步，移动离合器，使齿完全衔接。

齿式离合器在载荷运转过程中往往会因附加的轴向分力推动离合器向相反的方向滑移，最后完全脱开。为了避免这种脱离，在结构设计时要采取以下措施：

1) 在外齿轮的前端加工出一个槽，如图 5.4-11a 所示，齿长被分为两部分，将后面部分齿的厚度减薄，减薄量一侧为 0.2 ~ 0.5mm。内齿的齿长小于外齿的齿长，离合器受转矩之后，因外齿两种齿厚形成一个小台阶，被内齿端面卡住，不会因轴向力而滑脱。

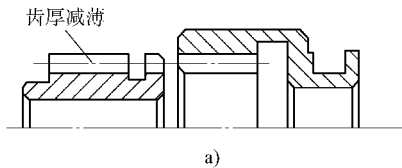


图 5.4-11 齿式离合器的防脱结构

a) 轮齿减薄 b) 外齿加工成锥度

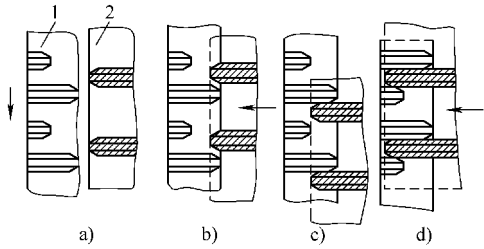
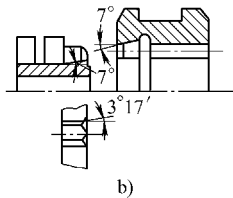


图 5.4-10 齿式离合器接合过程简图

2) 将外齿轮的齿加工出一个锥度，成为外大内小的形状，如图 5.4-11b 所示，使离合器接合之后，外齿受一个阻止滑脱的轴向力。半锥角约为 3°。



2.4 摩擦离合器

摩擦离合器的种类很多，如圆盘式、圆锥式、单片式、多片式、干式、湿式摩擦离合器等。

表 5.4-54、表 5.4-55 和表 5.4-56 分别列出干式

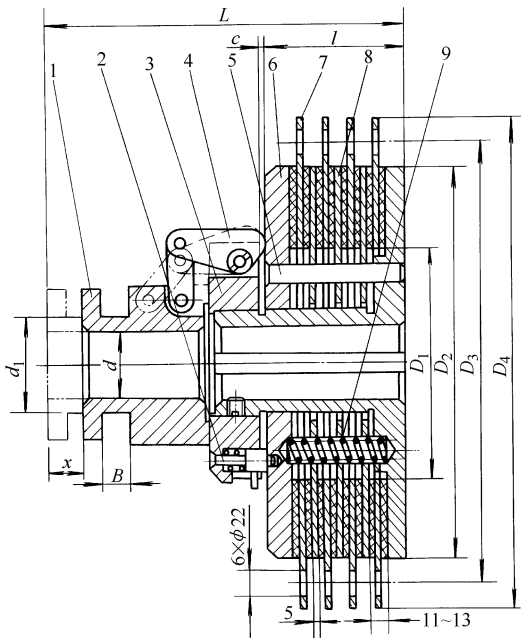
多片摩擦离合器、径向杠杆多片摩擦离合器和双锥摩擦离合器的主要尺寸和特性参数。

2.4.1 圆盘摩擦片离合器

(1) 干式多片摩擦离合器（见表 5.4-54）

(2) 径向杠杆多片摩擦离合器（见表 5.4-55）

表 5.4-54 干式多片摩擦离合器的主要尺寸和特性参数 (mm)



1—接合子 2—防松拨销 3—调整螺母
4—铰链杠杆 5—导销 6—压紧盘
7—外片 8—内片 9—分离弹簧

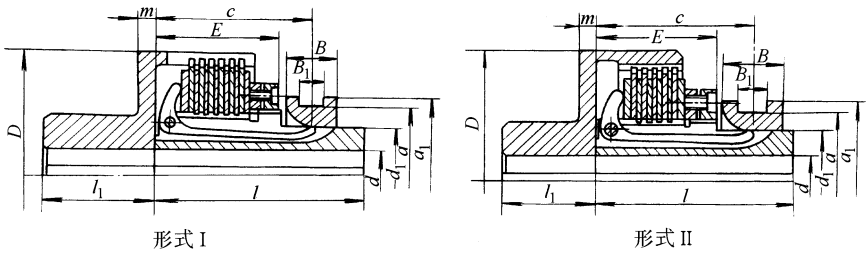
(续)

D_1	D_2	D_3	D_4	d H7	d_1	B	L	l	x	c	$[T]$ /N·m	$Q_{\max}$ /N
146	229	260	295	45	80	20	$136 + l$	根据摩擦片 数确定	20	1.5	106	400
164	280	315	350	55	105	20	$157 + l$		28	2.0	207	700
235	365	400	435	70	125	20	$178 + l$		35	2.5	425	1200

注：1. 许用转矩 $[T]$ 值为外摩擦片 4 片时的值，片数减少时， $[T]$ 值相应地减小（设 $[p] = 0.25\text{MPa}$ ， $\mu = 0.3$ ）。

2. $Q_{\max}$ 为按 $\mu = 0.2$ 换算到接合机构上的压紧力。

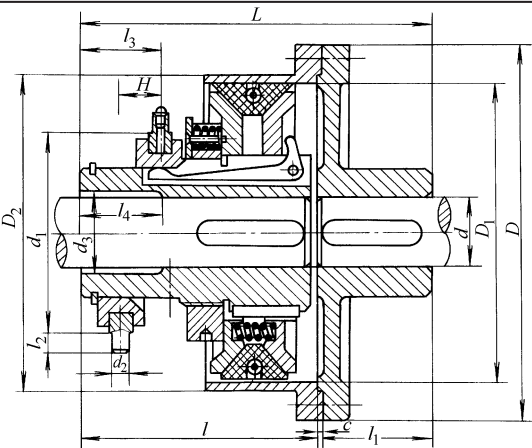
表 5.4-55 径向杠杆式多片摩擦离合器的尺寸系列



转 矩 /N·m		形 式 I								形 式 II		
		20	40	80	160	200	320	450	640	900	1400	2300
轴径 $d_{\max}$ /mm		15	22	32	45	45	48	60	68	70	80	100
尺寸/mm	D	70	90	100	125	135	150	170	195	210	260	315
	d_1	35	50	60	72	72	72	102	102	102	120	153
	a	45	60	70	85	85	85	120	120	120	145	175
	a_1	55	75	85	100	100	100	140	140	140	170	205
	l	56	83	83	98	98	108	148	148	175	205	230
	l_1	25	35	35	50	50	50	70	70	80	80	90
	c	37	60	60	70	70	76	103	103	125	148	160
	E	28	46	46	52.5	52.5	58	77.5	76	94	111	119
	m	4	6	6	10	10	10	13	13	15	15	20
	B	18	24	24	32	32	32	50	50	50	55	70
	B_1	10	10	10	15	15	15	26	26	26	26	30
摩擦面对数 z		6	10	10	10	8	10	10	8	10	6	6
摩擦面直径/mm	外径	54	67	78	98	108	123	141	162	178	225	270
	内径	34	50	60	72	78	84	102	118	132	155	189
接合力/N		100	120	180	250	250	300	300	350	400	700	900
压紧力/N		1260	1430	1940	3250	9000	6250	6900	10400	10800	20500	27600

2.4.2 圆锥摩擦离合器 (见表 5.4-56)

表 5.4-56 圆锥摩擦离合器的主要尺寸和特性参数 (mm)

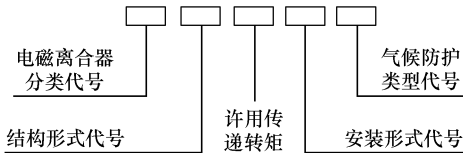


许用转矩 /N · m	许用转速 /r · min ⁻¹	<i>l</i>	<i>l</i> ₁	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>d</i> ₂	<i>l</i> ₃	<i>d</i> ₃	<i>l</i> ₄	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>L</i>	质量 /kg
71.6	4000	90	29	1	20	80	8	11	22	22	25	12	125	90	100	120	3.2
145	3200	101	33	1	25	90	10	12	27	26	29	15	152	115	125	135	6.5
215	2550	136	45	2	20 ~ 35	110	15	17	45	37	48	30	195	148	160	183	13
358	2120	153	60	3	30 ~ 55	140	17	17	50	57	50	33	235	185	200	216	22
573	1710	176	75	4	45 ~ 65	170	18	18	60	67	58	39	290	234	250	255	37
1150	1360	216	90	4	60 ~ 80	200	25	22	64	82	70	43	365	295	315	310	65
1790	1225	256	120	5	70 ~ 100	250	30	25	80	102	85	55	410	335	355	390	105
3580	1080	315	150	5	90 ~ 120	300	30	28	90	122	100	61	450	376	400	470	190
7160	855	389	170	6	110 ~ 140	360	30	35	114	142	125	70	580	472	500	565	320
14320	700	470	210	6	130 ~ 170	420	30	35	100	172	125	65	710	594	630	688	670

2.5 电磁离合器

电磁离合器是利用励磁线圈电流产生的电磁力来操纵接合元件,使离合器接合或脱开。其优点为起动力矩大,离合迅速,结构简单,安装维修方便,使用寿命长,还可实现集中控制和远距离操纵。缺点是有剩磁,影响主、从动摩擦片分离的彻底性,对相邻件有磁化,吸引铁屑,影响传动系统的精度和工作寿命。电磁离合器一般用于环境温度 -20 ~ 50℃,湿度小于 85%,无爆炸危险的介质中,其线圈电压波动不超过额定电压的 ±5%。

电磁离合器的分类、结构形式、许用传递转矩及安装和使用条件用一组字母和数字表示,其表示方法和含义如下:



电磁离合器分类代号以汉语拼音字母表示,如:
DLM——摩擦片式电磁离合器;

DLY——牙嵌式电磁离合器。

结构形式代号用数字表示,如:

DLM0——摩擦片在磁路内式有滑环湿式多片普通电磁离合器;

DLM2——摩擦片在磁路外式有滑环干、湿两用快速电磁离合器;

DLM3——摩擦片在磁路内式无滑环湿式多片电磁离合器;

DLM4——摩擦片在磁路外式无滑环干式快速多片电磁离合器;

DLM5——摩擦片在磁路内式有滑环湿式多片电磁离合器。

许用转矩以数字表示,单位为 N · m。

安装形式以字母 (或无字母) 表示,如:

A——内片联接件内孔为光孔或单键孔;不带字母者,内孔为花键孔。

气候防护类型代号以字母表示,如:

TH——湿热带型;

TH/H——海洋性湿热带型;无代号为普通型。

例 DLM2-100A TH——湿热带型有滑环干式

多片电磁离合器,许用转矩 1000N · m 离合器内片连接件为单键孔。

能参数和主要尺寸。

2.5.1 DLY0 系列牙嵌式电磁离合器 (见表 5.4-57)

表 5.4-57 ~ 表 5.4-64 为常用的电磁离合器的性能

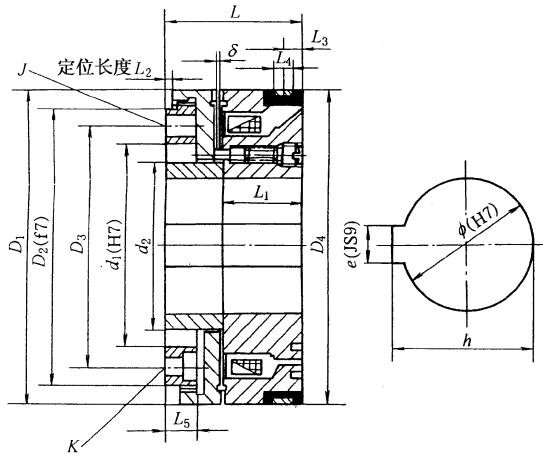
2.5.2 DLY5 系列牙嵌式电磁离合器 (见表 5.4-58)

表 5.4-57 DLY0 系列牙嵌式电磁离合器的性能参数和主要尺寸

规 格		1.2/1.2A	2.5/2.5A	5/5A	10/10A	16/16A	25/25A	40/40A
额定传递转矩/N · m		12	25	50	100	160	250	400
额定工作电压(DC)/V		24	24	24	24	24	24	24
线圈消耗功率/W		8	8	16	21	24	32	35
允许最高接合转速/r·min ⁻¹		80	65	50	35	25	20	15
允许最高转速/r·min ⁻¹		5500	5000	4500	4000	3500	3300	3000
质量/kg		0.57	0.83	1.42	1.6	2.1	3.2	5.3
径向尺寸 /mm	D ₁	61	73	87	94	104	125	140
	D ₂	30	35	45	45	60	75	80
	D ₃	27.5	34	41	50	55	70	75
	D	20 ^{+0.019 0}	25 ^{+0.023 0}	28 ^{+0.023 0}	40 ^{+0.027 0}	45 ^{+0.027 0}	50 ^{+0.027 0}	60 ^{+0.03 0}
	d	17 ^{+0.12 0}	22 ^{+0.14 0}	24 ^{+0.14 0}	35 ^{+0.17 0}	40 ^{+0.17 0}	45 ^{+0.17 0}	54 ^{+0.2 0}
	φ	18	25	28	40	45	50	60
	h	19.9 ^{+0.14 0}	27.6 ^{+0.17 0}	30.6 ^{+0.17 0}	42.9 ^{+0.17 0}	47.9 ^{+0.17 0}	53.8 ^{+0.2 0}	64 ^{+0.2 0}
	e	5	8	8	12	12	14	18
	B	6 ^{+0.065 +0.025}	6 ^{+0.065 +0.025}	6 ^{+0.065 +0.025}	10 ^{+0.085 +0.035}	12 ^{+0.105 +0.045}	12 ^{+0.105 +0.045}	14 ^{+0.105 +0.045}
	C	3 × M4 深 8	3 × M4 深 8	3 × M4 深 8	3 × M4 深 10	3 × M5 深 10	3 × M5 深 10	3 × M6 深 10
轴向 尺寸 /mm	L	36	36	44	45	50	52.5	62
	L ₁	19.2	19.2	24.2	25.2	29.2	31	35
	L ₂	7	8	8	8	8	9	10
	L ₃	3	3	5	5	5	4	3
	L ₄	6	6	8	8	8	9	10
	δ	0.2	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.8
推荐电刷号		DS-002					DS-001	

- 注:1. 规格中有 A 的为单键孔,无 A 的为花键孔。
2. 离合器可同轴安装,也可分轴安装,其同轴度公差为 0.04 ~ 0.06mm。
3. 离合器主、从动侧均不得有轴向窜动。
4. 安装时,端面牙间间隙应保持表中规定值。
5. 生产厂:天津机床电器有限公司。

表 5.4-58 DLY5 系列牙嵌式电磁离合器的性能参数和主要尺寸



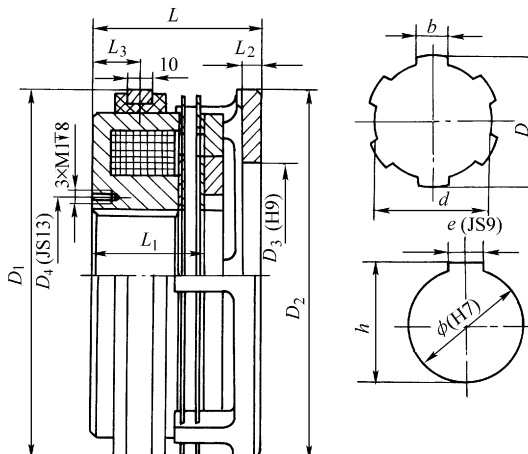
规格	额定转矩 /N·m		额定电压(DC) /V						线圈消耗功率 (20℃)/W			允许最高接合转速 /r·min ⁻¹			允许最高转速 /r·min ⁻¹			质量 /kg	
2A	20		24						17			60			5500			0.9	
5A	50		24						22			50			4500			1.5	
10A	100		24						28			30			4000			2.3	
16A	160		24						32			30			3500			3.0	
25A	250		24						44			20			3300			4.3	
40A	400		24						58			10			3000			6.2	
63A	630		24						60			相对静止			2500			8.9	
100A	1000		24						73			相对静止			2200			14.0	
160A	1600		24						87			相对静止			2000			20.0	
250A	2500		24						85			相对静止			1700			34.0	
规格	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	d ₁	d ₂	φ	h	e	J	K	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	δ	电刷型号
	mm																		
2A	75	65	55	75	45	39.5	25	27.6 ^{+0.14} ₀	8	2×4	4-M4	33	18.6	1.5	6.5	8	8	0.4	湿式使用 DS-005
5A	90	75	64	90	53	49	30	32.6 ^{+0.17} ₀	8	2×5	4-M5	40	24.1	2	6.5	8	9	0.5	
10A	105	85	75	105	65	57	40	42.9 ^{+0.17} ₀	12	2×5	4-M5	45	26.6	2	6.5	8	10.5	0.5	
16A	115	100	85	115	70	62	45	43.8 ^{+0.17} ₀	14	2×6	4-M6	50	29.6	2	6.5	8	12.5	0.5	
25A	125	105	90	125	75	68	50	53.6 ^{+0.2} ₀	16	2×8	4-M6	58	33.9	2.5	6.5	8	15.5	0.6	
40A	140	115	100	140	85	74	60	64 ^{+0.2} ₀	18	2×10	6-M6	67	40	2.5	7.5	10	17	0.6	干式使用 DS-006
63A	160	130	115	160	95	85	70	74.3 ^{+0.2} ₀	20	2×10	6-M8	75	42	3	7.5	10	19.5	0.7	
100A	185	155	135	182	115	97	70	74.3 ^{+0.2} ₀	20	2×12	6-M8	85	49	3	7.5	10	21	0.7	
160A	215	180	158	215	130	114	85	95.8 ^{+0.4} ₀	22	2×12	6-M10	100	58	3.5	8.5	10	25.5	0.9	DS-010
250A	250	210	190	250	150	130	85	95.8 ^{+0.4} ₀	22	2×12	6-M12	115	66	3.5	8.5	10	26	0.9	

注:1. 离合器可水平安装,也可垂直安装。

2. 同表 5.4-57 的注。

2.5.3 DLM0 系列有滑环湿式多片电磁离合器(见表 5.4-59)

表 5.4-59 DLM0 系列有滑环湿式多片电磁离合器的性能参数和主要尺寸

														
规格	额定动 转矩 /N·m	额定静 转矩 /N·m	空载转矩 /N·m ≤	接通时间 /s ≤	断开时间 /s ≤	额定电压 (DC)/V	线圈消耗 功率(20℃) /W	允许最高 转速 /r·min ⁻¹	质量 /kg	供油量 /L·min ⁻¹	电刷 型号			
2.5	12	25	0.4	0.28	0.10	24	13	3500	1.78	0.25	DS-0.01			
6.3	50	100	1	0.32	0.10	24	19	3000	2.8	0.40				
16	100	200	2	0.35	0.15	24	23	3000	4.66	0.65				
40	250	500	5	0.40	0.20	24	51	2000	9.0	1.00				
规格	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D	d	b	L	L ₁	L ₂	L ₃	衔铁行程	e	h
mm														
2.5	94	92	50	42	30 ^{+0.023 0}	26 ^{+0.28 0}	8 ^{+0.085 +0.035}	56	46.6	5	18.5	2.2	8	32.3 ^{+0.1 0}
6.3	116	113	65	52	40 ^{+0.027 0}	35 ^{+0.34 0}	10 ^{+0.085 +0.035}	60	48.2	5	18.5	2.8	12	42.3 ^{+0.1 0}
16	142	142	85	60	50 ^{+0.027 0}	45 ^{+0.34 0}	12 ^{+0.105 +0.045}	65	49.2	7.5	18.5	3.5	14	52.4 ^{+0.2 0}
40	176	178	105	86	65 ^{+0.03 0}	58 ^{+0.4 0}	16 ^{+0.105 +0.045}	80	62	10	22	4	18	69.4 ^{+0.2 0}

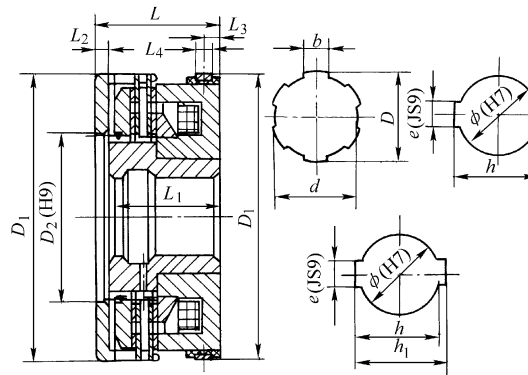
注:1. 离合器摩擦片需在油中工作,供油方式为外浇油或油浴式,但浸入油中部分深度为离合器外径的 1/5 ~ 1/4。高速或频繁动作时,宜采用轴心供油。供油量见表中。

2. 离合器可同轴或分轴安装,分轴安装的同轴度为 9 级,安装好后,主从动部分都应轴向固定,不得有窜动。

3. 生产厂:天津机床电器有限公司。

2.5.4 DLM5 系列有滑环湿式多片电磁离合器(见表 5.4-60)

表 5.4-60 DLM5 系列有滑环湿式多片电磁离合器的性能参数和主要尺寸

														
规格	额定动 转矩 /N·m	额定静 转矩 /N·m	空载转矩 /N·m ≤	接通时间 /s ≤	断开时间 /s ≤	额定电压 (DC)/V	线圈消耗 功率(20℃) /W	允许最高 转速 /r·min ⁻¹	质量 /kg	供油量 /L·min ⁻¹	电刷 型号			
2.5	12	25	0.4	0.28	0.10	24	13	3500	1.78	0.25	DS-0.01			
6.3	50	100	1	0.32	0.10	24	19	3000	2.8	0.40				
16	100	200	2	0.35	0.15	24	23	3000	4.66	0.65				
40	250	500	5	0.40	0.20	24	51	2000	9.0	1.00				
规格	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D	d	b	L	L ₁	L ₂	L ₃	衔铁行程	e	h
mm														
2.5	94	92	50	42	30 ^{+0.023 0}	26 ^{+0.28 0}	8 ^{+0.085 +0.035}	56	46.6	5	18.5	2.2	8	32.3 ^{+0.1 0}
6.3	116	113	65	52	40 ^{+0.027 0}	35 ^{+0.34 0}	10 ^{+0.085 +0.035}	60	48.2	5	18.5	2.8	12	42.3 ^{+0.1 0}
16	142	142	85	60	50 ^{+0.027 0}	45 ^{+0.34 0}	12 ^{+0.105 +0.045}	65	49.2	7.5	18.5	3.5	14	52.4 ^{+0.2 0}
40	176	178	105	86	65 ^{+0.03 0}	58 ^{+0.4 0}	16 ^{+0.105 +0.045}	80	62	10	22	4	18	69.4 ^{+0.2 0}

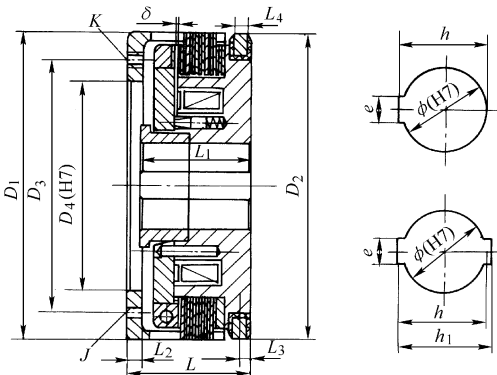
(续)

规格	额定动 转矩 /N·m	额定静 转矩 /N·m	空载 转矩 /N·m	接通时间 /s ≤	断开时间 /s ≤	额定电压 (DC)/V	线圈消耗 功率(20℃) /W	允许最高 转速 /r·min ⁻¹	质量 /kg	供油量 /L·min ⁻¹											
1.2/1.2C	12	20	0.39	0.28	0.09	24	10	3500	1.3	0.20											
2.5	25	40	0.40	0.30	0.09	24	17	3500	1.73	0.25											
5/5C	50	80	0.90	0.32	0.10	24	17	3000	2.9	0.40											
10/10C	100	160	1.80	0.35	0.14	24	19	3000	4.3	0.65											
16	160	250	2.40	0.37	0.14	24	26	2500	5.8	0.65											
25/25C	250	400	3.50	0.40	0.18	24	39	2200	7.7	1.00											
40	400	630	5.60	0.42	0.20	24	45	2000	12.2	1.00											
63	630	1000	9.00	0.45	0.25	24	66	1800	16.2	1.2											
100	1000	1600	15.0	0.65	0.35	24	81	1600	23.2	1.2											
160	1600	2500	24.0	0.90	0.45	24	87	1600	31.7	1.5											
250	2500	4000	37.5	1.20	0.60	24	100	1200	47.1	2.0											
400	4000	6300	60.0	1.50	0.80	24	134	1000	100.9	3.0											
规格	D ₁	D ₂	D ₃	D		d		b		φ	e	h		h ₁		L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	电刷 型号
	mm																				
1.2	86	50	86	20 ^{+0.023 0}		17 ^{+0.12 0}		6 ^{+0.065 +0.025}		20	6	22.8 ^{+0.1 0}				43.5	38	5.5	5	7	DS-002
2.5	96	56	96	25 ^{+0.023 0}		21 ^{+0.14 0}		6 ^{+0.065 +0.025}		25	8	28.3 ^{+0.2 0}				48.5	43	5.5	7	7	
5	113	65	113	30 ^{+0.023 0}		26 ^{+0.14 0}		6 ^{+0.065 +0.025}		30	8	33.3 ^{+0.2 0}				55.5	50	5.5	7	8	
10	133	75	133	40 ^{+0.027 0}		35 ^{+0.17 0}		10 ^{+0.085 +0.035}		40	12	43.3 ^{+0.2 0}				61	54.5	6.5	8	10	DS-001
16	145	85	145	45 ^{+0.027 0}		40 ^{+0.17 0}		12 ^{+0.105 +0.045}		45	14	48.8 ^{+0.2 0}				63.5	57	6.5	8	10	
25	166	95	166	50 ^{+0.027 0}		45 ^{+0.17 0}		12 ^{+0.105 +0.045}		50	14	53.8 ^{+0.2 0}				72	64.5	7.5	10	10	
40	192	120	192	60 ^{+0.03 0}		54 ^{+0.2 0}		14 ^{+0.105 +0.045}		60	18	64.4 ^{+0.2 0}				82.5	74.5	8	10	10	
63	212	125	212	70 ^{+0.03 0}		62 ^{+0.2 0}		16 ^{+0.105 +0.045}		70	20	74.9 ^{+0.2 0}				91.5	82	9.5	12	10	
100	235	150	235							70	20	74.9 ^{+0.2 0}				105	96	10	15	10	
160	270	180	270							100	28	106.4 ^{+0.2 0}				118	104	14	15	10	
250	310	220	310							110	28	116.4 ^{+0.2 0}		122.8 ^{+0.4 0}		130	116	14	10	12	
400	415	235	415							120	32	127.4 ^{+0.2 0}		134.8 ^{+0.4 0}		150	132	18	10	12	
1.2C	94	50	86	30 ^{+0.023 0}		26 ^{+0.14 0}		8 ^{+0.085 +0.035}								56	50.5	5.5	19	10	
5C	116	65	113	40 ^{+0.027 0}		35 ^{+0.17 0}		10 ^{+0.085 +0.035}								59.5	54	5.5	19	10	
10C	142	85	133	50 ^{+0.027 0}		45 ^{+0.17 0}		12 ^{+0.105 +0.045}								64.5	58	6.5	19	10	
25C	176	105	160	65 ^{+0.03 0}		58 ^{+0.2 0}		16 ^{+0.105 +0.045}								81	73.5	7.5	21	10	

注:1. 带有“C”字的为 DLM5 系列的派生产品,其外形和安装尺寸基本上与 DLM0 系列相同,可作为 DLM0 系列的替代品。
2. 同表 5.4-59 的注。

2.5.5 DLM10(EKE)系列有滑环湿(干)式多片电磁离合器(见表 5.4-61)

表 5.4-61 DLM10(EKE)系列有滑环湿(干)式多片电磁离合器的性能参数和主要尺寸

															
规格	额定动 转矩 /N·m	额定静 转矩 /N·m	空载 转矩 /N·m	接通时间 /s ≤	断开时间 /s ≤	额定 电压 (DC) /V	线圈消 耗功率 (20℃) /W	允许最高 转速 /r·min ⁻¹	质量 /kg	电刷 型号					
1A/1AG	12.5	20/14	0.088/0.05	0.14/0.11	0.03/0.025	24	26	3000	2	湿式 采用DS- 005、干 式采用 DS-006					
2A/2AG	25	40/27.5	0.175/0.10	0.18/0.16	0.032/0.028		27	3000	2.6						
4A/4AG	40	63/44	0.280/0.16	0.20/0.18	0.04/0.03		33	3000	3.2						
6A/6AG	63	100/70	0.350/0.26	0.25/0.20	0.45/0.04		43	3000	4						
10A/10AG	100	160/110	0.500/0.35	0.28/0.25	0.06/0.045		43	3000	5.5						
16A/16AG	160	250/175	1.00/0.56	0.30/0.28	0.08/0.06		47	2500	7.8						
25A/25AG	250	400/280	1.50/0.88	0.35/0.30	0.11/0.08		55	2200	11						
40A/40AG	400	630/440	2.50/1.40	0.40/0.35	0.12/0.11		62	2000	15						
63A/63AG	630	1000/700	4.00/2.20	0.50/0.40	0.15/0.12		70	1750	21						
100A/100AG	1000	1600/1100	6.00/3.00	0.60/0.50	0.18/0.15		79	1600	32						
160A/160AG	1600	2500/1750	10/5.5	0.90/0.70	0.22/0.18		93	1350	50						
250A/250AG	2500	4000/2750	15/8.6	1.15/0.90	0.28/0.25		110	1200	77						
400A/400AG	4000	6300/4400	24/14	1.30/1.20	0.35/0.30		123	1000	122						
规格	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	φ	e	h	J	K	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	δ
	mm														
1A/1AG	100	100	85	50	18	5 ^{+0.025 0}	19.9 ^{+0.14 0}	2×φ6	4×M6	45	42	5	5.5	8	0.30
2A/2AG	110	110	90	55	20	6 ^{+0.025 0}	22.3 ^{+0.14 0}	2×φ6	4×M6	48	45	5	5.5	8	0.30
4A/4AG	120	120	100	60	25	8 ^{+0.03 0}	27.6 ^{+0.14 0}	3×φ6	6×M6	52	48	6	5.5	8	0.30
6A/6AG	132	132	105	65	30	8 ^{+0.03 0}	32.6 ^{+0.17 0}	3×φ6	6×M8	55	50	7	5.5	8	0.30
10A/10AG	147	145	120	75	40	12 ^{+0.035 0}	42.9 ^{+0.17 0}	3×φ8	6×M8	58	53	7	5.5	8	0.35
16A/16AG	162	160	135	85	45	14 ^{+0.035 0}	48.3 ^{+0.17 0}	3×φ8	6×M8	62	57	7	5.5	8	0.40
25A/25AG	182	180	155	95	50	16 ^{+0.035 0}	53.6 ^{+0.2 0}	3×φ10	6×M10	68	63	8	6	8	0.45
40A/40AG	202	200	170	120	60	18 ^{+0.035 0}	64 ^{+0.2 0}	3×φ10	6×M10	76	70	9	6.25	8	0.50
63A/63AG	235	230	200	125	70	20 ^{+0.045 0}	74.3 ^{+0.2 0}	3×φ14	6×M12	86	80	10	6.25	8	0.60
100A/100AG	270	255	235	150	70	20 ^{+0.045 0}	74.3 ^{+0.2 0}	3×φ14	6×M16	100	92	12	8.5	10	0.70

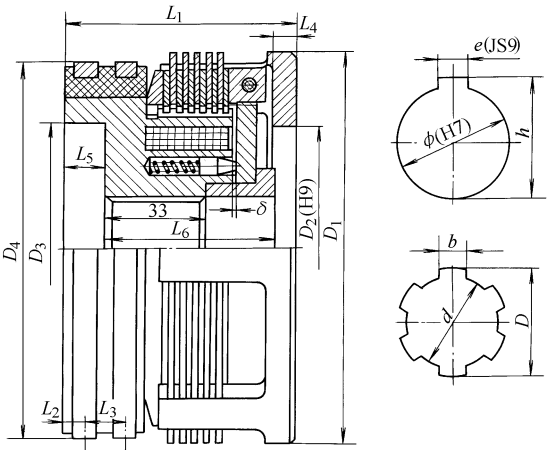
(续)

规格	D_1	D_2	D_3	D_4	ϕ	e	h	J	K	L	L_1	L_2	L_3	L_4	δ
	mm														
160A/160AG	310	295	260	180	75	20 ± 0.026	$81.1^{+0.2}_0$	$3 \times \phi 16$	$6 \times M16$	115	107	14	8	10	0.80
250A/250AG	360	340	305	200	100	28 ± 0.026	$106.4^{+0.2}_0$	$4 \times \phi 16$	$8 \times M16$	132	122	15	8.5	10	0.90
400A/400AG	420	395	350	235	120	$32^{+0.05}_0$	$126.7^{+0.2}_0$	$4 \times \phi 20$	$8 \times M16$	150	138	17	8.5	10	1

- 注:1. D_3 、 J 、 K 为用户连接用尺寸,由用户自行加工,本表数据仅供参考。
2. 250A/250AG、400A/400AG 为双键孔、位置 180° , h_1 为 $112.8^{+0.2}_0$ mm, $133.4^{+0.52}_0$ mm。
3. G 为干式多片电磁离合器。
4. 同表 5.4-59 的注。

2.5.6 DLM2 系列有滑环干式多片电磁离合器(见表 5.4-62)

表 5.4-62 DLM2 系列有滑环干式多片电磁离合器的性能参数和主要尺寸

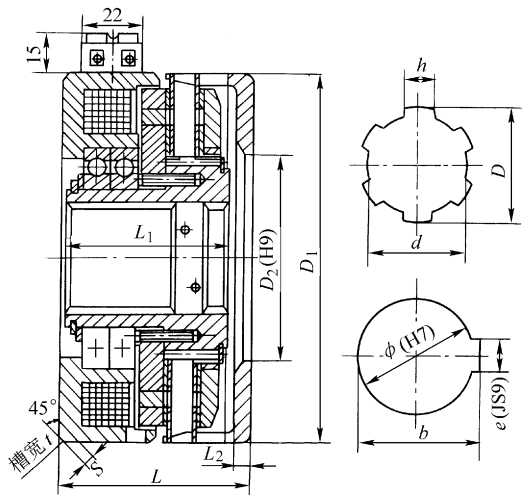


规 格		DLM2-10	DLM2-16	DLM2-40	规 格		DLM2-10	DLM2-16	DLM2-40
额定动转矩/N·m		100	160	400	径向 尺寸 /mm	D	$35^{+0.027}_0$	$45^{+0.027}_0$	$60^{+0.03}_0$
额定静转矩/N·m		110	175	440		d	$30^{+0.14}_0$	$40^{+0.17}_0$	$54^{+0.2}_0$
空载转矩/N·m ≤		1.0	1.6	4.0		b	$10^{+0.085}_{+0.035}$	$12^{+0.105}_{+0.045}$	$14^{+0.105}_{+0.045}$
接通时间/s ≤		0.25	0.28	0.35		ϕ	35	45	60
断开时间/s ≤		0.05	0.06	0.12		e	10	14	18
额定工作电压(DC)/V		24	24	24		h	$37.8^{+0.1}_0$	$47.8^{+0.1}_0$	$63.3^{+0.2}_0$
线圈功率(20℃)/W		36	42	43	轴向 尺寸 /mm	L_1	77	79	98
允许最高转速/r·min ⁻¹		2500	2000	1500		L_2	7	7	7
质量/kg		4.8	6.2	13.5		L_3	13	13	15
径向尺寸 /mm	D_1	122	148	198		L_4	8	8	8
	D_2	80	85	110		L_5	14	16	25
	D_3	80	91	140		L_6	57	58	68
	D_4	122	134	190		δ (通电)	0.25 ± 0.05	0.30 ± 0.05	0.40 ± 0.05
					电刷型号	DS-003			

- 注:1. 离合器可分轴安装,但要保持同轴度误差为 0.1mm。
2. 安装后,轴向应固定,主、从动侧均不得有轴向窜动。
3. 安装后,应调整气隙,使之在通电状态下达到表中规定值。
4. 生产厂:天津机床电器有限公司。

2.5.7 DLM3 系列无滑环湿式多片电磁离合器（见表 5.4-63）

表 5.4-63 DLM3 系列无滑环湿式多片电磁离合器的性能参数和主要尺寸

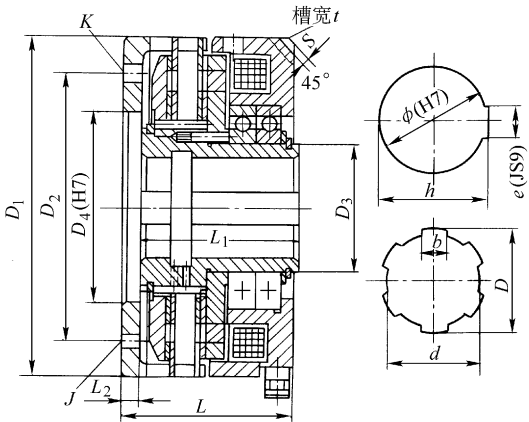


规格	额定动 转矩 /N·m	额定静 转矩 /N·m	空载转矩 /N·m ≤	接通时间 /s ≤	断开时间 /s ≤	额定电压 (DC) /V	线圈消耗 功率 (20℃) /W	允许最高 转速 /r·min ⁻¹	质量 /kg	供油量 /L·min ⁻¹			
1.2	12	20	0.39	0.28	0.09	24	18	3500	1.6	0.2			
2.5	25	40	0.40	0.30	0.09	24	21	3500	2.3	0.25			
5	50	80	0.9	0.32	0.10	24	32	3000	3.4	0.40			
10	100	160	1.80	0.35	0.14	24	38	3000	5	0.65			
16	160	250	2.40	0.37	0.14	24	50	2500	6.6	0.65			
25	250	400	3.50	0.40	0.18	24	61	2200	8.6	1.0			
40	400	630	5.60	0.42	0.20	24	72	2000	14.7	1.0			
63	630	1000	9.00	0.45	0.25	24	83	1800	21	1.2			
规格	D_1	D_2	D	d	b	ϕ	e	h	L	L_1	L_2	S	t
	mm												
1.2	86	50	$20^{+0.023}_0$	$17^{+0.12}_0$	$6^{+0.065}_{+0.025}$	20	6	$21.8^{+0.1}_0$	51	44.5	5.5	3.5	6
2.5	96	56	$25^{+0.023}_0$	$22^{+0.14}_0$	$6^{+0.065}_{+0.025}$	25	8	$27.3^{+0.1}_0$	57	51.5	5.5	3.5	6
5	113	65	$30^{+0.023}_0$	$26^{+0.14}_0$	$8^{+0.085}_{+0.035}$	30	8	$32.3^{+0.1}_0$	63	56	5	3.5	8
10	133	75	$40^{+0.027}_0$	$35^{+0.17}_0$	$10^{+0.085}_{+0.035}$	40	12	$42.3^{+0.1}_0$	68	59	6.5	5.5	8
16	145	85	$45^{+0.027}_0$	$40^{+0.17}_0$	$12^{+0.105}_{+0.045}$	45	14	$47.4^{+0.2}_0$	70	61.5	6.5	5.5	10
25	166	110	$50^{+0.027}_0$	$45^{+0.17}_0$	$12^{+0.105}_{+0.045}$	50	14	$52.4^{+0.2}_0$	78.5	68	7.5	5.5	10
40	192	110	$60^{+0.03}_0$	$54^{+0.2}_0$	$14^{+0.105}_{+0.045}$	60	16	$62.2^{+0.2}_0$	91	79.5	8	6	10
63	212	125	$70^{+0.03}_0$	$62^{+0.2}_0$	$16^{+0.105}_{+0.045}$	70	20	$74.3^{+0.2}_0$	109	96.5	9.5	7	10

注：同表 5.4-59 的注。

2.5.8 DLM9 (ERD) 系列无滑环湿式多片电磁离合器 (见表 5.4-64)

表 5.4-64 DLM9 (ERD) 系列无滑环湿式多片电磁离合器的性能参数和主要尺寸



规格	额定动 转矩 /N·m	额定静 转矩 /N·m	空载 转矩 /N·m	接通时间 /s ≤	断开时间 /s ≤	额定电压 (DC) /V	线圈消耗 功率 (20℃) /W	允许最高 转速 /r·min ⁻¹	质量 /kg	供油量 /L·min ⁻¹
DLM9-2	16	25	0.48	0.28	0.09	24	24	3000	2.9	0.25
DLM9-5	50	80	0.85	0.30	0.10	24	37	3000	3.9	0.40
DLM9-10	100	160	1.80	0.32	0.14	24	50	3000	5.9	0.65
DLM9-16	160	250	2.40	0.36	0.16	24	56	2500	7.8	0.65
DLM9-25	250	400	3.80	0.40	0.18	24	76	2200	10.7	1.00
DLM9-40	400	630	6.00	0.60	0.22	24	86	2000	15	1.00
DLM9-63	630	1000	9.50	0.70	0.26	24	88	1800	22	1.20
DLM9-100	1000	1600	15.00	0.85	0.31	24	104	1600	33	1.20
DLM9-160	1600	2500	24.00	1.20	0.43	24	122	1500	51	1.50
DLM9-250	2500	4000	38.00	1.40	0.50	24	175.5	1200	67	2.00

规格	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	φ	e	h	J	K	L	L ₁	L ₂	S	t
	mm													
DLM9-2	95	80	35	50	20	6	22.8 ^{+0.1} ₀	2×φ6	4×M6	55	50	5	4	8
DLM9-5	110	90	45	65	30	8	33.3 ^{+0.2} ₀	3×φ6	4×M6	60	55	5	4	8
DLM9-10	132	105	50	75	40	12	42.3 ^{+0.2} ₀	3×φ6	6×M8	67	60	7	5	10
DLM9-16	147	120	55	85	45	14	47.4 ^{+0.2} ₀	3×φ8	6×M8	72	65	7	5	10
DLM9-25	162	135	65	95	50	16	53.6 ^{+0.2} ₀	3×φ8	6×M8	82	75	7	6	12
DLM9-40	182	155	75	120	60	18	64.4 ^{+0.2} ₀	3×φ10	6×M10	93	85	8	6	12
DLM9-63	202	170	85	125	70	20	74.3 ^{+0.2} ₀	3×φ10	6×M10	109	100	9	8	14
DLM9-100	235	200	100	150	70	20	74.9 ^{+0.2} ₀	3×φ14	6×M12	120	110	10	8	14
DLM9-160	270	235	110	200	90	25	95.4 ^{+0.2} ₀	3×φ14	6×M12	142	130	12	10	16
DLM9-250	310	260	140	220	110	28	116.4 ^{+0.2} ₀	3×φ16	6×M16	157	145	14	10	16

注：1. 表中 D₂、J、K 为连接尺寸，由用户自行加工，表中数据仅供参考。

2. 同表 5.4-59 的注。

2.6 超越离合器

超越离合器是一种靠主、从动部分的相对速度变化,或回转方向的变换能自动脱开或接合的离合器,主要用于速度变换、防止逆转、间歇运动的场合。按工作原理分有棘爪式和摩擦式两类。

棘爪式超越离合器是利用棘轮、棘爪的啮合传递转矩,其结构简单、制造容易、可靠性高,但结

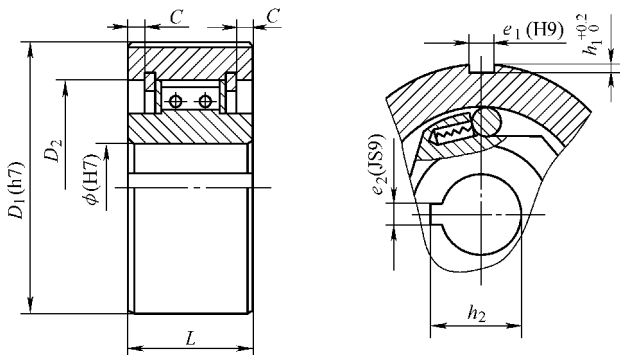
合时有冲击和噪声,适用转速差不大的场合。

摩擦式超越离合器是利用滚柱、楔块、扭簧等压紧其他元件产生的摩擦力来传递转矩,体积小,传递转矩大,接合平稳无噪声,空行程较短,可在任何转速差下接合,应用较广,其传递转矩范围为1~100000N·m,工作转速一般不超过3000r·min⁻¹。

2.6.1 滚柱式超越离合器

(1) CY0 系列滚柱式超越离合器 (见表 5.4-65)

表 5.4-65 CY0 系列滚柱式超越离合器的许用转矩和主要尺寸 (mm)

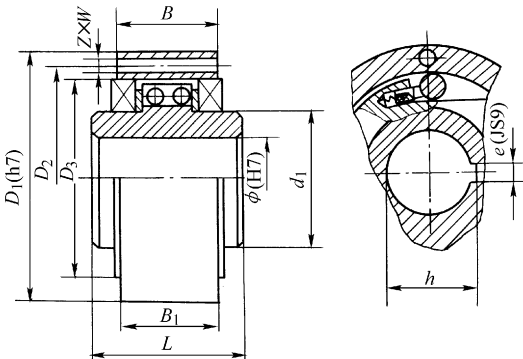


规格	许用转矩 /N·m	D ₁	D ₂	φ	L	C	e ₂	h ₂	e ₁	h ₁
50	3	50	35	15	25	3	5	17.3 ^{+0.15} ₀	8	3
60	4.5	60	40	20	26	3	6	22.8 ^{+0.15} ₀	8	3
75	10	75	55	25	30	4	8	28.3 ^{+0.20} ₀	8	3.5
90	16	90	68	30	40	4	8	33.3 ^{+0.20} ₀	8	3.5
100	50	100	80	40	48	4	12	43.3 ^{+0.20} ₀	10	3.5
120	100	120	95	50	56	4	14	53.8 ^{+0.20} ₀	12	4
140	200	140	115	60	60	4	18	64.4 ^{+0.20} ₀	12	4

注:生产厂:天津机床电器有限公司。

(2) CY1 系列滚柱式超越离合器 (见表 5.4-66)

表 5.4-66 CY1 系列滚柱式超越离合器的许用转矩和主要尺寸 (mm)

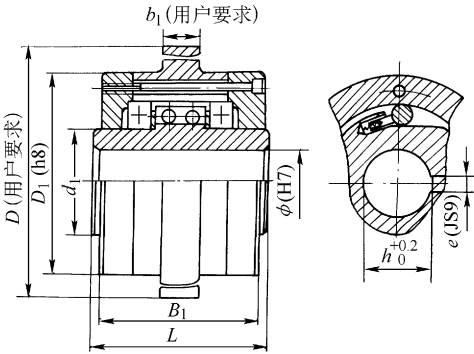


(续)

规格	许用转矩 /N·m	D_1	D_2	D_3	ϕ	$Z \times W$	L	B_1	B	h	e	d_1	轴承型号
62	29	62	51	42	12	3×5.5	42	20.3	27	$14.3^{+0.1}_0$	5	20	7000104
68	50	68	56	47	15	3×5.5	52	30.3	34.1	$17.3^{+0.2}_0$	5	25	7000105
75A	70	75	65	55	25	4×5.5	54	44	30	$28.3^{+0.2}_0$	8	35	1000907
75	84	75	64	55	20	4×5.5	57	34.3	39.1	$22.8^{+0.2}_0$	6	30	7000106
90	124	90	78	68	25	6×6.6	60	37.3	42.1	$28.3^{+0.2}_0$	8	40	7000108
95A	150	95	81.5	68	25	6×6.6	62	40	46	$28.3^{+0.2}_0$	8	40	7000108
100	200	100	87	75	30	6×6.6	68	44.3	49.1	$33.3^{+0.2}_0$	8	45	7000109
110	290	110	96	80	35	6×6.6	74	48.3	54.1	$38.3^{+0.2}_0$	10	50	7000110
125	490	125	108	90	40	6×9	86	56.3	62.1	$43.3^{+0.2}_0$	12	55	7000111
130	670	130	112	95	45	8×9	86	56.3	62.1	$48.8^{+0.2}_0$	14	60	7000112
150	1100	150	132	110	50	8×9	92	63.3	69.1	$54.3^{+0.2}_0$	16	70	7000114
160	1250	160	138	115	55	8×11	104	67	73.1	$59.3^{+0.2}_0$	16	75	7000115
170	1800	170	150	125	60	10×11	114	78	84	$64.4^{+0.2}_0$	18	80	7000116
190	2650	190	165	140	70	10×11	158	95	103	$74.9^{+0.2}_0$	20	90	7000118
210	4000	210	185	160	80	10×11	182	100	108	$85.4^{+0.2}_0$	22	105	7000121

注：1. 生产厂：天津机床电器有限公司。
2. 轴承型号为旧标准中特轻窄系列深沟球轴承。
(3) CY1B 系列滚柱式超越离合器（见表 5.4-67）

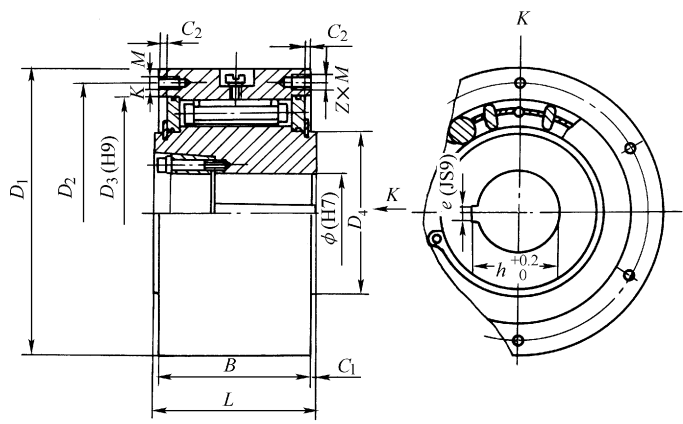
表 5.4-67 CY1B 系列滚柱式超越离合器的许用转矩和主要尺寸 (mm)



规格	许用转矩 /N·m	D_1	ϕ	d_1	e	h	L	B_1	轴承型号
75B	16	75	25	35	8	28.3	54	50	1000907 (61907)
95B	50	95	25	40	8	28.3	62	60	7000108 (16008)
100B	250	100	30	45	8	33.3	68	64	7000109 (16009)
110B	290	110	30	50	8	33.3	74	68	7000110 (16010)
130B	670	130	45	60	14	48.8	86	76	7000112 (16012)
150B	1250	150	50	75	14	53.8	88	80	7000115 (16015)

注：1. 生产厂：天津机床电器有限公司。
2. 轴承型号为旧标准中超轻、特轻系列深沟球轴承，括号内为新标准。
(4) CY2 系列滚柱式超越离合器（见表 5.4-68）

表 5.4-68 CY2 系列滚柱式超越离合器的许用转矩和主要尺寸 (mm)



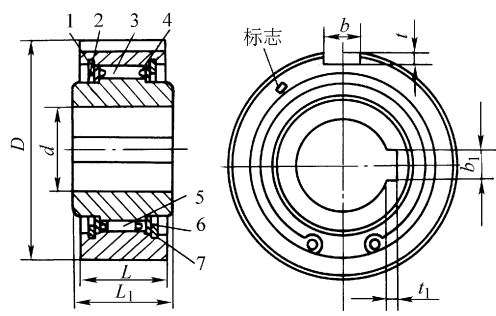
规格	许用转矩 /N·m	D_1	D_2	D_3	D_4	ϕ	e	h	B	L	C_1	C_2	$Z \times M$
120	160	120	105	90	56	40	10	43.3	57	60	1.5	2.5	4 × M8 深 12
160	500	160	148	130	85	50	14	53.8	72	75	1.5	3.5	6 × M8 深 15
210	1000	210	185	180	115	50	14	53.8	85	88	1.5	5.5	6 × M8 深 15

注：生产厂：天津机床电器有限公司。

2.6.2 楔块式超越离合器

(1) CKA 系列单向楔块式超越离合器（见表 5.4-69）

表 5.4-69 CKA 系列单向楔块式超越离合器的基本参数和主要尺寸



1—外环 2—内环 3—楔块 4—弹簧
5—滚柱 6—端盖 7—挡圈

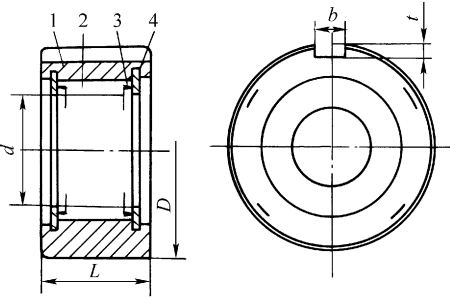
(续)

型号	公称转矩 T_n /N · m	超越时的 极限转速 $n/$ $r \cdot \min^{-1}$	外 环/mm			内 环/mm			质量 /kg	
			D (h7)	键槽 $b \times t$	L	d (H7)	键槽 $b_1 \times t_1$	L_1		
CKA1	31.5	2500	50	3×1.8	22	12	3×1.4	24	0.24	
CKA2	50	2250	55	4×2.5		18	4×1.8		0.28	
CKA3	63	2000	60	6×3.5		20	6×2.8		0.33	
CKA4	100	1800	65		24	24		26	0.38	
CKA5	140				30			8×4.0	25、28	8×3.3
CKA6、CKA7	180	1500	70	25、30		0.63、0.60				
CKA8、CKA9	200		80	25、30		0.90、0.87				
CKA10	315	1250	100	10×5.0	32	35	8×3.3	32	1.34	
CKA11、CKA12	315					38、40	10×3.3	34	1.28、1.20	
CKA13、CKA14	400	1000	110			35、40			1.81、1.94	
CKA15、CKA16	630		130	14×5.5	36	45、50	14×3.8	38	3.11、3.02	
CKA17	1250	800	140	16×6.0	52	50	16×3.8	55	5.27	
CKA18						55			16×4.3	5.10
CKA19	2000		160	18×7.0		60	18×4.4		6.96	
CKA20						60、65			6.78	
CKA21、CKA22	2240		170			60、65			7.80、7.61	
CKA23、CKA24	2500		180			60、65			8.87、8.69	
CKA25	2800		200	20×7.5		65	20×4.9		11.02	
CKA26	2800		200			70			10.82	

- 注：1. 同一小格中 d 、 m 有两个数值，分别与同一行中两个型号相对应。
2. 离合器代号：CKA□- $D \times L \times d$ 。
3. 离合器的安装方向，应与主机要求的旋转方向一致。
4. 离合器的外环与机壳的配合，以及离合器的内环与轴的配合，均应是动配合。
5. 组装离合器时，应保证楔块的正确装配方向，并注入适量润滑油或 2 号锂基润滑脂。
6. 离合器长期在高速状态下运行时，应有相应的冷却措施。
7. 离合器的内环与轴均采用键连接。
8. 生产厂：北京新兴超越科技开发公司。

(2) CKB 系列无内环单向楔块式超越离合器（见表 5.4-70）

表 5.4-70 CKB 系列无内环单向楔块式超越离合器的基本参数和主要尺寸



1—外环 2—楔块 3—弹簧 4—端盖

(续)

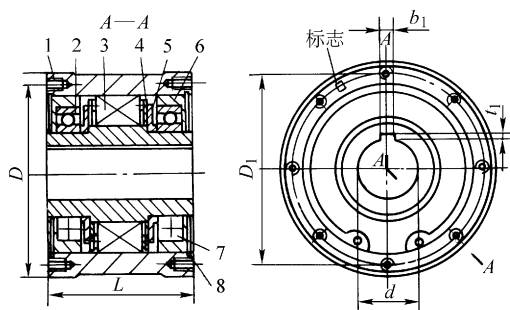
型号	代 号	公称转矩 T_n /N · m	轴最高 超越转速 n /r · min ⁻¹	外 环/mm			轴径 $d_{-0.025}^0$ /mm	同一外径 的 轴承型号	质量 /kg	
				D h7	键槽 $b \times t$	L				
CKB1	CKB1-40 × 25-16	35. 5	2000	40	4 × 2. 5	25	16	6203	0. 21	
CKB2	CKB2-47 × 25-18	56	2000	47	5 × 3. 0		18	6204	0. 29	
CKB3	CKB3-52 × 25-24	90	1800	52	5 × 3. 0		24	6205	0. 33	
CKB4	CKB4-62 × 28-30	200	1800	62	6 × 3. 5	28	30	6206	0. 51	
CKB5	CKB5-62 × 28-32						32		0. 48	
CKB6	CKB6-62 × 28-35						35		0. 45	
CKB7	CKB7-72 × 28-40	315		72			40	6207	0. 61	
CKB8	CKB8-72 × 28-42		42		0. 59					
CKB9	CKB9-80 × 32-45	500	1600	80	8 × 4. 0	32		45	6208	0. 75
CKB10	CKB10-80 × 32-48							48		0. 80
CKB11	CKB11-90 × 32-50	560		90			10 × 5. 0	42	50	6209
CKB12	CKB12-90 × 32-55	630	55		6210				1. 00	
CKB13	CKB13-100 × 42-60	710	60		6211	1. 26				
CKB14	CKB14-110 × 42-65	1000	100	65	6212	2. 04				
CKB15	CKB15-120 × 42-70	1120	1000	120	70	6213	2. 46			
CKB16	CKB16-125 × 42-80	1250		125			12 × 5. 0	80	6214	2. 40

注: 1. 轴承型号为旧标准角接触球轴承, 新标准为 7200。

2. 同表 5.4-69 的注 3 ~ 8。

(3) CKF 系列单向楔块式超越离合器 (见表 5.4-71)

表 5.4-71 CKF 系列单向楔块式超越离合器的基本参数和主要尺寸



1—外环 2—内环 3—楔块 4—固定挡环 5—挡环
6—端盖 7—轴承 8—挡圈

型号	公称 转矩 T_n /N·m	螺钉 拧紧 力矩 /N·m	非接触 转速 /r· min ⁻¹	最高 转速 /r· min ⁻¹	外 环/mm				内 环/mm			质量 /kg
					D h8	两端各 螺纹孔 数-直径 × 深	螺栓分 布直径 D_1	宽 L js9	内径 d H7	键槽 $b_1 \times t_1$	宽 L_1 js9	
CKF1	400	10	480	1500	165	8-M8 × 20	145	130	25	8 × 3.3	125	20.51
CKF2、CKF3	500	12	470		170		150		25、30		130	22.68、22.46
CKF4	600	14	450		175		155		30			23.84
CKF5						35			10 × 3.3	23.58		
CKF6	800	18	430		185	8-M10 × 25	162		40	12 × 3.3		26.46
CKF7									26.16			

(续)

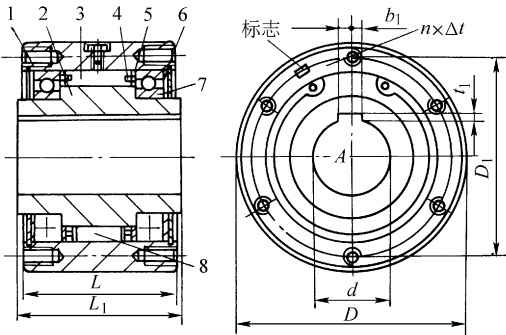
型号	公称 转矩 T_n /N·m	螺钉 拧紧 力矩 /N·m	非接触 转速 /r· min ⁻¹	最高 转速 /r· min ⁻¹	外 环/mm			内 环/mm			质量 /kg	
					D h8	两端各 螺纹孔 数-直径 × 深	螺栓分 布直径 D_1	宽 L js9	内径 d H7	键槽 $b_1 \times t_1$		宽 L_1 js9
CKF8、CKF9	1000	22	420	1500	190	8-M10 × 25	168	135	32、38	10 × 3.3	135	28.13、27.79
CKF10、CKF11									40、42	12 × 3.3		27.67、27.54
CKF12、CKF13									45、50	14 × 3.8		27.33、26.95
CKF14	1250	25	195		10-M10 × 25	172	145	40	12 × 3.3	145	32.59	
CKF15、CKF16								45、50	14 × 3.8		32.21、31.78	
CKF17								55	16 × 4.3		31.31	
CKF18	1400	26	205		10-M10 × 25	182	150	40	12 × 3.3	150	36.61	
CKF19、CKF20								45、50	14 × 3.8		35.78、35.34	
CKF21								55	16 × 4.3		34.16	
CKF22、CKF23	1600	27	208		12-M10 × 25	185	160	45、48	14 × 3.8	160	38.16、37.90	
CKF24								50	16 × 4.3		37.72	
CKF25								55	16 × 4.3		37.24	
CKF26	2000	30	220		12-M12 × 25	195	170	60	18 × 4.4	170	36.71	
CKF27								50	14 × 3.8		42.48	
CKF28								55	16 × 4.3		41.99	
CKF29、CKF30	2500	32	390		230	12-M10 × 25	205	185	60、65	18 × 4.4	185	41.46、40.88
CKF31									50	14 × 3.8		46.54
CKF32									55	16 × 4.3		46.16
CKF33、CKF34	4000	52	380		245	12-M14 × 25	230	160	60、65	18 × 4.4	160	45.63、45.05
CKF35									70	20 × 4.9		44.42
CKF36、CKF37									6300	95		260
CKF38、CKF39	80	22 × 5.4	54.42、53.70									
CKF40	70、75	20 × 4.9	52.93									
CKF41、CKF42	8000	110	370		275	12-M16 × 30	295	185	80、85	22 × 5.4	185	61.90、61.18
CKF43、CKF44									80、85	22 × 5.4		60.42、59.60
CKF45									90	25 × 5.4		58.74
CKF46、CKF47	10000	140	350		295	16-M16 × 30	390	200	90、95	25 × 5.4	200	72.61、71.75
CKF48、CKF49									90、95	22 × 5.4		70.83、69.86
CKF50									100	28 × 6.4		68.33
CKF51、CKF52	12500	170	330		360	12-M18 × 30	320	215	90、95	25 × 5.4	215	90.09、89.03
CKF53、CKF54									100、110	28 × 6.4		87.92、85.46
CKF55、CKF56									100、110	28 × 6.4		121.95、119.36
CKF57、CKF58	16000	215	350		410	16-M20 × 30	360	225	120、130	32 × 7.4	225	116.53、113.44
CKF59									140、150	36 × 8.4		155.75
CKF60、CKF61									110	28 × 6.4		152.70、149.39
CKF62	20000	230	410		16-M20 × 30	360	390	235	120、130	32 × 7.4	235	145.81
CKF63、CKF64									140、150	36 × 8.4		213.21、209.75
CKF65、CKF66									130	32 × 7.4		206.00、201.98
CKF67	25000	240	310		1000	440	390	235	130	32 × 7.4	235	256.01
CKF68、CKF69									140、150	36 × 8.4		252.10、247.90
CKF70									160	40 × 9.4		243.41

注：1. 同一小格中 d 、 m 有两个数值，分别与同一行中两个型号相对应。2. 离合器代号：CKF□- $D \times L \times d$ 。3. CKF 系列离合器在机械中常作为防逆转机构，属于非接触式，一般用于高速，当内环转速小于 $400\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时，此时为接触式，但仍可使用。

4. 同表 5.4-69 注中 3~8。

(4) CKZ 系列（带轴承型）单向楔块式超越离合器（见表 5.4-72）

表 5.4-72 CKZ 系列（带轴承型）单向楔块式超越离合器的基本参数和主要尺寸



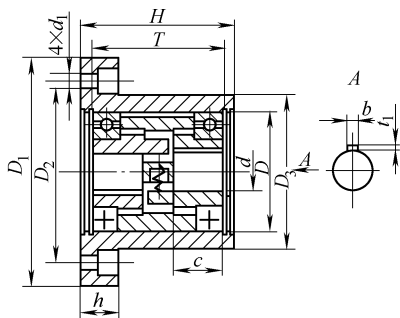
1—外环 2—内环 3—楔块 4—弹簧
5—垫圈 6—端盖 7—轴承 8—滚柱

型号	公称 转矩 T_n /N·m	内环超越 时的极 限转速 $n/r \cdot$ $\min^{-1}$	外 环/mm				内 环/mm			质量 /kg		
			D h7	两端 螺柱孔 数-直径 × 深	螺柱分 布直径 D_1	宽 L	内径 d H7	键槽 $b_1 \times t_1$	L_1			
CKZ1	180	1500	75	4-M6	61	48	14	5×2.3	50	1.35		
CKZ2	200		80	$\times 12$	68	66	20		68	1.95		
CKZ3	250	1300	90	6-M8	76	68	25	6×2.8	70	2.36		
CKZ4	315	1200	100	$\times 12$	88	80	30	10×3.3	82	3.17		
CKZ5	400		110	8-M8 $\times 16$	92	86	35		90	4.65		
CKZ6、CKZ7	650		120	8-M8 $\times 20$	105	90	38、40	12×3.3	92	5.64、5.55		
CKZ8							42				5.47	
CKZ9	1000	125	110		45		14×3.8	6.14				
CKZ10		130	115		45、48	6.02						
CKZ11、CKZ12	1200	136	120		92	45、50	95	8.06、7.74				
CKZ13、CKZ14	1500	150	130		100	48、50		102	11.12、11.02			
CKZ15、CKZ16	2240	1000	155			55	16×4.3		10.43			
CKZ17						55			11.36			
CKZ18	2500					140	60		11.01			
CKZ19					160	145	110	60、65	18×4.4	112	13.07、12.65	
CKZ20、CKZ21	2700	170	150	65	14.88							
CKZ22				70	20×4.9	14.42						
CKZ23				2800	900	180	6-M10 $\times 20$	158	124	55	16 $\times$ 4.3	18.80
CKZ24	60、65	18×4.4	18.46、18.06									
CKZ25、CKZ26	70	20×4.9	17.63									
CKZ27	2850	800	190							65	18×4.4	22.73
CKZ28										70	20×4.9	20.01
CKZ29										65	18×4.4	22.93
CKZ30				2900	200	175						

注：同表 5.4-69 中的注。

(5) CKS 系列双向楔块式超越离合器（见表 5.4-73）

表 5. 4-73 CKS 系列双向模块式超越离合器的基本参数和主要尺寸



序号	型号	公称 转矩 /N · m	安 装 尺 寸 /mm											
			离 合 器						壳 体					
			d	D	T	c	b	t ₁	D ₁	D ₂	D ₃	H	h	d ₁
1	CKS70 (42) × 58-10	20	10	32	51	20	3	1.4	70	55	42	58	11	6.5
2	CKS75 (45) × 58-10	20	10	35	52	20	3	1.4	75	60	45	58	11	6.5
3	CKS75 (45) × 58-12	20	12	35	51	20	4	1.8	75	60	45	58	11	6.5
4	CKS75 (45) × 58-15	20	15	35	51	20	3	1.4	75	60	45	58	11	6.5
5	CKS95 (57) × 78-17	50	17	47	70	27	5	2.3	95	75	57	78	13	8.5
6	CKS105 (62) × 78-20	100	20	52	70	27	6	2.8	105	84	62	78	16	10.5
7	CKS115 (74) × 78-20	100	20	62	70	27	6	2.8	115	95	74	78	16	10.5
8	CKS115 (74) × 88-25	120	25	62	80	32	8	3.3	115	95	74	88	16	10.5
9	CKS125 (84) × 100-30	150	30	72	90	37	8	3.3	125	105	84	100	16	10.5
10	CKS145 (94) × 110-35	200	35	80	100	40	10	3.3	145	120	94	110	20	13
11	CKS155 (102) × 110-40	250	40	85	100	40	12	3.3	155	128	102	110	20	13
12	CKS160 (108) × 120-45	300	45	90	110	45	14	3.8	160	134	108	120	20	13

注：同表 5. 4-69 中的注 3 ~ 8。

2.7 离心离合器

离心离合器是一种靠离心体产生离心力来达到自动分离或接合的离合器，常用的离合器为常开式，其工作原理见图 5. 4-12a。在拉簧作用下，主动部分闸块与从动部分鼓轮脱开，当转速达到一定数值后，离心力增大克服弹簧力使闸块向外摆动与从动鼓轮压紧，离合器进入接合状态一起转动。常闭式离心离合器工作原理与常开式相反，见图 5. 4-12b。正常运转时，闸块靠压缩弹簧与鼓轮压紧，保持接合一起转动，当转速超过某一数值后，离心力大于弹簧压力，使闸块绕支点摆动与鼓轮表面脱开，用以限制从动部分转速。

离心离合器结构形式有闸块式和钢球式两类，闸块式又有带弹簧闸块（图 5. 4-13a）和不带弹簧闸块（图 5. 4-13b、c）之分，后一种因结构简单、质量轻，应用较广泛。

钢球式离心离合器结构原理如图 5. 4-13d 所示带有叶片的轮毂为主动，壳体为从动，叶片与壳体之间放置许多细小钢球，当转速达到一定后，钢球被离心力抛向壳体，使主、从部分进入接合状态一起转动。

离心离合器起动较平稳，过载时能打滑起安全保护作用，但打滑时间不易过长，一般应限制在 1.5min 内。离心离合器不适于低速和变速传动系统。

2.7.1 无弹簧闸块离心离合器

常见的无弹簧闸块离心离合器有两种结构（见表 5. 4-74、表 5. 4-75），前种离心体为扇形闸块，当主动轮带动星形套筒转动时，在离心力作用下，闸块沿径向外移与带轮内表面压紧带动带轮转动。这种离心离合器结构简单、质量轻，但闸块易磨损，维修更换不便。后种结构闸块安装在带轮一端，安装更换方便。

无弹簧闸块离心离合器传递转矩所需压紧力

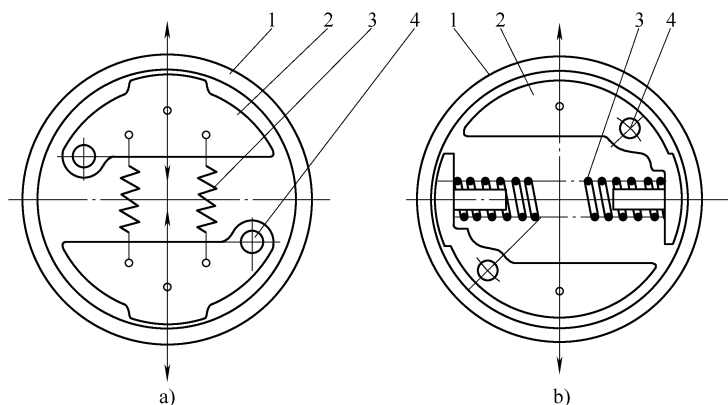


图 5.4-12 离心离合器的工作原理图

a) 常开式 b) 常闭式

1—鼓轮 2—闸块 3—弹簧 4—转轴

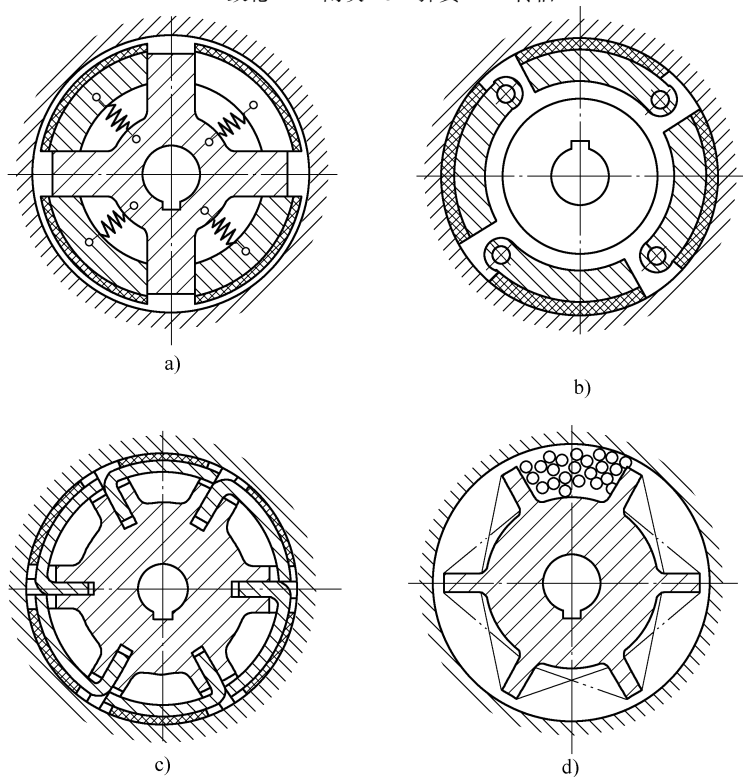


图 5.4-13 离心离合器的结构类型

a) 带弹簧闸块式 b)、c) 无弹簧闸块式 d) 钢球式

$$Q = \frac{T_c}{\mu R z} \quad (5.4-11)$$

式中 T_c ——离合器的计算转矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$); μ ——摩擦因数; R ——摩擦面半径 (mm), 一般取 $R = (2 \sim 3.5) d$ (d 为主动轴直径); z ——闸块数。离心力产生的压紧力 Q_c (图 5.4-14) 应大于所需压紧力, 即

$$Q_c = m \frac{\pi^2 r n^2}{9 \times 10^4} \geq Q \quad (5.4-12)$$

式中 n ——离合器工作转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$);

r ——闸块质心半径 (mm), 一般取 $r = (0.7 \sim 0.9) R$;
 m ——单个闸块质量 (kg)。

闸块摩擦面压力条件

$$p = \frac{T_c}{R^2 b \varphi \mu z} \leq [p] \quad (5.4-13)$$

式中 b ——闸块宽度 (mm), 一般取 $b = (1 \sim 2) d$;
 φ ——闸块的扇形角 (rad);
 $[p]$ ——许用压力 (MPa)。

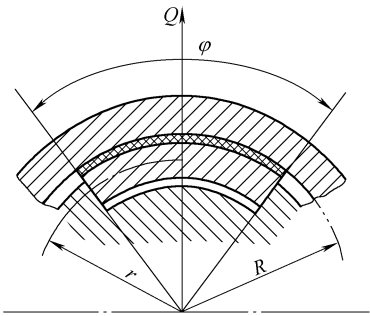
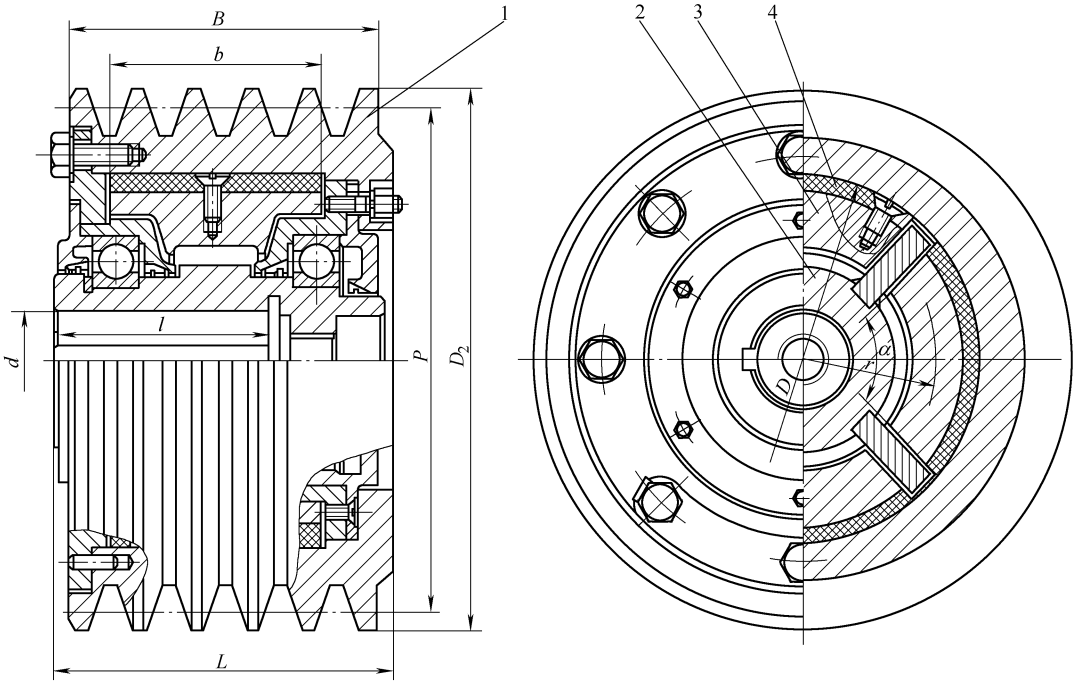


图 5.4-14 无弹簧闸块计算图

表 5.4-74 无弹簧闸块离心离合器的主要尺寸和特性参数 (1)

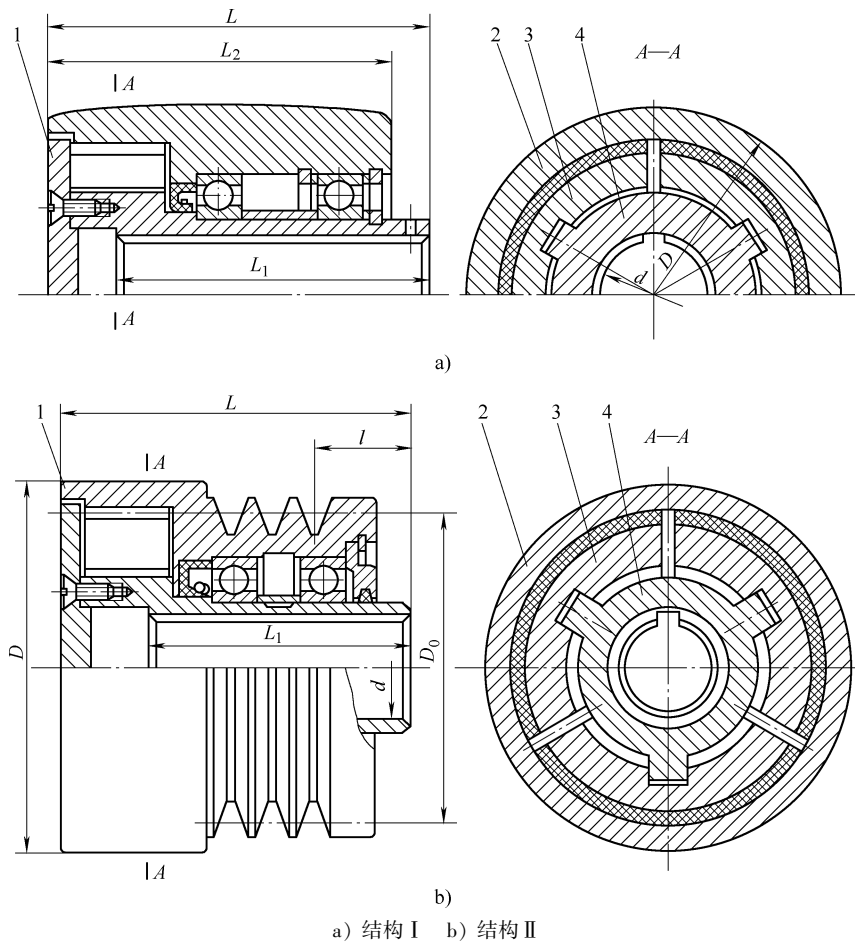


1—V 带轮 2—星形套筒 3—闸块 4—衬面

d	D	D_1	D_2	l	L	$r^{①}$	B	b	α ($^{\circ}$)	闸块数 z	V 带 型号	V 带 根数	n $/r \cdot$ min^{-1}	P $/\text{kW}$	加速 时间 $/s$	闸块质量 (一个) $/\text{kg}$	离合器质量 (不带闸块) $/\text{kg}$	
mm																		
35 ~ 55	190	250	269	110	165	75	150	105	80	4	C	5	750	8.2	150	2.15	43.0	
													1000	18	70	2.0		
													1500	24	50	0.75		
50 ~ 65	220	300	318	140	220	85	205	145			D		6	750	16	150	3.15	73.2
														1000	36	70	2.95	
														1500	42	60	1.0	
55 ~ 75	240	320	338		255	90	95	245				180		750	30	110	5.1	108.9
														1000	47	70	3.3	
														1500	55	60	1.2	
65 ~ 75	300	380	398	120	180	245	180	750			45	90	5.0	130.0				
								1000			55	70	2.65					

① r 为闸块质心半径。

表 5.4-75 无弹簧闸块离心离合器的主要尺寸和特性参数 (2)



1—挡板 2—从动轮 3—闸块 4—主动套筒

$Q^{①}$ /kJ	传递功率/kW			结构 I					结构 II					
	转速/ $r \cdot \min^{-1}$			D	d	L	L_1	L_2	D	D_0	d	L	L_1	l
	1000	1500	3000	mm										
27.42	—, —, 0.115	0.20, 0.27, 0.39	1.55, 2.05, —	98	20	70	68	68	96	89	20	78	68	19.0
32.49	0.180	0.60	—	98	20	86	75	76	96	89	20	86	75	
42.71	0.232	0.78	—			93	—	83				93	—	
33.49	0.350	1.20	—	118	27	92	82	82	116	109	27	92	82	
39.78	0.470	1.60	—			91	87	87				97	87	
46.06	0.590	1.95	—			102	90	92				102	90	
52.13	0.710	2.40	—			107	90	97				107	90	
50.24	0.215	0.73	5.90 ^②	125	30	95	85	85	125	106	30	88	78	24.5
50.24	0.300, 0.430	1.00, 1.45	8.10 ^②			100	90	90				88, 84	—	
60.29	0.590	1.95	—			100	86	90				94	—	
68.25	0.710	2.40	—			108	89	98				99	—	
76.83	0.850	2.90 ^②	—			118	89	103				104	80	
94.62	1.100	3.80 ^②	—			127	—	117				115	—	
112.63	1.420	4.85 ^②	—			136	92	126				126	—	

(续)

$Q^{①}$ /kJ	传递功率/kW			结构 I					结构 II						
	转速/ $r \cdot \min^{-1}$			D	d	L	L_1	L_2	D	D_0	d	L	L_1	l	
	1000	1500	3000	mm											
128.95	0.710	2.40	—	170	50	135	122	120	170	150	50	111	98	32.5	
149.47	0.920	3.10	—									117	104		
169.57	1.100,1.600,2.350	3.80,5.40 ^②	—									123	110		
192.59	2.800	—	—									130			
219.81	3.300	—	—									138			
324.48	2.35,3.20,4.70	7.8,11.0,16.0	—	220	80	165	152	150	220	225	80	146	133	30.5	
387.28	6.40	—	—									155	142		
506.61	9.30	—	—									172	159		
581.97	11.00 ^③	—	—									207	160		
632.21	12.80 ^③	—	—									179			
425.15	14.50	—	—	240	90	235	190	220	240	315	90	192	45.5		
514.98	20.00	—	—									180		205	
594.53	24.50 ^③	—	—									170		219	
674.08	—	—	—									249		160	234
762.0	—	—	—			275	170	260				296		190	
845.73	—	—	—									218		200	
1000.90	—	—	—									233		215	
481.48	31.50	—	—			290	110	305				285		290	290
598.71	45.00	—	—	280	233				215						
745.25	62.00 ^③	—	—	265	252				220						
979.71	—	—	—	240	282										
1239.29	—	—	—	220	317										
1390.02	—	—	—		335										

① 空转起动一次离合器的发热量。

② 仅适用于结构 I。

③ 仅适用于结构 II。

2.7.2 带弹簧闸块离心离合器

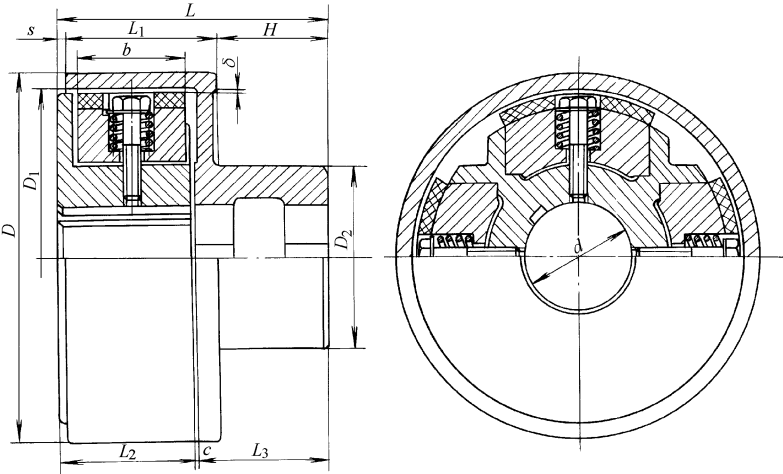
带螺旋压缩弹簧闸块离心离合器，低速时由于压缩弹簧的作用，闸块不与从动离合器接触，当主动轮转速达到一定值时，闸块离心力超过弹簧力使

闸块径向向外移压紧从动轮使之转动。这种离心离合器结构简单，接合平稳，但传递转矩的能力低。该结构也可制成不带弹簧，以增大传递转矩的能力。

(1) 带螺旋压缩弹簧闸块离心离合器(见表 5.4-76)

表 5.4-76 带螺旋压缩弹簧闸块离心离合器的主要尺寸和特性参数

(mm)



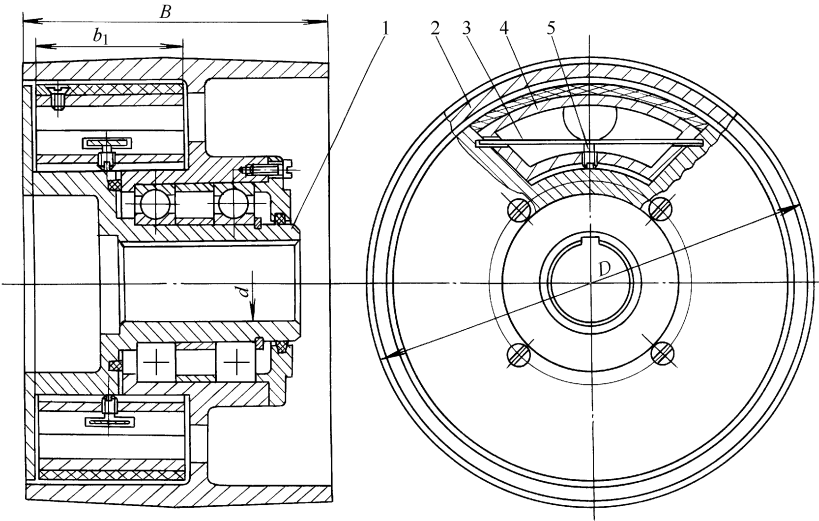
(续)

序号	最高转速 /r · min ⁻¹	$d_{\max}$	D	D_1	L_3	L	L_1	L_2	D_2	H	b	s	c	δ	最多闸块数 z
1	3000	22	100	81	41	84	54	48	44	33	42	3	2	2	4
2		32	127	113	51	108	62	55	63	40	48	5			
3	2500	38	152	136	60	124	70	62	76	50	54				
4		45	178	160	66	138	81	70	81	52	60				
5	2000	55	203	184	73	147	84	73	108	58	64				
6	1600	70	254	233	79	160	92	79	133	63	70	3			
7	1300	80	304	282	89	181	101	89	165	70	76		2.5		
8	1100	100	356	330	98	200	114	98	190	78	86			6	
9	1000	115	406	378	111	225	127	111	210	90	98				8
10	900	130	456	426	120	244	135	120	241	98	105				
11	800	150	508	470	133	270	149	133	266	108	110			12	3
12	700	180	610	565	146	295	165	146	330	117	128				

(2) 带片弹簧闸块离心离合器 (见表 5.4-77)

表 5.4-77 带片弹簧闸块离心离合器的主要尺寸和特性参数

(mm)



1—主动轮毂 2—从动轮 3—片弹簧 4—闸块 5—调节螺钉

可传递功率 P/kW ($n = 1500\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	闸块数 z	d	D	B	b_1
0.74	4	20	100	75	45
1.8	4	30	125	75	60
5.2	4	40	150	100	65
12.5	4	50	180	125	70
31.0	4	65	230	165	80
77.0	4	80	280	180	90

注：1. 在其他转速 n' 时，离合器可传递的功率： $P = \text{表值} \times (n'/1000)^3$ 。

2. 去掉弹簧，离合器可传递的功率约增加 1 倍。

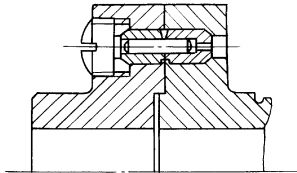
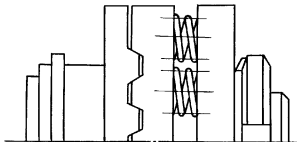
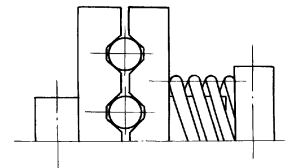
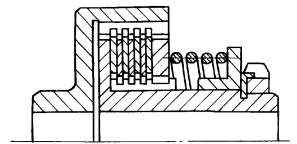
3. 两个闸块时，离合器可传递的功率减小一半。

2.8 安全离合器

2.8.1 安全离合器的性能及计算

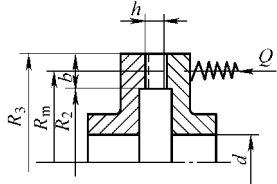
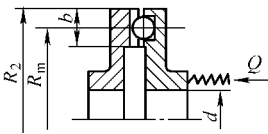
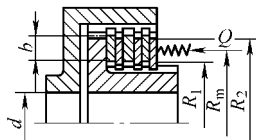
(1) 安全离合器的性能 (见表 5.4-78)

表 5.4-78 安全离合器的性能

类型	结 构 简 图	保护原理	特点与应用
破坏元件式	剪切销式 	过载时通过破坏某一限定元件 (销) 中断传动, 限制传递转矩	结构简单, 制造容易, 尺寸紧凑, 但受制造精度和材料均匀性影响, 过载时动作精度不高, 且随破坏元件数增加而降低精度。此外, 由于疲劳损伤累积, 破坏元件本身强度也随工作时间增加而降低。过载时离合器起作用后, 必须更换破坏元件才能恢复工作。主要用于偶然发生过载的传动系统
	弹簧牙嵌式 	调节弹簧力限定传递转矩, 过载时牙面产生轴向分力大于弹簧压力而退出嵌合, 中断传动	结构简单, 工作可靠, 过载时动作精度高, 能调节工作转矩大小, 有自动恢复工作的能力, 但过载时打滑有冲击, 适宜用于转速不太高, 载荷不太大, 从动部分惯性较小, 且过载不很频繁的传动系统, 其转速范围为 $150 \sim 200 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$
嵌合式	弹簧钢珠式 	利用钢珠代替牙嵌, 过载时, 钢珠的接触点上轴向分力大于弹簧力, 退出嵌合, 中断传动	加工简单, 可靠性高, 以滚动代替滑动, 过载时动作灵敏度高, 有自动恢复工作的能力, 但接触面积小, 容易磨损, 在安装弹簧方向的结构尺寸较大。适用于转速较高、载荷较大、过载频率较高的传动系统
	摩擦片式 	调节弹簧压力限定摩擦片传递的转矩, 过载时摩擦片打滑, 离合器空转	承载能力大, 外形尺寸小, 工作平稳, 有自动恢复工作的能力, 维护简单, 容易系列化, 但结构较复杂, 受摩擦因数稳定性影响, 动作精度不太高, 经常过载时, 摩擦片易发热影响摩擦性能和强度。适宜用于经常过载或有冲击载荷的传动系统

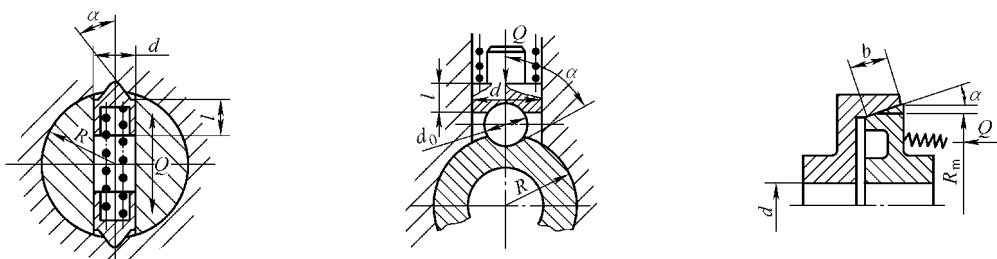
(2) 安全离合器的计算 (见表 5.4-79、表 5.4-80)

表 5.4-79 安全离合器的计算公式

牙嵌安全离合器	钢珠安全离合器	多盘安全离合器
 a) 端面牙 (牙盘: 中心弹簧)	 a) 端面钢珠 (钢珠对钢珠、钢珠对牙; 中心弹簧、分散弹簧)	 $R_2 = (1.5 \sim 2) d$ $R_1 = (0.5 \sim 0.6) R_2$

(续)

圆锥安全离合器



b) 径向牙 (销钉, 分散弹簧)

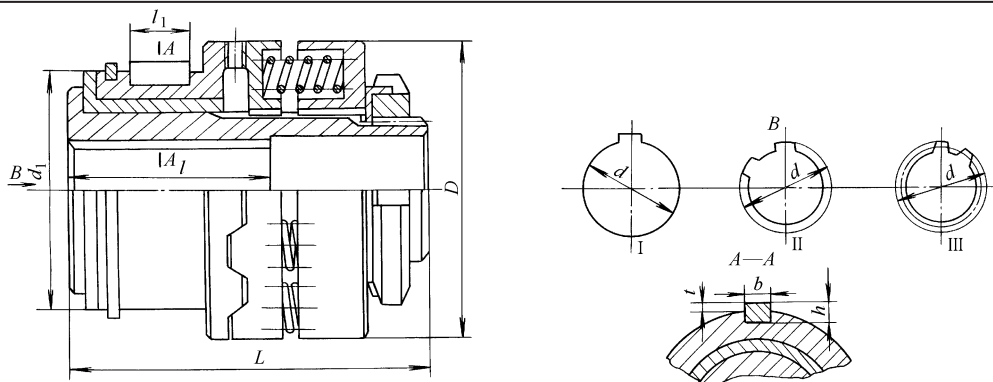
b) 径向钢珠 (钢珠对牙; 分散弹簧)

$$b = (0.15 \sim 0.25) R_m$$

类型	计算项目	计算公式	说明
牙嵌安全式	计算转矩	$T_c = \beta T_t$	T_t —需传递转矩 (N·cm)
	弹簧终压紧力		μ_1 —滑键或滑销的摩擦因数, $\mu_1 = 0.15 \sim 0.17$
	端面牙	$Q_2 = \frac{T_c}{R_m} \left[\tan(\alpha - \rho) - \frac{2R_m}{d} \mu_1 \right]$	A_p —牙面挤压面积 (cm ²)
	径向牙	$Q_2 = \frac{T_c}{R_m z} \left[\left(1 + \frac{3\mu_1 d}{\pi l} \right) \tan(\alpha - \rho) - \frac{3\mu_1}{\pi} \left(2 + \frac{d}{l \tan \alpha} \right) \right]$	β —安全系数, 一般取 $\beta = 1.35 \sim 1.40$
	弹簧初压紧力	$Q_1 = (0.85 \sim 0.90) Q_2$	z —牙数
钢珠安全式	牙面挤压应力	$\sigma_p = \frac{T_c}{100 A_p R_m z_j} \leq \sigma_{pp}$	ρ —工作面摩擦角 (°), 一般取 $\rho = 5^\circ \sim 6^\circ$
	计算转矩	$T_c = \beta T_t$	R_m —牙面平均半径 (cm)
	弹簧终压紧力		z_j —计算牙数, $z_j = (1/3 \sim 1/2) z$
	端面钢珠 (中心弹簧)	$Q_2 = \frac{T_c}{R_m} \left[\tan(\alpha - \rho) - \frac{2R_m}{d} \mu_1 \right]$	μ —工作面摩擦因数, $\mu = \tan \rho \approx 0.1$
	端面钢珠 (分散弹簧)	$Q_2 = \frac{T_c}{R_m z} [\tan(\alpha - \rho) - \mu_1]$	α —牙面工作倾角, $\alpha = 30^\circ \sim 50^\circ$, 一般取 $\alpha = 45^\circ$
钢珠安全式	径向钢珠	$Q_2 = \frac{T_c}{R_m z} \left[\left(1 + \frac{3\mu_1 d}{\pi l} \tan(\alpha - \rho) \right) - \frac{3\mu_1}{\pi} \left(2 + \frac{d}{l \tan \alpha} \right) \right]$	σ_{pp} —许用挤压应力 (MPa), 见表 5.4-47
	弹簧初压紧力	$Q_1 = (0.85 \sim 0.90) Q_2$	d, l —见本表图中标注
	钢珠数量	$Z = \frac{T_c \cos \rho}{p_{np} R_m \cos(\alpha - \rho)}$	T_c —计算转矩 (N·cm)
			z —钢珠数, 一般 $z = 6 \sim 8$
			μ —工作面摩擦因数, $\mu = \tan \rho \approx 0.1$

2.8.3 牙嵌式安全离合器 (见表 5.4-82)

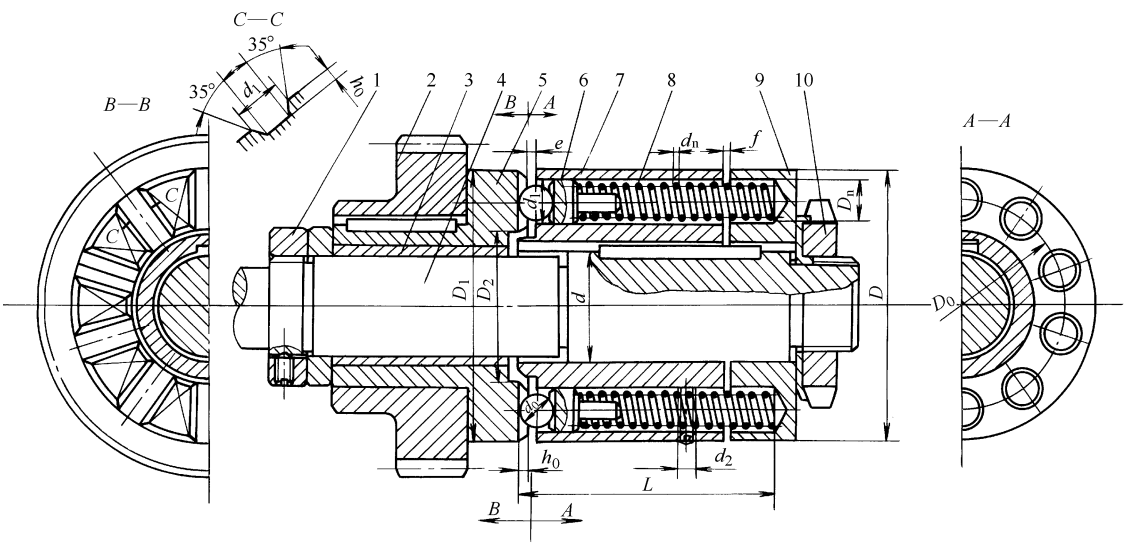
表 5.4-82 牙嵌式安全离合器的主要尺寸

$$(\text{mm})$$


极限转矩 /N·m	dH7			d ₁	D	L	l h14		l ₁	b	h h11	t h12	最高转速 /r·min ⁻¹	质量 /kg	
	I 型	II 型	III 型				I 型	II 型和 III 型							
4	8	—	—	32	36	63	20	—	12	3	3	1.8	1600	0.32	
	9						23								
	10						20								
6.3	9	—	—	38	48		20	—	14	4	4	2.5	1250	0.50	
	10						23								
	11						23								
10	11	—	—	48	56	75	23	—	16	5	5	3.0		1000	0.86
	12	—	12				30								
	14	14	13				30								
16	12	—	12			80	30	25	18	5	5	3.0	1000	0.90	
	14	14	13				30								
	16	16	15				40	28							
25	14	14	13	56	71	85	30	25	21	6	6	3.5	800	1.60	
	16	16	15				40	28							
	18	—	17				40	28							
40	18	—	17			105	40	28	24	6	6	3.5		800	1.80
	20	20	20				50	36							
	22	22	22				50	36							
63	20	20	20	65	85	110	50	36	28	8	7	4.0	630	2.50	
	22	22	22				50	42							
	25	25	25				60	42							
100	25	25	25	80	100	140	60	42	32	10	8	5.0	500	5.00	
	28	28	28				80	58							
	—	—	30				60	42							
160	28	28	28		125	160	60	42	36	10	8	5.0		400	10.00
	—	—	30				80	58							
	32	32	32				80	58							
250	32	32	32	90	140	180	80	58	42	12	9	5.5	315	16.00	
	36	—	35				110	82							
	—	38	38				110	82							
400	—	38	38	105	180	190	80	58	48	14	9	5.5	315	16.00	
	40	—	40				110	82							
	—	42	42				110	82							
400	45	—	45	105	180	190	80	58	48	14	9	5.5	315	16.00	
	40	—	40				110	82							
	—	42	42				110	82							

2.8.4 钢球式安全离合器 (见表 5.4-83)

表 5.4.83 钢球式安全离合器的主要尺寸和特性参数 (mm)



1、10—螺母 2—齿轮 3—轴套 4—轴 5—套筒 (半离合器) 6—支承座
7—壳体 (半离合器) 8—弹簧 9—弹簧座圈

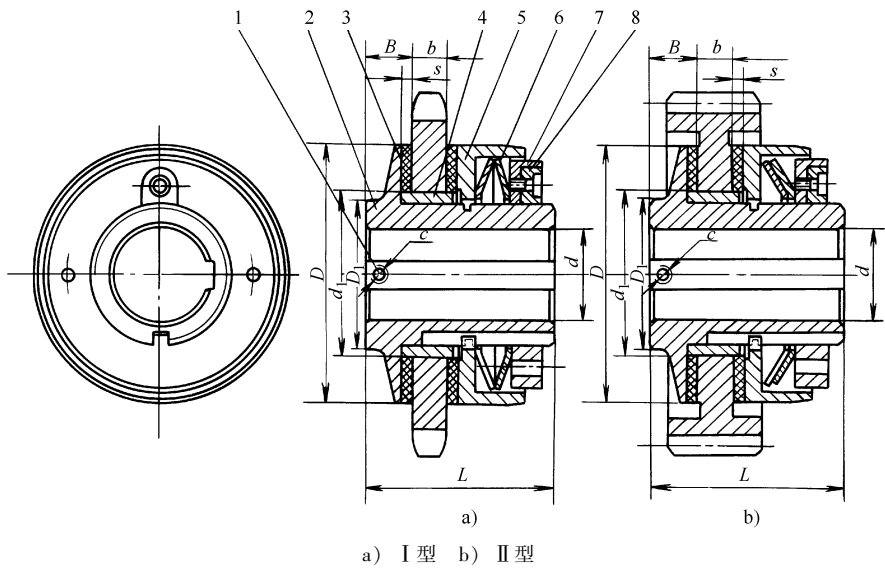
极限转矩 /N · m	D	D ₀	D ₁	D ₂	d	L	d ₁	h ₀	e	f	钢球		螺钉 d ₂	弹 簧					
											直 径 d ₀	个 数 z		一个弹 簧压缩 力/N	弹簧 外径 D _n	钢丝 直径 d _n	圈 数 n	自由状 态长度 H	压缩状 态长度 H ₁
13 ~ 14	65	50	60	40	32	70	11.5	3.0	1.0	3.0	11	8	M6	70	10	1.5	33	80	55
23 ~ 32						70								170		2.0	26	68	54
46 ~ 64						110								360		2.5	36	108	94
24 ~ 30	75	58	70	46	36	75	13.5	3.5	1.0	4.0	13	8	M6	137	12	2.0	27	80	57
33 ~ 57						75								280		2.5	22	70	57
65 ~ 104						120								526		3.0	32	115	101
25 ~ 29	85	65	78	52	40	95	16.5	4.5	1.5	4.5	16	8	M6	106	15	2.0	34	119	73
56 ~ 86						95								394		3.0	23	90	72
89 ~ 141						120								650		3.5	27	113	97
50 ~ 63	100	78	92	65	48	95	16.5	4.5	1.5	4.5	16	8	M6	214	15	2.5	28	100	72
67 ~ 103						95								394		3.0	23	90	72
107 ~ 170						120								650		3.5	27	113	97
59 ~ 68	115	88	105	72	55	100	20.5	5.5	1.5	5.5	20	9	M6	167	19	2.5	28	121	72
108 ~ 186						100								400		3.5	20	93	72
157 ~ 248						120								754		4.0	23	112	92
114 ~ 144	130	102	120	85	68	100	20.5	5.5	1.5	5.5	20	10	M8	300	19	3.0	23	104	72
140 ~ 215						110								490		3.5	20	93	72
202 ~ 320						125								754		4.0	24	118	96
192 ~ 236	150	118	140	100	80	130	24.5	6.5	2.0	6.5	24	10	M8	410	22	3.5	27	139	91
253 ~ 340						130								630		4.0	24	127	96
512 ~ 695						200								1300		5.0	32	196	166
266 ~ 326	170	136	155	115	95	130	24.5	6.5	2.0	6.5	24	12	M8	410	22	3.5	27	139	97
350 ~ 472						130								630		4.0	24	127	96
710 ~ 965						200								1300		5.0	32	169	166

(续)

极限转矩 /N·m	D	D ₀	D ₁	D ₂	d	L	d ₁	h ₀	e	f	钢球		螺钉 d ₂	弹 簧					
											直 径 d ₀	个 数 z		一个弹 簧压缩 力/N	弹簧 外径 D _n	钢丝 直径 d _n	圈 数 n	自由状 态长度 H	压缩状 态长度 H ₁
311 ~ 384	195	160	180	140	115	130	24.5	6.5	2.0	6.5	24	12	M10	410	22	3.5	27	139	97
411 ~ 554						130								630		4.0	24	127	96
834 ~ 1138						200								1300		5.0	32	196	166
560 ~ 665	225	185	210	150	135	160	28.5	8.0	2.0	7.5	28	14		750	26	4.0	26	164	121
836 ~ 1175						160								1430		5.0	38	257	210
1641 ~ 2200						250								1900		6.0	35	247	210
840 ~ 1060	260	216	240	195	160	160	28.5	8.0	2.0	7.5	28	14	M12	750	26	4.5	26	164	121
1650 ~ 1940						250								1430		5.5	38	257	210
2055 ~ 2600						250								1900		6.0	35	247	210
1600 ~ 1800	300	250	275	225	190	250	33.0	9.0	3.0	8.0	32	15		880	30	5.0	41	289	206
2480 ~ 3000						250								1590		6.0	34	258	205
3900 ~ 4880						320								2630		7.0	39	322	275

2.8.5 摩擦式安全离合器（见表 5.4-84）

表 5.4-84 干式单片圆盘安全离合器的主要尺寸（摘自 JB/T 8869—2000）（mm）



1—固定螺钉 2—轴套 3—摩擦衬面层 4—衬套 5—加压盘 6—碟形弹簧 7—调节螺母 8—锁紧块

极限转矩/N·m		D	b	d ₁	B	D ₁	d	c	L	s	质量 /kg	弹簧力/N	
I 型	II 型											I 型	II 型
25	50	68	3 ~ 10	44	17	45	10 ~ 25	M5	52	3	0.86	1270	2540
50	100	88	4 ~ 12	58	19	58	14 ~ 35	M5	57	3	1.60	1950	3900
100	200	115	5 ~ 15	72	21	75	18 ~ 45	M6	68	4	3.14	3050	6100
200	400	140	6 ~ 18	85	23	90	24 ~ 55	M6	78	4	5.37	5100	10200
350	700	170	8 ~ 20	98	29	102	28 ~ 65	M8	92	5	9.00	7500	15000
600	1200	200	8 ~ 23	116	31	120	38 ~ 80	M8	102	5	12.42	10500	21000
1000	2000	240	8 ~ 25	144	33	150	48 ~ 100	M10	113	5	21.17	15000	30000
1700	3400	285	8 ~ 25	170	35	180	58 ~ 120	M10	115	5	30.67	21000	42000

3 制动器

3.1 制动器的功能、分类、特点与应用

制动器是用于机构或机器减速或使其停止的装置。有时也用做调节或限制机构或机器的运动速度。它是保证机构或机器正常安全工作的重要部件。

电力制动（再生制动、涡流制动、反接制动等）只能消耗机构或机器的一部分动能，减小或限制其运动速度，不能使运动停止。机械式制动器则具有减速、停止及支持等功能，本章重点论述后者。

为了减小制动转矩，缩小制动器尺寸，通常将

制动器装在机构的高速轴上，或装在减速器的输入轴上。某些安全制动器则装在低速轴或卷筒轴上，以防在传动机构中断轴时物品的坠落。特殊情况下也有将制动器装在其他轴上的。

按工作状态分，制动器可分为常闭式和常开式。常闭式制动器靠弹簧或重力的作用经常处于紧闸状态，而机构运行时，则用人力或松闸器使制动器松闸。与此相反，常开式制动器经常处于松闸状态，只有施加外力时才能使其紧闸。

制动器主要由制动架、摩擦元件和松闸器等组成。许多制动器还装有自动调整间隙的装置。

常用制动器性能特点及应用见表 5.4-85。

表 5.4-85 常用制动器性能特点及应用

序 号	制动器名称	特 点 及 应 用 说 明
1	外抱块式制动器	构造简单可靠，散热好。瓦块有充分和较均匀的退距，调整间隙方便。对于直形制动臂，制动转矩大小与转向无关，制动轮轴不受弯曲作用力。但包角和制动转矩小，制造比带式制动器复杂，杠杆系统复杂，外形尺寸大。应用较广，适于工作频繁及空间较大的场合
2	内涨蹄式制动器	两个内置的制动蹄沿径向向外挤压制动鼓，产生制动转矩。结构紧凑，散热性好，密封容易，可用于安装空间受限制的场合，广泛用于轮式起重机及各种车辆，如汽车、拖拉机等车轮上
3	带式制动器	构造简单紧凑，包角大（可超过 2π ），制动转矩大。制动轮轴受较大的弯曲作用力，制动带的比压和磨损不均匀（按 $e^{\mu s}$ 规律进行）。简单和差动带式制动器的制动转矩大小均与旋转方向有关，限制了应用范围，散热差。适于大型机器、要求结构紧凑的制动，如用于移动式起重机中
4	盘式制动器	利用轴向压力使圆盘或圆锥形摩擦表面压紧，实现制动。制动轮轴不受弯曲，构造紧凑。与带式制动器比较，磨损较均匀，制动转矩大小与旋转方向无关，制成封闭式，可防尘防潮。摩擦面散热条件次于块式和带式，温度较高。适于应用在紧凑性要求高的场合，如车辆的车轮和电动葫芦中
5	载荷自制盘式制动器	靠重物自重机构中产生的内力制动，它能保证重物在升降过程中平稳下降和安全悬吊。主要用于提升设备及起重机械的起升机构中
6	磁粉制动器	主要利用磁粉磁化时所产生的剪力来制动。体积小，重量轻，励磁功率小且制动转矩与转动件的转速无关。但磁粉会引起零件磨损。适用于自动控制及各种机器的驱动系统中
7	磁涡流制动器	坚固耐用，维修方便，调速范围大。但低速时效率低，温升高，必须采取散热措施。常用于有垂直负载的机械中（如起重机械的起升机构）吸收停车前的动能，以减轻停止式制动器的负载

3.2 制动器的选择与设计

3.2.1 制动器的类型选择

制动器类型的选择应根据使用要求和工作条件来选定。选择时应考虑以下几点：

1) 需要应用的机器或机构的工作性质和工作条件。例如对于起重机的起升和变幅机构都必须采用常闭式制动器。而对于水平运行的车辆及起重机械的运行和旋转机构等，为了控制制动转矩的大小以便准确停车，则多采用常开式制动器。

2) 应充分注意制动器的任务。例如支持物品制动器的制动转矩必须有足够的裕度，即应保证一定的安全系数。对于安全性有高度要求的机构，需装设双重制动器，如运送熔化金属或易燃、爆炸物品的起升机构，规定必须装设两个制动器，其中每一个制动器都应能单独安全地支持铁液包等运送物品，而不致坠落。又如矿井提升机，除在高速轴上设置制动器外，还在卷筒或绳轮轴上设置制动器。对于重物下降制动（即滑摩式制动）则应考虑散热问题，必须有足够的散热面积，使其能将制动时重物位能

所产生的热量散去,以免过热使制动失效。

3) 应考虑应用的场所。例如安装制动器的地点有足够的空间时,则可选用外抱式制动器;空间受限制处,则可采用内蹄式、带式或盘式制动器。

3.2.2 制动器的设计计算

(1) 设计制动器的主要步骤

1) 根据机器或机构的运转情况计算制动轴上的负载转矩 T_l 。用于起重机的起升机构(或矿井提升机),制动转矩必须有一定的安全储备。求出制动转矩 T ($T = S_p T_l$),考虑安全储备的制动安全系数 S_p 的推荐值见表 5.4-86。而对于水平运行的车辆,或起重机械的运行机构等,制动转矩以满足工作要求为宜(使制动车轮不发生打滑现象,或满足一定的制动距离或制动时间),不可过大,以防止机器设备的剧烈振动或零部件的损坏。

2) 根据计算转矩和工作条件,选定合适的制动器类型和结构,并画出传动图。

3) 按摩擦元件的退距求出松闸推力和行程,用以选择或设计松闸器。

4) 对主要零件作必要的强度计算,其中制动

臂、传力杠杆等还应进行刚度验算。对摩擦元件则应进行发热验算。

如选用标准制动器,则应以计算制动转矩为依据,参照标准制动器的额定制动转矩,选出标准型号后,作必要的验算,也可直接选用不再验算。

表 5.4-86 制动安全系数 S_p 推荐值

设 备 类 型			S _p
矿 井 提 升 机			3
起重机械	驱动形式	机构工作级别	
	人力驱动	M ₁ （轻级）	1.5
	动力驱动	M ₁ 、M ₂ 、M ₃ 、M ₄ （轻级）	1.5
		M ₅ （中级）	1.75
		M ₆ 、M ₇ （重级）	2.0
M ₈ （特重级）		2.5	
起升机构	同一机构装设两个制动器时的每台制动器		1.25

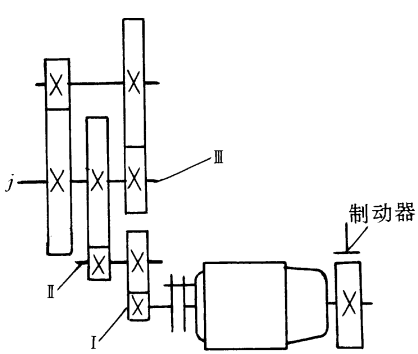
(2) 计算制动转矩的确定

根据被制动对象的运动情况,可分为水平移动时制动和垂直(升降)移动时制动两种基本类型。计算制动转矩 T 的计算公式列于表 5.4-87 中。

表 5.4-87 制动转矩的计算

计 算 内 容		计 算 公 式	单 位	说 明
机 械 制 动 转 矩	水平制动	$T = T_l - T_f$	$N \cdot m$	T_l —负载转矩,此处为换算到制动轴上的传动系统惯性转矩 ($N \cdot m$) T_f —换算到制动轴上的总摩擦阻力转矩 ($N \cdot m$) 被制动的只是惯性质量,如车辆的制动
	垂直制动	$T = T_l S_p$ $T_l = \frac{T_1}{i} \eta$	$N \cdot m$	T_l —换算到制动轴上的负载转矩 ($N \cdot m$) T_1 —垂直负载对负载轴的转矩 ($N \cdot m$) i —制动轴到负载轴的传动比 η —从制动轴到负载轴的机械效率 S_p —保证重物可靠悬吊的制动安全系数(见表 5.4-86)因有较大的储备,惯性转矩可不计 被制动的有惯性质量和垂直负载(垂直负载是主要的),如提升设备的制动应保证重物可靠悬吊 机械制动使重物匀速下降、车辆匀速下坡等仍按以上基本类型考虑
负 载 转 矩	水平制动	$T_l = \frac{E_p + E_g}{\varphi}$ $E_p = \frac{I_{eqp} (\omega_1^2 - \omega_0^2)}{2}$ $= \frac{(GD^2)_{eqp} (n_1^2 - n_0^2)}{7160}$ $E_g = \frac{m (v_1^2 - v_0^2)}{2}$	$N \cdot m$	φ —制动轴在制动时的转角 (rad) E_p —换算到制动轴上的所有旋转质量的动能与制动轴系旋转质量动能之和 ($N \cdot m$) E_g —换算到制动轴上的所有直线移动质量的动能 ($N \cdot m$) I_{eqp} 、 $(GD^2)_{eqp}$ —换算到制动轴上的及制动轴系本身的旋转质量的等效转动惯量 ($kg \cdot m^2$)、飞轮矩 ($N \cdot m^2$) ω —制动轴角速度 ($rad \cdot s^{-1}$) m —直动部分质量 (kg) v —直动部分速度 ($m \cdot s^{-1}$) n —制动轴转速 ($r \cdot min^{-1}$) 下标 1 和 0 分别表示制动开始和终了

(续)

计算内容		计 算 公 式	单 位	说 明
负载转矩	垂直制动	$T_1 = \frac{mgD_0}{2ia}\eta$	N · m	m —重物质量与吊具质量之和 (kg) D_0 —卷筒计算直径 (m) a —滑轮组倍率 i —制动轴到卷筒轴的传动比 η —制动轴到卷筒轴的机械效率 g —重力加速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
给定条件下的负载转矩	给定制动时间	$T_1 = \frac{(GD^2)_{\text{eq}} (n_1 - n_0)}{375t}$	N · m	在时间 t_s 内将制动轴的转速从 n_1 减至 n_0 要求完全制动时, $n_0 = 0$ $(GD^2)_{\text{eq}}$ —一见本表后面的说明
	给定制动轴转角	$T_1 = \frac{(GD^2)_{\text{eq}} (n_1^2 - n_0^2)}{7160\varphi}$	N · m	在制动轴转角 φ 内将制动轴的转速从 n_1 减至 n_0 要求完全制动时, $n_0 = 0$ φ —制动轴转角 (rad)
	给定制动距离	$T_1 = \frac{(GD^2)_{\text{eq}} (n_1^2 - n_0^2) R}{7160Si}$ 如制动开始和终了时的车速为 v_1 和 v_0 (m/min), 则 $T_1 = \frac{(GD^2)_{\text{eq}} i (v_1^2 - v_0^2)}{283000SR}$ 要求完全制动时, n_0 和 v_0 为零, 亦可 $T_1 = \frac{(GD^2)_{\text{eq}} v_1 n_1}{45000S}$	N · m	车辆等在行走 S 距离内将制动轴的转速从 n_1 减至 n_0 时 R —车轮半径 (m) i —制动轴到车轮轴的传动比 S —给定的制动距离 (m)
传动系统的等效飞轮矩	制动轴上的总等效飞轮矩 $(GD^2)_{\text{eq}} = (GD^2)_{\text{eqp}} + (GD^2)_{\text{eqg}}$ $(GD^2)_{\text{eqp}} = \sum (GD_j^2) \cdot i_{(j-1)}^2$ 等效飞轮矩计算简图  $(GD^2)_{\text{eqg}} = \frac{mgv^2}{\pi^2 n^2}$ 制动器装在高速轴上, 常用的近似公式 $(GD^2)_{\text{eqp}} = (1.1 \sim 1.2) GD_1^2$ 旋转轴轴线不通过旋转体的重心时 $(GD^2) = (GD^2)_0 + 4Mgl^2$			N · m ² $(GD^2)_{\text{eqp}}$ —旋转部分的等效飞轮矩 (N · m ²) GD_j^2 —传动系统中任意轴 j 的飞轮矩 (N · m ²) $i_{(j-1)}$ —传动系统中轴 j 到制动轴的传动比, $i_{(j-1)} = n_j/n_1$ $(GD^2)_{\text{eqg}}$ —直动部分的等效飞轮矩 (N · m ²) m —直动部分的质量 (kg) v —速度 ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) n_1 —制动轴转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) GD_1^2 —高速轴即制动轴上的总飞轮矩 (N · m ²), 一般包括制动轴上制动轮及联轴器的飞轮矩, 可由相应的制动轮及联轴器性能数据表中查出 转动惯量 I 与飞轮矩的关系 $(GD^2) = 4gI$ $(GD^2)_0$ —旋转体绕重心轴的飞轮矩 (N · m ²) M —旋转体质量 (kg) l —旋转体重心到旋转轴轴线的距离 (m)

(3) 制动器热平衡验算

发热验算是设计及选用制动器中的一个重要环节, 发热计算的目的是保证制动轮和摩擦衬垫的工作温度不超过许用值。因为摩擦面温度过高时, 摩擦因数将会降低, 不能保持稳定的制动转矩, 并加速摩擦元件的磨损。

对于停止式制动器和其他发热量不大的制动器, 可以只校核其摩擦面的比压 p 和 pv 值 (v 为制动轮圆周速度) 是否超过许用值 (见表 5.4-91)。起重机工作级别为 $M_1 \sim M_6$ 的机构, 按所需制动转矩选择的标准制动器, 当每小时制动次数不大于 150 次时, 不需进行发热验算。

1) 热平衡的通式。对于滑摩式制动器和在高温下频繁工作的制动器, 因发热量大, 应进行热平衡计算, 即

$$Q \leq Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (5.4-14)$$

$$Q_1 = (\beta_1 A_1 + \beta_2 A_2) \left[\left(\frac{273 + \theta_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + \theta_2}{100} \right)^4 \right] \quad (5.4-15)$$

$$Q_2 = \alpha_1 A_3 (\theta_1 - \theta_2) (1 - JC) \quad (5.4-16)$$

$$Q_3 = \alpha_2 A_4 (\theta_1 - \theta_2) JC \quad (5.4-17)$$

式中 Q ——制动器工作每小时所产生的热量 ($\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}$);

Q_1 ——每小时辐射散热量 ($\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}$);

Q_2 ——每小时自然对流散热量 ($\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}$);

Q_3 ——每小时强迫对流散热量 ($\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}$);

β_1 ——制动轮光亮表面的辐射系数, 通常可取

$$\beta_1 = 5.44 \text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1};$$

β_2 ——制动轮暗黑表面的辐射系数, 通常取

$$\beta_2 = 18 \text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1};$$

A_1 ——制动轮光亮表面的面积 (m^2);

A_2 ——制动轮暗黑表面的面积 (m^2);

θ_1 ——摩擦材料的许用温度 ($^\circ\text{C}$) (表 5.4-91);

θ_2 ——周围环境温度的最高值 ($^\circ\text{C}$), 一般可取 $30 \sim 35^\circ\text{C}$;

α_1 ——自然对流散热系数, $\alpha_1 = 21 \text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;

α_2 ——强迫对流散热系数, $\alpha_2 = 25.7 v^{0.73} \text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, v 为散热圆环面的圆周速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);

A_3 ——扣除制动带 (块) 遮盖后的制动轮总面积 (m^2);

A_4 ——制动轮轮缘的内外圆柱表面积 (m^2);

JC ——机构的接电持续率: 在 10min 内, 机构的工作时间与整个工作周期之比。

计算 A_1 和 A_2 时, 不计制动带 (块) 覆盖的面积与制动轮内表面的面积。

2) 提升设备制动器的发热量:

$$Q = \left[m_1 s \eta + \frac{1.2 (GD^2)_{\text{eqpl}} n^2}{3600} \right] z_0 A \quad (5.4-18)$$

3) 平移机构制动器的发热量:

$$Q = \left[\frac{m_2 v^2}{2g} + \frac{1.2 (GD^2)_{\text{eqpl}} n^2}{7200 \eta} - \frac{F_z v}{20} t \right] z_0 A \eta \quad (5.4-19)$$

式中 m_1 ——平均提升质量 (kg);

m_2 ——直线运动部分的质量 (kg);

s ——平均制动行程 (m);

η ——机械效率;

$(GD^2)_{\text{eqpl}}$ ——换算到制动轴上的所有旋转质量的飞轮矩 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);

n ——电动机转速 (设制动器与电动机同轴) ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$);

A ——热功当量 ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$), $A = \frac{1}{101.99}$;

z_0 ——制动器每小时的工作次数;

F_z ——运行阻力 (N);

t ——制动时间 (s);

g ——重力加速度, $g = 9.8 (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$;

v ——运行速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

对于某些设备, 还应按下式校核制动轮一次制动的温升是否超过许用值, 即

$$\theta = \frac{T_1 \varphi}{1019.9 mc} \leq 15 \sim 50^\circ\text{C} \quad (5.4-20)$$

式中 φ ——制动过程转角 (rad);

m ——制动轮质量 (kg);

T_1 ——负载转矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$);

c ——制动轮材料的比热容;

对钢和铸铁取 $c = 0.523 \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;

对硅铝合金取 $c = 0.879 \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

(4) 制动时间 制动减速度和制动行程计算

根据计算制动转矩 T_e 及条件选择制动器型号 (规格) 后, 应校核其制动时间、制动平均减速度和制动行程是否符合主机的使用要求。

制动时间、制动平均减速度和制动行程分别按下列三式计算

$$t = 4gJ_e (n - n_0) \eta / (375T_z) \quad (5.4-21)$$

$$a = 375T_z / (4gJ_e \eta) \quad (5.4-22)$$

$$\left. \begin{aligned} L &= 4J_e (n^2 - n_0^2) \eta gR / (7160iT_z) \\ \text{或 } L &= 4J_e (v^2 - v_0^2) \eta gi / (78.6RT_z) \end{aligned} \right\} \quad (5.4-23)$$

式中 t ——制动时间 (s);

a ——制动平均减速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$);

L ——制动行程 (m);

g ——重力加速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$), $g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

J_e ——折算到制动轴上的总等效转动惯量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);

n, n_0 ——制动开始和终了时制动轴的转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$), 若要求完全停止不动, 取 $n_0 = 0$;

η ——被制动传动系统的效率;

T_z ——所选制动器的制动转矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$), 亦即标准制动器的公称制动转矩 T_n ($\text{N} \cdot \text{m}$), 或某些制动器产品样本上的额定制动转矩 T_e ($\text{N} \cdot \text{m}$);

v, v_0 ——制动开始和制动终了时车速或重物下降速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), 要求完全停止不动时, 取 $v_0 = 0$;

R ——行走车轮或提升卷筒半径 (m);

i ——制动轴到车轮 (或卷筒) 的传动比。

如果制动时间、平均减速度和制动行程不符合使用要求, 应适当调整制动器的制动转矩或重选制动器规格。

3.2.3 摩擦材料

摩擦元件是制动器和离合器的主要组成部分, 摩擦材料的性能直接影响制动的接合过程。其工作温度和温升速度, 是影响性能的主要因素, 以上又取决于摩擦副的工作条件。制动器工作时, 吸收的能量越大, 而完成的制动时间越短, 则温升越高。飞机着陆、高速重型货车制动等, 都在瞬间使摩擦元件的工作表面温度达 $700 \sim 1000^\circ\text{C}$ 甚至更高。

摩擦材料如超过其许用工作温度, 性能就会显著恶化。

(1) 对摩擦材料的基本要求

1) 摩擦因数高而稳定。一般摩擦材料的摩擦因数都随温度、压力、相对滑动速度、工作表面的清洁程度而变化, 其中温度影响尤为显著。热衰退是使摩擦因数下降的主要原因。摩擦材料应在一定温度范围内 (见表 5.4-91), 具有稳定的摩擦因数和良好的恢复性能 (见图 5.4-15)。

2) 耐磨性好。摩擦材料的磨损, 主要由于其成分在高温下的热分解, 以及接触面间的摩擦所造成。为了减轻磨损, 除提高摩擦材料及粘结剂的耐热性和耐磨性外, 还应使摩擦表面光滑。

3) 有一定的机械强度和良好的工艺性。

4) 有一定的耐油、耐湿、耐蚀及抗胶合性能。

5) 容许比压力大及不伤制动轮。

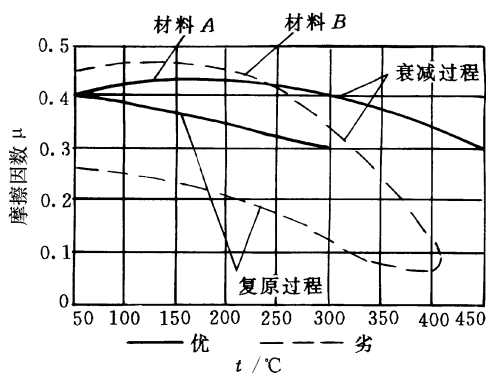


图 5.4-15 摩擦材料的恢复性能

制动轮或离合器圆盘的工作面表面粗糙度 Ra 为 $3.2\mu\text{m}$ 。

在摩擦面上开槽可以储集侵入的灰尘和砂粒, 从而减轻磨损。

(2) 摩擦材料的种类

1) 金属摩擦材料

金属摩擦材料强度高, 不易破裂, 对水的侵入不敏感; 温度升高时摩擦因数下降快, 胶合趋势大, 因而制动不平稳。常用的金属摩擦材料如下。

① 粉末冶金摩擦材料。这种材料有较高的摩擦因数, 导热性好, 耐高温 (许用工作温度可达 680°C), 耐磨, 许用比压高, 一般可达 $2.74 \sim 3.92\text{MPa}$, 有良好的热稳定性和磨合性, 广泛用于重载工作机械。但在轻载荷条件下其耐磨性不及石棉摩擦材料。

粉末冶金摩擦材料有铜基及铁基两类。铜基多用于湿式, 铁基多用于干式。其技术性能见表 5.4-88。

常见的几种粉末冶金摩擦材料的摩擦因数及其应用见表 5.4-89。

② 铸铁。耐磨性及导热性较好, 不易胶合, 耐冲击性差, 适于在湿式中、低速条件下工作。载荷不大时也用于干式。常用铸铁牌号有 HT200 等。

③ 钢。耐磨性及导热性较好, 但表面易划伤,

适用于湿式。常用的有 10、15 钢 (56 ~ 62HRC)、65Mn (35 ~ 45HRC) 等。

④ 青铜。耐磨性和导热性好。常用的有 QSn4-4-4、QSn7-0.2、QAl9-4 等。

表 5.4-88 粉末冶金摩擦材料的技术性能

种 类	铜基材料	铁基材料
密 度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	6 ~ 6.5	5 ~ 6.5
硬度 HBW	20℃ 时	18 ~ 20
	60℃ 时	25 ~ 28
	500℃ 时	10 ~ 12
抗剪强度/MPa	93 ~ 117.6	
抗压强度/MPa	245 ~ 274.4	294 ~ 686
抗拉强度/MPa	20℃	19.6 ~ 39.2
	60℃	73.5 ~ 83.3
	500℃	5.88 ~ 6.86
断裂强度/MPa	98 ~ 117.6	
摩擦因数	干	0.25 ~ 0.35
	湿	0.09 ~ 0.12
线胀系数/ $^{\circ}\text{C}^{-1}$	20 ~ 500℃	$17.6 \times 10^{-6} \sim 22 \times 10^{-6}$

表 5.4-89 常用粉末冶金摩擦材料的摩擦因数及其应用

基别	牌 号	摩擦因数	应用场合
铁基	FM69-45	0.4 ~ 0.5	(干) 重型汽车制动器闸瓦
	FM73-25	> 0.14	(湿) 重型自卸汽车离合器片
铜基	CM75-30	0.13	(湿) 重型矿车、工程机械、汽车的离合器片
	CM64-20	0.25 ~ 0.3	(干) 机床离合器片、摩擦压力机离合器片
	CM69-25	0.08 ~ 0.12	(湿) 船、自卸汽车、机床、电梯的离合器片

2) 非金属材料

① 石棉摩擦材料。石棉摩擦材料应用最广，其基本成分是石棉、粘结剂和用以调节摩擦性能的各种有机或无机填料。

石棉摩擦带分为纺织类和纤维类。

纺织类：石棉纤维掺以一定量的棉花，织成布或带，再经过各种粘结剂和填充混合物的浸渍，经干燥、热压等工序制成。按需要可在纺织时加入锌丝或铜丝。此类制品有石棉橡胶离合器片、石棉铜丝及石棉树脂制动片（带）等。

这种制品抗冲击强度较好，在常温下有较高而

稳定的摩擦因数，但耐高温性能较差，磨损较快。

纤维类：将短纤维石棉、粘结剂和各种添加剂等混合后，用干法或半湿法工艺制成压缩料，再经热压而成。有时根据需要也加入少量有色金属屑，统称石棉绒制品，应用较广泛。

温度对石棉材料摩擦因数及磨损的影响见图 5.4-16。图中 A、B、C 分别为石棉布制品、石棉绒制品和石棉线制品时温度对 μ 的影响；a、b 分别为线制品和绒制品时温度对磨损量 Δh 的影响。

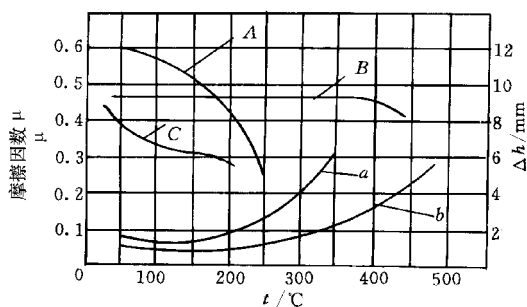


图 5.4-16 温度对石棉材料摩擦因数和磨损的影响

石棉摩擦材料中，压力对摩擦因数及磨损的影响情况如图 5.4-17 所示。

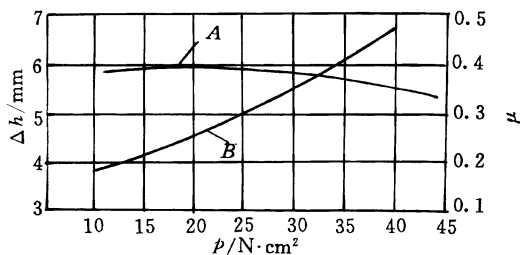


图 5.4-17 压力对摩擦因数及磨损的影响

A—摩擦因数 B—磨损量

某些石棉制品摩擦材料的技术性能见表 5.4-90。

② 有机摩擦材料。如皮革、橡胶、木材等，主要用于小功率、低速机械的制动。

③ 纸基摩擦材料。主要在油介质中工作，用于液压自动变速器的传动和制动。摩擦因数稳定、磨损小，静、动摩擦因数很接近，约为 0.13 ~ 0.15。

④ 碳基摩擦材料。这是近年出现的新型摩擦材料，耐高温性能好（可达 800 ~ 1000℃，甚至更高），摩擦因数稳定，耐磨性也好。

表 5.4-90 石棉制品摩擦材料的技术性能

材料牌 号 Hz	布氏硬度 HBW	摩擦因数		磨损率/ (mm/30min)		冲击韧度/ $J \cdot cm^{-2} \geq$	吸水率 (%) $\leq$	吸油率 (%) $\leq$	适 用 范 围
	$N \cdot cm^{-2}$	A ^①	B ^②	A	B				
100	80 ± 20	0.42	0.35	0.05	0.16	196	0.3	0.5	轻、中型机械及车辆制动
274	350 ± 50	0.45	0.40	0.04	0.07	39.2	0.5	0.5	各种机械的液压制动及传动
307	250 ± 50	0.45	0.45	0.04	0.07	39.2	0.5	0.5	各种中、重型车辆或机械气压制动
507	380 ± 50	0.5	0.45 ^③	0.04	0.09	49	0.4	0.4	高速高负载车辆及机械制动或传动
513	100 ± 20	0.48	0.47 ^③	0.03	0.09	78.4	0.4	0.4	高速、高负载的中、高级轿车或机械制动
710	200 ± 20	0.10 ^④ (动摩)		0.03					油浸摩擦片
511	100 ± 20	0.15 ^④ (静摩)		0.01					纸质油浸摩擦片

- ① 工作温度 (120 ± 5)℃。
② 工作温度 (250 ± 5)℃。
③ 工作温度 300℃。
④ 工作温度 110℃，动摩擦因数为 0.14。

(3) 摩擦副计算用数据 (见表 5.4-91)

表 5.4-91 摩擦副计算用数据推荐值

对 摩 擦 材 料		$[p] / \text{MPa}$ 和 $[pv] / \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$										摩 擦 因 数		许用 温度		
		块式制动器				带式制动器				盘式制动器						
		停止式		滑摩式 ^①		停止式		滑摩式		干 式		湿 式			μ	
摩擦材料	对摩 材料	$[p]$	$[pv]$	$[p]$	$[pv]$	$[p]$	$[pv]$	$[p]$	$[pv]$	$[p]$	$[pv]$	$[p]$	$[pv]$		干 式	湿 式
铸 铁 钢	钢	2	500	1.5	250	1.5	250	1.0	150	0.2 ~ 0.3		0.6 ~ 0.8		0.17 ~ 0.2	0.06 ~ 0.08	260
	钢或 铸铁	2		1.5		1.5		1.0		0.2 ~ 0.3		0.6 ~ 0.8		0.15 ~ 0.18	0.06 ~ 0.08	260
青 铜	钢									0.2 ~ 0.3		0.6 ~ 0.8		0.15 ~ 0.2	0.06 ~ 0.11	150
石棉树脂 ^②	钢	0.6	500	0.3	250	0.6	250	0.3	250	0.2 ~ 0.3	140	0.6 ~ 0.8		0.35 ~ 0.4	0.10 ~ 0.12	250
石棉橡胶	钢		500		250	0.6	250	0.3	250		140			0.4 ~ 0.43	0.12 ~ 0.16	250
石棉铜丝	钢		500		250	0.6	250	0.3	250		140			0.33 ~ 0.35	—	—
石棉浸油	钢	0.6	500	0.3	250	0.6	250	0.3	250	0.2 ~ 0.3	140	0.6 ~ 0.8		0.3 ~ 0.35	0.08 ~ 0.12	250
石棉塑料	钢	0.6	500	0.4	250	0.6	250	0.4	250	0.4 ~ 0.6	140	1.0 ~ 1.2		0.35 ~ 0.45	0.15 ~ 0.20	
木 材	铸铁															

- ① 此处为通称，垂直制动时可称下降式。
② 即石棉树脂制动带。

3.3 外抱块式制动器

3.3.1 结构形式

外抱块式制动器通常简称块式制动器，在起重运输机械等设备中应用较广，且多采用常闭式。通常用弹簧或重锤紧闸，当电动机启动时，通过与其串联的松闸器自动松闸。有时也用人力松闸。

图 5.4-18 所示为典型的常闭式长行程电磁液压制动器。主弹簧 2 压紧制动臂 3 及制动瓦 1 使制动器紧闸。当松闸器 5 中的电磁线圈通电时，推杆 4

向上推开制动臂 3，使制动器松闸。为便于维修，常将主弹簧置于制动轮的上边或侧面，见图 5.4-19，其松闸器为电力液压单推杆。

常闭式长行程制动器的松闸器除采用上述液压电磁铁和电力液压单推杆外，还有采用交、直流电磁铁和电动液压双推杆松闸器的。

图 5.4-20 所示为短行程电磁铁制动器，其松闸器有交流和直流电磁铁两种。其机架为标准通用型。交流电磁铁（也称转动式电磁铁）工作时，动铁心 2 绕销轴 1 转动（图 5.4-20 中 a）。直流电磁铁工作

时,动铁心3被直接吸合(图5.4-20中b)。

这种制动器常用于快速、点动、对外形尺寸无严格要求的场合。由于其耐用性较差,现已较少采用。

图5.4-21为无上框的短行程常闭式制动器。直

流电磁铁1及动铁心3,由销轴8及调整螺钉10支承于机架9上。主弹簧2的张力使动铁心推动杠杆7、6和5,随着两个制动瓦4压制动轮而紧闸。通电后,磁铁吸合并压缩主弹簧2而松闸。

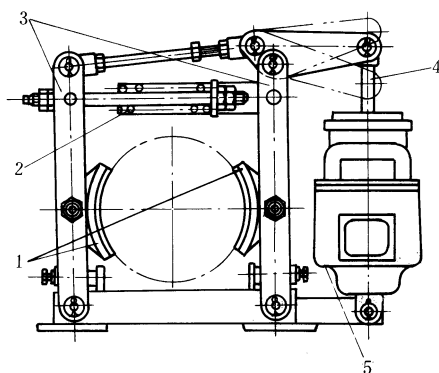


图 5.4-18 长行程电磁液压制动器

1—制动瓦 2—主弹簧 3—制动臂
4—推杆 5—松闸器

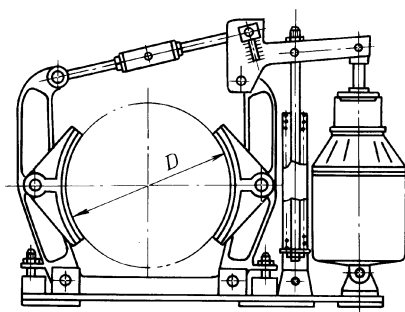


图 5.4-19 侧簧长行程电力
单推杆制动器

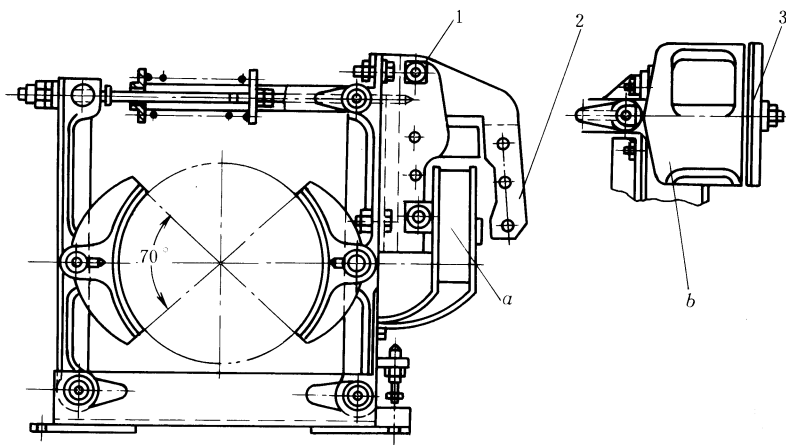


图 5.4-20 短行程电磁铁制动器

1—销轴 2、3—动铁心

这种制动器的弹簧张力调整容易,磁铁间隙小(0.6~3.0mm),动作快,松掉螺钉10即可将制动器拆除,维修方便。其使用与一般短行程制动器相同。

图5.4-22为一短行程直流电磁铁块式制动器。松闸器在上部,弹簧3使制动器处于紧闸状态。电磁铁通电后,动铁心下降,推动直角杠杆1和调整螺钉2使弹簧压缩松闸。件4为备用松闸手柄。这种制动器宽度小,动作灵敏,松闸器连同主弹簧可整个装拆,组装性好,维修方便,常用于电梯等升降设备中。

制动转矩大的大型制动器,一般都具有质量大、

结构和杆系复杂、调整维修较困难等特点。图5.4-23为液压驱动的大型制动瓦组件。瓦块5水平移动,上有导引部分2,机体4上有滑槽3,主弹簧组6的张力压瓦块紧闸。由机体上的液压缸7和活塞8松闸。主弹簧组6的张力通过液压缸1调整。

制动瓦块组件成对使用,并由同一液压系统供油以保证工作同步。采用高压油(压力达36 MPa)时液压缸小,用油量。这种装置排除了杠杆系统刚度对制动性能的影响,动作快,在大型、大转矩制动器中此优点颇为显著。然而需有一套高压供油系统。

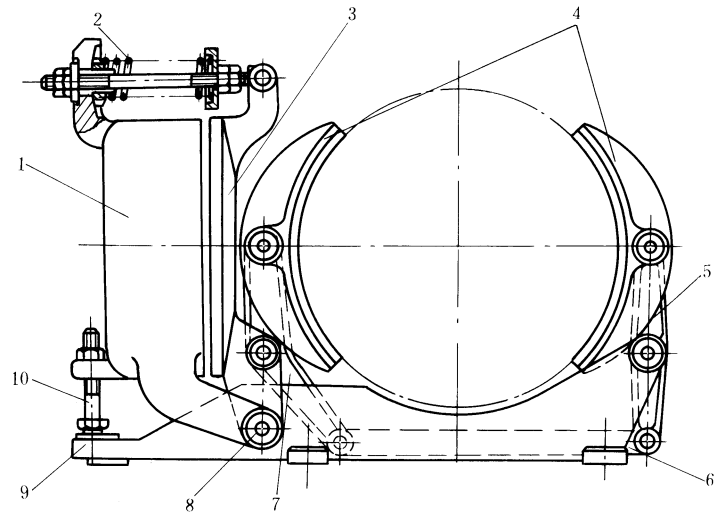


图 5.4-21 无上框的短行程常闭式制动器

1—直流电磁铁 2—主弹簧 3—动铁心
4—制动瓦 5、6、7—杠杆 8—销轴 9—机架 10—调整螺钉

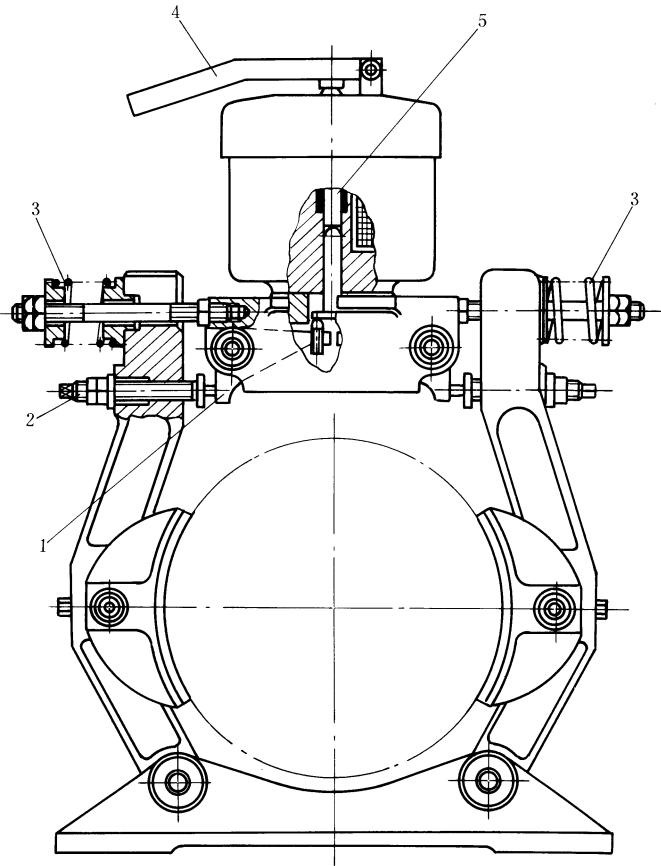


图 5.4-22 短行程直流电磁铁块式制动器

1—直角杠杆 2—调整螺钉 3—弹簧
4—手柄 5—动铁心

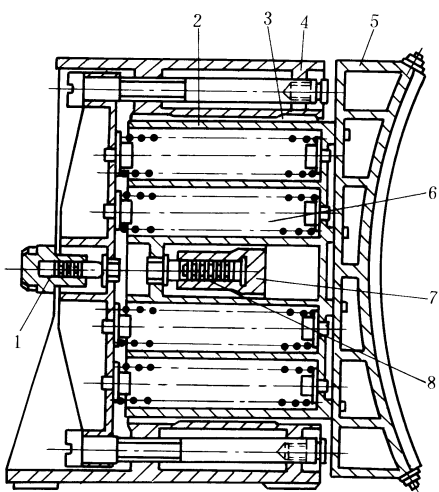


图 5.4-23 大型制动瓦组件

1、7—液压缸 2—导引部分 3—滑槽 4—机
体 5—瓦块 6—主弹簧组 8—活塞

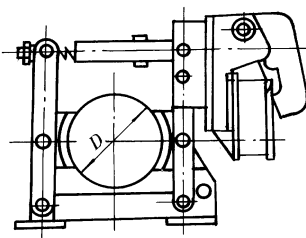
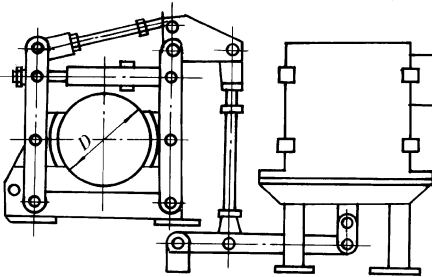
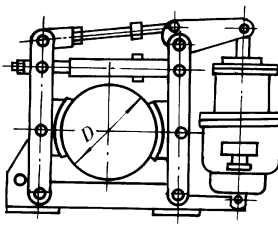
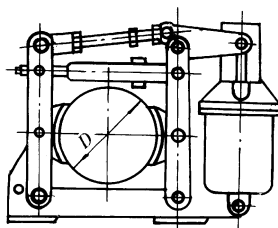
3.3.2 外抱块式制动器的类型、特点和应用

外抱块式制动器（与带式制动器相比较）的优点为：当制动臂为直杆时，制动转矩的大小与转向无关，制动时制动轮轴不受附加的弯曲作用力；但当制动臂为弯杆，制动时将使制动轴轴承受附加的

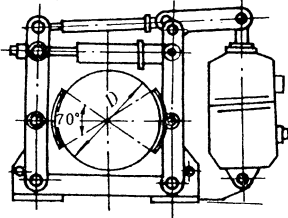
弯曲作用力；其次是易于调整制动瓦块与制动轮间的退距，制动瓦块摩擦衬片磨损比较均匀。其缺点是包角和制动转矩较小，杠杆系统较复杂。

常用外抱块式制动器的类型、特点及应用见表 5.4-92。

表 5.4-92 常用外抱块式制动器的类型、特点及应用

制 动 器 类 型	特 点	应 用 范 围
 JWZ 短行程电磁铁制动器	结构简单，体积小，质量大，冲击大，噪声大；起动电流大，有剩磁现象；使用寿命短；可靠性差	用于工作载荷较低场合；大制动转矩（ $D>315\text{mm}$ 时）不能采用；无防爆型；直流电源时，需变更电磁铁，可采用表 5.4-20 ~ 表 5.4-24 系列制动器；起升机构极少用
 JCZ 型长行程电磁铁制动器	制动较快，剩磁小；结构复杂，外形尺寸及质量大，效率低，冲击大，噪声大，使用寿命不够长，每小时可接电 600 次	用于起升机构，操作不甚频繁的场合，现已很少采用；直流电源时需变更电磁铁，可采用表 5.4-20 ~ 表 5.4-24 系列制动器
 YDWZ 电磁液压制动器	动作平稳，无噪声，使用寿命较长；能自动补偿闸瓦磨损，不需经常调整及维护；电磁铁用直流电源。如为交流电源时，需增加硅整流器；成本较高；构造较复杂；精度较高，目前质量不够稳定；每小时可接电 900 次	用于工作要求较高的场合，起升、运行、旋转机构均适用
 YWZ 电力液压双推杆制动器	动作平稳、使用寿命长；尺寸小、质量较小；每小时可接电 720 次；无直流型；防爆困难	用于不需快速制动的场合，适于用在运行及旋转机构上

(续)

制 动 器 类 型	特 点	应 用 范 围
 YWZ 电力液压单推杆制动器	动作平稳,无噪声,使用寿命长;尺寸小,质量小;动作快,每小时可接电 2000 次;补偿型单推杆具有补偿由于制动瓦磨损退距增大的功能,不需经常调整;可调型单推杆,上升、下降时间可调,其范围为 0.5 ~ 10s,安全可靠	用于工作要求高的场合;起升、运行、旋转及变幅机构均适用

3.3.3 外抱块式制动器的性能参数及主要尺寸

外抱块式制动器(与带式制动器相比)的优点为:当制动臂为直形杆时,制动转矩的大小与转向无关,制动时制动轮轴附加弯矩为零,但弯形制动臂在制动时,将使制动轮轴附加弯曲作用力 ΔF_0 ;其次是易于调整制动瓦块与轮的退距和制动瓦块磨损比较均匀。

其缺点是包角和制动转矩较小,杠杆系统较复杂。

目前我国对于块式制动器的性能参数及主要尺寸已制定有标准,可供设计选用。

1) 表 5.4-93 为电力液压鼓式制动器的性能及主要尺寸。这种制动器主要适用于起重机机构的制动,也可用于冶金、矿山、运输等机械设备。周围介质温度应为 $-25 \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这种制动器的结构形式,按制动弹簧的布置特征,分为 A 型和 B 型两种:

A 型——制动弹簧在侧面垂直布置;

B 型——制动弹簧在上部水平布置。

标记示例:

① 制动轮直径为 400mm,推动器额定推力为 1250N,制动转矩代号为 2,弹簧在侧面的制动器应标记为

制动器 400-1250-2 JB/T6406—2006

② 制动轮直径为 400mm,推动器额定推力为 1250N,制动转矩代号为 1,弹簧在上部水平布置的制动器应标记为

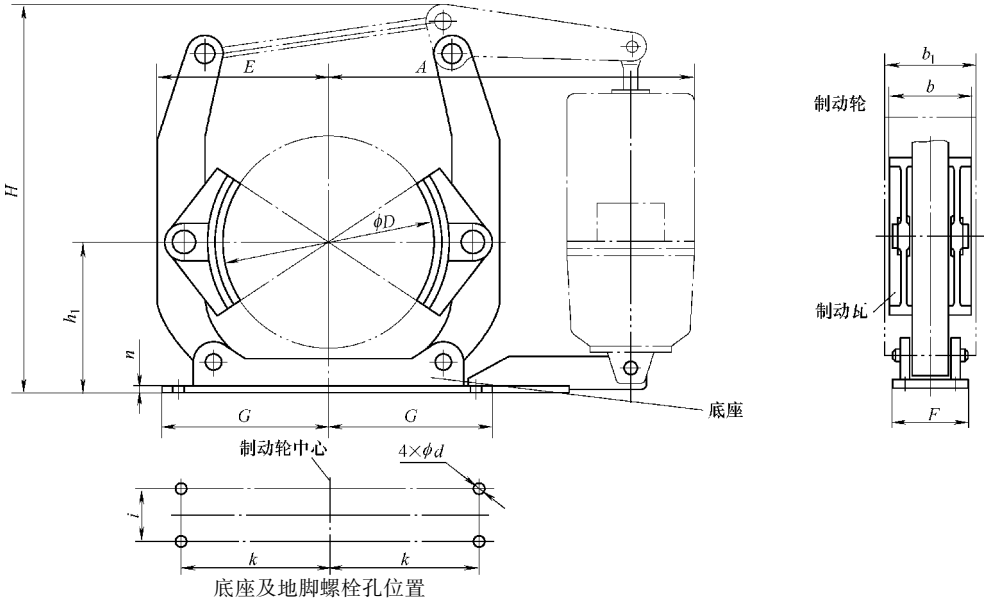
制动器 P400-1250-1 JB/T6406—2006

2) 表 5.4-94 为电力液压推动器的连接尺寸。

3) 表 5.4-95 列出了电磁鼓式制动器的基本参数和尺寸。这种制动器根据其应用场所环境条件的不同分为普通型和冶金型。

4) 表 5.4-96 为制动轮的基本参数和尺寸。

表 5.4-93 电力液压鼓式制动器 (摘自 JB/T 6406—2006)

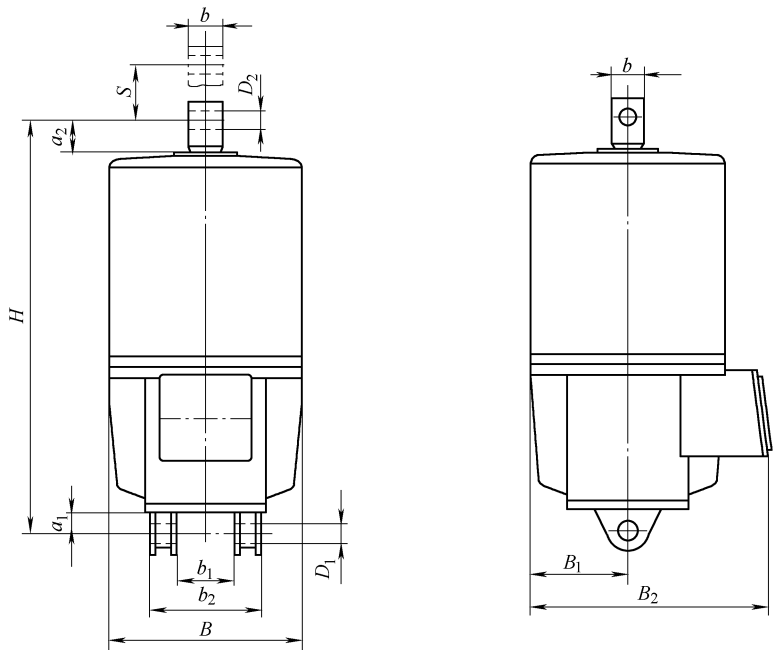


(续)

基本参数													
制动轮 直径 <i>D</i> /mm	额定制动 转矩 /N·m	推动器 额定推力 /N	每侧制动 瓦额定退 距/mm	制动轮 直径 <i>D</i> /mm	额定制动 转矩 /N·m	推动器 额定推力 /N	每侧制动 瓦额定退 距/mm	制动轮 直径 <i>D</i> /mm	额定制动 转矩 /N·m	推动器 额定推力 /N	每侧制动 瓦额定退 距/mm		
160	100	220	1.00 ± 0.10	315	560	500	1.25 ± 0.15	500	4000	2000	1.25 ± 0.15	1.60 ± 0.20	
200	140	220			900	800		630	2800	1250			
	224	300		400	710	500			4500	2000			
250	200	220			1120	800		710	6300	3000			
	280	300			1800	1250			5300	2000			
	450	500		500	1600	800		800	8000	3000			
315	335	300	1.25 ± 0.15		2500				9000	3000			
制动轮 直径 <i>D</i> /mm		基本尺寸/mm											
		<i>h</i> ₁	<i>b</i>	<i>b</i> ₁	<i>k</i>	<i>i</i>	<i>n</i> ≥	<i>d</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>A</i> ≈	<i>E</i> ≈	<i>H</i> ≈
160		132 ±0.6	65	70	130	55	6	14	90	150	410	135	400
200		160 ±0.6	70	75	145	55	8			165	450	165	490
250		190 ±1.2	90	95	180	65	10	18	110	200	540	200	570
315		230 ±1.2	110	118	220	80			125	245	590	245	600
400		280 ±1.5	140	150	270	100	12	22	150	300	680	300	790
500		340 ±1.5	180	190	325	130	16		180	365	760	365	845
630		420 ±2.0	225	236	400	170	20	27	230	450	860	450	1020
710		470 ±2.0	255	265	450	190			250	500	930	510	1100
800		530 ±2.0	280	310	520	210	22		280	570	985	580	1200

注：生产厂：河南省焦作市，焦作制动器股份有限公司；江西省丰城市，江西华伍起重电器有限公司。

表 5.4-94 电力液压推动器（摘自 JB/T 10603—2006）

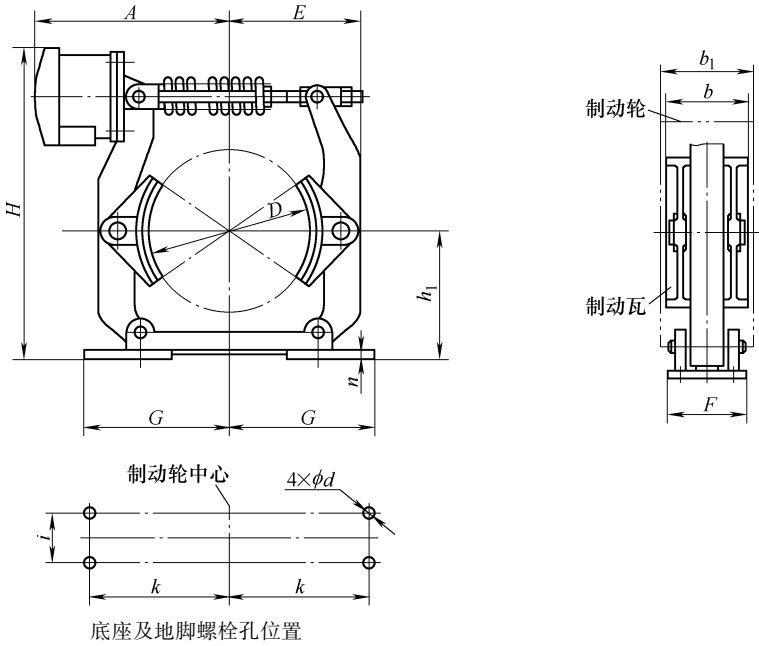


(续)

规格	基本参数		连接尺寸/mm										
	额定 推力 /N	额定 行程 S/mm	H	D_1	D_2	b	b_1	b_2	a_1	a_2	B ≤	B_1 ≤	B_2 ≤
220-50	220	50	286	$16^{+0.25}_{+0.15}$	$12^{+0.10}_0$	20	40	80	20	26	160	80	200
300-50	300	50	370		$16^{+0.10}_0$	25				34			
500-60	500	60	435	$20^{+0.25}_{+0.15}$	$20^{+0.10}_0$	30	60	120	23	36	196	98	260
500-120		120	515										
800-60	800	60	450	$20^{+0.25}_{+0.15}$	$20^{+0.10}_0$	30	60	120	23	36	196	98	260
800-120		120	530										
1250-60	1250	60	645	$25^{+0.25}_{+0.15}$	$25^{+0.10}_0$	40	40	90	35	38	240	120	
1250-120		120	705										
2000-60	2000	60	645										
2000-120		120	705										
3000-60	3000	60	645										
3000-120		120	705										

注：河南省焦作市，焦作制动器股份有限公司。

表 5.4-95 电磁鼓式制动器（摘自 JB/T 7685—2006）



(续)

制动轮直径 <i>D</i> /mm		基本参数				
		每侧制动瓦退距 /mm	额定制动转矩/N·m			
			并 励		串 励	
			1h 定额	连续定额	30min 定额	1h 定额
200	0. 80 ±0. 10	160	125	160	100	
250		355	250	355	225	
315	1. 00 ±0. 20	1060	800	1060	630	
400		1600	1250	1600	1000	
500	1. 25 ±0. 30	3550	2500	3550	2000	
630		6700	5000	6700	4000	
710	1. 60 ±0. 40	8500	6300	8500	5400	
800		12500	9500	12500	8000	

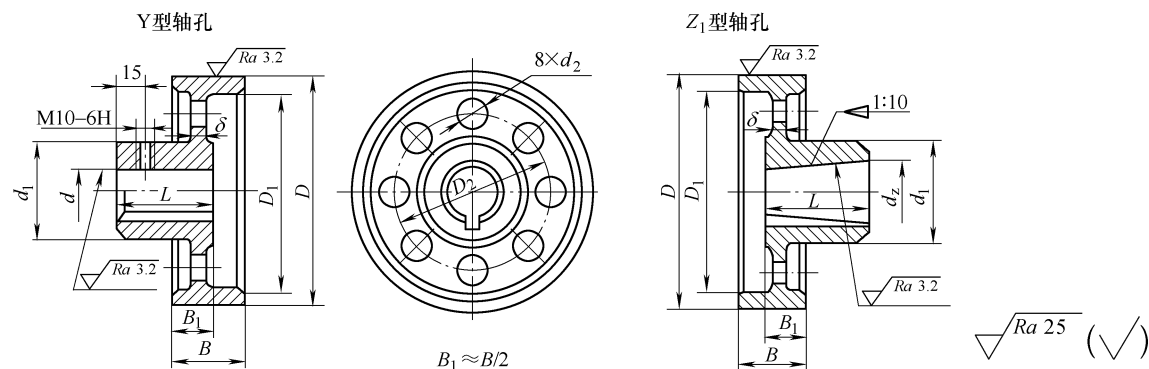
制动轮直径 <i>D</i> /mm		基 本 参 数		制动轮直径 <i>D</i> /mm	基 本 参 数	
		每侧制动瓦退距 /mm	额定制动转矩 /N·m		每侧制动瓦退距 /mm	额定制动转矩 /N·m
160	1. 00 ±0. 10	40	400	1. 25 ±0. 30	1600	
		63			1250	
80		500			2000	
125					3150	
200		200	630	2500		
160		4000				
250		250		6300		
400		4500				
315	1. 25 ±0. 30	315	710	1. 60 ±0. 40	7100	
		500			9000	
		800	800		5000	
		630			8000	
400		1000	10000			

制动轮 直径 <i>D</i> /mm	基本尺寸/mm											
	<i>h</i> ₁	<i>b</i>	<i>b</i> ₁	<i>k</i>	<i>i</i>	<i>n</i> ≥	<i>d</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>A</i> ≈	<i>E</i> ≈	<i>H</i> ≈
160	132 ±0. 6	65	70	130	55	6	14	90	150	280	165	380
200	160 ±0. 6	70	75	145	55	8			165	325	210	455
250	190 ±1. 2	90	95	180	65	10	18	110	200	370	246	530
315	230 ±1. 2	110	118	220	80			125	245	410	306	630
400	280 ±1. 5	140	150	270	100	12	22	150	300	535	380	780
500	340 ±1. 5	180	190	325	130	16		180	365	630	440	890
630	420 ±2. 0	225	236	400	170	20	27	230	450	725	460	1000
710	470 ±2. 0	255	265	450	190			250	500	815	535	1120
800	530 ±2. 0	280	310	520	210	22		280	570	890	642	1230

注：生产厂：江西省丰城市，江西华伍起重电器有限责任公司；河南省焦作市，焦作制动器股份有限公司。

表 5.4-96 制动轮 (摘自 JB/ZQ 4389—2006)

(mm)



D	Y 型 轴 孔		Z_1 型 轴 孔		B	D_1	D_2	d_1	d_2	δ	转动惯量 $J/\text{kg} \cdot \text{m}^2$	质量 /kg
	d	L	d_z									
100	25,28	62	25,28	44	70	84	—	65	—	8	0.0075	3.0
	30,32,35	82	30,32,35	60								
160	25,28	62	25,28	44	70	145	105	65	30	8	0.03	5
	30,32,35	82	30,32,35	60								
200	25,28	62	30,32,35,38	60	85	180	140	100	30	8	0.20	10.0
	30,32,35,38	82		60								
	40,42,45,48,50,55	112		40,42,45,48,50,55								
250	30,32,35,38	82	30,32,35,38	60	105	220	168	115	40	8	0.28	18.0
	40,42,45,48,50,55	112	40,42,45,48,50,55	84								
	60	142	60	107								
315 (300)	40,42,45,48,50,55	112	60,65,70,75	107	135	290 (275)	200	120	55	8	0.60	24.5
60,65	142											
400	60,65,70,75	142	60,65,70,75	107	170	370	275	175	70	12	0.75	60.7
	80,85	172	80,85,90,95	132								
			100,110	167								
500	80,85,90,95	172	75	107	210	465	340	210	90	14	2.0	100.6
	100,110	212	80,85,90,95	132								
			100,110,120	167								
			130	202								
630 (600)	90,95	172	90,95	132	265	595 (565)	390	210	120	16	5.0	132.1
100,110	212	100,110,120	167									
		130	202									
710 (700)	100,110,120	212	110,120	167	300	670 (660)	435	210	130	18	10	183.4
130	252	130	202									
800	130,140,150	252	130,140,150	202	340	760	495	230	140	18	16.75	230.9

注:1. 括号内的制动轮直径不推荐使用。

2. 各厂自制、西安重型机器研究所供图。

3. 标记示例:制动轮 200-Y60

200—制动轮直径(mm);Y—圆柱形轴孔;60—轴孔直径(mm)。

4. 技术要求:轮缘表面淬火硬度 35~45HRC,深度为 2~3mm;

材料:D≤200mm 者为 45 钢;D≥250mm 者为 ZG340-570;

键槽形式与尺寸应符合 GB/T3852—2008 的规定。

3.4 带式制动器

3.4.1 普通型带式制动器

这种制动器常用于中、小载荷的起重运输机械、车辆、一般机械及人力操纵的机械中。其型式有简单式、差动式和综合式3种。

(1) 结构型式

图5.4-24为简单式带式制动器,它由制动轮1、制动钢带2和制动杠杆3等所组成。其特点是带的一端就固定在制动杠杆的支点上。制动杠杆3上装有紧闸用的重锤4和松闸用的长行程电磁铁5。此外,在杠杆上还装有紧闸时用的缓冲器6,以减轻紧闸时的冲击。制动钢带的外围装有固定的挡板7,并利用其上均布的调节螺钉8来保证制动带与制动轮的分开间隙均匀。

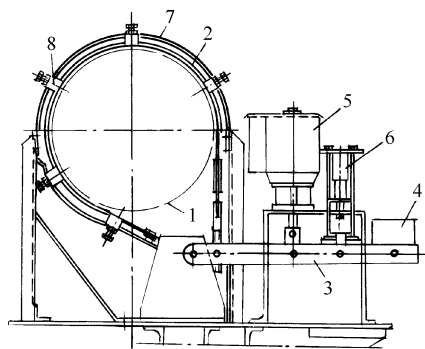


图 5.4-24 带式制动器结构图

- 1—制动轮 2—制动钢带 3—制动杠杆 4—重锤
5—电磁铁 6—缓冲器 7—挡板 8—调节螺钉

为了防止制动带从制动轮上滑脱,可将制动轮做成具有轮缘(图5.4-25a),或是在挡板上装调节螺钉处焊接一些卡爪(图5.4-25b)。为了增大带与轮接触面的摩擦因数,在钢带表面用埋头铆钉或螺钉固定一层石棉带或木块等作为覆面。带的两端用专门的连接件(图5.4-26)与杠杆连接。其中一端作刚性固接(图5.4-26a),另一端利用螺纹连接(图5.4-26b),可按带与轮的松开间隙大小来调节带的长短。

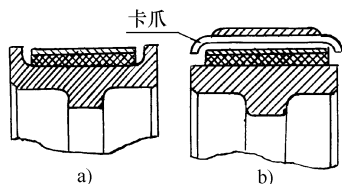


图 5.4-25 带式制动器的制动轮与制动带

- a) 轮缘式 b) 卡爪式

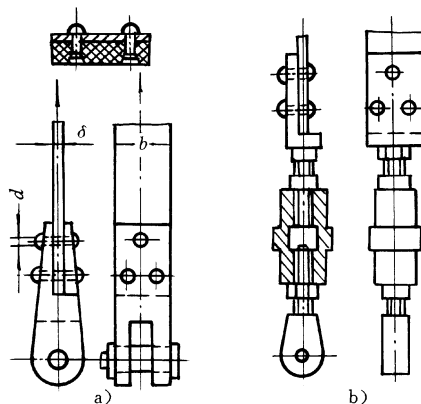


图 5.4-26 制动带的连接零件

- a) 刚性固接 b) 螺纹连接

(2) 设计计算

计算的圆周力 F (图5.4-27)

$$F = \frac{2T}{D} \quad (5.4-24)$$

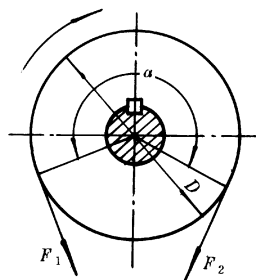


图 5.4-27 带式制动器的工作原理图

带的张力按欧拉公式决定,带的绕入端和绕出端张力分别为

$$F_1 = \frac{Fe^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1} \quad (5.4-25)$$

$$F_2 = \frac{F}{e^{\mu\alpha} - 1} \quad (5.4-26)$$

带两端张力之间的关系为

$$F_1 = F_2 e^{\mu\alpha}$$

式中 T ——制动转矩($N \cdot m$);

μ ——摩擦因数;

α ——制动轮包角,通常取为 $250^\circ \sim 270^\circ$,复合带式的包角可达 630° ;

D ——制动轮直径(m),可按表5.4-97选取。

带宽 b 按许用单位压力 $[p]$ (表5.4-91) 决定,应取比轮宽 B 小 $5 \sim 10mm$ 。

$$b = \frac{2F_1}{[p]D} \quad (5.4-27)$$

表 5.4-97 带式制动器的制动轮尺寸(荐用值)

计算制动转矩 T / $\text{N} \cdot \text{m}$	制 动 轮 尺 寸 /mm	
	直 径 D	宽 度 B
~100	100	30
100~300	100~150	40
400~600	150~200	60
700~860	200~250	70
1400~1600	300~350	90
1800~2100	400~450	90
2850~4000	500~700	110
6400~8000	800~1000	150

带和轮之间的实际比压力按下式计算

$$p = \frac{2S}{Db}$$

式中 S ——带的变动张力,其值由带的最小张力 F_2 变到最大张力 F_1 ,相应的最小比压力 $p_{\min}$ 和最大比压力 $p_{\max}$ 为

$$p_{\min} = \frac{2F_2}{Db}$$

$$p_{\max} = \frac{2F_1}{Db} \leq [p] \quad (5.4-28a)$$

根据发热及覆面单位面积上摩擦功率 pv 值验算制动器

$$pv < [pv] \quad (5.4-28b)$$

式中 p ——比压力,可取 $p_{\min}$ 与 $p_{\max}$ 的平均值(MPa);

$$v \text{——制动轮圆周速度} (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}), v = \frac{\pi D n_1}{60};$$

$$n_1 \text{——制动轮转速} (\text{r} \cdot \text{min}^{-1});$$

$[pv]$ ——覆面单位面积上许用摩擦功率值,见表 5.4-91。

制动钢带的厚度 δ 由带的最大张力 F_1 (N),按危险断面拉伸计算决定

$$\delta = \frac{F_1}{(b - md)[\sigma]} \quad (5.4-29)$$

式中 m ——沿带宽每排最多的铆钉数;

d ——连接钢带与连接件(摩擦材料)用的铆钉直径(mm);

$[\sigma]$ ——钢带的许用拉应力(MPa),钢带材料常用 Q235A、Q275 和 45 钢,当具有覆面材料时,取 $[\sigma] = 80 \sim 100 \text{MPa}$;无覆面材料时,取 $[\sigma] = 60 \text{MPa}$ 。

带式制动器制动钢带推荐采用尺寸列于表 5.4-

98。为了保证带紧密地贴合到制动轮上,当轮径小于 1m 时,带宽不大于 100mm;当轮径大于 1m 时,带宽不应大于 150mm。如根据计算一根上述带宽不够时,可以平行地用两根。

表 5.4-98 制动钢带推荐用尺寸

(mm)									
带宽 B	25	30	40	50	60	80	100	140	200
带厚 δ	3		3~4		4~6		4~7	6~10	

当松闸时,带与制动轮摩擦面之间的退距 ε 建议按表 5.4-99 选取。

表 5.4-99 带式制动器推荐用退距值

(mm)								
制动轮直径 D	100	200	300	400	500	600	700	800
退距 ε	0.8		1.0	1.25 ~ 1.5		1.5		

连接制动带用的铆钉应按抗剪强度验算,对于材料为 Q215A 和 Q235A 的铆钉,其许用切应力可取 $[\tau] = 50 \sim 60 \text{MPa}$ 。

设计制动器时,制动带与制动杠杆的交角应接近于直角,以达到消除作用到杠杆心轴上的附加分力,减少带在杠杆上固定点所需的闭合行程。

关于制动器操纵部分的计算,将随上述 3 种不同形式的制动器而有所差别,其计算式见表 5.4-100。

这种制动器除用重锤外,必要时可用弹簧代替,也可用液力、气力或人力代替电磁铁的吸力来松闸。

这种制动器的特点:

1) 构造简单紧凑。

2) 包角大(可超过 2π),制动转矩大,相同制动轮直径时,带式为块式的 2~2.5 倍。

其缺点为:

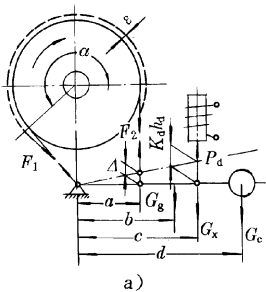
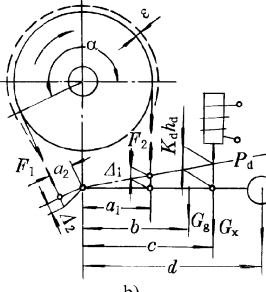
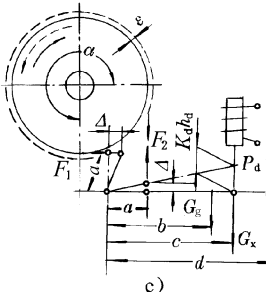
1) 在制动时,制动轴附加相当大的弯曲作用力,其值等于带张力 F_1 、 F_2 的矢量和。

2) 由于带的绕出端和绕入端的张力不等,故带沿制动轮周围的比压力也不等,磨损也不均匀,其差别为 $e^{\mu\alpha}$ 倍(如 $\mu = 0.2 \sim 0.4$, $\alpha = 250^\circ \sim 270^\circ$ 时, $e^{\mu\alpha} = 2.4 \sim 6.6$ 倍)。

3) 简单和差动带式制动器的制动转矩随转向而异,因而限制了它的应用范围。

这种制动器适于应用在转矩较大而又要求紧凑的场合制动,如用于移动式起重机中。

表 5.4-100 带式制动器操纵部分的计算与说明

项 目		计 算 公 式 与 说 明		
		简单带式制动器	差动带式制动器	综合带式制动器
结构形式				
产生制动转矩 T 时,所需重锤的重力 G_c/N		$G_c = \frac{F_2 a}{d\eta} - \frac{G_g b + G_x c}{d}$	$G_c = \frac{F_2 a_1}{d\eta} - \frac{F_1 a_2 + G_g b + G_x c}{d}$	$G_c = \frac{(F_1 + F_2) a}{d\eta} + \frac{G_g b + G_x c}{d}$
当带退距为 ε (m)时,连于杠杆上的带端位移 Δ/m		$\Delta = \varepsilon \alpha$	$\Delta_1 = \varepsilon \alpha \frac{a_1}{a_1 - a_2}$ $\Delta_2 = \varepsilon \alpha \frac{a_2}{a_1 - a_2}$	$\Delta = \frac{1}{2} \varepsilon \alpha$
电磁铁所做的功 $P_d h_d/\text{J}$		$P_d h_d = \frac{F_2 \Delta}{\eta K_d}$ $= \frac{2T\varepsilon\alpha}{D(\mathrm{e}^{\mu\alpha} - 1)\eta K_d}$	$P_d h_d = \frac{F_2 \Delta_1 - F_1 \Delta_2}{\eta K_d}$ $= \frac{2T(a_1 - a_2 \mathrm{e}^{\mu\alpha})}{D\eta K_d (\mathrm{e}^{\mu\alpha} - 1)} \times \frac{\varepsilon \alpha}{a_1 - a_2}$	$P_d h_d = \frac{(F_1 + F_2) \Delta}{\eta K_d}$ $= \frac{T\varepsilon\alpha (\mathrm{e}^{\mu\alpha} + 1)}{D\eta K_d (\mathrm{e}^{\mu\alpha} - 1)}$
安装电磁铁的最大距离 $C_{\max}/\text{m}$		$C_{\max} = K_d h_d \frac{a}{\varepsilon \alpha}$	$C_{\max} = K_d h_d \frac{a_1 - a_2}{\varepsilon \alpha}$	$C_{\max} = K_d h_d \frac{2a}{\varepsilon \alpha}$
产生的制动转矩 $T/\text{N} \cdot \text{m}$	顺时针	$T = (\mathrm{e}^{\mu\alpha} - 1) (G_c d + G_g b + G_x c) \frac{D}{2a} \eta$	$T = \frac{\mathrm{e}^{\mu\alpha} - 1}{a_1 - \eta a_2 \mathrm{e}^{\mu\alpha}} (G_c d + G_g b + G_x c) \frac{D}{2} \eta$	$T = \frac{\mathrm{e}^{\mu\alpha} - 1}{\mathrm{e}^{\mu\alpha} + 1} (G_c d + G_g b + G_x c) \times \frac{D}{2a} \eta$
	逆时针	T 减小到 $\frac{1}{\mathrm{e}^{\mu\alpha}}$ 倍	T 减小到 $\frac{a_1 - \eta a_2 \mathrm{e}^{\mu\alpha}}{a_1 \mathrm{e}^{\mu\alpha} - \eta a_2}$ 倍	T 大小不变
说明		a, b, c, d —如图 a, b, c 所示尺寸 通常取 $\frac{d}{a} = 10 \sim 15\text{m}$ η —制动杠杆效率,一般取 $\eta = 0.9 \sim 0.95$ G_g —制动杠杆重力 (N) G_x —电磁铁衔铁重力 (N)	a_1, a_2 —如图 b 所示尺寸 (m) 为避免自锁现象,应使 $a_1 > a_2 \mathrm{e}^{\mu\alpha}$ 通常取 $a_1 = (2.5 \sim 3) a_2$ $a_2 = 30 \sim 50\text{mm}$ F_1, F_2, μ, α —见式 (5.4-24 ~ 5.4-26)	P_d —电磁铁吸力 (N) h_d —电磁铁行程 (m) K_d —电磁铁行程利用系数, $K_d = 0.8 \sim 0.85$ D —制动轮直径 (m)
适用条件及特点		正反转制动转矩不同,用于起升机构	正反转制动转矩不同,紧闸所需重锤的重力 G_c 小,用于起升机构及变幅机构。一般很少采用	正反转制动转矩相同,用于运行及旋转机构

3.4.2 短行程带式制动器

这种制动器多用于重型起重机。其类型有Ⅰ型和Ⅱ型两种。

(1) 结构型式 Ⅰ型短行程带式制动器如图5.4-28所示,制动带系由两条相同的镶有摩擦材料的钢带组合而成。右端用铰链连接到方柱1上,在弹簧2的作用下它在基架中可水平移动。带的左端用铰链连接到具有共同摆动轴5的曲杆3和4的杠杆系中。由于弹簧7和拉杆6的作用,使3、4两曲杆被拉紧,从而使制动带两端产生张力,使制动器紧闸。电磁铁9的衔铁8是装在曲杆3的轴10上

的。松闸时电磁铁通电,衔铁吸近铁心,曲杆3、4分别绕轴10和11转动,从而两杆的端部分开,制动带离开制动轮,方柱也同时退开,于是松闸。曲杆3绕轴10转动时,由于曲杆4的支点相对轴瓦12滑动,故连接杆3、4的铰链轴心以轴10为中心作圆弧移动。随着制动带的磨损,曲杆3、4两端的行程及相应电磁铁的行程都将增大,而电磁铁的曳引力则随之减小。为确定衔铁的工作位置,可调整衔铁和曲杆3的螺钉13。Ⅰ型短行程直流电磁铁的行程为2~6mm。衔铁对铁心的正常转角为 $6^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 。

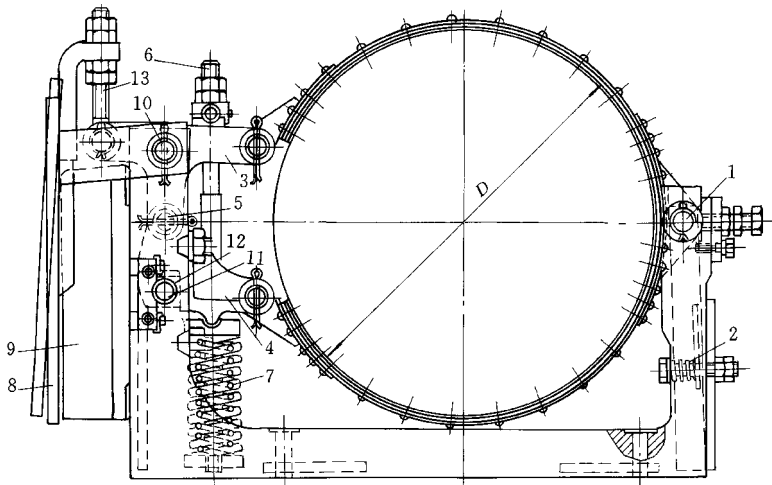


图 5.4-28 Ⅰ型短行程带式制动器

1—方柱 2、7—弹簧 3、4—曲杆 5、10、11—轴 6—拉杆 8—衔铁 9—电磁铁 12—轴瓦 13—螺钉

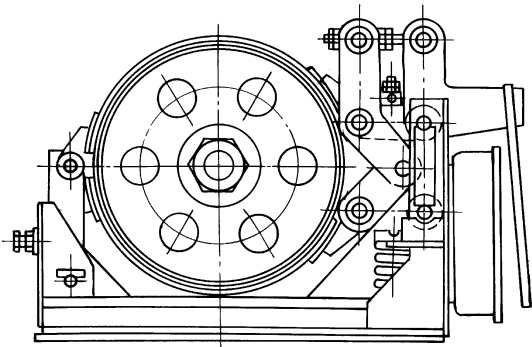


图 5.4-29 Ⅱ型短行程带式制动器

这种类型的带式制动器实际上是两个普通带式制动器的综合。

图5.4-29所示为Ⅱ型短行程带式制动器,其杠杆系统虽与Ⅰ型不同,然而其工作原理与Ⅰ型相似。

(2) 设计计算 Ⅰ型短行程带式制动器的计算示意图如图5.4-30所示。

从上、下曲杆的平衡条件(不计其自重)求垂

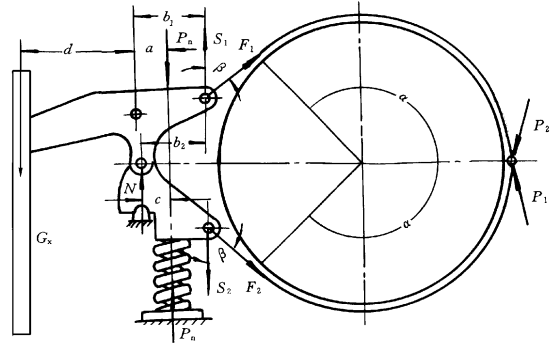


图 5.4-30 Ⅰ型短行程带式制动器计算示意图

直力 S_1 和 S_2

$$S_1 = P_n \frac{ac + cb_2 - c^2}{b_1 b_2} - \frac{G_x d}{b_1} \quad (5.4-30)$$

$$S_2 = P_n \frac{c}{b_2} \quad (5.4-31)$$

式中

P_n ——弹簧力(N);

a, b_1, b_2, c, d ——如图5.4-30所示;

G_x ——电磁铁衔铁的重力(N)。

连接曲杆铰链中的垂直力

$$N = P_n \frac{b_2 - c}{b_2} \quad (5.4-32)$$

带的两端张力 F_1 和 F_2

$$F_1 = \frac{S_1}{\cos\beta} \quad (5.4-33)$$

$$F_2 = \frac{S_2}{\cos\beta} \quad (5.4-34)$$

在一般结构中,带的两半的包角 α 互相相等,角 β 亦相等。

上、下带的制动圆周力 F_s 、 F_x

$$F_s = F_1 \frac{e^{\mu\alpha} - 1}{e^{\mu\alpha}} \quad (5.4-35)$$

$$F_x = F_2 (e^{\mu\alpha} - 1) \quad (5.4-36)$$

产生的制动转矩

$$T = (F_s + F_x) \frac{D}{2} = \frac{D (e^{\mu\alpha} - 1)}{2\eta e^{\mu\alpha} \cos\beta} \times \left(\frac{P_n}{b_1 b_2} (ac + cb_2 - c^2 + cb_1 e^{\mu\alpha}) - G_x \frac{d}{b_1} \right) \quad (5.4-37)$$

产生制动转矩所必需的弹簧力

$$P_n = \frac{b_1 b_2}{(ac + cb_2 - c^2 + cb_1 e^{\mu\alpha}) \eta} \times \left(\frac{2Te^{\mu\alpha} \cos\beta}{D(e^{\mu\alpha} - 1)} + G_x \frac{d}{b_1} \right) \quad (5.4-38)$$

式中 η ——制动器杠杆传动效率,取 $\eta = 0.9 \sim 0.95$ 。

电磁铁的转矩

$$T = P_n a \quad (5.4-39)$$

这类制动器的优点:

- 1) 电磁铁行程较小,制动动作快。
- 2) 制动转矩与制动方向无关。
- 3) 围包角较大(约 320°),从而降低带轮之间的比压力,相应地延长覆面的使用寿命。
- 4) 由于包角大和连接带的铰链中具有支点作用,从而使制动轴所受的弯曲力变小,但制动轴未能完全卸载。带式制动器所有的其他缺点仍然存在,如带绕入端的磨损比绕出端的快 $2 \sim 3$ 倍;很难使制动带均匀地离开制动轮,从而助长增加不均匀的磨损。

这种带式制动器杠杆系统的结构是这样的,即带的张力彼此无关,且实际上难于调整制动器使带按计算张力工作。由此,制动带之一可能大大超过计算张力工作。实际使用中由于带的过载以致有被拉断的情况发生。这种制动器的另一缺点是由于力的作用不在中心(图 5.4-28)而发生比压力的局部增加,以及增加制动带两端制动覆面的磨损,以致造成带的破坏,使其可靠性降低。另外在这种制动器的结构中弹簧作用力的利用不完全,因弹簧作用力 P_n 与带的张力 F_1 、 F_2 (图 5.4-30) 成一角度, F_1 、 F_2 只是 nP_n 的一部分(如以制动轮直径为 610mm 的制动器为例,弹簧作用力的利用只达 45%)。由于电磁铁是根据弹簧力选择的,因而电磁铁曳引力的利用也不够合理,它使机构加重,价格增加。这种制动器我国应用较少。

表 5.4-101 列出了短行程带式制动器的特性,他们的结构示于图 5.4-28、图 5.4-29。

表 5.4-101 短行程带式制动器的性能

制 动 轮 直 径 /mm	制 动 轮 宽 度 /mm	制 动 转 矩 /N·m						制 动 器 的 质 量 /kg
		磁 铁 串 励 使 用			磁 铁 分 励 使 用			
		JC15%	JC25%	JC40%	JC25%	JC40%	JC100%	
200	85	130	100	70	190	140	80	52
255	85	390	290	180	380	320	180	62
355	120	1230	850	540	1400	900	550	141
455	170	1620	1170	830	2250	1400	1050	235
535	190	2250	1470	1120	2950	2300	1450	325
610	190	3030	1980	1500	4150	3050	1950	365
760	210	5200	3780	3000	8850	5350	390	580

注:摘自原苏联乌拉尔重型机械制造厂(УЗТМ)设计资料。

3.5 盘式制动器

盘式制动器沿制动盘轴向施力,制动轴不受弯矩,径向尺寸小,制动性能稳定。

常用的盘式制动器有钳盘式、全盘式及锥盘式 3 种。

3.5.1 钳盘式制动器

图 5.4-31 为钳盘式制动器外观图。制动块 2 压紧制动盘 1 而制动。制动衬块与制动盘接触面很小,在盘中所占的中心角一般仅 $30^\circ \sim 50^\circ$,故这种盘式制动器又称为点盘式制动器。

为了不使制动轴受到径向力和弯矩,钳盘式制

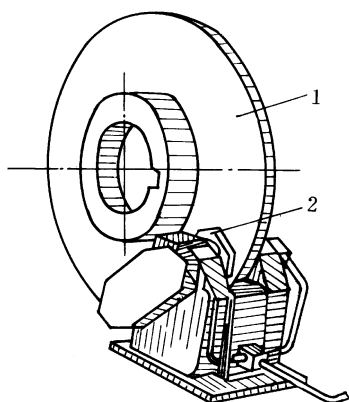


图 5.4-31 钳盘式制动器

1—制动盘 2—制动块

动缸应成对布置。制动转矩较大时,可采用多对制动缸(图 5.4-32)。必要时可在制动盘中间开通风沟(图 5.4-33),以降低摩擦副温升。还应采取隔热散热措施,以防止液压油高温变质。

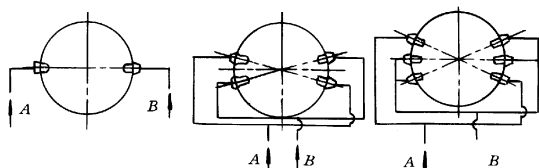


图 5.4-32 多对制动缸组合安装示意图

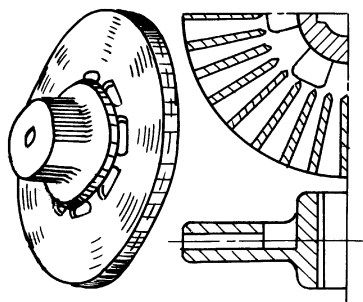


图 5.4-33 带有通风沟的制动盘

(1) 钳盘式制动器的结构形式

按制动钳的结构形式区分,有以下几种:

1) 固定钳式,如图 5.4-34a 所示。制动钳固定不动,制动盘两侧均有液压缸。制动时仅两侧液压缸中的活塞驱使两侧制动块作相向移动。

2) 浮动钳式,分滑动钳式和摆动钳式两种。

① 滑动钳式,如图 5.4-34b 所示,制动钳可以相对于制动盘作轴向滑动,其中只在制动盘的内侧置有液压缸。外侧的制动块固装在钳体上。制动时活塞在液压作用下使活动制动块压靠到制动盘,而反作用力则推动制动钳体连同固定制动块压向制动盘的另一侧,直到两制动块受力均等为止。

② 摆动钳式,如图 5.4-34c 所示,它也用单侧液压缸结构。制动钳体与固定支座铰接。为实现制动,钳体不是滑动而是在与制动盘垂直的平面内摆动。显然,制动块不可能全面均匀磨损。为此有必要将衬块预先做成楔形(摩擦面对背面的倾斜角为 6° 左右)。在使用过程中,衬块逐渐磨损到各处残存厚度均匀(一般为 1mm 左右)后即应更换。

(2) 结构实例

依不同结构形式,举例如下:

1) 固定钳式。如图 5.4-35 所示为常开固定钳式制动器,摩擦块底板 4 通过销轴 6、1 和平行杠杆组 5 固定在机架 2 上。弹簧 8 使制动器常开。制动时,将液压油通入液压缸 7,同时压缩弹簧而紧闸。平行杠杆组 5 能使摩擦元件与制动盘 3 保持平行。

图 5.4-36 所示为常闭固定钳式制动器。在制动盘 1 的两侧对称布置两个相同的制动缸,制动缸固定在基架 3 上,其构造见图 5.4-37。碟形弹簧 7 压活塞 9 后推动顶杆 8,使摩擦块 2 压制动盘 1 而紧闸。A 管通入液压油后,活塞 9 压碟形弹簧而松闸。这种制动器的体积小,动作灵敏,调整油压可改变制动转矩,改变垫片 5 的厚度可微调弹簧张力。必要时还可装磨损量指示器 6。

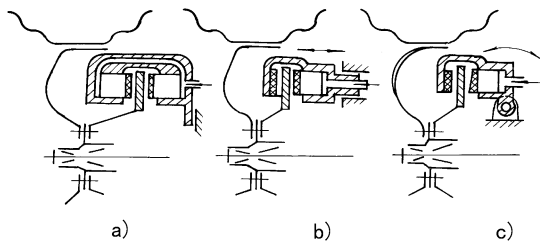


图 5.4-34 钳盘式制动器示意图

a) 固定钳式 b) 滑动钳式 c) 摆动钳式

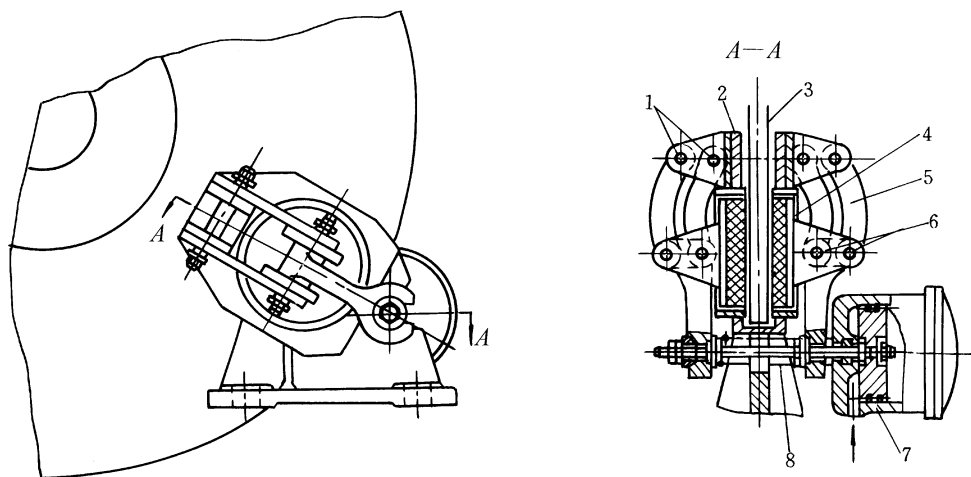


图 5.4-35 常开固定钳式制动器

1、6—销轴 2—机架 3—制动盘 4—摩擦块底板 5—平行杠杆组 7—液压缸 8—弹簧
2006。

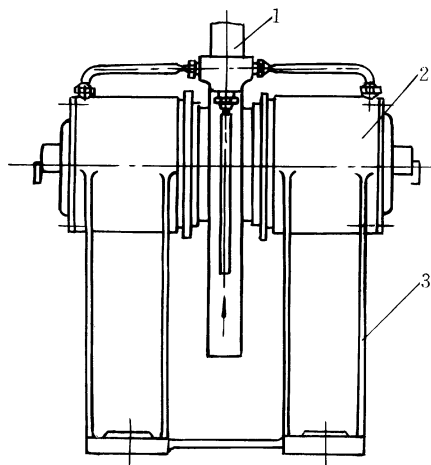


图 5.4-36 常闭固定钳式制动器

1—制动盘 2—制动缸 3—基架

图 5.4-38 是电磁铁松闸的常闭式固定钳盘式制动器的结构图。表 5.4-102 列出了这种制动器的技术性能和主要尺寸。

表 5.4-103 为以电力液压推动器为驱动装置的常闭制动臂盘式制动器的形式及尺寸。这种制动器的结构形式按制动架特征分为两种：

① 制动架采用拉杆释放结构的制动器称为 I 型。产品代号为 YPB I。其形式、基本参数和尺寸见表 5.4-103。标记示例：

制动架采用拉杆释放机构的盘式制动器，制动盘外径为 400mm，推动器额定推力为 800N，额定制动转矩为 1600N·m，标记为：

制动器 YPB I—400—800—1600 JB/T7020 —

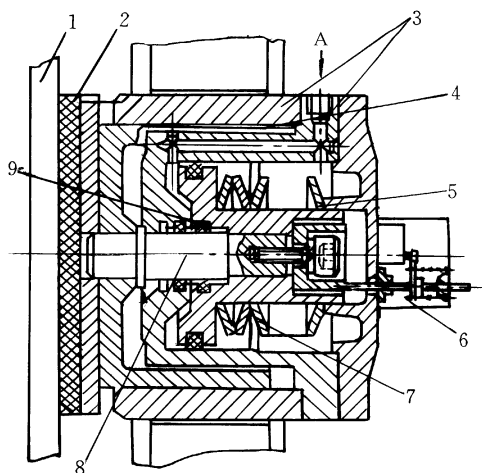


图 5.4-37 常闭固定钳式制动器制动缸结构

1—制动盘 2—摩擦块 3—缸体 4—导引部分
5—调整垫片 6—磨损量指示器 7—碟形弹簧
8—顶杆 9—活塞

② 制动架采用楔块式释放结构的盘式制动器称为 II 型。产品代号为 YPB II。

标记示例：

制动架采用楔块式释放结构的盘式制动器，制动盘外径为 400mm，推动器额定推力为 800N，额定制动转矩为 1000N·m，标记为：

制动器 YPB II—400—800—1000 JB/T7020—2006。

2) 浮动钳式。如图 5.4-39 所示为常开滑动钳式制动器。

表 5.4-102 电磁铁松闸的常闭钳盘式制动器技术性能及主要尺寸

圆盘 直径 /mm	当一副夹 钳时 ^① 的 制动转矩 /N·m	轴 向 推 力 /N		尺 寸 /mm														α /rad	质量 /kg		
		一副夹钳时	两副夹钳时	B	B ₁	D ₁	E	F	K	M	N	H	S	h	d	δ			圆盘	一副夹 钳时	
315	190	2000	1150	135	102	18~60	101.5	76.5	175	200	100	230	200	160	15	15	17	20	30		
355	220	2000	1400	135	102	18~80	115	90	195	200	100	225	200	180	15	15	21	25	30		
395	260	2000	1600	135	102	18~90	130	105	175	200	100	225	200	200	15	15	24	32	30		
445	950	7400	4450	172	102	18~95	145	120	175	200	100	220	200	225	15	15	27.5	45	30		
625	2500	12300	7400	195	150	30~140	185	165	235	390	135	410	360	315	22	25	19.5	92	175		
705	2900	12300	10600	215	170	40~160	213	193	235	390	135	420	360	355	22	25	23	116	175		
795	3350	12300	11700	235	190	40~180	240	220	235	390	135	420	360	400	22	25	27	162	175		

① 安装两副夹钳时制动转矩加倍。

表 5.4-103 电力液压盘式制动器基本参数和尺寸 (摘自 JB/T 7020—2006)

Technical drawing of a power-hydraulic disc brake. The drawing includes three main views: a side view of the brake assembly, a front view of the pusher and disc, and a top view of the base. Key dimensions and labels are as follows:

- Side View (Left):** Shows the brake assembly with dimensions k_2 , k_1 , h_1 , and d . Labels include "2处" (2 locations), "H y A", "H x B", "制动衬垫" (brake lining), and "底座" (base).
- Front View (Middle):** Shows the pusher (推动器) and the disc (制动衬垫). Dimensions include n , i , S , and P . The disc diameter is labeled ϕD and the theoretical friction diameter is $\phi 50d_1$.
- Top View (Right):** Shows the base (底座) with dimensions k_2 , k_1 , and h_1 . It also shows the disc with dimensions k_2 , k_1 , and h_1 . Labels include "中心高为160和190规格制动器地脚螺栓孔尺寸" (foot bolt hole dimensions for center heights of 160 and 190) and "中心高为230、280和370规格制动器地脚螺栓孔尺寸" (foot bolt hole dimensions for center heights of 230, 280, and 370).

规格		额定制动力矩/N·m								每侧制动瓦退距/mm	
制动器中心高 /mm	推动器额定推力 /N	制动盘直径 D/mm									
		250	315	400	500	630	710	800	900		
160	220	200	250	315	400	—	—	—	—	0.8 ± 0.1	
	300	280	355	450	560	—	—	—	—		
	500	450	560	710	900	—	—	—	—		

(续)

规格		额定制动力矩/N·m								每侧制动瓦退距/mm	
制动器中心高 /mm	推动器额定推力 /N	制动盘直径 D/mm									
		250	315	400	500	630	710	800	900		
190	300	—	355	450	560	710	—	—	—	0.9±0.2	
	500	—	560	710	900	1120	—	—	—		
	800	—	900	1120	1400	1800	—	—	—		
230	500	—	—	710	900	1120	1260				1.0±0.3
	800	—	—	1120	1400	1800	2000				
	1250	—	—	1800	2240	2800	3150	—	—		
280	800	—	—	—	1400	1800	2000	2240	—		
	1250	—	—	—	2240	2800	3150	3550			
	2000	—	—	—	3550	4500	5000	5600	—		
370	1250	—	—	—	—	3550	4000	4500	5000		
	2000	—	—	—	—	5600	6300	7100	8000		
	3000	—	—	—	—	8500	9500	10600	12000		

规格		基本连接尺寸/mm										公差/mm	
制动器中心高 /mm	推动器额定推力 /N	h_1	k_1	k_2	l	d	$n\geq$	b	d_1	P	$S\leq$	x	y
160	220	160	80	150	100	14	14	20	$D-55$	d_1-50	16	0.15	0.15
	300												
	500												
190	300	190	90	160	100	18	18	30	$D-65$	d_1-50	20	0.20	0.20
	500												
	800												
230	500	230	145	145	130	18	22	30	$D-80$	d_1-65	20	0.25	0.25
	800												
	1250												
280	800	280	180	180	160	27	24	30	$D-100$	d_1-80	30	0.30	0.30
	1250												
	2000												
370	1250	370	180	180	160	27	30	30	$D-130$	d_1-80	30	0.35	0.35
	2000												
	3000												

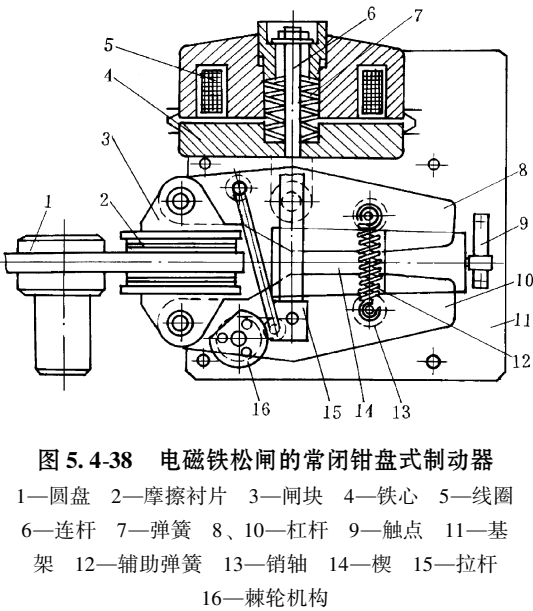


图 5.4-38 电磁铁松闸的常闭钳盘式制动器

1—圆盘 2—摩擦衬片 3—闸块 4—铁心 5—线圈
6—连杆 7—弹簧 8、10—杠杆 9—触点 11—基架
12—辅助弹簧 13—销轴 14—楔 15—拉杆
16—棘轮机构

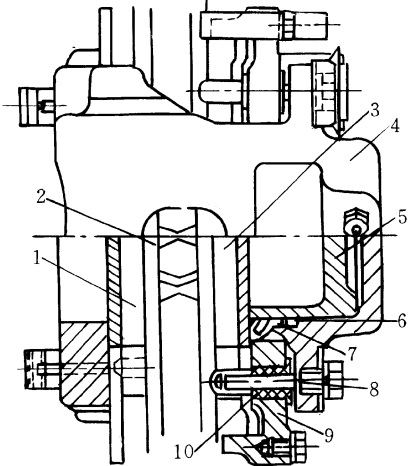


图 5.4-39 常开滑动钳式制动器

1—固定制动块 2—制动盘（通风型） 3—活动制动块
4—制动钳体 5—活塞 6—密封圈 7—防护罩
8—制动钳定位导向销 9—支承板 10—橡胶衬套

图 5.4-40 为常开摆动钳式制动器。制动缸 6 通过销轴 12 与固定基架 11 铰接，并借助螺栓 9 及弹簧 10 定位。制动时，液压油由孔 7 进入制动缸推动活塞 5 使摩擦块 4 压制动盘 3，由于制动缸为浮动，活塞 5 使摩擦块压制动盘 3，同时也使摩擦块 2 压向制动盘。制动缸卸压后，弹簧 10 使制动器松闸。

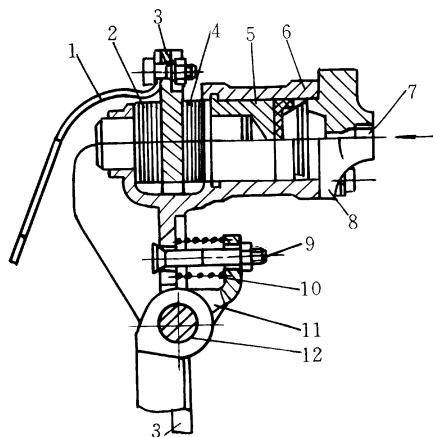


图 5.4-40 常开摆动钳式制动器

- 1—轮辐 2、4—摩擦块 3—制动盘 5—活塞
6—制动缸 7—进油孔 8—缸盖 9—螺栓
10—弹簧 11—基架 12—销轴

钳盘式制动器的优点是体积小、重量轻、惯量小、动作灵敏，调节油压可改变制动转矩。在同一直径制动圆盘的圆周方向增加制动夹钳的个数，就可增大制动转矩，而不需增加制动圆盘个数，但结构较复杂，多用于大型矿井提升机上。

3.5.2 全盘式制动器

图 5.4-41 所示为装于普通电动机轴用常闭单盘式制动器。电动机尾盖 1 上装有磁铁线圈 7 和弹簧 6，兼作制动盘用的动铁心 5 可以沿柱销 2 轴向移动，冷却风扇 4 上装有摩擦环 3。线圈 7 通电后，动铁心 5 被吸合而松闸。

这种制动器结构紧凑，摩擦面积大。改变垫片 8 的厚度，可改变弹簧 6 的压缩量，以调节制动转矩。

全盘式制动器制动转矩大，但散热条件差，装拆不如钳盘式方便。采用扇形摩擦片（图 5.4-42）较全环摩擦片更换方便。

径向尺寸受限制时，可采用多盘式（图 5.4-42）以增大制动转矩。表 5.4-104 ~ 表 5.4-109 分别为 QPZ 型、QPBZ 型、QPWZ 型气动多盘式制动器的主要技术参数及主要尺寸。

3.5.3 锥盘式制动器

图 5.4-43 所示为锥形转子电动机的锥盘式制动

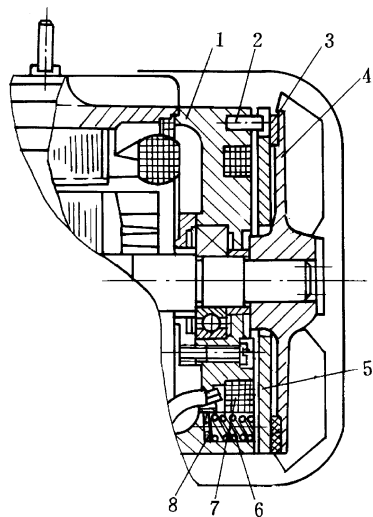


图 5.4-41 常闭单盘式制动器

- 1—尾盖 2—柱销 3—摩擦环 4—风扇
5—动铁心 6—弹簧 7—线圈 8—垫片

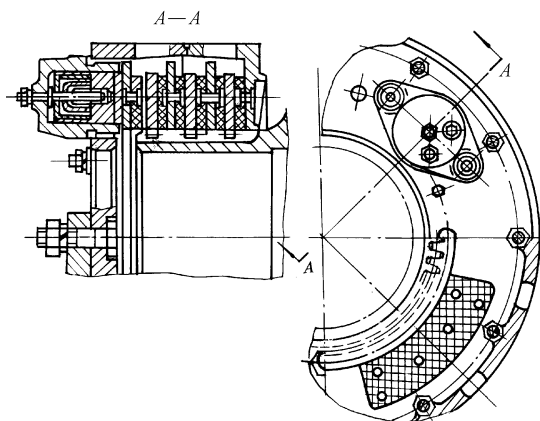


图 5.4-42 多盘式制动器

器结构图。当电动机启动时，产生一轴向磁拉力，推动锥形转子向右，并压缩弹簧 5，使得带风扇叶片的内锥盘 4 与电动机壳后端盖的外锥盘 6 脱开接触，于是松闸，电动机运转。当断电后轴向磁拉力消失，于是内锥盘在弹簧压力的作用下压紧到外锥盘 6 上，从而紧闸。

3.5.4 载荷自制盘式制动器

这种制动器是靠重物自重机构中产生的内力制动，主要用于提升设备，它能保证重物在升降过程中安全悬吊和平稳下降。其类型有蜗杆式、螺旋式、牙嵌式等。

1) 蜗杆式。图 5.4-44 和图 5.4-45 所示是蜗杆式的结构简图。蜗杆 2 的轴向力 F_1 使杆端锥面或平面（图 5.4-45）与棘轮 1 间产生摩擦转矩，棘轮的

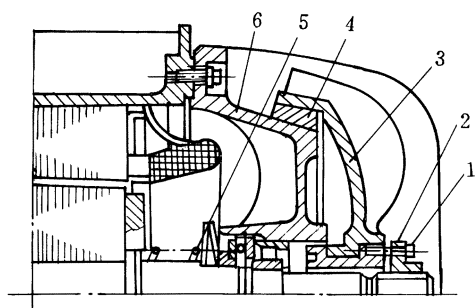


图 5.4-43 锥盘式制动器

1—螺钉 2—锁紧螺母 3—风扇叶片 4—内锥盘
5—弹簧 6—外锥盘

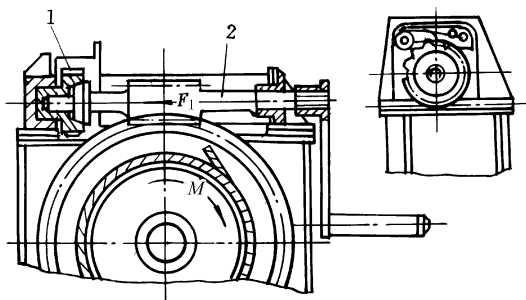


图 5.4-44 手绞车蜗杆式载荷自制制动器

1—棘轮 2—蜗杆

逆止作用保证重物悬吊空中。无论重物升或降，均需转动手柄，升降速度通过手柄控制。

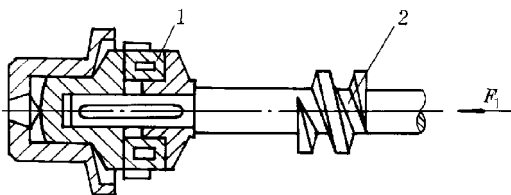


图 5.4-45 平面摩擦盘蜗杆式载荷自制制动器

1—棘轮 2—蜗杆

2) 螺旋式。图 5.4-46 所示为机械驱动螺旋式载荷自制制动器。小齿轮 3 正转时，使齿轮端面、棘轮 2、挡圈 1 及轴 4 相互压紧，并带动轴 4 旋转而提升重物。小齿轮停止时，棘轮逆止，保证重物悬吊空中。小齿轮反转时重物下降。

手驱动的螺旋式载荷自制制动器常称为“安全手柄”，如图 5.4-47 所示。

3) 牙嵌式。图 5.4-48a 所示为牙嵌式载荷自制制动器。停车时，负载转矩通过齿轮 4 和齿轮轴 7 使套筒 5 转动，套筒端面的螺旋齿（图 5.4-48b）迫使齿轮 3 轴向移动并压紧摩擦片 2 及棘轮 6 而紧闸，下降原理同螺旋式。

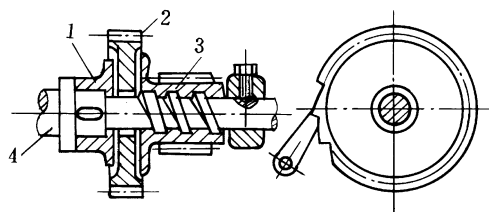


图 5.4-46 机械驱动的螺旋式载荷自制制动器

1—挡圈 2—棘轮 3—小齿轮 4—轴

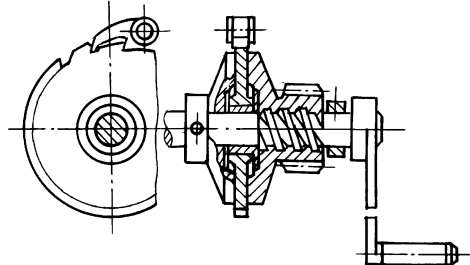
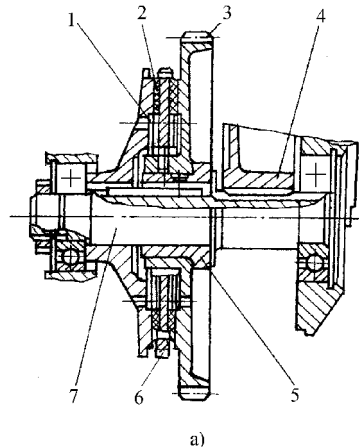
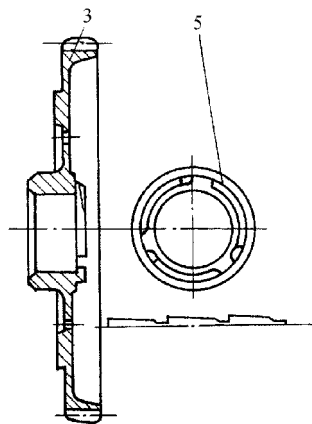


图 5.4-47 安全手柄



a)



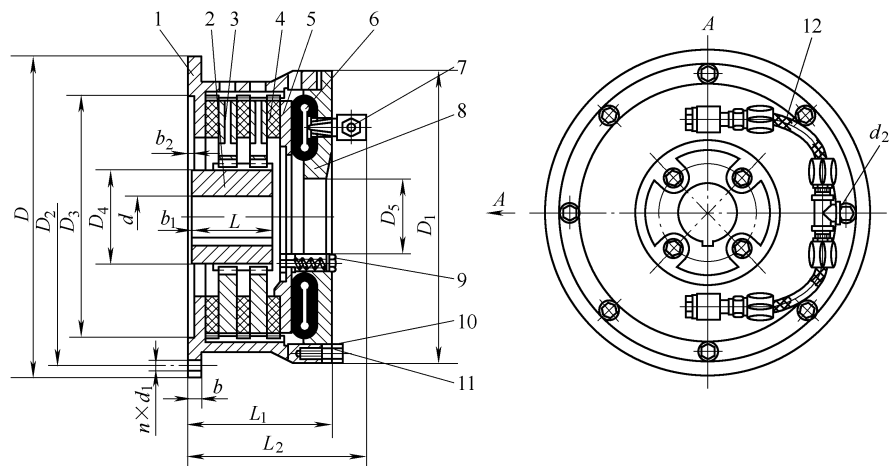
b)

图 5.4-48 牙嵌式载荷自制制动器示意图

a) 示意图 b) 齿轮结构

1—圆盘 2—摩擦片 3、4—齿轮
5—套筒 6—棘轮 7—齿轮轴

表 5.4-104 QPZ 型（常开式）气动多盘式制动器的主要技术参数（JB/T 10469.1—2004）



1—壳体 2—轴套 3—内盘 4—摩擦片 5—压板 6—气囊 7—快速排气阀
8—端盖 9—弹簧 10—垫片 11—螺钉 12—胶管总成

标记示例：额定制动转矩为 $5600\text{ N} \cdot \text{m}$ ，型号为 QPZ5-3，轴孔直径 $d = 80\text{mm}$ ，常开型气动盘式制动器的标记为：QPZ5-3 制动器 80JB/T 10469.1—2004

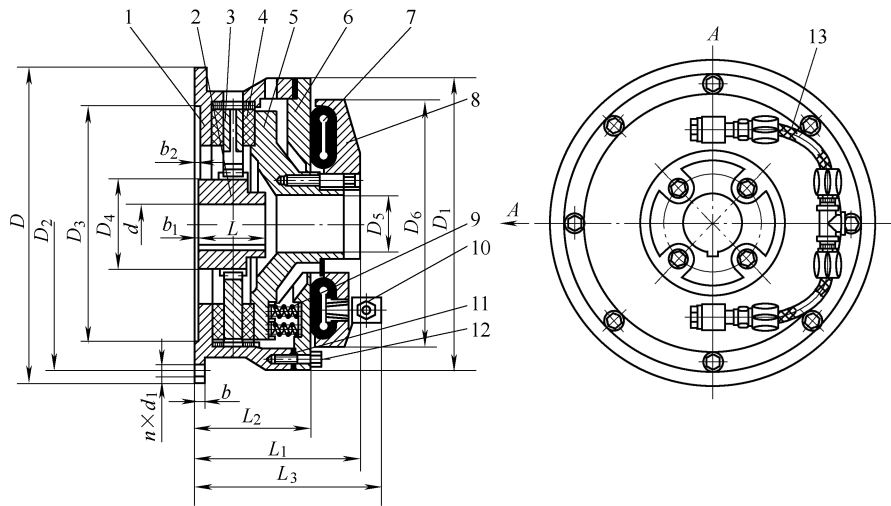
型 号	额定制动转矩 T_z / $\text{N} \cdot \text{m}$	许用转速 n_p / $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	转动惯量 J / $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	质量 / kg
QPZ1-2	315	2500	0.017	20
QPZ2-2	710	2000	0.044	32
QPZ3-2	1600	1500	0.200	75
QPZ4-2	2800	1200	0.450	105
QPZ5-2	4000	1100	0.825	148
QPZ5-3	5600		1.230	162
QPZ6-2	6300	1000	1.345	171
QPZ6-3	9500		1.997	210
QPZ7-2	8500	900	2.5	264
QPZ7-3	12500		4.0	330
QPZ8-2	15000	750	4.5	365
QPZ8-3	22400		6.75	465
QPZ9-2	17000	720	8.5	426
QPZ9-3	25000		12.6	540
QPZ10-2	31500	640	15.1	640
QPZ10-3	47500		19.5	795
QPZ11-2	50000	550	29.5	905
QPZ11-3	75000		44.7	1180

表 5.4-105 QPZ 型 (常开式) 气动多盘式制动器主要尺寸 (JB/T 10469. 1—2004) (mm)

型号	d (H7)	L	L_1	L_2	D	D_1	D_2	D_3 (H8)	D_4	D_5	$n \times d_1$	d_2	b	b_1	b_2				
QPZ1-2	15 ~ 45	82	132	195	220	225	203	190	70	50	$4 \times \phi 9$	$R_c 1/2$	6	1.5	2				
QPZ2-2	25 ~ 56	82	160	220	310	285	280	220	90	58	$6 \times \phi 14$		13	6	8				
QPZ3-2	25 ~ 65	110	165	225	400	375	375	295	105	95	$6 \times \phi 18$		16	10	6				
QPZ4-2	25 ~ 90	114	216	276	470	445	445	370	140	125	$8 \times \phi 18$				10				
QPZ5-2	35 ~ 100	120	210	270	540	510	510	410	150	155	$12 \times \phi 18$								
QPZ5-3		165	256	318															
QPZ6-2	50 ~ 120	120	235	295	590	560	560	470	180	185	$12 \times \phi 18$	$R_c 3/4$	16	10	11				
QPZ6-3		120	263	325															
QPZ7-2	50 ~ 150	130	260	320	685	632	648	540	230	235	$12 \times \phi 18$		$R_c 1\frac{1}{4}$	19	8	19			
QPZ7-3		178	294	355															
QPZ8-2	50 ~ 150	130	257	320	760	735	730	620	230	335	$12 \times \phi 18$	6							
QPZ8-3		190	314	375															
QPZ9-2	65 ~ 165	175	259	325	830	790	800	700	230	335	$16 \times \phi 18$	22		5	16				
QPZ9-3		202	318	380															
QPZ10-2	65 ~ 185	137	280	340	935	885	900	775	255	380	$18 \times \phi 22$	22		5	16				
QPZ10-3		190	320	380															
QPZ11-2	150 ~ 230	229	330	390	1105	1045	1065	925	305	570	$18 \times \phi 22$	22	5	16					
QPZ11-3		314	410	480															

注:1. 键槽形式尺寸按 GB/T 3852 的规定。
2. QPZ1 ~ QPZ3 为一个进气口,无胶管总成;表中 d_2 为快速排气阀的接口尺寸。
3. 轴套内孔与轴的配合: $d \leq 45 \sim 130\text{mm}$ 时,采用 H7/u6; $d > 130 \sim 480\text{mm}$ 时,采用 H7/u6。

表 5.4-106 QPBZ 型 (常闭式) 气动多盘式制动器主要技术参数 (JB/T 10469. 2—2004)



1—壳体 2—轴套 3—内盘 4—摩擦片 5—压板 6—端盖 7—气囊 8—托盘
9—弹簧 10—快速排气阀 11—垫片 12—螺钉 13—胶管总成

标记示例: 额定制动转矩为 $80000\text{N} \cdot \text{m}$, 型号为 QPBZ12-3, 轴孔直径 $d = 200\text{mm}$, 常闭型气动盘式制动器的标记为: QPBZ12-3 制动器 200 JB/T 10469. 2—2004

型 号	额定制动转矩 T_Z / $\text{N} \cdot \text{m}$	许用转速 n_p / $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	转动惯量 J / $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	质量 / kg
QPBZ1-2	500	2500	0.017	25
QPBZ2-2	900	2000	0.044	37

(续)

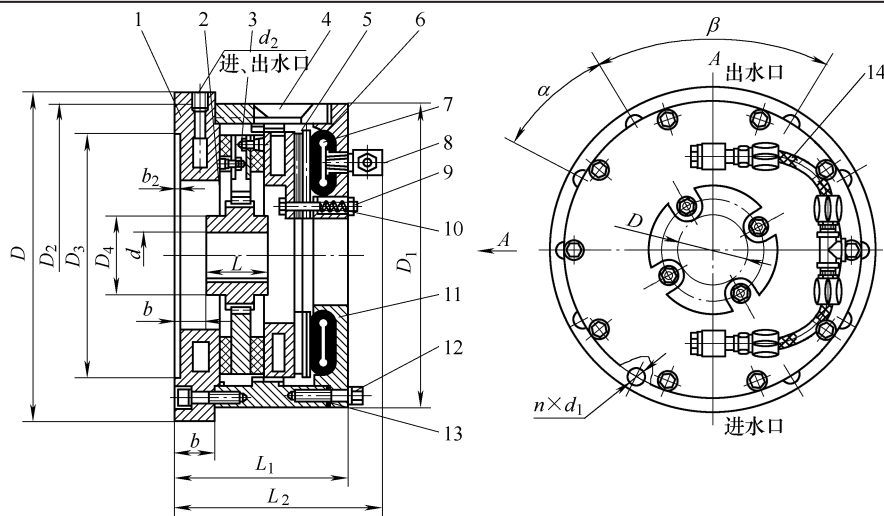
型 号	额定制动转矩 T_Z /N · m	许用转速 n_p /r · min ⁻¹	转动惯量 J /kg · m ²	质量 /kg
QPBZ3-2	1400	1500	0.200	95
QPBZ4-2	3550	1200	0.450	135
QPBZ5-2	5000	1100	0.825	204
QPBZ6-2	7500	1000	1.345	216
QPBZ7-2	9500	900	2.5	314
QPBZ7-3	14000		4.0	367
QPBZ8-2	14000	750	4.5	435
QPBZ8-3	20000		6.75	550
QPBZ9-2	19000	720	8.5	552
QPBZ9-3	28000		12.6	630
QPBZ10-2	35500	640	15.1	728
QPBZ10-3	37000		19.5	1000
QPBZ11-2	47500	550	29.5	1230
QPBZ11-3	67000		44.7	1480

表 5.4-107 QPBZ 型(常闭式)气动多盘式制动器主要尺寸(JB/T 10469.2—2004) (mm)

型号	d (H7)	L	L_1	L_2	L_3	D	D_1	D_2	D_3 (H8)	D_4	D_5	D_6	$n \times d_1$	d_2	b	b_1	b_2
QPBZ1-2	15 ~ 45	82	165	165	225	220	225	203	190	70	50	225	$4 \times \phi 9$	$R_c 1/2$	6	1.6	2
QPBZ2-2	25 ~ 56	82	190	160	250	310	285	280	220	90	50	240	$6 \times \phi 14$		13	6	6
QPBZ3-2	25 ~ 65	110	218	200	280	400	375	375	295	100	75	305	$6 \times \phi 18$		16		10
QPBZ4-2	35 ~ 90	114	225	215	315	470	445	445	370	140	100	375	$8 \times \phi 18$				
QPBZ5-2	35 ~ 100	120	270	225	330	540	510	510	410	150	110	415	$12 \times \phi 18$				
QPBZ6-2	50 ~ 120	120	275	235	335	590	560	560	470	180	125	495	$12 \times \phi 18$	$R_c 3/4$	11	19	19
QPBZ7-2	50 ~ 150	130	305	360	365	685	635	648	540	220	155	550	$12 \times \phi 18$		8		
QPBZ7-3		178	355	395	415												
QPBZ8-2	50 ~ 150	130	310	260	370	760	740	730	620	230	210	685	$12 \times \phi 18$	$R_c 1\frac{1}{4}$	19	19	6
QPBZ8-3		190	370	305	430												
QPBZ9-2	65 ~ 165	175	320	280	380	830	790	800	700	230	210	685	$12 \times \phi 22$				
QPBZ9-3		202	370	325	430												
QPBZ10-2	65 ~ 230	136	330	265	390	940	885	900	775	255	210	815	$18 \times \phi 22$				
QPBZ10-3		257	395	340	455												
QPBZ11-2	150 ~ 230	230	385	340	455	1105	1045	1065	925	305	325	975	$18 \times \phi 22$		22	16	
QPBZ11-3		314	520	410	580												

- 注:1. 键槽形式尺寸按 GB/T 3852 的规定。
2. QPBZ1 ~ QPBZ3 为一个进气口,无胶管总成,其 d_2 为快速排气阀的接口尺寸。
3. 轴套内孔与轴的配合: $d \leq 45 \sim 130\text{mm}$ 时,采用 H7/t6; $d > 130 \sim 480\text{mm}$ 时,采用 H7/u6。

表 5.4-108 QPWZ 型(水冷却型)气动多盘式制动器主要技术参数(JB/T 10469.3—2004)



1—底座 2—轴套 3—摩擦盘 4—壳体 5—压盘 6—压板 7—气囊 8—快速排气阀

9—弹簧 10—拉紧螺栓 11—端盖 12—螺钉 13—垫片 14—胶管总成

标记示例: 额定转矩为 $14200\text{ N}\cdot\text{m}$, 型号为 QPWZ8-2, 轴孔直径 $d=90\text{ mm}$, 水冷却气动盘式制动器的标记为: QPWZ8-2 制动器 90JB/T 10469.3—2004

型 号	额定制动转矩 T_z / $\text{N}\cdot\text{m}$	许用转速 n_p / $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	转动惯量 J / $\text{kg}\cdot\text{m}^2$	质 量 / kg	水流量 / $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$
QPWZ1-1	100	2800	0.00125	10.6	4
QPWZ2-1	315	2500	0.02	21	6
QPWZ2-2	630		0.03	31	8
QPWZ3-1	560	2000	0.0225	36	8
QPWZ3-2	1120		0.0375	50	12
QPWZ4-1	1250	1500	0.113	78	12
QPWZ4-2	2500		0.25	90	17
QPWZ5-1	2240	1200	0.45	125	13
QPWZ5-2	4480		0.625	145	21
QPWZ6-1	3150	1100	0.495	168	18
QPWZ6-2	6300		0.72	250	25
QPWZ7-1	5000	1000	0.75	195	21
QPWZ7-2	11000		0.90	260	32
QPWZ8-1	7100	900	1.6	265	30
QPWZ8-2	14200		1.75	315	48
QPWZ9-1	7500	750	2.85	360	45
QPWZ9-2	15000		3.00	465	67
QPWZ10-1	13200	720	5.0	395	57
QPWZ10-2	26400		9.2	560	90
QPWZ11-1	26500	640	9.65	615	65
QPWZ11-2	53000		18.0	930	105

表 5.4-109 QPWZ 型(水冷却型)气动多盘式制动器主要尺寸(JB/T 10469.3—2004) (mm)

型号	d (H7)	L	L_1	L_2	D	D_1	D_2	D_3 (H8)	D_4	D_5	α	β	$n \times d_1$	d_2	d_3	b	b_1	b_2			
QPWZ1-1	15 ~ 25	22	108	170	180	200	165	140	45	50	90°	90°	4 × $\phi 9$	$R_c 1/8$	$R_c 1/2$	32	32	4			
QPWZ2-1	15 ~ 45	50	145	205	220	225	203	190	70	50	90°	90°	4 × $\phi 9$	$R_c 1/4$		32	20				
QPWZ2-2		112	198	260												32	32				
QPWZ3-1	25 ~ 56	50	172	235	310	285	280	220	90	55	60°	120°	4 × $\phi 14$	$R_c 1/2$		38	30	6			
QPWZ3-2		102	225	285									$\phi 14$	$R_c 1/2$			20				
QPWZ4-1	25 ~ 65	70	188	250	400	375	375	295	105	82	60°	120°	4 × $\phi 18$	$R_c 1/2$		$R_c 3/4$	45	32			
QPWZ4-2		122	240	300									$\phi 18$	$R_c 1/2$							
QPWZ5-1	25 ~ 90	95	215	275	470	445	445	370	140	125	45°	90°	6 × $\phi 18$	$R_c 1/2$					28		
QPWZ5-2	25 ~ 71	143	268	330									110	$\phi 18$					$R_c 1/2$	45	
QPWZ6-1	35 ~ 100	102	220	280	540	510	510	410	150	150	30°	60°	10 × $\phi 18$	$R_c 1/2$					24		
QPWZ6-2	35 ~ 120	143	285	345									180	$\phi 18$					$R_c 1/2$		
QPWZ7-1	35 ~ 120	102	228	290	590	560	560	470	180	200	30°	60°	10 × $\phi 18$	$R_c 1/2$					$R_c 1/4$	50	28
QPWZ7-2	35 ~ 100	165	285	345									150	$\phi 18$							$R_c 3/4$
QPWZ8-1	50 ~ 150	102	245	305	685	635	648	540	230	235	30°	60°	10 × $\phi 18$	$R_c 1/2$		32					
QPWZ8-2	50 ~ 140	165	302	365									$\phi 18$	$R_c 3/4$							
QPWZ9-1	50 ~ 150	102	255	320	760	740	730	620	230	235	30°	60°	10 × $\phi 18$	$R_c 3/4$		$R_c 1/4$	50	35			
QPWZ9-2	50 ~ 140	205	315	375									$\phi 18$	$R_c 3/4$							
QPWZ10-1	65 ~ 160	115	255	320	830	790	800	700	230	335	22.5°	45°	14 × $\phi 18$	$R_c 3/4$	30						
QPWZ10-2		240	310	370									$\phi 18$	$R_c 3/4$							
QPWZ11-1	65 ~ 260	128	285	345	940	885	900	775	405	380	20°	40°	16 × $\phi 22$	$R_c 3/4$	35						
QPWZ11-2		205	425	485									$\phi 22$	$R_c 3/4$	50						

注:1. 键槽形式尺寸按 GB/T 3852 的规定。
2. QPWZ1 ~ QPWZ4 为一个进气口,无胶管总成;表中 d_3 为快速排气阀的接口尺寸。
3. 轴套内孔与轴的配合: $d \leq 45 \sim 130\text{mm}$ 时,采用 H7/u6; $d > 130 \sim 480\text{mm}$ 时,采用 H7/u6。

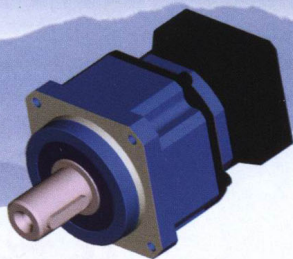
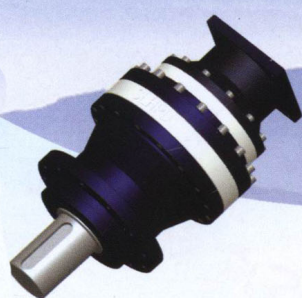
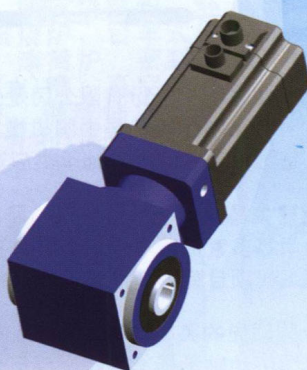
参 考 文 献

- [1] 闻邦椿. 机械设计手册:第3卷[M]. 5版. 北京:机械工业出版社,2010.
- [2] 徐灏. 新编机械设计师手册[M]. 北京:机械工业出版社,1995.
- [3] 机械设计手册编委会. 机械设计手册:第3卷[M]. 新版. 北京:机械工业出版社,2004.
- [4] 机械工程手册,电机工程手册编辑委员会. 机械工程手册:机械零部件设计卷[M]. 2版. 北京:机械工业出版社,2000.
- [5] 成大先. 机械设计手册:第2卷[M]. 5版. 北京:化学工业出版社,2008.
- [6] 吴宗泽. 机械设计师手册[M]. 2版. 北京:机械工业出版社,2009.
- [7] 吴宗泽. 机械设计实用手册[M]. 3版. 北京:化学工业出版社,2010.
- [8] 朱孝录. 机械传动设计手册[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [9] 汪凯. 机械设计标准应用手册:第3卷[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- [10] 卜炎. 实用轴承技术手册[M]. 北京:机械工业出版社,2004.



上海涟恒精密机械有限公司

全球精密传动领域的优秀合作伙伴



全球视野
国际理念

公司简介

上海涟恒精密机械有限公司是中国专业从事精密传动设备的大型研发、制造、销售的高科技企业。目前公司主要产品有：精密行星减速机、精密伺服减速机、精密蜗轮减速机、精密螺旋升降机、精密齿轮减速机等五大系列产品。

产品广泛应用于：数控机床、玻璃设备、精密仪器、测量设备、食品包装、焊接设备、印刷机械、纺织印染、制药制革、环保设备、水泥设备、煤炭设备、啤酒饮料、矿山机械、橡胶塑料、石油化工、起重运输、制药制革、环保设备等轻、重工业的机械传动和精密控制领域。作为中国精密传动设备的高新技术企业，目前公司全部引进德国先进的制造工艺、装备和检验手段，有效地保证了产品的质量、生产效率和设备的稳定性。涟恒精密致力于全球精密传动设备产品的研发与生产，为国内外机械行业的传动应用提供优化的解决方案。目前公司拥有浙江、上海两大专业生产基地和上海研发中心，产品达到一万多种机型，并销往全球20多个国家和地区。

公司以秉承“诚实、责任、创新，爱心、和谐、进步”的企业文化。本着“用户至上、追求品质”的经营原则，一如继往的用心服务，努力打造成为工业传动领域令人尊重的高级科技制造企业。



地址：上海市嘉定工业区旺泾村490号
手机：13818466897

邮编(P.C)：201815
网址：www.slhpdm.com

电话：021-69519099
Email：SLHPDM@163.COM



龙溪股份

中国驰名商标



福建龙溪轴承（集团）股份有限公司

FUJIAN LONGXI BEARING(GROUP) CORPORATION LIMITED



福建龙溪轴承（集团）股份有限公司是生产经营关节轴承、圆锥滚子轴承、齿轮、变速箱、汽车零部件及服装机械设备的现代化上市集团公司，是中国机械工业核心竞争力100强企业，国家火炬计划重点高新技术企业，国家创新型试点企业，也是国内著名的关节轴承供应商和优秀出口商，拥有“LS”、“红旗马”二个中国驰名商标。

公司拥有福建金昌龙机械科技有限公司、福建省永安轴承有限责任公司、福建省三明齿轮箱有限责任公司、福建红旗股份有限公司等多家控股子公司，产品不仅广泛应用于国民经济各行业的各类机械设备，并为国防、科研等重要工程及国家重点工程项目配套，而且大量出口欧美亚等四十多个工业发达国家和地区。

公司拥有全国领先的关节轴承研究所和关节轴承检测实验中心，建立了省级企业技术中心，成立了企业博士后科研工作站，是全国滚动轴承标准化技术委员会关节轴承分技术委员会秘书处单位。公司研发的关节轴承尺寸段从内孔直径3mm到1000mm，涵盖向心、角接触、推力、杆端、球头杆端、带座带锁口杆端等六大类关节轴承，不仅为用户提供标准型关节轴承，而且提供特殊要求和特殊结构关节轴承，关节轴承品种数居世界同类厂家首位，产品水平和质量水平达世界同类产品先进水平，并拥有众多授权专利和发明专利。

品质传动世界 High Quality for the world
LS成就价值 High Value for LS people



福建龙溪轴承（集团）股份有限公司

FUJIAN LONGXI BEARING(GROUP) CORPORATION LIMITED

总部：福建省漳州市腾飞路388号

传真：0086-596-2066323（市场部）、2051934（办公室）

电话：0086-596-2072087（市场部）、2072156（办公室）

电子信箱：ls@ls.com.cn

股票名称：龙溪股份

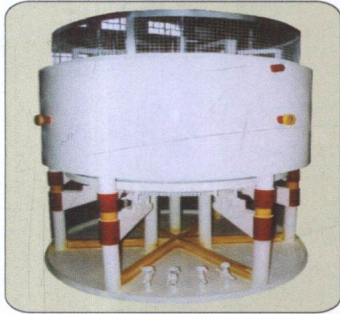
网址：www.ls.com.cn

股票代码：600592

电 炉

KKQ

特大正规化电炉厂 年产台车炉等二千台



含碳球团环形转底炉



大型井式炉、渗碳炉



回转窑、滚筒炉



大型高温台车电阻炉

武汉市汉口电炉有限责任公司拥有5万m²厂房，50年制造经验，系大型正规化工业电炉制造厂，年产台车炉、井式炉、箱式炉、渗碳炉、盐浴炉等2000余台。主要产品有：出口型陶瓷纤维台车式电阻炉(专利)、翻转式台车炉、模具预热炉、台车式金刚石钻头烧结炉、珍珠岩玻化微珠膨胀电炉(专利)、井式炉、飞机制造业用精密箱式炉、1700℃箱式炉、气体渗碳炉、气体氮化炉、辉光离子氮化炉、液体氮化炉、预抽真空保护气氛炉、铝合金淬火炉、专利滚道式铝合金淬火炉、铝合金时效炉、熔铝炉、熔铅炉、镁合金熔体保温炉、镁液复合坩埚、热镀锌炉、埋入式电极盐浴炉、硝酸盐炉、奥贝体等温淬火硝酸盐炉、奥贝体等温淬火生产线、坩埚盐浴炉、真空氮气保护铜材光亮退火炉、电热鼓风干燥箱、热风炉、实验电炉、推杆炉、网带硝酸盐等温淬火炉、搪瓷烧结炉、环形转底炉、转底炉、稀土和氧化铝焙烧炉、台车式催化剂焙烧炉、三元催化器热处理炉、滚筒炉、密封箱式炉、罩式炉、渗铝钢炉、淬火油(水)槽、真空炉、真空双室油淬炉、高压气淬真空炉、钢球油淬生产线、(显示器和平板电视玻璃硬化用专利)离子交换盐浴炉。产品出口美国、德国、日本、澳大利亚、中东、东南亚等许多国家和地区。



专利滚道式铝合金淬火炉



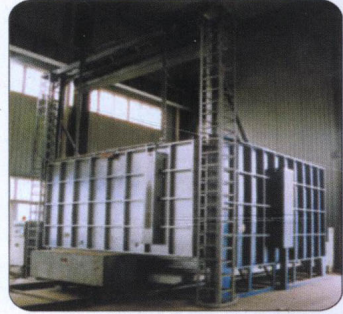
淬火油(水)槽



稀土、催化剂焙烧炉



电、燃油、燃气熔铝炉



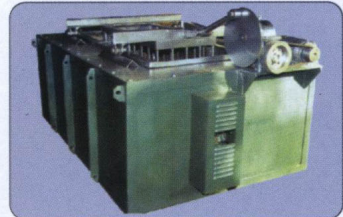
超大型全纤维台车炉



生产线批量化生产台车炉



精密铸造模壳焙烧炉



球墨铸铁、奥贝体等温淬火硝酸盐炉

武汉市汉口电炉有限责任公司 武汉工业电炉厂

厂址：武汉市东西湖台商开发区九通路武汉银湖科技园18号 厂长：孔可强 邮编：430040
电话：027—83372766 83372755 83372568 13807177084 传真：027—83372487 85879039
邮箱：85629181@163.com 网址：<http://www.HKfurnace.cn> www.whdianlu.com.cn

河南煤化集团(世界500强企业)骨干成员企业

LYC[®]

——中国·洛轴——

为国家重大装备配套全系列轴承产品

- 洛阳LYC轴承有限公司是中国“一五”期间156项重点工程之一，是中国轴承行业主要的综合性轴承制造企业之一；
- 可生产各种类型、各种精度的一万多个轴承品种，产品从内径10毫米到外径8000毫米，重量25.4克到18吨的各种类型轴承；
- 公司整体通过了ISO9001质量管理体系认证、ISO14001环境体系认证、ISO16949质量体系认证和GJB9001A军工质量管理体系认证，LYC品牌轴承被国家确认为全国重点保护名优产品，LYC商标被认定为中国驰名商标；
- 公司拥有国家认定企业技术中心，可根据客户不同要求设计研制各种特殊结构、特殊性能、特殊用途轴承；
- 洛轴产品连续多次获得国家精品轴承称号和国家金质奖，国家银质奖及省、部优质产品奖等奖项。同时为国家多项重点工程提供配套轴承



全国统一服务电话：
400-6379-000
www.lyc.cn

地址:北京市百万庄大街22号
邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术/机械工程/机械设计

ISBN 978-7-111-38255-3

策划编辑◎曲彩云

ISBN 978-7-111-38255-3



9 787111 382553 >

定价:248.00元