

JIXIE ZHITU YU GONGCHA CELIANG

机械制图与公差测量 实用手册

SHIYONG SHOUCHE

王静 等编著



机械制图与公差测量 实用手册

王静 周丹 吴仲伟 编著



机械工业出版社

机械产品的“设计”和“制造”是其生命周期中的两个最重要的过程。而设计的结果主要表现在工程图样上,制造的质量往往要由检验测量来确认。机械工程图样由图形、符号和文字等组成,是表达设计意图、技术要求和经验交流的重要技术文件,是工程界共同的技术语言。几何量公差与误差检测把标准化和计量学的相关内容有机地结合在一起。

在本书的编写过程中,编者特别注意科学性、实用性和先进性。首先,注意内容尽量全面和详实,搜集了大量最新的资料和现行的标准,尽量多吸取同类书籍的优点;同时,注重实用,为便于读者查阅,采用了条理化 and 表格化的格式,图文并茂且图例典型;在理论的阐述上,力求言简意赅。

图书在版编目(CIP)数据

机械制图与公差测量实用手册/王静,周丹,吴仲伟编著. —北京:机械工业出版社,2011.1 (2012.6 重印)

ISBN 978 - 7 - 111 - 32650 - 2

I. ①机… II. ①王…②周…③吴… III. ①机械制图 - 技术手册
②公差 - 配合 - 技术手册③技术测量 - 技术手册 IV. ①TH126 - 62
②TC801 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 238440 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:黄丽梅 责任编辑:王春雨

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2012 年 6 月第 1 版第 2 次印刷

169mm × 239mm · 20.25 印张 · 416 千字

4001—5500 册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 32650 - 2

定价:38.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心 : (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部 : (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部 : (010) 88379649

封面无防伪标均为盗版

读者购书热线: (010) 88379203

前 言

机械产品的“设计”和“制造”是其生命周期中的两个最重要的过程。而设计的结果主要表现在工程图样上，制造的质量往往要由检验测量（其中“几何量测量”至关重要）来确认，可见，“制图”和“测量”是为产品质量把关的两个关键环节。为方便广大从事机械制造业的人员及相关专业的学生查阅和学习相关知识和资料，特编写了《机械制图与公差测量实用手册》，以飨读者。

机械制图是用机械工程图样来表示机械对象的学科。工程图样由图形、符号和文字等组成，是表达设计意图、技术要求和经验交流的重要技术文件，是工程界共同的技术语言。几何量公差与误差检测把标准化和计量学的相关内容有机地结合在一起，与机械设计、机械制造和质量控制等密切相关，是机械工程技术人员和管理人员必备的基本知识和技能。

在本书编写过程中，编者特别注意了科学性、实用性和先进性。首先，注意内容尽量全面和详实，搜集了大量最新的资料和现行的标准（例如：GB/T 14689—2008《技术制图 图纸幅面和格式》、GB/T 1182—2008《产品几何技术规范（GPS） 几何公差 形状、方向、位置和跳动公差标注》、GB/T 1031—2009《产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值》、GB/T 10095.2—2008《圆柱齿轮 精度制 第2部分：径向综合偏差与径向跳动的定义和允许值》、GB/T 1800.1—2009《产品几何技术规范（GPS） 极限与配合 第1部分：公差、偏差和配合的基础》、GB/T 4249—2009《产品几何技术规范（GPS） 公差原则》、GB/T 10610—2009《产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法》等），尽量多吸取同类书籍的优点；同时，注重实用，为便于读者查阅，采用了条理化和表格化的格式，图文并茂且图例典型；在理论的阐述上，力求言简意赅。

参与本手册编写的有：王静（第1章、第2章、第3章），周丹（第4章、第7章、第8章、第9章），吴仲伟（第5章、第6章、第10章）。

本手册主要适于从事机械制造业的技术人员使用，也可作为普通本科院校、高等职业院校、成人高等学校、中等职业学院等学校学生的辅助参考书，还可供有关工程技术人员、工人培训和自学之用。

IV

合肥工业大学李学京教授和桂贵生教授主审了本手册，提出了许多宝贵的意见。在编写过程中得到了合肥工业大学和机械工业出版社的大力支持，在此一并表示深深的谢意。

限于编者水平，本手册中难免会出现错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 制图基本知识和制图国家标准规定	1
1.1 制图基本知识	1
1.1.1 图学基础简介	1
1.1.2 图样的绘制方法	1
1.1.3 制图标准化	2
1.2 技术制图和机械制图国家标准	3
1.2.1 图纸幅面和格式	3
1.2.2 标题栏和明细栏	7
1.2.3 字体	8
1.2.4 比例	10
1.2.5 图线	11
1.2.6 剖面区域表示法	20
第 2 章 工程图样的常用表达方法	24
2.1 视图	24
2.1.1 基本视图	24
2.1.2 向视图	24
2.1.3 局部视图	24
2.1.4 斜视图	27
2.2 剖视图	28
2.2.1 剖视图的分类	30
2.2.2 剖切面的种类	33
2.3 断面图	36
2.3.1 移出断面图	37
2.3.2 重合断面图	38
2.4 剖视图和断面图中的规定画法	39
2.5 局部放大图	40
2.6 简化画法	41
2.7 轴测图	47
2.7.1 轴测图的基本概念及术语	47
2.7.2 正等轴测图	49

VI

2.7.3 斜二等轴测图	52
2.8 第三角画法简介	53
2.9 尺寸标注方法	54
2.9.1 尺寸标注基本规则	55
2.9.2 尺寸的组成及基本规定	55
2.9.3 尺寸标注常用符号及缩写词	59
2.9.4 尺寸简化标注及其他常用尺寸标注方法	61
第3章 零件图和装配图	66
3.1 零件图	66
3.1.1 零件图的作用和内容	66
3.1.2 零件的工艺结构	67
3.1.3 典型零件的表示法	71
3.1.4 零件图中的尺寸标注	74
3.2 标准件和常用件的画法	83
3.2.1 螺纹	83
3.2.2 螺纹紧固件	90
3.2.3 键	97
3.2.4 销	99
3.2.5 滚动轴承	101
3.2.6 齿轮	108
3.2.7 弹簧	113
3.3 装配图	117
3.3.1 装配图的作用和内容	117
3.3.2 常见的装配工艺结构	118
3.3.3 装配图的表达方法	123
3.3.4 装配图的零、部件序号和明细栏	126
3.3.5 装配图的尺寸标注	128
第4章 极限与配合	129
4.1 基本术语介绍	129
4.1.1 要素	129
4.1.2 孔和轴	130
4.1.3 尺寸	130
4.1.4 偏差、公差及公差带	132
4.1.5 配合	133
4.2 极限与配合的标准化	135
4.2.1 极限制和配合制	135

4.2.2	标准公差系列	136
4.2.3	基本偏差系列	139
4.2.4	常用公差带和优先、常用配合	148
4.3	公差与配合的选择	153
4.3.1	配合制的选择	154
4.3.2	标准公差等级的选择	156
4.3.3	配合种类的选择	157
4.4	大尺寸孔、轴公差与配合	160
4.5	未注公差线性尺寸的一般公差	162
第5章	尺寸测量	164
5.1	尺寸测量的基本知识	164
5.1.1	测量的基本要素	164
5.1.2	计量器具和测量方法	165
5.1.3	测量误差的来源及分类	167
5.2	尺寸测量方法及计量器具	168
5.2.1	尺寸测量方法	168
5.2.2	计量器具的选择	170
5.2.3	常用计量器具的介绍	170
5.2.4	大轴径的测量	172
5.3	尺寸验收方法	175
第6章	几何公差与检测	176
6.1	基本概念	176
6.1.1	几何要素及分类	176
6.1.2	几何公差特征项目及其符号	177
6.1.3	几何公差带	178
6.2	几何公差的标注和公差原则	194
6.2.1	被测要素的表示方法和标注	194
6.2.2	基准要素的表示方法和标注	195
6.2.3	几何公差的简化标注方法	196
6.2.4	公差原则	197
6.3	几何公差的选择	203
6.3.1	几何公差特征项目及基准要素的选择	203
6.3.2	公差原则的选择	204
6.3.3	几何公差值的选择	204
6.4	几何误差的评定及选用原则	204
6.4.1	实际要素的体现	204

6.4.2	几何误差的评定	205
6.4.3	检测原则	206
6.5	直线度误差检测	207
6.5.1	常用检测方法及其计量器具	207
6.5.2	光隙法	208
6.5.3	节距法	208
6.5.4	直线度误差检测	209
6.6	平面度误差检测	210
6.6.1	平晶干涉法	210
6.6.2	三点法	210
6.6.3	四点法	210
6.6.4	按“最小条件”评定平面度误差的方法	211
6.7	圆度误差的检测	213
6.7.1	分度头检测	213
6.7.2	圆度仪检测	214
6.7.3	二点法、三点法检测	214
6.8	圆柱度误差的检测	215
6.8.1	圆度仪检测	215
6.8.2	V形法检测	216
6.9	平行度误差的检测	216
6.9.1	面对基准平面的平行度误差的检测	216
6.9.2	直线对基准平面的平行度误差的检测	217
6.9.3	面对基准直线的平行度误差的检测	217
6.9.4	直线对基准直线的平行度误差的检测	218
6.10	垂直度误差的检测	219
6.10.1	面对基准平面的垂直度误差的检测	219
6.10.2	直线对基准平面的垂直度误差的检测	219
6.10.3	面对基准直线的垂直度误差的检测	220
6.10.4	直线对基准直线的垂直度误差的检测	221
6.11	同轴度误差的检测	221
6.12	对称度误差的检测	222
6.13	位置度误差的检测	223
6.14	跳动误差的检测	224
6.14.1	径向圆跳动误差的检测	224
6.14.2	端面圆跳动误差的检测	225
6.14.3	斜向圆跳动误差的检测	225

6.14.4	径向全跳动误差的检测	226
6.14.5	端面全跳动误差的检测	226
第7章	表面结构及检测	227
7.1	表面轮廓的基本概念	227
7.2	表面粗糙度轮廓的评定	228
7.2.1	相关术语	228
7.2.2	表面粗糙度轮廓的评定参数与选择	230
7.2.3	表面粗糙度轮廓参数数值	232
7.3	表面粗糙度轮廓的符号及标注	233
7.4	表面粗糙度轮廓的测量方法	240
第8章	渐开线圆柱齿轮的公差及检测	246
8.1	对齿轮传动的使用要求	246
8.2	评定参数及代号	248
8.3	渐开线圆柱齿轮精度的标准化	252
8.3.1	齿轮的精度等级和各项精度指标的公差计算公式	252
8.3.2	齿轮精度等级的选择	253
8.3.3	图样上齿轮精度等级的标注	254
8.4	齿轮副中心距极限偏差和轴线平行度偏差	254
8.4.1	齿轮副相关参数	254
8.4.2	齿轮副应检精度指标	255
8.5	齿轮侧隙指标的公差和齿轮坯公差	256
8.5.1	齿轮侧隙的评定	256
8.5.2	齿轮坯公差	259
8.5.3	齿轮齿面和基准面的表面粗糙度轮廓要求	260
8.6	齿轮精度数值表	260
8.7	圆柱齿轮单项参数的测量	263
8.7.1	齿距检查仪测量齿距累积总偏差和单个齿距偏差	263
8.7.2	万能工具显微镜测量齿距累积总偏差和单个齿距偏差	264
8.7.3	渐开线检查仪测量齿廓总偏差	266
8.7.4	偏摆检查仪测量螺旋线总偏差	267
8.7.5	齿厚游标卡尺测量齿厚偏差	268
8.7.6	公法线千分尺测量公法线长度偏差	269
8.7.7	偏摆检查仪测量齿轮径向跳动	269
8.7.8	齿轮径向跳动检查仪测量齿轮径向跳动	271
8.8	圆柱齿轮的综合测量	272
8.8.1	齿轮单面啮合检查仪测量切向综合总偏差和一齿切向综合偏差	272

8.8.2 齿轮双面啮合综合检查仪测量径向综合总偏差和一齿径向综合偏差	273
第9章 圆锥的公差及检测	275
9.1 圆锥的基本参数和标注	275
9.2 圆锥的公差与配合	279
9.2.1 圆锥公差的术语及定义	279
9.2.2 圆锥配合的种类和圆锥配合的形成	280
9.2.3 圆锥公差项目	281
9.2.4 圆锥公差的给定和标注	283
9.2.5 圆锥直径公差带(公差区)的选择	285
9.3 锥度的检测	285
9.3.1 正弦规测量	285
9.3.2 钢球法测量	286
9.3.3 圆锥量规检测	287
第10章 圆柱螺纹公差与检测	289
10.1 圆柱螺纹的结构参数和公差标准	289
10.1.1 螺纹的分类和牙型结构形式	289
10.1.2 螺纹的有关名词术语、几何参数和定义	290
10.1.3 普通螺纹的基本尺寸	293
10.1.4 普通螺纹的公差与配合	295
10.2 机床梯形螺纹丝杠和螺母的精度与公差	297
10.3 普通螺纹的综合检验	302
10.4 圆柱外螺纹主要参数的测量	302
10.4.1 用工具显微镜测量外螺纹的主要参数	302
10.4.2 外螺纹中径的测量方法	305
10.5 圆柱内螺纹主要参数的测量	307
10.5.1 内螺纹螺距的测量方法	307
10.5.2 内螺纹牙型角的测量方法	308
10.5.3 内螺纹中径的测量方法	308
10.5.4 内螺纹大径和小径的测量方法	309
参考文献	311

第 1 章 制图基本知识和制图国家标准规定

1.1 制图基本知识

1.1.1 图学基础简介（见表 1-1）

表 1-1 图学基础简介

项 目	定义及内容
图	图是用点、线、符号和文字等描述事物几何特性、位置及大小的一种形式
投影法	投影法是指投射射线通过物体向选定的面投射，并在该面上得到图形的方法 投影法分为平行投影法（包括正投影法和斜投影法）和中心投影法；多数工程图主要是采用正投影法获得。涉及投影法的国家标准有 GB/T 13361—1992《技术制图 通用术语》、GB/T 14692—2008《技术制图 投影法》和 GB/T 16948—1997《技术产品文件 词汇 投影法术语》
直角投影体系	直角投影体系是指由三个互相垂直的平面（ H 、 V 和 W 面）组成的投影体系。三平面的交点 O 称为坐标原点；其交线称为坐标轴（ X 、 Y 和 Z 轴） 直角投影体系把空间分为八个分角；ISO 规定，第一角画法和第三角画法同等使用；GB 规定，我国优先采用第一角画法
工程图样	工程图样是根据投影原理、标准和有关规定表示工程对象，并有相应技术要求的图。工程图样被喻为工程界共同的技术语言 常见的工程图样有正投影图、标高图和透视图等。其中，机械领域的工程图样称为机械工程图样。机械工程图样的主要内容是零件图、装配图和轴测图等
计算机图形学	计算机图形学是研究怎样利用计算机表示、生成、处理和显示图形的原理、算法、方法和技术的一门学科。研究涉及的内容主要有图形硬件、图形标准、图形交互技术、光栅图形生成算法、曲线曲面造型、实体造型、真实感图形计算与显示算法，以及科学计算可视化、计算机动画、自然景物仿真和虚拟现实等

1.1.2 图样的绘制方法（见表 1-2）

表 1-2 图样的绘制方法

项 目	定义及内容
徒手绘图	徒手绘图是一种不用绘图仪器而按目测比例徒手画出图样的方法，这种图样称为草图或徒手图。其主要用于现场测绘、设计方案讨论或技术交流，是工程技术人员必备的基本能力

(续)

项 目	定义及内容
尺规绘图	尺规绘图是借助图板、丁字尺、三角板、圆规和分规等绘图工具和仪器进行手工绘图的方法。其在各院校里是作为训练学生绘图基本功的基本手段
计算机绘图	计算机绘图是指应用计算机绘图系统生成、处理、存储、输出图形的一项技术。其在企业里基本上取代了传统的手工绘图，计算机绘图提高了设计质量和设计效率，降低了设计成本，提升了整个设计技术的管理水平。常用的计算机绘图软件有 AutoCAD、Pro/Engineer、SolidWorks、Unigraphics 和 Catia 等

1.1.3 制图标准化 (见表 1-3)

表 1-3 制图标准化

项 目	定义及内容
标准	<p>为了在一定范围内获得最佳秩序，经协商一致制定并由公认机构批准，共同使用和重复使用的一种规范性文件。例如国际标准 (ISO)、欧洲标准 (CEN)、中国国家标准 (GB) 等</p> <p>“中华人民共和国国家标准”分为 GB (强制性)、GB/T (推荐性) 和 GB/Z (指导性技术文件) 三种</p>
标准化	围绕标准的一系列活动。例如标准的制修订、贯彻和实施等
制图标准化	<p>制图工作及内容相当重要且复杂，故必须在统一的标准规划下，工作才能顺畅运行</p> <p>“国际标准化组织/技术产品文件标准化技术委员会 (ISO/TC10)” 主管国际上的制图标准化工作；“中国标准化管理委员会/技术产品文件标准化技术委员会 (SAC/TC146)” 主管中国的制图标准化工作。SAC/TC146 在业务上和 ISO/TC10 一一对应</p>
新的“中国制图标准体系”	<p>我国的《机械制图国家标准》始颁布于 1959 年 (但 1951 年即制定了《工程制图标准草案》，1956 年机械部颁发了《机械制图标准》JB 版)；1970 ~ 1974 年和 1984 年分别进行了修订；并且，其他行业也相继颁布过制图标准，如《建筑制图国家标准》等</p> <p>从 1989 年至今，SAC/TC146 对我国的制图标准体系进行了系统认真地调整，对制图标准进行了制定和修订，现已形成了新的“中国制图标准体系”，其包括四个层面：</p> <p>第一层面：《技术制图国家标准》，其是依据各类制图中共性的内容而制定的标准，如“图幅”、“比例”、“字体”、“图线”和“剖面区域”等</p> <p>第二层面：《专业制图国家标准》，如《机械制图国家标准》等</p> <p>当一些专业认为《技术制图国家标准》的相关规定已满足本专业制图的需要时，则完全按《技术制图国家标准》的规定执行；但当某专业认为《技术制图国家标准》的相关规定不能完全满足本专业制图的需要时，则可以在不违反《技术制图国家标准》规定的原则下，补充制定相关的《专业制图国家标准》</p> <p>第三层面：《CAD 制图国家标准》</p> <p>第四层面：《CAD 文件管理国家标准》</p>

1.2 技术制图和机械制图国家标准

《机械制图国家标准》属于专业制图国家标准。

学习应用《机械制图国家标准》当然离不开共性特点的《技术制图国家标准》。

本节介绍技术制图和机械制图国家标准的基本规定部分，包括图幅、比例、字体、图线和剖面区域等。这些内容主要在《技术制图国家标准》中，但《机械制图国家标准》对“图线”和“剖面区域”作了补充规定。

1.2.1 图纸幅面和格式

图纸幅面和格式的国家标准是 GB/T 14689—2008 《技术制图 图纸幅面和格式》。

(1) 图纸幅面

图纸幅面的代号和尺寸如表 1-4 所示。

表 1-4 图纸幅面代号和尺寸 (单位: mm)

基本幅面		加长幅面		特殊加长幅面	
幅面代号	尺寸 $B(\text{短边}) \times L(\text{长边})$	幅面代号	尺寸 $B(\text{短边}) \times L(\text{长边})$	幅面代号	尺寸 $B(\text{短边}) \times L(\text{长边})$
A0	841 × 1189	A3 × 3	420 × 891	A0 × 2	1189 × 1682
				A0 × 3	1189 × 2523
				A1 × 3	841 × 1783
A1	594 × 841	A3 × 4	420 × 1189	A1 × 4	841 × 2378
				A2 × 3	594 × 1261
				A2 × 4	594 × 1682
A2	420 × 594	A4 × 3	297 × 630	A2 × 5	594 × 2102
				A3 × 5	420 × 1486
				A3 × 6	420 × 1783
A3	297 × 420	A4 × 4	297 × 841	A3 × 7	420 × 2080
				A4 × 6	297 × 1261
				A4 × 7	297 × 1471
A4	210 × 297	A4 × 5	297 × 1051	A4 × 8	297 × 1682
				A4 × 9	297 × 1892

注意事项:

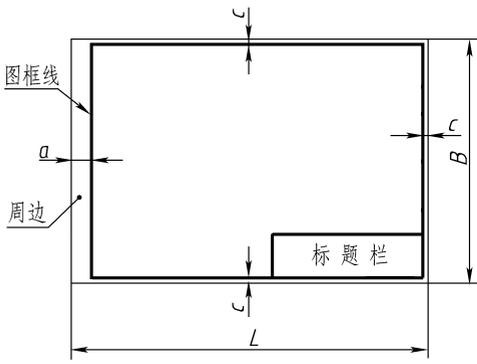
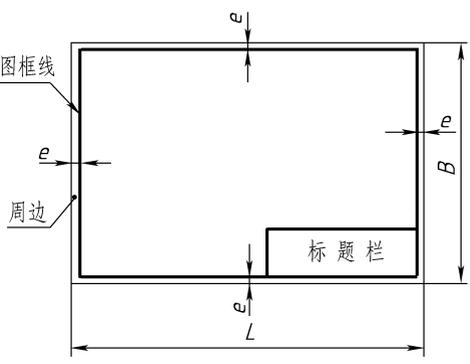
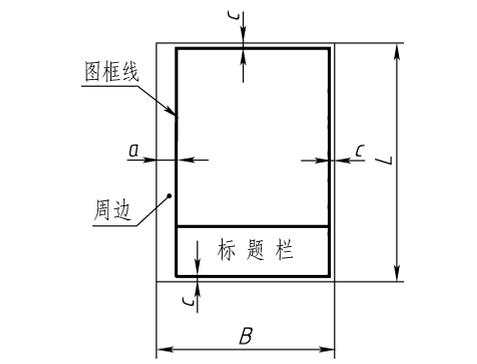
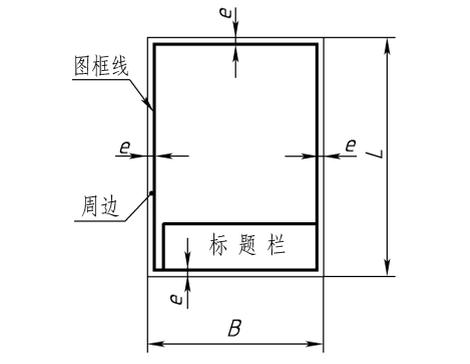
1) 考虑到工程图样的装订、使用和管理, 优先选用基本幅面, 然后再考虑加

长幅面。

2) 必要时, 可加长图纸幅面, 但应由基本幅面短边的整数倍来加长。

(2) 图框格式及标题栏的方位 (见表 1-5)

表 1-5 图框格式及标题栏方位

	留装订边	不留装订边
X 型		
Y 型		

注意事项:

1) 图框格式有留装订边和不留装订边两种, 但同一产品的图样应采用相同的格式。

2) 图框线用粗实线绘制, 所绘制的图样必须在图框之内, 图框具体尺寸见表 1-6。若为加长幅面, 采用其对应的基本幅面大一号的图框尺寸。

3) 需要装订时, 常用 A4 幅面竖装或 A3 幅面横装。另外, 随着缩微技术的进步, 留装订边的图框格式将逐步被淘汰。

4) 每张图样都必须有标题栏, 标题栏的格式和尺寸参见表 1-9。

5) 若标题栏的长边为水平方向并与图纸的长边平行时, 即为 X 型图纸; 若标题栏的长边与图纸的长边垂直时, 即为 Y 型图纸。此时标题栏的文字方向与读图

方向一致。

6) 为了利用已经印制好的图纸, 允许将 X 型图纸的短边置于水平位置或将 Y 型图纸的长边置于水平位置使用, 如表 1-7 所示。

表 1-6 图框尺寸

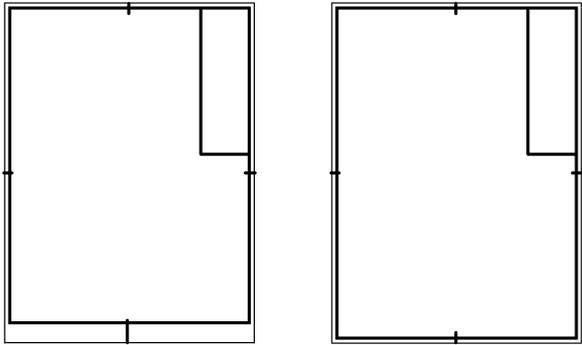
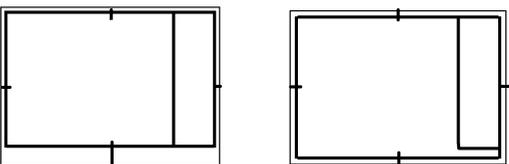
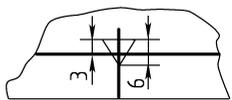
(单位: mm)

图纸幅面	A0	A1	A2	A3	A4
a	25				
c	10			5	
e	20		10		

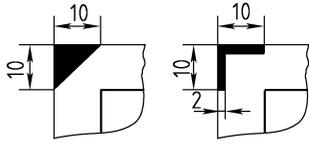
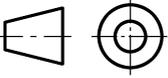
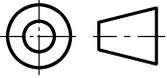
(3) 附加符号 (见表 1-7)

表 1-7 附加符号

(单位: mm)

	图 例	说 明
对 中 符 号		<p>X 型 图 纸 的 短 边 置 于 水 平 位 置</p> <p>为了方便图样的复制和微缩摄影, 可在图纸的各边中点处画上对中符号, 对中符号用粗实线绘制, 由图纸边界画入图框内 5mm。若对中符号位于标题栏的范围时, 伸入标题栏的部分省略不画。</p>
		<p>Y 型 图 纸 的 长 边 置 于 水 平 位 置</p> <p>对中符号的位置误差不得大于 0.5mm</p>
方 向 符 号		<p>为标明绘制和阅读图样时图纸的方向, 可在图纸最下面边的对中符号处画方向符号, 其为细实线绘制的等边三角形</p>

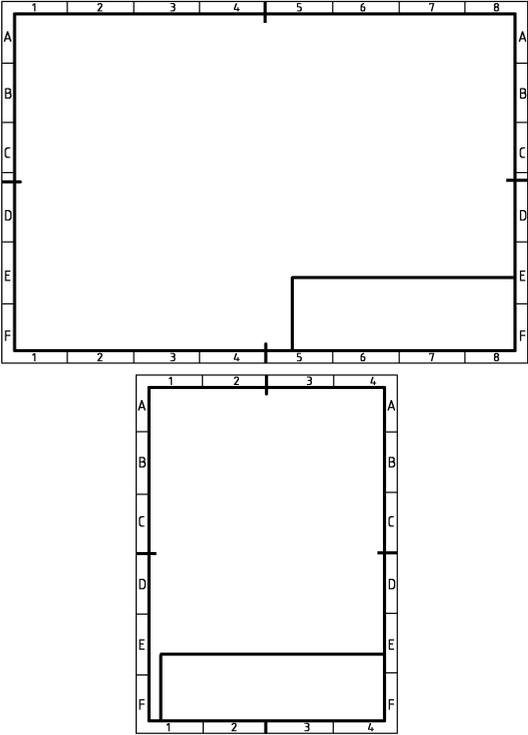
(续)

	图 例	说 明
剪切符号		<p>为了便于在复制图样时自动剪切,可在图纸的四个角上绘制剪切符号</p>
投影符号	<p>a) 第一角画法的投影识别符号</p>  <p>b) 第三角画法的投影识别符号</p> 	<p>投影符号用于识别投影方向,放置在标题栏中名称及代号区的下方,当采用第一角画法时可省略标注</p>

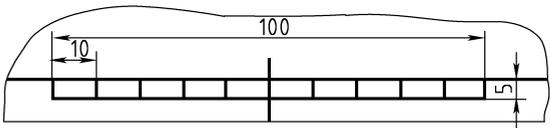
(4) 图幅分区和米制参考分度 (见表 1-8)

表 1-8 图幅分区和米制参考分度

(单位: mm)

	图 例	说 明
图幅分区		<p>必要时可对图幅进行分区,图幅分区数目必须为偶数,在图纸周边内用细实线绘制。沿着读图方向的上下边用阿拉伯数字从左至右依次编号,沿着读图方向的左右边用大写拉丁字母从上至下依次编号。分区代号在图样中进行标注时,用拉丁字母和阿拉伯数字组合而成,如 B2、D6 等</p>

(续)

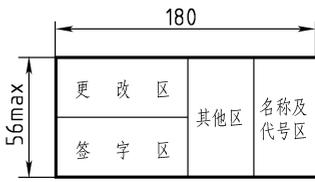
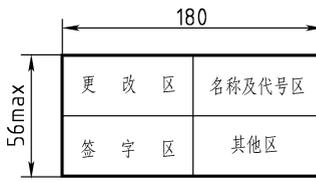
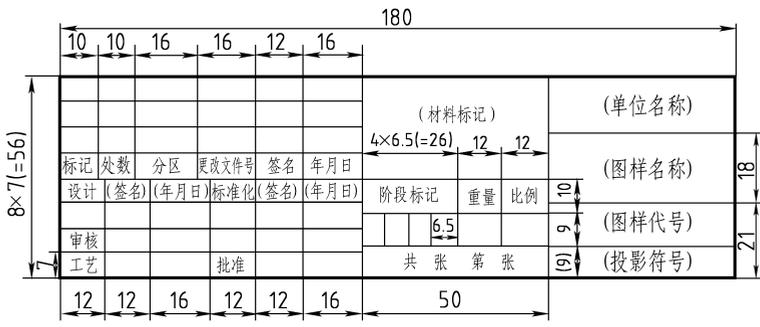
	图 例	说 明
米制参考分度		<p>为了识别微缩摄影的倍率，可在图纸的下边界用粗实线绘制出不标注尺寸数字的米制参考分度，对称分布在对中符号的两侧，且绘制米制参考分度区域的图幅分区应省略</p>

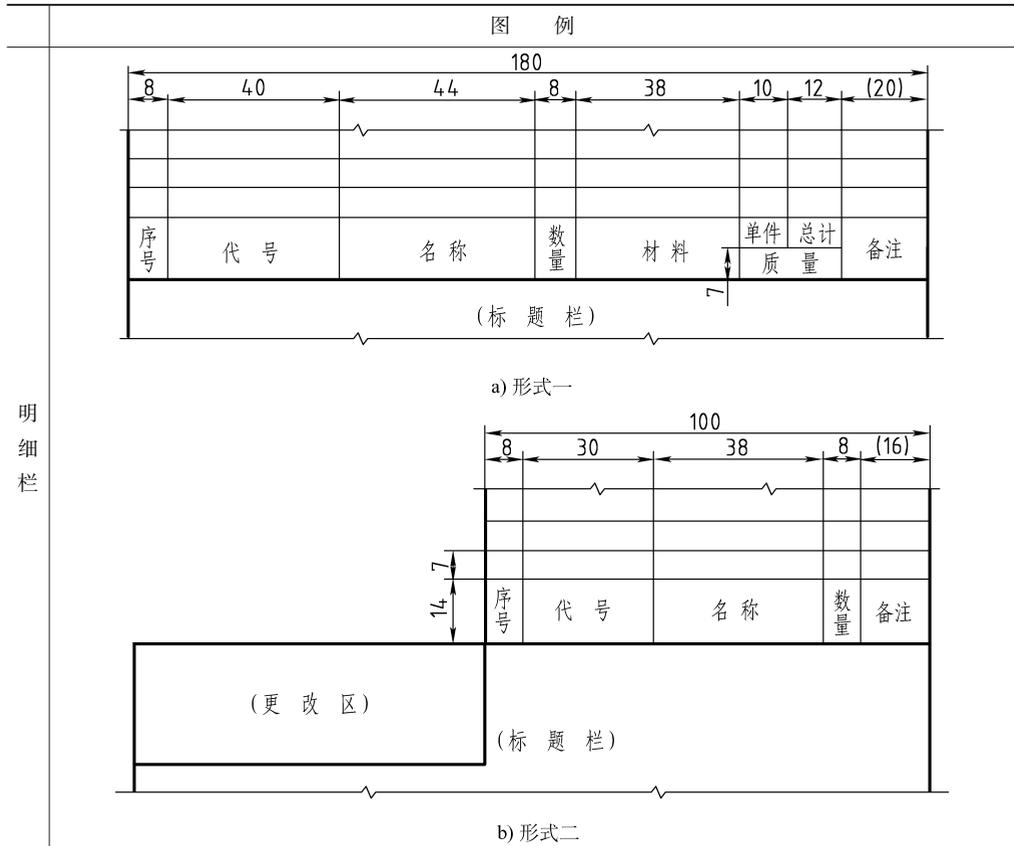
1.2.2 标题栏和明细栏

正式的工程图样都必须绘制标题栏，其国家标准为 GB/T 10609.1—2008 《技术制图 标题栏》。装配图除绘制标题栏外，一般都具有明细栏，其国家标准为 GB/T 10609.2—1989 《技术制图 明细栏》。

标题栏和明细栏的格式和尺寸见表 1-9。

表 1-9 标题栏和明细栏的格式和尺寸 (单位: mm)

	图 例
标题栏各区布置	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>a) 形式一</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b) 形式二</p> </div> </div>
标题栏	



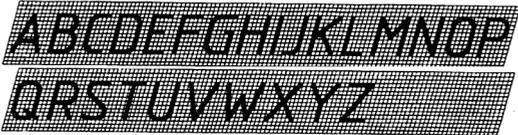
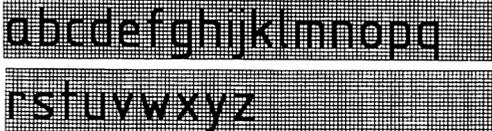
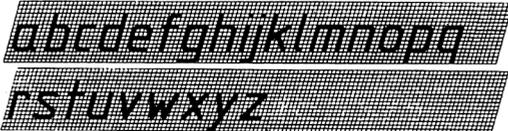
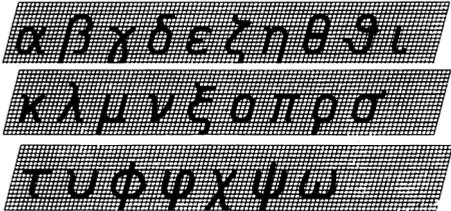
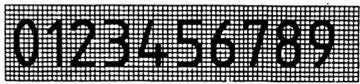
1.2.3 字体

字体的国家标准为 GB/T 14691—1993《技术制图 字体》。对于字体的基本要求是：字体工整、笔画清楚、间隔均匀、排列整齐。字体的高度代表字体的号数，字高的公称尺寸（单位：mm）为：1.8、2.5、3.5、5、7、10、14、20；若字体高度大于20mm，字高应按 $\sqrt{2}$ 的比率递增。图样中的汉字应写成长仿宋体。关于字体的示例和规定见表1-10。

表 1-10 字体的示例和规定

项目	示 例	说 明
汉 字	<p>字体工整 笔画清楚 间隔均匀 排列整齐</p> <p>横平竖直 注意起落 结构均匀 填满方格</p> <p>汉字用长仿宋体书写</p>	<p>汉字采用长仿宋体的简化字书写，高度不小于3.5mm，字宽为字高的$1/\sqrt{2}$</p>

(续)

项目	示 例		说 明	
字母	拉丁字母	直体 大 写		<p>字母可写成直体或斜体, 当为斜体时, 其字头向右倾斜, 并与水平基准线夹角为 75°。字母按笔画宽度分为 A 型和 B 型, A 型的笔画宽度为字高的 1/14, B 型字体的笔画宽度为字高的 1/10, 并且在同一个图样中只能选用一种形式的字体</p>
		斜体		
		直体 小 写		
		斜体		
	希腊字母	大 写		
		小 写		
数字	阿拉伯数字	直体		<p>数字也可写成直体或斜体, 当为斜体时, 其字头向右倾斜, 并与水平基准线夹角为 75°。数字按笔画宽度也分为 A 型和 B 型, A 型的笔画宽度为字高的 1/14, B 型字体的笔画宽度为字高的 1/10, 并且在同一个图样中只能选用一种形式的字体</p>
		斜体		

(续)

项目	示 例			说 明
数 字	罗 马 数 字	直 体		数字也可写成直体或斜体, 当为斜体时, 其字头向右倾斜, 并与水平基准线夹角为 75°。数字按笔画宽度也分为 A 型和 B 型, A 型的笔画宽度为字高的 1/14, B 型字体的笔画宽度为字高的 1/10, 并且在同一个图样中只能选用一种形式的字体
		斜 体		
综 合 应 用	正 确	(1)	(2)	1) 作为分数、指数、脚注和极限偏差等的字母和数字, 一般用小一号的字体。当为极限偏差时, 其下偏差和基本尺寸应位于同一水平线上。 2) 当上下偏差数值相等时, 其字号与基本尺寸的字号一样。 3) 标注配合尺寸时, 若分数线成水平, 则公差带代号比基本尺寸小一号; 若分数线成倾斜时, 则公差带代号与基本尺寸的字号一样。
		$\phi 13 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.27 \end{smallmatrix}$ $49^{\circ} \begin{smallmatrix} +5^{\circ} \\ -8^{\circ} \end{smallmatrix}$	55 ± 0.2	
综 合 应 用	错 误	(1)	(2)	
		$\phi 13 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.27 \end{smallmatrix}$ $49^{\circ} \begin{smallmatrix} +5^{\circ} \\ -8^{\circ} \end{smallmatrix}$	55 ± 0.2	

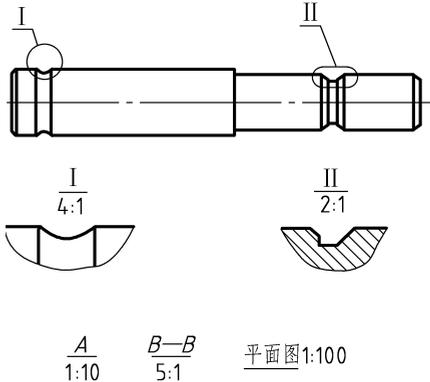
1.2.4 比例

图中图形与其实物相应要素的线性尺寸之比称为比例。比例的国家标准为 GB/T 14690—1993 《技术制图 比例》，见表 1-11。

表 1-11 比例

		内容及示例	说 明
种 类	原值比例	1:1	n 为正整数, 不带括号的比例优先选用, 带括号的比例为非优先选用。 注意: 图样中标注的尺寸代表实物的实际大小, 与作图比例无关
	放大比例	$5:1$ $2:1$ $5 \times 10^n:1$ $2 \times 10^n:1$ $1 \times 10^n:1$ $(4:1)$ $(2.5:1)$ $(4 \times 10^n:1)$ $(2.5 \times 10^n:1)$	
	缩小比例	$1:2$ $1:5$ $1:10$ $1:2 \times 10^n$ $1:5 \times 10^n$ $1:1 \times 10^n$ $(1:1.5)$ $(1:2.5)$ $(1:3)$ $(1:4)$ $(1:6)$ $(1:1.5 \times 10^n)$ $(1:2.5 \times 10^n)$ $(1:3 \times 10^n)$ $(1:4 \times 10^n)$ $(1:6 \times 10^n)$	

(续)

	内容及示例	说 明
注 法	 <p style="text-align: center;">平面图 1:100</p>	<p>比例应标注在标题栏的比例栏中,若图样中存在不同的绘图比例时,应在该图名称下方或右侧标出所用比例。必要时,允许在同一视图的水平或铅垂方向标注不同的比例。若有必要,图样的比例也可在水平或铅垂方向加画比例尺,用比例尺的形式表示</p>

1.2.5 图线

机械制图中图线的现行国家标准为 GB/T 17450—1998《技术制图 图线》和 GB/T 4457.2—2002《机械制图 图样画法 图线》。其中,GB/T 17450—1998 的规定较宏观;而 GB/T 4457.2—2002 则是根据机械制图的具体情况,对 GB/T 17450—1998 的内容进行了取舍和细化。

机械制图中的图线组别和宽度见表 1-12。

表 1-12 图线的组别和宽度

(单位: mm)

线型组别	线型宽度		说 明
	粗线	细线	
0.25	0.25	0.13	1) * 为优先选用的线型组别 2) 机械图样中分为粗线和细线两种线宽,它们之间的比例为 2:1 3) 图线宽度系数的公比为 $1:\sqrt{2}$ (约 1:1.4) 4) 图线组别和宽度应根据图样的类型、尺寸、比例和微缩复制的要求在所列的系数中进行选择
0.35	0.35	0.18	
0.5 *	0.5	0.25	
0.7 *	0.7	0.35	
1	1	0.5	
1.4	1.4	0.7	
2	2	1	

绘图时所采用线素的长度的规定见表 1-13。有关图线的画法示例和规定见表 1-14。

表 1-13 线素的长度

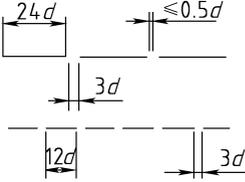
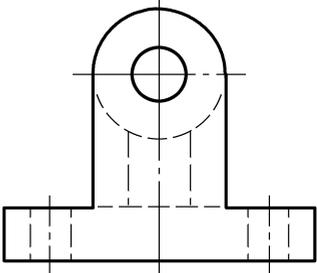
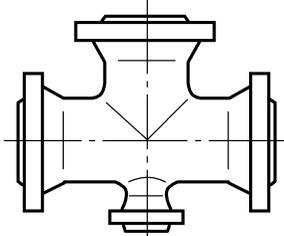
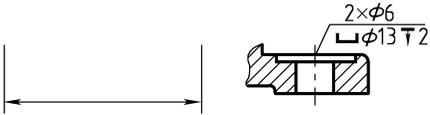
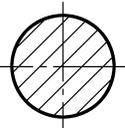
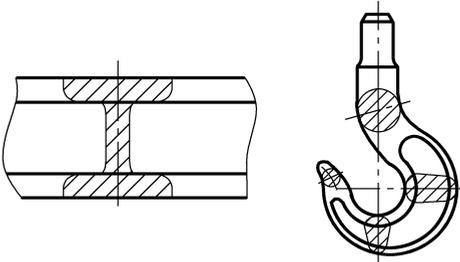
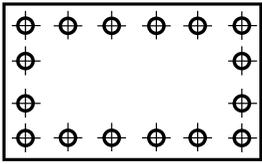
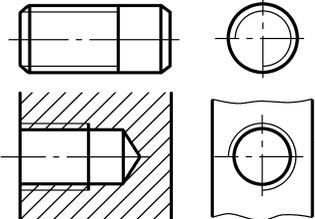
线素	线型	长度	说明
点	点画线、双点画线	$\leq 0.5d$	1) d 为粗线宽度 2) 虚线和点画线中线素长度见下图
短间隔	虚线、点画线、双点画线	$3d$	
画	虚线	$12d$	
长画	点画线、双点画线	$24d$	

表 1-14 图线的画法

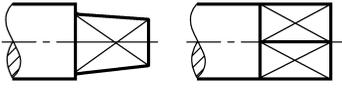
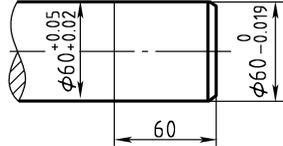
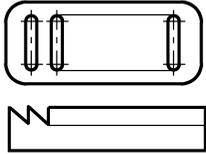
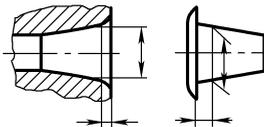
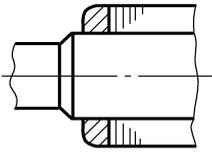
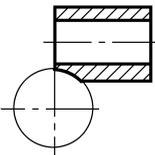
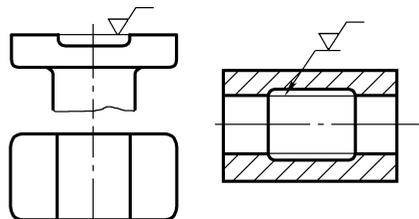
画法示例	规定说明
<p>a)</p>  <p>b)</p>	<p>图 a 列出了一些关于图线画法的错误示例并指出原因, 正确的图如图 b 所示。关于图线画法的具体规定如下</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 除非另有规定, 两条平行线间的最小距离不得小于 0.7mm 2) 虚线、点画线、双点画线与实线相交, 或互相相交时, 应交于画和长画处而不可交于点处和间隔处 3) 当虚线为粗实线的延长线时, 粗实线应画到分界点, 留出空隙后再画虚线 4) 点画线 (轴线、中心线、对称线) 一般应超出轮廓线大约 $2 \sim 5\text{mm}$ 5) 点画线、双点画线的首尾两端应为长画, 而不能是点 6) 小圆的中心线可用细实线代替 7) 任何图线不得穿过文字、数字、字母及符号, 当不可避免时应将图线断开 8) 同一幅图纸中, 同一线型的线宽应保持一致; 虚线、点画线、双点画线中的间隔以及画或长画的长度应保持一致

GB/T 4457.2—2002《机械制图 图样画法 图线》中规定了绘制机械图的 9 种图线: 细实线、波浪线、双折线、粗实线、细虚线、粗虚线、细点画线、粗点画线和细双点画线等的应用示例和说明, 见表 1-15。

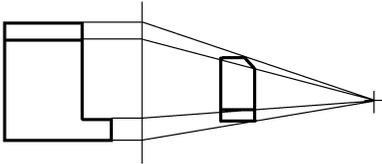
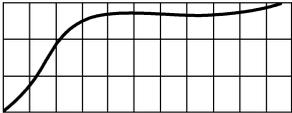
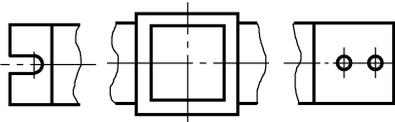
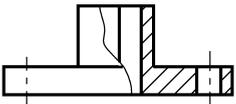
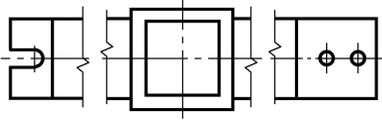
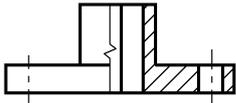
表 1-15 机械制图中的图线

		名称及示例	说 明
线 型	基本 示例		
	应用 示例		表示过渡线
			表示尺寸线、尺寸界限、尺寸的起止线以及指引线
			表示剖面线
			表示重合断面图的轮廓线
			表示短的中心线
	表示螺纹的牙底线		

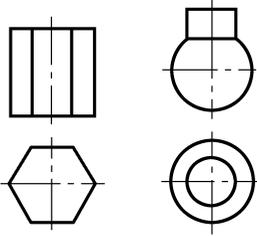
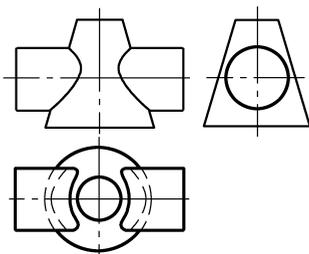
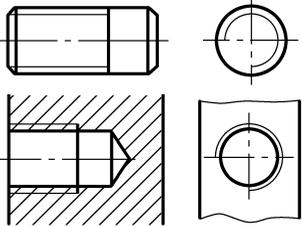
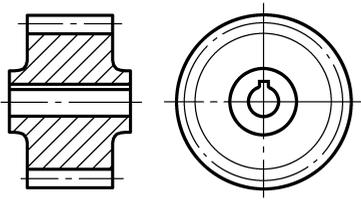
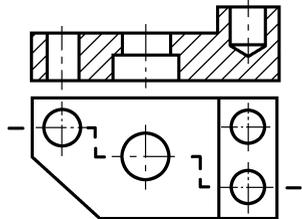
(续)

			名称及示例	说明
线型 细实线 应用示例				用交叉细线表示平面符号
				表示范围线及分界线
				表示按一定规律分布的相同要素的连线
				表示锥形结构的基面线
				表示叠片结构的位置线 (如变压器中的叠钢片)
				表示辅助线
				表示不连续的同—表面连线

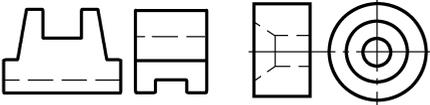
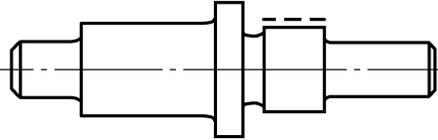
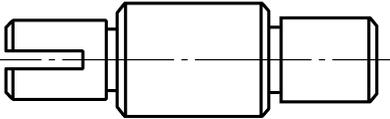
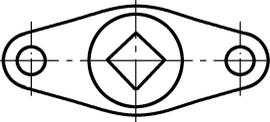
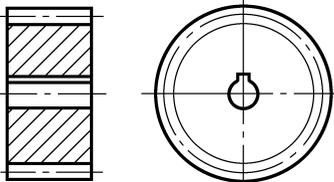
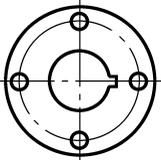
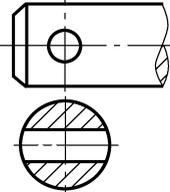
(续)

		名称及示例	说 明
细实线	应用示例		表示投影线
			表示网格线
波浪线	基本示例		
	应用示例		表示断裂边界线
			表示视图与剖视图的分界线
	基本示例		
双折线	应用示例		表示断裂边界线
			表示视图与剖视图的分界线

(续)

		名称及示例	说 明
线型	基本 示例		
	粗 实 线		表示可见的棱边 线和可见的轮廓线
			表示相贯线
			表示螺纹的牙顶 线和螺纹终止线
			表示齿顶线和齿 顶圆
应用 示例		表示剖视图中的 剖面符号	

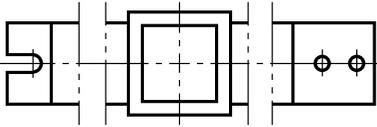
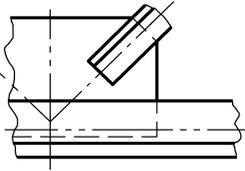
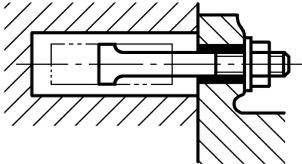
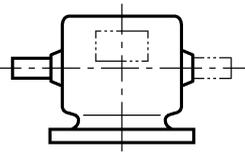
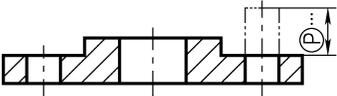
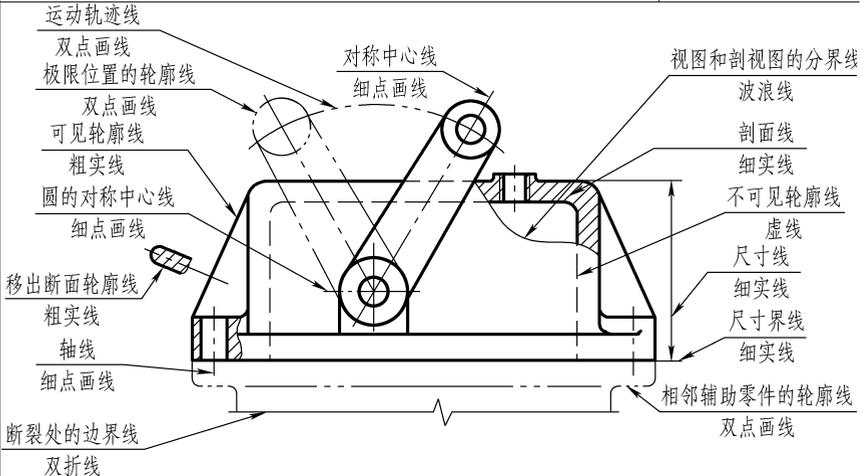
(续)

		名称及示例	说 明	
线 型	细 虚 线	基本 示例		
		应用 示例		表示不可见的棱边线和不可见的轮廓线
	粗 虚 线	基本 示例		
		应用 示例		表示表面允许处理
	细 点 画 线	基本 示例		
		应用 示例		表示轴线
				表示对称线
				表示分度线和分度圆
				表示孔系分布的中心线
		表示剖切线		

(续)

		名称及示例	说 明
粗 点 画 线	基本 示例		
	应用 示例		表示限定范围
线 型 细 双 点 画 线	基本 示例		
	应用 示例		表示相邻辅助零件的轮廓线
			表示可动零件处于运动极限位置的轮廓线
			表示剖切面前的结构的轮廓线
			表示成形前的轮廓线

(续)

		名称及示例	说明
线型	应用示例		表示中断线
			表示重心线
			表示轨迹线
			表示特定区域
			表示延伸公差带
综合应用示例			<p>运动轨迹线</p> <p>双点画线</p> <p>极限位置的轮廓线</p> <p>双点画线</p> <p>可见轮廓线</p> <p>粗实线</p> <p>圆的对称中心线</p> <p>细点画线</p> <p>移出断面轮廓线</p> <p>粗实线</p> <p>轴线</p> <p>细点画线</p> <p>断裂处的边界线</p> <p>双折线</p> <p>对称中心线</p> <p>细点画线</p> <p>视图和剖视图的分界线</p> <p>波浪线</p> <p>剖面线</p> <p>粗实线</p> <p>不可见轮廓线</p> <p>虚线</p> <p>尺寸线</p> <p>细实线</p> <p>尺寸界线</p> <p>粗实线</p> <p>相邻辅助零件的轮廓线</p> <p>双点画线</p>

1.2.6 剖面区域表示法

在剖视图或断面图中，需要在剖面区域填充上剖面符号，关于剖面区域的表示法的国家标准有 GB/T 4457.5—1984《机械制图 剖面符号》（正在修订）和 GB/T 17453—2005《技术制图 图样画法 剖面区域的表示法》。

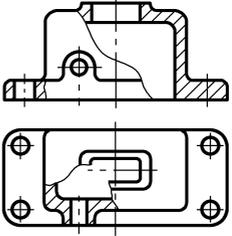
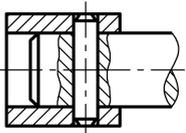
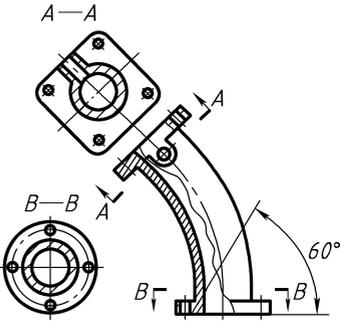
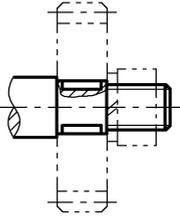
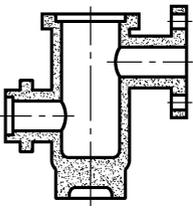
在 GB/T 4457.5—1984《机械制图 剖面符号》中规定了 14 种剖面符号，见表 1-16。

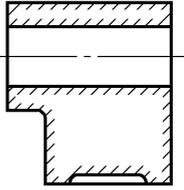
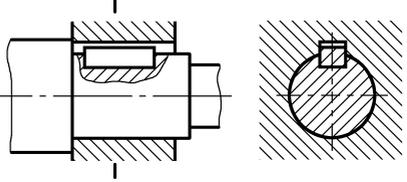
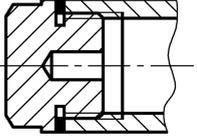
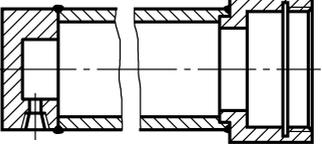
表 1-16 剖面符号种类的示例及含义

剖面符号种类	代表的含义		说 明
	金属材料（另有规定剖面符号的除外）		<p>1) 表中的剖面符号大多数是按材料种类来划分的，也有少数按用途来划分，如线圈绕组元件和格网等</p> <p>2) 剖面符号表示的是材料的类别，而材料的名称和代号必须另外进行说明</p> <p>3) 叠钢片的剖面线方向应与束装中叠钢片的方向一致</p> <p>4) 液体的液面用细实线进行绘制</p>
	线圈绕组元件		
	转子、电枢、变压器和电抗器等的叠钢片		
	非金属材料（另有规定剖面符号的除外）		
	型砂、填砂、粉末冶金、砂轮、陶瓷刀片和硬质合金刀片等		
	玻璃和供观察用的其他透明材料		
	木材	纵剖面	
		横剖面	
	木质胶合板（不分层数）		
	基础周围的泥土		
	混凝土		
	钢筋混凝土		
	砖		
	格网（筛网或过滤网等）		
	液体		

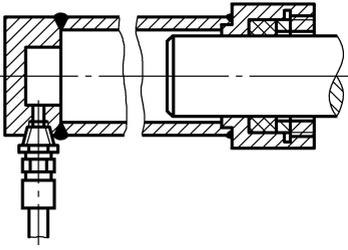
有关剖面符号画法的规定见表 1-17。

表 1-17 剖面符号画法示例及规定和说明

剖面符号画法示例	规定和说明
	<p>若零件的材料为金属材料，则在剖面区域中的剖面线画成与主要轮廓或剖面区域的对称线成 45° 的细实线，并同一零件各剖视图中的剖面线应保持方向和间隔相同</p>
	<p>装配图中两相邻零件的剖面线应有所区分，可以是方向相反或间隔不同，但同一零件在各视图中的剖面线应保持方向和间隔相同</p>
	<p>当某图形的主要轮廓线与水平线成 45° 时，为避免读图时的误解，可将剖面线与水平线的夹角画成 30° 或 60°，但其倾斜方向需与其他图形的剖面线保持一致，其余图形的剖面线仍然按与水平线成 45° 进行绘制</p>
	<p>相邻辅助零件或部件不画剖面线</p>
	<p>在零件图中可以用涂色来代替剖面符号</p>

剖面符号画法示例	规定和说明
	<p>当剖面区域的图形面积较大时，可只沿着轮廓的周边画出剖面符号</p>
	<p>若仅需画出剖视图中的部分图形，并且其边界不需画波浪线，此时则应该把剖面线绘制整齐</p>
	<p>对于装配图中零件宽度$\leq 2\text{mm}$的狭小面积的剖面区域，可以用涂黑代替剖面符号，如果是玻璃或其他材料不适合涂黑时，可省略剖面符号</p>
	<p>当两个相邻的零件剖面区域均涂黑时，两剖面区域之间应至少留有0.7mm的间隙，此时不能代表真实的接触情况</p>
	<p>对于木材、玻璃、液体、叠钢片和硬质合金刀片等的剖面符号，也可在外形视图中画出一部分或全部作为材料的标志</p>
	<p>当绘制接合件的图样时，相邻零件间的剖面线应方向相反或间隔不同</p>

(续)

剖面符号画法示例	规定和说明
	<p>当绘制接合件与其他零件的装配图时，接合件可作为一个整体，采用相同的剖面线</p>

GB/T 17453—2005《技术制图 图样画法 剖面区域的表示法》的许多规定与GB/T 4457.5—1984《机械制图 剖面符号》的规定是相同或相似的。但GB/T 17453—2005中最显眼的一个特色内容是对剖面线倾斜方向的限制放松了(相适宜的角度)。

第 2 章 工程图样的常用表达方法

由于机件的形状结构以及复杂程度的不同，在对机件进行图样表达时应根据相关的制图国家标准规定，选择适当的表达方法，以对机件进行完整、准确和清晰地表达。

GB/T 17451—1998《技术制图 图样画法 视图》”中对技术图样规定了一些基本要求：技术图样应采用正投影法绘制，并优先采用第一角画法；绘制技术图样时应首先考虑看图方便；应根据物体的结构特点选用适当的表达方法；在完整、清晰地表达物体形状的前提下，力求制图简便。同样在此标准中还规定了一些视图选择的原则：主视图应是表达物体信息量最多的那个视图，通常是物体在工作位置或加工位置或安装位置；在明确表达物体的前提下，使视图（包括剖视图和断面图）的数量为最少；应尽量避免使用虚线表达物体的轮廓及棱线；避免不必要的细节重复等。

本章对“视图”、“剖视图”、“断面图”、“局部放大图”、“轴测图”和“第三角画法”以及国家标准规定的“其他画法和简化画法”等表达方法进行了讲解，另外还介绍了“尺寸注法”的基本规定。

2.1 视图

有关视图的国家标准有 GB/T 17451—1998《技术制图 图样画法 视图》和 GB/T 4458.1—2002《机械制图 图样画法 视图》。前者规定了视图的种类及基本表示法，是后者的基础；后者是对前者的补充，并列举了大量的例子。视图包括基本视图、向视图、局部视图和斜视图。

2.1.1 基本视图

有关基本视图的概念和规定见表 2-1。

2.1.2 向视图

有关向视图的概念和规定见表 2-2。

2.1.3 局部视图

有关局部视图的概念和规定见表 2-3。

表 2-1 基本视图

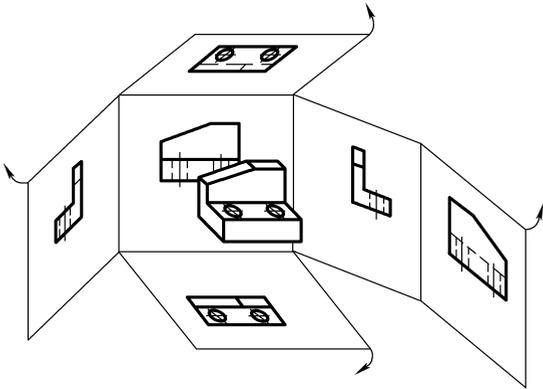
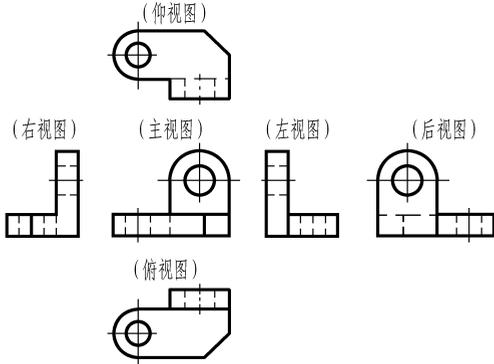
基本概念	将正六面体的六个面作为基本投影面，物体放在其中并分别向六个投影面投射，得到六个基本视图：主视图、俯视图、左视图、右视图、仰视图、后视图，这六个视图称为基本视图
展开方式	
配置位置	
规定说明	<p>(1) 作图时应严格遵守“三等关系”，即主、俯、仰和后视图长对正，主、左、右和后视图高平齐，左、右、俯和仰视图宽相等</p> <p>(2) 基本视图应按投影展开位置配置，且不必对视图进行标注</p> <p>(3) 在左、俯、右和仰视图中，远离主视图的为物体的前面，靠近主视图的为物体的后面，而后视图和主视图左右位置是相反的</p> <p>(4) 实际绘图时，一般不必将六个基本视图全部画出，而应该根据机件结构特点和复杂程度，选用适当的一定数量的基本视图</p>

表 2-2 向视图

基本概念	当基本视图不能按照投影关系配置时, 允许将基本视图另选位置布置, 此时该视图不再称为基本视图, 而称之为向视图, 即可以自由配置的视图称为向视图
图例	
规定说明	<p>(1) 向视图要进行标注, 标注有两个要素组成, 即用箭头代表投影方向, 用大写拉丁字母表示视图名称, 并将其同时标注在箭头旁边和所得视图的上方</p> <p>(2) 尽可能将表示投影方向的箭头布置在主视图周围, 将后视图的投影箭头尽量布置在左视图或右视图上</p>

表 2-3 局部视图

基本概念	将物体中的部分结构向基本投影面投射所得的视图称为局部视图。当物体上只有局部结构没有表达清楚时, 可采用局部视图表达。相对于基本视图或向视图, 局部视图的表达更为简洁, 突出了要表达的局部结构, 同时又减少了绘图量
图例	

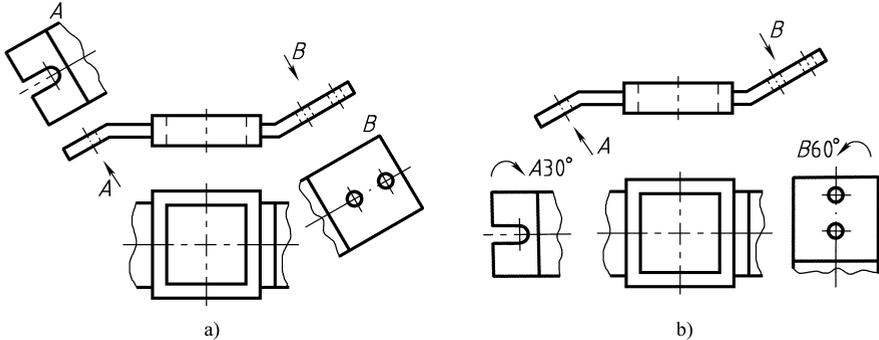
(续)

规定说明	<p>(1) 局部视图中一般用细实线的波浪线或双折线用来表示其边界（假想断裂），且波浪线不能与现有的图线重合，也不能在其延长线上</p> <p>(2) 波浪线应画在表面有实体的部分，它不能超出轮廓线，并在表面有孔或槽的地方断开</p> <p>(3) 当要表达的局部结构的外形轮廓成封闭时，波浪线通常省略，如图 a 中的 B 视图和图 b 中的 A 和 C 视图</p> <p>(4) 局部视图优先配置在投影位置，并当中间没有其他图线将其隔开时，可省略标注，如图 a 中的 A 视图和图 b 中的 C 视图就可省略标注。局部视图也可按向视图布置，标注方法与向视图一致，如图 a 中的 B 视图</p> <p>(5) 为了节省绘图时间和图幅，可将对称构件或零件的视图只画出一半或四分之一，并在对称线的两端画出两条与对称线垂直的平行细实线，如图 c 为上下对称，图 d 为上下、左右都对称</p> <p>(6) 局部视图可按第三角画法配置在视图上所需要表达物体局部结构的附近，并用细点画线将两者相连，如图 e 和 f 所示</p>
------	--

2.1.4 斜视图

斜视图的概念和规定见表 2-4。

表 2-4 斜视图

基本概念	<p>物体向不平行于任何基本投影面的平面投射所得视图称为斜视图。斜视图主要用于表达机件上倾斜部分的实形，对于不倾斜部分通常采用局部视图来表达</p>
图例	
规定说明	<p>1) 斜视图一般只需表达机件倾斜部分的形状，即为局部的斜视图，其断裂边界用波浪线表示</p> <p>2) 斜视图通常按照向视图的配置形式配置并必须标注。标注方法为：在相应视图的投射部位附近用垂直于倾斜结构的箭头表明投射方向，并注上字母表示视图名称，同时在斜视图的上方标注相同的字母，字母一律成水平位置，如图 a 所示</p> <p>3) 必要时允许将斜视图进行旋转配置，表示该视图名称的大写拉丁字母应靠近旋转符号的箭头端，如果标注旋转的角度，角度值应标注在字母之后，如图 b 所示</p>

2.2 剖视图

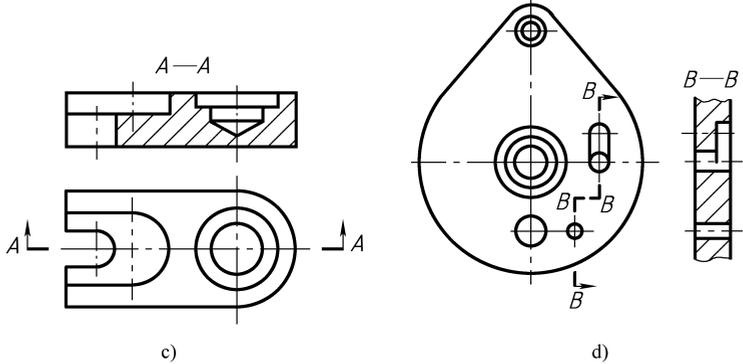
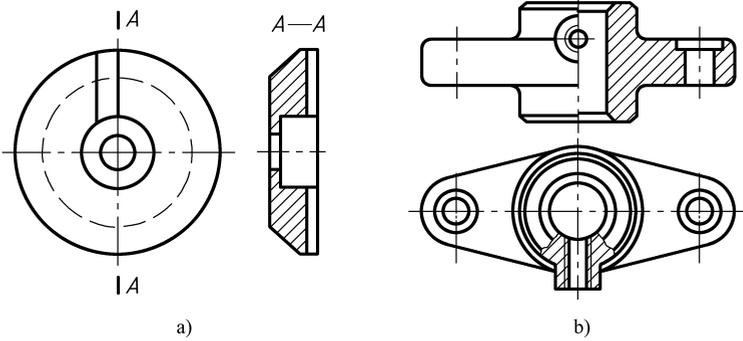
为了表达物体的内部结构，用假想的剖切面把机件切开，把处在观察者与剖切面之间的部分移去，将剩下的部分向投影面投射，所得到的视图称为剖视图。有关剖视图的国家标准有 GB/T 17452—1998《技术制图 图样画法 剖视图和断面图》和 GB/T 4458.6—2002《机械制图 图样画法 剖视图和断面图》。前者规定了剖切面的种类和剖视图的种类；后者是对前者的补充，并列举了大量的例子。

剖视图的基本概念和标注见表 2-5。

表 2-5 剖视图的基本概念和标注

基本概念	图例	
	说明	<p>假想用剖切面将物体剖开，将处在观察者和剖切面之间的部分移去，而将其余部分向投影面投射所得的图形称为剖视图，如图所示。剖视图也可简称为剖视，其表达的重点是物体的内部结构</p>
标注	图例	

(续)

完整标注	图例	
标注说明	完整的标注应包含以下三个要素：	<ol style="list-style-type: none"> 1) 用剖切符号（短粗线）和剖切符号之间的剖切线（细点画线）指示剖切面起、止和转折处的位置，如图所示。剖切线可省略，如图 b 所示 2) 在起、止处剖切符号的外侧画出与剖切符号垂直的箭头表示投射方向 3) 在起、止和转折剖切符号处附近用同名的大写拉丁字母注出，同时按“x-x”形式，在剖视图的上方标出剖视图的名称
省略标注	图例	
标注说明	省略标注	<ol style="list-style-type: none"> 1) 当剖视图按投影关系配置，而中间又没有其他图形隔开时，可省略箭头，如图 a 所示 2) 当单一剖切平面通过机件的对称面或基本对称面，且剖视图按投影关系配置，中间又没有其他图形隔开时，可不必标注，如图 b 中主视图所示 3) 当单一剖切平面剖切的位置明显，局部剖视图不必标注，如图 b 中俯视图所示

图例 其他 标注 情况	<p>a)</p> <p>b)</p> <p>c)</p> <p>d)</p>
说明	<ol style="list-style-type: none"> 1) 用几个剖切平面分别将机件剖开, 得到的剖视图为相同的图形时, 可按图 a 的形式进行标注 2) 用一个公共的剖切平面将机件剖开, 按不同方向投射得到的两个剖视图, 应按照图 b 的形式进行标注 3) 当只需剖切绘制机件的部分结构时, 应该用细点画线 (可省略不画) 将剖切符号相连, 其剖切面可以位于机件实体之外, 如图 c 所示 4) 可以将投射方向一致的几个对称图形各取一半或四分之一, 将它们合并为一个图形, 此时应该在剖视图附近标注出相应的剖视图名称 “x-x”, 如图 d 所示

2.2.1 剖视图的分类

按照剖视图中剖切面剖开物体的范围, 可将剖视图分为全剖视图、半剖视图和局部剖视图, 这三种剖视图的图例和规定说明见表 2-6。

表 2-6 剖视图的种类

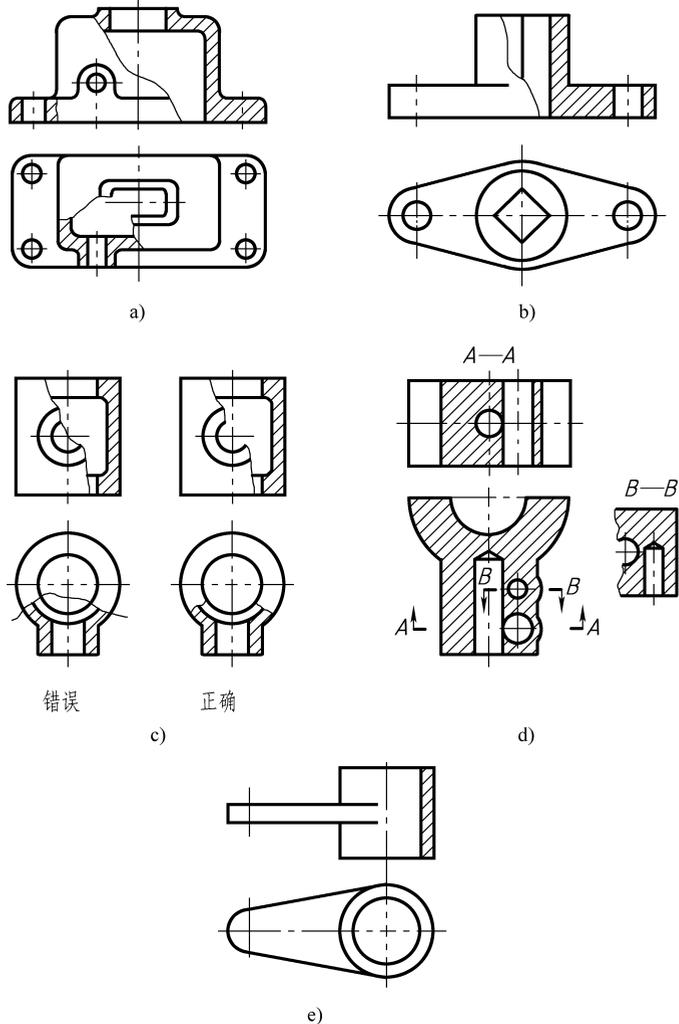
基本概念	用剖切面将物体完全剖开所得的剖视图称为全剖视图
全剖视图 图例	<p>Figure 2-6-1 illustrates two examples of full剖视图 (全剖视图). Example (a) shows a single剖切面 A-A through a stepped shaft, revealing its internal features. Example (b) shows two parallel剖切面 A-A through a complex mechanical part, revealing its internal structure.</p>
规定说明	<p>1) 全剖视图适用于外形结构简单而内形复杂, 通常又为不对称的物体</p> <p>2) 全剖视图可以是单一剖切面剖开物体所得的剖视图, 如图 a 所示; 也可以是多个剖切平面剖开物体所得的剖视图, 如图 b 所示的两个平行的平面剖切所得的全剖视图</p>
基本概念	如果机件是对称的, 则在垂直于其对称平面的投影面上的投影, 可以以对称中心线为界, 一半画成剖视图, 一半画成视图, 得到的图形称为半剖视图
半剖视图 图例	<p>Figure 2-6-2 illustrates three examples of half剖视图 (半剖视图). Example (a) shows a half剖视图 of a part with a vertical symmetry plane. Example (b) shows a half剖视图 of a part with a horizontal symmetry plane. Example (c) shows a half剖视图 of a part with a vertical symmetry plane and a horizontal symmetry plane.</p>
规定说明	<p>1) 半剖视图适用于对称, 内、外形同时都需要表达的物体, 且剖与不剖的分界线只能是点画线, 如图 a 所示。半剖视图也适用于基本对称的, 其中不对称的部分已有视图表达清楚的物体, 如图 b 所示</p> <p>2) 半剖视图也可以是多个剖切平面剖开物体所得的剖视图, 如图 b 所示的两个平行的平面剖切所得的半剖视图</p> <p>3) 习惯上, 对于主视图和左视图, 半剖视图的剖视部分应处于右半部分, 而俯视图应处于前半部分。另外, 物体的内部结构在半剖视图的剖视部分已经表达, 故在表达外部结构形状的半个视图上, 一般不画虚线</p>

基本
概念

用剖切面将物体局部剖开所得的剖视图称为局部剖视图

图
例

局
部
剖
视
图



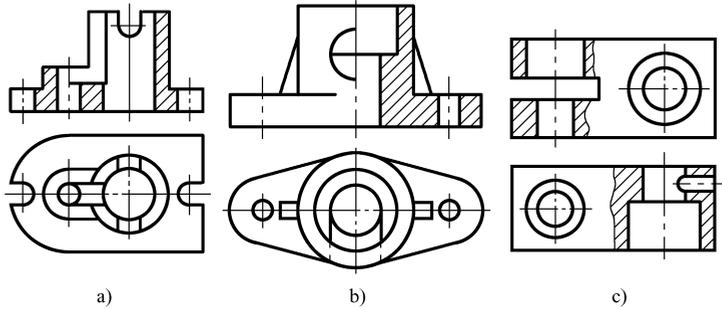
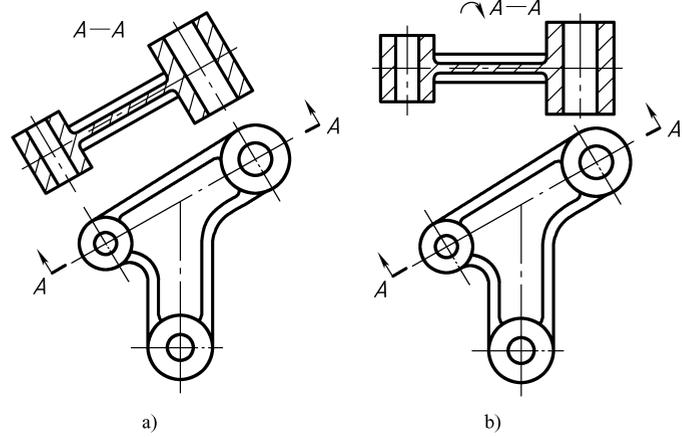
规
定
说
明

- 1) 局部剖视图适用于内、外形都需要表达,同时结构不对称,如图 a 所示;或者结构虽对称,但轮廓线与对称线重合的物体,如图 b 所示
- 2) 局部剖视图中剖与不剖的分界线为波浪线,其不能与现有的图线重合,也不能在其延长线上,且应画在表面有实体的部分,不能超出轮廓线,并在表面有孔或槽的地方断开,如图 c 所示
- 3) 若局部剖视图为单一剖切面剖切,剖切位置明显,且按投影关系布置时,一般不加标注;当剖切平面位置不明显时,必须标注剖切符号、投射方向和剖视图的名称,如图 d 所示
- 4) 当被剖部位为回转体时,允许将其对称中心线作为局部剖视与视图的分界线,如图 e 所示

2.2.2 剖切面的种类

剖切面种类的图例和规定说明见表 2-7。

表 2-7 剖切面的种类

单一平行于基本投影面的剖切平面	图例	 <p style="text-align: center;">a) b) c)</p>
	规定说明	单一平行于基本投影面的剖切平面剖切后所得的剖视图可以是全剖视图（如图 a 所示）、半剖视图（如图 b 所示）或局部剖视图（如图 c 所示）
单一剖切面	图例	 <p style="text-align: center;">a) b)</p>
规定说明		<p>1) 此种剖切方式适用于物体上倾斜部分有内部结构需要表达的场合，所得剖视图称为斜剖视图</p> <p>2) 斜剖视图需进行标注，其位置优先配置在箭头所指的位置，并保持投影关系，如图 a 所示；也允许将斜剖视图转正，但必须加标旋转符号，且表示斜剖视图名称的字母应靠近旋转符号的箭头端，如图 b 所示</p> <p>3) 对于斜剖视图的剖面符号，若其他剖视图的剖面线与水平线成 45° 角，可将斜剖视图的剖面线画成与水平线为 60° 或 30°，并和其他剖视图中剖面线的倾斜趋势相同</p>

单一剖切面	单一剖切柱面	图例	
规定说明	采用单一柱面剖切物体得到的剖视图一般应按照展开绘制，如图例中B—B所示		
几个平行的剖切平面	图例	<p>错误（转折面投影不应画） 错误（不能产生不完整要素） 正确</p>	

(续)

几个平行的剖切平面	规定说明	<p>1) 此种剖切方式适用于有较多的内部结构形状,且它们的分布可以用几个相互平行的剖切面将物体剖开,从而在同一视图上表达物体上处于不同平面的内部结构</p> <p>2) 此种剖切方式所得的剖视图需进行标注,在剖切平面的起、止和转折处都要画剖切符号,并且转折处的剖切符号成直角并应对齐,同时标注大写拉丁字母,在起和止处的剖切符号外侧画上垂直于剖切面的箭头。若所得剖视图按照投影关系布置,而中间又无其他图线隔开时可省箭头,如图 a 中的标注可以省略箭头</p> <p>3) 剖切是假想的,各剖切平面剖切后所得的剖视是一个图形,在剖视图上的剖切平面转折处不能画出分界线,如图 c 所示</p> <p>4) 剖切位置要合适,剖切符号不能与图形中现有的轮廓线重合,也不能剖切后产生不完整要素,如图 c 所示,但当两个要素具有公共对称中心线或轴线时,可以对称中心线或轴线为界,各画出一半,如图 b 所示</p> <p>5) 用几个平行的剖切平面剖切所画的剖视图可以是全剖、半剖、局部剖和斜剖视图,如图 d 为局部剖视图,图 e 为斜剖视图</p>
两个相交的剖切平面	图例	
规定说明	规定说明	<p>1) 此种剖切方式适用于整体上具有明显的回转轴线,且单一剖切平面不能完全表达内部结构的物体。并且所得剖视图需进行标注,标注方法与用几个平行的剖切平面剖切方式相同,如图 a 所示</p> <p>2) 两相交剖切平面的交线应与物体上旋转轴线重合,且交线应垂直于某一基本投影面,而被剖切到的相关结构应随剖切平面一起经旋转后再作投影,如图 b 所示</p> <p>3) 剖切平面后面的结构一般仍按原来的投影位置画出,如图 c 中的油孔</p> <p>4) 若两相交剖切平面剖切物体时产生不完整要素时,则此部位按不剖处理,如图 d 中的臂</p>

几个相交的剖切面（组合的剖切面）	<p style="text-align: center;">图例</p> <p style="text-align: center;">a) b)</p> <p style="text-align: center;">c)</p>
规定说明	<ol style="list-style-type: none"> 1) 此种剖切方式适用于物体上有若干形状、大小不一、分布复杂的孔和槽等内部结构，用以上各种方法都不能简单而集中地表达机件内部结构的场合 2) 此种剖切方式所得剖视图需进行标注，标注方法与用几个平行的剖切平面剖切方式相同，如图 a 所示 3) 若组合的剖切面为两个以上的相交平面，则应把几个剖切平面展开，并向平行某一基本投影面的平面作投影，此时应在剖视图的上方标注“x-x 展开”，如图 b 所示 4) 组合的剖切面可能是多个平面的组合，也可能为平面和柱面的组合，如图 c 所示

2.3 断面图

为了表达物体的内部结构，用假想的剖切面将物体沿着适当位置剖开，仅仅画出与剖切面接触处的视图称为断面图。按断面图配置位置的不同，分为移出断面图和重合断面图。有关断面图的国家标准也是 GB/T 17452—1998《技术制图 图样画法 剖视图和断面图》和 GB/T 4458.6—2002《机械制图 图样画法 剖视图和断面图》。

2.3.1 移出断面图 (见表 2-8)

表 2-8 移出断面图

基本 概念	布置在视图之外的断面图称为移出断面图，其轮廓线用粗实线绘制
移出 断面 图 图例	<p>Figure 2-8 illustrates various examples of removed section drawings (移出断面图) for different mechanical parts. Each example (a-i) shows the original part with a cutting plane (A-A or B-B) and the corresponding removed section drawing placed outside the main view. The removed sections are drawn with thick solid lines for their outlines and hatching to indicate the material. Examples include shafts with grooves, holes, and tapers, as well as curved and angled components.</p>

(续)

移出断面图	<p>1) 移出断面图的完整标注由表示剖切位置的剖切面符号、表示投影方向的箭头和表示视图名称的大写拉丁字母组成。当断面图是对称的或按投影关系布置而中间又无其他图形隔开时, 可以省略箭头, 如图 a 所示; 当布置在剖切平面的延长线上时, 可省略字母, 如图 b 所示; 如果是布置在剖切平面延长线上或视图中断处对称的移出断面图, 可不加标注, 如图 c 和图 d 所示</p> <p>2) 断面图有两个特殊规定。其一, 当剖切平面通过回转面形成的小孔或凹坑的轴线时, 这些结构应按剖视绘制, 如图 e 和图 f 所示; 其二, 当剖切面剖切物体上的非回转体结构出现断面区域分离情况时, 这些结构按剖视绘图, 如图 g 所示</p> <p>3) 断面图的剖切平面应垂直于所需表达机件结构的主要轮廓线或轴线, 若由两个或多个相交的剖切平面剖切得移出断面图, 则在中间应断开, 如图 h 所示</p> <p>4) 在不致引起误解时, 允许将图形转正, 如图 i 所示</p>
-------	--

2.3.2 重合断面图 (见表 2-9)

表 2-9 重合断面图

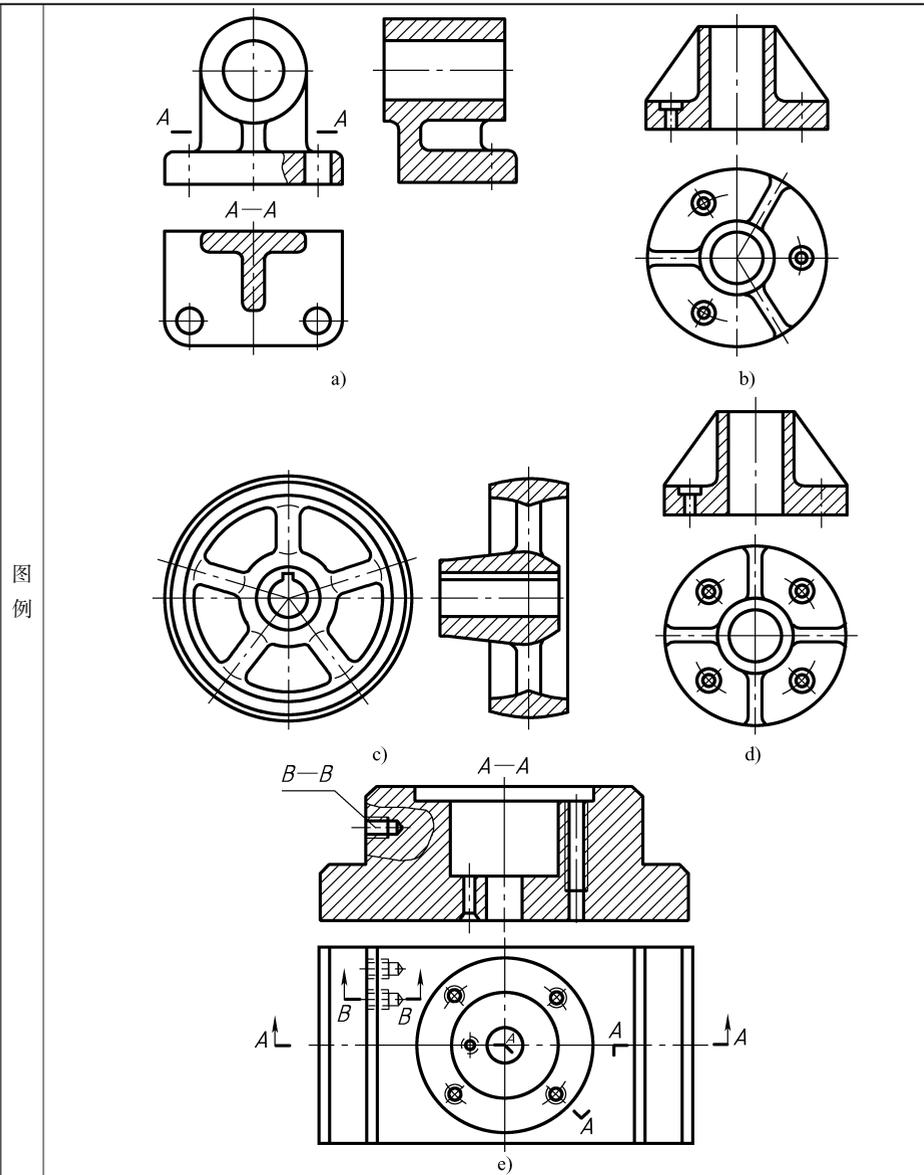
基本概念	布置在视图之内的断面图称为重合断面图, 其轮廓线用细实线绘制
图例	
规定说明	<p>1) 不对称的重合断面图应标注出剖切符号和投影方向, 如图 a 所示; 而对称的重合断面图可省略标注, 如图 b、图 c 和图 d 所示</p> <p>2) 如果重合断面图的轮廓线和原视图中的轮廓线重合, 则原视图的轮廓线不能间断, 而仍应连续画出, 如图 a 和图 b 所示</p> <p>3) 肋板的重合断面只需表示其端部形状, 画成局部的图形, 且一般省略波浪线, 如图 c 的主视图所示</p>

2.4 剖视图和断面图中的规定画法

在 GB/T 16675.1—1996《技术制图 简化表示法 第1部分：图样画法》和 GB/T 4458.6—2002《机械制图 图样画法 剖视图和断面图》中，对绘制剖视图和断面图又作了一些规定，见表 2-10。

表 2-10 剖视图和断面图的规定画法

剖视图
和断面
图的规定
画法



(续)

剖视图 和断面 图的规定 画法	规定 说明	<p>1) 对于机件上的肋板、轮辐和薄壁等, 如果是纵向剖切, 则按不剖处理, 用粗实线将与其邻接的结构分开, 如图 a 的左视图和图 c 所示</p> <p>2) 如果回转体机件上均匀分布的肋板、轮辐和孔等结构不处于剖切平面上, 可将这些结构旋转到剖切平面上当做被剖切画出, 而不需要进行任何标注和说明, 如图 b、图 c 和图 d 所示</p> <p>3) 在剖视图中允许再作一次局部剖, 这时应注意两个剖面区域的剖面线必须同方向、同间隔、但要相互错开, 并用引出线标注, 如图 e 所示</p>
--------------------------	----------	--

2.5 局部放大图

将机件的部分结构用大于原图形所采用的比例画出的图形称为局部放大图。有关局部放大图的国家标准是在 GB/T 4458. 1—2002 《机械制图 图样画法 视图》中, 局部放大图的图例和规定说明见表 2-11。

表 2-11 局部放大图

局部 放大 图	图例	<p>Figure 2-11 illustrates various examples of partial enlargement drawings. (a) shows a shaft with two enlarged sections I (4:1) and II (2:1). (b) shows a vertical assembly with a 2:1 enlargement of a detail. (c) shows a cross-section of a shaft with a 4:1 enlargement of a detail. (d) shows a part with a 3:1 enlargement of a detail B. (e) shows a part with a 3:1 enlargement of a detail B.</p>
---------------	----	--

(续)

局部放大图	规定说明	1) 局部放大图可以画成视图, 也可以画成剖视图或断面图, 它与被放大部分的表达方法无关, 并尽量配置在被放大部位的附近, 如图 a 中 II 处所示
		2) 绘制局部放大图时, 除了螺纹的牙型、齿轮和链轮的齿形外, 需用细实线将被放大的部位圈出。若同一机件上有几个被放大部位, 则应用大写罗马数字依次标出被放大部位, 并在局部放大图的上方用分数的形式标注出相应的罗马数字和所采用的比例, 如图 a 所示
		3) 当被放大的部位只有一处时, 则只需在局部放大图的上方标注出所用的比例即可, 如图 b 所示
		4) 同一机件上不同部位的局部放大图, 若图形相同或对称时, 只需画出一个即可, 如图 c 所示
		5) 必要时, 可用几个图形来表达同一个被放大部位, 如图 d 所示

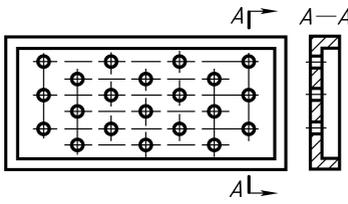
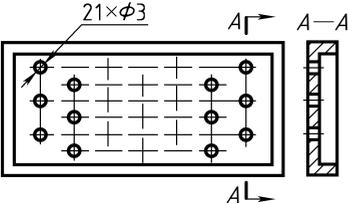
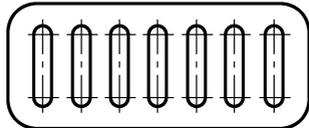
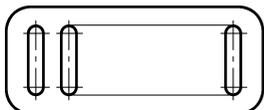
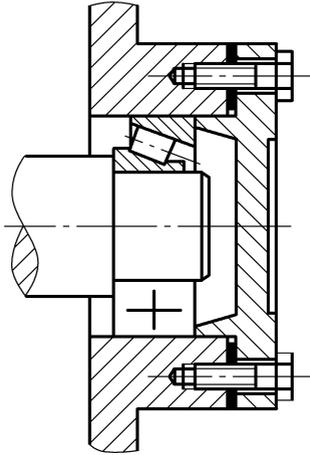
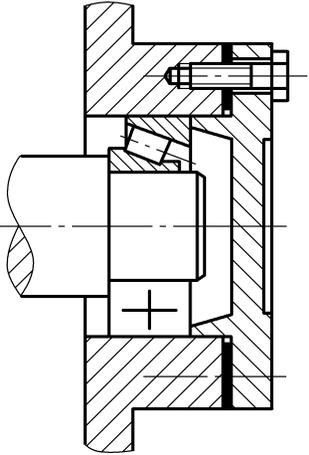
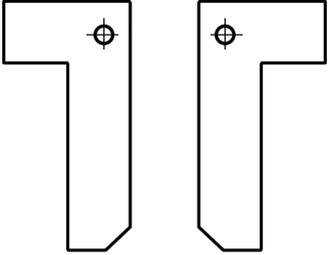
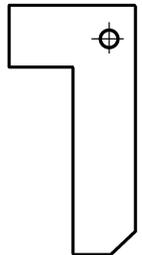
2.6 简化画法

有关简化画法的国家标准是 GB/T 16675.1—1996《技术制图 简化表示法 第1部分: 图样画法》, 当中规定了简化的原则, 即: 简化必须保证不致引起误解和不会产生理解的歧义性, 在此前提下, 应力求制图简便; 要便于识读和绘制, 注重简化的综合效果; 在考虑便于手工制图和计算机制图的同时, 还要考虑微缩制图的要求。

常用的简化画法具体图例和说明见表 2-12。

表 2-12 简化画法

图 例		说 明
简 化 前	简 化 后	
		<p>应避免不必要的视图和剖视图, 如本例通过合理地标注尺寸, 即可省略俯视图</p>
		<p>在不致引起误解的情况下, 应避免使用虚线表示不可见的结构</p>

图 例		说 明
简 化 前	简 化 后	
		
		
		<p>尽可能减少相同结构要素或相同零件组的重复绘制</p>
 <p data-bbox="173 1619 296 1647">零件 1 (LH)</p> <p data-bbox="367 1619 489 1647">零件 2 (RH)</p>	 <p data-bbox="624 1592 792 1647">零件 1 (LH) 如图 零件 2 (RH) 对称</p>	<p>可以将对称的两零件，只画出其中一个零件，另一零件用文字加以说明</p>

(续)

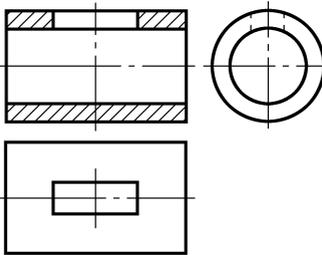
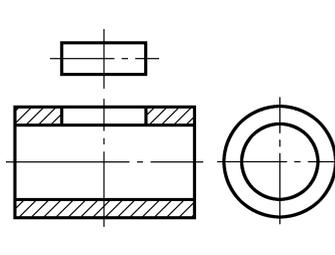
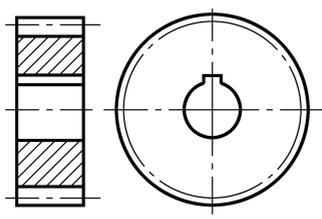
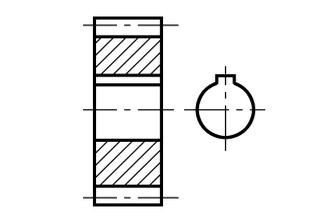
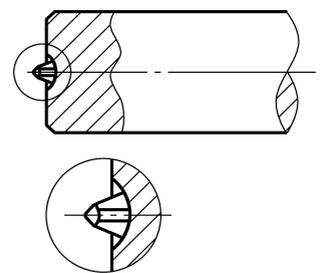
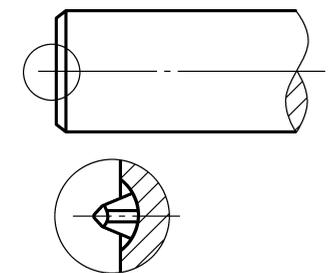
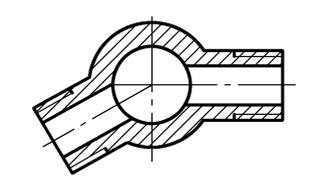
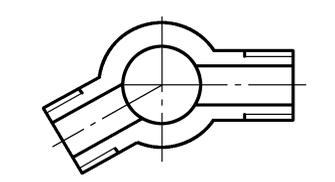
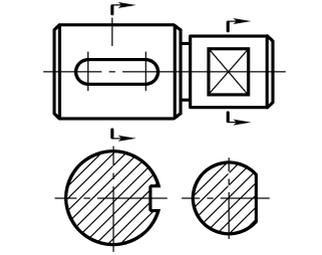
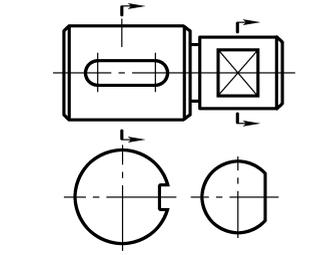
图 例		说 明
简 化 前	简 化 后	
		<p>对于零件上的孔或槽，可以用简化的局部视图来表达</p>
		
		<p>局部放大图中，被放大部分在原视图中允许简化</p>
		<p>在不致引起误解的情况下，允许将剖视图和断面图中的剖面符号省略不画</p>
		

图 例		说 明
简 化 前	简 化 后	
		<p>与投影面倾斜角度小于或等于 30° 的圆或圆弧, 其投影可简化为圆或圆弧, 圆心位置按照投影关系确定</p>
		<p>在其他视图已表达清楚立体相贯部分的情况下, 相贯曲线的投影可简化为直线</p>
		<p>对于自然相贯的形体, 可采用模糊画法来简化, 即只是将立体相贯的形状、大小和位置表达清楚</p>
		<p>对于基本对称的物体, 可简化成一半, 并将不对称的部分加以说明</p>

(续)

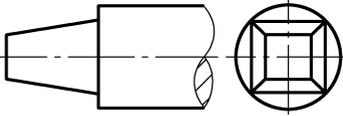
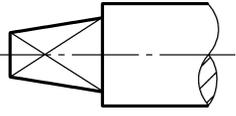
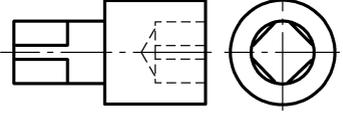
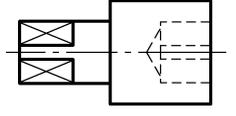
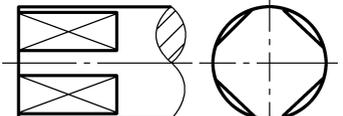
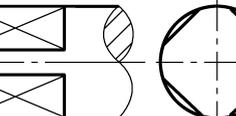
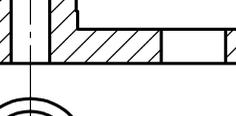
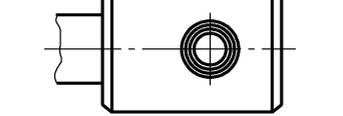
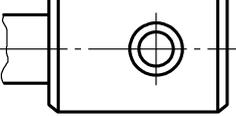
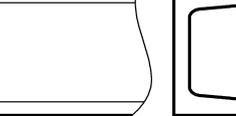
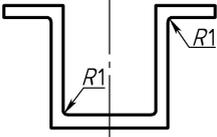
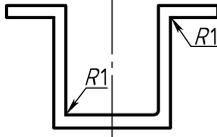
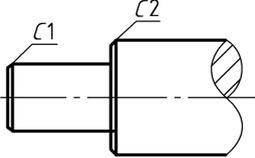
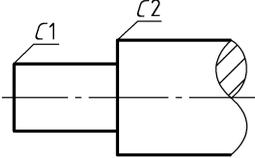
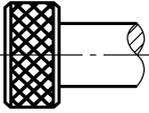
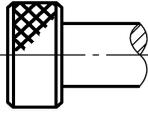
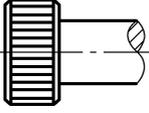
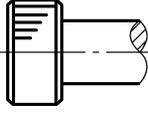
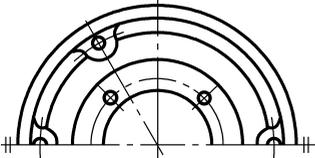
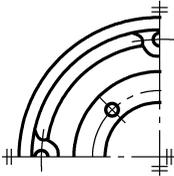
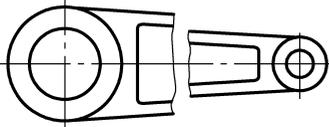
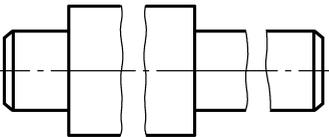
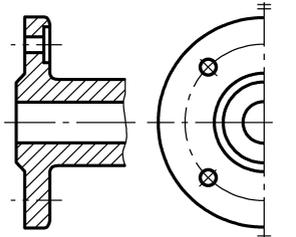
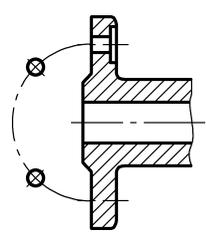
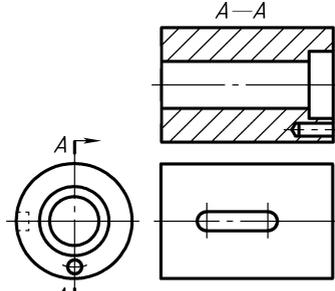
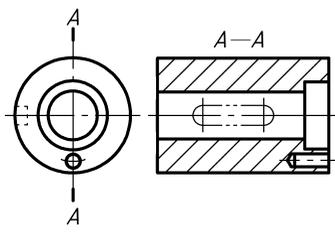
图 例		说 明	
简 化 前	简 化 后		
		<p>可以用相交的细实线来表示回转体上的平面，以减少视图数量</p>	
			
		<p>物体上的较小结构或斜度不大的结构，若已有视图将其表达清楚时，在其他视图中可简化或省略不画</p>	
			
			
			
			

图 例		说 明
简 化 前	简 化 后	
		<p>在不致引起误解时，物体的小圆角、锐边的倒角或45°小倒角允许省略不画，但需注明尺寸或在技术要求中加以说明</p>
		
		
		<p>直纹和网纹滚花的表面可简化为在轮廓线附近局部示意的表示，也可省略不画，但必须进行标注</p>
略		<p>在不致引起误解时，对称机件的视图可以简化为只画一半或四分之一，但在对称中心线的两端要画出两条与其垂直的平行细实线</p>
略		
略		<p>较长的机件（轴、杆、型材和连杆等）沿着长度方向的形状一致或按一定规律变化时，可简化为断开后缩短绘制，但标注尺寸时按实际长度标注</p>
略		

(续)

图 例		说 明
简 化 前	简 化 后	
		圆柱形法兰和类似机件上均匀分布的孔, 其由机件外向该法兰端面的投影可按左图加以简化
		可用双点画线表示剖切面前的简单结构, 从而减少视图数量

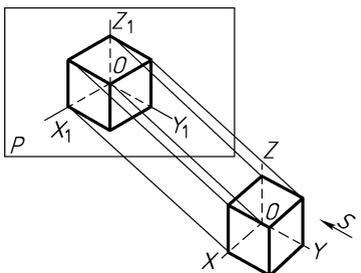
2.7 轴测图

轴测图是轴测投影图的简称, 它能同时反映物体长、宽、高三个方向的形状, 立体感较强, 直观性好, 是生产中的一种辅助图样, 常用来说明产品的结构和使用方法等。轴测图的国家标准是 GB/T 4458.3—1984《机械制图 轴测图》(正在修订), 本节重点介绍正等轴测图和斜二等轴测图。

2.7.1 轴测图的基本概念及术语

轴测图的基本概念及术语见表 2-13, 轴测投影的种类及特性见表 2-14。

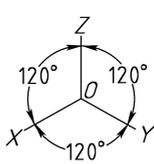
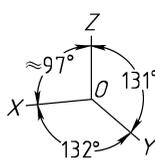
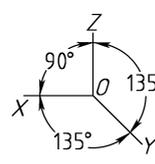
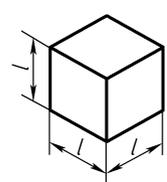
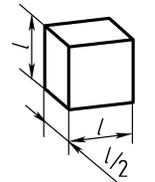
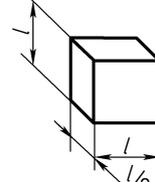
表 2-13 轴测图的基本概念及术语

	定义及特点	图 例
基本概念	<p>将空间物体连同确定其位置的直角坐标系, 沿不平行于任一坐标平面的方向, 用平行投影法投射在某一选定的单一投影面上所得到的具有立体感的图形, 称为轴测图</p> <p>轴测图采用的是平行投影法, 其投影特性有:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 空间相互平行两直线的轴测投影也相互平行 2) 与坐标轴平行的直线段的轴测投影必与轴测轴平行, 且伸缩系数与相应轴测轴的伸缩系数相同, 可直接度量 3) 两线段长度之比等于其轴测投影的长度之比 	

(续)

术语	空间坐标轴	即：用以确定物体位置的三个相互垂直的空间坐标轴 OX 、 OY 和 OZ
	轴测投影面	即：用以获得轴测图的投影面 P
	轴测投影方向	即：获得轴测图的投影方向 S
	轴测轴	即：空间坐标轴在轴测投影面上的投影 O_1X_1 、 O_1Y_1 和 O_1Z_1
	轴间角	即：轴测轴之间的夹角 $\angle X_1O_1Y_1$ 、 $\angle Y_1O_1Z_1$ 和 $\angle X_1O_1Z_1$
基本要求	轴向伸缩系数	即：物体上平行于坐标轴的线段在轴测图上的长度与实际长度之比，沿 X 轴方向的 p_1 、沿 Y 轴方向的 q_1 和沿 Z 轴方向的 r_1 （简化的轴向伸缩系数为 p 、 q 和 r ）
		1) 轴向伸缩系数之比值 $p:q:r$ 应采用简单的数值，以便于作图 2) 轴测图中的三根轴测轴应配置成便于作图的特殊位置。绘图时，轴测轴随轴测图同时画出，也可以省略不画 3) 轴测图中，应用粗实线画出物体的可见轮廓。必要时才用细虚线画出物体的不可见轮廓

表 2-14 轴测投影的种类及特性

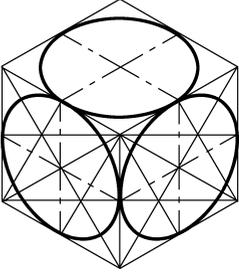
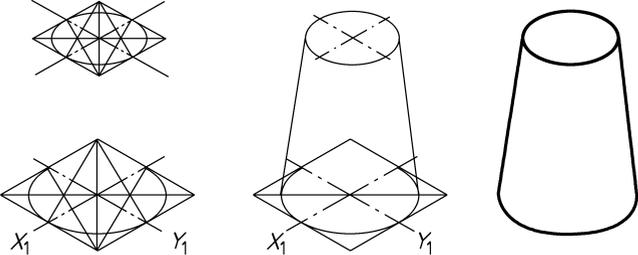
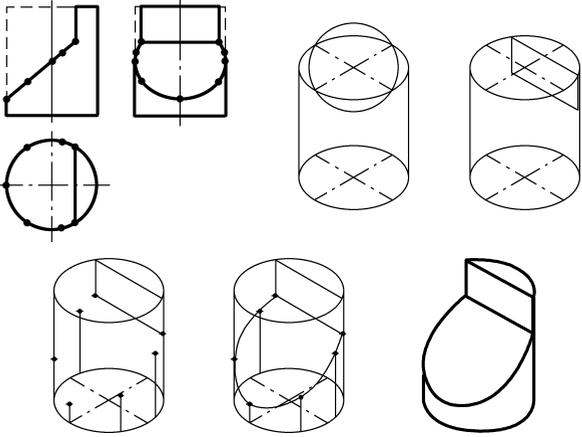
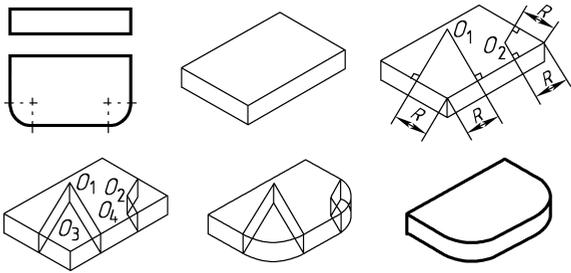
		正轴测投影			斜轴测投影		
投射方向		投射方向与轴测投影面垂直			投射方向与轴测投影面倾斜		
轴测类型		等测投影	二测投影	三测投影	等测投影	二测投影	三测投影
简称		正等测	正二测	正三测	斜等测	斜二测	斜三测
特性	伸缩系数	$p_1 = q_1 = r_1 = 0.82$	$p_1 = r_1 = 0.94$ $q_1 = \frac{p_1}{2} = 0.47$			$p_1 = r_1 = 1$ $q_1 = \frac{p_1}{2} = 0.5$	
	简化系数	$p = q = r = 1$	$p = r = 1$ $q = \frac{p}{2} = 0.5$			无	
	轴间角			$p \neq q \neq r$ 视具体要求选用	$p = q = r$ 视具体要求选用		$p \neq q \neq r$ 视具体要求选用
	图例						

2.7.2 正等轴测图

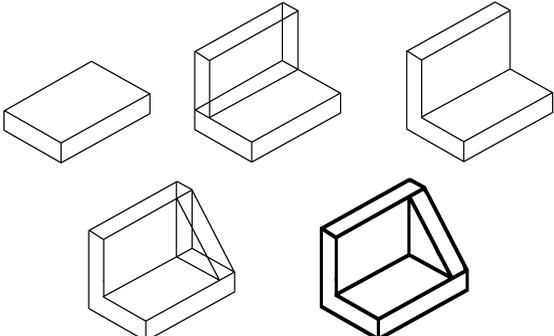
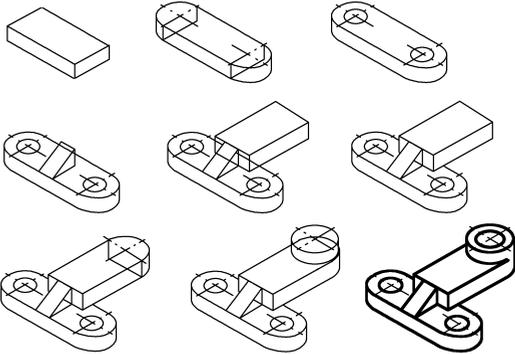
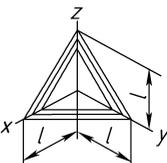
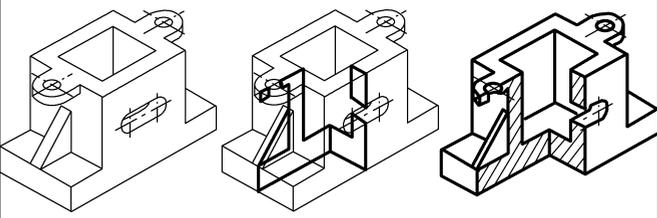
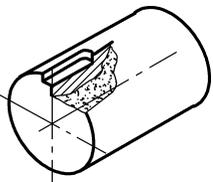
正等轴测图的画法及说明见表 2-15。

表 2-15 正等轴测图

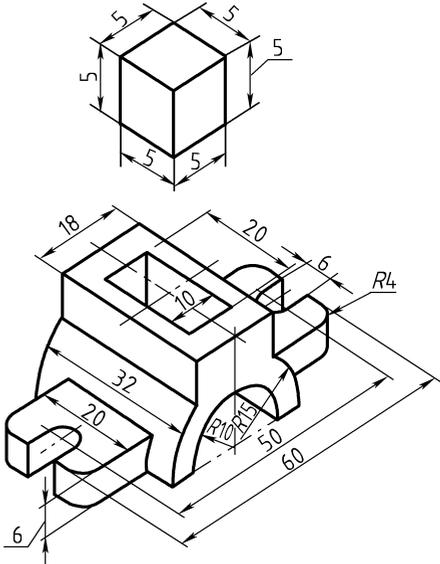
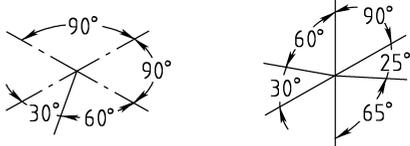
项目	图 例	说 明
坐标法 平面立体画法		<ol style="list-style-type: none"> 1) 在原视图中建立坐标系 2) 画正等轴测轴 3) 在轴测图中定位并画出各顶点 4) 将轴测图中的各顶点按实际立体形状连线 5) 擦去辅助作图线, 检查加深
切割法		<ol style="list-style-type: none"> 1) 由所给立体的长宽高画出其基本体的轴测图 2) 根据立体逐步将被切割部位移去画出 3) 擦除辅助线, 加深
椭圆画法 菱形法		<ol style="list-style-type: none"> 1) 画出轴测轴, 画出圆的外切正方形的轴测图 2) 作菱形的对角线, 将短对角线的两个端点 (E 和 G) 和对边中点连接, 得长对角线上两交点 I 和 II 3) 分别以 E、G、I、II 为圆心画弧, 得近似椭圆, 加深整理

项目	图 例	说 明
椭圆画法 在各面的画法		方法与基本示例中所述一致
基本曲面立体		<ol style="list-style-type: none"> 1) 分别画出两底面的椭圆 2) 作两椭圆外侧的公切线 3) 整理并加深
曲面立体画法 切割相贯的曲面立体		<ol style="list-style-type: none"> 1) 画出被切割前的曲面立体的轴测图 2) 若截交线或相贯线为直线, 求其端点在轴测图中的投影并连线即可; 若是曲线, 则在截交线或相贯线上取若干点, 再用光滑曲线按次序将其连接起来 3) 整理并加深
圆角画法		<ol style="list-style-type: none"> 1) 画出被圆角前的轴测图 2) 在作圆角的边上量取圆角半径 R, 自量取点作边线的垂线, 得其交点 3) 以所得交点为圆心, 以交点至垂足的距离为半径画弧。即得圆角的正等测图 4) 将圆弧按高度关系平移到另一面 5) 整理并加深

(续)

项目	图 例	说 明
组合物体画法		<ol style="list-style-type: none"> 1) 将组合体分解为若干个组成部分 2) 逐步将各组成部分的轴测图分别画出, 整理所加入部分和已画出部分的连接关系 3) 整理并加深
		<p>综合采用前述的轴测图各种画法</p>
剖视图的画法		<p>剖面线的画法如左图所示</p>
		<p>剖切面通过肋或薄壁等结构的纵向对称平面时, 这些结构不画剖面符号, 而用粗实线将其与相邻部分分开</p>
		<p>表示物体中间折断或局部断裂时, 断裂处的边界应画波浪线, 并在可见断裂面内加画细点以代替剖面线</p>

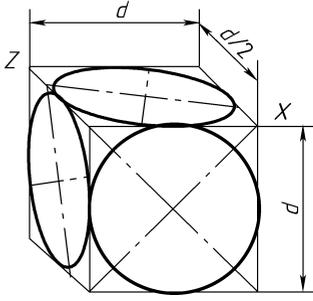
(续)

项目	图 例	说 明
尺寸标注		<p>轴测图中的线性尺寸一般沿着轴测轴方向标注, 尺寸的数值为零件的基本尺寸。尺寸数字应按相应的轴测图形标注在尺寸线的上方。尺寸线必须与所标注的线段平行, 尺寸界限一般应平行于某一轴测轴。当图形中出现字头向下时应引出标注, 将数字按水平位置注写</p> <p>标注圆弧半径时, 尺寸线可从圆心引出标注, 但注写数字的横线必须平行于轴测轴</p>
		<p>标注角度的尺寸线应画成与该坐标平面相应的圆弧, 角度数字一般写在尺寸线的中断处, 字头向上</p>

2.7.3 斜二等轴测图

画斜二等轴测图与画正等轴测图的思路大致相同, 不同点及说明见表 2-16。

表 2-16 斜二等轴测图

项目	图 例	说 明
椭圆的画法		<p>平行于 V 面的圆仍为圆, 反映实形</p> <p>平行于 H 面的圆为椭圆, 长轴与 X 轴偏转约 7°, 且长轴 $\approx 1.06d$, 短轴 $\approx 0.33d$</p> <p>平行于 W 面的圆与平行于 H 面的圆的椭圆形状相同, 长轴与 Z 轴偏转约 7°</p>

(续)

项目	图 例	说 明
组合体的画法		<ol style="list-style-type: none"> 1) 在轴测图中将组合体各组成部分的位置定出 2) 将 V 面上可见的投影在轴测图中画出 3) 将 2) 所得部分图形向后平移 4) 整理并加深
剖视图的画法		<p>剖面线的画法及示例如左图所示</p>

2.8 第三角画法简介

ISO 规定，第一角画法和第三角画法同等使用。

世界上大多数国家用第一角画法；而美国和日本等国采用第三角画法。

GB/T 17451—1998《技术制图 图样画法 视图》中规定我国优先采用第一角画法。

关于第三角画法介绍的国家标准为 GB/T 14692—2008《技术制图 投影法》等。见表 2-17。

表 2-17 第三角画法

基本概念	<p>将物体放在第三角内，投影面处在观察者与物体之间，假设投影面是透明的，仍然采用正投影法得到视图的方法称为第三角画法。采用第三角画法所得六个视图分别与第一角画法的对应关系为：主视图——前视图；左视图——右视图；俯视图——顶视图；右视图——左视图；仰视图——底视图；后视图不变</p>
------	--

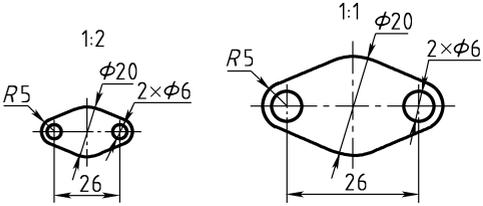
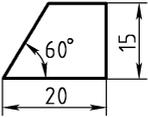
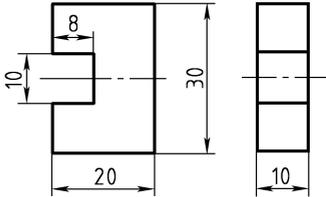
<p>展开方式</p>	
<p>配置位置和标识</p>	<p>a)</p> <p>b)</p>
<p>规定说明</p>	<p>1) 在同一张图纸内若按图 a 配置时, 一律不标注视图名称</p> <p>2) 在采用第三角画法时, 必须在图样中画出第三角投影的识别符号, 如图 b 所示</p>

2.9 尺寸标注方法

机件除了需要用一组视图来表达其结构形状外, 还需要通过标注尺寸以确定其大小。有关尺寸标注的国家标准有 GB/T 4458.4—2003 《机械制图 尺寸注法》和 GB/T 16675.2—1996 《技术制图 简化表示法 第 2 部分: 尺寸注法》等。

2.9.1 尺寸标注基本规则（见表 2-18）

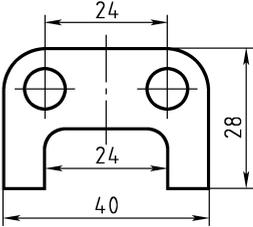
表 2-18 尺寸标注的基本规则

图 例	规 定 说 明
	<p>图样上所标注的尺寸数值一律为机件的真实大小，而与图形的大小以及绘图的准确程度无关</p>
	<p>图样中的尺寸，包括技术要求和其他说明，若以 mm 为单位时，不需标注计量单位的名称或符号；若采用其他单位（m、°、kg 等）时，则必须注明相应的单位符号，如左图的角度 60°</p>
	<p>图样中所标注的尺寸应为机件的最后完工尺寸，否则要另外说明（如涂或镀零件前的尺寸） 机件的每个尺寸一般只标注一次，且应标注在反映该结构特征的视图上，如左图中的切槽尺寸</p>

2.9.2 尺寸的组成及基本规定

一个完整的尺寸应由尺寸界线、尺寸线和尺寸数字组成，各部分的规定说明见表 2-19。

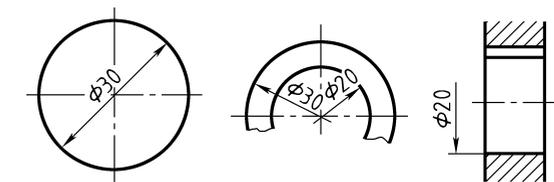
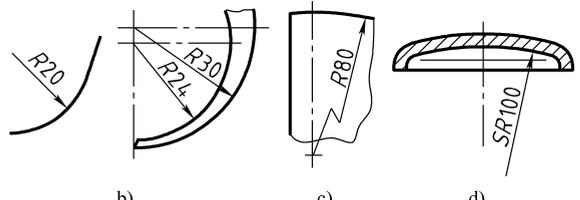
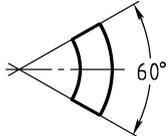
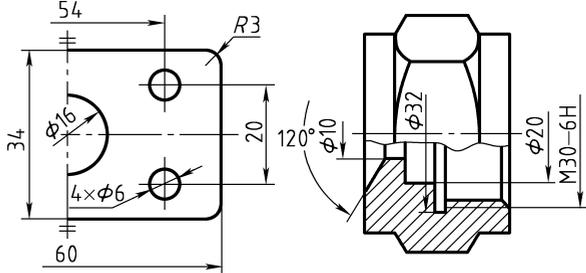
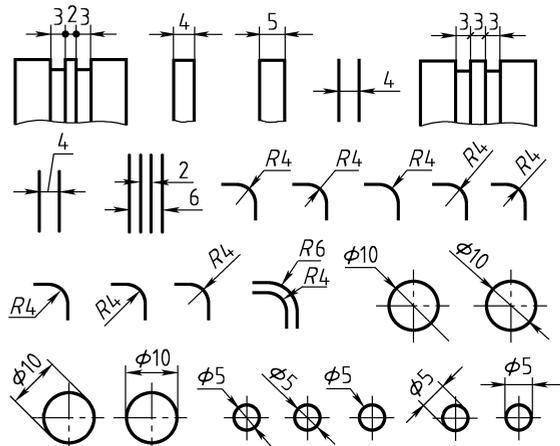
表 2-19 尺寸的组成及基本规定

项目	图 例	规 定 说 明
尺寸界线		<p>尺寸界线用细实线绘制，且应由图形的轮廓线、轴线或对称中心线处引出。也可利用现有的轮廓线、轴线或对称中心线作为尺寸界线</p>

(续)

项目	图 例	规定说明
		<p>若需要表示曲线轮廓上各点的坐标时, 可将尺寸线或其延长线作为尺寸界线</p>
尺寸界线		<p>尺寸界线一般应与尺寸线垂直, 必要时才允许倾斜 在光滑过渡处标注尺寸时应用细实线将轮廓线延长, 从它们的交点处引出尺寸界线</p>
		<p>标注角度的尺寸界线应沿着径向引出, 如图 a 所示; 标注弦长的尺寸界线应平行于该弦的垂直平分线, 如图 b 所示; 标注弧长的尺寸界线应平行于该弧所对圆心角的角平分线, 如图 c 所示; 若弧度较大, 可沿着径向引出, 如图 d 所示</p>
尺寸线		<p>尺寸线用细实线绘制, 其终端一般为箭头, 如图 a 所示, 其中 d 为粗实线宽度, 也可以是斜线形式, 如图 b 所示, 其中 h 为字高, 且尺寸线应与尺寸界线垂直。当尺寸线与尺寸界线相互垂直时, 同一张图样中只能采用一种尺寸线终端形式</p>
尺寸线		<p>标注线性尺寸时, 尺寸线应与所标注的线段平行。同时尺寸线不能用其他图线代替, 也不得和其他图线重合或画在其延长线上, 如图 a 中的尺寸标注是错误的, 正确标注如图 b 所示</p>

(续)

项目	图 例	规定说明
	 <p style="text-align: center;">a)</p>	<p>圆的直径和圆弧半径的尺寸线的终端应画成箭头，尺寸线要通过圆心，并按图 a 和图 b 所示的方法标注</p>
	 <p style="text-align: center;">b) c) d)</p>	<p>当圆弧半径过大或其圆心已无法在图纸范围内标注出时，可按图 c 的形式标注；若不需要标出其圆心位置，可按图 d 的形式标注</p>
		<p>标注角度时的尺寸线应画成圆弧，其圆心应为此角的顶点</p>
尺寸线		<p>当对称机件的图形只画出一半或略大于一半时，尺寸线应稍超过对称中心线或断裂处的边界，并仅在尺寸线的一端画出箭头</p>
		<p>标注尺寸时，若没有足够的空间画箭头或标注数字，可按左图所示的形式标注。对于连续的小尺寸，允许用圆点或斜线来代替箭头</p>

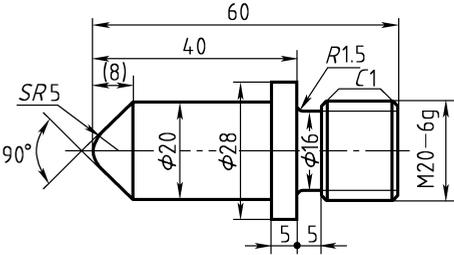
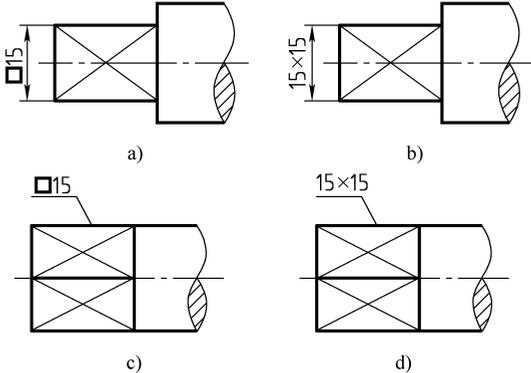
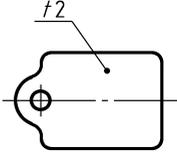
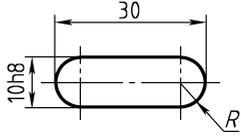
项目	图 例	规定说明
		<p>线性尺寸的数字一般标注在尺寸线的上方，也允许标注在尺寸线的中断处</p>
<p>尺寸数字</p>		<p>线性尺寸数字方向的注法有两种：一是按照图 a 所示的方向注写，并尽可能避免在图示 30° 范围内标注尺寸，当无法避免时可按图 b 所示的形式进行标注；二是对于非水平方向的尺寸，其数字可水平地注写在尺寸线的中断处，如图 c 和图 d 所示</p> <p>一般应采用第一种方法进行标注，在不致引起误解时也允许按第二种方法标注</p>
		<p>标注角度时的数字一律按水平方向书写，一般应注写在尺寸线的中断处，如图 a 所示。必要时也可按图 b 的形式标注</p>
		<p>尺寸数字必须要保证清晰可见，不能被任何图线所遮挡，当不可避免时应把图形断开再标注</p>

2.9.3 尺寸标注常用符号及缩写词（见表 2-20）

表 2-20 尺寸标注常用符号及缩写词

项目		图 例						规定说明	
代号及 含义		ϕ	R	$S\phi$	SR	t	EQS	C	\square
		直径	半径	球直径	球半径	厚度	均布	45°倒角	正方形
									按 GB/T 4456.1
	深度	沉孔或总平	埋头孔	弧长	斜度	锥度	展开长	型材截面形状	
常见 符号 或 缩写词 的含义 及画法	比例 画法							<p>标注尺寸时应尽量使用符号和缩写词，h 为字高，线宽为 $h/10$</p>	
	应用 示例							<p>直径尺寸的数字之前应加注“ϕ”，半径尺寸的数字之前应加注“R”，半径应标注在投影为圆弧的视图上，如图 a 所示；小于等于半圆的圆弧标注半径，大于半圆的圆弧或整圆应标注直径；直径可以标注数量，半径不能标注数量，如图 b 所示</p>	
球面 注法								<p>标注球面的直径和半径时，应在符号“ϕ”或“R”之前加注符号“S”，如图 a 和图 b 所示</p> <p>对于轴、螺杆、铆钉和手柄等的端部，在不致引起误解的情况下可省略符号“S”，如图 c 所示</p>	

(续)

项目	图 例	规定说明
弧长注法		<p>标注弧长时,应在尺寸数字的左方加注符号“\frown”</p>
参考尺寸注法		<p>标注参考尺寸时,应将尺寸数字加上圆括弧,如左图中的尺寸“(8)”</p>
应用示例 正方形结构注法		<p>当标注剖面为正方形结构的尺寸时,可在正方形边长尺寸数字前加注符号“\square”,如图 a 和图 c 所示;也可用“$B \times B$”的形式标注,B 为正方形的边长,如图 b 和图 d 所示</p>
板厚标注		<p>当标注板状机件的厚度时,可用引出线引出标注,且在厚度尺寸数字前加注符号“t”</p>
半径特殊注法		<p>当需要指明半径尺寸由其他尺寸所确定时,应该用尺寸线和符号“R”标出,且尺寸数字不能注出</p>

(续)

项目	图 例	规定说明
倒角 注法	<p>a)</p> <p>b)</p>	<p>当为 45° 倒角时, 可在倒角的轴向距离前加注符号“C”, 如图 a 所示; 当为非 45° 倒角时, 必须将倒角的角度及轴向距离在图中注明, 如图 b 所示</p>
应用 示例	<p>$\leq 1:50$</p> <p>$\geq 1:50$</p> <p>$\leq 1:100$</p> <p>$\leq 1:50$</p> <p>$\geq 1:50$</p> <p>$1:15$ ($\alpha/2=1^\circ 54' 33''$)</p> <p>$1:10$</p> <p>$1:5$</p>	<p>如左图所示, 标注斜度、锥度时符号的方向应与斜度、锥度方向一致, 必要时也可在括号内给出锥度的角度值</p>

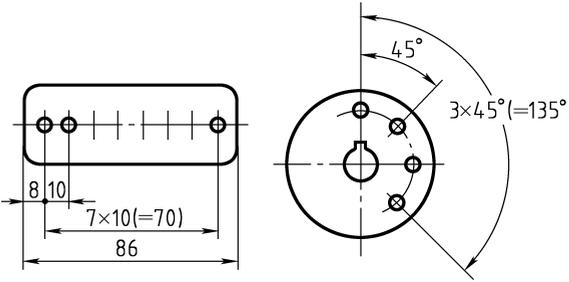
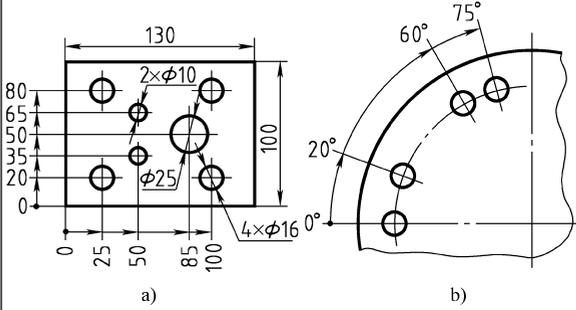
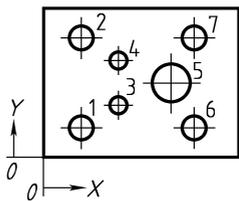
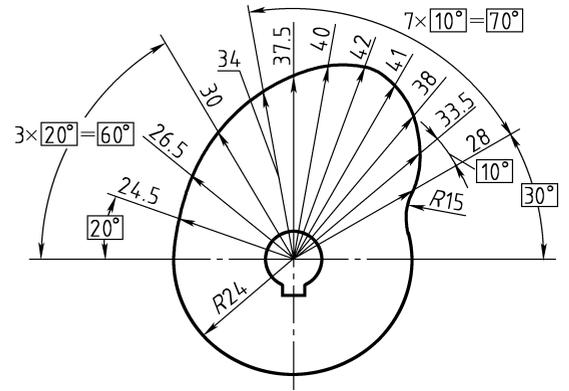
2.9.4 尺寸简化标注及其他常用尺寸标注方法

本节介绍一些简化尺寸标注和其他常用的尺寸标注示例。国家标准 GB/T 16675.2—1996《技术制图 简化表示法 第2部分：尺寸注法》中规定了一些尺寸标注的简化规则，简化的总原则为：简化必须保证不致引起误解和不会产生理解的多义性，在此前提下，应力求制图简便；注重简化的综合效果，便于识读和绘制；在考虑便于手工制图和计算机绘图的同时，还要考虑缩微制图的要求。简化尺寸标注及其他一些常见的标注示例及说明见表 2-21。

表 2-21 简化尺寸标注及其他常见的尺寸标注

项目	图 例	规定说明
对称结构尺寸注法		<p>当图形具有对称中心线时，对于分布在对称中心线两边的相同结构，可仅标注其中一边的结构尺寸</p>
采用指引线的注法		<p>标注尺寸时，尺寸界线和尺寸线可用指引线的形式来简化，此时，指引线可带箭头，也可不带箭头，如左图所示</p>
共用尺寸线或箭头注法		<p>对于图形中的成组同心或圆心共线的多个圆弧或圆的尺寸标注，可用共同的尺寸线和箭头依次标注来简化</p>
断续同一表面尺寸注法		<p>对于不连续的同一表面，可以用细实线连接后标注一次尺寸，如图例中的$\phi 8$</p>
成组要素尺寸注法		<p>1) 对于在同一图形中尺寸相同的孔和槽等成组要素，可仅在一个要素上标出其尺寸和数量，如图 a 所示</p> <p>2) 均匀分布的成组要素可在尺寸数字下方标注“EQS”来表示，如图 c 所示。当孔的定位和分布情况在图形中已经明确时，可不标注其角度，并省略“EQS”，如图 d 所示</p> <p>3) 成组要素可按“个数×宽×长”、“个数×孔径”和“个数×槽宽×直径（或槽深）”等方法标注，如图 b、图 d 和图 e</p>

(续)

项目	图 例	规定说明																																
间隔相等的链式尺寸注法		<p>对于间隔相等的链式尺寸，可仅注出一个间距，其余的可用“间距个数×间距（角度）=距离”的形式标注</p>																																
同一基准尺寸注法		<p>当各尺寸由同一基准出发时，可按图 a 和图 b 的形式简化标注</p>																																
同一基准尺寸注法	 <table border="1" data-bbox="538 993 748 1193"> <thead> <tr> <th>孔的编号</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>φ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>25</td> <td>20</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>25</td> <td>80</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>50</td> <td>35</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>50</td> <td>65</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>85</td> <td>50</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100</td> <td>20</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>100</td> <td>80</td> <td>16</td> </tr> </tbody> </table>	孔的编号	X	Y	φ	1	25	20	16	2	25	80	16	3	50	35	10	4	50	65	10	5	85	50	25	6	100	20	16	7	100	80	16	<p>也可以用标注坐标的形式列表标出，如图 c 所示</p>
孔的编号	X	Y	φ																															
1	25	20	16																															
2	25	80	16																															
3	50	35	10																															
4	50	65	10																															
5	85	50	25																															
6	100	20	16																															
7	100	80	16																															
曲线轮廓尺寸注法		<p>当标注曲线轮廓上各点的尺寸时，可用尺寸线或其延长线作为尺寸界线</p>																																

项目	图 例	规定说明																																								
		<p>对于同一图形中的同类要素, 若仅是尺寸数值不同, 可采用标注字母或涂色的形式进行标注</p>																																								
<p>不同大小的同类要素尺寸注法</p>	<table border="1" data-bbox="319 1011 671 1142"> <tbody> <tr> <td>X4</td> <td>40</td> <td>80</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>0.8</td> <td>11</td> <td></td> </tr> <tr> <td>X3</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>0.8</td> <td>11</td> <td></td> </tr> <tr> <td>X2</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>36</td> <td>56</td> <td>0.5</td> <td>8.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>X1</td> <td>12</td> <td>24</td> <td>20</td> <td>32</td> <td>0.5</td> <td>4.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>图样代号</td> <td>b</td> <td>l</td> <td>B</td> <td>L</td> <td>delta</td> <td>H</td> <td>数量</td> </tr> </tbody> </table>	X4	40	80	60	100	0.8	11		X3	30	60	50	80	0.8	11		X2	20	40	36	56	0.5	8.5		X1	12	24	20	32	0.5	4.5		图样代号	b	l	B	L	delta	H	数量	<p>若零件仅大小不同而形状相同, 可采用列表的形式标明其尺寸</p>
X4	40	80	60	100	0.8	11																																				
X3	30	60	50	80	0.8	11																																				
X2	20	40	36	56	0.5	8.5																																				
X1	12	24	20	32	0.5	4.5																																				
图样代号	b	l	B	L	delta	H	数量																																			
<p>镀涂表面尺寸注法</p>		<p>图样中镀涂零件的尺寸应为镀涂后尺寸, 即计入了镀涂层厚度, 若为镀涂前尺寸, 应在尺寸数字的右边加注“镀(涂)前”字样。对于装饰性、防腐性的自由表面尺寸, 可视为镀涂前尺寸, 省略“镀(涂)前”字样。对于配合尺寸, 只有当镀涂层厚度不影响配合时, 方可视为镀涂前的尺寸, 并省略“镀(涂)前”字样。必要时可同时标注镀涂前和镀涂后的尺寸, 并注写“镀(涂)前”和“镀(涂)后”字样, 如图例所示</p>																																								

(续)

项目	图 例	规定说明
装配时 加工 结构的 尺寸 注法		若零件上的结构需在装配时加工，可在标注尺寸时用旁注的形式注出
结合件 尺寸 注法		接合件可以用双点画线将其画出，与该零件一起注出其整体尺寸

第 3 章 零件图和装配图

零件是组成部件或机器的最小单元，零件图是表达单个零件的图样。

装配图是表达机器或部件的图样。

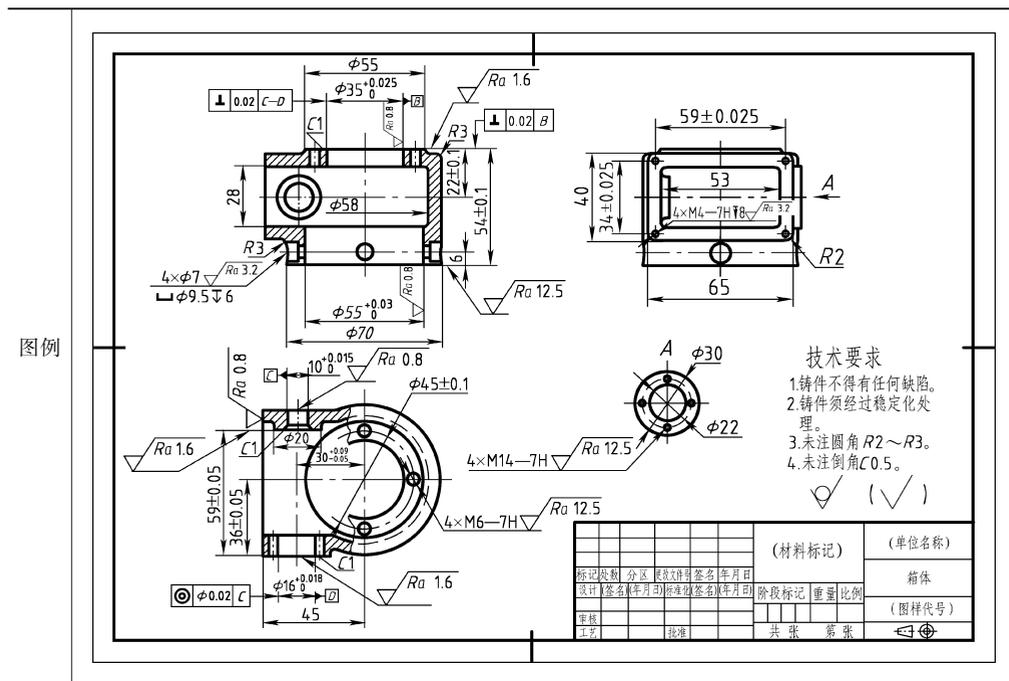
在设计新的或改进原有的机器或部件时，一般都先要画出它的装配图，再根据装配图拆画出零件图，然后按零件图制造零件，最后按照装配图把零件装配成机器或部件。装配图作为检验、安装和维修时的重要技术文件，其重点是表达设计意图、部件或机器的工作原理、零件间的装配关系；而零件图则是从零件的设计和工艺要求出发，将零件的结构形状、大小及各种技术要求表达清楚。

3.1 零件图

3.1.1 零件图的作用和内容

零件是组成部件或机器的最小单元。零件图是表达单个零件的图样，它是制造和检验零件的主要依据。有关零件图的内容见表 3-1。

表 3-1 零件图的内容



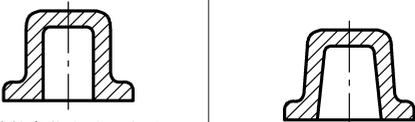
(续)

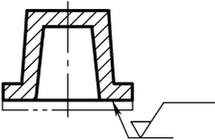
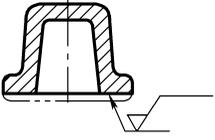
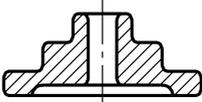
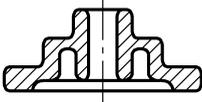
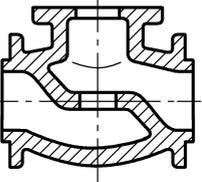
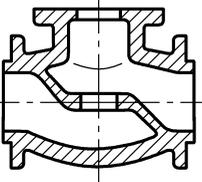
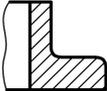
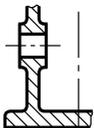
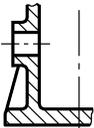
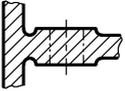
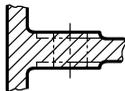
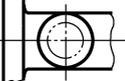
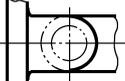
内容	一组视图	<p>1) 主视图一般取工作位置、加工位置或安装位置,且反映零件信息量最多的视图</p> <p>2) 所采用的视图数量要恰当,以能完全、正确和清楚地表达零件结构形状和相对位置关系为原则,且每个视图都应有所表达的重点,应避免零件细节结构形状的重复</p> <p>3) 各视图所采用的表达方法应遵守 GB/T 17451—1998《技术制图 图样画法 视图》、GB/T 17452—1998《技术制图 图样画法 剖视图和断面图》、GB/T 4458.1—2002《机械制图 图样画法 视图》、GB/T 4458.2—2002《机械制图 图样画法 剖视图和断面图》和 GB/T 16675.1—1996《技术制图 简化表示法 第1部分:图样画法》等国家标准规定</p>
内容	完整的尺寸	<p>1) 要正确、完整、清晰和合理地标注出制造和检验零件时所需的全部尺寸,既要满足设计要求,又要满足工艺要求</p> <p>2) 所标注的尺寸要遵守 GB/T 4458.4—2003《机械制图 尺寸注法》和 GB/T 16675.2—1996《技术制图 简化画法 第2部分:尺寸注法》等国标规定</p>
内容	技术要求	<p>1) 用规定的代(符)号、数字和文字注解,简明、准确地标出零件在制造、检验和使用时应达到的指标要求,如表面粗糙度、极限与配合、形位公差、热处理和表面处理等要求</p> <p>2) 技术要求的标注要遵守 GB/T 131—2006《产品几何技术规范(GPS) 技术产品文件中表面结构的表示法》、GB/T 4458.5—2003《机械制图 尺寸公差与配合注法》和 GB/T 1182—2008《产品几何技术规范(GPS) 几何公差 形状、方向、位置和跳动公差标注》等国标规定</p>
	标题栏	<p>1) 一般位于零件图该图方向的右下角,其中写明零件的名称、数量、材料、比例、图号以及设计、制图、审核人员签名和绘图日期等</p> <p>2) 填写和绘制时应遵守 GB/T 1069.1—2008《技术制图 标题栏》等国标规定</p>

3.1.2 零件的工艺结构

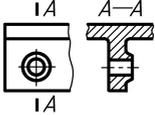
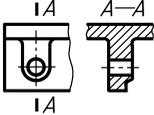
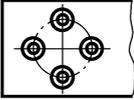
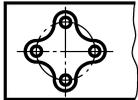
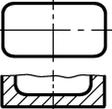
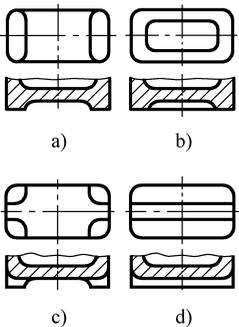
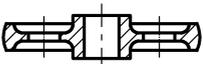
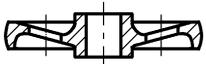
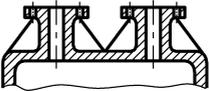
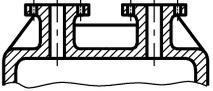
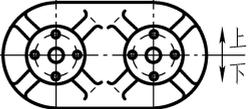
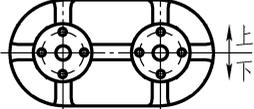
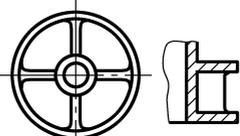
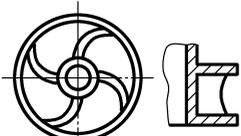
零件在设计时首先必须满足零件的工作性能要求,另外还应考虑到制造、检验的工艺合理性,以便有利于加工制造,这里介绍铸造零件和机械加工零件中一些常见的工艺结构,具体见表3-2。

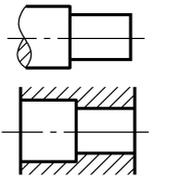
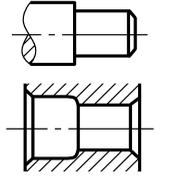
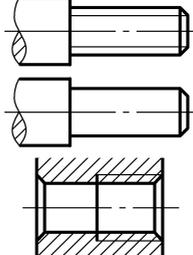
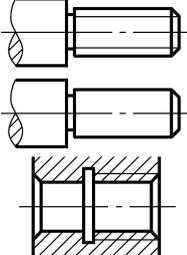
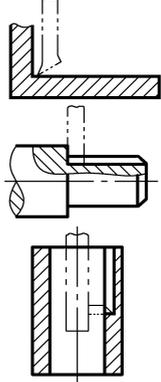
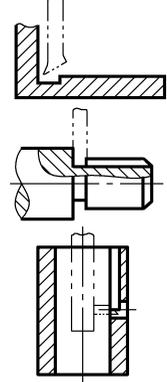
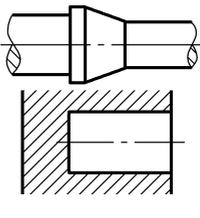
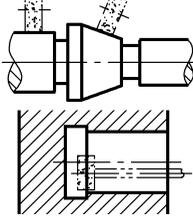
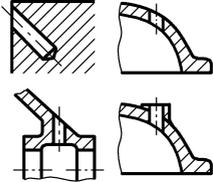
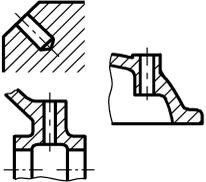
表3-2 零件的工艺结构

项目	图 例		说 明
	不合理	合理	
铸造零件	起模斜度	 <p>(起模斜度较小时,合理)</p>	<p>用铸造的方法制造零件毛坯时,为了便于在砂型中取出木模,一般沿木模起模方向做成约1:20的斜度,故在铸件表面也形成相应的斜度。当铸件的起模斜度较小时可不必画出,必要时可在技术要求中用文字说明;当斜度较大时则要画出并标注</p>

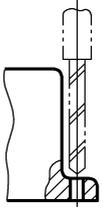
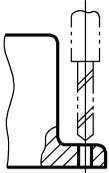
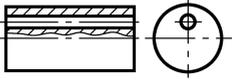
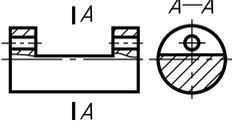
项目	图 例		说 明	
	不合理	合理		
铸造零件	铸造圆角			在起模和浇注铁液时, 为防止型腔在转角处产生落砂及铁液冷却过程中产生缩孔和裂缝等, 需在铸件的转角处制成圆角。铸造圆角半径一般取壁厚的 0.2 ~ 0.4 倍, 圆角尺寸在技术要求中统一注明, 而在图中一般不注圆角尺寸
				为避免铸件内部产生气孔和缩孔, 铸件壁厚应均匀
	铸件壁厚			为使铸件均匀冷却, 铸件内壁的厚度应略小于外壁的厚度
				若两壁倾斜相连且夹角小于 75° 时, 应将尖角去除
				当相交的两壁厚度相差很大时, 应逐渐过渡
				为了减少金属积聚和便于造型, 应将双面凸台改为单面凸台并加肋板, 以增加铸件的刚性
	凸台和凹坑			为避免凸台与壁间的小凹槽部位掉砂, 从而造成铸件夹砂, 应将凸台与壁连成一体, 便于铸造
				

(续)

项目	图 例		说 明	
	不合理	合理		
铸造零件	凸台和凹坑			<p>为避免木模上使用活块, 可将凸台加长到分型面, 如果凸台需要加工, 可采用锉平圆施</p>
				<p>为便于制模和铸造, 铸件外壁上若干凸台或凹坑应连成一体</p>
				<p>为减少加工面积, 且能保证良好的接触, 对于壳体中较大的接触面应制凸台或凹槽</p>
加强肋和轮辐				<p>为便于排除金属中的杂质和气体, 并减少内应力, 应尽量避免较大的水平肋板平面</p>
			<p>为便于铸造时选择分型面, 加强肋的布置应合理</p>	
				
			<p>为使较大铸件冷却时能自由收缩, 减少内应力, 较大轮子应制成曲线轮辐, 以及采用曲线轮廓的加强肋</p>	

项目	图 例		说 明
	不合理	合理	
倒角和圆角			<p>1) 为保护圆柱表面、便于装配和操作安全, 在轴端和孔端处一般加工出倒角</p> <p>2) 为减少应力集中, 在轴肩和孔底处常加工成圆角</p>
机械加工零件			<p>为了便于进刀、退刀和测量, 在加工螺纹和受力不大的轴颈时, 常先加工出退刀槽</p>
			<p>当加工两相交平面时应有退刀槽。为便于进刀和退刀, 插削或铣削键槽也应有空刀槽</p>
			<p>为便于进刀和退刀, 当磨削不同直径的回转面时, 应留出砂轮越程槽</p>
加工孔的结构			<p>1) 为保证加工孔轴线的精度和保护钻头, 应使钻头垂直于钻孔表面</p> <p>2) 为使钻头在钻孔时受力均匀和顺利工作, 钻孔末端的孔壁不应单面过长</p>

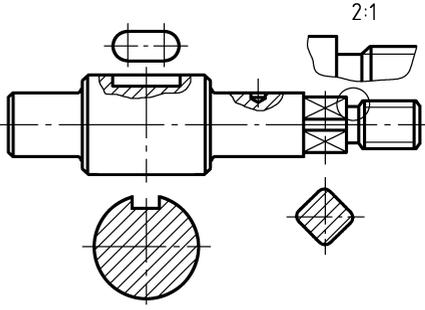
(续)

项目		图 例		说 明
		不合理	合理	
机械加工零件	加工孔的结构			为防止所需钻头过长, 钻孔的部位应留有足够的钻头工作空间
				为保证钻孔的精度、延长工具寿命和提高工作效率, 应避免采用太长的钻孔结构

3.1.3 典型零件的表示法

由于零件的结构形状是多种多样的, 应对零件进行结构形状分析, 选用适当的表示方法。首先应结合零件的工作位置和加工位置, 选择最能反映零件形状特征的视图作为主视图, 再选择其他视图, 以确定一组最佳的表达方案。选择表达方案的原则是: 在完整、清晰地表示零件形状的前提下, 力求制图简便和看图容易。现从形状的角度, 介绍几种典型零件的表示法, 见表 3-3。

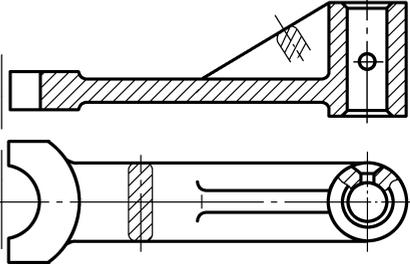
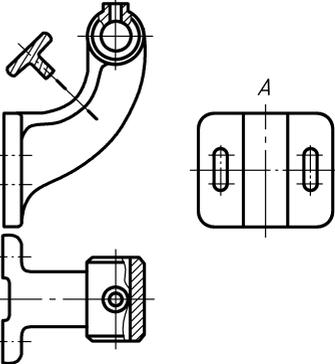
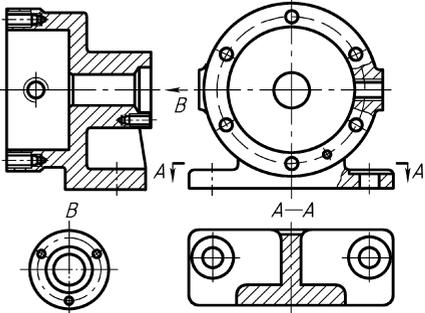
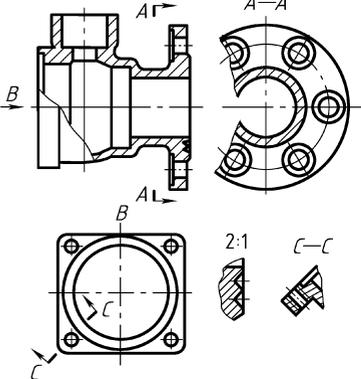
表 3-3 几种典型零件的表示法

零件	图 例	说 明
轴套类零件		<p>结构特点: 主体一般为同轴的回转体, 且轴向尺寸远大于径向尺寸, 在沿轴线方向通常有倒角、轴肩、退刀槽、越程槽、键槽、螺纹、销孔和螺纹孔等小的结构</p> <p>功用分析: 轴主要用来支承传动零件和传递动力; 套一般装在轴上用于轴向定位、传动或连接</p> <p>加工方法: 一般以车床加工为主, 加工时零件轴线水平放置</p> <p>表达方案: 主体一般用一个基本视图, 选轴线水平放置的加工位置作为主视图。对于局部的小结构 (如退刀槽、越程槽、键槽和中心孔等), 可选用断面图、局部放大图等来表达</p>

(续)

零件	图 例	说 明
轴套类零件		<p>结构特点：主体一般为同轴的回转体，且轴向尺寸远大于径向尺寸，在沿轴线方向通常有倒角、轴肩、退刀槽、越程槽、键槽、螺纹、销孔和螺纹孔等小的结构</p> <p>功用分析：轴主要用来支承传动零件和传递动力；套一般装在轴上用于轴向定位、传动或连接</p> <p>加工方法：一般以车床加工为主，加工时零件轴线水平放置</p> <p>表达方案：主体一般用一个基本视图，选轴线水平放置的加工位置作为主视图。对于局部的小结构（如退刀槽、越程槽、键槽和中心孔等），可选用断面图、局部放大图等来表达</p>
轮盘类零件		<p>结构特点：主体一般为同轴回转体，且轴向尺寸远小于径向尺寸</p> <p>功用分析：轮与轴配合用来传递旋转运动和扭矩，盘或盖主要用于支承、轴向定位及密封</p> <p>加工方法：一般以车床加工为主，加工时零件轴线水平放置</p> <p>表达方案：主体一般用两个视图，主视图选轴线水平的加工位置，并采用全剖或半剖，再辅以左或右视图表达孔或槽的分布情况。对于轮辐、肋板等结构可用移出断面或重合断面表达；对于小的局部结构可采用局部视图和局部放大图来表达</p>

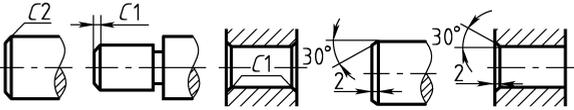
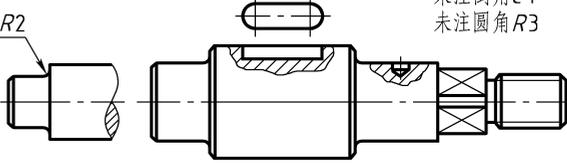
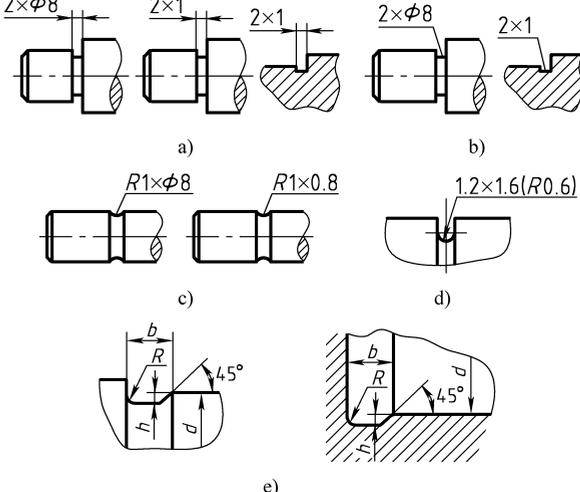
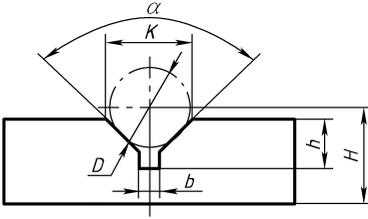
(续)

零件	图 例	说 明
叉架类零件		<p>结构特点：形状不规则，外形比较复杂</p> <p>功用分析：这类零件包括各种用途的拨叉和支架。拨叉主要用在机床、内燃机等各种机器的操纵机构上，实现一定动作，改变其他零件的位置；支架主要起支撑和连接作用。按功能可将这类零件的结构分为三部分：支撑部分、工作部分和连接部分</p> <p>加工方法：因叉架类零件一般都是锻件或铸件，往往需要多种机床配合起来加工</p> <p>表达方案：由于结构形状较为复杂且不太规则，一般都需要两个以上视图。主视图的投影方向按照形状特征原则，主视图的零件位置按照工作位置，视图上一般用局部剖表示内部结构。对于零件上的倾斜结构，往往用斜视图、斜剖视图表达；而用断面图表达连接部分的臂和肋</p>
		
箱体类零件		<p>结构特点：主体一般为壳体，多为铸造零件，内外形状都较复杂，尤其内腔比较复杂。箱壁上往往有各种位置的孔，并多有带安装孔的底板，且带有凹坑或凸台结构；支承孔处常有加厚凸台或加强肋</p> <p>功用分析：箱体类零件一般是机器或部件的主体部分，它起着支承、包容以及保护运动零件和其他零件的作用</p> <p>加工方法：箱体类零件的加工工序和加工位置复杂多变</p> <p>表达特点：一般按工作位置和形状特征原则选择主视图，常需要三个或三个以上的视图，并要采用比较复杂的剖切面形成各种剖视图来表达复杂的内部结构。而局部的结构形状常用一些局部视图、斜视图和断面图来表达</p>
		

3.1.4 零件图中的尺寸标注

1. 常见零件结构要素的尺寸标注 (见表 3-4)

表 3-4 常见零件结构要素的尺寸标注

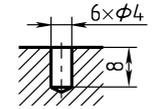
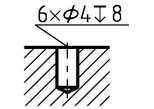
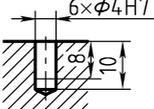
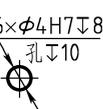
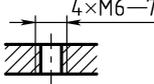
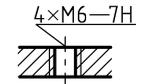
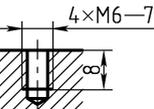
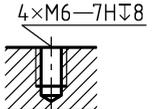
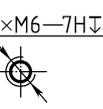
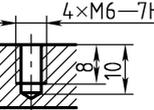
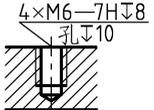
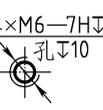
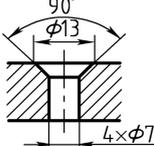
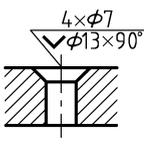
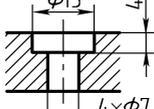
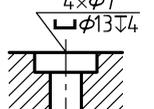
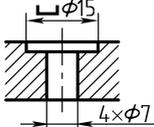
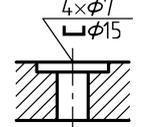
项目	图 例	规定说明
倒角和圆角的注法		<p>1) 45°的倒角可在倒角的轴向距离前加注符号“C”;非45°的倒角,则须将倒角的轴向距离及角度在图中注明</p> <p>2) 对于加工圆角,应标注其半径</p>
		<p>3) 若零件上的倒角或圆角尺寸全部相同或某个尺寸占多数时,可在空白处整体说明,如“全部圆角 R3”、“未注倒角 C2”和“其余圆角 R4”等</p>
退刀槽和砂轮越程槽的注法		<p>退刀槽的尺寸一般可按“槽宽×直径”或“槽宽×槽深”的形式标注,如图 a 所示;若图形较小,也可采用指引线的形式来标注,如图 b 和图 c 所示;半圆形退刀槽也可注出半径作为参考尺寸,如图 d 所示</p> <p>砂轮越程槽的尺寸注法一般与退刀槽相同,必要时,可单独注出槽宽和槽深或直径,如图 e 所示</p>
各种槽的注法		<p>V形槽一般应注出其槽宽、角度和与加工有关的尺寸,如图所示。其中, D 和 H 为检验所需尺寸, h 和 b 为加工时所需尺寸</p>

(续)

项目	图 例	规定说明
燕尾槽及燕尾导轨		<p>燕尾槽及燕尾导轨的尺寸注法如左图所示</p>
T形槽		<p>T形槽的尺寸标注如左图所示。其中，应注出与所用螺栓有关的尺寸</p>
方槽和半圆槽		<p>方槽和半圆槽一般要注出槽宽和槽深，并标注其定位尺寸，如图 a 和图 b 所示；当槽处于对称位置时，应注出对称尺寸，如图 c 和图 d 所示；也可以注出对称度公差要求，如图 e 所示；半圆槽的半径可只注符号“R”而不注出其数值，如图 d 所示，或注出半径的参考尺寸，如图 h 所示；当槽宽由刀具保证而无需检验时，可在尺寸线的下方标注“（工具尺寸）”字样，如图 f 和图 g 所示</p>

各种槽的注法

(续)

项目	图 例			规定说明
光孔	普通注法	旁注法		
				6个直径为 $\phi 4$ ，深度为8的圆柱孔
			6个直径为 $\phi 4$ ，深度为10的圆柱孔，其中精加工部分深度为8，精度为H7	
螺 纹 孔	普通注法	旁注法		
				4个公称直径为 $\phi 6$ ，中径、顶径公差带代号为7H的普通螺纹孔
				4个公称直径为 $\phi 6$ ，中径、顶径公差带代号为7H的普通螺纹孔，其中螺纹孔深为8
			4个公称直径为 $\phi 6$ ，中径、顶径公差带代号为7H的普通螺纹孔，其中螺纹孔深为8，光孔深为10	
沉 孔	普通注法	旁注法		
				4个直径为 $\phi 7$ 的埋头沉孔，其中，大口直径为 $\phi 13$ ，锥顶角为 90°
				4个直径为 $\phi 7$ 的柱形沉孔，其中，沉孔直径为 $\phi 13$ ，深为4
			4个直径为 $\phi 7$ 的铤平沉孔，其中，沉孔直径为 $\phi 15$ 。对于铤平深度，一般不标注，以铤去毛面为准	

(续)

项目	图 例	规定说明	
销孔		<p>销孔按左图形式标注。其中，锥销孔所标注的直径是指公称直径，即小端直径</p>	
长圆形孔		<p>为便于选择刀具直径，长圆形孔应注出其宽度尺寸。另外，根据设计要求和加工方法不同，长圆形孔的长度尺寸有不同的注法，如左图所示</p>	
各种孔的注法	<p>标注示例</p>	<p>说明</p>	
			<p>采用 A 型中心孔，D 为 4，D_1 为 8.5，且在完工后的零件中要求不保留此中心孔</p>
			<p>采用 B 型中心孔，D 为 2.5，D_1 为 8，且在完工后的零件中是否保留此中心孔都可以</p>
		<p>采用 C 型中心孔，D 为 M10，L 为 30，D_2 为 16.3，且在完工后的零件中要求保留此中心孔</p>	
凸耳		<p>凸耳的尺寸标注如左图所示。其中，凸耳的轮廓尺寸通常与孔相关</p>	

(续)

项目	图 例	规 定 说 明
锥面和斜面		<p>外锥面一般标注大端直径、锥度和长度，如图 a 所示；内锥面一般标注小端直径、锥度和长度，如图 b 所示</p> <p>若要求保证一定长度的配合，应注出基准面的直径、锥度和长度，如图 c 和图 d 所示</p> <p>当锥度较大时，应注出大端直径、小端直径和长度（或锥角），如图 e 所示</p> <p>斜楔体通常按图 f 和图 g 所示进行标注</p>

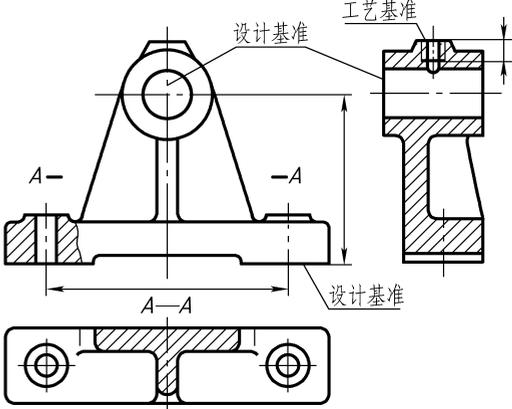
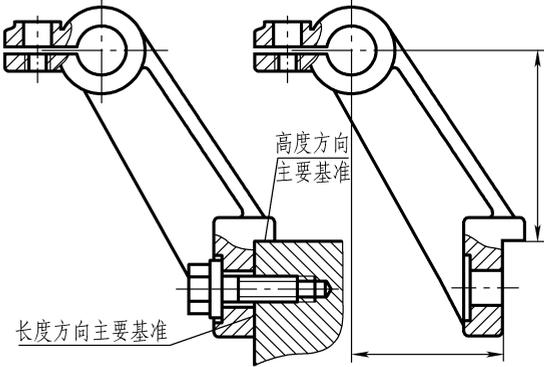
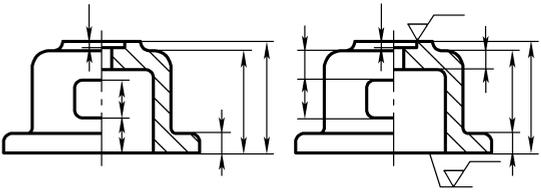
2. 零件尺寸的合理标注

(1) 零件尺寸基准的选择（见表 3-5）

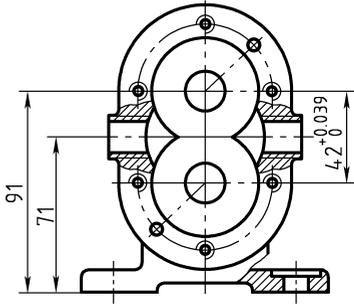
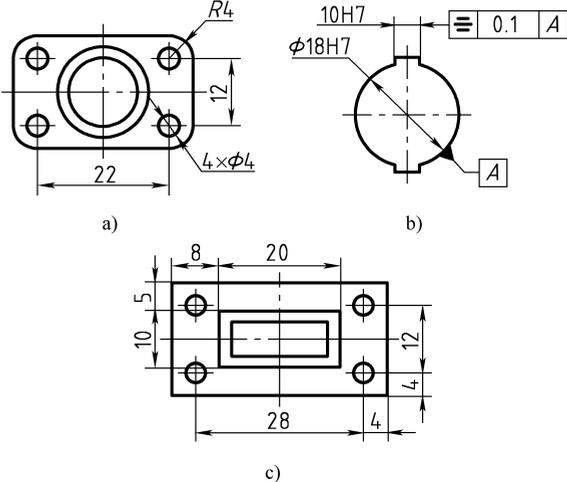
表 3-5 零件尺寸基准的选择

项目	图 例	说 明
基本概念		<p>基准的广义含义就是“依据”的意思，而尺寸基准就是指零件在设计、制造和检验时度量尺寸的起点。选择尺寸基准时，必须考虑零件在机器或部件中的位置、作用、零件之间的装配关系以及零件在加工过程中的定位和测量要求</p> <p>尺寸基准类型主要有：一些重要的加工面（如安装面、两零件的接触面、端面、轴肩面等）、零件的对称平面、主要回转结构的回转轴线等</p>
主要基准和辅助基准		<p>零件在加工及测量过程中，长、宽和高三个方向都可能多个工艺基准，其中最重要的称为主要基准，其余的称为辅助基准。辅助基准与主要基准之间必须有直接的尺寸联系</p>

(续)

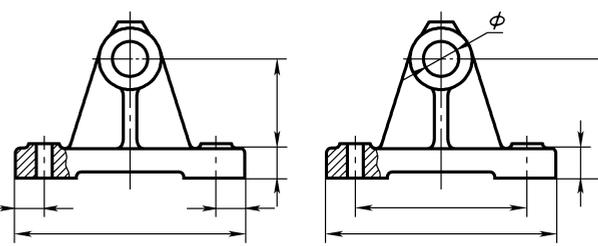
项目	图 例	说 明
设计基准和工艺基准		<p>根据作用的不同,基准分为设计基准和工艺基准</p> <p>设计基准是指用于在零件设计时确定其在机器中的位置所选定的点、线或面。且长、宽和高三个方向都各有一个唯一的设计基准</p> <p>工艺基准是指用于零件在加工过程中装夹定位或测量所依据的点、线、面。工艺基准分为定位基准(零件加工过程中装夹定位所依据的点、线、面)和测量基准(测量、检验零件已加工表面尺寸的起点)</p>
尺寸基准选择原则	<p>基准重合原则:应尽量使主要基准与设计基准和工艺基准重合,工艺基准与设计基准重合;当工艺基准和设计基准不能重合时,首先满足设计要求,即主要尺寸基准与设计基准重合,重要的设计尺寸从设计基准直接标注,次要尺寸可从工艺基准注起</p>	
合理选择尺寸基准		<p>在标注相互关联零件的相关尺寸时,应以同一平面或直线作为尺寸基准,如对称中心面、轴线和结合面等</p>
		<p>在同一方向上,一个加工表面不能作为两个或两个以上非加工面的基准</p>

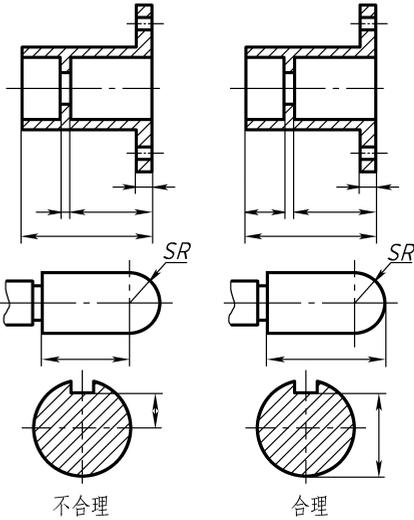
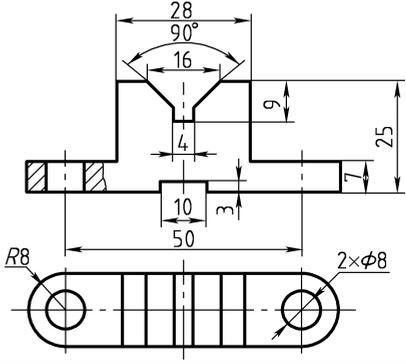
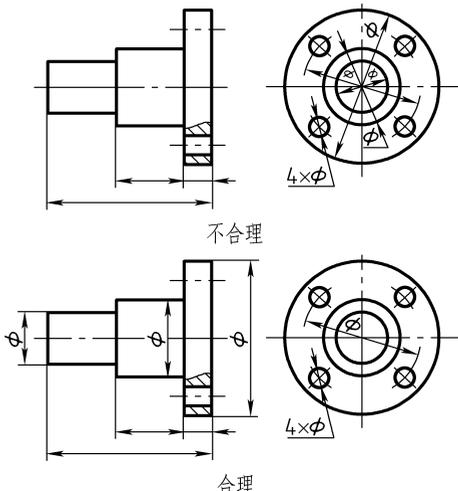
(续)

项目	图 例	说 明
		<p>当轴线间的距离必须保证时，应以轴线作为基准对轴线间的距离进行标注</p>
<p>合理选择尺寸基准</p>		<p>对称的要素应以对称中心面作为基准标注对称尺寸，如图 a 所示；当对称度要求较高时，应标注对称度位置公差，如图 b 所示；当对称度要求很低时，可把某个实际平面作为基准，如图 c 所示</p>

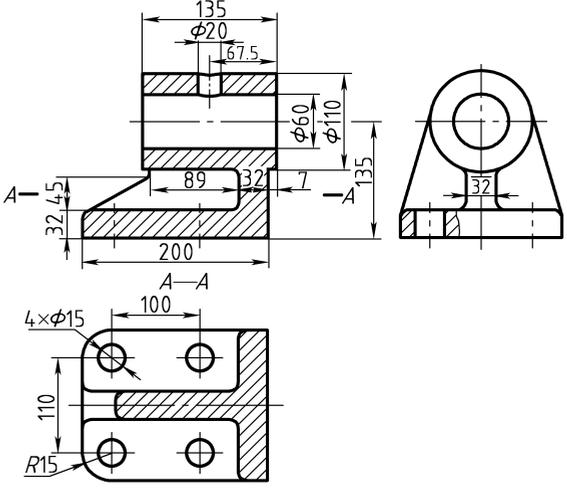
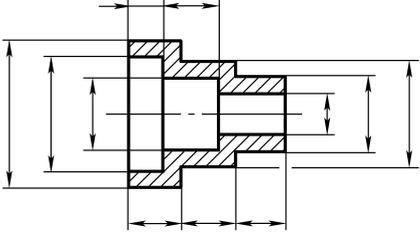
(2) 合理标注零件尺寸的要点 (见表 3-6)

表 3-6 合理标注零件尺寸的要点

要点	图 例	说 明
<p>重要的尺寸应直接注出</p>		<p>零件的重要尺寸是指影响产品性能、工作精度和装配精度的尺寸。为了使零件的重要尺寸不受其他尺寸误差的影响，在零件图中应直接注出，而不能由计算得出</p>

要点	图 例	说 明
<p>要考虑到方便测量</p>	 <p>不合理 合理</p>	<p>要考虑所标注尺寸是否便于测量。另外，为便于检验及设计模具，对于弯曲零件应直接注出其实际表面的尺寸</p>
<p>尺寸尽量清晰布置</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1) 尺寸应该标注在反应形体特征的视图上 2) 应尽量将尺寸布置在视图之外，以免尺寸线、尺寸数字与视图的轮廓线相交 3) 与两视图有关的尺寸，尽量配置在两视图之间
<p>尺寸尽量清晰布置</p>	 <p>不合理 合理</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 几个同轴的回转面的直径尺寸应标注在非圆视图上 2) 当视图内有足够地方能清晰地注写尺寸数字时，也允许注在视图内

(续)

要点	图 例	说 明
尺寸尽量 清晰布置		零件图中的尺寸应尽量集中布置在某几个视图上
		1) 几个平行的尺寸线应按“小尺寸在内，大尺寸在外”的原则布置 2) 内、外形尺寸应尽量分注在视图的两侧

3.2 标准件和常用件的画法

若某种零件的形式、结构、尺寸、材料、加工精度、力学性能、表面处理、验收、标记及画法等内容全部进行了标准化的零件称为标准件；若只对该零件的部分结构及参数进行了标准化、系列化的零件称为常用件。本节主要介绍螺纹结构要素、螺纹紧固件、键、销、滚动轴承、齿轮和弹簧等的表示法。

3.2.1 螺纹

螺纹结构要素在零件中经常被使用，关于螺纹表示法的国家标准为 GB/T 4459.1—1995《机械制图 螺纹及螺纹紧固件表示法》，有关螺纹画法和标注的具体规定见表 3-7。

表 3-7 螺纹的画法和标注

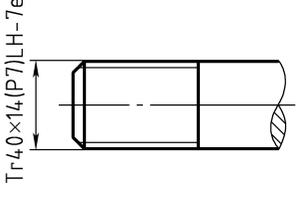
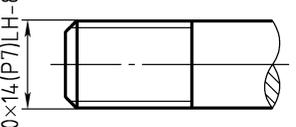
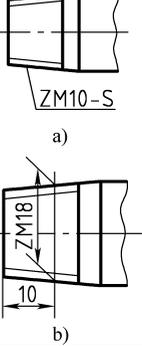
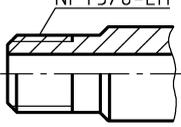
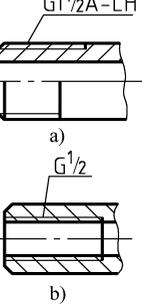
<p style="writing-mode: vertical-rl;">标准外螺纹</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl;">图例</p>	
	<p style="writing-mode: vertical-rl;">规定说明</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 大径（牙顶）用粗实线画出；小径（牙底）用细实线画出，一般小径取 0.85 倍的大径 2) 在平行于螺纹轴线的视图中，小径需画入倒角区内 3) 在垂直于螺纹轴线的视图中，小径用 3/4 的细实线圆表示（空出约 1/4，其位置没有有限定），且倒角的投影圆不画 4) 螺纹长度终止线用粗实线画出，画法如图 a、图 b 和图 c 所示 5) 螺纹收尾只有在有要求时画出，用与轴线夹角成 30° 的细实线表示，如图 c 所示 6) 当画螺纹的剖视图或断面图时，剖面线必须画到大径（粗实线）处，且螺纹终止线画在大、小径之间，如图 b 所示
<p style="writing-mode: vertical-rl;">螺纹的画法</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl;">标准内螺纹</p>	

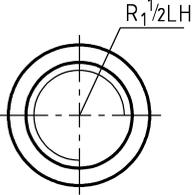
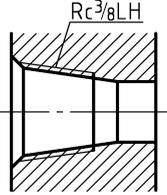
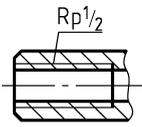
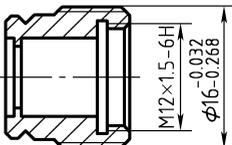
(续)

标准内螺纹	规定说明	<ol style="list-style-type: none"> 1) 大径(牙底)用细实线画出;小径(牙顶)用粗实线画出,一般小径取0.85倍大径 2) 在平行于螺纹轴线的视图中,大径不能画入倒角区内 3) 在垂直于螺纹轴线的视图中,大径用$3/4$的细实线圆表示(空出约$1/4$,其位置没有限定),且倒角投影圆不画 4) 在剖视图或断面图中,螺纹终止线用粗实线画出,画法如图a、图b和图c所示 5) 螺纹收尾只在有要求时用与轴线成30°夹角的细实线表示,如图c和图d所示 6) 当画螺纹的剖视图或断面图时,剖面线必须画到小径(粗实线)处,如图a、图b、图c、图e和图f所示 7) 当为不通的螺孔时,一般应将螺纹孔深度与光孔深度分别画出,光孔深度应比螺孔深$(0.2 \sim 0.5)D$ (D为螺纹大径),钻孔底部的锥顶角画成120° 8) 当画内螺纹的外形视图时,所有图线均按虚线绘出,如图d所示 9) 当螺孔与螺孔或光孔相贯时,相贯线均需绘出,如图e和图f所示
螺纹的画法	图例	
其他螺纹	规定说明	<ol style="list-style-type: none"> 1) 对于梯形螺纹、锯齿形螺纹和非标准螺纹(如矩形螺纹),当表示牙型时,可以用剖视图或局部放大图画出几个牙型,如图a、图b和图c所示 2) 圆锥内螺纹和圆锥外螺纹的画法如图d和图e所示,若螺纹小端在左边,则其左、右视图分别按小端螺纹和大端螺纹绘制

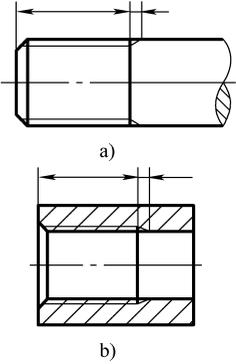
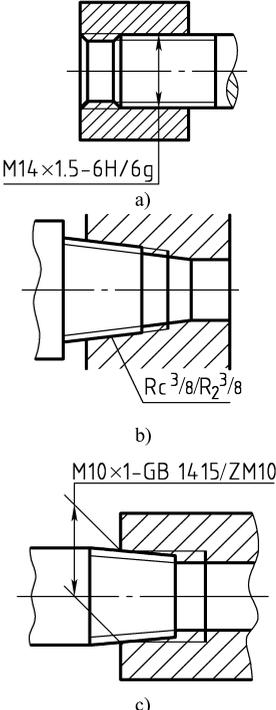
螺纹的画法	内、外螺纹连接画法			
	规定说明		<p>1) 公共的部分(旋合部分)按照外螺纹画,其余部分按内、外螺纹各自原来的画法</p> <p>2) 内、外螺纹的大、小径应相等,作图时应该对齐</p> <p>3) 同一零件在不同视图中的剖面线要保持一致,相邻的不同零件的剖面线应区别开</p>	
螺纹的标注	类别	特征代号	标注示例	说明
	标准螺纹	普通螺纹	M	<p>1) 完整标记形式: 特征代号 公称直径×螺距 旋向-中径公差带代号 顶径公差带代号-旋合长度代号</p> <p>2) 应从大径引出尺寸线标注。其中,公称直径指的是大径;粗牙不标注螺距,细牙应标注螺距;螺纹为多线时,螺距改为:导程(P螺距)</p> <p>3) 右旋不标注旋向,左旋用LH表示;螺纹公差带代号(如6g、6H),字母小写为外螺纹,字母大写为内螺纹,如果中径和顶径的公差带相同,则只注一个代号</p> <p>4) 旋合长度代号有短(S)、中(N)、长(L)三种,一般多采用中等旋合长度,并省略不注,如果采用短或长旋合长度,则应标注代号</p>
	粗牙		<p>M10-5g6g-S</p>	
	细牙		<p>M20x2-6H-LH</p>	

(续)

类别	特征代号	标注示例	说明
标准螺纹 螺纹的标注	梯形螺纹		<p>1) 完整标记形式: 特征代号 公称直径×螺距 旋向-中径公差带代号-旋合长度代号</p> <p>2) 应从大径引出尺寸线标注。其中, 公称直径和螺距、导程和旋向的标记同普通螺纹; 公差带为中径公差带; 旋合长度为中(N)和长(L)两种, 采用中等旋合长度时不需标注</p>
	锯齿形螺纹		标记形式与梯形螺纹相同
	米制锥螺纹		<p>1) 一般应注在引出线上, 引出线应由大径或对称中心处引出, 如图 a 所示; 也可直接标注在从基面处画出的尺寸线上, 如图 b 所示</p> <p>2) 圆锥内螺纹与圆锥外螺纹配合, 圆柱内螺纹与圆锥外螺纹配合</p> <p>3) S 为短基距代号, 标准基距不标注代号 (以下同)</p> <p>4) 也可用国标代号进行标注, 如 M10×1·GB 1415</p>
	60°圆锥管螺纹		<p>1) 管螺纹的标记一律标注在引线上, 引出线应由大径处引出或由对称中心线处引出 (以下同)</p> <p>2) 内、外螺纹均仅有一种公差带, 故不标注公差带代号 (以下同)</p>
	55°非密封管螺纹		外螺纹的公差等级分为 A 级和 B 级两种, 而内螺纹的公差等级只有一种, 不加标记

类别	特征代号	标注示例	说明
标准螺纹 螺纹的标注	圆锥外螺纹		内、外螺纹均仅有一种公差带，故不标注公差带代号
	55°密封管螺纹 圆锥内螺纹		
	圆柱内螺纹		
自攻螺钉用螺纹	ST	自攻螺纹 GB/T 5280—ST3.5	1) 自攻螺钉用螺纹的国家标准为 GB/T 5280—2002 2) 使用时，应先制出螺纹底孔（预制孔）
自攻锁紧螺钉用螺纹（普通粗牙螺纹）	M	GB/T 6559 M5 × 30	使用时，应先制出螺纹底孔（预制孔），示例中的 30 是指螺杆的公称长度
非标准螺纹			非标准的螺纹，应画出螺纹的牙型，并标注出所需要的尺寸及相关要求

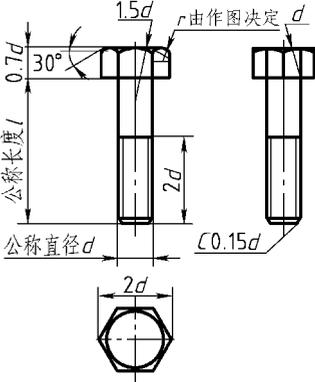
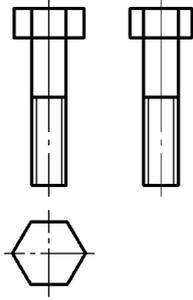
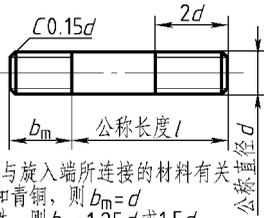
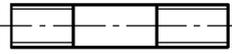
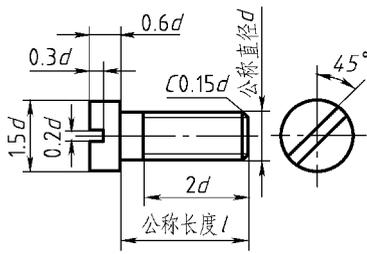
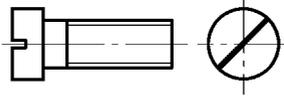
(续)

类别	特征代号	标注示例	说明
螺尾		 <p>a)</p> <p>b)</p>	<p>图样中标注的螺纹长度均是指不包括螺尾在内的有效螺纹长度；否则应另加说明或按实际需要进行标注，如图所示</p>
螺纹副		 <p>$M14 \times 1.5 - 6H/6g$</p> <p>a)</p> <p>b)</p> <p>$Rc \frac{3}{8} / R_2 \frac{3}{8}$</p> <p>c)</p> <p>$M10 \times 1 - GB 1415 / ZM10$</p>	<p>1) 当需要时，可在装配图中标出螺纹副的标记</p> <p>2) 螺纹副标记的标注方法与螺纹标记的标注方法相同。对于米制螺纹，其标记应直接标注在配合处大径的尺寸线上或其引出线上，如图 a 所示；对于管螺纹，其标记应采用引出线由配合部分的大径处引出标注，如图 b 所示；对于米制管螺纹，其标记一般也应采用引出线由配合部分的大径处引出标注，也可直接标注在从基面处画出的尺寸线上，如图 c 所示</p>

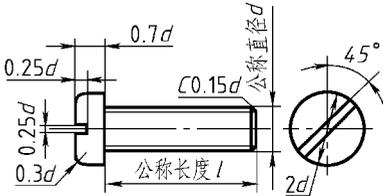
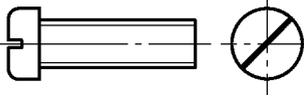
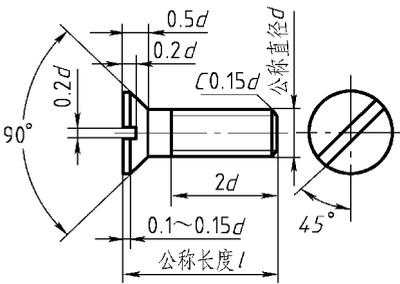
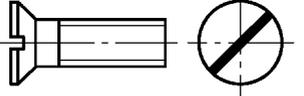
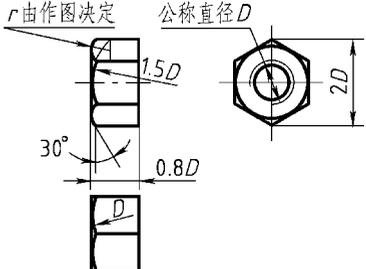
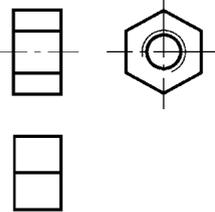
3.2.2 螺纹紧固件

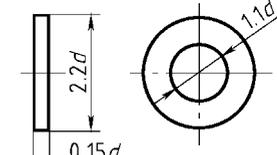
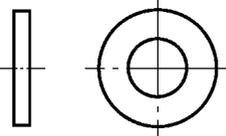
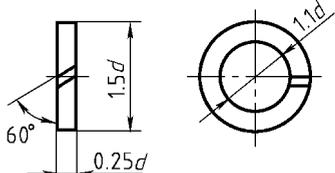
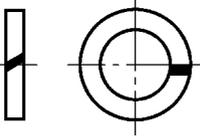
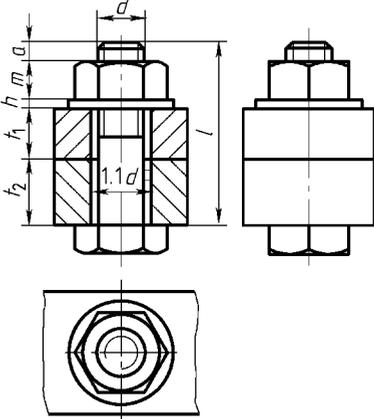
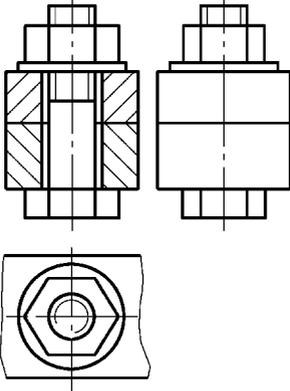
利用一对内、外螺纹来连接或紧固的一些零件，称为螺纹紧固件。常用的螺纹紧固件有螺栓、螺柱、螺钉、螺母和垫圈等。常用的螺纹紧固件及其连接画法见表 3-8。常用螺纹紧固件的标记及说明见表 3-9。

表 3-8 常用螺纹紧固件及其连接画法

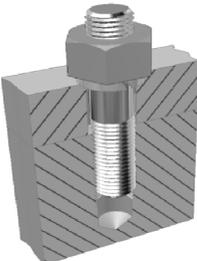
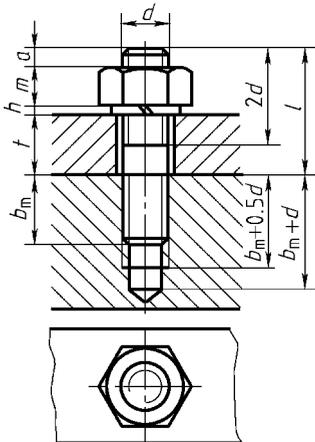
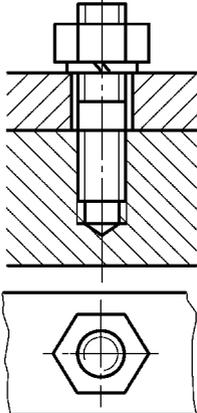
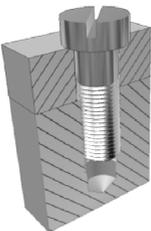
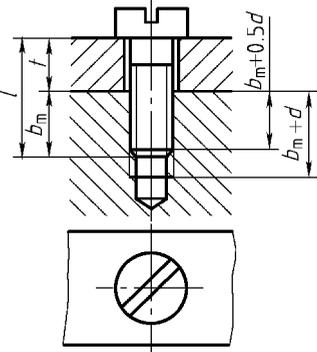
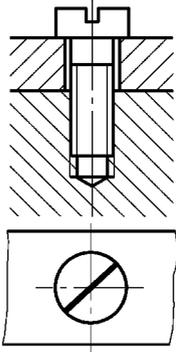
名称	立体图	比例画法	简化画法
六角头螺栓			
双头螺柱		 <p>b_m 的值与旋入端所连接的材料有关 若为钢和青铜，则 $b_m = d$ 若为铸铁，则 $b_m = 1.25d$ 或 $1.5d$ 若为铝合金，则 $b_m = 2d$</p>	
开槽圆柱头螺钉			

(续)

名称	立体图	比例画法	简化画法
开槽盘头螺钉			
开槽沉头螺钉			
六角螺母			

名称	立体图	比例画法	简化画法
平垫圈		 <p>d 为与垫圈配合的紧固件中螺纹要素的公称直径</p>	
弹簧垫圈		 <p>d 为与垫圈配合的紧固件中螺纹要素的公称直径</p>	
螺栓连接			
<p>1) 在装配图中,当剖切平面通过螺栓的轴线时,对于螺栓、螺柱、螺钉、螺母及垫圈等均按未剖切绘制;在简化画法中,螺纹紧固件的工艺结构,如退刀槽、倒角、缩颈和凸肩等均可省略不画(以下同)</p> <p>2) 图中 d 和 l 分别为螺栓的公称直径和公称长度; t_1、t_2 为被连接两零件的厚度; h 为垫圈厚度,取 $0.15d$; m 为螺母厚度,取 $0.8d$; a 为螺栓伸出螺母的长度,取 $(0.2 \sim 0.4)d$,根据实际情况确定</p>			

(续)

名称	立体图	比例画法	简化画法
双头螺柱连接			
<p>1) 在装配图的简化画法中, 不穿通的螺纹孔可不画出钻孔深度, 仅按有效螺纹部分的深度 (不包括螺尾) 画出 (以下同)</p> <p>2) 图中, d 和 l 分别为双头螺柱的公称直径和公称长度; b_m 为旋入端螺纹长度, 由被旋入零件的材料决定; t 为被连接通孔零件的厚度; h 为弹簧垫圈厚度, 取 $0.2d$; m 为螺母厚度, 取 $0.8d$; a 为螺柱伸出螺母的长度, 取 $(0.2 \sim 0.4)d$, 根据实际情况确定</p>			
开槽圆柱头螺钉连接和开槽沉头螺钉连接			

(续)

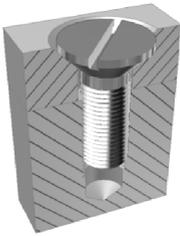
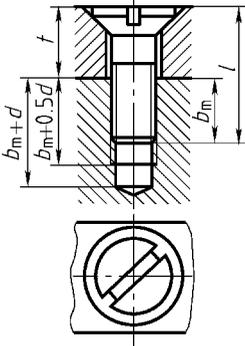
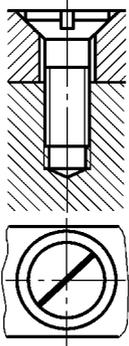
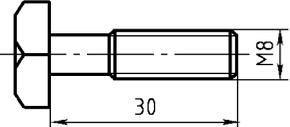
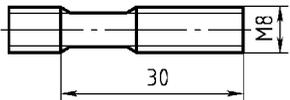
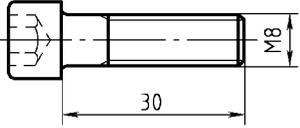
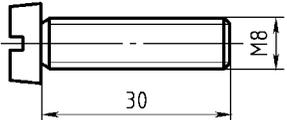
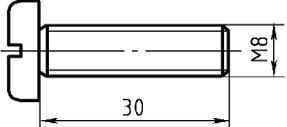
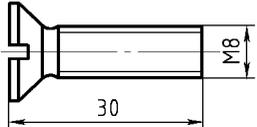
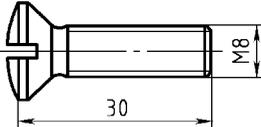
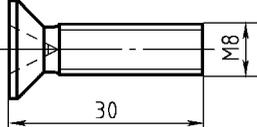
名称	立体图	比例画法	简化画法
开槽圆柱头螺钉连接和开槽沉头螺钉连接			
图中各符号的含义与双头螺柱连接相同			

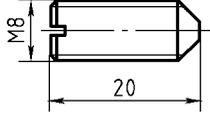
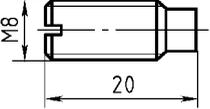
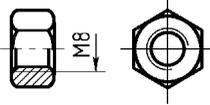
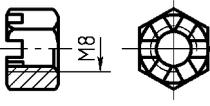
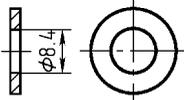
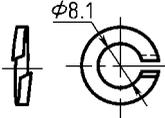
表 3-9 常用螺纹紧固件的标记

标准编号及名称	立体图	视图	标记及说明
GB/T 5782—2000 六角头螺栓			螺栓 GB/T 5782 M8 × 30 表示螺纹规格 $d = M8$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、表面氧化、产品等级为 A 级的六角头螺栓
GB/T 8—1988 方头螺栓 C 级			螺栓 GB/T 8 M8 × 30 表示螺纹规格 $d = M8$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、不经表面处理的方头螺栓
GB/T 898—1988 双头螺柱 $b_m = 1.25d$			螺柱 GB/T 898 M8 × 30 表示两端均为粗牙普通螺纹, $d = M8$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、不经表面处理、B 型、 $b_m = 1.25d$ 的双头螺柱

(续)

标准编号及名称	立体图	视图	标记及说明
GB/T 70.1—2008 内六角圆柱头螺钉			螺钉 GB/T 70.1 M8×30 表示螺纹规格 $d = M8$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、性能等级为 8.8 级、表面氧化的 A 级的内六角圆柱头螺钉
GB/T 65—2000 开槽圆柱头螺钉			螺钉 GB/T 65 M8×30 表示螺纹规格 $d = M8$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、不经表面处理的 A 级的开槽圆柱头螺钉
GB/T 67—2000 开槽盘头螺钉			螺钉 GB/T 67 M8×30 表示螺纹规格 $d = M8$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、不经表面处理的 A 级的开槽盘头螺钉
GB/T 68—2000 开槽沉头螺钉			螺钉 GB/T 68 M8×30 表示螺纹规格 $d = M8$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、不经表面处理的 A 级的开槽沉头螺钉
GB/T 69—2000 开槽半沉头螺钉			螺钉 GB/T 69 M8×30 表示螺纹规格 $d = M8$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、不经表面处理的 A 级的开槽半沉头螺钉
GB/T 819.1—2000 十字槽沉头螺钉			螺栓 GB/T 819.1 M8×30 表示螺纹规格 $d = M8$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、H 型十字槽、不经表面处理的 A 级十字槽沉头螺钉

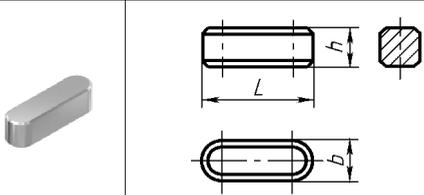
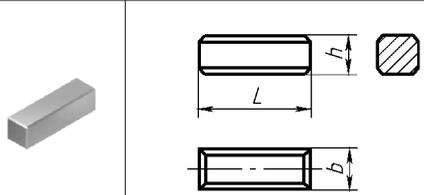
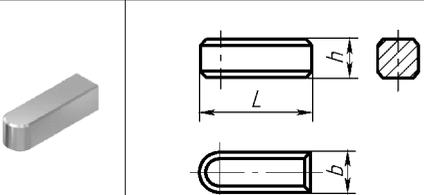
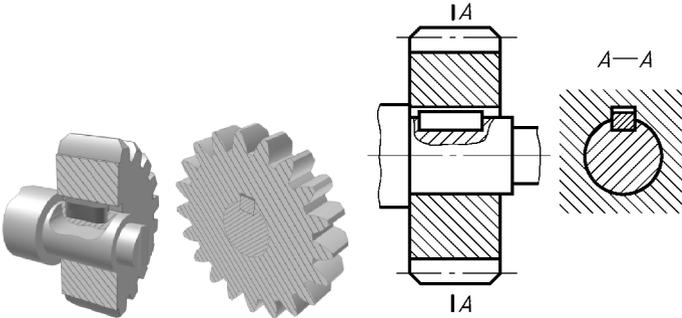
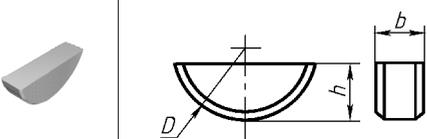
(续)

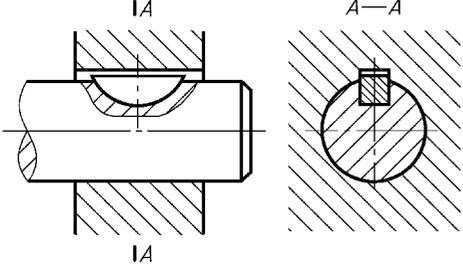
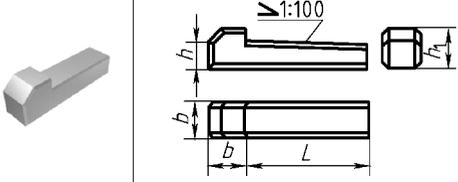
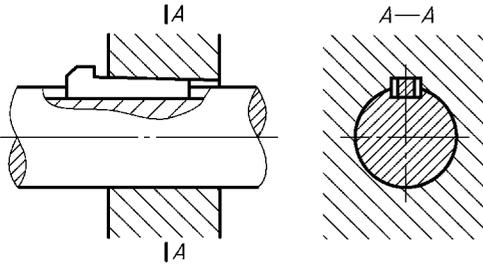
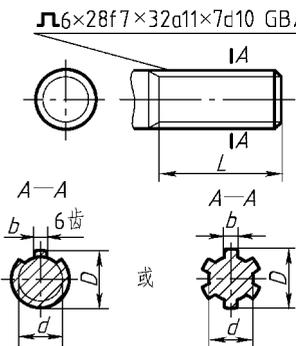
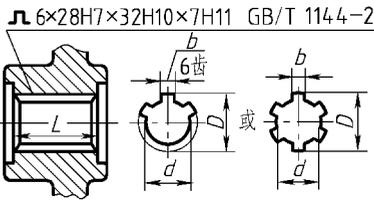
标准编号及名称	立体图	视图	标记及说明
GB/T 71—1985 开槽锥端紧定螺钉			螺钉 GB/T 71 M8×20 表示螺纹规格 $d = M8$ 、公称长度 $l = 20\text{mm}$ 、性能等级为 14H 级、表面氧化的开槽锥端紧定螺钉
GB/T 75—1985 开槽长圆柱端紧定螺钉			螺钉 GB/T 75 M8×20 表示螺纹规格 $d = M8$ 、公称长度 $l = 20\text{mm}$ 、性能等级为 14H 级、表面氧化的开槽长圆柱端紧定螺钉
GB/T 41—2000 六角螺母 C 级			螺母 GB/T 41 M8 表示螺纹规格 $D = M8$ 、性能等级为 5 级、不经表面处理、产品等级为 C 级的六角螺母
GB/T 6179—1986 1 型六角开槽螺母 C 级			螺母 GB/T 6179 M8 表示螺纹规格 $D = M8$ 、性能等级为 5 级、不经表面处理、C 级的 1 型六角开槽螺母
GB/T 97.1—2002 平垫圈 A 级			垫圈 GB/T 97.1 8 表示标准系列、公称规格 8mm、由钢制造的硬度等级为 200HV 级、不经表面处理、产品等级为 A 级的平垫圈
GB/T 93—1987 标准型弹簧垫圈			垫圈 GB/T 93 8 公称规格 8mm、材料为 65Mn、表面氧化的标准型弹簧垫圈

3.2.3 键

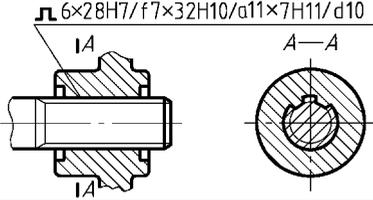
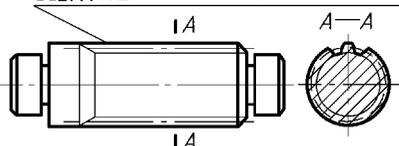
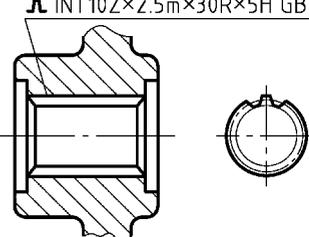
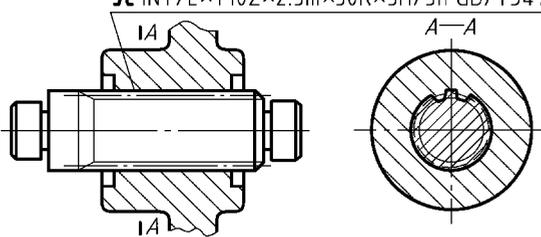
键通常用于将轴与轴上的零件（如带轮和齿轮等）连接在一起，键连接是一种常用的可拆卸连接。关于键的种类、标记、画法及其连接画法见表 3-10。

表 3-10 键的种类、标记、画法及其连接画法

名称及种类		立体图、画法、标记及说明	
GB/T 1096—2003 普通型平键	A 型		GB/T 1096 键 4 × 4 × 14 表示宽度 $b = 4\text{mm}$ 、高度 $h = 4\text{mm}$ 、长度 $L = 14\text{mm}$ 的普通 A 型平键
	B 型		GB/T 1096 键 B4 × 4 × 14 表示宽度 $b = 4\text{mm}$ 、高度 $h = 4\text{mm}$ 、长度 $L = 14\text{mm}$ 的普通 B 型平键
	C 型		GB/T 1096 键 C4 × 4 × 14 表示宽度 $b = 4\text{mm}$ 、高度 $h = 4\text{mm}$ 、长度 $L = 14\text{mm}$ 的普通 C 型平键
	连接画法		
GB/T 1099.1—2003 普通型半圆键	基本形式		GB/T 1096 键 3 × 5 × 13 表示宽度 $b = 3\text{mm}$ 、高度 $h = 5\text{mm}$ 、直径 $D = 13\text{mm}$ 的普通型半圆键

名称及种类	立体图、画法、标记及说明		
GB/T 1099.1—2003 普通型半圆键	连接 画法		
GB/T 1565—2003 钩头楔键	基本 形式		GB/T 1565 键 10×28 表示宽度 $b = 10\text{mm}$ 、 高度 $h = 8\text{mm}$ 、长度 $L = 28\text{mm}$ 的钩头型楔键
GB/T 1565—2003 钩头楔键	连接 画法		
GB/T 1144—2001 矩形花键 (画法国标为: GB/T 4459.3—2001 《机械制图 花键 表示法》)	外 花 键	$\text{JL}6 \times 28\text{f}7 \times 32\text{a}11 \times 7\text{d}10$ GB/T 1144—2001  $\text{JL}6 \times 28\text{f}7 \times 32\text{a}11 \times 7\text{d}10$ GB/T 1144—2001 表示键数 $N = 6$ 、小径 $d = 28\text{mm}$ 、大径 $D = 32\text{mm}$ 、键宽 $B = 7\text{mm}$ 、f7 和 a11 及 d10 为相应公差带代号的矩形外花键	
	内 花 键	$\text{JL}6 \times 28\text{H}7 \times 32\text{H}10 \times 7\text{H}11$ GB/T 1144—2001  $\text{JL}6 \times 28\text{H}7 \times 32\text{H}10 \times 7\text{H}11$ GB/T 1144—2001 表示键数 $N = 6$ 、小径 $d = 28\text{mm}$ 、大径 $D = 32\text{mm}$ 、键宽 $B = 7\text{mm}$ 、H7 和 H10 及 H11 为相应公差带代号的矩形内花键	

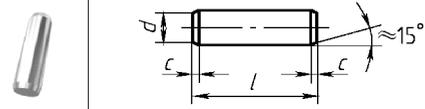
(续)

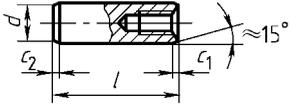
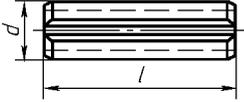
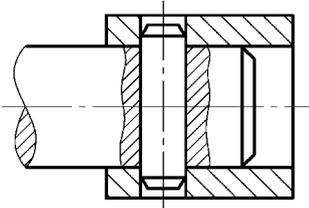
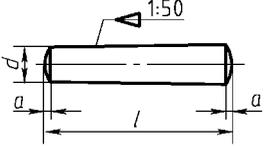
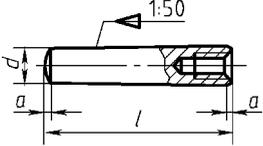
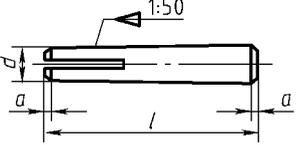
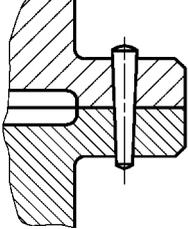
名称及种类		立体图、画法、标记及说明	
GB/T 1144—2001 矩形花键	连接 画法	$\sqrt{\text{L}} 6 \times 28 \text{H}7 / \text{f}7 \times 32 \text{H}10 / \text{d}11 \times 7 \text{H}11 / \text{d}10$ GB/T 1144—2001 	
GB/T 3478.1—2008 渐开线花键	外花键	$\sqrt{\text{L}} \text{EXT}10\text{Z} \times 2.5\text{m} \times 30\text{R} \times 5\text{h}$ GB/T 3478.1—2008 	
	内花键	$\sqrt{\text{L}} \text{INT}10\text{Z} \times 2.5\text{m} \times 30\text{R} \times 5\text{H}$ GB/T 3478.1—2008 	
	连接 画法	$\sqrt{\text{L}} \text{INT}/\text{E} \times \text{T}10\text{Z} \times 2.5\text{m} \times 30\text{R} \times 5\text{H}/5\text{h}$ GB/T 3478.1—2008 	

3.2.4 销

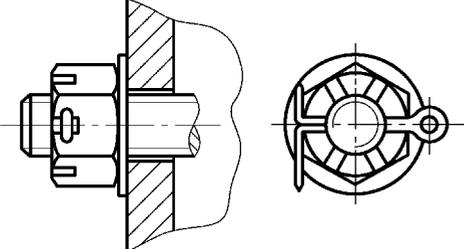
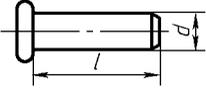
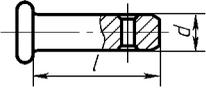
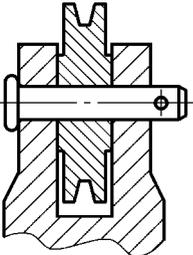
销的用途有：定位，用来固定零件之间的相对位置；连接，用于传递不大的载荷；安全保护，作为安全装置中的过载剪断元件。关于销的种类、标记、画法及其连接画法见表 3-11。

表 3-11 销的种类、标记、画法及其连接画法

名称及种类		立体图、画法、标记及说明	
圆柱销	GB/T 119.1—2000 圆柱销		销 GB/T 119.1 6×20 表示公称直径 $d=6\text{mm}$ 、公称长度 $l=20\text{mm}$ 、材料为钢、不经淬火不经表面处理的圆柱销

名称及种类		立体图、画法、标记及说明	
圆柱销	GB/T 120.1—2000 内螺纹圆柱销		 销 GB/T 120.1 6m6×20 表示公称直径 $d = 6\text{mm}$ 、公差带为 m6、公称长度 $l = 20\text{mm}$ 、材料为钢、不经淬火、不经表面处理的内螺纹圆柱销
	GB/T 879.1—2000 弹性圆柱销		 销 GB/T 879.1 10×30 表示公称直径 $d = 10\text{mm}$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、材料为钢 (St)、热处理硬度 500~560HV30、表面氧化处理、直槽、重型弹性圆柱销
	连接画法		
圆锥销	GB/T 117—2000 圆锥销 (分为 A 型：磨削， B 型：切削或冷锻)		 销 GB/T 117 6×30 表示公称直径 $d = 6\text{mm}$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、材料为 35 钢、热处理硬度 28~38HRC、表面氧化处理的 A 型圆锥销
	GB/T 118—2000 内螺纹圆锥销 (分为 A 型：磨削， B 型：切削或冷锻)		 销 GB/T 118 6×30 表示公称直径 $d = 6\text{mm}$ 、公称长度 $l = 30\text{mm}$ 、材料为 35 钢、热处理硬度 28~38HRC、表面氧化处理的 A 型内螺纹圆锥销
	GB 877—1986 开尾圆锥销		 销 GB 877 6×50 表示公称直径 $d = 6\text{mm}$ 、公称长度 $l = 50\text{mm}$ 、材料为 35 钢、不经热处理及表面处理的开尾圆锥销
	连接画法		

(续)

名称及种类	立体图、画法、标记及说明		
GB/T 91—2000 开口销			销 GB/T 91 5×40 表示公称规格为 5mm、公称长度 $l=40\text{mm}$ 、材料为 Q215 或 Q235、不经表面处理的开口销
开口销 连接画法			
GB/T 882—1986 销轴		A 型  B 型 	销轴 GB 882 B6×18 表示公称直径 $d=6\text{mm}$ 、公称长度 $l=18\text{mm}$ 、材料为 35 钢、热处理硬度 28 ~ 38HRC、表面氧化处理的 B 型销轴
销轴 连接画法			

3.2.5 滚动轴承

滚动轴承主要用于支承旋转轴和轴上的零件，具有摩擦力小和结构紧凑等优点，滚动轴承的规格和形式很多，但结构形式、尺寸及画法均已标准化。有关滚动轴承画法的国家标准为 GB/T 4459.7—1998《机械制图 滚动轴承表示法》，此标准中规定了滚动轴承的三种画法：通用画法、特征画法和规定画法，其中通用画法和特征画法均为简化画法。

关于滚动轴承画法的基本规定见表 3-12；关于滚动轴承的通用画法及说明见

表 3-13; 关于滚动轴承特征画法中结构要素符号见表 3-14; 关于滚动轴承特征画法中结构要素符号的组合见表 3-15; 关于滚动轴承的特征画法和规定画法见表 3-16。

表 3-12 滚动轴承画法的基本规定

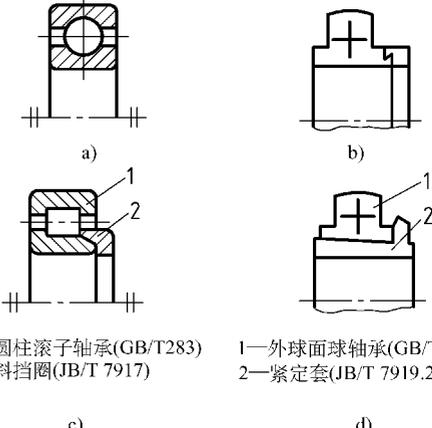
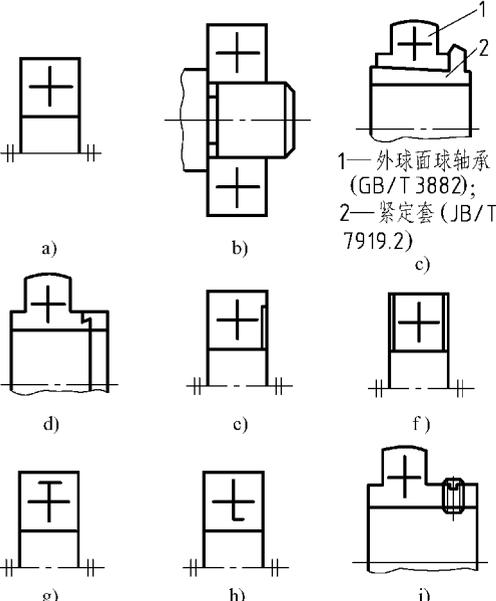
项目	图例及规定说明	
图线	绘制滚动轴承时, 所采用的通用画法、特征画法和规定画法中的各种符号、矩形线框和轮廓线均用粗实线绘制	
尺寸、比例	绘制滚动轴承时, 其矩形线框或外形轮廓的大小应与滚动轴承的外形尺寸一致, 并与所属图样所采用的比例一致	
剖面符号	 <p>1—圆柱滚子轴承(GB/T283) 2—斜挡圈(JB/T 7917)</p> <p>1—外球面球轴承(GB/T 3882) 2—紧定套(JB/T 7919.2)</p>	<p>1) 当在剖视图中采用简化画法绘制滚动轴承时, 一律不画剖面符号</p> <p>2) 当采用规定画法绘制滚动轴承的剖视图时, 轴承的滚动体不画剖面线, 其各套圈等可画成方向和间隔相同的剖面线, 如图 a 所示; 在不致引起误解时允许省略不画, 如图 b 所示</p> <p>3) 当轴承带有其他零件或附件(如紧定套、偏心套和挡圈等)时, 其剖面线应与套圈的剖面线有所区分, 如图 c 所示; 在不致引起误解时也允许省略不画, 如图 d 所示</p>

表 3-13 滚动轴承的通用画法

图 例	规定说明
 <p>1—外球面球轴承(GB/T 3882); 2—紧定套(JB/T 7919.2)</p>	<p>1) 当滚动轴承的剖视图中不需要确切地表示其外形轮廓、载荷特性和结构特征时, 可用矩形线框及位于线框中央正立的十字形符号表示, 且十字符号不应与矩形线框接触, 如图 a 所示</p> <p>2) 通用画法应绘制在轴的两侧, 如图 b 所示</p> <p>3) 当需要确切地表示滚动轴承的外形, 则应画出其剖面的轮廓, 并在轮廓中央画出正立的十字形符号, 且十字符号不应与剖面轮廓线接触, 如图 d 所示</p> <p>4) 当滚动轴承带有附件或零件时, 则这些附件和零件也可只画出其外形轮廓, 如图 c 所示</p> <p>5) 当需要表示滚动轴承的防尘盖和密封圈时, 可分别按图 e 和图 f 方法绘制图 e 为一面带防尘盖, 图 f 为两面带密封圈</p>

(续)

图 例	规定说明
<p style="text-align: center;">j)</p>	<p>6) 当需要表示滚动轴承内圈或外圈有无挡边时,可按图 g 和图 h 的方法在字符号上附加一短画表示内圈或外圈无挡边的方向。图 g 为外圈无挡边,图 h 为内圈有单挡边</p> <p>7) 当在装配图中表达滚动轴承的安装方法,可画出滚动轴承的某些零件,如图 i 所示</p> <p>8) 通用画法的尺寸比例示例如图 j 所示</p> <p>9) 第 2)、4)、5)、6) 和 7) 条也适用于滚动轴承的特征画法</p>

表 3-14 滚动轴承特征画法中结构要素符号

结构要素符号	说 明	应 用
	长的粗实线,根据轴承类型,可以倾斜画出	表示不可调心轴承的滚动体的滚动轴线
	长的粗圆弧线,根据轴承类型,可以倾斜画出	表示可调心轴承的调心表面或滚动体滚动轴线的包络线
<p>短粗实线,与上面两个要素符号相交成 90° 角 (或相交于法线方向),并通过每个滚动体的中心</p> <p>在规定画法中,可用下面符号代替短的粗实线:</p>	<p>短粗实线,与上面两个要素符号相交成 90° 角 (或相交于法线方向),并通过每个滚动体的中心</p> <p>圆</p> <p>宽矩形</p> <p>长矩形</p>	<p>表示滚动体的列数和位置</p> <p>球</p> <p>圆柱滚子</p> <p>长圆柱滚子、滚针</p>

表 3-15 滚动轴承特征画法中结构要素符号的组合

轴承结构特征				轴承承载特性	
两个套圈		三个套圈			
单列	双列	单列	双列		
				不可调心	径向轴承

(续)

轴承结构特征				轴承承载特性	
两个套圈		三个套圈			
单列	双列	单列	双列		
				可调心	径向 轴承
				不可 调心	
				可调心	轴向 轴承
				不可 调心	
				不可 调心	径向 和轴 向轴 承
				可调心	

注：此表中只画出了滚动轴承轴线一侧的部分（以下同）。

表 3-16 滚动轴承的特征画法和规定画法

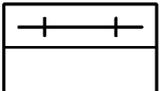
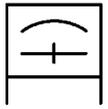
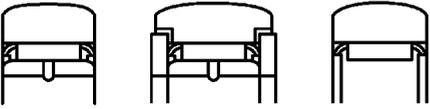
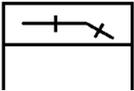
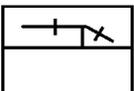
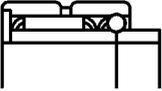
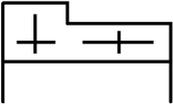
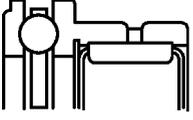
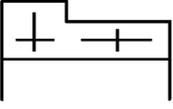
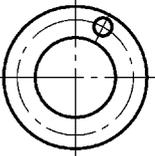
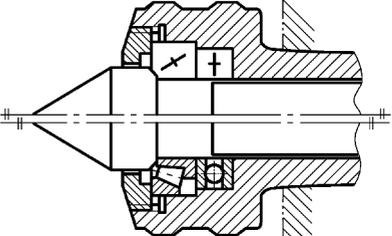
种类	特征画法	立体图及规定画法	
		球轴承	滚子轴承
球 轴 承 和 滚 子 轴 承		 GB/T 276	 GB/T 283
			 GB/T 285

(续)

种类	特征画法	立体图及规定画法	
		球轴承	滚子轴承
球轴承和滚子轴承		 GB/T 281	 GB/T 288
		 GB/T 292	 GB/T 297
		 GB/T 294 (三点接触)	—
		 GB/T 294 (四点接触)	—
		 GB/T 296	—
		 GB/T 296	 GB/T 299
推力轴承		 GB/T 301	 GB/T 4663 JB/T 7915

种类	特征画法	立体图及规定画法	
		球轴承	滚子轴承
推力轴承		 GB/T 301	—
		 JB/T 6362	—
		 GB/T 301	—
		 GB/T 301	—
		—	 GB/T 5859
滚针轴承		 GB/T 5801 JB/T 3588	 GB/T 290 JB/T 7918

(续)

种类	特征画法	立体图及规定画法
滚针轴承		 GB/T 5801 GB/T 5801 JB/T 7918
		 GB/T 6445.1
组合轴承		 JB/T 3123
		 JB/T 3123
		 JB/T 3122
		 GB/T 16643
其他规定		<p>滚动轴承在垂直于轴线的投影面视图中, 无论滚动体的形状(球、柱、针等)及尺寸如何均可按左图的方法绘制</p>
在装配图中的画法		<ol style="list-style-type: none"> 1) 左图上半部分为特征画法, 下半部分为规定画法 2) 在装配图中滚动轴承的保持架和倒角均可省略

3.2.6 齿轮

齿轮的作用主要是传递动力、改变转速和改变转向，应用范围十分广泛。根据两啮合齿轮轴线在空间的相对位置不同，齿轮传动可分为圆柱齿轮传动、圆锥齿轮传动、蜗杆蜗轮传动和齿轮齿条传动。有关齿轮画法的国家标准为 GB/T 4459.2—2003 《机械制图 齿轮表示法》。关于齿轮参数及画法的规定见表 3-17。

表 3-17 齿轮的参数及画法

项目	内容及图例			说明
模数 m	第 I 系列	1 1.25 1.5 2 2.5 3 4 5 6 8 10 12 16 20 25 32 40 50		1) 此模数系列摘自 GB 1357—2008 《通用机械和重型机械用圆柱齿轮 模数》 2) 模数 m 单位为 mm，选取时，优先采用第一系列，括号内的模数尽可能不用 3) 对于斜齿轮，指的是法向模数
	第 II 系列	1.125 1.375 1.75 2.25 2.75 3.5 3.75 4.5 5.5 (6.5) 7 9 11 14 18 22 28 36 45		
渐开线圆柱齿轮参数计算 圆柱齿轮和齿条	参数	直齿	斜齿	m 为模数； m_n 为法向模数； h_a^* 为齿顶高系数，标准值取 $h_a^* = 1$ ； c^* 为顶隙系数，标准值取 $c^* = 0.25$ ； z 为齿数； β 为螺旋角
	齿顶高 h_a	$h_a = h_a^* m$	$h_a = h_a^* m_n$	
	齿根高 h_f	$h_f = (h_a^* + c^*) m$	$h_f = (h_a^* + c^*) m_n$	
	齿高 h	$h = h_a + h_f$	$h = h_a + h_f$	
	分度圆直径 d	$d = mz$	$d = m_n z / \cos\beta$	
	齿顶圆直径 d_a	$d_a = d + 2h_a$	$d_a = d + 2h_a$	
	齿根圆直径 d_f	$d_f = d - 2h_f$	$d_f = d - 2h_f$	
	齿距 p	$p = \pi m$		
	压力角 α	我国标准值取 $\alpha = 20^\circ$		
中心距 a	$a = (d_1 + d_2) / 2$	$a = (d_1 + d_2) / 2$		
圆柱齿轮画法				1) 齿顶圆和齿顶线用粗实线绘制；分度圆和分度线用点画线绘制 2) 在外形图中，齿根圆和齿根线用细实线绘制，也可省略不画；在剖视图中，轮齿一律按照不剖处理，齿顶线和齿根线用粗实线绘制，齿根线不可省略 3) 如果轮齿为斜齿或人字齿时，需用三条与齿线方向相同的细实线表示齿向

(续)

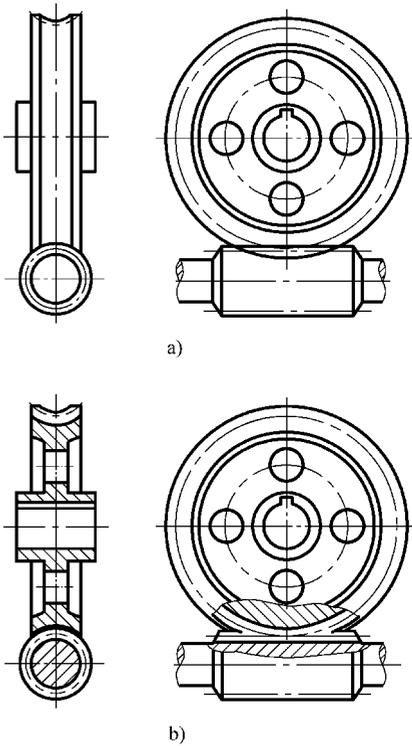
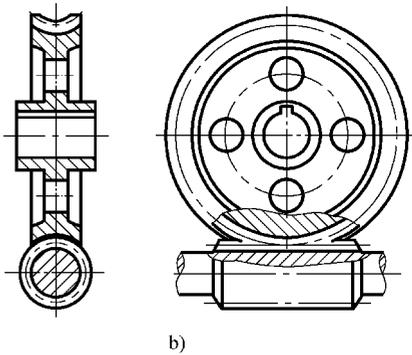
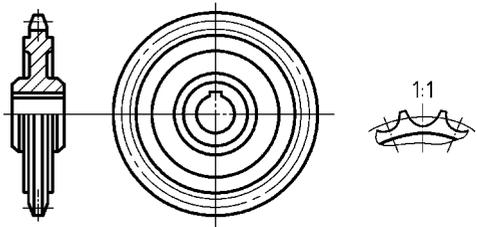
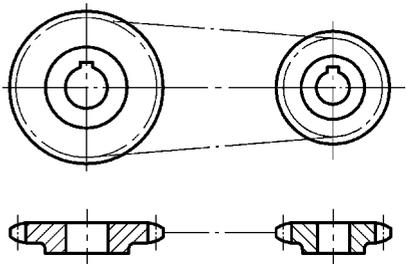
项目	内容及图例	说明														
齿条画法		<p>一般在反映齿形轮廓的视图中画出几个齿形, 如果齿条上有齿的部分为一定长度, 则在相应的视图中用粗实线表明有齿部分的起止位置</p>														
圆柱齿轮啮合画法	<p>啮合区内有五条线, 从上到下分别为: 上齿轮的齿根(粗实线)、下齿轮的齿顶(粗实线)、上下齿轮重合的分度线(点画线)、上齿轮的齿顶线(虚线)、下齿轮的齿根线(粗实线)。</p>	<p>1) 在剖视图中, 当剖切面通过两啮合齿轮的轴线时, 则在啮合区内的一个齿轮的轮齿用粗实线绘制, 另一个齿轮的轮齿被遮挡部分用虚线绘制, 也可省略</p> <p>2) 在轴向视图中, 啮合区内的齿顶圆可省略不画</p> <p>3) 在外形视图中, 啮合区的节线用粗实线绘制</p>														
齿轮齿条啮合画法		<p>1) 齿轮的分度圆和齿条的基准线相切</p> <p>2) 在剖视图中, 齿条被遮挡的部分一般省略不画</p>														
模数 m	<p>0.1 0.12 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 1.125 1.25 1.375 1.5 1.75 2 2.25 2.5 2.75 3 3.25 3.5 3.75 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 8 9 10 11 12 14 16 18 20 22 25 28 30 32 36 40 45 50</p>	<p>1) 此模数系列摘自 GB 12368—1990 《锥齿轮模数》</p> <p>2) 锥齿轮模数指的是大端端面模数, 代号为 m, 单位为 mm</p>														
圆锥齿轮参数计算	<table border="1"> <thead> <tr> <th>参数</th> <th>值</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>压力角 α</td> <td>$\alpha = 20^\circ$</td> </tr> <tr> <td>分度圆直径 d</td> <td>$d_1 = mz_1 \quad d_2 = mz_2$</td> </tr> <tr> <td>齿顶高 h_a</td> <td>$h_a = m$</td> </tr> <tr> <td>齿根高 h_f</td> <td>$h_f = 1.2m$</td> </tr> <tr> <td>齿高 h</td> <td>$h = h_a + h_f$</td> </tr> <tr> <td>齿顶圆直径 d_a</td> <td>$d_a = m(z + 2\cos\delta)$</td> </tr> </tbody> </table>	参数	值	压力角 α	$\alpha = 20^\circ$	分度圆直径 d	$d_1 = mz_1 \quad d_2 = mz_2$	齿顶高 h_a	$h_a = m$	齿根高 h_f	$h_f = 1.2m$	齿高 h	$h = h_a + h_f$	齿顶圆直径 d_a	$d_a = m(z + 2\cos\delta)$	<p>模数 m 以大端模数为标准模数; z 为齿数; b 为齿宽</p> <p>θ_a 为齿顶角; θ_f 为齿根角; 表中参数是按两齿轮轴线夹角 $\delta = 90^\circ$ 计算</p>
参数	值															
压力角 α	$\alpha = 20^\circ$															
分度圆直径 d	$d_1 = mz_1 \quad d_2 = mz_2$															
齿顶高 h_a	$h_a = m$															
齿根高 h_f	$h_f = 1.2m$															
齿高 h	$h = h_a + h_f$															
齿顶圆直径 d_a	$d_a = m(z + 2\cos\delta)$															

(续)

项目	内容及图例		说明						
参数计算	参数	值	模数 m 以大端模数为标准模数; z 为齿数; b 为齿宽 θ_a 为齿顶角; θ_f 为齿根角; 表中参数是按两齿轮轴线夹角 $\delta = 90^\circ$ 计算						
	齿根圆直径 d_f	$d_f = m(z - 2.4 \cos \delta)$							
	分锥角 δ	$\tan \delta_1 = z_1 / z_2 \quad \delta_2 = 90^\circ - \delta_1$							
	顶锥角 δ_a	$\delta_a = \delta + \theta_a$							
	根锥角 δ_f	$\delta_f = \delta - \theta_f$							
圆锥齿轮			1) 齿顶线、剖视图中的齿根线以及大、小端的齿顶圆用粗实线绘制, 分度圆和大端的分度圆用点画线绘制, 齿根圆及小端分度圆均不画出 2) 画图时, 首先应根据模数 m 、齿数 z_1 及其配对齿轮齿数 z_2 计算出分锥角 δ 及其他参数, 画出轮齿部分, 然后再按结构尺寸画出整个齿轮						
			1) 两圆锥齿轮啮合区内的画法与两圆柱齿轮啮合区画法相同 2) 在轴向视图中, 一齿轮的大端分度线应与其配对齿轮的大端分度圆相切 3) 当为斜锥齿轮时, 可用三条与齿线方向相同的细实线表示齿向						
蜗轮和蜗杆	模数 m 和蜗杆直径系数 q	m	1	1.25	1.6	2	2.5	1) 此模数与直径系数系列摘自 GB/T 10088—1988《圆柱蜗杆模数和直径》 2) 模数代号为 m , 单位为 mm	
		q	18	16	12.5	11.2	9		8.96
		m	3.15	4	5	6.3	8		11.2
		q	8.889	7.875	8	7.936	7.875		14.2
		q	11.27	10	10	10	10		17.5
		q	14.286	12.5	12.6	12.698	12.5		18
		q	17.778	17.75	18	17.778	17.5		17.75
		m	10	12.5	16	20	25		17.5
		q	7.1	7.2	7	7	7.2		17.5
		q	9	8.96	8.75	8	8		17.5
		q	11.2	11.2	11.25	11.2	11.2		17.5
		q	16	16	15.625	15.75	16		17.5

(续)

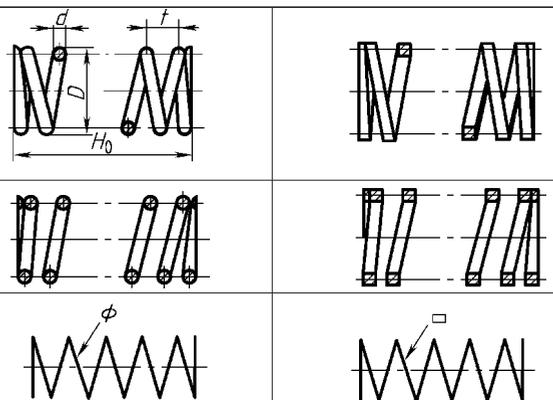
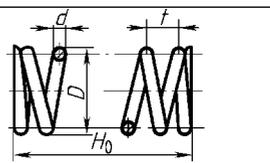
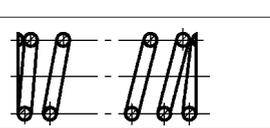
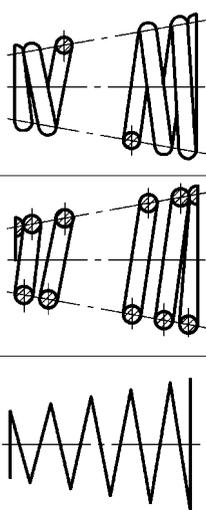
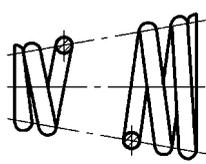
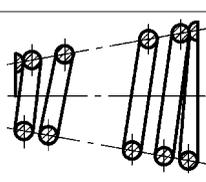
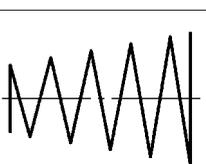
项目	内容及图例	说明	
参数计算	蜗杆轴向模数 m_x	$m_x = m$	模数 m 的国家标准为 GB/T 10088—1988 《圆柱蜗杆模数和直径》； z_1 和 z_2 分别为蜗杆和蜗轮的齿数； c^* 为顶隙系数，标准值 $c = 0.2m$ ； h_a^* 为齿顶高系数，标准值 $h_a = m$ ； α_x 为轴向齿形角， α_n 为法向齿形角； x_2 为蜗轮变位系数，其国标为 GB/T 10085—1988 《圆柱蜗杆传动基本参数》； b_2 为蜗轮齿宽
	蜗杆轴向齿距 p_x	$p_x = \pi m$	
	蜗杆导程角 γ	$\tan \gamma = m z_1 / d_1$	
	蜗杆直径系数 q	$q = z_1 / \tan \gamma$	
	顶隙 c	$c = c^* m$	
	蜗杆分度圆直径 d_1	$d_1 = m q$	
	蜗杆齿顶高 h_{a1}	$h_{a1} = h_a^* m$	
	蜗杆齿根高 h_{f1}	$h_{f1} = h_{a1} + c = 1.2m$	
	蜗杆齿顶圆直径 d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} = d_1 + 2h_a^* m$	
	蜗杆齿根圆直径 d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1} = d_1 - 2(h_a^* m + c)$	
	蜗杆导程 p_z	$p_z = \pi m z_1$	
	压力角 α	$\alpha_x = 20^\circ$ 或 $\alpha_n = 20^\circ$	
	蜗轮分度圆直径 d_2	$d_2 = m z_2 = 2a - d_1 - 2x_2 m$	
	蜗轮齿顶高 h_{a2}	$h_{a2} = m(h_a^* + x_2)$	
	蜗轮齿根高 h_{f2}	$h_{f2} = m(h_a^* - x_2 + c^*)$	
蜗轮喉圆直径 d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}$		
蜗轮齿根圆直径 d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}$		
蜗轮齿宽角 θ	$\theta = 2\arcsin(b_2/d_1)$		
中心距 a	$a = (d_1 + d_2 + 2x_2 m)/2$		
单个蜗轮、蜗杆画法		<p>1) 图 a 为单个蜗杆画法，图 b 为单个蜗轮画法</p> <p>2) 蜗杆齿形尺寸以轴向断面上的尺寸为准，分度圆、分度线用点画线绘制；齿顶线和齿顶圆用粗实线绘制；齿根圆、齿根线用细实线绘制，也可省略不画</p> <p>3) 蜗轮齿形尺寸以垂直蜗轮轴线的中间平面为准，主视图一般画成全剖，其轮齿为圆弧形，分度圆用点画线绘制；喉圆和齿根圆用粗实线绘制，r_{g2} 为咽喉母圆半径</p>	

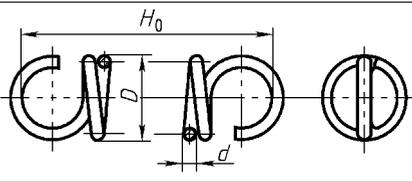
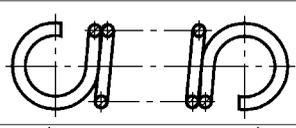
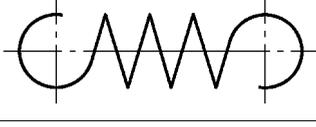
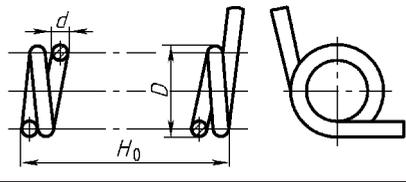
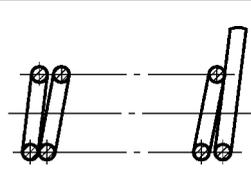
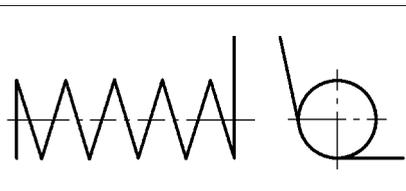
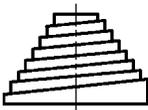
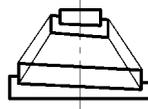
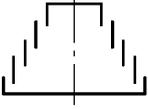
项目	内容及图例	说明
蜗轮蜗杆啮合画法 蜗轮和蜗杆	 <p style="text-align: center;">a)</p>  <p style="text-align: center;">b)</p>	<p>1) 图 a 为外形图画法, 图 b 为剖视图画法</p> <p>2) 剖视图画法中, 在蜗杆投影为圆的视图中, 蜗杆与蜗轮的啮合部分只画蜗杆不画蜗轮。在蜗轮投影为圆的视图中, 蜗杆的分度线与蜗轮的分度线相切, 且一般采用局部剖视图表达</p>
标准齿形链轮画法 链轮	 <p style="text-align: right;">1:1</p>	<p>1) 标准齿形链轮的画法与齿轮的规定画法相同</p> <p>2) 若需表示齿形, 可在图形中用粗实线画出一个或两个齿, 或用适当比例的局部放大图表示</p>
链轮传动画法		<p>链轮传动可采用简化画法, 用细点画线代表链条</p>

3.2.7 弹簧

弹簧的主要作用有：控制机构的位置和运动、缓冲及吸振、储存能量以及测量力和力矩。按性质不同弹簧可分为压缩弹簧、拉伸弹簧、扭转弹簧和弯曲弹簧；按外形可分为螺旋弹簧、碟形弹簧、涡卷弹簧、板弹簧和片弹簧等。有关弹簧画法的国家标准为 GB/T 4459.4—2003 《机械制图 弹簧表示法》。关于弹簧画法的规定见表 3-18。

表 3-18 弹簧的画法

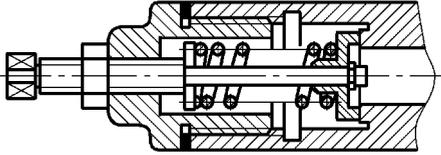
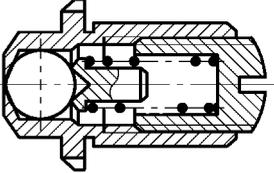
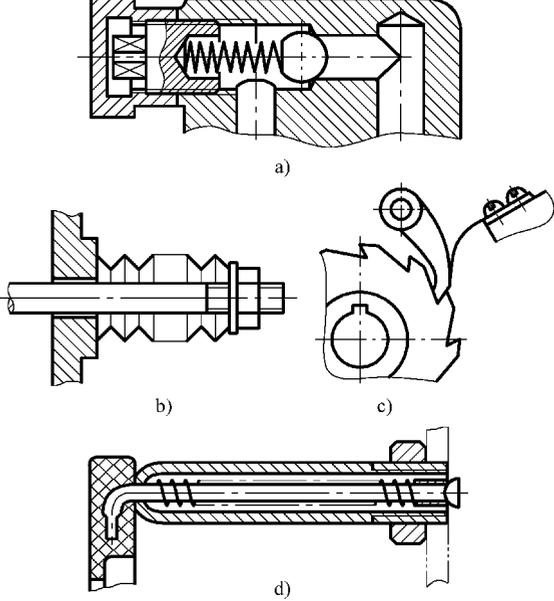
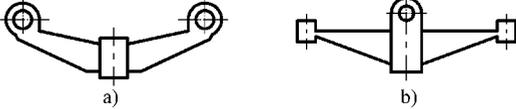
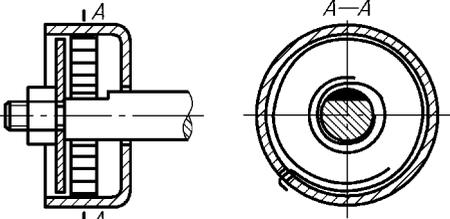
种类	内容及图例		说 明
基本规定	1) 在平行于螺旋弹簧轴线的投影面的视图中，螺旋弹簧各圈的轮廓应画成直线 2) 螺旋弹簧均可按右旋画，对必须保证的旋向要求应该在“技术要求”中注明 3) 对于有效圈数在四圈以上的螺旋弹簧，其中间部分可以省略。圆柱螺旋弹簧中间部分省略后，允许适当缩短图形的长度		
螺旋弹簧	圆柱螺旋压缩弹簧		1) 图中 d 为簧丝直径； t 为节距； H_0 为弹簧自由高度 2) 如要求螺旋压缩弹簧两端并紧且磨平时，不论支承圈的圈数多少和末端贴紧情况如何，均按左图形式绘制；必要时也可按支承圈的实际结构绘制
	视图		
	剖视图		
截锥螺旋压缩弹簧			
视图			
剖视图			
示意图			

种类	内容及图例			说明
螺旋弹簧	圆柱螺旋拉伸弹簧	视图		<p>图中 d 为簧丝直径；H_0 为弹簧自由高度</p>
		剖视图		
		示意图		
	圆柱螺旋扭转弹簧	视图		
		剖视图		
		示意图		
截锥涡卷弹簧	视图		<p>截锥涡卷弹簧是用带材制成的截锥螺旋弹簧，当有效圈数为4圈以上时，中间部分可以省略，而用细实线相连</p>	
	剖视图			
	示意图			

(续)

项目	内容及图例			说明	
碟形弹簧	视图				<p>1) 图中 d 内径; D 为外径; H_0 为单个碟簧的自由高度</p> <p>2) 碟形弹簧是承受轴向负荷的弹簧, 可以单个使用, 也可对合组合、叠合组合成碟簧组使用, 画法如左图所示</p>
	剖视图				
	示意图				
平面涡卷弹簧	视图				<p>平面涡卷弹簧是由薄的扁钢带绕成涡线形式, 常用于仪表和钟表机构上, 如发条等, 其画法如左图所示</p>
	示意图				
板弹簧	视图				<p>弓形板弹簧由多个零件组成, 其画法如左图所示</p>

(续)

项目	内容及图例	说明
弹簧在装配图中的画法		<p>弹簧中间各圈可以省略, 被挡住的结构一般不画, 并且可见部分从弹簧的外轮廓线或从弹簧钢丝剖面的中心线画起</p>
		<p>弹簧被剖切时, 可以仅仅画出簧丝剖面, 如果簧丝直径 $\leq 2\text{mm}$, 则剖面可采用涂黑表示</p>
		<p>1) 型材尺寸较小 (直径或厚度在图形上 $\leq 2\text{mm}$) 的螺旋弹簧 (图 a)、碟形弹簧 (图 b) 和片弹簧 (图 c) 允许用示意图表示</p> <p>2) 四层以上的碟形弹簧, 中间部分省略后用细实线画出轮廓范围, 如图 b 所示</p> <p>3) 被剖切弹簧的截面尺寸在图形上 $\leq 2\text{mm}$, 并且弹簧内部还有零件, 为了便于表达可以用示意图表示, 如图 d 所示</p>
		<p>板弹簧允许只画出外形轮廓, 如左图所示</p>
		<p>装配图中的平面涡卷弹簧常用示意图画法表示, 并且只画出首尾两端, 如左图所示</p>

3.3 装配图

3.3.1 装配图的作用和内容

装配图是表达机器或部件的图样，是用来表达机器或部件的工作原理以及零、部件间的装配和连接关系，是机械设计和生产中的重要技术文件。在产品设计中，一般先根据产品的工作原理画出装配图，然后再根据装配图进行零件设计并画出零件图；在产品制造中，装配图是制订装配工艺规程，进行装配和检验的技术依据；在机器使用和维修时，也需要通过装配图来了解机器的工作原理和构造。有关装配图的内容及要求见表 3-19。

表 3-19 装配图的内容及要求

图 例																																																																																																																																													
	<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>GB/T 68—2000</td> <td>螺母</td> <td>4</td> <td>35</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> <td>螺栓</td> <td>1</td> <td>Q275</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td>螺母</td> <td>1</td> <td>4.5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td>衬套</td> <td>1</td> <td>HT 200</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td>衬口座</td> <td>2</td> <td>65Mn</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>螺母</td> <td>1</td> <td>Q235</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>法兰轴口</td> <td>1</td> <td>HT 200</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>GB/T 97.1—2002</td> <td>垫圈10</td> <td>1</td> <td>35</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>GB/T 6170—2000</td> <td>螺母M10</td> <td>1</td> <td>Q235</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>GB/T 91—2000</td> <td>销 3.2x16</td> <td>1</td> <td>低碳钢</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>序号</td> <td>代号</td> <td>名称</td> <td>数量</td> <td>材料</td> <td>零件设计 原图</td> <td>备注</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td colspan="2">【材料标记】</td> <td colspan="3">【单位名称】</td> </tr> <tr> <td colspan="5"> 原图比例: 分式 原图比例: 分数 放大(缩小) 1:1 同原图(按原图) </td> <td colspan="2"> 阶段标记: 签字 比例 </td> <td colspan="3">平虎钳</td> </tr> <tr> <td colspan="5"> 审核: _____ 日期: _____ 工艺: _____ </td> <td colspan="2">共 张 第 张</td> <td colspan="3"> (图样代号) </td> </tr> </table>		10	GB/T 68—2000	螺母	4	35						9		螺栓	1	Q275						8		螺母	1	4.5						7		衬套	1	HT 200						6		衬口座	2	65Mn						5		螺母	1	Q235						4		法兰轴口	1	HT 200						3	GB/T 97.1—2002	垫圈10	1	35						2	GB/T 6170—2000	螺母M10	1	Q235						1	GB/T 91—2000	销 3.2x16	1	低碳钢						序号	代号	名称	数量	材料	零件设计 原图	备注									【材料标记】		【单位名称】			原图比例: 分式 原图比例: 分数 放大(缩小) 1:1 同原图(按原图)					阶段标记: 签字 比例		平虎钳			审核: _____ 日期: _____ 工艺: _____					共 张 第 张		(图样代号)	
10	GB/T 68—2000	螺母	4	35																																																																																																																																									
9		螺栓	1	Q275																																																																																																																																									
8		螺母	1	4.5																																																																																																																																									
7		衬套	1	HT 200																																																																																																																																									
6		衬口座	2	65Mn																																																																																																																																									
5		螺母	1	Q235																																																																																																																																									
4		法兰轴口	1	HT 200																																																																																																																																									
3	GB/T 97.1—2002	垫圈10	1	35																																																																																																																																									
2	GB/T 6170—2000	螺母M10	1	Q235																																																																																																																																									
1	GB/T 91—2000	销 3.2x16	1	低碳钢																																																																																																																																									
序号	代号	名称	数量	材料	零件设计 原图	备注																																																																																																																																							
					【材料标记】		【单位名称】																																																																																																																																						
原图比例: 分式 原图比例: 分数 放大(缩小) 1:1 同原图(按原图)					阶段标记: 签字 比例		平虎钳																																																																																																																																						
审核: _____ 日期: _____ 工艺: _____					共 张 第 张		(图样代号)																																																																																																																																						
内 容	1) 以一组视图正确、完整、清晰地表达装配体的工作原理、零件的结构形状及零件之间的装配关系表达清楚 2) 可以采用前面介绍的所有表达方法，如视图、剖视图、断面图等，且各视图的表达方法应遵守 GB/T 17451—1998《技术制图 图样画法 视图》、GB/T 17452—1998《技术制图 图样画法 剖视图和断面图》、GB/T 4458.1—2002《机械制图 图样画法 视图》、GB/T 4458.2—2002《机械制图 图样画法 剖视图和断面图》和 GB/T 16675.1—1996《技术制图 简化表示法 第1部分：图样画法》等国标规定 3) 同时要遵守装配图的特殊画法和规定画法，具体见 3.3.3 节的装配图的表达方法																																																																																																																																												
	必要的尺寸 1) 装配图中必要的尺寸有：反映该部件或机器的规格和工作性能的规格尺寸或性能尺寸；表示零件间的装配关系和重要的相对位置，用以保证部件或机器的工作精度和性能要求的装配尺寸；表示部件或机器的总长、总宽和总高的外形尺寸；将部件或机器安装到其他部件、机器或地基上所需要的安装尺寸；装配时的加工尺寸、设计时的计算尺寸、运动零件的极限位置尺寸等其他重要尺寸																																																																																																																																												

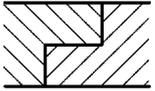
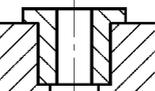
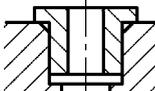
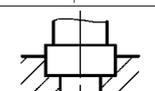
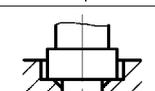
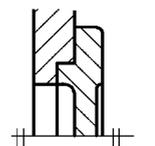
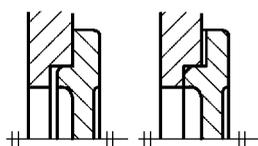
(续)

内容	必要的尺寸	2) 所标注的尺寸要遵守 GB/T 4458.4—2003 《机械制图 尺寸注法》、GB/T 16675.2—1996 《技术制图 简化画法 第2部分: 尺寸注法》和 GB/T 4458.5—2003 《机械制图 尺寸公差与配合注法》等国标规定
	技术要求	1) 技术要求以文字或符号的形式说明机器或部件的性能、装配和调整要求、验收条件、试验和使用规则 2) 要遵守 GB/T 4458.5—2003 《机械制图 尺寸公差与配合注法》和 GB/T 1182—2008 《产品几何技术规范 (GPS) 几何公差 形状、方向、位置和跳动公差标注》等国标规定
	零、部件序号及明细栏	1) 装配图中应对每个不同零件或部件用引出线引出编注一个序号或代号。机器或部件中全部零、部件的详细目录用明细栏表示。明细栏一般画在标题栏的上方, 明细栏中的零件序号由下往上按顺序填写, 若上方位置不够时, 可移一部分紧靠标题栏左边继续填写, 明细栏中零件序号应与装配图中的编写序号完全一致 2) 编注时应遵守 GB/T 4458.5—2003 《机械制图 装配图中零、部件序号及其编排方法》
	标题栏	1) 一般位于零件图读图方向的右下角, 其中写明零件的名称、数量、材料、比例、图号以及设计、制图、校核人员签名和绘图日期等 2) 填写和绘制时应遵守 GB/T 1069.1—2008 《技术制图 标题栏》等国标规定

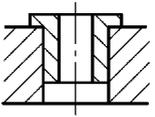
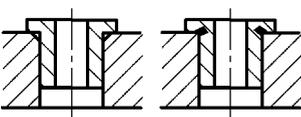
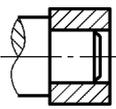
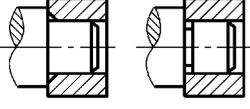
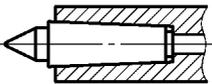
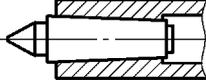
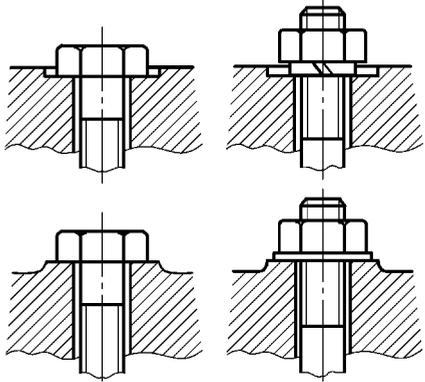
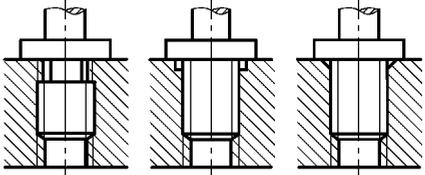
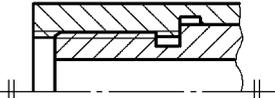
3.3.2 常见的装配工艺结构

在部件和装配体的设计中, 应考虑装配结构的合理性, 以保证机器或部件的工作性能可靠、安装和维修方便。常见的装配工艺结构见表 3-20。

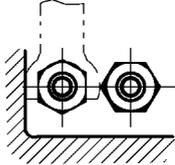
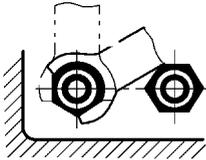
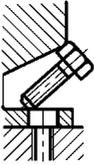
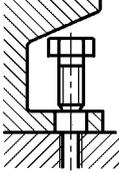
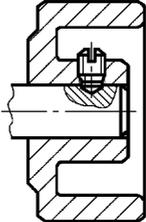
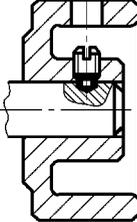
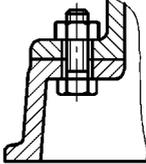
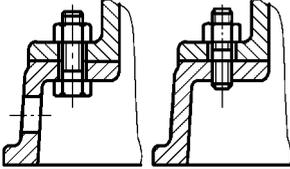
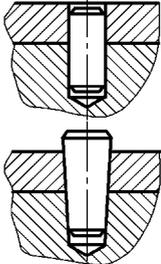
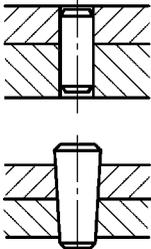
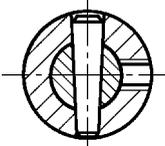
表 3-20 常见装配工艺结构

项目	图 例		说 明
接触面与配合面	不合理	合理	为保证零件的良好接触, 同时便于加工和装配, 两零件在同一个方向上只能有一对接触面
			
			
			
			

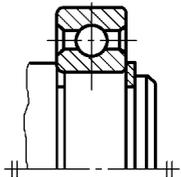
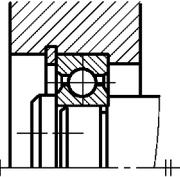
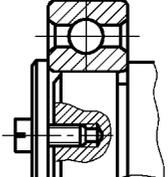
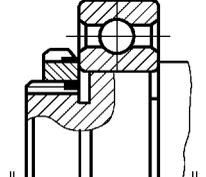
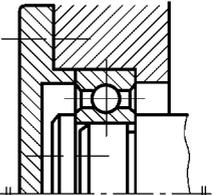
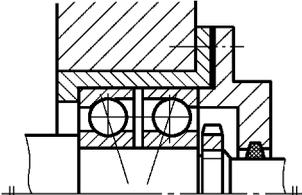
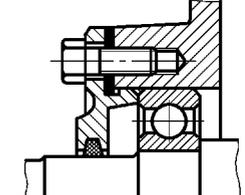
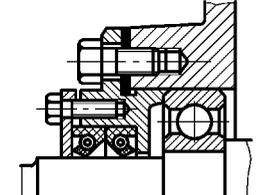
(续)

项目	图 例		说 明
接触面与配合面	不合理	合理	<p>为保证接触面之间的良好接触以及加工方便,两配合零件在转角处应有倒角、倒圆和退刀槽等结构</p>
			
			<p>为保证锥面配合的可靠性,锥轴和锥孔配合时的接触面应有一定的长度,同时尾部端面不能接触</p>
			<p>为保证良好的接触和减少加工面积,对于较长的接触面应加工凹槽</p>
螺 纹 连 接			<p>1) 为便于装配,被连接件中通孔的直径应比螺纹大径稍大 2) 为保证螺纹紧固件与被连接之间良好的接触和减少加工量,常在被连接件上做出沉孔或凸台</p>
			<p>为保证螺纹的拧紧,可在螺杆上加工退刀槽或在螺孔处加工沉孔或倒角</p>
			<p>螺纹的大径应比起定位作用的圆柱面直径小些</p>

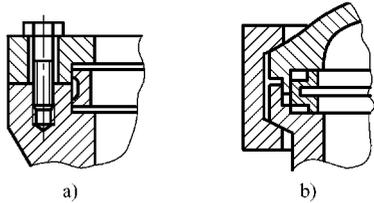
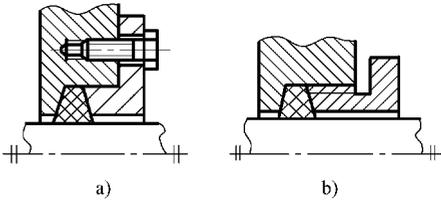
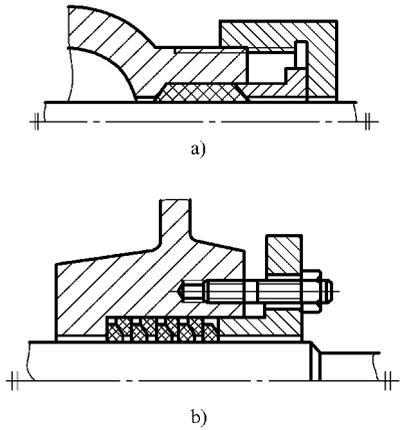
(续)

项目	图 例		说 明
螺 纹 连 接	不合理	合理	应留有足够的扳手空间
			
			应留有足够的装拆空间
			应加工出工具孔
			应加工出手操作孔或改为双头螺柱连接
销 连 接	不合理	合理	为便于销孔的加工和销的拆卸，销孔尽可能设计为通孔
			
			当用销连接轴和轴上零件时，加工销孔时应用螺钉预紧，故轴上的零件应加工工艺螺孔

(续)

项目	图 例		说 明
滚动轴承结构	不合理	合理	<p>当滚动轴承以轴肩或孔肩进行轴向定位时,为便于拆卸,轴肩或孔肩的径向高度应小于轴承内圈或外圈的径向厚度</p>
	 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	<p>用弹性挡圈对滚动轴承进行轴向定位,如图 a 的内圈和图 b 的外圈</p>
	 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	<p>滚动轴承内圈可以用轴端挡圈和螺钉方式固定,如图 a 所示;也可以用圆螺母和止退垫圈方式固定,如图 b 所示</p>
	 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	<p>滚动轴承外圈可以用端盖进行固定,如图 a 所示;也可以用套杯进行固定,如图 b 所示</p>
	密封结构	 <p>a)</p>	 <p>b)</p>

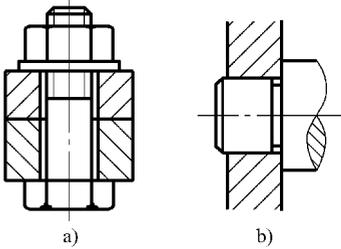
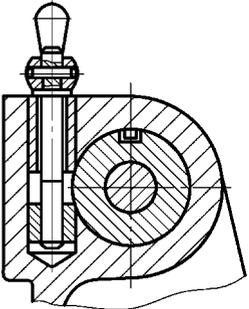
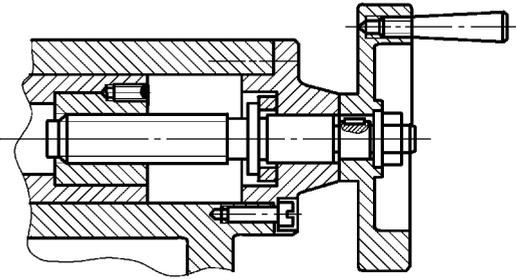
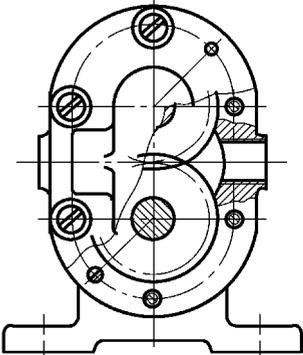
(续)

项目	图 例	说 明
静密封		<p>无论是图 a 的 B 形环还是图 b 中的 C 形环, 其外圆柱面应与被密封件接触</p>
密封结构		<p>毛毡应充满密封槽, 与轴颈接触, 且压盖与轴颈间应画出间隙。压盖与壳体断面可以是接触的, 如图 a 所示; 也可以是不接触的, 如图 b 的螺纹压盖密封</p>
密封结构		<p>填料或密封环应用压盖压紧, 其轴向各端面应相互接触。压盖与壳体端面间以及压盖与轴颈间均应留有间隙, 如图 a 所示。压盖与壳体间径向应无间隙, 为便于存贮润滑油, 上密封环与轴颈间以及下密封环与壳体间应有间隙, 如图 b 所示</p>
	此外, 皮碗式密封和涨圈式密封也属于接触式的动密封	
非接触动密封	如本表有关滚动轴承密封方式中的油沟式密封和甩油环式密封。此外, 螺纹槽式密封和曲路迷宫式密封也属于此类	

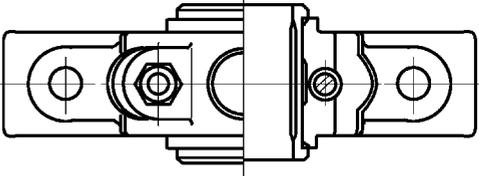
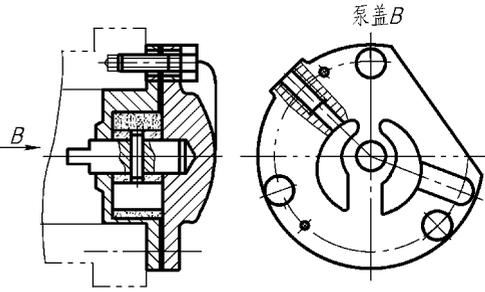
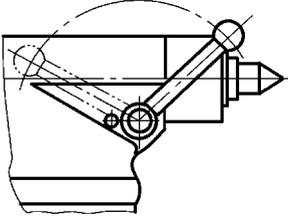
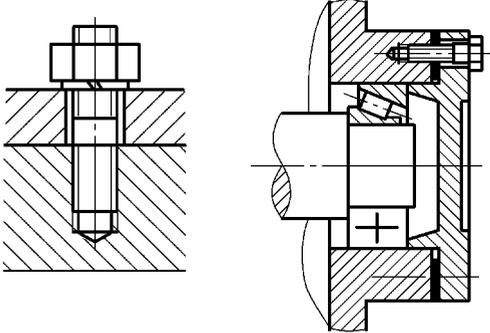
3.3.3 装配图的表达方法

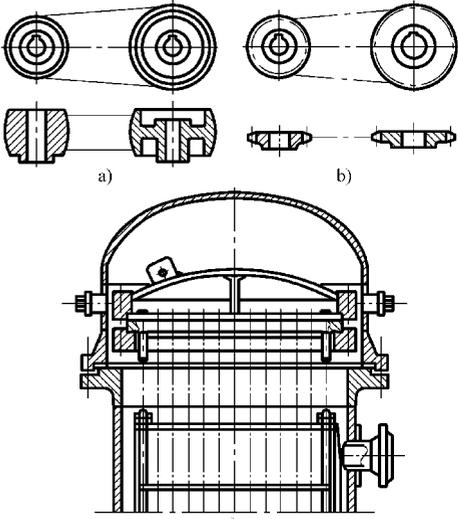
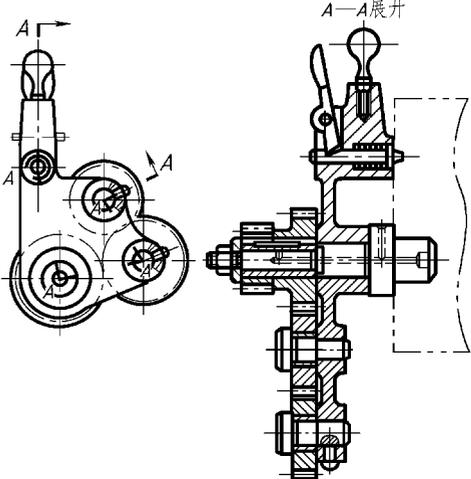
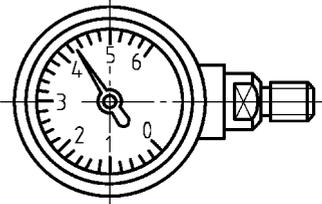
装配图可以采用前面介绍的所有表达方法, 如视图、剖视图、断面图等。由于装配图表达的重点与零件图有所不同, 因此, 国家标准对装配图又制定了一些规定画法和特殊表达方法, 具体见表 3-21。

表 3-21 装配图中的规定画法和特殊表达方法

项目	图 例	说 明
接触面和配合面	 <p style="text-align: center;">a) b)</p>	<p>1) 两相邻零件的接触面和配合面只画一条线, 如图 a 中被连接两零件的接触处和图 b 中轴和孔的配合处</p> <p>2) 而基本尺寸不同的非配合面和非接触面, 即使间隙很小, 也必须画成两条线, 如图 a 中螺栓与被连接零件的孔处</p>
剖面线画法		<p>在剖视图和断面图中, 同一个零件的剖面线倾斜方向和间隔应一致; 相邻两零件的剖面线方向应相反, 或者方向相同、间隔不同。另外, 当装配图中零件的剖面厚度小于 2mm 时, 允许将剖面涂黑代替剖面线</p>
实心零件和标准件画法		<p>在装配图中, 对于一些标准件 (如螺纹紧固件、键和销等) 和实心零件 (如轴、球、钩子和连杆等), 若按纵向剖切, 且剖切平面通过其对称平面或轴线时, 这些零件按不剖绘制; 若要特别表达这些零件的某些局部结构, 如键槽和小孔等, 可采用局部剖视图</p>
沿零件的接合面剖切画法		<p>对于装配图的剖视图, 可假想沿着某些零件的接合面剖切, 此时, 对于沿其接合面剖切的零件不应画剖面符号, 犹如只把部件沿接合面分开, 而对于其他被剖切到的零件应画出剖面符号。如左图为齿轮泵泵体和泵盖接合面剖切后的局部剖视图</p>

(续)

项目	图 例	说 明
拆卸画法	<p style="text-align: center;">拆去轴承盖、上轴衬等</p> 	<p>当一个或几个零件在装配图的某一视图中遮住了要表达的装配关系或其他零件时,可假想拆去后再绘制该视图,如左图滑动轴承中拆去轴承盖和上轴衬后的视图。需要说明时,应在图上加注“拆去××等”</p>
零件单独视图的画法	 <p style="text-align: center;">a)</p>	<p>在装配图中可单独画出某一零件的某一视图,此时需在所画视图的上方注明该零件的名称或零件序号及视图名称,并在相应视图的附近进行标注,如图 a 中的泵盖 B 视图</p>
特殊表达方法	 <p style="text-align: center;">b)</p>	<p>当装配图中需要表达整个部件与其他相邻零、部件的装配关系时,可用双点画线画出相邻零、部件的轮廓,如图 a 所示。当需要表明某些零件的运动范围和极限位置时,可在一个极限位置上画出该零件,而在另一个极限位置用双点画线画出其轮廓,如图 b 所示</p>
夸大画法和简化画法	 <p style="text-align: center;">a) b)</p>	<p>1) 装配图中的一些薄片零件、细丝弹簧、小的间隙和锥度等,可适当地夸大画出以使图形清晰,如图 a 中弹簧垫圈的开口处、双头螺柱与通孔间的间隙和图 b 中的垫片</p> <p>2) 螺栓头部和螺母在装配图中允许简化;相同的零件组(如螺钉连接等),允许详细地画出一处或几处,其余用点画线表示其位置;滚动轴承也可采用简化画法;一些小的零件工艺结构,如圆角、倒角、退刀槽等允许省略,如图 a 和图 b 所示</p>

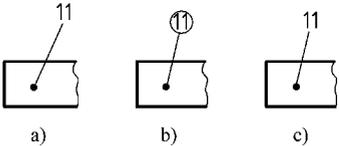
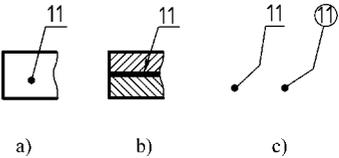
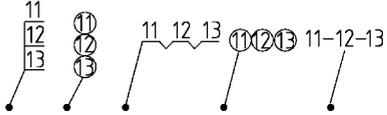
项目	图 例	说 明
简化画法		<p>装配图中, 可用细实线表示带传动中的带, 如图 a 所示; 用细点画线表示链传动中的链条, 如图 b 所示; 用细点画线表示锅炉和化工设备中按一定规律排列的密集的管子, 如图 c 所示</p>
特殊表达方法 展开画法		<p>为表达轴线不在同一平面内若干传动轴的传动关系以及零件之间的装配关系时, 可使用展开画法, 即假想用剖切平面按次序沿各轴的轴线剖开, 将其展开后画在一个投影面上, 如左图所示</p>
透明件等的画法		<p>对于透明材料制成的物体均按不透明的画。对于供观察用的字体、刻度、指针等均按可见轮廓线绘制</p>

3.3.4 装配图的零、部件序号和明细栏

有关装配图零、部件序号的国家标准为 GB/T 4458.2—2003 《机械制图 装配

图中零、部件序号及其编排方法》。具体规定及说明见表 3-22。

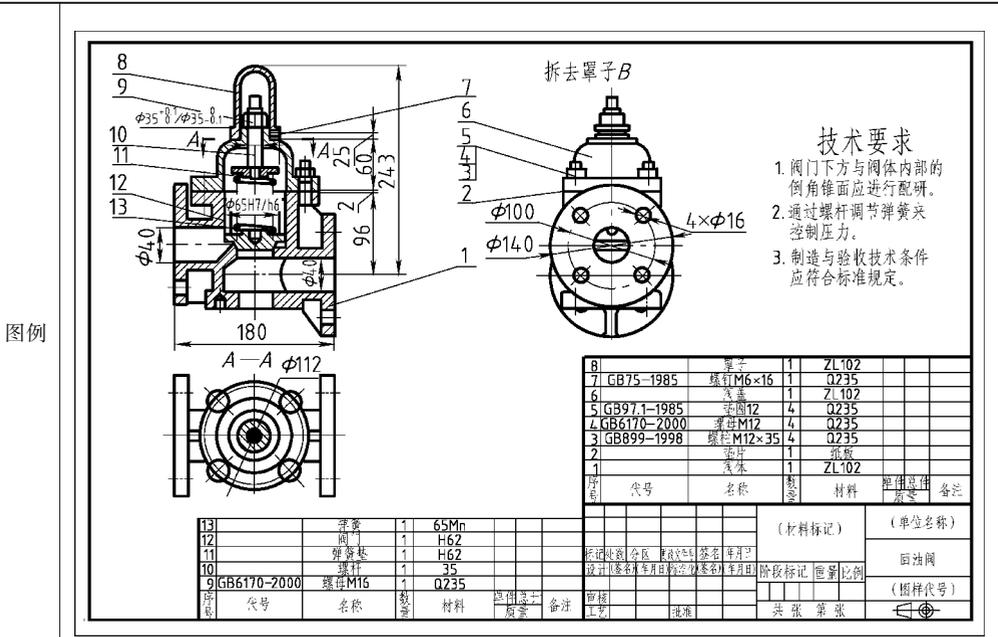
表 3-22 装配图的零、部件序号和明细栏

项目	图 例	说 明
基本 要求		1) 装配图中所有的零、部件均应编号 2) 装配图中一个部件可以只编写一个序号；同一装配图中相同的零、部件用一个序号，且一般只标注一次；当多处出现的相同的零、部件，必要时也可重复标注 3) 装配图中零、部件的序号应与明细栏（表）中的序号一致 4) 装配图中所用的指引线和基准线应按 GB/T 2257.2—2003 的规定绘制 5) 装配图中的字体的写法应符合 GB/T 14691—1993 的规定
零、 部件 序号 的 编 排 方 法		序号可在水平的基准（细实线）或圆（细实线）内或指引线的非零件端附近注写，序号字号应比该装配图中所注尺寸数字的字号大一号或两号，分别如图 a、图 b 和图 c 所示。但在同一装配图中编排序号的形式要一致
		1) 指引线应从所指部分的可见轮廓线内引出，并在末端画一圆点，如图 a 所示。若所指的是很薄的零件或涂黑的剖面，其内部不便画圆点时，可在指引线的末端画出箭头，并指向该部分的轮廓，如图 b 所示 2) 指引线不能相交。当指引线通过有剖面线的区域时，它不能与剖面线平行 3) 指引线可以画成折线，但只可曲折一次，如图 c 所示
		一组紧固件以及装配关系清楚的零件组，可以采用如左图所示的公共指引线
画法	编排序号时应按顺时针或逆时针方向顺次排列，如表 3-23 中回油阀装配图所示。当在整个图形上无法连续时，可在每个水平或竖直方向上顺次排列。另外，也可按装配图明细栏（表）中的序号排列，此时应尽量在每个水平或竖直方向上顺次排列	
明细 栏 填 写		1) 明细栏一般应紧接在标题栏上方绘制。若标题栏上方位置不够时，其余部分可画在标题栏的左方，如表 3-23 中回油阀装配图所示 2) 当明细栏直接绘制在装配图中时，其格式和尺寸如表 1-9 所示 3) 明细栏最上方（最末）的边线一般用细实线绘制 4) 当装配图中的零、部件较多位置不够时，可作为装配图的续页按 A4 幅面单独绘制出明细栏。若一页不够，可连续加页。其格式和要求参看 GB 10609.2—1989 《技术制图 明细栏》 1) 当明细栏直接画在装配图中时，明细栏中的序号应按自下而上的顺序填写，以便发现有漏编的零件时，可继续向上填补。如果是单独加页的明细栏，序号应按自上而下的顺序填写 2) 明细栏中的序号应与装配图上编号一一对应 3) 代号栏用来注写图样中相应组成部分的图样代号或标准号 4) 备注栏中，一般填写该项的附加说明或其他有关内容。如分区代号或常用件的主要参数，例如齿轮的模数和齿数，弹簧的内径或外径、簧丝直径、有效圈数和自由长度等 5) 螺栓、螺母、垫圈、键、销等标准件，其标记通常分两部分填入明细栏中。将标准代号填入代号栏内，其余规格尺寸等填在名称栏内，如表 3-23 所示

3.3.5 装配图的尺寸标注

有关装配图中的尺寸标注说明见表 3-23。

表 3-23 装配图中的尺寸标注



图例

装配图中的尺寸类型及说明

性能（规格）尺寸	性能（规格）尺寸在设计机器或部件时已经确定，它是设计、了解和选用该机器或部件的依据，如图例中的“φ40”
装配尺寸	装配尺寸包括保证有关零件间配合性质的尺寸、保证零件间相对位置的尺寸、装配时进行加工的尺寸，如图例中的“φ65H7/h6”等
安装尺寸	安装尺寸指的是机器或部件安装到基础或其他部件上时所需的尺寸，如图例中的“φ100”和“4×φ16”
外形尺寸	外形尺寸是指机器或部件总体外形轮廓的大小。它是机器或部件在包装运输、安装和厂房设计等不可缺少的数据，如图例中的“φ140”和“180”
其他重要尺寸	除了以上几种尺寸类型，装配图中还有一些重要的尺寸需要标注，如运动零件的极限位置尺寸、主要零件的一些重要尺寸、设计中经计算确定的尺寸等，如图例中的“96”、“2”和“60”等

注意：上述五类尺寸在同一张装配图中不一定全部存在，另外有的尺寸往往同时具有多种含义。应结合机器或部件的具体情况和作用，从而合理地标注出装配图的尺寸

第 4 章 极限与配合

零部件的互换性是指同一规格零部件按规定的技术要求制造，能够彼此相互替换使用而效果相同的性能。为了满足使用要求，保证零件的互换性，需要给出尺寸精度、形状和位置精度以及表面结构精度要求。

在尺寸精度方面，我国发布了一系列与孔、轴尺寸精度有直接联系的孔、轴极限与配合方面的国家标准。这些标准分别是 GB/T 1800.1—2009《极限与配合 第 1 部分：公差、偏差和配合的基础》、GB/T 1800.2—2009《极限与配合 第 2 部分：标准公差等级和孔、轴极限偏差表》、GB/T 1801—2009《极限与配合 公差带和配合的选择》和 GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》。

本章主要介绍极限与配合的基本概念，术语、标注方法以及如何选用等内容。

4.1 基本术语介绍

GB/T 1800.1—2009《极限与配合 第 1 部分：公差、偏差和配合的基础》规定了极限与配合的基本术语。

4.1.1 要素（见表 4-1）

表 4-1 要素的定义

基本术语	定 义
尺寸要素	由一定大小的线性尺寸或角度尺寸确定的几何形状
实际（组成）要素	由接近实际（组成）要素所限定的工件实际表面的组成要素部分
提取组成要素	按规定方法，由实际（组成）要素提取有限数目的点所形成的实际（组成）要素的近似替代
拟合组成要素	按规定方法，由提取组成要素形成的并具有理想形状的组成要素

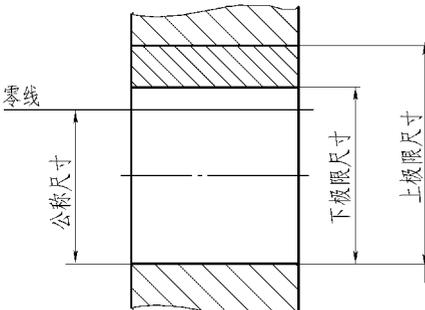
4.1.2 孔和轴（见表 4-2）

表 4-2 孔和轴基本术语

基本术语	定 义
孔	通常指工件的圆柱形内表面，也包括非圆柱形内表面（由二平行平面或切面形成的包容面），例如键槽或凹槽的宽度表面
基准孔	在基孔制配合中选作基准的孔。对本标准极限与配合制，即下极限偏差为零的孔
轴	通常指工件的圆柱形外表面，也包括非圆柱形外表面（由二平行平面或切面形成的包容面），例如平键的宽度表面
基准轴	在基轴制配合中选作基准的轴。对本标准极限与配合制，即上极限偏差为零的轴

4.1.3 尺寸（见表 4-3、表 4-4）

表 4-3 尺寸基本术语

基本术语	定 义
尺寸	以特定单位表示线性尺寸值的数值。根据 GB/T 4458.4—2003《机械制图 尺寸注法》的规定，图样上的尺寸以毫米（mm）为单位时，不需要标注计量单位的代号和名称。线性尺寸，是指两点之间的距离。如直径、半径、宽度、高度、深度、厚度及中心距等
公称尺寸	<p>公称尺寸是指由图样规范确定的理想形状要素的尺寸。通过它应用上、下极限偏差可算出极限尺寸，见下图。在本手册后续章节中用符号 D 表示。它是根据零件的强度、刚度等的计算和结构设计确定的，可以是一个整数或一个小数值，尽量采用标准尺寸，执行 GB/T 2822—2005《标准尺寸》的规定，见表 4-4</p> 
提取组成要素的局部尺寸	一切提取组成要素上两对应点之间距离的统称。为方便起见，可将提取组成要素的局部尺寸简称为提取要素的局部尺寸
提取圆柱面的局部尺寸	要素上两对应点之间的距离。其中两对应点之间的连线通过拟合圆心；横截面垂直于由提取表面得到的拟合圆柱面的轴线
两平行提取表面的局部尺寸	两平行对应提取表面上两对应点之间的距离。其中，所有对应点的连线均垂直于拟合中心平面，拟合中心平面是由两平行提取表面得到的两拟合平行平面的中心平面（两拟合平行平面之间的距离可能与公称距离不同）

(续)

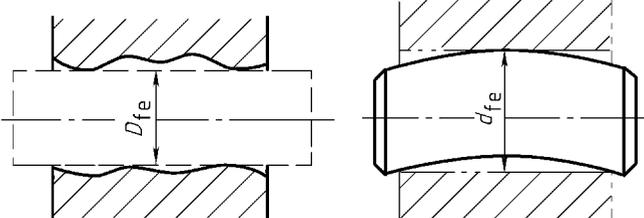
基本术语	定 义
极限尺寸 上极限尺寸 下极限尺寸	指尺寸要素允许的尺寸的两个极端。提取组成要素的局部尺寸应位于其中，也可达到极限尺寸 尺寸要素允许的最大尺寸称为上极限尺寸，孔用 D_{\max} ，轴用 d_{\max} 表示。允许的最小尺寸称为下极限尺寸，孔用 D_{\min} ，轴用 d_{\min} 表示，如上图所示
作用尺寸	<p>孔的作用尺寸是指在被测内表面的给定长度上，与实际被测内表面体外相接的最大理想轴（或最大理想面）的直径（或宽度），用 D_{fe} 表示，如下图 a 所示</p> <p>轴的作用尺寸是指在被测外表面的给定长度上，与实际被测外表面体外相接的最小理想孔（或最小理想面）的直径（或宽度），用 d_{fe} 表示，如下图 b 所示</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">a) 孔的作用尺寸 b) 轴的作用尺寸</p>

表 4-4 10 ~ 100mm 标准尺寸系列 (摘自 GB/T 2822—2005) (单位: mm)

R			R'			R			R'		
R10	R20	R40	R'10	R'20	R'40	R10	R20	R40	R'10	R'20	R'40
10.0	10.0 11.2		10	10 11		40.0	40.0 45.0	40.0 42.5 45.0 47.5	40	45	40 42 45 48
12.5		12.5 13.2 14.0 15.0	12	12 14 14 15	12 13 14 15	50.0	50.0 56.0	50.0 53.0 56.0 60.0	50	50 56	50 53 56 60
16.0	16.0 18.0	16.0 17.0 18.0 19.0	16	16 18 18 19	16 17 18 19	63.0	63.0 71.0	63.0 67.0 71.0 75.0	63	63 71	63 67 71 75
20.0	20.0 22.4	20.0 20.2 22.4 23.6	20	20 22 22 24	20 21 22 24	80.0	80.0 90.0	80.0 85.0 90.0 95.0	80	80 90	80 85 90 95

(续)

R			R'			R			R'		
R10	R20	R40	R'10	R'20	R'40	R10	R20	R40	R'10	R'20	R'40
25.0	25.0 28.0	25.0	25	25 28	25	100.0	100.0	100.0	100	100	100
		26.5			26						
		28.0			28						
		30.0			30						
31.5	31.5 35.5	31.5	32	32 36	32						
		33.5			34						
		35.5			36						
		37.5			38						

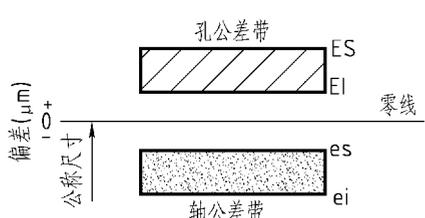
注：R'系列中的黑体字，为R系列相应各项优先数的化整值。

4.1.4 偏差、公差及公差带（见表4-5）

表4-5 偏差、公差及公差带的定义与示意图

基本术语	定 义
偏差 极限偏差 上极限偏差 下极限偏差	<p>偏差是指某一尺寸减其公称尺寸所得的代数差。孔用E表示，轴用e表示</p> <p>极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差为极限偏差。上极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为上极限偏差（upper deviation）。孔用ES表示，轴用es表示。下极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为下极限偏差（lower deviation）孔用EI表示，轴用ei表示，如下图所示</p> $ES = D_{\max} - D; EI = D_{\min} - D$ $es = d_{\max} - D; ei = d_{\min} - D$
尺寸公差 (简称公差)	<p>上极限尺寸减下极限尺寸之差，或上极限偏差减下极限偏差之差。它是允许尺寸的变动量。孔用T_h表示，轴用T_s表示。尺寸公差是一个没有符号的绝对值</p> $T_h = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI$ $T_s = d_{\max} - d_{\min} = es - ei$

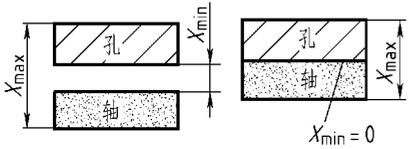
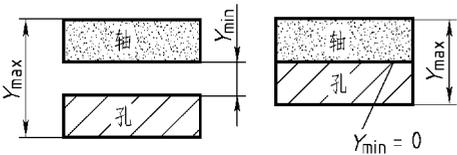
(续)

基本术语	定 义
公差带图解	<p>能清楚直观地表示出相互结合的孔和轴的公称尺寸、极限尺寸、极限偏差及公差之间相互关系。公差带示意图由零线、孔和轴的公差带组成（见下图）</p> 
零线	<p>在极限与配合图解中，表示公称尺寸的一条直线，以其为基准确定偏差和公差。通常，零线沿水平方向绘制，正偏差位于其上，负偏差位于其下</p>
公差带	<p>由代表上极限偏差和下极限偏差或上极限尺寸和下极限尺寸的两条直线所限定的一个区域。它是由公差大小和其相对零线的位置如基本偏差来确定。公差带在零线垂直方向上的宽度代表公差值，沿零线方向的长度可适当选取。通常，孔公差带用斜线表示，轴公差带用网点表示</p>
概念说明	<p>偏差值除零外，其前必须冠以正号或负号；在图样标注中，上下极限偏差分别标注在公称尺寸的右上角和右下角；孔或轴实际偏差合格的条件：$EI \leq E_a \leq ES$；$ei \leq e_a \leq es$</p>

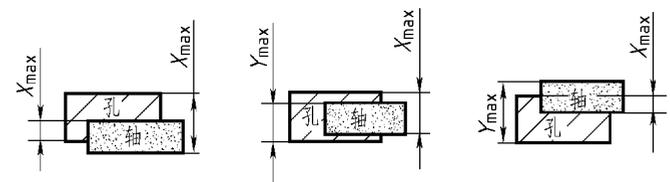
4.1.5 配合（见表 4-6）

表 4-6 配合相关术语

基本术语	定 义
配合	<p>公称尺寸相同的，并且相互结合的孔和轴公差带之间的关系。组成配合的孔与轴的公差带位置不同，便形成不同的配合性质</p>
间隙	<p>孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为正，用符号 X 表示</p>
过盈	<p>孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为负，用符号 Y 表示</p>

基本术语	定 义
间隙配合	<p>具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之上（见下图）。孔、轴极限尺寸或极限偏差的关系为 $D_{\min} \geq d_{\max}$ 或 $EI \geq es$。</p>  <p>间隙配合的四个特征参数为：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 最大间隙 X_{\max}：孔的上极限尺寸减轴的下极限尺寸所得代数差，即 $X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$ 2) 最小间隙 X_{\min}：孔的下极限尺寸减轴的上极限尺寸所得代数差，即 $X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$ 3) 平均间隙 X_{av}：最大间隙与最小间隙的平均值，即 $X_{av} = (X_{\max} + X_{\min})/2$ 4) 配合公差 T_f：间隙配合中间隙的允许变动量，即 $T_f = X_{\max} - X_{\min} = T_h + T_s$
过盈配合	<p>具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之下（见下图）。孔、轴的极限尺寸或极限偏差的关系为 $D_{\max} \leq d_{\min}$ 或 $ES \leq ei$</p>  <p>过盈配合的四个特征参数为：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 最大过盈 Y_{\max}：孔的下极限尺寸减轴的上极限尺寸所得代数差，即 $Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$ 2) 最小过盈 Y_{\min}：孔的上极限尺寸减轴的下极限尺寸所得代数差，即 $Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$ 3) 平均过盈 Y_{av}：最大过盈与最小过盈的平均值，即 $Y_{av} = (Y_{\max} + Y_{\min})/2$ 4) 配合公差 T_f：过盈配合中过盈的允许变动量，即 $T_f = Y_{\min} - Y_{\max} = T_h + T_s$

(续)

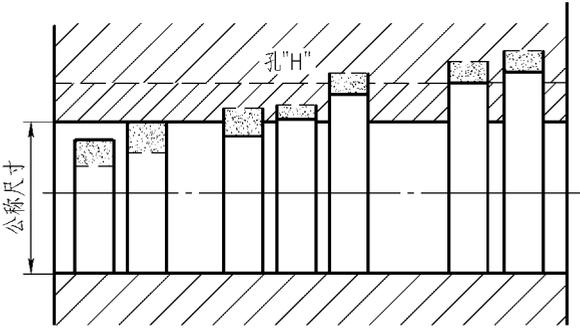
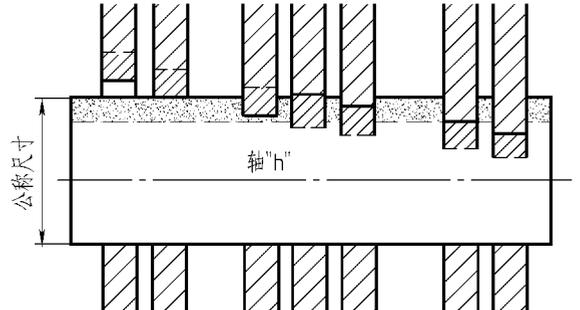
基本术语	定 义
过渡配合	<p>具有间隙或过盈的配合。此时，孔的公差带与轴的公差带相互交叠（见下图）。孔、轴的极限尺寸或极限偏差的关系为 $D_{\max} > d_{\min}$ 且 $D_{\min} < d_{\max}$，或 $ES > ei$ 且 $EI < es$</p>  <p>过渡配合的四个特征参数为：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 最大间隙 X_{\max}：孔的上极限尺寸减轴的下极限尺寸所得代数差，即 $X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$ 2) 最大过盈 Y_{\max}：孔的下极限尺寸减轴的上极限尺寸所得代数差，即 $Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$ 3) 平均间隙 X_{av} 或平均过盈 Y_{av}：最大间隙与最大过盈的平均值，即 $Y_{av} = (X_{\max} + Y_{\max})/2$ 4) 配合公差 T_f：过渡配合中的最大间隙减去最大过盈，即 $T_f = X_{\max} - Y_{\max} = T_h + T_s$
说明	<ol style="list-style-type: none"> 1) 间隙数值的前面必须冠以正号 2) 过盈数值的前面必须冠以负号 3) 无论是间隙配合、过盈配合还是过渡配合，配合公差均等于相互配合的孔、轴尺寸公差数值之和

4.2 极限与配合的标准化

4.2.1 极限制和配合制（见表 4-7）

表 4-7 极限制和配合制相关术语

基本术语	定 义
极限制	经标准化的公差与偏差制度
标准公差	国家标准极限与配合规定的公差值。标准公差数值取决于孔、轴的公差等级和公称尺寸
基本偏差	国家标准极限与配合中，用以确定公差带相对于零线的位置的那个极限偏差（上极限偏差或下极限偏差），一般为靠近零线或位于零线的那个极限偏差
配合制	用标准化的孔、轴公差带（即同一极限制的孔和轴）组成各种配合的制度。GB/T 1800.1—2009 规定了两种配合制（基孔制和基轴制）来获得各种配合
基孔制	基本偏差为一定的孔的公差带，与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度（见下图）。基孔制的孔为基准孔，它的基本偏差（下极限偏差）为零。基孔制的轴为非基准轴

基本术语	定 义
基孔制	
基轴制	<p data-bbox="280 786 1136 879">基本偏差为一定的轴的公差带，与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度（见下图）。基轴制的轴为基准轴，它的基本偏差（上极限偏差）为零。基轴制的孔为非基准孔</p> 

4.2.2 标准公差系列（见表 4-8 ~ 表 4-11）

表 4-8 标准公差的基本规定

项 目	说 明
标准公差等级及其代号	<p data-bbox="323 1530 1136 1627">孔、轴的标准公差等级各分为 20 个等级，等级代号由符号 IT 和阿拉伯数字组成。20 个精度等级分别为 IT01、IT0、IT1、IT2、…、IT18。其中 IT01 最高，等级依次降低，IT18 最低</p>

(续)

项 目	说 明
标准公差因子	<p>是计算标准公差的基本单位，也是制定标准公差数值系列的基础，用 i 表示。标准公差因子的数值与标准公差等级的高低、公称尺寸的大小相关</p> <p>标准公差因子的数值是以生产实践为基础，通过专门的实验与大量的统计数据进行分析，找出孔、轴的加工误差和测量误差随公称尺寸变化的规律来确定的。IT5 至 IT18 的标准公差因子 i (μm) 用下式表示：</p> $i = 0.45^3 \sqrt{D} + 0.001D$ <p>式中 D——公称尺寸 (mm)</p>
标准公差数值的计算	<p>上表达式中，线性部分体现测量误差，三次方抛物线部分体现加工误差</p> <p>公称尺寸至 500mm 的各标准公差等级的标准公差数值计算公式见表 4-9 所示。对于 IT5 至 IT18 的标准公差数值 IT 用下式表示：</p> $IT = a \times i$ <p>式中 a——标准公差等级系数</p> <p>a 采用 R5 系列中的化整优先数 (公比为 1.6)</p> <p>IT01、IT0、IT1 这三个标准公差等级在工业生产中很少使用，主要考虑测量误差的影响。它们的标准公差数值与公称尺寸的关系为线性关系，这三个标准公差等级之间的常数和系数均采用优先数系的派生系列 R10/2 中的优先数</p> <p>IT2、IT3、IT4 这三个标准公差等级，它们的标准公差数值在 IT1 与 IT5 间呈等比数列，该数列的公比 $q = (IT5/IT1)^{1/4}$</p> <p>标准公差等级系数的划分符合优先数系的规律，具有延伸性和插入性，有利于国家标准的发展和扩大使用</p>
尺寸分段	<p>由于标准公差因子 i 与公称尺寸 D 有函数关系。如果按照表 4-9 所列公式计算标准公差数值，那么，对于每一个标准公差等级，每一个公称尺寸都可以计算出对应的公差数值，如此编制的公差表格就非常庞大。为了减少标准公差数值的数量，简化公差表格，方便实际生产应用，将常用尺寸按一定规律分成若干段落，这叫做尺寸分段。采用尺寸分段后，对每一个标准公差等级，同一尺寸分段范围内 (大于 D_1 至 D_n) 各个公称尺寸的标准公差相同。计算标准公差因子 i 时，公式中的基本尺寸以尺寸分段首末两个尺寸的几何平均值 D_j 代入，即 $D_j = \sqrt{D_1 D_n}$</p>

表 4-9 标准公差数值的计算公式 (摘自 GB/T 1800.1—2009)

标准公差等级	公式	标准公差等级	公式	标准公差等级	公式
IT01	$0.3 + 0.008D$	IT6	$10i$	IT13	$250i$
IT0	$0.5 + 0.012D$	IT7	$16i$	IT14	$400i$
IT1	$0.8 + 0.020D$	IT8	$25i$	IT15	$640i$
IT2	$(IT1)(IT5/IT1)^{1/4}$	IT9	$40i$	IT16	$1000i$
IT3	$(IT1)(IT5/IT1)^{1/2}$	IT10	$64i$	IT17	$1600i$
IT4	$(IT1)(IT5/IT1)^{3/4}$	IT11	$100i$	IT18	$2500i$
IT5	$7i$	IT12	$160i$		

表 4-10 标准公差数值 (摘自 GB/T 1800.2—2009)

公称尺寸 /mm		标准公差等级																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm											mm						
—	3	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1	1.4
3	6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5	2.2
10	18	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.07	0.43	0.7	1.1	1.8	2.7
18	30	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	3.3
30	50	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	3.9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6
80	120	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5	5.4
120	180	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3
180	250	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	7.2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	8.1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	8.9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3	9.7
500	630	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0.7	1.1	1.75	2.8	4.4	7	11
630	800	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0.8	1.25	2	3.2	5	8	12.5
800	1000	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0.9	1.4	2.3	3.6	5.6	9	14
1000	1250	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1.05	1.65	2.6	4.2	6.6	10.5	16.5
1250	1600	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1.25	1.95	3.1	5	7.8	12.5	19.5
1600	2000	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1.5	2.3	3.7	6	9.2	15	23
2000	2500	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1.75	2.8	4.4	7	11	17.5	28
2500	3150	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2.1	3.3	5.4	8.6	13.5	21	33

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

2. 公称尺寸小于或等于 1mm 时, 无 IT14 至 IT18。

表 4-11 IT01 和 IT0 的标准公差数值 (摘自 GB/T 1800.1—2009)

公称尺寸/mm		标准公差等级		公称尺寸/mm		标准公差等级	
		IT01	IT0			IT01	IT0
大于	至	公差/ μm		大于	至	公差/ μm	
—	3	0.3	0.5	80	120	1	1.5
3	6	0.4	0.6	120	180	1.2	2
6	10	0.4	0.6	180	250	2	3
10	18	0.5	0.8	250	315	2.5	4
18	30	0.6	1	315	400	3	5
30	50	0.6	1	400	500	4	6
50	80	0.8	1.2				

4.2.3 基本偏差系列 (见表 4-12 ~ 表 4-18)

表 4-12 孔、轴基本偏差的基本规定

项目	说 明
基本偏差的代号	<p>国家标准对孔、轴基本偏差分别规定了 28 种, 每种基本偏差的代号用一个或两个英文字母表示。孔用大写字母表示, 轴用小写字母表示</p> <p>在 26 个英文字母中, 去掉 5 个容易与其他符号混淆的字母 I (i)、L (l)、O (o)、Q (q)、W (w), 增加由两个字母组成的 7 组字母 CD (cd)、EF (ef)、FG (fg)、JS (js)、ZA (za)、ZB (zb)、ZC (zc), 共计 28 种</p>
轴的基本偏差系列	<p>如下图所示, 代号为 a~g 的基本偏差皆为上极限偏差 es (负值), 按从 a 到 g 的顺序, 基本偏差的绝对值依次逐渐减小</p> <p>代号为 h 的基本偏差为上极限偏差 $es = 0$, 它是基轴制基准轴的基本偏差代号</p> <p>基本偏差代号为 js 的轴的公差带相对于零线对称分布, 其基本偏差可取为上极限偏差 $es = +IT/2$ (IT 为标准公差数值), 也可取为下极限偏差 $ei = -IT/2$。根据 GB/T 1800.1—2009 的规定, 当标准公差等级为 IT7~IT11 时, 若公差数值是奇数, 则按 $\pm(IT-1)/2$ 计算</p> <p>代号为 j~zc 的基本偏差皆为下极限偏差 ei, 按从 k 到 zc 的顺序, 基本偏差的绝对值依次逐渐增大</p>

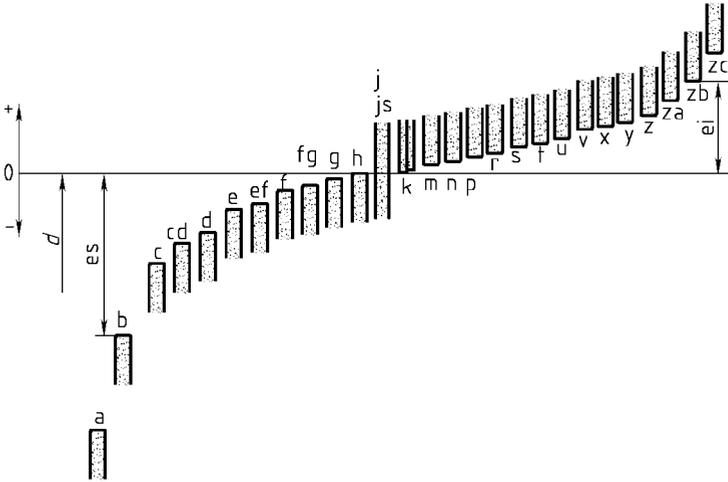
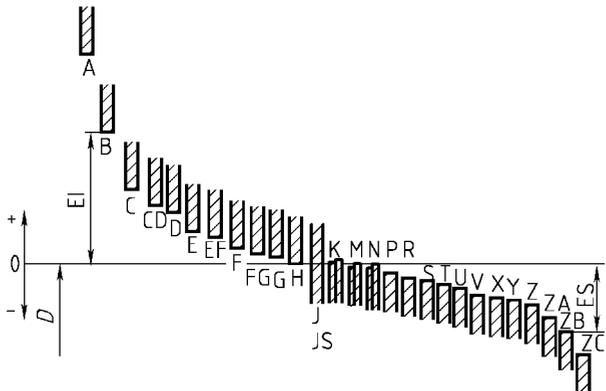
项目	说明
<p>轴的基本偏差系列</p>	 <p>The diagram shows the shaft basic deviation series on a coordinate system where the horizontal axis represents the deviation from the zero line. The vertical axis is labeled with +, 0, and -. The tolerance zones are represented by vertical bars. Grades a through js are shown as bars extending downwards from the zero line, indicating negative deviations. Grades k through zc are shown as bars extending upwards from the zero line, indicating positive deviations. The bars for grades k, m, n, and p are very narrow and centered on the zero line. The bars for grades js, zc, zb, and za are wider and centered on the zero line. The diagram illustrates that the absolute value of the deviation decreases from grade a to grade js, and then increases from grade js to grade zc.</p>
<p>孔的基本偏差系列</p>	<p>如下图所示，代号为 A ~ G 的基本偏差皆为下极限偏差 EI，按从 A 到 G 的顺序，基本偏差的绝对值依次逐渐减小</p> <p>代号为 H 的基本偏差为下极限偏差 EI = 0，它是基孔制基准孔的基本偏差代号</p> <p>基本偏差代号为 JS 的孔的公差带相对于零线对称分布，基本偏差可取为上限偏差 ES = +IT/2 (IT 为标准公差数值)，也可取为下极限偏差 EI = -IT/2。根据 GB/T 1800.1—2009 的规定，当标准公差等级为 IT7 ~ IT11 时，若公差数值是奇数，则按 $\pm (IT - 1)/2$ 计算</p> <p>代号为 J ~ ZC 的基本偏差皆为上限偏差 ES (除 J、K 为正正值外，其余皆为负值)，按从 K 到 ZC 的顺序，基本偏差的绝对值依次逐渐增大</p>  <p>The diagram shows the hole basic deviation series on a coordinate system where the horizontal axis represents the deviation from the zero line. The vertical axis is labeled with +, 0, and -. The tolerance zones are represented by vertical bars. Grades A through H are shown as bars extending downwards from the zero line, indicating negative deviations. Grade H is a thin bar on the zero line. Grade JS is a wider bar centered on the zero line. Grades J through ZC are shown as bars extending upwards from the zero line, indicating positive deviations. The bars for grades J and K are wider and centered on the zero line. The bars for grades ZC, ZB, and ZA are wider and centered on the zero line. The diagram illustrates that the absolute value of the deviation decreases from grade A to grade H, and then increases from grade H to grade ZC.</p>

表 4-13 各种基本偏差形成的配合类型

配合类型	说 明
间隙配合	a ~ h (或 A ~ H) 等 11 种基本偏差与基准孔基本偏差 H (或基准轴基本偏差 h) 形成间隙配合。其中 a 与 H (或 A 与 h) 形成的配合的最小间隙 (孔的与轴的基本偏差的差值) 最大。此后, 最小间隙依次减小, 基本偏差 h 与 H 形成的配合的最小间隙为零
过渡配合	js、j、k、m、n (或 JS、J、K、M、N) 等 5 种基本偏差与基准孔基本偏差 H (或基准轴基本偏差 h) 形成过渡配合。其中 js 与 H (或 JS 与 h) 形成的配合较松, 获得间隙的概率较大。此后配合依次变紧, n 与 H (或 N 与 h) 形成的配合较紧, 获得过盈的概率较大。而标准公差等级很高的 n 与 H (或 N 与 h) 形成的配合为过盈配合
过盈配合	p ~ zc (或 P ~ ZC) 等 12 种基本偏差与基准孔基本偏差 H (或基准轴基本偏差 h) 形成过盈配合。其中 p 与 H (或 P 与 h) 形成的配合的过盈最小。此后, 过盈依次增大, zc 与 H (或 ZC 与 h) 形成的配合的过盈最大。而标准公差等级不高的 p 与 H (或 P 与 h) 形成的配合为过渡配合

表 4-14 孔、轴的公差带代号与配合代号

项目	说 明
孔、轴公差带代号	孔、轴公差带代号由孔、轴基本偏差代号和标准公差等级代号中的阿拉伯数字组合而成。例如: 孔公差代号 $\phi 30H7$ 、 $\phi 50F8$, 轴的公差带代号 $\phi 40h7$ 、 $\phi 55f6$ 。公差带代号标注在零件图上
孔、轴配合代号	将孔、轴公差带代号组合, 就构成了孔、轴的配合代号。配合代号用分数的形式表示, 分子的位置为孔的公差带代号, 分母的位置为轴的公差带代号。例如: 基孔制配合代号 $\phi 50 \frac{H7}{g6}$ 或 $\phi 50H7/g6$; 基轴制配合代号 $\phi 50 \frac{G7}{h6}$ 或 $\phi 50G7/h6$ 。配合代号标注在装配图上
说明	配合代号表明了 4 个方面的含义: 公称尺寸; 基准制; 公差等级; 配合类型

表 4-15 孔、轴基本偏差数值的计算

项目	计算方法
轴的基本偏差数值的计算	<p>轴的基本偏差数值的计算按表 4-16 中给出的计算公式确定。这些计算公式是以基孔制中基本偏差代号为 H 的基准孔, 与不同基本偏差的轴形成的各种配合为基础, 根据设计要求、生产实践和科学实验, 经过统计分析得到的</p> <p>利用轴的基本偏差计算公式, 以尺寸分段的几何平均值代入这些公式求得数值, 经尾数圆整后, 编制出轴的基本偏差数值表, 见表 4-17</p>
孔的基本偏差数值的计算	<p>孔的基本偏差数值由相同字母代号的轴的基本偏差数值换算得到。换算前提是: 基孔制配合变成同名的基轴制配合 (如 $\phi 50H7/g6$ 变为 $\phi 50G7/h6$), 它们的配合性质必须相同, 即两种配合制配合的极限间隙或过盈必须相同。在实际生产中考虑孔比轴难加工, 故在孔、轴的标准公差等级较高时, 孔通常与高一等级的轴配合。而孔、轴的标准公差等级不高时, 孔与轴采用同一等级配合。换算规则有通用规则和特殊规则</p>

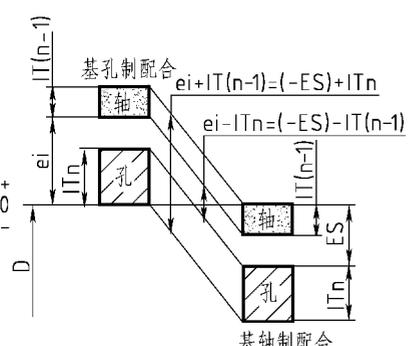
项目	计算方法	
<p>孔的基本偏差数值的计算</p>	<p>通用规则 (也称倒影规则)</p>	<p>一般情况下,同一字母的孔的基本偏差与轴的基本偏差相对于零线完全对称。也就是说,孔与轴的基本偏差代号对应(例如A对应a)时,两者的基本偏差的绝对值相等,而符号相反,即</p> $EI = -es$ $ES = -ei$ <p>通用规则适用于大多数情况下孔的基本偏差。但是,在公称尺寸为3~500mm时,标准公差等级>IT8(标准公差等级为9级或9级以下)时,代号为N的孔的基本偏差(ES)的数值等于零。此外,较高标准公差等级的孔与轴的过盈配合、过渡配合采用轴比孔高一等级配合(如H7/p6和P7/h6)时,通用规则不适用</p>
	<p>特殊规则</p>	<p>在公称尺寸为3~500mm的同名基孔制和基轴制配合中,给定某一标准公差等级的孔与高一等级的轴相配合时,基轴制的孔的基本偏差数值为</p> $ES = -ei + \Delta$ <p>式中,Δ为尺寸分段内给定的某一标准公差等级的孔的标准公差数值IT_n与高一等级轴的标准公差数值IT(n-1)的差值,即Δ = IT_n - IT(n-1) = T_h - T_s,见下图</p>  <p>特殊规则仅用于公称尺寸为3~500mm,标准公差等级≤IT8(标准公差等级为8级或高于8级)的代号为K、M、N和标准公差等级≤IT7(标准公差等级为7级或高于7级)的代号为P至ZC的孔的基本偏差数值的计算</p>
	<p>孔的28种基本偏差中,除了上述规则确定的26种基本偏差外,还有JS的基本偏差为±IT/2,J的基本偏差为经验数据。根据这些公式和经验数据,可以计算并编制出孔的基本偏差数值表,见表4-18</p>	

表 4-16 轴的基本偏差计算公式 (GB/T 1800.1—2009)

基本偏差代号	极限偏差	公称尺寸/mm		计算公式/ μm	基本偏差代号	极限偏差	公称尺寸/mm		计算公式/ μm
		大于	至				大于	至	
a	es	1	120	$-(256 + 1.3D)$	k	ei	0	500	$+0.6 \sqrt[3]{D}$
	es	120	500	$-3.5D$	m	ei	0	500	$+(IT7 \sim IT6)$
b	es	1	160	$-(140 + 0.85D)$	n	ei	0	500	$+5D^{0.34}$
	es	160	500	$-1.8D$	p	ei	0	500	$+[IT7 + (0 \sim 5)]$
c	es	0	40	$-52D^{0.2}$	r	ei	0	500	$+\sqrt{p \cdot s}$
	es	40	500	$-(95 + 0.8D)$	s	ei	0	50	$+[IT8 + (1 \sim 4)]$
cd	es	0	10	$-\sqrt{c \cdot d}$		ei	50	500	$+(IT7 + 0.4D)$
d	es	0	500	$-16D^{0.44}$	t	ei	24	500	$+(IT7 + 0.63D)$
e	es	0	500	$-11D^{0.41}$	u	ei	0	500	$+(IT7 + D)$
ef	es	0	10	$-\sqrt{e \cdot f}$	v	ei	14	500	$+(IT7 + 1.25D)$
f	es	0	500	$-5.5D^{0.41}$	x	ei	0	500	$+(IT7 + 1.6D)$
fg	es	0	10	$-\sqrt{f \cdot g}$	y	ei	18	500	$+(IT7 + 2D)$
g	es	0	500	$-2.5D^{0.34}$	z	ei	0	500	$+(IT7 + 2.5D)$
h	es	0	500	基本偏差 = 0	za	ei	0	500	$+(IT8 + 3.15D)$
j		0	500	无公式	zb	ei	0	500	$+(IT9 + 4D)$
js	es	0	500	$\pm 0.5IT_n$	zc	ei	0	500	$+(IT10 + 5D)$
	ei	0	500	$\pm 0.5IT_n$					

① 公式中 D 是公称尺寸段的几何平均值 (mm)。

② 基本偏差 k 的计算公式仅适用于标准公差等级 IT4 ~ IT7, 其他的标准公差等级基本偏差 $k=0$ 。

表 4-17 尺寸至 500mm 轴的基本偏差数值 (摘自 GB/T 1800.1—2009)

基本偏差代号	上极限偏差 es/ μm											js ^②	下极限偏差					
	a ^①	b ^①	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h		j			k		
标准公差等级	所有的标准公差等级											偏差 = $\pm \frac{IT_n}{2}$	IT5 和 IT6	IT7	IT8	IT4 ~ IT7	$\leq IT3$ $> IT7$	
基本尺寸/mm	≤ 3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2		0	-2	-4	-6	0	0
	>3 ~ 6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4		0	-2	-4	—	+1	0
	>6 ~ 10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5		0	-2	-5	—	+1	0
	>10 ~ 14	-290	-150	-95	—	-50	-32	—	-16	—	-6		0	-3	-6	—	+1	0
	>14 ~ 18	-290	-150	-95	—	-50	-32	—	-16	—	-6		0	-3	-6	—	+1	0
	>18 ~ 24	-300	-160	-110	—	-65	-40	—	-20	—	-7		0	-4	-8	—	+2	0
	>24 ~ 30	-300	-160	-110	—	-65	-40	—	-20	—	-7		0	-4	-8	—	+2	0
	>30 ~ 40	-310	-170	-120	—	-80	-50	—	-25	—	-9		0	-5	-10	—	+2	0
	>40 ~ 50	-320	-180	-130	—	-80	-50	—	-25	—	-9		0	-5	-10	—	+2	0
	>50 ~ 65	-340	-190	-140	—	-100	-60	—	-30	—	-10	0	-7	-12	—	+2	0	
	>65 ~ 80	-360	-200	-150	—	-100	-60	—	-30	—	-10	0	-7	-12	—	+2	0	

(续)

基本偏差		上极限偏差 es/ μm										js ^②	下极限偏差				
代号	a ^①	b ^①	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h		j			k	
标准公差等级	所有的标准公差等级										IT5和IT6		IT7	IT8	IT4~IT7	\leq IT3 >IT7	
基本尺寸/mm																	
>80 ~ 100	-380	-220	-170	—	-120	-72	—	-36	—	-12	0	偏差 = $\pm \frac{IT_n}{2}$	-9	-15	—	+3	0
>100 ~ 120	-410	-240	-180	—	-120	-72	—	-36	—	-12	0		-9	-15	—	+3	0
>120 ~ 140	-460	-260	-200	—	-145	-85	—	-43	—	-14	0		-11	-18	—	+3	0
>140 ~ 160	-520	-280	-210	—	-145	-85	—	-43	—	-14	0		-11	-18	—	+3	0
>160 ~ 180	-580	-310	-230	—	-145	-85	—	-43	—	-14	0		-11	-18	—	+3	0
>180 ~ 200	-660	-340	-240	—	-170	-100	—	-50	—	-15	0		-13	-21	—	+4	0
>200 ~ 225	-740	-380	-260	—	-170	-100	—	-50	—	-15	0		-13	-21	—	+4	0
>225 ~ 250	-820	-420	-280	—	-170	-100	—	-50	—	-15	0		-13	-21	—	+4	0
>250 ~ 280	-920	-480	-300	—	-190	-110	—	-56	—	-17	0		-16	-26	—	+4	0
>280 ~ 315	-1050	-540	-330	—	-190	-110	—	-56	—	-17	0		-16	-26	—	+4	0
>315 ~ 355	-1200	-600	-360	—	-210	-125	—	-62	—	-18	0		-18	-28	—	+4	0
>355 ~ 400	-1350	-680	-400	—	-210	-125	—	-62	—	-18	0		-18	-28	—	+4	0
>400 ~ 450	-1500	-760	-440	—	-230	-135	—	-68	—	-20	0		-20	-32	—	+5	0
>450 ~ 500	-1650	-840	-480	—	-230	-135	—	-68	—	-20	0		-20	-32	—	+5	0
基本偏差	下极限偏差 ei/ μm																
代号	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z		za	zb	zc		
标准公差等级	所有的标准公差等级																
基本尺寸/mm																	
≤ 3	+2	+4	+6	+10	+14	—	+18	—	+20	—	+26	+32	+40	+60			
>3 ~ 6	+4	+8	+12	+15	+19	—	+23	—	+28	—	+35	+42	+50	+80			
>6 ~ 10	+6	+10	+15	+19	+23	—	+28	—	+34	—	+42	+52	+67	+97			
>10 ~ 14	+7	+12	+18	+23	+28	—	+33	—	+40	—	+50	+64	+90	+130			
>14 ~ 18	+7	+12	+18	+23	+28	—	+33	+39	+45	—	+60	+77	+108	+150			
>18 ~ 24	+8	+15	+22	+28	+35	—	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188			
>24 ~ 30	+8	+15	+22	+28	+35	+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218			
>30 ~ 40	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274			
>40 ~ 50	+9	+17	+26	+34	+43	+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325			
>50 ~ 65	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405			
>65 ~ 80	+11	+20	+32	+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480			
>80 ~ 100	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585			
>100 ~ 120	+13	+23	+37	+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690			
>120 ~ 140	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800			
>140 ~ 160	+15	+27	+43	+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900			
>160 ~ 180	+15	+27	+43	+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000			
>180 ~ 200	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150			
>200 ~ 225	+17	+31	+50	+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250			
>225 ~ 250	+17	+31	+50	+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350			
>250 ~ 280	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550			
>280 ~ 315	+20	+34	+56	+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700			

(续)

基本偏差	下极限偏差 $e_i/\mu\text{m}$													
代号	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
标准公差等级	所有的标准公差等级													
基本尺寸/mm														
> 315 ~ 355	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
> 355 ~ 400	+21	+37	+62	+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
> 400 ~ 450	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
> 450 ~ 500	+23	+40	+68	+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600

① 公称尺寸小于或等于 1mm 时, 各级 a 和 b 均不采用。

② js 的数值中, 对 IT7 至 IT11, 若 IT_n 的数值 (μm) 为奇数, 则取偏差 = $\pm \frac{IT_n - 1}{2}$ 。

表 4-18 尺寸至 500mm 孔的基本偏差数值表 (摘自 GB/T 1800.1—2009)

基本偏差	下极限偏差 $EI/\mu\text{m}$											JS ^②
代号	A ^①	B ^①	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	
标准公差等级	所有的公差等级											偏差 = $\pm \frac{IT_n}{2}$
公称尺寸/mm												
≤ 3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	
> 3 ~ 6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0	
> 6 ~ 10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0	
> 10 ~ 14	+290	+150	+95	—	+50	+32	—	+16	—	+6	0	
> 14 ~ 18				—	+50	+32	—	+16	—	+6	0	
> 18 ~ 24	+300	+160	+110	—	+65	+40	—	+20	—	+7	0	
> 24 ~ 30				—	+65	+40	—	+20	—	+7	0	
> 30 ~ 40	+310	+170	+120	—	+80	+50	—	+25	—	+9	0	
> 40 ~ 50	+320	+180	+130									
> 50 ~ 65	+340	+190	+140	—	+100	+60	—	+30	—	+10	0	
> 65 ~ 80	+360	+200	+150									
> 80 ~ 100	+380	+220	+170	—	+120	+72	—	+36	—	+12	0	
> 100 ~ 120	+410	+240	+180									
> 120 ~ 140	+460	+260	+200	—	+145	+85	—	+43	—	+14	0	
> 140 ~ 160	+520	+280	+210									
> 160 ~ 180	+580	+310	+230									

(续)

基本偏差		下极限偏差 EI/ μm										JS ^②
代号	A ^①	B ^①	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	
标准公差等级 公称尺寸/mm	所有的公差等级											
> 180 ~ 200	+ 660	+ 340	+ 240									
> 200 ~ 225	+ 740	+ 380	+ 260	—	+ 170	+ 100	—	+ 50	—	+ 15	0	偏差 = $\pm \frac{IT_n}{2}$
> 225 ~ 250	+ 820	+ 420	+ 280									
> 250 ~ 280	+ 920	+ 480	+ 300	—	+ 190	+ 110	—	+ 56	—	+ 17	0	
> 280 ~ 315	+ 1050	+ 540	+ 330									
> 315 ~ 355	+ 1200	+ 600	+ 360	—	+ 210	+ 125	—	+ 62	—	+ 18	0	
> 355 ~ 400	+ 1350	+ 680	+ 400									
> 400 ~ 450	+ 1500	+ 760	+ 440	—	+ 230	+ 135	—	+ 68	—	+ 20	0	
> 450 ~ 500	+ 1650	+ 840	+ 480									

基本偏差		上极限偏差 ES/ μm											
代号	J			K		M		N		P ~ ZC	P	R	S
标准公差等级 公称尺寸/mm	IT6	IT7	IT8	$\leq IT8$ ^④	$> IT8$	$\leq IT8$ ^{③,④}	$> IT8$	$\leq IT8$ ^④	$> IT8$ ^①	$\leq IT7$ ^④	IT8 ~ IT18		
≤ 3	+ 2	+ 4	+ 6	0	0	- 2	- 2	- 4	- 4	在低于7级的相应数值上增加一个 Δ 值	- 6	- 10	- 14
> 3 ~ 6	+ 5	+ 6	+ 10	- 1 + Δ	—	- 4 + Δ	- 4	- 8 + Δ	0		- 12	- 15	- 19
> 6 ~ 10	+ 5	+ 8	+ 12	- 1 + Δ	—	- 6 + Δ	- 6	- 10 + Δ	0		- 15	- 19	- 23
> 10 ~ 14	+ 6	+ 10	+ 15	- 1 + Δ	—	- 7 + Δ	- 7	- 12 + Δ	0		- 18	- 23	- 28
> 14 ~ 18													
> 18 ~ 24	+ 8	+ 12	+ 20	- 2 + Δ	—	- 8 + Δ	- 8	- 15 + Δ	0		- 22	- 28	- 35
> 24 ~ 30													
> 30 ~ 40	+ 10	+ 14	+ 24	- 2 + Δ	—	- 9 + Δ	- 9	- 17 + Δ	0		- 26	- 34	- 43
> 40 ~ 50													
> 50 ~ 65	+ 13	+ 18	+ 28	- 2 + Δ	—	- 11 + Δ	- 11	- 20 + Δ	0		- 32	- 41	- 53
> 65 ~ 80													
> 80 ~ 100	+ 16	+ 22	+ 34	- 3 + Δ	—	- 13 + Δ	- 13	- 23 + Δ	0		- 37	- 51	- 71
> 100 ~ 120													
> 120 ~ 140	+ 18	+ 26	+ 41	- 3 + Δ	—	- 15 + Δ	- 15	- 27 + Δ	0		- 43	- 63	- 92
> 140 ~ 160													
> 160 ~ 180													

(续)

基本偏差		上极限偏差 ES/ μm															
代号		J			K		M		N		P ~ ZC	P	R	S			
标准公差等级	公称尺寸/mm	IT6	IT7	IT8	\leq IT8 ^④	> IT8	\leq IT8 ^{③,④}	> IT8	\leq IT8 ^④	> IT8 ^①	\leq IT7 ^④	IT8 ~ IT18					
		> 180 ~ 200											在低于7级的相应数值上增加一个 Δ 值		-77	-122	
> 200 ~ 225	+22	+30	+47	-4 + Δ	—	-17 + Δ	-17	-31 + Δ	0		-50	-80		-130			
> 225 ~ 250												-84		-140			
> 250 ~ 280	+25	+36	+55	-4 + Δ	—	-20 + Δ	-20	-34 + Δ	0		-56	-94		-158			
> 280 ~ 315												-98		-170			
> 315 ~ 355	+29	+39	+60	-4 + Δ	—	-21 + Δ	-21	-37 + Δ	0		-62	-108		-190			
> 355 ~ 400												-114		-208			
> 400 ~ 450	+33	+43	+66	-5 + Δ	—	-23 + Δ	-23	-40 + Δ	0		-68	-126		-232			
> 450 ~ 500												-132		-252			
基本偏差		上极限偏差 ES/ μm										$\Delta = IT_n - IT_{(n-1)}$					
代号		T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	/ μm						
标准公差等级	基本尺寸/mm	> IT7 (标准公差等级为 IT8、IT9、…、IT18)										孔的标准公差等级					
		3	4	5	6	7	8										
≤ 3		—	-18	—	-20	—	-26	-32	-40	-60	$\Delta = 0$						
> 3 ~ 6		—	-23	—	-28	—	-35	-42	-50	-80	1	1.5	1	3	4	6	
> 6 ~ 10		—	-28	—	-34	—	-42	-52	-67	-97	1	1.5	2	3	6	7	
> 10 ~ 14		—	-33	—	-40	—	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9	
> 14 ~ 18		—		-39	-45	—	-60	-77	-108	-150							
> 18 ~ 24		—	-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1.5	2	3	4	8	12	
> 24 ~ 30		-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218							
> 30 ~ 40		-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1.5	3	4	5	9	14	
> 40 ~ 50		-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325							
> 50 ~ 65		-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16	
> 65 ~ 80		-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480							
> 80 ~ 100		-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19	
> 100 ~ 120		-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690							

(续)

基本偏差 代号	上极限偏差 ES/ μm									$\Delta = IT_n - IT_{(n-1)}$ / μm					
	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	孔的标准公差等级					
标准公差等级	> IT7 (标准公差等级为 IT8、IT9、…、IT18)									孔的标准公差等级					
基本尺寸/mm										3	4	5	6	7	8
> 120 ~ 140	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800						
> 140 ~ 160	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900	3	4	6	7	15	23
> 160 ~ 180	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000						
> 180 ~ 200	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150						
> 200 ~ 225	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250	3	4	6	9	17	26
> 225 ~ 250	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350						
> 250 ~ 280	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550						
> 280 ~ 315	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700	4	4	7	9	20	29
> 315 ~ 355	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900						
> 355 ~ 400	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32
> 400 ~ 450	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400						
> 450 ~ 500	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600	5	5	7	13	23	34

① 公称尺寸小于或等于 1mm 时, A 和 B 及低于 8 级的 N 均不采用。

② js 的数值中, 对 IT7 至 IT11, 若 IT_n 的数值 (μm) 为奇数, 则取偏差 = $\pm \frac{IT_n - 1}{2}$ 。

③ 特殊情况, 当公称尺寸大于 250mm 至 315mm 时, M6 的 ES 等于 -9 (代替 -11)。

④ 对 8 级及 8 级以上的 K、M、N 和 7 级以上的 P 至 ZC, 所需 Δ 值从表内右侧栏选取。例如: 大于 6mm 至 10mm 的 P6, $\Delta = 3$, 所以 $ES = (-15 + 3) \mu\text{m} = -12 \mu\text{m}$ 。

4.2.4. 常用公差带和优先、常用配合 (见表 4-19 ~ 表 4-24)

表 4-19 孔、轴常用公差带、优先配合和常用配合

说明	<p>为了获得最佳的技术经济效益, 避免定值刀具、光滑极限量规以及工艺装备的品种和规格的不必要的繁杂, 需要对公差带的选择加以限制, 选用适当的孔、轴公差带组成配合。为此, “GB/T 1801—2009” 对孔和轴分别规定了常用公差带和优先常用配合。其中, 孔的常用公差带 105 种, 轴的常用公差带 116 种。基孔制优先配合 13 种, 常用配合 59 种 (见表 4-22); 基轴制优先配合 13 种, 常用配合 47 种 (见表 4-23)。基孔制与基轴制优先配合的极限间隙或极限过盈见表 4-24</p>
----	--

(续)

<p>孔的常用公差带</p>	<p>下图列出了孔的常用公差带 105 种。选择时，应优先选用圆圈中的 13 种公差带，其次选用方框中的 31 种公差带，最后选用其他的公差带。孔的优先公差带的极限偏差见表4-20</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>H1</td><td>JS1</td></tr> <tr><td>H2</td><td>JS2</td></tr> <tr><td>H3</td><td>JS3</td></tr> <tr><td>H4</td><td>JS4 K4 M4</td></tr> <tr><td>G5 H5</td><td>JS5 K5 M5 N5 P5 R5 S5</td></tr> <tr><td>F6 G6 H6</td><td>JS6 K6 M6 N6 P6 R6 S6 T6 U6 V6 X6 Y6 Z6</td></tr> <tr><td>D7 E7 F7 G7 H7</td><td>JS7 K7 M7 N7 P7 R7 S7 T7 U7 V7 X7 Y7 Z7</td></tr> <tr><td>C8 D8 E8 F8 G8 H8</td><td>JS8 K8 M8 N8 P8 R8 S8 T8 U8 V8 X8 Y8 Z8</td></tr> <tr><td>A9 B9 C9 D9 E9 F9</td><td>JS9 N9 P9</td></tr> <tr><td>A10 B10 C10 D10 E10</td><td>H10 JS10</td></tr> <tr><td>A11 B11 C11 D11</td><td>H11 JS11</td></tr> <tr><td>A12 B12 C12</td><td>H12 JS12</td></tr> <tr><td></td><td>H13 JS13</td></tr> </table>	H1	JS1	H2	JS2	H3	JS3	H4	JS4 K4 M4	G5 H5	JS5 K5 M5 N5 P5 R5 S5	F6 G6 H6	JS6 K6 M6 N6 P6 R6 S6 T6 U6 V6 X6 Y6 Z6	D7 E7 F7 G7 H7	JS7 K7 M7 N7 P7 R7 S7 T7 U7 V7 X7 Y7 Z7	C8 D8 E8 F8 G8 H8	JS8 K8 M8 N8 P8 R8 S8 T8 U8 V8 X8 Y8 Z8	A9 B9 C9 D9 E9 F9	JS9 N9 P9	A10 B10 C10 D10 E10	H10 JS10	A11 B11 C11 D11	H11 JS11	A12 B12 C12	H12 JS12		H13 JS13
H1	JS1																										
H2	JS2																										
H3	JS3																										
H4	JS4 K4 M4																										
G5 H5	JS5 K5 M5 N5 P5 R5 S5																										
F6 G6 H6	JS6 K6 M6 N6 P6 R6 S6 T6 U6 V6 X6 Y6 Z6																										
D7 E7 F7 G7 H7	JS7 K7 M7 N7 P7 R7 S7 T7 U7 V7 X7 Y7 Z7																										
C8 D8 E8 F8 G8 H8	JS8 K8 M8 N8 P8 R8 S8 T8 U8 V8 X8 Y8 Z8																										
A9 B9 C9 D9 E9 F9	JS9 N9 P9																										
A10 B10 C10 D10 E10	H10 JS10																										
A11 B11 C11 D11	H11 JS11																										
A12 B12 C12	H12 JS12																										
	H13 JS13																										
<p>轴的常用公差带</p>	<p>下图列出了轴的常用公差带 116 种。选择时，应优先选用圆圈中的 13 种公差带，其次选用方框中的 46 种公差带，最后选用其他的公差带。轴的优先公差带的极限偏差见表4-21</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>h2</td><td>js2</td></tr> <tr><td>h3</td><td>js3</td></tr> <tr><td>g4 h4</td><td>js4 k4 m4 n4 p4 r4 s4</td></tr> <tr><td>f5 g5 h5</td><td>js5 k5 m5 n5 p5 r5 s5 t5 u5 v5 x5</td></tr> <tr><td>e6 f6 g6 h6</td><td>js6 k6 m6 n6 p6 r6 s6 t6 u6 v6 x6 y6 z6</td></tr> <tr><td>d7 e7 f7 g7 h7</td><td>js7 k7 m7 n7 p7 r7 s7 t7 u7 v7 x7 y7 z7</td></tr> <tr><td>c8 d8 e8 f8 g8 h8</td><td>js8 k8 m8 n8 p8 r8 s8 t8 u8 v8 x8 y8 z8</td></tr> <tr><td>a9 b9 c9 d9 e9 f9</td><td>js9</td></tr> <tr><td>a10 b10 c10 d10 e10</td><td>h10 js10</td></tr> <tr><td>a11 b11 c11 d11</td><td>h11 js11</td></tr> <tr><td>a12 b12 c12</td><td>h12 js12</td></tr> <tr><td>a13 b13</td><td>h13 js13</td></tr> </table>	h2	js2	h3	js3	g4 h4	js4 k4 m4 n4 p4 r4 s4	f5 g5 h5	js5 k5 m5 n5 p5 r5 s5 t5 u5 v5 x5	e6 f6 g6 h6	js6 k6 m6 n6 p6 r6 s6 t6 u6 v6 x6 y6 z6	d7 e7 f7 g7 h7	js7 k7 m7 n7 p7 r7 s7 t7 u7 v7 x7 y7 z7	c8 d8 e8 f8 g8 h8	js8 k8 m8 n8 p8 r8 s8 t8 u8 v8 x8 y8 z8	a9 b9 c9 d9 e9 f9	js9	a10 b10 c10 d10 e10	h10 js10	a11 b11 c11 d11	h11 js11	a12 b12 c12	h12 js12	a13 b13	h13 js13		
h2	js2																										
h3	js3																										
g4 h4	js4 k4 m4 n4 p4 r4 s4																										
f5 g5 h5	js5 k5 m5 n5 p5 r5 s5 t5 u5 v5 x5																										
e6 f6 g6 h6	js6 k6 m6 n6 p6 r6 s6 t6 u6 v6 x6 y6 z6																										
d7 e7 f7 g7 h7	js7 k7 m7 n7 p7 r7 s7 t7 u7 v7 x7 y7 z7																										
c8 d8 e8 f8 g8 h8	js8 k8 m8 n8 p8 r8 s8 t8 u8 v8 x8 y8 z8																										
a9 b9 c9 d9 e9 f9	js9																										
a10 b10 c10 d10 e10	h10 js10																										
a11 b11 c11 d11	h11 js11																										
a12 b12 c12	h12 js12																										
a13 b13	h13 js13																										

表 4-20 孔的优先公差带的极限偏差 (摘自 GB/T 1800.2—2009)

(单位: μm)

公称尺寸 /mm	公差带												
	C11	D9	F8	G7	H7	H8	H9	H11	K7	N7	P7	S7	U7
>24 ~ 30	+240	+117	+53	+28	+21	+33	+52	+130	+6	-7	-14	-27	-40
	+110	+65	+20	+7	0	0	0	0	-15	-28	-35	-48	-61
>30 ~ 40	+280	+142	+64	+34	+25	+39	+62	+160	+7	-8	-17	-34	-51
	+120												-76
>40 ~ 50	+290	+80	+25	+9	0	0	0	0	-18	-33	-42	-59	-61
	+130												-86
>50 ~ 65	+330	+174	+76	+40	+30	+46	+74	+190	+9	-9	-21	-42	-76
	+140												-106
>65 ~ 80	+340	+100	+30	+10	0	0	0	0	-21	-39	-51	-48	-91
	+150												-121
>80 ~ 100	+390	+207	+90	+47	+35	+54	+87	+220	+10	-10	-24	-58	-111
	+170												-146
>100 ~ 120	+400	+120	+36	+12	0	0	0	0	-25	-45	-59	-66	-131
	+180												-166
>120 ~ 140	+450	+245	+106	+54	+40	+63	+100	+250	+12	-12	-28	-77	-155
	+200												-195
>140 ~ 160	+460	+145	+43	+14	0	0	0	0	-28	-52	-68	-85	-175
	+210												-215
>160 ~ 180	+480	+145	+43	+14	0	0	0	0	-28	-52	-68	-93	-195
	+230												-235

表 4-21 轴的优先公差带的极限偏差 (摘自 GB/T 1800.2—2009) (单位: μm)

公称尺寸 /mm	公差带												
	c11	d9	f7	g6	h6	h7	h9	h11	k6	n6	p6	s6	u6
>24 ~ 30	-110	-65	-20	-7	0	0	0	0	+15	+28	+35	+48	+61
	-240	-117	-41	-20	-13	-21	-52	-130	+2	+15	+22	+35	+48
>30 ~ 40	-120	-80	-25	-9	0	0	0	0	+18	+33	+42	+59	+76
	-280												+60
>40 ~ 50	-130	-142	-50	-25	-16	-25	-62	-160	+2	+17	+26	+43	+86
	-290												+70

(续)

基准孔	轴																				
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z
	间隙配合								过渡配合				过盈配合								
H11	$\frac{H11}{a11}$	$\frac{H11}{b11}$	$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$				$\frac{H11}{h11}$													
H12		$\frac{H12}{b12}$						$\frac{H12}{h12}$													

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

2. 带▼的配合为优先配合。

表 4-23 基轴制优先、常用配合（摘自 GB/T 1801—2009）

基准轴	孔																					
	A	B	C	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	
h5						$\frac{F6}{h5}$	$\frac{G6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{JS6}{h5}$	$\frac{K6}{h5}$	$\frac{M6}{h5}$	$\frac{N6}{h5}$	$\frac{P6}{h5}$	$\frac{R6}{h5}$	$\frac{S6}{h5}$	$\frac{T6}{h5}$						
h6						$\frac{F7}{h6}$	$\frac{G7}{h6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{JS7}{h6}$	$\frac{K7}{h6}$	$\frac{M7}{h6}$	$\frac{N7}{h6}$	$\frac{P7}{h6}$	$\frac{R7}{h6}$	$\frac{S7}{h6}$	$\frac{T7}{h6}$	$\frac{U7}{h6}$					
h7						$\frac{F8}{h7}$	$\frac{F8}{h7}$	$\frac{H8}{h7}$	$\frac{JS8}{h7}$	$\frac{K8}{h7}$	$\frac{M8}{h7}$	$\frac{N8}{h7}$										
h8				$\frac{D8}{h8}$	$\frac{E8}{h8}$	$\frac{F8}{h8}$		$\frac{H8}{h8}$														
h9				$\frac{D9}{h9}$	$\frac{E9}{h9}$	$\frac{F9}{h9}$		$\frac{H9}{h9}$														
h10				$\frac{D10}{h10}$				$\frac{H10}{h10}$														
h11	$\frac{A11}{h11}$	$\frac{B11}{h11}$	$\frac{C11}{h11}$	$\frac{D11}{h11}$				$\frac{H11}{h11}$														
h12		$\frac{B12}{h12}$						$\frac{H12}{h12}$														

注：1. 带▼的配合为优先配合。

表 4-24 基孔制与基轴制优先配合的极限间隙或极限过盈 (摘自 GB/T 1801—2009)

(单位: μm)

基孔制		$\frac{H7}{g6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H8}{f7}$	$\frac{H8}{h7}$	$\frac{H9}{d9}$	$\frac{H9}{h9}$	$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{h11}$	$\frac{H7}{k6}$	$\frac{H7}{n6}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H7}{u6}$
基轴制		$\frac{G7}{h6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{F8}{h7}$	$\frac{H7}{h7}$	$\frac{D9}{h9}$	$\frac{H9}{h9}$	$\frac{C11}{h11}$	$\frac{H11}{h11}$	$\frac{K7}{h6}$	$\frac{N7}{h6}$	$\frac{P7}{h6}$	$\frac{S7}{h6}$	$\frac{U7}{h6}$
基本尺寸 /mm	>24 ~ 30	+41 +7	+34 0	+74 +20	+54 0	+169 +65	+104 0	+370 +110	+260 0	+19 -15	+6 -28	-1 -35	-14 -48	-27 -61
	>30 ~ 40	+50 +9	+41 0	+89 +25	+64 0	+204 +80	+124 0	+440 +120	+320 0	+23 -18	+8 -33	-1 -42	-18 -59	-35 -76
	>40 ~ 50							+450 +130						-45 -86
	>50 ~ 65	+59 +10	+49 0	+106 +30	+76 0	+248 +100	+148 0	+520 +140	+380 0	+28 -21	+10 -39	-2 -51	-23 -72	-57 -106
	>65 ~ 80							+530 +150						-72 -121
	>80 ~ 100	+69 +12	+57 0	+125 +36	+89 0	+294 +120	+174 0	+610 +170	+440 0	+32 -25	+12 -45	-2 -59	-36 -93	-89 -146
	>100 ~ 120							+620 +180						-109 -166
	>120 ~ 140	+79 +14	+65 0	+146 +43	+103 0	+345 +145	+200 0	+700 +200	+500 0	+37 -28	+13 -52	-3 -68	-60 -125	-130 -195
	>140 ~ 160							+710 +210						-150 -215
	>160 ~ 180							+730 +230						-170 -235

4.3 公差与配合的选择 (见表 4-25)

表 4-25 公差与配合的选择方法

项目	说 明
选择内容	公差与配合的选择内容包括: 配合制的选择、标准公差等级的选择、配合种类的选择
类比法	通过对同类机器和零部件以及它们的图样进行分析, 参考从生产实践中总结出来的技术资料, 把所设计产品的技术要求与之对比, 来选择孔、轴的公差与配合。这是应用较多的方法
计算法	按照一定的理论和公式确定所需要的极限间隙或过盈, 来确定孔、轴极限偏差。由于这种方法的影响因素较复杂, 因此计算比较困难和麻烦。不过随着科学技术的发展和日臻完善, 以及计算机技术的广泛应用, 计算法的使用逐渐增多

项目	说 明
实验法	通过实验或统计分析, 确定所需的极限间隙或过盈, 来选择孔、轴公差与配合。此方法优点是数据可靠, 但成本较高。故只用于重要的配合

4.3.1 配合制的选择 (见表 4-26、表 4-27)

表 4-26 配合制选择原则及图例

<p>一般情 况下优 先选 基 孔制</p>	<p>孔的加工与检测需要使用钻头、铰刀、拉刀等定值刀具和光滑极限塞规 (孔不便于使用普通计量器具测量), 而每一种定值刀具和塞规只能加工和检验一种特定公称尺寸和公差带的孔。而轴的加工使用车刀、砂轮等通用刀具, 并便于使用普通计量器具测量。因此, 采用基孔制配合可以减少孔的公差带的数量, 从而减少定值刀具和塞规的数量, 这显然是经济合理的</p> <p>见表 4-27 设某一公称尺寸的孔和轴要求三种配合, 采用基孔制, 则三种配合由一种孔公差带和三种轴公差带构成; 而采用基轴制, 则三种配合由一种轴公差带和三种孔公差带构成。可见基孔制所需要的定值刀具比基轴制少</p>
<p>特殊情 况采用 基 轴制</p>	<p>1) 轴用型材 在农业机械和纺织机械中, 常使用具有一定精度 (IT9 ~ IT11) 的冷拉钢材, 不必切削加工而直接作轴来与其他零件的孔配合, 因此应该采用基轴制</p> <p>2) 小尺寸的孔、轴 (公称尺寸小于等于 3mm) 配合 对于小尺寸的孔、轴配合, 轴的加工比孔的加工困难, 因此采用基轴制</p> <p>3) “一轴多孔” 配合且配合性质不同 在轴的同—公称尺寸部分的不同部位上装配几个不同配合要求的孔的零件时, 轴的这一部分与几个孔的配合应该采用基轴制。例如下图所示的内燃机活塞连杆机构, 活塞销与活塞上的两个销孔的配合要求紧些 (过渡配合性质), 而活塞销与连杆小头孔的配合要求松些 (最小间隙为零的间隙配合性质)。若采用基孔制, 如下图 a 所示, 那么活塞上的两个销孔和连杆小头孔的公差带相同 (H6), 而满足两种不同配合要求的活塞销要按两种公差带 (h5、m5) 加工成阶梯轴, 这既不利于加工, 又不利于装配 (装配时会将连杆小头孔刮伤)。反之, 采用基轴制, 如下图 b 所示, 则活塞销按一种公差带加工, 制成光轴, 这样活塞销的加工和装配都方便</p> <div data-bbox="525 1259 882 1616" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">1—活塞 2—活塞销 3—连杆</p>

(续)

特殊情况采用基轴制	<p>a) 基孔制配合 b) 基轴制配合</p>
其他情况	<p>1) 与标准零部件配合时以标准零部件为基准件</p> <p>对于与标准零部件配合的孔或轴，它们的配合必须以标准零部件为基准来选择基准制。如滚动轴承为标准部件，其外圈与壳体孔的配合采用基轴制，内圈与轴颈的配合采用基孔制</p> <p>2) 必要时采用任何适当的孔、轴公差带组成的配合（混配）</p> <p>如下图所示，圆柱齿轮减速器中，输出轴轴颈的公差带按它与滚动轴承内圈配合的要求已确定为 $\phi 55k6$，而起轴轴向定位作用的轴套的孔与该轴的配合，允许较大的间隙，轴套要求装拆方便，并且轴套孔的尺寸精度要求不高，因此应按轴颈的上极限偏差和最小间隙的大小，来确定轴套孔的下极限偏差，确定该孔的公差带为 $\phi 55D9$。箱体上轴承孔（外壳孔）的公差带按它与轴承外圈配合的要求已确定为 $\phi 100J7$，而端盖定位圆柱面与该孔的配合，允许较大间隙，端盖要求装拆方便，并且尺寸精度要求不高，因此端盖定位圆柱面的公差带可选取 $\phi 100e9$。这样组成的配合 $\phi 55D9/k6$ 和 $\phi 100J7/e9$ 既满足使用要求，又获得最佳的技术经济效益</p> <p>图中标注的公差带：$\phi 58H7/r6$ (轴套孔), $\phi 55D9/k6$ (轴套与轴颈), $\phi 100J7/e9$ (轴承孔与端盖定位面)</p>

表 4-27 基孔制和基轴制所需刀具和量规的比较

刀具和量具	基孔制（一孔三轴）	基轴制（一轴三孔）
车刀	1 把	1 把
孔用最终成形刀具 (钻头、铰刀、拉刀)	1 把	3 把
光滑极限量规	塞规 1 副，卡规 3 副	塞规 3 副，卡规 1 副

4.3.2 标准公差等级的选择（见表 4-28、表 4-29）

表 4-28 各个标准公差等级的选择原则及应用范围

选择原则	在满足使用要求的前提下，尽量选取低的标准公差等级。标准公差等级可用类比法选择
IT01 ~ IT1	用于量块的尺寸公差
IT1 ~ IT7	用于量规的尺寸公差，这些量规常用于检验 IT6 ~ IT16 的孔和轴（量规工作尺寸的标准公差等级比被测孔、轴高得多）
IT2 ~ IT5	用于精密配合，如滚动轴承各零件的配合
IT5 ~ IT10	用于有精度要求的重要和较重要配合
	IT6 的轴与 IT7 的孔在机械制造中的应用很广泛，用于较高精度的重要配合，例如普通机床的重要配合，内燃机曲轴的主轴颈与滑动轴承的配合。与普通级滚动轴承内、外圈配合的轴颈和箱体上轴承孔（外壳孔）的标准公差等级分别采用 IT6 和 IT7
	IT7、IT8 的轴和孔通常用于中等精度要求的配合，例如通用机械中轴的轴颈与滑动轴承的配合以及重型机械和农用机械中重要的配合
	IT8 与 IT9 分别用于普通平键宽度与键槽宽度的配合
IT9 和 IT10 的轴和孔用于一般精度要求的配合	
IT11、IT12	用于不重要的配合
IT12 ~ IT18	用于非配合尺寸

表 4-29 用类比法选择公差等级时的注意事项

工艺等价性	工艺等价性是指同一配合中的孔和轴的加工难易程度大致相同		
	间隙配合 和过渡配合	标准公差等级 \leq IT8	孔应与高一级的轴配合，例如 $\phi 55H8/f7$ 、 $\phi 40K7/h6$
		标准公差等级 \geq IT9	孔可与同一级的轴配合，如 $\phi 35H9/e9$ 、 $\phi 40D10/h10$
	过盈配合	标准公差等级 \leq IT7	孔应与高一级的轴配合，如 $\phi 100H7/u6$ 、 $\phi 50R6/h5$
标准公差等级 \geq IT8		孔可与同一级的轴配合，如 $\phi 60H8/r8$	
相配件或相关件的结构或精度	某些孔、轴的标准公差等级决定于相配件或相关件的结构或精度。例如，与滚动轴承内、外圈配合的轴颈和外壳孔的标准公差等级决定于相配件滚动轴承的类型和公差等级以及配合尺寸的大小；盘形齿轮的基准孔与传动轴的轴头配合，该孔和该轴头的标准公差等级决定于相关件的精度等级		
配合性质及加工成本	<p>过盈配合、过渡配合和间隙较小的间隙配合中，孔的标准公差等级应不低于 8 级，轴的标准公差等级通常不低于 7 级，如 H7/g6。而间隙较大的间隙配合中，孔、轴的标准公差等级较低（9 级或 9 级以下），如 H10/d10</p> <p>间隙较大的间隙配合中，孔和轴之一由于某种原因，必须采用较高的标准公差等级，则与它配合的轴或孔的标准公差等级可以低二三级，以便在满足使用要求的前提下降低加工成本</p> <p>对于特别重要的配合，若要根据使用要求确定极限间隙或过盈，则可以用算法进行精度设计</p>		

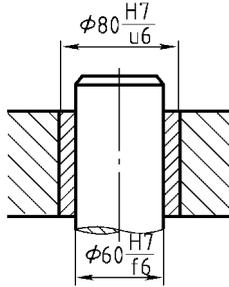
4.3.3 配合种类的选择 (见表 4-30)

表 4-30 配合种类的选择

选择的实质	配合种类的选择实质是：确定基孔制中非基准轴或基轴制中非基准孔的基本偏差代号
间隙配合的选择	<p>工作时具有相对运动或虽无运动而要求装拆方便的孔、轴配合，应该选用间隙配合</p> <p>要求孔、轴有相对运动的间隙配合中，相对运动速度越高，润滑油粘度越大，则配合应越松。对于一般工作条件的滑动轴承，可以选用由基本偏差 f (或 F) 组成的配合，如 H8/f7</p> <p>若相对运动速度高、支承数目多，则可以选用由基本偏差 d、e (或 D、E) 组成的间隙较大的配合，如 H8/e7。对于孔与轴仅有轴向相对运动或相对运动速度很低且有对准中心要求的配合，可以选用由基本偏差 g (或 G) 组成的间隙较小的配合，如 H7/g6。要求装拆方便而无相对运动的孔与轴配合，可以选用由基本偏差 h 与 H 组成的最小间隙为零的间隙配合，如低精度配合 H9/h9 以及具有一定对中性的高精度配合 H7/h6</p>
过渡配合的选择	<p>对于既要求对中性，又要求装拆方便的孔、轴配合，可以选用过渡配合。这时，传递载荷 (转矩或轴向力) 必须加键或销等连接件</p> <p>过渡配合最大间隙 X_{\max} 应小，以保证对中性，最大过盈 Y_{\max} 也应小，以保证装拆方便，也就是说，配合公差 ($T_f = X_{\max} - Y_{\max}$) 应小。因此，过渡配合中孔、轴的标准公差等级应较高 (IT5 ~ IT8)。当对中性要求高、不常装拆、传递载荷大、冲击和振动大时，应选择较紧的配合，如 H7/m6, H7/n6。反之，则可选择较松的配合，如 H7/js6, H7/k6</p>
过盈配合的选择	<p>对于利用过盈来保证固定或传递载荷的孔、轴配合，应选择过盈配合</p> <p>不传递载荷而只作定位用的过盈配合，可以选用由基本偏差 r、s (或 R、S) 组成的配合。主要由连接件 (键、销等) 传递载荷的配合，可以选用小过盈的配合以增加连接的可靠性，如由基本偏差 p、r (或 P、R) 组成的配合。利用过盈传递载荷的配合，可以选用由基本偏差 t、u (或 T、U) 组成的配合。对于利用过盈传递载荷的配合，应经过计算以确定允许过盈的大小，来选择由适当的基本偏差组成的配合。尤其是要求过盈很大时，如由基本偏差 x、y、z (或 X、Y、Z) 组成的配合，还要经过试验，证明所选择的配合确实合理可靠，才可做出决定</p> <p>采用类比法选择孔或轴的基本偏差代号，应尽量采用 GB/T 1801—2009 规定的优先配合。表 4-31 列出了各种基本偏差的应用实例</p>
工作温度对配合类型选择的影响	如果相互配合的孔、轴工作时与装配时的温度差别较大，则选择配合要考虑热变形的影响

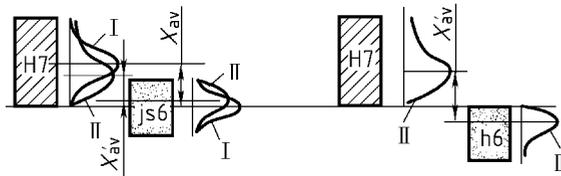
装配变形对配合类型选择的影响

在机械结构中,有时会遇到薄壁套筒装配后变形的问题。如下图所示,套筒外表面与机座孔的配合为过盈配合 $\phi 80H7/u6$,套筒内孔与轴配合为间隙配合 $\phi 60H7/f6$ 。由于套筒外表面与机座孔的装配会产生过盈,当套筒压入机座孔后,套筒内孔会收缩,产生变形,使套筒孔径减小,而不能满足使用要求。因此,在选择套筒内孔与轴的配合时,应考虑变形量的影响。具体办法有两个:其一是预先将套筒内孔加工得比 $\phi 60H7$ 稍大,以补偿装配变形,其二是用工艺措施保证,将套筒压入机座孔后,再按 $\phi 60H7$ 加工套筒内孔



生产类型对配合类型选择的影响

选择配合种类时,应考虑生产类型(批量)的影响。在大批量生产时,多用调整法加工,加工后尺寸的分布通常遵循正态分布。而在单件或小批量生产时,多用试切法加工,孔加工后尺寸多偏向孔的下极限尺寸,轴加工后尺寸多偏向轴的上极限尺寸,即孔和轴加工后尺寸的分布皆遵循偏态分布。如下图所示,设计时给定孔与轴的配合为 $\phi 50H7/js6$,大批量生产时,孔、轴装配后形成的平均间隙为 $X_{av} = +12.5 \mu m$ 。而单件或小批量生产时,加工后孔和轴的尺寸分布中心分别趋向孔的下极限尺寸和轴的上极限尺寸,于是孔与轴装配后形成的平均间隙 $X'_{av} < X_{av}$,且比 $+12.5 \mu m$ 小得多。为了满足相同的使用要求,单件小批生产时采用的配合应比大批量生产时松些。因此,为了满足大批量生产时 $\phi 50H7/js6$ 的要求,在单件小批量生产时应选择 $\phi 50H7/h6$,如下图所示



a) 调整法和试切法加工后尺寸分布 b) 试切法加工后的尺寸分布
I — 正态分布 II — 偏态分布

表 4-31 各种基本偏差的应用实例

配合	基本偏差	特点及应用实例
间隙配合	a (A) b (B)	可得到特别大的间隙, 很少采用。主要用于工作时温度高、热变形大的零件的配合, 如内燃机中铝活塞与汽缸套孔的配合为 H9/a9
	c (C)	可得到很大的间隙。一般用于工作条件较差 (如农用机械)、工作时受力变形大及装配工艺性不好的零件配合, 也适用于高温工作的间隙配合, 如内燃机排气阀杆与导管的配合为 H8/c7
	d (D)	与 IT7 ~ IT11 对应, 适用于较松的间隙配合 (如滑轮、活套的带轮与轴的配合), 以及大尺寸滑动轴承与轴颈的配合 (如涡轮机、球磨机等滑动轴承)。活塞环与活塞环槽的配合可用 H9/d9
	e (E)	与 IT6 ~ IT9 对应, 具有明显的间隙, 用于大跨度及多支点的转轴轴颈与轴承的配合, 以及高速、重载的大尺寸轴颈与轴承的配合, 如大型电机、内燃机的主要轴承处的配合为 H8/e7
	f (F)	多与 IT6 ~ IT8 对应, 用于一般的转动配合, 受温度影响不大、采用普通润滑油的轴颈与滑动轴承的配合, 如齿轮箱、小电机、泵等的转轴轴颈与滑动轴承的配合为 H7/f6
	g (G)	多与 IT5 ~ IT7 对应, 形成配合的间隙较小, 用于轻载精密装置中的转动配合, 用于插销的定位配合, 滑阀、连杆销等处的配合, 钻套导向孔多用 G6
	h (H)	多与 IT4 ~ IT11 对应, 广泛用于无相对转动的配合、一般的定位配合。若没有温度、变形的影响, 也可用于精密轴向移动部件, 如车床尾座导向孔与滑动套筒的配合为 H6/h5
过渡配合	js (JS)	多用于 IT4 ~ IT7 具有平均间隙的过渡配合, 用于略有过盈的定位配合, 如联轴器, 齿圈与轮毂的配合, 滚动轴承外圈与外壳孔的配合多用 JS7。一般用手或木槌装配
	k (K)	多用于 IT4 ~ IT7 平均间隙接近于零的配合, 用于定位配合, 如滚动轴承的内、外圈分别与轴颈、外壳孔的配合。用木槌装配
	m (M)	多用于 IT4 ~ IT7 平均过盈较小的配合, 用于精密的定位配合, 如涡轮的青铜轮缘与轮毂的配合为 H7/m6
	n (N)	多用于 IT4 ~ IT7 平均过盈较大的配合, 很少形成间隙。用于加键传递较大转矩的配合, 如冲床上齿轮的孔与轴的配合。用槌子或压力机装配
过盈配合	p (P)	用于过盈小的配合。与 H6 或 H7 孔形成过盈配合, 而与 H8 孔形成过渡配合。碳钢和铸铁零件形成的配合为标准压入配合, 如卷扬机绳轮的轮毂与齿圈的配合为 H7/p6。合金钢零件的配合需要过盈小时可用 p (或 P)
	r (R)	用于传递大扭矩或受冲击负荷而需要加键的配合, 如涡轮孔与轴的配合为 H7/r6。必须注意, H8/r8 配合在公称尺寸 <100mm 时, 为过渡配合
	s (S)	用于钢和铸铁零件的永久性和半永久性结合, 可产生相当大的结合力, 如套环压在轴、阀座上用 H7/s6 配合
	t (T)	用于钢和铸铁零件的永久性结合, 不用键就能传递转矩, 需要热套法或冷轴法装配, 如联轴器与轴的配合为 H7/t6
	u (U)	用于过盈大的配合, 最大过盈需验算, 用热套法进行装配, 如火车车轮轮毂孔与轴的配合为 H6/u5
	v (V), x (X) y (Y), z (Z)	用于过盈特大的配合, 目前使用的经验和资料很少, 须经试验后才能应用。一般不推荐

4.4 大尺寸孔、轴公差与配合 (见表 4-32)

表 4-32 大尺寸孔、轴公差与配合

大尺寸	大尺寸是指公称尺寸大于 500mm 至 3150mm 的尺寸。大尺寸的与常用尺寸的孔、轴公差与配合相比较, 它们既有联系, 又有差别
标准公差 的计算	<p>大尺寸的孔、轴的标准公差主要考虑测量误差, 其标准公差因子 I 与公称尺寸 D 呈线性关系, 关系式如下:</p> $I = 0.004D + 2.1 \mu\text{m}$ <p>式中, 公称尺寸 D 的单位为 mm, 以 D 所在尺寸分段的几何平均值代入</p> <p>按 GB/T 1800.1—2009 规定, 大尺寸孔、轴的标准公差等级各分为 18 个等级: IT1、IT2、…、IT18 级。标准公差数值 IT 由标准公差等级系数 α 和标准公差因子 I 确定, 计算公式如下:</p> $IT = \alpha \times I$ <p>IT5 ~ IT8 的计算公式中, 大尺寸和常用尺寸的 α 值相同, 可参照表 4-9。IT1 ~ IT4 的计算公式中, 大尺寸的 α 值依次为 2、2.7、3.7、5</p>
基本偏差	<p>由于大尺寸孔、轴的加工和测量都比较困难, 因此选用大尺寸的标准公差等级时, 以 IT6 ~ IT18 为宜。大尺寸孔的测量精度比轴更容易保证, 故生产中多采用同级孔与轴相配合。大尺寸孔、轴的基本偏差各有 14 种, 它们的代号见表 4-33。轴与孔的基本偏差数值按表 4-33 所列计算公式确定。利用这些公式, 以公称尺寸分段的几何平均值代入这些公式求得数值, 经尾数圆整后, 就编制出大尺寸孔、轴基本偏差数值表, 见表 4-34</p>
常用公差带	<p>GB/T 1801—2009 对大尺寸规定了 31 种常用孔公差带 (D8、D9、D10、D11、E8、E9、F7、F8、F9、G6、H6、H7、H8、H9、H10、H11、H12、JS6、JS7、JS8、JS9、JS10、JS11、JS12、K6、K7、M6、M7、N6、N7) 和 41 种常用轴公差带 (d8、d9、d10、d11、e8、e9、f7、f8、f9、g6、g7、h6、h7、h8、h9、h10、h11、h12、js6、js7、js8、js9、js10、js11、js12、k6、k7、m6、m7、n6、n7、p6、p7、r6、r7、s6、s7、t6、t7、u6、u7)</p>
配合的选择	<p>大尺寸孔与轴的配合一般采用基孔制配合, 并且孔和轴采用相同的标准公差等级</p> <p>大尺寸孔、轴的标准公差等级及配合种类的选择方法可参考常用尺寸孔、轴的标准公差等级和配合种类的选择方法</p> <p>大尺寸孔和轴可按互换性原则加工。但单件小批量生产时, 标准公差等级较高的大尺寸孔和轴按互换性原则加工不经济, 应采用配制配合。配制配合是指相互配合的孔和轴中的孔或者轴的实际尺寸为基数, 按照给定的配合公差要求, 来配制与它配合的轴或者孔的工艺措施</p> <p>设计产品时, 孔和轴应按互换性原则选取配合。当采用配制配合时, 配制配合的极限间隙或极限过盈必须与按互换性原则选取的配合的极限间隙或过盈相符合</p> <p>采用配制配合时, 通常选择相互配合的孔和轴中较难加工的那一件作为先加工件 (通常取孔), 按照比较容易达到的尺寸公差把它加工好, 并且用尽可能准确的测量方法测出它的实际尺寸。然后, 按设计所要求的配合公差, 给定另一件即配制件 (通常取轴) 一个适当的公差, 来加工它。配制件的极限尺寸以先加工件的实际尺寸为基数来确定</p> <p>在装配图上和在零件图上, 配制配合要用代号 MF 表示。在装配图上的标注, 需借用基准孔的代号 H 或基准轴的代号 h 表示先加工件, 例如 $\phi 1500 \frac{H7}{17} \text{MF}$ 表示先加工件为孔, $\phi 1500 \frac{F7}{h7} \text{MF}$ 表示先加工件为轴。此外, 在装配图上要标明按互换性原则加工时的配合代号, 如下图 a 所示的 $\phi 1500 \frac{H7}{17}$; 在零件图上则标明配制加工的公差代号, 如下图 b 所示的先加工件 (孔) 按 $\phi 1500\text{H9}$ 加工, 如下图 c 所示的配制件 (轴) 按 $\phi 1500\text{i8}$ 加工</p>

(续)

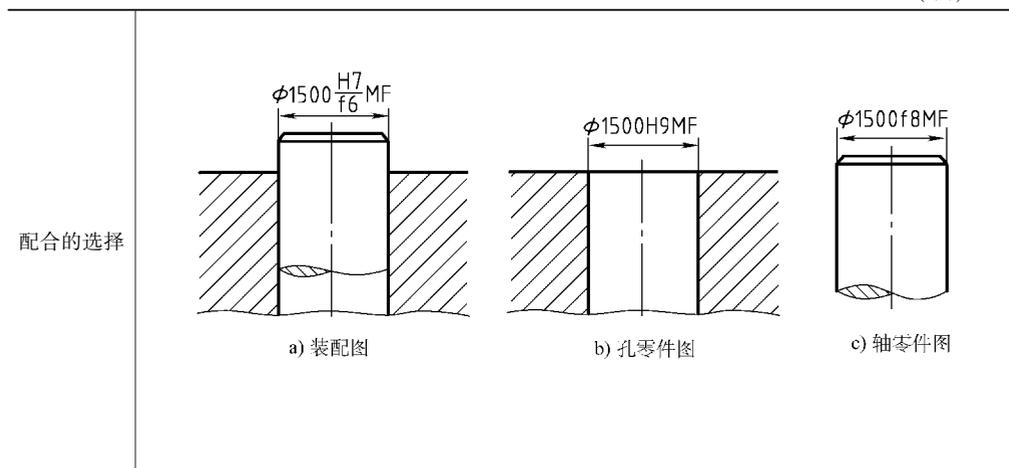


表 4-33 公称尺寸大于 500mm 至 3150mm 的孔和轴的基本偏差计算公式 (GB/T 1800.1—2009)

轴			计算公式 / μm	孔		
基本偏差代号	极限偏差	符号		符号	极限偏差	基本偏差代号
d	es	-	$16D^{0.44}$	+	EI	D
e	es	-	$11D^{0.41}$	+	EI	E
f	es	-	$5.5D^{0.41}$	+	EI	F
g	es	-	$2.5D^{0.34}$	+	EI	G
h	es	无符号	基本偏差 = 0	无符号	EI	H
js	es 或 ei	+ 或 -	$0.5IT_n$	- 或 +	EI 或 ES	JS
k	ei	无符号	基本偏差 = 0	无符号	ES	K
m	ei	+	$0.024D + 12.6$	-	ES	M
n	ei	+	$0.04D + 21$	-	ES	N
p	ei	+	$0.072D + 37.8$	-	ES	P
r	ei	+	\sqrt{ps} 或 \sqrt{PS}	-	ES	R
s	ei	+	$IT7 + 0.4D$	-	ES	S
t	ei	+	$IT7 + 0.63D$	-	ES	T
u	ei	+	$IT7 + D$	-	ES	U

注：公式中 D 为公称尺寸分段的几何平均值 (mm)。

表 4-34 公称尺寸大于 500mm 至 3150mm 的孔和轴的基本偏差数值 (GB/T 1800.1—2009)

基本偏差 / μm	上极限偏差 e_s (负值)					下极限偏差 e_i (正值)								
	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u
> 500 ~ 560	260	145	76	22	0	偏差 = $\pm \frac{IT_n}{2}$	0	26	44	78	150	280	400	600
> 560 ~ 630											155	310	450	660
> 630 ~ 710	290	160	80	24	0		0	30	50	88	175	340	500	740
> 710 ~ 800											185	380	560	840
> 800 ~ 900	320	170	86	26	0		0	34	56	100	210	430	620	940
> 900 ~ 1000											220	470	680	1050
> 1000 ~ 1120	350	195	98	28	0		0	40	66	120	250	520	780	1150
> 1120 ~ 1250											260	580	840	1300
> 1250 ~ 1400	390	220	110	30	0		0	48	78	140	300	640	960	1450
> 1400 ~ 1600											330	720	1050	1600
> 1600 ~ 1800	430	240	120	32	0		0	58	92	170	370	820	1200	1850
> 1800 ~ 2000											400	920	1350	2000
> 2000 ~ 2240	480	260	130	34	0		0	68	110	195	440	1000	1500	2300
> 2240 ~ 2500											460	1100	1650	2500
> 2500 ~ 2800	520	290	145	38	0		0	76	135	240	550	1250	1900	2900
> 2800 ~ 3150											580	1400	2100	3200
公称尺寸 / mm	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U
基本偏差 / μm	下极限偏差 EI (正值)					上极限偏差 ES (负值)								

注：对于公差带 js7 至 js11 (JS7 至 JS11)，若 IT_n 的数值为奇数，则取偏差 = $\pm (IT_n - 1) / 2$ 。

4.5 未注公差线性尺寸的一般公差 (见表 4-35)

表 4-35 未注公差线性尺寸的一般公差

一般公差	为了简化制图, 节省设计时间, 对不重要的尺寸和精度要求很低的非配合尺寸, 在零件图上通常不标注它们的公差。为了保证使用要求, 避免在生产中引起不必要的纠纷, GB/T 1804—2000 对未注公差的线性尺寸给定了一般公差。一般公差是指在车间一般加工条件能够保证的公差
公差等级	GB/T 1804—2000 对线性尺寸和倒圆半径、倒角高度尺寸的一般公差各规定了四个公差等级, 即 f 级 (精密级)、m 级 (中等级)、c 级 (粗糙级) 和 v 级 (最粗级), 并制定了相应的极限偏差数值, 分别见表 4-36 和表 4-37。在零件图上这些数值不必注出, 而由车间在加工时加以控制 未注公差线性尺寸的一般公差要求应写在零件图的技术要求中或技术文件上, 按 GB/T 1804 的标准号和公差等级代号的先后顺序 (中间用短横线 “-” 分开) 写出。例如, 选用中等级时, 表示为 GB/T 1804 - m

表 4-36 未注公差线性尺寸的极限偏差数值 (摘自 GB/T 1804—2000)

(单位: mm)

公差等级	基本尺寸分段							
	0.5~3	>3~6	>6~30	>30~120	>120~400	>400~1000	>1000~2000	>2000~4000
f (精密级)	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	—
m (中等级)	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
c (粗糙级)	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4
v (最粗级)	—	±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±6	±8

表 4-37 倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差数值 (摘自 GB/T 1804—2000)

(单位: mm)

公差等级	基本尺寸分段			
	0.5~3	>3~6	>6~30	>30
f (精密级)	±0.2	±0.5	±1	±2
m (中等级)				
c (粗糙级)	±0.4	±1	±2	±4
v (最粗级)				

注: 倒圆与倒角高度的含义参见国家标准 GB/T 6403.4 《零件倒圆与倒角》。

第5章 尺寸测量

为了保证机械产品及零件的加工精度，需要对加工完的工件的几何量进行检验或测量，判断这些几何量是否符合设计要求。在测量过程中，应保证计量单位统一和量值准确。本章主要介绍尺寸测量基本知识、计量仪器和测量方法等内容。

5.1 尺寸测量的基本知识

5.1.1 测量的基本要素

任何测量，首先要明确被测对象和确定计量单位，其次要有与被测对象相适应的测量方法，并且测量结果还要达到所要求的测量精度。因此，完整的测量过程应包括被测对象、计量单位、测量方法和测量精度等四个要素（见表5-1）。

表5-1 测量的四个基本要素

名称	含 义
被测对象	在机械精度的检测中，主要是有关几何精度方面的参数量，基本被测对象是几何量，包括长度、角度、表面粗糙度轮廓、形状和位置误差以及螺纹、齿轮的各几何参数等
计量单位	定量表示同种量的量值而约定采用的特定量。我国规定采用以国际单位制为基础的“法定计量单位”。它是一组选定的基本单位和由定义公式与比例因数确定的导出单位所组成的。几何量长度的基本单位为米（m），长度的常用单位有毫米（mm）和微米（ μm ）。 $1\text{m} = 10^3\text{mm}$ ， $1\text{mm} = 10^3\mu\text{m}$ 。超高精度测量中，采用纳米（nm）为单位， $1\mu\text{m} = 10^3\text{nm}$ 。几何量中平面角度单位为弧度（rad）、毫弧度（mrad）、微弧度（ μrad ）及度（ $^\circ$ ）、分（'）、秒（"）， $1\text{rad} = 10^3\text{mrad} = 10^6\mu\text{rad}$ 。度、分、秒的关系采用60等分制，即 $1^\circ = 60'$ ， $1' = 60''$
测量方法	测量方法是测量时采用的测量原理、计量器具和测量条件的综合，测量时根据被测零件的特点（如材料硬度、外形尺寸、批量大小）和被测对象的定义及精度要求来拟定测量方案、选择计量器具和规定测量条件
测量精度	测量精度是指测量结果与真值相一致的程度。由于测量误差不可避免，测量结果在一定范围内近似于真值，测量误差的大小反映测量精度的高低

5.1.2 计量器具和测量方法

1. 计量器具的分类及常用技术性能指标（见表 5-2、表 5-3）

表 5-2 常用计量器具的分类及结构特征

分类		结构特征	常用计量器具举例
量具	单值量具	复现几何量的单个量值的量具	量块、直角尺
	多值量具	复现一定范围内一系列不同量值的量具	线纹尺
量规		没有刻度的专用计量器具，用以检验零件要素几何尺寸和形位误差的综合结果，只能确定被检验要素是否合格	光滑极限量规、螺纹量规、功能量规
计量器具	机械式量仪	用机械方法实现原始信号转换的量仪，结构简单，性能稳定，使用方便	指示表、杠杆比较仪
	光学式量仪	用光学方法实现原始信号转换的量仪，精度高，性能稳定	光学比较仪、测长仪、光学分度头、工具显微镜等
	电动式量仪	将原始信号转换为电量形式测量信号的量仪。这种量仪精度高，测量信号易于与计算机接口，实现测量和数据处理的自动化	电感比较仪、电容比较仪、圆度仪、触针式轮廓测量仪
	气动式量仪	以压缩空气为介质，通过气动系统流量或压力的变化来实现原始信号转换的量仪。这种量仪结构简单、精度高、操作方便且效率高，但示值范围小	水柱式气动量仪、浮标式气动量仪
计量装置		确定被测几何量量值所需的计量器具和辅助设备的总体。能够测量同一工件上较多的几何量和形状比较复杂的工件，有助于实现检测自动化	

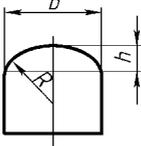
表 5-3 计量器具常用技术性能指标

名称	含 义
标称值	标注在量具上，用于标明特性或指导其使用原则。如标注在量块上的尺寸，标注在角度量块上的角度等
刻线间距	测量器具标尺或刻度盘上相邻刻线中心间的距离
分度值	测量器具标尺上相邻两刻线所代表的量值之差
示值	由测量器具所指示的被测量值
示值范围	由被测器具所显示或指示的最低值到最高值的范围
测量范围	在允许的不确定度内，测量器具所能测量的被测量值的下限值至上限值的范围
灵敏度	反映被测几何量微小变化的能力
示值误差	测量仪器示值与被测真值之差
回程误差	在相同条件下，被测量值不变，测量器具行程方向不同时，两示值之差的绝对值

2. 测量方法的分类

测量方法是指测量时所采用的测量原理、计量器具和测量条件的综合。但在实际工作中，测量方法一般是指获得测量结果的具体方式，可以从不同角度进行分类（见表 5-4）。

表 5-4 常用测量方法的分类及使用场合

分类依据	测量方法分类	测量方法说明及特点	测量举例
按实测几何量是否为被测几何量	直接测量	被测几何量的量值直接由计量器具读出，测量方法简单	用游标卡尺、千分尺测量轴径的大小
	间接测量	被测几何量的量值由几个实测几何量的量值按照一定的函数关系计算而获得。常用于受条件所限无法直接测量的场合	用弓高弦长法测量圆弧样板半径 R ，测得弓高 h 和弦长 b 的量值，根据公式计算 $R = \frac{b^2}{8h} + \frac{h}{2}$ 
按示值是否为被测几何量的量值	绝对测量	指计量器具显示或指示的示值就是被测几何量的量值	用游标卡尺、千分尺测量轴径的大小
	相对测量	指计量器具显示或指示出被测几何量相对于已知标准量的偏差，被测几何量的量值为已知标准量与该偏差值的代数和	用机械比较仪测量轴径，测量时先用量块调整量仪示值零位，该比较仪指示出的示值为被测轴径相对于量块尺寸的偏差
按测量时计量器具的测头与被测表面是否接触	接触测量	指测量时计量器具的测头与被测表面接触，并有机械作用的测量力	用千分尺、机械比较仪测量轴径
	非接触测量	指测量时计量器具的测头不与被测表面接触	用光切显微镜测量表面粗糙度轮廓，用气动测量仪测量孔径
按工件上是否有多个被测几何量一起加以测量	单项测量	指分别对工件上的各被测几何量进行独立测量	用工具显微镜测量外螺纹的牙侧角、螺距和中径
	综合测量	指同时测量工件上几个相关几何量的综合效应或综合指标，以判断综合结果是否合格	用螺纹量规检验螺纹单一中径、螺距和牙侧角实际值的综合结果是否合格
其他方式	动态测量	测量过程中，被测表面与测头处于相对运动状态。动态测量效率高，可以测得工件上几何参数连续变化的情况	用触针式轮廓仪测量表面粗糙度轮廓
	主动测量	指在加工过程中，同时对被测几何量进行测量。测量结果可直接用以控制加工过程，及时防止废品产生	常用于生产线上，也称为在线测量

5.1.3 测量误差的来源及分类

在测量过程中，由于计量器具和测量条件的限制，不可避免会出现或大或小的测量误差。实际测量值只能在一定程度上近似于被测几何量的真值，这种近似程度在数值上表现为测量误差。测量误差可用绝对误差或相对误差来表示。绝对误差是指被测几何量的量值与其真值之差，即

$$\delta = x - x_0$$

式中 δ ——绝对误差；

x ——被测几何量的量值；

x_0 ——被测几何量的真值。

相对误差是指绝对误差 δ （取绝对值）与真值 x_0 之比。由于被测几何量真值无法得到，实际应用中常以被测几何量的测得值 x 来代替真值进行估算，即

$$f = \frac{|\delta|}{x_0} \approx \frac{|\delta|}{x}$$

式中 f ——相对误差。

1. 测量误差的来源

被测几何量的实测值只能近似反映被测几何量的真值。为了尽量减小测量误差，减小该误差的影响，提高测量精度，必须仔细分析产生测量误差的原因。

测量误差的来源如表 5-5 所示。

表 5-5 测量误差的来源

分 类	误差来源	举 例
计量器具的误差	设计计量器具时，为了简化结构而采用近似设计的方法会产生测量误差；设计的计量器具不符合阿贝原则时会产生测量误差	机械杠杆比较仪的结构中测杆的直线位移与指针杠杆的角位移不成比例，而其标尺采用等分刻度，测量时会产生测量误差
	计量器具零件的制造和装配误差会产生测量误差	游标卡尺标尺的刻线距离不准确，指示表的分度盘与指针回转轴的安装有偏心等都会产生测量误差
	计量器具在使用过程中零件的变形、磨损会产生测量误差	
方法误差	测量方法不完善引起的误差。如计算公式不准确。测量方法选择不当，工件安装定位不准确等	在接触测量中，由于测头测量力的影响，使被测零件和测量装置产生变形而产生测量误差
环境误差	测量时环境条件不符合标准的测量条件所引起的误差，它会产生测量误差	环境温度、湿度、气压、照明等不符合标准以及振动、电磁场等的影响都会产生测量误差，温度的影响最为突出
人员误差	测量时测量人员人为的差错，它会产生测量误差	测量人员使用计量器具不正确、测量瞄准不准确、读数或估读错误等都会产生测量误差

2. 测量误差的分类

测量误差的来源是多方面的，就其特点和性质而言，可分为系统误差、随机误差和粗大误差三类，见表 5-6。

表 5-6 测量误差的分类

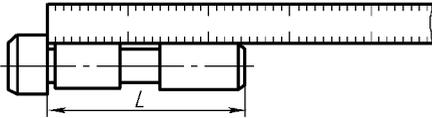
分 类	误差来源	举 例
系统误差	定值系统误差：相同测量条件下，多次测取同一量值时，绝对值和符号均保持不变的测量误差	在机械比较仪上用相对法测量零件尺寸时，调整量仪所用量块的误差就会引起定值系统误差
	变值系统误差：相同测量条件下，多次测取同一量值时，绝对值和符号按某一规律变化的测量误差	量仪分度盘与指针回转轴偏心所产生的示值误差会引起变值系统误差
随机误差	指相同测量条件下，多次测取同一量值时，绝对值和符号以不可预定的方式变化着的测量误差。随机误差主要由测量过程中一些偶然性因素或不确定因素引起的	量仪传动机构的间隙、摩擦、测量力的不稳定以及温度波动等引起的测量误差，都属于随机误差
粗大误差	指超出在规定测量条件下预计的测量误差，即对测量结果产生明显歪曲的测量误差。含有粗大误差的测量值称为异常值，与正常测得值相比较，数值相对较大或相对较小	主观上，测量人员的疏忽造成粗大误差；客观上，外界突然振动造成的读数误差

5.2 尺寸测量方法及计量器具

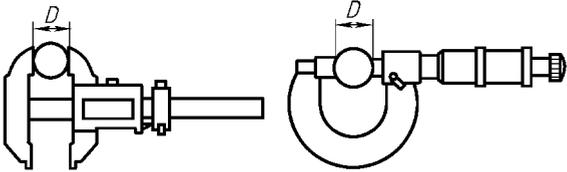
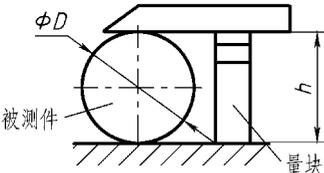
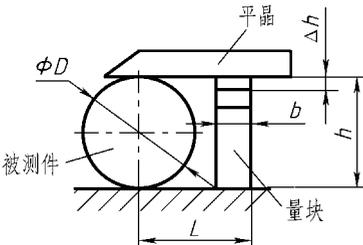
5.2.1 尺寸测量方法（见表 5-7）

测量尺寸时，应根据零件上被测量尺寸的精度要求选用相应的量具。常用的量具有直尺、卡钳、游标卡尺、千分尺和螺纹规等。

表 5-7 零件尺寸常用测量方法

测量方法	测量方法及测量举例
金属直尺法	<p>直接用金属直尺进行测量，或使用卡钳将工件尺寸和钢尺尺寸进行比较</p> 

(续)

测量方法	测量方法及测量举例
卡尺法	<p>使用游标卡尺、千分尺、杠杆千分尺等对零件尺寸直接测量</p> 
测微仪法	<p>用各种测微仪、测微表与量块进行比较测量，常用的有百分表、千分表、电感比较仪等</p>
仪器测量法	<p>用光学计、测长仪、工具显微镜等对零件尺寸进行精密测量。在工具显微镜上分为影像法、轴切法、干涉法、灵敏杠杆法等。在光学计、测长仪上测量可以分为绝对测量和相对测量</p>
量规法	<p>用量规检测零件尺寸，不能得到具体数值，只能检测尺寸合格与否。优点是精度高、检验效率高，在成批生产中广泛使用</p>
刀口光隙法	<p>使用刀口尺和量块组合，在检验平台上测量零件尺寸。如图所示，调整量块组尺寸，当刀口尺与被测线上母线之间看不见间隙时，则认为量块组的尺寸 h 就是轴径 D 的值</p> 
平晶干涉法	<p>按零件尺寸的名义尺寸组合量块尺寸，将工件和量块一起放在检验平台上，在其上放一块平面平晶，记下在量块工作面上的干涉条纹数目，计算直径尺寸</p> $D = h \pm \Delta h$ $\Delta h = nL/b \times \lambda/2$ <p>式中 n——量块上的干涉条纹数 L——圆心到量块边缘的长度 b——量块短边的长度 λ——光波波长</p> 

5.2.2 计量器具的选择

计量器具种类繁多，例如测量长度尺寸，可以使用不同种类的计量器具。因此，为了做到科学和合理的使用计量器具，必须正确地选择计量器具。

计量器具类型、规格选择要与工件外形、位置、尺寸、被测参数特征相适应。

按计量器具所引起的测量不确定度的允许值 u_1 （简称计量器具的测量不确定度允许值）选择计量器具。选择时，应使所选用计量器具的测量不确定度数值等于或小于选定的 u_1 值。

计量器具的测量不确定度的允许值 u_1 按测量不确定度 u 与工件公差 T 的比值分档：对 IT6 ~ IT11 分为 I、II、III 三档，对于 IT12 ~ IT18 分为两档。测量不确定度 u 的 I、II、III 三档值分别为工件公差 T 的 1/10、1/6、1/4。计量器具的测量不确定度的允许值 u_1 约为测量不确定度 u 的 0.9 倍。

选用计量器具的测量不确定度的允许值 u_1 ，一般情况下优先选用 I 档，其次选用 II 档、III 档。

5.2.3 常用计量器具的介绍

1. 游标卡尺（见图 5-1）

(1) 游标卡尺的结构和用法（见表 5-8） 游标卡尺，亦称“卡尺”，是一种测量长度、内外径的仪器。游标卡尺由主尺和附在主尺上能滑动的游标两部分构成。主尺一般以毫米为单位，而游标上则有 10、20 或 50 个分格，根据分格的不同，游标卡尺可分为十分度游标卡尺、二十分度游标卡尺、五十分度格游标卡尺等。游标

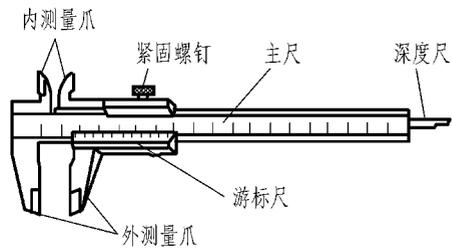


图 5-1 游标卡尺

卡尺的主尺和游标上有两副活动量爪，分别是内测量爪和外测量爪，内测量爪通常用来测量内径，外测量爪通常用来测量长度和外径。

表 5-8 游标卡尺的结构和用法

主要结构	使用方法
主尺	是一般常用的毫米刻度尺
游标尺	可以在主尺上左右移动 不同种类的游标尺上的刻度线的条数不同，我们就是通过游标尺来精确读数的
外测量爪	是用来测量物体的长度、孔的外径、孔壁厚度等尺寸 用法是将物体夹在两个外测量爪之间夹紧

(续)

主要结构	使用方法
内测量爪	是用来测量孔内径、槽的内部的宽度等尺寸 用法是将物体卡在两个内测量爪外，把游标尺尽量向外拉紧
深度尺	是用来测量孔、槽的深度等尺寸的 用法是将深度尺插入孔、槽内，直到不能再往里插为止
紧固螺母	固定游标卡尺用，方便读数 用法是测量完物体之后，把它拧紧，把物体从游标卡尺上取下，这样游标卡尺在主尺上就不会动了

(2) 游标卡尺的读数方法 测量值的计算：

测量值 = 主尺读数 + 游标尺的读数

= 主尺的小格数 (毫米) + 精度 × 游标与主尺对齐的游标尺小格数 (毫米)

读数方法——“三看两读”

三看：看游标尺 (看游标尺的分度，明确其精度的大小)；看游标尺的“0”刻度线 (为了读主尺的整数部分)；看主尺与游标尺对齐的线 (为了读游标尺的小数部分)。

两读：读主尺的整数部分；读游标尺的小数部分。

(3) 20 分度的游标卡尺读数实例 如图 5-2 所示，主尺读数为 14mm，游标尺的第 17 条刻度线与主尺的某一一刻度线重合，所以，游表的读数为 $(17 \times 0.05) \text{ mm} = 0.85 \text{ mm}$ ，最终读数为 $(14 + 0.85) \text{ mm} = 14.85 \text{ mm}$ 或 1.485 cm 。



图 5-2 20 分度游标卡尺读数

2. 千分尺

千分尺是利用螺旋副的运动原理进行测量和读数的一种测微量具。按用途分内径千分尺、外径千分尺、深度千分尺及专用的测量螺纹中径尺寸的螺纹千分尺和测量齿轮公法线长度的公法线千分尺等。

(1) 外径千分尺的读数原理 外径千分尺的刻度由固定刻度 A 和可动刻度 B 两部分构成。固定刻度又分整刻度和半刻度，每个刻度为 1mm。可动刻度部分每旋转一周测微螺杆前进或后退 0.5mm，而每一周又分了 50 个刻度，所以每旋转一个刻度测微螺杆前进或后退 $0.5/50 = 0.01 \text{ mm}$ ，所以螺旋测微器测量长度时可以精确到 0.01mm。

(2) 外径千分尺的读数方法 当用螺旋测微器测量好时我们要读出所显示的示数，这时所测长度可表示为： $L = n \times 0.1 + k \times 0.01$ (n 表示固定刻度的格数； k 表示可动刻度的读数)。

在图 5-3 中，其测量值为： $(7 + 0.374) \text{ mm} = 7.374 \text{ mm}$

3. 万能角度尺

万能角度尺（见图 5-4）是用来测量工件内外角度的量具。按其游标读数值（及分度值）可分为和 2' 和 5' 两种；按其尺身的形状不同可分为圆形和扇形。

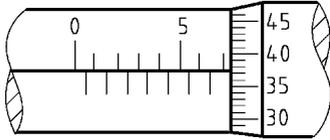


图 5-3 外径千分尺读数

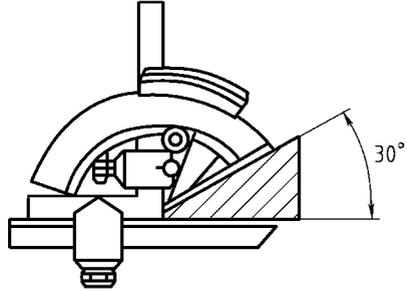


图 5-4 万能角度尺

(1) 万能角度尺的刻线原理及读数 万能角度尺的尺身刻线每格 1° ，游标刻线将对应于尺身 29° 的弧长等分为 30 格，游标刻线每格 $2'$ 。

(2) 读数原理 万能角度尺的读数原理与游标卡尺相似，即先从尺身上读出游标零刻度线指示的整数度，再判断游标上的第几格的刻线与尺身上的刻线对齐，就能确定角度“分”的数值，然后把两者相加，就是被测角度的数值。

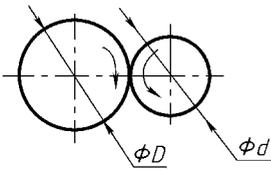
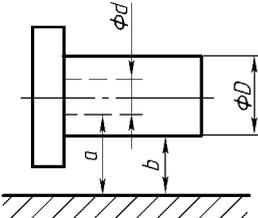
5.2.4 大轴径的测量

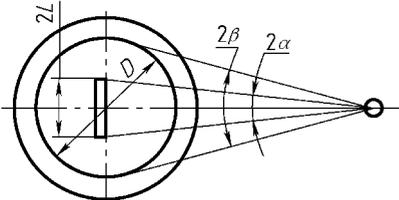
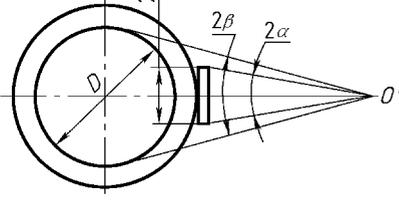
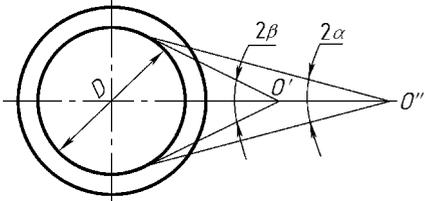
大轴径的测量方法可以分为直接测量法和间接测量法，见表 5-9。

表 5-9 大轴径的测量

测量方法	说 明
直接测量法	用测量范围较大的通用量具和测量仪器直接测出量值，对于一般精度的大轴径主要用大测量范围的游标卡尺、外径千分尺等通用量具进行测量；对于较高精度的大轴径主要用测长仪、测距仪、激光干涉仪和三坐标测量机等大型测量仪器进行测量
间接测量法 弓高弦长法	<p>测量大尺寸的轴径、孔径和非整圆的圆弧直径。其基本原理是通过测量弓高 H 和弦长 S 的值，或精确固定 H 和 S 其中的一个值并测出余下的一个值，然后计算出直径值，如下图可知：</p> $\Delta D = \sqrt{\left(\frac{S}{2H}\right)^2 \times (\Delta S_{\text{lim}})^2 + \left(1 - \frac{S^2}{4H^2}\right)^2 \times (\Delta H_{\text{lim}})^2}$ <p>式中 S——弦长 H——弓高 ΔS_{lim}——弦长的测量极限误差 ΔH_{lim}——弓高的测量极限误差</p>

(续)

测量方法	说 明
围绕法	<p>用卷尺或金属带尺测量工件的圆周长度，在算出其平均直径。金属带尺两端附有角铁，以便拉紧带尺，工件的平均直径 D 可以按下式计算</p> <p>用卷尺测量：</p> $D = \frac{L}{\pi} - t$ <p>用带尺测量：</p> $D = \frac{l + a}{\pi}$ <p>式中 D——被测工件平均直径 L——用卷尺测得的工件圆周长度 t——卷尺尺带厚度 l——金属带尺的长度 a——带尺两端之间的间隙，可以用成组塞尺测定</p>
间接测量法 滚轮法	<p>滚轮法是一种测量圆周长度换算直径的方法。它是根据无滑动对滚原理，利用已知直径为 d 的基准圆盘（滚轮）同被测圆柱形工件作无滑动的对滚，当工件转过 N 转时，精确测量出滚轮转数 m，则被测工件的直径：</p> $D = md/N$ <p>式中 D——被测工件直径 d——基准滚轮直径 m, N——滚轮和工件的转数</p> <p>用滚轮法测量长度或位移时，滚轮相对被测对象滚动前进，被测长度可以由下式计算：</p> $L = \pi dm$ <p>基准滚轮的转数由光栅头给出，滚轮旋转时，带动同轴的光栅盘旋转，光栅盘的转数由读数头测出，光栅头计数的开始与结束，由装有被测工件上的定位控制器控制</p> 
辅助基面法	<p>在没有大量量具时，用机床、工件或另一辅助件上的特殊基面作为测量基面，用较小的量具量仪分段测量，然后通过简单的计算求得被测尺寸</p> 

测量方法	说 明
辅助基面法	<p>以机床的床面为基准, 对大尺寸的外径进行测量。测量前在两顶尖放上专用心轴, 其直径为 d, 量出其下表面与基面的距离为 a; 然后取下心轴, 放上工件, 在测量时只要量出距离 b, 即可求出被测工件的直径:</p> $D = 2 \left(a + \frac{d}{2} - b \right)$ <p>测量安装在机床上的大尺寸工件内径。专用心轴直径 d 已知, 只要测出距离 l, 则被测孔径:</p> $D = 2l + d$
间接测量法	<p>(1) 中心标尺法</p> <p>在被测直径的中心放置长为 $2L$ 的标尺, 由安装在数米外远的经纬仪先后瞄准标尺及工件边缘, 测出标尺 $2L$ 的包角 2α 及工件包角 2β, 瞄准时必须使标尺的中点与其边缘之间的夹角相等, 则工件的直径:</p> $D = \frac{2L \sin \beta}{\tan \alpha}$ 
	<p>(2) 边标尺法</p> <p>标尺放在与被测件边缘相切的位置上, 经纬仪放在 O' 处, 分别测出标尺包角 2β, 工件包角 2α, 则工件直径:</p> $D = \frac{2L \sin \beta}{\tan \beta (1 - \sin \alpha)}$ 
	<p>(3) 移距法</p> <p>经纬仪在 O' 处测出工件包角 2α, 沿 2α 角平分线的方向移到包角 O'' 点, 移距 S 用线纹尺或量块测出, 测出工件包角 2β, 被测工件的直径:</p> $D = 2S \frac{\sin \alpha \times \sin \beta}{\sin \beta - \sin \alpha}$ 

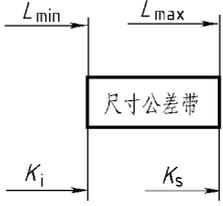
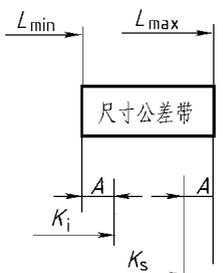
5.3 尺寸验收方法

工件的真实尺寸必须位于规定的上极限尺寸与下极限尺寸范围内为合格。由于各种因素的影响，测得的实际尺寸通常不是真实尺寸，即测得的实际尺寸 = 真实尺寸 \pm 测量误差。测量实际尺寸时，首先应确定判断其合格与否的尺寸界限，即验收极限。

如果根据测得的实际尺寸是否超出极限尺寸来判断合格性，即以孔、轴的极限尺寸作为孔、轴实际尺寸的验收极限，则有可能把真实尺寸位于公差带上下两端外侧附近的不合格品误判为合格品而接收，称为误收。但也有可能把真实尺寸位于公差带上下两端内侧附近的合格品误判为不合格品而报废，这称为误废。误收影响产品质量，误废会造成经济损失。为了保证产品质量，可以把孔、轴实际尺寸的验收极限从它们的上极限尺寸与下极限尺寸分别向公差带内移动一段距离，这就能减小误收率或达到误收率为零，但会增加误废率。

验收极限确定有两种方法：内缩方式和不外缩方式（见表 5-10）。

表 5-10 验收极限的确定方法

确定方法	内 容	尺寸公差带及验收极限
内缩方式	<p>表示一批工件实际尺寸分散极限的测量误差范围用测量不确定度表示。测量工件实际尺寸，应根据孔、轴公差大小规定测量不确定度的允许值，称为安全裕度 A，保证产品质量</p> <p>以图样上规定的上极限尺寸与下极限尺寸分别向工件尺寸公差带内移动一个安全裕度 A 的距离来确定</p>	 <p>上验收极限: $K_s = L_{\max} - A$; 下验收极限: $K_i = L_{\min} + A$</p>
不外缩方式	<p>以图样上规定的上极限尺寸和下极限尺寸分别作为上、下验收极限，即安全裕度 $A = 0$</p>	 <p>上验收极限: $K_s = L_{\max}$; 下验收极限: $K_i = L_{\min}$</p>

第 6 章 几何公差与检测

为了保证机械产品的质量，保证机械零件的互换性，应该在图样上给出几何公差（形状、方向、位置和跳动公差），规定零件加工的几何误差的允许变动范围，并且按照图样上的几何公差要求来检测几何误差。

本章主要介绍形状、方向、位置和跳动公差的基本概念，表示方法，标注原则及各种几何公差的检测方法等内容。

涉及的标准有：GB/T 18780.1—2002《产品几何量技术规范（GPS）几何要素 第 1 部分：基本术语和定义》、GB/T 18780.2—2003《产品几何量技术规范（GPS）几何要素 第 2 部分：圆柱面和圆锥面的提取中心线、平行平面的提取中心面、提取要素的局部尺寸》、GB/T 1182—2008《产品几何量技术规范（GPS）几何公差形状、方向、位置和跳动公差标注》、GB/T 1958—2004《产品几何量技术规范（GPS）形状和位置公差检测规定》，GB/T 4249—2009《产品几何技术规范（GPS）公差原则》和 GB/T 16671—2009《产品几何技术规范（GPS）几何公差最大实体要求、最小实体要求和可逆要求》。

6.1 基本概念

6.1.1 几何要素及分类

几何要素是指零件上的特征部分——点、线或面。这些要素是实际存在的，也可以是由实际要素取得的轴线或中心平面。

为了限制几何误差，有必要从不同角度对几何要素进行分类，见表 6-1。

表 6-1 几何要素分类

分类	几何要素	定 义	举 例
结构特征	组成要素	零件表面、表面上的线或点	例如图 6-1 零件上的球面 1、圆锥面 2、圆柱面 4
	导出要素	零件一个或几个尺寸要素的对称中心得到的中心点、中心线或中心平面。导出要素依存于对应的组成要素，没有组成要素，也不存在导出要素	例如图 6-1 中的轴线 7、球心 8 等
存在状态	理想要素	具有几何学意义的要素，即几何的点、线、面。图样上表示的要素均为理想要素，不存在任何误差	

(续)

分类	几何要素	定 义	举 例
存在状态	实际要素	零件上实际存在的要素。评定几何误差时，通常以测得要素代替实际要素	
检测关系	被测要素	图样上给出了形状、方向、位置和跳动公差 的要素，是检测的对象	
	基准要素	图样上规定用来确定被测要素几何关系的要素。 与被测要素有关且用来确定其几何关系的几何理 想要素（如轴线、直线、平面等），可由零件上的 一个或多个要素构成	
功能关系	单一要素	按本身功能要求而给出形状公差的被测要素	
	关联要素	对基准要素有功能关系而给出方向、位置和跳 动公差的被测要素	

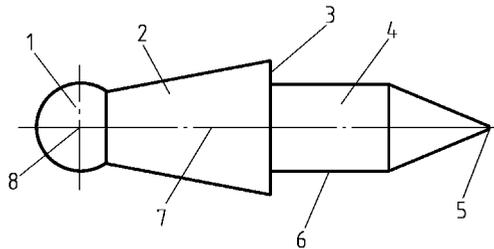


图 6-1 几何要素 点、线、面

1—球面 2—圆锥面 3—端面 4—圆柱面 5—锥顶 6—素线 7—轴线 8—球心

6.1.2 几何公差特征项目及其符号

几何要素公差特征项目有 14 个，项目名称、符号及分类见表 6-2。

表 6-2 几何公差的符（代）号

几何公差分类和项目				其他有关符号	
分类	项目	符号	有或无基准要求	名称	符号
形状公差	直线度	—	无	包容要求	ⓔ
	平面度	▭	无		
	圆度	○	无	最大实体要求	Ⓜ
	圆柱度	∅	无		
形状公差、方向公差或位置公差	线轮廓度	⌒	有或无	最小实体要求	Ⓛ

(续)

几何公差分类和项目				其他有关符号	
分类	项目	符号	有或无基准要求	名称	符号
形状公差、方向公差或位置公差	面轮廓度		有或无	可逆要求	
方向公差	平行度		有	延伸公差带	
	垂直度		有		
	倾斜度		有	自由状态（非刚性零件）条件	
位置公差	位置度		有或无	全周（轮廓）	
	同轴度（同心度）		有		
	对称度		有		
跳动公差	圆跳动		有	理论正确尺寸	
	全跳动		有	基准目标的标注	

注：没有基准要求的线、面轮廓度公差属于形状公差，而有基准要求的线、面轮廓度公差则属于方向或位置公差。

6.1.3 几何公差带

GB/T 1182—2008《几何公差形状、方向、位置和跳动公差标注》规定了工件需要的所有几何公差的定义，提出了几何公差的基本要求、符号、标注和在图样中的表示方法。

公差带：一个或几个理想的几何线或面所限定的、由线性公差值表示其大小的区域。

根据公差的几何特征及其标注方式，公差带的主要形状见表 6-3。

表 6-3 几何公差带的九种形状

形 状	说 明	形 状	说 明
	两平行直线之间的区域		圆柱面内的区域
	两等距曲线之间的区域		两同轴圆柱面之间的区域
	两同心圆之间的区域		两平行平面之间的区域

(续)

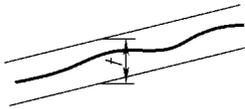
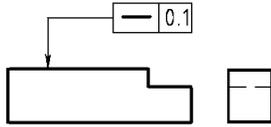
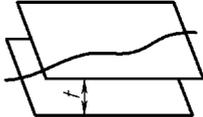
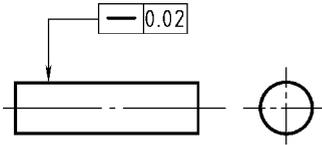
形 状	说 明	形 状	说 明
	圆内的区域		两等距曲面之间的区域
	球内的区域		

1. 形状公差

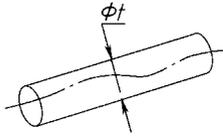
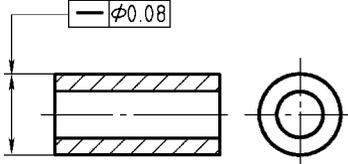
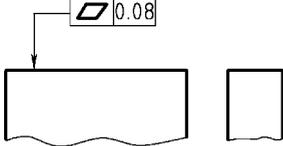
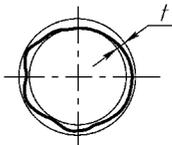
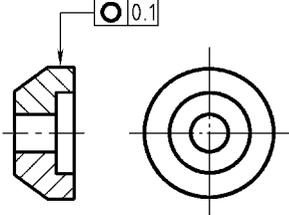
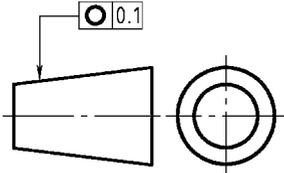
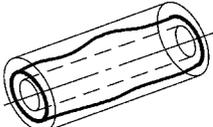
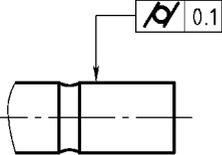
形状公差涉及的要素是线和面，一个点无所谓形状。形状公差有直线度、平面度、圆度和圆柱度等四个特征项目（线、面轮廓度公差无基准要求也属于形状公差）。它们不涉及基准，它们的理想被测要素的形状不涉及尺寸，公差带的方向、位置可以浮动，有形状和大小的要求，而没有特征项目的要求。形状公差带定义和标注示例见表 6-4。

表 6-4 形状公差带定义和标注示例

(单位: mm)

	公差带定义	示 例	说 明
直线度	公差带是距离为公差值 t 的两平行直线所限定的区域 		在任一平行于图示投影面的平面内，上平面的提取（实际）线应限定在间距等于 0.1 的两平行直线之间
	公差带是距离为公差值 t 的两平行平面所限定的区域 		被测外圆柱面的提取（实际）线必须限定在间距等于 0.02 的两平行平面之内

(续)

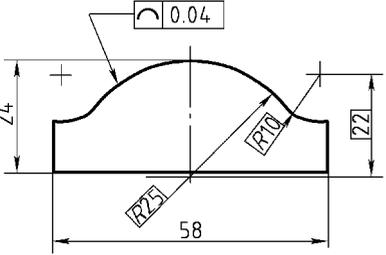
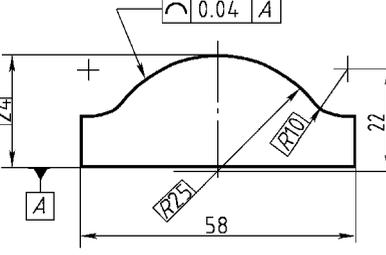
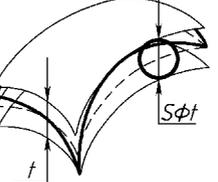
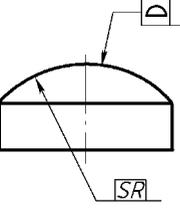
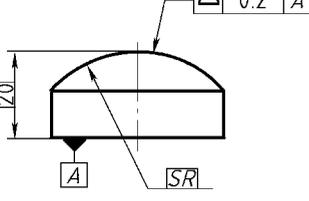
	公差带定义	示 例	说 明
直线度	<p>公差值前加注 ϕ，则公差带是直径为公差值 t 的圆柱面内所限定的区域</p> 		<p>被测外圆柱面的提取（实际）中心线必须限定在直径等于 $\phi 0.08$ 的圆柱面内</p>
平面度	<p>公差带为间距等于公差值 t 的两平行平面之间所限定的区域</p> 		<p>提取（实际）表面必须限定在间距等于 0.08 的两平行平面之间</p>
圆度	<p>公差带是在给定横截面内，半径差等于公差值 t 的两同心圆所限定的区域</p> 		<p>在圆柱面的任意横截面内，提取（实际）圆周必须限定在半径差等于 0.1 的两共面同心圆之间</p>
		<p>在圆锥面的任意横截面内，提取（实际）圆周必须限定在半径差等于 0.1 两共面同心圆之间</p>	
圆柱度	<p>公差带是半径差等于公差值 t 的两同轴圆柱面所限定的区域</p> 		<p>提取（实际）圆柱面必须限定在半径差为公差值 0.1 的两同轴圆柱面之间</p>

2. 轮廓度公差

轮廓度公差分为无基准要求的（没有基准约束）和有基准要求的（受基准约束）两种，前者公差带方向、位置可以浮动，后者方向、位置是固定的。轮廓度公差带定义和标注示例见表 6-5。

表 6-5 轮廓度公差带定义和标注示例

（单位：mm）

公差带定义	示 例	说 明
<p>线轮廓度</p> <p>公差带为直径等于公差值 t、圆心位于被测要素理论正确几何形状上的一系列圆的两包络线所限定的区域</p> 	<p>a) 无基准要求的线轮廓度公差</p>  <p>b) 有基准要求的线轮廓度公差</p> 	<p>在任一平行图示投影平面的截面内，提取（实际）轮廓线必须限定在直径等于 0.04 且圆心位于由基准平面 A 和基准平面 B 确定的被测要素理论正确几何形状上的一系列圆的两等距包络线之间</p>
<p>面轮廓度</p> <p>公差带为直径等于公差值 t、球心位于被测要素理论正确形状上的一系列圆球的两包络面所限定的区域</p> 	<p>a) 无基准要求的面轮廓度公差</p>  <p>b) 有基准要求的面轮廓度公差</p> 	<p>提取（实际）轮廓面必须限定在直径等于 0.2、球心位于被测要素理论正确几何形状上的一系列圆球的两等距包络面之间</p>

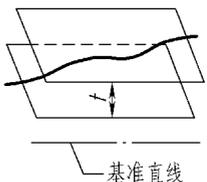
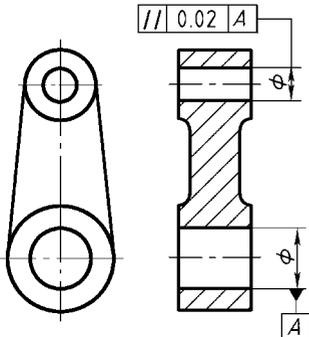
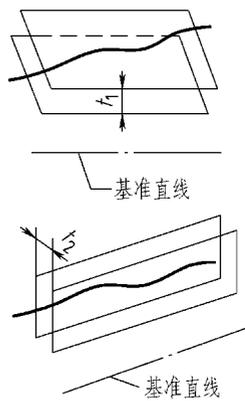
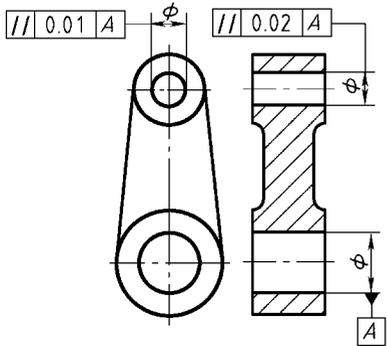
3. 方向公差

方向公差不仅有形状和大小的要求，还有特定方向的要求。

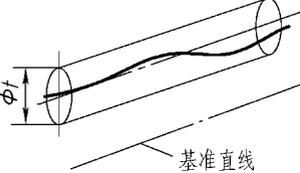
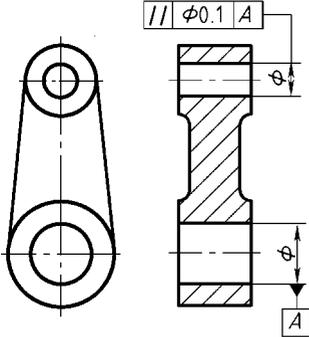
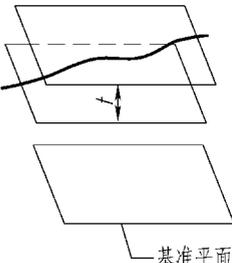
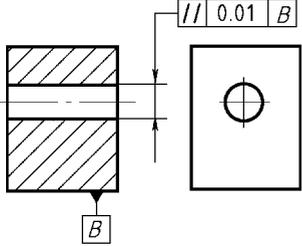
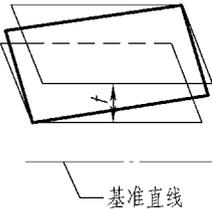
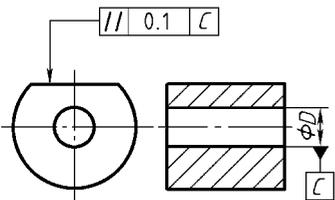
方向公差带能自然地把同一被测要素的形状误差控制在公差带的范围内。因此，对某一被测要素给出方向公差后仅在对其形状公差精度有进一步要求时，才给出形状公差，而形状公差值必须小于方向公差值。方向公差带定义和标注示例见表 6-6。

表 6-6 方向公差带定义和标注示例

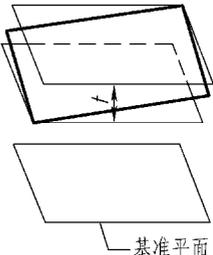
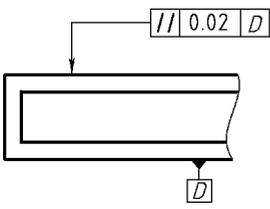
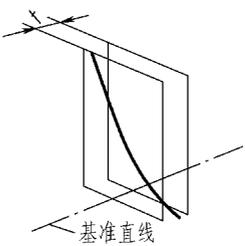
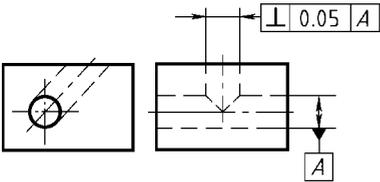
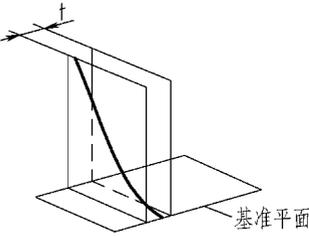
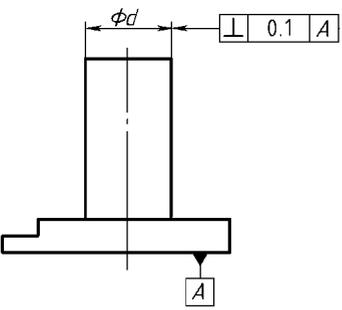
(单位: mm)

	公差带定义	示 例	说 明
	<p>公差带是距离为公差值 t 且平行于基准线位于给定方向上的两平行平面所限定的区域</p> 		<p>提取 (实际) 中心线必须限定在平行于基准线 (基准轴线 A), 且距离为公差值 0.1 的两平行平面之间</p>
<p>平行度 线对线的平行度</p>	<p>公差带是两对互相垂直的距离分别为 t_1 和 t_2 且平行于基准线的两平行平面所限定的区域</p> 		<p>提取 (实际) 中心线必须限定在距离分别为公差值 0.01 和 0.02, 在给定的互相垂直方向上且平行于基准线 (基准轴线 A) 的两组平行平面之间</p>

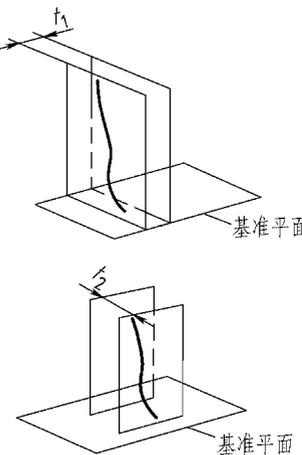
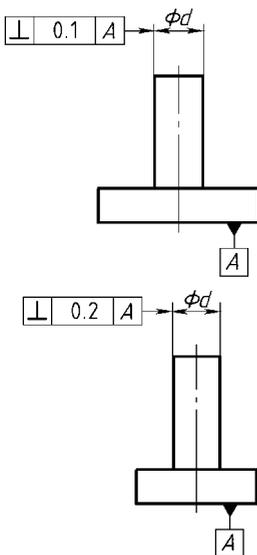
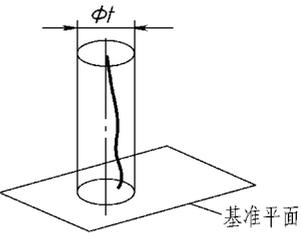
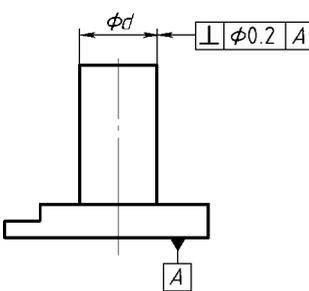
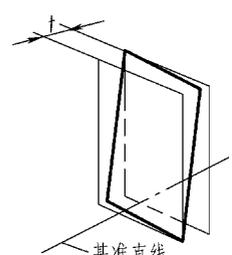
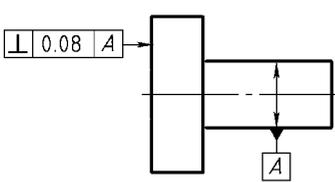
(续)

	公差带定义	示 例	说 明
线对线的平行度	<p>如在公差值前加注 ϕ, 公差带是直径为公差值 t, 且平行于基准线的圆柱面所限定的区域</p> 		<p>提取 (实际) 中心线必须限定在直径为公差值 $\phi 0.1$ 且平行于基准线 (基准轴线 A) 的圆柱面内</p>
面对面的平行度	<p>公差带是距离为公差值 t, 且平行于基准平面的两平行平面所限定的区域</p> 		<p>提取 (实际) 中心线必须限定在距离为公差值 0.01, 且平行于基准表面 (基准平面 B) 的两平行平面之间</p>
面对线的平行度	<p>公差带是距离为公差值 t, 且平行于基准线的两平行平面所限定的区域</p> 		<p>提取 (实际) 表面必须限定在距离为公差值 0.1, 且平行于基准线 (基准轴线 C) 的两平行平面之间</p>

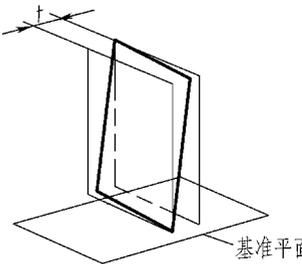
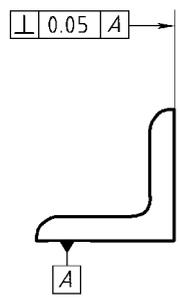
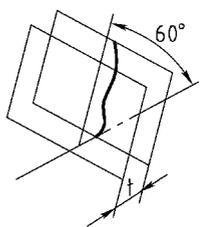
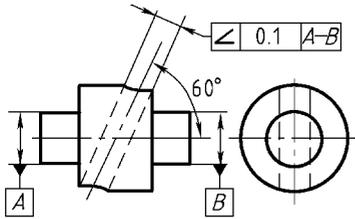
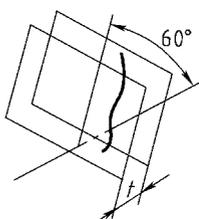
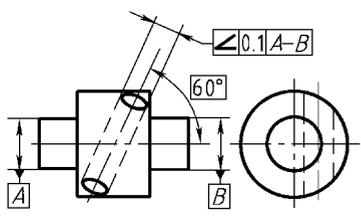
(续)

		公差带定义	示 例	说 明
平行度	面对面的平行度	<p>公差带是距离为公差值 t，且平行于基准面的两平行平面所限定的区域</p> 		<p>提取（实际）表面必须限定在距离为公差值 0.02，且平行于基准表面（基准平面 D）的两平行平面之间</p>
	线对线的垂直度	<p>公差带是距离为公差值 t，且垂直于基准线的两平行平面所限定的区域</p> 		<p>提取（实际）中心线必须限定在距离为公差值 0.05，且垂直于基准线 A（基准轴线）的两平行平面之间</p>
垂直度	线对面的垂直度	<p>在给定方向上公差带是距离为公差值 t，且垂直于基准面的两平行平面所限定的区域</p> 		<p>在给定方向上圆柱面的提取（实际）中心线必须限定在距离为公差值 0.1，且垂直于基准平面 A 的两平行平面之间</p>

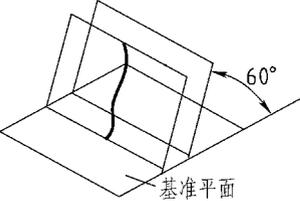
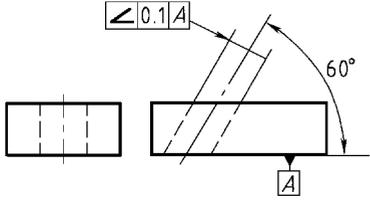
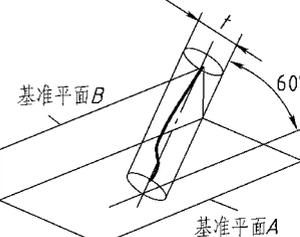
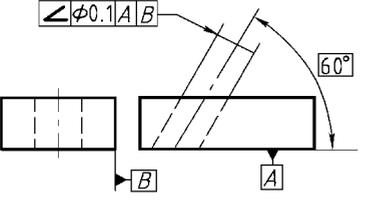
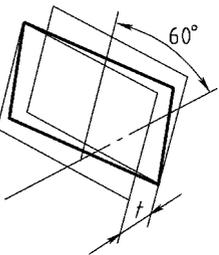
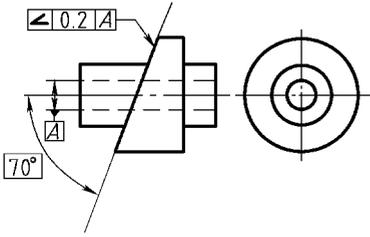
(续)

	公差带定义	示 例	说 明
垂直度	<p>公差带是互相垂直的距离分别为 t_1 和 t_2, 且垂直于基准面的两对平行平面所限定的区域</p> 		<p>圆柱面的提取 (实际) 中心线必须限定在距离分别为公差值 0.1 和 0.2 的互相垂直且垂直于基准平面的两对平行平面之间</p>
	<p>如公差值前加注 ϕ, 则公差带是直径为公差值 t, 且轴线垂直于基准面的圆柱面所限定的区域</p> 		<p>圆柱面的提取 (实际) 中心线必须限定在直径为公差值 0.2, 且垂直于基准平面 A 的圆柱面内</p>
面对线的垂直度	<p>公差带是距离为公差值 t, 且垂直于基准线的两平行平面所限定的区域</p> 		<p>提取 (实际) 表面必须限定在距离为公差值 0.08, 且垂直于基准轴线 A 的两平行平面之间</p>

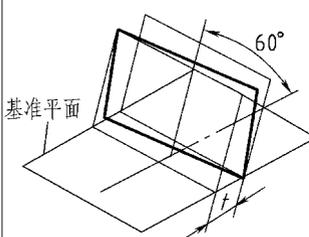
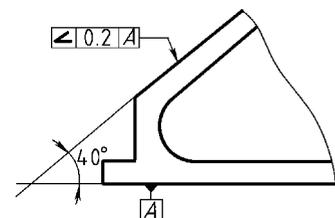
(续)

	公差带定义	示 例	说 明
垂直度	<p>公差带是距离为公差值 t，且垂直于基准面的两平行平面所限定的区域</p> 		<p>提取（实际）表面必须限定在距离为公差值 0.05，且垂直于基准平面 A 的两平行平面之间</p>
倾斜度	<p>被测线和基准线在同一平面内 公差带是距离为公差值 t，且与基准线成一给定角度的两平行平面所限定的区域</p> 		<p>提取（实际）中心线必须限定在距离为公差值 0.1，且与公共基准线 A-B 成一理论正确角度的两平行平面之间</p>
倾斜度	<p>被测线和基准线不在同一平面内 公差带是距离为公差值 t，且与基准成一给定角度的两平行平面所限定的区域。如被测线与基准线不在同一平面内，则被测线应投影到包含基准轴线并平行于被测轴线的平面上，公差带是相对于投影到该平面的线而言</p> 		<p>提取（实际）中心线投影到包含基准轴线的平面上，它必须位于距离为公差值 0.1，并与公共基准线成理论正确角度的两平行平面之间</p>

(续)

	公差带定义	示 例	说 明
线对 面的 倾斜度	<p>公差带是距离为公差值 t，且与基准成一给定角度的两平行平面之间所限定的区域</p> 		<p>提取 (实际) 中心线必须限定在距离为公差值 0.1，且与基准面 A (基准平面) 成理论正确角度的两平行平面之间</p>
	<p>如在公差值前加注 ϕ，则公差带是直径为公差值 t 的圆柱面内所限定的区域。该圆柱面的轴线应与基准平面呈一给定的角度，并平行于另一基准平面</p> 		<p>提取 (实际) 中心线必须限定在直径为公差值 0.1 的圆柱面公差带内。该公差带的轴线应与基准表面 A (基准平面) 呈理论正确角度并平行于基准平面 B</p>
面对 线的 倾斜度	<p>公差带是距离为公差值 t，且与基准线成一给定角度的两平行平面所限定的区域</p> 		<p>提取 (实际) 表面必须限定在距离为公差值 0.2，且与基准线 A (基准轴线) 成理论正确角度的两平行平面之间</p>

(续)

公差带定义		示 例	说 明
倾斜度	<p>面对面的倾斜度</p> <p>公差带是距离为公差值 t，且与基准面成一给定角度的两平行平面之间的区域</p> 		<p>提取（实际）表面必须限定在距离为公差值 0.2，且与基准面 A（基准平面）成理论正确角度的两平行平面之间</p>

4. 位置公差

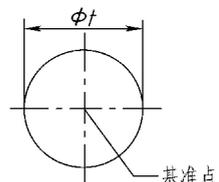
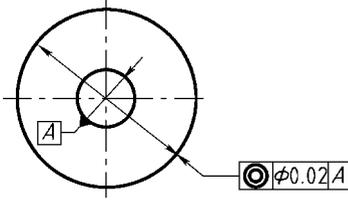
位置公差不仅有形状和大小的要求，而且相对于基准的定位尺寸为理论正确尺寸，因此还有特定的方向和位置要求。

位置公差带能自然地把同一被测要素的形状误差和方向误差控制在位置公差带范围内。

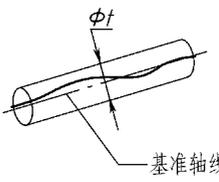
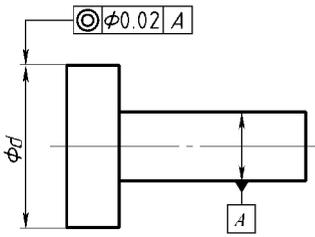
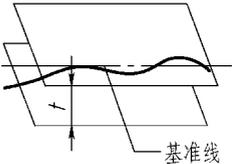
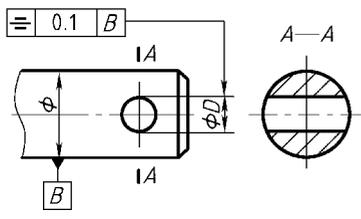
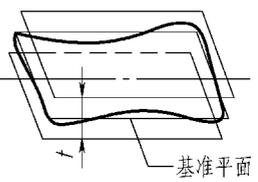
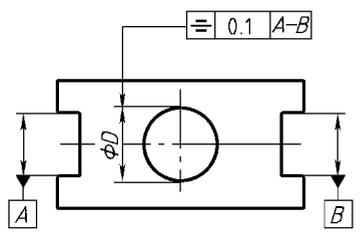
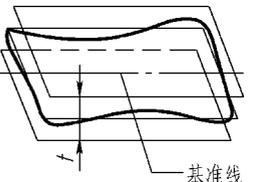
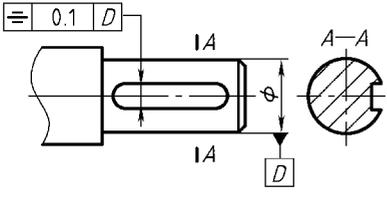
对某一被测要素给出位置公差之后，仅在对其方向精度或（和）形状精度有进一步要求时，才另行给出方向公差或（和）形状公差，而方向公差值必须小于位置公差值，形状公差值必须小于方向公差值。位置公差带定义和标注示例见表 6-7。

表 6-7 位置公差带定义和标注示例

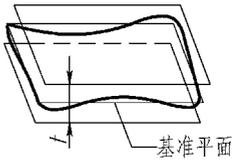
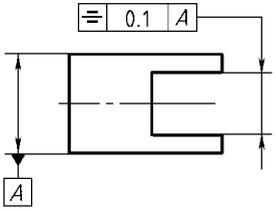
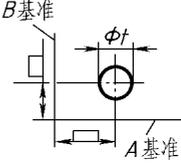
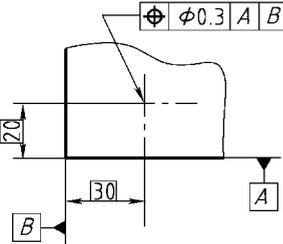
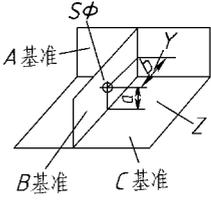
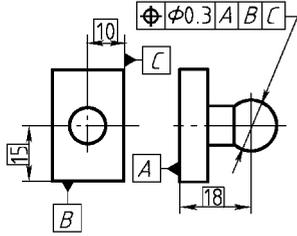
(单位: mm)

公差带定义		示 例	说 明
同轴度	<p>同心度</p> <p>公差带是直径为公差值 ϕt 的圆周所限定的区域，该圆周的圆心与基准点重合</p> 		<p>外圆的提取（实际）中心必须限定在直径为公差值 $\phi 0.02$，以基准点 A 为圆心的圆周内</p>

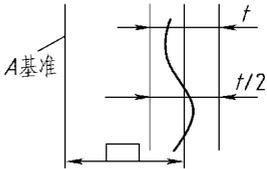
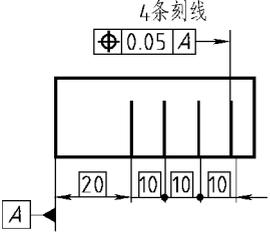
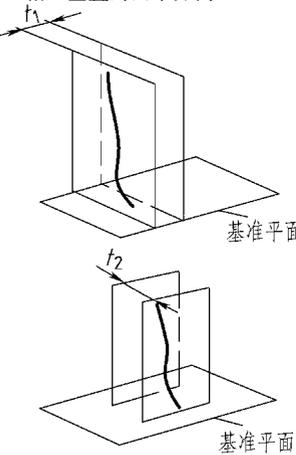
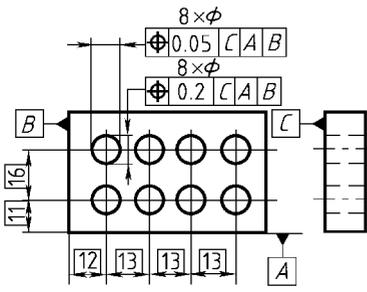
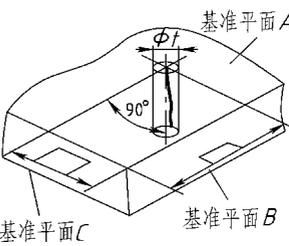
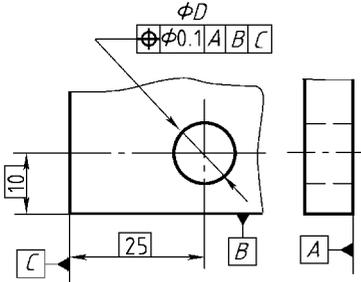
(续)

公差带定义		示 例	说 明
同轴度	<p>公差带是直径为公差值 ϕt 的圆柱面内所限定的区域, 该圆柱面的轴线与基准轴线同轴</p> 		<p>大圆柱面的提取 (实际) 中心线必须限定在直径为公差值 $\phi 0.02$, 且与基准轴线 A 同轴的圆柱面内</p>
线对线的对称度	<p>公差带是距离为公差值 t, 且相对基准中心线 (或轴线) 对称配置的两平行平面 (或直线) 所限定的区域</p> 		<p>提取 (实际) 中心线必须限定在距离为公差值 0.1, 且相对通过基准轴线的辅助平面对称配置的两平行平面内</p>
面对面的对称度	<p>公差带是距离为公差值 t, 且相对基准中心平面对称配置的两平行平面 (或直线) 所限定的区域</p> 		<p>提取 (实际) 中心线必须限定在距离为公差值 0.1, 且相对通过公共基准中心平面 A-B 对称配置的两平行平面之间</p>
面对线的对称度	<p>公差带是距离为公差值 t, 且相对基准中心线 (或轴线) 对称配置的两平行平面所限定的区域</p> 		<p>提取 (实际) 中心平面必须限定在距离为公差值 0.1, 的两平行平面之间, 该两平面对称配置在通过基准轴线的辅助平面两侧</p>

(续)

公差带定义		示 例	说 明
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">对称度</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">面对面的对称度</p>	<p>公差带是距离为公差值 t，且相对基准中心平面（或中心线、轴线）对称配置的两平行平面（或直线）所限定的区域</p> 		<p>提取（实际）中心平面，槽的中心平面必须位于距离为公差值 0.1，且相对基准中心平面对称配置的两平行平面之间</p>
	<p>如在公差值前加注 ϕ，则公差带是直径为公差值 t 的圆内所限定的区域。圆公差带的中心点的位置由相对于基准 A 和 B 的理论正确尺寸确定</p> 		<p>提取（实际）中心点必须限定在直径为公差值 0.3 的圆内，该圆的圆心位于相对基准 A、B 所确定的点的理想位置上</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">位置度</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">点的位置度</p>	<p>公差值前加注 $S\phi$，公差带是直径为公差值 t 的球内所限定的区域。球公差带的中心点的位置由相对于基准 A、B、C 的理论正确尺寸</p> 		<p>提取（实际）球心必须限定在直径为公差值 0.3 的球面内，球面的球心位于由相对基准 A、B、C 的理论正确尺寸所确定的理想位置上</p>

(续)

	公差带定义	示 例	说 明
线的位置度 位置度	<p>给定一个方向，公差带是距离为公差值 t，且以线的理想位置为中心线对称配置的两平行直线所限定的区域。中心线的位置由相对于基准的理论正确尺寸确定，此位置度公差仅给定一个方向</p> 	<p>4条刻线</p> 	<p>提取（实际）中心线，即每根刻线的中心线必须限定在距离为公差值 0.05，且由相对于基准 A 的理论正确尺寸所确定的理想位置对称的两平行直线之间</p>
	<p>相互垂直的两个方向</p> 		<p>提取（实际）中心线，即各孔的轴线必须分别限定在两对互相垂直的距离为公差值 0.05 和 0.2，由相对于 C、A、B 基准表面（基准平面）理论正确尺寸所确定的理想位置对称配置的两平行平面之间</p>
	<p>如在公差值前加注 ϕ，则公差带是直径为 t 的圆柱面内所限定的区域，公差带的轴线的位置由相对于三基准体系的理论正确尺寸确定</p> 		<p>提取（实际）中心线，即通孔轴线必须位于直径为公差值 $\phi 0.1$，且以相对于 C、B、A 基准表面（基准平面）的理论正确尺寸所确定的理想位置为轴线的圆柱面内</p>

(续)

公差带定义		示 例	说 明
位置度	平面或中心平面的位置度		提取（实际）表面必须位于距离为公差值 0.05，由以相对于基准线 A（基准轴线）和基准表面 B（基准平面）的理论正确尺寸所确定的理想位置对称配置的两平行平面之间
	<p>公差带是距离为公差值 t，且以面的理想位置为中心对称配置的两平行平面所限定的区域。面的理想位置是由相对于三基面体系的理论正确尺寸确定的</p>		

5. 跳动公差

跳动公差有形状和大小的要求，还有方向和位置的要求，即公差带相对于基准轴线有确定的方向和位置。

跳动公差带能够综合控制同一被测要素的方向、位置和形状误差。

采用跳动公差时，若综合控制被测要素不能满足功能要求，则可进一步给出相应的形状公差（其数值应小于跳动公差值）。

圆跳动可能包括圆度、同轴度、垂直度或平面度误差，这些误差的总值不能超过给定的圆跳动公差。

圆跳动公差是被测要素某一固定参考点围绕基准轴线旋转一周时（零件和测量仪器间无轴向位移）允许的最大变动量 t ，圆跳动公差适用于每一个不同的测量位置。

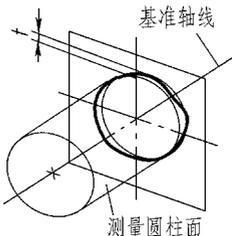
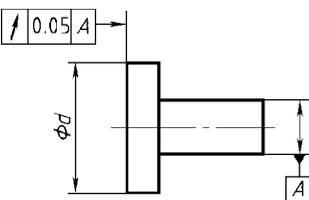
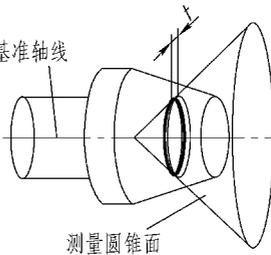
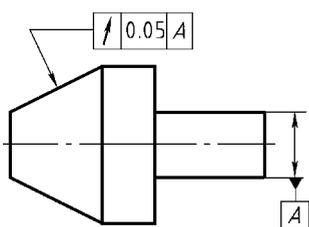
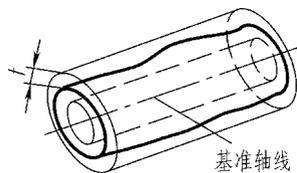
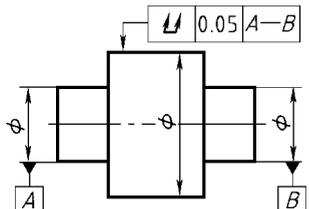
跳动公差带的定义和标注示例见表 6-8。

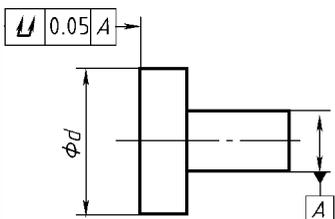
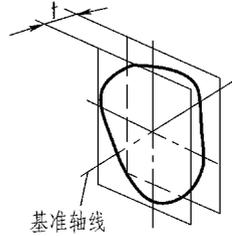
表 6-8 跳动公差带定义和标注示例

(单位: mm)

公差带定义		示 例	说 明
圆跳动公差	径向圆跳动公差		在任一垂直于基准轴线 A 的横截面内，提取（实际）圆必须限定在半径差等于 0.05，且圆心在基准轴线 A 上的两个同心圆内
	<p>公差带是在垂直于基准轴线的任一横截面内半径差为公差值 t，且圆心在基准轴线上的两同心圆所限定的区域</p> <p>跳动通常是围绕轴线旋转一整周，也可对部分圆周进行限制</p>		

(续)

	公差带定义	示例	说明
圆跳动公差	<p>端面圆跳动公差</p> <p>公差带是在与基准同轴的任一半径位置的圆柱截面上, 间距等于公差值 t 的两圆所限定的圆柱面区域。</p> 		<p>在与基准轴线 A 同轴的任一圆柱形截面上, 提取 (实际) 圆应限定在轴向距离等于 0.05 的两个等圆之间</p>
	<p>斜向垂直方向</p> <p>公差带是在与基准同轴的任一圆锥面上, 间距等于公差值 t 的两不等圆所限定的区域</p> 		<p>在与基准轴线 A 同轴且具有一定角度的任一圆锥截面上, 提取 (实际) 圆应限定在素线方向间距等于 0.5 的两不等圆之间</p>
	<p>斜向给定角度</p> <p>公差带是在与基准同轴的给定锥角的任一圆锥面上, 距离为公差值 t 的两圆之间的区域</p>		
全跳动公差	<p>径向全跳动公差</p> <p>公差带是半径差为公差值 t, 且与基准轴线同轴的两圆柱面所限定的区域</p> 		<p>提取 (实际) 表面应限定在半径差等于 0.5, 与公共基准轴线 $A-B$ 同轴的两圆柱面之间</p>

公差带定义		示例	说明
全跳动公差	端面全跳动公差		提取（实际）表面应限定在间距等于 0.5，垂直于基准轴线 A 的两平行平面之间
	公差带是距离为公差值 t ，且与基准轴线垂直的两平行平面之间的区域 		

6.2 几何公差标注和公差原则

6.2.1 被测要素的表示方法和标注

1) 用带箭头的指引线将框格与被测要素相连接按以下方式标注。

① 当公差涉及轮廓线或表面时（见图 6-2 和图 6-3），将箭头置于要素的轮廓线或轮廓线的延长线上（但必须与尺寸线明显地错开）。

② 当指向实际表面时（见图 6-4），箭头可置于带点的参考线上，该点指在实际表面上。

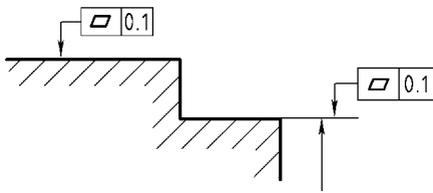


图 6-2

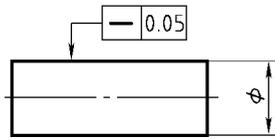


图 6-3

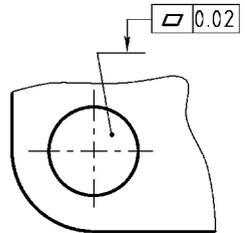


图 6-4

③ 当公差涉及要素的中心线、中心面或中心点时，箭头应位于相应尺寸线的延长线上（见图 6-5 ~ 图 6-7）。

2) 如在公差值前加注“ ϕ ”，则公差带是圆柱形或圆形；如加注“ $S\phi$ ”，则是球形。

3) 一个公差框格可以用于具有相同几何特征和公差值的若干分离要素（见图 6-8 和图 6-9）。

4) 当若干个分离要素给出单一公差带时，可以在公差框格内公差值后面加注公共公差带的符号 CZ（见图 6-10 和图 6-11）。

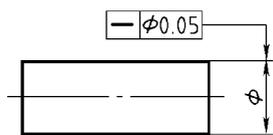


图 6-5

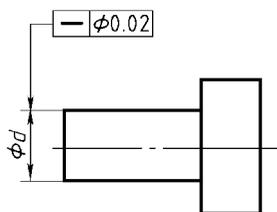


图 6-6

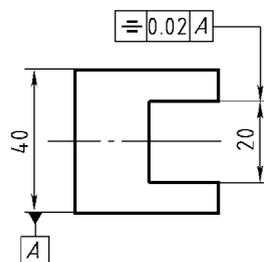


图 6-7

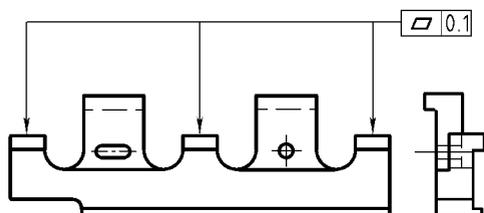


图 6-8

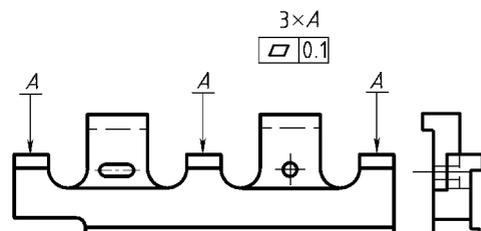


图 6-9

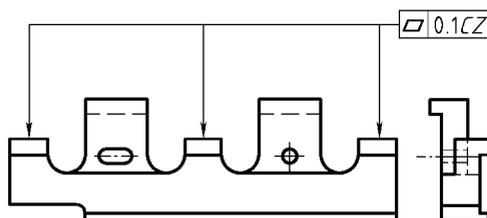


图 6-10

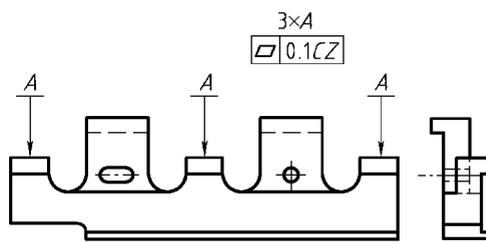


图 6-11

6.2.2 基准要素的表示方法和标注

1) 与被测要素相关的基准用一个大写字母表示。字母标注在基准方格内，与一个涂黑的或空白的三角形相连以表示基准（见图 6-12）。

2) 当基准要素是轮廓线或轮廓面时（见图 6-12），基准三角形放置在要素的轮廓线或其延长线上（与尺寸线明显错开）；基准三角形也可以放置在该轮廓面引出线的水平线上（见图 6-13）。

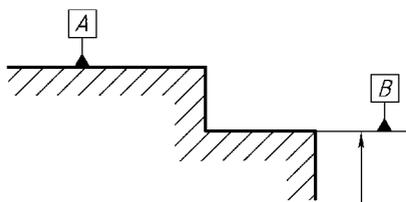


图 6-12

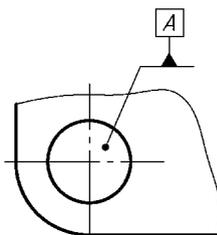


图 6-13

3) 当基准是尺寸要素确定的轴线、中心平面或中心点时, 基准三角形应放置在该尺寸线的延长线上 (见图 6-14 ~ 图 6-16), 如果没有足够的位置标注基准要素尺寸的两个尺寸箭头, 则其中一个箭头可用基准三角形代替。

4) 单一基准要素用大写字母表示 (见图 6-17)。

由两个要素组成的公共基准用由横线隔开的两个大写字母表示见图 6-18。

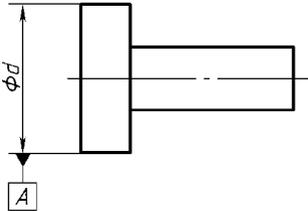


图 6-14

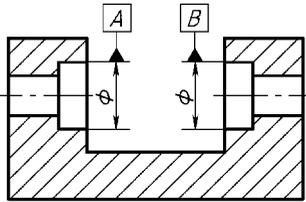


图 6-15

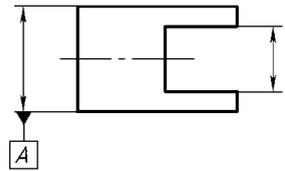


图 6-16

由两个或三个要素组成的基准体系, 如多基准组合, 表示基准的大写字母应按基准的优先次序从左至右分别置于各格中 (见图 6-19)。

为不致引起误解, 字母不采用 E、I、J、M、O、P、L、R 和 F。

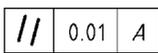


图 6-17

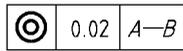


图 6-18

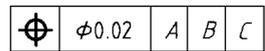


图 6-19

5) 只以要素的某一局部作为基准, 则应用粗点画线表示出该部分并加注尺寸 (见图 6-20)。

6.2.3 几何公差的简化标注方法

1) 如果就某个要素给出几种几何特征的公差, 可将一个框格放在另一个框格的下面 (见图 6-21)。

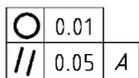


图 6-21

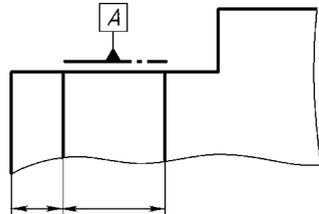


图 6-20

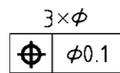


图 6-22

2) 当某项公差应用于几个相同要素时, 应在公差框格的上方被测要素的尺寸之前注明要素的个数, 并在两者之间加上符号“×” (见图 6-22)。

3) 几个具有相同几何特征和公差值的若干个分离要素可以只使用一个公差框格 (见图 6-8、图 6-9、图 6-10、图 6-11)。

4) 结构和尺寸分别相同的几个同型要素有同一公差要求时, 可以只使用一个公差框格 (见图 6-23)。

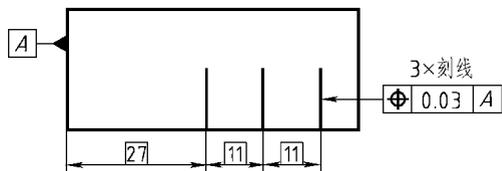


图 6-23

6.2.4 公差原则

确定几何公差与尺寸公差之间相互关系应遵循的原则称为公差原则。

1. 有关公差原则的术语和定义（见表 6-9）

表 6-9 公差原则基本术语和定义

序号	定 义	内 容
1	尺寸要素 feature of size	由一定大小的线性尺寸和角度尺寸确定的几何形状
2	实际（组成）要素 real (integral) feature	由接近实际（组成）要素所限定的工件实际表面的组成要素部分
3	提取组成要素 extracted integral feature	按规定方法，由实际（组成）要素提取优先数目的点所形成的实际（组成要素）的近似替代
4	提取导出要素 extracted derived feature	由一个或几个提取组成要素得到的中心点、中心线或中心面
5	体外作用尺寸 external function size	在被测要素的给定长度上与实际内表面体外相接的最大理想面或与实际外表面体外相接的最小理想面的直径或宽度 对于关联要素该理想面的轴线或中心平面必须与基准保持图样给定的几何关系
6	体内作用尺寸 internal function size	在被测要素的给定长度上与实际内表面体内相接的最小理想面或与实际外表面体内相接的最大理想面的直径或宽度 对于关联要素该理想面的轴线或中心平面必须与基准保持图样给定的几何关系
7	最大实体状态（MMC） maximum material condition	假定提取组成要素的局部尺寸处处位于极限尺寸且使其具有最大实体时的状态
8	最小实体状态（LMC） least material condition	假定提取组成要素的局部尺寸处处位于极限尺寸且使其具有最小实体时的状态
9	最大实体尺寸（MMS） maximum material size	确定要素最大实体状态下的尺寸。即外尺寸要素的上极限尺寸，内尺寸要素的下极限尺寸
10	最小实体尺寸（LMS） least material size	确定要素最小实体状态下的尺寸。即外尺寸要素的下极限尺寸，内尺寸要素的上极限尺寸
11	最大实体实效状态（MMVC） maximum material virtual condition	拟合要素的尺寸为最大实体实效尺寸 MMVS 的状态
12	最小实体实效状态（LMVC） least material virtual condition	拟合要素的尺寸为最小实体实效尺寸 LMVS 的状态
13	最大实体实效尺寸（MMVS） maximum material virtual size	尺寸要素的最大实体尺寸与其导出要素的几何公差（形状、方向、位置）共同作用产生的尺寸 外尺寸要素：MMVS = MMS + 几何公差 内尺寸要素：LMVS = LMS - 几何公差

(续)

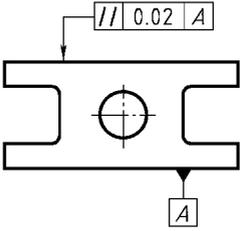
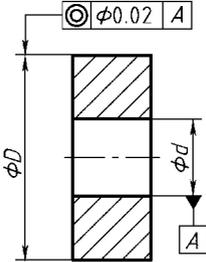
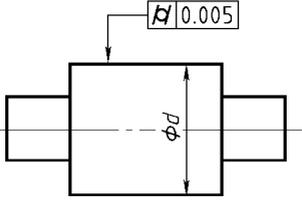
序号	定 义	内 容
14	最小实体实效尺寸 (LMVS) least material virtual size	尺寸要素的最小实体尺寸与其导出要素的几何公差(形状、方向、位置)共同作用产生的尺寸 外尺寸要素: $MMVS = MMS - \text{几何公差}$ 内尺寸要素: $LMVS = LMS + \text{几何公差}$
15	边界 boundary	由设计给定的具有理想形状的极限包容面边界的尺寸为极限包容面的直径或距离
16	最大实体边界 (MMB) maximum material boundary	最大实体状态下的理想形状的极限包容面
17	最小实体边界 (LMB) least material boundary	最小实体状态下的理想形状的极限包容面
18	最大实体实效边界 (MMVB) maximum material virtual boundary	最大实体实效状态下的理想形状的极限包容面
19	最小实体实效边界 (LMVB) least material virtual boundary	最小实体实效状态下的理想形状的极限包容面
20	包容要求 envelope requirement	尺寸要素的非理想要素不得违反最大实体边界 MMB 的一种尺寸要素的要求
21	最大实体要求 (MMR) maximum material requirement	尺寸要素的非理想要素不得违反最大实体实效状态 MMVC 的一种尺寸要素的要求, 也即尺寸要素的非理想要素不得超越其最大实体实效边界 MMVB
22	最小实体要求 (LMR) least material requirement	尺寸要素的非理想要素不得违反最小实体实效状态 LMVC 的一种尺寸要素的要求, 也即尺寸要素的非理想要素不得超越其最小实体实效边界 LMVB
23	可逆要求 (RR) reciprocity requirement	最大实体要求 (MMR) 或最小实体要求 (LMR) 的附加要求, 表示尺寸公差可以在实际几何误差小于几何公差之间的差值范围增大

2. 独立原则 (见表 6-10)

表 6-10 独立原则

定义	图样上给定的每一个尺寸和几何(形状、方向或位置)要求均是独立的, 应分别满足要求
标注方法	没有特定的关系符号或位置说明。由于图样上所有公差中的绝大多数遵守独立原则, 因此, 独立原则是尺寸公差和几何(形状、方向或位置)公差相互关系遵循的基本准则
职能	尺寸公差仅仅控制被测要素的实际尺寸的变动量, 不控制该要素本身的形状误差; 几何(形状、方向或位置)公差控制实际被测要素对其理想形状、方向或位置的变动量, 而与该要素的实际尺寸大小无关
合格条件	图样上所有尺寸和几何(形状、方向或位置)误差都符合公差要求, 零件是合格的, 只要有一项不合格, 零件就是不合格的
检测方法	实际尺寸用两点法测量, 几何(形状、方向或位置)公差使用普通计量器具测量

表 6-11 独立原则应用示例

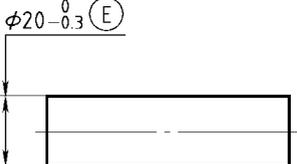
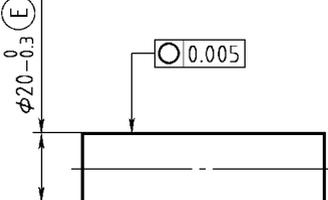
示 例	说 明
	影响摩擦寿命的部位，如滑块两工作表面的平行度
	影响旋转平衡、强度、重量、外观等部位，如高速飞轮安装内孔 A 和外表面的同轴度
	印刷机的滚筒重点控制圆柱度误差，保证印刷或印染时它与纸面或面料接触均匀，使印刷的图文或印染的花色清晰

3. 包容原则（见表 6-12）

表 6-12 包容原则

定义	尺寸要素的非理想要素不得违反最大实体边界 MMB 的一种尺寸要素的要求。设计时，应用最大实体边界来控制被测要素的实体，要求该实体不得超过最大实体边界
标注方法	采用包容要求的尺寸要素，应在其尺寸极限偏差或公差带代号之后标注符号Ⓔ
合格条件	提取组成要素不得超出最大实体边界 MMB，即体外作用尺寸不超出最大实体尺寸，其局部实际尺寸不得超出最小实体尺寸 LMS 内尺寸要素： $D_{fe} \geq D_{MMS}$ 且 $D_a \leq D_{LMS}$ ； 外尺寸要素： $d_{fe} \leq d_{MMS}$ 且 $d_a \geq d_{LMS}$ ；
检测方法	采用包容要求时，应该用光滑极限量规检测。量规的通规模拟体现孔轴的最大实体边界，用来检验该孔轴的实际轮廓是否在最大实体边界范围内；止规两点法测量，用来判断该孔轴的实际尺寸是否超出最小实体尺寸
应用场合	常用于保证孔轴的配合性质，特别是配合公差较小的精密配合要求，用最大实体边界保证所需要的最小间隙或最大过盈。包容原则的应用示例见表 6-13

表 6-13 包容原则应用示例

示 例	说 明
 <p>轴线直线度公差采用包容要求</p>	<p>尺寸公差和形状公差遵守包容要求 圆柱表面必须在最大实体边界内，该边界的尺寸为最大实体尺寸 $\phi 20$。其局部实际尺寸不得小于 $\phi 19.7$</p>
	<p>尺寸公差和形状公差遵守包容要求，对形状公差有进一步的要求</p>

4. 最大实体要求（见表 6-14）

表 6-14 最大实体要求原则

定义	<p>尺寸要素的非理想要素不得违反最大实体实效状态 MMVC 的一种尺寸要素的要求，也即尺寸要素的非理想要素不得超越其最大实体实效边界 MMVB</p>
解释	<p>当几何公差是方向公差时，最大实体实效状态 MMVC 和最大实体实效边界 MMVB 受其方向所约束 当几何公差是位置公差时，最大实体实效状态 MMVC 和最大实体实效边界 MMVB 受其位置所约束</p>
检验方法	<p>提取要素的实际轮廓是否超出最大实体实效边界，应该使用功能量规的检验部分（模拟体现该最大实体实效边界）来检验；其实际尺寸是否超出极限尺寸，用两点法测量</p>
标注方法	<p>当应用于被测要素时，应在被测要素公差框格中的公差值后标注符号 \textcircled{M}；当应用于基准要素时，应在几何公差框格内的基准字母代号后标注符号 \textcircled{M}</p> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 20px;"> <div data-bbox="515 1319 676 1355"> $\textcircled{\phi} \quad \phi t \textcircled{M} \quad A$ </div> <div data-bbox="759 1319 940 1355"> $\textcircled{\phi} \quad \phi t \textcircled{M} \quad A \textcircled{M}$ </div> </div>
合格条件	<p>提取要素不得超出最大实体实效边界，即体外作用尺寸不得超出其最大实体实效尺寸，其局部实际尺寸不得超出极限尺寸 内尺寸要素：$D_{fe} \geq D_{MMVS}$ 且 $D_{min} \leq D_a \leq D_{max}$ 外尺寸要素：$d_{fe} \leq d_{MMVS}$ 且 $d_{min} \leq d_a \leq d_{max}$</p>
应用场合	<p>由于功能和经济的原因，需要使要素的尺寸和几何公差相关，可以使用最大实体要求原则。例如螺栓或螺钉连接的圆盘零件上圆周布置的通孔的位置度公差广泛采用最大实体要求，以便充分利用图样上给出的通孔的尺寸公差，获得最佳的技术经济效益。最大实体要求应用示例见表 6-15</p>

表 6-15 最大实体要求应用示例

示 例	说 明
<p data-bbox="194 293 490 462"> </p> <p data-bbox="194 493 490 520">轴线直线度公差采用最大实体要求</p> <p data-bbox="327 529 349 553">a)</p> <p data-bbox="194 556 522 848"> </p> <p data-bbox="327 866 349 889">b)</p>	<p data-bbox="597 384 1134 484">表示轴的轴线直线度公差采用最大实体要求 被测要素处于最大实体要求状态时，其轴线的直线度公差为 $\phi 0.1$</p> <p data-bbox="597 493 1025 520">从动态公差带图中可看出，该轴满足下列要求</p> <p data-bbox="597 529 842 556">①实际尺寸为 $\phi 19.7 \sim \phi 20$</p> <p data-bbox="577 562 1134 620">②实际轮廓不超出最大实体实效边界，即其体外作用尺寸不大于最大实体实效尺寸 $MMVS = MMS + t = 20 + 0.1 = 20.1$</p> <p data-bbox="577 629 1134 726">③当处于最小实体状态时，轴线直线度误差允许达到最大值，即等于图样上给出的直线度公差值 $\phi 0.1$ 与尺寸公差 0.3 之和 $\phi 0.4$</p> <p data-bbox="577 735 1134 793">螺栓杆部（或通孔）及类似部位的直线度采用最大实体要求</p>
<p data-bbox="168 948 516 1184"> </p> <p data-bbox="327 1212 349 1235">a)</p> <p data-bbox="139 1239 531 1612"> </p> <p data-bbox="327 1621 349 1645">b)</p>	<p data-bbox="577 1121 1134 1221">表示孔的轴线对于基准 A 的垂直度公差采用最大实体要求 当被测要素处于最大实体状态时，其轴线对基准 A 的垂直度公差为 $\phi 0.08$</p> <p data-bbox="597 1230 1034 1257">从动态公差带图中可看出，该孔满足下列要求：</p> <p data-bbox="597 1266 851 1294">①实际尺寸为 $\phi 50 \sim \phi 50.13$</p> <p data-bbox="577 1299 1134 1357">②实际轮廓不超出最大实体实效边界，即其体外作用尺寸不小于最大实体实效尺寸 $MMVS = MMS - t = 50 - 0.08 = 49.92$</p> <p data-bbox="577 1366 1134 1463">③当处于最小实体状态时，轴线垂直度误差允许达到最大值，即等于图样上给出的垂直度公差 $\phi 0.08$ 与孔的尺寸公差 0.13 之和 $\phi 0.21$</p>

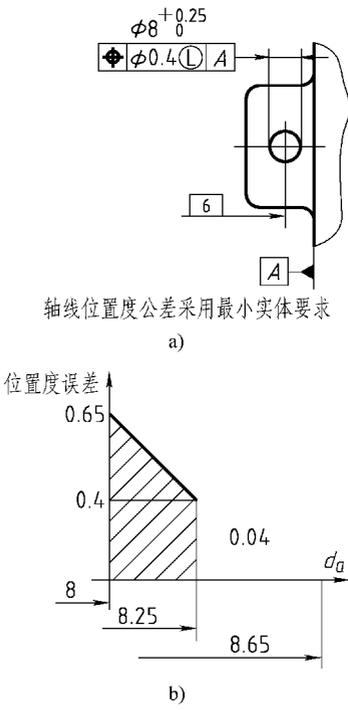
示 例	说 明
	<p>1. 最大实体要求应用于被测要素时： 当被测要素处于最大实体状态时，其轴线对基准 A 的同轴度公差为 $\phi 0.04$ 被测轴线应满足下列要求： ①实际尺寸为 $\phi 11.95 \sim \phi 12$ ②实际轮廓不超出关联最大实体实效边界，其关联体外作用尺寸不大于关联最大实体实效尺寸 $MMVS = MMS + t = 12 + 0.04 = 12.04$ ③当被测轴处于最小实体状态时，其轴线对基准 A 轴线的同轴度误差允许达到最大值，即等于图样给出的同轴度公差 ($\phi 0.04$) 与轴的尺寸公差 0.05 之和 $\phi 0.09$</p> <p>2. 最大实体要求应用于基准要素时： 当基准 A 的实际轮廓处于最大实体边界上，即其体外作用尺寸等于最大实体尺寸 $d_M = \phi 25$ 时，基准轴线不能浮动 当基准 A 的实际轮廓偏离最大实体边界，即其体外作用尺寸偏离最大实体尺寸 $d_M = \phi 25$ 时，基准轴线可以浮动 其体外作用尺寸等于最小实体尺寸 $d_L = \phi 24.95$ 时，其浮动范围达到最大值 $\phi 0.05$ ($d_M - d_L = 25 - 24.95$)</p>

5. 最小实体要求 (见表 6-16)

表 6-16 最小实体要求原则

定义	尺寸要素的非理想要素不得违反最小实体实效状态 MMVC 的一种尺寸要素的要求，也即尺寸要素的非理想要素不得超越其最小实体实效边界 LMVB
解释	当几何公差是方向公差时，最小实体实效状态 LMVC 和最小实体实效边界 LMVB 受其方向所约束 当几何公差是位置公差时，最小实体实效状态 LMVC 和最小实体实效边界 LMVB 受其位置所约束
标注方法	当应用于被测要素时，应在被测要素公差框格中的公差值后标注符号 \textcircled{L} ；当应用于基准要素时，应在几何公差框格内的基准字母代号后标注符号 \textcircled{L} <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> $\textcircled{\phi}$ ϕt \textcircled{L} A </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> $\textcircled{\phi}$ ϕt \textcircled{L} A \textcircled{L} </div> </div>
合格条件	提取要素的实际轮廓不得超出最小实体实效边界，即体内作用尺寸不得超出其最小实体实效尺寸，其局部实际尺寸不得超出极限尺寸 内尺寸要素： $D_{fe} \leq D_{LMVS}$ 且 $D_{\min} \leq D_a \leq D_{\max}$ 外尺寸要素： $d_{fe} \geq d_{LMVS}$ 且 $d_{\min} \leq d_a \leq d_{\max}$
应用场合	在产品 and 零件设计中，涉及保证同一零件上相邻内、外组成要素间的最小壁厚这样的功能要求，通常采用最小实体要求。最小实体要求应用示例见表 6-17

表 6-17 最小实体要求应用示例

示 例	说 明
 <p>轴线位置度公差采用最小实体要求</p> <p>a)</p> <p>b)</p>	<p>表示孔的轴线对基准 A 的位置度公差采用最小实体要求被测要素处于最小实体要求状态时，其轴线的位置度公差为 $\phi 0.4$</p> <p>从动态公差带图中可看出，该孔满足下列要求：</p> <p>①实际尺寸为 $\phi 8 \sim \phi 8.25$</p> <p>②实际轮廓不超出最小实体实效边界，即其关联体内作用尺寸不大于最小实体实效尺寸 $LMVS = LMS + t = 8.25 + 0.4 = 8.65$</p> <p>③当处于最大实体状态时，轴线对基准 A 的位置度误差允许达到最大值，即等于图样上给出的位置度公差值 $\phi 0.4$ 与尺寸公差 0.25 之和 $\phi 0.65$</p>

6.3 几何公差的选择

6.3.1 几何公差特征项目及基准要素的选择

1. 公差项目的选择

(1) 零件的几何特征 零件的几何特征不同，会产生不同的几何误差。如加工后的零件，圆柱形表面会产生圆柱度误差，平面表面会产生平面度误差，槽表面会产生对称度误差，阶梯孔、轴会产生同轴度公差等。

(2) 零件的功能要求 根据零件不同的功能要求，应给定不同的几何公差。

(3) 检测的方便性 在同样满足功能要求的前提下，为了检测方便，应该选用测量简便的项目代替测量较难的项目，有时可将所需的公差项目来控制效果相同或相近的公差项目来代替。

2. 基准要素的选择

选择基准时，根据零件的功能要求和设计要求，基准统一原则和零件结构特征，从以下几个方面考虑。

1) 从设计考虑，根据零件形体的功能要求及要素间的几何关系来选择基准。如回转体零件，选用与轴承配合的轴颈表面或轴两端的中心孔作为基准。

2) 从加工工艺考虑，应选择零件加工时在夹具中定位的相应要素作基准。

3) 从测量考虑，选择零件在测量、检验时计量器具中定位的相应要素为基准。

4) 从装配关系考虑，应选择零件相互配合、相互接触的表面作基准，以保证零件的正确装配。

6.3.2 公差原则的选择

公差原则主要根据被测要素的功能要求、零件尺寸大小和检测方便来选择，并应考虑充分利用给出的尺寸公差带，还应考虑用被测要素的几何公差补偿其尺寸公差的可能性。

按独立原则给出的几何公差值是固定的，不允许几何误差值超出图样上标注的几何公差值。按相关要求给出的几何公差是可变的，在遵守给定边界条件下，允许几何公差值增大。有时独立原则、包容要求和最大实体要求都能满足某种同一功能要求，但在选用它们时应注意它们的经济性和合理性。

6.3.3 几何公差值的选择

几何公差值的大小，主要根据零件功能要求、结构特征、工艺性等因素综合考虑。此外应考虑以下情况。

1) 在同一要素上给出的形状公差值应小于位置公差值。

2) 回转体零件形状公差值（轴线直线度除外）一般情况下小于其尺寸公差值。

3) 平行度公差值应小于其相应的距离尺寸公差值。

4) 考虑加工的难易程度和除主参数外其他参数的影响，在满足零件功能要求下，可以降低1~2级选用。

6.4 几何误差的评定及选用原则

6.4.1 实际要素的体现

测量几何误差时，难以测量整个实际要素来取得无限多测点数据，而是考虑现有计量器具及测量本身的可行性和经济性，采用均匀布置测点的方法，测量一定数

量的离散测点来代替整个实际要素。

为了测量方便与可能，尤其是测量方向、位置误差时，实际导出要素（中心要素）常用模拟方法来体现。例如，用于实际孔成无间隙配合的心轴的轴线模拟体现该实际孔的轴线（见图 6-24）；用 V 形块体现轴颈的轴线（见图 6-25）。

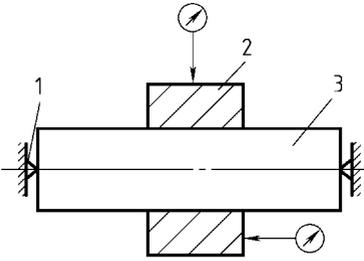


图 6-24 心轴模拟孔的轴线
1—顶尖 2—被测零件 3—心轴

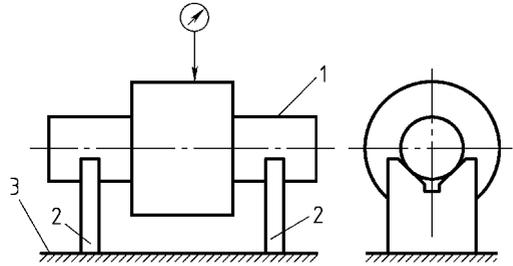


图 6-25 V 形块模拟轴颈的轴线
1—被测零件 2—两个等高 V 形块 3—平板

6.4.2 几何误差的评定

几何误差是指实际被测要素对其理想要素的变动量，是几何公差的控制对象。

最小条件：被测提取要素对其拟合要素的最大变动量为最小。

对于轮廓要素，“最小条件”是理想要素位于零件实体之外并与被测实际要素相接触，使被测实际要素的最大变动量为最小的条件。如图 6-26 所示，被测要素相对于理想要素的最大变动量分别为 h_1 、 h_2 、 h_3 ，其中 $h_1 < h_2 < h_3$ ，因此符合最小条件的理想要素为 A_1-B_1 。

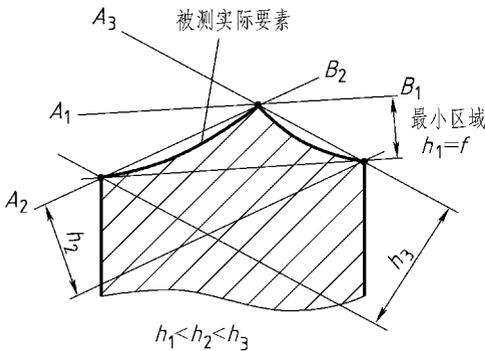


图 6-26 轮廓要素的最小条件

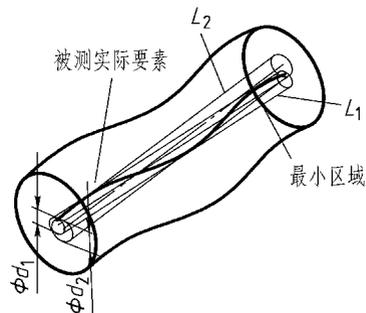
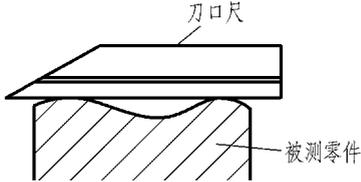
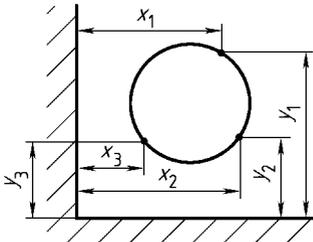
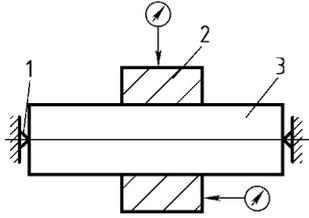
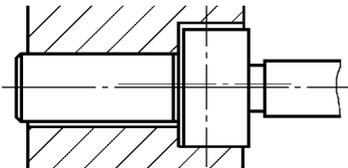


图 6-27 中心要素的最小条件

对于中心要素，“最小条件”是理想要素穿过实际中心要素，并使实际中心要素对理想要素的最大变动量为最小的条件，如图 6-27 所示， $\phi d_1 < \phi d_2$ ，则符合最小条件的理想轴线为 L_1 。

6.4.3 检测原则 (见表 6-18)

表 6-18 检验原则

检验原则	内 容	实 例
与理想要素比较的原则	将被测提取要素与其理想要素相比较,量值由直接法或间接法获得,理想要素用模拟方法获得	<p>将实际被测直线与模拟理想直线的刀口尺刀刃相比较,根据它们接触时光隙的大小来确定直线度误差值</p> 
测量坐标值原则	测量被测提取要素的坐标值(如直角坐标值、极坐标值、圆柱面坐标值),并经过数据处理获得几何误差值	<p>测量被测提取要素的坐标值直角坐标值,经过数据处理获得几何误差值</p> 
测量特征参数原则	测量被测提取要素上具有代表性的参数(即特征参数)来表示几何误差值	<p>测量外圆柱面相对基准轴线的跳动量</p>
测量跳动原则	被测提取要素绕基准轴线回转过程中,沿给定方向测量其对某参考点或线的变动量。变动量是指指示计最大与最小示值之差	 <p>1—顶尖 2—被测零件 3—心轴</p>
控制实效边界原则	检验被测提取要素是否超过实效边界原则,以判断合格与否	

6.5 直线度误差检测

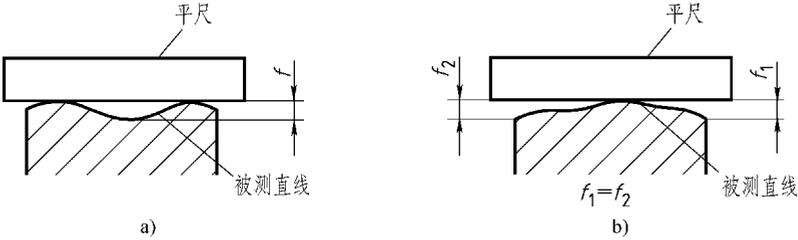
6.5.1 常用检测方法及其计量器具（见表 6-19）

表 6-19 直线度误差检测方法及其计量器具

检测方法	检测步骤及内容	计量器具	
直接法	光隙法	将被测直线和测量基线（刀口尺、平尺）间形成的光隙与标准光隙相比较，直接评定直线度误差值	刀口尺、平尺
	垫塞法	用量块或塞尺测量被测直线和测量基线之间的间隙，直接评定直线度误差值	量块、塞尺
	指示器法	用带指示器的测量装置测出被测直线相对于测量基线的偏离值，进而评定直线度误差	带指示器的测量仪
	干涉法	利用光波干涉原理，根据干涉条纹的形状或干涉带条数来评定直线度误差	
	光轴法	以几何光轴作为测量基准，测出被测直线相对于该基线的偏离值，进而评定直线度误差值	几何光轴
	钢丝法	以张紧的优质钢丝作为测量基线，测出被测直线相对于该基线的偏离值	钢丝
间接法	水平仪法	将固有水平仪的桥板放置在被测直线上，等跨距首尾衔接拖动桥板，测出被测直线各相邻两点连线相对于水平面（或其垂面）的倾斜角，通过数据处理求出直线度误差值	水平仪
	跨步仪法	以跨步仪两固定支点连线作为测量基线，测出第三点相对于测量基线的偏离值，通过数据处理求出直线度误差值	跨步仪
	表桥法	以表桥相间两固定支点的连线作为测量基线，测出中间点相对于测量基线的偏离值，通过数据处理求出直线度误差值	表桥
	平晶法	以水平晶某一轴向截面边缘的两点连线作为测量基线，测出各段偏差值，通过数据处理求出直线度误差值	水平晶
组合法	反向消差法	被测件置于可直线移动的工作台上，通过正反（翻转 180°）两次测量被测件，经数据处理消除基线本身的直线度误差，求出被测件直线度误差值	
	位移消差法	被测件置于可直线移动的工作台上，通过起始测量位置的变动对被测件进行两次测量，经数据处理消除测量基线本身的直线度误差，求出被测件直线度误差值	
	量规法	用直线度量规判断被测件是否超出实效边界，以确定被测零件直线度误差的合格性	直线度量规

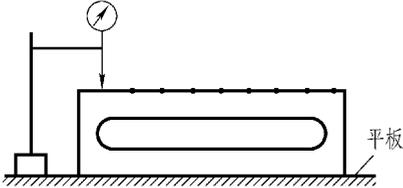
6.5.2 光隙法 (见表 6-20)

表 6-20 光隙法检测直线度误差

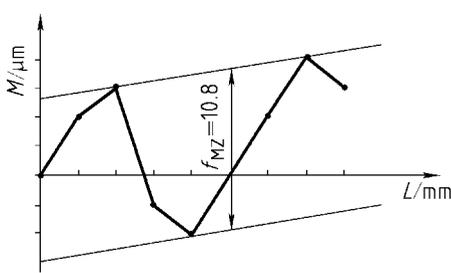
检测原理	仅仅凭借人眼观察通过实际间隙的可见光隙量的多少来判断间隙大小的一种方法, 将实际要素与理想直线相比较, 来测量给定平面内直线度误差
检测方法	将被测直线和测量基线 (刀口尺、平尺) 间形成的光隙与标准光隙相比较, 直接评定直线度误差值 平尺要求足够精确, 可以作为直线的理想形状, 由于平尺的位置就是理想直线的位置, 因此, 测量时, 应将平尺的位置放置得符合最小条件, 使平尺与被测直线的最大间隙最小
检测仪器	刀口尺、平尺
求解直线度误差	<p>若素线为两端高、中间低, 即高低高时, 如图 a 所示, 平尺与两个高点接触, 则平尺与高点之间的间隙即为素线的直线度误差</p> <p>若素线为两端低、中间高, 即低高低时, 如图 b 所示, 平尺与一个最高点接触, 并且平尺与最低点的间隙相等, 此间隙就是素线的直线度误差</p> 

6.5.3 节距法 (见表 6-21)

表 6-21 节距法测量直线度误差

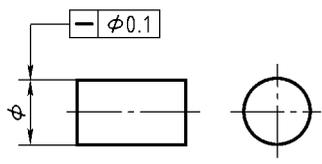
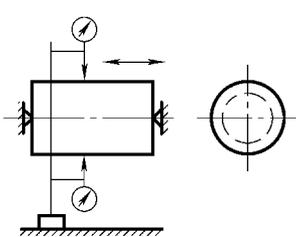
检测原理	<p>计量器具置于被测要素不同的被测部位上, 其倾斜角度就要发生相应的变化。如果节距 (相邻两测点的距离) 一经确定, 这个变化的微小倾角与被测相邻两点的高低差就有确切的对应关系。通过对逐个节距的测量, 得到变化的角度, 用作图法或计算法, 即可以求出被测表面的直线度误差</p> 
检测方法	在平板上用指示表测量被测要素直线度误差, 以该平板的工作面作为测量基准, 将实际被测直线等距布置若干个测点, 在各测点处指示表的示值列于表中。根据这些测量数据, 按两端点连线和最小条件用作图法求解直线度误差值

(续)

检测仪器	框式水平仪、合像水平仪、电子水平仪和自准直仪等									
作图法求解	在平板上用指示表测量窄长平面（如机床导轨面）直线度误差，以该平板的工作面作为测量基准，将实际被测直线等距布置9个测点，在各测点处指示表的示值列于下表中。									
	测点序号 i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	指示表示值 $M_i/\mu\text{m}$	0	+4	+6	-2	-4	0	+4	+8	+6
	根据最小条件，作图法求解的直线度误差值 $f_{MZ} = 10.8\mu\text{m}$									
										

6.5.4 直线度误差检测（见表 6-22）

表 6-22 顶尖法检测直线度误差

检测仪器	平板，顶尖
公差带及应用	<p>被测零件图样如下图所示，采用顶尖法检测零件轴线任意方向的直线度误差</p> 
检测原理及方法	<p>将被测零件安装在平行于平板的顶尖之间，从开始端将两指示器调零后，沿铅垂轴截面的两条素线测量，同时分别记录两指示器在各自测点的读数 M_a、M_b，取各测点读数差的一半，即 $(M_a - M_b)/2$ 中的最大值作为该截面轴线的直线度误差</p> <p>间断转动被测零件，如下图所示，重复上述步骤，测量若干截面，取其中最大误差值作为该被测零件的轴线的直线度误差</p> 

6.6 平面度误差检测

6.6.1 平晶干涉法

对于量块、千分尺等较小测量面，常用平晶干涉法测量其平面度误差，如图 6-28a 所示。

平面平晶与被测实际表面相接处，当干涉条纹呈现互相平行的直的明暗条纹时，如图 6-28b 所示，被测实际表面是理想的几何平面。

当干涉条纹呈现如图 6-28c 所示的弯曲形状时，则平面度误差 $f = \frac{a}{b} \times \frac{\lambda}{2}$ ， λ 为光波的波长。当干涉条纹弯曲成封闭的条纹时，则平面度误差为 $f = n \times \frac{\lambda}{2}$ ， n 为干涉条纹数。

此方法适用于测量高精度的小平面，如块规等。它是符合最小条件的测量方法。

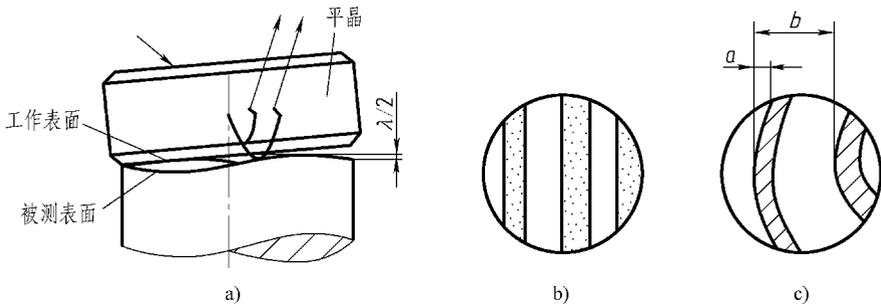


图 6-28 平晶干涉法检测平面度误差

6.6.2 三点法

将被测零件用可调千斤顶安置在平板上，以标准平板为测量基面，按三点法调整被测面与平板平行。用测微计沿实际表面逐点或沿几条直线方向进行测量。用布点测量平面度误差时，均先测得各测点的数据，而后可以按要求进行数据处理，求平面度误差，常用布点方法如图 6-30 所示，测量按箭头方向依次进行，前两种如图 6-30a 和 6-30b 常用测微计、水平仪等测量，6-30c 图所示的布点常用平板检定，用自准直仪测量。

6.6.3 四点法

将被测零件用可调千斤顶安置在平板上，以标准平板为测量基面，按四点法调整被测面与平板平行。用测微计沿实际表面逐点或沿几条直线方向进行测量。用布

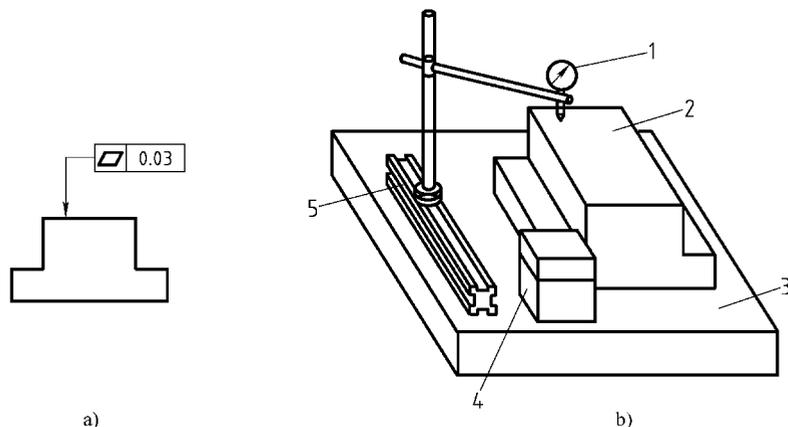


图 6-29 平面度误差的检测

1—指示表 2—被测零件 3—测量平板 4—量块组 5—测量架

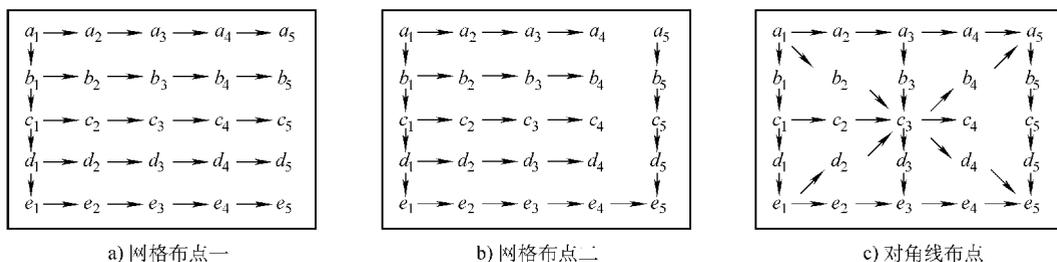


图 6-30 测量平面度误差时的布点方法

点测量平面度误差时，均先测得各测点数据，而后可以按要求进行数据处理，求平面度误差，常用的布点方法如图 6-30 所示，测量按箭头方向依次进行，前两种如图 6-30a 和图 6-30b 常用测微计、水平仪等测量，图 6-30c 所示的布点常用平板检定，用自准直仪测量。

6.6.4 按“最小条件”评定平面度误差的方法

如图 6-29a 所示的零件图样标注，对同一被测表面标注了平面度误差。用平板、指示表和量块组测量该表面的平面度误差。测量装置如图 6-29b 所示。

测量时，被测零件 2 及其实际基准表面放置在测量平板 3 的工作面上，该工作面作为测量基准，按图样上标注的基本尺寸 100 选取组合尺寸为 100mm 的量块组 4，该量块组放置在平板 3 的工作面上。然后，按量块组 4 的尺寸，调整放置在平板 3 工作面上的指示表 1 的示值零位。

对实际被测表面沿 x 和 y 方向相邻两测点皆等距离布置 9 个测点，取第一个测点 a_1 为坐标系原点 O ，测量基准为 Oxy 平面。用指示表分别对 9 个测点测取得示值（空间直角坐标系里的 z 坐标值， μm ），见图 6-31a 框中所列，它们分别是 9 个

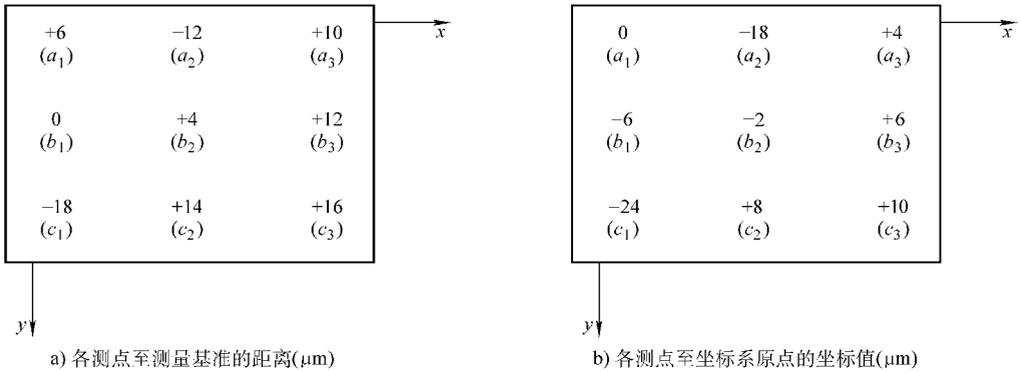


图 6-31 测量得到的数据

测点至测量基准（也是基准平面 A）的距离与 100mm 的代数差。为了方便测量数据的处理，首先把图 6-31a 所示的 9 个测点数据皆减去测点 a₁ 的数据，得到图 6-31b 所示 9 个测点相对于测点 a₁ 的数据。

根据测量数据，按对角线平面和最小条件用坐标转换方法求解平面度误差值。

被测表面的平面度误差值按最小条件评定时，与直线度的评定准则相同，如图 6-32 所示。由两平行平面包容被测实际平面时，被测实际表面至少有 4 点分别与这两平行平面接触，并满足下列条件之一。

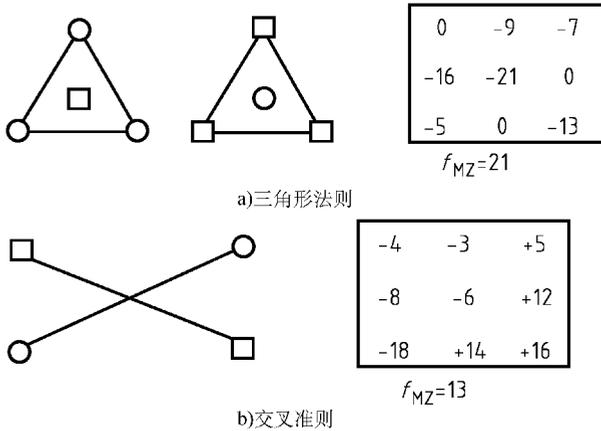


图 6-32 按最小包容区域评定平面度误差

1) 三角形准则：至少有两个高（低）极点与一平面接触，有一低（高）极点与另一平面接触，并且这一个低（高）极点的投影落在上述三个高（低）极点连成的三角形内，或者落在该三角形的一条边上。

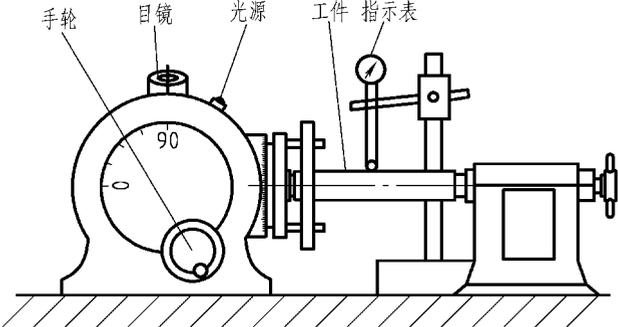
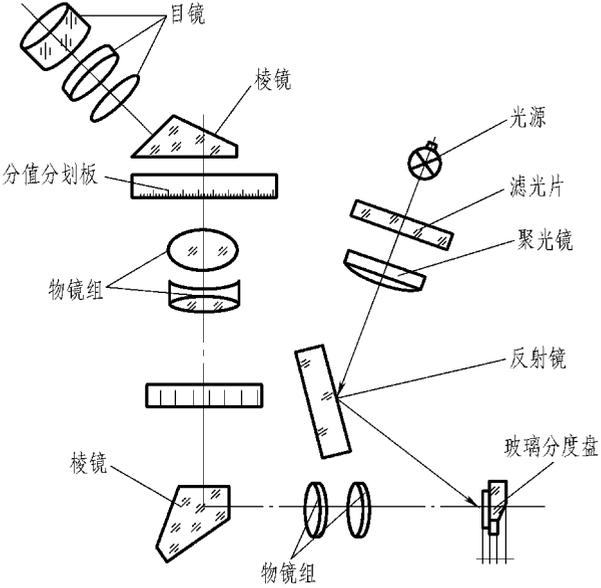
2) 交叉准则：至少有两个高极点和两个低极点分别与这两个平行平面接触，并且两个高极点的连线和两个低极点的连线在空间呈交叉状态，或者有两个高

(低)极点与两个平行包容平面中的一个平面接触,还有一个低(高)极点与另一个平面接触,且该低(高)点的投影落在两个高(低)极点的连线上。

6.7 圆度误差的检测

6.7.1 分度头检测 (见表 6-23)

表 6-23 分度头检测圆度误差

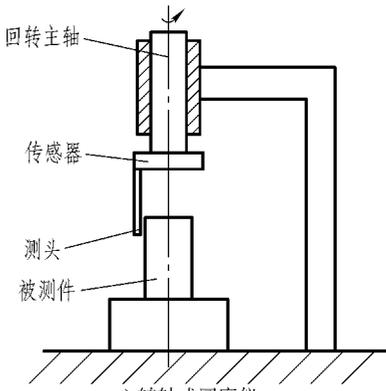
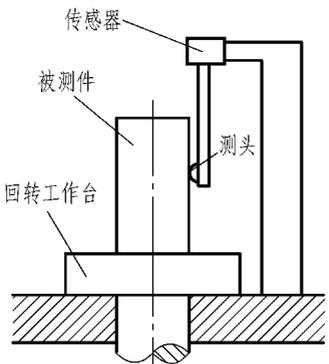
检测仪器	 <p style="text-align: center;">FP130A 型影屏式光学分度头的外形结构</p>
光学分度头的 光学系统	 <p style="text-align: center;">光学分度头的光学系统</p>

(续)

检测原理	光源发出的光线经过滤光片, 聚光镜到反射镜, 照亮主轴上的玻璃分度盘。玻璃刻线影像经过转像棱镜投射到秒值分划板上, 玻璃分度盘上的影像和秒值刻线影像一起又投射到分值分划板上, 通过目镜可以同时看到度值刻线、分值刻线和秒值刻线
检测步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 将零件顶在光学分度头的两顶尖间, 指示表引向工件, 并使表头与工件径向最高点接触 2) 将分度头主轴上的外活动度盘转到零度, 再将指示表调零 3) 根据对测取点数的要求进行分度, 在一周内, 分度头每转过一个角度 (或进行了一次分度), 从指示表上读取相应点的数值, 记入圆坐标纸, 连成误差曲线 4) 进行数据处理并作出合格性判断。

6.7.2 圆度仪检测 (见表 6-24)

表 6-24 圆度仪检测圆度误差

检测仪器	<p>转轴式圆度仪如图 a 所示, 主轴垂直安装在头架上, 主轴下端安装有一个可以径向调节的传感器, 用同步电动机驱动主轴旋转, 这样就使安装在主轴下端的传感器测头形成一个接近于理想圆的轨迹。被测件安装在微动定心台上, 可以精确调整, 利用电感放大器的对中表可以相对精确地找正主轴中心</p>  <p>a) 转轴式圆度仪</p> <p>转台式圆度仪如图 b 所示, 被测件安装在工作台上, 随着工作台一起转动。传感器在支架上固定不动, 其感受的被测件轮廓的变化经放大器放大, 并作信号处理</p>  <p>b) 转台式圆度仪</p>
检测原理	测量时, 传感器测头与被测件截面接触, 被测件截面实际轮廓引起的径向尺寸的变化由传感器转化为电信号, 通过放大器、滤波器输入到极坐标记录器。把零件被测截面实际轮廓在半径方向上的变化量加以放大。用刻有同心圆的透明的样板或用作图法可以评定出圆度误差, 或计算机直接显示结果

6.7.3 二点法、三点法检测 (见表 6-25)

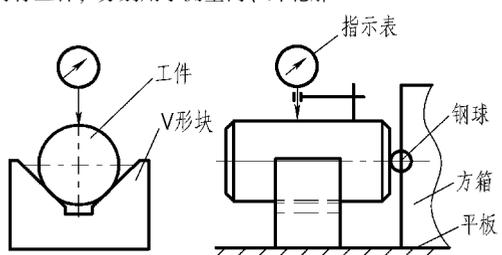
两点法、三点法检测圆度误差可以由下式决定:

$$f = \Delta / F$$

Δ 为特征参数, 指直径的两极限测量值之差; F 为反映系数。它表示圆度误差

反映在特征参数上的明显程度，反映系数的大小与轮廓的棱数、测量装置的结构（如测砧的分布位置）和指示器的安装位置（如是否对称）等因素有关。

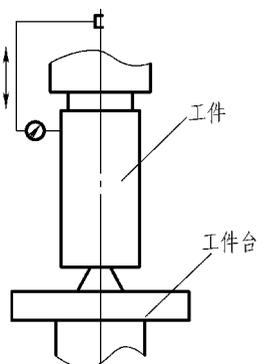
表 6-25 二点法、三点法检测圆度误差

检测方法	检测步骤及内容	计量器具
两点法 (直径法)	<p>在零件的同一横截面上按多个方向测量直径的变化情况，取各个方向测得值中的直径最大差值。</p> <p>测量时，特征参数 $\Delta = d_{\max} - d_{\min}$，$F = 2$</p> <p>圆度误差 $f = (d_{\max} - d_{\min}) / 2$</p> <p>只能用来测量被测轮廓为偶数棱的圆度误差</p>	齿轮杠杆比较仪
三点法 (V形支撑检测法)	<p>三点法测量已知为奇数的圆度误差，与两点法结合可以用来测量不知具体棱数的轮廓。</p> <p>V形支撑测量法结构形式可分为顶点对称、顶点非对称和鞍式对称三种，分别用于测量内、外轮廓</p> 	

6.8 圆柱度误差的检测

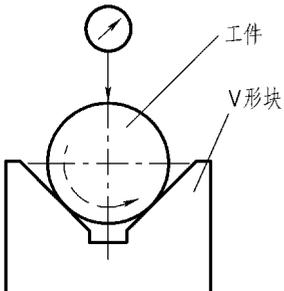
6.8.1 圆度仪检测（见表 6-26）

表 6-26 圆度仪检测圆柱度误差

检测仪器	圆度仪
检测原理及方法	<p>将被测零件的轴线调整到与圆度仪的轴线同轴，然后记录被测零件回转一周过程中截面上各点的半径差。在测量头没有径向偏移情况下，可以移动测量头，测量若干个横截面，由计算机按最小条件计算确定圆柱度误差</p> 

6.8.2 V形法检测（见表 6-27）

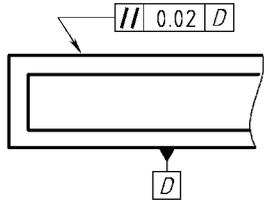
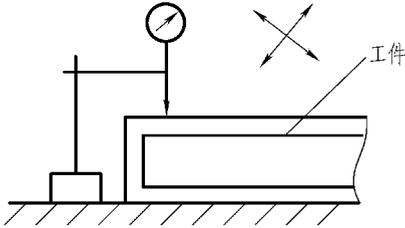
表 6-27 V形法检测圆柱度误差

检测仪器	V形块，百分表，比较仪等
检测原理及方法	<p>将被测零件放在V形块上，使其轴线垂直于测量平面，同时固定轴向位置，使百分表接触圆轮廓的上面，被测零件旋转一周，记下其最大读数和最小读数。测量若干个截面，取各截面内最大与最小读数值之差的一半作为零件的圆柱度误差</p> 

6.9 平行度误差的检测

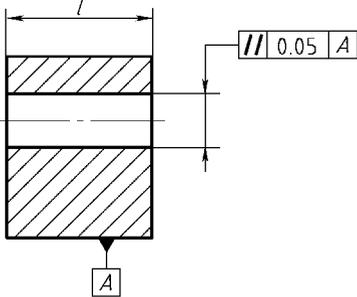
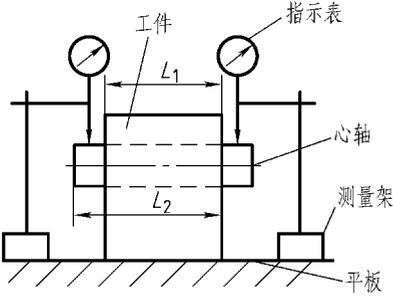
6.9.1 面对基准平面的平行度误差的检测（见表 6-28）

表 6-28 面对基准平面的平行度误差的检测

检测仪器	平板，百分表，比较仪等
公差带及应用	
检测原理及方法	<p>如图所示，将被测零件放置在平板上，在整个被测表面上按规定测量线进行测量</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 取指示计的最大与最小示值之差作为该零件的平行度误差 2) 取各条测量线上任意给定长度内，指示计最大与最小示值之差作为该零件的平行度误差 

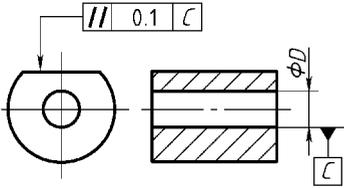
6.9.2 直线对基准平面的平行度误差的检测 (见表 6-29)

表 6-29 直线对基准平面的平行度误差的检测

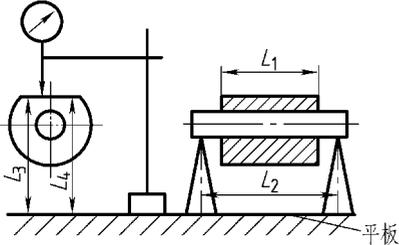
检测仪器	平板, 百分表, 心轴
公差带及应用	
检测原理及方法	<p>将被测工件放在平板上, 被测轴线由心轴模拟, 应选用可胀式 (或与孔无间隙配合) 心轴。在测量距离为 L_2 的两个位置上, 测得的示值分别为 M_1 和 M_2</p> <p>平行度误差 $f = M_1 - M_2 \times \frac{L_1}{L_2}$, L_1 为被测轴线长度</p> 

6.9.3 面对基准直线的平行度误差的检测 (见表 6-30)

表 6-30 面对基准直线的平行度误差的检测

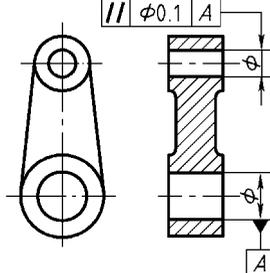
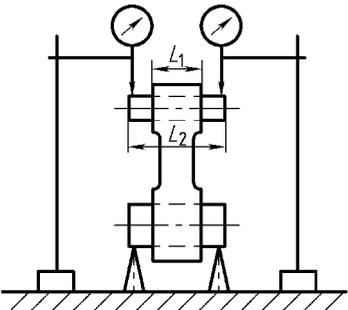
检测仪器	平板, 百分表, 心轴, 支承等
公差带及应用	

(续)

检测原理及方法	<p>基准轴线由心轴模拟, 应选用可胀式 (或与孔无间隙配合) 心轴。将被测工件放在等高支承上, 调整 (转动) 该零件使 $L_3 = L_4$, 然后测量整个被测表面并记录示值。取整个测量过程中指示针最大与最小示值之差作为该零件的平行度误差。必要时可以按照定向最小区域评定平行度误差</p>
检测原理及方法	<p>基准轴线由心轴模拟, 应选用可胀式 (或与孔无间隙配合) 心轴。将被测工件放在等高支承上, 调整 (转动) 该零件使 $L_3 = L_4$, 然后测量整个被测表面并记录示值。取整个测量过程中指示针最大与最小示值之差作为该零件的平行度误差。必要时可以按照定向最小区域评定平行度误差</p> 

6.9.4 直线对基准直线的平行度误差的检测 (见表 6-31)

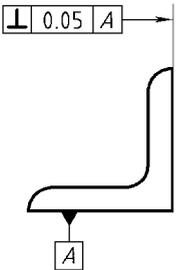
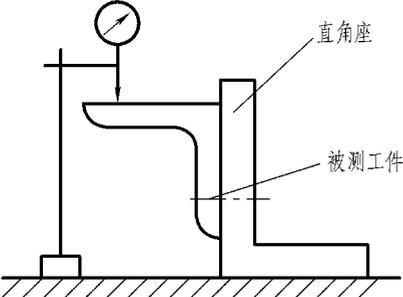
表 6-31 直线对基准直线的平行度误差的检测

检测仪器	平板, 百分表, 心轴, 支承等
公差带及应用	
检测原理及方法	<p>基准轴线和被测轴线由心轴来模拟, 应选用可胀式 (或与孔无间隙配合) 心轴。将被测工件放在等高支承上, 在测量距离为 L_2 的两个位置上测得示值分别为 M_1 和 M_2, 平行度误差 $f = M_1 - M_2 \times \frac{L_1}{L_2}$</p> 

6.10 垂直度误差的检测

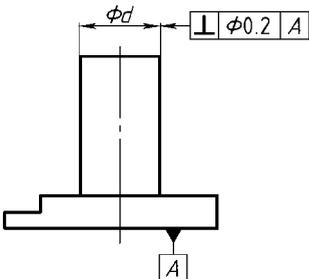
6.10.1 面对基准平面的垂直度误差的检测（见表 6-32）

表 6-32 面对基准平面的垂直度误差的检测

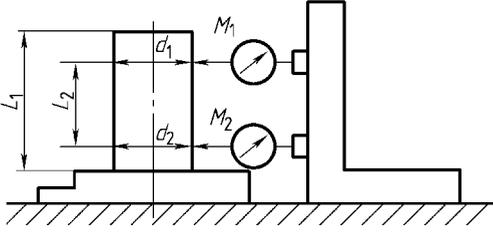
检测仪器	平板, 百分表, 心轴, 支承等
公差带及应用	
检测原理及方法	<p>将被测工件的基准表面固定在直角座上, 同时调整靠近基准的被测表面的指示计示值之差为最小值, 取指示计在整个被测表面各点测得的最大与最小示值之差作为该零件的垂直度误差。必要时可以按定向最小区域评定垂直度误差</p> 

6.10.2 直线对基准平面的垂直度误差的检测（见表 6-33）

表 6-33 直线对基准平面的垂直度误差的检测

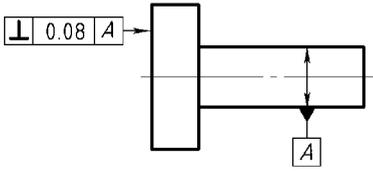
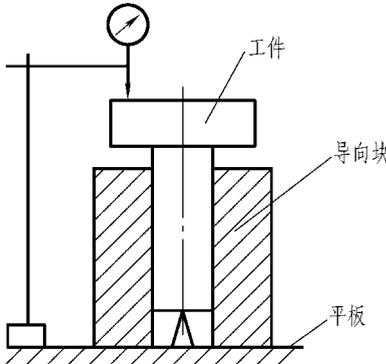
检测仪器	平板, 百分表, 心轴, 支承等
公差带及应用	

(续)

检测原理及方法	<p>将被测工件放置在平板上, 为了简化测量, 可以在相互垂直的两个方向上测量在距离为 L_2 的两个位置测量被测表面与直角座的距离 M_1 和 M_2 及相应的轴径 d_1 和 d_2。则测量方向的垂直度误差 $f = \left (M_1 - M_2) + \frac{d_1 - d_2}{2} \right \cdot \frac{L_1}{L_2}$</p> <p>取两测量方向上测得误差较大值作为该零件的垂直度误差</p> <p>当被测表面是孔时, 被测轴线可以用心轴来模拟, 应选用可胀式 (或与孔无间隙配合) 心轴</p> 
---------	---

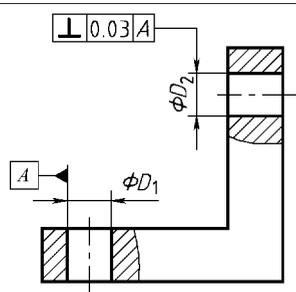
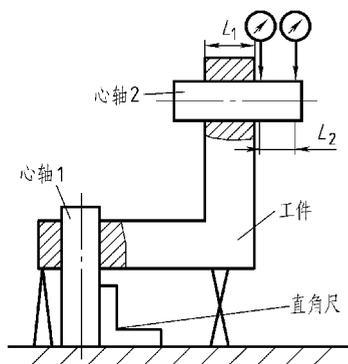
6.10.3 面对基准直线的垂直度误差的检测 (见表 6-34)

表 6-34 面对基准直线的垂直度误差的检测

检测仪器	平板, 导向块, 支承等
公差带及应用	
检测原理及方法	<p>将被测工件放置在导向块内 (基准轴线由导向块模拟), 然后检测整个被测表面, 并记录示值, 取最大值作为该零件的垂直度误差</p> 

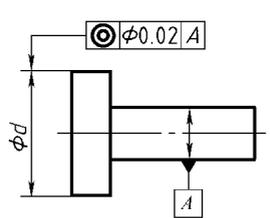
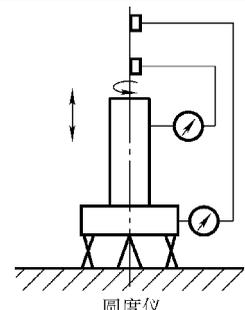
6.10.4 直线对基准直线的垂直度误差的检测（见表 6-35）

表 6-35 直线对基准直线的垂直度误差的检测

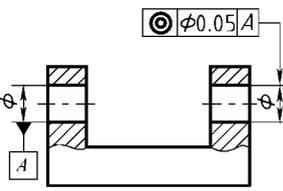
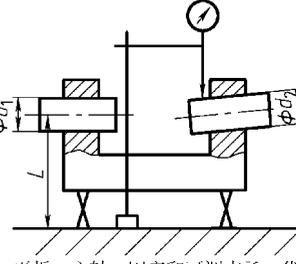
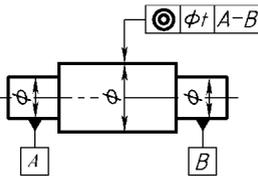
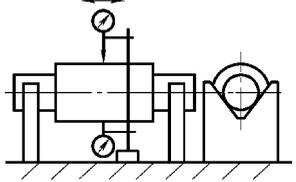
检测仪器	平板, 百分表, 心轴, 支承, 直角尺等
公差带及应用	
检测原理及方法	<p>在测量距离为 L_2 的两个位置上测得的数值分别是 M_1 和 M_2, 垂直度误差 $f = M_1 - M_2 \times \frac{L_1}{L_2}$</p> 

6.11 同轴度误差的检测（见表 6-36）

表 6-36 同轴度误差检测

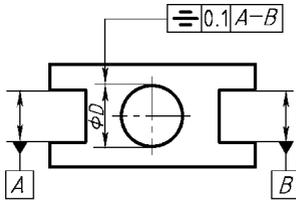
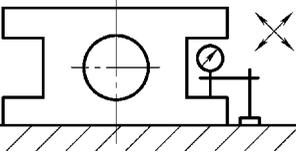
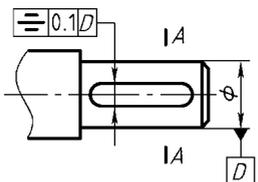
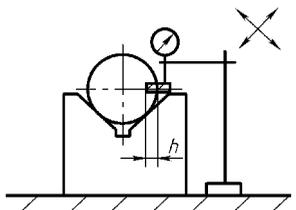
公差带与应用示例	检测方法 & 仪器	说明
	 <p>圆度仪</p>	<p>调整被测零件, 使其基准轴线与仪器主轴的回转轴同轴</p> <p>在被测零件的基准要素和被测要素上测量若干截面并记录轮廓图形</p> <p>根据图形按定义要求求出零件的同轴度误差</p>

(续)

公差带与应用示例	检测方法 & 仪器	说 明
	 <p>平板、心轴、固定和可调支承、带指示计的测量架</p>	<p>心轴和孔无间隙配合，并调整被测零件使其基准轴线和平板平行</p> <p>在靠近被测端 A 和 B 两点测量，并求该两点分别与高度 $L + \frac{d_2}{2}$ 差值 f_{Ax} 和 f_{Bx}。再将零件旋转 90°，按上述方法测取 f_{Ay} 和 f_{By}，A 点同轴度误差 $f_A = 2\sqrt{f_{Ax}^2 + f_{Ay}^2}$，B 点同轴度误差 $f_B = 2\sqrt{f_{Bx}^2 + f_{By}^2}$，取最大值为该要素同轴度误差</p>
	 <p>平板、刃口状 V 形架、带指示计的测量架</p>	<p>公共基准轴线由 V 形架来体现。将被测零件基准要素的中截面放置在两个等高的刃口状 V 形架，将两指示计分别在铅垂轴截面内相对于基准轴线对称调零</p> <p>在轴向测量，取指示计在垂直基准轴线的正截面上测得各对应点的示值差值作为该截面上的同轴度误差</p>

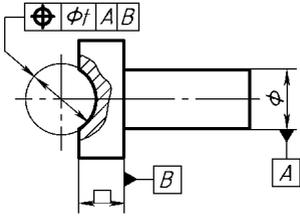
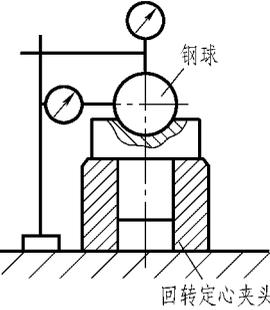
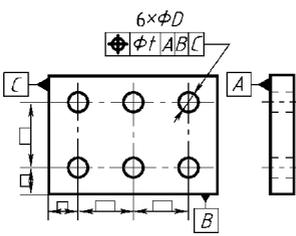
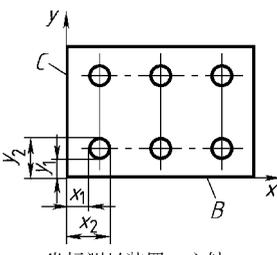
6.12 对称度误差的检测 (见表 6-37)

表 6-37 对称度误差检测

公差带与应用示例	检测方法 & 仪器	说 明
	 <p>平板、带指示计的测量架</p>	<p>将被测零件放在平板上</p> <p>测量被测平面与平板之间的距离；将被测件翻转之后，测量另一被测平面与平板之间的距离</p> <p>取测量截面内，对应两测点最大差值作为对称度误差</p>
	 <p>平板、V 形块、定位块、带指示计的测量架</p>	<p>基准轴线由 V 形块来模拟，被测中心平面由定位块模拟，调整被测零件使定位块沿径向与平板平行，在键槽长度两端的径向截面内测量定位块至平板的距离。再将被测零件旋转 180° 后重复上述测量，得到两径向测量截面内距离差的一半 Δ_1 和 Δ_2，对称度误差按下式计算：</p> $f = \frac{2\Delta_2 h + d(\Delta_1 - \Delta_2)}{d - h}$

6.13 位置度误差的检测 (见表 6-38)

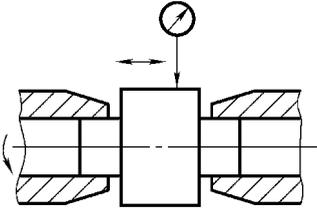
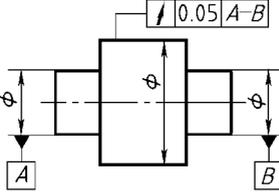
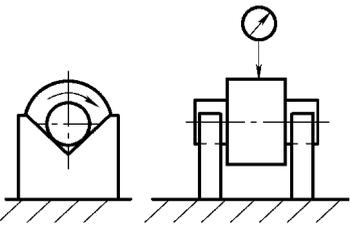
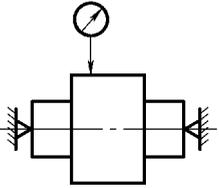
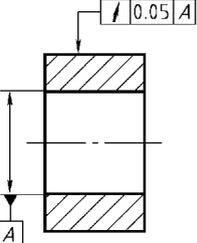
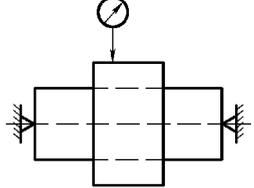
表 6-38 位置度误差检测

公差带与应用示例	检测方法及仪器	说 明
	 <p>回转定心夹头</p> <p>标准零件, 测量钢球, 回转定心夹头, 平板, 带指示计的测量架</p>	<p>被测件由回转定心夹头定位, 选择适当直径的钢球, 放置在被测零件的球面内, 以钢球球心模拟被测球面的球心</p> <p>在被测零件回转一周过程中, 径向指示计最大示值差的一半为相对基准轴线 A 的径向误差 f_x。垂直方向指示计直接读取相对于基准 B 的轴向误差 f_y。该指示计按标准零件调零。被测点位置读误差:</p> $f = 2 \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$
	 <p>坐标测量装置, 心轴</p>	<p>按基准测量被测件, 使其与测量装置的坐标方向一致</p> <p>将心轴放置在孔中, 在靠近被测零件的板面处, 测量 x_1、x_2、y_1、y_2, 计算坐标尺寸</p> $x \text{ 方向: } x = \frac{x_1 + x_2}{2}$ $y \text{ 方向: } y = \frac{y_1 + y_2}{2}$ <p>将测量得到的实际孔中心坐标减去理论坐标值得到坐标偏差值 f_x 和 f_y, 位置度误差为</p> $f = 2 \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ <p>对于多孔孔组, 按上述方法逐孔测量和计算</p>

6.14 跳动误差的检测

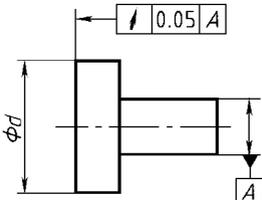
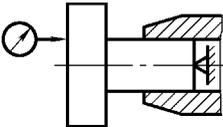
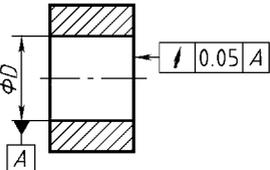
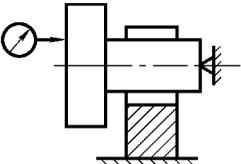
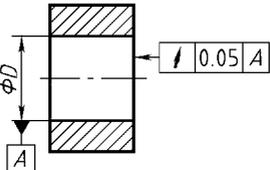
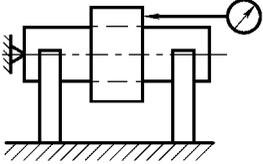
6.14.1 径向圆跳动误差的检测 (见表 6-39)

表 6-39 径向圆跳动误差检测

公差带与应用示例	检测方法 & 仪器	说 明
	 <p data-bbox="464 760 786 808">一对同轴圆柱导向套筒, 带指示计的测量架</p>	<p data-bbox="833 502 1130 560">将被测零件支承在两个同轴导向套筒内, 并在轴向固定</p> <p data-bbox="833 571 1130 666">在被测零件回转一周过程中指示计示值的最大差值, 即为单个测量平面上的径向跳动</p> <p data-bbox="833 677 1130 804">按上述方法在若干个测量平面内测量, 取各个截面上测得的跳动量的最大值作为该零件的径向跳动</p>
 <p data-bbox="151 911 430 1039">公差带: $\nabla 0.05 A-B$</p>	 <p data-bbox="490 1088 786 1112">平板, V形架, 带指示计的测量架</p>	<p data-bbox="833 917 1130 1011">基准轴线用 V 形架来模拟, 将被测零件支承在 V 形架上, 并在轴向定位</p> <p data-bbox="851 1022 980 1046">测量方法同上</p>
	 <p data-bbox="473 1361 777 1385">一对同轴顶尖, 带指示计的测量架</p>	<p data-bbox="833 1221 1130 1279">将被测零件安装在两同轴顶尖之间</p> <p data-bbox="851 1290 980 1314">测量方法同上</p>
 <p data-bbox="190 1421 387 1658">公差带: $\nabla 0.05 A$</p>	 <p data-bbox="473 1621 777 1663">一对同轴顶尖, 导向心轴, 带指示计的测量架</p>	<p data-bbox="833 1488 1130 1583">将被测零件固定在导向心轴上, 同时安装在两同轴顶尖之间</p> <p data-bbox="851 1557 980 1581">测量方法同上</p>

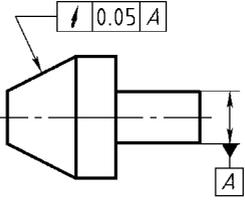
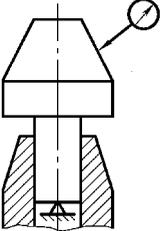
6.14.2 端面圆跳动误差的检测 (见表 6-40)

表 6-40 端面圆跳动误差检测

公差带与应用示例	检测方法 & 仪器	说 明
	 导向套筒, 顶尖, 带指示计的测量架	<p>将被测零件固定在导向套筒内, 并轴向固定</p> <p>在被测零件回转一周过程中指示计示值的最大差值, 即为单个测量圆柱面上的端面圆跳动</p> <p>按上述方法在若干个测量圆柱面内测量, 取各测量圆柱面上测得的跳动量的最大值作为该零件的端面圆跳动</p>
	 平板, 带指示计的测量架, V形块	<p>将被测零件支承在 V 形块上, 并轴向固定</p> <p>测量方法同上</p>
	 平板, 带指示计的测量架, V形块(或顶尖), 导向心轴	<p>将被测零件固定在导向心轴上, 并安装在 V 形架上 (或顶尖)</p>

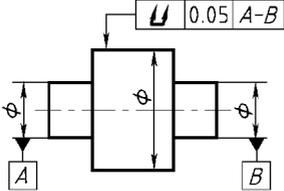
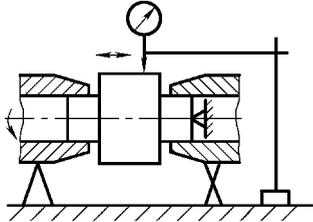
6.14.3 斜向圆跳动误差的检测 (见表 6-41)

表 6-41 斜向圆跳动误差检测

公差带与应用示例	检测方法 & 仪器	说 明
	 导向套筒, 顶尖, 带指示计的测量架	<p>将被测零件固定在导向套筒内, 并轴向固定</p> <p>在被测零件回转一周过程中指示计示值的最大差值, 即为单个测量圆锥面上的斜向圆跳动</p> <p>按上述方法在若干个测量圆锥面内测量, 取各测量圆锥面上测得的跳动量的最大值作为该零件的斜向圆跳动</p>

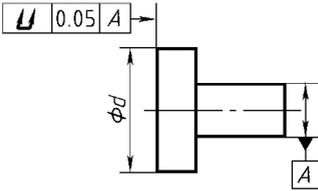
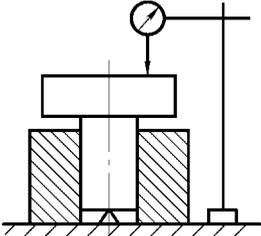
6.14.4 径向全跳动误差的检测 (见表 6-42)

表 6-42 径向全跳动误差检测

公差带与应用示例	检测方法 & 仪器	说 明
	 <p data-bbox="506 633 857 678">一对同轴导向套筒, 顶尖, 平板、支承、带指示计的测量架</p>	<p data-bbox="896 362 1134 475">将被测零件支承在两个同轴导向套筒内, 并在轴向固定, 调整该对套筒, 使其同轴和平板平行</p> <p data-bbox="896 484 1134 657">被测件连续回转过程中, 让指示计沿基准轴线方向作直线运动。在被测零件回转一周过程中指示计示值的最大差值, 即为该零件的径向全跳动</p> <p data-bbox="896 666 1134 717">基准轴线也可以通过一对 V 形块或一对顶尖实现</p>

6.14.5 端面全跳动误差的检测 (见表 6-43)

表 6-43 端面全跳动误差检测

公差带与应用示例	检测方法 & 仪器	说 明
	 <p data-bbox="512 1233 793 1257">导向套筒, 顶尖, 平板、支承</p>	<p data-bbox="832 966 1134 1061">将被测零件支承在导向套筒内, 并在轴向固定, 调整套筒的轴线与平板垂直</p> <p data-bbox="832 1070 1134 1206">被测零件连续回转过程中, 同时让指示计径向直线运动。在整个测量过程中指示计示值的最大差值, 即为该零件的端面全跳动</p> <p data-bbox="832 1215 1134 1266">基准轴线也可以通过 V 形块简单方法实现</p>

第 7 章 表面结构及检测

零件表面存在着由间距很小的微小峰、谷所形成的微观几何误差，这用表面轮廓表示。表面轮廓对零件的功能要求、使用寿命、美观程度有重大影响。

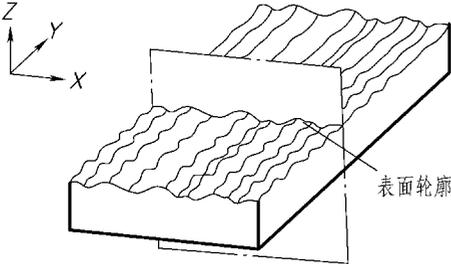
为了正确地测量和评定零件表面轮廓以及在零件图上正确标注表面的技术要求，以保证零件的互换性，我国分布了 GB/T 3505—2009《产品几何技术规范 表面结构 轮廓法 术语、定义及表面结构参数》、GB/T 10610—2009《产品几何技术规范 表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法》、GB/T 1031—2009《产品几何技术规范 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值》和 GB/T 131—2006《产品几何技术规范 技术产品文件中表面结构的表示法》。

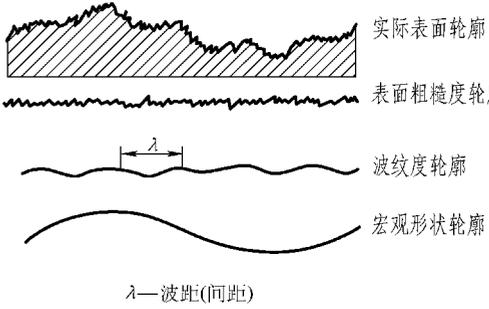
在本章中重点阐述表面结构中的表面粗糙度轮廓参数的评定、标注及其检测。

7.1 表面轮廓的基本概念

零件表面轮廓的界定见表 7-1。

表 7-1 零件的表面轮廓的界定

基本概念	描述与图示
坐标系	定义表面结构参数的坐标体系。通常采用一个直角坐标体系，其轴线形成一个右旋笛卡尔坐标系， X 轴与中线方向一致， Y 轴也处于实际表面中，而 Z 轴则在从材料到周围介质的外延方向上，如图所示
实际表面	物体与周围介质分离的表面
表面轮廓	一个指定平面与实际表面相交所得的轮廓，如下图所示。实际上，通常采用一条名义上与实际表面平行，并在一个适当方向上的法线来选择一个平面 

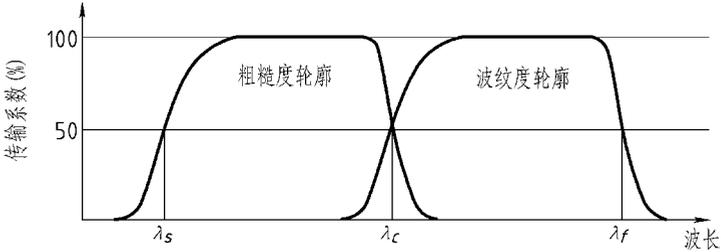
基本概念	描述与图示	
表面轮廓的组成成分	 <p>实际表面轮廓</p> <p>表面粗糙度轮廓</p> <p>波纹度轮廓</p> <p>宏观形状轮廓</p> <p>λ—波距(间距)</p>	表面轮廓包含表面粗糙度轮廓、波纹度轮廓和宏观形状轮廓。它们叠加在同一表面上，如左图所示。通常按表面轮廓上相邻峰、谷间距的大小来划分：间距小于1mm的属于粗糙度轮廓；间距在1~10mm的属于波纹度轮廓；间距大于10mm的属于宏观形状轮廓

7.2 表面粗糙度轮廓的评定

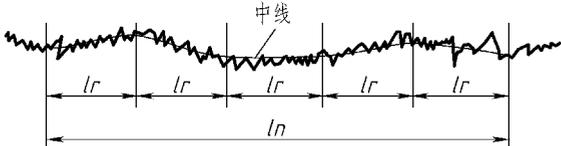
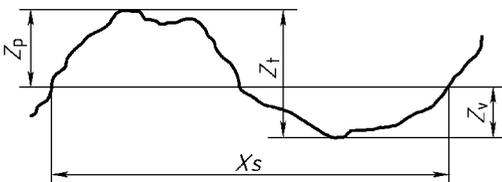
7.2.1 相关术语

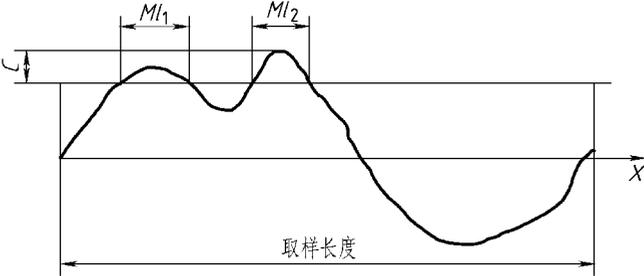
评定表面轮廓的相关术语见表7-2。

表 7-2 评定表面轮廓的相关术语

基本术语	定义与图示	
轮廓滤波器	把轮廓分成长波和短波成分的滤波器 在测量表面粗糙度、波纹度和原始轮廓的仪器中使用三种滤波器，如下图所示。它们的传输特性相同，截止波长不同 	
λ_s 轮廓滤波器	确定存在于表面上的粗糙度与比它更短的波的成分之间相交界限的滤波器，如上图所示	
λ_c 轮廓滤波器	确定粗糙度与波纹度成分之间相交界限的滤波器，如上图所示	
λ_f 轮廓滤波器	确定存在于表面上的波纹度与比它更长的波的成分之间相交界限的滤波器，如上图所示	
原始轮廓	通过 λ_s 轮廓滤波器后的总轮廓	
粗糙度轮廓	是对原始轮廓采用 λ_c 轮廓滤波器抑制长波成分以后形成的轮廓，是经过人为修正的轮廓（见上图）	

(续)

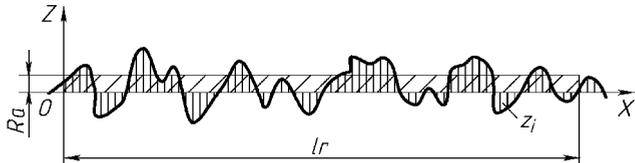
基本术语	定义与图示
波纹度轮廓	是对原始轮廓连续应用 λ_f 和 λ_c 两个轮廓滤波器以后形成的轮廓。采用 λ_f 轮廓滤波器抑制长波成分, 而采用 λ_c 轮廓滤波器抑制短波成分。是经过人为修正的轮廓
取样长度 l_p 、 l_r 、 l_w	<p>取样长度是在 X 轴方向判别被评定轮廓不规则的长度, 如下图所示。评定粗糙度和波纹度轮廓的取样长度 l_r 和 l_w 在数值上分别与 λ_c 和 λ_f 轮廓滤波器的截止波长相等。原始轮廓的取样长度 l_p 等于评定长度</p> <p>评定粗糙度取样长度 l_r 在轮廓总的走向上量取。表面越粗糙, 取样长度就应越大标准取样长度的数值见表 7-5</p> 
评定长度 l_n	用于评定被评定轮廓的 X 轴方向上的长度。评定长度包含一个或几个取样长度, 标准评定长度为连续的 5 个取样长度
中线	是指具有几何轮廓现状并划分被评定轮廓的基准线。以中线为基础来计算各种评定参数的数值
粗糙度轮廓中线	用 λ_c 轮廓滤波器所抑制的长波轮廓成分对应的中线
波纹度轮廓中线	用 λ_f 轮廓滤波器所抑制的长波轮廓成分对应的中线
原始轮廓中线	在原始轮廓上按照标称形状用最小二乘法拟合确定的中线
P 参数	从原始轮廓上计算得到的参数
R 参数	从粗糙度轮廓上计算所得的参数
W 参数	从波纹度轮廓上计算所得的参数 参数符号中的第一个大写字母表示被评定轮廓的类型。例如: Ra 是从粗糙度轮廓中算得的, 而 P_t 是从原始轮廓中算得的
轮廓峰	被评定轮廓上连接轮廓与 X 轴两相邻交点向外 (从材料到周围介质) 的轮廓部分
轮廓谷	被评定轮廓上连接轮廓与 X 轴两相邻交点向内 (从周围介质到材料) 的轮廓部分
轮廓单元	轮廓峰和相邻轮廓谷的组合。如下图所示
轮廓峰高	轮廓最高点距 X 轴线的距离, 用 Z_p 表示
轮廓谷深	X 轴线与轮廓谷最低点之间的距离, 用 Z_v 表示
轮廓单元高度	<p>一个轮廓单元的轮廓峰高与轮廓谷深之和, 用 Z_t 表示。如下图所示</p> 

基本术语	定义与图示
轮廓单元宽度	一个轮廓单元与 X 轴相交线段的长度, 用 X_s 表示。如上图所示
高度和/或间距分辨力	应计入被评定轮廓的轮廓峰和轮廓谷的最小高度和最小间距。轮廓峰和轮廓谷的最小高度通常用 P_z 、 R_z 、 W_z 或任一幅度参数的百分率来表示, 最小间距则以取样长度的百分率表示
在水平截面高度 c 上轮廓的实体材料长度 $Ml(c)$	<p>在一个给定水平截面高度 c 上用一条平行于 X 轴的线与轮廓单元相截所获得的各段截线长度之和, 如下图所示</p> 

7.2.2 表面粗糙度轮廓的评定参数与选择

表面轮廓的评定参数见表 7-3。

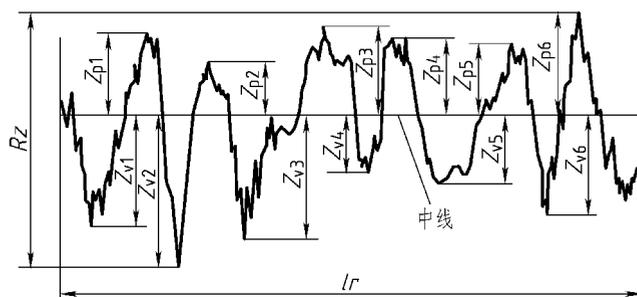
表 7-3 表面轮廓的评定参数

<p>轮廓算术平均偏差 P_a、R_a、W_a</p>	<p>如下图所示, 是指在取样长度内, 被评定轮廓上各点至中线的纵坐标值 $Z(x)$ 的绝对值的算术平均值。用公式表示为</p> $P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l Z(x) dx \quad (7-1)$ <p>依据不同的情况, 式中 $l = l_p, l_r$ 或 l_w 或近似表示为:</p> $P_a, R_a, W_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z(x_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i \quad (7-2)$ 
--	---

(续)

轮廓最大高度 P_z 、 R_z 、 W_z

如下图所示, 在一个取样长度内, 最大轮廓峰高与最大轮廓谷深之和



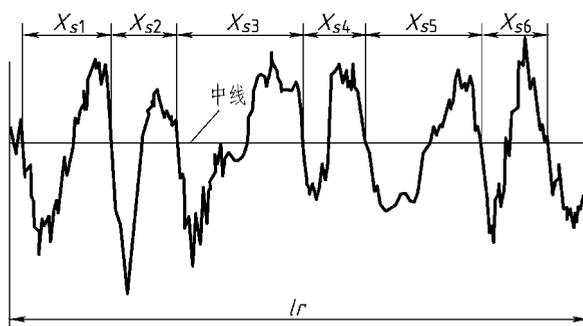
注: 在 GB/T 3505—1983 中, R_z 符号曾用于指示“不平度的十点高度”。在使用中的一些表面粗糙度测量仪器大多是测量以前的 R_z 参数, 因此当采用现行的技术文件和图样时必须小心慎重因为用不同类型的仪器按不同的规定计算所取得结果之间的差别并不都是非常微小而可忽略

轮廓单元的平均宽度 Psm 、 Rsm 、 Wsm

如下图所示, 在一个取样长度内轮廓单元宽度 X_s 的平均值。用公式表示为

$$Psm, Rsm, Wsm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i} \quad (7-3)$$

在计算参数 Psm 、 Rsm 、 Wsm 时, 需要判断轮廓单元的高度和间距。若无特殊规定, 默认的高度分辨率应分别按 P_z 、 R_z 、 W_z 的 10% 选取。默认的水平间距分辨率应按取样长度的 1% 选取。上述两个条件都应满足

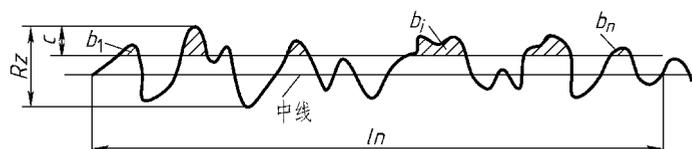


轮廓支承长度率 $Pmr(c)$ 、 $Rmr(c)$ 、 $Wmr(c)$

如下图所示, 轮廓支承长度率是指在给定水平截面高度 c 上轮廓的实体材料长度 $MI(c)$ 与评定长度的比率。用公式表示为

$$MI(c) = b_1 + b_2 + \dots + b_i + \dots + b_n = \sum_{i=1}^n b_i \quad (7-4)$$

$$Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c) = \frac{MI(c)}{ln} = \frac{1}{ln} \sum_{i=1}^n b_i \quad (7-5)$$



轮廓支承长度率能直观地反映零件表面的耐磨性, 对提高承载能力也具有重要的意义。在动配合中, 轮廓支承长度率值大的表面, 使配合面之间的接触面积增大, 减少了摩擦损耗, 延长零件的寿命

(续)

说明	<p>轮廓算术平均偏差、轮廓最大高度为幅度参数，轮廓单元的平均宽度为间距参数，轮廓支承长度率属于混合参数</p> <p>轮廓算术平均偏差、轮廓最大高度、轮廓单元的平均宽度三项评定参数的数值越大，则表面越粗糙。表面粗糙度轮廓评定参数的选择见表 7-4</p>
----	--

表 7-4 表面粗糙度轮廓评定参数的选择

总述	<p>表面粗糙度轮廓的评定参数中，幅度参数为基本参数，间距和混合参数为附加参数，这些参数分别从不同角度反映零件的表面形貌特征，具体选用时，根据零件的功能要求、材料性能、结构特点适当选用一个或几个为评定参数</p>
无特殊要求	<p>如无特殊要求，一般仅选用幅度参数，在幅度参数常用的参数中，推荐优先选用 R_a，但以下情况不宜选用 R_a：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 当表面过于粗糙 ($R_a > 6.3\mu\text{m}$) 或过于光滑 ($R_a < 0.025\mu\text{m}$)，可选用 R_z，因为此范围适合用测量 R_z 的仪器测量 2) 当材料较软时，测量 R_a 的仪器触针不但会划伤表面，测得的结果也不准确 3) 当测量面积很小时，R_a 难以测量，此时可选用 R_z
表面有特殊功能要求	<p>当表面有特殊功能要求时，可同时选用几个参数综合控制表面：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 当表面要求耐磨时，可选用 R_a、R_z 和 R_{mr} 2) 当表面要求承受交变应力时，可选用 R_z、R_{sm} 3) 当表面着重要求质量和可漆性时，可选用 R_{sm}

7.2.3 表面粗糙度轮廓参数数值 (见表 7-5 ~ 表 7-7)

表 7-5 轮廓算术平均偏差 R_a 、轮廓最大高度 R_z 和轮廓单元的平均宽度 R_{sm} 的标准取样长度和标准评定长度 (摘自 GB/T 10610—2009)

$R_a/\mu\text{m}$	$R_z/\mu\text{m}$	R_{sm}/mm	标准取样长度 l_r /mm	标准评定长度 l_n (等于 5 个标准取样长度) /mm
> (0.006) ~ 0.02	> (0.025) ~ 0.1	> 0.013 ~ 0.04	0.08	0.4
> 0.02 ~ 0.1	> 0.1 ~ 0.5	> 0.04 ~ 0.13	0.25	1.25
> 0.1 ~ 2	> 0.5 ~ 10	> 0.13 ~ 0.4	0.8	4
> 2 ~ 10	> 10 ~ 50	> 0.4 ~ 1.3	2.5	12.5
> 10 ~ 80	> 50 ~ 200	> 1.3 ~ 4	8	40

<p>工件轮廓各表面的图形符号</p>	<p>当在图样某个视图上构成封闭轮廓的各表面具有相同的表面粗糙度轮廓要求时，应在上图的完整图形符号上加一圆圈，标注在图样中工件的封闭轮廓线上，如下图所示。如果标注会引起歧义时，各表面应分别标注</p>

表 7-9 表面粗糙度轮廓完整图形符号补充要求的注写位置

<p>完整图形符号</p>	
<p>位置 a</p>	<p>注写表面粗糙度轮廓单一要求 标注表面粗糙度参数代号、极限值和传输带或取样长度。为了避免误解，在参数代号和极限值间应插入空格，取样长度后应有一斜线“/”，之后是表面粗糙度轮廓参数代号，最后是数值 示例 1：0.0025 - 0.8/Rz 6.3（传输带标注） 示例 2：- 0.8/Rz 6.3（取样长度标注） 注：传输带是两个定义的滤波器之间的波长范围，见 GB/T 6062 和 GB/T 18777 如果评定长度内的取样长度个数不等于 5，应在相应参数代号后标注其个数。 示例：Rz3（要求评定长度为 3 个取样长度）</p>
<p>位置 a 和 b</p>	<p>注写两个或多个表面粗糙度轮廓要求 在位置 a 注写第一个表面粗糙度轮廓要求，方法同上。在位置 b 注写第二个表面粗糙度轮廓要求。如果要注写第三个或更多个表面粗糙度轮廓要求，图形符号应在垂直方向扩大，以空出足够的空间。扩大图形符号时，a 和 b 的位置随之上移</p>
<p>位置 c</p>	<p>注写加工方法、表面处理、涂层或其他加工工艺要求等。如车、磨、镀等加工表面。注法如下图所示</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>MRR 车 Rz 3.2</p> <p>a)在文本中</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>b)在图样中</p> </div> </div> <p>加工工艺和表面粗糙度要求的注法</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>NMR Fe/Ep Ni15pCr0.3r, Rz 0.8</p> <p>a)在文本中</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>b)在图样上</p> </div> </div> <p>涂覆和表面粗糙度要求的注法</p>

(续)

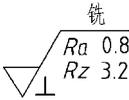
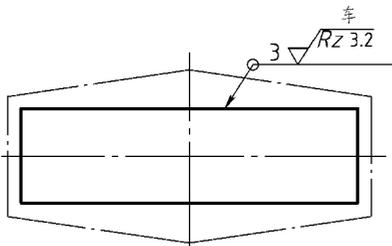
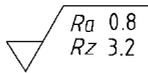
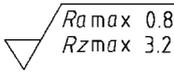
位置 <i>d</i>	<p>注写所要求的表面纹理和纹理的方向, 如 “=”、“X”、“M”</p> <p>表面纹理及其方向用表 7-11 中规定的符号按照下图方式标注。采用定义的符号标注表面纹理不适用于文本标注</p>  <p style="text-align: center;">铣 $Ra\ 0.8$ $Rz\ 3.2$</p>
位置 <i>e</i>	<p>注写所要求的加工余量, 以毫米为单位给出数值</p> <p>加工余量可以是加注在完整符号上的唯一要求, 也可以同表面轮廓粗糙度要求一起标注, 如下图所示</p>  <p style="text-align: center;">车 $3\ \sqrt{Rz\ 3.2}$</p>

表 7-10 表面粗糙度轮廓幅度参数允许值的标注方法

允许值的给定规则	16% 规则	<p>是所有表面粗糙度轮廓要求标注的默认规则。当应用于某个参数代号时, 如下图所示, 16% 规则即用于该参数代号代表的表面粗糙度轮廓要求。表示同一评定长度范围内幅度参数所有的实测值中, 超过允许值的个数少于总数的 16%, 则认为合格</p> <p style="text-align: center;">MRR $Ra\ 0.8; Rz\ 3.2$</p> <p style="text-align: center;">a) 在文本中</p>  <p style="text-align: center;">b) 在图样上</p>
允许值的给定规则	最大规则	<p>若最大规则应用于表面粗糙度轮廓要求, 在参数代号中应加上 “max”, 如下图所示。当整个被测表面上幅度参数所有的实测值皆不大于允许值时, 则认为合格</p> <p style="text-align: center;">MRR $R_{max}\ 0.8; R_{zmax}\ 3.2$</p> <p style="text-align: center;">a) 在文本中</p>  <p style="text-align: center;">b) 在图样上</p>
单向极限的注法		<p>当只标注参数代号和参数值时, 默认为参数的上限值 (16% 规则或最大化规则的极限值); 当参数代号和参数值作为参数的单向下极限值 (16% 规则或最大化规则的极限值) 标注时, 参数代号前应加 L</p> <p style="text-align: center;">示例: L $Ra\ 0.32$</p>

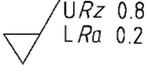
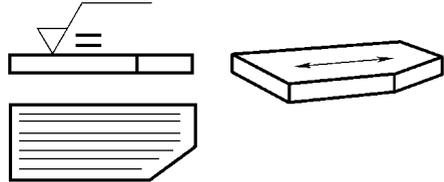
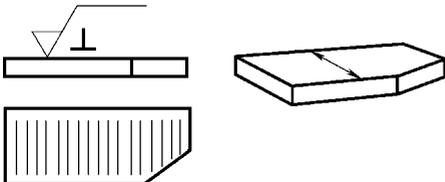
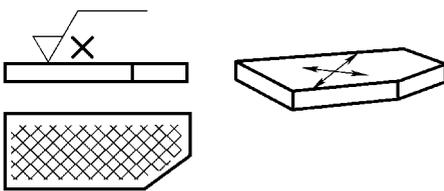
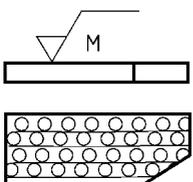
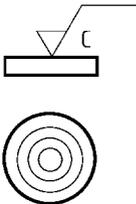
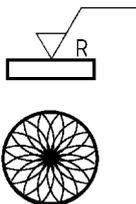
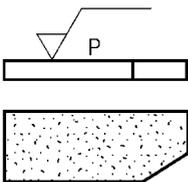
<p>双向极限的注法</p>	<p>在完整符号中表示双向极限时应标注极限代号，上限值在上方用 U 表示，下极限在下方用 L 表示，上下极限值为 16% 规则或最大化规则的极限值，如下图所示。如果同一参数具有双向极限要求，在不引起歧义的情况下，可以不加 U、L</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>MRR URz 0.8; LRa 0.2</p> <p>a)在文本中</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b)在图样上</p> </div> </div>
----------------	---

表 7-11 表面纹理的标注

符号	解释和示例	
	<p>纹理平行于视图所在的投影面</p>	
	<p>纹理垂直于视图所在的投影面</p>	
	<p>纹理呈两斜向交叉且与视图所在投影面相交</p>	
	<p>纹理呈多方向</p>	

(续)

符号	解释和示例	
C	纹理呈近似同心圆与表面中心相关	
R	纹理呈近似放射状且与表面圆心相关	
P	纹理呈微粒凸起, 无方向	

注：如果表面纹理不能清楚地用这些符号表示，必要时，可以在图样上加注说明。

1. 表面粗糙度轮廓技术要求在图样和其他技术产品文件中的标注规则

表面粗糙度轮廓要求对每一表面只标注一次，并尽可能注在相应的尺寸及其公差的一视图上。除非另有说明，所标注的表面轮廓粗糙度要求是对完工零件表面的要求。

1) 使表面粗糙度轮廓要求的注写和读取方向与尺寸的注写和读取方向一致，如图 7-1 所示。

2) 表面粗糙度轮廓要求可标注在轮廓线上，也可以标注在轮廓线的延长线上，其符号应从材料外指向并接触表面，如图 7-1 所示。必要时，表面粗糙度轮廓符号也可用带箭头或黑点的指引线引出标注，如图 7-1 和图 7-2 所示。

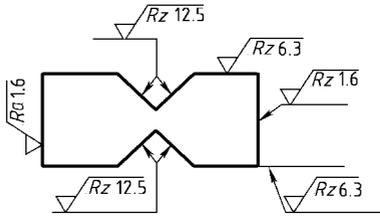


图 7-1 表面粗糙度轮廓要求的注写方向

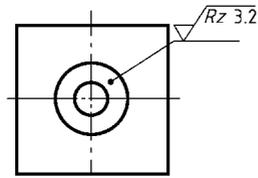


图 7-2 用指引线引出标注表面粗糙度轮廓要求

3) 在不引起误解时, 表面粗糙度轮廓要求可以标注在给定的尺寸线上, 如图 7-3 所示。

4) 表面粗糙度轮廓要求可标注在形位公差框格的上方, 如图 7-4 所示。

5) 圆柱和棱柱表面的表面结构要求只标注一次, 如图 7-5 所示, 如果每个棱柱表面有不同的表面结构要求, 则应分别单独标注, 如图 7-6 所示。

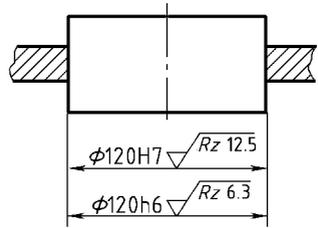


图 7-3 表面粗糙度轮廓要求标注在尺寸线

2. 表面粗糙度轮廓技术要求的简化注法

1) 有相同表面粗糙度轮廓技术要求的简化注法

如果在工件的多数 (包括全部) 表面有相同的表面粗糙度轮廓技术要求, 则其表面粗糙度轮廓技术要求可统一标注在图样的标题栏附近。此时 (除全部表面有相同要求的情况外), 表面粗糙度轮廓技术要求的符号后面应有:

- 在圆括号内给出无任何其他标注的基本符号, 如图 7-7 所示;
- 在圆括号内给出不同的表面结构要求, 如图 7-8 所示。

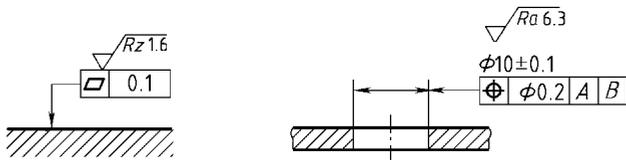


图 7-4 表面粗糙度轮廓要求标注在形位公差框格上方

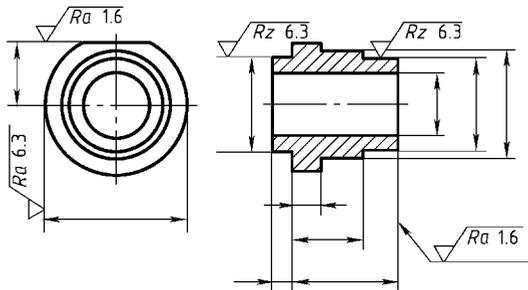


图 7-5 表面粗糙度轮廓技术要求标注在圆柱特征的延长线上

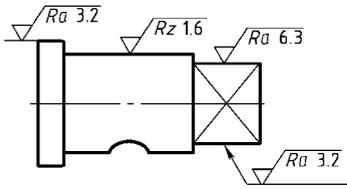


图 7-6 圆柱和棱柱的表面粗糙度轮廓
技术要求的注法

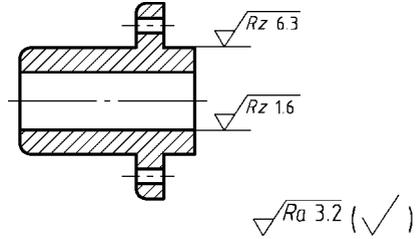


图 7-7 大多数表面有相同表面粗糙度轮廓
要求的简化注法 (一)

不同的表面粗糙度轮廓技术要求应直接标注在图形中。

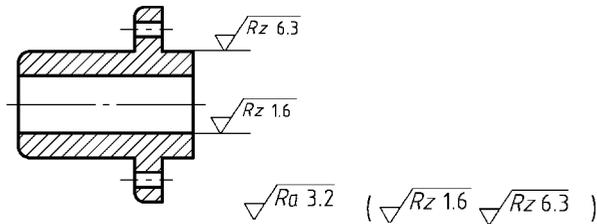


图 7-8 大多数表面有相同表面粗糙度轮廓要求的简化注法 (二)

2) 多个表面有共同要求的注法

① 可用带字母的完整符号，以等式的形式，在图形或标题栏附近，对有相同表面结构要求的表面进行简化标注，如图 7-9 所示。

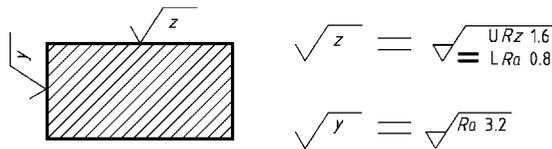
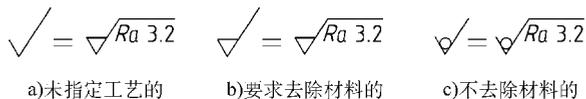


图 7-9 用带字母的完整符号的简化注法

② 可用表 7-8 中的表面粗糙度轮廓符号，以等式的形式给出对多个表面共同的表面结构要求，如图 7-10 所示。



a) 未指定工艺的 b) 要求去除材料的 c) 不去除材料的

图 7-10 只用表面粗糙度轮廓符号的简化注法

3) 两种或多种工艺获得的同一表面的注法

由几种不同的工艺方法获得的同一表面，当需要明确每种工艺方法的表面结构要求时，可按图 7-11 进行标注。

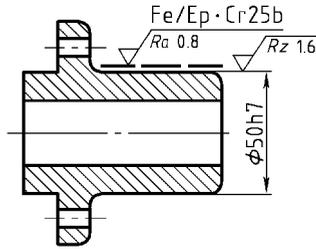


图 7-11 同时给出镀覆前后的表面粗糙度轮廓以要求的注法

7.4 表面粗糙度轮廓的测量方法（见表 7-12）

表 7-12 表面粗糙度轮廓的测量方法

方法	说明
比较测量法	<p>将被测零件表面与已知 R_a 值的表面粗糙度轮廓比较样块进行触觉和视觉比较的方法。所选用的样块的材料、形状、表面色泽等应尽可能与被测零件一致，也可以从成品零件中挑选几个样品，经过检验后作为表面粗糙度轮廓比较样块使用</p> <p>判断的准则是根据被测表面加工痕迹的深浅来决定其表面粗糙度轮廓是否符合零件图上规定的技术要求。若被测表面加工痕迹的深度相当于或小于样块加工痕迹的深度，则表示该被测表面粗糙度轮廓幅度参数 R_a 的数值不大于样块所标记的 R_a 值。这种方法简单易行，但测量精度不高</p> <p>触觉比较是指用手指甲感触来判别，适宜于检验 R_a 值为 $1.25 \sim 10\mu\text{m}$ 的外表面</p> <p>视觉比较是指靠目测或用放大镜、比较显微镜观察，适宜于检验 R_a 值为 $0.16 \sim 100\mu\text{m}$ 的外表面</p>
非接触测量法	<p>1) 光切法 利用光切原理测量表面粗糙度轮廓的方法。采用光切原理制成的量仪称为光切显微镜（又叫双管显微镜）。光切法通常用于测量 R_z 值为 $2.0 \sim 63\mu\text{m}$（相当于 R_a 值为 $0.32 \sim 10\mu\text{m}$）的平面和外圆柱面</p> <p>2) 干涉法 利用光波干涉原理测量表面粗糙度轮廓的方法。采用光波干涉原理制成的量仪称为干涉显微镜。干涉法适宜测量 R_z 值为 $0.063 \sim 1.0\mu\text{m}$（相当于 R_a 值为 $0.01 \sim 0.16\mu\text{m}$）的极光滑平面、外圆柱面和球面</p> <p>3) 激光反射法 这是近几年出现的一种测量表面粗糙度轮廓的方法，受到国内外极大的关注。它的原理是：激光束以一定的角度照射到被测表面，除了一部分被吸收外，大部分被反射和散射。反射光的强度及其分布与被照射表面的微观不平度有关。通常，反射光较为集中形成明亮的光斑，散射光则分布在光斑周围形成较弱的光带。较为光洁的表面，光斑较强而光带较弱且宽度较小；较为粗糙的表面，则光斑较弱而光带较强且宽度较大</p> <p>4) 激光全息法 其基本原理是以激光照射被测表面，利用相干辐射，拍摄被测表面的全息照片，即一组表面轮廓的干涉图形，然后用硅光电池测量黑白条纹的强度分析，测出黑白条纹反差比，从而评定被测表面的粗糙度轮廓值</p>

(续)

方法	说明
接触测量法	最常用的是针描法（触针法）。采用触针法制成的量仪称为触针式电动轮廓仪。它是利用金刚石触针在被测表面轮廓上移动，触针将该轮廓上的微小峰、谷转换为垂直位移，此位移经机械和电子装置加以放大，并经过处理，由量仪指示出表面粗糙度轮廓参数 R_a 的值（ $0.04 \sim 5.0\mu\text{m}$ ），或者由量仪将放大的被测表面轮廓图形记录下来，按此记录图形计算 R_a 或 R_z 的值
印模法	用塑料和可塑性材料将被测工件表面轮廓复制下来，通过测量复制品的表面粗糙度轮廓值来确定被测工件的表面粗糙度轮廓值，是一种间接测量方法。这种方法适宜测量内孔、凹槽、大工件等表面。可测量的范围一般为 R_a 的 $0.08 \sim 80\mu\text{m}$ 或 R_z 的 $0.4 \sim 320\mu\text{m}$

1. 光切显微镜测量表面粗糙度轮廓幅度参数 R_z

(1) 原理 可通过光切显微镜测量给定工件的轮廓最大高度 R_z 。

图 7-12 是光切显微镜的外形结构，其测量原理如图 7-13 所示。

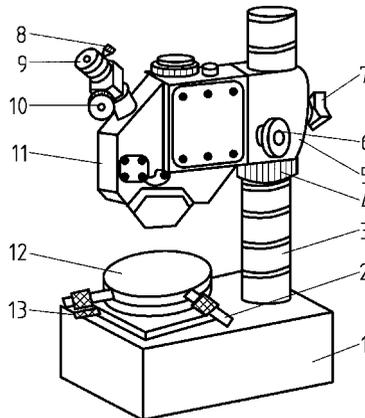


图 7-12 光切显微镜外形结构

1—底座 2—纵向百分尺 3—立柱 4—升降螺母 5—横臂 6—微调手轮 7—锁紧螺钉
8—紧固螺钉 9—测微目镜头 10—测微鼓轮 11—镜头架 12—工作台 13—工作台紧固螺钉

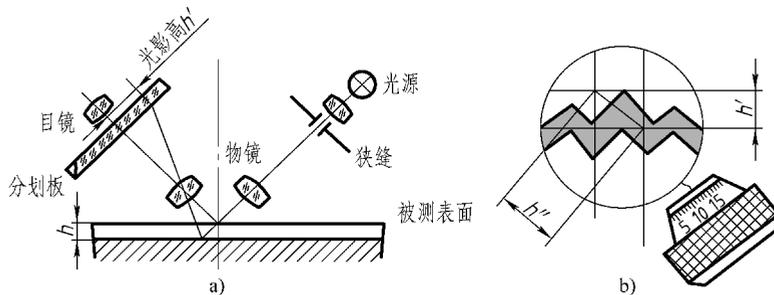


图 7-13 光切显微镜的测量原理

底座 1 上装有立柱 3，显微镜的主体通过横臂 5 和立柱 3 连接，转动升降螺母 4 将横臂 5 沿立柱上下移动，此时，显微镜进行粗调焦，并用锁紧螺钉 7 将横臂紧固在立柱上。显微镜的光学系统压在镜头架 11 内。松开工作台紧固螺钉 13，仪器的坐标工作台 12 可以作两周的转动。对于平的工件，可以直接放在工作台上进行测量，对于圆柱形的工件，可以放在工作台的 V 形块上进行测量。

量仪有两个轴线相互垂直的光管，左光管为观察管，右光管为照明管。由光源发出的光线经狭缝及物镜后形成平行光束。该光束以与两光管轴线夹角平分线成 45° 的入射角投射到被测表面上，把表面轮廓切成窄长的光带，光带边缘的形状即为被测工件在 45° 截面上的表面形状。这光带以与两光管轴线夹角平分线成 45° 的反射角反射到观察管的物镜成像于目镜的分划板上。由于在目镜视场内所看到的影像是与被测表面呈 45° 分析截面上的轮廓曲线，并经物镜放大了 M 倍，所以表面峰谷的实际高度 h 与影像高度 h' 有如下关系

$$h = \frac{h' \cos 45^\circ}{M} \quad (7-6)$$

由图 7-13b 可以说明，测微器中的十字线与测微器读数方向成 45° ，当用十字线中的任一直线与影像峰、谷相切来测量波高时，波高 $h' = h'' \cos 45^\circ$ ，其中， h'' 为测微器两次读数的差值，则被测表面的凹凸不平的高度 h 为

$$h = \frac{h'' \cos 45^\circ \cos 45^\circ}{M} = \frac{1}{2M} h'' \quad (7-7)$$

如令 $E = \frac{1}{2M}$ ， E 为有关的系数。则上式可以简化为 $h = Eh''$ 。物镜放大倍数 M 与系数 E 按被测表面粗糙度值选择。

(2) 测量步骤

1) 按零件的图样标注或目测被测根据的表面粗糙度轮廓数值，选择适当放大倍数的物镜，并将其安装在仪器上。

2) 将被测工件安置在工作台上（或工作台的 V 形块上），通过变压器接通电源。

3) 松开螺钉 7，转动螺母 4，使镜头架 11 缓慢下降到靠近工件表面，但是不能接触，要留有空隙，锁紧螺母 7。

4) 顺时针方向缓慢转动微调手轮 6，使头架上升并进行观察，直到目镜 9 中看到一条绿色光带时，再反复微调手轮 6 及光带位置调节钮，以在目镜中获得有清晰轮廓的光带为止。

5) 松开螺钉 13，转动工作台 12，使被测工件的加工痕迹与光带方向垂直，拧紧螺钉 13。

6) 松开螺钉 8，转动目镜 9，使目镜中十字水平线与光带方向大致平行，然后锁紧螺钉 8。

7) 用水平十字线测量时, 只测光带调整清晰的那一边轮廓的峰和谷的数值, 在目镜百分尺上进行读数, 单位为“格”。

8) 转动目镜百分尺 10, 在取样长度的范围内使十字线的水平线分别与最高的轮廓峰和最低的轮廓谷相切, 从百分尺上分别读取最大轮廓峰高和最大轮廓谷深的读数 R_p 、 R_v 。按式 (7-8) 计算轮廓的最大高度 R_z 的数值。

$$R_z = E \times (R_p + R_v) \quad (7-8)$$

9) 根据零件的表面粗糙度轮廓的允许值 R_z 确定取样长度, 当取样长度大于物镜视场直径时, 应该在两个视场中读取。可以通过转动工作台纵向百分尺 2 来移动工件。

10) 根据测得的数值与图样标注的允许值相比较, 得出合格性判断。

(3) 注意事项

- 1) 小心调整仪器, 物镜不能与工件接触。
- 2) 切勿使镜头表面上沾上油渍, 否则图像模糊不清。
- 3) 测量圆柱体工件时, 应该使光带落在最高母线上, 才能获得清晰的轮廓。

2. 干涉显微镜测量表面粗糙度 R_z

(1) 原理 用光学平晶检验被测工件表面时, 如果被测工件的微观平面性很好, 则所得的是一组平行的等厚干涉条纹, 如图 7-14 所示; 如果被测工件的表面粗糙不平, 干涉带即成弯曲形状, 如图 7-15 所示。此时测出两相邻干涉带的距离 b 及干涉带弯曲高度 a 后, 根据光程差每增加光波波长 λ 的 $1/2$ 即形成一条干涉带的原理可知, 被测表面微观不平度的实际高度为

$$h = \frac{a}{b} \times \frac{\lambda}{2} \quad (7-9)$$

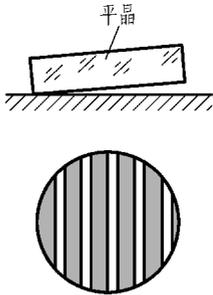


图 7-14 等厚干涉条纹

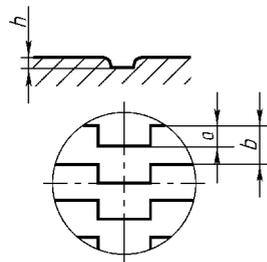


图 7-15 弯曲形状干涉带

干涉显微镜就是应用这一原理制成的, 其测量原理如图 7-16 所示。从光源 1 发出的光束经过聚光镜组 2 变成平行光束, 由反光镜 3 转向后, 经分光镜 7 分成两路: 一路透过分光镜 7 经补偿镜 8、物镜 9 射向被测工件 10 表面, 并从被测工件 10 表面反射后经原路反射回分光镜 7; 另一路由分光镜 7 反射后通过物镜 12 射向标准镜 13, 再由标准镜镜面反射后通过物镜 12 至分光镜 7, 在此它与第一路相遇, 产生干涉, 此干涉条纹经转向棱镜、目镜组 14, 射向观察目镜。在目镜视野

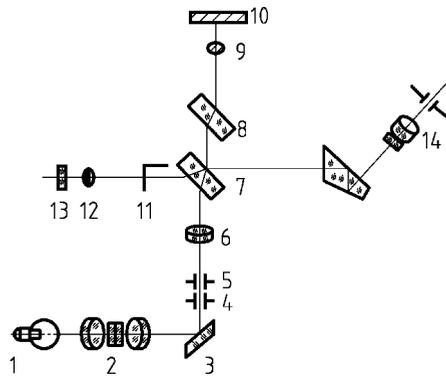


图 7-16 干涉显微镜的工作图

1—光源 2—聚光镜组 3—反光镜 4—孔径光阑 5—视场光阑 6、9、12—物镜
7—分光镜 8—补偿镜 10—被测工件表面 11—遮光板 13—标准镜 14—目镜组

中可以看到这种明暗相间的干涉条纹，如图 7-17 所示。根据光波干涉原理，在光程差每相差半个波长 ($\lambda/2$) 处就要产生一个干涉条纹。所以，只要测出干涉条纹的弯曲量 a 和两个相邻干涉条纹之间的距离 b ，利用式 (7-9) 就可以得到被测粗糙度轮廓的轮廓最大高度。

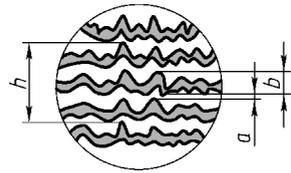


图 7-17 干涉条纹

(2) 步骤

1) 调节仪器，如图 7-18 所示。

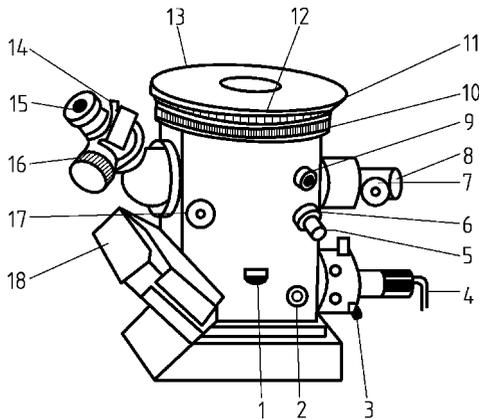


图 7-18 干涉显微镜的外形结构

1—孔径光阑调节手轮 2—滤色片控制手柄 3—螺钉 4—光阑 5、6、7、8—手轮 9—遮光板控制手轮
10、11、12—滚花轮 13—工作台 14—螺钉 15—目镜千分尺 16—目镜测微鼓轮 17—手轮 18—相机

① 开亮灯泡，将手轮 17 转到目镜位置。转动遮光板控制手轮 9，使图 7-16 中的遮光板 11 转出光路。旋转螺钉 3 调整灯泡位置，使视场亮度均匀。转动手轮 7，使目镜视场中弓形直边清晰，如图 7-19a 所示。

② 在工作台上放置好洗净的工件，被测表面向下，朝向物镜。转动手轮 9，使遮光板 11 转入光路。转动滚花轮 10，使工作台升降直到在目镜视场中观察到清晰

的工件表面加工痕迹为止。再转动手轮9，使遮光板转出光路。

③ 松开螺钉14，取下目镜千分尺15，从观察管中可以看到两个灯丝像。转动手轮1，使图7-16中的孔径光阑4开至最大。转动手轮5和6，使两个灯丝像完全重合，同时调节螺钉3，使灯丝像位于孔径光阑中央，如图7-18b所示。然后装上目镜千分尺15，转动目镜上的滚花环直至看清十字线。

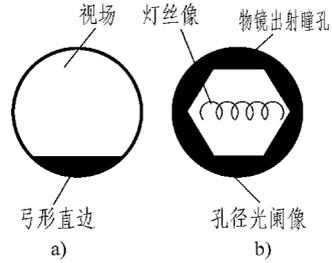


图7-19 视场的调节

④ 将手柄2推到底，使滤色片插入光路，在目镜视场中就会出现单色的干涉条纹。微转手轮8，使条纹清晰。将手柄2向右推到底，使滤色片退出光路，目镜视场中就会出现彩色的干涉条纹，用其中仅有的两条黑白条纹进行测量。转动手轮5和6以及手轮7和8，可以调节干涉条纹的宽度和亮度。转动滚花环11以旋转圆台，使要测量的截面与干涉条纹方向平行，如果未指明界面，则使表面加工方向与干涉条纹方向垂直。

2) 测量轮廓的峰谷高度

测量干涉条纹间距：

松开紧固螺钉14，转动目镜千分尺，使目镜视场中的一条线与整个干涉条纹的方向平行，以体现轮廓中线。旋紧紧固螺钉14，以后测量时，就用该线作为瞄准线。转动目镜测微鼓轮16，使瞄准线对准一条干涉条纹峰顶中心，这时在刻度筒上的读数为 N_1 ，然后再对准相邻的另一条干涉条纹峰顶中心，读数为 N_2 ，则干涉条纹的间距为

$$b = N_1 - N_2 \quad (7-10)$$

测量干涉条纹弯曲量：

瞄准线对准一条干涉条纹的最高峰顶中心读数为 $N_{1\max}$ 后，移动瞄准线，对准同一干涉条纹的最低谷底中心，读数为 $N_{3\min}$ 。

轮廓最大高度 R_z 为

$$R_z = \frac{|N_{1\max}| - |N_{3\min}|}{b} \times \frac{\lambda}{2} \quad (7-11)$$

3) 判断合格性

16% 规则：

① 在评定长度内，依次测量5个取样长度内的 R_{zi} ，如果均不超过图样给定的允许值，则合格。

② 如果有1个测量值超过允许值，则再连续测量一个取样长度内的 R_z 值，如果不超过允许值，则可判定合格，否则不合格。

③ 如果有超过1个测量值超过允许值，则判定不合格。

最大规则：在评定长度内，依次测量5个取样长度内的 R_{zi} ，如果均不超过图样给定的允许值，则合格。

第 8 章 渐开线圆柱齿轮的公差及检测

齿轮是机器和仪器中使用较多的传动件，尤其是渐开线圆柱齿轮的应用甚广。齿轮的精度在一定程度上影响着整机机器或仪器的质量和工作性能。

对此，我国发布了两项渐开线圆柱齿轮精度标准和相应的四个有关圆柱齿轮精度检验实施规范的指导性技术文件。它们分别是 GB/T 10095.1—2008《圆柱齿轮 精度制 第 1 部分：轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值》、GB/T 10095.2—2008《圆柱齿轮 精度制 第 2 部分：径向综合偏差与径向跳动的定义和允许值》、GB/Z 18620.1—2008《圆柱齿轮 检验实施规范 第 1 部分：轮齿同侧齿面的检验》、GB/Z 18620.2—2008《圆柱齿轮 检验实施规范 第 2 部分：径向综合偏差、径向跳动、齿厚和侧隙的检验》、GB/Z 18620.3—2008《圆柱齿轮检验实施规范 第 3 部分：齿轮坯、轴中心距和轴线平行度的检验》和 GB/Z 18620.4—2008《圆柱齿轮检验实施规范 第 4 部分：表面结构和轮齿接触斑点的检验》。

8.1 对齿轮传动的使用要求

1. 传递运动的准确性

指要求齿轮在一转范围内传动比变化尽量小，以保证主、从动齿轮的运动协调。也就是说，在齿轮一转中，它的转角误差的最大值（绝对值）不得超过一定的限度。

如图 8-1 所示，主动齿轮为理想齿轮，从动齿轮的各个轮齿相对于回转中线 O_2 的分布是不均匀的。当两齿轮单面啮合，主动齿轮匀速回转时，从动齿轮就不等速地回转，从动齿轮转角误差的变化情况如图 8-2 所示。实际转角对理论转角的

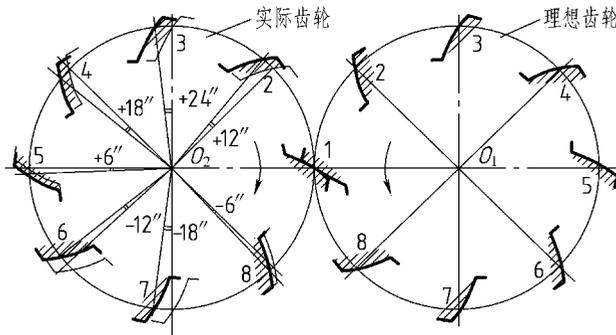


图 8-1 齿轮啮合的转角误差

转角误差的最大值为 $(+24'') - (-18'') = 42''$ ，将其化为弧度并乘以半径则得到线性值，它表示从动齿轮传递运动准确性的精度。

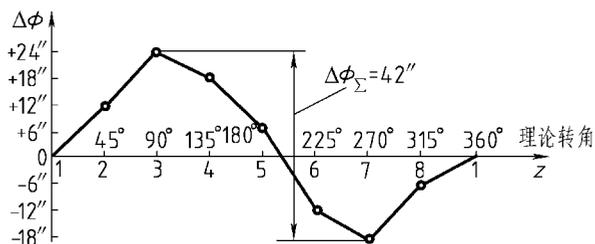


图 8-2 从动齿轮的转角误差曲线

2. 传动平稳性

指要求齿轮回转过程中瞬时传动比变化尽量小，也就是要求齿轮在一个较小角度范围内（如一个齿距角范围内）转角误差的变化不得超过一定的限度。

如图 8-1 所示，从动齿轮每转过一齿的实际转角对理论转角的转角误差中最大值（绝对值）为第 5 齿转至第 6 齿的转角误差，为 $(-12'') - (+6'') = 18''$ 。将其化为弧度并乘以半径则得到线性值，它在很大程度上表示从动齿轮传动平稳性的精度。

齿轮回转过程中，特别是高速传动的齿轮，瞬时传动比频繁地变化，会产生撞击、振动和噪声，因而影响其传动平稳性。

3. 轮齿载荷分布的均匀性

指要求齿轮啮合时，工作齿面接触良好，载荷分布均匀，避免载荷集中局部齿面而造成齿面磨损或折断，以保证齿轮传动有较大的承载能力和较长的使用寿命。

4. 合理侧隙

侧隙即齿侧间隙，是指要求齿轮副的工作齿面接触时，相邻的两个非工作齿面之间形成的间隙。

侧隙是在齿轮、轴、箱体和其他零部件装配成减速器、变速箱或其他传动装置后自然形成的。适当的侧隙用来储存润滑油，补偿热变形和弹性变形，防止齿轮在工作中发生齿面烧蚀或卡死，以使齿轮副能够正常工作。

注意：

1) 上述四项要求中，前三项是对齿轮传动的精度要求。不同用途的齿轮及齿轮副，对每项精度要求的侧重点不同。因此，对不同用途的齿轮和侧重的使用要求，应规定不同的精度等级，以适应不同的要求，获得最佳的技术经济效益。

2) 侧隙与前三项要求有所不同，是独立于精度要求的另一类要求。齿轮副所要求侧隙的大小，主要取决于齿轮副的工作条件。对重载、高速齿轮传动，由于受力、受热变形较大，侧隙也应大些，以补偿较大的变形和通过润滑油。而经常正转、逆转的齿轮，为减小回程误差，应适当减小侧隙。

3) 齿轮的前三项使用要求由齿轮的三项应验精度指标保证。即：齿距偏差

(单个齿距偏差、齿距累积偏差、齿距累积总偏差)、齿廓总偏差、螺旋线总偏差。这些应验精度指标组合起来保证齿轮的各项使用要求。具体对应的各项评定参数的代号及含义见 8.2 节。8.2 节中除了以上提到的三项应验精度的评定参数外，还有其他非强制性的评定参数。

8.2 评定参数及代号

1. 评定齿轮传递运动准确性的参数

(1) 切向综合总偏差 (F'_i)

其含义为：被测齿轮与测量齿轮单面啮合检验时，被测齿轮一转内，齿轮分度圆上实际圆周位移与理论圆周位移的最大差值。在测量过程中，只有同侧齿面接触，以分度圆弧长计值，如图 8-3 所示。

F'_i 反映出齿轮与旋转中心偏心引起齿高变化和齿形的形状与位置误差、基圆齿距偏差、齿形误差等综合结果。

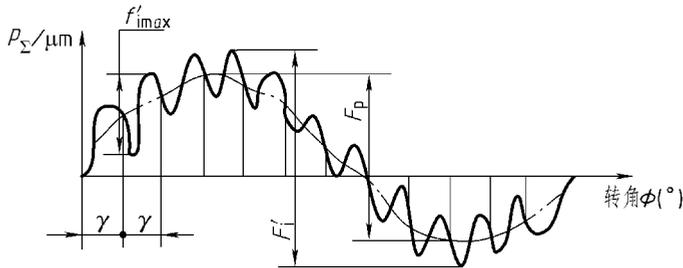


图 8-3 切向综合偏差曲线

(2) 齿距累积总偏差 (F_p)

其含义为：齿轮同侧齿面任意弧段 ($k=1$ 至 $k=z$) 内的最大齿距累积误差。它表现为齿距累积误差曲线的总幅值，如图 8-4 所示。

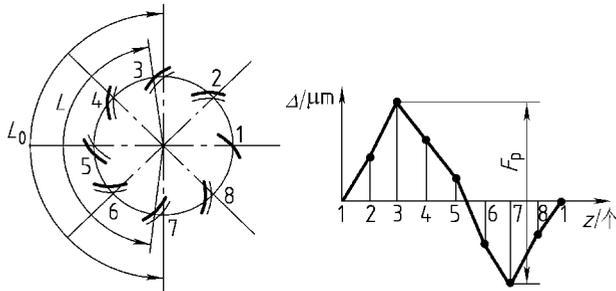


图 8-4 齿轮齿距累积总偏差

(3) 齿距累积偏差 (F_{pk})

其含义为：任意 k 个齿距的实际弧长与理论弧长的代数差，如图 8-8 所示。理

论上它等于这 k 个齿距的各单个齿距偏差的代数和。

除另有规定, F_{pk} 值被限定在不大于 $1/8$ 的圆周上评定。因此, F_{pk} 的允许值适宜于齿距数 k 为 2 到小于 $z/8$ 的弧段内。通常, F_{pk} 取 $k = z/8$ 就足够了, 如果对于特殊的应用 (如高速齿轮) 还需检验较小弧段, 并规定相应的 k 值。

说明:

- 1) F_p 和 F_{pk} 虽然都定义在分度圆上, 当实际测量时允许在齿高中部进行;
- 2) 规定 F_{pk} 主要是为了限制齿距累计误差集中在局部圆周上;
- 3) 齿距累计误差可以反映齿距安装偏心和运动偏心的综合结果。

(4) 齿轮径向跳动 (F_r)

齿轮径向跳动 F_r 是指齿轮一转范围内, 测头 (球形、圆锥形、砧形) 相继置于每个齿槽内时, 从它到齿轮轴线的最大和最小径向距离之差。检查中, 测头在近似齿高中部与左右齿面接触, 如图 8-5 所示。

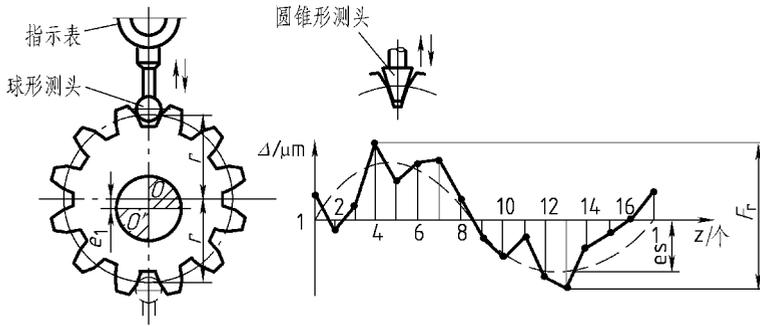


图 8-5 齿轮径向跳动测量

F_r 可以反映安装偏心, 但不能反映运动偏心, 所以它不能完全地反映齿轮传递运动的准确性。

F_r 可以在齿轮径向跳动检查仪、万能测齿仪或普通偏摆检查仪上测量。

(5) 径向综合总偏差 (F''_i)

径向综合总偏差 F''_i 是指在径向 (双面) 综合检验时, 被测齿轮的左右齿面同时与测量齿轮接触, 并转过一整圈时出现的中心距最大值和最小值之差, 如图 8-6 所示。

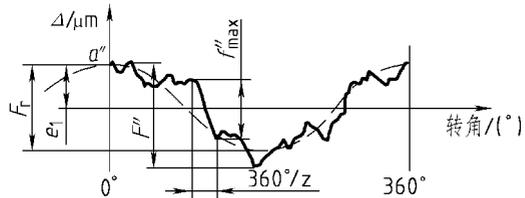


图 8-6 径向综合偏差曲线图

F''_i 主要反映齿轮的几何偏心, 所以它不能完全地反映齿轮传递运动的准确性。

F''_i 可以用齿轮双面啮合综合检查仪 (双啮仪) 测量。

说明:

对于上述这些检验参数, 并非在一个齿轮设计中全部提出, 而是根据生产类

型、精度要求和测量条件等的不同，分别选用下列各组（检验组）之一便可：

- 1) 切向综合总偏差 F'_i ；
- 2) 齿距累积总偏差 F_p 或齿距累积偏差 F_{pk} ；
- 3) 径向综合总偏差 F''_i ；
- 4) 齿轮径向跳动 F_r （仅适用 10~12 级）；

需要指出的是，当采用 3) 或 4) 评定齿轮的传递运动准确性时，若超差，不能将该齿轮判废，而应该采用 F_p 或 F'_i 的数值进行仲裁，因为同一齿轮上安装偏心 and 运动偏心可能叠加，也可能抵消。

2. 评定齿轮传动平稳性的参数

(1) 一齿切向综合偏差 f'_i

一齿切向综合偏差 f'_i 是指被测齿轮与测量齿轮单面啮合检验时，被测齿轮一齿距角内，齿轮分度圆上实际圆周位移与理论圆周位移之差的总幅度值。以分度圆弧长计值。评定时在如图 8-3 所示的切向综合偏差曲线上，取量得的各个 f'_i 中的最大值 $f'_{i\max}$ 作为评定值。

f'_i 综合反映转过一齿过程中齿廓各局部偏差对瞬时角位移的影响，用它评定齿轮传动的平稳性比较理想。

(2) 一齿径向综合偏差 f''_i

一齿径向综合偏差 f''_i 是指被测齿轮与测量齿轮双面啮合时，在被测齿轮一齿距角（ $360^\circ/z$ ）内，双啮合中心距的变动量，取其中的最大值 $f''_{i\max}$ 作为评定值，即如图 8-6 所示的径向综合偏差曲线上小波纹的最大幅度值。

f''_i 也能综合反映转过一个齿距角内齿廓上各局部偏差对瞬时角位移的影响，所以它也是评定齿轮传动平稳性的一个综合误差项目。但受左、右齿面误差的共同影响，因此用 f''_i 评定齿轮传动平稳性不如 f'_i 精确。

(3) 齿廓总偏差 F_α

齿廓总偏差 F_α 是指包容实际齿廓迹线工作部分（轮齿两端的倒角或修圆部分除外）且距离为最小的两条设计齿廓迹线间的法向距离，如图 8-7 所示。

通常设计齿廓为渐开线，考虑到制造误差和轮齿受载后的弹性变形，为了降低噪声和减小动载荷的影响，也可以采用以渐开线为基础的修形齿廓，如凸齿廓、修缘齿廓等。此时就应以修形齿廓作为设计齿廓。

F_α 可用渐开线测量仪进行测量。测量时，应在被测齿轮圆周上测量均匀分布的三个轮齿或更多的轮齿左右齿面的齿廓总偏差，取其中最大值 $F_{\alpha\max}$ 作为评定值。

(4) 单个齿距偏差 f_{pt}

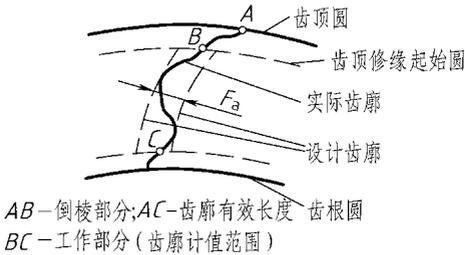
单个齿距偏差 f_{pt} 是指在端平面上，在接近齿高中部的一个与齿轮轴线同心的圆上，实际齿距与理论齿距的代数差，如图 8-8 所示，取其中绝对值最大的数值 $f_{pt\max}$ 作为评定值。

f_{pt} 可用万能测齿仪进行测量。

说明:

对上述这些检验参数,也并非要在一个齿轮设计中全部提出,而是根据生产类型、精度要求和测量条件等的不同,分别选用下列各组(检验组)之一便可:

- 1) 齿廓总偏差 F_α 与单个齿距偏差 f_{pt} ;
- 2) 一齿切向综合偏差 f'_i (必要时加检 f_{pt});
- 3) 一齿径向综合偏差 f''_i (用于 6~9 级);



AB-倒棱部分;AC-齿廓有效长度 齿根圆
BC-工作部分(齿廓计值范围)

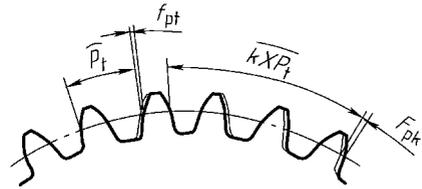


图 8-8 齿轮单个齿距偏差 f_{pt} 与齿距累积偏差 F_{pk}

图 8-7 齿廓总偏差

3. 评定轮齿载荷分布均匀性的参数

在端面基圆切线方向上测得的实际螺旋线对设计螺旋线的偏差量叫做螺旋线偏差,用 F_β 表示。螺旋线总偏差 F_β 是指在基圆柱的切平面内,在齿宽工作部分(轮齿两端的倒角或修圆部分除外)范围内包含实际螺旋线且距离为最小的两条设计螺旋线之间的法向距离,如图 8-9 所示。

说明:

评定轮齿载荷分布均匀性的精度时的应验指标,在齿宽方向是其螺旋线总偏差 F_β ,在齿高方向是其传动平稳性的应验指标。

测量 F_β 时,应在被测齿轮圆周上测量均匀分布的三个轮齿或更多的轮齿左、右齿面的螺旋线总偏差,取其中最大值 $F_{\beta\max}$ 作为评定值。

4. 评定齿轮合理侧隙的参数

对于直齿轮,齿厚偏差 f_{sn} 是指在分度圆柱面上,实际齿厚与公称齿厚(齿厚理论值)之差,如图 8-10 所示。对于斜齿轮,是指法向实际齿厚与公称齿厚之差。它应在齿厚上偏差 E_{sns} 和齿厚下偏差 E_{sni} 限定范围内,即 $E_{sni} \leq f_{sn} \leq E_{sns}$ 。齿厚上偏差和下偏差 (E_{sns} 和 E_{sni}) 统称齿厚偏差。

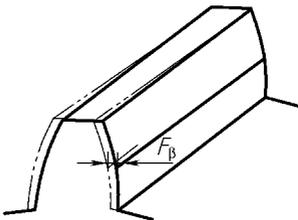


图 8-9 螺旋线总偏差

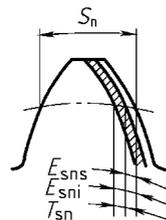


图 8-10 齿厚偏差与公差

齿厚公差 T_{sn} 是指齿厚上偏差与齿厚下偏差之差。

公法线长度 W_k 是指在齿轮基圆柱切平面上跨 k 个齿（对外齿轮）或 k 个齿槽（对内齿轮）在接触到一个齿的右齿面和另一个齿的左齿面的两个平行平面之间测得的距离。这个距离在两个齿廓间沿所有法线都是常数。

E_{ws} 为公法线长度上偏差。 E_{wi} 为公法线长度下偏差。

说明：

由于运动偏心引起公法线长度变动，且服从正弦规律，为排除运动偏心对侧隙评定的影响，一般取实际公法线长度的平均值。

与测量齿厚相比较，测量公法线长度时测量精度不受齿顶圆直径偏差和齿顶圆柱面对齿轮基准轴线的径向圆跳动的影响，测量精度较高。

8.3 渐开线圆柱齿轮精度的标准化

8.3.1 齿轮的精度等级和各项精度指标的公差计算公式（见表 8-1 ~ 表 8-3）

表 8-1 齿轮精度等级及其选择

精度等级的规定	GB/T 10095.1—2008 和 GB/T 10095.2—2008 对应验和可采用精度指标的公差（双啮合精度指标的公差 F''_i 、 f''_i 除外）分别规定了 13 个精度等级，它们分别用阿拉伯数字 0、1、2、…、12 表示。其中，0 级是最高精度等级，12 级是最低精度等级。对 F''_i 和 f''_i 分别规定了 9 个精度等级（4、5、6、…、12）。5 级精度是各级精度中的基础级，两相邻精度等级的分级公比等于 $\sqrt{2}$
各级精度计算公式	令 m_n 、 d 、 b 和 k 分别表示齿轮的法向模数、分度圆直径、齿宽（mm）和测量时的齿距数。应验和可采用精度指标 5 级精度的公差应分别按表 8-7 和表 8-8 所列的公式计算确定

表 8-2 齿轮应验精度指标 5 级精度的公差计算公式（摘自 GB/T 10095.1—2008）

公差项目的名称和符号	计算公式/ μm	精度等级
齿距累积总偏差 F_p	$F_p = 0.3m_n + 1.25\sqrt{d} + 7$	0、1、2、…、12 级
齿距累积偏差 F_{pk}	$F_{pk} = f_{pt} + 1.6\sqrt{(k-1)m_n}$	
单个齿距偏差 f'_{pt}	$f_{pt} = 0.3(m_n + 0.4\sqrt{d}) + 4$	
齿廓总偏差 F_α	$F_\alpha = 3.2\sqrt{m_n} + 0.22\sqrt{d} + 0.7$	
螺旋线总偏差 F_β	$F_\beta = 0.1\sqrt{d} + 0.63\sqrt{b} + 4.2$	

表 8-3 齿轮可采用精度指标 5 级精度的公差计算公式
(摘自 GB/T 10095.1—2008 及 GB/T 10095.2—2008)

公差项目的名称和符号	计算公式/ μm	精度等级
一齿切向综合偏差 f'_i	$f'_i = K(4.3 + f_{pt} + F_\alpha) = K(9 + 0.3m_n + 3.2\sqrt{m_n} + 0.34\sqrt{d})$ 当重合度 $\varepsilon_\gamma < 4$ 时, $K = 0.2(\varepsilon_\gamma + 4) / \varepsilon_\gamma$; 当 $\varepsilon_\gamma \geq 4$ 时, $K = 0.4$	0、1、2、…、12 级
切向综合总偏差 F'_i	$F'_i = F_p + f'_i$	
齿轮径向跳动 F_r	$F_r = 0.8F_p = 0.24m_n + 1.0\sqrt{d} + 5.6$	
径向综合总偏差 F''_i	$F''_i = 3.2m_n + 1.01\sqrt{d} + 6.4$	4、5、6、…、12 级
一齿径向综合偏差 f''_i	$f''_i = 2.96m_n + 0.01\sqrt{d} + 0.8$	

8.3.2 齿轮精度等级的选择 (见表 8-4 ~ 表 8-6)

表 8-4 齿轮精度等级的选择

精度等级的选择	<p>13 个精度等级中, 0~2 级精度齿轮的精度要求非常高, 目前我国只有极少数单位能够制造和测量 2 级精度齿轮, 因此 0~2 级属于有待发展的精度等级; 而 3~5 级为高精度等级, 6~9 级为中精度等级, 10~12 为低精度等级</p> <p>对于同一齿轮的三项精度要求, 可以取成相同, 也可以以不同的精度等级相组合。设计者应根据所设计的齿轮传动在工作中的具体使用条件, 对齿轮的加工精度规定最合适的技术要求</p> <p>选择精度等级的主要依据是齿轮的用途和工作条件, 应考虑齿轮的圆周速度、传递的功率、工作持续时间、传递运动准确性的要求、振动和噪声、承载能力、寿命等。选择精度等级的方法有类比法和计算法</p>
---------	--

表 8-5 各类机械传动中所应用的齿轮精度等级

适用范围	精度等级	适用范围	精度等级
单啮仪、双啮仪 (测量齿轮)	2~5	载重汽车	6~9
涡轮机减速器	3~5	通用减速器	6~8
金属切削机床	3~8	轧钢机	5~10
航空发动机	4~7	矿用绞车	6~10
内燃机车、电气机车	5~8	起重机	6~9
轿车	5~8	拖拉机	6~10

表 8-6 齿轮某些精度等级的应用范围

精度等级		4 级	5 级	6 级	7 级	8 级	9 级
应用范围		极精密分度机构的齿轮, 非常高速并要求平稳、无噪声的齿轮, 高速涡轮机齿轮	精密分度机构的齿轮, 高速并要求平稳、无噪声的齿轮, 高速涡轮机齿轮	高速、平稳、无噪声、高效率的齿轮, 航空、汽车、机床中的重要齿轮, 分度机构齿轮, 读数机构齿轮	高速、动力小而需逆转的齿轮, 机床中的进给齿轮, 航空齿轮, 读数机构齿轮, 具有一定速度的减速器齿轮	一般机器中的普通齿轮, 汽车、拖拉机、减速器中的一般齿轮, 航空器中的不重要齿轮, 农机中的重要齿轮	精度要求低的齿轮
齿轮圆周速度 /(m/s)	直齿	<35	<20	<15	<10	<6	<2
	斜齿	<70	<40	<30	<15	<10	<4

8.3.3 图样上齿轮精度等级的标注 (见表 8-7)

表 8-7 齿轮精度等级在图样上的标注

样式 1	当齿轮所有精度指标的公差同为某一精度等级时, 图样上可标注该精度等级和标准号。 例如同为 7 级时, 可标注为: $7 \text{ GB/T } 10095.1-2008$
样式 2	当齿轮各个精度指标的公差的精度等级不同时, 图样上可按齿轮传递运动准确性、齿轮传动平稳性和轮齿载荷分布均匀性的顺序分别标注它们的精度等级及带括号的对应偏差符号和标准号。例如: $8 (F_p, f_{pt}, F_\alpha), 7 (F_\beta) \text{ GB/T } 10095.1-2008$
样式 3	当齿轮各个精度指标的公差的精度等级不同时, 图样上可按齿轮传递运动准确性、齿轮传动平稳性和轮齿载荷分布均匀性的顺序分别标注它们的精度等级和标准号。例如: $8-8-7 \text{ GB/T } 10095.1-2008$

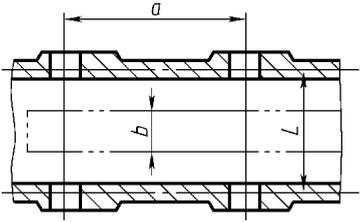
8.4 齿轮副中心距极限偏差和轴线平行度偏差

8.4.1 齿轮副相关参数 (见表 8-8)

表 8-8 齿轮副相关参数

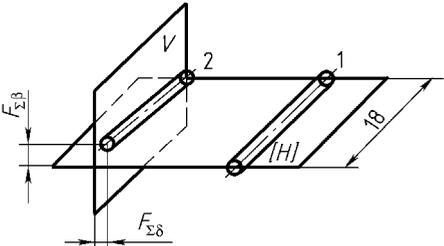
参 数	说 明
齿轮副中心距 a	如图所示, 圆柱齿轮减速器的箱体上有两对轴承孔, 这两对轴承孔分别用来支承与两个相互啮合齿轮各自连成一体的两根轴。这两对轴承孔的公共轴线应平行, 它们之间的距离称为齿轮副中心距 中心距偏差影响侧隙的大小。轴线平行度误差影响轮齿载荷分布的均匀性

(续)

参 数	说 明
齿轮副中心距 a	 <p style="text-align: center;">b—齿宽 L—轴承跨距 a—公称中心距</p>
轴承跨距 L	箱体上支承同一根轴的两个轴承各自中间平面之间的距离称为轴承跨距, 它相当于被支承轴的两个轴颈各自中间平面之间的距离

8.4.2 齿轮副应检精度指标 (见表 8-9)

表 8-9 齿轮副应检精度指标

参数符号	说 明
Δf_a 和 f_a	<p>齿轮副中心距偏差 Δf_a 是指在箱体两侧轴承跨距 L 的范围内, 齿轮副两条轴线之间的实际距离 (实际中心距) 与公称中心距 a 之差。图样上标注公称中心距及其上、下极限偏差 ($\pm f_a$):</p> $a \pm f_a$ <p>齿轮副中心距允许极限偏差 f_a 的数值按齿轮精度等级可从表 8-18 选用 中心距偏差的合格条件是它在中心距允许极限偏差范围内 ($-f_a \leq \Delta f_a \leq +f_a$)</p>
$f_{\Sigma\delta}$ $f_{\Sigma\beta}$	<p>如图所示, 被测轴线对基准轴线的平行度误差应在相互垂直的轴线平面 H 和垂直平面 V 上测量。轴线平面 H 是指包含基准轴线并通过被测轴线与一个轴承中间平面的交点所确定的平面。垂直平面 V 是指通过上述交点确定的垂直于轴线平面 H 且平行于基准轴线的平面</p> <p>轴线平面 H 上的平行度偏差 $f_{\Sigma\delta}$ 是指实际被测轴线 2 在 H 平面上的投影对基准轴线 1 的平行度误差。垂直平面 V 上的平行度偏差 $f_{\Sigma\beta}$ 是指实际被测轴线 2 在 V 平面上的投影对基准轴线 1 的平行度误差</p>  <p style="text-align: center;">1—基准轴线 2—被测轴线 H—轴线平面 V—垂直平面</p> <p>轴线平面内偏差 $f_{\Sigma\delta}$ 和垂直平面内偏差 $f_{\Sigma\beta}$ 的推荐最大值按齿轮载荷分布均匀性的精度等级分别用下列两个公式计算确定:</p> $f_{\Sigma\delta} = (L/b) F_{\beta} \quad (8-8)$ $f_{\Sigma\beta} = 0.5(L/b) F_{\beta} = 0.5 f_{\Sigma\delta} \quad (8-9)$ <p>式中 L——轴承跨距 b——齿轮齿宽 F——齿轮螺旋线总偏差</p>

8.5 齿轮侧隙指标的公差和齿轮坯公差

8.5.1 齿轮侧隙的评定 (见表 8-10 ~ 表 8-13)

表 8-10 齿轮齿厚偏差及其代号

侧隙形成	<p>齿轮副侧隙是装配后自然形成的。适当的侧隙可以用改变齿轮副中心距的大小或 (和) 把齿轮齿切薄来获得。当齿轮副中心距不能调整时, 就必须在加工齿轮时按规定的齿厚偏差将齿轮切薄。在这种情况下, 应规定固定的中心距极限偏差, 通过改变齿厚偏差来获得各种不同的侧隙</p> <p>齿厚上偏差可以根据齿轮副所需的最小侧隙通过计算或用类比法确定。齿厚下偏差则按齿轮精度等级和加工齿轮时的径向进刀公差和几何偏心确定</p>
最小极限侧隙	<p>侧隙通常在相互啮合齿轮齿面的法向平面上或沿啮合线测量, 称为法向侧隙 j_{bn}。最小极限侧隙 j_{bmin} 是指在标准温度 (20℃) 下齿轮副无载荷时所需最小限度的法向侧隙, 与齿轮精度等级无关。它根据传动时允许的工作温度、润滑方法及齿轮的圆周速度等工作条件确定, 由以下两部分组成</p> <p>1) 补偿传动时升温使齿轮和箱体产生热变形所必需的法向侧隙 j_{bn1}</p> <p>j_{bn1} 按式 (8-10) 确定:</p> $j_{bn1} = a(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2) \times 2 \sin \alpha_n \quad (8-10)$ <p>式中 a——齿轮副的公称中心距</p> <p>α_1 和 α_2——齿轮和箱体材料的线膨胀系数 (1/℃)</p> <p>Δt_1 和 Δt_2——齿轮温度 t_1 和箱体温度 t_2 分别对 20 的偏差, 即 $\Delta t_1 = t_1 - 20^\circ\text{C}$, $\Delta t_2 = t_2 - 20^\circ\text{C}$</p> <p>$\alpha_n$——齿轮的标准压力角</p> <p>2) 保证正常润滑条件所需的法向侧隙 j_{bn2}</p> <p>j_{bn2} 取决于润滑方法和齿轮的圆周速度, 可参考表 8-16 选取。</p> <p>齿轮副的最小法向侧隙为</p> $j_{bmin} = j_{bn1} + j_{bn2} \quad (8-11)$
齿厚上偏差	<p>齿厚上偏差 E_{sns} 即齿厚的最小减薄量。它除了要保证齿轮副所需的最小法向侧隙 j_{bmin} 以外, 还要补偿齿轮和齿轮副的制造误差和安装误差所引起的侧隙减小量 J_{bn}。其中, 制造误差主要考虑相互啮合的两个齿轮的齿距偏差 f_{pb} 和螺旋线总偏差 F_β, 安装误差考虑齿轮箱体上两对轴承孔的公共轴线在轴线平面上的平行度偏差 $f_{\Sigma\delta}$ 和在垂直平面上的平行度偏差 $f_{\Sigma\beta}$。计算 J_{bn} 时, 考虑到基圆齿距偏差和螺旋线总偏差的计值方向与法向侧隙方向一致, 而上述两个平面上的平行度误差的计值方向皆与法向侧隙方向不一致, 应分别乘以 $\sin \alpha_n$ 和 $\cos \alpha_n$ (α_n 为标准压力角) 后换算到法向侧隙方向, 并且大、小齿轮的基圆齿距偏差用其极限偏差 f_{pb1} 和 f_{pb2} 代替, 大、小齿轮的螺旋线总偏差 $F_{\beta 1}$ 和 $F_{\beta 2}$ 分别用其公差值代替; 此外, 鉴于基圆齿距与分度圆齿距的关系, 得 $f_{pb1} = f_{pt1} \cos \alpha_n$, $f_{pb2} = f_{pt2} \cos \alpha_n$; 再按独立随机变量合成, 计算公式如下:</p>

(续)

齿厚上偏差	$J_{bn} = \sqrt{(f_{\rho 1}^2 + f_{\rho 2}^2) \cos^2 \alpha_n + F_{\beta 1}^2 + F_{\beta 2}^2 + (f_{\Sigma \delta} \sin \alpha_n)^2 + (f_{\Sigma \beta} \cos \alpha_n)^2} \quad (8-12)$ <p>考虑到同一齿轮副的大、小齿轮的单个齿距偏差的差值和螺旋线总偏差的公差差值皆很有限(差值对公差值的百分比很小),为了计算简便,可将大小齿轮的单个齿距偏差和螺旋线总偏差分别取成相等,且以数值相对较大的大齿轮单个齿距偏差$f_{\rho 1}$和螺旋线总偏差F_{β}代入上式,此外将$f_{\Sigma \delta} = (L/b)F_{\beta}$和$f_{\Sigma \beta} = 0.5(L/b)F_{\beta} = 0.5f_{\Sigma \delta}$代入,并取$\alpha_n = 20^\circ$,则得:</p> $J_{bn} = \sqrt{1.76f_{\rho 1}^2 + [2 + 0.34(L/b)^2]F_{\beta}^2} \quad (8-13)$ <p>考虑到实际中心距为最小极限尺寸,即中心距实际偏差为下极限偏差($-f_a$)时,会使法向侧隙减小$2f_a \sin \alpha_n$,同时将齿厚偏差的计算值换算到法向侧隙方向(乘以$\cos \alpha_n$),则最小法向侧隙$j_{bn \min}$与齿轮副中两个齿轮齿厚上偏差($E_{s n 1}$、$E_{s n 2}$)、中心距下极限偏差($-f_a$)及J_{bn}的关系为</p> $j_{bn \min} = (E_{s n 1} + E_{s n 2}) \cos \alpha_n - f_a \times 2 \sin \alpha_n - J_{bn} \quad (8-14)$ <p>通常,为了方便设计和计算,令$E_{s n 1} = E_{s n 2} = E_{s n}$,于是由上式求得齿厚上偏差为</p> $ E_{s n} = \frac{j_{bn \min} + J_{bn}}{2 \cos \alpha_n} + f_a \tan \alpha_n \quad (8-15)$ <p>当两个配偶齿轮的齿数相差较大时,为了提高小齿轮的承载能力,小齿轮的齿厚最小减薄量可取得比大齿轮小些</p>
齿厚下偏差	<p>齿厚下偏差$E_{s n i}$由齿厚上偏差$E_{s n s}$和齿厚公差$T_{s n}$求得</p> $E_{s n i} = E_{s n s} - T_{s n} \quad (8-16)$ <p>齿厚公差$T_{s n}$的大小主要取决于切齿时的径向进刀公差b_r和齿轮径向跳动F_r(考虑切齿时几何偏心的影响,它使被切齿轮的各个轮齿的齿厚不相同)。b_r和F_r按独立随机变量合成,并把它们从径向计算换算到齿厚偏差方向(乘以$2 \tan \alpha_n$),则得</p> $T_{s n} = 2 \tan \alpha_n \sqrt{b_r^2 + F_r^2} \quad (8-17)$ <p>式中,b_r的数值推荐按表 8-12 选取,F_r的数值按齿轮传递运动准确性的精度等级、分度圆直径和法向模数确定(可从表 8-15 查取)</p>

表 8-11 保证正常润滑条件所需的法向侧隙 $j_{bn 2}$ (推荐值)

润滑方式	齿轮的圆周速度 v (m/s)			
	≤ 10	$> 10 \sim 25$	$> 25 \sim 60$	> 60
喷油润滑	$0.01 m_n$	$0.02 m_n$	$0.03 m_n$	$(0.03 \sim 0.05) m_n$
油池润滑	$(0.005 \sim 0.01) m_n$			

注: m_n ——齿轮法向模数(mm)。表 8-12 切齿时的径向进刀公差 b_r

齿轮传递运动准确性的精度等级	4 级	5 级	6 级	7 级	8 级	9 级
b_r	1.26IT7	IT8	1.26IT8	IT9	1.26IT9	IT10

注:标准公差 IT 按齿轮分度圆直径从表 4-10 查取。

表 8-13 公称公法线长度、跨齿数与公法线长度偏差的计算

公称公法线长度、
跨齿数的计算1) 直齿轮的公称公法线长度 W 和测量时跨齿数 k 的计算

$$W = m \cos \alpha [\pi(k - 0.5) + z \cdot \operatorname{inv} \alpha] + 2xm \sin \alpha \quad (8-18)$$

当 $\alpha = 20^\circ$, $x = 0$ 时, $W = m[1.4761 \times (2k - 1) + 0.014z]$ 式中 m ——模数 z ——齿数 α ——压力角 x ——变位系数 k ——跨齿数 $\operatorname{inv} \alpha$ ——渐开线函数, $\operatorname{inv} 20^\circ = 0.014904$

在外齿轮的实际测量时, 按规定作出的两内侧平行平面就是度量表面, 以测量它们之间的距离。度量表面间所跨的齿数 k 的选择, 应使其接触线大体上位于齿高的中间, 可按下面的方法来计算

对于标准直齿圆柱齿轮 ($x = 0$) 时的跨齿数 k 按式 (8-19) 计算:

$$k = \frac{z\alpha}{180^\circ} + 0.5 \quad (8-19)$$

当 $\alpha = 20^\circ$ 时, 跨齿数 $k = \frac{z}{9} + 0.5$ 对于变位直齿圆柱齿轮时的跨齿数 k 按式 (8-20) 计算:

$$k = \frac{z\alpha_m}{180^\circ} + 0.5 \quad (8-20)$$

式中, $\alpha_m = \arccos [d_b / (d + 2xm)]$, d_b 和 d 分别为齿轮基圆直径和分度圆直径计算出的 k 值通常不是整数, 必须将它圆整为最接近计算值的整数2) 斜齿轮的公称公法线长度 W_n 和测量时跨齿数 k 的计算

$$W_n = m_n \cos \alpha_n [\pi(k - 0.5) + z \cdot \operatorname{inv} \alpha_n] + 2x_n m_n \sin \alpha_n \quad (8-21)$$

式中 m_n ——被测斜齿轮的法向模数 α_n ——标准压力角 k ——法向测量公法线长度时的跨齿数 z ——齿数 α_t ——端面压力角 x_n ——法向变位系数计算 W_n 和 k 时, 首先根据标准压力角 α_n 和分度圆螺旋角 β 计算出端面压力角 α_t :

$$\alpha_t = \arctan (\tan \alpha_n / \cos \beta) \quad (8-22)$$

再由 z 、 α_n 和 α_t 计算出假想齿数 z' :

$$z' = z \cdot \operatorname{inv} \alpha_t / \operatorname{inv} \alpha_n \quad (8-23)$$

然后由 α_n 、 z' 和 x_n 计算跨齿数 k :

$$k = \frac{\alpha_n}{180^\circ} z' + 0.5 + \frac{2x_n \cot \alpha_n}{\pi} \quad (8-24)$$

对于标准斜齿轮 ($x_n = 0$), 跨齿数 $k = z' \alpha_n / 180^\circ + 0.5$ 。当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, 跨齿数 $k = z' / 9 + 0.5$ 应当指出, 当斜齿轮的齿宽 $b > 1.015 W_n \sin \beta_b$ (β_b 为基圆螺旋角) 时, 才能采用公法线长度偏差作为侧隙指标

图样上标注跨齿数 k 和公称公法线长度 W 或 (W_n) 及其上下偏差 (E_{ws} 、 E_{wi}): W 或 (W_n) $\begin{matrix} +E_{ws} \\ +E_{wi} \end{matrix}$

(续)

公法线长度偏差 计算方法	<p>公法线长度的上、下偏差 (E_{ws}、E_{wi}) 分别由齿厚的上、下偏差 (E_{sns}、E_{sni}) 换算得到。由于几何偏心使同一齿轮各齿的实际齿厚大小不相同, 而几何偏心对实际公法线长度没有影响, 因此在换算时应该从齿厚的上、下偏差中扣除几何偏心的影响</p> <p>1) 外齿轮的换算公式</p> $\left. \begin{aligned} E_{ws} &= E_{sns} \cos \alpha - 0.72 F_r \sin \alpha \\ E_{wi} &= E_{sni} \cos \alpha + 0.72 F_r \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (8-25)$ <p>2) 内齿轮的换算公式</p> $\left. \begin{aligned} E_{ws} &= -E_{sni} \cos \alpha - 0.72 F_r \sin \alpha \\ E_{wi} &= -E_{sns} \cos \alpha + 0.72 F_r \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (8-26)$
-----------------	---

8.5.2 齿轮坯公差

切齿前的齿轮坯基准表面的精度对齿轮的加工精度和安装精度的影响很大。用控制齿轮坯精度来保证和提高齿轮的加工精度是一项有效的技术措施。因此, 在齿轮零件图上除了明确地表示齿轮的基准轴线和标注齿轮公差以外, 还必须标注齿轮坯公差, 如图 8-11 所示。

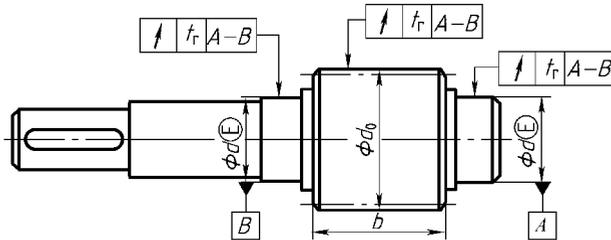


图 8-11 齿轮轴的齿轮坯公差

1. 盘形齿轮的齿轮坯公差

如图 8-12 所示, 盘形齿轮的基准表面是: 齿轮安装在轴上的基准孔, 切齿时的定位端面, 齿顶圆柱面。公差项目主要有: 基准孔的尺寸公差并采用包容要求, 齿顶圆柱面的直径公差, 定位端面对基准孔轴线的端面圆跳动公差。有时还要规定齿顶圆柱面对基准孔轴线的径向圆跳动公差。

基准孔尺寸公差和齿顶圆柱面的直径公差按齿轮精度等级从表 8-19 选用。

基准端面对基准孔轴线的端面圆跳动公差 t_1 由该端面的直径 D_d 、齿宽 b 和齿轮螺旋线总偏差 F_β 式 (8-20) 确定:

$$t_1 = 0.2 (D_d/b) F_\beta \quad (8-27)$$

切齿时, 如果齿顶圆柱面用来在切齿机床上将齿轮基准孔轴线相对于工作台回转轴线找正; 或者以齿顶圆柱面作为测量齿厚的基准时, 则需规定齿顶圆柱面对齿轮基准孔轴线的径向圆跳动公差。该公差 t_r 由齿轮齿距累积总偏差 F_p 按式 (8-21) 确定:

$$t_r = 0.3F_p \quad (8-28)$$

2. 齿轮轴的齿轮坯公差

如图 8-11 所示, 齿轮轴的基准表面是: 安装滚动轴承的两个轴颈, 齿顶圆柱面。公差项目主要有:

两个轴颈的直径公差 (采用包容要求) 和形状公差: 通常按滚动轴承的公差等级确定。

齿顶圆柱面的直径公差: 按齿轮精度等级从表 8-19 选用。

两个轴颈分别对它们的公共轴线 (基准轴线) 的径向圆跳动公差: 按式 (8-28) 确定。

以齿顶圆柱面作为测量齿厚的基准时, 则需规定齿顶圆柱面对两个轴颈的公共轴线 (基准轴线) 的径向圆跳动公差, 按式 (8-28) 确定。

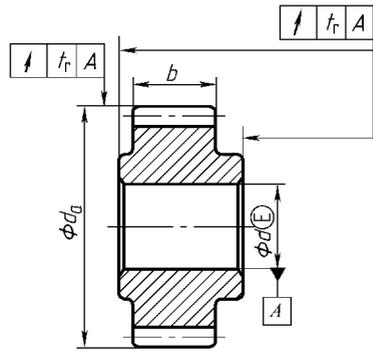


图 8-12 盘形齿轮的齿轮坯公差

8.5.3 齿轮齿面和基准面的表面粗糙度轮廓要求

齿轮齿面、盘形齿轮的基准孔、齿轮轴的轴颈、基准端面、径向找正用的圆柱面和作为测量基准的齿顶圆柱面的表面粗糙度轮廓幅度参数 R_a 的上限值可从表 8-20 查取。

8.6 齿轮精度数值表 (见表 8-14 ~ 表 8-20)

表 8-14 齿轮应验精度指标的公差数值 (摘自 GB/T 10095.1—2008)

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精度等级												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
齿轮传递运动准确性		齿轮齿距累积总偏差 F_p 值/ μm												
>50 ~ 125	>2 ~ 3.5	3.3	4.7	6.5	9.5	13.0	19.0	27.0	38.0	53.0	76.0	107.0	151.0	214.0
	>3.5 ~ 6	3.4	4.9	7.0	9.5	14.0	19.0	28.0	39.0	55.0	78.0	110.0	156.0	220.0
>125 ~ 280	>2 ~ 3.5	4.4	6.0	9.0	12.0	18.0	25.0	35.0	50.0	70.0	100.0	141.0	199.0	282.0
	>3.5 ~ 6	4.5	6.5	9.0	13.0	18.0	25.0	36.0	51.0	72.0	102.0	144.0	204.0	288.0

(续)

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精度等级												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
齿轮传递运动平稳性		齿轮单个齿距偏差 $\pm f_{pt}$ 值/ μm												
>50 ~ 125	>2 ~ 3.5	1.0	1.5	2.1	2.9	4.1	6.0	8.5	12.0	17.0	23.0	33.0	47.0	66.0
	>3.5 ~ 6	1.1	1.6	2.3	3.2	4.6	6.5	9.0	13.0	18.0	26.0	36.0	52.0	73.0
>125 ~ 280	>2 ~ 3.5	1.1	1.6	2.3	3.2	4.6	6.5	9.0	13.0	18.0	26.0	36.0	51.0	73.0
	>3.5 ~ 6	1.2	1.8	2.5	3.5	5.0	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0	40.0	56.0	79.0
齿轮传递运动平稳性		齿轮齿廓总偏差 F_{α} 值/ μm												
>50 ~ 125	>2 ~ 3.5	1.4	2.0	2.8	3.9	5.5	8.0	11.0	16.0	22.0	31.0	44.0	63.0	89.0
	>3.5 ~ 6	1.7	2.4	3.4	4.8	6.5	9.5	13.0	19.0	27.0	38.0	54.0	76.0	108.0
>125 ~ 280	>2 ~ 3.5	1.6	2.2	3.2	4.5	6.5	9.0	13.0	18.0	25.0	36.0	50.0	71.0	101.0
	>3.5 ~ 6	1.9	2.6	3.7	5.5	7.5	11.0	15.0	21.0	30.0	42.0	60.0	84.0	119.0
分度圆直径 d/mm	法向模数 齿宽 b/mm	精度等级												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
轮齿载荷分布均匀性		齿轮螺旋线总偏差 F_{β} 值/ μm												
>50 ~ 125	>2 ~ 3.5	1.5	2.1	3.0	4.2	6.0	8.5	12.0	17.0	24.0	34.0	48.0	68.0	95.0
	>3.5 ~ 6	1.7	2.5	3.5	4.9	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0	39.0	56.0	79.0	111.0
>125 ~ 280	>2 ~ 3.5	1.6	2.2	3.2	4.5	6.5	9.0	13.0	18.0	25.0	36.0	50.0	71.0	101.0
	>3.5 ~ 6	1.8	2.6	3.6	5.0	7.5	10.0	15.0	21.0	29.0	41.0	58.0	82.0	117.0

表 8-15 齿轮 f'_i/K 的比值 (摘自 GB/T 10095.1—2008) (单位: μm)

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精度等级												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
>50 ~ 125	>2 ~ 3.5	3.2	4.5	6.5	9.0	13.0	18.0	25.0	36.0	51.0	72.0	102.0	144.0	204.0
	>3.5 ~ 6	3.6	5.0	7.0	10.0	14.0	20.0	29.0	40.0	57.0	81.0	115.0	162.0	229.0
>125 ~ 280	>2 ~ 3.5	3.5	4.9	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0	39.0	56.0	79.0	111.0	157.0	222.0
	>3.5 ~ 6	3.9	5.5	7.5	11.0	15.0	22.0	31.0	44.0	62.0	88.0	124.0	175.0	247.0

表 8-16 齿轮径向跳动公差 F_r 值 (摘自 GB/T 10095.2—2008) (单位: μm)

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精度等级												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
>50 ~ 125	>2 ~ 3.5	2.5	4.0	5.5	7.5	11	15	21	30	43	61	86	121	171
	>3.5 ~ 6	3.0	4.0	5.5	8.0	11	16	22	31	44	62	88	125	176
>125 ~ 280	>2 ~ 3.5	3.5	5.0	7.0	10	14	20	28	40	56	80	113	159	225
	>3.5 ~ 6	3.5	5.0	7.0	10	14	20	29	41	58	82	115	163	231

表 8-17 齿轮双啮合精度指标的公差值 (摘自 GB/T 10095.2—2008)

分度圆直径 d/mm	法向模数 m_n/mm	精度等级									
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	
齿轮传递运动准确性		齿轮径向综合总偏差 F''_i 值/ μm									
>50 ~ 125	>1.5 ~ 2.5	15	22	31	43	61	86	122	173	244	
	>2.5 ~ 4.0	18	25	36	51	72	102	144	204	288	
	>4.0 ~ 6.0	22	31	44	62	88	124	176	248	351	
>125 ~ 280	>1.5 ~ 2.5	19	26	37	53	75	106	149	211	299	
	>2.5 ~ 4.0	21	30	43	61	86	121	172	243	343	
	>4.0 ~ 6.0	25	36	51	72	102	144	203	287	406	
齿轮传动平稳性		齿轮一齿径向综合偏差 f''_i 值/ μm									
>50 ~ 125	>1.5 ~ 2.5	4.5	6.5	9.5	13	19	26	37	53	75	
	>2.5 ~ 4.0	7.0	10	14	20	29	41	58	82	116	
	>4.0 ~ 6.0	11	15	22	31	44	62	87	123	174	
>125 ~ 280	>1.5 ~ 2.5	4.5	6.5	9.5	13	19	27	38	53	75	
	>2.5 ~ 4.0	7.5	10	15	21	29	41	58	82	116	
	>4.0 ~ 6.0	11	15	22	31	44	62	87	124	175	

表 8-18 齿轮副的中心距偏差 $\pm f_a$ (摘自 GB/T 10095—1988)(单位: μm)

齿轮精度等级		1~2	3~4	5~6	7~8	9~10	11~12
f_a		$\frac{1}{2}\text{IT}4$	$\frac{1}{2}\text{IT}6$	$\frac{1}{2}\text{IT}7$	$\frac{1}{2}\text{IT}8$	$\frac{1}{2}\text{IT}9$	$\frac{1}{2}\text{IT}11$
齿轮副的 中心距/ mm	>80 ~ 120	5	11	17.5	27	43.5	110
	>120 ~ 180	6	12.5	20	31.5	50	125
	>180 ~ 250	7	14.5	23	36	57.5	145
	>250 ~ 315	8	16	26	40.5	65	160
	>315 ~ 400	9	18	28.5	44.5	70	180

表 8-19 齿轮坯公差 (摘自 GB/T 10095—1988)

齿轮精度等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
盘形齿轮基准孔尺寸公差	IT4			IT5	IT6	IT7	IT8	IT9				
齿轮轴轴颈直径公差和形状公差	通常按滚动轴承的公差等级确定											

(续)

齿轮精度等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
齿顶圆直径公差	IT6		IT7			IT8			IT9		IT11	
基准端面对齿轮基准轴线的端面圆跳动公差 t_t	$t_t = 0.2 (D_d/b) F_\beta$											
基准圆柱面对齿轮基准轴线的径向圆跳动公差 t_r	$t_r = 0.3 F_p$											

注：1. 齿轮的三项精度等级不同时，齿轮基准孔的尺寸公差按最高的精度等级确定。

2. 标准公差 IT 值见表 4-10。

3. 齿顶圆柱面不作为测量齿厚的基准面时，齿顶圆直径公差按 IT11 给定，但不得大于 $0.1m_n$ 。

4. t_t 和 t_r 的计算公式引自 GB/Z 18620.3—2008。式中， D_d —基准端面的直径； b —齿宽； F_β —螺旋线总偏差； F_p —齿距累积总偏差。

5. 齿顶圆柱面不作为基准面时，图样上不必给出 t_r 。

表 8-20 齿轮齿面和齿轮坯基准面的表面粗糙度轮廓幅度参数 Ra 值

(单位： μm)

齿轮精度等级	3	4	5	6	7	8	9	10
齿面	≤ 0.63	≤ 0.63	≤ 0.63	≤ 0.63	≤ 1.25	≤ 5	≤ 10	≤ 10
盘形齿轮的基准孔	≤ 0.2	≤ 0.2	0.4~0.2	≤ 0.8	1.6~0.8	≤ 1.6	≤ 3.2	≤ 3.2
齿轮轴的轴颈	≤ 0.1	0.2~0.1	≤ 0.2	≤ 0.4	≤ 0.8	≤ 1.6	≤ 1.6	≤ 1.6
端面、齿顶圆柱面	0.2~0.1	0.4~0.2	0.8~0.4	0.8~0.4	1.6~0.8	3.2~1.6	≤ 3.2	≤ 3.2

注：齿轮的三项精度等级不同时，按最高精度等级确定。齿轮轴轴颈的 Ra 值可按滚动轴承的公差等级确定。

8.7 圆柱齿轮单项参数的测量

8.7.1 齿距检查仪测量齿距累积总偏差和单个齿距偏差

相对法测量齿轮齿距偏差见表 8-21。

表 8-21 相对法测量齿轮齿距偏差

设备	双测头式齿距比较仪
内容	应用齿距比较仪以相对法测量齿轮的单个齿距偏差 f_{pt} 和齿距累积总偏差 F_p

(续)

测量原理	<p>如下图所示,量仪以被测齿轮的齿顶圆定位,将两个定位支脚3和4分别与齿顶圆接触,并适当调整它们的位置,以使固定测头1和活动测头2能够在接近齿高中部的一个尽量与被测齿轮基准轴线同心的圆上,分别与任选的相邻两个同侧齿面接触(以这两个同侧齿面间的齿距作为基准齿距),获得测头2的位移经量仪杠杆机构传递给指示表5的测杆。测量基准齿距,并将指示表对准零位,随后依次逐齿地测量其余的齿距,并记录每次测得的指示表示值。数据处理后,就可以得到单个齿距偏差f_{pt}、齿距累积总偏差F_p的数值</p> <p style="text-align: center;">1—固定测头 2—活动测头 3、4—定位支脚 5—指示表</p>
测量步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 将仪器安装在检验平台上 2) 根据被测齿轮的模数,调整固定测头1的位置。即松开固定测头的紧固螺钉,使固定测头上的刻线对准壳体上的刻度(即模数),拧紧螺钉 3) 使固定测头1和活动测头2大致在被测齿轮的分度圆上与两相邻同侧齿面接触,同时将定位支脚3和4都与齿顶圆接触,并且使指示表有一定的压缩量(压缩2圈左右),对好后用4个螺钉将定位杆固定 4) 手扶齿轮,使定位支脚3和4与齿顶圆紧密接触,并使固定测头1和活动测头与被测齿面接触(注意要用力均匀,力的方向要一致),使指示表的指针对准零位(旋转表盘壳,使表盘的零刻度对准指针),可以多次重复调整,直到示值稳定为止,以此实际齿距作为测量基准 5) 对齿轮逐齿进行测量,量出各实际齿距对测量基准的偏差(方法与上述相同,但是不可以转动表盘,应该直接读出偏差值),将所测得的数据逐一记录(注意:齿轮测量一周后,回到作为测量基准的齿距上时,指示表的读数应该回到“零”,如果变化过大,必须要找出原因) 6) 将测得的数据进行数据处理,并做出合格性的判断 7) 清洁仪器、用具和工件,整理现场

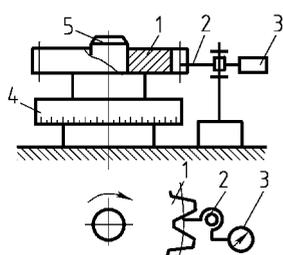
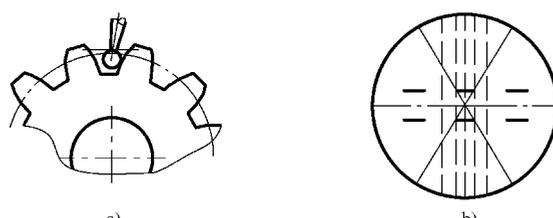
8.7.2 万能工具显微镜测量齿距累积总偏差和单个齿距偏差

绝对法测量齿轮齿距偏差见表8-22。

表8-22 绝对法测量齿轮齿距偏差

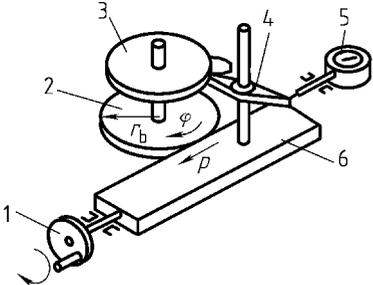
设备	万能工具显微镜
内容	应用万能工具显微镜以绝对法测量齿轮的单个齿距偏差 f_{pt} 和齿距累积总偏差 F_p

(续)

<p>测量原理</p>	<p>万能工具显微镜是机械制造厂中比较大型和复杂的光学仪器，它的基本原理与一般的大、小型工具显微镜类同，其主要区别是纵横向导板上分别装有 200mm 和 100mm 的玻璃标尺，并且分别运用螺旋读数显微镜进行读数，其分度值为 0.001mm，该仪器附有许多附件，可以对各种工件进行复杂的测量工作，因此，这种仪器具有一定的万能性和灵活性</p> <p>用绝对法测量齿轮的齿距累积总偏差和单个齿距偏差，是利用测量齿轮齿距的角度值来确定齿距累积总偏差和单个齿距偏差的。这种测量方法的测量装置包括两个基本部分：分度装置和定位装置。该仪器的分度装置为光学分度头，定位装置为光学灵敏杠杆，两者都是万能工具显微镜的基本附件</p> <p>如下图所示，测量时，把被测齿轮 1 安装在分度装置 4 的心轴 5 上（它们应该同轴线），之后把被测齿轮的一个齿面调整到起始角 0° 的位置，测量杠杆 2 的测头与这个齿面接触，并调整指示表 3 的示值零位。然后每转一个公称齿距角，测取实际齿距角对公称齿距角的差值，或用线性值表示的实际齿距角对公称齿距角的差值。这些差值经过数据处理即可求得 f_{pt} 和 F_p 的值</p> 
<p>测量步骤</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 接通电源，将测角目镜中的角度调到 0°，显微镜支柱倾斜角为零 2) 将齿轮安装在心轴上，并且置于顶尖与分度头之间，用夹持器将齿轮和分度头拨杆相连接，把分度头调到零位或某一整数 3) 安装灵敏杠杆，将灵敏杠杆测量头的压力方向引向测量齿轮的被测面，测量头与齿轮的接触点大致通过仪器两顶点连线的垂直平面 4) 移动纵向托架，将测量头引入齿槽内，并调到齿宽的某一位置，记下纵向显微镜的读数 A，固定纵向托架 5) 升降主显微镜，使灵敏杠杆测头大致在齿轮分度圆附近，如图 a；移动横向托架，使目镜中的网状水平线对准灵敏杠杆的双刻线中，如图 b。固定横向托架，记下分度头的读数。然后拧转灵敏杠杆的旋钮，松开纵向托架，退出灵敏杠杆至齿轮端面外  <p>a) 灵敏杠杆测量头在分度圆附近 b) 网状水平线对准双刻线</p> <ol style="list-style-type: none"> 6) 转动分度头，使灵敏杠杆移至下一齿槽间位置，移动纵向托架到 A 位，固定纵向托架，再拧转灵敏杠杆滚花环，旋转分度头，使第二个同向齿面与灵敏杠杆测量头接触，且目镜网状水平线对准灵敏杠杆的双刻线中，记下分度头的角度值，依次测出各齿，记录实验数据 7) 将测得的数据进行数据处理，并做出合格性的判断 8) 清洁仪器、用具和工件，整理现场

8.7.3 渐开线检查仪测量齿廓总偏差 (见表 8-23)

表 8-23 渐开线检查仪测量齿廓总偏差

设备	单盘式渐开线检查仪
内容	应用单盘式渐开线检查仪和被测齿轮的基圆盘, 检查被测齿轮的齿面在工作齿面内的齿廓总偏差 F_{α}
测量原理	 <p>1—手轮 2—基圆盘 3—被测齿轮 4—杠杆 5—指示表 6—直尺</p> <p>图为单盘式渐开线检查仪的原理图。量仪通过直尺 6 与基圆盘 2 (两者用弹簧紧密接触) 作纯滚动来产生精确的渐开线, 被测齿轮 3 与基圆盘 2 同轴安装, 指示表 5 和杠杆 4 安装在直尺 6 上面, 并随着直尺移动。测量时, 按基圆半径 r_b 调整杠杆 4 的测头位置, 使测头位于渐开线的发生线上。然后, 将测头与被测齿面接触, 转动手轮 1 使直尺移动, 由直尺带动基圆盘转动。如果被测齿形有误差, 则在测量过程中测头相对于直尺产生相对位移。齿形误差的数值由指示表读出, 或由记录器记录下来而得到记录齿形</p>
测量步骤	<ol style="list-style-type: none"> 按被测齿轮的精度和参数, 选用基圆盘 确定齿廓的被测部位。测量齿廓偏差时, 只需要测量齿面的工作部分。对于不同标准压力角 α 和变位系数 x 的齿轮, 基圆盘式检查仪以展开角来确定齿廓的测量范围 调整仪器的零位, 要求仪器的测头与被测齿面接触点应落在直尺 6 与基圆盘 2 滚动的切点上, 此时将指示表 5 调整到零位 用手轮 1 将纵向滑板中心指示线与底座中心指示线对准, 展开角指针固定在 ϕ_0 处, ϕ_0 应在展开角指示盘 5° 位置左右 用横向手轮移出托板后, 将被测齿轮装上, 旋上压紧螺母 (暂时先不压紧) 旋转横向手轮移出托板, 使直尺与基圆盘压紧, 旋转纵向手轮, 使展开角指针顺时针分析展开 ϕ_{α} 的角度, 即展开角为 $\phi_0 + \phi_{\alpha}$ 用手转动齿轮, 使被测齿廓与测量头接触, 使指示表的大小指针位置与仪器调整时的测量头的位置一致, 压紧螺母, 当压紧后指针略偏离零位时, 可以松开一对螺钉, 进行微调 转动纵向手轮, 每展开 2° 记一个读数, 一直测到测点展开角为止。取整个展开角范围内, 最大读数与最小读数的代数差为该齿轮的齿形误差 根据记录的结果进行数据处理, 并做出合格性判断 清洗仪器, 整理现场

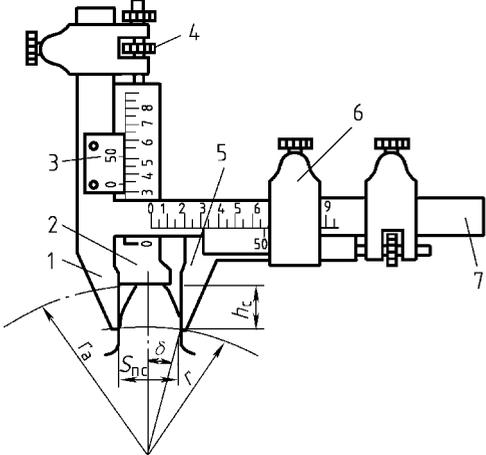
8.7.4 偏摆检查仪测量螺旋线总偏差 (见表 8-24)

表 8-24 偏摆检查仪测量螺旋线总偏差

说明	评定轮齿载荷分布均匀性的精度时的应验指标, 在齿宽方向上是其螺旋线总偏差 F_{β} , 在齿高方向上是其传动平稳性的应验指标。对于直齿轮, 轮齿螺旋角等于零度, 因此其设计螺旋线为一条直线, 它平行于齿轮基准轴线
设备	偏摆检查仪
内容	应用普通偏摆检查仪和标准圆柱, 测量齿轮的螺旋线总偏差 F_{β}
测量原理	<p>螺旋线总偏差 F_{β} 是控制齿轮全齿宽接触的一个参数。直齿圆柱齿轮的螺旋线总偏差 F_{β} 是指在基圆柱的切平面内, 在齿宽工作部分 (轮齿两端的倒角或修圆部分除外) 范围内包容实际螺旋线且距离为最小的两条设计螺旋线之间的法向距离。设计螺旋线对于直齿圆柱齿轮为平行于轴线的直线。其测量方法比较简单, 凡是有顶尖架并与指示表之间能够产生相对轴向移动的装置, 都可以进行测量</p> <p>例如, 在齿轮跳动检查仪上, 测量时, 将指示表的测量头在齿高中部与齿面接触 (尽可能垂直于齿面) 并平行于齿轮轴线移动, 测出沿齿宽两端面的读数差, 即为螺旋线总偏差; 在万能工具显微镜口利用光学灵敏杠杆, 甚至在精密车床或磨床上以及平板上用顶尖座和指示表架等简易设备均可测量。下图为在普通偏摆仪上测量螺旋线总偏差的一种方法, 其测量原理是把带心轴的齿轮顶在中线架上, 将标准圆柱放在齿间, 用可以移动的指示计测出圆柱两端的高度差, 该差值经过简单处理后, 即为齿轮的螺旋线总偏差</p> <div data-bbox="547 948 895 1221" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">螺旋线总偏差的测量</p>
测量步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 将被测齿轮套在心轴上, 顶在两个顶尖间 2) 将被测齿轮的模数旋转圆柱, 放入齿间, 圆柱直径应使其在分度圆附近接触, 一般取 $d = 1.68m_n$ 3) 将指示表架置于工作台上, 将表头与标准圆柱两端接触, 再前后移动表架, 以得到最高点的读数值, 如上图中的 I、II 位置, 分别记下指示表的读数 a_1 和 a_2 4) 量出两个测点 I 和 II 之间的距离 L 和齿宽 b, 按照下式计算出垂直方向的螺旋线总偏差 $F_{\beta 1} = a_2 - a_1 \frac{b}{L}$ 5) 测量均匀分布的三个轮齿或更多的轮齿左、右齿面的螺旋线总偏差, 取其中最大值 $F_{\beta \max}$ 作为评定值。如果 $F_{\beta \max}$ 不大于螺旋线总偏差的限定值, 则表示合格 6) 清洗仪器, 整理现场

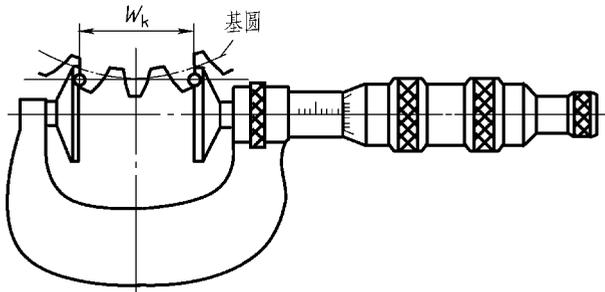
8.7.5 齿厚游标卡尺测量齿厚偏差 (见表 8-25)

表 8-25 齿厚游标卡尺测量齿厚偏差

设备	齿厚游标卡尺
内容	应用齿厚游标卡尺测量分度圆齿厚 S_n ; 用游标卡尺 (或千分尺) 测量齿顶圆直径, 用于修正分度圆齿高
测量原理	<p>为了保证齿轮在传动中形成有侧隙的传动, 主要是通过加工齿轮时, 将齿条刀具由公称位置向齿轮中心作一定位移, 使加工出来的轮齿的齿厚也随之减薄, 因而可以测量齿厚来反映齿轮传动时齿侧间隙大小, 通常是测量分度圆上的弦齿厚。分度圆弦齿厚可以用齿厚游标卡尺, 以齿顶圆作为基准来测量, 如下图所示。测量时, 所需要的数据用式 (8-22) 和式 (8-23) 计算</p> <p>标准直齿圆柱齿轮分度圆上的公称弦齿高 h_c 与公称弦齿厚 S_{nc} 分别为</p> $h_c = m \left[1 + \frac{z}{2} \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{z} \right) \right] \quad (8-22)$ $S_{nc} = mz \sin \frac{90^\circ}{z} \quad (8-23)$
测量步骤	 <p>分度圆弦齿厚的测量</p> <p>1—垂直游标尺量爪 2—高度板 3—垂直游标主标尺 4—微调螺钉 5—水平游标尺量爪 6—齿厚尺尺框 7—水平游标尺 r—分度圆半径 r_a—齿顶圆半径</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 根据被测齿轮的模数 m、齿数 z 和标准压力角、变位系数和对齿轮的精度要求, 计算 h_c 和 S_{nc} 及 E_{sns}、T_s、E_{sni} 的数值, 并绘出公差带图 2) 用外径千分尺测量齿顶圆实际直径 $d_{a实际}$, 按 $\left[h_c + \frac{1}{2} (d_{a实际} - d_a) \right]$ 修正 h_c 的值, 得 h'_c。 3) 按 h'_c 值调整齿厚游标卡尺的垂直游标尺的高度板 2 的位置, 然后将其游标加以固定 4) 将齿厚游标卡尺置于被测轮齿上, 使垂直游标尺的高度板 2 与齿轮齿顶可靠接触。然后移动水平游标尺的量爪 5, 使它和另一量爪分别与轮齿的左右齿面接触 (齿轮齿顶与垂直游标尺的高度板 2 之间不得出现空隙), 从水平游标尺 7 上读出弦齿厚实际数值 $S_{nc实际}$ 5) 对齿轮圆周上均匀分布的几个轮齿进行测量。测得的实际弦齿厚与公称弦齿厚之差即为齿厚偏差。取这些齿厚偏差中的最大值和最小值作为评定值, 评定值均在齿厚偏差范围内, 才认定合格 6) 清洗仪器, 整理现场

8.7.6 公法线千分尺测量公法线长度偏差（见表 8-26）

表 8-26 公法线千分尺测量公法线长度偏差

设备	公法线千分尺
内容	用公法线千分尺测量所给齿轮的公法线长度 W
测量原理	<p>公法线长度 W 是指齿轮上几个轮齿的两端异向齿廓间所包含的一段基圆弧，即该两端异向齿廓间基圆切线段的长度。如图所示，该两切点的连线切于基圆，因此如果选择适当的跨齿数，则可以使公法线长度在齿高中部量得。与测量齿轮齿厚相比较，测量公法线长度时精度不受齿顶圆直径偏差和齿顶圆柱面对齿轮基准轴线的径向圆跳动的影响</p>  <p style="text-align: center;">公法线千分尺测量公法线长度偏差</p> <p>公法线长度偏差 ΔE_w 是指实际公法线长度 W_k 与公称公法线长度 W 之差。直齿轮的公称公法线长度 W，公法线长度上、下偏差 E_{ws}、E_{wi} 的计算公式参看表 8-13</p>
测量步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 根据被测齿轮的参数和精度及齿厚要求计算公称公法线长度 W、跨齿数 k、公法线长度上偏差 E_{ws}、公法线长度下偏差 E_{wi} 的值 2) 按公法线长度 W，选择测量范围合适的公法线千分尺，并应注意校准其示值零位；用标准校对棒放入公法线千分尺的两测量面之间校对“零”位，记下校对格数 3) 跨相应的齿数，在被测齿轮圆周上测量均布的 8 条或更多条公法线长度，所测得各个公法线长度偏差均在其上下偏差范围内，才判定为合格 4) 测量后，应校对量仪示值零位，误差不得超过半格刻度 5) 清洗仪器，整理现场

8.7.7 偏摆检查仪测量齿轮径向跳动

1. 测量原理

一般采用用普通偏摆仪及标准圆柱测量所给齿轮的径向跳动 F_r 。

齿轮径向跳动的测量可以在专用量仪上用锥形或 V 形测头与齿轮的齿面在分度圆处相接触，如图 8-13a 和

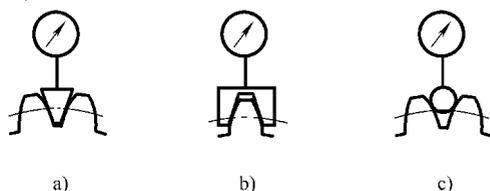


图 8-13 测量头示意图

a) 锥形测头 b) V 形测头 c) 标准圆柱

8-13b 所示；也可以在配套偏摆仪上用适当直径的标准圆柱放在齿槽中测量，

如图 8-13c。不同模数的齿轮，应该选用不同直径的测头，按式 (8-24) 计算

$$d = 1.68m_n \quad (\text{mm}) \quad (8-24)$$

图 8-14 所示为用偏摆仪测量齿轮径向跳动的示意图。将标准圆柱 6 放在被测齿轮 7 的齿槽内，齿轮绕其基准轴线旋转一周，指示表上最大与最小读数之差即为齿轮径向跳动数值

$$F_r = \Delta_{\max} - \Delta_{\min} \quad (8-25)$$

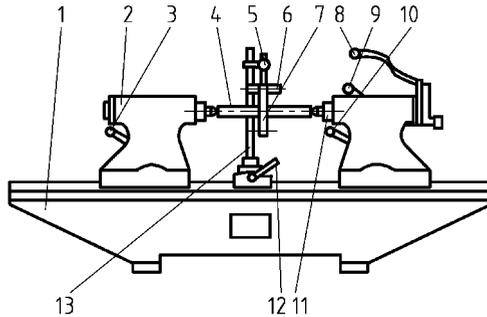


图 8-14 偏摆仪测量齿轮径向跳动

1—底座 2—顶尖座 3、10—顶尖座锁紧手柄 4—心轴 5—杠杆型千分表 6—标准圆柱
7—被测齿轮 8—球头手柄 9—顶尖锁紧手柄 11—顶尖 12—滑台锁紧手柄 13—指示表架

2. 测量步骤

- 1) 根据被测齿轮的参数和精度要求，确定齿轮径向跳动公差 F_r 的数值。
- 2) 将被测齿轮套在专用的心轴 4 上，安装在偏摆检查仪的顶尖间，齿轮心轴与仪器顶尖间松紧应适当，以能转动而没有轴线窜动为宜（根据心轴长度调整好两顶尖座 2 和 11 后，锁紧顶尖座 2，以后用手下压球头手柄 8 来装卸工件）。
- 3) 根据被测齿轮的模数选择标准圆柱 6 的直径。
- 4) 将标准圆柱 6 放入被测齿轮的齿间，移动指示表架 13，使指示表测头与标准圆柱的最高点接触，且使指示表有一定的压缩量（大约 1 圈），转动指示表壳，使指针在零附近，固定好表架 13。
- 5) 来回微转齿轮，使标准圆柱的最高点与指示表头接触，读出指示表上的最大读数。
- 6) 以此法顺时针或逆时针旋转被测齿轮，逐齿测量，在回转 1 圈后，指示表的“原点”应该不变（如果有较大的变化需要检查原因），在一圈中各齿在指示表上的最大读数与最小读数之差，即为被测齿轮的径向跳动量。
- 7) 将测得的误差值与给定的公差值相比较，做出合格性的判断。
- 8) 清洗仪器，整理现场。

8.7.8 齿轮径向跳动检查仪测量齿轮径向跳动（见表 8-27）

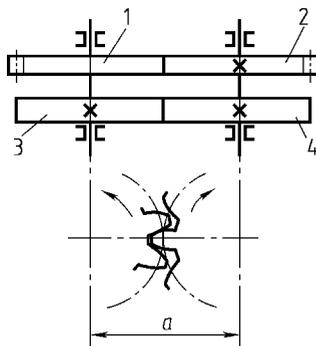
表 8-27 齿轮径向跳动检查仪测量齿轮径向跳动

设备	齿轮径向跳动检查仪
内容	用齿轮径向跳动检查仪测量所给齿轮的径向跳动 F_r
测量原理	<p>齿轮径向跳动 F_r 主要用于评定由齿轮几何偏心所引起的径向误差，通常在齿轮径向跳动检查仪上测量。测量时，将测头依次插入齿槽中部，如图 8-5 所示，从指示表上读数，其最大读数和最小读数之差为齿轮径向跳动 F_r。其外形结构如下图所示</p> <p>测量时，把盘形齿轮用心轴安装在顶尖架的两个顶尖之间（该齿轮的基准孔与心轴成无间隙配合，用心轴模拟体现该齿轮的基准轴线），或者把齿轮直接安装在两个顶尖之间。指示表的位置固定后，使安装在指示表测杆上的球形测头或锥形测头在齿槽内与齿高中部双面接触。测头的尺寸大小应该与被测齿轮的模数协调，以保证测头在接近齿高指标与齿槽双面接触。用测头依次逐齿槽的测量它相对于齿轮基准轴线的径向位移，该径向位移由指示表的示值反映出来，其最大读数和最小读数之差为齿轮径向跳动 F_r。</p> <p>1—滑台锁紧螺钉 2—滑台移动手轮 3—滑台 4—底座 5—心轴 6—指示表 7—指示表测量扳手 8—指示表表架 9—被测齿轮 10—顶尖 11—指示表架锁紧螺钉 12—升降螺母</p>
测量步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 在量仪上调整指示表测头与被测齿轮的位置。根据被测齿轮的模数，选择尺寸合适的测头，把它安装在指示表 6 的测杆上。把被测齿轮 9 安装在心轴 5 上（该齿轮的基准孔与心轴成无间隙配合），然后把心轴安装在两个顶尖 10 之间。松开滑台的锁紧螺钉，转动手轮 2 使滑台移动，使测头大概位于齿宽中部，锁紧螺钉 2) 调整量仪指示表示值零位。放下指示表测量扳手 7，松开指示表架锁紧螺钉 11，转动升降螺母 12，使测头随表架下降到与某个齿槽双面接触，把指示表 6 的指针压缩 1~2 转，然后锁紧指示表架。转动指示表的表盘，使表盘的零刻度对准指示表的指针，确定指示表的示值零位 3) 测量。抬起指示表测量扳手 7，把被测齿轮转过一个齿槽，放下指示表测量扳手，使测头进入齿槽内，与该齿槽双面接触，并记录指示表的示值。这样依次记录其余的齿槽。在回转一周后，指示表的“零位”应该不变 4) 以指示表读数为纵坐标，绘出一个封闭的误差曲线，如图 8-5 所示，曲线最高点与最低点沿纵坐标方向的距离即为齿轮径向跳动 F_r。 5) 将测得的误差值与给定的公差值相比较，做出合格性的判断 6) 清洗仪器，整理现场
说明	<ol style="list-style-type: none"> 1) 扳手手柄放下指示表时，用力要均匀平稳，不可以冲撞 2) 测完一周后，回到测量的第一齿，指针应该指向初读数，否则应检查原因，如测头连接等部分是否松动等，调整后重新测量

8.8 圆柱齿轮的综合测量

8.8.1 齿轮单面啮合检查仪测量切向综合总偏差和一齿切向综合偏差 (见表 8-28)

表 8-28 单啮仪齿轮切向综合偏差

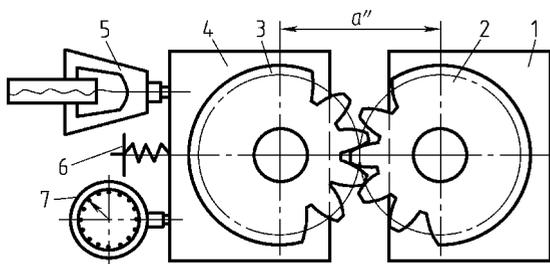
设备	齿轮单面啮合综合检查仪
内容	应用齿轮单面啮合综合检查仪测量齿轮的切向综合总偏差 F'_i 和一齿切向综合偏差 f'_i
测量原理	<p>如下图所示, 单啮仪具有比较装置, 测量基准为被测齿轮的基准轴线。被测齿轮 1 与测量齿轮 2 在公称中心距 a 上单面啮合, 它们分别与直径精确等于齿轮分度圆直径的两个摩擦圆盘同轴安装。测量齿轮 2 与圆盘 4 固定在同一根轴上, 并同步转动。被测齿轮 1 和圆盘 3 可以在同一根轴上作相对转动。当测量齿轮 2 与圆盘 4 匀速回转, 分别带动被测齿轮 1 和圆盘 3 回转时, 有误差的被测齿轮 1 相对于圆盘的角位移就是被测齿轮实际转角对理论转角的偏差。将转角偏差以分度圆弧长记值, 就是被测齿轮分度圆上实际圆周位移对理论圆周位移的偏差, 将被测齿轮一转范围内的位移偏差用记录器记录下来, 就得到图 8-3 所示的记录图, 从图上量出 F'_i 和 f'_i 的数值</p>  <p style="text-align: center;">单啮仪的测量原理 1—被测齿轮 2—测量齿轮 3、4—圆盘</p>
说明	<ol style="list-style-type: none"> 1) 测量齿轮的精度应该比被测齿轮的精度至少高 4 级, 这样测量齿轮的误差可以忽略不计 2) 单面啮合测量的优点是被测齿轮与测量齿轮单面啮合, 测量运动接近于使用过程, 测量结果能连续反映出齿轮所有啮合点上的误差, 以及包括切向误差和径向误差的综合 (如几何偏心和运动偏心, 两个偏心中可能相互抵消, 也可能相互叠加, 故单项误差评定齿轮质量是不完善的), 能更充分而全面地反映使用质量, 且测量效率高, 因此常用于成批生产的完工检验

8.8.2 齿轮双面啮合综合检查仪测量径向综合总偏差和一齿径向综合偏差（见表 8-29）

表 8-29 齿轮双面啮合综合检查仪齿轮径向综合偏差

设备	齿轮双面啮合综合检查仪（简称双啮仪）
内容	应用齿轮双面啮合综合检查仪测量齿轮的径向综合总偏差 F_r'' 和一齿切向综合偏差 f_r'' 。

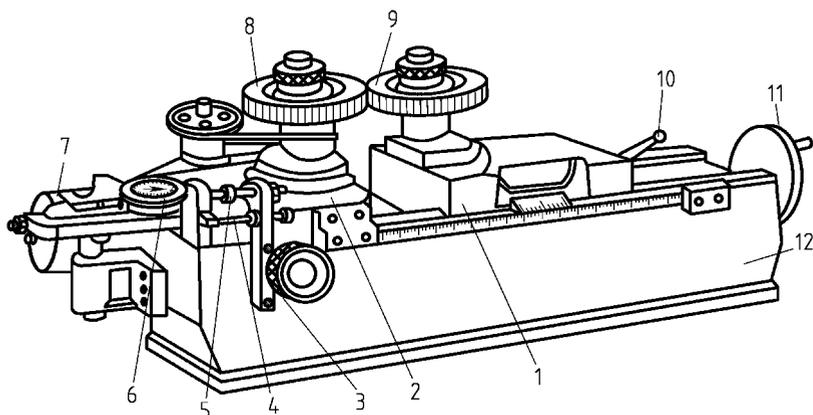
下图为双啮仪测量原理示意图。被测齿轮 2 安装在测量时位置固定的滑座 1 的心轴上，测量齿轮 3 安装在测量时可以径向移动的滑座 4 的心轴上，利用弹簧 6 的作用，使两个齿轮作无侧隙的双面啮合。两个齿轮啮合时的中心距 a'' 称为双啮中心距。测量时，转动被测齿轮 2，带动测量齿轮 3 转动，测量齿轮 3 的每个转齿相当于测量齿轮径向跳动 F_r 的所用的测头。被测齿轮 2 的几何偏心 and 单个齿距偏差、左右齿面的齿廓偏差、螺旋线偏差等误差，使测量齿轮 3 连同心轴和滑座 4 相对于被测齿轮 2 的基准轴线作径向位移，即双啮中心距 a'' 产生变动。双啮中心距的变动 $\Delta a''$ 由指示表 7 读出，在被测齿轮一转范围内指示表的最大与最小示值之差即为 F_r'' 的数值。在每个齿距角范围内指示表的最大与最小示值之差即为 f_r'' 的数值，取其中的最大值 $f_r''_{\max}$ 作为评定值。双啮中心距的变动还可以由记录器记录下来而得到径向综合偏差曲线图，如图 8-6 所示



双啮仪测量原理图

1—固定滑座 2—被测齿轮 3—测量齿轮 4—可移滑座
5—记录器 6—弹簧 7—指示表

双啮仪的结构如下图所示



双啮仪

1—固定滑座 2—可移动滑座 3—手轮 4—销钉 5—螺钉 6—指示表 7—记录器
8—测量齿轮 9—被测齿轮 10—手柄 11—手轮 12—底座

测量原理

(续)

<p>测量步骤</p>	<p>1) 将测量齿轮 8 和被测齿轮 9 分别安装在可移动滑座 2 和固定滑座 1 的心轴上。按逆时针方向转动手轮 3, 直至手轮 3 转动到滑座 2 向左移动被销钉 4 挡住的位置。这时, 滑座 2 大致停留在可移动范围的中间。然后, 松开手柄 10, 转动手轮 11, 使滑座 1 移向滑座 2, 当这两个齿轮接近双面啮合时, 将手柄 10 压紧, 使滑座 1 的位置固定。之后, 按顺时针方向转动手轮 3, 由于弹簧的作用, 滑座 2 向右移动, 这两个齿轮便作无侧隙的双面啮合</p> <p>2) 调整螺钉 5 的位置, 使指示表 6 的指针因弹簧压缩而正转 1~2 转, 然后把螺钉 5 的紧定螺母拧紧。转动指示表 6 的表盘 (分度盘), 把表盘的零刻度线对准指示表的长指针, 确定指示表的示值零位。使用记录器 7 时, 应在滚筒上裹上记录纸, 并把记录笔调整到中间位置</p> <p>3) 使被测齿轮 9 旋转一转, 记下指示表的最大示值与最小示值, 它们的差值即为径向综合总偏差 F''_i 的数值</p> <p>使被测齿轮 9 转动一个齿距角 ($360^\circ/z$), 记下指示表在这范围内的最大示值与最小示值之差作为一次测量结果。这样在被测齿轮一转范围内均匀间隔的几个部位分别测量几次, 从记录的这几次测量结果中取最大值 f''_{\max} 作为该齿轮的一齿径向综合偏差的评定值。如果使用记录器 7, 将得到如图 8-6 所示的径向综合偏差曲线, 可以从该曲线上量得 F''_i 和 f''_i 的数值</p> <p>4) 将测得的数值与给定的公差值相比较, 做出合格性的判断</p> <p>5) 清洗仪器, 整理现场</p>
<p>说明</p>	<p>1) 测量齿轮的精度应该比被测齿轮的精度至少高 4 级, 这样测量齿轮的误差可以忽略不计</p> <p>2) 双面啮合测量的缺点是与齿轮工作状态不相符, 其测量结果是轮齿两齿面误差的综合反映, 并且只能反映齿轮径向误差</p>

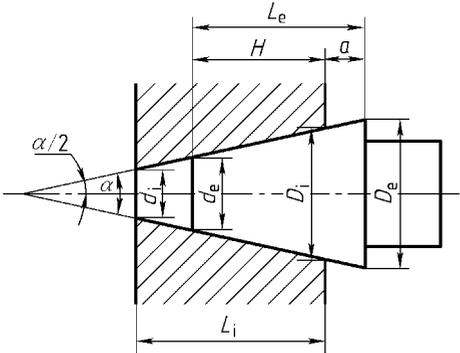
第9章 圆锥的公差及检测

圆锥结合是机械结构中常用的典型结合。圆锥配合与圆柱配合相比较，前者具有同轴度精度高、紧密性好、间隙或过盈可以调整、可利用摩擦力传递转矩、并且若内外圆锥的表面经过配对研磨后，配合起来具有良好的自锁性和密封性等优点。但是，圆锥配合在结构上较复杂，影响其互换性的参数较多，加工和检测也较困难。为了满足圆锥配合的使用要求，保证圆锥配合的互换性，我国颁布了一系列有关圆锥公差与配合及圆锥公差标注方法的标准，它们分别是 GB/T 157—2001《产品几何量技术规范（GPS）圆锥的锥度和角度系列》、GB/T 11334—2005《产品几何量技术规范（GPS）圆锥公差》、GB/T 12360—2005《几何量技术规范（GPS）圆锥配合》和 GB/T 15754—1995《技术制图圆锥的尺寸和公差注法》等国家标准。

9.1 圆锥的基本参数和标注（见表 9-1 ~ 表 9-3）

GB/T 157—2001《产品几何量技术规范（GPS）圆锥的锥度和角度系列》规定了机械工程一般用途圆锥的锥角与锥角规范，此标准仅适用于光滑圆锥，不适用于锥螺纹、锥齿轮等。

表 9-1 圆锥基本参数术语及标注

基本术语	定义与图示
圆锥	<p>一条与轴线相交的直线段（母线）绕该轴线旋转一周所形成的回转体称为圆锥。圆锥分为内圆锥（圆锥孔）和外圆锥（圆锥轴）。圆锥的基本参数如下图所示</p> 
圆锥角	圆锥角是指在通过圆锥轴线的截面内，两条素线间的夹角，用 α 表示
圆锥素线角	圆锥素线角是指圆锥素线与其轴线间的夹角，它等于圆锥角的一半，即 $\alpha/2$

(续)

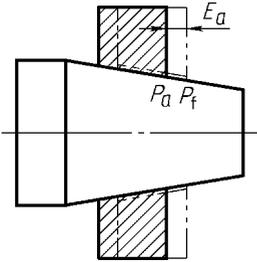
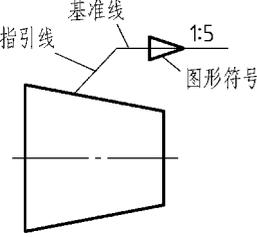
基本术语	定义与图示
圆锥直径	圆锥直径是指圆锥在垂直于其轴线的截面上的直径,有内、外圆锥的最大直径 D_i 、 D_e ; 内、外圆锥的最小直径 d_i 、 d_e ; 任意给定截面的圆锥直径 d_x (距端面有一定距离)。设计时一般选用内圆锥的最大直径或外圆锥的最小直径作为基本直径
圆锥长度	圆锥长度是指最大圆锥直径截面与最小圆锥直径截面之间的轴向距离。内、外圆锥长度分别用 L_i 、 L_e 表示
圆锥配合长度	圆锥配合长度是指内、外圆锥配合面间的轴向距离,用符号 H 表示
锥度	锥度是指圆锥的最大直径与最小直径之差与圆锥长度之比,用符号 C 表示,即 $C = \frac{D-d}{L} = 2 \tan \alpha$ 锥度一般用比例或分数表示,如 $C = 1:5$ 或 $C = 1/5$ 。光滑圆锥的锥度已标准化 (GB/T 157—2001 规定了一般用途和特殊用途的锥度与圆锥角系列,具体参见表 9-2、表 9-3)
基面距	基面距是指相互结合的内、外圆锥面基准面之间的距离,用符号 a 表示
轴向位移	轴向位移是指相互结合的内、外圆锥,从实际初始位置 (P_a) 到终止位置 (P_f) 移动的距离,用 E_a 表示。用轴向位移可以实现圆锥各种不同配合 
标注	在零件图上,锥度用特定的图形符号和比例 (或分数) 来标注。图形符号配置在平行于圆锥轴线的基准线上,并且其方向与圆锥方向一致,在基准线上面标注锥度的数值。用指引线将基准线与圆锥素线相连 
说明	1) 在图样上标注了锥度,就不必标注圆锥角,两者不应重复标注 2) 圆锥只要标注了最大圆锥直径 D 和最小圆锥直径 d 中的一个直径及圆锥长度 L 、圆锥角 α (或锥度 C),则该圆锥就完全确定,不需要再标注锥度参数

表 9-2 一般用途圆锥的锥度与锥角系列 (摘自 GB/T 157—2001)

基本值		推算值			
		圆锥角 α			锥度 C
		(°) (′) (″)	(°)	rad	
系列 1	系列 2				
120°		—	—	2.094 395 10	1:0.288 675 1
90°		—	—	1.570 796 33	1:0.500 000 0
	75°	—	—	1.308 996 94	1:0.651 612 7
60°		—	—	1.047 197 55	1:0.866 025 4
45°		—	—	0.785 398 16	1:1.207 106 8
30°		—	—	0.523 598 78	1:1.866 025 4
1:3		18°55′28.7199″	18.924 644 42°	0.330 297 35	—
	1:4	14°15′0.1177″	14.250 032 70°	0.248 709 99	—
1:5		11°25′16.2706″	11.421 186 27°	0.199 337 30	—
	1:6	9°31′38.2202″	9.527 283 38°	0.166 282 46	—
	1:7	8°10′16.4408″	8.171 233 56°	0.142 614 93	—
	1:8	7°9′9.6075″	7.152 668 75°	0.124 837 62	—
1:10		5°43′29.3176″	5.724 810 45°	0.099 916 79	—
	1:12	4°46′18.7970″	4.771 888 06°	0.083 285 16	—
	1:15	3°49′5.8975″	3.818 304 87°	0.066 641 99	—
1:20		2°51′51.0925″	2.864 192 37°	0.049 989 59	—
1:30		1°54′34.8570″	1.909 682 51°	0.033 330 25	—
1:50		1°8′45.1586″	1.145 877 40°	0.019 999 33	—
1:100		34′22.6309″	0.572 953 02°	0.009 999 92	—
1:200		17′11.3219″	0.286 478 30°	0.004 999 99	—
1:500		6′52.5295″	0.114 591 52°	0.002 000 00	—

注：系列 1 中 120° ~ 1:3 的数值近似按 R10/2 优先数系列，1:5 ~ 1:500 按 R10/3 优先数系列。

表 9-3 特殊用途圆锥的锥度与锥角系列 (摘自 GB/T 157—2001)

基本值	推算值				标准号 GB/T (ISO)	用途
	圆锥角 α			锥度 C		
	(°) (′) (″)	(°)	rad			
11°54′	—	—	0.207 694 18	1:4.797 451 1	(5237) (8489-5)	纺织机械 和附件
8°40′	—	—	0.151 261 87	1:6.598 441 5	(8489-3) (8489-4) (324.575)	
7°	—	—	0.122 173 05	1:8.174 927 7	(8489-2)	
1:38	1°30′27.7080″	1.507 696 67°	0.026 314 27	—	(368)	
1:64	0°53′42.8220″	0.895 228 34°	0.015 624 68	—	(368)	

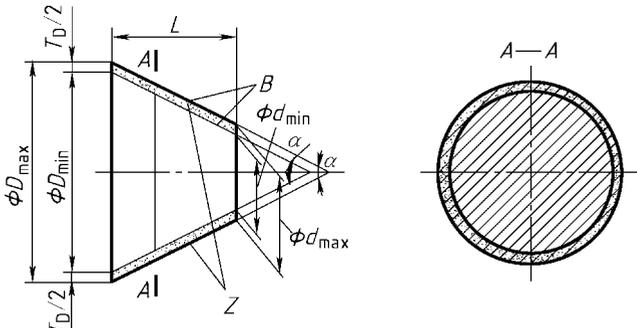
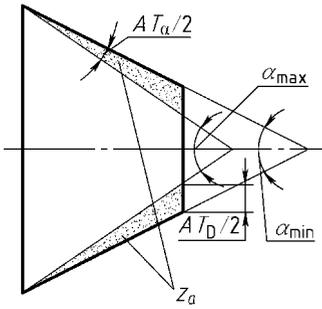
(续)

基本值	推算值				标准号 GB/T (ISO)	用途
	圆锥角 α			锥度 C		
	(°) (′) (″)	(°)	rad			
7:24	16°35′39.4443″	16.594 290 08°	0.289 625 00	1:3.428 571 4	3 837.3 (297)	机床主轴 工具配合
1:12.262	4°40′12.1514″	4.670 042 05°	0.081 507 61	—	(239)	贾各锥度 No. 2
1:12.972	4°24′52.9039″	4.414 695 52°	0.077 050 97	—	(239)	贾各锥度 No. 1
1:15.748	3°38′13.4429″	3.637 067 47°	0.063 478 80	—	(239)	贾各锥度 No. 33
6:100	3°26′12.1776″	3.436 716 00°	0.059 982 01	1:16.666 666 7	1962 (594-1) (595-1) (595-2)	医疗设备
1:18.779	3°3′1.2070″	3.050 335 27°	0.053 238 39	—	(239)	贾各锥度 No. 3
1:19.002	3°0′52.3956″	3.014 554 34°	0.052 613 90	—	1443 (296)	莫氏锥度 No. 5
1:19.180	2°59′11.7258″	2.986 590 50°	0.052 125 84	—	1443 (296)	莫氏锥度 No. 6
1:19.212	2°58′53.8255″	2.981 618 20°	0.052 039 05	—	1443 (296)	莫氏锥度 No. 0
1:19.254	2°58′30.4217″	2.975 117 13°	0.051 925 59	—	1443 (296)	莫氏锥度 No. 4
1:19.264	2°58′24.8644″	2.973 573 43°	0.051 898 65	—	(239)	贾各锥度 No. 6
1:19.922	2°52′31.4463″	2.875 401 76°	0.050 185 23	—	1443 (296)	莫氏锥度 No. 3
1:20.020	2°51′40.7960″	2.861 332 23°	0.049 939 67	—	1443 (296)	莫氏锥度 No. 2
1:20.047	2°51′26.9283″	2.857 480 08°	0.049 872 44	—	1443 (296)	莫氏锥度 No. 1
1:20.288	2°49′24.7802″	2.823 550 06°	0.049 280 25	—	(239)	贾各锥度 No. 0
1:23.904	2°23′47.6244″	2.396 562 32	0.041 827 90	—	1443 (296)	布朗夏普 锥度 No. 1 至 No. 3
1:28	2°2′45.8174″	2.046 060 38°	0.035 710 49	—	(8382)	复苏器 (医用)
1:36	1°35′29.2096″	1.591 447 11°	0.027 775 99	—	(5356-1)	麻醉器具
1:40	1°25′56.3516″	1.432 319 89°	0.024 998 70	—		

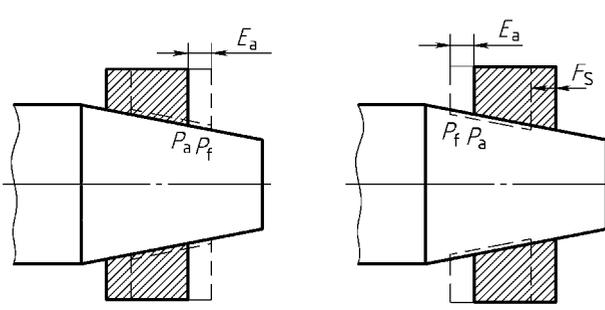
9.2 圆锥的公差与配合

9.2.1 圆锥公差的术语及定义（见表 9-4）

表 9-4 圆锥公差术语

基本术语	定义与图示
公称圆锥	公称圆锥是指设计时给定的理想形状的圆锥。它所有的尺寸分别为公称圆锥直径、公称圆锥角（或公称锥角）和公称圆锥长度
极限圆锥	<p>极限圆锥是指与公称圆锥共轴线且圆锥角相等、直径分别为上极限尺寸和下极限尺寸的两个圆锥。在垂直于圆锥轴线的所有截面上，这两个圆锥的直径差都相等。直径为上极限尺寸（D_{\max}、d_{\max}）的圆锥称为最大极限圆锥，直径为下极限尺寸（D_{\min}、d_{\min}）的圆锥称为最小极限圆锥</p> 
圆锥直径公差	圆锥直径公差 T_D 是指圆锥直径允许的变动量，圆锥直径公差在整个圆锥长度内都适用
圆锥直径公差区	两个极限圆锥 B 所限定的区域称为圆锥直径公差区 Z ，也可称为圆锥直径公差带
极限圆锥角	<p>极限圆锥角是指允许的最大圆锥角和最小圆锥角，它们分别用符号 α_{\max} 和 α_{\min} 表示</p> 
圆锥角公差	圆锥角公差是指圆锥角的允许变动量。当圆锥角公差以弧度或角度为单位时，用代号 AT_α 表示；以长度为单位时，用代号 AT_D 表示
圆锥角公差区	极限圆锥角 α_{\max} 和 α_{\min} 所限定的区域称为圆锥角公差区 Z_α ，也可称为圆锥角公差带

(续)

基本术语	定义与图示
圆锥配合的形成	<p>2) 位移型圆锥配合</p> <p>位移型圆锥配合是指由规定内、外圆锥的轴向相对位移或规定施加一定的装配力(轴向力)产生轴向位移,确定它们之间最终的轴向相对位置,来获得指定配合性质的圆锥配合。前者可获得间隙配合和过盈配合,而后者只能得到过盈配合。在下图中,在不受力的情况下,内、外圆锥相接触,由实际初始位置 P_a 开始,内圆锥向右作轴向位移 E_a,到达终止位置 P_f,以获得指定的圆锥间隙配合。图 b 中,在不受力的情况下,内、外圆锥相接触,由实际初始位置 P_a 开始,对内圆锥施加一定的装配力 F_s,使内圆锥向左作轴向位移 E_a,到达终止位置 P_f,以获得指定的圆锥过盈配合</p> <p>轴向位移 E_a 与间隙 X (或过盈 Y) 的关系如下:</p> $E_a = X \text{ (或 } Y) / C$  <p>a) 由轴向位移形成的圆锥间隙配合 b) 由施加装配力形成的圆锥过盈配合</p>

9.2.3 圆锥公差项目 (见表 9-6、表 9-7)

表 9-6 圆锥公差项目

项目名称	定义
圆锥直径公差	<p>圆锥直径公差 T_D 以公称圆锥直径 (一般取最大圆锥直径 D) 为基本尺寸,按 GB/T 1800.2—2009 规定的标准公差 (见表 4-10) 选取。其数值适用于圆锥长度范围内的所有圆锥直径</p>
圆锥角公差	<p>圆锥角公差 AT 共分 12 个公差等级,分别用 $AT1$、$AT2$、…、$AT12$ 表示,其中 $AT1$ 精度最高,等级依次降低,$AT12$ 精度最低。GB/T 11334—2005 规定的圆锥角公差的数值见表 9-7 所示</p> <p>为了加工和检测方便,圆锥角公差可以用角度值 AT_α 或线性值 AT_D 给定,AT_α 与 AT_D 的换算关系:</p> $AT_D = AT_\alpha \times L \times 10^{-3}$ <p>式中,AT_D、AT_α 和圆锥长度 L 的单位分别为 μm、μrad 和 mm</p> <p>圆锥角的极限偏差可以按单向取值 (α_0^{AT} 或 $\alpha_{-AT_\alpha}^0$) 或者双向对称取值 ($\alpha \pm AT_\alpha/2$)。为了保证内、外圆锥接触的均匀性,圆锥角公差带通常采用对称于基本圆锥角分布</p>

(续)

项目名称	定 义
圆锥的形状公差	圆锥的形状公差包括素线直线度公差和横截面圆度公差。在图样上可以标注这两项形状公差或其中某一项公差，或者标注圆锥的面轮廓度公差

表 9-7 圆锥角公差 (摘自 GB/T 11334—2005)

公称圆锥长度 L/mm		圆锥角公差等级								
		AT1			AT2			AT3		
		AT_α		AT_D	AT_α		AT_D	AT_α		AT_D
大于	至	μrad	($''$)	μm	μrad	($''$)	μm	μrad	($''$)	μm
自 6	10	50	10	>0.3~0.5	80	16	>0.5~0.8	125	26	>0.8~1.3
10	16	40	8	>0.4~0.6	63	13	>0.6~1.0	100	21	>1.0~1.6
16	25	31.5	6	>0.5~0.8	50	10	>0.8~1.3	80	16	>1.3~2.0
25	40	25	5	>0.6~1.0	40	8	>1.0~1.6	63	13	>1.6~2.5
40	63	20	4	>0.8~1.3	31.5	6	>1.3~2.0	50	10	>2.0~3.2
63	100	16	3	>1.0~1.6	25	5	>1.6~2.5	40	8	>2.5~4.0
100	160	12.5	2.5	>1.3~2.0	20	4	>2.0~3.2	31.5	6	>3.2~5.0
160	250	10	2	>1.6~2.5	16	3	>2.5~4.0	25	5	>4.0~6.3
250	400	8	1.5	>2.0~3.2	12.5	2.5	>3.2~5.0	20	4	>5.0~8.0
400	630	6.3	1	>2.5~4.0	10	2	>4.0~6.3	16	3	>6.3~10.0

公称圆锥长度 L/mm		圆锥角公差等级								
		AT4			AT5			AT6		
		AT_α		AT_D	AT_α		AT_D	AT_α		AT_D
大于	至	μrad	($''$)	μm	μrad	($'$) ($''$)	μm	μrad	($'$) ($''$)	μm
自 6	10	200	41	>1.3~2.0	315	1'05''	>2.0~3.2	500	1'43''	>3.2~5.0
10	16	160	33	>1.6~2.5	250	52''	>2.5~4.0	400	1'22''	>4.0~6.3
16	25	125	26	>2.0~3.2	200	41''	>3.2~5.0	315	1'05''	>5.0~8.0
25	40	100	21	>2.5~4.0	160	33''	>4.0~6.3	250	52''	>6.3~10.0
40	63	80	16	>3.2~5.0	125	26''	>5.0~8.0	200	41''	>8.0~12.5
63	100	63	13	>4.0~6.3	100	21''	>6.3~10.0	160	33''	>10.0~16.0
100	160	50	10	>5.0~8.0	80	16''	>8.0~12.5	125	26''	>12.5~20.0
160	250	40	8	>6.3~10.0	63	13''	>10.0~16.0	100	21''	>16.0~25.0
250	400	31.5	6	>8.0~12.5	50	10''	>12.5~20.0	80	16''	>20.0~32.0
400	630	25	5	>10.0~16.0	40	8''	>16.0~25.0	63	13''	>25.0~40.0

(续)

公称圆锥长度 L/mm		圆锥角公差等级								
		AT7			AT8			AT9		
		AT_α		AT_D	AT_α		AT_D	AT_α		AT_D
大于	至	μrad	(') (")	μm	μrad	(') (")	μm	μrad	(') (")	μm
自 6	10	800	2'45"	>5.0~8.0	1250	4'18"	>8.0~12.5	2000	6'52"	>12.5~20
10	16	630	2'10"	>6.3~10.0	1000	3'26"	>10.0~16.0	1600	5'30"	>16~25
16	25	500	1'43"	>8.0~12.5	800	2'45"	>12.5~20.0	1250	4'18"	>20~32
25	40	400	1'22"	>10.0~16.0	630	2'10"	>16.0~20.5	1000	3'26"	>25~40
40	63	315	1'05"	>12.5~20.0	500	1'43"	>20.0~32.0	800	2'45"	>32~50
63	100	250	52"	>16.0~25.0	400	1'22"	>25.0~40.0	630	2'10"	>40~63
100	160	200	41"	>20.0~32.0	315	1'05"	>32.0~50.0	500	1'43"	>50~80
160	250	160	33"	>25.0~40.0	250	52"	>40.0~63.0	400	1'22"	>63~100
250	400	125	26"	>32.0~50.0	200	41"	>50.0~80.0	315	1'05"	>80~125
400	630	100	21"	>40.0~63.0	160	33"	>63.0~100.0	250	52"	>100~160

公称圆锥长度 L/mm		圆锥角公差等级								
		AT10			AT11			AT12		
		AT_α		AT_D	AT_α		AT_D	AT_α		AT_D
大于	至	μrad	(') (")	μm	μrad	(') (")	μm	μrad	(') (")	μm
自 6	10	3150	10'49"	>20~32	5000	17'10"	>32~50	8000	27'28"	>50~80
10	16	2500	8'35"	>25~40	4000	13'44"	>40~63	6300	21'38"	>63~100
16	25	2000	6'52"	>32~50	3150	10'49"	>50~80	5000	17'10"	>80~125
25	40	1600	5'30"	>40~63	2500	8'35"	>63~100	4000	13'44"	>100~160
40	63	1250	4'18"	>50~80	2000	6'52"	>80~125	3150	10'49"	>125~200
63	100	1000	3'26"	>63~100	1600	5'30"	>100~160	2500	8'35"	>160~250
100	160	800	2'45"	>80~125	1250	4'18"	>125~200	2000	6'52"	>200~320
160	250	630	2'10"	>100~160	1000	3'26"	>160~250	1600	5'30"	>250~400
250	400	500	1'43"	>125~200	800	2'45"	>200~320	1250	4'18"	>320~500
400	630	400	1'22"	>160~250	630	2'10"	>250~400	1000	3'26"	>400~630

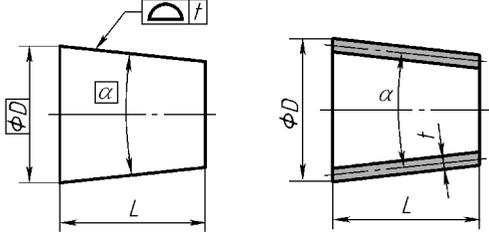
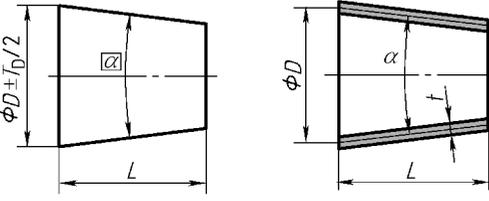
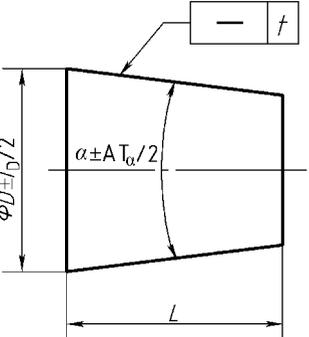
注：1. $1\mu\text{rad}$ 等于半径为 1m ，弧长为 $1\mu\text{m}$ 所对应的圆心角。 $5\mu\text{rad}\approx 1''$ ， $300\mu\text{rad}\approx 1'$ 。

2. 查表示例 1： L 为 63mm ，选用 AT7，查表得 AT_α 为 $315\mu\text{rad}$ 或 $1'05''$ ， AT_D 为 $20\mu\text{m}$ ；示例 2： L 为 50mm ，选用 AT7，查表得 AT_α 为 $315\mu\text{rad}$ 或 $1'05''$ ，则 $AT_D = AT_\alpha \times L \times 10^{-3} = 315 \times 50 \times 10^{-3} = 15.75\mu\text{m}$ ，取 AT_D 为 $15.8\mu\text{m}$ 。

9.2.4 圆锥公差的给定和标注（见表 9-8）

表 9-8 圆锥公差的给定和标注

方法	标注及图示
面轮廓度法	面轮廓度法是给出圆锥的理论正确圆锥角 α （或锥度 C ）、理论正确圆锥直径（ D 或 d ）和圆锥长度 L ，标注面轮廓度公差，如图所示。它是常用的圆锥公差给定方法，由面轮廓度公差带确定最大与最小极限圆锥，把圆锥的直径偏差、圆锥角偏差、素线直线度误差和横截面圆度误差等都控制在面轮廓度公差带内，相当于包容要求

方法	标注及图示
面轮廓度法	<p>面轮廓度法适用于有配合要求的结构型内、外圆锥</p> 
基本锥度法	 <p>基本锥度法是指给出圆锥的理论正确圆锥角 α 和圆锥长度 L, 标注公称圆锥直径 (D 或 d) 及其极限偏差 (按相对于该直径对称分布取值), 如图所示。其特征是按圆锥直径为最大和最小实体尺寸构成的同轴线圆锥面, 来形成两个具有理想形状的包容面公差带。实际圆锥处处不得超越这两个包容面</p> <p>基本锥度法适用于有配合要求的结构型和位移型内、外圆锥</p>
公差锥度法	<p>公差锥度法是指同时给出圆锥直径 (最大或最小圆锥直径) 极限偏差和圆锥角极限偏差, 并标注圆锥长度, 如下图所示。它们各自独立, 分别满足各自的要求, 按独立原则解释</p>  <p>公差锥度法适用于非配合圆锥, 也适用于对某给定截面直径有较高精度要求的圆锥</p>
说明	<ol style="list-style-type: none"> 1) 在图样上标注有配合要求的内、外圆锥的尺寸和公差时, 内、外圆锥必须具有相同的公称圆锥角或 (公称锥度), 同时在内、外圆锥上标注直径公差的圆锥直径必须具有相同的基本尺寸 2) 无论采用哪种标注方法, 若有需要, 可以附加给出更高的素线直线度、圆度精度要求 3) 对于轮廓度法和基本锥度法, 还可以附加给出严格的圆锥角公差

9.2.5 圆锥直径公差带（公差区）的选择（见表9-9）

表 9-9 圆锥直径公差带（公差区）的选择

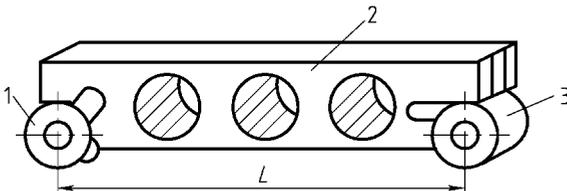
配合类型	选择方法
结构型圆锥配合	<p>结构型圆锥配合的配合性质由相互结合的内、外圆锥直径公差带之间的关系决定</p> <p>结构型圆锥配合的内、外圆锥直径公差带及配合可以从 GB/T 1801—2009（表 4-22、表 4-23）选取。若 GB/T 1801—2009 给出的常用配合不能满足设计要求，则从 GB/T 1800.2—2009（表 4-10、表 4-17、表 4-18）规定的标准公差和基本偏差选取所需要的公差带组成配合</p> <p>结构型圆锥配合为获得最佳技术经济效益，应优先选用基孔制配合</p>
位移型圆锥配合	<p>位移型圆锥配合的配合性质由内、外圆锥接触时的初始位置开始的轴向位移或者由在该初始位置上施加的装配力决定。因此，内、外圆锥直径公差带仅影响装配时的初始位置，不影响配合性质</p> <p>位移型圆锥配合的内、外圆锥直径公差带的基本偏差，采用 H/h 或 JS/js。其轴向位移的极限值按极限间隙或极限过盈来计算</p>

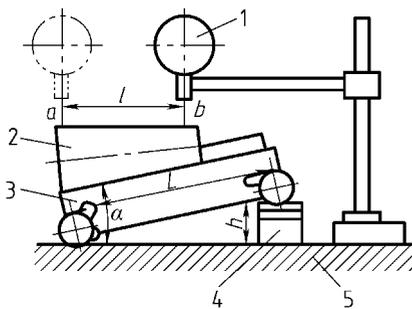
9.3 锥度的检测

9.3.1 正弦规测量

正弦规测量外圆锥的圆锥角见表 9-10。

表 9-10 正弦规测量外圆锥的圆锥角

测量内容	测量小角度外圆锥的圆锥角
测量设备	正弦规、量块
测量原理	<p>正弦规测量角度的原理是以直角三角形的正弦函数为基础进行测量的。其外形结构如图 a 所示，它由本体 2 和固定在两端直径相同的圆柱 1、3 所组成的精密工具。按工作面的不同，它分为宽型和窄型两种。其测量原理如图 b 所示</p>  <p>1、3—精密圆柱体 2—本体 a) 正弦规外形结构</p>

测量原理	<div style="text-align: center;">  <p>b) 正弦规测量原理</p> <p>1—指示表 2—工件 3—正弦规 4—量块组 5—平板</p> <p>如果在正弦规的一端（两圆柱之一）的下面垫入高度为 h 的量块组，则正弦规本体的测量平面与平板平面组成一个角度 α，并有 $\sin \alpha = \frac{h}{L}$，即 $h = L \sin \alpha$</p> <p>在测量圆锥体的角度时，可以将公称锥角 α 代入，求出所需的量块组尺寸 h。然后组合量块组，并按图放入一端的圆柱下面（靠锥角小的一端），用指示表在圆锥工件上相距 l 的两点 a 和 b 测出其高度差 Δh，若实际锥角与公差锥角一致，则 $\Delta h = 0$，否则被测角度的误差为 $\Delta \alpha = \frac{\Delta h}{l}$ (rad) = $\frac{\Delta h}{l} \times 2 \times 10^5$ (")</p> </div>
测量步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 按被测工件的锥角 α，求出所需量块组的尺寸，按被测工件的圆锥角公差等级 AT 和圆锥长度 L，查出圆锥角公差 AT_α，并确定其上、下偏差 2) 按量块组尺寸选出量块，清洗干净并组合成量块组 3) 擦净平板、正弦规及工件，将工件安装在正弦规上，并将组合好的量块组放在锥体工件小端的正弦规圆柱下面 4) 在被测锥体工件的上面，用钢皮尺测量一个距离 l (l 为任意选定)，并在 a、b 两点作出记号 5) 移动标架，使指示表的测头分别通过 a 端和 b 端的顶点进行读数，并记录 6) 计算 $\Delta \alpha$ 7) 将测量结果与其给定的极限偏差数值相比较，得出合格性判断 8) 将量仪、工件、工具擦洗干净，整理好现场

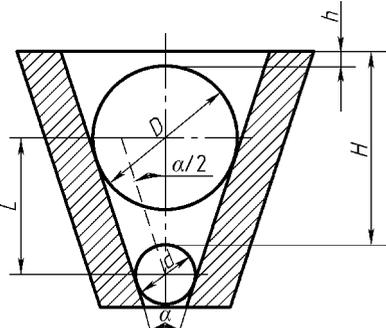
9.3.2 钢球法测量

钢球法测量圆锥内孔的锥角见表 9-11。

表 9-11 钢球法测量圆锥内孔的锥角

测量内容	测量莫氏锥孔的锥角
测量设备	大小钢球、深度游标尺或深度百分尺

(续)

测量原理	<p>如下图所示,它是利用尺寸和形状较精确的直径不同的两个钢球放入被测圆锥孔中,用深度游标尺(或深度百分尺)分别测出其钢球顶点至上基面的距离h和H,然后用计算方法求出锥孔或锥角$\alpha/2$,其计算公式如下</p> $\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2L}$ <p>其中,$L = (H-h) - \frac{D-d}{2}$,代入上式得出</p> $\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2(H-h) - (D-d)}$ 
测量步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 根据圆锥角公差等级 AT 及圆锥长度 L, 查出圆锥角公差, 并确定锥角的上、下偏差和半锥角的上、下偏差 2) 根据被测锥孔大头孔和小头孔的尺寸, 选取两个适当的不同尺寸的钢球, 并用量块比较测量出钢球的实际尺寸 3) 在小头孔内放入挡棒(木棒或铜棒), 先将小钢球缓慢放入孔中, 然后抽去挡棒, 用深度游标尺(或深度百分尺)量出球顶至大头端面的距离 H; 取出小球, 按上述步骤将大钢球缓慢放入孔中, 量出球顶至大头端面的距离 h, 并记录 H 和 h 的值 4) 计算出锥孔的半锥角, 并评定是否合格 5) 将量仪、工件、工具擦洗干净, 整理好现场

9.3.3 圆锥量规检测

圆锥量规检验锥角偏差见表 9-12。

表 9-12 圆锥量规检验锥角偏差

测量内容	检验内、外圆锥锥角的合格性
测量设备	圆锥量规
测量步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 如下图所示, 被测内圆锥用圆锥塞规检验; 被测外圆锥用圆锥环规检验。检验内圆锥的圆锥角偏差时, 在圆锥塞规工作表面素线全长上涂 3~4 条极薄的显示剂; 检验外圆锥的圆锥角偏差时, 在被测外圆锥表面素线全长上涂 3~4 条极薄的显示剂 2) 把量规与被测圆锥对研(来回旋转角度应小于 180°) 3) 根据被测圆锥上的着色或量规上擦掉的痕迹, 判断被测圆锥的实际圆锥角是否合格

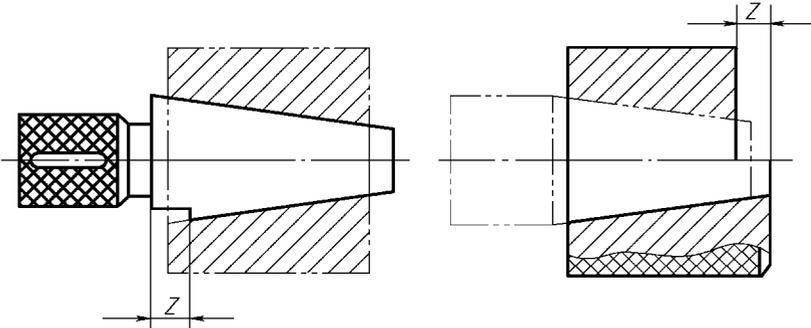
<p>测量步骤</p>	
<p>测量说明</p>	<p>在量规的基准端部刻有两条刻线（凹缺口），它们的距离为 Z，用于检验被测圆锥实际直径偏差、圆锥角实际偏差和形状误差的综合结果所产生的基面距偏差，若被测圆锥的基准平面位于量规这两条刻线之间，则表明此时的综合结果合格</p>

表 10-2 螺纹牙型的结构形式

牙型	结构特点
三角形	普通螺纹的牙型为三角形，牙型角 $\alpha = 60^\circ$ ，内、外螺纹旋合后留有径向间隙。对同一公称直径的普通螺纹，按螺距大小的不同分为粗牙普通螺纹与细牙普通螺纹。后者螺距小，升角小、自锁性更好、强度高，但不耐磨，容易滑扣。一般连接多用粗牙普通螺纹
方形	矩形螺纹的牙型为方形，牙型角 $\alpha = 0^\circ$ ，传动效率比其他螺纹都高，但牙根强度弱、螺纹磨损后间隙难以补偿，传动精度降低，目前已逐渐被梯形螺纹代替，矩形螺纹尚未标准化
等腰梯形	梯形螺纹的牙型为等腰梯形，牙型角 $\alpha = 30^\circ$ ，与矩形螺纹相比，梯形螺纹的传动效率略低，但工艺性好、牙根强度高、对中性好。如用剖分螺母，磨损后还可以调整间隙，是最常用的传动螺纹
锯齿形	锯齿形螺纹的牙型为不等腰梯形，其工作面牙型半角 $\beta = 3^\circ$ ，非工作面牙型半角 $\beta' = 30^\circ$ ，外螺纹根部有较大的圆角以减小应力集中。内、外螺纹旋合后，大径处无间隙，便于对中。这种螺纹兼有矩形螺纹传动效率高和梯形螺纹牙根强度高的特点，但只能用于单向受力的传动螺旋中

10.1.2 螺纹的有关名词术语、几何参数和定义

1. 一般术语

(1) 螺纹 在圆柱或圆锥表面上，沿着螺旋线所形成的具有规定牙型的连续凸起（凸起是指螺纹两侧面间的实体部分，又称牙），称为螺纹，如图 10-2 所示。

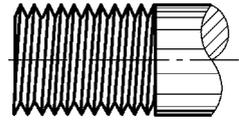
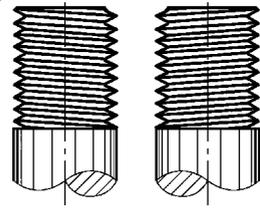


图 10-2 螺纹

(2) 外螺纹、内螺纹 在圆柱或圆锥外表面上所形成的螺纹，称为外螺纹。在圆柱或圆锥内表面上所形成的螺纹，称为内螺纹。

(3) 螺纹副 内、外螺纹相互旋合形成的连接，称为螺纹副。

(4) 单线螺纹、多线螺纹 沿一条螺旋线所形成的螺纹称为单线螺纹。沿两条或两条以上的在轴向等距分布的螺旋线所形成的螺纹，称为多线螺纹。



a) 左旋螺纹 b) 右旋螺纹

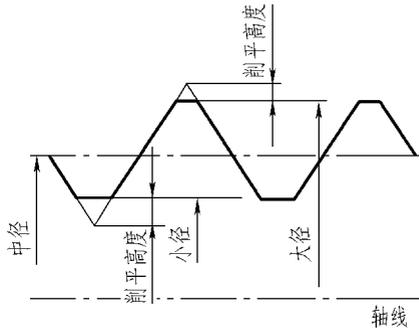
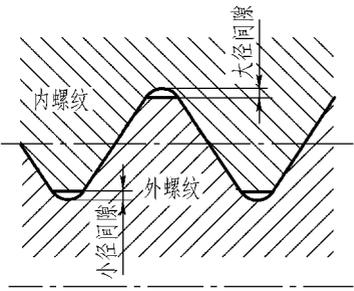
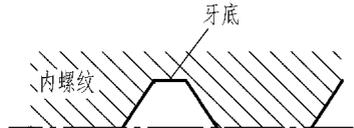
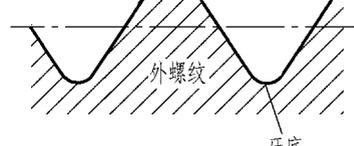
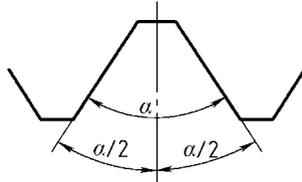
(5) 右旋螺纹和左旋螺纹 顺时针旋转时旋入的螺纹，称右旋螺纹，逆时针旋转时旋入的螺纹称左旋螺纹，如图 10-3 所示。

2. 几何要素及参数术语（见表 10-3）

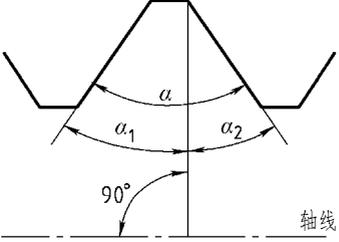
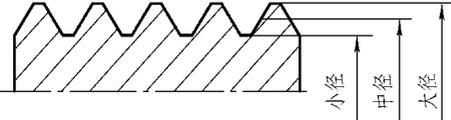
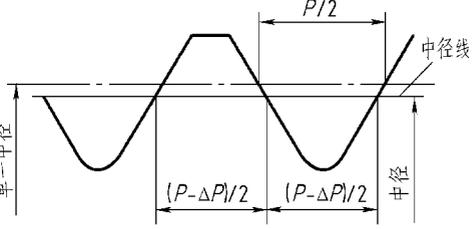
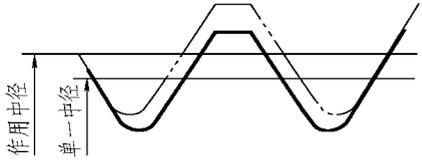
表 10-3 几何要素及参数术语

序号	术语	定义	图例
1	螺纹牙型	在通过螺纹轴线的剖面上，螺纹的轮廓形状	

(续)

序号	术语	定义	图例
2	基本牙型	削去原始三角形的顶部和底部所形成的内、外螺纹共有的理论牙型	 <p style="text-align: center;">圆柱螺纹 轴线</p>
3	设计牙型	设计给定的牙型。该牙型相对于基本牙型规定出功能所需的各种间隙和圆弧半径。它是内、外螺纹基本偏差的起点	 <p style="text-align: center;">轴线</p>
4	最大实体牙型	由设计牙型和各直径的基本偏差及公差所决定的最大实体状态下的螺纹	
5	最小实体牙型	由设计牙型和各直径的基本偏差及公差所决定的最小实体状态下的螺纹	
6	牙顶	在螺纹凸起的顶部, 连接相邻两个牙侧的螺纹表面	 <p style="text-align: center;">轴线</p>
7	牙底	在螺纹沟槽的底部, 连接相邻两个牙侧的螺纹表面	 <p style="text-align: center;">轴线</p>
8	牙侧	在通过螺纹轴线的剖面上, 牙顶和牙底之间的那部分螺纹表面	 <p style="text-align: center;">轴线</p>
9	牙型角	在螺纹牙型上, 两相邻牙侧间的夹角	

(续)

序号	术语	定义	图例
10	牙型半角	牙型角的一半称为牙型半角	
11	牙侧角	在螺纹牙型上, 牙侧与螺纹轴线的垂线间的夹角	
12	公称直径	代表螺纹尺寸的直径 管螺纹用尺寸代号表示	
13	大径	与外螺纹牙顶或内螺纹牙底相切的假想圆柱或圆锥的直径	
14	中径	一个假想圆柱或圆锥的直径, 该圆柱或圆锥的母线通过牙型上沟槽和凸起宽度相等的地方。该假想圆柱或圆锥称为中径圆柱或中径圆锥	
15	小径	与外螺纹牙底或内螺纹牙顶相切的假想圆柱或圆锥的直径	
16	单一中径	一个假想圆柱或圆锥的直径, 该圆柱或圆锥的母线通过牙型上的沟槽宽度等于 1/2 基本螺距的地方	 <p style="text-align: center;">P—基本螺距 ΔP—螺距偏差</p>
17	作用中径	在规定的旋合长度内, 恰好包容实际螺纹的一个假想螺纹的中径。这个假想螺纹具有理想的螺距、半角以及牙型高度, 并令在牙顶处和牙底处留有间隙, 以保证包容时不与实际螺纹的大小径发生干涉	

(续)

序号	术语	定义	图例
18	螺距	相邻两牙在中径线上对应两点间的轴线距离	
19	导程	同一螺旋线上的相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离	

3. 公差与配合及其有关术语 (见表 10-4)

表 10-4 公差与配合有关术语

序号	术语	定义
1	旋合长度 L	两个相互配合的螺纹沿螺纹轴线方向相互旋合部分的长度
2	螺纹接触高度	在两个相互配合螺纹的牙型上, 牙侧重合部分在垂直于螺纹轴线上的距离, 普通螺纹接触高度的基本值等于 $5H/8$
3	螺纹精度	由螺纹公差带和旋合长度共同组成的衡量螺纹质量的综合指标
4	螺距偏差	螺距的实际值与基本值之差。N 个螺距偏差是指跨 N 牙螺距的实际值与基本值之差
5	螺距累计误差	在规定的螺纹长度内, 任意两牙同侧与中径线交点之间的实际轴向距离与其基本值之差的最大绝对值
6	导程偏差	导程实际值与基本值之差
7	导程累计误差	在规定的螺纹长度内, 在同一螺旋面上任意两牙侧与中径线交点间的实际轴向距离与其基本值之差的最大绝对值
8	牙侧角偏差	牙侧角的实际值与基本值之差

10.1.3 普通螺纹的基本尺寸

表 10-5 普通螺纹的定义、分类及代号

定义	普通螺纹就是米制三角形螺纹, 俗称紧固螺纹。这种螺纹牙型是等边三角形, 牙型角为 60° , 牙尖是平的, 以毫米数表示公称直径值
分类	分为粗牙和细牙两种。后者螺距小, 螺距牙高度和升角也随之减小 粗牙螺纹用于一般连接, 细牙螺纹连接强度高、自锁性好, 一般用于薄壁零件或受载、冲击及振动件或旋合长度短、结构紧凑件以及精密机构调整或大直径螺纹连接
代号表示	粗牙螺纹用字母 M 及公称直径表示。细牙螺纹用字母 M 及公称直径 \times 螺距表示 另外还有左旋和右旋螺纹之分, 左旋螺纹在代号后面加上“LH”字, 右旋不加 例如: M24 表示直径为 24mm 的粗牙螺纹 M24 \times 2 表示直径为 24mm, 螺距为 2mm 的细牙螺纹。M24 \times 2LH 表示直径为 24mm, 螺距为 2mm, 方向为左旋的细牙螺纹

普通螺纹基本尺寸的计算应符合图 10-4 的规定。

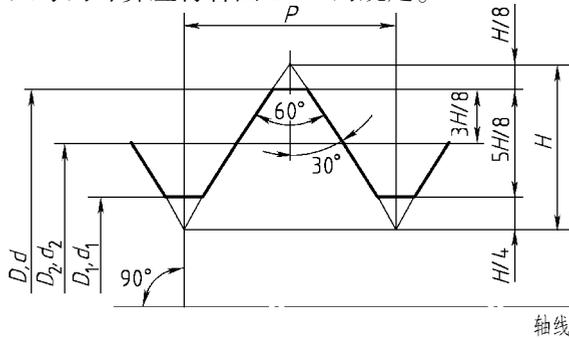


图 10-4 普通螺纹的基本尺寸计算

$$D_2 = D - 2 \times \frac{3}{8} H \quad d_2 = d - 2 \times \frac{3}{8} H$$

$$D_1 = D - 2 \times \frac{5}{8} H \quad d_1 = d - 2 \times \frac{5}{8} H$$

D, d —公称直径 (大径)

在满足螺纹使用性能要求前提下, 保证良好的旋合性和足够的连接强度。旋合性是指公称直径和螺距基本值分别相等的内、外螺纹能够自由旋合并获得所需要的配合性质。足够的连接强度是内、外螺纹的牙侧能够均匀接触, 具有足够的承载能力。

(1) 螺纹大径和小径偏差对互换性的影响 螺纹大径和小径偏差虽然不影响螺纹结合的精度, 但是为了保证螺纹的旋合性, 制造时应使内螺纹的大径和小径分别大于外螺纹的大径和小径。

(2) 螺纹中径偏差对互换性的影响 除了特殊精密螺纹之外, 相配合的外螺纹与内螺纹仅仅在牙侧面接触, 大径和小径处一般应有间隙, 因此决定螺纹配合性质的主要几何参数是中径。

为了保证螺纹的旋合性, 对于普通螺纹应限制内螺纹最小中径大于外螺纹的最大中径, 为了保证连接强度和紧密性, 内螺纹与外螺纹的配合不应过松。

(3) 螺距误差对互换性的影响 对紧固螺纹来说, 螺距误差影响螺纹的旋合性和连接的可靠性; 对传动螺纹来说, 螺距误差还直接影响传动精度、回程误差和螺牙负荷分布的均匀性。因此, 对螺距误差必须加以限制。

螺距误差包括单牙螺距偏差和螺距累积误差, 前者与旋合长度无关; 后者与旋合长度或工作距离有关。从旋合性观点来看, 起决定作用的是螺距累积误差。

螺距累积误差是指在指定长度范围内, 任意两牙同侧间的实际距离与公称直径的最大差值。

假设内螺纹有理想的轮廓, 外螺纹和内螺纹的中径、牙型半角相同, 而外螺纹的螺距有误差, 其螺距比理想的内螺纹的螺距大。若在几个螺牙长度上, 螺距累积误差为 ΔP_{Σ} , 外螺纹与理想内螺纹的轮廓将发生干涉, 外螺纹将不能与内螺纹旋合。理想内螺纹中径应该增加一定数值 F_p , 使具有螺距误差的外螺纹能旋入具有基本牙型的内螺纹, 实际外螺纹中径应该减小一个数值 f_p , 称为中径当量。

(4) 牙型半角偏差对互换性的影响 牙型半角偏差影响螺纹的旋合性和螺纹接触的均匀性。

假定内螺纹具有理想轮廓，外螺纹和内螺纹中径螺距相同，但外螺纹牙型半角有偏差，则在旋合时，外螺纹与内螺纹将发生干涉，彼此不能旋入，为了保证具有牙型半角偏差的外螺纹能够旋入具有基本牙型的内螺纹，理想内螺纹中径应该增加一定数值 $F_{\alpha/2}$ ，或者为了使具有半角偏差的外螺纹能够旋入具有基本牙型的内螺纹，实际外螺纹中径应该减小一个数值 $f_{\alpha/2}$ ，称为牙型半角偏差的中径当量。

10.1.4 普通螺纹的公差与配合

常用普通螺纹的公差适合于一般用途的机械紧固螺纹连接，其螺纹本身不具有密封性，选择基本偏差主要依据螺纹表面涂镀层的厚度及螺纹件的装配间隙。

1. 公差带的位置和基本偏差

内螺纹（见图 10-5）：

G——基本偏差（EI）为正值；

H——基本偏差（EI）为零。

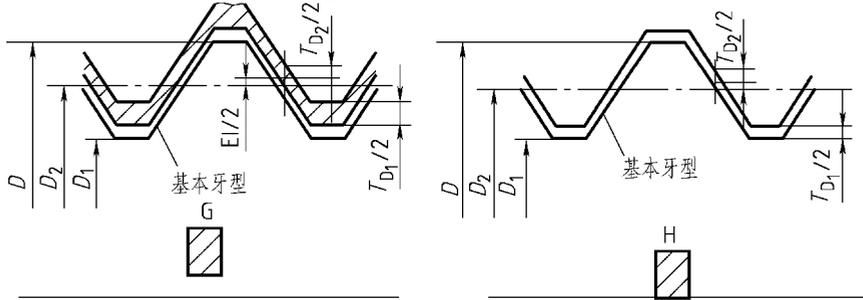


图 10-5 内螺纹公差带的位置

外螺纹（见图 10-6）：

e, f, g——基本偏差（es）为负值；

h——基本偏差（es）为零。

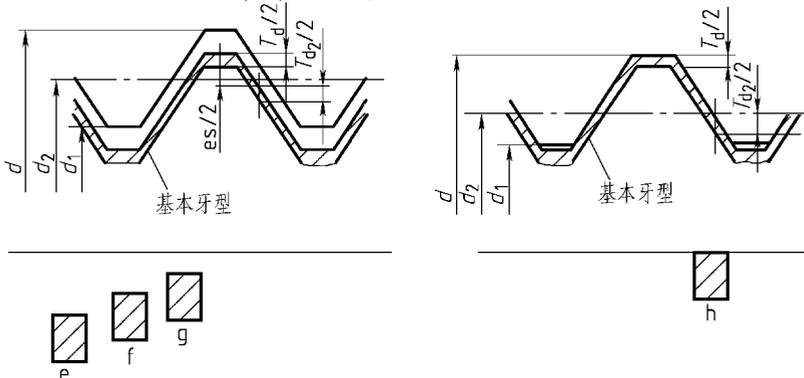


图 10-6 外螺纹公差带的位置

基本偏差数值选择主要依据螺纹表面涂镀层的厚度及螺纹件的装配间隙。内外螺纹的基本偏差见表 10-6。

表 10-6 内外螺纹的基本偏差

螺距 P	基本偏差					
	内螺纹		外螺纹			
	G EI	H EI	e es	f es	g es	h es
mm	μm	μm	μm	μm	μm	μm
0.2	+17	0	—	—	-17	0
0.25	+18	0	—	—	-18	0
0.3	+18	0	—	—	-18	0
0.35	+19	0	—	-34	-19	0
0.4	+19	0	—	-34	-19	0
0.45	+20	0	—	-35	-20	0
0.5	+20	0	-50	-36	-20	0
0.6	+21	0	-53	-36	-21	0
0.7	+22	0	-56	-38	-22	0
0.75	+22	0	-56	-38	-22	0
0.8	+24	0	-60	-38	-24	0
1	+26	0	-60	-40	-26	0
1.25	+28	0	-63	-42	-28	0
1.5	+32	0	-67	-45	-32	0
1.75	+34	0	-71	-48	-34	0
2	+38	0	-71	-52	-38	0
2.5	+42	0	-80	-58	-42	0
3	+48	0	-85	-63	-48	0
3.5	+53	0	-90	-70	-53	0
4	+60	0	-95	-75	-60	0
4.5	+63	0	-100	-80	-63	0
5	+71	0	-106	-85	-71	0
5.5	+75	0	-112	-90	-75	0
6	+80	0	-118	-95	-80	0
8	+100	0	-140	-118	-100	0

2. 公差等级 (见表 10-7)

表 10-7 普通螺纹公差等级

螺纹直径	公差等级
内螺纹小径 D_1	4、5、6、7、8
内螺纹中径 D_2	4、5、6、7、8
外螺纹大径 d	4、6、8
外螺纹中径 d_2	3、4、5、6、7、8、9

3. 螺纹的公差精度等级及应用

(1) 螺纹精度 螺纹精度是衡量加工质量的综合指标，是由公差带和旋合长度两个因素共同决定的。根据使用场合不同，其精度等级分为三级：精密、中等、粗糙。

精密：用于精密螺纹，能保证内、外螺纹间的配合性质变化较小。

中等：用于一般用途的螺纹。

粗糙：用于制造螺纹有困难的场合，例如在热轧棒料上和深不通孔内加工螺纹。

(2) 推荐公差带及其选用原则 按表 10-8 的规定选用螺纹公差带。

表 10-8 普通螺纹的推荐公差带

公差精度	内螺纹公差带			外螺纹公差带		
	S	N	L	S	N	L
精密	4H	5H	6H	(3h4h)	4h (4g)	(5h4h) (5g4g)
中等	5H (5G)	6H 6G	7H (7G)	(5g6g) (5h6h)	6e	(7e6e)
					6f 6g	(7g6g) (7h6h)
粗糙	—	7H (7G)	8H (8G)	—	(8e)	(9e8e)
					8g	(9g8g)

注：1. 选用顺序依次为：粗字体公差带、一般字体公差带、括弧内的公差带。

2. 带方框的粗字体公差带用于大量生产的紧固件螺纹。

3. 推荐公差带也适用于薄涂镀层的螺纹。

10.2 机床梯形螺纹丝杠和螺母的精度与公差

梯形螺纹是普遍使用的一种传动螺纹，具有传动平稳可靠的优点。许多机械产品中，采用梯形螺纹将旋转运动转化为直线运动。

国家标准 GB/T 5796.1—2005 ~ GB/T 5706.4—2005 规定了一般用途梯形螺纹的牙型、尺寸和公差。该标准通用性好，但不适用于对传动精度有较高要求的机床丝杠。我国机床行业对机床丝杠螺母有专门的精度标准，可用于诸如螺纹磨床、精密螺纹车床等各种精密机床的主轴丝杠等重要部位的传动。

1. 梯形螺纹的基本牙型

梯形螺纹的基本牙型是由原始三角形截去顶部和底部所形成的顶角为 30° 的等腰三角形。顶部和底部削平后，牙顶和牙底的宽度均为 $0.366P$ 。如图 10-7 所示， P 为螺距， D 、 d 为内、外螺纹大径， D_2 、 d_2 为内、外螺纹中径， D_1 、 d_1 为内、外螺纹小径， H 为原始三角形高度， H_1 为基本牙型高度。

2. 梯形螺纹的公差

内螺纹的大、中、小径只有一种公差带位置 H，其基本偏差为零；外螺纹大径

和小径也只有一种公差带位置 h。外螺纹中径有三种公差带位置 h、e 和 c、h 的基本偏差为零，e 和 c 的基本偏差为负值。内、外螺纹公差带的相互位置如图 10-8 和图 10-9 所示，基本偏差值见表 10-9。

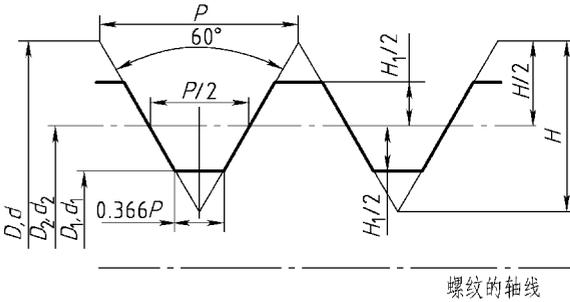


图 10-7 梯形螺纹基本牙型

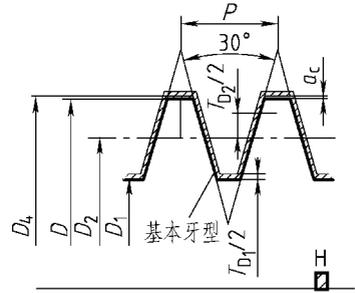


图 10-8 内螺纹公差带

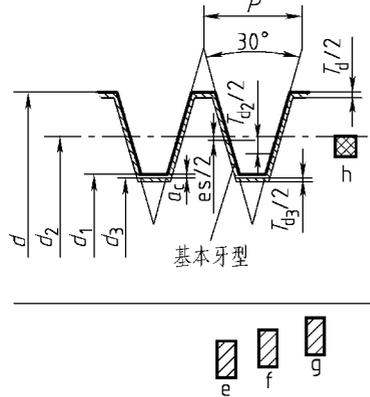
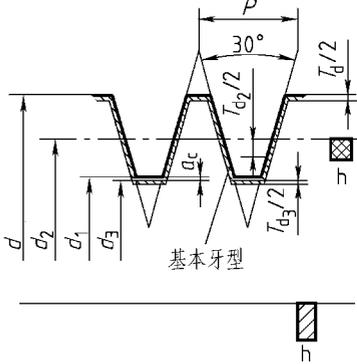


图 10-9 外螺纹公差带

表 10-9 内外螺纹中径基本偏差

螺距 P/mm	内螺纹 D_2	外螺纹 d_2		
		c (es)	e (es)	h (es)
1.5	0	-140	-67	0
2	0	-150	-71	0
3	0	-170	-85	0
4	0	-190	-95	0
5	0	-212	-106	0
6	0	-236	-118	0
7	0	-250	-125	0
8	0	-265	-132	0
9	0	-280	-140	0
10	0	-300	-150	0
12	0	-335	-160	0
14	0	-355	-180	0

(续)

螺距 P/mm	内螺纹 D_2	外螺纹 d_2		
		c (es)	e (es)	h (es)
16	0	-375	-190	0
18	0	-400	-200	0
20	0	-425	-212	0
22	0	-450	-224	0
24	0	-475	-236	0
28	0	-500	-250	0
32	0	-530	-265	0
36	0	-560	-280	0
40	0	-600	-300	0
44	0	-630	-315	0

3. 梯形螺纹的公差等级

顶径公差的作用在于保持内、外螺纹旋合后有足够的接触高度，因此只有一个公差等级。中径公差是内、外螺纹配合的关键，设置多个公差等级。为了确保牙顶间隙和螺纹的强度，增设了外螺纹小径公差，小径公差等级永远和中径公差等级相同。

内螺纹小径公差等级为4级（见表10-10），内螺纹中径公差为7、8、9级（见表10-11），外螺纹大径公差等级为4级（见表10-10），外螺纹中径公差为7、8、9级（见表10-11），外螺纹小径公差为7、8、9级。

表 10-10 内螺纹小径公差 T_{D_1} 和外螺纹大径公差 T_{d_1}

螺距 P/mm	内螺纹小径 公差等级 4	外螺纹大径 公差等级 4	螺距 P/mm	内螺纹小径 公差等级 4	外螺纹大径 公差等级 4
1.5	190	150	14	900	670
2	136	180	16	1000	710
3	315	236	18	1120	800
4	375	300	20	1180	850
5	450	335	22	1250	900
6	500	375	24	1320	950
7	560	425	28	1500	1060
8	630	450	32	1600	1120
9	670	500	36	1800	1250
10	710	530	40	1900	1320
12	800	600	44	2000	1400

表 10-11 内螺纹中径公差 T_{D_2} 和外螺纹大径公差 T_{d_2}

公称直径 D 、 d /mm		螺距 P /mm	内螺纹中径公差/ μm			外螺纹中径公差/ μm		
大于	至		7	8	9	7	8	9
5.6	11.2	1.5	224	280	355	170	212	265
		2	250	315	400	190	236	300
		3	280	355	450	212	265	335
11.2	22.4	2	265	335	425	200	250	315
		3	300	375	475	224	280	355
		4	355	450	560	265	335	425
		5	375	475	600	280	355	450
		8	475	600	750	355	450	560
22.4	45	3	335	425	530	250	315	400
		5	400	500	630	300	375	475
		6	450	560	710	335	425	530
		7	475	600	750	355	450	560
		8	500	630	800	375	475	600
		10	530	670	850	400	500	630
45	90	12	560	710	900	425	530	670
		3	355	450	560	265	335	425
		4	400	500	630	300	375	475
		8	530	670	850	400	500	630
		9	560	710	900	425	530	670
		10	560	710	900	425	530	670
		12	630	800	1000	475	600	750
		14	670	850	1060	500	630	800
90	180	16	710	900	1120	530	670	850
		18	800	1000	1250	600	750	950
		4	425	530	670	315	400	500
		6	500	630	800	375	475	600
		8	560	710	900	425	530	670
		12	670	850	1060	500	630	800
		14	710	900	1120	530	670	850
		16	750	950	1180	560	710	900
		18	800	1000	1250	600	750	950
		20	800	1000	1250	600	750	950
22	850	1060	1320	630	800	1000		
24	900	1120	1400	670	850	1060		
28	950	1180	1500	710	900	1120		

(续)

公称直径 D 、 d /mm		螺距 P /mm	内螺纹中径公差/ μm			外螺纹中径公差/ μm		
大于	至		7	8	9	7	8	9
180	355	8	600	750	950	450	560	710
		12	710	900	1120	530	670	850
		18	850	1060	1320	630	800	1000
		20	900	1120	1400	670	850	1060
		22	900	1120	1400	670	850	1060
		24	950	1180	1500	710	900	1120
		32	1060	1320	1700	800	1000	1250
		36	1120	1400	1800	850	1060	1320
		40	1120	1400	1800	850	1060	1320
		44	1250	1500	1900	900	1120	1400

4. 梯形螺纹的旋合长度及其分组

根据螺纹公称直径和螺距的大小，将旋合长度分为 N、L 两组。N 代表中等旋合长度；L 代表长旋合长度。

5. 梯形螺纹精度的划分和公差带的选择

由于国家标准对内螺纹小径 D_1 和外螺纹大径只规定了一种公差带 (4H、4h)；标准还规定外螺纹小径的公差带位置为 h，公差等级与中径公差等级相同，所以梯形螺纹仅选择并标记中径公差带，代表梯形螺纹公差带。

在标准中，将螺纹的精度等级划分为中等和粗糙两种。其选择原则：中等精度的梯形螺纹适用于一般用途；粗糙精度的梯形螺纹适用于精度不高的场合。

一般情况下按表 10-12 选用中径公差带。

表 10-12 内外螺纹中径公差带的选用

精度	内螺纹		外螺纹	
	N	L	N	L
中等	7H	8H	7h, 7e	8e
粗糙	8H	9H	8e, 8c	9c

多线螺纹的顶径公差和底径公差与单线螺纹相同，多线螺纹的中径公差是在单线螺纹中径公差的基础上按线数不同分别乘以系数而得，各种不同线数见表 10-13。

表 10-13 多线螺纹中径公差系数

线数	2	3	4	≥ 5
系数	1.12	1.25	1.4	1.5

6. 梯形螺纹的标记

梯形螺纹的标记由梯形螺纹代号、公差带代号及旋合长度代号组成。例如：

T40 \times 7—6 表示公称直径为 40mm、螺距基本值为 7mm、6 级精度的右旋丝杠螺纹。

T48 × 12LH—7 表示公称直径为 48mm、螺距基本值为 12mm、7 级精度的左旋丝杠螺纹。

10.3 普通螺纹的综合检验

综合检验是指按泰勒原则使用螺纹量规检验被测螺纹各个几何参数的误差的综合结果，用该量规的通规检验被测螺纹的作用中径（含底径），用止规检验被测螺纹的单一中径，还要用光滑极限量规检验被测螺纹顶径的实际尺寸。

检验内螺纹的量规称为螺纹塞规，检验外螺纹的量规称为螺纹环规。

如图 10-10，螺纹量规通规模拟体现被测螺纹的最大实体牙型，检验被测螺纹的作用中径是否超出其最大实体牙型的中径，并同时检验被测螺纹底径的实际尺寸是否超出最大实体尺寸。因此，通规具有完整的牙型，并且其螺纹长度应等于被测螺纹的旋合长度。止规用来检验被测螺纹的单一中径是否超出其最小实体牙型的中径，因此止规采用截短牙型，并且只有 2~3 个螺距的螺纹长度，以减少牙侧角偏差和螺距误差对检验结果的影响。

用螺纹量规检验时，若其通规能够旋合通过整个被测螺纹，则认为旋合性合格，否则不合格；如果其止规不能旋入或不能完全旋入被测螺纹（只允许与被测螺纹的两端旋合，旋合量不得超过两个螺距），则认为连接强度合格，否则不合格。

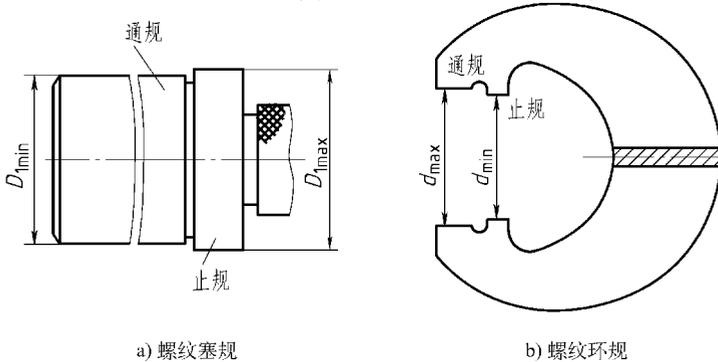


图 10-10

10.4 圆柱外螺纹主要参数的测量

10.4.1 用工具显微镜测量外螺纹的主要参数

工具显微镜用于测量螺纹量规、螺纹刀具、齿轮滚刀以及样板等。它分为小型、大型、万能和重型等四种形式。它们的测量精度和测量范围虽各不相同，但基本原理是相似的。

下面以大型工具显微镜图 10-11 为例，用影像法测量中径、牙型半角和螺距。

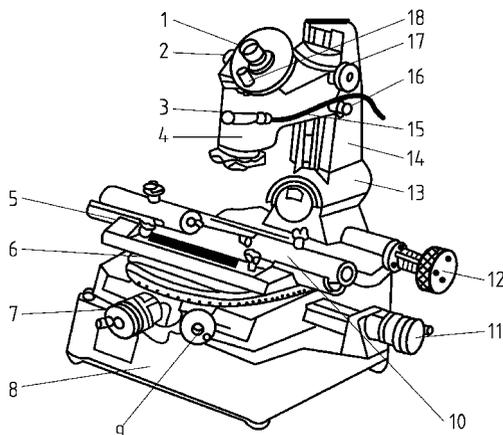


图 10-11 工具显微镜测量外螺纹

1—目镜 2—旋转手轮 3—目镜光源 4—显微镜筒 5—顶尖座 6—圆工作台
7—横向千分尺 8—底座 9—工作台转动手轮 10—顶尖 11—纵向千分尺 12—立柱倾斜手轮
13—连接座 14—立柱 15—悬臂 16—紧定螺钉 17—升降手轮 18—角度示值目镜

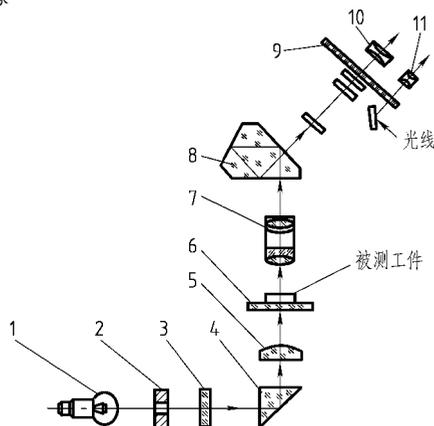
它主要由目镜1、圆工作台6、底座8、连接座13、立柱14、悬臂15和横向千分尺7、11等部分组成。转动立柱倾斜手轮12，可使立柱绕支座左右摆动，转动横向千分尺7和纵向千分尺11，可使工作台纵、横向移动，转动手轮9，可使工作台绕轴心线旋转。

用工具显微镜测量外螺纹见表 10-14。

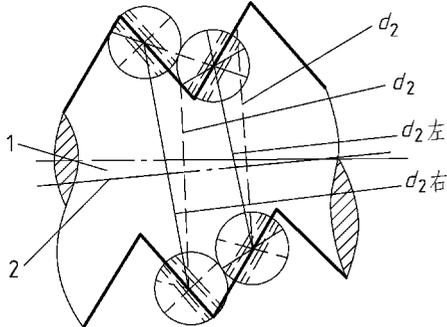
表 10-14 工具显微镜测量外螺纹

仪器的光学系统如下图所示。由主光源1发出的光经光阑2、滤光片3、反射镜4、聚光镜5成为平行光，透过玻璃工作台6，将被测工件投影轮廓经物镜组7、反射棱镜8放大成像于目镜10的焦平面处的目镜分划板9上，通过目镜10观察到放大的轮廓影像，在角度示值目镜11中读取角度值。此外，可用反射光源照亮被测工件表面，同时可通过目镜10观察到被测工件轮廓的放大影像

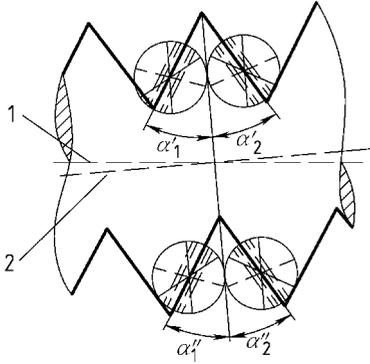
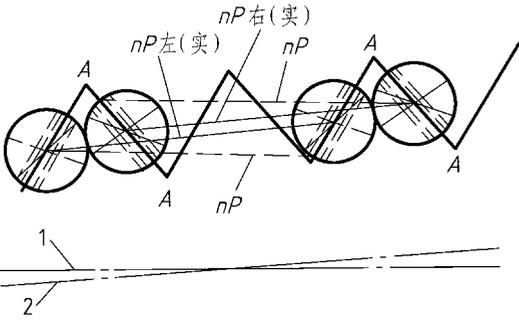
测量原理
及测量步骤



1—主光源 2—光阑 3—滤光片 4—反射镜 5—聚光镜
6—玻璃工作台 7—物镜组 8—反射棱镜 9—目镜分划板 10、11—目镜

测量步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 擦净仪器及被测螺纹, 将工件小心地安装在两顶尖之间, 拧紧顶尖的固紧螺钉 (要当心工件掉下砸坏玻璃工作台)。同时检查工作台圆周刻度是否对准零位 2) 接通电源 3) 用调焦筒 (仪器专用附件) 调节主光源 1 (上图), 旋转主光源外罩上的三个调节螺钉, 直至灯丝位于光轴中央成像清晰, 则表示灯丝已位于光轴上, 并在聚光镜 5 的焦点上 4) 根据被测螺纹尺寸, 从仪器说明书中查出适宜的光阑直径, 然后调好光阑的大小 5) 旋转手轮 12 (图 10-11), 按被测螺纹的螺旋升角 ψ, 调整立柱 14 的倾斜度 6) 调整目镜 10, 使米字刻线、度值、分值刻线清晰。松开螺钉 16, 旋转手柄 11, 调整仪器的焦距, 使被测轮廓影像清晰 (若要求严格, 可用专用的调焦棒在两顶尖中心线的水平面内调焦)。然后旋紧螺钉 16 7) 测量螺纹主要参数
测量螺纹主要参数	<p>螺纹中径 d_2 是指螺纹牙型上牙凸起和牙沟槽宽度相等并和螺纹轴线同心的假想圆柱面直径。对于单线螺纹, 它是中径也等于在轴截面内, 沿着与轴线垂直的方向量得的两个相对牙形轮廓侧面间的距离</p> <p>为了使轮廓影像清晰, 需将立柱顺着螺旋线方向倾斜一个螺旋升角 ψ, 其值按下式计算:</p> $\tan\psi = \frac{nP}{\pi d_2}$ <p>式中 P —— 螺纹螺距 (mm) d_2 —— 螺纹中径理论值 (mm) n —— 螺纹线数</p> <p>测量时, 转动纵向千分尺 11 和横向千分尺 7 (图 10-11), 以移动工作台, 使目镜中的 A—A 虚线与螺纹投影牙形的一侧重合 (下图), 记下横向千分尺的第一次读数。然后, 将显微镜立柱反向倾斜螺旋升角 ψ, 转动横向千分尺, 使 A—A 虚线与对面牙形轮廓重合 (下图), 记下横向千分尺第二次读数。两次读数之差, 即为螺纹的实际中径。为了消除被测螺纹安装误差的影响, 在牙型两侧面分别测出 $d_{2左}$ 和 $d_{2右}$, 取两者的平均值作为实际中径:</p> $d_{2实际} = \frac{d_{2左} + d_{2右}}{2}$ 

(续)

牙型 半角	<p>螺纹牙型半角 $\frac{\alpha}{2}$ 是指在螺纹牙形上, 牙侧与螺纹轴线的垂线间的夹角</p> <p>测量时, 转动纵向和横向千分尺并调节手轮, 使目镜中的 A—A 虚线与螺纹投影牙形的一侧重合 (下图)。此时, 角度读数目镜中显示的读数, 即为该牙侧的半角数值</p> 
测量 螺纹 主要 参数	<p>螺距 P 是指相邻两牙在中线上对应两点的轴向距离</p> <p>测量时, 转动纵向和横向千分尺, 以移动工作台, 利用目镜中的 A—A 虚线与螺纹投影牙形的一侧重合, 记下纵向千分尺第一次读数。然后, 移动纵向工作台, 使牙形纵向移动几个螺距的长度, 以同侧牙形与目镜中的 A—A 虚线重合, 记下纵向千分尺第二次读数。两次读数之差, 即为 n 个螺距的实际长度 (下图)</p> <p>为了消除被测螺纹安装误差的影响, 同样要测量出 $nP_{\text{左(实)}}$ 和 $nP_{\text{右(实)}}$。然后, 取它们的平均值作为螺纹 n 个螺距的实际尺寸</p> $nP_{\text{实}} = \frac{nP_{\text{左(实)}} + nP_{\text{右(实)}}}{2}$ <p>n 个螺距的累积偏差为</p> $\Delta P = nP_{\text{实}} - nP$  <p>按图样给定的技术要求, 判断被测螺纹塞规的适用性</p>

10.4.2 外螺纹中径的测量方法

用螺纹千分尺测量外螺纹中径见表 10-15。三针法测量外螺纹中径见表 10-16。

表 10-15 螺纹千分尺测量外螺纹中径

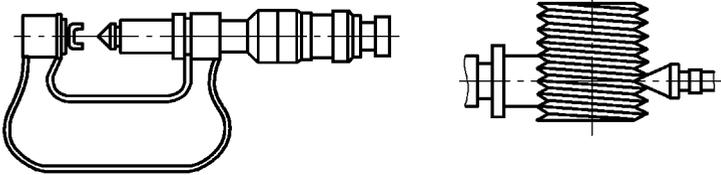
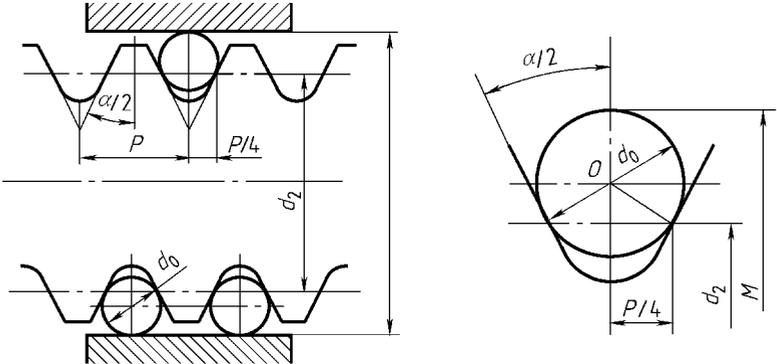
测量仪器	<p>图示为螺纹千分尺的外形图。它的构造与外径千分尺基本相同，只是在测量砧和测量头上装有特殊的测量头 1 和 2，用它来直接测量外螺纹的中径。螺纹千分尺的分度值为 0.01mm。测量前，用尺寸样板 3 来调整零位。每对测量头只能测量一定螺距范围内的螺纹，使用时根据被测螺纹的螺距大小，按螺纹千分尺附表来选择，测量时由螺纹千分尺直接读出螺纹中径的实际尺寸</p> 
测量原理	<p>螺纹千分尺测量外螺纹中径，每对测量头只能测量一定螺距范围内的螺纹，使用时根据被测螺纹螺距大小来选择测头；测量时用螺纹千分尺直接读出螺纹中径的实际尺寸</p>
测量步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 根据被测螺纹的螺距，选取一对测量头 2) 擦净仪器和被测螺纹，校正螺纹千分尺零位 3) 将被测螺纹放入两测量头之间，找正中径部位 4) 分别在同一截面相互垂直的两个方向上测量螺纹中径。取它们的平均值作为螺纹的实际中径，然后判断被测螺纹中径的适用性

表 10-16 三针法测量外螺纹中径

测量仪器	杠杆千分尺
测量原理	<p>图示为用三针测量外螺纹中径的原理图，这是一种间接测量螺纹中径的方法。测量时，将三根精度很高、直径相同的量针放在被测螺纹的牙凹中，用测量外尺寸的计量器具如千分尺、机械比较仪、光较仪、测长仪等测量出尺寸 M。再根据被测螺纹的螺距 P、牙形半角 $\frac{\alpha}{2}$ 和量针直径 d_m，计算出螺纹中径 d_2</p> $d_2 = M - d_0 \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) + \frac{P}{2} \cot \frac{\alpha}{2}$ <p>对于公制螺纹，$\alpha = 60^\circ$，则</p> $d_2 = M - 3d + 0.866P$ <p>为了减少螺纹牙形半角偏差对测量结果的影响，应选择合适量针直径，该量针与螺纹牙形的切点恰好位于螺纹中径处。此时所选择的量针直径 d_m 为最佳量针直径</p> 

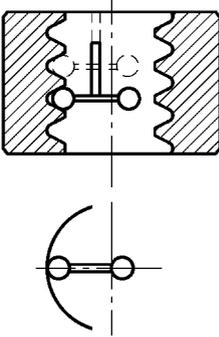
(续)

测量步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 根据被测螺纹的螺距, 计算并选择最佳量针直径 d_m 2) 在尺座上安装好杠杆千分尺和三针 3) 擦净仪器和被测螺纹, 校正仪器零位 4) 将三针放入螺纹牙凹中, 旋转杠杆千分尺的微分筒, 使两端测量头与三针接触, 然后读出尺寸 M 的数值 5) 在同一截面相互垂直的两个方向上测出尺寸 M, 并按平均值用公式计算螺纹中径, 然后判断螺纹中径的适用性
------	---

10.5 圆柱内螺纹主要参数的测量

10.5.1 内螺纹螺距的测量方法 (见表 10-17)

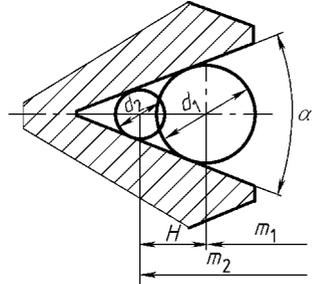
表 10-17 万能显微镜测量内螺纹螺距

测量参数	内螺纹螺距	
内容	用万能工具显微镜和光学灵敏杠杆测量内螺纹螺距	
仪器	万能工具显微镜和光学灵敏杠杆	
测量步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 将测量螺距的光学灵敏杠杆安装在具有垂直标尺的测量装置上 2) 测量工件安放在仪器工作台上, 把灵敏杠杆测头伸入螺纹牙凹槽中, 通过纵横导板的交替移动找到测量截面。这时, 显微镜横向坐标不再变动, 移动纵导板, 使测头和牙侧接触, 并对准显微镜米字刻线, 记下 z 轴的读数 z_1 3) 移动纵导板将测头引出, 上升到第二牙附近, 再作纵向移动, 使测头再和牙侧接触, 并对准米字线位置, 用 z 轴上的微动旋钮找一下接触时的转折点, 并移动纵向导板, 重新对一次米字线, 读出第二个测值 z_2 4) 两数之差即为被测内螺纹的螺距, 即 $P = z_1 - z_2$ 	 <p>内螺纹螺距测量示意图</p>

10.5.2 内螺纹牙型角的测量方法 (见表 10-18)

表 10-18 双球法测量内螺纹的牙型角

测量参数	内螺纹的牙型角	
内容	双球法能够测量牙型全角, 不能测出影响旋合作用中径的牙型角倾斜	
测量方法	<ol style="list-style-type: none"> 1) 将直径为 d_2 的小球放入牙槽内, 测出球心至轴线的距离 m_2 2) 将小球取出, 放入直径 d 的大球, 测出球心至轴线的距离 m_1 3) 牙型角的计算公式: $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{d_1 - d_2}{2(m_2 - m_1)}$ 	



内螺纹牙型角测量示意图

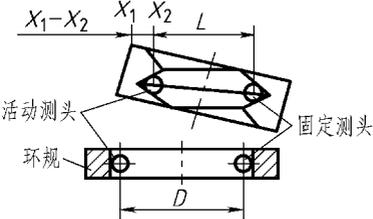
10.5.3 内螺纹中径的测量方法

内螺纹单项测量方法不够完善, 尤其是牙型半角和螺距测量更困难。有的仪器即使能够测量中径和螺距, 但是与外螺纹相比, 由于测量条件限制, 测量误差较大。表 10-19 对一些常用方法进行详细说明

表 10-19 内螺纹中径测量方法

测量仪器	测量方法	测量示意图
千分尺	<p>内螺纹中径为 76 ~ 600mm, 可以用内螺纹千分尺来测量</p> <p>用带球测头的千分尺可以测量 20mm 以上的内螺纹中径, 中径的计算公式</p> $D_2 = D - (a + b) + d_0 \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha/2} \right) - \frac{P}{2} \cot \frac{\alpha}{2}$ <p>式中 a, b ——测得值 D ——螺纹工件外径, 应该实际测出 d_0 ——球测头直径</p> <p>该方法适合于螺纹工件外径经过加工的内螺纹</p>	

(续)

测量仪器	测量方法	测量示意图
标准光滑环规	<p>在卧式光学计和万能测长仪上用测钩可以测量中径大于 18mm 的内螺纹, 但是需要用缺口样板组成标准的内螺纹, 测量条件较差。实际测量多采用标准光滑环规和用量块及其附件组成标准内尺寸, 来测量内螺纹中径</p> <p>测量时, 先用测钩测量环规, 得到动测头的坐标值 x_1 (从仪器上读出), 然后用被测螺纹代替环规, 再得出动测头的坐标值 x_2, 被测螺纹中径的计算公式为</p> $D_2 = L - \frac{P^2}{8L} + \frac{d_0}{\sin(\alpha/2)} - \frac{P}{2} \cot \frac{\alpha}{2},$ $L = D - d_0 - (x_1 - x_2)$ <p>式中 D——已知环规直径 d_0——球测头直径</p>	

10.5.4 内螺纹大径和小径的测量方法 (见表 10-20 ~ 表 10-22)

表 10-20 内径量表测量内螺纹大径

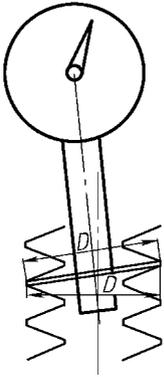
测量仪器	测量方法	测量示意图
内径量表	<p>内径量表装上尖头测头进行测量, 直径较大的内螺纹, 可以用内螺纹千分尺测量。量具本身的调整, 可以用标准量规、量爪或量块组成的尺寸</p> $D = D' - \frac{P^2}{8D'}$ <p>测量时, 要小心谨慎, 不能使测量头尖压入被测测量螺纹实体之内; 测量头的半径应该小于被测螺纹牙底圆弧半径, 否则将使测得的尺寸减小</p>	

表 10-21 内径量表测量内螺纹小径

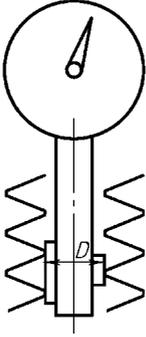
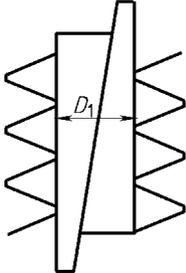
测量仪器	测量方法	测量示意图
内径量表	<p>内径量表装上带有圆弧面的测头进行测量，其测量尺寸可以用环规或量块组合的卡规口来校准。测头的圆弧半径应该小于被测量螺纹小径的一半，其测量母线应该平行于被测螺纹轴线和调整环规的轴线</p>	

表 10-22 砌块法测量内螺纹小径

测量仪器	测量方法	测量示意图
砌块	<p>用外圆是圆柱形的砌块来测量内螺纹的小径 D_1，测量时，把两块呈圆弧面的砌块塞入内螺纹孔中，然后用外径千分尺可以量出相应的内螺纹小径 D_1</p>	

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 14689—2008 技术制图 图纸幅面和格式 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 10609. 1—2008 技术制图 标题栏 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [3] 全国技术产品文件标准化技术委员会, 中国标准出版社. 技术产品文件标准汇编: 技术制图卷 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [4] 全国技术产品文件标准化技术委员会, 中国标准出版社. 技术产品文件标准汇编: 机械制图卷 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 14692—2008 技术制图投影法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 70. 1—2008 内六角圆柱头螺钉 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 3478. 1—2008 渐开线花键 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1182—2008 产品几何技术规范 (GPS) 几何公差形状、方向、位置和跳动公差标注 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [9] 梁德本, 等. 机械制图手册 [M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [10] 李学京, 等. 机械制图国家标准应用图册 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [11] 李学京, 等. 机械制图国家标准应用指南 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [12] 李学京, 等. 机械制图国家标准应用挂图 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [13] 孙开元, 等. 机械制图与公差测量速查手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [14] 张彤, 等. 机械制图 [M]. 2 版. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- [15] 大连理工大学工程图学教研室. 画法几何学 [M]. 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [16] 大连理工大学工程图学教研室. 机械制图 [M]. 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [17] 程久平, 等. 现代工程图学: 上册 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008.
- [18] 潘陆桃, 等. 现代工程图学: 下册 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008.
- [19] 阮五洲, 等. 工程图学 [M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2009.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1800. 1—2009 极限与配合 第 1 部分: 公差、偏差和配合的基础 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1800. 2—2009 极限与配合 第 2 部分: 标准公差等级和孔、轴极限偏差表 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1801—

- 2009 极限与配合 公差带和配合的选择 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1804—2000 一般公差未注公差的线性和角度尺寸的公差 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [24] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 4249—2009 产品几何技术规范 (GPS) 公差原则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 16671—2009 产品几何技术规范 (GPS) 几何公差最大实体要求、最小实体要求和可逆要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 3505—2009 产品几何技术规范 表面结构 轮廓法 术语、定义及表面结构参数 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [27] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 10610—2009 产品几何技术规范 表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1031—2009 产品几何技术规范 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [29] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 131—2006 产品几何技术规范 技术产品文件中表面结构的表示法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [30] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 10095.1—2008 圆柱齿轮 精度制 第1部分: 轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [31] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 10095.2—2008 圆柱齿轮 精度制 第2部分: 径向综合偏差与径向跳动的定义和允许值 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [32] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/Z 18620.1—2008 圆柱齿轮 检验实施规范 第1部分: 轮齿同侧齿面的检验 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [33] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/Z 18620.2—2008 圆柱齿轮 检验实施规范 第2部分: 径向综合偏差、径向跳动、齿厚和侧隙的检验 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [34] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/Z 18620.3—2008 圆柱齿轮检验实施规范 第3部分: 齿轮坯、轴中心距和轴线平行度的检验 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [35] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/Z 18620.4—2008 圆柱齿轮检验实施规范 第4部分: 表面结构和轮齿接触斑点的检验 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [36] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 157—

- 2001 产品几何量技术规范 (GPS) 圆锥的锥度和角度系列 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [37] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 11334—2005 产品几何量技术规范 (GPS) 圆锥公差 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [38] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12360—2005 几何量技术规范 (GPS) 圆锥配合 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [39] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 15754—1995 技术制图 圆锥的尺寸和公差注法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [40] 甘永立. 几何量公差与检测实验指导书 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.
- [41] 甘永立. 几何量公差与检测 [M]. 8 版. 上海: 上海科学技术出版社, 2008.

上架指导：工业技术 / 机械工程 / 机械基础

◎ 策划：黄丽梅 / 封面设计：陈沛

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
电话服务 网络服务
社服务中心：(010)88361066 门户网：<http://www.cmpbook.com>
销售一部：(010)68326294 教材网：<http://www.cmpedu.com>
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-32650-2

定价：38.00元

ISBN 978-7-111-32650-2



9 787111 326502 >