



“十四五”职业教育国家规划教材

公差配合与技术测量

(第三版)

主编 彭琪波 孙 莉



南京大学出版社

内容简介

本书从职业岗位实际需求紧密结合,以项目为单元,以工作任务教学载体,将具体内容按照教学目标、任务引入、任务分析、相关知识、任务实施、知识扩展和习题与思考的形式进行编排。本书共分五个项目,内容包括公差与测量技术基础、尺寸公差配合与检测、几何公差及其检测、表面粗糙度及其检测和典型零部件的公差配合及其检测。本书重点介绍了各类公差选择、标注、查表与解释,以及几何量的常见检测方法和数据处理。

本书可作为高等职业院校制造大类专业的教材,也可作为从事机械设计、机械制造、计量等技术人员的培训教材和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

公差配合与技术测量 / 彭琪波, 孙莉主编. — 3 版.

南京 : 南京大学出版社, 2025. 2. — ISBN 978 - 7 - 305
- 28925 - 5

I. TG801

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025VN5093 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

书 名 公差配合与技术测量
GONGCHA PEIHE YU JISHU CELIANG
主 编 彭琪波 孙 莉
责任编辑 吕家慧 编辑热线 025 - 83597482

照 排 南京南琳图文制作有限公司
印 刷 南京人文印务有限公司
开 本 787 mm×1092 mm 1/16 印张 17.25 字数 441 千
版 次 2025 年 2 月第 3 版 2025 年 2 月第 1 次印刷
ISBN 978 - 7 - 305 - 28925 - 5
定 价 49.80 元

网址: <http://www.njupco.com>
官方微博: <http://weibo.com/njupco>
微信服务号: njuyuexue
销售咨询热线: (025) 83594756

* 版权所有,侵权必究
* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购
图书销售部门联系调换

前　言

随着新一轮科技革命和产业变革深入发展，智能制造成为全球制造业科技创新的制高点，形成新质生产力。聚焦产品质量检验岗位对接智能制造强国战略、产业转型升级和区域经济发展新需求，才能有力支撑紧密对接高端装备制造产业数字化转型升级，服务国家“制造强国”“质量强国”战略。

《公差配合与技术测量》课程是制造大类专业中实践性强、应用广的专业基础课，是智能制造高水平专业群建设的共享课程，其内容涉及机械产品的设计、制造、检验、质量控制，以及产品的维修等多方面。该课程既是联系机械设计类课程与机械制造类课程的纽带，也为后续专业课的学习奠定了坚实的基础。

本书在入选“十四五”职业教育国家规划教材的基础上，贯彻落实了《职业院校教材管理办法》，依据国家专业教学标准、岗位技能标准、数字化检测技能大赛标准、长度计量员技能证书标准，围绕企业相关岗位核心能力进行了修改：

1. 采用项目驱动的方式，根据岗位的实际工作任务，引出专业知识，结合职业能力的培养规律构建项目内容，每个任务均按照“教学目标—任务引入—任务分析—相关知识—拓展知识—思考练习”的顺序编排，“项目综合知识技能——工程案例与分析”体现知识与技能在工作中的实际应用。
2. 围绕“职业素养、工匠精神、质量意识”的主线，选取“大国工匠”“大国制造”等元素，增加立德树人的内容编写及其案例，强化了育人功能。
3. 通过校企深度融合，引入测量领域新标准、新技术、新方法、新工艺，破解了课程内容知识陈旧、技术落后的难题。
4. 借助微课或演示动画等“图文声像画”以及虚拟仿真测量技术的全媒体课程资源，有效破解了设备价格高、数量少、实训目标难达成的难题。
5. 按最新国家标准对有关内容进行了更新、增补。
6. 调整了实践案例，完全按照企业真实的测量环境，针对实物零件，按照图纸要求设置检测项目，突出学生知识点的掌握和技能的培养，利用真实的典型

公差配合与技术测量

案例培养学生的实际应用能力,注意实用性和针对性。增加相关可视性强的动态图例,形成可听、可视、可练的数字化模式。为方便教学,配套了课件、视频等丰富的教学资源。

7. 修正了上一版的错误和不当之处,力求做到概念准确、表述正确、数据精确,使教材更加完善。

本书由湖北科技职业学院彭琪波和襄阳汽车职业技术学院孙莉担任主编,湖北科技职业学院李丹、湖北科技职业学院李琳琳、咸宁职业技术学院杨美萍、抚州职业技术学院陈超、湖北科技职业学院吴昊、黔西南民族职业技术学院董登友、襄阳汽车职业技术学院陈爱群、江西工业工程职业技术学院肖莹任副主编,全书由彭琪波统稿。在修订中参考了相关国家标准和一些同类教材,在此对有关单位和作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中仍然可能存在疏漏和不妥之处,恳请各教学单位、企业和读者批评指正,以便根据产业升级情况和最新国家标准持续更新专业教学资源库,进一步修改和完善教材。

编者

目 录

项目一 公差与技术测量概述.....	1
任务1 互换性概述	1
任务2 技术测量基础	9
项目综合知识技能——工程案例与分析	31
项目二 尺寸公差配合与检测	32
任务1 零件图的尺寸公差与检测	32
任务2 装配图的配合公差与检测	49
任务3 尺寸公差与配合的选择	60
项目综合知识技能——工程案例与分析	74
项目三 几何公差及检测	77
任务1 几何公差的基本知识	77
任务2 几何公差的标注	84
任务3 几何公差及几何误差检测	101
任务4 尺寸公差与几何公差的关系	134
任务5 几何公差的选择	153

公差配合与技术测量

项目综合知识技能——工程案例与分析	169
项目四 表面结构评定规则及方法	171
任务1 零件图的表面粗糙度	171
任务2 表面粗糙度的选用	184
项目综合知识技能——工程案例与分析	191
项目五 典型零部件的公差配合及检测	193
任务1 螺纹的公差配合及检测	193
任务2 滚动轴承的公差配合及检测	210
任务3 键的公差配合及检测	222
任务4 圆柱齿轮的公差配合及检测	238
项目综合知识技能——工程案例与分析	267
附录	269
参考文献	270

项目一

公差与技术测量概述

任务 1 互换性概述

【学习目标】

1. 掌握互换性的概念及其在机械制造和产品维修方面的作用。
2. 了解互换性与公差、检测的相互关系。
3. 掌握标准化与优先数系的基本概念。

【任务引入】

在日常生活中，人们经常会遇到这样的情况：家里的灯泡坏了，自行车上的螺栓丢了，买一个相同规格的换上即可正常使用，非常方便、快捷。

常见的机械传动装置——齿轮减速器，如图 1-1 所示，请思考这些零件维修时的相互替换是如何实现的，其中机械零件如何进行设计、生产才能实现快速维修或更换。

【任务分析】

图 1-1 所示的圆柱齿轮减速器是由非标准件——箱体、齿轮轴、端盖（轴承盖）、输出轴、齿轮、轴套等以及标准件——滚动轴承、平键、密封圈、螺栓等组成。各个合格的零部件不需选择、修配即可装配成满足由电机或其他原动机（经联轴器等）驱动输入轴，通过系列传动，由输出轴降速增矩驱动其他工作机械的使用功能。当减速器使用中突然出现零部件损坏现象或按计划定期更换时，要求迅速更换修复且满足使用功能。组成现代技术装置和日用机电产品的各种零件，一般应遵守互换性原则。

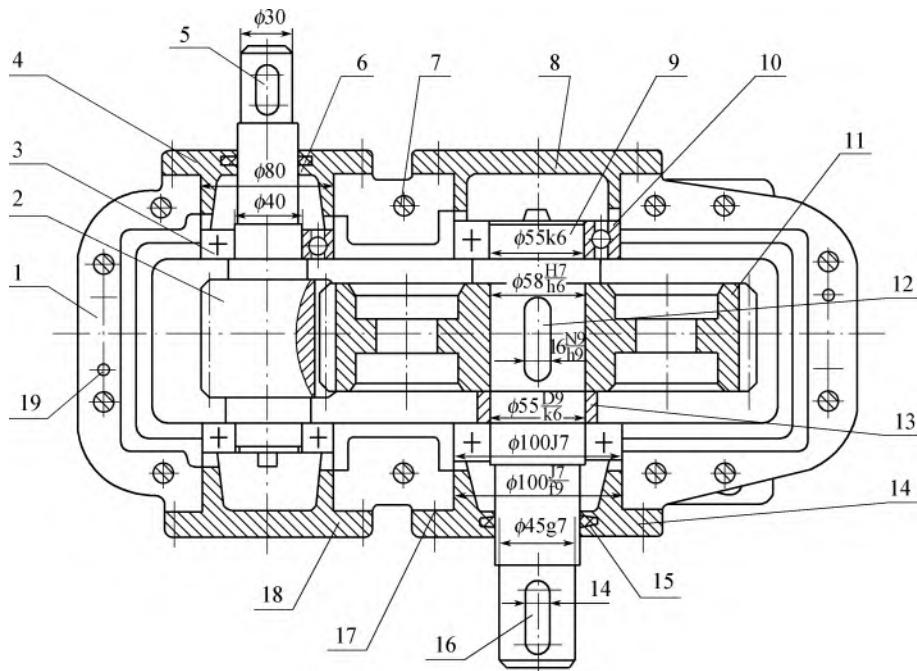


图 1-1 圆柱齿轮减速器

1—箱体；2—齿轮轴；3—滚动轴承；4—端盖；5—平键；6—密封圈；7—螺栓；8—端盖；9—输出轴；10—滚动轴承；11—大齿轮；12、16—平键；13—轴套；14—端盖；15—密封圈；17—垫片；18—端盖；19—定位销配作

【相关知识】

一、互换性

1. 互换性的含义

所谓互换性，是指机械产品在装配时，同一规格的零部件不经选择、修配或调整就能保证机械产品使用性能要求的一种特性。能够保证产品具有互换性的生产，称为遵守互换性原则的生产。

互换性分为广义的互换性和狭义的互换性。广义的互换性是指机器的零部件在各种性能方面都具有互换性，如零件的几何参数、物理性能、化学性能等。而狭义的互换性是指零部件只满足几何参数的要求，如尺寸大小、几何形状、位置和表面粗糙度的要求。本课程研究的是狭义的互换性。

2. 互换性的种类

(1) 按决定的参数或使用的要求分

① 几何参数互换性(主要保证装配)：几何参数互换仅指零部件的尺寸、形状、位置及表面结构参数的互换。

② 功能互换性(保证使用)：功能互换包括零部件的几何参数、物理性能、化学性能及力学性能等方面互换。

(2) 按同种零部件加工好后的互换程度分

① 完全互换是指同一规格的零部件装配前不经选择,装配时也无须修配和调整,装配后即可满足预定的使用要求。如螺栓、圆柱销等标准件的装配大都属于此类情况。

② 不完全互换是指零部件加工好后,在装配前需要挑选、分组、调整和修配等才能满足使用要求。

当装配精度要求较高时,采用完全互换将使零件制造精度要求太高,造成加工困难,甚至成本剧增,因此可适当降低零件的制造精度,使之便于加工,再对加工后的零件进行精密测量,按测得尺寸大小将对应零件从大到小分为若干组,组号相同的零件相装配,这种降低加工难度、保证装配精度的装配互换称为分组装配法。

一般来讲,产品功能要求与零件制造水平、经济效益相适应时,可采用完全互换,反之采用不完全互换;不完全互换常用在制造厂内部对部件或机构的装配,而厂外协作大都要求完全互换;凡装配时需要附加修配的零件都不具有互换性。

3. 互换性的作用

在机械工业中,遵循互换性原则,对产品的设计、制造、使用和维修具有重要的技术经济意义。

(1) 便于产品的设计:由于采用具有互换性的标准件、通用件,可使设计工作简化,缩短设计周期,并便于用计算机辅助设计。

(2) 便于产品的制造:当零件具有互换性时,可以采用分散加工、集中装配,这样有利于组织专业化协作生产,有利于使用现代化的工艺装备,有利于组织流水线和自动线等先进的生产方式。装配时,无须辅助加工和修配,既能降低工人的劳动强度,又能缩短装配周期,还可使装配工作按照流水作业的方式进行,从而保证产品质量,提高劳动生产率和经济效益。

(3) 便于产品的使用、维修:当机器的零件突然损坏或按计划定期更换时,可在最短时间内用备件加以替换,从而提高机器的利用率和延长机器的使用寿命。

在其他方面,例如战场上使用的武器,保证零(部)件的互换性是绝对必要的。在这些场合,互换性所起的作用难以估量。

互换性不仅在大量生产中广为采用,随着现代生产逐步向多品种、小批量的综合生产系统方向转变,互换性也为小批生产,甚至单件生产所要求(零件只能采用单配才能制成除外)。总之,在机械制造中遵循互换性原则,不仅能极大地提高生产效率,而且能保证产品质量和降低生产成本。所以,互换性已经成为现代化机械制造业普遍遵守的一条原则。

二、实现互换性的条件

在加工中零件的几何参数不可避免地会产生误差,不可能、也没有必要制造出完全一样的零件。要实现零件的互换性,必须将零件的几何参数误差限制在一定的范围内。

零件的实际几何参数误差是否在规定的范围内,需要通过技术测量加以判断,因此要实现互换性生产必须合理确定公差并正确进行检测。

1. 加工误差与公差

(1) 加工误差

加工误差是由工艺系统的诸多误差因素所造成的,如加工方法的原理误差,工件装夹定

公差配合与技术测量

位误差,夹具、刀具的制造误差与磨损,机床的制造、安装误差与磨损,切削过程中的受力、受热变形和摩擦振动,还有毛坯的几何误差及加工中的测量误差等。本书中的加工误差主要是指尺寸误差、形状误差、位置误差和表面粗糙度等。

① 尺寸误差:尺寸误差指零件加工后的实际尺寸对理想尺寸的偏离程度。理想尺寸是指图样上标注的最大、最小两极限尺寸的平均值,即尺寸公差带的中心值。

② 形状误差:形状误差指加工后零件的实际表面形状对于其理想形状的差异(或偏离程度),如圆度、直线度等。

③ 位置误差:位置误差指加工后零件的表面、轴线或对称平面之间的相互位置对于其理想位置的差异(或偏离程度),如同轴度、位置度等。

④ 表面粗糙度:表面粗糙度指加工后的零件表面上由较小间距和峰谷所组成的微观几何形状误差。零件表面微观不平度用表面粗糙度的评定参数值表示。

(2) 公差

同规格的零部件的零件几何参数误差允许的变动范围称为公差,它包括尺寸公差、形状公差、位置公差、表面粗糙度等。公差是从使用、设计的角度提出的,规范限制了误差,体现出对产品精度的保证。公差值的大小会影响制造与测量的可能性及成本,因此,在满足使用要求的前提下,应尽量选择较大的公差值。

合理地确定公差、限制零件误差范围并正确进行检测,是实现互换性的手段和前提条件。

2. 几何量检测

检测是检验和测量的统称。几何量的检验是指确定所加工零件的几何参数是否在规定的极限范围内,并做出合格与否的判断,而不必得出被测量值的具体数值。测量是将被测几何量与作为计量单位的标准量进行比较,以确定其具体数值的过程。

检测是机械制造的“眼睛”。检测不仅可用于评定产品质量,而且可用于分析产品不合格的原因,从而及时调整加工工艺,预防废品的进一步产生,以达到降低产品成本的目的。

因此,产品质量的提高,除设计和加工精度的提高外,往往更有赖于检测精度的提高。所以,合理地确定公差与正确进行检测是保证产品质量、实现互换性生产的两个必不可少的条件和手段。

3. 标准与标准化

社会化生产机械产品要共同遵守互换性原则,而每种产品中都有若干几何参数和因素影响其互换性。实现产品几何量互换性是一项要求高度统一的非常繁重的工作。这就要求互换性产品的技术参数必须规范和简化,具有权威的标准和标准化,因此,标准与标准化是实现互换性的基础。

(1) 标准与标准化的概念

标准是人们对需要协调统一的具有重复性特征的事物(如零部件)和概念(如定义术语、规则方法、度量单位等)做出的科学统一的权威规定。它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础,经有关方面协商一致,由主管机构批准,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据。

标准化是指标准的制定、发布和贯彻实施的全部活动过程,包括从调查标准化对象开

始,经试验、分析和综合归纳,进而制定和贯彻标准,以后还要修订标准,等等。标准化是以标准的形式体现的,也是一个不断循环、不断提高的过程。它是组织现代化生产的重要手段和有力武器,是国家现代化水平的重要标志之一。

(2) 标准的分类

标准按性质不同可以分为三大类:技术标准、管理标准和工作标准。它们分别是对标准化领域中需要协调统一的技术、管理和工作事项所制定的标准。我们通常所说的标准大多是指技术标准。

技术标准可分为基础标准、产品标准、方法标准、安全卫生与环境保护标准等。本课程所研究的公差标准属于基础标准。基础标准是指在一定范围内作为其他标准的基础,被普遍使用并具有广泛指导意义的标准,如计量单位、优先数系、机械制图、极限与配合、形状和位置公差及表面粗糙度等标准。

(3) 标准的级别

我国标准分为四个级别:国家标准(GB)、行业标准(如 JB)、地方标准(DB)和企业标准(QB)。全国统一制定的标准为国家标准,在全国同一行业内制定的标准为行业标准,在省、自治区、直辖市范围内制定的标准为地方标准,在企业内部制定的标准为企业标准。后三个级别的标准不得与国家标准相抵触,其优先顺序依次为国家标准,行业标准,地方标准,企业标准。

我国的国家标准和行业标准又分为强制性标准和推荐性标准两大类。一些关系到人身安全、健康、卫生及环境保护等标准属于强制性标准,国家用法律、行政和经济等手段强制执行;大量的标准(80%以上)为推荐性标准,要求积极遵守。推荐性的国家标准代号为GB/T。

从世界范围看,标准有国际标准和国际区域性标准两级。国际标准是指由国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)制定发布的标准。国际区域性标准是指由国际地区(或国家集团)性组织,如欧洲标准化委员会(CEN)和欧洲电工标准化委员会(CENELEC)等制定并发布的标准。

4. 优先数与优先数系

在机械设计与制造中,产品的性能、尺寸规格等参数都要通过数值来表达,而这些数值又会向与它相关的一系列参数传递。如图 1-2 所示,某一螺栓的尺寸会影响与之相配合的螺母的尺寸、制造螺栓的刀具尺寸、检验螺栓的量具尺寸等。

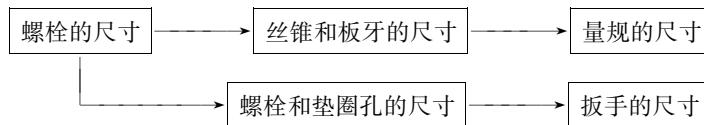


图 1-2 数值参数指标的扩展

由此可见,工程技术中的参数数值不可以杂乱和冗余。否则经过传播可造成尺寸规格的繁杂,给生产的组织和管理带来困难。

优先数和优先数系就是对各种技术参数的数值进行协调和科学统一的数值标准,使产品参数的选择一开始就纳入标准化轨道。在确定机械产品的技术参数时,应尽可能地选用《优先数和优先数系》(GB/T 321—2005)中的数值。

优先数系是一种无量纲的分级数值,它是十进制等比数列,适用于各种量值的分级,数系中的每一个数都为优先数。

工程上各种技术参数的简化、协调和统一是标准化的一项重要内容。优先数是由一些十进制等比数列构成,其代号为 Rr , R 是优先数系创始人法国人雷诺姓氏的第一个字母, r 代表 5、10、20、40、80 等项数。等比数列的公比为 $q_r = \sqrt[5]{10}$, 其含义是在同一个等比数列中,每隔 r 项的后项与前项的比值增大 10 倍。GB/T 321—2005 规定了 5 个等比数列,它们的公比分别为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 、 $\sqrt[80]{10}$, 分别用系列符号 R5、R10、R20、R40、R80 表示,其中前 4 个为基本系列,R80 为补充系列,后者仅用于分级很细的特殊场合。

按公比计算得到的优先数的理论值,除 10 的整数次幂外,都是无理数,工程技术上应用时采用圆整后的近似值,按圆整的精确程度,这些数值分为以下两类:

- (1) 计算值:计算值取 5 位有效数字,供精确计算用;
- (2) 常用值:常用值取 3 位有效数字,即经常使用的、通常所称的优先数。

1~10 范围内基本系列的常用值和计算值见表 1-1。如将表中所列优先数乘以 10、100……或乘以 0.1、0.01……即可得到大于 10 或小于 1 的优先数。

为了满足生产需要,优先数系还有派生系列。派生系列是指从某系列中按一定项差取值可构成的系列,如 R10 系列中,每 3 项取一值得到 R10/3 系列,其公比为 $R10/3 = (\sqrt[10]{10})^3 \approx 2$, 即 1, 2, 4, 8, ……; 1.25, 2.5, 5, 10, ……

优先数系分档科学合理,不仅对数值的协调、简化起着重要的作用,而且是制定其他标准的依据,在设计中也广泛使用。本课程所涉及的有关标准中,如尺寸分段、公差分级及表面粗糙度的参数系列等,基本上采用优先数系。如标准公差值是按照 R5 系列确定的,表面粗糙度标准中规定的取样长度分段是采用 R10 系列的派生数系 R10/5 确定。标准规定的五种优先数系的公比及常用数值见表 1-1。

表 1-1 优先数系基本系列的公比及常用数值(R80 略)

基本系列	公比	1~10 的优先数值
R5	$\sqrt[5]{10} \approx 1.60$	1.00 1.60 2.50 4.00 6.30 10.00
R10	$\sqrt[10]{10} \approx 1.25$	1.00 1.25 1.60 2.00 2.50 3.15 4.00 5.00 6.30 8.00 10.00
R20	$\sqrt[20]{10} \approx 1.12$	1.00 1.12 1.25 1.40 1.60 1.80 2.00 2.24 2.50 2.80 3.15 3.55 4.00 4.50 5.00 5.60 6.30 7.10 8.00 9.00 10.00
R40	$\sqrt[40]{10} \approx 1.06$	1.00 1.06 1.12 1.18 1.25 1.32 1.40 1.50 1.60 1.70 1.80 1.90 2.00 2.12 2.24 2.36 2.50 2.65 2.80 3.00 3.15 3.35 3.55 3.75 4.00 4.25 4.50 4.75 5.00 5.30 5.60 6.00 6.30 6.70 7.10 7.50 8.00 8.50 9.00 9.50 10.00

【任务实施】

公差用于协调机器零件使用要求与制造经济性之间的矛盾,而配合则是反映零件组合时相互之间的关系。因此,公差与配合决定了机器零部件相互配合的条件和状况,它直接影响产品的精度、性能和使用寿命,是评定产品质量的重要技术指标之一。对本课程来说,暂不考虑材料性能等其他因素,只考虑零部件的几何量因素,科学地确定公差和配合是产品实现互换性高性价比的前提。

一、认识互换性原则在机械制造中的应用

在机械装备中,齿轮减速器产量为批量生产,只有遵循互换性原则,不仅能极大地提高生产效率,而且能保证产品质量和降低生产成本。

由齿轮减速器的装配图(图 1-1)可知,该齿轮减速器由二十多种零部件装配而成,其中标准零部件有轴承、键、销、螺栓、密封圈、垫片等,非标准件有箱座、箱盖、输入轴、输出轴、端盖和套筒等。这些零部件中,轴承是由专业化的轴承厂制造,键、销、螺栓、密封圈、垫片等由专业化的标准件厂生产,非标准件一般由各机器制造厂加工。

在生产线上装配时,各个企业在制造零部件时采用统一的技术标准,极易将合格零件装配成部件,再由部件迅速总装成满足产品性能的合格品。

二、认识优先数在机械制造中的应用

在标准化工作中,几乎所有参数都是按优先数系确定的。

只有科学合理地设计、确定各处配合及工作要求的部位和表面精度,才能实现互换性原则。如图 1-1 所示减速器案例中二十几种标准与非标准零部件,几十处影响互换性的尺寸及公差都必须按标准的优先数系确定。齿轮减速器中部分孔和轴配合的公差配合设计:输入轴端尺寸与公差为: $\phi 20js6$; 输出轴箱体孔尺寸与公差为: $\phi 47J6$; 输出轴与齿轮的配合代号 $\phi 32H7/h6$ 等。

【拓展知识】



面向现代制造的先进测试技术及其进展

扫码见拓展视频
“大国工匠”

一、现代制造与先进测试技术

先进测试技术是对被测对象的参量进行测量,将测量信息进行采集、变换、存储、传输、显示和控制的技术,是能大量储存和快速处理信息的计算机技术和传输信息的通信技术的综合。

现代制造技术在向精密化、极端化、集成化、智能化、网络化、数字化、虚拟化方向的发展过程中,促进了相应的先进测试技术的发展。同时,现代制造技术快速进步引发了许多新型测试问题,并将推进传感器、测试技术、测试仪器系统与现代制造系统的协同发展,相互支持,构建集成一体化的现代制造集成系统。

二、精密机械加工未来发展预测

随着制造业的发展,现在的精密机械加工正在从微米、亚微米级工艺发展,在今后的加

公差配合与技术测量

工中,普通机械加工、精密加工与超精密加工精度可分别达到 $1 \mu\text{m}$ 、 $0.01 \mu\text{m}$ 、 $0.001 \mu\text{m}$ (即 1 nm)，而且超精密加工正在向原子级加工精度逼近(0.1 nm)。随着极限加工精度的不断提高,为科学技术的发展和进步创造了条件,也为机械冷加工提供了良好的物质手段。

三、精密测试技术和仪器研究与应用展望

面向现代制造系统,需要重点研究的问题是:在过计算机网络环境下的系统集成技术控制下,利用新型传感原理的创新和测试传感器的开发,加强零废品生产中的测试控制技术,尤其是在高档数控机床加工系统的在线精密测试技术及精度补偿技术、加工测试一体化技术、非接触及数字化测试技术与设备。工件加工前快速准确地对机床加工设备进行校检的技术方法;生产过程中对工件进行在线测试;从精度理论方面需要研究动态精度理论,包括动态精度的评价技术。通过在线测试数据分析加工和测试过程中误差分布的动态特性,进行加工质量预测,做到质量超前控制。

【思考练习】

一、填空题

1. 互换性是指产品零部件在装配时要求:装配前_____，装配中_____，装配后_____。
2. 实行专业化协作生产必须遵守_____原则。
3. 保证互换性生产的基础是_____。
4. R5 系列中 $10 \sim 100$ 的优先数是 10 、_____、_____、_____、 63 、 100 。
5. 优先数系 R10 系列中在 $1 \sim 10$ 的进段中包含_____个优先数。

二、选择题

1. 互换性的零件应是()。
A. 相同规格的零件 B. 不同规格的零件 C. 相互配合的零件
2. 本课题研究的是零件()方面的互换性。
A. 物理性能 B. 几何参数
C. 化学性能 D. 尺寸
3. 不完全互换性一般用于()的零部件,适合于部分场合。
A. 生产批量大、装配精度高 B. 生产批量大、装配精度低
C. 生产批量小、装配精度高 D. 生产批量小、装配精度低

三、判断题

1. 为了使零件具有完全互换性,必须使各零件的几何尺寸完全一致。 ()
2. 有了公差标准,就能保证零件的互换性。 ()
3. 对大批量生产的同规格零件要求有互换性,单件生产则不必遵循互换性原则。 ()
4. 标准化是通过制定、发布和实施标准,并达到统一的过程,因而标准是标准化活动的核心。 ()

四、综合题

1. 互换性的意义及作用?

2. 什么是标准、标准化？按标准颁发的级别分，我国有哪几种？
3. 完全互换和不完全互换有什么区别？各应用于什么场合？

任务2 技术测量基础

【学习目标】

1. 掌握有关测量的基本概念和量块的基本知识。
2. 了解测量器具的分类及基本技术指标的概念。
3. 了解测量器具与测量方法的分类，掌握测量误差产生的原因。
4. 会用常见量具对零件尺寸进行测量，能对测量数据进行分析处理并判断合格性。

【任务引入】

在标准温度下，学生分别用千分尺、游标卡尺对图 1-1 所示的减速器中齿轮轴 2(输入轴) $\phi 40k6$ 上直径尺寸进行多次测量(在此取 15 次等精度测量)。试对测得数据进行处理，从而得出测量该处直径尺寸的测量结果。

【任务分析】

要完成此任务，学生需掌握计量器具和测量方法的分类，测量误差与数据处理。零件的几何量(尺寸、形位误差及表面粗糙度等)只有经过检测才能知道其结果，判断其是否符合设计要求。

【相关知识】

一、测量的概念

测量就是将被测量与具有计量单位的标准量在数值上进行比较，从而确定两者比值的实验认知过程。

测量过程包含四个要素：测量对象、计量单位、测量方法和测量精度，其中最重要的是测量方法(包括测量原理、计量器具和测量条件)。

1. 测量对象

本课程研究的测量对象是几何量，包括长度、角度、表面粗糙度和形位误差等。

2. 计量单位

用以度量同类量值的标准量。我国法定计量单位是：长度单位是米(m)，其他常用单位有毫米(mm)、微米(μm)和纳米(nm)；角度单位是弧度(rad)、度($^{\circ}$)、分($'$)和秒($''$)。

3. 测量方法

测量方法是指测量时所采用的原理、计量器具和测量条件的总和。根据给定的测量原理，在实际测量中运用该测量原理和实际操作，以获得测量数据和测量结果。

4. 测量精度

测量精度是指测量结果与真值的一致程度。测量结果与真值之间总是存在着差异，任何测量过程不可避免地会出现测量误差。测量误差小，测量精度就高；相反，测量误差大测量精度就低。

测量是互换性生产过程的重要组成部分，由于测量值并非真值，测量基本要求是在测量过程中保证计量单位的统一和量值的准确，通过测量结果判断其是否合格。

二、长度单位、基准和量值传递系统

1. 长度单位和基准

我国的法定计量单位中，长度计量单位为米(m)，与国际单位一致。机械制造中常用的长度计量单位为毫米(mm)， $1\text{ mm} = 10^{-3}\text{ m}$ 。在精密测量中，长度计量单位采用微米(μm)， $1\text{ }\mu\text{m} = 10^{-3}\text{ mm}$ 。在超精密测量中，长度计量单位采用纳米(nm)， $1\text{ nm} = 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}$ 。

米的定义：米是光在真空中在 $1/299\ 792\ 458\text{ s}$ 的时间间隔内所传播的距离。用光波的波长作为长度基准，不便于在生产中直接应用。为了保证量值的准确和统一，必须把长度基准的量值准确地传递到生产中所应用的计量器具和工件上。

2. 量值传递系统

长度量值由国家基准波长开始，通过两个平行系统（线纹量具、端面量具）向下传递，如图 1-3 所示。因此，量块和线纹尺都是量值传递媒介，其中尤以量块的应用更为广泛。

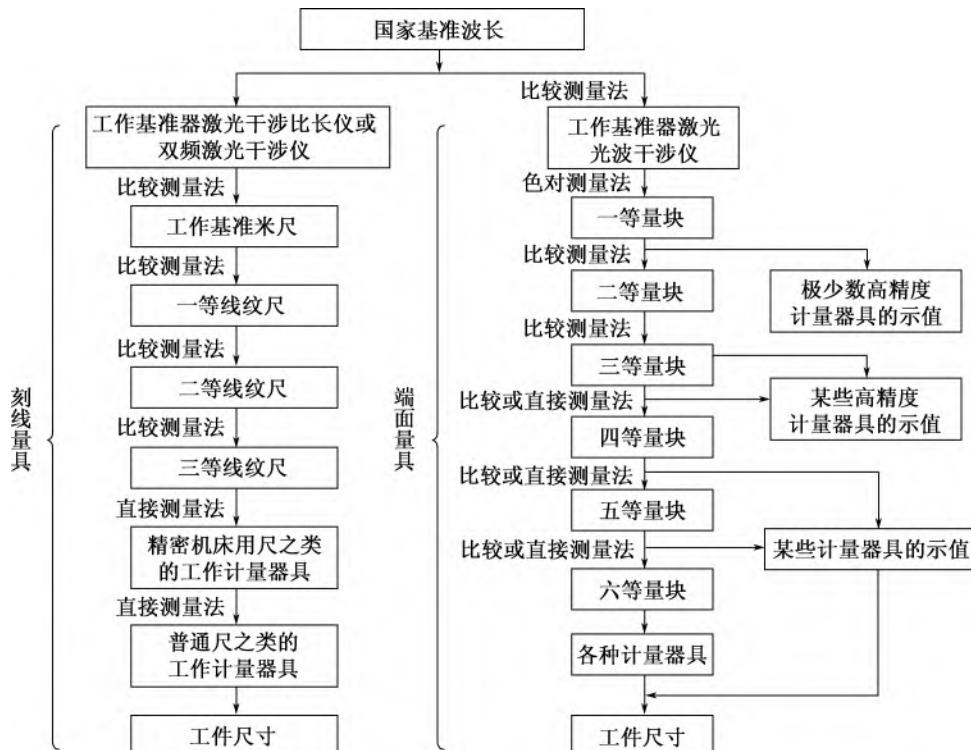


图 1-3 量值传递系统

3. 量块的基本知识

(1) 量块的材料、形状和尺寸

量块(又称块规)是没有刻度的平面平行的端面量具,用铬、锰、钢等特殊合金钢制成,具有线膨胀系数小、性质稳定、耐磨性好等特点,是长度量值传递系统中重要的媒介。它除了作传递长度量值的基准之外,还可以用来调整仪器、调整机床或直接检测工件。

量块的形状是长方体,有两个平行的测量面,其余为非测量面。测量面极为光滑、平整,两测量面之间的距离即为量块的工作长度(标称长度),如图 1-4(a)所示。量块的长度 l ,是指量块的一个测量面上的任意点到与其相对的另一测量面相研合的辅助体表面之间的垂直距离,辅体的材料和表面质量应与量块相同,如图 1-4(b)所示。

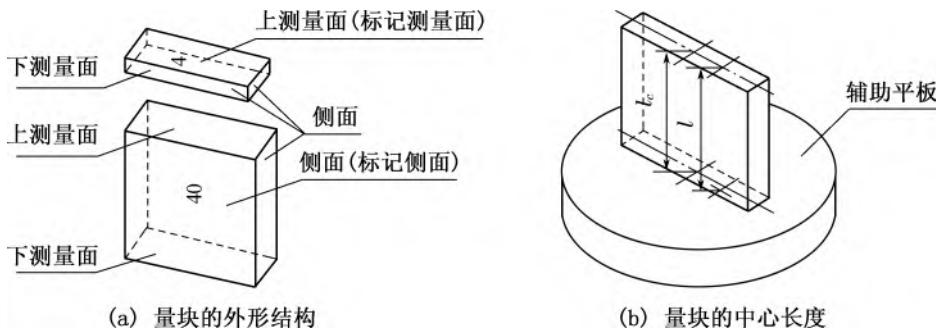


图 1-4 量块的形状尺寸

(2) 量块的级与等

量块的“级”和“等”是从成批制造和单个检定两种不同的角度出发,对其精度进行划分的两种形式。

① 量块的分“级”:根据 GB/T 6093—2001 的规定,量块按其制造精度分为 5 级,即 0, 1, 2, 3 和 K 级,其中 0 级精度最高,3 级最低,K 级为校准级,主要根据量块长度极限偏差、长度变动量允许值来划分的;量块按“级”使用时,以量块的标称长度为工作尺寸,该尺寸包含了量块的制造误差,并将被引入到测量结果中。

② 量块的分“等”:国家计量局标《量块 检定规程》(JJG 146—2003)按检定精度将量块分为六等,即 1, 2, 3, 4, 5, 6 等,其中 1 等精度最高,6 等精度最低,“等”主要依据量块中心长度测量的极限偏差和平面平行性允许偏差来划分的。按“等”使用时,必须以检定后的实际尺寸作为工作尺寸,该尺寸不包含制造误差,但包含了检定时的测量误差。

就同一量块而言,检定时的测量误差要比制造误差小得多。所以,量块按“等”使用时其精度比按“级”使用要高。

(3) 量块的构成与使用

量块是定尺寸量具,一个量块只有一个尺寸。为了满足一定范围的不同要求,量块可以利用其研合性,将多个量块研合在一起,组合使用。我国生产的成套量块有 91 块、83 块、46 块、38 块等几种规格。

为了减少量块的组合误差,应尽量减少量块的组合块数,一般不超过 4 块。选用量块时,应从所需组合尺寸的最后一位数开始,每选一块至少应减去所需尺寸的一位尾数。如图 1-5 所示,从 83 块一套的量块中选取尺寸为 28.785 mm 的量块组,选择的量块组合是由标

称尺寸分别为 1.005 mm、1.28 mm、6.5 mm 和 20 mm 的量块构成。

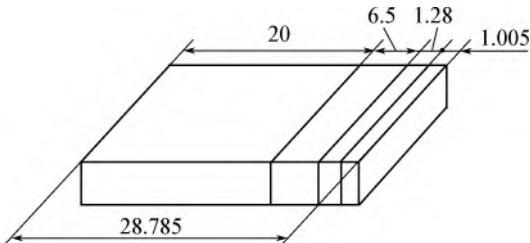


图 1-5 量块的组合使用

三、计量器具与测量方法的分类

1. 计量器具分类

计量器具是量具、量规、量仪和其他用于测量目的测量装置的总称。按用途、特点可分为：

(1) 标准量具：标准量具只有某一个固定尺寸，通常是用来校对和调整其他计量器具或作为标准用来与被测工件进行比较，它又分为定值基准量具(如量块、角度块等)和变值基准量具(如线纹尺等)两类。

(2) 极限量规：极限量规是一种没有刻度的用于检验零件的尺寸和形位误差的专用计量器具，用这种工具不能得出被检验工件的具体尺寸，但能确定被检验工件是否合格。如光滑极限量规和螺纹量规等。

(3) 检验夹具：检验夹具也是一种专用计量器具，它与有关计量器具配合使用，可以方便、快速地测得零件的多个几何参数。如检验滚动轴承的专用检验夹具可同时测得内、外圈尺寸和径向与端面圆跳动误差等。

(4) 通用计量器：计量仪器(量仪)通常是指具有传动放大系统的、能将被测量的量值转换成可直接观察的指示值或等效信息的计量器具。如游标卡尺、千分尺、百分表、激光干涉仪等。

2. 计量器具的技术性能指标

(1) 刻度间距：刻度间距是指刻度尺或刻度盘上相邻两刻线中心线间的距离。其通常是等距刻线，为了便于读数及估计一个刻线间距内的小数部分，刻线间距也不宜太小。刻线间距一般为 0.75~2.5 mm。

(2) 分度值：分度值也称刻度值，计量器具标尺上每个刻线间距所代表的量值即分度值。长度量仪中常用的分度值有 0.1 mm、0.01 mm、0.02 mm、0.05 mm、0.001 mm、0.0005 mm 等。如千分尺的分度值为 0.001 mm，百分表的分度值为 0.01 mm。图 1-6 所示的计量器具的分度值是 1 μm。

(3) 示值范围：示值范围是指由计量器具全部刻度所显示或指示的最低值到最高值的范围。例如，机械比较仪的示值范围为 ±0.1 mm。

(4) 测量范围：测量范围是指计量器具允许误差内所显示或指示的最小值到最大值的范围。如图 1-6 所示，机械式比较仪的测量范围为 0~180 mm。

(5) 灵敏度：灵敏度是指计量器具对被测量变化的反应能力。

(6) 测量力：测量力是指在测量过程中，计量器具与被测表面之间的接触力。在接触测

量时,测量力可保证接触可靠,但过大的测量力会使量仪和被测零件变形和磨损,而测量力的变化会使示值不稳定,影响测量精度。

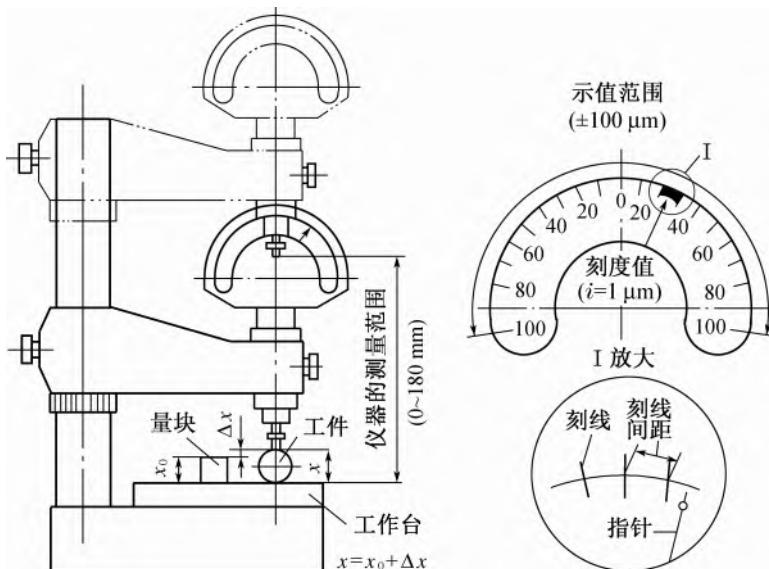


图 1-6 机械式比较仪示意图

(7) 示值误差:示值误差是指测量仪器的示值与被测量真值之差。

(8) 示值变动:示值变动是指在测量条件不变的情况下,对同一被测量进行多次重复测量(一般 5~10 次)时,各测得值的最大差值。

(9) 回程误差:回程误差是指在相同条件下,对同一被测量进行往返两个方向测量时,测量示值的变化范围。

(10) 修正值:修正值是指为了消除或减少系统误差,用代数法加到未修正测量结果上的数值。修正值等于示值误差的负值。例如,若示值误差为 -0.003 mm ,则修正值为 $+0.003 \text{ mm}$ 。

(11) 测量不确定度:测量不确定度是指由于测量误差的影响而使测量结果不能肯定的程度。不确定度用误差界限表示。

3. 测量方法的分类

测量方法是指测量原理、测量器具和测量条件的总和。但在实际工作中,往往从获得测量结果的方式来划分测量方法的种类。

(1) 按计量器具的示值是否被测量的全值分类

① 绝对测量:指测量时从计量器具上直接得到被测参数的整个量值。如用游标卡尺或千分尺测量孔或轴的直径就属于绝对测量。

② 相对测量:又称为比较测量,是指计量器具的示值只表示被测量相对于已知标准量的偏差值,而被测量为已知标准量与该偏差值的代数和。如在比较仪上测量轴径 x (图 1-6),先用量块(标准量) x_0 调整零位,然后测量被测量,实测后获得的示值 Δx 就是轴径相对于量块(标准量)的偏差值,实际轴径 $x=x_0+\Delta x$ 。通常相对测量的精度比绝对测量的精度高。

(2) 按实测几何量是否就是被测几何量分类

① 直接测量:指被测几何量的量值直接由计量器具读出。例如,用外径千分尺测量轴的直径就属于直接测量。

② 间接测量:指欲测量的几何量的量值由实测几何量的量值按一定的函数关系式运算后获得。如采用弓高弦长法间接测量圆弧样板的半径 R ,只要测得弓高 h 和弦长 L 的量值,然后按照有关公式进行计算,可获得样板的半径 R 的量值。直接测量的精度比间接测量的精度高。

(3) 按工件上是否有多个被测几何量同时测量分类

① 单项测量:指对被测的量分别进行的测量。如在工具显微镜上分别测量中径、螺距和牙型半角的实际值。确定每个参数的误差,分析加工过程中产生废品的原因等。

② 综合测量:指对零件上一些相关联的几何参数误差的综合结果进行测量。如对齿轮的综合误差的测量。综合测量的效率比单项测量的效率高。

(4) 按被测工件表面与计量器具的测头是否有接触分类

① 接触测量:指计量器具的测头与被测表面相接触,并有机械作用的测量力的测量。如用比较仪测量轴径。

② 非接触测量:指计量器具的测头与被测表面不接触,因而不存在机械作用的测量力的测量。如用光切显微镜测量表面粗糙度。

(5) 按测量结果对工艺过程所起的作用分类

① 被动测量:指对加工后的零件进行的测量,测量结果仅限于发现并剔除不合格品。

② 主动测量:指在零件加工过程中进行的测量,此时测量结果可直接用来控制加工过程,以防止废品的产生。如在磨削滚动轴承内外圈的外、内滚道过程中,测量头测量磨削直径尺寸,当达到尺寸合格范围时,则停止磨削。

(6) 按被测零件在测量中所处的状态分类

① 静态测量:指在测量时,被测表面与测头相对静止的测量。如用千分尺测量零件的直径。

② 动态测量:指在测量时,被测表面与测头之间有相对运动的测量。它能反映被测参数的变化过程。如用电动轮廓仪测量表面粗糙度。

主动测量和动态测量是测量技术的主要发展方向,前者能将加工和测量紧密结合起来,从根本上改变测量技术的被动局面;后者能较大地提高测量效率并保证零件的质量。

四、测量误差与数据处理

1. 测量误差的概念

测量误差是指测得值与被测量的真值之差。测量误差可用绝对误差和相对误差来表示。

(1) 绝对误差。绝对误差 δ 是指被测量的实际值 x 与其真值 x_0 之差,即

$$\delta = x - x_0$$

绝对误差是代数值,即它可能是正值、负值或零。

(2) 相对误差。相对误差 δ 是指绝对误差的绝对值与被测量的真值(或用约定测得值 x 代替真值 x_0)之比,即

$$\epsilon = \frac{|\delta|}{x_0} \times 100\% \approx \frac{|\delta|}{x}$$

当被测量的大小相同时,可用绝对误差的大小来比较测量精度的高低;而当被测量的大小不同时,则用相对误差的大小来比较测量精度的高低。在长度测量中,相对误差应用较少,通常所说的测量误差,一般是指绝对误差。

2. 测量误差的来源

在测量过程中,产生测量误差的因素很多,可归纳为以下几个方面。

(1) 计量器具误差。计量器具误差是指计量器具本身所存在的误差而引起的测量误差,具体地说,是由于计量器具本身的设计、制造以及装配、调整不准确而引起的误差,一般可用计量器具的示值误差或不确定度来表示。

(2) 方法误差。方法误差是指测量方法不完善所引起的误差。例如,测量方法选择不当、工件安装不合理、计算公式不精确、采用近似的测量方法或间接测量方法等造成的误差。

(3) 环境误差。环境误差是指由于各种环境因素与规定的标准状态不一致而引起的测量装置和被测量本身的变化所造成的误差,如湿度、温度、振动、气压和灰尘等环境条件不符合标准条件所引起的误差,其中以温度对测量结果的影响最大。在长度计量中,规定标准温度为 20 ℃。

(4) 人员误差。人员误差是指由于测量者受分辨能力的限制,因工作疲劳引起的视觉器官的生理变化,固有习惯引起的读数误差,以及精神上的因素产生的一时疏忽等所引起的误差。

3. 测量误差的分类

测量误差按其性质可分为三类,即系统误差、随机误差和粗大误差。

(1) 系统误差

在同一条件下,多次测量同一量值时,绝对值的大小和符号保持不变,或在条件改变时,按一定规律变化的误差称为系统误差。

系统误差有定值系统误差和变值系统误差两种。例如使用零位失准的千分尺测量工件,对每次测量结果的影响都相同,属于定值系统误差;在测量过程中,若温度产生均匀变化,则引起的误差为线性系统变化,属于变值系统误差。

对于定值系统误差的消除可用修正值法。可以取其反向值作为修正值,加到测量列的算术平均值上进行反向补偿,该定值系统误差即可被消除。例如,0~25 mm 千分尺两测量面并拢时读数没有对准零位,而是+0.005 mm,用此千分尺测量零件时,每个测得值都将大 0.005 mm。此时可用修正值 -0.005 mm 对每个测量值进行修正。

对于变值系统误差的发现,可使用残余误差观察法。残余误差观察法是将残余误差按测量顺序排列,然后观察它们的分布规律:若残余误差大体上呈正、负相间出现且无显著变化规律,则不存在变值系统误差,如图 1-7(a)所示;若残余误差按近似的线性规律递增或递减,且在测量开始与结束时误差符号相反,则可判定存在线性变值系统误差,如图 1-7(b)所示;若残余误差的符号有规律地逐渐由正变负,再由负变正,且循环交替重复变化,则可判定存在周期性变值系统误差,如图 1-7(c)所示。

对于线性系统误差的消除可采用对称法,对于周期性系统误差的消除可采用半周期法。

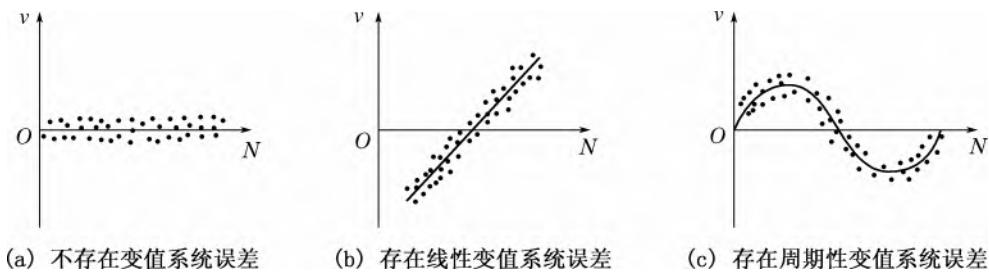


图 1-7 变值系统误差的发现

(2) 随机误差

在同一测量条件下,多次测量同一量值时,绝对值和符号以不可预定的方式变化着的误差称为随机误差。例如,仪器仪表中零部件配合的不稳定性、零部件的变形、零件表面油膜不均匀以及摩擦等引起的示值不稳定。随机误差是不可避免的,对每一次具体测量来说,随机误差无规律可循,但对于多次重复测量来说,误差出现的整体是服从统计规律的。

大量实验表明,随机误差符合正态分布规律。正态分布曲线如图 1-8 所示,横坐标 δ 表示随机误差,纵坐标 y 表示概率密度。

从图中可以看出,随机误差具有以下四个分布特性。

① 对称性:绝对值相等的正误差与负误差出现的概率相等。

② 单峰性:绝对值小的随机误差比绝对值大的随机误差出现的概率大,曲线有最高点。

③ 有界性:在一定的测量条件下,随机误差的绝对值不会超越某一确定的界限。

④ 抵偿性:随着测量次数的增加,随机误差的算术平均值趋近于零。因为绝对值相等的正误差和负误差之间可以相互抵消。

对于有限次测量,随机误差的算术平均值是一个有限小的量,而当测量次数无限增大时,它趋向于零。根据概率论原理,正态分布曲线的数学表达式为

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}$$

式中, y ——概率密度函数; δ ——随机误差; $e=2.71828$; σ ——标准偏差, 可按下式计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}{n}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}$$

式中, n ——测量次数。

由图 1-8 可以看出,当 $\delta=0$ 时,概率密度最大,且有 $y_{\max} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}}$, 概率密度的最大值

y_{\max} 与标准偏差 σ 成反比,即 σ 越小 y_{\max} 越大, 分布曲线越陡峭, 测得值越集中, 亦即测量精度越高;反之, σ 越大, y_{\max} 值愈小, 曲线愈平坦, 测得值愈分散, 亦即测量精度愈低。如图

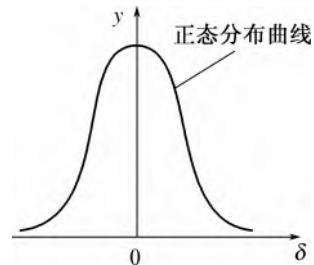
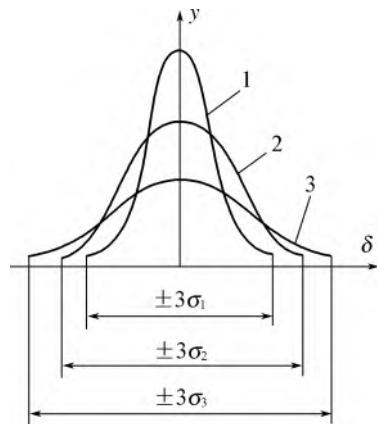


图 1-8 正态分布曲线

1-9 所示为三种不同的正态分布曲线, $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$, 而 $y_{1\max} > y_{2\max} > y_{3\max}$ 。所以标准偏差 σ 表征了同一被测量的几项测量测得值分散性的参数, 也就是测量精度的高低。由实验可知, 评定随机误差时以 $\pm 3\sigma$ 作为单次测量的极限误差, 即 $\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma$ 。可以认为 $\pm 3\sigma$ 是随机误差的实际分布范围, 即有界的界限为 $\pm 3\sigma$ 。

(3) 粗大误差

超出在规定条件下预期的误差称为粗大误差。此误差值较大, 明显歪曲测量结果, 如测量时对错了标志、读错或记错了数、使用有缺陷的仪器以及在测量时因操作不细心而引起的过失性误差等。如已存在粗大误差, 应予以剔除。常用的方法为, 当 $|\delta_i| > 3\sigma$ 时, 测得值 x_i 就含有粗大误差, 应予以剔除。 3σ 即作为判断粗大误差的界限, 此方法称 3σ 准则。

图 1-9 三种不同 σ 的正态分布曲线

4. 测量精度的分类

反映测量结果与真值接近程度的量, 称为精度, 它与误差的大小相对应, 因此可用误差大小来表示精度的高低, 误差小则精度高, 误差大则精度低。可将精度进一步分为:

- ① 精密度: 反映测量结果中随机误差的影响程度。若随机误差小, 则精密度高。
- ② 正确度: 反映测量结果中系统误差的影响程度。若系统误差小, 则正确度高。
- ③ 准确度: 反映测量结果中系统误差和随机误差综合的影响程度。若系统误差和随机误差都小, 则准确度高。

如图 1-10 所示, 反映了测量误差与精密度、正确度和准确度的对应关系。

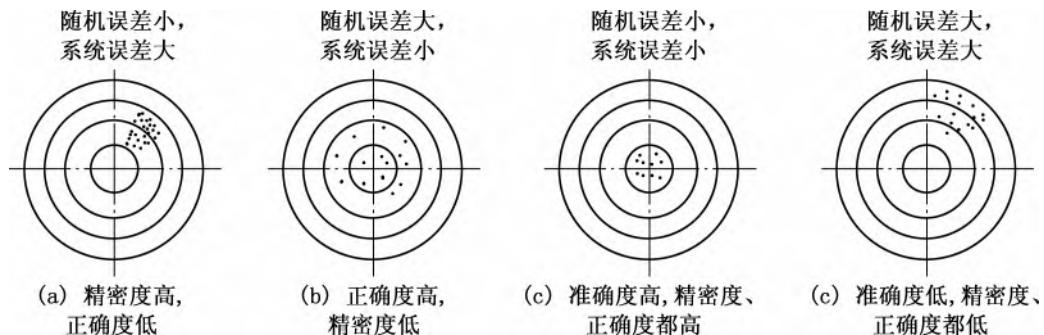


图 1-10 精密度、正确度和准确度示意图

【任务实施】

常用长度测量器具及使用

一、通用计量器使用

在各种几何量的测量中, 长度测量是最基础的。几何量中形状、位置、表面粗糙度等误差的测量大都是以长度值来表示的, 它们的测量实质上仍然是以长度测量为基础的。



扫码见“游标

卡尺”动画

1. 游标类量具

游标类量具是利用游标读数原理制成的一种常用量具,它具有结构简单、使用方便、测量范围大等特点。

(1) 游标类卡尺的种类

常用的游标量具有游标卡尺、深度游标尺、高度游标尺,它们的读数原理相同,所不同的主要是测量面的位置不同。

① 游标卡尺:游标卡尺是一种常用的量具,具有结构简单、使用方便、精度中等和测量的尺寸范围大等特点,可以用它来测量零件的外径、内径、长度、宽度、厚度、深度和孔距等,应用范围很广,如图 1-11 所示。

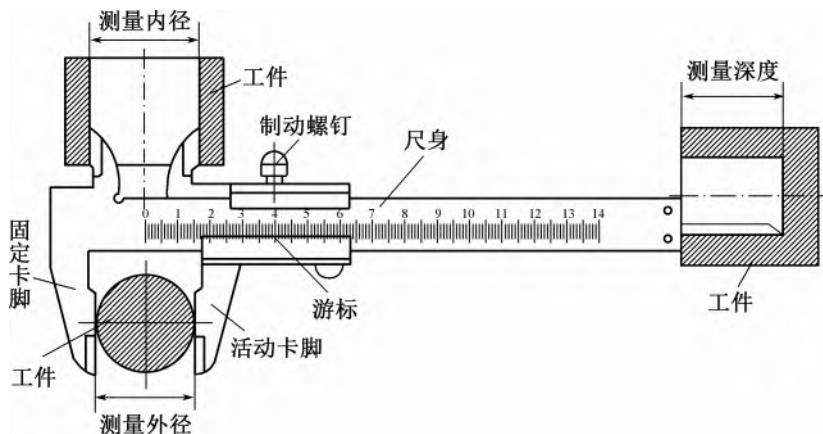


图 1-11 三用游标卡尺

② 深度游标卡尺:深度游标卡尺如图 1-12 所示,尺身顶端有普通型顶端及钩型顶端。钩型尺身不仅可进行标准的深度测量,还可对凸台阶或凹台阶、阶差深度和厚度测量。测量内孔深度时应把基座的端面紧靠在被测孔的端面上,使尺身与被测孔的中心线平行,伸入尺身,则尺身端面至基座端面之间的距离,就是被测零件的深度尺寸。它的读数方法和游标卡尺完全一样。

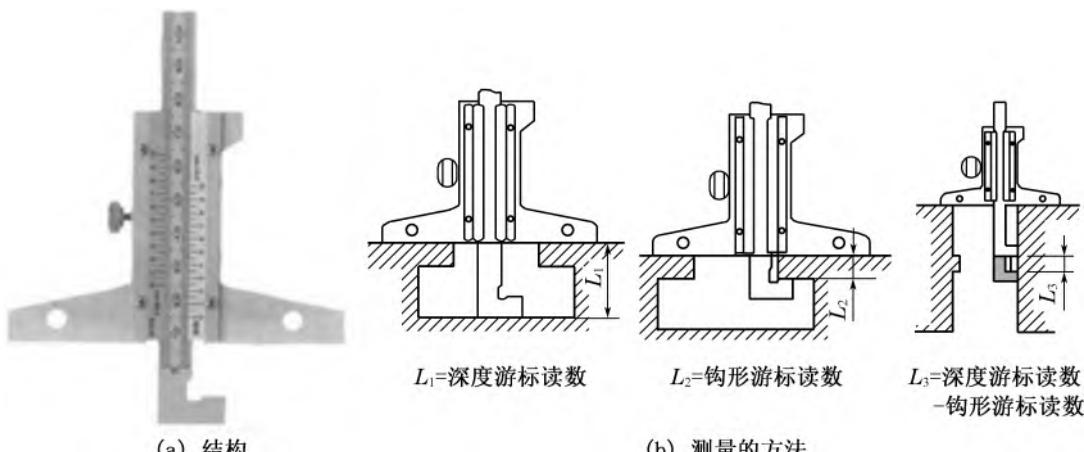


图 1-12 深度游标卡尺

③ 高度游标尺：高度游标卡尺简称高度尺，如图 1-13 所示，高度游标卡尺可分为普通游标式和电子数显式两大类。用于精密划线的高度游标卡尺又叫划线游标卡尺，可划线原理与读数方法同普通卡尺。测量零件高度的高度游标尺配有双向电子测头，并带有数据保持与输出功能，确保了测量的高效性和稳定性，分辨力为 0.001 mm。

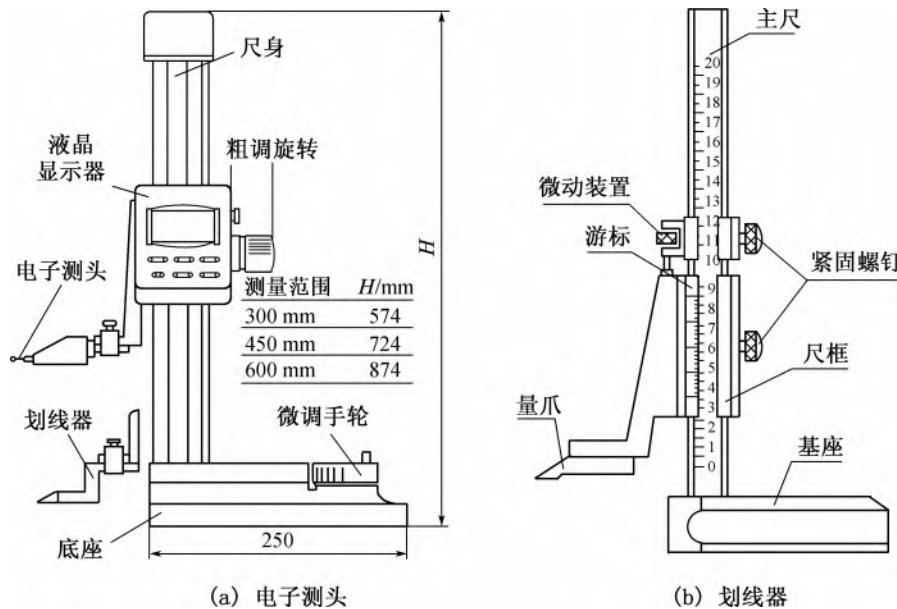


图 1-13 高度游标尺

④ 数显卡尺和带表卡尺：为方便读数，有的游标卡尺上装有测微或数显表头，如图 1-14(a)、(b)所示，测微表是通过机械传动装置，将两测量爪相对移动转变为指示表的回转运动，并借助尺身刻度和指示表，对两测量爪相对移动所分隔的距离进行读数。电子数显卡尺，它具有非接触性电容式测量系统，由液晶显示器显示读数。

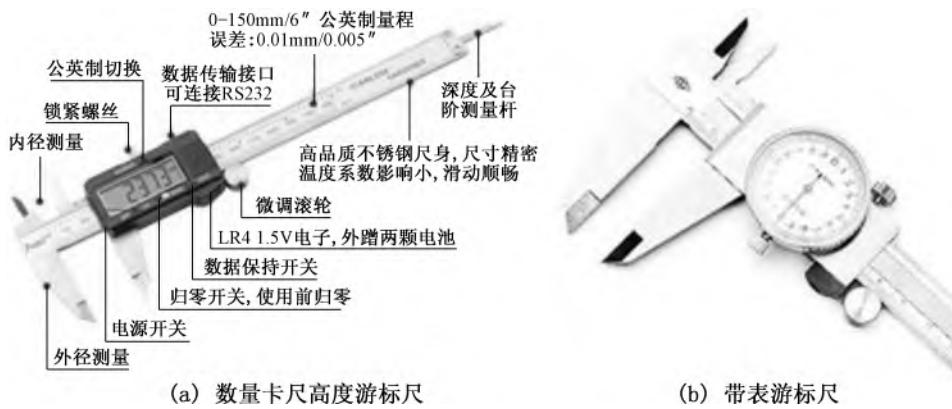


图 1-14 数显与带表游标尺

(2) 结构原理与读数方法

如图 1-15 所示,游标卡尺制造时,使游标卡尺主尺上 $n-1$ 格刻度的宽度与游标上 n 格的宽度相等,即主体上每格刻度与游标上每格刻度的差距为一固定值,通常为 0.02、0.05 等。

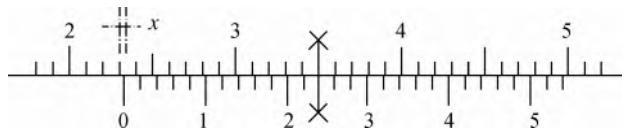


图 1-15 游标卡尺读数原理

以游标读数值为 0.02 mm 的游标卡尺为例,主体上每格刻度与游标上每格刻度的差距为 0.02 mm,当游标零线的位置在尺身刻线“12”与“13”之间,且游标上第 8 根刻线与主体尺身刻线对准时,则被测尺寸为

$$12+x=12+8\times 0.02=12+0.16=12.16 \text{ mm}$$

(3) 游标卡尺的使用

① 擦干净零件被测表面和千分尺的测量面;校对游标卡尺的零位,若零位不能对正时,记下此时的代数值,将零件的各测量数据减去该代数值。

② 根据零件的图纸标注要求,选择合适的游标卡尺或深度游标卡尺;用游标卡尺测量标准量块,根据标准量块值熟悉掌握游标尺卡脚和工件接触的松紧程度。

③ 如果测量外圆,应在圆柱体不同截面、不同方向测量 3~5 点,记下读数;若测量长度,可沿圆周位置测量几点,记录读数;测量外圆时,可用不同分度值的计量器具测量,对结果进行比较,判断测量的准确性。

④ 剔除粗大误差实测值后,将其余数据取平均值并和图纸要求比较,判断合格性。

2. 螺旋测微类量具

螺旋测微类量具又称千分尺。可分为外径千分尺、内径千分尺、深度千分尺、杠杆千分尺、螺纹千分尺、齿轮公法线千分尺等。

(1) 螺旋测微类量具结构原理与读数方法

扫码见“千分尺

常用外径千分尺的测量范围有 0~25 mm(结构如图 1-16 所示)、[“测量”动画](#) 25~50 mm、50~75 mm 以至几米以上,但测微螺杆的测量位移一般均为 25 mm,内径千分尺用来测 50 mm 以上实体内部尺寸。



图 1-16 螺旋测微类量具

螺旋测微类量具原理是利用测微杆与微分筒间的螺旋副传动将角度位移转化为直线位移,进行尺寸测量读数。

如一测微杠螺距为 0.5 mm,固定套筒上刻度也是 0.5 mm,螺旋副微分筒圆锥面上均匀刻有 50 等分的圆周刻度,当微分筒转动一格时,测微杆移动 0.5 mm 的 $1/50$,即 0.01 mm,千分尺的分度值为 0.01 mm。千分尺读数如图 1-17 所示。

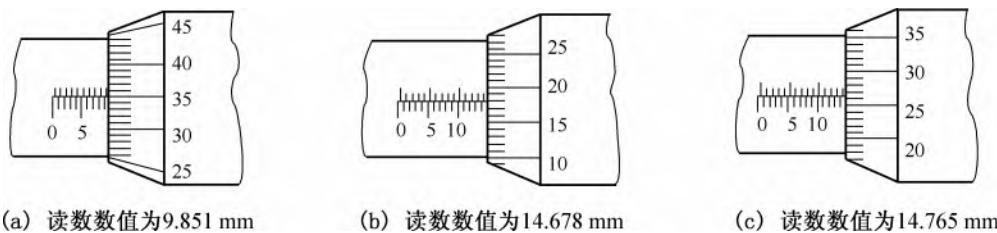


图 1-17 千分尺读数

(2) 外径千分尺使用步骤

- ① 将被测物擦干净,外径千分尺使用时轻拿轻放。
- ② 松开外径千分尺锁紧装置,校准零位,转动旋钮,使测砧与测微螺杆之间的距离略大于被测物体。
- ③ 测量时,一只手拿外径千分尺的尺架,先将测砧与工件接触,然后转动微分筒,缓慢进给测微螺杆,在测量面将要接触工作件时,应通过转动测力装置渐渐接近量面,听见“咔嗒”二到三声,表明测量面已接触上,测力装置卸荷有效。
- ④ 旋紧锁紧装置(防止移动外径千分尺时测微螺杆转动),即可读数。先以微分筒的端面为准线,读出固定套管下刻度线的分度值。

3. 机械量仪

百分表,是应用最广的机械量仪,是一种精度较高的比较量具,它只能测出相对数值,不能测出绝对数值,主要用于测量形状和位置误差,也可用于机床上安装工件时的精密找正。百分表的示值范围有 0~3 mm、0~5 mm、0~10 mm 三种。

(1) 结构原理与读数方法

百分表结构如图 1-18 所示,读数原理是百分表的测量杆移动推动齿轮传动系统转动,测量杆移动 1 mm,通过齿轮传动系统带动大指针转一圈,小指针转一格。刻度盘在圆周上有 100 个等分格,各格的读数值为 0.01 mm。小指针每格读数为 1 mm。测量时指针读数的变动量即为尺寸变化量,刻度盘可以转动,以便测量时大指针对准零刻线。百分表的读数方法为:先读小指针转过的刻度线(即毫米整数),再读大指针转过的刻度线(即小数部分),并乘以 0.01,然后两者相加,即得到所测量的数值。



图 1-18 百分表的结构

(2) 使用注意事项

① 使用前,应检查测量杆活动的灵活性,为方便读数,在测量前一般都让大指针指到刻度盘的零位;使用时,必须把百分表固定在可靠的夹持架上,如图 1-19 所示;测量时,不要使测量杆的行程超过它的测量范围,不要使表头突然撞到工件上,也不要用百分表测量表面粗糙或有显著凹凸不平的工作台。

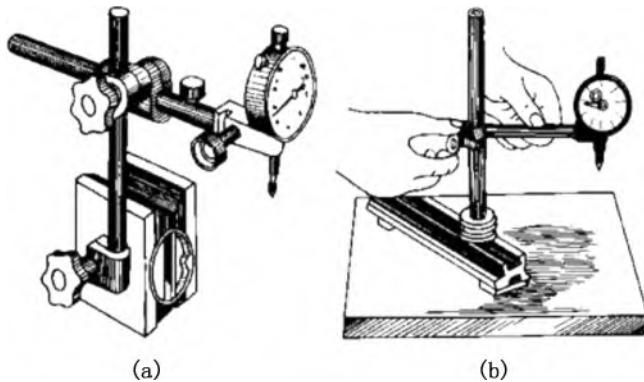


图 1-19 百分表安装

② 测量平面时,百分表的测量杆要与平面垂直,测量圆柱形工件时,测量杆要与工件的中心线垂直,否则,将使测量杆活动不灵或测量结果不准确。

③ 百分表不用时,应使测量杆处于自由状态,以免使表内弹簧失效。

(3) 内径百分表

内径百分表是用相对法测量孔径、深孔、沟槽等内表面尺寸的量具。它可测量 6~1 000 mm 的内孔尺寸,特别适合于测量深孔,如图 1-20 所示,它主要由百分表和表架等组成。测量前应使用与工件同尺寸的环规(或千分尺)标定表的分度值(或零位),然后再进行比较测量。

(4) 杠杆百分表

杠杆百分表,又称靠表,它通过机械传动系统把杠杆测头的位移转变为指示表指针的转动,杠杆百分表表盘圆周上刻有均匀刻度,分度值为 0.01 mm,示值范围一般为 ± 0.4 mm,如图 1-21 所示。杠杆百分表体积小,杠杆测头位移方向可以改变,因此在校正工件和测量时十分方便,尤其对小孔量测和机床上校正零件时,由于空间限制,百分表放不进去或量测杆无法垂直被测表面,使用杠杆百分表十分方便。

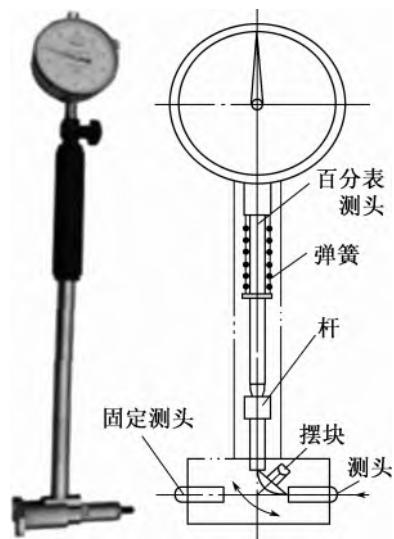


图 1-20 内径百分表

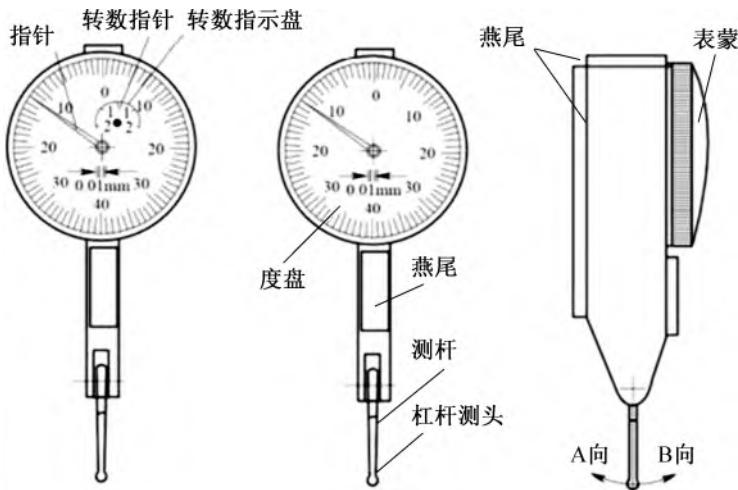


图 1-21 杠杆百分表

二、角度类量具

角度类量具应用较广泛的有万能角度尺、水平仪、正弦规等，下面重点介绍万能角度尺。

万能角度尺是一种结构简单的通用角度量具，其读数原理类同于游标卡尺。对于精度要求不太高的圆锥零件，通常用万能角度尺直接测量其斜角或锥角。万能角度尺可测量 $0^\circ \sim 320^\circ$ 的任意角度值，分度值有 $2'$ 和 $5'$ 两种。

如图 1-22 所示，万能角度尺由尺身、游标尺、 90° 角尺架、直尺等组成，直尺可在 90° 角尺架上的夹子中活动和固定。用基尺、角尺和直尺的不同组合，可以进行 $0^\circ \sim 320^\circ$ 角度的测量，主要用接触法测量工件的内、外角度。

1. 万能角度尺的读数方法

先读出游标尺零刻度前面的整读数，读“度”数；再看游标尺第几条刻线和尺身刻线对齐，从游标上读“分”数，然后将两者相加。

2. 测量步骤

根据被测角度的大小，按图 1-23 所示的 4 种组合方式之一调整好万能角度尺，分别测量 $0^\circ \sim 50^\circ$ 、 $50^\circ \sim 140^\circ$ 、 $140^\circ \sim 230^\circ$ 、 $230^\circ \sim 320^\circ$ 。松开万能角度尺锁紧装置，用角度尺的基尺和直尺与被测工件角度的两边贴合好，旋转制动头，以固定游标，再取下工件读出角度值；在不同的部位测量若干次（6~10 次），按一般尺寸的判定原则判断其合格性。



扫码见“万能角度尺测量角度”动画

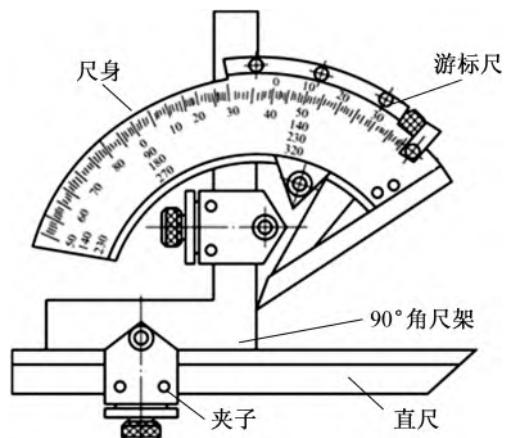


图 1-22 万能角度尺

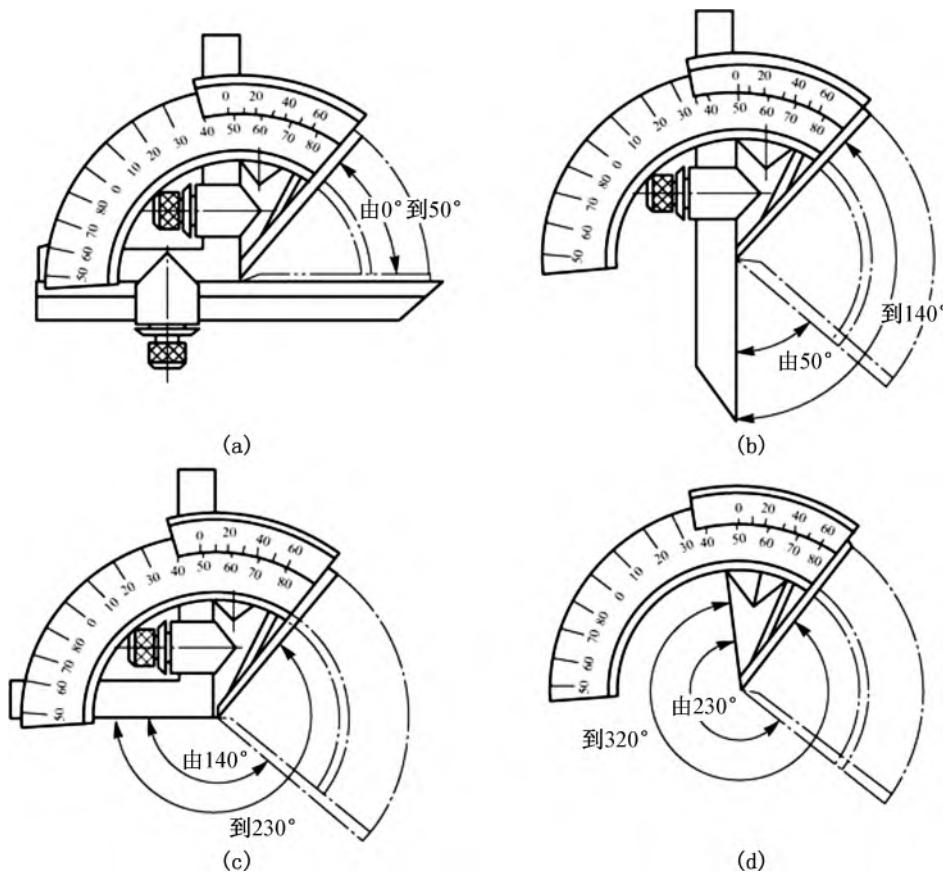


图 1-23 万能角度尺

三、三坐标测量机

三坐标测量机是一种精密、高效的测量仪器。它集光、机、电、计算机和自动控制等多种技术于一体,可在空间相互垂直的3个坐标上对测量长度和相互位置精度要求高、轮廓几何形状和空间曲面复杂的机械零件、模型和制品进行快速精密检测,是质量控制必不可少的设备,也是数控加工和柔性制造系统中实现“设计—制造—检测”一体化的重要单元,目前已被广泛用于机械制造业、汽车工业、电子工业、航空航天工业和国防工业等各部门。它之所以出现,一方面是自动机床、数控机床高效率加工及越来越多的复杂形状零件加工需要有快速且可靠的测量设备与之配套;另一方面是电子技术、计算机技术、数字控制技术及精密加工技术的发展为三坐标测量机的产生提供了技术基础。



扫码见“三坐标
使用”动画

1. 三坐标测量机的类型

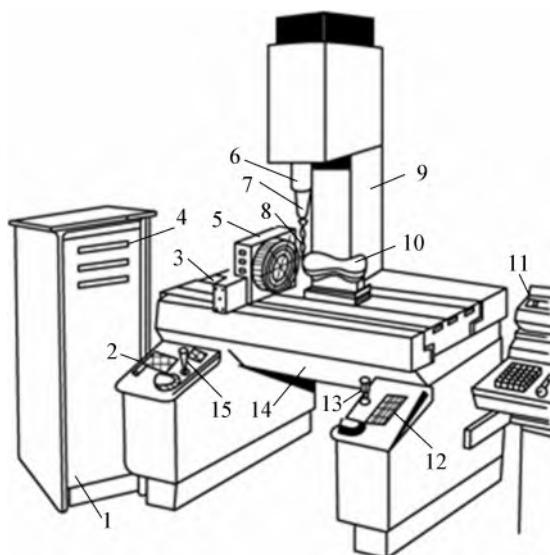
三坐标测量机根据应用场合一般可分为高精度型、中精度型和低精度型3类。它们是按三坐标测量机单轴示值精度在1 m测量范围内的误差值($\pm 2\sigma$)划分的,低精度的误差值大于 $\pm 15 \mu\text{m}$,中精度的误差值为 $\pm(5\sim 15)\mu\text{m}$,高精度的误差值小于 $\pm 5 \mu\text{m}$ 。

三坐标测量机根据测量范围可分为小型测量机(X 轴的测量范围在600 mm以下)、中型测量机(X 轴的测量范围为600~1 200 mm)和大型测量机(X 轴的测量范围在1 200 mm

以上);根据精度一般可分为生产型和精密型;根据布局结构可分为桥式(属于大型机)、龙门式(属于中型机)和悬臂式(属于小型机)。

2. 三坐标测量机的组成及工作原理

三坐标测量机由主机(包括工作台、导轨、驱动系统、位置测量系统等)、测头系统、控制系统、计算机及其软件、终端设备、工作台及附件等几部分组成。悬臂式三坐标测量机如图1-24所示。测量时,测量头沿着被测工件的几何型面移动,测量机随时给出测量头的位置,从而获得被测几何型面上各测点的坐标值。根据这些坐标值,计算机算出待测的尺寸或几何误差。



1—控制箱;2—操作键盘;3—工作台;
4—数显器;5—分度头;6—测杆;7—三
维测头;8—测针;9—立柱;10—工件;
11—记录仪、打印机等外部设备;12—
程序调用键盘;13、15—控制X、Y、Z运动
方向的操作手柄;14—机座

图1-24 悬臂式三坐标测量机

三坐标测量机工作台一般采用花岗石。导轨一般在X、Y、Z方向均采用气浮导轨,移动时摩擦阻力小,轻便灵活,工作平稳,精度高。位置测量系统是三坐标测量机的重要组成部分,对测量精度影响很大,一般采用自动发讯数字式连续位移系统。该系统由标尺光栅、指示光栅和光电转换器组成。当指示光栅相对标尺光栅移动时,由光栅副产生的莫尔条纹随之移动,其位移量由光电转换器转换成周期电信号,电信号经放大整形处理成计数脉冲,送入数显器或计算机中。

三坐标测量机的关键部件是测量头,测量头对测量机的功能、精度和效率影响很大。测量头根据测量方法不同分为接触式和非接触式;根据结构不同分为机械式、光学式和电气式。接触式测量头在测量时用测量头的下端与工件直接接触。非接触式测量头多为光学式或电气式,测量时没有测量力,故可对软材料和易变形材料进行精确测量。测量头在测杆上一般可以沿前、后、左、右和下5个方向安装。也可以同时安装几个测量头,以便同时进行各个面的测量。如测量复杂曲面,测量头还可以在水平面或垂直面内旋转。

三坐标测量机最常用的测量头是电气式测量头,电气式测量头分为点位测量电子测头和连续扫描测量电子测头两类。测头工作时不能离开工件。连续扫描测量电子测头工作时,可以在通过测头中心的断面内或垂直测头中心的平面内扫描轮廓型面。测头内含有3

套辅助伺服控制系统,用来保证测头始终贴在零件的表面上。连续扫描测量电子测头可对三维空间的曲线、曲面进行连续扫描测量。点位测量电子测头工作时,测头接触工件后发出采样信号,多头电子测头由5个三向过零发讯的电子测头分别装在测头主体的前、后、左、右、下5个位置上。因为点位测量电子测头是由不同形状和不同长度的测头组成的,所以可以在不更换测头和不改变测头状态下一次完成所有方向上的测量。

3. 三坐标测量机的应用

三坐标测量机通过软件控制测头(传感器),可以连续、可靠地进行测量,其主要用途是将加工好的零件与图样进行比较。三坐标测量机一般用于连续扫描测量和各种几何量的测量。其中,三坐标测量机对几何量的测量一般针对以下内容:

(1) 自动找正。测量前,先在标准块上校对测头,然后可将工件任意放在工作台上,用计算机找正。这时有工件坐标系和测量机坐标系两个坐标系。测量时先将工件坐标系中的基准点坐标送入计算机,计算机自动将各测量点的坐标值通过平移和旋转转换成工件坐标系中的坐标值。三坐标测量机通常采用点位测量,在工件表面上采样一系列有意义的空间点,经数据处理,计算出由这些点组成的特定几何要素的形状和位置。例如,测圆,理论上三点定圆,在测量点大于三点后可给出最小二乘圆的圆心和位置。

(2) 基本几何元素测量。基本几何元素如点、线、平面、球、圆、圆柱、圆锥等。计算时,计算机按最小二乘法给出各基本几何参数值,随着采样点数的增加,测量精度也相应地提高。任何复杂的工件均可分解为基本几何要素进行测量。

(3) 距离测量。例如,可测量点到点、点到线、点到面、线到线的距离。

(4) 几何误差测量。例如,测量各种几何要素的形状误差,测量线到面的垂直度,等等。

(5) 轮廓测量。测量曲线、曲面,如测量叶片曲面、模具型面等。

(6) 其他测量。如测量螺纹、齿轮、滚道等。

四、测量训练

试对标准量块和如图1-25所示零件的外圆、内孔直径、深度、长度等尺寸进行测量,将测量结果填入表1-2,并填写测量体会。

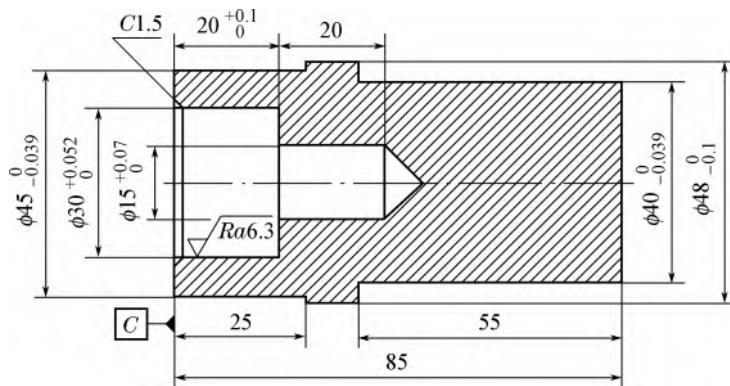


图1-25 尺寸测量零件图

1. 用游标卡尺、外径千分尺对轴径进行测量

- (1) 读零件图, 获取技术信息, 明确待测轴径尺寸要求。
 - (2) 检测前准备。选择测量器具, 检查测量器具, 清洁测量器具和工件待测表面, 游标卡尺或千分尺校对零位等。
 - (3) 采集数据。按测量器具的操作规程, 在工件待测表面的不同位置(不同截面、不同方位)多次测量($n=5$), 记下读数。
 - (4) 数据处理及误差分析。对所采集到的数据进行数据处理和误差情况分析(随机误差、系统误差、粗大误差)。
 - (5) 完成测量记录; 整理现场。
- ### 2. 用内径百分表对孔径进行相对测量
- (1) 读零件图, 获取技术信息, 明确待测孔径尺寸要求。
 - (2) 检测前准备。
 - ① 选择测量器具, 检查测量器具, 清洁测量器具和工件待测表面。
 - ② 按量块操作规程组合量块组。
 - ③ 将百分表(或千分表)装夹在表架上, 用量块组调整百分表(或千分表)零位。
 - (3) 采集数据。移去量块组, 换上待测工件, 在工件待测表面的不同位置(不同截面、不同方位)多次测量($n=5$), 记下百分表(或千分表)的读数, 该读数加上量块组的尺寸即所采集的轴径尺寸。
 - (4) 数据处理及误差分析。对所采集到的数据进行数据处理和误差情况分析(随机误差、系统误差、粗大误差)。
 - (5) 完成测量记录; 整理现场。

表 1-2 测量数据表

实验 项目	图样 要求	计量 器具	实 测					平均值	结 论
			1	2	3	4	5		
外径									
内孔									
长度									
深度									

【拓展知识】

直接测量列的数据处理

对测量结果进行数据处理,是为了找出被测量包含的各种误差,以求消除或减小测量误差的影响,提高测量精度。

1. 测量列随机误差的处理

(1) 算术平均值 \bar{x} 。在相同条件下对同一被测量进行多次等精度测量,其值分别为 x_1, x_2, \dots, x_n ,称为“测量列”。

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

式中, n 为测量次数。

随机误差

$$\delta_1 = x_1 - x_0, \delta_2 = x_2 - x_0, \dots, \delta_n = x_n - x_0$$

相加则为

$$\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) - nx_0$$

即

$$\sum_{i=1}^n \delta_i = \sum_{i=1}^n x_i - nx_0$$

其真值

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i$$

由随机误差抵偿性知,当 $n \rightarrow \infty$ 时,

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i = 0$$

$$\bar{x} = x_0$$

在消除系统误差的情况下,当测量次数很多时,算术平均值就趋近于真值。即用算术平均值来代替真值不仅是合理的,而且也是可靠的。

(2) 残差 v_i 。每个测得值与算术平均值的代数差,即

$$v_i = x_i - \bar{x}$$

残差具有下述两个特性:

① 残差的代数和等于零,即

$$\sum_{i=1}^n v_i = 0$$

② 残差的平方和最小,即 $\sum_{i=1}^n v_i^2$ 最小

当残差平方和为最小时,按最小二乘法原理知,测量结果是最佳值。这也说明了 \bar{x} 是 x_0

的最佳估值。

(3) 测量列中任一测得值的标准偏差 σ 。由于真值不可知,随机误差 δ_i 也未知,标准偏差 σ 无法计算。在实际测量中,标准偏差 σ 用残差来估算,常用贝赛尔公式计算,即

$$\sigma \approx \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2}$$

任一测得值 x ,其落在 $\pm 3\sigma$ 范围内的概率(P)为 99.73%,常表示为

$$x = \bar{x} \pm 3\sigma (P = 99.73\%)$$

(4) 测量列算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\bar{x}}$ 。在多次重复测量中,是以算术平均值作为测量结果的,因此要研究算术平均值的可靠性程度。

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n v_i^2}$$

(5) 测量列算术平均值的极限误差和测量结果。

测量列算术平均值的极限误差为

$$\delta_{\text{lim}}(\bar{x}) = \pm 3\sigma_{\bar{x}}$$

测量列的测量结果可表示为

$$x_0 = \bar{x} \pm \delta_{\text{lim}}(\bar{x}) = \bar{x} \pm 3\sigma_{\bar{x}} (P = 99.73\%)$$

2. 数据处理举例

【例】 对同一几何量等精度测量 15 次,所得数据列表如下(表 1-3),假设测量中不存在定值系统误差。试求其测量结果。

表 1-3 数据列表

序号	测得值 x_i/mm	残差 $v_i (= x_i - \bar{x})/\mu\text{m}$	残差的平方 $v_i^2/(\mu\text{m})^2$
1	40.039	-2	4
2	40.043	+2	4
3	40.040	-1	1
4	40.042	+1	1
5	40.041	0	0
6	40.043	+2	4
7	40.039	-2	4
8	40.040	-1	1
9	40.041	0	0
10	40.042	+1	1
11	40.041	0	0
12	40.041	0	0
13	40.039	-2	4
14	40.043	+2	4
15	40.041	0	0
	$\bar{x} = 40.041$	$\sum_{i=1}^{15} v_i = 0$	$\sum_{i=1}^{15} v_i^2 = 28$

解:(1) 求算术平均值:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{15} x_i = 40.041 \text{ mm}$$

(2) 求残余误差平方和:

$$\sum_{i=1}^{15} v_i = 0, \sum_{i=1}^n v_i^2 = 28(\mu\text{m})^2$$

(3) 判断变值系统误差:根据残差观察法判断,测量列中的残差大体上呈正、负相间,无明显规律的变化,所以认为无变值系统误差。

(4) 计算标准偏差 σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2} = 1.41 \mu\text{m}$$

(5) 判断粗大误差:由标准偏差知,可求得粗大误差的界限 $|\delta_i| < 3\sigma = 4.23 \mu\text{m}$,故不存在粗大误差。

(6) 求任一测得值的极限误差:

$$\delta_{\lim} = \pm 3\sigma = \pm 4.23 \mu\text{m}$$

(7) 求测量列算术平均值的标准偏差:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0.36 \mu\text{m}$$

(8) 求算术平均值的测量极限误差

$$\delta_{\lim}(\bar{x}) = \pm 3\sigma_{\bar{x}} = \pm 1.08 \mu\text{m} \approx \pm 1 \mu\text{m}$$

测量结果

$$x_0 = \bar{x} \pm \delta_{\lim}(\bar{x}) = 40.041 \pm 0.001 \text{ mm} (P=99.73\%)$$

【思考练习】

一、填空题

1. 由于测量器具零位不准出现的误差属于_____误差。
2. 随机误差的特性有_____、_____、_____、_____。
3. 测量误差按性质可分为_____、_____和_____。
4. 量块按级使用时包含了_____误差,量块按等使用时采用了_____尺寸,量块按级使用时比按等使用时精度_____。

二、选择题

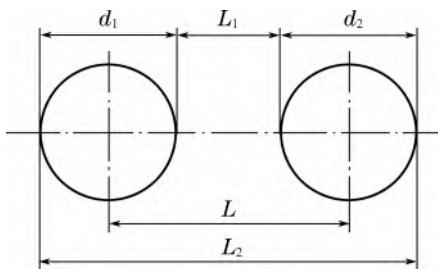
1. 用内径千分表测量孔的直径属于()。
A. 直接测量和相对测量 B. 间接测量和相对测量 C. 直接测量和绝对测量
2. 要测量箱体上两孔的孔心距,应采用的测量方法是()。
A. 直接测量 B. 间接测量 C. 相对测量
3. 表示系统误差和随机误差综合影响的是()。
A. 精密度 B. 正确度 C. 准确度

三、简答题

1. 何谓测量？完整的测量过程包括哪些要素？
2. 何谓尺寸传递系统？建立尺寸传递系统有何意义？

四、计算题

1. 用游标卡尺测量箱体的中心距 L ，如题图 1-1 所示，有如下三种测量方案：① 测量孔 d_1 、 d_2 和孔边距 L_1 ；② 测量孔 d_1 、 d_2 和孔边距 L_2 ；③ 测量孔边距 L_1 、 L_2 。若已知它们的测量极限误差 $\Delta d_{1\text{lim}} = \Delta d_{2\text{lim}} = \pm 40 \mu\text{m}$, $\Delta L_{1\text{lim}} = \pm 60 \mu\text{m}$, $\Delta L_{2\text{lim}} = \pm 70 \mu\text{m}$ ，试计算三种测量方案的测量极限误差。



题图 1-1

2. 试用 38 块套别的量块组成 59.995 mm 的尺寸。

项目综合知识技能 —— 工程案例与分析

航空报国的爱国主义精神

“精度”是《公差配合与技术测量》课程当中的重要概念，机械加工一般要求到“丝”，一丝即 0.01 mm ，大约是成人头发的 $1/6$ 。

在机械领域中，丝毫的差错就可能导致机毁人亡的严重事故。在许多零件都能实现自动化生产的今天，仍有一些战机零件因为数量少、加工精度高、难度大，还是需要手工打磨。中航工业首席技能专家方文墨为歼-15 舰载机加工高精度零件，方文墨的加工精度可达 0.003 mm ，高于标准中手工锉削精度最高为 0.010 mm ，中航工业将这一精度命名为“文墨精度”。方文墨和他的工友们又把文墨精度提高了 4 倍多，达到 0.00068 mm ，制造出歼-15 舰载机上近 70% 的标准件，助力中国战机一飞冲天，惊艳世界。

工匠精神：发扬严谨认真、精益求精、追求完美、勇于创新

项目二

尺寸公差配合与检测

任务1 零件图的尺寸公差与检测



【学习目标】

1. 理解有关尺寸、公差、偏差等的基本术语及定义。
2. 掌握标准中有关标准公差、公差等级的规定、基本偏差代号及其分布规律。
3. 掌握公差带的概念及其图示方法,能熟练查公差表及基本偏差表,能进行有关计算。
4. 了解标准中关于未注公差的线性尺寸公差的规定。
5. 初步学会公差的正确选用,并能正确标注在图中。

【任务引入】

减速器(图 1-1)在零件加工制造中,首先要能识读零件图及图样中尺寸公差的标注,读懂其尺寸精度要求。例如,理解图 1-1 中 $\phi 55k6$ 和 $\phi 45g7$ 是零件图中轴的尺寸公差,以及 $\phi 100J7$ 和 $\phi 56H7$ 零件图中箱体的尺寸公差等标注的含义,选择合适的测量工具进行精度检测,并出具检测报告。

【任务分析】

互换性要求尺寸的一致性并不是要求零件都准确地制成一定的尺寸,而是要求这些零件的尺寸处在某一合理的范围之内。对于相互结合的零件,这个范围既要保证相互结合的尺寸之间形成一定的关系,以满足不同的使用要求,同时在制造上也是经济合理的,这就形成了“极限与配合”的概念。

【相关知识】

一、公差配合的术语及定义

1. 孔和轴的术语及定义

(1) 孔

孔通常指工件的圆柱形内表面,也包括非圆柱形内表面(由两平行平面或切面形成的包容面)。

(2) 轴

轴通常指工件的圆柱形外表面,也包括非圆柱形外表面(由两平行平面或切面形成的被包容面)。

孔、轴的定义在标准中是指广义的概念。从装配上来讲,孔是包容面,轴是被包容面。从加工过程看,随着材料余量的去除,孔的尺寸由小变大,轴的尺寸由大变小。如图 2-1 所示,圆柱的直径、键的宽度都是轴,圆柱孔的直径、键槽的宽度都是孔。

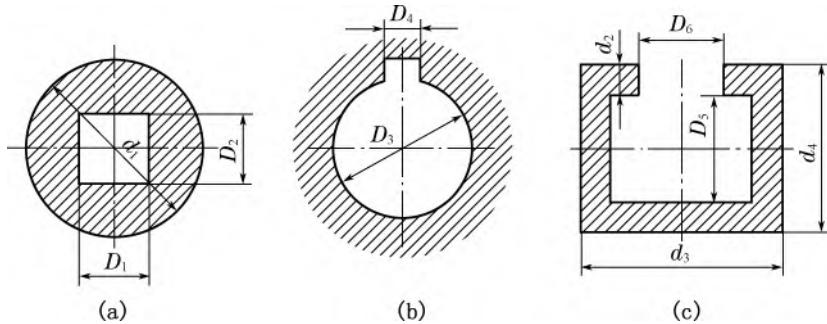


图 2-1 孔和轴的示意图

2. 尺寸的术语及定义

(1) 尺寸

以特定单位表示线性尺寸的数值称为尺寸。尺寸由数字和长度单位组成,在机械制图中,通常以 mm 为长度单位,此时省略单位 mm,只书写数字,如长度为 20、65 等。

(2) 公称尺寸

通过它应用上、下偏差可以计算得出极限尺寸的尺寸称为公称尺寸。孔的直径尺寸用 D 表示,轴的直径尺寸用 d 表示。基本尺寸是根据零件的功能要求,经过强度、刚度等设计计算及结构、工艺设计,计算出的或通过试验和类比等方法确定的。公称尺寸可以是一个整数值或一个小数,应尽量按标准系列选取,以减少定值刀具、夹具、量具的规格和数量。公称尺寸一经确定,便成为确定孔和轴尺寸偏差的起始点。

(3) 提取要素局部尺寸

提取组成要素的局部尺寸是一切提取组成要素上两对应点之间距离的统称(它类似于旧国标中的实际尺寸)。孔和轴的提取组成要素的局部尺寸分别用 D_a 、 d_a 表示,如图 2-2 所示。提取要素上两对应点之间的距离即提取要素局部尺寸,可通过测量得到,用两点法测量。

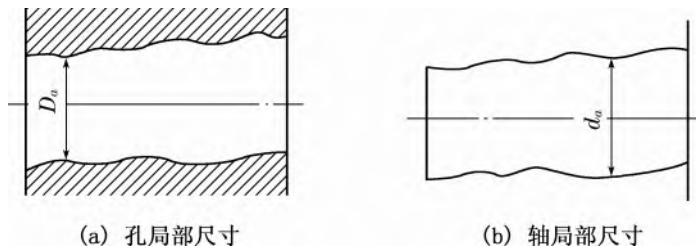


图 2-2 提取要素局部尺寸

由于存在测量误差,提取要素局部尺寸并非被测尺寸的真值,它只是接近真实尺寸的一个随机尺寸,并且由于零件存在形状误差,同一表面不同部位的提取要素局部尺寸也不尽相同。

(4) 极限尺寸

极限尺寸是尺寸允许变动的两个极限值。允许的最大尺寸称为最大极限尺寸,允许的最小尺寸称为最小极限尺寸。孔和轴的最大极限尺寸分别用 D_{\max} 和 d_{\max} 表示,最小极限尺寸分别用 D_{\min} 和 d_{\min} 表示。实际尺寸如果小于最大极限尺寸且大于最小极限尺寸,则零件的尺寸是合格的。

公称尺寸、极限尺寸是设计时给定的尺寸。公称尺寸可以在极限尺寸所确定的范围内,也可以在极限尺寸所确定的范围外。

实际尺寸的大小由加工决定,当不考虑几何误差的影响时,加工后的零件获得的实际尺寸若在两极限尺寸所确定的范围之内,则零件合格,否则不合格。

3. 偏差、公差的术语及定义

(1) 尺寸偏差(简称偏差)

某一尺寸减去其基本尺寸所得的代数差,称为偏差。偏差可为正值、负值或零。偏差可分为极限偏差和实际偏差。

① 极限偏差:极限偏差是极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差。

最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为上极限偏差;最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下极限偏差。孔的上、下极限偏差分别用 ES 和 EI 表示(用于内尺寸要素),轴的上、下极限偏差分别用 es 和 ei 表示(用于外尺寸要素)。用公式表示如下:

孔的上、下极限偏差为

$$ES = D_{\max} - D, EI = D_{\min} - D \quad (2-1)$$

轴的上、下极限偏差为

$$es = d_{\max} - d, ei = d_{\min} - d \quad (2-2)$$

国家标准规定:标注极限偏差时,上极限偏差标在公称尺寸的右上角,下极限偏差标在公称尺寸的右下角。

② 实际偏差:实际偏差是实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差。实际偏差可能会是正值、零或负值,只要位于极限偏差范围内,则零件尺寸是合格的。

孔和轴的实际偏差分别用 Δ_a 和 δ_a 表示。

$$\Delta_a = D_a - D, \delta_a = d_a - d \quad (2-3)$$

孔的尺寸合格条件为 $D_{\min} \leq D_a \leq D_{\max}$ (2-4)

轴的尺寸合格条件为 $d_{\min} \leq d_a \leq d_{\max}$ (2-5)

(2) 尺寸公差

公差是尺寸公差的简称。公差是最大极限尺寸减最小极限尺寸之差,或上偏差减下偏差之差,它是允许尺寸的变动量。加工误差是不可避免的,公差是用来限制误差的,工件的误差在公差范围内,为合格件;超出了公差范围,为不合格件。因此,公差不存在负值,也不允许为零。

孔的公差为 $T_D = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI|$ (2-6)

轴的公差为 $T_d = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei|$ (2-7)

极限尺寸、公差与偏差三者之间的关系如下:

- ① 公差是绝对值,且不能为零;偏差是代数值,可为正、为负或为零。
- ② 公差用于限制尺寸误差,极限偏差用于限制提取偏差。
- ③ 对于单个零件只能测出尺寸的提取偏差,对于一批零件可以统计出尺寸误差。
- ④ 公差表示制造精度,反映加工难度;偏差取决于加工机床的调整,不反映加工难易程度。
- ⑤ 公差反映公差带大小,影响配合精度;极限偏差反映公差带位置,影响配合松紧程度。

(3) 公差带图和公差带

图 2-3 反映了基本尺寸、极限尺寸、极限偏差及公差之间的关系。



扫码见
“公差带图”

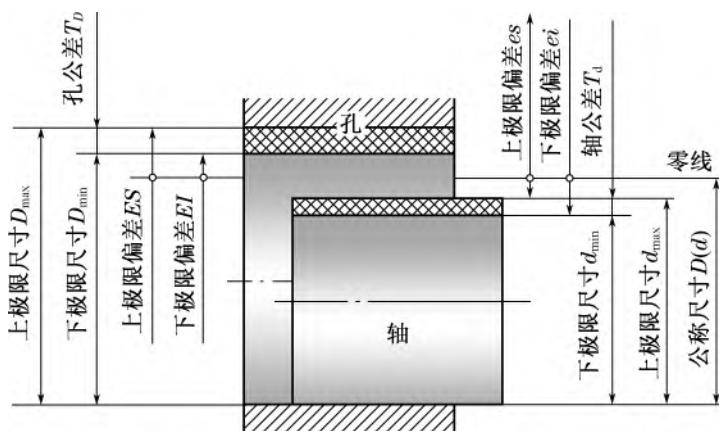


图 2-3 轴和孔的上、下极限尺寸示意图

由于公差和偏差的数值与尺寸数值相差太远,不能按同一比例画在同一图上,为简化起见,不画出孔和轴的全部,而只画出公差带来分析,如图 2-4 所示,被称为公差带图。

① 公差带图由零线和公差带组成。

- a. 零线。它是在公差带图中代表基本尺寸并确定偏差的一条基准直线,即零偏差线,并标注为“0”。偏差由此零线算起,零线以上为正偏差,零线以下为负偏差,分别标注“+”“-”,若为零,则不标注。

b. 公差带。在公差带图中,用与零线平行的直线表示上、下极限偏差(图中以微米或毫米为单位标出,单位省略不写),两条直线之间的区域叫作公差带。公差带在与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,孔的公差带用由右上角向左下角的斜线表示,轴的公差带用由左上角向右下角的斜线表示(注:轴的公差带也可用点或空白表示)。

② 公差带包括大小和位置两个要素。

a. 大小。即公差值,称为标准公差。

标准公差:公差与配合国家标准中所规定的用以确定公差带大小的任一公差值。

b. 位置。位置由基本偏差确定。

基本偏差:用以确定公差带相对于零线位置的上极限偏差或下极限偏差,数值均已标准化,一般为靠近零线的那个极限偏差。当公差带在零线以上时,下极限偏差为基本偏差;当公差带在零线以下时,上极限偏差为基本偏差。

【例 2-1】 已知轴 $\phi 60_{-0.03}^{+0.01}$ mm, 孔 $\phi 60_{-0}^{+0.03}$ mm, 求孔、轴的极限尺寸和公差。

解:对于孔,由式(2-1)可得孔的最大极限尺寸:

$$D_{\max} = D + ES = 60 + 0.03 = 60.03 \text{ mm}$$

孔的最小极限尺寸:

$$D_{\min} = D + EI = 60 + 0 = 60 \text{ mm}$$

对于轴,由式(2-2)可得轴的最大极限尺寸:

$$d_{\max} = d + es = 60 + (-0.01) = 59.99 \text{ mm}$$

轴的最小极限尺寸:

$$d_{\min} = d + ei = 60 + (-0.03) = 59.97 \text{ mm}$$

其孔、轴公差为

$$T_D = |D_{\max} - D_{\min}| = 60.03 - 60 = 0.03 \text{ mm}$$

$$T_d = |d_{\max} - d_{\min}| = 59.99 - 59.97 = 0.02 \text{ mm}$$

公差带图的画法步骤:

(1) 画零线,标注出“0”“+”“-”,用箭头指在零线的左侧并注出基本尺寸。

(2) 选适当比例,画出孔、轴公差带,并将极限偏差数值标注出来,如图 2-5 所示。偏差的单位是 μm 。

二、标准公差系列——公差带大小

国家标准“极限与配合”对公差带的大小和位置进行了标准化。公差带的大小由标准公差加以确定,位置由基本偏差来确定。

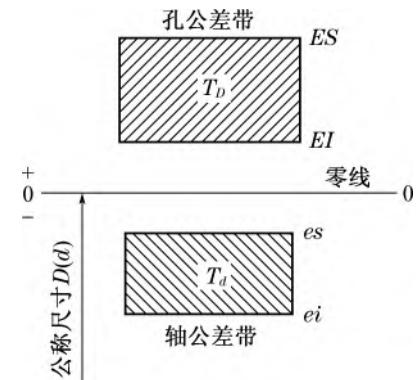


图 2-4 公差带示意图

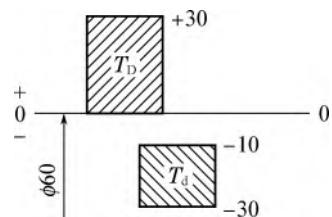


图 2-5 公差带示意图

标准公差(IT)是国家标准规定的极限制中列出的任一公差数值。标准公差系列是按国家标准制定的一系列标准公差值,它包含标准公差等级和标准公差数值两项内容。标准公差的数值与标准公差等级和基本尺寸分段有关。

1. 标准公差等级

标准公差等级用来确定尺寸精确的程度,用字母 IT(ISO Tolerance 的缩写)和数字表示。一共有 20 个等级,用符号 IT01、IT0、IT1、IT2、IT3、……、IT18 表示,从 IT01 至 IT18 公差等级依次降低。

2. 尺寸分段

从理论上来看,每个公称尺寸都对应一个相应的标准公差值。在实际生产中,公称尺寸很多,导致编制的公差表格会非常庞大,这样既给生产、设计带来不少麻烦和困难,又不利于公差值的标准化、系列化。当公称尺寸变化不大时,其公差值很接近。为了减少标准公差的数目、统一公差值、简化公差表格、便于实际应用,国家标准对公称尺寸进行了分段,对同一尺寸段内所有的公称尺寸,在相同公差等级情况下,规定相同的标准公差。

使用标准公差表时,应注意基本尺寸所处的段落。某一尺寸段内的基本尺寸包括尺寸段的终了尺寸,不包括尺寸段的起始尺寸。

注意:

- ① 在同一尺寸分段内、同一公差等级,各基本尺寸的标准公差值是相同的。
- ② 同一公差等级对所有基本尺寸的一组公差被认为具有同等精度要求。

例如:基本尺寸 $\phi 30\text{ mm}$,应在大于 $18\sim 30\text{ mm}$ 的尺寸段内,而不应在大于 $30\sim 50\text{ mm}$ 的尺寸段内。

3. 标准公差数值

在公称尺寸相同的条件下,标准公差数值随公差等级的降低而依次增大。同一公差等级、同一尺寸分段内各公称尺寸的标准公差数值是相同的。同一公差等级对所有公称尺寸的一组公差也被认为具有同等精确程度。

表 2-1 列出了国家标准 GB/T 1800.1—2020 规定的机械制造行业常用尺寸(基本尺寸至 500 mm)的标准公差数值。

在实际应用中,只要选定了精度等级,就可用查表法确定公差数值。查表步骤如下:

- ① 根据基本尺寸,找到所在尺寸段(如第一列);
- ② 根据标准公差等级,找到 IT 所在位置(如第二行);
- ③ 列与行的交叉点数值即所查标准公差数值。

表 2-1 公称尺寸至 500 mm 的标准公差数值(摘自 GB/T 1800.1—2020)

公称尺寸 /mm		标准公差等级																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于 —	至 —	标准公差值																			
		μm																mm			
—	3	0.3	0.5	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	0.4	0.6	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	0.4	0.6	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

(续表)

公称尺寸 /mm		标准公差等级																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	标准公差值																			
		μm																mm			
10	18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.180	0.270	0.430	0.7	1.1	1.8	2.7
18	30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.210	0.330	0.520	0.84	1.3	2.1	3.3
30	50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.250	0.390	0.62	1	1.6	2.5	3.9
50	80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.300	0.460	0.74	1.2	1.9	3	4.6
80	120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.350	0.540	0.87	1.4	2.2	3.5	5.4
120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.400	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3
180	250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.460	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	7.2
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.520	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	8.1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.570	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	8.9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.630	0.97	1.55	2.5	4	6.3	9.7

三、基本偏差系列——公差带位置

基本偏差是指用来确定公差带相对于零线位置的那个极限偏差,它可以是上偏差或下偏差,一般为靠近零线的那个偏差。

1. 基本偏差代号

国标规定了孔和轴各有 28 种基本偏差。基本偏差的代号用拉丁字母表示,大写表示孔,小写表示轴。在 26 个拉丁字母中去掉 5 个易与其他参数相混淆的字母:I、L、O、Q、W(i、l、o、q、w),增加 7 个双写字母:CD、EF、FG、ZA、ZB、ZC(cd、ef、fg、za、zb、zc)及 JS(js),如图 2-6 所示。

2. 基本偏差的主要特征

在图 2-6 的基本偏差系列图中,对所有公差带,当位于零线上方时,基本偏差为下偏差;当位于零线下方时,基本偏差为上偏差。

(1) 孔和轴的同字母的基本偏差相对零线基本呈对称分布。孔与轴基本偏差的正负号相反,即 $EI = -es$, $ES = -ei$ 。

A~H 的孔基本偏差为下偏差 EI ; P~ZC 的孔基本偏差为上偏差 ES 。

a~h 的轴基本偏差为上偏差 es ; p~zc 的轴基本偏差为下偏差 ei 。

从 A~H(a~h)离零线越来越近,即基本偏差的绝对值越来越小;从 K~ZC(k~zc)离零线越来越远,即基本偏差的绝对值越来越大。

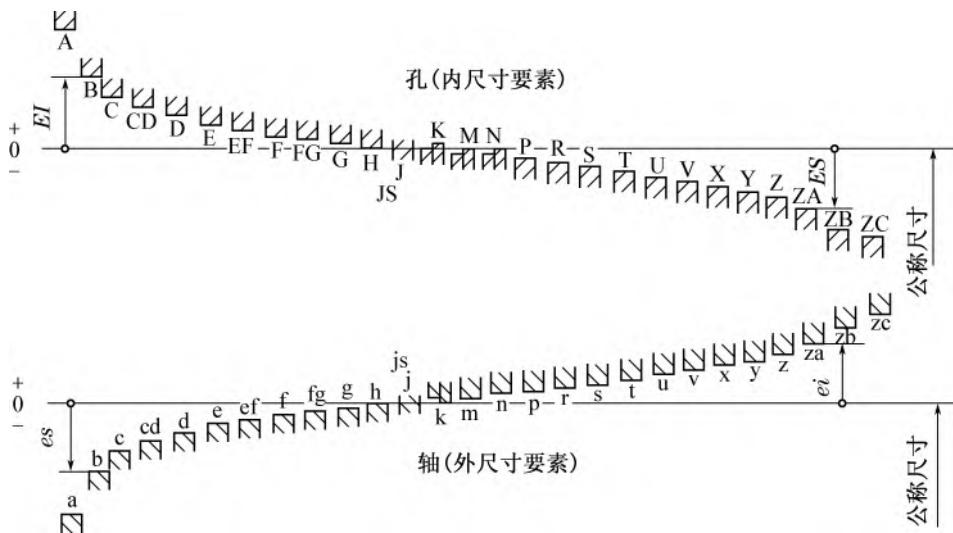


图 2-6 基本偏差系列

(2) H 和 h 的基本偏差数值都为零, H 孔的基本偏差为下偏差 $EI=0$, h 轴的基本偏差为上偏差 $es=0$ 。

(3) JS(js)公差带完全对称地跨在零线上。上、下偏差值为 $\pm IT/2$, 如图 2-7 所示。上、下偏差均可作为基本偏差。〔注: 公差带 JS(js)7 至 JS(js)11, 若 IT_n 数值是奇数, 则取偏差

$$差 = \pm \frac{IT_n - 1}{2}$$

(4) 一般情况下, 基本偏差的大小与公差等级无关, 而 JS(js)、J(j)、K(k)、M、N 的基本偏差随公差等级变化。

(5) 各公差带只画出基本偏差一端, 而另一个极限偏差没有画出, 因为另一端表示公差带的延伸方向, 其确切位置由标准公差数值的大小确定。

3. 基本偏差的数值

基本偏差的数值是经过经验公式计算得到的, 计算结果的数值已列成表, 使用时可直接查表。

(1) 轴的基本偏差数值

查表 A-1, 确定轴的基本偏差后, 查表 2-1, 确定标准公差, 就可求出轴的另一个偏差(上偏差或下偏差), 如图 2-8 所示。

当公差带在零线下时:

$$ei = es - IT$$

当公差带在零线上时:

$$es = ei + IT$$

【例 2-2】 根据标准公差数值表(表 2-1)和轴的基本偏差数值表(表 A-1), 确定 50f6 的极限偏差。

解: 从表 A-1 查得轴的基本偏差为上偏差, $es = -25 \mu\text{m}$ 。

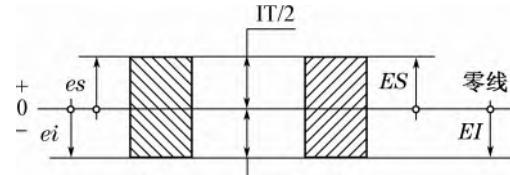


图 2-7 偏差 js 和 JS

从表 2-1 查得轴的标准公差 $IT_6 = 16 \mu\text{m}$ 。

轴的另一个极限偏差为下偏差, $ei = es - TS = (-25 - 16) \mu\text{m} = -41 \mu\text{m}$ 。

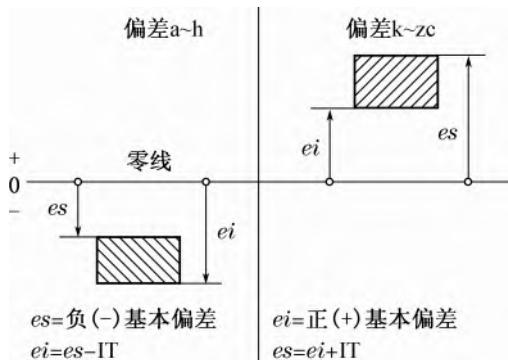


图 2-8 轴的偏差

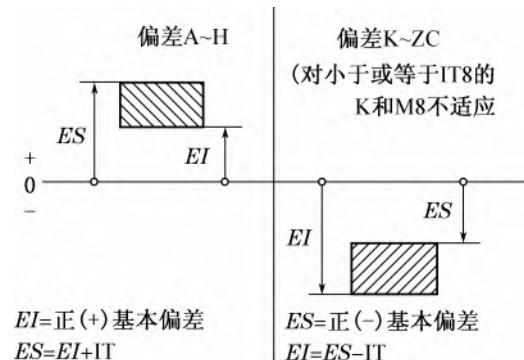


图 2-9 孔的偏差

(2) 孔的基本偏差数值

在公称尺寸不大于 500 mm 时, 孔的基本偏差按以下两种规则换算:

① 通用规则。用同一字母表示的孔、轴的基本偏差数值的绝对值相等, 符号相反, 如图 2-9 所示。孔的基本偏差与轴的基本偏差相对于零线对称分布, 即呈倒影关系, 换算关系见表 2-2。

表 2-2 通用规则的孔的基本偏差与轴的基本偏差之间的换算关系

孔的基本偏差代号	孔的公差等级	孔的基本偏差与轴的基本偏差的换算关系
A~H	所有等级	$EI = -es$
J~N	低于 8 级	$ES = -ei$
P~ZC	低于 7 级	

② 特殊规则。特殊规则是指孔的基本偏差等于用通用规则换算得到的基本偏差再加上一个修正值 Δ 。

$$\Delta = IT_n - IT_{n-1} \quad (2-8)$$

式中, $IT_n (\mu\text{m})$ 为某一级孔的标准公差, $IT_{n-1} (\mu\text{m})$ 为比某一级孔高一级的轴的标准公差。

对于标准公差等级至 IT_8 的 K, M, N 和标准公差等级至 IT_7 的 P~ZC 的基本偏差的确定, 应考虑表 A-2 右边几列中的 Δ 值。特殊规则的孔的基本偏差与轴的基本偏差之间的换算关系见表 2-3。

表 2-3 特殊规则的孔的基本偏差与轴的基本偏差之间的换算关系

孔的基本偏差代号	孔的公差等级	孔的基本偏差与轴的基本偏差的换算关系
K, M, N	低于 8 级	$ES = -ei + \Delta$
P~ZC	低于 7 级	

当孔的基本偏差确定后,孔的另一个极限偏差可以根据下列公式计算。

$$\text{当公差带在零线下时: } EI = ES - IT \quad (2-9)$$

$$\text{当公差带在零线上时: } ES = EI + IT \quad (2-10)$$

实际生产中,孔、轴基本偏差数值直接查表即可。

【例 2-3】 利用标准公差数值表和轴的基本偏差数值表,确定 $\phi 12g6$ 的轴的极限偏差数值。

解:查表 2-1,IT6=11 μm;查表 A-1,基本偏差 $es=-6 \mu m$ 。

所以 $ei=es-IT6=[(-6)-11] \mu m=-17 \mu m$,在图样上可标注为 $\phi 12^{-0.006}_{-0.017}$ 、 $\phi 12g6$ 或 $\phi 12g6(-0.006_{-0.017})$ 。

【例 2-4】 利用标准公差数值表和孔的基本偏差数值表,确定 $\phi 60P6$ 孔的极限偏差数值。

解:查表 2-1,IT6=19 μm。

查表 A-2,基本尺寸处于 $>50 \sim 65 \text{ mm}$ 尺寸分段内,本题公差等级为 6,故应按照表中的说明,在该表的右端查找出 $\Delta=6 \mu m$ 。

所以 $ES=-32+\Delta=(-32+6) \mu m=-26 \mu m$ 而 $EI=ES-IT6=(-26-19) \mu m=-45 \mu m$,在图样上可标注为 $\phi 60^{-0.026}_{-0.045}$ 、 $\phi 60P6$ 或 $\phi 60P6(-0.026_{-0.045})$ 。

4. 公差带代号及标注

(1) 公差带代号

公差带代号由基本偏差代号和公差等级数字表示,公差带相对零线的位置由基本偏差确定,公差带的大小由公差等级确定。例如,H8、F7、J7、P7、U7 等为孔的公差带代号,h7、g6、r6、p6、s7 等为轴的公差带代号。

$\phi 100F7$ 可解释为基本尺寸为 $\phi 100 \text{ mm}$ (狭义孔),基本偏差代号为 F,公差等级为 7 级的孔公差带。 $100h9$ 可解释为基本尺寸为 100 mm (广义轴)基准轴,基本偏差代号为 h,公差等级为 9 级的轴公差带。

(2) 尺寸公差带代号在零件图中的标注形式

尺寸公差的标注形式有两种:一是标注公差尺寸的表示,二是未注公差尺寸的表示。

零件图上公差带的标注为在公称尺寸后面标注配合代号,可根据实际要求按下列三种形式标注,如图 2-10(a)中标注的孔 $\phi 25H7$ 以及图 2-10(b)所示中标注的轴 $\phi 25s6$ 。可在公称尺寸后面标注上、下极限偏差数值,或同时标注公差带代号及上、下极限偏差数值,以及公称尺寸和公差带代号。当上、下极限偏差绝对值相等而符号相同时,则在极限偏差数值前面标注“±”号,如 $\phi 10JS5(\pm 0.003)$ 。在实际生产中,零件图上公差带一般采用前两种表示方法。

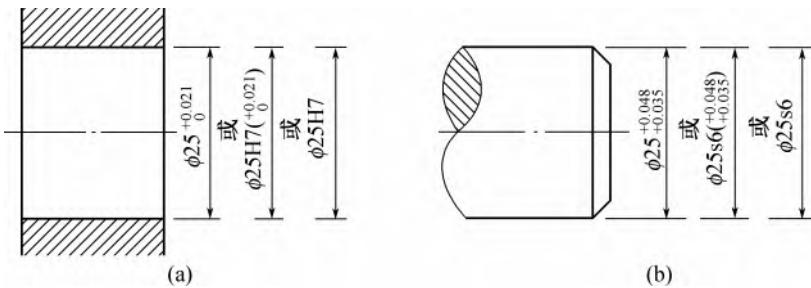


图 2-10 尺寸公差带代号的标注形式

(3) 国家标准推荐选用的公差带

根据国家标准规定的 20 个等级的标准公差和轴、孔各 28 种基本偏差代号,从理论上讲,可组成 560 种公差带。公差带种类过多会使公差带表格过于庞大而不便使用,生产中需要配备相应的刀具和量具,这显然不经济。为了减少定值刀具、量具和工艺装备的数量和规格,国家标准国标《产品几何技术规范(GPS) 线性尺寸公差 ISO 代号体系》(GB/T1800.1—2020)对公差带种数加以限制。

说明:公差带代号仅应用于不需要对公差带代号进行特定选取的一般性用途(如键槽需要特定选取),在特定应用中若有必要,偏差 js 和 JS 可被相应的偏差 j 和 J 替代。

① 轴公差带

轴公差带代号应尽可能从图 2-11 中选取,推荐选用的公差带 50 种,其中,框中所示的有 17 种公差带代号应优先选取。

			$g5$	$h5$	$js5$	$k5$	$m5$	$n5$	$p5$	$r5$	$s5$	$t5$			
			$f6$	$g6$	$h6$	$js6$	$k6$	$m6$	$n6$	$p6$	$r6$	$s6$	$t6$	$u6$	$x6$
			$e7$	$f7$	$h7$	$js7$	$k7$	$m7$	$n7$	$p7$	$r7$	$s7$	$t7$	$u7$	
			$d8$	$e8$	$f8$	$h8$									
			$b9$	$c9$	$d9$	$e9$	$h9$								
			$d10$		$h10$										
					$h11$										
			$a11$	$b11$	$c11$										

图 2-11 轴的推荐和优先公差带代号

② 孔公差带

孔公差带代号应尽可能从图 2-12 中选取,推荐选用的公差带 45 种,其中,框中所示的有 17 种公差带代号应优先选取。

			$G6$	$H6$	$JS6$	$K6$	$M6$	$N6$	$P6$	$R6$	$S6$	$T6$			
			$F7$	$G7$	$H7$	$JS7$	$K7$	$M7$	$N7$	$P7$	$R7$	$S7$	$T7$	$U7$	$X7$
			$E8$	$F8$	$H8$	$JS8$	$K8$	$M8$	$N8$	$P8$	$R8$				
			$D9$	$E9$	$F9$	$H9$									
			$C10$	$D10$	$E10$	$H10$									
			$A11$	$B11$	$C11$	$D11$	$H11$								

图 2-12 孔的推荐和优先公差带代号

四、一般公差

1. 一般公差的概念

所谓线性尺寸的一般公差,是指在车间一般加工条件下可保证的公差,是机床设备在正常维护和操作情况下能达到的经济加工精度。采用一般公差时,在该尺寸后不标注极限偏差或其他代号,所以也称未注公差。

2. 一般公差的特点

(1) 图样清晰易懂。采用一般公差时,在图样上只标注基本尺寸不标注公差,可清楚地

判断出必须保证的精度(标注出公差),同时明确加工重点。

(2) 节省设计时间。一是节省了图样设计时间,二是简化制图工作。

(3) 降低检验成本。一般公差可由车间加工精度条件保证,由工人凭经验判断,一般不检验,若对其合格性发生争议,再参照表中的标准解决。只有当零件的功能受到损害时,超出一般公差的工件才能被拒收。

3. 国家标准中的有关规定

在 GB/T 1804—2000 中,对一般公差规定了 4 个公差等级,其公差等级从高到低依次为精密级(f)、中等级(m)、粗糙级(c)、最粗级(v)。

线性尺寸一般公差的公差等级及其极限偏差数值见表 2-4。

表 2-4 线性尺寸的未注极限偏差的数值(摘自 GB/T 1804—2000)(mm)

公差等级	尺寸分段							
	0.5~3	>3~6	>6~30	>30~120	>120~400	>400~1 000	>1 000~2 000	>2 000~4 000
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

4. 线性尺寸一般公差的表示方法

当采用一般公差时,在图样上只标注基本尺寸,不标注极限偏差,而在图样上、技术文件中用线性尺寸的一般公差标准号和公差等级符号来表示,例如选用中等级(m)时,表示为 GB/T 1804—m。这表明图样上凡未注公差的线性尺寸均按中等级(m)加工和检验。在正常情况下,一般不必检验。一般公差适用于金属切削加工的尺寸及一般冲压加工的尺寸,对非金属材料和其他工艺方法加工的尺寸亦可参照采用。

但是,当要素的功能允许一个比一般公差大的公差,且注出更为经济时,如装配所钻盲孔的深度,则相应的极限偏差值要在尺寸后注出。

【任务实施】

零件图的尺寸公差

一、标准公差和基本偏差的解读

标准公差的数值由基本尺寸和公差等级定。

基本偏差就是标准中确定公差带相对于零线位置的极限偏差。一般指靠近零线的那个偏差,如图 2-13 所示。

当公差带位于零线上方时,基本偏差为下偏差。

当公差带位于零线下方时,基本偏差为上偏差。

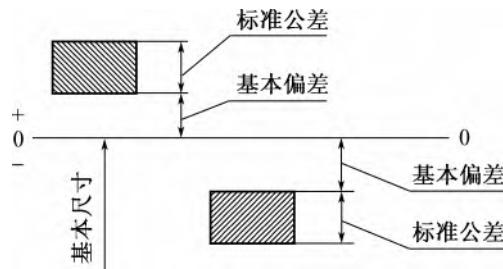


图 2-13 标准公差和基本偏差位置图

二、基本尺寸与公差等级的关系

在基本尺寸一定的情况下：

- (1) 公差等级愈高，标准公差值愈小，尺寸的精确度就愈高，难加工。
- (2) 公差等级愈低，标准公差值愈大，尺寸的精确度就愈低，易加工。
- (3) 公称尺寸和公差等级相同的孔与轴，它们的标准公差相等。
- (4) 同一公差等级的标准公差数值，对所有基本尺寸，虽数值不同。但均有同等的精确程度。

如：基本尺寸为 10 mm，标准公差为 7 级 (IT7) 的尺寸，其公差值为 15 μm ；基本尺寸为 100 mm，标准公差为 7 级 (IT7) 的尺寸，其公差值为 35 μm ；按照规定它们的尺寸精度是相等的。

三、零件图的尺寸公差标注读解

识读齿轮轴零件图(图 2-14)，对照图样要求，查标准公差数值表、基本偏差数值表，绘制公差带图。

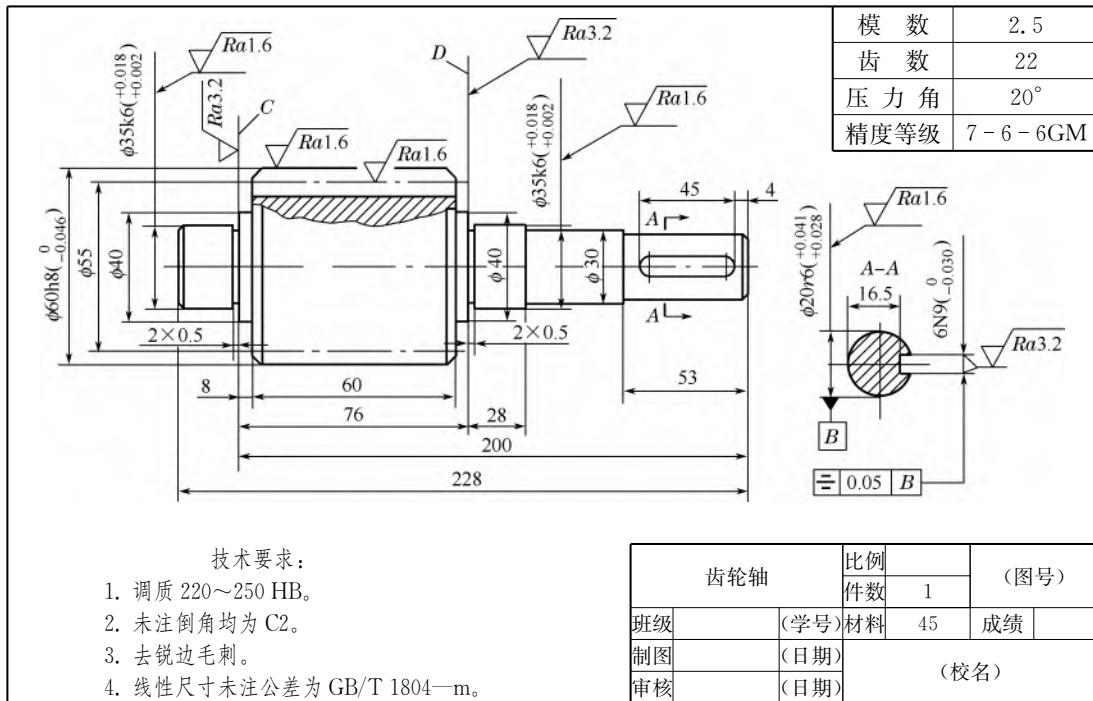


图 2-14 齿轮轴

表 A-1 轴的基本偏差数值(摘自 GB/T 1800.1—2020)

公称尺寸 mm	至	基本偏差数值												下极限偏差, ei																
		所有标准公差等级												所有标准公差等级																
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc		
—	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2	-4	-6	0	0	+6	+10	+14	+18	+20	+26	+32	+40	+60				
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-2	-4	-6	0	+4	+8	+12	+16	+19	+23	+28	+35	+42	+50	+80			
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2	-5	-7	0	+1	+6	+10	+15	+19	+23	+28	+34	+42	+57	+97			
10	14	-290	-150	-95	-50	-32	-32	-16	-6	-6	0	-3	-6	-7	-12	0	+1	+7	+12	+18	+23	+28	+33	+40	+50	+90	+130			
14	18	-290	-150	-95	-50	-32	-32	-16	-6	-6	0	-4	-8	-2	0	+8	+15	+22	+28	+35	+41	+47	+54	+63	+77	+108	+150			
18	24	-300	-160	-110	-65	-40	-20	-7	-7	0	-5	-10	-2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218			
24	30	-310	-170	-120	-80	-50	-25	-9	-9	0	-5	-10	-2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+56	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274		
30	40	-320	-180	-130	-80	-50	-25	-9	-9	0	-5	-10	-2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+56	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274		
40	50	-320	-180	-130	-80	-50	-25	-9	-9	0	-5	-10	-2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+56	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274		
50	65	-340	-190	-140	-100	-60	-30	-10	0	-10	0	-7	-12	-2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405	
65	80	-360	-200	-150	-100	-60	-30	-10	0	-10	0	-9	-15	-3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+75	+102	+120	+146	+166	+174	+210	+274	+360	+480
80	100	-380	-220	-170	-120	-72	-36	-12	0	-12	0	-10	-15	-3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+75	+102	+120	+146	+178	+214	+258	+335	+585	
100	120	-410	-240	-180	-120	-72	-36	-12	0	-12	0	-10	-15	-3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+75	+102	+120	+146	+178	+214	+258	+335	+585	
120	140	-460	-260	-200	-145	-85	-43	-14	0	-14	0	-11	-18	-3	0	+15	+27	+43	+65	+100	+134	+190	+228	+280	+335	+415	+535	+700	+900	
140	160	-520	-280	-210	-145	-85	-43	-14	0	-14	0	-11	-18	-3	0	+15	+27	+43	+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000	
160	180	-580	-310	-230	-145	-85	-43	-14	0	-14	0	-13	-21	-4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+830	+1150	
180	200	-660	-340	-240	-170	-100	-50	-16	0	-16	0	-13	-21	-4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+830	+1150	
200	225	-740	-380	-260	-170	-100	-50	-16	0	-16	0	-13	-21	-4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+830	+1150	
225	250	-820	-420	-280	-170	-100	-50	-16	0	-16	0	-13	-21	-4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+830	+1150	
250	280	-920	-480	-300	-190	-110	-56	-17	0	-16	-26	-14	-26	-4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+820	+900	+1050	
280	315	-1050	-540	-330	-210	-120	-60	-360	-200	-120	-62	-18	-28	-4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900	
315	355	-1200	-600	-360	-210	-125	-62	-36	-18	0	-18	-28	-4	0	+21	+37	+62	+114	+208	+294	+435	+530	+620	+820	+1000	+1300	+1650	+2100		
355	400	-1350	-680	-400	-230	-170	-86	-40	-26	0	-20	-35	-5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2100		
400	450	-1500	-760	-440	-230	-135	-68	-35	-20	0	-20	-32	-5	0	+23	+40	+68	+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2000			
450	500	-1650	-840	-480	-230	-135	-68	-35	-20	0	-20	-32	-5	0	+23	+40	+68	+150	+280	+400	+600	+800	+1000	+1250	+1600	+2000				
500	550	-260	-145	-76	-22	0	-26	-17	0	-26	-22	0	-26	-17	0	0	0	+26	+44	+78	+150	+280	+400	+600	+800	+1000	+1250	+1600		
560	630	-210	-105	-54	-33	0	-21	-12	0	-21	-12	0	-21	-12	0	0	0	+30	+50	+88	+175	+340	+510	+660	+810	+1060	+1310			
630	710	-210	-105	-54	-33	0	-21	-12	0	-21	-12	0	-21	-12	0	0	0	+30	+50	+88	+185	+380	+560	+840	+1060	+1310				
710	800	-210	-105	-54	-33	0	-21	-12	0	-21	-12	0	-21	-12	0	0	0	+34	+56	+100	+220	+470	+680	+940	+1160	+1450				
800	900	-210	-105	-54	-33	0	-21	-12	0	-21	-12	0	-21	-12	0	0	0	+34	+56	+100	+220	+470	+680	+940	+1160	+1450				
900	1000	-1120	-350	-195	-98	-28	0	-28	0	-28	0	-28	0	-28	0	0	0	+40	+66	+120	+240	+520	+780	+1150						
1000	1120	-1250	-350	-195	-98	-28	0	-28	0	-28	0	-28	0	-28	0	0	0	+40	+66	+120	+240	+520	+780	+1150						
1120	1250	-290	-160	-80	-40	-24	0	-24	0	-24	0	-24	0	-24	0	0	0	+30	+50	+88	+140	+300	+490	+740	+1040	+1300				
1250	1400	-390	-220	-110	-50	-30	0	-30	0	-30	0	-30	0	-30	0	0	0	+48	+78	+110	+210	+430	+620	+940	+1240	+1600				
1400	1600	-430	-240	-120	-60	-32	0	-32	0	-32	0	-32	0	-32	0	0	0	+58	+82	+1170	+210	+430	+620	+940	+1240	+1600				
1600	1800	-480	-260	-130	-70	-34	0	-34	0	-34	0	-34	0	-34	0	0	0	+68	+116	+195	+440	+1000	+1500	+2300	+3000	+4000				
1800	2000	-480	-260	-130	-70	-34	0	-34	0	-34	0	-34	0	-34	0	0	0	+68	+116	+195	+440	+1000	+1500	+2300	+3000	+4000				
2000	2240	-480	-260	-130	-70	-34	0	-34	0	-34	0	-34	0	-34	0	0	0	+68	+116	+195	+440	+1000	+1500	+2300	+3000	+4000				
2240	2500	-520	-290	-145	-78	-38	0	-38	0	-38	0	-38	0	-38	0	0	0	+76	+135	+240	+530	+1150	+1650	+2500	+3000	+4000				
2500	2800	-520	-290	-145	-78	-38	0	-38	0	-38	0	-38	0	-38	0	0	0	+76	+135	+240	+530	+1150	+1650	+2500	+3000	+4000				
2800	3150	-520	-290	-145	-78	-38	0	-38	0	-38	0	-38	0	-38	0	0	0	+76	+135	+240	+530	+1150	+1650	+2500	+3000	+4000				

基本尺寸小于或等于 1 mm 时, 基本偏差 a 和 b 均不采用。

表 A-2 孔的基本偏差数值（摘自 GB/T 1800.1—2020）

公称尺寸 mm		所有标准公差等级												上极限偏差 ES												下极限偏差 es															
		IT6			IT7			IT8			<IT8			>IT8			>IT8			<IT8			>IT8			<IT8			>IT8			<IT8			>IT8						
大于	至	A	B	C	CD	D	E	EF	F	G	H	J	K	M	N	P _至	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8								
-	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	+2	-4	-6	0	0	-2	-4	-4	-6	-10	-14	-18	-20	-32	-40	0	0	0	0	0	0								
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0	+5	+6	+10	-1△	-4	-8+△	-4	-6+△	-4	-12	-16	-19	-23	-28	-35	-42	-50	-80	1	1.5	1	3	4	6					
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0	+5	+8	+12	-1+△	-6+△	-6+△	-6+△	-6+△	-15	-19	-23	-28	-34	-42	-52	-67	-97	1	1.5	2	3	6	7						
10	14	+290	+150	+95	+50	+32	+16	+6	0	+6	+10	+16	+14	+16	+14	+14	+7+△	-7+△	-7+△	-7+△	-7+△	-18	-23	-28	-33	-40	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9					
14	18	+300	+160	+110	+65	+40	+20	+7	0	+8	+12	+20	+2+△	+20	+2+△	+2+△	+8+△	-8+△	-8+△	-8+△	-8+△	-22	-28	-35	-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	1	2	3	4	8	12			
18	24	+300	+160	+110	+65	+40	+20	+7	0	+10	+14	+24	+2+△	+2+△	+2+△	+2+△	+9+△	-9+△	-9+△	-9+△	-9+△	-26	-34	-43	-54	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1.6	3	4	5	9	14		
24	30	+310	+170	+120	+80	+50	+25	+9	0	+13	+18	+28	+2+△	+2+△	+2+△	+2+△	+11+△	-11+△	-11+△	-11+△	-11+△	-32	-43	-51	-66	-75	-82	-97	-114	-136	-180	-232	-325	1.6	3	4	5	9	14		
30	40	+320	+180	+130	+90	+50	+30	+10	0	+13	+18	+28	+2+△	+2+△	+2+△	+2+△	+11+△	-11+△	-11+△	-11+△	-11+△	-32	-43	-51	-66	-75	-82	-97	-114	-136	-180	-232	-325	1.6	3	4	5	9	14		
40	50	+330	+190	+140	+100	+60	+30	+10	0	+16	+22	+34	+3+△	+3+△	+3+△	+3+△	+13+△	-13+△	-13+△	-13+△	-13+△	-37	-45	-53	-66	-75	-82	-97	-114	-136	-180	-232	-325	1.6	3	4	5	9	14		
50	65	+340	+200	+150	+110	+70	+20	+12	0	+16	+22	+34	+3+△	+3+△	+3+△	+3+△	+13+△	-13+△	-13+△	-13+△	-13+△	-37	-45	-53	-66	-75	-82	-97	-114	-136	-180	-232	-325	1.6	3	4	5	9	14		
65	80	+350	+210	+160	+120	+80	+20	+12	0	+16	+22	+34	+3+△	+3+△	+3+△	+3+△	+13+△	-13+△	-13+△	-13+△	-13+△	-37	-45	-53	-66	-75	-82	-97	-114	-136	-180	-232	-325	1.6	3	4	5	9	14		
80	100	+360	+220	+170	+130	+90	+20	+12	0	+16	+22	+34	+3+△	+3+△	+3+△	+3+△	+13+△	-13+△	-13+△	-13+△	-13+△	-37	-45	-53	-66	-75	-82	-97	-114	-136	-180	-232	-325	1.6	3	4	5	9	14		
100	120	+410	+240	+180	+140	+100	+20	+12	0	+16	+22	+34	+3+△	+3+△	+3+△	+3+△	+13+△	-13+△	-13+△	-13+△	-13+△	-37	-45	-53	-66	-75	-82	-97	-114	-136	-180	-232	-325	1.6	3	4	5	9	14		
120	140	+460	+260	+200	+150	+100	+20	+12	0	+18	+26	+41	+3+△	+3+△	+3+△	+3+△	+16+△	-16+△	-16+△	-16+△	-16+△	-43	-55	-66	-75	-82	-97	-114	-136	-180	-232	-325	1.6	3	4	5	9	14			
140	160	+520	+280	+220	+160	+110	+20	+12	0	+18	+26	+41	+3+△	+3+△	+3+△	+3+△	+16+△	-16+△	-16+△	-16+△	-16+△	-43	-55	-66	-75	-82	-97	-114	-136	-180	-232	-325	1.6	3	4	5	9	14			
160	180	+580	+300	+230	+170	+120	+20	+12	0	+18	+26	+41	+3+△	+3+△	+3+△	+3+△	+16+△	-16+△	-16+△	-16+△	-16+△	-43	-55	-66	-75	-82	-97	-114	-136	-180	-232	-325	1.6	3	4	5	9	14			
180	200	+660	+340	+240	+190	+140	+20	+12	0	+15	+22	+30	+4+△	+4+△	+4+△	+4+△	+17+△	-17+△	-17+△	-17+△	-17+△	-50	-68	-75	-82	-97	-114	-136	-180	-232	-325	1.6	3	4	5	9	14				
200	225	+740	+360	+260	+210	+160	+20	+12	0	+15	+22	+30	+4+△	+4+△	+4+△	+4+△	+17+△	-17+△	-17+△	-17+△	-17+△	-50	-68	-75	-82	-97	-114	-136	-180	-232	-325	1.6	3	4	5	9	14				
225	250	+820	+420	+280	+240	+180	+20	+12	0	+16	+26	+36	+5+△	+5+△	+5+△	+5+△	+20+△	-20+△	-20+△	-20+△	-20+△	-56	-74	-82	-90	-107	-124	-141	-158	-175	-192	-209	-226	-325	1.6	3	4	5	9	14	
250	280	+920	+480	+300	+240	+190	+110	+20	+12	0	+16	+26	+36	+5+△	+5+△	+5+△	+5+△	+20+△	-20+△	-20+△	-20+△	-20+△	-56	-74	-82	-90	-107	-124	-141	-158	-175	-192	-209	-226	-325	1.6	3	4	5	9	14
280	315	+1060	+540	+330	+240	+160	+20	+12	0	+18	+29	+39	+6+△	+6+△	+6+△	+6+△	+21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-62	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-242	-325	1.6	3	4	5	9	14		
315	355	+1200	+600	+360	+240	+160	+20	+12	0	+18	+29	+39	+6+△	+6+△	+6+△	+6+△	+21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-62	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-242	-325	1.6	3	4	5	9	14		
355	400	+1350	+580	+340	+230	+135	+20	+12	0	+18	+29	+39	+6+△	+6+△	+6+△	+6+△	+21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-62	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-242	-325	1.6	3	4	5	9	14		
400	450	+1500	+730	+440	+230	+135	+20	+12	0	+18	+29	+39	+6+△	+6+△	+6+△	+6+△	+21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-62	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-242	-325	1.6	3	4	5	9	14		
450	500	+1650	+840	+440	+230	+145	+20	+12	0	+18	+29	+39	+6+△	+6+△	+6+△	+6+△	+21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-62	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-242	-325	1.6	3	4	5	9	14		
500	550	+1800	+900	+480	+240	+145	+20	+12	0	+18	+29	+39	+6+△	+6+△	+6+△	+6+△	+21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-62	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-242	-325	1.6	3	4	5	9	14		
550	590	+1950	+960	+480	+240	+145	+20	+12	0	+18	+29	+39	+6+△	+6+△	+6+△	+6+△	+21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-62	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-242	-325	1.6	3	4	5	9	14		
590	630	+2100	+1020	+500	+240	+145	+20	+12	0	+18	+29	+39	+6+△	+6+△	+6+△	+6+△	+21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-62	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-242	-325	1.6	3	4	5	9	14		
630	710	+2100	+1020	+500	+240	+145	+20	+12	0	+18	+29	+39	+6+△	+6+△	+6+△	+6+△	+21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-21+△	-62	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-242	-325	1.6	3	4	5	9	14		
710	800	+2300	+170	+86	+26	0	0	0	0	-34	-56	-66	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-325	1.6	3	4	5	9	14													
800	900	+2400	+170	+86	+26	0	0	0	0	-40	-66	-75	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-325	1.6	3	4	5	9	14													
900	1000	+2500	+170	+86	+26	0	0	0	0	-40	-66	-75	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-325	1.6	3	4	5	9	14													
1000	1120	+2600	+195	+98	+28	0	0	0	0	-40	-66	-75	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-325	1.6	3	4	5	9	14													
1120	1250	+2700	+200	+100	+30	0	0	0	0	-40	-66	-75	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-325	1.6	3	4	5	9	14													
1250	1400	+2800	+200	+100	+30	0	0	0	0	-40	-66	-75	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-325	1.6	3	4	5	9	14													
1400	1600	+3000	+200	+100	+30	0	0	0	0	-40	-66	-75	-80	-98	-116	-134	-152	-170	-188	-206	-224	-325	1.6	3	4	5	9	14													
1600	1800	+3150	+200	+100	+30	0	0	0	0	-40	-66	-75	-80	-98	-116</																										

如图 2-14 所示,齿轮轴的尺寸公差标注在零件图上,说明零件的几何参数允许变动范围,即最大、最小极限值。 $\phi 60h8(^0_{-0.046})$ 、 $\phi 35k6(^{+0.018}_{+0.002})$ 是按照标注公差尺寸的标注形式标注的,而轴长 228 mm 和轴肩宽 8 mm、 $\phi 40$ mm 的尺寸公差未注出,这类尺寸称为一般公差-线性尺寸。

(1) 如图 2-14 所示,齿轮轴的尺寸 $\phi 60h8(^0_{-0.046})$,实测轴的尺寸为 $d_a=59.955$ mm,问该尺寸是否合格。

(2) 理解齿轮轴的直径为 $\phi 60h8$ 的标注,进行尺寸分析:

- ① 基本尺寸: $\phi 60$ mm;
- ② 公差等级: 尺寸的公差等级为 IT8; 查表 2-1 得 $IT8=0.046$ mm;
- ③ 基本偏差: 基本偏差代号为 h, 基本偏差(为轴的上偏差) $es=0$;
- ④ 极限偏差: 下极限偏差 $ei=es-T_D=-0.046$ mm;
- ⑤ 最大极限尺寸: $d_{max}=60+0=60$ mm;
- ⑥ 最小极限尺寸: $d_{min}=60-0.046=59.954$ mm;
- ⑦ 零件合格的条件: $d_{max}=60$ mm $> d_a=59.955$ mm $> d_{min}=59.954$ mm, 零件合格。

(3) 绘制公差带图,如图 2-15 所示。

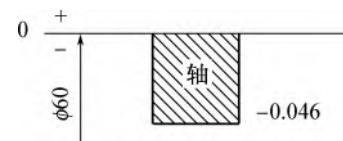


图 2-15 $\phi 60h8$ 公差带图

【拓展知识】

加工分析

已知 $d_1=\phi 100$ mm, $d_2=\phi 8$ mm, $T_{d1}=35 \mu\text{m}$, $T_{d2}=22 \mu\text{m}$, 确定两轴加工的难易程度。

解: 通过查表 2-1 可得, 轴 1 的公称尺寸属于尺寸分段 80~120 mm, 由于其公差值为 $35 \mu\text{m}$, 可知轴 1 的标准公差等级为 IT7; 轴 2 的公称尺寸属于尺寸分段 6~10 mm, 由于其公差值为 $22 \mu\text{m}$, 可知轴 2 的标准公差等级为 IT8; 所以轴 1 比轴 2 的公差等级高, 精度高, 因而轴 1 比轴 2 难加工。

【思考练习】

一、填空题

1. 公差带的大小由_____确定, 公差带的位置由_____确定。
2. 图样上标注的孔尺寸为 $\phi 180JS8$, 已知 $IT8=63 \mu\text{m}$, 则基本偏差为_____, 最大实体尺寸为_____, 最小实体尺寸为_____。
3. 实际尺寸是通过_____得到的尺寸, 但它并不一定是被测尺寸的真实大小。
4. 在国家标准中, 尺寸公差带包括了_____与_____两个参数。
5. H5、H6、H7 的_____相同, _____不同; F7、G7、H7 的_____相同, _____不同。

公差配合与技术测量

6. $\phi 45^{+0.005}_0$ 孔的基本偏差数值为 _____ mm, $\phi 45^{-0.009}_{-0.034}$ 轴的基本偏差数值为 _____ mm。
7. 判断零件合格与否, 主要视其实际尺寸在 _____ 和 _____ 之间, 或者零件的 _____ 应在上极限偏差和下极限偏差之间。

二、选择题

1. 某尺寸实际偏差为零, 下列结论正确的是()。
 - A. 该实际尺寸为基本尺寸,一定合格
 - B. 该实际尺寸为基本尺寸,为零件的真实尺寸
 - C. 该实际尺寸等于基本尺寸
 - D. 该实际尺寸大于基本尺寸
2. 公差是()。
 - A. 正值
 - B. 负值
 - C. 代数值
 - D. 绝对值
3. 实际尺寸是具体零件上尺寸的测得值()。
 - A. 某一位置的
 - B. 整个表面的
 - C. 部分表面的
4. $\phi 30f6$ 、 $\phi 30f7$ 、 $\phi 30f8$ 三个公差带()。
 - A. 上极限偏差相同且下极限偏差相同
 - B. 上极限偏差相同但是下极限偏差不同
 - C. 上极限偏差不同但是下极限偏差相同
 - D. 上、下极限偏差各不相同

三、判断题

1. 机械设计时,零件的尺寸公差等级越高越好。 ()
2. 零件的实际尺寸越接近基本尺寸越好。 ()
3. 零件尺寸基本偏差越小,加工越困难。 ()
4. 某尺寸的公差越小,则尺寸精度越高。 ()
5. 同一公差等级的孔和轴的标准公差数值一定相等。 ()
6. 尺寸公差值大的一定比尺寸公差值小的公差等级低。 ()
7. 实际尺寸就是真实的尺寸,简称真值。 ()
8. 偏差可为正、负或零值,而公差为正值。 ()
9. $\phi 40^{+0.025}_0$ 相当于 $\phi 40.025$ 。 ()
10. $\phi 40F7$ 与 $\phi 40f7$ 的基本偏差绝对值相等,符号相反。 ()
11. $\phi 40F6$ 、 $\phi 40F7$ 与 $\phi 40F8$ 下偏差是相等的,上偏差不同。 ()
12. 公差是允许零件的最大偏差。 ()
13. 标准公差的数值取决于公差等级,与基本偏差无关。 ()
14. 上偏差的数值为正,下偏差的数值为负。 ()
15. 标准公差的数值与公差等级和基本尺寸有关,而与基本偏差无关。 ()
16. 尺寸的公差带的位置是由基本偏差和公差的等级确定的。 ()

四、计算题

根据下表中提供的数据,求出空格中应有的数据并填入空格内(单位:mm)。

基本尺寸	最大极限尺寸	最小极限尺寸	上偏差	下偏差	公差	尺寸标注
孔 $\phi 35$	35.064	35.025				
轴 $\phi 25$	24.978				0.033	
孔 $\phi 85$			-0.037	-0.072		
轴 $\phi 45$				-0.010	0.025	
$\phi 20H6$						
$\phi 50m7$						

任务 2 装配图的配合公差与检测

【学习目标】

- 掌握极限与配合标准中的术语定义。
- 掌握零件图样中上下极限偏差、配合精度与配合种类。
- 熟练地查表并计算极限尺寸、配合尺寸、极限间隙或过盈，并能绘制公差带图。
- 了解公差与配合的标准及其在机械设计中的应用。

【任务引入】

机械产品中轴、孔的公差与配合是其几何量互换性的关键因素。

如图 1-1 所示，减速器的箱体孔、输入输出轴轴颈与轴承，大齿轮内孔与输出轴轴颈结合中，其配合质量和性质（如可动配合的松紧程度或不可动配合的紧固程度等）由相互配合的轴和孔的公差带位置与大小决定。说明公差与配合在不同场合的标注方法。

【任务分析】

减速器中的箱体 1 孔与端盖 14 的配合尺寸为 $\phi 100J7/f9$ ，套筒 13 与输出轴 9 轴颈的配合尺寸 $\phi 55D9/k6$ ，大齿轮 11 内孔与输出轴 9 轴颈的配合尺寸 $\phi 58H7/h6$ ，公差与配合的设计直接关系到产品的性能、制造与互换性。

保证减速器产品的性能、性价比和几何量互换性，核心就是科学、合理地选用输入输出轴轴颈及与其匹配件的公差与配合，主要工作包括基准制的选择与应用设计，尺寸精度设计，配合的选择与应用设计。

【相关知识】

一、配合的术语定义

1. 配合

配合是指基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。配合指一批孔、轴的装配关系，而不是指单个孔和单个轴的结合关系，所以只有用公差带关系来反映配合关系才比较准确。

2. 间隙与过盈

间隙或过盈是指孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差。此差值为正时是间隙，用 X 表示，为负时是过盈，用 Y 表示。

3. 配合的种类

配合分为间隙配合、过盈配合和过渡配合三类。

(1) 间隙配合是具有间隙(包括最小间隙等于零)的配合。间隙配合必须保证同一规格的一批孔的直径大于或等于相互配合的一批轴的直径。其配合特点是：孔的公差带在轴的公差带之上，如图 2-16 所示。

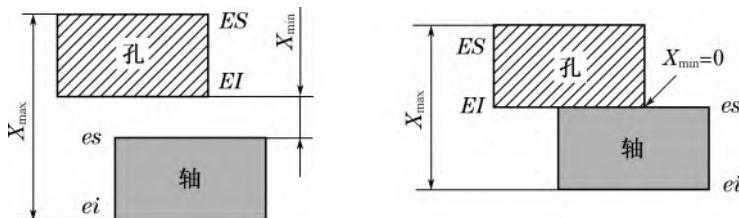


图 2-16 间隙配合

由于孔、轴的实际尺寸允许在最大极限尺寸和最小极限尺寸之间变动，所以，孔、轴配合后的间隙也是变动的。当孔为最大极限尺寸而轴为最小极限尺寸时，配合为最松状态，此时的间隙为最大间隙，用 X_{\max} 表示。当孔为最小极限尺寸、轴为最大极限尺寸时，配合为最紧状态，此时的间隙为最小间隙，用 X_{\min} 表示。

$$\text{最大间隙: } X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-11)$$

$$\text{最小间隙: } X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-12)$$

(2) 过盈配合是具有过盈(包括最小过盈等于零)的配合。过盈配合必须保证同一规格的一批孔的直径小于或等于相互配合的一批轴的直径。其配合特点是：孔的公差带在轴的公差带之下，如图 2-17 所示。

由于孔、轴的实际尺寸允许在最大极限尺寸和最小极限尺寸之间变动，所以配合后形成的实际过盈也是变动的。当孔为最小极限尺寸、轴为最大极限尺寸时，配合处于最紧状态，此时的过盈为最大过盈，用 Y_{\max} 表示。当孔为最大极限尺寸、轴为最小极限尺寸时，配合处于最松状态，此时的过盈称为最小过盈，用 Y_{\min} 表示。



扫码见“过渡配合”
“过盈配合”
“间隙配合”动画

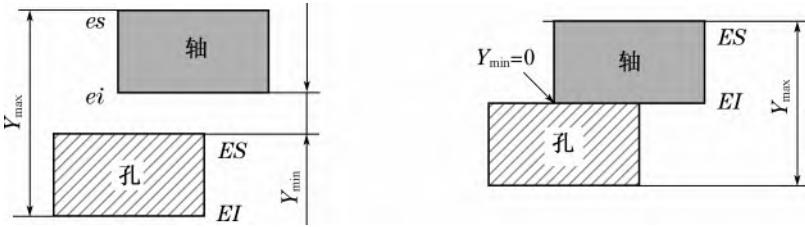


图 2-17 过盈配合

$$\text{最大过盈: } Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-13)$$

$$\text{最小过盈: } Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-14)$$

(3) 过渡配合是可能具有间隙或过盈的配合。若为过渡配合,则同一规格的一批孔的直径可能大于、小于或等于相互配合的一批轴的直径。其配合特点是:孔的公差带与轴的公差带相互交叠,如图 2-18 所示。

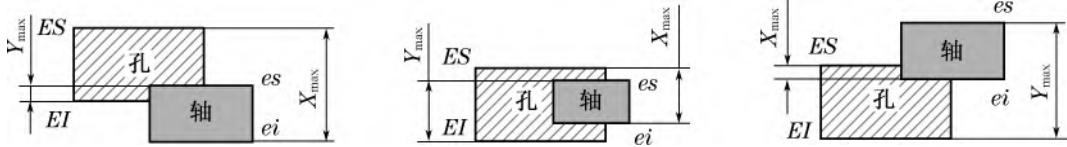


图 2-18 过渡配合

过渡配合中,若孔的尺寸大于轴的尺寸时形成间隙,反之形成过盈。孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸得到最大间隙 X_{\max} ,见式(2-11),是孔、轴配合的最松状态。孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸得到最大过盈 Y_{\max} ,见式(2-13),是孔、轴配合的最紧状态。

4. 配合公差和配合公差带图

组成配合的孔、轴公差之和称为配合公差。它是设计人员根据配合部位的使用要求对配合松紧变动程度给定的允许值,即允许间隙或过盈的变动量,用 T_f 表示。

对于间隙配合,配合公差等于最大间隙与最小间隙之代数差的绝对值:

$$T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = (D_{\max} - d_{\min}) - (D_{\min} - d_{\max}) = T_D + T_d \quad (2-15)$$

对于过渡配合,配合公差等于最小过盈与最大过盈之代数差的绝对值:

$$T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = (D_{\max} - d_{\min}) - (D_{\min} - d_{\max}) = T_D + T_d \quad (2-16)$$

对于过盈配合,配合公差等于最大间隙与最大过盈之代数差的绝对值:

$$T_f = |Y_{\min} - Y_{\max}| = (D_{\max} - d_{\min}) - (D_{\min} - d_{\max}) = T_D + T_d \quad (2-17)$$

从上式看出,不论是哪一类配合,配合公差的大小为两个界值的代数差的绝对值,也等于相配合孔的公差和轴的公差之和,取绝对值表示配合公差。

$$T_f = T_D + T_d \quad (2-18)$$

该式说明:配合精度要求越高,则孔、轴的精度也应越高(公差值越小);配合精度要求越低,则孔、轴的精度也越低(公差值越大)。

配合公差带图(图 2-19)直观地表示配合精度和配合性质,画配合公差带图的规则与画孔、轴公差带图一样,配合公差带图用一长方形区域表示。配合公差完全在零线以上的为



扫码见“公差带
配合图”

正,表示为间隙配合;配合公差完全在零线以下的为负,表示为过盈配合;跨在零线上、下两侧为过渡配合。配合公差带两端的坐标值代表极限间隙或极限过盈,上下两端之间距离为配合公差值。极限间隙和极限过盈以 μm 或mm为单位。

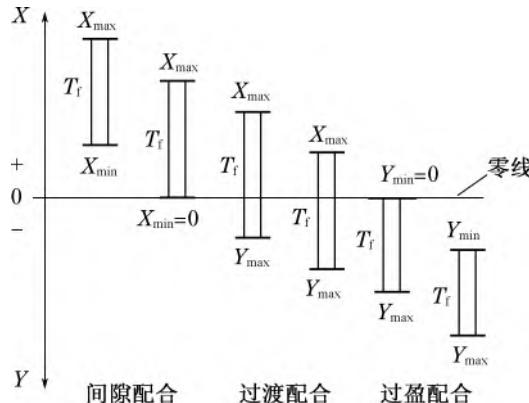


图 2-19 配合公差带图



扫码见“基准制、
基孔制、基轴
制”动画

二、配合制

由孔和轴的公差带图可以看出,变更孔和轴的公差带的相对位置可以组成不同性质、不同松紧的配合。为了设计与制造上的方便,国家标准 GB/T 1801—2009 对配合规定了两种基准制,即基孔制与基轴制。

配合制即基准制,是指同一公称尺寸的两个相配合的零件中的一个零件为基准件,并对其选定标准公差带,将其公差带位置固定,而改变另一个零件的公差带位置,从而形成各种配合的一种制度。

1. 基孔制

基孔制即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,如图 2-20(a)所示。

基孔制中的孔称为基准孔,用 H 表示。基准孔的基本偏差为下偏差 EI,且数值为零,即 $EI=0$ 。上偏差为正值,其公差带偏置在零线上侧。

基孔制配合的孔是基准孔,它是配合的基准件,而轴为非基准件。基孔制配合中由于轴的基本偏差不同,使它们的公差带和基准孔公差带形成以下不同的配合情况。

- (1) H/(a~h) 为间隙配合;
- (2) H/(js~m) 为过渡配合;
- (3) H/(n,p) 为过渡或过盈配合;
- (4) H/(r~zc) 为过盈配合。

2. 基轴制

基轴制即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,如图 2-20(b)所示。

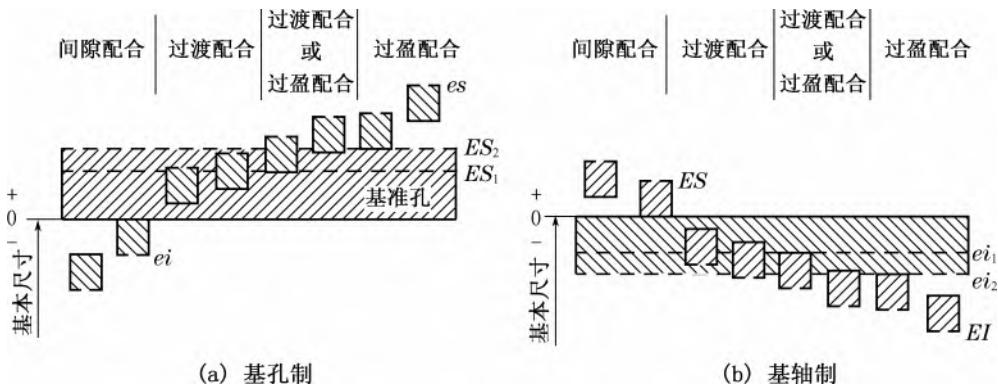


图 2-20 基准制

基准制中的轴称为基准轴,用 h 表示。基准轴的基本偏差为上偏差 es ,且数值为零,即 $es=0$ 。下偏差为负值,其公差带偏置在零线下侧。

基准制中的轴为基准轴,它是配合的基准件,而孔为非基准件。基准制配合中由于孔的基本偏差不同,使它们的公差带和基准轴公差带形成以下不同的配合情况。

- (1) (A~H)/h 为间隙配合;
- (2) (JS~M)/h 为过渡配合;
- (3) (N,P)/h 为过渡或过盈配合;
- (4) R~ZC/h 为过盈配合。

不难发现,由于基本偏差的对称性,配合 H7/m6 和 M7/h6、H8/f7 和 F8/h7 具有相同的极限过盈、间隙指标。基准制可以转换,亦称为同名配合。

三、配合代号及标注

1. 配合代号及在装配图上的标注形式

标准规定,装配图上公差带的标注为在公称尺寸后标注配合代号,配合代号由孔与轴的公差带代号组合而成。配合代号用孔和轴的公差带代号以分数形式表示。装配图上公差带的标注方法有以下 3 种,如图 2-21 所示,其中,分子为孔的公差带代号,分母为轴的公差带代号,如 $\phi 30H8/f7$ 或 $\phi 30 \frac{H8}{f7}$ 。 $\phi 30H8/f7$ 可解释为基本尺寸为 $\phi 30$,基孔制,由孔公差带 H8 与轴公差带 f7 的组成间隙配合。

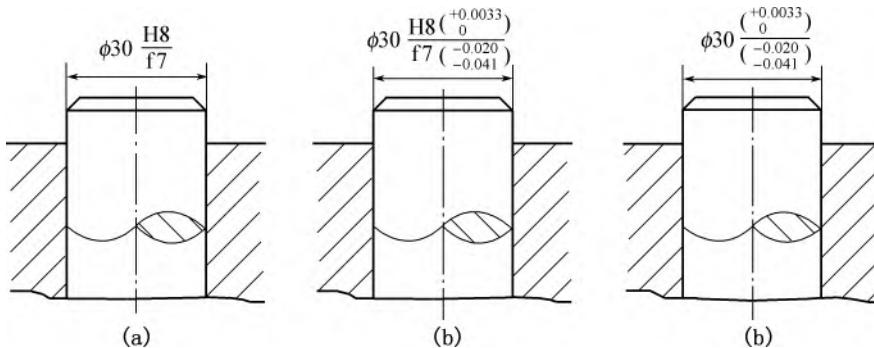


图 2-21 装配图上公差带的标注方法

其中,第一种应用最广,后两种一般分别用于批量生产和单件小批量生产。

当孔与轴有一个是标准件的,装配图上只在非标准件的基本尺寸后标注出偏差代号与公差等级,如图 1-1 所示中轴承内圈内径不标注公差带代号, $\phi 55k6$ 即为配合代号。

2. 国家标准推荐选用的配合

(1) 配合制的选择:

首先需要做的决定是采用“基孔制配合”(孔 H)还是采用“基轴制配合”(轴 h)。除相配零件的尺寸及其公差外,还有更多的特征可影响配合的功能,如相配零件的形状、方向和位置偏差、表面结构、材料密度、工作温度、热处理和材料。这两种配合制对于零件的功能没有技术性的差别,因此应基于经济因素选择配合制。

通常情况下,应选择“基孔制配合”。这种选择可避免工具(如铰刀)和量具不必要的多样性。“基轴制配合”应仅用于那些可以带来切实经济利益的情况(如需要在没有加工的拉制钢棒的单轴上安装几个具有不同偏差的孔的零件)。

(2) 确定配合的方法:

① 依据经验确定特定配合:对于孔和轴的公差等级和基本偏差(公差带的位置)的选择,应能够以给出最满足所要求使用条件对应的最小和最大间隙或过盈。

对于通常的工程目的,只需要许多可能的配合中的少数配合。为了使配合的种类集中统一,GB/T 1800.2—2020《产品几何技术规范(GPS) 线性尺寸公差 ISO 代号体系》规定了基孔制常用配合 45 种,优先配合 16 种,见表 2-5;基轴制常用配合 38 种,其中优先配合 18 种,见表 2-6。配合应优先选择框中所示的公差带代号。

表 2-5 基孔制配合的优先配合

基准孔	轴公差带代号									
	间隙配合				过渡配合			过盈配合		
H6			g5	h5	js5	k5	m5	n5	p5	
H7			f6	g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6 r6 s6 t6 u6 x6
H8		e7	f7		h7	js7	k7	m7	s7	u7
H9	d8	e8	f8		h8					
H10	d8	e8	f8		h8					
H11	b9 c9	d9	e9		h9					
					h10					

表 2-6 基孔制配合的优先配合

基准轴	孔公差带代号									
	间隙配合				过渡配合			过盈配合		
h5					G6	H6	JS6	K6	M6	N6 P6
h6					F7	G7	JS7	K7	M7	P7 R7 S7 T7 U7 X7
h7					E8	F8				
h8					D9	E9				
h9					E8	F8				
					D9	E9				
	B11	C10	D10							
			</td							

$\phi 30u7$ 基本偏差(下偏差): $ei = +0.048 \text{ mm}$, 上偏差: $es = +0.048 + 0.021 = +0.069 \text{ mm}$

2. 计算配合尺寸的公差

(1) 最大间隙: $X_{\max} = ES - ei = +0.033 - (-0.041) = +0.074 \text{ mm}$

最小间隙: $X_{\min} = EI - es = 0 - (-0.020) = +0.020 \text{ mm}$

平均间隙: $X_{av} = (X_{\max} + X_{\min}) / 2 = (+0.074 + 0.020) / 2 = +0.047 \text{ mm}$

配合公差: $T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = |+0.074 - 0.020| = 0.054 \text{ mm}$

或 $T_f = T_D + T_d = 0.033 + 0.021 = 0.054 \text{ mm}$

(2) 最大间隙: $X_{\max} = ES - ei = 0.033 - (+0.002) = +0.031 \text{ mm}$

最大过盈: $X_{\min} = EI - es = 0 - (+0.023) = -0.023 \text{ mm}$

平均间隙: $X_{av} = (X_{\max} + Y_{\max}) / 2 = [0.031 + (-0.023)] / 2 = +0.004 \text{ mm}$

配合公差: $T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = |+0.031 - (-0.023)| = 0.054 \text{ mm}$

或 $T_f = T_D + T_d = 0.033 + 0.021 = 0.054 \text{ mm}$

(3) 最小过盈: $Y_{\min} = ES - ei = +0.033 - 0.048 = -0.015 \text{ mm}$

最大过盈: $Y_{\max} = EI - es = 0 - 0.069 = -0.069 \text{ mm}$

平均过盈: $Y_{av} = (Y_{\min} + Y_{\max}) / 2 = [-0.015 - 0.069] / 2 = -0.042 \text{ mm}$

配合公差: $T_f = |Y_{\min} - Y_{\max}| = |-0.015 - (-0.069)| = 0.054 \text{ mm}$

或 $T_f = T_D + T_d = 0.033 + 0.021 = 0.054 \text{ mm}$

3. 画出公差带图(图 2-22)和配合公差带图(图 2-23)

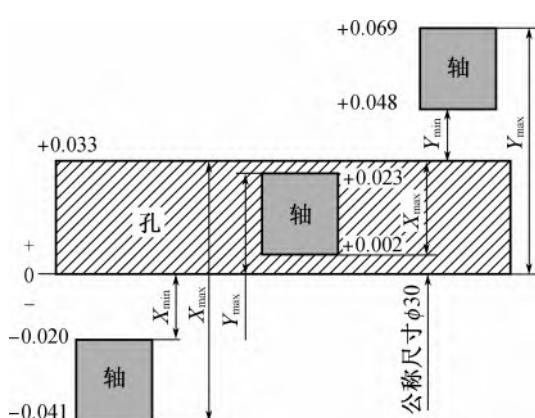


图 2-22 公差带图

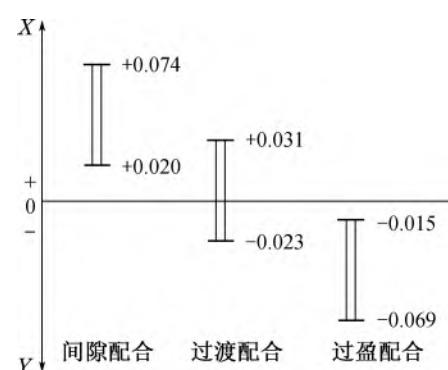


图 2-23 配合公差带图

【拓展知识】

基孔制孔的基本偏差及特殊规则

一、特殊规则孔的基本偏差

特殊规则是指孔的基本偏差和轴的基本偏差符号相反,绝对值相差一个 Δ 值。在较高的公差等级中常采用异级配合(配合中孔的公差等级常比轴低一级),因为相同公差等级的孔比轴难加工。对于公称尺寸大于3~500 mm的基孔制或基轴制配合中,给定某一公差等

级的孔要与更精一级的轴相配(例如 H7/p6 和 P7/h6), 并要求具有同等的间隙或过盈(图 2-22), 标准公差大于或等于 IT8 的 J、K、M、N 的标准公差小于或等于 IT7 的 P~ZC, 孔的基本偏差 ES 适用特殊规则。即计算的孔的基本偏差应附加一个 Δ 值:

$$ES = -ei + \Delta \quad (2-19)$$

式中

$$\Delta = IT_n - IT_{n-1} \quad (2-20)$$

Δ 值是某一尺寸段内给定的某一标准公差等级 IT_n 与更精一级的标准公差 IT_{n-1} 的差值。

例如: 公称尺寸段 18 mm~30 mm 的 P7:

$$\Delta = IT_n - IT_{n-1} = IT7 - IT6 = 21 - 13 = 8 \mu\text{m}$$

按照换算原则, 要求两种配合制的配合性质相同。下面以过盈配合为例证明式(2-19)。

证明: 过盈配合中, 基孔制和基轴制的最小过盈与轴和孔的基本偏差有关, 所以取最小过盈为计算孔基本偏差的依据。

在图 2-22 中, 最小过盈等于孔的上极限偏差减去轴的下极限偏差所得的代数差, 即

$$\text{基孔制: } Y_{\min} = T_D - ei$$

$$\text{基轴制: } Y'_{\min} = ES + T_d$$

根据换算原则可得

$$Y_{\min} = Y'_{\min}$$

即

T_D - ei = ES + T_d

$$ES = -ei + T_D - T_d$$

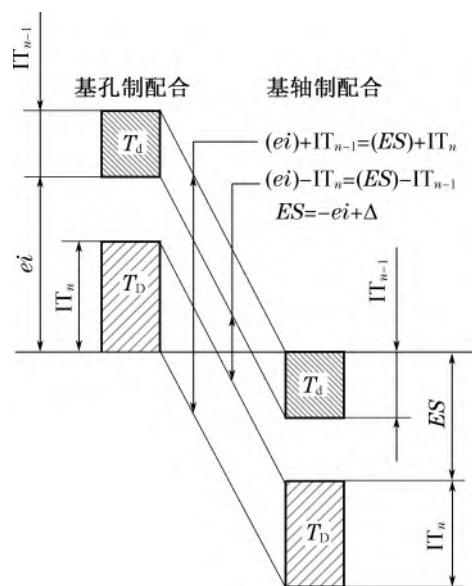


图 2-24 给定规则的图解

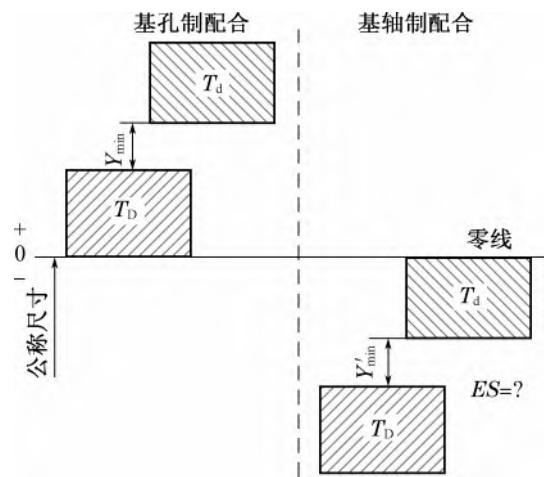


图 2-25 过盈配合特殊规则计算

一般 T_D 和 T_d 公差等级相差一级, 即 $T_D = IT_n$, $T_d = IT_{n-1}$

$$\text{令 } T_D - T_d = IT_n - IT_{n-1} = \Delta$$

所以 $ES = -ei + \Delta$

过渡配合经过类似的证明,也可得出式(2-19)的结果。

孔的另一个偏差,可根据孔的基本偏差和标准公差的关系,按照 $EI = ES - IT$ 或 $ES = EI + IT$ 计算得出。

按照轴的基本偏差计算公式和孔的基本偏差换算原则,国家标准列出了轴和孔基本偏差数值表。在孔、轴基本偏差数值表中查找基本偏差时,不要忘记查找表中的修正值“ Δ ”。

二、基孔制与基轴制的转换

基孔或基轴制中,基本偏差代号相当,孔、轴公差等级同级或孔比轴低一级的配合称同名配合。所有基孔或基轴制的同名的间隙配合的配合性质相同。

基孔或基轴制的同名的过渡和过盈配合只有公差等级组合符合国标在换算孔的基本偏差时的规定,配合性质才能相同。

【例 2-5】 由基孔制配合 $\phi 25H7/p6$ 中轴的基本偏差 p ,计算对应基轴制配合 $\phi 25P7/h6$ 孔的基本偏差 P ,并比较两个配合(此时 $IT6=13\mu m$, $IT7=21\mu m$)。

解:P7 属于前述的例外情况计算(公差等级 $\leq IT7$ 、基本偏差代号为 P~ZC):

因为 $p6$ 轴的基本偏差 p 为 $ei = +22\mu m$

所以 P7 孔的基本偏差 P 为 $ES = -ei + \Delta = -22 + (21 - 13) = -14\mu m$

则 P7 孔的下偏差为 $EI = ES - IT7 = -14 - 21 = -35\mu m$

作基孔制配合 $\phi 25H7/p6$ 的公差带图,如图 2-26 所示。其极限过盈为

$$Y_{\min} = -1\mu m, Y_{\max} = -35\mu m$$

作基轴制配合 $\phi 25P7/h6$ 的公差带图,如图 2-26 所示。其极限过盈为

$$Y_{\min} = -1\mu m, Y_{\max} = -35\mu m$$

显然两配合是等效的,装配公差带如图 2-27 所示。

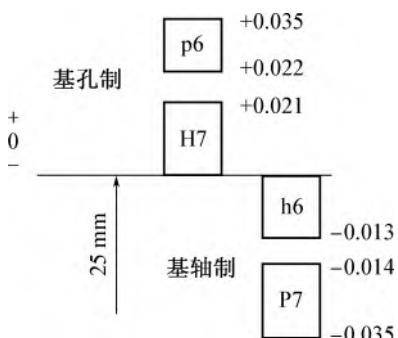


图 2-26 公差带图

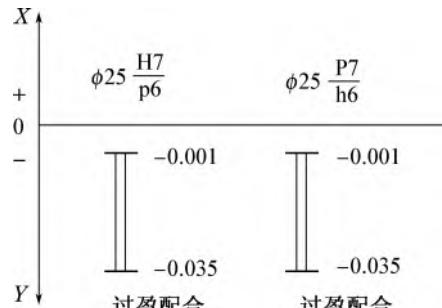


图 2-27 过盈配合装配公差带图

【思考练习】

一、填空题

- 配合是指_____相同的、_____孔和轴_____之间的关系。
- 孔的公差带在轴的公差带之上为_____配合;孔的公差带与轴的公差带相互交叠为_____配合;孔的公差带在轴的公差带之下为_____配合。

3. 配合公差等于_____，其数值应该是_____值。
4. 标准规定，基孔制配合中，基准孔以_____为基本偏差，其值等于_____；基轴制配合中，基准轴以_____偏差为基本偏差，其数值等于_____。
5. 国家标准规定了_____、_____两种标准制。一般情况下优先选用_____。
6. 已知 $\phi 40H7(^{+0.025})/_g6(^{-0.009})$, $\phi 40g7$ 的极限偏差为_____。
7. 若某配合的最大间隙为 $13\text{ }\mu\text{m}$ ，孔的下偏差为 $-11\text{ }\mu\text{m}$ ，轴的下偏差为 $-16\text{ }\mu\text{m}$ ，公差为 $16\text{ }\mu\text{m}$ ，则其配合公差为_____。
8. 若某配合的最大过盈为 $34\text{ }\mu\text{m}$ ，配合公差为 $24\text{ }\mu\text{m}$ ，则该配合为_____配合。

二、选择题

1. 基本偏差为一定孔的公差带，与不同基本偏差的轴的公差带所形成的各种配合的一种制度，称为()。

A. 基孔制	B. 基轴制
C. 极限制	D. 配合制
2. ()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。

A. 基轴制是实际偏差	B. 基轴制是基本偏差
C. 基孔制是实际偏差	D. 基孔制是基本偏差
3. $a \sim h$ 的轴与基准孔配合一定形成()。

A. 间隙配合	B. 过渡配合
C. 过盈配合	D. 不能确定
4. 配合精度高，表明()。

A. 轴的公差值大于孔的公差值	B. 轴的公差值小于孔的公差值
C. 轴、孔公差值之和小	D. 轴孔公差值之和大
5. 公差与配合标准的应用，主要是对配合的种类、基准制和公差等级进行合理的选择。选择的顺序应该是()。

A. 基准制、公差等级、配合种类	B. 配合种类、基准制、公差等级
C. 公差等级、基准制、配合种类	D. 公差等级、配合种类、基准制
6. 正确的论述有()。

A. $\phi 20g8$ 比 $\phi 20h7$ 的精度高	B. $\phi 50^{+0.013}_0$ 比 $\phi 25^{+0.013}_0$ 精度高
C. 国家标准规定不允许孔、轴公差带组成非基准制配合	D. 零件的尺寸精度高，则其配合间隙小

三、判断题

1. 有间隙的配合一定属于间隙配合。 ()

公差配合与技术测量

2. 孔和轴的加工精度越高,则其配合精度也越高。 ()
3. 基孔制即先加工孔,然后以孔配轴。 ()
4. 基孔制的间隙配合,轴的基本偏差一定为负值。 ()
5. 配合公差总是大于孔或轴的尺寸公差。 ()
6. 过渡配合可能有间隙,因此,过渡配合可以是间隙配合。 ()
7. 配合公差主要是反映配合的松紧程度。 ()
8. 有相对运动的配合应选用间隙配合,无相对运动的配合均选用过盈配合。 ()
9. 间隙配合说明配合之间有间隙,因此只适用于有相对运动场合。 ()
10. 过盈配合中,过盈量越大,越能保证装配后的同心度。 ()

四、简答题

1. $\phi 60F8/h7$ 表示的意义是什么? (基本尺寸、基准制、配合类别)
2. 不查表,试直接判别下列各组配合的配合性质是否完全相同。
 - (1) $\phi 60H6/f5$ 与 $\phi 60F6/h5$; (2) $\phi 70H7/m5$ 与 $\phi 70M7/h6$; (3) $\phi 80H8/t7$ 与 $\phi 80T8/h7$ 。

五、计算题

填写下表并画出配合的公差带图。

配合代号	基准制	配合性质	公差代号		公差等级/ μm	极限偏差		极限尺寸		间隙		过盈		X_{av} 或 Y_{av}	T_f
			上	下		最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小		
$\phi 40 \frac{P7}{h6}$		孔													
		轴													
$\phi 25 \frac{K7}{h6}$		孔													
		轴													
$\phi 35 \frac{H8}{f7}$		孔													
		轴													

任务3 尺寸公差与配合的选择

【学习目标】

1. 掌握配合制的选择原则、公差等级的选择及配合类型的选择方法。
2. 根据零件被测要素的要求,熟练、正确查用国家公差与配合标准内容。
3. 具备配合公差设计以及对零件尺寸测量的能力。

【任务引入】

车床尾座的装配图如图 2-28 所示。车床尾座的作用主要是以顶尖顶持工件或安装钻

头钻孔,且承受切削力,尾座顶尖与主轴顶尖有严格的同轴度要求,但在加工和装配过程中不可避免地会出现误差,若误差过大,则影响车床的零件加工质量。因此,对车床尾座在加工和装配过程中给定合理的尺寸精度要求非常重要。

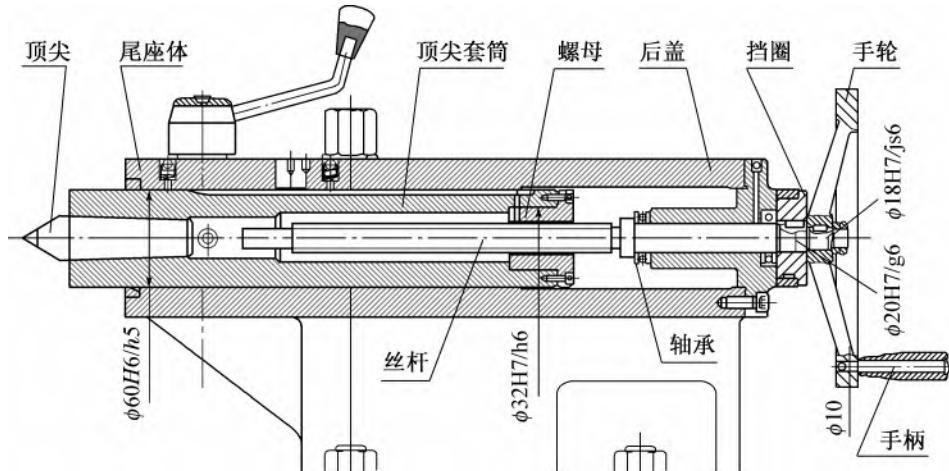


图 2-28 车床尾座装配图

【任务分析】

顶尖套筒的外圆柱面与尾座体上 $\phi 60H6/h5$ 孔的配合是尾座上直接影响使用功能的最重要配合。套筒要求能在孔中沿轴向移动,并且移动时套筒(连带顶尖)不能晃动,否则会影响工作精度,这就要求必须合理设计零件的尺寸精度。

【相关知识】

一、基准配合制的选择原则

基准配合制的选择主要考虑两方面的因素:一是零件的加工工艺可行性及检测经济性,二是机械设备及机械产品结构形式的合理性。

基准配合制的选择原则:优先采用基孔配合制,其次采用基轴配合制,特殊场合应用非基准制。

1. 一般情况优先选用基孔制

基准制的选择主要从加工工艺经济性考虑。因为加工轴工艺比较简单,只需车削或磨削即可,所用刀具车刀和砂轮也非定值刀具,测量轴径时使用一般通用量具或量规即可;但是孔的加工工艺相对轴较复杂,除钻孔外,还需铰、拉、镗、磨等多种扩孔工艺,使用刀具和量具多为价格较贵的定值刀、量具。

比较如下列三对分别为基孔制和基轴制的等效配合:

基孔制配合 $\phi 30H7/g6$, $\phi 30H7/k6$, $\phi 30H7/js6$, 只用一种规格的定值刀量具;

基轴制配合 $\phi 30G7/h6$, $\phi 30K7/h6$, $\phi 30JS7/h6$, 需用三种规格的孔用定值刀量具。

因此,采用基孔制可以减少孔用刀具、量具的品种、规格和数量,降低生产成本,提高加工工艺的经济性。

图 1-1 所示减速器中,输出轴与大齿轮的配合为一般情况,即优先采用基孔配合制,选用最小间隙为 0 的间隙配合,配合代号为 $\phi 56H7/h6$ 。

对没有特殊要求的场合,从统一和习惯上考虑,一般采用基孔制。

2. 宜选用基轴制的场合

与基孔制相比,经济效益显著时应选用基轴制,在以下情况下采用基轴制比较合理:

(1) 用冷拉钢制圆柱型材制作光轴作为基准轴。这一类圆柱型材的规格已标准化,尺寸公差等级一般为 IT7~IT9。它作为基准轴,轴径可以免去外圆的切削加工只需按照不同的配合性质来加工孔,可实现技术与经济的最佳效果。在农业机械、纺织机械等的制造中应用较为广泛。

(2) 加工尺寸小于 1 mm 的精密轴。这种轴比同级孔加工难度还要大,因此在仪器制造、钟表生产、无线电工程中,常使用经过光轧成形的钢丝直接做轴,更加经济。

(3) “一轴多孔”,而且构成的多处配合的松紧程度要求不同的场合。

所谓“一轴多孔”,是指一轴与两个或两个以上的孔组成配合。在同一公称尺寸的轴上同时装配几个具有不同配合要求的零件时应用基轴制。如图 2-29(a)所示内燃机中活塞部件装配就属于此类情况,其使用要求:活塞销与活塞孔之间的配合为过渡配合,而其与连杆套孔之间的配合为间隙配合,它们组成三处两种性质的配合。如图 2-29(b)所示采用基孔制配合制,轴为阶梯轴,且两头大中间小,既不便加工,也不便装配。若选用基轴制,如图 2-29(c)所示,活塞销采用光轴,既方便加工及装配,同时轴的加工成本也降低。

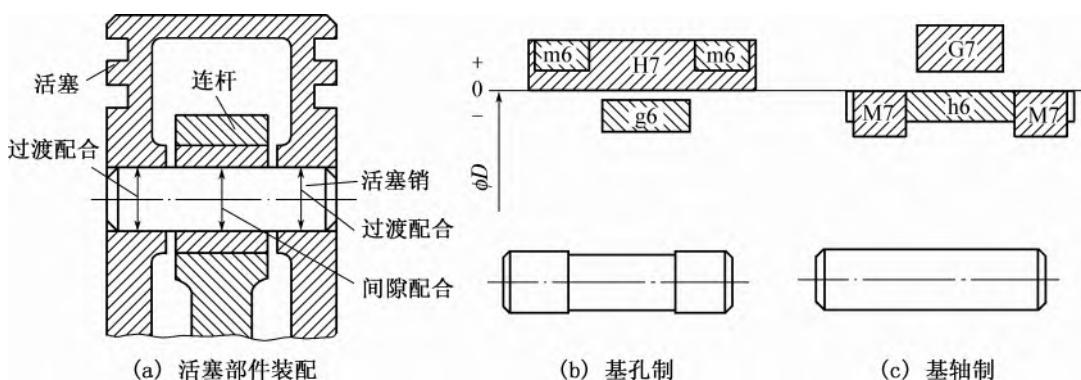


图 2-29 发动机活塞部件装配

3. 与标准件配合时基准制的选用

若与标准件配合,应以标准件为基准件来确定采用哪种基准制。

当设计的零件与标准件相配时,基准制的选择应按标准件而定。例如,滚动轴承是标准件,与滚动轴承内圈配合的轴应按基孔制加工;而与滚动轴承外圈配合的孔,则应按基轴制加工。如图 2-30 所示,滚动轴承为标准件,滚动轴承外圈与外壳孔的配合采用基轴制配合,外壳孔按 $\phi 52J7$ 加工;滚动轴承内圈与轴颈的配合采用基孔制配合,轴颈按 $\phi 52k6$ 加工。

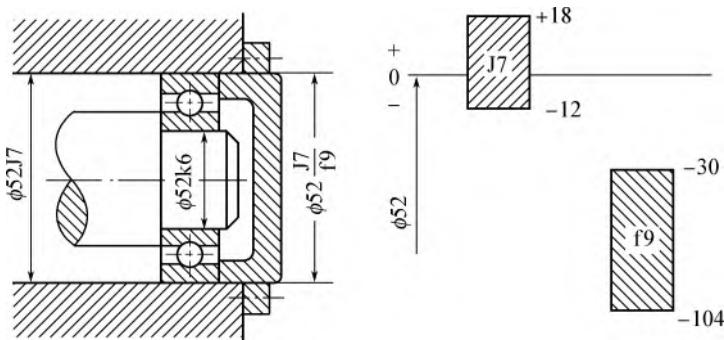


图 2-30 滚动轴承配合及端盖与箱体的配合

如图 1-1 所示减速器中的轴承外圈外径与箱座孔的配合 $\phi 100J7$, 输出轴上的键与输出轴上的键槽的配合 $16N9/h8$ 和键与齿轮轮毂槽的配合 $16JS9/h8$ 均采用基轴配合制。

国家标准对滚动轴承公差有专门规定:只标注与轴承配合的轴径和外壳孔的公差,不标注轴承公差。

4. 特殊要求可以采用非基准制

为了满足配合的特殊要求,允许采用非基准制配合。非基准制的配合是指相配合的两零件既无基准孔 H 又无基准轴 h 的配合。也就是相配合的孔、轴都不是标准件。

如图 2-30 所示为轴承座孔同时与滚动轴承外径和端盖的配合,滚动轴承是标准件,它与轴承座孔的配合应为基轴制过渡配合,选轴承座孔公差带为 $\phi 52J7$;但是轴承端盖经常拆卸,显然这种配合过于紧密,而应选用间隙配合为好,轴承座孔与端盖的配合应为较低精度的间隙配合,座孔公差带已定为 $J7$,现在只能对端盖选定一个位于 $J7$ 下方的公差带,以形成所要求的间隙配合。考虑到端盖的性能要求和加工的经济性,采用 $f9$ 的公差带,最后确定端盖与轴承座孔之间的配合为 $\phi 52J7/f9$ 。此例使用上要求保证其轴向定位,而无定心要求,宜取较大间隙,利于装配。

二、公差等级的选择

1. 公差等级的选择原则

选择公差等级就是解决制造精度与制造成本之间的矛盾,如图 2-31 所示。公差等级与生产成本之间的关系为在低精度区精度提高成本增加不多,而在高精度区,公差越小,精度越高,加工越难,精度的小幅度提高往往伴随着成本的急剧增加,同时产品的废品率急剧增加。因此,选择公差等级的基本原则是在满足使用要求的前提下,尽量选用精度较低的公差等级,以利于降低加工成本。

2. 公差等级的选择方法

(1) 计算法:是指根据一定的理论和计算公式计算后,再根据尺寸公差与配合的标准确定合理的公差等级。即根据工作条件和使用性能要求确定配合部位的间隙或过盈允许的界限,然后通过计算法确定相配合的孔、轴的公差等级。计算法多用于较重要的配合。

(2) 类比法(经验法):就是参考经过实践证明合理的类似产品的公差等级,将所设计的机械(机构、产品)的使用性能、工作条件、加工工艺装备等情况与之进行比较,从而确定合理的公差等级。对初学者来说,多采用类比法,此法主要是通过查阅有关参考资料、手册,并进

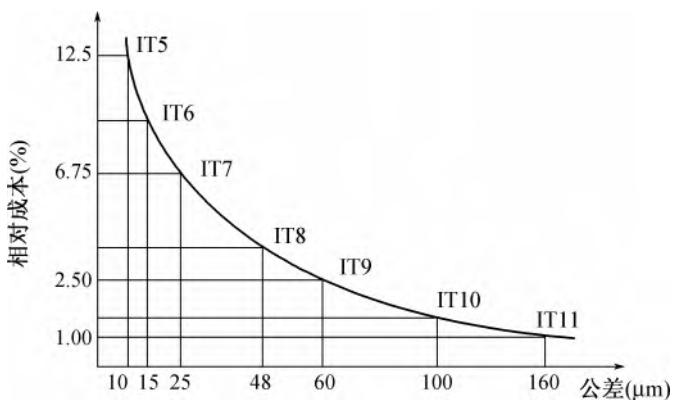


图 2-31 标准公差等级与生产成本的关系曲线

行分析比较后确定公差等级。类比法多用于一般要求的配合。

3. 确定公差等级应考虑的几个问题

(1) 一般的非配合尺寸要比配合尺寸的公差等级低。配合精度要求不高时，允许孔、轴公差等级相差 2~3 级，以降低加工成本。如图 1-1 所示的 $\phi 100J7/f9$ 和 $\phi 55D9/k6$ 。

(2) 了解各个公差等级的应用范围，见表 2-7；选用时可参考常用配合尺寸公差等级的应用举例，见表 2-8。

表 2-7 公差等级应用范围

应用场合		公差等级 IT																
		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
量块		—	—															
量规	高精度			—	—													
	低精度						—	—										
配合尺寸	个别精密配合	—	—															
	特别重要孔				—	—												
	特别重要轴				—	—												
	精密孔						—	—										
	精密轴						—	—										
	中等精密孔							—	—									
	中等精密轴							—	—									
低精度配合									—	—				—	—			
非配合尺寸											—	—	—	—	—	—	—	—
原材料尺寸											—	—	—	—	—	—	—	—

表 2-8 常用配合尺寸公差等级的应用

公差等级	主要应用实例
IT01~IT1	一般用于精密标准量块。IT1 也用于检验 IT6 和 IT7 级轴用量规的校对量规。
IT2~IT7	用于检验工件 IT5~IT16 的量规的尺寸公差。
IT3~IT5 (孔为 IT6)	用于精度要求很高的重要配合,例如机床主轴与精密滚动轴承的配合、发动机活塞销与连杆孔和活塞孔的配合。 配合公差很小,对加工要求很高,应用较少。
IT6(孔为 IT7)	用于机床、发动机和仪表中的重要配合。例如机床传动机构中的齿轮与轴的配合,轴与轴承的配合,发动机中活塞与汽缸、曲轴与轴承、气阀杆与导套的配合等。 配合公差较小,一般精密加工能够实现,在精密机械中广泛应用。
IT7, IT8	用于机床和发动机中不太重要的配合,也用于重型机械、农业机械、纺织机械、机车车辆等的重要配合。例如机床上操纵杆的支承配合、发动机活塞环与活塞环槽的配合、农业机械中齿轮与轴的配合等。 配合公差中等,加工易于实现,在一般机械中广泛应用。
IT9, IT10	用于一般要求,或长度精度要求较高的配合。某些非配合尺寸的特殊需要,例如飞机机身的外壳尺寸,由于质量限制,要求达到 IT9 或 IT10。
IT11, IT12	多用于各种没有严格要求,只要求便于连接的配合。例如螺栓和螺孔、铆钉和孔等的配合。
IT12~IT18	用于非配合尺寸和粗加工的工序尺寸上。例如手柄的直径、壳体的外形和壁厚尺寸,以及端面之间的距离等。

(3) 在满足设计要求的前提下,应尽量考虑工艺的可能性和经济性,各种加工方法所能达到的公差等级可见表 2-9。

表 2-9 各种加工方法所能达到的公差等级

应 用	公差等级(IT)																		
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
研磨	██████████																		
珩磨					████████														
圆磨						████████													
平磨						████████													
金刚石车						████													
金刚石镗						████													
拉削						████████													
铰孔						████████													
车						████████													
镗						████████													
铣						████████													

(续表)

应 用	公差等级(IT)																		
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
刨、插												10	11						
钻孔											10	11	12						
滚压、挤压											10	11							
冲压											10	11	12						
压铸											10	11	12						
粉末冶金成型							5	6	7	8	9	10	11						
粉末冶金烧结							6	7	8	9	10	11	12						
砂型铸造														10	11				
锻造														10	11				
气割														10	11	12			

(4) 孔和轴的工艺等价性。工艺等价性是指孔和轴的加工难易程度相同。

对于基本尺寸 $\leq 500\text{ mm}$ 有较高公差等级的配合,当标准公差 $\leq \text{IT}8$ 时,因孔比同级轴难加工,为使孔、轴的加工难易程度相同,即具有工艺等价性,国标推荐孔比轴低一级相配合,通常IT6、IT7、IT8级的孔与IT5、IT6、IT7级的轴配合;但对低精度 $\text{IT} > \text{IT}8$ 级或基本尺寸 $> 500\text{ mm}$ 的配合,采用孔、轴同级配合。见表2-10。

表 2-10 按工艺等价性选择的孔和轴的公差等级

配合类别	孔的公差等级	轴应选的公差等级	实 例
间隙配合	$\leq \text{IT}8$	轴比孔高一级	H7/f6
	$> \text{IT}8$	轴与孔同级	H9/f9
过渡配合	$\leq \text{IT}7$	轴比孔高一级	H7/p6
	$> \text{IT}7$	轴与孔同级	H8/s8

(5) 过渡配合或过盈配合的公差等级不能太低。一般孔的公差等级 $\leq \text{IT}8$,轴的公差等级 $\leq \text{IT}7$;对间隙配合,间隙小的公差等级较高,间隙大的公差等级可低些。

(6) 相配合零部件的精度要匹配。注意与相配合零部件的精度协调,与标准零件或部件相配合时应与标准件的精度相适应。

例如,与轴承配合的孔和轴,其公差等级由轴承的精度等级来决定;与齿轮孔相配的轴,其配合部位的公差等级由齿轮的精度等级决定。如图1-1所示,大齿轮孔的公差等级是按照齿轮的精度等级选取的,因而与齿轮孔相配合的轴颈的公差等级应与齿轮孔的公差等级相匹配为 $\phi 56\text{h}6$,配合代号 $\phi 56\text{H}7/\text{h}6$ 。

(7) 非基准制配合(混合制)。在满足配合要求的前提下,孔、轴的公差等级可以任意组合,不受工艺等价原则的限制。

如图1-1所示轴承盖与轴承孔的配合要求很松,其联接可靠性主要是靠螺钉联接来保证的,对配合精度要求很低,相配合的孔件和轴件既没有相对运动,又不承受外界负荷,所以

轴承盖的配合外径采用 IT9 是经济合理的。孔的公差等级是由轴承的外径精度所决定的，如果轴承盖的配合外径按工艺等价原则采用 IT6，则反而是不合理的。这样做势必要提高制造成本，同时对提高产品质量又起不到任何作用。

三、配合的选择

配合的选择就是根据功能、工作条件和制造装配的要求确定配合的种类和精度，即确定配合代号。

1. 选择配合的任务

配合的选用就是在确定了基准制的基础上，首先根据使用要求确定配合类型，并根据使用中允许间隙或过盈的大小及其变化范围（配合公差 T_f ），选定非基准件（配合件——基孔制配合中的轴或基轴制配合中的孔）的基本偏差代号（已经确定了基准件与非基准件的公差等级）。应尽可能地选用优先配合，其次是常用配合。

2. 确定基本偏差的方法

(1) 试验法。试验法是指从几种配合的实际试验结果中找出最佳的配合方案的方法。试验法主要用于对产品性能影响大而又缺乏经验的场合。试验法比较可靠，但周期长，成本高，应用也较少。

(2) 计算法。计算法是根据使用要求通过理论公式计算来选定配合的方法。影响间隙和过盈的因素很多，因而理论上的计算只能是近似的。所以，在实际应用中还需经过试验来确定。一般情况下很少使用计算法。只有重要的配合部位才采用计算法。

(3) 类比法。在机械精度设计中，类比法就是以同类型机器或机构中经过生产实践验证的配合作为参照，并结合所设计产品的使用要求和应用条件来确定配合的方法。该方法应用最广，但要求设计人员掌握充分的参考资料并具有相当的经验，如要掌握各种配合的特征和应用场合，尤其是对国家标准所规定的优先配合要非常熟悉。

3. 选择配合的步骤

采用类比法选择配合时，可以按照下列步骤。

(1) 确定配合的大致类别。根据配合部位的功能要求确定配合的类别，选择时，应根据具体的使用要求确定是间隙配合还是过渡或过盈配合。功能要求及对应的配合类别见表 2-11，可按表中的情况选择。

表 2-11 配合类别的选择

无相对运动	要传递转矩	永久结合		较大过盈的过盈配合
		可拆结合	要精确同轴	转型过盈配合、过渡配合或基本偏差为 H(h) ^① 的间隙配合加紧固件 ^②
		不要精确同轴		间隙配合加紧固件 ^②
	不需要传递转矩，要精确同轴			
有相对运动		过渡配合或轻的过盈配合		
只有移动	基本偏差为 H(h)、G(g) ^① 等间隙配合			
转动或转动和移动的复合运动		基本偏差 A~F(a~f) ^① 等间隙配合		

注：① 指非基准件的基本偏差代号。

② 紧固件指键、销钉和螺钉等。

(2) 选择较合适的配合。根据配合部位具体的功能要求,通过查表、比照配合的应用实例以及参考各种配合的性能特征,采用类比法确定较合适的配合。各种配合的性能特征分别见表 2-12~表 2-15。

表 2-12 尺寸在≤500 mm 基孔制常用和优先配合的特征及应用

配合类型	配合代号	应用
间隙配合	H11/c11	该配合间隙非常大,用于很松的、转动很慢的动配合,要求大公差与大间隙的外露组件,要求装配方便且很松的配合。
	H9/h9	该配合属于间隙很大的自由转动配合,用于精度非主要要求时,或有大的温度变化、高转速或大的轴颈压力时的配合。
	H8/f7	该配合用于间隙不大的转动配合,用于中等转速与中等轴颈压力的精确转动;也用于装配容易的中等定位配合。
	H7/g6	该配合用于间隙很小的滑动配合,用于不希望自由转动,但可自由移动和滑动并精密定位的配合;也可用于要求明确的定位配合。
	H7/h6、H8/h7、H9/h9、H11/h11	该配合为间隙定位配合,零件可自由装拆,而工作时一般相对静止不动。在最大实体条件下的间隙为零,在最小实体条件下的间隙由公差等级决定。
过渡配合	H7/k6	该配合用于精密定位配合。
	H7/n6	该配合用于允许有较大过盈的更精密定位配合。
过盈配合	H7/p6	该配合为过盈定位配合,即小过盈配合,用于定位精度特别重要时,能以最好的定位精度达到部件的刚性及对中性要求,而对内孔承受压力无特殊要求,不依靠配合的紧固性传递摩擦负荷的配合。
	H7/s6	该配合为中等压入配合,适用于一般钢件,或用于薄壁件的冷缩配合,用于铸铁件可得到最紧的配合。
	H7/u6	该配合为压入配合,适用于可以承受高压入力的零件或不易承受大压入力的冷缩配合。

表 2-13 间隙配合下的基本偏差的比较与选择

基本偏差	a、b(A、B)	c(C)	d(D)	e(E)	f(F)	g(G)	h(H)
间隙大小	特大间隙	很大间隙	大间隙	中等间隙	小间隙	较小间隙	很小间隙
配合松紧程度	松	↔				紧	
定心要求	无对中、定心要求					略有定心功能	有一定的定心功能
润滑性能	差	↔	好	↔	差		
相对运动情况	—	慢速转动	高速转动	中速转动	精密低速转动或手动移动		

表 2-14 过渡配合基本偏差的比较与选择

基本偏差	$js(JS)$	$k(K)$	$m(M)$	$n(N)$
盈、隙情况	过盈率很小稍有平均间隙	过盈率中等平均过盈接近为零	过盈率较大平均过盈较小	过盈率大平均过盈稍大
定心要求	要求较好定心	要求定心精度较高	要求精密定心	要求更精密定心
装配与拆卸情况	木槌装配拆卸方便	木槌装配拆卸比较方便	最大过盈时需相当的压入力,可以拆卸	用锤或压力机装配拆卸较困难

表 2-15 过盈配合基本偏差的比较与选择

基本偏差	$p(P)、r(R)$	$s(S)、t(T)$	$u(U)、v(V)、x(X)、y(Y)、z(Z)$
过盈程度选择根据	较小或小的过盈	中等与大的过盈	很大与特大的过盈
传递扭矩的大小	加紧固件传递一定的扭矩与轴向力,属轻型过盈配合。不加紧固件可用于准确定心仅传递小扭矩需轴向定位(过盈配合时)。	不加紧固件可传递较小的扭矩与轴向力,属中型过盈配合。	不加紧固件可传递大的扭矩与轴向力、特大扭矩和动载荷,属重型、特重型过盈配合。
装卸情况	用于需要拆卸时,装入时使用压入机。	用于很少拆卸时。	用于不拆卸时,一般不推荐使用。对于特重型过盈配合(后三种)需经试验才能应用。

4. 选择配合时应考虑的因素

(1) 孔、轴定心精度:相互配合的孔、轴定心精度要求高时,不宜用间隙配合,多用过渡配合,也可采用过盈配合。

(2) 受载荷情况:若载荷较大,对过盈配合过盈量要增大,对过渡配合要选用过盈概率大的过渡配合。

(3) 拆装情况:经常拆装的孔和轴的配合比不经常拆装的配合要松些。配合件的材料当配合件中有一件是铜或铝等塑性材料时,因它们容易变形,选择配合时可适当增大过盈或减小间隙。

(4) 对于一些薄壁套筒的装配,要考虑装配变形的影响。如图 2-32 所示薄壁零件,套筒外表面与机座内孔配合为过盈配合 $\phi 60H7/s6$, 套筒内表面与轴的配合为间隙配合 $\phi 38H7/f7$, 套筒压入机座后,内孔会变形缩小,影响套筒内孔与轴的间隙配合。所以,套筒内孔加工时,尺寸可以加工得稍大些,以补偿套筒压入机座时内孔的变形缩小,或待套筒压入机座后再精加工套筒内孔。

(5) 工作温度当工作温度与装配温度相差较大时,选择配合时要考虑到热变形的影响。

(6) 生产类型在大批生产时,加工后的尺寸通常按正态分布。但在单件小批生产时,一般采用试切法,加工后孔的尺寸多偏向下极限尺寸,轴多偏向上极限尺寸。这样,单件生产的装配效果就会偏紧一些。因此,对于图 2-32 所示的薄壁零件,大批生产时套筒外表面与

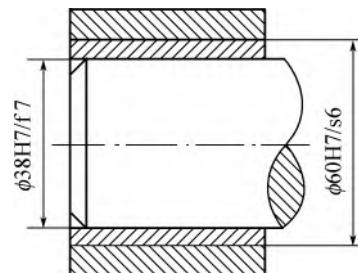


图 2-32 薄壁零件

机座内孔的配合选 $\phi 60H7/js6$, 单件小批生产时则应选 $\phi 60H7/h6$ 。

因此,要分析零件的具体的工作条件及使用要求(表 2-16),合理调整配合的间隙与过盈。

表 2-16 工作情况以及过盈或间隙的影响

具体条件	过盈量	间隙量	具体条件	过盈量	间隙量
材料强度小	减	—	装配时可能歪斜	减	增
经常拆卸	减	增	旋转速度增高	增	增
有冲击载荷	增	减	有轴向运动	—	增
工作时孔温高于轴温	增	减	润滑油黏度增大	—	增
工作时轴温高于孔温	减	增	表面趋向粗糙	增	减
配合长度增长	减	增	单件生产相对于成批生产	减	增
配合面形状和位置误差增大	减	增			

【任务实施】



读图学习极限与配合的选用

扫码见“极限配合示意图”

极限与配合的选用主要包括配合制、公差等级和配合种类的选择。要正确地选择极限与配合,通常要通过生产实践不断积累经验,才能逐步提高这方面的工作能力。一般来说,选择极限与配合须考虑以下几个方面因素:要深入地掌握极限与配合国家标准,又要对产品的工作条件、技术要求进行分析,对生产制造条件进行分析。

一、极限与配合的分析

识读减速器装配图(图 1-1),分析箱体孔与滚动轴承和轴承端盖的配合尺寸的配合制、公差等级、配合性质。

1. 确定减速器输出轴轴颈与大齿轮孔内径的配合

分析:为了保证该对齿轮的正常传递运动和转矩,要求齿轮在减速器中装配位置正确,才能正常啮合,减小磨损,延长使用寿命。因此, $\phi 58$ mm 输出轴轴颈与齿轮孔的配合有以下要求。

(1) 定心精度。 $\phi 58$ mm 输出轴的轴线与齿轮孔轴线的同轴度要高,即输出轴与齿轮孔之间要求同心(对中),而且配合的一致性要高。因为输入轴上齿轮与带孔齿轮的相对位置是由输入轴与轴承、输出轴与轴承、轴承与箱体孔的配合及箱体上轴承的孔轴线的相对位置来确定的。所以, $\phi 58$ mm 输出轴与齿轮孔的配合很大程度上决定齿轮在箱体内的空间位置精度。

(2) $\phi 58$ mm 输出轴与齿轮孔之间无相对运动,传递运动由键实现。

(3) 应便于减速器的装配和拆卸、维修。

2. 根据上述分析选择配合

(1) 基准制的选择。输出轴与齿轮均是非标准件,属于一般场合,应选择基孔制,即孔的基本偏差代号为 H。

(2) 尺寸公差等级的选择。 $\phi 58\text{ mm}$ 齿轮孔的尺寸公差等级是依据齿轮齿面精度等级确定的(参见项目五任务 4)。由于齿面精度等级最高级为 7 级,孔的公差等级为 IT7; $\phi 58\text{ mm}$ 输出轴轴颈的公差等级按照工艺等价原则选择 IT6。

(3) 基本偏差的选择。根据 $\phi 58\text{ mm}$ 输出轴与齿轮孔的配合要求,它们之间应无相对运动,有精确的同轴度要求,且由键传递转矩,需要拆卸等。

首先确定配合的大致类别。由表 2-11 可知,选择“基本偏差代号为 h 的间隙配合加紧固件”,即 $\phi 58\text{ mm}$ 输出轴与齿轮孔的配合代号为 $\phi 58\text{H7/h6}$,它们是由基准件组成的,既是基孔制,也是基轴制,它是优先选用的配合。 $\phi 58\text{ mm}$ 输出轴与齿轮孔的配合如图 2-33 所示。

二、极限与配合的选用

识读减速器装配图(图 1-1),箱体孔与滚动轴承和轴承端盖的配合,学习极限与配合标准、配合制、公差系列、基本偏差系列。对照图 2-33 的要求,查标准公差数值表、基本偏差数

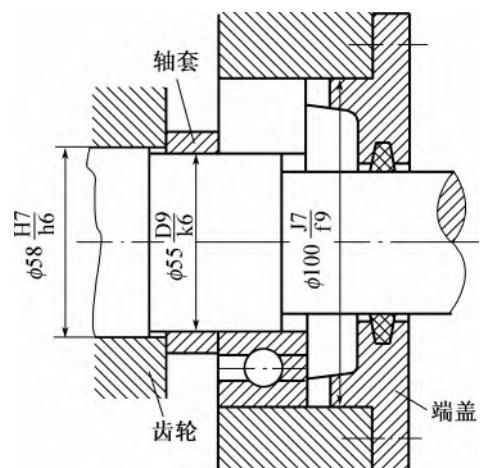


图 2-33 箱体孔与滚动轴承和轴承端盖的配合值表,绘制公差带图。

【拓展知识】

配合公差设计与尺寸测量

一、钻模板上装有固定衬套配合的设计

钻模板上装有固定衬套,钻套与固定衬套配合,在工作中要求钻套能迅速更换。若用图 2-34(a)所示的钻模来加工工件上的 $\phi 12\text{ mm}$ 孔,试选择固定衬套与钻模板、钻套与固定衬套及钻套的内孔与钻头之间的配合。

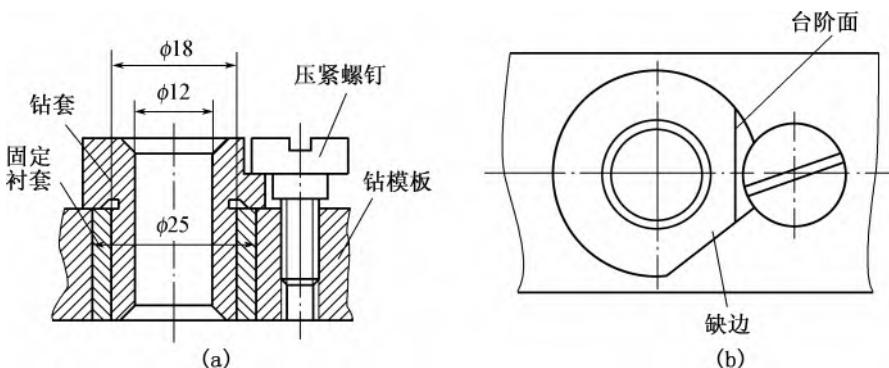


图 2-34 钻模(部分)

解 (1) 基准制的选择。对于固定衬套与钻模板的配合及钻套与固定衬套的配合,因结构无特殊要求,按国标规定应优先选用基孔制。对于钻头与钻套内孔的配合,因钻头属于标准刀具,故应采用基轴制配合。

(2) 公差等级的选择。参见表 2-7, 钻模夹具各元件的连接可按用于配合尺寸的 IT5~IT12 级选用。

参见表 2-18, 重要的配合尺寸, 对轴可选 IT6, 对孔可选 IT7。本例中钻模板的孔、固定衬套的孔和钻套的孔统一按 IT7 选用。而固定衬套的外圆、钻套的外圆则按 IT6 选用。

(3) 配合种类的选择。固定衬套与钻模板的配合, 要求连接牢靠, 在轻微冲击和负荷下不能发生松动, 即使固定衬套内孔磨损了, 需更换拆卸的次数也不多。因此参见表 2-12 可选平均过盈率大的过渡配合 n, 本例配合选为 $\phi 25H7/n6$ 。

钻套与固定衬套的配合, 要求经常用手更换, 故需一定间隙来保证更换迅速。但因又要求有准确的定心, 间隙不能过大, 故参见表 2-12 和表 2-13 可选精密滑动的配合 g, 本例选为 $\phi 18H7/g6$ 。

至于钻套内孔, 因要引导旋转着的刀具进给, 故既要保证一定的导向精度, 又要防止间隙过小而被卡住。根据钻孔切削速度多为中速, 参见表 2-13 应选中等转速的基本偏差 F, 本例选为 $\phi 12F7$ 。

必须指出, 钻套与固定衬套内孔的配合, 根据上面分析本应选 $\phi 18H7/g6$, 考虑到为了统一钻套内孔与固定衬套内孔的公差带, 规定了统一的公差带 F7, 因而钻套与固定衬套内孔的配合应选相当于 H7/g6 的配合 F7/k6, 两种配合的公差带图解如图 2-35 所示。因此, 本例中钻套与固定衬套内孔的配合应为 $\phi 18F7/k6$ (非基准制配合)。

二、选择测量工具进行精度检测

1. 制定衬套的检测方案

通过内容的分析, 解释衬套在其配合件的装配中标注的 $\phi 25H7/n6$ 、 $\phi 18F7/k6$ 所采用的基准制、配合的性质, 计算出间隙或过盈量。制定衬套的检测方案, 衬套的检测方案见表 2-17。

表 2-17 衬套的检测方案

衬套参数	内孔 $\phi 25H7/n6$, 配合 $\phi 18F7/k6$
计量器具、辅助装置及其规格	根据被测零件的精度等级确定测量工具
如何调整校对计量器具	自定
在什么部位测量? 测几次?	自定
测量数据的处理方式	自定
所测参数合格性的判断依据	各参数公差或极限偏差
检测场地	理实一体化教室

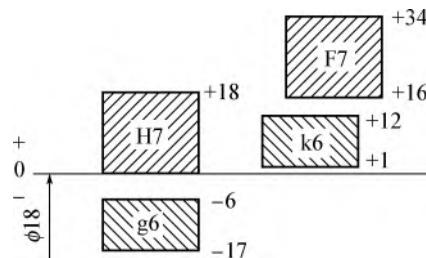


图 2-35 两种配合的公差带图解

2. 检测衬套并填写检测报告

在理实一体化教室,以班级为单位分成若干小组,每小组单独检测。阅读计量器具的使用手册,仔细观看教师示范,完成检测任务并填写检测报告单,衬套检测报告见表 2-18。

表 2-18 衬套检测报告

被测件名称			
检测项目	图纸要求	使用器具规格	实测结果
内径			
合格性判断(自检结果)			

3. 评价检测报告

检查根据检测数据对零件的合格性的判断是否正确等,如发现有不合理的请予以改正。

【思考练习】

一、填空题

- 公差等级的选用原则是在满足_____的前提下,尽量选用_____的公差等级。
- 基准配合制的选择原则:优先采用_____,其次采用_____,特殊场合应用非基准制。
- 配合的选择就是根据功能、工作条件和制造装配的要求确定_____的种类和精度,即确定_____。

二、选择题

- 下列配合零件应优先选用基孔制的有()。
 - 滚动轴承内圈与轴配合
 - 同一轴与多孔相配,且有不同的配合性质
 - 滚动轴承外圈与外壳孔的配合
 - 轴为冷圆钢,不需再加工
- 当孔、轴之间有相对运动且定心精度要求较高时,它们的配合应选择为()。
 - H7/m6
 - H8/g8
 - H7/g6
 - H7/b6
- 用同一方法加工 $\phi 450H7$ 孔与 $\phi 100H6$ 孔应理解为()。
 - 前者加工困难
 - 后者加工困难
 - 两者加工难易相当
 - 加工难易程度无法比较
- 公差与配合标准的应用,主要是对配合的种类,基准制和公差等级进行合理的选择。选择的顺序应该是()。
 - 基准制、公差等级、配合种类
 - 配合种类、基准制、公差等级
 - 公差等级、基准制、配合种类
 - 公差等级、配合种类、基准制

公差配合与技术测量

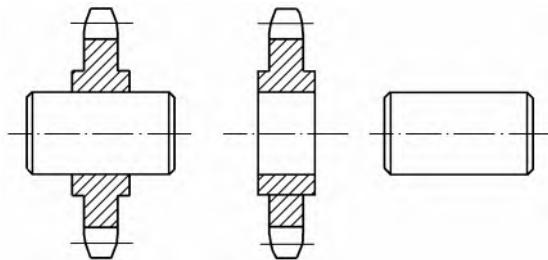
5. 配合精度高,表明()。
A. 轴的公差值大于孔的公差值
B. 轴的公差值小于孔的公差值
C. 轴、孔公差值之和小
D. 轴孔公差值之和大
6. 以下各种情况中,应选用间隙配合的有()。
A. 要求定位精度高
B. 工作时无相对运动
C. 不可拆卸
D. 转动、移动或复合运动
7. 下列配合零件,应选用过盈配合的有()。
A. 需要传递足够大的转矩
B. 不可拆连接
C. 有轴向运动
D. 要求定心且常拆卸

三、判断题

1. 只要孔和轴装配在一起,就必然形成配合。 ()
2. 配合公差的数值愈小,则相互配合的孔、轴公差等级愈高。 ()
3. 键为标准件,故与键配合的轴槽和轮毂槽按基轴制加工。 ()
4. 在孔与轴的配合中,常用间隙配合或过渡配合并在结构上做些改变(如加入销、键等联接件)来代替过盈配合,从而达到传递扭矩和便于使用中常装拆目的。 ()
5. 优先选用基孔制是因为孔比轴难加工,所以应该先加工孔,后加工轴。 ()

四、计算题

有一 $\phi 30$ 链轮孔与轴的配合,如题图2-1所示,链轮与轴无相对运动、不常拆卸、定位精度要求不高,孔精车,轴精车,试设计该尺寸的配合公差。



题图2-1 链轮孔与轴的配合

项目综合知识技能 ——工程案例与分析

尺寸中差概念在机械零件加工及装配中的使用

项目研究对象:轴承座零件加工及装配。

一、三种配合在生产中的使用

在机械装配中,公差配合的实际应用有三种配合关系:

(1) 间隙配合。两个相互滑动或滚动的零件及为方便装配及拆卸的零件,在机械装配中最为普遍,间隙的大小决定了装配时的难易程度,就是间隙大装起来比间隙小装起来

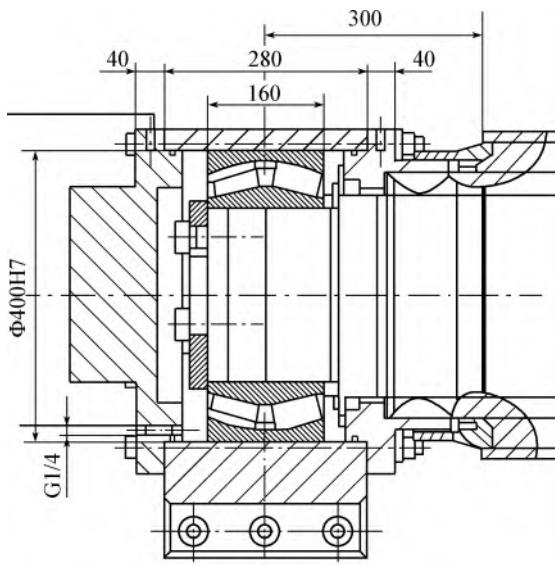
容易。

(2) 过盈配合。多用在需要传递较大扭矩和承受轴向载荷机构中,如联轴节与传动轴的配合;在机械装配中过盈配合采用“温差法”进行装配。通过加热或冷冻使其零件膨胀或收缩,来获得装配间隙。

(3) 过渡配合。是一些定位要求较高但承受载荷不大的零件装配,常用在滚动轴承与其相关的轴与轴承座之间的配合。过渡配合由于配合间隙或过盈较小(称之为“零对零”配合),截面积较小的零件装配可以采用打装和压装法进行装配;对于截面积较大的零件,仍需用温差法来获得装配间隙。

二、项目问题分析

1. 轴承座装配



案例图 2-1 轴承装配示意图

如案例图 2-1 所示轴座孔的尺寸 $\Phi 400H7$,经查表可知, $ES=+0.063$, $EI=0$ 。滚动轴承外圈的尺寸公差带不等同于一般基轴制的公差带,我们视它的上下偏差均为 0。因此:

$$\text{最大配合间隙} = ES - ei = 0.063 \text{ mm}; \text{最小间隙} = EI - es = 0$$

当最小间隙为 0,同时轴承座孔存在着形位公差,此条件下轴承无法装入轴承座内。由于操作侧轴承座装配后需要在轴向有一定的窜动量,轴承座不能使用温差法装配。

通常我们会手工抛磨轴承座内孔来获得装配必要的间隙。手工打磨不仅效率低而且在抛磨直径稍大的孔时,也不能保证轴承座内孔的形位公差。

2. 尺寸极限公差在加工中的优化——建立尺寸中差理念

在机械加工时,如果无特殊要求,操作者只要将零件尺寸加工到下偏差就是一个合格的零件,但加工到下差的零件配合间隙小装配困难。因此,在尺寸上下偏差之间取一平衡点定为尺寸中差。孔与轴的中差代号分别用 $EM=\frac{ES+EI}{2}$ 、 $em=\frac{es+ei}{2}$ 表示。

三、实例验证

(1) 将案例图 2-1 中 $\Phi 400H7$ 上、下偏差尺寸代入公式, $EM = \frac{ES+EI}{2} = \frac{0.063+0}{2} = +0.0315 \text{ mm}$

$\Phi 400H7$ 优化后的实际尺寸便是 $400.0315 \sim 400.063$, 从而我们可以得知轴承座内孔与轴承外圈最小配合间隙 0.0315 mm 可以装配。

(2) 典型的间隙配合与过盈配合优化后的效果

从中我们能看出优化后的最小间隙、最小过盈均被放大。这样会改变装配时“该松的不松”“该紧的不紧”的局面。增大了配合间隙, 提高了装配时的效率。

建立尺寸中差理念, 看似增加了零件加工的难度, 只不过是将尺寸下偏差做了上移, 提升机械零件加工及装配的质量, 提高装配的工作效率。

精益求精的专业精神: 满足产品的功能要求和加工的经济性, 培养节约环保、成本质量和可持续发展等意识

项目三

几何公差及检测

任务1 几何公差的基本知识

【学习目标】

1. 了解几何公差的研究对象及在机械制造中的作用。
2. 理解零件几何要素的分类,掌握几何公差的几何特征项目及符号。

【任务引入】

如图 3-1 所示,加工一根轴零件,任意方向所测直径全部在尺寸公差范围 $\phi 20f7$ 内,装配时却装不进去,原因是轴存在直线度误差。

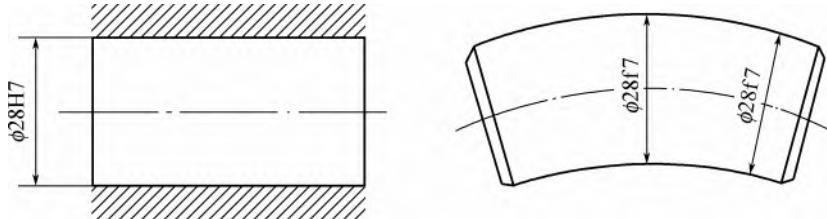


图 3-1 直线度误差影响装配

【任务分析】

在机械制造中,零件加工后其表面、轴线、中心对称面等的实际形状、方向和位置相对于所要求的理想形状、方向和位置不可避免地存在着误差。零件不仅会产生尺寸误差,还会产生要素形状、要素与要素的相对方向、位置误差(即几何误差)。在配合时由于形成零件的实际要素(现称提取要素)与理想要素(现称拟合要素)的相符合程度不能满足装配要求,也可能装配不上。

【相关知识】

一、几何误差的产生及其影响

1. 几何误差的产生

机械零件在加工过程中(图 3-2),机床、夹具、刀具和工件组成的工艺系统本身制造、调整误差,以及加工工艺系统的受力变形、热变形、振动和磨损等因素的影响,都会使加工后的零件不仅有尺寸误差,而且构成零件几何特征的表面、中心线、中心面等的实际形状、方向和位置相对于所要求的理想形状、方向和位置,不可避免地存在着误差,此误差是由于机床精度、加工方法等多种因素形成的,叫作几何误差。

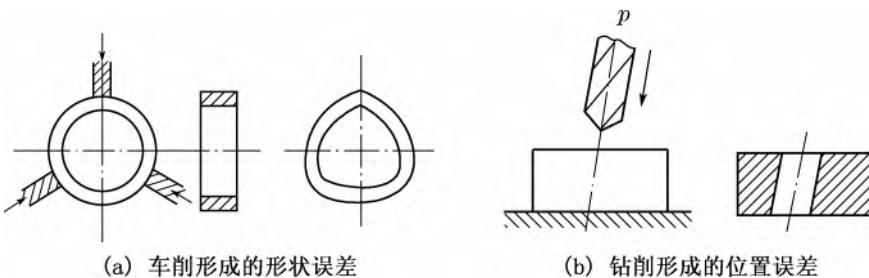


图 3-2 机械加工过程形成的误差

2. 几何误差对零件使用性能的影响

(1) 影响零件的功能要求

例如:机床导轨表面的直线度、平面度影响刀架的运动精度;齿轮箱上各轴承孔的位置误差影响齿面接触、齿侧间隙。

(2) 影响零件的配合性质

例如:圆柱表面的形状误差影响配合间隙或过盈的大小,从而影响运动副零件磨损、寿命及运动精度。

(3) 影响零件的互换性(自由装配)

例如:轴承盖上螺钉孔(与机座紧固)位置影响自由装配,从而影响轴承盖的互换性。

可见,几何误差影响着零件的使用性能,进而会影响到机器的质量,为了保证机械产品的质量和互换性,满足零件装配后的功能要求,保证零件的互换性和经济性,因此,设计时,必须规定几何公差,选定的公差值按规定的标准符号标注在图样上。

二、几何公差的研究对象

任何形状的机械零件都是由点(圆心、球心、中心点和交点等)、线(素线、轴线、中心线和曲线等)、面(平面、中心平面、圆柱面、圆锥面、球面和曲面等)组合而成的,如图 3-3 所示。

几何公差的研究对象是构成零件几何特征的点、线、面,这些点、线、面统称为几何要素,简称要素。一般在研究形状公差时涉及的对象有线和面两类要素,在研究位置公差时涉及的对象有点、线和面三类要素,几何公差就是研究这些要素在形状及其相互间方向或位置方面的精度问题。

三、几何要素的范畴及分类

(一) 几何要素的范畴

1. 设计的范畴

设计的范畴指设计者对未来工件的设计意图的一些表述,包括公称组成要素、公称导出要素。

2. 工件的范畴

工件的范畴指物质和实物的范畴,包括实际组成要素、工件实际表面。

3. 检验和评定的范畴

检验和评定的范畴通过用计量器具进行检验来表示,以提取足够多的点来代表实际工件,并通过滤波、拟合、构建等操作后对照规范进行评定,包括提取组成要素、提取导出要素、拟合组成要素和拟合导出要素。

(二) 几何要素的分类

1. 按结构特征分类

(1) 组成要素:也称轮廓要素,是指构成零件外形的直接为人们感觉到的点、线、面各要素,如平面、圆柱面、球面、曲线和曲面等。如图 3-3(a)所示零件上的球面、圆锥面、圆柱面、环状端平面、圆柱面的素线及图 3-3(b)所示零件上的两平行平面。

(2) 导出要素:也称中心要素,是指由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。导出要素虽然不能为人们直接感觉到,但随着相应轮廓要素的存在而客观存在着。如图 3-3(a)所示零件上的圆柱面的轴线、球面的球心和图 3-3(b)所示两平行平面的中心平面。

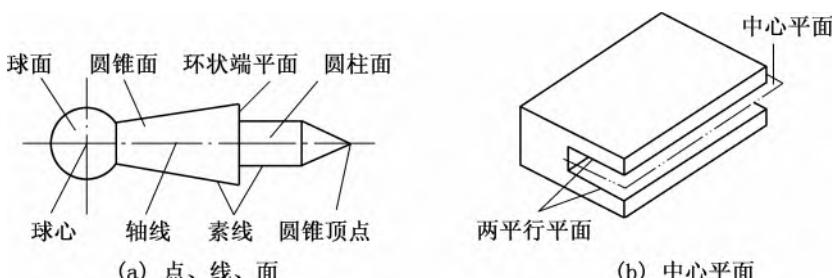


图 3-3 零件几何要素

2. 按存在状态分类(图 3-4)

(1) 公称要素(理想要素):具有几何学意义的要素,它没有任何误差,在实际零件上是不存在的。图样上表示设计意图的要素(没有误差的纯几何学的点、线、面)均为理想要素。

(2) 公称导出要素:指由一个或几个公称组成要素导出的中心点、轴线或中心面。

(3) 实际要素:零件上实际存在的要素,加工形成后由测量反映,有误差。

3. 按检测评定流程分类(图 3-4)

(1) 提取要素:检验时测量所得是提取要素,包括提取组成要素和提取导出要素。

① 提取组成要素。提取组成要素是指按规定方法由实际要素提取有限数目的点所形成的实际要素的近似替代。

② 提取导出要素。提取导出要素是指由一个或几个提取组成要素得到的中心点(如提

取球心)、中心线(如提取轴线)或中心面(如提取中心面)。

(2) 拟合要素:为了对工件进行评定,应对实际要素进行拟合。拟合要素有拟合组成要素和拟合导出要素。

① 拟合组成要素。拟合组成要素是按规定方法由提取要素形成的并具有理想形状的要素。

② 拟合导出要素。拟合导出要素是由一个或几个拟合组成要素导出的中心点、轴线或中心平面。

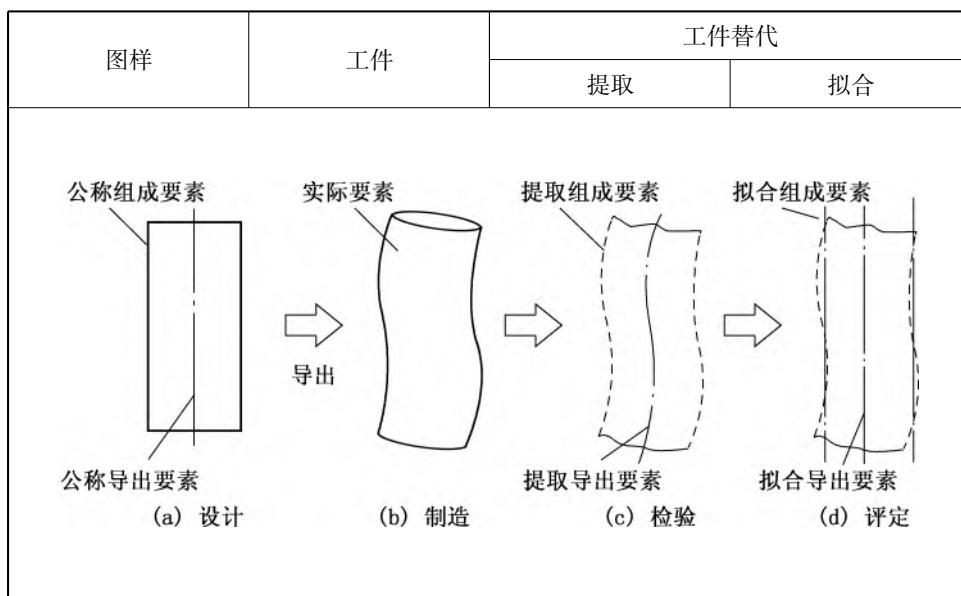


图 3-4 几何要素的分类

4. 按所处地位分类

(1) 被测要素:指在设计图纸上给出了几何公差的要素,是检测的对象,如图 3-5 所示中的 I、II。

(2) 基准要素:指用来确定被测要素方向或位置的要素。基准要素在图样上都标有基准符号或基准代号。基准要素应具有理想状态,理想的基准要素简称基准,如图 3-5 所示中 ϕd_2 左端面的 III。

5. 按功能关系分类

(1) 单一要素:指仅对要素本身提出功能要求而给出形状公差的要素。如图 3-5 所示中的 I。

(2) 关联要素:指相对于基准要素有功能要求而给出位置公差的要素,如图 3-5 所示中 ϕd_1 的轴线 II。

四、几何公差的几何特征项目及符号

几何公差是指实际被测要素相对于图样上给定的理想形状、理想方向、理想位置的允许变动量。

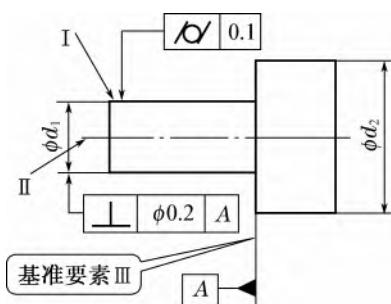


图 3-5 检测关系图

国家标准《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 1182—2018)把几何公差分为4类:形状公差、方向公差、位置公差和跳动公差。形位公差特征项目共14个,名称及符号见表3-1。几何公差的附加符号见表3-2。

表3-1 几何公差的项目、符号及基准要求

公差类型	集合特征	符 号	有无基准	公差类型	集合特征	符 号	有无基准
形状公差	直线度	—	无	方向公差	线轮廓度	⌒	有
	平面度	□	无		面轮廓度	△	有
	圆度	○	无		位置度	⊕	有或无
	圆柱度	◎	无	位置公差	同轴度,同心度	◎	有
	线轮廓度	○	无		对称度	—	有
	面轮廓度	△	无		线轮廓度	○	有
方向公差	平行度	//	有	跳动公差	面轮廓度	△	有
	垂直度	⊥	有		圆跳动	↑	有
	倾斜度	∠	有		全跳动	↗	有

形状公差是单一实际要素的形状所允许的变动全量。方向公差是关联实际要素对基准在方向上允许的变动全量。位置公差是关联实际要素对基准在位置上所允许的变动全量。跳动公差是关联实际要素绕基准轴线回转一周或连续回转时所允许的最大跳动量。

其中,形状公差无基准;方向公差、位置公差和跳动公差有基准。轮廓度公差无基准时为形状公差,有基准时为方向公差或位置公差;位置度公差根据具体情况选择有或无基准。

表3-2 几何公差的附加符号

说明	符号	说明	符号
有、无基准的几何规范标准	公差框格 	组合、独立公差带	组合规范元素 CZ、SZ
包容要求	尺寸公差相关符号(E)	自由状态条件	状态的规范元素(F)
基准目标标识	基准 相关 符号	全表面(轮廓)	被测 要素 标 识 符
接触要素	CF	全周(轮廓)	
仅方向	><	小径、大径	
理论正确尺寸	50	中径/节径	
基准要素标识	A	区间	
最大实体要求	联合要素		
最小实体要求	实体 状 态	任意横截面	辅助 要素 标 识 符
可逆要求	(R)	相交、定向平面框格	
延伸公差带	方向要素框格		
中心要素	要素 (A)	组合平面框格	○//B

【任务实施】

理解如图 3-6 所示零件上几何要素的分类。

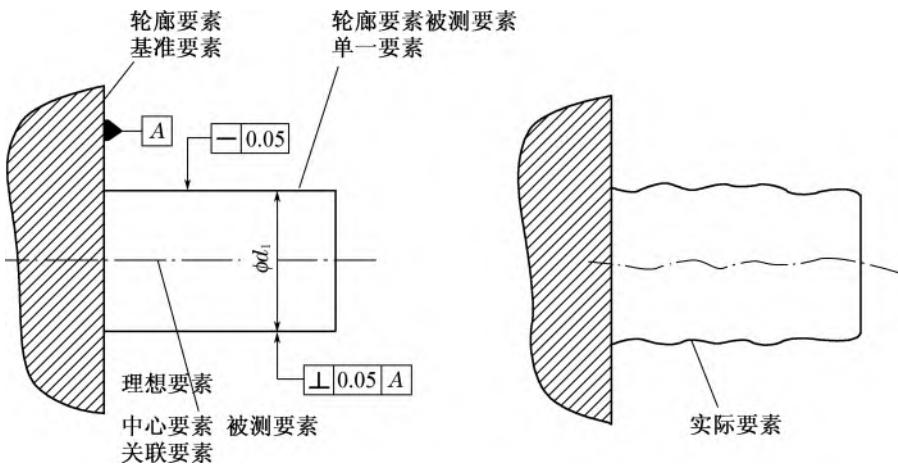


图 3-6 零件图上几何要素的分类

【拓展知识】

基 准

一、基准的分类

基准是零件上用来确定其他点、线、面位置所依据的那些点、线、面。按其功用的不同，基准可分为设计基准和工艺基准两大类。

1. 设计基准

设计基准是在零件图上所采用的基准，它是标注设计尺寸的起点。如图 3-7(a)所示的零件，平面 2、3 的设计基准是平面 1，平面 5、6 的设计基准是平面 4，孔 7 的设计基准是平面 1 和平面 4，而孔 8 的设计基准是孔 7 的中心和平面 4。在零件图上不仅标注的尺寸有设计基准，而且标注的位置精度同样具有设计基准，如图 3-7(b)所示的钻套零件，轴心线 $O-O$ 是各外圆和内孔的设计基准，也是两项跳动误差的设计基准，端面 A 是端面 B、C 的设计基准。

2. 工艺基准

工艺基准是在工艺过程中使用的基准。工艺过程是一个复杂的过程，按用途的不同，工艺基准又可分为定位基准、工序基准、测量基准和装配基准。

工艺基准是在加工、测量和装配时使用的，必须是实际存在的，然而作为基准的点、线、面有时并不一定具体存在（如孔和外圆的中心线、两平面的对称中心面等），往往通过具体的表面来体现，用以体现基准的表面称为基面。例如，如图 3-7(b)所示钻套的中心线是通过内孔表面来体现，内孔表面就是基面。

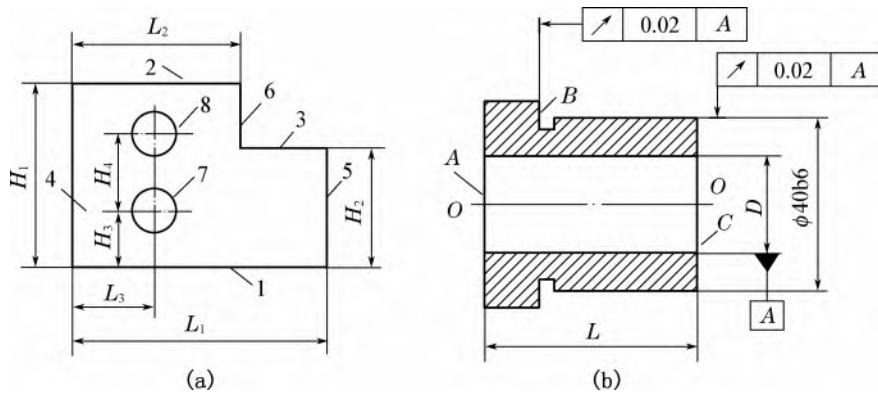


图 3-7 设计基准分析

二、基准的选择原则

- (1) 根据要素的功能及对被测要素间的几何关系来选择基准。例如，轴类零件通常以两个轴承为支承运转，其运转轴线是以安装轴承的两轴颈的公共轴线为基准。
- (2) 根据装配关系，应选择零件相互配合、相互接触的表面作为各自的基准，以保证装配要求。
- (3) 从加工、检验角度考虑，应选择在夹具、检具中定位的相应要素为基准，这样能使所选基准与定位基准、检测基准、装配基准重合，以消除由于基准不重合引起的误差。
- (4) 从零件的结构考虑，应选较大的表面、较长的要素作基准，以便定位稳固、准确。对结构复杂的零件，一般应选三个相互垂直的平面作基准，以确定被测要素在空间的方向和位置。

【思考练习】

一、填空题

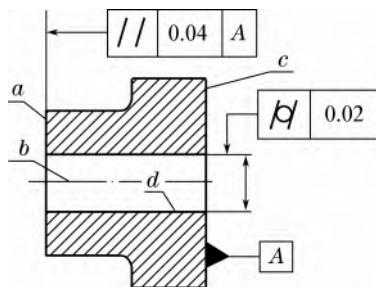
1. 几何公差的研究对象是构成零件几何特征的_____、_____、_____，这些统称为几何要素，简称要素。
2. 给出形状或位置公差要求的要素称为_____要素，用于确定被测要素方向或位置的要素称为_____要素，用于确定被测要素变动量的要素称为_____要素。
3. 形位公差中只能用于中心要素的项目有_____，只能用于轮廓要素的项目有_____。

二、简答题

1. 几何要素有那些范畴？又是如何分类的？
2. 基准的建立有几种方式？各自包括几种要素？
3. 什么是几何公差？国家标准把几何公差分几大类？

三、综合题

解释题图 3-1 所示零件中 a 、 b 、 c 、 d 各要素分别属于什么要素。



题图 3-1 综合题示意图

任务 2 几何公差的标注

【学习目标】

- 掌握几何公差项目、符号及标注方法。
- 读懂图样上零件几何公差要求，理解图样上几何公差的含义。
- 理解几何公差标注的注意事项；掌握几何公差的公差等级和公差值。
- 了解最小区域判别法。

【任务引入】

加工一根销轴，如图 3-8 所示，必须按图施工，才能保证销轴的质量和互换性。图样上不仅要正确标注 $\phi 36h6$ 、 $\phi 60f7$ 等尺寸值，还必须选定 $\phi 60f7$ 轴线为基准 A，正确标注圆柱度、同轴度和垂直度的满足要求。

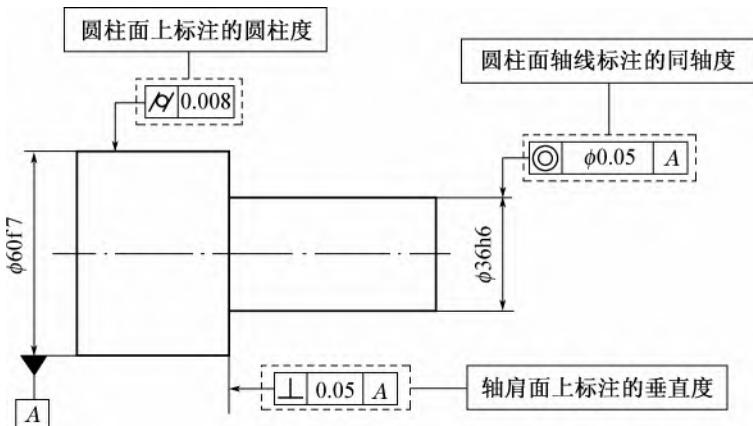


图 3-8 销轴

【任务分析】

要完整、正确地标注几何公差,需了解几何公差框格和基准符号,掌握几何公差的标注方法、注意事项以及几何公差的公差等级和公差值等。

【相关知识】

国家标准规定,在技术图样中几何公差应采用框格代号标注。无法采用框格代号标注时,才允许在技术要求中用文字加以说明,但应做到内容完整,用词严谨。

一、几何公差规范标注和基准符号

1. 几何公差规范标注

几何公差规范标注的组成包括公差框格,可选的辅助平面和要素标注以及可选的相邻标注(补充标注)。如图 3-9 所示为几何公差规范标注的元素。

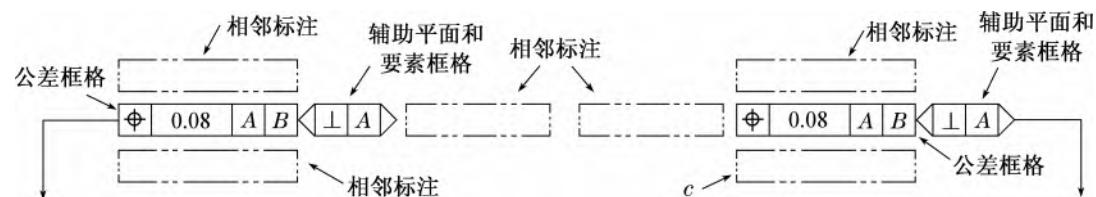


图 3-9 几何公差规范标注的元素

几何公差规范应使用参照线与指引线相连。如果没有可选的辅助平面或要素标注,参照线应与公差框格的左侧或右侧中点相连。如果有可选的辅助平面和要素标注,参照线应与公差框格的左侧中点或最后一个辅助平面和要素框格的右侧中点相连。此标注同时适用于二维与三维标注。

2. 几何公差框格及填写的内容

公差要求应标注在划分成两个部分或三个部分的矩形框格内。第三个部分可选的基准部分可包含一至三格。如图 3-10 所示,这些部分为自左向右顺序排列。

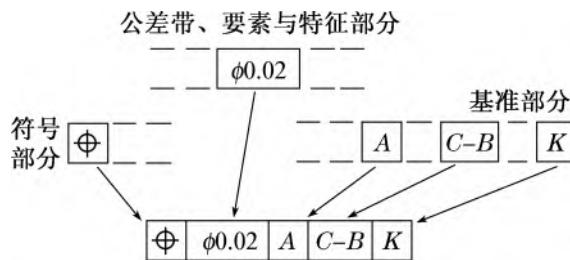


图 3-10 公差框格的三个部分

公差框格及标注内容如下：

- (1) 公差框格第一部分符号部分,应包含几何特征符号;
- (2) 公差框格第二部分公差带、要素与特征部分,几何公差值用线性值,以 mm 为单位表示;公差带是圆形或圆柱形的,则在公差值的前面加注 ϕ ;公差带是球形的,则在公差值的前面加注 $S \phi$ 。
- (3) 公差框格第三部分为表示基准的字母和有关符号。

3. 框格指引线

指引线标注要求:带箭头的指引线用细实线绘制,应指在有关的被测要素;指引线一端与公差框格相连,可从框格的左端或右端引出;指引线引出时必须和公差框格的一边垂直,指引线另一端带有箭头,可以曲折,但是一般不得多于两次;指引线箭头的方向应是公差带的宽度方向或直径方向。

4. 基准要素的标注

基准要素的标注用基准符号表示,基准符号由基准字母、框格、连线和一个空白的或涂黑的三角形组成,如图 3-11 所示。无论基准符号在图样中的方向如何,基准字母都必须水平书写在表示公差框格内,如图 3-10(b)所示;基准字母不得采用 E、F、I、J、L、M、O、P、R 等字母,因为这些大写字母在几何公差标注中另有含义。

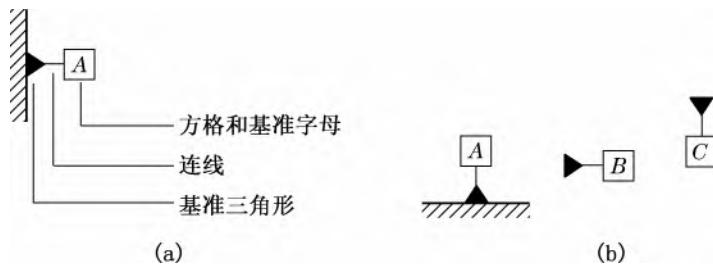


图 3-11 基准符号

5. 部分提取要素概念的诠释及标注方式;

GB/T 1182—2018《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》对部分提取要素概念的诠释以及标注方式进行举例说明,见表 3-3。

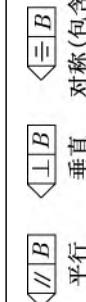
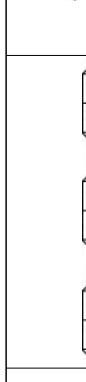
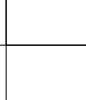
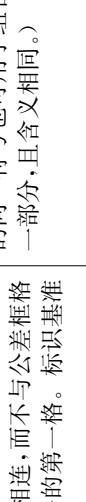
二、几何公差的标注方法

1. 被测要素的标注

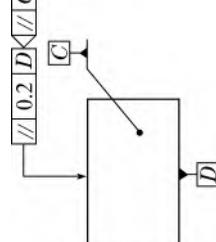
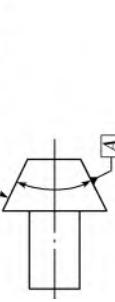
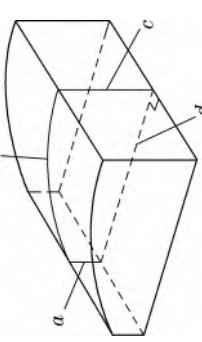
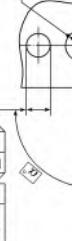
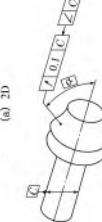
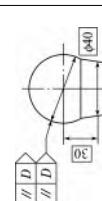
被测要素的标注时,要特别注意公差框格的指引线箭头所指的位置和方向。箭头位置和方向的不同将有不同的公差要求,因此要严格按国家标准的规定进行标注。

(1) 当被测要素为组成要素(如轮廓线或轮廓面)时,指示箭头应指在被测表面的可见轮廓线上,也可指在轮廓线的延长线上,且必须与尺寸线明显地错开,如图 3-12(a)所示;对视图中的一个面提出几何公差要求,有时可在该面上用一小黑点引出参考线,公差框格的指引线箭头则指在参考线上,如图 3-12(b)所示。

表 3-3 部分提取要素概念的诠释及标注方式

项目	提取要素		
	相交平面	定向平面	方向要素
定义	由工件的提取要素建立的平面,用于标识提取面上的线要素(组成要素或中心要素)或标识提取线上的点要素。	由工件的提取要素建立的平面,用于标识公差带的方向。	由工件上的要素建立的平面,用于标识公差带宽度(局部偏差)的方向。
作用	相交平面是用标识线要素要求的方向,例如在平面上线要素的直线度、线轮廓度、要素的线素的方向,以及在面要素上的线要素的“全周”规范。	当被测要素是中心要素(中心点、中心线)且公差带由两平行直线或平行平面所定义时,或被测要素是中心点、圆柱时,才可使用定向平面。定向矩形局部区域的方向。	当被测要素是平面要素且公差带宽度的方向与平面要素不垂直以及非圆柱体或球体的回转体表面圆度时,应使用方向要素确定公差带宽度的方向。 在二维标注中,仅当指引线的方向以及公差带宽度的方向使用 TED 标注时,指引线的方向才可定义公差带宽度的方向。
构建要素	回转型(如圆锥或圆环)、圆柱型(如圆柱)、平面型(如平面)才可用于构建相交平面族。		可用于构建组合平面。
图样标注	 平行  垂直  对称(包含)  保持特定的角度	  作为公差框格的延伸部分标注在其右侧。(可用于相交平面框架的第一格的一部分,且含义相同。)	作为公差框格的延伸部分标注在其右侧。(可用于相交平面框架的第一格。标识基准并构建相交平面的字母应放置在相交平面框架的第二格。)

(续表)

项目	相交平面	定向平面	方向要素	提取要素
规则	当被测要素是组成要素上的线要素时，应标注相交平面；此时被测要素是该面上与基准 C 平行的所有线要素。 	当定向平面所定义的角度不是 0° 或 90° 时，应使用倾斜度符号，并且应明确定义出理论夹角；角度等于 0° 或 90° 时，应分别使用平行度符号或垂直度符号。当公差框格标注有一个或多个基准时，定向平面应按照平行于、垂直于、或保持特定的角度于定向平面框格构建，同时受公差框格内基准的约束。	被测要素是组成要素，且公差带的宽度与规定的几何要素非法向关系，或对非圆柱体或球体的回转体表面使用圆度公差，公差带宽度的方向应参照方向要素框格中标注的基本构建。 	当使用“全周”符号标识适用于要素组合的规范时，应标注组合平面可标识一组单一要素，与平行于组合平面的任意平面相交为线要素或点要素。  全周说明 图样上所标注的要求作为组合公差带，适用于在所有横截面中的线 a, b, c 与 d。
应用示例	平行于基准的相交平面  垂直于基准的相交平面 	垂直于基准的相交平面  对称于(包含)基准的相交平面 	与被测要素的面要素垂直的圆度公差的标注  与基准保持特定的角度 	(a) 2D  (b) 3D  (c) 3D 

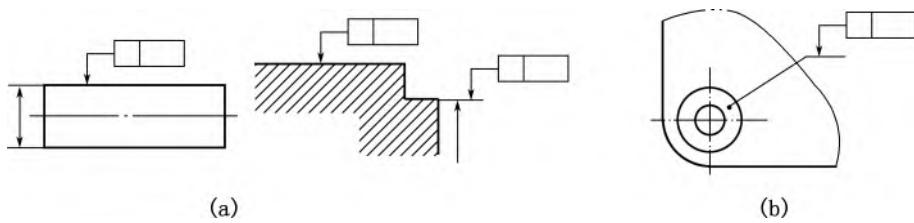


图 3-12 被测要素为轮廓线或轮廓面的标注

(2) 当被测要素为导出要素(如中心点、圆心、轴线、中心线、中心平面)时,指引线的箭头应对准尺寸线,即与尺寸线的延长线相重合。若指引线的箭头与尺寸线的箭头方向一致时,可合并为一个,如图 3-13 所示为中心要素标注。

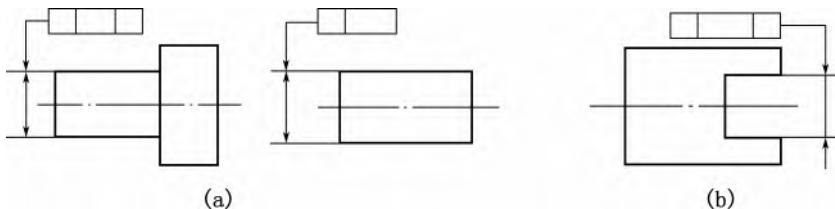


图 3-13 被测要素为中心线、中心面或中心点的标注

当被测要素为圆锥体的轴线时,指引线的箭头应与圆锥体直径大端尺寸线或小端尺寸线对齐,如图 3-14(a)所示,必要时也可将指引线的箭头与圆锥体内空白的尺寸线对齐,如图 3-14(b)所示;当圆锥体采用角度尺寸标注时,将指引线的箭头对着该角度的尺寸线,如图 3-14(c)所示。

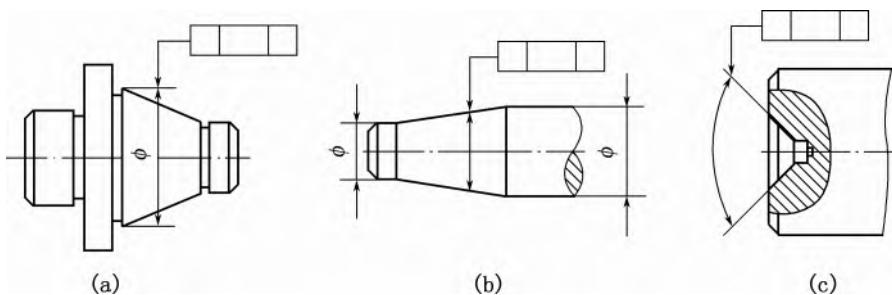


图 3-14 被测要素为圆锥体轴线的标注

(3) 特殊规定的标注

① 同一被测要素有多项公差要求时的标注。如图 3-15 所示,当同一被测要素有多项公差要求且测量方向相同时,可将一个公差框格放在另一个公差框格的下面,并且公用同一指引线并指向被测要素。两个项目的测量方向必须相同,才能采用这种标注方法,两个框格的上下位置次序没有严格的规定。

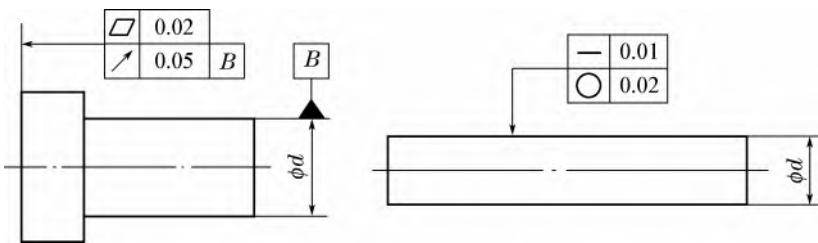


图 3-15 同一被测要素有多项公差要求时的标注

② 多个被测要素有同一项公差要求时的标注。当多个被测要素有同一项公差要求时，但各自独立，可共用一个公差框格标注，在从框格引出的指引线上绘制出两个箭头，分别指向两个被测要素，如图 3-16(a)所示；也可以用字母表示被测要素，再在形位公差框格的上方注明被测要素的数量及其代表字母，如图 3-16(b)所示。

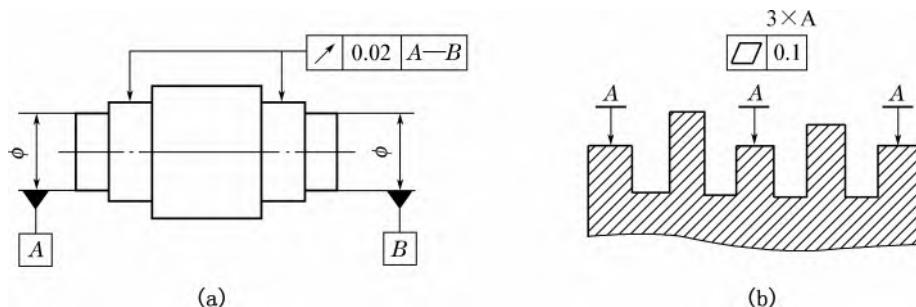


图 3-16 多个被测要素有同一项公差要求时的标注

当若干个要素共用同一公差带时，可在公差框格内公差值后加注公共公差带符号 CZ，如图 3-17 所示，其表示 3 个平面的平面度要求都是 0.1 mm。

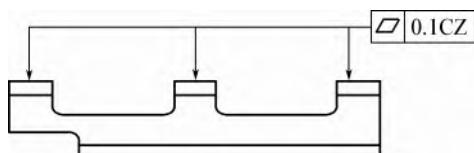


图 3-17 公共公差带的标注

③ 同一被测要素有多项的公差要求的标注。如对同一要素有一个以上的公差特征项目要求且测量方向相同时，为方便起见可将一个框格放在另一个框格的下面，同一条指引线指向被测要素，如图 3-18(a)所示；如测量方向不完全相同，则应将测量方向不同的项目分开标注，如图 3-18(b)所示。

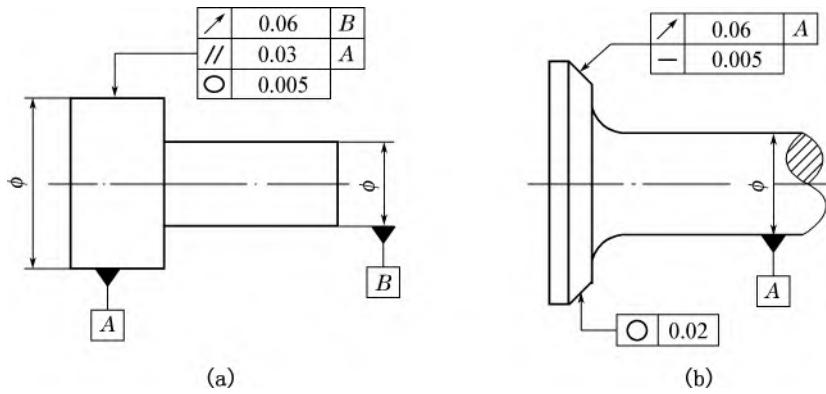


图 3-18 同一被测要素有多项的公差要求的标注

④ 被测要素需要加以注明时的标注。如图 3-19(a)所示,如果被测要素为轮廓面的要素而不是面时,要在公差框格的下方标注 LE。通常该要素是被测面与公差框格所在投影面的交线,有时也可能需要另外规定被测要素的方向。如图 3-19(b)所示,当需要限制被测要素在公差带内的形状时,需在公差框格的下方注明 NC。该标注表示对被测要素的平面度公差的要求,实际表面不得(向材料外)凸起。

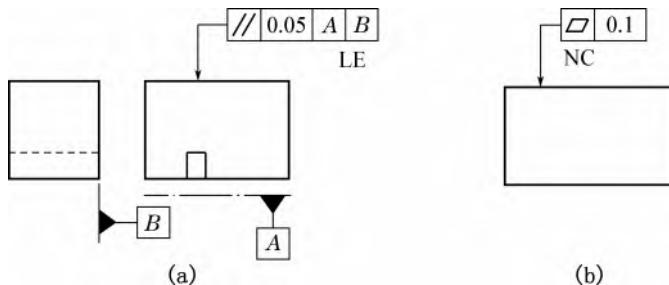


图 3-19 被测要素需要加以注明时的标注

⑤ 对公差数值有附加说明时的标注。如对公差数值在一定的范围内有附加的要求时,可采用如图 3-20 所示的标注方法。图 3-20(a)所示表示在任一 200 mm 长度上的直线度公差值为 0.02 mm。图 3-20(b)所示表示在任一 100 mm×100 mm 的正方形面积内,平面度公差数值为 0.03 mm。图 3-20(c)所示表示 800 mm 全长上的直线度公差为 0.05 mm,在任一 200 mm 长度上的直线度公差值为 0.02 mm。

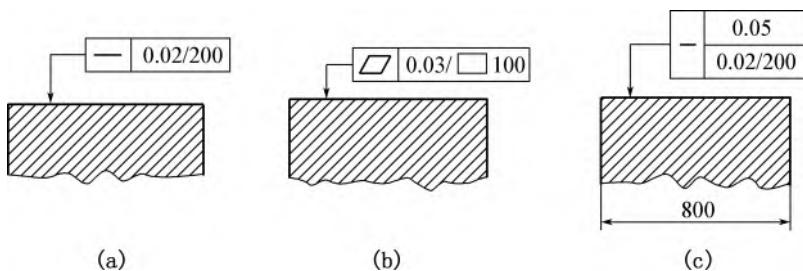


图 3-20 公差值有附加说明时的标注

⑥ 理论正确尺寸。当给出一个或一组要素的位置公差、方向公差或轮廓度公差时，分别用来确定其理论正确位置、方向或轮廓的尺寸称为理论正确尺寸。理论正确尺寸也用于确定基准体系中各基准之间的方向、位置关系。理论正确尺寸是不带尺寸公差的理想尺寸，是用于确定理想要素或拟合实际要素的形状，或与基准配合确定理想要素或拟合实际要素的方向、位置的尺寸。标注时，理论正确尺寸应写在尺寸线上的方框内，如图 3-21 所示。

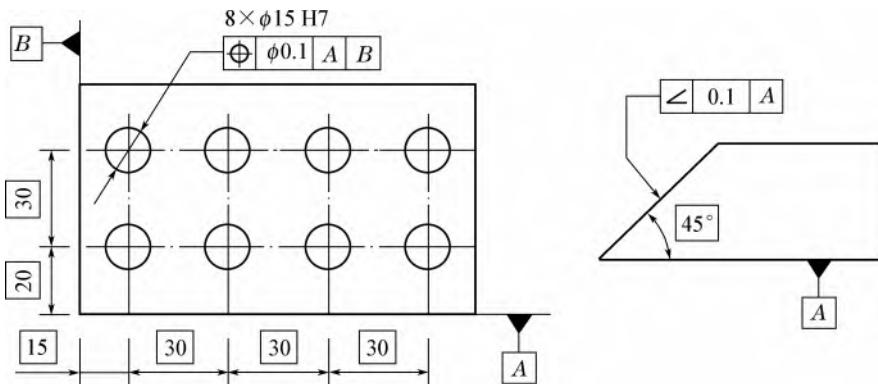


图 3-21 理论正确尺寸的标注

⑦ 轮廓全周符号的标注。形位公差特征项目如轮廓度公差适用于横截面内的整个外轮廓线或整个外轮廓面时，应采用全周符号，即在公差框格的指引线上画上一个圆圈，如图 3-22 所示。

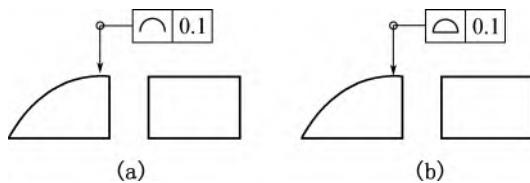


图 3-22 轮廓全周符号的标注

⑧ 螺纹和齿轮的标注。标注螺纹被测要素或基准要素时，如图 3-23 所示，中径符号不标出，只有当为大径或小径时，可以在公差框格或基准代号圆圈下方标注字母“MD”（大径）或“LD”（小径）。当被测要素或基准要素为齿轮的节径时，应在公差框格或基准代号圆圈下方标注字母“PD”，若为大径则标注“MD”，若为小径时则标注“LD”。

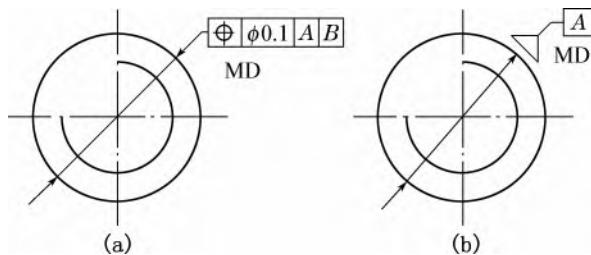


图 3-23 螺纹的标注方法

2. 基准要素的标注

(1) 当基准要素是边线、表面等轮廓要素时,基准代号中的三角形应与基准要素的轮廓线或轮廓面贴合,也可与轮廓的延长线贴合,但要与尺寸线明显错开,如图 3-24(a)所示。

(2) 当受到图形限制,基准代号必须标注在某个面上时,可在该面上用一个小黑点引出参考线,基准代号则置于参考线上,如图 3-24(b)所示。该面为环形表面。

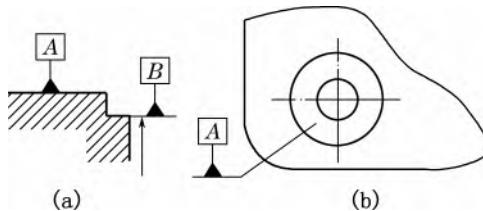


图 3-24 基准要素为轮廓线或轮廓面的标注

(3) 当以中心要素作为基准时,基准符号的连线应与基准要素相应的轮廓要素的尺寸线对齐。当基准要素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,如图 3-25(a)所示,基准 A 放置在该尺寸线的延长线上。若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,如图 3-25(b) 所示,基准 B 的一个箭头用基准三角形代替。基准符号不允许直接标注在轴线或中心线上,如图 3-25(c)所示。

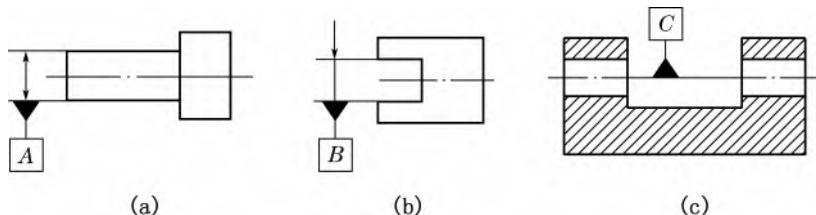


图 3-25 基准要素为轴线、中心平面的标注

当基准要素为圆锥体轴线时,基准代号上的连线应与基准要素垂直,即应垂直于轴线而不是垂直于圆锥的素线,而基准短横线应与圆锥素线平行,如图 3-26(a)、(b)所示。球心为基准的标注示例如图 3-26(c)所示。

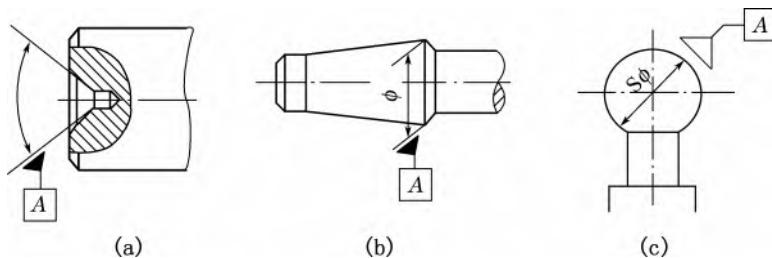


图 3-26 基准要素为圆锥轴线、球心的标注

(4) 当以要素的局部范围作为基准时,必须用粗点画线示出其部位,并标注相应的范围和位置尺寸,如图 3-27 所示。

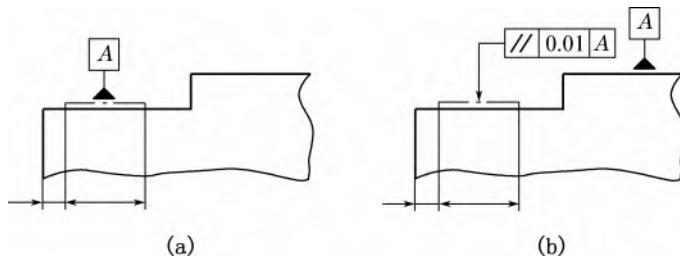


图 3-27 局部基准的标注

(5) 当采用基准目标时,应在有关表面上给出适当的点、线或局部表面来代表基准要素。

当基准目标为点时,用 45° 的交叉粗实线表示,如图 3-28(a)所示;当基准目标为直线时,用细实线表示,并在棱边上加 45° 交叉粗实线,如图 3-28(b)所示;当基准目标为局部表面时,以双点画线画出局部表面轮廓,中间画出斜 45° 的细实线,如图 3-28(c)所示;基准目标代号在图样中的标注如图 3-28(d)所示;对相关要素不指定基准时,称为任选基准的标注,测量时可任选一个要素为基准,如图 3-28(e)所示。

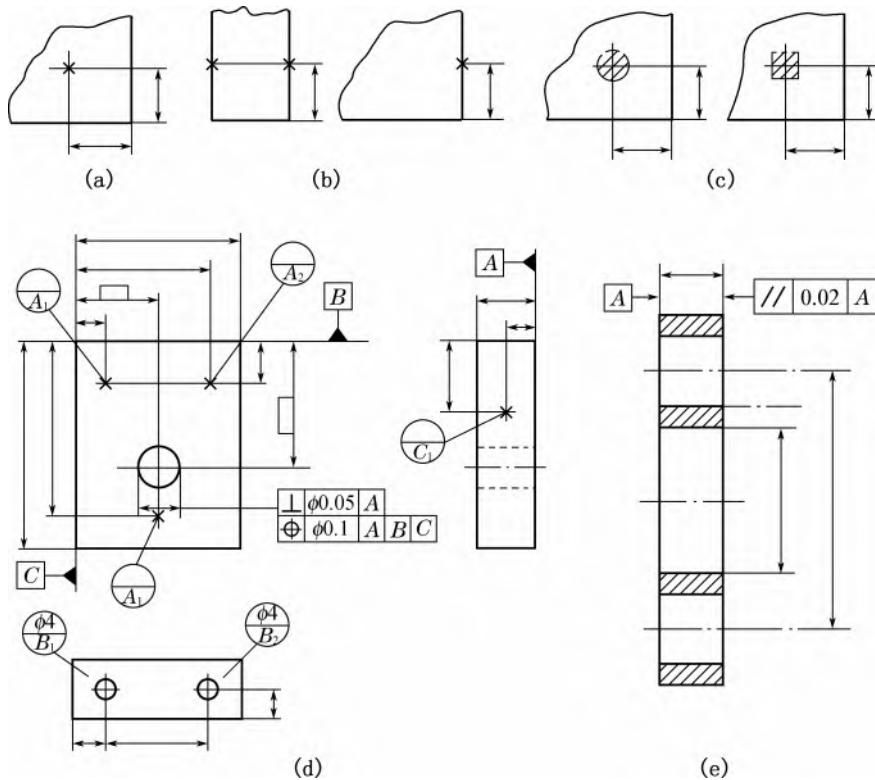


图 3-28 基准目标的标注



扫码见“包容
要求”动画

3. 附加符号的标注

(1) 包容要求符号⑩的标注

对于极少数要素,需严格保证其配合性质,并要求由尺寸公差控制其形状公差时,应标注包容要求符号⑩,⑩应加注在该要素尺寸极限偏差或公差带代号的后面,如图3-29所示。

(2) 最大实体要求符号⑩、最小实体要求⑪符号的标注

当被测要素采用最大(最小)实体要求时,符号⑩(⑪)应置于公差框格内公差值后面,如图3-30(a)所示;当基准要素采用最大(最小)实体要求时,符号⑩(⑪)应置于公差框格内的基准名称字母后面,如图3-30(b)所示;当被测要素和基准要素都采用最大(最小)实体要求时,符号⑩(⑪)应同时置于公差值和基准名称字母的后面,如图3-30(c)所示。

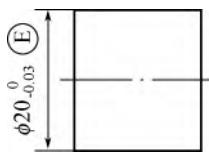


图3-29 基准目标的标注

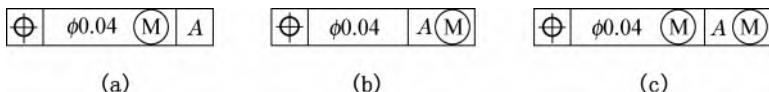


图3-30 最大(小)实体要求符号的标注

(3) 可逆要求符号⑫的标注

可逆要求应与最大实体要求或最小实体要求同时使用,其符号⑫标注在⑩或⑪的后面。可逆要求用于最大实体要求时的标注方法如图3-31(a)所示;可逆要求用于最小实体要求时的标注方法如图3-31(b)所示。

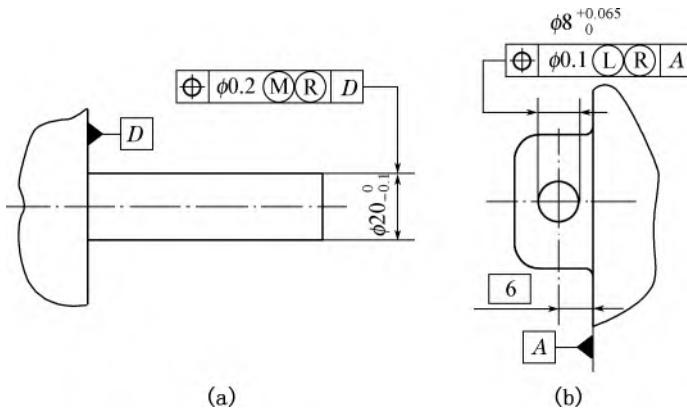


图3-31 可逆符号的标注

(4) 延伸工程带符号⑬的标注

延伸公差带符号⑬标注在公差框格内的公差值后面,同时也应加注在图样中延伸公差带长度数值的前面,如图3-32所示。