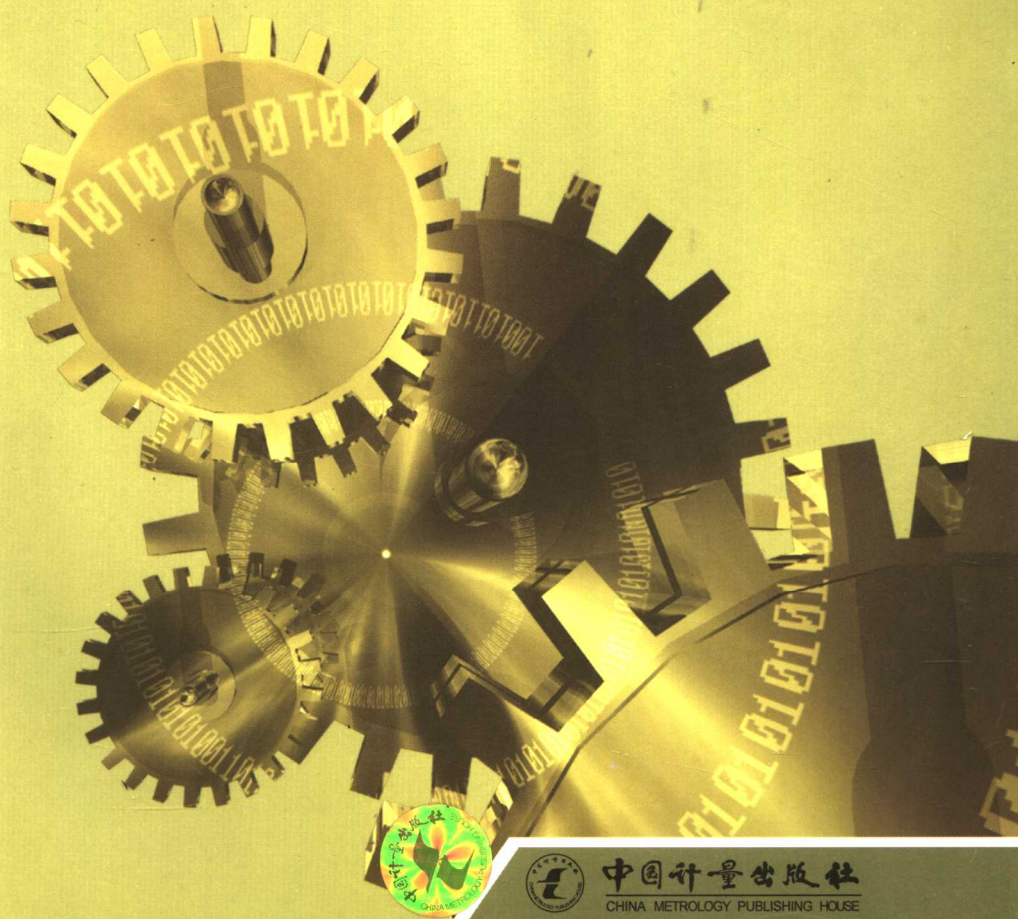


高等学校教材

# 机械精度设计与检测

陈晓华/主编  
刘品/主审



中国计量出版社  
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

# 目 录

---

<b>第一章 绪 论</b> .....	(1)
第一节 机械精度设计的研究对象 .....	(1)
第二节 标准化与优先数系 .....	(3)
第三节 几何量测量的基本知识 .....	(5)
习题一 .....	(8)
<b>第二章 尺寸精度</b> .....	(10)
第一节 基本术语及其定义 .....	(10)
第二节 极限与配合国家标准的构成 .....	(16)
第三节 尺寸精度设计 .....	(26)
* 第四节 孔、轴精度的检测 .....	(34)
习题二 .....	(40)
<b>第三章 形状和位置精度</b> .....	(42)
第一节 概述 .....	(42)
第二节 形位公差的标注方法 .....	(45)
第三节 公差原则 .....	(58)
第四节 形状和位置精度设计 .....	(64)
第五节 形状精度的评定 .....	(67)
习题三 .....	(69)
<b>第四章 表面微观轮廓精度</b> .....	(72)
第一节 表面微观轮廓精度的基本概念 .....	(72)
第二节 表面微观轮廓精度的评定 .....	(73)
第三节 表面微观轮廓精度的标注方法 .....	(77)
第四节 表面微观轮廓精度设计 .....	(79)
第五节 表面微观轮廓精度的评定 .....	(83)
习题四 .....	(83)
<b>第五章 滚动轴承及其相配件精度</b> .....	(85)
第一节 滚动轴承的精度 .....	(85)
第二节 滚动轴承相配件的精度 .....	(87)
第三节 滚动轴承相配件的精度设计 .....	(92)

习题五 .....	(94)
<b>第六章 螺纹结合精度</b> .....	(95)
第一节 普通螺纹结合概述 .....	(95)
第二节 影响普通螺纹结合精度的因素 .....	(97)
第三节 普通螺纹精度设计 .....	(100)
第四节 普通螺纹精度检测 .....	(105)
习题六 .....	(107)
<b>第七章 圆柱齿轮精度</b> .....	(108)
第一节 圆柱齿轮同侧齿面的精度指标 .....	(109)
第二节 圆柱齿轮径向综合偏差的精度指标及检测 .....	(113)
第三节 齿轮坯、齿轮轴中心距和轴线平行度的精度 .....	(115)
第四节 齿轮的侧隙和接触斑点的检验 .....	(119)
第五节 圆柱齿轮的精度设计 .....	(123)
习题七 .....	(129)
<b>第八章 键和花键联结的精度</b> .....	(130)
第一节 平键联结的精度 .....	(130)
第二节 矩形花键联结的精度 .....	(133)
第三节 键联结的精度设计 .....	(138)
习题八 .....	(141)
<b>第九章 圆锥要素的精度</b> .....	(142)
第一节 圆锥体配合的主要参数 .....	(142)
第二节 圆锥要素精度的评定指标 .....	(144)
第三节 圆锥要素的精度设计 .....	(147)
第四节 圆锥要素的检测 .....	(153)
习题九 .....	(157)
<b>第十章 尺寸链原理在机械精度设计中的应用</b> .....	(158)
第一节 尺寸链的基本概念 .....	(158)
第二节 用完全互换法计算尺寸链 .....	(162)
第三节 用大数互换法计算尺寸链 .....	(167)
习题十 .....	(170)
<b>第十一章 机械零件精度设计</b> .....	(172)
第一节 减速器中典型零件精度设计 .....	(172)
第二节 在装配图上标注的要求 .....	(181)
习题十一 .....	(182)
<b>附表</b> .....	(186)
<b>主要参考文献</b> .....	(215)

# 第一章

## 绪 论

### 第一节 机械精度设计的研究对象

机械设计通常可分为三部分：机械的运动设计、机械的结构设计和机械的精度设计。

机械的运动设计是根据机械的工作要求，适当地选择执行机构，通过一系列的传动系统组成机器。这个过程主要是以实现机械运动要求为目的的运动方案的设计，机器的运动方案用机构运动简图表示。在机构运动简图中，不考虑构件的截面尺寸和形状。

机械的结构设计是根据机械零件应具有良好的结构工艺性、便于装配与维修、强度高和寿命长等要求所进行的结构设计。机械的结构设计用机械的零件图、装配图表示。

机械的精度设计是根据机械的功能要求，正确地选择机械零件的尺寸精度、形状和位置精度以及表面精度要求而进行的设计。机械的精度设计要求标注在机械的零件图、装配图上。若机械零件的设计中，没有精度要求，所设计的产品则没有实际意义。

《机械精度设计与检测》课程是培养学生如何进行机械精度设计的一门技术基础课。本课程的内容是机械类和仪器、仪表及近机类专业的学生，进行生产实践所必然用到的技术基础知识。本课程的主要研究对象是机械零件的互换性、公差及检测。

#### 一、互换性

互换性的概念在日常生活中到处都能用到。例如，照明灯坏了，自行车、缝纫机、钟表的某个零部件坏了，换上一个相同规格的新的零部件，即可正常使用。之所以这样方便，是因为这些合格的零部件具有在尺寸、功能上能够彼此互相替换的性能。

什么叫机械产品零部件的互换性呢？参见图 1-1 所示的圆柱齿轮减速器，它由箱体、轴承端盖、滚动轴承、输出轴、平键、齿轮、轴套、主动轴和螺钉、垫片等许多零部件组成。这些零部件是由不同的工厂和车间制成的。装配时，在制成的一批同一规格零部件中任取一件，若不经过任何挑选或修配，便能与其他零部件安装在一起，构成一台减速器，并且能够达到规定的功能要求，说明这些零部件具有互换性。

广义地说，互换性是指一种产品、过程或服务代替另一种产品、过程或服务，能满足同样要求的能力。对于机械行业，通常指同一规格的一批零部件，按规定的技术要求制造或装配，彼此能够相互替代使用，而且效果相同的性能。

互换性的作用为：①在制造方面，有利于专业化生产，有利于采用先进工艺和高效率的专用设备，提高产品质量，降低生产成本。②在设计方面，可最大限度地采用标准件（如平

键、三角带)、通用件(如螺钉、螺母、垫片)、标准部件(如滚动轴承),可大大简化绘图和计算工作,缩短设计周期,有利于计算机辅助设计(CAD)和产品品种多样化。③在使用和维修方面,零部件具有互换性,能及时更换磨损或损坏了的零部件(如减速器中的滚动轴承),因此,可以减少机器的维修时间和费用,保证机器能正常运转,提高机器的使用价值。

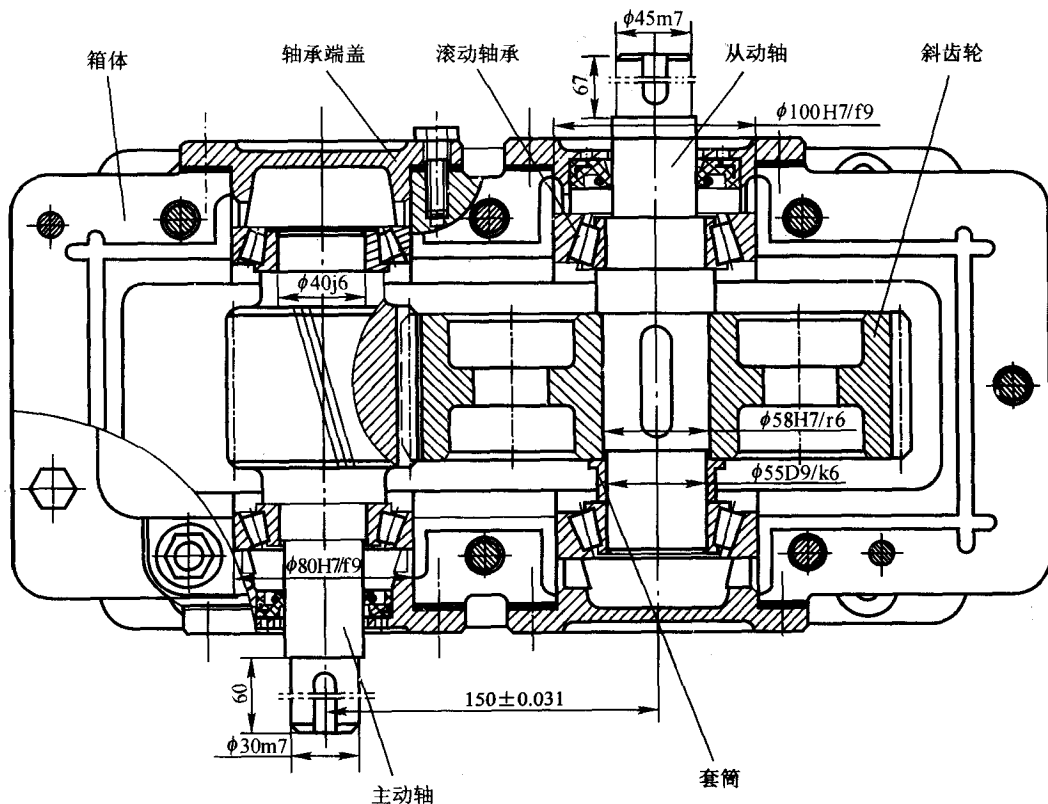


图 1—1 圆柱齿轮减速器

总之,互换性在提高产品质量及可靠性、经济性等方面都具有重大的意义。互换性原则已成为现代机械制造业中一个普遍遵守的原则。互换性生产对促进我国的现代化工业生产起着积极的作用。但是,应当指出,互换性原则不是在任何情况下都适用。在小批量生产或单件生产中,有时需采用单个配制更符合经济原则。这时,零件虽不能互换,但也有精度设计与检测的要求。

在不同的场合,零部件互换的形式和程度有所不同。因此,互换性分为完全互换和不完全互换。

完全互换是零部件装配或更换时不需要挑选或修配,装上即能满足性能要求。例如,对于一批孔和轴装配后的间隙,要求控制在某一范围内,据此规定了孔和轴的尺寸允许变动范围。孔和轴加工后只要符合设计的规定,则它们就具有完全互换性。

不完全互换是指在零部件装配前附加挑选或调整的要求,可以用分组装配法、调整装配法或其他方法来实现。

分组装配法是这样一种措施:当机器上某些部位的装配精度要求很高时,例如孔与轴之间的间隙装配精度要求很高,即间隙变动量要求很小时,则孔和轴的尺寸变化范围就要求很

小,这就导致加工困难,增加制造成本。为此,可以把孔和轴的尺寸变化范围适当放大,以便于加工。将制成的孔和轴按实际尺寸的大小分成若干组,使每组内的零件(孔、轴)的尺寸差别比较小。然后,把对应组的孔和轴进行装配,即大尺寸组的孔与大尺寸组的轴装配,小尺寸组的孔与小尺寸组的轴装配,从而达到装配精度要求。采用分组装配时,对应组内的零件可以互换,而非对应组之间则不可以互换。因此,零件的互换范围是有限的。

调整装配法也是一种保证装配精度的措施。调整装配法的特点是在机器装配过程中,对某一特定零件按所需要的尺寸进行调整,以达到装配精度要求。例如,图1—1所示减速器中轴承端盖与箱体间的调整垫片,用来调整滚动轴承的间隙,装配后用以补偿温度变形与调整轴承间隙。

一般说来,对于厂际协作,应采用完全互换性;对于厂内生产的零部件的装配,可以采用不完全互换。

## 二、公差

几何量允许的变动量叫做公差。在加工零件的过程中,由于种种因素的影响,零件各部分的尺寸、形状、方向和位置以及表面粗糙程度等几何量难以达到理想状态,总是有或大或小的误差。而从零件的功能看,不必要求零件几何量制造得绝对准确,只要求零件的几何量在某一规定范围内变动,保证同一规格零件彼此充分近似。

几何量公差主要是指机械零件的尺寸公差、形状和位置公差以及表面粗糙度。

公差是设计所提出的要求,是机械精度设计的具体数值体现。公差标注在图样上。公差是互换性生产的保证。在满足功能要求的前提下,公差应尽量规定得大些,以获得最佳的技术经济效益。

## 三、检测

检测是检验与测量的总称。要实现互换性,除了合理地规定公差之外,还必须对加工后的零件的几何量加以检验或测量,以判断它们是否符合设计要求。检测是实现互换性生产的过程,是手段和措施。检验的特点是:检验的结果只能确定被测几何量是否在规定的极限范围之内(即是否合格),而不能获得被测几何量的具体数值。例如,用光滑极限量规检验孔、轴。测量的特点是:测量的结果能获得被测几何量的具体数值。例如,用千分尺测量轴的直径。

# 第二节 标准化与优先数系

在现代工业社会化的生产中,要实现互换性生产,必须制定各种标准,以利于各部门的协调和各生产环节的衔接。

## 一、标准化与标准

标准化是制定标准和贯彻标准的全过程,是互换性生产的基础。标准的制定离不开环境的限定,通过一段时间的执行,要根据实际使用情况,对现行标准加以修订或更新。所以,我们在执行各项标准时,应以最新颁布的标准为准则。



标准是指在一定范围内使用的统一规定，是人们活动的依据。

机械行业主要采用的标准有国际标准、国家标准、地方标准、行业标准和企业标准等。国际标准用符号 ISO 表示，ISO 是国际标准化组织的英文缩写。国家标准用符号 GB 表示，GB 是国家标准的汉语拼音字头。国家标准分为两类，强制执行的标准（记为 GB）和推荐执行的标准（记为 GB/T）。

## 二、优先数系及优先数

在设计机械产品和制定标准时，常常要和数值打交道。机械设计中常需要选定一个数值作为某种产品的参数指标。这个数值会按照一定的规律影响并限定有关的产品尺寸，这就是所谓的数值传播规律。例如，图 1-1 所示减速器箱体的紧固螺钉，按受力载荷算出所需的公称直径之后，即螺纹大径为一个确定的标准值，则被连接件箱体的螺孔数值随之而定，与之相配套的垫片尺寸，加工用的钻头、铰刀、丝锥与摆牙的尺寸、检测用的量规等也随之而定。

由于数值如此不断关联、不断传播，涉及许多部门和领域。因此，技术参数的数值不能随意选择，而应在一个理想的、统一的数系中选择，用统一的数系来协调各部门的生产。机械行业所用的统一数系就是优先数系。

### 1. 优先数系

国标 GB 321—2005《优先数和优先数系》采用十进制等比数列作为优先系列。优先数系的公比为  $q_r = \sqrt[r]{10}$ 。并规定了 5 个系列 ( $r = 5, 10, 20, 40, 80$ )，分别用系列符号 R5, R10, R20, R40, R80 表示，称为 R $r$  系列。其中，R5, R10, R20, R40 称为基本系列，R80 称为补充系列。表 1-1 给出了基本系列的数值。

表 1-1 优先数系的基本系列（摘自 GB/T 321—2005）

R5	1.00		1.60		2.50		4.00		6.30		10.00
R10	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00	10.00
R20	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	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			

基本系列和补充系列具有如下规律。

#### ①延伸性

移动小数点位置，可将数列向两侧无限延伸，即数列中的优先数值每隔  $r$  项增加 10 倍或减小到  $1/10$ 。

#### ②包容性与插入性

包容性是指 R5, R10, R20, R40 数列分别包容在 R10, R20, R40, R80 数列中。插入性是指 R10, R20, R40, R80 数列分别由 R5, R10, R20, R40 数列中相邻两项之间插入一项形成的。

### ③相对差比值不变性

相对差比值不变性是指同一优先数列中，相邻两项的后项减前项与前项的比值不变。这样有利于产品的分级、分档。

为了使优先数系有更大的适应性，可以从  $R_r$  数列中，每逢  $p$  项取一个优先数组成新的数列，称之为派生数列，记为  $R_r/p$ 。派生数列首项取值不同，所得的派生数列也不同。例如， $R_{10}/3$  是在  $R_{10}$  系列中，每逢 3 项取一个优先数而形成，例如：

1.00, 2.00, 4.00, 8.00  
1.25, 2.50, 5.00, 10.00  
1.60, 3.15, 6.30, 12.5

选用基本系列时，应遵循先疏后密的原则，即应按照  $R_5$ ,  $R_{10}$ ,  $R_{20}$ ,  $R_{40}$  的顺序选取，以免规格过多。当基本系列不能满足分级要求时，可选用补充系列或派生系列。

## 2. 优先数

优先数系中每个数值称为优先数。由于优先数系的等比系数为无理数，所以优先数一般为无理数。在使用时要经过化整取近似值。根据精度要求，优先数值有 3 种取法。

- ①计算值：取 5 位有效数值，常用于精确计算；
- ②常用值：取 3 位有效数值，为通常所用值，例如表 1—1 中数值为常用值；
- ③化整值：取 2 位有效数值。

化整值不可随便化整，应遵循 GB/T 19764—2005《优先数和优先数化整值系列的选用指南》的规定。

## 第三节 几何量测量的基本知识

几何量的测量是指为了确定被测几何量的量值而进行的实验过程。

### 一、测量值

任何几何量的测量值  $x$ ，都可由表征几何量的数值  $q$  和该几何量的计量单位  $E$  的乘积来表示，即

$$x = qE \quad (1-1)$$

例如，用卡尺测得某轴直径为 40.3 mm，这里 mm 为计量单位，数字 40.3 是以 mm 为计量单位时，该几何量值的数值。

一个完整的几何量测量过程应包括 4 个要素：被测对象、计量单位、测量方法、测量精度。

(1) 被测对象——包括长度（线性尺寸）、角度、形状、相对位置和表面粗糙度以及螺纹、齿轮的几何参数等。就被测零件来说，应考虑到它的大小、重量、批量、精度要求、形状复杂程度和材料等因素对测量的影响。

(2) 计量单位——为定量表示同种量的大小而约定的定义和采用的特定量。我国颁布的法定计量单位中，对几何量来说，长度的基本单位为米（m），平面角的角度单位为弧度（rad）以及度（°）、分（′）、秒（″）。

在机械制造中，常用的长度计量单位是毫米（mm）；在精密测量中，采用的长度计量



单位是微米 ( $\mu\text{m}$ ),  $1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{mm} = 10^{-6} \text{m}$ ; 在超精密测量中, 采用的长度计量单位是纳米 ( $\text{nm}$ ),  $1 \text{nm} = 10^{-3} \mu\text{m}$ 。

机械制造中, 常用的角度计量单位是弧度 ( $\text{rad}$ )、微弧度 ( $\mu\text{rad}$ ) 和度、分、秒。  
 $1 \mu\text{rad} = 10^{-6} \text{rad}$ ,  $1^\circ = 0.0174533 \text{rad}$ 。

(3) 测量方法——是根据给定的测量原理, 在实施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——是指被测几何量的测量结果与其真值相一致的程度。测量结果与被测量的真值之间的差值叫做测量误差。在测量过程中, 由于各种因素的影响, 不可避免地会产生测量误差。在实际测量时, 我们应当选择适当的检测仪器, 采用正确的测量方法, 尽量减小测量误差, 以使测量值趋近于真值。

## 二、长度量值的传递及量块

按照 1983 年第十七届国际计量大会通过的决议, 米的定义为: 米是光在真空中于  $1/299\,792\,458 \text{s}$  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。

长度量值由国家基准波长开始, 可以通过两个平行系统 (线纹量具、端面量具) 平行向下传递。

线纹量具是指具有刻度线的量具。线纹量具的特点是可知被测量的具体数值。线纹量具的精度分为 1, 2, 3 三等。1 等精度高, 3 等精度低。

端面量具常用的有量块和量规。量块常用于作为核对尺寸的基准; 量规常用于对大批量生产孔、轴尺寸的检测, 其特点是只知被测件是否合格, 不知具体数值。

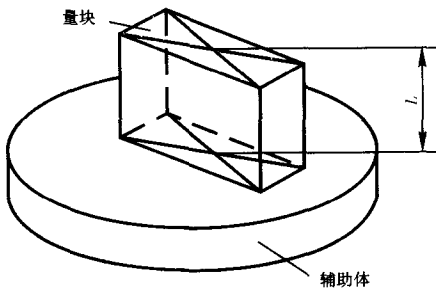


图 1—2 量块与相研合的辅助体

参看图 1—2, 量块 (又称块规) 是没有刻度的两平面平行的端面量具, 用特殊合金钢制成。具有线膨胀系数小、不易变形、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, 还可用来调整仪器、机床或直接检测工件的基准公称尺寸。

量块通常制成长方六面体, 其上有两个非常光滑平整的平行测量面。这两个测量面间具有精确的尺寸, 量块与量块的测量面之间具有研合性。

为了满足不同应用场合的需要, JJG 146—

2003 《量块检验规定》对量块有如下规定。

### (1) 量块的分级

量块按制造精度分为 6 级: 00, 0, K, 1, 2, 3 级。其中, 00 级精度最高, 精度依次降低, 3 级的精度最低, K 为校准级。量块分“级”的主要依据是量块长度的极限偏差和量块长度变动量允许值 (见附表 1—1)。

### (2) 量块的分等

量块按测量精度分为 6 等: 1, 2, 3, 4, 5, 6 等。其中, 1 等精度最高, 依次降低,

6等精度最低。量块分“等”的主要依据是量块测量的不确定度和量块长度变动量的允许值(见附表1—2)。

量块按“级”使用时,应以量块的标称长度作为工作尺寸,该尺寸包含了量块的制造误差。量块按“等”使用,应以经检测后所给出的量块中心长度(即量块的一个测量面的中点至另一个测量面相研合的辅助面的垂直距离 $L$ ,见图1—2)的实际尺寸作为工作尺寸,该尺寸排除了量块制造误差的影响,仅包含鉴定时较小的测量误差。因此,量块按“等”使用的测量精度比按“级”使用的高。

国产成套量块的规格有:91块、83块、46块、38块等几种规格(见附表1—3)。利用量块的研合性,可以在一定的尺寸范围内,将不同的量块进行组合而形成所需的工作尺寸。在组成某一确定尺寸时,为了减少量块组合的误差,一组量块的总数一般不应超过4块。选取量块时,应从具有最小位数的量块开始,逐一相减选取量块长度。例如,组成36.375 mm的尺寸,若采用83块一套的量块(见附表1—3),可选取1.005, 1.37, 4 mm和30 mm等4个量块。

### 三、计量器具的技术性能指标

计量器具的技术性能指标是选择和使用计量器具的依据。其主要指标如下。

#### (1) 刻度间距

刻度间距是指计量器具的标尺或刻度盘上的相邻两刻度线间的距离。为适于人眼观察,刻度间距一般为1~2.5 mm,由仪器生产厂家确定。

#### (2) 分度值

分度值又称刻度值,是指计量器具的标尺或刻度盘上每个刻度间距所代表的最小量值。分度值越小,表示计量器具的测量精度越高。例如,游标卡尺的分度值是由游标尺的刻度间距表示,1个间距代表的有0.1, 0.05, 0.02 mm几种。

#### (3) 示值范围

示值范围是指计量器具本身所能显示的最小到最大的数值范围。

#### (4) 计量器具测量范围和量程

计量器具测量范围是指计量器具所能测量的被测几何量值的下限值到上限值的范围。测量范围的上限值与下限值之差称为量程。

如图1—3所示,机械式比较仪的标尺分度值为0.002 mm,标尺示值范围为-60~+60  $\mu\text{m}$ ,测量范围 $L$ 为0~180 mm,量程为180 mm。

### 四、测量方法

测量方法可以从不同角度进行分类。

#### 1. 按所测的几何量是否为被测几何量分类

(1) 直接测量法——所测得的几何量值就是被测量的几何量值。例如,用游标卡尺、千分尺测量轴径或孔

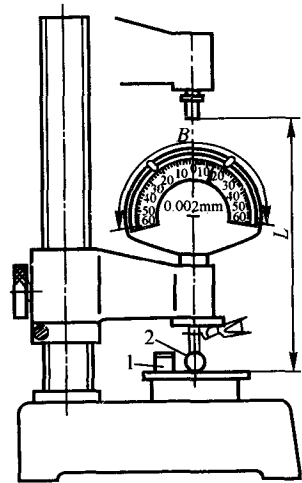


图1—3 机械式比较仪  
1—量块; 2—被测工件;  $L$ —量程

径的大小。

(2) 间接测量法——被测几何量的量值，由所测得的几何量值按一定的函数关系式运算后获得。如图 1—4 所示，孔心距  $a$ ，通过测量孔边距  $l_1$  和  $l_2$ ，运用公式  $a = (l_1 + l_2) / 2$  计算求得。间接测量的精度通常比直接测量的精度低。

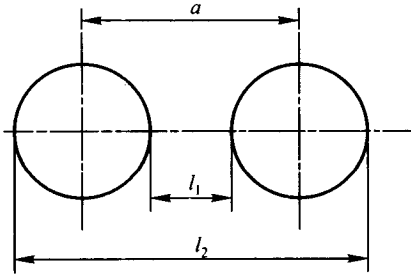


图 1—4 间接测量法测量孔心距

## 2. 按测量值是否为被测几何量的整体量值分类

(1) 绝对测量法——计量器具显示的示值就是被测几何量的整个量值。例如，用游标卡尺、千分尺测量轴径或孔径的大小。

(2) 相对测量法（又称比较测量法）——计量器具显示的量值为被测几何量与标准量的差值，即为被测几何量的实际偏差。相对测量法的测量精度比绝对测量法的测量精度高。

## 3. 按被测表面是否与测量头接触分类

(1) 接触测量法——测量时计量器具的测头与被测表面接触，并伴有机械作用的测量力。

(2) 非接触测量法——测量时计量器具的测头不与被测表面接触。例如，用光切显微镜测量零件的表面粗糙度；用投影仪测量样板的轮廓形状。

接触测量时，被测表面与计量器具接触，会产生弹性变形，因而会影响测量的精度。但这种方法使用稳定、可靠。非接触测量虽然无接触变形，但对介质的变化反映较为敏感。

## 4. 按同时被测几何量的多少分类

(1) 单项测量——对工件上的某些几何量分别进行测量。例如，用不同的专用仪器分别测量齿轮的齿形误差和基节偏差。

(2) 综合测量——同时测量工件上几个有关几何量的综合结果。例如，用齿轮综合检测仪测量齿形误差和齿距偏差的综合结果。

就零件整体来说，单项测量的效率比综合测量的效率低，但它便于进行工艺分析。综合测量的结果比较符合工件的实际情况。

## 5. 主动测量和动态测量

(1) 主动测量（又称在线测量）——是在工件加工的同时对被测几何量进行测量。它主要应用在自动化生产线上，其测量结果可直接控制加工过程，防止产生废品。

(2) 动态测量——是指在被测表面与量仪测头做相对运动时，对被测几何量进行测量。例如，用电动轮廓测量仪测量表面粗糙度。主动测量和动态测量是现代化工业生产中，检测技术的发展方向。

## 习题一

1—1 机械零件或部件具有什么性能才能具有互换性？互换性分为几类？它们都用于何种场合？

1—2 举例说明互换性在你的日常生活中有哪些应用？（试举 3 例）

1—3 互换性与标准化、公差和检测之间有何关系？

1—4 为什么要制定《优先数和优先数系》国家标准？优先数系是一种什么数列？国家标准中，优先数系有几种系列？

1—5 螺纹公差自 3 级开始其等级系数为：0.50, 0.63, 0.80, 1.00, 1.25, 1.60, 2.00。试判断它们为何种数列。

1—6 测量的实质是什么？一个测量过程包括哪些要素？

1—7 测量值是否就是真值，两者有何差异？

1—8 量块分哪几级、哪几等？它们是根据什么进行分等、分级的？

1—9 某千分尺，副尺（微分筒上的圆周标尺）的每个间距代表 0.01 mm，主尺（固定套筒上的纵向标尺）的每个间距代表 0.5 mm，主尺能够显示的范围为 25 ~ 50 mm。试问该千分尺的标尺分度值、示值范围、测量范围和量程各为多少？

## 第二章

# 尺寸精度

机械零件的几何精度包含该零件的尺寸精度、形状和位置精度以及表面精度等。它们是根据零件在机器中的使用要求确定的。尺寸精度主要研究线性尺寸的公差、极限与配合。尺寸精度设计是机械零件设计中必不可少的重要内容。

为了满足使用要求,保证零件的互换性,我国发布了一系列有关尺寸精度的国家标准:GB/T 1800.1—1997《极限与配合 基础 第1部分:词汇》,GB/T 1800.2—1998《极限与配合 基础 第2部分:公差、偏差和配合的基本规定》,GB/T 1800.3—1998《极限与配合 基础 第3部分:标准公差和基本偏差数值表》,GB/T 1800.4—1999《极限与配合 标准公差等级和孔、轴的极限偏差表》,GB/T 1801—1999《极限与配合 公差带和配合的选择》,GB/T 1803—2003《极限与配合 尺寸至18 mm 孔、轴公差带》,GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》。这些标准的制定与实施,可以满足我国机电产品的设计和适应国际贸易的需要。

下面就上述标准的基本概念和应用以及尺寸精度的设计进行阐述。

### 第一节 基本术语及其定义

尺寸精度设计主要是指对有配合要求的孔、轴(此配合主要所指一个零件的内表面和另一个零件的外表面在径向或宽度方向的配合松紧程度),确定它们的尺寸公差和配合种类,也包括确定零件上非配合表面的尺寸公差。为此,首先阐述与尺寸精度有关的术语及其定义。

#### 一、孔和轴的定义

当两个机械零件在直径或宽度方向相互配合时,孔通常是指工件的圆柱形内表面,也包括非圆柱形内表面。例如,键槽的宽度表面。

轴通常是指工件的圆柱形外表面,也包括非圆柱形外表面。例如,平键的宽度表面。

#### 二、有关尺寸的术语及定义

##### 1. 线性尺寸

尺寸分为两类:线性尺寸和角度。线性尺寸简称尺寸,是指两点之间的距离,如直径、宽度、高度、深度、厚度及中心距离等。

## 2. 基本尺寸

基本尺寸是指设计确定的尺寸,用符号  $D$  表示 (见图 2—1)。它是根据零件的强度、刚度等的计算和结构的设计确定的,并应化整为优先数,采用标准尺寸,即执行 GB/T 2822—2005《标准尺寸》的规定 (见附表 2—1),以利于加工和测量。

## 3. 极限尺寸

极限尺寸是指孔或轴允许的尺寸的两个极端尺寸 (见图 2—1)。其中,一个极端尺寸为最大极限尺寸,它是孔或轴允许的最大尺寸,孔和轴的最大极限尺寸分别用符号  $D_{\max}$  和  $d_{\max}$  表示。另一个极端尺寸为最小极限尺寸,它是孔或轴允许的最小尺寸,孔和轴的最小极限尺寸分别用符号  $D_{\min}$  和  $d_{\min}$  表示。

## 4. 实际尺寸

实际尺寸是指零件加工后通过测量获得的某一孔、轴的尺寸。孔和轴的实际尺寸分别用符号  $D_a$  和  $d_a$  表示。由于存在测量误差,测量获得的实际尺寸并非真实尺寸,而是一个近似于真实尺寸的尺寸。

基本尺寸和极限尺寸是设计时给定的,实际尺寸应限制在极限尺寸范围内,也可达到极限尺寸。孔和轴实际尺寸的合格条件分别为:  $D_{\min} \leq D_a \leq D_{\max}$ ;  $d_{\min} \leq d_a \leq d_{\max}$ 。

# 三、有关偏差和公差术语及定义

## 1. 尺寸偏差

尺寸偏差简称偏差,是指某一尺寸 (如极限尺寸、实际尺寸等) 减去基本尺寸所得的代数差。该代数差可能是正值、负值或零。尺寸偏差值除零外,前面必须冠以正、负号。尺寸偏差分为极限偏差和实际偏差。

### (1) 极限偏差

极限偏差是指极限尺寸减去基本尺寸所得的代数差。极限偏差分为上偏差和下偏差。上偏差是指最大极限尺寸减去基本尺寸所得的代数差。孔和轴的上偏差分别用符号  $ES$  和  $es$  表示。下偏差是指最小极限尺寸减去基本尺寸所得的代数差。孔和轴的下偏差分别用符号  $EI$  和  $ei$  表示。极限偏差可分别用下列公式表示:

$$\begin{aligned} ES &= D_{\max} - D; EI = D_{\min} - D \\ es &= d_{\max} - D; ei = d_{\min} - D \end{aligned} \quad (2-1)$$

### (2) 实际偏差

实际偏差是指实际尺寸减去基本尺寸所得的代数差,它应限制在极限偏差范围内,也可

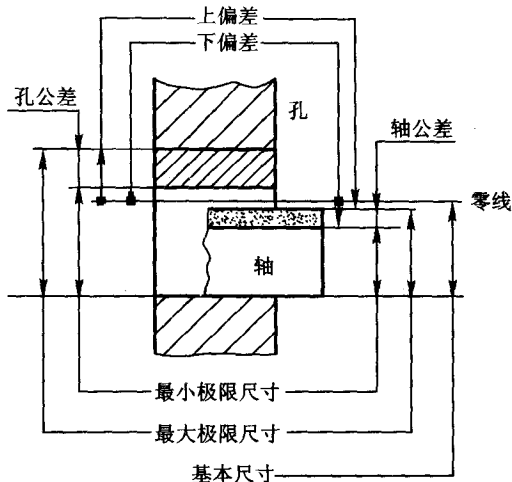


图 2—1 基本尺寸和极限尺寸

达到极限偏差。孔或轴实际偏差的合格条件为：下偏差 ≤ 实际偏差 ≤ 上偏差。

### 2. 尺寸公差

尺寸公差简称公差，是指最大极限尺寸减去最小极限尺寸所得的差值，或上偏差减去下偏差所得的差值。它是允许尺寸的变动量。孔和轴的尺寸公差分别用符号  $T_h$  和  $T_s$  表示。公差与极限尺寸、极限偏差的关系如下：

$$T_h = D_{max} - D_{min} = ES - EI$$

$$T_s = d_{max} - d_{min} = es - ei$$
(2-2)

鉴于最大极限尺寸总是大于最小极限尺寸，上偏差总是大于下偏差，所以公差是一个没有符号的绝对值，公差不可能为负值或零。

### 3. 尺寸公差带

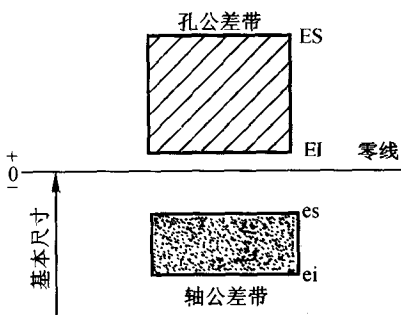


图 2-2 公差带示意图

在分析孔或轴尺寸的偏差、极限尺寸以及相互结合的配合种类与公差的关系时，可以采用公差带示意图的形式。参见图 2-2，公差带示意图中有一条表示基本尺寸的零线和相应的公差带。零线以上为正偏差，零线以下为负偏差。尺寸公差带是指在公差带示意图中，由代表上偏差和下偏差或者最大极限尺寸和最小极限尺寸的两条直线之间所限定的区域。公差带在零线的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。在公差带示意图中，基本尺寸用 mm 表示；极限偏差和公差可用

$\mu\text{m}$  表示，也可用 mm 表示，通常用  $\mu\text{m}$  表示。

公差带由“公差带大小”与“公差带位置”两个参数组成。GB/T 1800.3—1998 规定公差带的大小由标准公差确定，公差带相对于零线的位置由基本偏差确定。为了使公差带标准化，将公差和基本偏差数值都进行标准化，分别规定了相应的标准公差和基本偏差。经标准化的公差与偏差制度称为极限制。

### 4. 标准公差

标准公差是指国家标准所规定的公差值。

### 5. 基本偏差

基本偏差是指确定公差带相对零线位置的那个极限偏差。它可以是上偏差或下偏差，一般为靠近零线或位于零线的那个极限偏差。

## 四、有关配合的术语及定义

### 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。组成配合的孔与轴的公差带位置的不同，便形成不同的配合性质。

### 2. 间隙或过盈

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。该代数差为正值时，叫



做间隙，用符号  $X$  表示；该代数差为负值时，叫做过盈，用符号  $Y$  表示。

### 3. 配合的分类

#### (1) 间隙配合

间隙配合是指具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带上方，见图 2—3。

间隙配合中，孔的最大极限尺寸减去轴的最小极限尺寸，或者孔的上偏差减去轴的下偏差，所得的代数差称为最大间隙，用符号  $X_{\max}$  表示，即

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-3)$$

孔的最小极限尺寸减去轴的最大极限尺寸，或者孔的下偏差减去轴的上偏差，所得的代数差称为最小间隙，用符号  $X_{\min}$  表示，即

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-4)$$

当孔的最小极限尺寸与轴的最大极限尺寸相等时，最小间隙为零。

在实际设计中，有时用到平均间隙，平均间隙用符号  $X_{av}$  表示，即

$$X_{av} = (X_{\max} + X_{\min}) / 2 \quad (2-5)$$

间隙值的前面必须冠以正号。

#### (2) 过盈配合

过盈配合是指具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带下方，见图 2—4。

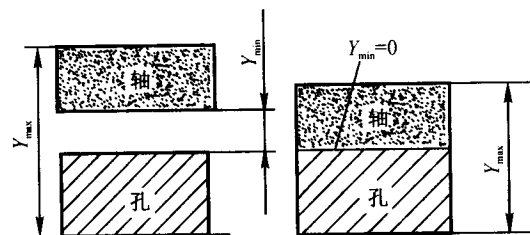


图 2—4 过盈配合

过盈配合中，孔的最大极限尺寸减去轴的最小极限尺寸，或者孔的上偏差减去轴的下偏差，所得的代数差称为最小过盈，用符号  $Y_{\min}$  表示，即

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-6)$$

孔的最小极限尺寸减去轴的最大极限尺寸，或者孔的下偏差减去轴的上偏差，所得的代数差称为最大过盈，用符号  $Y_{\max}$

表示，即

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-7)$$

当孔的最大极限尺寸与轴的最小极限尺寸相等时，最小过盈为零。

在实际设计中，有时用到平均过盈，平均过盈用符号  $Y_{av}$  表示，即

$$Y_{av} = (Y_{\min} + Y_{\max}) / 2 \quad (2-8)$$

过盈值的前面必须冠以负号。

#### (3) 过渡配合

过渡配合是指可能具有间隙或过盈的配合。此时，孔公差带与轴公差带相互交叠，见图 2—5。

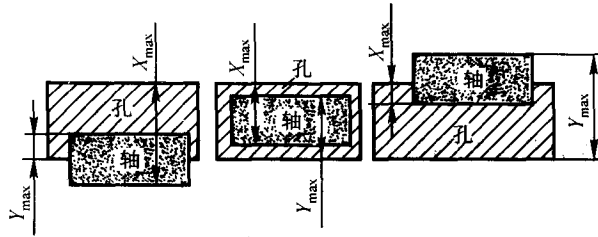


图 2—5 过渡配合

在过渡配合中，孔的最大极限尺寸减去轴的最小极限尺寸所得的代数差，称为最大间隙。计算公式与式（2—3）相同。孔的最小极限尺寸减去轴的最大极限尺寸所得的代数差，称为最大过盈，计算公式与式（2—7）相同。

过渡配合中的平均间隙或平均过盈为

$$X_{av}(\text{或 } Y_{av}) = (X_{max} + Y_{max}) / 2 \quad (2-9)$$

(4) 配合公差

对孔、轴配合的使用要求为间隙（或过盈）的大小，应控制在允许的最小间隙（或最大过盈）与最大间隙（或最小过盈）范围内。后者减去前者所得的差值为该配合中孔与轴公差之和，称为配合公差。它是配合间隙或过盈所允许的变动量，用符号  $T_f$  表示，即

间隙配合中

$$T_f = X_{max} - X_{min} = T_h + T_s \quad (2-10)$$

过盈配合中

$$T_f = Y_{min} - Y_{max} = T_h + T_s \quad (2-11)$$

过渡配合中

$$T_f = X_{max} - Y_{max} = T_h + T_s \quad (2-12)$$

式（2—10），式（2—11），式（2—12）反映使用要求与加工要求的关系。设计时，可根据配合中允许的间隙或过盈变动范围，来确定孔和轴的公差。鉴于最大间隙总是大于最小间隙，最小过盈总是大于最大过盈（它们都带负号），所以配合公差是一个没有符号的绝对值。

**例 2—1** 组成配合的孔和轴在零件图上标注的基本尺寸和极限偏差分别为孔  $\phi 50^{+0.025}$  mm 和轴  $\phi 50_{-0.009}^{0}$  mm，试计算该配合的最大间隙、最小间隙、平均间隙和配合公差，并画出孔、轴尺寸公差带示意图。

**解：**由式（2—3）计算最大间隙

$$X_{max} = ES - ei = +0.025 - (-0.025) = +0.050 \text{ mm}$$

由式（2—4）计算最小间隙

$$X_{min} = EI - es = 0 - (-0.009) = +0.009 \text{ mm}$$

由式（2—5）计算平均间隙

$$X_{av} = (X_{max} + X_{min}) / 2 = [(+0.050) + (+0.009)] \div 2 = +0.0295 \text{ mm}$$

由式（2—10）计算配合公差

$$T_f = X_{max} - X_{min} = +0.050 - (+0.009) = 0.041 \text{ mm}$$

孔、轴公差带图如图 2—6 所示。