

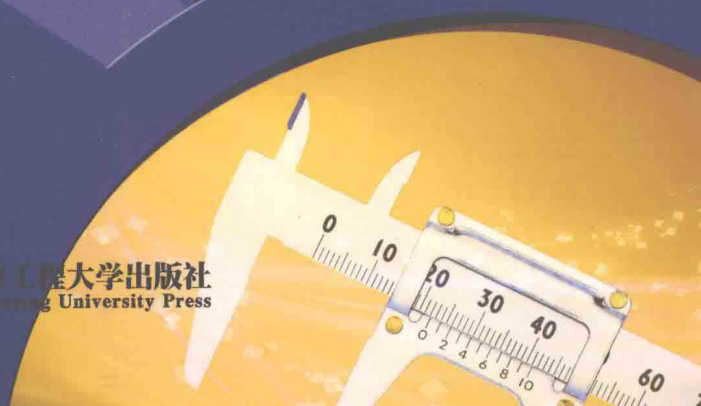


高等学校“十二五”重点规划教材  
机械工程系列丛书

# 机械精度设计与检测基础

李宪芝 主编

哈尔滨工程大学出版社  
Harbin Engineering University Press





高等学校“十二五”重点规划教材  
机械工程系列丛书

# 机械精度设计与检测基础

李宪芝 主编

HEUP 哈尔滨工程大学出版社  
Harbin Engineering University Press

## 内 容 简 介

“机械精度设计与检测基础”课程即“互换性与测量技术基础”课程,是高等工院校机械类和近机械类专业的一门重要的技术基础课。本书根据最新的几何产品技术规范标准,介绍了互换性与标准化概论、测量技术基础、尺寸精度设计与检测、几何精度设计与检测、表面粗糙度设计与检测、常用典型零件精度设计与检测、渐开线圆柱齿轮传动精度设计与检测、尺寸链精度设计基础等内容。

本书内容全部采用最新国家标准编写,特点是强调基础,内容简明、联系实际,每章附有思考题与习题。

本书可作高等工院校机械类、近机械类各专业的教材使用,也可供高等职业技术教育、成人教育学生使用及从事机械设计、机械制造等工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计与检测基础 / 李宪芝主编. —哈尔滨  
: 哈尔滨工程大学出版社, 2011. 3  
ISBN 978 - 7 - 5661 - 0038 - 2

I. ①机… II. ①李… III. ①机械-精度-设计-高等学校-教材②机械元件-检测-高等学校-教材 IV.  
①TH122②TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 020196 号

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号  
邮政编码 150001  
发行电话 0451 - 82519328  
传 真 0451 - 82519699  
经 销 新华书店  
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司  
开 本 787mm × 1092mm 1/16  
印 张 16  
字 数 390 千字  
版 次 2011 年 2 月第 1 版  
印 次 2011 年 2 月第 1 次印刷  
定 价 31.00 元  
<http://press.hrbeu.edu.cn>  
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

---

# 前言

## PREFACE

“机械精度设计与检测基础”课程即“互换性与测量技术基础”课程,它是高等工科院校机械类和近机械类专业的一门重要技术基础课,是联系机械设计类课程与制造工艺类课程的纽带。内容涉及机械设计、机械制造、质量控制等许多方面,是与机械工业紧密联系的一门综合性基础学科。通过本课程的学习,有助于学生掌握机械及其零部件的精度设计,正确理解设计图纸上的精度要求和编制工艺规范,合理设计产品质量检验方案和进行测量结果的数据处理。

本书系统介绍了机械精度设计及检测原理。全书共分8章:绪论、测量技术基础、尺寸精度设计与检测、几何精度设计与检测、表面粗糙度设计与检测、常用典型零件精度设计与检测、渐开线圆柱齿轮传动精度设计与检测及尺寸链精度设计基础等内容。

本书根据编者多年的教学实践经验,参考了多种版本的同类教材和有关国家标准,突出体现了以下几点:

(1) 紧密结合教学大纲,在保证教材的全面性、系统性的前提下,尽量做到少而精,重视加强基础,突出重点,以便通过教学使学生掌握本课程的最基本的内容,为后续课程的学习打下一定的基础。

(2) 本书在重点讲清基础理论的同时,加强了实际应用及工程实例的介绍,注重了理论联系实际和应用能力的培养与工程素质教育。

(3) 全部采用2009年底颁布的最新国家标准,标准内容齐全完整。

(4) 给出了各种术语、定义的对应该英文,既有助于教师为双语教学做准备,又有助于学生提高对外交流能力。

本书可作高等工院校机械类、近机械类各专业的教材使用,也可供高等职业技术教育、成人教育学生使用,还可供从事机械设计、机械制造等工程技术人员参考。本书由佳木斯大学李宪芝主编,佳木斯大学刘桂珍、齐齐哈尔大学林景凡、佳木斯大学于峰副主编,佳木斯大学于影主审。参加编写的有:李宪芝(第1,4章)、刘桂珍(第3章)、林景凡(第2章)、于峰(第5章)、殷宝麟(第6章)、陈思羽(第7章)、姜国栋(第8章)。全书由李宪芝统稿、校订。

本书的编写参考了大量相关文献资料,谨向文献作者表示感谢。

本书在编写过程中得到了有关部门及任课教师的大力支持和精心指导,谨此表示衷心的感谢。

受编者水平的限制,本书在内容选择、结构层次的安排和标准的理解等方面难免存在错误和不当之处,欢迎广大读者批评指正。

编者

2010年12月

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 互换性的概念和作用 .....	1
1.2 标准化与优先数系 .....	3
1.3 检测技术的发展 .....	6
1.4 本课程的研究对象和任务 .....	7
<b>第 2 章 测量技术基础</b> .....	8
2.1 概述 .....	8
2.2 量值传递系统 .....	9
2.3 计量器具和测量方法 .....	15
2.4 测量误差及数据处理 .....	19
<b>第 3 章 尺寸精度设计与检测</b> .....	30
3.1 概述 .....	30
3.2 标准公差系列——公差带大小的标准化 .....	39
3.3 基本偏差系列——公差带位置的标准化 .....	42
3.4 尺寸精度的设计 .....	51
3.5 尺寸精度的检测 .....	66
<b>第 4 章 几何精度设计与检测</b> .....	80
4.1 概述 .....	80
4.2 几何公差的标注及其公差带 .....	84
4.3 公差原则与公差要求 .....	102
4.4 几何精度的设计 .....	114
4.5 几何误差及检测 .....	121
<b>第 5 章 表面粗糙度设计与检测</b> .....	132
5.1 概述 .....	132
5.2 表面粗糙度的评定 .....	133
5.3 表面粗糙度的设计 .....	136
5.4 表面粗糙度符号、代号及其标注方法 .....	141
5.5 表面粗糙度的检测 .....	147
<b>第 6 章 常用典型零件精度设计与检测</b> .....	151
6.1 滚动轴承与孔、轴结合的精度设计 .....	151
6.2 平键、矩形花键结合的精度设计 .....	160
6.3 圆锥结合的精度设计 .....	167

6.4 螺纹结合的精度设计 .....	178
<b>第7章 渐开线圆柱齿轮传动精度设计与检测 .....</b>	<b>195</b>
7.1 齿轮传动的使用要求 .....	195
7.2 评定渐开线圆柱齿轮精度的偏差项目及其允许值 .....	196
7.3 渐开线圆柱齿轮精度设计 .....	209
7.4 齿轮精度的检测 .....	221
<b>第8章 尺寸链的精度设计基础 .....</b>	<b>229</b>
8.1 概述 .....	229
8.2 用完全互换法解尺寸链 .....	233
8.3 用概率法解尺寸链 .....	240
8.4 解尺寸链的其他方法 .....	244
<b>参考文献 .....</b>	<b>247</b>

# 第1章 绪 论

本书主要包括两方面的内容:机械精度设计和检测技术基础。

对于机械产品来说,机械设计通常可分为系统设计、参数设计和精度设计。系统设计主要是运动学的设计,如传动系统、位移、速度、加速度等,这些内容主要由机械原理课程研究;参数设计主要是确定产品各零件几何要素的公称值,以保证系统的能量转换和工作寿命,如结构、强度、刚度、寿命等,这些内容主要是由机械设计课程研究。本课程只研究机械精度设计和检测技术基础。

机械精度设计是依据对机械的静态和动态精度的要求以及制造的经济性确定零件几何要素的允许误差,也就是设计尺寸精度、几何精度以及表面微观轮廓精度,并将它们正确地标注在零件图和装配图上。检测技术基础是讲授几何量检测的基本知识和检测原理以及常用的检测方法。在机械零件加工的全过程中必须进行测量或检验,使之符合机械精度设计要求。

## 1.1 互换性的概念和作用

### 1.1.1 互换性的定义

互换性的概念在日常生活中到处都能用到。例如,机器上丢了一个螺钉,可以按相同的规格装上一个;灯泡坏了换个新的;钟表的零部件磨损了,换上相同规格新的零部件即可满足使用要求。这是因为合格的产品和零件都具有在材料性能、几何尺寸、使用功能上彼此互相替代的性能,即具有互换性。互换性是重要的生产原则和有效技术措施,在日用工业品、机床、汽车、电子产品、军工产品等各生产部门都广泛采用。

所谓互换性,是指在同一规格的一批零件或部件中任取一件,装配时,不需经过任何选择、修配或调整,就能装配在整机上,并能满足使用性能要求的特性。

机械和仪器制造业中的互换性,通常包括几何参数的互换性和性能参数(如硬度、强度等)的互换性。几何参数一般包括尺寸大小、几何形状(宏观、微观)及相互位置关系等。机械产品的性能包括很多方面,如刚度、强度、硬度、传热性、导电性还有其他物理或化学性能等。本课程只讨论几何参数的互换。要使一批零部件具有互换性,似乎需要将它们的实际几何参数加工得完全一样,但在实际生产中,由于制造误差不可避免地存在,要加工得完全一样是不可能做到的,也是完全不必要的。因此在按照互换性原则组织生产时,只要根据使用要求,将零部件实际尺寸和几何参数值的变动限制在预设的一定极限范围内,即可以实现互换性并取得最佳经济效益。这种允许零件尺寸和几何参数的变动量就称为公差。

### 1.1.2 互换性的作用

互换性在机械制造中有很重要的作用,主要体现在以下三个方面。

#### 1. 在设计方面

若零部件具有互换性,就能最大限度地使用标准件和通用件,这就使许多零部件不必重新设计,从而大大减轻了计算与绘图的工作量,简化了设计程序,缩短了设计周期,对产品更新换代、计算机辅助设计(CAD)及发展系列化产品具有重要作用。

#### 2. 在制造方面

互换性有利于组织专业化生产,使用专用设备和计算机辅助制造(CAM)技术。

#### 3. 在使用和维修方面

如果一台机器的某零件具有互换性,则当该零件损坏后,可以很快地用一备件来代替,从而使机器维修方便,保证了机器工作的连续性和持久性,延长了机器的使用寿命,提高了机器的使用价值。

互换性在提高劳动生产率、保证产品质量和提高产品可靠性、降低成本等方面都具有重大的意义。所以,使零部件具有互换性是机械制造中重要的原则和有效的技术措施。

### 1.1.3 互换性的分类

根据使用要求及互换程度、部位和范围的不同,互换性可分为不同的种类。

#### 1. 按互换的程度分类

按同一规格一批零部件互换的程度可以将互换性分为完全互换性(绝对互换性)与不完全互换性(有限互换性)。

若零件在装配或更换时,不需选择、辅助加工或修配,则其互换性为完全互换性。当装配精度要求较高时,采用完全互换将使零件制造公差很小,加工困难,成本很高,甚至无法加工。这时,可以采用其他技术手段来满足装配要求,如分组装配法就是将零件的制造公差适当地放大,使之便于加工,而在零件完工后装配前,用测量器具将零件按实际尺寸的大小分为若干组,使每组零件间实际尺寸的差别减小,装配时按相应组进行(即大孔与大轴相配,小孔与小轴相配)。这样,既可保证装配精度和使用要求,又能减少加工难度、降低成本。此时,仅组内零件可以互换,组与组之间不可互换,故这种互换性称为不完全互换性。

#### 2. 按互换的部位分类

对独立的标准化部件或机构来说,互换性又可分为内互换性与外互换性。

内互换性是指组成机构或部件的内部零件间的互换性,如滚动轴承的滚动体和内圈、外圈、保持架之间的互换性为内互换性。因为这些组成零件的精度要求很高,加工难度很大,所以它们一般采用分组互换。外互换性是指部件或机构与其相配件间的互换性,如滚动轴承内圈和轴颈的配合、外圈和机座孔的配合为外互换。轴承作为一个标准件,从方便使用的角度出发,其外互换采用完全互换。

一般地说,不完全互换只用于部件或机构的制造厂内部的装配。至于厂外协作件,即使批量不大,往往也要求完全互换。究竟是采用完全互换,还是不完全互换,或者部分地采用修配调整,要由产品精度要求与其复杂程度、产量大小(生产规模)、生产设备、技



术水平等因素决定。

## 1.2 标准化与优先数系

### 1.2.1 标准化和标准

标准化是组织现代化生产的重要手段之一,是实现专业化协作生产的必要前提,是科学管理的重要组成部分。标准化的作用很多、很广泛,在人类活动很多方面都起着不可忽视的作用。标准化可以简化多余的产品品种,促进科学技术转化为生产力,确保互换性,确保安全和健康,保护消费者的利益,消除贸易壁垒。此外,标准化可以在节约原材料、减少浪费、信息交流、提高产品可靠性等方面发挥作用。在现代工业社会化的生产中,标准化是实现互换性的基础。

世界各国的经济发展过程表明,标准化是实现现代化的一个重要手段,也是反映现代化水平的一个重要标志。现代化的程度越高,对标准化的要求也越高。

#### 1. 标准化

根据 GB 3935.1—1996 的规定,标准化的定义为:“为了在一定的范围内获得最佳秩序,对现实问题或潜在的问题制定共同使用和重复使用的条款的活动。”由标准化的定义我们可以认识到,标准化不是一个孤立的概念,而是一个活动过程,这个过程包括制定、贯彻、修订标准,循环往复,不断提高;制定、修订、贯彻标准是标准化活动的主要任务;在标准化的全部活动中,贯彻标准是个核心环节。同时还应注意到,标准化在深度上是没有止境的,无论是一个标准,还是整个标准系统,都在向更深的层次发展,不断提高,不断完善。

#### 2. 标准

根据 GB/T 20000.1—2002 对标准所下的定义为:“为了在一定的范围内获得最佳秩序,经协商一致制定并由公认机构批准,共同使用的和重复使用的一种规范性文件。”标准应以科学、技术和经验综合成果为基础,以促进最佳社会效益为目的。由此可见,标准的制定是与当前科学技术水平和生产实践相关,它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和更新。所以我们在执行各项标准时,应以最新颁布的标准为准则。

近年来,我国对标准的指导思想是:各行各业中积极采用国际标准和国外先进标准,在我国加入 WTO 后,为加强和扩大我国与国际先进工业国家的技术交流及国际贸易,更应加快采用国际标准的步伐。

国际标准化机构有三个:国际标准化组织(ISO),它制定的标准用符号 ISO 表示;国际电工委员会(IEC),它制定的标准用符号 IEC 表示;国际电信联盟(ITU),它制定的标准用符号 ITU 表示。我国国家标准分国标(GB)和国军标(GJB),分别用符号 GB 和 GJB 表示。国标分为两类:必须执行的标准(记为 GB)和推荐执行的标准(记为 GB/T)。本课程主要涉及到的技术标准多属于国家标准(GB)和国家推荐性技术基础标准(GB/T)。

为全面保证零部件的互换性,不仅要合理地确定零件制造公差,还必须对影响生产质量的各个环节、阶段及有关方面实现标准化。诸如技术参数及数值系列(如尺寸公差)

的标准化(优先数系),几何公差及表面质量参数的标准化,原材料及热处理方法的标准化,工艺装备及工艺规程的标准化,计量单位及检测规定等的标准化。可见,在机械制造业中,任何零部件要使其具有互换性都必须实现标准化,没有标准化就没有互换性。

### 1.2.2 优先数系和优先数

优先数和优先数系标准是重要的基础标准。由于工程上的技术参数值具有传播特性,因此对各种技术参数值协调、简化和统一是标准化的重要内容。优先数系就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的科学数值制度。

#### 1. 优先数系(series of preferred numbers)

根据工程技术上的要求,优先数系是一种十进制几何级数。国家标准 GB/T 321—2005 规定,优先数系是由公比为  $\sqrt[5]{10}$ ,  $\sqrt[10]{10}$ ,  $\sqrt[20]{10}$ ,  $\sqrt[40]{10}$  和  $\sqrt[80]{10}$ , 且项值中含有 10 的整数幂的理论等比数列导出的一组近似等比的数列。各数列分别用符号 R5, R10, R20, R40 和 R80 表示,称为 R5 系列、R10 系列、R20 系列、R40 系列和 R80 系列。

由上述可知,优先数系的五个系列的公比都是无理数,在工程技术上不能直接应用,而实际应用的是理论公比经过化整后的近似值,各系列的公比如下:

$$R5: \text{公比 } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.589\ 4 \approx 1.60;$$

$$R10: \text{公比 } q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.258\ 9 \approx 1.25;$$

$$R20: \text{公比 } q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.122\ 0 \approx 1.12;$$

$$R40: \text{公比 } q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.059\ 3 \approx 1.06;$$

$$R80: \text{公比 } q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.029\ 1 \approx 1.03。$$

#### (1) 基本系列

R5, R10, R20 和 R40 四个系列,是优先数系中的常用系列,称为基本系列,该系列各项数值如表 1.1 所示。其代号为:

系列无限定范围时,用 R5, R10, R20 和 R40 表示;

系列有限定范围时,应注明界限值。例如, R10(1.25…)表示以 1.25 为下界的 R10 系列; R20(…45)表示以 45 为上界的 R20 系列; R40(75…300)表示以 75 为下限和 300 为上界的 R40 系列。

表 1.1 优先数系的基本系列(常用值)

(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			

#### (2) 补充系列

R80 系列称为补充系列,其代号表示方法与基本系列相同。

### (3) 变形系列

在实际工作中,有时用到优先数系的一些变形系列。

变形系列主要有三种:派生系列、移位系列和复合系列。

① 派生系列。为使优先数系具有更宽广的适用性,可以从基本系列或补充  $R_r$  系列中(其中  $r=5, 10, 20, 40, 80$ ),每隔  $p$  项取值导出系列,即从每相邻的连续  $p$  项中取一项形成的等比系列叫派生系列。派生系列的代号表示方法为:

a. 系列无限定范围时,应指明系列中含有的一个项值,但是如果系列中含有项值 1,可简写为  $R_{r/p}$ 。例如,  $R_{20/3}(\Lambda 80\Lambda)$  表示含有项值 80 并向两端无限延伸的派生系列,  $R_{10/3}$  表示系列为  $\dots, 1, 2, 4, 8, 16, \dots$ 。

b. 系列有限定范围时,应注明界限值,例如,  $R_{20/4}(112\Lambda)$  表示以 112 为下限的派生系列,  $R_{40/5}(\Lambda 60)$  表示以 60 为上限的派生系列;  $R_5/2(1\Lambda 10\ 000)$  表示以 1 为下限和 10 000 为上限的派生系列。

派生系列的公比为  $q_{r/p} = q_r^p = (\sqrt[p]{10})^p = 10^{p/r}$

例如,派生系列  $R_{10/3}$  的公比  $q_{10/3} = 10^{3/10} \approx 2$ ,可形成三个不同项值的系列:① 1.00, 2.00, 4.00, 8.00,  $\dots$ ;② 1.25, 2.50, 5.00, 10.00,  $\dots$ ;③ 1.60, 3.15, 6.30, 12.50,  $\dots$ 。

由此可见,比值  $r/p$  相等的派生系列具有相同的公比,但其项值彼此不同。

② 移位系列。移位系列也是一种派生系列,它的公比与某一基本系列相同、但项值与该基本系列不同。例如,项值从 25.8 开始的  $R_{80/8}$  系列,是项值从 25.0 开始的  $R_{10}$  系列的移位系列。

③ 复合系列。它是指几个公比不同的系列组合而成的变形系列,或以某一系列为主,从中删去个别数值,而加邻近系列的数值形成的系列。例如,10, 16, 25, 35.5, 47.5, 63.80, 80, 100 即为一复合系列。其中,10, 16, 25 为  $R_5$  系列;25, 35.5 为  $R_{20/3}$  系列;35.5, 47.5, 63 为  $R_{40/5}$  系列;63, 80, 100 为  $R_{10}$  系列。

## 2. 优先数(preferred numbers)

优先数系的五个系列( $R_5, R_{10}, R_{20}, R_{40}$  和  $R_{80}$ )中任一个项值均称为优先数,根据其取值的精确程度,数值可分为以下四种。

### (1) 优先数的理论值

理论值即理论等比数列的项值。如  $R_5$  理论等比数列的项值有  $1, \sqrt[5]{10}, (\sqrt[5]{10})^2, (\sqrt[5]{10})^3, (\sqrt[5]{10})^4, 10$  等。理论值一般是无理数,不便于实际应用。

### (2) 优先数的计算值

计算值是对理论值取五位有效数字的近似值,同理论值相比,其相对误差小于  $1/(2 \times 10^4)$ ,供精确计算用。如 1.60 的计算值为 1.584 9。

### (3) 优先数的常用值

优先数的常用值即通常所称的优先数,取三位有效数字进行圆整后规定的数值,是经常使用的,见表 1.1 所示。

### (4) 优先数的化整值

化整值是对基本系列中的常用数值作进一步圆整后所得的值,一般取两位有效数

字,供特殊情况用。如 1.12 的化整值为 1.1,6.3 的化整值为 6.0 等。

### 3. 优先数系的选用规则

优先数系应用广泛,它适用于各种尺寸、参数的系列化和质量指标的分级,对保证各种工业产品的品种、规格、系列的合理化分档和协调配套具有十分重要的意义。

选用基本系列时,应遵守“先疏后密”的规则,即选择的优先顺序是 R5, R10, R20, R40。只有在基本系列不能满足要求时,才采用公比不同,由几段组成的复合系列;如果基本系列中没有合适的公比,也可用派生系列,并尽可能选用包含有项值 1 的派生系列。对于复合系列和派生系列,也应按“先疏后密”的顺序选用。

优先数系中包含有各种不同公比的系列,因而可以满足各种较密和较疏的分级要求。优先数系以其广泛的适用性,成为国际上通用的标准化数系。工程技术人员应在一切标准化领域中尽可能地采用优先数系,以达到对各种技术参数协调、简化和统一的目的,促进国民经济更快、更稳地发展。

## 1.3 检测技术的发展

为了实现互换性生产,检测(检验和测量)技术是保证机械零部件精度的重要手段,也是贯彻执行几何量公差标准的技术保证。检测技术的水平在一定程度上反映了机械加工精度水平。从机械发展历史来看,几何量检测技术发展是和机械加工精度的提高相互依存、相互促进的。根据国际计量大会的统计,机械零件加工精度大约每十年提高一个数量级,这都是由于检测技术不断发展的缘故。例如,1940 年由于有了机械式比较仪,使机械加工精度水平从过去的  $3\ \mu\text{m}$  提高到  $1.5\ \mu\text{m}$ ;到了 1950 年,有了光学比较仪,使加工精度提高到  $0.2\ \mu\text{m}$ ;到了 1960 年,有了圆度仪,使加工精度提高到  $0.1\ \mu\text{m}$ ;到了 1969 年,由于出现了激光干涉仪,使加工精度提高到  $0.01\ \mu\text{m}$  水平。

在我国悠久的历史上,很早就有关于几何量检测的记载。秦朝就已经统一了度量衡制度,西汉已有了铜制卡尺。但长期的封建统治使科学技术未能进一步发展,检测技术和计量器具一直处于落后的状态,直到 1949 年新中国成立后才扭转了这种局面。

1959 年国务院发布了《关于计量制度的命令》,统一了全国计量制度,以后还颁布了多个几何量公差标准。1977 年国务院发布了《中华人民共和国计量管理条例》,1984 年国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》,1985 年全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国计量法》。这些对于我国采用国际米制作为长度计量单位,健全各级计量机构和长度量值传递系统,保证全国计量单位统一和量值准确可靠,促进我国社会主义现代化建设和科学技术的发展具有特别重要的意义。

随着现代化工业生产的发展,在建立和加强计量制度的同时,我国的检测仪器也有了较大的发展,现在已拥有一批骨干检测仪器制造厂,生产了许多品种的精密仪器,如万能工具显微镜、万能渐开线检查仪、半自动齿距检查仪等。此外,还研制出一些达到世界先进水平的量仪,如坐标测量机、激光光电比较仪、光栅式齿轮整体误差测量仪等。目前机械加工精度已达到纳米级,而相应的检测技术也已向纳米级不断地发展。

## 1.4 本课程的研究对象和任务

本课程是高等院校机械类及近机械类各专业必修的技术基础课程。精度设计包含几何量公差和误差检测两大方面的内容,把标准化和计量学两个领域的有关部分有机地结合在一起,与机械设计、机械制造、质量控制等多方面密切相关,是机械工程技术人员和管理人员必备的基本知识和技能。

本课程的研究对象是几何参数的互换性,即研究如何通过规定公差合理地解决机器或零部件的使用要求与制造要求之间的矛盾以及如何运用技术测量手段保证国家公差标准的贯彻实施。

通过本课程的学习,学生应能掌握标准化、互换性的基本概念及与精度设计有关的基本术语和定义;基本掌握本课程中机械精度设计标准的主要内容、特点和应用原则;初步学会根据机器或仪器零件的使用要求,正确设计几何量公差并正确地标注在图样上;熟悉各种典型的几何量检测方法,初步学会使用常用的计量器具。

总之,本课程的任务是使学生获得机械精度设计的基本理论、基本知识和基本技能,了解互换性和测量技术学科的现状和发展。

### 本章小结

本章介绍了互换性概念、分类及其在机械制造中的作用;介绍了标准化定义、优先数系和优先数的定义、特点及其应用;介绍了几何量测量与检测的意义。

互换性是现代化生产的重要原则,互换性在机械设计、制造、使用、维修等方面都起着很大的作用。互换性只有通过标准化才能实现。制定和贯彻公差标准、采用相应的技术测量措施是实现互换性的必要条件。标准化是一门科学,涉及面广,在精度设计学科方面最直接应用的是标准化的优先数系,在各章中均会用到。掌握好优先数系的实质和概念,对今后的技术工作是有益的。

### 习题与思考

1. 什么叫互换性,它在机械制造中有何作用?
2. 完全互换性与不完全互换性有什么区别,各用于什么场合?
3. 什么叫标准化,它和互换性有何关系?标准应如何分类?
4. 什么叫优先数系,有何特点?
5. 优先数的基本系列有哪些,公比如何?变形系列有几种?派生系列是怎样形成的?
6. 试写出下列基本系列和派生系列中自1以后共5个优先数的常用值:R10, R10/2, R20/3, R5/3。
7. 试写出R10优先数系从1~100的全部优先数(常用值)。
8. 普通螺纹公差自3级精度开始其公差等级系数为:0.50, 0.63, 0.80, 1.00, 1.25, 1.60, 2.00。试判断它们属于优先数系中的哪一种,其公比是多少?

## 第 2 章 测量技术基础

要实现互换性,除了合理地规定公差外,还需要在加工的过程中进行正确的测量与检验,只有通过测量和检验判定为合格的零件,才具有互换性。

### 2.1 概 述

#### 2.1.1 测量技术的基本要求

机械制造中的测量技术主要研究对零件几何参数进行测量和检验的问题。测量技术的基本要求是:保证测量精度、效率要高、成本要低、避免废品产生。

#### 2.1.2 测量、检验和检定

##### 1. 测量(measuring)

机器或仪器的零部件加工后是否符合设计图样的技术要求,需要经过测量来判定。

测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程,即测量是将被测量与测量单位或标准量在数值上进行比较,从而确定二者比值的过程。若以  $x$  表示被测量,以  $E$  表示测量单位或标准量,以  $q$  表示测量值,则有

$$q = x/E \quad (2.1)$$

显然,被测量的量值  $x$  等于测量单位  $E$  与测量值  $q$  的乘积,即  $x = qE$ 。

##### 2. 测量的四个要素

任何一个测量过程必须有被测的对象和所采用的计量单位。此外,还有怎样进行测量和测量的准确程度如何的问题,这样,一个完整的几何量测量过程应包括以下四个要素。

##### (1) 被测对象

本课程研究的被测对象是几何量,包括长度、角度、表面粗糙度以及单键和花键、螺纹和齿轮等典型零件的各个几何参数的测量。

##### (2) 计量单位

为保证测量的正确性,必须保证测量过程中单位的统一,我国以国际单位制为基准确定了法定计量单位。在我国规定的法定计量单位中,长度单位为米(m),平面角的角度单位为弧度(rad)及度( $^{\circ}$ )、分(')、秒(")。

在机械制造中,常用的长度单位为毫米(mm);常用的角度单位为弧度、微弧度( $\mu\text{rad}$ )及度、分、秒。在几何量精密及超精密测量中,常用的长度单位为微米( $\mu\text{m}$ )和纳米(nm)。

长度及角度单位的换算关系为

$$1 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ mm}, 1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}, 1 \mu\text{rad} = 10^{-6} \text{ rad}$$

$$1^{\circ} = 0.017\ 453\ \text{rad}, 1^{\circ} = 60', 1' = 60''$$

### (3) 测量方法

测量方法是指进行测量时所采用的测量原理、测量器具(计量器具)和测量条件(环境和操作者)的综合,亦即获得测量结果的方式。测量方法是根据一定的测量原理,在实施测量过程中对测量原理的运用及其实际操作。例如,用千分尺测量轴径是直接测量法,用正弦尺测量圆锥体的圆锥角是间接测量法。

### (4) 测量精度

测量精度指测量结果与真值的一致程度,用来表示测量结果的可靠程度。测量精度的高低用测量极限误差或测量不确定度表示。完整的测量结果应该包括测量值和测量极限误差,不考虑测量精度而得到的测量结果是没有任何意义的。

## 3. 检验和检定

在测量技术领域和技术监督工作中,还经常用到检验和检定两个术语。

检验是判断被检对象是否合格。可以用通用计量器具进行测量,将测量值与给定值进行比较,并得出合格与否的结论,也可以用量规、样板等专用定值量具来判断被检对象的合格性。

检定是指为评定计量器具的精度指标是否合乎该计量器具的检定规程的全部过程。例如,用量块来检定千分尺的精度指标等。

## 4. 检测(检验和测量)的一般步骤

### (1) 确定被检测项目

认真审阅被测件图纸及有关的技术资料,了解被测件的用途,熟悉各项技术要求明确需要检测的项目。

### (2) 设计检测方案

根据检测项目的性质、具体要求、结构特点、批量大小、检测设备状况、检测环境及检测人员的能力等多种因素,设计一个能满足检测精度要求且具有低成本、高效率的检测预案。

### (3) 选择检测器具

按照规范要求选择适当的检测器具,设计、制造专用的检测器具和辅助工具,并进行必要的误差分析。

## 2.2 量值传递系统

量值传递就是将国家基准(标准)所复现的计量单位量值,通过计量标准逐级传递到工作计量器具,以保证被测对象所测量值的准确一致。传递一般是自上而下、由高等级向低等级进行。

量值传递是统一计量器具量值的重要手段,是保证计量结果准确可靠的基础。量值系统的建立和执行,保证了国家计量行政机关自上而下的对量值进行合理的统一控制。企业要确保产品质量,增强市场竞争力,必须主动采取措施,保证量值的可靠。因此,在GB/T 9000“质量管理和质量保证”系列标准中,对企业的测量设备(器具)提出了“溯源性”的要求,即测量结果必须具有能与国家计量基准或国际计量基准相联系的特性。

所用计量器具要获得这一特性,就必须经过具有较高准确度的计量标准的检定,而该计量标准又需要受到上一级计量标准的检定,逐级往上溯源,直至国家计量基准或国际计量基准实现企业的量值在国际范围内的合理的统一。

### 2.2.1 长度尺寸基准和传递系统

目前,世界各国所使用的长度单位有米制(公制)和英制两种。在我国法定计量单位制中,长度的基本计量单位是米(m)。按1983年第十七届国际计量大会的决议,规定米的定义为:“1 m 是光在真空中,在  $1/299\,792\,458\text{ s}$  的时间间隔内的行程的长度。”国际计量大会推荐用稳频激光辐射来复现它,1985年3月起,我国用碘吸收稳频的  $0.633\ \mu\text{m}$  的氦氖激光辐射波长作为国家长度基准,其频率稳定度为  $1 \times 10^{-9}$ ,国际上少数国家已将频率稳定度提高到  $10^{-14}$ ,我国于20世纪90年代初采用单粒子存储技术,已将辐射频率稳定度提高到  $10^{-17}$  的水平。

在实际生产和科学研究中,不可能按照上述米的定义来测量零件尺寸,而是用各种计量器具进行测量。为了保证零件在国内、国际上具有互换性,必须保证量值的统一,因而必须建立一套从长度的最高基准到被测零件的严密的尺寸传递系统,如图2.1所示。

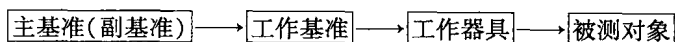


图 2.1 尺寸传递系统

主基准是指在一定范围内具有最高计量特性的基准。它又可分为由国际上承认的国际基准和由国家批准的国家基准。

副基准是指为了复现“米”,需建立副基准,它是通过直接或间接与国家基准对比而确定其量值并经过国家批准的基准。

工作基准是指经过与国家基准或副基准对比,用来检定较低准确度基准或检定工作器具用的计量器具。例如,量块、标准线纹尺等。

工作器具是指测量零件所用的计量器具。例如,各种千分尺、比较仪、测长仪等。

我国长度量值传递系统如图2.2所示,从最高基准谱线向下传递,有两个平等的系统,即端面量具(量块)和刻线量具(线纹尺)系统。其中尤以量块传递系统应用最广。

### 2.2.2 角度尺寸基准和传递系统

角度基准与长度基准有本质的区别。角度的自然基准是客观存在的,不需要建立,因为一个整圆所对应的圆心角是定值( $2\pi\text{ rad}$  或  $360^\circ$ )。因此,将整圆任意等分得到的角度的实际大小,可以通过各角度相互比较,利用圆周角的封闭性求出,实现对角度基准的复现。

为了检定和测量需要,仍然要建立角度量值基准以及角度量值的传递系统。以往,常以角度量块作基准,并以它进行角度的量值传递。近年来,随着角度计量要求的不断提高,出现了高精度的测角仪和多面棱体。

角度量值传递系统如图2.3所示。



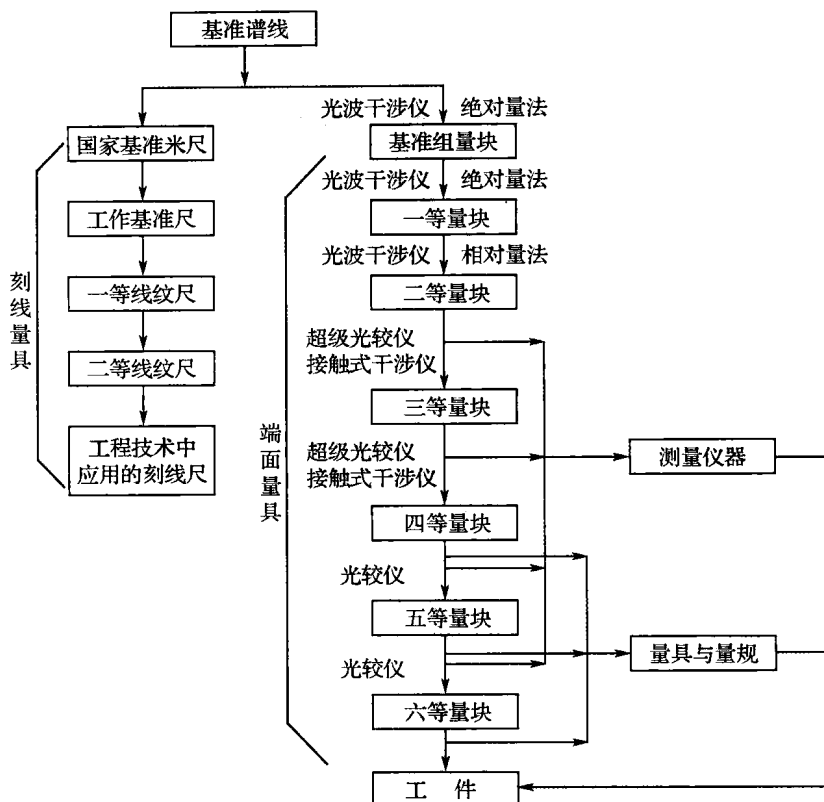


图 2.2 长度量值传递系统

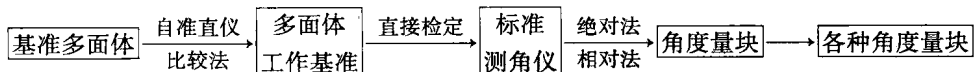


图 2.3 角度量值传递系统

### 2.2.3 定值的长度和角度基准

使用波长作为长度基准,虽然可以达到足够的精确度,但因对复现的条件有很高的要求,不便在生产中直接用于尺寸的测量。因此,需要将基准的量值按照定义的规定,复现在实物计量标准器上。常见的实物计量标准器有量块(块规)和线纹尺。

#### 1. 量块(gauge block)

量块是一种无刻度的标准端面量具,其制造材料为特殊合金钢,形状为长方六面体结构,六个平面中有两个相互平行的极为光滑平整的测量面,两测量面之间具有精确的工作尺寸,如图 2.4 所示。量块主要用作尺寸传递系统中的中间标准量具,或在相对法测量时作为标准件调整仪器的零位,也可以用它直接测量零件。

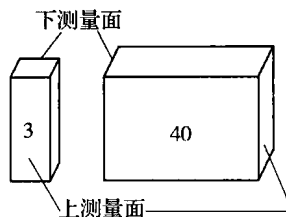


图 2.4 量块