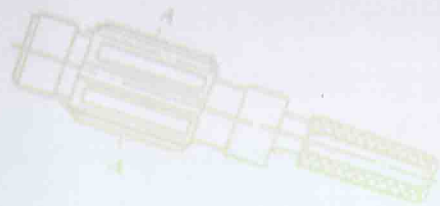


高等学校教材

# 几何量公差与测量技术

(第4版)

张 玉 刘 平 主编



$$B = X^T D$$

$$e_j = \sqrt{2 + a_j}$$



东北大学出版社  
Northeastern University Press

高等学校教材

# 几何量公差与测量技术

(第4版)

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 主 编 | 张 玉 | 刘 平 |
| 副主编 | 张 镭 | 魏 红 |

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 张 玉 刘 平 2014

## 图书在版编目 (CIP) 数据

几何量公差与测量技术/张玉, 刘平主编. — 4 版. — 沈阳: 东北大学出版社, 2014. 7  
ISBN 978-7-5517-0685-8

I. 几… II. ①张… ②刘… III. ①机械元件—尺寸公差—高等学校—教材 ②机械元件—  
测量—高等学校—教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 151940 号

## 内 容 提 要

本书是高校机械类和仪器类等各专业的技术基础课教材, 内容包括绪论、孔轴结合的  
极限与配合、几何量测量基础和测量新技术、几何公差与检测、表面粗糙度、光滑工件尺  
寸的检验与光滑极限量规、滚动轴承的公差与配合、螺纹的公差与配合、圆锥和角度的公  
差与检测、键和花键的公差与检测、圆柱齿轮传动的公差与检测、尺寸链等共 12 章。

本书全部采用我国公差、配合和检测新标准, 系统地介绍了各种标准的基本概念、基  
本原理及其应用, 概念阐述清楚, 难点分析深入。各章均配置了适量的思考题和习题, 以  
加深对所学内容的理解, 满足教学的需要。

本书可供普通高等院校机械类和仪器类各专业教学使用, 也可供广播电视大学、职工  
大学、夜大同类专业教学使用, 还可供从事机械设计、制造工艺、标准化和计量测试工作  
的工程技术人员学习和参考。

---

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http://www.neupress.com

印 刷 者: 抚顺光辉彩色广告印刷有限公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 18.75

字 数: 468 千字

出版时间: 1999 年 9 月第 1 版 2014 年 7 月第 4 版

印刷时间: 2014 年 7 月第 14 次印刷

组稿编辑: 任彦斌

责任编辑: 任彦斌

封面设计: 刘江旸

责任校对: 辛 思

责任出版: 唐敏智

---

定 价: 32.00 元

## 第4版前言

本书第4版根据相关的最新国家标准对原书内容进行了全面的修改。内容变动较多的章节有第2章、第3章、第4章和第5章，其余各章内容也做了必要的修订。在极限与配合国家标准（GB/T1800.1—2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 第1部分：公差、偏差和配合的基础》中对各类尺寸、间隙、过盈等并未规定相应的代号，为了教学的方便，本书仍沿用了原有的代号。

本书第4版由东北大学张玉、刘平任主编，东北大学张镭、沈阳航空航天大学魏红任副主编。参加编写的作者如下：第1章、第2章东北大学刘平，第3章东北大学张镭，第4章东北大学刘平、沈阳化工大学刘强，第5章东北大学陈立杰，第6章东北大学张镭，第7章沈阳航空航天大学张彦富，第8章沈阳理工大学何丽，第9章东北大学陈立杰，第10章沈阳航空航天大学张彦富，第11章沈阳航空航天大学魏红，第12章东北大学张镭、陈立杰。

编者谨向多年来关心和支持本书的人们表示衷心的感谢！

限于作者水平，书中错误和不妥之处在所难免，诚请读者批评指正。

编 者  
2014年4月

## 第1版前言

“几何量公差与测量技术”(又称“互换性与测量技术”)是高等院校机械类和仪器类各专业的一门重要的技术基础课。

机械设计时的精度设计以及机械加工过程中和加工后的测量和检验,是保证机械产品质量的两个重要的技术环节。本课程的任务是传授机械零部件精度设计的原则和方法,以及作为机械产品质量技术保证的测量和检验技术。

随着科学技术的发展,国家标准也不断更新、修订。为了使学生学到最新的知识,本书全部采用最新的国家标准。

考虑到本课程的教学实验有实验指导书,本书不再重复常用计量器具的原理、结构和使用等内容,而编写了常用形位误差项目计算机辅助测量方面的部分内容,以利于培养学生利用现代的测量方法和技术解决较复杂的测量问题的能力。这部分内容也可直接应用于生产实际。

为了满足教学和自学的需要,巩固和加深理解,本书在各章后提供了适量的思考题和习题。

本书由东北大学张玉、刘平主编,沈阳航空工业学院魏红任副主编。本书参加写作的作者如下:第1章东北大学张玉,第2章东北大学刘平、辽宁省交通高等专科学校关醒权,第3章东北大学张玉、沈阳广播电视大学王家纯,第4章东北大学刘平、沈阳工业学院华雷,第5章沈阳航空工业学院魏红,第6章东北大学张镭、辽阳高等师范专科学校王瑞,第7章沈阳航空工业学院赵玉华,第8章沈阳工业学院金文鹏,第9章东北大学胡新生,第10章沈阳建工学院兰利洁,第11章沈阳航空工业学院魏红,第12章东北大学张镭;沈阳化工学院刘强参加了第7、8章的编写与修改。

大连理工大学陈隆德教授、东北大学李纯甫教授和张庆云教授审阅了本书并提出了宝贵的意见,中国标准出版社吴建伟主任协助核查文献。在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平,书中难免有不妥和错误之处,诚望读者批评指正。

编 者  
1999年5月

# 目 录

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第1章 绪 论 .....            | 1   |
| 1.1 互换性概述 .....          | 1   |
| 1.2 标准化与测量技术简介 .....     | 2   |
| 1.3 优先数和优先数系 .....       | 4   |
| 1.4 本课程的性质和任务 .....      | 5   |
| 1.5 本课程的特点与学习方法 .....    | 6   |
| 思考题 .....                | 7   |
| 习 题 .....                | 7   |
| 第2章 孔、轴结合的极限与配合 .....    | 8   |
| 2.1 基本术语和定义 .....        | 8   |
| 2.2 极限与配合国家标准 .....      | 18  |
| 2.3 极限与配合的选择 .....       | 38  |
| 2.4 一般公差 .....           | 47  |
| 思考题 .....                | 49  |
| 习 题 .....                | 49  |
| 第3章 几何量测量基础和测量新技术 .....  | 52  |
| 3.1 概 述 .....            | 52  |
| 3.2 长度量值的传递 .....        | 53  |
| 3.3 计量器具和测量方法 .....      | 55  |
| 3.4 测量误差和数据处理 .....      | 58  |
| 3.5 测量不确定度 .....         | 62  |
| 3.6 形位误差的计算机辅助精密测量 ..... | 69  |
| 思考题 .....                | 82  |
| 习 题 .....                | 82  |
| 第4章 几何公差与检测 .....        | 84  |
| 4.1 概 述 .....            | 84  |
| 4.2 几何公差的标注方法 .....      | 87  |
| 4.3 形状公差带 .....          | 91  |
| 4.4 方向公差带 .....          | 94  |
| 4.5 位置公差带 .....          | 100 |
| 4.6 跳动公差带 .....          | 106 |
| 4.7 基准要素 .....           | 109 |
| 4.8 形位公差及其评定 .....       | 109 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 4.9 公差原则 .....                    | 114        |
| 4.10 几何公差的选择 .....                | 127        |
| 思考题 .....                         | 134        |
| 习 题 .....                         | 135        |
| <b>第5章 表面粗糙度 .....</b>            | <b>138</b> |
| 5.1 概 述 .....                     | 138        |
| 5.2 表面粗糙度的评定 .....                | 139        |
| 5.3 表面粗糙度的参数值及其选用 .....           | 143        |
| 5.4 表面粗糙度在零件图上的标注 .....           | 147        |
| 5.5 表面粗糙度测量方法简述 .....             | 152        |
| 思考题 .....                         | 152        |
| 习 题 .....                         | 152        |
| <b>第6章 光滑工件尺寸的检验与光滑极限量规 .....</b> | <b>154</b> |
| 6.1 概 述 .....                     | 154        |
| 6.2 光滑工件尺寸的检验 .....               | 154        |
| 6.3 光滑极限量规 .....                  | 161        |
| 思考题 .....                         | 169        |
| 习 题 .....                         | 169        |
| <b>第7章 滚动轴承的公差与配合 .....</b>       | <b>171</b> |
| 7.1 概 述 .....                     | 171        |
| 7.2 滚动轴承公差与配合 .....               | 172        |
| 7.3 滚动轴承配合的选择 .....               | 174        |
| 7.4 轴颈和外壳孔的其他技术要求 .....           | 180        |
| 思考题 .....                         | 182        |
| 习 题 .....                         | 183        |
| <b>第8章 普通螺纹公差 .....</b>           | <b>184</b> |
| 8.1 概 述 .....                     | 184        |
| 8.2 螺纹的几何参数偏差对螺纹互换性的影响 .....      | 186        |
| 8.3 普通螺纹的公差 .....                 | 188        |
| 8.4 机床丝杠和螺母的精度 .....              | 194        |
| 8.5 滚珠丝杠的精度 .....                 | 198        |
| 8.6 普通螺纹的检测 .....                 | 199        |
| 思考题 .....                         | 200        |
| 习 题 .....                         | 200        |
| <b>第9章 圆锥和角度的公差与检测 .....</b>      | <b>202</b> |
| 9.1 圆锥与圆锥公差 .....                 | 202        |
| 9.2 角度与角度公差 .....                 | 213        |
| 9.3 一般公差未注公差角度的极限偏差 .....         | 215        |
| 9.4 锥度和角度的检测 .....                | 216        |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 思考题 .....                        | 220        |
| 习 题 .....                        | 220        |
| <b>第 10 章 键和花键的公差与检测 .....</b>   | <b>222</b> |
| 10.1 平键联接的公差与配合 .....            | 222        |
| 10.2 矩形花键联接的公差与配合 .....          | 225        |
| 10.3 键和花键的检测 .....               | 229        |
| 思考题 .....                        | 231        |
| 习 题 .....                        | 231        |
| <b>第 11 章 圆柱齿轮传动的精度与检测 .....</b> | <b>232</b> |
| 11.1 概 述 .....                   | 232        |
| 11.2 影响齿轮传动精度的因素及检验参数 .....      | 234        |
| 11.3 齿轮副和齿轮坯的精度 .....            | 256        |
| 11.4 圆柱齿轮精度标准及偏差允许值 .....        | 259        |
| 11.5 圆柱齿轮的精度设计 .....             | 262        |
| 思考题 .....                        | 267        |
| 习 题 .....                        | 268        |
| <b>第 12 章 尺寸链 .....</b>          | <b>269</b> |
| 12.1 概 述 .....                   | 269        |
| 12.2 尺寸链的概念与术语 .....             | 269        |
| 12.3 尺寸链的计算方法 .....              | 274        |
| 12.4 达到封闭环公差要求的方法 .....          | 282        |
| 思考题 .....                        | 283        |
| 习 题 .....                        | 284        |
| <b>附 录 综合练习大作业 .....</b>         | <b>285</b> |
| <b>参考文献 .....</b>                | <b>287</b> |



# 第1章 绪论

## 1.1 互换性概述

### 1.1.1 互换性及其作用

日常生活中涉及互换性的事例是很多的。例如,灯泡坏了,买一个新的换上,就可以继续照明;自行车、手表上的某个零件损坏了,买一个相同规格的新零件替换后,又可正常使用。

工业生产中互换性的例子就更多了。无论是大量生产的汽车、拖拉机、滚动轴承等产品,还是成批生产的金属切削机床等产品,都是按照互换性原则组织生产和装配的。

机械制造中的互换性,是指按照规定的几何、物理和机械性能等参数的公差,分别制造零部件,在装配成机器或更换损坏的零件时,不经选择和修配,就能满足使用要求,零部件的这种性能称为互换性。

零部件的互换性,既包括几何参数的互换性,又包括物理、机械性能参数的互换性。

零件的尺寸、形状、位置和表面粗糙度等统称为几何参数;而强度、刚度和硬度等则属于物理、机械性能参数。

本课程仅研究几何参数的互换性。

在制造零件的过程中,误差是不可避免的,因此不可能将零件制造得绝对准确。从满足零件的互换性要求和机器的使用性能出发,也不要求将零件制造得绝对准确,只要将零件的几何参数误差控制在一定的范围内就可以了。

零件几何参数的允许变动量称为几何量公差。

零件的几何参数误差,对机器和仪器的性能有很大影响。且零件的制造误差与零件的制造成本密切相关:制造误差越小,制造成本越高。因此,在设计机械产品的过程中,应按照经济地满足产品使用性能要求的原则,对机械产品中的各个零件进行几何精度设计,即对每个零件规定适宜的几何量公差。

互换性在现代化工业生产中起着十分重要的作用。遵循互换性原则进行设计工作,可以最大限度地采用标准化和通用化的零部件,从而大大减少计算和绘图工作量,加快设计进度,同时也有助于采用现代的计算机辅助设计。按照互换性原则设计的零件,是将各种零部件分散在不同工厂、不同车间,进行高效、自动化生产的前提条件。在装配成机器时,对相同规格的零部件,无需进行挑选和辅助加工,可大幅度地提高装配效率,也为实现装配过程的机械化和自动化创造了条件,从而可减轻装配工人的劳动强度,进一步提高劳动生产率。零部件的互换性不但可以减少修理机器的时间和费用,而且提高了机器的利用率。总之,互换性已成为现代化工业生产广泛遵守的一项原则,在保证产品质量、增加经济效益方面,都具有十分重要的意义。

### 1.1.2 互换性的种类

按照互换性的程度,可以将互换性分为完全互换(也称为绝对互换)和不完全互换(也称

为有限互换)。

若零部件在装配或更换时,不需选择与修配,就能满足使用要求,则其互换性称为完全互换性。当装配精度很高,采用完全互换,就要求零件的制造公差很小,从而造成加工困难,制造成本也显著增加。这时,可将零件的制造公差放大,以便于加工。对于加工后的零件,通过测量,将零件按照提取要素的局部尺寸的大小,分成若干组,使各组内零件间提取要素的局部尺寸的差别变小,再按照对应组进行装配。这样既保证了预定的装配精度,又解决了加工困难,也不会过多地增加成本。这种组内零件具有互换性,而组与组之间零件不具备互换性,就属于不完全互换性。例如,滚动轴承是标准化部件,其外圈外径和机座孔直径的配合尺寸及内圈内径和轴颈直径的配合尺寸均采用完全互换,而内、外圈滚道的直径与滚动体直径的结合尺寸,因其装配精度要求很高,采用的是不完全互换。

对于标准化部件或机构,其互换性又可分为外互换与内互换。外互换是指标准化部件或机构与其相配合的零件间的互换性。例如,滚动轴承内圈内径与轴径的配合尺寸采用的是外互换。内互换是指标准化部件或机构内部各零件间的互换性。例如,滚动轴承内、外圈的滚道直径与滚动体直径的结合尺寸采用的是内互换。

通常,不完全互换仅限于部件或机构的制造厂内部使用。而标准化零部件与其他零部件的装配尺寸和厂际间的协作件等,应采用完全互换。

## 1.2 标准化与测量技术简介

### 1.2.1 标准化

标准化是指在经济、技术、科学和管理等社会实践中,对重复性事物和概念,通过制定发布和实施标准达到统一,以获得最佳秩序和社会效益的做法。标准化不是一个孤立的概念,而是包括制定、发布和贯彻实施标准的全部活动过程。其中,贯彻实施标准是标准化的核心。同时,标准化也是一个通过修订标准,向更深层次不断发展、不断完善和不断提高的活动过程。

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前提,是科学管理的重要组成部分。标准化也是联系科研、设计、生产、流通和使用等环节的纽带,是整个社会经济活动合理化的技术基础。标准化又是发展对外贸易,搞好国际间的技术交流,提高产品在国际市场上竞争力的技术保证。因此,做好标准化工作,对于节约原材料、减少浪费、提高产品质量、搞好环境保护、保证安全生产、保护消费者合法权益等诸多方面都有重要作用。

标准化的领域十分广泛。目前世界标准化的重点领域是工业生产。标准化主要是以技术标准的形式来体现的。技术标准种类繁多,大体上可分为基础标准、零部件标准、产品标准、原材料及毛坯标准、工艺及工艺装备标准、方法标准、安全和环境保护标准等。基础标准是指在一定范围内作为其他标准的基础而被普遍使用,且具有广泛指导意义的标准。例如,计量单位、优先数系、机械制图、极限与配合、几何公差、表面粗糙度等标准。

世界各国的经济发展过程表明,标准化是实现国民经济现代化的一种重要手段,也是反映现代化水平的一项重要标志。现代化的程度越高,对标准化的要求也越高。近二十几年来,国际标准化工作有了重大进展,其最大的特点是标准的国际化。国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)所制定的标准,数量增加很多,质量也有了很大提高。大部分国际标准集中了许多国家的经验和科学技术的最新成果。所以,国际标准一般被公认为代表先进技术水平

的国际协议。为了便于国际贸易和国际间技术交流并从中受益,许多国家参照国际标准来制定本国的国家标准,有些国家则完全采用国际标准。

在机械制造业,为了实现互换性生产,必须使分散的、局部的生产部门和生产环节之间在技术上保证必要的统一,以形成一个统一的整体。而标准化正是现代化生产中建立这种关系的重要技术手段,因此标准化是实现互换性生产的技术基础。

为了保证机械零件几何参数的互换性,就必须认真贯彻执行统一的互换性标准,其中包括极限与配合、几何公差、表面粗糙度、各种主要连接件和传动件的公差与配合标准等。这些标准是通过保证零件的制造公差的办法来保证零部件的互换性的。学习这些技术标准的构成并研究它们的应用,是本课程的主要内容之一。

### 1.2.2 测量技术

正确的精度设计(公差设计)仅仅为生产出满足一定使用性能要求的机器和仪器提供了可能性。完成设计工作后,还需采用适当的加工设备、刀具、工艺方法和工具进行制造与装配。因此,产品质量的好坏与设计、制造及装配的优劣密切相关。但零件、部件、机器和仪器是否达到了设计要求,还必须通过测量和检验。只有经过测量和检验后合格(符合设计要求)的零件才具有互换性,才能装配成满足设计要求的產品。可见,测量技术是现代化生产中必不可少的技术手段,是实现互换性生产的技术保证。

必须指出,由于零件的几何参数公差都是一些微小量,单凭人的感观难以辨别加工中的零件是否已达到设计要求。因此,在制造零件的过程中,自始至终都离不开测量与检验这一环节。为了保证产品质量,对完工零件进行测量和检验,判断被测零件是否符合设计要求,当然是十分重要的。但是,测量的目的不仅仅是为了判断零件合格与否,准确、真实的测量又可为寻找产生误差的原因提供可靠的定量信息,以便采取有针对性的工艺措施,消除废品和进一步提高产品质量。

有一段时间,在一些媒介中,一些人常常片面地引用日本人讲的一句话:“质量是制造出来的,不是检查出来的。”这句话的原意在于强调在制造过程中就要十分重视质量,等到经过测量或检验发现完工零件不合格,则为时已晚。但就是这个日本人,在讲上面这句话时,又强调了测量和检验对保证产品质量的重要性。上述那种只片面引用一句话的做法,极易使人们误认为测量与检验对产品质量无足轻重,这是不妥当的。尽人皆知,在制造哪怕是不太精密的零件的过程中,也离不开游标卡尺、千分尺和千分表等常用的计量器具。著名科学家钱学森曾一再强调:哪一门工业如果搞不好标准、计量和可靠性工作,那一门工业的现代化就搞不好。而精度作为性能可靠性,是可靠性的一项重要内容。

测量技术包括测量和检验,是一个广泛的概念。本课程主要研究零件几何参数的测量和检验,其中包括长度、角度、几何形状、相互位置和表面粗糙度等的测量与检验。测量的特点是可以获得被测几何参数的具体数值;而检验则只能确定被测几何参数是否合格,不能得到具体的数值。

生产和科学技术的发展,要求测量技术不断发展,而测量技术的发展又促进了生产和科学技术的进步,这就是它们之间的辩证关系。

在科学技术迅猛发展和生产水平迅速提高的今天,测量技术已成为各行各业不可缺少的重要技术手段。测量技术已发展成多学科综合、知识密集的高新技术,并以其显著的社会效益和经济效益,在工农业生产、国防建设和科学技术的各个领域起着十分重要的作用。

在机械制造业中,机械加工,特别是精密机械加工和超精密机械加工,要求精密测量技术与之相适应。无论是生产一般机械设备和仪器,还是生产机电一体化的高新机械设备和仪器,为了确保产品的质量,无不要求相应水平的测量设备和仪器作为基础。生产和科学技术与测量技术之间既相互依赖、相互促进,又相互制约。在某种意义上,测量技术水平标志着一个国家的科学技术和生产水平,因此,测量技术的研究和发展受到世界各国的普遍重视。

研究几何参数的测量原理、测量方法和测量数据的处理方法,并通过亲自动手做实验,学习常用计量器具和计量仪器的结构原理与正确使用的方法,是本课程的又一主要内容。

### 1.3 优先数和优先数系

在产品设计中,需要确定许多技术参数。即使同一类产品的同一技术参数,也需要取不同的数值,以形成不同规格的产品系列,来满足不同情况下的使用要求。这个产品系列确定得是否合理,与这些技术参数的数值如何选择密切相关。同时,当选定一个数值作为某个产品的参数指标之后,这个数值就会按照一定的规律,向一切相关的材料和制品的有关参数指标传播。例如,一旦选定普通内螺纹大径的尺寸后,与其相关的攻丝前钻孔用的钻头直径、加工螺纹所用的丝锥的尺寸、检验该螺纹孔所用的螺纹塞规的尺寸等,也随之被确定下来。由于某些产品的技术参数相互关联,如果这些技术参数取值不合理,必将给生产的组织管理、协作配套和设备维修等带来很大困难。为了既能满足用户对产品的多种需要,又能简化生产、节约原材料、降低成本,必须对产品的技术参数进行合理的简化和统一。优先数和优先数系正是进行这种简化和统一的一种科学的数值制度。

国家标准 GB/T 321—2005 中规定的优先数系是由公比为  $\sqrt[5]{10}$ ,  $\sqrt[10]{10}$ ,  $\sqrt[20]{10}$ ,  $\sqrt[40]{10}$ ,  $\sqrt[80]{10}$ , 且项值中含有 10 的整数幂的等比数列导出的一组近似的等比数列。根据公比不同,各数列分别用 R5, R10, R20, R40, R80 来表示,并依次称为 R5 系列, R10 系列, R20 系列, R40 系列, R80 系列。这 5 种优先数系的公比分别为:

$$\text{R5 系列 } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.5849 \approx 1.60;$$

$$\text{R10 系列 } q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.2589 \approx 1.25;$$

$$\text{R20 系列 } q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.1220 \approx 1.12;$$

$$\text{R40 系列 } q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.0593 \approx 1.06;$$

$$\text{R80 系列 } q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.0293 \approx 1.03。$$

R5, R10, R20, R40 系列是常用系列,称为基本系列;R80 系列为补充系列。R5 系列的项值包含在 R10 系列之中, R10 系列的项值包含在 R20 系列之中, R20 系列的项值包含在 R40 系列之中, R40 系列的项值包含在 R80 系列之中。

为使优先数系有更大的适应性,可从基本系列中每隔几项选取一个优先数,组成一个新的系列,这种新的系列称为派生系列。例如,派生系列 R10/2,就是从基本系列 R10 中每逢两项(每隔一项)取出一个优先数组成的。当首项为 1 时, R10/2 系列为:1.00, 1.60, 2.50, 6.30, 10.00, …。派生系列 R10/3 是常用的派生系列,它是从基本系列 R10 中每逢 3 项取出一个优先数组成的。当首项为 1 时, R10/3 系列为:1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00, …。

各基本系列中优先数的常用值列于表 1-1。

表 1-1

基本系列(摘自 GB/T 321—2005)

|     |               |               |               |                      |               |               |               |              |
|-----|---------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| R5  | 1. 00         |               |               | 1. 60                |               |               |               |              |
| R10 | 1. 00         |               | 1. 25         |                      | 1. 60         |               | 2. 00         |              |
| R20 | 1. 00         | 1. 12         | 1. 25         | 1. 40                | 1. 60         | 1. 80         | 2. 00         | 2. 24        |
| 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 |
| R5  | 2. 50         |               |               | 4. 00                |               |               |               |              |
| R10 | 2. 50         |               | 3. 15         |                      | 4. 00         |               | 5. 00         |              |
| R20 | 2. 50         | 2. 80         | 3. 15         | 3. 55                | 4. 00         | 4. 50         | 5. 00         | 5. 60        |
| R40 | 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 |
| R5  | 6. 30         |               |               | 10. 00               |               |               |               |              |
| R10 | 6. 30         |               | 8. 00         |                      | 10. 00        |               |               |              |
| R20 | 6. 30         | 7. 10         | 8. 00         | 9. 00                | 10. 00        |               |               |              |
| R40 | 6. 30, 6. 70, | 7. 10, 7. 50, | 8. 00, 8. 50, | 9. 00, 9. 50, 10. 00 |               |               |               |              |

优先数系具有一系列的优点:相邻两项的相对差相同,疏密适当,前后衔接不间断,简单易记,运算方便,同一系列中任意几项的积、商以及任意项的整数幂仍是该系列中的一个优先数。因此,这种优先数系已成为国际上统一的标准数值制。

在标准的制定、零部件的设计、新产品的的设计、老产品的更新换代等方面,应尽可能地采用优先数系。

## 1.4 本课程的性质和任务

几何量公差与测量技术是高等工科院校机械类和仪器类各专业一门重要的技术基础课。在教学计划中,本课程是联系设计类课程和机械制造工艺类课程的纽带,是从基础课及其他技术基础课向专业课过渡的桥梁。

设计机器和仪器,除了总体方案设计、运动设计、结构设计、强度和刚度计算之外,还必须进行精度设计。对加工后的零件需要进行测量或检验,确定完工的零件是否符合设计时所规定的精度要求。由于组成机器和仪器的零部件的几何参数误差将直接影响机器和仪器的使用性能,因此只有在进行精度设计时,对零部件规定正确合理的几何参数公差,才有可能使所设计的机器和仪器达到预定的使用性能,而只有将经过测量或检验判定为符合设计要求的零部件装配成机器和仪器,才会使机器和仪器具有设计时所规定的使用性能。因此,精度设计以及测量和检验是保证产品质量的两个重要的技术环节。本课程的任务就是研究机器和仪器中零部件精度设计的原则和方法,以及作为产品质量技术保证的测量技术。

随着科学技术的迅速发展和生产水平的不断提高,人们对机械产品的质量提出了越来越高的要求。新的国家标准已相继颁布。迅速发展起来的计算机辅助精密测量技术和微机系统控制的精密测量仪器的研制成功,使得用传统的测量方法难以解决的许多测量问题较好地得到解决。为了以尽可能少的资金投入,生产出更多的高质量机械产品,以适应加速我国国民经济现代化进程的需要,学习、研究并掌握这些互换性与测量技术中的最新成果,不仅是高等工科院校有关师生的任务,而且是科研院所、厂矿企业中广大工程技术人员责任。

对高等工科院校有关专业的学生来说,学习完本课程,应掌握以下内容:

1) 对互换性、标准化和测量技术的概念与作用有比较清晰的了解;



2) 熟悉本课程所讲授的各个公差标准的基本内容,确切了解各个基本术语,能看懂并能正确绘制公差带图解和公差与配合图;

3) 知道各级公差的应用情况和各类配合的特点及应用范围,初步掌握选择公差与配合的原则和方法,能熟练地查阅公差表,并能将公差、配合正确地标注在图样上;

4) 掌握几何量测量的基本知识,了解几何量的常用测量方法和测量新技术,学会使用常用的计量器具,会设计光滑极限量规。

## 1.5 本课程的特点与学习方法

本课程由几何量公差与测量技术基础两部分组成。几何量公差部分主要介绍有关的公差标准,这些公差标准属于标准化范畴;而测量技术基础则属于计量学范畴。这两部分各有其独立的体系。本课程将互换性与测量技术基础有机地结合在一起,形成一门技术基础课,更是便于综合分析、研究保证和进一步提高机械产品质量所必须的两个重要的技术环节。

由于本课程术语定义多、符号代号多、具体规定多、叙述性内容多、经验总结和应用实例多,因此,对于刚刚学完数学和力学等系统性与推理性较强的基础理论课,初次接触本课程的学生来说,往往感到内容多、难记忆、容易听懂、不会应用。这就要求事先能对本课程的内容、特点和要求有较清晰的了解,在心理上做好充分准备。

公差标准作为技术上的法规,很注重其严密性,因此标准中的许多规定原则性较强;而机械产品种类繁多,性能各异,对构成不同机械产品的零部件的功能要求又千差万别,因此,在进行精度设计时,必然要求根据具体零部件的功能,对零件规定合适的公差,以经济合理地满足不同机械产品的不同使用性能的要求。一方面是标准规定的原则性,另一方面是使用要求的灵活性,这就决定了熟练地掌握公差与配合的选择并不是一件容易的事情。

尽管本课程涉及的公差标准、基本概念、基本术语很多,但都是以解决机械产品中各种零部件的几何精度设计问题为主线,介绍与光滑圆柱形零件及其他一些典型连接件、传动件的几何精度设计有关的术语和定义,介绍各种几何参数误差,并分析它们对零部件功能和机械产品使用性能的影响,论述零件几何精度设计的原则和方法。因此,在学习过程中,应始终注意弄清每个术语、定义的实质,切忌死记硬背。同时还应及时归纳总结、分析比较,掌握众多术语、定义之间的区别与联系。要认真地独立地完成作业,巩固并加深对所学内容的认识与理解,学习选择公差、配合的原则与方法,掌握公差、配合的正确标注方法。要严肃认真地做好实验,重视应用计算机这一先进的手段,培养解决复杂测量问题的能力,自觉加强基本技能的训练,养成理论联系实际、踏实刻苦的良好学风。

要做好机械零件的精度设计。对设计者来说,除了掌握各级公差的应用情况,各种配合的性质、特点和应用条件,能够正确分析零件的几何参数误差对机械产品使用性能的影响之外,还必须对所设计的机械产品的使用要求,零部件在该机械产品中的地位和作用,有比较透彻的了解,掌握足够的成功的精度设计的图样、资料,清楚地了解制造与装配零件所应采用的工艺装备、工艺方法,以及检测零件几何参数误差的方法和所需的检测手段等。因此,经济合理的精度设计过程是设计者综合运用诸多方面知识的过程。要求仅仅学完本课程的学生就能正确地进行零件的精度设计是不切实际的。学生还需要继续学习设计类和工艺类课程,并在后续课程的学习过程中,特别是在机械设计课程设计、专业课课程设计和毕业设计中,加深对本课

程所学内容的理解。而正确运用本课程所学知识,熟练地进行零件的精度设计,还需要经过毕业后实际工作的锻炼。

### 思考题

- 1-1 零件、部件具有什么性能才称它们具有互换性? 完全互换性与不完全互换性之间有什么区别?
- 1-2 在机械电子工业中,按照互换性原则组织生产有何优越性? 互换性是否只适于大批量生产?
- 1-3 举例说明互换性给人们日常生活所带来的方便。
- 1-4 何谓标准? 如何分类? 何谓标准化? 标准化的作用是什么?
- 1-5 何谓优先数系? 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?
- 1-6 如何理解互换性与标准化之间的关系?

### 习 题

- 1-1 按照优先数基本系列确定优先数:
  - ①第一个数为 10,按照 R5 系列确定后 5 项优先数;
  - ②第一个数为 100,按照 R10/3 系列确定后 3 项优先数。
- 1-2 试写出下列基本系列和派生系列中自 1 以后的 5 个优先数常用值: R10, R10/2, R20/3, R5/3 [提示:派生系列  $R_{r/p}$  的公比  $q_r/p = q_r^p = (\sqrt[p]{10})^p$ ]。
- 1-3 试写出家用灯泡 15 ~ 100W 的瓦数系列,并指出该系列的符号。

## 第2章 孔、轴结合的极限与配合

现代化的机械工业,要求机器零件具有互换性,从而有利于广泛地组织协作,进行高效率的专业化生产。为使零件具有互换性,必须保证零件的尺寸、几何形状、相互位置和表面粗糙度等技术要求的一致性。就尺寸而言,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个指定的尺寸,而只是要求这些零件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;又要在制造上是经济合理的。这样就形成了极限与配合的概念。

孔、轴类零件是机器中应用最广泛的零件。为满足它们的使用要求,保证互换性,与孔、轴尺寸精度有机联系的极限与配合应标准化。为此,国家制定了一系列相应的标准。

本章就上述标准的基本概念、基本原理及其应用进行阐述。

### 2.1 基本术语和定义

#### 2.1.1 有关几何要素的术语和定义

1) (几何)要素。指点、线或面的统称。

2) 尺寸要素。指由一定大小的线性尺寸或角度尺寸确定的几何形状。尺寸要素可以是圆柱形、球形、两平行对应面、圆锥形或楔形等。任何机械零件,就其几何特征而言,都是由若干尺寸要素所构成的,如图 2-1 所示。

3) 组成要素。指面或面上的线。例如,平面、球面、圆柱面、圆锥面、素线等都属于组成要素。组成要素是实有定义的。

4) 导出要素。指由一个或几个组成要素得到的中心点、中心线或中心面。例如球心是由球面得到的导出要素,该球面为组成要素;圆柱面的中心线(轴线)是由圆柱面得到的导出要素,该圆柱面为组成要素。

5) 公称要素。又分为以下两种。

① 公称组成要素。指由技术制图或其他方法确定的理论正确组成要素。如具有理想形状的直线、平面、圆、圆柱面等。

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、轴线或中心平面。

6) 实际(组成)要素。指由接近实际组成要素所限定的工件实际表面的组成要素部分。即实际零件上的线、表面等。

需要注意的是,没有实际导出要素的概念。

7) 提取要素。又分为以下两种。

① 提取组成要素。指按规定的方法,由实际组成要素提取有限数目的点所形成的实际组成要素的近似替代。它是通过测量得到的,由于存在测量误差,它并非实际组成要素的真实状

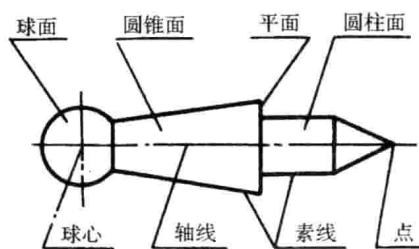


图 2-1 尺寸要素



况。获得提取组成要素时,所采用的替代方法由要素的功能要求确定。每个实际组成要素可以有几个这种替代。

②提取导出要素。指由一个或几个提取组成要素得到的中心点、中心线或中心面。为方便起见,提取圆柱面的导出中心线称为提取中心线;两相对提取平面的导出中心面称为提取中心面。

8)拟合要素。又分为以下两种。

①拟合组成要素。指按规定的方法由提取组成要素形成的并具有理想形状的组成要素。在极限与配合中,获得拟合组成要素的缺省方法(除非另有规定)是最小二乘法。在几何公差(形状、方向、位置和跳动公差)中,拟合组成要素的获得取决于几何误差的评定方法,评定方法不同,同一提取组成要素可以有不同的拟合组成要素(详见本书的4.5节)。

②拟合导出要素。指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。

以图2-2所示圆柱形工件为例,说明公称要素、实际(组成)要素、提取要素及拟合要素之间的关系。

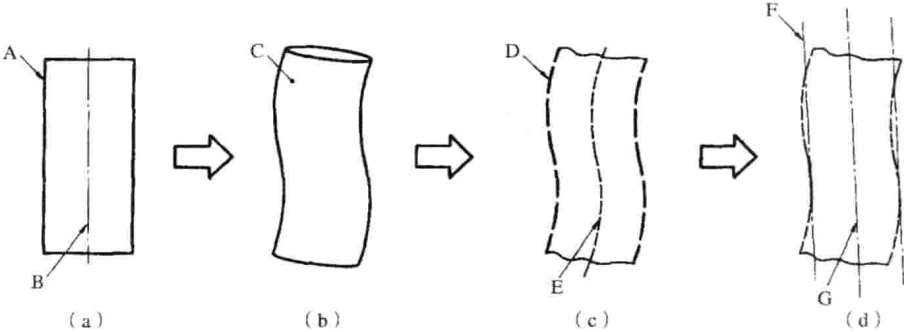


图 2-2 几何要素定义之间的相互关系

A—公称组成要素;B—公称导出要素;C—实际要素;D—提取组成要素;  
E—提取导出要素;F—拟合组成要素;G—拟合导出要素

2.1.2 有关孔和轴的定义

1) 孔。通常指工件的圆柱形内尺寸要素,也包括非圆柱形内尺寸要素(由两平行平面或切面形成的包容面)。

2) 轴。通常指工件的圆柱形外尺寸要素,也包括非圆柱形外尺寸要素(由两平行平面或切面形成的被包容面)。

在图2-3中,由尺寸 $\phi D$ 确定的圆柱形内表面及由尺寸 $D_1, D_2, b$ 所确定的非圆柱形内表面均为孔;由尺寸 $\phi d$ 确定的圆柱形外表面及由尺寸 $d_1, d_2$ 确定的非圆柱形外表面均为轴。

孔和轴的定义明确了极限与配合国家标准的应用范围。例如,键联接的配合表面是两平行平面形成的包容与被包容面,即键宽表面为轴,轮毂键槽宽和轴键槽宽表面皆为孔。这样,键联接的公差与配合可直接应用极限与配合国家标准。