



全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

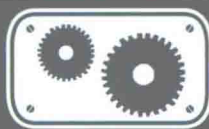
丛书顾问 ▶ 李培根 林萍华

# 互换性与 技术测量

胡凤兰 任桂华 ▶ 主编  
杨练根 ▶ 主审



HUHUANXING YU JISHU  
CELIANG



JIXIELEI \* SHIERWU



华中科技大学出版社

全国普通高等学校机械类“十二五”规划



# 互换性与技术测量

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 胡凤兰 | 任桂华 |     |     |
| 副主编 | 黄丽容 | 张玲莉 | 程玉兰 |     |
| 参 编 | 王莉静 | 陈银清 | 茅 健 | 王晓晶 |
| 主 审 | 杨练根 |     |     |     |

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 内 容 简 介

本书为普通高等学校机械类和近机类专业技术基础课教材。全书共分为9章,包括绪论、极限与配合、技术测量基础、几何公差、表面粗糙度、光滑极限量规、常用结合件的互换性、圆柱齿轮传动的互换性及尺寸链等内容。各章均附有习题。

本书系统而精炼地阐述了互换性与技术测量的基本知识,互换性部分介绍了“极限与配合”“几何公差”等最新国家标准及其在机械设计中的应用;对技术测量部分,主要介绍了检测的基本知识,并在配套使用的实验指导书中介绍了尺寸、几何误差、表面粗糙度、螺纹和齿轮等常用的测量方法、测量仪器及其结构和操作步骤。

本书可供高等院校机械类和近机类各专业“互换性与技术测量”课程教学之用,也可供机械制造工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

互换性与技术测量/胡凤兰 任桂华 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.1  
ISBN 978-7-5609-8540-4

I. 互… II. ①胡… ②任… III. ①零部件-互换性-高等学校-教材 ②零部件-技术测量-高等学校-教材  
IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 276226 号

### 互换性与技术测量

胡凤兰 任桂华 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:吴继根

封面设计:范翠璇

责任校对:李 琴

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市宏隆印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:11.75

字 数:297千字

版 次:2013年1月第1版第1次印刷

定 价:24.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

## 编审委员会

顾问：李培根 华中科技大学

林萍华 华中科技大学

主任：吴昌林 华中科技大学

副主任：(按姓氏笔画顺序排列)

王生武 邓效忠 轧 钢 庄哲峰 吴 波 何岭松

陈 炜 杨家军 杨 萍 竺志超 高中庸 谢 军

委员：(排名不分先后)

许良元 程荣龙 曹建国 郭克希 朱贤民 贾卫平

丁晓非 张生芳 董 欣 庄哲峰 蔡业彬 许泽银

许德璋 叶大鹏 李耀刚 耿 铁 邓效忠 宫爱红

成经平 刘 政 王连弟 张庐陵 张建国 郭润兰

张永贵 胡世军 汪建新 李 岚 杨术明 杨树川

李长河 马晓丽 刘小健 汤学华 孙恒五 聂秋根

赵 坚 马 光 梅顺齐 蔡安江 刘俊卿 龚曙光

吴凤和 李 忠 罗国富 张 鹏 张鬲君 柴保明

孙 未 何 庆 李 理 孙文磊 李文星 杨咸启

秘 书：

俞道凯 万亚军

# 全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

## 序

“十二五”时期是全面建设小康社会的关键时期,是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期,也是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的关键五年。教育改革与发展面临着前所未有的机遇和挑战。以加快转变经济发展方式为主线,推进经济结构战略性调整、建立现代产业体系,推进资源节约型、环境友好型社会建设,迫切需要进一步提高劳动者素质,调整人才培养结构,增加应用型、技能型、复合型人才的供给。同时,当今世界处在大发展、大调整、大变革时期,为了迎接日益加剧的全球人才、科技和教育竞争,迫切需要全面提高教育质量,加快拔尖创新人才的培养,提高高等学校的自主创新能力,推动“中国制造”向“中国创造”转变。

为此,近年来教育部先后印发了《教育部关于实施卓越工程师教育培养计划的若干意见》(教高[2011]1号)、《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》(教高[2011]5号)、《关于“十二五”期间实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》(教高[2011]6号)、《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高[2012]4号)等指导性意见,对全国高校本科教学改革和发展方向提出了明确的要求。在上述大背景下,教育部高等学校机械学科教学指导委员会根据教育部高教司的统一部署,先后起草了《普通高等学校本科专业目录机械类专业教学规范》、《高等学校本科机械基础课程教学基本要求》,加强教学内容和课程体系改革的研究,对高校机械类专业和课程教学进行指导。

为了贯彻落实教育规划纲要和教育部文件精神,满足各高校高素质应用型高级专门人才培养要求,根据《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件精神,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,联合一批机械学科办学实力强的高等学校、部分机械特色专业突出的学校和教学指导委员会委员、国家级教学团队负责人、国家级教学名师组成编委会,邀请来自全国高校机械学科教学一线的教师组织编写全国普通高等学校机械

类“十二五”规划系列教材,将为提高高等教育本科教学质量和人才培养质量提供有力保障。

当前经济社会的发展,对高校的人才培养质量提出了更高的要求。该套教材在编写中,应着力构建满足机械工程师后备人才培养要求的教材体系,以机械工程知识和能力的培养为根本,与企业对机械工程师的能力目标紧密结合,力求满足学科、教学和社会三方面的需求;在结构上和内容上体现思想性、科学性、先进性,把握行业人才要求,突出工程教育特色。同时注意吸收教学指导委员会教学内容和课程体系改革的研究成果,根据教指委颁布的各课程教学专业规范要求编写,开发教材配套资源(习题、课程设计和实践教材及数字化学习资源),适应新时期教学需要。

教材建设是高校教学中的基础性工作,是一项长期的工作,需要不断吸取人才培养模式和教学改革成果,吸取学科和行业的新知识、新技术、新成果。本套教材的编写出版只是近年来各参与学校教学改革的初步总结,还需要各位专家、同行提出宝贵意见,以进一步修订、完善,不断提高教材质量。

谨为之序。

国家级教学名师

华中科技大学教授、博导

2012年8月



# 前 言

“互换性与技术测量”是与制造业发展紧密联系的一门综合性应用技术基础学科,是高等院校机械类、仪器仪表类和机电结合类各专业必修的重要技术基础课程,是联系设计系列课程和工艺系列课程的纽带,也是架设在基础课、实践教学课和专业课之间的桥梁。其主要内容为标准化和工程计量学有关部分的有机结合,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技能。

本书参考高等工业院校“互换性与测量技术基础”课程教学指导小组审定的高等工业院校“互换性与测量技术基础”课程教学基本要求,根据教学改革及学科发展的需要,考虑到高等院校“互换性与技术测量”课程的基本要求和多数学校教学学时数较少(一般 30~50)的特点,在保证教材的全面性、系统性的前提下,取材力求少而精,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,为后继课程的学习或从事机电产品的设计、制造、维修和管理打下坚实的基础。

本学科又称“产品几何技术规范与论证”,简称 GPS(geometrical product specifications and verification)。它以计量数学为基础,把标准与计量用不确定度的传递关系联系起来,将产品的尺寸公差、几何公差、表面粗糙度、测量原理和仪器标准、功能、规范与论证集成一体,实现了产品从定义、描述、规范到实际检验评定中的数字化控制功能。本书对此进行了简要叙述。

本书融入了编者多年的教学实践经验,参考了多种版本的同类教材,采用最新国家标准,重点讲述基本概念和标准的应用,力求语言简炼、条理清楚。同时在配套的实验指导书中,较详细介绍了几何量各种误差的检测方法、测量仪器的结构及操作步骤,便于实验教学的进行。

本书由胡凤兰、任桂华任主编,黄丽容、张玲莉和程玉兰任副主编,具体编写分工为:天津城建学院张玲莉(第 1 章、第 5 章);湖北理工学院任桂华(第 2 章);天津城建学院王莉静(第 3 章);湖南工程学院胡凤兰(第 4 章);广东石油化工学院陈银清(第 6 章);江西理工大学黄丽容(第 7 章);湖南工程学院程玉兰、上海工程技术大学茅健(第 8 章);安阳工学院王晓晶(第 9 章)。全书由胡凤兰统稿,湖北工业大学杨练根教授任主审。

本书在编写和出版过程中,得到各参编院校机械院系领导和任课教师的大力支持,得到众多专家、学者及同行的热忱指导和帮助。特别是湖北工业大学的杨练根教授对本书的编写给予了精心指导,并进行了细致的审阅,提出了许多建设性的意见。此外,本书在编写中还引用了部分标准和技术文献资料,在此,编者一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 8 月

# 目 录

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 第 1 章 绪论                  | (1)   |
| 1.1 互换性概述                 | (1)   |
| 1.2 标准化概述                 | (3)   |
| 1.3 产品几何量技术规范(GPS)        | (6)   |
| 1.4 本课程的研究对象及任务           | (7)   |
| 习题                        | (8)   |
| 第 2 章 极限与配合               | (9)   |
| 2.1 概述                    | (9)   |
| 2.2 基本术语和定义               | (9)   |
| 2.3 极限制                   | (15)  |
| 2.4 公差带与配合的标准化            | (24)  |
| 2.5 极限与配合的应用              | (27)  |
| 2.6 一般公差 线性尺寸的未注公差        | (34)  |
| 习题                        | (35)  |
| 第 3 章 技术测量基础              | (37)  |
| 3.1 技术测量的基础知识             | (37)  |
| 3.2 测量误差及数据处理             | (44)  |
| 3.3 用普通测量器具检测             | (51)  |
| 习题                        | (55)  |
| 第 4 章 几何公差                | (56)  |
| 4.1 概述                    | (56)  |
| 4.2 形状误差与形状公差             | (61)  |
| 4.3 轮廓度公差与公差带             | (63)  |
| 4.4 方向、位置、跳动误差与方向、位置、跳动公差 | (64)  |
| 4.5 几何公差与尺寸公差的关系          | (70)  |
| 4.6 几何公差的选用               | (76)  |
| 4.7 几何误差的检测原则             | (85)  |
| 习题                        | (88)  |
| 第 5 章 表面粗糙度               | (92)  |
| 5.1 概述                    | (92)  |
| 5.2 表面粗糙度的评定              | (93)  |
| 5.3 表面粗糙度的标注              | (98)  |
| 5.4 表面粗糙度的选用              | (104) |
| 5.5 表面粗糙度的测量方法            | (106) |
| 习题                        | (109) |

---

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| <b>第 6 章 光滑极限量规</b> .....     | (111) |
| 6.1 概述 .....                  | (111) |
| 6.2 量规的设计原则 .....             | (112) |
| 6.3 工作量规设计 .....              | (114) |
| 习题.....                       | (118) |
| <b>第 7 章 常用结合件的互换性</b> .....  | (119) |
| 7.1 滚动轴承与孔轴结合的互换性 .....       | (119) |
| 7.2 键和花键连接件的互换性 .....         | (127) |
| 7.3 普通螺纹连接的互换性 .....          | (133) |
| 7.4 圆锥结合的互换性 .....            | (140) |
| 习题.....                       | (146) |
| <b>第 8 章 圆柱齿轮传动的互换性</b> ..... | (148) |
| 8.1 概述 .....                  | (148) |
| 8.2 圆柱齿轮精度的评定指标及检测 .....      | (149) |
| 8.3 齿轮副精度的评定指标 .....          | (155) |
| 8.4 齿轮坯精度 .....               | (157) |
| 8.5 圆柱齿轮精度标准及其应用 .....        | (159) |
| 习题.....                       | (167) |
| <b>第 9 章 尺寸链</b> .....        | (168) |
| 9.1 基本概念 .....                | (168) |
| 9.2 极值法 .....                 | (171) |
| 9.3 统计法 .....                 | (175) |
| 习题.....                       | (177) |
| <b>参考文献</b> .....             | (178) |

# 第1章 绪 论

机械设计通常可分为机械的系统设计、机械的参数设计和机械的精度设计三个阶段。

机械的系统设计是确定机械的基本工作原理和总体布局的设计,以保证总体方案的合理性和先进性。机械的参数设计是确定机械各零件几何要素的标称值(公称值)的设计。本课程主要是研究机械的精度设计。精度设计是根据机械的功能要求,正确地对机械零件的尺寸精度、几何精度以及表面精度要求进行设计,并将它们正确地标注在零件图和装配图上的过程。

## 1.1 互换性概述

### 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遇到。例如:机械或仪器上掉落一个螺钉,换上一个相同规格的新螺钉就能继续使用;灯泡坏了,买一个相同规格的新灯泡安上就能发光照明;汽车、拖拉机、自行车、电视、计算机、手表中某个机件磨损了,换上一个新的便能继续使用。零件的更换之所以这样方便,是因为这些合格的产品和零部件具有在尺寸、功能上能够彼此相互替换的性能,即它们都具有互换性。

互换性是指在同一规格的零部件中任取一件,不需经过任何选择、修配或调整,就能装配成满足预定使用功能要求的机器或仪器,零部件所具有的这种性能就称为互换性。

显然,互换性在零部件的装配(或维修、更换)过程中应该同时具备三个条件:装配前,不需选择;装配时,不需修配和调整;装配后,可以满足预定的功能要求。

互换性是重要的生产原则和有效的技术措施,在日用工业品、机床、汽车、电子产品、军工产品等的生产部门得到广泛的应用。

### 1.1.2 互换性的种类

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

完全互换性简称为互换性,是指零件在装配或更换时,不需选择、辅助加工或修配为条件的互换性。例如,对一批孔和轴装配后的间隙要求控制在某一范围内,按此要求设计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,它们就具有完全互换性。

不完全互换性也称为有限互换性,在零件装配时,允许有附加的选择或调整。不完全互换性可以用分组装配法、调整法或其他方法来实现。

当装配精度要求较高时,若采用完全互换性,会使零件制造公差过小、加工困难、成本增高,甚至无法加工。这时,可采用分组装配法满足装配要求。分组装配法就是将零件的制造公差适当的放大,使之便于加工,而在零件加工完后,装配前用测量仪器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(即大孔与大轴配合,

小孔与小轴配合)装配。这样,既保证了装配精度和使用要求,又能降低加工难度和加工成本。此时,仅组内零件可以互换,组与组之间不可以互换。

调整法是在机械装配或使用过程中,对某一特定零件按所需要的尺寸进行调整,以达到装配精度的要求。

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,可采用不完全互换性。

### 1.1.3 互换性的作用

在现代化机械的制造业中,应用互换性原则已成为提高生产水平和促进技术进步的强有力的手段之一,其作用表现在如下几个方面。

(1) 在设计方面,零部件(如螺钉、销钉、滚动轴承等)具有互换性,就可以最大限度地采用标准件、通用件和标准部件,大大简化了绘图和计算等工作,缩短设计周期,这对发展系列产品和促进产品结构、性能的不断改善,有很大的帮助。

(2) 在制造方面,互换性有利于组织专业化的生产,有利于采用先进工艺和高效率的专用设备,如采用计算机辅助制造(CAM),有利于实现加工过程和装配过程机械化、自动化,从而使产品的数量和质量明显提高,使成本显著降低。

(3) 在使用和维修方面,零部件具有互换性,可以及时更换那些已经磨损或损坏的零部件,因此可以减少机器的维修时间和费用,保证机器工作的连续性和持久性,延长机器的使用寿命,提高机器的使用价值。在某些情况下,互换性所起的作用是难以衡量的,特别是在工业、军事方面零部件具有互换性,其作用是极为重要的。

综上所述,互换性在提高产品质量和可靠性、提高经济效益等方面均具有重大的意义。互换性原则已成为现代机器制造工业中一个普遍遵守的原则。但是,互换性原则并不是在任何情况下都适用的。有时,只有采用单个配制才符合经济原则,这时零件虽不能互换,但也存在公差与检测的要求。

### 1.1.4 互换性生产的实现

任何机械都是由若干最基本的零件构成。零件在加工过程中,由于受种种因素的影响,其各部分的尺寸、形状、方向和位置及表面粗糙度等几何量难以达到理想状态,总是存在或大或小的误差。但从零件的功能上看,零件几何量可不必绝对准确,只要求零件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,这个允许变动的范围称为公差。只要将零件加工后各几何量所产生的误差控制在公差范围内,就可以保证零件的使用功能,实现互换性。因此,建立各种几何量的公差标准是实现零件误差的控制和保证互换性的基础。

完工后的零件是否满足公差要求,要通过检测加以判断。检测是检验和测量的统称,检验是指确定零件的几何量是否在规定的极限范围内,并判断其是否合格;测量是将被测量与作为计量单位的标准量进行比较,以确定被测量的具体数据的过程。检测不仅用来评定产品质量,而且用于分析产生不良品的原因,及时调整生产,监督工艺过程,预防不良品产生,从而保证零件互换性生产的实现。

现代工业生产具有规模大、分工细、协作单位多、互换性要求高等特点。为适应生产中各部门的协调和各生产环节的衔接,必须有一种手段,使分散的、局部的生产部门和生产环节保

持必要的技术统一,成为一个有机的整体,以实现互换性生产。标准化正是联系这种关系的主要途径和手段,是互换性生产的基础。因此,采用标准化合理地确定零件几何量公差与正确地进行检测是保证产品质量、实现互换性生产的必不可少的条件和手段。

## 1.2 标准化概述

### 1.2.1 标准化及其作用

标准化是在经济、技术、科学及管理等社会实践中,对重复性事物和概念通过制订、发布、实施标准,达到统一,以获得最佳秩序和社会效益的过程。这个过程是从探索标准化对象开始,经调查、实验和分析,进而起草、制订和贯彻标准,而后修订标准。因此,标准化不是一个孤立的概念,而是一个不断循环而又不断提高的过程。标准化的重要意义在于改进产品、过程和服务的适用性,防止贸易壁垒,并促进技术合作。

标准化在经济发展的历程中发挥重要的作用。实践证明,标准化是国民经济和社会发展的技术基础,是科技成果转化成为生产力的桥梁,是组织现代化、节约化生产的重要条件,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。标准化同时也是推动技术进步、产业升级,提高产品质量、工程质量和服务质量,加速我国实现现代化,推进工业化建设,从而向信息化社会迈进的重要技术基础。

标准按照其管辖范围可以分为国际标准和国家标准两大类。国际标准是指在国际范围内由众多国家、团体共同参与制订的标准。目前,世界上约有 300 个国际和区域性组织制订标准或技术规则,其中国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)、国际电信联盟(ITU)制订的标准为国际标准。此外,被 ISO 认可、收入国际标准内关键词索引中的其他 25 个国际组织制定的标准,也视为国际标准。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。

我国自发布第一个国家标准《工程制图》以来,基本形成了以国家标准为主体,行业标准、地方标准和企业标准相互协调配套的中国国家标准体系,按作用范围分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四级。对需要在全国范围内统一的技术要求,应当制订国家标准;国家标准由国务院标准化行政主管部门制订。对没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一的技术要求,可以制订行业标准;行业标准由国务院有关行政主管部门制订,并报国务院标准化行政主管部门备案,在公布相应的国家标准之后,该项行业标准即行废止。对没有国家标准和行业标准而需要在省、自治区、直辖市范围内统一的工业产品的安全、卫生要求,可以制订地方标准;地方标准由省、自治区、直辖市标准化行政主管部门制订,并报国务院标准化行政主管部门和国务院有关行政主管部门备案,在公布相应的国家标准或行业标准之后,该项地方标准即行废止。企业生产的产品没有国家标准、行业标准和地方标准的,应当制订相应的企业标准,作为组织生产的依据,企业的产品标准须报当地政府标准化行政主管部门和有关行政主管部门备案。对已有国家标准、行业标准和地方标准的,企业还可以制订严于国家标准、行业标准或地方标准要求的企业标准。

另外,对于技术尚在发展中,需要有相应的标准文件引导其发展或具有标准化价值,尚不能制订为标准的项目,以及采用国际标准化组织、国际电工委员会及其他国际组织的技术报告

的项目,可以制订国家标准化指导性技术文件。

中国标准按标准的法律属性又分为强制性标准和推荐性标准两类性质的标准。按我国《标准化法》的规定:国家标准、行业标准分为强制性标准和推荐性标准。保障人体健康,人身、财产安全的标准和法律、行政法规规定为强制执行的标准是强制性标准,其他标准是推荐标准。中国国家标准的代号及其含义见表 1-1。

表 1-1 国家标准代号及其含义

| 代 号  | 含 义                  |
|------|----------------------|
| GB   | 中华人民共和国强制性国家标准       |
| GB/T | 中华人民共和国推荐性标准         |
| GB/Z | 中华人民共和国国家标准化指导性技术性文件 |

## 1.2.2 优先数系和优先数

### 1. 优先数系

在生产中,为了满足用户各种各样的要求,同一品种同一参数还要从大到小取不同的值,从而形成不同规格的产品系列。优先数和优先数系就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的一种科学的数值标准。为了保证互换性,必须合理确定零件公差,公差数值标准化的理论基础,即为优先数系和优先数。

人们在设计机械产品和制订标准过程中,常常和很多数值打交道。当选定一个数值作为某种产品的参数指标时,这个数值就会按照一定的规律,向一切有关的制品和材料中有关指标传播。例如,需要设计减速器箱体上的螺孔,当螺孔的直径(螺纹尺寸)一旦确定,则与之相配合的螺钉尺寸、加工用的丝锥尺寸、检验用的螺纹塞规尺寸,甚至在螺孔用丝锥攻螺纹之前的钻孔尺寸和钻头尺寸,也随之而定,且由于上述螺孔直径数值的确定,又使与之相关的垫圈尺寸、端盖上通孔的尺寸也随之而定。由于数值如此不断关联、不断传播,常常形成牵一发而动全身的现象,这就牵涉许多部门和领域。这种技术参数的传播性,在生产实际中极为普遍,并且跨越行业和部门的界限。工程技术上的参数数值,即使只有很小的差别,经过反复传播后,也会造成尺寸规格的繁多杂乱,并且给组织生产、协作配套、使用维修带来很大困难。因此,对于各种技术参数,必须从全局出发,加以协调。

国家标准《优先数和优先数系》(GB/T 321—2005)规定十进等比数列为优先数系,并规定了五个系列。它们分别用系列符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示,称为  $R_r$  系列,公比  $q_r = \sqrt[r]{10}$ 。同一系列中,每增  $r$  个数,数值增至 10 倍。五个系列中,R80 为补充系列,仅用于分级很细的特殊场合,其余四种为基本系列。各系列的公比  $q_r$  如下。

$$\begin{aligned}
 \text{R5: 公比 } q_5 &= \sqrt[5]{10} \approx 1.6 & \text{R10: 公比 } q_{10} &= \sqrt[10]{10} \approx 1.25 \\
 \text{R20: 公比 } q_{20} &= \sqrt[20]{10} \approx 1.2 & \text{R40: 公比 } q_{40} &= \sqrt[40]{10} \approx 1.06 \\
 \text{R80: 公比 } q_{80} &= \sqrt[80]{10} \approx 1.03
 \end{aligned}$$

在五个系列中,R5 中的项值包含在 R10 中,R10 中的项值包含在 R20 中,R20 中的项值包含在 R40 中,R40 中的项值包含在 R80 中。各基本系列中优先数的常用值见表 1-2。

表 1-2 优先数系的基本系列(常用值)(摘自 GB/T 321—2005)

| 基本系列(常用值) |      |      |      | 基本系列(常用值) |       |       |       |
|-----------|------|------|------|-----------|-------|-------|-------|
| R5        | R10  | R20  | R40  | R5        | R10   | R20   | R40   |
| 1.00      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 4.00      | 3.15  | 3.15  | 3.15  |
|           |      | —    | 1.06 |           |       | —     | 3.35  |
|           |      | 1.12 | 1.12 |           |       | 3.55  | 3.55  |
|           |      | —    | 1.18 |           |       | —     | 3.75  |
|           |      | —    | —    |           |       | 4.00  | 4.00  |
|           | 1.25 | 1.25 | 1.25 |           | 4.00  | —     | 4.25  |
|           |      | —    | 1.32 |           |       | 4.50  | 4.50  |
|           |      | 1.40 | 1.40 |           |       | —     | 4.75  |
|           |      | —    | 1.50 |           |       | —     | —     |
|           |      | —    | —    |           |       | 5.00  | 5.00  |
| 1.60      | 1.60 | 1.60 | 1.60 | 6.30      | 6.30  | —     | 5.30  |
|           |      | —    | 1.70 |           |       | 5.60  | 5.60  |
|           |      | 1.80 | 1.80 |           |       | —     | 6.00  |
|           |      | —    | 1.90 |           |       | —     | —     |
|           |      | —    | —    |           |       | 6.30  | 6.30  |
|           | 2.00 | 2.00 | 2.00 |           | 6.30  | —     | 6.70  |
|           |      | —    | 2.12 |           |       | 7.10  | 7.10  |
|           |      | 2.24 | 2.24 |           |       | —     | 7.50  |
|           |      | —    | 2.36 |           |       | —     | —     |
|           |      | —    | —    |           |       | 8.00  | 8.00  |
| 2.50      | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 10.00     | 10.00 | —     | 8.50  |
|           |      | —    | 2.65 |           |       | 9.00  | 9.00  |
|           |      | 2.80 | 2.80 |           |       | —     | 9.50  |
|           |      | —    | 3.00 |           |       | 10.00 | 10.00 |
|           |      | —    | —    |           |       | —     | —     |

实际使用时,应按 R5、R10、R20、R40 的顺序优先选用。当基本系列不能满足要求时,才采用补充系列 R80。

## 2. 优先数

优先数系的五个系列中任一个项值均称为优先数,其理论值为  $(\sqrt[10]{10})^N$ , 式中  $N$  为任意整数。按照公比计算得到的优先数的理论值,除 10 的整数幂外,都是无理数,在工程技术上不能直接应用。而实际应用的数值都是经过化整后的近似值,根据取值的精确程度,数值可以分为以下几种。

(1) 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,供精确计算用。

(2) 优先数的常用值。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 1-2。

(3) 优先数的化整值。化整值是对基本系列中的常用值作进一步圆整后所得的值,一般取两位有效数字,供特殊情况使用。例如,对 R20 系列中常用值 1.12 的化整值为 1.1,6.3 的化整值为 6.0 等。

为了使优先数系有更大的适应性,在基本系列的基础上,还可以获得派生系列。即从  $R_r$  系列中,每逢  $p$  项选取一个优先数,组成新的系列——派生系列,以符号  $R_{r/p}$  表示,公比  $q_{r/p} = q_r^p = (\sqrt[p]{10})^p = 10^{p/r}$ 。

例如,经常使用的派生系列  $R_{5/2}$ ,就是从基本系列 R5 中,自 1 以后,每逢两项取一个优先数组成的,即

$$1.00, 2.50, 6.30, 16.0, 40.0, 100, \dots$$

再如,首项为 1 的派生系列  $R_{10/3}$ ,就是从基本系列 R10 中,自 1 以后,每逢三项取一个优先数组成的,即

$$1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.0, 32.0, \dots$$

### 3. 优先数系的应用

优先数系有很广泛的应用,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品种、规格的合理简化分档和协调配套具有重大的意义。

(1) 在确定产品的参数或参数系列时,如果没有特殊原因而必须选用其他数值时,只要能满足技术和经济上的要求,就应当力求选用优先数,应遵守先疏后密的规则,并且按照 R5、R10、R20 和 R40 的顺序,优先用公比较大的基本系列;当一个产品的所有特性参数不可能都采用优先数时,也应使一个或几个主要参数采用优先数;即使是单个参数值,也应该按上述顺序选用优先数。这样做既可在产品发展时,插入中间值后仍保持或逐步发展成为有规律的系列,又便于跟其他相关产品协调配套。

(2) 当基本系列的公比不能满足分级要求时,可选用派生系列。选用时应优先采用公比较大和延伸项中含 1 的派生系列。

(3) 按优先数常用值分级的参数系列,公比是不均等的。在特殊情况下,为了获得公比精确相等的系列,可采用计算值。

(4) 若无特殊原因,应尽量避免使用化整值。因为化整值带有任意性,不易取得协调统一。若系列中含有化整值,就会使以后向较小公比系列的转换变得较为困难,化整值系列公比的均匀性差,化整值的相对误差经乘、除运算后往往进一步增大等。

## 1.3 产品几何量技术规范(GPS)

### 1.3.1 GPS 的含义

产品几何量技术规范(geometrical product specification, GPS)是面向产品开发全过程而构建的控制产品几何特性的一套完整标准,全面覆盖了从宏观到微观的产品几何特征的描述,全面规范了产品(工件)的尺寸、形状和位置及表面特征的控制要求和检测方法,贯穿于一切几何产品的研究、开发、设计、制造、检验、销售、使用 and 维修等整个过程。

### 1.3.2 GPS 的作用

GPS 是国际标准中影响最广的重要基础标准之一,不仅是产品信息传递与交换的基础标

准,也是产品市场流通领域中合格评定的依据,是工程领域必须依据的技术规范。在国际标准中,GPS标准体系与质量管理(ISO9000)、产品模型数据交换(STEP)等重要标准体系有着密切的联系,是制造业信息化、质量管理、工业自动化系统与集成等工作的基础。随着新世纪知识的快速扩张和经济全球化,产品几何技术规范(GPS)标准体系的重要作用日益为国际社会所认同,其水平不但影响一个国家的经济发展,而且对一个国家的科学技术和制造业水平有决定性的作用。具体作用主要表现在以下方面。

(1) GPS为企业的产品开发提供了一套全新的工具,为产品的数字化设计和制造提供了基础支撑。

(2) GPS能实现产品的精确几何定义及规范的精度过程定义,更加合理、经济和有效地利用设计、制造和检测的资源,显著降低产品的开发成本。

(3) GPS标准不仅是产品开发的重要依据,而且成为规范相关计量器具研制、软件开发的重要准则。

(4) GPS为国际通用的技术语言,它的应用有利于促进国际技术交流和合作,有利于消除贸易中的技术壁垒,大大减少沟通的困难和问题。

(5) GPS标准的实施可显著提高产品的质量,提高企业的市场竞争力。

## 1.4 本课程的研究对象及任务

本课程是高等学校机械类、仪器仪表类和机电结合类各专业必修的主干技术基础课程,是整个教学过程中联系设计课程与工艺课程的纽带,是从基础课学习过渡到专业课学习的桥梁。本课程由几何量公差与几何量检测两部分组成。前一部分的内容主要通过课堂教学和课外作业来完成,后一部分的内容主要通过实验课来完成。本课程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技能。

任何一台机器的设计,除了运动分析、结构设计、强度计算和刚度计算以外,还包括精度设计。机器的精度直接影响到机器的工作性能、振动、噪声、寿命和可靠性等。本课程的研究对象就是几何参数的互换性,即在研究机器的精度同时,要处理好机器使用要求与制造工艺的矛盾,解决的方法是规定合理的公差,并用检测手段保证精度设计的实施。学习本课程可以使學生熟悉机器零件的精度设计,合理确定几何量公差,以保证满足使用要求。

学生在学习本课程时,应具有一定的理论知识和生产实践知识,即能够读图,懂得图样标注方法,了解机械加工的一般知识和熟悉常用机构的原理。学生在学完本课程后应达到下列要求。

(1) 建立互换性的基本概念,掌握标准化和互换性的基本概念及有关的基本术语和定义;掌握各有关公差标准的基本内容、特点和应用原则;初步学会根据机器和零件的功能要求,选用几何量公差与配合;能够查用本课程介绍的公差表格,并正确标注图样。

(2) 建立技术测量的基本概念,熟悉各种典型几何量的检测方法和初步学会使用常用的计量器具。通过实验,初步掌握测量操作技能,并分析测量误差与处理测量结果。

总之,本课程的任务是使学生获得互换性与技术测量的基本理论、基本知识和基本技能,了解互换性和技术测量学科的现状和发展。而后续课程的教学和毕业后实际工作的锻炼,则将使學生进一步加深理解和逐步熟练掌握本课程的内容。

## 习 题

- 1-1 什么是互换性？为什么说互换性已成为现代化机械制造业中一个普遍遵守的原则？互换性是否只适用于大批生产？
- 1-2 生产中常用的互换性有哪几种，它们有何区别？
- 1-3 什么是公差、标准和标准化，它们与互换性有何关系？
- 1-4 什么是优先数系，基本系列有哪些？公比为多少？