



“十三五”普通高等教育本科规划教材

互换性与测量技术 (第三版)

齐新丹 主编



扫码申请课件

- 学习指南
- 习题指导
- 实验指导
- 参考答案



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

互换性与测量技术 (第三版)

主 编 齐新丹

副主编 王国乾

参 编 奚天鹏 王海巧 凌秀军

主 审 郑凤琴



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。本书系统地介绍了机械几何量的精度设计及常用检测原理。全书共分11章,包括概述、测量技术基础、尺寸公差与检测、几何公差与检测、表面粗糙度与检测、滚动轴承的公差与配合、键结合的公差与检测、圆锥结合的公差与检测、普通螺纹连接的公差与检测、圆柱齿轮传动公差与检测、尺寸链。本书紧跟最新修订的国家标准,侧重讲述概念和标准的应用,在理论部分重点阐述与几何量相关的国家标准,在测量部分重点阐述与测量有关的基本概念、典型仪器的测量原理与方法。同时,在附录中更新了与互换性有关的现行国家标准的编号及名称,方便读者查阅。本书与齐新丹主编的《“十三五”普通高等教育本科规划教材 互换性与测量技术学习指南及习题指导(第二版)》配套使用。

本书可作为高等工科院校机械类专业的教材,也可供其他相关专业师生和相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术/齐新丹主编. —3版. —北京:中国电力出版社,2019.6

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-3314-5

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第125148号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:周巧玲

责任校对:黄 蓓 闫秀英

装帧设计:赵姗姗

责任印制:钱兴根

印 刷:三河市百盛印装有限公司

版 次:2018年11月第一版 2019年6月第三版

印 次:2019年6月北京第六次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:17

字 数:417千字

定 价:44.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社营销中心负责退换

前 言

本书是在第二版的基础上,根据作者多年来的教学实践经验和当前教学改革以及最新颁布的国家标准重新编写而成。

本教材出版以来,已经使用多年。随着科学技术的发展和国家高等教育形势的变化,对教材建设的要求也逐步提高。与第二版相比,本书的主要做了以下内容的修订:

(1) 根据教学大纲的要求,对各章节内容和习题进行了增删和调整,使之更加适应机械类专业教学的需要;删除第12章产品几何技术规范(GPS)概述,增加1.4产品几何技术规范(GPS)概述一节,并对该部分内容进行了大幅度删减。

(2) 根据最新国家标准的规定,对第4章几何公差与检测的内容进行了调整,采用最新颁布的国家标准,以适应产品设计和加工的需要;第6章滚动轴承的公差与配合、第9章普通螺纹连接的公差与检测,也根据最新国家标准,对相关数据进行了更新。

(3) 为了使读者更好地掌握互换性与测量技术的相关内容,加深理解并提升处理实际问题的能力,还编写了《“十三五”普通高等教育本科规划教材 互换性与测量技术学习指南及习题指导(第二版)》,可与本书配套使用。

本书由齐新丹任主编,王国乾任副主编。具体编写分工如下:第1、2章由南京工业大学王国乾编写;第3~6章由南京工业大学齐新丹编写;第7章由金陵科技学院王海巧编写;第8章由金陵科技学院凌秀军编写;第9、10、11章由南京工业大学奚天鹏编写。另外,本书文字校对由李胜兵完成,插图由李博竑绘制,课件由王国乾制作。本书提供电子课件,需要者可与主编联系 xindanqi@163.com。

本书由南京工业大学郑凤琴主审,并提出了宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

本书得到江苏高校品牌专业建设工程项目(PPZY2015A022)的资助。

由于编者水平所限,书中疏漏和不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2019.4

第二版前言

随着科学技术的发展,我国不断颁布新的国家标准,并对原有国家标准进行了修订和调整。与此同时,教育部高等教育“质量工程”的实施,对教材建设的要求也在逐步提高。为此,编者对本书的内容进行了修订和补充。与第一版相比,本书具有以下特点:

(1) 根据教学大纲的要求,对各章节内容和习题进行了调整和完善,使之更加适应高等教育教学的需要。

(2) 根据国家标准的变化,重点对第十章渐开线圆柱齿轮传动公差与检测的内容进行彻底的修订,全部采用最新颁布的国家标准,以适应产品设计和加工的需要。

(3) 为了使读者更好地掌握教材的相关内容,加深理解并增强处理实际问题的能力,编者还编写了《普通高等教育“十二五”规划教材 互换性与测量技术学习指南及习题指导》配套使用。

本书由齐新丹任主编,徐秀英、凌秀军任副主编。具体编写分工如下:第1~4章、第10章由南京工业大学齐新丹编写;第5章由南京农业大学李骅编写;第6章由巢湖学院蒋全胜编写;第7章由南京工业大学奚天鹏编写;第8章由三江学院王海巧编写;第9章由南京农业大学徐秀英编写;第11、12章由金陵科技学院凌秀军编写。书稿校核由潘亦成完成,插图由齐新丹、连静绘制。

本书由南京工业大学郑凤琴教授主审。审稿老师提出了宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

编者

2011年10月

第一版前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

“互换性与测量技术”是高等院校机械类各专业的重要技术基础课。包含几何量精度设计与误差检验两方面的内容,把标准化和计量学两个领域的内容有机地结合在一起,涉及机械设计、机械制造、质量控制、生产管理等诸多领域,是机械工程技术人员必备的一门综合应用技术基础学科。

在机械产品的精度设计和制造过程中,正确地应用相关的国家标准和设计原则来进行机械产品的精度设计,运用现代和常规的检测技术手段来保证机械零件加工质量,对于提高工程领域科技人才的素质,贯彻面向现代化建设、面向世界、面向未来的战略方针,具有十分重要的作用。

本教材是根据全国高校机械专业教学指导委员会的教学大纲,吸取了各高校多年的教学经验和成果编写而成。本书总结了现有教材中存在的不足;根据2008年颁布的最新国家标准和国际标准,对部分内容进行了更新,力求做到紧跟科技前沿,为工程教学与实践提供最大的支持。

由于近年来各高校教学计划的调整 and 教学大纲的差异,本书按48学时编写,以扩大应用面,使用时可以根据实际情况来取舍。

全书共12章,包括绪论、测量技术基础、尺寸精度设计与检测、几何公差(即形位公差)与检测、表面粗糙度与检测、滚动轴承与孔轴结合的互换性、键结合的互换性与检测、圆锥结合的互换性与检测、螺纹公差与检测、圆柱齿轮公差与检测、尺寸链、产品几何技术规范(GPS)等内容,对2008年最新修订的国家标准进行了诠释。

本书由南京工业大学齐新丹主编,南京农业大学李骅任副主编。具体编写分工如下:前言、第1章~第4章、第10章~第12章由南京工业大学齐新丹编写;第5章由南京农业大学张维强编写;第6章和第9章由南京农业大学李骅编写;第7章由南京工业大学陈国荣编写;第8章由广东茂名学院钟贤栋编写。全书插图由齐新丹、奚天鹏绘制。

本书由南京工业大学郑凤琴主审,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

由于编者水平所限,书中疏漏和不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者

2008年8月

目 录

前言	
第一版前言	
第二版前言	
第 1 章 概述	1
1.1 互换性	1
1.2 标准化	3
1.3 优先数和优先数系	5
1.4 产品几何技术规范 (GPS) 概述	7
习题	11
第 2 章 测量技术基础	12
2.1 概述	12
2.2 测量方法	17
2.3 计量器具	20
2.4 测量误差与数据处理	26
2.5 三坐标测量机	31
习题	37
第 3 章 尺寸公差与检测	39
3.1 概述	39
3.2 基本术语	39
3.3 标准公差系列与基本偏差系列	46
3.4 尺寸精度设计	59
3.5 零件尺寸的检测	74
3.6 光滑极限量规设计	78
习题	80
第 4 章 几何公差与检测	82
4.1 概述	82
4.2 基本概念	82
4.3 形状公差与误差	91
4.4 基准	99
4.5 方向与位置公差及误差	101
4.6 公差原则	119
4.7 几何公差的选择	132
4.8 几何误差的检测原则	140

习题	141
第 5 章 表面粗糙度与检测	145
5.1 概述	145
5.2 表面粗糙度的评定	146
5.3 表面粗糙度的选用与标注	149
5.4 表面粗糙度的检测	156
习题	158
第 6 章 滚动轴承的公差与配合	159
6.1 滚动轴承的精度等级及其应用	159
6.2 滚动轴承与轴、外壳孔的配合	160
习题	166
第 7 章 键结合的公差与检测	167
7.1 概述	167
7.2 平键结合的公差与检测	167
7.3 矩形花键结合的公差与检测	171
习题	177
第 8 章 圆锥结合的公差与检测	179
8.1 概述	179
8.2 圆锥各参数误差对互换性的影响	182
8.3 圆锥公差与配合	184
8.4 锥度的检测	189
习题	191
第 9 章 普通螺纹连接的公差与检测	192
9.1 概述	192
9.2 普通螺纹的基本牙型和主要参数	192
9.3 螺纹几何参数误差对螺纹互换性的影响	194
9.4 螺纹中径与合格条件	196
9.5 普通螺纹的公差与配合	197
9.6 梯形螺纹公差	201
9.7 螺纹的测量	206
习题	208
第 10 章 圆柱齿轮传动公差与检测	209
10.1 概述	209
10.2 单个齿轮的误差项目与检测	213
10.3 齿轮副的误差项目与检测	225
10.4 渐开线圆柱齿轮的精度标准及其应用	227
习题	241
第 11 章 尺寸链	242
11.1 概述	242

11.2 尺寸链的确定与计算.....	244
11.3 用完全互换法（极值法）解尺寸链.....	245
11.4 用大数互换法（概率法）解尺寸链.....	250
11.5 保证装配精度的其他尺寸链解法.....	253
习题.....	255
附录 GPS 部分现行标准目录	257
参考文献.....	261

第1章 概 述

现代社会生产活动是建立在先进技术装备、严密分工、广泛协作基础上的社会化大生产。产品的互换性生产已进入新的发展阶段,远远超出机械工业的范畴,扩大到国民经济各个行业和领域。互换性原则已成为机械工业和其他行业生产的基本技术经济原则。

标准化是实现互换性生产的前提,技术检测是实现互换性生产必不可少的技术保证。因此,标准化、技术检测和互换性三者形成了一个有机的整体,而质量管理体系则是提高产品质量的可靠保证和坚实基础。

1.1 互 换 性

1.1.1 互换性的定义

在机械工业中,互换性是产品设计最基本的原则。互换性是指在同一规格的一批零部件中具有互相代换的性能。也就是说,按同一规格产品图样要求,在不同时空条件下制造出来的一批零部件,在总装时,任取一个合格品,便可完好地安装在机器上,并能达到预期的使用功能要求,这样的零部件就称为具有互换性的零部件。

1.1.2 互换性的分类

互换性可以按不同的方法分类。

(1) 按互换参数范围,可分为几何参数互换性和功能互换性。几何参数互换性着重于保证产品尺寸配合或装配要求的互换性,为狭义互换性;功能互换性着重于保证除几何参数外的其他功能参数(如物理、化学参数)的互换性要求,为广义互换性。

(2) 按互换程度,可分为完全互换和不完全互换。若零部件在装配或互换时,无须辅助加工或修配,也不必进行挑选,就能完好地安装在机器上,并能达到预定的使用功能要求,这样的零部件便具有完全互换性。例如,常用的标准连接件和紧固件、各类滚动轴承等,都具有完全互换性。但是,装配精度要求很高时,若采用完全互换,则会使零件的加工难度和成本大大提高,甚至无法加工。因此,在产品设计、制造时,往往将零件加工要求适当放宽;而在装配时,则按实际尺寸分组(如大孔配大轴)装配。如此,既能保证装配精度和预定的使用功能要求,又能解决工艺困难、降低成本。这时,同一组内的零件间可以互换,但组间的零件不能互换,因此称为不完全互换。不完全互换除分组互换法外,工程上还有修配法、调整法等。一般而言,装配时需要挑选或调整的零件,多属于不完全互换零件;需要附加修配的零件,为不具有互换性的零件。不完全互换一般只限于制造厂内部的装配,厂外协作件一般要求满足完全互换性条件。

采用完全互换或不完全互换,是设计者根据产品精度、生产批量、生产技术装备等多种因素决定的。

1.1.3 互换性的意义

互换性原则的普及和深化对我国现代化建设具有重大意义。特别是在机械行业中,遵循

互换性原则不仅能大大提高劳动生产率,而且能促进技术进步,显著提高经济效益和社会效益。主要表现在以下几个方面:

(1) 在设备使用时,容易保证其运转的连续性和持久性,从而提高设备的使用价值。若机械设备上的零部件具有互换性,一旦某一零部件损坏,就可以方便地用另一个新备件替换,保证连续运转。在某些情况下,互换性所起的作用难以用经济价值衡量。例如,在电厂设备、消防设备、军用设备等影响范围广的设备中,必须采用具有互换性的零部件,以保证机械设备连续持久运转。

(2) 在制造时,同一台设备的各个零部件可以分散到多个工厂同时加工。这样,每个工厂产品单一,批量较大,有利于采用高效率的专用设备或采用计算机辅助制造,容易实现优质、高产、低耗,生产周期也会显著缩短。

(3) 产品装配时,由于其零部件具有互换性,使装配作业能够顺利进行,易于实现流水作业或自动化装配,缩短装配周期,提高装配作业质量。

(4) 在产品设计时,尽量多地采用具有互换性的标准零部件,乃至大的总成,将大幅简化绘图、计算等设计工作量,也便于采用计算机辅助设计,缩短设计周期。

(5) 在机械设备的管理上,无论是技术和物资供应,还是计划管理,零部件的互换性都有利于实现科学化管理。

总之,互换性原则可以为产品的设计、制造、维护、使用及组织管理等各个领域带来巨大的经济效益和社会效益,而生产水平的提高、技术的进步又可促进互换性原则在深度和广度上的进一步发展。

1.1.4 互换性的实现

由于任何零件都要经过加工的过程,因此无论设备的精度和操作工人的技术水平多么高,都会存在加工误差。所谓加工误差指的是零件的尺寸、形状、位置等对理想状态的偏离量。加工误差包括尺寸误差、形状误差、位置误差和表面粗糙度。加工误差是不可避免的,因此,要使具有互换性的产品几何参数完全一致是不可能且不必要的。在此情况下,要使同种产品具有互换性,只能令其几何参数、功能参数充分近似,即只要将加工后各几何参数(尺寸、形状和位置)所产生的误差控制在一定的范围内,就可以保证零件的使用功能,同时还能实现互换性。

零件几何参数这种允许的变动量称为公差。它包括尺寸公差、几何公差等。公差用来控制加工中的误差,以保证互换性的实现。因此,建立各种几何参数的公差标准是实现零件误差控制和保证互换性的前提条件。

加工完的零件是否满足公差要求,要通过检测加以判断。检测包含检验和测量,检验是指确定零件的几何参数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值的过程。检测不仅用来评定产品质量,而且用于分析产生不合格品的原因,及时调整生产,监督工艺过程,预防废品的产生。产品质量的提高,除设计和加工精度的提高外,往往更依赖于检测精度的提高。

综上所述,合理确定公差与正确进行检测是保证产品质量、实现互换性生产的必不可少的条件和手段。

1.2 标 准 化

1.2.1 标准化的意义

为了组织专业化协作生产,各生产部门之间、各生产环节之间必须保持协调一致,保持必要的技术统一,成为一个有机的整体,有节奏地组织互换性生产。实现这种有机的统一和联系是以标准化作为主要途径和手段的。因此,标准化是实现互换性生产的基础。

标准化也是科学管理的重要组成部分,是组织现代化生产的重要手段,是发展贸易、提高产品在国际市场竞争能力的技术保证。现代化程度越高,对标准化的要求也越高。

综上所述,根据标准化对象的不同,可以把一个标准划归不同的类别。它们之间相互关联,互为补充。

标准化是以技术标准来体现的。技术标准(简称标准)是指在经济、技术、科学、管理等社会实践中,对重复性的事物和概念在一定范围内通过科学简化、优选和协调,经一定程序审批后所颁发的统一规定。标准是特定形式的技术法规,是评定产品质量的技术依据。标准是标准化活动的成果,是实现互换性生产的前提。

标准化是指制订(修订)、贯彻标准而使事物获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。

标准化是实现专业化生产的前提和基础,是组织现代化大生产、提高生产效率和效益的重要手段。标准化能够推动人类社会的进步和科学技术的发展。

1.2.2 标准的分类

标准可以按不同的方法分类。

按照法律属性,标准可分为强制性标准和推荐性标准两类。

标准按照其性质,可分为技术标准、工作标准和管理标准。技术标准是指根据生产技术的经验和总结,作为技术上共同遵守的法规而制订的各项标准。工作标准是指对工作范围、构成、程序、要求、效果、检查方法等所做的规定。管理标准是指对标准化领域中需要协调、统一和管理所制订的标准。

技术标准按照标准化对象的特征,可分为以下几类:

(1) 基础标准。以标准化共性要求和前提条件为对象的标准称为基础标准,它是为了保证产品的结构、功能和制造质量而制订的,一般工程技术人员必须采用的通用性标准,也是制订其他标准时可依据的标准。计量单位、术语、概念、符号、数系、制图、技术通则标准及公差与配合标准等,均属基础标准范畴。这类标准是产品设计和制造中必须采用的技术数据和工程语言,也是精度设计和检测的依据。国际标准化组织(ISO)和各国标准化机构都十分重视基础标准的制订工作。

(2) 产品标准。产品标准是指为保证产品的适用性而对产品必须达到的某些或全部要求所制订的标准。其主要内容有产品的适用范围、技术要求、主要性能、验收规则及产品的包装、运输、储存方面的要求等。

(3) 方法标准。方法标准是指以试验、检查、分析、抽样、统计、计算、测定、作业等各种方法为对象而制订的标准。包括与产品质量鉴定有关的方法标准、作业方法标准、管理方法标准等。

(4) 安全、卫生与环境保护标准。为保护人和物的安全而制订的标准称为安全标准;为

保护人的健康而对食品、医药及其他方面卫生要求而制订的标准称为卫生标准；为保护人身健康、保护社会物质财富、保护环境和维持生态平衡而对大气、水、土壤、噪声、振动等环境质量、污染源、监测方法或满足其他环境保护方面所制订的标准称为环境保护标准。

标准的分类如图 1-1 所示。



图 1-1 标准的分类

1.2.3 标准的分级

我国标准分为国家标准、专业标准（行业标准）、地方标准和企业标准。

国家标准是指对全国经济、技术发展有重大意义，必须在全国范围内统一执行的标准。国家标准的编号由国家标准的代号、发布的顺序号、发布年代号组成，其代号有以下三种：GB 表示强制性国家标准，GB/T 表示推荐性国家标准，GB/* 表示降为行业标准而尚未转化的原国家标准。例如 GB/T 1800.2—2009，GB/T 为推荐性国家标准的代号，1800.2 为标准号，2009 为发布年代号，标准名为《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 第 2 部分：标准公差等级和孔轴极限偏差表》，由中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局与中国国家标准化委员会联合发布。

地方标准一般指以省为单位、为本地区发展而制定的地方性标准，标准代号以 DB 开头。例如 DB34/T 2060—2018，DB34 为江苏省地方标准，/T 为推荐性标准，2060 为标准号，2018 为发布年代号，标准名为《单位能耗限额》，由江苏省质量技术监督局发布。

行业标准是指没有国家标准而又需在全国某行业范围内统一执行的标准，又称专业标准，如机械工业标准（代号为 JB）、建设工业机械标准（代号为 JJB）等。例如 QC/T 29104—2013，QC/T 为汽车行业推荐性标准，29104 为标准号，2013 为发布年代号，标准名为《专用汽车液压系统液压油固体颗粒污染度的限值》，由中华人民共和国工业和信息化部发布。

另外，还有没有国家标准和行业标准而由企业制订的标准，称为企业标准。有的企业为了提高产品质量，强化竞争能力，制订出高于专业标准和国家标准的内控标准。企业标准有两种类型：一种是国家大型企业标准，编号由 Q/企业区分号、顺序号、年代号组成，例如 Q/SY 1267—2010 为中国石油的企业标准，1267 为标准代号，2010 为发布年代号；另一种

是地方企业标准,编号由各省(自治区、直辖市)简称汉字、Q/企业区分号、序号、年代号组成,例如皖 Q/JX 16—2017,皖是安徽省简称,JX 为企业名称缩写,16 为标准号,2017 为发布年代号,标准名是《客货共线铁路 弹条Ⅲ型扣件》,由企业发布。

在国际上,由国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)、国际电信联盟(ITU)等国际组织负责制订和颁布国际标准。ISO 的工作领域主要是信息技术、质量管理、环境管理、职业安全和卫生、与世界贸易组织的合作等方面的标准化,我国于 1978 年加入 ISO 组织。IEC 的工作领域包括电工和电子技术的标准化,该组织已并入 ISO 组织,但单独开展工作,我国于 1957 年加入 IEC 组织。ITU 是世界各国政府的电信主管部门之间协调电信事务的国际组织,其主要工作领域是电信和无线电通信技术的标准化。此外,还有区域标准,是指世界某区域标准化团体颁布的标准或采用的技术规范,如欧洲标准化委员会(EN)、经互会标准化常设委员会(DB)所颁布的区域标准。

我国是 ISO 的成员国,为了促进国际技术交流和贸易发展,提高产品质量,参照国际标准制订和修订我国的国家标准,是我国重要的技术政策,从而为加快我国工业进步奠定基础。

1.3 优先数和优先数系

1.3.1 优先数和优先数系的概念

各种产品的功能参数和几何参数都要用数值来表述,而产品参数的数值具有扩散传播性。例如,在设计变速箱时,当功率和转速的数值确定后,不仅会传播到其本身的轴、轴承、键、齿轮等一系列零部件的尺寸和材料特性参数上,而且必然会传播到加工和检测这些零部件的刀具、夹具、量具及专用机床的相应参数上,也会传播到有关机器的参数上。为了满足用户需要,产品规格当然多一些比较好,但即使规格参数间仅有很小的差别,经过反复扩散传播后,也会造成相关产品的规格参数繁多杂乱,给组织生产、协作配套、使用维修等带来很大的困难和浪费,这是生产现实中存在的普遍现象。

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。它同互换性原则相结合,构成了产品和零部件标准化的主要理论基础。该标准 GB/T 321—2005,等同于国际标准 ISO 3—73。

1.3.2 优先数系

优先数系是一种十进制等比数列,以此作为标准数列,例如,…、0.1、…、1、1.6、2.5、4、6.3、10、16、25、63、100、…、1000、…。

所谓十进制,就是在数列的项值中包括有 10^n 和 $10^{1/n}$ 这些数值(n 为整数)。把这些数值按 $0.01 \sim 0.1$ 、 $0.1 \sim 1$ 、 $1 \sim 10$ 、 $10 \sim 100$ 、…,划分区间,称为十进段,每一段内的项数都是(相等的) m 项。设首项为 a ,公比为 q ,则十进制几何数列的形式为 a 、 aq 、 aq^2 、 aq^3 、…、 aq^m ,且 $aq^m = 10a$,所以公比 $q = \sqrt[m]{10}$ 。

此外,工程上某些产品参数的数值有倍增的要求,因此又规定在十进几何数列中每隔 x 项可构成倍数系列,即同时满足式(1-1)和式(1-2):

$$aq^m = 10a \quad (1-1)$$

$$aq^x=2a$$

(1-2)

联立式（1-1）和式（1-2），取对数，得

$$\frac{x}{m}=\lg 2 \approx \frac{3}{10}\left(=\frac{6}{20}=\frac{12}{40}=\frac{24}{80}=\cdots\right)$$

如取组合，则 $m=10$ ，以首项为 1， $q_{10}=\sqrt[10]{10} \approx 1.25$ 构成系列：1.00、1.25、1.60、2.00、2.50、3.15、4.00、5.00、6.30、8.00、10.00、 $\cdots$ ，而 $x=3$ ，即其中每隔 3 项构成倍数系列为 1、2、4、8、 $\cdots$ 。

我国优先数系标准（GB/T 321—2005）与国际标准 ISO 3—73 相同，规定 m 值为 5、10、20、40 和 80 五种，分别用 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示，其中，R5 为不包含倍数系列的数列。R5、R10、R20、R40、R80 五种优先数系的公比 q_5 、 q_{10} 、 q_{20} 、 q_{40} 、 q_{80} 分别为

$$q_5=\sqrt[5]{10}=1.585 \approx 1.60$$

$$q_{10}=\sqrt[10]{10}=1.259 \approx 1.25$$

$$q_{20}=\sqrt[20]{10}=1.122 \approx 1.12$$

$$q_{40}=\sqrt[40]{10}=1.059 \approx 1.06$$

$$q_{80}=\sqrt[80]{10}=1.029 \approx 1.03$$

R5、R10、R20、R40 系列为基本系列（见表 1-1）。R80 系列为补充系列，是最密的数系，一般不常用。

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				

1.3.3 优先数

优先数系中的每一个数值称为优先数。优先数的理论值是无理数，在实践中不应用。表 1-1 中所列的计算值（5 位有效数）是作为工程上精确计算之用。优先数是指表列的常用值，它是对计算值修约成的 3 位有效数。

优先数系主要特性如下：

- (1) 同一系列中，任意相邻两项常用值的相对差近似相等；任意两项之积和商仍为优先数；任意一项的整数乘方、开方仍为优先数；优先数的对数排列为等差级数。
- (2) 各系列之间依次相含。例如，从 R10 系列中隔项取值便是 R5 系列，R5、R10、

R20、…，依次由疏到密。

(3) 当有特殊需要时还可采用派生系列。在基本系列中，依次每隔 2、3、4、…，等项数选取优先数值，便可导出派生系列。例如，在 R5 系列中每隔一项选取一项，则得到 R5/2 系列。

(4) 在基本系列和补充系列中的项值，可按十进法向两端延伸。

优先数系为数值的简化、统一和协调提供了理论基础。因此，在设计任何产品时，对主要参数和尺寸应注意采用优先数。

1.4 产品几何技术规范 (GPS) 概述

GPS 是产品几何技术规范 (geometrical product specifications and verification) 即产品几何量技术规范与认证的简称，它贯穿于几何产品的研究、开发、设计、制造、验收、出厂、使用及维修全过程。

GPS 是一套关于产品几何参数的完整技术标准体系，它覆盖了工件尺度、几何形状和位置、表面形貌等方面，如图 1-2 所示。

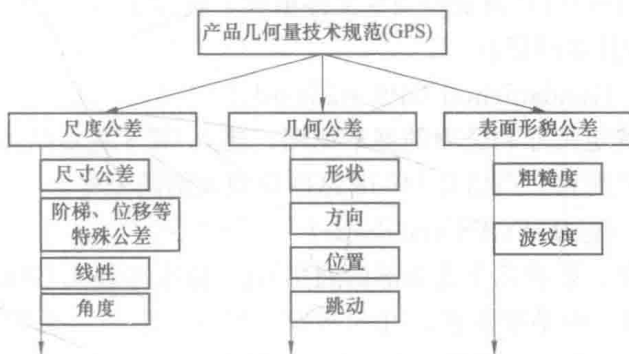


图 1-2 产品几何量的范围与规范

1.4.1 新一代 GPS 体系的产生

随着信息技术的发展，基于传统的几何技术精度设计和控制方法已经不适应现代设计和制造技术发展的需要，公差理论和标准的落后已成为制约 CAD/CAM 技术继续发展的瓶颈。为此，1996 年国际标准化组织 (ISO) 决定将原来独立的 ISO/TC 3 (极限与配合)、TC10/SC 5 (尺寸与公差注法) 和 TC 57 (表面特征及其计量学) 三个技术委员会合并，成立新的技术委员会 ISO/TC 213 (产品尺寸和几何及认证技术委员会)，着手全面地修订 ISO 公差标准体系，研究和建立一个基于信息技术，适应 CAD/CAM 的技术要求，以保证预定几何精度为目标的标准体系，即 GPS 标准体系。该标准体系包括从公差理论、标注方法、精度控制到检验规则的一系列标准。这一标准体系与现代设计和制造技术相结合，是对传统公差设计和控制思想的一次大的变革。

ISO/TC 213 的最初目标是制订以几何学理论为基础的产品几何技术规范，被称为第一代 GPS 语言。第一代 GPS 语言包括产品的尺寸公差、几何公差、表面特征、测量原理和仪器标准，它提供了产品设计、制造及检验的技术规范，但没有建立三者之间的联系。

随着经济的发展和科技的进步，特别是先进设计和制造技术以及坐标测量技术的采用，

第一代 GPS 语言因其标准未能将功能和测量统一带来的矛盾日益显现。在 ISO/TC 213 各个成员国的共同努力下,逐步形成了新一代 GPS 语言。新一代 GPS 语言以计量数学为基础,应用物理学中的物像对应原理,把标准与计量用不确定度的传递关系联系起来,将产品的功能、规范与认证(检验)集成一体,从而彻底解决一直困扰人们的基于几何学技术标准的烦琐,以及由于测量方法不统一而引起测量评估失控的问题。

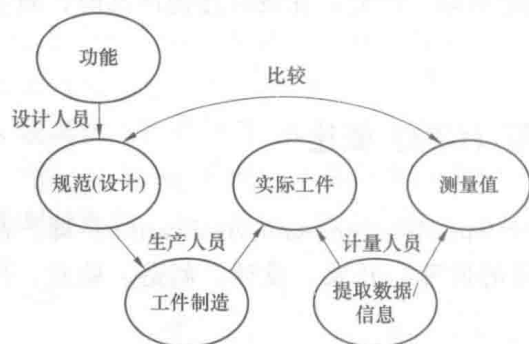


图 1-3 新一代 GPS 的基本框架

新一代 GPS 以数学作为基础语言结构,用计量数学为根基,给出产品功能、技术规范、制造与检验之间的量值传递的数学方法,为设计、产品开发、计量测试人员等提供了共同的技术语言,建立了一个交流平台,新一代 GPS 基本框架如图 1-3 所示。

1.4.2 新一代 GPS 体系的结构

ISO/TR 14638 给出了新一代 GPS 体系的总体结构,如图 1-4 所示。它包括全局(也称综合)、基础、通用和补充四种类型的 GPS 标准

准,由 200 多个 ISO、ISO/TR 及 ISO/TS 文件组成,包含了 GPS 的应用范围,以及所涉及的标准与计量中的基本技术问题。

1. 基础 GPS 标准(fundamental GPS standards)

基础 GPS 标准是确定尺寸和公差的基本原则,建立 GPS 基本结构和关系的标准,包括 ISO 8015 公差的基本原则和 ISO/TR 14638 总体规划大纲两个标准。

2. 全局 GPS 标准(global GPS standards)

全局 GPS 标准涉及、影响几个或全部的通用 GPS 标准和补充 GPS 标准。主要包括通用原则和定义标准,如测量的基准温度,几何特征,尺寸、公差、通用计量学名词术语与定义,测量不确定度的评估等。在全局 GPS 标准中最重要的是 ISO 1《长度测量温度参考》、ISO 14660—1《几何要素的术语和定义》与 ISO 17450《GPS 的基本概念》、ISO 14253《测量不确定》系列标准,以及《VIM 国际标准计量基本和通用术语》与《GUM 测量不确定度表述指南》两个技术文件,它们在 GPS 中起着重要的核心作用,被归为全局 GPS 标准。

3. 通用 GPS 标准(general GPS standards)

通用 GPS 标准是 GPS 标准的主体,用来确立零件的不同几何特性在图样上表示的规则、定义和检验原则等标准。通用 GPS 标准构成了一个 GPS 矩阵。其中,“行”是不同几何特征的分类,“列”是不同的技术规范与计量。矩阵中每一行构成一个标准链,给出了从设计规范、检测技术到比对原则和量值溯源的标准关系。在通用 GPS 标准矩阵中包括 18 种几何要素,每种几何要素对应一个标准链,每个标准链由七个环组成,每个环中至少包含一个标准,它们之间相互关联,并影响着其他环中的标准。

通用 GPS 标准矩阵中七个环的内容和意义如下:

环 1 产品文件标注——法规:表达工件特征图样标注的有关标准。

环 2 公差定义——理论定义及其数值。

环 3 实际要素的特征、参数及定义。

环 4 工件误差评判-与公差极限比较:比较认证标准。