

机械类“3+4”贯通培养规划教材

# 互换性原理与 测量技术

主 编 杨发展 栗心明



科学出版社

机械类“3+4”贯通培养规划教材

# 互换性原理与测量技术

主 编 杨发展 栗心明

副主编 梁 鹏 刘庆玉 孟广耀

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书是按照高等学校机械类“3+4”贯通培养的本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,结合山东省本科教学质量与教学改革工程项目(项目名称:面向新旧动能转换战略多学科交叉融合的机械工程人才培养模式探索与实践)、山东省高水平应用型立项建设专业(群)项目以及编者所在学校的教育教学改革、课程改革经验的基础上编写而成的。全书主要内容包括绪论,测量技术基础,极限与配合,几何公差与检测,表面粗糙度与检测,光滑工件尺寸检测与量规设计,键、花键及轴承的公差与配合,螺纹的公差与检测,圆柱齿轮公差与检测。每章后面附有一定数量的习题。

本书可作为高等学校机械类、近机类各专业的教材和参考书,也可作为高职类工科院校及机械工程技术人员的学习参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

互换性原理与测量技术/杨发展,栗心明主编. —北京:科学出版社, 2019.5

机械类“3+4”贯通培养规划教材

ISBN 978-7-03-061027-0

I. ①互… II. ①杨… ②栗… 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068987号

责任编辑:邓静 张丽花 王晓丽 / 责任校对:王萌萌

责任印制:张伟 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年5月第一版 开本:787×1092 1/16

2019年5月第一次印刷 印张:12 3/4

字数:325 000

定价:59.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



# 机械类“3+4”贯通培养规划教材

---

## 编 委 会

主 任：李长河

副主任：赵玉刚 刘贵杰 许崇海 曹树坤

韩加增 韩宝坤 郭建章

委 员(按姓名拼音排序)：

安美莉 陈成军 崔金磊 高婷婷

贾东洲 江京亮 栗心明 刘晓玲

彭子龙 滕美茹 王 进 王海涛

王廷和 王玉玲 闫正花 杨 勇

杨发展 杨建军 杨月英 张翠香

张效伟

# 前 言

“互换性原理与测量技术”是高等工科院校机械类、近机类等专业的重要技术基础课程之一，是联系基础课、专业课和实践教学之间的纽带。“互换性原理与测量技术”课程是学生进入专业领域学习的“先导”课程，起着联系设计类课程与制造工艺类课程的桥梁作用，在培养学生综合设计能力、产品质量检测和工程实践能力方面占有重要地位。本课程的任务是通过课堂教学、实验教学和相关项目研究等，使学生获得互换性原理与测量技术方面的基本知识，培养其应用相关公差标准对产品进行精度设计和产品质量检测的能力，支撑专业学习成果中相应指标点的达成。

本书是根据高等学校机械类“3+4”贯通培养“互换性原理与测量技术”课程教学大纲要求，按照近几年的全国高等学校教学改革有关精神，结合编者多年教学实践并参照国内外有关资料和书籍编写而成的。全书突出体现以下特点。

(1)紧密结合教学大纲，在内容上注重加强基础，突出应用能力和工程素质的培养，做到紧扣国家标准、系统性强、内容少而精。

(2)综合运用已学过的知识进行尺寸精度和测量方法的确定与选择，既有传统标准化和计量学的基础知识，又有新技术、新装备和新的测量方法在精度设计领域的应用与发展，特色明显。

(3)为适应机械工程学科的进步和发展形势的需要，各章内容贯穿了互换性系统的思想，同时为了扩大知识面，适当加入了现代制造中的高精度、高的表面粗糙度要求等反映国内外的新成果、新技术的内容。

(4)全书采用最新国家标准及法定计量单位。

(5)为方便学生自学和进一步理解课程的主要内容，各章后均编入了一定数量的习题，做到理论联系实际，学以致用。

本书由青岛理工大学杨发展、栗心明担任主编，梁鹏、刘庆玉、孟广耀担任副主编。本书第1章由孟广耀编写，第2章由孟广耀、刘庆玉编写，第3章、第5章和第6章由杨发展编写，第4章由梁鹏、刘庆玉编写，第7章由杨发展、栗心明编写，第8章、第9章由栗心明编写。全书由杨发展统稿和定稿。

本书承蒙山东大学机械工程学院赵军教授主审。赵军教授提出了许多宝贵的建议，在此表示衷心的感谢。在本书编写过程中得到了许多专家、同仁的大力支持和帮助，参考了许多教授、专家的有关文献，在此一并向他们表示衷心的感谢。

本书的出版得到科学出版社和青岛理工大学的大力支持，在此表示衷心感谢！

由于编者的水平和时间有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2018年12月

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 互换性与公差 .....	1
1.2 标准化与优先数系 .....	3
1.3 几何量的精度设计与测量技术 .....	5
习题 1 .....	6
第 2 章 测量技术基础 .....	7
2.1 测量的基本概念 .....	7
2.1.1 测量的方式 .....	7
2.1.2 测量过程的四要素 .....	8
2.1.3 计量基准 .....	8
2.1.4 量块 .....	10
2.2 测量仪器和测量方法 .....	11
2.2.1 测量仪器的基本技术性能指标 .....	11
2.2.2 测量仪器及分类 .....	13
2.2.3 测量方法及分类 .....	13
2.3 测量误差及数据处理 .....	15
2.3.1 测量误差的基本概念 .....	15
2.3.2 测量误差的来源 .....	15
2.3.3 测量误差的分类 .....	17
2.3.4 测量精度的分类 .....	17
2.3.5 测量数据的处理 .....	18
习题 2 .....	26
第 3 章 极限与配合 .....	28
3.1 极限与配合的术语和定义 .....	28
3.1.1 有关尺寸的术语与定义 .....	28
3.1.2 有关偏差和公差的术语与定义 .....	30
3.1.3 有关配合的术语与定义 .....	31
3.2 尺寸公差与配合的标准 .....	35
3.2.1 标准公差系列 .....	36
3.2.2 基本偏差系列 .....	38
3.2.3 一般、常用和优先的公差带与配合 .....	47

3.3 尺寸公差带与配合的选用	49
3.3.1 基准制的选用	50
3.3.2 公差等级的选用	51
3.3.3 配合种类的选用	53
3.3.4 选用实例	56
3.4 大尺寸段、小尺寸段的公差与配合	59
3.4.1 大尺寸段的公差与配合	59
3.4.2 小尺寸段的公差与配合	63
习题 3	64
<b>第 4 章 几何公差与检测</b>	<b>66</b>
4.1 几何公差概述	66
4.1.1 几何公差的研究对象	66
4.1.2 几何公差的特征及符号	67
4.1.3 几何公差带的概念	68
4.2 几何公差的标注	69
4.3 几何公差与公差带	71
4.3.1 形状公差及公差带	71
4.3.2 方向公差及公差带	73
4.3.3 位置公差及公差带	75
4.3.4 跳动公差及公差带	77
4.4 公差原则与应用	78
4.4.1 公差原则的基本术语及定义	78
4.4.2 独立原则	80
4.4.3 相关要求	81
4.5 几何公差的选择	87
习题 4	94
<b>第 5 章 表面粗糙度与检测</b>	<b>97</b>
5.1 概述	97
5.2 表面粗糙度的评定	98
5.2.1 主要术语和定义	99
5.2.2 几何参数的术语	100
5.2.3 评定参数	101
5.3 表面粗糙度的选用	103
5.3.1 表面粗糙度评定参数的选择	104
5.3.2 表面粗糙度评定参数允许值的选择	104
5.4 表面粗糙度的符号、代号及其注法	106
5.4.1 表面粗糙度的符号和代号	106
5.4.2 表面粗糙度要求在图样中的注法	108

5.5 表面粗糙度的检测	111
习题 5	114
<b>第 6 章 光滑工件尺寸检测与量规设计</b>	<b>115</b>
6.1 光滑工件尺寸检验	115
6.2 光滑极限量规设计	123
6.2.1 光滑极限量规的功用及种类	123
6.2.2 量规的设计	124
习题 6	129
<b>第 7 章 键、花键及轴承的公差与配合</b>	<b>130</b>
7.1 键与花键的用途和分类	130
7.2 平键连接的公差与配合	131
7.3 矩形花键连接的公差与配合	134
7.3.1 矩形花键的结构和尺寸	134
7.3.2 矩形花键连接的定心方式	135
7.3.3 矩形花键连接的公差与配合	136
7.3.4 矩形花键的图样标注	138
7.3.5 矩形花键的检测	138
7.4 滚动轴承公差与配合	139
7.4.1 滚动轴承的精度等级	139
7.4.2 滚动轴承内径和外径的公差带及其特点	140
7.4.3 滚动轴承与轴和外壳孔的配合及其选择	143
习题 7	148
<b>第 8 章 螺纹的公差与检测</b>	<b>150</b>
8.1 概述	150
8.2 普通螺纹几何参数误差对互换性的影响	152
8.3 普通螺纹的公差与配合	154
8.3.1 螺纹公差带	154
8.3.2 螺纹公差带的选用	158
8.3.3 普通螺纹标记	159
8.4 普通螺纹的检测	159
习题 8	160
<b>第 9 章 圆柱齿轮公差与检测</b>	<b>161</b>
9.1 齿轮传动及其使用要求	161
9.2 齿轮的加工误差及其分类	162
9.2.1 加工误差的主要来源	162
9.2.2 齿轮加工误差的分类	163

---

9.3 齿轮的评定指标及检测	164
9.3.1 传递运动准确性的评定指标及检测	164
9.3.2 传动平稳性的评定指标及检测	167
9.3.3 载荷分布均匀性的评定指标及检测	169
9.3.4 侧隙评定指标及检测	171
9.4 齿轮安装误差的评定指标	173
9.5 渐开线圆柱齿轮精度标准	174
9.5.1 齿轮评定指标的精度等级及选择	174
9.5.2 齿轮侧隙指标公差值的确定	182
9.5.3 检验项目的选择	184
9.5.4 齿轮坯公差	185
9.5.5 齿轮齿面和基准面的表面粗糙度要求	186
9.5.6 图样上齿轮精度等级的标注	187
9.6 齿轮精度设计示例	187
9.7 新旧国标对照	190
习题 9	192
参考文献	193

# 第1章 绪 论

## 教学提示

互换性在国民经济发展和国内外各类贸易中起着重要的推动作用。零部件间具有的互换性是进行现代化规模生产的基本要求,而公差则是保证互换性得以顺利实现的基本条件。互换性的基本概念和优先数系的特点是本章学习的重点,学生在学习的过程中可结合生产实例来逐步理解并重点掌握。

## 教学要求

掌握互换性的基本概念。了解互换性生产在国民经济发展中的作用。掌握优先数和优先数系构成的特点。了解标准化意义及标准化与互换性之间的关系。

## 1.1 互换性与公差

### 1. 互换性与公差的概念

汽车、家电产品等的装配往往采用的是流水线作业,随着输送带及输送系统的循环运动,各部位的零件被安装到指定的位置。在生产中,为什么工人/机器手臂在捡起零件进行装配时,不加任何选择,就能将零件装上,而且能够满足要求?这就是互换性的作用。那么,什么是互换性呢?

在机械等各类产品的制造业中,零部件的互换性是指在同一规格的一批零件或部件中,任取其一,不需经过任何的挑选或修配(如钳工打磨修理等)就能直接装在机器上,并满足设定的功能要求,这样的一批零部件就称为具有互换性的零部件。

前面提到的零部件为什么不经过选择,随机任取一件就能装上并能满足装配和功能要求呢?这是因为这些零部件具有互换性特征。互换性在日常生活中很常见,如灯泡、螺栓、螺母、插座、USB接口、轴承等零部件都是典型具有互换性的零部件,因为这些零部件具有在尺寸、功能上彼此互相替换的功能。因此,互换性是工业生产发展到一定水平的产物,是进行现代化生产的基本要求。

这些零部件之所以具有互换性,是因为这些零部件在制造时遵循了一个原则,即国家标准(公差标准)。公差是零部件的几何参数所允许的变动量。在设计时必须给零部件规定尺寸变动范围即公差,在制造时只要控制零部件的加工误差在公差允许的范围内,就能保证零部件具有互换性。所以公差是保证互换性得以实现的基本条件。

零部件的互换性包括几何量、力学性能和理化性能等各方面的互换性,本书只介绍几何量的互换性。

## 2. 互换性的作用

互换性的作用主要体现在机械设计、制造、使用和维修、回收与再利用等零件的全生命周期的各个方面。

(1)在设计方面,由于大多数零部件均已标准化,所以在设计中只需要根据要求来选用即可,从而使设计过程大幅简化、耗用的时间大大缩短,设计人员可以集中精力解决关键环节的问题,提高设计质量。

(2)在制造方面,互换性有利于实现生产过程的机械化、自动化水平;采用定尺寸刀量具加工、检验,可大幅降低生产成本;有利于实现装配过程的流水线作业和自动化生产线作业,提高生产效率,如汽车装配时采用流水线作业等。

(3)在使用和维修方面,由于零部件具有了互换性,当某些零部件磨损或损坏失效时,可以及时将备用件换上,方便快捷,提高了机器的使用价值并大幅提升其服役能力和服役时间。

(4)回收与再利用方面,整机达到报废条件而机械中的一些功能部件满足力学性能且达到回收条件的零部件,根据其型号规格进行分门别类处理,经评估后还可以重新使用,可大幅节约原材料和生产成本。

在现代化工业生产中,互换性在提高产品质量、提升生产效率和降低生产成本等方面具有重要的意义。那么是否在任何场合任何零部件都需要按互换性要求进行生产呢?互换性的种类有哪些?如何根据需要来选择互换性种类?

## 3. 互换性的种类

互换性的分类方法很多,按互换性程度来分是常用的方法,由此可将互换性分为完全互换性和不完全互换性。

### 1) 完全互换性

简称互换性,是以零部件装配或更换不需要经过任何挑选或修配为条件的,也就是零部件能百分百互换。它的优点是生产率高,有利于组织流水线和自动线生产,容易解决备件供应问题,有利于维修工作。缺点是对加工精度要求高的零部件,加工工序中每个环节的公差值将会很小且难以加工,实际生产不经济。

### 2) 不完全互换性

针对加工精度要求高、生产成本要求低的矛盾,在零部件装配时允许有附加的选择或调整,但不允许有修理,所以也称为有限互换性。不完全互换性可以用分组装配法和调整法来实现。

(1)分组装配法,是将零部件的制造公差放大到经济可行的程度,在装配时进行分组,选择合适的零部件进行装配,以保证相同组内零部件的公差达到规定的装配精度。例如,活塞销和活塞销孔的装配关系,如图 1-1 所示。活塞销直径  $d$  与活塞销孔径  $D$  的公称尺寸为  $\phi 28\text{mm}$ ,按装配技术要求,在冷态装配时应有  $0.0025\sim 0.0075\text{mm}$  的过盈量,配合公差是  $0.005\text{mm}$ ,孔与销轴的加工精度要求为  $0.0025\text{mm}$ ,需用研磨加工的方法才能保证精度要求。若活塞销和活塞销孔的加工精度要求降低为  $0.01\text{mm}$ ,比原来的制造公差扩大了 4 倍,那么活塞销采用精密无心磨加工,活塞销孔采用金刚镗加工,可使加工成本降低。但为达到装配要求需采用分组互换进行装配,将孔和轴均分为四组,这样公差要求保证了装配的配合公差为  $0.005\text{mm}$ ,从而满足使用的要求。该方法适用于大批量生产,缺点是易造成各组配合件数不等,不能完全配套,造成零部件积压。

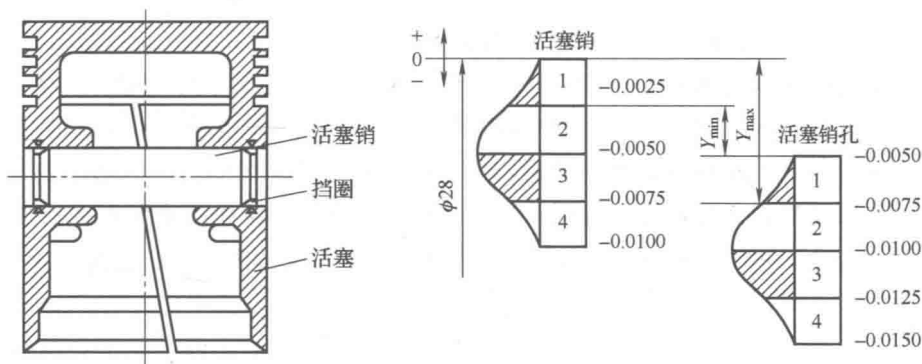


图 1-1 活塞销与活塞销孔的装配关系(单位: mm)

(2) 调整互换法, 分为可动调整法和固定调整法。该方法在装配时用改变产品中可调整零部件的相对位置或选用合适的调整件来达到装配精度的要求。

## 1.2 标准化与优先数系

### 1. 标准与标准化的概念

标准是对重复性事物和概念所做的统一规定, 它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础, 经有关方面协商一致, 由主管机构批准, 以特定形式发布, 作为共同遵守的准则和依据。标准是需要人们共同遵守的规范性文件。

标准的表现形式为文字表达和实物表达, 如标准文件、量块等。

我国标准分为强制性标准和推荐性标准。强制性标准是国家通过法律的形式明确要求对于一些标准所规定的技术内容和要求必须执行, 不允许以任何理由或方式加以违反、变更的标准, 包括强制性的国家标准、行业标准和地方标准。对违反强制性标准的, 国家将依法追究当事人的法律责任。推荐性标准是指国家鼓励自愿采用的具有指导作用而又不宜强制执行的标准, 即标准所规定的技术内容和要求具有普遍的指导作用, 允许使用单位结合自己的实际情况, 灵活加以选用。

国际标准是指国际标准化组织 (ISO) 和国际电工委员会 (IEC) 所制定的标准, 以及国际标准化组织已列入《国际标准题内关键词索引》中的 27 个国际组织制定的标准和公认具有国际先进水平的其他国际组织制定的某些标准。

标准化是指在经济、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活动。标准化包括标准的制定、宣传、贯彻、实施和管理。

### 2. 标准的分类及代号

根据《中华人民共和国标准化法》规定, 按标准的层次分类, 我国的标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准, 并将国家标准、行业标准、地方标准分为强制性标准和推荐性标准两类。

国家标准是四级标准体系中的主体。例如, GB 7718—2011《食品安全国家标准预包装食品标签通则》中, GB 是国标的汉语拼音的声母, 7718 为强制性国家标准的代号, 2011 为年

份；GB/T 1800.1—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，GB后加/T表示为推荐性国家标准。

行业标准是指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所制定的标准。行业标准是对国家标准的补充，是专业性、技术性较强的标准。行业标准的制定不得与国家标准相抵触，国家标准公布实施后，相应的行业标准即行废止。例如，JB/T 4050.1—1999《气相防锈油技术条件》是机械行业推荐性标准。不同行业的标准的前面的两个字母不同，如JB机械、NY农业、R交通、HJ环境保护、SN商检、QB轻工、LY林业、CJ城镇建设、WS卫生、YC烟草、QC汽车、JC建材、SJ电子、YD通信等。

地方标准是指对没有国家标准和行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一工业产品的安全、卫生要求所制定的标准，地方标准在本行政区域内适用，不得与国家标准和行业标准相抵触。国家标准、行业标准公布实施后，相应的地方标准即行废止。例如，DB 23/T 1210—2008 黑龙江省推荐性地方标准、DB 34/848—2008 安徽省强制性地方标准，DB后面的阿拉伯数字代表省、自治区或直辖市，如北京11、天津12、河北13、山西14、内蒙古15、辽宁21、吉林22、黑龙江23、上海31、江苏32、浙江33、安徽34、福建35、江西36、山东37、河南41、湖北42、湖南43、广东44、广西45、海南46、重庆50、四川51、贵州52、云南53、西藏54、陕西61、甘肃62。

企业在生产产品时，如果没有国家标准、行业标准和地方标准可参照，就应当制定相应的企业标准。对没有国家标准、行业标准或地方标准的，鼓励企业制定严于国家标准、行业标准或地方标准要求的企业标准。企业标准是指企业所制定的产品标准和在企业内需要协调、统一的技术要求、管理要求、工作要求所制定的标准。企业标准是企业组织生产经营活动的依据。例如，Q/WP1024—2002是TCL集团股份有限公司的企业标准，WP是企业代号，1024是标准顺序号，2002是制定和实施的年份。

### 3. 优先数系和优先数

机械设计中常遇到数据的选取问题，几何量公差最终也是数据的选取问题，如产品的分类、分级的系列参数的规定、公差数值的规定。这些数据的选择关系到统一、简化、规范和实用性的问题。国家标准GB/T 321—2005《优先数和优先数系》给出了制定标准的数值制度。这也是国际上通用的科学数值制度。

#### 1) 优先数系

优先数系(表1-1)是由一些十进制等比数列构成的，其代号为R<sub>r</sub>；公比为 $q_r = \sqrt[r]{10}$  ( $r$ 取5、10、20、40、80)。例如，R5、R10、R20和R40系列。

$$R5 \text{ 的公比: } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.6$$

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

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

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

从表1-1可知优先数是近似值，其数值圆整的方法在此不做介绍，可根据表中所列数值推导出所需要的优先数。例如，R5系列从10开始取数，依次为10、16、25、40、63、100、160等。

表 1-1 优先数系(基本系列)(摘自 GB/T 321—2005)

基本系列	优先数(常用值)										
	1.00		1.60		2.50		4.00		6.30		10.00
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	1.6	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
	1.9	2.00	2.12	2.24	2.36		2.5	2.65	2.8	3.0	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

优先数系的特点： $r$ 值大的优先数系的项值包括 $r$ 值小的优先数系的项值。例如，R10系列包括R5系列里的所有数；R20系列包括R10系列里的所有数。 $r$ 值可以判断优先数系的变化规律，如R5系列就是每隔5位数值扩大10倍，R10系列就是每隔10位数值扩大10倍，根据此规律可按表1-1的数值向两边扩展，并方便地获得所需要的优先数。例如，R5系列比1小的优先数为1、0.63、0.4、0.25、0.16、0.1等。

### 2) 优先数

优先数系中的所有数均为优先数，即都为符合R5、R10、R20、R40和R80系列的圆整值。在生产中，为了满足用户各种各样的要求，同一种产品的同一个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。公差数值的标准化，也是以优先数系来选数的。

### 3) 优先数系的分类

根据国家标准GB/T 321—2005的规定，优先数系分类如下。

基本系列：R5、R10、R20、R40和补充系列R80。

派生系列：R10/3、R5/2、R10/2。

基本系列是常用的系列，补充系列是在参数分级很细或基本系列中的优先数不能适应实际情况时，才可考虑采用的。

派生系列是从基本系列或补充系列中每隔 $p$ 项取值导出的系列，以 $Rr/p$ 表示，比值 $r/p$ 是1~10、10~100等各个十进制数内项值的分级数。例如，R10/3，它的公比数大约为2，即 $q_{10/3} = 10^{3/10} = 1.953 \approx 2$ ，它是在R10系列的基础上每隔3个数取1个数，由此可导出3种不同项值的系列，具体如下。

(1) 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, ...

(2) 1.25, 2.50, 5.00, 10.0, ...

(3) 1.60, 3.15, 6.30, 12.5, ...

## 1.3 几何量的精度设计与测量技术

### 1. 几何量的精度设计

一般情况下，在机械产品的设计中，需要进行三方面的设计。

(1) 运动设计/功能设计：根据机器或机构需满足的运动或功能要求，由运动学原理出发，

确定机器或机构的合理的传动系统,选择合适的机构或元件,以保证实现预定的动作或功能,最终达到机器或机构运动/功能方面的要求。

(2)结构设计:根据零部件在强度、刚度、稳定性等方面的要求,确定各个零件合理的公称尺寸,进行合理的结构设计,使其在工作时能承受设定的负荷,达到强度和刚度等各方面的要求。

(3)几何量的精度设计:零件公称尺寸确定后,还需要进行精度的计算,以确定产品各个部件的装配精度以及零件的几何参数和公差。零件加工后的实际几何形体与设计要求的理想的形体相一致的程度,称为几何量精度。零件的几何量精度直接影响零件的使用性能和质量。几何量精度往往用公差值来要求,所以零件的加工误差应小于或等于公差允许的量值。

机械零件的加工工艺就是根据该零件几何精度设计的要求安排的,本书后续内容主要讨论的是几何精度的设计。

## 2. 几何量的测量技术

测量技术是互换性得以实现的保障。当零件被加工完成后,其是否满足几何精度的要求,需要通过测量加以判断。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。

测量技术包括测量的仪器、测量的精度、测量的方法和测量数据的处理。通过测量不仅可以评定产品的质量,而且可以分析产生不合格品的原因并及时调整后续的生产工艺,预防废品的产生。因此,合理的几何精度设计和高水平的测量技术是保证产品质量、实现互换性生产的两个必不可少的条件和手段。

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。测量技术的水平在一定程度上反映了机械加工的水平。测量技术的发展能提高检测效率、公正评判和保证产品质量。

本课程学习的主要任务就是掌握几何量精度设计的基本方法,获得互换性、标准化、测量技术及质量工程的基础知识,掌握各公差标准及其应用和工厂常用计量器具的操作技能,初步了解测量误差及其处理方法,为后续从事机电产品的设计、制造、维修、开发和科研打下坚实的基础。

## 习题 1

- 1-1 什么叫互换性?它在机械制造中有何重要意义?是否只适用于大批量生产?
- 1-2 完全互换与不完全互换有何区别?各用于何种场合?
- 1-3 公差、检测、标准化与互换性有什么关系?
- 1-4 按标准颁发的级别,我国标准可分为哪几种?
- 1-5 什么是优先数系?R5系列的数每隔5位,数值增加几倍?
- 1-6 请根据表1-1写出R10和R10/2系列自1以后的10个数。
- 1-7 可装配性与互换性有何区别?

## 第2章 测量技术基础

### 教学提示

测量技术是互换性得以顺利实现的必要技术保障。只有通过测量过程的检验才能获得零部件的几何精度是否达到初期设计和使用要求,才能做出零件是否合格的评价。掌握测量的基本技能和常用的数据处理方法,能保证互换性实现。

### 教学要求

零件的检测方法和数据处理的方法是本章的重点,要求学生在学的过程中结合实验内容掌握测量技术的应用。

## 2.1 测量的基本概念

制造业的发展离不开测量技术的进步,测量技术的进步促进了现代制造业的快速发展,并进一步提升了精密与高精度加工等技术的应用。在产品的“设计、制造、检测”这三大环节中,测量占有极其重要的地位。

有关检测方面的国家标准有 GB/T 3177—2009《产品几何技术规范(GPS)光滑工件尺寸的检验》、GB/T 1957—2006《光滑极限量规 技术条件》、GB/T 10920—2008《螺纹量规和光滑极限量规型式与尺寸》、GB/T 6093—2001《几何量技术规范(GPS)长度标准 量块》、JJG 146—2011《量块》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》等。

### 2.1.1 测量的方式

一件制造完成后的产品是否满足设计的几何精度要求,通常有以下几种判断方式。

(1)测量。测量是指以确定被测对象的量值为目的的一个操作过程。在这一操作过程中,将被测对象与体现计量单位的标准量进行比较。设被测几何量为 $L$ ,所采用的计量单位为 $E$ ,则它们的比值 $q$ 为

$$q = L/E \quad (2-1)$$

被测几何量的量值 $L$ 为测量所得的量值 $q$ 与计量单位 $E$ 的乘积,即

$$L = q \times E \quad (2-2)$$

式(2-2)表明,任何几何量的量值都由两部分组成,表征几何量的数值和该几何量的计量单位,如2.02m或2020mm。

显然,进行任何测量,首先要明确被测对象和确定计量单位,其次要有与被测对象相适应的测量方法,并且测量结果还要达到所要求的测量精度。

(2) 测试。测试是指具有试验研究性质的测量，也可理解为试验和测量的全过程。

(3) 检验。检验是判断被测物理量(参数)是否合格(在极限范围内)的过程。通常不能测出被测对象的具体数值。

(4) 计量。计量是为实现测量单位的统一和量值准确可靠的一种活动。

## 2.1.2 测量过程的四要素

任何测量过程都包含测量对象、计量单位、测量方法和测量误差四个要素。

(1) 测量对象。在机械制造中，测量的对象主要为几何量，包括长度、角度、表面粗糙度、轮廓形状和位置误差以及螺纹、齿轮的几何参数等。

(2) 计量单位。计量单位是定量表示同种量的大小而约定的定义和采用的特定量。计量单位涉及长度基准的确定、建立、保存、传递和使用，以保证量值的准确和统一。我国的计量单位一律采用《中华人民共和国法定计量单位》中的规定，如几何量中长度的基本单位为米(m)，几何量中平面角的单位为弧度(rad)，立体角的单位为球面度(sr)。

(3) 测量方法。测量方法是进行测量时按类别叙述的一组操作逻辑次序，如替代法、零位法等。根据被测对象的特点，如精度、大小、轻重、材质、数量等来确定测量方法，从而确定所用的计量器具，分析研究被测参数的特点和与其他参数的关系，确定最合适的测量条件(如环境、温度)等。

(4) 测量误差。测量误差是指测得量值与被测量的真值之间的差。由于测量过程总是不可避免地会出现测量误差，测量结果只能在一定范围内无限地靠近真值，绝对等于真值在现实中是不可能的。测量误差大说明测量精度低，所以误差和精度是两个相对的概念。

## 2.1.3 计量基准

在生产和科学实验中测量需要标准量，而标准量所体现的量值需要由基准提供，因此，为了保证测量的准确性，就必须建立起统一、可靠的计量单位基准。

计量基准是为了定义、实现、保存和复现计量单位的一个或多个量值，用作参考的实物量具、测量仪器、参考物质和测量系统。在几何量计量领域内，测量基准可分为长度基准和角度基准两类。

### 1. 长度基准

米是国际上通用的长度计量单位，即“1m是光在真空中于 $(1/299792458)$ s时间间隔内的行程长度”。

从1790年到现在，米作为长度基准的定义已经过了两次重大修改，从最初的实物基准到自然基准，从自然基准到建立在光速值这个基本物理常数的基础上的新的定义。无论如何修改，对长度计量工作者来说，影响不大，因为他们关注的是如何进行长度量值的统一和传递的问题。在生产中都是通过一些高精度的计量器具将基准的量值进行传递。可直接用这些测量器具对零件进行测量。图2-1是国家标准所规定的长度量值的传递系统，通过线纹尺和量块这两个主要媒介把国家基准波长向下传递，由于传递的媒介不同，精度要求也不同，实际应用中可根据具体的要求选择不同精度的测量基准。例如，生产中常用的游标卡尺的制造是以3等线纹尺为基准的，而立式光学计是以量块为测量基准的。