



普通高等教育“十三五”规划教材  
河南省“十二五”普通高等教育规划教材

# 互换性与测量技术基础

Interchangeability and Measurement Technology Foundation

© 赵俊伟 陈国强 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS





普通高等教育“十三五”规划教材

河南省“十二五”普通高等教育规划教材

# 互换性与测量技术基础

主 编 赵俊伟 陈国强  
副主编 陈水生 袁兴起 吕宝占  
参 编 牛振华 张高峰 黄俊杰



机械工业出版社

本书注重理论与实践的结合，主要讲述与互换性和测量技术相关的基本概念、基础理论和应用技术。全书共八章，主要内容包括：绪论，测量技术基础，孔、轴结合的公差与配合，几何公差，表面粗糙度，典型零部件的互换性，尺寸链和实验指导。为了配合课堂教学与读者学习，每章都配备了习题或思考题；为了便于查阅，附录给出了互换性基础标准主要目录及常用词汇中英文对照。

本书可作为高等学校机械工程、仪器科学与技术等学科相关专业的教材，也可作为从事机械设计与制造、精密仪器设计的工程技术人员参考用书。

### 图书在版编目（CIP）数据

互换性与测量技术基础/赵俊伟，陈国强主编. —北京：机械工业出版社，2017.4

普通高等教育“十三五”规划教材 河南省“十二五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-56737-0

I. ①互… II. ①赵… ②陈… 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（2017）第 095443 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：舒恬 责任编辑：舒恬 王小东 责任校对：张晓蓉

封面设计：张静 责任印制：李昂

河北鹏盛贤印刷有限公司印刷

2017 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16.75 印张·416 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-56737-0

定价：37.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

网络服务

机工官网：[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面防伪标均为盗版

# 前 言

“互换性与测量技术基础”是高等院校机械工程、仪器科学与技术及相关学科的一门综合性很强的技术基础课程，是机械设计（运动设计、结构设计、精度设计）中不可缺少的重要组成部分，是联系工程制图、机械设计、制造工艺学、制造装备设计等课程及其课程设计、实习、毕业设计等培养环节的纽带，是从基础课学习过渡到专业课学习的桥梁。在学生知识结构的形成与能力的培养方面起着极其重要的作用。

有关互换性与测量技术方面的教材很多，其中有一些堪称经典与优秀教材。本书为第一批河南省“十二五”普通高等教育规划教材，是编者根据多年来关于本课程教学及应用的经验与体会，参考了很多已出版的同类教材编写而成的。由于“互换性与测量技术基础”课程具有很强的理论性与实践性，所以本书在编写过程中突出了基本知识和基本理论的系统性、实用性和科学性，在阐明基本概念和原理的同时，突出实用性；注重加强基础，尽量做到少而精，力求按照最新的标准编写；除实验指导外，每章后都有习题，便于教师课堂讲授与学生课下自学。为了加强对学生综合设计能力的培养，本书加强了基本理论与生产设计、制造、检验等实践活动的有机结合。

本书共分八章，具体内容安排如下：

第一章 绪论。内容包括互换性概述，标准化及优先数系，本课程的性质、任务与要求。

第二章 测量技术基础。内容包括测量的概念、长度基准与量值传递、测量方法与计量器具的分类、测量误差与数据处理。

第三章 孔、轴结合的公差与配合。内容包括公差与配合的基本概念、公差与配合的国家标准、零件尺寸精度和配合的设计、滚动轴承的互换性、光滑圆柱工件的检测。

第四章 几何公差。内容包括概述、几何公差的评定与检测、公差原则概述、几何公差的选择。

第五章 表面粗糙度。内容包括概述、表面粗糙度的评定、表面粗糙度的表示、表面粗糙度轮廓的检测。

第六章 典型零部件的互换性。内容包括键与花键的公差与配合、螺纹联接的公差与配合、圆柱齿轮传动的公差与配合、圆锥的公差与配合。

第七章 尺寸链。内容包括基本概念、尺寸链的建立与计算类型、直线尺寸链的计算。

第八章 实验指导。内容包括光滑工件尺寸测量、圆跳动误差测量、用光切显微镜测量表面粗糙度、圆柱螺纹测量、圆柱齿轮测量。

本书由河南理工大学赵俊伟、陈国强任主编，陈水生、袁兴起、吕宝占任副主编，赵俊伟负责统稿及整体规划，陈国强编写第一章与第二章，吕宝占编写第三章，袁兴起编写第四章，陈水生编写第五章与第六章的第三节，牛振华编写第六章的第一、二、四节，张高峰编写第七章、第八章及附录，黄俊杰负责制作本书课件。本书在编写的过程中得到了河南省教育厅、河南理工大学的领导和教务处以及机械与动力工程学院的大力支持，在此表示感谢。河南省教育厅聘请有关专家审阅了本书，并提出了许多宝贵的意见，再次深表感谢。另外，本书的出版得到了机械工业出版社的大力支持和鼓励，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中错误与不足之处在所难免，敬请读者批评、指正。

编 者

# 目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 互换性概述	1
一、互换性的基本概念	1
二、互换性的作用	2
第二节 标准化及优先数系	2
一、标准化	2
二、优先数和优先数系	3
第三节 本课程的性质、任务与要求	10
一、本课程的性质与任务	10
二、特点与学习方法	10
习题	10
第二章 测量技术基础	12
第一节 测量的概念	12
一、测量	12
二、测量的要素	12
第二节 长度基准与量值传递	13
一、长度基准	13
二、尺寸传递	13
三、量块的基本知识	13
第三节 测量方法与计量器具的分类	16
一、测量方法的分类	16
二、计量器具的分类	17
三、计量器具的基本技术性能指标	17
第四节 测量误差与数据处理	19
一、误差与精度及不确定度	19
二、误差的基本性质与处理	23
三、间接测量误差的传递	38
习题	40
第三章 孔、轴结合的公差与配合	42
第一节 公差与配合的基本概念	42
一、孔、轴结合的使用要求	42
二、有关术语和定义	42
第二节 公差与配合的国家标准	51
一、标准公差系列——公差带大小的 标准化	51
二、基本偏差系列——公差带位置的 标准化	54
三、公差带、公差尺寸与配合的表示	63
四、公差带和配合的选择	63
五、一般公差——未注公差的线性和角度 尺寸的公差	67
第三节 零件尺寸精度和配合的设计	68
一、配合制的选用	68
二、公差等级的选用	70
三、配合种类的选用	73
第四节 滚动轴承的互换性	77
一、滚动轴承的组成和形式	77
二、滚动轴承的精度规定	78
三、滚动轴承的精度设计	81
第五节 光滑圆柱工件的检测	87
一、通用计量器具的选择	88
二、光滑极限量规的设计	92
习题	98
第四章 几何公差	100
第一节 概述	100
一、零件的几何要素	101
二、几何公差和几何公差带	101
三、几何误差和几何误差最小包容 区域	103
四、理论正确尺寸	103
五、注出几何公差和未注几何公差	103
第二节 几何公差的评定与检测	105
一、几何公差的特征项目及符号	105
二、几何公差的标注	106
三、形状公差	109
四、形状或位置公差及公差带	109
五、位置公差	112
六、几何误差的评定与检测	124
七、几何误差的检测原则	128
第三节 公差原则概述	130
一、有关公差原则的基本概念	130
二、公差原则	133
第四节 几何公差的选择	137
一、几何公差项目的选择	138
二、几何公差值（或公差等级）的选择	138

三、公差原则的选择 .....	139	三、圆锥标注 .....	214
四、公差基准的选择 .....	140	四、锥角的测量 .....	216
习题 .....	141	习题 .....	217
<b>第五章 表面粗糙度 .....</b>	<b>144</b>	<b>第七章 尺寸链 .....</b>	<b>219</b>
第一节 概述 .....	144	第一节 基本概念 .....	219
一、表面特征的意义 .....	144	一、尺寸链的有关术语 .....	219
二、表面粗糙度对零件使用性能的影响 .....	145	二、尺寸链的分类 .....	220
第二节 表面粗糙度的评定 .....	145	第二节 尺寸链的建立与计算类型 .....	222
一、有关表面粗糙度的一般术语与定义 .....	145	一、尺寸链的建立 .....	222
二、表面轮廓参数 .....	147	二、尺寸链计算的类型和方法 .....	223
第三节 表面粗糙度的表示 .....	148	第三节 直线尺寸链的计算 .....	224
一、表面粗糙度的符号 .....	148	一、完全互换法 .....	225
二、表面粗糙度完整符号的组成 .....	148	二、概率法 .....	233
三、表面粗糙度的标注方法 .....	149	三、其他解法 .....	236
第四节 表面粗糙度轮廓的检测 .....	151	习题 .....	237
习题 .....	153	<b>第八章 实验指导 .....</b>	<b>239</b>
<b>第六章 典型零部件的互换性 .....</b>	<b>154</b>	第一节 光滑工件尺寸测量 .....	239
第一节 键与花键的公差与配合 .....	154	一、目的与要求 .....	239
一、键的分类 .....	154	二、测量原理和量仪说明 .....	239
二、平键联结的公差与配合 .....	155	三、实验步骤 .....	240
三、矩形花键联结的公差与配合 .....	158	四、思考题 .....	242
四、键和矩形花键的检测 .....	162	第二节 圆跳动误差测量 .....	242
第二节 螺纹联接的公差与配合 .....	163	一、目的与要求 .....	242
一、螺纹的分类 .....	163	二、量仪说明和测量方法 .....	242
二、螺纹的基本牙型及主要几何参数 .....	163	三、实验步骤 .....	242
三、螺纹标注 .....	166	四、思考题 .....	243
四、螺纹几何参数对互换性的影响 .....	167	第三节 用光切显微镜测量表面粗糙度 .....	243
五、螺纹中径合格性的判断原则 .....	169	一、目的与要求 .....	243
六、普通螺纹的公差与配合 .....	170	二、测量原理 .....	243
七、螺纹公差配合的选用 .....	173	三、测量步骤 .....	244
八、螺纹的检测 .....	175	第四节 圆柱螺纹测量 .....	246
九、梯形螺纹丝杠和螺母的互换性 .....	176	一、实验目的 .....	246
第三节 圆柱齿轮传动的公差与配合 .....	179	二、仪器说明及调整 .....	246
一、齿轮传动的使用要求 .....	179	三、测量步骤 .....	250
二、齿轮的主要加工误差 .....	180	第五节 圆柱齿轮测量 .....	251
三、圆柱齿轮精度的评定参数指标 .....	182	一、目的与要求 .....	251
四、渐开线圆柱齿轮精度等级及应用 .....	193	二、量仪说明和测量方法 .....	251
五、齿轮副的精度和齿侧间隙 .....	198	三、实验步骤 .....	252
六、齿轮精度设计示例 .....	203	四、思考题 .....	253
第四节 圆锥的公差与配合 .....	205	<b>附录 .....</b>	<b>254</b>
一、概述 .....	205	附录 A 互换性基础标准主要目录 .....	254
二、圆锥公差与配合 .....	208	附录 B 常用词汇中英文对照 .....	255
		<b>参考文献 .....</b>	<b>258</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 互换性概述

### 一、互换性的基本概念

在工业及日常生活中，互换的现象随处可见。人们使用的汽车、自行车等交通工具，如果某个零件或部件损坏后，在维修点换上相同规格的零件或部件，即可正常使用；水性笔芯墨水用完了，很容易装上相同规格的新笔芯继续使用；家里的灯泡坏了，可换上灯头规格相同的新灯泡继续使用；机器上的螺钉、螺母、轴承等失效后，购买相同规格的新的换上即可正常工作。之所以这样方便，是因为同一个规格的合格产品在尺寸、功能、外观等方面可以相互替换。在现代制造业中，分工越来越细，生产越来越专业化。同一个产品的不同零件分别由多个工厂加工完毕，甚至同一规格的零件可能由多个不同的工厂加工，然后再在另一个工厂装配，这些工厂可能分布在世界各地。同一规格的零件在装配时不需要任何选择或修配，任选其一即可装上并达到规定的性能指标，这就要求零件必须具有完全的互换性。这种互换性可以提高生产效率，保证产品质量，以及后期的产品维护，降低整个生命周期的成本。

#### （一）互换性的含义

在机械工业中，互换性是指相同规格的零（部）件，在装配或更换时，不经挑选、调整或附加加工，就能进行装配，并且满足预定的使用性能。

零（部）件的互换性应包括其几何参数、力学性能和理化性能等方面的互换性。本课程仅研究几何参数的互换性。

#### （二）互换性的种类

按互换的程度可分为完全互换性与不完全互换性。

##### 1. 完全互换性

若零（部）件在装配或更换时，不经挑选、调整或修配，装配后能满足预定的使用性能，这样的零（部）件具有完全互换性。

##### 2. 不完全互换性

若零（部）件在装配或更换时，允许有附加选择或附加调整，但不允许修配，装配后能满足预定的使用性能，这样的零（部）件具有不完全互换性。例如，当装配精度要求很高时，采用完全互换性，将使零件的制造公差很小，加工难度加大，成本高，甚至无法加工。因此，生产中可适当地放大零件的制造公差，以便加工。在装配前，根据相配零件实际尺寸的大小分成若干对应组，使对应组内尺寸差别较小，对应组零件进行装配，大孔配大轴，小孔配小轴。这样，既解决了加工困难，又保证了装配精度，这种仅限于组内零件的互换称为不完全互换性。

## 二、互换性的作用

在设计方面，零部件具有互换性，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工作，缩短了设计周期，有利于计算机辅助设计和产品品种的多样化。

在制造方面，互换性有利于组织专业化生产，有利于采用先进的工艺和高效率的专用设备，有利于用计算机辅助制造，有利于实现加工过程和装配过程的机械化、自动化，从而可以提高劳动生产率和产品质量、降低生产成本。

在使用和维修方面，具有互换性的零部件在磨损及损坏后可及时更换，因而减少了机器的维修时间和费用，保证机器连续运转，从而提高机器的使用价值。

总之，互换性在提高产品质量和可靠性、提高经济效益等方面具有重要的意义。它已成为现代化机械制造业中一个普遍遵守的原则，对我国的现代化建设起着重要作用。但是，应当注意，互换性原则不是在任何情况下都适用，当只有采取单个配制才符合经济原则时，零件就不能互换。

## 第二节 标准化及优先数系

### 一、标准化

#### （一）标准及标准化的概念

要实现互换性，则要求设计、制造、检验等工作按照统一的标准进行。在我国国家标准《标准化工作指南 第1部分：标准化和相关活动的通用术语》（GB/T 20000.1—2014）中，把“标准”定义为：在一定的范围内获得最佳秩序，对活动或其结果规定共同的和重复使用的规则、导则或特性的文件。“标准”即是一种“规定”，它的制定是以科学、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。“标准化”的定义为：在一定的范围内获得最佳秩序，对实际的或潜在的问题制定共同的和重复使用的规则的活动。制定“标准”是“标准化”中的一项工作。

#### （二）标准的分类与级别

##### 1. 标准的分类

按照标准化对象的特征，标准可分为基础标准、产品标准、方法标准、卫生标准、安全与环境保护标准等。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，如计量单位、术语、符号、优先数系、机械制图、极限与配合、零件结构要素等。这类标准具有最一般的共性，因而是通用性最强的标准。本课程主要涉及的就是此类标准，如极限与配合标准、几何公差标准、表面粗糙度标准等。

##### 2. 标准的级别

目前我国国家标准分为4级，即国家标准、专业标准（或部委标准）、地方标准和企业标准。

由国家标准化主管部门审批颁布，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称为国家标推，用GB代号表示。例如，代号GB 1800—1979，其中，GB代

表国家标准，1800 代表标准编号，1979 代表标准颁布的年代。

由专业（或部委）标准化部门批准发布，在专业范围内统一执行的标准称为专业标准（部委标准）。

由地方标准化主管部门审批颁布的标准称为地方标准。通常是在没有国家标准或国家标准不能满足需要的情况下，依据某地区的特殊情况发布的仅在该地区范围内统一执行的标准。

由企业内部所制定颁发的标准称为企业标准，用代号 QB 表示。企业标准一般高于专业标准和国家标准。

从世界范围看，还有国际标准和区域标准。国际标准是指由国际标准化组织和国际电工委员会等国际组织颁布的标准，区域标准是指世界某一区域标准化团体颁布的标准或采用的技术规范。

一般来说，国家标准、专业标准和企业标准为强制执行的标准，且专业标准（部委标准）和企业标准不得与国家标准相抵触，企业标准不得与专业标准（部委标准）相抵触；而国际标准为推荐和指导性标准，不能强迫执行。但由于国际标准的先进性和通用性，以及国际技术交流的需要，世界各国纷纷修订自己的国家标准，以便向国际标准靠拢。

### （三）标准化与互换性生产的关系

标准化是实现互换性的前提。现代化生产的特点是规模大、分工细、协作多，为适应生产中各个单位、部门之间的协调和衔接，必然通过标准使分散的、局部的生产部门和生产环节保持必要的统一。因此，标准化是保证互换性生产的手段，而互换性又为标准化活动及其进一步发展提供了条件。可以说，如果不要求互换性，就不需要进行标准化。

### （四）标准化的作用

从作用上讲，标准化的影响是多方面的。世界各国的经济发展过程表明，标准化是组织现代化大生产的重要手段，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。标准化同时是联系科研、设计、生产和使用等方面的纽带，是使整个社会经济合理化的技术基础。标准化也是发展贸易，提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。现代化的程度越高，对标准化的要求也越高。搞好标准化，对加速发展国民经济，提高产品和工程建设质量，提高劳动生产率，搞好环境保护和安全卫生，以及改善人民生活等都有重要的作用。

## 二、优先数和优先数系

### （一）优先数

在产品设计或生产中，为了满足不同的要求，同一产品的某一参数从大到小取不同的值时（形成不同规格的产品系列），首先是按一个或几个数系对参数的分级标准化，以最少项数满足全部要求。数系应具有以下基本特点：①简单、易记；②能向大、小数值两端无限延伸；③包含任意一项值的全部十进倍数和十进分数；④提供合理的分级方法。人们由此总结了一种科学的统一的数值标准，即优先数和优先数系。优先数系是国际上统一的数值分级制度，是一种无量纲的分级数系，适用于各种量值的分级。优先数系中的任意一个数值均称为优先数。19 世纪末，法国人雷诺（Renard）首先提出了优先数和优先数系，后人为了纪念雷诺将优先数系称为 Rr 数系。产品（或零件）的主要参数（或主要尺寸）按优先数形成系列，可使产品（或零件）形成系列化，便于分析参数间的关系，可减轻设计计算的工作量。

如机床主轴转速的分级间距、钻头直径尺寸、表面粗糙度参数、公差标准中尺寸分段(250mm以后)等均采用某一优先数系。

国家标准《优先数和优先数系》(GB/T 321—2005)规定了优先数系,等同采用ISO 3:1973《优先数和优先数系》。该标准适用于各种量值的分级,特别是在确定产品的参数或参数系列时,应按该标准规定的基本系列值选用。

优先数系是公比分别为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 和 $\sqrt[80]{10}$ ,且项值中含有10的整数幂的几何级数的常用圆整值。基本系列(表1.1)和补充系列R80(表1.2)中列出的1~10这个范围与其一致,这个优先数系可向两个方向无限延伸,表中值乘以10的正整数幂或负整数幂后即可得其他十进制项值。

优先数的所有系列均以字母R为符号开始。符合R5、R10、R20、R40和R80系列的圆整值(见表1.1第1~4列和表1.2)为优先数。理论值是 $(\sqrt[5]{10})^N$ 、 $(\sqrt[10]{10})^N$ 等理论等比数列的连续项值,其中N为任意整数。理论值一般是无理数,不便于实际应用。计算值是对理论值取五位有效数字的近似值,计算值对理论值的相对误差 $<1/20000$ ,在做参数系列的精确计算时可用来代替理论值。序号是表明优先数排列次序的一个等差数列,它从优先数1.00的序号0开始计算。

表 1.1 基本系列

基本系列(常用值)				序号	理论值		基本系列和计算值间的相对误差(%)
R5	R10	R20	R40		对数尾数	计算值	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1.00	1.00	1.00	1.00	0	000	1.0000	0
			1.06	1	025	1.0593	+0.07
			1.12	2	050	1.1220	-0.18
			1.18	3	075	1.1885	-0.71
			1.25	4	100	1.2589	-0.71
			1.32	5	125	1.3335	-1.01
			1.40	6	150	1.4125	-0.88
1.60	1.60	1.60	1.50	7	175	1.4962	+0.25
			1.60	8	200	1.5849	+0.95
			1.70	9	225	1.6788	+1.26
			1.80	10	250	1.7783	+1.22
			1.90	11	275	1.8836	+0.87
			2.00	12	300	1.9953	+0.24
			2.12	13	325	2.1135	+0.31
2.50	2.50	2.50	2.24	14	350	2.2387	+0.06
			2.36	15	375	2.3714	-0.48
			2.50	16	400	2.5119	-0.47
			2.65	17	425	2.6607	-0.40
			2.80	18	450	2.8184	-0.65
			3.00	19	475	2.9854	+0.49

(续)

基本系列(常用值)				序号	理论值		基本系列和计算值 间的相对误差(%)	
R5	R10	R20	R40		对数尾数	计算值		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
4.00	3.15	3.15	3.15	20	500	3.1623	-0.39	
			3.35	21	525	3.3497	+0.01	
			3.55	22	550	3.5481	+0.05	
			3.75	23	575	3.7584	-0.22	
	4.00	4.00	4.00	4.00	24	600	3.9811	+0.47
				4.25	25	625	4.2170	+0.78
				4.50	26	650	4.4668	+0.74
				4.75	27	675	4.7315	+0.39
				5.00	28	700	5.0119	-0.24
				5.30	29	725	5.3088	-0.17
6.30	5.60	5.60	5.60	30	750	5.6234	-0.42	
			6.00	31	775	5.9566	+0.73	
			6.30	32	800	6.3096	-0.15	
			6.70	33	825	6.6834	+0.25	
	8.00	8.00	8.00	7.10	34	850	7.0795	+0.29
				7.50	35	875	7.4989	+0.01
				8.00	36	900	7.9433	+0.71
				8.50	37	925	8.4140	+1.02
				9.00	38	950	8.9125	+0.98
				9.50	39	975	9.4406	+0.63
10.00	40	1000	10.0000	0.00				

表 1.2 补充系列 R80

1.00	1.60	2.50	4.00	6.30
1.03	1.65	2.58	4.12	6.50
1.06	1.70	2.65	4.25	6.70
1.09	1.75	2.72	4.37	6.90
1.12	1.80	2.80	4.50	7.10
1.15	1.85	2.90	4.62	7.30
1.18	1.90	3.00	4.75	7.50
1.22	1.95	3.07	4.87	7.75
1.25	2.00	3.15	5.00	8.00
1.28	2.06	3.25	5.15	8.25
1.32	2.12	3.35	5.30	8.50
1.36	2.18	3.45	5.45	8.75
1.40	2.24	3.55	5.60	9.00
1.45	2.30	3.65	5.80	9.25
1.50	2.35	3.75	6.00	9.50
1.55	2.43	3.85	6.15	9.75

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，见表 1.1。基本系列中的优先数常用值，对计算值的相对误差在  $-1.01\% \sim +1.26\%$  范围内。各系列的公比为

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

$$\text{R10 系列} \quad q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.2598 \approx 1.25$$

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

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

R80 系列称为补充系列见表 1.2，它的公比  $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.0292 \approx 1.03$ ，仅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。

派生系列是从基本系列或补充系列  $R_r$  中，每  $p$  项取值导出的系列，以  $R_r/p$  表示，比值  $r/p$  是  $1 \sim 10$ 、 $10 \sim 100$  等各个十进制数内项值的分级数。派生系列的公比为

$$q_{r/p} = q_r^p = (\sqrt[r]{10})^p = 10^{p/r}$$

比值  $r/p$  相等的派生系列具有相同的公比，但其项值是多义的。例如，派生系列 R10/3 的公比  $q_{10/3} = 10^{3/10} = 1.2589^3 \approx 2$ ，可导出三种不同项值的系列：1.00，2.00，4.00，8.00；1.25，2.50，5.00，10.0；1.60，3.15，6.30，12.5。

一般情况，设  $r$  是基本系列的指数， $r=5, 10, 20$  或  $40$ ； $p$  是派生系列的间距，即组成派生系列时，在基本系列中所要求的间隔项数。派生系列公比是  $10^{p/r}$ 。此外，如果  $N$  是正整数，则派生系列的标志项是  $10^{N/40}$ ，则派生系列记为

$$R_r/p(\dots 10^{N/40} \dots)$$

最后，如  $X$  是任意整数（正、零或负整数），则派生系列的任意项为

$$10^{N/40} \times 10^{(p/r)X} = 10^{\left(\frac{N}{40} + \frac{pX}{r}\right)}$$

## (二) 优先数和优先数系应用方法

### 1. 用数值表示特征

编制各种特征数值方案时，若无专门标准，则应选取接近这些特征值的优先数。除有特定理由外，应不偏离优先数，应尽力使现有标准适应优先数。

### 2. 数值分级

选取数值分级时，在满足需要的情况下应选用公比较大的系列，依次是：R5、R10 等。必须仔细确定分级方案，尤其考虑诸如产品标准化效果，产品成本及对与其密切相关的其他产品的依赖程度等因素。

为得到最佳分级方案，特别要考虑下列两对矛盾的趋势：间隔过疏的分级会浪费标准并增加制造成本；而间隔过密的分级又会导致工具和加工费用以及库存品价值的增大。

在所考虑的整个系列范围内，当需要不同时，可分段选用最适宜的基本系列，用顺序的数值构成一公比不同的连续系列（且可在需要处插入新的项值）。

### 3. 派生系列

派生系列是在基本系列中按每隔二项、三项、四项等取值而得到的系列。只有当基本系

列无一能满足分级要求时，才可采用派生系列。

#### 4. 移位系列

移位系列是指与某一基本系列有相同分级，但起始项不属于该基本系列的一种系列。它只用于因变量参数的系列。例如，R80/8 (25.8...165) 系列与 R10 系列有同样的分级，但从 R80 系列的一个项开始，相当于由 25 开始的 R10 系列的移位。

#### 5. 单个数值

在选择单个数值时，如不考虑任何分级，则可选取基本系列 R5、R10、R20、R40 或补充系列 R80 中的项值，但应优先采用公比最大的系列中的项值，即 R5 优先 R10、R10 优先 R20 等。对于能以数值表示的特征值，若不可能全部采用优先数时，首先应对最主要的特征值应用优先数，然后再确定次要的或辅助的特征值。

### (三) 优先数的计算

#### 1. 序号

对于优先数的计算应注意到，序号的算术级数项值 [表 1.1 中第 (5) 列] 正好是相应 R40 系列的优先数 [同表 1.1 中第 (4) 列] 以  $\sqrt[40]{10}$  为底的几何级数项值的对数。序号的系列可向两端延伸。如  $N_n$  是优先数  $n$  的序号，则

$$\begin{aligned} N_{1.00} &= 0 \\ N_{1.06} &= 1 & N_{0.95} &= -1 \\ N_{10} &= 40 & N_{0.10} &= -40 \\ N_{100} &= 80 & N_{0.01} &= -80 \end{aligned}$$

#### 2. 积和商

两优先数  $n$  和  $n'$  的积或商形成的优先数  $n''$ ，可由序号  $N_n$  和  $N_{n'}$  相加或相减来计算，对应新序号的优先数  $n''$  即为所求值。例如：

$$\begin{aligned} \text{① } 3.15 \times 1.6 &= 5 & N_{3.15} + N_{1.6} &= 20 + 8 = 28 = N_5 \\ \text{② } 6.3 \times 0.2 &= 1.25 & N_{6.3} + N_{0.2} &= 32 + (-28) = 4 = N_{1.25} \\ \text{③ } 1 : 0.06 &= 17 & N_1 - N_{0.06} &= 0 - (-49) = 49 = N_{17} \end{aligned}$$

#### 3. 幂和根

计算优先数的正或负整幂时，可将指数与优先数序号之积作为新序号，与之相对应的优先数为所求值。用同样的方法可计算对应优先数的根或优先数的正或负分数幂的优先数，但序号与分式指数的乘积须为整数。例如：

$$\begin{aligned} \text{① } 3.15^2 &= 10 & 2N_{3.15} &= 2 \times 20 = 40 = N_{10} \\ \text{② } \sqrt[5]{3.15} &= 3.15^{1/5} = 1.25 & \frac{1}{5}N_{3.15} &= \frac{1}{5} \times 20 = 4 = N_{1.25} \\ \text{③ } \sqrt{0.16} &= 0.16^{1/2} = 0.4 & \frac{1}{2}N_{0.16} &= \frac{1}{2} \times (-32) = -16 = N_{0.4} \end{aligned}$$

④ 另一方面， $\sqrt[4]{3} = 3^{1/4}$  不是优先数，因指数  $1/4$  与 3 的序号之积不是整数

$$\textcircled{5} 0.25^{-1/3} = 1.6$$

$$-\frac{1}{3}N_{0.25} = -\frac{1}{3} \times (-24) = 8 = N_{1.6}$$

用序号计算的方法可能导致微小的误差，该误差是由优先数的理论值与对应的基本系列化整值之间的偏差引起的。

#### (四) 化整及应用

##### 1. 化整值的应用场合

在某些应用场合，由于十分必要的理由而无法使用优先数：

1) 当只需要整数的参数时，就不可能保留全部有效数字。例如，齿轮的齿数用 32 代替 31.5。

2) 对需要用偶数、整倍数以及要求数值具有可分性或具有加法性质的项值，有时用化整值比较适宜。例如，包装中的组合尺寸和由模数的整倍数所构成的元件尺寸等。

3) 在没有公差要求的场合，优先数的有效位数所表示的精度，既无实际意义，也不便于测量，可用化整值系列。例如，照相机的曝光时间以 1/30s 取代 1/31.5s，采用了 R<sup>10</sup>/3 系列 (1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/15, 1/30, 1/60, 1/125, ...) (单位为 s)。

受到现有配套产品限制的尺寸参数系列，如因涉及到很广泛的协作范围和已有的大量物质基础，不宜轻易改变时 (例如，考虑到经济性，继续使用现有的工、量具)，可采用化整值系列。例如，标准直径和标准长度系列。

由于十分重要的原因 (上述三条)，可以认为采用化整值是合适的。如果是考虑经济性和心理因素 (愿意使用较简单形式表示的值，尤其是在书写或读用优先数表示的示值有困难时)，就不允许采用化整值。因为这是主观上的原因，可能千变万化，引起企业标准和国家标准的不统一，给国际间的技术交流和贸易往来造成极大影响。

由于国际标准及技术文件是以优先数为基础的，现行的国家标准也采用优先数，与国际标准取得一致，但化整值和非优先数的值则难于取得一致。

如果把一些不能改变的现行系列值 (如物理常数) 引入标准中，即令这些数值近似于优先数或其化整值，都不应认为是优先数的一种应用方式。这些系列不可能具备优先数的全部性质，并且使用时也会有困难。这一点同样适用于目前还难于改变的现行系列值，如齿轮模数。

##### 2. 选用规则和化整值系列表

化整值系列见表 1.3。选取一些数值以满足某种用途的特定要求时，选择合适的公比的顺序为：5—10—20—40，选择具有合适的项值精度和公比均匀性的系列。即

- 1) 优先采用 R 优先数系自身 (表 1.3 注 c)。
- 2) 若有充分的理由而完全不能采用优先数时，则用第一化整值系列 R'。
- 3) 最后才用第二化整值系列 R'' (表 1.3 注 a)。

在选取单个数值 (例如样机规格的编制) 时，应考虑该值以后可能是某种公比的系列中的一项，因此，可按上述规定选取一个优先数。当优先数中没有合适值时，可选取化整值。

表 1.3 化整值系列

列	1			2			3			4		5	6	7	8	9	10	
项数或指数	5			10			20			40		序号	计算值 <sup>③</sup>	系列中每个项值和计算值之间的相对误差(%)				
近似的公比	1.6			1.25			1.12			1.06				R	R'	R''	R'''	
系列	R5	R'5	R''5	R10	R'10	R''10	R20	R'20	R''20	R40	R'40			5~40	10~40	20	5和10	
	1			1			1.0			1.0		0	1.0000	0				
							1.12	1.1		1.12	1.10 <sup>②</sup>	1	1.0593	+0.07	-0.88			
							1.25		(1.2)	1.18	1.20	2	1.1220	-0.18	-1.96	-1.96		
							1.4			1.25		4	1.1885	-0.71	+0.97			
							1.6			1.32	1.30	5	1.2589	-0.71		-4.68	-4.68	
							1.8			1.4		6	1.3335	-1.01	-2.51			
							2.0			1.5		7	1.4125	-0.88				
							2.24	2.2		1.6		8	1.4962	+0.25				
							2.5			1.7		9	1.5849	+0.95				
							2.8			1.8		10	1.6788	+1.26				
							3.15	3.2	(3)	1.9		11	1.7783	+1.22				
							3.55	3.6	(3.5)	2.0		12	1.8836	+0.87				
							4.0			2.12	2.1	13	1.9953	+0.24				
							4.5			2.24	2.2	14	2.1135	+0.31	-0.64			
							5.0			2.36	2.4	15	2.2387	+0.06	-1.73	-1.73		
							5.6	(5.5)		2.5		16	2.3714	-0.48	+1.21			
							6.3			2.65	2.6	17	2.5119	-0.47				
							7.1	(7.0)		2.8		18	2.6607	-0.40	-2.28			
							8.0			3.0		19	2.8184	-0.65				
							9.0			3.15	3.2	20	2.9854	+0.49				
							10.0			3.35	3.4	21	3.1623	-0.39	+1.19	-5.13	-5.13	
										3.55	3.6	22	3.3497	+0.01	+1.50			
										3.75	3.8	23	3.5481	+0.05	+1.46	-1.38		
										4.0		24	3.7584	-0.22	+1.11			
										4.25	4.2	25	3.9811	+0.47				
										4.5		26	4.2170	+0.78	-0.40			
										4.75	4.8	27	4.4668	+0.74				
										5.0		28	4.7315	+0.39	+1.45			
										5.3		29	5.0119	-0.24				
										5.6	(5.5)	30	5.3088	-0.17				
										6.0		31	5.6234	-0.42		-2.19		
										6.3	(6.0)	32	5.9566	+0.73				
										6.7		33	6.3096	-0.15		-4.90	-4.90	
										7.1	(7.0)	34	6.6834	+0.25				
										7.5		35	7.0795	+0.29		-1.11		
										8.0		36	7.4989	+0.01				
										8.5		37	7.9433	+0.71				
										9.0		38	8.4140	+1.02				
										9.5		39	8.9125	+0.98				
										10.0		40	9.4405	+0.63				
													10.0000	0				
公比的最大不均匀性(%)	+1.42 -5.37			+1.66 +1.66 -5.61			-1.83 -1.97 -4.48			+1.15 +2.94								
优先数	化整值:			第一化整值			第二化整值											

①R'系列中的化整值(方框中的值),特别是1.5这个数值,应尽可能不用。

②在特殊情况下,当系列分档间距不允许“倒缩”(项值增大,项差反而缩小)时,R'40系列中允许以1.15作为1.18的化整值,以1.20,作为1.25的化整值,以构成数列:1, 1.05, 1.10, 1.15, 1.20, 1.30。

③在某些特殊情况下(例如透平叶片的制造),需要很高精度时,可采用计算值(表内第6列)。

## 第三节 本课程的性质、任务与要求

### 一、本课程的性质与任务

本课程是高等院校机械工程、仪器科学与技术及相关学科一门综合性很强的技术基础课程，它是机械设计（运动设计、结构设计、精度设计）中不可缺少的重要组成部分，是联系工程制图、机械设计、机械制造工艺学、制造装备设计等课程及其课程设计等培养环节的纽带，是从基础课学习过渡到专业课学习的桥梁。

本课程的主要研究对象是如何进行几何参数的精度设计，即如何利用有关的国家标准，合理解决产品使用要求与制造工艺之间的矛盾，以及如何运用质量控制方法和测量技术手段，保证有关的国家标准的贯彻执行，以确保产品质量。精度设计是从事产品设计、制造、测量等工程技术人员所必须具备的能力。

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，即能读图、制图，了解机械加工的一般知识和常用机构的原理。学生通过本课程的学习，应达到如下基本要求：

- 1) 建立标准化、互换性及测量技术的基本概念。
- 2) 熟悉公差与配合的相关标准，清楚各基本术语的定义，能够合理选择或设计配合，正确绘制孔、轴公差带图及配合公差带图。
- 3) 熟悉几何公差各项目内容及其定义，具备初步的设计能力，熟悉公差原则及其应用。
- 4) 在产品装配图及零件工作图中正确标注相关的配合和表面粗糙度。
- 5) 熟悉常见的测量仪器，掌握常见的几何量测量方法。
- 6) 了解量规的特点与应用，能够设计光滑极限量规。
- 7) 了解零件典型表面的公差配合与检测。

### 二、特点与学习方法

本课程的特点是：概念性强、术语及定义多、代号符号多、具体标准与规定多、叙述性内容多、经验总结和应用实例多，涉及面广，而逻辑性与推理性较少，对具体工程还存在标准原则与合理应用的矛盾。由于篇幅所限，本教材只给出了极少量的相关标准数据；而且标准也在不断完善更新，很多参考书籍却仍旧是老标准。因此学生会感到数据多、内容多、难记忆、容易听懂、不会应用，这就要求学生事先应对本课程的内容、特点和要求有清晰的了解和认识，在心理上做好充分准备。要求教师在讲授此课程时，应以基础标准、测量技术为核心，以精度设计应用能力培养为目标，进行各章讲授；要理论教学与实验教学并重，培养学生的主动学习与实际动手能力，使学生掌握常用的几何量精度的检测方法 & 检测设备的使用方法。该课程各部分都紧紧围绕着以保证互换性为主的互换性问题来讲解有关概念，分析设计的方法与原则，论述检测的相关规定。因此，学习过程中应注意归纳总结，找出它们之间的关系。学生要认真完成作业，认真做实验和完成实验报告，并与已学习过的工程制图等课程的内容、实习等环节结合起来。

## 习 题

1-1 列举生活中几个互换性的应用实例。