

21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

互换性与测量技术基础

主 编 韩进宏 王长春
副主编 万秀颖 孙步功 段秀敏
参 编 姚俊红 丁志华 马轶群
 王红敏 杨 梅
主 审 张 宇

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是专为技术型院校(包括独立学院)机械类专业编写的技术基础课教材,分12章:绪论、几何量测量基础、孔和轴的极限与配合、形状和位置公差与检测、表面粗糙度与检测、光滑工件尺寸检验和光滑极限量规设计、滚动轴承的公差与配合、圆锥的公差与配合、键和花键的公差与检测、螺纹公差、圆柱齿轮公差与检测、机械零件精度设计与实例。每章有教学提示、教学要求、小结和习题。

本书可作为互换性与测量技术基础课程的教材,也可供从事机械制造工艺、机械零件标准化管理、计量测试等方面工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术基础/韩进宏,王长春主编. —北京:中国林业出版社;北京大学出版社,2006.8

(21世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4473-6

I. 互… II. ①韩… ②王… 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. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 076944 号

书 名: 互换性与测量技术基础

著作责任者: 韩进宏 王长春 主编

策划编辑: 李昱涛

责任编辑: 郭穗娟 郑铁志

标准书号: ISBN 7-5038-4473-6

出版者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区德内大街刘海胡同7号 邮编:100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话: 编辑部 66170109 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路205号 邮编:100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印刷者:

发行者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经销者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 15.5印张 345千字

2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

定 价: 25.00元

前 言

互换性与测量技术基础课程是工科院校特别是技术型工科院校的机械类专业的一门实用性较强的技术基础课，内容涉及机械产品及其零部件的设计、制造、维修、质量控制与生产管理等多方面标准及其技术知识。

本书根据国家标准，编者参考了许多同类教材，专门为技术型工科院校(包括独立的技术学院)的互换性与测量技术基础课程而编写的。本教材具有以下特点：

(1) 依据教学大纲基本要求，注重基础内容和标准应用，以方便自学；

(2) 适用于技术型工科院校的机械类专业，计划授课40学时左右，教师可根据需要对课时进行调整；

(3) 理论联系实际，结合零件精度设计实例对公差标准应用问题进行分析；

(4) 本书不包含尺寸链的内容，如有需要，可参阅机械制造工艺课程的内容或其他教材进行补充。

本书主编是韩进宏和王长春，副主编是万秀颖、孙步功和段秀敏，参编是姚俊红、丁志华、马轶群、王红敏和杨梅。韩进宏编写第1、2章和第4章的4.3节，马轶群编写第3章，丁志华编写第4章的4.1、4.2节，姚俊红编写第4章的4.4、4.5节，王长春编写第5章和第12章，段秀敏和杨梅共同编写第6、8章，王红敏编写第7章，孙步功编写第9章和第10章，万秀颖编写第11章。全书由韩进宏、王长春统稿和定稿，由张宇教授主审。

由于编者的水平、时间有限，书中难免存在错误和不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年5月

目 录

第 1 章 绪论.....	1	2.5.1 测量列中随机误差的处理	19
1.1 互换性与公差的概念.....	1	2.5.2 测量列中系统误差的处理	22
1.1.1 互换性的概念	1	2.5.3 测量列中粗大误差的处理	23
1.1.2 公差的概念	1	2.6 等精度测量列的数据处理.....	24
1.1.3 互换性的作用	1	2.6.1 直接测量列的数据处理	24
1.1.4 互换性的种类	2	2.6.2 间接测量列的数据处理	25
1.2 标准化与优先数系.....	2	本章小结.....	27
1.2.1 标准与标准化的概念	2	习题.....	27
1.2.2 标准分类	3	第 3 章 孔和轴的极限与配合	28
1.2.3 标准化的发展历程	3	3.1 基本术语与定义.....	28
1.2.4 优先数系	4	3.1.1 有关尺寸方面的术语及定义 ...	28
1.3 几何量检测的重要性及其发展.....	6	3.1.2 有关偏差、公差方面的术语 及定义	29
1.3.1 几何量检测的重要性	6	3.1.3 有关配合方面的术语 及定义	31
1.3.2 我国在几何量检测方面的 发展历程	6	3.2 公差与配合的标准.....	34
本章小结.....	7	3.2.1 标准公差系列	34
习题.....	7	3.2.2 基本偏差系列	37
第 2 章 几何量测量基础.....	8	3.2.3 常用公差带及配合	47
2.1 测量与检验的概念.....	8	3.2.4 未注公差	50
2.2 长度基准与量值传递.....	8	3.3 公差与配合的选用.....	51
2.2.1 长度基准与量值传递	8	3.3.1 配合制度的选择	51
2.2.2 角度基准与量值传递	9	3.3.2 公差等级选择	52
2.2.3 量块	9	3.3.3 配合的选择	54
2.3 计量仪器和测量方法分类.....	12	3.4 大尺寸、小尺寸公差与配合简介.....	56
2.3.1 计量仪器分类	12	3.4.1 大尺寸公差与配合	56
2.3.2 计量器具的基本技术指标	13	3.4.2 小尺寸公差与配合	57
2.3.3 测量方法分类	14	习题.....	58
2.4 测量误差.....	15	第 4 章 形状和位置公差与检测.....	61
2.4.1 测量误差的概念	15	4.1 概述.....	61
2.4.2 测量误差的来源	16	4.1.1 形位公差的研究对象	62
2.4.3 测量误差分类	17	4.1.2 形位公差的项目及其符号	63
2.4.4 测量精度分类	18	4.1.3 形位公差的公差带	63
2.5 各类测量误差的处理.....	19		

4.2 形位公差的符号及标注.....66	5.5 表面粗糙度的测量.....114
4.2.1 形位公差代号.....66	5.5.1 光切法.....114
4.2.2 形状和位置公差的标注方法...67	5.5.2 干涉法.....115
4.3 公差原则.....73	5.5.3 针描法.....116
4.3.1 有关公差原则的术语及定义...73	5.5.4 比较法.....116
4.3.2 独立原则.....76	5.5.5 印模法.....117
4.3.3 包容要求.....77	5.6 GB/T3505—2000与GB 3505—
4.3.4 最大实体要求.....78	1983两标准中基本术语与参数
4.3.5 最小实体要求.....82	符号的比较.....117
4.4 形位公差的标准与选用.....87	本章小结.....117
4.4.1 形位公差值的标准.....87	习题.....118
4.4.2 未注形位公差的规定.....90	第6章 光滑工件尺寸检验和光滑极
4.4.3 形位公差的选用原则.....91	限量规设计119
4.5 形位误差的评定与检测原则.....95	6.1 光滑工件尺寸检验.....119
4.5.1 最小包容区域.....95	6.1.1 工件验收原则、安全裕度
4.5.2 形位误差的评定.....96	与验收极限.....119
4.5.3 形位误差的检测原则.....98	6.1.2 测量器具的选择.....122
本章小结.....100	6.1.3 光滑工件尺寸检验示例.....125
习题.....100	6.2 光滑极限量规设计.....126
第5章 表面粗糙度与检测103	6.2.1 光滑极限量规作用与分类.....126
5.1 表面粗糙度的概念及其对零件使用	6.2.2 光滑极限量规的设计原理.....127
性能的影响.....103	6.2.3 光滑极限量规的公差.....128
5.1.1 表面特征的意义.....103	6.2.4 设计步骤及极限尺寸计算.....130
5.1.2 表面粗糙度对零件性能的	本章小结.....133
影响.....103	习题.....133
5.1.3 表面波纹度对零部件性能	第7章 滚动轴承的公差与配合134
的影响.....104	7.1 滚动轴承的分类及公差特点.....134
5.2 表面粗糙度的评定.....105	7.1.1 滚动轴承的公差等级.....135
5.2.1 取样长度与评定长度.....105	7.1.2 滚动轴承内径、外径公差带
5.2.2 中线.....105	特点.....135
5.2.3 几何参数.....106	7.2 滚动轴承配合件公差及选用.....137
5.2.4 评定参数.....107	7.2.1 轴颈和外壳孔的公差带.....137
5.3 表面粗糙度的选用.....108	7.2.2 滚动轴承的配合选择.....138
5.3.1 表面粗糙度参数的选用.....108	7.2.3 轴颈和外壳孔的形位公差
5.3.2 表面粗糙度参数值的选用.....109	与表面粗糙度.....144
5.4 表面粗糙度的标注.....111	7.2.4 滚动轴承的配合选择示例.....145
5.4.1 表面粗糙度的符号与代号.....111	本章小结.....146
5.4.2 表面粗糙度的标注实例.....113	习题.....146

第 8 章 圆锥的公差与配合	147	10.1.1 螺纹基本牙型及其几何参数	168
8.1 概述	147	10.1.2 公差原则对螺纹几何参数的应用	172
8.1.1 圆锥配合分类	147	10.2 普通螺纹的公差与配合	174
8.1.2 圆锥配合的基本参数	147	10.2.1 普通螺纹的公差带	174
8.2 圆锥几何参数误差对圆锥配合的影响	151	10.2.2 螺纹公差带的选用	176
8.2.1 圆锥直径误差对基面距的影响	151	10.2.3 普通螺纹的标记	178
8.2.2 圆锥角误差对锥面距的影响	152	10.3 螺纹的检测	178
8.2.3 圆锥形状误差对配合的影响	152	10.3.1 综合检验	178
8.3 圆锥的公差与配合	152	10.3.2 单项测量	179
8.3.1 圆锥公差及其给定方法	153	10.4 梯形丝杠的公差	181
8.3.2 圆锥配合	156	10.4.1 对梯形丝杠的精度要求	182
本章小结	157	10.4.2 对螺母的精度要求	183
习题	157	10.5 滚珠丝杠副的公差	184
第 9 章 键和花键的公差与检测	158	10.5.1 滚珠丝杠副的工作原理及结构形式	184
9.1 单键结合的互换性	158	10.5.2 滚珠丝杠副的主要几何参数	185
9.1.1 单键联接的几何参数	158	10.5.3 滚珠丝杠副的标记代号	186
9.1.2 单键联接的极限与配合	158	10.5.4 滚珠丝杠副的标准公差等级与验收	187
9.1.3 单键轴槽与毂槽的测量	160	本章小结	188
9.2 矩形花键结合的互换性	161	习题	188
9.2.1 矩形花键的尺寸系列	161	第 11 章 圆柱齿轮公差与检测	189
9.2.2 矩形花键联接的几何参数和定心方式	162	11.1 齿轮的应用要求及加工误差分类	189
9.2.3 矩形花键联接的极限与配合	163	11.1.1 齿轮传动的应用要求	189
9.2.4 矩形花键联接的形位公差和表面粗糙度	164	11.1.2 齿轮加工误差的来源与分类	191
9.2.5 矩形花键联接的标注代号	165	11.2 单个齿轮的评定指标及其检测	193
9.2.6 矩形花键的检测	166	11.2.1 传递运动准确性的检测项目	193
本章小结	166	11.2.2 传动工作平稳性的检测项目	198
习题	167	11.2.3 载荷分布均匀性的检测项目	203
第 10 章 螺纹公差	168	11.2.4 影响侧隙的单个齿轮因素及其检测	204
10.1 螺纹几何参数偏差对互换性的影响	168		

11.3 齿轮副的评定指标及其检测.....	206	12.2 轴类零件的精度设计.....	218
11.3.1 轴线的平行度误差 (parallelism deviation of the axes).....	206	12.2.1 尺寸公差的确 定	220
11.3.2 中心距偏差 f_a (center distance deviation).....	207	12.2.2 形位公差的确 定	220
11.4 渐开线圆柱齿轮精度标准.....	208	12.2.3 表面粗糙度的确 定	222
11.4.1 齿轮精度等级和等级确定 ...	209	12.2.4 轴类零件精度设计与标注 实例	222
11.4.2 齿轮副侧隙	212	12.3 齿轮类零件精度设计.....	223
11.4.3 齿坯精度和齿轮表面粗 糙度	214	12.3.1 齿坯精度设计	223
11.4.4 齿轮精度的标注代号	215	12.3.2 齿轮啮合精度设计	224
本章小结.....	215	12.3.3 齿轮精度设计实例	224
习题.....	215	12.4 箱体类零件精度设计实例.....	226
第 12 章 机械零件精度设计与实例.....	217	12.4.1 油缸体精度设计实例	226
12.1 机械精度设计概述.....	217	12.4.2 拨动叉几何精度设计实例 ...	228
12.1.1 类比法	217	12.4.3 减速箱体几何精度设计 实例	229
12.1.2 计算法	217	本章小结.....	230
12.1.3 试验法	217	习题.....	230
		参考文献	231

第1章 绪论

教学提示：本章介绍互换性、几何量公差等概念，介绍优先数系及其特点、几何量测量与检测的意义。

教学要求：要求学生掌握基本概念，了解优先数系及其特点。

1.1 互换性与公差的概念

1.1.1 互换性的概念

互换性在日常生活中随处可见。例如，灯泡坏了换个新的，自行车的零件坏了也可以换新的。这是因为合格的产品和零部件都具有在材料性能、几何尺寸、使用功能上彼此互相替换的性能，即具有互换性。广义上说，互换性是指一种产品、过程或服务能够代替另一种产品、过程或服务，并且能满足同样要求的能力。

制造业生产中，经常要求产品的零部件具有互换性。零部件的互换性就是指，制造业的产品或者机器由许多零部件组成，而这些零部件是由不同的工厂和车间制成的。在装配时从加工制成的同一规格的零部件中任意取一件，不需要任何挑选或修配，就能与其他零部件安装在一起而组成一台机器，并且达到规定的使用功能要求。因此，零部件的互换性就是指同一规格零部件按规定的技术要求制造，能够彼此相互替换使用而效果相同的性能。

1.1.2 公差的概念

加工零件的过程中，由于各种因素(机床、刀具、温度等)的影响，零件的尺寸、形状和表面粗糙度等几何量难以达到理想状态，总是有或大或小的误差。但从零件的使用功能角度看，不必要求零件几何量绝对准确，只达到要求零件几何量在某一规定的范围内变动，即保证同一规格零部件(特别是几何量)彼此接近。这个允许几何量变动的范围叫做几何量公差。这也是本课程所讲公差的范畴。

为了保证零件的互换性，要用公差来控制误差。设计时要按标准规定公差，而加工时不可避免会产生误差，因此要使零件具有互换性，就应把完工的零件误差控制在规定的公差范围内。设计者的任务就是要正确地确定公差，并把它在图样上明确地表示出来。在满足功能要求的前提下，公差值应尽量规定得大一些，以便获得最佳的经济效益。

1.1.3 互换性的作用

可以从下面3个方面理解互换性的作用：

(1) 在设计方面。若零部件具有互换性，就能最大限度地使用标准件，便可以简化绘图和计算等工作。使设计周期变短，有利于产品更新换代和计算机辅助设计(CAD)技术应用。

(2) 在制造方面。互换性有利于组织专业化生产，使用专用设备和计算机辅助制

造(CAM)技术。

(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,对于某些易损件可以提供备用件,则可以提高机器的使用价值。

互换性在提高产品质量和产品可靠性、提高经济效益等方面均具有重大意义。互换性原则已成为现代制造业中一个普遍遵守的原则。互换性生产对我国现代化生产具有十分重要的意义。但是互换性原则也不是任何情况下都适用。有时只有采取单个配制才符合经济原则,这时零件虽不能互换,但也有公差和检测的要求。

1.1.4 互换性的种类

从广义上讲,零部件的互换性应包括几何量、力学性能和理化性能等方面的互换性。但本课程仅讨论零部件几何量的互换性即几何量方面的公差和检测。

按不同场合对于零部件互换的形式和程度的不同要求,把互换性可以分为完全互换性和不完全互换性两类。

完全互换性简称互换性,以零部件装配或更换时不需要挑选或修配为条件。孔和轴加工后只要符合设计的规定要求,就具有完全互换性。

不完全互换性也称有限互换性,在零部件装配时允许有附加条件的选择或调整。对于不完全互换性可以采用分组装配法、调整法或其他方法来实现。

对标准零部件或机构来讲,其互换性又可分为内互换性和外互换性。内互换性是指部件或机构内部组成零件间的互换性。外互换性是指部件或机构与其相配合件间的互换性。例如,滚动轴承内、外圈滚道直径与滚动体(滚珠或滚柱)直径间的配合为内互换性;滚动轴承内圈内径与传动轴的配合、滚动轴承外圈外径与壳体孔的配合为外互换性。

1.2 标准化与优先数系

1.2.1 标准与标准化的概念

现代制造业生产的特点是规模大、分工细、协作单位多、互换性要求高。为了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统一,成为一个有机的整体,以实现互换性生产。标准与标准化正是联系这种关系的主要途径和手段。实行标准化是互换性生产的基础。

1. 标准

标准是指为了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。标准对于改进产品质量,缩短产品生产制造周期,开发新产品和协作配套,提高社会效益,发展社会主义市场经济和对外贸易等有很重要的意义。

2. 标准化

标准化是指为了在一定的范围内获得最佳秩序,对实际或潜在的问题制定共同的和重复使用的规则的活动。标准化是社会化的重要手段,是联系设计、生产和使用方面的纽带,是科学管理的重要组成部分。标准化对于改进产品、过程和服务的适用性,防止贸

易壁垒，促进技术合作方面具有特别重要的意义。

标准化工作包括制定标准、发布标准、组织实施标准和对标准的实施进行监督的全部活动过程。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、制定和贯彻标准，而后修订标准。因此，标准化是一个不断循环又不断提高其水平的过程。

1.2.2 标准分类

1. 按标准的使用范围

我国将标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

国家标准就是需要在全国范围内有统一的技术要求时，由国家质量监督检验检疫总局颁布的标准。

行业标准就是在没有国家标准，而又需要在全国某行业范围内有统一的技术要求时，由该行业的国家授权机构颁布的标准。但在有了国家标准后，该项行业标准即行废止。

地方标准就是在没有国家标准和行业标准，而又需要在省、自治区、直辖市范围内有统一的技术安全、卫生等要求时，由地方政府授权机构颁布的标准。但在公布相应的国家标准或行业标准后，该地方标准即行废止。

企业标准就是对企业生产的产品，在没有国家标准和行业标准及地方标准的情况下，由企业自行制定的标准，并以此标准作为组织生产的依据。如果已有国家标准或行业标准及地方标准的，企业也可以制定严于国家标准或行业标准的企业标准，在企业内部使用。

2. 按标准的作用范围

将标准分为国际标准、区域标准、国家标准、地方标准和试行标准。

国际标准、区域标准、国家标准、地方标准分别是由国际标准化组织、区域标准化组织、国家标准机构、在国家的某个区域一级所通过并发布的标准。试行标准是由某个标准化机构临时采用并公开发布的标准。

3. 按标准化对象的特征

将标准分为基础标准、产品标准、方法标准和安全、卫生与环境保护标准等。

基础标准是指在一定范围内作为标准的基础并普遍使用，具有广泛指导意义的标准。如极限与配合标准、形位公差标准、渐开线圆柱齿轮精度标准等。基础标准是以标准化共性要求和前提条件为对象的标准，是为了保证产品的结构功能和制造质量而制定的、一般工程技术人员必须采用的通用性标准，也是制定其他标准时可依据的标准。本书所涉及的标准就是基础标准。

4. 按照标准的性质

标准又可分为技术标准、工作标准和管理标准。技术标准是指根据生产技术活动的经验和总结，作为技术上共同遵守的法规而制定的标准。

1.2.3 标准化的发展历程

1. 国际标准化的发展

标准化在人类开始创造工具时就已出现。标准化是社会生产劳动的产物。标准化在近

代工业兴起和发展的过程中显得重要起来。早在 19 世纪, 标准化在国防、造船、铁路运输等行业中的应用十分突出。标准化在行业中的应用也很广泛。到了 20 世纪初, 一些国家相继成立全国性的标准化组织机构, 推进了本国的标准化事业。以后由于生产的发展, 国际交流越来越频繁, 因而出现了地区性和国际性的标准化组织。1926 年成立了国际标准化协会(简称 ISA)。1947 年重建国际标准化协会并改名为国际标准化组织(简称 ISO)。现在, 这个世界上最大的标准化组织已成为联合国甲级咨询机构。ISO 9000 系列标准的颁发, 使世界各国的质量管理及质量保证的原则、方法和程序, 都统一在国际标准的基础之上。

2. 我国标准化的发展

我国标准化是在 1949 年新中国成立后得到重视并发展。1958 年发布第一批 120 项国家标准。从 1959 年开始, 陆续制订并发布了公差与配合、形状和位置公差、公差原则、表面粗糙度、光滑极限量规、渐开线圆柱齿轮精度、极限与配合等许多公差标准。我国在 1978 年恢复为 ISO 成员国, 承担 ISO 技术委员会秘书处工作和国际标准草案的起草工作。从 1979 年开始, 我国制订并发布了以国际标准为基础的新的公差标准。从 1992 年开始, 我国又发布了以国际标准为基础进行修订的/T 类新公差标准。1988 年全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国标准化法》。1993 年全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国产品质量法》。我国标准化水平在社会主义现代化建设过程中不断得到发展与提高, 并对我国经济的发展做出了很大的贡献。

1.2.4 优先数系

1. 优先数系及其公比

国家标准 GB/T 321—1980《优先数和优先数系》规定十进等比数列为优先数系, 并规定了 5 个系列。分别用系列符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示, 称为 Rr 系列。其中前 4 个系列是常用的基本系列, 而 R80 则作为补充系列, 仅用于分级很细的特殊场合。

优先数系是工程设计和工业生产中常用的一种数值制度。优先数与优先数系是 19 世纪末(1877 年), 由法国人查尔斯·雷诺(Charles Renard)首先提出的。当时载人升空的气球所使用的绳索尺寸由设计者随意规定, 多达 425 种。雷诺根据单位长度不同直径绳索的重量级数来确定绳索的尺寸, 按几何公比递增, 每进 5 项使项值增大 10 倍, 把绳索规格减少到 17 种。并在此基础上产生了优先数系的系列。后人为了纪念雷诺将优先数系称为 Rr 数系。基本系列 R5、R10、R20、R40 的 1~10 常用值见表 1-1。

表 1-1 优先数系基本系列的常用值(GB 321—1980)

基本系列	1~10 的常用值										
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			

优先数系是十进等比数列,其中包含 10 的所有整数幂($\cdots 0.01, 0.1, 1, 10, 100, \cdots$)。只要知道一个十进段内的优先数值,其他十进段内的数值就可由小数点的前后移位得到。优先数系中的数值可方便的向两端延伸,由表 1-1 中的数值,使小数点前后移位,便可以得到所有小于 1 和大于 10 的任意优先数。

优先数系的公比为 $q_r = \sqrt[r]{10}$ 。由表 1-1 可以看出,基本系列 R5、R10、R20、R40 的公比分别为 $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$ 、 $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$ 、 $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$ 、 $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$ 。另外补充系列 R80 的公比为 $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。

2. 优先数与优先数系的特点

优先数系中的任何一个项值均称为优先数。优先数的理论值为 $(\sqrt[r]{10})^{N_r}$ 。其中 N_r 是任意整数。按照此式计算得到的优先数的理论值,除 10 的整数幂外,大多为无理数,工程技术中不宜直接使用。而实际应用的数值都是经过化整处理后的近似值,根据取值的有效数字位数,优先数的近似值可以分为:计算值(取 5 位有效数字,供精确计算用);常用值(即优先值,取 3 位有效数字,是经常使用的);化整值(是将常用值作化整处理后所得的数值,一般取 2 位有效数字)。

优先数系主要有以下特点:

(1) 任意相邻两项间的相对差近似不变(按理论值则相对差为恒定值)。

如 R5 系列约 60%, R10 系列约为 25%, R20 系列约为 12%, R40 系列约为 6%, R80 系列约为 3%。由表 1-1 可以明显地看出这一点。

(2) 任意两项的理论值经计算后仍为一个优先数的理论值。

计算包括任意两项理论值的积或商,任意一项理论值的正、负整数乘方等。

(3) 优先数系具有相关性。

优先数系的相关性表现为:

在上一级优先数系中隔项取值,就得到下一系列的优先数系;反之,在下一系列中插入比例中项,就得到上一系列。如在 R40 系列中隔项取值,就得到 R20 系列,在 R10 系列中隔项取值,就得到 R5 系列;又如在 R5 系列中插入比例中项,就得 R10 系列,在 R20 系列中插入比例中项,就得 R40 系列。这种相关性也可以说成:R5 系列中的项值包含在 R10 系列中,R10 系列中的项值包含在 R20 系列中,R20 系列中的项值包含在 R40 系列中,R40 系列中的项值包含在 R80 系列中。

3. 优先数系的派生系列

为使优先数系具有更宽广的适应性,可以从基本系列中,每逢 p 项留取一个优先数,生成新的派生系列,以符号 Rr/p 表示。派生系列的公比为

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

如派生系列 R10/3,就是从基本系列 R10 中,自 1 以后每逢 3 项留取一个优先数而组成的,即 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.0, 32.0, 64.0, \cdots

4. 优先数系的选用规则

优先数系的应用很广泛,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的品种、规格、系列的合理化分档和协调配套具有十分重要的意义。

选用基本系列时，应遵守先疏后密的规则。即按 R5、R10、R20、R40 的顺序选用；当基本系列不能满足要求时，可选用派生系列，注意应优先采用公比较大和延伸项含有项值1的派生系列；根据经济性和需要量等不同条件，还可分段选用最合适的系列，以复合系列的形式来组成最佳系列。

由于优先数系中包含有各种不同公比的系列，因而可以满足各种较密和较疏的分级要求。优先数系以其广泛的适用性，成为国际上通用的标准化数系。工程技术人员应在一切标准化领域中尽可能地采用优先数系，以达到对各种技术参数协调、简化和统一的目的，促进国民经济更快、更稳地发展。

1.3 几何量检测的重要性及其发展

1.3.1 几何量检测的重要性

几何量检测是组织互换性生产必不可少的重要措施。由于零部件的加工误差不可避免，决定了必须采用先进的公差标准，对构成机械的零部件的几何量规定合理的公差，用以实现零部件的互换性。但若不采用适当的检测措施，规定的公差也就形同虚设，不能发挥作用。

因此，应按照公差标准和检测技术要求对零部件的几何量进行检测。只有几何量合格者，才能保证零部件在几何量方面的互换性。检测是检验和测量的统称。一般来说：测量的结果能够获得具体的数值；检验的结果只能判断合格与否，而不能获得具体数值。

但是，必须注意到，在检测过程中又会不可避免的产生或大或小的测量误差。这将导致两种误判：一是把不合格品误认为合格品而给予接受——误收；二是把合格品误认为废品而给予报废——误废。这是测量误差表现在检测方面的矛盾。这就需要从保证产品的质量和经济性两方面综合考虑，合理解决。

检测的目的不仅仅在于判断工件合格与否，还有积极的一面，这就是根据检测的结果，分析产生废品的原因，以便设法减少和防止废品的产生。

1.3.2 我国在几何量检测方面的发展历程

在我国悠久的历史上，很早就有关于几何量检测的记载。秦朝就已经统一了度量衡制度，西汉已有了铜制卡尺。但长期的封建统治，使得科学技术未能进一步发展，检测技术和计量器具一直处于落后的状态，直到 1949 年新中国成立后才扭转了这种局面。

1959 年国务院发布了《关于同意计量制度的命令》，1977 年国务院发布了《中华人民共和国计量管理条例》，1984 年国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，1985 年全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国计量法》。这些对于我国采用国际米制作为长度计量单位，健全各级计量机构和长度量值传递系统，保证全国计量单位统一和量值准确可靠，促进我国社会主义现代化建设和科学技术的发展具有特别重要的意义。

在建立和加强我国计量制度的同时，我国的计量器具制造业也有了较大的发展。现在已有许多量仪厂和量具刀具厂，生产的许多品种的计量仪器，用于几何量检测。如万能测

长仪、万能工具显微镜、万能渐开线检查仪等。此外，还能制造一些世界水平的量仪，如激光光电比长仪、激光丝杠动态检查仪、光栅式齿轮整体误差测量仪、碘稳频激光器、无导轨大长度测量仪等。

本章小结

介绍了几何量公差、互换性等方面的基本概念，和优先数系方面的基本知识。

习 题

1. 叙述互换性与几何量公差的概念，说明互换性有什么作用？互换性的分类如何？
2. 优先数系是一种什么数列？它有何特点？有哪些优先数的基本系列？什么是优先数的派生系列？
3. 试写出下列基本系列和派生系列中自 1 以后共 5 个优先数的常用值：R10, R10/2, R20/3, R5/3。
4. 在尺寸公差表格中，自 6 级开始各等级尺寸公差计算公式为 $10i$, $16i$, $25i$, $40i$, $64i$, $100i$, $160i$, ...；在螺纹公差表中，自 3 级开始的等级系数为 0.50, 0.63, 0.80, 1.00, 1.25, 1.60, 2.00。试判断它们各属于何种优先数的系列？

第 2 章 几何量测量基础

教学提示：本章主要介绍包括量值传递系统、量块基本知识、测量用仪器和量具的基本计量参数，测量误差的特点及分类，测量误差的处理方法，测量结果的数据处理步骤等。

教学要求：要求了解有关几何量测量技术方面的基本知识。

2.1 测量与检验的概念

检测是测量与检验的总称。测量是指将被测量与作为测量单位的标准量进行比较，从而确定被测量的实验过程，而检验则是判断零件是否合格而不需要测出具体数值。

由测量的定义可知，任何一个测量过程都必须有明确的被测对象和确定的测量单位，还要有与被测对象相适应的测量方法，而且测量结果还要达到所要求的测量精度。因此，一个完整的测量过程应包括如下4个要素：

(1) 被测对象 我们研究的被测对象是几何量，即长度、角度、形状、位置、表面粗糙度以及螺纹、齿轮等零件的几何参数。

(2) 测量单位 我国采用的法定计量单位是，长度的计量单位为米(m)，角度单位为弧度(rad)和度($^{\circ}$)、分(')、秒(")。在机械零件制造中，常用的长度计量单位是毫米(mm)，在几何量精密测量中，常用的长度计量单位是微米(μm)，在超精密测量中，常用的长度计量单位是纳米(nm)。常用的角度计量单位是弧度、微弧度(μrad)和度、分、秒。 $1\mu\text{rad} = 10^{-6}\text{rad}$ ， $1^{\circ} = 0.0174533\text{rad}$ 。

(3) 测量方法 测量时所采用的测量原理、测量器具和测量条件的总和。

(4) 测量精度 测量结果与被测量真值的一致程度。精密测量要将误差控制在允许的范围之内，以保证测量精度。为此，除了合理地选择测量器具和测量方法，还应正确估计测量误差的性质和大小，以便保证测量结果具有较高的置信度。

2.2 长度基准与量值传递

2.2.1 长度基准与量值传递

国际上统一使用的公制长度基准是在 1983 年第 17 届国际计量大会上通过的，以米作为长度基准。米的新定义：米是光在真空中在 $1/299\,792\,458$ 秒的时间间隔内所行进的距离。为了保证长度测量的精度，还需要建立准确的量值传递系统。鉴于激光稳频技术的发展，用激光波长作为长度基准具有很好的稳定性和复现性。我国采用碘吸收稳定的氦氖激光辐射作为波长标准来复现米。

在实际应用中，不能直接使用光波作为长度基准进行测量，而是采用各种测量器具进

行测量。为了保证量值统一，必须把长度基准的量值准确地传递到生产中应用的计量器具和被测工件上。长度基准的量值传递系统如图 2.1 所示。

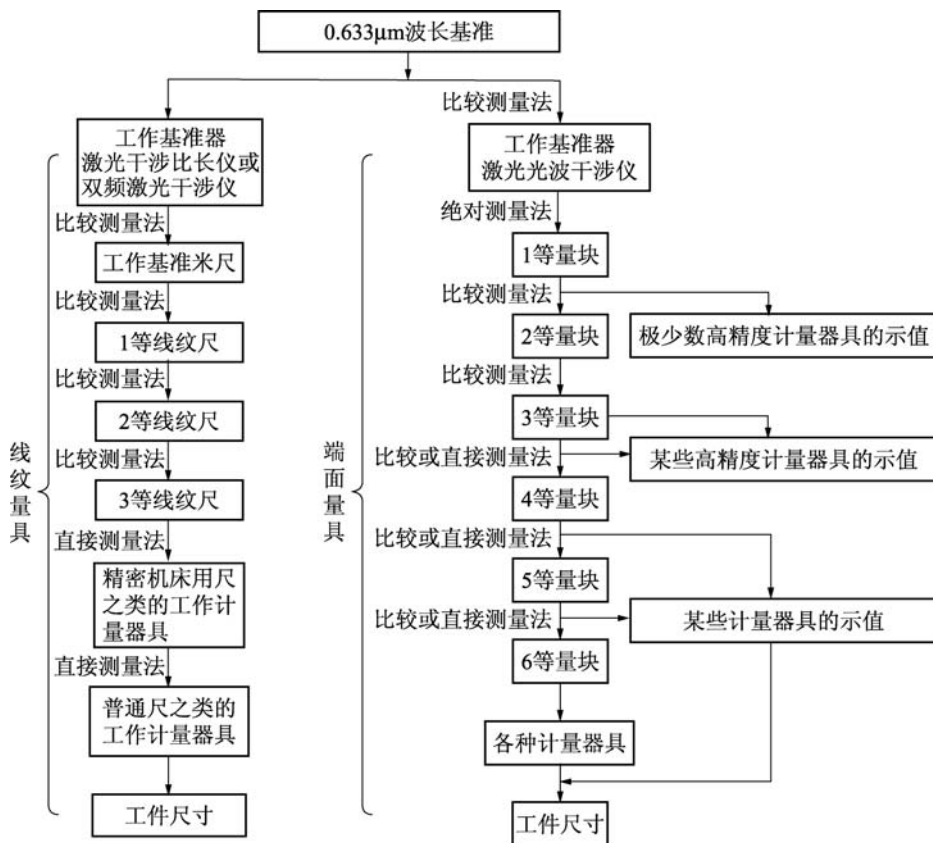


图 2.1 长度基准的量值传递系统

2.2.2 角度基准与量值传递

角度是重要的几何量之一，一个圆周角定义为 360° ，角度不需要像长度一样建立自然基准。但在计量部门，为了方便，仍采用多面棱体(棱形块)作为角度量值的基准。机械制造中的角度标准一般是角度量块、测角仪或分度头等。

多面棱体有 4 面、6 面、8 面、12 面、24 面、36 面及 72 面等。以多面棱体作角度基准的量值传递系统，如图 2.2 所示。

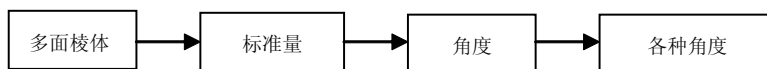


图 2.2 角度量值传递系统

2.2.3 量块

量块是精密测量中经常使用的标准器，分长度量块和角度量块两类。下面介绍长度量块和角度量块的有关问题。

1. 长度量块

长度量块是单值端面量具，其形状大多为长方六面体，其中一对平行平面为量块的工作表面，两工作表面的间距即长度量块的工作尺寸。量块由特殊合金钢制成，耐磨且不易变形，工作表面之间或与平晶(见图 2.3)表面间具有可研合性。以便组成所需尺寸的量块组。

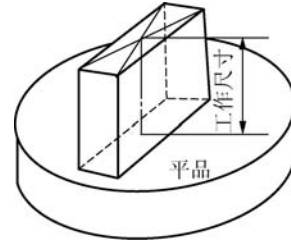


图 2.3 量块工作面与平晶研合

1) 长度量块尺寸方面的术语

(1) 标称长度。量块上标出的尺寸称为量块的标称长度 l 。

(2) 实际长度。量块长度的实际测得值称为量块的实际长度。分为中心长度 L 和任意点长度 L_i 。

(3) 量块的长度变动量。指量块任意点长度 L_i 的最大差值，即 $L_v = L_{i\max} - L_{i\min}$ 。量块长度变动量的允许值 T_v 列在表 2-1 和表 2-2 中。

表 2-1 各级量块的精度指标(JJG 146—1994)

标称长度 l/mm		量块制造精度					
		00 级		0 级		K 级	
		长度/ μm					
大于	到	极限偏差 $\pm D$	变动量允 许值 T_v	极限偏差 $\pm D$	变动量允 许值 T_v	极限偏差 $\pm D$	变动量允 许值 T_v
0.5		0.06	0.05	0.12	0.10	0.20	0.05
0.5	10						
10	25	0.07	0.05	0.14	0.10	0.30	0.05
25	50	0.10	0.06	0.20	0.10	0.40	0.06
50	75	0.12	0.06	0.25	0.12	0.50	0.06
75	100	0.14	0.07	0.30	0.12	0.60	0.07
100	150	0.20	0.08	0.40	0.14	0.80	0.08
150	200	0.25	0.09	0.50	0.16	1.00	0.09
200	250	0.30	0.10	0.60	0.16	1.20	0.10
0.5		0.20	0.10	0.45	0.30	1.0	0.50
0.5	10						
10	25	0.30	0.16	0.60	0.30	1.2	0.50
25	50	0.40	0.18	0.80	0.30	1.6	0.55
50	75	0.50	0.18	1.00	0.35	2.0	0.55
75	100	0.60	0.20	1.20	0.35	2.5	0.60
100	150	0.80	0.20	1.60	0.40	3.0	0.65
150	200	1.00	0.25	2.00	0.40	4.0	0.70
200	250	1.20	0.25	2.40	0.45	5.0	0.75