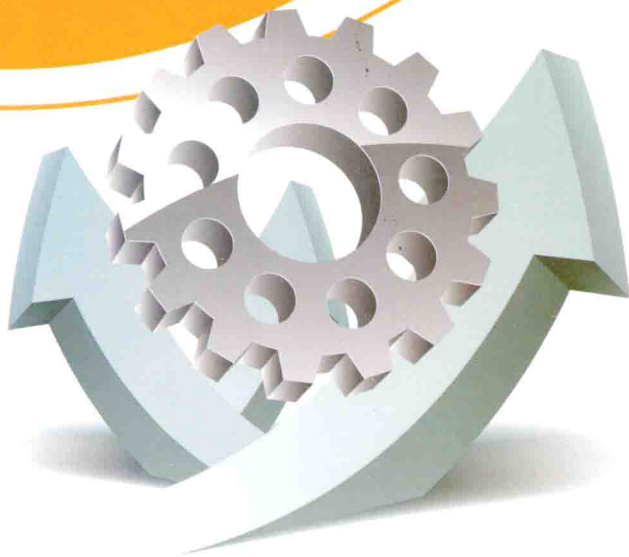




普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

# 互换性 与测量技术

◎杨玉璋 张瑞平 主 编



➤ 紧密围绕几何量精度设计和误差检测两个主题

➤ 有机整合标准化与计量两个领域的有关内容

➤ 内容丰富 + 选材精练 + 重点突出 + 应用性强



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

014059375

TG801-43  
61

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

# 互换性与测量技术

杨玉璋 张瑞平 主 编

尹 欣 宫建红 马轶群 李红英 副主编



TG801-43  
61

电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry



北航

C1745847

77882010

## 内 容 简 介

本书简要、系统地介绍了机械几何量的精度设计、检测原理及常用检测方法。本书共分 12 章，内容包括互换性与标准化、测量技术基础、极限与配合、几何公差、表面结构参数、工件检测、滚动轴承的公差与配合、普通螺纹的公差与检测、圆锥结合的公差与配合、键和花键的公差与配合、渐开线圆柱齿轮的公差与检测、公差与配合实验技术。

本书采用当前颁布的最新国家标准，重点讲授标准的概念和应用，突出工件精度设计与检测，具有很强的适用性。每章附有教学目标、知识要点和思考与训练，便于教与学。

本书可作为高等工科院校机械类、近机类各专业的教学用书，也可供从事机械设计、机械制造等工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

互换性与测量技术/杨玉璋、张瑞平主编. —北京: 电子工业出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-121-22938-1

I. ①互… II. ①杨…②张… 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 (2014) 第 070895 号

策划编辑: 郭穗娟

责任编辑: 毕军志

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 16.5 字数: 422.4 千字

版 次: 2014 年 8 月第 1 版

印 次: 2014 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 42.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

# 普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

## 专 家 编 审 委 员 会

主任委员 黄传真

副主任委员 许崇海 张德勤 魏绍亮 朱林森

委 员（排名不分先后）

李养良 高 荣 刘良文 郭宏亮 刘 军

史岩彬 张玉伟 王 毅 杨玉璋 赵润平

张建国 张 静 张永清 包春江 于文强

李西兵 刘元朋 褚 忠 庄宿涛 惠鸿忠

康宝来 宫建红 宁淑荣 许树勤 马言召

沈洪雷 陈 原 安虎平 赵建琴 高 进

王国星 张铁军 马明亮 张丽丽 楚晓华

魏列江 关跃奇 沈 浩 鲁 杰 胡启国

陈树海 王宗彦 刘占军 李长河 杨建军

刘琨明

# 前 言

“互换性与测量技术”是与机械工业发展紧密联系的综合性应用技术基础学科，内容包括几何量精度设计和误差检测两方面，把标准化与计量两个领域的有关内容有机地结合在一起，与机械设计、制造、质量控制、生产组织管理等方面密切相关，是机械工程技术人员和管理人员必备的专业技能。

在教学中，“互换性与测量技术”课程起着承上启下的作用，是从专业基础课程过渡到专业课程的桥梁，是联系机械设计类课程和机械制造工艺类课程的纽带。

本书在编写中，根据应用型本科教学的基本要求，吸取各校多年教学经验，采用最新颁布的国家标准。编写中坚持少而精的原则，紧密围绕几何量“精度设计”和“误差检测”这两个主题，突出其工程应用性，具有内容丰富、选材精练、重点突出、应用性强等特点。具体的编写特色如下。

(1) 选材紧密围绕几何量公差与配合和几何量误差检测两大内容，采用最新国家标准。

(2) 各几何量误差的检测紧跟在相应的公差标准之后，有助于对公差概念的理解；较全面地介绍各几何量误差检测方法的原理，把不便在课堂上讲述的具体仪器的结构、操作步骤留在实验指导中。

(3) 将尺寸的检测和光滑极限量规合并为一节，称“光滑工件尺寸的检测”，为的是集中介绍光滑工件的尺寸检测，以使学生对光滑工件尺寸检测的所有知识有系统的了解，同时也便于教学。

(4) 为强化学生动手能力，突出误差检测技能的训练，特地增加一章“公差与配合实验技术”。

(5) 本书对基本概念和国家标准的应用做了重点介绍，并尽可能列举较多的选用实例。

本书按30~50学时编写，使用中可根据情况进行取舍，不影响系统性。

参加本书编写的有：山西大同大学杨玉璋（第2章、第4章4.5节、第6章6.1节）、山西大同大学张瑞平（第3章、第4章4.1~4.4节、第5章）、山西大同大学李红英（第6章6.2~6.3节、第2、12章）、河北建筑工程学院马轶群（第1章）、山东大学威海分校宫建红（第7、8章）、郑州航空工业管理学院尹欣（第9、10、11章）。本书由杨玉璋、张瑞平担任主编；尹欣、宫建红、马轶群和李红英担任副主编。

由于编者水平所限，书中疏漏与不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2014年8月

# 目 录

第 1 章 互换性与标准化 .....	1	知识要点 .....	30
1.1 机械制造中的互换性 .....	1	思考与训练 .....	30
1.1.1 互换性的含义 .....	1	第 3 章 极限与配合 .....	31
1.1.2 互换性的作用 .....	1	3.1 概述 .....	31
1.1.3 互换性的种类 .....	2	3.1.1 极限与配合的含义 .....	31
1.1.4 误差与公差的概念 .....	2	3.1.2 极限与配合现行国家标准 .....	31
1.2 标准化与优先数 .....	3	3.2 极限与配合术语及定义 .....	32
1.2.1 标准与标准化 .....	3	3.2.1 孔和轴 .....	32
1.2.2 优先数和优先数系 .....	4	3.2.2 尺寸 .....	32
1.3 研究对象与课程教学目标 .....	6	3.2.3 偏差和公差 .....	33
1.3.1 研究对象 .....	6	3.2.4 配合 .....	35
1.3.2 课程教学目标 .....	7	3.3 尺寸公差与配合的标准化 .....	38
知识要点 .....	7	3.3.1 公差带大小标准化——标准 公差系列 .....	38
思考与训练 .....	7	3.3.2 公差带位置的标准化——基本 偏差系列 .....	42
第 2 章 测量技术基础 .....	8	3.3.3 极限与配合的代号 .....	48
2.1 概述 .....	8	3.4 极限与配合的选择 .....	58
2.1.1 测量技术的概念 .....	8	3.4.1 基准制的选用 .....	58
2.1.2 计量基准与量值传递系统 .....	9	3.4.2 公差等级的选用 .....	60
2.2 量块 .....	10	3.4.3 配合的选用 .....	62
2.2.1 量块及其作用 .....	10	3.4.4 零件尺寸精度设计应用 实例 .....	66
2.2.2 量块的精度 .....	11	3.5 线性尺寸的一般公差 .....	68
2.2.3 量块的使用 .....	12	3.5.1 一般公差的概念 .....	68
2.3 计量器具与测量方法 .....	13	3.5.2 一般公差的公差等级和极限 偏差 .....	68
2.3.1 计量器具的分类 .....	13	3.5.3 一般公差的图样表示 .....	69
2.3.2 计量器具的技术指标 .....	14	知识要点 .....	69
2.3.3 技术测量应遵循的基本 原则 .....	16	思考与训练 .....	69
2.3.4 测量方法的分类 .....	17	第 4 章 几何公差 .....	70
2.4 测量误差与数据处理 .....	18	4.1 概述 .....	70
2.4.1 测量误差与产生原因 .....	18	4.1.1 几何要素及其分类 .....	70
2.4.2 随机误差的分布规律、特性 及其评定指标 .....	20	4.1.2 几何公差特征（项目）与 符号 .....	72
2.4.3 测量列中各类误差的处理 .....	25		
2.4.4 测量列（等精度）的数据 处理 .....	27		





4.1.3 基准 .....	73	<b>第6章 工件检测</b> .....	115
4.2 几何公差标注 .....	73	6.1 光滑工件尺寸检测 .....	115
4.2.1 公差框格和指引线 .....	73	6.1.1 基本概念 .....	115
4.2.2 基准要素的标注 .....	74	6.1.2 用通用量器具测量 .....	116
4.2.3 被测要素的标注 .....	75	6.1.3 光滑极限量规 .....	120
4.3 几何公差带 .....	76	6.2 工件几何误差检测 .....	127
4.3.1 几何公差带要素 .....	76	6.2.1 几何误差检测原则 .....	127
4.3.2 形状公差带 .....	77	6.2.2 形状误差评定与检测 .....	129
4.3.3 方向公差带 .....	79	6.2.3 方向误差评定与检测 .....	136
4.3.4 位置公差带 .....	81	6.2.4 位置误差评定与检测 .....	137
4.3.5 跳动公差带 .....	83	6.2.5 跳动误差评定与检测 .....	140
4.4 基本术语与公差原则 .....	84	6.3 工件表面粗糙度轮廓参数检测 .....	141
4.4.1 基本术语 .....	85	6.3.1 接触式测量 .....	141
4.4.2 公差原则 .....	86	6.3.2 光学测量法测量 .....	142
4.5 几何公差的选择 .....	90	知识要点 .....	144
4.5.1 几何公差项目的选择 .....	90	思考与训练 .....	144
4.5.2 几何公差值的选择 .....	91	<b>第7章 滚动轴承的公差与配合</b> .....	146
4.5.3 基准的选择 .....	94	7.1 滚动轴承的精度等级与应用 .....	146
4.5.4 公差原则的确定 .....	94	7.2 滚动轴承内、外径公差带 .....	147
4.5.5 未注几何公差的规定 .....	95	7.2.1 内、外径公差带的特点 .....	147
4.5.6 零件几何精度设计应用		7.2.2 滚动轴承的尺寸公差及形状	
实例 .....	96	公差 .....	147
知识要点 .....	97	7.3 滚动轴承的配合及其选择 .....	150
思考与训练 .....	98	7.3.1 滚动轴承的配合 .....	150
<b>第5章 表面结构参数</b> .....	100	7.3.2 滚动轴承配合的选择 .....	151
5.1 概述 .....	100	7.3.3 滚动轴承配合精度设计应用	
5.2 轮廓法评定表面结构 .....	100	实例 .....	157
5.2.1 基本术语和定义 .....	100	知识要点 .....	158
5.2.2 表面轮廓的评定参数 .....	103	思考与训练 .....	158
5.3 表面粗糙度参数与数值 .....	104	<b>第8章 普通螺纹的公差与检测</b> .....	159
5.3.1 表面粗糙度对零件使用性能的影响 .....	104	8.1 概 述 .....	159
5.3.2 表面粗糙度评定参数 .....	105	8.1.1 螺纹的种类和使用要求 .....	159
5.3.3 表面粗糙度的选用 .....	107	8.1.2 螺纹的基本牙型和几何	
5.4 表面粗糙度的标注 .....	109	参数 .....	159
5.4.1 表面粗糙度的图形符号 .....	109	8.2 普通螺纹几何参数对互换性的	
5.4.2 表面粗糙度参数的标注 .....	109	影响 .....	161
5.4.3 新旧国标的对比 .....	113	8.2.1 螺距误差对互换性的影响 .....	161
知识要点 .....	113	8.2.2 牙型半角误差对互换性的	
思考与训练 .....	114	影响 .....	162
		8.2.3 中径误差的影响 .....	163



8.2.4 螺纹大、小径的影响 .....	163	10.3.3 矩形花键连接的尺寸公差与配合 .....	191
8.2.5 螺纹中径合格性判断原则 .....	163	10.3.4 矩形花键的几何公差与表面粗糙度 .....	191
8.3 普通螺纹的公差与配合 .....	164	10.3.5 矩形花键的图样标注 .....	193
8.3.1 螺纹公差 .....	164	10.4 普通平键和矩形花键的检测 .....	193
8.3.2 螺纹公差带位置 .....	166	10.4.1 普通平键键槽的检测 .....	193
8.3.3 螺纹旋合长度与配合精度 .....	167	10.4.2 矩形花键的检测 .....	194
8.3.4 螺纹的公差带和选用 .....	168	知识要点 .....	194
8.3.5 螺纹在样图上的标注 .....	168	思考与训练 .....	195
8.4 普通螺纹检测 .....	169	<b>第 11 章 渐开线圆柱齿轮的公差与检测 .....</b>	<b>196</b>
8.4.1 综合检测 .....	169	11.1 概述 .....	196
8.4.2 单项检测 .....	170	11.2 齿轮制造误差 .....	198
知识要点 .....	170	11.2.1 齿轮传动的加工误差来源与特点 .....	198
思考与训练 .....	171	11.2.2 齿轮加工误差分类 .....	200
<b>第 9 章 圆锥配合的公差与配合 .....</b>	<b>172</b>	11.3 齿轮误差及其检测项目 .....	200
9.1 圆锥几何参数与误差分析 .....	172	11.3.1 影响传递运动准确性的误差项目及其检测 .....	200
9.1.1 圆锥及其主要几何参数 .....	172	11.3.2 影响传动平稳性的误差项目及其检测 .....	204
9.1.2 圆锥几何参数误差对互换性的影响 .....	173	11.3.3 影响载荷分布均匀性的误差项目及其检测 .....	207
9.2 圆锥公差与配合 .....	175	11.3.4 影响齿轮副侧隙的偏差及其检测 .....	208
9.2.1 圆锥公差 .....	175	11.4 齿轮副的评定指标 .....	210
9.2.2 圆锥配合 .....	178	11.4.1 接触斑点 .....	210
9.2.3 圆锥公差的标注 .....	179	11.4.2 中心距偏差 $f_a$ (极限偏差 $\pm f_a$ ) .....	211
9.2.4 圆锥直径公差带的选择 .....	181	11.4.3 轴线平行度偏差 .....	211
9.3 锥度测量 .....	182	11.5 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用 .....	212
9.3.1 直接测量法 .....	182	11.5.1 齿轮精度指标公差、精度等级及其选择 .....	212
9.3.2 间接测量法 .....	182	11.5.2 齿轮检验项目的确定 .....	215
9.3.3 圆锥量规 .....	183	11.5.3 齿轮副侧隙及其确定 .....	216
知识要点 .....	183	11.5.4 齿轮坯精度的确定 .....	218
思考与训练 .....	184	11.5.5 齿轮精度设计应用实例 .....	220
<b>第 10 章 键和花键的公差与配合 .....</b>	<b>185</b>		
10.1 概述 .....	185		
10.2 普通平键连接的公差与配合 .....	186		
10.2.1 普通平键的连接结构 .....	186		
10.2.2 普通平键的尺寸公差 .....	186		
10.2.3 普通平键的几何公差 .....	188		
10.3 矩形花键连接的公差与配合 .....	189		
10.3.1 矩形花键的主要尺寸 .....	189		
10.3.2 矩形花键连接的定心方式 .....	190		





知识要点 .....	223	12.3 表面粗糙度测量 .....	239
思考与训练 .....	223	实验 3-1 用光切显微镜测量表面 粗糙度 .....	239
<b>第 12 章 公差与配合实验技术</b> .....	<b>225</b>	实验 3-2 用电动轮廓仪测量表面 粗糙度 .....	241
12.1 尺寸测量 .....	225	12.4 螺纹测量 .....	244
实验 1-1 用立式光学计测量 轴径 .....	225	实验 4-1 用工具显微镜测量螺纹 主要参数 .....	244
实验 1-2 用卧式测长仪测量 孔径 .....	227	实验 4-2 用螺纹千分尺测量外螺纹 中径 .....	247
12.2 几何误差的测量 .....	230	12.5 齿轮测量 .....	248
实验 2-1 用合像水平仪测量导轨 直线度误差 .....	230	实验 5-1 用径向跳动检查仪测量 齿轮径向跳动 .....	248
实验 2-2 用平板基准法测量平面度 误差 .....	233	实验 5-2 用齿距仪测量齿轮 齿距累积总偏差 .....	249
实验 2-3 用两点法、三点法组合 检测圆度和圆柱度误差 .....	233	实验 5-3 用单盘式渐开线检查仪 测量齿廓总偏差 .....	251
实验 2-4 用三坐标测量机测量 轮廓度误差 .....	234	实验 5-4 用双面啮合综合检查仪测量 齿轮径向综合偏差 .....	252
实验 2-5 用普通计量器具测量 工件的方向误差 .....	236	实验 5-5 用齿轮游标卡尺测量 齿轮齿厚偏差 .....	253
实验 2-6 用普通计量器具测量 工件的位置误差 .....	237	<b>参考文献</b> .....	<b>255</b>
实验 2-7 用普通计量器具测量 工件的跳动误差 .....	238		

# 第1章

## 互换性与标准化

### 学习目标

- 感知互换性、标准化、技术测量在现代工业协作生产中的作用。
- 建立互换性与测量技术课程的主体知识的脉络结构。
- 明确“精度设计”和“误差检测”在机械技术工作中的重要性。
- 激发学生对本课程的学习兴趣。

## 1.1 机械制造中的互换性

### 1.1.1 互换性的含义

现代工业生产是专业化的协作生产，其重要条件是所生产的零部件必须具有互换性。

互换性在工业生产和日常生活中随处可见。例如，机器上丢了一个螺母，可以按相同的规格装上一个；灯泡坏了换个新的；自行车、缝纫机的零件磨损了，换一个相同规格的新零件便可满足使用要求。可见，独立制造的相同规格的零部件，无须挑选、修配或调整就能装在（或修理中更换）机器上，并且满足使用功能要求。零部件具有的这种不经任何挑选、修配或调整就能在同规格范围内相互替换的特性叫作互换性。

为了实现互换性，理想情况是同规格零件的几何参数完全一致，但这在生产实际中，由于种种原因是不能达到的。实际上，只要零件的几何参数在规定的允许范围（即公差）内变动，就能实现互换。因此，几何参数的互换是指规定几何参数充分近似所达到的互换。

### 1.1.2 互换性的作用

在现代机械制造中，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，其作用主要体现在设计、制造、使用维护等几方面。

(1) 利于设计。机械设计中，设计人员可最大限度地采用标准件、通用件，减少计算、绘图等工作量，缩短设计和试制周期，同时有利于实现计算机辅助设计和产品品种的多样化。

(2) 便于制造。零部件具有互换性，有利于组织专业化协作生产，使用新工艺、新技术和现代化专用设备，有利于实现计算机辅助制造，有利于实现加工和装配过程的自动化，从而提高产品质量和生产效率，降低生产成本。

(3) 方便使用。可以及时更换那些磨损或损坏了的零部件，降低维修成本，提高机器的使用效率和寿命。

综上所述，互换性在提高产品质量和产品可靠性、提高经济效益方面均具有重大意义。互换性原则是现代机械制造中的一个普遍遵守的生产原则和技术基础。但是，互换性原则也不是在任何情况下都适用的，有时采取单个配制才符合经济原则，这时零件虽然不能互换，



但也有公差和检测的要求。

### 1.1.3 互换性的种类

在机械制造行业中，零部件的互换性包括几何参数（如尺寸）互换和力学性能（如强度、刚度）等方面的互换。本课程仅讨论几何参数的互换，即几何参数的公差与检测。

所谓几何参数，包括尺寸大小、几何形状（宏观、微观）及相互位置关系。几何参数的互换有以下几种。

(1) 按互换程度，互换性分为完全互换和不完全互换。完全互换以零件装配或更换时不需要挑选和辅助加工为条件；不完全互换也称有限互换，在零件装配或更换时允许有附加条件的选择或调整。不完全互换可以采用分组装配法、调整法等来实现。

(2) 对标准部件或机构，其互换性又分为内互换和外互换。内互换是指标准部件或机构内部组成零件的互换，外互换是指标准部件或机构与其相配合件之间的互换。例如，滚动轴承内、外滚道直径与滚动体直径的互换为内互换；滚动轴承内圈内径与轴颈的配合、外圈外径与机壳孔的配合为外互换。

### 1.1.4 误差与公差的概念

#### 1. 几何量误差

零件在加工过程中由于种种原因，几何参数不可避免地偏离设计值，两者在数值上的差异就是几何量误差，简称误差（含尺寸误差、形状误差、位置误差、表面粗糙度等）。

#### 2. 公差

允许零件几何参数的变动范围称为公差，公差由设计人员给定。为使零件具有互换性，零件的误差必须控制在规定的公差范围内，即互换性要用公差来保证。

#### 3. 检测

几何量的检测是组织互换性生产必不可少的重要措施。因此必须对零部件规定合理的公差，用以实现零部件的互换性。由于零件的加工误差不可避免，因此加工好的零件是否满足公差要求，要通过检测加以判断。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。测量是将被测量与作为计量单位的标准量进行比较，以确定被测量的量值的过程。检验是指确定零件的几何参数是否在规定的极限范围内，并做出合格性判断，而不必得出被测量的量值。

但必须指出，在检测过程中又会不可避免地产生测量误差，这将导致两种误判：一是将不合格的零件误认为是合格零件而给予接收——误收；二是将合格零件误认为是废品而给予报废——误废。因此，产品质量的提高，除设计精度和加工精度的提高外，往往更依赖于检测精度的提高。

几何量的检测不仅用于判断工件合格与否，而更积极的一面是根据检测结果，分析产生不合格品的原因，及时调整生产，监督生产工艺，预防废品产生。

综上所述，合理确定公差，正确进行检测，是保证产品质量，实现互换性生产的技术保证。



## 1.2 标准化与优先数

### 1.2.1 标准与标准化

#### 1. 标准与标准化的概念

从生产技术而言,为了实现互换性生产,零部件的尺寸必须在其规定的公差范围内。从组织生产而言,如果同类产品的规格过多,或规格相同而规定的公差大小各异,就会给实现互换性带来很大困难。因此,为了实现互换性协作生产,必须采取一种技术措施,使各分散的、局部的生产部门和生产环节之间保持必要的技术统一,以形成一个统一的整体。标准与标准化正是建立这种关系的重要技术措施,是实现互换性生产的基础。

为此,首先必须建立那些在生产技术活动中最基本的、具有广泛指导意义的标准。由于高质量产品与公差密切相关,所以要实现互换性生产,必须建立公差与配合、几何公差、表面粗糙度等标准。

所谓标准,是对需要协调同一的具有重复特征的物品(如产品、零件等)和概念(如术语、规则、方法、代号、量值等),在总结科学实验和生产实践的基础上,经有关方面协调制定,由主管部门批准,以特定形式发布,在一定范围内共同遵守的准则和依据。

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基础。

所谓标准化,是指标准的制定、发布和贯彻实施,以获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。它包括从调查标准化对象开始,经实验、分析和综合归纳,进而制定和贯彻标准,以后还需修订标准。显然,标准化是以标准为载体活动过程,是一个不断循环、不断完善、不断提高的过程。

标准化是实现专业化生产的前提;是组织现代化生产、提高生产效率和效益的重要手段;是发展贸易,提高产品在国际上竞争能力的技术保证。现代化程度越高,对标准的要求也越高,反之,标准化又能够推动科学技术的发展和人类的进步。

#### 2. 标准的分类

(1) 按照标准的作用范围,将标准分为国际标准、国际区域标准、国家标准。

① 国际标准通常是指由国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)组织制定发布的标准。

② 国际区域性标准是指由国际地区性标准化委员会,如欧洲标准化组织(CEN)和欧洲电工标准化委员会(CENELEC)等所制定发布的标准。

(2) 按标准化对象的特性,标准分为基础标准、产品标准、方法标准、安全标准和环境保护标准等。

① 基础标准是以标准化共性要求和前提为对象,保证新产品结构功能和制造质量而制定的标准,也是制定其他标准时可依据的标准,例如,本课程所涉及的各种公差与配合标准、优先数标准等都是基础标准。

② 产品标准是对产品规格和质量所做的统一规定。

③ 方法标准是对设计、生产、验收过程中的重要程序、规则和方法等所做的规定。

④ 安全标准和环境保护标准是有关人的生命财产和保护环境可持续发展的标准。

(3) 按照标准的级别,我国将标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。



国家标准是指对经济、技术发展有重大意义，在全国范围内统一执行的标准。国家标准的编号由代号、发布顺序号、发布年号组成，其代号有三种：GB 为强制性国家标准；GB/T 为推荐性国家标准；GB/A 为国家标准化指导性技术文件。

对于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，可制定行业标准，如机械行业标准（JB）、建筑机械标准（JJB）、国家计量局标准（JJG）等。对于没有国家和行业标准又需在某个范围统一的技术要求，可制定地方标准或企业标准，代号分别用 DB、QB 表示。

### 3. 标准化的意义及其发展

建立标准，并正确贯彻执行其标准，就可以保证产品质量，缩短生产周期，便于开发新产品和协作配套，提高企业管理水平。因此，标准化是组织现代化生产的重要手段，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。现代化程度越高，对标准化的要求也越高。

标准化是社会生产劳动的产物，在近代工业兴起和发展过程中显得日益重要起来。19 世纪，标准化在一些国家的国防、造船、铁路运输等行业中开始应用，20 世纪得到快速发展，一些国家相继成立了全国性的标准化机构，推进了本国的标准化事业。随着生产的发展，国际间交流越来越频繁，出现了地区性、国际性的标准化组织。1926 年成立国际标准化协会（简称 ISA），1940 年颁布第一个国际标准 ISA。1947 年改组了国际标准化协会，并更名为国际标准化组织（简称 ISO），1962 年颁布改组后的第一个国际标准 ISO。

我国在 1956 年前无自己的标准，1955 年成立国家计量局，1956 年颁布机械工业标准（JB），1958 年颁布第一批国家标准。从 1959 年开始，我国陆续颁布机械制造相关国家标准（GB）。从 1979 年开始，我国制定并颁布了以国际标准为基础的新的国家标准。从 1992 年开始，我国制定并颁布了以国际标准为基础修定的 GB/T 类国家标准。我国 1978 年恢复为 ISO 成员国，已开始承担 ISO 技术委员会秘书处工作和国际标准草案的起草工作。

### 1.2.2 优先数和优先数系

工程上各种技术参数的简化、协调和统一，是标准化的重要内容。

在产品设计和技术标准制定时涉及的功能参数和几何参数都用数值来表述。这些参数往往不是孤立的，一旦选定，这个数值就会按照一定规律向相关参数（零部件尺寸、加工和检测零部件的刀、夹、量具）扩散传播。例如，动力机械的功率和转速确定后，不仅传播到其本身的轴、轴承、键、齿轮等一系列零部件的尺寸和材料特性参数上，而且必然还会传播到加工和检测这些零部件的刀具、夹具、量具及机床的相应参数上。在生产实际中，这种数值的传播扩散，既发生在同量之间，也发生在不同量之间。

由于技术参数的这种传播性，会导致尺寸规格杂乱无章，给组织生产、协作配套、使用维护带来很大困难，因此必须对技术参数协调、简化和统一。另外，为满足用户需要，对同一产品、同一参数要求从大到小取不同的值，以形成不同规格的产品系列。这个系列确定的合理与否，也与所取数值分级直接相关。

优先数和优先数系就是对各种技术参数的数值进行优选、协调、简化和统一的一种科学数值制度（数值标准），也是国际上统一的数值分级制度。

#### 1. 优先数和优先数系

工程技术上通常用的优先数系，是一种十进制等比级数。级数的各项数值中包括了 10 的

所有整数幂:  $1, 10, 100, 1000, \dots, 10^N$ ;  $0.1, 1, 10, 100, \dots, 1/10^N$  ( $N$  为正整数), 这些数称为十进数。将十进数按  $\dots, 0.01 \sim 0.1, 0.1 \sim 1, 1 \sim 10, 10 \sim 100, \dots$  划分区间, 称为十进段。

每个十进段插入若干项, 使其都按同一公比  $q$  细分为几何级数, 每进  $r$  就使项值增大 10 倍, 则公比应满足  $aq^r = 10a$  ( $a$  为起始项值), 即  $q = \sqrt[r]{10}$ , 相应的极数为:  $a, aq, aq^2, \dots, aq^{r-1}, aq^r$ 。

我国标准 GB 321—1980 《优先数和优先数系》规定  $r=5, 10, 20, 40, 80$  五种, 分别采用国际代号 R5, R10, R20, R40, R80 表示, 五种优先数系的公比  $q_5, q_{10}, q_{20}, q_{40}, q_{80}$  分别为:

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

$$\text{R10 系列} \quad q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.2589 \approx 1.25$$

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

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

$$\text{R80 系列} \quad q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.0292 \approx 1.03$$

R5、R10、R20、R40 是常用系列, 称为基本数列。R80 为补充系列, 是最密的数系。优先数系的基本系列见表 1-1。

表 1-1 优先数系的基本系列 (摘自 GB/T 321—2005)

基本系列 (常用值)				计算值	基本系列 (常用值)				计算值	
R5	R10	R20	R40		R5	R10	R20	R40		
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000	4.00	4.00	4.00	3.35	3.3497	
			1.06	1.0593				3.55	3.55	3.5481
			1.12	1.1220				3.75	3.75	3.7584
			1.18	1.1885				4.00	4.00	3.9811
			1.25	1.2589				4.25	4.25	4.2170
			1.32	1.3335				4.50	4.50	4.4668
			1.40	1.4125				4.75	4.75	4.7315
			1.50	1.4962				5.00	5.00	5.0119
			1.60	1.5849				5.30	5.30	5.3088
			1.70	1.6788				5.60	5.60	5.6234
1.60	1.60	1.60	1.70	1.6788	6.30	6.30	6.30	6.00	5.9566	
			1.80	1.7783				6.30	6.30	6.3096
			1.90	1.8836				6.70	6.70	6.6834
			2.00	1.9953				7.10	7.10	7.0795
			2.12	2.1135				7.50	7.50	7.4989
			2.24	2.2387				8.00	8.00	7.9433
			2.36	2.3714				8.50	8.50	8.4140
			2.50	2.5119				9.00	9.00	8.9125
			2.65	2.6007				9.50	9.50	9.4406
			2.80	2.8184				10.00	10.00	10.00
2.50	2.50	2.50	3.00	3.0854	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
			3.15	3.1623						
			3.15	3.1623						

优先数系中的每一个项值均为科学数值分级制度中被确定的数值, 称为优先数。优先数的理论值为无理数, 工程中不宜直接使用, 而实际应用的数值都是经过化整处理后的近似值。



根据取值的精确程度，优先数的近似值可分为：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（是将常用值做化整处理后所得的值，通常为2位有效数字）。

### 2. 优先数系的特点

表1-1列出了1~10范围内基本系列的常用值。将表中所列优先数乘以10, 100, 1000, …, 或乘以0.1, 0.01, 0.001, …, 方可得到所有大于10或小于1的优先数，即各系列中的项值可按十进法向两端延伸。

各系列优先数之间依次相含。从表1-1明显看出，R5系列的项值包含在R10系列中，R10系列的项值包含在R20系列中，R20系列的项值包含在R40系列中，R40系列的项值包含在R80系列中。R5、R10、R20、R40、R80项数依次由疏到密。

同一优先数系中任意相邻两相的相对差近似不变（按理论值则相对差不变），同一系列的优先数（理论值）的积、商、乘方或开方仍为优先数。

为了使优先数有更大的适应性来满足生产所需，可以从基本系列中，每逢 $p$ 项选取一个优先数，生成新的系列，即派生系列，以 $R_{r/p}$ 表示。派生系列的公比为

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

如 $R_{10/3}$ 派生系列，就是从基本系列R10中，自1以后每逢3项留取一个优先数组成的，即1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00, 32.00, 64.00, …, 其中，公比 $q_{r/p} = (\sqrt[3]{10})^3 \approx 1.2589^3 \approx 2.00$ 。

优先数系的应用很广，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、规格的合理化分档和协调具有十分重要的意义。选用基本系列时，应遵守先疏后密的原则，即按照R5, R10, R20, R40的顺序，优先采用公比大的基本系列。当基本系列不能满足要求时，可选用派生系列。

## 1.3 研究对象与课程教学目标

### 1.3.1 研究对象

《互换性与测量技术》是机械类及近机类专业的一门专业基础课程，起着承上启下的作用，在教学中是从专业基础课程过渡到专业课程的桥梁，是联系机械设计类课程和机械制造工艺类课程的纽带。

就机械设计程序而言，通常需要系统设计、结构设计和精度设计三个环节。“系统设计”也称一次设计，确定机器的传动系统、选择机构与元件，实现预定的动作，满足系统及其组成部分在运动学方面的要求。“结构设计”即二次设计，确定具体机构（零部件）的基本参数（如基本尺寸、标准件的型号规格、材料）和承受规定的载荷，满足强度和刚度及动力学方面的要求。“精度设计”即三次设计，确定互换性允许的变动量及其评定方法，包括合理确定零部件的公差及极限偏差，以及制造中对这些参数的检测与评定方法，保证机器能正确装配并满足工作精度的要求。

从保证产品质量和如何实现互换性的角度出发，围绕误差和公差两方面去分析、研究机械零部件的几何参数，以求得合理的精度设计，同时从工件检测角度来研究几何量误差检测的原则、方法和测量数据处理的原理、程序。





### 1.3.2 课程教学目标

通过《互换性与测量技术》课程的教学,应当完成机械零部件精度设计和技术测量所需技能和能力的初步训练。

(1) 要求学生掌握互换性的基本原理和基本知识,了解机械行业的最新公差与配合国家标准;掌握公差与配合标准的主要内容、特点、应用原则和相应表格的查询;初步学会根据机器零部件的使用和功能要求,正确设计和选用合适的公差与配合,并能在图样上正确标注。

(2) 掌握几何量误差测量的基础知识;学会常用测量器具的选择与使用;具备测量方案确定和测量数据处理的初步能力。

## 知识要点

互换性是现代工业生产的基本技术经济原则,是专业化协作生产的重要条件。

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基础。

标准化是实现专业化生产的前提;是组织现代化生产、提高生产效率和效益的重要手段;是发展贸易,提高产品在国际上竞争能力的技术保证。

技术测量是实现互换性生产的技术保证。标准化、技术测量和互换性三者形成了一个有机的整体。

几何量的检测是组织互换性生产必不可少的重要技术措施。由于零件的加工误差不可避免,因此,零件是否合格,要通过检测加以判断。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。

## 思考与训练

1-1 什么叫互换性?按互换性原则组织生产有哪些好处?

1-2 完全互换和不完全互换有何区别?

1-3 什么是标准?什么是标准化?标准的种类和级别有哪些?

1-4 试述互换性、标准化和技术测量的关系。

1-5 为什么要采用优先数系?优先数系有哪些性质?

1-6 下面两组优先数各属于哪个系列?

①电动机转速:375r/min, 750r/min, 1500r/min, 3000r/min, ...

②摇臂钻床的最大钻孔直径:25mm, 40mm, 63mm, 80mm, 100mm, 125mm, ...



# 第2章

## 测量技术基础

### 学习目标

□ 具备恰当选择测量方法（含测量原理、测量器具、测量条件）的能力，即要求学生充分认识测量对象，选用相应的标准量，遵循一定的测量原则，选择恰当的测量原理和合适的测量器具，并在测量器具规定的测量条件（称标准条件）下完成测量。

□ 掌握各类误差的特征和处理方法，具备测量数据处理的初步能力。

## 2.1 概 述

### 2.1.1 测量技术的概念

研究测量、保证量值统一和准确性的科学称为计量学。它研究计量学单位及其标准、测量方法、计量器具、测量精度等问题。简言之，计量学就是研究测量知识的科学，它研究的范围包括几何量计量、温度计量、光学计量、电学计量等。本课程仅讨论几何量的计量。

测量技术属于计量学范畴。在机械行业中，测量技术作为一种手段，主要解决几何量的测量（计量）与检验问题，其基本任务：拟定合理的测量方法，使测量目的得以实现；对测量方法的精确度进行分析和估计，正确处理测量所得数据。

零部件互换性的实现，除了设计时要合理规定公差，在加工和装配时还需要通过技术测量或检验来判断零件是否合格。只有合格的零件，才具有互换性。

所谓测量，就是将测量量  $L$  与作为计量单位的标准量  $u$  进行比较，从而获得被测量量值的实验认知过程。若被测量为  $L$ ，选定的计量单位为  $u$ ，则两者的比值为  $q = L/u$ ，被测量量值为  $L = qu$ 。可见，当被测量  $L$  一定时，比值  $q$  的大小完全取决于所采用的计量单位  $u$ 。计量单位  $u$  的选择决定于被测量  $L$  所要求的精度。

一个完整的测量过程包括测量对象、计量单位、测量方法和测量精确度四个要素。

(1) 测量对象。机械制造行业的技术测量中，测量对象指几何量，包括尺寸、角度、表面粗糙度等。

(2) 计量单位。计量单位指测量时所用的标准量。机械制造（或修理）中，长度单位用毫米（ $1\text{mm} = 10^{-3}\text{m}$ ），精密测量中用微米（ $1\mu\text{m} = 10^{-3}\text{mm}$ ），超精密测量中用纳米（ $1\text{nm} = 10^{-3}\mu\text{m}$ ）。机械制造（或修理）中，角度计量单位用弧度（ $\text{rad}$ ）、微弧度（ $\mu\text{rad}$ ）和度（ $^\circ$ ）、分（ $'$ ）、秒（ $''$ ）。 $1\mu\text{rad} = 10^{-6}\text{rad}$ ， $1^\circ = 60'$ ， $1' = 60''$ ， $1^\circ = 0.017\ 453\ 3\text{rad}$ 。

(3) 测量方法。测量方法指测量时所采用的测量原理、测量器具和测量条件的总和。为