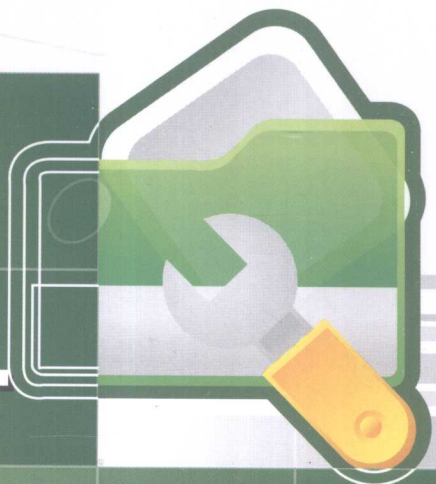




21st CENTURY
实用规划教材

21世纪全国应用型本科 **大机械系列** 实用规划教材

机械精度设计



与测量技术

主 编 于 峰
主 审 于 影



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

机械精度设计与测量技术

主 编	于 峰	
副主编	胡晓平	孙日新
参 编	杨宾峰	宁李谱
主 审	于 影	



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是高等工科院校机械类、近机械类各专业的专业基础课教材,内容包括:互换性、标准化等的基本概念,尺寸精度设计,形状和位置精度设计,表面粗糙度,几何参数检测技术基础,常用典型件的精度设计,渐开线圆柱齿轮的精度设计和尺寸链的精度设计基础。

本书内容全部根据最新国家标准编写,所涉及的公式、数据、图表准确可靠,具有很强的实用性和可操作性。

本书可供高等工科院校机械类、近机械类各专业的学生使用,也可供从事机械设计、机械制造等工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计与测量技术/于峰主编. —北京:北京大学出版社, 2008. 8

(21世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-13580-8

I. 机… II. 于… III. ①机械—精度—设计—高等学校—教材②机械元件—测量—高等学校—教材
IV. TH122 TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 045125 号

书 名: 机械精度设计与测量技术

著作责任者: 于 峰 主编

策划编辑: 郭穗娟

责任编辑: 李娉婷

标准书号: ISBN 978-7-301-13580-8/TH·0092

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

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

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 327 千字

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

丛书总序

殷国富*

机械是人类生产和生活的基本工具要素之一，是人类物质文明最重要的一个组成部分。机械工业担负着向国民经济各部门，包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、使用安全可靠的技术装备的任务，在国家现代化建设中占有举足轻重的地位。20世纪80年代以来，以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代科学技术的发展及其在机械工程领域中的广泛渗透、应用和衍生，极大地拓展了机械产品设计制造活动的深度和广度，改变了现代制造业的产品设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织模式，产生了一大批新的机械设计制造方法和制造系统。这些机械方面的新方法和系统的主要技术特征表现在以下几个方面：

(1) 信息技术在机械行业的广泛渗透和应用，使得现代机电产品已不再是单纯的机械构件，而是由机械、电子、信息、计算机与自动控制等集成的机电一体化产品，其功能不仅限于加强、延伸或取代人的体力劳动，而且扩大到加强、延伸或取代人的某些感官功能与大脑功能。

(2) 随着设计手段的计算机化和数字化，CAD/CAM/CAE/PDM集成技术和软件系统得到广泛使用，促进了产品创新设计、并行设计、快速设计、虚拟设计、智能设计、反求设计、广义优化设计、绿色产品设计、面向全寿命周期设计等现代设计理论和技术方法的不断发展。机械产品的设计不只是单纯追求某项性能指标的先进和高低，而是注重综合考虑质量、市场、价格、安全、美学、资源、环境等方面的影响。

(3) 传统机械制造技术在不断吸收电子、信息、材料、能源和现代管理等方面成果的基础上形成了先进制造技术，并将其综合应用于机械产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务的机械产品制造全过程，以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产，提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力。

(4) 机械产品加工制造的精密化、快速化，制造过程的网络化、全球化得到很大的发展，涌现出CIMS、并行工程、敏捷制造、绿色制造、网络制造、虚拟制造、智能制造、大规模定制等先进生产模式，制造装备和制造系统的柔性可重组已成为21世纪制造技术的显著特征。

(5) 机械工程的理论基础不再局限于力学，制造过程的基础也不只是设计与制造经验及技艺的总结。今天的机械工程学科比以往任何时候都更紧密地依赖诸如现代数学、材料科学、微电子技术、计算机信息科学、生命科学、系统论与控制论等多门学科及其最新成就。

上述机械科学与工程特征和发展趋势表明，现代机械工程学科越来越多地体现着知识经济的特征。因此，加快培养适应我国国民经济建设所需要的高综合素质机械工程专业人才的意义十分重大、任务十分繁重。我们必须通过各种层次和形式的教育，培养出适应世界机械工业发展潮流与我国机械制造业实际需要的技术人才与管理人才，不断推动

* 殷国富教授：现为教育部机械学科教学指导委员会委员，现任四川大学制造科学与工程学院院长

我国机械科学与工程技术的进步。

为使机械工程学科毕业生的知识结构由较专、较深、适应性差向较通用、较广泛、适应性强方向转化,在教育部的领导与组织下,1998年对本科专业目录进行了第3次大的修订。调整后的机械大类专业变成4类8个专业,它们是:机械类4个专业(机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、过程装备与控制、工业设计);仪器仪表类1个专业(测控技术与仪器);能源动力类2个专业(热能与动力工程、核工程与核技术);工程力学类1个专业(工程力学)。此外还提出了面向更宽的引导性专业,即机械工程及自动化。因此,建立现代“大机械、全过程、多学科”的观点,探讨机械科学与工程学科专业创新人才的培养模式,是高校从事制造学科教学的教育工作者的责任;建立培养富有创新能力人才的教学体系和教材资源环境,是我们努力的目标。

要达到这一目标,进行适应现代机械学科发展要求的教材建设是十分重要的基础工作之一。因此,组织编写出版面向大机械学科的一系列教材就显得很有意义和十分必要。北京大学出版社的领导和编辑们通过对国内大学机械工程学科教材实际情况的调研,在与众多专家学者讨论的基础上,决定面向机械工程学科专业的学生出版一套系列教材,这是促进高校教学改革发展的重大决策。按照教材编审委员会的规划,本系列教材将逐步出版。

本系列教材是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,合理定位,由长期在教学第一线从事教学工作的教师立足于21世纪机械工程学科发展的需要,以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写,以适应不同类型、不同层次的学校结合学校实际情况的需要。本系列教材编写的特色体现在以下几个方面:

(1) 关注全球机械科学与工程学科发展的大背景,建立现代大机械工程学科的新理念,拓宽理论基础和专业知识,特别是突出创造能力和创新意识。

(2) 重视强基础与宽专业知识面的要求。在保持较宽学科专业知识的前提下,在强化产品设计、制造、管理、市场、环境等基础理论方面,突出重点,进一步密切学科内各专业知识面之间的综合内在联系,尽快建立起系统性的知识体系结构。

(3) 学科交叉与综合的观念。现代力学、信息科学、生命科学、材料科学、系统科学等新兴学科与机械学科结合的内容在系列教材编写中得到一定的体现。

(4) 注重能力的培养,力求做到不断强化自我的自学能力、思维能力、创造性地解决问题的能力以及不断自我更新知识的能力,促进学生向着富有鲜明个性的方向发展。

总之,本系列教材注意了调整课程结构,加强学科基础,反映系列教材各门课程之间的联系和衔接,内容合理分配,既相互联系又避免不必要的重复,努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索。当然,本系列教材还需要在内容的精选、音像电子课件、网络多媒体教学等方面进一步加强,使之能满足普通高等院校本科教学的需要,在众多的机械类教材中形成自己的特色。

最后,我要感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也要感谢北京大学出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我相信,在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之在我国机械工程类学科专业的教学改革和课程体系建设中起到应有的促进作用。

2006年1月

前 言

“机械精度设计与测量技术”是高等工科院校机械类、近机械类各专业的机械设计课程体系的一门重要的主干技术基础课。它既是联系设计类和工艺类课程的纽带，又是从技术基础课程教学过渡到技术实践课程教学的桥梁。它不仅将标准化与计量学的有关内容有机地结合在一起，而且涉及机械设计、机械制造、质量控制、生产组织、管理等多方面的内容(机械工程技术人员和管理人员必备的基础知识和技能)。

本书根据近年全国高校课程体系改革的精神，在原来的“互换性与测量技术基础”课程教学大纲的基础上，强调了精度设计这一主题，使内容简明扼要、重点突出。

学习本课程旨在使学生认识到任何一台机器的设计，除运动分析、结构设计、强度计算和刚度计算以外，还有机械精度设计。机器的精度直接影响到机器的工作性能、振动、噪声、寿命和可靠性等。设计机器的精度时，要处理好机器的使用要求与制造工艺之间的矛盾，解决的方法是确定合理的公差，并用检测手段来保证精度设计的实施。

本课程的学习，将为进一步学习有关知识和今后从事机械设计工作、直接服务于社会奠定良好的基础。

本书采用全新的国家标准(内容齐全完整)，所涉及的公式、数据、图表准确可靠，具有很强的实用性和可操作性。

在保证教材内容的全面性、系统性的前提下，习题做到少而精、突出重点，以便使学生掌握本课程的基本内容，为后续课程的学习打下一定的基础。

在重点讲清基础概念的同时，加强了实际应用及工程实例的介绍，注重理论联系实际和应用能力的培养及工程素质教育。

本书由佳木斯大学于峰主编，胡晓平、孙日新担任副主编，其中于峰编写第1章、第2章、第4章；胡晓平编写第3章；孙日新编写第5章的5.5节、第6章；河南科技学院杨宾峰编写第5章的5.1~5.4节、第7章；河南科技学院宁李谱编写第8章。本书由佳木斯大学的于影主审。

本课程理论性比较强，建议授课教师根据不同的教学内容和特点设计出相应“案例”，用“案例”导入的方式进行教学，教学环境可考虑移到专业实验室中，尽量采用“教、学、做”一体的教学模式。

本书较适宜的授课学时为 48 学时，各章的参考学时数如下表。

章 次	建议学时	章 次	建议学时
第 1 章 绪论	2	第 5 章 几何参数检测技术基础	5
第 2 章 尺寸精度设计	12	第 6 章 常用典型件的精度设计	6
第 3 章 形状和位置精度设计	8	第 7 章 渐开线圆柱齿轮的精度设计	6
第 4 章 表面粗糙度	3	第 8 章 尺寸链的精度设计基础	6

本书在编写过程中得到了有关部门及任课教师的大力支持和精心指导，谨此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.5.1 线性尺寸一般公差的概念 ...	45
1.1 概述	1	2.5.2 标准的有关规定	46
1.2 机械零件的几何精度设计原则	1	2.5.3 线性尺寸的一般公差的应用	46
1.2.1 互换性的定义	1	2.6 尺寸精度的检测	47
1.2.2 互换性的分类	2	2.6.1 用通用计量器具检验	47
1.2.3 互换性在机械行业中的作用	2	2.6.2 用光滑极限量规检验	51
1.2.4 互换性生产的实现	3	小结	59
1.3 加工误差和公差	3	习题与思考题	60
1.4 标准化和优先数系	4	第 3 章 形状和位置精度设计	62
1.4.1 标准和标准化	4	3.1 概述	62
1.4.2 优先数和优先数系	5	3.2 形状和位置公差	62
1.5 本课程的研究对象及任务	6	3.2.1 基本概念	62
小结	7	3.2.2 形位公差特征项目及符号(symbols)	63
习题与思考题	7	3.2.3 形位公差的标注方法	63
第 2 章 尺寸精度设计	8	3.2.4 形位公差带	66
2.1 概述	8	3.3 形状和位置误差的评定	78
2.2 极限与配合的基本术语及定义	9	3.3.1 形状误差的评定	78
2.2.1 孔和轴	9	3.3.2 位置误差的评定	81
2.2.2 有关尺寸、偏差和公差的技术术语和定义	9	3.4 形位公差和尺寸公差的关系	81
2.2.3 有关配合的术语和定义	11	3.4.1 有关术语和定义	82
2.3 尺寸的极限与配合国家标准简介 ...	16	3.4.2 独立原则	84
2.3.1 配合制(fit system)	16	3.4.3 相关要求	84
2.3.2 标准公差(standard tolerance)系列	17	3.5 形状和位置公差的选用	92
2.3.3 基本偏差(fundamental deviation)系列	20	3.5.1 形位公差项目的选择	92
2.3.4 公差带与配合的标准化	32	3.5.2 公差原则或公差要求的选择	93
2.4 尺寸公差与配合的选择	34	3.5.3 形位公差值(或公差等级)的选择	93
2.4.1 配合制的选用	34	3.5.4 基准的选择	96
2.4.2 公差等级的选用	36	3.6 形状和位置精度的检测	97
2.4.3 配合种类的选用	38	小结	98
2.5 一般公差 线性尺寸的未注公差	45	习题与思考题	98
		第 4 章 表面粗糙度	100
		4.1 概述	100

4.1.1 表面粗糙度(surface roughness) 的定义	100	习题与思考题	139
4.1.2 表面粗糙度对零件使用 性能的影响	100	第6章 常用典型件的精度设计	140
4.2 表面粗糙度的评定	101	6.1 滚动轴承结合的精度设计	140
4.2.1 术语和定义	101	6.1.1 滚动轴承的组成	140
4.2.2 评定基准	102	6.1.2 滚动轴承的精度等级及其 应用	141
4.2.3 表面粗糙度的评定参数 (parameters)	103	6.1.3 与滚动轴承结合的轴颈和 壳体孔公差带的选用	144
4.3 表面粗糙度的选用	105	6.2 平键、矩形花键结合的精度设计	150
4.3.1 评定参数的选用	105	6.2.1 平键连接的精度设计	150
4.3.2 参数值的选用	106	6.2.2 矩形花键连接的 精度设计	153
4.4 表面粗糙度符号、代号及其 标注方法	109	6.3 螺纹结合的精度设计	157
4.4.1 表面粗糙度的符号	109	6.3.1 螺纹的种类及使用 要求	157
4.4.2 表面粗糙度要求在图样和 其他技术产品文件中的 注法	111	6.3.2 普通螺纹的基本牙型和 主要几何参数	157
4.5 有关表面粗糙度新旧国家 标准的演变	117	6.3.3 螺纹几何参数误差对螺纹 连接精度的影响	158
4.6 表面粗糙度的检测	119	6.3.4 普通螺纹的精度设计	161
小结	122	6.3.5 普通螺纹精度的检测	166
习题与思考题	122	小结	167
第5章 几何参数检测技术基础	123	习题与思考题	168
5.1 技术测量概述	123	第7章 渐开线圆柱齿轮的 精度设计	169
5.2 长度和角度计量单位与 量值传递系统	124	7.1 齿轮传动的使用要求	169
5.2.1 米的定义与量值 传递系统	124	7.2 圆柱齿轮的加工误差分析	170
5.2.2 量块(gauge block)	124	7.3 渐开线圆柱齿轮精度的 评定参数	171
5.2.3 角度单位与多面棱体	128	7.3.1 渐开线圆柱齿轮轮齿同侧 齿面偏差	172
5.3 计量器具与测量方法的分类	128	7.3.2 渐开线圆柱齿轮径向综合 偏差和径向跳动	174
5.3.1 计量器具的分类	128	7.3.3 齿厚偏差及齿侧间隙	175
5.3.2 测量方法的分类	129	7.4 渐开线圆柱齿轮的精度标准	178
5.4 计量器具度量指标	130	7.4.1 精度等级	178
5.5 测量误差和数据处理	131	7.4.2 各偏差允许值(公差)的 计算公式和标准值	179
5.5.1 测量误差及其产生的 原因	131	7.5 渐开线圆柱齿轮的精度设计	184
5.5.2 测量误差的分类及 处理	132	7.5.1 齿轮精度等级的确定	184
5.5.3 测量精度	136	7.5.2 最小侧隙和齿厚极限偏差 的确定	186
5.5.4 测量结果的数据处理	137		
小结	138		

7.5.3 轮齿检验项目的确定	186	8.2.3 用完全互换法进行 中间计算	203
7.5.4 齿轮坯精度、齿轮轴 中心距、轴线平行度	187	8.2.4 用完全互换法进行 设计计算	205
7.5.5 齿轮齿面表面粗糙度和 轮齿接触斑点	189	8.3 用大数互换法解尺寸链	207
7.5.6 齿轮精度等级在图样上 的标注	189	8.3.1 大数互换法的基本 公式	208
7.6 齿轮精度的检测	190	8.3.2 用大数互换法解尺寸链 实例	208
小结	196	8.4 解尺寸链的其他方法	212
习题与思考题	197	8.4.1 分组互换法(分组法)	212
第 8 章 尺寸链的精度设计基础	198	8.4.2 修配补偿法(修配法)	213
8.1 尺寸链的基本概念	198	8.4.3 调整补偿法(调整法)	213
8.2 用完全互换法解尺寸链	201	小结	214
8.2.1 完全互换法解尺寸链的 基本步骤和公式	201	习题与思考题	215
8.2.2 用完全互换法进行 校核计算	202	参考文献	216

第 1 章 绪 论

教学提示：精度设计包括尺寸精度设计、形位精度设计和表面精度设计，它们的设计原则是互换性原则和经济性原则。本章的宗旨就是以讨论互换性为主的精度设计及其检测原理和方法。

教学要求：深刻理解精度设计的内容和基本原则，掌握互换性的概念、意义及其条件，了解公差与配合标准和技术测量的发展概况，了解优先数和优先数系，明确本课程的性质和特点。

1.1 概 述

本书主要包括两方面的内容：机械精度设计和测量技术基础。

对于机械产品来说，机械设计分成 3 个部分，即系统设计、参数设计和精度设计。系统设计主要是运动学的设计，如传动系统、位移、速度、加速度等，这些内容主要由机械原理课程研究；参数设计主要是确定产品各零件几何要素的公称值，以保证系统的能量转换和工作寿命，如结构、强度、刚度、寿命等，这些内容主要由机械设计课程研究；精度设计是依据对机械的静态和动态精度的要求以及制造的经济性，确定零件几何要素的允许误差，也就是设计尺寸精度、形状和位置精度以及表面粗糙度，并将它们正确地标注在零件图和装配图上。

测量技术基础主要是讲述零件几何参数测量的基本知识、检测原理和常用的检测方法。

1.2 机械零件的几何精度设计原则

机械零件的几何精度设计原则是互换性原则和经济性原则。

1.2.1 互换性的定义

在人们的日常生活中，有大量的现象涉及互换性。例如灯泡坏了，可以换个新的灯泡；自行车、手表、缝纫机、汽车、拖拉机上某个零件坏了，都可以迅速换上一个新的零件，并且在更换或装配后，能很好地满足使用要求，这是因为这些零部件都具有互换性，所以这样给人们带来了很大方便。

什么叫做互换性呢？零部件的互换性是指在同一规格的一批合格零件或部件中，任取其中一件，不需要做任何的选择、修配或调整就能装配到整机上，并且能满足机器或仪器的使用性能要求的特性。换句话说，零部件的互换性就是同一规格的零部件按规定要求制

造,能够彼此相互替换并且能保证使用要求的一种特性。

零部件是否具有互换性,必须同时具备两个条件,缺一不可:第一,不需要做任何的选择、修配或调整就能装配到整机上;第二,装配后能满足机器或仪器的使用性能的要求。

1.2.2 互换性的分类

机械制造中的互换性可分为几何参数的互换性和功能的互换性。几何参数的互换性是指机器的零部件只在几何参数(如尺寸、形状、位置和表面粗糙度)方面和保证零件尺寸配合要求方面充分近似所要达到的互换性,所以又称狭义互换性。功能的互换性是指机器的零部件在各种性能方面都达到了互换性的要求,如几何参数的精度、强度、刚度、硬度、使用寿命、抗腐蚀性、电导性等都能满足机器的功能要求,所以又称广义互换性。由于本课程的内容所限,所以只研究几何参数方面的互换性。

互换性按其互换程度可分为完全互换(绝对互换)与不完全互换(有限互换)两种。

(1)如果零件在装配或更换时,不仅不需要选择,而且不需要辅助加工与修配,则其互换性为完全互换。

(2)当加工或装配精度要求较高时,采用完全互换将使零件制造公差很小,加工困难,成本很高,有时甚至无法加工。这时可以将零件的制造公差适当地放大,使之便于加工,而在零件完工后,将零件按实际尺寸的大小分为若干组,使每组零件间实际尺寸的差别减小,装配时按相应组进行(例如大孔与大轴相配,小孔与小轴相配),这样既可保证较高的装配精度和使用要求,又能解决加工中的困难,从而降低了成本。因为此时仅组内之间零件可以互换,组与组之间不可以互换,所以称为不完全互换。

对标准部件或机构来说,互换性又可分为外互换和内互换。外互换是指整个部件或机构与其相配件之间的互换性,例如滚动轴承内圈的内径与轴的配合、外圈的外径与轴承孔的配合。内互换是指部件或机构内部组成零件间的互换性,例如液动轴承内、外圈滚道直径与滚珠(滚柱)直径的装配。

为了使用方便起见,滚动轴承的外互换采用完全互换,而其内互换则因为其组成零件的精度要求高,加工困难,所以采用分组装配,是不完全互换。一般说来,对于厂际之间的协作应该采用完全互换,至于厂内生产的零部件的装配可以采用不完全互换。

究竟采用完全互换还是不完全互换,要由该产品的精度要求与复杂程度、生产规模、生产设备、技术水平等一系列的因素决定。

1.2.3 互换性在机械行业中的作用

互换性在产品的设计、制造、使用和维修等方面有着极其重要的作用。

从使用上看,由于零部件具有互换性,零部件坏了可以以新换旧,方便维修,从而提高了机器的利用率和延长了机器的使用寿命。

从制造上看,互换性是组织专业化协作生产的重要基础,而专业化生产有利于采用高科技和高生产率的先进工艺和装备,从而提高了生产率,提高了产品质量,降低了生产成本。

从设计上看,互换性可以简化制图、计算工作,缩短设计周期,并且便于采用计算机辅助设计(CAD),这对发展系列产品十分重要。

互换性生产原则和方式是随着大批量生产而发展和完善起来的，它不仅在单一品种的大批量生产中广为采用，而且已用于多品种、小批量生产中。在由传统的生产方式向现代化的数字控制(NC)、计算机辅助制造(CAM)及柔性生产系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)的逐步过渡中其也起着重要的作用。科学技术越发展，对互换性的要求就越高、越严格。例如柔性生产系统的主要特点是可以根据市场需求改变生产线上产品的型号和品种，当生产线上工序变动时，信息送给多品种控制器，控制器接受将要装配哪些零件的指令后，指定机器人(机械手)选择零件，进行装配，并经过校核后送到下一工序。库存零件提取后，由计算机通知加工站补充零件。显然这种生产系统对互换性的要求更加严格。

因此，互换性原则是组织现代化生产中极为重要的技术经济原则。

1.2.4 互换性生产的实现

任何机械都是由若干个最基本的零件构成的。这些具有一定尺寸、形状和相互位置几何参数的零件，可以通过各种不同的连接形式而装配成为一个整体。

由于任何零件都要经过加工的过程，因此无论设备有多么先进，操作工人的技术水平有多么高，要使加工零件的尺寸、形状和位置做得绝对准确，不但不可能，也是没有必要的。只要将零件加工后的各几何参数(尺寸、形状和位置)所产生的误差控制在一定的设定范围内，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、形状公差、位置公差和表面粗糙度等。公差是用来控制加工中的误差以保证互换性的实现的，因此建立各种几何参数的公差标准是实现零件误差的控制和保证互换性的基础。

完工后的零件是否满足公差要求要通过检测加以判断。检测包含检验与测量，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的质量，而且用于分析产生不合格品的原因，以便及时调整生产，监督工艺过程，预防废品产生。

综上所述，合理确定公差与正确进行检测是保证产品质量、实现互换性生产的两个必不可少的条件和手段。

1.3 加工误差和公差

零件在加工过程中，由于各种因素的影响，故不可能做到绝对准确，加工后零件的几何参数总是不可避免地会产生误差，这样的误差称为几何量误差。几何量的误差可分为以下3种。

(1) 尺寸误差：工件加工后的实际尺寸与理想尺寸之差。

(2) 几何形状误差：工件加工后除有尺寸误差外，还会有几何形状误差，一般可分为以下3种。

① 宏观几何形状误差。它是指工件整个表面范围内的形状误差，一般由机床、夹具、刀具、工件组成的工艺系统的误差所造成。例如孔、轴横截面的形状应该是正圆形，如果

加工后实际形状为椭圆形, 这就是形状误差。

② 微观几何形状误差。这种误差通常称为表面粗糙度, 它是指加工后, 刀具在工件表面上留下的大量很微小的高低不平的波形, 其波峰和波长都很小。

③ 表面波度。这是介于宏观和微观几何形状误差之间的一种表面形状误差, 一般由加工过程中的振动所引起, 在其表面形成明显的周期性波形, 它的波峰和波长比表面粗糙度要大得多。这种误差不是所有加工表面都有的, 目前这种误差尚无标准。

(3) 相互位置误差: 工件加工后, 各表面或中心线的实际位置与理想位置的差值。例如两个表面之间的平行度、垂直度误差, 阶梯轴的同轴度误差等。

虽然零件上的几何量误差可能会影响到零件的使用功能和互换性, 但实践证明只要将这些误差控制在一定的范围内, 即将零件几何量的实际值限制在一定范围内, 保证同一规格的零件彼此充分近似, 则零件的使用性能和互换性都能得到保证, 因此零件应按规定的极限(即公差)来制造。公差是允许工件尺寸、几何形状和相互位置的变动范围。

工件的误差在公差范围内, 就是合格件; 超出了公差范围, 就是不合格件。误差是在加工过程中产生的, 而公差则是由设计人员给定的。设计者的任务就在于正确地规定公差, 并把它在图样上明确地标注出来。显然在满足功能要求的前提下, 公差应尽量规定得大些, 以方便制造和获得最佳的技术经济效益。

1.4 标准化和优先数系

1.4.1 标准和标准化

现代工业生产的特点是规模大、分工细、协作单位多、互换性要求高。为了适应生产中各单位、各部门的协调和衔接, 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技术统一, 成为一个有机的整体来实现互换性生产。标准和标准化正是联系这种关系的主要途径和手段。在机械制造行业中, 标准化是广泛实现互换性生产的前提。

标准是指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。该文件经协商一致制定并经一个公认机构的批准。标准应以科学、技术和经验的综合成果为基础, 以促进最佳社会效益为目的。

标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

所谓标准化是指在经济、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全部活动过程。标准化包括制定标准和贯彻标准全部活动的过程, 这个过程是从探索标准化对象开始, 经调查、实践、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而又不断提高其水平的过程。

标准化是以标准的形式来体现的。

从内容上讲, 标准化的范围极其广泛, 几乎涉及人类生活的各个方面, 因此标准种类繁多。按照标准化对象的特性, 标准分为基础标准、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

标准、术语、符号、优先数系、机械制图、极限与配合、零件结构要素等，本课程主要涉及的是基础标准。

从学科属性上讲，标准化是一个系统工程，其任务就是设计、组织和建立标准体系，以促进人类物质文明及生活水平的提高。标准化也是一门重要的综合性学科，它与许多学科交叉渗透，是技术与管理兼而有之的学科，是介于自然科学与社会科学之间的边缘学科。

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的前提，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，对于加速发展国民经济、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着重要的作用。

我国政府十分重视标准化工作，从1958年发布第一批120个国家标准起，至今已制定10 000多个国家标准。自1978年我国恢复为国际标准化组织(ISO)成员国以来，陆续地修定了我国的各种标准，并以国际标准为基础制定了新的公差标准，以向国际标准ISO靠拢，可以预料，在我国现代化建设过程中，我国标准化的水平和公差标准的水平将大大提高，并对国民经济的发展作出更大的贡献。

1.4.2 优先数和优先数系

优先数和优先数系标准是重要的基础标准，是各种技术参数在工程上的协调、简化和统一，是标准化的重要内容。

在生产中，当选定一个数值作为某种产品的参数指标后，这个数值就会按照一定的规律向相关的制品、材料等的有关参数指标传播扩散。例如，造纸机械的规格和参数值会影响印刷机械、书刊、报纸、复印机、文件柜等的规格和参数值，这种技术参数的传播，在生产实际中是极为普遍的现象，并且跨越行业和部门的界限。工程技术上的参数数值，即使只有很小的差别，经过反复传播以后，也会造成尺寸规格的繁多杂乱，以致给组织生产、协作配套及使用、维修等带来很大的困难，因此对于各种技术参数必须从全局出发，加以协调。

国家标准(GB 321—1980)规定：优先数系是由公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 、 $\sqrt[80]{10}$ ，并且项值中含有10的整数幂的理论等比数列导出的一组近似等比的数列。各数列分别用符号R5、R10、R20、R40、R80表示，并分别称为R5系列、R10系列、R20系列、R40系列、R80系列，其中R5、R10、R20、R40这4个系列是优先数系中的常用系列，也称为基本系列。

优先数系中的任意一个项值称为优先数。

优先数系的主要优点是：

- (1) 在同一系列中相邻的两项相对差均匀，疏密适中，而且运算方便，简单易记；
- (2) 在同一系列中优先数(理论值)的积、商、整数幂等仍为该系列的优先数；
- (3) 优先数可以向两端延伸或中间插入，以满足将来发展的需要。

优先数系在各项公差标准中得到了广泛的应用。公差标准中的许多值都是按照优先数

系选定的,例如《极限与配合》国家标准中的公差值就是用 R5 优先数系来确定的,即每一个数是前一个数的 1.6 倍。

范围 1~10 的优先数系见表 1-1,所有大于 10 的优先数均可按表列数乘以 10、100、…求得;所有小于 1 的优先数,均可按表列数乘以 0.1、0.01、…求得。

优先数系在国际上也得到了广泛的应用,并成为了国际上统一的数值制度。

表 1-1 优先数系的基本系列(摘自 GB 321—1980)

R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40	
1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	2.50	2.50	2.24	6.30	6.30	6.30	5.00	
			1.06				2.36				5.30	
			1.12				2.50				5.60	
			1.18				2.65				6.00	
			1.25				2.80				6.30	
			1.32				3.00				6.70	
			1.40				3.15				7.10	
			1.50				3.35				7.50	
			1.60				3.55				8.00	
			1.70				3.75				8.50	
1.60	1.60	1.60	1.60	4.00	4.00	4.00	10.00	10.00	10.00	10.00	8.00	
			1.70								4.00	9.00
			1.80								4.25	9.50
			1.90								4.50	10.00
			2.00								4.75	10.00
			2.12								4.75	10.00

1.5 本课程的研究对象及任务

本课程是高等院校机械类、金属材料类、仪器仪表类和机电结合类各专业必修的技术基础课程。精度设计包含几何量公差和误差检测两大方面的内容,把标准化和计量学两个领域中的有关部分有机地结合在一起,与机械设计、机械制造、质量控制等多方面密切相关,是机械工程技术人员和管理人员必备的基本知识和技能。

本课程的研究对象是几何参数的互换性,即研究如何通过规定公差合理地解决机器或零部件的使用要求与制造要求之间的矛盾,以及如何运用技术测量手段保证国家公差标准的贯彻实施。通过本课程的学习,应该达到以下要求。

(1) 建立互换性的基本概念,掌握各有关公差标准的基本内容、特点和表格的使用,能根据零部件的使用要求,初步选用其公差等级、配合种类、形位公差及表面质量参数值等,并能在图样上进行正确的标注。

(2) 建立技术测量的基本概念,了解常用测量方法与测量器具的工作原理,通过实验,初步掌握测量操作技能,并能够准确地分析测量误差与处理测量结果。

总之,本课程的任务是使学生获得机械精度设计的基本理论、基本知识和基本技能,

了解互换性和测量技术学科的现状和发展。

小 结

机械零件的几何精度设计原则是互换性原则和经济性原则。

机器零部件具有互换性必须同时满足两个条件，缺一不可：①装配前不需挑选，不经修理就能进行装配；②装配后能满足使用性能要求。

本课程所研究的互换性，主要是围绕几何量参数而进行的，根据不同的对象、不同的部门、不同的技术要求可采用完全互换或不完全互换。

互换性在设计、制造、使用、维修等方面都起着很大的作用。

几何量误差可分为尺寸误差、几何形状误差(包括宏观几何形状误差、微观几何形状误差和表面波度)、相互位置误差。误差的产生是不可避免的，但必须控制在公差所规定的范围内。

互换性是现代化生产的重要原则，互换性只有通过标准化来实现。制定和贯彻公差标准、采用相应的技术测量措施是实现互换性的必要条件。近年来我国在标准化和计量工作上有了很大的发展，各种公差制都积极地向 ISO 靠拢，长度计量单位也基本统一，测量技术和计量器具有了较大的发展。

标准化是一门科学，涉及面广，在精度设计学科方面最直接应用的是标准化的优先数系，它在各章中均会用到。掌握好优先数系的实质和概念对今后的技术工作是有益的。

习题与思考题

1. 机械零件的几何精度设计原则是什么？
2. 什么叫互换性？在机械制造中按互换性原则组织生产有哪些优越性？
3. 完全互换和不完全互换有何区别？各适用于何种场合？
4. 什么是加工误差和公差？加工误差分为哪几种？
5. 什么是标准和标准化？标准化与互换性有何关系？我国技术标准分哪几级？各级之间是怎样的关系？
6. 为何要采用优先数系？R5、R10、R20、R40 这 4 个系列各代表什么？