



普通高等教育“十二五”规划教材  
PUTONG GAODENGJIAOYU SHIERWU GUIHUAJIAOCAI

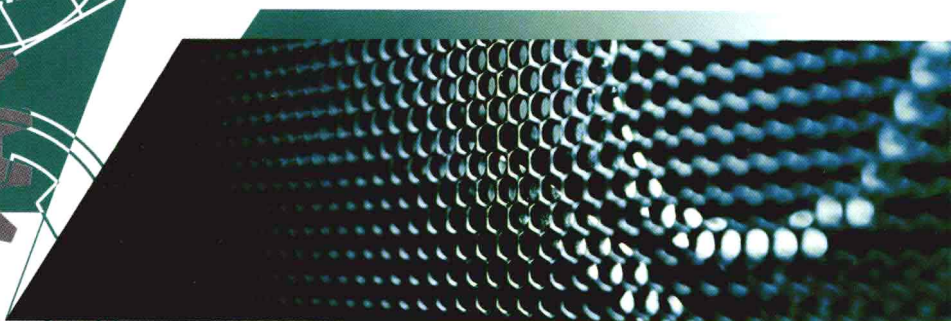
# 机械精度 设计与检测

◎主 编:李必文 ◎副主编:胡仲勋 母福生 周里群 刘金华 周光永

JIXIEJINGDUSHEJIYUJIANCE



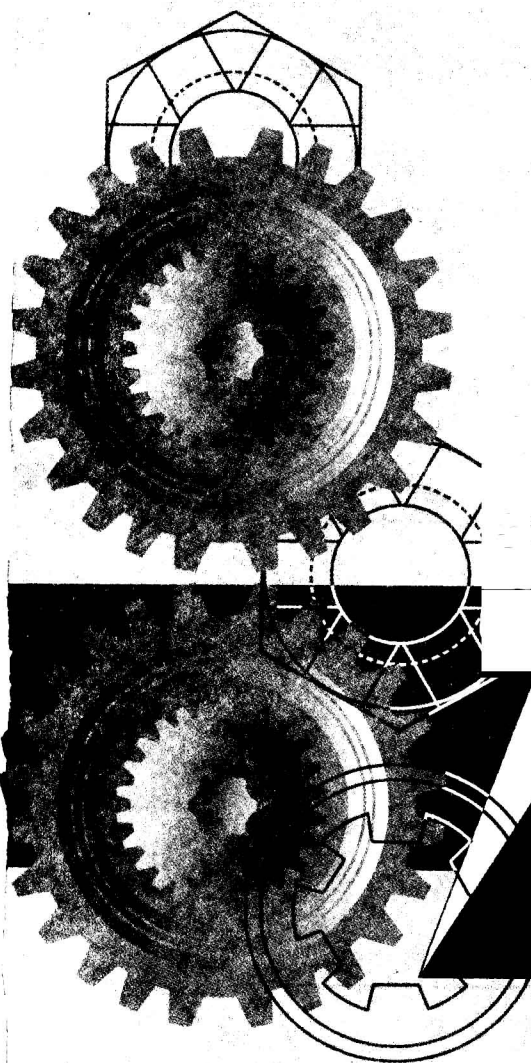
中南大学出版社  
www.csupress.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材  
PUTONG GAODENGJIAOYU SHIERWU GUIHUAJIAOCAI

# 机械精度 设计与检测

◎主 编:李必文 ◎副主编:胡仲勋 母福生 周里群 刘金华 周光永  
JIXIEJINGDUSHEJIJUYUJIANCE



中南大学出版社  
www.csupress.com.cn

## 内容简介

作为高等工科院校机械类和近机械类专业技术基础课教材,本书以精度设计与检测为主线贯穿全书,内容包括概论、测量技术基础、尺寸精度设计、形位精度设计与检测、表面粗糙度及其检测、光滑工件尺寸的检测、典型件结合的精度设计及其检测、渐开线圆柱齿轮精度设计及其检测和尺寸链。全书内容全部按照最新国家标准编写,并遵循国家标准给出的各种术语、定义及相应英文。为方便教学,各章均附有练习题。

本书适用于高等工科院校、独立学院及成人教育机械类和近机械类专业“互换性与测量技术基础”或同类课程的教学,也可供各类工程技术人员参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计与检测/李必文主编. —长沙:中南大学出版社,2011.7  
ISBN 978-7-5487-0249-8

I. 机... II. 李... III. ①机械-精度-设计②机械元件-检测  
IV. ①TH122②TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 073218 号

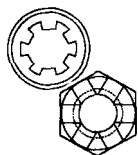
---

## 机械精度设计与检测

李必文 主 编  
胡仲勋 母福生 周里群 副主编  
刘金华 周光永

- 
- 责任编辑 谭 平  
责任印制 周 颖  
出版发行 中南大学出版社  
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083  
发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482  
印 装 长沙市华中印刷厂
- 

- 开 本 787×1092 1/16 印张 17.75 字数 440 千字 插页  
版 次 2011年7月第1版 2011年7月第1次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5487-0249-8  
定 价 32.00 元
-



---

## 普通高等教育机械工程学科“十二五”规划教材编委会

---

### 主任

(以姓氏笔画为序)

王艾伦 刘舜尧 李孟仁 尚建忠 唐进元

### 委员

(以姓氏笔画为序)

丁敬平 万贤杞 王剑彬 王菊槐 王湘江 尹喜云  
龙春光 叶久新 田福生 朱石沙 伍利群 刘吉兆  
刘先兰 刘忠伟 刘金华 安伟科 杨舜洲 李必文  
李 岚 李 岳 李新华 何国旗 何哲明 何竞飞  
汪大鹏 张敬坚 陈召国 陈志刚 林国湘 罗烈雷  
周里群 周知进 赵又红 胡成武 胡仲勋 胡争光  
胡忠举 胡泽豪 钟丽萍 贺尚红 聂松辉 莫亚武  
夏宏玉 夏卿坤 夏毅敏 高为国 高英武 郭克希  
龚曙光 彭如恕 彭佑多 蒋寿生 曾周亮 谭援强  
谭晶莹 潘存云

# 总序 FOREWORD.

机械工程学科作为联结自然科学与工程行为的桥梁，它是支撑物质社会的重要基础，在国家经济发展与科学技术发展布局中占有重要的地位，21世纪的机械工程学科面临诸多重大挑战，其突破将催生社会重大经济变革。当前机械工程学科进入了一个全新的发展阶段，总的发展趋势是：以提升人类生活品质为目标，发展新概念产品、高效高功能制造技术、功能极端化装备设计制造理论与技术、制造过程智能化和精准化理论与技术、人造系统与自然界和谐发展的可持续制造技术等。这对担负机械工程人才培养任务的高等学校提出了新挑战：高校必须突破传统思维束缚，培养能适应国家高速发展需求的具有机械学科新知识结构和创新能力的高素质人才。

为了顺应机械工程学科高等教育发展的新形势，湖南省机械工程学会、湖南省机械原理教学研究会、湖南省机械设计教学研究会、湖南省工程图学教学研究会、湖南省金工教学研究会与中南大学出版社一起积极组织了高等学校机械类专业系列教材的建设规划工作。成立了规划教材编委会。编委会由各高等学校机电学院院长及具有较高理论水平和教学经验的教授、学者和专家组成。编委会组织国内近20所高等学校长期在教学、教改第一线工作的骨干教师召开了多次教材建设研讨会和提纲讨论会，充分交流教学成果、教改经验、教材建设经验，把教学研究成果与教材建设结合起来，并对教材编写的指导思想、特色、内容等进行了充分的论证，统一认识，明确思路。在此基础上，经编委会推荐和遴选，近百名具有丰富教学实践经验的教师参加了这套教材的编写工作。历经两年多的努力，这套教材终于与读者见面了，它凝结了全体编写者与组织者的心血，是他们集体智慧的结晶，也是他们教学教改成果的总结，体现了编写者对教育部“质量工程”精神的深刻领悟和对本学科教育规律的把握。

这套教材包括了高等学校机械类专业的基础课和部分专业基础课教材。整体看来，这套教材具有以下特色：

(1)根据教育部高等学校教学指导委员会相关课程的教学基本要求编写。遵循“重基础、宽口径、强能力、强应用”的原则，注重科学性、系统性、实践性。

(2)注重创新。本套教材不但反映了机械学科新知识、新技术、新方法的发展趋势和研究成果，还反映了其他相关学科在与机械学科的融合与渗透中产生的新前沿，体现了学科交叉对本学科的促进；教材与工程实践联系密切，应用实例丰富，体现了机械学科应用领域在不断扩大。

(3)注重质量。本套教材编写组对教材内容进行了严格的审定与把关，教材力求概念准确、叙述精炼、案例典型、深入浅出、用词规范，采用最新国家标准及技术规范，确保了教材的高质量与权威性。

(4)教材体系立体化。为了方便教师教学与学生学习，本套教材还提供了电子课件、教学指导、教学大纲、考试大纲、题库、案例素材等教学资源支持服务平台。

教材要出精品，而精品不是一蹴而就的，我将这套书推荐给大家，请广大读者对它提出意见与建议，以利进一步提高。也希望教材编委会及出版社能做到与时俱进，根据高等教育改革发展形势、机械工程学科发展趋势和使用中的新体验，不断对教材进行修改、创新、完善，精益求精，使之更好地适应高等教育人才培养的需要。

衷心祝愿这套教材能在我国机械工程学科高等教育中充分发挥它的作用，也期待着这套教材能哺育新一代学子茁壮成长。

**中国工程院院士 钟 掘**

2011年7月

# 前言 PREFACE.

机械产品的设计过程主要包括运动设计、强度与刚度设计、精度设计三个环节。作为高等工院校机械类和仪器仪表类专业的一门重要技术基础课程,“互换性与测量技术基础”从精度与误差研究机械系统零部件的几何参数,结合标准化领域和计量学领域的有关内容,介绍机械设计、制造、使用、维修及质量控制所必备的互换性原理、标准化生产管理、几何量公差与选用、误差检测等方面的相关知识,培养学生几何量精度设计的初步能力和检测操作技能。

为适应课程体系改革的需要,及时总结推广本课程的教学经验和教学成果,同时也为了宣传贯彻国家新的相关标准,我们应邀编写了《机械精度设计与检测》一书,作为“互换性与测量技术基础”课程的教材。本书以精度设计与检测为主线贯穿各章节,注重知识的科学性和系统性;尝试将学科性教育和职业性教育的教学内容进行糅合,理论结合实际,以避免学生在工作实践中出现“学不资用,用未曾学”的现象;全部采用新国标,并将新知识、新技术内容贯穿全书,以拉近读者与学科发展、生产实际的距离;以适当的篇幅增加了“小常识”、“注意”条目,以达到增加趣味、解读标准、释疑难点的目的;在本课程实验指导书中介绍的内容,本书不再重复叙述。

本书由李必文任主编,胡仲勋、母福生、周里群、刘金华、周光永任副主编,各章分工为:第1章由湖南大学胡仲勋教授执笔;第2章由邵阳学院邓清方高级工程师执笔;第3章由湖南农业大学周光永副教授执笔;第4章由南华大学李必文教授、周炬高级工程师执笔;第5章由中南大学母福生教授执笔;第6章由湘潭大学周里群教授执笔;第7章由湖南工业

大学刘金华教授和湖南理工学院谭湘夫副教授执笔；第8章由南华大学李必文教授、胡良斌老师执笔；第9章由湖南科技大学胡华荣博士执笔。周炬、胡良斌参加了素材收集和初稿修改工作，全书由李必文统稿。

本书在编写出版过程中得到了中南大学出版社的大力支持和帮助，在此表示诚挚的谢意。囿于编者的知识背景和编撰水平，书中难免存在缺点和疏漏，恳请广大读者批评指正。

**编 者**

2011年7月



## CONTENTS. 目录

<b>第1章 概 论</b> .....	(1)
1.1 机械产品与质量 .....	(1)
1.2 机械精度设计 .....	(2)
1.3 互换性概述 .....	(5)
1.4 产品几何技术规范(GPS)概述 .....	(8)
1.5 标准与标准化 .....	(11)
1.6 优先数系与标准尺寸 .....	(12)
1.7 检测技术及其发展概述 .....	(17)
1.8 本课程的性质和任务 .....	(19)
1.9 本课程的特点及学习方法 .....	(19)
练习题 .....	(20)
<b>第2章 测量技术基础</b> .....	(21)
2.1 测量的基本概念 .....	(21)
2.2 计量单位与量值传递 .....	(21)
2.3 测量方法与测量器具的分类 .....	(25)
2.4 测量器具的基本度量指标 .....	(27)
2.5 测量误差和数据处理 .....	(28)
练习题 .....	(35)
<b>第3章 圆柱体公差配合及其标准化</b> .....	(36)
3.1 概述 .....	(36)
3.2 基本术语与定义 .....	(36)
3.3 公差带大小的标准化 .....	(40)
3.4 公差带位置的标准 .....	(43)
3.5 公差带与配合的优化 .....	(50)
3.6 圆柱结合的精度设计 .....	(53)
3.7 线性尺寸的未注公差 .....	(60)
练习题 .....	(61)

<b>第4章 形位精度设计与检测</b> .....	(63)
4.1 概述 .....	(63)
4.2 基本概念和术语 .....	(63)
4.3 形位公差的基本注法 .....	(67)
4.4 形位公差及公差带的特点 .....	(72)
4.5 公差原则 .....	(89)
4.6 形位公差的选择与应用 .....	(100)
4.7 形位误差的检测原则 .....	(106)
练习题 .....	(109)
<b>第5章 表面粗糙度及其检测</b> .....	(112)
5.1 概述 .....	(112)
5.2 表面粗糙度的评定 .....	(114)
5.3 表面粗糙度的标注 .....	(118)
5.4 表面粗糙度的选用 .....	(120)
5.5 表面粗糙度的测量及量具量仪 .....	(122)
练习题 .....	(125)
<b>第6章 光滑工件尺寸的检测</b> .....	(126)
6.1 概述 .....	(126)
6.2 用通用计量器具检测 .....	(127)
6.3 光滑极限量规 .....	(132)
练习题 .....	(139)
<b>第7章 典型件结合的精度设计及其检测</b> .....	(140)
7.1 滚动轴承配合的精度设计 .....	(140)
7.2 键和花键联结的精度设计及其检测 .....	(153)
7.3 螺纹联结的精度设计及其检测 .....	(165)
7.4 圆锥结合的精度设计与标注 .....	(178)
练习题 .....	(186)
<b>第8章 渐开线圆柱齿轮精度设计及其检测</b> .....	(187)
8.1 齿轮传动的使用要求 .....	(187)
8.2 渐开线圆柱齿轮的加工误差 .....	(189)
8.3 渐开线圆柱齿轮的精度 .....	(194)
8.4 渐开线圆柱齿轮精度的设计方法 .....	(210)
8.5 渐开线圆柱齿轮精度的检测 .....	(227)
练习题 .....	(245)

<b>第9章 尺寸链</b> .....	(246)
9.1 尺寸链的基本概念 .....	(246)
9.2 尺寸链的建立 .....	(250)
9.3 尺寸链的计算方法 .....	(252)
9.4 尺寸链计算示例 .....	(258)
练习题 .....	(269)
<b>参考文献</b> .....	(271)

# 第1章 概论

## 【概述】

◎目的：了解机械产品与质量的含义；了解机械精度设计的概念、原则和方法；理解公差、标准化、检测与互换性的概念及相互关系；了解新一代 GPS 的体系结构；了解检测技术的发展。

◎要求：①了解互换性生产与误差、公差的关系；②了解标准的概念与标准化的意义；③了解优先数系的构成。

◎重点：互换性的实质。

“机械精度设计与检测”是与机械工程技术的发展水平密切相关的基础技术。

随着社会和科学技术、特别是计算机技术的飞速发展，人们对产品的要求越来越高；以满足社会需求为目标的机械产品的开发技术正向数字化、柔性化、智能化、自动化、信息化、绿色化等方向发展，机械产品正向大型或微型化、多功能和多用途、高速度、高精度和高效率等方向发展。

## 1.1 机械产品与质量

“产品”是活动或过程的结果，它可以是有形的（如电机，手表等），也可以是无形的（如知识或概念），或是它们的组合。目前一般将产品分为四种类型，分别是：硬件、软件、流程性材料、服务。

“机械产品”是指通过机械加工或以机械加工为主要方法生产出来的产品。

“机械产品质量”是指机械产品这一实体满足明确和隐含要求的能力和特性的总和。

“产品质量的明确要求”是指在标准、规范、图样、技术要求和其他文件中已经作出的规定要求。即产品制造者对产品质量的要求。

“产品质量的隐含要求”是指从顾客和社会对产品质量提出的日益变化的、不断提高的期望要求。

机械产品质量包括三个方面：

(1) 最终产品质量；即成品质量。指实体质量状态与产品设计技术性能指标的符合程度以及是否满足设计要求的具体表现。

(2) 过程质量，即半成品质量。它反映了生产系统的技术状态水平与生产图样、技术文

件等的一致性。

(3) 质量体系运行质量。它是一项保证最终产品质量与过程质量的重要质量活动,是改善和提高最终产品质量与过程质量的有效手段。

“质量要求”需要转化为可用定性或定量的规范表示的产品质量特性,以便于质量控制的执行和检查。

中国机械行业标准 JB/T 5058—2008《机械工业产品质量特性重要度分级导则》给“产品质量特性”(product quality characteristic)的定义是:产品质量特性由产品的规格、性能和结构所决定,并影响产品的适用性,是设计传递给工艺、制造和检验等的技术要求和信息。它包含有尺寸、公差与配合、功能、寿命、互换性、环境污染、人身安全及执行政府有关法规和标准的情况,等等。

国际标准化组织(ISO)指出,产品质量包括四个方面:

- (1) 与确定产品需求有关的质量——市场调研质量。
- (2) 与产品设计有关的质量——设计质量。
- (3) 与产品设计的符合性有关的质量——制造质量。
- (4) 与产品保障有关的质量——使用与服务质量。

“机械产品质量评价”。主要是从产品的技术性能指标、可靠性、维修性、安全性、适应性、经济性、时间性以及环境要求等方面,对实体质量进行客观评价验收以确定是否满足设计规定要求和是否达到顾客和社会对产品的期望。

“质量控制”是指为达到质量要求所采取的技术作业和活动,目的在于监视过程并排除质量环节所有阶段中导致不满意的原因,以取得经济效益。

## 1.2 机械精度设计

产品质量是企业的生命,而产品的几何精度在很大程度上决定了产品质量。所以,机械精度设计是产品设计的关键。机械产品的设计作为机械产品开发的首要环节,正在运用现代数字设计的理论和技术,朝着 CAD/CAPP/CAM/CAE 的集成化、敏捷化、智能化、网络化等方向发展。

### 1.2.1 机械产品设计的过程

一般的机械产品设计,遵循经济地满足功能和性能要求的基本原则,运用并行设计、模块化设计、动态仿真设计、智能优化设计、可靠性设计等现代设计方法,以计算机辅助设计为手段,开发出满足市场要求的产品。具体的设计是一个需要反复运用“分析—综合—优化—决策”的复杂过程,大致可分为三个阶段:总体设计、结构设计、精度设计。

“总体设计”主要是根据产品的功能和性能要求,并应用人机工程学原理、空气动力学理论、美学原理等进行产品的方案、布局 and 造型设计。

“结构设计”主要是应用运动学、力学(理论力学、材料力学、弹性力学等)、机械制造理论和技术、数控原理和技术以及三维设计分析与动态仿真优化技术等,对总体设计进行细化,确定产品的系统、结构及其参数。

“精度设计”主要为产品的系统和结构的各种技术参数确定合理的精度,并考虑一定的精

度储备。

机械产品的各种技术参数可分为三类,即:理化性能参数(零件的材料组织成分、导电性、导磁性、导热性、耐蚀性等)、力学性能参数(如:电机的最大扭矩等,零件的强度、刚度、硬度等)、几何参数(零件的尺寸、形状、位置、表面粗糙度等)。

### 1.2.2 机械精度设计

在竞争日益激烈的全球化市场中,机械产品的性能价格比是满足客户要求的重要参数之一,而合理的性能价格比需要有“科学合理”的精度作保证。

机械精度设计就是依据产品的技术要求,遵循新一代产品几何技术规范与认证(Geometrical Product Specification and Verification,简称GPS)等国家标准,运用计算机技术、尺寸链理论、概率论与统计学、材料学、摩擦学、计算几何学、最优化原理与算法以及模糊数学等技术和理论,并考虑产品的工程实际状态,科学合理地设计该产品及其零部件几何参数的精度,以获得技术与经济的最佳综合效应。

因此,机械精度设计的依据是产品的技术要求,是通过市场调研、分析、综合得出的包括客户要求在内的产品外观功能、使用功能及技术性能要求等的总和;机械精度设计的任务是科学合理地确定产品及其各零部件几何要素的公差;机械精度设计的内容是以新一代GPS为标准,科学合理地设计机械产品的尺寸精度、形状精度、位置精度及表面质量,并将这些指标正确地标注到装配图和零件图等技术文件中。

机械精度设计的作用就是协调产品技术要求与产品制造工艺要求及制造成本要求之间的关系。精度设计所给定的公差等级、所采用的公差原则对生产设备的选择、工装夹具的设计和制造、检测方案的制定有着决定性的作用,直接影响产品的性能、质量和生产成本,进而影响产品的市场竞争力。若设计精度太高,会导致制造、检测等的成本偏高;精度太低,则又难以满足产品的功能和性能要求。所以,精度要“科学合理”,既不能太高,又不能太低。

机械精度设计的目标是使所设计的产品及其零部件的几何精度,既能满足包括客户要求在内的产品功能和性能要求,又能保证此产品的生产组织、加工制造及检测等整个开发过程中的成本最低、效率最高。因此,机械精度设计在机械工程技术中占有重要的地位,在机械产品开发中具有十分重要的意义。一方面,机械精度设计需要运用计算机技术、材料学、摩擦学、计算几何学、最优化原理与算法、模糊数学等技术和理论来研究尺寸链理论、公差优化问题,如各种公差的数学表示、公差带理论、公差分析与综合、成本-公差模型、功能-公差仿真模型、最优公差的模糊决策等;另一方面,在机械产品开发中,科学合理的“机械精度设计”将有利于保证产品质量、降低生产成本、提高生产效率。

### 1.2.3 机械精度设计的原则

机械精度设计的宗旨是经济地满足产品的功能和性能要求,即在满足产品技术要求的前提下,尽量选用较低的精度,以达到经济合理的目的。机械精度设计应遵循以下原则:互换性原则、经济性原则、标准化原则、优化原则。

#### 1. 互换性原则

互换性原则是机械产品开发必须遵循的基本原则。批量生产时,互换性原则是组织专业化生产、协作生产的重要条件,也是进行“机械精度设计”的重要原则。遵守互换性原则,不

仅能显著提高生产率，而且能有效地保证产品质量，获得最佳的技术、经济效益及社会效益。

## 2. 经济性原则

机械产品的开发过程包含多个环节，在每一环节中都必须考虑经济性原则。

机械精度设计主要是设计产品整机及其零部件的精度。在设计产品整机的装配精度、零部件的加工制造精度时，不仅要使达到该“精度”在技术上可行，而且要使达到该“精度”所耗费的总成本最低，此总成本包括材料成本、装配和加工成本、管理成本、资源消耗成本等。

此外，还需考虑与产品工作寿命相关的成本。例如，对于某一产品，若其精度设计得非常合理，并考虑了合理的精度储备，可以延长一倍的工作寿命，这就意味着一台“产品”能当两台用，产品成本相当于降低了一半。

## 3. 标准化原则

进行产品的结构设计时，应尽量选用标准化的零部件及相应结构，其精度必须遵守新一代 GPS 标准以及与实际产品相关的其他标准。

## 4. 最优化原则

进行产品的系统、结构及其参数设计时，应采用三维设计分析与动态仿真技术进行优化；其精度则需要应用公差优化理论和技术对公差带、公差数值等进行优化。

## 5. 符合工程实际原则

实践是检验真理的唯一标准。机械产品的几何精度设计是否“科学合理”，最终应由工程实际来决定，所以机械精度设计必须与工程实际状态相符。任何不符合工程实际的“精度”，都是不科学的、不合理的。

### 1.2.4 机械精度设计的方法

机械精度设计的方法可分为：类比法、试验法、计算法三种。

#### 1. 类比法

类比法是确定机械精度设计最常用的方法。它是以经过科学试验或工程实际证明成功的类似产品及其零部件的几何精度为依据，通过对比分析和必要的调整、修正，从而确定所设计产品及其零部件的几何精度。

采用类比法进行精度设计时，必须正确选择类比产品，分析其与所设计产品在使用条件和功能要求等方面的异同，并考虑实际生产条件、制造技术的发展、市场供求信息等多种因素，最后根据经验作必要的调整和修正，以确定“精度”。

#### 2. 试验法

试验法是用试验的方法来确定对于产品性能关系极大的一些重要参数的最佳精度。

用试验法设计零件精度时，先根据一定条件初步确定该零件要素的精度，并按此进行试制；再将试制产品在规定的使用条件下运转，同时，对其各项技术性能指标进行监测，并与预定的功能要求相比较；根据比较结果再对原设计进行确认或修改。经过反复试验和修改，就可以最终确定满足功能要求的合理“精度”。

试验法的设计周期长、成本高，一般主要用于新产品研发或大批量生产中特别重要的零件的精度设计。

#### 3. 计算法

计算法是根据一定的理论和数学模型来进行机械精度设计。例如，根据流体润滑理论及

其数学模型,可计算孔、轴配合的间隙;根据弹塑性理论及其数学模型,可计算配合的过盈;根据尺寸链原理及其数学模型,可计算有关尺寸的公差与配合、形位公差值,等等。

此外,由于影响产品几何精度的因素较多,理论和数学模型又大都是从实际的物理模型中抽象、简化得到的,其计算结果只是近似的,因此以算法得到的结果不能作为机械精度设计的最终结果,但可用来指导实际的机械精度设计。

为解决算法所得结果不准确的问题,在现代机械产品设计中,广泛采用三维设计分析与动态仿真优化技术,以利于提高机械精度设计的科学性和合理性。

机械精度设计尽管要求从多方面进行分析和计算,但总体上是要根据产品整机的精度来设计零部件的精度,或是根据各零部件的精度来验证产品整机的精度。

## 1.3 互换性概述

### 1.3.1 互换性的定义

广义地说,互换性是指一种产品、过程或服务代替另一种产品、过程或服务,并能满足相同要求的特性。

机械制造中的互换性则是指在机械产品中,对同一规格的一批零件或部件,按其规定的技术参数的公差分别制造后,任取其中一件,不需要作任何、修配、调整或辅助加工,就能装配合格,并能满足使用性能要求的特性。

例如自行车、钟表、缝纫机等产品上的某个零件损坏后,只要配一个相同规格的新零件,就能使其恢复正常工作,其缘由就是因为这些合格的零件具有互换性。

“互换性”的含义,可联系机械产品的“设计—加工—装配”过程来理解:

在机械产品的精度设计中,为实现零部件的互换性,必须按相关国家标准规定其几何参数的公差,即规定其几何参数的变动量。

加工制造,应按互换性原则组织专业化的先进生产模式,按规定的公差分别进行加工制造,并进行质量控制以最大限度地提高生产效率、降低生产成本,获得最佳技术经济效益。

零部件装配过程中的互换性体现于三个阶段:装配前,不需要作任何挑选;装配时,不需要进行任何修配、调整或辅助加工;装配后,能满足预定的使用性能要求。

总之,互换性对保证产品质量和可靠性、提高经济效益等方面都具有十分重要的意义。在现代机械制造业中,遵守互换性原则可以获得技术和经济的最佳综合效益。

值得注意的是,在单件小批量生产中,有时采用一对一的“配做”方式进行加工制造,其经济性更好。此时,这些零件不具有互换性,但同样需要进行精度设计与检测。

### 1.3.2 互换性的分类

(1)按技术参数类型的不同可分为:几何参数互换性和功能互换性。

几何参数互换性就是产品或其零部件在几何参数方面具有的互换性,即其实际几何参数符合规定几何参数的极限范围(公差)时所达到的互换性。这是通常所说的“狭义互换性”,着重于保证配合要求或装配要求。

功能互换性就是产品或其零部件在几何参数、理化性能参数和力学性能参数等各类功能



参数上都具有互换性。这是通常所说的“广义互换性”，着重于保证除配合要求或装配要求以外的其他使用功能要求。

(2) 按互换程度的不同可分为：完全互换与不完全互换。

对同一规格的一批零件或部件，若在装配或更换时，不需要任何挑选、修配、调整或辅助加工，装上即能满足使用性能要求，则称为完全互换；若在装配或更换时，需要挑选、或修配、或调整、或辅助加工，则称为不完全互换，它可分为分组互换、修配互换、调整互换、概率互换等。

完全互换的特点：零件或部件在装配或更换时，既不需要选择、分组，又不需要修配、调整或辅助加工，就可保证百分之百的互换，并满足使用要求。

分组互换的特点：在装配前必须对所有零件进行分组检测。通过检测，按实际尺寸大小将零件分为若干组，然后按组进行装配。此时，仅组内零件可以互换，组与组之间不可互换。如某部件的精度要求很高，则该部件各组成零件（例如滚动轴承内、外圈及滚动体的组合）的精度要求就愈高，加工就愈困难，制造成本就愈高。为降低制造成本，生产中往往将各组成零件的精度适当降低，然后再根据实测尺寸的大小，将制成的相配零件分成若干组（每组内的尺寸差别很小），再把相应尺寸组的零件进行装配。这样，尽管将零件的公差值放大了，但通过分组装配，仍能满足部件的高精度要求。显然，分组互换能在满足高精度要求的同时取得显著的经济效益。

调整互换与修配互换的共同特点：在产品或部件进行装配时，为达到总装精度要求，必须改变某一零件的实际大小，以补偿其他零件的累积误差，此零件称为补偿环。调整互换与修配互换的不同之处在于前者用更换零件或改变零件的位置来改变补偿环的实际大小，如机床、齿轮箱装配时增减或更换垫片、垫圈等；后者用去掉多余材料的修配方法来改变补偿环的实际大小，如装配柴油机曲轴时，采用手工刮削轴瓦的内表面，以保证曲轴主轴颈与轴瓦之间留有适当的间隙，便于贮油及有效地减小摩擦。此时，组成产品或部件的所有零件仍然是按互换性原则制成的，装配过程也遵循互换性原则，但必须对补偿环进行调整或修配才能达到总装精度要求。显然，在进行这样的调整或修配后，装配好的产品或部件的组成零件之间，不能再随意更换。或者说，若要更换的话，则必须对补偿环重新进行调整或修配。

概率互换的特点是：产品的零件（或部件）仅能以接近于1的概率 $(1 - \alpha)$ 来满足互换性要求，而不能像完全互换那样达到百分之百地互换（概率为1）。例如：若互换成功的概率 $1 - \alpha = 0.95$  或  $0.99$  等，此时的风险概率，即不能满足互换性要求的概率 $\alpha = 0.05$  或  $0.01$ 。

(3) 按互换范围的不同可分为：内互换与外互换。

内互换是指部件或机构内部组成零件之间的互换性。例如，滚动轴承内、外圈滚道表面与滚动体表面之间装配时的互换性。

外互换是指：部件或机构与其相配件之间的互换性。例如，滚动轴承的内圈内径与轴之间以及外圈外径与轴承座孔之间装配时的互换性。

一般要求外互换必须采用完全互换，内互换则既可采用完全互换，也可采用不完全互换。

### 1.3.3 互换性的作用

互换性在机械产品的设计、加工制造及使用等方面都具有重要的作用。

按互换性原理进行机械产品设计，尽量采用具有互换性的零件、部件、机构或分总成，