



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

(互换性与技术测量)

第二版

◎主 编:李必文 ◎副主编:周里群 胡华荣 周 炬 邓清芳
李亚非 杨浪萍 车晓毅 胡良斌

JIXIEJINGDUSHEJIYUJIANCE



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

013033144

TH122-43
261-2



普通高等教育
PUTONG GAODENGJIAO

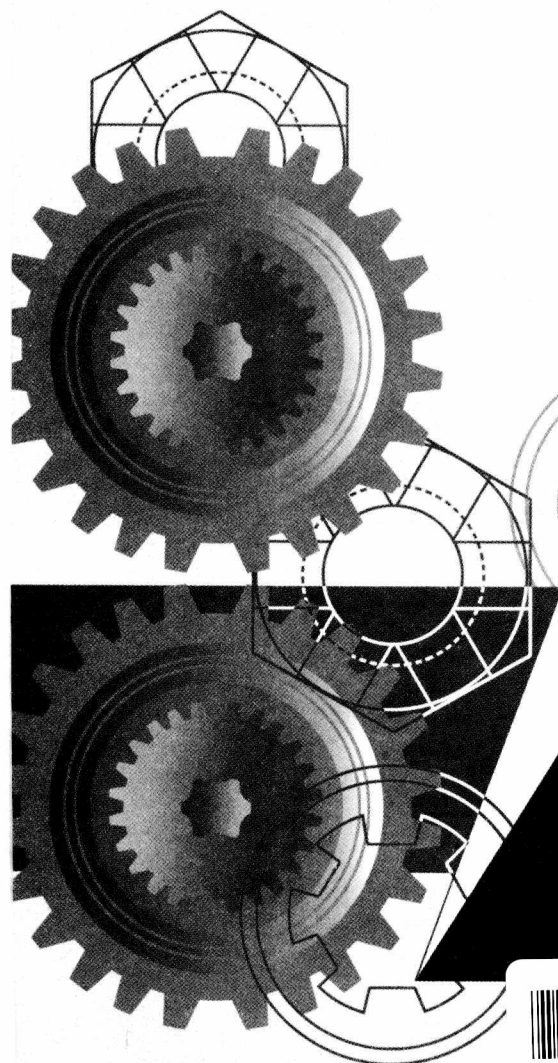
机械精度设计与检测

(互换性与技术测量)

第二版

◎主 编:李必文 ◎副主编:周里群 胡华荣 周 炬 邓清芳
李亚非 杨浪萍 车晓毅 胡良斌

JIXIEJINGDUSHEJIYUJIANCE



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



北航

C1640261

TH122-43
261-2

图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计与检测/李必文主编. —2版. —长沙:
中南大学出版社, 2012. 9
ISBN 978 - 7 - 5487 - 0622 - 9

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(2012)第 188033 号

机械精度设计与检测

(互换性与技术测量)

(第二版)

李必文 主 编
周里群 胡华荣 周 炬 邓清方 副主编
李亚非 杨浪萍 车晓毅 胡良斌

☐责任编辑 谭 平

☐责任印制 文桂武

☐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 17.5 ☐字数 430 千字 ☐插页

☐版 次 2012 年 8 月第 2 版 ☐2012 年 8 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 0622 - 9

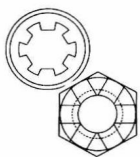
☐定 价 36.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

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。



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	钟利萍	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

第二版前言 PREFACE.

承蒙广大读者的厚爱,《机械精度设计与检测》第1版现已售罄。一年来,有20多所高等工科院校及其独立学院的机械类和近机类专业使用了本书作为“互换性与测量技术基础”课程的教材;同时本书在一些高校是作为卓越工程师教育培养计划机械类专业指定教材使用的。广大读者在充分肯定本书编撰特色的同时,也提出了许多宝贵的意见和建议。为了更好地体现与时俱进、精益求精的精神,中南大学出版社自2012年3月至7月,组织编写了第2版。

本书第2版主要作了以下四方面的改进:

(1)对第1版的疏漏和欠妥之处进行了修订。

(2)内容进一步推陈出新。从学生的阅历和智力实际出发,调整和完善了教材内容的广度和深度;在不与标准规定的原则性抵触的前提下,从方便教学的角度对部分内容进行了改写。

(3)在有关章节新增了“小常识”、“注意”条目,使读者进一步加深对本课程内涵及外延的了解。

(4)制作了与本书配套的多媒体CAI课件,研发了基于新国标的圆柱齿轮精度设计CAD系统,以加大课堂信息量、有效提高教学效果。

参加本版修订工作的有南华大学李必文、周炬、胡良斌、程强,长沙理工大学李亚非、杨浪萍,湖南科技大学胡华荣,湘潭大学周里群,邵阳学院邓清芳,湖南文理学院车晓毅,他们对本书第1版提出了宝贵的修改建议。本版具体执笔为:第1章由南华大学周炬高级工程师

重写；第2章至第8章由南华大学李必文教授进行修订和增改；第9章由南华大学胡良斌老师改写；书中所有的“小常识”、“注意”条目由李必文编撰。由李必文教授任主编，全书由李必文统稿。

本书在改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。由于时间及水平有限，书中错误和不足之处恳请读者指正。

编 者

2012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。作为高等工科院校机械类和仪器仪表类各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

第1章 概论	(1)
1.1 机械精度设计	(1)
1.2 互换性概述	(2)
1.3 标准与标准化	(5)
1.4 优先数系	(6)
1.5 本学科的发展	(8)
1.6 检测技术及其发展概述	(9)
1.7 本课程的性质、任务及学习方法	(10)
练习题	(11)
第2章 测量技术基础	(12)
2.1 测量的基本概念	(12)
2.2 计量单位与量值传递	(12)
2.3 测量方法与测量器具的分类	(16)
2.4 测量器具的基本度量指标	(18)
2.5 测量误差和数据处理	(19)
2.6 测量技术的基本原则	(26)
练习题	(28)
第3章 圆柱体公差配合及其标准化	(29)
3.1 概述	(29)
3.2 基本术语与定义	(29)
3.3 公差带大小的标准化	(33)
3.4 公差带位置的标准	(36)
3.5 公差带与配合的优化	(43)
3.6 圆柱结合的精度设计	(46)
3.7 线性尺寸的未注公差	(53)
练习题	(54)

第4章 形位精度设计与检测	(56)
4.1 概述	(56)
4.2 基本概念和术语	(56)
4.3 形位公差的基本注法	(60)
4.4 形位公差及公差带的特点	(65)
4.5 公差原则	(82)
4.6 形位公差的选择与应用	(93)
4.7 形位误差的检测原则	(102)
练习题	(103)
第5章 表面粗糙度及其检测	(106)
5.1 概述	(106)
5.2 表面粗糙度的评定	(108)
5.3 表面粗糙度的标注	(112)
5.4 表面粗糙度的选用	(114)
5.5 表面粗糙度的测量及量具量仪	(117)
练习题	(120)
第6章 光滑工件尺寸的检测	(121)
6.1 概述	(121)
6.2 用通用计量器具检测	(122)
6.3 光滑极限量规	(127)
练习题	(134)
第7章 典型件结合的精度设计及其检测	(135)
7.1 滚动轴承配合的精度设计	(135)
7.2 键和花键联结的精度设计及其检测	(148)
7.3 螺纹联结的精度设计及其检测	(160)
7.4 圆锥结合的精度设计与标注	(173)
练习题	(181)
第8章 渐开线圆柱齿轮精度设计及其检测	(182)
8.1 齿轮传动的使用要求	(182)
8.2 渐开线圆柱齿轮的加工误差	(184)
8.3 渐开线圆柱齿轮的精度	(189)
8.4 渐开线圆柱齿轮精度的设计方法	(205)
8.5 渐开线圆柱齿轮精度的检测	(222)
练习题	(240)

第9章 尺寸链	(241)
9.1 尺寸链的基本概念	(241)
9.2 尺寸链建立的方法与步骤	(243)
9.3 尺寸链的计算方法	(244)
9.4 尺寸链计算示例	(250)
练习题	(261)
参考文献	(263)

第1章 概论

【概述】

◎目的：了解机械精度设计的概念和原则；理解公差、标准化、检测与互换性的相互关系；了解机械精度检测技术的历史沿革与发展趋势。

◎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》主要包括机械精度设计、机械精度检测两方面的内容。通常认为机械设计包括机械运动设计、机械强度和刚度设计以及机械精度设计，本课程只研究机械精度设计。机械精度设计涉及机械设计、机械制造工艺、机械制造计量测试、质量管理与质量控制等诸多方面，与现代机械工业的发展密切相关，与 CAD/CAPP/CAM 技术的发展相辅相成。机械精度设计的工作内容是根据机械的功能要求，正确地对机械产品的尺寸精度、形状精度、位置精度以及表面质量要求进行设计，并将其正确地标注在零件图和装配图上。机械精度检测主要讲授几何量检测的基本知识和常用的检测方法。要使机械产品符合精度设计要求，则必须在制造过程中进行几何量的测量或检验。

1.1 机械精度设计

众所周知，机械产品主要是由具有一定几何形状的零部件安装组成的。零件在加工过程中，受种种因素的影响，其各部位的尺寸、形状和位置难以达到理想状态，总是有或大或小的偏差。从零件的使用功能来看，不要求零件几何量制作得绝对准确，而只要求其在某一规定范围内变动，保持同一规格零件彼此充分近似即可，我们将这个允许变动的范围称为公差。科学合理地确定机械产品及其零部件几何要素的偏差范围是机械精度设计的基本任务之一。

图 1-1 所示的法兰盘，外径 d_1 的基本尺寸受零件重量、装配空间以及直径 D 、螺孔直径 D_1 的制约；螺孔直径 D_1 受螺母直径和螺母压力的制约；

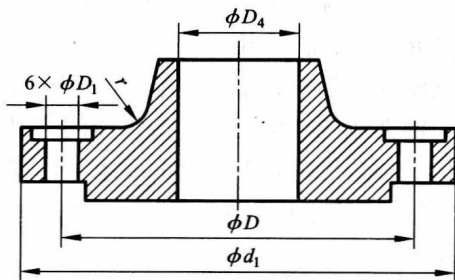


图 1-1 法兰盘

孔径 D_2 受相配轴径及配合松紧程度的制约;圆角半径 r 受螺母尺寸和法兰盘疲劳强度的制约等等。此外,法兰盘装配端面的形状误差、 D_2 孔轴线与端面及均布螺孔的位置误差等,也会影响其装配性和使用功能。由此可见,对零件每个几何要素的偏差都应规定范围。精度设计的主要依据是机械产品性能对零部件的静态与动态精度要求,以及产品生产和维护的经济性。

通常认为,机械精度设计应遵循互换性原则、经济性原则、标准化原则、优化原则及符合工程实际原则。

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。无论是大批量还是中小批量生产,该原则是组织专业化生产、协作生产的重要条件。遵守互换性原则,不仅能显著提高生产率,而且能够有效保证产品质量,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,其总成本为材料成本、加工成本、装配成本、资源消耗成本和管理成本的总和,在每一环节中都必须采用经济性原则。设计产品整机的装配精度、零部件的制造精度,就是在满足使用要求和工作寿命的前提下,使其公差达到经济制造的最小值。

3. 标准化原则

尽量选用标准化的零、部件及相应结构,遵守国家标准以及相关的其他标准。

4. 最优化原则

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

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。

1.2 互换性概述

1.2.1 互换性的定义

在机械产品中,对同一规格的一批零件或部件,按其规定的精度要求分别制造后,任取其中一件,不需要作任何挑选、修配、调整或辅助加工,就能装配合格,并能保证满足机械产品使用性能要求的特性。例如,自行车、钟表、缝纫机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。

广义地说,互换性(interchangeability)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,不仅包括零件的几何参数,还包括一些其他参数,如材料机械性能参数,化学、光学、电学、流体力学等参数。

狭义地说,互换性是指机器的零部件只满足几何参数方面的要求,如:尺寸大小、几何形状、位置和表面粗糙度的要求。本课程只研究狭义互换性。

对于“互换性”的含义,可联系机械产品“设计—加工—装配”的全过程来理解: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。

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,在满

足使用要求和工作寿命的前提下,该方式的经济性会更好。此时,这些零件是不具有互换性的。

1.2.2 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。

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。

不完全互换可分为分组互换、调整互换、修配互换、概率互换等。

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)互换性按其互换范围的不同,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