



高等学校机械工程类“十二五”规划教材
财政部文化产业发展专项资金资助项目
中南地区大学出版社优秀教材

M E C H A N I C A L E N G I N E E R I N G

互换性与 测量技术基础

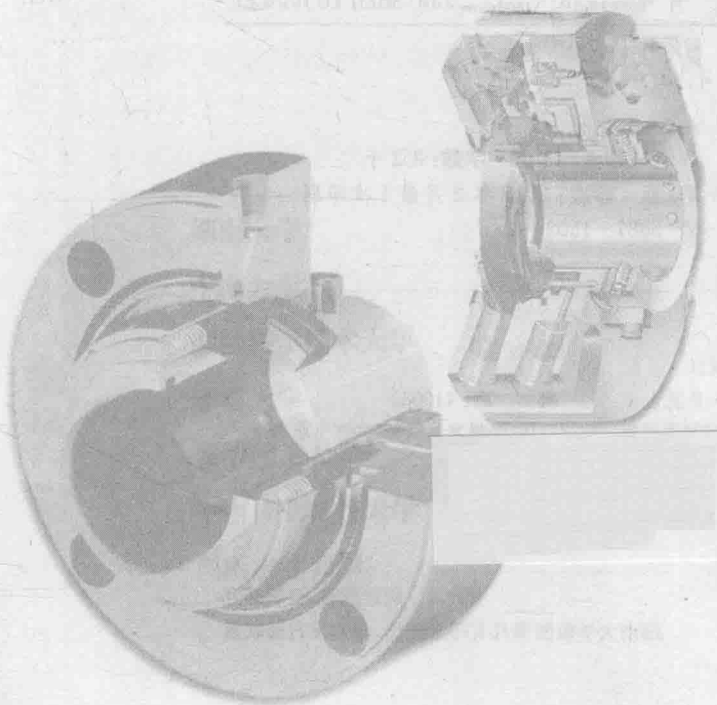
(机械精度设计与检测)

第四版

李亚非 周光永 ◎ 主 编

陈 飞 唐新姿 闵淑辉 ◎ 副主编

杨沿平 徐学林 ◎ 主 审



湖南大学出版社

高等学校机械工程类“十二五”规划教材

丛书编委会

主任委员 钟志华

副主任委员 (以姓氏笔画为序)

王艾伦 刘子建 刘金刚 杨旭静 邱 静

编委会成员 (以姓氏笔画为序)

王艾伦 刘子建 刘金刚 汤楚宙 苏旭平

李自光 李孟仁 李新华 张桂香 陈 循

杨旭静 邱 静 邱长军 钟志华 卿上乐

唐川林 郭迎福 曾立平 蒋寿生

参 编 院 校

湖南大学

中南大学

国防科学技术大学

湘潭大学

长沙理工大学

中南林业科技大学

湖南农业大学

湖南科技大学

湖南工业大学

南华大学

湖南工学院

邵阳学院

湖南工程学院

序

(2014年版)

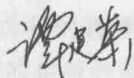
针对机械类基础课程教学需要,湖南大学出版社组织出版的“机械工程类规划教材”,已被众多高校采用近十年。其中,《机械设计基础》(第二版)入选国家“十一五”规划教材,并被评为湖南省优秀教材;《机械设计基础》《互换性与测量技术基础》《工程制图》《工程制图习题集》《计算机绘图基础》等曾获中南地区大学出版社优秀教材奖;《工程制图》曾获中国大学出版社图书奖优秀畅销书奖。教学实践表明,“机械工程类规划教材”深受广大师生的欢迎和好评。

近年来,随着高等机械工程教育改革与发展的不断深入,越来越多的高校参加国际工程教育专业认证,对教学内容和课程体系改革有了新的取向和新的要求。信息技术的快速发展,特别是互联网、大数据、云计算等技术的应用,促使传统教学模式发生了深刻的变化。作为传统教学知识载体的课程教材,亟需顺应时代需求而不断改进。

新版的“机械工程类‘十二五’规划教材”,在保持原版特色的基础上,围绕“教师教学需要”和“学生学习需要”两个中心点,秉持“体现内容的前沿性”“保持内容的整体性和系统性”“兼顾内容的全面性与精练性”“突出工程实践性”等原则,修改完善了教材内容,采取了新的编写方式。面向工程教育以“能力为导向”的交互式学习,建立了教材配套的立体化资源,使得学生不仅可以利用教材在课堂上学习知识,而且能够在课后进行更多的主动式、自主式学习。

新版后的教材配套教师用演示文稿,整合辅导教材、电子资料库、教学网站等载体,提供主体知识、案例及案例分析、习题试题库及答案、教案、课件、学习软件、自测(考试)软件等内容,是一部立体化的系列教材。

由此可见,湖南大学出版社2014年新版的“机械工程类‘十二五’规划教材”,将促进机械基础课程教学质量的进一步提高,带动教学内容和课程改革的进一步深入,为人才培养模式创新做出有益的探索,从而更好地为高等教育培养工科专业高级人才服务。



中国工程院院士、浙江大学教授

2014年2月

序

(2005年版)

从现在到2020年,是我国全面建设小康社会,实现国民经济增长模式根本转变,走新型工业化道路的关键时期。在这个重要的历史时期,机械工程高等教育承担着培养适应和推进新型工业化发展的现代高级人才的历史重任。准确地把握未来教育、科学和技术发展的机遇与挑战,客观地认识我们的教育、科学和技术发展的基础,是指导高等机械工程教育改革与发展的基本出发点。我国目前正处于实现工业化的过程中,要坚持对外开放,我国必须融入世界经济全球化的过程,必须积极承接世界制造业的转移。为了使我国制造业从中、低端产品加工转为世界工业产业中心之一,我们要努力加强研发力量,提高集成能力和创新能力。机械工程的集成与创新的载体是人才。抓住21世纪头20年的时机,我们以工程带动科技进步,培养从设计、制造工艺到操作、管理的各类各级人才,必将为全面建设小康社会,实现工业化,推动制造业再上台阶发挥更为直接的作用。

目前,我国高等工程教育在适应社会发展需要方面还存在较大差距。问题之一是课程体系 and 教学方法没有根本性的转变。从1990年以来,高等院校开展了大规模的教学内容和课程体系改革,取得了明显成效,推出了一批优秀教材和精品课程。但是,传统的课程体系、教学计划、培养模式并没有普遍深刻的变化,不同科类的知识依然相互分离,综合性的课程还不多见,理论与工程实践脱节的局面并未得到根本改善。随着工业化进程和机械工程科技的发展,教学内容不断增加,教学要求不断提高,我们还是习惯于增加课程、增加学时,而忽视了课程的整合、融合、拓宽、更新和更加注重应用,在教学方法上依然以讲授为主,学生自主学习、自我体验、自由创造的环境还不具备。现代机械工程要求的多学科综合和实践性、适应性的特征在高级工程人才培养的过程中体现得还远远不够。

现代机械工程已是多学科的综合体,今天机械工程科学家、工程师等技术专家的基本作用正是集成与创新,其任务是构建和实现机械系统。我们必须依据所在的高校和专业的固有特点和特殊性质,按照教育目标定位,按照现代机械工程的特点,对机械工程高等教育的内容和课程体系进行改革,搞好机械工程类教材建设。湖南大学出版社正是为适应机械工程类教学改革的要求,精心组织出版了“机械工程类规划教材”。这套教材已规划了20余本,将于近年内陆续推出。规划教材涵盖了机械工程类的主要专业基础课程和部分专业选修课程,其中一些教材此前已经过多次使用,受到教师和学生的好评。这套教材由湖南省机械工程学会、湖南大学等10余所高校数十位长期在教学与教研教改第一线工作的教师共同努力编写而成。基于各高校教学改革和教材建设的经验,我们相信这套教材的出版和使用,能够加强各兄弟院校的交流与合作,在教材建设和机械工程高等教育的改革发展方面相互借鉴,相互促进,为我国机械工程技术人才培养起到积极的作用。

教材建设要出精品,而精品绝不是一蹴而就的。机械工程科学与技术的发展正突飞猛进,机械技术与计算机技术、信息技术、控制技术、环保技术相结合,使得机械工程的内涵

越来越丰富，发展的空间越来越广阔。虽然，这套教材突出了 21 世纪机械工程教育的综合性、适应性等特点，在整合、拓宽、更新和注重工程应用上下了工夫，对课程内容、体系进行了改革，但是从总体改革思路、改革探索深度、学术水平、工程应用、教学手段到组织工作，不论从哪个方位张望，我们都还有很大的拓展的空间。世界在发展、国家在发展、高校在发展、形势在发展，我们这套教材的建设远不能说已经成熟、完美。我们还需要团结一心，虚心听取各高校教师、学生的批评，在自身的教育实践中进行修正、探索、提炼、变革、创新。

任重道远，行者无疆！

钟志华

中国工程院院士、湖南大学教授

2005 年 8 月

第四版前言

本书作为机械类、近机械类专业一门重要的技术基础课教材，自2005年第一版问世以来，已重印和再版了多次，先后被二十多所高等院校及其独立学院作为教材使用，得到了广大师生的认可。2007年被评为中南地区大学出版社优秀教材。

为了满足我国高等教育改革向新工科建设迈进的需要和开展高校教学质量工程建设的需要，更好地体现与时俱进、精益求精的精神，我们在进一步吸收编者教学改革经验、广泛征集读者宝贵意见的基础上，编写了《互换性与测量技术基础》第四版。

本着“体现内容的前沿性和新颖性”“保持内容的系统性和整体性”“兼顾内容的全面性和精炼性”“突出重点和实用性”等原则，本书第四版主要在以下几个方面做了改进：

1. 对各章进行了修订。根据新的国家标准对全书内容做了梳理，对各章内容进行了精选、改写、调整和补充，力求正确、精炼、便于教学。例如在第1章绪论中增加了本课程的重要性以及机械精度设计、公差、互换性、标准化之间的关系等内容；第2章补充了检测、测量、检验的概念，计算结果按四舍六入五凑偶的修约规则处理等内容；第3章有关几何要素的定义移到第4章有关要素的术语中；第4章中的图例进行了大量修改，部分内容进行了合并，增加了三坐标测量机的内容。

2. 顺应互联网时代获取知识方式的多样性，针对教材中一些重点、难点，制作了动画，并在书中相应处添加了二维码，通过扫描二维码可以看到相关动画或视频。

3. 制作教材配套的课件以及图片、动画、视频等教学素材，方便用户的教学活动。课程资源将在网站 www.yunjiaoshi.cn 推出。

参加本次修订工作的有：李亚非（第1、第2、第7、第9、第10章），周光永（第3、第12章），陈飞（第4、第5、第11章），唐新姿（第6章），闵淑辉（第8章）。长沙理工大学杨浪萍副教授提出了许多宝贵的修改意见。

本书由李亚非、周光永担任主编，陈飞、唐新姿、闵淑辉任副主编，李亚非负责全书统稿。

本书承蒙湖南大学杨沿平教授、中南林业科技大学徐学林教授审阅，他们对本书的修订提出了很多宝贵意见和建议，杨教授仔细审核了书中的动画与视频。编者谨在此对他们的大力支持和帮助表示最诚挚的感谢。

本次修订是在湖南大学出版社获得的财政部文化产业发展专项资金资助的“中国工程教育在线——交互式可视化工程训练数字网络出版平台”项目的支持下完成的。本次修订还获得了湖南省普通高等学校“十三五”专业综合改革试点项目（湘教通〔2016〕276）的资助。

由于编者水平和时间有限，本书恐仍有疏漏之处，恳请广大教师和读者不吝指正，不胜感激。

编者

2018年1月

第三版前言

《互换性与测量技术基础》教材出版至今已有10年了，第一、第二版到目前为止印数已超过20 000册，受到师生们的青睐，我们既高兴也颇感有压力。因为这本书作为机械类、近机类专业的技术基础课教材，其内容既与先修课程机械制图及后续课程机械设计、制造工艺、设备维修、毕业设计等息息相关，又涉及大量的国家标准。众所周知，标准是有一定时效性的，所以此书要“与时俱进”确实不是易事。

本着“每年一修订、四年一改版；与时俱进、精益求精、好学好用”的原则，此次修订做了较多的改动，修订版的指导思想是：凡涉及国家标准的一律按已发布的最新标准改动，包括术语、定义、参数、数值和标注方法，尤其第3、4、5、7、9、10章改动较大。

主要的修订工作如下：

1. 突出各章的重点和难点，通过采用双色印刷技术，对关键词进行彩色标识，以提醒学生对重点、难点内容的关注、理解和记忆，从而达到更好的教学效果。
2. 顺应互联网时代获取知识方式的多样性，探索教学模式的相应变化，我们配备了相应的课件（主要由陈飞副教授制作），读者可直接访问 www.yunjiaoshi.net，www.yunjiaoshi.cn 查看，方便了用户的教学活动。
3. 进一步丰富教学内容，在第10章增加了第6节“圆柱齿轮的精度检测”，使机械精度设计及检测的内容更加完善。
4. 更加遵循教学规律，第6章的第2节与第3节位置调换，便于教学的循序渐进。
5. 结合教学实际，对第2、3、4、5、7、10、11、12章的思考与练习做了适当的改动和增加。
6. 结合工程实际，书后增加了3张零件图的标注示例，方便学生对本课程内容的理解和对今后课程设计及毕业设计做参考。

参加本次修订工作的有：徐学林（第1、第2、第5章），李亚非（第7、第9、第10章），陈飞（第4、第11章），周光永（第3章），夏志华（第5、第7章），李鹏南（第12章），唐新姿（第6章），闵淑辉（第8章）。

全书由徐学林教授、李亚非副教授担任主编并负责全书统稿；陈飞、周光永、夏志华、李鹏南任副主编；湖南大学杨沿平教授审稿。

本书的出版得到了湖南大学出版社的大力支持，在此表示感谢。

编者

2014年12月

第二版前言

《互换性与测量技术基础》自2005年初版以来,因其书中标准紧贴国家最新标准,内容切合教学大纲的需要,并根据使用学校的反馈意见及时修订,所以得到湖南省众多工科类高等院校的认可,被十多所高等院校广泛采用。截至2008年底,已印刷4次,印数达2.2万册。并于2007年6月被中国大学出版社协会评为2005~2006年度中南地区大学出版社优秀教材。

此次修订,正值教育部刚刚颁发《教育部财政部关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》(教高〔2007〕1号)和《教育部关于进一步深化本科教学改革全面提高教学质量的若干意见》(教高〔2007〕2号)等文件,而与互换性与测量技术基础相关的许多国家标准也有了较大的调整。

为了跟上我国教学改革步伐,贯彻最新国家标准,全面提升教学质量,我们制定了本次修订原则:本着“教材主要是给学生传递知识”的宗旨,着眼于更新、改进和使教材更适合课堂教学的原则,以教学需要为根本,从方便适用出发,在保持和发扬第一版特色的基础上,对章节内容进行调整和优化,在文字表述上更准确、精练,力争创特色、树品牌。

具体修订工作如下:

1. 对各章涉及的国家标准,凡有新国家标准的,均采用新国家标准;若新国家标准已在酝酿,但并未下文的,则适当加以说明。

2. 根据教学实际的需要,对章节内容做了相应的变更。例如:

第3章,增加了非基准制配合的内容,删除了原来繁琐的理论计算,使本章内容更精练、更适用。

第4章,对GB/T 1182—2008作了适当的介绍。

第5章,表面粗糙度一章的国家标准正在陆续颁布中,我们根据已经掌握的国家标准修改情况,对本章内容作了适当调整,尽量贴近新标准的要求,为下一版的修订做好铺垫。

第10章,根据2008年颁布的国家标准,对本章相关的名词术语做了修改,对内容作了相应的调整,以使表述更规范,体系更完整。

3. 考虑各校教学学时数,提高教材的针对性和适用性,对第一版中的课外阅读部分进行了较大调整。

4. 考虑到各校用书的方便,并为减轻学生负担,原来单独出版的练习册不再另行出版,而是由各章参编老师根据教学实际重新拟定“思考与练习”放在各章之后。

5. 为方便老师教学,我们根据修订情况做了相应的课件。

参加本次修订工作的老师有:中南林业科技大学徐学林(第1、第2、第5、第7章),湖南农业大学周光永(第3章),中南林业科技大学陈飞(第4、第5、第7章),长沙理工大学李亚非(第6、第10章),中南林业科技大学闵淑辉(第8章),湖南大学杨沿平(第9章),中南林业科技大学张艳君(第11章),湖南科技大学李鹏南(第12章)。

中南林业科技大学徐学林教授负责第二版全书的统稿工作。中南林业科技大学陈飞老师为全书做了课件。

承蒙中国方圆标志认证委员会湖南审核中心高级顾问、湖南省见习机械设计工程师资格考核培训中心副主任、中南大学机电工程学院马岳麟教授对第二版进行了审阅，并提出了许多宝贵意见和建议，编者在此深表感谢！

在编写过程中，我们参考了相关文献，在此，对这些文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中疏漏之处在所难免，恳请广大教师和读者批评指正，编者不胜感激。

编者

2009年7月

第一版前言

“互换性与测量技术基础”是机械类、测控技术与仪器类专业必修的重要基础课程。它也是一门信息量大，理论性和实用性都很强的课程。机电产品设计有三个不可或缺环节：第一个环节是传动原理的设计；第二个环节是结构的设计；第三个环节是精度的设计。“互换性与测量技术基础”课程主要介绍在精度设计中所必须具备的一些知识，如机械零件中各种要素的精度参数及相关的控制标准以及它们在设计图样上的表示方法等；此外，本课程还有一个重要内容，就是介绍机械制造、使用和维修中必然涉及的有关互换性、标准化的概念、含义和意义，以及几何要素检测中的一些基本知识。如：长度、角度单位及其传递系统、计量器具、测量方法的基本概念；量规的设计和量具的选择；测量误差的概念和测量数据处理的基本方法等。所以，本教材与“机械精度设计”应该是有区别的。

本着教材主要是给学生传递知识的宗旨，它与“教学参考书”或“专著”是有区别的。所以编写本教材时既考虑到了原“高等工业学校‘互换性与测量技术基础’课程教学指导小组”审定的对本课程教学的基本要求（1990年10月），也充分考虑到当前各高校的教学改革和本课程教学学时较少的因素，并结合编者多年的教学经验，力求内容精练，符合教学要求，同时提供选讲章节供学有余力的学生课后自学，这部分内容用*号标出（当然，学时多的院校也可由教师讲授）。

本教材共分12章。第1章、第2章由中南林业科技大学徐学林执笔；第3章由湖南农业大学周光永执笔；第4章由中南林业科技大学陈飞执笔；第5章、第7章由株洲工学院夏志华执笔；第6章由湘潭大学唐新姿执笔；第8章由中南林业科技大学闵淑辉执笔；第9章由湖南大学杨沿平执笔；第10章由长沙理工大学李亚非执笔；第11章由中南林业科技大学张艳君执笔；第12章由湖南科技大学李鹏南执笔。

全书由徐学林教授担任主编，负责全书统稿；李亚非、李鹏南、周光永、夏志华任副主编；杨沿平教授审阅。

本教材中凡涉及的标准一律采用最新颁布的国家标准或专业标准。

本教材各章的习题与练习仍采用由杨沿平主编，湖南大学出版社出版的《互换性与测量技术基础练习册》中的相关内容。

在本书出版过程中得到了湖南大学出版社的大力支持，在此一并表示诚挚的谢意。

编者

2005年6月

目 次

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 前言	(1)
1.2 互换性概述	(2)
1.3 标准与标准化	(4)
1.4 优先数系	(7)
思考与练习	(9)
第 2 章 测量技术基础	(10)
2.1 概 述	(10)
2.2 测量方法和测量器具	(15)
2.3 测量误差和数据处理	(18)
思考与练习	(27)
第 3 章 圆柱体结合的互换性及其标准化	(28)
3.1 概 述	(28)
3.2 基本术语与定义	(28)
3.3 公差带大小的标准化	(33)
3.4 公差带位置的标准化	(35)
3.5 公差带与配合的优化	(42)
3.6 圆柱结合的精度设计	(44)
3.7 线性尺寸的未注公差	(50)
思考与练习	(51)
第 4 章 几何公差及检测	(54)
4.1 概 述	(54)
4.2 几何公差及其公差带	(60)
4.3 几何误差的评定	(67)
4.4 公差原则	(72)
4.5 几何公差的选用	(80)
4.6 几何误差检测原则	(85)
4.7 三坐标测量机简介	(86)
思考与练习	(88)
第 5 章 表面粗糙度及检测	(91)
5.1 概 述	(91)
5.2 表面粗糙度的评定	(92)
5.3 表面粗糙度符号及其表示法	(96)
5.4 表面粗糙度的选用	(100)

5.5	表面粗糙度的测量	(103)
	思考与练习	(105)
第6章	光滑工件尺寸的检测	(106)
6.1	概述	(106)
6.2	通用计量器具	(107)
6.3	光滑极限量规	(113)
	思考与练习	(120)
第7章	滚动轴承的互换性	(122)
7.1	概述	(122)
7.2	滚动轴承的精度及其应用	(122)
7.3	与滚动轴承配合的孔、轴公差带及选用原则	(123)
7.4	孔、轴配合表面的粗糙度与形位公差	(129)
	思考与练习	(131)
第8章	键和花键的互换性	(132)
8.1	平键联结的互换性	(132)
8.2	矩形花键联结的互换性	(136)
	思考与练习	(141)
第9章	螺纹结合的互换性	(142)
9.1	概述	(142)
9.2	螺纹几何参数误差对螺纹互换性的影响	(143)
9.3	普通螺纹的公差与配合	(146)
9.4	螺纹的检测	(151)
	思考与练习	(153)
第10章	圆柱齿轮传动的互换性	(154)
10.1	概述	(154)
10.2	齿轮的加工误差	(155)
10.3	单个圆柱齿轮的精度评定指标	(156)
10.4	齿轮副的精度评定指标	(160)
10.5	圆柱齿轮的精度设计	(164)
10.6	圆柱齿轮的精度检测	(171)
	思考与练习	(174)
第11章	圆锥结合的互换性	(175)
11.1	概述	(175)
11.2	圆锥结合的误差分析	(177)
11.3	圆锥系列及圆锥公差	(179)
11.4	锥角的测量	(185)
	思考与练习	(186)
第12章	尺寸链	(187)
12.1	概述	(187)

12.2 极值法计算尺寸链	(190)
12.3 统计法计算尺寸链	(193)
12.4 计算装配尺寸链的其他方法	(195)
思考与练习	(196)
附录: 零件图标注示例	(198)
参考文献	(201)

1.1 前 言

本课程是机械类、近机类专业的一门重要的技术基础课。它是以机械原理、机械零件、机械制图等课程为基础,结合生产实际,着重讲授机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤。本课程的教学目的是使学生掌握机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤,为从事机械零件设计工作打下良好的基础。本课程的教学内容分为两部分:第一部分为机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;第二部分为机械零件设计的具体应用。本课程的教学重点是机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;教学难点是机械零件设计的具体应用。本课程的教学要求是:掌握机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;了解机械零件设计的具体应用;能够运用所学的知识解决机械零件设计中的实际问题。

本课程的教学内容分为两部分:第一部分为机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;第二部分为机械零件设计的具体应用。本课程的教学重点是机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;教学难点是机械零件设计的具体应用。本课程的教学要求是:掌握机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;了解机械零件设计的具体应用;能够运用所学的知识解决机械零件设计中的实际问题。

本课程的教学内容分为两部分:第一部分为机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;第二部分为机械零件设计的具体应用。本课程的教学重点是机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;教学难点是机械零件设计的具体应用。本课程的教学要求是:掌握机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;了解机械零件设计的具体应用;能够运用所学的知识解决机械零件设计中的实际问题。

本课程的教学内容分为两部分:第一部分为机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;第二部分为机械零件设计的具体应用。本课程的教学重点是机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;教学难点是机械零件设计的具体应用。本课程的教学要求是:掌握机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;了解机械零件设计的具体应用;能够运用所学的知识解决机械零件设计中的实际问题。

本课程的教学内容分为两部分:第一部分为机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;第二部分为机械零件设计的具体应用。本课程的教学重点是机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;教学难点是机械零件设计的具体应用。本课程的教学要求是:掌握机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;了解机械零件设计的具体应用;能够运用所学的知识解决机械零件设计中的实际问题。

本课程的教学内容分为两部分:第一部分为机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;第二部分为机械零件设计的具体应用。本课程的教学重点是机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;教学难点是机械零件设计的具体应用。本课程的教学要求是:掌握机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;了解机械零件设计的具体应用;能够运用所学的知识解决机械零件设计中的实际问题。

本课程的教学内容分为两部分:第一部分为机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;第二部分为机械零件设计的具体应用。本课程的教学重点是机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;教学难点是机械零件设计的具体应用。本课程的教学要求是:掌握机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;了解机械零件设计的具体应用;能够运用所学的知识解决机械零件设计中的实际问题。

本课程的教学内容分为两部分:第一部分为机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;第二部分为机械零件设计的具体应用。本课程的教学重点是机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;教学难点是机械零件设计的具体应用。本课程的教学要求是:掌握机械零件设计的基本原理、设计方法和设计步骤;了解机械零件设计的具体应用;能够运用所学的知识解决机械零件设计中的实际问题。

第1章 绪论

本章重点:互换性的概念、实质及意义;标准的概念及标准化的意义。

本章难点:机械精度设计、公差、互换性、标准化之间的关系。

1.1 前言

本课程是机械类、近机类专业的一门重要的技术基础课。它既具有从基础课或其他技术基础课教学过渡到专业课教学的桥梁作用,也具有联系设计类课程和制造工艺类课程的纽带作用。本课程既是做好专业课程设计和毕业设计的需要,又是今后从事机械产品设计、制造、检测、生产组织管理、质量管理和国际交流等工作的需要。虽然各个学校该课程的名称不尽相同,但它们的教学内容和要求是基本相同的。本课程主要包括机械精度设计、几何量检测两方面的内容。

通常,一个机械产品都要经过设计、制造和检测三个阶段。在设计阶段,一般是由设计人员创造性地画出产品图纸(包括装配图和零件图);在制造阶段,工人师傅依据产品图纸进行加工和装配;在检测阶段,工人师傅和检验人员依据产品图纸进行抽样检测或全部检测,以保证产品质量合格。

机械产品的图纸设计,一般包括原理及方案设计、结构及尺寸设计、机械精度设计三个阶段。原理及方案设计常用到机械原理、理论力学等课程的知识,结构及尺寸设计常用到机械设计、材料力学等课程的知识,机械精度设计主要用到本课程以及机械制造技术基础等课程的知识。

所谓机械精度设计,就是在产品设计图纸上给出产品及其零部件的尺寸精度、形状精度、位置精度、表面粗糙度等技术要求,通常用公差(允许参数变化的范围)来表示,如附录所示的零件图标注示例。也可以说,机械精度设计就是在满足产品使用要求的前提下,依据有关技术标准,给产品规定适当的精度(合理的公差),并将其正确地标注在产品的零件图和装配图上。

要确保机械精度设计合理,机械精度设计应遵守以下原则:

(1)互换性原则。它是现代化工业生产的一个基本原则,就是要通过机械精度设计实现产品或其零部件的互换性。

(2)标准化原则。当进行机械精度设计时离不开有关公差标准,而且要尽量采用标准化、通用化的零部件、元器件和构件,以提高产品互换性程度。

(3)经济性原则。在满足产品使用要求的前提下,尽量采用经济的精度要求,以降低生产成本。

制造出来的产品是否符合精度设计要求,需要通过检测来判断。本课程还将介绍几何量检测的基本知识和常用的检测方法。

1.2 互换性概述

1.2.1 互换性的含义

互换(interchange)是一个有时空内涵的广义的概念,字面上的含义并不难理解。它应包括在一定时空条件下的“等价”“等质量”“等尺寸”甚至“等利益”等广泛的社会含义。当然,这里的“等”并不是数学式子中的严格符号。而本教材中所指的互换性(interchangeability)是特指在机械设计和制造中为了在一定的时间和空间条件下(如全球、国家、地区、专业、企业等)尽量满足用方和产方的利益而提出的一个概念。这个概念的前提是必须按约定的标准或规定的技术条件进行设计和制造。在这个前提下生产出来的同规格的合格产品(主要指零件或部件),在机器装配时,在随机的取样条件下是可互换的。在我们的日常生活中,很多机电产品都具备这种性质,例如灯头和灯泡,相同规格的螺栓和螺母,同型号的轴承、链条、轮胎等均是可互换的。如果更进一步考察各种机器产品,就会发现更多具有互换性的零部件,如齿轮、变速箱、液压元件、发动机活塞、连杆、曲轴等,只要是同规格的合格产品,无论哪个厂家生产的均可互换。

具有互换性的零件或部件,实质是由它们的质量参数所决定的,如几何参数(尺寸参数、形状参数、位置参数、表面粗糙度参数等),物理参数(硬度、强度、刚度等),化学参数(构成材料的成分)等。

无论是几何参数还是物理、化学参数,零件A与零件B可互换,并不意味着零件A=零件B,因为在制造过程中,对于任何定量的参数都存在加工误差。众所周知,数学理论中的“等于”是用于不存在误差的两者之间的,如果两者之间存在误差则应该是近似等于。零件间的参数也是如此,只要参数的误差在约定的范围内,即公差(tolerance)范围内(如尺寸参数在规定的尺寸公差范围内),我们就认为它们近似相等,在实际中就不会影响使用性能,为此,该规格零件就具备了互换性的这一条件。值得指出的是这里引进了误差和公差两个概念。误差是实际存在的,可以通过测量得知。公差是人为约定的,是设计人员给出的,即公差是允许误差的变动量。互换性依靠公差和检测来保证。

综上所述,我们对机械制造中的互换性概念表述如下:

“机器制造中的互换性,是指按规定的几何、物理、化学参数及其参数的公差,分别制造合格的零部件,在其装配与更换时随机任取其一,无需再经辅助加工或修配,便能达到设计时规定的使用要求。”互换性的这种表述,不仅有时空的含义,更重要的是它指出了现代机械制造中面向市场竞争的快和省的重要原则。

由于机械制造是严格按照设计文件进行的,而且通常都不是单一生产,尤其是零件和部件都是批量化和专业化制造。从材料到尺寸精度,设计文件中都有严格规定。一批零件一旦材料和处理工艺规定以后,它的理化参数就基本是固定的了,所以影响其互换性的主要是加工过程中形成的尺寸参数。为此,本教材讨论的互换性概念主要是几何尺寸参数的互换性。

1.2.2 互换性分类

在几何尺寸参数的加工中,由于加工精度、批量、技术经济指标等因素的要求不同,机械制造中的互换性按互换的程度分,可分为完全互换和不完全互换两类。

1.2.2.1 完全互换

这是指同一规格的一批零件或部件,在装配或更换时,不需经过任何挑选、辅助加工或附

加修配(如钳工修配)及调整,就能装配到机器上,并能达到设计时规定的功能要求。这种互换适合于机器中大量的通用件和标准件。

1.2.2.2 不完全互换

这是相对于完全互换而言的,完全互换的实质是不允许挑选、修配或调整;而不完全互换则允许挑选、修配或调整。根据对机械零件的精度要求和技术经济指标的不一样,不完全互换又可分为大数互换(概率互换)、分组互换、调整互换与修配互换等。

(1)大数互换。如果说完全互换是同批量零部件中100%可互换的话(即危率 $\alpha=0$),那么大数互换是根据实际加工误差(随机误差)分布的规律,在大批量生产中,绝大多数尺寸均趋向它们的期望值(平均值),而分布于极限位置附近(即公差带两端)的尺寸是很少的,为此根据需要,人为规定一个小于1的危率 α (我国以及世界上大多数国家通常规定 $\alpha=0.0027$),使互换性概率控制在 $P=1-\alpha$ 范围内,这种互换我们就称其为大数互换。

(2)分组互换。因为误差具有传递性,也就是说一个系统中的总误差是组成该系统的各分误差的合成。若总误差要求控制在很小的范围(即精度要求很高),那么组成该系统的各分误差就应更小(即精度更高)。对于一个机械产品(如滚动轴承的内外圈与滚动体,发动机的活塞与活塞销、连杆、曲轴等)由多个零件所组成,部件的精度要求高,根据误差合成的原理,各零部件的精度要求就更高,这势必要增加零件的加工成本,有的甚至用常规的加工方法还难以达到精度要求。为此可增大零件的加工误差,然后将相关的零件尺寸一一测量出来,根据零件的实际尺寸分成若干组(装配精度要求越高,分组数就越多),按组进行装配,仅组内零件可互换,组与组之间不可互换。这种方法就称其为分组互换法。滚动轴承等精度要求高的产品,都是按这种方法生产的。



(3)调整互换。由于受装配精度的要求或受装配误差累积的影响,有些机械产品(如机床、齿轮箱等),在装配过程中除留下某一个零件或零件位置作为装配环中的精度调整或累积误差的补偿外,装配环中的其他各零件仍按互换性原则生产。因为有调整环存在,所以在不改变调整环尺寸的条件下,装成的机械产品的零件是不能互换的。除非重新设置调整环零件的尺寸。这种采用更换零件或改变零件位置(如增减或更换垫片、垫圈等)来改变补偿环尺寸大小的方法则称调整互换。

(4)修配互换。与调整互换原理类似,只是将补偿环的零件用钳工或其他方法精确地修配(通常是去除多余的材料),以期达到装配精度的要求。

1.2.3 互换性在机械工程中的意义

互换性原则有利于产品的设计、制造、使用和维修,有利于提高产品的质量和生产效率,具体体现如下:

在设计方面,机械产品如果采用大量的互换性零部件、独立机构和总成,则可节省很多设计工作(如计算、绘图等),缩短产品的设计周期。这有利于新产品的开发,有利于增加产品规格的多样性,有利于结构性能的改进,有利于成组技术的应用。

在制造方面,有利于专业化制造。在现代制造中,专业化制造可极大地提高经济效益和市场竞争能力。由于产品相对较单一(尤其是一些标准件),数量多,分工细,有利于提高产品的加工质量和加工过程中的管理水平。从装配角度看,由于大量采用互换性零部件,缩短了机器的装配周期,装配采用流水作业法及机器人操作,大大减轻工人的劳动强度,有利于提高生产效率。

在使用和维修方面,由于大量应用具有互换性的零部件,使得机械产品成本下降,提高了

产品的市场竞争力,而且对产品的售后服务和用户的维护都带来极大的便利。

总之,互换性原则不仅是机械制造中的一种技术措施,而且是一个社会技术进步的标志。

1.3 标准与标准化

按照约定的标准进行设计和制造,是互换性的前提,而要在更大的范围内实现产品的互换,就必须对产品实现系列化和通用化设计,对工艺过程、原材料、外协件的购进和储备、保管、运输等必须进行标准化管理。

那么什么是标准?什么是标准化?下面我们将进一步讨论这个问题。

1.3.1 标准(standard)

标准是指为了在一定的范围内获得最佳秩序,经有关方面协商一致,对重复性事物和概念通过科学的简化、优选后做出的统一规定。并将其制成规范性文件,通过主管机构批准发布,作为共同遵守的准则和依据。

标准应有下面的一些内涵:

(1)标准的展示形式。标准一般以文字、图表的形式出现。如机械工程中的“制图标准”,各种“公差标准”等。标准有的也以实物形式出现,通常称其为“实物标准”,如各种计量标准中的“标准质量(砝码)”“标准长度(标准米尺)”“标准电阻”等。

(2)标准的种类。按标准化工作对象,标准可分为技术标准、管理标准和工作标准;按标准的性质,标准又可分为基础标准、产品标准、方法标准、安全标准、卫生标准和环保标准等。其中基础标准主要是对一些共性的问题所做出的一些统一规定,如机械制图标准、尺寸的极限与配合标准都是机械工程领域中的基础标准;产品标准是针对某种具体产品的质量指标和规格所做的统一规定,其中包括产品系列标准、产品质量标准和产品包装、储存、运输、验收标准等。

(3)标准的等级。按照标准适用范围,我国的标准可分为国家标准(代号:GB)行业标准(如机械:JB;石油:SY;化工:HG;冶金:YB等),地方标准(通常以省、市、自治区划分)和企业(公司)标准。另外,我国还有国家军用标准(GJB)、兵器标准(WJ)等。对于相同的标准对象,通常级别低的标准在技术水平上应高于级别高的标准,如行业的技术水平应高于国家标准,其余依次类推。

此外,国际上还有“国际标准化组织(ISO:International Organization for Standardization)”的标准,如ISO 9000族质量管理体系标准和ISO 14000族环境管理体系标准等;“国际电工委员会(IEC:International Electrotechnical Commission)”标准;“国际电信联盟(ITU:International Telecommunication Union)”标准等。

另外,有些主要工业发达国家的国家标准,在世界上也有一定影响,它们主要有:

美国国家标准学会(ANSI:American National Standards Institute,其制定的标准代号为ANSI)。

英国标准学会(BSI:British Standards Institute,其制定的标准代号为BSI)。

德国标准学会(DIN:[德文]Deutsches Institut für Normung,其制定的正式工业标准代号为DIN)。

法国标准化协会(AFNOR:[法文]Association Francaise de Normalisation,其制定的标准代号为NF)。

日本工业标准调查会(JISC:Japanese Industrial Standards Committee,其制定的日本工