

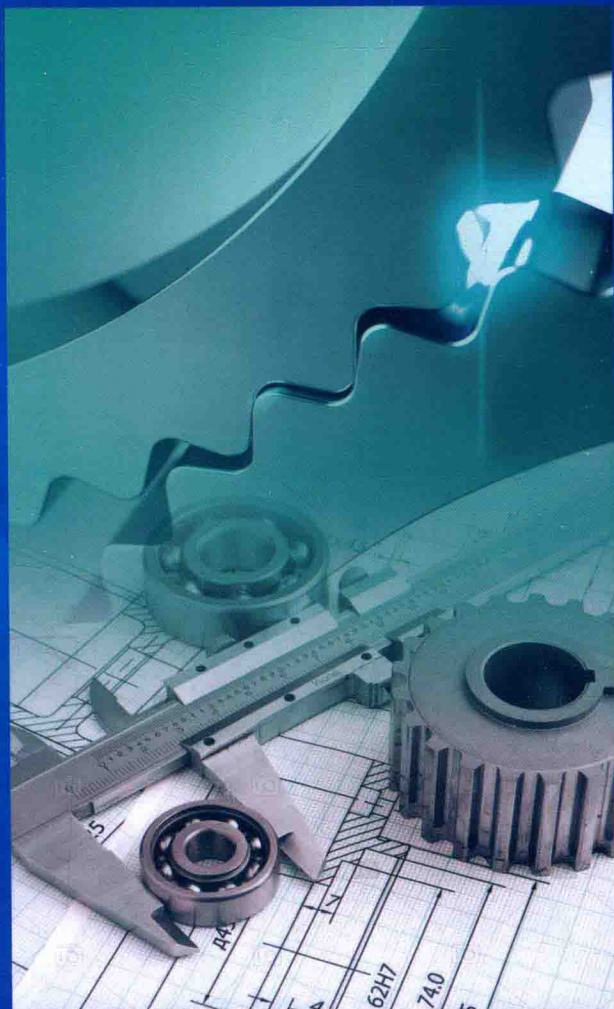
普通高等教育“十三五”规划教材



互换性与测量技术

INTERCHANGEABILITY AND
MEASUREMENT TECHNOLOGY

王宏宇 © 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

互换性与测量技术

主 编 王宏宇
副主编 刘桂玲 吴 勃
主 审 刘会霞

机械工业出版社

本书为高等工科院校机械类和近机类专业技术基础课教材,全书共6章,包括公差与检测技术概述,孔、轴公差与配合,几何公差与误差检测,表面粗糙度轮廓及其检测,圆柱齿轮公差与检测以及典型零部件的公差及检测。在第2~5章后分别给出了基于项目的几何量测量内容。每章后均有思考题与练习。

本书以贯彻现行国家标准和充分发挥现代信息技术优势为主线编写,紧密贴合“互联网+教育”下教材发展的新趋势,在书中章节标题处附有二维码,用于链接在线开放课程的视频,架构起线下自主学习和在线开放课程间的桥梁和纽带,可满足当前高等工科院校机械类专业以及仪器与测控类专业的教学需要,尤其适合于开展线上线下混合式教学和学生自主研学,也可作为机械专业领域工程技术人员的培训教材和参考资料。

本书配有电子课件和课后习题解答,欢迎选用本书作教材的教师登录 www.cmpedu.com 注册下载,或发邮件至 jinaemp@163.com 索取。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术/王宏宇主编. —北京:机械工业出版社,2019.8
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-111-63127-9

I. ①互… II. ①王… 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(2019)第129462号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:吉玲 责任编辑:吉玲 张亚捷 王康

责任校对:刘雅娜 封面设计:张静

责任印制:孙炜

天津嘉恒印务有限公司印刷

2019年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·10.5印张·257千字

标准书号:ISBN 978-7-111-63127-9

定价:26.00元

电话服务

客服电话:010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

机工教育服务网:www.cmpedu.com

序

在“互联网+教育”的大背景下，在线开放课程和信息化教学工具的出现，推动了高等教育教学改革步伐，激发了学生的学习积极性和自主性，扩大了优质教育资源的受益面，促进了教学内容、方法、模式和教学管理体制的革新，给高等教育改革发展带来新的机遇和挑战，一场由现代信息技术引领的课程教学革命已悄然来临。

2017年上半年的短短数月内，“复旦共识”“天大行动”“北京指南”相继发布，新工科建设吹响了我国高等教育改革新时代的号角。2017年10月，江苏大学根据《教育部高等教育司关于开展新工科研究与实践的通知》，制定了翔实的《关于新工科建设的实施意见》，明确了学校新工科建设的指导思想、实施原则和主要任务，并把课程建设作为主要任务之一。2018年6月，教育部召开了新时代全国高等学校本科教育工作会议，陈宝生部长在会议上提出把“回归常识、回归本分、回归初心、回归梦想”作为我国高等教育改革发展的基本遵循，为新时代的本科教育工作指明了方向。

课程建设，是教育教学理念得以贯彻和实现的必然载体。2018年暑假期间，我校一批长期从事一线教学工作的专业教师，联合行业、企业专家，提出“在线开放课程·新形态混合教材·虚拟实验项目”三位一体的工程基础专业课程建设思路，以江苏省品牌专业机械设计制造及其自动化专业核心课程“互换性与测量技术（公差与检测技术）”为对象，与在线开放课程建设同期编写完成了匹配的新形态混合式教材，在纸质教材中引入在线课程知识点的二维码等，利用在线开放课程平台为学生提供可利用碎片化时间自主学习的多种形式，提出“以学生为中心”的新形态混合式课程与教材建设理念，不但满足了目前高校学生学习与能力养成的需求，而且为新工科视域下强化学生自主学习和课外学习能力提供了新载体，更为缓解现阶段课内学时不足、教学形式单一、师资水平不平衡等现实矛盾提供了新手段，可谓是对专业课课程改革和教材建设的积极探索和有益尝试。

“教育教学改革，改到深处是课程，改到难处是教材”，在“以学生为中心”的本科教育教学中，我们始终在路上。

江苏大学副校长



前言

互换性与测量技术是高等学校工科专业一门重要的专业基础课。其既是联系设计课程和制造课程的纽带，又是从基础课学习过渡到专业课学习的桥梁。

“互联网+教育”为现代教育教学打破了时间和空间的限制，线上线下混合式教学已成为师生喜爱的一种教学模式。为适应线上线下教学的需要，江苏大学公差课程组依托已建设完成的在线开放课程，编写了这本新形态教材。该教材具有以下主要特点：

1) 架构起线下自主学习直通线上在线开放课程学习的桥梁，学习过程中可随时随地观看教师对知识点的讲解视频。

2) 基本教学单元的视频时间为5~15min，既符合学生学习时保证注意力集中的最佳时长，又满足利用碎片化时间在线下自主学习的教学要求。

3) 具有立体化教材的丰富数字教学资源，且按照知识点进行了归类，更加有利于数字教学资源的充分应用。

4) 以项目式教学要求编写了课程实验内容，并给出了实验实施的建议方案，激发学生对课程实验的兴趣。

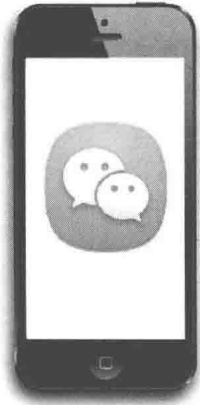
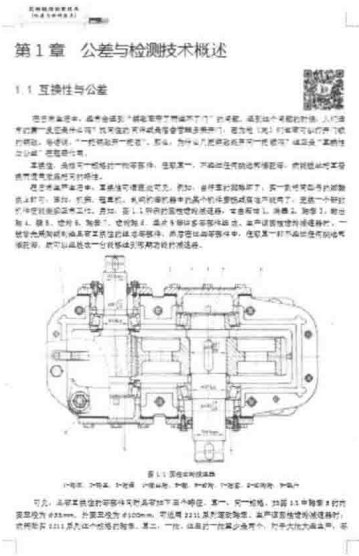
本书由王宏宇担任主编，刘桂玲、吴勃担任副主编，并邀请了教育部机械基础课程教学指导分委员会委员刘会霞教授担任主审。王宏宇编写了第1、5、6章，刘桂玲编写了第2、4章，吴勃编写了第3章，徐红兵与江苏云峰科技股份有限公司董事长吴建春参加了第6章部分内容的编写工作。上海卓越睿新数码科技有限公司制作了书中全套在线开放课程知识点二维码，其所运营的智慧树网站负责本书所对应在线开放课程的维护工作，并向广大师生免费开放。江苏大学公差课程组毛卫平、王志、刘晨曦、郭玉琴、任国栋、王亚元等参与了本书的文字校对和资料收集等工作。

在本书编写过程中，得到了江苏大学教务处和江苏大学机械工程学院的大力支持，参考了大量与本课程相关的纸质和数字资源，同时省内外部分兄弟院校的公差课程组也为本书提出了诸多宝贵意见，在此对各位同仁、文献作者一并致谢！

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编者

本书使用说明图例



扫一扫书中二维码，随时
实时观看视频讲解



在线开放课程运行网站及网址链接

www.zhihuishu.com

<http://coursehome.zhihuishu.com/courseHome/2039553#teachTeam>

在线开放课程的二维码



参考文献

- [1] 甘永立. 几何量公差与检测 [M]. 10 版. 上海: 上海科学技术出版社, 2013.
- [2] 王贵成, 范真. 公差与检测技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [3] 封金祥, 胡建国. 公差配合与技术测量 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2016.
- [4] 高丽, 于涛, 杨俊茹. 互换性与测量技术基础 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2018.
- [5] 朱文峰, 李曼, 马淑梅. 互换性与技术测量 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2018.
- [6] 王宏宇, 徐红兵, 陈炜, 等. 卓越计划下的公差课程实验教学改革 [J]. 实验科学与技术, 2014, 12 (2): 96-98.
- [7] 杨建风, 徐红兵, 王春艳, 等. 几何量公差与检测实验教程 [M]. 镇江: 江苏大学出版社, 2015.
- [8] 范真, 毛卫平, 刘桂玲. 几何量公差与检测学习指导 [M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2011.

目 录

序

前言

本书使用说明图例

第 1 章 公差与检测技术概述	1
1.1 互换性与公差	1
1.2 标准与标准化	3
1.3 优先数系	4
1.4 几何量检测概述	6
1.5 课程的性质、任务和目标	8
思考题与练习	8
第 2 章 孔、轴公差与配合	9
2.1 概述	9
2.2 基本术语	10
2.2.1 尺寸的术语与定义	10
2.2.2 偏差与公差的术语和定义	11
2.2.3 配合的术语和定义	14
2.2.4 配合制	15
2.3 常用尺寸孔、轴极限与配合国家 标准	16
2.3.1 基本构成	16
2.3.2 标准公差系列	16
2.3.3 基本偏差系列 (定性)	19
2.3.4 基本偏差系列 (定量)	20
2.3.5 孔、轴公差与配合在图样上的 标注	27
2.3.6 孔、轴的常用公差带和优先、 常用配合	28
2.4 大尺寸孔、轴公差与配合	30
2.5 未注公差线性尺寸的一般公差	33
2.6 尺寸精度设计	34
2.6.1 尺寸精度设计的基本原则与 方法	34
2.6.2 配合制的选择	35
2.6.3 标准公差等级的选择	37
2.6.4 配合种类的选择	38
2.6.5 尺寸精度设计实例	42
项目 1: 尺寸测量	43
思考题与练习	44
第 3 章 几何公差与误差检测	45
3.1 概述	45
3.2 几何要素和几何公差特征项目	45
3.2.1 零件几何要素及其分类	45
3.2.2 几何公差特征项目及符号	47
3.3 几何公差的标注方法	48
3.3.1 几何公差框格和基准符号	48
3.3.2 被测要素的标注方法	48
3.3.3 基准的标注方法	50
3.3.4 几何公差的简化标注方法	51
3.4 几何公差带	52
3.4.1 几何公差带的特征	52
3.4.2 基准	53
3.4.3 形状公差带	56
3.4.4 方向公差带	58
3.4.5 位置公差带	62
3.4.6 轮廓度公差带	65
3.4.7 跳动公差带	67
3.5 公差原则	69
3.5.1 有关公差原则的术语及定义	69
3.5.2 独立原则	72
3.5.3 包容要求	73
3.5.4 最大实体要求	75
3.5.5 最小实体要求	81
3.6 几何精度设计	82
3.6.1 几何特征项目的选择	83
3.6.2 基准的选择	83

3.6.3 公差原则的选择	84	5.4.3 评定载荷分布均匀性的指标 及其检测	126
3.6.4 几何公差值的选择	85	5.4.4 评定侧隙的指标及其检测	128
3.6.5 几何精度设计实例	88	5.5 圆柱齿轮精度设计	130
项目2: 几何误差测量	89	5.5.1 齿轮精度等级与标注	130
思考题与练习	91	5.5.2 齿轮侧隙指标的极限偏差	131
第4章 表面粗糙度轮廓及其检测	94	5.5.3 齿轮坯的公差	134
4.1 概述	94	5.5.4 齿轮副的公差	135
4.1.1 表面粗糙度轮廓的界定	94	项目4: 齿轮测量	136
4.1.2 表面粗糙度对零件使用性能和 配合质量的影响	95	思考题与练习	137
4.2 表面粗糙度轮廓的评定参数	96	第6章 典型零部件的公差及检测	138
4.2.1 表面粗糙度轮廓评定相关术语 及其定义	96	6.1 滚动轴承的公差与配合	138
4.2.2 表面粗糙度轮廓评定参数的 定义	98	6.1.1 滚动轴承的公差等级及其应用	138
4.3 表面粗糙度评定参数及其数值的 选择	100	6.1.2 滚动轴承尺寸公差带及其特点	139
4.4 表面粗糙度在零件图上的标注方法	102	6.1.3 滚动轴承与轴颈和外壳孔的 配合	140
4.5 表面粗糙度轮廓的检测	107	6.2 键联接的公差配合及检测	143
项目3: 轮廓最大高度的测量	110	6.2.1 平键联接的公差配合及检测	143
思考题与练习	110	6.2.2 矩形花键联接的公差配合及 检测	147
第5章 圆柱齿轮公差与检测	112	6.3 普通螺纹的公差配合及检测	150
5.1 概述	112	6.3.1 普通螺纹的主要几何参数	151
5.2 齿轮传动的使用要求	113	6.3.2 普通螺纹的公差与配合	151
5.3 影响齿轮传动误差的主要因素	114	6.3.3 普通螺纹的检测	154
5.4 圆柱齿轮误差的评定项目及其检测	117	6.4 圆锥的公差配合及检测	155
5.4.1 评定传动准确性的指标及其 检测	117	6.4.1 圆锥公差配合的基本术语	155
5.4.2 评定传动平稳性的指标及其 检测	123	6.4.2 圆锥公差项目及其选择	157
		6.4.3 圆锥角的检测	158
		思考题与练习	159
		参考文献	160



1.1 互换性与公差

在日常生活中，经常会遇到“钥匙忘带了而进不了门”的问题。遇到这个问题的时候，人们通常的第一反应是什么呢？找同住的同伴或是宿舍管理员来开门，因为他（她）们也有可以打开门锁的钥匙。俗话说，“一把钥匙开一把锁”。那么，为什么几把钥匙能开同一把锁呢？这正是“互换性与公差”在起着作用。

互换性是指同一规格的一批零部件，按规定的技术要求制造，能彼此相互替换而使用效果相同的特性。在日常生产生活中，互换性可谓随处可见。例如，自行车的脚踏坏了，买一副相同型号的脚踏换上即可；再如，图 1-1 所示的圆柱齿轮减速器，它由箱体 1、端盖 2、轴承 3、输出轴 4、键 5、齿轮 6、轴套 7、齿轮轴 8、垫片 9 等零部件组成。生产该圆柱齿轮减速器时，一般可采购或制造具有互换性的相关零部件，然后将这些零部件按照要求进行组装，就可以组装成一台能够达到预期功能的减速器。

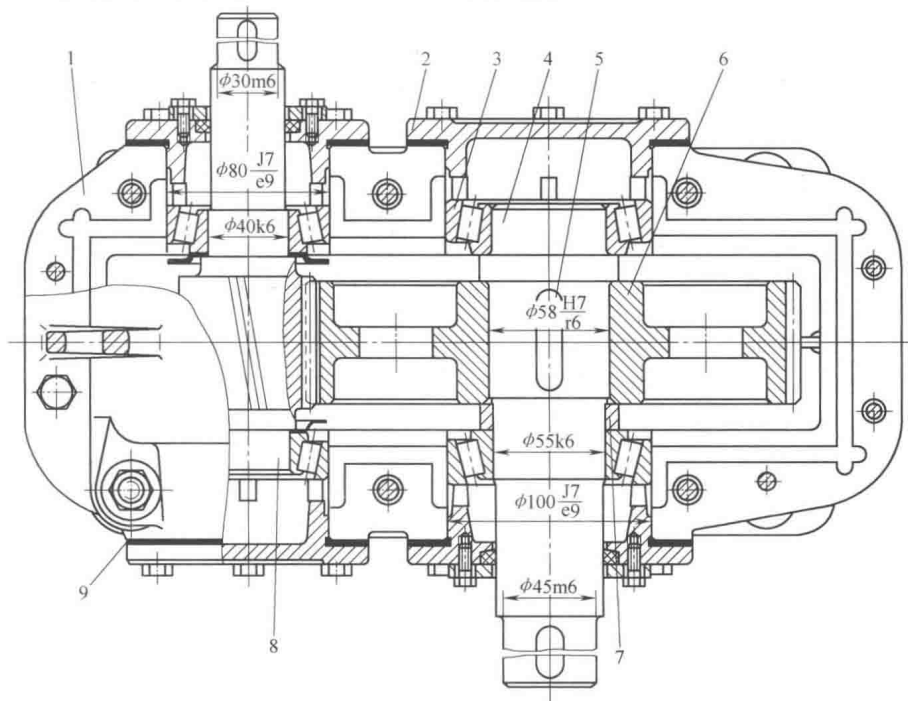


图 1-1 圆柱齿轮减速器

1—箱体 2—端盖 3—轴承 4—输出轴 5—键 6—齿轮 7—轴套 8—齿轮轴 9—垫片

可见,具有互换性的零部件同时具有如下三个特征。其一,同一规格。如图 1-1 中轴承 3 的内圈直径为 $\phi 55\text{mm}$ 、外圈直径为 $\phi 100\text{mm}$,可选用 2211 系列滚动轴承。生产该圆柱齿轮减速器时,就需购买 2211 系列这个规格的轴承。其二,一批。具有互换性的零部件一般为批量生产,零部件的数量甚至可以达到成千上万,也就是说互换性针对的对象是一批零部件。其三,使用效果相同。在一批零部件中,任取其一,将其装在整机上或是经过一定的调整(或修配)都能满足整机的使用性能要求。

互换性通常包括几何量互换和功能性互换。其中,几何量互换是指在尺寸、形状等几何量方面具有互换性,而功能性互换则一般指广义上的使用功能的互换,也可以理解成狭义上零部件的互换性,其不仅取决于几何参数的一致性,还取决于其物理、化学、力学性能等的一致性。本课程,仅讨论几何量互换。

零件在加工过程中,由于机床系统误差、机床振动、刀具磨损等原因,其几何参数不可避免地会产生误差。例如,单个零件尺寸不可能制造得绝对准确,一批零件的尺寸不可能完全一致等。实践证明,只要将误差控制在一定的范围内,则零件的使用功能和互换性都能得到保证。换句话说,通过对零件的各个几何参数规定允许的变动范围,加工时只要将零件产生的误差严格控制在这一范围内,零件就具有互换性。因此,互换性是几何量相近意义上的互换。几何量相近的程度,可以根据使用要求等进行确定,这就是公差。公差是零件几何参数允许的变动量,是保证零部件互换性的重要参数。因此,研究几何量误差及其控制范围需要建立公差标准,设计时依据公差标准确定几何参数的公差。可以说,公差是保证零部件具有互换性的基础。完工后的零件是否满足公差要求,要通过检测加以判断。几何参数误差控制在规定的公差范围内,零件就合格,就能满足互换性要求;反之,零件就不合格,也就达不到互换性的目的。可见,合理确定公差及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。

互换性在产品的设计、制造及使用维修过程中均发挥着重要的作用。在设计方面,零部件具有了互换性,就可以最大限度地采用标准件、通用件和标准部件。这样,就大大简化了绘图和计算工作,缩短了设计周期,并有利于开展计算机辅助设计和产品的多样化设计。在制造方面,互换性有利于组织专业化生产,便于采用先进工艺和高效率的专用设备;如作为标准件的螺栓的加工,其至少需要经过切断、头部镦粗、切出六方、加工螺纹等多道工序,而在现代化生产中这样的一根螺栓几秒钟就可以加工完成,从而使得这些标准件物美价廉;同时,互换性有利于计算机辅助制造,以及实现加工过程和装配过程的机械化和自动化。此外,在使用维修方面,零部件具有了互换性,可以及时更换已经磨损或损坏的零部件;从而,减少了机器使用过程中的维修时间和费用,提高了机器的使用价值。可见,在现代工业生产中遵循互换性原则,对产品的设计、制造和使用维修等方面具有重要意义。互换性原则,已成为现代工业生产中一个普遍遵守的法则。

在不同场合,零部件互换的形式和程度有所不同,故互换性可以分为完全互换性和不完全互换性。完全互换性,通常简称为互换性。零部件具有完全互换性时,其在装配或更换时是不需要挑选和修配的。例如,对于一批孔和轴装配后的间隙,要求控制在某一范围内,据此规定了孔、轴的公差。孔、轴加工后只要满足公差要求,则它们就具有了完全互换性。对于不完全互换性,顾名思义,其互换是有限的。这里的“有限”是指,在零部件装配或更换时,需要附加挑选或修配等条件,故称为不完全互换性。根据这些附加条件又可分为分组

互换、修配互换等。以 6135 型柴油机气缸孔和活塞的配合为例。这里的“6”指的是六缸，135 指的是气缸孔和活塞的公称尺寸为 $\phi 135\text{mm}$ 。设计时，为保证两者既能相互运动又不至于间隙过大，无论是气缸孔还是活塞的公差仅为 0.02mm ，属于典型的“大尺寸小公差”，加工难度较大。生产中，为降低加工难度将公差放大至 3 倍，加工完成后将气缸体和活塞分为三个组，保证每个组内的气缸孔和活塞的公差为 0.02mm ，即组内零件具有互换性，不同组的零件则不具有互换性。不完全互换相对于完全互换，虽然多了一道分组工序，但大大降低了加工难度，保证了产品质量。一般情况下，零部件厂际协作时应该采用完全互换，而在同一厂制造或装配时可以采用不完全互换。



1.2 标准与标准化

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。例如，汽车整机生产企业，就其主要工作而言多为汽车零部件的装配。轮胎来自于 A 厂、发动机由 B 厂制造、底盘采购自 C 厂、汽车电器（图 1-2）则由 D 厂提供等；而且，不同部件又有众多的配套企业。这样的事例，在现代工业生产中极为常见。为了适应生产中各部门的协调和各生产环节的衔接，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，从而实现互换性生产。标准与标准化，正是联系协作关系、实现互换性生产的重要途径和手段。

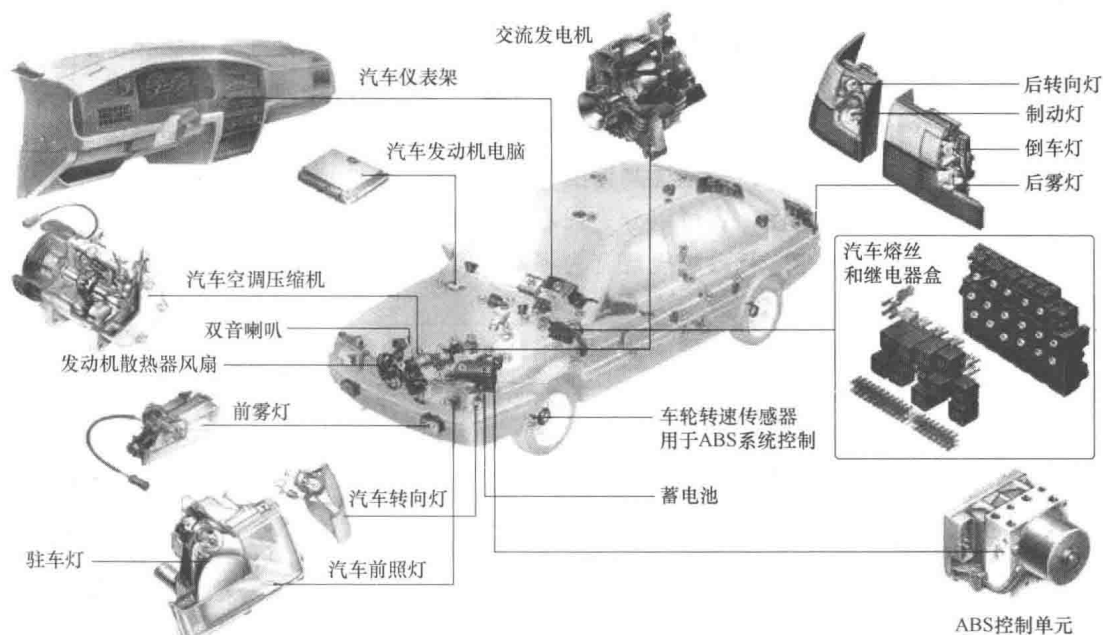


图 1-2 汽车电器系统组成

标准就是对重复性事物和概念所做的统一规定，它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础，经有关方面协商一致，由公认机构批准，以特定形式发布，作为共同遵守的准则和依据。秦始皇统一了度量衡，是对人类社会发所做出的一项重要贡献。度量衡的单位，最初都是与人体有关的。在“孔子家语”中有这样的说法，“布手知尺”，其意思是“从拇指

指尖到食指指尖的距离为一尺”，即俗称的一拃。每个人的拇指指尖到食指指尖的距离都不一样，那么对于同样一件物品不同人量出的长度都不一样，这就需要进行统一的规定。正如，秦始皇统一六国后，颁发了统一度量衡的诏书，其实质就是给度（长度）、量（容积）、衡（重量）规定了“标准”。根据考古发现，秦尺的一尺约合现在的 23.1cm。事实上，除了各种计量单位之外，工业生产各个方面都需要规定标准。例如，钢的化学成分、型材的规格、废气的排放等；再如，本课程所述的几何量公差和几何量检测的方方面面都需要标准。

标准化是指标准的制定、发布和贯彻实施的全部活动过程，包括从调查标准化对象开始，经试验、分析和综合归纳，进而制定和贯彻标准，还要不断地修订标准等。1988 年，全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国标准化法》。《中华人民共和国标准化法》的颁布实施，对于发展社会主义市场经济、促进科学技术进步、维护国家和人民的利益等，具有十分重要的意义。

按照标准的使用范围，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，由国务院标准化行政主管部门，如国家市场监督管理总局和国家标准化管理委员会制定。行业标准，由国务院各行业行政主管部门，如各部委办局标准化委员会等制定。地方标准，由省级标准化行政主管部门，如省级质量技术监督局等制定。企业标准，则由相关企业制定，多为细分领域的龙头企业。其中，国家标准等级最高，企业标准最低。一般情况下，当某一对象已颁布国家标准，其相应的行业标准、地方标准或企业标准便随即废止。但是，有一种情况例外，企业为了提高产品质量，增强市场竞争力，所制定的严于国家标准的企业标准是允许存在的。一般情况下，企业标准只在企业内部使用。

按照标准化对象特性的不同，标准又可以分为基础标准、产品标准、方法标准、安全标准、卫生标准、环境标准等。其中，基础标准是指在一定范围内作为其他标准的基础，并普遍使用，具有广泛指导意义的标准，也是最为重要的一类标准。如本课程所涉及的极限与配合标准、几何公差标准、圆柱齿轮精度制标准等，都属于基础标准。

此外，标准按照法律属性，还可以分为强制性标准、推荐性标准等。保障人体健康，人身、财产安全的标准和法律、行政法规规定为强制执行的标准，是强制性标准。强制性标准和推荐性标准的标准代号不同，分别为 GB 和 GB/T。

随着经济全球化趋势的不断发展，国际标准化组织（简称 ISO），已成为世界上最大的也是最具影响力的标准化组织，其标准化的对象是国际标准。例如，ISO 9000 系列标准，就是一种全球范围内共同遵守的质量管理体系标准。一定程度上说，其已成为企业所生产的产品，能否赢得客户信任、进入市场的一个必要条件。



1.3 优先数系

在设计机械产品或制定标准时，常常会与许多数值打交道。当选定一个数值作为某种产品的参数指标时，这个数值就会按照一定的规律，向一切有关事物的相关参数传播。例如，螺纹联接，是一种将两个分离零件联接在一起的联接方式。要实现两个分离零件的联接，这两个分离零件上需要有联接用的通孔或螺纹孔。以通孔为例，当这个通孔的直径一旦确定，则与其配合的螺栓尺寸、螺母尺寸、垫圈尺寸也随之确定；而且，加工这个通孔所用的麻花钻等也随之而定。由于数值如此不断关联，不断传播，常常出现“牵一发而动全身”的现

象。因此，类似的数值就不能随意选取，而应该在一个理想的、统一的数系中进行选择。这个数系，就是优先数系。

优先数系是对各种技术参数的数值进行协调、简化、统一的一种科学数值制度。优先数与优先数系是 19 世纪末（1877 年），由法国人查尔斯·雷诺（Charles Renard）首先提出的。当时载人升空的气球所使用的绳索尺寸由设计者随意规定，多达 425 种。雷诺根据单位长度不同直径绳索的重量级数来确定绳索的尺寸，按几何公比递增，每进 5 项使项值增大 10 倍，把绳索规格减少到 17 种，并在此基础上产生了优先数系的系列。后人为了纪念雷诺，将优先数系称为 Rr 数系。

国家标准 GB/T 321—2005《优先数和优先数系》规定十进等比数列为优先数系，并规定了 5 个系列，分别用系列符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示。其中，前 4 个系列为常用的基本系列，R80 则作为补充系列，仅用于分级很细的特殊场合。

优先数系的计算公比为： $q_r = \sqrt[r]{10}$ 。

根据上述公比计算公式可知，在优先数系中每隔 r 项其数值增大至 10 倍；而且，R5、R10、R20、R40 和 R80，前一数系的项值均包含在后一数系中。同时，优先数系包含 10 的所有整数幂（…，0.01，0.1，1，10，100，…），只要知道一个十进段内的优先数值，其他十进段内的数值就可由小数点的前后移位得到。优先数系中的数值可方便地向两端延伸，表 1-1 中的数值小数点前后移位，便可以得到所有小于 1 和大于 10 的任意优先数。

根据优先数系公比计算公式，R5、R10、R20、R40 和 R80 系列的公比分别为

R5 系列的公比： $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$

R10 系列的公比： $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$

R20 系列的公比： $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$

R40 系列的公比： $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$

R80 系列的公比： $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$

表 1-1 优先数系的基本系列（常用值）

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

为了使优先数系具有更强的适应性，国家标准中，在优先数系五个基本系列的基础上，

进一步规定了 Rr/p 的派生系列。这里 p 的含义是, 在 Rr 系列中每逢 p 项取一个优先数组成新的系列。

Rr/p 派生系列的公比为

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

例如, 经常使用的派生系列 $R10/3$, 就是从基本系列 $R10$ 中, 每逢三项取一个优先数组成的新数系。把 $R10$ 系列中优先数 1.00 作为 $R10/3$ 中第 1 项, 第四项 2.00 作为 $R10/3$ 中第 2 项, 以此类推, $R10/3$ 派生数系就是 1.00, 2.00, 4.00, 8.00 等。这一派生系列的公比为 2。

优先数系有着十分广泛地应用。本课程所涉及的有关标准里, 诸如尺寸分段、公差分级、表面粗糙度的参数系列等, 基本上都采用优先数系。选用基本系列时, 应遵守先疏后密的原则, 即应按 $R5$ 、 $R10$ 、 $R20$ 、 $R40$ 的顺序优先选用公比大的基本系列。当基本系列不能满足要求时, 可选择派生系列, 而且应该优先选择延伸项中含有 1 的派生系列。



1.4 几何量检测概述

制定了先进的公差标准, 对几何量也规定了合理的公差, 若不采取适当的检测措施, 则规定的这些公差就形同虚设。不但不能保证零部件实现互换性, 而且无法知道误差的大小, 更谈不上分析原因进而改进工艺。因此, 检测被誉为“制造的眼睛”。

检测是检验与测量的统称。检验是确定零件的几何参数是否在规定的极限范围内, 并做出合格与否的判断, 而不必知道被测量的具体数值, 其结论是“合格”或“不合格”。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, 其结论是具体的测量值。然后, 根据测量值对照其公差要求, 再进行合格性判断。可以说, 检验和测量是检测的两种手段, 其最终目的都是对几何量合格与否进行判断。

产品质量的提高, 除设计和加工精度的提高外, 往往更依赖于检测精度的提高。而且, 科学技术的进步, 也依赖于检测技术的发展。例如, 扫描隧道显微镜的分辨率为 0.01nm , 是目前世界上精度最高的测量仪器之一, 可用于测量金属和半导体零件表面的原子分布形貌。据发表在自然杂志上的一篇文章, 在扫描隧道显微镜下可移动原子, 实现原子级精密加工。可见, 制造业乃至于科学技术的发展, 都离不开检测技术及其发展。

要想可靠高效地进行几何量检测, 必须正确选择计量器具和测量方法。

计量器具按其本身的结构特点, 一般可以分为量具、量规、量仪和检具四大类。

1) 量具是指以固定形式复现量值的计量器具。它又可以分为单值量具和多值量具。单值量具是指复现几何量的单个量值的量具, 如量块等。多值量具是指复现一定范围内的一系列不同量值的量具, 如线纹尺。

2) 量规是指没有刻度的专用计量器具, 用以检验零件几何要素的实际尺寸和几何误差的综合结果。使用量规检验, 不能得到被测要素的具体数值, 只能确定被测要素是否合格, 如光滑极限量规、螺纹量规、功能量规等。

3) 量仪的全称是计量仪器, 是指能将被测几何量的量值转换成可直接观测的指示值(即示值)或等效信息的计量器具。量仪按照原始信号转换原理的不同, 又可分为机械式、光学式、电动式和气动式四种。

4) 检具的全称是计量装置,是指为确定被测几何量值所必需的计量器具和辅助设备的总体。它能够检测同一工件上较多的几何量和形状比较复杂的工件,有助于实现检测的自动化,如图 1-3 中所示的曲轴检具和盖板检具。

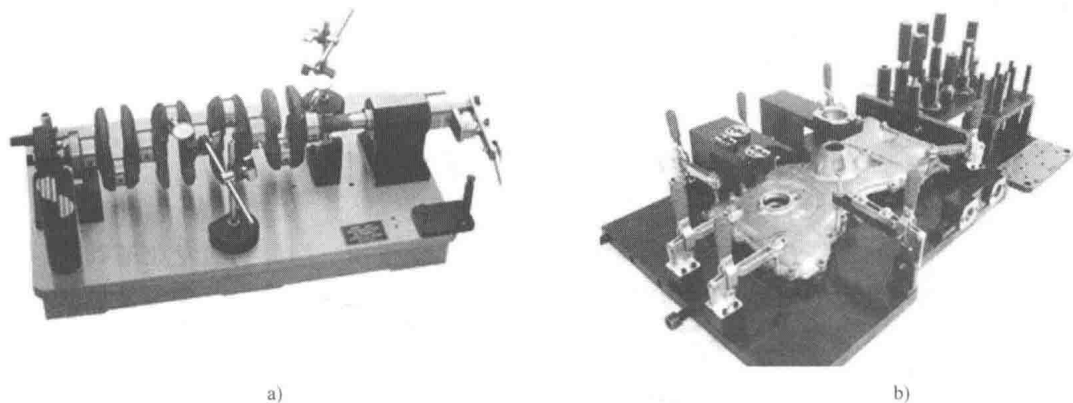


图 1-3 典型检具

a) 曲轴检具 b) 盖板检具

广义的测量方法是指测量时所采用的测量原理、计量器具和测量条件的综合。但是,在工程中所讲的测量方法,一般是指获得测量结果的具体方式,即测量方法的狭义概念。

按照实测几何量是否为被测几何量进行分类,测量方法可以分为直接测量和间接测量。实测几何量就是被测几何量就是直接测量。如果实测几何量不是被测几何量,被测几何量需要通过实测结果计算得来,那么就是间接测量。如中学时已经学过的利用弓高弦长法测半径(图 1-4),先测出弓高 h 和弦长 b ,再计算出半径 R ,就属于间接测量。一般情况下,间接测量多用于受条件限制而无法进行直接测量的场合。

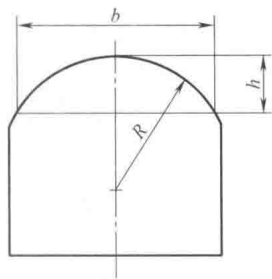


图 1-4 弓高弦长法测半径

按照示值即计量器具的指示值是否为被测几何量的量值进行分类,测量方法又可以分为绝对测量和相对测量。如果计量器具的示值是被测几何量的量值,就是绝对测量。如果计量器具的示值是被测几何量的量值与标准量的差值,就是相对测量。如用游标卡尺测量轴的直径,得到的就是被测几何量的量值,其属于绝对测量。用量块作为标准量,采用比较仪测出轴的直径与量块之间的差值,就是相对测量。一般来说,相对测量的测量精度比绝对测量要高一些。

按照测量时被测表面与计量器具的测头是否接触,测量方法也可以分为接触测量和非接触测量。如用游标卡尺测量轴的直径,就是接触测量;而采用光学量仪进行测量,测头不与被测表面接触,就是非接触测量。在接触测量中,测头与被测表面接触会引起弹性变形,俗称压陷效应,导致较大测量误差的产生;而非接触测量则没有压陷效应,故适合测量软质表面或薄壁易变形的工件。

按照测量时被测表面与计量器具的测头是否接触,测量方法也可以分为接触测量和非接触测量。如用游标卡尺测量轴的直径,就是接触测量;而采用光学量仪进行测量,测头不与被测表面接触,就是非接触测量。在接触测量中,测头与被测表面接触会引起弹性变形,俗称压陷效应,导致较大测量误差的产生;而非接触测量则没有压陷效应,故适合测量软质表面或薄壁易变形的工件。

此外,按照工件上是否有多个被测量一起测量,测量方法还可以分为单项测量和综合测量。如游标卡尺测量轴的直径,其只测轴的直径这一个几何量,就是单项测量;而采用量规测量,其测量的是轴的实际尺寸和其几何误差的综合结果,属于综合测量。单项测量较综合

测量而言,效率虽低,但其结果便于进行工艺分析。

在检测过程中,会不可避免地产生或大或小的测量误差。这将导致两种误判:一是把不合格品误认为合格品而给予接收即误收,二是把合格品误认为废品而给予报废即误废,这是测量误差表现在检测方面的矛盾,这就需要从保证产品质量和经济性两方面综合考虑。检测的目的,不仅在于判断几何量合格与否,还有着其他的作用。例如,根据检测的结果分析产生不合格品的原因,以便设法减少和防止不合格品的产生。

1.5 课程的性质、任务和目标

“互换性与测量技术(公差与检测技术)”是工科专业的一门重要的专业基础课,包括几何量公差和几何量检测两部分。其中,几何量公差属于标准化范畴,几何量检测属于计量学领域。可以说,本课程是联系设计与制造的纽带,也是从基础课过渡到专业课学习的桥梁。

本课程的主要任务:

- 1) 掌握互换性和标准化的基本概念及有关的术语定义。
- 2) 掌握本课程中几何量公差标准的主要内容、特点和应用原则。
- 3) 学会根据机器和零件的功能要求选用合理的公差与配合,初步具备进行几何量精度设计和分析的能力。
- 4) 能够查用本课程介绍的公差表格,并准确地在图样上进行标注。
- 5) 了解各种典型几何量的检测方法,学会使用常用的计量器具。

本课程的主要目标包括如下三个方面:

- 1) 帮助学习者理解几何量公差标准的基础知识和相关理论。
- 2) 促进学习者认知几何量检测的基本原理、仪器和方法。
- 3) 提升学习者解决工程实践中精度设计与误差检测相关问题的能力。

思考题与练习

- 1.1 什么是互换性?互换性的特征有哪些?
- 1.2 什么是公差?为什么要规定公差?
- 1.3 完全互换性和不完全互换性有何区别,各适用于何种场合?
- 1.4 举例说明分组互换的含义及优点。
- 1.5 什么是标准?标准化与互换性有何关系?
- 1.6 按照使用范围不同,标准可以分为哪几类?
- 1.7 什么是优先数系?它有何特点?我国采用什么数列作为优先数系?
- 1.8 写出 R20/3 中优先数从 1~100 的常用值。
- 1.9 R10/2 和 R5 是同一个优先数系吗?并对做出的答案进行说明。
- 1.10 选择优先数系时,应遵守哪些原则?
- 1.11 检验和测量有何区别?
- 1.12 几何量检测的目的与作用是什么?
- 1.13 计量器具按其本身的结构特点可以分为哪几类?游标卡尺属于其中的哪一类?
- 1.14 测量方法的分类方法有哪些?各分为哪些?