

普通高等教育“十五”规划教材

# 互换性与 测量技术基础

第2版

王伯平 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



TG8  
136

普通高等教育“十五”规划教材

# 互换性与测量 技术基础

第 2 版

主 编 王伯平  
副主编 李 萍  
参 编 邓春芳 朱建儒 薛天跃  
主 审 袁长良 武文堂 赵春明



机械工业出版社

本书包括绪论、光滑圆柱体结合的公差与配合、测量技术基础、形状和位置公差及检测、表面粗糙度、光滑工件尺寸的检测、滚动轴承与孔和轴结合的互换性、尺寸链、圆锥结合的互换性、螺纹结合的互换性、键和花键的互换性、圆柱齿轮的互换性等共十二章，并另附习题及实验指导书。

本书概括了互换性与测量技术基础这门课的主要内容，分析介绍了我国公差与配合方面的最新标准，阐述了技术测量的基本原理，同时也介绍了国内外一些新的测量技术。本书可供高等院校机械类专业作为专业教材，并可供其他行业的工程技术人员及计量、检验人员参考。

本书另有习题参考解答，向授课教师免费提供，需要者请参见书末的信息反馈表。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

互换性与测量技术基础/王伯平主编. —2版. —北京:  
机械工业出版社, 2004.4  
普通高等教育“十五”规划教材  
ISBN 7-111-07734-2

I. 互… II. 王… III. ①互换性-理论-高等学校-  
教材②机械-测量-高等学校-教材 IV. TG8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 006698 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
责任编辑: 邓海平 版式设计: 霍永明 责任校对: 吴美英  
封面设计: 张 静 责任印制: 洪汉军  
北京京丰印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行  
2005 年 1 月第 2 版 · 第 1 次印刷  
787mm × 1092mm  $1/16$  · 19.25 印张 · 461 千字  
定价: 27.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646  
封面无防伪标均为盗版

## 第 2 版前言

“互换性与测量技术基础”是高等院校机械类、仪器仪表类和机电相结合类各专业必需的主干技术基础课程，它是与机械工业发展紧密相联系的基础学科。在教学中，本课程起着联系基础课及其他技术基础课与专业课程的桥梁作用，也起着联系设计类课程与制造工艺课程的纽带作用。它不仅将标准化领域的有关部分结合在一起，而且涉及机械设计、机械制造、质量控制、生产组织管理许多方面。在科学技术迅速发展的今天，为满足面向 21 世纪课程建设的需要，我们根据全国高等学校教学指导委员会的要求精神及教学大纲进行了本书第 2 版编写。

本书的特点：是加强基础，突出应用，力求反映国内外的最新成就；内容新颖齐全，资料丰富，阐述简明扼要，结构层次分明，使用面广；既可作为高等工科大学各有关专业教材，又可作为工矿企业有关技术人员的参考资料；既可用于重型机械设备大尺寸，又可用于精密仪器的小尺寸；既适用于机械类专业，也适用于精密仪器类专业；在全书的各章节都采用最新国家标准。

在实验指导书中，着重阐明测量技术的基础知识和常用测量方法的工作原理。对典型零件几何量测量的误差概念，结合实验项目对所使用的仪器、量仪的构造和使用方法做了比较详细的介绍，以培养学生初步具备检测工作的能力并提高学生的综合素质。

本书第 2 版修改了第 1 版中的各种错误，并更新了十几个国家标准使本书全部采用了当前最新的国标。同时，对第 1 版的部分内容进行了充实，使教材更加完善。

本书由王伯平教授（第二、四章及前言）、李萍副教授（第五章及实验指导书）、邓春芳副教授（第一、六、七、九章及习题）、朱建儒副教授（第三、十二章）、薛天跃副教授（第八、十、十一章）编写，由王伯平教授担任主编，李萍副教授担任副主编。本书由太原理工大学袁长良教授、武文堂副教授及太原重型机械学院赵春明副教授审稿。

在本书编写过程中，郝兴明、马朝华、李锦平、李志勤、李永堂、孙大刚、陶元方、王晓慧等同志曾给予了热情的指导和帮助，在此一并致谢。

本书的习题参考解答，向授课教师免费提供，需要者请参见书末信息反馈表中的联系方式。

限于编者的水平，书中不足之处和错误，恳请读者批评和指正。

编 者

# 第 1 版前言

“互换性与测量技术基础”是高等院校机械类、仪器仪表类和机电相结合类各专业必需的主干技术基础课程，它是与机械工业发展紧密相联系的基础学科。在教学中，本课程起着联系基础课及其他技术基础课与专业课的桥梁作用，也起着联系设计类课程与制造工艺课程的纽带作用。它不仅将标准化领域的有关部分结合在一起，而且涉及机械设计、机械制造、质量控制、生产组织管理许多方面。

本书的特点是加强基础，突出应用，力求反映国内外的最新成就；内容新颖齐全，资料丰富，阐述简明扼要，结构层次分明；适用面广，既可作为高等工科学校各有关专业教材，又可作为工矿企业有关技术人员的参考资料；既可用于重型机械设备大尺寸，又可用于精密仪器的小尺寸；既适用于机械类各专业，也适用于精密仪器仪表类各专业；采用全新国家标准。

在实验指导书中，着重阐明测量技术的基础知识和常用测量方法的工作原理。对典型零件几何量测量的误差概念，结合实验项目对所使用的仪器、量仪的构造和使用方法做了比较详细的介绍，以培养学生初步具备检测工作的能力。

本书由王伯平（第二、四章及前言）、李萍（第五章及实验指导书）、邓春芳（第一、六、七、九章及习题）、朱建儒（第三、十二章）、薛天跃（第八、十、十一章）编写，由王伯平担任主编，李萍担任副主编。本书由太原理工大学袁长良教授、武文堂副教授及太原重型机械学院赵春明副教授审稿。

在本书编写过程中，郝兴明、袁庆龙、马朝华、李锦平等同志曾给予了热情的指导和帮助，在此一并致谢。

限于编者的水平，书中不足之处和错误，恳请读者批评和指正。

编 者

1999 年 9 月于太原

# 目 录

第2版前言	
第1版前言	
<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 互换性的意义和作用 .....	1
第二节 标准化与优先数 .....	2
第三节 本课程的研究对象及任务 .....	5
思考题 .....	5
<b>第二章 光滑圆柱体结合的公差与配合</b> .....	6
第一节 公差与配合的基本术语及定义 .....	6
第二节 公差与配合国家标准 .....	13
第三节 国家标准规定的公差带与配合 .....	29
第四节 常用尺寸公差与配合的选用 .....	36
第五节 一般公差 线性尺寸的未注公差 .....	42
思考题 .....	43
<b>第三章 测量技术基础</b> .....	44
第一节 概述 .....	44
第二节 计量器具和测量方法 .....	51
第三节 测量误差及数据处理 .....	55
思考题 .....	68
<b>第四章 形状和位置公差及检测</b> .....	69
第一节 概述 .....	69
第二节 形位公差的标注 .....	71
第三节 形位公差 .....	77
第四节 公差原则 .....	88
第五节 形位公差的选择及未注形位公差值的规定 .....	96
第六节 形位误差的检测 .....	103
思考题 .....	111
<b>第五章 表面粗糙度</b> .....	112
第一节 表面粗糙度的评定 .....	112
第二节 表面粗糙度的选择及其标注 .....	116
第三节 表面粗糙度的测量 .....	122
思考题 .....	123
<b>第六章 光滑工件尺寸的检测</b> .....	124
第一节 用通用测量器具测量 .....	124
第二节 光滑极限量规 .....	129
思考题 .....	135
<b>第七章 滚动轴承与孔、轴结合的互换性</b> .....	136
第一节 概述 .....	136
第二节 滚动轴承精度等级及其应用 .....	137
第三节 滚动轴承内、外径的公差带 .....	139
第四节 滚动轴承配合及选择 .....	142
思考题 .....	148
<b>第八章 尺寸链</b> .....	149
第一节 尺寸链的基本概念 .....	149
第二节 尺寸链的计算 .....	153
第三节 解尺寸链的其他方法 .....	160
思考题 .....	163
<b>第九章 圆锥结合的互换性</b> .....	164
第一节 概述 .....	164
第二节 圆锥配合误差分析 .....	166
第三节 圆锥公差与配合 .....	168
思考题 .....	176
<b>第十章 螺纹结合的互换性</b> .....	177
第一节 概述 .....	177
第二节 螺纹几何参数误差对螺纹互换性的影响 .....	178
第三节 普通螺纹的公差与配合 .....	182
第四节 梯形螺纹公差 .....	198
思考题 .....	207
<b>第十一章 键和花键的互换性</b> .....	208
第一节 概述 .....	208
第二节 单键联结的公差与配合 .....	209
第三节 矩形花键联结的公差与配合 .....	212
第四节 键和花键的检测 .....	215
思考题 .....	216

<b>第十二章 圆柱齿轮传动的</b>	
<b>互换性</b> .....	217
第一节 概述 .....	217
第二节 齿轮加工误差的来源及 其特点 .....	218
第三节 影响传递运动准确性 的误差 .....	220
第四节 影响传动平稳性的误差 .....	222
第五节 影响载荷分布均匀性的误差 .....	226
第六节 影响齿轮副侧隙的加工误差 .....	227
第七节 齿轮副的误差 .....	229
第八节 渐开线圆柱齿轮的精度标准 .....	230
思考题 .....	245
<b>习题</b> .....	246
<b>实验指导书</b> .....	258
实验一 尺寸测量 .....	258
实验 1-1 用立式光学计测量塞规 .....	258
实验 1-2 用内径百分表或卧式测长仪 测量内径 .....	260
实验二 形位误差的测量 .....	263
实验 2-1 直线度误差的测量 .....	264
实验 2-2 平行度与垂直度误差的 测量 .....	266
实验三 表面粗糙度测量 .....	268
实验 3-1 用双管显微镜测量表面 粗糙度 .....	268
实验 3-2 用干涉显微镜测量表面 粗糙度 .....	271
实验四 锥度测量 .....	274
实验 4-1 用正弦尺测量圆锥角 偏差 .....	274
实验五 螺纹测量 .....	276
实验 5-1 影像法测量螺纹主要参数 .....	276
实验 5-2 外螺纹中径的测量 .....	280
实验六 齿轮测量 .....	282
实验 6-1 齿轮齿圈径向跳动 测量 .....	282
实验 6-2 齿轮径向综合误差测量 .....	283
实验 6-3 齿轮齿距偏差与齿距累积 误差的测量 .....	284
实验 6-4 齿轮齿形误差的测量 .....	288
实验 6-5 齿轮齿厚偏差的测量 .....	289
实验 6-6 齿轮公法线平均长度偏差及公 法线长度变动的测量 .....	291
* 实验七 用三坐标测量机测量轮廓度 误差 .....	293
<b>附录 新旧国标对照表</b> .....	296
<b>参考文献</b> .....	298

## 绪 论

### 第一节 互换性的意义和作用

互换性现象在工业及日常生活中到处都能遇到。例如，机器上丢了一个螺钉，可以按相同的规格装上一个；灯泡坏了，可以换个新的；自行车、缝纫机、钟表的零部件磨损了，也可以换个相同规格的新的零部件，即能满足使用要求。可见，互换性的含义即指：同一规格的一批零部件，任取其一，不需任何挑选和修理就能装在机器上，并能满足其使用功能要求。零部件所具有的不经任何挑选或修配便能在同规格范围内互相替换作用的特性叫做互换性。互换性是机器和仪器制造行业中产品设计和制造的重要原则。

机器和仪器制造业中的互换性，通常包括零件几何参数（如尺寸）间的互换和力学性能（如硬度、强度）间的互换，本课程仅讨论几何参数的互换。

所谓几何参数，主要包括尺寸大小、几何形状（宏观、微观）以及相互的位置关系等。为了满足互换性的要求，最理想的情况是同规格的零部件其几何参数完全一致，这在我们的生产实践中，由于种种因素的影响，是不可能实现的，也是不必要的。实际上，只要零部件的几何参数在规定的范围内变动，就能满足互换的目的。

允许零件几何参数的变动量称为“公差”。

设计时要规定公差。因为加工时会产生误差，因此要使零件具有互换性，就应把零件的误差控制在规定的公差范围内，设计者的任务就在于正确地确定公差，并把它在图样上明确地表示出来。这就是说，互换性要用公差来保证。显然，在满足功能要求的条件下，公差应尽量规定得大些，以获得最佳的技术经济效益。

互换性按其互换程度，可分为完全互换和不完全互换两种。前者要求零部件在装配时，不需要挑选和辅助加工；后者则允许零部件在加工完后，通过测量将零件按实际尺寸大小分



为若干组，使各组组内零件间实际尺寸的差别减小，装配时按对应组进行。这样，既可保证装配精度和使用要求，又能解决加工上的困难，降低成本。但此时，仅组内零件可以互换，组与组之间不可互换，故称为不完全互换。

一般来说，零部件需厂际协作时应采用完全互换性，部件或构件在同一厂制造和装配时，可采用不完全互换性。

对标准部件，互换性还可分为内互换和外互换。组成标准部件的零件的互换称内互换；标准部件与其他零部件的互换称外互换。例如滚动轴承的外圈内滚道、内圈外滚道与滚动体的互换称为内互换；外圈外径、内圈内径以及轴承宽度与其相配的机壳孔、轴颈和轴承端盖的互换称为外互换。

互换性在机械制造业中有什么作用呢？

在设计方面，零部件具有互换性，就可以最大限度地采用标准件、通用件和标准部件，大大简化了绘图和计算工作，缩短了设计周期，有利于计算机辅助设计和产品品种的多样化。

在制造方面，互换性有利于组织专业化生产，有利于采用先进工艺和高效率的专用设备，有利于用计算机辅助制造，有利于实现加工过程和装配过程机械化、自动化，从而可以提高劳动生产率和产品质量，降低生产成本。

在使用和维修方面，具有互换性的零部件在磨损及损坏后可及时更换，因而减少了机器的维修时间和费用，保证机器连续运转，从而提高机器的使用价值。

总之，互换性在提高产品质量和可靠性、提高经济效益等方面具有重要的意义。它已成为现代化机械制造业中一个普遍遵守的原则，对我国的现代化建设起着重要作用。但是，应当注意，互换性原则不是在任何情况下都适用，当只有采取单个配制才符合经济原则时，零件就不能互换。

## 第二节 标准化与优先数

### 一、标准化的意义

为了实现互换性，零部件的尺寸及其几何参数必须在其规定的公差范围内，这是就生产技术而言的。但从组织生产来说，如果同类产品的规格太多，或者规格相同而规定的公差大小各异，就会给实现互换性带来很大困难。因此，为了实现互换性生产，必须采用一种手段，使各个分散的、局部的生产部门和生产环节之间保持必要的技术统一，以形成一个统一的整体，标准与标准化正是建立这种关系的重要手段，是实现互换性生产的基础。

所谓标准，就是指为了取得国民经济的最佳效果，对需要协调统一的具有重复特征的物品（如产品、零部件等）和概念（如术语、规则、方法、代号、量值等），在总结科学试验和生产实践的基础上，由有关方面协调制订，经主管部门批准后，在一定范围内作为活动的共同准则和依据。

所谓标准化，就是指标准的制订、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，进而制订和贯彻标准，以后还要修订标准等等。标准化是以标准的形式体现的，也是一个不断循环、不断提高的过程。

按照标准化对象的特性，标准可分为基础标准、产品标准、方法标准、安全标准、卫生

标准等。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,如《公差与配合》标准、《形状和位置》公差标准等。

建立了标准,并且正确贯彻实施其标准,就可以保证产品质量,缩短生产周期,便于开发新产品和协作配套,提高企业管理水平。所以标准化是组织现代化生产的重要手段之一,是实现专业化协作生产的必要前提,是科学管理的重要组成部分。现代化程度越高,对标准化的要求也越高。

标准化早在人类开始创造工具时代就已出现,它是社会生产劳动的产物。在近代工业兴起和发展的过程中,标准化日益显得重要起来。在19世纪,标准化的应用就非常广泛,特别在国防、造船、铁路运输行业中的应用更为突出。20世纪初期,一些资本主义国家相继成立全国性的标准化组织机构,推进了本国的标准化事业。以后,随着生产的发展,国际间的交流越来越频繁,出现了地区性和国际性的标准化组织。1926年成立了国际标准化组织(ISO)。现在,这个世界上最大的标准化组织正成为联合国甲级咨询机构。据统计,ISO制订了约8000多个国际标准。

英国人认为,美国经济高速发展,超过英国并在世界领先,是由于美国经济有三个“S”作支柱,这三个“S”即简化(Simplification)、专业化(Specialization)与标准化(Standardization)。西德、日本经济的迅速发展,并且在某些方面赶上或超过美国的重要原因之一,是因为这两个国家的标准化工作搞得好。1990年,英国有国家标准3800个,而在1970年,美国就已有国家标准10590个,德国则有国家标准20000个左右,这些数字在一定程度上反映了这些国家的标准化状况和水平。

我国的标准化工作在解放后也被重视起来,从1958年发布第一批120个国家标准起,至今已制订了1万多个国家标准。现在正以国际标准为基础制定出许多新的国家标准,向ISO靠拢。我国在1978年恢复为ISO成员国,1982年、1985年两届当选为ISO理事国,已开始承担ISO技术委员会秘书处工作和国际标准起草工作。

总之,标准化是发展贸易、提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。搞好标准化,对于高速度发展国民经济、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生产、改善人民生活等都有重要作用。

## 二、优先数和优先数系

工程上各种技术参数的简化、协调和统一是标准化的一项重要内容。

在产品设计和技术标准制订时,涉及到很多技术参数,这些技术参数在生产各环节中往往不是孤立的。当选定一个数值作为某种产品的参数指标后,这个数值就会按一定的规律向一切相关的制品、材料等的有关参数指标传播扩散。例如,动力机械的功率和转速数值确定后,不仅会传播到有关机器的相应参数上,而且必然会传播到其本身的轴、轴承、键、齿轮、联轴节等一整套零部件的尺寸和材料特性参数上,传播到加工和检验这些零部件的刀具、量具、夹具及专用机床等的相应参数上;螺栓的直径确定后,不仅会传播到螺母的内径上,也会传播到加工这些螺纹的刀具上,传播到检测这些螺纹的量具及装配它们的工具上。这种技术参数的传播,在生产实际中是极为普遍的现象,既发生在相同量值之间,也发生在不同量值之间,有时跨越行业和部门的界限。而工程技术上的参数数值,即使只有很小的差别,经过多次传播以后,也会造成尺寸规格的繁多杂乱。如果随意取值,势必给组织生产、

协作配套和设备维修带来很大困难。因此，在生产中，为了满足用户各种各样的需求，同一种产品的同一参数就要从大到小取不同的值，从而形成不同规格的产品系列，这个系列确定得是否合理，与所取的数值如何分级直接相关。优先数和优先数系是一种科学的数值制度，也是国际上统一的数值分级制度，它不仅适用于标准的制订，也适用于标准制订前的规划、设计，从而把产品品种的发展一开始就引向科学的标准化的轨道，因此，优先数系是国际上统一的一个重要的基础标准。

工程技术上通常采用的优先数系，是一种十进制几何级数。即级数的各项数值中，包括  $1$ 、 $10$ 、 $100$ 、 $\dots$ 、 $10^N$  和  $0.1$ 、 $0.01$ 、 $\dots$ 、 $1/10^N$  这些数，其中的指数  $N$  是正整数。按  $1 \sim 10$ 、 $10 \sim 100$ 、 $\dots$  和  $1 \sim 0.1$ 、 $0.1 \sim 0.01$ 、 $\dots$  划分区间，称为十进段。级数的公比  $q = \sqrt[r]{10}$ ，这里  $r$  为每个十进段内的项数。我国标准 GB/T 321 - 1980《优先数和优先数系》与国际标准 ISO3、ISO17、ISO497 采用的优先数系相同，规定的  $r$  值有 5、10、20、40、80 五种，分别采用国际代号 R5、R10、R20、R40、R80 表示。五种优先数系的公比如下：

$$\text{R5 系列} \quad q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.5849 \approx 1.60$$

$$\text{R10 系列} \quad q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.2598 \approx 1.25$$

$$\text{R20 系列} \quad q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.1220 \approx 1.12$$

$$\text{R40 系列} \quad q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.0593 \approx 1.06$$

$$\text{R80 系列} \quad q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.0292 \approx 1.03$$

R5、R10、R20 和 R40 是常用系列，称为基本系列。而 R80 则作为补充系列。R5 系列的项值包含在 R10 系列中，R10 的项值包含在 R20 之中，R20 的项值包含在 R40 之中，R40 的项值包含在 R80 之中。优先数系的基本系列见表 1-1。

表 1-1 优先数系的基本系列

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			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	10.00	10.00	10.00	10.00
	2.00	2.00	2.00			4.50	4.50				
			2.12				4.75				

优先数的主要优点是：相邻两项的相对差均匀，疏密适中，而且运算方便，简单易记。在同一系列中，优先数（理论值）的积、商、整数（正或负）的乘方等仍为优先数。因此，优先数得到了广泛的应用。

另外，为了使优先数系有更大的适应性来满足生产，可从基本系列中每隔几项选取一个优先数，组成新的系列，即派生系列。例如经常使用的派生系列 R10/3，就是从基本系列

R10 中每逢三项取出一个优先数组成的,当首项为 1 时, R10/3 系列为: 1.00、2.00、4.00、8.00、16.00, …其公比  $q = (\sqrt[10]{10})^3 \approx 1.2598^3 \approx 2$ 。

优先数系的应用很广,适用于各种尺寸、参数的系列化和质量指标的分级,对保证各种工业产品品种、规格的合理简化分档和协调具有重大的意义。选用基本系列时,应遵循先疏后密的原则,即应当按照 R5、R10、R20、R40 的顺序,优先采用公比较大的基本系列,以免规格太多。当基本系列不能满足分级要求时,可选用派生系列。选用时应优先采用公比较大和延伸项含有项值 1 的派生系列。

### 第三节 本课程的研究对象及任务

本课程是机械类各专业及相关专业的一门重要技术基础课,在教学计划中起着联系基础课及其他技术基础课与专业课的桥梁作用,同时也是联系机械设计类课程与机械制造工艺类课程的纽带。

本课程是从“精度”与“误差”两方面去分析研究机械零件及机构的几何参数的。设计任何一台机器,除了进行运动分析、结构设计、强度和刚度计算之外,还要进行精度设计。这是因为机器的精度直接影响到机器的工作性能、振动、噪声和寿命等,而且,科技越发达,对机械精度的要求越高,对互换性的要求也越高,机械加工就越困难,这就必须处理好机器的使用要求与制造工艺之间的矛盾。因此,随着机械工业的发展,本课程的重要性越来越显得突出。

学生在学完本课程后应达到下列要求:

- 1) 掌握互换性和标准化的基本概念。
- 2) 了解本课程所介绍的各个公差标准和基本内容,掌握其特点和应用原则。
- 3) 初步学会根据机器和零件的功能要求,选用合适的公差与配合,并能正确地标注到图样上。
- 4) 掌握一般几何参数测量的基础知识。
- 5) 了解各种典型零件的测量方法,学会使用常用的计量器具。

各类公差在国家标准的贯彻上都有严格的原则性和法规性,而应用上却具有较大的灵活性,涉及的问题很多,测量技术又具有较强的实践性。因此,学生通过本课程的学习,只能获得机械工程师所必须具有的互换性与技术测量方面的基本知识、基本技术和基本训练,而要牢固掌握和熟练运用本课程的知识,则有待于后续有关课程的学习及毕业后的实际工作锻炼。

### 思考题

1. 什么叫互换性? 互换性的分类有哪些?
2. 互换性的优越性有哪些? 实现互换性的条件是什么?
3. 试述标准化与互换性及测量技术的关系。
4. 优先数系形成的规律是什么?
5. 写出下列派生系列: R10/2, R10/5, R5/3, R20/3。
6. 第一个数为 10, 按 R5 系列确定后五项优先数。



## 第二章

# 光滑圆柱体结合的公差与配合

圆柱体结合是由孔与轴构成的、在机械制造中应用最广泛的一种结合。这种结合由结合直径与结合长度两个参数确定。从使用要求看，直径通常更重要，而且长径比可规定在一定范围内，因此，对圆柱体结合可简化为按直径这一主参数考虑。

圆柱体结合的公差与配合是机械工程方面重要的基础标准，它不仅用于圆柱体内、外表面的结合，也用于其他结合中由单一尺寸确定的部分，例如键结合中键与槽宽、花键结合中的外径、内径及键与槽宽等。

“公差”主要反映机器零件使用要求与制造要求的矛盾；而“配合”则反映组成机器的零件之间的关系。公差与配合的标准化有利于机器的设计、制造、使用和维修。公差与配合标准不仅是机械工业各部门进行产品设计、工艺设计和制订其他标准的基础，而且是广泛组织协作和专业化生产的重要依据。公差与配合标准几乎涉及国民经济的各个部门，因此，国际上公认它是特别重要的基础标准之一。

为适应科学技术飞速发展，为了适应国际贸易、技术和经济交流以及采用国际标准的需要，经国家技术监督局批准，颁布了公差与配合标准（GB/T 1800.1—1997）、（GB/T 1800.2 ~ 1800.3—1998）、（GB/T 1800.4—1999）、（GB/T 1801—1999）、（GB/T 1804—2000），代替了旧标准中相应的部分内容。这些新标准是依据国际标准（ISO）制订的，以尽可能地使我国的国家标准与国际标准一致或等同。本章主要阐述公差与配合国家标准的构成规律和特征。在讲叙标准的内容上，凡是有代替旧标准的新标准，均以新标准为主。

### 第一节 公差与配合的基本术语及定义

#### 一、孔和轴

##### （一）孔

孔是指工件的圆柱形内表面，也包括其他内表面中由单一尺寸确定的部分。孔的直径尺寸用  $D$  表示。

## (二) 轴

轴是指工件的圆柱形外表面，也包括其他外表面中由单一尺寸确定的部分。轴的直径尺寸用  $d$  表示。

从装配关系看，孔是包容面，轴是被包容面；从广义的方面看，孔和轴既可以是圆柱形的，也可以是非圆柱形的。图 2-1 中由标注尺寸  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $\dots$ 、 $D_6$  所确定的部分皆为孔，而由  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $\dots$ 、 $d_4$  所确定的部分皆为轴。

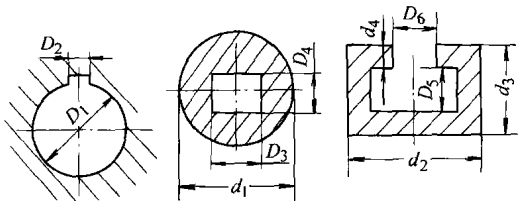


图 2-1 孔与轴的示意图

孔和轴的定义明确了《公差与配合》国家标准的应用范围。例如，键联接的配合表面为由单一尺寸形成的内、外表面，即键宽表面为轴，孔槽和轴槽宽表面皆为孔。这样，键联接的公差与配合可直接应用《公差与配合》国家标准。

## 二、尺寸

### (一) 尺寸

用特定单位表示长度值的数值。如直径、长度、宽度、高度、深度等都是尺寸。

### (二) 基本尺寸

由设计给定的尺寸称为基本尺寸，一般要符合标准尺寸系列，以减少定值刀具、量具、夹具的种类。

### (三) 实际尺寸

通过测量所得的尺寸称为实际尺寸。由于存在测量误差，实际尺寸并非被测尺寸的真值。如孔的尺寸  $\phi 25.985\text{mm}$ ，测量误差在  $\pm 0.001\text{mm}$  以内，实测尺寸的真值将在  $\phi 25.984\text{mm} \sim \phi 25.986\text{mm}$  之间。真值是客观存在的，但不确定，即实际尺寸的随机性。因此，只能以测得尺寸作为实际尺寸。但由于形状误差等影响，零件同一表面不同部位的实际尺寸往往是不相等的。

### (四) 作用尺寸

(1) 孔的作用尺寸 即在配合面全长上，与实际孔内接的最大理想轴的尺寸。

(2) 轴的作用尺寸 即在配合面全长上，与实际轴外接的最小理想孔的尺寸。

任何孔、轴都有不同程度的形状误差。如图 2-2 所示，弯曲孔的作用尺寸小于该孔的实际尺寸，弯曲轴的作用尺寸大于该轴的实际尺寸。若工件没有形状误差，则其作用尺寸等于实际尺寸。

为了保证配合要求，应对实际尺寸与作用尺寸的变动范围加以限制。

### (五) 极限尺寸

允许尺寸变化的两个界限值称为极限尺寸。两个界限值中较大的一个称为最大极限尺寸，较小的一个称为最小极限尺寸。孔和轴的最大、最小极限尺寸分别为  $D_{\max}$ 、 $d_{\max}$  和  $D_{\min}$ 、 $d_{\min}$ ，如图 2-3 所示。

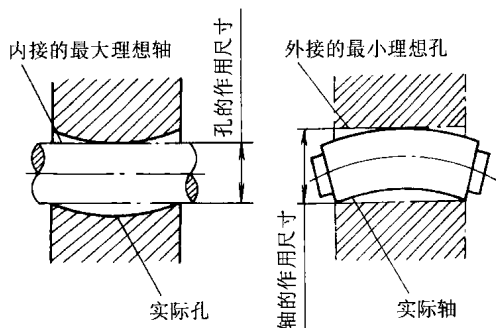


图 2-2 孔或轴的作用尺寸

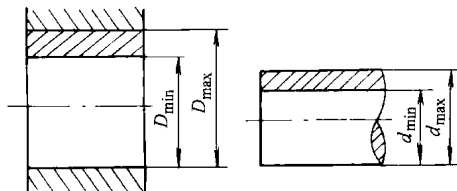


图 2-3 极限尺寸

### 三、偏差与公差

#### (一) 尺寸偏差

某一尺寸减去基本尺寸所得的代数差即为尺寸偏差(简称偏差)。

(1) 上偏差 最大极限尺寸减去基本尺寸所得的代数差称上偏差。孔的上偏差用  $ES$  表示, 轴的上偏差用  $es$  表示。

(2) 下偏差 最小极限尺寸减去基本尺寸所得的代数差称下偏差。孔的下偏差用  $EI$  表示, 轴的下偏差用  $ei$  表示。

孔和轴的上偏差、下偏差用公式表示为

$$\begin{aligned} ES &= D_{\max} - D & es &= d_{\max} - d \\ EI &= D_{\min} - D & ei &= d_{\min} - d \end{aligned}$$

#### (二) 尺寸公差

允许尺寸的变动量称为尺寸公差(简称公差)。公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差的绝对值;也等于上偏差与下偏差之代数差的绝对值。孔和轴的公差分别用  $T_h$  和  $T_s$  表示。公差、极限尺寸及偏差的关系如下

$$\begin{aligned} T_h &= |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \\ T_s &= |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \end{aligned}$$

公差与偏差的比较:

- 1) 偏差可以为正值、负值或零, 而公差则一定是正值。
- 2) 极限偏差用于限制实际偏差, 而公差用于限制误差。
- 3) 对于单个零件, 只能测出尺寸“实际偏差”, 而对数量足够多的一批零件, 才能确定尺寸误差。
- 4) 偏差取决于加工机床的调整(如车削时进刀的位置), 不反映加工难易, 而公差表示制造精度, 反映加工难易程度。
- 5) 极限偏差主要反映公差带位置, 影响配合松紧程度, 而公差反映公差带大小, 影响配合精度。

**例 2-1** 已知孔  $\phi 40^{+0.025}_0$  mm, 轴  $\phi 40_{-0.025}^{-0.009}$  mm, 求孔与轴的极限偏差与公差。

**解:** 孔的上偏差  $ES = D_{\max} - D = (40.025 - 40) \text{ mm} = +0.025 \text{ mm}$

孔的下偏差  $EI = D_{\min} - D = (40 - 40)\text{mm} = 0$

轴的上偏差  $es = d_{\max} - d = (39.991 - 40)\text{mm} = -0.009\text{mm}$

轴的下偏差  $ei = d_{\min} - d = (39.975 - 40)\text{mm} = -0.025\text{mm}$

孔公差  $T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |40.025 - 40|\text{mm} = 0.025\text{mm}$

轴公差  $T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |39.991 - 39.975|\text{mm} = 0.016\text{mm}$

### (三) 零线与公差带

(1) 公差带图 由于公差及偏差的数值与尺寸数值相比, 差别甚大, 不使用同一比例表示, 故采用公差与配合图解, 简称公差带图, 如图 2-4 所示。

(2) 零线 在公差带图中, 表示基本尺寸的一条直线, 以其为基准确定偏差和公差。正偏差位于零线的上方, 负偏差位于零线的下方。

(3) 尺寸公差带 在公差带图中, 由代表上、下偏差的两条直线所限定的一个区域, 称尺寸公差带, 如图 2-4 所示。公差带有二个基本参数, 即公差带大小与公差带位置。公差带大小由标准公差确定, 公差带位置由基本偏差确定。

(4) 基本偏差 标准中表列的, 用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差称为基本偏差, 一般为靠近零线或位于零线的那个极限偏差 (图 2-5)。

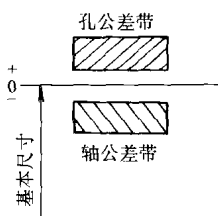


图 2-4 公差带图

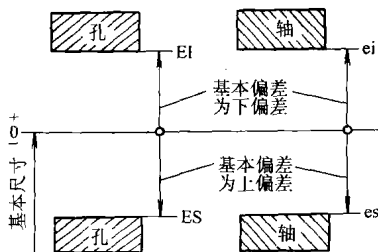


图 2-5 基本偏差示意图

(5) 标准公差 标准中表列的, 用以确定公差带大小的任一公差称为标准公差。

## 四、加工误差与公差的关系

工件在加工中, 由于工艺系统误差的影响, 使加工后零件的几何参数与理想值不相符合, 其差别称为加工误差。其中包括: 尺寸误差、几何形状误差和位置误差。

### (一) 尺寸误差

工件加工后的实际尺寸和理想尺寸之差称为尺寸误差。

### (二) 几何形状误差

它包括宏观几何形状误差、表面微观形状特性及表面波度误差。

(1) 宏观几何形状误差 即通常所指的形状误差, 一般由机床、刀具、工件所组成的工艺系统的误差所造成的。

(2) 表面微观特性 通常称为表面粗糙度。它是指加工后, 刀具在工件表面留下波峰和波长都很小的波形。

(3) 表面波度误差 介于宏观几何形状误差与微观几何形状误差之间的几何形状误差, 称为表面波度误差。一般由加工过程中振动引起的, 具有明显的周期性。



### (三) 位置误差

工件加工后, 各要素之间的实际相互位置与理想位置的差值。

加工误差是不可避免的, 但零件在使用中也不是绝对不允许有误差。其误差值在一定范围内变化是允许的。因此, 加工后的零件的误差只要不超过零件的公差, 零件是合格的。所以, 公差是限制加工误差的。

## 五、配合与配合制

### (一) 配合

基本尺寸相同的, 相互结合的孔和轴公差带之间的关系, 如图 2-6 所示。

### (二) 间隙与过盈

孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差。差值为正时, 称为间隙, 用  $X$  表示; 差值为负时, 称为过盈, 用  $Y$  表示。

### (三) 配合种类

#### 1. 间隙配合

具有间隙 (包括最小间隙等于零) 的配合称为间隙配合。此时, 孔的公差带在轴的公差带之上 (图 2-7)。

孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差称为最大间隙, 用  $X_{\max}$  表示。即

$$X_{\max} = D_{\max} - D_{\min} = ES - ei$$

孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差称为最小间隙, 用  $X_{\min}$  表示。即

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$$

配合公差 (或间隙公差) 是允许间隙的变动量, 等于最大间隙与最小间隙之代数差的绝对值, 也等于相互配合的孔公差与轴公差之和。配合公差用  $T_f$  表示。即

$$T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = T_h + T_s$$

**例 2-2** 孔  $\phi 50^{+0.039}_0$  mm, 轴  $\phi 50^{-0.025}_{-0.050}$  mm, 求  $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$  及  $T_f$ 。

**解:**  $X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = (50.039 - 49.950) \text{ mm} = 0.089 \text{ mm}$

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = (50 - 49.975) \text{ mm} = 0.025 \text{ mm}$$

$$T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = |0.089 - 0.025| \text{ mm} = 0.064 \text{ mm}$$

#### 2. 过盈配合

具有过盈 (包括最小过盈等于零) 的配合称为过盈配合。此时, 孔的公差带在轴的公差带之下 (图 2-8)。

孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差称为最大过盈, 用  $Y_{\max}$  表示。即

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$$

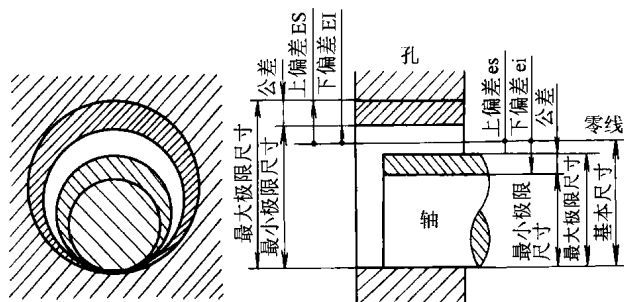


图 2-6 公差与配合的示意图

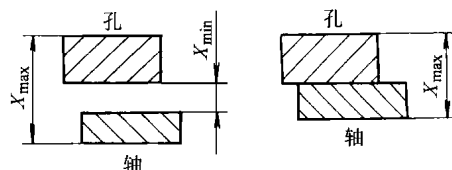


图 2-7 间隙配合

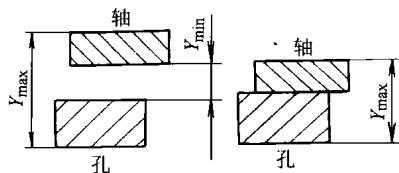


图 2-8 过盈配合