



“十三五”国家重点出版物出版规划项目  
现代机械工程系系列精品教材  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
山西省精品课程  
荣获省教学成果一等奖



# fundamentals of Interchangeability and Measurement

## 互换性与测量技术基础

第⑤版

王伯平 主编



配套教师授课课件下载

[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”国家重点出版物出版规划项目  
现代机械工程系列精品教材  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
山西省精品课程  
荣获省教学成果一等奖

# 互换性与测量技术基础

第5版

主 编 王伯平  
副主编 李 萍  
参 编 武美先 宋冬芳 朱艳春 张延军  
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,几何公差及检测,表面粗糙度,光滑工件尺寸的检测,滚动轴承与孔、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,圆柱齿轮传动的互换性,共12章,并包含习题、实验指导书及机械精度设计三维动画演示综合案例。

本书概括了“互换性与测量技术基础”课程的主要内容,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。本书可作为高等院校机械专业教材,也可供其他行业的工程技术人员及计量、检验人员参考。

本书配有网络学习平台(bkks.cmpedu.com),可供学生预习、复习本课程使用,也可供教师备课、组卷使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术基础/王伯平主编. —5版. —北京:机械工业出版社,2018.10

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 “十三五”国家重点出版物出版规划项目 现代机械工程系列精品教材

ISBN 978-7-111-61759-4

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004712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:余 皞 责任编辑:余 皞 安桂芳 商红云

责任校对:王明欣 封面设计:张 静

责任印制:张 博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2019年3月第5版第1次印刷

184mm×260mm·17.75印张·435千字

标准书号:ISBN 978-7-111-61759-4

定价:49.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

# 前 言

本书是“十三五”国家重点出版物出版规划项目——现代机械工程系精品教材中的一本，也是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

“互换性与测量技术基础”是普通高等院校机械专业、仪器仪表专业和机电类专业必修的主干技术基础课程，是与机械工业发展紧密联系的基础学科。本书自第1版出版以来，受到同行的普遍认同，被国内百余所高校所选用，先后重印数十次，产生了良好的社会效益。本书曾获山西省教学成果一等奖。

为推进我国机械装备制造业的发展，助力我国成为世界制造强国，满足“双一流”和“新工科”课程建设的需要及开展高校教学质量工程建设，按照全国高等学校教学指导委员会的要求及教学大纲，作者根据近年来的学科发展变化情况及众多高校教师的反馈意见，进行了本书第5版的修订。

在教材的修订过程中，进行了全方位立体化课程建设，包括对《互换性与测量技术基础》第4版的修订，配套并更新了相应的CAI课件，以及习题详细参考解答，创新开发了机械精度设计三维动画演示综合案例。本次修订的特点是：①加强基础，突出应用，力求反映国内外最新成果；②内容新颖全面，资料丰富，阐述简明扼要，结构层次分明，使用面广；③既可作为高等工科大学相关专业教材，又可作为工矿企业有关技术人员的参考资料；④既可用于重型机械设备的大尺寸，又可用于精密仪器的小尺寸；⑤既适用于机械类各专业，也适用于精密仪器类各专业；⑥采用现行国家标准。

本书第5版相对前一版在内容方面进行了精选、改写、调整和补充，删除了部分在实践中应用较少的内容，增加了机械精度设计三维动画演示综合案例，实际演示软件可在机工教育网（[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)）以教师身份注册后下载。并更新了一些国家标准，使本书全部采用了至出版时所颁布的最新国家标准。同时，对第4版部分内容进行了增加和充实，保留设计制作、出版的《互换性与测量技术基础课程课件（光盘版）》《互换性与测量技术基础课程教学重点动画演示集（光盘版）》《互换性与测量技术基础学习指导及习题集与解答》。并配套有在线学习考试网站（[bkks.cmpedu.com](http://bkks.cmpedu.com)），学生可凭书后刮刮卡登录网站使用。持续、充分的课程多教材资源建设，全面的备课自学支持使得本书更方便教学，也更利于自学。

本书由王伯平任主编，李萍任副主编，参加编写和修订的人员有：王伯平（第二、四、五、六、八、十、十一、十二章，实验指导书，附录，习题及前言）、李萍（第七章）、武

IV 美先（第一章）、宋冬芳（第九章）、朱艳春（第三章第一、三节）、张延军（第三章第二节）。本书由太原理工大学博士生导师袁长良教授担任主审，参加审稿的还有武文堂、赵春明。郝兴明、梁群龙、许音、袁文旭、李锦平、王晓慧、孟文俊、陶元芳、孙大刚等同志曾给予了热情的指导，在此一并致谢。

由于编著者水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

编者  
于山西太原

# 目 录

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 .....	4	
<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	
<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 .....	50	
第三节 测量误差及数据处理 .....	55	
<b>第四章 几何公差及检测</b> .....	68	
第一节 概述 .....	68	
第二节 几何公差的标注 .....	70	
第三节 几何公差及其公差带 .....	75	
第四节 公差原则 .....	88	
第五节 几何公差的选择及未注公差值的规定 .....	95	
第六节 几何误差的检测 .....	103	
<b>第五章 表面粗糙度</b> .....	110	
第一节 表面粗糙度的评定 .....	110	
第二节 表面粗糙度的选择及其标注 .....	114	
第三节 表面粗糙度的测量 .....	124	
<b>第六章 光滑工件尺寸的检测</b> .....	126	
第一节 用通用计量器具测量 .....	127	
第二节 光滑极限量规 .....	130	
<b>第七章 滚动轴承与孔、轴结合的互换性</b> .....	137	
第一节 概述 .....	137	
第二节 滚动轴承公差等级及其应用 .....	138	
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 .....	141	
<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 .....	161	
<b>第九章 圆锥结合的互换性</b> .....	164	
第一节 概述 .....	164	
第二节 圆锥配合的主要参数 .....	165	
第三节 圆锥公差与配合 .....	166	
<b>第十章 螺纹结合的互换性</b> .....	176	
第一节 概述 .....	176	
第二节 螺纹几何参数误差对螺纹互换性的影响 .....	177	
第三节 普通螺纹的公差与配合 .....	181	
第四节 梯形螺纹简述 .....	186	
第五节 普通螺纹的检测 .....	187	
<b>第十一章 键和花键的互换性</b> .....	190	
第一节 概述 .....	190	
第二节 单键联接的公差与配合 .....	191	
第三节 矩形花键联接的公差与配合 .....	194	
第四节 键和花键的检测 .....	197	
<b>第十二章 圆柱齿轮传动的互换性</b> .....	199	
第一节 概述 .....	199	
第二节 齿轮加工误差的来源及其特点 .....	200	



第三节 圆柱齿轮精度的评定指标及检测 .....	202	实验四 锥度测量 .....	252
第四节 齿轮精度指标的公差及精度等级 .....	212	实验 4-1 用正弦规测量圆锥角偏差 .....	252
第五节 齿轮副精度的评定指标 .....	217	实验五 螺纹测量 .....	253
第六节 齿轮侧隙指标的确定和齿轮坯公差 .....	219	实验 5-1 影像法测量螺纹主要参数 .....	253
第七节 圆柱齿轮精度设计及应用 .....	223	实验 5-2 外螺纹中径的测量 .....	257
<b>习题</b> .....	227	实验六 齿轮测量 .....	259
<b>实验指导书</b> .....	239	实验 6-1 齿轮径向跳动的测量 .....	259
实验一 尺寸测量 .....	239	实验 6-2 齿轮径向综合误差的测量 .....	260
实验 1-1 用立式光学计测量塞规 .....	239	实验 6-3 齿轮单个齿距误差与齿距累积误差的测量 .....	261
实验 1-2 用内径百分表或卧式测长仪测量内径 .....	241	实验 6-4 齿轮齿厚误差的测量 .....	265
实验二 几何误差测量 .....	244	实验 6-5 齿轮公法线平均长度偏差及公法线长度变动的测量 .....	267
实验 2-1 直线度误差的测量 .....	245	实验七 * 用三坐标测量机测量轮廓度误差 .....	269
实验 2-2 平行度与垂直度误差的测量 .....	247	<b>附录</b> .....	271
实验三 表面粗糙度测量 .....	249	附录 A 新旧标准对照表 .....	271
实验 3-1 用干涉显微镜测量表面粗糙度 .....	249	附录 B 机械精度设计三维动画演示综合案例 .....	273
		<b>参考文献</b> .....	276

# 第 一 章

## Chapter

### 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，可以更换新的；自行车、缝纫机、钟表的零部件磨损了，换上一个相同规格的新的零部件，即能满足使用要求。可见，**互换性的含义是指：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的性能。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的特性称为互换性。**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）间的互换和机械性能（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。但在生产实践中，由于各种因素的影响，这是不可能实现的，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，就能满足互换的要求。

允许零件几何参数的变动量称为“公差”。

设计时要规定公差。由于加工时会产生误差，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，又能解决加工方面的困难，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, 部件或构件在同一厂制造和装配时, 可采用不完全互换。

对于标准部件, 互换还可分为内互换和外互换。组成标准部件的零件的互换称为内互换; 标准部件与其他零部件的互换称为外互换。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的作用如下:

1) 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。

2) 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, 有利于采用计算机辅助制造, 有利于实现加工过程和装配过程的机械化、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。

3) 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, 保证了机器连续运转, 从而提高了机器的使用价值。

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。但应当注意, 互换性原则不是在任何情况下都适用的, 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, 由有关方面协调制定, 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, 以后还要修订标准等。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已成为联合国甲级咨询机构。据统计，ISO 制定了约 8000 多个国际标准。

我国的标准化工作在新中国成立后也被重视起来，从 1958 年发布第一批 120 个国家标准起，至今已制定了 2 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竞争能力的技术保证。较好地实现标准化，对于高速发展国民经济、提高产品和工程建设质量、提高劳动生产率、实现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定时，涉及很多技术参数，这些技术参数在各生产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、联轴器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；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定，也适用于标准制定前的规划、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  $q = \sqrt[10]{10}$ ，这里  $r$  为每个十进段内的项数。GB/T 321—2005《优先数和优先数系》与 ISO 3、ISO 17、ISO 497 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：

$$\begin{aligned} \text{R5 系列} \quad q_5 &= \sqrt[5]{10} \approx 1.5849 \approx 1.60 \\ \text{R10 系列} \quad q_{10} &= \sqrt[10]{10} \approx 1.2589 \approx 1.25 \\ \text{R20 系列} \quad q_{20} &= \sqrt[20]{10} \approx 1.1220 \approx 1.12 \\ \text{R40 系列} \quad q_{40} &= \sqrt[40]{10} \approx 1.0593 \approx 1.06 \\ \text{R80 系列} \quad q_{80} &= \sqrt[80]{10} \approx 1.0292 \approx 1.03 \end{aligned}$$

R5、R10、R20 和 R40 是常用系列，称为基本系列；R80 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。

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，优先数得到了广泛应用。

表 1-1 优先数系的基本系列（常用值）（摘自 GB/T 321—2005）

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

另外，为了使优先数系具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  $q = (\sqrt[10]{10})^3 \approx 1.2589^3 \approx 2$ 。

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专业基础课，在教学计划中起着联系基础课及其他专业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突显出来。

学生在学习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，而在应用中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. 什么是互换性？互换性分哪几类？
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： $R_{10/2}$ ， $R_{10/5}$ ， $R_{5/3}$ ， $R_{20/3}$ 。
6. 第一个数为10，按R5系列确定后五项优先数。

# 第 二 章

## Chapter

# 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为广泛的一种结合。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进行考虑。

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，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、工艺设计和制定其他标准的基础，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，满足国际贸易、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—2009、GB/T 1800.2—2009、GB/T 1801—2009、GB/T 1804—2000），代替了旧标准中的相应内容。这些新标准是依据国际标准（ISO）制定的，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。

## 第一节 公差与配合的基本术语及定义

### 一、几何要素

#### 1. 几何要素

构成零件几何特征的点、线、面统称为几何要素（简称要素）。

## 2. 组成要素

构成几何体的面或面上的线，即几何体和轮廓要素称为组成要素。

## 3. 导出要素

由一个或几个组成要素得到的中心点、中心线或中心面，即几何体的中心要素称为导出要素。例如，圆柱的中心线是由圆柱面得到的导出要素，该圆柱面为组成要素。

## 4. 尺寸要素

由一定大小的线性尺寸或角度尺寸确定的几何形状称为尺寸要素。尺寸要素可以是圆柱形、球形、两平行对应面、圆锥形或楔形。

## 5. 公称组成要素

由技术制图或其他方法确定的理论正确的组成要素称为公称组成要素。

## 6. 公称导出要素

由一个或几个公称组成要素导出的中心点、中心线或中心面称为公称导出要素。

## 7. 工件实际表面

实际存在并将整个工件与周围介质分隔的一组要素称为工件实际表面。

## 8. 实际（组成）要素

由接近实际（组成）要素所限定的工件实际表面的组成要素部分称为实际（组成）要素。

## 9. 提取组成要素

按规定方法，由实际（组成）要素提取有限数目的点所形成的实际（组成）要素的近似替代称为提取组成要素。

## 10. 提取导出要素

由一个或几个提取组成要素得到的中心点、中心线或中心面称为提取导出要素。

## 11. 拟合组成要素

按规定方法，由提取组成要素形成的并具有理想形状的组成要素称为拟合组成要素。

## 12. 拟合导出要素

由一个或几个拟合组成要素得到的中心点、中心线或中心面称为拟合导出要素。

几何要素定义间相互关系的结构框图如图 2-1 所示，其图解如图 2-2 所示。

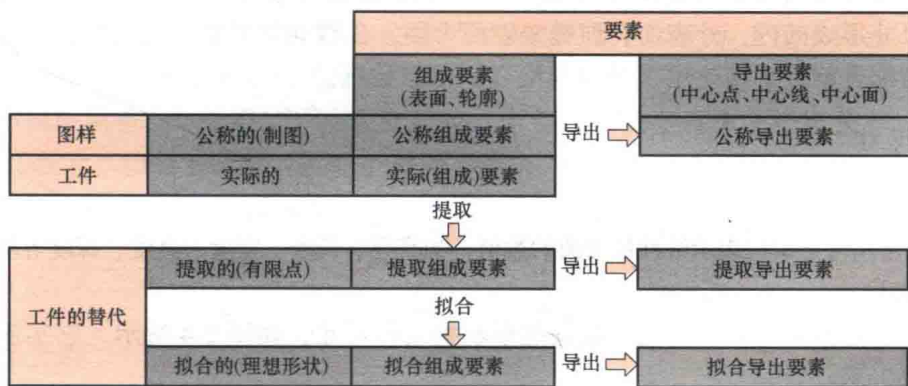


图 2-1 几何要素定义间相互关系的结构框图

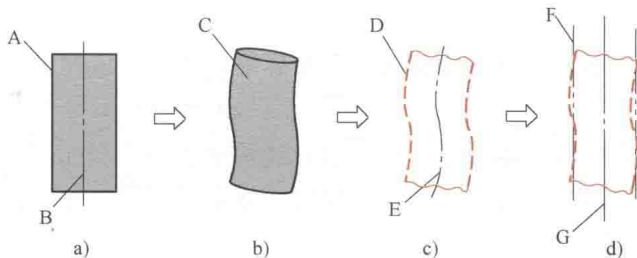


图 2-2 几何要素定义间相互关系的图解

a) 制图 b) 工件 c) 提取要素 d) 拟合要素

A—公称组成要素 B—公称导出要素 C—实际(组成)要素 D—提取组成要素

E—提取导出要素 F—拟合组成要素 G—拟合导出要素

## 二、孔和轴

### 1. 孔

孔通常是指工件的圆柱形内尺寸要素,也包括非圆柱形的内尺寸要素(由两平行平面或切面形成的包容面)。孔的直径尺寸用  $D$  表示。

### 2. 轴

轴通常是指工件的圆柱形外尺寸要素,也包括非圆柱形的外尺寸要素(由两平行平面或切面形成的被包容面)。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 2-3 中由标注尺寸  $D_1、D_2、\dots、D_6$  所确定的部分均为孔,而由  $d_1、d_2、\dots、d_4$  所确定的部分均为轴。

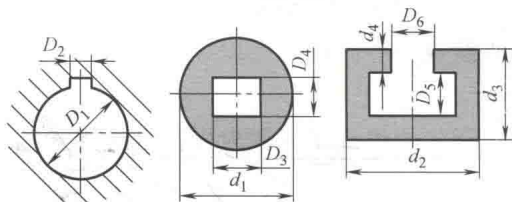


图 2-3 孔与轴的示意图



孔的作用尺寸



轴的作用尺寸

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,孔槽和轴槽宽表面均为孔。这样,键联接的公差与配合就可直接应用《公差与配合》国家标准。

## 三、尺寸

### 1. 尺寸

尺寸是指用特定单位表示线性尺寸值的数值,如直径、长度、宽度、高度、深度等均为尺寸。

### 2. 公称尺寸

公称尺寸是指由图样规范确定的理想形状要素的尺寸,如图 2-4 所示。它实质是由设计给定的尺寸。

### 3. 提取组成要素的局部尺寸

它是一切提取组成要素上两对应点之间距离的统称,简称为提取要素的局部尺寸。它是

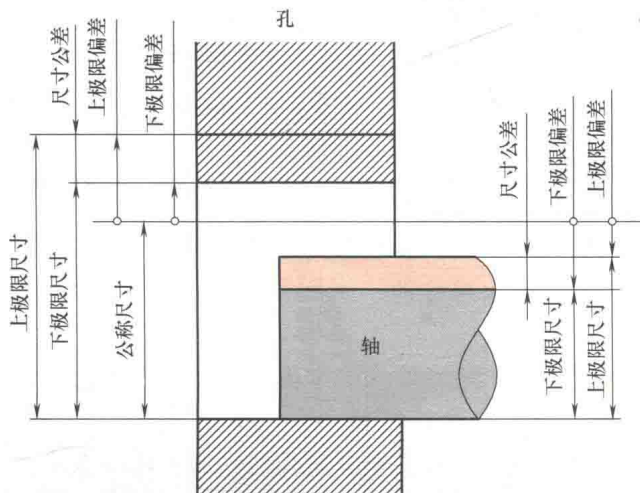


图 2-4 公称尺寸、极限尺寸和极限偏差、尺寸公差示意图

通过测量得到的，由于存在测量误差，提取组成要素的局部尺寸并非尺寸真值；又由于形状误差等的影响，零件同一表面不同部位的提取组成要素的局部尺寸往往是不相等的。孔和轴的提取组成要素的局部尺寸分别用  $D_a$  和  $d_a$  表示。

#### 4. 极限尺寸

极限尺寸是指尺寸要素允许的尺寸的两个极端值，如图 2-4 所示。

(1) 上极限尺寸 尺寸要素允许的最大尺寸，孔和轴的上极限尺寸分别用  $D_{\max}$  和  $d_{\max}$  表示。

(2) 下极限尺寸 尺寸要素允许的最小尺寸，孔和轴的下极限尺寸分别用  $D_{\min}$  和  $d_{\min}$  表示。

### 四、偏差与公差

#### 1. 尺寸偏差

某一尺寸减去公称尺寸所得的代数差即为尺寸偏差（简称偏差）。

#### 2. 极限偏差

极限尺寸减去公称尺寸所得的代数差即为极限偏差。

(1) 上极限偏差 上极限尺寸减去公称尺寸所得的代数差称为上极限偏差。孔的上极限偏差用  $ES$  表示，轴的上极限偏差用  $es$  表示。

(2) 下极限偏差 下极限尺寸减去公称尺寸所得的代数差称为下极限偏差。孔的下极限偏差用  $EI$  表示，轴的下极限偏差用  $ei$  表示。

孔和轴的极限偏差用公式表示为

$$ES = D_{\max} - D \quad es = d_{\max} - d$$

$$EI = D_{\min} - D \quad ei = d_{\min} - d$$

#### 3. 尺寸公差

允许尺寸的变动量称为尺寸公差（简称公差）。公差等于上极限尺寸与下极限尺寸之代数差的绝对值，也等于上极限偏差与下极限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、极限尺寸及极限偏差的关系如下

$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI|$$

$$T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei|$$

公差与极限偏差的比较：

- 1) 极限偏差可以为正值、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，只能测出尺寸的“实际偏差”；而对于数量足够多的一批零件，才能确定尺寸公差。
- 4) 极限偏差取决于加工机床的调整（如车削时进刀的位置），不反映加工的难易程度；而公差表示制造精度，反映加工的难易程度。
- 5) 极限偏差主要反映公差带位置，影响配合的松紧程度；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  $\phi 40^{-0.009}_{-0.025}$  mm，求孔与轴的极限偏差与公差。

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

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

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

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

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

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

#### 4. 公差带与公差带图

(1) 公差带图 直观表示出公称尺寸、极限偏差、公差以及孔与轴配合关系的图解，简称公差带图，如图 2-5 所示。图中公称尺寸的单位为 mm，偏差和公差单位为  $\mu\text{m}$ 。

(2) 零线 在公差带图中，表示公称尺寸的一条直线称为零线，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) 公差带 在公差带图中，由代表上、下极限偏差或上、下极限尺寸的两条直线所限定的一个区域，称为公差带，如图 2-5 所示。公差带有两个基本参数，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) 极限制 经标准化的公差与偏差制度称为极限制。

(5) 基本偏差 国家标准中规定的，用于标准化公差位置的上极限偏差或下极限偏差，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 2-6）。

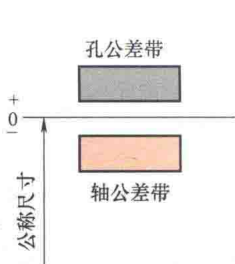


图 2-5 公差带图

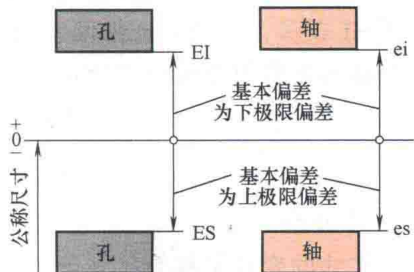


图 2-6 基本偏差示意图