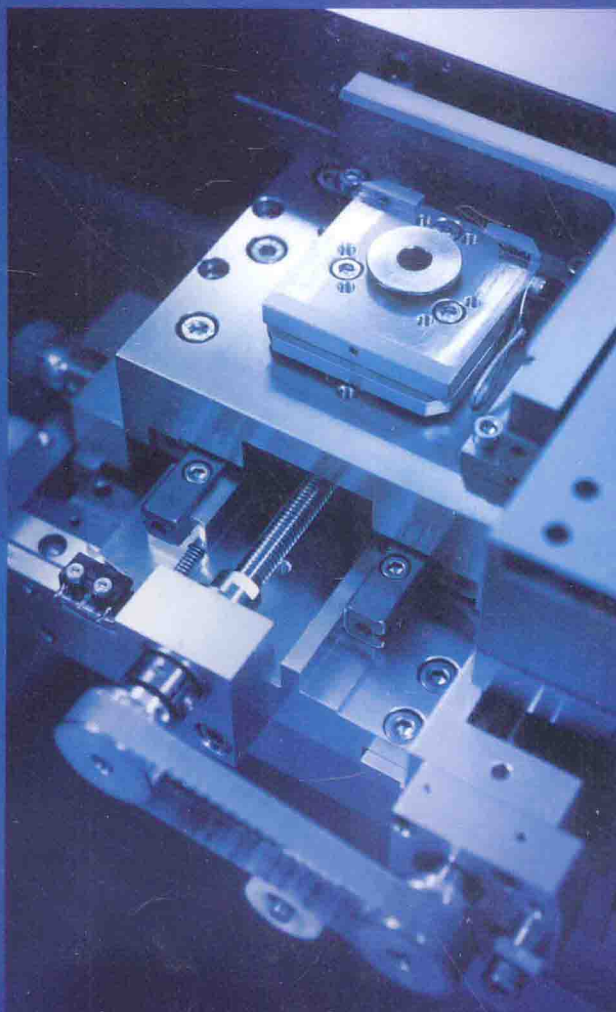


普通高等教育测控技术与仪器专业规划教材

# 互换性与测量技术基础 案例教程

CASE STUDY OF INTERCHANGEABILITY AND  
MEASUREMENT TECHNOLOGY

主编 © 马惠萍



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育测控技术与仪器专业规划教材

# 互换性与测量技术 基础案例教程

主编 马惠萍  
参编 刘永猛 张也晗  
郭玉波 周海  
张晓光  
主审 刘品



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，内容包括：互换性与标准化的基本概念；尺寸精度、几何精度、表面粗糙度的精度设计；典型零部件（滚动轴承结合、键与花键结合、螺纹结合和渐开线圆柱齿轮）的精度设计；尺寸链的计算；检测技术基础和检测实验指导等。为了便于理解，书中各章均附有机械精度设计实例分析和习题训练。

本书全部采用最新国家标准，可供高等工科院校机械类各专业（包括机械制造、机械设计和机械电子方向）以及仪器仪表类专业教学使用，也可供从事机械设计、制造、标准化和计量测试等工作的工程技术人员参考。

## 图书在版编目（CIP）数据

互换性与测量技术基础案例教程/马惠萍主编. —北京：机械工业出版社，2014. 8

普通高等教育测控技术与仪器专业规划教材  
ISBN 978 - 7 - 111-47466 - 1

I. ①互… II. ①马… 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（2014）第 168567 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：王小东 责任编辑：王小东 安桂芳 卢若薇  
版式设计：霍永明 责任校对：佟瑞鑫  
封面设计：张 静 责任印制：李 洋  
北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市胜利装订厂装订）  
2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷  
184mm × 260mm · 15.5 印张 · 374 千字  
标准书号：ISBN 978 - 7 - 111-47466 - 1  
定价：32.00 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

社服务中心：(010)88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010)68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

互换性与测量技术基础（或机械精度设计基础）课程是高等工科院校本科、专科机械类和近机类各专业应用性很强的技术基础课，涉及机械产品及其零件的设计、制造、检验、维修和质量控制等多方面技术问题。本书是根据全国高校“互换性与测量技术基础”教学大纲要求，结合各院校课程体系改革和学生专业培养多元化的需求编写的。在参考已出版的同类教材的基础上，融入了编者多年来教学实践中积累的经验。本书具有以下特点：

- 1) 紧密结合教学大纲，重点突出，适合教学。
- 2) 全部采用最新国家标准和检测技术。
- 3) 理论联系实际，各章附有精度设计实例分析，结合工程应用实例，突出实用性和综合性，注重对学生基本技能的训练和综合能力的培养。
- 4) 适用面广，多学时（40 学时左右）与少学时（24 学时左右）均可使用，各章内容独立，使用者可以根据需要进行选取。
- 5) 本书收录适量公差表格，为学生机械课程设计和毕业设计提供必要的参考资料。
- 6) 本书附有检测实验指导内容，可作为学生实验教材；各校可根据具体实验设备条件和不同专业的教学要求，选做本书中部分实验。

本书由哈尔滨工业大学马惠萍任主编，刘品任主审。编写人员有马惠萍（第 1、第 3、第 5、第 8 章）、刘永猛（第 2、第 4 章）、张也晗（第 6、第 7 章）、郭玉波（第 9 章）、周海（第 10 章 10.1 节和 10.2 节）。张晓光（第 10 章 10.3 节和 10.4 节、附录）。

本书配有电子课件，欢迎选用本书做教材的老师登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 索取。希望广大读者在使用中提出改进意见。

编 者

# 目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 互换性	1
1.3 标准化与优先数系	3
习题	5
第2章 尺寸精度设计	6
2.1 尺寸精度设计的基本术语和定义	6
2.2 尺寸的极限与配合国家标准	13
2.3 尺寸精度设计的基本原则和方法	33
2.4 一般公差(线性尺寸的未注公差)	40
2.5 尺寸精度设计实例分析	41
习题	48
第3章 几何精度设计	51
3.1 概述	51
3.2 几何公差的标注方法及其公差带	54
3.3 尺寸公差与几何公差的公差原则	68
3.4 几何公差的设计	74
3.5 几何精度设计实例分析	80
习题	82
第4章 表面粗糙度精度设计	84
4.1 概述	84
4.2 表面粗糙度的评定	85
4.3 表面粗糙度的设计	89
4.4 表面粗糙度的标注	93
4.5 表面粗糙度设计实例分析	99
习题	100
第5章 滚动轴承结合的精度设计	102
5.1 概述	102
5.2 滚动轴承的公差等级及其应用	102
5.3 滚动轴承和相配件的公差带	103
5.4 滚动轴承结合的精度设计	105
5.5 滚动轴承精度设计实例分析	110
习题	111
第6章 键与花键结合的精度设计	112
6.1 普通平键结合的精度设计	112
6.2 矩形花键结合的精度设计	116
习题	121
第7章 螺纹结合的精度设计	122
7.1 普通螺纹的几何参数	122
7.2 影响螺纹结合精度的因素	125
7.3 普通螺纹的公差及其选用	128
7.4 螺纹精度设计实例分析	134
习题	134
第8章 渐开线圆柱齿轮的精度设计	135
8.1 概述	135
8.2 渐开线圆柱齿轮精度的评定参数	135
8.3 渐开线圆柱齿轮精度设计	143
8.4 圆柱齿轮精度设计实例分析	150
习题	153
第9章 尺寸链的计算	154
9.1 基本概念	154
9.2 用极值法计算尺寸链	158
9.3 用概率法计算尺寸链	167
习题	173
第10章 检测技术基础	176
10.1 概述	176
10.2 长度基准和量值的传递	176
10.3 计量器具与检测方法	179
10.4 测量误差及数据处理	182
习题	187
附录 检测实验指导	189
实验1 轴、孔测量	189
实验1.1 用立式光学计测量轴径	189
实验1.2 用内径指示表测量孔径	193
实验2 形状误差测量	196
实验2.1 用自准直仪测量平台的直线度误差	196
实验2.2 用分度头测量圆度误差	198
实验2.3 用指示表测量平面度误差	201
实验3 方向、位置和跳动误差测量	203

实验 3.1 箱体的方向、位置和跳动 误差检测 .....	203	实验 5.2 外螺纹单一中径测量 .....	221
实验 3.2 用框式水平仪测量导轨 平行度误差 .....	207	实验 6 圆柱齿轮测量 .....	221
实验 3.3 用摆差测定仪测量 跳动误差 .....	209	实验 6.1 齿轮齿距偏差测量 .....	221
实验 4 表面粗糙度轮廓的测量 .....	211	实验 6.2 齿轮公法线长度变动量和公法线 长度偏差测量 .....	224
实验 4.1 用双管显微镜测量 表面粗糙度 .....	211	实验 6.3 齿轮径向跳动测量 .....	226
实验 4.2 用 TR200 表面粗糙度仪测量 表面粗糙度 .....	214	实验 6.4 齿轮径向综合总偏差测量 .....	228
实验 5 圆柱螺纹测量 .....	217	实验 6.5 用齿轮测量中心测量 齿轮参数 .....	229
实验 5.1 在大型工具显微镜上测量 螺纹量规 .....	217	实验 7 坐标测量技术实验 .....	233
		实验 7.1 三坐标箱体类零件 测量实验 .....	233
		实验 7.2 影像测量仪测量螺纹实验 .....	236
		<b>参考文献</b> .....	240

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 概述

机械设计过程通常可以分为四个阶段：系统设计、参数设计、精度设计和工艺设计。

系统设计是确定机械的基本工作原理和总体布局，以保证总体方案的合理性、可实现性与先进性。机械系统设计主要是运动学设计，如传动系统、位移、速度、加速度等，又称为运动设计。

参数设计是根据产品的使用功能要求及系统设计的初步方案，确定产品各组成零部件的结构和尺寸，即零部件上各组成要素的公称值。

精度设计是根据机械的功能要求，正确地对机械零件的尺寸精度、几何精度和表面粗糙度轮廓精度要求进行设计，并将它们正确地标注在零件图和总装图上。因为任何加工方法都不可能没有误差，而零件几何要素的误差都会影响其功能要求，允许误差的大小与生产的经济性和产品的使用寿命密切相关。因此精度设计是机械设计不可分割的重要组成部分。

工艺设计是根据前三个阶段设计所完成的零件图、装配图上所给出的各种技术要求，并结合本企业的实际生产条件等，确定合理的加工工艺、装配工艺，设计有关的工艺装备等。

《互换性与测量技术基础》（或《机械精度设计基础》）课程是培养学生如何进行机械精度设计的一门技术基础课，本课程的内容是机械类和仪器、仪表及近机械类专业的学生进行生产实践和后续课程（如机械设计）所必须用到的技术基础知识，其目的是培养学生具有机械零部件几何精度设计的能力和掌握精度检测的基本知识，为学生进行机械设计奠定基础。

### 1.2 互换性

互换性的概念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，可以按照相同的规格装上一个；照明灯的灯泡坏了，只要买一个与灯头规格一致的灯泡装上，就可以使用了；钟表、自行车等某个零部件坏了，换上一个相同规格的新的零部件，就可以正常使用。之所以这样方便，是因为这些合格的零部件具有在尺寸、功能上能够彼此互相替换的性能，即具有互换性。

#### 1.2.1 互换性的定义

互换性是指在同一规格的一批零件或部件中任取一件，不需经过任何选择、修配或调整就能装在机器或仪器上，并满足原定使用功能要求的特性。若零部件具有互换性，则应同时

满足两个条件：① 不需任何选择、修配或调整便能进行装配或维修更换；② 装配或更换后能满足原定的使用性能要求。

### 1.2.2 互换性的分类

1) 根据互换程度或范围的不同，互换性可分为完全互换性和不完全互换性两类。

完全互换性（绝对互换）以零部件装配或更换时不需要挑选或修配为条件。例如，对一批孔和轴装配后的间隙要求控制在某一范围内，据此规定了孔和轴的尺寸允许变动范围。孔和轴加工后只要符合设计的规定，则它们就具有完全互换性。

不完全互换性（有限互换）是指在零部件装配时允许有附加的选择、调整 and 修配。不完全互换性可以用分组装配法、调整法或其他方法来实现。

分组装配法指当装配精度要求较高时，采用完全互换将使零件制造困难，成本很高，甚至无法加工。这时可将零件的制造公差适当放大后进行加工，而在零件完成加工后，经测量并按照实际尺寸的大小分为若干组，使每组零件间实际尺寸的差别减小，再按相应组进行装配（即大孔与大轴相配，小孔与小轴相配）。这样既可以保证装配精度要求，又能使加工难度减小，从而降低制造成本。采用分组装配时，对应组内的零件可以互换，而非对应组间则不能互换，因此零件的互换范围是有限的。

调整法是一种保证装配精度的措施。调整法的特点是在机器装配或使用过程中，对某一特定零件按所需的尺寸进行调整，以达到装配精度要求。如在减速器中调整轴承盖与箱体间的垫片厚度，以补偿温度变化对轴的影响。

一般来说，对于厂际协作，应采用完全互换性。对于厂内生产的零部件间的装配，可以采用不完全互换性。

2) 按照使用要求可以分为几何参数互换和功能互换。

几何参数互换是通过规定几何参数的公差保证成品的几何公差充分近似的互换，又称狭义互换。

功能互换是通过规定功能参数（如材料力学性能、化学、光学、电学、流体力学等参数）的公差所达到的互换，又称广义互换。因为要保证零件使用功能的要求，不仅取决于几何参数的一致性，还取决于它们物理性能、化学性能、力学性能等参数的一致性。本课程主要研究几何参数的互换性。

3) 按照应用场合不同，互换性可分为外互换和内互换。

外互换是指部件或机构与其相配件间的互换性，如滚动轴承内圈内径与轴颈的配合，外圈外径与外壳孔的配合。内互换是指在厂家内部生产的部件或机构内部组成零件间的互换，如滚动轴承内、外圈滚道与滚动体之间的装配。一般内互换采用不完全互换，且局限在厂家内部进行；而外互换采用完全互换，适用于生产厂家之外广泛的范围。

### 1.2.3 互换性的作用

在设计方面，零部件具有互换性，可以最大限度地采用标准零部件和通用件（如螺钉、销钉、键、滚动轴承等），大大简化绘图和计算等工作，缩短设计周期。还可以采用计算机进行辅助设计，促进产品品种多样化。如手表生产采用具有互换性的统一机芯，缩短了新手表的设计周期。



在制造方面,由于具有互换性的零部件按照标准规定的公差加工,有利于组织专业化生产,采用先进工艺和高效率的专用设备,或采用计算机辅助制造,实现加工过程和装配过程机械化、自动化,从而可以提高生产率和产品质量,降低生产成本。如汽车制造厂生产汽车,只负责生产若干重要的零部件,汽车上的其他零部件分别由几百家工厂生产,采用专业化协作生产。

在装配方面,由于具有互换性的零件不需要辅助加工和修配,故可以减轻装配工作量,缩短装配周期,并可采用流水线或自动线装配。如汽车装配线上,由各工厂协作生产的零部件采用统一的技术要求,故在汽车装配时不会出现不满足产品技术性能要求的情况。

在使用和维修方面,零部件具有互换性,可以及时更换那些已经磨损或损坏了的零部件,因此可以减少机器的维修时间和费用,保证了机器工作的连续性和持久性,延长了机器的使用寿命。

### 1.3 标准化与优先数系

在现代工业社会化的生产中,要实现互换性生产,必须制定各种标准,以利于各部门的协调和各生产环节的衔接。

#### 1.3.1 标准化

根据 GB/T 20000.1—2002 的规定,标准化的定义为:在一定范围内获得最佳秩序,对现实问题或潜在问题制定共同使用和重复使用的条款的活动。上述活动主要包括编制、发布和实施标准的过程。由标准化的定义可以看到:标准化不是一个孤立的概念,而是一个活动过程。这个过程包括循环往复地制定、贯彻、修订标准。在标准化的全部活动中,贯彻标准是核心环节,制定和修订标准是标准化的最基本的任务。标准的制定离不开环境的限定,通过一段时间的执行,要根据实际使用情况,对现行标准加以修订或更新。所以在执行各项标准时应以最新颁布的标准为准则。

标准是指在一定范围内使用的统一规定,是“为了在一定范围内获得最佳秩序,经协商一致制定,并由公认机构批准,共同使用和重复使用的一种规范性文件。”标准是互换性生产的基础,是人们活动的依据。

机械行业主要采用的标准有国际标准、国家标准、地方标准、行业标准和企业标准等。国际标准用符号 ISO 表示,ISO 是国际标准化组织的英文缩写。国家标准用符号 GB 表示,GB 是国家标准的汉语拼音字头。国家标准有强制执行的标准(记为 GB)、推荐执行的标准(记为 GB/T)和指导性的标准(记为 GB/Z)。

#### 1.3.2 优先数系和优先数

在机械产品的设计和标准的制定过程中,要涉及很多技术参数。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影响并限定有关的产品尺寸,例如,设计减速器箱体上的螺钉,当螺钉公称直径确定后,则箱体上螺孔数值随之确定,与之相配的加工用钻头、铰刀和丝锥尺寸,检验用的螺纹塞规尺寸等都随之确定。这种情况称为数值的传播。工程技术上的参数值,经过反复传播以后,即使只有很小的差别,也会造成尺寸规格

的繁多杂乱,给生产组织、协作配套、使用维修及贸易等带来很大的困难。因此技术参数的传播不能随意选择,应在一个理想的、统一的数系中选择,用统一的数系来协调各部门的生产。机械行业所用的统一数系就是优先数系。

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,并规定了五个系列。它们分别用系列符号R5、R10、R20、R40和R80表示,称为R<sub>r</sub>系列,公式比 $q_r = \sqrt[r]{10}$ 。同一系列中,每增r个数,数值增至10倍。各系列的公比为

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

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

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

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

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

其中R5、R10、R20、R40称为基本系列,R80称为补充系列,仅在参数分级很细或基本系列中的优先数不能适应实际情况时,才考虑采用。表1-1列出了1~10范围内基本系列(R5、R10、R20、R40系列)的优先数系。

表 1-1 基本系列优先数系 (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			

基本系列和补充系列具有以下几个规律。

(1) 延伸性 移动小数点位置,优先数系可向两个方向无限延伸(将表1-1中1~10内的优先数乘以10的正整数次幂或负整数次幂即可)。

(2) 包容性 指R5、R10、R20、R40数列中的项值分别包容在R10、R20、R40、R80数列中。

(3) 插入性 指R10、R20、R40、R80数列分别由R5、R10、R20、R40数列中相邻两项之间插入一项形成的。

(4) 相对差比值不变性 指同一优先数列中,相邻两项的后项减前项与前项的比值不变,这样有利于产品的分级和分档。

国家标准还允许从基本系列和补充系列中隔项取值构成派生系列。例如,在R10系列中每隔3项取值构成R10/3系列(公比为 $\sqrt[10]{10^3} \approx 2.00$ ),即1.00、2.00、4.00、8.00、...,它是常用的倍数系列。

选用基本系列时,应遵循先疏后密的原则,即应按照R5、R10、R20、R40的顺序选取,以免规格过多。当基本系列不能满足分级要求时,可选用补充系列或派生系列。

优先数系中每个数值称为优先数。按照公式计算得到的优先数的理论值(除10的整数

幕外)都是无理数,在工程技术上不能直接应用。而实际应用的数值都是经过化整后的近似值,根据取值的精确程度,优先数值有三种取法。

(1) 计算值 取5位有效数值,常用于精确计算。

(2) 常用值 取3位有效数值,为通常所用值,如表1-1中数值为常用值,即通常所称的优先数。

(3) 化整值 取2位有效数值,并遵循国家标准(GB/T 19764—2005)《优先数和优先数化整值系列的选用指南》的规定。

## 习 题

- 1-1 什么是互换性?互换性的分类及应用场合?
- 1-2 什么是优先数系?国家标准中优先数系有几种系列?
- 1-3 什么是标准化?标准应如何分类?它和互换性有何关系?
- 1-4 优先数系形成的规律是什么?

# 第2章

## 尺寸精度设计

在工程设计中，如何保证精密位移台或升降台沿导轨运动的直线度？如何实现齿轮孔和轴径装配的配合要求？如何保证轮缘和轮毂的固定连接，并能够传递较大的转矩和轴向力？其设计的关键在于合理地设计孔和轴的尺寸精度，实现合理的配合关系。

尺寸精度设计是机械精度设计的第一步。为实现机械产品零部件的互换性，需要合理设计其尺寸精度，并将配合公差和尺寸公差正确地标注在装配图和零件图上。按照零件图上尺寸精度要求加工后的零件，需要测量出其实际尺寸，计算出尺寸误差，要求尺寸误差在规定的尺寸公差范围之内，保证零件的尺寸精度的合格性，实现零件加工和装配的互换性。

### 2.1 尺寸精度设计的基本术语和定义

为了合理设计机械产品中零部件的尺寸精度，首先应该熟练掌握国家标准 GB/T 1800.1—2009《产品几何技术规范（GPS） 极限与配合 第1部分：公差、偏差和配合的基础》规定的基本术语和定义。

#### 2.1.1 有关孔、轴的定义

##### 1. 孔

孔通常是指工件的圆柱形内尺寸要素，也包括非圆柱形内尺寸要素，即由两个平行平面或者切面形成的包容面。

##### 2. 轴

轴通常是指工件的圆柱形外尺寸要素，也包括非圆柱形外尺寸要素，即由两个平行平面或者切面形成的被包容面。

国家标准 GB/T 1800.1—2009 规定的孔和轴的定义要比通常的概念更宽泛。孔和轴并不仅仅局限指圆柱形的内表面和外表面，扩展至非圆柱形的内、外表面。例如，图 2-1a 中的键槽的宽度  $D$  和图 2-1b 中的孔  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  都属于孔；图 2-1a 中的轴径  $\phi d_1$ 、键槽底部尺寸  $d_2$  和图 2-1b 中的  $d$  都属于轴。其中圆柱形的孔和轴的尺寸标注时需要加  $\phi$ 。

对于孔和轴的定义，可以这样理解：从加工过程的角度看，孔的尺寸随着加工余量的切除，而由小变大；轴的尺寸随着加工余量的切除，而由大变小。从装配关系的角度看，孔是包容面，如轴承内圈的内径、轴上键槽的键宽、导轨轴套的直径等；轴是被包容面，如轴承外圈的外径、平键的宽度、圆柱导轨轴的直径等。

#### 2.1.2 有关尺寸、偏差和公差的术语和定义

##### 1. 尺寸

尺寸是指以特定单位表示线性尺寸的数值。如半径、直径、长度、宽度、高度、深度和

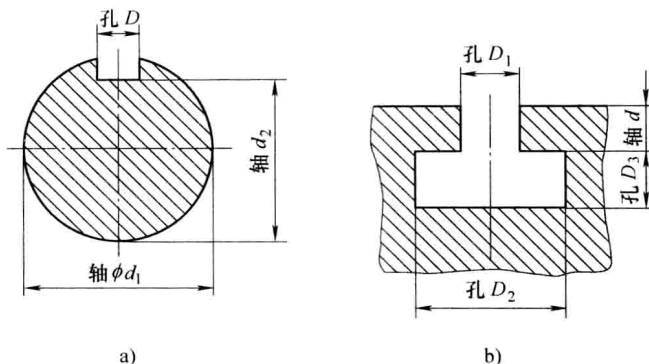


图 2-1 孔和轴的定义

厚度及中心距等。尺寸必须带有单位，工程上规定，图样上的尺寸数值的特定单位为 mm。在绘制工程图样时，由于单位均为 mm，因此省略不标注。

## 2. 公称尺寸

公称尺寸是设计给定的尺寸，由图样规范确定的理想形状要素的尺寸。公称尺寸可以是一个整数或一个小数，由设计人员根据使用要求，通过强度、刚度计算或者按照空间尺寸、结构位置通过试验和类比方法确定后，并从相关国家标准表格中查取的标准值，在极限配合中，它也是计算偏差的起始尺寸。孔和轴的公称尺寸代号分别为  $D$  和  $d$ 。图样上标注的  $\phi 50^{+0.016}$ 、 $50$ 、 $50^{+0.009}$  中的  $50$  都是公称尺寸。在以前的国家标准版本中，公称尺寸曾被称为“基本尺寸”、“名义尺寸”。

## 3. 提取组成要素的局部尺寸

提取组成要素的局部尺寸是一切提取组成要素上两对应点之间距离的统称，分别用  $D_a$  和  $d_a$  表示孔、轴的提取组成要素的局部尺寸。

注：为方便起见，可将提取组成要素的局部尺寸简称为提取要素的局部尺寸。

(1) 提取圆柱面的局部尺寸 要素上两对应点之间的距离。其中，两对应点之间的连线通过拟合圆圆心，横截面垂直于由提取表面得到的拟合圆柱面的轴线。

(2) 两平行提取表面的局部尺寸 两平行对应提取表面上两对应点之间的距离。其中，所有对应点的连线均垂直于拟合中心平面，拟合中心平面是由两平行提取表面得到的两拟合平行平面的中心平面（两拟合平行平面之间的距离可能与公称距离不同）。

## 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，即上极限尺寸和下极限尺寸。提取组成要素的局部尺寸应位于极限尺寸之间，也可以达到极限尺寸。极限尺寸以公称尺寸为基数来确定。

(1) 上极限尺寸 上极限尺寸是尺寸要素允许的最大尺寸，是指两个极限尺寸中较大的一个。在以前的国家标准版本中，上极限尺寸曾被称为“最大极限尺寸”。孔和轴的上极限尺寸代号分别为  $D_{\max}$  和  $d_{\max}$ 。

(2) 下极限尺寸 下极限尺寸是尺寸要素允许的最小尺寸，是指两个极限尺寸中较小的一个。在以前的国家标准版本中，下极限尺寸曾被称为“最小极限尺寸”。孔和轴的下极

限尺寸代号分别为  $D_{\min}$  和  $d_{\min}$ 。

### 5. 尺寸偏差

尺寸偏差简称偏差，是指某一尺寸（极限尺寸、提取组成要素的局部尺寸）减去其公称尺寸所得的代数差。偏差包括极限偏差（上、下极限偏差）和实际偏差。偏差的数值可正、可负、也可为零，但是同一个公称尺寸的两个极限偏差不能同时等于零。在计算和标注时，偏差除零以外必须带有正号或者负号。

(1) 极限偏差 极限偏差是指极限尺寸减去其公称尺寸得到的代数差。包括上极限偏差和下极限偏差，其中上极限偏差是指上极限尺寸减去公称尺寸得到的代数差；下极限偏差是指下极限尺寸减去公称尺寸得到的代数差。国家标准规定：孔的上、下极限偏差代号用大写字母 ES、EI 表示；轴的上、下极限偏差代号用小写字母 es、ei 表示。

由极限偏差的定义，有

$$ES = D_{\max} - D \quad (2-1)$$

$$EI = D_{\min} - D \quad (2-2)$$

$$es = d_{\max} - d \quad (2-3)$$

$$ei = d_{\min} - d \quad (2-4)$$

在以前的国家标准版本中，上极限偏差和下极限偏差曾分别被称为“上偏差”和“下偏差”。

(2) 基本偏差 基本偏差是指确定公差带相对零线位置的那个极限偏差。可以是上极限偏差或下极限偏差，一般为靠近零线的那个偏差。

### 6. 尺寸公差

尺寸公差（简称公差）等于上极限尺寸减下极限尺寸之差，也等于上极限偏差减下极限偏差之差。表示允许尺寸的变动量。

尺寸公差是一个没有符号的绝对值。公差和极限尺寸的关系可以表示为

$$T_D = |D_{\max} - D_{\min}| \quad (2-5)$$

$$T_d = |d_{\max} - d_{\min}| \quad (2-6)$$

将式 (2-1) ~ 式 (2-4) 代入上述的式 (2-5) 和式 (2-6)，可以得到公差和极限偏差的表达式为

$$T_D = |ES - EI| \quad (2-7)$$

$$T_d = |es - ei| \quad (2-8)$$

可见，公差是用于控制尺寸的变动量，它是绝对值，不能为零。

### 7. 尺寸公差带图

为了形象地表达孔和轴的公差和偏差，习惯用尺寸公差带图的形式描述孔和轴尺寸之间的关系。由于公差和偏差的数值与公称尺寸数值相比差别很大，不方便用同一比例表示，故采用孔、轴的公差及其配合图解（尺寸公差带图）表示。如图 2-2 所示，尺寸公差带图由零线和孔、轴的公差带两部分组成。

(1) 零线 零线是在尺寸公差带图中表示公称尺寸的一条直线，以其为基准确定偏差和公差。通常，零线沿水平方向绘制，零线上方为正偏差区，零线下方为负偏差区，即正偏差位于其上，负偏差位于其下。画公差带图时，应标注零线、公称尺寸数值和符号“+、0、-”。

(2) 公差带 公差带是在尺寸公差带图中，由代表上极限偏差和下极限偏差或者上极

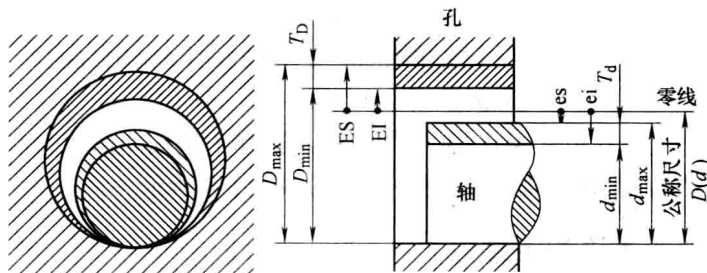


图 2-2 孔、轴配合的尺寸公差带

限尺寸和下极限尺寸的两条直线限定的一个区域。它是由公差大小和其相对零线的位置来确定的。公差带在垂直零线方向的高度代表公差值，公差带沿零线方向的长度可以适当截取，其位置由基本偏差确定，基本偏差一般为靠近零线的那个极限偏差。

如图 2-3 所示，在同一个尺寸公差带图中，孔、轴的公差带的位置、大小应采用相同的比例，并注意采用不同方式区分孔、轴的公差带，可以用汉字区分，也可以用  $T_D$ 、 $T_d$ ，或者采用孔和轴的公差带来区分。

尺寸公差带图的绘制有两种方法：①公称尺寸和极限偏差均采用 mm 为单位，此时单位 mm 省略不写；②公称尺寸标注单位 mm，则上、下极限偏差以  $\mu\text{m}$  为单位，且  $\mu\text{m}$  省略不写。这两种尺寸公差带图的绘制方法可以参考例 2-1 中的图 2-4。

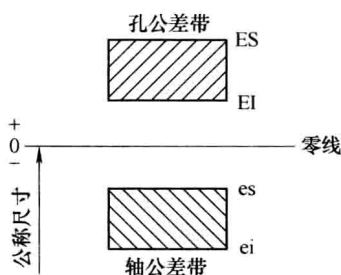


图 2-3 尺寸公差带图的画法

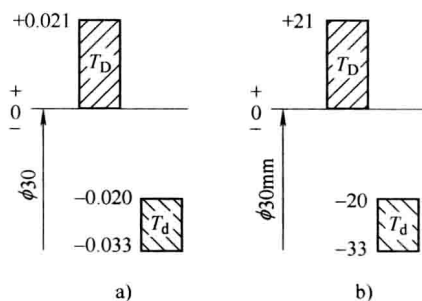


图 2-4 孔和轴的尺寸公差带图

**例 2-1** 已知孔和轴的公称尺寸为  $\phi 30\text{mm}$ ，孔的极限尺寸为  $D_{\max} = \phi 30.021\text{mm}$ ， $D_{\min} = \phi 30.000\text{mm}$ ，轴的极限尺寸为  $d_{\max} = \phi 29.980\text{mm}$ ， $d_{\min} = \phi 29.967\text{mm}$ ，试

- 1) 计算孔和轴的极限偏差和公差。
- 2) 给出孔和轴的极限偏差在图样上的标注形式。
- 3) 用两种方法绘制出孔和轴的尺寸公差带图。

**解** 1) 根据式 (2-1) ~ 式 (2-4) 和式 (2-5) ~ 式 (2-8)，可以得到

孔的上极限偏差： $ES = D_{\max} - D = 30.021\text{mm} - 30\text{mm} = +0.021\text{mm}$

孔的下极限偏差： $EI = D_{\min} - D = 30\text{mm} - 30\text{mm} = 0\text{mm}$

轴的上极限偏差： $es = d_{\max} - d = 29.980\text{mm} - 30\text{mm} = -0.020\text{mm}$

轴的下极限偏差： $ei = d_{\min} - d = 29.967\text{mm} - 30\text{mm} = -0.033\text{mm}$

孔的公差： $T_D = |D_{\max} - D_{\min}| = |30.021\text{mm} - 30\text{mm}| = 0.021\text{mm}$

或:  $T_D = |ES - EI| = |(+0.021)\text{mm} - 0\text{mm}| = 0.021\text{mm}$

轴的公差:  $T_d = |d_{\max} - d_{\min}| = |29.980\text{mm} - 29.967\text{mm}| = 0.013\text{mm}$

或  $T_d = |es - ei| = |(+0.020)\text{mm} - (-0.033)\text{mm}| = 0.013\text{mm}$

2) 孔在图样上的标注形式为:  $\phi 30^{+0.021}_0$ , 轴在图样上的标注形式为:  $\phi 30^{-0.033}_0$ 。

3) 用两种方法绘制的孔和轴的尺寸公差带图如图 2-4 所示。

### 2.1.3 有关配合的术语和定义

#### 1. 配合

配合是指公称尺寸相同的并且相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

根据配合的定义可以看出, 形成配合需要有两个基本条件, 第一个是孔和轴的公称尺寸必须相同, 即  $D = d$ ; 第二个是具有包容和被包容的关系, 即孔和轴的结合。同时配合是指一批孔和轴的装配关系, 而不是指单个孔和单个轴的相配合, 所以用公差带的相互关系来描述配合比较确切。

#### 2. 间隙

孔的尺寸减去与之相配合的轴的尺寸之差为正时, 称为间隙。用代号  $X$  表示间隙, 如图 2-5 所示。

#### 3. 过盈

孔的尺寸减去与之相配合的轴的尺寸之差为负时, 称为过盈。用代号  $Y$  表示过盈, 如图 2-6 所示。

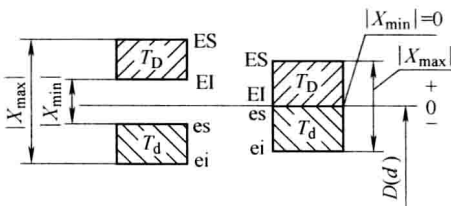


图 2-5 间隙配合的尺寸公差带图

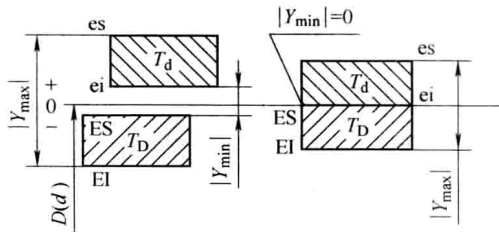


图 2-6 过盈配合的尺寸公差带图

#### 4. 配合类别

根据孔和轴公差带的相对位置关系, 可将配合分为三类, 即间隙配合、过盈配合和过渡配合。

(1) 间隙配合 间隙配合是指具有间隙 (包括最小间隙等于零) 的配合。此时, 孔的公差带在轴的公差带之上 (包括相接), 如图 2-5 所示。

为了定量表示间隙配合中间隙的大小, 用最大间隙  $X_{\max}$ 、最小间隙  $X_{\min}$  和平均间隙  $X_{\text{av}}$  定量地描述间隙配合的配合性质。

1) 最大间隙。最大间隙是指在间隙配合或过渡配合中, 孔的上极限尺寸 (或上极限偏差) 与轴的下极限尺寸 (或下极限偏差) 之差。用符号  $X_{\max}$  表示。即

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-9)$$

2) 最小间隙。最小间隙是指在间隙配合或过渡配合中, 孔的下极限尺寸 (或下极限偏



差)与轴的上极限尺寸(或上极限偏差)之差。用符号  $X_{\min}$  表示。即

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-10)$$

3) 平均间隙。在实际生产中,有时用到平均间隙,即最大间隙和最小间隙的平均值,用符号  $X_{av}$  表示。即

$$X_{av} = \frac{1}{2} (X_{\max} + X_{\min}) \quad (2-11)$$

从间隙的定义可以看出,最大间隙、最小间隙和平均间隙的符号必须为正值。

(2) 过盈配合 过盈配合是指具有过盈(包括最小过盈等于零)的配合。此时,孔的公差带在轴的公差带之下(包括相接),如图2-6所示。

为了定量表示过盈配合中过盈的大小,用最小过盈  $Y_{\min}$ 、最大过盈  $Y_{\max}$  和平均过盈  $Y_{av}$  定量地描述过盈配合的配合性质。

1) 最小过盈。最小过盈是指在过盈配合或过渡配合中,孔的上极限尺寸(或上极限偏差)与轴的下极限尺寸(或下极限偏差)之差。用符号  $Y_{\min}$  表示。即

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-12)$$

2) 最大过盈。最大过盈是指在过盈配合或过渡配合中,孔的下极限尺寸(或下极限偏差)与轴的上极限尺寸(或上极限偏差)之差。用符号  $Y_{\max}$  表示。即

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-13)$$

3) 平均过盈。在实际生产中,有时用到平均过盈,即最大过盈和最小过盈的平均值,用符号  $Y_{av}$  表示。即

$$Y_{av} = \frac{1}{2} (Y_{\max} + Y_{\min}) \quad (2-14)$$

从过盈的定义可以看出,最小过盈、最大过盈和平均过盈的符号必须为负号。

(3) 过渡配合 过渡配合是指可能具有间隙或过盈的配合。此时,孔的公差带与轴的公差带相互交叠,如图2-7所示。

在过渡配合中,同时存在间隙和过盈,因此过渡配合的配合性质采用最大间隙  $X_{\max}$ 、最大过盈  $Y_{\max}$  和平均间隙  $X_{av}$  (或平均过盈  $Y_{av}$ ) 来定量地表示。最大间隙  $X_{\max}$  等于孔的上极限尺寸减去轴的下极限尺寸,计算公式同式(2-9)。最大

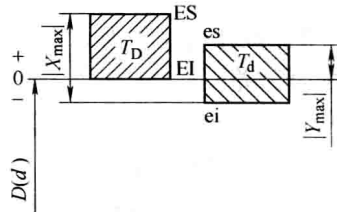


图 2-7 过渡配合的尺寸公差带图

过盈  $Y_{\max}$  等于孔的下极限尺寸减去轴的上极限尺寸,计算公式同式(2-13)。如果最大间隙  $X_{\max}$  的绝对值大于最大过盈  $Y_{\max}$  的绝对值,则用平均间隙  $X_{av}$  表示,反之,用平均过盈  $Y_{av}$  表示。过渡配合的平均间隙或平均过盈等于最大间隙和最大过盈的平均值,即

$$X_{av} (Y_{av}) = \frac{1}{2} (X_{\max} + Y_{\max}) \quad (2-15)$$

注意:极限间隙和极限过盈都是代数量,必须带有正、负号。

## 5. 配合公差

配合公差是指允许间隙或过盈的变动量,等于组成配合的孔和轴公差之和,表明装配后的配合精度,是评价配合质量的一个重要指标。配合公差是一个没有符号的绝对值,并且不能为零。

配合公差用代号  $T_f$  表示,根据配合公差的定义,可以得到其计算公式。