

高等学校教材

互换性与测量技术

► 田 野 主编
郝成弟 荆丹 副主编



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

互换性与测量技术

田野 主编
郝成弟 荆丹 副主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

《互换性与测量技术》是高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材之一。

全书以单级直齿圆柱齿轮减速器的精度设计为主线,系统地阐述了互换性原理及测量技术的基本知识,具有很强的综合性和实用性。为便于学生学习,各章节插入了一些重要的表格;各章后面还设置了一定量的习题,以使学生们能对该章的教学内容进行系统的复习和训练。

本书内容共10章,分别为:绪论,尺寸公差与圆柱结合的互换性,测量技术基础,形状和位置公差及检测,表面粗糙度及检测,键、花键、圆锥、螺纹公差及检测,滚动轴承的公差与配合,光滑工件尺寸的检测,圆柱齿轮的互换性及检测,尺寸链。

本书可供高等院校机械类各专业师生在教学中使用,也可作为职业技术学院等专科院校机械类各专业的教材,还可供机械行业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术/田野主编. —北京:化学工业出版社, 2006.5
高等学校教材
ISBN 7-5025-8665-2

I. 互… II. 田… 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. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 046161 号

高等学校教材

互换性与测量技术

田野 主编

郝成弟 荆 丹 副主编

责任编辑:程树珍

文字编辑:陈 喆

责任校对:宋 玮

封面设计:潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市振南印刷有限责任公司印刷
三河市宇新装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 323 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8665-2

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

《互换性与测量技术》是高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材之一。作为一门重要的技术基础课教材，可供高等院校机械类各专业师生在教学中使用。

本教材是按照全国高校“互换性与测量技术”课程教学大纲的要求，根据当前教学改革的需要，采用最新的国家标准，结合编者多年的科研实践和教学经验，并参考已出版的同类教材编写而成。

本书以单级直齿圆柱齿轮减速器的精度设计为主线，系统地阐述了互换性原理及测量技术的基本知识，具有很强的综合性和实用性。为便于学生学习，各章节插入了一些重要的公差表格，各章后面还设置了一些习题，以使学生们能对该章的教学内容进行系统的复习和训练。

本书由田野担任主编，郝成弟、荆丹担任副主编。其中第1、6、7章由田野编写，第2、3章由荆丹编写，第4、5章由郝成弟编写，第8章由盖克荣编写，第9章由杨威编写，第10章由梁淑卿编写，图形由孙瑞和杨威处理。全书由田野统稿和定稿。

本书在编写过程中参考了近几年出版的同类教材和其他相关文献资料，在此，向这些教材和文献资料的作者表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，不足之处恳请广大读者批评指正。

编者
2006.1

目 录

1 绪论	1
1.1 互换性与标准化的基本概念	1
1.1.1 互换性的基本概念	1
1.1.2 标准化	3
1.2 优先数和优先数系	3
1.3 本课程的任务	4
2 尺寸公差与圆柱结合的互换性	5
2.1 基本术语及定义	5
2.1.1 孔和轴的定义	5
2.1.2 尺寸的定义	5
2.1.3 尺寸偏差、公差及公差带的定义	6
2.1.4 配合的术语和定义	9
2.2 尺寸公差与配合的国家标准构成	11
2.2.1 基准制	11
2.2.2 标准公差系列	12
2.2.3 基本偏差系列	14
2.2.4 公差与配合在图样上的标注	20
2.3 一般、常用和优先公差带与常用、优先配合	21
2.4 公差带与配合的选用	23
2.4.1 基准制的选择	23
2.4.2 公差等级的选择	24
2.4.3 配合的选择	26
2.5 线性尺寸的未注公差	28
2.6 习题	28
3 测量技术基础	30
3.1 测量的基本概念	30
3.1.1 被测对象	30
3.1.2 计量单位	30
3.1.3 测量方法	30
3.1.4 测量精度与检验	30
3.2 计量器具和测量方法的分类	31
3.2.1 计量器具的分类	31
3.2.2 计量器具的度量指标	31
3.2.3 测量方法的分类	32
3.3 测量误差和测量精度	34
3.3.1 测量误差的概念	34
3.3.2 测量误差的来源	35

3.3.3	测量误差的分类	35
3.3.4	测量精度	36
3.4	测量数据的处理	37
3.4.1	测量列中系统误差的处理	37
3.4.2	测量列中随机误差的处理	38
3.4.3	测量列中粗大误差的处理	41
3.5	习题	43
4	形状和位置公差及检测	44
4.1	概述	44
4.1.1	形位公差的研究对象	44
4.1.2	形位公差的特征项目和符号	45
4.1.3	基准和基准体系	46
4.1.4	形位公差带的概念	47
4.2	形位公差的基本标注方法	47
4.2.1	形位公差代号	47
4.2.2	被测要素的标注方法	48
4.2.3	基准要素的标注方法	49
4.2.4	形位公差的简化标注方法	50
4.3	形状公差及公差带的特点	51
4.3.1	形状公差带的特点	53
4.3.2	轮廓度公差带的特点	53
4.4	位置公差及公差带的特点	53
4.4.1	定向公差及公差带的特点	53
4.4.2	定位公差及公差带的特点	58
4.4.3	跳动公差及公差带的特点	61
4.5	公差原则	64
4.5.1	有关术语及定义	64
4.5.2	独立原则	67
4.5.3	包容要求	68
4.5.4	最大实体要求	69
4.5.5	最小实体要求	72
4.6	形位公差的选择	75
4.6.1	形位公差项目的选择	75
4.6.2	基准要素的选择	75
4.6.3	公差原则的选择	75
4.6.4	形位公差值(或公差等级)的选择	76
4.7	形位误差的检测	81
4.7.1	形状误差的评定	81
4.7.2	位置误差的评定	85
4.7.3	形位误差的检测原则	86
4.8	习题	88
5	表面粗糙度	92
5.1	概述	92

5.1.1	表面粗糙度的定义	92
5.1.2	表面粗糙度对机械零件使用性能的影响	92
5.2	表面粗糙度的评定参数及其数值	93
5.2.1	基本术语	93
5.2.2	表面粗糙度的评定参数	95
5.2.3	表面粗糙度参数的数值	96
5.3	表面粗糙度的标注	97
5.3.1	表面粗糙度的符号	97
5.3.2	表面粗糙度代号及其注法	98
5.3.3	图样标注	99
5.4	表面粗糙度参数及其数值的选择	100
5.4.1	表面粗糙度评定参数的选择	100
5.4.2	表面粗糙度评定参数值的选择	100
5.5	表面粗糙度的检测	101
5.5.1	比较法	101
5.5.2	光切法	102
5.5.3	针描法	102
5.5.4	干涉法	102
5.6	习题	103
6	键与花键、圆锥、螺纹公差及检测	104
6.1	键与花键的公差与配合及检测	104
6.1.1	概述	104
6.1.2	普通平键连接的公差与配合及检测	104
6.1.3	矩形花键连接的公差与配合及检测	107
6.2	圆锥的公差与配合及检测	112
6.2.1	概述	112
6.2.2	圆锥公差及标注	113
6.2.3	圆锥配合	117
6.2.4	圆锥检测	119
6.3	螺纹的公差与配合及检测	121
6.3.1	概述	121
6.3.2	普通螺纹基本形状和尺寸	122
6.3.3	普通螺纹公差	125
6.4	习题	130
7	滚动轴承的公差与配合	132
7.1	滚动轴承的精度等级及选用	132
7.1.1	滚动轴承的特点及结构	132
7.1.2	滚动轴承的精度等级	133
7.1.3	滚动轴承精度等级的选用	133
7.2	滚动轴承内外圈的公差带及特点	133
7.2.1	滚动轴承内圈孔的公差带及特点	133
7.2.2	滚动轴承外圈外圆的公差带及特点	134
7.3	滚动轴承与轴、壳体孔的配合及选用	134

7.3.1	与滚动轴承配合的轴颈、外壳孔的公差带	134
7.3.2	滚动轴承配合的选用	135
7.3.3	滚动轴承与轴颈和外壳孔配合的精度设计举例	139
7.4	习题	140
8	光滑工件尺寸的检测	142
8.1	概述	142
8.1.1	工件的验收极限与安全裕度	142
8.1.2	两种验收极限方式	143
8.1.3	验收极限方式的选择	143
8.2	计量器具的选择	144
8.2.1	计量器具选用原则	144
8.2.2	计量器具选择的示例	145
8.3	光滑极限量规的设计	147
8.3.1	光滑极限量规	147
8.3.2	光滑极限量规的设计原理	148
8.3.3	光滑极限量规公差带	149
8.3.4	光滑极限量规的结构形式及技术条件	150
8.4	习题	153
9	圆柱齿轮的互换性及检测	154
9.1	概述	154
9.1.1	传递运动的准确性	154
9.1.2	传递运动的平稳性	154
9.1.3	载荷分布的均匀性	154
9.1.4	传动侧隙的合理性	155
9.2	齿轮的加工误差及齿轮误差检验项目	155
9.2.1	齿轮的加工误差的来源	155
9.2.2	传递运动的准确性的评定指标及其检测	157
9.2.3	影响传递运动平稳性的主要误差	162
9.2.4	影响载荷分布均匀性的主要误差	165
9.3	齿轮副的精度及侧隙评定指标	168
9.3.1	齿轮副的切向综合误差 $\Delta F'_x$ (公差 F'_x)	168
9.3.2	齿轮副的一齿切向综合误差 $\Delta f'_x$ (公差 f'_x)	168
9.3.3	齿轮副的接触斑点	168
9.3.4	齿轮副的侧隙及其评定指标	169
9.3.5	齿轮副的安装误差及其评定	170
9.4	渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用	170
9.4.1	精度等级	171
9.4.2	齿轮传动的检验	171
9.4.3	齿轮精度等级的选择	173
9.4.4	齿轮副侧隙的选择	174
9.4.5	齿坯精度	177
9.4.6	齿轮精度的标注	177
9.5	习题	179

10 尺寸链	180
10.1 基本概念	180
10.1.1 尺寸链的定义	180
10.1.2 尺寸链的构成及特性	181
10.1.3 尺寸链的类型	181
10.2 尺寸链的建立	182
10.2.1 确定封闭环	182
10.2.2 查找组成环并画出尺寸链图	183
10.3 尺寸链的计算	183
10.3.1 用完全互换法计算尺寸链	184
10.3.2 用大数互换法（统计法）计算尺寸链	187
10.3.3 用分组互换法、修配法和调整法保证装配精度	188
10.4 习题	189
参考文献	191

1 绪 论

1.1 互换性与标准化的基本概念

机械工业生产中, 不论如何复杂的机器产品, 都由大量的通用与标准零部件所组成, 这些零部件可以由不同的专业化厂家来制造, 产品生产厂只生产少量的零部件, 其他零部件将由其他厂家制造及提供。这样, 产品生产厂家不仅可以大大减少生产费用, 还可以缩短生产周期, 及时满足市场的需要。

1.1.1 互换性的基本概念

在日常生活中随处可见这样的现象: 灯泡坏了, 换一个新的就可以了; 家用电器上的螺钉掉了, 按相同的规格换上新螺钉即可; 汽车、摩托车、自行车、缝纫机、手表中某个机件磨损了, 换上一个新的就能满足使用要求。这些现象都说明零部件具有互换性。

所谓互换性是指机械产品中同一规格的一批零件或部件, 任取其中一件, 不需做任何挑选、调整或辅助加工 (如钳工修配), 就能进行装配, 并且能保证满足机械产品使用性能要求的一种特性。

如图 1-1 所示圆柱齿轮减速器, 它由箱体、齿轮轴、滚动轴承、端盖 (轴承盖)、输出轴、平键、滚动轴承、轴套、齿轮和挡油环、螺钉等许多零部件组成, 而这些零部件是分别由不同厂家和车间生产的。装配减速器时, 在同一规格产品的零部件中任取一件不需做任何挑选、调整或修配, 便能与其他零部件安装在一起组成一台减速器, 并且能够满足规定的功能要求。那么这样的零部件具有互换性。

1.1.1.1 公差的概念

任何一台机器, 无论结构复杂与简单, 都是由最基本的若干个零件所构成。这些具有一定尺寸、形状和相互位置关系的零件, 可以通过各种不同的连接形式而装配成为一个整体。如图 1-1 所示圆柱齿轮减速器, 它由箱体、齿轮轴、滚动轴承、端盖 (轴承盖)、输出轴、平键、轴套、齿轮和挡油环、螺钉等许多零部件通过各种形式而连接成一个整体。那么, 要满足圆柱齿轮减速器的使用功能, 保证装配质量, 则必须控制零件的制造质量。

在加工零件过程中, 无论设备的精度和操作工人的技术水平多么高, 零件的加工都会产生误差。要使加工零件的尺寸、形状和位置做得绝对准确, 不但不可能, 而且也没必要。只要将零件加工后各几何参数 (尺寸、形状和位置) 所产生的误差控制在一定的范围内, 就可以保证零件的使用功能, 同时还能实现互换性。

零件几何参数这种允许的变动量称为公差。它包括尺寸公差、形状公差、位置公差。公差用来控制零件加工中的误差, 以保证互换性的实现。因此, 建立各种几何参数的公差标准是实现零件误差的控制和保证互换性的基础。

1.1.1.2 互换性的种类

在不同的场合, 零部件互换的形式和程度是有所不同的。因此, 互换性可分为完全互换性 (绝对互换性) 和不完全互换性 (有限互换性)。

零件在装配或更换时, 不需选择、调整或辅助加工 (修配), 则其互换性为完全互换性。

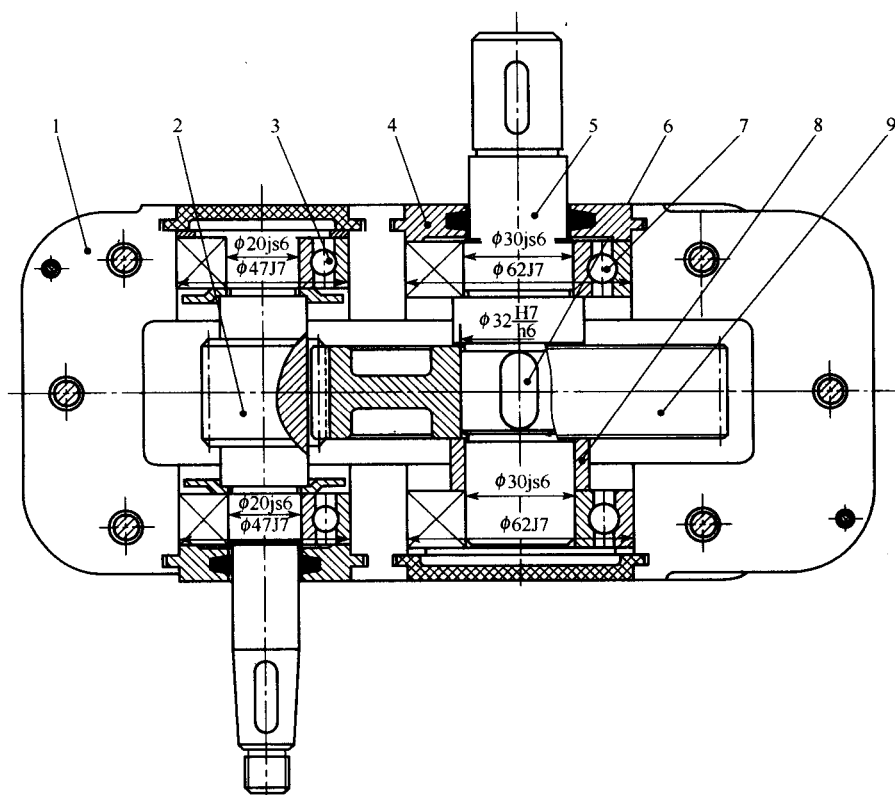


图 1-1 圆柱齿轮减速器

1—箱体；2—齿轮轴；3—滚动轴承；4—端盖；5—输出轴；
6—平键；7—滚动轴承；8—轴套；9—齿轮

例如，一批轴、孔装配后需满足一定的配合要求，以此确定轴、孔的尺寸允许变动量即其尺寸公差，轴、孔加工后只要符合设计的要求，则它们就具有完全互换性。

不完全互换性（有限互换性）指零件装配时允许有选择、调整 and 辅助加工。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。

当装配精度要求较高时，采用完全互换性将使零件制造公差很小，加工困难，成本很高，甚至无法加工。这时，可将零件制造公差适当放大，使之便于加工，而在零件完工后，再用测量器具将零件按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，装配时按组进行，即分组装配法。例如，大孔组零件与大轴组零件相配，小孔组零件与小轴组零件相配。这样，可保证装配精度和使用要求，又能解决加工困难，降低成本。这种组内零件可以互换、组与组之间的相同零件不能互换的特性，就是采用分组装配法来实现不完全互换性。调整法是在机器装配或使用过程中，对机器中某一特定零件按所需要的尺寸进行调整，以达到装配精度要求，这也是一种保证装配精度的措施。

一般来说，不完全互换性用于厂内生产的零部件的装配。对于厂际协作，往往应采用完全互换性。

1.1.1.3 互换性的作用

在设计方面，零件具有互换性，可以最大限度地采用标准件、通用件和标准部件，可以简化制图、计算工作，缩短设计周期，并便于计算机辅助设计和产品品种的多样化。

在制造方面，互换性是组织专业化协作生产的重要基础，而专业化大生产才有可能采用高科技和高生产率的先进工艺和装备，从而提高生产率，提高产品质量，降低生产成本。

在使用和维修方面，具有互换性的零件磨损或损坏了，可以以旧换新，方便维修，从而减少机器的维修时间和费用，延长机器的使用寿命。

总之，互换性原则是组织现代化生产的极为重要的技术经济原则，也是现代机械制造业中普遍遵守的原则，在提高产品质量和可靠性、提高经济效益等方面具有重大的意义。

1.1.2 标准化

现代工业生产的特点是品种多、规模大、分工细、协作单位多、互换性要求高。为使社会生产有序进行，必须通过标准化使分散的、局部的生产环节相互协调和统一。

标准化是指以制定标准和贯彻标准为主要内容的全部过程。标准多指技术标准，它是指为产品和工程的技术质量、规格及检验方法等方面所做的技术规定，是从事生产、建设工作的一种共同技术依据。

标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

这些标准对生产技术活动具有广泛的指导意义，例如，公差与配合标准、形位公差标准和表面粗糙度标准等。

在现代化生产中，标准化是一项重要的技术措施。因为一种产品的制造往往涉及许多部门和企业，为了适应生产上相互联系的各个部门与企业之间在技术上相互协作的要求，必须有一个共同的技术标准，使独立的、分散的部门和企业之间保持必要的技术统一，使相互联系的生产过程形成一个有机的整体，以实现互换性生产。所以标准化是实现互换性生产的基础。生产的社会化程度越高，分工越细，协作越密切，协调与衔接越不可缺，标准化就越显得十分重要。

1.2 优先数和优先数系

优先数系是一种无量纲的分级数值，它是十进制等比数列，适用于各种量值的分级。数系中的每一个数都为优先数。

任何产品的参数数值不仅与自身的技术特性有关，而且还直接、间接地影响到与其有配套关系的一系列产品的参数值。例如，螺栓的尺寸一旦确定，将会影响螺母的尺寸、丝锥板牙的尺寸、螺栓孔的尺寸以及加工螺栓孔钻头的尺寸等。不仅如此，为了满足对产品不同的要求，产品必然会出现不同的规格。如螺栓的参数还要从最大到最小取不同的值，从而形成不同规格的螺栓系列。这个系列确定合理与否，与所取数值如何分级直接有关，并影响经济效益，而且每一种产品不只一种参数数值。每一种参数又具有一系列数值，这样形成的数值更加繁多，牵动着很多部门和领域。在现代工业生产中，专业化程度高，国民经济各部门需要协调和密切配合，技术参数的选择是非常重要的，因此，必须建立一种共同遵守而又能满足各种需要的科学数值分级制度，作为数值的统一标准。

实践证明，优先数系是一种科学的数值制度，适用于各种量值分级，不仅对数值的协调、简化起重要作用，而且是制定其他标准的依据。

优先数系是一种十进几何级数，所谓十进，即几何级数的项值中包括： $1, 10, 100, \dots, 10^n$ 和 $1, 0.1, 0.01, 0.001, \dots, 10^{-n}$ 这些数（这里 n 为正整数）。按 $1 \sim 10, 10 \sim 100, \dots$ 和 $1 \sim 0.1, 0.1 \sim 0.01, \dots$ 划分区间，为十进段。几何级数的特点是任意相邻两项之比为一常数（公比），所以，它的数列为等比数列。十进等比数系是一种较理想的数系，可以作为优先数。

国家标准 GB/T 321—1980《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、R80 表示，称为 Rr 系列，公比 $q_r = \sqrt[r]{10}$ 。同一系列中每增 r 个数，数值增至 10 倍。其中前四个系列是常用的基本系列，而 R80 则作为补充系列，仅用于分级很细的特殊场合。各系列的公比如下。

- R5 的公比： $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$ ；
- R10 的公比： $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$ ；
- R20 的公比： $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$ ；
- R40 的公比： $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$ ；
- R80 的公比： $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。

R5 中的项值包含在 R10 中，R10 中的项值包含在 R20 中，R20 中的项值包含在 R40 中，R40 中的项值包含在 R80 中。优先数系的基本系列（优先数的常用值）见表 1-1。

表 1-1 优先数系的基本系列（优先数的常用值）（摘自 GB/T 321—1980）

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			

优先数系在各种公差标准中广泛采用，公差标准表格中的数值，都是按照优先数系选定的。例如，《公差与配合》中的标准公差值主要是按 R5 系列确定的。

1.3 本课程的任务

本课程是高等学校机械类各专业的一门重要技术基础课，是教学计划中联系基础类课程与专业基础类课程的纽带，是从基础课学习过渡到专业课学习的桥梁。本课程由几何量公差与检测两部分组成。前一部分的内容主要由课堂教学来完成，后一部分的内容主要通过实验教学完成。

学生在学习本课程之前，应具有一定的理论知识和生产实践知识，能读懂图样，并能读懂图样的标注法，了解机械加工的一般知识和熟悉常用机构的原理。学生完成本课程的学习任务后，应该达到下列要求。

- ① 建立并掌握几何参数互换性与标准化的基本概念。
- ② 掌握几何参数公差标准的主要内容、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几何参数的公差与配合。
- ④ 能够查用本课程介绍的公差与配合表格，正确标注图样。
- ⑤ 熟悉并学会常用的计量器具，掌握各种典型几何量的检测方法。

总之，本课程的任务在于使学生获得机械工程师必须具备的几何量公差与检测方面的基本知识和技能，而后续课程的教学和毕业后的实际工作锻炼则将使學生进一步加深理解和逐渐熟练掌握本课程的内容。

2 尺寸公差与圆柱结合的互换性

光滑圆柱结合为众多连接形式中最基本的形式，这种尺寸结合形式所规定的公差与配合标准还适用于零件上的其他表面与结构。本章将介绍光滑圆柱体的公差与配合的标准的应用。

下面就《公差与配合》国家标准的基本概念和应用，以及孔、轴尺寸精度的设计进行介绍。

2.1 基本术语及定义

2.1.1 孔和轴的定义

孔是指工件的圆柱形内表面及由单一尺寸形成的内表面。

轴是指工件的圆柱形外表面及由单一尺寸形成的外表面。

由单一尺寸形成的内、外表面如图 2-1 所示。

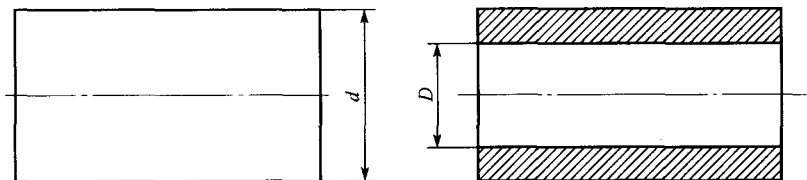


图 2-1 孔和轴的定义示意

在公差与配合中，孔与轴的关系表现为包容与被包容的关系，即孔为包容面，轴为被包容面。

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，键连接的配合表面为由单一尺寸形成的内、外表面，即键宽度表面视为轴，轮毂槽宽度和轴槽宽度表面皆视为孔。这样，键连接的公差与配合可直接应用《公差与配合》国家标准。

2.1.2 尺寸的定义

尺寸是特定单位表示长度值的数字，包括直径、半径、宽度、深度、高度及中心距等。在机械制图中，图样上的尺寸通常以 mm 为单位，在标注时常将单位省略，仅标注数值。

2.1.2.1 基本尺寸

基本尺寸是设计确定的尺寸，用 D 表示孔， d 表示轴。它是根据零件的强度、刚度计算和结构设计的综合结果经化整后而确定的，并应尽量采用标准尺寸系列（表 2-1），以减少定值刀具和量具、夹具的规格数量。

2.1.2.2 实际尺寸

实际尺寸是通过两点法测量得到的孔和轴的尺寸，孔和轴的实际尺寸分别用 D_a 和 d_a 表示。由于零件表面总是存在形状误差，所以被测表面各处的实际尺寸不尽相同，如图 2-2 所示。由于测量过程中存在着测量误差，同一零件的相同部位用同一量具反复测量，其测量

的实际尺寸也不完全相同，所以测得的实际尺寸通常不是真实尺寸，而是一近似于真实尺寸的尺寸。如图 2-2 所示。

表 2-1 标准尺寸 (10~100mm) (摘自 GB/T 2822—1981)

Rr			Rr			Rr			Rr		
R10	R20	R40	R10	R20	R40	R10	R20	R40	R10	R20	R40
10.0	10.0		10	10			35.5	35.5		36	36
	11.2			11				37.5			38
12.5		12.5	12	12	12	40.0	40.0	40.0	40	40	40
		13.2			13			42.5			42
		14.0		14	14		45.0	45.0		45	45
		15.0			15			47.5			48
16.0	16.0	16.0	16	16	16	50.0	50.0	50.0	50	50	50
		17.0			17			53.0			53
	18.0	18.0		18	18		56.0	56.0		56	56
		19.0			19			60.0			60
20.0	20.0	20.0	20	20	20	63.0	63.0	63.0	63	63	63
		20.2			21			67.0			67
	22.4	22.4		22	22		71.0	71.0		71	71
		23.6			24			75.0			75
25.0	25.0	25.0	25	25	25	80.0	80.0	80.0	80	80	80
	28.0	26.5			26			85.0			85
		28.0		28	27		90.0	90.0		90	90
		30.0			30			95.0			95
31.5	31.5	31.5		32	32	100.0	100.0	100.0	100	100	100
		33.5			34						

注：Rr 系列中的黑体字为 R 系列相应各项优先数的化整值。

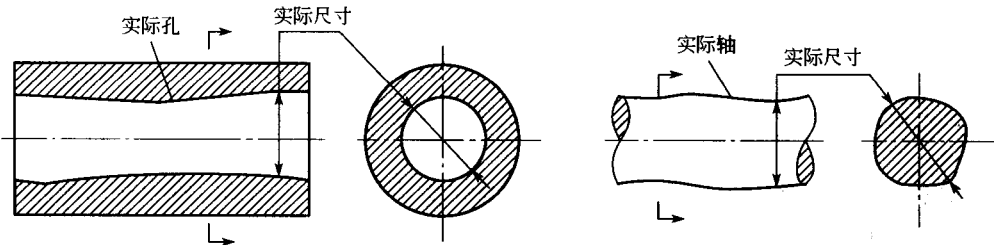


图 2-2 实际尺寸

2.1.2.3 极限尺寸

极限尺寸是指允许尺寸变化范围的两个界限尺寸。两个界限尺寸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。

孔和轴的最大极限尺寸分别用 $D_{\max}$ 和 $d_{\max}$ 表示，孔和轴的最小极限尺寸分别用 $D_{\min}$ 和 $d_{\min}$ 表示，如图 2-3 所示。

极限尺寸是根据精度设计要求而确定的，目的是限制加工零件的尺寸变动范围。如图 2-3 所示。

2.1.3 尺寸偏差、公差及公差带的定义

2.1.3.1 尺寸偏差

尺寸偏差（简称偏差）是指某一尺寸减去基本尺寸所得的代数差。孔用 E 表示，轴用 e

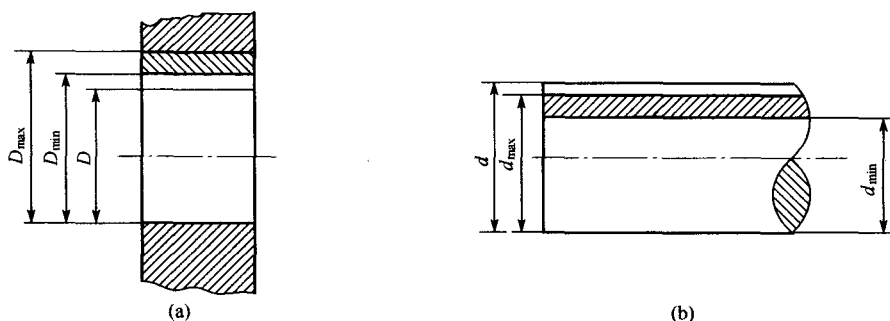


图 2-3 极限尺寸

表示。偏差可为正、负或零。

当某一尺寸为实际尺寸时得到的偏差叫做实际偏差。当某一尺寸为极限尺寸时得到的偏差叫做极限偏差。最大极限尺寸与基本尺寸之差称为上偏差，孔和轴的上偏差分别用 ES 和 es 表示。最小极限尺寸与基本尺寸之差称为下偏差，孔和轴的下偏差分别用 EI 和 ei 表示。极限偏差可用下列公式表示。

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

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

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

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

偏差值可为正值、负值或零。偏差值除零外，前面必冠以正、负号。

极限偏差用于控制实际偏差。零件图上采用基本尺寸带上下偏差的标注表示出公差与极限尺寸的大小，对基本尺寸相同的孔轴，用上下偏差计算它们的相互关系比用极限尺寸计算简便。

2.1.3.2 尺寸公差

尺寸公差（简称公差）是指尺寸的允许变动量。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。

$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \quad (2-5)$$

$$T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \quad (2-6)$$

由式 (2-5)、式 (2-6) 可知，公差值不可能为负值和零。公差和极限偏差是不同的，公差大小决定了尺寸变动范围的大小，反映尺寸制造精度，极限偏差决定了极限尺寸相对于基准尺寸的位置，影响配合的松紧。如图 2-4 所示。

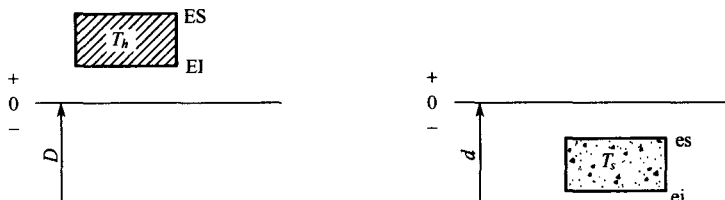


图 2-4 尺寸偏差与公差

2.1.3.3 公差带图及公差带

前面分析尺寸、偏差和公差的关系时，为了说明三者关系，GB 1800.3—1998《极限与

配合 基础 第三部分：标准公差和基本偏差数值表》提出了公差带图。如图 2-5 和图 2-6 所示。偏差以基本尺寸为零线，零线以上的偏差为正偏差，零线以下的偏差为负偏差。在公差带图中，由代表上下偏差的两条直线段形成的区域称为公差带，公差带相对零线的位置由基本偏差确定，所为基本偏差一般为公差带靠近零线的那个偏差，当公差带位于零线上方时，基本偏差为下偏差；当公差带位于零线的下方时，基本偏差为上偏差。通常，孔公差带用斜线表示，轴公差带用网点表示。公差带在垂直零线方向的宽度代表公差值，公差带沿零线方向的长度可适当选取。公差带图中，尺寸用 mm 表示，偏差及公差通常用 μm 表示。

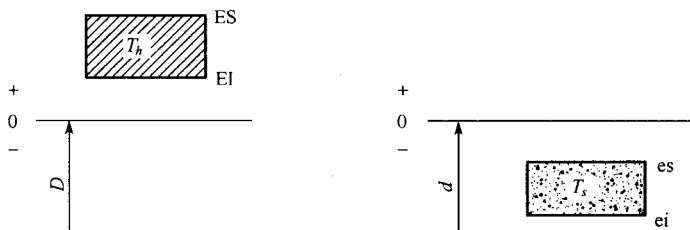


图 2-5 公差带图

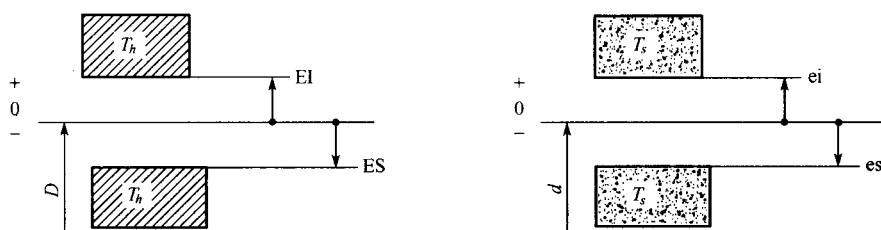


图 2-6 基本偏差示意图

公差带是由公差值和极限偏差（上偏差或下偏差）决定的，为了使公差带标准化，GB 1800.3—1998《极限与配合 基础 第三部分：标准公差和基本偏差数值表》将公差值和极限偏差进行了标准化，提出了标准公差和基本偏差两个概念。

标准公差为国家标准规定的公差值。

基本偏差为国家标准规定的上偏差或下偏差，一般为靠近零或位于零线的那个极限偏差。

公差带的大小由标准公差确定，公差带的位置由基本偏差确定。

【例 1】 基本尺寸 $D=25\text{mm}$ ，孔的极限尺寸： $D_{\max}=25.021\text{mm}$ ， $D_{\min}=25\text{mm}$ ；轴的极限尺寸： $d_{\max}=25.041\text{mm}$ ， $d_{\min}=25.028\text{mm}$ 。现测得孔、轴的实际尺寸分别为 $D_a=25.010\text{mm}$ ， $d_a=24.946\text{mm}$ 。求孔、轴的极限偏差、实际偏差及公差，并画出公差带图。

解：孔的极限偏差 $ES=D_{\max}-D=25.021-25=+0.021\text{mm}$

$$EI=D_{\min}-D=25-25=0$$

轴的极限偏差 $es=d_{\max}-D=25.041-25=+0.041\text{mm}$

$$ei=d_{\min}-D=25.028-25=+0.028\text{mm}$$

孔的实际偏差 $D_a-D=25.010-25=+0.010\text{mm}$

轴的实际偏差 $d_a-D=24.946-25=-0.054\text{mm}$

孔的公差 $T_h=D_{\max}-D_{\min}=25.021-25=0.021\text{mm}$

轴的公差 $T_s=d_{\max}-d_{\min}=25.041-25.028=0.013\text{mm}$