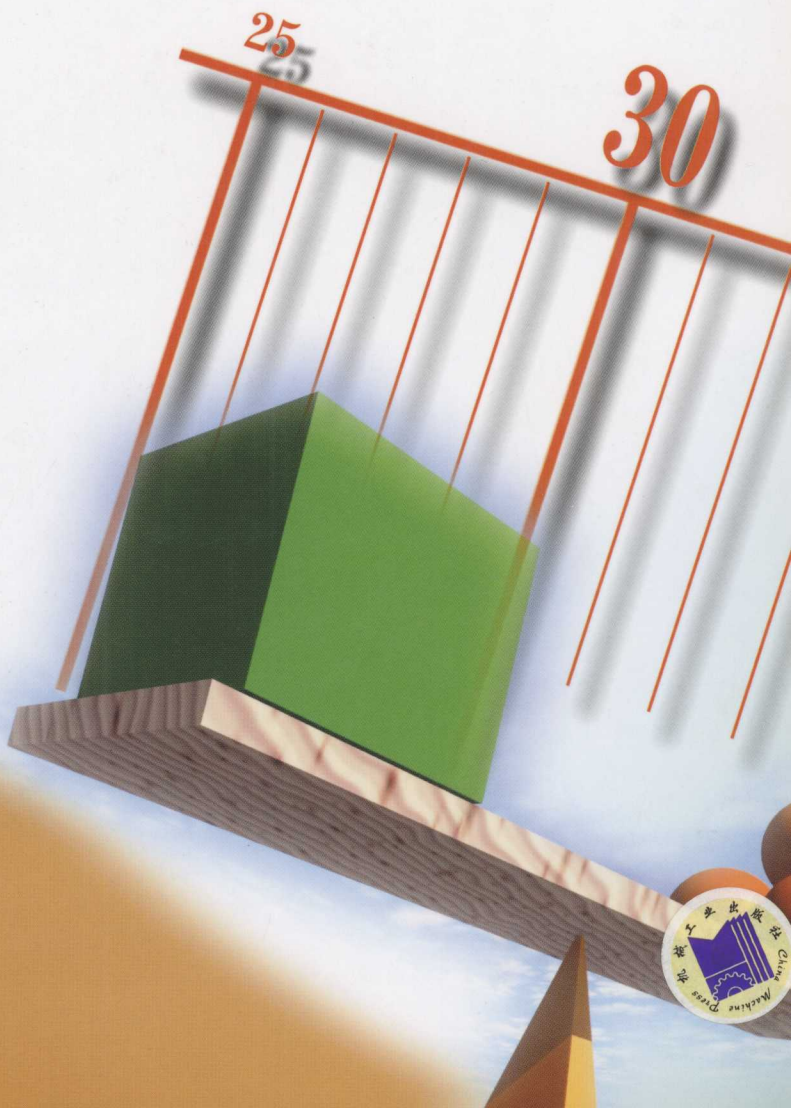


高职高专机电工程类规划教材

# 互换性与测量技术

周文玲 主编



01



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高职高专机电工程类规划教材

# 互换性与测量技术

主 编 周文玲

参 编 康俊远 周渝明



机械工业出版社

827  
10005

本书内容共分 10 章。第 1 章绪论，以阐述互换性概念为主；第 2 章尺寸极限与配合，是本书重点内容之一；第 3 章形状和位置公差及其检测，是重点和难点内容；第 4 章测量技术基础，与光滑极限量规融合讲述；第 5 章表面粗糙度基本理论；第 6 章介绍几种常见的标准件如轴承、键、螺纹联接的互换性；第 7 章圆锥配合的互换性，可与第 2 章对比学习；第 8 章讲述渐开线圆柱齿轮的互换性；第 9 章介绍尺寸链及其解法；第 10 章几个典型的公差实验，实践性较强，可与第 4 章结合学习。在书的最后附有常用孔与轴的极限偏差数值表，以方便查阅。本书为高职高专院校机械工程类专业教材，也可供相关技术人员参考使用。

兴文出版社  
周文玲主编

### 图书在版编目 (CIP) 数据

互换性与测量技术/周文玲主编. —北京: 机械工业出版社, 2005.8  
(2007.9 重印)

高职高专机电工程类规划教材

ISBN 978-7-111-17294-9

I. 互... II. 周... III. ①互换性—理论—高等学校: 技术学校—教材  
②技术测量—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 098285 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: 王海峰 责任编辑: 王海峰 版式设计: 霍永明  
责任校对: 张 媛 责任印制: 杨 曦  
北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)  
2007 年 9 月第 1 版第 4 次印刷  
184mm × 260mm · 13.5 印张 · 331 千字  
13 001—17 000 册  
标准书号: ISBN 978-7-111-17294-9  
定价: 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
销售服务热线电话: (010)68326294  
购书热线电话: (010)88379639 88379641 88379643  
编辑热线电话: (010)68354423  
封面无防伪标均为盗版

# 前 言

“互换性与测量技术”课程是机械类各专业必须掌握的一门重要的技术基础课，它与机械设计基础、机械制造基础等课程有着密切的联系，它紧紧围绕机械产品零部件的制造误差和公差及其关系，研究零部件的设计、制造精度与技术测量方法。

本书在编写过程中，以贯彻互换性国家标准为主线，以讲清楚互换性与测量基本概念为前提，以学会运用为目的，结合我国高职高专教育的特点和教学要求，注重实用性，力求内容精练、重点突出、易读易懂，并贯彻执行国家最新标准，吸收了多年来的科研成果和教学经验。

本书内容共分10章。第1章绪论，以阐述互换性概念为主；第2章尺寸极限与配合，是本书重点内容之一；第3章形状和位置公差及其检测，是重点和难点内容；第4章测量技术基础，与光滑极限量规融合讲述；第5章表面粗糙度基本理论；第6章介绍几种常见的标准件如轴承、键、螺纹联接的互换性；第7章圆锥配合的互换性，可与第2章对比学习；第8章讲述渐开线圆柱齿轮的互换性；第9章介绍尺寸链及其解法；第10章几个典型的公差实验，实践性较强，可与第4章结合学习。在书的最后附有常用孔与轴的极限偏差数值表，以方便查阅。本书为高职高专院校机械工程类专业教材，也可供相关技术人员参考使用。

本书由广东轻工职业技术学院周文玲担任主编，负责统稿工作，并编写第1、2、5、6章及附录；广东轻工职业技术学院康俊远编写第4、7、8章；广东工贸职业技术学院周渝明编写第3、9、10章。陕西科技大学董继先教授担任主审并给予悉心指导，杭州中亚机械有限公司吉永林总工程师参加审稿并提出宝贵的修改意见。

在编写过程中，同时得到了相关院校领导及有关人士的大力支持和帮助，在此一并表示衷心地感谢！

由于编者水平所限，书中难免出现缺点和错漏之处，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2005年5月

# 目 录

前言	1	3.1.1 形位公差的研究对象	40
第1章 绪论	1	3.1.2 形位公差的特征项目和符号	41
1.1 互换性概述	1	3.1.3 形位公差的标注	42
1.1.1 互换性的概念和种类	1	3.2 形位公差及其检测	44
1.1.2 互换性的技术经济意义	1	3.2.1 形状公差及检测	44
1.1.3 实现互换性的条件	2	3.2.2 位置公差及检测	49
1.2 标准化与互换性生产的发展	2	3.2.3 形位公差的检测原则与分析	64
1.2.1 标准与标准化	2	3.3 公差原则	68
1.2.2 优先数系和优先数	3	3.3.1 有关术语及定义	68
1.2.3 互换性生产的发展简介	4	3.3.2 独立原则及其应用	70
1.3 本课程的性质与任务	5	3.3.3 相关要求及其应用	70
1.3.1 本课程的性质与特点	5	3.4 形位公差的选择	75
1.3.2 本课程的要求与学习方法	5	3.4.1 形位公差项目的选择	75
思考与习题	5	3.4.2 基准要素的选择	75
第2章 尺寸极限与配合	6	3.4.3 公差等级的选择	76
2.1 极限与配合的基本术语	6	3.4.4 公差原则的选择	79
2.1.1 孔、轴和尺寸	6	思考与习题	79
2.1.2 偏差和公差	7	第4章 测量技术基础	82
2.1.3 配合术语和定义	10	4.1 长度测量基础知识	82
2.2 极限与配合制	13	4.1.1 概述	82
2.2.1 极限制	13	4.1.2 长度基准及量值传递	83
2.2.2 配合制	22	4.1.3 量块	83
2.2.3 极限与配合	23	4.2 常用测量器具和测量方法	85
2.2.4 标准公差带与配合	26	4.2.1 计量器具和验收极限	85
2.3 一般公差简介	29	4.2.2 测量方法分类	88
2.3.1 一般公差的概念	29	4.2.3 计量器具的度量指标	90
2.3.2 一般公差等级和极限偏差值	29	4.3 光滑极限量规及其使用	91
2.3.3 一般公差的标注	30	4.3.1 光滑极限量规	91
2.4 极限与配合的选用	30	4.3.2 量规的设计原则	92
2.4.1 公差等级的选用	31	4.3.3 量规公差带及其尺寸计算	93
2.4.2 基准制的选用	32	4.4 测量误差和数据处理	95
2.4.3 配合的选用	33	4.4.1 测量误差的含义	95
思考与习题	38	4.4.2 测量误差的来源	96
第3章 形状和位置公差及其检测	40	4.4.3 测量误差的分类	96
3.1 概述	40	4.4.4 测量精度	98
		4.4.5 测量结果的数据处理	99



思考与习题	101	第7章 圆锥配合的互换性	144
<b>第5章 表面粗糙度</b>	<b>103</b>	7.1 圆锥配合的基本知识	144
5.1 表面粗糙度的含义及其影响	103	7.1.1 圆锥配合的基本参数	144
5.1.1 表面粗糙度的含义	103	7.1.2 圆锥配合的形成方法	145
5.1.2 表面粗糙度对零件使用性能的影响	103	7.1.3 圆锥配合的基本要求	146
5.2 表面粗糙度的评定	104	7.1.4 圆锥几何参数误差对互换性的影响	146
5.2.1 评定用术语	104	7.2 圆锥配合公差及其选用	147
5.2.2 评定参数	105	7.2.1 圆锥公差项目	147
5.3 表面粗糙度参数值及其选用	108	7.2.2 圆锥公差的给定	149
5.3.1 表面粗糙度参数值	108	7.2.3 圆锥公差的选用	150
5.3.2 表面粗糙度的选用	109	7.3 圆锥的检测	151
5.4 表面粗糙度的标注	113	7.3.1 量规检验法	151
5.4.1 表面粗糙度的符号及代号	113	7.3.2 间接测量法	151
5.4.2 表面粗糙度的标注方法	114	思考与习题	151
5.5 表面粗糙度的测量	115	<b>第8章 渐开线圆柱齿轮传动的互换性</b>	<b>153</b>
5.5.1 比较法	115	8.1 对齿轮传动的基本要求及齿轮的加工误差	153
5.5.2 光切法	116	8.1.1 齿轮传动的基本要求	153
5.5.3 针描法	116	8.1.2 齿轮的主要加工误差	154
5.5.4 干涉法	117	8.2 圆柱齿轮的误差分析及评定参数	155
思考与习题	117	8.2.1 影响传递运动准确性的误差项目及评定	155
<b>第6章 几种常用标准件的互换性</b>	<b>118</b>	8.2.2 影响传动平稳性的误差项目及其评定	158
6.1 滚动轴承的互换性	118	8.2.3 影响载荷分布均匀性的误差项目及其评定	161
6.1.1 滚动轴承的精度等级及应用	118	8.2.4 影响侧隙的误差项目及其评定	162
6.1.2 滚动轴承的内、外径公差带及其特点	118	8.3 齿轮副的误差项目及其评定指标	163
6.1.3 滚动轴承与轴和外壳孔的配合	119	8.3.1 齿轮副的传动误差	163
6.1.4 与滚动轴承相配合的孔和轴的其他公差要求	122	8.3.2 齿轮副的安装误差	164
6.2 键联接的互换性	123	8.4 渐开线圆柱齿轮的精度标准及其应用	164
6.2.1 平键联接的互换性	123	8.4.1 精度等级及其选择	166
6.2.2 花键联接的互换性	126	8.4.2 齿侧间隙(齿轮副侧隙)的选择	168
6.2.3 键与花键的检测	130	8.4.3 检验参数的选择	170
6.3 螺纹联接的互换性	131	8.4.4 齿轮精度等级和侧隙要求	
6.3.1 螺纹及几何参数特性	131		
6.3.2 普通螺纹公差与配合	134		
6.3.3 普通螺纹标注	138		
6.3.4 螺纹的测量	140		
思考与习题	142		

在图样上的标注 ..... 172

8.4.5 齿坯与箱体公差确定 ..... 172

8.4.6 综合应用实例 ..... 173

思考与习题 ..... 175

**第9章 尺寸链** ..... 177

9.1 尺寸链及其组成 ..... 177

9.1.1 尺寸链的基本概念 ..... 177

9.1.2 尺寸链的组成 ..... 177

9.1.3 尺寸链的建立与分析 ..... 178

9.2 用完全互换法解尺寸链 ..... 179

9.2.1 基本公式 ..... 179

9.2.2 尺寸链的应用计算 ..... 180

9.3 用大数互换法解尺寸链 ..... 183

9.3.1 基本公式 ..... 183

9.3.2 解尺寸链 ..... 185

9.4 用其他方法解装配尺寸链 ..... 186

9.4.1 分组装配法 ..... 186

9.4.2 调整法 ..... 186

9.4.3 修配法 ..... 187

思考与习题 ..... 187

**第10章 典型技术测量实验** ..... 189

10.1 外径千分尺测量轴径 ..... 189

10.2 内径百分表测量孔径 ..... 190

10.3 平面度、平行度误差的检测计算 ..... 192

10.4 游标万能角度尺测量角度 ..... 193

10.5 公法线长度变动及公法线平均长度偏差的测量 ..... 194

10.6 齿轮齿圈径向跳动的测量 ..... 195

思考与习题 ..... 198

**附录** ..... 199

附录A 常用孔的极限偏差数值表 ..... 199

附录B 常用轴的极限偏差数值表 ..... 203

**参考文献** ..... 208

1 ..... 208

2 ..... 208

3 ..... 208

4 ..... 208

5 ..... 208

6 ..... 208

7 ..... 208

8 ..... 208

9 ..... 208

10 ..... 208

11 ..... 208

12 ..... 208

13 ..... 208

14 ..... 208

15 ..... 208

16 ..... 208

17 ..... 208

18 ..... 208

19 ..... 208

20 ..... 208

21 ..... 208

22 ..... 208

23 ..... 208

24 ..... 208

25 ..... 208

26 ..... 208

27 ..... 208

28 ..... 208

29 ..... 208

30 ..... 208

31 ..... 208

32 ..... 208

33 ..... 208

34 ..... 208

35 ..... 208

36 ..... 208

37 ..... 208

38 ..... 208

39 ..... 208

40 ..... 208

41 ..... 208

42 ..... 208

43 ..... 208

44 ..... 208

45 ..... 208

46 ..... 208

47 ..... 208

48 ..... 208

49 ..... 208

50 ..... 208

51 ..... 208

52 ..... 208

53 ..... 208

54 ..... 208

55 ..... 208

56 ..... 208

57 ..... 208

58 ..... 208

59 ..... 208

60 ..... 208

61 ..... 208

62 ..... 208

63 ..... 208

64 ..... 208

65 ..... 208

66 ..... 208

67 ..... 208

68 ..... 208

69 ..... 208

70 ..... 208

71 ..... 208

72 ..... 208

73 ..... 208

74 ..... 208

75 ..... 208

76 ..... 208

77 ..... 208

78 ..... 208

79 ..... 208

80 ..... 208

81 ..... 208

82 ..... 208

83 ..... 208

84 ..... 208

85 ..... 208

86 ..... 208

87 ..... 208

88 ..... 208

89 ..... 208

90 ..... 208

91 ..... 208

92 ..... 208

93 ..... 208

94 ..... 208

95 ..... 208

96 ..... 208

97 ..... 208

98 ..... 208

99 ..... 208

100 ..... 208

# 第1章 绪论

## 1.1 互换性概述

### 1.1.1 互换性的概念和种类

#### 1. 互换性的概念

设计了一台机器是由很多零部件装配在一起所构成的。机器在装配或更换零部件时，从大批生产出来的同一规格的零部件中，任意取出一件，不需要作任何选择、附加调整或修配，就能够组装成部件或整机，并且能够达到预定的设计性能和使用要求，这种技术特性叫做互换性。这类零部件称为具有互换性的零部件，能够保证零部件具有互换性的生产，称为遵循互换性原则的生产。

互换性生产是现代化机械工业按照专业化协作原则组织生产的基本条件，它广泛应用于机械产品零部件的设计、使用和维修等方面。例如，自行车、缝纫机的零部件坏了，可以迅速地更换新的零件，更换后仍能满足使用要求，这就是因为这些零部件具有互换性。

零部件的互换性包括其几何参数、力学性能、物理化学性能等方面的互换性。本课程主要研究的是零部件几何参数的互换性。

#### 2. 互换性的种类

互换性按其程度可分为完全互换性和不完全互换性。

(1) 完全互换性 零部件在装配或更换前，不作任何选择，装配或更换时，不作调整或修配，更换后便能满足预定使用要求。这样的零部件具有完全互换性。完全互换性也称做无限互换性。

(2) 不完全互换性 零部件在装配前，允许有附加的选择，装配时允许有附加的调整，但不允许修磨，装配后能满足预定使用要求。这样的零部件属于不完全互换性。不完全互换性也称做有限互换性。

当机器装配精度要求很高时，若采用完全互换，将使相配合的零件尺寸公差很小，这会导致加工困难，制造成本提高，甚至无法加工，因此，实际生产中为了便于加工，降低成本，往往把零件的尺寸公差适当放大，而在加工后根据实际测量的尺寸大小，将相互配合的零件各分成若干组，使同组的尺寸差别比较小，然后按照对应组进行装配，这样既保证了装配精度，又解决了零件加工上的困难。这种分组装配法即属不完全互换性。因为仅在同一组内零件可以互换，组与组之间不可以互换，故称为不完全互换性。

上述两种互换性的使用场合不同。一般地，不完全互换零部件常用于部件或机构的制造企业内部的生产和装配；不同地域、不同企业之间的协作，则要求完全互换性。

### 1.1.2 互换性的技术经济意义

互换性生产已经成为现代机械制造业中一个普遍遵守的原则，它对保证产品质量、提高



生产率和增加经济效益具有重要意义，主要体现在以下几个方面：

1) 从设计方面看，采用具有互换性的零部件，有利于产品进行模块化、程序化的设计和改进。特别是采用标准零部件（如螺钉、销钉、滚动轴承等），大大减轻了计算与绘图的工作量，缩短了设计周期。

2) 从制造方面看，互换性是提高生产水平和进行文明生产的有力手段。装配时，由于零部件具有互换性，不需要辅助加工修配，可以减轻装配工的劳动量，缩短装配周期，使生产效率显著提高。加工时，由于按照公差规定加工，同一部机器上的各个零件可以分别由各专业厂同时制造。另外，各专业厂产品专业化，生产批量大，分工细，所以有条件采用高效率的专用设备，使产品的质量明显提高。

3) 从使用方面看，如果一台机器的某零件具有互换性，那么当该零件被损坏后，可以很快地用另一备件来代替，使机器维修方便，保证了机器工作的连续性和持久性，提高了机器的使用价值。

### 1.1.3 实现互换性的条件

机械零部件在加工过程中，加工误差是不可避免的。要想把同一规格的一批零件的几何参数做得完全一致是不可能的，也是不必要的，实际上只要把零件的几何参数误差控制在允许变动的范围内就可以了，这个允许误差的变动量就是公差。如果零件是在其规定的公差范围内制造出来，就能满足互换性的要求。

零部件的制造精度最终是由加工误差体现出来的，而误差是由公差控制的。对于同一尺寸，公差大者，允许加工误差就大。也就是说零件精度要求低，容易加工，制造成本低；反之，则加工难，制造成本高。因此，合理确定零部件的几何量公差是实现互换性的一个必备条件。

零件几何量公差包括尺寸公差、形状公差、位置公差和表面粗糙度等。

已加工好的零件是否满足公差要求，要通过技术测量即检测来判断。如果只规定零部件公差，而缺乏相应的检测措施，则互换性生产是不可能实现的。因此，正确地选择、使用测量工具是制造和检测的基本要求，也是必须掌握的技能。检测不仅用于评定零件合格与否，也常用于分析零件不合格的原因，以便及时调整生产工艺，预防废品产生，因此，技术测量措施是实现互换性的另一个必备条件。

## 1.2 标准化与互换性生产的发展

### 1.2.1 标准与标准化

所谓标准化，是指以制定标准、贯彻标准、修改和补充标准为主要内容的全部活动过程。因此，标准化是一个不断循环而又不断提高的过程。采用标准化的原理和方法，把一些重复性事物和概念加以集中简化、优选、协调和统一，并以文件的形式体现出来，这就是标准。

标准是标准化活动的核心。按其性质分为技术标准、生产组织标准和经济管理标准三大类。通常机械制造业所说的标准，大多数都是指技术标准。技术标准（简称标准）是指为产

品和工程的技术质量、规格及其检验方法等方面所作的技术规定，是从事生产、建设工作的一种共同技术依据。它以科学技术和实践经验的综合成果，在充分协商的基础上，对具有多样性、相关性特征的重复事物，以特定程序、特定形式颁发的统一规定，在一定范围内作为共同遵守的技术原则。

标准化领域很广泛，为了保证基层标准与上级标准的统一、协调，我国标准按照行政体制分为三级：国家标准、部颁标准和企业标准。

国家标准（GB）由国家质量技术监督局委托有关部门起草，审批后由中国质量技术监督局发布，它对全国经济、技术发展意义重大，必须在全国范围内执行。部颁标准指对一个部的经济和技术发展意义重大，必须在部属范围内执行，由主管部门或有关部门主持联合指定发布。企业标准指公司企业、行业机构制定的在本企业、本行业内实施的标准，包括地方标准、行业标准。部颁标准、企业标准的制定和执行应该以国家标准为依据，不得超出国家标准允许的范围。即制定本部、本企业标准时，要运用自己积累经验和数据，制定出高于国家标准的标准，也可以补充国家标准的不足，生产出高质量的产品。同时为进一步修订国家标准、提高国家标准水平奠定技术基础。

要使零部件具有互换性，就要对零部件加工误差及控制范围制定相应的技术标准，这一标准通常称之为零件的互换性标准，也称为极限与配合标准。如果没有零部件的互换性标准，或者有了标准而不去贯彻执行，零件的互换性就不能实现。为了保证互换性，必须合理地确定零件公差，公差数值标准化的理论基础，即为优先数系和优先数。

本课程主要涉及到的几十个技术标准，多属于国家推荐性基础标准，其代号为“GB/T”。

### 1.2.2 优先数系和优先数

优先数系是和优先数就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的一种科学的数值标准。优先数系是一种十进制的近似等比数列，其代号为  $R_r$ ，数列中每项的数值称为优先数。 $R$  是优先数系创始人 Renard 名字的第一个字母， $r$  代表 5、10、20、40 和 80 等数字，其对应的等比数列的公比为  $q_r = 10$ ，即是在同一个等比数列中， $R$  项的后项与前项理论值之比为 10，表达为：若首项为  $a$ ，则其余各项依次为  $aq^1, aq^2, aq^3, \dots, aq^n$ ，即  $a_i = a_i q^i$ （其中  $i=0, 1, 2, 3, \dots$ ）。

$R_5$ 、 $R_{10}$ 、 $R_{20}$ 、 $R_{40}$  为基本系列，是常用的数系， $R_{80}$  为补充系列。标准规定的五种优先数系的公比如下：

$R_5$  数系，公比为  $q_5 \approx 1.60$ ；

$R_{10}$  数系，公比为  $q_{10} \approx 1.25$ ；

$R_{20}$  数系，公比为  $q_{20} \approx 1.12$ ；

$R_{40}$  数系，公比为  $q_{40} \approx 1.06$ ；

$R_{80}$  数系，公比为  $q_{80} \approx 1.03$ 。

GB/T321—1980 列出的基本系列、补充系列常用数值如表 1-1 所示。

常见量值如直径、长度、面积、体积、载荷、应力、转速、速度、时间、功率、电流、电压、流量、浓度等的分级，一般都是按照优先数系进行的。本课程所设计的许多标准，例

如尺寸分段、公差等级以及表面粗糙度参数系列等，也都是优先数系。

表 1-1 优先数系基本系列的常用值

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				

### 1.2.3 互换性生产的发展简介

互换性标准的建立和发展是随着制造业的发展而逐步完善的。从图 1-1 可以清楚地看出它的百年发展史。



图 1-1 互换性生产的发展史

目前,我国已经加入 WTO,更要特别重视加强我国标准化工作,尽量使我国标准与国际标准融为一体,以发展国际贸易,提高国际市场的竞争力。

## 1.3 本课程的性质与任务

### 1.3.1 本课程的性质与特点

本课程是机械类和近机械类各专业必须掌握的一门技术基础课,与机械设计基础、机械制造基础等课程有着密切的联系。它以互换性内容为主线,围绕零部件的制造误差和公差及其关系,包括尺寸极限与配合、形状和位置公差,表面粗糙度和技术测量等几部分,研究零件的设计、制造精度与测量方法。懂得这些基本知识,能够为后续学习相关专业课、从事实际工作奠定必要的基础。

本课程的特点是术语定义、符号、代号、图形、表格多;公式推导少,经验数据、定性解释多;内容涉及面广,每一部分都具有独立的知识体系。

### 1.3.2 本课程的要求与学习方法

#### 1. 课程要求

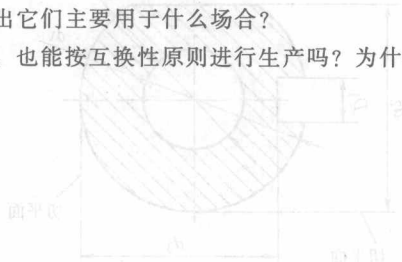
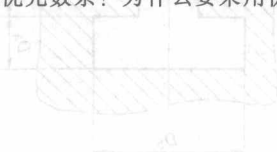
- 1) 掌握课程中有关国家标准的内容和原则。
- 2) 学会并掌握确定零部件的公差原则和方法。
- 3) 学会查用各类表格,能正确标注图样。
- 4) 了解各种典型的测量方法,学会常用计量器具的使用。

#### 2. 本课程的学习方法

- 1) 注意实践环节的训练,做到理论与实践相结合。
- 2) 与相关课程的知识联系起来学习,使学到的极限配合理论得以举一反三,达到实际应用的目的。

### 思考与习题

- 1.1 试述互换性在机械制造业中的重要意义,并举出互换性应用实例 2~3 个。
- 1.2 试述完全互换与不完全互换的区别,并指出它们主要用于什么场合?
- 1.3 如何理解公差的含义?如果没有公差标准,也能按互换性原则进行生产吗?为什么?
- 1.4 什么是优先系数?为什么要采用优先数?



## 第 2 章 尺寸极限与配合

尺寸极限与配合不仅体现在光滑圆柱体之间的结合，同时也适应于其他表面或结构尺寸组成的配合。极限与配合标准是机械制造业重要的基础标准之一，几乎涉及到国民经济各个部门，具有很重要的意义。

国家标准《极限与配合》(GB/T 1800.1~1800.3)共包括三部分：第一部分词汇；第二部分公差、偏差和配合的基本规定；第三部分标准公差和基本偏差数值。另外，在《极限与配合》GB/T1800.4—1999中给出标准公差等级和孔、轴极限偏差表；在《极限与配合》GB/T1801—1999中给出公差带和配合的选择；在《极限与配合》GB/T1803—2003中给出尺寸至18mm孔、轴公差带；在GB1804—2000中给出一般公差、未注公差的线性和角度尺寸的公差。

本章将以《极限与配合》国家标准(GB/T)为依据介绍这部分相关知识。

### 2.1 极限与配合的基本术语

#### 2.1.1 孔、轴和尺寸

##### 1. 孔与轴

在尺寸极限与配合中，通常所讲的“孔”和“轴”都具有广义性。所谓“孔”是指工件的圆柱形内表面，也包括非圆柱形内表面(由两平行平面或切平面形成的包容面)。所谓“轴”是指工件的圆柱形外表面，也包括非圆柱形外表面(由两平行平面或切平面形成的被包容面)。

例如，如图2-1所示，由尺寸 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ 和 $D_5$ 等所确定的内表面都视作孔。它们都是由两平行平面(或切平面)形成的，两表面之间没有材料而形成孔，或称为包容面。由尺寸 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 和 $d_4$ 等所确定的外表面都视作轴。

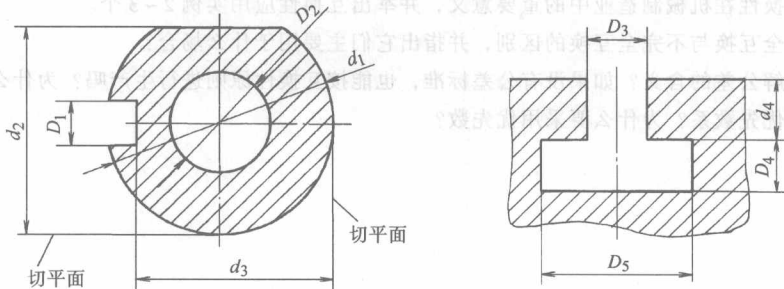


图 2-1 孔与轴

##### 2. 尺寸

尺寸是指以特定单位表示线性长度的数值，也称线性尺寸。除长度外，尺寸还包括直

径、宽度、深度、中心距以及圆角半径等。有时尺寸也泛指线性尺寸和角度尺寸的总称。国家标准规定在技术图样上所标注的线性尺寸均以毫米为单位，省略单位符号“mm”。在技术图样上，角度尺寸常以度、分、秒为单位来标注，且必须标明单位符号，如 $30^\circ$ 、 $15^\circ 30'$ 等。

尺寸一般分为基本尺寸、实际尺寸、极限尺寸和最大、最小实体尺寸。

(1) 基本尺寸 在 GB/T1800—1979 中将基本尺寸定义为“基本尺寸是设计给定的尺寸”，而新国家标准 GB/T1800.1—1997 从基本尺寸在尺寸设计中的作用出发给出了定义，即可以用来与极限偏差一起计算得到极限尺寸的尺寸。孔的基本尺寸用  $D$  表示，轴的基本尺寸用  $d$  表示，非孔、非轴的基本尺寸常用  $L$  表示。

基本尺寸是在机械设计中，根据零部件的使用要求，通过刚度、强度或结构等方面的考虑，用计算、试验或类比等方法确定的。计算得到的基本尺寸应按照 GB/T2822《标准尺寸》予以标准化，其目的是为了减少定值刀具（如钻头、绞刀）、定值量具（如塞规、卡规）、定值夹具（如弹簧夹头）及型材等的规格。

基本尺寸也曾被称为“公称尺寸”、“名义尺寸”。国家标准《标准尺寸》中所列出的标准尺寸数值来自于优先数与优先数系。

(2) 实际尺寸 即通过实际测量获得的尺寸。孔的实际尺寸用  $D_a$  表示，轴的实际尺寸用  $d_a$  表示，非孔、非轴的基本尺寸常用  $L_a$  表示。

实际尺寸是用一定的测量器具和方法，在一定的环境条件下，从测量器具上获得的数值，或者是经过数据处理的结果。由于存在测量误差，所以不同的人、使用不同的测量器具、采用不同测量方法测量的尺寸值也可能不完全相同，它们都可以称为实际尺寸。

(3) 极限尺寸 即允许尺寸变动的尺寸极限值。它以基本尺寸为基数来确定尺寸的两个极限值。允许的最大尺寸称为最大极限尺寸，允许的最小尺寸称为最小极限尺寸。孔的最大极限尺寸和最小极限尺寸分别用  $D_{\max}$  和  $D_{\min}$  表示；轴的最大极限尺寸和最小极限尺寸分别用  $d_{\max}$  和  $d_{\min}$  表示，非孔、非轴的最大极限尺寸和最小极限尺寸分别用  $L_{\max}$  和  $L_{\min}$  表示。如图 2-2a、b、c 所示。

极限尺寸是用来限制加工零件的尺寸变动，零件实际尺寸在两个极限尺寸之间则为合格。

(4) 最大实体尺寸 (MMS) 和最小实体尺寸 (LMS) 孔或轴具有允许的材料量为最多时的极限尺寸即最大实体尺寸。反之，孔或轴具有允许的材料量为最少时的极限尺寸即最小实体尺寸。孔的最大和最小实体尺寸分别用  $D_M$  和  $D_L$  表示，轴的最大和最小实体尺寸分别用  $d_M$  和  $d_L$  表示。

对于孔： $D_M = D_{\min}$ ， $D_L = D_{\max}$ ；对于轴： $d_M = d_{\max}$ ， $d_L = d_{\min}$ 。

## 2.1.2 偏差和公差

### 1. 尺寸偏差（简称偏差）

即指某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。尺寸有实际尺寸和极限尺寸之分，所以尺寸偏差也有实际偏差和极限偏差之分。实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为实际偏差；极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为极限偏差。最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差，称为上偏差；最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差，称为下偏差；上偏差与下偏差



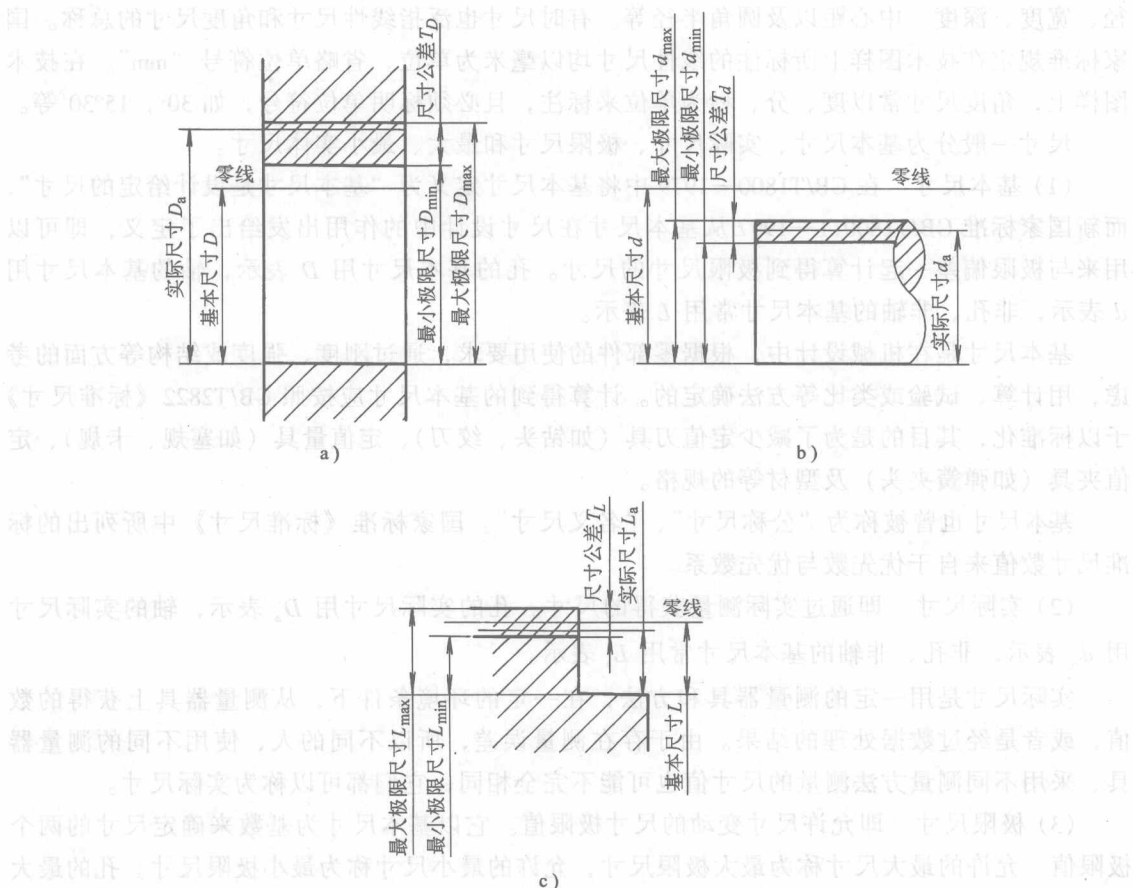


图 2-2 基本尺寸和极限尺寸

a) 孔 b) 轴 c) 台阶

统称为极限偏差。

国家标准规定：孔的上偏差用代号 ES 表示，下偏差用代号 EI 表示；轴的上偏差用代号 es 表示；下偏差用代号 ei 表示。

孔和轴的上、下偏差分别用以下式表示：

$$ES = D_{\max} - D, \quad es = d_{\max} - d \quad (2-1)$$

$$EI = D_{\min} - D, \quad ei = d_{\min} - d \quad (2-2)$$

由于实际尺寸和极限尺寸有可能大于、小于或等于基本尺寸，所以偏差值可能为正值、负值或零，在计算或书写偏差值时必须带有正、负号。

## 2. 尺寸公差 (简称公差)

即允许尺寸的变动量，等于最大极限尺寸与最小极限尺寸代数差的绝对值，也等于上偏差与下偏差代数差的绝对值。孔和轴的公差分别用  $T_D$  和  $T_d$  表示。用公式表示如下：

$$T_D = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI \quad (2-3)$$

$$T_d = d_{\max} - d_{\min} = es - ei \quad (2-4)$$

注意：尺寸公差是给定的允许尺寸误差的范围，或者说，公差是设计者根据零件的使用要求规定的误差允许值，它体现了对加工方法的精度要求，不能通过测量而得到；而尺寸

误差是一批零件的实际尺寸相对于理想尺寸的偏离范围，当加工条件一定时，尺寸误差也能体现出加工的精度。所以公差不能取零值，更不能为负值。

### 3. 尺寸公差带与公差带图

由代表上偏差与下偏差或最大极限尺寸与最小极限尺寸的两条直线所限定的区域带，即尺寸公差带，简称公差带。它在垂直于零线方向的宽度代表公差值。

表明两个相互结合的孔、轴的基本尺寸、极限尺寸、极限偏差与公差的相互关系图形，就是公差带图，如图 2-3 所示。在公差带图中，代表基本尺寸的基准直线叫零偏差线，简称零线。零线以上的偏差为正偏差，零线以下的偏差为负偏差。为了简便起见，在实际应用中，不必绘出孔与轴的全形，只要将有关的部分放大绘出就可以。

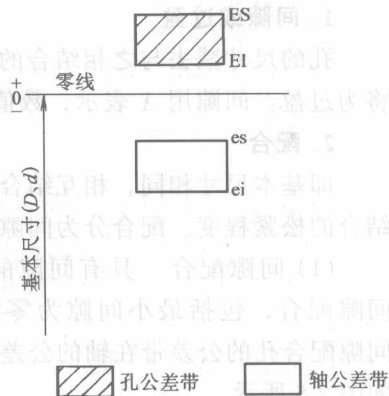


图 2-3 公差带图

由图可见，公差带有大小和位置两个要素。公差带大小取决于公差值，公差带位置即公差带相对于零线的位置，取决于某一个极限偏差值。

绘制公差带图是学习本课程的基础，必须熟练掌握。绘制步骤如下：

- 1) 画零线，标出“0” “+” “-”，用箭头指向零线表示基本尺寸并标出其数值。
- 2) 按照适当比例画出孔、轴的公差带。通常习惯于将孔的公差带打上剖面线以示与轴的公差带区别开来。
- 3) 标出孔和轴的上、下偏差值及其他要求标注的数值。

注意：本章绘制的公差带图中所标注的偏差数值，其单位一律采用  $\mu\text{m}$ 。

**例 2-1** 已知某一对相互配合的孔与轴，其基本尺寸为  $60\text{mm}$ ，孔的最大极限尺寸  $D_{\max} = 60.030\text{mm}$ ，最小极限尺寸  $D_{\min} = 60\text{mm}$ ，轴的最大极限尺寸  $d_{\max} = 59.990\text{mm}$ ，最小极限尺寸  $d_{\min} = 59.971\text{mm}$ ，轴加工后测得其实际尺寸分别为  $60.010\text{mm}$  和  $59.980\text{mm}$ 。求孔与轴的极限偏差、实际偏差及公差，并画出公差带图。

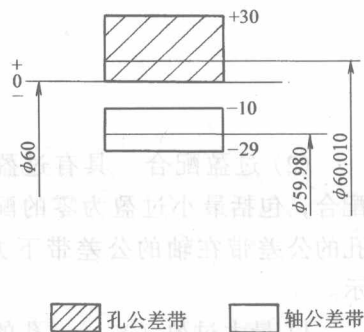


图 2-4 例题图

**解** (1) 孔的极限偏差  $ES = D_{\max} - D = 60.030\text{mm} - 60\text{mm} = +0.030\text{mm} = +30\mu\text{m}$

$$EI = D_{\min} - D = 60\text{mm} - 60\text{mm} = 0$$

轴的极限偏差  $es = d_{\max} - d = 59.990\text{mm} - 60\text{mm} = -0.010\text{mm} = -10\mu\text{m}$

$$ei = d_{\min} - d = 59.971\text{mm} - 60\text{mm} = -0.029\text{mm} = -29\mu\text{m}$$

(2) 孔的实际偏差  $= 60.010\text{mm} - 60\text{mm} = +0.010\text{mm} = +10\mu\text{m}$

轴的实际偏差  $= 59.980\text{mm} - 60\text{mm} = -0.020\text{mm} = -20\mu\text{m}$

(3) 孔的公差  $T_D = D_{\max} - D_{\min} = 60.030\text{mm} - 60\text{mm} = 0.030\text{mm} = 30\mu\text{m}$

轴的公差  $T_d = d_{\max} - d_{\min} = 59.990\text{mm} - 59.971\text{mm} = 0.019\text{mm} = 19\mu\text{m}$

(4) 绘出公差带图如图 2-4 所示。

## 2.1.3 配合术语和定义

### 1. 间隙或过盈

孔的尺寸减去与之相结合的轴的尺寸所得的代数差，此差为正值时即为间隙，为负值时将为过盈。间隙用  $X$  表示，数值为正；过盈用  $Y$  表示，数值为负。

### 2. 配合

即基本尺寸相同，相互结合的孔与轴之间公差带的关系。它反映了相互结合的零件之间结合的松紧程度。配合分为间隙配合、过盈配合和过渡配合。

(1) 间隙配合 具有间隙的配合即间隙配合，包括最小间隙为零的配合。间隙配合孔的公差带在轴的公差带上方，如图 2-5 所示。

1) 最大间隙 ( $X_{\max}$ )。孔的最大极限尺寸减去轴的最小极限尺寸，或孔的上偏差减去轴的下偏差所得的代数差。

2) 最小间隙 ( $X_{\min}$ )。孔的最小极限尺寸减去轴的最大极限尺寸，或孔的下偏差减去轴的上偏差所得的代数差。

3) 平均间隙 ( $X_m$ )。最大间隙与最小间隙的算术平均值。用公式表示为

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-5)$$

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-6)$$

$$X_m = (X_{\max} + X_{\min}) / 2 \quad (2-7)$$

(2) 过盈配合 具有过盈的配合即过盈配合，包括最小过盈为零的配合。过盈配合孔的公差带在轴的公差带下方，如图 2-6 所示。

1) 最大过盈 ( $Y_{\max}$ )。孔的最小极限尺寸减去轴的最大极限尺寸，或孔的下偏差减去轴的上偏差所得的代数差。

2) 最小过盈 ( $Y_{\min}$ )。孔的最大极限尺寸减去轴的最小极限尺寸，或孔的上偏差减去轴的下偏差所得的代数差。

3) 平均过盈 ( $Y_m$ )。最大过盈与最小过盈的算术平均值。用公式表示为

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-8)$$

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

$$Y_m = (Y_{\max} + Y_{\min}) / 2 \quad (2-10)$$

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



图 2-5 间隙配合公差带图

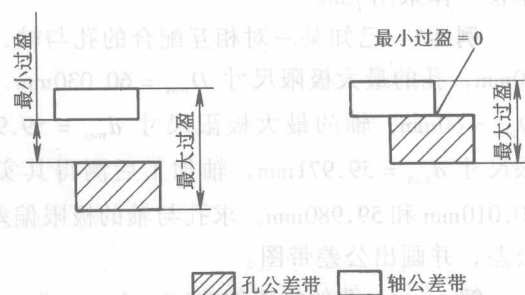


图 2-6 过盈配合公差带图