



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新世纪高职高专实用规划教材

● 机电系列

# 公差配合与测量 (第2版)

GONGCHA PEIHE YU CELIANG

胡璐华 主 编

赠 送  
电子课件



清华大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新世纪高职高专实用规划教材 机电系列

# 公差配合与测量

(第2版)

胡榕华 主 编

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书共分为 10 章,具体包括绪论、光滑圆柱体结合的公差与配合、几何公差及其误差、表面粗糙度及其评定、测量技术基础、滚动轴承的互换性、键和花键的互换性、螺纹结合的互换性、圆柱齿轮传动的互换性及尺寸链等内容。本书概念清晰,内容紧凑,结合实际,重视应用。各章均有例题、习题及相关公差表格,以满足教学需要。

本书概括了《公差配合与测量》这门课的主要内容,分析介绍了我国公差与配合的最新标准,阐述了测量技术的基本概念。本书可作为普通高等院校、高职高专机电一体化、数控技术与现代模具等专业的教材,也可供其他行业的工程人员及计量、检测人员等参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

公差配合与测量/胡榕华主编. —2 版. —北京:清华大学出版社,2010.6

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

(新世纪高职高专实用规划教材 机电系列)

ISBN 978-7-302-22743-4

I. ①公… II. ①胡… III. ①公差—配合—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. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 088729 号

责任编辑:刘天飞 石 伟

装帧设计:杨玉兰

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:11.5 字 数:271 千字

版 次:2010 年 6 月第 2 版 印 次:2010 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:20.00 元

---

产品编号:037234-01

# 前 言

机械电子工业对国民经济的发展具有特别重要的意义。而公差配合与测量学科的形成及其发展和机械电子工业的发展密切相关,它不仅将实现互换性生产的标准化领域与计量学领域的有关知识结合在一起,而且涉及机械电子产品的设计、制造、维修、质量控制、生产组织管理等许多方面。

本书在第1版的基础上,征求用书单位的意见后,综合国内同类教材和最新的国家标准进行了适当的修订和完善。本书主要突出以下特色。

(1) 保持第1版的特色和风格,在适度够用的基础上,加强基本理论、基本知识、基本技能的内容,拓宽方向,重在实用。

(2) 依据新的国家标准,对几何公差、表面粗糙度等章节进行了全面修订,并更换了大量插图。

(3) 为了更好地适应教学需要,力求使教材内容更加精炼,重点突出,在表述上力求通俗、新颖。

本书共分10章,分别是绪论,光滑圆柱体结合的公差与配合、几何公差及其误差,表面粗糙度及其评定,测量技术基础,滚动轴承的互换性,键和花键的互换性,螺纹结合的互换展性,圆柱齿轮传动的互换性及尺寸链。

本书由胡榕华主编,另外,南昌大学机电工程学院的甘泽新、田华参与了部分章节的编写。

在本书的编写过程中,得到了罗先午、罗良玲等教师的热情指导,在此表示感谢。

限于编者的水平,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                                   |    |                         |    |
|-----------------------------------|----|-------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....                    | 1  | 2.6 常用尺寸段公差与配合的选用 ..... | 27 |
| 1.1 互换性的意义与作用 .....               | 1  | 2.6.1 基准制的选择 .....      | 27 |
| 1.1.1 互换性的概念 .....                | 1  | 2.6.2 公差等级的选择 .....     | 28 |
| 1.1.2 互换性的种类 .....                | 1  | 2.6.3 配合的选择 .....       | 30 |
| 1.1.3 互换性的作用 .....                | 2  | 2.7 线性尺寸的一般公差 .....     | 34 |
| 1.2 标准化与优先数系 .....                | 2  | 2.7.1 线性尺寸一般公差的概念 ..... | 34 |
| 1.2.1 标准与标准化 .....                | 2  | 2.7.2 有关国标规定 .....      | 34 |
| 1.2.2 优先数系 .....                  | 4  | 2.7.3 线性尺寸一般表示方法 .....  | 35 |
| 1.3 本课程的性质和特点 .....               | 5  | 2.8 习题 .....            | 35 |
| 1.3.1 本课程的性质及任务 .....             | 5  | 第 3 章 几何公差及其误差 .....    | 38 |
| 1.3.2 本课程的特点 .....                | 6  | 3.1 概述 .....            | 38 |
| 1.3.3 本课程的学习方法 .....              | 6  | 3.1.1 基本概念 .....        | 38 |
| 1.4 习题 .....                      | 6  | 3.1.2 几何公差的项目及符号 .....  | 39 |
| 第 2 章 光滑圆柱体结合的公差与配合 ....          | 7  | 3.1.3 几何公差的标注 .....     | 40 |
| 2.1 概述 .....                      | 7  | 3.2 几何公差和误差 .....       | 44 |
| 2.2 公差与配合的基本术语及定义 .....           | 7  | 3.2.1 形状公差 .....        | 44 |
| 2.2.1 有关“尺寸”的术语及定义 .....          | 7  | 3.2.2 方向公差 .....        | 48 |
| 2.2.2 有关“偏差”、“公差”的<br>术语及定义 ..... | 9  | 3.2.3 位置公差 .....        | 51 |
| 2.2.3 公差带图 .....                  | 10 | 3.2.4 跳动公差 .....        | 53 |
| 2.2.4 有关“配合”的术语及定义 .....          | 11 | 3.3 公差原则 .....          | 56 |
| 2.3 标准公差系列 .....                  | 14 | 3.3.1 独立原则 .....        | 56 |
| 2.3.1 公差单位(公差因子) .....            | 14 | 3.3.2 包容要求 .....        | 57 |
| 2.3.2 公差等级 .....                  | 14 | 3.3.3 最大实体要求 .....      | 58 |
| 2.3.3 公称尺寸分段及标准公差表 .....          | 15 | 3.3.4 最小实体要求 .....      | 60 |
| 2.4 基本偏差系列 .....                  | 16 | 3.3.5 可逆要求 .....        | 62 |
| 2.4.1 基本偏差的意义及其代号 .....           | 16 | 3.4 几何公差的选择 .....       | 64 |
| 2.4.2 轴的基本偏差 .....                | 17 | 3.4.1 公差项目的选择 .....     | 64 |
| 2.4.3 孔的基本偏差 .....                | 18 | 3.4.2 公差原则的确定 .....     | 64 |
| 2.4.4 孔、轴公差带和配合的表示 .....          | 20 | 3.4.3 几何公差值的确定 .....    | 65 |
| 2.5 国标规定的常用公差与配合 .....            | 25 | 3.5 习题 .....            | 69 |
| 2.5.1 常用尺寸段孔、轴公差带 .....           | 25 | 第 4 章 表面粗糙度及其评定 .....   | 74 |
| 2.5.2 常用尺寸段公差与配合 .....            | 26 | 4.1 表面粗糙度的评定参数及数值 ..... | 74 |



|                           |     |                             |     |
|---------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 4.1.1 表面粗糙度对机械性能的影响 ..... | 74  | 6.4.3 滚动轴承配合表面的其他技术要求 ..... | 113 |
| 4.1.2 基本术语 .....          | 75  | 6.5 习题 .....                | 115 |
| 4.1.3 评定参数 .....          | 77  | <b>第7章 键和花键的互换性</b> .....   | 116 |
| 4.1.4 评定参数的数值 .....       | 79  | 7.1 概述 .....                | 116 |
| 4.2 表面粗糙度符号及标注 .....      | 80  | 7.2 单键联结的公差与配合 .....        | 117 |
| 4.2.1 表面粗糙度符号 .....       | 80  | 7.2.1 尺寸的公差与配合 .....        | 117 |
| 4.2.2 表面粗糙度在图样上的标注 .....  | 82  | 7.2.2 键和键槽的几何公差及表面粗糙度 ..... | 120 |
| 4.3 表面粗糙度参数值的选择 .....     | 83  | 7.2.3 单键的检测 .....           | 120 |
| 4.3.1 表面粗糙度参数的选择 .....    | 83  | 7.3 矩形花键联结的公差与配合 .....      | 121 |
| 4.3.2 表面粗糙度参数值的确定 .....   | 84  | 7.3.1 矩形花键的定心方式 .....       | 121 |
| 4.4 表面粗糙度的评定 .....        | 86  | 7.3.2 矩形花键的公差与配合 .....      | 121 |
| 4.5 习题 .....              | 87  | 7.3.3 矩形花键的图样标注 .....       | 123 |
| <b>第5章 测量技术基础</b> .....   | 88  | 7.3.4 花键的检测 .....           | 124 |
| 5.1 概述 .....              | 88  | 7.4 习题 .....                | 124 |
| 5.1.1 长度基准 .....          | 88  | <b>第8章 螺纹结合的互换性</b> .....   | 125 |
| 5.1.2 测量方法 .....          | 89  | 8.1 概述 .....                | 125 |
| 5.1.3 测量器具 .....          | 90  | 8.1.1 螺纹的种类及使用要求 .....      | 125 |
| 5.1.4 测量条件 .....          | 90  | 8.1.2 螺纹的基本牙型和几何参数 .....    | 125 |
| 5.2 测量误差和数据处理 .....       | 90  | 8.2 普通螺纹的公差与配合 .....        | 128 |
| 5.2.1 测量误差的分类 .....       | 91  | 8.2.1 普通螺纹的公差等级 .....       | 128 |
| 5.2.2 测量精度 .....          | 91  | 8.2.2 螺纹的基本偏差 .....         | 129 |
| 5.2.3 数据处理 .....          | 91  | 8.2.3 极限偏差 .....            | 130 |
| 5.3 光滑工件尺寸的检测 .....       | 92  | 8.2.4 旋合长度 .....            | 131 |
| 5.3.1 测量器具的选择 .....       | 92  | 8.2.5 螺纹的公差带及其选用 .....      | 131 |
| 5.3.2 光滑极限量规 .....        | 97  | 8.2.6 螺纹在图样上的标注 .....       | 132 |
| 5.4 习题 .....              | 103 | 8.2.7 螺纹测量 .....            | 133 |
| <b>第6章 滚动轴承的互换性</b> ..... | 104 | 8.3 梯形螺纹公差简介 .....          | 133 |
| 6.1 概述 .....              | 104 | 8.3.1 梯形螺纹基本尺寸 .....        | 134 |
| 6.2 滚动轴承精度等级及应用 .....     | 104 | 8.3.2 梯形螺纹公差 .....          | 134 |
| 6.2.1 滚动轴承的精度 .....       | 104 | 8.3.3 螺纹标记 .....            | 136 |
| 6.2.2 滚动轴承各精度应用情况 .....   | 105 | 8.4 习题 .....                | 136 |
| 6.3 滚动轴承内、外径的公差带 .....    | 106 | <b>第9章 圆柱齿轮传动的互换性</b> ..... | 137 |
| 6.3.1 滚动轴承的公差 .....       | 106 | 9.1 概述 .....                | 137 |
| 6.3.2 滚动轴承公差带的特点 .....    | 108 | 9.2 单个齿轮评定指标 .....          | 138 |
| 6.4 滚动轴承的配合及选择 .....      | 108 |                             |     |
| 6.4.1 滚动轴承的配合 .....       | 108 |                             |     |
| 6.4.2 滚动轴承配合的选择 .....     | 109 |                             |     |

|                                  |     |                          |     |
|----------------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 9.2.1 齿距偏差 .....                 | 138 | 9.4.4 齿轮副精度 .....        | 155 |
| 9.2.2 齿廓偏差 .....                 | 139 | 9.4.5 齿坯精度 .....         | 156 |
| 9.2.3 螺旋线偏差 .....                | 140 | 9.4.6 齿轮精度的标注 .....      | 158 |
| 9.2.4 切向综合偏差 .....               | 141 | 9.4.7 齿轮精度的设计 .....      | 158 |
| 9.2.5 径向综合偏差 .....               | 142 | 9.5 习题 .....             | 161 |
| 9.2.6 径向跳动 .....                 | 142 | <b>第 10 章 尺寸链</b> .....  | 162 |
| 9.3 影响齿轮副的评定指标 .....             | 143 | 10.1 尺寸链的基本概念 .....      | 162 |
| 9.3.1 齿轮副的中心距偏差 .....            | 143 | 10.1.1 尺寸链的定义及特点 .....   | 162 |
| 9.3.2 轴线的平行度偏差 .....             | 143 | 10.1.2 尺寸链的基本术语和分类 ..... | 163 |
| 9.3.3 齿轮副的接触斑点 .....             | 143 | 10.2 尺寸链的计算 .....        | 165 |
| 9.3.4 齿轮副的侧隙 .....               | 144 | 10.2.1 尺寸链计算的基本内容 .....  | 165 |
| 9.4 渐开线圆柱齿轮的精度标准 .....           | 146 | 10.2.2 完全互换法计算尺寸链 .....  | 165 |
| 9.4.1 齿轮精度等级及其选择 .....           | 146 | 10.2.3 计算尺寸链的其他方法 .....  | 168 |
| 9.4.2 齿轮检验项目的选择及<br>公差值的确定 ..... | 147 | 10.3 习题 .....            | 170 |
| 9.4.3 齿轮副侧隙 .....                | 154 | <b>参考文献</b> .....        | 172 |

# 第 1 章 绪 论

本章的学习目的是了解本课程的性质、任务、基本内容、特点和要求。本章主要内容包括：互换性的概念、特征、分类、作用及其基本原理；标准的基本概念，标准化的意义与基本原理；优先数与优先数系的基本内容和特点，数值标准化的意义以及优先数系在标准化中的作用。

## 1.1 互换性的意义与作用

### 1.1.1 互换性的概念

互换性是指在同一规格的一批零件或部件中，任取其一，不需经过挑选或修配(如钳工修理)就能装在机器上，并能达到规定的功能要求。互换性在日常生活中随处可见，例如，自行车或钟表的零件损坏后，修理人员就能用同样规格的零件换上，恢复其使用功能。

互换性是机械制造、仪器仪表和其他许多工业生产部门产品设计和制造的重要原则。机械制造、仪器仪表的互换性通常包括以下几部分：几何参数互换(如尺寸)、机械性能互换(如硬度、强度等)，以及理化性能互换(如化学成分、导电性等)等。本课程仅讨论几何参数的互换性。

所谓几何参数主要是指尺寸大小、几何形状(包括微观几何形状及宏观几何形状)以及形面间的相互位置关系等。

为了完全满足互换性的要求，同一规格的零部件的几何参数做得完全一致是最理想的。但在加工零件的过程中，由于各种因素(如机床、刀具、温度等)的影响，零件的尺寸、形状和表面粗糙度等几何量难以达到理想状态，总是存在或大或小的误差。而且从零件的使用功能来看，也不必要求零件的几何量制造得绝对准确，只要求同一规格的零部件的几何参数保持在一定的范围内，就能达到互换性的目的。这个允许零件几何参数的变动量就称为“公差”。

### 1.1.2 互换性的种类

按不同场合对于零部件互换形式和程度的不同要求，可将互换性分为完全互换和不完全互换。

#### 1. 完全互换

要求零部件在装配时，不需要挑选和辅助加工，安装后就能保证预定的使用性能要求。如常见的螺栓、螺母、齿轮及滚动轴承内、外圈等。



## 2. 不完全互换

允许零部件在装配前预先分组或在装配时采取调整等措施,这类互换又称为有限互换。如某零部件精度很高,要求配合后间隙变动量很小,又要求孔与轴都具有完全互换性,为了减小加工困难,可将孔、轴各自的变动范围加大(如加大 3 倍),使生产难度减小。装配前分别将孔、轴等分成 4 组,相同组号间进行互换。这样既保证了装配要求,又适应了生产。这种方法称为分组装配。

再如,普通车床的尾顶尖与主轴顶尖连线应与机床导轨平行(即两轴线相对机床导轨等高),为避免出现废品,应采用钳工修配的方法进行装配。

上述两种方法均称为不完全互换。

对于标准件,互换性又可分为内互换和外互换。构成标准部件的零件之间的互换称为内互换,标准部件与其他零部件之间的互换称为外互换。例如,滚动轴承外圈内滚道、内圈外滚道与滚动体之间的互换即为内互换,滚动轴承外圈外径与机壳孔的互换为外互换。

### 1.1.3 互换性的作用

使用互换性原则能使各工业部门获得最佳的经济效益和社会效益,现代化的机械工业首先要求机械零件具有互换性,才能将成千上万的零部件进行高效率的、分散的、专业化的生产,然后集中起来进行装配。因此,零部件的互换性的作用主要体现在以下方面。

(1) 设计方面:能最大限度地使用标准件,简化绘图和计算等工作,使设计周期变短,利于产品更新换代和 CAD 技术的应用。

(2) 制造方面:有利于组织专业化生产,使用专用设备和 CAM 技术。

(3) 使用和维修方面:可以及时更换那些已经磨损或损坏的零部件。对于某些易损件可以提供备用件,以提高机器的使用价值。

总之,互换性是现代化制造业中一个普遍遵守的生产原则,不但是成批、大量生产的基础,也是单件小批生产必须遵循的基本原则。

## 1.2 标准化与优先数系

### 1.2.1 标准与标准化

标准与标准化虽然两个不同的概念,但又是不可分割的。没有标准就没有标准化;反之,没有标准化,标准也就失去了存在的价值。

#### 1. 标准

标准是指为了在一定的范围内获取最佳秩序,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。标准应以科学、技术和经验的综合成果为基础,以促进最佳共同效益为目的。

## 2. 标准化

标准化是指制定标准、贯彻标准和修改标准的全过程，是一个系统工程。在现代化机械工业生产中，标准化是实现互换性的基础。要全面保证零部件的互换性，不仅要合理地确定零件制造公差，还必须对影响生产质量的各个环节、阶段及有关方面实现标准化。比如：优先数系，几何公差及表面质量参数的标准化，计量单位及检测规定等的标准化等。可见，在机械制造业中，要使任何零部件都具有互换性，就必须实现标准化，没有标准化就没有互换性。

标准化遵循的基本原理通常是指统一原理、简化原理、协调原理和最优化原理。

(1) 统一原理就是为了保证事物发展所必需的秩序和效率，对事物的形成、功能或其他特性，确定适合于一定时期和一定条件的一致规范，并使这种一致规范与被取代的对象在功能上达到等效。

(2) 简化原理就是为了经济有效地满足需要，对标准化对象的结构、形式、规格或其他性能进行筛选提炼，剔除其中多余的、低效能的、可替换的环节，精炼并确定出满足全面需要所必要的高效能的环节，保持整体构成精简合理，使之功能效率最高。

(3) 协调原理就是为了使标准的整体功能达到最佳，并产生实际效果，必须通过有效的方式协调好系统内外相关因素之间的关系，确定为建立和保持相互一致，适应或平衡关系所必须具备的条件。

(4) 最优化原理是指按照特定的目标，在一定的限制条件下，对标准系统的构成因素及其关系进行选择、设计或调整，使之达到最理想的效果。

## 3. 标准化的发展

标准化是社会生产劳动的产物。早在 19 世纪，标准化在国防、造船、铁路运输等行业中的应用就十分突出。到了 20 世纪初，一些国家相继成立了全国性的标准化组织机构，推进了本国标准化事业的发展。以后由于生产的发展，国际交流越来越频繁，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协会(ISA)，1947 年重建国际标准化协会并更名为国际标准化组织(ISO)。现在，ISO 已成为联合国甲级咨询机构。

我国标准化是在新中国成立后得到重视的。1955 年由当时的第一机械工业部颁布了我国的第一个公差与配合标准；1959 年国家科委正式颁布公差与配合国家标准(GB 159～GB 174—59)，并陆续制定了一系列标准。我国在 1978 年成为 ISO 成员国，1982 年、1985 年两届当选为 ISO 理事国。为了适应我国经济技术发展的需要，在国家标准局统一领导下，对原有标准进行了修改。

## 4. 我国标准的分类

按使用范围，我国标准由国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四个层次构成。对需要在全国范畴内统一的技术要求，可制定国家标准。对没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一的技术要求，可制定行业标准。对没有国家标准和行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的工业产品的安全、卫生要求，可制定地方标准。企业生产的产品没有国家标准、行业标准和地方标准的，应当制定相应的企业标准。对已有国



家标准、行业标准或地方标准的,鼓励企业制定严于国家标准、行业标准或地方标准要求的企业标准。

按照标准化对象的特性,标准分为基础标准、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《极限与配合》、《几何公差 形状、方向、位置和跳动公差标注》等。

《标准化法》规定,国家标准和行业标准分为强制性和推荐性两类。保障人体健康,人身、财产安全的标准和法律、行政法规规定强制执行的标准是强制性标准,其他标准是推荐性标准。

## 1.2.2 优先数系

为了满足不同用户的要求,在产品设计和制造和使用中,产品的性能参数(如承载能力)、尺寸规格参数(如产品规格、零件尺寸)等均需通过数值来表达;同一品种同一参数还要从大到小取不同的值,从而形成不同规格的产品系列。由于产品参数数值具有扩散传播的特性,如一定直径的螺栓将会扩散传播出螺母尺寸、螺栓检验环规尺寸、螺母检验塞规尺寸以及加工螺纹用的板牙和丝锥尺寸、紧固用的扳手尺寸等,因此产品及各种参数系列确定是否合理直接影响组织生产、协作配套、使用维修等方面的成效与费用,而这个系列确定是否合理与所取数值如何分档、分级直接相关。

优先数和优先数系就是一种科学的数值制度,它适合于各种数值的分级,是国际上统一的数值分级制度。目前,国家标准《优先数和优先数系》(GB/T 321—2005)是采用十进制等比数列作为优先数系。采用优先数系能使工业生产部门以较少的产品品种和规格,经济合理地满足用户的各项要求。它不仅适用于制定标准,也适用于标准制定前的规划、设计等工作,从而保证把产品品种的发展从根本上引入科学的标准化轨道。

国家标准规定优先数系的五个系列,即按五个公比形成的数系,分别用 R5、R10、R20、R40、R80 表示,其中前四个为基本系列,最后一个为补充系列。国标中规定的五个优先数系的公比分别为:

- R5 系列,公比为  $\sqrt[5]{10} \approx 1.60$ ;
- R10 系列,公比为  $\sqrt[10]{10} \approx 1.25$ ;
- R20 系列,公比为  $\sqrt[20]{10} \approx 1.12$ ;
- R40 系列,公比为  $\sqrt[40]{10} \approx 1.06$ ;
- R80 系列,公比为  $\sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。

例如:在区间  $[1,10]$  中,R5 系列自 1.0 以后有 1.6、2.5、4.0、6.3、10.0 五个优先数;R10 系列在 R5 系列中插入 1.25、2.00、3.15、5.00、8.00,共有 10 个优先数(参见表 1.1)。在 R5 系列中插入比例中项 1.25,即得出 R10 系列;R5 系列的各项数值包含在 R10 系列中。同理,R10 系列的各项数值包含在 R20 系列中;R20 系列的各项数值包含在 R40 系列中;R40 系列的各项数值包含在 R80 系列中。

应当指出,根据生产需要,亦可以派生出变形系列,即派生系列和复合系列。派生系列是指从某系列中按一定项差取值所构成的系列,如 R10/3 系列,即在 R10 数列中按每隔 3 项取 1 项的数列,其公比为  $R10/3 = (\sqrt[10]{10})^3 = 2$ 。如 1、2、4、8、……;1.25、2.5、5、10、……。

复合系列是指由若干等比系列混合构成的多公比系列,如 10、16、25、35.5、50、71、100、125、160 这一数列,它是由 R5、R20/3 和 R10 三种系列构成的混合系列。

优先数系是一项重要的基础标准,我国现行的优先数系与国际标准相同。一般机械产品的主要参数通常遵循 R5 系列和 R10 系列;专用工具的主要尺寸遵循 R10 系列;通用型材、通用零件及工具的尺寸,铸件的壁厚等遵循 R20 系列。

表 1.1 优先数基本系列(摘自 GB/T 321—2005)

| 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 |       |       | 10.00 | 9.50  |
|      | 2.00 | 2.00 | 2.00 |      |      | 4.50 | 4.50 | 10.00 | 10.00 |       | 10.00 |
|      |      |      | 2.12 |      |      |      | 4.75 |       |       |       |       |

## 1.3 本课程的性质和特点

### 1.3.1 本课程的性质及任务

本课程是高职高专机械、仪器仪表类相关专业的一门技术基础课,它与《机械制图》、《机械原理》等课程一样是机械设计的基础。本课程的研究对象是机械或仪器零部件的精度设计及其检测原理,即几何参数的互换性,在教学计划中,它是联系机械设计和机械制造工艺的纽带,是从基础课过渡到专业课的桥梁。

本课程的任务就是研究机器和仪器零部件精度设计的原则和方法,以及确保产品质量的测量技术。随着科学技术的迅猛发展和生产力水平的不断提高,对机械产品的功能和质量的要求也越来越高。为了适应国民经济现代化进程的需要,必须学习和研究互换性与测量技术中的最新科研成果。



### 1.3.2 本课程的特点

本课程由互换性与测量技术两大部分组成,它们分别属于标准化和计量学两个不同的范畴。本课程将它们有机地结合在一起,形成了一门重要的技术基础课,以便于综合分析和研究进一步提高机械及仪器仪表产品质量所必需的两个重要的技术环节。

本课程的特点是:术语及定义多、符号多、具体规定多、内容多、经验总结多,而逻辑性和推理性较少,使刚刚学完基础理论课的学生感到枯燥、内容繁多,记不住、不会用,因此应当有充分思想准备完成由基础课向专业课过渡这一进程。

### 1.3.3 本课程的学习方法

本课程的主干是各国家标准。公差标准就是技术法规,要注意其严肃性,在进行精度设计时既要满足标准规定的原则,又要根据不同的使用要求灵活选用。机械产品的种类繁多,使用要求各异,因此熟练地掌握公差与配合的选用并非一件轻而易举的事情。

在学习中,应当了解每个术语、定义的实质,及时归纳总结并掌握各术语及定义的区别和联系。在此基础上应当牢记它们,才能灵活运用。应当认真独立完成作业和实验,巩固并加深对所学内容的理解与记忆,掌握正确的标注方法,熟悉公差与配合的选择原则和方法。树立理论联系实际、严肃认真的科学态度,培养基本技能,重视微型计算机在检测领域的应用。只有在后续课程(设计类和工艺类课程)的学习中,特别是机械零件课程设计和专业课课程设计和毕业设计中,才能加深对本课程学习内容的理解,初步掌握精度设计的要领。而要达到正确运用本课程所学知识,熟练正确地进行零件精度设计,还需要经过实际工作的锻炼。对学习过程中遇到的困难,应当坚持不懈地努力。反复记忆、反复练习、不断应用是达到熟练的保证。

## 1.4 习 题

1. 什么叫互换性?互换性的分类有哪些?互换性有什么作用?
2. 标准和互换性之间有何关系?
3. 优先数系是一种什么数列?它有何特点?有哪些优先数的基本系列?
4. 第一项为10,按R5数系确定后五项优先数。
5. 试写出R10/3和R10/5两派生系列自1以后的5个优先数的值。
6. 在生产中采用的分组装配法属于哪种类型的互换?

## 第 2 章 光滑圆柱体结合的公差与配合

本章的学习目的是掌握公差与配合的一般规律，为合理选择尺寸公差与配合，学习其他典型零件的公差与配合打下基础。本章主要内容包括：理解尺寸公差有关的基本术语及定义，明确尺寸公差带的特点；掌握选用尺寸公差等级及其数值的原则和方法；学会尺寸公差在图样上的表达方法。

### 2.1 概 述

由于各种因素的影响，如机床精度的限制、刀具刃磨角度的误差、工艺系统刚性较差等，在加工过程中，零件的尺寸、形状、微观几何形状(表面粗糙度)以及相互位置等几何量总会存在一定的误差。为了满足互换性要求，使相同规格的零部件的几何参数接近一致，必须控制加工误差。

如何控制加工误差，大致体现在两个方面：在设计时，规定一定的公差(即允许零件几何参数的变动量)来控制加工误差；在加工时和加工后控制加工误差是根据设计时规定的公差，选择合理的加工方法和按设计要求进行合理的测量。

为了保证零部件的互换性要求，设计者应当使产品达到一定的要求和标准规定，选用国家标准规定的公差数值，不能任意规定或只凭计算确定公差数值。

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，它不仅适用于圆柱体，也适用于其他结合中由单一尺寸确定的部分。为适应科技发展和国际贸易，我国从 1994 年开始对公差与配合系列标准进行了全面修订。经国家技术监督局批准，颁布了公差与配合的国家标准 GB/T 1800.1—1997、GB/T 1800.2—1998、GB/T 1800.3—1998、GB/T 1804—1992，代替 1979 年颁布的旧国标(GB 1800~GB 1804—79)中的相应内容。近年来我国又修订了公差与配合标准，尽可能使我国的国家标准与国际标准一致或等同。这些新修订的标准主要有 GB/T 1804—2000、GB/T 1800.1—2009、GB/T 1800.2—2009、GB/T 1801—2009 等。

### 2.2 公差与配合的基本术语及定义

#### 2.2.1 有关“尺寸”的术语及定义

##### 1. 尺寸

尺寸即用特定单位表示线性尺寸和角度尺寸的数值。线性尺寸是指长度值，包括直径、半径、宽度、深度、高度和中心距等。在机械制图中图样上的线性尺寸的特定单位为 mm。



角度尺寸表示角度值, 单位为度( $^{\circ}$ ), 分( $'$ ), 秒( $''$ )。本章所说的尺寸一般情况下表示长度量。

## 2. 孔、轴

孔主要指圆柱体内表面, 也包括其他内表面中由单一尺寸确定的部分。

轴主要指圆柱形外表面, 也包括其他外表面中由单一尺寸确定的部分。

根据定义可以看出, 图 2.1 中的  $A$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$  应视为“轴”, 而  $B$ 、 $d_1$  应视为“孔”。从加工过程来看, 越加工越大的尺寸是孔尺寸, 越加工越小的尺寸是轴尺寸。从装配关系看, 凡有包容与被包容关系的两者, 前者为孔, 后者为轴。

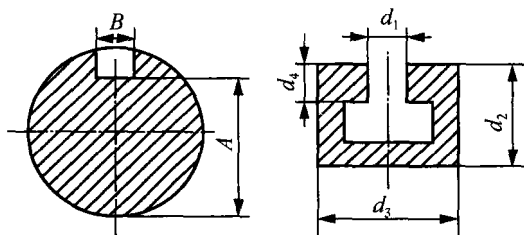


图 2.1 孔与轴的示意图

## 3. 公称尺寸

公称尺寸即设计给定的尺寸。它是设计时根据使用要求, 通过计算或根据经验确定的尺寸。通常应按标准选取, 以减少定值刀具、量具、夹具等的规格。

公称尺寸是计算极限尺寸和极限偏差的起始尺寸, 应标注在图样中。孔的公称尺寸代号用  $D$  表示, 轴的公称尺寸代号用  $d$  表示。

## 4. 极限尺寸

极限尺寸即允许尺寸变化的两个界限值。其中较大的一个称为上极限尺寸, 孔、轴的上极限尺寸分别用  $D_{\max}$ 、 $d_{\max}$  表示; 较小的一个称为下极限尺寸, 孔、轴的下极限尺寸分别用  $D_{\min}$ 、 $d_{\min}$  表示。极限尺寸的表示如图 2.2 所示。

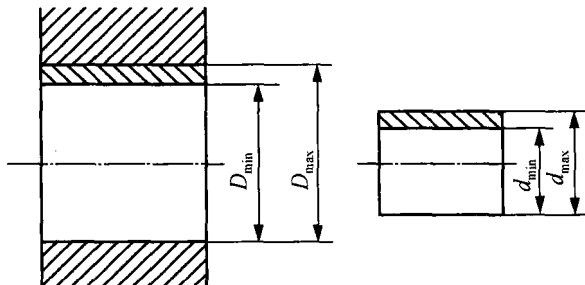


图 2.2 极限尺寸

### 5. 提取组成要素的局部尺寸

提取组成要素是按规定方法,由实际要素提取有限数目的点所形成的实际要素的近似替代。而提取组成要素上两对应点之间的距离统称为提取组成要素的局部尺寸。为方便起见,可简称为提取要素的局部尺寸。由于存在测量误差,局部尺寸非尺寸的真值;又由于存在形状误差,零件的同一表面上的不同部位,其局部尺寸往往并不相等。孔、轴的提取要素局部尺寸分别用  $D_a$ 、 $d_a$  表示。

### 6. 最大实体状态(MMC)和最大实体尺寸(MMS)

当提取要素的局部尺寸处处位于极限尺寸且使其具有实体最大时的状态称为最大实体状态。确定要素最大实体状态的尺寸为最大实体尺寸。孔、轴的最大实体尺寸分别用  $D_M$ 、 $d_M$  表示。根据定义可知,最大实体尺寸是孔的下极限尺寸和轴的上极限尺寸的统称。

### 7. 最小实体状态(LMC)和最小实体尺寸(LMS)

当提取要素的局部尺寸处处位于极限尺寸且使其具有实体最小时的状态称为最小实体状态。确定要素最小实体状态的尺寸为最小实体尺寸。孔、轴的最小实体尺寸分别用  $D_L$ 、 $d_L$  表示。根据定义可知,最小实体尺寸是孔的上极限尺寸和轴的下极限尺寸的统称。

## 2.2.2 有关“偏差”、“公差”的术语及定义

### 1. 尺寸偏差

尺寸偏差(简称偏差)是某一尺寸减去其公称尺寸所得的代数差,可为正值、负值或零。在计算和标注时,除零外的值必须带有正、负号。

上极限偏差:上极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为上极限偏差。孔用  $ES$ 、轴用  $es$  表示。

下极限偏差:下极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为下极限偏差。孔用  $EI$ 、轴用  $ei$  表示。

上极限偏差总大于下极限偏差,上、下极限偏差统称为极限偏差。在图样上采用公称尺寸带上、下极限偏差的标注形式。根据定义,孔、轴极限偏差可以表示如下。

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

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

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

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

实际偏差:实际要素减去其公称尺寸所得的代数差。孔用  $E_\alpha$ 、轴用  $e_\alpha$  表示。

【例 2-1】已知轴的公称尺寸为  $\phi 80\text{mm}$ ,轴的上极限尺寸为  $\phi 79.970\text{mm}$ ,下极限尺寸为  $\phi 79.951\text{mm}$ 。求轴的极限偏差。

解:将已知条件代入式(2-3)、式(2-4)计算得

$$es = d_{\max} - d = 79.970 - 80 = -0.030 (\text{mm})$$



$$ei = d_{\min} - d = 79.951 - 80 = -0.049 \text{ (mm)}$$

轴用公称尺寸与极限偏差在图样上标注为:  $\phi 80_{-0.049}^{-0.030} \text{ mm}$ 。

## 2. 尺寸公差

允许尺寸的变动量称为尺寸公差(简称公差)。尺寸公差等于上极限尺寸与下极限尺寸之差的绝对值,也等于上极限偏差与下极限偏差之差的绝对值。孔用  $T_h$  表示,轴用  $T_s$  表示。其计算公式如下。

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

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

**注意:** 公差与偏差是两个根本不同的概念,公差是绝对值,不能为零,它代表制造精度的要求,反映加工难易程度;而偏差是代数差,表示与公称尺寸偏离的程度,与加工难易程度无关。

**【例 2-2】** 已知孔、轴的公称尺寸为  $\phi 60 \text{ mm}$ , 孔的上极限尺寸为  $\phi 60.030 \text{ mm}$ , 下极限尺寸为  $\phi 60 \text{ mm}$ ; 轴的上极限尺寸为  $\phi 59.990 \text{ mm}$ , 下极限尺寸为  $\phi 59.970 \text{ mm}$ 。求孔、轴的极限偏差和公差。

**解:** 将已知条件代入相应公式计算得

$$\text{孔的上极限偏差: } ES = D_{\max} - D = 60.030 - 60 = +0.030 \text{ (mm)}$$

$$\text{孔的下极限偏差: } EI = D_{\min} - D = 60 - 60 = 0$$

$$\text{轴的上极限偏差: } es = d_{\max} - d = 59.990 - 60 = -0.010 \text{ (mm)}$$

$$\text{轴的下极限偏差: } ei = d_{\min} - d = 59.970 - 60 = -0.030 \text{ (mm)}$$

$$\text{孔的公差: } T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |60.030 - 60| = 0.030 \text{ (mm)}$$

$$\text{轴的公差: } T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |59.990 - 59.970| = 0.020 \text{ (mm)}$$

孔或轴用公称尺寸与极限偏差在图样上的标注分别为

$$\text{孔: } \phi 60_0^{+0.030} \text{ mm}$$

$$\text{轴: } \phi 60_{-0.030}^{-0.010} \text{ mm}$$

### 2.2.3 公差带图

由于公差与偏差的数值与公称尺寸数值相比差别很大,不使用同一比例尺表示。为了便于讨论,这里只画出放大的孔、轴公差带,即公差与配合图解(简称公差带图),如图 2.3 所示。

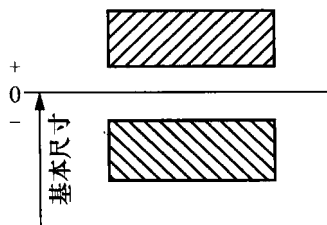


图 2.3 公差带图

#### 1. 零线

在公差带图中,确定偏差的一条基准直线为零偏差线,简称零线。通常零线表示公称尺寸。在公差带图中,正偏差位于零线的上方,负偏差位于零线的下方。

#### 2. 尺寸公差带

在公差带图中,由代表上、下极限偏差的两条直线所限定的一个区域,称为尺寸公差