

普通高等工科教育机电类规划教材

# 互换性与测量技术基础 学习指导及习题集

陈于萍 李翔英 蒋平 编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



TG801  
42C

普通高等工科教育机电类规划教材

# 互换性与测量技术基础 学习指导及习题集

南京工程学院 陈于萍 李翔英 蒋 平 编  
沈阳大学 周兆元 主审



机械工业出版社

本书包括学习指导、习题、思考题及习题解答等内容。

全书分为十一章：绪论、测量技术基础、尺寸的公差配合与检测、形位公差与检测、表面粗糙度与检测、圆锥和角度公差与检测、尺寸链基础、光滑极限量规设计、常用结合件的公差与检测、渐开线圆柱齿轮传动公差与检测、计算机在本课程中的应用举例等。

在“学习指导”中，用对照、比较的方式，归纳、总结该章的要点、重点、难点、处理方法及例题等，力求避免与教材简单重复。“习题”、“思考题”部分内容全面，选题精练，形式灵活多样，难度适中。“习题解答”不仅给出答案，还有解题的过程和思路，有利于学生自我检测，同时方便教师批改。

本书不仅可以与由陈于萍、周兆元主编的《互换性与测量技术基础》教材配套使用，也可供机械类各专业开设该课程的师生使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

互换性与测量技术基础学习指导及习题集/陈于萍等编. —北京：机械工业出版社，2006.7

普通高等工科教育机电类规划教材

ISBN 7-111-19185-4

I. 互... II. 陈... III. ①零部件-互换性-高等学校-教学参考资料②零部件-测量-技术-高等学校-教学参考资料 IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 051606 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：高文龙 版式设计：霍永明 责任校对：王欣

封面设计：张静 责任印制：杨曦

北京机工印刷厂印刷

2006 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 8.5 印张 · 207 千字

定价：14.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

编辑热线电话 (010) 88379711

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是在总结多年教学研究、吸取各兄弟学校经验的基础上编写的,希望能对学生全面掌握、巩固理论知识、提高应用能力起到促进作用。

本书包括学习指导、习题、思考题及习题解答等内容。

在“学习指导”中,力求用简练的语言,通过对照、比较的方式,归纳、总结了各章应掌握的知识要点,指出其中的重点、难点及处理方法,针对重点和难点,较为详细地解析了例题,并避免与教材简单重复。

“习题”、“思考题”部分,内容全面,包括了“互换性与测量技术”课程各版本教材的基本内容;选题精练、密切配合课堂教学;习题有填空、判断、选择、计算、填表、标注、改错等灵活多样的形式,难度适中。

附录中的“习题解答”不仅给出答案,还有解题的过程和思路,有利于学生正确理解、自我检测,提高学习兴趣,全面巩固所学知识,同时方便教师批改。

全书分为十一章:绪论、测量技术基础、尺寸的公差、配合与检测、形位公差与检测、表面粗糙度与检测、圆锥和角度公差与检测、尺寸链基础、光滑极限量规设计、常用结合件的公差与检测、渐开线圆柱齿轮传动公差与检测、计算机在本课程中的应用举例等。

本书不仅可以与由陈于萍、周兆元主编的《互换性与测量技术基础》教材配套使用,还可供机械类各专业开设该课程的师生使用。

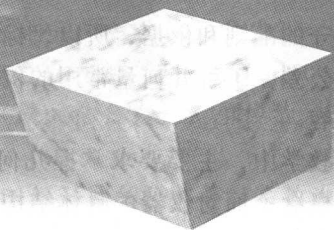
本书由南京工程学院陈于萍、李翔英、蒋平共同编写。由沈阳大学周兆元老师主审。

由于受作者水平限制,书中不免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                    |     |  |
|--------------------|-----|--|
| 前言                 |     |  |
| 第一章 绪论             | 1   |  |
| 一、学习指导             | 1   |  |
| 二、习题               | 2   |  |
| 三、思考题              | 3   |  |
| 第二章 测量技术基础         | 4   |  |
| 一、学习指导             | 4   |  |
| 二、习题               | 10  |  |
| 三、思考题              | 11  |  |
| 第三章 尺寸的公差、配合与检测    | 13  |  |
| 一、学习指导             | 13  |  |
| 二、习题               | 24  |  |
| 三、思考题              | 28  |  |
| 第四章 形位公差与检测        | 29  |  |
| 一、学习指导             | 29  |  |
| 二、习题               | 43  |  |
| 三、思考题              | 49  |  |
| 第五章 表面粗糙度与检测       | 50  |  |
| 一、学习指导             | 50  |  |
| 二、习题               | 55  |  |
| 三、思考题              | 56  |  |
| 第六章 圆锥和角度公差与检测     | 57  |  |
| 一、学习指导             | 57  |  |
| 二、习题               | 60  |  |
| 三、思考题              | 61  |  |
| 第七章 尺寸链基础          | 62  |  |
| 一、学习指导             | 62  |  |
| 二、习题               | 68  |  |
| 三、思考题              | 69  |  |
| 第八章 光滑极限量规设计       | 70  |  |
| 一、学习指导             | 70  |  |
| 二、习题               | 72  |  |
| 三、思考题              | 74  |  |
| 第九章 常用结合件的公差与检测    | 75  |  |
| 一、学习指导             | 75  |  |
| 二、习题               | 85  |  |
| 三、思考题              | 89  |  |
| 第十章 渐开线圆柱齿轮传动公差与检测 | 90  |  |
| 一、学习指导             | 90  |  |
| 二、习题               | 98  |  |
| 三、思考题              | 100 |  |
| 第十一章 计算机在本课程中的应用举例 | 101 |  |
| 一、学习指导             | 101 |  |
| 二、习题               | 101 |  |
| 三、思考题              | 101 |  |
| 附录 习题解答            | 103 |  |
| 参考文献               | 130 |  |



# 第一章

## 绪 论

### 一、学习指导

本章的基本内容是介绍互换性的含义、重要性、分类及其与公差、测量技术和标准化之间的关系。以下介绍本章的学习要点和应注意的问题。

#### 1. 掌握互换性的含义

注意互换性应同时具备两个条件：①不需要挑选、不经修配或调整便可进行装配；②装配后满足预定的使用要求。仅有第一点是不完整的。也就是说，互换性表现在产品零、部件装配过程的三个阶段：装配前，不需挑选；装配时，不经修配或调整；装配后满足预定的使用要求。

#### 2. 充分认识互换性的重要意义

由于互换性对产品的设计、制造、使用和维修等各方面都带来极大的方便，所以，它不仅适用于大批量生产，也适用单件小批生产，是现代制造业中普遍遵守的原则。互换性的思想贯穿于本课程的始终。

#### 3. 明确互换性的分类

互换性可以从不同角度分类：按互换的范围，可分为几何参数互换和功能互换，本课程只研究几何参数互换，如尺寸、形状、位置和表面粗糙度等；按互换的程度，可分为完全互换（完全符合上述含义）和不完全互换（装配时需要分组或调整），并不是互换的程度越高越好，而是应该在保证质量的前提下，获得较好的经济效益，所以，当精度要求较高、制造较困难时，应考虑采用不完全互换，并注意，一般不完全互换适用于本厂内部而不宜用于厂际协作。

#### 4. 掌握互换性、公差、测量技术和标准化之间的关系

给零、部件规定合理的公差、正确进行检测，是实现互换性的必要条件。而要做到这两

点,需要有统一的标准作为共同遵守的准则和依据,所以,标准化是实现互换性的前提。掌握有关标准的主要规定,正确选用公差,了解几何量常用的检测方法,并具有一定的实际操作能力,这就是本课程要学习的内容。

对测量部分,在本课程的理论教学中,主要要求掌握几何量测量常用方法种类、原理、主要特点及应用场合,建立起总体概念;而对仪器的具体结构、调整、操作、数据处理等技能的提高,通过实验教学来完成。

### 5. 提高对标准和标准化重要性的认识

我国标准分为国家、行业、地方和企业四个等级,国家标准和行业标准又分为强制性和推荐性两大类。本课程所涉及的多为推荐性标准。标准是科学技术和生产经验的结晶,代表先进的生产力,对推动科技发展和人类进步具有重大意义,所以,推荐性标准仍然需要认真贯彻执行。特别是在改革开放的新时期,为了与国际标准靠拢,我国近年出台了越来越多的新标准,需要不断学习,才能跟上时代前进的步伐。

### 6. 了解 GB/T 321—1980《优先数和优先数系》的有关规定

标准对优先数系规定了 R5、R10、R20、R40 四个基本系列和 R80 补充系列,也允许采用派生系列,借助表格,应能写出各系列的优先数,并在实际工作中优先采用这些数,使参数的选择一开始就纳入标准化的轨道。

**例题 1-1** 某机床主轴转速为 50、63、80、100、125、…单位为 r/min,它们属哪个系列?

**解:** 属 R10 系列。

**例题 1-2** 表面粗糙度  $R_a$  的基本系列为: 0.012、0.025、0.050、0.100、0.200、…单位为  $\mu\text{m}$ ,它们属于哪个系列?

**解:** 它们属于派生系列 R10/3,为倍数系列。

## 二、习题

1-1 判断下列说法是否正确(以“√”或“×”填入括号内):

- (1) 不经挑选和修配就能相互替换、装配的零件,就是具有互换性的零件。( )
- (2) 互换性原则只适用于大批量生产。( )
- (3) 不一定在任何情况下都要按完全互换性的原则组织生产。( )
- (4) 为了实现互换性,零件的公差规定得越小越好。( )
- (5) 国家标准中强制性标准是必须执行的,而推荐性标准执行与否无所谓。( )
- (6) 企业标准比国家标准层次低,在标准要求上可稍低于国家标准。( )

1-2 填空:

- (1) 互换性的定义是\_\_\_\_\_。
- (2) 完全互换适用于\_\_\_\_\_。
- (3) 我国标准按颁发级别分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- (4) 优先数的基本系列有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_，它们的公比分别约为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

1-3 设首项为 100,按 R10 系列确定后 5 项优先数。

1-4 下列三列数据属于哪种系列？公比为多少？

(1) 电动机转速有（单位为  $\text{r/min}$ ）：375、750、1500、3000、……。

(2) 摇臂钻床的主参数（最大钻孔直径，单位为  $\text{mm}$ ）有：25、40、63、80、100、125、……。

(3) 国家标准规定的从 IT6 级开始的公差等级系数为：10、16、25、40、64、100、……。

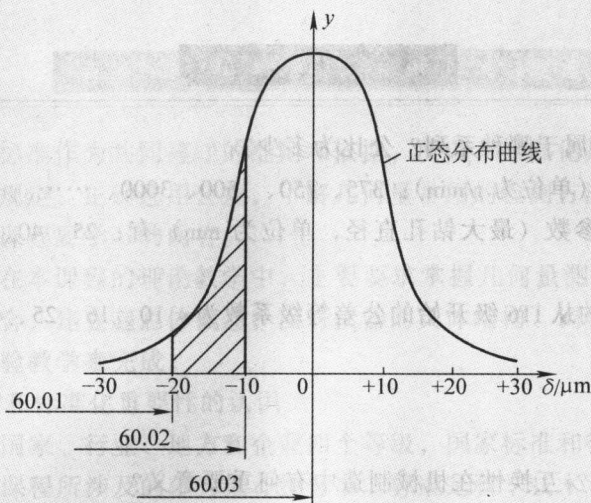
### 三、思考题

1-1 什么叫互换性？互换性在机械制造中有何重要意义？

1-2 完全互换与不完全互换有何区别？各应用于什么场合？

1-3 公差、检测、标准化与互换性有何关系？

1-4 为什么要规定优先数系？



## 第二章

# 测量技术基础

### 一、学习指导

本章围绕测量的四个要素，介绍有关测量的基本知识，而不涉及具体的测量仪器和方法。

#### 1. 掌握有关测量的概念及其四要素

测量是指为确定被测量的量值而进行的实验过程。

一个完整的测量过程包括的四个要素是：

- ① 测量对象——本课程研究的测量对象是几何量；
- ② 计量单位——我国法定的长度单位为米（以及毫米、微米、纳米等），角度单位为弧度和度、分、秒等；
- ③ 测量方法——测量原理、计量器具和测量步骤等；
- ④ 测量精度——测量误差及其处理。

全章就是针对这些问题进行阐述的。

#### 2. 了解“米”的定义及长度量值传递系统的概况

“米”的定义随着科学技术的发展经历了一个漫长的历史过程。现在使用的是由国际计量大会讨论通过的、用光的速度来定义的。

为了把米的定义传递到实际测量中使用的各种计量器具上去，建立了长度量值传递系统。

长度量值由两个平行系统向下传递：一个是量块系统，另一个是线纹尺系统，前者应用较广。

#### 3. 掌握量块的特点、精度和使用

- ① 量块是长度传递中十分重要的工具。其形状为长方六面体，有两个平行的测量面，

测量面的表面粗糙度参数值小、粘性好，两测量面间具有精确的尺寸。量块用特殊合金钢制成，线胀系数小、不易变形、硬度高，耐磨性好。

② 量块的精度有两种规定：按“级”划分和按“等”划分。量块分为五级，即 0、1、2、3、和 K 级，其中 0 级精度最高，3 级精度最低，K 为校准级；按“级”使用时，以标记在量块上的公称尺寸为准，使用较方便，但包含量块的制造误差；量块分为 16 等，精度依次降低；按“等”使用时，以量块的实际尺寸为准，排除了制造误差，仅包含检定实际尺寸时较小的测量误差。

③ 量块按一定的尺寸系列成套生产，我国规定了 17 种系列，使用时常常用几块量块组合成所需尺寸。

**例题 2-1** 试从 83 块一套的量块中，同时组合下列尺寸：46.53mm、25.385mm、40.79mm。

**解：**因是同时组合，所以一块量块不能使用两次以上。组合时注意块数越少越好。

$$46.53\text{mm} = (1.03 + 5.5 + 40)\text{mm}$$

$$25.385\text{mm} = (1.005 + 1.38 + 3 + 20)\text{mm}$$

$$40.79\text{mm} = (1.29 + 9.5 + 30)\text{mm}$$

#### 4. 了解角度量值传递系统概况

角度不需要和长度一样建立自然基准，但为工作方便，计量部门常用多面棱体作为角度基准，通过角度量块来建立角度传递系统。

角度量块的作用、性能与长度量块类似。

#### 5. 了解计量器具的分类

计量器具可以从不同的角度进行分类。例如，按用途可分为标准计量器具、通用计量器具和专用计量器具三类；按结构和工作原理可分为机械式、光学式、气动式、电动式、光电式等。应能对计量器具的种类有宏观的认识。

#### 6. 掌握计量器具的基本度量指标

度量指标是合理选择和使用仪器的主要依据，应清楚理解它们的含义。尤其是以下几个指标：

**分度值**——每一刻度间距所代表的被测量的值。一般说，分度值愈小，计量器具的精度愈高。

**示值范围和测量范围**——示值范围是计量器具所显示的最小值到最大值的范围，而测量范围是计量器具所能测量的最小值到最大值的范围，二者含义是不同的，某些器具（如游标卡尺、千分尺等）其示值范围和测量范围是一样的，而有些器具二者是不一样的（如立式光学比较仪的示值范围是  $\pm 0.1\text{mm}$ ，而测量范围是  $0 \sim 180\text{mm}$ ）。

**示值误差和不确定度**——示值误差是计量器具上的示值与被测量真值的代数差，可以用修正值进行修正，而不确定度是对被测量的值不能肯定的程度，它是综合指标，包括了示值误差、回程误差等，不能修正，只能用来估计测量误差的范围。例如，分度值为  $0.01\text{mm}$  的千分尺在车间条件下，测量  $0 \sim 50\text{mm}$  的尺寸时，其不确定度为  $\pm 0.004\text{mm}$ ，这说明测量结果与被测量真值之间的差值最大不会大于  $0.004\text{mm}$ ，最小不会小于  $-0.004\text{mm}$ 。测量器具的示值误差和不确定度都可从使用说明书或有关资料中查出。

**例题 2-2** 用标称长度为  $10\text{mm}$  的量块对百分表调零，用此百分表测量工件，读数为

+15 $\mu\text{m}$ 。若量块的实际尺寸为10.0005mm,试求被测零件的实际尺寸。

解:仪器的调零误差(示值误差)为 $(10 - 10.0005) \text{ mm} = (-0.0005) \text{ mm}$ ,修正值为+0.0005mm,工件的实际尺寸为 $(10 + 0.015 + 0.0005) \text{ mm} = 10.0155 \text{ mm}$

### 7. 掌握测量方法的分类及其特点。

测量方法也可以从不同角度分类,如:

① 按所测得的量(参数)是否为欲测之量,可分为直接测量和间接测量,应尽量采用直接测量。

② 按读数是否为被测量之整个数值,可分为绝对测量和相对测量,一般来说,相对测量的精度更高。

③ 按工件是否与测头接触,可分为接触测量和非接触测量,后者无测量力的影响。

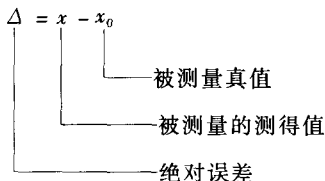
④ 按一个零件上同时被测参数的多少及参数的性质,可分为单项测量和多项测量,前者的效率较低,但其结果便于工艺分析。

⑤ 按测量在零件制造过程中的作用,可分为在线(主动)测量和离线(被动)测量,前者是发展方向,但技术较复杂。

⑥ 按多次测量的条件是否改变,可分为等精度测量和不等精度测量,后者只用于重要的科研实验中的高精度测量。

### 8. 理解测量误差的含义及来源

#### ① 绝对误差



相对误差  $\epsilon = \frac{|\Delta|}{x_0} \approx \frac{|\Delta|}{x} \times 100\%$  相对误差愈小,测量精度愈高。

**例题 2-3** 用两种方法分别测量两个尺寸,它们的真值分别为  $L_1 = 30.002 \text{ mm}$ ,  $L_2 = 69.997 \text{ mm}$ ,若测得值分别为 30.004mm 和 70.002mm,试评定哪一种测量方法精度较高。

解:相对测量误差为  $\epsilon_1 = (30.004 - 30.002) / 30.002 = 0.0067\%$

$$\epsilon_2 = (70.002 - 69.997) / 69.997 = 0.0071\%$$

所以  $L_1$  的测量精度高。

长度测量中,通常采用绝对误差。

② 误差来源:因为一个测量过程是由人、在一定的环境中、用某种仪器、按一定的方法进行的,所以,人员(技术、分辨能力等)、环境(温度、湿度、振动等)、器具(设计原理、制造、使用等)、方法等四方面都会产生测量误差。

### 9. 掌握测量误差的种类及处理原则

测量误差按其性质分三大类,对它们的处理原则也是不同的:

① 系统误差——在一定条件下,多次重复测量同一量时,误差的大小和符号均不变(定值系统误差)或按一定规律变化(变值系统误差)。处理原则是:发现、消除或修正。

② 随机误差——在一定条件下,多次重复测量同一量时,误差的大小和符号以不可预

定的方式变化。处理原则是：估计其数值范围，减小其对测量结果的影响。

③ 粗大误差——由于主观疏忽大意或客观条件突变产生的误差。处理原则：剔除这次测量数据。

#### 10. 掌握随机误差的特点及处理方法

(1) 实践表明，随机误差在绝大多数情况下符合正态分布规律，它具有对称性、单峰性、抵偿性和有界性。

(2) 正态分布曲线的两个基本参数是平均值  $\bar{x}$  和标准偏差  $\sigma$ 。 $\bar{x}$  决定曲线的位置， $\sigma$  决定曲线的形状，它并不是一个具体的偏差，而只表明随机误差的分散程度， $\sigma$  愈小，曲线愈陡，随机误差分布愈集中，测量愈精密。

(3) 正态分布随机误差出现的概率可用公式  $\phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$  来计算，表示随机误差在  $0 \sim \delta$  范围内  $(z = \frac{\delta}{\sigma})$  出现的概率，为了方便，可根据  $z$  的值直接查表得到  $\phi(z)$ ，而不必自己计算。

**例题 2-4** 对某一尺寸进行等精度测量 150 次，测得最大值为 60.06mm，最小值为 60.00mm，假设测量误差符合正态分布，求测得值落在 60.01 ~ 60.02mm 之间的概率是多少？

**解：**测得值的分布范围  $6\sigma = (60.06 - 60.00) \text{ mm} = 0.06 \text{ mm}$

标准偏差  $\sigma = 0.06/6 \text{ mm} = 0.01 \text{ mm}$

平均值  $\bar{x} = (60.06 + 60.00) / 2 \text{ mm} = 60.03 \text{ mm}$

尺寸为 60.01mm 时  $\delta_1 = (60.01 - 60.03) \text{ mm} = -0.02 \text{ mm}$

$$z_1 = \delta_1 / \sigma = -0.02 / 0.01 = -2$$

测得值落在 60.01 ~ 60.03mm 之间的概率为  $\phi(z_1) = 0.4772$

尺寸为 60.02mm 时  $\delta_2 = (60.02 - 60.03) \text{ mm} = -0.01 \text{ mm}$

$$z_2 = \delta_2 / \sigma = -0.01 / 0.01 = -1$$

测得值落在 60.02 ~ 60.03mm 之间的概率为  $\phi(z_2) = 0.3413$

所以测得值落在 60.01 ~ 60.02mm 之间的概率为：

$$\begin{aligned} P &= \phi(z_1) - \phi(z_2) = 0.4772 - 0.3413 \\ &= 0.1359 \end{aligned}$$

概率分布如图 2-1 所示。

(4) 因为服从正态分布的随机误差具有“有界性”，这个界限值称为随机误差的极限值  $\delta_{\text{lim}}$ ，在几何量测量中，一般取  $\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma$ ，因为误差出现在  $\pm 3\sigma$  范围内的概率是 99.73%，即超出该范围的概率只有 0.27%，意味着对同一量进行 100 次重复测量，都没有一次测量的随机误差超过  $\pm 3\sigma$ ，而实际一般不会出现重复测量 100 次的，可见，超过  $\pm 3\sigma$  的机会很小了。

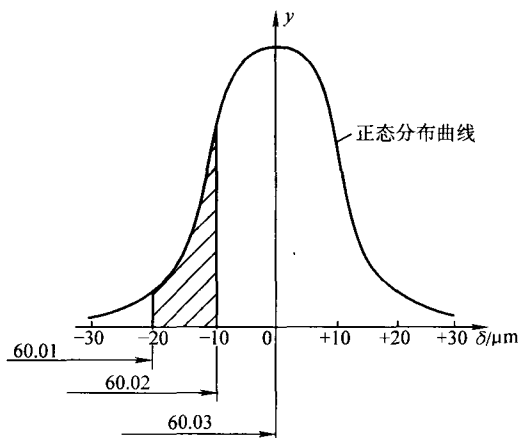


图 2-1 例题 2-4 答案

(5) 在实际测量中, 若只测了一次, 测得值为  $x_i$ , 且无系统误差, 则测量结果可表示为  $x_0 = x_i \pm 3\sigma$ , 此时置信概率为 99.73%。例如, 已知标准偏差  $\sigma = 0.0016\text{mm}$ , 测得值为  $20.007\text{mm}$ , 测量结果可以写成  $(20.007 \pm 3 \times 0.0016)\text{mm} = (20.007 \pm 0.005)\text{mm}$ , 即被测量的真值有 99.73% 的可能性在  $20.002 \sim 20.012\text{mm}$  之间。

(6) 理论证明, 对同一量重复测量  $n$  次, 其算术平均值  $\bar{x}$  比单次测量值  $x_i$  更加接近被测量的真值。但  $\bar{x}$  也具有分散性, 只是它的分散程度比  $x_i$  的分散程度小。分散程度用  $\sigma_{\bar{x}}$  表示, 称为算术平均值的标准偏差,  $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ , 可见, 测量次数越多, 平均值的分散程度越小。

(7) 所以, 对随机误差的处理方法就是多次重复测量, 用  $x_0 = \bar{x} \pm 3\sigma_{\bar{x}}$  表示测量结果。

**例题 2-5** 已知某仪器的测量极限误差  $\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma = \pm 0.003\text{mm}$ , 用该仪器测量工件:

(1) 如果测量一次, 测得值为  $20.001\text{mm}$ , 写出测量结果。

(2) 如果重复测量 4 次, 测得值分别为  $20.001\text{mm}$ 、 $20.002\text{mm}$ 、 $20.000\text{mm}$ 、 $19.997\text{mm}$ , 写出测量结果。

(3) 要使测量结果的极限误差  $\delta_{\text{lim}(\bar{x})}$  不超过  $\pm 0.001\text{mm}$ , 应重复测量多少次?

解:

(1) 单次测量的结果为  $x \pm 3\sigma = (20.001 \pm 0.003)\text{mm}$

(2) 平均值  $\bar{x} = (20.001 + 20.002 + 20.000 + 19.997) / 4\text{mm} = 20.000\text{mm}$

平均值的标准偏差  $\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n} = (0.003/3) / \sqrt{4}\text{mm} = 0.0005\text{mm}$

测量结果为  $\bar{x} \pm 3\sigma_{\bar{x}} = (20.000 \pm 3 \times 0.0005)\text{mm} = (20.000 \pm 0.0015)\text{mm}$

(3) 设要使测量误差不超过  $\pm 0.001\text{mm}$  的次数为  $n$  次

$$\Theta \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.003/3}{\sqrt{n}} = 0.001/3$$

所以  $n = 9$  次

### 11. 掌握系统误差的处理方法

用上述多次重复测量的方法是不能消除系统误差的, 只有通过分析、观察, 发现系统误差, 进而设法消除或减少它。

(1) 发现系统误差的主要方法:

对定值系统误差——实验对比法;

对变值系统误差——残差观察法。

(2) 消除系统误差的常用方法:

① 分析产生根源, 从源头消除;

② 测量时采取一定措施, 如: 用对称法以消除线性系统误差, 用半波法消除周期变化的系统误差, 用两次读数取平均值以消除大小相等 (相近)、符号相反的误差, 用加修正值的方法消除定值系统误差等。

一般来说, 严格按照使用说明书要求的操作规程进行测量, 可认为基本消除了系统误差。

### 12. 掌握粗大误差的处理方法

多大的误差才算是粗大误差, 有各种判断准则。当测量列服从正态分布时, 常用拉依达

准则,即认为绝对值超过  $3\sigma$  的残差是粗大误差,并将此次测量数据予以剔除。

### 13. 掌握直接测量列数据处理方法

在消除了定值系统误差后,测得的一组数据用以下步骤处理:

(1) 计算算术平均值  $\bar{x}, \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

(2) 计算残差  $v_i, v_i = x_i - \bar{x}$

(3) 观察残差的变化,若大体正负相间,无明显的变化规律,则说明无定值系统误差。

(4) 计算单次测量的标准偏差  $\sigma, \sigma \approx \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}$

(5) 计算单次测量的极限误差  $\delta_{\text{lim}}, \delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma$

(6) 判断有无粗大误差,若有,剔除此次测量数据(一次只能剔除一个),再重复上面的步骤,直到剔除完为止。

(7) 计算算术平均值的标准偏差  $\sigma_{\bar{x}}, \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

(8) 写出测量结果,  $x_0 = \bar{x} \pm 3\sigma_{\bar{x}}$

通过以上的处理步骤,对有关三种误差的知识就有了更清楚、更系统的了解。

上面介绍的对同一个量进行多次重复测量的方法多用于比较精密的测量,而在生产现场用得较少。

**例题 2-6** 对某轴径进行 15 次重复测量,测得值列于表 2-1 中,设数据中无定值系统误差,试求测量结果。

(1) 计算算术平均值  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} x_i = 30.404\text{mm}$

(2) 计算残差  $v_i = x_i - \bar{x}$  及其平方  $v_i^2$ , 填入表 2-1 中;

(3) 根据“残差观察法”判断,测量列中剩余误差大体正负相间,无明显变化规律,所以认为无定值系统误差;

(4) 计算标准偏差  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} v_i^2}{15-1}} = \sqrt{\frac{14960}{14}} \mu\text{m} \approx 33\mu\text{m}$

(5) 判断粗大误差

单次测量的极限误差  $\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma = (\pm 3 \times 33) \mu\text{m} = \pm 99\mu\text{m}$

根据  $3\sigma$  准则,第 8 次测得值的残差  $|v_8| = 104 > 99$ , 含有粗大误差,应予剔除;

(6) 剔除第 8 次测量数据后重复步骤 (1) ~ (5)

重新计算算术平均值  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} x_i = 30.411\text{mm}$

重新计算残差  $v_i = x_i - \bar{x}$  及其平方  $v_i^2$ , 填入表 2-1 中;

$$\text{重新计算标准偏差 } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{14} v_i^2}{14-1}} = \sqrt{\frac{3374}{13}} \mu\text{m} \approx 16 \mu\text{m}$$

单次测量的极限误差  $\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma = (\pm 3 \times 16) \mu\text{m} = \pm 48 \mu\text{m}$

根据  $3\sigma$  准则, 由表 2-1 可知, 残差均小于  $3\sigma$ , 因此, 可认为已无粗大误差存在。

$$(7) \text{ 计算算术平均值的标准偏差 } \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{16}{\sqrt{14}} \mu\text{m} \approx 4.3 \mu\text{m}$$

表 2-1 例题 2-6 表

| 序号 | 测得值 $x_i/\text{mm}$                                            | 剔除粗大误差前                   |                                    | 剔除粗大误差后                   |                                    |
|----|----------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
|    |                                                                | 剩余误差<br>$v_i/\mu\text{m}$ | 剩余误差的平方<br>$v_i^2/(\mu\text{m})^2$ | 剩余误差<br>$v_i/\mu\text{m}$ | 剩余误差的平方<br>$v_i^2/(\mu\text{m})^2$ |
| 1  | 30.42                                                          | +16                       | 256                                | +9                        | 81                                 |
| 2  | 30.43                                                          | +26                       | 676                                | +19                       | 361                                |
| 3  | 30.40                                                          | -4                        | 16                                 | -11                       | 121                                |
| 4  | 30.43                                                          | +26                       | 676                                | +19                       | 361                                |
| 5  | 30.42                                                          | +16                       | 256                                | +9                        | 81                                 |
| 6  | 30.43                                                          | +26                       | 676                                | +19                       | 361                                |
| 7  | 30.39                                                          | -14                       | 196                                | -21                       | 441                                |
| 8  | 30.30                                                          | -104                      | 10816                              | —                         | —                                  |
| 9  | 30.40                                                          | -4                        | 16                                 | -11                       | 121                                |
| 10 | 30.43                                                          | +26                       | 676                                | +19                       | 361                                |
| 11 | 30.42                                                          | +16                       | 256                                | +9                        | 81                                 |
| 12 | 30.41                                                          | +6                        | 36                                 | -1                        | 1                                  |
| 13 | 30.39                                                          | -14                       | 196                                | -21                       | 441                                |
| 14 | 30.39                                                          | -14                       | 196                                | -21                       | 441                                |
| 15 | 30.40                                                          | -4                        | 16                                 | -11                       | 121                                |
|    | 剔除粗大误差前<br>$\bar{x} = 30.404$<br>剔除粗大误差后<br>$\bar{x} = 30.411$ |                           | $\sum_{i=1}^{15} v_i^2 = 14960$    |                           | $\sum_{i=1}^{15} v_i^2 = 3374$     |

(8) 写出测量结果  $x_0 = \bar{x} \pm 3\sigma_{\bar{x}} = (30.411 \pm 3 \times 0.0043) \text{ mm} = (30.411 \pm 0.0129) \text{ mm}$

## 二、习题

2-1 填空:

(1) 一个完整的测量过程应包含四个要素, 它们是\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

(2) 量块按“级”使用时, 是以量块的\_\_\_\_\_为工作尺寸的, 该尺寸包含了量块的

\_\_\_\_\_误差；量块按“等”使用时，是以量块\_\_\_\_\_为工作尺寸的，该尺寸包含了量块的\_\_\_\_\_误差。

(3) 测量误差按其性质可分为三大类：\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。

(4) 随机误差通常服从正态分布规律，这时具有的特性是\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

(5) 对系统误差的处理原则是\_\_\_\_\_，对随机误差的处理原则是\_\_\_\_\_，对粗大误差的处理原则是\_\_\_\_\_。

(6) 在等精度精密测量中，多次测量同一量是为了\_\_\_\_\_。

(7) 环境对测量的影响包括温度、湿度、气压和振动等，其中\_\_\_\_\_影响最大。

2-2 试从 83 块一套的量块中，同时组合下列尺寸：48.98mm、29.875mm、10.56mm。

2-3 某仪器在示值为 20mm 处的示值误差为  $-0.002\text{mm}$ ，当用它测量工件时，读数正好为 20mm，工件的实际尺寸是多少？

2-4 某一测量范围为  $0 \sim 25\text{mm}$  的外径千分尺，当活动测杆与测砧可靠接触时，其读数为  $+0.02\text{mm}$ 。若用此千分尺测量工件尺寸时，读数是  $19.95\text{mm}$ ，试求其系统误差的值和修正后的测量结果。

2-5 用名义尺寸为  $20\text{mm}$  的量块调整机械比较仪零位后测量一工件尺寸，指示表的读数为  $+6\mu\text{m}$ 。若量块的实际尺寸为  $19.9995\text{mm}$ ，不计仪器的示值误差，试确定该仪器的调零误差（系统误差）和修正值，并求出该工件的实际尺寸。

2-6 用两种方法分别测量两个尺寸，设它们的真值分别为  $L_1 = 50\text{mm}$ ， $L_2 = 80\text{mm}$ ，若测得值分别为  $50.004\text{mm}$  和  $80.006\text{mm}$ ，试评定哪一种测量方法精度较高。

2-7 已知某仪器的测量极限误差  $\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma = \pm 0.004\text{mm}$ ，用该仪器测量工件：

(1) 如果测量一次，测得值为  $10.365\text{mm}$ ，写出测量结果。

(2) 如果重复测量 4 次，测得值分别为  $10.367\text{mm}$ 、 $10.368\text{mm}$ 、 $10.367\text{mm}$ 、 $10.366\text{mm}$ ，写出测量结果。

(3) 要使测量结果的极限误差  $\delta_{\text{lim}}(\bar{x})$  不超过  $\pm 0.001\text{mm}$ ，应重复测量多少次？

2-8 对某一尺寸进行等精度测量 100 次，测得最大值为  $50.015\text{mm}$ ，最小值为  $49.985\text{mm}$ ，假设测量误差符合正态分布，求测得值落在  $49.995 \sim 50.010\text{mm}$  之间的概率是多少？

2-9 用比较仪对某尺寸进行了 15 次等精度测量，测得值如下（单位为 mm）：20.216、20.213、20.215、20.214、20.215、20.215、20.217、20.216、20.213、20.215、20.216、20.214、20.217、20.215、20.214。假设已消除了定值系统误差，试求其测量结果。

### 三、思考题

2-1 一个完整的测量过程包括哪四个要素？

2-2 为什么要建立尺寸的传递系统？

2-3 量块主要有哪些用途？它的“级”和“等”是根据什么划分的？按“级”和按“等”使用量块有何不同？

- 2-4 计量器具的基本度量指标有哪些？试以比较仪为例加以说明。
- 2-5 测量方法有哪些分类？各有何特点？
- 2-6 什么叫测量误差？其主要来源有哪些？
- 2-7 发现和消除测量列中的系统误差常用哪些方法？