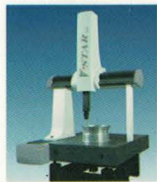
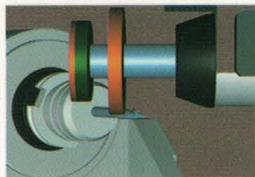


机械工人操作技术丛书

# 机械测量入门与提高

◎ 张继东 主编



机械工人操作技术丛书

# 机械测量入门与提高

主编 张继东

参编 高建苹 孟岩 李伟



机械工业出版社

本书共有9章,前两章介绍了测量的基础知识和常见的量具量仪,从第3章开始介绍了不同的测量种类,包括尺寸的测量、角度的测量、几何公差的测量、表面粗糙度的测量、螺纹和齿轮的测量,最后简单介绍了三坐标测量仪、轮廓测量仪等精密仪器。

本书可供职业院校师生学习参考,也可作为企业机械工人的培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械测量入门与提高/张继东主编. —北京:机械工业出版社,2011.4

(机械工人操作技术丛书)

ISBN 978-7-111-33533-7

I. ①机… II. ①张… III. ①技术测量 IV. ①TG801

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第028829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:黄丽梅 责任编辑:李建秀

版式设计:张世琴 责任校对:樊钟英

封面设计:赵颖喆 责任印制:李妍

唐山丰电印务有限公司印刷

2011年5月第1版第1次印刷

169mm×239mm·12.25印张·236千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-33533-7

定价:28.00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

策划编辑:(010)88379770

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着科技的进步，机械工业的发展体现在测量技术的现代化、互换性生产原则的贯彻能力等方面，也就是我们所说的机械零件的几何量、公差配合、机械测量等，这些都直接反映到产品质量以及企业的竞争能力。那么测量技术和互换性原则的执行人——生产一线产业工人，他们素质的高低起到了决定性的作用。作者根据企业生产的现状，以及对岗位操作者的培养要求，编写了本书。

由于本书中包含了很多生产中的实际案例，所以读者群定位在职业教育的专业教师、在校学生和企业的一线工人。内容和结构体系上的不同之处在于全书以不同的测量方法为主线，以不同的测量要求所涉及的原理、工具为基本单元进行展开。对公差配合的基本知识放到不同的章节进行讲解，同时将各种量具、量仪的使用方法融合在一起，注重实际操作，避免了呆板的说教。

书中第1、第2章介绍测量的基本知识和量具常识。第3章至第8章是常见的几种测量方法，在每种测量方法的章节中主要介绍三个方面的问题：一是测量规范、测量标准；二是测量工具的种类、结构、原理、使用方法、注意事项等；三是列举不同的测量形式。最后章节介绍了一些先进的测量设备和测量手段。

由于作者水平有限，书中难免存在一些不妥之处，敬请各位读者与作者联系(jxjx.cnc@163.com)，以便使本书更加完善。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第 1 章 测量基础知识 ..... 1

- 1.1 概述 ..... 1
- 1.2 测量常用知识 ..... 2
  - 1.2.1 计量单位 ..... 2
  - 1.2.2 测量方法的分类 ..... 3
- 1.3 误差和公差 ..... 4
  - 1.3.1 误差 ..... 4
  - 1.3.2 公差 ..... 5
- 1.4 测量误差 ..... 5
  - 1.4.1 概述 ..... 5
  - 1.4.2 测量误差的分类 ..... 7
  - 1.4.3 测量精度和测量误差 ..... 7
- 1.5 测量误差与测量数据处理 ..... 8
  - 1.5.1 测量误差及处理方法 ..... 8
  - 1.5.2 有效数字及处理原则 ..... 12

## 第 2 章 常用计量器具 ..... 15

- 2.1 计量器具的选择 ..... 15
  - 2.1.1 正确选择计量器具的意义 ..... 15
  - 2.1.2 选择的计量器具符合科学和合理的原则 ..... 16
  - 2.1.3 计量器具选择原则 ..... 16
- 2.2 计量器具基本知识 ..... 21
  - 2.2.1 计量器具的分类 ..... 21
  - 2.2.2 常用计量器具的测量原理与基本结构 ..... 22
- 2.3 极限尺寸与通止规 ..... 23
  - 2.3.1 概述 ..... 23
  - 2.3.2 极限尺寸判断原则 ..... 24

- 2.3.3 极限量规 ..... 27

## 2.4 计量器具的维护保养 ..... 30

- 2.4.1 量具、量仪的使用 ..... 30
- 2.4.2 环境对计量器具的影响 ..... 31
- 2.4.3 计量器具的维护保养 ..... 32

## 第 3 章 尺寸测量 ..... 34

- 3.1 光滑孔、轴尺寸公差与配合基本术语及定义 ..... 34
  - 3.1.1 孔与轴的定义 ..... 34
  - 3.1.2 尺寸的术语和定义 ..... 35
  - 3.1.3 公差与偏差的术语及其定义 ..... 36
  - 3.1.4 配合的术语及定义 ..... 42
- 3.2 公差与配合的国家标准 ..... 45
  - 3.2.1 标准公差系列 ..... 45
  - 3.2.2 基本偏差系列 ..... 50
  - 3.2.3 代号识别 ..... 51
- 3.3 公差与配合的应用 ..... 54
  - 3.3.1 基准制的选用 ..... 54
  - 3.3.2 公差等级的选择 ..... 55
  - 3.3.3 配合的选择 ..... 55
- 3.4 长度尺寸测量工具 ..... 57
  - 3.4.1 简易量具 ..... 57
  - 3.4.2 游标卡尺 ..... 62
  - 3.4.3 千分尺 ..... 66
  - 3.4.4 指示表 ..... 71
  - 3.4.5 万能测长仪 ..... 75
- 3.5 测量注意事项 ..... 79

## 第 4 章 角度的测量 ..... 82

4.1 常用角度量具及使用	82	6.1.3 表面粗糙度参数值	127
4.1.1 直角尺	82	6.1.4 表面粗糙度的选用	129
4.1.2 万能角尺	83	6.1.5 表面粗糙度的标注	130
4.1.3 万能游标量角器	85	6.2 表面粗糙度测量器具	130
4.1.4 正弦规	88	6.2.1 表面粗糙度比较样板	130
4.1.5 水平仪	89	6.2.2 光切显微镜	131
4.1.6 平直度测量仪	92	6.2.3 干涉显微镜	132
4.2 角度测量实例	93	6.2.4 表面粗糙度仪	132
4.3 圆锥体的测量	95	6.3 表面粗糙度的测量	133
4.3.1 锥度量规检验法	95	<b>第7章 螺纹的测量</b>	135
4.3.2 锥度角度尺检验法	96	7.1 螺纹联接的公差配合	135
4.3.3 锥度正弦规检验法	96	7.1.1 概述	135
4.3.4 用钢球和圆柱测量锥角	97	7.1.2 公差原则在螺纹几何参数中的应用	137
<b>第5章 形状和位置误差的测量</b>	99	7.1.3 普通螺纹的公差和配合	137
5.1 几何公差	99	7.2 螺纹的测量	143
5.1.1 几何公差的概念	99	7.2.1 综合测量	143
5.1.2 形状公差带的定义与标注	101	7.2.2 单项测量	150
5.1.3 位置公差带的定义与标注	104	<b>第8章 齿轮的测量</b>	162
5.1.4 公差原则	117	8.1 圆柱齿轮的公差	162
5.2 形状误差的测量	119	8.1.1 影响齿轮传递运动准确性的主要误差评定	163
5.2.1 直线度误差的测量	119	8.1.2 影响齿轮传动平稳性的主要误差的评定	168
5.2.2 平面度误差的测量	119	8.1.3 影响载荷分布均匀性的主要误差评定	171
5.2.3 圆度误差的测量	119	8.1.4 传动侧隙合理性的评定	172
5.3 位置误差的测量	119	8.1.5 齿轮副影响传动质量的误差评定	173
5.3.1 定向误差的测量	120	8.2 圆柱齿轮误差检测	177
5.3.2 定位误差的测量	121	8.2.1 影响齿轮传递运动准确性的主要误差检测	177
5.3.3 跳动误差的测量	122	8.2.2 影响传动平稳性的主要误差检测	184
<b>第6章 表面粗糙度的测量</b>	124		
6.1 概述	124		
6.1.1 表面粗糙度的相关概念	124		
6.1.2 表面粗糙度的评定	125		

第 9 章 精密测量仪简介 .....	186	9.1.2 如何选用适合自己需要的 三坐标测量仪 .....	187
9.1 三坐标测量仪 .....	186	9.2 表面轮廓测量仪 .....	188
9.1.1 三坐标测量仪对测量室的 要求 .....	186	参考文献 .....	189

# 第 1 章 测量基础知识

在机器制造业中，为了保证产品质量，确保零部件的互换性，同时分析零件加工工艺，采取预防性措施，防止废品的产生，必须对毛坯及零部件的尺寸、角度、几何形状、几何要素间的相对位置、表面粗糙度以及其他技术条件进行测量和检验。

## 1.1 概述

测量是指将被测量与作为测量单位的标准量进行比较，从而确定被测量的实验过程。而检验则只需判断零件是否合格而不需要测出具体数值。检测是测量与检验的总称。

几何量测量主要是指各种机械零部件表面几何尺寸和形状的参数测量。几何量参数包括零部件具有的长度尺寸、角度参数、坐标尺寸、表面几何形状与位置参数、表面粗糙度等。几何量测量是保证机械产品质量和实现互换性生产的重要措施。

几何量测量对象是多种多样的，不同的测量对象有不同的被测量。如孔、轴的被测量主要是直径；箱体零件的被测量有长、宽、高以及孔间距等；复杂的零件有复合的被测量，如丝杠和滚刀的螺旋线误差等。但不管形体如何不同，被测量的参数如何复杂，从几何测量的本质来说都可归结为长度量和角度量两种，复杂量无非是长度量和角度量的组合而已。

任何一个测量过程都必须有明确的被测对象和确定的测量单位，还要有与被测对象相适应的测量方法，而且测量结果还要达到所要求的测量精度。因此，一个完整的测量过程应包括如下 4 个要素：

(1) 被测对象 从几何量的特性来分，测量对象可分为长度、角度、形位误差和表面粗糙度等；从被测零件的特点来分，可分为方形零件、轴类零件、锥体零件、箱体零件、凸轮、花键、螺纹、齿轮和各种刀具等。

(2) 测量单位 长度单位有米(m)、毫米(mm)、微米( $\mu\text{m}$ )；角度单位有度( $^{\circ}$ )、分(')、秒(")、弧度(rad)和微弧度( $\mu\text{rad}$ )。

(3) 测量方法 指完成测量任务所用的方法、量具或仪器以及测量条件的总和。基本的测量方法有：直接测量和间接测量、绝对测量和相对测量、接触测量和非接触测量、单项测量和综合测量、手工测量和自动测量、工序测量和终结

## 2 机械测量入门与提高

测量、主动测量和被动测量等。一般应根据被测对象要求以最经济的方式去选择相应的测量方法。

(4) 测量精度 测量精度指的是测量结果与被测量真值的一致程度。测量时并不是精度越高越好,而是根据被测量的精度要求按最经济的方式完成测量任务。

测量的基本任务是:

1) 确定统一的测量单位、测量基准,以及严格的传递系统,以确保“标准单位”能准确地传递到每个使用单位中。

2) 正确选用测量器具,拟定合理的测量方法,以便准确地测出被测量的量值。

3) 分析测量误差,正确处理测量数据,提高测量精度。

4) 研制新的测量器具和测量方法,不断满足生产发展对测量的新要求。

### 1.2 测量常用知识

#### 1.2.1 计量单位

我国采用以国际单位制为基础的法定计量单位。

##### 1. 长度法定计量单位

为了进行长度测量,必须建立统一可靠的长度单位基准。目前世界各国所使用的长度单位有米制和英制两种。

在法定计量单位中,长度的基本单位为米(m)。1983年第十七届国际计量大会对米的定义为:1/299 792 458s的时间间隔内光在真空中行驶的长度。

机械制造业中常用毫米(mm)和微米( $\mu\text{m}$ ),毫米是机械测量中最常使用的单位。以毫米作单位,在机械图中可以只标注尺寸数字,而省略标注单位名称。

1 米(m) = 1000 毫米(mm);

1 毫米(mm) = 1000 微米( $\mu\text{m}$ )。

英制长度单位主要有英尺(ft)、英寸(in)等:

1 英尺(ft) = 12 英寸(in);

1 英寸(in) = 25.4 毫米(mm)。

##### 2. 平面角的法定计量单位

在法定计量中,平面角的基本单位为弧度(rad)。弧度是一圆内两条半径之间的平面角,这两条半径在圆周上所截取的弧长与半径相等时为1弧度(rad)。

在机械制造中,常用度( $^{\circ}$ )作为平面角的计量单位,即

1 度( $^{\circ}$ ) =  $\pi/180$ (rad);

1 度( $^{\circ}$ ) = 60 分(');

1 分(') = 60 秒(")。

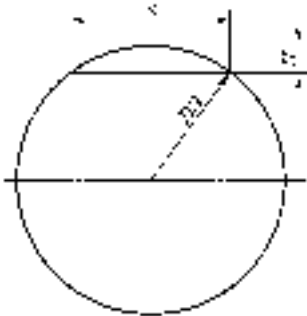
## 1.2.2 测量方法的分类

测量方法可以从不同角度分类。

### 1. 按是否直接测量被测参数分类

(1) 直接测量 被测的量可直接从量具或量仪的读数装置上读得。例如,用游标卡尺、千分尺测量轴径或孔径,用角度尺测量角度。

(2) 间接测量 被测的量是根据与它有一定关系的所测的量间接(如计算)得到的。例如,如图1-1所示,通过测量弦长  $S$ 、弦高  $H$ ,求圆弧直径  $D$ 。



为了减少测量误差,一般都采用直接测量,当被测量不易直接测量时可采用间接测量。

### 2. 按示值是否为被测量的整个量值分类

(1) 绝对测量 能直接从量具或量仪上读出被测量的实际值。用绝对测量法时,量具或量仪的测量范围必须超过被测量的尺寸。

(2) 相对测量(比较测量) 只能直接得到被测的量相对于标准量的偏差值。它的测量范围是很狭小的,例如,用量块为基准,在光学计上测量长度尺寸。

一般,相对测量的测量精度比绝对测量的高。

### 3. 按测量时测量头与被测表面是否接触分类

(1) 接触测量 在测量时,测量器具的测量头直接与被测表面相接触,并有机械作用的测量力,例如,用千分尺测量尺寸。

(2) 非接触测量 在测量中,测量器具的测量头不与被测表面直接接触,而是通过其他的介质(如光、气等)与工件接触,例如,用光切显微镜测量表面粗糙度。

接触测量会引起被测表面和测量器具有关部分产生弹性变形,因而影响测量精度,非接触测量则无此影响。

### 4. 按一次测量参数的多少分类

(1) 单项测量 对被测零件的每个参数分别单独测量。

(2) 综合测量 测量反映零件有关参数的综合指标。

综合测量一般效率较高,对保证零件的互换性更为可靠,常用于完工零件的检验。单项测量能分别确定每一参数的误差,一般用于工艺分析、工序检验及被

## 4 机械测量入门与提高

---

指定参数的测量。

### 5. 按测量在加工过程中所起的作用分类

(1) 主动测量 在零件加工的同时对被测几何量进行测量。其测量结果可直接反馈，以控制加工过程，防止废品的产生。

(2) 被动测量 在零件加工完毕后对被测几何量进行测量，其测量结果仅限于通过合格品和发现并剔除不合格品。

主动测量应用在自动加工机床和自动生产线上，使检测与加工过程紧密结合，以保证产品的质量，因此，它是检测技术发展的方向。

## 1.3 误差和公差

### 1.3.1 误差

加工零件的过程中，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，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很难达到理想状态，总会存在或大或小的误差。

任何加工方法加工出的零件都有一定的差异，不可能绝对准确无误。即使一批加工出来的零件由于各种因素的影响，也不可能没有差异。甚至在相同加工条件下，同一批加工出来的工件尺寸，也是各不相同的。为了达到一定的精度要求，误差必须控制在某特定范围内；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。

加工误差的表现形式，通常有以下几种：

(1) 尺寸误差 零件表面本身的尺寸所具有的误差(如圆柱面的直径误差)和零件表面间的尺寸所具有的误差(如孔间距等)。

(2) 形状误差 零件实际表面与理想表面之间在形状上偏离的程度，如圆柱面的圆柱度误差、平面的平面度误差等。

(3) 位置误差 表面、轴线或对称平面之间的实际位置与理想位置偏离的程度，如两平面间的平行度误差和垂直度误差等。

(4) 表面粗糙度 加工后工件表面上所留下的、具有较小间距和微小峰谷的微观不平度。

上述几种误差同时存在，其中尺寸误差是最基本的。零件的精度是指零件几何参数实际值与理想值的符合程度。实际几何参数数值与理想几何参数数值差别越小，即误差越小，则加工精度越高。因此，零件加工精度的高低，是用误差的大小来表示的。由此可见，“精度”和“误差”这两个概念在评定零件几何参数时，只是着眼点不同，实质上是一致的。

### 1.3.2 公差

公差是指允许零件几何参数的变动量。尺寸公差是允许尺寸变动的范围；形状公差是零件上要素的形状允许的变动范围；位置公差是要素的位置允许的变动范围。

从零件使用功能来看，不必要把零件的几何参数制造得绝对准确或相同规格的零件几何参数达到完全相同。如果合理地控制零件几何参数的误差不超出一定的范围，不仅能满足装配要求、满足装配后的使用要求，而且能够保证零件在制造时经济合理，得到较高的生产率。这个允许的零件公差值越小，即允许零件存在的误差变动范围越小，加工难度越高。

为了保证零件的互换性，要用公差来控制误差。设计时要按标准规定公差，而加工时不可避免会产生误差，因此，要使零件具有互换性，就应把完工的零件误差控制在规定的公差范围内。在满足功能要求的前提下，公差值应尽量规定得大一些，以便获得最佳的经济效益。

所以，误差是加工过程中产生的，公差是设计者给定的。当零件的误差在公差范围内，它就是合格件；当零件的误差超出了公差范围，它就是不合格件。

## 1.4 测量误差

### 1.4.1 概述

#### 1. 测量误差的基本概念

对于任何测量过程来说，由于测量器具和测量条件的限制，不可避免地会出现或大或小的测量误差。因此，每一个实际测得值往往只是在一定程度上接近被测几何量的真值，这种实际测得值与被测几何量真值之间的差值称为测量误差。测量误差可以用绝对误差或相对误差来表示。

一般来说，真值是难以得到的，在实际测量中，常用约定真值或不存在系统误差情况下的算术平均值来代替真值。

(1) 绝对误差 绝对误差  $\delta$  是指被测量的实际值与其真值之差，即

$$\delta = x - x_0 \quad (1-1)$$

式中  $x$ ——实际值(测得值)；

$x_0$ ——真值或约定真值。

绝对误差是代数值，即它可能是正值、负值或零。例如，用外径千分尺测量某轴的直径，若测得的实际直径为 35.005mm，而用高精度测量仪测得的结果为 35.012mm(可看做是约定真值)，则用千分尺测得的实际直径值的绝对误差为

## 6 机械测量入门与提高

$$\delta = (35.005 - 35.012) \text{mm} = -0.007 \text{mm} \quad (1-2)$$

按照式(1-2), 可以由测得值和测量误差来估计真值存在的范围。测量误差的绝对值越小, 则被测几何量的测得值就越接近真值, 就表明测量精度越高; 反之, 则表明测量精度越低。对于大小不相同的被测几何量, 用绝对误差表示测量精度不方便, 所以需要相对误差来表示或比较它们的测量精度。

(2) 相对误差 相对误差是指绝对误差的绝对值与被测量的真值之比, 由于被测几何量的真值无法得到, 因此在实际中常以被测几何量的测得值代替真值进行估算, 即

$$f = \frac{|\delta|}{x_0} \approx \frac{|\delta|}{x} \quad (1-3)$$

相对误差是一个量纲为一的数值, 通常用百分比来表示。

当被测量的大小相同时, 可用绝对误差的大小来比较测量精度的高低。而当被测量的大小不同时, 则需用相对误差的大小来比较测量精度的高低。

例如, 测得两个孔的直径大小分别为 50.86mm 和 20.97mm, 它们的绝对误差分别为 +0.02mm 和 +0.01mm, 由式(1-3) 计算得出相对误差分别为 0.039% 和 0.048%, 显然后者测量精度低。

### 2. 测量误差的来源

任何测量过程, 不管用什么测量工具和测量方法, 总是不可避免地存在着测量误差。由于测量误差的存在, 测得值只能近似地反映被测几何量的真值。为了尽量减小测量误差, 就必须仔细分析产生测量误差的原因, 以便设法减小该误差的影响, 提高测量精度。在实际测量中, 产生测量误差的因素很多, 归结起来主要有以下几个方面:

(1) 测量器具的误差 测量器具的误差是指测量器具本身所具有的误差, 包括测量器具的设计、制造和使用过程中的各项误差, 这些误差的总和反映在示值误差和测量的重复性上。

(2) 方法误差 方法误差是指测量方法的不完善(包括计算公式不准确, 测量方法选择不当, 工件安装、定位不准确等)引起的误差, 它会产生测量误差。例如, 在接触测量中, 由于测量头测量力的影响, 使被测零件和测量装置变形而产生测量误差。

(3) 环境误差 环境误差是指测量时环境条件不符合标准的测量条件所引起的误差, 它会产生测量误差。例如, 环境温度、湿度、气压、照明(引起视差)等不符合标准以及振动、电磁场等的影响都会产生测量误差, 其中尤以温度的影响最为突出。例如, 在测量长度时, 规定的环境标准温度为 20℃, 但是在实际测量时被测零件和测量器具的温度对标准温度均会产生或大或小的偏差, 而被测零件和测量器具的材料不同时它们的线胀系数是不同的, 这将产生一定的测

量误差。因此，测量时应根据测量精度的要求，合理控制环境温度，以减小温度对测量精度的影响。

(4) 人员误差 人员误差是指测量人员人为的差错，它会产生测量误差。例如，测量人员使用测量器具不正确、测量瞄准不准确、读数或估读错误等，都会产生测量误差。

### 1.4.2 测量误差的分类

测量误差的来源是多方面的，就其特点和性质而言，可分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

#### 1. 系统误差

1) 定值系统误差。它是指在一定测量条件下多次测取同一量值时，其绝对值和符号均保持不变的测量误差。如调整仪器所用的量块误差，对各次测量结果的影响是相同的。这种误差可用修正法从测量结果中消除。

2) 变值系统误差。测量过程中误差的绝对值大小和符号按某一确定规律变化。例如，指示表的表盘安装偏心所引起的示值误差是按正弦规律周期变化的，测量中可用抵消法消除。

#### 2. 随机误差

随机误差是指在一定测量条件下，多次测取同一量值时，绝对值和符号以不可预计的方式变化着的测量误差。随机误差主要是由测量过程中一些偶然性因素或不确定因素引起的。随机误差是由许多暂时未被掌握的规律，或一时不便于控制的因素所造成的。但若进行多次重复测量时，误差服从统计规律，因此常用概率论和统计原理对它进行处理。在实际测量当中，为了减小随机误差，可以对同一个量多测量几次，取其算术平均值作为测量结果。

#### 3. 粗大误差

粗大误差是指超出在一定测量条件下预计的测量误差，即对测量结果产生明显歪曲的测量误差。含有粗大误差的测得值称为异常值。

粗大误差的产生有主观和客观两方面的原因，主观原因如测量人员疏忽造成的读数误差，客观原因如外界突然振动引起的测量误差。由于粗大误差明显歪曲测量结果，因此在处理测量数据时，应根据判别粗大误差的准则设法将其剔除。

应当指出，系统误差和随机误差的划分并不是绝对的，它们在一定条件下是可以互相转化的。在测量中必须严肃认真、仔细操作、精心观察，并在一系列的测量数据中，将粗大误差剔除。误差分析时，主要分析系统误差和随机误差。

### 1.4.3 测量精度和测量误差

测量精度是指被测几何量的测得值与其真值的接近程度。它和测量误差是从

## 8 机械测量入门与提高

两个不同角度说明同一概念的。测量误差越大，其测量精度就越低；测量误差越小，则测量精度就越高。为了反映系统误差和随机误差对测量结果的不同影响，测量精度可分为以下几种：

(1) 正确度 正确度反映测量结果中系统误差的影响程度，若系统误差小，则正确度高，理论上可用修正值来消除。

(2) 精密度 精密度反映测量结果中随机误差的影响程度。它是指在一定测量条件下连续多次测量所得的测得值之间相互接近的程度。若随机误差小，则精密度高。

(3) 准确度 准确度反映测量结果中系统误差和随机误差的综合影响程度。若系统误差和随机误差都小，则准确度高。

对于具体的测量，精密度高的测量，正确度不一定高；正确度高的测量，精密度也不一定高；精密度和正确度都高的测量，准确度就高。现以打靶为例加以说明，如图 1-2 所示，小圆圈表示靶心，黑点表示弹孔。图 1-2a 中，随机误差小而系统误差大，表示打靶精密度高而正确度低；图 1-2b 中，系统误差小而随机误差大，表示打靶正确度高而精密度低；图 1-2c 中，系统误差和随机误差都小，表示打靶准确度高；图 1-2d 中，系统误差和随机误差都大，表示打靶准确度低。

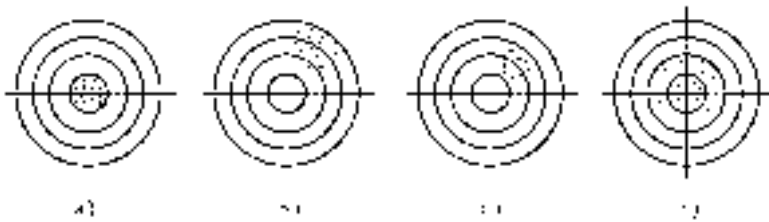


图 1-2 精密度、正确度和准确度

a) 精密度高 b) 正确度高 c) 准确度高 d) 准确度低

## 1.5 测量误差与测量数据处理

### 1.5.1 测量误差及处理方法

#### 1. 系统误差及处理方法

在实际测量中，系统误差对测量结果的影响是不能忽视的。揭示系统误差出现的规律性，消除系统误差对测量结果的影响，是提高测量精度的有效措施。

(1) 发现系统误差的方法 在测量过程中产生系统误差的因素是复杂多样的，查明所有的系统误差是很困难的事情，同时也不可能完全消除系统误差的影响。发现系统误差必须根据具体测量过程和测量器具进行全面而仔细的分析，但

目前还没有能够找到可以发现各种系统误差的方法，下面只介绍适用于发现某些系统误差常用的两种方法：

1) 实验对比法。实验对比法就是通过改变产生系统误差的测量条件，进行不同测量条件下的测量来发现系统误差。这种方法适用于发现定值系统误差。例如量块按标称尺寸使用时，在测量结果中，就存在着由于量块尺寸偏差而产生的大小和符号均不变的定值系统误差，重复测量也不能发现这一误差，只有用另一块更高等级的量块进行对比测量，才能发现它。

2) 残差观察法。残差观察法是指根据测量列的各个残差大小和符号的变化规律，直接由残差数据或残差曲线图来判断有无系统误差，这种方法主要适用于发现大小和符号按一定规律变化的变值系统误差。根据测量先后顺序，将测量列的残差作图(见图 1-3)，观察残差的规律。若残差大体上正、负相间，又没有显著变化，就认为不存在变值系统误差，如图 1-3a 所示；若残差按近似的线性规律递增或递减，就可判断存在着线性系统误差，如图 1-3b 所示；若残差的大小和符号有规律地周期变化，就可判断存在着周期性系统误差，如图 1-3c 所示。但是残差观察法在测量次数不是足够多时，也有一定的难度。

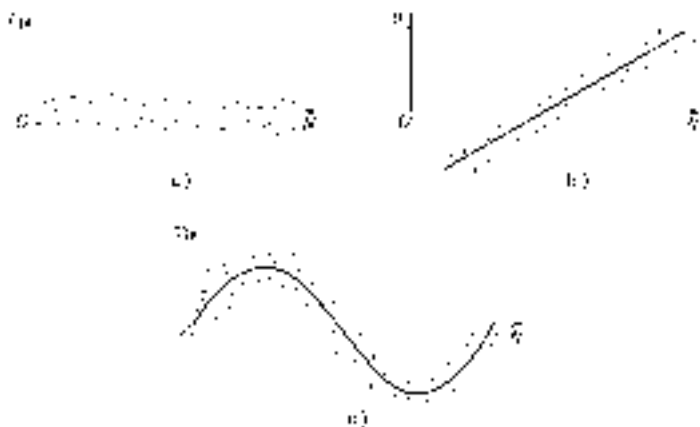


图 1-3 变值系统误差的发现

a) 不存在变值系统误差 b) 存在线性系统误差 c) 存在着周期性系统误差

## (2) 消除系统误差的方法

1) 从产生误差根源上消除系统误差。这要求测量人员对测量过程中可能产生系统误差的各个环节进行分析，并在测量前就将系统误差从产生根源上加以消除。例如，为了防止测量过程中仪器示值零位的变动，测量开始和结束时都需检查示值零位。

2) 用修正法消除系统误差。这种方法是预先将测量器具的系统误差检定或计算出来，作出误差表或误差曲线，然后取与误差数值相同而符号相反的值作为

修正值，将测得值加上相应的修正值，即可使测量结果不包含系统误差。

3) 用抵消法消除定值系统误差。这种方法要求在对称位置上分别测量一次，以使这两次测量中测得的数据出现的系统误差大小相等、符号相反，取这两次测量中数据的平均值作为测得值，即可消除定值系统误差。例如，在工具显微镜上测量螺纹螺距时，为了消除螺纹轴线与量仪工作台移动方向倾斜而引起的系统误差，可分别测取螺纹左、右牙面的螺距，然后取它们的平均值作为螺距测得值。

4) 用半周期法消除周期性系统误差。对周期性系统误差，可以每相隔半个周期进行一次测量，以相邻两次测量的数据的平均值作为一个测得值，即可有效消除周期性系统误差。

消除和减小系统误差的关键是找出误差产生的根源和规律。实际上，系统误差不可能完全消除。一般来说，系统误差若能减小到使其影响相当于随机误差的程度，则可认为已被消除。

## 2. 随机误差及处理方法

随机误差不可能被修正或消除，但可应用概率论与数理统计的方法估计出随机误差的大小和规律，并设法减小其影响。

(1) 随机误差的特性及分布规律 通过对大量的测试实验数据进行统计后发现，随机误差通常服从正态分布规律，其正态分布曲线如图 1-4 所示(横坐标表示随机误差，纵坐标  $y$  表示随机误差的概率密度)。

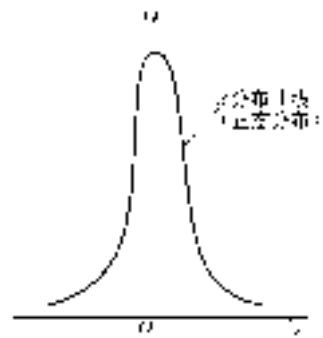


图 1-4 随机误差正态分布曲线

正态分布的随机误差具有下面 4 个基本特性：

1) 单峰性。绝对值越小的随机误差出现的概率越大，反之则越小。

2) 对称性。绝对值相等的正、负随机误差出现的概率相等。

3) 有界性。在一定测量条件下，随机误差的绝对值不超过一定界限。

4) 抵偿性。随着测量的次数增加，随机误差的算术平均值趋于零，即各次随机误差的代数和趋于零，这一特性是对称性的必然反映。

(2) 随机误差的标准偏差  $\sigma$  概率密度  $y$  的大小与随机误差  $\delta$ 、标准偏差  $\sigma$  有关。当  $\delta=0$  时，概率密度  $y$  最大，标准偏差  $\sigma$  越小，分布曲线就越陡，随机误差的分布就越集中，表示测量精度就越高。反之，标准偏差  $\sigma$  越大，分布曲线就越平坦，随机误差的分布就越分散，表示测量精度就越低。随机误差的标准偏差  $\sigma$  可用下式计算得到，即