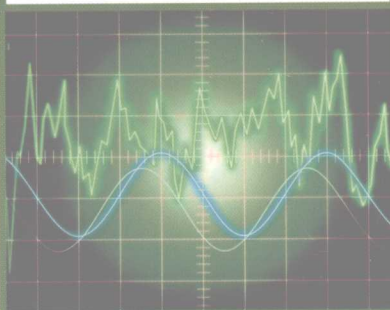




电子测量技术实用教程

主编 孙 艳



国防工业出版社

National Defense Industry Press

电子技术职业技能培训 内容简介

本书为《电子技术职业技能培训教材》系列中的一本，主要介绍电子测量技术的基本知识、基本理论和基本操作技能。全书共分8章，主要内容包括：电子测量的基本知识、电子测量的误差分析、电子测量的仪器与设备、电子测量的方法、电子测量的应用、电子测量的安全与防护、电子测量的标准化、电子测量的发展趋势等。

电子测量技术实用教程

主编 孙艳

国防工业出版社
北京市西城区德胜门内大街2号
邮政编码 100089
电话 010-68411232
电传 010-68411232
网址 www.gdpress.com.cn

国防工业出版社

·北京·

发行所：北京人民邮电出版社
发行部：北京人民邮电出版社
发行部：北京人民邮电出版社

内 容 简 介

全书共分为10章。第1章为电子测量与仪器的知识;第2章介绍常用仪器万用表(普通表及波形显示万用表);第3章为信号发生器;第4章为电子示波器,介绍信号的显示和测量;第5章为电子电压表,介绍电压测量知识;第6章为电子计数器,介绍时间和频率的测量;第7章为电子元器件测量仪器,介绍电子元器件参数的测量;第8章为频域测量仪器;第9章为数据域测量仪器;第10章为耐压检测仪器。其中第9章和第10章可作为选学内容,在部分章节中还设有测量实训内容,注重理论与实践相结合。

本书适用于电子测量专业及电子、电工、机电类等高职高专、中等职业学校做配套教材,也可作为从事电子测量工作的人员做短期培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量技术实用教程/孙艳主编. —北京:国防工业出版社,2008.8

(电子技术职业技能培训)

ISBN 978-7-118-05618-1

I. 电... II. 孙... III. 电子测量—技术培训—教材
IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 034228 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100044)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 11 字数 246 千字

2008年8月第1版第1次印刷 印数 1—4000 册 定价 20.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

主 编 孙 艳

主 审 陈显龙 孙冬菊

参编人员 卢战秋 安俊芳 刘炳海 孟丽丽

杨 颖 彭 珍 张志超 张伯虎

前 言

在 21 世纪的知识经济社会中,电子技术的迅猛发展为人民的生产、生活带来了很大的方便。科学的进步、生产的发展与测量理论技术的发展和进步是相互依赖、相互促进的。测量是一种认识过程,测量结果不仅用于验证理论,而且是发现新问题、提出新理论的依据。电子技术的诞生和发展为测量学提供了崭新的手段,同时也扩展了测量的任务,因此出现了电子测量技术这一新的分支。

电子测量技术融合了微电子技术、计算机技术、通信技术、网络技术、新元器件与新材料技术、现代测试技术、现代设计制造技术和现代工艺技术等,是应用最多、最快的新技术之一。电子测量仪器是对物质世界的信息进行测量的基本手段,随着电子技术的发展,新型的电子测量仪器继续向数字化、软件化、智能化、集成化、多功能化、电路专用化、误差分析模型化、测试系统模块化、高精度、高稳定性方向发展,尤其是数字电视和通信市场的高速发展,使得电子测量仪器的需求量大大增加。

本书在选材上具有一定的先进性、系统性和实用性,系统地阐述电子测量的原理与方法,以及现代电子测量仪器的原理与应用。在编写过程中注意减少纯理论知识的阐述,以必要和够用为原则,注重常用电子测量仪器的讨论,如万用表、信号发生器、电子示波器等,使学习者掌握必备的基本知识和基本技能。为了适应新形势的要求,本书在编写中注意介绍电子测量的新技术和电子测量仪器的新产品,如数字存储示波器、逻辑分析仪等方面的知识,同时加强实践能力的培养,以达到理论联系实际,学以致用目的。

全书在编写过程中参考了一些电子测量技术与仪器方面的教材及科技书,在此,编者向在本书编写中给予支持和帮助的同志表示感谢。由于水平有限,书中错误和缺点在所难免,恳请读者提出宝贵意见,以便修改。

目 录

第 1 章 电子测量与仪器的基本知识	1
1.1 测量	1
1.2 电子测量的意义和内容	1
1.2.1 电子测量的意义	1
1.2.2 电子测量的内容	1
1.3 电子测量的特点	2
1.4 电子测量方法的分类	2
1.4.1 按测量方式分	3
1.4.2 按被测信号的性质分	3
1.5 测量误差的表示方法、来源及分类	3
1.5.1 测量误差的表示方法	4
1.5.2 测量误差的来源	5
1.5.3 测量误差的分类	6
1.6 测量结果与有效数字	7
1.6.1 有效数字	8
1.6.2 数字的舍入规则	8
1.7 电子测量仪器的分类及误差	9
1.7.1 电子测量仪器的分类	9
1.7.2 电子测量仪器的误差	10
本章小结	11
习题	11
第 2 章 万用表	13
2.1 模拟式万用表	13
2.1.1 工作原理	13
2.1.2 MF47 型面板结构和性能指标	14
2.1.3 MF47 型万用表测量使用方法	15
2.1.4 MF500 型万用表	17

2.2	数字式万用表	20
2.2.1	工作原理	20
2.2.2	面板结构和性能指标	21
2.2.3	测量使用方法	23
2.2.4	数字万用表常见故障与检修	25
2.2.5	波形显示数字万用表	25
	实验实训	29
	本章小结	30
	习题	31
第3章	信号发生器	32
3.1	概述	32
3.2	正弦信号发生器	32
3.2.1	正弦信号发生器的主要技术特性	32
3.2.2	低频信号发生器	33
3.2.3	高频信号发生器	35
3.3	函数发生器	39
3.3.1	概述	39
3.3.2	函数发生器信号的产生	39
3.3.3	XJ1630 型函数发生器	41
	实验实训	42
	本章小结	45
	习题	45
第4章	电子示波器	46
4.1	概述	46
4.2	示波管及图形显示的基本原理	46
4.2.1	阴极射线示波管	46
4.2.2	图形显示的基本原理	48
4.3	通用示波器	50
4.3.1	通用示波器的基本组成	50
4.3.2	垂直系统	51
4.3.3	水平系统	53
4.3.4	主机系统	55
4.4	示波器的选择和使用	56

4.4.1	示波器选择的一般原则	56
4.4.2	示波器的正确使用	57
4.5	YB4320 型双踪示波器	57
4.5.1	主要技术性能	57
4.5.2	面板结构	58
4.5.3	测量使用方法	61
* 4.6	数字存储示波器	64
4.6.1	数字存储示波器的组成及主要技术指标	64
4.6.2	数字存储示波器的工作原理	65
4.6.3	数字存储示波器的显示方式	67
实验实训		68
本章小结		72
习题		73
第5章 电子电压表		74
5.1	概述	74
5.1.1	电压测量对仪表的要求	74
5.1.2	电子电压表的分类	74
5.1.3	交流电压的基本参数	75
5.2	模拟式电子电压表	76
5.2.1	模拟式电子电压表的分类	76
5.2.2	DA-16FS 型双路晶体管毫伏表	77
5.3	数字式电子电压表(DVM)	78
5.3.1	DVM 的主要技术指标及组成	78
5.3.2	DVM 的工作原理	78
5.3.3	DVM 的使用方法	80
实验实训		81
本章小结		84
习题		84
第6章 电子计数器		85
6.1	概述	85
6.2	电子计数器及其测量功能	86
6.2.1	电子计数器的基本组成	87
6.2.2	电子计数器的基本测量功能	89

6.3	E-312A 型通用电子计数器	92
6.3.1	电路组成	92
6.3.2	主要技术指标	94
6.3.3	面板结构	95
6.3.4	测量使用方法	96
6.3.5	应用实例	97
6.4	电子计数器的测量误差	98
6.4.1	误差的来源	98
6.4.2	频率测量误差分析	99
6.4.3	周期测量误差分析	100
6.4.4	时间测量误差分析	101
	本章小结	101
	习题	102
第7章	电子元器件测量仪器	103
7.1	集总参数元件测量仪器	103
7.1.1	集总参数元件简介	103
7.1.2	万用电桥	105
7.1.3	高频 Q 表	109
7.2	晶体管特性图示仪	112
7.2.1	电路组成和工作原理	112
7.2.2	测量使用方法	114
7.3	数字电容表	119
7.4	绝缘电阻表	121
	实验实训	123
	本章小结	128
	习题	128
第8章	频域测量仪器	129
8.1	概述	129
8.2	频率特性测试仪	130
8.2.1	频率特性测试原理	130
8.2.2	频率特性测试仪的工作原理	130
8.2.3	扫频仪的主要特性指标	133
8.2.4	BT3 型扫频仪	133

8.3 频谱分析仪	137
8.3.1 频谱分析仪的主要技术指标	139
8.3.2 扫频外差式频谱分析仪	140
8.3.3 HM5010 型频谱分析仪	141
实验实训	143
本章小结	145
习题	145
第9章 数据域测量仪器	146
9.1 数据域测量	146
9.2 逻辑分析仪	147
9.2.1 逻辑分析仪的基本组成及分类	147
9.2.2 逻辑分析仪的功能及工作过程	149
9.2.3 逻辑分析仪的基本应用	153
本章小结	154
习题	154
* 第10章 耐压测试仪器	155
10.1 安全耐压测试仪	155
10.1.1 NF2671B 型安全耐压测试仪技术指标	155
10.1.2 工作原理	155
10.1.3 使用方法	156
10.1.4 性能检查与测试	156
10.2 耐压绝缘电阻自动测试仪	158
10.2.1 功能介绍	158
10.2.2 仪器校准	161
参考文献	166

第1章 电子测量与仪器的基本知识

1.1 测 量

测量是人类对客观事物取得量值的实验过程。在测量过程中,人们借助专门的设备,把被测对象直接或间接地与同类已知单位进行比较,取得用数值和单位共同表示的测量结果。

通常,测量结果的量值由两部分组成:测量数值(大小及符号)和测量单位。

一般地说,测量是一种比较过程,把被测的量与相应的测量单位,通过一定的测量方法进行比较,以确定被测量是该测量单位的若干倍。测量同一量值所选单位越大,则测出的数值越小。

在科学技术发展的过程中,测量结果不仅用来验证理论,而且是发现新问题、提出新理论的依据。历史事实证明,科学的进步、生产的发展与测量理论技术手段的发展和进步是相互依存、相互促进的。日常生活中处处离不开测量,科学的进步和发展离不开测量,人类的生产发展离不开测量,现代化的工业生产离不开测量,高新技术和国防现代化离不开测量。测量手段的现代化,已被公认是科学技术和生产现代化的重要条件和明显标志。

1.2 电子测量的意义和内容

1.2.1 电子测量的意义

20世纪30年代,便开始了测量科学与电子科学的结合,产生了电子测量技术。从广义上讲,电子测量泛指以电子科学技术为手段而进行的测量,即以电子科学理论为依据,以电子测量仪器和设备为工具,对电量和非电量进行的测量。从狭义上说,电子测量是指利用电子技术对电子学中有关的电量所进行的测量。

目前,电子测量与现代科学技术紧密相关,发展迅速,应用广泛,已成为对现代科学技术发展起着重大推动作用的独立科学。可以说,电子测量的水平是衡量一个国家科学技术水平的重要标志之一。

1.2.2 电子测量的内容

按照具体的测量对象来看,电子测量内容包括:

- (1) 电能量的测量 如各种频率及波形下的电压、电流、功率等的测量。
- (2) 电路参数的测量 如电阻、电感、电容、阻抗、品质因数、电子器件参数等的测量。
- (3) 电信号特征的测量 如频率、周期、时间、相位、调频度、调幅度、失真度等的

测量。

(4) 电子设备性能的测量 如放大倍数、衰减、增益、灵敏度、频率特性、通频带、噪声系数等的测量。

(5) 电信号特性曲线的显示 如幅频特性曲线、晶体管特性曲线等的显示。

1.3 电子测量的特点

1. 测量频率范围宽

电子测量除测量直流电量外,还可以测量交流电量,其频率范围为 $10^{-6}\text{Hz} \sim 10^{12}\text{Hz}$ 。随着电子技术的发展,目前还在向着更高频段发展。但应注意,在不同的频率范围内,即使测量同一电量,所采用的测量方法和使用仪器也往往不同。

2. 量程宽

量程是指测量范围的上限值与下限值之差。由于被测量的数值往往相差很大,因而仪器必须具有足够宽的量程。例如,数字电压表可测量 $10\text{nV} \sim 1\text{kV}$ 的电压,量程达 12 个数量级;数字式频率计的量程可达 17 个数量级。

3. 准确度高

电子仪器的测量准确度已达到相当高的水平。例如,对频率和时间的测量,由于采用了原子频标作为基准,使测量准确度达到 10^{-13} 量级 $\sim 10^{-14}$ 量级,这是目前人类在测量准确度方面达到的最高水平。

4. 测量速度快

电子测量是通过电子运动和电磁波传播来进行的,因而测量速度快,是其他测量所不能比拟的。只有测量的速度快,才能测出快速变化的物理量。如导弹的发射速度、人造卫星的运行参数等的测量,没有快速、自动化的测量与控制,就无法实现。

5. 易于实现遥测

电子测量可通过各种类型的传感器实现遥控、遥测。例如,对于远距离(如人造卫星)或恶劣环境(深海、高温炉)等人体不便接触或无法达到的区域,可利用传感器或利用电磁波、光、辐射等方式进行测量。

6. 易于实现测量过程自动化和测量仪器微机化

由于大规模集成电路和微型计算机的应用,使电子测量出现了崭新的局面。电子测量同计算机相结合,使测量仪器智能化。例如在测量中能够进行自动测量、自动记录、自动完成数据的运算、分析和处理,便于组成自动化测量系统。

电子测量的系列优点,使它广泛应用于科学技术的各个领域。目前,电子测量技术已成为电子科学技术领域中发展迅速的一个重要分支。

1.4 电子测量方法的分类

我们可以通过不同的方法来实现一个物理量的测量。电子测量方法的分类形式有多种,我们只介绍常用的分类方法。

1.4.1 按测量方式分

1. 直接测量

利用测量器具对某一未知量直接进行测量,直接获取被测量量值的测量方法称为直接测量。例如用电压表测量电压,用电子计数器测量频率等。

2. 间接测量

利用直接测量的量与被测量之间的函数关系,通过计算求出被测量量值的方法称为间接测量。例如,要测量已知电阻 R 中流过的电流 I ,可以通过直接测量电阻 R 两端的电压 U ,然后再根据公式 $I = U/R$ 求出被测量电流 I 的值。

3. 组合测量

当被测量与几个未知量有关、测量一次无法得出最后结果时,则可通过改变测量条件进行多次测量,根据被测量与未知量的函数关系列方程组求解,从而得到有关未知量。这种方法称为组合测量。它是一种兼用直接测量与间接测量的测量方法。

上面介绍的三种测量方式中,直接测量的特点是过程简单快捷,在工程技术中使用得比较多。间接测量多用于科学实验,在生产及工程技术中使用较少,只有当被测量不便于直接测量时才使用。组合测量是一种特殊的精密测量方法,适用于科学实验及某些特殊的场合。

1.4.2 按被测信号的性质分

1. 时域测量

对以时间为函数的量的测量称为时域测量。例如测量随时间变化的电压、电流等电量。这些量有稳态值和瞬时值之分。前者多用仪器仪表直接测量,后者可以通过示波器显示其变化规律。

2. 频域测量

对以频率为函数的量的测量称为频域测量。例如测量增益、相移等,一般是通过分析电路的频率特性或频谱特性等方法进行测量。

3. 数据域测量

对数字量进行测量的方法称为数据域测量。例如使用具有多个输入通道的逻辑分析仪,可同时观测许多单次并行的数据;可以观测微处理器地址线、数据线上的信号,显示时序波形,也可以用 0、1 显示其逻辑状态。

4. 随机测量

这种测量方法是目前较新的测量技术,例如对干扰信号、各类噪声等的测量都属于随机测量。

除了上面介绍的几种常用分类方法外,电子测量技术还有许多分类方法,如动态与静态测量技术、模拟与数字测量技术、实时与非实时测量技术、有源与无源测量技术、点频和扫频与多频测量技术等。

1.5 测量误差的表示方法、来源及分类

测量的目的就是希望获得被测量的真值。所谓真值,是指在一定的时间和空间环境

条件下,被测量本身所具有的真实数值。实际上,使用任何量具或仪器进行测量时,测量的结果与被测量的真值之间总会有差异,这个差异就称为误差。我们研究误差的目的,就是了解误差产生的原因及其规律,寻找减小误差和尽可能消除误差的方法,得到准确可靠的测量结果。

1.5.1 测量误差的表示方法

测量误差有两种表示方法,即绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

(1)定义:由测量所得到的被测量值 x 与其真值 A_0 之差,称为绝对误差,用 Δx 表示。

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1-1)$$

Δx 既有大小,又有符号和量纲。绝对误差是误差的代数值,量纲与测量值相同。

真值是一个理想的概念,无法精确得到,通常用实际值 A 来代替 A_0 。实际值是根据测量误差的要求,用高一级或几级的标准仪器测量所得到的数值。因此绝对误差可按下式计算:

$$\Delta x = x - A \quad (1-2)$$

(2)修正值:与绝对误差的大小相等、符号相反的量值,称为修正值,用 C 表示,即

$$C = -\Delta x = A - x \quad (1-3)$$

对测量仪器进行检定时,用标准仪器与受检仪器相比对,以表格、曲线或函数表达式的形式给出受检仪器的修正值。在日常测量中,可用下面公式修正测量值,从而求得被测量的实际值,即

$$A = x + C \quad (1-4)$$

2. 相对误差

上面讲到的绝对误差只能说明测量结果与实际值的偏离情况,但不能确切反映测量的准确程度。一个被测量的准确程度,不仅与它的绝对误差的大小有关,而且与这个被测量本身的大小有关。在绝对误差相等的情况下,测量值越小,测量的准确程度越低;测量值越大,测量的准确程度越高。为了能够确切反映测量的准确程度,一般情况下采用相对误差的概念。相对误差是指绝对误差与被测量的真值之比,用 γ_{A_0} 表示:

$$\gamma_{A_0} = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

相对误差是指两个有相同量纲的量的比值,因此只有大小和符号,没有量纲。

实际上,真值往往代之以实际值,有时甚至代之以测量值。

根据相对误差中所取的相对参考值,相对误差又可分为:

1) 实际相对误差

用实际值 A 代替真值 A_0 来表示相对误差,称为实际相对误差,用 γ_A 来表示:

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1-6)$$

2) 示值相对误差

用测量值 x 代替真值 A_0 来表示相对误差,称为示值相对误差,用 γ_x 来表示:

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-7)$$

这种方法只适用于误差较小,要求不太严格的场合,作为一种近似计算。

当 Δx 很小时, $x \approx A$, 则有 $\gamma_x \approx \gamma_A$ 。

3) 引用相对误差

用绝对误差与仪器的满刻度值 x_m 之比来表示相对误差,称为引用相对误差(或称满度相对误差),用 γ_m 来表示:

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1-8)$$

测量仪器使用最大引用相对误差来表示它的准确度。此时有:

$$\gamma_{mm} = \frac{\Delta x_{\max}}{x_m} \times 100\% \quad (1-9)$$

$\Delta x_{\max}$ 表示仪器在该量程范围内出现的最大绝对误差, γ_{mm} 是仪器在工作条件下不应超过的最大相对误差,它反映了该仪表的综合误差的大小。

常用电工仪表按 γ_{mm} 值分为 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0 共七级,例如 1.5 级的电表,也称准确度等级(常用符号 S 表示)为 1.5 级,表示 $\gamma_{mm} \leq \pm 1.5\%$ 。

[例 1.1] 两个电压的测量值分别为 $U_{1x} = 53V$, $U_{2x} = 11V$, 实际值分别为 $U_1 = 50V$, $U_2 = 10V$, 试分别求出测量的绝对误差和相对误差。

解: $\Delta U_1 = U_{1x} - U_1 = 53 - 50 = 3V$

$\Delta U_2 = U_{2x} - U_2 = 11 - 10 = 1V$

$|\Delta U_1| > |\Delta U_2|$, 说明 U_1 的测量结果偏离实际值的程度大。

$$\gamma_{A_1} = \frac{\Delta U_1}{U_1} = \frac{3}{50} \times 100\% = 6\%$$

$$\gamma_{A_2} = \frac{\Delta U_2}{U_2} = \frac{1}{10} \times 100\% = 10\%$$

$|\gamma_{A_1}| < |\gamma_{A_2}|$, 说明 U_2 的测量结果准确度低于 U_1 。

[例 1.2] 已知某被测电压为 6V, 用 1.0 级 10V 量程的电压表测量, 若只做一次测量就把该测量值作为测量结果, 可能产生的最大绝对误差是多少?

解: 1.0 级的仪表的最大引用相对误差不超过 $\pm 1.0\%$

$$\gamma_{mm} = \frac{\Delta x_{\max}}{x_m} \times 100\% \leq \pm 1.0\%$$

该仪表可能出现的最大绝对误差:

$$\Delta x_{\max} = \pm 1.0\% \times 10 = \pm 0.1V$$

1.5.2 测量误差的来源

在测量工作中,需要明确测量误差的主要来源,以便采取相应措施减少测量误差,提高测量结果的准确度。

1. 仪器误差

测量仪器、仪表本身及其附件所引入的误差称为仪器误差。例如电桥中的标准电

阻含有误差,仪器、仪表的零点漂移,刻度不准确以及非线性等引起的误差都属于仪器误差。

2. 使用误差

在使用过程中,由于未严格遵守操作规程所引起的误差称为使用误差,又称为操作误差。例如,仪器接地不良,测试引线太长而造成损耗或未考虑阻抗匹配,未按操作规程进行预热、调节、校准后再测量等,都会产生使用误差。

3. 影响误差

由于各种环境因素与仪器仪表要求的条件不一致而引起的误差称为影响误差。例如温度、湿度、振动、电源电压、电磁场影响等所引起的误差。

4. 方法误差和理论误差

由于测量方法不合理所造成的误差称为方法误差。例如,用普通万用表测量电路中高阻值电阻两端的电压,由于万用表的分流作用引起的测量误差属于方法误差。而用近似公式或近似值计算测量结果时形成的误差称为理论误差。

5. 人身误差

由于测量者的分辨能力、视觉疲劳、不良习惯或缺乏责任心等因素引起的误差称为人身误差。例如读错数字、看错刻度等。

6. 测量对象变化误差

测量过程中由于测量对象变化而导致测量值不准确。

1.5.3 测量误差的分类

根据测量误差的基本性质和特点,可把测量误差分为系统误差、随机误差、疏失误差三类。

1. 系统误差

在相同条件下,多次重复测量同一被测量时,误差的大小和符号保持不变,或在条件改变时,按一定规律变化的误差称为系统误差。例如仪表刻度的偏差,使用时的零点不准,温度、电源电压等变化造成的误差便属于系统误差。

系统误差根据掌握程度分为恒值系统误差和变值系统误差两种。误差的数值大小、方向和规律已经确定的误差称为恒值系统误差。例如仪器固有误差引起的测量误差就属于这种情况。误差的数值未确切掌握,或数值大小已知但符号未确定的误差称为变值系统误差。

系统误差的特点是:测量条件一经确定,误差即为一确切数值。用多次测量取平均值的方法,不能改变误差的大小。对已掌握的恒值系统误差,可以通过修正值与测量结果的代数和将其从测量结果中消除,而未被确切掌握的变值系统误差导致了不确定度的产生。

造成系统误差的原因是多样的,但都具有一定的规律性,在实际测量中可以分析系统误差产生的原因,采取一定的技术措施来消除或削弱系统误差。

2. 随机误差

在相同条件下,多次测量同一量值时,绝对值和符号均以不可预知的方式变化的误差称为随机误差,也叫偶然误差。随机误差由多种因素同时作用产生,这些因素互不相关,没有规律,对测量值的影响微小,如噪声干扰,电磁场的微变,空气扰动,大地微振,电源电

压频繁波动和测量者感觉器官无规律变化等都属于随机误差。

随机误差没有规律,不可预知,不能控制,可以通过对多次测量值取算术平均值的方法来削弱随机误差对测量结果的影响。

3. 疏失误差

在一定的测量条件下,测量值明显地偏离实际值所形成的误差称为疏失误差,又称为粗大误差。

造成疏失误差的主要原因有:读数错误,测量方法错误,记录错误,测量人员操作不当或测量设备本身存在问题等。

由于疏失误差明显不同于测量结果,应按一定规律剔除。

4. 测量误差对测量结果的影响

系统误差常用来表示测量的准确度。系统误差越小,则准确度越高。随机误差反映测量结果的精密度,随机误差越小,则测量的精密度越高。系统误差和随机误差的共同影响决定测量结果的精确度。精确度越高,表示准确度和精密度都高,同时意味着系统误差和随机误差都小。

下面我们打靶结果来描述测量误差的影响,如图 1-1 所示。

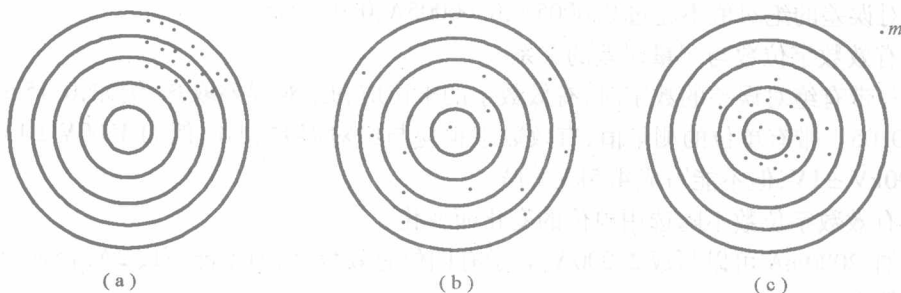


图 1-1 测量误差对测量结果的影响

(a)精密度高; (b)准确度高; (c)精确度高。

图 1-1(a)中,子弹着靶点很集中,但着靶点的中心位置偏离靶心较远。说明射击者的瞄准重复性很好,可能是风向或准星未校准等原因造成了偏离,只要找到原因就可以得到纠正。这种情况相当于测量中由于系统误差所引起的测量值虽然集中但偏离真值较远,说明测量的精密度高而准确度低。在图 1-1(b)中着靶点围绕靶心分散均匀,但分散程度大。这种情况对应于测量中随机误差大而系统误差小的情况,说明测量者的精密度低而准确度高。在图 1-1(c)中,表示测量既精密又准确。但值得一提的是,点 m 说明由于疏忽或错误造成的脱靶,不能代表射击者的真实水平。相当于测量中的粗大误差,应在测量结果中予以剔除。

1.6 测量结果与有效数字

通过实际测量取得测量结果后,通常还要对这些测量结果进行计算、分析、整理,我们这里介绍一些测量结果数值计算的基本知识。