



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等职业教育应用电子技术专业系列教材

Dianzi Celiang Yiqi Jiqi Yingyong

电子测量仪器及其应用

主 编 吴政江



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等职业教育应用电子技术专业系列教材

电子测量仪器及其应用

主 编 吴政江
副主编 胡满红

武汉理工大学出版社
Wuhan University of Technology Press

内 容 提 要

本书以测量原理与测量方法为主线,详细阐述了现代电子测量的基本原理、常用电子测量仪器的工作原理以及它们在实际中的应用。全书共分为9章,内容包括:电子测量及测量技术基础、测量用信号源、电子示波器、电子电压表、电子计数器、频域测量、常用元器件测量、数据域测量、智能仪器与自动测试技术等。

本书在选材上注重系统性、实用性和一定的先进性,概念原理阐述透彻,通俗易懂,内容丰富、实用。既可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校的电气、电子、通信、自动控制等专业的教材或参考书,也可供广大从事电子技术的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量仪器及其应用/吴政江主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2006
教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等职业教育应用电子技术专业系列教材
ISBN 7-5629-2393-0

I. 电… II. 吴… III. 电子测量-高等学校-教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 059028 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮政编码:430070)

HTTP://www.techbook.com.cn 理工图书网

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:武汉理工大印刷厂

开 本:787×960 1/16

印 张:16

字 数:314 千字

版 次:2006 年 8 月第 1 版

印 次:2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。本社购书热线电话:(027)87397097 87394412

凡使用本教材的教师,可拨打(027)87385610 免费索取电子教案光盘或邮件包。

E-mail:duanchao@mail.whut.edu.cn

前 言

《电子测量仪器及其应用》一书是武汉理工大学出版社组织编写的高等职业教育应用电子技术专业系列教材之一。本系列教材紧密结合高职高专教育的特点,在理论知识够用的基础上重点培养学生的实践能力。坚持理论与实践相结合,理论为实践服务。力求学生毕业后能够实现零距离上岗。

本书的编写者均是长期从事高等职业教育,担任电子测量课程讲授的第一线教学人员和长期从事电子测量仪器检定与维修的工程技术人员。对电子测量的历史过程和未来发展以及掌握电子测量技术的途径与方法,有着较深的感受。本书在编写方法上,采用从提出问题开始,然后给出解决办法引出概念、原理,最后用实例加以论证的方式。在内容安排上由浅入深,循序渐进。既方便教师灵活组织教学,又方便学生自学。使学生通过本课程的学习能够达到更好地使用与维护电子测量仪器的目的。

本课程的参考学时数为 70 学时(含理论讲授与实训)。全书共分为 9 章。第 1 章扼要地介绍了电子测量和仪器的基本知识;第 2~8 章讨论了信号源、电子示波器、电子电压表、电子计数器、频域测量仪器、常用元器件测量仪器、数据域测量仪器以及它们在电压、频率、时间等基本参数的测量和在波形时域分析、信号频域分析以及元器件参数和特性、网络幅频特性等测量中的应用;第 9 章介绍了智能仪器与自动测试技术。每章后都配有一定的思考与练习题。为扩展学生的知识面,在一些章节后还安排有一定数量的阅读材料。本课程的目的在于使学生更好地使用与维护电子测量仪器,教学的重点是介绍各种通用仪器的基本组成、工作原理和工作特性。

本书由贵州电子信息职业技术学院吴政江任主编,负责大纲的拟定和全书的统稿及审稿工作,并编写第 1 章、第 7 章和第 8 章;济源职业技术学院胡满红任副主编,并编写第 3 章;贵州电子信息职业技术学院范泽良编写第 2 章和第 5 章;济源职业技术学院秦国防编写第 6 章和第 9 章;贵州电子信息职业技术学院蔡光祥编写第 4 章。

由于编者学识水平有限,且编写时间仓促,疏漏与不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2006 年 6 月

目 录

1 电子测量及测量技术基础	(1)
1.1 电子测量的意义和特点	(1)
1.1.1 电子测量的意义	(1)
1.1.2 电子测量的内容	(2)
1.1.3 电子测量的特点	(2)
1.2 电子测量分类	(4)
1.2.1 按测量的方法分类	(4)
1.2.2 按被测信号特性分类	(4)
1.2.3 按对测量精度的要求不同分类	(5)
1.3 测量误差	(5)
1.3.1 测量误差及其产生原因	(5)
1.3.2 测量误差的分类及其减小方法	(6)
1.3.3 测量误差的表示方法	(7)
1.3.4 测量结果的表示及有效数字	(10)
1.4 电子测量仪器的基本知识	(11)
1.4.1 电子测量仪器的分类	(11)
1.4.2 电子测量仪器的误差	(12)
1.4.3 测量系统的组成	(13)
习题与思考题	(15)
2 测量用信号源	(17)
2.1 概述	(17)
2.1.1 信号发生器的分类	(17)
2.1.2 信号发生器的发展趋势	(18)
2.2 低频信号发生器	(18)
2.2.1 基本组成和工作原理	(18)
2.2.2 XD-22A 型低频信号发生器	(20)
2.3 高频信号发生器	(23)
2.3.1 基本组成和工作原理	(23)

2.3.2	YB1051 型高频信号发生器	(24)
2.4	函数信号发生器	(27)
2.4.1	函数信号发生器的基本原理	(27)
2.4.2	YB1602 型函数信号发生器	(30)
2.5	合成信号发生器	(32)
2.5.1	直接合成法	(33)
2.5.2	间接合成法	(33)
2.6	脉冲信号发生器	(34)
2.7	电视信号发生器	(36)
2.7.1	性能介绍	(36)
2.7.2	使用方法	(37)
	习题与思考题	(40)
3	电子示波器	(41)
3.1	概述	(41)
3.1.1	电子示波器的特点	(41)
3.1.2	电子示波器的类型	(42)
3.2	示波管波形显示原理	(42)
3.2.1	示波管的分类与结构	(42)
3.2.2	波形显示原理	(44)
3.3	通用示波器	(46)
3.3.1	通用示波器的组成	(46)
3.3.2	示波器的垂直通道	(46)
3.3.3	示波器的水平通道	(48)
3.3.4	示波器的 Z 通道	(49)
3.4	XJ4362A 型示波器	(50)
3.4.1	主要技术指标	(50)
3.4.2	XJ4362A 型示波器的工作原理	(51)
3.4.3	使用方法	(53)
3.5	示波器的应用	(53)
3.5.1	示波器的选择	(53)
3.5.2	电压的测量	(54)
3.5.3	时间与频率的测量	(56)
3.5.4	调幅系数的测量	(57)
	习题与思考题	(61)

实训 1 电子示波器的使用	(62)
4 电子电压表	(64)
4.1 概述	(64)
4.1.1 电压测量的特点和基本要求	(64)
4.1.2 电子电压表的分类	(65)
4.2 模拟式交流电压表	(67)
4.2.1 交流电压的基本参数	(67)
4.2.2 均值型电压表	(69)
4.2.3 有效值电压表	(71)
4.2.4 峰值电压表	(73)
4.3 数字电压表	(76)
4.3.1 DVM 的主要技术性能	(76)
4.3.2 DVM 的组成及主要类型	(78)
4.3.3 斜坡电压式 DVM	(79)
4.3.4 逐次逼近比较式 DVM	(81)
4.4 数字多用表	(84)
4.4.1 数字多用表的基本原理	(84)
4.4.2 测量电路	(87)
4.4.3 数字多用表的特点	(90)
习题与思考题	(94)
实训 2 数字万用表的使用	(95)
5 电子计数器	(97)
5.1 概述	(97)
5.1.1 电子计数器的分类	(98)
5.1.2 电子计数器的主要性能指标	(98)
5.2 通用电子计数器的基本组成	(99)
5.2.1 A、B 输入通道	(99)
5.2.2 主控门	(101)
5.2.3 时基信号产生与变换电路	(101)
5.2.4 控制逻辑电路	(101)
5.2.5 计数及显示电路	(103)
5.3 通用电子计数器的测量原理	(104)
5.3.1 测量频率	(104)

5.3.2 测量周期	(104)
5.3.3 测量频率比	(105)
5.3.4 测量时间间隔	(106)
5.3.5 累加计数	(107)
5.3.6 自校	(108)
5.4 电子计数器的测量误差	(108)
5.4.1 误差的来源	(108)
5.4.2 频率测量误差分析	(109)
5.4.3 周期测量误差分析	(111)
5.4.4 时间测量误差分析	(112)
5.5 E312A 型通用电子计数器	(113)
5.5.1 主要技术性能	(113)
5.5.2 基本工作原理	(114)
习题与思考题	(119)
6 频域测量	(120)
6.1 时域测量和频域测量的比较	(120)
6.2 频率特性测试仪	(121)
6.2.1 频率特性的测量方法	(121)
6.2.2 频率特性测试仪工作原理	(123)
6.2.3 BT-3 型频率特性测试仪	(126)
6.2.4 扫频仪的应用	(129)
6.3 频谱分析仪	(133)
6.3.1 频谱分析仪的分类	(133)
6.3.2 频谱分析仪的基本工作原理	(134)
6.3.3 频谱分析仪的主要技术指标	(136)
6.3.4 频谱分析仪使用案例	(138)
6.3.5 QF-4031 型频谱分析仪简介	(139)
习题与思考题	(147)
7 常用元器件测量	(148)
7.1 常用元器件简介	(148)
7.1.1 集总参数元器件简介以及检测方法	(148)
7.1.2 半导体元器件简介以及检测方法	(158)
7.2 万用电桥	(164)

7.2.1	电桥的平衡条件	(164)
7.2.2	实际测量电路及电桥平衡条件	(165)
7.2.3	电桥法测量集总参数元件的误差	(168)
7.2.4	ZL-6 型 LCR 自动测量仪	(168)
7.3	Q 表	(170)
7.3.1	Q 表的组成和测量原理	(170)
7.3.2	Q 表的应用	(171)
7.3.3	GQ-70 型高频 Q 表简介	(174)
7.4	晶体管特性图示仪	(175)
7.4.1	晶体管特性图示仪的基本工作原理	(175)
7.4.2	晶体管特性图示仪的基本组成	(177)
7.4.3	QT1 晶体管特性图示仪的测试原理和使用方法	(178)
7.5	集成电路的测试	(186)
7.5.1	集成电路的分类与万用表检测	(186)
7.5.2	中小规模集成电路的一般测试	(187)
7.5.3	集成电路测试仪	(191)
7.5.4	大规模数字集成电路的 JTAG 测试	(192)
	习题与思考题	(197)
	实训 3 集总参数元器件特性和主要参数的测试	(198)
	实训 4 半导体分立元件特性和主要参数的测试	(199)
8	数据域测量	(200)
8.1	数据域测量概述	(200)
8.1.1	数字系统与数据域测量	(200)
8.1.2	数据域测量的特点	(201)
8.1.3	数据域测量的方法与仪器	(203)
8.1.4	数字电路的简易测试	(204)
8.2	逻辑分析仪	(206)
8.2.1	逻辑分析仪概述	(206)
8.2.2	逻辑分析仪的基本组成	(206)
8.2.3	逻辑分析仪的分类	(207)
8.2.4	逻辑分析仪的特点	(208)
8.2.5	逻辑分析仪的工作原理	(210)
8.2.6	逻辑分析仪的主要技术指标	(215)
8.2.7	逻辑分析仪的应用及其举例	(217)

8.3 特征分析仪	(221)
8.3.1 特征分析法	(221)
8.3.2 信号特征分析仪	(223)
习题与思考题	(224)
9 自动测试技术	(225)
9.1 自动测试系统的基本结构	(225)
9.1.1 第一代自动测试系统	(226)
9.1.2 第二代自动测试系统	(226)
9.1.3 第三代自动测试系统	(227)
9.2 接口总线系统与智能仪器	(228)
9.2.1 接口总线系统概述	(229)
9.2.2 GPIB 总线	(230)
9.2.3 VXI 总线	(235)
9.2.4 智能仪器	(237)
9.3 虚拟仪器	(239)
9.3.1 虚拟仪器的基本概念	(239)
9.3.2 虚拟仪器的结构分类	(240)
习题与思考题	(244)
参考文献	(245)

1 电子测量及测量技术基础

【教学目标和要求】

通过本章的学习,应熟练掌握电子测量的意义、内容、特点以及分类;测量误差的产生原因、分类以及表示方法;电子测量仪器的分类、误差等基本知识,为后续章节的学习打下基础。

【关键词汇】

测量(Measurement)	电子测量(Electron measurement)
分类(Classification)	误差(Error)
有效数字(Significant figure)	仪器(Instrument)
测量系统(Measurement system)	

1.1 电子测量的意义和特点

1.1.1 电子测量的意义

(1) 测量

测量是人类对客观事物取得数量概念的认识过程。在这种认识过程中,人们借助于专门的设备,依据一定的理论,通过实验的方法,求出以所用测量单位来表示的被测量的值。测量结果的量值由两部分组成:数值(大小及符号)和相应的单位名称。没有单位的量值是没有物理意义的,如交流电的电压为 220,就毫无意义。

一个问题的研究,尤其是现代科学研究,往往需要大量的测量、统计、分析和归纳工作,在此基础上,测量学已经逐步成为一门完整、系统、理论与实践相结合的综合学科。

(2) 电子测量

电子测量是测量学的一个分支,它泛指一切以电子技术为基本手段的一种测量。或者说,凡是用到电子技术的测量均为电子测量。电子测量是以电子技术理论为依据,以电子测量仪器和设备为手段,对各种电量、电信号以及电子元器

件的特性和参数进行的测量,它还可以通过各种传感器对非电量进行测量。如用数字万用表测量干电池的电压值,用红外测温仪测量人体温度等,都属于电子测量的范畴。

(3) 电子测量的意义

电子测量涉及从直流到极宽频率范围内所有电量、磁量以及各种非电量的测量。目前,电子测量不仅因为其应用广泛而成为现代科学技术中不可缺少的手段,同时也是一门发展迅速、应用广泛、对现代科学技术的发展起着重大推动作用的独立学科。电子测量不仅应用于电学各专业,也广泛应用于物理学、化学、光学、机械学、材料学、生物学、医学等科学领域,以及生产、国防、交通、信息技术、贸易、环保乃至日常生活领域等各个方面。

电子测量在信息技术产业中的地位尤为重要。信息技术产业的研究对象及产品无一不与电子测量紧密相连,从元器件的生产到电子设备的组装调试,从产品的销售到维护维修都离不开电子测量。如果没有统一和精确的电子测量,就无法对产品的技术指标进行鉴定,也就无法保证产品的质量。因此,从某种意义上说,近代科学技术的水平是由电子测量的水平来保证和体现的;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。

1.1.2 电子测量的内容

电子测量的范围十分广泛,从狭义上来看,对电子学中电的量值的测量是最基本、最直接的电子测量,其内容主要有以下几个方面:

- (1) 电能量的测量,如测量电流、电压、功率、电场强度等。
- (2) 电子元器件参数的测量,如测量电阻、电感、电容、阻抗的品质因数、电子元器件的参数等。
- (3) 电信号的特性和质量的测量,如测量信号的波形、频谱、频率、周期、时间、相位、失真度、调制度、信噪比及逻辑状态等。
- (4) 电路性能的测量,如测量放大倍数、衰减量、灵敏度、通频带、噪声系数等。
- (5) 特性曲线的测量,如测量放大器的幅频特性曲线与相频特性曲线等。

上述各种待测参数中,频率、电压、时间、阻抗等是基本电参数,对它们的测量是其他许多派生参数测量的基础。

另外,通过传感器,可将很多非电量如温度、压力、流量、位移等转换成电信号后进行测量,但这不属于本书讨论的范围。

1.1.3 电子测量的特点

同其他的测量相比,电子测量具有以下几个突出的优点:

(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 $10^{-4} \sim 10^{12}$ Hz。但应注意,在不同的频率范围内,即使测量同一种电量,所需要采用的测量方法和测量仪器也往往不同。

(2) 仪器测量范围广

量程是仪器所能测量各种参数的范围。电子测量仪器具有相当宽广的量程。例如,一台数字电压表,可以测出从纳伏(nV)级至千伏(kV)级的电压,其量程达12个数量级;一台用于测量频率的电子计数器,其量程可达17个数量级。

(3) 测量准确度高

电子测量的准确度比其他测量方法高得多,特别是对频率和时间的测量,误差可减小到 10^{-13} 量级,是目前人类在测量准确度方面所能达到的最高指标。电子测量的准确度高,是它在现代科学技术领域得到广泛应用的重要原因之一。

(4) 测量速度快

由于电子测量是通过电磁波的传播和电子运动来进行的,因而可以实现测量过程的高速度,这是其他测量所不能比拟的。只有高速度的测量,才能测出快速变化的物理量,这对于现代科学技术的发展,具有特别重要的意义。例如,原子核的裂变过程、导弹的发射速度、人造卫星的运行参数等的测量,都需要高速度的电子测量。

(5) 易于实现遥测

电子测量的一个突出优点是可以通过各种类型的传感器实现遥测。例如,对于遥远距离或环境恶劣的、人体不便于接触或无法达到的区域(如深海、地下、核反应堆内、人造卫星等),可通过传感器或通过电磁波、光、辐射等方式进行测量。

(6) 易于实现测量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。例如,在测量中能实现程控、自动量程转换、自动校准、自动诊断故障和自动修复,对于测量结果可以自动记录、自动进行数据运算、分析和处理。目前已出现了许多类型带微处理器的自动化示波器、数字频率计、数字电压表以及受计算机控制的自动化集成电路测试仪、自动网络分析仪和其他自动测试系统。

电子测量的一系列优点,使它获得极其广泛的应用。今天,几乎找不到哪一个科学技术领域没有应用电子测量技术。大到天文观测、宇宙航天,小到物质结构、基本粒子,从复杂的生命、遗传问题到日常的工农业生产、商业部门,都越来越多地采用了电子测量技术与设备。

1.2 电子测量分类

根据测量方法的不同,电子测量有不同的分类方法。这里仅就最常用的分类方法作简要介绍。

1.2.1 按测量的方法分类

(1) 直接测量

用预先按已知标准量定度好的测量仪器,对某一未知量直接进行测量,从而得到被测量值的测量方法称为直接测量。例如,用通用电子计数器测频率,用电压表测量电路中的电压等,都属于直接测量。

(2) 间接测量

对一个与被测量有确切函数关系的物理量进行直接测量,然后通过代表该函数关系的公式、曲线或表格等,求出被测量值的方法,称为间接测量。例如,要测量已知电阻 R 上消耗的功率,可先测量加在 R 两端的电压 U ,然后再根据公式 $P = U^2/R$ 求功率 P 之值。

(3) 组合测量

在某些测量中,被测量与几个未知量有关,测量一次无法得出完整的结果,则可改变测量条件进行多次测量,然后按被测量与未知量之间的函数关系组成联立方程,求解,得出有关未知量。此种测量方法称为组合测量,它是一种兼用直接测量和间接测量的方法。

上面介绍的三种方法中,直接测量的优点是测量过程简单迅速,在工程技术中采用得比较广泛。间接测量法多用于科学实验,在生产及工程技术中应用较少,只有当被测量不便于直接测量时才采用。至于组合测量,是一种特殊的精密测量方法,适用于科学实验及一些特殊的场合。

1.2.2 按被测信号特性分类

(1) 时域测量

时域测量是测量被测对象在不同时间的特性。这时把被测信号看成是一个时间的函数,使用示波器能显示其瞬时波形,测量它的幅度、宽度、上升和下降沿等参数。时域测量还包括一些周期性信号的稳态参量的测量,如正弦交流电压,虽然它的瞬时值会随时间变化,但是交流电压的振幅值和有效值是稳态值,可用指针式仪器测量。

(2) 频域测量

频域测量是测量被测对象在不同频率时的特性。这时把被测对象看成是一个

频率的函数。信号通过非线性电路会产生新的频率分量,能用频谱仪进行分析。放大器的幅频特性在高频端和低频端会下降,可用频率特性图示仪予以显示。放大器对不同频率的信号会产生不同的相移,可使用相位计测量放大器的相频特性。

(3) 数据域测量

数据域测量是指对数字系统逻辑状态进行的测量,即测量数字信号是“1”还是“0”。逻辑分析仪是数据域测量的典型仪器,它能分析离散信号组成的数据流,可以观察多个输入通道的并行数据,也可以观察一个通道的串行数据。

1.2.3 按对测量精度的要求不同分类

(1) 精密测量

精密测量多在实验室或计量室进行,是深入研究测量误差问题的测量。

(2) 工程测量

工程测量指对测量误差的研究不很严格的测量,往往一次测量获得结果,但工程测量所选用的仪器仪表的准确度等级必须满足实际使用的需要。

另外,电子测量技术还有许多分类方法。如:根据测量过程的控制不同,分为人工测量和自动测量;根据被测量与测量结果获取地点的关系,分为本地测量和远地测量;根据被测量在测量过程中是否有变化,分为动态测量和静态测量;根据测量的统计特性,分为平均测量和抽样测量。在实际测量过程中,上述的多种测量形式或者相互补充,或者组合运用,以完成特定的电子测量任务。

1.3 测量误差

1.3.1 测量误差及其产生原因

(1) 测量误差

测量的目的是希望获得被测量的实际大小即真值。所谓真值,就是在一定的时间和环境条件下,被测量本身所具有的真实数值。实际上,由于测量设备、测量方法、测量环境和测量人员的素质等条件的限制,测量所得到的结果与被测量的真值之间总会有差异,这个差异就称为测量误差。测量误差过大,可能会使测量结果变得毫无意义,甚至会带来害处。真值只是一个理想概念,是无法获得的。测量误差是客观存在的,是无法消除的,只能想办法减小它。因此,研究误差的目的,就是要了解产生误差的原因及其发生规律,寻求减小测量误差的方法,使测量结果精确可靠。

(2) 产生测量误差的原因

无论哪种测量,都必须使用测量仪器。同时,测量工作又是在某个特定的环

境里,由测量人员按照一定的测量理论及方法来完成的。因此总体上讲,产生测量误差的原因有以下五个方面。

① 仪器原因。由于仪器本身及其附件的电气和机械性能不完善而引入的误差称为仪器误差。如仪器仪表的零点漂移、刻度不准确或非线性等引起的误差以及数字式仪表的量化误差都属于此类。关于仪器误差在 1.4 节将进行详细讨论。

② 理论及方法原因。由于测量所依据的理论不够严密或用近似公式、近似值计算测量结果所引起的误差称为理论误差。例如,用基波抑制法测量谐波失真度就会引起理论误差。由于测量方法不适宜而造成的误差称为方法误差。如用低内阻的万用表测量高内阻电路的电压时所引起的误差就属于此类误差。

③ 环境原因。由于温度、湿度、振动、电源电压、电磁场等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环境误差。例如,环境温度、预热时间、电源电压等与所要求的测试条件不一致所产生的误差就属于此类误差。

④ 人员原因。由于测量人员的分辨力、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员误差。如读错数字、操作不当等。

⑤ 被测量本身原因。由于测量对象自身的不稳定变化引起的误差称为被测量不稳定误差。由于测量是需要一定时间的,若在测量时间内被测量不稳定而发生变化,那么即使有再好的其他测量条件也是无法得到正确测量结果的。被测量不稳定与被测对象有关,可以认为被测量的真值是时间的函数。如由于振荡器的振荡频率不稳定,则测量其频率必然要引起误差。

在测量工作中,对于产生误差的原因要认真分析,采取相应的措施,以减小误差对测量结果的影响。

1.3.2 测量误差的分类及其减小方法

根据性质,可将测量误差分为系统误差、随机误差和粗大误差三大类。

(1) 系统误差

在同一被测量的多次测量过程中,保持恒定或以可预知的方式变化的测量误差的分量称为系统误差。系统误差决定了测量的准确度。系统误差越小,测量结果准确度越高。

在测量误差中,系统误差所占的分量起主要作用。测量前,应对所采用的测量装置、测量方法、测量环境等方面进行分析,尽可能找出产生系统误差的原因,并采取相应措施,尽可能减少系统误差的影响。

(2) 随机误差

在同一被测量的多次测量过程中,以不可预知的方式变化的测量误差的分量称为随机误差,也叫偶然误差。由于随机误差通常很小,故只有在高灵敏度和多次测量情况下才能察觉。它是由仪器内部元器件产生的噪声、温度及电压不稳

定、电磁干扰等一些对测量值影响较微小,又互不相关的多种因素共同造成的。在足够多次的测量中,随机误差服从一定的统计规律,大多接近于正态分布,具有对称性、有界性、抵偿性和单峰性等特点。随机误差反映了测量结果的精密度。随机误差越小,测量精密度越高。

根据随机误差的特点,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) 粗大误差

粗大误差是指在一定条件下,测量值明显偏离实际值时所对应的误差,也叫疏失误差。粗大误差是由于读数错误、记录错误、操作不正确、测量中的失误以及不能允许的干扰等原因造成的误差。

粗大误差明显地歪曲了测量结果,其数值远远大于系统误差和随机误差。因此对于含有粗大误差的测量值,一经确认,应首先予以剔除。

1.3.3 测量误差的表示方法

测量误差有两种表示方法——绝对误差和相对误差。

(1) 绝对误差

由测量所得到的测量值 x 与被测量真值 A_0 之差,称为绝对误差,用 Δx 表示,即

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1.1)$$

这里说的测量值 x 一般是指仪器仪表的示值,即由仪器所指示的被测量值。由于它总含有误差,而且 x 可能比 A_0 大,也可能比 A_0 小,因此 Δx 既有大小,又有正负符号。其量纲和测量值相同。

由于真值 A_0 是一个理想的概念,一般来说,是无法精确得到的。因此,实际应用中通常用实际值 A 来代替真值 A_0 。

实际值又称为约定真值,它是根据测量误差的要求,用高一级或高数级的标准仪器或计量器具测量所得之值,这时绝对误差可按下式计算:

$$\Delta x = x - A \quad (1.2)$$

与绝对误差的绝对值大小相等,但符号相反的量值称为修正值,用 C 表示。即

$$C = -\Delta x = A - x \quad (1.3)$$

计量器具的修正值,可通过检定,由高一级或高几级标准给出,它可以是表格、曲线或函数表达式等形式。利用修正值和计量器具示值,可得到被测量的实际值,即

$$A = x + C \quad (1.4)$$

测量仪器应当定期送计量部门进行检定,其目的之一就是获得准确的修正