

职业教育课程**改革创新**规划教材

● **精品课程系列** ●



电子测量仪器 及应用

◎ 杨亚平 主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

职业教育课程改革创新规划教材

· 精品课程系列 ·

电子测量仪器及应用

杨亚平 主编

刘亚川 杨 展 参编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以常用电子测量仪器及其主要应用为主线,讲述电子测量仪器的基本工作原理、操作使用方法和测量应用实训。本书以项目和任务为章节,内容包括电子测量与仪器基础知识,电压测量仪器及应用,信号发生器及应用,电子示波器及应用,电子计数器及应用,频域测量仪器及应用,电子元器件测量仪器及应用,智能仪器与自动测量技术,虚拟仪器技术及应用共9个项目。每个项目中都有结合实际应用的多项实训,使读者在学完本书后,即可使用各种电子测量仪器进行相关测量与测试工作。

本书可作为各类职业院校电子技术应用及相关专业的教学用书,也可供从事电子测量与测试工作的工程技术人员和广大电子爱好者作为参考。

为方便教师教学,本书还配有电子教学参考资料包,详见前言。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量仪器及应用/杨亚平主编. —北京:电子工业出版社,2013.3
职业教育课程改革创新规划教材·精品课程系列
ISBN 978-7-121-19708-6

I. ①电… II. ①杨… III. ①电子测量设备-中等专业学校-教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第038327号

策划编辑:张帆

责任编辑:张帆

印刷:北京天宇星印刷厂

装订:北京天宇星印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:15 字数:384千字

印次:2013年3月第1次印刷

定价:29.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市海淀区万寿路173信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

前 言



随着电子信息产业的发展,各种电子测量仪器的应用越来越广泛。在电子产品的研制、生产、调试和维修过程中,都离不开各种电子测量仪器。学习电子测量仪器的基本知识、掌握电子测量仪器的操作方法、熟练使用各种电子测量仪器来进行相关工程测量与测试,对于电子技术应用及相关专业的学生来说都是非常重要的。

本教材以培养应用型人才为目标,突出职业教育的特点,紧密结合电子测量工程实践进行教学。在选材上注重系统性、综合性、实用性和先进性;对专业基础知识以够用为止,加大技能实训比重,并从多方面反映电子测量仪器的新发展。在形式上采用项目教学和任务驱动法的编写模式,将电子测量仪器基础知识、常用仪器介绍和测量应用实训融为一体,紧紧围绕完成实训任务的需要选择教学内容,将全部教学活动分成若干个项目,以项目为单位组织教学,使学生在学完电子测量仪器基础知识的同时,掌握电子测量仪器的实际应用,以提高学生的实践操作技能,培养学生的综合职业能力。

本教材以常用电子测量仪器及其主要应用为主线,讲述了电子测量仪器的工作原理、操作使用方法和测量应用实训。全书共分为9个项目,内容包括电子测量与仪器基础知识,电压测量仪器及应用,信号发生器及应用,电子示波器及应用,电子计数器及应用,频域测量仪器及应用,电子元器件测量仪器及应用,智能仪器与自动测量技术,虚拟仪器技术及应用等内容。每个项目中都有结合实际测量应用的多项实训,使读者在学完本书后,能熟练使用各种电子测量仪器进行相关测量与测试工作。

本教材由杨亚平老师担任主编,并编写项目1、3、4、6、7;项目8、9由刘亚川老师编写;项目2、5由杨展老师编写。在本教材的编写过程中,参阅了大量有关著作和文献资料,并得到了多位老师的帮助,在此向他们表示真诚的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误之处,敬请使用本书的师生及读者批评指正。

为了方便教师教学,本书还配有教学指南、电子教案和习题答案(电子版)。请有此需要的教师登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费注册后再进行下载,有问题请在网站留言板留言或与电子工业出版社联系(E-mail:hxedu@phei.com.cn)。

编 者

2013年2月



目 录



项目 1 电子测量仪器基础知识	1
任务 1 知识引领——电子测量的基本知识	1
知识 1.1 电子测量及内容	1
知识 1.2 电子测量的特点	2
知识 1.3 电子测量的基本方法	3
任务 2 知识引领——测量误差的基本知识	4
知识 2.1 测量误差的分类	4
知识 2.2 测量误差的来源	5
知识 2.3 测量误差的表示方法	6
任务 3 知识引领——测量结果的数据处理	8
知识 3.1 有效数字的正确表示	8
知识 3.2 有效数字的舍入规则	9
知识 3.3 测量数据的运算法则	9
任务 4 知识引领——测量仪器的基本知识	10
知识 4.1 电子测量仪器的分类	10
知识 4.2 电子测量仪器的误差	11
知识 4.3 电子测量仪器的性能指标	11
任务 5 应用实训——误差计算与数据处理实训	12
实训 5.1 测量误差计算实训	12
实训 5.2 测量数据处理实训	13
本项目小结	14
项目 1 思考题	15
项目 2 电压测量仪器及应用	16
任务 1 知识引领——电压测量的基本知识	16
知识 1.1 电压测量的特点及要求	16
知识 1.2 电压表的分类	17
知识 1.3 交流电压的幅值参数	18
知识 1.4 电平的概念及测量	20
任务 2 仪器介绍——模拟式电子电压表	22
知识 2.1 放大-检波式电子电压表	22
知识 2.2 检波-放大式电子电压表	23
知识 2.3 热电偶变换式电子电压表	25
知识 2.4 模拟电子电压表的选择和使用	26
任务 3 仪器介绍——数字式直流电压表	27

知识 3.1 数字式电压表的组成	27
知识 3.2 数字式电压表的工作原理	27
知识 3.3 数字式电压表的性能指标	31
任务 4 仪器介绍——数字式万用表	32
知识 4.1 数字式万用表的结构组成	32
知识 4.2 数字式万用表的性能指标	33
知识 4.3 数字式万用表的使用方法	34
任务 5 应用实训——电压测量实训	35
实训 5.1 稳压电源参数测试实训	35
实训 5.2 不同波形电压换算实训	36
实训 5.3 数字式万用表应用实训	38
本项目小结	39
项目 2 思考题	40
项目 3 信号发生器及应用	41
任务 1 知识引领——信号发生器基本知识	41
知识 1.1 信号发生器的分类	41
知识 1.2 信号发生器的基本组成	42
知识 1.3 信号发生器的技术指标	43
知识 1.4 信号发生器的选择	45
任务 2 仪器介绍——低频信号发生器	45
知识 2.1 低频信号发生器的组成	45
知识 2.2 主振荡器类型与工作原理	47
知识 2.3 低频信号发生器的使用	48
任务 3 仪器介绍——高频信号发生器	51
知识 3.1 高频信号发生器的组成	51
知识 3.2 主振级的类型和工作原理	52
知识 3.3 高频信号发生器的使用	55
任务 4 仪器介绍——函数信号发生器	57
知识 4.1 函数信号发生器的类型	57
知识 4.2 三角波产生与正弦波变换	59
知识 4.3 函数信号发生器的使用	60
任务 5 应用实训——信号发生器应用实训	63
实训 5.1 低频放大器的性能测试（低频信号发生器的应用）	63
实训 5.2 调谐放大器的性能测试（高频信号发生器的应用）	65
实训 5.3 不同波形信号的电压测量（函数信号发生器的应用）	66
本项目小结	67
项目 3 思考题	68
项目 4 电子示波器及应用	69
任务 1 知识引领——电子示波器基本知识	69
知识 1.1 电子示波器的性能特点	69

知识 1.2 电子示波器的分类	70
知识 1.3 电子示波器的性能指标	71
任务 2 知识引领——示波器波形显示原理	71
知识 2.1 阴极射线示波管的构造	71
知识 2.2 电子束聚焦与偏转原理	72
知识 2.3 示波器波形显示原理	74
任务 3 仪器介绍——通用电子示波器	77
知识 3.1 通用电子示波器的组成	77
知识 3.2 通用电子示波器的性能指标	81
知识 3.3 通用电子示波器的应用	84
任务 4 仪器介绍——数字存储示波器	87
知识 4.1 数字存储示波器的性能特点	87
知识 4.2 数字存储示波器的组成原理	88
知识 4.3 数字存储示波器的工作方式	89
任务 5 应用实训——通用电子示波器使用实训	92
实训 5.1 信号参数测量实训	92
实训 5.2 低频放大器性能测试实训	93
实训 5.3 调幅与检波电路性能测试实训	94
本项目小结	95
项目 4 思考题	96
项目 5 电子计数器及应用	97
任务 1 知识引领——电子计数器基本知识	97
知识 1.1 频率与时间的测量方法	97
知识 1.2 电子计数器的分类	98
知识 1.3 电子计数器的基本原理	98
知识 1.4 电子计数器的性能指标	99
任务 2 仪器介绍——通用电子计数器	100
知识 2.1 通用电子计数器的结构组成	100
知识 2.2 通用电子计数器的测量原理	101
知识 2.3 通用电子计数器的使用	104
任务 3 知识引领——电子计数器的测量误差	108
知识 3.1 测量误差的来源	108
知识 3.2 频率测量误差	109
知识 3.3 周期和时间测量误差	110
知识 3.4 中界频率的确定	111
任务 4 仪器介绍——等精度电子计数器	112
知识 4.1 等精度频率测量原理	112
知识 4.2 时间间隔平均测量原理	113
知识 4.3 等精度电子计数器的使用	114
任务 5 应用实训——电子计数器应用实训	115

实训 5.1 信号源信号参数测量实训	115
实训 5.2 电视机扫描电路测试实训	117
实训 5.3 电子计数器测量误差计算实训	118
本项目小结	119
项目 5 思考题	119
项目 6 频域测量仪器及应用	120
任务 1 知识引领——频域测量基本知识	120
知识 1.1 频域和时域的关系	120
知识 1.2 频域测量的主要内容	121
知识 1.3 频域测量仪器的类型	122
任务 2 仪器介绍——频率特性测试仪	122
知识 2.1 频率特性的测试方法	122
知识 2.2 频率特性测试仪的工作原理	123
知识 2.3 频率特性测试仪的使用	126
任务 3 仪器介绍——频谱分析仪	131
知识 3.1 频谱分析仪的分类及用途	131
知识 3.2 频谱分析仪的工作原理	132
知识 3.3 频谱分析仪的性能指标	133
知识 3.4 频谱分析仪的选择和使用	135
知识 3.5 频谱分析仪的使用	135
任务 4 仪器介绍——谐波失真度测试仪	137
知识 4.1 失真度的定义及测量方法	137
知识 4.2 失真度测量仪的组成原理	138
知识 4.3 失真度测量仪的使用	139
任务 5 应用实训——频域测量实训	142
实训 5.1 调谐放大器谐振曲线测试实训	142
实训 5.2 鉴频器鉴频曲线测试实训	143
实训 5.3 功率放大器失真度测试实训	144
本项目小结	144
项目 6 思考题	145
项目 7 元器件测量仪器及应用	146
任务 1 知识引领——元器件测量基本知识	146
知识 1.1 电子元件的分类及参数	146
知识 1.2 无源电路元件的参数	147
知识 1.3 电子元件测量仪器的分类	148
任务 2 仪器介绍——万用电桥	149
知识 2.1 电桥的分类及平衡条件	149
知识 2.2 万用电桥的工作原理	151
知识 2.3 万用电桥的使用	152
任务 3 仪器介绍——高频 Q 表	154

知识 3.1 高频 Q 表的组成	154
知识 3.2 高频 Q 表的工作原理	154
知识 3.3 高频 Q 表的使用	156
任务 4 仪器介绍——半导体管特性图示仪	159
知识 4.1 半导体管特性图示仪的组成	159
知识 4.2 半导体管特性图示仪的工作原理	160
知识 4.3 半导体管特性图示仪的使用方法	162
任务 5 应用实训——电子元器件测量实训	165
实训 5.1 低频电路元件的测量实训（万用电桥的应用）	165
实训 5.2 高频电路元件的测量实训（高频 Q 表的应用）	166
实训 5.3 半导体器件测量实训（半导体管图示仪的应用）	167
本项目小结	173
项目 7 思考题	174
项目 8 智能仪器和自动测量技术	175
任务 1 知识引领——智能仪器简介	175
知识 1.1 智能仪器的一般概念	175
知识 1.2 智能仪器的功能特点	176
知识 1.3 智能仪器的基本结构	177
任务 2 知识引领——自动测试系统简介	178
知识 2.1 自动测量技术的发展	179
知识 2.2 自动测试系统的组成	180
知识 2.3 自动测试系统的总线	181
任务 3 应用实训——智能仪器应用实训	186
实训 3.1 智能数字电压表使用实训	186
实训 3.2 数字存储示波器使用实训	188
实训 3.3 温度测控系统性能测试实训	196
本章小结	198
项目 8 思考题	198
项目 9 虚拟仪器技术及应用	200
任务 1 知识引领——虚拟仪器的基本知识	200
知识 1.1 虚拟仪器的一般概念	200
知识 1.2 虚拟仪器的结构组成	201
知识 1.3 虚拟仪器的性能特点	202
任务 2 知识引领——虚拟仪器的软件	203
知识 2.1 LabVIEW 软件简介	203
知识 2.2 基本 VI 的组成	205
知识 2.3 LabVIEW 的模板	207
知识 2.4 LabVIEW 的数据类型	211
任务 3 知识引领——虚拟仪器的基本程序结构	212
知识 3.1 For 循环	213

知识 3.2 While 循环	214
知识 3.3 选择结构	215
知识 3.4 图形显示控件	215
任务 4 知识引领——虚拟仪器的数据采集	219
知识 4.1 数据采集系统	219
知识 4.2 数据采集硬件	219
知识 4.3 数据采集 VI	220
任务 5 应用实训——虚拟仪器应用实训	222
实训 5.1 正弦信号发生器设计实训	222
实训 5.2 频谱分析仪设计实训	224
本章小结	226
项目 9 思考题	227

项目 1 电子测量仪器基础知识



本项目任务目标

1. 学习电子测量的基本知识：应了解电子测量的内容、特点和基本方法。
2. 学习测量误差的基本知识：应了解测量误差的分类、来源和表示方法。
3. 学习测量结果的数据处理：应了解有效数字的概念、舍入规则和运算规则。
4. 学习电子测量仪器的基本知识：应了解电子测量仪器的分类、误差和技术指标。
5. 进行误差计算和数据处理实训：通过训练掌握误差计算和数据处理的基本技能。

任务 1 知识引领——电子测量的基本知识

知识 1.1 电子测量及内容

测量是以确定被测量值为目的的工作过程。在这一过程中需要借助专门的设备，将被测量与选作单位的同类标准量进行比较，从而取得用数值和单位共同表示的测量结果。

电子测量是测量学的一个重要分支，在电子测量过程中，以电子技术理论为依据，以电子测量仪器为手段，对各种电量、电信号、电路特性和元器件参数进行测量，还可以通过传感器对各种非电量进行测量，电子测量主要包括以下内容。

1. 电能量测量

电能量测量包括各种电量的电压、电流、电功率、电场强度等的测量。

2. 电信号特性测量

电信号特性测量包括信号的频率、周期、相位、频谱、失真度、调制度、信噪比、逻辑状态等的测量。

3. 元器件参数测量

元器件参数测量包括电阻、电容、电感、二极管、三极管、场效应管、集成电路等元器件的参数测量。



4. 电路性能测量

电路性能测量包括增益、衰减、灵敏度、通频带、频率特性、噪声系数等性能的测量。

5. 特性曲线显示测量

特性曲线显示测量包括信号的波形、频谱、逻辑关系；电路或系统的幅频特性曲线；元器件参数的特性曲线等的显示测量。

知识 1.2 电子测量的特点

电子测量技术与电子测量仪器的应用非常广泛，与其他测量方法和测量仪器相比有着无法比拟的众多优点，其主要特点如下。

1. 频率范围宽

在电子测量中对电信号的测量，其频率覆盖范围极宽，除直流外，可从 $10^{-6} \sim 10^{12}$ Hz。但不是同一台仪器能在这样宽的频率范围内工作。在不同的频率范围内，电子测量所依据的原理、采用的测量方法和使用的测量仪器也各不相同。随着电子技术的发展，单台仪器所覆盖的频率范围在不断扩大。

2. 量程范围宽

量程是指测量范围的上、下限值之差。在电子测量中，被测量的量值大小相差很大，量程可达 $10^{12} \sim 10^{16}$ 量级，因而要求测量仪器具有足够宽的测量范围。

3. 测量准确度高

电子测量的准确度比其他测量都高，但对于不同参数的测量，测量结果的准确度是不一样的，有些参数的测量准确度可以很高，而有些参数的测量准确度较低。其中频率和时间测量准确度可达到 10^{-13} 量级，这是目前在测量准确度方面达到的最高指标。

4. 测量速度快

由于电子测量是利用电子测量仪器完成的，因此其工作速度很高，几乎等同于电子运动和电磁波的传播速度，使得电子测量无论在测量速度，还是在测量结果的处理速度上，是其他测量方法不可比拟的。

5. 便于实现遥测

电子测量可以把测量仪器或与它连接的传感器放到人类自身无法到达或不便长期停留的地方进行测量。通过传感器把现场所需测量的量转换成易于传输的电信号，用有线或无线的方式传送到测量控制中心，从而实现遥测和遥控。

6. 可实现测量自动化

随着电子技术的迅速发展，特别是计算机技术的广泛应用，使电子测量仪器和设备呈现



出崭新的局面。现在许多电子测量仪器都具备与外界交换信息的功能,从而可构成功能完善的自动测量系统,实现测量自动化。

知识 1.3 电子测量的基本方法

测量的过程实际上是一个比较的过程。测量的任务就是通过实验的方法,将被测量(未知量)与已知标准量进行比较,以获得被测量的值。一个电参数的测量,可通过不同的测量方法来实现,测量方法选择的正确与否,直接关系到测量结果的准确度,也关系到测量工作的经济性和可行性。对于各种测量方法,可从不同角度进行分类。

1. 按测量手段分类

按测量手段可分为直接测量、间接测量和组合测量。

(1) 直接测量

不需经过任何计算,直接由测量仪器的读数获取被测量的值,这种测量方法称为直接测量。例如用电压表和电流表测量电压和电流、用欧姆表测量电阻等。直接测量的优点是测出的量值就是被测量本身的值,测量过程简单迅速,是工程测量中广泛应用的测量方法。缺点是受仪器基本误差的限制,测量准确度不高。

(2) 间接测量

根据被测量和其他量的函数关系,先通过直接测量得到其他量,然后按函数关系式计算出被测量的值,这种测量方法称为间接测量。例如,用伏安法测量电阻或测量电功率、用测量电阻上的电压来得到电流等。间接测量的手续较多,当被测量不便于直接测量或缺少直接测量仪器时,可以采用间接测量的方法。

(3) 组合测量

如果被测量与多个未知量有关,那么一次测量无法求得被测量的值,此时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出方程组来求解,进而得到被测量值,这种测量方法称为组合测量。组合测量的操作手续复杂,花费时间较长,多用于科学实验或一些特殊场合。

2. 按测量方式分类

按测量方式分类可分为偏差式测量、零位式测量与微差式测量。

(1) 偏差式测量

用仪表指针偏转的大小(即偏差)来确定被测量的值,这种测量方法称为偏差式测量。例如用指针式电压表和电流表测量电压和电流等。偏差式测量仪表的刻度事先用标准器具进行分度。在测量时,按照仪表指针在标尺上的示值,读出被测量的值。偏差式测量的优点是测量过程简单迅速,是工程测量中广泛应用的测量方法,其缺点是测量准确度较低。

(2) 零位式测量

将被测量与已知标准量在比较仪器中进行比较,用指零仪表指示仪器的平衡状态,在指零仪表指零时,被测量与已知标准量相等,由已知标准量确定被测量的值,这种测量方法称为零位式测量。例如,用直流电桥测量电阻、用电位差计测量电动势等。零位式测量的优点



是可以获得很高的测量精度,缺点是已知标准量必须连续可调,仪器造价高,测量过程用时较长,不适于测量变化较快的量。

(3) 微差式测量

先将被测量与同其量值只有微小差值的已知标准量进行比较,再用偏差式测量法测量此差值,由此确定被测量的值,这种测量方法称为微差式测量。设 X 为被测量, N 为标准量, Δ 为二者之差,则 $X = N + \Delta$ 。例如用不平衡电桥测量电阻的变化量、电压的比较测量等。微差式测量适用于被测量变化较快、变化范围相对较小的场合,其优点是不需要调整标准量,测量速度快,测量精度高,特别适用于在线实时测量。

3. 按测量性质分类

按测量性质可分为时域测量、频域测量和数据域测量。

(1) 时域测量

时域测量用于测量交流电压、交流电流等随时间变化的量。对其稳态值、有效值,可用电压表、电流表等测量;对其瞬时值,可通过示波器观测其幅值随时间变化的关系。

(2) 频域测量

频域测量用于测量信号所包含的频率分量、电路或系统的频率特性。通过频域测量可得出信号的频谱曲线、电路的频率特性曲线,以分析被测量幅值与频率之间的关系。

(3) 数据域测量

数据域测量是指对数字量进行的测量。用具有多个输入通道的逻辑分析仪,可同时观测多位并行数据。如观测微处理器地址线、数据线上的信号,既可显示多路信号的时序波形,也可用“0”、“1”表示其逻辑状态。

任务2 知识引领——测量误差的基本知识

任何物理量必然存在一个真实的数值,这个数值称为真值。真值是在研究某物理量时在一定条件下严密定义的量值,一般来说是难以准确测量出来的。一切测量的目的都是为了尽可能准确可靠地获得真值,但由于人们对客观规律认识的局限性、测量工具的不准确、测量手段的不完善,以及测量过程中可能出现的疏忽和失误,都会使测量值与真值不同。测量值与被测量真值之差就是测量误差。

知识2.1 测量误差的分类

测量误差是多种因素共同作用的结果,测量误差的产生是不可避免的,只能尽可能地减小测量误差,如果测量误差在许可范围之内,就认为测量结果是正确的。根据误差的性质和特点,测量误差可分为随机误差、系统误差和粗大误差三类。

(1) 随机误差

随机误差是指在对同一被测量进行多次测量过程中,绝对值和符号都以不确定方式变化的误差。每次出现的误差都是偶然的,没有复现性,因此随机误差也称偶然误差。



随机误差是由那些对测量值影响微小又互不相关的多种因素共同作用造成的,例如,电磁干扰或电源电压的频繁波动、测量仪器或电路元器件的噪声、测量人员感觉器官的偶然变化等。一次测量的随机误差没有规律,但足够多次重复测量所出现的随机误差服从统计规律,因此可采用多次测量取算术平均值的方法来消除随机误差。

(2) 系统误差

系统误差是指在对同一被测量进行多次测量过程中,绝对值和符号保持恒定或在条件改变时按某种确定规律变化的误差。造成系统误差的原因很多,例如,仪器标度的偏差、使用时仪器零点未调准、环境条件的变化、测量方法不当等造成的误差。

系统误差的特点是,测量条件一经确定,误差即为一确定数值,用多次测量取平均值的方法不能改变系统误差的大小。对于系统误差主要应从产生误差的根源上来消除,或采取对测量值进行修正、或采取相应补偿措施的方法,来减小系统误差对测量结果的影响。

(3) 粗大误差

粗大误差是指在对同一被测量进行多次测量过程中,测量值明显偏离实际值的误差。粗大误差产生的原因可能是操作或读数错误、仪器的不稳定或出现故障、测量条件的突然变化等。由于粗大误差是在不正常的情况下出现的,测量数据误差很大,甚至是错误的,因此粗大误差也称为差错。这样的测量数据称为坏值,应剔除不用。

知识 2.2 测量误差的来源

在测量工作中,对于误差的来源要认真分析,采取相应措施,以减小各种测量误差。电子测量误差的来源是多方面的,按产生的主、客观因素可分为人为误差和非人为误差。人为误差主要包括人员误差、方法误差、使用误差;非人为误差主要有仪器误差、环境误差等。

(1) 仪器误差

仪器误差即仪器的固有误差,这是由于测量仪器及其附件本身不完善而引起的误差。例如,电桥中标准电阻误差、衰减电路分压比误差、仪器零位偏移、标度不准确、仪器的非线性等引起的误差均属仪器误差。仪器误差可通过在测量结果中加修正值(包括利用修正公式或修正曲线)的方法进行修正。

(2) 环境误差

环境误差又称影响误差,是由于各种环境因素与要求条件不一致所造成的误差。例如,温度、湿度、电源电压、电磁场干扰等影响所引起的误差。为了克服环境误差,应注意仪器设备使用的环境条件。要求严格时,测量应在恒温、恒湿和电磁屏蔽的专门实验室中进行。也可通过对仪器设备进行环境测试,确定各种环境因素的影响程度,从而对测量结果进行适当的修正,以减小环境误差。

(3) 方法误差

方法误差又称理论误差,是由于测量方法不合理或采用的近似公式不适当所造成的误差。例如,用普通万用表测量电路中高阻值电阻两端的电压,由于万用表电压挡内阻不高,形成分流作用而引起的误差即为方法误差。对方法误差,可通过理论分析来进行修正,或采用更合理、更科学的测量方法来消除误差。



(4) 使用误差

使用误差又称操作误差。是由于在使用仪器过程中未严格遵守操作规程而引起的误差。例如, 仪器未按规定安放、零点未调准、接地不良、测试接线太长、未考虑阻抗匹配、仪器操作使用方法不当、读数的视差等, 都会产生使用误差。为了避免使用误差, 必须严格遵守仪器的安装调整要求和操作规程, 熟练掌握测量操作方法。

(5) 人员误差

人员误差是由测量者的分辨能力、固有习惯、工作态度、熟练程度等因素引起的误差。这说明测量人员要经过严格训练, 具有较高的测量操作技能, 并要养成专心致志、一丝不苟的工作作风, 这样才能减小测量中的人员误差。

知识 2.3 测量误差的表示方法

测量误差的表示方法一般有两种, 即绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

测量值与被测量真值之差称为绝对误差。设被测量的真值为 A_0 , 测量值为 Y , 则绝对误差 ΔY 可以表示为

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

测量值是指由测量所得到的被测量值, 即测量器具的示值。由于真值 A_0 一般无法得到, 通常用约定真值 (实际值) A 来代替真值 A_0 , 即

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

通常是把高一等级的标准器具所复现的量值作为约定真值。

在实际测量中还要用到修正值, 修正值 C 是与绝对误差大小相等、符号相反的值, 即

$$C = -\Delta Y$$

计量器具的修正值, 可通过检定由高一标准器具给出, 它可以是表格、曲线或函数表达式等形式。利用修正值对测量值进行修正, 即可得到被测量的实际值。

$$A = Y + C \quad (1-3)$$

例如, 某电流表测得的电流示值为 0.8mA , 查该电流表的检定证书得知, 如果该电流表在 0.8mA 附近的修正值为 -0.02mA , 那么被测电流的实际值为

$$A = Y + C = 0.8\text{mA} + (-0.02\text{mA}) = 0.78\text{mA}$$

在实际测量中, 可通过加修正值的方法来提高测量的准确度。

绝对误差有计量单位, 其大小和符号分别表示测量值偏离实际值的程度和方向, 但绝对误差不使用说明不同量值的测量质量。

2. 相对误差

为了更确切地反映出不同量值的测量质量, 就要用相对误差来表示。

测量的绝对误差与被测量的约定值之比称为相对误差, 常用百分数来表示。约定值可以是实际值 A 、示值 Y 或仪器的满量程值 Y_m 。因此, 相对误差又分为实际相对误差、示值相对误差和引用误差。