



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

第一版获全国高校优秀教材奖

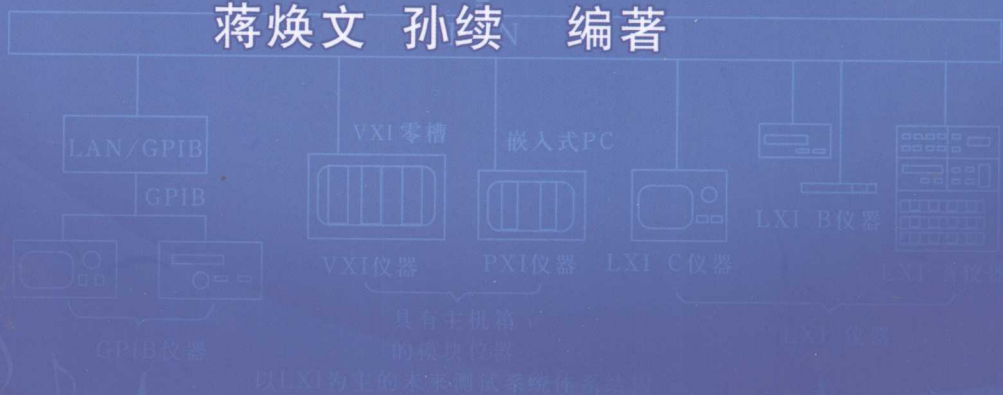
第二版获国家级教学成果一等奖

电子测量

DIANZI CELIANG

(第三版)

蒋焕文 孙续 编著



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



TM93/112

2008

普通高等教育“十五”国家级规划教材

第一版获全国高校优秀教材奖
第二版获国家级教学成果一等奖

电子测量

DIANZI CELIANG

(第三版)

蒋焕文 孙续 编著



- 41 陈光福, 张世英, 数据域测试及仪器, 成都: 电子科技大学出版社, 2001
- 42 杨吉祥编著, 数据域测试技术及仪器, 北京: 科学出版社, 1990
- 43 顾乃斌, 孙续编著, 逻辑分析仪原理与应用, 北京: 人民邮电出版社, 1989
- 44 中华人民共和国国家标准 GB 249-1-249-2-85 可移植测量仪器的一
(波特事件, 比特并行制式), 国家标准局 1985 年 12 月 1 日实施
- 45 ANSI/IEEE Std 488-1987 IEEE Standard Digital Interface for M
Instrumentation, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1987
- 46 孙续编著, 自动测试系统与可移植性, 北京: 人民邮电出版社, 1990
- 47 ANSI/IEEE STD 1014-1987 THE VMEbus SPECIFICATION VMEbus Intern
Association, 1987
- 48 VMEbus System Specification VMEbus, Inc., 1987
- 1.4. The VMEbus System Specification VMEbus, Inc., 1987
- 49 孙续, 1987
- 50 VMEbus System Specification VMEbus, Inc., 1987

中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSEIEEE Std 1014-1987 IEEE Standard Digital Interface for M
Instrumentation, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1987

图书在版编目(CIP)数据

电子测量/蒋焕文,孙续编著.—3版.—北京:中国计量出版社,2008.2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5026-2790-4

I. 电… II. ①蒋…②孙… 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(2008)第 003894 号

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。内容大体分为三个部分:第一部分介绍了电子测量的基本概念、测量误差与不确定度和测量数据处理知识。第二部分在注重先进性和突出基本概念的前提下介绍了示波测量,信号源,时间、频率测量,调制域分析,电压测量,频域分析和数据域分析。第三部分围绕自动测试系统把电子测量领域的先进技术和前沿知识有机组织起来,进行简明又较全面的介绍。

教材重视学生知识、能力和素质的综合培养。内容力争先进新颖,突出物理概念和工程实用。论述力求深入浅出,条理清晰和重点突出。可作为高校通信、电子、电气和其他信息应用专业教材及仪器仪表专业基础教材。本书注重理论联系实际,内容阐述注意讲清思路,强调启发性和培养创新精神,适宜读者自学。已被中国电子学会教育工作部定为在职科技人员继续教育教材,也可供从事相关工作的各类科技人员作培训教材和工作中参考。

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号(邮编 100013)
电 话 (010)64275360
网 址 <http://www.zgjl.com.cn>
发 行 新华书店北京发行所
印 刷 北京市迪鑫印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 31.5
字 数 784 千字
版 次 2008 年 2 月第 3 版 2008 年 2 月第 34 次印刷
印 数 365801—370800
定 价 48.00 元

如有印装质量问题,请与本社联系调换
版权所有 侵权必究

第三版前言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。由北京交通大学蒋焕文、孙续编著,哈尔滨理工大学博导张礼勇教授主审。本书第一、二版除获部、校级多种奖项外,第一版获全国高校优秀教材奖,第二版获国家级教学成果一等奖,这都是对当时高校教材的最高奖励。承蒙读者厚爱,一、二版共印刷 33 次,发行 36 万余册,至今仍销售较旺。但是电子测量学科发展迅速,专业面貌发生了重大变化,二版已不能适应教学需求。另外,作者在对教育思想、教改方向、教学内容和方法选择的认识上也有所提高。因此在保留一、二版特色的基础上内容有较大更新,形成了现在的第三版。

三版内容大体分为三个部分:第一部分介绍了电子测量的基本概念,测量误差、测量不确定度评定与表示,以及测量数据处理知识,其中突出了正在国内外推广的测量不确定度知识。第二部分在注重先进性和突出基本概念的前提下介绍了示波测量,信号源,时间、频率测量,调制域分析,电压测量,频域分析和数据域分析,内容基本上能反映现代常用电子测量和仪器的面貌及发展。第三部分围绕自动测试系统,把电子测量领域的先进技术和前沿知识有机组织起来,进行简明又较全面的介绍。

上述第三部分实际上可构成以自动测试系统为中心的现代电子测量技术主干。内容包括目前仍广泛使用的 GPIB 系统,高端客户常用的、以 VXI 为代表的主机箱式模块化仪器系统,近年新推出的、被誉为下一代测试系统的 LXI 系统,经济实用的 USB 系统及前景广阔、用 LAN 程控的多总线综合系统,还介绍了与应用关系密切的被测试单元适配器。软件对测试系统的作用日趋突出。对与测试软件关系密切的系统程控部分,介绍了 IEEE 488.2、SCPI、虚拟仪器、合成仪器、以虚拟仪器软件结构(VISA)为代表的软件标准化情况,还简单介绍了通用测试语言和软件开发环境。第三部分的最后介绍了在大型或重要系统中常用的故障诊断专家系统。

本教材重视学生知识、能力和素质的综合培养。内容力争先进新颖,突出物理概念和工程实用。论述力求深入浅出、条理清晰和重点突出。可作为高校通信、电子、电气和其他信息应用专业教材及仪器仪表专业基础教材。本教材采用宽适用口径、内容循序渐进由浅入深并尽量用物理概念替代复杂数学推导等作法,既可横向只选几章,又可纵向选至不同的深度,因此适用面广。各校根据具体情况既可用 60~80 课时使用全书,亦可用 20~40 课时选取部分内容组成小



课或选修课。但不论课程大小都希望配以实验或其他实践环节。三版试行了对大量习题都给出较详细参考答案的作法,以使学生摆脱基础课中“上课—复习—写作业”模式的束缚,可根据自己的情况和兴趣选学教材内容,更加自主地个性化快乐学习。本书注重理论联系实际,内容阐述注意讲清思路,强调启发性和培养创新精神,适宜读者自学。已被中国电子学会教育工作部定为在职科技人员继续教育教材,也可供从事相关工作的各类科技人员参考。

本书一、二版作者之一蒋焕文教授、主审王本初教授在三版撰稿前都不幸病逝。蒋教授弥留之际仍嘱一定要修订好第三版,王教授病重时仍写信询问三版修订工作,这些都令人十分感动。因此三版也是对仙逝的二位教授的一种纪念。

本书第三版由孙续执笔,哈尔滨理工大学张礼勇教授主审。张教授长期担任研究单位总工,主持过几个五年计划的获奖国家级攻关项目,学术水平高、实践经验丰富,为本书提出不少宝贵的指导意见。本书责任编辑刘宝兰副总编工作认真细致,严谨负责,为提高本书的编辑质量付出了大量辛勤的劳动。北京交通大学及其信息工程学院领导给予本书多方支持和帮助。北京交通大学信息工程学院、文理学院教授,中国计量科学院专家、北京化工大学教授等很多专家为本书局部审稿,或就教材涉及的具体问题及教材内容选择广度深度进行指导,提出很多宝贵意见。这里恕不一一列出,谨一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中纰缪和不当之处恳请同行专家、任课教师和广大读者指正。

孙续

2007年12月于北京交通大学

第二版前言

本教材按电子工业部制定的工科电子类专业教材 1986—1990 年编审出版规划,由无线电技术与信息系统教材编审委员会仪表与测量编审小组征稿、评选、推荐出版,责任编委于英民副教授。

本教材由北方交通大学蒋焕文、孙续编著,上海铁道学院王本初教授担任主审。

本书第一版曾获 1987 年全国高等学校优秀教材奖。但是,由于电子测量技术和仪器的发展十分迅速,第一版已不能适应实际需要。为此,我们对《电子测量》第一版作了较大的修订。修订后的第二版保留了第一版的体系和特色,充实了近代电子测量的新内容,删去了部分传统和陈旧的内容,教材内容有了较大的更新。

本教材可分为三大部分:

第一部分(第二章)为测量误差和数据处理。几年来的教学实践表明,第一版的这部分内容物理概念比较突出、分量恰到好处,因此变动不大;

第二部分(第三至七章)为基本电子测量原理和方法,删去了第一版中以传统方法为基础的“电路参数的测量”一章,把有关元件参数(阻抗)测量的内容放到第五章中,着重介绍虚、实部分离的现代阻抗测量方法,因为实质上是电压测量在阻抗测量中的应用,故阻抗测量放在电压测量一章中讨论不损其系统性。此外,还增加了“频域测量”一章,其主要内容除保留了第一版中扫频测量技术的基本内容外,加强了线性系统频率特性的测量和频谱分析,对现代网络分析仪也作了扼要介绍。示波器已成为用途最广的电子仪器之一,从正确使用的要求来看,历来是学生掌握上的难点,第二版加强了示波器显示稳定波形的基本原理——触发与扫描;

第三部分(第八至九章)扼要介绍了现代电子测量的几个新领域。测量仪器微机化和测试系统自动化,是现代电子测量的重要标志,第二版大幅度充实了这方面的内容。第八章介绍了智能仪器、个人仪器和自动测试系统的基本概念、原理和实用知识。最后一章“数据域测试技术”是第二版中新加入的,旨在适应计算机工业和微计算机化设备迅速发展的需要,对数字系统的研制、使用和维修中遇到的大量测试问题,提供入门知识。

本课程的参考学时数为 60 学时,前两部分大致占 12 和 32 学时;第三部分内容可以选授,可用 14 学时或稍多一些。

本教材适用于通信和电子类各专业的电子测量教材;也可作为电子测量专业的基础教程,以作为《现代电子测量》课程的先修课程。采用本教材,适当精选第



一部分内容,保证第二部分的基本内容,可组成一个40学时的少学时电子测量课程;在讲授时适当充实第三部分内容,也可单独作为一个20学时的现代电子测量选修课教材。

《电子测量》第一版自1983年出版以来,经过五次重印,得到了广大师生和读者的关心和支持,并通过兄弟院校的教学实践,对教材提出了许多宝贵意见和建议;北京工业学院汤世贤教授、清华大学童诗白教授和成都电讯工程学院张世箕教授,热情为第一版作了评介,并始终关心和支持第二版的写作;主审王本初教授认真审阅了全稿,提出了指导性意见,为提高书稿质量付出了辛勤的劳动;本教材的责任编辑于英民副教授为本书顺利出版付出了心血;我们还得到本校通信与控制工程系有关老师和同志们的指导与帮助,在这里对他们表示诚挚的感谢。

作者水平有限,书中难免存在错误和不足之处,殷切希望广大读者批评指正。

作者

1988年4月于北方交通大学

第一版前言

本书是电子测量的基本教程和入门书。旨在阐明近代电子测量实践中所遇到的主要物理量的基本测量原理和方法,以及测量误差的基本理论和数据处理知识。尽管本书是为大学三年级电信、电子类专业学生编写的《电子测量》课程教材,但对从事这一领域实际工作的工程技术人员也有参考价值。如果适当删选内容,也可作为各类业余大学的教材。

本书的教学时数为60~70学时(其中实验10~15学时),讲授内容各校可根据实际情况加以取舍。

本书的内容分两大部分。第一部分(第二章)以较短的篇幅系统地介绍了测量误差和数据处理的基础知识。在保证内容科学性和严密性的前提下,避免繁琐的数学推导,而把重点放在对常用公式的物理解释和具体应用上。内容介绍力求线条清楚,能在十几学时内讲清主要问题。第二部分(第三至第九章)涉及的面很宽,内容要精选。我们在选取这部分内容时把重点放在基本测量原理和方法上,并着重介绍了取样技术、扫频技术、频率合成技术以及电子计算技术在测量中的应用。编写时抓住带有共性的基本测量原理和方法,并通过对误差来源的分析,讨论各种测量的特点及其所能达到的测量精确度。书中对测量原理的介绍力求深入浅出、讲清概念;对测量方法的讨论则侧重于归纳、总结,力求简明实用。至于对测量仪器的讨论,我们把重点放在各类仪器的工作原理、组成框图、工作特性及其涵义上,对仪器电路则在概括和综合的基础上重点介绍那些与测量原理和正确使用密切相关的部分,而不沉于对仪器完整电路的一般讨论。

本书是根据作者多年来从事电子测量教学工作的体会,历年来讲述有关电子测量课的讲稿和讲义,并参考近年来国内、外有关资料和教材编写而成的。作者深感在电子技术飞跃发展的今天,电子测量作为培养工程师的一门技术基础课已不可缺少。学生系统掌握这方面的理论基础和实际知识,对于提高实践技能,培养严格的科学态度和科学的工作方法,以及为适应今后在生产和科研中将会遇到的大量现代测量任务进行必要的准备,都是十分重要的。作者热诚期望本书作为引玉之砖,能对电子测量的教学及学科的普及和提高作出菲薄的贡献。

本书承上海铁道学院王本初副教授(主审)、华中工学院张肃文教授、上海铁道学院陈惠康、兰州铁道学院李坤秀、清华大学张乃国、北京师范大学郭汾、罗琪、南京邮电学院常松奎、刘友霖、北京工业学院苏舫、铁道科学研究院顾理敏等同志认真审阅,提出了宝贵的改进意见。在编写过程中清华大学童诗白教授、中



国计量科学院肖明耀同志、南京邮电学院范懋本副教授曾给予指导和帮助。我校杜锡钰教授、张树京、张林昌副教授始终关心和支持本书的写作,我们还得到本校电信系有关教研室的同志和数学教研室邹沛同志的指导和帮助,作者谨向他们表示衷心感谢!

我校电信系电子测量教研室徐一飞和张英飞同志也参加了本书的编写工作。

由于作者水平有限,书中一定会有许多错误或不足之处,欢迎读者批评指教。

作者

1982年7月于北方交通大学

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 测量和计量	(1)
一、测量及其重要意义	(1)
二、计量的基本概念	(1)
第二节 电子测量的特点和应用	(3)
一、电子测量的主要特点	(3)
二、电子测量的应用	(7)
第三节 课程的任务	(8)
一、课程的特点和主要内容	(8)
二、对学习本课程者的希望	(10)
第二章 测量误差与不确定度基础及测量数据处理	(15)
第一节 测量误差的基本概念	(15)
一、测量误差的定义	(16)
二、测量误差的分类	(19)
三、测量误差的估计和处理	(21)
第二节 测量不确定度及测量结果的表征	(37)
一、测量不确定度及其分类评定	(37)
二、测量结果的置信问题及扩展不确定度	(39)
三、测量误差和测量不确定度的合成	(45)
四、测量结果报告	(49)
五、测量结果的准确度及相关术语的演变	(51)
第三节 加权平均与回归分析	(52)
一、非等权测量和加权平均	(52)
二、最小二乘法与回归分析	(55)
本章小结及提要	(62)
习题	(63)
第三章 示波测试和测量技术	(67)
第一节 示波测试的基本原理	(68)
一、阴极射线示波管 (CRT)	(68)
二、图像显示的基本原理	(70)
第二节 模拟示波器	(75)



一、模拟示波器的基本组成	(75)
二、模拟示波器的垂直通道	(75)
三、模拟示波器的水平通道	(78)
第三节 数字存储示波器	(85)
一、数字存储示波器的组成和工作原理	(85)
二、数字示波器的特性	(98)
第四节 示波器的应用	(103)
一、示波器的基本应用	(103)
二、示波器的应用扩展	(107)
三、示波器的使用注意事项	(113)
本章小结及提要	(116)
习题	(117)
 第四章 信号源	(123)
第一节 信号源概述	(123)
一、信号源模型	(123)
二、信号源的分类	(124)
三、信号源的主要技术指标	(130)
第二节 频率合成器概述及锁相式频率合成器	(135)
一、频率合成器概述	(135)
二、锁相式频率合成器的工作原理和常用电路单元	(138)
三、小数分频式锁相环	(143)
第三节 直接数字频率合成及任意波形发生器	(145)
一、直接数字频率合成	(146)
二、任意波形发生器	(148)
本章小结及提要	(150)
习题	(150)
 第五章 时间、频率测量及调制域分析	(153)
第一节 时间的原始基准和标准	(154)
第二节 通用电子计数器	(155)
一、概述	(155)
二、电子计数器测量频率和周期的基本原理	(156)
三、电子计数器测频和测周的误差分析	(158)
四、通用计数器的其他功能	(163)
五、通用计数器的主要技术指标和使用注意事项	(166)
第三节 计数器的改进和工作频率的扩展	(168)
一、微机化等相对误差计数器	(168)
二、提高计数器准确度的常见改进措施	(171)

三、计数器的发展趋势简介	(175)
四、计数器测频范围的扩展	(176)
第四节 调制域分析	(179)
一、调制域的基本概念	(179)
二、调制域分析仪的组成和工作原理	(180)
三、调制域分析仪的应用	(182)
本章小结及提要	(186)
习题	(187)
第六章 电压测量	(190)
第一节 概述	(190)
一、电压测量的重要性及本章重点	(190)
二、电压表的分类	(191)
三、电压表的常用技术指标及自动功能	(192)
第二节 电压测量中的模-数变换	(198)
一、积分式 A/D	(198)
二、比较式 A/D	(207)
第三节 交流电压的测量	(210)
一、交流-直流变换器	(211)
二、交流电压表的显示特性	(220)
三、几种各具特色的交流电压表	(225)
第四节 以电压测量为基础的其他测量	(231)
一、数字多用表的工作原理	(231)
二、阻抗的数字化测量	(234)
本章小结及提要	(237)
习题	(241)
第七章 频域测试	(244)
第一节 信号的频谱分析	(244)
一、信号的时域和频域分析	(244)
二、频谱分析仪的工作原理	(246)
三、频谱分析仪的主要技术指标和应用	(257)
第二节 线性系统频率特性的测量	(266)
一、引言	(266)
二、扫频图示测量	(268)
三、多频测量	(272)
第三节 网络分析	(274)
一、二端口网络的 S 参数	(275)
二、网络分析仪的基本原理	(278)



三、网络分析仪的主要性能和常见功用	(285)
本章小结及提要	(288)
习题	(290)
第八章 数据域测试	(293)
第一节 数据域分析和数据域测试仪器	(293)
一、数据域分析的基本概念	(294)
二、数字系统的特点和对数据域测试的要求	(295)
三、数据域测试方法	(296)
四、数据域测试仪器	(302)
第二节 逻辑分析仪的基本原理	(309)
一、逻辑分析仪与信息科学同步发展	(309)
二、逻辑分析仪的基本组成	(310)
三、逻辑分析仪的触发	(311)
四、逻辑分析仪的数据获取和存储	(313)
五、逻辑分析仪的显示	(317)
第三节 逻辑分析仪的应用	(319)
一、逻辑状态分析仪的基本应用	(320)
二、逻辑定时分析仪的基本应用	(330)
本章小结及提要	(335)
习题	(336)
第九章 自动测试系统	(339)
第一节 概述	(339)
一、自动测试系统的发展	(339)
二、自动测试系统的组成	(343)
第二节 自动测试设备与被测试单元适配器	(344)
一、自动测试设备	(345)
二、GPIB 系统	(345)
三、以 VXI 为代表的主机箱式模块化仪器系统	(361)
四、LXI 系统	(372)
五、USB 系统及用 LAN 程控的多总线综合系统	(379)
六、被测试单元适配器	(385)
第三节 自动测试系统的程控	(387)
一、自动测试系统软件概述	(387)
二、IEEE 488.2	(388)
三、可编程仪器的标准命令 SCPI	(395)
四、虚拟仪器、合成仪器及虚拟仪器软件标准化	(404)
五、通用测试语言和软件开发环境	(417)

第四节 故障诊断专家系统	(424)
一、概述	(424)
二、专家系统的知识库和推理机	(426)
三、故障诊断专家系统的发展	(434)
本章小结及提要	(436)
习题	(439)
习题参考答案	(443)
附 录	(479)
参考文献	(488)

第一章

绪 论

第一节 测量和计量

一、测量及其重要意义

测量是以确定量值为目的的一组操作。在这个操作过程中常借助专门的设备,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。

测量是揭示客观世界规律,用数字语言描述周围世界,进而改造世界的重要手段。广义地说,任何实验科学的结论,都是对实验数据统计推断的结果。而数据的取得,就要靠测量。近代自然科学是从有了实验科学之后才真正形成的。许多重大科学成果的获得,首先因为有了新的实验手段。在科学发展史上,重要的实验数据可以把假说上升为理论,成为验证理论的客观标准。同时,很多实验数据还成为发现新问题、提出新理论的线索和依据。著名科学家门捷列夫用一句话概括了测量对科学的作用,这句话就是“没有测量,就没有科学”。

现代科学技术、生产和国防的重要特点之一,就是要进行大量的观测和统计。现代工业大生产,用在测量上的工时和费用约占整个生产所用的 20% ~ 30%。提高测量水平,降低测量成本,减少测量误差,提高测量效率,对国民经济各个领域都是至关重要的。因此,测量手段的现代化,已被公认为是科学技术和生产现代化的重要条件和明显标志。

21 世纪将是信息工业作为第一工业的世纪。信息工业包含很多要素,其中信息采集主要靠测量与仪器,信息传输主要靠通信,信息处理主要靠计算技术。测量、通信和计算技术的深度结合,不但使这三种技术本身日新月异,而且对现代信息工业的发展产生了广泛而剧烈的影响。其中,测量和仪器仪表作为获取信息的主要手段和信息工业的源头,对科技的发展和综合国力的提高都具有特殊的地位和关键的作用。

二、计量的基本概念

随着生产的发展、商品的交换和国际、国内的交往,客观上要求对同一量在不同的地方、用不同的测量手段测量时,所得的结果通常应该一致。因而出现了大家公认的统一单位,体现这些单位的基准、标准和用这些基准和标准来校准的测量器具,还用法律、协议等形式固定下来,形成计量的概念。因此,计量就是实现单位统一、量值准确可靠的活动。在有些资料中,特别是某些国外资料中并不严格区分“计量”和“测量”。但是应该说计量是为了保证单位统一和量值准确可靠的一种测量。它的主要特点是统一性、准确性和法制性。计量工作主要是把未



知量与经过准确确定、并经国家计量部门认可的基准或标准相比较来加以测定,也就是通过建立基准、标准,进行量值传递。但是它也包含了为达到统一和准确一致所进行的全部活动,如单位的统一、基准和标准的建立、计量监督管理、测量方法及其手段的研究等。

凡能用以直接或间接测出被测对象量值的量具、计量仪器和计量装置,都统称为计量器具。为使计量结果准确一致,所有的同类量值都必须由有关的同一初始计量器具传递而来,也就是说计量有很强的溯源性。根据在溯源过程的作用和其本身的特点,计量器具主要被分为原级基准或标准、次级基准或标准及工作标准三个不同水平层次的等级。此外,还有参考标准、传递标准和搬运式标准,这些在计量工作中一般都有专门的用途。上面提到的基准和标准都是为了定义、实现、保存或复现量的单位或一个或多个量值,用作参考的实物量具、测量仪器、参考物质或测量系统。对“基准”和“标准”两个术语,在有些文献中区分比较严格,例如,这种文献中对三个不同层次的计量器具都称为基准,而标准是低于基准的。但在另一些文献中,例如,1999年开始实施的国家计量技术规范(见参考文献2)中,对这两个术语并不严格区分。例如,最高级的即原级基准也被称为原级标准。但在有些情况下依习惯也可能只采用一种称谓,例如,复现具体电阻值的实物一般都被称为标准电阻。本书依据国家计量技术规范采用不严格区分这两个术语的做法。

原级基准或标准具有最高的计量学特性,其值不必参考相同量的其他标准,是被指定的或普遍承认的测量标准。原级基准或标准主要有国际和国家基准或标准两种,前者经国际协议承认,后者经国家决定承认,并分别在国际或国家内作为对有关量的其他测量标准定值的依据。国家基准是我国计量工作溯源链的源头。次级基准或标准是用来通过与相同量的原级基准或标准进行比对而定值的测量标准,它作为标准传递的中间环节而存在。工作标准是用于日常校准或核查实物量具、测量仪器或参考物质的测量标准。

作为专门定义的或专用的计量器具,还有参考标准、传递标准和搬运式标准等。其中参考标准是在给定地区或在给定组织内,通常具有最高计量学特性的测量标准,在该处所做的测量均从它导出。传递标准是在测量标准相互比较中用作媒介的测量标准。搬运式标准是供运输到不同地点有时具有特殊结构的测量标准,例如,由电池供电的便携式铯频率标准。上述专门定义或专用的计量器具也分属于前面讨论的三级计量器具。例如,某个量的国家级参考标准通常也就是该量的国家基准。而一个地区或给定组织,例如,省、市和行业部门,它们的参考标准实际上也是一种次级基准。只不过这种参考标准在该地区或部门通常都具有最高的计量学特性和最高权威性。因需要溯源至国家基准和国际基准,地方或部门的参考标准常为次级基准或标准。

在前述计量技术规范中,“测量仪器”和“计量器具”两个术语是不严格区分的,它们都能单独地或连同辅助设备一起用以进行测量的器具,在本书中对进行日常测量工作的器具统称为测量仪器。它们均应与对应量的标准进行校准和在指定部门进行检定。其中校准是将仪器示值与对应标准相比较,以确定其差值。检定则是确认测量仪器是否符合要求的整个程序,它包括检查、加检定标记及出具检定证明的一系列工作。检定工作应按一定的检定规程周期性进行,亦可因用户请求等原因随时进行。

虽然对“测量仪器”和“计量器具”两个术语不必严格区分,但习惯上通常认为计量器具除了包含测量仪器外,还包含标准电阻、标准电池等实物量具及标准物质。后者亦称为参考物质,它是具有一种或多种足够均匀和很好地确定了特性,用以校准测量装置、评价测量方法或给材料赋值的一种材料或物质。

计量工作保证了量值的统一及准确可靠,是生产、科研和人民生活正常秩序和各项活动安全可靠的重要保证。历史上秦始皇在统一中国时大力统一度量衡是完全必要和正确的。

计量的出现是测量发展的客观需要,测量还是计量联系生产、科研和生活实际的重要途径,可以说没有测量就谈不上计量。但是测量数据的准确可靠、使用单位的统一一致需要计量予以保证。没有计量,测量也会失去价值。

顺便指出,除了“计量”可以说是保证单位统一和准确可靠的一种测量之外,还有一个术语与测量的关系密不可分,这就是“测试”。它是指具有实验性质的测量,也可以理解为测量与试验的综合。但是,在不少情况下并不严格区分“测量”和“测试”这两个术语。有时在有些领域也习惯只用其中某个术语。例如,涉及自动测试时通常习惯用术语“测试”而不常使用“测量”。测量、计量和测试即使在相互区分的情况下,也总是相互配合,共同在国民经济中发挥着十分重要的作用。

第二节 电子测量的特点和应用

从广义来说,凡是利用电子技术来进行的测量都可以说是电子测量。随着电子科学技术的发展,由于电子测量的一系列优点,许多物理量都设法通过一定的传感器变换成电信号,然后利用一整套比较成熟的电子学方法来进行测量。在科学技术高度发展的今天,高新技术和现代化的工农业生产都离不开精密和准确的测量,而这种测量大多数都是运用了电子测量的方法来实现的。

一、电子测量的主要特点

下面结合电子测量的发展,讨论它与应用关系密切的主要特点。

(一) 测量频率范围极宽

频率低端除直流外,可达 μHz 甚至更低,高端已达数百 GHz ,目前 THz (太赫,即 10^{12} 赫兹) 已开始提上日程,其激励和检测装置已处于实验室阶段。使得从变化极为缓慢的物理量到频率极高的光波信号,都可通过传感器或其他手段变为电信号再进行测量。这就使电子测量除用于各类电学参数测量外,还广泛用于声、光、热、力、速度、质量和几何尺寸等几乎所有物理量特性的测量。因而电子测量的应用是很广泛的。

但是即使测量同一电量,在不同的频段中所依据的原理、采用的方法、使用的元器件等都可能相差很远。所以有时把测量或供给同一电学量的仪器分成几种,分别侧重于不同的频段,例如超低频信号发生器、音频信号发生器、高频信号发生器等。当然这给使用带来很多不便。近年来研制了很多宽频设备,使一台仪器能在很宽的频率范围内工作。

(二) 量程广

由于物理量的大小相差极大,就要求测量设备的量程足够广,电子测量恰好能满足这一要求。一台高灵敏度的数字电压表,可测量 nV 级至 kV 级的电压,量程可达 12 个数量级。电子计数器的量程更广,可达 17 个数量级。随着半导体、离子化学等诸多工业的要求,人类对电阻的测量范围得到了空前的提高。在二三十年前,电阻测量的典型范围只有十个量级或稍多一