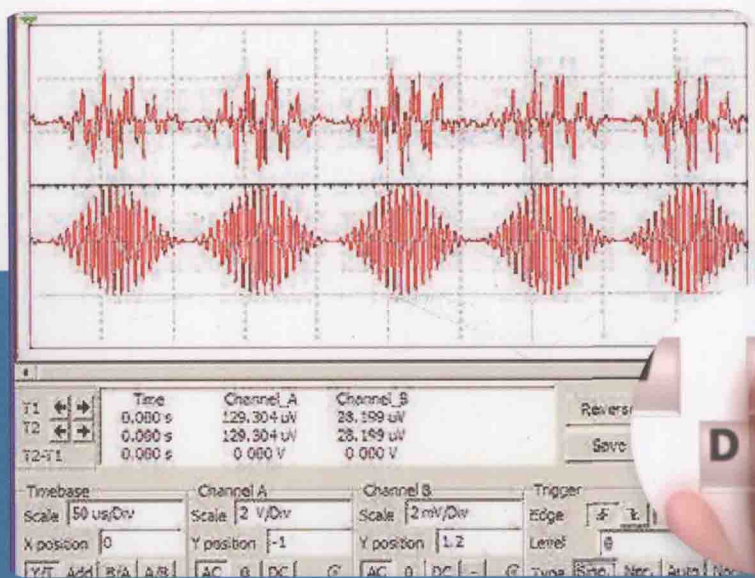


电子测量技术

张立霞 主编
王高山 刘俊起 副主编



免费赠送电子课件

简化较深奥的理论，省略较复杂的公式，以学生能够进行定性分析、能够正确操作电子测量仪器为立足点。

强调学生主体，注意交互性。适时地预设教学情境，以“想一想”、“算一算”、“考考你”等形式，调动学生的学习兴趣，给予学生开阔的思考空间。

清华大学出版社

21 世纪高职高专电子信息类实用规划教材

电子测量技术

张立霞 主 编

王高山 刘俊起 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书秉承“通俗、实用、灵活”的原则,主要内容包括电子测量技术基础知识、常用电子测量仪器及系统的工作原理与使用方法、现代电子测量技术基础知识。全书共分为9章,主要介绍电子测量综述、测量误差及数据处理、常用电子元器件、测量用信号源、电子示波器、电压测量、频域测量、数据域测量、现代电子测量技术等内容。每章都以“学习指导”引出,以“思考与练习”和“实验”作为结束。“思考与练习”和实验与章节重点紧密结合,可操作性强。

本书既可作为高职院校电子信息类专业学生的教材使用,也可作为社会自学人员的学习用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子测量技术/张立霞主编;王高山,刘俊起副主编. —北京:清华大学出版社,2012
(21世纪高职高专电子信息类实用规划教材)

ISBN 978-7-302-29431-3

I. ①电… II. ①张… ②王… ③刘… III. ①电子测量技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 161353 号

责任编辑:李春明

装帧设计:杨玉兰

责任校对:周剑云

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21.25 字 数:511千字

版 次:2012年9月第1版 印 次:2012年9月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:38.00元

前 言

电子测量技术是高职院校电子信息类专业的职业技能性课程,旨在培养学生电子测量综合应用能力以及对电子产品的检验技能,使学生更能胜任电子信息技术领域的设计制造、安装调试、运行维护等方面的工作。

本书秉承“通俗、实用、灵活”的原则,主要内容包括电子测量技术基础知识、常用电子测量仪器及系统的工作原理与使用方法、现代电子测量技术基础知识。全书共分为9章:第1章电子测量综述,介绍电子测量技术的内容与特点、电子测量仪器的分类与应用、直流稳压电源的原理与使用方法;第2章测量误差及数据处理,介绍测量误差的分类与数据处理方法、万用表的原理与使用方法;第3章常用电子元器件,介绍直插式和贴片式电阻、电容、电感、半导体分立器件和集成电路的分类与检测方法以及在线测试仪典型应用;第4章测量用信号源,介绍信号发生器的特点与分类、频率合成技术与直接数字频率合成技术的原理与应用、信号发生器的典型设计;第5章电子示波器,介绍示波器的特点与分类、模拟示波器和数字示波器的原理与应用、典型数字示波器的设计;第6章电压测量,介绍交流电压表征量、交流电压表分类与测量原理、典型电压表的设计;第7章频域测量,介绍频域测量的特点与分类、典型测量仪器的使用方法;第8章数据域测量,介绍数据域测量的特点、逻辑分析仪的原理与应用、典型逻辑分析仪的设计;第9章现代电子测量技术,介绍自动测试系统、智能测试仪器、虚拟仪器的组成、特点以及测量过程。

本书根据高等职业教育发展要求,在内容和结构上充分体现高职教育特色,编写过程突显如下特点。

(1) 理论内容遵循实用、够用原则。简化较深奥的理论,省略较复杂的公式,以学生能够进行定性分析、正确操作电子测量仪器为立足点。

(2) 强调学生主体,注意交互性。适时地预设教学情境,以“想一想”、“算一算”、“考考你”等形式调动学生情趣,给予学生开阔的思考空间。

(3) 穿插项目设计,理论与实践相结合。每章以“学习指导”引出,以“思考与练习”和“实验”作为结束,穿插典型电子测量仪器的设计,强调理论与实践相结合,增进理论与实践的联系,使学生在学与做中达到对本章内容的融会贯通。

本书由正德职业技术学院张立霞任主编,编写第2~5、7章,并负责全书的统稿工作。正德职业技术学院王高山、刘俊起任副主编,其中王高山编写第1、6章,刘俊起编写第8、9章。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请广大读者给予批评指正。

编 者

目 录

第1章 电子测量综述	1	3.1.1 电阻、电容和电感	70
1.1 概述	2	3.1.2 半导体分立器件	82
1.1.1 测量技术	2	3.1.3 集成电路	88
1.1.2 电子测量技术	3	3.2 贴片式元器件	93
1.1.3 计量技术	7	3.2.1 贴片式元器件的特点与分类	94
1.1.4 单位制	10	3.2.2 贴片式元器件的检测方法	102
1.2 电子测量仪器	14	3.3 在线测试仪	104
1.2.1 电子测量仪器的特点与分类	14	本章小结	106
1.2.2 电子测量仪器的选择与使用	15	思考与练习	107
1.2.3 电子测量仪器的发展过程	17	实验：常用电子元件的检测	107
1.3 直流稳压电源	19	第4章 测量用信号源	111
本章小结	23	4.1 概述	112
思考与练习	23	4.1.1 信号发生器的作用与分类	112
实验：直流稳压电源的使用	23	4.1.2 信号发生器的综合性能指标	122
第2章 测量误差及数据处理	27	4.1.3 信号发生器的发展趋势	123
2.1 测量误差	28	4.2 信号发生器设计	125
2.1.1 测量误差的基本概念	28	4.2.1 方案的选择	126
2.1.2 测量误差的来源与分类	29	4.2.2 单元模块电路设计	127
2.1.3 测量误差的表示方法	33	4.3 频率合成技术	130
2.1.4 电磁干扰	37	4.3.1 频率合成技术概述	130
2.2 测量结果的数据处理	40	4.3.2 锁相环频率合成技术	133
2.2.1 测量结果的评定	40	4.3.3 通用锁相环频率合成器	137
2.2.2 测量结果的表示方法	43	4.4 直接数字频率合成信号发生器	138
2.2.3 测量结果的数据处理	44	4.4.1 直接数字频率合成技术	138
2.3 万用表	48	4.4.2 组合式频率合成器	142
2.3.1 万用表的基本知识	48	本章小结	143
2.3.2 模拟式万用表	50	思考与练习	144
2.3.3 数字式万用表	55	实验：信号发生器的使用	144
本章小结	62	第5章 电子示波器	151
思考与练习	62	5.1 概述	152
实验：万用表的使用	63	5.1.1 示波器的作用与分类	152
第3章 常用电子元器件	69	5.1.2 示波器的性能参数	158
3.1 直插式元器件	70		

5.1.3 示波器的发展趋势	159
5.2 模拟示波器	160
5.2.1 模拟示波器的组成原理	160
5.2.2 模拟示波器的性能指标	168
5.2.3 模拟示波器示例	169
5.3 数字示波器	172
5.3.1 数字示波器的组成原理	172
5.3.2 数字示波器的性能指标	175
5.3.3 数字示波器示例	178
5.4 数字存储示波器设计	184
5.4.1 数字存储示波器的设计 要求	184
5.4.2 数字存储示波器系统设计 方案	185
5.4.3 数字存储示波器设计的理论 分析	188
5.4.4 主要功能电路及软件设计	190
本章小结	192
思考与练习	192
实验: 示波器的使用	193

第6章 电压测量

6.1 概述	200
6.1.1 电压测量的方法与分类	200
6.1.2 交流电压的表征量	202
6.1.3 电子电压表的分类	205
6.2 模拟式电压表	206
6.2.1 模拟式电压表的组成原理	206
6.2.2 电平的测量	213
6.2.3 交流毫伏表	216
6.3 数字式电压表	218
6.3.1 数字式电压表的组成原理	218
6.3.2 数字式电压表的性能指标	220
6.3.3 数字式电压表设计示例	223
本章小结	230
思考与练习	231
实验: 交流毫伏表的使用	231

第7章 频域测量

7.1 概述	236
--------------	-----

7.1.1 频域测量的特点	236
7.1.2 频域测量的分类	237
7.2 频率特性测量	238
7.2.1 频率特性的测量方法	238
7.2.2 扫频仪的组成	240
7.2.3 扫频仪的工作原理	244
7.2.4 扫频仪示例	245
7.3 频谱分析仪	250
7.3.1 频谱分析仪的分类	250
7.3.2 频谱分析仪的组成	251
7.3.3 频谱分析仪的工作原理	254
7.3.4 频谱分析仪示例	256
7.4 谐波失真度测量	260
7.4.1 失真度的概念	261
7.4.2 失真度分析仪的组成原理	261
7.4.3 失真度分析仪示例	262
本章小结	264
思考与练习	265
实验: 扫频仪和频谱分析仪的使用	265

第8章 数据域测量

8.1 概述	272
8.1.1 数据域测量的概念	272
8.1.2 数据域测量的特点	272
8.2 数据域测量主要仪器简介	274
8.2.1 逻辑笔	274
8.2.2 逻辑夹	276
8.2.3 逻辑分析仪	276
8.3 逻辑分析仪的设计	286
8.3.1 方案论述	286
8.3.2 设计实现	287
本章小结	291
思考与练习	292
实验: 逻辑分析仪的 EWB 仿真实验	292

第9章 现代电子测量技术

9.1 概述	300
9.2 智能测试仪器	303
9.2.1 智能测试仪器的特点	303
9.2.2 智能测试仪器的组成原理	305

9.2.3 智能测试仪器设计	306	思考与练习	316
9.3 虚拟仪器	307	实验：虚拟仪器实验	316
9.3.1 虚拟仪器的概念	308	附录 A Multisim 10 电路设计	319
9.3.2 虚拟仪器的组成与特点	310	附录 B LabVIEW 简介	325
9.3.3 虚拟仪器的应用	315	参考文献	330
本章小结	316		

第 1 章

电子测量综述

学习指导

本章的学习要求是着重搞清测量与电子测量的概念，搞清测量、电子测量、计量之间的区别与联系；了解电子测量的内容与特点，了解电子测量仪器的分类；重点掌握电子测量的分类，掌握国际单位制中的 7 个基本单位；在理解直流稳压电源基本原理的基础上，重点掌握它的性能参数以及使用方法。

1.1 概 述

知识要点

- 测量技术
- 电子测量技术
- 计量技术
- 单位制

自然界中,如果要定量地评价某个对象,必然涉及测量这个过程。通过对测量结果的数据分析和归纳总结,人们才能得到规律性的认知,进而改造世界。测量技术的水平在一定程度上影响着科学技术发展的速度和深度,科学技术上的某些突破也正是以测量技术的突破为基础的。近年来,以信息技术为代表的新技术的发展促进了电子行业的飞速增长,也极大地推动了测量技术的快速发展。

1.1.1 测量技术

1. 测量的概念

测量是一种借助专用的技术工具完成实验或者计算,从而对被测对象进行信息采集的过程。在这一过程中,人们通常借助专门的设备,依据一定的理论,通过实验的方法将被测量与已知的标准量进行比较,以确定被测量的量值。量值由数值和计量单位两部分组成,没有计量单位的量值是没有物理意义的。例如,我们测量得到某人的身高为 1.70m 或者可以表示为 170cm,如果只是记录数值 1.70 或 170,而不带上计量单位,那么就不明确这个人的身高到底是多少,也不明确这两个数值是说明身体高度的量值。

2. 测量的意义

在日常生活和实际工作中,处处离不开测量。

1) 日常生活离不开测量

一天 24 小时,人们用时钟来看时间,对应时间段安排相应的事情;发烧时要测量体温;平时用的水、电由水表和电表来衡量相应使用量等。在人们日常生活中,时时处处都在进行着各种各样的测量。

2) 生产发展离不开测量

农业生产中,需要丈量土地、衡量谷物,就产生了长度、面积、容积和重量等方面的测量;要掌握季节和节气,就出现了原始的时间测量器具,并有了天文测量。

当今的电子工业,从组件到系统,从设计到生产,测量工作是不可或缺的一环。例如,工厂必须通过测量获知产品效能,作为产品设计的参考依据;生产过程中,需要对产品工艺参数进行监测;在大规模集成电路的生产成本中,测量成本将近 50%;一个大型钢铁厂需要约 2 万个测量点。

3) 高新技术和国防现代化建设离不开测量

天宫一号的成功发射,乃至与“神舟”八号飞船成功实现交会对接,是中国载人航天工程迈出的又一历史性步伐。天宫一号的任务方案早在1992年由国家制定,于2002年得到论证并通过审查,2006年天宫一号进入初样研制阶段,经过安装设备、调试期、测试期,前后又历时五年时间,终于于2011年9月19日发射升空。它的成功发射与运载火箭的正常运转密不可分,运载火箭中有3000多个敏感元件进行实时检测,以保证它的运载能力、入轨精度以及可靠性等。对于天宫一号在轨道上的飞行速度、飞行高度以及相应的轨道调整,地面监测站的工作人员也在进行实时地监测、监控。在高新技术和国防现代化建设中处处离不开测量,并且往往还需要较长的测量、测试周期。

4) 科学的发展与进步离不开测量

先有望远镜再有天文学,先有显微镜再有细胞学,先有指南针再有航海事业,科学的发展和进步离不开测量,而新的科学理论也往往是新的测量方法和手段的理论依据,进而推进测量技术的发展,并促使新型测量仪器的诞生。例如,霍尔效应、压电效应及光电效应的发现为非电参量的测量提供了崭新的途径,进而促进了遥感遥测技术的发展。

英国科学家A. H. 库克(Cook)曾经说过:“测量是技术生命的神经系统。我们通过测量认识周围的物质世界;通过测量把世界的物质性知识变成数字语言,然后用数学方法把知识整理成合乎逻辑的系统;通过测量,可使这种系统性知识借助于工程技术来改造物质世界。精密的测量是严谨的知识和精确的设计所必需的,方便的测量是敏捷的通信和有效的组织所必需的。”这段话言语简练,而意义深远,它深刻地揭示了测量对于人类社会的重要性。在当今这个信息时代,测量技术、通信技术和计算机技术成为了现代信息科学技术的三大支柱。在这三大信息技术中,测量技术是首要的,是信息的源头。随着社会的进步和科技的发展,电子科学技术被应用到测量技术之中,便出现了比传统技术更为优越的电子测量技术。目前,电子测量技术已完全渗透到社会的各个领域。



想一想

关于测量,你想到了什么应用实例呢?

1.1.2 电子测量技术

1. 电子测量技术的概念及其意义

电子测量技术泛指以电子技术为基本手段的一种测量技术,是测量学和电子学相结合的产物。除了具体运用电子技术的原理、方法和设备对各种电量、电信号以及电路元器件的特性和参数进行测量外,电子测量技术还可以通过各种敏感器件和转换装置对各类非电量进行测量。运用电子测量技术对非电量进行测量往往更加方便、快捷、准确,有时是用其他测量方法所不能替代的。也正因为此,电子测量技术不仅应用于电学领域,还被广泛应用于物理学、化学、材料学、生物医学等科学领域,以及通信、国防、交通、资源保护乃至日常生活的方方面面。

近几年,随着计算机技术和微电子技术的迅猛发展,电子测量技术及测量仪器焕发了巨大的活力。现在,电子计算机,尤其是微型计算机,与电子测量仪器相结合构成了新一代的测量仪器和测试系统,即人们通常所说的“智能测试仪器”和“自动测试系统”。智能测试仪器和自动测试系统能够对若干电参数进行自动测量,并且具有自动检测和校准、自动选择量程、自动记录和处理数据、误差修正、故障诊断以及在线测试等功能,这不仅改变了传统测量技术的理念,而且对整个电子技术的发展产生了巨大的推动力。电子测量技术,包括电子测量理论、方法及仪器等,已经成为当前电子科学领域最重要而且发展最迅速的学科之一。



小贴士

一般而言,电子测量的结果可以表示成数字,也可以表示成图形、表格或曲线。无论以何种形式来表示,测量的结果由数值和单位两部分组成。其中的数值又包括绝对值大小和正负符号。进行电子测量的目的就是获得用数值和单位共同表示的被测量的结果。被测量的结果必须是带有相应单位的有理数,例如某测量结果为 0.33mA 是正确的,而测量结果为 0.33 或者是 $1/3\text{mA}$ 是错误的。

2. 电子测量的特点

与其他测量方式相比,电子测量具有下列主要特点。

1) 测量速度快

由于电子测量采用了电子技术,是通过电子运动和电磁波传播等方法来实现工作的,因此测量速度快,这对于某些要求快速测量和实时测控的系统来说是比较重要的一个特性。

2) 测量仪器的量程宽广

电子测量的量的大小往往相差很大,这就要求测量仪器必须具有宽广的量程。随着电子测量技术的不断发展,电子测量仪器的量程也越来越宽。例如,用一台普通的数字式万用表测量电阻,可以测出几欧至几十兆欧的电阻值,量程可达 10^7 个数量级;较完善的电子计数式频率计的量程可达 10^{17} 个数量级。量程宽广是电子测量仪器的突出特点。



小贴士

测量仪器按照规定的精度进行测量时,由被测量或供给量的两个值限定的范围,称为测量范围。测量范围的最小值称为测量下限,相应的测量范围的最大值称为测量上限。量程是测量范围的上下限值之差或者上下限值之比。以室内温度计为例,假设某个以摄氏温度显示的温度计,刻度值中上边的数字为“50”,下边的数字为“40”,由此可以知道该温度计的上限值为 50°C ,下限值为 -40°C ,温度测量范围可表示为 $-40\sim 50^{\circ}\text{C}$,而量程为 $50^{\circ}\text{C} - (-40)^{\circ}\text{C} = 90^{\circ}\text{C}$ 。

3) 频率测量范围宽

频率测量范围是指电子测量仪器能够检测到的信号的最小值和最大值的范围。电子测量仪器可以检测出从直流到 300GHz 频率的信号,其频率范围非常宽。随着电子测量技术的发展以及电子元器件性能的提高,电子测量仪器的工作频率也在不断提高。

4) 测量准确度高

电子测量仪器的准确度可以达到较高的水平。尤其对于频率和时间的测量,由于采用了原子频标作为基准,测量的精度可达到 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ 量级,这是目前人类在测量准确度方面达到的最高水平。也正是由于电子测量准确度高,使得它在现代科技领域被广泛应用。例如,人造卫星的发射控制和遥测系统具有极高的准确度,如果不够准确,哪怕最后一级火箭的速度仅有2‰的相对误差,那么卫星就会偏离预定轨道100km以上。

5) 易于实现遥测和长期不间断的测量

由于电子测量仪器或者与它相连接的传感器等装置可以被放到人类不便长期停留或无法到达的区域,所以电子测量技术可以较容易地实现远距离测量,而且只要被测对象处于正常工作状态就可以进行测量。对于测量结果,电子测量的显示方法也比较清晰、直观,例如数码管或LCD显示屏直接数字显示,便于直接给出结果;荧光屏示波方法,便于形象直观地给出被测量的特征。

6) 易于实现测量过程的自动化和测量仪器的智能化

利用计算机,可形成电子测量与计算技术的紧密结合。由于电子测量的测量结果和它所需要的控制信号都是电信号,这就非常有利于直接或通过A/D转换装置与计算机连接,实现自动记录、数据运算和分析处理。随着微型计算机功能的提高和成本的降低,现代电子测量仪器突显出了性能更高、功能更多的特点。

鉴于上述一系列特点,电子测量技术被广泛应用于自然科学的一切领域,大到天文观测、宇宙航天,小到物质结构、基本粒子,从复杂深奥的生命、细胞、遗传问题到日常的工农业生产、医学、商业各部门,都越来越多地采用了电子测量技术。电子测量技术的发展是与自然科学尤其是电子技术的发展互相促进的。一方面,电子测量技术的发展为自然科学的研究、实验、分析和检验提供了条件;另一方面,自然科学的发展又向电子测量技术不断提出新课题。近代电子学、计算科学、物理学等学科的发展为电子测量技术提供了新理论、新技术、新工艺、新器材。总而言之,电子测量技术与自然科学相辅相成,不可分割。

3. 电子测量的内容

电子测量技术的发展建立在测量技术中电子技术发展的基础之上。广义地说,凡是利用电子技术进行的测量都称为电子测量。随着电子技术的不断发展,测量的内容也越来越多,通常包括以下几个方面。

1) 基本电量的测量

基本电量的测量主要包括对电流、电压、电功率、电场强度等的测量。

2) 元器件和电路参数的测量

元器件和电路参数的测量主要包括对各种电阻、电感、电容、二极管、三极管、场效应管、集成电路的测量,同时还包括对电路频率响应、通频带宽度、品质因数、相位移、延时、衰减和增益等的测量。

3) 信号的特性及所受干扰的测量

信号的特性的测量主要包括对信号的频率、相位、脉冲参数、调制度、信号频谱等的测量,而信号所受干扰的测量主要涉及对信号的失真度、信噪比等的测量。电子测量不但能够进行稳态测量,还可以对自动控制系统的过渡过程及频率特性进行动态测量。例如,

借助计算机模拟仿真可以自动描绘出轧钢电气传动系统的动态过程曲线；借助计算机可以对化工系统的生产过程进行自动检测与分析。

4) 各种非电量的测量

鉴于电子测量技术具有无可比拟的优点，对各种非电量，例如压力、加速度、温度、转速等进行测量时，可以通过传感器等转换装置将这些非电量转换成相应的电信号，进而实现测量。例如，对于宇宙飞船的飞行速度和飞行高度、高温炉的炉腔温度、深海的压力等人们不能亲历亲为或者是无法直接测量的量，都可以借助相应的传感器实现测量。

上述各种测量内容中，频率、时间、电压、阻抗、相位是基本的电参量，对于这些基本电参量的测量原理、测量仪器以及测量方法，是对其他派生参数进行测量的基础。例如，对波形失真度的测量，就是通过测量被测波形的电压参数来完成的。同时，由于对时间和频率的测量具有其他测量所不可比拟的精确性，所以人们又较多地将非电参量转换成时间或频率来进行测量。本书主要讨论对各种电量的测量方法及技术。

考考你

根据电子测量的内容，结合自己的知识储备，列举两个电子测量的例子。

4. 电子测量的分类

为了达到测量目的，正确选择测量仪器和测量方法是极其重要的，它直接关系到测量工作的正常进行和测量结果的有效性。电子测量主要有以下几种分类。

1) 按照测量性质分类

按照测量性质的不同，电子测量可以分为时域测量、频域测量、数据域测量和随机量测量四种。

(1) 时域测量。时域测量又称为瞬态测量，主要测量被测量随时间变化的规律。例如，用示波器测量被测信号的波形，得到被测信号的幅度、周期、上升沿和下降沿及动态电路的瞬态过程，并把测量的对象绘制成图形，横坐标轴代表时间。

(2) 频域测量。频域测量又称为稳态测量，主要测量被测量与频率之间的关系。例如，用扫频仪测量电视机图像的幅频特性，并把测量结果绘制成图形，横坐标轴代表频率。

(3) 数据域测量。数据域测量又称为逻辑测量，主要是用逻辑分析仪等设备对数字量和电路的逻辑状态进行分析。例如，用逻辑分析仪同时观测多路数据通道上的逻辑状态或显示某条数据线上的时序波形。对于计算机地址线、数据线上的信号，既可显示其时序波形，也可用“1”或“0”显示其逻辑状态。

(4) 随机量测量。随机量测量又称为统计测量，主要是指对各类噪声信号、干扰信号进行动态测量和统计分析。这是一项较新的测量技术，尤其是在通信领域，有着广泛的应用前景。

2) 按照测量方法分类

为了实现测量、获得测量结果所采用的各种手段和方式称为测量方法。按照测量方法的不同，电子测量可以分为直接测量、间接测量和组合测量三种。

(1) 直接测量。直接测量是指直接从电子测量仪器或仪表上读出测量结果的一种测量方法。例如，用电压表测量电压、用万用表测量电阻、用电子计数式频率计测量频率等都属

于直接测量。直接测量的特点是不需要对被测量与其他实测的量进行函数关系的运算,因此测量过程简单快速,是工程测量中广泛应用的测量方式。

(2) 间接测量。间接测量是指先对几个与被测量有确定函数关系的电参量进行直接测量,再将测量结果代入表示该函数关系的公式、曲线或表格,最后求出被测量的一种测量方法。例如,直接测出电阻 R 的阻值及其两端的电压 U ,由公式 $I=U/R$ 可求出被测电流 I 的值。当被测量不便于直接测量,或间接测量比直接测量更为准确时,可采用间接测量的方法。例如,通过测量集电极电阻上的电压,再经过计算得到三极管集电极电流,这种间接测量电流的方法比断开电路串入电流表直接测量电流的方法更为简便易行。

(3) 组合测量。组合测量是建立在直接测量和间接测量基础上的一种测量方法。在无法通过直接测量或间接测量得出被测量的结果时,需要改变测量条件进行多次测量,然后按照被测量与有关未知量之间的函数关系组成联立方程组,求解方程组得出有关未知量,最后将未知量代入函数式得出测量结果。这种方法也称联立测量。例如,测量在任意环境温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时某电阻的阻值,已知任意温度下电阻阻值的计算式为

$$R_t = R_{20} + \alpha \times (t - 20) + \beta \times (t - 20)^2 \quad (1-1)$$

式中, R_t 、 R_{20} 分别为环境温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 、 20°C 时的电阻值; α 、 β 为电阻温度系数, α 、 β 与 R_{20} 均为不受温度影响的未知量。

显然,可以利用直接测量或间接测量的方法测出某温度下的电阻阻值,但是单纯地以直接测量或间接测量方法测出任意温度下的电阻阻值是不现实的。现在可以用组合测量的方法,通过改变测量温度分别测出三种不同温度下的电阻值,代入式(1-1),求解由此得到的联立方程组,得出未知量 α 、 β 、 R_{20} 后将其代入式(1-1),即可得出任意温度下的电阻阻值。

电子测量的方法还有很多,如接触式测量与非接触式测量技术、实时与非实时测量技术、有源与无源测量技术、人工测量与自动测量技术等。每种测量方法都有其各自的优缺点,必须首先考虑测量的要求和条件,然后选择最合适的方法。需要考虑的因素主要包括频率覆盖范围、测量量程、测量精度和操作方便性等。

1.1.3 计量技术

电子测量要实现测量过程,必须借助一定的测量仪器、软件和测量标准,即必须借助一定的测量设备。为了确保测量设备符合预期使用的量程、分辨率、最大允许误差等要求,需要对测量设备进行计量确认。1985年第六届全国人民代表大会常务委员会第十二次会议通过了《中华人民共和国计量法》,该法明确指出进行计量的目的是“为了加强计量监督管理,保障国家计量单位制的统一和量值的准确可靠,有利于生产、贸易和科学技术的发展,适应社会主义现代化建设的需要,维护国家、人民的利益”。

1. 计量的定义及特点

根据国家计量检定规程 JJG 1001—1991《通用计量名词及定义》,计量是实现单位统一和量值准确可靠的测量。从定义中可以看出,计量属于测量,源于测量,而又严于一般测量,是测量的一种特定形式。要得到准确一致的量值,需要有公认、法定的计量单位、计量器具、计量人员、计量检定系统检定规程等。概括来说,计量具有如下四方面的特点。

1) 准确性

准确性, 也称精确性, 是计量的基本特点, 反映了计量结果与被测量本身所具有的数值的接近程度。计量不仅需要明确被测量的值, 同时还需要该量值的误差范围, 即不确定程度。否则, 计量的结果就不具备充分的社会实用价值。

2) 一致性

一致性是指无论何时、何地、何人, 使用何种方法进行测量, 只要符合计量所要求的条件, 计量结果就应该在给定的误差范围内一致。否则, 计量将失去其社会意义。计量的一致性, 不仅适用于国内, 也适用于国外。

3) 溯源性

实际工作中, 鉴于不同的目的和条件, 对计量结果的要求也各不相同。但是为了得到准确一致的计量结果, 所有的量值都必须由相同的计量基准(或标准)传递而来。换句话说, 任何一个计量结果, 都能通过连续的比较链连接到计量基准上, 这就是溯源性。就一国而论, 所有的量值都应溯源于国家基准(或标准); 就世界而论, 所有量值都应溯源于国际基准(或标准)。否则, 量出多源, 不仅无准确一致可言, 而且势必造成技术上和应用上的混乱, 以致酿成严重的社会后果。

4) 法制性

计量本身的社会性就要求有一定的法制保障。也就是说, 量值的准确一致, 不仅要有了一定的技术手段, 而且要有相应的法律、法规的行政管理, 特别是那些对国计民生有明显影响的计量, 诸如社会安全、医疗保健、环境保护以及贸易结算中的计量, 更必须有法制保障。否则, 量值的准确一致便不能实现, 计量的作用也就无法发挥。

综上所述, 计量不同于测量, 测量是以确定量值为目的的一组操作, 通常不具备, 也无须具备上述计量的特点。总的来说, 计量属于测量而又严于测量。

2. 计量的发展

计量的历史源远流长, 它的发展与社会的进步联系在一起。计量在我国已有近 5000 年的历史, 它始于父系氏族社会末期, 当时称为度量衡, 其原始含义是物体长短、容积、轻重的计量。度量衡最初都与人体有关, 如“布手知尺”、“布指知寸”、“迈步定亩”、“滴水定时”等这些都是以经验为主的计量。

1875 年, 由 17 个国家代表签订的“米制公约”标志着近代计量阶段的开始。该计量单位采用十进单位制, 其长度单位为米, 等于地球子午线的四千万分之一; 质量单位为千克, 等于 1 立方分米纯水的质量。并且约定, 凡长度的单位是用米或者米的分数单位作为基本单位之一的单位, 都是米制的范畴。例如, 厘米克秒制、米千克秒制(工程制)、米吨秒制等这些单位制中的单位, 都是米制单位。由于米制简易、适用, 1977 年 6 月我国正式加入国际米制公约组织, 开展国际计量技术交流与合作, 参加国家计量基准的国际比对。

20 世纪, 计量在世界范围内全面发展, 技术飞速进步。20 世纪初, 各主要国家都建立起现代计量技术研究机构, 许多国家在原有本国度量衡制的基础上采用米制。到 20 世纪 50~60 年代, 大多数国家接受国际单位制, 参加国际法制计量公约组织, 建立起本国计量技术、行政、法规体系。《中华人民共和国计量法》于 1985 年 9 月 6 日由第六届全国人民代表大会常务委员会第十二次会议通过, 自 1986 年 7 月 1 日起施行。

3. 计量器具

计量器具是指能用以直接或间接测出被测量量值的装置、仪器仪表、量具和用于统一量值的标准物质。计量器具在整个计量立法中处于相当重要的地位,广泛应用于生产、科研和生活等各方面。全国量值的统一,首先反映在计量器具的准确一致上,计量器具不仅是监督管理的主要对象,而且是计量部门提供计量保证的技术基础。

1) 按照结构特点分类

计量器具按照结构特点的不同,可以分为计量装置、计量仪器仪表和量具三类。

(1) 计量装置。即为了确定被测量值所必需的计量器具和辅助设备的总体组合,如里程计价表检定装置、高频微波功率计校准装置等。

(2) 计量仪器仪表。即将被测量的量转换成可直接观测的指标值等效信息的计量器具,如压力表、流量计、温度计、电流表、心电图仪等。

(3) 量具。即用固定形式复现量值的计量器具,如量块、砝码、标准电池、标准电阻、竹木直尺、线纹米尺等。

2) 按照用途分类

计量器具按照使用用途的不同,可以分为计量基准器具和计量标准器具两类。

(1) 计量基准器具。计量基准器具又简称为计量基准,是指在特定领域内用以复现和保存计量单位量值,并具有最高计量学特性,经国家技术监督局鉴定、批准作为统一全国量值最高依据的计量器具。计量基准可用于检定计量标准,以避免由于国家副计量基准使用频繁而丧失其应有的计量学特性或遭损坏。通常,计量基准分为国家计量基准(主基准)、国家副计量基准和工作计量基准三类。



小贴士

国家计量基准是一个国家内量值溯源的终点,也是量值传递的起点,具有最高的计量学特性。

国家副计量基准用来代替国家计量基准的日常使用和验证国家计量基准的变化。一旦国家计量基准损坏,国家副计量基准可用来代替国家计量基准。工作计量基准主要用于代替国家副计量基准的日常使用。

(2) 计量标准器具。计量标准器具,又简称为计量标准,是指准确度低于计量基准,用于检定较低等级计量器具的计量器具。按照法律地位、作用和管辖范围的不同,计量标准还可以分为社会公用计量标准和部门或企事业单位使用的计量标准两种。前者是指政府计量行政主管部门组织或授权建立的作为统一地区量值的依据,在社会上实施计量监督具有公证作用的计量标准;后者由部门或企事业单位根据需要来建立。

计量标准的主要指标是溯源性,即可通过连续的比较链将计量标准器具与国际标准器具或国家标准器具联系起来的性能。当然,准确度、稳定度、灵敏度、可靠性、超然性和响应特性等也都是它的重要指标。计量标准的保持十分重要,它保证计量标准的计量学特性维持在合适的限度内。为此,对计量标准要定期校准、妥善储藏和细心使用。

4. 检定与校准

检定是指由国家法制计量部门, 为确定和证实计量器具是否完全满足检定规程的要求而进行的全部工作。校准是指在规定条件下, 为确定测量仪器、测量系统的示值、实物量具或标准物质所代表的值与相对应的由参考标准确定的量值之间关系的一组操作。检定与校准的关系主要表现在以下几方面。

1) 目的不同

检定是为了判定测量设备的示值误差是否符合规定的要求, 是否小于检定规程规定的最大允许误差, 也就是说检定是对测量设备的计量特性及技术要求符合性的全面评定。而校准是为了确定测量设备的示值误差。经过校准确定了示值误差的测量设备可按预期使用要求所规定的测量允许误差来确定其使用。

2) 对象和性质不同

检定是针对已经被列入国家强检计量器具目录的计量器具, 这些计量器具主要用于贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测等。因此检定具有法制性, 属于计量管理范畴的执行行为。而校准是针对检定计量器具之外的计量器具。因此校准不具有法制性, 属于企业自主溯源行为。

3) 依据和结果呈现方式不同

检定依据的是检定规程, 检定完毕应给出检定证明书或检定结果通知书, 赋予相应的检定标记或封印, 在法制方面具有强制性。校准依据的是校准规范、校准方法。通常校准规范和方法具有统一的规定, 但有时也可以自行制定。校准完毕, 给出的是校准证书或校准报告。



考考你

你能分别举一个检定和校准操作的例子吗?

1.1.4 单位制

计量工作在经济建设中起着基础作用, 它涵盖的内容相当广泛, 涉及工农业生产、国防建设、科学实验、国内外贸易以及人民的生活、健康、安全等各个方面。经济越发展, 越需要加强计量工作, 加强计量法制监督。《中华人民共和国计量法》中的各项规定所围绕的两个核心问题之一就是解决国家计量单位制的统一问题。

计量单位又称测量单位, 是为定量表示同种量的大小而约定的定义和采用的特定量, 具有约定所赋予的名称和符号。例如, 长度的单位为米, 符号为 m ; 温度的单位为摄氏度, 符号为 $^{\circ}C$ 。单位是表征测量结果的重要组成部分, 鉴于文化发展的不同情况, 各国形成了各自的单位制, 例如, 英国的英制、法国的米制等。为便于国际科学技术的交流和商业往来, 各国施行的单位制以国际单位制为基础, 这样就有了统一的标准。

1. 国际单位制

国际单位制是国际计量大会采用和推荐的单位制。1954 年第十届国际计量大会决定采用米、秒、千克、安[培]、开[尔文]和坎[德拉]作为基本单位。1960 年第十一届国际计量大会决定将以这 6 个单位为基本单位的实用计量单位制命名为“国际单位制”, 并规定其符