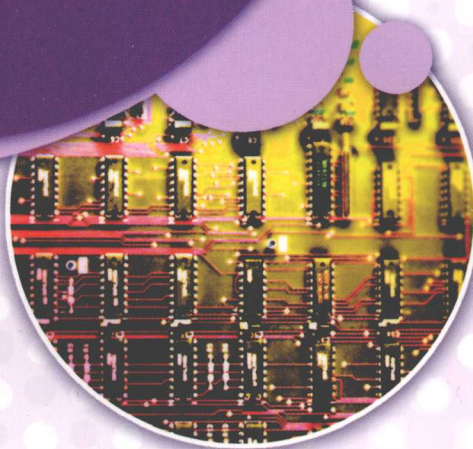




中等职业教育“十一五”规划教材
中职中专电子技术应用专业系列教材

实用 电子测量 技术项目教程

管 莉 主编



本书配有免费电子课件
下载地址: www.abook.cn



科学出版社
www.sciencep.com

中等职业教育“十一五”规划教材

中职中专电子技术应用专业系列教材

实用电子测量技术项目教程

管 莉 主 编

朱 鸣 副主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了常用电参量的测量技术和方法,以及常用测量仪器的基本原理、操作及其应用,并且结合电子整机产品主要性能指标的检验过程,介绍了电子测量技术在产品检验中的具体应用。

全书由八个项目组成,主要内容包括:电子测量技术基础知识、测量用信号源、示波测试技术、频率与时间测量技术、电压测量技术、频域测量技术、数据域测试技术、测量技术在电子产品检验中的应用。每个项目均包含实训练习,具有很强的实践指导作用。

本书在多年职教改革实践的基础上,采用项目、任务驱动模式编写,内容丰富、先进、实用,可操作性强。

本书可作为中等职业学校电子与信息类专业的学生使用,或相关专业培训班的教材,也可供电子整机制造企业的产品调试、检验和管理人员在工作中参考。

图书在版编目(CIP)数据

实用电子测量技术项目教程/管莉主编. —北京:科学出版社,2009
中等职业教育“十一五”规划教材·中职中专电子技术应用专业系列教材
ISBN 978-7-03-024515-1

I. 实… II. 管… III. 电子测量-专业学校-教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 065876 号

责任编辑:陈砾川/责任校对:赵 燕

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 8 月第一次印刷 印张:13 1/4

印数:1—3 000 字数:292 000

定价:20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部门电话 010-62134988 编辑部电话 010-62135763-8020

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

中职中专电子技术应用专业系列教材

编 委 会

顾 问 杨乐文

主 任 罗国强

编 委 (按姓氏笔画顺序排列)

王国玉 叶云汉 刘占娟 朱向阳 邢贵宁

李中显 余春辉 张修达 罗 伟 赵进学

陶 健 蒋从根 舒伟红 管 莉

序

教材是影响教学效果最重要的因素之一。职业教育的教材对教学的影响更为巨大。职业教育以就业为导向,理论与实践紧密联系,理论围着实践转,学生在实践过程中了解理论、掌握理论,同时通过理论对实践的指导来不断巩固理论,最终把理论融入到实践中,内化成自己的理论知识。这是职业教育与普通教育最大的不同之处,是我们开发、编写新时代职教教材有必要遵循的原则,也是创新创优职教教材的活水源泉。

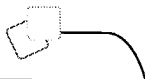
项目任务式教学教材就很好地体现了职业教育理论与实践融为一体这一显著特点。它把一门学科所包含的知识有目的地分解分配给一个个项目或者任务,理论完全为实践服务,学生要达到并完成实践操作的目的就必须先掌握与该实践有关的理论知识。而实践又是一个个有着能引起学生兴趣的可操作的项目,这好比一项有趣的登山运动,登山是目标,为了登上山峰,则必须了解登山的方法、技巧、线路及安全措施。这是一种在目标激励下的了解和学习,是一种完全在自己的主观能动性驱动下的学习,可以肯定这种学习是一种主动的有效的学习。

编写教材是一项创造性的工作,一本好教材凝聚着编写人员的大量心血。今天职业教育的巨大发展和光明前景,离不开这些致力于好教材开发的职教工作者们。现在奉献给大家的这套中职中专电子应用技术系列教材,是在新形势下根据职业教育教与学的特点,在经历了多年的教学改革实践探索后,编写出的比较好的教材。该系列教材体现了作者对项目任务教学的理解,体现了对学科知识的系统把握,体现了对以工作过程为导向的教学改革的深刻领会。其主要特点有三。

第一,专业课程的选择以市场需求为导向,以培养具备从事制造企业电子类产品和电气与控制设备的安装、调试、维修的专业技能,并具有一定的电子产品开发与制作能力和初步的生产作业管理能力的高素质技能型人才为目标。毕业生可从事制造类企业电类产品生产一线的操作,低压电气设备的保养和维修,电子整机产品的装配、调试、维修等工作;也可从事电类产品生产一线的相关检验、管理等工作;经过企业的再培养,还可从事电类产品的工艺设计及营销、售后服务等工作。

第二,以任务引领、项目驱动为课程开发策略。把曾经系统、繁琐、难以理解的电子技术学科理论知识通过一个个实践项目分解开来,使学生易于了解与掌握。教材的每个任务单元包含着完整的完成任务的操作过程,使学生可以一步步完成任务。每次任务完成,均给学生适当评分结果。通过完成为培养岗位技能而设计的典型产品或服务,使学生获得某工作任务所需要的综合职业能力;通过完成工作任务所获得的成果,以激发学生的成就感。

第三,打破传统的完整的知识体系结构,向工作过程系统化方向发展。采用让学生学会完成完整的工作过程的课程模式,紧紧围绕工作任务完成的需要来选择课程内容,不强调知识的系统性,而注重内容的实用性和针对性,知识够用即可,介绍的知识是该



任务需要的知识。

相信这套教材一定能为电子技术应用专业及相关电类专业的学生学习理论知识与实践技能提供一个良好的平台，一定能为职业教育的相关教学改革做出积极贡献。

杨乐文

2008年8月

前 言

考虑到目前中等职业学校的学生知识水平及实训设备的现状，以及当前电子测量测试领域的新情况，本书的内容既强调基础知识，又力求体现新知识、新技术、新仪器的应用，并注重实用性、可操作性，书中设置了大量的实训练习，其目的是使学生：掌握现代电子测量技术；掌握常用电子测量仪器的基本原理及基本操作方法；了解当前新测量仪器的基本原理及应用；理解实际生产实践中测量方案的制定及测量仪器的选用，会正确处理测量数据、初步分析和处理误差，使学生在掌握电子测量技术基本知识的基础上，具备电子测量技术的综合应用能力与技能。

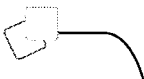
本书在多年职教改革实践的基础上，采用项目、任务驱动模式编写，内容包括八个项目，项目一～项目五介绍了电子测量基础知识、测量用信号源及基本电参量的时域测量技术，以及相关测量仪器的原理及应用；项目六介绍了频域测量技术、测量仪器的原理及应用；项目七介绍了数据域测试技术、测试仪器的原理及应用；项目八中的实训 1 至实训 5 的基本内容介绍了电子测量技术在电子产品检验中的实际应用。

各学校可根据自己的实际情况，选择合适的实训项目对学生进行训练。在电子产品检验实训中，对本书所介绍的多项性能指标，可以有选择地进行。

本书在编写体例上采用活泼、轻松的形式，文字表达简约、通俗，并采用大量的实物外形图、示意图及表格，图文并茂，直观明了，浅显易懂。

本书参考教学学时数是 75～86 学时（3 周实训），推荐教学时数安排如下表所示。

项目序号	课程教学内容	学 时 数		
		合计	理论	实训
一	电子测量技术基础知识	8	6	2
二	测量用信号源	8	4	4
三	示波测试技术	18	12	6
四	频率与时间测量技术	12	8	4
五	电压测量技术	12	6	6
六	频域测量技术	10	6	4
七	数据域测试技术	4	2	2
八	测量技术在电子产品检验中的应用	14	4	10
总 计		86	46	40



本书由管莉（河南信息工程学校）任主编，朱鸣（河南省电子产品质量监督检验所高级工程师）任副主编，罗敬、史娟芬、王煜霞、律薇薇参与了本书的编写工作。

虽然编者有多年从事电子测量技术和实训课程的教学和开发工作经历，积累了一定的经验并主编过多本相关教材，但随着电子技术的飞速发展，新的测试技术、测试仪器和测量方法不断出现，加之编者水平有限、编写时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正，请将意见、建议和需求发至电子邮箱 guanli3319@126.com。在此，我们也向参考文献的作者、出版者表示衷心的感谢。

本教材配有供免费下载的课件，包括授课用教学包及习题答案，欢迎到科学出版社职教技术出版中心网站 www.abook.cn 下载使用。

编 者

2009 年 3 月

目 录

项目一 电子测量技术基础知识	1
任务一 电子测量的内容、特点及分类	2
知识 1 测量和电子测量的基本概念	2
知识 2 电子测量的内容、特点及分类	3
任务二 测量误差和数据处理基础	8
知识 1 测量误差的表示方法	8
知识 2 测量误差的分类和测量结果的评价	10
知识 3 测量数据的处理	11
任务三 实训报告	13
知识 1 实训报告的要求及格式	14
知识 2 实训报告的完成	14
实训 1 万用表测量直流电压	16
实训 2 用万用表测量直流电流	18
实训 3 用万用表测量电阻	20
项目小结	21
思考与练习	22
项目二 测量用信号源	23
任务一 正弦信号源	24
知识 1 正弦信号发生器的分类和组成	25
知识 2 正弦信号发生器的性能指标	26
知识 3 低频信号发生器	27
知识 4 高频信号发生器	30
实训 高频信号发生器操作实训	34
任务二 函数信号发生器	35
知识 1 函数信号发生器的组成原理	35
知识 2 函数信号发生器的基本应用	36
实训 函数信号发生器操作实训	38
项目小结	41
思考与练习	42
项目三 示波测试技术	43
任务一 示波测试基本方法和原理	45
知识 1 显示控制部分及操作要领	46
知识 2 阴极射线管 (CRT)	47

知识 3 如何得到清晰稳定的信号波形	49
实训 示波原理测试基本操作训练（一）	53
任务二 通用示波器的组成和原理	55
知识 1 示波器的垂直通道（Y 通道）	56
拓展 探极和输入选择开关	58
知识 2 示波器垂直系统面板分布及操作要点	61
知识 3 示波器的水平通道（X 通道）	62
知识 4 示波器水平系统面板分布及操作要点	66
实训 示波原理测试基本操作训练（二）	68
任务三 数字存储示波器	70
知识 1 什么是数字存储	70
知识 2 数字存储示波器的原理	71
任务四 示波测试的基本应用	72
知识 1 示波法测量电压	73
知识 2 示波法测量周期	75
知识 3 示波法测量频率	76
知识 4 示波法测量相位	78
实训 1 用示波器观测正弦信号的幅度和频率	79
实训 2 波形合成法测频率和相位	80
实训 3 调幅波调幅系数测量	81
项目小结	82
思考与练习	82
项目四 频率和时间测量技术	83
任务一 频率的概念和几种基本的测量方法	84
知识 1 频率和时间的基本概念	84
知识 2 测量频率的常用测量方法	84
知识 3 电子计数器的功能和分类	86
任务二 通用电子计数器测量原理	87
知识 1 电子计数器测频原理	87
知识 2 电子计数器测周原理	89
知识 3 电子计数器测时间间隔原理	89
知识 4 电子计数器测频率比（A/B）原理	90
知识 5 电子计数器累加计数原理	91
知识 6 电子计数器自校原理	91
任务三 通用电子计数器基本组成	92
知识 1 电子计数器的基本组成	93
知识 2 通用电子计数器的基本应用	96
实训 掌握电子计数器（频率计）基本操作	99

任务四 用通用电子计数器测量误差	100
知识 1 电子计数器测量误差的来源	101
知识 2 测量误差的处理方法	103
实训 电子计数器应用技能训练	104
项目小结	106
思考与练习	106
项目五 电压测量技术	108
任务一 直流电压的测量	109
任务二 交流电压的测量	110
知识 1 电子电压表的分类	111
知识 2 模拟式交流电压表的三种电路结构	111
知识 3 由检波原理不同所构成的三种电压表	112
知识 4 交流毫伏表面板结构及操作规程	116
实训 毫伏表应用技能训练	119
任务三 电压的数字化测量	120
知识 1 电压的数字化测量原理	121
知识 2 数字电压表组成和特点	121
知识 3 数字电压表的主要工作特性	123
知识 4 数字多用表特点及原理	125
知识 5 数字万用表面板结构及操作规程	127
实训 数字万用表应用技能训练	129
项目小结	130
思考与练习	131
项目六 频域测量技术	132
任务一 电路系统频率特性测量技术及方法	133
知识 1 点频法测量频率特性	133
知识 2 扫频测量技术	134
知识 3 频率特性测试仪原理	135
知识 4 频率特性测试仪的应用	137
实训 扫频仪的基本应用训练	141
任务二 信号频谱分析技术	143
知识 1 频谱分析的基本概念	144
知识 2 获取频谱的基本方法及相应的频谱仪原理	145
知识 3 常用频谱分析仪介绍	147
知识 4 频谱仪的正确使用	149
知识 5 频谱分析仪的应用	149
任务三 失真度测量技术和方法	150
知识 1 失真度测量原理	151



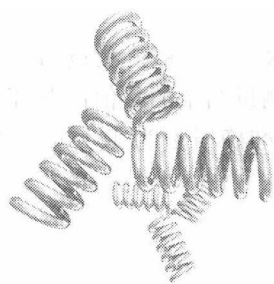
知识 2 失真度仪的使用	152
实训 失真度仪应用实训	154
项目小结	156
思考与练习	156
项目七 数据域测试技术	157
任务一 数据域测试技术	158
知识 1 数据域测试基本概念	158
知识 2 数据域测试的方法	159
知识 3 数据域测试的步骤	160
任务二 数据域测试常用仪器设备	161
知识 1 数字系统静态测试常用仪器	161
知识 2 数字系统静态测试用逻辑分析仪	162
实训 逻辑分析仪的应用实训	166
项目小结	167
思考与练习	167
项目八 测量技术在电子产品检验中的应用	168
任务一 电子产品检验的基本知识	169
知识 1 电子产品检验的形式	169
知识 2 电子产品检验活动内容	170
任务二 电子产品检验工艺	171
知识 1 电子产品检验的一般工艺	172
知识 2 整机检验	172
知识 3 检验规程(检验指导书)	173
知识 4 电子产品检验质量记录	174
任务三 语言复读机主要电性能指标检验	181
知识 1 复读机录/放音部分主要性能参数	182
知识 2 测量仪器、设备的选用及要求	183
实训 1 语言复读机放音通道带速误差测试	185
实训 2 复读机抖晃率测试	185
实训 3 复读机放音通道频率响应测试	185
实训 4 复读机放音通道信噪比测试	185
实训 5 复读机放音通道谐波失真测试	185
项目小结	196
思考与练习	196
参考文献	197

项目一

电子测量技术基础知识

测量在人们的生活中无处不在,想知道自己的身高、体重需要测量,去市场购买食物需要测量,想知道今天的气温是多少也需要测量。总之,没有测量,人们在现代社会中几乎无法生存;科学的发展更离不开测量,无数科学理论的诞生都是通过大量的实验测量结果得出的,而且这些测量结果还是发现新问题、提出新理论的依据。“没有测量,就没有科学”,测量手段的现代化,已被公认为是一个国家科学技术和生产现代化的重要条件和明显标志。

那么,什么是测量和电子测量?学习测量技术有什么意义?通过本项目的学习,读者将对测量和电子测量的内容、特点、基本方法,测量误差和数据处理的相关知识、测量仪器的分类等电子测量技术的基础知识有一个全面的了解和认识,为本书后续项目的学习打下基础。



知识目标

- 了解电子测量的内容、特点和基本方法。
- 了解电子测量仪器的分类及应用。
- 了解测量误差的来源与分类,掌握测量误差的表示方法。
- 理解有效数字的概念,掌握简单的数据处理知识。

技能目标

- 理解电子测量电路,会使用模拟万用表的电压挡和欧姆挡进行电压和电阻值的测量。
- 具备分析测量误差的基本能力和方法,能对测量数据进行简单处理。
- 理解并掌握实训报告的内容和格式,能独立完成实训报告的书写。

任务一 电子测量的内容、特点及分类

任务目标

- 理解测量和电子测量的基本概念。
- 了解电子测量的内容、特点和分类。
- 了解电子测量仪器的分类及应用。

任务教学模式

教学步骤	时间安排	教学方式
阅读教材	课余	自学、查资料、相互讨论
知识讲解	2 学时	重点讲授电子测量的基本概念，电子测量的内容、特点和分类，电子测量仪器的应用
操作技能		结合中学物理及专业基础课程中做过的实验内容，回顾并采用多媒体课件课堂演示的方法进行

读一读

知识 1 测量和电子测量的基本概念

天平称重是一个大家都很熟悉的测量案例，如图 1-1 所示，这里将待测量与一个标准量即图中所示的砝码进行比较。测量时须注意左物右码。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，如一堆苹果的准确质量为 1.1kg。可见，测量的过程就是将待测量与一个标准量进行比较的过程。

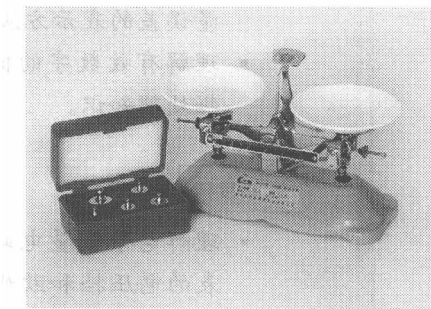


图 1-1 天平称重

再看一个例子：利用万用表测量电池电压，如图 1-2 所示。测量步骤如下。

- 1) 选择量程：测量前，应先将万用表选择合适量程，因为一节电池的电压约为 1.5V，这里选择万用表直流电压“V”的 3V 挡位即可。

2) 测量方法: 万用表应与被测电路并联, 即按图中所示方法将万用表的红表笔接电阻正极, 黑表笔接电池负极。

3) 正确读数: 仔细观察表盘, 找到相应于“3V”挡位的刻度, 注意读数时, 视线应正对指针。

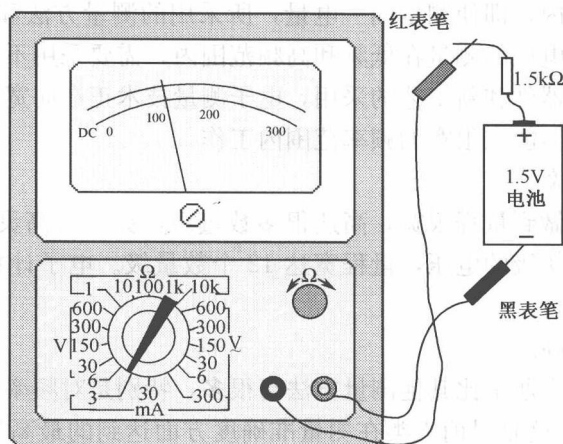


图 1-2 用万用表测量电池电压

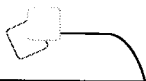
上述这个例子就是通常意义上电子测量的一个范例。通常在狭义上, 利用电子技术对电子学中有关的电量所进行的测量称为电子测量。如对直流电路中电压、电流及功率进行的测量, 本课程后续项目中涉及的对各种信号波形、信号频率及频谱等参数的测量等, 均属于此范畴。但随着科学技术的发展, 各种非电量的测量可以通过传感装置转换为电量再进行测量, 如电子秤称重, 冰箱、空调机的温度自动控制系统中, 利用温度传感器实现对温度的测量等, 这种利用电子技术对非电量进行的电子测量是测量技术中最先进的技术之一, 也属于电子测量的范畴。因此, 从广义上说, 电子测量泛指以电子科学技术为手段而进行的测量, 即以电子科技理论为依据, 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。

知识 2 电子测量的内容、特点及分类

1. 电子测量的内容

在电子学领域内, 电参量的测量主要有以下几个方面。

- 1) 电能量的测量: 即测量电流、电压和电功率等。
- 2) 元件和电路参数的测量: 如电阻、电感、电容、电子器件、集成电路的测量和电路频率响应、通频带、衰减、增益、品质因数的测量等。
- 3) 信号特性的测量: 如信号的波形、频率、失真度、相位、调制度、信号频谱、信噪比等的测量。



2. 电子测量的特点和应用

(1) 测量频率范围宽

电子测量的频率范围的低端除测量直流外,可测低至 10^{-4} Hz, 高端可至 10^{12} Hz。但是在不同频率范围内,即使测量同一电量,所采用的测量方法和使用的仪器也不同,甚至相差很远。例如电压的测量在低频和高频范围内,需要采用不同类型的电压表。现在,由于新技术、新器件和新工艺的采用,电子测量技术正在向宽频段以至全频段方向发展,使电子测量仪器能在很宽的频率范围内工作。

(2) 测量量程很宽

电子测量仪器能做到量程很宽,高达很多数量级,如一台高灵敏度的数字电压表,可以测出纳伏级至千伏级的电压,量程宽达 12 个数量级。电子计数器的量程更宽,可达 17 个数量级。

(3) 测量准确度高

电子测量的准确度通常比其他测量方法高很多,特别是对频率和时间的测量,误差可减小到 10^{-13} 量级,这是目前人类在测量准确度方面达到的最高标准。因此,在一些测量过程中往往把其他参数转换成频率再进行测量,以提高测量的准确程度。

(4) 测量速度快

由于电子测量是通过电子运动和电磁波的传播来进行工作的,因而可实现测量过程的高速度,这是其他测量方法所无法比拟的。

(5) 易于实现遥测

对于遥远距离、人类难于到达或不便长期停留的地方,可通过传感器把待测物理量变成电信号,再利用电子技术进行测量。

(6) 易于实现测量过程自动化和测量仪器智能化

电子测量的测量结果和它所需的控制信号都是电信号,易于直接或通过 A/D、D/A 转换与计算机连接。电子测量和计算机的紧密结合,使电子测量仪器向数字化的方向发展,为实现测量过程自动化创造了非常有利的条件,并且使功能单一的传统仪器变成先进的智能仪器和有计算机控制的模块式测试系统,如数字频率计、数字存储示波器、自动网络分析仪等。

计算机技术和微电子技术的高速发展给电子测量仪器及自动测试领域产生了巨大的影响。智能仪器、GPIB 接口总线、个人仪器和 VXI 总线系统等技术的采用,使电子测量仪器及自动测试领域朝着智能化、自动化、模块化和开放式系统的方向发展。

电子测量的一系列优点,使其应用的领域极其广泛。大到天文观测、宇宙航天,小到物质结构、基本粒子,从复杂奥秘的生命、细胞和遗传问题到日常的工农业生产、医学、商业各个部门,都越来越多地采用了电子测量技术和设备。从某种意义上说,现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。

3. 电子测量的分类

(1) 按测量方式分类

电子测量按测量方法分类可分为直接测量、间接测量和组合测量。三者的特点如下。

直接测量：指用已标定的仪器，直接地测量出某一待测未知量的量值的方法，例如用电压表直接测量电压。

间接测量：指测量某未知量 y ，必须先对与未知待测量 y 有确切函数关系的其他变量 x （或 n 个变量）进行直接测量，然后再通过函数计算出待测量 y 。例如：电功率 P 的测量，利用示波器测量信号频率等。

组合测量：如有若干个待求量，把这些待求量用不同方式组合（或改变测量条件来获得这种不同的组合）进行测量（直接或间接），并把测量值与待求量之间的函数关系列成方程组，只要方程式的数量大于待求量的个数，就可以求出各待求量的数值，这种方法又称联立测量。

(2) 按被测信号性质分类

电子测量按被测信号性质分类可分为时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量，它们的特点分别如下。

时域测量：随时间变化的函数称为时域函数，如正弦信号、方波信号等。对其进行的分析称为时域分析。如利用示波器对正弦信号的各项参数测量分析。

频域测量：测量与频率有函数关系的量称为频域测量。如利用频谱分析仪对信号进行频谱分析。

数据域测量：对数字系统逻辑特性的测量。如具有多个输入通道的逻辑分析仪可以观测并行数据的时序波形，同时可用“1”和“0”显示其逻辑状态。

随机测量：随机测试技术是认识含有不确定性的事物的重要手段。最普遍存在、最有用的随机信号是各类噪声，所以随机测量技术又称为噪声测试技术。

4. 电子测量仪器的分类及应用

在电子测量中采用的仪器称为电子测量仪器，一种电子测量仪器往往是一种电子测量技术或方法的体现。

电子测量仪器一般分为专用仪器和通用仪器两大类。一般在学校实验室使用的主要是通用仪器。本课程的一项重要技能目标就是熟练掌握常用电子测量仪器的基本操作及应用。按照不同的测量方法分类的常用电子测量仪器与主要应用范围如表 1-1 所示，后续项目将详细分析表中主要的测量方法、测量对象的特点，并分析相对应的测量仪器的结构、原理、特性及应用。