



全国高等职业教育规划教材

# 电子测量仪器与应用

李福军 刘海东 主编  
关长伟 付树生 参编

- ◆ 案例分析，任务驱动，知识链路清晰、拓展面宽
- ◆ 以电子测量仪器为中心，针对性、可操作性强，进而实现教学做一体化
- ◆ 引入集成电路测试仪等一些先进仪器知识，充分体现电子测量新仪器、新技术



电子教案下载网址 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

# 电子测量仪器与应用

李福军 刘海东 主编  
关长伟 付树生 参编



机械工业出版社

本书以教、学、做一体化为主导,以电子测量仪器为中心,力求将电子测量技术与相关电子仪器有机融合,介绍各种电子测量仪器的使用与操作方法,具有很强的操作性和先进的应用性。书中对现代电子测量仪器的特点与应用作了介绍,反映了电子测量技术的最新成果和实际仪器。内容包括:电子测量与仪器基础知识、测量用信号发生器、电压测量及电压表、波形测试及示波器、频率和时间测量及仪器、电子元件测量及仪器、频率特性测量及仪器、数据信号的测量及仪器、自动测试系统与虚拟仪器。书中每章都有针对性地选择了相关典型仪器使用操作的实训项目,安排了“案例分析”、“学习目标”和“学习要点”等栏目以启发学习,通过“拓展学习”栏目使读者掌握各种先进电子仪器的性能及其应用,章末附有综合实训和自测题。

本书实用性强,可作为高职高专电子信息工程技术、应用电子技术、仪器仪表、自动化、通信技术等专业教材,也可作为相关专业的工程技术人员的参考用书。

本书配套授课电子教案,需要的教师可登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369, 电话: 010-88379739)。

## 图书在版编目(CIP)数据

电子测量仪器与应用/李福军, 刘海东主编. —北京: 机械工业出版社, 2013. 10

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-43980-6

I. ①电… II. ①李…②刘… III. ①电子测量设备—高等职业教育—教材  
IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 212769 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王颖 版式设计: 常天培

责任校对: 张晓蓉 责任印制: 杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2013 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14 印张·342 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-43980-6

定价: 29.90 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

“电子测量仪器与应用”是一门综合性、实践性较强的课程，教学内容突出系统性、实用性和可操作性，着重培养学生的综合应用能力、动手实践能力和岗位适应能力。为此，本书中设置了大量的测量仪器操作实例，有针对性安排了典型实训，目的是帮助读者能结合工程实际，具备综合运用电子测量技术与仪器的基本能力，从而达到熟练检测电子产品的实践技能目标。

根据高职教育培养的是面向生产第一线的高级应用技术型人才的要求，本书在力求保证掌握基本知识和基本技能的基础上，注重电子测量技术与仪器的新发展和新应用。

本书的特色如下：

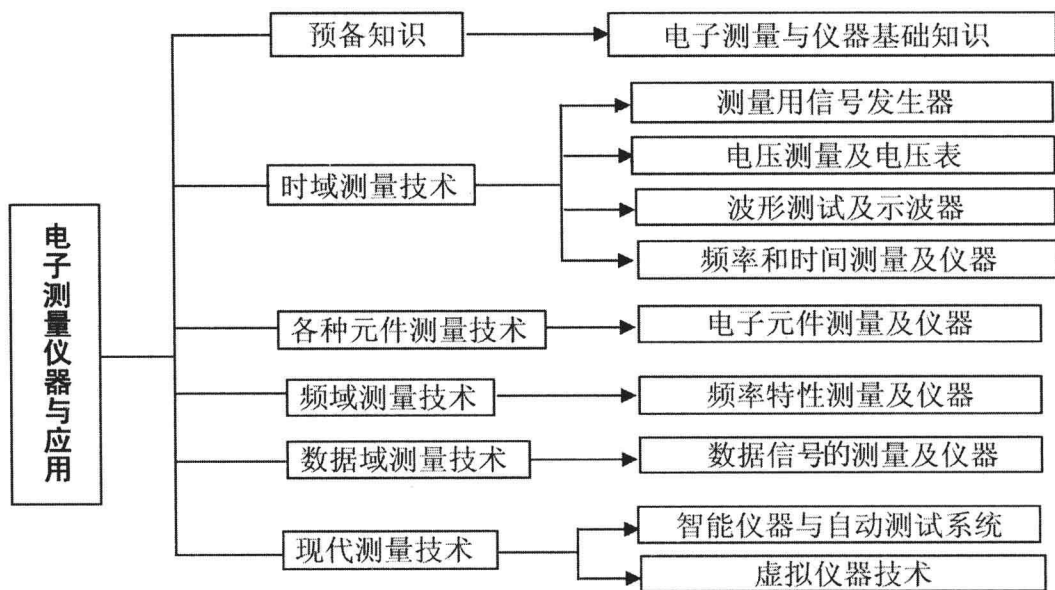
1) 知识链路清晰。每章均有学习目标，提出学习任务及要求，便于读者自学和课前预习；全书有总的知识结构框架图，便于读者在学习过程中形成知识体系。

2) 知识拓展面宽。每章后均有“拓展学习”的内容，引领读者在完成基本知识内容学习的基础上，能主动向更高的领域探索学习。每章的习题答案以电子课件形式给出，读者可在网上下载。

3) 针对性和可操作性强。每章的实训项目都是针对本章的内容而精心设计的一种典型仪器的操作使用。有关仪器的操作配有照片、参数记录表等内容，同时尽量选择通用型电子测量仪器来实现“教、学、做”一体化的目标。

4) 充分体现了电子测量的新仪器、新技术。如引入了数字示波器、数字毫伏表、LCR数字电桥、集成电路测试仪以及虚拟仪器等较新的知识内容及其应用。

全书根据电子测量仪器不同应用领域划分的总体知识结构框架图如下：



本书语言通俗易懂、层次清晰严谨，内容丰富实用、图文并茂，特别是一些实际应用与教学经验的写入，使本书更具有特色。全书共分为9章，按照“以全面素质为基础、以能力为本位、以职业技能为主线”的总体设计要求，以形成掌握电子测量仪器的基本技术和操作技能为目标，紧紧围绕工作任务完成的需要来选择和组织课程内容。

本书由辽宁机电职业技术学院李福军、刘海东、关长伟和付树生共同编写，其中李福军编写了第1、4、9章及附录，并负责全书的统稿；刘海东编写了第2、3、5章；关长伟编写了第6、7章；付树生编写了第8章。在本书的编写过程中，还得到了辽宁仪表研究所、丹东东方测控技术有限公司的大力支持与帮助，谨此致谢！

由于编者水平所限，书中难免存在疏漏之处，恳请使用本书的读者批评、指正。

编 者

# 目 录

出版说明

前言

<b>第 1 章 电子测量与仪器基础知识</b> .....	1
1.1 电子测量技术的基本知识 .....	1
1.1.1 电子测量的基本概念 .....	1
1.1.2 电子测量技术的内容 .....	2
1.1.3 电子测量技术的特点 .....	2
1.1.4 电子测量技术的分类 .....	3
1.2 电子测量仪器的基本知识 .....	4
1.2.1 电子测量仪器的分类 .....	4
1.2.2 电子测量仪器的主要技术指标 .....	5
1.2.3 电子测量仪器的发展历程 .....	6
1.3 电子测量的误差和处理方法 .....	7
1.3.1 常用测量术语 .....	7
1.3.2 测量误差的表示方法 .....	7
1.3.3 测量误差的来源和分类 .....	10
1.3.4 测量结果的评价和处理 .....	11
1.4 拓展学习 电子测量仪器的正确使用和维护方法 .....	13
1.5 本章小结 .....	14
1.6 综合实训 串联电路直流电压的测量误差研究 .....	14
1.7 自测题 .....	15
<b>第 2 章 测量用信号发生器</b> .....	17
2.1 信号发生器的分类和技术指标 .....	17
2.1.1 信号发生器的用途 .....	17
2.1.2 信号发生器的分类 .....	18
2.1.3 信号发生器的一般组成 .....	19
2.1.4 信号发生器的主要技术指标 .....	19
2.2 低频信号发生器及其基本应用 .....	21
2.2.1 低频信号发生器的组成与技术指标 .....	21
2.2.2 低频信号发生器的操作使用 .....	23
2.2.3 低频信号发生器的典型应用 .....	25
2.3 高频信号发生器及其基本应用 .....	25
2.3.1 高频信号发生器的组成与原理 .....	25
2.3.2 高频信号发生器的主要性能指标 .....	26
2.3.3 高频信号发生器的操作使用 .....	26
2.3.4 高频信号发生器的典型应用 .....	28

2.4	函数信号发生器及其使用	29
2.4.1	函数信号发生器的组成与原理	29
2.4.2	正弦波形成电路	31
2.4.3	函数信号发生器的操作使用实例	31
2.5	合成信号发生器	33
2.5.1	直接合成法	34
2.5.2	间接合成法	36
2.6	拓展学习 专用信号发生器	37
2.7	本章小结	40
2.8	综合实训	41
2.8.1	实训项目 1 低频信号发生器的使用与放大器测试	41
2.8.2	实训项目 2 ASI053 型高频信号发生器的操作	42
2.9	自测题	44
<b>第 3 章</b>	<b>电压测量及电压表</b>	<b>45</b>
3.1	电压测量的特点和技术要求	45
3.1.1	电子电路中电压信号的特点	46
3.1.2	交流电压的基本参数	46
3.1.3	电压测量仪器的种类与选择	48
3.2	电子电压表及其使用方法	48
3.2.1	直流电压的测量	49
3.2.2	电子电压表的三种电路结构	49
3.2.3	按检波原理划分的三种电压表	51
3.2.4	电子电压表的操作使用实例	56
3.3	电压的数字化测量技术	57
3.3.1	DVM 的构成及工作原理	57
3.3.2	DVM 的主要特性指标及测量误差	59
3.3.3	数字万用表的使用方法	61
3.3.4	数字交流毫伏表	64
3.4	拓展学习 高准确度台式数字万用表	65
3.5	本章小结	67
3.6	综合实训	67
3.6.1	实训项目 1 电子毫伏表的应用技能训练	67
3.6.2	实训项目 2 不同波形波峰因数的研究与测试	69
3.7	自测题	70
<b>第 4 章</b>	<b>波形测试及示波器</b>	<b>72</b>
4.1	波形测试的基本原理	72
4.1.1	示波器的主要特点及类型	73
4.1.2	示波管	73
4.1.3	波形显示原理	75
4.2	通用示波器的工作原理	78
4.2.1	通用示波器的基本结构和原理	79

4.2.2 示波器的垂直通道 (Y 通道)	79
4.2.3 示波器的水平通道 (X 通道)	83
4.2.4 主机系统 (Z 轴系统)	86
4.3 通用示波器的使用与操作	86
4.3.1 通用示波器的主要技术指标	86
4.3.2 示波器的选择与使用	87
4.3.3 通用示波器的面板功能及操作	88
4.4 示波器的基本测量应用	91
4.4.1 电压的测量方法	91
4.4.2 时间、周期与频率的测量方法	92
4.4.3 相位差的测量方法	94
4.4.4 调幅系数的测量方法	95
4.5 数字示波器的使用	95
4.5.1 数字示波器的基本原理	95
4.5.2 数字示波器的面板功能	96
4.5.3 数字示波器的测量操作方法	98
4.6 拓展学习 波形测试技术的新发展	99
4.7 本章小结	100
4.8 综合实训	101
4.8.1 实训项目 1 双踪示波器的操作技能训练	101
4.8.2 实训项目 2 数字示波器的测试技能训练	102
4.9 自测题	105
<b>第 5 章 频率和时间测量及仪器</b>	<b>107</b>
5.1 频率和时间测量的基本要求和方法	107
5.1.1 时间和频率测量的特点	108
5.1.2 频率测量的基本方法	108
5.2 通用电子计数器的操作方法	109
5.2.1 通用电子计数器的基本组成	109
5.2.2 电子计数器的分类及主要指标	111
5.2.3 通用电子计数器的测量功能	111
5.2.4 电子计数器的测量误差	114
5.2.5 E-312A 型通用电子计数器的使用方法	116
5.3 数字频率计的使用操作方法	120
5.3.1 数字频率计的测量原理	120
5.3.2 SP1500 型数字频率计的面板介绍	120
5.3.3 SP1500 型数字频率计的技术指标及使用说明	121
5.4 拓展学习 电子计数器典型产品与选型依据	123
5.5 本章小结	124
5.6 综合实训	125
5.6.1 实训项目 1 电子计数器的应用技能训练	125
5.6.2 实训项目 2 频率计的应用技能训练	125



5.7 自测题 .....	126
<b>第6章 电子元件测量及仪器 .....</b>	<b>128</b>
6.1 电子元件参数测量的基本要求 .....	128
6.1.1 电阻器测量的基本要求 .....	129
6.1.2 电容器测量的基本要求 .....	129
6.1.3 电感器测量的基本要求 .....	129
6.2 电桥法和万用电桥的使用 .....	130
6.2.1 电桥法 .....	130
6.2.2 QSI8A 型万用电桥的基本组成及操作方法 .....	132
6.2.3 LCR 数字电桥 .....	134
6.3 谐振法及 Q 表的使用方法 .....	137
6.3.1 谐振法测量元件参数的基本原理 .....	137
6.3.2 高频 Q 表的组成和操作使用 .....	139
6.4 晶体管特性图示仪的使用方法 .....	141
6.4.1 晶体管特性图示仪的组成和原理 .....	141
6.4.2 晶体管特性图示仪的操作方法 .....	143
6.5 拓展学习 集成电路测试技术 .....	146
6.6 本章小结 .....	147
6.7 综合实训 万用电桥的应用技能训练 .....	148
6.8 自测题 .....	148
<b>第7章 频率特性测量及仪器 .....</b>	<b>150</b>
7.1 频率信号的特点 .....	150
7.2 扫频仪的操作使用方法 .....	151
7.2.1 频率特性的测量方法 .....	151
7.2.2 扫频仪的工作原理 .....	152
7.2.3 BT-3 型扫频仪介绍 .....	155
7.2.4 BT-3 型扫频仪的使用方法 .....	156
7.3 频谱分析仪 .....	158
7.3.1 频谱分析的基本知识 .....	158
7.3.2 频谱分析仪的组成及工作原理 .....	159
7.3.3 频谱分析仪的主要技术指标 .....	160
7.3.4 频谱分析仪的应用 .....	161
7.3.5 AT5010 型频谱分析仪简介 .....	162
7.4 拓展学习 谐波失真度的测量 .....	164
7.5 本章小结 .....	165
7.6 综合实训 .....	165
7.6.1 实训项目 1 扫频仪的基本应用训练 .....	165
7.6.2 实训项目 2 频谱分析仪的使用训练 .....	166
7.7 自测题 .....	167
<b>第8章 数据信号的测量及仪器 .....</b>	<b>168</b>
8.1 数据信号的特点 .....	168

8.1.1	数据信号的测量特点	169
8.1.2	数据域测试的基本理论及方法	170
8.2	数据特性测试技术及仪器	170
8.2.1	数字测试系统的基本组成及原理	170
8.2.2	数字信号发生器	171
8.2.3	简易逻辑测试设备	171
8.3	逻辑分析仪的使用方法	173
8.3.1	逻辑分析仪的种类	173
8.3.2	逻辑分析仪的特点与基本组成	174
8.3.3	逻辑分析仪的功能及使用方法	175
8.3.4	逻辑分析仪的主要技术指标及发展趋势	180
8.4	拓展学习 逻辑分析仪的主要应用	182
8.5	本章小结	183
8.6	综合实训 逻辑分析仪的使用训练	184
8.7	自测题	185
<b>第9章</b>	<b>自动测试系统与虚拟仪器</b>	186
9.1	智能仪器与自动测量技术的发展过程	186
9.2	智能仪器与个人仪器	187
9.2.1	智能仪器	187
9.2.2	个人仪器	189
9.3	自动测试系统	191
9.3.1	自动测试系统的基本组成	191
9.3.2	自动测试系统的接口总线	192
9.4	虚拟仪器	197
9.4.1	虚拟仪器的特点	197
9.4.2	虚拟仪器的构建技术	198
9.4.3	虚拟仪器的设计开发	200
9.4.4	虚拟仪器的设计演练	201
9.5	拓展学习 网络化仪器与远程测控系统	205
9.6	本章小结	206
9.7	综合实训 基于 LabVIEW 的虚拟示波器设计	206
9.8	自测题	207
<b>附录</b>		208
附录 A	通用示波器的操作规程	208
附录 B	国际单位制的词头	209
<b>参考文献</b>		210

# 第 1 章 电子测量与仪器基础知识

## 【案例分析】

用数字万用表测量一个标称值为  $1000\Omega$  的色环电阻，其示值为  $985\Omega$ 。那么这个电阻的实际值是多少？误差为多少？

## 【学习目标】

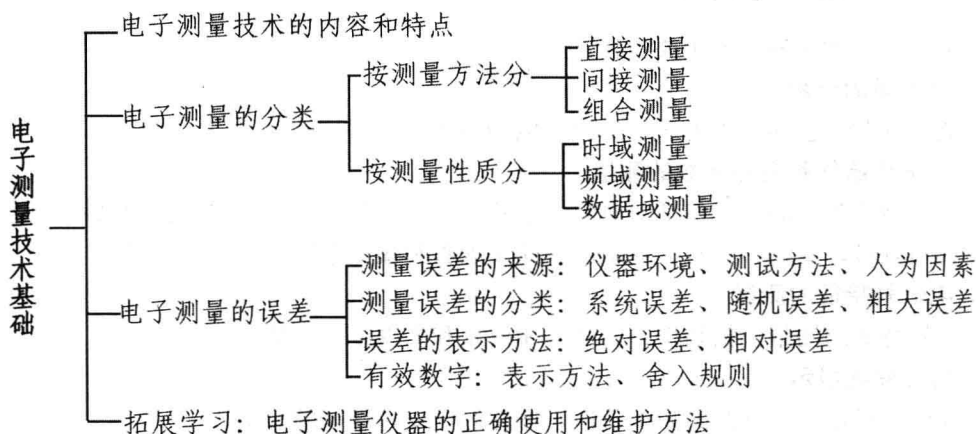
### 1. 理论目标

- 1) 基本了解：电子测量技术发展历程和应用前景；  
电子测量的内容与方法，测量误差的表示与分类。
- 2) 重点掌握：测量结果的表示与有效数字的处理。

### 2. 技能目标

- 1) 掌握电子测量的方法、测量误差的基本计算；
- 2) 掌握仪表准确度等级、量程选择的一般原则。

## 【学习要点】



## 1.1 电子测量技术的基本知识

### 1.1.1 电子测量的基本概念

现代信息科学技术的 3 大支柱是指信息的获取技术（测量技术）、信息的传输技术（通信技术）和信息的处理技术（计算机技术）。在这 3 大信息技术中，测量技术是首要的，是信息的源头。

测量就是人类获取客观事物的量值而进行的认识过程。在这个过程中，人们需要借助于

专门的仪器设备（如万用表、示波器等），依据一定的测试理论，通过实验的方法将被测量与标准的同类单位量进行比较，从而取得测量值的结果。在此基础上可以从客观事物中总结出一般规律，形成定理和定律，从而指导人们对其他客观事物的认识和理解。可见，测量是科学研究的重要基础。

测量的结果一般由数值和单位两部分组成。测量的结果必须是有理数才有意义。例如，某测量结果表示为 3.25V 是正确的，若表示为 3.25 或  $3\frac{1}{4}$ V 则是错误的。

电子测量是测量学的一个重要分支，是测量技术中最先进的技术之一，是测量学和电子学相结合的产物。从广义来说，凡是以电子技术为手段来进行的测量都可以说是电子测量。具体来说，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，对各种电量和电信号进行测量；此外还可以通过各种传感器对非电量进行测量，如用红外测温仪测量人体的温度，用电子秤称物体的重量等，都属于电子测量的范畴。电子测量与仪器的原理图如图 1-1 所示。

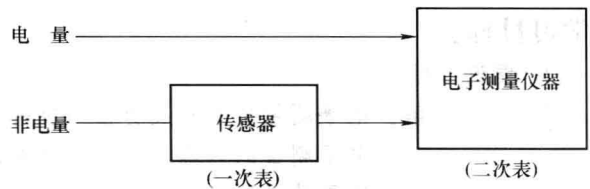


图 1-1 电子测量与仪器的原理图

从狭义上讲，电子测量是指对各种电参量和电性能的测量，这也是本书主要研究的范畴。

### 1.1.2 电子测量技术的内容

本书中电子测量的内容主要包括：

#### 1. 电能量的测量

电能量的测量包括各种电压、电流和电功率等的测量。

#### 2. 电子元器件和电路参数的测量

电子元器件参数的测量包括对电阻、电感、电容、晶体管、集成电路的测量和电路的频率响应、通频带、增益、衰减、灵敏度、品质因数和噪声系数等参数的测量。

#### 3. 电信号特征的测量

电信号特征的测量包括频率、时间、相位差和失真度等参数的测量。

#### 4. 特性曲线显示

特性曲线显示包括电路的频率特性、器件的伏安特性等的显示。

在科学研究和生产实践中，常常还需要电子设备对各种非电量进行测量。人们通过各种敏感器件和传感装置将压力、流量、温度和速度等非电量转换成电信号，再用电子测量设备进行测量，该方法方便、快捷、准确，是其他测量方法所不能替代的。

### 1.1.3 电子测量技术的特点

随着科学技术的快速发展，电子测量技术被广泛应用于农业、工业、医疗、天文、地质和军事等领域。如核反应堆内的温度测量、电子血压计、心电图机、飞船发射过程中的运行参数测量仪和精确制导弹等。电子测量技术的不断发展，不仅标志着测量技术的进步，而且对整个科学技术的发展和人类社会的进步有积极的推动作用。因此在一定意义上来说，测

量水平的高低可以反映出一个国家科学技术发展的状况，是实现科学技术和生产现代化的重要条件和明显标志。与其他测量相比，电子测量具有以下几个明显的特点：

### 1. 测量频率范围宽

除了测量直流信号以外，电子测量的频率范围可达  $10^{12}$  Hz $\sim$  $10^{-4}$ 。随着电子技术的发展，测量的频率范围将继续向高频段发展。在不同的频率范围内，即使要测量同一种物理量，也需要不同的测量方法和测量仪器。例如，在直流、低频、高频范围内，电流和电压的测量需要不同类型的电流表和电压表。

### 2. 电子测量仪器的量程宽

量程是测量范围的上限值与下限值之差。由于被测量的数值相差很大，因而电子测量仪器应有足够宽的量程。例如，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。而用于测量频率的电子计数器的量程更宽，可达 17 个数量级。

### 3. 测量准确度高

电子测量的准确度比其他方法要高得多。例如，对频率对频率和时间进行测量时，由于采用原子频标和原子秒作为基准，测量精度高达  $10^{-14}$   $\sim$   $10^{-13}$  的数量级。

### 4. 测量速度快

电子测量是通过电子运动和电磁波传播进行工作的，具有其他测量无法比拟的高速度。这也是电子测量技术广泛应用于现代科技各个领域的重要原因。例如，人造卫星、载人飞船等各种航天器发射时，需要电子测量系统快速测出它的运行参数，通过参数的处理确定下步控制信号，使其正常运行。

### 5. 易于实现遥测

电子测量可以通过各种手段类型的传感器实现遥测、遥控。例如，对于距离遥远或环境恶劣，人体不便接触或无法到达的区域（如人造卫星、深海、地下和核反应堆内等），可通过传感器或通过电磁波、光和辐射等方式进行测量。

### 6. 易于实现测量过程的自动化和测量仪器的智能化

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，在测量过程中能够实现程控、遥控、自动转换量程、自动调节、自动校准、自诊断故障和自恢复，对于测量的结果进行自动记录、运算、分析和处理。当前，电子测量仪器的智能化，测量过程的自动化是电子测量研究的主题。

## 1.1.4 电子测量技术的分类

为了获得测量结果，采用的各种手段和方式称为测量方法。根据测量中采用的测量方法不同，电子测量有不同的分类方法。下面介绍几种常见的分类方法。

### 1. 按测量手段分类

#### (1) 直接测量

直接测量是可直接从电子仪器或仪表上读出测量结果的方法，其特点是测出的数据就是被测量的值。例如，用电压表测量电压，用电桥测量电阻，用频率计测量频率等，都可直观且迅速的读出被测量的数值。

#### (2) 间接测量

间接测量是利用被测量与某中间量之间的函数关系（公式、曲线或表格等），先测出中

间量，然后通过计算公式，算出被测量的数值的测量方法。例如，用伏安法测量电流时，先测量出电阻两端的电压和电阻值的大小，然后由公式  $I=U/R$ ，间接求出电流。

### (3) 组合测量

组合测量是，如果被测量与几个中间量有关，此时需要通过改变测量时的条件，分别测量这几个中间量，再通过被测量与这几个中间量的函数关系，列出方程组，求解方程组，得到被测量的结果。

## 2. 按测量性质分类

### (1) 时域测量

时域测量是指以时间为函数的量（如随时间变化的电压、电流等）的测量。这些量的稳态值、有效值多用仪表直接测量，它们的瞬时值则可通过示波器等仪器显示出其幅值—时间特性，以便观测其随时间变化的规律。

### (2) 频域测量

频域测量是指以频率为函数的量（如电路的增益、相位移等）的测量。这些量的测量可通过频率特性和频谱特性等方法进行测量。

### (3) 数据域测量

数据域测量是指对数字量的测量。数据域测量可以同时观察多条数据通道上的逻辑状态或显示某条数据线上的时序波形，也可以用计算机分析大规模集成电路芯片的逻辑功能。例如用逻辑分析仪分析微处理器的地址线和数据线上的信号。

### (4) 随机域测量

随机域测量是指对随机信号的测量，如噪声、干扰信号的测量。它是目前较新的测量技术，尤其在通信领域有着广泛应用。

除了上述的分类方法外，还有很多其他的分类方法。比如有源测量和无源测量，动态与静态测量，集中式与分布式多路测量等。

## 1.2 电子测量仪器的基本知识

利用电子技术测量各种电量或非电量的测量仪器称为电子测量仪器。电子测量仪器种类繁多。根据测量精度的要求不同，有高精度、普通和简易 3 种；按显示方式不同，有模拟式和数字式两大类；根据用途分类有专业用仪器和通用仪器。专业用仪器是指各专业中测量特殊参量的仪器，如机械行业用的超声波探伤、医疗行业用的心电图仪等；通用仪器则是用于测量电路和电子元件及电路的调试、维修。这里主要是介绍用于电子和通信类的通用仪器。

### 1.2.1 电子测量仪器的分类

通用仪器是为了测量电路及元器件参量所用的仪器。按其功能可分为以下几类：

#### 1. 信号发生器

信号发生器主要用于提供各种测量用信号。例如音频、高频、脉冲、函数、扫频和噪声等。它的功能是作为测试用信号源，能根据需要提供各种频率、功率和波形的信号。

#### 2. 信号分析仪

信号分析仪主要用来观测、分析和记录各种电量的变化。例如各种示波器、波形分析

仪、频谱分析仪和逻辑分析仪等。它们能完成包含时域、频域和数据域的分析。

### 3. 电平测量仪器

电平测量仪器用于测量电能的量，如电压表、电流表、功率表和多用表等。

### 4. 时间、频率和相位测量仪器

时间、频率和相位测量仪器这类仪器用于测量周期性信号的频率、周期和相位，有各种频率计、相位计及各种时间、频率标准等。

### 5. 网络参数测量仪器

网络参数测量仪器这类仪器有频率特性测试仪（扫频仪）、阻抗测量仪及网络分析仪，主要用于测量电气网络的频率特性、阻抗特性和噪声特性等。

### 6. 电子元器件参数测量仪

电子元器件参数测量仪这类仪器有万用电桥、Q 表、LCR 测量仪、晶体管特性图示仪和集成电路测试仪等，用于测量电子元器件（如电阻、电容、电感和晶体管等）的电参数、显示特性曲线等。

### 7. 数据域测试仪器

数据域测试仪器用于分析数字系统中以离散时间或事件为自变量的数据流的仪器。它能完成对数字逻辑电路和系统中的实时数据流或事件的记录和显示，并通过各种控制功能实现对数字系统的软、硬件故障分析和诊断，如逻辑分析仪等。

### 8. 虚拟仪器

虚拟仪器是通过应用程序将通用计算机和必要的数据采集硬件结合起来，在计算机平台上创建的一台仪器。用户可自行定义其功能、操作面板，实现数据的采集、分析存储和显示，如虚拟示波器、在计算机显示器上定义一台时钟等。

## 1.2.2 电子测量仪器的主要技术指标

电子测量仪器的技术指标是衡量其工作性能的依据，主要包括以下几个方面：

#### 1. 频率范围

频率范围是指能保证电子测量仪器正常工作的有效频率。

#### 2. 准确度

测量准确度又称为测量精度，主要指测量结果受各种因素的影响而产生的测量误差。

#### 3. 测量功能、范围

测量的功能是指能测量什么被测量，测量范围是指仪器适合测量的数值大小。

#### 4. 量程与分辨力

量程是指测量仪器的测量范围。分辨力是指测量仪器所能直接反映出的被测量变化的最小值，如指针式仪表刻度盘标尺上最小刻度（1 个格）所代表的被测量大小或数字仪表最低位显示变化 1 个字所代表的被测量大小。

**【例 1-1】** MF-47 型指针式万用表拨盘及其刻度线如图 1-2 所示，问该表在直流电压档 10V 量程的分辨力为多少？直流电压档的（最高）分辨力为多少？

**解：**直流电压档 10V 量程的分辨力为 0.2V（1 个格为 0.2V）；直流电压档的最小量程为 0.25V，所以其最高分辨力为 0.005V，即 5mV。

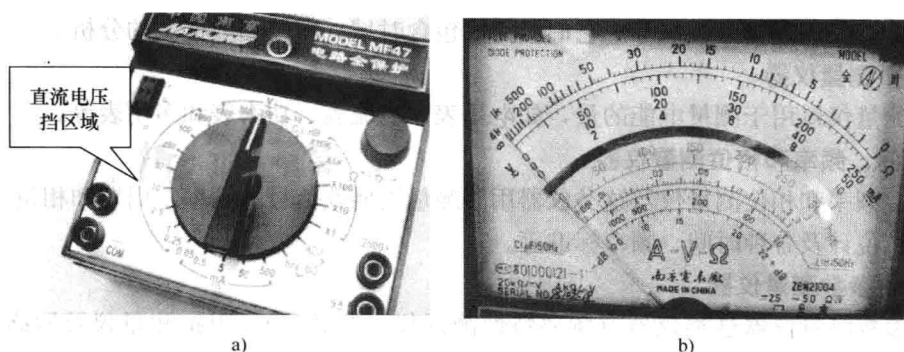


图 1-2 指针式万用表拨盘与刻度线  
a) 拨盘区 b) 面板刻度

**【重要结论】** 同一台仪器在不同量程上的分辨力却不同，一般以仪器最小量程的分辨力（最高分辨力）作为该仪器的分辨力。

## 5. 电子测量的环境

电子测量仪器由各种电子器件构成，经常受温度、湿度、电网电压、电磁干扰和振动等外界环境的影响，同一台仪器，同样的测量方法，不同环境就会出现不同的测量结果。因此在使用仪器时，应在厂家规定的范围内进行，以保证一定的测量精度。

### 1.2.3 电子测量仪器的发展历程

随着电子测量技术的不断发展，电子测量仪器大致经历了模拟仪器、数字仪器、智能仪器 and 虚拟仪器 4 个阶段。这些仪器有其各自的特点，分别应用在不同的场合。

#### 1. 模拟仪器

模拟仪器是最早期应用的测量仪器，但至今仍比较常见，如指针式万用表、晶体管毫伏表等。它们的基本结构是磁电机械式的，一般借助于指针显示测量结果。

#### 2. 数字仪器

目前，数字仪器相当普及，如数字万用表、数字频率计等。这类仪器将模拟信号转换为数字信号进行测量，直接以数字方式显示测量结果，适用于快速响应和较高准确度的测量。

#### 3. 智能仪器

与传统仪器不同，智能仪器一般内含微处理器和 GPIB 接口，具备通用的测试功能，可以单独使用，也可以通过 GPIB 接口作为程控仪器组建自动测试系统。这类仪器既能进行自动测试又具有一定的数据处理能力，可代替部分脑力劳动，如数字示波器即可以自动测试波形参数，自动读取数据。但其功能模块全部以硬件（或固化的软件）的形式存在，因此在开发应用上仍缺乏一定的灵活性。

#### 4. 虚拟仪器

虚拟仪器（Virtual Instruments, VI）是检测技术与计算机技术和通信技术有机结合的产物。它是美国西北仪器（Northwest Instrument System）公司于 1981 年提出的个人仪器（Personal Computer Instrument）的基础上发展起来的。虚拟仪器是指在通用计算机上添加一层软件和一些硬件模块，使用户操作这台通用计算机就像操作一台真实的仪器一样。虚拟



仪器技术强调软件的作用，提出了“软件就是仪器”的概念。

虚拟仪器主要由计算机、仪器模块和软件 3 部分组成。软件技术是虚拟仪器的核心技术，常用的开发软件有 LabVIEW、LabWindows/CVI 等。以 LabVIEW 为例，它们基于图形化编程语言的开发环境，由如 GPIB、VXI、PXI 和 PCI 仪器及数据采集卡等硬件的系统构成。图形化编程软件具有简单易学、灵活好用的特点。

## 1.3 电子测量的误差和处理方法

**【核心提示】** 相对误差的物理意义是什么？仪表的准确度等级是如何确定的？如何确定仪表的量程？如何评价测量的结果？

在一定的条件下，被测量的真实大小或真实数值称为这个量的真值。在测量过程中，测量值与真值的差异称为测量误差。研究测量误差的目的就是要寻找误差产生的来源，尽可能防止误差和减小误差。同时还应对测量误差进行正确的估计和处理，使测量结果接近被测量对象的实际情况。

### 1.3.1 常用测量术语

在讨论测量误差问题的过程中，经常要用到以下术语。

1) 约定真值：为约定目的而取的可以代替真值的量值。一般来说，约定真值与真值的差值可以忽略不计。

2) 实际值：满足规定精确度的用来代替真值的量值。实际值一般由实验获得，在一定程度上很接近真值。通常将上一级计量标准所确定的量值称为下一级计量器具的实际值。

3) 示值：示值也称为测量值，示值测量仪器的读数装置所显示出的被测量的量值，一般用  $x$  表示。

4) 读数：读数是指有仪器刻度盘或数字显示器上直接读到的数字，有时读数值并不一定代表测量值的大小。例如，指针式万用表测干电池 1.5V 直流电压，选用 250 分度，当指针指在 150 处时，读数是 150，而测量值（示值）却为 1.5V。

### 1.3.2 测量误差的表示方法

测量误差可以有多种表示方法，最基本的误差表示方法有绝对误差和相对误差。

#### 1. 绝对误差

##### (1) 定义

被测量值（仪器上的示值） $x$  与其真值  $A_0$  的差，叫做绝对误差，用  $\Delta x$  表示。

$$\Delta x = x - A_0$$

上式中，绝对误差  $\Delta x$  既有大小、量纲，又有正负。它的大小和正负分别表示测量值偏离真值的程度和方向。

上式中的  $A_0$  无法求到，所以总是用更高一级的标准仪器的测量值（仪器示值） $A$  代替真值， $A$  称为约定真值。于是，通常使用的表达式为

$$\Delta x = x - A$$