



中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

电子线路实验与实训

dianzi xianlu shiyan yu shixun

■ 主编 赵国利 刘 荣



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

为了加强职业技术教育的教学改革,推进素质教育,培养面向生产、管理、服务第一线的应用型高级技术人才,根据当前中等职业教育的发展及需求,以及教育部有关电子电气专业电子线路实验教学计划,我们编写了这本书。

根据职业教育的特点和要求,突出以能力为本位和学以致用原则,在编写过程中,基本操作注重基础性、实用性和可操作性;技术性较强的实训项目,注重突出方法、逻辑性、操作规则和技术规范等;在内容的编排方面,注重以人为本的教学理念,以易学、易懂和易会为出发点,操作上从简单到复杂,技术上从传统技术到新技术与新工艺。在内容上充分考虑了满足教学需要、自学需要、专题培训需要和从事实际工作的需要。做到了理论联系实际,用理论指导实践的教学原则。

版权专用 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电子线路实验与实训/赵国利,刘荣主编. —北京:北京理工大学出版社,2009.8
ISBN 978-7-5640-2585-4

I. 电… II. ①赵…②刘… III. 电子电路-专业学校-教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第137380号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京通县华龙印刷厂

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/6.75

字 数/172千字

版 次/2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

定 价/12.00元

责任校对/陈玉梅

责任印制/母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

中等职业教育是以培养具有较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的初级阶段。目前,中等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据教育部关于要求发展中等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,北京理工大学出版社组织编写了《21 世纪中等职业教育特色精品课程规划教材》。该系列教材是中等职业教育课程改革项目研究成果。坚持以能力为本位,以就业为导向,以服务学生职业生涯发展为目的的指导思想。主要从以下三个角度切入:

1. 从专业建设角度

该系列教材摒弃了传统普通高等教育和传统职业教育“学科性专业”的束缚,致力于中等职业教育“技术性专业”。主体内容由与一线技术工作相关联的岗位有关知识所构成,充分体现职业技术岗位的有效性、综合性和发展性,使得该系列教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融于一炉。

2. 从课程建设角度

该系列教材规避了现有的中等职业教育教材内容上的“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上的“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上的“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向,力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学和能力的培养,使职业能力的提升贯穿于教学的全过程。

3. 从人才培养模式角度

该系列教材为了切合中等职业教育人才培养的产学结合、工学交替培养模式,注重有学就有练、学完就能练、边学边练的同步教学,吸纳新技术引用、生产案例等情景来激活课堂。同时,为了结合学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的实际,注重对新知识、新工艺、新方法、新标准引入,在培养学生创造能力和自我学习能力的培养基础上,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了贯彻和落实上述指导思想,在本系列教材的内容编写上,我们坚持以下一些原则:

1. 适应性原则

在进行广泛的社会调查基础上,根据当今国家的政策法规、经济体制、产业结

构、技术进步和管理水平对人才的结构需求来确定教材内容。依靠专业自身基础条件和发展的可行性,以相关行业和区域经济状况为依托,特别强调面向岗位群体的指向性,淡化行业界限、看重市场选择的用人趋势,保证学生的岗位适应能力得到训练,使其有较强的择业能力,从而使教材有活力、有质量。

2. 特色性原则

在调整原有专业内容和设置专业新兴内容时,注意保留和优化原有的、至今仍适应社会需求的内容,但随着社会发展和科技进步,及时充实和重点落实与专业相关的新内容。“特色”主要是体现为“人无我有”,“人有我精”或“众有我新”,科学预测人才需求远景和人才培养的周期性,以适当超前性专业技术来引领教材的时代性。结合一些一线工作的实际需要和一些地方用人单位的区域资源优势、支柱产业及其发展方向,参考发达地区的发展历程,力争做到专业课内容的成熟期与人才需求的高峰期相一致。

3. 宽口径性原则

拓宽教材基础是提高专业适应性的重要保证之一。市场体制下的人才结构变化加快,科技迅猛发展引起技术手段不断更新,用人机制的改革使人才转岗频繁,由此要求大部分专门人才应是“复合型”的。具体课程内容应是当宽则宽,当窄则窄。在紧扣本专业课程内容基础上延伸或派生出一些适应需求的与其他专业课相关的综合技能。既满足了社会需求又充分锻炼学生的综合能力,挖掘了其潜力。

4. 稳定性和灵活性原则

中职职业教育的专业课程都有其内核的稳定性,这种内核主要是体现在其基本理论,基础知识等方面。通过稳定性形成专业课程教材的专业性特点,但同时以灵活的手段结合目标教学和任务教学的形式,设置与生产实践相切合的项目,推进教材教学与实际工作岗位对接。

为了更好地落实本教材的指导思想和编写原则,教材的编写者都是既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强实践技能的专家,他们分别是:相关学科领域的专家;中等职业教育科研带头人;教学一线的高级教师。同时邀请众多行业协会合作参与编写,将理论性与实践性高度统一,打造精品教材。另外,还聘请生产一线的技术专家来审读修订稿件,以确保教材的实用性、先进性、技术性。

总之,该系列教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果,希望本系列教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

北京理工大学出版社

前言



为了加强职业技术教育的教学改革,推进素质教育,培养面向生产、管理、服务第一线的应用型高级技术人才,根据当前中等职业教育的发展及需求,以及教育部有关电子电气专业电子线路实验教学计划,我们编写了这本书。

根据职业教育的特点和要求,突出以能力为本位和学以致用原则,在编写过程中,基本操作注重基础性、实用性和可操作性;技术性较强的实训项目,注重突出方法、逻辑性、操作规则和技术规范等;在内容的编排方面,注重以人为本的教学理念,以易学、易懂和易会为出发点,操作上从简单到复杂,技术上从传统技术到新技术与新工艺。在内容上充分考虑了满足教学需要、自学需要、专题培训需要和从事实际工作的需要。做到了理论联系实际,用理论指导实践的教学原则。

电子线路实训的任务:

- (1) 初步掌握常用电子线路器件的正确使用方法;
- (2) 培养和锻炼学生的分析能力和动手能力;
- (3) 把理论知识连贯起来,融合到实践中,通过实践加深对理论知识的理解。
- (4) 让学生通过个人实训成果进一步提高学习兴趣,增强学习的自信心和成就感,更好地把精力投入到学习中去。

总之,通过实验、实训教学环节,希望学习者能够运用所学知识处理一些实际问题,以提高分析、设计、实现电路的能力。

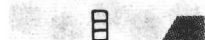
在本书的编写过程中,我们既考虑了实验教学与理论教学的相关性,也注意了学生从未接触过工程实际的客观情况,尽量让实验目的清晰明了,实验原理简单、通俗易懂。同时,我们在编写中特别注意了经典实验与当前新技术的

结合。

在本书编写过程中参考了大量的文献资料，在此对其作者一并表示感谢。

由于作者水平有限，加上时间仓促，书中难免存在不足之处，恳请读者多提宝贵意见，以便进一步修改。

编者



目 录

模块一 电路实验的基本知识.....	1
项目一 实验操作须知.....	1
项目二 电子测量的基本知识.....	2
模块二 常用电子仪器仪表介绍.....	8
项目一 模拟电子仪器仪表	8
项目二 数字仪器仪表	25
模块三 相关实验	32
项目一 二极管、三极管简单测试	32
项目二 常用电子仪器的使用	36
项目三 放大电路的调试	40
项目四 集成运放的应用	43
项目五 负反馈放大电路实验	47
项目六 正弦波振荡器实验	51
项目七 OTL 功率放大电路	53
项目八 直流稳压电源	56
项目九 调幅与检波电路	59
项目十 逻辑门电路的电压传输特性和功能测试	63
项目十一 译码器和编码器电路功能测试	67
项目十二 触发器功能测试	72
项目十三 时序逻辑电路功能测试	77



项目十四 555 时基电路	81
项目十五 D/A、A/D 转换器实验	86
 附录 常用仪器、仪表及电子器件	 92
附录一 函数发生器使用说明	92
附录二 电阻、电容标注法	96
附录三 常用集成电路简易手册	97

电路实验的基本知识

* * * * *

项目一 实验操作须知

生产现场中的设备,都制定有严格的安全操作规程。在电工电子实验中,各种仪表、仪器也要遵照一定的操作规程去使用。例如,调节电压用的单相和三相自耦调压器,在接通电源之前,调节手轮一定要放置在输出电压为零的位置。接通电源以后再调节手轮逐渐升高电压向负载输出电能;断开电源时,应先将手轮调节到零位再断开电源。

再如,电桥上的电源按钮开关和检流计按钮开关,在测量时应先按电源按钮开关后再按检流计按钮开关,测量完毕后应先断开检流计按钮开关再断开电源按钮开关。诸如此类的种种规则,在实验过程中必须要严格遵守。实验时要严肃认真、小心谨慎,任何轻率举动或松懈麻痹都可能导致人身事故以及仪器、仪表或设备的损坏。

为了保证实验的顺利进行和人身与设备的安全,必须遵守以下实验操作规程。

实验前认真预习实验指导书,学习实验室的有关规则。按时到达实验室,不得迟到、早退,未经主管部门同意,不得随意更改已定的实验时间。

按学号建立实验小组,实验中要合理分工。每次实验均以小组为单位进行,每组2人,其中选1人负责。

实验前应首先检查实验仪器设备的型号、规格、数量等,看是否与实验要求的设备相符,然后检查各仪器设备是否完好,如有问题,及时向教师提出以便处理。

实验必须以严肃的态度进行,严格遵守实验室的有关规定和仪器设备的操作规程,出现问题应立即报告指导教师,不得自行处理,不得随意挪用与本次实验无关的设备及实验室的其他仪器设备。

实验电路走线、布线应简洁明了,便于检查和测量。接线原则一般是先接串联支路或主回路,再接并联支路或辅助回路。导线的长短粗细要合适、尽量短、少交叉,防止连线短路。接线处不宜过于集中于某一点,一般在一个连接点上尽量不要超过3条线。

所有的实验仪器设备和仪表,都要严格按规定的接法正确接入电路(例如,电流表及功率表的电流线圈一定要串接在电路中,电压表及功率表的电压线圈一定要并接在电路中)。实验中要正确选择测量仪表的量程,一般使指针处在量程的 $1/3$ 或 $1/2$ 以上。正确选择各个仪器设备的电流、电压的额定值,否则会造成严重事故。实验中提倡一个同学把电路



接好后,同组另一位同学仔细复查,确定无误后,方可进行实验。有些实验还必须经过指导教师的检查和批准后才能将电路与电源接通。

实验操作时同组人员要注意配合,尤其做强电实验时要注意:手合电源,眼观全局,先看现象,再读数据。将可调电源电压缓慢上调到所需数值,发现异常现象(例如有声响、冒烟、打火、焦臭味及设备发烫等)应立即切断电源,分析原因,查找故障。

读数前要调整好仪表的量程及刻度,读数时注意姿势正确,要求“眼、针、影成一线”。注意仪表指针位置,及时变换量程,使指针指示于误差最小的范围内。变换量程时一般要在切断电源情况下操作。

所有实验测量数据应记在原始记录表上,数据记录尽量完整、清晰,力求表格化,使阅读者能够一目了然。在严格尊重原始记录的情况下合理取舍有效数字,实验报告上不得随意涂改,绘制表格和曲线要求用尺子或绘图工具,锻炼自己的技术报告书写能力,培养工程意识。

完成实验后,要在实验室核对实验数据是否完整、合理,确定完整和合理后,交指导教师审阅后才能拆除实验线路(注意要先切断电源,后拆线),并将仪器设备、导线、实验用具整理归位,做好台面及实验环境的清洁和整理工作。

项目二 电子测量的基本知识

众所周知,要了解一个电子系统的性能、工作状态和技术指标,一般都要以电子测量设备为手段,采用电子测量的方法来实现。在测量过程中,电子测量设备与被测电子系统的连接关系,可分为接触式和非接触式(感应或遥控遥测等)两种。

目前,绝大多数电子测量都属于前者,即将电子测量设备接入电子系统。由于电子测量设备接入电子系统后,要消耗电子系统的信号功率,使电子系统的工作状态发生变化,将导致测量误差的产生。对于不同的电子测量设备,采用不同的接入方法,测量误差的大小也各不相同。因此,必须掌握电子测量的相关知识,才能做好测量工作。

一、电子测量的基本方法

电子测量是以电子技术理论为依据,借助于电子测量设备,把未知的电量或非电量与作为测量单位的标准电量相比较,从而确定这个未知电量或非电量的大小。实际上,测量的过程就是将未知量与已知标准量进行比较,而取得数量观念的过程。因此,在测量进行之前,应明确测量的内容、方法、所需的测量结果和测量设备。

电子测量的内容通常包括以下几个方面:

- 电能量的测量,如电流(I)、电压(U)、电功率(P)和电能(W)等;
- 电信号特性参数的测量,如频率(f)、相位(ϕ)、功率因数($\cos\phi$)和失真度(k)等;
- 电路特征参数的测量,如电阻值(R)、电容量(C)和电感量(L)等;
- 电路性能参数的测量,如放大倍数(A)、通频带(BW)和灵敏度(S)等;
- 非电量的测量,如温度(T)、压力(p)和速度(v)等。

二、电子测量的方法

电子测量的方法可按采用的测量手段、比较测量方式和测量性质等进行分类,一般有以下几种测量方法:

1. 按测量手段分类

(1) 直接测量法 指能够直接用事先刻度好的测量仪器对被测量进行测量,从而直接获得被测量的方法,称为直接测量法。如用电压表测电压、电流表测电流等,都属于直接测量法。

(2) 间接测量法 当被测量因某种原因不能直接测量时,可通过直接测量与被测量有一定函数关系的物理量,再通过函数关系计算出被测量的数值,这种间接获得测量结果的测量方法称为间接测量法。如用伏安法测量电阻值,就属于间接测量法。

(3) 组合测量法 当某个测量结果需要用多个未知参数表达时,可通过改变测量条件进行多次测量,再根据各函数关系式列出方程组,由方程组求解出被测量,这种测量方法称为组合测量法。组合测量法操作起来比较复杂,费时,但测量精度较高,一般用于科学实验的测量项目中。

2. 按比较测量方式分类

(1) 零值法 它是利用被测量与标准量对仪器的作用相互抵消,达到某种平衡,从而使指零仪指示为零,再由标准量根据一定的关系计算出被测量,这种测量方法称为零值法,又称平衡法。

(2) 较差法 指通过测量被测量与标准量的差值,或与差值成一定比例的量,再计算出被测量的方法。

(3) 替代法 指分别将被测量与标准量接入同一测量系统,用标准量代替被测量时,调节标准量,使替代前后测量系统的工作状态保持一致,再根据标准量来获得被测量的数值,这种测量方法称为替代法。

3. 按测量性质分类

(1) 时域测量 主要是获取被测量随时间变化的规律(参数或波形等)。

(2) 频域测量 主要是获取被测量与频率或相位之间的关系(参数或曲线等)。

(3) 逻辑量测量 主要是对数字信号或数字电路的逻辑状态进行测量。

(4) 随机测量 随机测量又称统计测量,主要是对各类噪声等信号进行动态测量或统计分析,从而获得测量结果。

除了上述几种常用的测量分类方法之外,还有其他一些分类方法,读者可参阅相关测量书籍,这里不再详述。

三、电子测量中常用的单位及要求

在测量过程中,记录每一个测量结果时,都要有明确的测量单位,而单位通常采用国际单位制。

1. 国际单位制(SI)的组成

国际单位制是由国际单位制单位、国际单位制词头和国际单位制的十进制倍数单位三部分组成。而国际单位制单位可分为基本单位、导出单位和辅助单位三类。

(1) 国际单位制的基本单位共有七个,见表1-1。

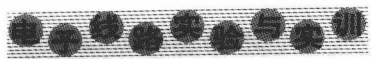


表 1-1 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克 (公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安 [培]	A
热力学温度	开 [尔文]	K
物质的量	摩 [尔]	mol
发光强度	坎 [德拉]	cd

(2) 国际单位制的导出单位是由基本单位按定义、定律或一定的关系式推导出来的单位。辅助单位有两个, 即平面角的单位弧度 (rad) 和立体角的单位球面度 (sr), 它们在实际应用中可以任意作为基本单位或导出单位。

2. 国际单位制的十进制词头

国际单位制采用十进制词头使基本单位增大或缩小十进制倍数, 十进制词头也是单位名称的一部分, 共有 16 个, 表示倍数从 10^{-18} ~ 10^{18} , 见表 1-2。

表 1-2 国际单位制的词头

因数	词头名称		符号	因数	词头名称		符号
	原文 (法)	中文			原文 (法)	中文	
10^{18}	exa	艾	E	10^{-1}	deci	分	d
10^{15}	peta	拍	P	10^{-2}	centi	厘	c
10^{12}	tera	太	T	10^{-3}	milli	毫	m
10^9	giga	吉	G	10^{-6}	micro	微	μ
10^6	mega	兆	M	10^{-9}	nano	纳	n
10^3	kilo	千	k	10^{-12}	pico	皮	p
10^2	hecto	百	h	10^{-15}	femto	飞	f
10^1	deca	十	da	10^{-18}	atto	阿	a

3. 使用国际单位制的注意事项

在表示测量数据时, 应严格遵循规定的使用方法, 在使用过程中, 应注意以下事项:

- 词头代号与单位代号之间不允许留空隙;
- 两个以上单位的乘积最好用圆点作为乘号, 在与其他代号不相混淆时, 圆点可以省略, 但先后次序不能变动;
- 不允许用两个以上国际单位制词头并列构成组合词头;
- 当导出单位为两个不同的单位相除时, 可用斜线、水平线或者负幂数表示;
- 一个组合单位除了加括弧外, 在同一行内只能用一条斜线;

- 在选用国际单位制的词头（倍乘）符号表示数据时，应使数值处于0.1~1000之间

四、测量误差

在接触型测量过程中，测量结果的准确程度往往受测量设备的精度高低、测量条件的优劣、测量方法和操作经验等影响，导致被测量偏离真实数值（简称真值），这种由测量引起的偏差称为测量误差，简称误差。

1. 误差的分类

根据测量误差的性质和特点，误差可分为系统误差、偶然误差和粗大误差三大类。

(1) 系统误差 在相同的条件下，多次测量同一被测量时，测量结构的大小和符号保持不变。但当条件改变时，测量结果将按某种确定的规律而变化，这种误差称为系统误差。引起系统误差的原因主要有：测量设备不精良，测量方法不恰当，测量条件较差等。

(2) 偶然误差 在测量条件相同的情况下，多次测量同一被测量，其大小和符号以不可预料的方式变化的误差称为偶然误差。

引起偶然误差的原因很多，主要有温度、湿度、电磁场、电源频率和人的感官本领变化等，即由各种偶然变化的因素所引起。

(3) 粗大误差 在一定的测量条件下，测量结果明显偏离真值，这种误差称为粗大误差。

引起粗大误差的原因主要有：读数错误，测量方法错误，测量设备发生故障等，对于由粗大误差表示的测量数据已经没有实际意义，应弃之不用。

2. 误差的来源

测量误差的来源通常有以下几个方面：

- 仪表误差指由测量仪器及附件的电气性能和机械性能不完善而引起的误差；
- 使用误差指由于仪器的安装、布置、调节和校正不当等造成的误差；
- 影响误差指由外界环境因素（如温度、电磁场、光照、震动等）影响而造成的误差；
- 人体误差指由测量者的操作水平、身体素质和工作习惯等原因引起的误差；
- 方法和理论误差方法误差指由于测量方法或仪器仪表选择不当等所造成的误差；而理论误差则是指在测量时，采用的理论依据不严格，或者应用近似公式、近似值计算等造成的误差。

3. 误差的表示方法

测量误差通常用绝对误差和相对误差来表示。

(1) 绝对误差 把测量结果的指示值 X 与被测量的真值 X_0 的差值称为绝对误差，一般用 ΔX 表示。

$$\Delta X = X - X_0$$

在实际中，真值 X_0 很难确定，通常用高一级以上精度的仪表测量的指示值来代替 X_0 。绝对误差是用指示值与真值相比相差了多少，来表示测量误差的大小。若 ΔX 为正，表明指示值大于真值，反之，指示值小于真值。

(2) 相对误差 指测量误差与所选定的参考量相比，用所占的百分数比例来表示误差的大小。根据不同的表示形式，相对误差可分为实际相对误差、示值相对误差、分贝误差和满度相对误差。

(3) 实际相对误差 指绝对误差 ΔX 与真值 X_0 之比，用符号 γ 表示

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_0} \times 100\%$$



(4) 示值相对误差 指绝对误差 ΔX 与示值 X 之比, 用符号 γ_x 表示

$$\gamma_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

(5) 分贝误差 指用分贝 (dB) 数表示的相对误差。不同类型的电参量, 计算表达不同。对于电压、电流等电参量, 分贝误差为

$$\gamma (\text{dB}) = 20 \lg (1 + \gamma)$$

对于功率类等电参量, 分贝误差为

$$\gamma (\text{dB}) = 10 \lg (1 + \gamma)$$

(6) 满度相对误差 指测量仪器量程内最大绝对误差 ΔX_m 与满刻度值 X_m (量程值) 之比, 又称为满度误差或引用误差, 用符号 γ_m 表示

$$\gamma_m = \frac{\Delta X_m}{X_m} \times 100\%$$

我国电工仪表的精度等级 S 是根据满度相对误差 γ_m 的大小来分级的, 其级别有 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 和 5.0 共七级。0.1 级的电表精度最高, 而 5.0 级的电表精度最低。如某电压表为 1.5 级, 表明它的满度相对误差在 $\pm 1.5\%$ 以内。

五、测量数据的处理

测量的目的是为了认识被测对象, 获得测量数据, 从而对被测对象的性能、特征等作出判断。然而, 对于一组原始测量数据, 必须经过科学分析和处理, 从中得到最佳的估计值, 以确保被测量的精确程度, 才能作出比较准确的判断。

1. 测量结果的组成

测量结果的表现形式是多种多样的, 一般有数值、波形、图表和定性结论等, 常见的表示形式主要是数据、波形和图表。不论用哪种形式表示的测量结果, 它们的共同特征都是由数字和单位构成的。因此, 在记录测量结果时, 数字和单位都必须准确无误。

2. 有效数字与多余数字的取舍规则

有效数字是指绝对误差不大于末尾数字一半的数, 并且该数从左边第一个不为零的数字起, 到右边最后一个数字 (包括零) 止, 这些数字都叫有效数字。如 1 231, 1.231, 0.012 31, 1 200, 2 001, 1.231×10^6 等均为四位有效数字。可见位于数字中间和末尾的“0”都是有效数字, 而位于第一个非零数字前面的“0”, 都不是有效数字。

特别值得注意的是: 通常在小数点后的有效数字末尾添加“0”, 用于表示对测量结果的准确度的要求。如原始数字 12.30 表示, 测量结果准确到百分位。若写成 12.3, 表示测量结果准确到十分位, 这将增大测量结果的附加误差; 若写成 12.300, 则表示测量结果准确到千分位, 这样又夸大了测量结果的准确度。由于末位数是由下一位根据估计后取舍而得, 所以该位数字称为欠准数字。

最终测量结果都是用有效数字表示出来的, 它们又来自源于原始测量数据。对于原始测量数据中多余的有效数字, 应按以下规则进行取舍: 以保留数字的末位为准, 若末位的下一位的数字大于 5, 末位数字加 1; 小于 5, 末位数字不变; 恰好等于 5, 则末位数字为奇数时加 1, 末位数字为偶数时不变。该规则可简单地概括为“四舍五入, 等于五时取偶数”。

例如: 将下列数字保留到小数后两位: 12.343, 12.347, 12.335, 12.345。根据取舍规则, 结果为: 12.343→12.34; 12.347→12.35; 12.335→12.34; 12.345→12.34。

3. 有效数字的运算规则

当需要从一组位数不同的有效数字（测量数据）中综合出一个数据时，在通常情况下，要保留的有效数字的位数，原则上取决于各数中准确度最差的那一项，或者经过适当的运算得到。常用的运算规则有：

（1）加法运算应分三种情况处理：

①对于整数，可直接进行相加运算。

②对于小数，以小数点后位数最少的数为准，其余各数可多取一位，相加运算结果中的有效数字位数要以小数后位数最少的数为准。

③对于既有整数又有小数时，以整数为准，小数数据可保留一位小数，相加运算的结果取整数。

（2）减法运算 当两数相差较大时，处理方法与加法运算相同；当两数很接近时，有可能造成很大的相对误差，就尽可能避免导致相近两数相减的测量方法。

（3）乘除法运算 运算时以小数点后位数最少的数为准，其余参加运算的数字可多取一位，运算结果中有效数字位数要以小数后位数最少的数为准。

（4）乘方、开方运算 运算结果中有效数字位数比原数多保留一位小数。

（5）对数运算 取对数运算前后的有效数字位数一致。



模块二

常用电子仪器仪表介绍

* * * * *

项目一 模拟电子仪器仪表

在电子产品与设备的安装、调试、检测与维修过程中，仪器仪表是不可缺少的工具。其中，最常见的是模拟电子仪器仪表，它的种类主要有：直流电压表、直流电流表、指针式万用表、毫伏表、示波器、频率特性图示仪、直流稳压电源、低频信号发生器和高频信号发生器等。本节重点介绍它们的用途、操作规程和使用方法。

一、直流电压表与电流表

在电子电路的调试和故障检查过程中，往往需要对直流量进行测量，一般都要使用直流电压表和直流电流表。

1. 直流电压表

直流电压表用于测量直流电压，它有不同的量程和外形，常见的有方形、方圆形、矩形、矩圆形和导轨式等，如图 2-1 所示。使用时，将直流电压表与被测电路相并联，并使电压表的“+”极接高电位端，“-”极接低电位端。不同量程、不同级别的直流电压表有不同的内阻，内阻越高的电压表，测量结果越准确。

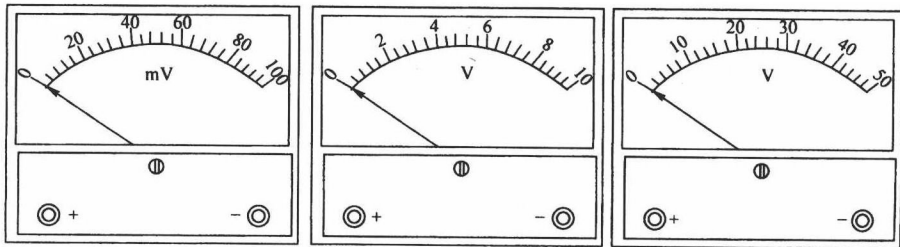


图 2-1 电压表头

直流电压表在使用过程中，要注意以下几点：

- 不能超量程使用，否则会烧坏表头；
- 要按放置要求（水平或垂直放置）摆放直流电压表，否则，将造成较大测量误差；
- 为了减小测量误差，通过选择合适的量程，使测量结果的指示值最好位于满刻度值的

2/3 以上区域；

• 视具体的测量对象，要选用合适的测量方法（即电压表前接还是后接），使测量结果更准确。

2. 直流电流表

直流电流表用于测量直流电流，它也有不同的量程和外形，常见的有方形、方圆形、矩形、矩圆形和导轨式等，如图 2-2 所示。使用时，将直流电流表串入被测电路，并使电流表的“+”极接高电位侧，“-”极接低电位侧。不同量程、不同级别的直流电流表有不同的内阻，它取决于内部表头灵敏度（即表头的满刻度电流值）的高低，内阻越低的电流表，测量结果越准确。

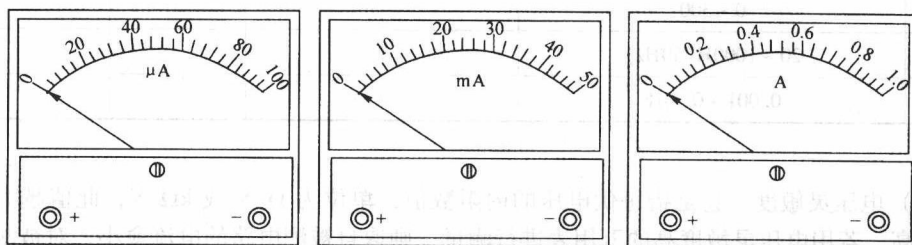


图 2-2 电流表头

直流电流表在使用过程中，也要注意以下三点：

- 不能超量程使用，否则会烧坏表头；
- 要按水平或垂直放置要求摆放直流电流表，否则，将造成较大的测量误差；
- 为了减小测量误差，通过选择合适的量程，使测量结果的指示值最好位于满刻度值的 2/3 以上区域。

二、指针式万用表

万用表是电子测量中最常用的仪表。它一般以测量电流、电压和电阻为主要目的，因此又叫三用表。有些万用表又增加了测量电容、电感、电平、晶体（三极）管直流电流放大系数等项目。由于它的用途多而被称之为万用表，在国家标准中称为复用表。

万用表按指示方式可分为模拟式和数字式两大类：模拟式万用表是以指针的形式指示测量结果，它由指示部分（用电磁系表头）、测量电路和转换装置三部分组成。现以 MF47 型万用表为例，介绍模拟式万用表的性能和使用方法。

1. MF47 型万用表的性能指标

MF47 型万用表的技术性能指标见表 2-1。万用表有两个重要指标：电压灵敏度和欧姆挡的中值电阻。

表 2-1 MF47 型万用表的技术性能指标

	测量范围	电压灵敏度	准确度等级	基本误差/%	基本误差表示法
直流电压	0V-0.25 V-1 V-10V-50V-250V-500V-1 000V	20 000Ω/V	2.5	±2.5	以量程的 百分数计算
	2 500V	20 000Ω/V	5	±5	
交流电压	0V-10V-50V-250V-500V-1 000V	40 000Ω/V	5	±5	
	2 500V	40 000Ω/V	5	±5	