

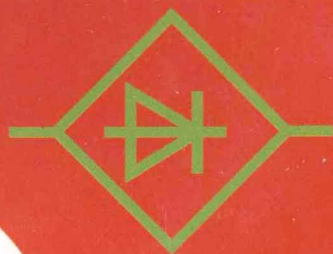
DIANZI ZHUANYE 全国中等职业技术学校电子类专业



QUANGUOZHONGDENGZHIYUEJISHUXUEXIAODIANZILEI

电子测量与仪器课 教学参考书

与《电子测量与仪器(第四版)》配套



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校电子类专业

电子测量与仪器课 教学参考书

与《电子测量与仪器（第四版）》配套

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子测量与仪器课教学参考书: 与《电子测量与仪器(第四版)》配套/人力资源和社会保障部教材办公室组织编写. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2009

全国中等职业技术学校电子类专业

ISBN 978-7-5045-8124-2

I. 电… II. 人… III. ①电子测量-专业学校-教学参考资料
②电子测量设备-专业学校-教学参考资料 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 229146 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京谊兴印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

850 毫米×1168 毫米 32 开本 7.125 印张 175 千字

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

定价: 17.00 元(本书附光盘)

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

目 录

第一章	电子测量的基础知识	(1)
第二章	用万用表测量基本电量	(16)
第三章	用毫伏表精确测量电压	(35)
第四章	用示波器进行时域测量	(52)
第五章	测量用信号源的使用	(74)
第六章	元器件参数测量仪器的使用	(89)
第七章	用数字式频率计测量频率和周期	(121)
第八章	用扫频仪测量网络的频率特性	(138)
第九章	智能仪器简介	(144)
第十章	电子测量技术的综合应用	(165)
附录	习题册参考答案	(177)

第一章 电子测量的基础知识

一、教学目标

1. 使学生掌握电子测量的重要意义，树立精准进行电子测量的课程学习观。了解电子测量的定义，掌握电子测量的内容，熟练掌握电子测量的基本方法，了解通用电子仪器的分类方法。
2. 理解测量误差的来源和分类，掌握误差的表示方法。
3. 会正确使用有效数字表示测量数据，掌握有效数字的处理方法。

二、学时分配

内容	理论学时	实操学时	总学时
§ 1—1 电子测量基础知识	2		2
§ 1—2 测量误差	2		2
§ 1—3 数据处理	1		1
本章小结和习题课	1		1
合计	6		6

三、教学重点、难点

1. 教学重点

- (1) 电子测量的内容与方法。
- (2) 误差的表示方法。

2. 教学难点

- (1) 误差的表示方法。

(2) 有效数字的处理方法。

四、教材分析

本章是全书的基础知识，教材通过展示曹冲称象的古老测量实例图片、现代科学技术研究前沿的肝细胞图片、远望号测量船图片和猎户座马头星云图片等说明了测量的重要性。是吸引学生注意力、引起重视和激发学生兴趣的亮点。本章的知识结构框图如图 1—1 所示。

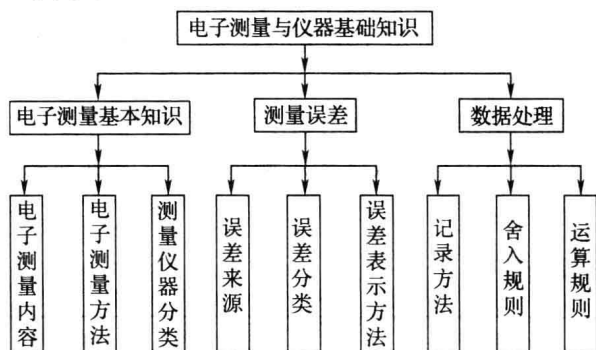


图 1—1 知识结构框图

1. 教材从引入测量和电子测量一般概念入手，根据学生的认知水平，简要说明了电子测量是以电子技术为依据，借助电子仪器设备，对电量和非电量进行测量的原理和方法。介绍了电子测量的内容，包括电能的测量、电路参数的测量、电子设备性能的测量、电信号特征的测量和特性曲线的测量。并阐述了电子测量的基本方法有直接测量、间接测量和比较测量三种。教材通过图片表明了电子仪器有专用仪器和通用仪器两种类别。其中通用仪器按功能分类又可分为电量测试仪、信号发生器、网络特性测试仪、电子元件参数测试仪和电波特性测试仪。电子仪器按显示方式分，有模拟式和数字式两种。

2. 在误差的基本知识中，介绍了误差的定义与表示方法，测

量误差分为系统误差、随机误差和粗大误差三类；测量误差的产生原因有仪器误差、理论误差、方法误差、人为误差和环境影响误差。

3. 测量数据的处理也是电子仪器与测量的基本内容之一，教材说明了有效数字的计量方法和运算规则。

五、教学经验汇集

在本章的教学过程中，应向学生着重强调测量误差和有效数字运用在测量知识体系中的重要性，要求学生掌握用相对误差表示测量结果准确度的方法并形成良好的技能素质。在测量数据读取方面，要特别注意培养学生对测量数据末位数的估值能力，反复强调用有效数字表示测量结果的重要意义。在学生学习测量的过程中，特别容易出现下列两种错误，希望任课教师引起重视：

1. 指针恰好指在分度值刻度线上，有效数字后面不写零。
2. 不能正确估出测量结果的末位数或随意性的估出两位不准确数字。例如，仪表最小分度值为 1，测量结果有时会出现 1.15 这样没有意义的数据，告诉学生这样的测量结果无形中提高了仪表的精确度。

教材上图 1—11 所示的测量根据量程的不同结果分别记录为 2.85 mA 和 28.5 mA。图 1—12 所示的测量结果记录为 80.0 V。都是三位有效数字。

【例 1】 用准确度等级为 5.0 级、量程为 500 V 的电压表，分别测量 50 V 和 500 V 的电压。求其相对误差各为多少？

解：先求出该表的最大绝对误差：

$$\Delta_m = \frac{\pm K_m}{100} = \frac{\pm 5.0 \times 500}{100} = \pm 25 \text{ V}$$

测量 50 V 电流时产生的相对误差为：

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_{01}} \times 100\% = \frac{\pm 25}{50} \% = \pm 50\%$$

测量 500 V 电流时产生的相对误差为：

$$\gamma_2 = \frac{\Delta_2}{A_{02}} = \frac{\pm 25}{500} \times 100\% = \pm 5\%$$

【例2】 用一块0.5级的电压表测量电压，当量程为10 V时，指针落在大于8.5 V附近区域，这时测量数据应取几位？

解：该表在10 V量程内的最大绝对误差为：

$$\Delta x_{\max} = x_M \cdot s\% = 10 \times 0.5\% \text{ V} = 0.05 \text{ V}$$

则测量值应为8.51、8.52或8.53等，即小数点后取两位。

六、教案示例

课题		§1—1 电子测量基础知识	学时	2
教学目标	知识目标	1. 了解电子测量的定义和意义 2. 掌握电子测量的内容和基本方法 3. 了解通用电子仪器的分类		
	技能目标	能区分常见电子仪器的类型		
	德育目标	培养学生爱国主义情操，激发他们的学习兴趣		
	情感目标	培养学生爱学习、善学习的意志品质		
	教学重点	电子测量的内容和基本方法		
	教学难点	电子测量的定义		
	教学方法	讲授、谈话、多媒体课件演示		
	教学用具	多媒体课件		
教学内容提要			备注	
新课引入（讲授、举例、课件演示）10 min 1. 讲晋冲称象的故事引入新课 2. 介绍古今中外测量科学取得的巨大成就 3. 启发学生举出自己知道的有关测量的事例 【教学建议】通过介绍古今中外测量科学取得的一些具体成就（卫星全球定位系统，航空、航天遥感遥测，利用电子显微镜对微观世界的感知，利用射电望远镜对宇宙深处的观测等），引起学生学习电子测量技术的兴趣 4. 利用多媒体课件形象地展示出科学测量的成果及意义			1. 培养学生爱国主义情操 2. 激发学生的学习兴趣 3. 让学生享受到学习的快乐，培养学生爱学习、善学习的意志品质	

续表

教学内容提要	备注
一、测量的定义（讲授、举例、提问）10 min 1. 狭义测量 （1）狭义测量的定义：狭义测量是指为了确定被测对象的量值而进行的实验过程 （2）直接比较和间接比较：直接比较—天平、间接比较—弹簧秤 2. 广义测量 （1）广义测量的定义：广义测量是指为了获得被测对象的信息而进行的实验过程 （2）应用实例：故障诊断、无损探伤、遥感遥测、矿藏勘探、卫星定位等	1. 使学生了解电子测量的定义和意义 2. 师生互动：教师讲解完测量、狭义测量、广义测量的定义后，启发学生举出各种测量的事例，组织大家展开讨论，然后归纳总结。以此活跃课堂气氛，激发学生的学习兴趣，突破教学难点
二、电子测量的内容（讲授、课件演示各类测量的实操图片、测量过程、信号波形等）25 min 1. 电能的测量 包括各种频率及波形下的电压、电流、功率、场强等的测量 2. 电路参数的测量 包括电阻、电感、电容、阻抗品质因数、电子器件参数的测量 3. 电子设备性能的测量 包括放大倍数、衰减、灵敏度、频率特性、通频带、噪声系数等的测量 4. 电信号特征的测量 包括信号、频率、周期、时间、相位、调幅度、调频指数、失真度、噪声以及数字信号的逻辑状态等的测量 5. 特性曲线的测量 包括幅频特性曲线、晶体管特性曲线等的测量和显示 【教学建议】按基本测量对象来分类的知识只作简介	本部分是本节课的重点讲述内容之一，配合板书和讲授，向学生逐层展示各类电子测量内容的电子课件或实物照片。教学设计力求图文并茂，提问、启发、讲授有机结合。激发学生的学习兴趣，突出本课的重点内容

续表

教学内容提要	备注
三、电子测量的基本方法（讲授、举例、提问、课件演示）25 min 按测量手段分有以下几种： 1. 直接测量 直接测量是指用已标定的仪器，直接地测出某一待测未知量的方法 2. 间接测量 间接测量是指对被测量或函数关系的其他量进行测量，再通过函数关系式运算来求得被测量值的方法 3. 比较测量 比较测量是指用实验的方法，将被测量（未知量）与已知的标准量进行比较，以得到被测量大小的过程 【教学建议】按测量性质分类的知识只作简介	本部分是本节课的重点讲述内容之一，利用讲授、板书、课件演示、谈话等教学手段理解和掌握教学内容，突出重点
四、电子仪器的分类（讲授、举例、课件演示）10 min 1. 通用电子仪器按其功能分类 电量测试仪、信号发生器、网络特性测试仪、电波特性测试仪等 2. 电子仪器按显示方式分类 模拟式和数字式	利用讲授、举例、课件演示等教学手段使学生了解通用电子仪器的分类知识，为后续教学内容做好铺垫
五、巩固新课，布置作业 10 min	利用板书的凝固信息巩固新课

七、资料补充

1. 电子测量仪器的发展概述

一般电子测量仪器的技术基础是微电子技术、数字信号处理技术（DSP）和计算机技术。它的演变与发展从总体上看沿两条

主线展开：一是从所采用的技术上看，经历了模拟仪器、数字化仪器、智能仪器的发展过程；二是从仪器的结构（可扩展性）和实现形式上看，经历了单台仪器、模块化仪器和虚拟仪器的发展过程。但无论它最终如何发展，任何一台仪器测量系统都包括下面 3 个功能模块：信号采集模块（包括传感器电路、信号变换调理电路）、信号分析与处理模块、结果表达与输出模块。

信号采集模块中，传感器是关键，它决定了仪器的应用范围，模拟数字转换器与信号变换调理电路共同决定了仪器的频带宽度和测量精度，当然模拟数字转换的作用更为关键。

信号处理部分的数字化、软件化是仪器发展的必然选择，也是虚拟仪器（VI）的发展基础。数字信号处理（DSP）技术的应用，大大拓展了仪器的功能，因为仪器功能的大小更多地取决于仪器的数字信号处理能力。另外高速模拟数字转换器（ADC）也是决定未来测试仪器，特别是电子测试仪器发展方向的重要因素，目前高速 ADC 的采集带宽已开始进入微波波段。

信号数字处理的实现途径主要有两种：一种是基于数字信号处理器（DSP）的形式，一种是基于微处理器（或单片机）的形式。具体是采用数字信号处理器（DSP）结构还是微处理器（MCU）结构要针对不同的测量对象而定。通常，DSP 主要针对运算复杂、实时性要求高，但程序不太大，任务相对单一の場合，如频谱分析仪、信号分析仪等。微处理器主要针对运算复杂，需要对测量数据进行复杂的分析和处理的場合，如逻辑分析仪、网络分析仪、生化分析仪等。

仪器在形式上不断翻新，从独立仪器和基于 PC 的卡式仪器到基于 VXI、CPCI、PXI 的模块化的虚拟仪器，层出不穷，但其关键技术都是相通的。

由于微电子技术、计算机技术、软件技术、网络技术的高度发展及其在电子测量技术与仪器上的应用，新的测试理论、新的测试方法、新的测试领域以及新的仪器结构不断出现，在许多方

面已经冲破了传统仪器的概念，使电子测量仪器的功能和作用发生了质的变化。在这种背景下，20 世纪 80 年代末美国成功研制出虚拟仪器。虚拟仪器的出现是仪器发展史上的一场革命，它代表着仪器发展的最新方向和潮流，是信息技术的一个重要领域，对科学技术的发展和工业生产将产生不可估量的影响。它把信号的分析与处理、结果的表达与输出都放到计算机上来完成，或在计算机上插上数据采集卡，把仪器的 3 个部分全部放到计算机上来实现。通过计算机软件在屏幕上生成仪器控制面板，并用软件来进行信号分析和处理，以完成多种多样的测试；通过计算机屏幕上的各种形式表达并输出检测结果。这种方式突破了传统仪器在数据处理、表达、传送、存储等方面的限制，取得了传统仪器无法比拟的效果。

2. 测量误差的估算和测量结果的评定

(1) 测量误差的估算

测量误差的大小是衡量测量结果准确度高低的的重要参数，也是评价测量结果的重要参考依据。因此在给出测量结果的同时给出误差范围是十分必要的。

1) 直接测量误差的估算

如果测量时所用仪器仪表的准确度是以量程的百分数表示的，那么测量误差可用以下公式求出：

$$\Delta_A = \pm \alpha A_m \%$$

$$\gamma_A = \pm \frac{A_m}{A_x} \alpha \%$$

式中 Δ_A 、 γ_A ——分别为测量值 A_x 的绝对误差和相对误差；

α 、 A_m ——分别为仪器仪表的准确度等级和量程。

如果测量时所用仪器仪表的基本误差或允许误差已知，则测量误差可用以下公式求出：

$$\Delta_A = \Delta$$

$$\gamma_A = \left(\frac{\Delta}{A_x} \right) \times 100\%$$

式中 Δ ——仪器仪表的基本误差或允许误差。

如果进行了多次测量，则还应考虑随机误差的影响。若多次测量的标准偏差的估计值为 σ ，则测量误差公式为：

$$\Delta_A = \pm (\sigma A_m \% + K_0)$$

$$\Delta_A = \pm (|\Delta| + K_0)$$

式中 K_0 ——置信因子。

2) 间接测量误差的估算

设测量结果 y 是 n 个独立变量 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 的函数，即 $y = f(A_1, A_2, \dots, A_n)$

假如各独立变量所产生的绝对误差分量为 Δ_{Fi} ，相对误差分量为 γ_{Fi} ，则由这些误差分量综合影响产生的函数总误差等于各误差分量的代数和，即：

$$\Delta_y = \sum \Delta_{Fi}$$

$$\gamma_y = \sum \gamma_{Fi}$$

式中 Δ_y, γ_y ——函数的绝对总误差和相对总误差；

$\Delta_{Fi} = C_{\Delta} \Delta_A$ ，其中 C_{Δ} 为绝对误差传递系数， Δ_A 为独立变量 A_i 的绝对误差；

$\gamma_{Fi} = C_{\gamma} \gamma_A$ ，其中 C_{γ} 为相对误差传递系数， γ_A 为独立变量 A_i 的相对误差。

(2) 测量结果的评定

测量结果是否满足要求可以采用正确度、精密度和准确度 3 种评定方法。

1) 正确度

在相同条件下，对某一定值作多次测量所得结果的数学期望（或均值）与被测量的真值之差，称为测量的正确度，用 ε 表示。

$$\varepsilon = \bar{x} - A_0$$

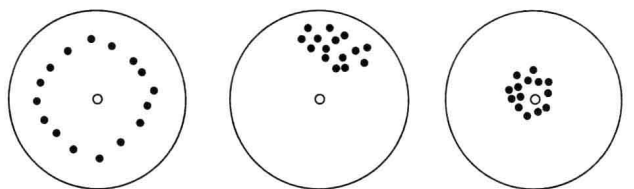
式中 A_0 ——被测量的真值；

$\bar{x}$ ——测量结果的数学期望或均值。

正确度表示测量结果中系统误差的大小程度。由于可以采用多次测量取平均值的方法消除随机误差的影响，因此系统误差越小，就有可能使测量结果越正确，所以正确度可用来表征系统误差的大小程度。系统误差越大，正确度越低；系统误差越小，正确度越高。

2) 精密度

在相同条件下，对某定值作多次测量，测量值分散的程度，称为精密度。精密度表示测量结果中随机误差的大小程度，简称精度。随机误差的大小可用测量值的标准偏差来衡量，标准偏差越小，测量值越集中，测量的精密度越高；反之，标准偏差越大，测量值越分散，测量的精密度越低。正确度、精密度的比较如图 1—2 所示。



正确度高、精密度低 正确度低、精密度高 正确度高、精密度高

图 1—2 测量结果评价图

3) 准确度

准确度表示正确度和精密度的综合程度，是测量结果系统误差与随机误差的综合，表示测量结果与真值的一致程度。在一定的测量条件下，总是力求测量结果尽量接近真值，也就是力求准确度高。

图 1—2 中的圆表示结果分布的最大范围，空心点的圆心表示测量值的真值，实心黑点为每次测量的测量值，多点表示为多

次测量。第一个图显示数据的平均值与真值相差不多，但数据分散，说明正确度高而精密度低；第二个图显示数据的平均值与真值相差较大，但数据集中，说明数据的精密度高而正确度低；第三个图显示数据平均值与真值相差较小，而且数据集中，说明测量结果的正确度、精密度都很高，即测量准确度高。

在测量过程中任何一次测量结果都可能含有系统误差和随机误差，因此仅使用正确度和精密度来衡量是不完全的，如上图所示测量结果精密度高的，不一定正确度高，同样，正确度高的，不一定精密度高，只有准确度才能对测量结果进行确切的评价。

3. 测量误差的消除方法

无论是由于电工仪表本身的误差和所用测量方法不完善引起的误差，还是其他因素（如外界环境的变化、操作者观测经验不足等）引起的误差，最终都会在测量结果上反映出来，即造成测量结果与被测量实际值存在差异，这种差异称为测量误差。可见，测量误差是由多种原因共同造成的。那么，测量误差分为几类？它们分别由哪些因素造成？如何消除呢？

根据产生测量误差的原因不同，测量误差可分为系统误差、偶然误差和粗大误差三大类。它们产生的原因及消除方法见表1—1。

表 1—1 测量误差的分类、产生的原因及消除方法

分类	产生的原因	消除方法
系统误差：指在相同条件下多次测量同一量时，误差的大小和符号均保持不变，而在条件改变时遵从一定规律变化的误差	测量仪表的误差：包括测量仪表本身不完善而造成的基本误差，以及由于仪表工作条件改变而造成的附加误差	重新配置合适的仪表或对测量仪表进行校正，尽量满足仪表要求的工作条件

续表

分类	产生的原因	消除方法
系统误差：指在相同条件下多次测量同一量时，误差的大小和符号均保持不变，而在条件改变时遵从一定规律变化的误差	测量方法的误差：由于所用的测量方法不完善而引起的误差。例如，利用间接法时采用了近似公式，且未考虑仪表内阻对测量结果的影响等	采用合适的测量方法
	仪表受外磁场的影响	采用正负误差补偿法：对同一量进行两次测量，使测量结果中的系统误差一次为正，一次为负，取其结果的平均值后，就能消除这种系统误差。例如，为消除外磁场对电流表读数的影响，可将电流表放置的位置调换180°后再测量一次，则在两种位置下测得结果的误差符号必然是一正一负，取其平均值后，就能消除这种由外磁场影响而引起的系统误差
	仪表本身不完善和外界因素影响造成的误差	采用替代法：用已知量代替被测量，并使仪表的工作状态保持不变。由已知量的数值便可求得被测量（两者相等）。这样，仪表本身的不完善和外界因素的影响对测量结果就不会发生作用从而消除了系统误差 已知仪表校正曲线的情况下可引入校正值：将相应的校正值引入到测量结果中，即把测量值加上相应的校正值，从而消除系统误差

续表

分类	产生的原因	消除方法
偶然误差：是一种大小和符号都不固定的误差，又称为“随机误差”	主要由外界环境的偶发性变化引起。例如外电场、磁场的突变，温度、湿度的突变，电源电压、频率的突变等，使得在重复测量同一量时，其结果不完全相同，从而产生偶然误差	实际中，一次测量结果的偶然误差没有规律，但多次测量中的偶然误差是服从统计学规律的。这种规律之一是：随着测量次数的增多，绝对值相等、符号相反的偶然误差出现的次数基本相等。因此，我们通常采用增加重复测量次数，取算术平均值的方法来消除偶然误差对测量结果的影响。实践证明，测量次数越多，其算术平均值就越接近于实际值
粗大误差：是一种严重歪曲测量结果的误差	主要由于操作者的粗心 and 疏忽造成，如测量中读数错误，记录错误，算错数据等。另外也包括由于操作者素质较差，不懂正确读数法而造成的误差	对含有疏失误差的测量结果应抛弃不用。消除粗大误差的根本方法是加强操作者的工作责任心，倡导认真负责的工作态度，同时要提高操作者的素质和技能水平

八、思考与练习选解

1. 下表为三次测量电压的数据，按要求填充下表。

单位 (A)	有效数字位数	单位 (mA)	算术平均值 (mA)
1.05	(3)	1.05×10^{-3}	(1.03×10^{-3})
1.005	(4)	1.005×10^{-3}	
1.048	(4)	1.048×10^{-3}	