

电子仪器与测量技术

主 编 刘 辉

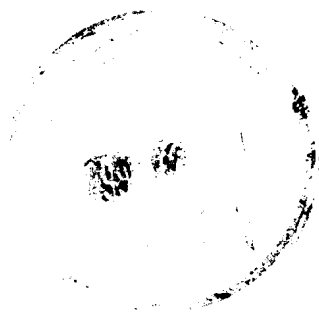
副主编 方林海 单承赣

中国科学技术大学出版社

电子仪器与测量技术

主编 刘 辉

副主编 方林海 单承赣



中国科学技术大学出版社

1992·合肥

9210127

(皖)新登字 08 号

电子仪器与测量技术

主编 刘 辉

副主编 方林海 单承赣

*

中国科学技术大学出版社出版

(安徽省合肥市金寨路 96 号 邮政编码: 230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

安徽省新华书店发行

*

开本: $787 \times 1092 / 16$ 印张: 25 字数: 562 千

1992 年 4 月第 1 版 1992 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 1—6000 册

ISBN7-312-00350-8 / TN · 10 定价: 12.00 元

前 言

本书由五所高等学校联合编写,作为高等学校工科电子类专业和相近专业电子仪器与测量技术课程的试用教材。

本教材以介绍通用电子仪器为主,侧重讲述整机工作原理和电路分析,并结合测量原理及测量方法,力求拓宽知识面,尽量满足相近专业的教学需要。全书教学参考时数为70学时。

本书内容安排是在介绍电子仪器与测量技术基础以后,则以仪器为单元,使读者建立整机概念,每一类仪器,先介绍一般原理、性能及要求,选用一种有代表性的仪器,讲述整机原理、电路分析和测量应用,以利读者了解仪器设计思想和方法,掌握理论结合实际应用,为进一步运用这些知识来解决开发应用中实际问题打下基础。书中主要讨论:电子电压表、示波器、信号发生器、半导体器件和元件测试仪、失真度仪、调制度仪、频谱分析仪、频率特性仪、数字频率计、数字电压表以及电子仪器故障分析技术。对于同类仪器品种较多者,则扩大仪器介绍范围。每章后附有思考题与习题。书后刊有部分国产电子仪器性能资料,供读者查阅与选用。为使读者阅读仪器原有技术说明书方便,书中电路图及符号均与原仪器相同。

本教材分别由安徽大学刘 辉副教授(绪论、第6、10章),戴祖福副教授(第7章),贺漫古(第1、2章);合肥电子工程学院方林海副教授(第3章);合肥工业大学夏忠余副教授(第4章),单承赣副教授(第11、12章);安徽师范大学危启正副教授(第5、8章);安徽工学院吴元 副教授(第9章)编写。

本书由刘 辉副教授任主编,方林海、单承赣副教授任副主编。由合肥电子工程学院魏志源教授任主审。

在编写过程中得到国内20多个厂家大力支持,为本书提供了技术资料。又得到安徽大学张华磊副教授对本书的编写工作给予热忱的帮助;在此,谨表谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,诚恳希望广大读者批评指正。

编 著 者

1991年7月于安徽合肥

目 录

绪论	(1)
第一章 电子仪器及测量技术基础	(5)
§ 1-1 电子测量仪器	(5)
§ 1-2 电子测量的内容和方法	(7)
§ 1-3 测量误差的基本概念	(9)
§ 1-4 电子仪器误差的表示方法	(13)
§ 1-5 误差理论和数据处理简介	(14)
思考题与习题	(29)
第二章 电子电压表	(30)
§ 2-1 电压测量的基本原理	(30)
§ 2-2 DA16-1 型晶体管毫伏表	(34)
§ 2-3 DA36 型超高频毫伏表	(37)
§ 2-4 DA30 型交流有效值电压表	(44)
§ 2-5 电压测量应用实例	(48)
思考题与习题	(51)
第三章 电子示波器	(53)
§ 3-1 概述	(53)
§ 3-2 示波器的基本组成及其主要技术特性	(60)
§ 3-3 XJ17 型示波器	(63)
§ 3-4 SR8 型双踪示波器	(76)
§ 3-5 其它示波器	(86)
§ 3-6 测量应用举例	(97)
思考题与习题	(100)
第四章 信号发生器	(102)
§ 4-1 概述	(102)
§ 4-2 低频信号发生器	(105)
§ 4-3 高频信号发生器	(114)
§ 4-4 脉冲信号发生器	(134)
§ 4-5 合成信号发生器简介	(151)
思考题与习题	(156)
第五章 半导体器件测试仪	(158)
§ 5-1 概述	(158)
§ 5-2 XJ4810 型图示仪电路工作原理	(161)
§ 5-3 测量应用举例	(170)
§ 5-4 QT-2 型图示仪	(173)

思考题与习题	(175)
第六章 失真度仪与调制度仪	(177)
§ 6-1 失真度仪概述	(177)
§ 6-2 S907 型自动失真度仪	(180)
§ 6-3 调制度仪概述	(183)
§ 6-4 BD5 型调制度测量仪	(185)
思考题与习题	(197)
第七章 频率特性测试仪	(198)
§ 7-1 概述	(198)
§ 7-2 BT3 型频率特性测试仪	(199)
§ 7-3 测量与应用	(214)
§ 7-4 BT3C 型频率特性测试仪	(217)
思考题与习题	(219)
第八章 频谱分析仪	(220)
§ 8-1 概述	(220)
§ 8-2 外差式扫频频谱分析仪的主要技术指标	(222)
§ 8-3 QF4021 型高频频谱分析仪	(224)
§ 8-4 测量与应用	(238)
思考题与习题	(243)
第九章 数字频率计	(244)
§ 9-1 概述	(244)
§ 9-2 数字频率计的基本原理	(245)
§ 9-3 E312A 型通用计数器	(267)
§ 9-4 其它类型计数器	(277)
思考题与习题	(289)
第十章 数字电压表	(290)
§ 10-1 概述	(290)
§ 10-2 逐次渐近比较式 DVM 基本原理	(295)
§ 10-3 双积分式 DVM 的工作原理	(297)
§ 10-4 $3\frac{1}{2}$ 位数字多用表	(307)
§ 10-5 $4\frac{1}{2}$ 位数字电压表的工作原理	(320)
思考题与习题	(328)
第十一章 元件参数测试仪	(329)
§ 11-1 元件参数的模拟测量仪器	(329)
§ 11-2 YY2810 型 LCR 数字电桥	(334)
思考题与习题	(353)
第十二章 电子仪器故障分析技术	(355)

§ 12-1 电子仪器的可靠性及维护	(355)
§ 12-2 检修电子仪器故障的步骤和基本方法	(356)
§ 12-3 仪器检验	(365)
§ 12-4 电子仪器故障分析实例	(369)
思考题与习题	(375)
附 录	(376)
国产电子仪器有关厂家部分产品的主要性能表	(376)
参考文献	(388)

绪 论

电子仪器与测量技术的作用和特点

电子测量是指利用电子科学技术为手段的一种测量技术,是具体运用电子科学原理和方法对各种电量(如电压、电流、阻抗等)、电信号和电路元器件等特性参数的测量,以及通过各种敏感元件和传感器将非电量(如力、热、声、光、化学、生物和医学等量)转换成电信号,再进行测量。实践证明,电子测量已经成为实现四个现代化必须的强有力的手段。

电子测量仪器(简称电子仪器)是依靠电子科学技术组成的,并为实现电子测量任务的仪器设备。近代的电子科学技术的发展,促进了电子仪器与测量技术的紧密结合,共同提高,它们反过来又推动了电子科学技术和国民经济各部门进入更高的发展阶段。现代的电子仪器与测量技术已经成为电子科学技术的一个重要分支。事实证明,一个国家的电子仪器和测量技术水平,是衡量一个国家文明程度、社会发展的一个重要标志。

电子仪器与测量技术具有以下主要特点:

1. 工作频率范围宽

在电子科学领域内,不同的被测量待测的工作频率范围是有所不同,总的看来待测量包括的频率范围是从直流(零频)到光频(300GHz)的各种电信号与电路的特性和参数。因此,要求电子仪器与测量技术相应的工作频率范围极宽。同一类被测量在不同的频段须用不同的测量原理和方法组成的电子仪器来测量,有的被测量,则要求一台仪器工作频率很宽。例如测量频率和频谱分析的仪器的频率复盖系数达到 3×10^9 量级以上。

2. 仪器量程广

一台电子仪器的测量数值范围和工作量程也是很宽广的。例如,数字电压表的量程可达11个数量级以上。

3. 测量的准确度高

国际上长期以来为了统一测量的精确度,都采用以实物基准来定义基本量值单位。但是,实物本身的缺点是量值随时间变化,其复现值的重复性不能满足贸易、工业、军事和科学技术的要求。根据第18届(1987年12月)国际计量大会(CGPM)及第77届(1988年10月)国际计量委员会(CIPM)的决议,自1990年1月1日起,国际上同时正式启用约瑟夫逊(Josophsen)效应(JE)和冯·克里青的量子化霍尔效应(QHE)为基础的电学计量新标准。即通过 $K_J = 2e/h$ 和 $R_K = h/e^2$ 的国际公认值(约瑟夫逊常数 $K_{J-90} = 483597.9\text{GHz/V}$ 及冯·克里青常数 $R_{K-90} = 25812.807\Omega$)复现电压单位和电阻单位。这样,使电学计量体系的基准从实物基准过渡到量子基准,从而可以利用这些量子标准来校准电子测量仪器,使电子仪器与测量技术的精确度达到接近理论值的水平。我国也是自1990年1月1日起*,采用上述国际新的电学单位,将原国家保存的电压和电阻单位量值分别增大 8.9×10^{-6} 和 1.53×10^{-6} ,并由此导致我国电流和电功率单位值量也分别增大 7.37×10^{-6} 和 16.27×10^{-6} 。

对于电子仪器来说它的灵敏度和分辨力都是很高的,例如 位数字式电压表的分辨力可达 $10 \times 10^{-9} \text{V}$, 频谱仪的灵敏度可达 -150dB 。

4. 响应时间短、测量速度快

电子仪器与电子测量的测量速度(或响应时间)是很快的。一般说测量的响应时间短,它的测量速度就快。其中模拟电路的响应速度比时序数字电路响应速度快,但模拟式的读数装置(电表指计)的响应速度又比数字式的读数装置(数字显示器)来得慢。另外响应时间与测速还和它所运用的测量原理有关。例如积分式电子仪器的响应时间还由测量所需的积分时间长短来决定^①。

电子仪器与测量技术的发展

随着电子科学技术的进步,在本世纪 20~40 年代相继出现电子元、器件的基础上,研制出第一台电子管电压表以来,电子仪器经历过电子管、晶体管、集成电路和微型计算机组合的智能仪器的四个主要发展阶段。进入 80 年代发展速度更为突出。下面就电子仪器与测量技术的当前现状和发展趋势的某些特点分别介绍如下。

1. 现状与特点

80 年代以来,由于数字技术、大规模集成电路(LSI)以及计算技术等科学技术的发展与应用,使电子仪器与测量技术发生了巨大的变化。对于不同的国家和地区发展的水平亦是不同的,在少数工业发达的国家已经基本实现模拟仪器到数字仪器的过渡,并正在推广应用自动测试系统、智能仪器和个人计算机仪器系统等新一代电子仪器和测量技术。多数国家和地区还在推广应用数字化仪器,模拟仪器也在继续使用。总的看来,现代的电子仪器和测量技术具有两个显著的特点和三种基本结构体系。

两个显著特点:一是电子仪器及测量技术和计算机相结合,应用计算机辅助测试(CAT 实现自动化,智能化的新发展;二是应用各类敏感元件和传感器的转换作用,将各种非电量变换为电量和电信号,使电子仪器和测量技术应用到科学技术和国民经济的各个领域。

新的电子仪器与测量技术三种基本结构是:

(1) 自动测试系统 为了满足多功能、灵活的自动测试需要,自 1978 年起国际上开始采用仪器标准接口总线(简称 IEC625、IEEE488--1978 或 GPIB)将计算机与若干台可编程的通用电子仪器互联,由计算机执行自动测试软件、实行程控测试、数据采集以及运算处理,并以多种形式给出所需测试结果。由于现代自动测试系统具有多功能多参数快速综合测试能力,故它特别适合于宇航器、核子工程、高精度计量测试和现代化大生产中。如 LSI 和 VLSI 等功能快速自动综合测试场合应用。

(2) 智能化电子仪器 自 1971 年起在电子仪器内部装有一个专用微型计算机系统。利用它的控制、存储以及运算处理等功能与仪器内部测试功能相结合,形成以微处理器系统为基础的智能电子仪器。它以微处理器为核心,按总线结构方式,将仪器面板上的按键/开

① * 参考:国家技术监督局计量司编《1990 年中国电压、电阻单位改值工作手册》。

关与显示器以及内部的测试功能模块均通过各自的接口并联于系统总线上。微处理器执行仪器的系统软件,实现程控测试、数据采集与运算处理,并以多种形式(时域或频域的、数字或模拟的、字符或图形的、软的或硬拷贝等)直接给出所需的测试结果。仪器利用程序逻辑模拟硬件逻辑,可软化硬件功能,简化硬件系统,增强仪器功能的可塑性。仪器还可以进行自检与自诊断本系统的故障。

(3) 个人计算机仪器系统 为了适应现代化大生产和科研的在线检测与动态检测的需要。1975 年出现第一台个人计算机(PC 机),1982 年出现以 APPlc-II 计算机为基础双通道的数字存储示波器。这种利用专用接口总线(PCIB)将个人计算机和一些仪器插件(即不带显示器及控制面板的仪器模块)连接起来,构成具有多种测试功能的自动测试系统,称为个人仪器(PC 仪器)。个人仪器具有两个主要特点,第一是充分利用个人计算机资源(处理、存储、显示、控制和各种软件资源)。第二是尽量用软件代替硬件实现各种仪器功能。例如用一种 A/D 卡,借助于计算机功能,在软件配合下,可以实现一种到数种仪器功能,如数字存储示波器、数字多用表、数据系统、数字频率计等。

上述的 PC 仪器,虽然比自动测试系统具有价格低、体积小、重量轻等突出优点,但它仍不能满足军用等方面的需求,因此国外于 1988 年提出 VXI 总线作为一种测试仪器系统新的统一总线标准。至此,VXI 卡式仪器就正式被公认为标准 PC 仪器。其主要优点是时钟快(高达 100MHz)存储数量大、有 32 位数据处理能力,数据传输速率大大超过 IEEE-488 总线系统,而且 VXI 卡式的价格也比 IEEE-488 总线的独立仪器低。随后又出现一种微波测量系统(MMS)标准,克服了 VXI 总线标准不适用于微波仪器的缺点,给组合高性能的微波自动测试设备(ATE)提供了基础。VXI 和 MMS 都是一种开放式的集中测量系统的体系结构,是当今自动测试系统发展的主方向。

2. 发展趋势

从总体上看电子测量与电子仪器是人类现代化生活、生产、科学研究、以及战争与和平诸方面获取信息与处理信息的重要技术手段和必须的技术设备。它将随着社会的发展、进步,物质文明建设愈来愈显示出重要作用。从当前情况看,今后 10 年左右,电子仪器与测试技术总发展趋势是向两个方面。一是向多功能、多参数、高速度、高精度、高可靠、宽频带和智能化方向发展,以满足现代化大生产、军事国防和现代科学技术等测试的需要,另一方面更大量的向实用化、小型化、数字化的通用或单一用途的廉价方向发展,以满足多方面普及应用。在某些发展方向上,可以看到以下发展趋势。

(1) 独立仪器不断更新 传统的独立仪器,在原有的优良性能基础上,在新器件、新材料、新工艺和新技术的支持下,向多功能、自动化、小型化、新的测试领域和高的性能/价格比方向发展完善,不断推陈出新。

(2) 新的器件及传感器的应用 随着新材料及微电子技术的发展,必将有力的推动新的器件向高层次发展。例如与微机有关的器件有 A/D、D/A、RAM、ROM,高温超导器件、硅集成传感器等会有新的突破性进展,将使新一代电子仪器由微机化向更高性能的方向发展。

(3) 个人仪器的新发展 随着高速的 A/D 和 D/A 转换器及微机发展应用,未来的个人仪器系统可能简化为三种类型的卡式仪器,即数据采集卡、任意波形产生卡和阵列开关网络卡。它们借助于软件技术,增强计算机的思维推理能力和模式识别功能,生产各种所需的

仪器，以适应不同的测量任务的需要。

(4) 微机化仪器向真正智能化发展 自 70 年代起开始将微处理器或微型计算机用于电子仪器，都习惯上笼统称为“智能仪器”。这实际上只能表明一种机器智能，确切的称呼是微机化仪器。真正的智能仪器是指类似人脑思维能力的一些特征。例如具有接受信息、学习、解决问题与创造等能力。

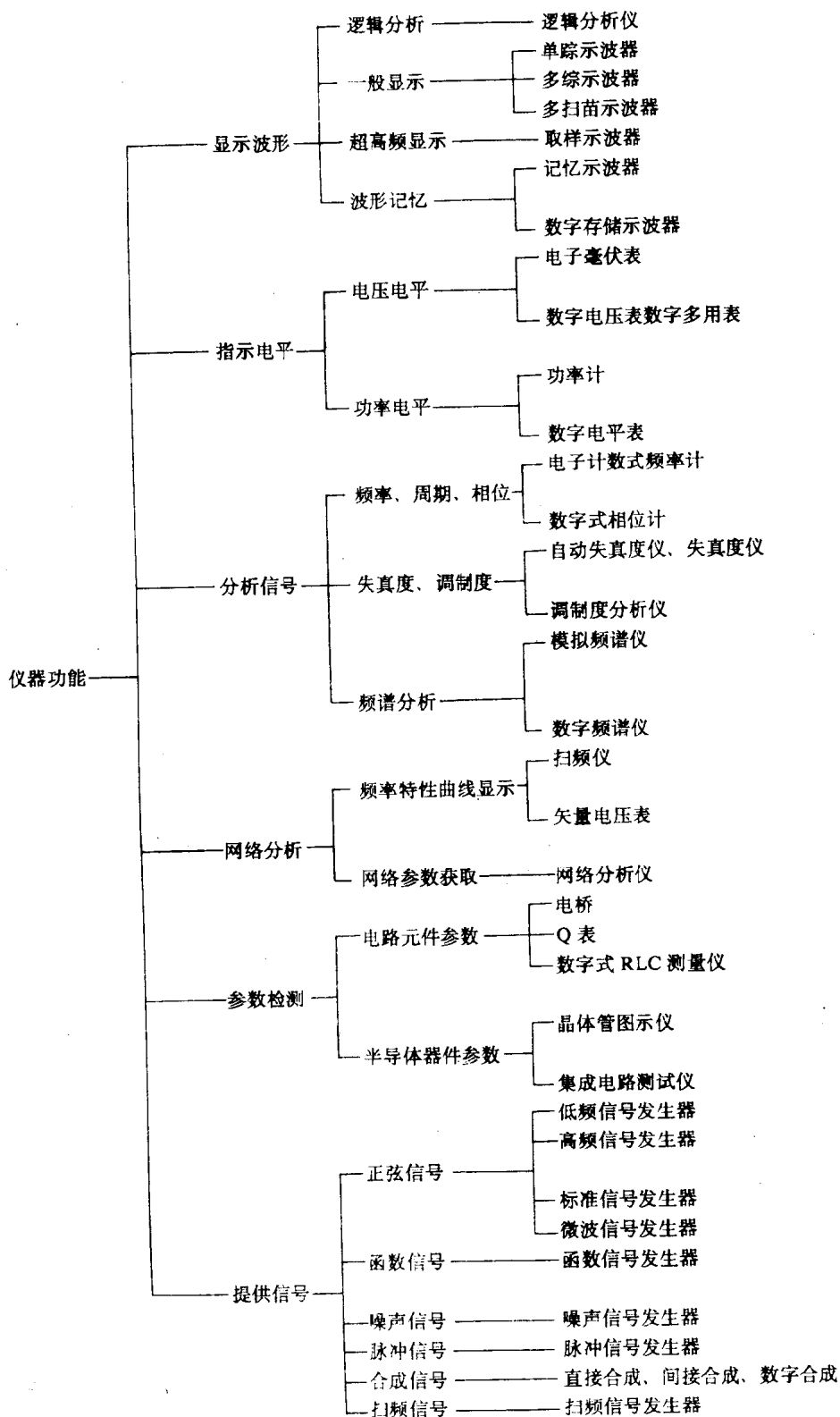


图 1-1-1 通用电子仪器按功能分类图

本书仅以主机型号的命名方法为例加以解释。详细的命名方法，读者可以查阅原电子工业部于 1982 年颁发的《电子测量仪器型号命名方法》(SJ2089-82)。

§ 1-2 电子测量的内容和方法

1-2-1 电子测量内容

测量的定义是，为确定被测对象的数值和计量单位而进行的实验过程。所以测量的内容几乎包罗万象。我们所讲的电子测量是指以电子技术理论为依据，以电子测量仪器和设备为手段，以电量和非电量（通过传感器转变为电量）为测量对象的测量过程。

电子测量的内容包括：

- ① 电磁能量的测量（电压、电流、功率、电场强度、磁场强度以及功率通量密度等）。
- ② 信号特性的测量（频率、周期、相位、波形、逻辑状态等。）。
- ③ 网络特性的测量（频率特性、传输系数、反射系数、电压驻波比以及各种网络参数）。
- ④ 电路元器件参数的测量（电阻、电容、电感、Q 值、晶体管电流放大倍数、晶体管穿透电流等）。
- ⑤ 电子设备性能的测量（灵敏度、信噪比、选择性、工作频率、响应时间等）。
- ⑥ 各种非电量通过传感器转化为电量后的测量（温度、位移、压力、速度、重量等。）。

电子测量的内容除了对电参数进行稳态测量以外，还包括对过渡过程的动态测量。

电子测量的内容尽管十分繁杂，但整个测量过程可以大致分为二种情况。一种是对主动量（表征电信号各种特性参数的量）的测量。

一种是对被动量（表征各种电子元器件及各种网络电特性的量）的测量。图 1-2-1 表

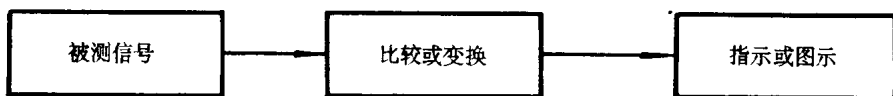


图 1-2-1 主动量的测量过程

明了主动量的测量过程。图 1-2-2 表明了被动量的测量过程。

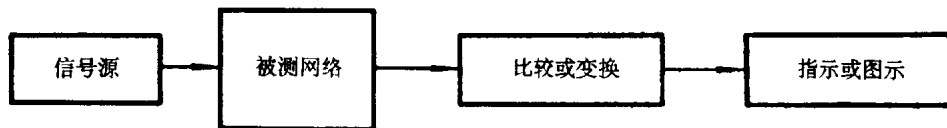


图 1-2-2 被动量的测量过程

由图 1-2-1 和图 1-2-2 中可以看出主动量的测量不需要外加信号，而被动量的测量必须外加信号源。另外我们也可以看出电子测量中要用到各种变换技术。例如：变频、分频、检波、斩波以及电压频率、电压时间、数模、模数变换等，这些将在后续内容中讨论。

1-2-2 测量方法

一个物理量的测量，可以通过不同的方法来实现。

1.测量方法的分类 (1) 直接测量与间接测量：直接测量是指直接得到被测量值的测量方法。例如用电子电压表测量某放大器的输出电压。

间接测量是指利用直接测量得到的量与被测的量之间已知的函数关系，得到该被测量值的测量方法。例如测量某电阻上消耗的功率，可以通过直接测量电压或电流然后通过计算得到。

组合测量是兼用直接测量与间接测量的方法，将被测量和另外几个量组成联立方程，从而得到被测量的大小。在较复杂的测量过程中，经常要用到组合测量的方法，列出较多的方程。在计算机时代，利用计算机来求解，是很方便的。

(2) 直读测量法与比较测量法：直读测量法是指直接从仪器仪表刻度线上读出测量结果的方法。但是直读测量并不一定就是直接测量。例如用电压表、电流表测量功率，是直读法，属于间接测量。

比较测量法是指在测量过程，被测量与标准直接进行比较而获得测量结果的方法。比较测量也并不一定就是间接测量。例如用电桥测电阻属于直接测量，但采用的是比较测量法。

可见，直读法与直接测量，比较法与间接测量并不相同，两者互为交叉。

(3) 精密测量与工程测量：精密测量是指在计量室或实验室进行，是深入研究测量误差问题的测量。

工程测量是指对测量误差的研究不很严格的一般性测量，往往是一次测量获得结果，但工程测量所选用的仪器仪表的准确度等级必须满足实际使用的需要。

测量方法还可以根据测量方式分为自动测量和非自动测量，本地测量和远地测量等。

2.选择测量方法的原则

在选择测量方法时应该注意以下几点

(1) 被测量本身的特点：按照被测量性质可以分为时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量四种。对于不同的被测量显然要采用不同的电子仪器和不同的测量方法。

(2) 测量所需要的精确度：如果属于工程测量除了注意仪器仪表的准确度等级外，还要选择测量误差尽可能小的测量技术。如果属于精密测量，就要严格按照误差理论的要求进行数据处理。

(3) 注意测量环境及所具有的测量设备的技术情况：我们进行某一测量工作时，必须首先综合考虑到以上三方面情况，才会选择正确的测量技术和电子仪器，方可得到精确的测量结果。否则就会出现：

① 得出的测量数据是错误的 例如用低内阻电压表测高内阻的等效电压源两端电压，将造成不能容许的测量误差。

② 损坏元器件或被测设备 例如用万用电表的 $R \times 1$ 挡测试晶体管发射结电阻，将烧坏晶体三极管。

③ 损坏测量仪器、仪表 例如用电子电压表的低量程去测量高电压将烧毁表头。

综上所述，电子仪器的发展与电子测量内容的不断增加，大大推动了其它科学技术的前进。而半导体技术、计算机技术、近代物理学等其它科学技术领域又为电子测量的发展提供了新理论、新材料、新器件、新技术。这种相辅相成，互相促进的局面表明，对于理工科大学生掌握电子仪器和电子测量技术方面的知识是十分必要的。

§ 1-3 测量误差的基本概念

一个被测量，其本身所具有的真实大小，称为该被测量的真值。被测量的真值是一种客观存在。然而在实际测量过程中，由于人们认识的局限性，测量手段不完善，测量工具不准确等因素的影响，真值是得不到的。一般地说，我们认为保存在国际（国家）的基准，按定义规定在特定条件下的值是真值。

任何测量仪器的测得值都不可能完全准确地等于被测量的真值。这个差异就称为测量误差。

1-3-1 误差的来源

1. 仪器误差

仪器（仪表）本身所引入的误差称为仪器误差。这是测量误差的主要来源之一。指针式仪器（仪表）的零点漂移、刻度误差以及非线性引起误差；数字式仪表的量化误差；比较式仪器中标准量本身的误差均属此类。

2. 方法误差

由于测量方法不合理造成的误差称为方法误差。例如用普通万用表测量高内阻回路的电压，这是不允许，但如由于认识不清采用了这种测量方法，那么由于万用表的输入电阻较低而引起的误差就属于此类。

3. 理论误差

测量方法建立在近似公式或不完整的理论上以及用近似值计算测量结果时所引起的误差称为理论误差。

4. 影响误差

由于各种环境因素与要求条件不一致所造成的误差称为影响误差。这也是产生测量误差的主要原因之一。例如环境温度、预热时间、电源电压等与要求不一致产生的误差属于此类。

5. 人身误差

由于测量者的分辨能力、疲劳程度、固有习惯或责任心不强引起的误差称为人身误差。例如对最后一位的估计能力、念错读数或习惯斜视等引起的误差均属于此类。

在测量工作中，认真分析误差的来源，采取相应的措施，往往可以得到事半功倍的效果。

1-3-2 测量误差的表示方法

1. 绝对误差

(1) 定义：由测量所得到的被测量的值 x 与其真值 A_0 的差，称为绝对误差。

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1-1)$$

当 $x > A_0$ 时，绝对误差 Δx 是正值，反之为负值。所以 Δx 是具有大小、正负和量纲的数值。

在实际测量中，人们一般用高一级或高出数级的标准仪器或计量器具所测得的数值代替真值。我们把满足规定准确度的用来代替真值使用的量值称为实际值 A ，这时的绝对误差写成

$$\Delta x = x - A \quad (1-2)$$

这是通常使用的表达式。

(2) 修正值: 与绝对误差的绝对值大小相等, 但符号相反的量值称为修正值, 一般用 C 表示

$$C = -\Delta x = A - x \quad (1-3)$$

在测量时, 利用测得值与已知的修正值相加, 就可以算出被测量的实际值。

$$A = x + C \quad (1-4)$$

测量仪器应当定期送计量部门进行检定, 其目的之一就是获得准确的修正值, 以保证量值传递的准确性。同时, 使用修正值应在仪器的检定有效期内, 否则要重新检定。

必须指出, 修正值本身也有误差, 修正后的数据只是比较接近实际值而已。

2. 相对误差

绝对误差虽然可以说明测得值偏离实际值的程度, 但不能说明测量的准确程度。为了表征这一特点, 应当采用相对误差。

(1) 相对真误差 (相对误差): 我们平常讲的相对误差又叫相对真误差, 它是绝对误差与真值的比值, 通常用百分数表示。若用 γ_0 表示相对误差, 则

$$\gamma_0 = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

因为一般情况下得不到真值, 所以一般用绝对误差与实际值之比来表示相对误差。如需要与相对真误差区别时称它为实际相对误差。若用 γ_A 表示实际相对误差, 则

$$\gamma_A = \frac{x - A}{A} \times 100\% \quad (1-6)$$

在要求不太严格, 误差较小的场合, 往往用仪器的测得值代替实际值, 这时的相对误差称为示值相对误差, 用 γ_x 表示。

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中的 Δx 由所用仪器的准确度等级定出, x 为示值由于 x 本身是一个误差量, 所以 γ_x 只适用于一般工程测量。

相对误差是一个只有大小和符号而没有量纲的数值, 用来表示测量的准确度。

(2) 满度相对误差 (引用相对误差): 在连续刻度的仪表中, 用示值相对误差来表示整个量程内仪表的准确度, 往往感到不便。因为使用这种仪表时, 在某一量程内, 被测量有不同的数值, 若用式 (1-7) 来计算相对误差, 随着被测量的不同, 式中的分母也在变化, 求得的相对误差也将随着改变。因此, 为了计算和划分电表准确度等级的方便, 将式 (1-7) 中的分母改为电表量程满刻度值, 这就是满度相对误差的概念, 即

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1-8)$$

满度相对误差又称引用相对误差。

常用电工仪表分为 ± 0.1 、 ± 0.2 、 ± 0.5 、 ± 1.0 、 ± 1.5 、 ± 2.5 、 ± 5.0 、七个等级。分别表示它们的满度相对误差所不超过的百分比。仪器仪表的准确度等级一般用 S 表示

$$\pm S\% = \frac{\Delta x_{\max}}{x_m} \quad (1-9)$$