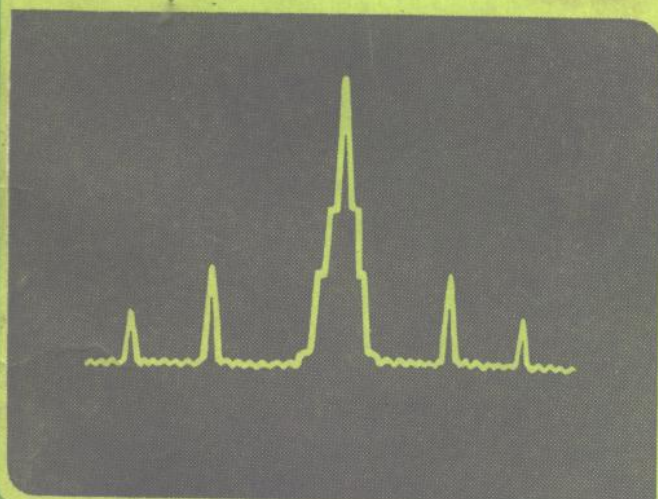


电子测量技术

Dianzi Celiang Jishu

〔美〕坎特罗威茨/考索劳/朱克 著

袁健畴 尚鸿祚 译 崔庆宽 校



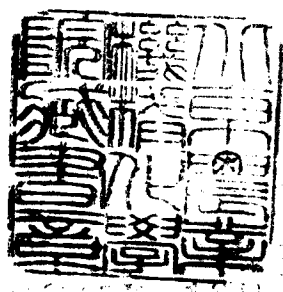
计 量 出 版 社

电子测量技术

〔美〕 Kantrowitz/Kousourou/Zucker 著

袁健畴 尚鸿祚 译

崔庆宽 校



计量出版社

1984 · 北京

内 容 提 要

本书是电子测量方面的中级教程,它系统地介绍了现代电子测量的工作原理、方法和设备。全书共分十三章,主要内容有:测量标准、各种参数和电量的测量,各种元器件特别是半导体器件、集成电路的测量,高保真度电声设备测量,录音机测量,换能器测量等。每章均有小结和复习题,便于读者掌握和深入领会。

本书可供计量测试人员、科学技术工作者和具有中等以上文化程度的工人参考,也可作为中专和高等院校非仪器制造专业的教学参考书。

原书名: ELECTRONIC
MEASUREMENTS

原出版社: Prentice-Hall, Inc.

原作者: Kantrowitz/Kousourou/Zucker

1979

电 子 测 量 技 术

〔美〕坎特罗威茨/考索劳/朱克 著

袁健畴 尚鸿祚 译

崔庆宽 校

责任编辑 王朋植

✱

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

✱

开本 787×1092 1/16 印张 15

字数 360 千字 印数 1—18 000

1984年2月第一版 1984年2月第一次印刷

统一书号 15210·293

定价 2.00 元

序 言

本书是给学习期限为一学期的测量仪表课程编写的基础课本，适用于专科学校或电工技术学士水平的应用科学班的教学大纲。本书可由教师决定扩充为两学期的教学内容。专科学校的代数和三角是理解本书内容所需要的最低限度的数学知识。

编写本书的主要目的在于教授学生以电工和电子测量知识，并向学生介绍一些额外的、启示性的和重要的测量技术。每章内容包括工作原理和一些基本理论的讨论，以及在某些情况下对一些特殊测量仪表的叙述。每章的复习题将有助于学生理解测量仪表问题。

本书不同于一般的测量仪表书，其重点在于测量方法而不是测量仪表。如果仪表是独特的或具有特殊性能，那么再加以详述。

本书内容首先包括限制性的因素，诸如灵敏度、再现性、准确度百分数误差、响应、量程等等。本书还包括电子领域各个方面的最新测量技术（即仪表测量、晶体管器件、数字仪表、高保真度音频系统及其测试、记录器和记录装置、换能器系统、信号发生及其应用与测量、射频系统及其测试等等）。通过对上述问题的讨论，学生便可了解电子测量技术，从而能有效而正确地运用它。本书也适合于学习高等电子学课程的学生阅读。

目 录

序 言

第一章	测量参数	(1)
1.1	引言.....	(1)
1.2	测量过程.....	(1)
1.3	基本单位.....	(1)
1.4	单位制.....	(2)
1.5	导出单位.....	(2)
1.6	单位的倍数和分数.....	(3)
1.7	单位换算.....	(3)
1.8	标准.....	(4)
1.9	误差.....	(4)
1.10	准确度.....	(5)
1.11	精密度.....	(5)
1.12	量程.....	(5)
1.13	量距.....	(6)
1.14	灵敏度.....	(6)
1.15	负载效应.....	(6)
1.16	小结.....	(6)
	复习题	(6)

第二章	直流电流、电压和电阻的测量	(8)
2.1	引言.....	(8)
2.2	检流计.....	(8)
2.3	直流安培计.....	(11)
2.4	直流伏特计.....	(13)
2.5	欧姆表和电阻测量.....	(16)
2.6	电流表-电压表法.....	(17)
2.7	串联欧姆表.....	(17)
2.8	并联欧姆表.....	(18)
2.9	分压式欧姆表.....	(19)
2.10	兆欧表.....	(19)
2.11	惠斯登电桥法.....	(21)
2.12	开尔文电桥法.....	(23)
2.13	万用表(伏欧表).....	(24)
2.14	电子万用表.....	(25)

2.15	模拟万用表	(26)
2.16	数字万用表	(27)
2.17	小结	(30)
	复 习 题	(30)
第三章	交流电流测量	(31)
3.1	引言	(31)
3.2	正弦波	(31)
3.3	频率响应	(33)
3.4	仪表和测量	(33)
3.5	电动式仪表动作机构	(34)
3.6	铁叶片式仪表动作机构	(34)
3.7	测量用交流整流	(35)
3.8	整流式仪表	(36)
3.9	直接均方根值响应仪表	(37)
3.10	峰值响应伏特计	(39)
3.11	交流仪表的技术特性	(41)
3.12	交流电流的测量	(41)
3.13	小结	(42)
	复 习 题	(43)
第四章	功率测量	(44)
4.1	功率定义	(44)
4.2	交流功率的三种形式	(45)
4.3	功率因数的校正	(46)
4.4	电动式功率表	(47)
4.5	补偿式功率表	(47)
4.6	三相电路功率的测量	(48)
4.7	三功率表法	(49)
4.8	二功率表法	(50)
4.9	功率表的技术特性	(51)
4.10	无功功率的测量	(51)
4.11	功率因数表	(52)
4.12	电度表	(53)
4.13	较高频率功率的测量	(55)
4.14	量热式功率表	(55)
4.15	测热计	(57)
4.16	小结	(58)
	复 习 题	(59)
第五章	示波器测量	(60)
5.1	引言	(60)

5.2	示波器的基本工作原理	(60)
5.3	示波器的简化框图	(62)
5.4	垂直放大衰减器	(62)
5.5	扫描同步电路	(63)
5.6	扫描发生器-水平放大器	(64)
5.7	双迹示波器的特性	(65)
5.8	扫描放大特性	(67)
5.9	延迟扫描特性	(67)
5.10	取样示波器	(69)
5.11	示波器探头	(69)
5.12	垂直放大器校准和衰减器补偿	(70)
5.13	电压测量	(71)
5.14	频率测量	(72)
5.15	相位测量	(74)
5.16	电流测量	(76)
5.17	功率测量	(76)
5.18	矩形波测试法	(76)
5.19	脉冲测量	(79)
5.20	接收机的调整	(81)
5.21	小结	(81)
	复 习 题	(81)
第六章	分立元件测量	(83)
6.1	引言	(83)
6.2	阻抗概念	(83)
6.3	电阻测量(低频)	(86)
6.4	利用电流表-电压表-功率表法测量交流阻抗(工频功率)	(88)
6.5	低频交流电容的测量	(88)
6.6	电感电桥测量	(91)
6.7	阻抗电桥	(92)
6.8	利用 Q 表测量高频元件	(93)
6.9	小结	(96)
	复 习 题	(100)
第七章	基本半导体器件测量	(102)
7.1	引言	(102)
7.2	二极管(整流管)测量	(102)
7.3	齐纳二极管测量	(106)
7.4	可控硅整流器测量——工作原理	(107)
7.5	晶体管测量	(109)
7.6	场效应管	(114)

7.7	半导体器件的测试仪器	(119)
7.8	小结	(119)
	复习题	(120)
第八章	集成电路测量	(122)
8.1	引言	(122)
8.2	运算放大器——工作原理	(122)
8.3	运算放大器的特性及测量	(125)
8.4	数字集成电路	(136)
8.5	晶体管-晶体管逻辑(TTL)集成电路	(136)
8.6	晶体管-晶体管逻辑电路SN54/74“与非”门特性的测量	(139)
8.7	小结	(144)
	复习题	(145)
第九章	高保真度音频系统和测试	(146)
9.1	引言	(146)
9.2	高保真度系统——概述	(146)
9.3	失真概念和测量	(146)
9.4	频谱分析仪	(157)
9.5	其它音频测量仪器	(163)
9.6	音频电子设备的额定值	(163)
9.7	小结	(164)
	复习题	(164)
第十章	记录器和记录系统	(166)
10.1	图形记录器——概述	(166)
10.2	记录系统的测量	(175)
10.3	小结	(180)
	复习题	(181)
第十一章	换能器系统	(182)
11.1	引言	(182)
11.2	换能器原理和测量	(183)
11.3	声测量	(195)
11.4	声换能器	(196)
11.5	微型(陶瓷)驻极体传声器	(196)
11.6	振动换能器	(196)
11.7	机械阻抗测量	(197)
11.8	高频扬声器换能器	(197)
11.9	非接触探测设备	(197)
11.10	小结	(198)
	复习题	(199)
第十二章	信号发生器的应用和测量	(200)

12.1	引言	(200)
12.2	函数发生器——概述	(200)
12.3	振荡器	(200)
12.4	脉冲和矩形波发生器	(203)
12.5	电子计数器基本原理	(209)
12.6	小结	(214)
	复 习 题	(214)
第十三章	射频和微波频率系统	(215)
13.1	引言	(215)
13.2	射频频谱分析仪	(215)
13.3	调制度测量	(216)
13.4	三阶互调失真	(220)
13.5	无线电接收机的图示调整信号发生器	(220)
13.6	微波测量	(223)
13.7	小结	(226)
	复 习 题	(228)
	以 1 毫瓦为零电平的分贝与电压的换算表	(229)

第一章 测量参数

1.1 引言

科学方法的关键是精确测量、选择分析方法和建立数学公式。其中最重要的是精确测量。测量是一种把物理参数变换成具有意义的数字的过程。关于测量的重要性，著名物理学家开尔文曾生动地描述如下：“我常说，你能测量你所谈论的事物，并能用数字表示它时，那你就能多少知道些你所谈论的事物了；如果你不能用数字表示它，那你的知识还是贫乏的，而且不能令人满意”。

测量科学主要有三个方面：

1. 建立测量的单位制；
2. 仪器和测量方法的设计、研究与应用；
3. 数据的解释和分析，以便导出具有意义的信息。

今天我们所知道的测量方式和概念，是自有人类历史以来，人类的生产和生活方式经过不断的改变以后所得到的最大成果。原始社会的人类过着游牧式的生活。因为尚未实行土地耕种，所以要打猎和饲养动物，人们要经常去寻找猎物和牧场。随着农业的发展，人类开始定居并以部落为单位群居在一起。新的生活方式产生了新的需求。帐篷已不能满足居住的要求，而要建筑较为永久性的住处。随着人类各种技能的进步和新的生活方式产生的要求，人类开始需要较为精确的测量方法。

1.2 测量过程

测量过程是把所考虑的对象或系统的性质与公认的标准单位（对该特定性质规定的标准）进行比较的过程。测出被测量相当于单位标准的若干倍，即为其数值量。如果后面没有通用的单位，数值量本身是没有意义的，因为单位确定被测量的特性或性质。

1.3 基本单位

为了测量一个未知量，我们必须有一个确定其性质用的公认的单位标准。实际生活中存在着数以百计需要测量的不同的量，因此，似乎也需要数百个不同的标准单位。幸而并不需要这样，选择几个基本量作为标准，根据这几个标准，我们就可以确定所有其它的量。选择的四个基本量是长度、质量、时间和电流。当然，长度和时间是大家所熟知的，而质量和电流不是直观的量，需要作一些说明。质量的粗略定义就是物体中所包含的物质的量。静止的或运动速度小于光速的物体的质量，在宇宙的任何地方都是一个常数。电流定义为在导体中的电子流。电流将在以后各章中详细讨论。指导选择物理量基本单位的规则有以下两条：

1. 基本单位必须根据用现有仪器以最高精确度测得的量来确定。

2. 基本单位必须能在有良好设备的实验室内, 利用通常可以找到的材料和仪器再现出来。

1.4 单 位 制

若基本量一旦被确定和公认, 则它们就可被命名, 从而便产生了单位制。经过多年的工作, 已经提出和使用了许多种单位制。我们在本书中采用现有两个主要的单位制, 即国际单位制 (SI) 和英制。这两种单位制都以长度、质量、时间和电流四个量作为基本量。表 1.1 示出这两种单位制中的单位名称。表中所列各单位的定义不断地修改更新, 以便满足日益完善的测量方法。

表 1.1

	国 际 单 位 制	英 制
长 度	米 (m)	英尺 (ft)
质 量	千克 (kg)	斯勒格
时 间	秒 (s)	秒 (s)
电 流	安培 (A)	安培 (A)

国 际 单 位 制

米: 米定义为在一根铂铱合金棒上两条细标线间的距离。该合金棒保存在法国塞夫勒国际计量局, 精确的复制品保存在华盛顿美国国家标准局。近年来米定义为氪-86橙红色谱线的 1650 763.73 个波长 (真空中)。

千克: 千克的标准是一个铂-铱合金制成的圆柱体, 它保存在法国塞夫勒国际计量局, 在华盛顿美国国家标准局保存着一个复制品。

秒: 秒最初定义为平均太阳日的 $1/86\,400$, 平均太阳日是全年的两个连续正午时间间隔的平均值。现在定义为铯的特殊辐射的 9 192 631 770 个周期。

英 制

英尺: 英尺现在按照米来定义, 但最初英尺为标准码的 $1/3$ 。因为目前已知米有较高的精度, 所以把英尺定义为标准米的 $1\,200/3\,937$ 。

斯勒格: 斯勒格定义为 14.59 千克。

秒: 同国际单位制的定义相同。

注: 迄今在两种单位制中所定义的单位都是机械的, 电流的单位在这两种单位制中相同, 其定义如下:

安培: 安培是流过两根相距 1 米的平行长导体之一的电流量, 两个导体之间产生的力等于 2×10^{-7} 牛顿/米 (N/m)。

1.5 导 出 单 位

单位制确定以后, 根据这些基本单位可以导出其它需要的单位, 例如, 长度单位乘以长

度单位 (米×米=米²) 得到面积单位, 长度单位的立方 (米×米×米=米³) 就得到体积单位。速度单位是长度单位除以时间单位得到的 (米/秒=速度)。对基本单位进行乘或除所形成的这些新单位, 称为导出单位。任何导出单位无论怎样复杂, 都可以追溯到基本单位。

表 1.2 示出一些最普通的机械量和电量导出单位的定义和单位名称。显然, 这些单位好象是作为代数变量来处理的, 即 $m \times m = m^2$ 和 $m^3/s \cdot m = m^2/s$ 。

表 1.2

量	单位名称	定 义	量 纲 分 析	量	单位名称	定 义	量 纲 分 析
面积	平方米	米×米	米 ²	电 压	伏	焦耳/库伦	(千克×米 ²)/(秒 ² ×安培 ²)
加速度	米/秒 ²		米/秒 ²	电 阻	欧 姆	伏特/安培	(千克×米 ²)/(秒 ³ ×安培 ²)
力	牛顿	质量×加速度	(千克×米)/秒 ²	电 容	法 拉	库伦/伏特	(安培 ² ×秒 ⁴)/(千克×米 ²)
功	焦耳	牛顿×米	(千克×米 ²)/秒 ²	电 感	亨 利	(伏特×秒)/安培	(千克×米 ²)/(安培 ² ×秒 ²)
功率	瓦	焦耳/秒	(千克×米 ²)/秒 ³	频 率	赫 兹	(1/秒)×周	周/秒
电荷	库伦	安培×秒					

如果某一单位已被广泛应用, 并为大家所熟知, 那么就会产生这样一种倾向, 就是会忘记那个单位经过基本量变换处理的由来。

1.6 单位的倍数和分数

为了测量小于单位本身的量, 将实际使用的单位乘以分数。此外, 规定单位的倍数, 以便简化比单位本身大得多的量的测量。表 1.3 示出当规定倍数和分数时单位所用的词头。例如, 单位电阻的分数1/1000欧姆称为毫欧, 单位欧姆的倍数10⁶欧姆称为兆欧。

表 1.3

词 头	倍 数 或 分 数	符 号
太	10 ¹²	T
吉	10 ⁹	G
兆	10 ⁶	M
千	10 ³	k
毫	10 ⁻³	m
微	10 ⁻⁶	μ
纳	10 ⁻⁹	n
皮	10 ⁻¹²	p

1.7 单 位 换 算

有时由于倍数或分数的换算可能造成混淆。下面几个例子将阐明换算的过程。

1. 换算0.035安为毫安:

$$0.035 \text{ 安} \times \frac{10^3 \text{ 毫安}}{1 \text{ 安}} = 0.035 \times 10^3 = 35 \text{ 毫安}$$

2. 换算0.006 25秒为纳秒:

$$0.00625 \text{秒} \times \frac{10^9 \text{纳秒}}{1 \text{秒}} = 0.00625 \times 10^9 = 62500 \text{纳秒}$$

3. 换算100000欧为兆欧:

$$100000 \text{欧} \times \frac{10^{-6} \text{兆欧}}{1 \text{欧}} = 100000 \times 10^{-6} \text{兆欧} = 0.1 \text{兆欧}$$

4. 换算475兆赫为太赫:

$$475 \text{兆赫} \times \frac{10^{-6} \text{太赫}}{1 \text{兆赫}} = 475 \times 10^{-6} \text{太赫} = 0.000475 \text{太赫}$$

5. 换算10皮法为微法:

$$10 \text{皮法} \times \frac{10^{-6} \text{微法}}{1 \text{皮法}} = 10 \times 10^{-6} \text{微法} = 0.00001 \text{微法}$$

必须注意,在每种情形下单位都是作为代数变量来处理的,以便它们可以相消,从而得出当初所求的单位。

1.8 标 准

测量的过程集中在取得所谓未知数的真值。遗憾的是这个真值决不可能确定得准确,因为实际上真值是达不到的。所以,我们把用现有的最高精度仪器所测得的值定为真值。如果我们需要考虑准确度的等级,那么我们主要是考虑标准的等级,因为测量仪器制造者必须按照某一标准校准他所制造的仪器。这个标准(称为工作标准)要定期地用更高精度等级的工作标准予以检定。而该标准同样也用一组工厂或实验室的参考标准予以检定。最后,这些参考标准如果是可携带的,要用国家标准局的一组工作标准进行检定。如此逐级进行,直到最后用作最终基准的国家标准检定为止。图 1.1 示出由日常工作标准到国家标准的各种标准等级。

一般来说,测量仪器按照制造厂现行的工作标准进行校准,并在说明书中指出仪器的准确度。例如,电压表的额定准确度在满刻度偏转的正负百分之一以内。电压表的准确度在第二章中将详细地讨论。

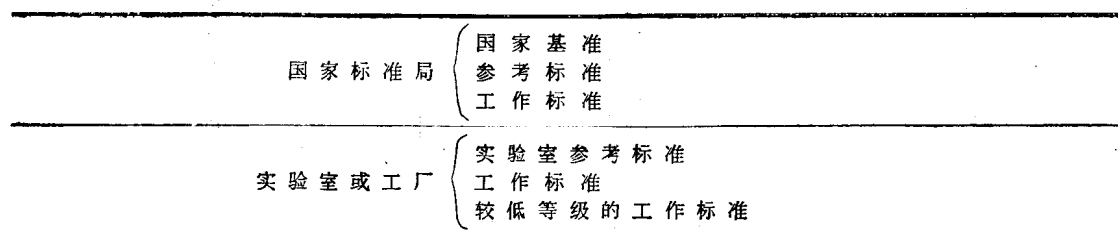


图 1.1

1.9 误 差

测量误差定义为测得值与真值(定义如前)之间的差值。如果电流表的读数是53毫安,而较为准确的毫安表所指示的值为52.1毫安,那么其误差为 $53 - 52.1 = 0.9$ 毫安。通常误差

分为四类：人为或个人误差、系统误差、随机误差和应用误差。在人为误差中，主要是由于观测者不小心、不熟练或精神不集中而产生的误差。人为误差的另一个重要原因是由于个人的偏差；我们所读出的数值往往不是实际指示的数值。系统或仪器误差是由于仪器的电气和机械特性所引起的，诸如摩擦、磁滞甚至齿轮啮合间隙等这些不可避免的问题，都是引起这类误差的原因。随机误差发生在重复的测量中，由于这类误差的随机性，测量值通常最难于确定。最后一点是经常碰到的情况，即使用仪器不当，通常是由于违背制造厂的说明或规定所致。

1.10 准确度

准确度定义为测量结果与未知数的真值的符合程度。对于各种电表，准确度用满刻度读数的百分数来表示。如果仪表有10伏的满刻度偏转，并且有 $\pm 2\%$ 的准确度，那么这就意味着在该仪表指针的任何位置上读数误差可为 $0.02 \times 10 = 0.2$ 伏。显然，因为误差与读数无关，所以相对准确度*随着指针离开满刻度读数而降低。例如，如果在该仪表上读数为8.6伏，那么准确度为 $(0.2/8.6) \times 100 = 2.3\%$ ，或者接近额定准确度。另一方面，如果读数为1.3伏，则准确度为 $(0.2/1.3) \times 100 = 15.3\%$ ，实质上低于规定的准确度。因此，使用合适的仪表或量程，以便至少能达到规定的准确度是重要的。在多量程仪器的情况下，同一准确度适用于所有各量程。值得注意的是，虽然如前所述给出了准确度，但实质上真正给出的是绝对误差，因为给出的百分数是从误差除以真值而推导出来的。

1.11 精密度

精密度常与准确度相混淆，这是不应该的，因为它们彼此之间有着完全不同的含义。辞典中所定义的精密度指的是准确或确切规定的数值。实际上与测量领域有关，其含义是进行重复测量时所得结果彼此之间一致的程度。仔细地考察，就会看出这两个定义是不同的。在分度稀少而须估计下位数值的仪器上，对一组读数确实不可能进行比较，但是，如果仪器的分度带有许多细分度，则读数可以达到较精确的程度，甚至多次读数能够完全一致。因此，设计比较精确的分度，利用上述任何一个定义都会给出比较精密的读数。必须指出，测量结果是精密的，但不一定是准确的。例如，两个时钟，一个可以指示时和分；而另一个除了指示时和分之外，还可指示秒和十分之几秒。当然，后者可较精密地进行读数，但是，这并不意味着所指示的是正确的时间。如果读出错误的时间，那么很精密也是没有用的。

1.12 量程

仪器的量程定义为特定被测量的极限所包括的范围。量程通常用该仪器的测量上限和下限来表示。例如，某电压表的量程定为0—10伏，或某电流表的量程定为0—200毫安。在以零为中心的某一仪器中，量程定为-10伏—+10伏。在多量程的仪器中，各个量程都是额定的。

* 原文为“绝对准确度”，有误。——译者注

1.13 量 距

仪器的量距是规定的量程上限和下限的代数差。例如，0至10伏电压表的量距为 $10 - 0 = 10$ 伏。在以零为中心的电压表中，量距为 $10 - (-10) = 20$ 伏。对于多量程仪器来说，其量距必须根据各个量程来确定。

1.14 灵 敏 度

仪器的灵敏度通常定义为仪器的响应与被测量或参数之比。电流测量仪表通常规定满刻度偏转有一个特定的电流值，也就是最小量程决定仪器的灵敏度。0至50安电流表的灵敏度低于0至10安量程电流表的灵敏度（假定满刻度长度相同）。电压表的灵敏度规定为欧/伏。这个技术指标实际上表示该仪表动作机构的灵敏度（电子管电压表和静电电压表除外）。仪表动作机构的灵敏度愈高，欧/伏的额定值也愈高。不言而喻，欧/伏愈高，仪表的灵敏度也愈高，而且对被测电路的影响可能也较小。灵敏度和量程决定电压表的输入电阻，假设电压表的灵敏度为10 000欧/伏，则0至10伏量程的输入电阻为 $10 \times 10\,000 = 100\,000$ 欧。由于电压表总是与待测电压并联使用，所以电压表的电阻对电路会有影响。理想的电压表应具有无限大的输入电阻，而在许多情况下，仪表的实际电阻很高，但仍然是有限的，这一点必须加以考虑。

1.15 负 载 效 应

仪器的负载效应是指所用仪器引起被测电路的变化。这种效应在后面几章分析各种测量仪器时将详加讨论。

1.16 小 结

在本章中我们分析了测量过程，明确了测量只是把未知参数与公认标准进行比较的过程，分析了各种单位制并确定了所采用的单位制(SI)。将基本单位与导出单位进行了比较，并示出了一些重要单位的推导。研究了一些单位的倍数和分数，并强调说明了一个单位换算成另一个单位的过程。最后提出了各种测量参数，诸如误差、准确度、精密度、量程、量距和灵敏度等，并各有举例说明。

复 习 题

1. 如何进行测量？（什么是测量过程？）
2. 什么是标准和基本单位？
3. 为什么必须有基本量或任一单位的分数和倍数？
4. 换算下面的单位：
 - a. 将0.75米换算为毫米；
 - b. 将5毫安换算为安；

- c. 将0.0001秒换算为纳秒;
 - d. 将0.056兆欧换算为欧.
5. 为什么单位的标准化是重要的?
6. 除本章所述的精密度与准确度之间的差别外, 再举出一例说明.
7. 一温度计的规格为 $-30^{\circ}\text{C} - +130^{\circ}\text{C}$, 给出它的量程和量距.
8. 10 000欧/伏表和1000欧/伏表哪一个比较灵敏? 请说明.

第二章 直流电流、电压和电阻的测量

2.1 引言

本章将介绍直流电表的基本动作机构。利用这种基本的动作机构，我们便可详细地讨论直流电流表和电压表的设计。最后通过各种型式的欧姆表和惠斯登电桥来研究电阻的测量。惠斯登电桥还要在后面章节中从不同的观点进行讨论。

2.2 检流计

测量电流或仅仅检测电流用的仪器称为检流计，它是一种最灵敏的电表，对于其他大多数仪表来说是最基本的仪表。

最早的检流计实质上就是奥斯特的实验仪器，也就是把罗盘磁针置于被测电流的导线下面。在没有电流流过时，磁针和导线两者按南北方向成一直线，如图2.1(a)所示。当有电流流过导线时，可以根据磁针的偏转量度量该电流的大小。以后开尔文又将导线绕成一个线圈并将磁针放入其中，借此增加了这种形式检流计（称为切线检流计）的灵敏度，如图2.1(b)所示。

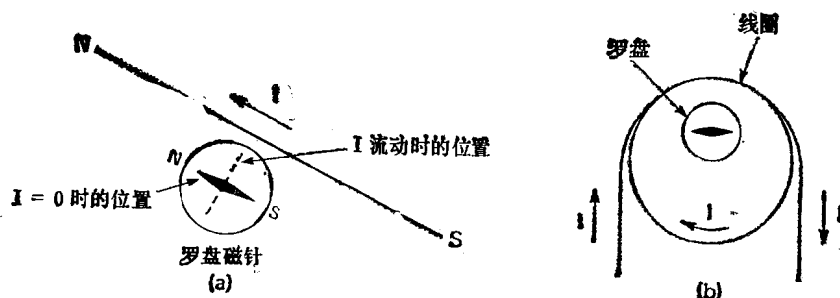


图 2.1

但是，实际上今天所用的一切检流计都是达松伐耳动圈式或转动线圈式的，这种类型的检流计磁铁和线圈的作用和上面所讲的作用正好相反。磁铁做得较大而且加工成形，以便线圈悬挂在磁铁两极之间，因此现在线圈小得多了。悬挂动圈式检流计的结构示于图2.2。线圈(C)是由绕在矩形框架上的若干匝绝缘铜线构成的，并用扁带状细导线(s)悬挂起来，扁带状细导线在线圈偏离其正常位置时产生恢复扭矩，而且也可作为线圈的电流引入线。线圈的引出线与稀疏缠绕的螺旋线(X)相连，以使作用于线圈和悬挂架上的力可以忽略不计。磁场由于软铁圆柱体(A)和两个弯曲的软磁铁极靴（见图2.3）的作用而沿径向方向集中，当