

中等职业学校规划教材

电工学基础

曾晓彤 陈爱群 主编



化学工业出版社

中等职业学校规划教材

电工学基础

曾晓彤 陈爱群 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

根据电工学课程的教学特点,本书内容分为直流电路、交流电路、磁路及变压器、电机及控制电路4个大的教学模块。每个教学模块又由多个课题和活动组成,内容包括电工技术实际应用的典型例证和知识,有知识和技能考核与练习,且单元内容相对独立,便于教师根据不同专业自由选用。

本书适合中等职业技术学校机电类专业学生使用,也可作为其他工科学校相关专业培训中、初级技术工人的教材或参考书。

电工学基础

图书在版编目(CIP)数据

电工学基础/曾晓彤,陈爱群主编. —北京:化学工业出版社,2009.1
中等职业学校规划教材
ISBN 978-7-122-04335-1

I. 电… II. ①曾…②陈… III. 电工学-专业学校-教材
IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第200211号

责任编辑:高钰
责任校对:徐贞珍

文字编辑:徐卿华
装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张8½ 字数203千字 2009年3月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:16.00元

版权所有 违者必究

前 言

世界已经进入数字化时代，先进的生产技术在各行各业正被广泛地应用，为提高生产质量，降低成本，减轻劳动强度发挥着巨大作用。电工学作为最基本的学科，是学习专业技术必备的基础理论知识。

本书坚持以服务为宗旨，以就业为导向的办学思想，突出了职业技能教育。

本书采用模块化的编写形式，通过简单、易行的操作项目及大量的图片，实物照片等形式使学生先建立感观认识，然后对操作结果及出现的问题进行讨论、分析、研究，并得出结论。在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试，在基础知识选择上，以“必需、够用”为原则，具有很强的针对性和适用性。

本书适合中等职业技术学校数控、模具、机电、电子类专业学生使用，也可作为技术工人的培训教材。

本教材由曾晓彤、陈爱群主编，张向东参编。本书模块一、模块二由曾晓彤编写，模块三由陈爱群编写，模块四由张向东编写。本书在编写过程中参考了相关文献和资料，得到了学校的领导和老师们的大力支持和帮助，在此深表谢意。

由于编者水平有限，加之时间仓促，疏漏和欠妥之处在所难免，望广大读者给予批评指正。

编者
2008年10月

目 录

模块一 直流电路	1
课题一 连接手电筒电路	1
课题二 测量直流电流	2
课题三 测量直流电压	3
活动一 测量直流电压、电位	3
活动二 认识电动势与电压	7
课题四 测量电阻	7
课题五 认识欧姆定律	12
活动一 认识部分电路欧姆定律	12
活动二 认识全电路欧姆定律	12
课题六 学习电阻串并联电路	14
活动一 测试电阻串联电路	14
活动二 测试电阻并联电路	15
活动三 连接电阻混联电路	15
课题七 测量电能	17
课题八 学习与应用基尔霍夫定律	19
活动一 测量支路电流	23
活动二 测量回路电压	24
活动三 基尔霍夫定律的应用	24
课题九 识读电工仪表面板标志	25
考核与练习	28
模块二 交流电路	33
课题一 连接日光灯电路	33
课题二 测量日光灯电路	33
课题三 学习单相正弦交流电	35
活动一 学习正弦交流电的三要素	35
活动二 学习正弦交流电的表示法	38
课题四 分析单相交流电路	40
活动一 分析纯电阻电路	40
活动二 分析纯电感电路	42
活动三 分析RL串联正弦交流电路	45
课题五 分析纯电容电路及功率因数的提高	46

活动一 分析纯电容电路	46
活动二 交流电路功率因数的提高	49
课题六 认识三相交流电	53
课题七 连接星形接线的三相负载	54
活动一 连接星形接线的三相不对称负载	54
活动二 连接星形接线的三相对称负载	56
课题八 连接三角形接线的三相对称负载	57
考核与练习	59
模块三 磁路与变压器	61
课题一 了解磁场的性质与分析方法	61
活动一 学习磁场和磁感线、磁通量和磁感应强度等	61
活动二 分析通电直导线和螺线管所产生的磁场方向与电流方向的关系	63
课题二 认识磁路	65
活动一 认识铁磁物质的磁化及其规律	65
活动二 认识电磁感应现象	67
课题三 认识交流铁芯线圈	69
课题四 电磁铁	71
课题五 小型单相变压器	73
考核与练习	84
模块四 电动机及控制电路	86
课题一 认识单相异步电动机和直流电动机	86
课题二 认识三相异步电动机	93
课题三 三相异步电动机单向点动控制电路	106
课题四 三相异步电动机单向运转控制电路	107
课题五 三相异步电动机正、反转控制电路	109
课题六 安全用电	113
活动一 认识三相异步电动机的启动、运行和反转	116
活动二 学习三相交流异步电动机的结构与计算	118
考核与练习	120
附录一 常用圆铝、铜线的规格	123
附录二 漆包线规格	125
参考文献	127

模块一 直流电路

课题一 连接手电筒电路

一、电路

① 电路是电流的流通路径，它是由一些电气设备和元器件按一定方式连接而成的。图 1-1 所示为最简单的电路——手电筒电路。

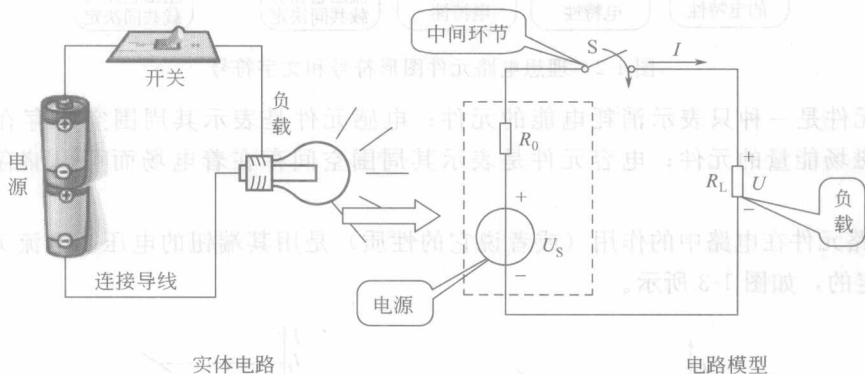


图 1-1 手电筒电路的组成

复杂的电路呈网状，又称网络。

电路和网络这两个术语是通用的。

② 电路的作用。在电力系统中，电路可以实现电能的传输和转换。在电子技术中，电路可以实现电信号的传递、存储和处理。

③ 电路的组成如下。

电源：电路中提供电能或信号的器件，如干电池、发电机、蓄电池等。

负载：电路中吸收电能或输出信号的器件，如灯泡。

连接部分：电源和负载之间不可缺少的连接、控制和保护部件，如连接导线、开关设备、测量设备以及各种继电保护设备等。

二、电路模型

实际电路器件品种繁多，其电磁特性多元而复杂，采取模型化处理可获得有意义的分析效果。例如，由于白炽灯中耗能的因素大于产生磁场的因素，因此 L 可以忽略。白炽灯的电路模型可表示为： $\square \text{---} R$ 。

与实体电路相对应、由理想元件构成的电路图，称为实体电路的电路模型，如图 1-1 所示。

① 理想电路元件是在一定条件下对实际器件加以理想化，只考虑其中起主要作用的某

些电磁现象的电路元件。

② 理想电路元件分无源和有源两大类，对具有两个引出端的元件，称为二端元件；对具有两个以上引出端的元件，称为多端元件。

几种常用的理想电路元件的图形符号和文字符号，如图 1-2 所示。

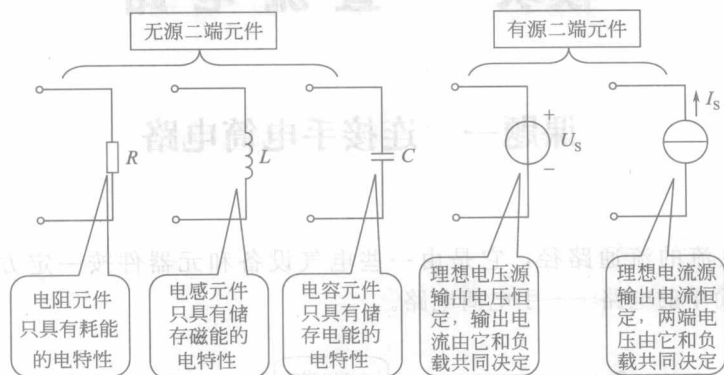


图 1-2 理想电路元件图形符号和文字符号

电阻元件是一种只表示消耗电能的元件；电感元件是表示其周围空间存在着磁场而可以储存磁场能量的元件；电容元件是表示其周围空间存在着电场而可以储存电场能量的元件。

③ 电路元件在电路中的作用（或者说它的性质）是用其端钮的电压、电流关系即伏安关系来决定的，如图 1-3 所示。

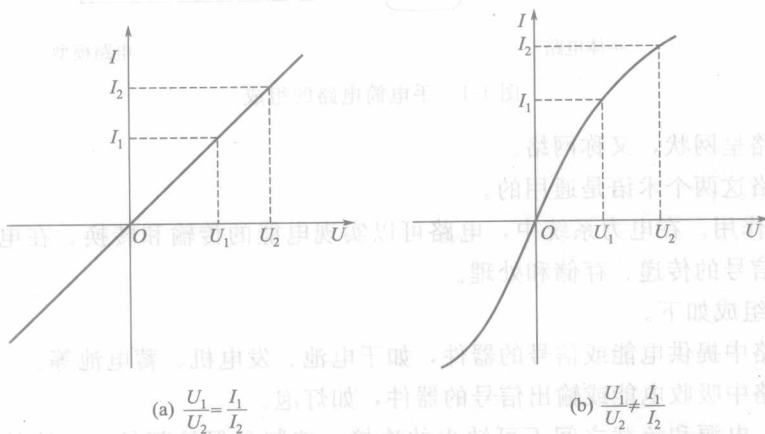


图 1-3 元件的电压-电流关系特性曲线

课题二 测量直流电流

一、电流及其参考方向

① 电流：带电粒子（电子、离子等）的定向运动，形成电流。

电流的大小用电流强度来表示。电流强度是指在单位时间内通过导体横截面的电荷量，用符号 i 表示，即

$$i = \frac{dq}{dt}$$

② 电流的实际方向：正电荷运动方向。

③ 直流：当电流的量值和方向都不随时间变化时，称为直流电流，简称直流。直流电流常用英文大写字母 I 表示。

$$I = \frac{q}{t}$$

交流：电流的量值和方向随时间按周期性变化的电流，称为交流电流，简称交流。常用英文小写字母 i 表示。

④ 单位：安 [培]，符号为 A。常用的单位有 kA、mA、 μ A 等。

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

⑤ 在分析与计算电路时，常可任意规定某一方向作为电流的参考方向（或正方向）。图 1-4 所示为电流参考方向与实际方向的关系。

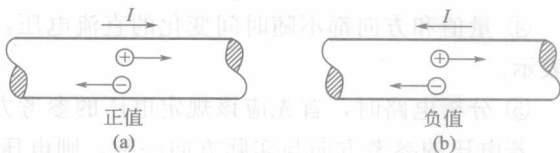


图 1-4 电流参考方向与实际方向的关系

如果求出的电流值为正，说明参考方向与实际方向一致，否则说明参与方向与实际方向相反。

二、电流的测量

测量直流电流通常采用磁电式电流表，测量交流电流主要采用电磁式电流表。如图 1-5 所示，连接好电路，通过电流表可以读出流经负载的电流。



图 1-5 测量直流电流

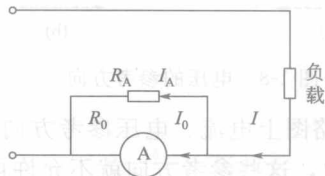


图 1-6 扩大电流表量程

电流表必须与被测电路串联，否则将会烧毁电表。此外，测量直流电流时还要注意仪表的极性。

扩大量程的方法是在表头上并联一个称为分流器的低值电阻 R_A ，分流器的阻值为： $R_A = R_0 / (n - 1)$ 。式中， R_0 为表头内阻； $n = I / I_0$ 为分流系数，其中 I_0 为表头的量程， I 为扩大后的量程。如图 1-6 所示。

根据测量电流的大小选择适当的电流测量量程和红表笔的插入孔。测量直流时，红表笔接触电压高一端，黑表笔接触电压低的一端，正向电流从红表笔流入万用表，再从黑表笔流出。

当要测量的电流大小不清楚的时候，先用最大的量程来测量，然后再逐渐减小量程来精确测量。

课题三 测量直流电压

活动一 测量直流电压、电位

一、电压及其参考方向

① 电压定义如下。

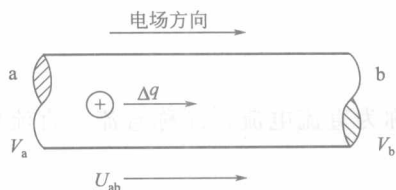


图 1-7 电压的概念

如图 1-7 所示的一段电路中, a、b 点两点间的电压定义为: 单位正电荷由 a 点移至 b 点电场力所做的功。

$$U_{ab} = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W_{ab}}{\Delta q} = \frac{dW_{ab}}{dq}$$

式中, Δq 为由 a 点移动到 b 点的电荷量; ΔW_{ab} 为移动过程中电荷所减少的电能。

② 电压的实际方向是使正电荷电能减少的方向。

③ 电压的 SI 单位为伏 [特], 符号为 V。常用的单位有 kV、mV、 μ V 等。

④ 量值和方向都不随时间变化的直流电压, 用大写字母 U 表示。交流电压用小写字母 u 表示。

⑤ 分析电路时, 首先应该规定电压的参考方向。

若电压的参考方向与实际方向一致, 则电压为正, 如图 1-8(a) 所示; 若电压的参考方向与实际方向相反, 则电压为负, 如图 1-8(b) 所示。

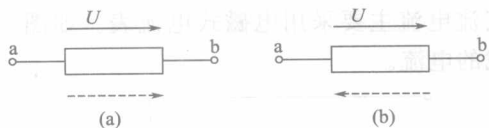


图 1-8 电压的参考方向

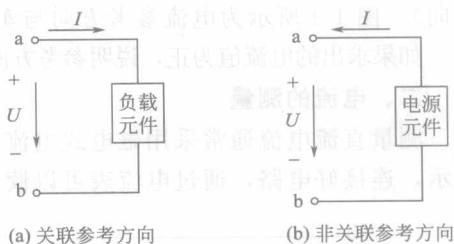


图 1-9 电流和电压的参考方向

⑥ 电路图上电流、电压参考方向的标定, 原则上任意假定, 但一经选定, 在整个分析计算过程中, 这些参考方向就不允许再变更。

为了方便起见, 常常将电流参考方向和电压参考方向取为一致, 也称为关联方向, 如图 1-9(a) 所示。两者如果不一致, 就称为非关联方向, 如图 1-9(b) 所示。

实际电源上的电压、电流方向总是非关联的, 实际负载上的电压、电流方向是关联的。因此, 假定某元件是电源时, 应选取非关联参考方向, 假定某元件是负载时, 应选取关联参考方向。

在电路图上预先标出电压、电流的参考方向, 目的是为解题时列写方程式提供依据。因为只有参考方向标定的情况下, 方程式各电量前的正、负号才有意义。如图 1-10 所示。设参考方向下, $U_S = 100\text{V}$, $I = -5\text{A}$, 则说明电源电压的实际方向与参考方向一致; 电流的实际方向与图中所标示的参考方向相反。

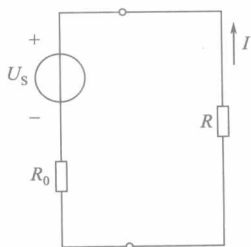


图 1-10 参考方向

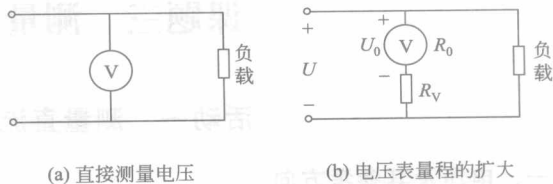


图 1-11 电压的测量

二、电压的测量

测量直流电压通常采用磁电式电压表，测量交流电压主要采用电磁式电压表。如图 1-11 所示，电压表必须与被测电路并联，否则将会烧毁电表。此外，测量直流电压时还要注意仪表的极性。

扩大量程的方法是在表头上串联一个称为倍压器的高值电阻 R_V ，倍压器的阻值为 $R_V = (m-1)R_0$ 。式中， R_0 为表头内阻； $m = \frac{U}{U_0}$ 为倍压系数，其中 U_0 为表头的量程， U 为扩大后的量程。

红表笔插入“V/ Ω ”插孔中，根据电压的大小选择适当的电压测量量程，黑表笔接触电路“地”端，红表笔接触电路中待测点。特别要注意，数字万用表测量交流电压的频率很低（45~500Hz），中高频率信号的电压幅度应采用交流毫伏表来测量。

三、电位

① 在电路中任选一点，叫做参考点，则某点的电位就是由该点到参考点的电压。

$$V_a = U_{a0}$$

电位的单位也是 V，并且规定，参考点的电位为零，所以参考点又叫零电位点。

② 参考点的选定原则上可以是任意的，在一般的原理性电路中，可选取多条导线汇集的公共点作为参考点。

注意，在研究同一问题时，参考点一经选定，各点电位也就确定了，参考点也就不能再更改。

当电位为正值，说明其电位高于参考点电位；当电位为负值，说明其电位低于参考点电位。电路中选定的参考点虽然一般并不与大地相连接，往往也称为“地”。在电路图中，参考点用符号“ \perp ”表示，如图 1-12 所示。

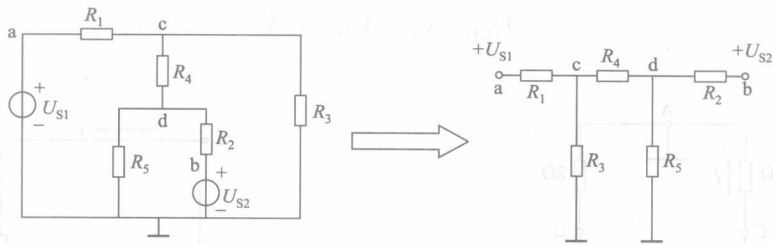


图 1-12 等效电路图

③ 如果已知 a、b 两点的电位分别为 V_a 、 V_b ，则此两点间的电压 U_{ab} 为

$$U_{ab} = U_{a0} + U_{0b} = U_{a0} - U_{b0} = V_a - V_b$$

即两点间的电压 U_{ab} 等于这两点的电位的差 $V_a - V_b$ 。

④ 参考点不同，各点的电位不同，但两点间的电压与参考点的选择无关。

【例 1-1】 如图 1-13 所示，求开关 S 打开和闭合时 a 点的电位值。

解 S 闭合时的等效电路，如图 1-14 所示。

S 闭合时，a 点电位只与右回路有关，其值为

$$V_a = \frac{12}{4+20} \times 4 = 2V$$

S 打开时的等效电路如图 1-15 所示。

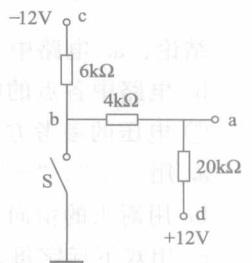


图 1-13 例 1-1 图（一）

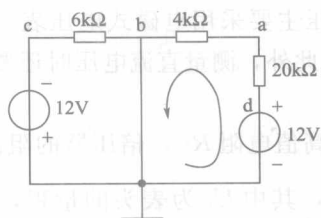


图 1-14 例 1-1 图 (二)

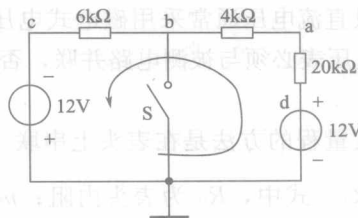


图 1-15 例 1-1 图 (三)

显然, 开关 S 打开时相当于一个闭合的全电路, a 点电位为

$$V_a = 12 - \frac{12 + 12}{6 + 4 + 20} \times 20 = -4\text{V}$$

【例 1-2】 电路如图 1-16 所示, 分别以 A、B 为参考点计算 C 和 D 点的电位及 U_{CD} 。

解 以 A 点为参考电位时

$$I = \frac{10 + 5}{3 + 2} = 3\text{A}$$

$$V_C = 3 \times 3 = 9\text{V}$$

$$V_D = -3 \times 2 = -6\text{V}$$

$$U_{CD} = V_C - V_D = 15\text{V}$$

以 B 点为参考电位时

$$V_C = 10\text{V}$$

$$V_D = -5\text{V}$$

$$U_{CD} = V_C - V_D = 15\text{V}$$

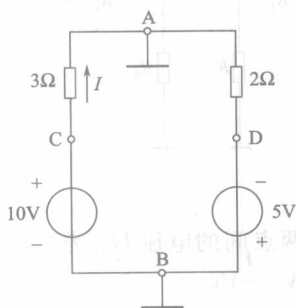


图 1-16 例 1-2 图

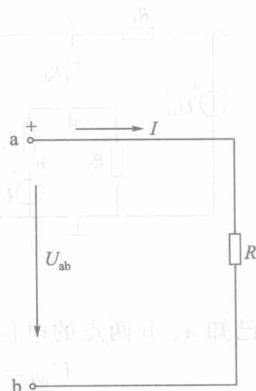


图 1-17 电压的参考方向

结论: a. 电路中某一点的电位等于该点到参考点的电压;

b. 电路中各点的电位随参考点选的不同而改变, 但是任意两点间的电压不变。

⑤ 电压的参考方向根据习惯可用三种方法表示, 如图 1-17 所示。

a. 用“+”、“-”符号分别表示假定的高电位端和低电位端。

b. 用箭头的指向来表示, 它由假定的高电位端指向低电位端。

c. 用双下标字母表示, 图 1-17 可用 U_{ab} 表示其参考方向, 第一个下标 a 表示假定的高电位点, 第二个下标 b 表示假定的低电位点。

活动二 认识电动势与电压

① 电动势是衡量外力即非静电力做功能力的物理量。

图 1-18 所表示的是一个完整的电路，在除电源以外的电路中，电流总是从电源正极流出，最后流回电源负极，或者说从高电位流向低电位，这是电场力推动正电荷做功的结果。

② 电动势的定义：在电源内部，外力克服电场力把单位正电荷从电源的负极搬运到正极所做的功，称为电源的电动势。对于直流电动势，表示为

$$E = \frac{W}{q}$$

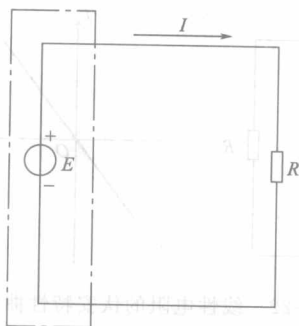


图 1-18 电动势的作用

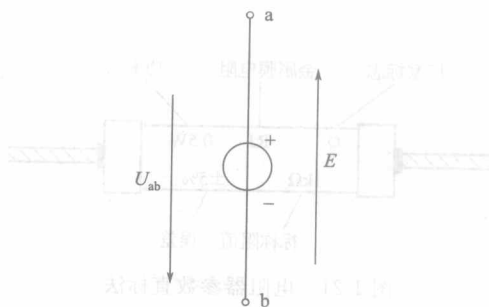


图 1-19 电动势与电压的关系

③ 电动势的单位也是 V。

电动势的实际方向，规定为由电源的负极指向正极。

④ 电动势与电压是两个不同的概念，但是，都可以用来表示电源正负极之间的电位差。如图 1-19 所示的电源， E 和 U_{ab} 的参考方向刚好相反。这是因为它们的物理意义不同：电动势的参考方向表示电位升；电压的参考方向表示电位降，但它们反映的是同一客观事实。a 点电位比 b 点高，所以 $E = U_{ab}$ 。正因如此，有许多电路常用一个与电源电动势大小相等、方向相反的电压来表示电源。

课题四 测量电阻

一、电阻元件

电阻产品实物图，如图 1-20 所示。

电阻器的主要参数是它的电阻值和功率，有以下两种方法表示。

(1) 直标法 把电阻值（标称阻值）、误差和功率直接标注在电阻体上，如图 1-21 所示。

(2) 色标法 近年来新电阻材料不断出现，再加上集成电路的应用、所需电阻器阻值减小，使得电阻器的体积越来越小，直标法遇到了困难，色标法得到了越来越多的应用。色标法就是用标注在电阻体上的四条不同颜色的色环，表示电阻器的电阻值和误差。具体识别方法可查阅元件手册。

电阻元件是一个二端元件，它的电流和电压的方向总是一致的，它的电流和电压的大小成代数关系。元件的电流与电压的关系曲线叫做元件的伏安特性曲线。

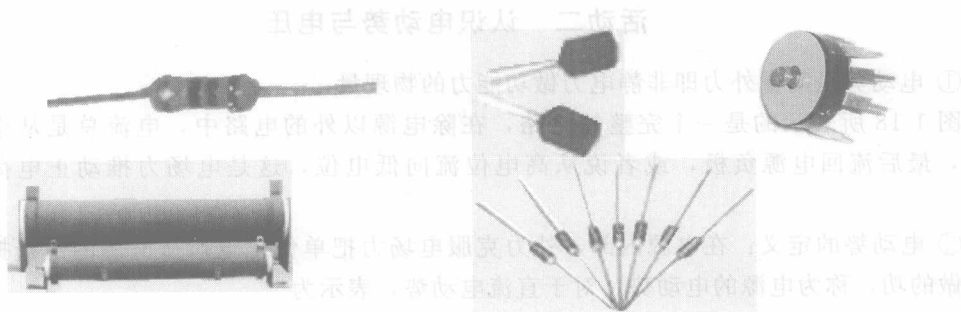


图 1-20 电阻产品实物图



图 1-21 电阻器参数直标法

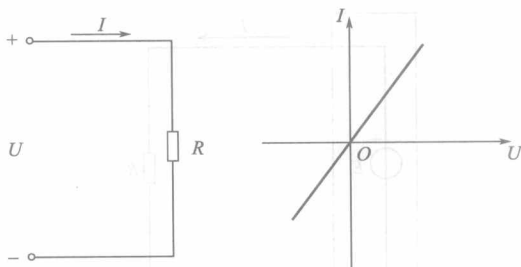


图 1-22 线性电阻的伏安特性曲线

电流和电压的大小成正比的电阻元件叫线性电阻。图 1-22 线性电阻的伏安特性曲线。

线性电阻元件的伏安特性为通过坐标原点的直线，这个关系称为欧姆定律。由电阻的伏安特性曲线可得，电阻元件上的电压、电流关系为对应关系，即 $R = \frac{U}{I}$ 。

非线性电阻的伏安特性曲线如图 1-23 所示。

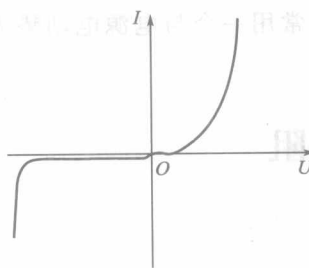


图 1-23 非线性电阻的伏安特性曲线

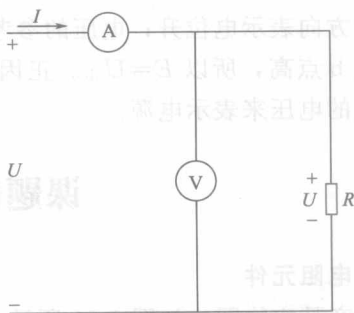


图 1-24 用电流表和电压表测量电阻

二、电阻的测量

测量电阻有以下几种常用的方法。

1. 用电流表和电压表测量

把被测电阻接到电源上，在它通电工作的情况下，用电流表和电压表测出流经电阻的电流 I 和电阻两端的电压 U ，然后用 $R = \frac{U}{I}$ 计算出电阻，如图 1-24 所示。

这种方法可以在正常工作条件下进行测量，但需通过计算才能求出电阻值，不够简便。

2. 用电阻表测量

电阻表也称欧姆表，其结构及基本原理如图 1-25 所示，表内有电流表 G、电池 E 和可调电阻 R，通过端钮 A、B 和被测电阻 R_x 连接。

在测量之前先将 A、B 两端短接，此时相当于 $R_x = 0$ ，电流表 G 将指示满度。如果不能达到满度或超过满度，可用电阻 R 进行调整，使其正好指示到刻度盘的最右端，在此位置对应的被测电阻是零。

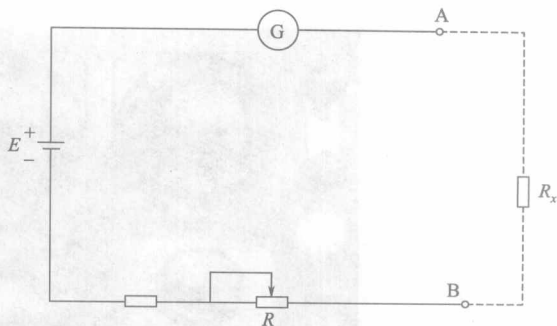


图 1-25 电阻表测电阻

由于电池在使用过程中电压将逐渐降低，所以电阻表在每次使用时都要先进行调零。

断开 A、B，接入被测电阻 R_x ，电流将减小。 R_x 越大，电流越小，因此表盘上的电阻刻度与电流刻度恰好反向，越往左，阻值越大。

由于电阻和电流是反比例关系（不是线性关系），所以电阻刻度是不均匀的，如图 1-26 所示。

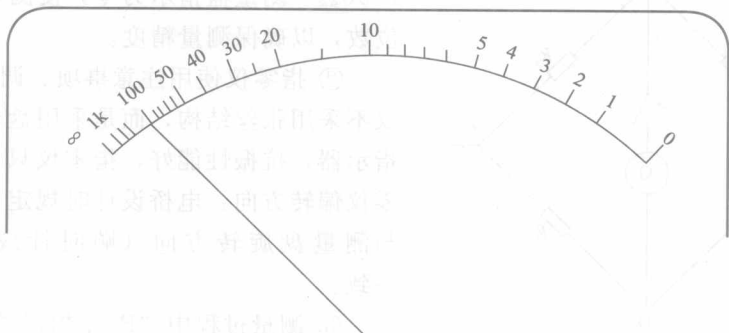


图 1-26 电阻表刻度盘

若 A、B 两端断开， R_x 为无穷大，此时电流表指示为零，与之对应的阻值是无穷大。电阻表使用方便，应用很普遍，但精度不高。

注意：电阻表必须在被测电阻断开工作电源的情况下进行测量，否则可能烧毁仪表。

3. 用直流电桥测量

电桥是测量技术中常用的一种电路形式，可用于测量电阻，如图 1-27 所示。图中的四个电阻都称为桥臂， R_x 是待测电阻。

如图 1-28 所示，电源向 ABC 和 ADC 两个支路供电，调整 R_1 、 R_2 、 R 三个已知电阻，同时接通开关 S 观察检流计 G 的读数，直到检流计中的电流为零，这时称为电桥平衡。

接通 S，检流计中的电流为零，说明 B、D 两点等电位，即

$$U_{AB} = U_{AD}, U_{BC} = U_{DC}$$

或

$$R_1 I_1 = R_x I_2, R_2 I_1 = R I_2$$

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R$$

从上式可以求出待测电阻。

注意事项如下。

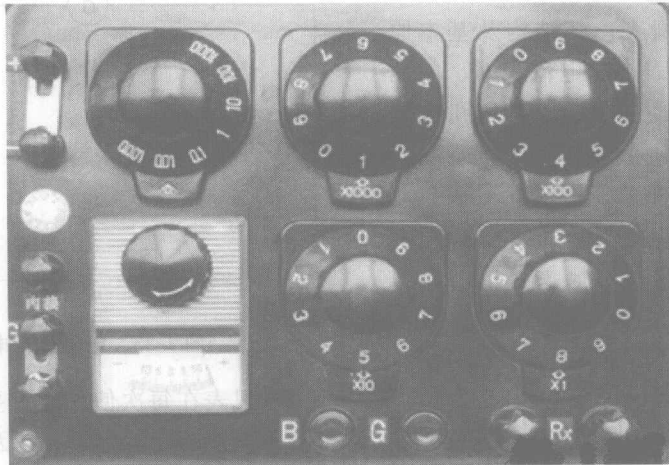


图 1-27 单臂电桥（惠斯通电桥）

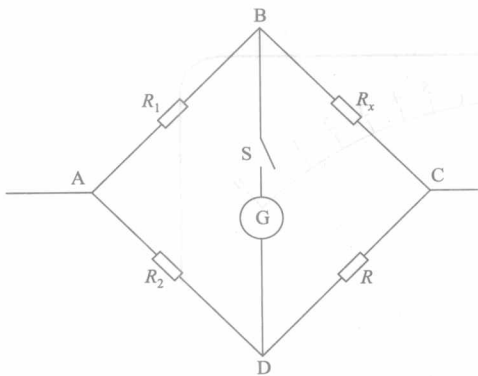


图 1-28 单臂电桥

① 在进行任何阻值测量时，不应让“ $\times 1000\Omega$ ”测量盘指示为零，使测量盘有足够读数位数，以确保测量精度。

② 指零仪使用注意事项。调零：JZ8 型指零仪不采用张丝结构，而是采用盘丝电流表表芯作指示器，抗振性能好，指零仪只有机械调零。指零仪偏转方向：电桥设计时规定指零仪偏转方向与测量盘旋转方向（顺时针或逆时针）保持一致。

③ 测量过程中“B”、“G”按钮尽量间断使用，以延长桥路干电池寿命。指零仪工作电流为 3mA，由于没有自动关机功能，故平均功耗极小。

④ 对电机、变压器等带电感的电阻进行测量时，必须先按“B”后按“G”，测量完毕，应先放“G”后放“B”，防止电感反电动势损坏指零仪。

⑤ 电桥只能对无源（不带电）的电阻进行测量；严禁市电或其他电源从电桥输入端引入，以防烧坏电桥。

⑥ 干电池容量判别如下。

a. 指零仪电池：当点按“B”或“G”按钮（注意不要同时按），即指零仪只接通电源而无信号输入时，指零仪指针瞬间抖动并立即回零，表明正常；若发现指针偏转后不回零，则 9V 电池已经用完，应更换。

b. 桥路电池：若电桥灵敏度明显下降，则应更换 2 号干电池。

⑦ 电桥使用完毕，将“B”和“G”按钮复位，桥路电源切断，指零仪电源自动切断（漏电流约为 $4\mu\text{A}$ ，可以忽略不计）。电桥若长期不用，应将干电池取出。

双臂电桥如图 1-29 所示。

使用方法：打开检流计锁扣，接入被测电阻、电源，选择倍率，调节平衡，锁上锁扣。使用注意事项如下。



图 1-29 双臂电桥

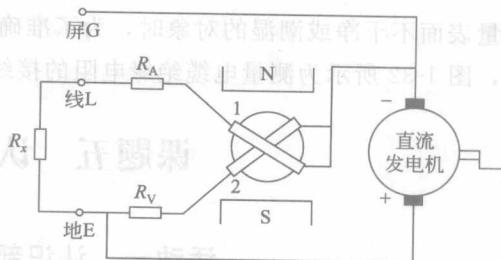
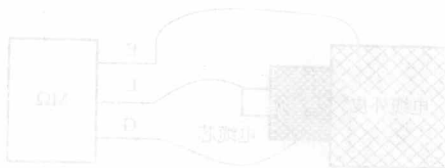


图 1-30 兆欧表测量绝缘电阻

- ① 电位端 P1、P2，接至电流端钮 C1、C2 的内侧。
- ② 测量时操作要快，以免耗电过多。
- ③ 外接电源应接较大容量的蓄电池，电压为 2~4V。

因为标准电阻在制作时可以达到较高的精度，所以测量结果比较准确。

4. 兆欧表测量绝缘电阻 (见图 1-30)

兆欧表俗称摇表，是测量绝缘体电阻的专用仪表。

兆欧表的使用方法如下。

- ① 准备工作：测量前检查，切断电源，充分放电。
- ② 正确使用：水平放置，正确接线，正确测量。

注意事项：合理选择，充分放电，单线连接，定期校验，切勿手摸，转速均匀。

图 1-31 所示为兆欧表测量绝缘体电阻。测量绝缘电阻时，绝缘电阻值与所承受的电压有关。摇手摇发电机时，摇的速度需按规定，而且要摇够一定的时间。一般加速到约 120r/min 后即可读数。常用的兆欧表的手摇发电机的电压在规定转速下有 500V 和 1000V 两种，

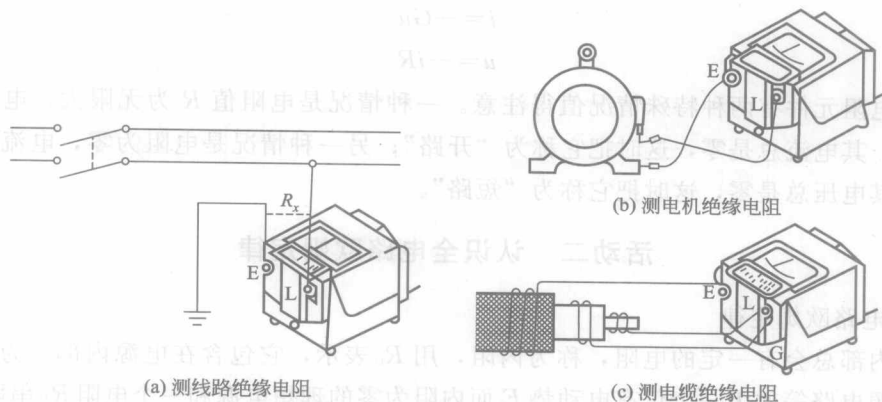


图 1-31 兆欧表测量绝缘体电阻