

农村电工通用教材

(上册)

北京供电局合编
北京电机工程学会农电专委会



科学普及出版社

农村电工通用教材

(上册)

北京供电局
北京电机工程学会农电专委会
合编

科学普及出版社

内 容 提 要

本书共计15章,分上、下两册。上册为1~7章,包括电工基本知识,农村常用电工仪表,电气设备,农用电动机,电力的生产、输送和分配,农村低压架空线路,低压地理线和户内布线。下册为8~15章,包括配电变压器和配电装置,防雷保护和接地装置,农村照明,农村用电设备,家用电器的使用与维护,用电管理及节电技术,农村小型电站,安全用电技术等。

本书具有科学性、先进性与实用性,图文并茂,通俗易懂,是电工的一本工具书,是多位专家教授长期在农村培训电工的经验结晶。

(京)新登字026号

农村电工通用教材(上册)

北 京 供 电 局 合编
北京电机工程学会农电专委会
责任编辑 郑 钢 叶树和
封面设计 陈香久

科学普及出版社出版 (北京海淀区白石桥路32号)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京市朝阳区科普印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 25.5 字数: 648千字
1991年11月第1版 1991年11月第1次印刷
印数: 1—7,000册 定价: 11.50元
ISBN 7-110-02093-2/TM·13

前 言

40多年来,我国农村电气化事业发展很快,农村电工队伍迅速壮大。为了满足广大农村电工学习技术业务知识的迫切需要,中国电机工程学会科普工作委员会委托北京电机工程学会农村电气化专业委员会负责组织北京地区的专家、教授以及具有丰富实践经验的科技人员参加编写了这本农村电工培训教材。

本书可作为农村电工自学或进行集中培训时的通用教材,并可作为日常工作中的一本工具书,适合具有初中以上文化程度的农村电工阅读。本书坚持理论联系实际,体现了系统性、完整性、科学性和先进性,并充分考虑了广大农村电工的实际业务水平和日常工作的需要,针对生产及管理工作中存在的实际问题,提出了具体的解决办法,以正确引导农村电工牢固树立按科学规律和国家法规办事的观念。本书的内容以实用技术知识和操作技能为主,使读者读后能打下一定的理论基础,并提高解决实际问题的能力。

我们曾邀请全国部分省市农电工作者审查了本书的编写大纲。初稿完成后又邀请了部分省市的代表进行了审查,他们提出了不少宝贵意见,我们据此进行了全面的修改和补充。在编写过程中,我们还参阅了国内已出版发行的多种农村电工培训教材,吸取了各家所长,以进一步提高本书的质量。

本书分上、下两册出版,上册包括第一章至第七章,下册包括第八章至十五章。

本书内容充实,文字简练,通俗易懂,图文并茂,数据齐全,便于查考。希望它能成为广大农村电工省力的助手。

本书在编写、审查过程中得到中国电机工程学会科普委员会、农电专委会和北京电机工程学会等单位有关同志大力支持和帮助,特此一并表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限,本书错误之处在所难免,欢迎广大读者随时提出指正意见,以便再版时修正。

编 者

1991年7月于北京

目 录

前 言

第一章 电工基本知识	(1)
第一节 电荷和静电现象	(1)
第二节 直流电路的计算	(6)
第三节 直流电路的功率和能量	(17)
第四节 电磁现象	(20)
第五节 电磁力和电磁感应现象	(27)
第六节 正弦交流电路的概念	(37)
第七节 单相交流电路的计算	(46)
第八节 三相交流电路	(68)
第二章 农村常用电工仪表	(80)
第一节 电工仪表和电工测量的基本知识	(80)
第二节 电工仪表的结构及工作原理	(81)
第三节 电流和电压的测量	(85)
第四节 仪用互感器	(87)
第五节 功率及电能的测量	(91)
第六节 电阻及绝缘电阻的测量	(100)
第七节 其他电工仪表	(104)
第三章 电气设备	(111)
第一节 低压开关电器	(111)
第二节 农用高压开关电器	(141)
第三节 高低压熔断器	(150)
第四节 电力电容器	(163)
第五节 低压漏电保安装置	(175)
第四章 农用电动机	(185)
第一节 电动机的种类及其结构	(185)
第二节 异步电动机的工作原理	(195)
第三节 异步电动机的特性	(198)
第四节 电动机的控制线路	(203)
第五节 电动机与传动装置的选择	(207)
第六节 电动机的监视、维护与检修	(210)
第七节 故障与排除	(216)
第八节 单相电机	(229)
第九节 异步发电机	(238)

第五章 电力的生产、输送和分配	(243)
第一节 发电厂	(243)
第二节 电力网及电力系统	(246)
第三节 农村供电方式	(249)
第四节 农村配电网规划和布局	(252)
第六章 农村低压架空线路	(258)
第一节 低压架空线路概述	(258)
第二节 低压架空线路导线及允许电流	(260)
第三节 低压架空线路电压损失	(265)
第四节 按允许电压损失选择导线截面	(272)
第五节 经济电流密度法及各种方法适用范围	(277)
第六节 低压架空线路绝缘子及金具	(279)
第七节 低压线路的横担和电杆	(284)
第八节 低压线路的杆型	(289)
第九节 拉线结构及计算	(294)
第十节 低压架空线路简单设计	(298)
第十一节 电杆的运输与组立	(301)
第十二节 架线施工工艺	(312)
第十三节 架空线路的竣工验收、试送电及运行	(325)
第十四节 低压接户线和进户线	(327)
第七章 低压地埋线和户内布线	(333)
第一节 农村低压地埋线	(333)
第二节 地埋线路的运行维护及故障探测	(344)
第三节 绝缘导线、电缆及连接方法	(352)
第四节 室内布线导线及电器选择	(369)
第五节 室内布线设计及施工	(383)

下 册 内 容 简 介

第 八 章 配电变压器和配电装置
 第 九 章 防雷保护和接地装置
 第 十 章 农村照明
 第 十 一 章 农村用电设备

第 十 二 章 家用电器的使用与维修
 第 十 三 章 用电管理及节电技术
 第 十 四 章 农村小型电站
 第 十 五 章 安全用电技术

第一章 电工基本知识

第一节 电荷和静电现象

一、电荷和电荷守恒定律

很早以前人们就发现了摩擦生电这个物理现象。例如，用毛皮摩擦过的硬橡胶棒，或用丝绸摩擦过的玻璃棒，它们都能吸引很轻的小纸片，这个现象说明了这些物体带了电荷。这种带电荷的物体叫带电体。玻璃棒上带的电荷叫正电荷，丝绸上带的电荷叫负电荷，如图1-1-1所示。自然界只存在这两种电荷，而且同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引，如图1-1-2所示。物体摩擦所生的电荷积聚在物体的表面静止不动，叫做静电。物体为什么会带电呢？要说明这个问题，必须从物质的结构谈起。

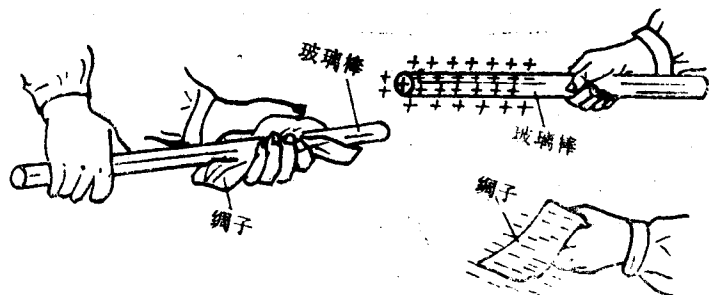


图 1-1-1 摩擦生电

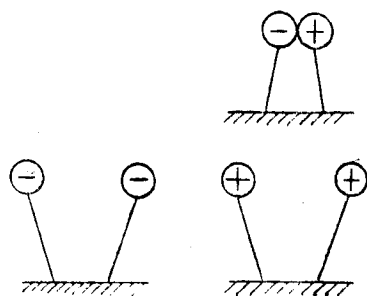


图 1-1-2 电荷的相互作用

我们知道，自然界里的一切物质都是由分子组成的，分子是由更小的原子组成的。而原子是由带正电的原子核和带负电的电子所组成。例如，分裂水分子可以得到两种不同的原子，一种是氧原子，一种是氢原子。它们都不再和水的性质相同了。原子还可以继续分裂为一个原子核和一些电子。原子核带正电，电子带负电，如图1-1-3所示。

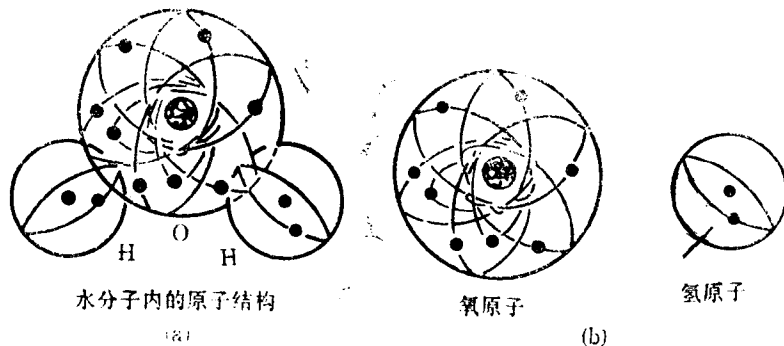


图 1-1-3 水分子的原子结构和组成水分子的氢氧原子

在一般的情况下，原子核所带的正电荷的电量（绝对值）等于所有电子所带负电荷的电量的总和（绝对值）。原子呈中性状态，物质也呈中性状态，即对外表现为不带电的状态。任何不带电的物体，其中都有等量的正负电荷，因而处于中性状态。

使物体带电叫做起电。起电的过程，实际上是使物体中的正负电荷分开的过程。在摩擦起电中，其中一个物体因失去一些电子而带正电（如玻璃棒）；同时另一个物体因得到这些电子而带等量的负电（如丝绸）。摩擦起电并不是创造了电荷，只是电荷从一个物体转移到另一个物体。

大量事实说明：电荷既不能创造，也不能被消灭，它们只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到该物体的另一部分，这个结论叫做电荷守恒定律。

物体所带的电荷多少叫做电量。我们用符号 Q 或 q 来表示电荷的电量。衡量电量大小的单位叫做库仑（简称库），用符号 C 表示。电子带有最小的负电荷，质子带有最小的正电荷。它们的电量的绝对值是相等的。一个电子的电量等于 1.60×10^{-19} 库仑。即一库仑约等于 6.24×10^{18} 个电子所带的电量。

二、电场和电场强度

两个带电体之间有互相排斥或者吸引的作用，这表明两个带电体之间有作用力。可是，两个带电体并没有直接接触，它们之间的相互作用力是怎么产生的呢？人们在长期科学实践中认识到，带电体（或电荷）周围存在着一种叫做电场的特殊物质，它是电磁场的一个组成部分。在静止电荷周围的电场叫做静电场。电磁场这种物质具有一般物质的特性。例如，它是客观存在的，它有质量、有能量、有各种可以转换的形态，它遵守质量守恒、转换和能量守恒定律等。它也有与一般物质的不同特性，最主要的就是它没有不可入性，在别的物体占具的空间，它也可以存在。带电体乙所产生的电场使带电体甲受力，于是带电体甲、乙之间产生了作用力，如图1-1-2所示。

电场中作用在电荷上的力，叫做电场力。电场力的大小，与带电体所带的电量的多少成正比，同时还与电荷所在处的电场强弱有关。若电场中某一点的电荷电量为 q ，电场施加给它的电场力为 F ，则比值 F/q 即表示该点电场的强弱。我们把比值 $\frac{F}{q}$ 叫做电场强度，用符号 E 表示，即

$$E = \frac{F}{q} \quad (1-1-1)$$

式中 F ——电场对电荷的作用力， N （牛顿），

q ——电荷的电量， C ，

E ——电场强度， V/m^* 。

电场强度是向量（或矢量）既有大小又有方向。它的方向与正电荷在该点所受电场力的方向相同，与负电荷在该点所受电场力的方向相反。

如果有几个点电荷同时存在，它们的电场就互相叠加，形成合成电场。这时某点的场强，

$$\cdot \frac{1N}{1C} = \frac{1N}{1A \cdot s} = \frac{1N \cdot m}{1s \cdot A \cdot m} = \frac{1J}{1s \cdot A \cdot m} = \frac{1W}{1m \cdot A} = \frac{1V}{1m}$$

就等于各个点电荷在该点产生的场强的矢量和。这样，知道了点电荷的场强，原则上我们就可以知道任一带电体的场强，因为任何带电体都可以看作是由许多点电荷组成的。

三、电力线和均匀电场

在任何电场中，每一点的场强 E 都有一定的方向，我们在电场中画出一系列的从正电荷出发到负电荷终止的曲线，使曲线上每一点的切线方向都跟该点的场强方向一致，这些曲线就叫做电力线。电力线上的箭头表示正电荷在该点所受电场力的方向。电场强度大，电力线画得密一些。电场强度越小，电力线画得稀一些。图1-1-4画出了几种电场的电力线。图1-1-4 (a) 和 (b) 是点电荷的电力线，(c) 和 (d) 是两个等量的电荷的电力线。

在电场的某一区域里，如果各点的场强的大小和方向都相同，这个区域的电场就叫做均匀电场。

在均匀电场里，既然各点的场强的方向都相同，电力线就一定是互相平行的直线；各点的场强的大小都相同，电力线的疏密程度也一定处处相等。因此，均匀电场的电力线是间距相等的互相平行的直线。

两块靠近的平行的金属板，它们的大小相等并且互相对正，在带电荷的时候，它们之间的电场除边缘附近外，就是均匀电场，如图1-1-5所示。

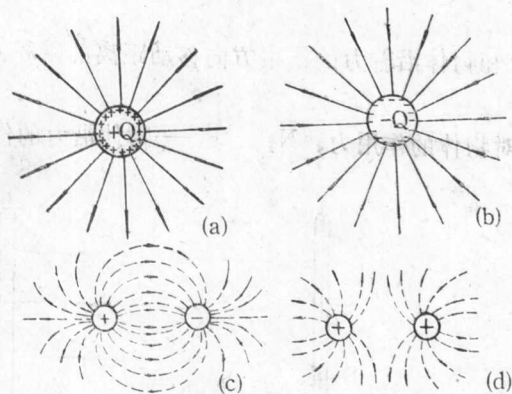
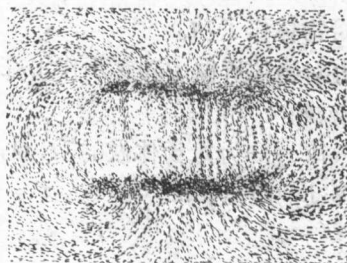


图 1-1-4 电力线



平行带电平板电场的实验

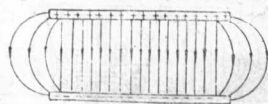


图 1-1-5 匀强电场

四、静电感应和静电屏蔽

把一个不带电的金属导体ABCD放到电场中，导体内部的自由电子受到电场力的作用，将向电场的反方向做定向运动，如图1-1-6 (a) 所示。这样，在金属的AC面上将出现负电荷，在BD面上将出现正电荷。这种导体里的自由电荷由于受到外电场的作用而重新分布的现象，叫做静电感应。这时产生的电荷叫感应电荷。

由于静电感应，堆积在BD和AC两个侧面的正、负电荷在金属内部形成了一个附加电场，如图1-1-6 (b) 所示。附加电场和原有外部电场的方向相反，就使金属内部的电场强度减弱。只要金属内部电场强度还没有减少到零，自由电子就会继续移动，使附加电场增强，金属内部的电场进一步削弱，直到消失为止。这好象是电力线在金属表面“终止”了，不能

穿透到金属的内部，如图1-1-6 (c) 所示。就是说，金属体外部虽存在电场，而内部的电场强度却为零。如果在金属体（如金属盒）的内部放置仪器，仪器就不会受外界电场的干扰。这种现象就叫做静电屏蔽。

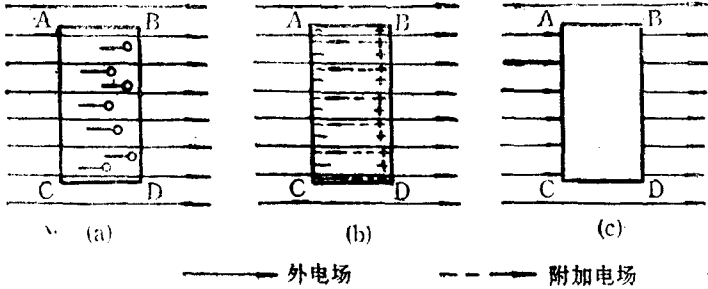


图 1-1-6 静电感应

五、电场力做功

1. 机械功

由图1-1-7我们可以看出，当工人把车子从A地推到B地，或者吊车把货物从地 面吊起时，车和货物都受到力的作用，并且在受力方向上移动了一段距离。这时，作用在物体上的力对物体作了功。

力对物体所做的功等于作用在物体上的力和物体沿着力的作用方向移动距离的乘积，即

$$W = F \cdot s$$

式中 W ——力对物体做的功，J； F ——对物体的作用力，N； s ——物体沿力的作用方向移动的距离，m。

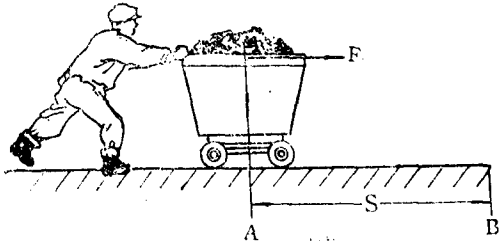


图 1-1-7 作用力对物体做功

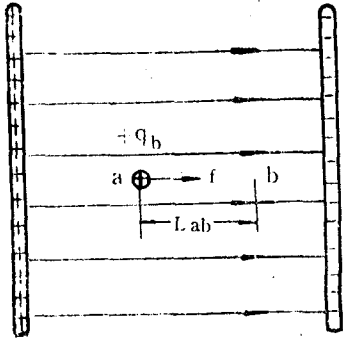


图 1-1-8 电场力对电荷做功

2. 电场力做功

同理，当电场力使电荷移动时，电场力对电荷做了功。如把一个试验电荷 $+q_0$ 放进均匀电场中，电荷 $+q_0$ 就会在电场力 f 的作用下，沿着电场强度方向从 a 点移动到 b 点，如图1-1-8 所示，这时电场力所做的功是

$$A_{ab} = f l_{ab} \tag{1-1-2}$$

3. 电位

物体在重力场中具有重力位能，重力位能与物体位置的高低有关。例如，水库的水位比

下游的水位高，它的位能也高。带电体也有电位能。但是电位能和重力位能不同，电位能的高低与带电体空间位置的高低无关，而与它在电场中的位置有关。

在电场中，当逆着电场方向用力把正电荷从某一点移到另一点的时候，外力克服电场力所做的功，叫做电荷在这一点上的电位能。电位能和电荷量的大小及电荷在电场中的位置有关。为了确定电位能的大小，通常在电场中选一个参考点。参考点的电位能为零。

什么叫做电位呢？电场中某点的电位在数值上等于单位电荷在该点所具有的电位能。可用下式计算：

$$\varphi = \frac{W}{q} \quad (1-1-3)$$

式中 W ——电荷在某点具有的电位能，J； q ——电荷的电量，C；

φ ——电场中某点的电位，V。

在确定电场中各点的电位时，也要选择一个参考点，参考点的电位为零。通常选择大地的电位为零电位。

电位的参考点是可以任意选择的，参考点选得不一样，电场中（或电路上）各点的电位也随着变化，但是两点之间的电位差是不变的。电位高于参考点的叫做正电位，电位低于参考点的叫负电位。

4. 电压

电场中任意两点间的电位差叫做这两点间的电压。 AB 两点间的电压，其物理意义是电场力将单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功，可用下式表示。

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = (W_A - W_B)/q \quad (1-1-4)$$

人们规定，电压的正方向是从高电位指向低电位。在电路图中电压用符号 U 加箭头来表示，箭头由高电位指向低电位。

电压的单位也是伏特，简称伏，用字母V表示。除了V（伏）以外，还有kV（千伏）、mV（毫伏）、 μV （微伏）。

$$1\text{kV} = 1000\text{V}$$

$$1\text{V} = 1000\text{mV}$$

$$1\text{V} = 1000000\mu\text{V}$$

六、电容器

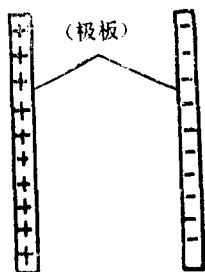


图 1-1-9 平板电容器

两个彼此绝缘而又互相靠近的导体，组成一个电容器。而这两个导体就是电容器的两个极。两块平行金属板，它们相隔很近而又彼此绝缘，就组成一个平行板电容器。

使电容器带电叫做充电。充电时总是使电容器的一个导体带正电，另一个导体带等量的负电，如图1-1-9所示。每个导体所带电量的绝对值，叫做电容器所带的电量。

使充电后的电容器失去电荷叫放电。用一根导线把电容器的两极板接通，两极板上的电荷互相中和，电容器就不带电了。

如果在电容器的两个极板上充以电荷量 Q ，那么两极板间就会有电压 U 。电荷量 Q 与电压 U 的比值是一个常数，用符号 C 表示，即为电容器的电容量：

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1-1-5)$$

式中 Q ——电量单位, C (库仑); U ——电压, V; C ——电容, F (法拉)。

如果电容器的极板上的电荷量为1C, 极板间的电压为1V, 电容器的电容量 C 就是1F, 用符号 F 表示。实用上常常感到法拉这个单位太大, 一般用微法 (μF) 或皮法 (pF) 做单位, 它们之间的关系是

$$1F = 10^6 \mu F = 10^{12} pF$$

第二节 直流电路的计算

电在生产和生活中的应用非常广泛, 其中许多应用都跟电流有关。电流是在电路中流动的, 为了有效地利用和控制电流, 需要研究电路的规律。

一、电 流

当我们合上电源开关时, 电灯会发光, 电炉会发热, 电动机会转动, 就是因为有电流流过的缘故。金属导体中的电流是自由电子定向移动形成的。电解液中的电流是正、负离子向相反方向移动形成的。

要形成电流, 首先要有能够自由移动的电荷。我们知道在金属导体中, 原子的原子核对它的电子控制较弱, 因而, 电子可以脱离原子核的束缚在金属体内到处运动, 这种电子叫做自由电子。

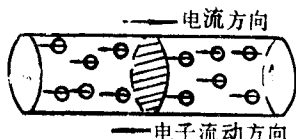


图 1-2-1 电子定向移动形成电流

如果在金属导体的两端上存在着电位差, 金属导体中的自由电子在电场力的作用下, 就会有规则地向电场强度的反方向移动。这种有规则的定向运动, 就形成了电流, 如图1-2-1所示。

电流的方向怎样确定呢? 长期以来, 人们习惯把正电荷运动的方向规定为电流的方向。因此导线中的电流方向与电子流动的方向相反, 如图1-2-1所示。

电流的强弱, 常用电流强度来表示, 简称电流。如果电流的大小和方向都不随时间而变化, 这种电流称为恒定直流, 简称直流。对于直流来说, 电流强度在数值上等于每秒钟内通过导线横截面的电量。电流强度用符号 I 表示, 可用下式计算:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2-1)$$

式中 Q ——通过导线横截面的电量, C; t ——通过电量 Q 所用的时间, s;

I ——电流强度, A。

如果1秒钟内有1库仑的电荷量通过了导线的某一截面, 这时的电流就是1安培。电流很小时, 常用毫安、微安来计量, 可用下式换算:

$$1A = \frac{1\text{库仑}}{1\text{秒}} = \frac{1C}{1s}$$

$$1A = 1000mA \quad 1mA = 1000\mu A \quad 1mA = 10^{-3}A, \quad 1\mu A = 10^{-6}A。$$

电流很大时, 常用kA (千安) 来计量, $1kA = 1000A。$

二、电动势

前面我们说过，电灯接上电源就会发光，这是因为电灯的灯丝中有电流通过。电流是由电源的电压产生的。

在不同的电源中，产生电位差的原理也各不相同。例如，在干电池和蓄电池中产生电位差是化学能的作用；在发电机中产生电位差是电磁能的作用。但是，它们都具有一个共同的特点，就是能把电源内部导体中的正负电荷分别向电源两极推动，使得一个电极具有一定量的正电荷，另一个电极具有等量的负电荷。于是两极板间就形成了电场，出现了一定的电位差，这种电源内部推动电荷移动的作用力统称为电源力。

图1-2-2是一蓄电池，在蓄电池的内部由于电源力的作用，正极板A上堆积了大量的正电荷，负极板B堆积了大量的负电荷。因而正极板A的电位高于负极板B的电位，在两极板间形成了电压，当在两极板间接入负载（电灯）时，正电荷就在电场力的作用下，从正极经过负载流向负极。这时两极板上的电荷会不会减少呢？不会的。因为当正电荷在电场力的作用下从正极经负载向负极移动时，与此同时，在电源内部正电荷在电源力的作用下，将会源源不断地从负极补充到正极上去。这样就保持了两极板间的电压不变，从而也维持了电流持续不断地通过负载。

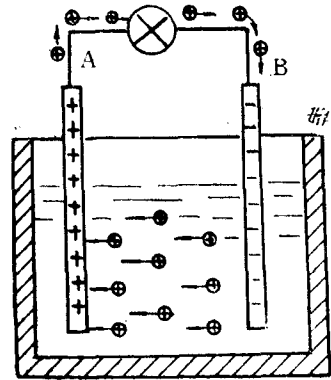


图 1-2-2 蓄电池

电源力既然能使电荷移动，就说明它能做功。电源力将单位正电荷从电源负极移动到正极所做的功，叫做电源的电动势（简称电势），并用符号 E 表示，即

$$E = \frac{W_0}{q} \quad (1-2-2)$$

式中 W_0 ——电源力将正电荷 q 从负极移到正极所做的功，单位J（焦耳），
 q ——正电荷，C， E ——电源产生的电势，V。

电势的正方向，通常规定为正电荷所受电源力的方向，在电源内部从电源的负极指向正极。电势的单位和电压的单位相同，都是伏特。

三、电路的构成

电路是电流经过的路径。图1-2-3所示是一个最简单的电路。它由电源、负载、连接导线和开关三个基本部分组成。

电路一般是用示意图来表示，如图1-2-4 (a) 所示。电路还可以进一步简化，如图1-2-4 (b) (c) 所示。图1-2-4 (c) 中用电源电压 U 代表电源。

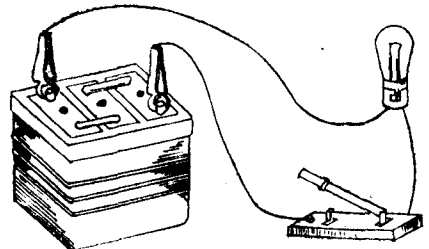


图 1-2-3 电路图

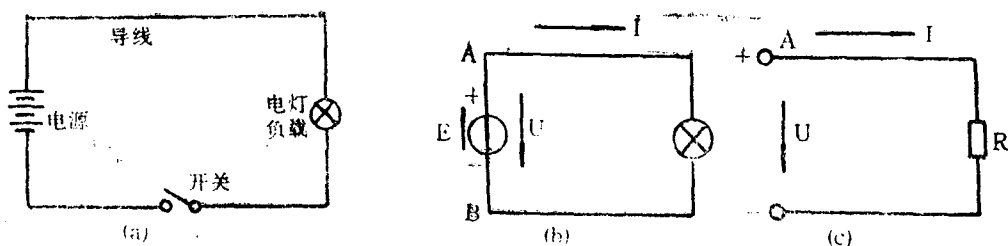


图 1-2-4 电路原理图

四、电阻和电阻的单位

水在水管里流动时，会受到管壁和其它障碍物的阻力。电子在导体里运动时，由于在导体内部有许多受热而振动的原子，电子的运动要受到原子的碰撞和原子核对它的吸引力。它们对电子的定向运动都会产生阻力。导体对电流的阻力称为电阻，用符号 R 或 r 表示。

不但电源以外的电路有电阻，电源本身也有电阻。电源本身的电阻叫做电源的内电阻，简称内阻。

导体的电阻的大小与哪些因素有关呢？

在一定温度下导体电阻的大小与导体的材料和尺寸有关。由试验可知，在温度不变时，导体的电阻与其长度 L 成正比，与截面积 S 成反比，可用下面的公式表示：

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-2-3)$$

式中 R ——导体的电阻， Ω （欧姆）， ρ ——导体的电阻系数，也叫电阻率（即长1m、横截面为 1mm^2 的导体在温度为 20°C 时的电阻值）， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

L ——导体的长度，m；

S ——导体的横截面积， mm^2 。

在导体的两端加上1V的电压，如果通过导体的电流是1A，那么这个导体的电阻就是 1Ω 。电阻的单位还有 $\text{k}\Omega$ （千欧）和 $\text{M}\Omega$ （兆欧），它们之间的关系是

$$1\text{k}\Omega = 1000\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 1000000\Omega$$

各种材料的电阻率如表1-2-1所示。

电阻的规格除标有标称电阻值外，还标有允许电流或额定功率的瓦数，选用电阻时必须同时注意这两个方面。几种常用的电阻元件如图1-2-5所示。

物体按照电阻率的不同，分为导体、绝缘体和半导体。通常把电阻率的范围约为 $0.01 \sim 1\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 容易导电的物体叫做导体。银、铜、铝是良导体，含有杂质的水、人体、钢筋混凝土电杆、砖土墙壁、大地等，也是导体，但不是良导体。

电阻率的范围约为 $10^{11} \sim 10^{22}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 几乎不导电的物体叫做绝缘体。例如陶瓷、橡

表 1-2-1 材料的电阻率 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

用途	材料名称	电阻率 ρ [20°C]
导电材料	碳	10.0
	银	0.0165
	铜	0.0175
	铝	0.0283
	低碳钢	0.13
电阻材料	锰铜	0.42
	康铜	0.44
	镍铬铁	1.0
	铂铬铁	1.2
	铂	0.106

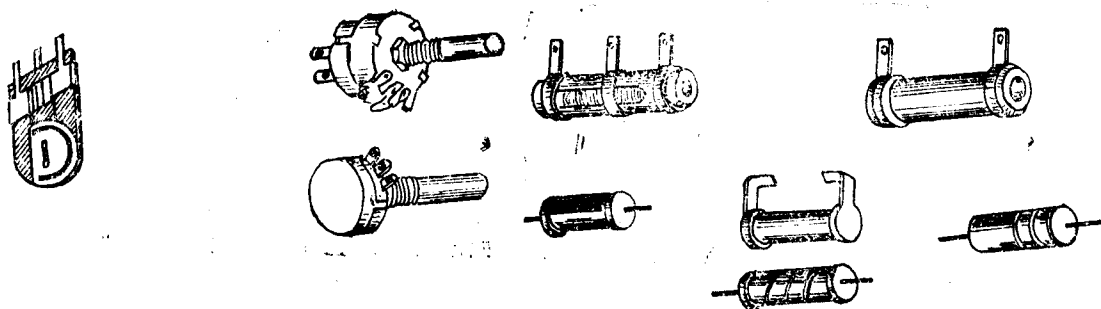


图 1-2-5 常用的几种电阻元件

胶、塑料、玻璃、油漆、云母、纸、棉纱和干燥的木材等。

导电能力介于导体和绝缘体之间的物体叫做半导体，如锗、硅、硒和氧化铜等都是半导体。半导体在电子技术中应用很广泛。在实际应用中，把导体作为导电部分，而用绝缘体来隔离不同电位的各部分导体，以保护人身和设备运行的安全。

例1-2-1 试计算长度为10 km，截面积为25mm²的铝导线在20℃时的电阻值是多少？

解：查表1-2-1得铝的电阻系数 $\rho = 0.0283 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 代入公式1-2-3得：

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.0283 \frac{10000}{25} = 11.32 \Omega.$$

导体的电阻还与温度有关，对于普通的金属，温度越高电阻越大。例如，灯泡钨丝通电后，热状态下的电阻比没有通电时冷状态下的电阻要大十几倍。导体的温度每升高1℃时，它的电阻值增大的百分数叫做电阻的温度系数，用符号 α 来表示。表1-2-2是几种常用材料的电阻温度系数。

表 1-2-2

用途	材料名称	平均电阻温度系数 α [0~700℃] ($1/^\circ\text{C}$)
导电材料	碳	-0.0005
	银	0.0036
	铜	0.004
	铝	0.004
	低碳钢	0.006
电阻材料	锰铜	0.000005
	康铜	0.000005
	镍铬铁	0.00013
	铂铬铁	0.00008
	铂	0.00388

我们假定温度为 t_1 时，导体的电阻为 R_1 ，温度为 t_2 时，导体的电阻为 R_2 。导体材料的电阻温度系数是 α 。则电阻 R_1 、 R_2 满足下式：

$$R_2 = R_1 + \alpha R_1 (t_2 - t_1) = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \quad (1-2-4)$$

例1-2-2 有一电动机，在20℃时，它的一相定子铜线圈的电阻为0.5Ω，运转一定时间后，测得电阻为0.66Ω，问此时线圈的温度为多少度？

解： $R_1 = 0.5 \Omega$ ， $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ，

$R_2 = 0.66 \Omega$ ，查表1-2-2，铜的电阻温度系数 $\alpha = 0.004$ ，将这些值代入式1-2-4得：

$$0.66 = 0.5 + 0.004 \times 0.5 (t_2 - 20)$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C},$$

答：该线圈的温度已升高到100℃。

五、欧姆定律

1. 一段无源电路的欧姆定律

图1-2-6所示是一段电路，它是全电路的一部分，在这段电路中不包含电势，仅有电阻 R 。电阻两端的电压为 U ，通过这段电路的电流为 I 。从试验得知，电阻中电流 I 的大小与电阻两端电压的大小成正比，与电阻值的大小成反比。这就是一段无源电路的欧姆定律。简称欧姆定律。即：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-2-5)$$

式中 I ——电流，A U ——电压，V， R ——电阻， Ω 。

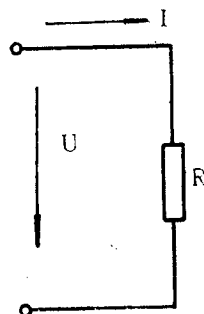


图 1-2-6 无源电路

根据欧姆定律，在三个量之中，已知任意两个量，就可以求出第三个量。例如，已知电压 U 和电阻 R ，按式1-2-5可求出电流 I 。如果已知电流 I 和电阻 R ，按式1-2-6可求出电压 U 即

$$U = IR \quad (1-2-6)$$

如果已知电压 U 和电流 I ，按下式可求出电阻 R ，即：

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-2-7)$$

例1-2-3：长100m的照明线路，截面为 10mm^2 ，电阻系数 $\rho = 0.0283\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。今测得负荷电流为2A，试计算导线上的电压。

解：两条导线的电阻为：

$$R = 2 \times \rho \frac{L}{S} = 2 \times 0.0283 \frac{100}{10} = 0.566 \Omega$$

在导线的电压为：

$$U = IR = 2 \times 0.566 = 1.132 \text{ V}$$

2. 全电路欧姆定律

图1-2-7是一个含有电源的闭合电路，也叫全电路。现在我们来分析全电路电源电势 E 与电源两端的电压 U 之间有什么关系。一个实际电源的内部总是有电阻的，我们用电动势 E 和内电阻 R_0 表示实际的电源。当电流通过内电阻 R_0 时，也要产生电压，一般叫做内电阻压降。它们之间关系为：

$$E = I(R + R_0) \text{ 或 } E = U + IR_0,$$

$$I = \frac{E}{R + R_0} = \frac{E - U}{R_0} \quad (1-2-8)$$

这就是全电路欧姆定律。

应当指出，外电路上的电压降，就是电源加在外电路两端的电压，简称端电压。在以后分析、计算时，若无特殊说明，则表示电源内阻极小，可以忽略不计。此时可认为端电压等

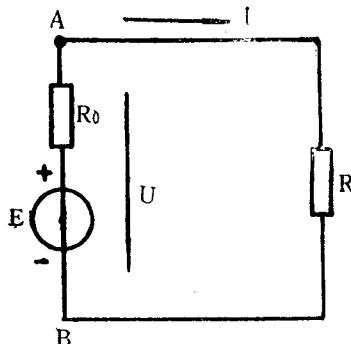


图 1-2-7 全电路

于电源电势，即 $U = E$ 。如果电源的电势和电阻不变，则电源供给负载的电流决定于负载电阻的变化，负载电阻越大，则电流就越小；在外电路断开时，则电流 $I = 0$ 。在负载电阻小到可以认为等于零时。这时电流近似等于 E/R_0 ，称为短路电流，这种情况称为短路。电源的内阻一般都很小，故短路电流很大。

例1-2-4：如图1-2-7所示，已知 $E = 9\text{V}$ ， $R_0 = 0.08\Omega$ ， $R = 3.5\Omega$ 。试求电路中电流 I ，电源内部电压降 IR_0 ，端电压 U ， A ， B 两点的电位哪一点高？ U 的实际方向应怎样算出？

解：由全电路欧姆定律的公式计算得：

$$I = \frac{E}{R + R_0} = \frac{9}{3.5 + 0.08} = 2.51 \text{ A};$$

$$IR_0 = 2.51 \times 0.08 = 0.2 \text{ V};$$

$$U = E - IR_0 = 9 - 0.2 = 8.8 \text{ V}.$$

因为电流在外电路是从高电位流向低电位，所以 A 点的电位比 B 点的电位高。

电压 U 的实际方向是从高电位指向低电位，如图1-2-7中箭头所示。

例1-2-5：在图1-2-8中，已知 $E = 12\text{V}$ ，内阻 $R_0 = 0.2\Omega$ ， $R_1 = 3\Omega$ ， $R_2 = 0.5\Omega$ 。试比较转换开关 K 在1、2、3、4各不同位置时，电路中电流 I 和电源端电压。

解：1) 开关 K 合至位置1时

$$I = \frac{E}{R_1 + R_0} = \frac{12}{3 + 0.2} = \frac{12}{3.2} = 3.75 \text{ A};$$

$$U = IR_1 = 3.75 \times 3 = 11.25 \text{ V}.$$

2) 当开关 K 合至位置2时

$$I = \frac{E}{R_2 + R_0} = \frac{12}{0.5 + 0.2} = 17 \text{ A};$$

$$U = IR_2 = 17 \times 0.5 = 8.5 \text{ V}$$

比较1)、2)的计算结果可以看出，对同一电源，当电路中负载电阻越小，电路中的电流就越大，电源内阻上电压降也就越大，而电源端电压 U 就要比电势小得多。

3) 当开关 K 合至位置3时

此时电源外部被导线短接（也叫短路状态），外电路负载电阻 $R = 0$ 。

$$I = \frac{E}{R_0} = \frac{12}{0.2} = 60 \text{ A};$$

$$U = IR = 60 \times 0 = 0$$

说明短路时，电路中电流很大，而电源端电压等于零，电源的电能全部由内电阻转为热能消耗了。这样大的电流很快就会烧坏电源，因此要严防短路故障的发生，并在电路中装设保护装置加以保护。

4) 当开关 K 合上位置4时

此时因电源与外电路之间是断开的，电路中没有电流通过，即

$$I = 0;$$

$$U = E - IR_0 = E$$

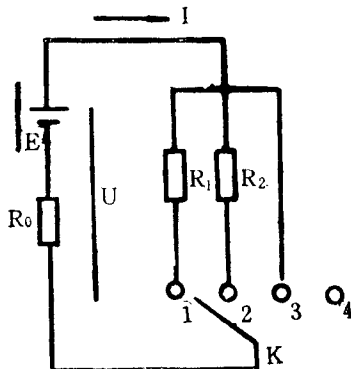


图 1-2-8