

DIANGONG

孙怀川 编著

# 电工实用技术



SHIYONGJISHU

安徽科学技术出版社

责任编辑：崔惠敏  
封面设计：安振家

## 电 工 实 用 技 术

孙怀川 编著

\*

安徽科学技术出版社出版

(合肥市跃进路1号)

安徽省新华书店发行 安徽新华印刷厂印刷

\*

开本：787×1092 1/16 印张：23.25 字数：537,000

1986年3月第1版 1986年3月第1次印刷

印数：00,001—9,000

统一书号：15200·61 定价：3.95元

## 前 言

电在四化建设中起着十分重要的作用。随着我国工农业生产的发展,电在城镇和农村中的应用越来越广泛。为了适应电工自学和电工培训工作的需要,特编写了这本《电工实用技术》。

全书共分十章:前两章,简要地介绍了电工基础知识和电子技术的基础知识。第三、四两章,介绍了电工材料、电工工具、电工识图以及电工仪表的基本知识。第五至第十章,分别介绍了常用变压器、配电线路、照明线路、电动机和有线广播知识,以及有关安全用电的知识。

在编写中注意了以下几点:第一,知识的系统性和完整性。对于一个合格的电工,不仅需要掌握几种电工操作技术,而且还要懂得其原理;不但会搞“强电”,而且还要会搞“弱电”。现今,电工技术发展迅速,新技术不断出现,对电工的技术水平要求也越来越高。特别是在农村,由于受到某些条件的限制,农村电工的分工不可能很细,这就要求农村电工必须是多面手。因此,农村电工必须系统地学习、掌握较完整的电工知识。为此,本书在内容上作了相应的安排。首先讲电工、电子技术的基本理论,接着介绍了有关电工材料、工具、识图和电工仪表的基本知识。然后,从“外线”到“内线”;从“强电”到“弱电”;从设备到人身安全,比较系统地讲解了电工知识。在每一章里,还根据知识的内在联系,按原理、安装、使用、维护、检修作了系统地讲述。第二,内容有较强的针对性和实用性。在动手编写之前,笔者曾经到过某些城镇、农村及农场作了调查,因此,该书内容一般比较切合城镇和农村实际。如当前城镇、农村最常使用哪些电气设备,最常采用的线路,如何安装、使用、维修这些设备、线路,在安装、使用、维修中需要注意的问题,等等,都作了较为详细而具体的介绍。第三,注意了实例的典型性和技术的先进性。为使本书能够更加适用于当前城镇和农村电工的需要,笔者在编写这本书的时候,所选用的例子都是乡镇常见的,而且技术是先进的,同时参阅了国内外很多有关图书和资料。总之,本书内容丰富,技术先进,实用性强,文字也通俗易懂。既适于农村电工使用,也可供城镇、厂矿电工及电工技校师生参考。

在编写过程中,得到了张丽生、宋希连、张新民、刘文涛、丁品发等同志的大力支持和帮助。书中400多幅插图,为安振家、王俊侨、吕正琴、王美荣、季敏等同志绘制。初稿经刘润副教授审阅。在此,对这些同志表示感谢。

由于本人水平所限,书中难免有缺点或错误,敬请读者批评指正。

作 者

1985年2月8日

# 目 录

## 前言

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| <b>第一章 电工基础知识</b> .....         | ( 1 ) |
| 第一节 电场.....                     | ( 1 ) |
| 第二节 直流电路.....                   | ( 7 ) |
| 第三节 交流电路.....                   | (23)  |
| 第四节 磁及电磁感应.....                 | (41)  |
| <b>第二章 电子技术基础知识</b> .....       | (52)  |
| 第一节 晶体管.....                    | (52)  |
| 第二节 电子管.....                    | (63)  |
| 第三节 整流电路与滤波电路.....              | (69)  |
| 第四节 放大器.....                    | (77)  |
| <b>第三章 电工材料、电工工具及电工识图</b> ..... | (89)  |
| 第一节 电导材料.....                   | (89)  |
| 第二节 绝缘材料.....                   | (97)  |
| 第三节 磁性材料 .....                  | (102) |
| 第四节 电工工具 .....                  | (105) |
| 第五节 电工识图 .....                  | (110) |
| <b>第四章 电工仪表及测量</b> .....        | (120) |
| 第一节 电工仪表的基本知识 .....             | (120) |
| 第二节 常用电工仪表的构造原理及用途 .....        | (126) |
| 第三节 电流表及电流的测量 .....             | (130) |
| 第四节 电压表及电压的测量 .....             | (136) |
| 第五节 电阻表及电阻的测量 .....             | (139) |
| 第六节 电度表及电能的测量 .....             | (144) |
| 第七节 万用表及其使用 .....               | (150) |
| 第八节 电工仪表的维护、保管与检修.....          | (154) |
| <b>第五章 常用变压器</b> .....          | (160) |
| 第一节 变压器的基本知识 .....              | (160) |
| 第二节 变压器的构造与工作原理 .....           | (162) |
| 第三节 变压器的安装 .....                | (167) |
| 第四节 变压器的连接 .....                | (175) |
| 第五节 变压器的运行 .....                | (179) |
| 第六节 变压器的检修 .....                | (183) |
| 第七节 几种专用变压器 .....               | (189) |

|                   |       |
|-------------------|-------|
| <b>第六章 配电线路</b>   | (193) |
| 第一节 配电线路的规划       | (193) |
| 第二节 配电线路的基本构件     | (194) |
| 第三节 配电线路的导线选择     | (201) |
| 第四节 配电线路的装设       | (205) |
| 第五节 两线一地制配电线路     | (220) |
| 第六节 配电室           | (222) |
| 第七节 配电线路的运行与维修    | (231) |
| <b>第七章 电气照明线路</b> | (234) |
| 第一节 电气照明设备        | (234) |
| 第二节 绝缘导线的选择与连接    | (239) |
| 第三节 电气照明线路的安装     | (245) |
| 第四节 电气照明线路的检修     | (250) |
| <b>第八章 常用电动机</b>  | (255) |
| 第一节 电动机的基本知识      | (255) |
| 第二节 电动机的构造与工作原理   | (260) |
| 第三节 电动机的安装        | (266) |
| 第四节 电动机的起动与控制电路   | (271) |
| 第五节 电动机的使用        | (276) |
| 第六节 电动机的定子绕组      | (283) |
| 第七节 电动机的检修        | (288) |
| <b>第九章 有线广播</b>   | (309) |
| 第一节 有线广播站的站内装设    | (309) |
| 第二节 有线广播线路的架设与维修  | (313) |
| 第三节 有线广播的线路匹配     | (328) |
| 第四节 有线广播设备        | (336) |
| <b>第十章 安全用电</b>   | (352) |
| 第一节 电流对人体的危害      | (352) |
| 第二节 触电事故          | (353) |
| 第三节 触电事故的预防       | (356) |
| 第四节 触电后的急救        | (360) |

# 第一章 电工基础知识

电气工人只有学会电工学的基础知识，才能懂得各种电气设备的原理，避免盲目操作，掌握电工技术。

本章简要地叙述了电工学的基础知识，包括电场、直流电路、交流电路、磁及电磁感应。本章重点为直流电路与交流电路的基本概念及电路计算。

## 第一节 电 场

### 一、电的基本知识

#### 1. 带电现象

人类很早就发现了物体的带电现象。我国东汉时期的著名学者王充，在他所著的《论衡》一书中，有一段关于摩擦生电的“顿牟掇芥”的记载。就是说，当用力摩擦琥珀之后，能够产生琥珀吸引轻小物体的现象。“顿牟掇芥”现象也曾被古希腊的科学家退利斯发现过。

“电”这个词就是来源于希腊文“琥珀”的字根。

我们把不同质料的物体相互摩擦后产生吸引轻微物体的现象叫做带电现象。只要物体具有能够吸引轻微物体的性质，就说明它带了电，或者说它有了电荷。我们还把这种处于带电状态的物体，叫做带电体。使物体带电的过程叫做起电。利用摩擦方法使物体带电，叫做摩擦起电。

使物体带电的方法还有一些，如感应起电、接触起电等。但是，无论是采用哪一种方法使物体带电，所产生的电荷都只有两种，即正电荷与负电荷。同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

#### 2. 电的本质

世界上的一切物体，都是由很小的微粒分子所组成的。分子是由更小的微粒原子所组成的。原子是由带正电荷的原子核及带负电荷的在原子核外面绕原子核高速旋转的电子所组成的。

氢元素的原子结构最简单，核外只有一个电子。铝元素原子的核外电子是13个，铜元素原子的核外电子是29个，铀元素原子的核外电子是92个……不过，无论是简单的原子还是复杂的原子，原子核所带的正电量，总是等于它的核外电子所带的负电量的总和。

在原子中，原子核只占有极小的体积，而它却几乎集中了原子的全部质量。核外电子分层地沿着各自的轨道，不停地绕着原子核做高速运动。所有的电子都被原子核吸引着。但是，各层电子所受到的原子核的吸引力是不相同的。最外层的电子所受到的吸引力比较小些。在一定的条件下，最外层的电子可能脱离原来的运动轨道，在原子间做自由运动，这样便形成

了“自由电子”。

利用电子的运动，以及原子核与电子间的相互作用来解释带电现象的理论，叫做电子论。

在通常情况下，每一个原子的核外电子所带的负电荷的总数与原子核所带的正电荷的总数相等，两种电荷正好中和，原子是中性的。所以，物体对外就不带电。使一个物体带电，实际上就是多给它一些电子或者是从它那里取走一些电子。摩擦起电可以这样解释：两个物体相互摩擦后，一个物体的一部分原子失去了电子，就带了正电；而另一个物体的一部分原子得到了电子，就带了负电。一个物体失去电子的数量与另一个物体得到的电子数量是相等的。因此，两个物体相互摩擦之后，不但都带上了不同种的电荷，而且所带的异种电荷的数量相等。

物体带电的过程，就是物体之间的电子重新分配的过程。一个物体失去一定数量的电子，必定有另一个物体获得相等数量的电子。也就是说，电荷既不能消灭也不能创生，只能在一定条件下从一个物体转移到另一个物体，这就是电荷守恒定律。

由上可见，电的本质是电子。

物体所带电荷的多少叫做电量，用字母  $q$  或  $Q$  表示，单位是库仑，每个电子所带的电量是  $-1.6 \times 10^{-19}$  库仑。

### 3. 电的分类

电可以分为两大类：

#### (1) 静电

电荷处于静止不动状态的电叫做静电。例如，玻璃棒与丝绸摩擦之后，玻璃棒上所带的电就是静电。玻璃棒上的电荷只是停留在玻璃棒的外表面上，并不流动。

#### (2) 动电

电荷处于流动状态的电叫做动电。例如，供给电灯的电就是动电。因为在连接电灯的导线之中，电荷在不断地流动。

动电又可以分为直流电和交流电，它们的定义将在后面给出。

### 4. 导体、绝缘体和半导体

#### (1) 导体

能够迅速传导电荷的物体，叫做导体。各种金属材料及碳都是良好的导体，它们是靠自由电子的移动来导电的。电解液，如酸、碱的溶液等也是良好的导体，它们是靠离子的移动来导电的。此外，人体和大地也是导体。

#### (2) 绝缘体

难以传导电荷的物体，叫做绝缘体，或叫做电介质。例如，云母、胶木、瓷器、琥珀、橡皮、石蜡、火漆等都是很好的绝缘体。绝缘体难以导电的原因在于，绝缘体的原子的最外层电子被原子核紧紧地吸引着，它们难以脱离原子核的引力范围，自由电子很少。

#### (3) 半导体

导电能力介于导体与绝缘体之间的物体叫做半导体。如锗、硅、大理石及一些金属的氧化物和磁化物。

## 二、电场

### 1. 电场

当我们在一个带电体  $q_1$  的附近放置另一个带电体  $q_2$  时，两个带电体之间就有力的作用。如果  $q_1$ 、 $q_2$  带有同种电荷，它们就相互排斥；如果  $q_1$ 、 $q_2$  带有异种电荷，它们就相互吸引。

可见，在带电体周围的空间具有电力作用，此空间叫做电场，电场是一种特殊的物质。带电体之间的相互作用力就是依靠电场这种特殊的媒介完成的。

在真空中的两个点电荷，它们之间的相互作用力为

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

式中  $F$ ——点电荷 $q_1$ 、 $q_2$ 的相互作用力，单位是牛顿；

$q_1$ 、 $q_2$ ——两个点电荷的带电量，单位是库仑；

$r$ ——两个点电荷之间的距离，单位是米；

$k$ ——比例常数， $k=9 \times 10^9$  牛顿·米<sup>2</sup>/库仑<sup>2</sup>。

如果两个点电荷是在电介质中，那么，它们之间的相互作用力为

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon_r r^2}$$

式中  $\epsilon_r$ ——电介质的相对介电常数。

实验证明，在点电荷电场中的某一点，检验电荷所受到的电场力  $F$  与点电荷所带的电量  $q$  的比值 ( $F/q$ ) 不变。比值  $F/q$  叫做电场强度，简称场强，用  $E$  表示，即

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

电场强度的单位是牛顿/库仑。电场中某一点的电场强度是一个矢量，有大小和方向。它的大小等于单位正电荷在该点所受到的电场力的大小；它的方向就是正电荷在该点所受的电场力的方向。

在电场中的某一区域里，如果各点的电场强度的大小和方向都相同，那么，这个区域里的电场就叫做均匀电场。例如，两块平行板之间的电场，可以近似地看做是均匀电场。

为了形象地描绘电场，法拉第提出了电力线的图示法。在电场中画若干条曲线，使这些曲线上的每一点的切线方向都和该点的电场强度的方向一致，这些曲线就叫做电力线。正电荷电场的电力线方向，是由正电荷向外指；负电荷电场的电力线方向，是由外指向负电荷；两个异性电荷的电力线，方向是由正电荷到负电荷。应该注意的是，电力线是假想的，它并不真实存在。

## 2. 电位、电压

### (1) 电位

在静电场中，正电荷沿着电场方向运动时，电场力要对电荷做功；正电荷逆着电场方向运动时，外力要克服电场力做功。负电荷在电场中运动时，做功的情况与正电荷的相反。由能量守恒定律可知，电荷在电场中的运动是要使它的位能(即势能)发生变化。电场力对电荷所做的功，等于电荷位能的减少，而外力克服电场力所做的功，等于电荷位能的增加。因此，我们说，在静电场中的每一点，电荷都具有一定的位能，这个位能叫做电位能。

我们把电荷在电场中某一点所具有的电位能  $W$  与该点电荷的电量  $q$  之比，叫做该点的电位，用  $U$  来表示，即

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

电位的单位是伏特，简称为伏，用字母  $V$  来表示。1 伏特 = 1 焦耳/库仑。

此外，还有千伏(kv)、毫伏(mv)和微伏( $\mu v$ )。

1千伏=1000伏=10<sup>3</sup>伏；1伏=1000毫伏=10<sup>3</sup>毫伏；1毫伏=1000微伏=10<sup>3</sup>微伏。

电场中某点的电位，在数值上等于单位正电荷在该点所具有的电位能，也等于单位正电荷从该点经过任意路径移到无限远点时电场力所做的功。在正电荷形成的电场中，各点的电位是正的，离电荷越远，电位越低。在无限远处电位为零，是电位的最小值；在负电荷形成的电场中，各点的电位也是负的，离电荷越远，电位越高，在无限远处电位为零，是电位的最大值。电位的大小没有绝对意义，只不过是和假定电位为零的参考点比较而已。通常把电荷在无限远处或接金属“地”的点定为参考点，其电位为零。高于参考点的电位为正电位，低于参考点的电位为负电位。

## (2) 电压

电场中任意两点的电位之差，叫做电位差，也叫电压，用 $U$ 来表示，单位与电位的单位相同，也是伏特。

例如，若A点的电位是 $U_A$ ，B点的电位是 $U_B$ ，则A、B两点之间的电压为

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

电压的正方向是从高电位指向低电位。

## 3. 电场中的导体

导体在不带电时，自由电子的负电荷和原子核带的正电荷相互抵消，导体对外不显电性。

把导体放进电场后，在电场的作用下，导体里的自由电子就要逆着电场强度的方向运动。导体中的电子就要重新分布。导体中的自由电子重新分布结束后，我们就称导体处于静电平衡状态。

处于静电平衡状态的导体有两个特点：第一，导体内部的任意一点的电场强度为零，即 $E=0$ 。否则，自由电子就将受电场力的作用而继续做定向运动，而达不到静电平衡。第二，导体表面上任何一点的电场强度都与导体的表面相垂直。否则，电场强度必定有切线分量，它将使电子沿着导体的表面做定向运动。

由于在静电平衡时导体内部电场强度为零，而电子又分布在导体的外表面，因此，可以用空心导体或金属网来保护物体不受电场的影响。我们把放在空心导体或金属网内的物体不受外电场影响的现象，叫做静电屏蔽。用来屏蔽外电场的空心导体和金属网叫做屏蔽罩。

如果把一个带电体屏蔽起来，使它不致于对周围的物体产生影响，就必须把屏蔽罩的外壳接地（图1-1）。

静电屏蔽的应用很广，例如，一些精密仪器、无线电元件都装在金属壳内；在高压工程中，用金属网来隔离高压设备，以防触电等。

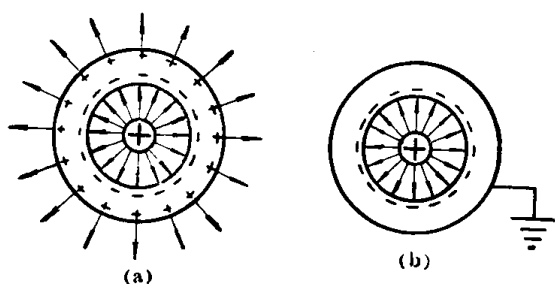


图1-1 带电体的静电屏蔽

## 4. 电容与电容器

### (1) 电容

导体所带的电量与其电位之比，叫做导体的电容。用字母 $C$ 来表示，即

$$C = \frac{Q}{U}$$

式中  $Q$ ——导体的带电量，单位是库仑；  
 $U$ ——导体的电位，单位是伏特；

C——导体的电容，单位是法拉。

电容的单位是法拉，简称法，用字母F表示。

$$1\text{法拉}=1\text{库仑/伏特}$$

实际应用中，通常将法拉的百万分之一作为电容的单位，叫做微法拉，简称微法，记作 $\mu\text{F}$ ；此外还用微法拉的百万分之一作单位，叫皮法拉，简称皮法，记作 $\text{pF}$ 。

$$1\text{微法}=10^{-6}\text{法}$$

$$1\text{皮法}=10^{-6}\text{微法}=10^{-12}\text{法}$$

导体的电容是由导体本身的性质，即导体的大小、形状等决定的，而不是由导体所带的电量决定的。无论导体带电与不带电，导体的电容都存在。

## (2) 电容器

在实际应用中，我们常需要一种电容较大而又恒定的装置用来储存电荷和电能，这种储存电荷的装置叫做电容器。

电容器由两个彼此绝缘而又相距很近的导体构成。电容器的电容C的大小，决定于导体的大小、形状、两个导体的相对位置和两个导体间的电介质的性质。

平板电容器的电容为

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$

由于  $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ ，故

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d}$$

式中 d——平板电容器两个极板间的距离，单位是米；

S——极板的面积，单位是 $\text{米}^2$ ；

$\epsilon_r$ ——电介质的相对介电常数，真空中 $\epsilon_r = 1$ ，各种电介质 $\epsilon_r$ 都大于1，无量纲；

$\epsilon_0$ ——真空介电常数，简称电常数， $\epsilon_0 = 8.855 \times 10^{-12}\text{法/米}$ ；

$\epsilon$ ——电介质的介电常数， $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ ；

C——电容器的电容，单位是法。

电容器中的电介质，如云母、陶瓷等并不是绝对不导电的，当它们的两端加很高的电压时，电介质的绝缘性能遭到破坏，就转为导电，我们把电容器在强电场下转为导电的状态叫做击穿。电介质临近击穿前所承受的最大电场强度叫做绝缘强度，也叫介电强度。

## (3) 电容器的连接

电容器的基本连接方法有两种，一种是串联，另一种是并联。

① 电容器的串联 将电容器的首尾依次连接在一起，这种连接方法叫串联，如图1-2所示。

串联电容器的主要特点是：

1) 每个电容器带有相等的电量。即每一个串联电容器的极板上都带有等量的异号电荷 $+Q$ 与 $-Q$ 。

2) 每个电容器上所加的电压不同，分别为

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad \dots, \quad U_n = \frac{Q}{C_n}$$

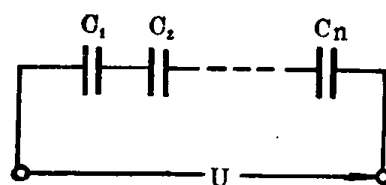


图1-2 电容器的串联

3) 各个电容器上的电压之和等于电源电压, 即

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

4) 串联后的总体的等值电容 $C$ 的倒数等于各个电容器电容的倒数之和, 即

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

可见, 电容器串联使用时, 电容器上所承受的电压减少了, 总电容小于每个电容器的电容。通常在电容器的耐压能力不能满足要求时, 采用串联方法解决。

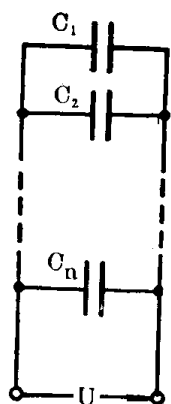


图1-3 电容器的并联

② 电容器的并联 把 $n$ 个电容器的一端连接在一起, 另一端也连接在一起, 这种连接方法叫做并联, 如图1-3所示。

并联电容器的主要特点是:

1) 每个电容器两端的电压相同, 即

$$U_1 = U_2 = \dots = U_n = U$$

2) 每个电容器极板上的电量不等, 分别为

$$Q = C_1 U, Q_2 = C_2 U, \dots, Q_n = C_n U$$

3) 总电量等于各个电容器上电量之和, 即

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

4) 并联等值电容等于各个电容器电容之和, 即

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

通常, 在单个电容器的容量太小时, 采用并联方法解决。

### 三、计算举例

**例1** 平板电容器极板面积是 $30\text{厘米}^2$ , 两极板相距 $0.2\text{毫米}$ , 试求: (1) 当以空气为介质时, 两极板间的电容; (2) 其它条件不变, 而把介质换成另一种介质时, 测得电容值为 $264\text{皮法}$ , 试求此种介质的相对介电常数。空气时,  $\epsilon_r = 1$ ,  $\epsilon_0 = 0.00886\text{皮法/毫米}$ 。

**解** (1) 以空气为介质时, 两极板间的电容为

$$C_{\text{空气}} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} = \frac{1 \times 0.00886 \times 3000}{0.2} \\ = 132.7 (\text{皮法})$$

(2)

由  $C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d}$  得

$$\epsilon_r = \frac{Cd}{\epsilon_0 S} = \frac{263 \times 0.2}{0.00886 \times 3000} \approx 2$$

**例2** 如图1-4所示, 电容器 $C_2$ 、 $C_3$ 并联后再与 $C_1$ 串联, 已知 $U = 200\text{伏}$ ,  $C_1 = 4\text{微法}$ ,  $C_2 = 8\text{微法}$ , 电容器 $C_1$ 的电荷量为 $Q_1 = 6 \times 10^{-4}\text{库仑}$ , 试求:  $C_3$ 、 $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 及 $Q_2$ 、 $Q_3$ 。

**解** 分析: 欲求 $C_3$ , 可先求混联电路的等值电容 $C$ , 再由并联公式解出。 $C_3$ 求出后其余各量易得。

混联电路的等值电容为

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q_1}{U} = \frac{6 \times 10^{-4}}{200} = 3 (\text{微法})$$

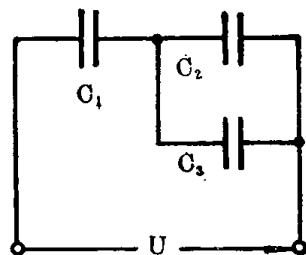


图1-4 例2图

$C_2$ 、 $C_3$ 并联的等值电容为

$$C_{2,3} = C_2 + C_3$$

混联电路的等值电容为

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{2,3}}} = \frac{C_1(C_2 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3}$$

代入数字, 得

$$\frac{4 \times (8 + C_3)}{4 + 8 + C_3} = 3$$

解之, 得

$$C_3 = 4 \text{ (微法)}$$

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{6 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-6}} = 150 \text{ (伏)}$$

$$U_2 = U_3 = U - U_1 = 200 - 150 = 50 \text{ (伏)}$$

$$Q_2 = C_2 U_2 = 8 \times 10^{-6} \times 50 = 4 \times 10^{-4} \text{ (库仑)}$$

$$Q_3 = C_3 U_3 = 4 \times 10^{-6} \times 50 = 2 \times 10^{-4} \text{ (库仑)}$$

## 第二节 直流电路

### 一、直流电路的构成

电荷向一定方向的移动, 叫做电流。

电流所通过的路径, 叫做电路。通过直流电流的电路, 叫做直流电路。

电路由电源、负载、导线及开关等四个基本部分组成。

#### 1. 电源

为电路供给电能的装置, 叫做电源。在电源内, 将各种非电能, 如化学能、机械能、光能等转换成电能。

各种电池、发电机等都是电源。常用的直流电源有干电池、蓄电池以及直流发电机等。

电源能够为电路提供电能。使电路中形成电流的原因, 在于电源的两端能够产生电压。而电源能够产生电压的原因, 在于电源的内部具有一种能够推动电荷移动的作用力, 这个力就是电场力。电场力将电源内部导体中所存在的正负电荷分别推向两边, 从而使电源的两个电极带有等量的异种电荷。

电场力把单位正电荷从电源的负极移到电源的正极所做的功, 叫做电动势, 简称电势, 用字母  $E$  来表示, 即

$$E = \frac{W_0}{q}$$

式中  $E$ ——电源电动势, 单位是伏特;

$W_0$ ——电场力将电荷  $q$  从电源负极移到正极所做的功, 单位是焦耳;

$q$ ——电荷的电量, 单位是库仑。

电动势用符号  $\ominus$  及  $\text{—}|$  来表示。在第一个符号中，细长线段代表电源的正极，短粗的线段代表电源的负极；第二个符号中，箭头的一端为电源的正极，箭尾的一端为电源的负极。

## 2. 负载

电路中的用电设备，叫做电源的负载。在电路中，负载把电能变成非电能，例如，变成热能、光能或机械能。电灯、电动机、电阻器等都是负载。

## 3. 导线

导线也就是电线。在电路中，用导线连接电源和负载，电流在导线中流过，电源通过导线将电能传给负载。导线一般用铜、铝制成。铜线的导电性能比铝线好，但铝线的价格比铜线低，重量又比铜轻得多，所以，目前铝导线的应用越来越广泛。

有关导线的更多知识，将在第三章中介绍。

## 4. 开关

开关用来控制电路的接通或切断。

电源内部的电路，叫做内电路；电源外部的电路，叫外电路；外电路中的一部分，叫做一段电路或部分电路。处于接通状态的电路叫闭合电路或通路；处于未接通状态的电路叫做开路或断路。

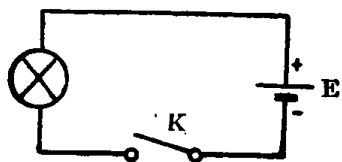


图1-5 手电筒的电路

例如，在手电筒的电路（图1-5）中，干电池为电源，铁皮外壳为导线，小电珠为负载，按钮为开关。在不按下按钮时，电路不通为断路，电路中无电流通过，小电珠也不亮；而当按下按钮时，开关接通，此时形成闭合电路，电路中有电流通过，小电珠便亮了。

# 二、电流、电阻

## 1. 电流

在单位时间内通过导线横截面的电量，叫做电流强度，简称电流，用字母  $I$  来表示，即

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

式中  $Q$ ——通过导线横截面的电量，单位是库仑；

$t$ ——时间，单位是秒。

电流的单位是安培，简称安，用字母  $A$  表示。若在 1 秒钟内通过导线的电量是 1 库仑，则电流即是 1 安培。此外，还有千安 ( $kA$ )、毫安 ( $mA$ ) 和微安 ( $\mu A$ )。

1 千安 = 1000 安 =  $10^3$  安；

1 安 = 1000 毫安 =  $10^3$  毫安；

1 毫安 = 1000 微安 =  $10^3$  微安。

当电流在导线横截面上均匀分布时，该电流与导线的横截面积之比，叫做电流密度，用字母  $J$  来表示，即

$$J = \frac{I}{S}$$

式中  $I$ ——通过导线的电流，单位是安培；

$S$ ——导线的横截面积，单位是毫米<sup>2</sup>。

电流密度的单位是安培/毫米<sup>2</sup> ( $A/mm^2$ )，在选择导线的横截面积时，常常要用到电流密

度这个量。

2. 电阻

(1)电阻的定义

电子在导体内运动时，受到原子核的吸引和原子的碰撞，因而形成对电子运动的阻力。导体对电流的阻力，叫做电阻，电阻用字母R或r表示。单位是欧姆，简称为欧，用字母Ω表示。此外，还有千欧(kΩ)、兆欧(MΩ)。

1 千欧=1000欧=10<sup>3</sup>欧；

1 兆欧=1000千欧=10<sup>6</sup>欧。

在电路中，除外电路有电阻之外，电源的本身也有电阻，电源本身的电阻叫做电源的内阻。在电路中，固定电阻用符号  表示，可变电阻用  或  表示。

(2)导线电阻的计算

导体的电阻与导体的长度成正比，与导体的横截面积成反比，并与导体的材料有关，电阻的计算公式为

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

- 式中 R——导体的电阻，单位是欧姆；  
L——导体的长度，单位是米；  
S——导体的横截面积，单位是毫米<sup>2</sup>  
 $\rho$ ——导体的电阻率，单位是欧·毫米<sup>2</sup>/米。

电阻率ρ也叫做电阻系数。它表示长为1米、横截面积为1毫米<sup>2</sup>的导体在温度为20℃时所具有的电阻。电阻率越小，材料的导电性能就越好。

(3)电阻温度系数

金属电阻的电阻率一般随温度的变化而变化。温度升高则电阻率增大，温度降低则电阻率减小。温度升高1℃电阻率变化的数值与原来的电阻率之比，叫做电阻温度系数，其计算公式为

$$\alpha = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 (t_2 - t_1)}$$

- 式中 α——电阻温度系数，单位是1/℃；  
t<sub>1</sub>——初始温度，单位是℃；  
t<sub>2</sub>——升高后的温度，单位是℃；  
ρ<sub>1</sub>——初始电阻率；  
ρ<sub>2</sub>——温度升高后的电阻率。

表1-1给出了几种常用金属导电材料在20℃时的电阻率及平均电阻温度系数。

表 1-1

| 导电材料 | 电阻率 ρ(欧·毫米 <sup>2</sup> /米) | 平均电阻温度系数 α(1/℃) |
|------|-----------------------------|-----------------|
| 银    | 0.016                       | 0.0036          |
| 铜    | 0.0172                      | 0.0039          |
| 铝    | 0.0283                      | 0.004           |

续表

| 导电材料 | 电阻率 $\rho$ (欧·毫米 <sup>2</sup> /米) | 平均电阻温度系数 $\alpha$ (1/℃) |
|------|-----------------------------------|-------------------------|
| 钨    | 0.055                             | 0.005                   |
| 铍    | 0.06                              | 0.004                   |
| 镍    | 0.072                             | 0.006                   |
| 铁    | 0.1                               | 0.006                   |
| 钢    | 0.15                              | 0.006                   |

由电阻的计算公式而得

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)}$$

及

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

式中  $R_1$ ——温度为 $t_1$ 时的电阻；

$R_2$ ——温度为 $t_2$ 时的电阻。

#### (4) 电导

导体对电流虽然有阻力，但仍然能够传导电流。导体传导电流的能力叫做电导，用字母  $g$  表示，电导与电阻互为倒数关系，即

$$g = \frac{1}{R}$$

电导的单位是1/欧，用符号 $\sigma$ 表示，读作“姆欧”。

#### (5) 计算举例

**例1** 试求20℃时，长500米，横截面积为25毫米<sup>2</sup>的铝导线的电阻。

**解** 由表1-1中查得铝的电阻系数 $\rho=0.0283$ ，代入公式得

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.0283 \times \frac{500}{25} = 0.566 \text{ (欧)}$$

**例2** 在20℃时，用仪表测得一条截面积为4毫米<sup>2</sup>、长为20米的导线电阻是0.5欧姆，试问此导线是由什么材料制成的？

**解** 分析：可先求出电阻率，再查表1-1，对照便知。

由电阻的计算公式得

$$\rho = \frac{RS}{L} = \frac{0.5 \times 4}{20} = 0.1$$

查表1-1可知此导线用铁制成。

**例3** 有一条800米长的铁丝，其电导为0.025 1/欧，试求此导线的截面积。

**解** 分析：欲求铁丝截面积，须知铁丝电阻。电阻可由电导解出，故可解。铁丝的电阻为

$$R = \frac{1}{g} = \frac{1}{0.025} = 40 \text{ (欧)}$$

由表(1-1)查知铁丝电阻率 $\rho=0.1$ ，故铁丝截面积为

$$S = \frac{\rho L}{R} = \frac{0.1 \times 800}{40} = 2 (\text{毫米}^2)$$

### 三、欧姆定律

#### 1. 部分电路的欧姆定律

部分电路是指只有电阻而无电源的一段电路(图1-6)。设电阻  $R$  两端的电压为  $U$ ，通过电阻  $R$  的电流为  $I$ 。由实验可得出下述结论：

在部分电路中，通过电路的电流与这段电路两端的电压成正比，与这段电路的电阻成反比，即

$$I = \frac{U}{R}$$

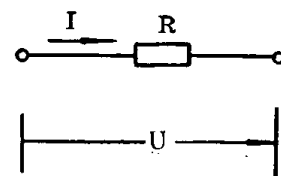


图1-6 部分电路

式中  $I$ ——通过电路的电流，单位是安培；

$U$ ——电路两端的电压，单位是伏特；

$R$ ——电路的电阻，单位是欧姆。

上述的结论，叫做部分电路的欧姆定律。欧姆定律还可以写成  $U = IR$ ， $R = \frac{U}{I}$  的形式。

当电流  $I$  流过电阻  $R$  时，沿着电流方向便产生了一个电位的降落，其值为  $IR$ 。乘积  $IR$  叫做在这段电路上的电位降落，或称电压降。

#### 2. 全电路的欧姆定律

含有电源的闭合电路叫做全电路。其中，电源内部的电路叫做内电路，负载电路叫做外电路。内电路的电阻叫做内电阻，简称内阻。

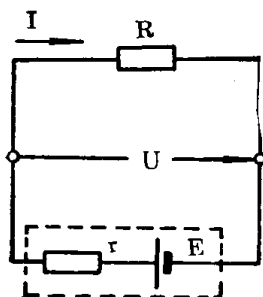


图1-7 全电路

图1-7所示的电路就是一个只含有一个电源和一个负载电阻的全电路， $r$  为电源的内阻。由实验可得出下述结论：

在全电路中，通过电路的电流与电源电动势成正比，与电路的总电阻(内、外电路的电阻之和)成反比，即

$$I = \frac{E}{R + r}$$

也可以写成

$$E = I(R + r) = IR + Ir$$

上述结论就是全电路的欧姆定律。

外电路的电压降为  $IR$ ，内电路的电压降为  $Ir$ ，电源的电动势  $E$  等于总的电压降。

一般地说，电源的内阻  $r$  都很小，因此有时在计算时将内阻忽略不计。

电源两极之间的电位差，也就是外电路上的电压降，叫做路端电压，很容易得出路端电压为

$$U = E - Ir$$

路端电压随着外电路电阻的增大而增大。

外电路断开时，外电路的电阻  $R = \infty$ ，这种情况叫做开路。此时，电流不通， $I = 0$ ，电路的端电压最大，在数值上等于电源的电动势，即  $U = E$ 。通常用这种方法测量电源的电动势。

外电路的电阻等于零( $R = 0$ )时电路的状态叫做短路状态。短路时，电路中的电流达到最大值，此时的电流叫做短路电流，即

$$I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$$

由于内阻  $r$  很小，故短路电流很大，可能会产生电弧，引起火灾，烧坏电气设备，发生事故。短路是很危险很有害的，故应防止电路发生短路现象。

### 3. 计算举例

**例1** 在一段电路中，电阻为200欧，加在电阻两端的电压为300伏，试求电路中的电流。

**解** 
$$I = \frac{U}{R} = \frac{300}{200} = 1.5 (\text{安})$$

**例2** 发电机的路端电压为220伏，线路中接有一个5欧姆的电阻，发电机的内阻为0.2欧，试求发电机的电动势。

**解** 
$$\begin{aligned} E &= U + Ir = U + \frac{U}{R}r = U(1 + \frac{r}{R}) \\ &= 220 \times (1 + \frac{0.2}{5}) \\ &= 228 (\text{伏}) \end{aligned}$$

**例3** 有一个电源，当外电路电阻为1欧时，电流为1安；当外电路电阻为2.5欧时，电流为0.5安。试求此电源的电动势及内阻。

**解** 分析：应采用全电路欧姆定律来解。在  $I = \frac{E}{R+r}$  中，每次都给  $I$ 、 $R$  两个量，将两种情况下的方程联立便可解出。

根据全电路欧姆定律有

$$\begin{cases} I_1 = \frac{E}{R_1 + r} & (1) \\ I_2 = \frac{E}{R_2 + r} & (2) \end{cases}$$

由(1)，(2)得

$$I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r)$$

故得

$$\begin{aligned} r &= \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} = \frac{0.5 \times 2.5 - 1 \times 1}{1 - 0.5} \\ &= 0.5 (\text{欧}) \\ E &= I_1(R_1 + r) = 1 \times (1 + 0.5) = 1.5 (\text{伏}) \end{aligned}$$

## 四、电路的连接

### 1. 串联电路

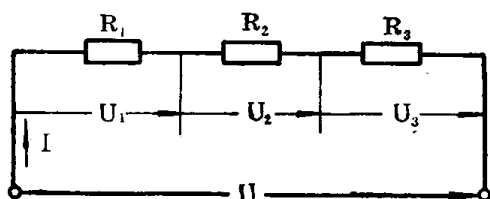


图1-8 电阻的串联电路

#### (1) 电阻的串联

几个电阻的首尾依次连接，所构成的一个没有分支的电路，叫做串联电路，这种连接方法叫串联。图1-8为三只电阻的串联电路。

串联电路的特点如下：

①各电阻中的电流相等，即