

## 列 宁 語 录

理論要由實踐來鼓舞，由實踐來修正，由實踐來檢驗。

《怎样组织竞赛？》

## 毛 主 席 語 录

无产階級認識世界的目的，只是为了改造世界，此外再无別的目的。

我們能夠学会我們原来不懂的东西。我們不但善于破坏一个旧世界，  
我們还将善于建設一个新世界。

学制要縮短。課程要精簡。教材要彻底改革，有的首先刪繁就簡。

# 电 工 学 目 录

## 第一篇 电工基础 (上册)

### 第一章 直流电路

1—1. 电路和电路图 .....	1
1—2. 电路中的几个基本物理量 .....	3
1—3. 物质的导电性能, 电阻 .....	7
1—4. 欧姆定律 .....	10
1—5. 电功率和电能 .....	15
1—6. 电流的热效应与电器额定值, 导线与保险丝的选择 .....	18
1—7. 电阻的串联、并联和混联 .....	20
1—8. 基尔霍夫定律 .....	27
*1—9. 含有反电动势负载的电路 .....	31
*1—16. 复杂电路的计算 (支路电流法, 迭加原理, 等效发电机原理) .....	34
本章小结 .....	40
附录 1—1. 大容量电阻元件型号规格 .....	41
附录 1—2. 电子线路中常用电阻型号规格 .....	42
附录 1—3. 各种绝缘材料的性能 .....	43
附录 1—4. 室内布设用绝缘导线的容许连续负载电流 (安) .....	44
习 题 .....	45

### 第二章 电 磁

2—1. 磁场 .....	50
2—2. 电流的磁场 .....	51
2—3. 磁场的基本物理量 .....	52
2—4. 全电流定律 .....	56
2—5. 铁磁物质 .....	57
2—6. 磁路 .....	60
2—7. 电磁感应 .....	62
2—8. 自感与互感 .....	66
2—9. 涡流 .....	67

2—10. 直流电磁铁 .....	68
本章小结 .....	70
习 题 .....	72

### 第三章 正弦交流电路

3—1. 正弦交流电的产生 .....	76
3—2. 交流电的周期和频率 .....	79
3—3. 初相位和相位差 .....	80
3—4. 正弦交流电的有效值 .....	83
3—5. 用旋转矢量表示正弦量 .....	84
3—6. 纯电阻交流电路 .....	89
3—7. 纯电感交流电路 .....	92
3—8. 纯电容交流电路 .....	97
3—9. 电阻、电感和电容串联的交流电路 .....	102
3—10. 电阻、电感串联后与电容并联的交流电路 .....	108
*3—11. 谐振电路 .....	111
本章小结 .....	115
习 题 .....	117

### 第四章 三相交流电路

4—1. 三相交流电的产生 .....	121
4—2. 三相交流发电机绕组的星形联接 .....	122
4—3. 负载的星形联接 .....	124
4—4. 负载的三角形联接 .....	128
4—5. 三相电路的功率计算 .....	130
*4—6. 车间配电网接线型式 .....	132
本章小结 .....	133
附录 4—1 安全用电知识 .....	134
附录 4—2 交流供电线的检查 .....	137
附录 4—3 常用光电源 .....	139
习 题 .....	144

### \*第五章 电路中的过渡过程

5—1. 过渡过程的产生及换路定律 .....	146
5—2. 电阻与电感串联电路中的过渡过程 .....	147
5—3. 电阻与电容串联电路中的过渡过程 .....	152
习 题 .....	155

## 第六章 电工测量及仪表

6-1. 直流电流的测量及磁电式直流电流表 .....	156
6-2. 直流电压的测量和直流电压表 .....	161
6-3. 磁电式欧姆表及电阻的测量 .....	164
6-4. 万用表 .....	167
6-5. 交流电流和电压的测量及仪表 .....	170
6-6. 功率的测量及功率表 .....	174
6-7. 电度表的使用 .....	179
6-8. 兆欧表 .....	181
本章小结 .....	183
思考题 .....	185

### （一）电路和电路图

#### 1. 电路

电路是电流流通的路径。电路由电源、负载、导线和开关等元件组成。在电路中，电源提供电能，负载消耗电能，导线连接各元件，开关控制电路的通断。电路的符号和连接方式称为电路图。




图 1-1 最简单的电路

在电路中，电源提供电能，负载消耗电能，导线连接各元件，开关控制电路的通断。电路的符号和连接方式称为电路图。

# 第一篇 电工基础

## 第一章 直流电路

我们在日常生活和工农业生产中常用到电灯、电炉和电动机等，当把开关接通以后，电灯就会发亮，电炉就会发热，电动机就会转动，这是因为在这些设备中有电流流过的缘故。人走路要有道路，水流动要有水路，电流流动也要有电路。电路就是电流流过的路径。因为常用的电流有直流、交流和脉冲电流三种，所以与之对应的也就有直流电路、交流电路和脉冲电路三种。本章讨论的是直流电路，主要内容有：（1）电路的组成及其基本物理量；（2）电路的基本定律以及应用它们来分析和计算各种直流电路；（3）能量的转换和电功率。这些问题虽然在直流电路中提出，但也适用于其他各种电路，它们是分析与计算电路的基础理论。这一章中的有些内容已在物理课程中讲过，现在要在复习物理的基础上，再增加一些新的内容，并把它们引导到工程应用上来。

### 1-1 电路和电路图

#### 一、电路

前面已经说过，电路就是电流流过的路径。那么，电路主要是由那几个部分组成的呢？根据由浅入深的原则，我们先来看一个最简单的直流电路，如图1-1所示。

由图1-1可知，这个电路是由干电池、小灯泡、联接导线和开关组成的。把开关闭合后，电路中产生电流，小灯泡就亮了。为了说明电路的几个必要的组成部分，我们有必要介绍一下在图1-1中电流是怎样产生的。大家知道，干电池是由电解液、炭精棒和锌皮制成的。由于

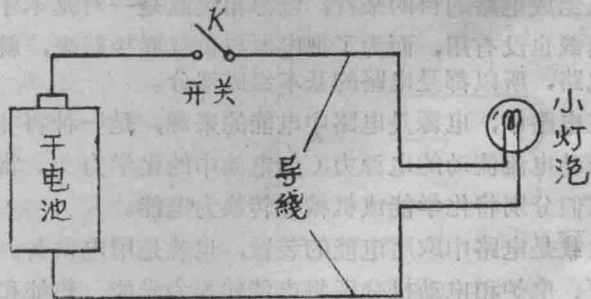


图 1-1.最简单的直流电路。

它们之间的化学作用，在电池内部就产生了一种化学力（电源力），这个力能强行把电池中的正负电荷分开，并把正电荷推到电池的芯子（炭精棒）上把负电荷推到电池的外壳（锌皮）上，使得外壳积聚电子而形成电子过剩，因而呈现负极性，称为负极。同时也使得电池的芯子上积聚正电荷，因而呈现正极性，称为正极。电池两极板上积聚了正负电荷

后，电荷间就有电场力的作用（同性相斥，异性相吸），它力图反抗正负电荷的移动（见图 1-2 所示）。因此，化学力与电场力在电池内部对电荷的作用是相反的，当开关未闭合，若极板上积聚的电荷尚少时，电场力小，化学力能克服电荷间的电场力而把正电荷继续推向电池的芯子，把负电荷推向电池的外壳。若化学力与电场力相平衡时，正负电荷就不再往芯子和外壳上积聚。当开关闭合时，因电池外部电路没有化学力的作用，而只有电场力的作用，所以电场力能够驱使电池外壳上的电子经联接导线和小灯泡中的钨丝往芯子（正极）移动（见图 1-3 所示）。电子沿着电路这样有规则的定向运动就形成了电流。电路接通后，

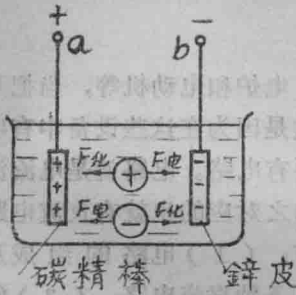


图1-2.干电池结构原理。

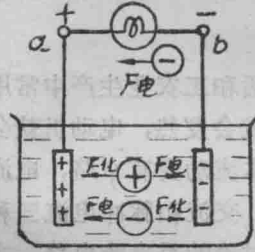


图1-3.电路中电流的形成。

由于外壳上的过剩电子减少，芯子上的一部分正电荷被移来的电子所中和，所以电池内部的电场力减弱，使得化学力大于电场力，化学力又重新把电子推向外壳，补充极板上移走的负电荷，从而维持正负电极对外电路中的电性能，使电路中的电流连续不断地流动。

通过上面的叙述，我们知道，图 1-1 中的干电池是驱使电流在电路中不断流动的源泉，因而叫做电源，而小灯泡是受电的器具，所以叫做受电器或负载。这样，又可以说图 1-1 所示的电路是由电源、负载、联接导线和开关组成的。

以上介绍的只是一个最简单的电路，但在生产实际中采用的电路是多种多样的，有的还是相当复杂的，例如在有些电路中还包括有许多控制开关、保护设备和测量仪表等。为突出主要矛盾，我们说，不论什么电路都是由电源、负载、联接导线这几个最基本部分组成的。因为从组成电路的目的来看，电源和负载是一对基本矛盾，没有负载就不需要电源，没有电源，负载也没有用，而为了把电源与负载联接起来，就需要联接导线，它们之中缺一也不能构成电路，所以都是电路的基本组成部分。

在电路中，电源是电路中电能的来源，是一种将非电能转换为电能的装置。在电源内部具有推动电流流动的电源力（如电池中的化学力）。常用的电源有干电池、蓄电池和发电机等，它们分别将化学能或机械能转换为电能。

负载是电路中取用电能的装置，也就是用电设备。它将电能转换为其他形式的能量。例如电灯、电炉和电动机分别将电能转换为光能、热能和机械能。

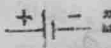
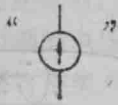
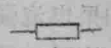
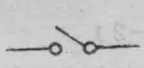
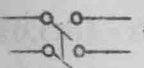
联接导线是用来输送电能的。

为了今后分析问题方便起见，我们常把电路分为内电路和外电路，内电路是指电源内部的电路，外电路是指电源外部的电路。

## 二、电路图

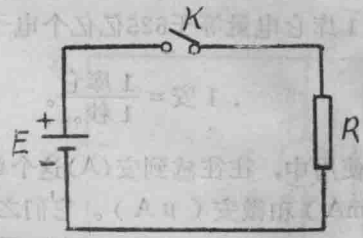
象图 1-1 那样根据实物的形象画出电路是非常麻烦的，也是不必要的。在电工中，为

了方便和突出电路的本质，常采用一定的符号来表示电路中的实物，例如电源的图形符号用

“”或“”表示，文字符号用E表示；负载的图形符号用“”表示，文字符号用R表示（在物理学中我们知道，R代表电阻，它是负载的一种）；开关的图形符号用“”或“”表示，文字符号用K表示；导线用“——”表示等等。

应用上列符号所画出的电路，叫做电路图。图1-4就是图1-1的电路图。电路中的符号很多，今后我们逐步介绍。

思考题：  
如果在图1-4所示电路中，当开关闭合后，电路中还没有电流，试说明产生这种情况的几个可能的原因。



1-2 电路中的几个基本物理量 图1-4.图1-1的电路图

我们已经知道，要产生电流，需要构成电路。但是，电流的大小应该怎样表示呢？它和哪些因素有关呢？电路中能量的转换又应该怎样计算呢？为了深入地研究这些问题，我们还要讨论电路中的几个基本物理量。

### 一、电流

电路中的电流是大量电荷在导电媒质（如金属导线、电解液等）中有秩序的运动（定向运动）形成的。习惯上常把正电荷移动的方向规定为电流的方向。但在金属导体中，实际上移动的是带负电的电子，所以其电流的方向恰好与电子运动的方向相反，如图1-5所示。

为了计量电流的强弱，我们规定电流强度一量。电流强度是在单位时间内通过某一导体截面的电量。电流强度是在电工学中极为常用的一个物理量，常把它简称为电流。这样，电流这个名词就不仅仅代表一种物理现象，而且也代表一种物理量。电流的符号用字母*i*或*I*表示。

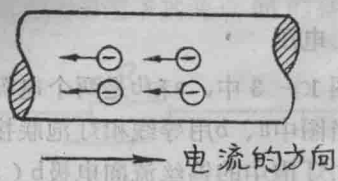


图1-5.导体中电流的方向

根据电流强度的定义，设在极短时间 $dt$ 内，通过导体截面 $s$ （图1-6）的微小电量为 $dq$ ，则电流强度为：

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

通常所用的是交变电流，简称交流。交流的电流强度  $i$  是随时间而变化的，是时间的函数。

如果电流强度不随时间而变化，即在相同的时间间隔内，流过  $s$  截面的电量都相等，并且是一个方向，那么这种电流便称为恒定电流，或简称直流。这样，电流强度可写成下式：



图1-6. 导体中的电流

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

式中  $q$  是在时间  $t$  内流过  $s$  截面的电量。

在实用单位制（即通常在工业生产中所用的单位制）中，电流的单位是安培，简称安（或用字母  $A$ ， $a$  代表）。所谓 1 安培的电流，就是在 1 秒钟内，通过导体截面为 1 库仑的电量（1 库仑电量等于 625 亿亿个电子所带的电荷量），即

$$1 \text{ 安} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}.$$

在使用中，往往感到安 ( $A$ ) 这个单位太小或太大，所以电流常用的单位还有千安 ( $KA$ )、毫安 ( $mA$ ) 和微安 ( $\mu A$ )。它们之间的换算关系如下：

$$1 \text{ 千安}(KA) = 1000 \text{ 安}(A);$$

$$1 \text{ 安}(A) = 1000 \text{ 毫安}(mA);$$

$$1 \text{ 毫安}(mA) = 1000 (\mu A).$$

通常室内电灯中的电流约在 0.25—1 安之间，电炉和电动机的电流可以从几安到几百安，5 毫安电流通过人体就会有感觉，超过 50 毫安就有生命危险。

电路中的电流可以用电流表测量。测量时应将表与负载（需要测量的部分）串联，并使电流从表的正端流入，负端流出，如图 1-7 所示。

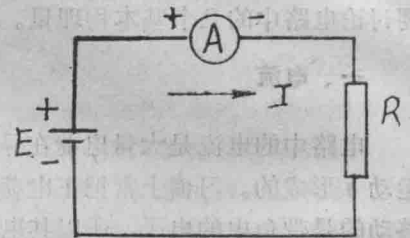


图1-7. 用电流表测量电流。

## 二、电压和电位

### 1. 电压

在图 1-3 中， $a$  和  $b$  是两个电极， $a$  带正电， $b$  带负电，因此在  $a$ 、 $b$  之间的周围空间产生电场。当图中  $a$ 、 $b$  用导线和灯泡连接后，则在此电场的作用下，正电荷就要从电极  $a$  经过联接导线和灯泡中的钨丝流向电极  $b$ （其实是负电荷从电极  $b$  流向  $a$ ，两者是等效的）。电荷在电场力作用下移动的过程，就是电场对电荷做功的过程。电场力能使电荷在电场中移动，表明电场具有做功的本领。为了衡量电场做功的能力，我们引入电压这一物理量。电压用字母  $U$  表示。所谓  $a$ 、 $b$  两点间的电压  $U_{ab}$ ，其值就等于电场力把单位正电荷从  $a$  点移到  $b$  点所作的功。设从  $a$  点到  $b$  点移动正电荷  $q$  时，电场力所作的功为  $A$  电，则  $a$ 、 $b$  间的电压为：

$$U_{ab} = \frac{A \text{ 电}}{q}, \quad (1-3)$$



式中，若A电的单位用焦耳，q的单位用库仑，则 $U_{ab}$ 的单位为伏特，简称伏，记为V。如果从a到b移动1库仑正电荷，电场力所作的功为1焦耳时，则a、b间的电压就是1伏。由此可知，如果a、b两点间的电压越高，则表明电场力作功的能力越大。

电压的单位还有千伏(KV)、毫伏(mV)和微伏( $\mu V$ )，它们之间的换算关系是：

$$1 \text{ 千伏(kv)} = 1000 \text{ 伏(V)};$$

$$1 \text{ 伏(v)} = 1000 \text{ 毫伏(mV)};$$

$$1 \text{ 毫伏(mv)} = 1000 \text{ 微伏}(\mu V).$$

通常用的干电池的电压值约为1.2—1.5伏，酸性蓄电池的电压为2—2.2伏，收音机中的直流电压从几伏到几百伏，一些电子仪器中的直流电压可达几千伏，高压交流输电线的电压可达几百千伏，雷电电压约在几百千伏以上，而有些测量仪表中的电压可以小到几微伏或更小。

电压的大小可以用电压表测量，测量时将表的两端与被测电压的两点并联，并注意把表的正端与电路的正端相联，负端与电路的负端相联，如图

1—8所示。

## 2. 电位

在生产实践中，经常会遇到一些比较复杂的电路(如电子电路)。对于这些电路，我们常采用

电位这个物理量来分析研究。为了简明起见，下面用比喻的方法引出电位的概念来。

水流在重力作用下，总是从水位高的地方向水位低的地方流。同样，我们也可以说，电流在电场力的作用下，是从电位高的地方向电位低的地方流。水压是水位之差，那么，电压也可以说是电位之差。如果在图1—8中，分别用 $\varphi_a$ 和 $\varphi_b$ 来表示a点和b点的电位，那么a、b两点之间的电压就可以用下式表示：

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b.$$

这样，知道了某两点之间的电压，也就知道了这两点之间的电位差。但是，电路中各点的电位(如 $\varphi_a$ 、 $\varphi_b$ )又各是多少呢？我们还不能确定。这正如知道了某两点间的高度差，

还不能确定这两点的高度各是多少一样。为了

确定某一点的高度，就必须选定一个基准

平面(如地面)，认为它的高度是零，其他

各点的高度就是各点和这个基准平面的高度

差。与此相似，要确定电路中某点的电位，

也需要事先选定一个基准点(一般叫做参考

点，在电路中常用接地符号“⊥”来表示，

见图1—9的C点)，认为这一点的电位为零，而

其他各点的电位就是各点和这个参考点之间的

电位差，即是各点和这个参考点之间的电压。电位不但有大小，而且还有正负。如果某点的电

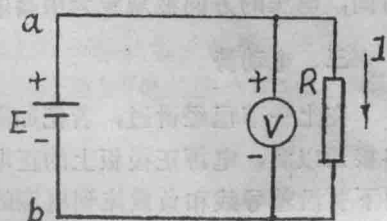


图1—8.用电压表测量电压。

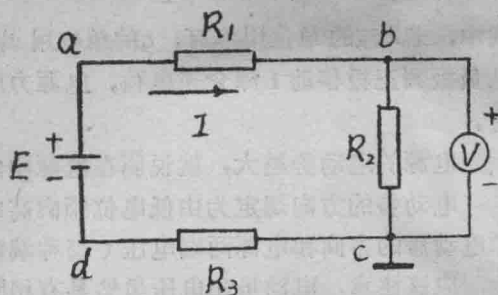


图1—9.用电压表测量电位。

位比参考点的电位高，则该点的电位为正，反之，为负。电位的大小和正负都可以由电压表测得。具体测量方法如下：如图 1-9 所示，先将电压表的负端与参考点 (C) 相联，然后再把表的正端与被测电位的点 (如 a、b、d) 相联，如果表针正转，则说明被测点的电位是正的，如果表针反转，则说明被测点的电位是负的。表针正转时的读数就是该点的电位大小。例如在上图中测得 ac 间的电压  $U_{ac}$  是 4 伏，bc 间电压  $U_b$  是 2 伏，表针都是正转，则表明 a 点的电位  $\varphi_a = +4$  伏，b 点的电位  $\varphi_b = +2$  伏。测量 d 点电位时，表的指针反转，说明 d 点的电位是负值，将表的两端与 c、d 点换接后，表的读数是 2 伏，则 d 点的电位  $\varphi_d = -2$  伏。

电路中的参考点可以任意选定，但为了使电路中每一点的电位都只有单一的数值，在电路中只能选定一个参考点。当参考点改变时，各点与参考点之间的电压随之改变，所以各点的电位都要改变。但是，电路中任意两点之间的电位差 (即电压) 和所选的参考点无关，它不会改变。

在分析和计算电路的时候，除了要知道电压的大小和电位的高低之外，还要知道电压的方向，电压的方向被规定为由高电位指向低电位，也就是电位降低的方向。

### 三、电动势

在上一节已经讲过，若把如图 1-10 所示的电路接通以后，电源正极板上的正电荷在电场力的作用下要沿着导线和负载流到电源的负极，即从高电位的 a 点流到低电位的 b 点 (其实是电子从负极流到正极，两者等效)，而在电源的内部，在电源力的作用下，又把流到负极上的正电荷搬回到正极上去，即又把正电荷从低电位搬回到高电位，从而维持电源正负极之间有一定的电位差，使电路中的电流连续不断的流动。

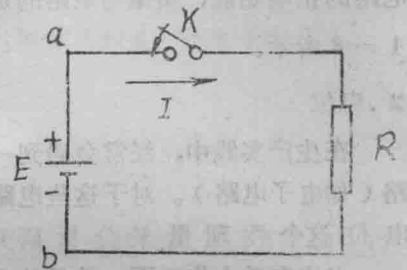


图 1-10. 简单直接电路。

在电源内部，电源力把正电荷从低电位移到高电位时要作功，为了定量地反映电源力作功的能力，我们引用了电动势这一物理量。电动势用字母  $E$  表示。电源的电动势，在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端 b 经电源内部移到高电位端 a 所作的功。设从 b 到 a 移动正电荷  $q$  时，电源力所作的功为  $A_{源}$ ，则 a、b 间的电动势为：

$$E_{ba} = \frac{A_{源}}{q} \quad (1-4)$$

式中，若  $A_{源}$  的单位用焦耳， $q$  的单位用库仑，则电动势的单位为伏特。如果经由电源内部从负极到正极移动 1 库仑正电荷，电源力所作的功为 1 焦耳时，则该电源的电动势为 1 伏特。

电源的电动势越大，就说明在电源中由其他形式的能量转变成电能的能力越大。

电动势的方向规定为由低电位指向高电位，如图 1-11 中  $E$  的标向所示。由图可知，电源电动势的方向和电源两端电压 (简称端电压) 的方向相反。

应该注意，电动势和电压虽然具有相同的单位，都是对电荷施力，迫使电荷运动的物理量，但是，它们的物理本质是不一样的。电动势是在电源内部由电源力 (非电场力) 产生的，而电压是正负电荷的电场力产生的，且电压是由电动势建立和维持的。

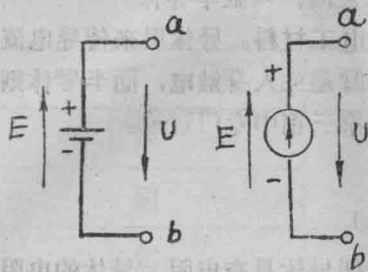


图1-11.电源电动势和端电压的方向。

$$E = \frac{A_{\text{源}}}{q} = \frac{A_{\text{电}}}{q} = U.$$

因此在电路断开时，电源端电压的大小，必然等于电动势的大小，即电动势等于其开路电压。

当外电路接通时，因为正极板上的正电荷减少，负极板上的一部分电子被移来的正电荷所中和，所以在电源内部电场力减弱，而电源力居于优势，即 $F_{\text{源}} > F_{\text{电}}$ ，使 $A_{\text{源}} > A_{\text{电}}$ ，从而得到

$$E > U.$$

因此，当外电路接通时，电动势常大于其端电压。

由上述可知，欲测量电源的电动势，可将电路断开，用电压表测出电源两端的开路电压。

#### 四、电阻

在导体两端加上一定的电压，导体中便有电流流过。但是，“事物都是一分为二的”，导体一方面具有传导电流的能力，另一方面其内部的原子和电子对定向运动的电子也具有阻碍作用。导体这种对电流的阻碍作用叫做电阻。常用 $R$ 表示。电阻的单位是欧姆( $\Omega$ )、千欧( $K\Omega$ )和兆欧( $M\Omega$ )。它们之间的关系是：

$$1 \text{ 千欧} (K\Omega) = 1000 \text{ 欧} (\Omega);$$

$$1 \text{ 兆欧} (M\Omega) = 1000 \text{ 千欧} (K\Omega).$$

关于电阻的大小如何计算和测量，我们将分别在下一节和第六章中讨论。

思考题：

我们知道在图1-10中，当开关 $K$ 未闭合时， $a$ 、 $b$ 之间存在着电压。但有人说：电压的大小在数值上等于电场力把单位正电荷从 $a$ 点移到 $b$ 点所作的功，现在电路中还没有电荷的移动，怎么会有电压呢？试回答这个问题。

### 1-3 物质的导电性能，电阻

#### 一、导体、半导体和绝缘体

所有的物质按照它们本身的导电性能不同可以分为三大类：一类物质具有大量的自由电子(例如铜、铝、铁等金属及碳、石墨等非金属)，比较容易传导电流，称为导体；另一类物质自由电子极少(例如橡胶、塑料、胶木、陶瓷等)，因此传导电流的能力极弱，这类物

质叫做绝缘体；还有一类物质，导电性能介于导体和绝缘体之间，叫做半导体。

导体和绝缘体是供电线路和各种电气设备所不可缺少的电工材料。导体用来传导电流，绝缘体用来隔离导电部分，使电流在规定的电路中流通，同时避免人身触电，而半导体则是电子工业中的重要材料。有关半导体方面的知识，我们将在第三篇中专门讨论。

## 二、电阻

导体能够传导电流，但它也具有阻碍电流通过的作用，即导体具有电阻。导体的电阻与导体的材料、长度、粗细（即截面积）以及温度有关。导体的电阻可以用下式计算：

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-5)$$

式中  $\rho$  为材料的电阻系数，不同的材料  $\rho$  不同，它表示某种材料长 1 米、截面 1 [毫米]<sup>2</sup> 所具有的电阻，单位为欧·[毫米]<sup>2</sup>/米 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )。在表 1-1 中列出了几种常用材料在 20°C 时的电阻系数的数值； $l$  是导体的长度，单位是米； $S$  是导体的面积，单位是 [毫米]<sup>2</sup>； $R$  的单位是欧姆。

例 1-1. 我校“五·七”农场所为农田电气化，在田间架设了一条低压 (380V) 的输电线给田间送电，输电线的长度是 1000 米，材料的截面积是 35mm<sup>2</sup> 的铝绞线。试问：每根导线的电阻是多大 (20°C 时)？

解：已知  $l = 1000\text{m}$ ， $S = 35\text{mm}^2$ 。

从表 1-1 中查得铝的电阻系数  $\rho = 0.0283 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，所以

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0.0283 \frac{1000}{35} = 0.808 \Omega.$$

例 1-2. 一根实验用的铜导线，它的截面积为 1.5mm<sup>2</sup>，长度为 0.5m，试计算该导线的电阻 (20°C 时)。

解：查表 1-1 得铜的  $\rho = 0.0172 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。所以

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0.0172 \times \frac{0.5}{1.5} = 0.00573 \Omega.$$

由上二例可见，导线的电阻是很小的，通常负载电阻要比它大得多（例如 100 欧等），所以在电工实际中往往忽略导线电阻。

在工业生产的许多部门中，利用电阻和导体长度、截面积及电阻系数之间的关系，可以制成电阻丝应变片，用来测量机械零件的应力和应变。在需要测量零件变形时，可以将这种应变片用特殊的胶水贴在被测量零件表面，当零件有应力或应变时，电阻丝随被测零件一起变化，这时电阻丝的长度、截面、电阻系数均发生变化，而使其阻值变化，我们可以从其阻值的变化来判断零件变形的大小。

表 1-1 常用导电材料的电阻系数与电阻温度系数

材 料 名 称	电阻系数 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) ( $20^\circ\text{C}$ )	电阻温度系数 $\alpha$ ( $1/^\circ\text{C}$ )
银	0.0164	0.0041
铜	0.0171	0.00393
铝	0.0283	0.0040
铁	0.15	0.00625
锡镍合金	0.45—0.51	$4 \times 10^{-5}$
镍铬合金	0.95—1.1	$3 \times 10^{-4}$
锰铜合金	0.41—0.48	$2 \times 10^{-5}$
铁铬铝合金	1.30	$6 \times 10^{-5}$
炭	10.00	-0.0005

导体的电阻还和温度有关，一般金属材料的电阻随着温度升高而增大，而一般非金属材料的电阻却随着温度升高而减小。温度每升高  $1^\circ\text{C}$  时电阻增大（或减少）的百分数叫做电阻的温度系数，用符号  $\alpha$  表示，表 1-1 中也列出了常用材料的电阻温度系数。实验证明，在  $0^\circ\text{C}$ — $100^\circ\text{C}$  范围内，金属材料的电阻变化可以近似认为与温度的变化成正比，即

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)], \quad (1-6)$$

式中  $R_1$ 、 $R_2$  分别为  $t_1$  和  $t_2$  时的电阻。

我们懂得了导体电阻随温度而变化的规律之后，就可以应用它来解决一些电工实际问题，如用它来测量温度。

例 1-3. 有一台电动机，在  $20^\circ\text{C}$  时其激磁线圈（铜线）的电阻为  $100\ \Omega$ ，运行一段时间后，测得电阻为  $120\ \Omega$ ，问此时线圈的温度是多少？

解：查表 1-1 得铜  $\alpha_{\text{铜}} = 0.00393$ ，

已知  $R_1 = 100\ \Omega$ ， $R_2 = 120\ \Omega$ ， $t_1 = 20^\circ\text{C}$ 。

代入式  $R_2 = R_1 [1 + \alpha_{\text{铜}}(t_2 - t_1)]$  中，

$120 = 100 [1 + 0.00393(t_2 - 20)]$ ，

求得  $t_2 = 70^\circ\text{C}$ 。

所以，此时电动机内激磁线圈的温度已升到  $70^\circ\text{C}$ 。

利用金属导体和非金属导体具有电阻的性能，可以制成电阻器（简称电阻）。实际常用的电阻有炭膜电阻、披釉线绕电阻等数种类型，而每一种类型中，又有各种不同的阻值，以供选用。此外，为了使电阻的数值可以根据需要进行灵活调整，还制造了电位器与滑线变阻器（可参见实物）。

电阻、电位器（滑线电阻）常用图1-12（a）、（b）表示。

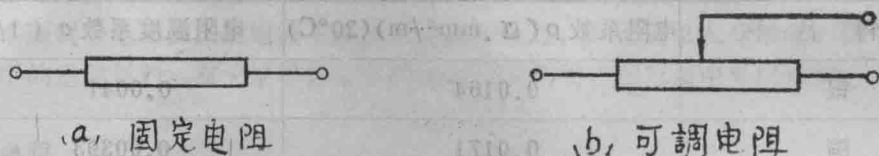


图1-12 电阻的图形符号

在附录1-1和附录1-2中列出了一些常用电阻的型号和规格。

### 三、常用的导电材料和绝缘材料

由表1-1可知，银的电阻系数最小，导电性能最好但价格太贵，不适宜于做一般性导电材料，只有在特别关键导电的地方，如继电器和接触器的触头，才用银来制造。铜的电阻系数也很小，价格比银要便宜得多，因此用来绕制电机和变压器的线圈，或者作为电线。铝的电阻系数虽然比铜大一些，但由于我国铝的产量比铜的产量大得多，铜又是国防上的重要物质，所以“以铝代铜”是我国的一项技术政策。在毛主席革命路线指引下，我国工人阶级敢想、敢干解决了以铝代铜的许多技术问题（例如铝线的焊接），成功地制成了大型铝线电机、变压器等设备，生产了大量的铝芯绝缘线，大力促进了城乡社会主义建设事业的发展。

由表1-1还可以知道，铁铬铝、康铜、镍铬等合金材料的电阻系数比铜要大几十倍，他们是做电阻丝的好材料。应用这些电阻丝可以制做不同电阻值的绕线电阻，电炉、电烙铁，变阻器，电阻箱，电动机的起动电阻等。

另外，炭和石墨也是导电材料。电子线路中使用的炭膜电阻就是把炭粉喷涂在瓷棒上做成的。同时炭具有耐磨的优点，在电机中有滑动接触通电的地方，常用它来做电刷。

现在再来谈谈绝缘材料的问题。一般气体、矿物油以及除金属与炭以外的几乎所有固体都是绝缘材料。绝缘材料并不是绝对不导电，只是在其两端加上一定电压之后，流过绝缘材料的电流极为微小就是了。绝缘材料的电阻（称绝缘电阻）是非常大的，通常以兆欧（ $M\Omega$ ）即百万欧（ $10^6$ 欧）为单位。绝缘材料的绝缘作用是相对的、有条件的，当分配在单位厚度上的电压即电位差增大到某一限值时，绝缘材料就被击穿，丧失绝缘能力而变为导体。这个限值叫做绝缘耐压强度，以1毫米厚的绝缘材料能耐受的电压千伏值表示。常用的绝缘材料的性能见附录1-3。另外，绝缘材料的电阻（绝缘电阻）常随材料的温度、湿度增加而降低。所以使用时要注意其允许的工作温度。根据绝缘材料长期工作时所允许的最高温度，通常可分为三级：A级、E级和B级。A级绝缘材料允许工作温度为 $105^{\circ}C$ ，如棉花、天然丝、纸以及漆包线的绝缘漆。E级绝缘材料允许工作温度为 $120^{\circ}C$ ，如用普通有机物作粘合剂的纤维素为基础的层状制品。B级绝缘材料允许工作温度为 $130^{\circ}C$ ，它与E级区别仅在于它是用耐热有机物质为粘合剂。

## 1-4 欧姆定律

毛主席教导我们：“……一切客观事物本来是互相联系的和具有内部规律的。”人们经过长期实践，认识到电路中的电流、电压、电势、电阻之间不但是互相联系的，而且还存在

着一定的关系。下面我们分两种情况来介绍。

### 一、一段电路的欧姆定律

图 1-13 是电路中的一段，称为一段电路。实验证明，在这一段电路中，通过电阻  $R$  的电流  $I$  与加在该电阻两端的电压  $U$  成正比，而与电阻成反比。用公式表示则为：

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

这就是一段电路的欧姆定律。式中若电压的单位为伏特，电阻的单位为欧姆，则电流的单位是安培。

欧姆定律是进行电路计算的最常用、最基本的定律之一，我们应该牢固掌握。在应用时应该注意：所用的  $U$  是所讨论的电阻两端的电压，所用的  $I$  是流过所讨论的电阻中的电流，所用的  $R$  是所讨论的电阻本身。另外，单位也不要搞错。

如果把式 (1-7) 改成

$$IR = U = \varphi_a - \varphi_b, \quad (1-8)$$

其含义又可以这样理解，电流通过电阻时，要引起电位的降低。电路中电流流进的一端的电位高于流出的一端的电位，其差值等于电流与电阻的乘积，通常把  $IR$  称为是电阻上的电压降。

毛主席教导我们：“马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”所以在我们懂得了电流、电压和电阻三者之间的关系之后，还要把它应用到生产实践中去。下面通过举例来说明欧姆定律在电工实际中的三种应用。

#### 1. 已知电压、电阻，求电流。

例 1-4. 某厂有一台电镀设备，正在给一批螺母镀锌，其电路如图 1-14 所示。直流

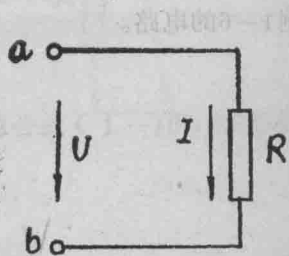


图1-13.一段电路。

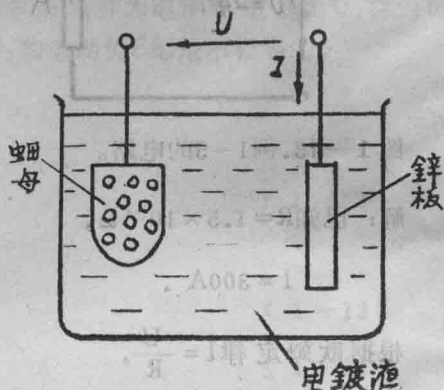


图1-14.例1-4的电路。

电压为  $12\text{V}$ ，电镀槽中电镀液的电阻为  $0.2\Omega$ ，试问：此时线路电流有多大？

解：已知  $U = 12\text{V}$ ， $R = 0.2\Omega$ 。

根据欧姆定律可以求得

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12}{0.2} = 60 \text{ (安)}.$$

由此例说明，某些液体如酸、盐溶液也是导体。

2. 已知电压、电流，求电阻。

例 1-5. 红卫电器厂生产的 4 公斤电磁铁，它的额定电压(规定使用的电压)是 24 伏，现用 24 伏的直流电源给它供电，测得电流为 0.534 安培，试求电磁铁线圈的电阻  $R$ 。

解：为了帮助我们分析问题，先画出电磁铁线圈的电路图，如图 1-15 所示。

已知电压  $U = 24 \text{ V}$ ，电流  $I = 0.534 \text{ A}$ ，

因为  $I = \frac{U}{R}$ ，

所以  $R = \frac{U}{I} = \frac{24}{0.534} = 45 \Omega$ 。

通过此例说明，为了测定电阻，可以在该电阻两端加一直流电压，使电阻中流过一个电流，用电压表和电流表测量出电压和电流的数值之后，就可根据欧姆定律计算出电阻。这个测量电阻的方法，通常叫做“伏安法”。

3. 已知电阻、电流，求电压。

例 1-6. 有一只量程为 500 安培的电流表(所谓量程是 500 安培，就是该表最大能够测量的电流为 500 安培)，它的内阻(由它的两个接线柱测得的电阻)  $R = 1.5 \times 10^{-4} \Omega$  现用它来测量图 1-16 电路中的电流，该表的读数是 300 安培，问表两端的电压是多少？

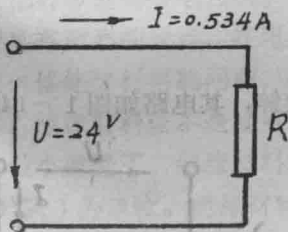


图 1-15. 例 1-5 的电路。

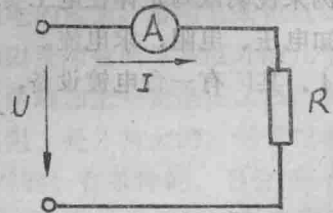


图 1-16. 例 1-6 的电路。

解：已知  $R = 1.5 \times 10^{-4} \Omega$ ，

$I = 300 \text{ A}$ 。

根据欧姆定律  $I = \frac{U}{R}$ ，

得  $U = IR = 300 \times 1.5 \times 10^{-4} = 0.045 \text{ 伏}$ 。

由此例可知，因为电流表的内阻很小，在测量电路中电流时，在它两端的电压降也很小，所以对负载两端的电压“影响”也很小，一般可不考虑。

通过以上几个例子，使我们知道，应用欧姆定律可以解决很多实际问题。欧姆定律有三



种形式：

$$I = \frac{U}{R}, \quad R = \frac{U}{I}, \quad U = IR.$$

它们反映的是同一个基本规律，我们可以根据不同情况，灵活应用。

## 二、全电路的欧姆定律

欧姆定律也可以应用到全电路中去。例如如图 1-17 的电路，开关 K 已闭合，如已知电源的电动势 E、电源内电阻 R<sub>0</sub>。（电流通过电源内部时所遇到的阻碍作用）、线路电阻 R<sub>L</sub> 和负载电阻 R，则电路中的电流可写为：

$$I = \frac{E}{R_0 + 2R_L + R} \quad (1-9)$$

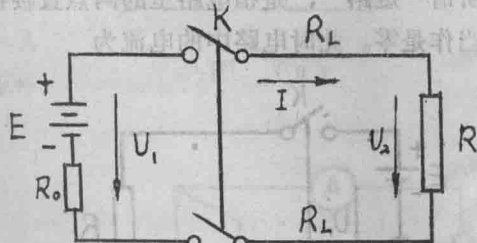


图 1-17. 全电路。

式 (1-9) 称为全电路的欧姆定律。

对于上式，我们可以这样解释：电流通过内电路（电源内部）时，和通过外电路（电源以外的电路）时一样，也受到电阻的作用，电流在外电路经过电阻要产生电压降，电流通过内电阻也要产生电压降。因此在整个闭合回路里，内外电路上都有电压降，总的电压降（总的电位降落）应当等于电源的电动势（电位升），即

$$E = IR_0 + I(2R_L) + IR \quad (1-10)$$

将式 (1-10) 变换一下就可得到式 (1-9)。式 (1-9) 和式 (1-10) 不但可以用来进行电路的计算，而且还可以分析电路中的许多现象。

### 1. 电路带负载时的情况

把图 1-17 的开关 K 闭合后，电路为带负载状况。图中的 U<sub>1</sub> 称为电源端电压，U<sub>2</sub> 称为负载端电压。由于电路中存在电阻压降，所以电压 U<sub>1</sub>、U<sub>2</sub> 和电动势 E 都是不相等的。

根据一段电路的欧姆定律：

$$U_1 = I(2R_L + R), \quad (1-11)$$

$$U_2 = IR, \quad (1-12)$$

考虑公式 (1-10) 的关系后，分别得

$$U_1 = E - IR_0, \quad (1-13)$$

$$U_2 = E - I(R_0 + 2R_L). \quad (1-14)$$

由公式 (1-13) 看出，当电路闭合后，电源的端电压总是小于电动势（其差值为 IR<sub>0</sub>）。如果电路的负载增大（即电流增加），则电源端电压下降得更多。而由公式 (1-14) 又可以看出，负载的端电压 U<sub>2</sub> 除了受内阻 R<sub>0</sub> 影响外，还受线路电阻 R<sub>L</sub> 的影响，所以负载端电压 U<sub>2</sub> 的变化程度将比 U<sub>1</sub> 更大。一般我们希望负载端的电压能够保持稳定，这就要求电源的内电阻和线路电阻都要很小。实际上，一般电源内阻都是很小的，使用时只要能够正确地选择导