

电工基础知识



电 工 基 础 知 识

上 海 人 民 出 版 社

内 容 提 要

本书从电的基本概念谈到直流电路、磁和电磁、交流电路、变压器、交流电动机、量电仪表与电器开关、从发电到用电等等。文字通俗,例子多,比较结合实际。适宜一般水平的有关电工及技工人员阅读和作为业余教材之用。

电 工 基 础 知 识

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海文化革命印刷厂印刷

开本 787×1032 1/32 印张 3 字数 64,000

1970年3月第1版 1970年11月第3次印刷

书号: 15·4·12 定价: 0.20 元

毛主席语录

领导我们事业的核心力量是中国共产党。

指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

中华人民共和国第一届全国人民代表大会第一次会议开幕词

社会的财富是工人、农民和劳动知识分子自己创造的。只要这些人掌握了自己的命运，又有一条马克思列宁主义的路线，不是回避问题，而是用积极的态度去解决问题，任何人间的困难总是可以解决的。

《书记动手，全党办社》

毛主席语录

自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

在边区自然科学研究会
成立大会上的讲话

学习的敌人是自己的满足，要认真学习一点东西，必须从不自满开始。对自己，“学而不厌”，对人家，“诲人不倦”，我们应取这种态度。

《中国共产党在民族战争中的地位》

目 录

第一讲	电的基本概念	1
第二讲	直流电路	11
第三讲	磁和电磁	21
第四讲	交流电路	30
第五讲	变压器	50
第六讲	交流电动机	65
第七讲	量电仪表与电器开关	74
第八讲	从发电到用电	85

第 一 讲

电的基本概念

一、电 的 来 源

1. 电的应用

在我们日常生活中，几乎到处都要用到电。象照明用的电灯，通讯用的电话和电报，还有无线电收音机、电炉、电风扇等都是我们熟悉的电器。电在冶金工厂中可以用来熔炼钢铁，在农村中用来排灌和加工，在医疗上用来作透视和医治疾病。电已是工农业生产和人类生活中不可缺少的东西。

“电”到底是什么呢？它是怎样得来的呢？这个强大的力量又服从着怎样的一些法则呢？在本讲里我们就来讨论这些问题。

2. 电荷的产生

根据近代电子学说的解释，自然界的一切物质，都是由许多叫做分子的微粒组成的。分子又由原子组成，原子又由一个原子核和以很高的速率在它周围旋转着的电子组成，原子核带有阳电荷(用符号“+”表示)，电子则带有阴电荷(用符号“-”表示)。原子非常微小，在一毫米的长度上可以排下一亿个原子，原子核的直径只相当于原子的几万分之一。每一物质中都有等量的阳电荷和阴电荷，它们是相互吸引着的。假如要从一物质中取出一些电子，就必须设法克服阳电荷和

阴电荷之间的吸力。例如我们用丝织物摩擦玻璃棒，就是强

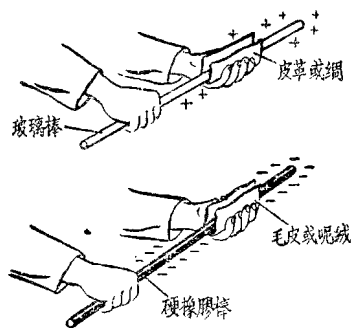


图1 摩擦可以起电

使玻璃棒原子中的一部分电子，转移到丝织物上，这样，玻璃棒上少了电子，阳电荷便多出来了，丝织物上多了电子，阴电荷便多起来了，因而，丝织物带阴电而玻璃棒带阳电(图1)；

用毛绒擦硬橡胶时，就发现毛绒带阳电而硬橡胶带阴电。又如我们用胶木钢笔杆在绒线衫

上摩擦几次，就可以把纸屑吸起，这都是摩擦起电现象。雷雨季节中由高空下降

的雨点和地面上升的

热空气互相摩擦时，

就产生了大量的带电

云(图2)，通过潮湿空气，

产生了闪电和雷

击。在工厂中，机器

传动部分的皮带和皮

带轮摩擦后同样也会产生静电荷。



图2 雷击放电

带轮摩擦后同样也会产生静电荷。

电荷的单位叫“库仑”，每库仑的电量含有 6.25×10^{18} 个电子。

当电荷积聚不动时，这种状态称为静电，如果电荷在运动状态，就称为动电，也就是我们讨论的中心。

3. 导体和绝缘体

一切金属的原子有着不稳固的外围电子，这些电子受到外力的作用时容易离开自己的轨道，是导电性能很好的物体，

称为导体。各种金属、碳、盐类、酸类、碱类的溶液以及潮湿的土地,都属于这类。还有其他许多物质的原子,把电子牢固地吸在原子核周围,不容易让它们自由地离开,这是导电性能不良的物体,称为非导体或绝缘体。绝缘体是有一定条件的,在低压应用的绝缘体,用在高压下就变成导体了,所以绝缘体都有一个工作的限度,叫作绝缘强度。在正常状态下的各种气体、很多种液体以及除了金属和碳以外的大部分固体都属于不良导体;如橡胶、玻璃、塑料、云母、丝、瓷、变压器油等都可以作为绝缘体。

二、电位、电流和电阻

1. 电位和电位差

当一种物体带着正电荷时,这物体就具有某种程度的电位(或称作电势),我们常以大地的电位当作等于零,所以任何带正电荷的物体的电位比大地高,带有负电荷的电位就比大地低。

电位和水位的意义相似,凡是电位较高的物体,就会把正电荷推向电位较低的物体,正象水位高的水,总是向较低处流去一样(图3)。

电位的单位是“伏特”,简称“伏”。我们常用“电位差”(或称“电势差”)或“电压”来表示两种物体或两端之间的电位差别。电压或电位差的单位也都是伏。

2. 电流

电子沿着导线流动称为电流,用 I 来代表,电流的强度是以每秒钟通过多少电荷来计算的,电流的单位是“安培”,简称

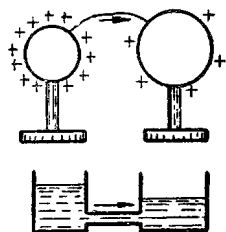


图3 电位和水位

“安”，公式是

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

式中 Q ——电荷，单位库仑；

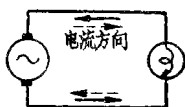
t ——时间，单位秒。

例如 1 秒钟通过 1 库仑的电荷时，电流强度就是 1 安。

电流的方向，习惯上作为由正极流向负极，实际上电子流动的方向是由负极流向正极的。

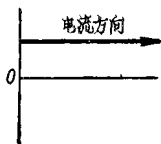
辨别电流存在的征象：

(1) 电流通过盐类、碱类及酸类的溶液，能把它们分解成

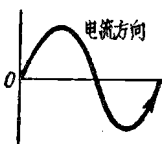


原来组成它们的成分；

(2) 通过电流的导线能发热；



直流电



交流电

图 4 直流电和交流电

(3) 电流流过导线时，在导线的周围能造成磁场。

电流的种类，分直流电和交流电两种，它们的基本区别

在于直流电的方向是始终不变，电压维持在一个固定的数值；交流电的电流和电压是有规律地从一个方向（正方向）变换到另一个方向（负方向），其数值也可以从正的最大值变到负的最大值（图 4）。

交流电的产生——交流发电机。

直流电的产生——干电池、蓄电池（酸性的和碱性的）、直流发电机、整流器（汞弧式和回转机式）、温差电偶等。

3. 电阻和电导

前面说过，任何物体内，正电荷和负电荷是牢牢地吸住的。要使导电体内一部分自由电子受外来电力作用而移动，必须克服由电荷间吸力所产生的阻力。同时因为导体的分子和原子是不断运动的，在导体内流动着的电子将被这些运动着的分子和原子所搅扰，阻碍它们的进行。导体对于电流所显示的这种阻力，称为导体的电阻，用 R 来代表，单位为“欧”，导体虽对电流呈现着一种阻力，同时也具有引导电流的能力，称为电导，单位为“莫”，以字母 G 来表示。电阻和电导成反比，电阻小的导线有着大的电导，所以导线的电阻和电导是互相成为倒数，即 $R=1/G$ 。

导体的电阻决定于下面四个因素：

(1) 导体的材料 截面积相等、长短相同而材料不同的导体，它们的电阻各不相同，例如铁的电阻大于铜的电阻。

(2) 导体的长度 材料相同，截面积相等的导体，长度愈长，电阻也愈大。

(3) 导体的截面积 材料相同，长短相等的导体，截面积愈大，电阻愈小。

(4) 导体的温度 同一导体，在不同的温度下，就有不同的电阻，一般导体的电阻随温度的增加而增加。

计算电阻的公式：

$$R = \frac{\rho \times L}{S} \text{ (不考虑温度变化的因素)}$$

式中 R ——导体的电阻，欧；

ρ ——导体的电阻系数，决定于导体的材料；

L ——导体的长度，米；

S ——导体的截面，平方毫米。

电阻系数 长 1 米, 截面 1 平方毫米的导线, 其电阻欧数即称为该导线的电阻系数。下面所列的是在 20°C 时各种常用导线的电阻系数。

导线材料	电阻系数
银	0.016
铜	0.017
铝	0.028
钨	0.055
铁	0.13

【例】 试计算截面为 1.6 平方毫米 (中国线规 1/1.4) 铜导线 200 米的电阻。

$$\text{解: } R = \frac{\rho \times L}{S} = \frac{0.017 \times 200}{1.6} = 2.12 (\text{欧})$$

温度系数 导线的电阻随温度的增加而增加, 温度每增加 1°C 所增加的电阻比值, 称为导线的温度系数。温度系数是随温度而变化的。

$R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)]$ (R_1 及 R_2 为在温度 t_1 及 t_2 的电阻)

$$\alpha_1 = \frac{1}{234.5 + t_1} (\alpha_1 \text{ 为 } t_1 \text{ 时的温度系数})$$

$$R_2 = R_1 \left(1 + \frac{t_2 - t_1}{234.5 + t_1} \right) = R_1 \left(\frac{234.5 + t_2}{234.5 + t_1} \right)$$

或

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{234.5 + t_2}{234.5 + t_1}$$

【例】 有一电动机, 在 20°C 时的激磁绕组的电阻为 100 欧, 运行若干时后, 测得电阻为 120 欧, 求这时的绕组温度。

$$\text{解: } R_1 = 100 \text{ 欧} \quad t_1 = 20^{\circ}\text{C} \quad R_2 = 120 \text{ 欧}$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{234.5 + 20} = \frac{1}{254.5}$$

因为

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)]$$

所以
$$t_2 = t_1 + \frac{1}{\alpha_1} \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right) = 20 + 254.5 \left(\frac{120}{100} - 1 \right)$$

$$= 20 + 50.9 = 70.9 (^{\circ}\text{C})$$

三、电路和欧姆定律

1. 完全电路

一切正常的电路都是完全电路(图5)。完全电路是说电流从电源出发,经过导线和负载,再经过另一导线回到电源。

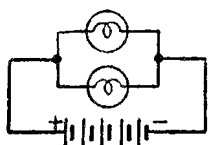


图5 完全电路

在电路中所以要有回路,是要使电流能够不断地循环,假使没有回路,虽然在导线和灯泡中有一部分电子可以被电池正极吸收,但是导线和灯泡中所缺的电子却得不到补充,所以在极短时间内,灯泡和导线的电位就变得和正极相等,电流就不能连续通过灯泡使它发亮。

2. 欧姆定律

在电路中,电流的强弱与电压的高低成正比而与电阻的大小成反比,这种相互关系,就是欧姆定律(图6)。

用公式表示:

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

式中 I ——电流,安;
 U ——电压,伏;
 R ——电阻,欧。

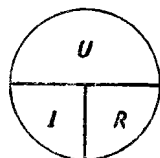


图6

欧姆定律可适用于电路的全部,同时也适用于电路的一部分。在计算时必须注意:

(1) 在整个电路中,通过的电流等于这整个电路的电压

被这电路的总电阻来除。

(2) 在局部电路中，通过的电流等于这部分电路两端的电压被这两端间的电阻来除。

我们必须注意，电压、电阻与电流的计算必须是电路的同一部分。

在我们日常电气工作中测量电气回路是否开路、短路或有漏电情形，就是利用欧姆定律的原理，用摇表进行工作。

【例】有一发电机，其电压为240伏，电能由两条长各为350米、截面为10平方毫米的铜线输送给一用户，该用户所用的电流为15安，求该用户受电端的电压。

解：导线的电压降 $U = I \times R$

$$R = \frac{\rho \times L}{S} = \frac{0.017 \times 2 \times 350}{10} = 1.19 (\text{欧})$$

$$U = I \times R = 15 \times 1.19 = 17.9 (\text{伏})$$

所以用户受电端的电压为 $240 - 17.9 = 222.1 (\text{伏})$

四、电功、电功率和效率

1. 电功和电功率

电动势或电压是推动电流的原动力。如有1伏特电动势的电池，把1库仑的电量由正极推出回到负极，所做的功就称为电功，这时的电功就是1焦耳，公式是

$$A = U \times Q$$

式中 A ——电功，焦耳；

U ——电压，伏；

Q ——电量，库仑。

在单位时间(1秒)内电流所作的功，就是电功率，用 P 来代表，因为1秒钟流过1库仑的电流是1安，所以电功率的通用公式就是

$$P = U \times I$$

电功率的单位是“瓦特”，简称“瓦”，结合上述的欧姆定律，电功率也可以由下面公式求算：

$$P = I^2 \times R = \frac{U^2}{R}$$

电功率的单位用瓦来表示，在实用上嫌小了些，一般用较大的单位千瓦（1000 瓦）来计算。例如电灯计算电费就是用千瓦作单位的，每小时用电 1 千瓦就是一度（电度），所以电度的单位就称作千瓦·小时。

【例】 房屋中装有 12 盏电灯，其中 4 盏是 60 瓦的，每天开 6 小时，其余 8 盏都是 25 瓦的，每天开 4 小时，要计算一个月（30 天）所用的电度数。

$$\begin{aligned} \text{解：4 盏 60 瓦用电} &= P \times t = (4 \times 60) \times (6 \times 30) \\ &= 43,200 (\text{瓦} \cdot \text{时}) = 43.2 (\text{千瓦} \cdot \text{小时}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{8 盏 25 瓦用电} &= (8 \times 25) \times (4 \times 30) \\ &= 24,000 (\text{瓦} \cdot \text{时}) = 24 (\text{千瓦} \cdot \text{小时}) \end{aligned}$$

$$\text{每月共用电度数} = 43.2 + 24.0 = 67.2 (\text{千瓦} \cdot \text{小时}) = 67.2 (\text{度})$$

2. 电功率和机械功率的换算

$$1 \text{ 英制马力} = 746 \text{ 瓦} = 0.746 \text{ 千瓦}$$

$$1 \text{ 公制马力} = 736 \text{ 瓦} = 0.736 \text{ 千瓦}$$

$$1 \text{ 千瓦} = 1.34 \text{ 英制马力}$$

$$1 \text{ 千瓦} = 1.36 \text{ 公制马力}$$

【例】 有一台 5 马力的直流电动机接在 220 伏的线路中，试算该机电由线路中取用的电流。

$$\begin{aligned} \text{解：} \quad 1 \text{ 马力} &= 746 \text{ 瓦} \\ 5 \text{ 马力} &= 5 \times 746 = 3730 (\text{瓦}) \end{aligned}$$

$$\text{因为} \quad P = U \times I$$

$$\text{所以} \quad I = \frac{P}{U} = \frac{3730}{220} = 17 (\text{安})$$

3. 效率

能量的转换和输送的过程中,因为有着种种损失,所以输出的能量或功率总是小于输入的能量或功率。即

$$\text{输出功率} + \text{损失} = \text{输入功率}$$

输出功率与输入功率的比例数(常用百分比来表示)就称为效率,任何机械或电机的效率总是小于1。

$$\text{效率} = \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}} = \frac{\text{输出功率}}{\text{输出功率} + \text{损失}}$$

电动机的铭牌容量指的是满载输出功率,由于电动机内部的种种损失,输入功率要比这个数字大,例如有一只1马力的电动机接在115伏的电源上,满载电流8.4安,于是输入功率为 $115 \times 8.4 = 966$ 瓦,或为 $966 \div 746 = 1.3$ 马力。因为输出功率为1马力,这只电动机的效率 $= 1/1.3 = 0.77 = 77\%$ 。

【例】要用铜导线输送电能给一个用户,这个用户有一只10千瓦的电动机,效率85%,受电端电压应不低于120伏,送电端的电压为127伏,送电距离是150米,试计算导线的截面。

解: 这里可以容许的电压降是 $127 - 120 = 7$ (伏)

$$\text{送电线路的最大电流} = \frac{\text{输入功率}}{\text{电压}} = \frac{10 \times 10^3}{0.85 \times 120} = 98(\text{安})$$

$$\text{送电线的电阻} = \frac{\text{电压降}}{\text{线路电流}} = \frac{7}{98} = 0.071(\text{欧})$$

导线截面应为

$$S = \frac{\rho \times L}{R} = \frac{0.017 \times 2 \times 150}{0.071} = 72(\text{平方毫米})$$

根据裸铜线容许最大负载电流表,在敞露空气中,只要10平方毫米的截面,就可容纳108安电流,这里需要铜线截面不应小于72平方毫米,主要为了保证维持容许的电压降,使受电端的电压不低于120伏。在设计送电线的截面时,还须考虑到导线的机械强度是否足够。

第 二 讲

直 流 电 路

一、串 联 和 并 联

在我们实际的电工作业中,往往会碰到很多情况,它包括不止一个电源或不止一个负载,因此,我们有必要来研究几个电源或几个负载在不同连接情况下的一些现象。用我们电工实际作业中碰到的几个现象来讨论:

电车用的是550伏的直流电,可是通常的灯泡却只有110伏或220伏的,或者是12伏、36伏等一些安全电压,那末在电车里550伏的电路上的电灯怎样处理呢?在实际的接线上,我们采用三灯一组的连接法,甲、乙、丙三灯的线端头尾相连,剩下的两端接到电源上去(这种接线法叫串联接法,图7),这样,三盏220伏的灯都发光而并不烧坏,这是为什么呢?

三盏灯串联后使我们电路中的总电阻变为

$$R_{\text{总}} = R_{\text{甲}} + R_{\text{乙}} + R_{\text{丙}}$$

如果三盏灯泡都是用220伏40瓦的,根据测量,它们每一盏灯的电阻是1210欧。因为 $P=40$, $U=220$,所以 $R=U^2/P=1210(\text{欧})$,总电阻 $R_{\text{总}}=1210+1210+1210=3630(\text{欧})$;流过电路的总电流 $I=U/R=550/3630=0.1515(\text{安})$ 。

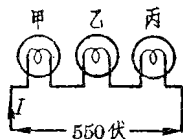


图7 电灯串联接法