

供电中级工培训教材

电工基础

东北电业管理局 教材编审委员会
供电中级工培训

辽宁省职工教育教材编审委员会

工人出版社

TN1
102
3

5821.55

供电中级工培训教材

电 工 基 础

东北电业管理局
中级工供电培训教材编审委员会
辽宁省职工教育教材编审委员会



工 人 出 版 社

B

280365

目 录

第一章 电场和电路

第一节 电 场	(1)
第二节 电 路	(8)
第三节 欧姆定律	(16)
第四节 电路的联接	(20)
第五节 电功与电功率	(31)

第二章 直流电路的分析

第一节 节点电流定律及回路电压定律	(40)
第二节 复杂电路的直接解法 ——支路电流法	(52)
第三节 回路电流法	(56)
第四节 节点电位法	(64)
第五节 T形与 π 形网络的等效变换	(71)
第六节 电流源与电压源的等效变换	(79)
第七节 叠加定理	(89)
第八节 戴维南定理	(94)

第三章 电磁和电磁感应

第一节 磁 场	(103)
第二节 电流产生的磁场	(109)
第三节 磁场和载流导体的相互作用	(114)
第四节 磁势、磁阻及磁化曲线	(124)
第五节 电磁铁吸引力的计算	(131)
第六节 楞次定律	(138)
第七节 电磁感应定律	(145)

第四章 电感与电容

第一节 自感与互感	(153)
第二节 电感线圈和电感	(159)

第三节	线圈的磁场能	(162)
第四节	电容器和电容	(166)
第五节	电容器的特性	(171)
第六节	电容器中的电场能	(176)
第七节	电容器的串、并联	(179)
第五章 正弦交流电路		
第一节	基本概念	(186)
第二节	电阻、电感、电容元件在交流电路中的作用	(197)
第三节	正弦交流电的相量表示法	(213)
第四节	正弦交流电路的符号计算法	(230)
第五节	正弦交流电路中的功率	(256)
第六节	并联补偿电路	(270)
第七节	谐振电路	(279)
第六章 三相正弦交流电路		
第一节	三相交流电的一般概念	(305)
第二节	三相电源的连接	(310)
第三节	三相负载的连接	(314)
第四节	三相交流电的功率	(325)
第五节	非对称三相电路	(330)
第七章 非正弦交流电路		
第一节	非正弦交流电的产生	(342)
第二节	非正弦交流电的分解	(344)
第三节	非正弦交流电路	(347)
第四节	非正弦交流电的平均值、有效值及功率	(353)
第八章 过渡过程		
第一节	过渡过程的基本概念	(361)
第二节	RC电路的过渡过程	(369)
第三节	RL电路的过渡过程	(390)

第一章 电场和电路

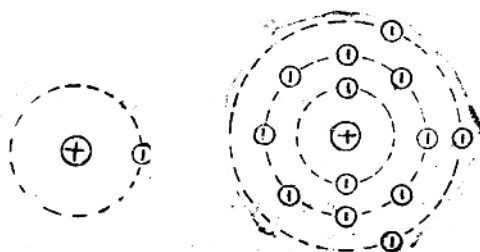
在现代工业、农业以及国民经济的其它各个部门中，电能的应用愈来愈广泛，电力工业是发展国民经济的先行官。发电机发出的电能，通过输电线路的传送、变压器的转换，将大批电力送到了工厂、农村和千家万户，满足了国家经济建设和人民生活用电的需要。本章将首先介绍电场及电路的组成，然后分别讲述电流、电阻、电压和电功率的物理意义及其基本规律，并进行简单直流电路的计算，以便对电路建立起一个较完整的基本概念。

第一节 电 场

一、电 荷

自然界中任何物质都由分子组成，分子又由原子组成，原子由一个带正电荷的原子核和一定数量带负电荷的电子组成，电子分层围绕原子核作高速运转。不同的原子所带的电子数目不一样，如氢原子只有一个电子，而铝原子则有13个电子，图1—1画出了氢和铝的原子结构。

当原子不受外来影响时，原子核所带的正电荷数等于核外电子所带的负电荷数，所以对外界不显示电性。由于电子围绕原子核在不同轨道上运动，处在外层轨道的电子受原子核的束缚就不那么紧，在某种外因的作用下，它可以离开自



(a) 氢原子结构

(b) 铝原子结构

图 1—1 原子结构图

己的轨道而在各原子间作无规则的运动。这些可以在原子间自由运动的电子称为自由电子。金属之所以是良导体，正是由于一切金属的原子都有不稳定的外层电子，它内部存在大量的自由电子所致。至于有一些物质的原子，其原子核对电子的吸引非常大，外层电子不易脱出轨道，所以自由电子极少，导电性能就差。

由于摩擦，或者其他种种原因，可使某一物体上的电子转移到另一物体上，于是失去电子的物体带了正电荷，而获得电子的物体带上了负电荷。物体失去或获得电子越多，那么物体所带的正电荷或者负电荷就越多。

电量是表示带电体所带电荷多少的一个物理量，通常用符号“Q”或“q”表示，它的单位是库仑。据实验测得，一库仑相当于 6.25×10^{18} 个电子的电量，而一个电子所具有的负电量约为 1.6×10^{-19} 库仑。

二、库仑定律

人们在长期的实践中发现，带电体互相靠近时，它们之间

就会有力的作用。即同性电荷互相排斥、异性电荷互相吸引。

1785年库仑首先对点电荷引力和斥力进行了定量的测定，并推导出点电荷的引力和斥力所遵守的定律——库仑定律。所谓点电荷就是带电体的大小尺寸远小于带电体之间的距离，可以认为这种带电体为点电荷。

库仑定律的内容是：两个点电荷之间的作用力和两个点电荷所带电量的乘积成正比，和它们之间距离的平方成反比。如图 1 ~ 2。

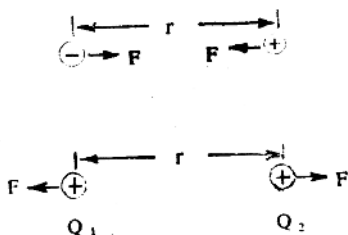


图 1—2 两个点电荷之间的作用力

两个点电荷之间的作用力可以写成：

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1-1)$$

式中K为比例常数，在国际单位制中：

$$K = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0}$$

将K代入式中，可得：

$$F = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \text{ (牛)} \quad (1-2)$$

式中 q_1 和 q_2 ——两点电荷的带电量（库仑），

r ——两点电荷之间的距离(米),

ϵ_0 ——电场所在空间的真空介电系数; $\epsilon_0 = 8.9 \times 10^{-12} \text{库}^2 / (\text{牛} \cdot \text{米}^2)$;

4π ——考虑单位制合理化的一个常数。

相应的K值是:

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9.0 \times 10^9 \text{牛} \cdot \text{米}^2 / \text{库}^2。$$

必须注意的是,上述库仑定律表达式只适应于计算在真空中点电荷之间的作用力,任意形状的两个带电体在其他介质间的作用力不能直接应用这个公式。

[例1—1]:真空中两个点电荷 $q_1 = -1.0 \times 10^{-6}$ 库仑, $q_2 = +3.0 \times 10^{-6}$ 库仑,相距15厘米,求它们之间的相互作用力。

解:由于只考虑作用力的大小,故不必考虑力的方向。

$$\begin{aligned} \text{所以, } F &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \\ &= \frac{(9.0 \times 10^9)(1.0 \times 10^{-6})(3.0 \times 10^{-6})}{(15 \times 10^{-2})^2} \\ &= 1.2 (\text{牛顿})。 \end{aligned}$$

三、电 场

人们推车时,手和车子直接接触,把力作用在车上;工人打铁时通过锤子和铁直接接触,把力作用在铁上。两个带电体虽然没有直接接触,但相互间仍存在着力的作用,这个力究竟是怎样传递的呢?

近代物理学的发展回答了这个问题。凡是有电荷的地

方，周围就存有一种特殊物质，带电体相互间的作用力就是通过这种特殊物质来传递的。这种存在于电荷周围空间对电荷有作用力的特殊物质叫电场。电荷与它周围的电场是一个统一整体，有电荷存在必然在它的周围存在电场。

静止电荷所产生的电场，叫做静电场。

电场具有两个重要特性：第一，位于电场中的任何带电体都会受到电场的作用力，称为电场力；第二，带电体在电场中受电场力作用而移动时，电场要作功，说明电场具有能量。

1. 电场强度

为了能定量地确定电场的意义，更好地认识电场的性质，常用检验电荷来进行试验。检验电荷是带正电、且电量是极小的点电荷。只有电量足够小，才不至于影响原电场的分布，以保证对原电场研究的真实性。

把检验电荷放在电场中待检验的那一位置上，再测量这个检验电荷所受到的电场力，则有如下一些现象：

(1) 对于同一检验电荷，放在电场内不同的位置，它所受力的大小和方向不同；

(2) 对于电场中某一确定点而言，检验电荷所受的力与它本身所带的电量成正比。由此可见，检验电荷所受的力与它本身所带的电量的比值，对于确定点来说是常数；但对电场中不同点，这一比值就不是一个常数了。也就是说，对应电场中的任一确定点，都有一个确定的比值。这个比值称为该点的电场强度，用公式表示为：

$$E = \frac{F}{q} \quad (1-3)$$

式中 F ——检验电荷所受的电场力 (牛)；

q ——检验电荷的电量(库仑);

E ——电场强度(牛顿/库仑或伏特/米)。

电场强度是个矢量,它的大小就是 $\frac{F}{q}$,它的方向就是正电荷在该点的受力方向。设 F 的单位为牛顿, q 的单位为库仑,则电场的强度单位是牛顿/库仑,常用单位还有伏特/米。

〔例1—2〕把检验电荷 q_0 放在与点电荷 q 相距 r 的地方,求检验电荷所在处的电场强度。

解:检验电荷 q_0 所受到力的大小,由库仑定律求出:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qq_0}{r^2}.$$

检验电荷所在处的电场强度由(1—3)式求得:

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qq_0}{r^2} \cdot \frac{1}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$$

由上式可知,电场强度是表示电场内各点受力性质的一种物理量,它与检验电荷本身所带电量 q_0 的大小无关。

〔例1—3〕如 $q = 5 \times 10^{-6}$ 库仑的检验电荷,在 a 点所受的作用力为 5×10^{-4} 牛顿,在 c 点所受的作用力为 2×10^{-4} 牛顿,试求这两点的电场强度。若在 c 点另放一个 $q_1 = 4 \times 10^{-8}$ 库仑的检验电荷,它应受的力是多少?

$$\text{解: } E_a = \frac{F_a}{q} = \frac{5 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-6}} = 100 \text{ (伏特/米)},$$

$$E_c = \frac{F_c}{q} = \frac{2 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-6}} = 40 \text{ (伏特/米)}.$$

$$F_c = E_c q_1 = 40 \times 4 \times 10^{-8} = 16 \times 10^{-7} \text{ (牛顿)}.$$

2. 电力线

为了形象地描述电场的分布情况,可以用假想的电力线

来表示它。电力线是这样的一些曲线，曲线上每一点的切线方向都和该点电场强度方向一致。电力线具有如下性质：一是在静电场中电力线总是从正电荷出发终止于负电荷，不闭合，不中断；二是任何电力线均不会相交，因为电场中每一点电场强度方向只有一个。电力线越密的地方，表示电场强度越大，反之则越弱，如图 1—3 所示。

如果电场中各点电场强度的大小相等、方向相同，这样的电场叫匀强电场。在匀强电场中电力线互相平行，而且电力线的密度也到处相等。如图 1—4 所示，两个带电平行板间的电场，当板间距离远小于板面的几何尺寸时，可以认为其电场是均匀的，它的电力线是等距的一束平行线，但应该注意到平行边缘上存在着不均匀的现象。

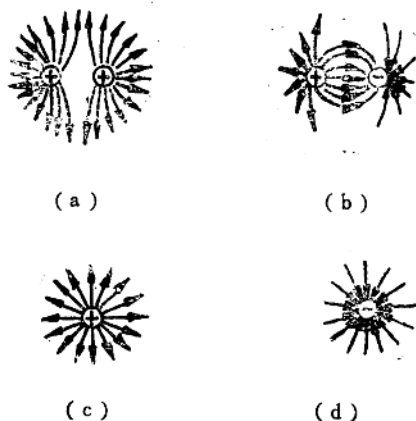


图 1—3 电力线

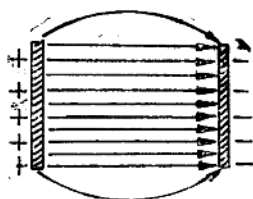


图 1—4 带电平板间电场

第二节 电 路

一、电路的构成

电路是由电源、负载和连接导线组成的。由于电源的作用，在组成电路各部分的导体内部维持了一个电场。

用导线将一个小电珠的两端与一节干电池的正、负两极分别连接起来，如图 1—5 所示，这时小电珠就亮了。从图

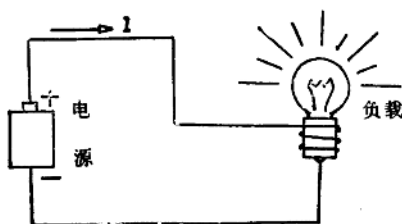


图 1—5 简单电路

中可以看到，干电池、小电珠以及联接这两者的导线，就构成了一个简单的电路。其中干电池是电能的供出者，称为电

路的电源；而小电珠则是消耗电能的，叫做电路的负载。电能通过连接导线，从电源送往负载。

电灯、电炉、继电器及电动机等都是电路的负载，它们分别将电源传送给它们的电能转变成光、热或机械能，为人们所利用。在电力及一般用电系统中，电路就起着这种传输与转换电能的作用。

二、电路中的基本物理量

1. 电流

一拉开关，电灯就亮了，一按电钮，电动机便转动起来，我们说这是电流作用的结果。尽管人们看不到电流，但是我们却从它的表现中觉察到电流的存在。那么，电流究竟是什么呢？它又是怎样流的？如何来计量它的大小呢？

电流是一种物理现象。电荷是一种客观存在的物质，既不能创造，也不能消灭，但可以从一个物体转移到另一个物体。物体失去电子后，原子内部电荷的平衡被打破，便带有正电荷；同样获得多余的电子时，便带有负电荷。电荷有规则的定向运动就形成了电流。电流可能是正电荷的流动，也可能是负电荷的流动。那么怎样确定电流的方向呢？由于正电荷沿着某方向运动和等量负电荷沿反方向运动，所产生的电磁效果大部分相同，习惯上规定正电荷流动方向为电流方向（图 1—6），把电流都看成是正电荷流动形成的。在电路图中，电流方向常用空心箭头表示。

电流的大小用单位时间内在导体截面上移过的电量是多少来度量，称为电流强度，通常用符号 I 表示。习惯上将电



(a) 正电荷运动方向即为
电流方向

(b) 负电荷运动相反
方向即为电流方向

图 1—6 电流方向

流强度简称为电流。这时电流这个概念不仅代表一种物理现象，而且代表一种物理量。大小和方向不随时间而变化的电流称为直流电流。对直流电流，若用 Q 表示在时间 t 内移过导体截面的总电量，则电流为。

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-4)$$

电流的单位是安培，简称安，记为 A 。当每秒钟通过导体截面的电量为 1 库仑时，电流即为 1 安培 (A)。在不同场合上，根据需要，还可用千安 (KA) 或毫安 (mA)、微安 (μA) 为计算单位。

$$1 \text{ 千安 (KA)} = 10^3 \text{ 安 (A)} = 1000 \text{ 安 (A)},$$

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 10^{-3} \text{ 安 (A)} = \frac{1}{1000} \text{ 安 (A)},$$

$$1 \text{ 微安 (}\mu A\text{)} = 10^{-6} \text{ 安 (A)} = \frac{1}{1000000} \text{ 安 (A)}.$$

一般晶体管收音机的工作电流为几十毫安至上百毫安，手电筒的电流约为 $0.2 \sim 0.3$ 安，解放牌汽车发电机的额定电流是 18 安，无轨电车主电动机的工作电流约为一百多安培，雷雨中一次闪电电流可达几十万安培。

2. 电压与电动势

为了更好地理解电压的含义，可以把电路比作水路。图

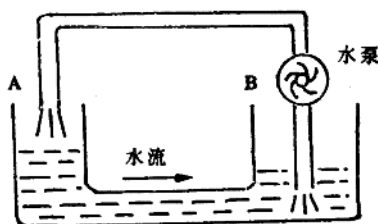


图 1—7 水泵维持水的流通

1—7 中当U型水管AB左面的水位高于右面的水位，即在水管两端有水位差时，在重力作用下形成水压，水管中将有水从左向右流动。随着水的流动，右面水位逐渐升高，而左面水位逐渐降低。当左右水位一致而无水压时，水将停止流动。要想使水持续流动，需要用一水泵将水从低水位抽送到高水位，始终维持左面和右面有一个水位差，从而产生水压。在水泵外部，水总是从高水位流向低水位；在水泵内部，由水泵的增压作用，水由低水位流向高水位。这样，水就在包括水管、水泵的水路中持续流通了。

与此相类似，电路中要有电流，必须使电路两端有电位差，这样电流才能从高电位点流向低电位点。而要使电路中电流持续流动，就要始终维持电路两端有电位差。电路中任意两点间的电位差称为这两点间的电压。电压通常用符号 U 表示。

电压与电位是两个不同的概念。电位是相对的，某点电位数值的大小与零电位的选择有关；电压是绝对的，不管零

电位如何选择，总是两点间电位之差。

因零电位点选择的不同，电路中某点的电位可能是正电位，也可能是负电位。

怎样来维持电路两端有电压呢？电路中的电源就能起维持电路两端有电压的作用。对电源来讲，电位高的一端称为正极，电位低的一端称为负极。在外电路中，电流由正极流向负极；而在内电路中，电源能够使电流由低电位流向高电位。电源在把正电荷由低电位推到高电位的过程中，使本身非电的（如化学的、机械的）能量转换为电能。电源内部其它能量的作用在电源两极间产生的电位差，称为电源的电动势，用符号 E 表示。其方向从低电位指向高电位。对电源来讲，电动势是由负极指向正极的，在电路中可理解为电压升。

在完整的电路中，电位升高的数值，即电动势的大小，等于电路中电压降的数值。

电位、电压、电动势的单位是一致的，都是伏特，简称伏，记作 V 。高电压常用千伏（ KV ）表示，很小的电压则用毫伏（ mv ）、微伏（ μv ）表示。

$$1 \text{ 千伏 (KV) } = 10^3 \text{ 伏 (V) } = 1000 \text{ 伏 (V) },$$

$$1 \text{ 毫伏 (mv) } = 10^{-3} \text{ 伏 (V) } = \frac{1}{1000} \text{ 伏 (V) },$$

$$1 \text{ 微伏 (}\mu v\text{) } = 10^{-6} \text{ 伏 (V) } = \frac{1}{1000000} \text{ 伏 (V) }。$$

手电筒用的电池，每节的电压为1.5伏；各种汽车的电路电压有6伏、12伏、24伏不等；无轨电车的电动机，其额定电压为550伏；工业用的静电喷漆装置则需要有60—120千伏

直流高压。

3. 电阻

通俗的说，电阻就是电流在流动时受到的阻力。

任何导体都有电阻。电路的电阻是由该电路的导电材料的物理性质和几何尺寸决定的。导线越长，电阻越大；导线的截面积越大，电阻越小。对材质均匀、截面 S 一致，长度为 L 的导线来讲，其电阻可表示为：

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

式中 ρ 称为电阻率，表示导线材料对电流具有阻力的程度。当电阻单位为欧(Ω)，截面积单位为平方毫米(mm^2)，

长度单位为米(m)时，电阻率单位为 $\frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$ ($\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$)。电阻率在数值上等于长度为1米、截面为1平方毫米的材料

的欧姆值。

表1—1 列出20℃时几种导电材料的电阻率。

表1—1 几种材料的电阻率和电阻温度系数

材料名称	电阻率 $\rho(20^\circ\text{C})(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	电阻温度系数 $\alpha(0-100^\circ\text{C})(1/^\circ\text{C})$
银	0.0165	0.0036
铜	0.0175	0.004
铝	0.0283	0.004
铁	0.09—0.15	0.006
钢	0.13—0.25	0.006
锰	0.42	0.000005
铜	0.44	0.000005
镍	1.0	0.00013
铬	10.0	-0.0005
碳		

金属及一些合金的电阻率都不大，大都在1欧·毫米²/米以下，称为导体。有一些物质的电阻率介于10~12¹²欧·