

240

电工

編 著 的 話

在党的社会主义建設总路綫的光輝照耀下，水运系統职工教育工作在已有的基础上，随着全国技术革命和文化革命高潮的到来，掀起了大办职工教育的高潮。目前广大职工都迫切地向文化进军，为了适应职工教育的发展，满足广大职工进一步掌握科学技术的要求，交通部海河总局委托河北省交通航务工程局召集上海筑港工程局、徐州筑港工程局、长航局工程局、广东省航运厅航务工程局及湖南长沙航务工程学校等单位的代表，共同組成航务工程教材編写組，編写了航务工程职工业余初級技术教材，供港工工作的职工业余学习。

本组工程职工业余初級技术教材包括有鋼筋工、混凝土工、潜水工、石工、凿岩爆破工、起重打桩工、电工測量共十种。另有識图及港工施工常識二書为各土建工种学习的教材。因限于人力，还有些工种的教材未能編写，可参照其他部門已出版的有关教材进行学习。

本组編写力求通俗，所附插图更有助讀者对内容的理解，中学毕业以上文化水平的职工閱讀，也可作为航务工程現有的技术人員参攷。

由于編写時間比較短促，教材的内容可能还有不少 的缺 希望使用本教材的单位和讀者多提出意見，以便修訂。

目 录

前 言	
第一章 电的基本知識	
第一节 简单的电现象	
第二节 电的基本定律	
第三节 欧姆定律和简单直流电路	
第四节 电功率 电流热效应的利用	
第五节 铅蓄电池	
第二章 电磁及电磁感应	
第一节 磁体、磁极及磁感应	
第二节 磁力綫 磁場 电流的磁場	
第三节 磁場对电流的作用 电动机的一般构造 原理	
第四节 电磁感应 发电机一般构造原理	
第三章 交流电和交流电路	
第一节 交流电的发生和图示法 交流电的周期 和頻率	
第二节 交流电路	
第三节 功率和功率因数	
第四节 三相交流电的产生	
第五节 用三相电流造成旋轉磁場	
第四章 变压器	
第一节 变压器的原理和构造	

第二节	三相变压器	87
第三节	自耦变压器和表用变压器	91
第四节	变压器的运行、维护检修	96
第五节	焊接变压器	104
第六节	变压器的电气试验	111
第五章	感应电动机和同步发电机	116
第一节	感应电动机的分类和构造	116
第二节	电动机的选择	120
第三节	电动机的安装运行	133
第四节	电动机的维护检修	136
第五节	电动机的起动保护设备	145
第六节	电动机的电气试验及干燥	155
第七节	普通电动机（交流整流子电动机）	161
第八节	同步发电机	164
第六章	直流电机	168
第一节	直流发电机	168
第二节	直流电动机	175
第三节	直流弧焊发电机	181
第七章	电工仪表与测量	185
第一节	仪表的种类	185
第二节	电工仪表的构造原理	186
第三节	仪表的测量	191
第四节	电气测量仪表的选择	202
第八章	电气线路	207
第一节	绝缘电线和它的选择	207
第二节	屋内配线方式及施工方法	212
第三节	电缆线路	235

第四节	架空线路	245
第九章	电气照明	271
第一节	有关照明的基本知識	271
第二节	照明	274
第三节	照明设备的設計和計算	291
第十章	建筑工地的电力供应及移动式电气设备	297
第一节	概述	297
第二节	电力供应的接綫方式和工地变电所	299
第三节	建筑工地变电所	300
第四节	建筑工地移动式电气设备	317
第五节	保险器	324
第十一章	接地和接中性綫裝置	329
第一节	概述	329
第二节	保护接地裝置	333
第三节	接零和接地綫裝置	342
第四节	接地裝置的連接及敷設	348
第五节	防雷保护裝置	355
第十二章	电气安全	361
第一节	电气安全用具	361
第二节	触电的紧急救护	372
附 录		386

前 言

本書共分十二章，預計 104 小時授完。內容包括：電工學基本理論知識，電氣設備的安裝使用及檢修保養，電氣測量儀表，工地配電，安全技術等；並就感應電動機及變壓器設備方面作了較詳細的介紹。為了適應建築工地的特點，在電氣綫路及建築工地電力供應兩章中，還就屋內外變電所選擇安裝、配綫的施工方法、混凝土電氣機械及移動式電氣設備的運行亦作了重點的闡述。在講授時應注意結合本地區及本單位的情況，聯繫實際，使通過學習後能熟悉和提高本工種業務，並能解決施工中的生產問題。

這本教材雖在編寫過程中曾將編寫大綱分送各有關專業局徵求意見，又去工地徵求過有關技術人員及老工人的意見，初稿完成後還請有關技術人員及工長等審查，提出意見，進行修正；但由於我們施工經驗不足，體驗不深，加以時間倉促，缺點和錯誤在所難免；希望通過今后的教學實踐，隨時提出修正和補充意見，以便研究修正，使本書內容更加充實，提高質量，更能適應教學需要。

第一章 电的基本知識

第一節 简单的电現象

一、摩擦起电

人类很早就知道，給毛織物摩擦过的琥珀、玻璃、橡胶棒等，就能够吸引灯草球、紙屑或者輕小的物体。人們就把这种現象叫做摩擦生电（图1）。物体有了这种吸引輕小物体的性質，我們就說它們帶了电。这种帶电的物体就叫做帶电体。

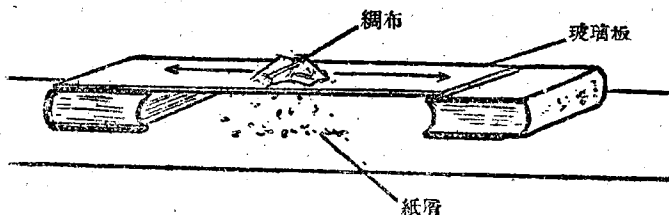


图1 玻璃經過綢布摩擦后帶了电

物体帶电的現象，在日常生活中时常見到。例如在干燥的天气用胶木梳子梳干淨的头发，头发常常随着梳子豎起，这就是因为梳子和头发摩擦以后，头发帶了电的緣故。那么如何来解释物体帶电的現象呢？

二、物质的电子結構

自然界中所有的物質都可以用机械的办法将它分割。一

分二、二分四、……，愈分愈小，最后分成极小的質点，就是分子，也可以說各种物質都是它的分子組成的，如空气有空气的分子，水有水的分子。分子又由比它更小的質点——原子——組成的。原子非常微小，它的直径只有一万万分之一厘米，也就是說，我們將一万个原子排成一行，才有1厘米长。

实际上原子的构造还是相当复杂的。在原子当中有一个核，原子核很小，它的直径只有原子直径的万分之一。原子核的外面有很多小的質点，叫做电子，圍繞原子核旋轉。每一个电子都有自己的軌道，像太阳系里的行星（如地球、火星……）围着太阳旋轉一样。图2是氢原子結構概图。

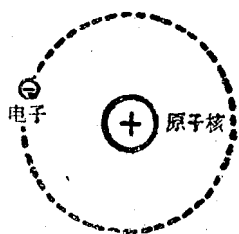


图2 氢原子結構概图

原子核和电子都有电的特性，原子核帶有阳电荷或叫正电荷，电子帶有阴电荷或叫負电荷。原子核所帶的阳电荷恰恰和电子所帶的阴电荷相等，从整个原子来看，阳电荷和阴电荷互相中和，因此原子不显示出帶电的性質。如果由于摩擦或外力的推动，使物質失去一些电子，那么这个物質的阳电荷就比阴电荷多了，我們就說这物質帶有阳电；反之，如果由于摩擦或外力的推动，使物質获得一些电子，那么这个物質的阴电荷就比阳电荷多了，我們就說这物質帶有阴电。由此可見，一切物質本来都是帶有电荷的，只是因为物質中所帶的阳电荷和阴电荷数量相等，彼此中和，因此物質沒有显出帶电的性質。

因此，我們說物体帶电，就是指这种物体中一些原子失去了电子或增加了电子而言。

电荷有一个特性，就是同性相斥、异性相吸。阳电荷碰到阳电荷或阴电荷碰到阴电荷就会互相排斥，这是因为帶阳电荷

的物体遇到帶阳电荷的物体，互相都有夺取对方电子的傾向，帶阴电荷物体遇到帶阴电荷的物体，互相都有向对方輸送电子的傾向，所以互相排斥。阳电荷碰到阴电荷，帶阳电荷的物体需要夺取电子，帶阴电荷的物体需要輸送电子，因此互相吸引。

第二節 电的基本定律

一、什么是电流及其單位

物質元素不同，原子核的重量和所帶的电荷的多少也就随着不同，所以原子核周围的电子数目也不同。原子核和电子由于帶着不同性質的电荷，所以互相吸引，但是电子在原子核外常常有很多层（图3）距离原子核远一点的电子，和原子核之間的吸力比較小，就有可能离开原子核的吸引范围而跑出去，因此这种电子是比較不稳定的。各种金属原子都具有这种不稳定的电子，所以在每一种金属里，总有一些电子在原子之間运动着，因之，我們就把这些不稳定的电子叫做自由电子。

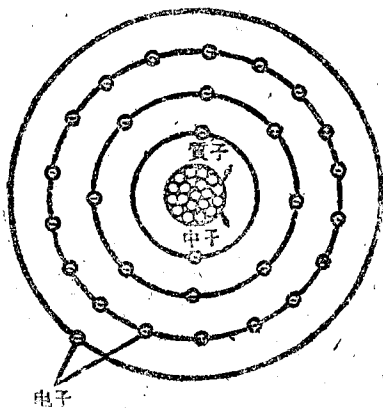


图3 原子結構图

在電場力的作用下，可使这些自由电子作有規則的移动，強使它們在一定的方向上运动。

自由电子在一定方向上的运动就叫做电流。电子怎么会移动呢？我們可以打个比喻：我們扭开自来水龙头，水就流出

来，水是从哪里来的呢？我們知道自来水厂里装有水泵，它将水通过水管压送给用户。在高山上筑有水库，它的水位很高，如果开一条渠把水从水库里引出来，水就会自动从高处往低处流。电厂里发出来的电，两端一直在创造电子过多或缺少的条件，经过升压通过导线输送到用户地方，然后降压去直接使用。电灯会发光，电动机会飞快旋转。

这里我們要注意：电子本身的移动并不快，每秒鐘不过是移动几厘米，然而电子的传动（电流）却很快，每秒鐘可达30万公里；通常我們說电流的速度，就是指后一种。

总结以上所說，电流的流动是有条件的：一是要有导线而要成为通路，一是要有电动势。

电流的大小可以用电量大小来度量，电量就是电荷的大小，也就是电子的多少，电量的单位叫做库伦，一库伦等于每秒鐘有630亿亿个电子通过导线的某一截面，也叫做一安培。安培是测量电流强弱的实用单位。

电流常用拉丁字母 I 代表，用字母 A 或 a 表示。1安培也等于1000毫安，也可写作： $1A = 1000ma$ 。

二、电流的种类

（一）不变电流 这种电流的流动方向及数量，始終是相等的，也就是說不随時間变化。这种不变电流可以称做純直流电流。干电池及鉛蓄電池等，发出来的电流都属于这一类，如图4甲所示。

（二）脉动电流 这种电流的流动方向还是固定的，只是它的电流强度在一定時間內有着变化，如图4乙所示整流器輸出电流即属此类。

（三）直流电流 除去上面說的不变电流外，还有一种单

向的直流电流，这是在純直流电流上迭加了一个极微小的电流量而形成。如直流电机所发出的电流，如图 4 丙所示。

(四) 交流电流

这种电流在一定的時間距离內，向正反两个方向流动。也就是說在每一个時間內，电流自零升到最大值，再由最大值降到零，由零再升到負的最大值，而且总是对称形的变化，如图 4 丁所示。这种电流的变化，就是交流电流的特性。現在的工业用动力和照明，大都是交流电。

(五) 断續电流

顧名思义，这种电流必是不連續性的，如图 4 己所示。电报电流就是属于这种电流。

(六. 振盪电流 这种电流在它的正負最大值間变化，电流强度逐渐下降，最后則消逝到 0，如图 4 戊所示。电容器經過电阻器放电时就是如此的。

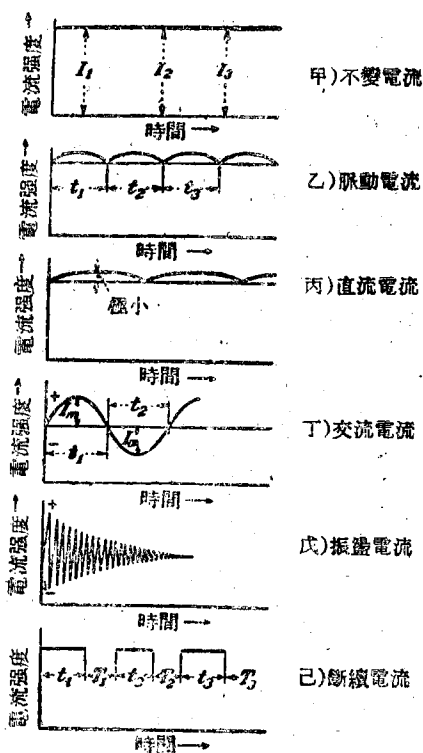


图 4 各种电流波形图

三、什么是电阻及其单位

电子在导体內順着一定的方向运动时，就产生电流，但是

运动的电子不免要和金属导体内振动着的原子或其它电子碰撞，这样就产生了一定的阻力，这种阻力叫做导体的电阻。

电阻的单位是欧姆，用字母 Ω 代表。1 欧姆就是在摄氏零度时 1.063 米长、1 平方毫米粗的水银柱所具有的电阻，可用符号 R 字代表。1,000,000 欧姆叫做 1 兆欧，简写做 $1 M\Omega$ 。百万欧姆常用做测量绝缘电阻的单位。

四、电阻的计算

导线的电阻大小由下列四种因素决定：（一）导线材料；（二）导线长度；（三）导线的截面；（四）导线的温度。

各种金属的电阻不一样，将各种金属做成长 1 米、截面 1 平方毫米的导线，比较它们的电阻欧姆数，叫做各种材料的电阻系数。常用导线的电阻系数（ 0°C 时）如表 1。

各种金属的电阻系数和电阻温度系数 表 1

导线材料	银	铜	金	铝	锡	铁	镍	水银
电阻系数 $\frac{\text{欧姆} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$	0.0162	0.0169	0.0240	0.0262	0.0548	0.0978	0.205	0.958
电阻温度系数每增 1 度时电阻数	0.0038	0.0040	0.0037	0.0042	0.0052	0.0057	0.0041	0.0009

从表中可见银的电阻最小，铜次之，水银比较大。导线越长，电阻越大，也就是说导线的电阻和长度成正比。导线越细，电阻越大，导线越粗，电阻越小（参看图 5），也就是说



图 5 电阻的意义

导线的电阻和导线的截面成反比。用 L 代表导线长度（单位是米）， S 代表导线截面（单位是平方毫米）， ρ 代表电阻系数。那么导线的电阻 R 可以用下列公式求得：

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

【例题】铜导线的截面是2.5平方毫米，长500米，问它的电阻是多少？

$$\text{【解】} \quad R = \rho \times \frac{L}{S} = 0.0175 \times \frac{500}{2.5} = 3.5 \text{ 欧}(\Omega)$$

导线的电阻和导线的温度也有关系，温度升高，导线电阻就增，不过增加不多，一般可以不计。但有許多地方要求精确的电阻数值，这时就要考虑温度的影响。温度改变后，电阻增加多少，可用下列公式计算：

$$r_2 = r_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

式中： r_1 ——温度在 t_1 时的导体电阻；

r_2 ——温度在 t_2 时的导体电阻；

α ——电阻温度系数（由表 1 可查出）。

值得注意的是，炭和液体的电阻随温度的升高而降低。

电阻是极小的物质，也就是说对电的传导很容易，我们称做导体，像银、铜、铝、铁等金属。但有的物质有极不良的导电性（电阻大），如橡胶、陶瓷、干燥的木材等。这是因为在这些物质中几乎没有自由电子，所有的电子都与原子核很牢固地联系着。因此就不能使电子在一定方向上移动，所以这种物质具有微不足道的导电性。我们把这些物质称为绝缘体或电介质。

五、什么是电动势、电位差、电压

水是可以流动的东西，但是要水流动，一定要先提高水位（如图6）。同样道理，要使电子流过导体，一定要有外加压力；这个外加压力叫做电压。产生电压有两种可能：一种是由发电机或电池组等电源内部产生的，叫做电动势；另一种是由某一电路中高低两点电位差形成的，叫做电位差。习惯上电动势和电位差都叫做电压，实际上它们之间是有差别的。发电机通过汽轮机或水轮机的转动，在内部产生电动势。电池组是通过电池内部的化学变化产生电动势。如果两端导线没有把负荷

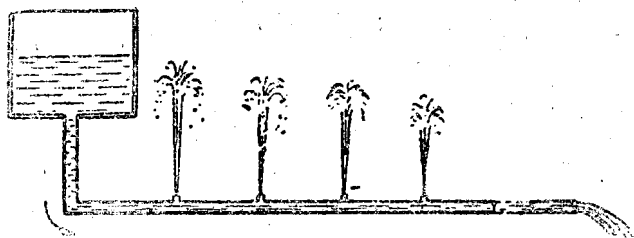


图6 水力学中水压降的现象

（电灯或电动机）连接起来，那么就沒有电流流过，但仍然存在着一种推动力——电动势。如果用导线把负荷连接起来，这时电动势克服了内部阻力（内阻降落），使电源两极上保持端电压（电位差），导线中就有电流流过。电灯会发光，电动机就旋转起来。在这里就是说，电动势与电位差之间仅差内压降。

电动势用拉丁字母 E 代表，电位差和电压用拉丁字母 U 代表。电压的实用单位是伏特。1 伏就是使 1 安培电流通过 1 欧姆电阻的电压，用 V 来表示。

比如发电机的电动势是 110 伏，可以简写做 $E = 110V$ 电动机

电压是380伏，可以简写做 $U=380V$ 。

第三節 欧姆定律和简单直流电路

一、欧姆定律

欧姆定律完善的解释了电动势、电路电阻和该电路中电流三者之间的关系。欧姆定律是实际计算的基础。初学电气技术的同志应该彻底的了解它。

如果把一个小电灯泡用导线联在一个干电池的两极上，发现灯泡并不太亮；如果换接在串联的两个干电池上，就要亮一些；如果再换接在三个串联干电池上时，就会更亮些(如图7)。假设在串联电池的电路中再串联一个安培计时，就可以在安培计上看出电流强度是随着串联电池数目的增加而增加的。从这里可以知道，通过导体的电流强度是随着导体两头电压的增加而增大的；也就是说，电流的强度和导体两头的电压成正比。

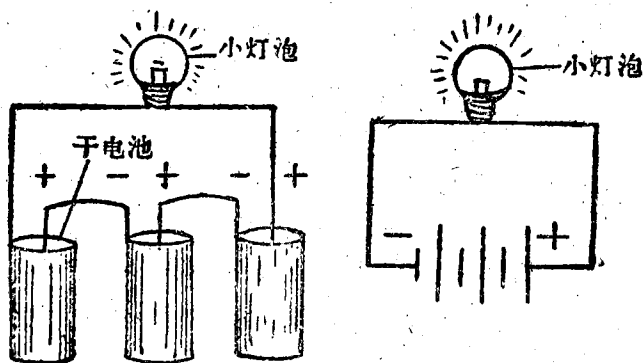


图7 三个串联的干电池

如果将以上的实验用串联的两个灯泡来代替原来的一个灯

泡时，这两个灯泡就没有一个灯泡来得亮。这是由于电路里的电阻增加了，电流因此减弱了的缘故。德国科学家欧姆，研究了电流、电压和导体电阻的关系以后，在1827年得了一个结论：

通过导体的电流强度，和导体两头的电压成正比，和导体的电阻成反比。

这就是电流基本定律——欧姆定律。

根据欧姆定律就可以写成下面公式：

欧 姆 定 律		
$I = \frac{E}{R}$	电流 = $\frac{\text{电压}}{\text{电阻}}$	安 = $\frac{\text{伏}}{\text{欧}}$
$R = \frac{E}{I}$	电阻 = $\frac{\text{电压}}{\text{电流}}$	欧 = $\frac{\text{伏}}{\text{安}}$
$E = IR$	电压 = 电流 × 电阻	伏 = 安 × 欧

从公式可看出，电阻的单位——欧姆，也可以用下面的关系来解释：当导体两头的电压是1伏特，通过导体的电流强度是1安培时，导体的电阻就是1欧姆。

从公式又可看出，就是电路某一段的电压等于电流乘该段电阻。

二、直流电路计算

(一) 串联电路 串联电路的电阻，就是把各个电阻的首尾联成一串（图8）；其中各个电阻内通过的电流是相同的。但是电流通过每个电阻时都要消耗一定电压，所以总的电压 U 就等于各个分电压 U_1 、 U_2 、 U_3 之和，写成公式如下：

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

由于 $U_1 = IR_1$ ， $U_2 = IR_2$ ， $U_3 = IR_3$ ，

因此 $U = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$ 。

但 $U = IR$,

所以 $IR = I(R_1 + R_2 + R_3)$, $R = R_1 + R_2 + R_3$, 就是电路中总的电阻等于各个分电阻之和。

(二) 并联电路 并联电路的电阻, 就是把各个电阻的首尾分别并排地联接在一起 (图 9), 在并联的电阻中, 甲乙两

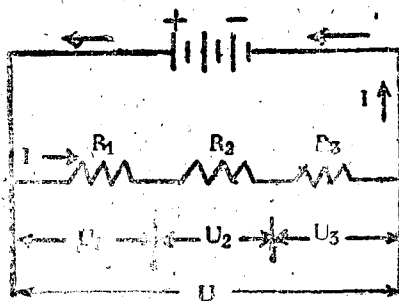


图 8 电阻的串联

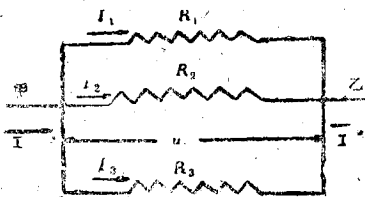


图 9 电阻的并联

点间的电压 U 是固定不变的, 但是每个电阻中的电流强度却不是一样, 可用下列几个公式表明这种关系:

$$I_1 R_1 = U$$

$$I_2 R_2 = U$$

$$I_3 R_3 = U$$

根据欧姆定律可以知道: 在电压不变条件下, 电阻大的电路通过电流强度就小, 电阻小的电路通过的电流强度就大。

但是在并联电阻中, 总的电流强度 I 是等于流过各个分电阻的电流强度的总和。写成公式如下:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left(\frac{1}{R_1} + \right.$$