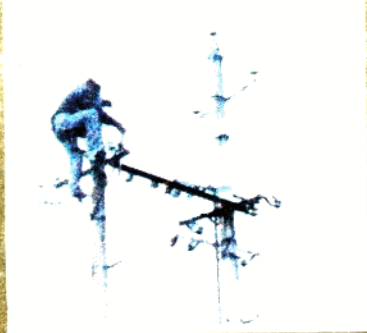




农村电工培训教材

电的基本知识与触电预防

齐立新 万千云 编著



中原农民出版社



内 容 提 要

本书主要介绍电的基本知识、触电原因、触电方式、触电危险性、影响因素和保证安全的组织、技术措施及触电后的急救办法等。本书实用性强，内容浅显易懂，举例生动感人，对具有初、高中文化程度的城乡厂矿、企业电工最为适用。本书不仅是一本安全用电知识宣传资料，而且还是培训电工的好教材。

目 录

第一章 电的基本知识

第一节	摩擦起电现象与“电”名称的由来	(3)
第二节	感应起电现象与雷公之谜	(4)
第三节	磁生电现象与发电机的诞生	(6)
第四节	电流、电压和电阻	(7)
第五节	欧姆定律	(35)
第六节	节点电流定律与回路电压定律	(39)
第七节	电功率和电能	(42)
第八节	电路的联接	(44)

第二章 触电原因 (56)

第一节	电流对人体的危害	(56)
第二节	触电的危险性及其影响因素	(57)
第三节	触电原因分析	(60)
第四节	触电方式	(66)

第三章 触电预防 (72)

第一节	保证安全的组织措施	(72)
-----	-----------	--------

第二节 保证安全的技术措施	(74)
第四章 触电急救	(84)
第一节 切断电源	(84)
第二节 迅速急救	(85)

第一章 电的基本知识

在现代化的农业、工业、国防及国民经济的各个部门中，愈来愈广泛地使用了电能，电力工业已成了国民经济发展的先行官。电的应用现在已经发展到这样的阶段，大多数人都过上了“电气化的生活”，在我们的周围到处都有各式各样的使用电能的设备。电深入到人们生活的各个领域，极大地提高了人们的物质生活水平，丰富了人们的精神生活，人们离不开电。“电”是社会进步和科学技术发展的必然产物，它又促进了社会的文明与发展。“电”之所以为人们所广泛地利用，因为电能优于其它任何能源。其优点是：

变换容易：电能容易从其它的能量转换而来，如热能、风能、水位能、化学能（干电池）、原子能（核电站）、太阳能、潮汐能及波动能等都可以用之发电。电能又容易变换成其它形式的能量，如光、热、机械、声能等。

传输简单：电能可以简单而经济地通过高压输电线在瞬息之间传送到一切用电的地方。电流的速度为每秒钟30万公里，在传输过程中几乎不带时延。

控制方便：利用电能可以通过有线或无线进行自动控制和远距离控制。

应用面广：电能可以用于多种电气设备。例如：你可以用15瓦、40瓦的灯泡，也可使用几千瓦，几百千瓦的电动机。使用电能确实堪称随心所欲，得心应手。

随着电力工业的发展和广大城乡人民生活水平不断提高，电与人类的关系越来越密切了。不但四化大业离不开它，就是我们的衣、食、住、行也时刻少不了它，特别是现代化的城市，一分钟也离不开电！地下室或矿井里停了电，废气排不出来，会憋死人；几十层的高楼运行的电梯停了电，会把人悬在空中；飞机场或火车站停了电，就会造成恶性事故。“电”给人类创造了幸福，带来了欢乐，“电”使人们的生活向着高度文明的阶段发展。人们向往的楼上楼下、电灯电话早已实现。今天的电子计算机、洗衣机、彩电……，使您的生活更加欢乐和美满。但是，“电”是一种特殊的物质，它不能贮存，又不能进入市场交易。它无色无味，无声无形。因此，我们看不见它，闻不到它，听不着它，摸不到它，全靠科学仪器、仪表进行生产、分配和使用。同时发、供、用电是一次完成的过程，在任一过程中出了问题，都会给广大人民生命财产带来巨大损失。所以，我们必须懂得电的基本知识，并始终树立安全第一，预防为主方针，安全、经济地使用电力，严格遵守电力规章制度。

第一节 摩擦起电现象与 “电”名称的由来

在干燥的天气，当你用胶木梳子梳干燥的头发时，头发常常随着梳子而竖起，这是由于梳子和头发相摩擦以后，头发带了电的缘故。这种现象在电学上称为“摩擦起电”。

摩擦起电的本质，在于各物质内部有不同的结构。当两种物体相互摩擦时，就会有一个物体的外层轨道上的电子跑到另一个物体上去。这样失去电子的物体就少了负电，整个原子所带的“正”电就比“负”电多，因而它就带了正电（或称带正电荷）。得到电子的物体由于它带的负电比正电多，也就自然呈现出带负电（或称带负电荷）的现象。例如，用丝绸摩擦玻璃棒时电子就由玻璃棒上跑到丝绸上，于是丝绸带负电，而玻璃棒少了电子，带正电。可见，两类不同的物体互相摩擦后，电并不是从空而生的，只是把电子重新分配一下罢了。

“电”这个名称的由来，源自摩擦起电现象。2500年前的古希腊艺匠们，在用一种称为“琥珀”的松树化石（或硬化了的树脂）琢磨成各种装饰品时，曾发现琥珀制品具有能够吸引毛发、纸屑等细微轻物这种奇怪而有趣的自然现象。限于当时的科学水平还无法解释，便以为琥珀内存在一种“魔力”或“神力”。公元前6世纪的希腊自然哲学家泰勒斯称这种力为“琥珀力”。又经过漫长的岁月，直到公元

1600年,英国皇家医科大学校长,女皇伊丽莎白一世的御医,实验家吉尔伯特,在进行大量实验后,发现不单是琥珀,还有其它好多种的物体凡经过“摩擦”后,都具有这种吸引力,并将此类物体统称为“琥珀化”的物体。为了突出说明这一现象,他引用希腊语里“琥珀”的词根创造了一个新名词,语音与希腊语里“琥珀”的读音完全一样,以此将这种吸引力命名为 ELECTRICAM。1646 年科学家布朗克在他的著作中,又按照英语语法将其改写为现在许多西方国家常用的“ELECTRICITY”而我国约在 1851 年将它译成中文,译作“电”。这便是“电”字的来源。原来“电”字,源自摩擦起电现象,出自希腊文“琥珀”。

第二节 感应起电现象与雷公之谜

一、感应起电

德国物理学家伦琴,一次在山顶上工作时,天不作美,空中出现一大片乌云,大风夹着乌云,飞过他的头顶上空。这时奇怪的现象发生了,伦琴的大胡子和长头发都竖立起来了。这是怎么一回事呢?原来也是电的魔力作怪。可是上面曾说过,经摩擦才有电,然而伦琴的头发、胡子并未和乌云接触,为何带电呢?

原来乌云移动时,云层之间相互摩擦,因为摩擦生电的缘故,乌云便成为带电的物体。由于带电乌云的感应作用,在头发上感应出与乌云相反的电荷(静电感应)。如果带电

乌云带的是正电，那么，通过人的身体（导体）便把人身的负电荷（电子）吸引到头发上来了，即头发、胡子带了负电。由于异性电荷相吸的关系，所以，伦琴的头发和胡子就指向天空而“怒发冲冠”了。由此，人们发现了另一种带电现象，即所谓“感应起电”现象。

二、雷公之谜

掌握了“感应起电”的知识后，“雷公”之谜就不难解开了。原来，“雷”不是别的，而是自然界感应起电后大规模电荷迅速中和的结果。天空的乌云是一些物质微粒所组成的结合体。当乌云随风飘动时，由于微粒之间的摩擦，就可能使一些乌云带上大量正电荷，而另一些乌云带上大量负电荷。这样，每一朵大乌云就成为一个巨大的带电体，由于感应起电的缘故，因而在乌云下面的地面上就感应出与乌云相反的电荷。若乌云带正电，则地球表面就会感应出负电荷。这带电的乌云接近地面时，由于距离减小，它与地面的电场力就越来越大。此外，还由于乌云中往往含有大量水汽，当它遇到低温气流时，骤然凝聚成雨点。云的体积大大缩小。因而使它的电荷密度大大增加。这意味着电场强度逐渐加大，当电场强度大到一定程度时，（约每厘米25000伏特）正、负电荷（一种电荷在乌云中，另一种在地面上）就会通过中间空气而发生中和。在大量电荷强行通过空气时将产生大量的热能和光能，并由于空气突然受热膨胀而发出震耳的响声，这就是所谓的闪电和打雷。本来雷声和闪电几乎是同时发生的，但由于光的传播速度（每秒钟30万公里）远

远大于声音的传播速度（每秒钟340米）。因此，我们总是先看到闪电，稍后才听到雷声。如果在大量放电处存在着树木或人畜时，由于放电过程释放出大量的热能，会击毁树木、房屋及人畜。这便是“雷公”神力的秘密。

第三节 磁生电现象与发电机的诞生

发电机的诞生归功于1831年英国科学家法拉弟发现了磁生电的规律。法拉弟的这一发现是电学发展的光辉起点。如何证明磁生电，请看图1-1所示的实验装置。

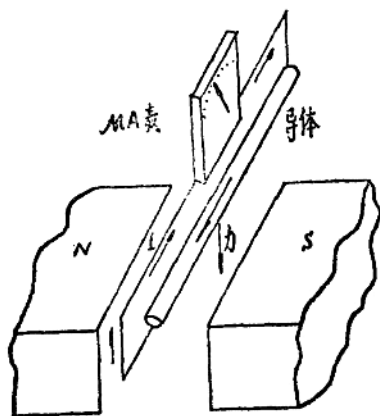


图 1-1 磁生电

在永久磁铁的北极和南极之间放入一根铜丝导线，导线两端分别接到一个可以指示有无电流通过的微安表上。如果用手使导线在磁场中作切割磁力线运动时，可以清楚地看到微安表的指针会发生偏转。如果导线朝不同方向运动，微安表的指针

偏转的方向也不同。如果导线不动，微安表就不动。这一实验说明：只要使导线在磁场中作切割磁力线运动，导线中就会产生电动势。若将导线接到一个闭合电路，这时电路中

有电流。

要把上述简单的磁生电实验设备变成发电机，只要：①用强大的电磁铁代替小型永久磁铁，以增大和加强磁场。②用水轮机或汽轮机代替人手。③用大线圈的旋转运动来代替铜丝来回移动（实际上，在大型发电机中，线圈不动，磁铁旋转）。正是在法拉第伟大发现的基础上，制成了现代巨大的发电机，并把电能广泛地应用于生产技术和生活领域。

第四节 电流、电压和电阻

一、电流

（一）电流的定义。在电动势的作用下，金属中的自由电子、液体中的正负带电离子和半导体中的空穴有规则的流动就形成了电流，本来这些物质中的自由电子、离子或空穴在物质中都是杂乱无章地运动着，没有一定的方向，但一旦加上电动势，它们就整整齐齐向着一个方向流动了。从微观上来看，这些带电的粒子移动速度并不大，每秒0.05米左右，但电流的速度太大了，每秒钟达30万公里。为什么会这么快呢？打个比喻：某甲到电影院看电影，甲从南北排的北边进来，但空位确在该排的最南边。甲给北边的第一个人乙说：

“南边有一空位请向南移动”。同样乙告诉丙，丙告诉丁……都向南移动，最后坐满了最南边的空位，人的流动结束，而其中一人只移动了一个座位。不过电子移动非常灵敏，几乎同时动作，即从负极送出一个电子，则由正极立刻得到一个

电子，整个导体中的电子同时做接递式的移动，因为在导体中每个地方均有自由电子存在。

(二) 电流的符号、单位及单位字母代号。电流的符号是 I ，单位是安培（简称安），单位字母代号是 A 。

1 安培的电流就是每 1 秒钟通过导体某一截面 1 库仑的电量。

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒钟}}$$

一库仑的电量就是 6.25×10^{18} 个电子电量。

有时为了使用和测量上方便，还用了其它导出单位。

兆安（字母代号 MA ） 千安（字母代号 KA ）

毫安（字母代号 mA ） 微安（字母代号 μA ）

它们之间关系是千进位：

$$1MA = 1000KA$$

$$1KA = 1000A$$

$$1A = 1000mA$$

$$1mA = 1000\mu A$$

例如：我们研究雷电流就是要用兆安或千安，在电力通讯系统中，就要用毫安或微安。

(三) 电流的种类。

1. 直流电：如果电流的大小和方向都不随时间变化，即在任何时间内，通过导体横截面上的电荷量都相等，其方向也始终不变，这种电流称为直流，常用“—”符号表示，其字母用 DC 表示。

直流电和时间的关系可用图形表示出来（见图1-2）。沿水平方向横坐标表示时间 t ，沿垂直方向的纵坐标表示电流 I ，由于直流电不随时间变化，它的图形是一条与横坐标轴平行的直线。

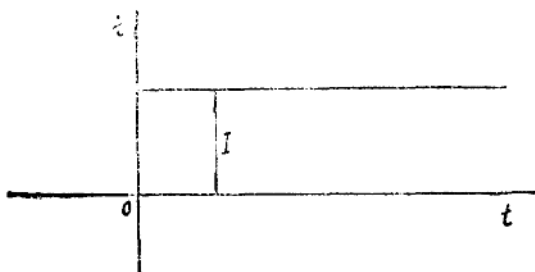


图 1-2 直流电

2. 交流电：电流的大小和方向按一定规律随时间反复交替地变化，则这种电流称交流电，如图1-3。

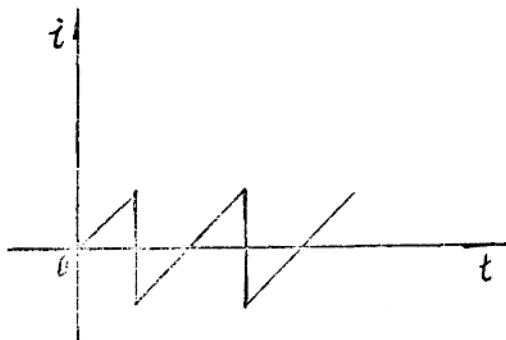


图 1-3 交流电

3. 正弦交流电：电流的大小和方向随着时间按正弦规律

变化称为正弦交流电，其符号用“~”表示，字母用 AC 表示。

(1) 正弦交流电的图形是正弦波，如图1-4。

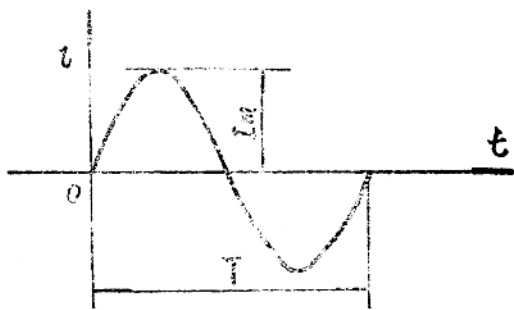


图 1-4 正弦交流电

(2) 正弦交流电的数学表达式是：

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

(3) 正弦交流电的三要素：①最大值(即振幅值) I_m 是正弦交流电在变化过程中最大的瞬时值。②角频率 ω 是反映交流电变化快慢的物理量，用公式表示：

$$\omega = \frac{\alpha}{t}$$

就是单位时间内变化的角度，把上式变换 $\alpha = \omega t$ 为电角度，其单位是弧度，一弧度就是在圆周上取长度等于半径的圆弧，所对的圆心角为一弧度，一弧度为 $57^\circ 3'$ ，所以 360° 为 2π 弧度。

交流电每变化一周即 2π 弧度所需的时间为周期，用符号

T 表示。交流电在单位时间内反复变化的周期数为频率，用符号 f 表示。其单位是周/秒，叫赫芝，字母代号是 Hz 。所以频率和周期互为倒数关系，即：

$$f = \frac{1}{T} \quad T = \frac{1}{f} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

⑨初相角 ψ ：就是正弦交流电在 $t=0$ 时的相角。初相角和时间起点选择有关。由于时间起点选择的不同初相角也不同。 $t=0$ 时，正弦函数值为正，相应的初相角就也为正。如图 1-5 所示。

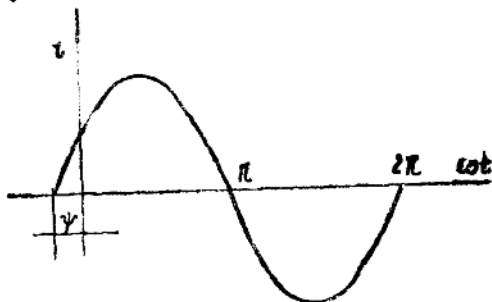


图 1-5 正弦交流电的初相角 ψ

4. 三相正弦交流电：

(1) 定义：三个频率相同，最大值相同，相位差为 120° 的正弦交流电，称为三相正弦交流电。

(2) 数学公式是：

$$i_a = I_m \sin \omega t$$

$$i_b = I_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_c = I_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

(3) 相量图和波形图如图1-6a、b所示。

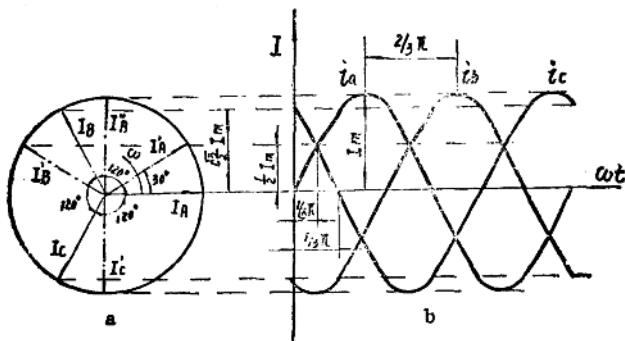


图 1-6 三相正弦交流电

a. 向量图 b. 波形图

(四) 电流密度。通过单位截面上电流的大小叫**电流密度**。电流密度的符号是 j ，单位是 $\frac{\text{安}}{\text{毫米}^2}$ 或 $\left(\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}\right)$ 。

电流密度是非常重要的物理量。不同的材料允许电流密度不同。如果超过了允许电流密度，则导体就会过度发热而烧坏。我们平常说某导体每平方毫米允许多少电流，就是说的它的允许电流密度。表 1 规定了不同截面的铝芯绝缘线允许载流量。

表 1 普通铝芯绝缘线允许载流量

导体截面积 mm^2	10以下	16—25	35—50	70—95	120以上
允许电流密度 $\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$	5	4	3	2.5	2

从表中可以看出，随着导体截面积增加，则允许电流密度是减小的趋势。这是因为大量自由电子在导体中流动时的超表效应或集肤效应所致。大量的自由电子挤向导体表面，所以有效利用截面就减小。因此，导体越粗则允许电流密度就越小。目前制造的钢芯铝绞线就是克服了导体中间部分利用不上的特点，中间不走电流，就利用电阻大和机械强度大的钢芯，大大地加强了机械强度。

如果我们使用的有裸线，铜芯绝缘线和穿管使用的绝缘线，则对表 1 中的数据加以修正即可。

1. 裸导线的修正：由于裸线没有绝缘层，所以其散热条件好，即使允许电流密度大一点也烧不坏裸线，因此可将表 1 数据乘上 1.5 倍加以修正。如 16mm^2 铝芯绝缘线，允许载流量应是 $16 \times 4 = 64$ 安，则裸导线应是 $16 \times 4 \times 1.5 = 96$ 安。

2. 铜芯绝缘线的修正：因为铜的导电性能比铝好，即自由电子多，容易导电，所以允许电流密度就大，对表 1 中数字可以加 1 安进行修正。

如 16mm^2 铜芯绝缘线允许载流量是：

$$16 \times (4 + 1) = 80 \text{ 安}$$

3. 穿管线的修正：因为穿管线散热条件变坏，如果温度太高会烧坏导体绝缘造成事故，所以允许电流密度就应减少，一般打八折进行修正。

如 16mm^2 铝芯绝缘线穿管时载流量应是：

$$16 \times 4 \times 0.8 = 51.2 \text{ 安}$$

允许载流量：