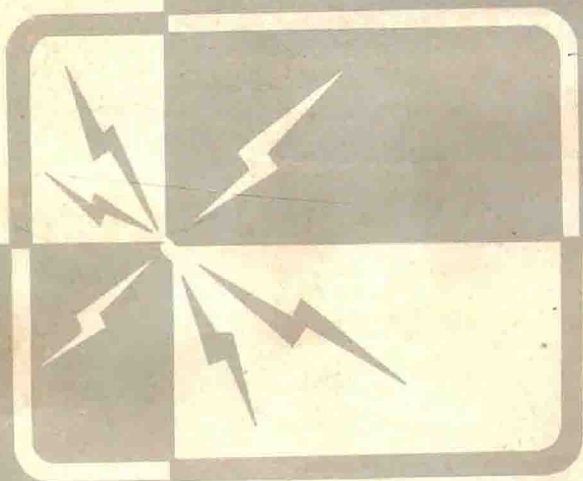




特种作业人员培训教材

电工作业安全技术



河南省劳动保护宣传教育中心

特种作业人员培训教材

电工作业安全技术

(修订本)

河南省劳动保护宣传教育中心

前 言

根据中华人民共和国国家标准《特种作业人员安全技术考核管理规则》，为了提高电工作业人员的安全技术素质，适应对从事电工作业人员安全技术培训、考核工作的需要，一九八七年七月，我们编写了特种作业人员培训教材《电工作业安全技术》。通过使用，并征求各地意见后，我们又重新作了修订。

本教材可供培训考核电工作业人员使用。

本教材由徐晓航、谭永隆、王洪江同志分工编写。谭永隆同志任主编。编写中郑州电力学校高级讲师王瑚、王秀同志提出了许多宝贵意见，在此表示感谢！

由于时间短，水平有限，错误遗漏之处在所难免，欢迎批评指正。

1988年2月

目 录

第一章	电工基础知识	(1)
	§ 1 电的基本概念	(1)
	§ 2 直流电路	(12)
	§ 3 交流电的基本概念	(21)
	§ 4 单相交流电路	(39)
	§ 5 三相交流电路	(56)
第二章	变压器	(65)
	§ 1 概述	(65)
	§ 2 变压器的工作原理和基本结构	(66)
	§ 3 三相变压器	(71)
	§ 4 变压器的铭牌	(76)
	§ 5 变压器的运行、维护	(80)
	§ 6 特殊变压器	(84)
第三章	互感器	(87)
	§ 1 电流互感器	(88)
	§ 2 电压互感器	(93)
	§ 3 互感器的运行维护	(95)

第四章	交流异步电动机	(98)
	§ 1 异步电动机的构造与工作原理	(98)
	§ 2 异步电动机的起动	(98)
	§ 3 异步电动机的调速、反转与制动	(117)
	§ 4 三相异步电动机的铭牌	(12)
	§ 5 电动机的使用和维护	(125)
第五章	主结线和高压电器	(128)
	§ 1 电气主结线	(128)
	§ 2 高压断路器	(133)
	§ 3 高压隔离开关	(137)
	§ 4 高压负荷开关	(140)
	§ 5 高压熔断器	(142)
	§ 6 高压开关柜	(146)
第六章	低压电器	(149)
	§ 1 手动低压电器	(149)
	§ 2 自动低压电器	(156)
第七章	常用电工仪表	(170)
	§ 1 电流表	(170)
	§ 2 电压表	(172)
	§ 3 电度表	(173)
	§ 4 万用表	(177)
	§ 5 钳形电流表	(180)

§ 6 兆欧表	(181)
§ 7 接地电阻测试仪	(183)
第八章 继电器和继电保护装置	(186)
§ 1 继电保护的基本知识	(186)
§ 2 常用继电器	(188)
§ 3 变压器的继电保护装置	(197)
§ 4 电动机的继电保护装置	(201)
§ 5 输配电线路的继电保护装置	(204)
§ 6 操作电源	(208)
第九章 照明	(211)
§ 1 照明的方式、种类和技术要求	(211)
§ 2 灯具的选择和安装	(213)
§ 3 导线的选择和安装	(222)
§ 4 开关、插座的安装要求	(227)
§ 5 便携式设备的安全运行	(228)
第十章 工厂电力线路	(232)
§ 1 工厂电力线路的结构和敷设	(232)
§ 2 工厂电力线路的运行维护	(249)
§ 3 线路间距	(253)
第十一章 并联补偿电容器	(257)
§ 1 移相电容器的补偿方式与容量选择	(257)
§ 2 放电电阻	(259)

§ 3 电容补偿装置的运行与维护	(260)
第十二章 防雷	(265)
§ 1 概述	(265)
§ 2 防雷装置	(269)
§ 3 防雷措施	(274)
§ 4 人身防雷措施	(278)
第十三章 电工安全用具	(280)
§ 1 安全用具的作用和分类	(280)
§ 2 安全用具的检查试验	(287)
第十四章 电气设备的倒闸操作	(289)
§ 1 操作隔离开关的安全技术	(289)
§ 2 倒闸操作的一般程序	(292)
§ 3 倒闸操作的操作制度	(294)
第十五章 防止触电的方法	(297)
§ 1 电流对人体的危害	(297)
§ 2 几种可能的触电方式	(302)
§ 3 防止触电的一般方法	(305)
§ 4 触电急救	(315)
第十六章 电气安全的管理、组织和技术措施	(322)
§ 1 电气安全的管理措施	(322)
§ 2 电气安全的工作制度	(323)

§ 3 电气安全的技术措施	(330)
第十七章 接地和接零	(338)
§ 1 接地和接零的原理和应用范围	(338)
§ 2 接地和接零的技术要求与注意事项	(341)
§ 3 接地装置的选择和安装	(346)
第十八章 电气设备的防火和防爆	(357)
§ 1 火灾和爆炸的有关概念	(357)
§ 2 电气火灾和爆炸的原因	(360)
§ 3 电气防火和防爆的措施	(361)
§ 4 扑灭电气火灾的常识	(364)
第十九章 静电安全	(367)
§ 1 静电的产生	(367)
§ 2 静电的特点和危害	(369)
§ 3 消除静电危害的措施	(372)
附录：事故案例	(378)
1 未经允许登杆作业触电死亡	(378)
2 反送电造成作业人员伤亡	(379)
3 工作票签发有误造成触电死亡	(380)
4 值班员违章送电作业人员触电死亡	(382)
5 手电钻漏电造成触电死亡	(384)
6 接电焊机线时突然送电造成触电致伤	(385)
7 行灯连接线破损造成触电死亡	(386)

8 粉刷墙壁触电死亡	(387)
9 梯子滑倒人坠致死	(388)
10 用草绳代替安全带人坠致伤	(389)
11 用钳形表测量高压电流被电击伤	(389)
12 使用自制“土电炉”烧水触电死亡	(391)

第一章 电工基础知识

§ 1 电的基本概念

一、物体的带电和电场

1. 物质结构

在人们的生产劳动和日常生活中，每天都要用电。如电灯照明、放电影、听广播、看电视等，都离不开电。电，在工农业生产、科研以及国防等方面的应用就更广泛了。那么，电究竟是什么呢？要回答这个问题，首先需了解物质的结构。

自然界一切物质都是由分子组成，分子是由原子组成，而原子又是由原子核和一些电子组成，这些电子沿着一定轨道绕原子核不停地运动。整个原子结构与太阳系的行星绕太阳转动很相似。不同物质的原子所具有的电子数目是不相同的，如氢原子只有一个电子，而铝原子则有 13 个电子，氢原子与铝原子的结构如图 1—1 所示。那么，电子为什么不停地围绕原子核运动，而不从原子中飞逸出去呢？这是因为原子核和电子之间存在着吸引力。这种吸引力是由于原子核带正电荷，而电子带负电荷所产生。异性电荷相互吸引，同性电荷相互排斥，这是电荷的基本特性。

既然原子核与电子都带有电荷，为什么平常物质不表现出电性呢？这是因为原子核所带的正电荷与核外电子所带的负电荷数量相等，从而整个原子不显电性。所以平常物体不呈现带电的特性，这时称物体处于中性状态。

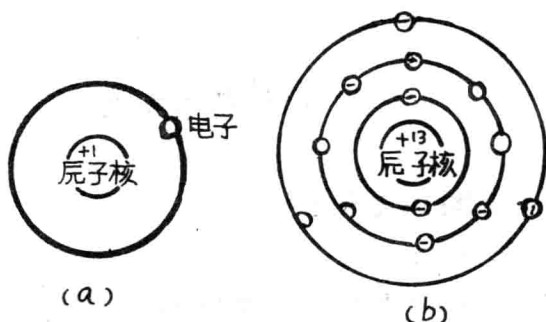


图 1—1 氢、铝原子的结构

(a) 氢原子； (b) 铝原子

2. 物体的带电

当物体由于某种原因使电子增多或减少时，物体内的正负电荷的总量就不再相等，这时物体就显出电性，叫做物体带电或称带电体，我们熟悉的摩擦起电就是使物体带电的最简单的例子，当两种不同材料的物体互相摩擦时，一种物体要失去电子，另一种物体要得到电子。失去电子的物体由于电子数量的减少（即负电荷减少了而正电荷不变）而带正电，得到电子的物体由于负电荷的增多则带负电。

由此可见，物体带电是由于失去或者得到电荷所造成。电荷是一种物质，它不会凭空产生或消失，只能从一个物体上

转移到另一个物体上，这叫做电荷守恒定律。

我们通常把物体所带电荷数量的多少叫做电量，用 Q 表示，并取库仑做电量的单位，1 库仑的电量为 6.25×10^{18} 个电子所带的电量。

3. 电场

通过摩擦生电的实验表明，带有电荷的两个物体之间有力的作用，而且同性相斥，异性相吸，这是因为在带电体周围存在着电场。电场的主要特性是对处于电场中的电荷产生作用力，称之电场力。电场的强弱可由电荷在电场中受力的大小来表示。同一电荷在电场中受力大的地方电场强，而受力小的地方电场弱。实验证明：靠近产生电场的带电体的地方电场强；离带电体越远，电场越弱。而且带电体所带电量越多，它周围的电场就越强。

电场的另一个特性，就是具有一定的方向，电场的方向为处于电场中的正电荷“ $+q$ ”所受力 F 的方向。带正、负电荷的物体所产生的电场方向如图 1—2 (a)、(b) 所示。

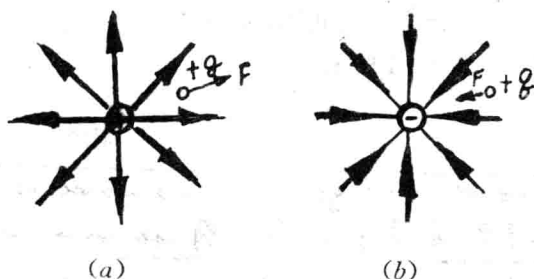


图 1—2 带电物体周围的电场

(a) 带正电荷的物体； (b) 带负电荷的物体

一般用电力线表示电场，电力线越密的地方表示电场越强。图 1—2 中表示电场的球形分布的有向线段即为电力线。

二、电流

电气设备接通电源以后才能工作，如合上电源开关后，电动机立即就转动起来。这是因为在电动机中有电流通过的缘故，那么，电流又是什么呢？下面就讲述这个问题。

1. 导体中的电流

在金属导体中存在着大量电子，金属原子的内层电子被原子核紧紧束缚着，不能自由地运动，而原子的外层电子受原子核的束缚力较弱，可以脱离原子核的束缚，在金属中自由运动。这些自由运动的电子叫做自由电子。金属中的电流就是自由电子朝一个方向运动所形成的。

一般情况下，导体内的自由电子是处于无定向的不规则的运动状态，并且在运动中相互碰撞，因此形不成电流。如图 1—3 所示。

如果导体处在电场中，则导体内的自由电子要受到电场力的作用，自由电子在电场力的作用下产生的定向运动就形成电流，如图 1—4 所示。

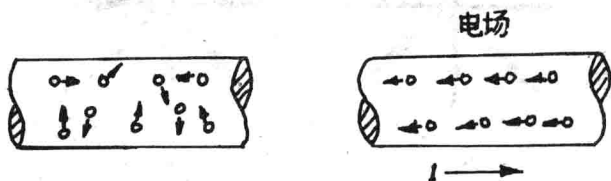


图 1—3 自由电子的不规则运动 图 1—4 自由电子的定向运动

2. 电流的大小和方向

电流是用肉眼看不见的,但它的各种表现可以被觉察。我们都知道照明用的灯泡,其发光的强弱是不同的。这是因为通过灯泡的电流大小不同,在灯泡内所做的功不一样的缘故。那么如何来表示电流的大小呢?

电流强度就是用来表示电流大小的一个物理量,电流强度简称电流,用 I 表示。它表示在电场的作用下,单位时间内通过导体截面的电量。

如图 1—5 所示,设在时间 t 内通过导体截面 S 的电量为 Q ,则电流强度为

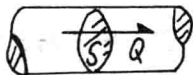


图 1—5 通过导体截面的电量

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

电流的单位是安培,简称安,用 A 表示。如果每秒钟内通过导体截面的电量为 1 库仑时,则电流是 1 安。在计算大电流时,常以千安 (kA) 为单位;计算小电流时,常以毫安 (mA) 或微安 (μA) 为单位。它们的换算关系如下:

$$1 \text{ 千安} = 10^3 \text{ 安}$$

$$1 \text{ 毫安} = \frac{1}{1000} \text{ 安} = 10^{-3} \text{ 安}$$

$$1 \text{ 微安} = \frac{1}{1000} \text{ 毫安} = 10^{-6} \text{ 安}$$

电流的大小可以用电流表来测量。

电流是有一定方向的。人们开始发现电流的时候,认为是正电荷在运动,所以规定正电荷运动的方向为电流方向。这样就与电子运动的方向刚好相反,如图 1—4 所示。在电路中

电流的方向常用箭头来表示。

在我们日常生活、工作中常用到的电流有直流和交流两种。电流的大小和方向不随时间变化的叫直流电。如手电筒、半导体收音机及发电厂的事故照明和发电机的励磁等用的是直流电。电流的大小和方向随时间变化的称做交流电。目前工农业生产和人们生活中广泛使用的是交流电，有些直流电也是由交流电经整流得到的，一般发电厂发出的电都是交流电。

三、电压与电位

1. 电压

如前所述，电流实际上是电荷在电场力作用下的定向移动。显然，这个过程中电场对电荷作了功，我们将电场力移动单位正电荷由 A 移到 B 所做的功叫做 AB 间的电压，记作 U_{AB} 。

如果电场将电量为 Q 的电荷从 A 移到 B 所做的功为 W_{AB} ，那么 AB 间的电压为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-2)$$

式 (1-2) 中，电场做功的单位为焦耳，电量的单位为库仑时，则电压的单位是伏特，简称伏用 V 表示。

通常照明用的电压为 220 伏，手电池的电压只有 1.5 伏，对于高压常用千伏 (kV) 做单位，电压很低时用毫伏 (mV) 做单位。它们之间的关系是：

$$1 \text{ 千伏} = 1000 \text{ 伏} = 10^3 \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 毫伏} = \frac{1}{1000} \text{ 伏} = 10^{-3} \text{ 伏}$$

目前我国远距离高压输电线路的电压等级有 110、154、220、330、和 500 千伏。

电压不但有大小，还有一定的方向，通常规定在电源外部及负载电路中正电荷运动的方向为电压的方向，即电压的方向同电流方向一致。如图 1—7 所示。

2. 电位

在分析电子电路时，常用到电位这个量，以便分析各点之间的电压。如果在电路中任选一参考点，令其电位为零（工程中常选大地为参考点），则电路中某一点的电位就等于该点到参考点之间的电压。如电位用 ϕ 表示，则任一点 A 的电位为

$$\phi_A = U_{A0} \quad (1-3)$$

电位实际就是电压，是对参考点的电压。因此它的单位也是伏特。在电场中任意两点的电位之差，就等于这两点间的电压。即

$$\phi_A - \phi_B = U_{A0} - U_{B0} = U_{AB} \quad (1-4)$$

所以电压也称为电位差，电压的方向是由高电位指向低电位。电流的方向与电压的方向是一致的，它总是由高电位流向低电位的。如果在电阻不为零的电路中两点电位相等，这时电位差等于零，就没有电流通过。我们把电位相等的点叫作等电位点，这是高压带电作业的理论基础。

四、电源与电动势

在图 1—6 中，如将带电体 A 、 B 间接上导体，由于 A 、 B 间存在电位差，所以在导体中产生电流。但是这个电流不能继续维持下去，因为随着电流的流通，带电体 A 上的正电荷

流到 B 上与其负电荷中和了。所以 A 、 B 上所带的电量将越来越少， A 、 B 之间的电位差也随之减小，直到 A 、 B 上的电荷完全中和， A 与 B 间的电位相等，导体中就没有电流通过了。

那么，要维持电流的继续存在，必须维持导体两端的电位差，这个电位差要靠电源来产生。

1. 电源

电源实质上是一种能量的转换装置，即将其它形式的能量转换为电能的一种设备，如发电机、干电池和蓄电池等。在各种电源中，它们都具有一个共同点，就是能在电源内移动电荷，使得一个极具有一定量的正电荷，使另一个极具有一定量的负电荷，这样就在两极之间形成电场，产生了电位差。电源内部这种能移动电荷的作用力称为电源力。图 1—6 为电源工作的示意图，

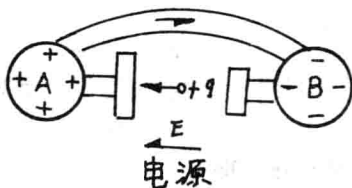


图 1—6 电流工作示意图

电源力能够不断地将正电荷从负极移到正极，从而保持了两极之间的电位差，使电流在电路中持续不断地流通。

2. 电动势

电源的电动势就是电源力将单位正电荷由电源负极移到正极所做的功，常用 E 表示。如图 1—6 所示，当电源力将正电荷 Q 从负极 B 移到正极 A 所做的功为 W_{BA} 时，则电源的电动势为