

火电生产类学徒工初级工培训教材

电工基础知识

(试用本)

水利电力出版社

前 言

为了提高水利电力系统学徒工初级工的技术水平,使技工培训工作逐步走向正规化、系统化,我们统一组织编写了水电生产、水电施工、火电生产、火电建设和供电等五类学徒工初级工的培训教材。

这五类培训教材是按照原水利部、原电力工业部颁发的工人技术等级标准中相应的应知技术理论要求编写的。每一工种的培训教材包括基础课与专业课两部分,注意到学徒工初级工两个阶段技术理论教育的系统性和完整性,力求密切联系生产实际,深入浅出,突出工人培训教材的特点。

火电生产类培训教材包括22个工种共23本,其中基础课11本,专业课12本,委托山西省电力工业局组织编写,并约请各大区网局和省电力工业局的有关同志参加审稿。

《电工基础知识》系基础课教材之一。山西省电力学校王连起编写第一至第七章;太原第二热电厂赵家琪编写第八章;山西省电力试验研究所王绍武审稿;北京石景山发电总厂、上海闸北发电厂、辽宁鞍山发电厂等单位进行了审定。

由于编写时间仓促,又缺乏经验,培训教材中难免存在错误和不妥之处,现以试用本出版,内部发行。希望使用单位和广大读者提出宝贵意见,以提高再版的质量。

水利电力部

1982年10月

目 录

前 言

第一章 电的基本概念	1
第一节 物体的带电和电场	1
第二节 电流	3
第三节 电压与电位	6
第四节 电源与电势	8
第五节 电阻、导体和绝缘体	9
第二章 直流电路	15
第一节 电路	15
第二节 电路的欧姆定律	17
第三节 电路的基尔霍夫定律	19
第四节 电阻的串联电路	22
第五节 电阻的并联电路	24
第六节 电阻的混联电路	27
第七节 电路的功率与电能	30
第三章 交流电的基本概念	35
第一节 电磁感应	35
第二节 交流电	41
第三节 正弦交流电的产生	43
第四节 正弦交流电的相位和参数	45
第五节 交流电的有效值	49
第六节 正弦量的表示方法	51
第四章 单相交流电路	58
第一节 交流电路的特点及分析方法	58
第二节 纯电阻电路	60

第三节	自感电势和电感线圈	63
第四节	纯电感电路	66
第五节	电容器	72
第六节	纯电容电路	78
第七节	电阻、电感、电容的串联电路	83
第八节	并联电路与功率因数的提高	91
第五章	三相交流电路	98
第一节	三相交流电势的产生	98
第二节	三相电源的接法	100
第三节	三相负载的连接	104
第四节	三相电路的功率	112
第六章	变压器	118
第一节	变压器的用途	118
第二节	变压器的工作原理	121
第三节	变压器的极性	124
第四节	特殊变压器	126
第七章	三相异步电动机	133
第一节	三相异步电动机的构造	133
第二节	三相异步电动机的工作原理	137
第三节	三相异步电动机的起动	144
第四节	三相异步电动机的运行与维护	149
第五节	三相异步电动机的铭牌	151
第八章	电气设备的二次电路	155
第一节	控制电路	155
第二节	保护电路	156
第三节	测量电路与监视电路	157
第四节	自动控制电路	158
第五节	电气设备的二次接线举例	159

第一章 电 的 基 本 概 念

第一节 物体的带电和电场

一、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，而同性电荷则是相互排斥，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电子的负电荷数量相等，正负电荷的相互作用使整个原子不显电性。

二、物体的带电

如前所述，由于一切物质都是由分子组成的，因而物体

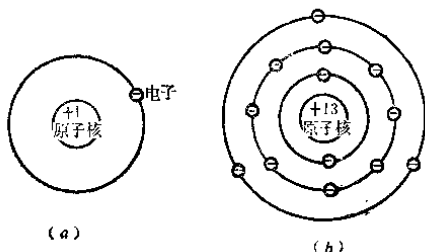


图 1-1 氢、铝原子的结构
(a) 氢原子, (b) 铝原子

的内部存在着大量的电荷。一般情况下, 物体内正电荷的总量和负电荷的总量相等, 所以物体不呈现带电的特性, 这时称物体处于中性状态。

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, 一种物体要失去一些电子, 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。

三、电场

通过摩擦生电的实验表明，带有正负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。

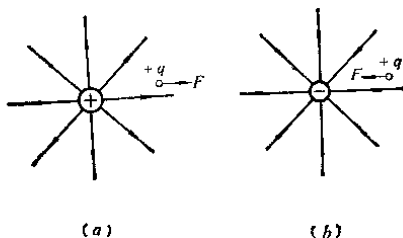


图 1-2 带电物体周围的电场
(a)带正电荷的物体；(b)带负电荷的物体

第二节 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。

一、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互相碰撞，无定向的不规则的运动状态，因此形不成电流。如图1-3所示。

如果给导体两端加一个电场，则导体内的自由电子要受到电场力的作用。电场的正端要吸引电子，而负端排斥电子，所以自由电子要向正端运动，自由电子在电场力的作用下产生的定向运动就称为电流，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

二、电流的大小和方向

电流是用肉眼看不见的，但它的各种表现是可以被觉察到的。我们都知道照明用的灯泡，其照度大小不同，发光的强弱也是不同的。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。那么如何来决定电流的大小呢？

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。电流强度就是在电场的作用下，单位时间通过导体截面的电量。

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

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

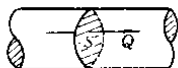


图 1-5 通过导体截面的电量

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，我们常用的电灯一般电流在 $0.1 \sim 0.5$ 安之间，而大型电动机的电流可达几百安。当电力系统发生短路时，其短路电流可达数十千安。如果有 0.05 安的电流通过人体的心脏就要危及人的生命，因此在工作中要注意安全用电。

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。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。目前工

农业生产和人们生活中广泛用的是交流电，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。

第三节 电 压 与 电 位

导体中形成电流的内在因素是导体内有自由电子，而外界因素则是导体两端存在电场。电场对电子产生作用力，使电子产生定向的运动。不同的电场对电子产生的作用是不同的，我们常用电压这个物理量来表示电场对电荷作用的大小。

一、电压

设有两个带电体A、B，并分别带有异性的电荷（A带正电、B带负电）形成电场。当用导体把这两个带电体连接起来后，在电场的作用下，正电荷则沿着电场力的方向由A向B运动，从而在导体中形成电流，如图1-6所示。

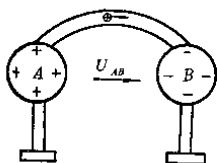


图 1-6 正电荷在导体中的运动

电流的大小与单位时间内通过导体截面的电量多少有关，而电场力在移动电荷时要做功，为了衡量电场对电荷做功的大小通常是用电压来表示。因此也可以认为电流是由电压产生的，我们将电场力移动单位正电荷由A到B所做的功就叫做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, 简称伏或用 V 表示。

通常照明用的电压为220伏, 手电筒的电压只有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、220、330和500千伏。

电压不但有大小, 还有一定的方向, 通常规定正电荷运动的方向为电压的方向。即电压的方向是由正到负的。如图1-6所示。

二、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从该点到参考点之间的电压。如将电位用 φ 表示, 则任一点 A 的电位为

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

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

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = U_{A0} - U_{B0} \quad (1-4)$$

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。

第四节 电 源 与 电 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。

一、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。

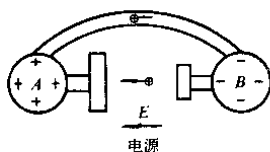


图 1-7 电源工作示意图

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，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1-7为电源工作的示意图，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。

二、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1-7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

$$E = \frac{W_{BA}}{Q} \quad (1-5)$$

其中 W_{BA} 的单位是焦耳、 Q 的单位是库仑,故 E 的单位与电压相同,也用伏特表示。

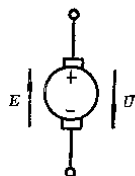


图 1-8 电压与电势的方向

电动势的方向为电源力移动正电荷的方向,即由低电位指向高电位。如图1-8所示,电势(电动势,以下简称电势) E 与电压 U 的方向相反,这是因为电势的方向是电源力移动正电荷的方向;而电压的方向是电场力移动正电荷的方向。电源力与电场力的方向是相反的,所以电势与电压的方向也相反。

一般将电势的大小和方向不随时间变化的电源,叫做直流电源。如干电池、蓄电池和直流发电机等都是直流电源。电势的大小和方向均随时间变化的电源,称为交流电源。交流发电机就是交流电源。

第五节 电阻、导体和绝缘体

一、电阻

导体中的自由电子在电场力的作用下,产生定向运动便形成电流。当电流通过导体时会受到阻力,因为自由电子在运动中不断与导体内的原子、分子发生碰撞,使自由电子受

到一定的阻力。导体对电流的这种阻力叫做电阻，用 R 表示。

电阻的单位是欧姆，或用欧 (Ω) 表示。大电阻常用千欧 ($k\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$) 做单位。它们的换算关系如下：

$$1 \text{ 千欧} = 1000 \text{ 欧} = 10^3 \text{ 欧}$$

$$1 \text{ 兆欧} = 1000 \text{ 千欧} = 10^6 \text{ 欧}$$

二、电阻的计算

导体存在电阻是一个客观现象，那么导体电阻的大小与哪些因素有关呢？实验证明，导体电阻与导体长度成正比，与导体截面积成反比，还与导体的材料有关。这是因为导体越长，自由电子运动路径就长，且与原子和分子碰撞机会增加，故表现为电阻增大。如导体截面积越大，自由电子运动的通道也大，而与原子和分子碰撞的机会将减少，故电阻要减小。不同材料单位体积内的自由电子数目不同，导电的能力也不同，因而电阻的大小也就不同。因此，导体电阻可由下式计算，即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-6)$$

式中 R ——导体电阻 (欧)；

L ——导体长度 (米)；

S ——导体截面 (毫米²)；

ρ ——电阻率 (欧·毫米²/米)。

电阻率 ρ 表示长度为 1 米，截面是 1 平方毫米的导体所具有的电阻值。不同材料有不同的电阻率，几种常用电工材料的电阻率可由表 1-1 查得。

由表 1-1 可见，银、铜、铝的电阻率较小，它们都具有良好的导电性能。由于银较贵重，不宜大量使用，因此应用

表 1-1

几种常用材料的电阻率

材 料	电 阻 率 (欧·毫米 ² /米)	材 料	电 阻 率 (欧·毫米 ² /米)
银	0.0165	钨	0.055
铜	0.0175	镍铬合金	1.5
铝	0.0283	硬 橡 胶	1×10^{22}

较广泛的导电材料是铜和铝。如高压输电线大都采用钢芯铝绞线。

三、电导

导体对于电流有一定的阻力，同时导体也具有传导电流的能力。电导就是用来表示导体传导电流能力大小的参数。

一根导线如具有的电阻越大，其传导电流的能力就越差，即说明电导就越小。反之如导体的电阻越小，则电导就越大。故可知电导与电阻互成倒数关系。电导用 G 表示，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-7)$$

电导的单位为西门子，简称西（ S ）。

电阻和电导都是用来表示导体导电性能的参数，在实际应用上可取其中一种。

例1-1 有一根长为1公里，截面积为5平方毫米的铝导线，试求导线的电阻和电导。

解：由表1-1中查到铝的电导率 $\rho = 0.0283$ 欧·毫米²/米，并代入式（1-6）可得

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.0283 \times \frac{1000}{5} = 5.66 \text{ 欧}$$

由式（1-7）可知电导为

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{5.66} \approx 0.177 \text{ 西}$$

四、导体和绝缘体

物体按其导电性能大致可分为导体、绝缘体和半导体三类，各种材料的导电性能可以用电阻或电导表示。

导体具有良好的导电性能，即电导大，电阻小的材料。导体材料的电阻率一般在 $10^{-2} \sim 1$ 范围内，金属材料大部分为良导体。如银、铜和铝等。

金属导体在电力工业中应用极广，从发电厂的发电机、变压器的绕组及高低压输电线，到用户的电动机线圈，灯泡的钨丝等都是用导电材料制成的。

通常将电阻极大，导电能力非常差，电流几乎不能通过的物体称为绝缘体。绝缘体的电阻率一般在 $10^{12} \sim 10^{22}$ 范围内。所以一般认为绝缘体是不能导电的。电工中常用的绝缘材料有橡胶、塑料、云母、陶瓷、油类、石棉及干燥的木材等。

绝缘材料在电力工业中与导体同样占有重要的地位。如变压器、油开关中的绝缘油，输电线与杆塔之间的瓷瓶等都是绝缘材料制造的。不同的绝缘材料，其绝缘性能各有差别。在高电压或温度高的地方，应采用陶瓷、云母、或石棉等耐高压、高温的绝缘材料。

绝缘材料长时间受温度、湿度和灰尘的影响后，绝缘性能要下降，这种现象叫做绝缘老化。绝缘材料老化后，由于绝缘强度的降低，可能在电气设备运行中造成绝缘损坏或称为绝缘击穿，影响设备的正常工作。如电机、变压器外壳的带电现象，就是由于绝缘强度降低造成的。所以，运行中的电气设备都要定期检查绝缘强度以保证运行安全。

此外，还有一类材料，它们的导电性能介于导体和绝缘体之间，称为半导体。半导体的电阻率为 10^8 左右。这一类材料有硅、锗、硒等。半导体材料在电子工业中有广泛的应用，如半导体二极管、晶体三极管及可控硅等元件都是由半导体材料制成的。

思考题与习题

- 1-1 物体是怎样带电的？
- 1-2 电荷有什么性质？
- 1-3 什么叫电场？
- 1-4 电流是如何形成的？它的方向是如何规定的？
- 1-5 电压与电动势有何区别？它们的方向是如何规定的？
- 1-6 什么是电位？
- 1-7 电源的作用是什么？
- 1-8 什么是电阻和电导？导体电阻与哪些因素有关？
- 1-9 试举几种良好的导体和良好的绝缘体，并举例说明它们的应用。
- 1-10 如图1-9所示，当电源的负极接地时，把电压表

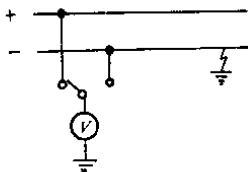


图 1-9