

煤矿干部技术知识丛书

普通电工与矿山电工

(修订本)

王玉 编

煤炭工业出版社

责任编辑：陈锦忠

煤矿干部技术知识丛书
普通电工与矿山电工

修 订 本
王 玉 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京宣武门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092¹/₃₂， 印张10⁸/₃₂，插页5
字数236千字 印数153,050—157,070
1987年2月第2版 1987年2月第5次印刷
书号15035·2761 定价1.60元

出版说明

为了更好地满足广大煤矿干部学习和掌握煤矿生产技术知识的需要，我们出版一套《煤矿干部技术知识丛书》。这套书共分七册：煤矿地质、矿图、开采方法、井巷掘进、矿井通风与安全技术、普通电工与矿山电工、矿山机械。内容通俗易懂，联系实际，适合具有初中以上文化水平、有一定煤矿生产实际经验的干部自学之用。

普通电工与矿山电工这一分册介绍了电工基本概念和电子技术的基础知识，以及煤矿常用电气设备、供电网路、各种设备的控制线路、照明、通讯、电工仪表等。对煤矿常用的一些数据和估算方法也作了扼要介绍。

修订版中除了原有的内容基本不变外，增加了微型计算机的一些常识，这是因为新的产业革命使人类社会进入了信息社会；为了“面向世界，面向未来，面向现代化”，懂得一些微型计算机的常识是有必要的。

目 录

第一章 电工基础知识	1
第一节 电磁基本知识	1
第二节 交流电路及三相交流电路	18
第三节 电子技术	46
第二章 矿用电动机	78
第一节 三相交流电动机	78
第二节 直流电动机	94
第三节 矿用电动机的特殊要求	104
第三章 矿山控制电器和控制设备	112
第一节 矿用低压控制电器	112
第二节 电机车的控制	139
第三节 提升机的电气控制设备	148
第四节 通风机、空压机的同步电动机控制设备	159
第四章 矿山供电设备及供电系统	167
第一节 煤矿井下高、低压供电设备	167
第二节 矿井供电线路	186
第三节 矿山地面变电所	211
第四节 矿山安全用电	231
第五节 经济用电	245
第五章 照明、信号、通讯及测量仪表	250
第一节 照明及信号设备	250
第一节 通讯及载波和无线电遥控遥测	267
第三节 常用测量仪表	316

第一章 电工基础知识

第一节 电磁基本知识

一、电和电路

(一) 电路和电流

电是物质运动的基本形式之一，是矛盾的普遍性的具体表现。近代物理学告诉我们，物质均由微小的原子所构成，原子是由带正电（又称阳电）的原子核和绕它旋转的带负电（又称阴电）的电子所组成。电子是带负电的最小基本粒子，异性的带电粒子相吸，同性的带电粒子相斥，这是人们早已知道的现象。

一般情况下，原子的原子核中的正电荷和它的电子轨道上的电子的负电荷数量相等，故物体不呈电的特性。当物质失去电子时，正电荷比负电荷多了，它就带正电。当物质得到电子时，负电荷比正电荷多了，它就带负电。所以电荷的流动就是电子的流动。

从对电子的传递来说，物质可分为导体和绝缘体两大类，导体在形成固体晶格时，有大量电子从原子轨道上脱落下来形成自由电子，故靠自由电子的移动，电荷能在导体中流动。绝缘体则很少有自由电子，故电荷不能在其中流动。利用导体和绝缘体做成电线，可以让电子（即电荷）沿一定的途径流动，好比水管或暖气管道使水或汽沿一定的途径流动一样，这就是导线。

图1-1表示一个带正电荷的金属球和一个带负电荷的金属球之间用一根导线相连的情况，由于异性电荷相吸，负电荷便通过导线流到正电荷那里去，这就形成了电流。这里为什么是负电荷往正电荷方面流去而不是正电荷往负电荷方面流去呢？这是因为：负电荷是电子，正电荷是原子核，电子能自由移动，原子核不能自由移动，所以电荷的流动实际上都是电子的流动（或负电荷的流动）。但人们一开始已习惯于把正电荷的流动方向规定为电流的方向，如图1-1中实线箭头所示，所以实际上电流的方向与电子的流动方向是相反的（图中虚线箭头代表电子流动的方向）。电流的符号用 I 表示，单位是安培，简称安，用A表示，代表每秒钟流过多少电量，有时也用千安（kA）和毫安（mA）。

图1-1那样的电流流动是不会持久的，这是因为电子流到正电荷所在之处，抵消后就再也没有静电力作用了，就和雷电的闪电一样（雷电现象也就是两块云层之间的正负电荷相抵消，短时间产生大的电流）。要能够源源不断地产生电流，必须有一个电源，这个电源能不断地把中和了的电荷重新分解成为带正电和带负电的两极，然后通过外面导线继续流动，如图1-2那样地构成一个封闭的回路。这样的回路就称为电路。所以只有在电路之内才能有持续不断的电流。这里电源是产生电流的“因”，电流则是电源作用在封闭电路后的“果”。图1-1和图1-2的情况可以用图1-3a、b两个水箱来譬喻，电源在这里就相当于水路中的水泵。只有水泵开动之后，水才能源源不断地流动而成循环。

电源可以是化学的，或者是电磁的。前者是干电池或矿灯的蓄电池，把化学能转变成电能，后者是直流发电机，把机械能转变成电能。图1-4画出了最简单的电路——矿灯及

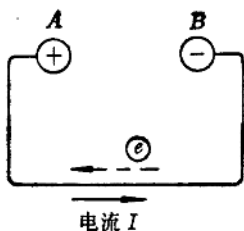


图 1-1

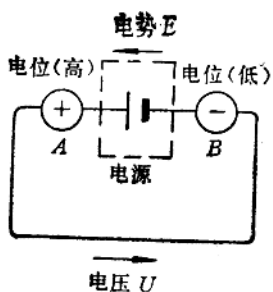


图 1-2

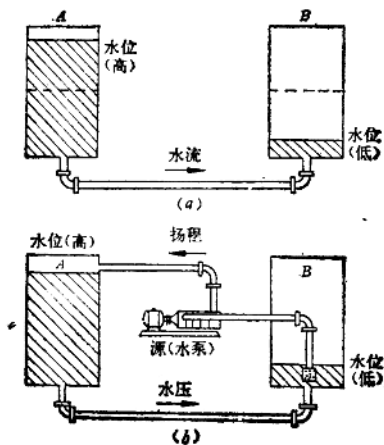


图 1-3

其电路图，显然，一个电路必须包括电源、导线、开关（控制设备）及负载。这里的负载是灯头，是把电流转换成光能的用电设备。

(二) 电压、电位和电动势

水为什么会在管路里流动呢？这是因为管路两端的压力不同，换句话说，管两端有一定的压力差，如图1-3a那样，这个压力差称之为水压。同样，电为什么会在导线中流动呢？也是因为导线两端有一定的电的“压力”差，这个“压力”差称为电压，用符号 U 表示。电压是由异性电荷相吸的静电力所产生的，它是推动电子流动的动力。电压的单位为伏特，简称伏，用 V 表示，有时也用千伏(kV)和毫伏(mV)。

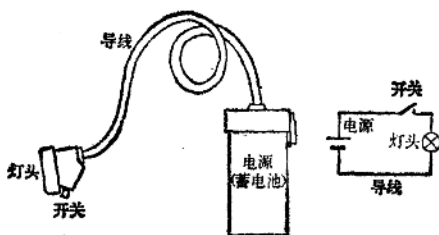


图 1-4

还有一个概念叫电位，电位的单位也是伏。它和电压的区别只在于电压总是代表两点之间的“压力”差，而电位则代表某一点的位能。所以电压有时又称为电位差。这可以用水路作譬喻来区别这两个概念：图1-3a中的水压是指A点和B点两点之间的压力差，而水位则指A点或B点的水头高（即位能）。水压总是从高水位指向低水位的（所谓水往低处流），同样电压也总是从高电位指向低电位的。

电源所产生的电的“压力”称为电动势，用符号 E 表示。

电动势的单位也为伏。它和电压的区别只是电压是从高电位指向低电位，而电动势则从低电位指向高电位。电动势在水路中则好比图1-3b中水泵的扬程。水泵的扬程不也是从低水位指向高水位的吗？

二、电阻和欧姆定律

(一) 电阻

水在管路中流动是有一定阻力的。同样，电子在导体中流动也是有一定阻力的，这种阻力称为电阻，用符号 R 表示，单位为欧姆，简称欧，用 Ω 表示。大的单位可用千欧（ $k\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ，即 10^6 欧）。

电阻与导体的材料、长度和断面有关，正如水管的阻力与水管材料、管路长度和断面有关一样。水管愈长，阻力愈大，水管愈粗，阻力愈小，水管材料影响内表面的粗糙度，故阻力也受影响。导体愈长，电阻愈大，断面愈大，电阻愈小，材料对电阻的影响用电阻系数来衡量。电阻系数以银为最小，铜次之，铝又次之。银是稀贵金属，所以一般导线都用铜和铝来制造。

导体和绝缘体都是相对的，没有绝对的导体，也没有绝对的绝缘体，所以可用电阻的大小来区别它们。一般导体电阻总是以欧为单位来表示，而绝缘体的电阻则以兆欧为单位来表示。我们常用的测绝缘好坏的摇表，就是用来测定绝缘电阻的仪表。

专门用来产生一定电阻的设备称为电阻器。电阻器可用电阻系数高的金属材料来制造，如康铜丝、镍铬合金丝来绕制，大功率的则用铸铁片。也可以用喷在陶瓷表面上的一层碳或金属薄膜来制造电阻，即所谓碳膜或金属膜电阻。可变电阻采用一个滑动的触头 P （图1-5b），在线绕或碳膜电阻

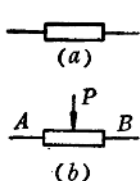


图 1-5

(二) 欧姆定律

上作滑动，改变动点的位置就能改变 AP 段（或 BP 段）的电阻。这样的结构也叫电位器。收音机中就用可变电阻来控制电流的大小从而控制音量，电阻器和电位器的符号如图1-5所示。

水管中流过水流的大小与水管两端压力差成正比，与水管的阻力成反比，这是我们日常生活中的经验。同样，由实验证明，一个电阻器内流过的电流亦与加在它两端的电压成正比，与电阻器本身的电阻成反比，这就是欧姆定律。欧姆定律可用公式 (1-1) 来表达：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-1)$$

式中 I ——电流，安；

U ——电压，伏；

R ——电阻，欧。

(三) 电阻的串并联

两根水管相串联，串后的阻力比每根水管的阻力要大，即串联后的阻力为每根水管阻力之和。电阻也是这样，串联后的电阻为各个电阻之和，即越串电阻愈大。两根水管相并联，并联后的阻力要比各根水管的单独阻力为小。电阻也是这样，越并联电阻愈小。利用电阻的串并联可以适当地分配电压或电流，仪表中所用的倍压器或分流器就是用电阻的串并联来扩大表的量程的。

三、电功率和电能

(一) 电功率

当电流通过一个电炉的电阻丝时，电阻丝就会发热，放

出能量，这就把电能转换成热能，电炉的电阻丝就是这个电路里的负载。当电流通过一个电灯泡时，灯泡的钨丝也会发热到 2000°C 以上，因而白炽发光，这就把电能转换成光能。灯泡就是这个电路里的负载。当电流通过一个小马达时，马达受到电磁力的作用会转动，这就把电能转换成机械能，小马达就是这个电路里的负载。它们的示意图如图1-6所示。

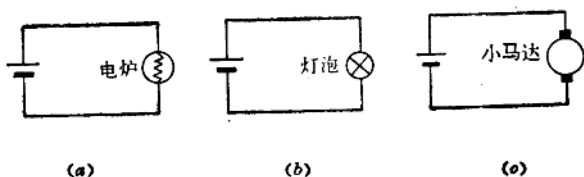


图 1-6

不论上述哪一种形式，都是将电能转换成其他的能量形式。换一句话说，即电路作了功。这个电功怎么计算呢？式 (1-2) 和 (1-3) 给出了计算电功率和电功的基本公式：

$$P = U \cdot I \quad (1-2)$$

$$A = P \cdot t = U \cdot I \cdot t \quad (1-3)$$

式中 P ——电功率，即每秒钟所做的电功，单位为瓦，用 W 表示。从公式 (1-2) 可看出，瓦就等于伏安；
 A ——电功或电能，为电功率乘时间，单位为焦即瓦-秒；

t ——时间，单位为秒；

U ——负载两端的电压，单位为伏；

I ——流过负载的电流，单位为安。

功率较大的单位是千瓦 (kW) 等于 1000 瓦。

我们常说的一度电是什么单位呢？一度电又叫 1 千瓦-小

时，用kWh来表示，即1千瓦的用电设备工作一小时所消耗的电能，这是电能的一种单位，即相当于 3.6×10^6 焦。

因而，从这里我们认识到，所谓用电，并不是将电荷或电流消耗掉了，而是利用电流将发电厂的能量携带过来，所用掉的是电能，把它转换成其他的能量形式，电流在这里只起到了能量携带者的作用。正好比我们用暖气取暖一样，并不是将汽消耗掉了，只是利用汽把锅炉燃烧的热量携带到宿舍里来，蒸汽在这里也起到能量携带者的作用。

(二) 额定值

保险丝（又称熔丝）我们都知道，额定电流为5安的保险丝只能通过5安，当超过它一定值时保险丝就会烧断。电灯泡我们也都知道，额定电压为110伏的灯泡只能加110伏电压，超过它一定值时灯泡也会损坏。这里的额定电压和额定电流是什么意思呢？它是怎样得来的呢？

电气设备的额定值就是它所允许的长时间工作值，超过这个数值设备就会损坏或缩短寿命。这是制造厂根据设计计算得出来的出厂数据。就好比自行车一样，标定的自行车只能载重一定的重量，如果把几吨重的东西压上去，它当然就会损坏。电气设备也是这样，额定电压是根据所用的绝缘材料强度以及电阻等值而计算出来的长时工作允许值，额定电流是根据所用导体的电阻发热和散热取得平衡，绝缘和金属材料的耐热等计算出来的长时工作允许值。5安的保险丝通过10安时为什么会烧断呢？这是因为当电流大一倍时，在熔丝中（熔丝本身有电阻）所发的热量要大四倍（可用欧姆定律代入功率公式而得，即 $P = UI = IR \cdot I = I^2R$ ），这样，熔丝的发热要比它散热快得多，温度就会升高。当升高到熔丝材料的熔点以上时，熔丝就烧断了，起到保护电路的作用。

110伏的灯泡加220伏电压为什么会烧毁呢？这是因为，灯泡是根据110伏电压设计的。灯丝的粗细及电阻的大小刚好使得在加110伏电压时所产生的电流足以使钨丝加热到白炽的程度，这时发热和散热取得平衡，灯丝温度也就稳定在2000℃左右。当灯泡加220伏电压时，电流将加大一倍，灯丝发热将加大四倍，这时候热平衡被破坏，温度将大幅度上升，以致钨丝受不了过高的温度而熔化，灯泡烧毁。如果加的电压不足110伏时，电流比其额定电流要小，钨丝的发热不足而温度降低，灯泡就发红，虽不会烧毁但出力不足，亮度不够，所以电气设备都必须按照其额定值而使用。

四、电流产生磁场

（一）磁的现象和本质

磁针是我国古代劳动人民三大发明之一。磁石能够吸引铁一类金属，这是人们都知道的。磁极又分南极（用S表示）和北极（用N表示），而且总是成对地出现在磁铁的两端，异性相吸，同性相斥，这些都是我们所熟悉的常识。

但是磁的本质是什么？这是近年来物理学的发展以及人们在劳动生产实践中积累大量丰富的感性材料后才认识到的。原来，磁和电有密切的不可分割的关系。凡是有磁场的地方，总是有电流（或电场）存在，而在有电流的地方，也总是伴随着磁场。吸力线圈通过电流，会产生磁场和吸力，吸动铁芯。这种电磁铁我们早已熟悉，这是电流产生磁场的典型例子。但是磁针和某些永久磁铁并没有线圈和电流存在，怎么也会有磁性呢？人们进一步研究，发现永久磁铁虽然没有宏观的电流和线圈，但从分子物理学的观点来看，它内部各个原子的电子沿一定的轨道绕原子核旋转，本身就相当于一个单匝线圈的电流在流动，这个由电子沿轨道旋转而

相当的小线圈称为磁畴或磁分子。磁铁在没有磁化时，这些磁分子是杂乱无章地排列的，所以对外不呈现磁性。当外加磁化力时，这些磁分子沿一定方向整齐地排列起来，对外就呈现磁性了。所以不论永久磁铁还是电磁铁，可以这样说，它的磁场都是由电流所产生的。

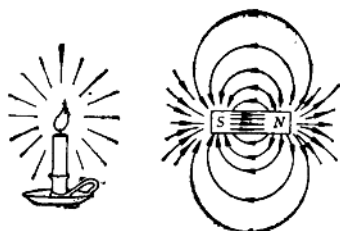


图 1-7

(a)

(b)

怎么来表示磁场的大小和方向呢？人们模仿画图中用光线来表示光的办法而采用磁力线。磁力线是一种假想的线，它的方向代表小磁针北极所指的方向，而磁力线的密度则代表磁场在该点的强弱，如图 1-7 所示。磁力线有

以下几个特性，即磁力线是封闭的曲线，磁力线彼此不相交，磁力线本身有张力，像橡皮筋一样，磁力线之间互相排斥，有侧压力。磁力线在铁芯或磁铁内部是从南极到北极，而在磁铁或铁芯外部是从北极到南极。

磁力线可以用下列实验来显示出来：用一块玻璃板放在一条条形磁铁上面，然后撒上铁粉，轻轻敲动玻璃板，就会在玻璃板上显出铁粉纹路，如图 1-8 所示。显然，它和图 1-7 b 是一致的。

(二) 电流的磁效应和右手螺旋定则

既然磁场是由电流所产生的，那么它们之间的方向和大小是怎么一个关系呢？我们先做图 1-9 那样一个实验。在通电流的导线周围的玻璃板上撒上铁粉，轻敲玻璃板，就会发

现，铁粉排列成一层套一层同心圆式纹路，如电流方向向上，则磁针北极是指向逆时针方向；如电流方向向下，则磁针北极是指向顺时针方向。从而可以得出结论：直线导体的电流方向和它所产生的磁场方向保持着右手螺旋的关系。用右手握着导线，如拇指所指代表电流方向，则其余四个手指所指的方向就是磁力线的方向了，如图1-10所示。这就是右手螺旋定则。

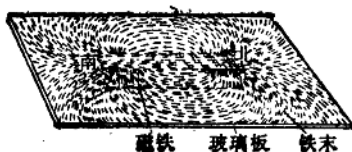


图 1-8

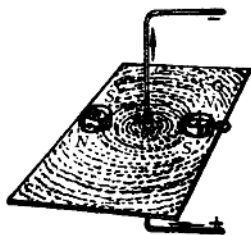


图 1-9

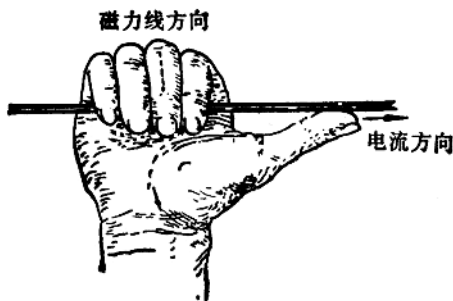


图 1-10

如果通入电流的是一个螺管线圈，那么右手螺旋定则也可以倒过来使用，如图1-11那样，即四个手指代表电流的方向，拇指代表磁力线的方向。

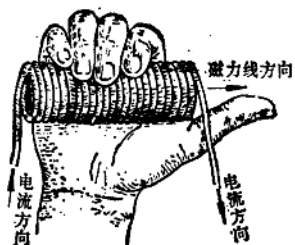


图 1-11

磁场的大小又和哪些因素有关系呢？实践证明，磁场的大小和电流成正比，和线圈圈数成正比，另外与磁性材料即介质有很大的关系。如果线圈中加上铁芯，那么磁场要比没有铁芯时大很多很多倍，这是为什么呢？原来铁芯在这里起到了助磁的作用，图1-12解释了这个现象。

图中 a 和 b 是不带铁芯的空心线圈。通电流之后，产生的磁场就只是线圈电流按右螺旋定则所产生的部分，在图上用虚线表示。 c 和 d 是带铁芯的线圈。通电流之前，铁芯内的磁分子杂乱无章地排列，对外就不呈现磁性。通电流之后，铁芯磁分子按一定方向整齐地排列，就产生附加磁场，这个磁场在图上用实线来表示。总磁场是这两部分磁场之和。显然，它要比空心线圈大得多。大多少倍数我们就用导磁系数 μ 来表示。电工中用的磁铁以及各种需要用电磁联系而动作的设备都采用导磁系数很高的硅钢片作铁芯，以加大其磁性。

为了便于记忆，我们把电流产生磁场用一句通俗的话来描述，即“动电生磁”。这里“动电”是指电流，即移动的电荷，以区别于静电荷。

五、电磁感应和右手定则

电与磁的关系十分密切，不仅电能生磁，磁也可以生电。

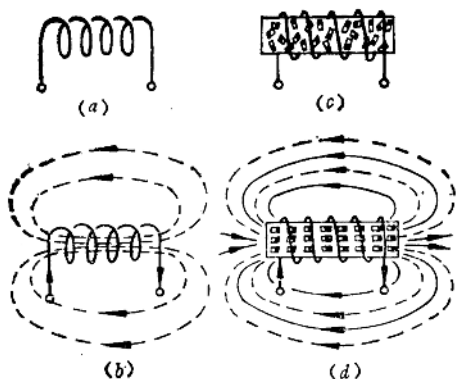


图 1-12

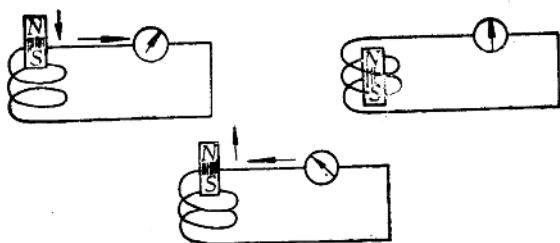


图 1-13

图1-13所示的实验可以证明这一点。把永久磁铁塞入到线圈之中,电流表的指针就会往一个方向偏转,待磁铁塞入线圈中而停止运动后,指针又回到零。若再把磁铁从线圈中拔出,在拔出瞬间电流表指针又会往另一个方向偏转,这就说明,线圈中磁力线发生变化时,线圈内就会感应出电动势。