



煤矿井下电工丛书

煤矿电工基础知识

开滦煤矿编



煤炭工业出版社

煤矿井下电工丛书

煤矿电工基础知识

开滦煤矿编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书是全套《煤矿井下电工丛书》的第一分册。主要介绍电的基本知识和煤矿常用电工材料两大部分。内容包括：电的一般概念和直流电路的基本定律；磁的一般概念和电磁学的基本定律；正弦交流电的一般概念和单、三相交流电路的分析计算；导电、绝缘和磁性材料的特性及应用。叙述时注意了内容由浅入深，文字力求通俗易懂，并附有不少插图，同时结合煤矿生产实际选编了部分例题和习题，便于读者边学边练，结合实际掌握和运用电的技术知识。

本书主要供给具有初中文化程度的煤矿电工学习，技术人员和学校教师亦可参考。

《煤矿井下电工丛书》

煤矿电工基础知识

开 漆 煤 矿 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

燃料化学工业出版社印刷二厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $7^{3/8}$

字数 160 千字 印数 1—38,500

1975 年 5 月第 1 版 1975 年 5 月第 1 次印刷

书号 15035·2009 定价 0.52 元

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国社会主义革命和社会主义建设事业蓬勃发展。煤炭工业战线欣欣向荣，形势一派大好。

毛主席教导我们：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”

为了适应煤炭工业的迅速发展，满足煤矿电工为革命学习技术的迫切要求，我们组织了以工人为主体的“三结合”编写小组，结合总结煤矿电工的实践经验，并收集了有关技术资料，编写了《煤矿井下电工丛书》。

参加“三结合”编写小组的有：河北矿冶学院、开滦煤矿唐山矿、赵各庄矿、开滦煤矿机修厂、开滦大学附属技工学校的工人、技术人员和教师。在编写过程中，进行了调查研究、征求意见和修改补充。内容由浅入深，文字力求通俗易懂。结合煤矿生产实际选编了一些例题，便于读者掌握和运用电的技术知识。

在编写过程中，我们得到许多厂矿、科研与设计单位以及院校的大力支持，谨此表示感谢。

由于我们的政治思想水平和技术水平所限，加之时间仓促，书中定有不少缺点和错误，热诚地希望同志们提出批评、指正。

开滦煤矿
一九七四年九月

目 录

第一章 电的基本知识及直流电路	1
第一节 电是什么	1
第二节 电流是怎样形成的	7
第三节 物质的导电性 电阻	12
第四节 欧姆定律	14
第五节 克希荷夫定律及其应用	20
第六节 电路的连接形式	24
第七节 电功和电功率	34
第八节 电流的热效应及焦耳—楞次定律	38
第九节 电容器及其充、放电	39
习 题	44
第二章 磁和电磁	46
第一节 磁的基本知识	46
第二节 电流的磁效应及右手螺旋定则	50
第三节 磁路欧姆定律	55
第四节 磁化曲线及其应用	59
第五节 磁场中的载流导体	66
第六节 电磁感应	72
第七节 互感与自感	76
第八节 涡流及其利弊	80
习 题	81
第三章 正弦交流电的一般概念及单相交流电路	84
第一节 正弦交流电的产生	84
第二节 正弦电势的三要素	86

第三节	正弦交流电的有效值及其旋转向量表示法	91
第四节	单相交流纯电路	98
第五节	单相交流串联电路	109
第六节	单相交流并联电路	118
第七节	单相交流电路的功率及功率因数	124
第八节	集肤效应与有效电阻	128
习 题		130
第四章	三相交流电路	132
第一节	三相交流电的产生	132
第二节	三相交流电路的连接	133
第三节	三相电路的功率及提高功率因数	138
习 题		143
第五章	电工材料	144
第一节	导电材料	144
第二节	绝缘材料	180
第三节	磁性材料	215
习题答案		228

第一章 电的基本知识及直流电路

第一节 电 是 什 么

电是从哪里来的

在日常生活及生产中如电灯、电炉、电动机等都用电，但是我们只看到电灯亮、电动机转的现象，却看不到电本身。究竟什么是电？我们知道，世界是由运动的物质构成的。电也是一种运动的物质。

自然界的一切物质都是由十分微小的分子构成，分子又由更小的原子组成，原子是由原子核和一定数量的电子所组成。原子核在原子的中心，带正电荷，用“+”号表示；电子带负电荷，用“-”号表示，它们按一定的轨道围绕原子核高速旋转。图 1-1 简单地表示了铝和铜的原子结构。

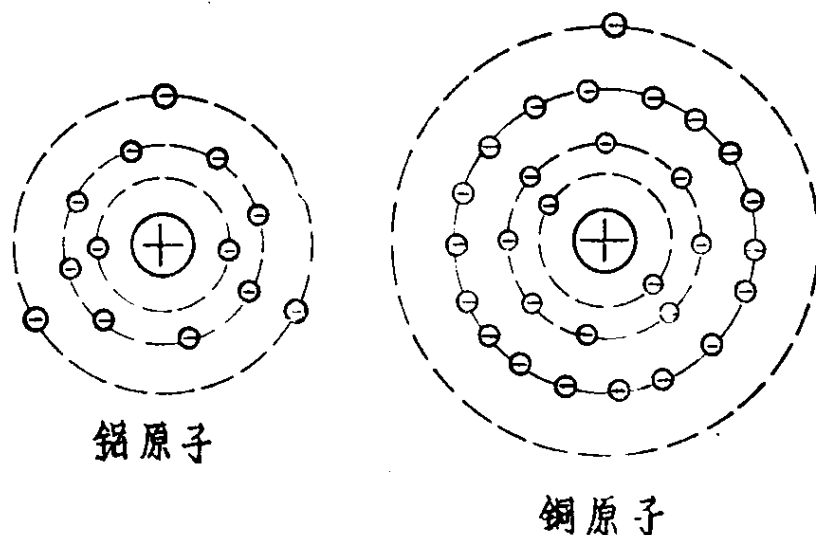


图 1-1 原子结构图

各种不同的原子中有不同数量的电子(如铝原子有 13 个电子, 铜原子有 29 个电子), 原子的不同结构就决定了物质有不同的性质。

在一般情况下, 各种物质原子核所带的正电荷与电子所带的负电荷数量相等, 正负电荷量相对平衡, 物质就不显电性, 即所谓呈“中”性。如果由于某种原因破坏了这个相对平衡, 物质就呈现带电现象。当物质原子失去电子时, 正电荷比负电荷多了, 它就带正电; 反之, 物质原子得到电子时, 负电荷比正电荷多了, 它就带负电。原子核所带的正电荷数量一般是不变的, 所以原子不会因得失正电荷而带电, 即只有电子的得失。

使物质带电的最简单方法是摩擦。例如用毛皮和硬橡胶棒摩擦后, 二者之间的摩擦力就使毛皮原子中的一部分电子进入硬橡胶棒, 因此硬橡胶棒带负电, 毛皮带正电。如果用丝绸与玻璃棒摩擦, 玻璃棒就带正电, 丝绸带负电。如图 1-2, 甲所示, 把一根带正电的玻璃棒悬挂起来, 再拿另一根带正电的玻璃棒向它靠近时, 悬挂的棒就被推开。若改用一根带负电的硬橡胶棒向它靠近时, 就能把它吸引过来, 如图 1-2, 乙所示。因此, 带电现象的特点可归纳为

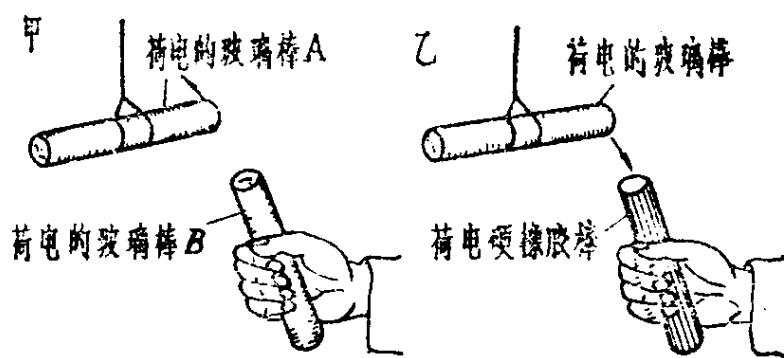


图 1-2 电的种类和性质的实验

三点：1.物质原子得失电子时，就会带电。2.电有两种，即正电或阳电，以“+”号表示；负电或阴电，以“-”号表示。3.电荷之间的关系是同性相斥，异性相吸。

电场及电力线

看了图 1-2 的实验，有人可能要问：两个带电体没有接触，为什么会相斥或相吸呢？那么我们反问一个问题：地球和树上的苹果也没有接触，为什么地心吸力会使苹果掉下来呢？这是相同的问题。如果把苹果象人造卫星一样抛到几万公里的高空中去，超出了地心吸引力作用的范围，苹果就不会再被吸回来了。这说明地球周围有种特殊的物质叫做重力场，地心吸引力也叫重力。同样，电荷之间的相斥与相吸也是通过电场来实现的。只要有电荷，它的周围就有电场存在，带电体通过电场这种物质产生作用。不过电场是有一定范围的，如果两个带电体相距很远时，它们也就不再相斥或相吸了。

为了能形象地说明电场的存在，通常利用电力线表示它的方向和强弱。习惯上规定以正电荷在电场中受力的方向作为电力线的方向，用电力线的疏密表示电场的强弱。因此，正电荷的电力线是向各个方向辐射出去的，而负电荷的电力线则是从各个方向汇集到一起的(图 1-3, 甲)。带电越多，电场越强，电力线越密；带电越少，电场越弱，电力线越稀。图 1-3 表示几种电场的电力线分布情况。由图可见，任何一条电力线都是起自正电荷止于负电荷，决不会自己连起来形成闭合回路，也不会在没有电荷处中断，而且任何两条电力线不可能相交。不过应该注意，电力线只是为了形象地描述电场而人为规定的，是想像的。

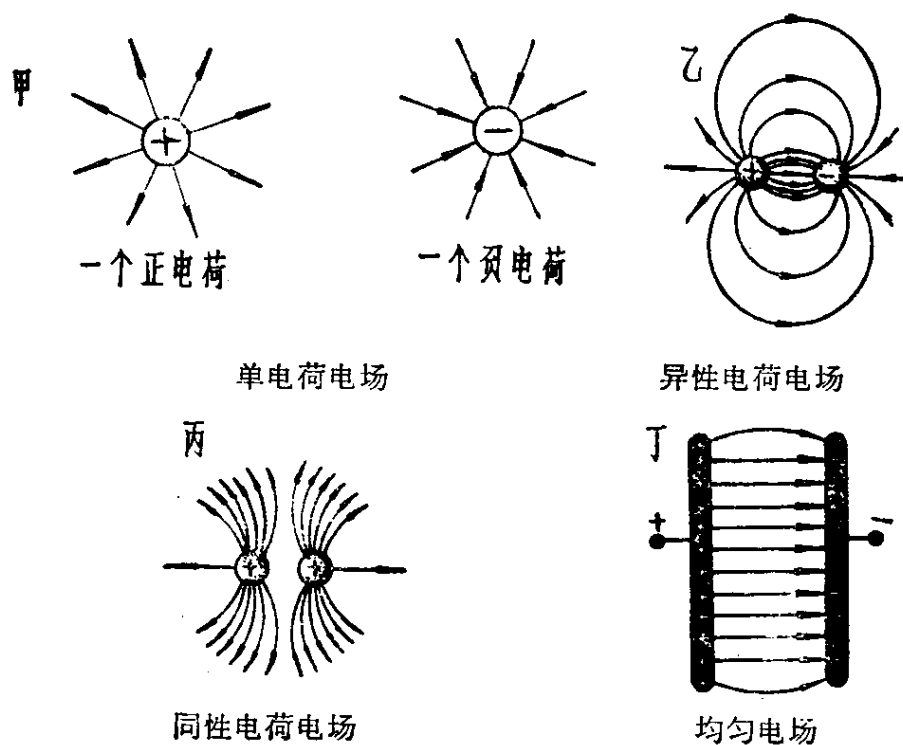


图 1-3 电场电力线的分布

电场具有能量

电荷在电场中所受的作用力，叫做电场力。根据电力线的疏密程度，我们就可以判断电场力的大小。例如图 1-3，丁所示电场，电力线是平行的，因而电场强弱处处一样，称为均匀电场，均匀电场内各点上电荷所受电场力相等；而图 1-3，甲所示电场，越靠近中心，电场越强，电荷受到的电场力也越大。

应该特别注意的是，电力线的方向是正电荷所受电场力的方向。所以负电荷所受电场力的方向与电力线方向相反。

电荷在电场力的作用下移动的过程叫电场力做功。功的大小由力的大小及物体在这个力的作用下移动的距离决定，即

$$\text{功} = \text{力} \times \text{距离}$$

电场力可以对电荷做功，这表示电场具有能量。这和树上的苹果掉下来是由于重力对它做了功是一样的。

电位与电位差(电压)

凡高于地面的物体受重力作用落下来都可以做功，如水从高处流下来就可以推动机器。物体越高，做功越多，能量越大。这种由物体与地面相对位置确定的能量叫重力位能。物体下落时，重力位能减小；抬高物体，就需用外力，物体的重力位能增加。电荷在电场中与物体在重力场中的情形一样，如图 1-4 所示正电场中的任一点 a 有一个正电荷，它就要被电场力推出电

场，这时电场力对电荷做功；相反，把正电荷从正电场外移到电场中 a 点，也要用外力克服电场力而做功，所做的功就变成了电荷在 a 点所具有的电位能。我们把单位正电荷在电场中某点所具

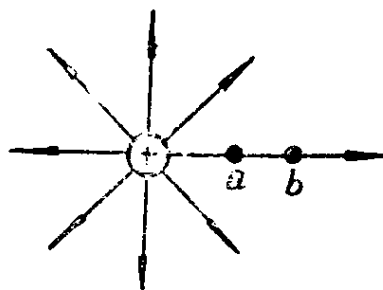


图 1-4 正电场的电位

有的电位能，叫该点的电位，它等于把单位正电荷从电场外移到这一点时，外力克服电场力所做的功。电位用符号 U 表示，下角注明是哪一点的电位，如图 1-4 所示电场中 a 点的电位为 U_a 。

如果在图 1-4 所示正电场中，要把单位正电荷从 b 点移到 a 点，也要用外力克服电场力而做功，因此，电荷在 a 点具有的电位能比在 b 点具有的电位能高，即 a 点电位比 b 点高， $U_a > U_b$ ，外力所做的功，正好是该正电荷从 b 点到 a 点增加的电位能。我们把 $U_a - U_b$ 叫做 a 、 b 两点间的电位差，也叫电压。电压的符号也是 U ，下角注明是

哪两点间的电位差，如

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-1)$$

在电场力的作用下，正电荷是从电位较高的位置移到电位较低的位置，可见电位差就是电荷移动的条件。负电荷所受电场力与正电荷所受电场力方向相反，所以它在电场力的作用下，是从低电位处移到高电位处的。

位能本身是相对的，在没有规定电场中的零电位点以前，就无法求出电场中其它各点的电位。地球是一个很大的导体，它可以保持电位不变，因而就把大地作为零电位点。当把一个带正电体和大地相联时，正电荷就被电场力排斥流入大地，直到二者同电位。可见带有正电荷的物体，电位比大地高，为正值。带正电越多，电位越高。如果是负带电体和大地相联，大地的正电荷就被电场力吸引跑到物体上去与负电荷中和，直到二者同电位。可见带有负电荷的物体，电位低于大地，为负值。带负电越多，电位越低。

应当特别注意，电位与电压是有区别的，电位和高度一样是相对概念而不是绝对概念，它的大小与零电位点的选择有关。而电压则是某两点间电位之差，与零电位点的选择无关。

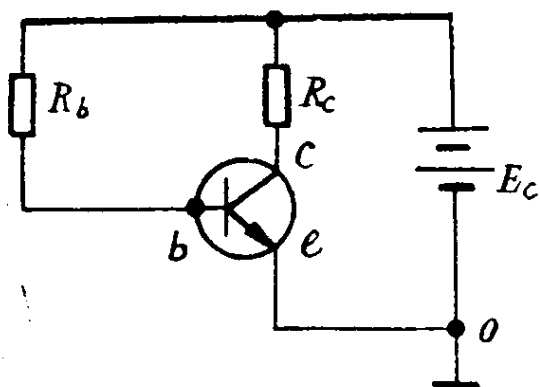


图 1-5 晶体管放大电路

在一般情况下，我们注意的重点是在一定电压下电荷的移动，但有时用电位分析电路，可以使问题简化。例如要分析图 1-5 所示电路，涉及到 b 、 c 、 e 、 o

四个点之间的电压，即 U_{bo} 、 U_{eo} 、 U_{co} 、 U_{be} 、 U_{ce} ，共五个量。如果选定 o 点为零电位点，采用电位这一概念时，只要讨论 U_b 、 U_e 、 U_c 就行了。讨论对象由 5 个减到 3 个，大大简化了分析过程。

第二节 电流是怎样形成的

静止不动地聚集在物体表面的电荷，叫做静电。静电的实用价值不大。电灯亮、电动机转都是由于运动电荷的作用，动电是我们讨论的重点。

电流及电流强度

根据前节所述，电压是电荷移动的条件。在电场力的作用下，正电荷向电位降低的方向移动，负电荷向电位升高的方向移动。

电荷定向移动就形成电流。但是，并不是任何电荷都可以移动的，给电灯、电动机送电必须用金属导线；如果用棉纱线代替，就没有电流。因为各种金属的原子核对其最外层电子的吸引力都较小，总有一个或几个电子脱离自己的轨道，在金属内部做自由的、不规则的运动，如图 1-6, 甲所示，这部分电子称为自由电子。如果使一根导线两端电位不同，设一端为“+”、另一端为“-”，则“-”端就推着自由电子一个接一个地向着“+”端跑，电场力迫使自由电子规规矩矩地定向运动，就形成了电流，如图 1-6, 乙所示。而棉纱线内部几乎没有自由电子，所以即使有电压也不会产生电流。除了自由电子以外，在一些可以导电的溶液中，则是由叫做离子的带电微粒定向运动形成电流。

虽然无数事实一再证明导体中的电流是电子流，但传

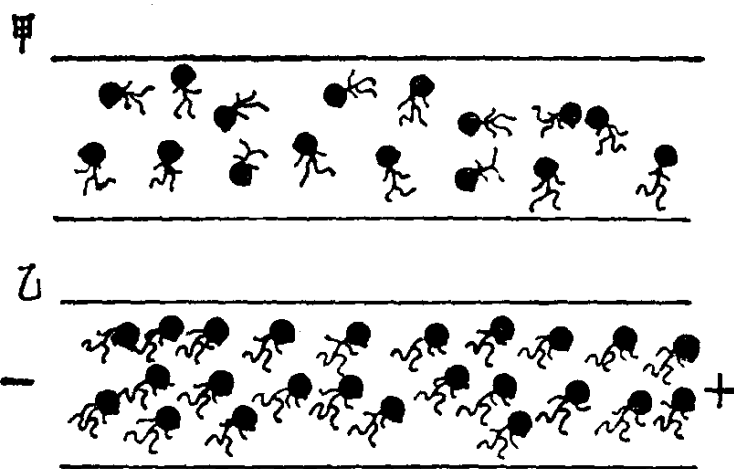


图 1-6 电子在导线里运动的示意图

统习惯上规定电流的方向是正电荷移动的方向，即从高电位处指向低电位处。

电流有强弱，在相同的时间内，通过导体横截面的电荷多，电流就强；通过导体横截面的电荷少，电流就弱。单位时间内通过导体横截面的电量就叫做电流强度，用符号 I 表示。电流强度也称为电流。

如果 t 秒内通过导线横截面的电荷量为 Q ，则电流强度为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

我们规定在 1 秒钟内，通过导体横截面的电量为 1 库伦，则导体内的电流为 1 安培，简称安，符号用 A 表示。即：

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库伦}}{1 \text{ 秒}}$$

大电流单位常用千安(KA)，小单位常用毫安(mA)和微安(μA)。它们之间的关系是

1 千安(KA)=1000 安(A)= 10^3 安(A);

1 安(A)=1000 毫安(mA)= 10^3 毫安(mA);

1 毫安(mA)=1000 微安(μ A)= 10^3 微安(μ A)。

电流可分为两种：一种是强度和方向不随时间变化的电流，叫做直流，也叫恒流；另一种是强度和方向随时间变化的电流，叫做交变电流，简称交流。见图 1-7。

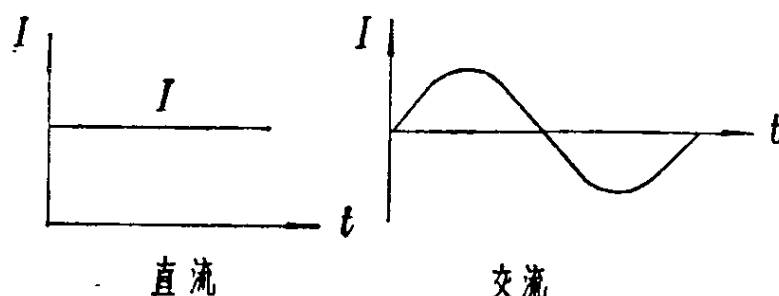


图 1-7 直流电和交流电

电 路

电压是形成电流的条件，那么电压是如何获得的呢？

我们用水在水管中的流动来作比喻。图 1-8 中甲、乙两个水箱水位不同，水箱甲的水将沿水管 P 流向水箱乙，这时甲箱水位降低，乙箱水位升高，直到二箱水位相等时，水管 P 中就不再有水流了。如果要使水流不断，必须用水泵不断地把从甲箱流到乙箱的水再送回甲箱，保持甲箱的水位总比乙箱高。水位差保持一定，水流就可以不断。由此可见，要维持一定的水位差，就要用水泵把机械能转变为水的位能。

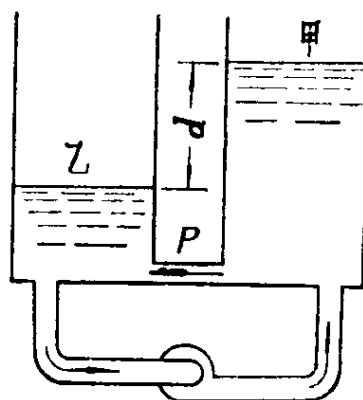


图 1-8 水泵维持水流的示意图

一个灯泡只要灯丝两端有电压，就有电流通过灯丝而发光。但是电子被不断地从低电位端拉到了高电位端，如果没有补充，电位低的一端电位升高，电位高的一端电位降低，最后两端电位就相等了。因此，要使电流不中断，必须不断向电位低的一端补充负电荷，向电位高的一端补充正电荷，这种能够不断地供给电荷的设备叫做电源。像水泵可以推动水流一样，电源可以看成是一个“电荷泵”，它具有推动电流的能力。

由此可见，只要把灯泡用导线和电源联接起来形成闭合回路，灯丝两端就能维持一定的电压，电流不中断，灯泡就持续发光。电流流通的闭合回路叫做电路。把电路中的各个设备用一定的符号代替就画出电路图。如图 1-9 就

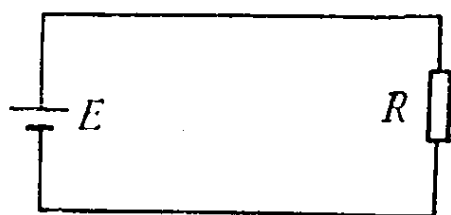


图 1-9 电路图

是矿灯的电路图。由图可见，电路一般由电源、负载和导线三个基本部分组成：

1. 电源 内部具有推动电流的原动力，是电路中电能的来源，如干电池、蓄电池、发电机等。在矿灯电路中就是灯盒中的蓄电池；
2. 负载 就是用电设备，也叫负荷，如灯泡、电动机等。在矿灯电路中就是头灯灯泡；
3. 导线 用来连接电源与负载。在矿灯电路中就是连接头灯与灯盒的电缆。

除此之外，在电路中还常有开关、熔断器等。

电路可分为外电路和内电路两部分。对电源来讲负载和连接导线以及开关等附属设备叫外电路；电源内部的电路叫内电路，即电源两极之间。

电路里通过直流电的，叫直流电路；通过交流电的电路，叫交流电路。本章主要介绍直流电路。

电源的电动势

电源为什么能维持一定的电压呢？这是因为在电源内部有一种推动力(如干电池是借助于化学能，发电机是借助于机械能)，能把正电荷从低电位的负极移到高电位的正极，使电源两端具有电压。这样，当外电路接通后，如图1-10所示，在电压的作用下，正电荷由正极经外电路流向

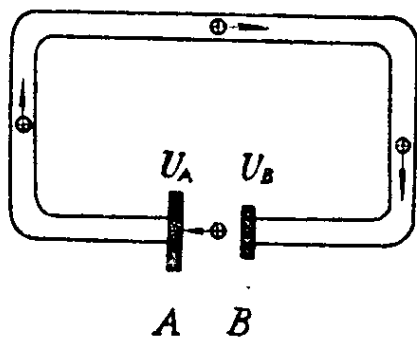


图 1-10 闭合电路

负极，而且保持电流不断。这种由于外力的作用，把单位正电荷逆电场力方向，从负极移到正极所做的功，叫做电源的电动势，用符号 E 表示。由此可见，电源是提供电能的设备，但是这电能不是电源创造的，它只是一

种不断地把其它形式的能量转化为电能的装置。

电动势的方向从低电位指向高电位，即直流电源的电动势是由负极指向正极，因此在电动势的方向上电位是升高的。而根据规定的电流方向，计算电压时，一般是以高电位减低电位，电压的方向是从高电位指向低电位，在电压的方向上电位是降低的。在一个闭合电路中，外电路电位降低多少，内电路电位就要升高多少。

电位、电压、电动势的单位均用伏特(V)。根据不同的需要，也用千伏(KV)、毫伏(mV)和微伏(μV)为单位。

1 千伏(KV) = 1000 伏(V) = 10^3 伏(V)；

1 伏(V) = 1000 毫伏(mV) = 10^3 毫伏(mV)；