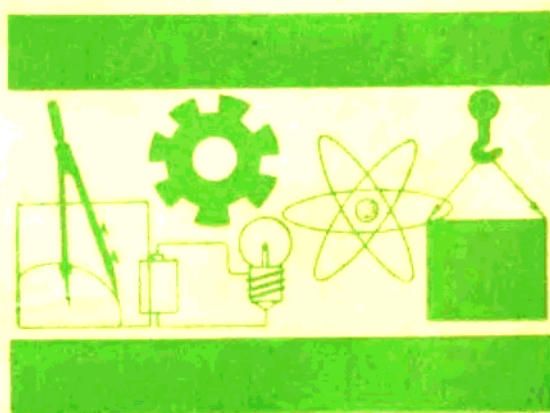


CHUJI

初级技术理论教育用书

电 工



中 国 铁 道 出 版 社

Jishulilun jiaoyuyongshu

内 容 简 介

本书是根据铁道部颁布的“初级技术理论教育教学计划”编写的,为了照顾各工种的不同要求,书中内容包括的面比较广。全书共分电路的基本概念、直流电路、电容器、磁场和磁路、电磁感应、单相交流电路、三相交流电路、变压器、交流电机、直流电机和晶体管电路基本知识等十一章。每章后均有小结、习题和思考题,习题均附有答案。

初级技术理论教育用书

电 工

张增南 刘光泽 常淑芬 编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 倪嘉寒

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 17 字数: 424 千

1982年12月 第1版 1982年12月 第1次印刷

印数: 0001—100,000 册 定价: 1.40 元

前 言

为了切实搞好全路青壮年职工文化、技术补课工作，按照铁道部颁布的《铁路技术工人初级技术理论教育教学计划》要求编写了这本教材。经1982年4月南京会议研究确定，本书按150学时左右编写。为了照顾各工种的不同要求，特别是兼顾了强、弱电二类专业的不同要求，书中内容包括的面比较广，各工种可按所安排的学时数选学有关内容。

本书使用对象为具有初中毕业文化程度的电务专业各工种的工人及蒸汽、内燃、电力机车乘务员，柴油机钳工、电机钳工，车电钳工，电力工等工种的工人。

本书第一至四章由铁道部永济电机厂技工学校张靖南编写、第五至八章由乌鲁木齐技术学校刘光泽编写、第九至十一章由吉林铁路局职工学校常淑芬编写，全书由常淑芬同志校阅。

本书的缺点和不足之处，望各单位在使用过程中及时提出。

铁路职工初级技术理论教育用书编写组

一九八二年七月

目 录

第一章 电路的基本概念	1
第一节 电的基本知识	1
第二节 电流和电流强度	4
第三节 电压和电位	6
第四节 电源和电动势	9
第五节 电阻	10
第六节 电路和电路图	12
第七节 欧姆定律	13
第八节 电功和电功率	16
小 结	18
习题和思考题	19
第二章 直流电路	20
第一节 电阻的联接	20
第二节 电路中各点电位的计算	25
第三节 克希荷夫定律	26
第四节 复杂电路的一般解法	30
第五节 电桥电路	35
第六节 负载获得最大功率的条件	36
小 结	38
习题和思考题	39
第三章 电容器	42
第一节 电容器的基本概念	42
第二节 电容器的充电和放电	42
第三节 电容器的电容量	43
第四节 电容器电流与电压的关系	45
第五节 电容器的联接	46
第六节 电容器的电场能	48
小 结	49
习题和思考题	49
第四章 磁场和磁路	51
第一节 磁的基本知识	51
第二节 电流的磁效应	53
第三节 磁场的基本物理量	55
第四节 全电流定律和磁路欧姆定律	58
第五节 铁磁性物质的磁性能	60
第六节 简单磁路的计算	64
第七节 电磁铁简介	66

小 结	67
习题和思考题	68
第五章 电磁感应	70
第一节 电磁感应现象	70
第二节 感应电动势的方向	70
第三节 感应电动势的大小	71
第四节 线圈中感应电动势的方向 (楞次定律)	72
第五节 线圈中感应电动势的大小 (法拉第定律)	74
第六节 自感应	75
第七节 互感应	79
第八节 涡流	82
第九节 磁场能量	83
小 结	83
习题和思考题	84
第六章 单相交流电路	86
第一节 什么是交流电	86
第二节 正弦交流电动势的产生	87
第三节 正弦交流电的几个基本物理量	88
第四节 交流电的表示法	93
第五节 纯电阻元件在交流电路中的作用	98
第六节 纯电感元件在交流电路中的作用	101
第七节 纯电容元件在交流电路中的作用	106
第八节 电阻和电感串联的交流电路	110
第九节 电阻和电容串联的交流电路	117
第十节 电阻、电感和电容串联的交流电路及串联谐振	119
第十一节 电阻、电感串联再与电容并联的交流电路及并联谐振	125
第十二节 功率因数的提高	129
第十三节 集肤效应	131
小 结	132
习题和思考题	134
第七章 三相交流电路	137
第一节 三相交流电的产生	137
第二节 电源的星形联接	138
第三节 电源的三角形联接	140
第四节 负载的星形联接	141
第五节 负载的三角形联接	144
第六节 三相电路的功率	146
小 结	149
习题和思考题	149
第八章 变压器	151

第一节 概 述	151
第二节 变压器的工作原理	152
第三节 变压器的基本构造	158
第四节 变压器的极性和联接	162
第五节 特殊变压器	165
小 结	170
习题和思考题	171
第九章 交流电机	172
第一节 三相异步电动机的构造	172
第二节 异步电动机的工作原理	173
第三节 异步电动机的工作特性	176
第四节 异步电动机的起动	180
第五节 异步电动机的调速	182
第六节 单相异步电动机	184
第七节 异步电动机的铭牌介绍与常见故障分析	185
第八节 交流微型电机	189
第九节 异步发电机简介	190
小 结	193
习题和思考题	194
第十章 直流电机	195
第一节 直流电动机的工作原理	195
第二节 直流电动机的构造	196
第三节 直流电动机的励磁方式	199
第四节 直流电动机的机械特性	201
第五节 直流电动机的起动	203
第六节 直流电动机的调速和反转	205
第七节 直流电动机的制动	206
第八节 直流电动机的铭牌、使用和维护	207
第九节 直流特种电机简介	210
小 结	212
习题和思考题	214
第十一章 晶体管电路基本知识	215
第一节 晶体二极管	215
第二节 整流电路	224
第三节 晶体三极管	234
第四节 晶体管放大电路	242
第五节 硅可控整流元件	249
小 结	260
习题和思考题	261
习题答案	263

第一章 电路的基本概念

第一节 电的基本知识

一、物质的电结构

在我们日常生产和生活中，电的应用极为广泛。但是电究竟是什么呢？要回答这个问题，必须从物质的电结构谈起。

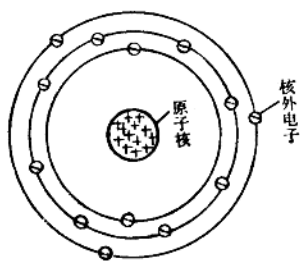
自然界的一切物质，都是由许许多多的分子组成的。分子是一种能够单独存在、并且保持了物质固有性质的最小微粒。而各种分子又是由一些更小的微粒——原子组成的。一般地讲，原子的性质和原来物质的性质已经没有相同之处了。

原子还可以继续分裂为一个原子核和一些电子。电子围绕原子核不停地高速运动着，并且受到原子核的束缚力。图 1—1 为具有 13 个核外电子的铝原子的结构和电子围绕原子核运动的示意图。原子核又是由质子和中子组成的。

质子带有正电荷，中子不带电荷，电子带有负电荷。

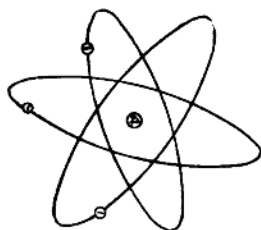
电荷只有正电荷和负电荷两种。

在正常情况下，原子核外的电子数目和原子核内的质子数目相等，所以原子对外不呈现带电的性质，叫做中性状态。中性的原子若失去电子，就带正电，成为正离子；中性的原子若获得电子，就带负电，成为负离子，见图 1—2。



(a)

图 1—1



(b)

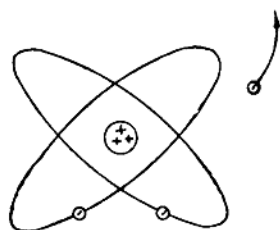


图 1—2

物体是由大量的原子组成的。一个物体中具有等量的正、负电荷时，对外界呈现中性。但若由于某种原因使其获得或失去电子，这个物体将显示出带电的性质。获得电子带负电荷；失去电子带正电荷。例如：摩擦可使一切物体带电；静电感应可使导体带电。

我们用丝绸摩擦玻璃棒，或用毛皮摩擦硬橡胶棒，经过摩擦后的玻璃棒与硬橡胶棒，都能够吸引很轻的物体。这种现象说明它们分别带有电荷。

接着准备两根用丝绸摩擦过的玻璃棒，把其中的一根用长丝线悬挂起来，再把另一根移近已悬挂起的一端，那么这两根棒就要互相排斥，见图 1—3。同样，两根摩擦过的硬橡胶棒也会互相排斥的。但若把用毛皮摩擦过的硬橡胶棒与悬挂的玻璃棒一端靠近，那么硬橡胶棒就要吸引玻璃棒。

实验说明,在摩擦的过程中,由于温度的升高,增强了摩擦物体内分子、原子的热运动,使玻璃棒失去电子带正电荷,硬橡胶棒获得电子带负电荷。同时,两棒上电荷与电荷之间存在着相互的作用力。而且同性电荷互相排斥;异性电荷互相吸引。

带电物体所带电荷的多少叫做电量,亦称电荷量,用符号 Q 或 q 表示。国际单位制中,电量的单位是库仑,单位符号 C 。每一个电子所带的电量和每一个质子所带的电量相等,为 $1.602 \times 10^{-19} C$ 。1 C约等于 6.24×10^{18} 个电子所带的电量。

物体带电的根本原因是物体中电子数目的增减。一个物体若失去一些电子,必定使其它物体获得这些电子。电荷是一种客观存在的物质,它既不能创造,也不能消灭,只能从一个物体转移到另一个物体,这叫做电荷的守恒。

综上所述,我们可以说:从本质上讲,电是物质所具有的一种性质;也是物质运动的一种形式。而从习惯上讲,电又是一切电磁现象的总称。

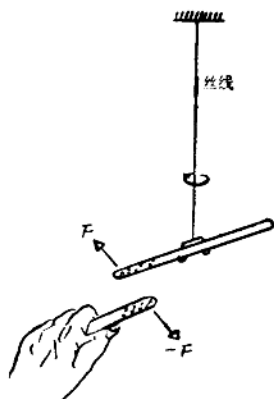


图 1-3

二、电场和电场强度

(一) 电场

我们知道,两个物体之间相互作用的机械力是依靠直接接触传递的。可是实验表明,当两个带电体相互移近并不接触时,其间却具有相互的作用力。而且它们的距离愈近作用力愈大。这是因为带电体周围空间存在着一种特殊的物质——电场。犹如我们在室内安装火炉取暖感到暖和,是由于火炉周围存在着热场一样。带电体之间的相互作用力就是通过电场发生的,我们把这种力叫做电场力。

假设有两个带电体,分别带有 q_1 、 q_2 的电荷量。 q_1 在它的周围空间产生电场, q_2 处在这个电场中,要受到电场力; q_2 也在它的周围空间产生电场,处在这个电场中的 q_1 也要受到电场力;这种电场力就表现为两个电荷之间的相互作用力,见图1-4。所以说,存在于带电体周围空间对电荷有作用力的特殊物质就叫做电场。带电体和它周围的电场是一个统一的整体,物体带有电荷,它的周围就一定存在电场。

实验证明,电场有两种表现:一是电场对处于电场内的任何带电体都要有力的作用;二是带电体在电场中受电场力作用移动时,电场力要对它做功,这表明电场具有能量。我们说电场是一种特殊的物质,原因就在这里。

(二) 电场强度

既然电场总是对处于其中的带电体以电场力,那么我们就可以通过试验电荷在电场中的受力情况来认识电场。所谓试验电荷,是指体积很小、带有微量电荷量的正电荷。电量微小,放入电场不致影响原有电场的分布;体积很小,才能试验电场中每点的情况。

由实验可知:

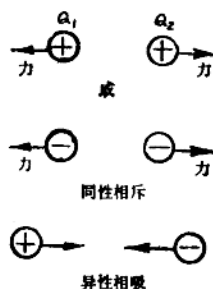


图 1-4

1. 将同一试验电荷放置在电场中的不同点, 所受电场力的大小和方向一般是不同的, 见图 1—5。

2. 对电场中的某固定点来说, 试验电荷所受的电场力与其所带电量成正比, 而受力的方向不变。

这个现象说明, 在电场中的不同点, 电场的强弱是不同的。同时, 电场力的大小不仅和试验电荷所在点的电场强弱有关, 而且还和试验电荷的电量有关。因此, 我们不能直接用电场力的大小衡量电场中各点的强弱。但是, 试验电荷所受的力和该电荷所带电量的比值, 对某个固定点来说是一个常数, 对电场中的不同点它的数值是不相同的, 我们就用这个比值来作为标志各点电场强弱的物理量, 即试验电荷在电场中某一点所受的力与它所带电量的比值叫做该点的电场强度, 用符号 E 表示, 即

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (1-1)$$

式中 F —— 试验电荷所受的电场力;

q_0 —— 试验电荷的电荷量。

这就是说, 电场中任意一点的电场强度, 在数值上等于放在该点的单位正电荷所受电场力的大小; 电场强度的方向就是正电荷受力的方向。所以电场强度是一个既有大小又有方向的量。

电场强度的单位为伏/米, 单位符号 V/m 。电场力 F 的单位为牛, 单位符号 N 。电量 q_0 的单位为库。所以

$$\frac{\text{牛}}{\text{库}} = \frac{\text{牛} \cdot \text{米}}{\text{库} \cdot \text{米}} = \frac{\text{焦}}{\text{库} \cdot \text{米}} = \text{伏/米}$$

(三) 电力线

为了形象而直观地描述电场中各处电场的强弱, 人们把试验电荷在电场中各点受力的方向作为切线方向而描绘出来的线称为电力线, 如图 1—6 所示。电力线在电场内的密度, 表示电场强弱的分布情况。显然, 电力线越密的地方, 电场强度越强。

用电力线描绘电场时, 要注意下面两个特点:

1. 电力线从正电荷出发, 到负电荷终止, 由正电荷指向负电荷;
2. 电力线必须垂直于带电体表面, 且任何两条电力线都不会相交。

各点电场强度不相等的电场, 叫做不均匀电场, 图 1—6 所示各种电场均属此例。各点

电场强度大小和方向都相同的电场, 叫做均匀电场。两个带电平行板间的电场, 当板间距离远小于板面的几何尺寸时, 可认为其电场为均匀电场。它的电力线是一系列等距离的平行线, 只是在边缘上存在着不均匀现象, 如图 1—7 所示。

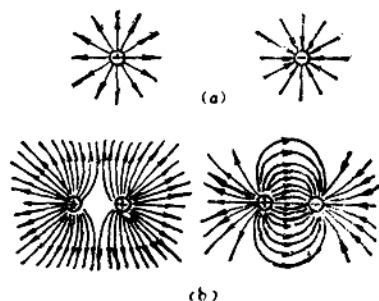


图 1—6

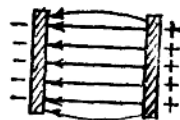


图 1—7

三、导体、电介质和半导体

各种物质按其导电性能，可分为导体、电介质（亦称绝缘体）和半导体三种。

（一）导体

导电性能良好的物体叫做导体。导体还可分为第一类导体和第二类导体。

1. 第一类导体

金属导体和炭等属于此类，如铜、铝、铁、锡、炭和石墨等。

第一类导体之所以有良好的导电性能，是因为这类物质的原子结构中有很多电子分层沿着不同的轨道围绕原子核运动，由于最外层的电子受原子核的束缚力小，容易挣脱原子核的束缚成为自由电子。当导体受到电场力的作用时，自由电子就会逆着电场力的方向作有规则的移动，形成电流，这就是它们成为导体的原因。

2. 第二类导体

酸、碱、盐溶液（亦称电解液）属于此类。

电解液中含有大量的正、负离子，在电场力的作用下，负离子移向电池的正极，正离子移向电池的负极，而形成电流。所以这类导体也具有有良好的导电性能。

（二）电介质

不能导电的物体叫做电介质（简称介质）。如橡胶、云母、陶瓷、胶木、塑料等都是常用的介质。

介质原子结构的特点，就是所有外层电子受原子核的束缚力很强，一般情况下，这些电子不能挣脱原子的范围，因此自由电子极少。所以介质就不能导电或很难导电。

我们已经知道，导体和介质导电性能不同的原因，在于自由电子的多少，而自由电子的多少又往往与温度、湿度、电压等客观环境有关。所以导体与介质不能截然分开，同时介质也不是绝对不导电的。

（三）半导体

导电性能介于导体和介质之间的物体叫做半导体。常见的半导体有硅、锗、硒等。这一类物质，它们的电子既不像导体那样容易挣脱原子核的束缚，又不像介质那样被原子核束缚得很紧，所以半导体内的自由电子数目是介于导体和介质之间的。

半导体还具有一些特殊的性质，在电子技术中得到极其广泛的应用。本书将在后面章节中专门介绍。

第二节 电流和电流强度

一、电 流

我们知道，由于原子结构的原因，在金属导体中容易形成自由电子。电解液中也有大量正、负离子。在一般情况下，它们的运动是杂乱的。但是在电场力的作用下，金属导体中的自由电子或电解液中的正、负离子，就向电场强度的反方向或同方向做有规则的运动。所以电荷有规则的运动就形成了电流。

平时，我们合上电灯开关，按压电风扇的电键。使电灯着灯和风扇转动，就说明灯泡的

钨丝和电风扇的电动机中有电流通过。

二、电流的方向

正电荷运动的方向规定为电流的方向。我们知道，导体的自由电子在电场力的作用下运动而形成的电流是有方向的。人们习惯规定以正电荷运动的方向作为电流的方向。这样，电流方向与电子运动方向恰好相反，见图 1—8。但一定数量的正电荷向一定方向运动与相等数量的负电荷向相反方向运动，效果是一样的，也不影响对一些电磁现象的解释。同时考虑到电荷运动的形式各有不同，如液体中就是正、负电荷同时相对运动。因此这样规定是可行的。

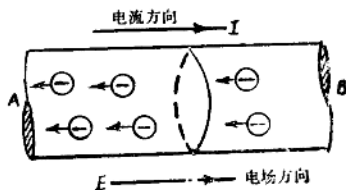


图 1—8

三、电流强度

为了衡量电流的强弱（大小），我们引用电流强度这个物理量。

电流的强弱取决于在一定时间内通过导体截面电荷量的多少。如果在同一时间内通过导体截面的电荷量越多，就表示导体中的电流越强。因此，我们用单位时间内通过导体截面电荷量的多少来衡量电流的强弱，叫做电流强度，用符号 I 表示。即

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

式中 Q —— 通过导体截面的电荷量；

t —— 通过电荷量 Q 所用的时间。

电流强度的单位是安培，单位符号 A 。如果每秒钟通过导体截面的电荷量为 $1 C$ ，则导体内的电流强度就是 $1 A$ 。计量微量电流时用毫安 (mA) 和微安 (μA)，计量强电流时用千安 (kA)。它们的换算关系是

$$1 mA = \frac{1}{1000} A = 10^{-3} A$$

$$1 \mu A = \frac{1}{1000000} A = 10^{-6} A$$

$$1 kA = 1000 A = 10^3 A$$

【例 1—1】一导体在 3 min 内均匀通过的电荷量是 $2.25 C$ ，问该导体中的电流强度是多少毫安？

【解】依 (1—2) 式
$$I = \frac{Q}{t} = \frac{2.25}{3 \times 60} = 0.0125 A = 12.5 mA$$

电流强度本身没有方向，它不是向量。但为了分析计算电路方便起见，我们把电流强度当作一个代数量。在电路中人为地指定一个方向为电流强度的“正方向”，即指定正方向。当电流的实际方向（正电荷运动的方向）与此正方向一致时，电流强度为正值；反之，电流的实际方向与此正方向相反时，电流强度为负值。

电流强度的正方向可以任意假设，但电流的实际方向是客观存在的，它不会由于正方向

的假设而改变。如果假设的正方向不同，同一电流强度的值相等，而符号相反。

如果在电路中不假设电流强度的正方向，那么电流强度的正、负就是没有意义的。通常电路图中标明的电流方向，均为电流强度的正方向。

实用中，人们往往把电流强度简称为电流。这样，电流这一名词不仅表示一种物理现象，而且代表一个物理量。

四、直流电流与交流电流

电流的大小和方向都不随时间变化，即在任一时刻，单位时间内通过导体截面的电荷量均相等，方向也不变，这种电流叫做直流电流。直流电流如上面所讲用大写字母 I 表示。

电流与时间的关系可用图形表示出来。我们用直角坐标的横坐标表示时间 t ，纵坐标表示电流 i 。由于直流电流不随时间变化，所以它的图形是一条与横坐标平行的直线，如图 1-9 (a) 所示。它说明在任一时刻电流 i 的数值均等于恒定的 I 。

电流的大小和方向随时间按一定规律变化，即由小变大，又由大变小，一段时间为正，一段时间又变为负（正负变化即表示其方向的变化），这种电流叫做交流电流。交流电流用小写字母 i 表示。图 1-9 (b) 所示的图形就是常用的正弦交流电流的变化规律。



图 1-9

第三节 电压和电位

一、电场力做功

在讲电场力做功之前，首先回忆一下物理学中有关做功的概念。我们知道，物体受力，在受力的方向上移动了一段距离，就是作用在物体上的力对物体做了功。并且受力越大，移动距离越远，做功就越多。这就是说，作用在物体上的力和物体沿力的作用方向移动的距离的乘积，叫做力所做的功。即

$$A = FL$$

式中 A ——功，单位为焦耳，(J)；

F ——力，单位为牛顿 (N)；

L ——距离，单位为米 (m)。

当电场力使电荷移动时，我们就说电场力对电荷做了功。图 1-10 所示是把试验电荷

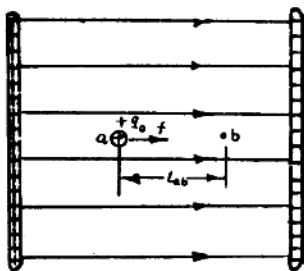


图 1-10

q_0 放在均匀电场中, q_0 将在电场力 F 的作用下, 沿电场强度的方向由 a 点移到 b 点, 移动的距离是 l_{ab} , 这时电场力 F 对 q_0 所做的功是

$$A_{ab} = F l_{ab} \quad (1-3)$$

二、电 压

同样一个试验电荷 q_0 , 放置在不同的电场中, 电场力所做的功是不一样的, 这说明电场具有的能量不同。为了衡量电场做功本领的大小, 我们引入了电压这个物理量。

如果均匀电场的电场强度为 E , 则试验电荷 q_0 在电场中所受的电场力 F 依(1-1)式可得

$$F = E q_0$$

那么电场力 F 所做的功即

$$A_{ab} = F l_{ab} = E q_0 l_{ab}$$

这两式说明, 如果电荷的电荷量增加一倍, 那么作用在电荷上的电场力将增加一倍, 电场力所做的功也相应地增加一倍。也就是说, 在一个已知的电场中, 电场力 F 所做的功 A_{ab} 与电荷量是成正比的。因此, 在这个电场中, 比值 A_{ab}/q_0 是一个恒定不变的量。当 a 点和 b 点的位置一定时, 这个比值只和电场本身的性质有关。因此, 我们可以用这个比值来反映电场的性质, 通常把它叫做 a 、 b 两点间的电压, 用符号 U_{ab} 表示即

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q_0} \quad (1-4)$$

所以, 我们把电场中电场力将单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功叫做 a 、 b 两点间的电压。

电压的单位是伏特, 单位符号 V 。如果将1库仑的电荷量, 从 a 点移动到 b 点, 电场力所做的功为1焦耳, 那么这 a 、 b 两点间的电压就是1伏特。计量低电压时用毫伏(mV)和微伏(μV), 计量高电压时用千伏(kV)。它们的换算关系是

$$1mV = \frac{1}{1000}V = 10^{-3}V$$

$$1\mu V = \frac{1}{1000000}V = 10^{-6}V$$

$$1kV = 1000V = 10^3V$$

【例1-2】在一均匀电场中, 电场力将4C的正电荷由 a 点移到 b 点, 做功20J; 若电场力将8C的正电荷由 a 点移到 b 点, 做功40J, 问电压 U_{ab} 各是多少?

【解】(1) $U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q_0} = \frac{20}{4} = 5V$

(2) $U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q_0} = \frac{40}{8} = 5V$

由这个例子可知, 在电场中移动电荷量不同, 电场力做功也不同, 但某两点间的电压是一个常数。

电压和电流一样也有方向问题, 习惯规定正电荷受电场力的方向为电压的正方向。

电压也要当作一个代数量, 并指定它的正方向。例如上面所讲的 U_{ab} 其正方向就是由 a 点到 b 点。当电压的实际方向与正方向一致时为正值, 当电压的实际方向与正方向相反时为负值。

三、电位和电位差

在分析电子电路时，为便于分析许多点中每两点之间的电压，常引用电位这个物理量。

我们规定物体带正电荷具有高电位，物体带负电荷具有低电位。如图 1—11 所示的 A 、 B 两极板， A 带正电荷具有高电位， B 带负电荷具有低电位。如果将试验电荷 q_0 放在 A 、 B 形成的电场中，电荷将受电场力的作用，沿电场强度的方向移动，那么处在这电场中的每一点都具有一定的电位。就像水从高水位向低水位流动，其经路的每一点都具有一定的水位一样。

为了确定电场中某点电位的高低，必须指定一个计算电位的起点，这个点叫做参考点（亦称基准点或零电位点）。参考点是可以任意选择的（习惯上以大地为参考点）。这点与测量水位的情况很相似，在图 1—12 中有甲、乙两个水池，如果以海平面 O_1 、 O'_1 为基准，它们的水位分别为 h_1 和 h'_1 。如果以甲、乙两池池底 O_2 、 O'_2 为基准，则两池水位分别为 h_2 、 h'_2 。由图可以看出，水位的高低随基准点的不同而变化，但是两池水位差 d 的大小却与基准点无关，是不变的。

同理，在电场中选择参考点不同，各点的电位也不相同，但任意两点间的电位差却保持不变。

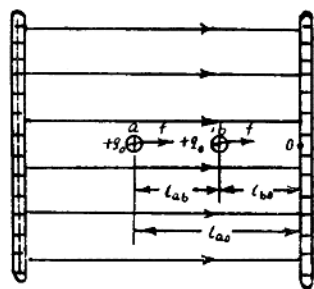


图 1—11

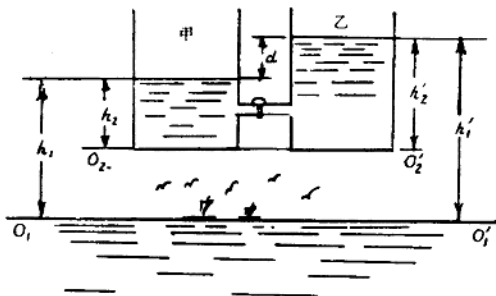


图 1—12

究竟什么叫电位呢？我们再分析一下图 1—11 所示均匀电场中，电场力 F 把试验电荷 q_0 从 a 点移到 o 点和从 b 点移到 o 点所做的功。

假设 a 点与 o 点之间的距离是 L_{ao} ， b 点与 o 点之间的距离是 L_{bo} ，则电场力 F 将试验电荷 q_0 从 a 点移到 o 点所做的功是

$$A_{ao} = FL_{ao}$$

电场力 F 将试验电荷 q_0 从 b 点移到 o 点所做的功是

$$A_{bo} = FL_{bo}$$

前面曾经说过，电场力对电荷做功的大小与电荷量是成正比的。因此，比值 A_{ao}/q_0 和 A_{bo}/q_0 都代表电场力移动单位正电荷所做的功。如果以 o 点作为参考点，我们就把比值 A_{ao}/q_0 叫做 a 点的电位，用符号 ϕ_a 表示

$$\phi_a = A_{ao}/q_0 \quad (1-5a)$$

同理， b 点的电位为

$$\phi_b = A_{bo}/q_0 \quad (1-5b)$$

所以，电场力将单位正电荷从电场中的某点移动到参考点（参考点的电位规定为零）所做的功，就叫做该点的电位。

现在我们再比较一下 A_{ao}/q_0 和 A_{bo}/q_0 两个比值的大小。因为以 o 点作为参考点，由图可知 L_{ao} 比 L_{bo} 大，所以 A_{ao} 比 A_{bo} 大，当然 A_{ao}/q_0 比 A_{bo}/q_0 大。

依上所述，比值 A_{ao}/q_0 与 A_{bo}/q_0 分别为 a 、 b 两点的电位。而 a 、 b 两点电位之差叫做这两点之间的电位差，即

$$\phi_a - \phi_b = \frac{A_{ao}}{q_0} - \frac{A_{bo}}{q_0} = \frac{FL_{ao}}{q_0} - \frac{FL_{bo}}{q_0} = \frac{F}{q_0} (L_{ao} - L_{bo})$$

而

$$L_{ao} - L_{bo} = L_{ab}$$

则

$$\phi_a - \phi_b = \frac{FL_{ab}}{q_0} \quad (1-6)$$

根据式 (1-4)， a 、 b 两点之间的电压是

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q_0} = \frac{FL_{ab}}{q_0}$$

所以

$$U_{ab} = \phi_a - \phi_b \quad (1-7)$$

由式 (1-7) 可知， a 、 b 两点之间的电位差就是 a 、 b 两点之间的电压。也就是说电压又叫电位差，它表示电场中两点之间电位的差别。因此，我们也可以说电场中某点的电位，就是该点和参考点之间的电压。例如 a 、 b 两点与参考点之间的电压是

$$U_{ao} = \phi_a - \phi_o$$

$$U_{bo} = \phi_b - \phi_o$$

由于 $\phi_o = 0$ ，所以

$$U_{ao} = \phi_a$$

$$U_{bo} = \phi_b$$

电位的单位也是伏特。

第四节 电源和电动势

我们知道，在电场力的作用下，正电荷总是从高电位移向低电位的。对带有正、负电荷的两个极板（带电体）来说，如果只有电场力对电荷的作用，那么由于电荷的不断移动和正、负电荷的不断中和，势必改变电荷的分布；随着时间的推移，正、负极板上的电荷将很快减少，其间的电场也迅速减弱。因此，处于电场导体中的电流只能是短暂的一瞬。

为了维持导体中的电流，就必须有一个能保持正、负极板间有一定电场的装置，这个装置就是电源（如发电机、电池等）。

电源的效能是将其它形式的能量（如机械能、化学能、原子能等）转换成电能，使其正、负极之间具有一定的电位差。在电源内部有一种电源力（亦称局外力）使正电荷不断地从低电位（如负极 b ）移向高电位（如正极 a ），如图 1-13 所示。这种电源力，在发电

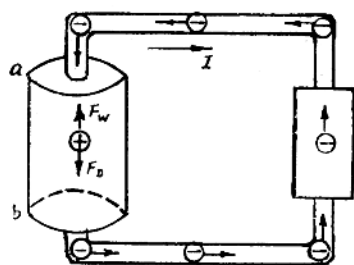


图 1-13

机内就是机械能产生的电磁力，在电池内就是化学能产生的化学力。

图 1—13 所示的 a 、 b 间是一个电池的示意图，由于电源力 F_w 的作用，把正电荷由 b 极移至 a 极，使 a 极堆集了正电荷，而 b 极因缺少正电荷相应堆集了等量的负电荷，因此就在 a 、 b 两极间建立了电场。由于电场的建立，正电荷就要同时受到电源力和电场力 (F_e) 的作用。开始，电场较弱，电源力大于电场力，正电荷在电源力的作用下，由低电位移向高电位。随着正电荷的不断移动， a 、 b 两极板堆集的正、负电荷逐渐增多，其间的电场也愈来愈增强，电场力也不断增大。当电场力等于电源力时，正电荷就停止移动，使电源两极间保持一个恒定的电位差。例如干电池为 1.5V 就是这个意思。

当电源接上负载时，在电源外部，电场力使正电荷从电源正极经过负载移至电源负极，与负极上的负电荷相中和。因而电场力有减小的趋势，这时电源内部电源力大于电场力，于是电源力又把通过负载从正极移来的等量正电荷又推向正极。这样就保持了电路中有持续不断的电流。显然，这个电流在电源的内部和外部是相等的。

电源分离电荷的过程，就是它克服电场力做功的过程。在此过程中，电源把其它形式的能量转变为电场的能量。

不同的电源，电源力在移动同一数量的电荷时所做的功是不同的，因而将其它形式的能量转换成电场能量的数量也是不同的。为了衡量不同电源转换能量的本领，我们把在电源力的作用下，将单位正电荷从电源负极（低电位点）移向正极（高电位点）所做的功，叫做这个电源的电动势（简称电势），用符号 E 表示。即

$$E = \frac{A_{bs}}{q} \quad (1-8)$$

式中 A_{bs} ——电源力移动正电荷由 b 极移至 a 极所做的功；

q ——电荷量。

电势的单位亦为伏特。

电势的方向由负极 b 指向正极 a ，即由低电位处指向高电位处。

第五节 电 阻

一、电 阻

金属导体的自由电子在电场力的作用下定向移动时，要遇到一定的阻碍。因为在金属导体中，自由电子运动时不断地相互碰撞或者与导体的分子相碰撞。因此导体对于它所通过的电流呈现有一定的阻力，这种阻力叫做电阻，用符号 R 或 r 表示。

电阻的单位是欧姆，单位符号 Ω 。

当导体两端的电压是 1V，导体内通过的电流是 1A 时，这段导体的电阻就是 1 Ω 。计算大电阻时用千欧 (k Ω) 或兆欧 (M Ω)，它们的换算关系是

$$\begin{aligned} 1 \text{ k}\Omega &= 1000 \Omega = 10^3 \Omega \\ 1 \text{ M}\Omega &= 1000000 \Omega = 10^6 \Omega \end{aligned}$$

二、电 阻 率

凡导体都有电阻。就是说，导体既善于传导电流，在电流通过的过程中却具有阻碍作

用。一个导体电阻的大小，主要由两种因素所决定。一是导体所用材料的导电性能；其次和导体的尺寸有关。

实验证明，在一定的温度下，同一种材料的导体电阻，与导体的长度成正比，与导体的截面积成反比。即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-9)$$

式中 L —— 导体长度，单位是米(m)；

S —— 导体截面积，单位是平方米(m²)；

ρ —— 电阻率，单位是欧姆米($\Omega \cdot m$)或欧姆平方毫米每米($\Omega \cdot mm^2/m$)。

上面提到导体电阻与导体的材料有关。由式(1-9)可知， ρ 是导体材料的导电性能所确定的常数，它反映了导体材料与导体电阻关系的一个物理量。导体的电阻率 ρ 是指在20°C时，长1米截面积是1平方毫米的导体的电阻值，各种常用材料的电阻率见表1-1所示。

各种常用材料的电阻率和电阻温度系数

表 1-1

用 途	材 料 名 称	电阻率 ρ (20°C) ($\Omega \cdot mm^2/m$)	平均电阻温度系数 α (0~100°C) (1/°C)
导 电 材 料	碳	10.0	-0.0005
	银	0.0165	0.0036
	铜	0.0175	0.004
	铝	0.0285	0.004
	低碳钢	0.13	0.006
电 阻 材 料	锰铜	0.42	0.000005
	康铜	0.44	0.000005
	镍铬铁	1.0	0.00013
	铂铬铁	1.2	0.00008
	铂	0.106	0.00389

由表可知，除贵重金属银之外，铜、铝的电阻率小，是理想的导电材料。所以广泛地用来绕制各种电气设备的线圈，制做各种导线等。而康铜、锰铜等合金材料的电阻率比铜铝大得多，因此是制做电阻丝的好材料，如线绕电阻、可变电阻器、电阻箱和电烙铁芯等元件或设备。

【例1-3】一段长3 km的铝架空线路，导线的截面积为12 mm²，问架空线路的电阻值是多少？

【解】 已知 $L = 3000 m$, $S = 12 mm^2$

查表得

$$\rho = 0.0285 \Omega \cdot mm^2/m$$

依式(1-9)

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.0285 \times \frac{3000}{12} = 7.125 \Omega$$

三、电阻温度系数

导体电阻不只是和自身的因素有关，而且随温度发生变化。一般金属材料，电阻值随温