



交通航海职业技术教育教材（技工教育）

交通职业技术学校教学指导委员会航海类学科委员会组织编写

电工与无线电基础

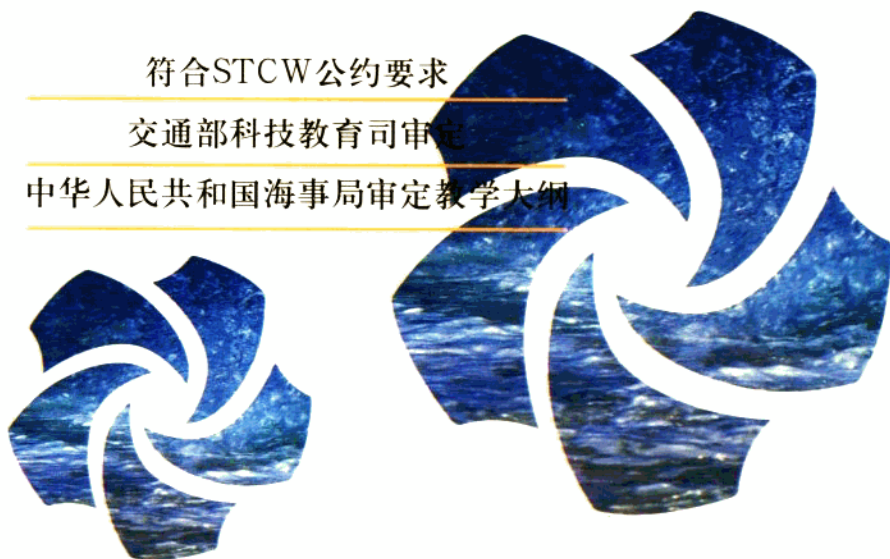
陆文兴 主编

唐旭东 主审

符合STCW公约要求

交通部科技教育司审定

中华人民共和国海事局审定教学大纲



大连海事大学出版社

前 言

航海职业教育系列教材是交通部科教司为适应 STCW 78/95 公约和我国海事局颁发的《中华人民共和国海船船员适任考试、评估和发证规则》而组织编写的。编审人员是由交通职业技术学校教学指导委员会航海类学科委员会组织遴选的,都有较丰富的教学经验和实践经验。本系列教材编写的依据是交通部科教司颁发的《航海职业教育教学计划和大纲》(技工教育)。

本系列教材突出了以能力为本位的职业教育特点,注重实践教学环节,反映了当今航海技术发展的新知识和新技能,符合国际、国内相关公约和法规对支持级船员的要求,是我国中等航海职业教育中一套重要的系列教材。

本系列教材适用于招收初中毕业生、学制三年的航海职业教育,也可作为船舶水手、机工的培训教材。

虽然本系列教材的编审过程中进行了集体筹划,但仍会在某些方面存在着不足之处,在此,衷心希望广大教师、航运企事业单位的同行们提出宝贵的意见和建议,以利我们在再版时修改并进一步完善。

交通职业技术学校教学指导委员会航海类学科委员会

2000 年 12 月

编者的话

本书是交通职业技术学校教学指导委员会(技工部分)指定的统编教材,根据交通职业教学计划中课程教学大纲的基本要求编写而成的。本教材适合于海洋船舶水手教学使用,也可作为普通船员自学的参考书。

本书共十章,其中第一、三、五、六、九、十章由上海海运学校陆文兴老师编写,第二、四、七、八章由山东省威海海运学校王兵玲老师编写。编、审者均根据航海类专业(技工部分)教学指导委员会教材编写组审核的大纲进行编写和审定。

本书由上海海运学校高级讲师陆文兴主编,天津海员学校高级讲师唐旭东主审。

本书在编写过程中,得到了上海海运学校高级讲师管宪生老师的大力支持,在此表示感谢。

编 者

2000年12月

目 录

第一章 电荷与电场	(1)
第一节 电荷与库仑定律	(1)
第二节 电场强度与电力线	(3)
第三节 电位与电位差	(5)
第四节 静电偏转和静电屏蔽	(6)
第五节 电容及电容器	(8)
第二章 直流电路	(10)
第一节 电路	(10)
第二节 电路的基本物理量	(11)
第三节 欧姆定律	(14)
第四节 电路的工作状态	(15)
第五节 电阻的串联与并联	(17)
第六节 电路中电位的计算	(20)
第七节 直流电路的计算	(22)
第三章 磁场与电磁感应	(29)
第一节 磁场与磁力线	(29)
第二节 磁感应强度与磁通	(31)
第三节 磁场对载流导体的作用	(32)
第四节 磁场对运动电荷的作用	(33)
第五节 电磁感应	(33)
第六节 直导体在均匀磁场中的感应电动势	(35)
第七节 自感与互感	(36)
第四章 单相正弦交流电路	(38)
第一节 正弦交流电的基本概念	(38)
第二节 正弦交流电的表示法	(41)
第三节 纯电阻电路	(43)
第四节 纯电感电路	(44)
第五节 纯电容电路	(46)
第六节 具有电阻和电感的串联电路	(48)
第七节 电阻、电感和电容串联的电路	(51)
第八节 谐振电路	(54)
第五章 电路中的暂态过程	(58)
第一节 电容、电感在换路时的情形	(58)
第二节 RC 电路中的暂态过程	(59)

第六章 安全用电常识	(65)
第一节 万用表	(65)
第二节 接地和接零	(67)
第三节 配电知识	(69)
第七章 晶体二极管和整流电路	(70)
第一节 晶体二极管	(70)
第二节 单相整流电路	(73)
第三节 滤波电路	(76)
第四节 稳压电路	(77)
第八章 晶体三极管及其基本电路	(80)
第一节 晶体三极管	(80)
第二节 晶体管低频电压放大电路	(84)
第三节 晶体管功率放大电路	(92)
第四节 放大电路中的负反馈	(93)
第五节 晶闸管	(99)
第九章 数字电路.....	(104)
第一节 脉冲信号.....	(104)
第二节 基本逻辑电路.....	(104)
第三节 基本触发器.....	(107)
第四节 寄存器.....	(109)
第十章 无线电波及天线.....	(111)
第一节 无线电波的传播特性.....	(111)
第二节 天线的辐射方向图和天线的参数.....	(113)
第三节 接收天线.....	(115)
第四节 传输线.....	(118)
参考文献.....	(122)

第一章 电荷与电场

第一节 电荷与库仑定律

一、电荷

人类很早就发现了物体的带电现象,大约在 2500 年前,希腊人退利斯就发现了用皮毛摩擦琥珀以后,琥珀有吸引羽毛、头发等轻小物体的性质。到了公元 1600 年,英国医生兼物理学家吉伯(1540—1603)发现,这种摩擦起电并不是琥珀独有,其他物体如玻璃棒、水晶及硫磺块也有此特性。他将这种吸引力称为电力,并把处在这种状态的物体称为带电体,也就是说它带上了电或者说它荷上电。

为了描述电的质和量的物理量,引入了电荷的概念,物体荷上电就可用它具有的电荷来表达。带电体之间具有相互作用力,不过从图 1-1 实验中可以看到,这种作用力有两种情况:一种是相互排斥;另一种是相互吸引。于是人们把电荷分成正电荷($+Q$ 表示)和负电荷($-Q$ 表示)两种类型。带同号电的物体相互排斥,带异号电的物体相互吸引,这种相互作用力称为电力。根据带电体之间相互作用力的大小,我们可以确定物体所带电荷的多少。表示物体所带电荷多少程度的物理量称为电量。

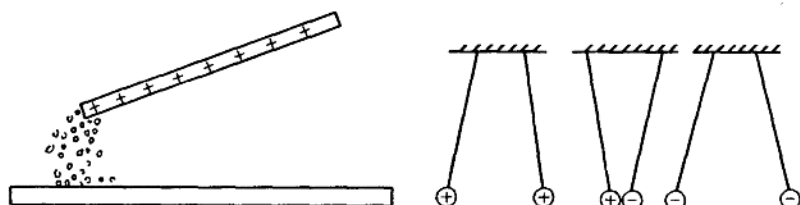


图 1-1 电荷的相互吸引与排斥

为了了解电荷的本质,我们把负电荷逐渐加到一个原来带正电的物体上去时,物体上所带的正电荷先是逐渐减少,以至完全消失,只有在完全失去正电荷之后,这物体才开始显出带负电的性质,反之,一个原来带负电荷的物体,也必须在负电荷逐渐减少以至完全消失之后,才能带上正电。由此可见,异号电荷可以互相中和。其他现象,如摩擦起电时,原来两个不带电的物体,经过摩擦后却都带了电,而且总是一个带正电,另一个带数量相等的负电。我们可以这样说:在不带电的物体中,也总是有等量的正、负电荷同时存在,互相中和;要使物体带正电或负电,就必须使物体所带的正电或负电超过中和时的数量,这种超过中和数量的电荷可称过剩电荷或净电荷。根据以上事实,可以总结如下结论:电荷用来表示物体带电的一种物理量。电荷之间存在相互作用力,同型电荷相互排斥,异种电荷相互吸引;电荷量的大小标志着物体带电的多少,是衡量物体带电程度的量;电荷不能制造出来或将其消灭掉(这种性质称为电荷守恒定律),人们只能用分开物体中原有的正、负电荷或使正、负电荷重新合并的方法来产生电或使电的作用消失。

二、库仑定律

1785年法国科学家库仑通过多次实验,总结出电荷间相互作用的基本规律,这就是有名的库仑定律。库仑定律告诉我们:在任何均匀电介质中,两个点电荷之间的相互作用力,和两个点电荷的电量的乘积成正比,而和它们之间的距离的平

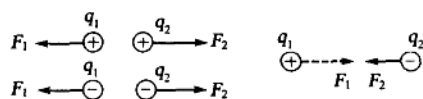


图 1-2 电荷力的作用方向

方成反比,力的方向(不论是相斥或相吸)是在两个电荷的连线上(见图 1-2)。力的大小可用下式表示:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

式中: F ——两个点电荷之间的相互作用力;

q_1, q_2 ——分别为两个点电荷的电量;

r ——两个点电荷之间的距离;

k ——比例常数。

如果是两个同性电荷,那么 q_1 和 q_2 的符号相同,公式中力 F 就是正的,表示两个电荷相互排斥。如果是两个异性电荷, q_1 和 q_2 的符号相反,力 F 就是负的,表示两个电荷互相吸引。如果两个电荷处在真空中并采取实用单位制(简称 MKSA 制,即米·公斤·秒·安单位制),那么常数 k 等于:

$$k = 9 \times 10^9 \left(\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \right)$$

从式中可以看出,在这单位制中,力的单位为 N,电量的单位为 C,距离的单位为 m。

为了得到便于计算的公式和方程式,常将 k 写成 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$,这时库仑定律变为下列形式:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon r^2}$$

ϵ 为介电常数,是一个表示受介质影响的量值。 ϵ 的值在真空中 ϵ_0 最小,它的值和单位为:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = \frac{10^{-9}}{36\pi} \left(\frac{\text{C}^2}{\text{J} \cdot \text{m}} \right) = \frac{10^{-9}}{36\pi} \frac{\text{C}^2}{\text{J} \cdot \text{m}}$$

某一物质的介电系数与真空介电系数的比值叫做相对介电系数(或称介电系数),用 ϵ_r 表示,即:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

则有:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon r^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r r^2}$$

ϵ_r 没有单位,在空气中和真空中的 ϵ_r 都为 1。

例 1-1: 设在空气介质中有两个点电荷, $q_1 = 4 \times 10^{-7} \text{C}$, $q_2 = 25 \times 10^{-7} \text{C}$, 彼此相距 0.1 m, 试求它们相互之间的作用力。

解: 根据库仑定律,

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} = \frac{4 \times 10^{-7} \times 25 \times 10^{-7}}{4\pi \times \frac{10^{-9}}{36\pi} \times 1 \times (0.1)^2} = 0.9 \text{ (N)}$$

第二节 电场强度与电力线

一、电场强度

我们已经看到两个带电体之间有相互作用力存在。为了研究这种作用力,引入一个称为电场的概念。电场可以看作是电能占有的场地,不随时间变化的电场称为静电场,静电场是一种有源的场,即它有发源的地方(正电荷)或归宿的地方(负电荷)。

电场具有两个重要特性:第一,在电场中的电荷都会受到电场力的作用;第二,位于电场某一点的电荷需具有一定的能量(称为电位能)。

电场中任一点的电场性质,可利用试验电荷 q 来说明。试验电荷是一个足够小的点电荷,首先试验电荷所带的电量必须很小,把试验电荷引入电场后不会对原有电场有任何显著的影响,其次,试验电荷的线度必须充分小,即可以把它看作点电荷。把试验电荷 q 放在电场中不同各点时,在一般情况下, q 所受力的方向和大小是逐点不同的,但在电场中一给定点处, q 受力的大小和方向都是完全一定的。如果我们在电场中某给定处改变试验电荷 q 的量值,就发现 q 受力的方向仍然不变,但力的大小改变了。当 q 取各种不同值时,所受力的与相应的 q 值之比 F/q 都具有确定的量值,由此可见,比值 F/q 以及 F 的方向只与试验电荷所在点的电场性质有关,而与试验电荷 q 的量值无关,因此把比值 F/q 和 F 的方向作为描述静电场中给定点的性质一个物理量,称为该给定点(即场点)处的电场强度,简称场强,场强用矢量 E 表示。

$$E = F/q$$

其中: q ——试验电荷的电量;

F ——试验电荷所受的电场力。

在实用中电场强度的单位是: V/m 。

$$1 \text{ V/m} = \frac{1 \text{ J/m}}{1 \text{ C}} = 1 \text{ N/C}$$

为了形象地说明电场的分布情况,引入电力线这一辅助概念。

二、电力线

电场中每一点的场强 E 都有一定的方向,我们可以在电场中描绘一系列的曲线,使这些曲线上每一点的切线方向都于该点处的场强 E 方向一致,这些曲线叫做电力线。如图 1-3 所示某一电场中的一条电力线,为了使电力线不仅表示出电场中场强的方向,而且表示出场强的大小,在作电力线图时,我们规定:在电场中任一点处,通过垂直于 E 的单位面积的电力线数等于该点处 E 的量值。

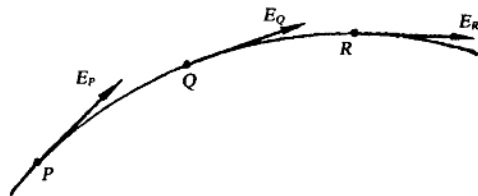


图 1-3 电力线

静电场电力线有两种性质:第一,不形成闭合回路,也不中断,而是起自正电荷,止于负电

荷,这是静电场的重要特性;第二,任何两条电力线不会相交,这说明静电场中每一点的场强只有一个方向。

值得指出:实际上电力线并不存在,它是人们为了使电场形象化而设想出来的。

下面是几种典型的电力线图,如图 1-4 所示。

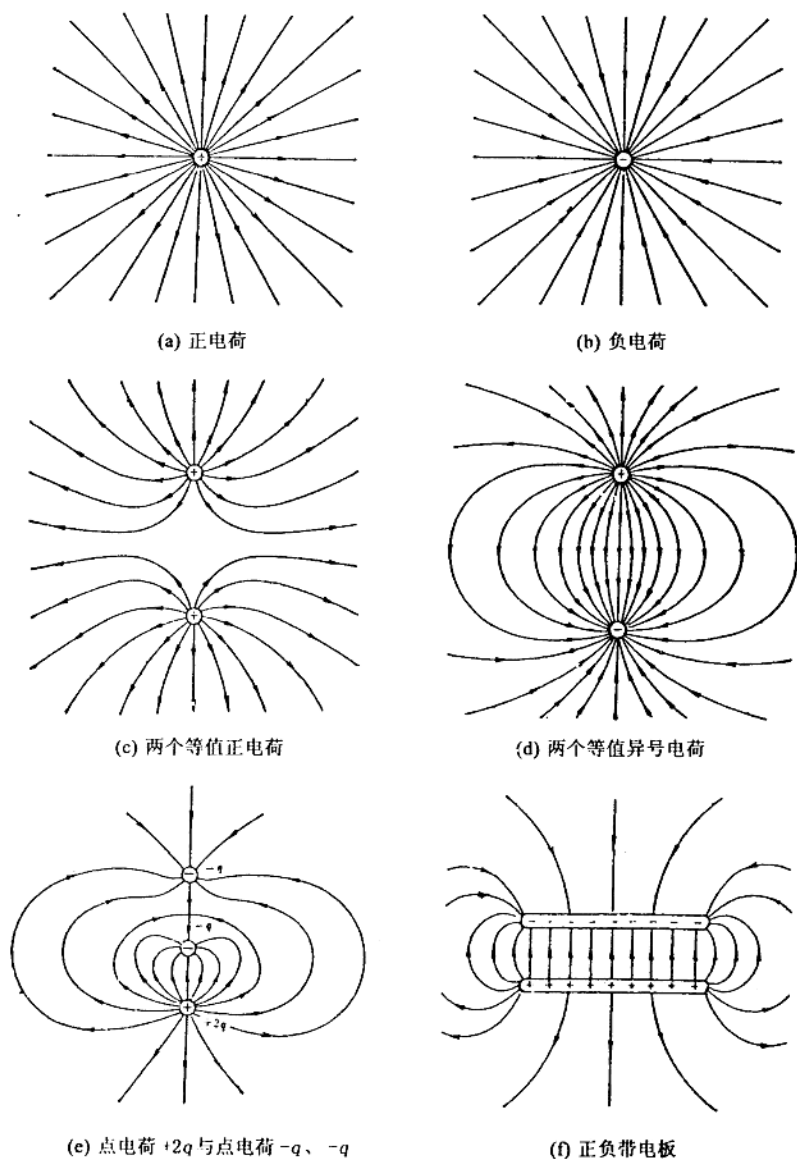


图 1-4 几种典型的电力线图

第三节 电位与电位差

一、电位

设在正电荷 Q 所产生的电场中,有 M 、 H 两个点,如图 1-5。如在 H 点放一试验电荷 q ,现要把 q 从 H 点移动到 M 点,这就需要外力作用于 q 上,来反抗电场力使它移动。这就是说,外力要克服电场力做功,这个功就增加了试验电荷在电场中的位能(或称电势能)。必须注意,电荷只有在电场中才能获得位能,离开电场,电荷就不再受到电场力的作用,当它移动位置时不必做功,因此也就没有位能变化和位能了。

如果在上述电场中的 q ,由于电场力的作用从 H 点移到电场范围之外,那么,电场力对试验电荷 q 一定也做了功,而且这和把同一试验电荷从电场范围外移到电场中的 H 点,外力所做的功完全相同。

我们规定电荷在电场力作用下移动时,电场力所做的功为正值,电荷在外力作用下反抗电场力移动时,电场力所做的功为负值。电场力做正功,电荷的位能减小,电场力做负功,电荷的位能增加。

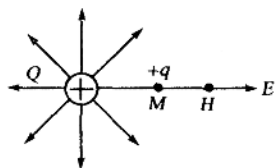


图 1-5 电荷在电场中的移动

如果把正试验电荷 q 放在正电荷 Q 的电场中的 M 点,那么作用于试验电荷 q 的电场力为:

$$F = E_M \cdot q = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_M^2} \cdot q$$

在电场力作用下,试验电荷 q 将沿着电场力的方向移动,一直到退出电场($r = \infty$),则:

$$W_M = \frac{Q \cdot q}{4\pi\epsilon r_M}$$

电场力所做的功不是从电场的能量中转换而来的,而是由电荷的位能改变而获得的,当电场力推动试验电荷时,试验电荷在电场中的位能将逐渐减小,也就是消耗了能量,这部分减少的能量等于电场力所做的功。

电场力做功,使电荷的电位能减少;靠外力做功,使电荷的电位能增加,这是一个很重要的概念。

根据上述的描述,试验电荷在电场中任一位置,都具有一定的位能,位能越大,表示这一点“位”越高。试验电荷 q 在电场中所具有的位能与电荷量 q 的比值是一个与 q 无关,只由试验电荷所在点的位置决定的量,因此它能反映电场各点能的性质,我们称它为电位,用符号 U 表示。平常所说在电场中某点的电位,就是把一个单位正电荷,从该点移到电场范围之外时,电场力所做的功。图 1-5 中 M 点及 H 点的电位分别为:

$$U_M = \frac{W_M}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_M}; U_H = \frac{W_H}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_H}$$

任一点的电位为: $U = \frac{Q}{4\pi\epsilon r}$ 。

当 $r = \infty$ 时,则 $U = 0$ 。

电位不是矢量而是代数和。如果电场是由几个点电荷 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 $\dots$ 所产生,则某一点的

电位等于每个电位的代数和。

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

电位的单位是：

$$U(\text{V}) = \frac{W(\text{J})}{q(\text{C})}$$

二、电压(电位差)

电压是两点间的电位差,而不是某一点的电位,例如在图 1-5 中 M 和 H 的电位分别为 U_M 和 U_H ,则此两点间的电位差为(用 U 表示):

$$U = U_M - U_H = \frac{W_M - W_H}{q} = \frac{A}{q} \quad (\text{V})$$

式中 $A = W_M - W_H$,为试验电荷在电场中从 M 点移到 H 点电场力所做的功。因此,两点间的电压(电位差)是电场力把单位正电荷从电场的一点移到另一点所做的功。

第四节 静电偏转和静电屏蔽

带电粒子在电场中要受到电场力的作用,会使其速度的大小和方向发生变化,因此,可以利用电场来改变或控制带电粒子的运动,这种应用可分为两种情况,一是利用电场使带电粒子加速,另一种是利用电场使带电粒子偏转。

一、带电粒子的加速

如图 1-6 所示是真空中一对平行金属板,相距 d ,接电压 U 后带电,在它们之间就建立了匀强电场 E ,假设有一个电荷 $+q$ 处在电场中,那么所受到的作用力 $F = q \cdot E$ 。 $+q$ 从正极板移到负极板,电场力所做的正功等于 Fd ,这个功也等于 $q \cdot U$ 。如果 $+q$ 是在正极板处,由静止开始运动,在两极板间的距离 d 内它将做匀加速运动,到达负极板时,它的动能为 $\frac{1}{2}mv^2 = Fd = qU$ 。所以 $+q$ 到达负极板时的速度为:

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

式中: v ——带电粒子运动速度;

q ——带电粒子的电量;

m ——带电粒子的质量;

U ——两极板间的电压。

如果两极板上各有一个小孔,两孔彼此正对,在正极板的左方有一些电量为 $+q$ 的粒子以很小的速度从左孔进入电场,那么这些粒子在电场中被加速,到达负极后将 从右孔穿出,它们穿过的速度将是 $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$ 。平行板电极之外并没有电场,所以从右孔穿出后将保持匀速直线运动。

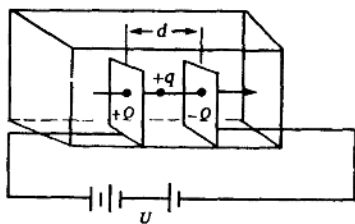


图 1-6 带电粒子在电场中受力

二、带电粒子的静电偏转

图 1-7 是真空中两块平行金属板, 接上电压 U 后, 在它们之间就建立了匀强电场。设场强为 E , 有一电子的电量为 $+q$ 以初速度 v_0 进入该电场, 如果 v_0 的方向和 E 的方向垂直, 那么它们在电场内将受到一个垂直于 v_0 的电场力 $F = q \cdot E$ 。可见, 它们在电场内的运动类似于物体的平抛运动。可以证明, 带电粒子在电场中侧移的距离 Y 为:

$$Y = \frac{qE}{2v_0^2 m} L^2$$

式中: m ——带电粒子的质量;

L ——平行金属板的长度。

带电粒子离开电场后, 将在偏离原来运动方向某一角度 θ 的方向上做匀速直线运动。可以证明:

$$\tan \theta = \frac{v_1}{v_0} = \frac{qUL}{mdv_0^2}$$

对于一定带电粒子, m 、 q 、 v_0 都是确定的, 适当选择 U 、 d 、 L 就可使 θ 角符合预定的要求。

三、静电屏蔽

如何防止电子器件受到外界电场的影响以及减小各机件间的相互干扰等, 是一个非常重要的问题, 现在我们谈谈一般采取的静电屏蔽的方法及其原理。

如果把一个空心的金属导体放在电场内, 如图 1-8 所示, 由于导体内部的合成电场等于零, 因而导体内部没有电场存在, 也就是说, 在导体的内壁(或称内腔)上是不带电的。在这种情况下, 放入导体空心内(即腔内)的物体乃将不会受到外界电场的影响。另外, 我们也可以使任何带电体不去影响别的物体。例如把一个带正电的物体放在空腔内(见图 1-9), 则导体内腔表面将感应出负电荷, 而外表则产生等量的正电荷, 此时在导体内没有电场存在, 不过在导体内外空间仍有电场, 因而腔内的带电体仍会影响外界物体。但若把导体接地, 则导体外表面上的正电荷将从大地来的负电荷中和。这样, 外部空间的电场就会消失, 空腔内的带电体对外界是不会发生任何影响。

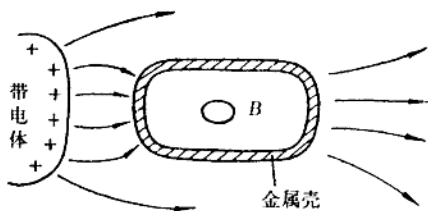


图 1-8 金属壳的静电屏蔽

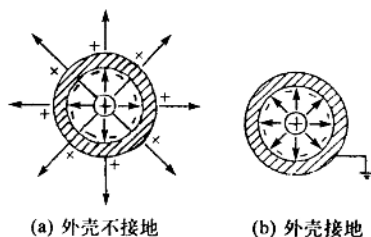


图 1-9 对腔内带电体的静电屏蔽

采取一个外皮接地的空心金属罩可以隔离静电场的相互影响, 这就是静电屏蔽的原理。

静电屏蔽可以使用各种闭合形状的金属板, 但是应注意, 只要采用很薄的金属板就可以了。有些场合, 甚至用金属网也可起到同样的效果。

第五节 电容及电容器

一、电容及电容器的概念

对一孤立不受外界影响的导体来说,当导体带有电量 q_1 而处于电动势为 U_1 的静电平衡状态时,电荷 q_1 在导体表面各处的分布情况将是惟一的。如果导体所带电量从 q_1 增加为 kq_1 时,那么导体表面各处的电荷面密度也将分别增为原来的 k 倍,而导体处于静电平衡时的电势也恰好从 U_1 增加为 kU_1 ,由此可知:当导体带电时,导体所带的电量 q 与相应电势 U 的比值,是一个与导体所带电量无关的物理量,用符号 C 表示,称为孤立导体的电容。即:

$$C = \frac{q}{U}$$

孤立导体的电容是一恒量,与导体的尺寸和形状有关,而与 q 、 U 无关,它在量值上等于这导体电势为一单位时导体所带的电量。在实用单位制中,电容的单位是法拉,简称法,用英文字母 F 代表。

$$1 F = \frac{1 C}{1 V}$$

在实际应用中,因法拉的单位太大,所以采用较小的单位,即微法(μF)或微微法(pF)表示。

被电介质分开的两个金属片(或任何形状的金属导体)的组合体可以储蓄很多电量,这个导体的组合就叫做电容器,而储存电荷的本领称为导体的电容。

常用的电容器是由中间夹有电介质的两块金属板构成的。电容器的电容定义为:当电容器的两极板分别带有等值异号电荷 q 时,电量 q 与两极板间相应的电势差 $U_A - U_B$ 的比值,即:

$$C = \frac{q}{U_A - U_B}$$

电容器的符号如图 1-10 所示。

二、电容器的串联、并联及混联

1. 电容器的串联

如图 1-11 所示是 3 个电容器串联,接通直流电源后,从电源所得到的电荷只能到达电容器组最外面的两块极板上,而对于相邻电容互相连接的中间极板上,只能有相等的电荷量从一个极板移到另一个极板上。因此,这些极板上出现了数值相等而符号相反的电荷量,若用 Q 表示从电源来的电荷量,则:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

但是,接成串联后的电容器,它们的总电压 U 等于各个电容的电压之和,即:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

而各电容的极板之间的电压决定于电容器的电容,即:

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1}, U_2 = \frac{Q_2}{C_2}, U_3 = \frac{Q_3}{C_3}$$

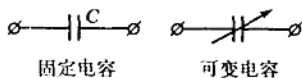


图 1-10 电容器的符号

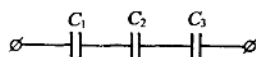


图 1-11 电容器的串联

所以串联电容器组的总电容为：

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{U_1 + U_2 + U_3}$$

或
$$\frac{1}{C} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{Q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

即当电容器串联时，总电容的倒数等于各电容器电容的倒数之和，总的电容反而减小。

2. 电容器的并联

如图 1-12 所示是电容器的并联。如果接通直流电源，所有电容器处在同一电压 U 的作用下，它们储存的总电荷 Q 等于各个电容器储存的电荷 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 之和。

由于 $C_1 = \frac{Q_1}{U}$ 即 $Q_1 = C_1 U$

$C_2 = \frac{Q_2}{U}$ 即 $Q_2 = C_2 U$

$C_3 = \frac{Q_3}{U}$ 即 $Q_3 = C_3 U$

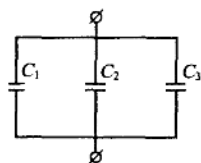


图 1-12 电容器的并联

从电源得到的总电量 Q 为：

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

所以总电容为：

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{U} = C_1 + C_2 + C_3$$

即当电容器并联时，总电容等于各分电容之和，也就是说总电容量增加了。

3. 电容的混联

在实际应用中，常会遇到如图 1-13 的联接方式，这种方式称为电容器的混联。

如果要求图 1-13 电路的总容量，则可以分两步计算，第一步算出 C_2 和 C_3 并联的电容 C'_2 ：

$$C'_2 = C_2 + C_3$$

第二步计算 C_1 和 C'_2 串联的电容量即为总容量 C ，即：

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2 + C_3} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{C_1(C_2 + C_3)}$$

$$C = \frac{C_1(C_2 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3}$$

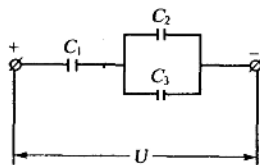


图 1-13 电容器的混联

第二章 直流电路

第一节 电路

电路是由电工设备和器件按某种方式连接在一起而组成的,电路的结构形式多样,繁简不一,功能也不尽相同。最简单的电路由电源、负载、开关和连接导线组成,图 2-1(a) 所示为一个简单电路的实物接线图。图中的电源是一节干电池,负载是电灯。对电源来讲,负载、连接导线和开关称为外电路。电源内部的一段电路称为内电路。

电源是供应电能的装置,它能把其他形式的能量转换为电能。例如发电机把机械能转换为电能,电池把化学能转换为电能。

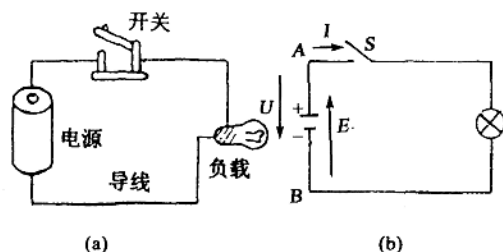


图 2-1 电路图

负载是取用电能的装置,它把电能转换为其他形式的能量。例如电灯把电能转换为光能和热能,电动机把电能转换为机械能。

连接导线和开关,用来连接电源与负载,使它们构成电流的通路,把电源的能量输送给负载,并根据需要控制电路的接通与断开。

电路可以用电路图来表示。用图形符号可以把图 2-1(a) 所示的实物接线图画成图 2-1(b) 所示的电路原理图。为简便起见,电路原理图的“原理”二字略去不写。用电池、直流发电机等做电源的电路,称为直流电路。

上述电路的主要作用是传输和转换能量,电力电路都属于这种类型。例如发电、输电、电力拖动、电热、电气照明电路等。在这些电路中,由于需要输送的能量较大,所以要求传输效率高,损耗小。

另有一类电路,它的主要作用不在于传输和转换能量,而是传输和处理信号。例如在扩音机电路中,传声器(话筒)把语言或音乐转换为变化的电压和电流,这就是带有信息的电信号。此信号经扩音机内的放大器放大后,通过连接导线传递给终端设备(扬声器),由终端设备把这一电信号再还原为音响增强的语言或音乐输出。信号的这种转换和放大,称为信号的处理。在信号传递和处理电路中,输出电信号的装置称为信号源(相当于电源),接受电信号的装置称为负载,连接导线称为信号的通道。

以传递和处理信号为主要目的的电路很多,例如收音机、电视机电路等。在这类电路中,虽

然也有能量的传输和转换,但其值较小,所以电能传输效率的高低并不是它的首要问题,而如何保持信号的变化规律,准确地进行传递和处理却是这类电路的主要任务。

综上所述,不论以传输和转换能量为主要目的的电路,还是以传递和处理信号为主要目的的电路,就其基本组成而言,它们都包括有电源(信号源)、负载、连接导线 3 个部分。

第二节 电路的基本物理量

为了分析、计算电路的能量转换和信号处理,需要明确几个电学量的物理意义。

一、电流

要了解电流的实质,应从物质内部结构进行分析。我们知道,任何物质都是由分子组成,分子是由原子组成,而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成。在通常情况下,原子核所带的正电荷数等于核外电子所带的负电荷数,所以原子是中性的,不显电性,物质也不显带电的性能。当人们给予一定外加条件时(如接上电源),就能迫使金属或某些溶液中的电子发生有规则的运动。

电流是由电荷的定向移动形成的。在金属导体中,电流是电子在外电场作用下,有规则地运动形成的,并且该运动是逆着电场的方向的。

电流的强弱用电流强度来表示。如果电流的大小和方向均不随时间变化,这种电流称为恒定电流,简称直流。对于直流,通常规定:其电流强度用单位时间内通过导体横截面的电量来度量,即:

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

电流强度简称电流。“电流”一词,既代表一种物理现象,又代表一个物理量。电流的单位用安培表示,简称安(A)。如果 1 秒钟(s)内通过导体横截面的电量是 1 库仑(C),则此导体中的电流为 1 安(A)。

除安培外,常用的电流强度单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A),它们之间的换算关系是:

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

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

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

电流方向是指电流沿导体循行的指向。习惯上规定以正电荷移动的方向为电流方向,在金属导体中,电子运动而形成的实际方向,与电流方向相反。

在简单电路中,电流方向可由电源的极性确定。例如在图 2-1 所示的电路中,电流方向由正极 A 经过负载指向负极 B;在内电路中,则由 B 经过电源内部指向 A。但是在一些复杂电路中,电流的实际方向往往难以确定。例如图 2-2 所示的电桥电路, R_5 中的电流方向是从 A 指向 B,还是从 B 指向 A,不能预先得知,需要经过计算或测量才可确定。

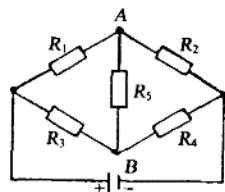
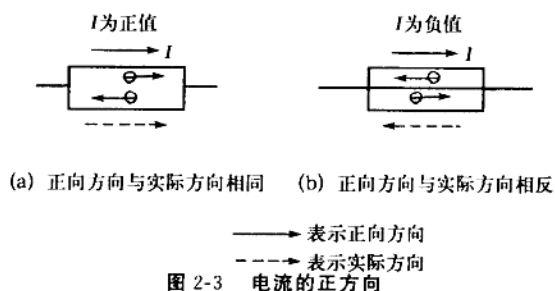


图 2-2 电桥电路

为了分析电路的需要,引入了电流参考方向的概念。电流的参考方向又称为正值方向,简

称正方向。在进行电路计算时,先任意选定某一方向为待求电流的正方向,并根据此正方向进行计算。若计算结果为正值,说明电流实际方向与正方向相同;若计算结果为负值,说明电流实际方向与正方向相反。电流正、负值与正方向及实际方向之间的关系,如图 2-3 所示。



二、电位与电压

1. 电位

要移动一个物体,就必须用力。当工人把车子从甲地推到乙地,或者吊车把货物从地面吊起时,车和货物都受到了力的作用,并且在受力的方向上移动了一段距离。这时我们就说,力对物体做了功。即:

$$W = FS$$

从第一章中我们知道,带电体的周围存在着电场,电场对处在场内的电荷也有力的作用。当电场力使电荷移动时,我们就说电场力对电荷做了功。下面我们来比较一下,在图 2-4 所示的均匀电场中,电场力 f 把单位正电荷 Q 从 a 点移到 o 点和从 b 点移到 o 点所做的功。

设 a 点与 o 点间的距离为 S_{ao} , b 点与 o 点间的距离是 S_{bo} ,则电场力 f 将 Q 从 a 点移到 o 点做的功是:

$$W_{ao} = fS_{ao}$$

电场力 f 将 Q 从 b 点移到 o 点做有功是:

$$W_{bo} = fS_{bo}$$

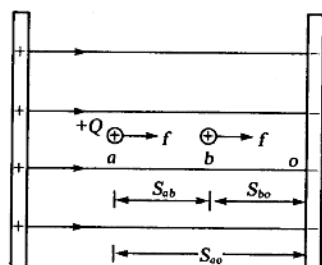


图 2-4 电场力做功

如果电荷的电量增加 1 倍,那么作用在电荷上的电场力也增加 1 倍,电场力所做的功也就相应地增加 1 倍。也就是说,在一个已知的电场中,电场力做的功 W_{ao} 、 W_{bo} 与电荷量成正比。我们规定:电场力把单位正电荷从电场中的某点移到参考点所做的功,称为该点的电位。以 o 点为参考点时, a 点的电位 V_a 是:

$$V_a = W_{ao}/Q \quad (2-2)$$

同样,以 o 点为参考点时, b 点的电位 V_b 是:

$$V_b = W_{bo}/Q \quad (2-3)$$

电位的单位是焦耳(J)/库仑(C),称为伏特(V)。

很明显,由于 $W_{ao} > W_{bo}$,因而 a 点的电位比 b 点的电位高。如果不选择 o 点作参考点,而另选择一个参考点,那么 V_a 和 V_b 的数值将改变,可见电场中某点的电位与参考点的选择有密切关系。