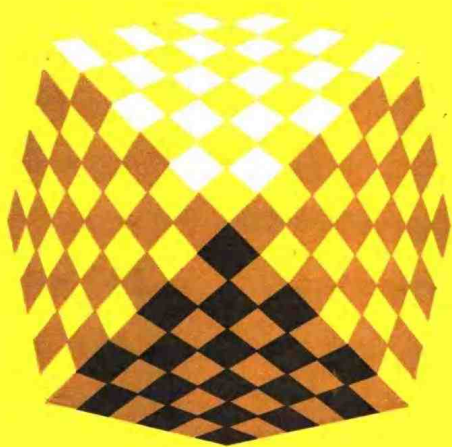


职业高中试用教材

实用电工技术基础

刘志平 沈大林 陈其信 编



高等教育出版社

内 容 简 介

本书是国家教育委员会职业技术教育司和高等教育出版社组织编写的职业高中电子电器专业系列教材之一,它与《实用电工技能》是“姊妹篇”,这两本书相辅相成,各有侧重,自成体系。

本书内容有电学基本知识、直流电路的计算、电容器及其充放电过程、磁场和磁场对通电导体的作用、电磁感应、正弦交流电路、变压器和三相交流电及电动机。本书从职业高中的实际出发,内容采取针对性强,突出基本知识的教学、重点突出,注重应用,理论教学和学生实验紧密结合,注重培养学生分析问题和解决问题的能力,深入浅出,文字通顺易懂。

本书可作为城市、农村职业高中电子电器专业教材,也可作为军地两用人才和电工培训教材,还可作为技工学校同类专业的教材。

职业高中试用教材

实用电工技术基础

刘志平 沈大林 陈其信 编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷二厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 15.5 字数 350 000

1989年1月第1版 1989年4月第1次印刷

印数0001—20 150

ISBN 7-04-002052-1/TM·123

定价 3.25 元



前 言

为了加速职业教育的发展,培养“四化”建设所需要的大批中、高级技术工人,1986年6月国家教委职教司和高等教育出版社在重庆召开了职业高中教材编写会议。《实用电工技术基础》是这次会议审定的职业高中电子电器专业的系列教材之一,它和《实用电工技能》是姊妹篇。

本书根据1986年11月在无锡召开的职业高中部分教材编审会上讨论通过的编写提纲编写。编写时力求做到:突出职业高中的特点,注意加强理论教学和学生实验的紧密结合,注意培养学生分析问题和解决问题的能力;叙述语言简练、通顺易懂;分析问题思路清楚,深入浅出,简明具体,避免过多的推理、论证和复杂的数学运算。在内容的选择上,与传统的中学和技工学校同类教材比较作了较大变动,突出基本知识,注重实用性,为学生学习后续课打下必要的基础。

参加本书编写的有北京市136中刘志平(第五、六、八章)、北京136中的沈大林(第三、四、七章)和北京128中陈昆富(第一、二章)。由刘志平担任主编。

本书由上海同济大学刘式雅副教授主审,参加审稿的还有同济大学的闵有毅、陈金铁同志。

本书初稿于1987年6月在南昌召开的审稿会上审订。参加审稿会的除审稿外,还有重庆江北水上职业中学曾祥富、长春市计算机技术职业学校曹淑贤等。他们对初稿提出了许多宝贵意见。

在编写过程中,还得到北京教育学院职业教研室的马光秋、贾宝林和北京93中的罗方松同志大力支持。在此一并表示感谢。

由于我们水平不高,书中错误和不妥之处在所难免,恳切希望读者批评指正。

编 者

1988年4月

目 录

第一章 电学基本知识 (1)

§ 1-1 库仑定律 (1)

§ 1-2 电场和电场强度 (3)

§ 1-3 电压和电位 (5)

§ 1-4 静电平衡和静电屏蔽 (8)

§ 1-5 电流和电流强度 (10)

§ 1-6 电源和电动势 (11)

§ 1-7 电阻和欧姆定律 (14)

§ 1-8 电功和电功率 (17)

实验1-1 伏安法测电阻 (18)

小结 (21)

习题 (23)

第二章 直流电路的计算 (24)

§ 2-1 电阻的串联 (24)

§ 2-2 电阻的并联 (27)

§ 2-3 电阻的混联 (30)

§ 2-4 基尔霍夫定律 (32)

§ 2-5 基尔霍夫定律的应用 (33)

§ 2-6 叠加原理 (35)

§ 2-7 电路中各点电位的计算 (37)

§ 2-8 电压源和电流源 (40)

§ 2-9 电源的最大输出功率 (41)

§ 2-10 电桥电路 (43)

§ 2-11 万用表原理 (45)

实验2-1 电源电动势和内阻的测定 (47)

实验2-2 验证叠加原理 (48)

实验2-3 直流电桥测定电阻 (49)

实验2-4 电位器测量 (50)

小结 (54)

习题 (51)

第三章 电容器及其充放电

过程 (53)

§ 3-1 电容器和电容量 (53)

§ 3-2 电容器的串联与并联 (56)

§ 3-3 电容器中的电场能量 (60)

§ 3-4 RC 电路的过渡过程 (61)

实验3-1 电容器的充放电过程 (65)

小结 (66)

习题 (68)

第四章 磁场和磁场对载流

导体的作用 (70)

§ 4-1 电流的磁效应 (70)

§ 4-2 磁感应强度与磁通 (72)

§ 4-3 磁导率和磁场强度 (76)

§ 4-4 铁磁性物质的磁化和磁滞

回线 (78)

§ 4-5 磁场对载流导体的作用 (83)

§ 4-6 磁场对运动电荷的作用 (86)

§ 4-7 磁感应和电磁力的应用

实例 (88)

实验4-1 磁场对载流直导体的作

用 (90)

实验4-2 磁性元件磁滞回线测试 (91)

小结 (92)

习题 (94)

第五章 电磁感应 (97)

§ 5-1 电磁感应现象 (97)

§ 5-2 楞次定律 (99)

§ 5-3 电磁感应定律 (103)

§ 5-4 自感和互感 (107)

§ 5-5 线圈的串联与并联 (113)

§ 5-6 涡流和磁屏蔽 (118)

§ 5-7 磁场能与 RL 电路的过渡

过程 (120)

§ 5-8 电磁感应的应用 (123)

实验5-1 电磁感应现象的研究 (125)

小结 (126)

习题 (127)

第六章 正弦交流电路 (129)

§ 6-1 正弦交流电的基本概念 (130)

§ 6-2 正弦量的相量图表示法 (138)

§ 6-3 纯电阻电路 (140)

§ 6-4 纯电感电路	(143)
§ 6-5 纯电容电路	(148)
§ 6-6 RL 串联电路	(153)
§ 6-7 RC 串联电路	(156)
§ 6-8 RLC 串联电路	(160)
§ 6-9 串联谐振电路	(165)
§ 6-10 RLC 并联电路	(171)
§ 6-11 并联谐振电路	(175)
§ 6-12 提高功率因数的意义和 方法	(178)
§ 6-13 LC 振荡电路	(181)
实验6-1 纯电阻、电感、电容电路中 电流、电压间的相位关系	(184)
实验6-2 电感线圈参数的测定	(185)
实验6-3 RC 串联电路的阻抗角 和电压	(187)
实验6-4 RLC 串联谐振电路	(188)
实验6-5 提高日光灯的功率因数	(189)
小结	(190)
习题	(193)
第七章 变压器	(197)

§ 7-1 变压器的工作原理	(197)
§ 7-2 变压器的功率和效率	(201)
§ 7-3 几种常用的变压器	(202)
实验7-1 测量变压器的空载电流 和变比	(206)
小结	(207)
习题	(207)

第八章 三相交流电路及电

动机

§ 8-1 三相交流电源	(209)
§ 8-2 三相负载的接法	(212)
§ 8-3 三相电路的功率	(219)
§ 8-4 三相异步电动机的工作 原理	(221)
§ 8-5 三相异步电动机的启动	(226)
§ 8-6 单相异步电动机	(228)
§ 8-7 直流电动机	(230)
§ 8-8 通用电动机工作原理	(234)
§ 8-9 安全用电	(235)
小结	(238)
习题	(239)

第一章 电学基本知识

本章主要讨论电学的基本物理量、基本定律、电路的工作状态及电流的效应等。另外对在物理课中讲过的某些内容作进一步的阐述,以求对这些知识加深理解。

§ 1-1 库 仑 定 律

一、电荷

人们对于电的认识,是从摩擦起电现象和自然界的雷电现象开始的。事实上两个不同材料的物体,例如毛皮和硬橡胶棒互相摩擦后,都能吸引羽毛、纸片等轻小物体,这时我们说这两个物体处于带电状态,或者说它们分别带有了电荷。实践证明,自然界的电荷只有两种,即正电荷和负电荷。为了区别这两种性质不同的电荷,历史上曾规定用丝绸摩擦过的玻璃棒上所带的电荷是正电荷,用“+”号表示;而用毛皮摩擦过的硬橡胶棒上所带的电荷是负电荷,用“-”号表示。这些规定一直沿用至今。

处于带电状态的物体称为带电体。带电体所带电荷的数量,叫做电量。在国际单位制中,电量的单位是库仑,用字母C表示。目前已知自然界中最小的电量是电子的电量(最小的负电荷)和质子的电量(最小的正电荷),它们的电量的绝对值相等。一个电子的电量为

$$e = -1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

实验证明,任何带电粒子所带的电量等于电子或质子的电量,或者是它们电量的整数倍。因此,人们自然地把 1.6×10^{-19} 库仑叫做基本电荷。在研究原子、原子核以及基本粒子等微观现象中,为了方便,常用基本电荷作为电量的单位。

将带有等量异号电荷的物体相接触时,由于正、负电荷的数量相等,相互抵消,它们对外既显不出带正电,也显不出带负电,或者说呈电中性。这种现象叫做电中和。在正常情况下,无论什么物质,原子核所带正电荷(质子)的总数与原子核周围负电荷(电子)的总数是相等的。因此,原子作为一个整体呈电中性。那么,由原子组成的物体也就不显示出带电的性质。当一原子失去一个或几个电子时,就显示出“带正电”;当一原子获得额外电子时,就显示出“带负电”。所以,当物体中的正、负电荷在一定的条件下相互分离并发生转移时,物体就“带电”。例如,用丝绸摩擦玻璃棒时,两物体相互接触处原子的热运动加剧,使玻璃棒中束缚较弱的电子从原子中挣脱出来而转移到丝绸上。结果,失去电子的玻璃棒就带正电,获得电子的丝绸就带负电。由此可见,正负电荷是物体固有的,它既不能被创造,也不能被消灭。它只能从一个物体转移到另一个物体,或者从物体的一部分转移到另一部分。这个规律叫做电荷守恒定律。

二、导体、绝缘体和半导体

人们按照电荷在物体中转移或传导的情况,把物体大致分为导体和绝缘体两大类。

导体是能够传导电荷的物体。各种金属材料就是导体。酸、碱、盐的水溶液也是导体。

绝缘体（或介质）是不能传导电荷的物体。橡胶、塑料、云母、玻璃、石蜡、陶瓷、油类、干燥的木材和空气等，都是绝缘体。

为什么物体传导电荷的本领不同呢？在金属导体中，原子最外层轨道上的电子受到原子核的束缚力最弱，它们很容易脱离所属的原子，成为可以在金属内自由移动的电子，这种电子叫做自由电子。当金属体的某一部分得到额外的电子时，这些电子就以自由电子的状态传到其他部分去；当失去电子时，其他部分的自由电子就移动来补充。这就是金属导体的导电现象。对于绝缘体中的电子来说，它们受到原子核的束缚作用很强，难以脱离其所属的原子，故自由电子很少。因此，绝缘体不导电或不易导电。但是，在一定条件下（例如升高温度），绝缘体中的部分电子也能摆脱原子核的束缚，成为自由电子，从而使绝缘体转化为导体。所以，导体和绝缘体之间没有严格的界限。

随着近代物理学和电子技术的发展，人们把导电能力介于导体和绝缘体之间的物体，叫做半导体。半导体重要的特点是其中自由电子的数目对于外界条件（温度、光照、杂质等）的变化很敏感。人们利用半导体的这些特性，制造出晶体管和集成电路等器件。最常用的半导体材料有硅、锗、砷化镓等。

三、库仑定律

两个带电体之间存在着相互作用力。带异种电荷的物体互相吸引，带同种电荷的物体互相排斥。1785年法国物理学家库仑首先对电的引力和斥力进行了定量的测定，并推导出这些力所遵循的规律——库仑定律。

库仑实验的结论是：在真空中两个点电荷间的作用力跟它们的电量的乘积成正比，跟它们间的距离的平方成反比，作用力的方向在它们的连线上。这就是库仑定律。电荷间的这种作用力叫做静电力，又叫做库仑力。

如果用 q_1 、 q_2 表示两个点电荷的电量，用 r 表示它们间的距离，用 F 表示它们间的静电力，则库仑定律就可以写成下面的公式：

$$F = k \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1-1)$$

式中 k 是比例恒量，叫做静电力恒量。

在国际单位制中，电量 q_1 和 q_2 的单位是库仑(C)， r 的单位是米(m)，力 F 的单位是牛顿(N)，那么， $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ 。

必须指出，我们经常用到的点电荷的概念只是带电体的理想模型，真正的点电荷是不存在的。在具体问题中，只有当带电体的形状和大小可以忽略不计时，才可把带电体看作点电荷。例如，带电体本身的大小，相对于带电体之间的距离很小时，带电体就可以看作点电荷。

式(1-1)是在真空中的库仑定律公式，而在无限大的均匀电介质中，实践证明库仑定律的数学表达式为

$$F = k \cdot \frac{q_1 q_2}{\epsilon \cdot r^2} \quad (1-2)$$

式中 ϵ 叫做电介质的相对介电常数，在真空中 $\epsilon_r = 1$ ，在空气中 $\epsilon_r \approx 1$ ，在其它介质中 $\epsilon_r > 1$ 。

在应用库仑定律时，可以不把电荷的符号代入公式，计算出结果后再根据电荷的正负确定相互作用力的方向。库仑定律不能用于任意形状带电体之间作用力的计算。

【例题1-1】试求两个电量都是2C的点电荷在真空中相距1m和1000m时的相互作用力。

解：由公式(1-1)可求得两个点电荷间的相互作用力：

当 $r=1\text{m}$ 时，

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 2}{1^2} = 3.6 \times 10^{10} (\text{N})$$

当 $r=1000\text{m}$ 时，

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 2}{1000^2} = 3.6 \times 10^{-4} (\text{N})$$

思考与练习

1. 电荷有几种？分别是如何规定的？
2. 物体带电的本质是什么？
3. 手里拿着一根金属棒，摩擦后为什么不能使金属棒带电？
4. 在真空中有两个点电荷，电量分别为 $4 \times 10^{-9}\text{C}$ 和 $-2 \times 10^{-9}\text{C}$ ，相距20cm。这两个点电荷间的作用力是多少？
5. 在真空中有两个点电荷，它们间的相互作用力在下列情况下将如何变化？(1)一个电荷的电量变为原来的2倍；(2)两个电荷的电量都减小到原来的1/2；(3)电荷间的距离变为原来的3倍。

§ 1-2 电场和电场强度

我们知道人推车时，人hand和车子直接接触，人和车子之间存在着相互作用力，而两个带电体之间并没有直接接触，但它们之间却总有相互作用力存在。这种力究竟依靠什么东西来传递呢？原来这是因为在电荷的周围存在着一种特殊的物质，人们把这种物质叫做电场。电场和电荷是不可分割的整体，电荷的周围总是存在着电场，静止电荷所产生的电场叫静电场。

我们在上节中谈到的电荷与电荷之间相互作用的力（静电力），并不是直接作用的，而是依靠电场来实现的，它是某电荷的电场对场中其它电荷的作用力。可见，电荷间相互作用的静电力，实际上就是电场对电荷的作用力，所以我们常把静电力叫做电场力。

电场具有两个重要特性：

1. 位于电场中的任何带电体都将受到电场力的作用；
2. 带电体在电场中受电场力作用而移动时，电场力要作功，说明电场具有能量。

利用电场对电荷有作用力的性质，可以定量地研究电场。

如图1-1所示，在正电荷 Q 所产生的电场中，引入另一个电荷

q ，以测量电场对它的作用力。为了使测量精确， q 必须是一个电量很小的点电荷（一般取正电荷），否则就要影响原来的电场分布情况。我们把这样的带正电且电量极小的点电荷叫做检验

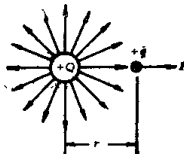


图1-1 带电体的电场

电荷。

将检验电荷 q 引入电场中后,可以发现它在不同位置上所受到的作用力 F 的大小和方向是不同的。同时,进一步的测量还表明:对于电场中某一个确定点而言,检验电荷所受的力与它本身所带的电量成正比。由此可知,检验电荷所受的力与它本身所带电量的比值,对于确定点来说是一个常数,但对于电场中的不同点,这一比值一般是不同的。也就是说,对应电场中的任意一确定点,都有一个确定的比值与之对应。所以,电场力 F 和检验电荷电量 q 的比值 F/q 是一个只与电场本身性质有关,与检验电荷电量无关的量,可以用来作为电场强弱程度的量度。因此,我们规定:放入电场中某一点的点电荷所受到的电场力跟它的电量的比值,叫做这一点的电场强度,简称场强。

如果用 E 表示电场强度,用 F 表示点电荷 q 受到的电场力,那么

$$E = \frac{F}{q} \quad (1-3)$$

场强跟力一样,也是矢量。我们规定,电场中某一点电场强度的方向,就是正电荷在该点所受电场力的方向。所以电场强度是一个既有大小又有方向的量。

电场强度的单位是牛顿/库仑。电场中的某一点,如果1库仑的电荷在该点受到电场力是1牛顿,这点的场强就是1牛顿/库仑(N/C)。

【例题1-2】有一点电荷 Q ,试求与此点电荷相距为 r 的任一点 P 处的电场强度。

解:设想在 P 点放一个检验电荷 q ,由式(1-1),可求得作用在 q 上的电场力为

$$F = k \frac{Qq}{r^2}$$

再由式(1-3)可求得 P 点场强的大小为

$$E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2} \quad (1-4)$$

式(1-4)称为点电荷的场强公式。场强 E 的方向在点电荷 Q 和 P 点的连线上,与力 F 的方向一致。如果点电荷 Q 为正,则 E 的方向是由电荷 Q 向左;如果点电荷 Q 为负,则 E 的方向相反,如图1-2所示。

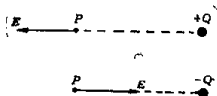


图1-2 静电场强的方向

如果电场是由两个或更多个点电荷 Q_1 、 Q_2 所产生,则某点处的总电场强度等于每个电荷单独产生的电场强度的矢量和。

在一般情况下,电场的分布是比较复杂的,为了形象地描述它,可以用假想的曲线——电力线来表示。电力线和电场强度之间的关系是:电力线上每一点的切线方向表示该点的场强方向;电力线的疏密程度,表示电场的强弱。场强大的地方电力线稠密,场强小的地方电力线稀疏。这样,根据电力线的形状和分布就可以知道电场中各处场强的大小和方向。

电力线具有如下性质:一是在静电场中电力线总是起始于正电荷,终止于负电荷,不闭合,不中断;二是电力线均不会相交,因为电场中每一点的场强方向只有一个。图1-3所示为几种常见的电场的电力线。

如果电场中各点电场强度的大小相等,方向相同,这样的电场叫做匀强电场。在匀强电场中电力线互相平行,而且电力线的密度也到处相同。图1-4是一对带等量异号电荷的平行板电

场的电力线。除两端外，平行板中间的电力线是互相平行的，而且电力线的分布是均匀的，所以带电平行板间的电场是匀强电场。

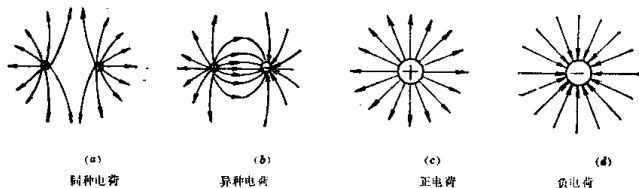


图1-3 几种电场的电力线

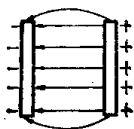


图1-4 带电平行板间电场

思考与练习

1. 两电荷之间没有相互接触，为什么会产生力的作用？
2. 电场力和电场强度有什么区别？
3. 电力线为什么不能互相交叉？
4. 有人说电力线就是带电粒子在电场中运动的轨迹，这个说法对吗？为什么？
5. 在场电荷附近的任意一点，如果没有把检验电荷放进去，这点的电场强度是否为零？
6. 如果以一点电荷为中心，以 r 为半径作一球面，问球面上各处的场强大小是否相同？方向如何？
7. 两个点电荷的电量分别为 $+Q$ 和 $-Q$ ，在真空中相距 l ，求与它们的距离都等于 l 的点的电场强度。
8. 电场中某点放一检验电荷 $q=0.05 \times 10^{-8} \text{C}$ ，它受到电场力为 $3 \times 10^{-4} \text{N}$ ，求该点的电场强度。如果这是真空中一个点电荷的电场，点电荷的电量 $Q=5 \times 10^{-8} \text{C}$ ，试问检验电荷离开 Q 多远？

§ 1-3 电压和电位

一、电压

我们知道，电荷在电场中，要受到电场力的作用而发生位移，这就是说电场对电荷做了功（正功）；反之，如果使电荷逆着它所受电场力的方向移动，就需要由外力克服电场力做功，也就是电场对电荷做了负功。为了表示电场做功本领的大小，我们引入“电压”这个物理量。

以匀强电场为例（见图1-5）， A 和 B 两点之间的距离为 L_{AB} ，电场力 F 把正电荷 $+q$ 由 A 点移到 B 点所做的功为

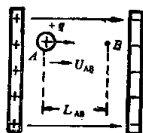


图1-5 匀强电场中电场力对电荷做功

$$W_{AB} = F \cdot L_{AB}$$

根据式 (1-3) $F = E \cdot q$

所以, 在电场力的作用下, 电场把电荷 q 从 A 点移到 B 点所做的功则为

$$W_{AB} = F \cdot L_{AB} = EqL_{AB} \quad (1-5)$$

式 (1-5) 表明, 在 L_{AB} 一定时, 如果被移动的电荷的电量增加一倍, 那么作用在电荷上的电场力也增加一倍, 电场力所做的功也就相应增加一倍。也就是说, 在一个已知的电场中, 电场力 F 所做的功 W_{AB} 与电荷量是成正比的。因此, 在这个电场中, 比值 W_{AB}/q 是一个恒定不变的量。当 A 点和 B 点的位置给定时, 这个比值只和电场本身的性质有关, 因此可以用这个比值来反映电场的性质, 通常把它叫做 A 点和 B 点之间的电压, 用符号 U_{AB} 来表示, 即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} = \frac{FL_{AB}}{q} \quad (1-6)$$

所以, 电场中 A 、 B 两点间电压的大小等于电场力把单位正电荷从 A 点移到 B 点时所做的功。

电压的正负, 决定于电场力做功的正负, 我们规定电场力移动正电荷所做的功为正, 则电场力做正功的方向为电压的正方向, 如 U_{AB} 是正值, 就表示正电荷由 A 移到 B 时, 是电场力做功; 如果 U_{AB} 是负值, 就表示正电荷由 A 移到 B 时是外力做功。因此,

$$U_{AB} = -U_{BA}$$

必须注意, 这里规定的电压正方向, 只是为了说明电压是正或是负的意义, 是为了研究问题方便的习惯说法, 但电压不是向量。

在国际单位制中, 电压的单位是伏特, 简称伏, 用符号 V 表示。当 1 库仑的电荷, 从电场中某点移动到另一点, 电场力所做的功为 1 焦耳 (J) 时, 这两点间的电压就是 1 伏特。

$$1V = 1J/C$$

为了适应不同情况的需要, 有时可用千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 作为电压的单位。它们之间的关系是:

$$1kV = 1000V, 1V = 1000mV = 10^6\mu V$$

由式 (1-6) 可得:

$$U_{AB} = \frac{FL_{AB}}{q} = \frac{E \cdot qL_{AB}}{q} = EL_{AB} \quad (1-7)$$

式 (1-7) 表明, 在均匀电场中, 两点间的电压在数值上等于电场强度和两点在场强方向的距离的乘积。因此可以看出, 电场强度与电压有着密切的关系。电场强度的另一个单位是伏特/米 (V/m)。这个单位与前面给出的场强单位 N/C 是等值的。

〔例题 1-3〕 设正点电荷的电量为 $0.002C$, 把它从电场中的 A 点移动到 B 点时, 电场力所做的功为 $0.05J$, 试求 A 、 B 两点间的电压。如果点电荷的电量为 $0.08C$, 电场力把它由 A 点移到 B 点所做的功是多少?

解: 由公式 (1-5) 可求出 A 、 B 两点间电压为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} = \frac{0.05}{0.002} = 25(V)$$

当把电量为 $0.08C$ 的点电荷由 A 移到 B , 电场力做功为

$$W_{AB} = qU_{AB} = 0.08 \times 25 = 2(\text{J})$$

【例题1-4】设匀强电场的场强是150V/m，在场强方向上依次排列的A、B、C三点，A、B的距离是4cm，B、C的距离是6cm，求电压 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{AC} 。

解：由式(1-7)，可得

$$U_{AB} = E \cdot L_{AB} = 150 \times 0.04 = 6(\text{V})$$

$$U_{BC} = E \cdot L_{BC} = 150 \times 0.06 = 9(\text{V})$$

$$U_{AC} = E \cdot L_{AC} = 150 \times (0.04 + 0.06) = 15(\text{V})$$

二、电位

在电路(或电场)中电位和电压是密切联系的。在分析电路时，经常要用到电位的概念。

电路中每一点都有一定的电位，就好比空间的每一点都有一定的高度一样。讲高度先要选择一个起点位置作为参考点(一般选择海平面)，并把这个起点的高度定为零，然后才能确定某处高度的数值。与此类似，讲电位也要选择一个点作为参考点，这个点的电位也定为“零电位”，而且把任意点a与参考点o间的电压 U_{ao} 。(就是电场力把单位正电荷从一点a移到参考点o所作的功)，称为a点的电位 V_a ，即

$$V_a = U_{ao}$$

选择什么点作为零电位点是任意的，这要看分析计算问题的方便而定。例如在电子线路中常常选择各有关部分的公共点作为参考点；在对电场作理论分析时常选择无穷远作为参考点；在实际工作中则常以大地作为参考点。若把电器设备的外壳“接地”，那么外壳的电位也就为零。

选择不同的点作为电位参考点时，电场中某点电位的数值是不同的，但电位参考点(零电位点)一经选定后，电路中某点的电位只能有一个确定的数值，这种情况就好像在选定零高度点之后，某处的高度也只有一个确定的数值一样。所以，电场中某点电位的数值是相对于电位参考点(零电位点)来说，比它高的为正，比它低的为负，正值愈大，电位越高，负值越大，电位越低。不选定参考点，讨论电位就没有意义，也不能确定电位。

现在来讨论电场中a、b两点电位 V_a 、 V_b 和两点间电压 U_{ab} 的关系。因为

$$V_a = U_{ao}, \quad V_b = U_{bo}$$

而

$$V_a - V_b = U_{ao} - U_{bo} = U_{ao} + U_{ba}$$

这个 $U_{ao} + U_{ba}$ 就是电场将单位正电荷从a点经过电位参考点o移到b点所做的功。可以证明：在恒定电场中，任意两点间的电压只和这两个点(起点和终点)的位置有关，而和电荷移动的路径无关。所以 $U_{ao} + U_{ba}$ 便是 U_{ab} 。这样一来，我们可以写出

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-8)$$

这就是说，电场中a点到b点间的电压等于a、b两点电位的差。所以电压又叫电位差。

由式(1-8)，如果 $V_a > V_b$ ，则 $U_{ab} > 0$ ；如果 $V_a < V_b$ ，则 $U_{ab} < 0$ 。所以，电压的方向是从高电位点指向低电位点，即电压的方向是电位降低的方向。电压也叫电位降(俗称电压降)。正电荷沿电位降低的路径移动时是电场力做功，而沿电位升高的路径移动时则是外力做功。

电位相等的两点叫做等电位点，等电位点间的电压等于零。

电位和电压是不同的一个概念。电位是相对的，某点电位的大小与零电位点的选择有关，

不管零电位点如何选择,电压总是两点间的电位之差。这种情形类似于高度与起点位置有关,而高度差与起点位置是无关的。因零电位点选择的不同,电路中某点电位还可能是正电位或是负电位。

电位和电压的单位是相同的,都是伏、毫伏、微伏。

思考与练习

1. 电压与电位有什么不同?
2. 电路中某两点的电位很高,那么这两点间的电压也就很高,这句话对吗?如果某两点电位差为零,则这两点的电位均为零,对吗?
3. 把带电体从电位为300V的A点移到电位为100V的B点,电场力做了 3×10^{-6} J的负功。带电体带何种电荷?电量是多少?
4. 电场中A、B两点的电位分别为 $V_A = 800$ V和 $V_B = -200$ V,把电荷 $q = -1.5 \times 10^{-8}$ C从A点移到B点,电场力做了多少功?是正功还是负功?
5. 在电场中把电荷 $q = 2 \times 10^{-8}$ C从A点移到B点,电场力做了 1.5×10^{-7} J的正功,再把q从B点移到C点,电场力做了 4×10^{-7} J的负功,求A、B间、B、C间和A、C间的电压。
6. (1)将6C的正电荷从电场中a点移到b点,电场力做功为-30J(负功),试求 U_{ab} ; (2)将1.2C的正电荷从电场中a点移到b点,已知 $U_{ab} = -220$ V,试问电场力做多少功?

§ 1-4 静电平衡和静电屏蔽

把一个本来对外不显电性的金属导体,放进电场中将会出现什么现象?导体中的自由电子由于受到电场力 $F = -eE$ 的作用,将向电场的反方向作定向移动,使导体的两端分别出现正、负电荷。这种由于外电场的影响,使导体中的电荷重新分布的现象叫做静电感应。如图1-6所示。导体上因静电感应而出现的电荷叫做感应电荷。

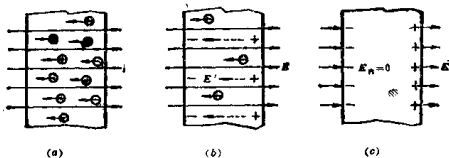


图1-6 电场中的导体

由于静电感应而在导体两端出现的正、负电荷的电量是相等的。这是因为自由电子定向移动到一端时,另一端便剩有带电量跟电子相等的正电荷。

把导体放进场强为 E 的电场中时,由于静电感应出现的感应电荷产生一个附加电场 E' (见图1-6(b)), E' 与 E 的方向相反,使导体内的合成电场逐渐减弱,随着感应电荷逐渐地聚集,由感应电荷所产生的附加电场 E' 就逐渐增强,最后达到与外电场 E 完全抵消,使导体内部的场强 $E_{内} = 0$ 。这时,导体内的自由电子受到的电场力也为零,自由电子的定向运动就停止(见图1-6(c))。导体中(包括表面)没有电荷作定向运动的状态叫做静电平衡状态。所以,处于静电平衡状态的

导体，内部的场强必定处处为零，外电场的电力线在导体表面垂直终止而不能穿透到导体的内部。因此，可以设想，把实心导体挖成一个空心导体（空腔导体），放入电场中并达到静电平衡时，不论外电场如何，空腔导体内部的场强都为零，电力线不进入空腔内，因而导体壳可以把外电场遮住（屏蔽），使放入空腔内部的物体不会受到外界电场的干扰，从而起到“保护”作用，这就是静电屏蔽，如图1-7所示。

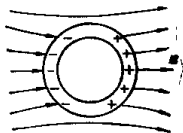


图1-7 空腔导体在静电场中

下面通过一个实验来说明静电屏蔽。如图1-8所示。把

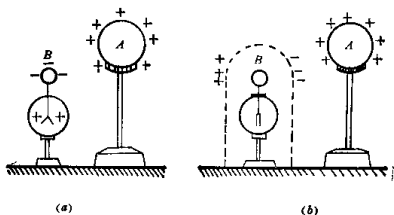


图1-8 静电屏蔽实验

带正电荷的金属球A靠近验电器B，由于静电感应，验电器的箔片带上正电，相互排斥后而张开一定的角度，这说明了验电器B受到了金属球A的影响。如果用金属网罩先把验电器B罩起来，再让带电的金属球A靠近验电器B，箔片就不张开。这时，即使用导线把验电器B与金属网罩连接起来，它的箔片也不会张开。可见，金属网罩（或金属皮）能把外电场遮住，使内部不受外电场的影响，起到屏蔽的作用。

如果要使一个带电体不影响外界，则可以把这个带电体放在空腔导体壳内，但这时必须将空腔导体壳接地。图1-9(a)是空腔导体不接地的情形。在空腔导体内部放一带正电体，根据静电感应原理，空腔导体的内表面将感应出负电荷，而外表面则感应出正电荷，电场仍然分布到外面去，对外部空间仍然有影响。图1-9(b)是空腔导体外壳接地的情形，这时由于外壳接地，外表面的电荷消失，电场只局限在接地的空腔导体的内部，即使电场发生变化也不会干扰外界。这样才是正确的屏蔽方法。由此可见，一个接地的空腔导体可以隔离内外静电场的影响，这就是静电屏蔽的原理。

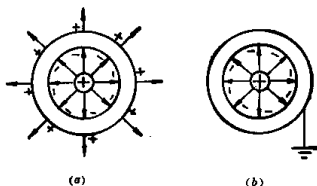


图1-9 带电体在空腔导体内

静电屏蔽的应用很广，在电子技术中，为免除外界电场的影响，有些电子管或晶体管采用金属壳代替玻璃壳；一些精密电子仪器往往放在金属盒里；传送弱讯号时，采用金属网套着的屏蔽线（隔离线）等，都是利用这个原理来达到静电屏蔽的目的。在超高压带电作业时，操作

者所穿的“均压服”料就是用掺着铜丝的纱织成的，这样可以把人体屏蔽起来，以免受到超高压电场的影响和伤害。

思考与练习

1. 什么叫做静电感应？什么叫做静电屏蔽？
2. 利用静电感应可以使原来不带电的导体带电，这叫做感应带电。试问感应带电的具体方法如何？
3. 活筒连钱为什么要用金属隔离线？
4. 为什么在高压设备周围要装上接地的金属网？
5. 屋内有高压设备时，为什么对近处的仪器装配和调整都有影响？怎样避免？
6. 三个绝缘导体，一个带正电，两个不带电，(1)怎样才能使两个原来不带电的导体也都带上正电荷？(2)怎样才能使它们两个都带上负电荷？(3)怎样才能使它们分别带上等量的异种电荷？

§ 1-5 电流和电流强度

一、电流

物体中的电子、质子都是在不断运动着的（热运动）。如果在电场（电压）的作用下，则这些带电粒子除作不规则的热运动外，还要作定向的运动。带电粒子（电荷）的定向运动叫做电流。一般地说，要产生电流，必须同时具备两个条件：1. 要有可作定向移动的带电粒子，这是形成电流的内因；2. 要有能使带电粒子作定向移动的电场（电压），这是形成电流的外因。在外电场作用下，金属导体中的电流是自由电子定向移动而形成的，如图 1-10 所示；电解液或电离后气体的导电，则是由于电解液或电离后气体的正、负离子在电场力作用下相向运动而形成的。

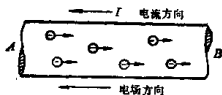


图 1-10 金属导体中的电流

既然电流是带电粒子（电荷）的定向移动形成的，所以它有一定的方向。习惯上人们规定正电荷定向运动的方向为电流的方向。这个规定与自由电子（负电荷）的实际移动方向正好相反。不过，这对今后所讨论的问题并无影响。

二、电流强度

电流有强有弱。在相等的时间里，通过导体横截面的电荷越多，导体中的电流越强；通过的电荷越少，电流就越弱。用来衡量电流大小或强弱的物理量，叫做电流强度，简称电流，用字母 I 表示。电流强度在数值上等于单位时间内通过某一导体截面的电量。如果在一段时间 t 内，流过导体任一横截面的电量为 q ，则电流强度为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-9)$$

在国际单位制中，电量的单位用库仑；时间的单位用秒（s），那么电流强度的单位为安

培，用字母A表示。如果在1秒内通过导体横截面的电量为1库仑，那么电流强度就是1安培。

$$1\text{A} = 1\text{C/s}$$

在电子技术中，常常采用电流的较小单位毫安（mA）、微安（ μA ）。它们的关系如下，

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

按大小和方向随时间的变化规律，可将电流分为直流电流、脉动电流和交变电流。

大小和方向都不随时间变化的电流叫做直流电流。如图1-11(a)所示，用字母*I*表示。

大小随时间变化，而方向不随时间变化的电流叫做脉动电流。如图1-11(b)所示，用字母*i*表示。

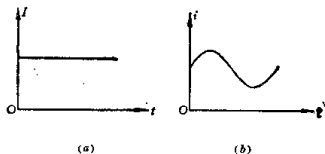


图1-11 两种电流的图象

【例题1-5】导线中的电流强度为0.5A，问在多少时间内通过导线横截面的电量为60C？

解：
$$t = \frac{q}{I} = \frac{60}{0.5} = 120 \text{ (s)}$$

思考与练习

1. 电流的方向是怎样规定的？电子的运动方向是不是电流的方向？
2. 电流的大小用什么来衡量？
3. 酸、碱、盐电解质中没有自由电子，为什么能导电？
4. 按大小和方向随时间的变化规律，可将电流分为几种？分别是什么？
5. 导线中的电流强度为10A，求在20s的时间内有多少电子通过导线的横截面？
6. 在1分钟内通过某电炉丝的电量是300C，求电炉丝中的电流强度是多少安培？多少毫安？多少微安？

§ 1-6 电源和电动势

一、电源

当电流通过用电器（电灯、电炉、电动机等）时，用电器把电能转换成所需要的其它形式的能。为了能够向用电器连续不断提供电能，需要一种可以把其它形式的能转换成电能的装置，这种装置叫做电源。电源的种类很多，常用的有电池（干电池、蓄电池）和发电机两种。电池是把化学能转换成电能的装置（化学电源），而发电机则是把机械能转换成电能的装置。所以，电源实质上是一个能量转换装置，即电源就是能把其它形式的能转换成电能的装置。电源有正、负两个极，正极的电位高，负极的电位低，两极间有一定的电压。把负载的两端分别跟电源的正负极连接，负载中就有了电流。

二、电源的电动势

前面说到，导体中产生电流的必要条件是：在导体中存在着电压。所以要使电路中有持续

不断的电流，就必须保持电路中有一定的电压。在如图1-12(a)所示的灯泡中，要想有电 流 通 过，就必须在A、B两点间保持一定的电压（电位差），这正与图1-12(b)所示水流 的 情形 相

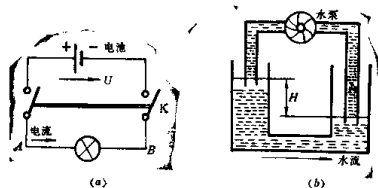


图1-12 电流和水流

似，要保持水流不断，必须维持水位差，而水泵就起着维持水位差的作用。在电路中，电源相当于电泵，它的作用就是产生和维持电位差。在图1-12(a)中，当一合上开关，灯泡中就会不断地有电流流通。那么电源为什么能起这一作用呢？这是因为在电源内部有一种能把正电荷从低电位搬到高电位的外力，这种外力叫做电源力或非静电力。非静电力能够不断地把被电场力移到负极的正电荷，经过电源内部重新搬到正极上去。电池里的非静电力是化学力，它来自于金属和溶液之间的化学反应；发电机里的非静电力是电磁力，是由于电磁感应产生的（有关磁场和电磁感应的内容将在第四、五章中讲述）。

图1-13(a)是一个电源示意图。A和B是电源的两个极，开始不带电。由于非静电力的作

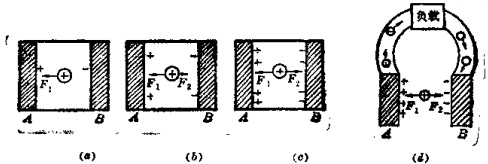


图1-13 电源示意图

用，使正电荷从B极向A极运动，结果A极端带正电，B极端带负电，从而在电源内部建立了一个静电场，它的方向从A极板到B极板。这样，在电源内部的正电荷，同时受到两种力的作用，一种是非静电力，用 F_1 表示；另一种是静电力，用 F_2 表示。在电源内部这两个力的方向是相反的，如图1-13(b)所示。开始时 $F_1 > F_2$ ，正电荷就不断从B极向A极运动，在两极上继续积累电荷，直到在电源内部这两种力大小相等而方向相反，达到平衡为止。这时，A极、B极的正负电荷不再增加，A极和B极间的电位差也达到一定数值，如图1-13(c)所示。

当用金属线把负载和A极、B极的两端连接起来，形成外电路，如图1-13(d)所示，那么A极、B极两端的正负电荷在外电路中也产生电场，方向从A极板经外电路到B极板，正电荷在这个电场力作用下，从A极板流向B极板形成电流，结果两极上的电荷将减少，电源内部正电荷所受的静电力就变小，使得 $F_2 < F_1$ ，破坏了电源内部的平衡。于是正电荷在非静电力的作用下，在电源内部从B极板向A极板移动，以维持一定的电位差，使整个电路源源不断地有电流流