

电子图书



信息技术的结晶

人类文明的载体

网络的基本资源

电磁学

人类很早就认识了磁现象和电现象。我国在战国末期就发现了磁铁矿吸引铁的现象，在东汉初年就有带电的琥珀吸引轻小物体的文字记载。但是，人类对电磁现象的系统研究却是在欧洲文艺复兴之后逐渐开展起来的，到 19 世纪才建立了完整的电磁学理论。

电磁学及其应用对人类的影响十分巨大。在电磁学研究的基础上发展起来的电能的生产和利用，开辟了电气化的时代，是历史上的一次技术革命。在当前出现的新技术中，起带头作用的是在电磁学研究的基础上发展起来的微电子技术和电子计算机。它们被广泛应用于各种新技术领域，给人类的生产和生活带来了深刻的变化。

从这一章开始，我们学习电磁学知识。

第一章 电场

一、两种电荷 电荷守恒定律

两种电荷 在初中已经学过，用毛皮摩擦过的硬橡胶棒，用丝绸摩擦过的玻璃棒，能吸引轻小物体，它们都带上了电荷。玻璃棒上带的电荷叫正电荷，硬橡胶棒上带的电荷叫负电荷。自然界只存在两种电荷，而且同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。

如图 1-1 甲所示，让验电器带上适量正电荷，这时验电器的金属箔张开。如果用带正电的玻璃棒接触验电器的金属球，把正电荷传给验电器，金属箔张开的角度就变大(图 1-1 乙)；如果用带负电的硬橡胶棒接触验电器的金属球，把负电荷传给验电器，金属箔张开的角度就变小(图 1-1 丙)。可见，同种电荷放在一起互相增强，异种电荷放在一起互相减弱或抵消。等量的异种电荷完全互相抵消的现象叫做中和。通常，正电荷的电量用正数来表示，负电荷的电量用负数来表示。

静电感应 电荷守恒 在摩擦起电中，一个物体失去一些电子而带正电，同时另一个物体得到这些电子而带等

量的负电。摩擦起电并不是创造了电荷，只是电荷从一个物体转移到另一个物体。摩擦可以使物体带电，感应也可以使物体带电。

取一对用绝缘柱支持的金属导体 A 和 B，A 和 B 彼此接触。起初 A 和 B 上贴的金属箔是闭合的，表示它们没有带电。把另一个带正电的金属球 C 移近导体 A，这时 A、B 上的金属箔都张开了，表示它们都带了电(图 1-2 甲)。实验表明，靠近 C 的导体 A 带的电荷与 C 异号，远离 C 的导体 B 带的电荷与 C 同号。这种现象叫做静电感应。

静电感应也是使物体中的电荷分开。当我们把带正电的导体 C 移近导体时，导体里的自由电子被吸引过来，因此导体 A 和 B 分别带上异种电荷。如果先把 A 和 B 分开，然后移去 C，则发现 A 和 B 仍带有电荷(图 1-2 乙)。如果让 A 和 B 重新接触，则发生中和，A 和 B 呈现不带电的状态，说明 A 和 B 所带的异种电荷是等量的。静电感应也不是创造了电荷，只是电荷从物体的一部分转移到另一部分。

大量事实说明：电荷既不能创造，也不能被消灭，它们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。这个结论叫做电荷守恒定律。它是物理学中重要的基本定律之一。

二、库仑定律

电荷之间有相互作用，同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。电荷间作用力的大小跟什么有关系呢？

把一个带正电的物体放在 A 处，然后把一个挂在丝线下端的带正电的小球先后挂在 P_1 、 P_2 、 P_3 等位置(图 1-3)。带电小球受到电力的大小，可以通过丝线对竖直方向的偏角大小显示出来。偏角越大，表示小球受的电力越大。实验表明，带电小球在 P_1 、 P_2 、 P_3 各点受到的电力依次减小。可见电荷之间的作用力随着距离的增大而减小。

增大丝线下端带电小球的电量，在同一个位置，小球受到的电力也增大。可见电荷之间的作用力随着电量的增大而增大。

法国物理学家库仑(1736 ~ 1806)用实验研究了电荷间相互作用的电力，于 1785 年发现了后来用他的名字命名的定律。这个定律表述如下：

在真空中两个点电荷间相互作用的电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。电荷间这种相互作用的电力叫做静电力或库仑力。

点电荷是指这样一些电荷，其带电体间的距离比它们的大小大得多，以致带电体的形状和大小对相互作用力的影响可忽略不计，这样的带电体就可以看成点电荷。

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，库仑定律就可以写成下面的公式：

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

式中 k 是比例恒量，叫做静电力常量。

在国际单位制中，电量的单位是我们在初中学过的库仑，简称库，国际符号是 C。如果上面公式中的物理量都用国际单位制的单位，即力的单位用牛，距离的单位用米，电量的单位用库，由实验得出 $k = 9.0 \times 10^9$ 牛·米²/库²。

库仑定律不仅在真空中适用，在其他介质(如空气、油、玻璃等)中也同样适用，只是在不同的介质中 k 值不同。空气中的 k 值与真空中的 k 值相差不多，因此计算空气中的点电荷间的静电力时，一般可按在真空中处理。

库仑定律是电磁学的基本定律之一。库仑定律给出的虽然只是两个点电荷间的静电力，但是任意一个带电体都可以看成是由许多点电荷组成的，所以，如果知道电荷在带电体上的分布，就可以求出带电体间的静电力的大小和方向。

· 小实验 ·

自制验电器

如图 1-4 所示。将曲别针弯成图甲的形状。将锡箔(可用包香烟、糖果的锡纸)剪成图乙所示的两片，每片上端穿一小孔，准备一个玻璃瓶，用泡

沫塑料按瓶口的大小做一合适的瓶塞，将弯好的曲别针穿过瓶塞并把锡箔片挂在上面，如图丙所示。然后将瓶塞塞在瓶口上，如图丁所示。这样就做成一个简易的验电器。

你可以用这一验电器检验一下相互摩擦的物体是否带电，它们所带的电是同种的还是异种的。

做好的验电器要妥善保存，后面的小实验还要用到。

· 阅读 · 库仑扭秤实验

库仑是用图 1-5 所示的扭秤来做实验的。在细金属丝下面悬挂一根玻璃棒，棒的一端有一个金属小球 A，另一端有一个平衡小球 B。在离 A 球某一距离的地方放一个同样的金属小球 C。如果 A 球和 C 球带同种电荷，它们间的斥力将使玻璃棒转过一个角度。然后向相反方向扭转旋钮 M，使玻璃棒回到原来的位置并保持静止，这时金属丝的弹力产生的转动效果跟电荷间斥力产生的转动效果相抵消，从旋钮 M 转过的角度可以计算出电荷间作用力的大小。

库仑早就猜测电荷之间的作用力跟它们之间的距离的平方成反比。保持 A、C 两球电量不变，库仑利用扭秤测量了两个小球在不同距离下的静电力，发现这个力确实跟距离的平方成反比，从而证实了自己的猜测。

在库仑做扭秤实验的时候，还不知道怎么来测量电量，电量的单位也还没有确定。库仑用一个简单的办法巧妙地解决了这个困难。他为了改变带电小球的电量，将一个带电小球跟另一个同样的但不带电的金属小球相接触，由于两个小球完全相同，接触后它们带的电量一定相等，从而使带电小球的电量减小到原来的 $\frac{1}{2}$ （图 1-6）。再用同样的方法可以使带电小球的电量减小到原来的 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{8}$ 等等。库仑用这种方法来改变带电小球的电量，但保持两球之间的距离不变，利用扭秤测量了带电小球之间的作用力，发现作用力跟它们所带电量的乘积成正比。

练习一

(1)真空中有两个点电荷，它们间的静电力为 F。保持它们间的距离不变，把其中一个的电量增大为原来的 2 倍，它们间的静电力将等于

- A. F B. 2F
C. $\frac{F}{2}$ D. $\frac{F}{4}$

(2)真空中有两个点电荷，电量分别是 $+4.0 \times 10^{-9}$ 库和 -2.0×10^{-9} 库，相距 10 厘米。每个电荷受到的静电力有多大，是引力还是斥力？

(3)原子核的半径大约为 10^{-15} 米，假定核中两个质子相距这么远，其间的静电力大约有多大？质子所带的电量为 1.6×10^{-19} 库。

(4)真空中三个同种点电荷固定在一條直线上(图 1-7)，三个点电荷的电量均为 4.0×10^{-12} 库。求 Q_1 所受的静电力的大小和方向。

(5)两个相同的金属小球，一个带的电量为 $+4.0 \times 10^{-11}$ 库，另一个带

的电量为 -6.0×10^{-11} 库，求

a . 两球相距 50 厘米时静电力的大小。

b . 把两球接触后，再使它们相距 50 厘米时的静电力的大小(图 1-8)。

三、电场 电场强度

电场 电荷间的相互作用是怎样发生的呢？

经过长期的研究，人们认识到：电荷之间的相互作用是通过电场发生的。只要有电荷存在，电荷周围就存在着电场。电场的基本性质是它对放入其中的电荷有力的作用，这种力叫做电场力。两个电荷 A 和 B，电荷 B 对电荷 A 的作用，实际上是电荷 B 的电场对电荷 A 的作用；电荷 A 对电荷 B 的作用，实际上是电荷 A 的电场对电荷 B 的作用。

电场强度 把一电量为 q 的正电荷放在电量为 Q 的正电荷产生的电场中(图 1-9)，电荷 q 在电场中的不同点受到的电场力一般并不相同。电荷 q 在距 Q 近的 A 点受到的电场力大，表示这点的电场强；在距 Q 远的 B 点受到的电场力小，表示这点的电场弱。但是，我们不能直接用电场力的大小表示电场的强弱，因为不同的电荷 q 在电场的同一点受到的电场力 F 是不同的。不过，不同的电荷在电场中的同一点所受的电场力 F 却与电荷的电量 q 成正比，这样二者的比值就可以用来反映该点电场的强弱。比值大的点电场强，比值小的点电场弱。在物理学中，用比值 F/q ，也就是单位电荷受到的电场力的大小，来表示电场的强弱。

放入电场中某一点的电荷受到的电场力 F 跟它的电量 q 的比值叫做该点的电场强度，简称场强。用符号 E 表示电场强度，则有

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

由场强的定义可知，电场中某一点的电场强度在数值上等于单位电荷在那一点所受的电场力。如果事先知道电场中某一点的场强 E ，就可以求出任意电量 q 的电荷在该点所受的电场力 $F = qE$ 。

电场强度的单位是牛/库。如果 1 库的电荷在电场中的某一点受到的电场力是 1 牛，这一点的电场强度就是 1 牛/库。

电场强度跟力一样，也是矢量。正负电荷在电场中某点所受电场力的方向相反，我们规定电场中某点的场强方向跟正电荷在该点所受电场力的方向相同。

由电场强度的定义和库仑定律可以得出，在点电荷 Q 形成的电场中，距 Q 为 r 的 P 点场强 E 的大小为

$$E = \frac{kQ}{r^2} \quad (2)$$

如果 Q 是正电荷， E 的方向就是沿着 QP 连线并背离 Q ；如果 Q 是负电荷， E 的方向就是沿着 QP 连线并指向 Q (图 1-10)。

对于概念和规律的公式表达，应该注意公式的含义。

(1)式是电场强度的定义式，式中的 E 是某一电荷的分布在电场某点产生的场强，而不限于点电荷产生的电场。

(2)式是点电荷在真空中各点场强的计算式，式中的 E 表示点电荷 Q 产生的电场在距 Q 为 r 处的场强。

电场的叠加 如果有几个点电荷同时存在，它们的电场就互相叠加，

形成合电场。这时某点的场强等于各个点电荷在该点产生的场强的矢量和。例如图 1-11 中, P 点的图 1-11 场强 E 等于 Q_1 在该点产生的场强 E_1 和 Q_2 在该点产生的场强 E_2 的矢量和。

知道了点电荷的场强公式和场强的叠加性, 原则上可以求出任一已知电荷分布所形成的电场中任一点的场强。

电场线 如果能够用图形把电场中各点场强的大小和方向形象地表示出来, 这对我们认识电场是很有好处的。首先提出电场概念的英国物理学家法拉第(1791 ~ 1867)提出了用电场线表示电场的方法, 现在被普遍地采用。

在任何电场中, 每一点的场强 E 都有一定的方向, 我们可以在电场中画出一系列的从正电荷出发到负电荷终止的曲线, 使曲线上每一点的场强方向都在各该点的切线上, 这些曲线就叫做电场线。图 1-12 是一条电场线, 它上面的 A、B 点的场强 E_A 、 E_B 在各该点的切线上, 方向如图中箭头所示。

电场线的形状可以用实验来模拟, 把奎宁的针状结晶或头发屑悬浮在蓖麻油里, 放入电场中, 微屑按照场强的方向排列起来, 显示出电场线的分布情景。应该注意, 虽然我们可以用实验来模拟电场线, 但电场线并不是电场里实际存在的线, 而是使电场形象化而假想的线。



图 1-13 点电荷的电场线分布点电荷的电场线分布。从图中可以看出, 在离产生电场的电荷越近的地方, 场强越大, 电场线越密。所以, 用电场线不但可以形象地表示电场强度的方向, 而且在同一个电场线分布图上可以大致表示出场强的大小: 场强越大的地方电场线越密, 场强越小的地方电场线越稀。



在电场的某一区域里, 如果各点场强的大小和方向都相同, 这个区域的电场就叫做匀强电场。匀强电场是最简单的同时也是很重要的电场, 在实验研究中常要用到。两块靠近的平行金属板, 它们的大小相等, 互相正对, 且分别带等量的正负电荷, 它们间的电场, 除边缘附近外, 就是匀强电场。图 1-15 是匀强电场的电场线分布。

从所给几幅电场线分布图中可以看出, 电场线始于正电荷或无穷远处, 止于负电荷或无穷远处。

在图 1-13 到图 1-15 中, 所有的电场线都不相交。我们能否断言, 电场中任何两条电场线都不相交。为什么?

练习二

(1) 在电场中的某一点放入电量为 5.0×10^{-9} 库的点电荷, 它受到的电场力为 3.0×10^{-4} 牛, 求这一点的电场强度的大小

(2) 电场中某点的场强是 0.4×10^5 牛/库, 电量为 $+5 \times 10^{-8}$ 库的点电荷在该点受到的电场力是多大? 电场力的方向与场强的方向相同还是相反? 电量为 -5×10^{-8} 库的点电荷在该点受到的电场力是多大? 电场力的方

向是怎样的？

(3) 一点电荷 $q = 2 \times 10^{-8}$ 库，距此点电荷 30 厘米的一点的场强有多大？

(4) 在氢原子中，电子和质子的平均距离是 5.3×10^{-11} 米。质子在这个距离处产生的场强是多大？方向如何？电子受到的力是多大？方向如何？

■

图 1-15 匀强电的电场线分布。匀强电场各点场强的方向相同，电场线一定是平行的直线。匀强电场各点场强的大小相同，电场线的疏密程度应该各处相同。因此，匀强电场的电场线是距离相等的平行直线。

(5) 图 1-16 是某电场区域的电场线分布，A、B、C 是电场中的三点。

■

图 1-16

a. 哪一点的场强最大？哪一点的场强最小？

b. 画出各点场强的方向。

c. 把带负电的点电荷分别放在这三点，画出点电荷在各点所受电场力的方向。

(6) 有位同学认为，电场线一定是带电粒子在电场中运动的轨迹。这种认识对不对？为什么？举例具体说明。

(7) 如图 1-17 所示，有两个固定的点电荷， $Q_1 = +4 \times 10^{-8}$ 库， $Q_2 = +8 \times 10^{-8}$ 库，求它们连线上 P 点的场强的大小和方向。

■

图 1-17

(8) 物理学上常把重力作用的空间叫做重力场。如果把单位质量的物体受到的重力叫做重力场强度，试写出重力场强度的定义式。如果重力场强度的方向定义为与物体所受重力的方向相同，那么从重力场强度的方向来看，重力场是跟正电荷形成的电场相似，还是跟负电荷形成的电场相似？

四、电场中的导体

静电平衡状态 把一个不带电的金属导体 ABCD 放到场强为 E_0 的电场中，导体内部的自由电子受到电场力的作用，将向电场的反方向做定向移动(图 1-18 甲)。这样，在金属的 AB 面上将出现负电荷，在 CD 面上将出现正电荷。这种导体里的自由电荷由于受到外电场的作用而重新分布的现象，就是前面讲过的静电感应。导体两端出现的正负电荷在导体内部形成反方向的电场 E' ，它的电力线用虚线表示(图 1-18 乙)。这个电场与外电场叠加，使导体内部的场强减小。但是，只要导体内部的场强不等于零，自由电子就继续移动，两端的正负电荷就继续增加，导体内部的电场就进一步削弱，直到导体内部各点的场强都等于零时为止。这时自由电子的定向移动停止(图 1-18 丙)。

图 1-18

导体中(包括表面)没有电荷定向移动的状态叫做静电平衡状态。处于静电平衡状态的导体，内部的场强处处为零。

静电平衡下的导体有一个很重要的特性，即导体内部没有净电荷。这是因为，假如在导体内部某处有净电荷，它附近的场强就不可能为零。所以，处于静电平衡状态的带电导体，电荷只分布在导体的外表面上，导体内部没有净电荷。这一点可以用下述的法拉第圆筒实验来验证。

如图 1-19 所示，取两个验电器 A 和 B，在 B 上装一个几乎封闭的空心金属圆筒 C(叫做法拉第圆筒)。使 B 和 C 带电，B 的箔片张开。用有绝缘柄的金属小球 d 先跟 C 的外部接触，再把 d 移到 A 并跟 A 的金属球接触(图 1-19 甲)。经过若干次以后，可以看到 A 的箔片张开，同时 B 的箔片张开的角度减小。这表明小球 d 把 C 的一部分电荷搬运给了 A。可见法拉第圆筒的表面是带有电荷的。如果小球 d 不接触 C 的表面，而接触 C 的内部，重做上述实验(图 1-19 乙)，不论重复多少次，A 的箔片都不张开，B 的箔片张开的角度也不减小。这表明小球 d 并没有把 C 的电荷搬运给 A，可见法拉第圆筒的内部不带电。

静电屏蔽 静电平衡时导体内部的场强为零这一现象，在技术上可用来实现静电屏蔽。

如图 1-20 甲所示，使带正电的金属球靠近验电器，由于静电感应，验电器的箔片张开，这表示验电器受到了附近的带电体的影响。如果事先用一个金属网罩把验电器罩住(图 1-20 乙)，再让带电金属球靠近，验电器的箔片就不张开了。即使用导线把验电器和金属网罩连接上，箔片也不张开。可见，金属网罩(或金属包皮)能把外电场遮住，使内部不受外电场的影响，这就是静电屏蔽。有的电学仪器和电子设备的外面套有金属罩，通讯电缆的外面包一层铅皮，都是用来防止外界电场的干扰，起屏蔽作用的。

图 1-20

思考与讨论

长为 l 的导体棒原来不带电，现将一电量为 q 的点电荷放在距棒左端

R 处，如图 1-21 所示。当达到静电平衡后，棒上感应的电荷在棒内中点 O 处产生的场强有多大？方向如何？



图 1-21

· 小实验 ·

摩擦起电产生等量异种电荷

将金属容器放在泡沫塑料上，用导线把金属容器与自制的验电器相接(图 1-22 甲)。用橡皮筋把锦纶布和泡沫塑料分别套在两把有机玻璃尺上(图 1-22 乙)。



图 1-22

用手握住尺，使尺上的锦纶和泡沫塑料互相摩擦而带电。把带电的锦纶放入容器中(不要与器壁接触，下同)，可以看到验电器的锡箔片张开一定的角度。把带电的锦纶拿出，把带电的泡沫塑料放入容器中，可以看到同样的现象。把两块带电的锦纶和泡沫塑料同时放入容器中(它们互相不接触)，锡箔片将不再张开，说明摩擦起电产生等量异种电荷。

五、电势和电势差

前面我们从电荷在电场中受到力的作用出发，研究了电场的性质。下面我们从电场力做功和能量的角度来研究电场的性质。

电势差 设电荷 q 在某一电场中由一点 A 移到另一点 B 时，电场力所做的功为 W_{AB} 。在一般的电场中，由于电场强度 E 处处不同，电荷 q 在移动中所受的电场力 $F = qE$ 也处处不同。但是，电场力 F 处处与 q 成正比，因而 W_{AB} 与 q 成正比。不论电量 q 是多少，比值 W_{AB}/q 都相同，是一个跟电量 q 无关的量。与重力做功的情况类似，可以证明电场力所做的功跟电荷移动的路径无关(图 1-23)。这就是说，比值 W_{AB}/q 只跟 A 、 B 两点的位置有关。

■

图 1-23

电荷在电场中由一点 A 移动到另一点 B 时，电场力所做的功 W_{AB} 与电荷电量 q 的比值 W_{AB}/q ，叫做 A 、 B 两点间的电势差。用 U_{AB} 表示电势差，则有

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

如果取 q 为单位正电荷，上式中 U_{AB} 在数值上等于 W_{AB} 。可见， A 、 B 两点间的电势差 U_{AB} 在数值上等于单位正电荷由 A 点移动到 B 点时电场力所做的功 W_{AB} 。

在国际单位制中，电势差的单位是伏特，简称伏，国际符号是 V 。如果 1 库的正电荷在电场中由一点移到另一点，电场力所做的功为 1 焦，这两点间的电势差就是 1 伏。即，1 伏 = 1 焦 / 库。

在图 1-24 所示的电场中，单位正电荷由 A 点移到 B 点，电场力做正功还是做负功？设单位正电荷由 A 点移到 B 点电场力所做的功 $W_{AB} = 0.2$ 焦， A 、 B 两点间的电势差 U_{AB} 等于多少伏？单位正电荷由 B 点移到 A 点电场力所做的功 W_{BA} 是多少焦？ B 、 A 两点间的电势差 U_{BA} 等于多少伏？

■

图 1-24

注意：电场力所做的功可以是正值，也可以是负值。因此，两点间的电势差可以是正值，也可以是负值。

电势 我们通常说室内吊灯的高度为 2 米，是选择室内地面作为参考平面，取参考平面的高度为零，把室内吊灯与室内地面的高度差作为吊灯的高度。类似地，如果在电场中选择某一参考点，也可以由电势差定义电场中各点的电势。

如图 1-25 所示 选择电场中的 O 点作为参考点 取参考点的电势为零。设 A 、 O 两点的电势差为 U_{AO} ，我们定义 A 点的电势 U_A 为

$$U_A = U_{AO} \quad (2)$$

■

图 1-25

这就是说，电场中某点的电势在数值上等于单位正电荷由该点移至参考点(零电势点)时电场力所做的功。电势的单位与电势差的单位相同，也是伏特。例如在图 1-26 中单位正电荷由 A 点移至参考点 O 时电场力所做的功为 5 焦，则 A 点的电势 $U_A = 5$ 伏，A 点的电势高于 O 点的电势。单位正电荷由 B 点移至参考点 O 时电场力所做的功为—3 焦，则 B 点的电势 $U_B = -3$ 伏，B 点的电势低于 O 点的电势。

单位正电荷由图 1-26 中的 A 点移至 B 点时电场力所做的功 W_{AB} 是多少焦？A、B 两点的电势差 U_{AB} 是多少伏？

有了电势的概念，就可以由电势的差值表示电势差。在图 1-26 中，单位正电荷由 A 点经 O 点移至 B 点电场力所做的功 $W_{AB} = W_{AO} + W_{BO}$ ，而 $W_{BO} = -W_{OB}$ ，所以 $W_{AB} = W_{AO} - W_{BO}$ 。由此可得

$$U_{AB} = U_{AO} - U_{BO} = U_A - U_B \quad (3)$$

零电势的选取是任意的，原则是便于研究问题。在实际应用中，通常取大地的电势为零。

电场中某点电势的大小与零电势点的选取有关，但两点间的电势差却与零电势点的选取无关。这就像物体的高度差与零高度位置的选取无关一样(图 1-27)。所以实际中人们更关心的是电势差。

■

图 1-27

有时人们只关心两点间电势差的大小，不区别 U_{AB} 和 U_{BA} ，这时电势差取正值， U_{AB} 或 U_{BA} 都简写成 U 。电势差也叫电压。在电路中提到两点间的电压，通常就是这样处理的。

在电场中，我们可以根据电场线的方向判断电势的高低。沿着电场线的方向将单位正电荷由 A 点移至 B 点，电场力做正功， $U_{AB} > 0$ ，由(3)式可知 $U_A > U_B$ 。这就是说，沿着电场线的方向，电势越来越低。

在图 1-26 中，如果取 A 点为电势参考点，A、B、O 三点的电势各是多少伏？A、B 两点间的电势差 U_{AB} 是多少伏？如果取 B 点为电势参考点，A、B、O 三点的电势各是多少伏？A、B 两点间的电势差 U_{AB} 是多少伏？

电场力做功和电势能 地球上的物体具有重力势能。物体在重力的作用下，从一点移动到另一点时，重力对物体做功，物体的重力势能发生改变。重力对物体做了多少功，物体的重力势能就改变多少。与此相似，电场中的电荷也具有势能，叫做电势能，通常简称为电能。电荷在电场力的作用下，从一点移动到另一点时，电场力对电荷做功，电荷的电势能发生改变。电场力对电荷做了多少功，电荷的电势能就改变多少。

设电场中 A 点的电势为 U_A ，B 点的电势为 U_B ，A、B 两点间的电势差为 U_{AB} 。由(1)式和(3)式可知，电荷 q 由 A 点移至 B 点时电场力所做的功为

$$W_{AB} = qU_{AB} = q(U_A - U_B) \quad (4)$$

上式中的 qU_A 和 qU_B 分别表示电荷 q 在 A 点和 B 点的电势能。式中各量

都有正负，算出的 W_{AB} 为正值时，表示电场力做正功，电势能减少；算出的 W_{AB} 为负值时，表示电场力做负功，电势能增加。设 A 点的电势 U_A 高于 B 点的电势 U_B ，A、B 两点间的电势差 $U_{AB}=5$ 伏， $q=0.2$ 库，则此正电荷由 A 移至 B 时电场力所做功为 $W_{AB}=qU_{AB}=1$ 焦，电荷的电势能减少 1 焦。

上式中的 W_{AB} 、 q 和 U_{AB} 有时取绝对值，上式简写成

$$W=qU. \quad (4')$$

至于功 W 的正负可由电荷所受电场力的方向和移动方向来判断。

就功和能之间的关系来讲，重力做功与重力势能改变的关系，电场力做功与电势能改变的关系，二者完全相似。但电荷有正负，要注意二者的不同。负电荷由高电势的 A 点移至低电势的 B 点时，电势能是增加还是减少？

练习三

(1) 一电量为 $+2.0 \times 10^{-9}$ 库的电荷，在某电场中从 A 点移动到 B 点，电场力做的功为 4.0×10^{-7} 焦。A、B 两点间的电势差 U_{AB} 为多少伏？

(2) 电场某部分的电力线分布如图 1-28 所示。试判断 A、B 两点的场强哪一点强？电势哪一点高？

■

图 1-28

(3) 在图 1-29 所示的匀强电场中，如果 A 板是接地的，M、N 两点哪点电势高？电势是正值还是负值？如果 B 板是接地的，结果又怎样？取大地的电势为零，与大地相连的导体的电势也为零。

■

图 1-29

(4) 在如图 1-30 所示的电场中，已知 A、B 两点间的电势差 $U=10$ 伏，一电量 $q=+4.0 \times 10^{-9}$ 库的电荷从 A 点移动到 B 点，电场力做的功为多少？正功还是负功？电势能改变了多少？是增加还是减少？

■

图 1-30

(5) 电场中 M、N 两点的电势 $U_M=800$ 伏、 $U_N=-200$ 伏，把电量是 1.5×10^{-8} 库的负电荷从 M 点移到 N 点，电场力做了多少功？做正功还是负功？电势能改变了多少？是增加还是减少？

(6) 在研究原子、原子核等微观世界时，常用电子伏特(简称电子伏，国际符号为 eV)作能量的单位。在电压为 1 伏的两点间移动电子时电场力所做的功，等于 1 电子伏。已知电子电量 $e=1.6 \times 10^{-19}$ 库，试证明：

$$1 \text{ 电子伏} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ 焦}$$

(7) 一个初速度为零的正电荷放在电场中，只在电场力作用下，它向电势高的地方还是向电势低的地方运动？一个初速度为零的电子放在电场中，它向电势高的地方还是向电势低的地方运动？说明理由。

(8) 一个原来静止的电子，在电场力作用下从电场中的 A 点被加速移到 B 点。A、B 两点间的电势差 $U=2000$ 伏。电场力所做的功是多少电子伏？电

势能的变化是多少电子伏？设电子是在真空中移动的，电子在 B 点获得的动能是多少电子伏？

六、等势面

在地图上常用等高线来表示地形的高低，与此相似，在电场中常用等势面来表示电势的高低。电场中电势相同的各点构成的面叫做等势面。

在同一等势面上任何两点间的电势差为零，所以在同一等势面上移动电荷时电场力不做功。

等势面一定跟电力线垂直，即跟场强的方向垂直。假如不是这样，场强就有一个沿着等势面的分量，在等势面上移动电荷时电场力就要做功，而这是不可能的。

沿着电场线的方向电势越来越低，所以电场线不但跟等势面垂直，而且总是由电势高的等势面指向电势低的等势面。

图 1-31 至图 1-34 是几种常见的电场中的等势面(图中用实线表示等势面，虚线表示电场线)。图中任何两个相邻的等势面间的电势差都相等。

■

处于静电平衡状态的导体，内部的场强为零，在任意两点间移动电荷都不做功，所以任意两点间的电势差为零，整个导体是个等势体，导体表面是个等势面。图 1-35 给出的是不规则形状的带电导体周围的电场线和等势面的分布情况(实线为等势面，虚线为电场线)。

■

地球是个大导体，在静电平衡状态的地球以及跟它相连的导体都是等势体。实际中常取地球或跟地球相连的导体作为参考位置，认为它们的电势为零。

实际中测量电势比较容易，所以常用等势面来研究电场。先测绘出等势面的形状和分布，再根据电场线和等势面处处垂直这一特点，绘出电场线的形状和分布，就可以知道整个电场的分布。设计许多电子仪器(如电子显微镜、示波管等)中的电极的形状、大小及相互位置时，都需事先经过实验，测绘出等势面的形状和分布，推知带电电极所产生的电场的分布，以便找出符合实际要求的设计方案。

思考与讨论

在图 1-35 中，离导体表面越近，等势面的形状与导体表面的形状越相似。离导体表面越远，等势面的形状会怎样？你能否推断：离导体表面越远，等势面越接近球面。你推断的依据是什么？

■

如图 1-36 所示，K 为平板电极，G 为中央带圆孔的另一平行金属板。现分别将它们的电势控制在一定数值(图中 K 板的电势为 120 伏，G 板的电势为 30 伏)。根据由实验测得的数据，图中画出了一些等势面。圆孔附近的等势面不再是平面，而向圆孔的右侧凸出来，圆孔附近的电场不再是匀强电场。你能大致画出电场线的分布吗？

■

图 1-36

现在设想由电极 K 水平向右发射出一束电子，这束电子经过圆孔射出时将怎样运动？我们来看电子运动到 A 点或 B 点时的受力情况。A 点或 B 点场强 E 的方向如图 1-37 中所示。E 可以分解为水平分量 E_x 和竖直分量

E_y 。电子在水平方向所受的电场力 F_x 与 E_x 方向相反，在水平方向做减速运动。电子在竖直方向所受的电场力 F_y 与 E_y 的方向相反，在 A 点或 B 点都受到指向中心轴的横向力。电子束在横向力作用下向着中心轴会聚，并可以聚焦在中心轴上的一点 F。

■

图 1-37

带圆孔的金属板 G 对电子束的作用，就像凸透镜对光束的作用一样，可以把电子束聚焦，通常叫做静电透镜。静电透镜不限于这里介绍的带孔的金属板，实际中可以有各种各样的结构，它们都是通过控制电场来实现聚焦的目的。静电透镜应用于示波管、电视显像管、电子显微镜等电子仪器中。

练习四

(1) 某电场的等势面如图 1-38 所示，试粗略地画出电场线的大致分布。

■

图 1-38

(2) 把同一正电荷从图 1-31 的 A 点移到 C 点，跟从 B 点移到 C 点比较，电场力做的功是否相等？说明理由。

■

(3) 电场中两个电势不同的等势面能不能相交？为什么？