

同学们好！今天我们来学习静电场的第六讲静电场的环路定理和电势

在前几讲中，我们从电荷在电场中受到电场力这一事实出发，研究了静电场的性质，并引入电场强度 E 作为描述电场特性的物理量。而高斯定理是从场强 E 的角度反映了通过闭合曲面的电通量与该面内电荷量的关系，揭示了静电场是一个有源场的基本特性。

既然电荷在电场中要受到电场力的作用，那么电荷在电场中移动时，电场力一定要对电荷做功。在这一讲中，我们将从电场力做功的特点入手，导出反映静电场另一特性的环路定理，从而揭示静电场是一个保守力场。

如图设有一点电荷 q 固定在 O 点处，并在点电荷 q 的电场中，将试探电荷 q_0 从 P 点经过任意路径移动到 Q 点，在路径中任取一位移元 $d\vec{l}$ ，可知在 $d\vec{l}$ 这段路径中，电场力对 q_0 所作的元功为：

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{l} = q_0 \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dl \cos \theta$$

由图可知 $dl \cos \theta = dr$

$$\text{所以元功 } dA = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr$$

当试探电荷 q_0 从 P 点移动到 Q 点时，电场力所作的功为：

$$A = \int dA = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_P}^{r_Q} \frac{dr}{r^2} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_P} - \frac{1}{r_Q} \right)$$

式中 r_P 和 r_Q 分别表示从点电荷 q 所在处到路径的起点和终点的距离。上式表明，在静止点电荷 q 的电场中，电场力对试探电荷 q_0 所作的功与路径无关，而只与路径的起点和终点位置有关。

当然还与试探电荷的电荷量 q_0 成正比。插入

利用场强叠加原理，可以将上述结论推广到任意带电体产生的电场中。

静电场做功与路径无关，表明静电力是保守力，静电场是保守场。

如图如果在电场中移动试探电荷 q_0 ，经过闭合路径又回到原来的位置，由上面的表达式可知电场力做功为零，即

$$A = \oint q_0 \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

因为试探电荷 q_0 不为零，所以上式也可写作：静电场场强 E 沿任意闭合环路的线积分恒等于零。称为静电场的环路定理。它与静电场是保守场的说法是等价的。

如上所述，静电场与重力场相似，都是保守力场，对这类力场都可以引进势能的概念。

正如我们研究重力场时，引进重力势能那样，在讨论静电场的性质时，也可以认为电荷在电场中一定的位置处，具有一定的电势能，静电场力对试探电荷 q_0 所作的功等于 q_0 的电势能增量的负值。

设 W_P 和 W_Q 分别表示试探电荷 q_0 在起点 P 和终点 Q 处的电势能，则

$$A_{PQ} = q_0 \int_P^Q \vec{E} \cdot d\vec{l} = -(W_Q - W_P) = -\Delta W$$

当 $A_{PQ} > 0$ 时， q_0 的电势能减少；当 $A_{PQ} < 0$ 时， q_0 的电势能增加。插入

电势能也与重力势能相似，是一个相对的量。为了确定电荷在电场中某一点势能的大小，必须选定一个作为参考的电势能的零标度。通常选定电荷 q_0 在无穷远处的电势能为零，则电荷 q_0 在电场中 P 点的电势能为

$$W_P = q_0 \int_P^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

也就是将 q_0 从 P 点移到电势能零点处时, 静电力所作的功.

电势能与重力势能相似, 是属于一定系统的. 电势能是试探电荷 q_0 与场源电荷所激发的电场之间的相互作用能量, 故电势能是属于试探电荷 q_0 和电场这整个系统的, 且与 q_0 的大小、正负有关, 因此电势能 W_P 并不能直接描述某一给定点 P 处电场的性质. 但是比值 W_P/q_0 与 q_0 无关, 它反映了电场本身的性质. 我们把这一比值称为电势, 用 U_P 表示 P 点的电势, 即

$$U_P = \frac{W_P}{q_0} = \int_P^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

这表示静电场中某点 P 的电势等于单位正电荷放在该点处时的电势能, 也等于将单位正电荷从该点经过任意路径到无限远时, 电场力所作的功。

电势是标量, 但相对于电势的零点有正和负的数值. 在国际单位制中电势的单位是伏特=焦耳/库. 插入

静电场中 P、Q 两点间的电势差等于将单位正电荷由 P 点沿任意路径移到 Q 点时, 电场力所作的功. 用公式表示为

$$U_{PQ} = U_P - U_Q = \int_P^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{l} - \int_Q^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_P^Q \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

因此, 将任一电荷 q 从 P 点移到 Q 点时电场力所作的功可表示为:

$$A_{PQ} = q \int_P^Q \vec{E} \cdot d\vec{l} = q(U_P - U_Q)$$

前面已经讲过，电势和电势能的零点的选取是任意的，往往选取无限远处电势为零。但在许多实际问题中，常常以地球的电势为零，其它带电体的电势都是相对地球而言的。在工业上，消除摩擦起电的重要措施之一就是“接地”，这样使带电体的电势和地球的电势一致，带电体上的电荷就会传到地球上去而不会一直积累起来。

油罐车在运输油的过程中，油与罐体摩擦而产生静电，随着不断积累，到一定的临界点，就会放电产生电火花，点燃油罐车里的油蒸汽，造成爆炸。所以在油罐车的尾部会拴一条接地铁链，这根铁链的作用就是将产生的静电荷导入大地，避免产生电火花。

为了安全用电，实验室和工厂中很多电气设备的外壳在使用时也都接地，这样可防止当电气设备因绝缘不良使外壳带电从而引起触电事故。

今天的这一讲就到这里，同学们再见。