

§7 稳恒电场

从场的角度认识电流

一、 电流和电流密度

(一) 电流强度

大小：单位时间内通过导体某一横截面的电量

$$I = \frac{dq}{dt}$$

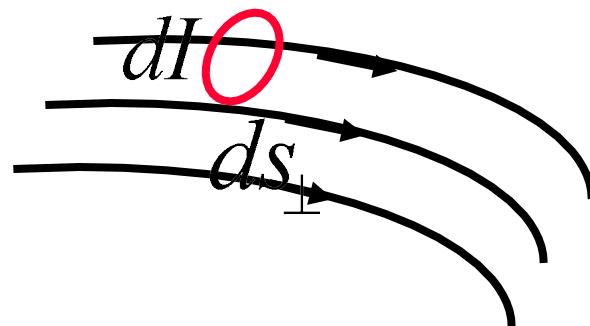
正值：正电荷运动的方向
单位：安培 A

(二) 电流密度

1. 电流密度矢量

大小：

$$J = \frac{dI}{dS_{\perp}}$$



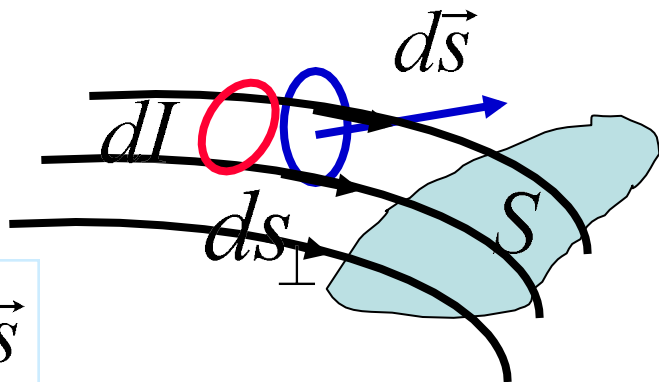
方向：该点正电荷定向移动的方向。

导体中某点的电流密度：即单位面积上的电流强度。

2. 电流密度和电流强度的关系

$$dI = J ds_{\perp} = \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

$$I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{s}$$



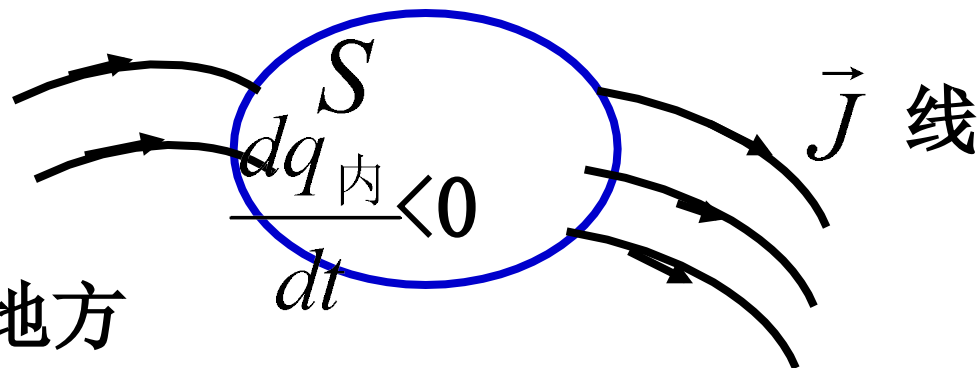
$$\oint_S \vec{J} \cdot d\vec{s} = I = \frac{dq_{\text{流出}}}{dt}$$

流出闭合面的正电荷

(三) 电流连续性方程

根据电荷守恒定律，流出的电量应等于相同时间闭合曲面内电荷的减少

$$I = \oint_S \vec{J} \cdot d\vec{S} = -\frac{dq_{\text{内}}}{dt}$$



电流线发出于正电荷减少的地方
终止于正电荷增加的地方

电流线，电流场

二、 稳恒电流

(一) 稳恒电流

电流场中每一点的电流密度的大小和方向均不随时间改变

(二) 稳恒条件

1. 稳恒条件

$$\oint_S \vec{J} \cdot d\vec{S} = 0$$

稳恒电流的电路必须闭合

2.由稳恒条件可得出几个结论

a.导体表面电流密度矢量无法向分量

b.对一段无分支的稳恒电路 其各横截面的电流强度相等

$$I_i = \text{常量} \quad (\text{串联电路})$$

c.在电路的任一节点处 流入的电流强度之和等于流出节点的电流强度之和 $\sum I_i = 0$

—— 节点电流定律(基尔霍夫第一定律)

(三) 稳恒电场

1. 稳恒电场

对于稳恒电路 导体内存在电场

稳恒电场 由不随时间改变的电荷分布产生

2. 和静电场比较

a. 相同之处

电场不随时间改变

满足高斯定理

满足环路定理 是保守场

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

可引入电势概念

回路电压定律 (基尔霍夫第二定律)

在稳恒电路中 沿任何闭合回路一周的电势降落的代数 sum 等于零 $\sum U_i = 0$

欧姆定律 $R = U/I$

b. 不同之处

产生稳恒电流的电荷是运动的电荷 电荷分布不随时间改变

稳恒电场对运动电荷做功 稳恒电场的存在总伴随着能量的转移

三、 欧姆定律的微分形式

导体中任一点电流密度的方向(正电荷运动的方向)和该点场强方向相同

有关系式

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

σ 导体电导率

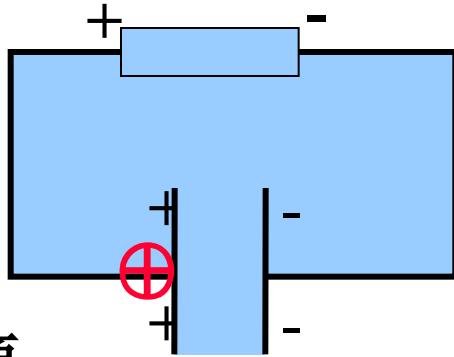
$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad \text{电阻率}$$

四、电动势

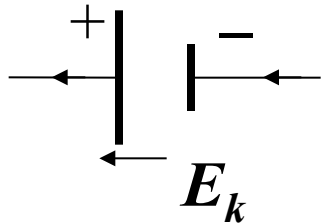
恒定电流必须由稳定的**电势差**维持

仅靠静电场不可能产生恒定电流

靠非静电力把正电荷不断从低电势处运到高电势处。



电源



仿静电场

$$\vec{E}_K = \frac{\vec{F}_K}{q}$$

非静电场强

定义：把单位正电荷从电源的负极通过内电路移到正极，非静电力所作的功——电源电动势 \mathcal{E} 。

$$\mathcal{E} = \int_{-}^{+} \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$$

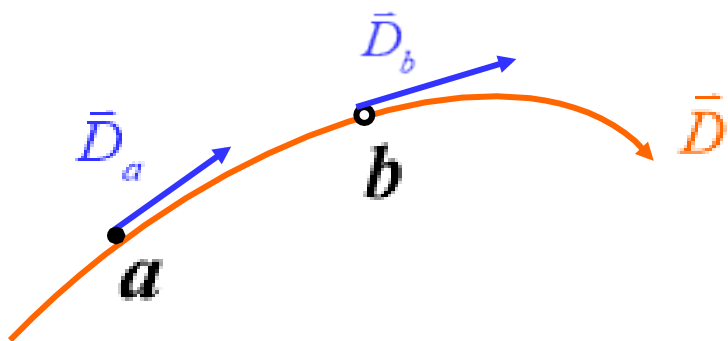
整个回路

$$\mathcal{E} = \oint \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$$

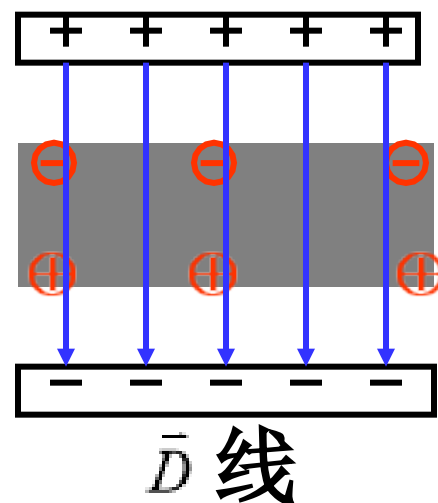
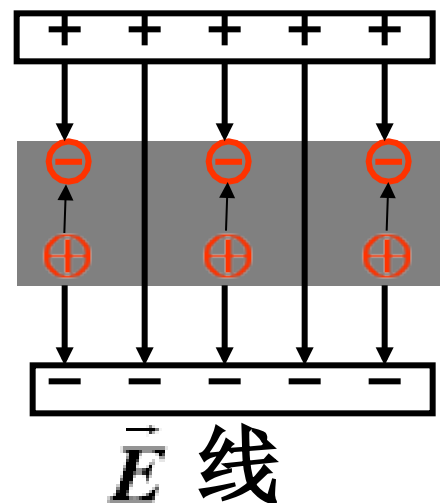
$$\vec{D} = \begin{cases} \epsilon_0 \vec{E} & \text{真空中} \\ \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} & \text{各项同性介质中} \end{cases}$$

电位移线

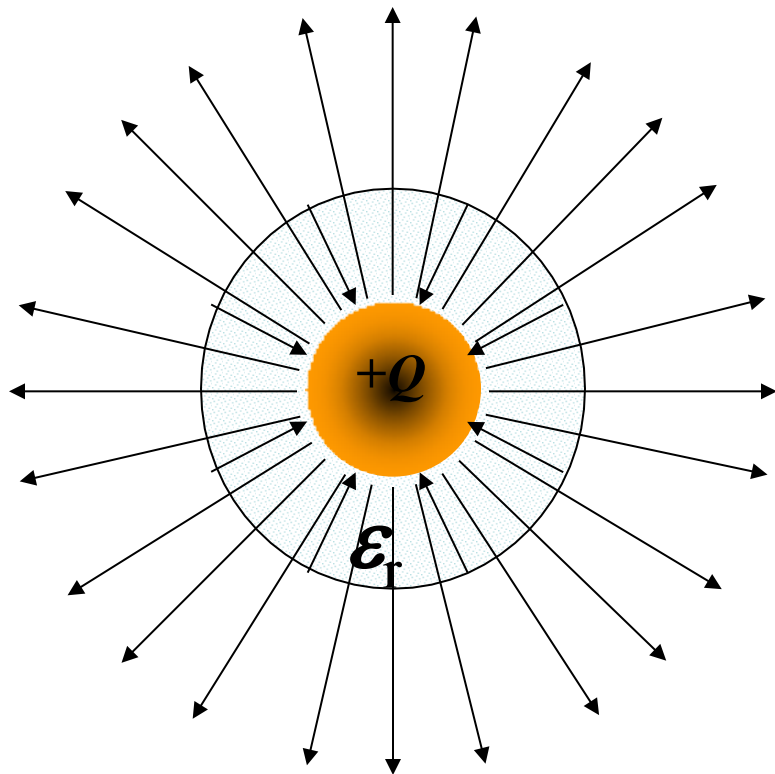
\vec{D} { 方向: 切线
大小: $\frac{\text{电位移线条数}}{S_{\perp}}$



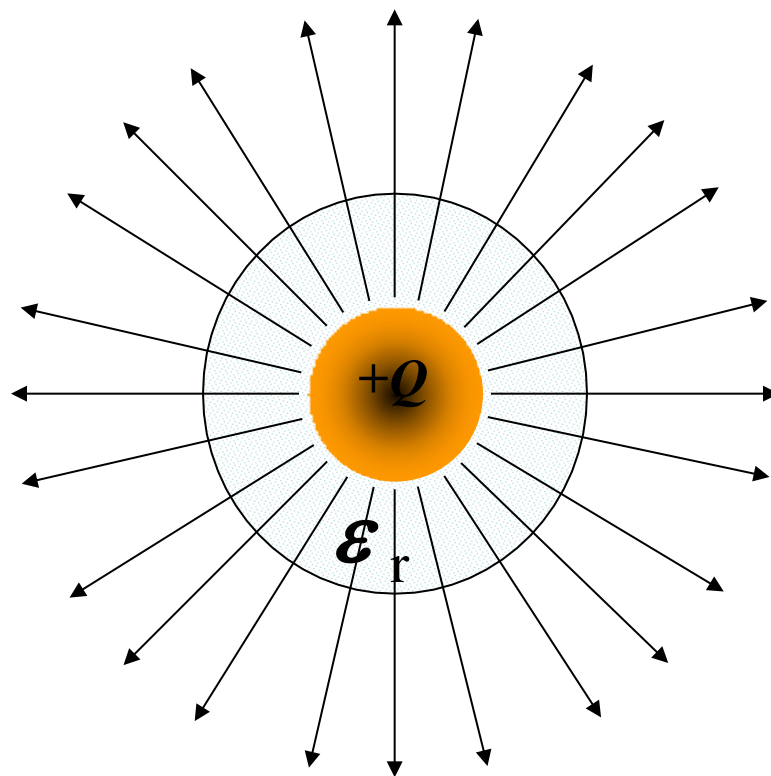
起始于正自由电荷，
终止于负的自由电荷



电场线与电位移线



E 线



D 线