

# 第十一章

# 稳恒电流

## § 11.1 稳恒电流

### 一、电流 电流密度

a. 载流子：电荷的携带者：自由电子，离子，空穴

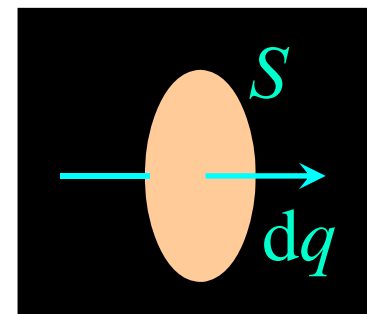
b. 电流：电荷的定向移动.

产生条件 (1) 存在自由电荷

(2) 导体内存在电场

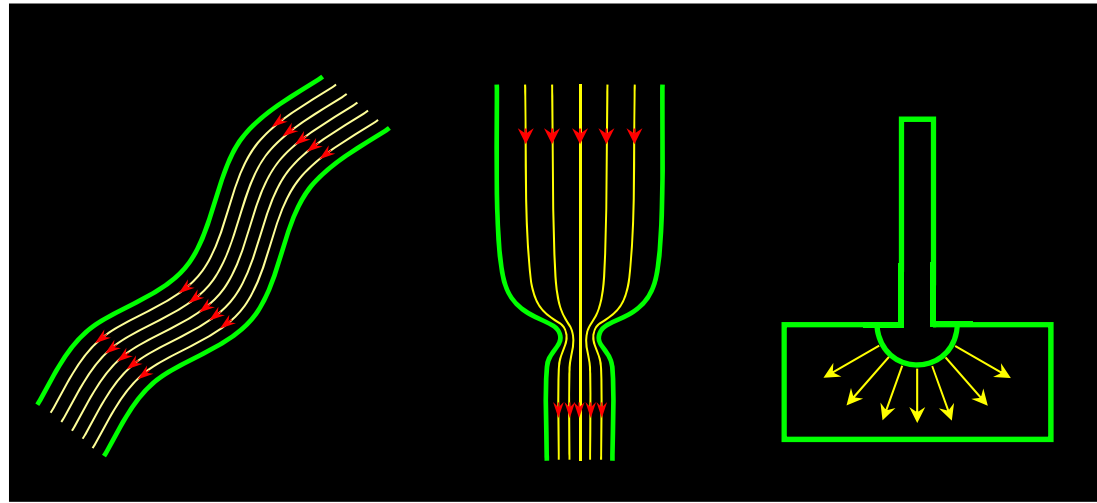
1. 电流强度  $I$ :

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



(a) 电流是标量，有流动的方向

(b) 单位:安培(A),  $1\text{A}=1\text{C/s}$ .



粗细和材料均  
匀的金属导体

粗细不均匀  
的导线

半球形接地  
电极

由于不同截面的串联导体有相同的电流，  
故电流并不能准确反映导体内的电流分布情况



## 2. 电流密度

### (1) 定义:

大小: 垂直通过单位面积的电流强度  $j = dI/dS_{\perp}$

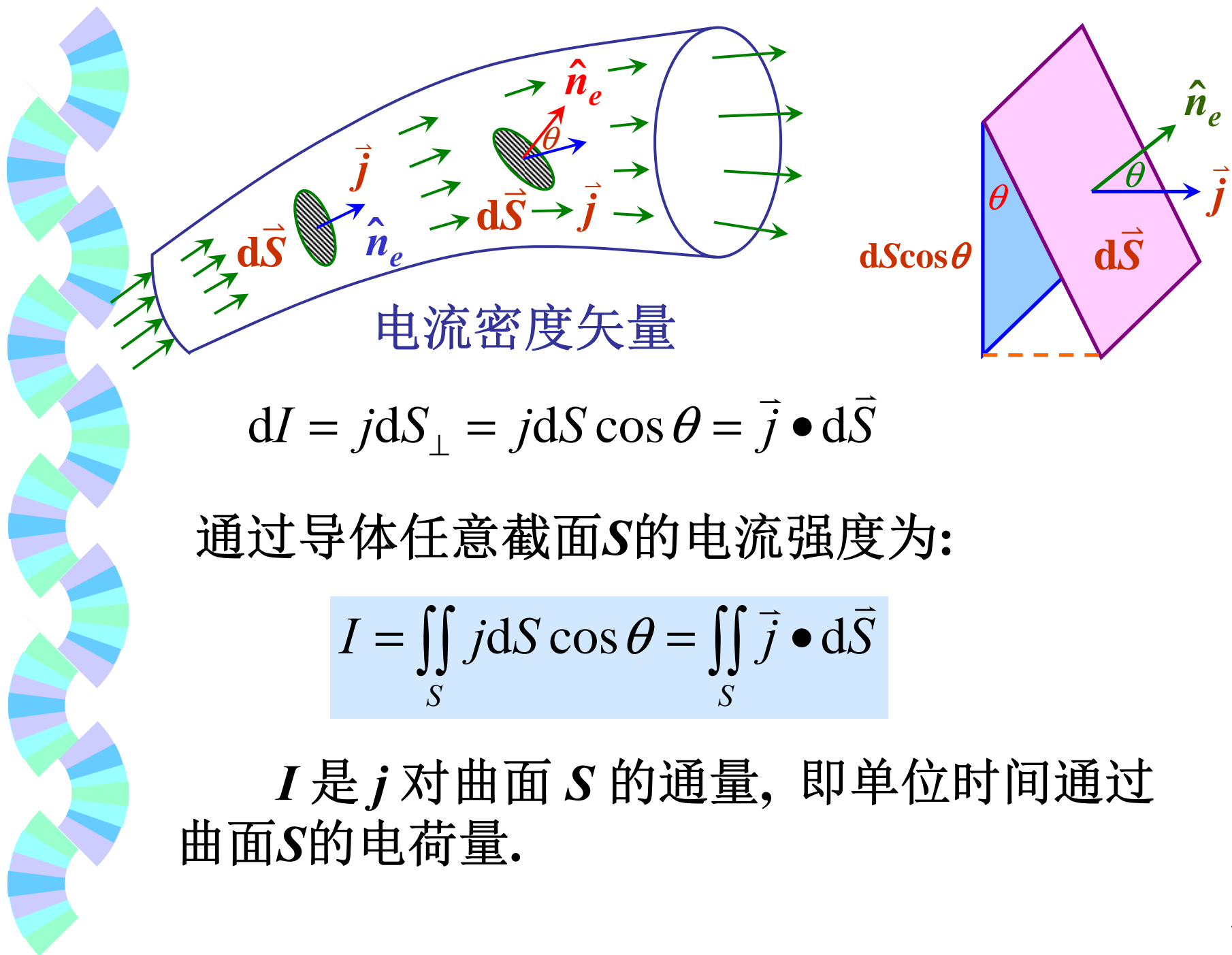
方向: 为正电荷移动的方向

单位: 安培/米<sup>2</sup>

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS_{\perp}} \hat{n}_e \quad \text{电流密度是一个矢量}$$

### (2) 由电流密度求电流强度

取导体内一面元  $d\vec{S}$ , 其法线方向  $\hat{n}_e$ ,  
通过该面元的电流强度  $dI$  为:

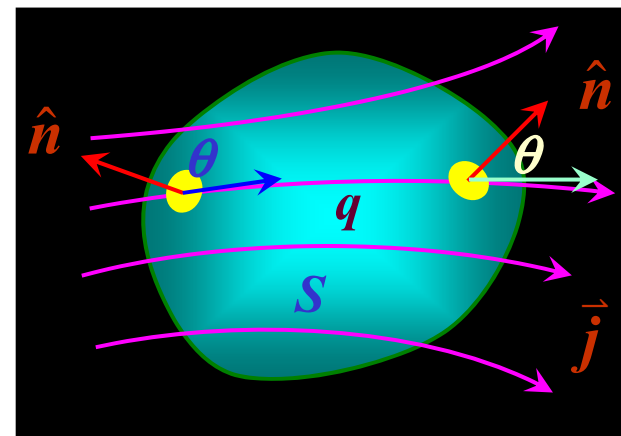


## 二、稳恒电流

设任意闭合曲面 $S$ 内电量为 $q$ ,由电荷守恒定律,  
若 $dt$ 时间内从该闭合曲面  
 $S$ 内流出的电量 $dq' = -dq$

闭合曲面 $S$ 中  
流出的电流

$$\oiint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = \frac{dq'}{dt} = -\frac{dq}{dt}$$



### 电流连续方程

$S$ 内有正电荷积累,  
即有电荷流入  
闭合曲面  $\frac{dq}{dt} > 0$

$S$ 面内有负电荷积累,  
即有电荷流出  
闭合曲面  $\frac{dq}{dt} < 0$

稳恒电流: 电流场不随时间变化, 即电荷的分布稳定

$$\oiint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = 0$$

电流的稳恒条件

## § 11.2 欧姆定律的微分形式

电流密度  $j$  与场强  $E$  的关系

设场强  $E$ 、电流密度  $j$ 、电阻率  $\rho$ 、电导率  $\gamma = \frac{1}{\rho}$

沿电场方向取体积微元  $dV$ :

截面  $dS$ , 长  $dl$ ,

电压降为  $dU = Edl$ , 电流为  $dI$

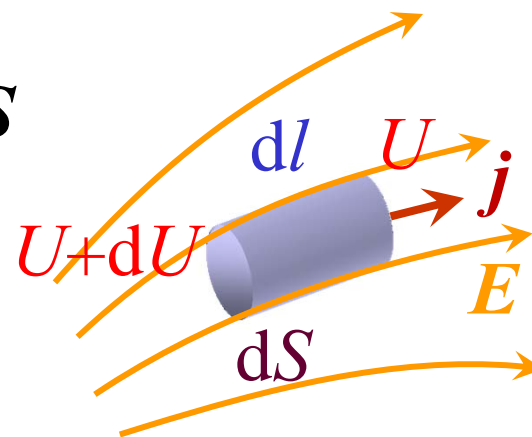
$$R = \rho \frac{dl}{dS}$$

由欧姆定律

$$dI = \frac{dU}{R} = \frac{Edl}{\rho dl/dS} = \frac{EdS}{\rho} = \gamma E dS$$

电流密度  $j = \frac{dI}{dS} = \frac{E}{\rho} = \gamma E$

矢量式  $\vec{j} = \gamma \vec{E}$  欧姆定律微分形式



## § 11.3 电动势

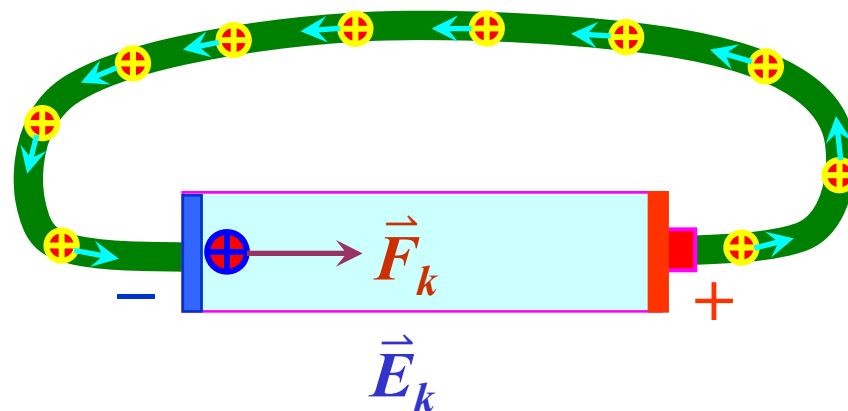
**电源：**提供非静电性外力的装置。

是将其它能量如化学能、机械能、光能、热能、核能等转变为电能的装置。

### 一、电源的电动势

电动势 $\varepsilon$ 是指在电源内部,将单位正电荷从负极移到正极时**非静电力**所做的功

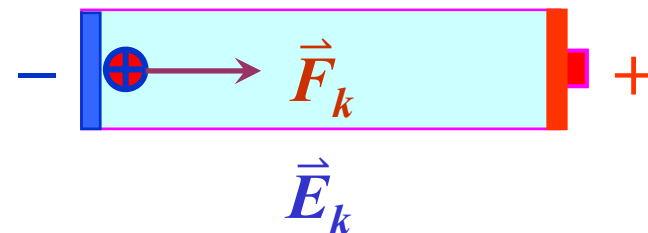
$$\varepsilon = \frac{A_K}{q}$$





移动正电荷从负极到正极时电荷所受的非静电力为 $F_K$ ，则定义非静电性外场 $E_K$ 为：

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



注意： $E_K$ 是非静电场外场的一个等效场强

$$dA_{AB} = \vec{F}_K \cdot d\vec{l} = q\vec{E}_K \cdot d\vec{l}$$

非静电力场做功：非静电性外场 $E_K$ 移动正电荷从负极到正极所做的功：

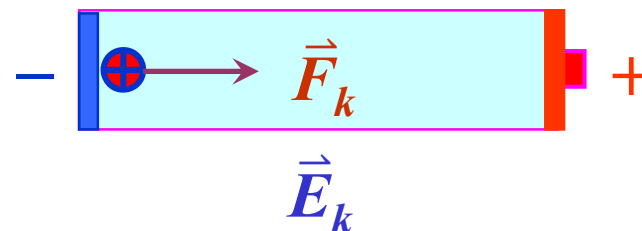
$$A_{AB} = q \int_{(A)}^{(B)} \vec{E}_K \cdot d\vec{l}$$

电动势:

$$\mathcal{E}_{AB} = \frac{A_{AB}}{q} = \int_{(A) \text{ 内}}^{(B)} \vec{E}_K \cdot d\vec{l}$$

若非静电性外场 $E_K$ 分布于整个回路,则:

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



思考题:

在电动势的定义中,如果 $E_k$ 改为静电场的电场强度,则该式左边物理量的物理意义是什么?  
(即计算结果是什么?)



本章结束!