



稳恒电流

Electric current



跟电流相关的知识，大家知道哪些？



第一部分您将学习

- 认识电流密度矢量
- 欧姆定律的微分形式
- 焦耳楞次定律的微分形式
- 金属导电的微观解释

稳恒电流：数值和方向都不随时间变化的电流。

1800年发明伏达电堆



亚历山德罗·伏特 意大利物理学家
1745年2月18日—1827年3月5日

§ 1 稳恒条件与导电规律



一、 电流和电流密度

1、 电流：大量电荷有规则的定向运动。

传导电流：

自由电荷在导体中定向运动时形成的电流称为传导电流

运流电流：

电子、离子或其他带电体在真空或气体中定向运动形成的电流

位移电流：变化的电场产生的电流

磁化电流：极化电荷产生的电流



2、电流强度：

电流强度： 单位时间内通过导体某横截面的电量

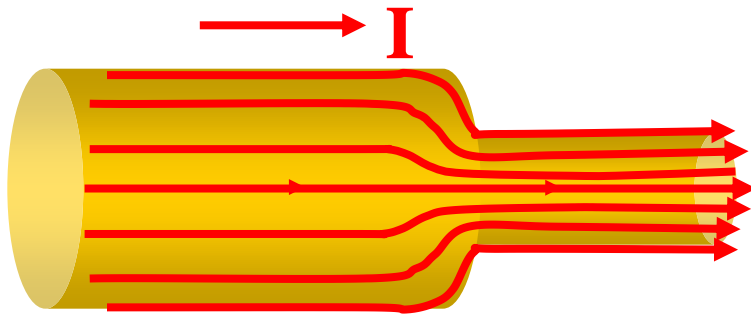
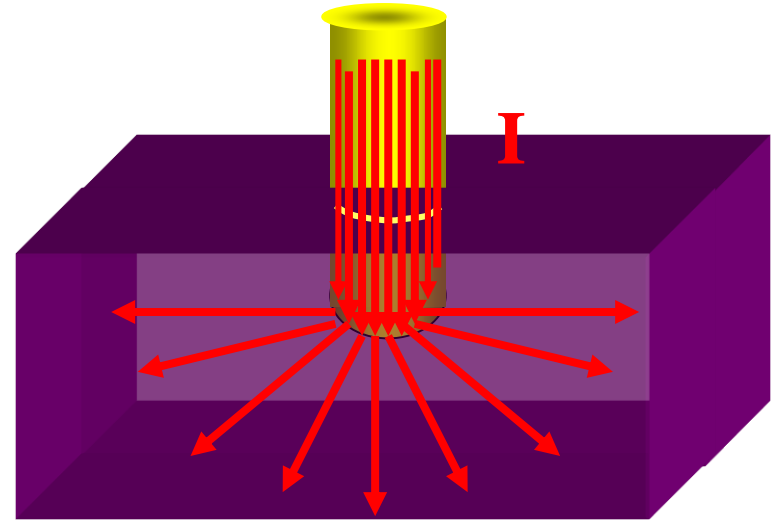
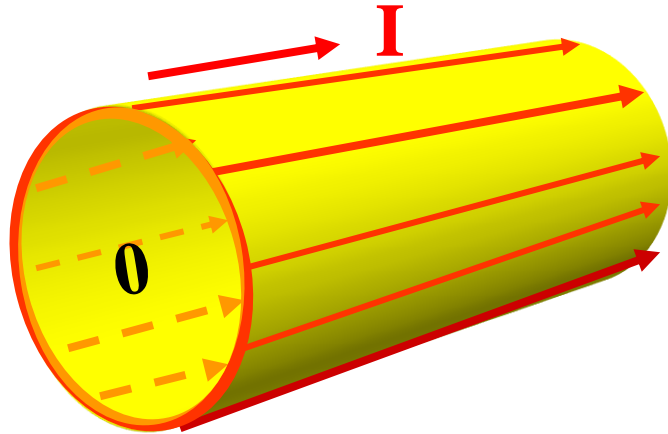
$$I = \frac{dq}{dt}$$

电流 I 的方向： 正电荷宏观定向运动的方向

单位： 安培（A）

3、电流密度

※用电流强度还不能细致地描述电流的分布。



所谓分布不同是指在导体的不同地方单位面积中通过的电流不同。



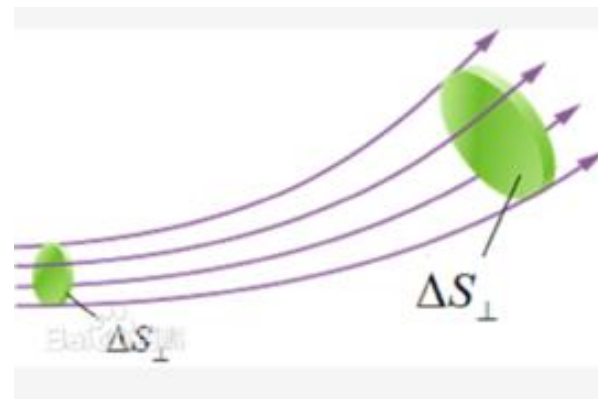
※为了描述导体内各点的电流分布情况，引入电流密度**矢量**

$$\vec{j} = \frac{dI}{ds_{\perp}} \vec{n}$$

大小：通过与正电荷运动方向垂直的单位面积上的电流强度

方向：与正电荷运动方向相同

单位： A m^{-2}



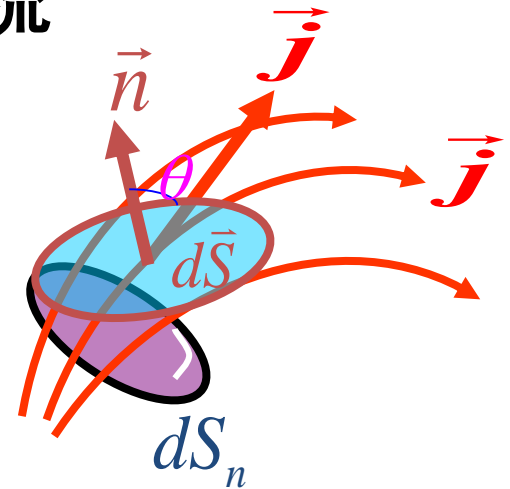
面电流密度矢量

如果电流分布在曲面上，则可定义面电流密度矢量的大小为： $k = \frac{dI}{dl_{\perp}}$ ，方向同正电荷运动方向。

4、由电流密度求电流

若 ds 的法线 \vec{n} 与 \vec{J} 成 θ 角，则通过 ds 的电流

$$dI = j ds \cos \theta = \vec{j} \cdot d\vec{S}$$



$$I = \int_s \vec{j} \cdot d\vec{S} \quad \text{即电流强度等于电流密度的通量。}$$



二、稳恒电场

1、电流的连续性方程

通过某一封闭曲面的电流密度的通量为

$$I = \oint_S \vec{j} \cdot d\vec{s}$$

根据电荷守恒定律，单位时间内从封闭曲面流出的电量（即电流）应等于该封闭曲面内电荷 q 的减少率，即

$$\oint_S \vec{j} \cdot d\vec{s} = -\frac{dq}{dt}$$

此式即为**电流的连续性方程**。

2、稳恒电流



导体内各处电流密度不随时间变化的电流

在稳恒电流的情况下，在任意一段时间内，从封闭曲面内流出的电量应和流入的电量相等，即通过任一封闭曲面的电流密度的通量应等于零。

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

电流稳恒条件

三、导电规律



乔治·西蒙·欧姆，德国物理学家
1787-1845



1、欧姆定律

(1) 积分形式

电场是电流存在的必要条件，有电场，则必有电压（电位差）。故可以说电压是电流存在的必要条件。欧姆发现：通过一段导体的电流强度与导体两端的电压 U 成正比：

$$I = \frac{U}{R}$$

- ◆ 式中 R 称为导体的电阻，它与金属导体的材料及几何形状有关，单位为欧姆（ Ω ）
- ◆ 适合导体或纯电阻元件。

- 当导体材料电阻率和截面积均匀时：

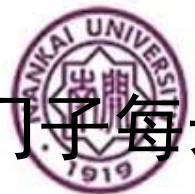
$$R = \rho \frac{L}{S}$$

- 当导体材料的横截面积、电阻率不均匀时，材料电阻为：

$$R = \int_L \rho \frac{dl}{S}$$

- ◆ 电阻的倒数叫电导 $G = \frac{1}{R}$ （单位：西门子，S）

- ◆ 电阻率的倒数叫电导率 $\sigma = \frac{1}{\rho}$ （单位：西门子每米）





电路: 电流的通路

电路中存在导体, 导体两端的电位差与导体内的电场矢量有关:

$$U = \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

欧姆定律的积分形式: $I = \frac{U}{R}$



(2) 微分形式

在导体内取一圆柱形小体积元，长为 dl ，横截面积为 ds ，假定该体积元的电阻为 R ，把体积元内的 j 、 E 和 ρ 都视做均匀。

$$dI = \frac{dU}{R}$$

$$dI = \vec{j} \cdot d\vec{s} = jds$$

$$dU = \vec{E} \cdot d\vec{l} = Edl$$

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

$$jds = \frac{Edl}{\rho \frac{dl}{ds}} = \frac{1}{\rho} Eds = \sigma Eds$$

$$\therefore j = \sigma E$$

欧姆定律的微分形式的矢量表达

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





2 导体电阻

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

- ◆ 电阻率与材料本身的性质有关，这些性质包括：成分、加工方式、温度。其中温度尤其重要。

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$$

t是摄氏温度， ρ_0 是零摄氏度时的电阻率， α 是电阻温度系数。

绝对温度：

$$\rho = \rho_0 \alpha \left(\frac{1}{\alpha} + t \right) = \rho_0 \alpha T$$