

# 大学物理(1)



雲南大學

## 第 11 章 恒定电流

生命对我而言，是一场与残酷的角力，经历死亡、欺骗的剥夺，我对未来几乎不再存有任何的幻想……但是我体会到，一个人真正的幸福不是从快乐的角度去衡量，而是回到现实。

——安德烈·玛丽·安培

## 11.1 电流和电流密度

- » **电流**：带电粒子的定向运动称为**电流**。
- » **载流子**：形成电流的带电粒子称为**载流子**。
- » **传导电流**：导体中由电荷定向运动形成的电流称为**传导电流**。

导体类型	载流子类型
金属(比如铜)	电子
N 型半导体(比如掺入磷的硅)	电子
P 型半导体(比如掺入硼的硅)	空穴
液体(比如氯化钠水溶液)	正离子和负离子
气体(比如等离子体)	正离子、负离子和电子

## 11.1 电流和电流密度

» **电流强度**：单位时间内，通过导体某一横截面的电荷量，简称**电流**。

$$I = \frac{dq}{dt}, \text{ 单位是安培, } 1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}。$$

» **电流强度**是一个标量。

» **电流**是一个宏观的概念，当需要精确描述导体内部某个小区域的电流大小时，就显得过于粗略了。

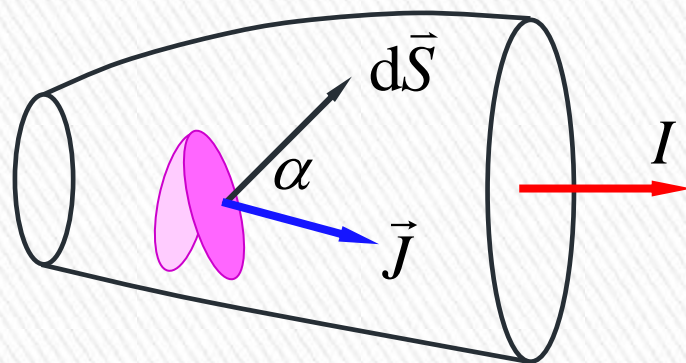
## 11.1 电流和电流密度

- » 和**电流强度**不同，**电流密度**是个**矢量**。
- » **电流密度**可以看做是在**载流子运动方向**上通过**单位面积**的**电流强度**。
- » 取一个面元  $dS$ ，则该面元上的**电流强度**和**电流密度**的关系为：

$$dI = \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

- » 要计算某个任意面  $S$  上的电流，只需进行面积分：

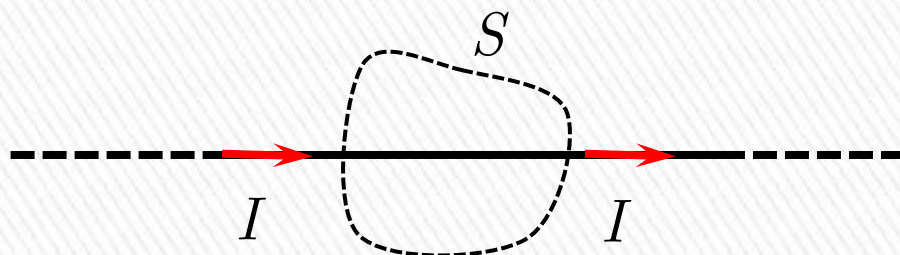
$$I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$$



## 11.2 恒定电流与恒定电场

- » **恒定电流**：导体内**各处的电流密度都不随时间变化**的电流。
- » 恒定电流必须具备的性质：通过任一封闭曲面的恒定电流为 0：

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



因为恒定电流是不随时间变化的，如果通过某个闭合曲面  $S$  的电流不为 0，那么意味着该曲面将源源不断、永不休止地流出电荷，这违反了电荷守恒定律。

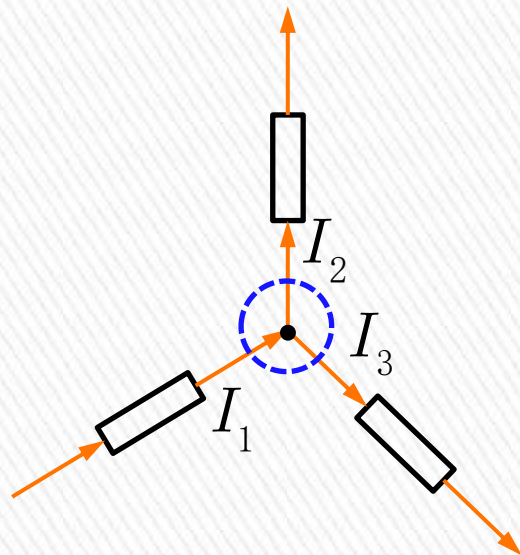


## 11.2 恒定电流与恒定电场

- » 对于恒定电流电路，在电路交点上做一个封闭曲面，则很容易得出：

$$\sum I_i = 0$$

- » 上式即**基尔霍夫电流定律**(简称 **KCL**)，也就是**基尔霍夫第一方程**。

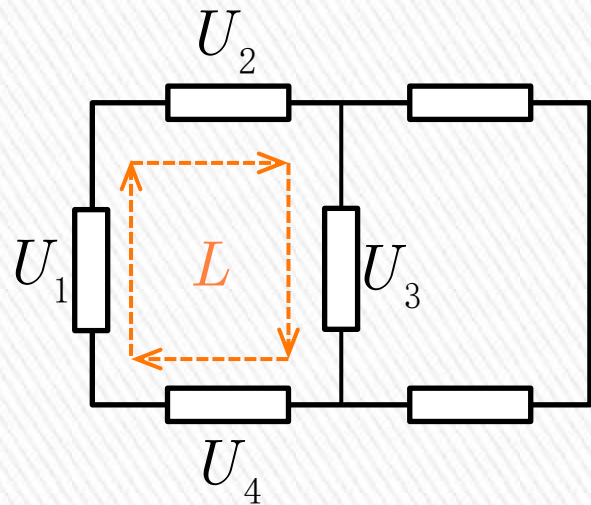


## 11.2 恒定电流与恒定电场

- » 在恒定电流电路中，导体内电荷的分布不随时间变化，这种电荷将会产生一个不随时间变化的电场，叫做**恒定电场**。
- » **恒定电场**和静电场有许多相似之处，例如它们的**电场强度**的环路积分都等于零，即

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

- » **恒定电场**也可引入**电势**的概念，则它的**电场强度**在空间上的积分就等于这段空间上的电势降落。
- » 容易得出，在恒定电流电路中，**沿任一闭合回路一周的电势降落的代数和等于零**。
- » **基尔霍夫电压定律**(简称 **KVL**)，即**基尔霍夫第二方程**。

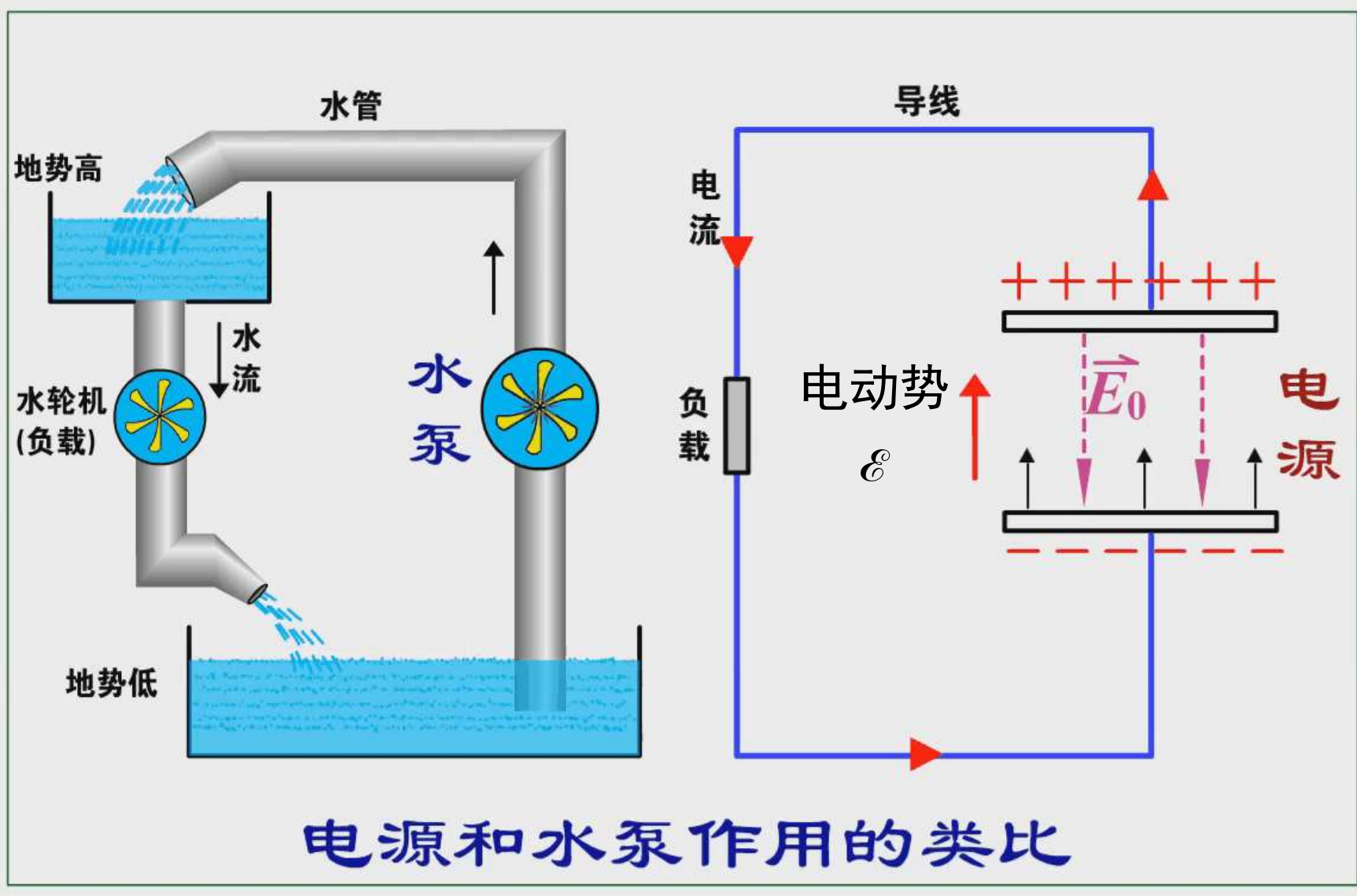


## 11.4 电动势

- » 由**静电力**驱使的电荷定向运动使导体最终达到**静电平衡**，不可能稳定维持电荷的定向运动。
- » 换句话说，如果电路中只存在**静电力**的话，电流不能稳定维持，是不能形成**恒定电流**的。
- » 要使电路维持稳定的电流，必须有**外力**作用，**这个力持续做功，为电路提供能量**。
- » 能为电路提供这种力的装置就称为**电源**。
- » 不管这种力的成因如何，我们统称为**非静电力**。

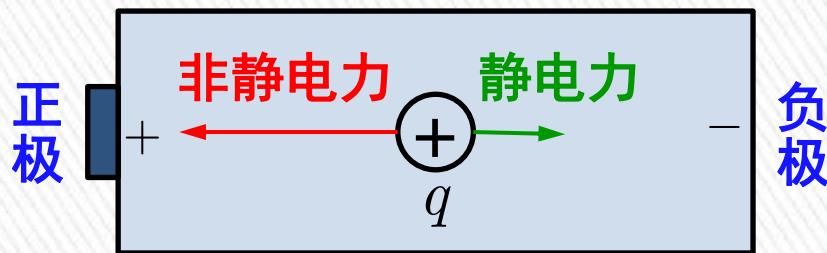


## 11.4 电动势

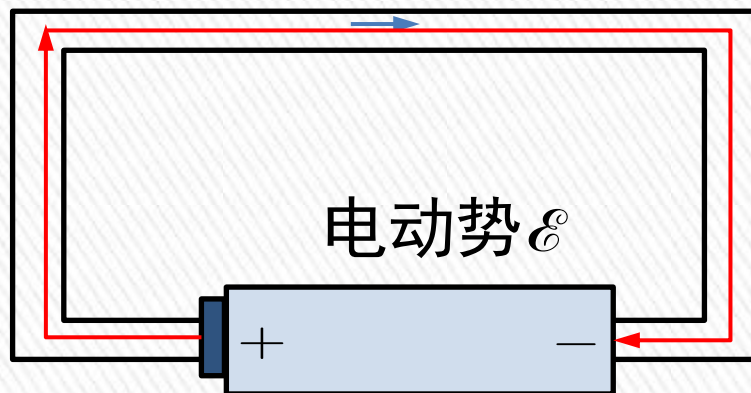


## 11.4 电动势

- » 在电源内部，**非静电力**做功，将正电荷从电源的负极移动到正极。
- » 不同的电源移动电荷的能力不同，我们用**电动势**  $\mathcal{E}$  来描述这种能力。



- » 在回路中，从电源的负极到正极，电势是升高的(即电势降落为负值)，升高的数值等于电动势的数值。



## 11.5 有电动势的电路的求解方法

1. 将每一条支路的**电流**设为未知量，根据基尔霍夫电流定律(KCL)和电压定律(KVL)列方程；
2. KCL 方程为一个节点列一个，KVL 方程为一个回路列一个；
3. KCL 方程的准则：电流流入为正，流出为负；
4. KVL 方程的准则：电势下降为正，上升为负。

**P329 例 11.2:** 如图所示电路,  $\mathcal{E}_1 = 12 \text{ V}$ ,  $r_1 = 1 \Omega$ ,  $\mathcal{E}_2 = 8 \text{ V}$ ,  $r_2 = 0.5 \Omega$ ,  $R_1 = 3 \Omega$ ,  $R_2 = 1.5 \Omega$ ,  $R_3 = 4 \Omega$ 。求通过每个电阻的电流。

**解:** 将 3 个电流  $I_1, I_2, I_3$  设为未知量,

对节点  $a$  列 KCL 方程得:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

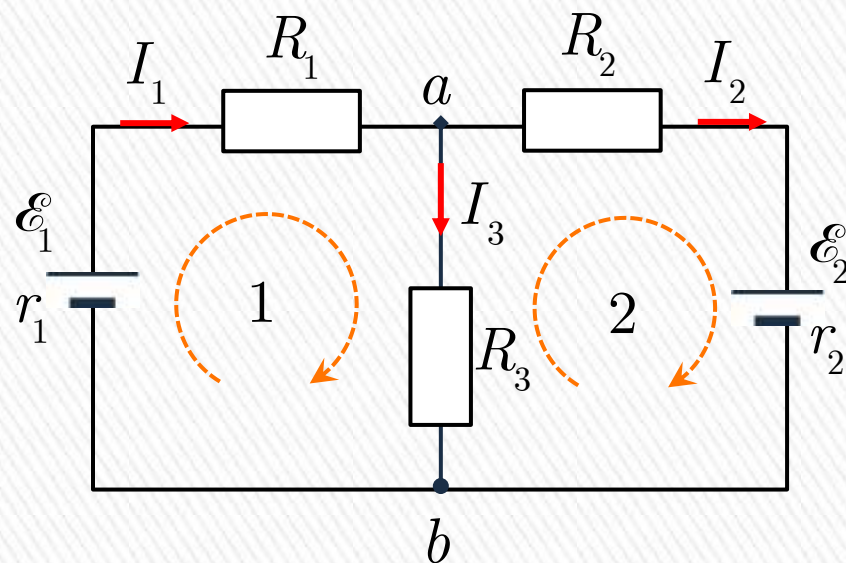
对回路 1 列 KVL 方程得:

$$-\mathcal{E}_1 + I_1 r_1 + I_1 R_1 + I_3 R_3 = 0 \quad (2)$$

对回路 2 列 KVL 方程得:

$$-I_3 R_3 + I_2 R_2 + I_2 r_2 + \mathcal{E}_2 = 0 \quad (3)$$

代入数据, 解方程组。



## 11.3 欧姆定律和电阻

» 欧姆定律：导体两端的电势差  $U$  和通过它的电流  $I$  之间的关系：

$U = I \cdot R$ ，其中  $R$  为导体的**电阻**，单位 欧姆 ( $\Omega$ )。

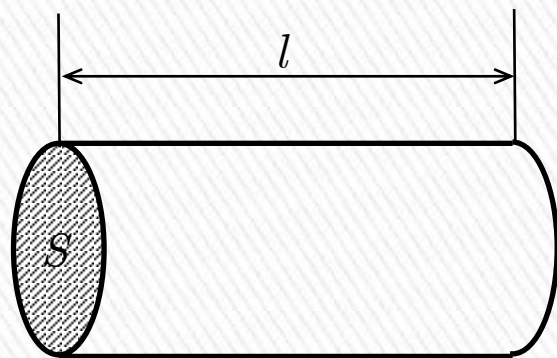
» **电阻率**  $\rho$ ：反映某种材料的导电性能的参数，如果将这种材料制作成形状规则、横截面积为  $S$ 、长度为  $l$  的导体，则其**电阻**和**电阻率**的关系为：

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad \text{或者} \quad \rho = \frac{RS}{l}$$

» **电阻率**的单位为  $\Omega \cdot \text{m}$ 。

» **电阻率**的倒数称之为**电导率**：

$$\sigma = \frac{1}{\rho}, \quad \text{单位 西门子 } \text{s} = \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$$





## 11.3 欧姆定律和电阻

- » 在工程实践上，通常先将某种材料制作成形状规则的器件，测出其**电阻率**，再去计算用这种材料制作的其它形状的器件的**电阻**。
- » 例如，有一块红薯形状的器件，如下图所示，其材料的**电阻率**为  $\rho$ ，电流密度方向如图所示，则其**电阻**  $R$  为：

$$R = \int_0^l \rho \frac{dl}{S(l)}$$

