

# 电路理论

## Principles of Electric Circuits

---

# 第一章 电路模型及其基本规律

2024年8月



# 电路理论

## Principles of Electric Circuits

---

### 第一章 电路模型及其基本规律

#### § 1.1 集中参数电路

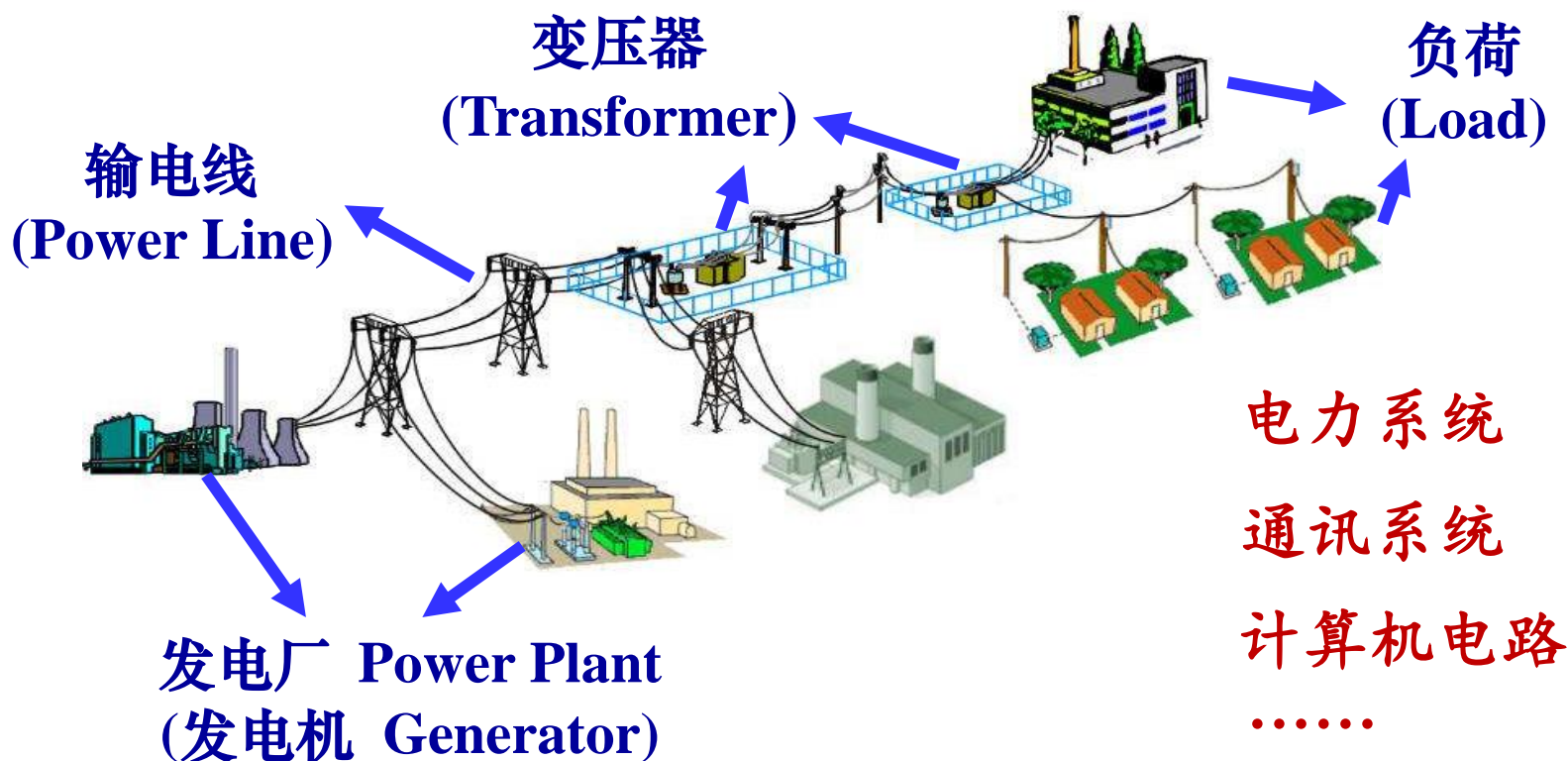


# § 1.1 集中参数电路

## 一、电路的构成

实际电路：

为了实现某种目的，把**电器件**或者**设备**按照一定的方式连接起来构成的整体。



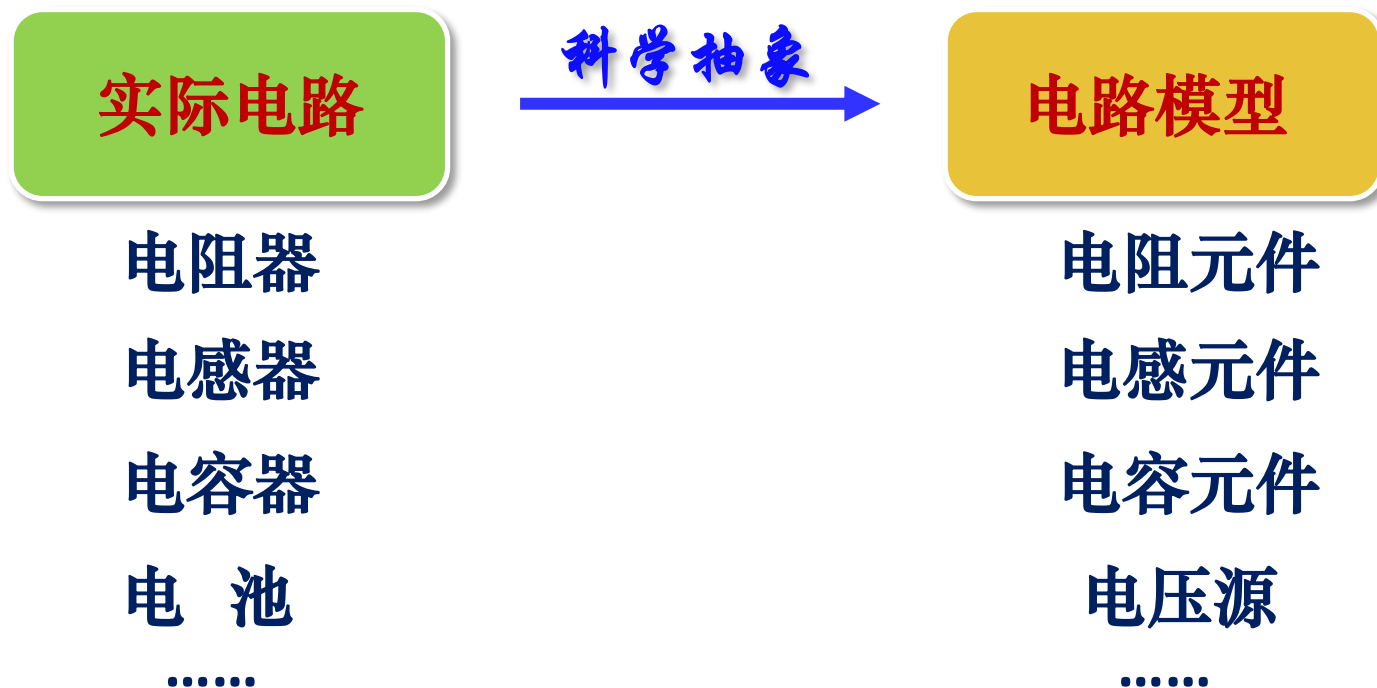
# § 1.1 集中参数电路

## 二、电路的作用

能量的生产、传输、分配、使用……

信号的获取、分析、处理、滤波、显示……

## 三、电路模型



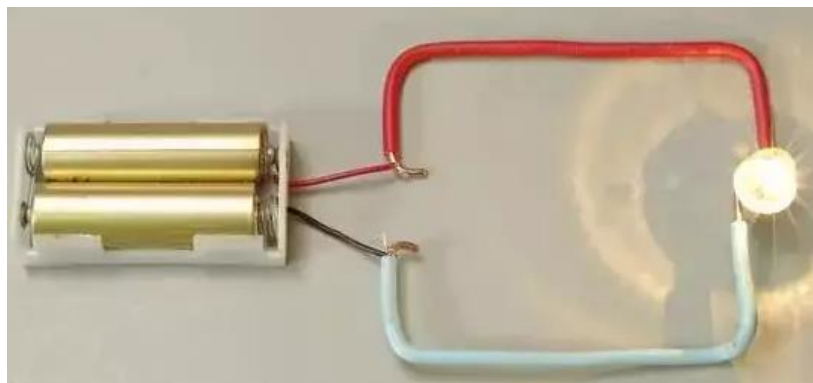
# § 1.1 集中参数电路

## 三、电路模型

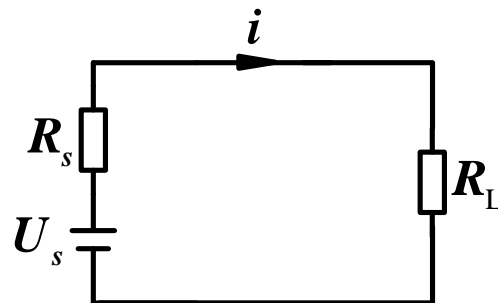
实际电路

科学抽象

电路模型



科学抽象



电路模型



电路理论研究的直接对象是电路模型，而不是实际电路。





# § 1.1 集中参数电路

## 三、电路模型



★ **注意：**对于同一个电器件或设备，应用场景和要求不同，采用的**电路模型**也可能不同。



传输线

输电线通过电流会发热（能量损耗）——**电阻效应**

电流通过输电线就会产生磁场 ——**电感效应**

两线间有电压就有电场 ——**电容效应**

两线间电压较高时，存在漏电流 ——**电导效应**

# § 1.1 集中参数电路

## 四、集中参数电路

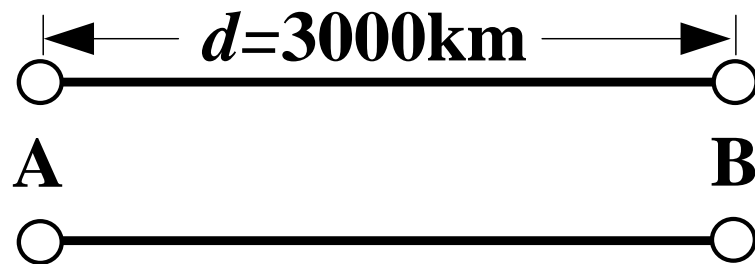
任何事物的运动都离不开时间和空间。



【例】A点发出的正弦电磁波，需要多少时间才能传输到B点？

$$\Delta t = \frac{d}{c} = 3 \times 10^6 / (3 \times 10^8) = 10 \text{ms}$$

若：  $u_A(t) = U \sin(2\pi ft) \text{ V}$



则：  $u_B(t) = U \sin \left[ 2\pi f \left( t - \frac{d}{c} \right) \right] = U \sin \left[ 2\pi ft - 2\pi \frac{d}{c/f} \right]$

工程上认为：

$$\frac{d}{\lambda} \ll 1 \longrightarrow u_A(t) = u_B(t)$$

$$= U \sin \left[ 2\pi ft - 2\pi \frac{d}{\lambda} \right] \text{ V}$$

$$\lambda = c \cdot T = c / f$$



# § 1.1 集中参数电路

若不作特殊说明，本课程讨论的均为集中参数问题。



## 四、集中参数电路

集中化条件：

$$\frac{d}{\lambda} \ll 1 \rightarrow d \ll \lambda$$

如果电路尺寸 $d$ 远小于其工作电磁波的波长 $\lambda$ ，则可将该电路建模为集中参数电路。否则只能建模为分布参数电路。

电路模型是实际电路的科学抽象，它是由电路元件按照一定方式用理想导线连接而成的整体，并存在着电流的路径。

电路模型

集中参数  
电路模型

分布参数  
电路模型

把实际电路中交织在一起的电磁能量的损耗、储存和其他效应分别集中在不同的元件上，每一种元件通常只体现一种物理效应。

电阻体现电路的能量损耗

磁场储能集中电感内部

电场储能集中电容内部





# § 1.1 集中参数电路

若不作特殊说明，本课程讨论的均为集中参数问题。



## 四、集中参数电路

集中化条件：

$$\frac{d}{\lambda} \ll 1 \rightarrow d \ll \lambda$$

如果电路尺寸 $d$ 远小于其工作电磁波的波长 $\lambda$ ，则可将该电路建模为集中参数电路。否则只能建模为分布参数电路。

电路模型

集中参数  
电路模型

$$i(t)$$

$$\frac{di(t)}{dt}$$

常微分

分布参数  
电路模型

$$i(t, x)$$

$$\frac{\partial i(t, x)}{\partial t}$$

偏微分



# § 1.1 集中参数电路

若不作特殊说明，本课程讨论的均为集中参数问题。



## 四、集中参数电路

集中化条件：

$$\frac{d}{\lambda} \ll 1 \rightarrow d \ll \lambda$$

如果电路尺寸 $d$ 远小于其工作电磁波的波长 $\lambda$ ，则可将该电路建模为集中参数电路。否则只能建模为分布参数电路。

【例】长度为20km的输电线输电，是“集中问题”还是“分布问题”？

工频（50Hz）下： $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{50} = 6000 \text{ km}$       $d \ll \lambda$

集中参数电路模型

雷电（1MHz）下： $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10^6} = 0.3 \text{ km}$       $d \gg \lambda$

分布参数电路模型

# 电路理论

## Principles of Electric Circuits

---

### 第一章 电路模型及其基本规律

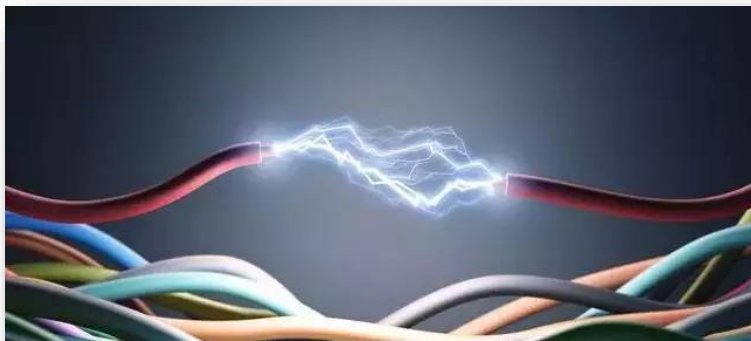
#### § 1.2 电路的基本物理量和参考方向



## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

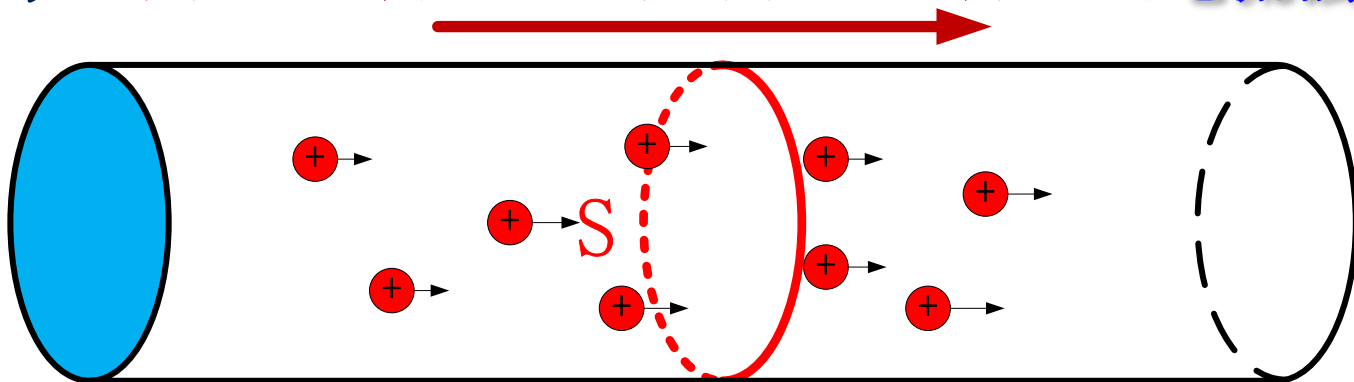
### 一、电流 (Current)

定义：电荷的定向移动



方向：正电荷的移动方向

大小：单位时间内通过导体截面的电荷量（**电流强度**）

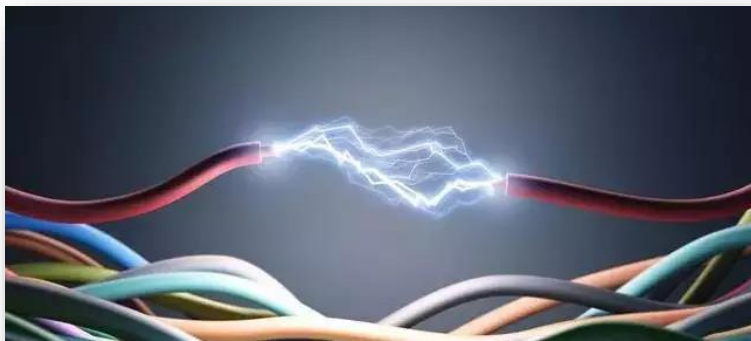


电流定义示意图

## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

### 一、电流 (Current)

定义：电荷的定向移动



方向：正电荷的移动方向

大小：单位时间内通过导体截面的电荷量（**电流强度**）

$$i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

单位：**安(培)**      A    kA    mA

量纲： $A = \frac{C}{s}$   $\longrightarrow$  **库伦**



**安培(Ampere)**  
法国物理学家、化学家  
数学家  
(1775-1836)



# § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

## 一、电流 (Current)

定义：电荷的定向移动

方向：正电荷的移动方向

大小：单位时间内通过导体截面的电荷量

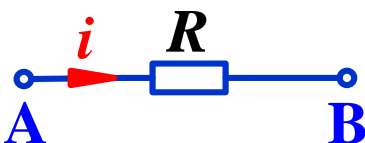
单位：安(培) A

量纲： $A = \frac{C}{s}$



安培(Ampere)  
法国物理学家、化学家  
数学家  
(1775-1836)

$\left\{ \begin{array}{ll} \text{直流电流：方向不随时间发生改变的电流} & (\text{dc或DC}) \\ I & \\ \text{交流电流：方向随时间发生改变的电流} & (\text{ac或AC}) \\ i & \end{array} \right.$

方向： 或  $i_{AB}$



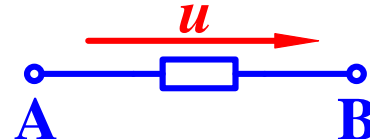
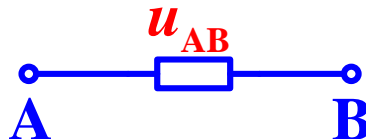
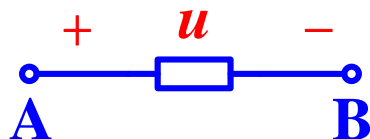
## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

### 二、电压 (Voltage)

定义：单位正电荷由电路中一点移动到另一点所获得或失去的能量。



方向：高电位指向低电位。



# § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

## 二、电压 (Voltage)

**定义：**单位正电荷由电路中一点移动到另一点所获得或失去的能量。

**方向：**高电位指向低电位。

**大小：**

$$u_{AB} = \frac{dW_{AB}}{dq}$$

**单位：**伏(特)      V      kV      mV

**量纲：**  $V = \frac{J}{C}$   $\longrightarrow$  **焦耳**

由法拉第  
电磁感应定律： $u = \frac{d\Psi}{dt}$   $\longrightarrow$  **韦伯**  
Wb

**电压、电位、电动势有何区别和联系？**



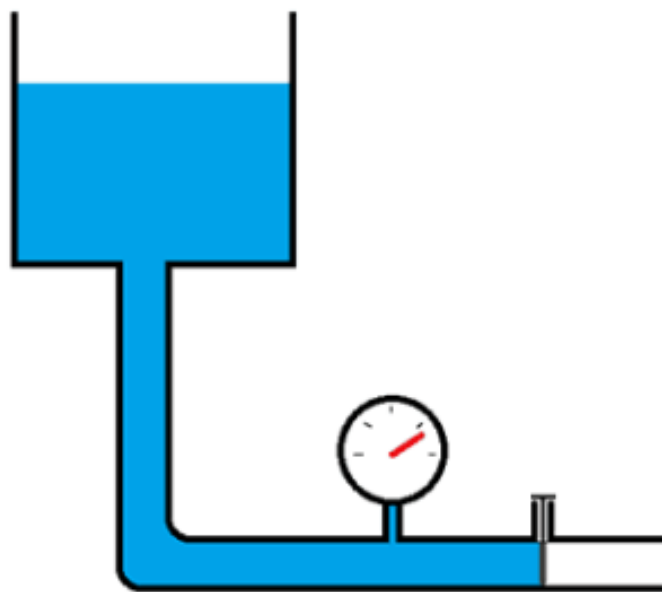
**伏特(Volta)**  
意大利物理学家  
(1745-1827)



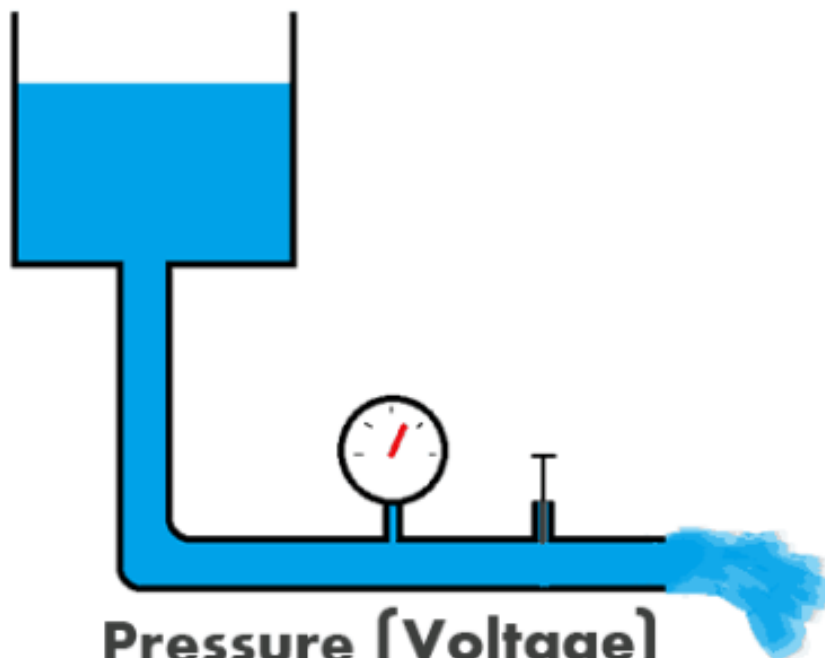
## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

电压与电流的关系与水压和水流类似

**Water analogy**  
**Voltage = Pressure. Current = Flow**



**Pressure (Voltage)**  
**No Current**



**Pressure (Voltage)**  
**And Current**



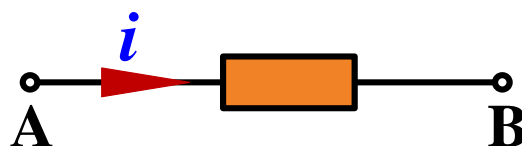
## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

### 三、电流和电压的参考方向（Reference Directions）

人为规定电路中的电流或电压的正方向。

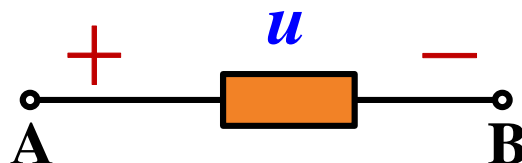
大学电路和高中物理  
电路的重要区别！

电流参考方向：



$\left\{ \begin{array}{l} i > 0 : \text{电流实际方向与参考方向一致} \\ i < 0 : \text{电流实际方向与参考方向相反} \end{array} \right.$

电压参考方向：



$\left\{ \begin{array}{l} u > 0 : \text{电压实际方向与参考方向一致} \\ u < 0 : \text{电压实际方向与参考方向相反} \end{array} \right.$

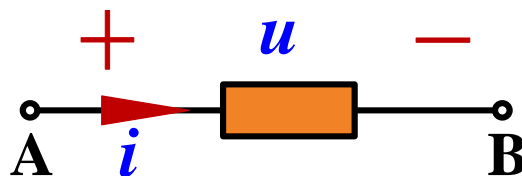
## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

### 三、电流和电压的参考方向（Reference Directions）

人为规定电路中的电流或电压的正方向。

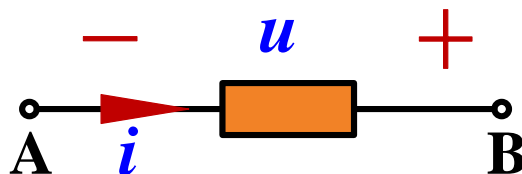
大学电路和高中物理  
电路的重要区别！

关联参考方向：



电流从电压参考极性的“+”端流向“-”端

非关联参考方向：



电流从电压参考极性的“-”端流向“+”端

## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

### 四、功率 (Power)

单位时间内电路吸收或者提供的能量。

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \cdot \frac{dq}{dt}$$

$$u = \frac{dW}{dq}$$

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

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

功率等于电压与电流的乘积

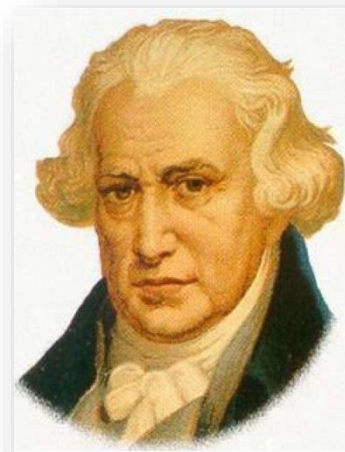
单位：瓦(特)

W kW MW mW

量纲：  $W = V \cdot A$

直流电路中：

$$P = UI$$



詹姆斯·瓦特  
(James Watt)  
英国发明家  
(1736-1819)





## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

### 四、功率 (Power)

单位时间内电路吸收或者提供的能量。

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \cdot \frac{dq}{dt}$$

$$u = \frac{dW}{dq}$$

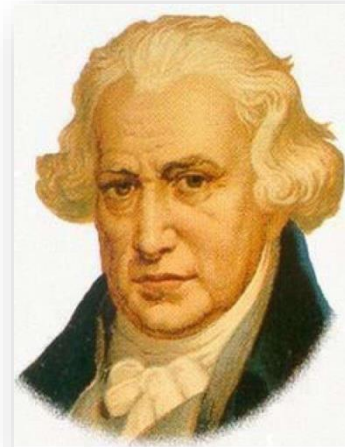
$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

单位：瓦特 W

$$W = \int_{-\infty}^t p(\tau) \cdot d\tau$$

单位：焦耳 J



詹姆斯·瓦特  
(James Watt)  
英国发明家  
(1736-1819)



焦耳 (Joule)  
英国物理学家  
(1818-1889)

电工教研室

T&R Section of Electrical Engineering



## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

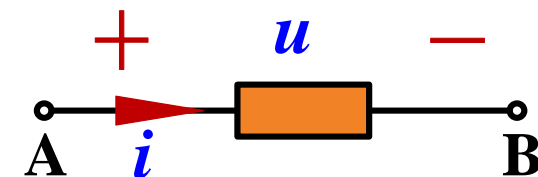
### 四、功率 (Power)



### 功率的物理意义

关联参考方向:

$$p_{\text{吸}} = ui$$
$$(p_{\text{发}} = -ui)$$



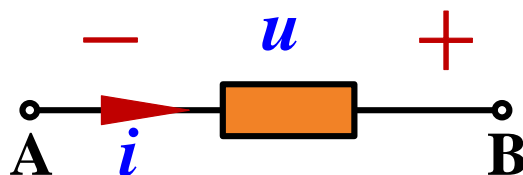
$$\begin{cases} P > 0 & \text{吸收正功率} \\ P < 0 & \text{吸收负功率} \end{cases}$$

(实际吸收)

(实际发出)

非关联参考方向:

$$p_{\text{发}} = ui$$
$$(p_{\text{吸}} = -ui)$$



$$\begin{cases} P > 0 & \text{发出正功率} \\ P < 0 & \text{发出负功率} \end{cases}$$

(实际发出)

(实际吸收)



## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

### 四、功率 (Power)

★ 功率的物理意义:

记忆 只记关联情况  
宝典  $p_{\text{吸}} = ui$



$$p = ui \quad p = -ui$$

关联参考方向:

吸收

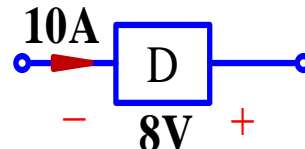
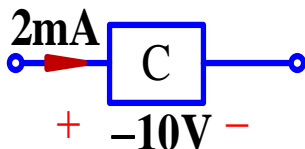
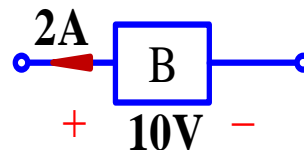
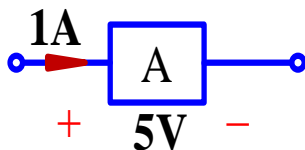
发出

非关联参考方向:

发出

吸收

【例】 求 (1) 元件A和B吸收的功率;  
(2) 元件C和D发出的功率。



## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

### 四、功率 (Power)

★ 功率的物理意义:

$$p = ui \quad p = -ui$$

关联参考方向:

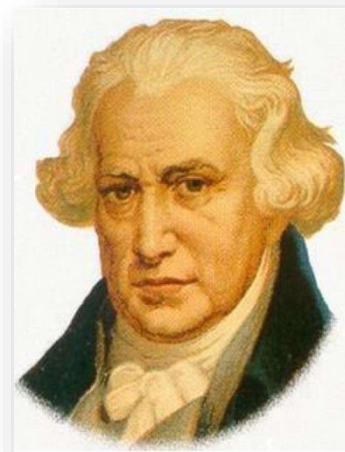
吸收

发出

非关联参考方向:

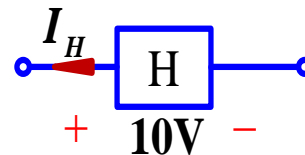
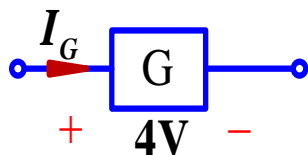
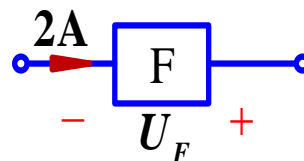
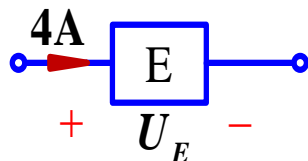
发出

吸收



詹姆斯·瓦特  
(James Watt)  
英国发明家  
(1736-1819)

- 【例】 (1) 若元件E和F吸收的功率均为10W, 分别求它们的电压。  
(2) 若元件G和H发出的功率均为10W, 分别求它们的电流。



## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

### 电路中基本物理量之间的普遍规律

微分形式

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

$$u = \frac{d\psi}{dt}$$

$$p = \frac{dW}{dt}$$

积分形式

$$q = \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau$$

$$\psi = \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau$$

$$W = \int_{-\infty}^t p(\tau) d\tau = \int_{-\infty}^t u(\tau) i(\tau) d\tau$$



## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

### 常用国际单位制词头

中文	英文	符号	因数
毫	milli	m	$10^{-3}$
微	micro	$\mu$	$10^{-6}$
纳	nano	n	$10^{-9}$
皮	pico	P	$10^{-12}$
千	kilo	k	$10^3$
兆	mega	M	$10^6$
吉	giga	G	$10^9$





## § 1.2 电路的基本物理量和参考方向

### ★ 小结:

- (1) 分析电路前必须选定**电压**和**电流**的**参考方向**。
- (2) 参考方向一经选定，必须在电路中相应位置标注（包括**方向和符号**），在计算过程中不得任意改变。
- (3) 参考方向不同时，其对应的表达式符号也不同，但**实际方向不变**。
- (4) 参考方向也称为假定方向、正方向，以后讨论均在参考方向下进行。

