



# 非平衡直流电桥

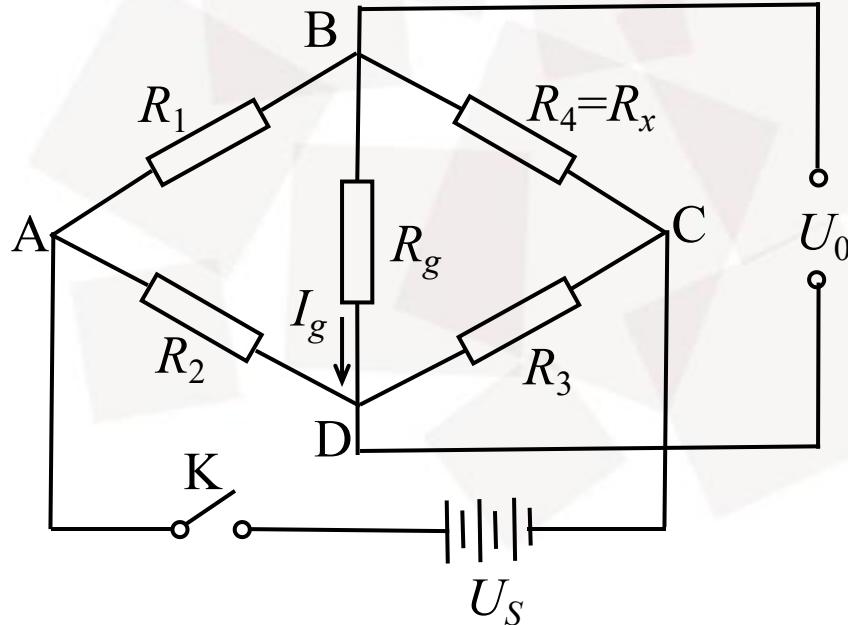
Unbalanced Wheatstone Bridge

浙江大学 物理实验教学中心





# 组装非平衡电桥并测量电阻



实验要求：

- 1、熟悉仪器按钮功能；
- 2、选用平衡电桥“5V档”，按原理图搭建电桥，测量待测变温电  
阻室温下阻值。

1

# EXPERIMENT BACKGROUND 实验背景



克里斯蒂

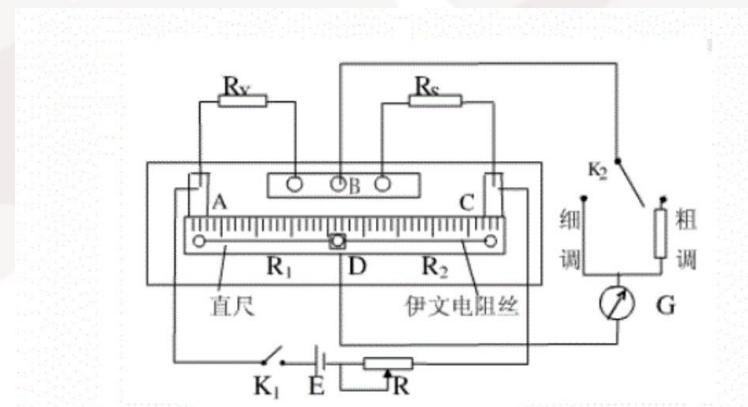
S. H. Christie  
1784-1865



惠斯登

C. Wheatstone  
1802-1875

1833年，英国数学家S. 克里斯蒂发明了由四个电阻组成的电桥，但由于缺乏仪器而无法实际应用，直到1843年惠斯顿发明了变阻器，借助于变阻器和这种电桥电路，惠斯顿成功地对电阻做了精确测量。由于惠斯顿第一个用它来测量电阻，所以人们把这种电桥称为惠斯顿电桥。



早期惠斯顿电桥电路



惠斯登电桥: 140微欧

电线电报

开尔文电桥: 1微欧

麦克斯韦电桥

维恩电桥

非平衡电桥...

放大器

阻抗分析仪 (LCR表)



**1E-4 – 99.9999E6 Ω**

**1.00000E-18 – 999.9999E18 Ω**

**1E-17 – 9.999999 F**

**1.00000E-18 – 999.9999E18 F**

**1E-12 – 99.99999 H**

**1.00000E-18 – 999.9999E18 H**

2

## EXPERIMENT OBJECTIVE 实验目的



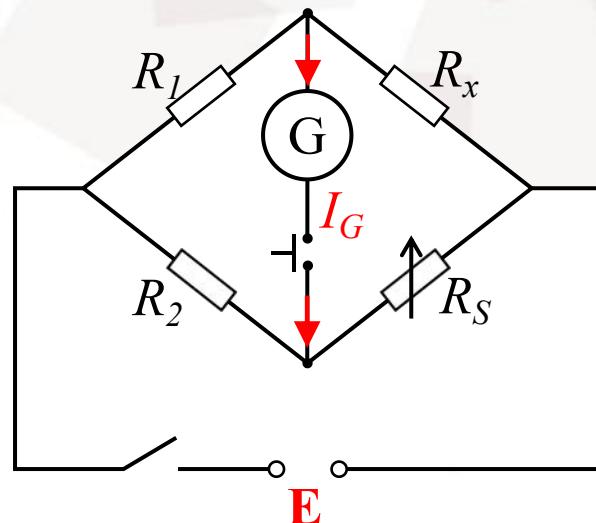
- 掌握非平衡电桥的工作原理和测量方法
- 应用非平衡电桥测量金属材料的温阻特性和  
电阻温度系数

3

## EXPERIMENT PRINCIPLE 实验原理



惠斯登电桥电路图

电桥平衡:  $I_G = 0$ 

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_S = kR_S$$

待测电阻 = 比率 × 比较电阻

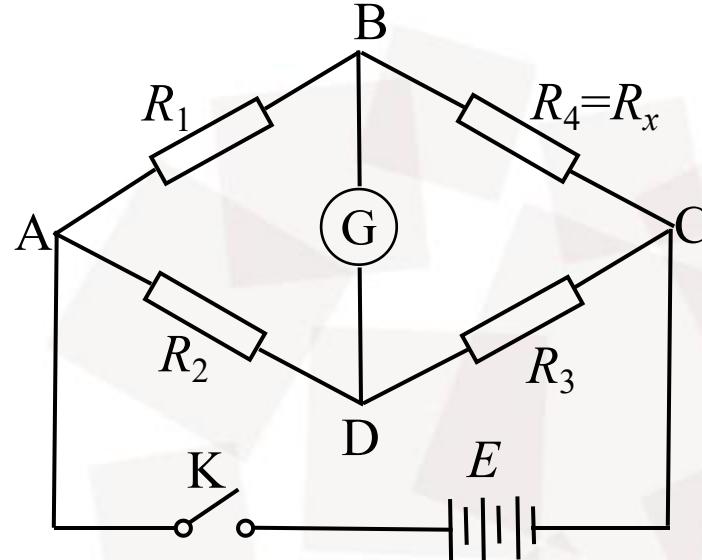
 $R_1$ 、 $R_2$ 为比率臂,  $k$ 为电桥倍率,  $R_3$ 为比较臂。



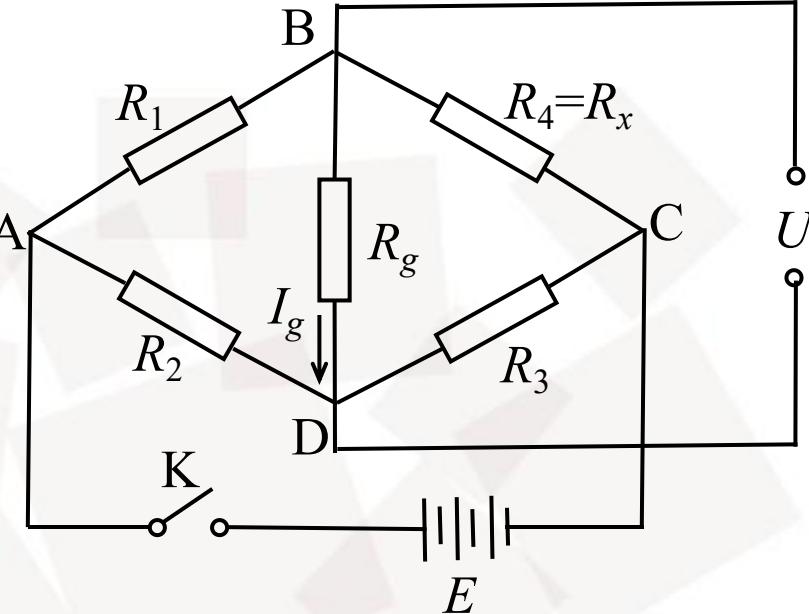
平衡电桥一般用来测量相对稳定的物理量，而在实际工程中和科学实验中物理量往往是连续变化的。这些变化的物理量怎么测量？

采用非平衡电桥！

某些传感器元件受外界环境（**压力、温度、形变**）变化引起**内阻**的变化，通过**非平衡电桥**可将阻值**转化为电压输出**，从而达到测量、控制环境变化的目的。



$R_x \rightarrow R_x + \Delta R$



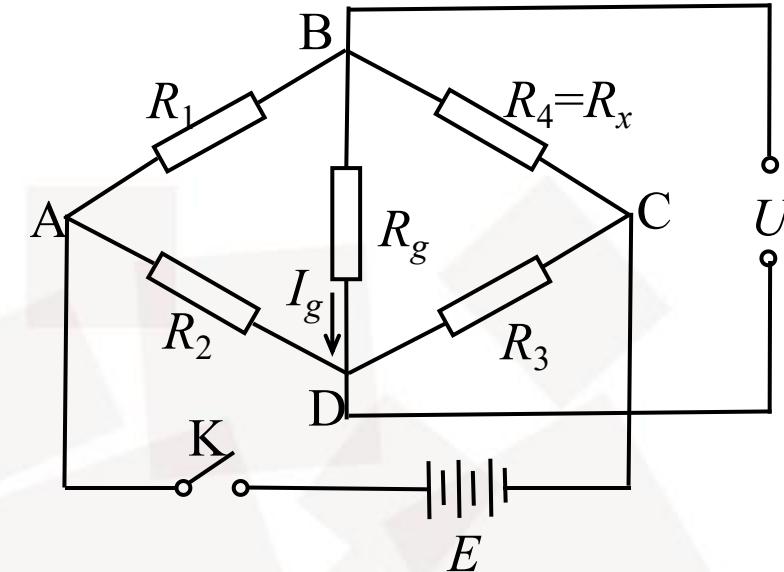
用非平衡电桥测量电阻时：

- $R_1$ 、 $R_2$ 和 $R_3$ 保持不变
- $R_x$ （即 $R_4$ ）变化 →  $U$ 变化
- 确定  $U$ 与  $R_x$  的关系
- 检测  $U$  从而测得  $R_x$



- 当负载电阻  $R_g \rightarrow \infty$ ,  $I_g = 0$ , 输出电压用  $U$  表示

$$\begin{aligned} U = U_{BC} - U_{DC} &= \frac{R_x}{R_1 + R_x} E - \frac{R_3}{R_2 + R_3} E \\ &= \frac{R_2 R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x)(R_2 + R_3)} E \end{aligned}$$



- 当满足条件  $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_x$  时, 电桥输出  $U=0$ , 即电桥处于**平衡状态**

- 若待测电阻  $R_x$  变为  $R_x + \Delta R_x$  时, 电桥**不再平衡**而产生输出电压:

$$U = \frac{R_2 R_x + R_2 \Delta R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x + \Delta R_x)(R_2 + R_3)} E$$

- 可以由  $U$  值得到电阻  $R_x$  变化值  $\Delta R_x$



## 金属电阻与温度系数

- 金属电阻随温度变化的特性：
  - 高温（线性）：电子声子相互作用主导
  - 低温（幂次）：电声、电电、轨道电子

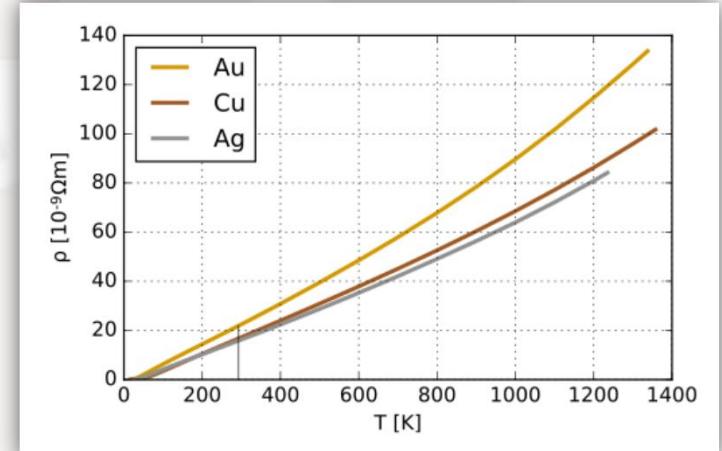
[Bloch-Grüneisen theorem](#)

$$\rho(t) = \rho_0 + A \left( \frac{t}{\Theta} \right)^n \int_0^{\Theta/t} \frac{x^n}{(e^x - 1)(1 - e^{-x})} dx$$

- 室温下，温度变化不大时，金属温阻表现为线性：

$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

$R_0$ 为变温电阻 $0^\circ C$ 时的阻值， $\alpha$ 为温度系数 ( $\Omega/K$ )



来源：wikipedia



## 温度系数与测量

金属的线性温阻:  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$

$R_t$ 从温度 $0^{\circ}C$ 变到 $t^{\circ}C$ 时的阻值变化 $\Delta R_x = R_0\alpha t$ , 令 $R_x = R_1$ ,

$R_1 = R_2 = R_3 = R_0$ , 代入下式:

$$U = \frac{R_2 R_x + R_2 \Delta R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x + \Delta R_x)(R_2 + R_3)} E$$

$$\text{则: } U = \frac{\alpha t}{4 + 2\alpha t} E$$

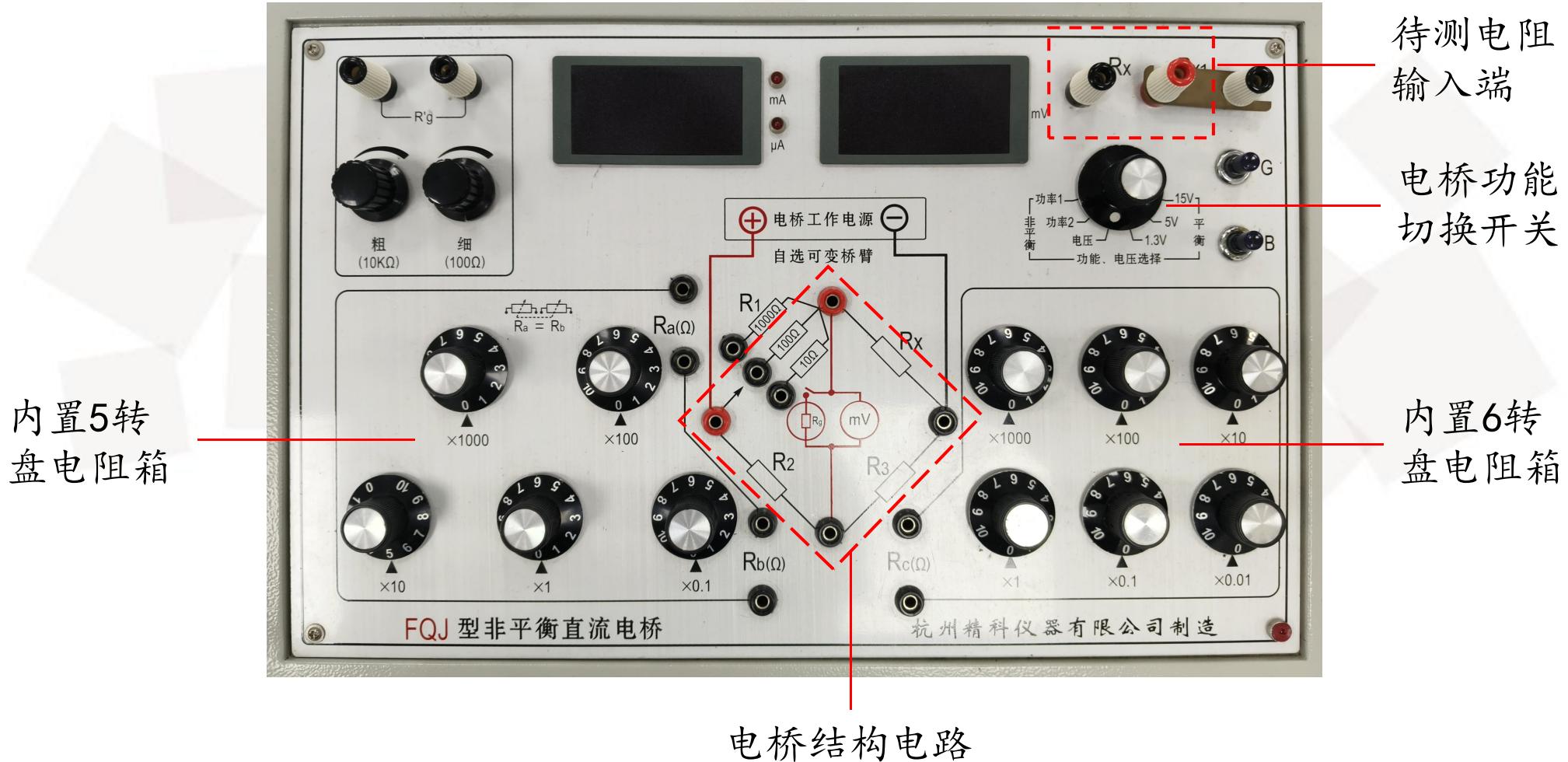
即:  $\alpha = \frac{4U}{t(E-2U)}$ , 因工作电源E值固定, 则测得某温度 $t$ 下的 $U$ 值, 就可求得温度系数 $\alpha$ 。

4

EXPERIMENT DEVICE 实验仪器



# 非平衡直流电桥





## 温控装置



5

EXPERIMENT CONTENT

实验内容



# 1、用非平衡电桥测铜电阻 (Cu50) 温度系数

- (1) 功能开关置于非平衡电压档；
- (2) 连接电路，待测电阻0°C时为 $50\Omega$ ，将 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 均设置为 $50\Omega$ ；
- (3) 测量不同温度下的非平衡电压值，间隔5°C左右。



## 2、用平衡电桥描绘铜电阻（Cu50）温度特性 曲线

- (1) 功能开关置于平衡“5V”档；
- (2) 连接电路，设置 $R_1=R_2$ ；
- (3) 测量不同温度下的电阻值，间隔 $5^{\circ}\text{C}$ 左右。

6

EXPERIMENT RESULT

实验结果



# 1、用非平衡电桥测铜电阻 (Cu50) 温度系数

## (1) 实验数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
温度 $t/^\circ C$								
$U/mV$								
$\alpha/^\circ C^{-1}$								

(2) 计算温度系数平均值，并与理论值比较，求出相对误差。



## 2、用平衡电桥描绘铜电阻 (Cu50) 温度特性曲线

### (1) 实验数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
温度 $t/^\circ C$								
$R_t/\Omega$								

(2) 作  $R_t - t$  特性曲线；

(3) 根据斜率求出温度系数，并与理论值比较，求出相对误差。

# 谢谢！

Unbalanced Wheatstone Bridge

# MANY THANKS

