



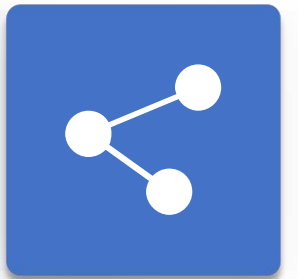
浙江大学物理实验教学中心

TEACHING CENTER FOR EXPERIMENTAL PHYSICS OF ZHEJIANG UNIVERSITY

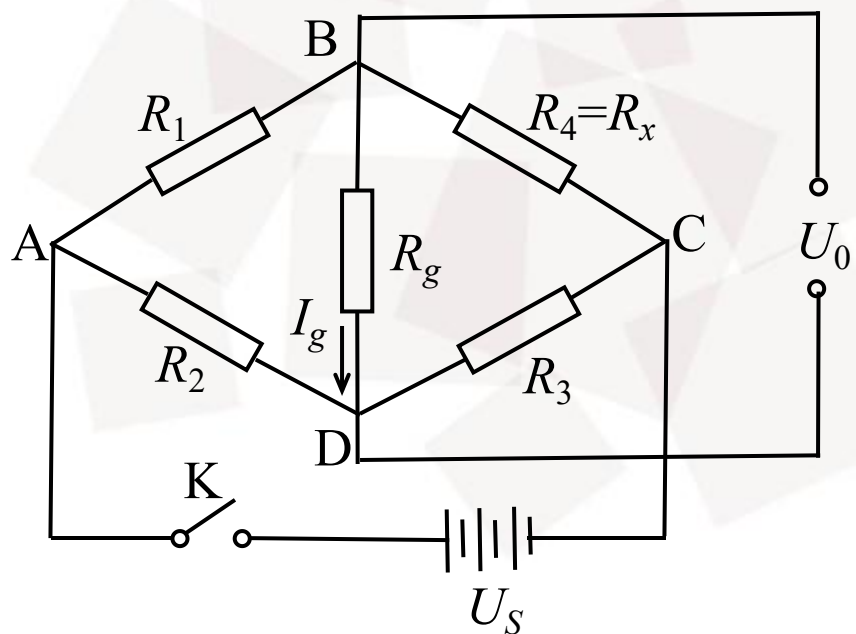
非平衡直流电桥

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

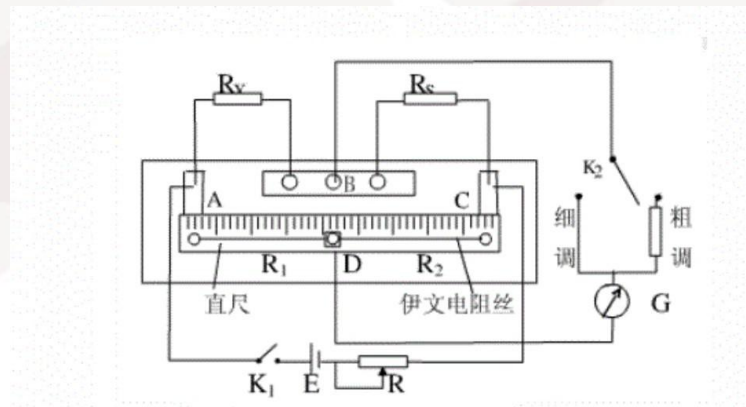
S. H. Christie
1784-1865



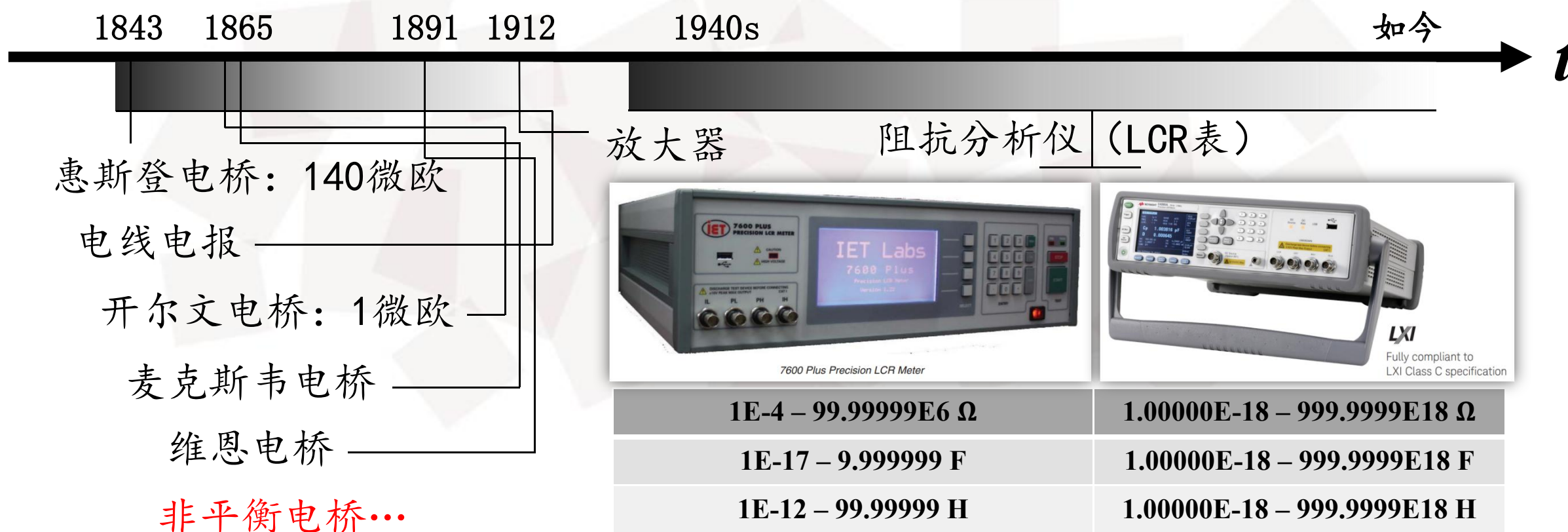
惠斯登

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



2

EXPERIMENT OBJECTIVE 实验目的

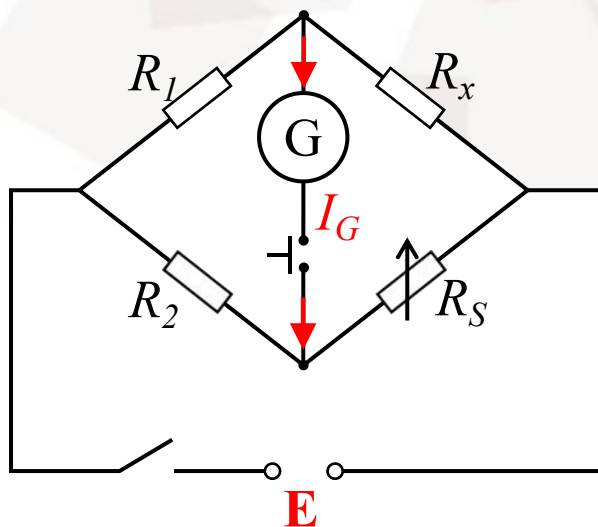


- 掌握非平衡电桥的工作原理和测量方法
- 应用非平衡电桥测量金属材料的温阻特性和
电阻温度系数

3

EXPERIMENT PRINCIPLE 实验原理

惠斯登电桥电路图

电桥平衡: $I_G = 0$

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

▲ ▲ ▲
待测电阻 = 比率 × 比较电阻

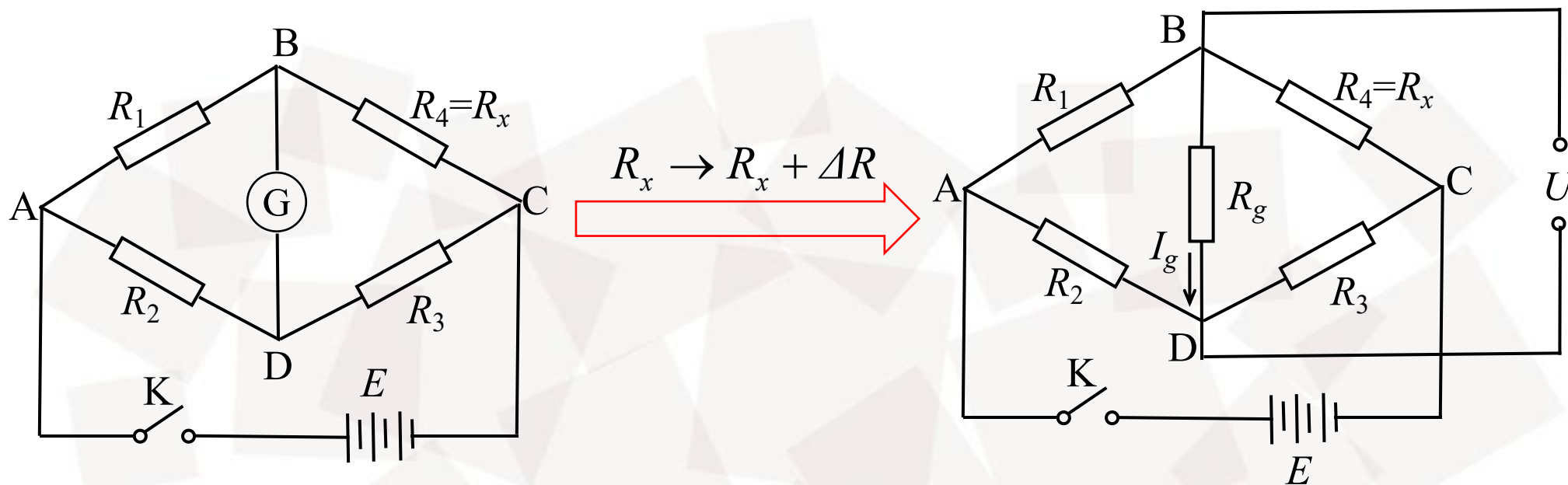
R_1 、 R_2 为比率臂， k 为电桥倍率， R_3 为比较臂。



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。



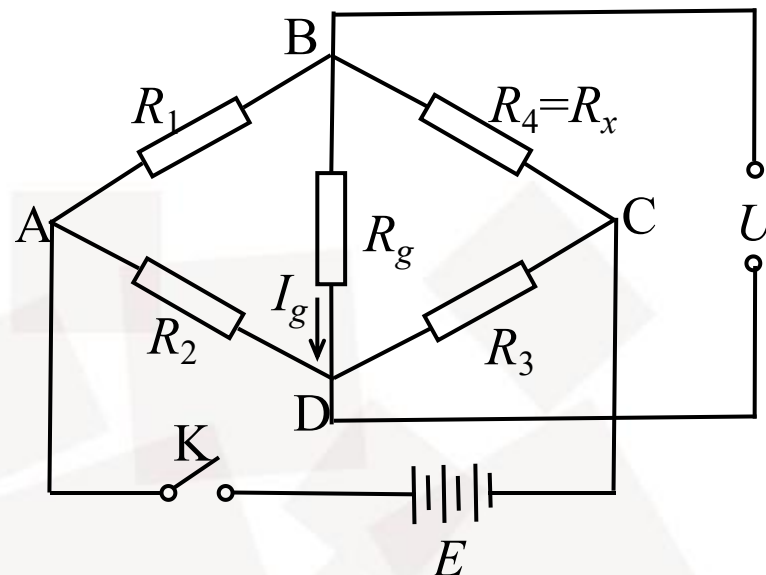
用非平衡电桥测量电阻时：

- R_1 、 R_2 和 R_3 保持不变
- R_x (即 R_4) 变化 \rightarrow 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

$$U = U_{BC} - U_{DC} = \frac{R_x}{R_1 + R_x} E - \frac{R_3}{R_2 + R_3} E$$

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



- 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:

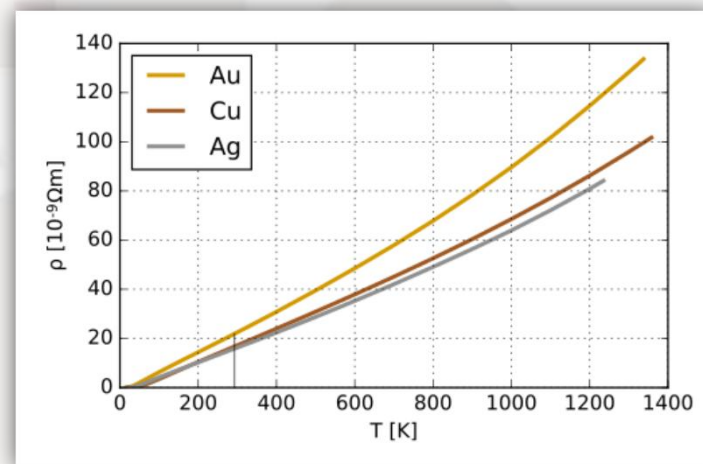
$$U = \frac{R_2 R_x + R_2 \Delta R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x + \Delta R_x)(R_2 + R_3)} E$$

- 可以由 U 值得到电阻 R_x 变化值 ΔR_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：

来源：wikipedia

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

R_0 为变温电阻 0°C 时的阻值， α 为温度系数 (Ω/K)



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°C 变到 $t^\circ\text{C}$ 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：

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

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 α 。

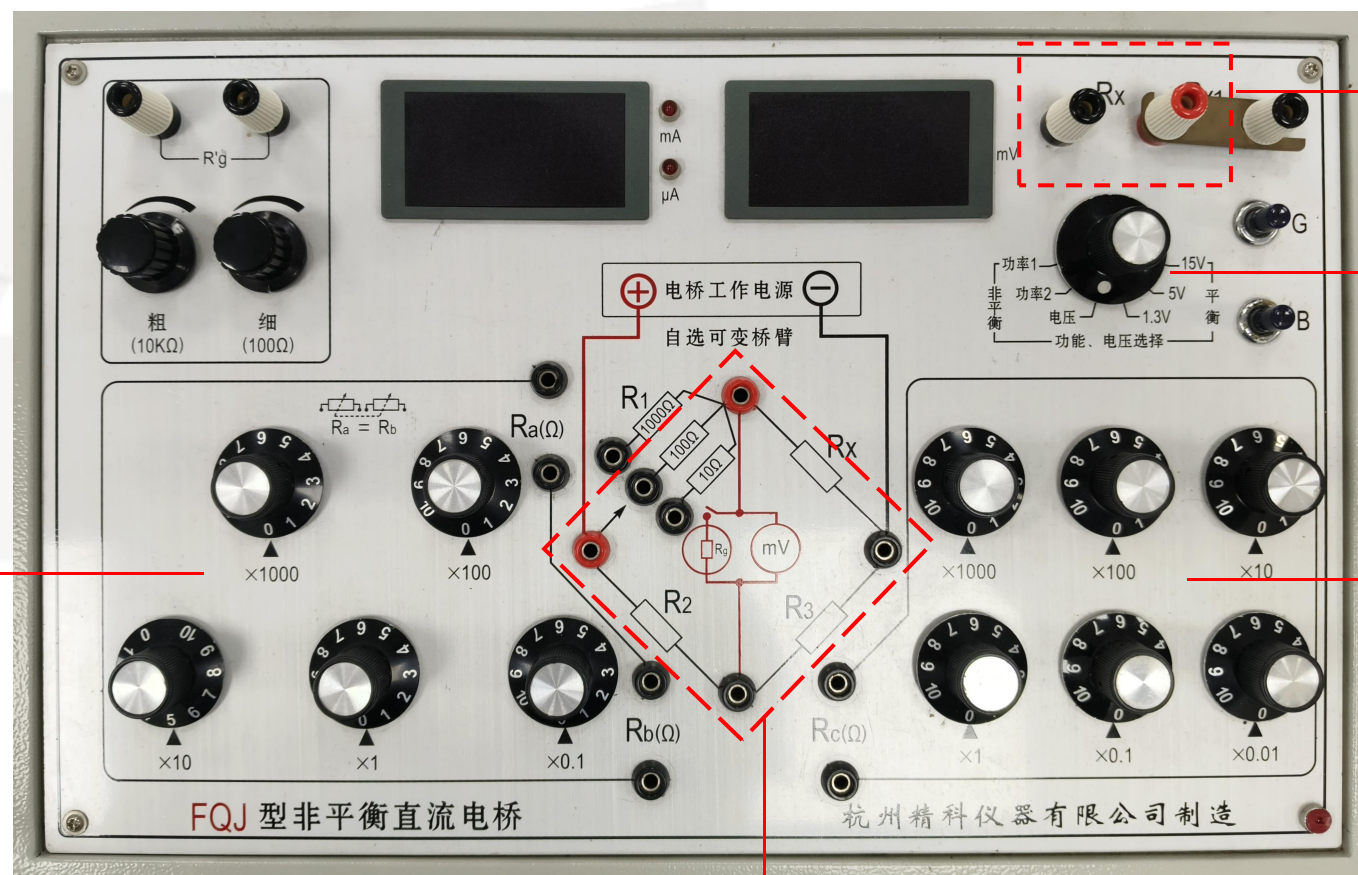
4

EXPERIMENT DEVICE 实验仪器



非平衡直流电桥

内置5转
盘电阻箱



待测电阻
输入端

电桥功能
切换开关

内置6转
盘电阻箱

电桥结构电路



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 50Ω ，将 R_1 、 R_2 、 R_3 均设置为 50Ω ；
- (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°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 $t/^{\circ}\text{C}$								
U/mV								
$\alpha/^{\circ}\text{C}^{-1}$								

(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 $t/^{\circ}\text{C}$								
R_t/Ω								

(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

