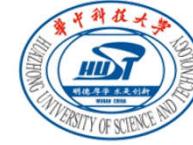




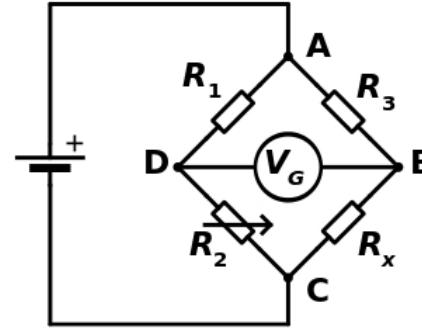
交直流电桥的原理与应用



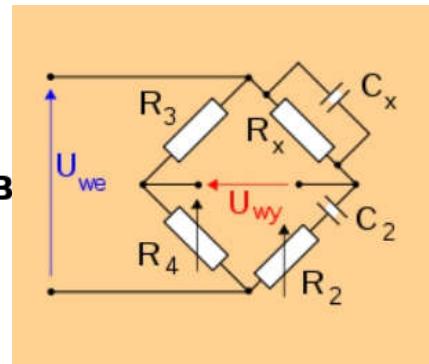
实验目的

1. 掌握直流电桥平衡法测量电阻的基本原理和方法。
2. 掌握非平衡直流电桥测量电阻的基本原理和方法。
3. 了解交流电桥的平衡原理，掌握交流电桥测量电容和电感的方法。
4. 学习用作图法和直线拟合法处理数据。

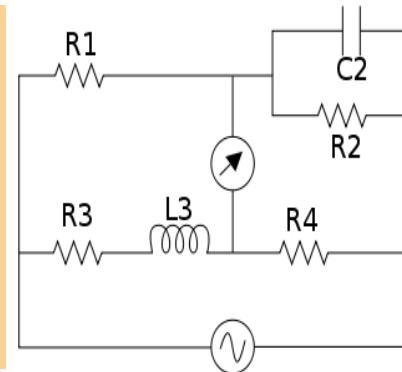
电桥的基本特征



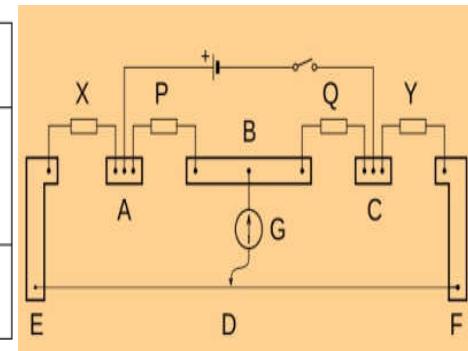
惠斯通电桥



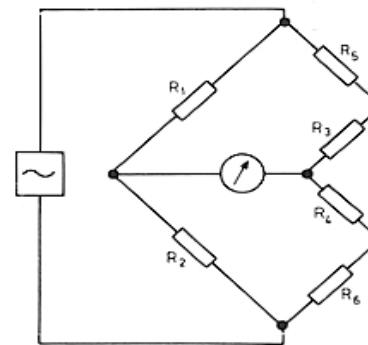
维恩电桥



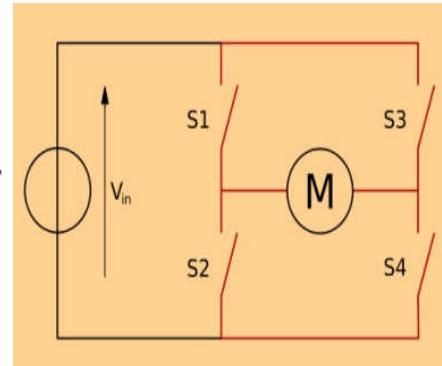
麦克斯韦电桥



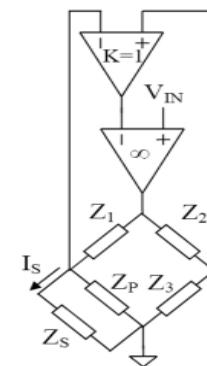
凯利福斯特电桥



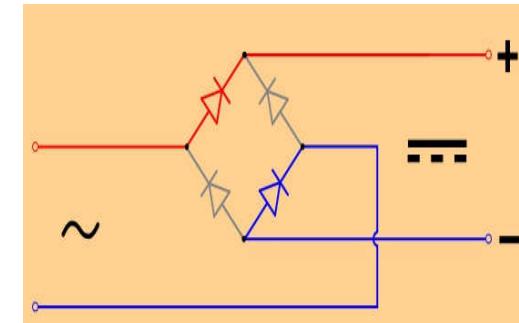
开尔文电桥



“H”桥

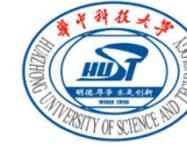


丰塔纳电桥



二极管整流桥

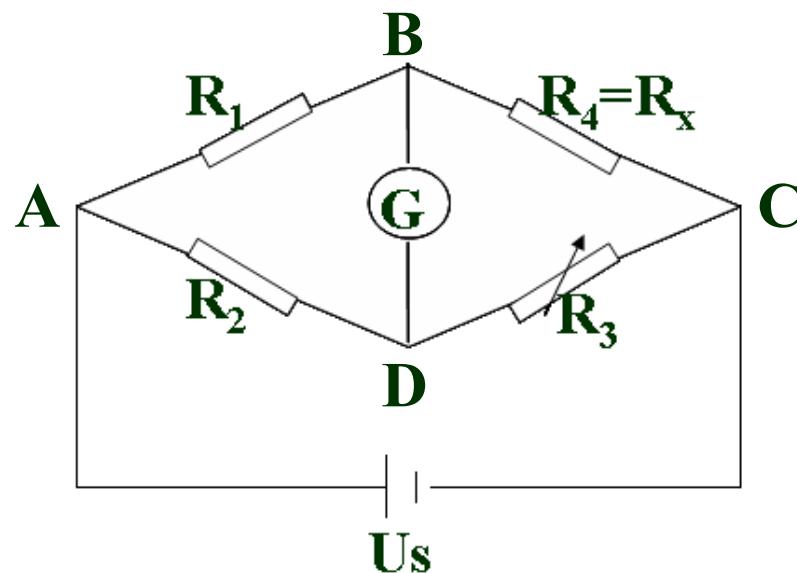
元件连接成四边形，两组对角线分别为电源输入、信号输出



实验原理

1、惠斯通电桥

R_1 、 R_2 、 R_3 是三个可调标准电阻， R_x 是被测电阻， G 是检流计， U_s 是直流电源。

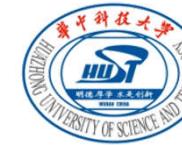


惠斯通电桥原理图

B、D点等电位时称为电桥平衡
电桥达到平衡的条件：

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3 = K R_3$$

电桥比率 $K = \frac{R_1}{R_2}$



实验原理

2、非平衡电桥原理

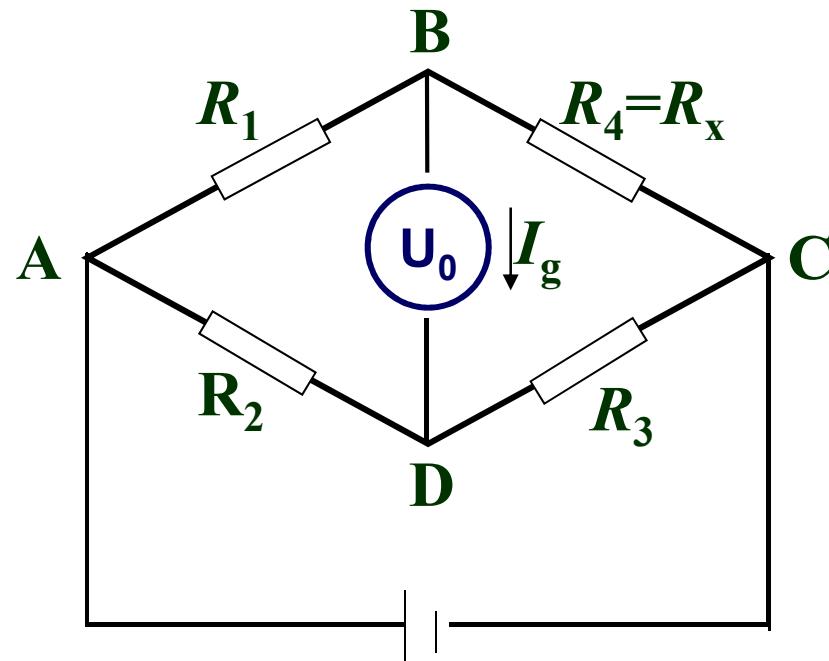


图2. 非平衡电桥原理

非平衡电桥: $I_g \neq 0$

由BD间电压 U_0 测量 R_x

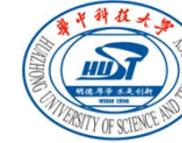
可分为两种形态:

输出对称 (卧式电桥)

$$R_2 = R_3$$

电源对称 (立式电桥)

$$R_1 = R_2$$



实验原理

对于电压表而言，其内阻 R_g 很大，可认为 $R_g \rightarrow \infty$ ，有：

$$U_0 = \frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} \cdot U_s$$

固定 R_1 、 R_2 、 R_3 ，当 R_4 随某非电量 x （如温度、压力等）变化而变化时，有 $R_4(x) \rightarrow R_4 + \Delta R(x)$ ，上式变为：

$$U_0(x) = \frac{R_2 R_4 + R_2 \Delta R(x) - R_1 R_3}{(R_1 + R_4 + \Delta R(x))(R_2 + R_3)} \cdot U_s$$

实验原理

对于卧式电桥, $R_1 = R_4 = R, R_2 = R_3 = R'$

若电阻变化很小, 即 $\Delta R(x) \ll R_1+R_4$

电桥的输出电压为:

$$U_0(x) = \frac{R_2 R_4 + R_2 \Delta R(x) - R_1 R_3}{(R_1 + R_4 + \Delta R(x))(R_2 + R_3)} \cdot U_s = \frac{\Delta R(x)}{4R} \cdot U_s$$

若电阻变化很大, 即 $\Delta R(x) \ll R_1+R_4$ 不成立时,

$$U_0 = \frac{\Delta R(x)}{4R + 2\Delta R(x)} \cdot U_s$$

实验原理

对于立式电桥 $R_3 = R_4 = R, R_1 = R_2 = R'$

若电阻变化很小，即 $\Delta R(x) \ll R_1+R_4$

电桥的输出电压为： $U_0(x) = \frac{R'}{(R+R')^2} \cdot \Delta R(x) \cdot U_s$

若电阻变化很大，即 $\Delta R(x) \ll R_1+R_4$ 不成立时

$$U_0 = \frac{R'}{(R+R')^2} \cdot \frac{\Delta R(x)}{1 + \frac{\Delta R(x)}{R+R'}} \cdot U_s$$

实验原理

3、铜热电阻特性

铜热电阻是通过金属在温度变化时本身电阻也随之发生变化的原理来测量温度的一种传感器

Cu50型铜电阻: $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$

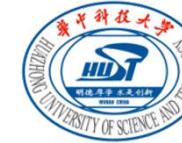
R_0 为t=0°C时的电阻值，50欧姆

α 称为电阻温度系数，约为0.004280 °C⁻¹

另一种常用的热电阻是铂。

优点：稳定；准确；线性度较好。

缺点：电阻变化小；响应速度慢；成本较高。



实验原理

4、热敏电阻特性

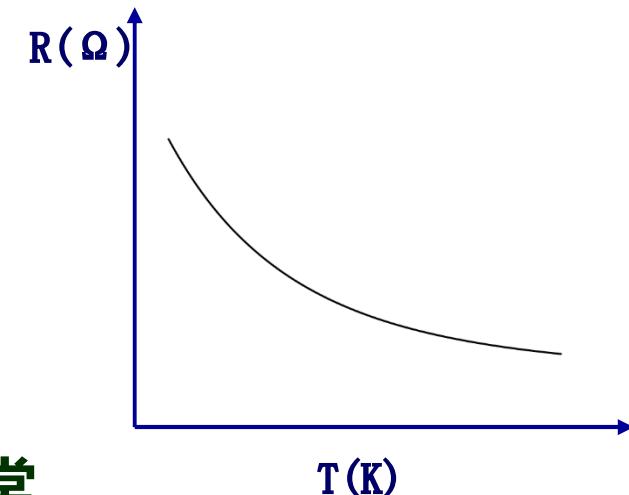
热敏电阻是一种负电阻温度系数的半导体金属氧化物电阻，是一种典型的非线性电阻。

$$R_t = R_{25} e^{B_n (1/T - 1/298)}$$

R_{25} 为t=25°C时的电阻值， B_n 为材料常数，制作时不同的处理方法其值不同。

优点：灵敏度高，响应速度快。

缺点：非线性；温度范围有限；自发热。



实验原理

5、交流电桥的平衡条件

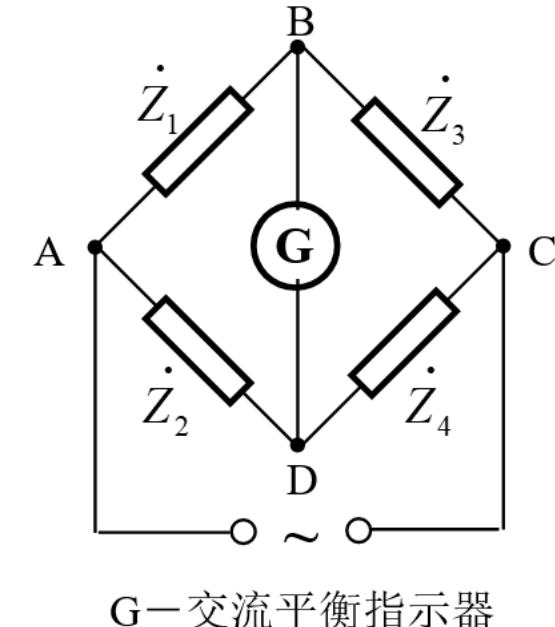
电源：交流电压 $U = U_s \sin(\omega t + \theta)$

桥臂元件：电阻、电容、电感

电桥平衡：BD两点在任意瞬间电位都相等

复阻抗—欧姆定律

$$\tilde{Z} = \frac{\tilde{u}}{\tilde{i}} = \frac{\tilde{U}_0 e^{i\omega t}}{\tilde{I}_0 e^{i\omega t}} = \frac{U_0 e^{i\phi_u}}{I_0 e^{i\phi_i}} = \frac{U_0}{I_0} e^{i(\phi_u - \phi_i)}$$



复阻抗的实部和虚部都有意义，定义电路元件的电压电流关系。

平衡条件： $\frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z}_2} = \frac{\dot{Z}_3}{\dot{Z}_4}$

实验原理

6、电容的测量

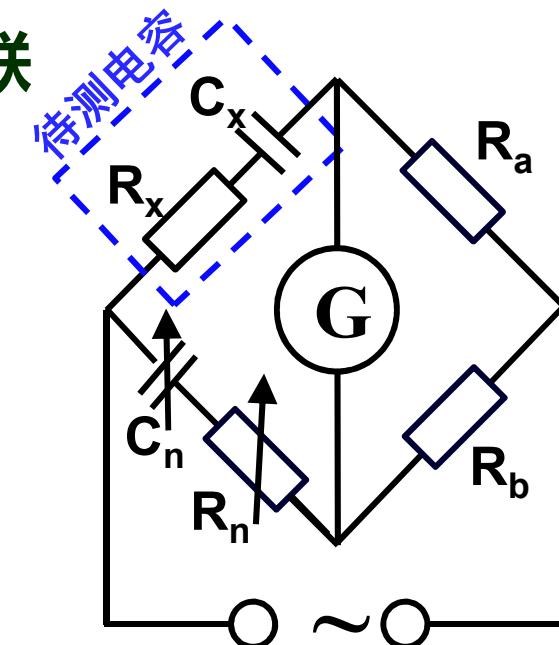
实际电容模型：理想电容 C_X 与损耗电阻 R_X 串联

固定臂： R_a 、 R_b 为纯电阻

调节臂： C_n 、 R_n 串联

由平衡条件，当电桥平衡时：

$$\left\{ \begin{array}{l} C_X = \frac{R_b}{R_a} C_n \\ R_X = \frac{R_a}{R_b} R_n \end{array} \right.$$



串联电阻式电容电桥

损耗因子 $\operatorname{tg}\delta = R_X C_X \omega = R_n C_n \omega$

注意： R_X 代表待测电容的等效串联电阻，不是真实电阻。

实验原理

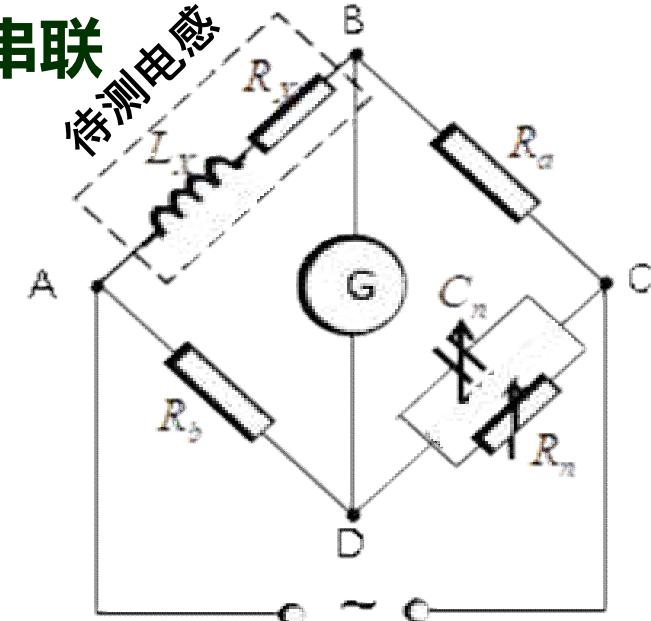
7、电感的测量

实际电感模型：理想电容 L_X 与损耗电阻 R_X 串联

由电桥平衡条件可得：

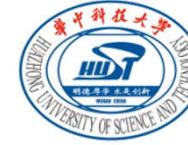
$$\begin{cases} L_X = R_a R_b C_n \\ R_X = \frac{R_a R_b}{R_n} \end{cases}$$

被测电感的品质因数 $Q = \frac{\omega L_X}{R_X} = \omega C_n R_n$



注意： R_X 代表待测电感的等效串联电阻，不是真实电阻。

交流电桥的平衡必须同时满足幅、相平衡两个条件，在最简单的桥路中也至少要有两个桥臂参数是可调的，并需反复调节，才能逐渐接近平衡。



交直流电桥

平衡电桥（惠斯通电桥）

平衡状态下通过比较电阻的方法精确测量电阻；
电路对称，抑制干扰，如电源、温度的影响。

非平衡电桥

电桥非平衡状态下测量电压，计算电阻；
常用于动态电阻测量。

交流电桥

与直流电桥比较：
平衡状态下完成测量；
平衡条件不同，至少2个独立可调元件。

实验仪器



華中科技大学
Huazhong University of Science and Technology



FB306A型交直流电桥

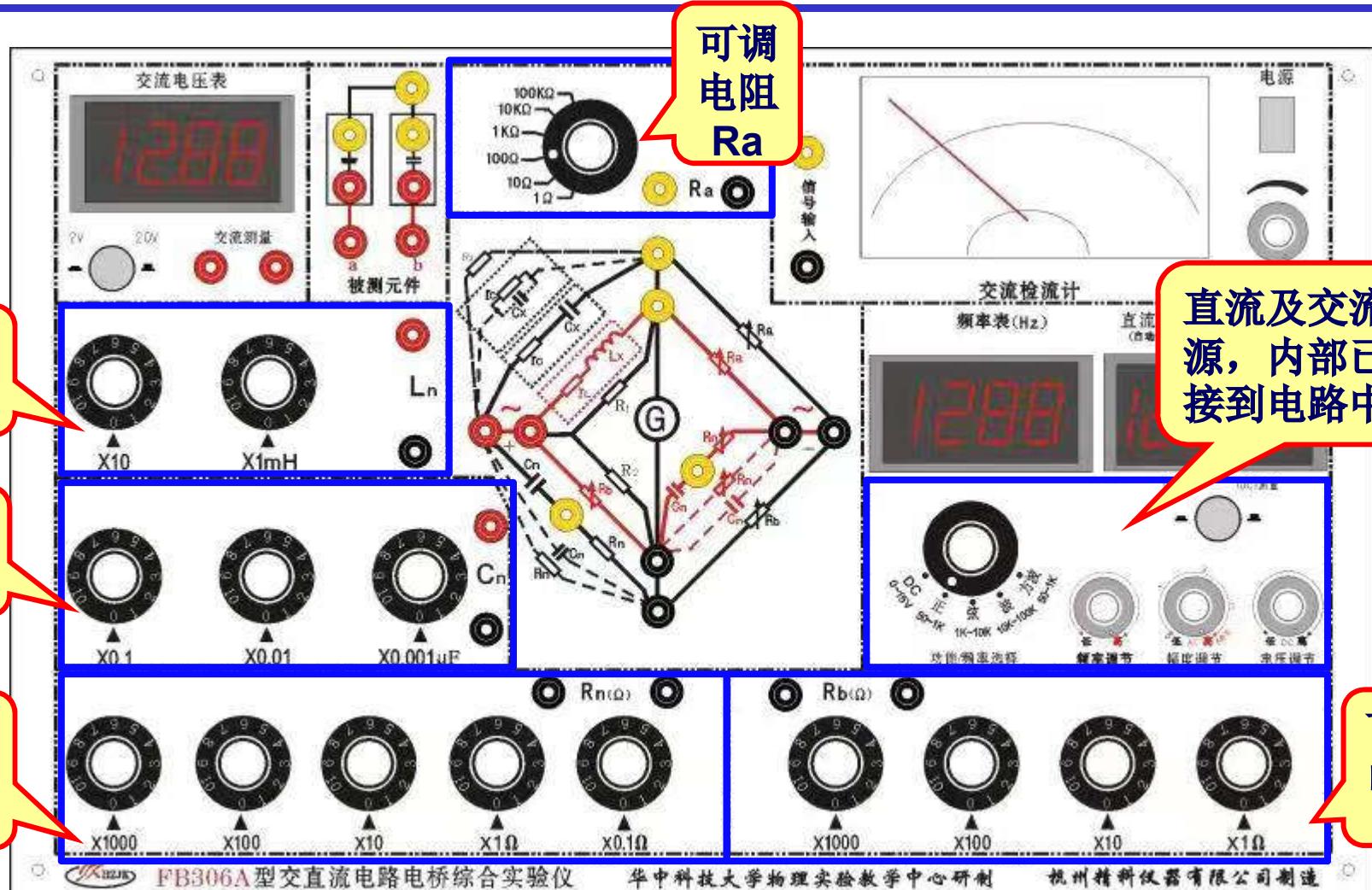


FB203型恒流智能控温实验仪

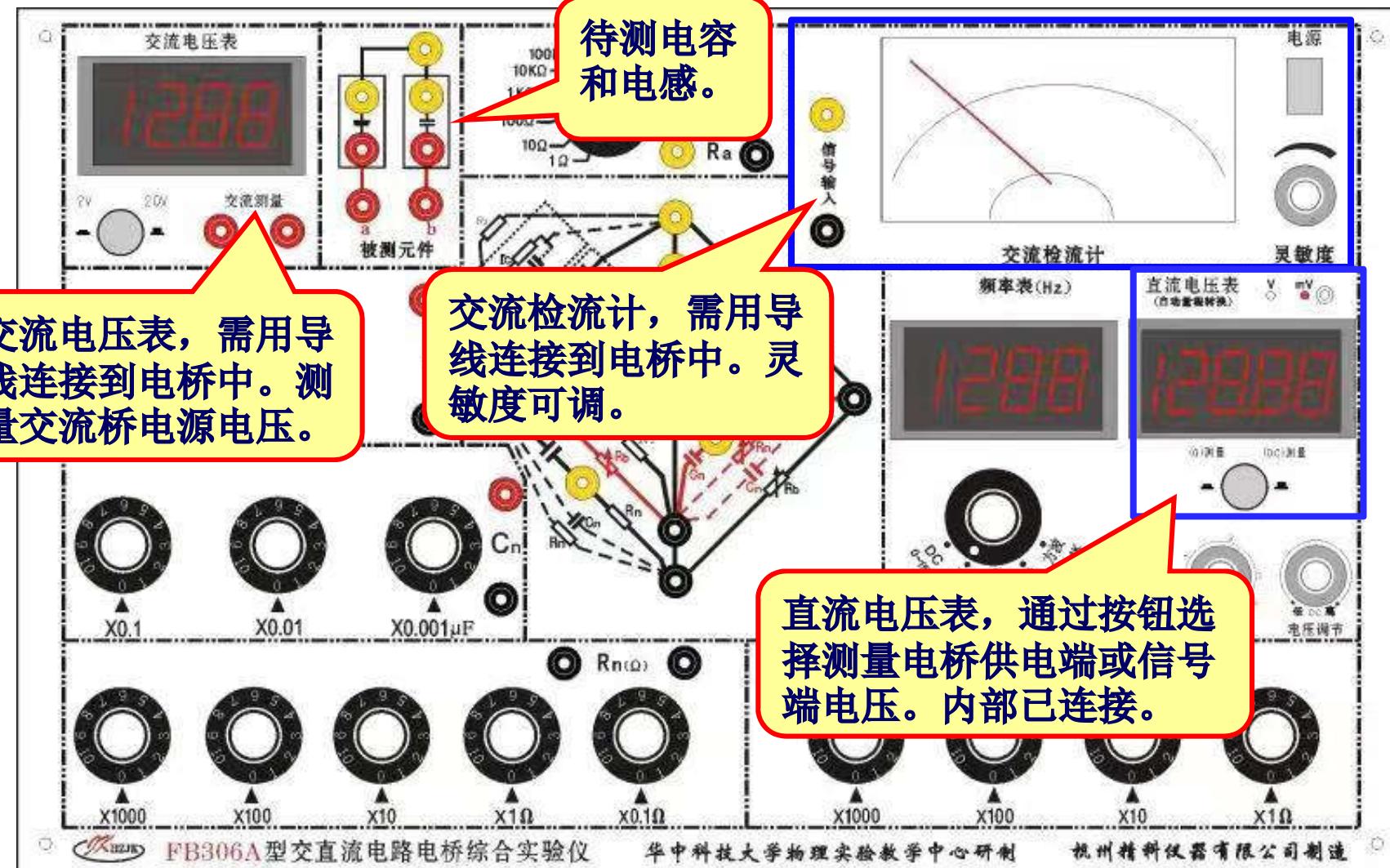


FQJ/2型 加热装置

FB306A型交直交流电桥



FB306A型交直交流电桥



FB203控温仪面板



实验内容及步骤

1、平衡电桥法测量室温下铜电阻

1) 电桥电源: 直流 (3.000 ± 0.005)V

- ✓ 将“频率/功能选择”旋钮置于“DC 0-15V”挡
- ✓ 直流电压表下的按钮处于弹起状态（此时电压表测量的是电桥供电端的电压）
- ✓ 调节“电压调节”旋钮

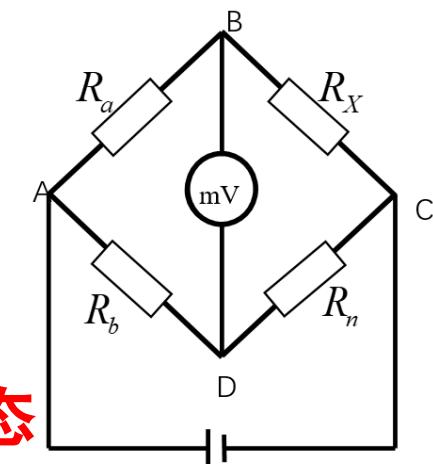
2) 连接电路

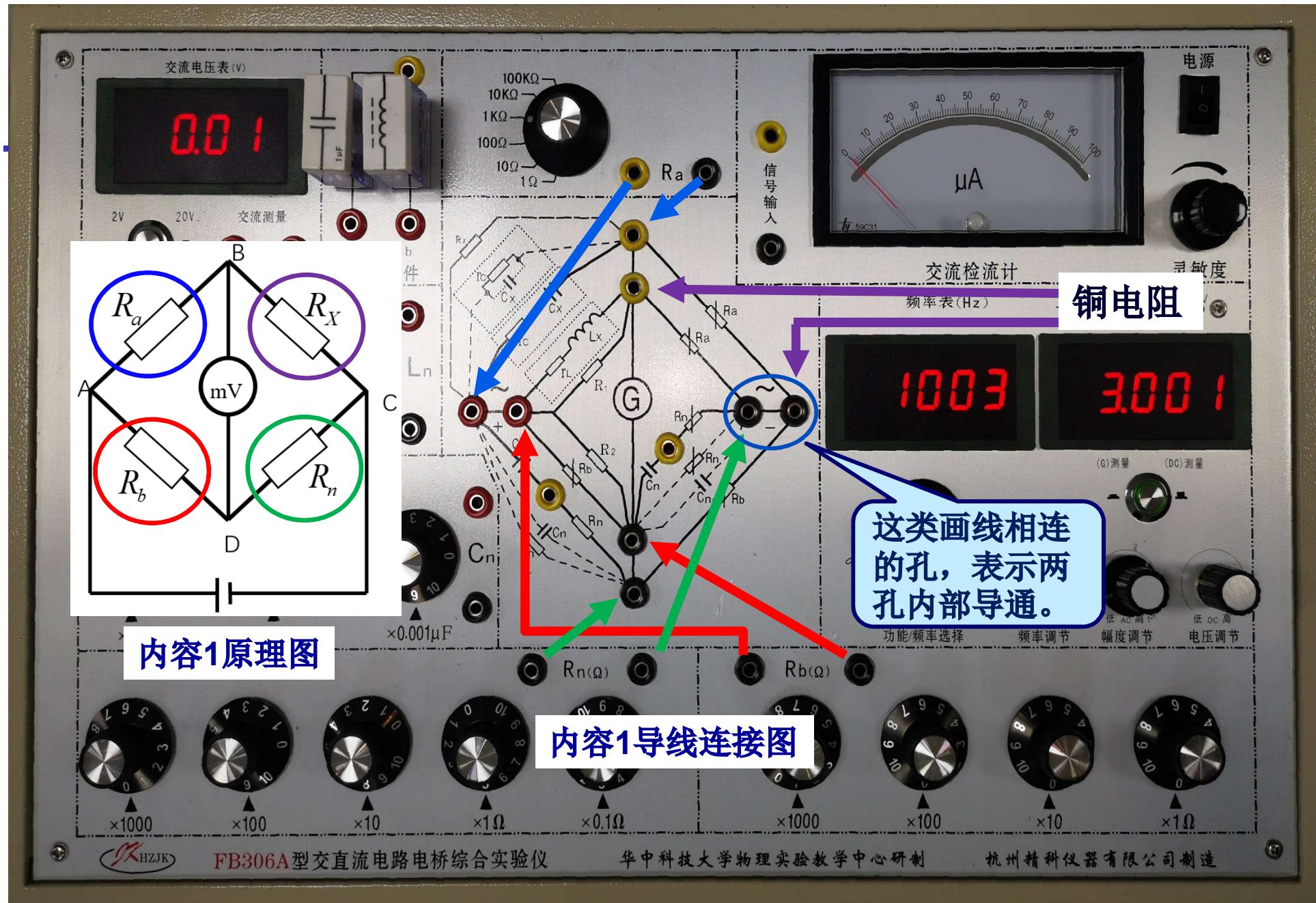
R_a 置 $1k\Omega$ 挡, R_b 置 5000Ω 挡

3) 调节 R_n 使电压表示数为零, 电桥平衡。

记录各桥臂电阻及温度。

调节电桥平衡时, 直流电压表下按钮应处于按下状态





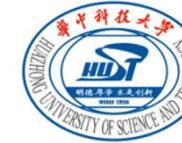
实验内容及步骤



参考数据表格

平衡电桥测量室温下Cu50电阻

电源电压 $U_s(V)$	温度 $t(^{\circ}C)$	$R_a(\Omega)$	$R_b(\Omega)$	$R_n(\Omega)$	$R_x(\Omega)$



实验内容及步骤

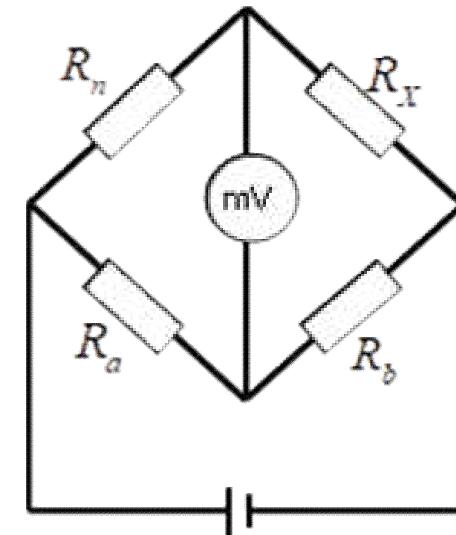
2、卧式电桥测量铜电阻随温度变化关系

- 1) 连接线路，调节桥臂电阻 $R_a=R_b=1000\Omega$ ；
- 2) 在室温下调节 R_n 使得电压表示数为尽可能接近零，记录温度、电压和 R_n ，后续升温过程中 R_n 保持不变。
- 3) 加热升温，每隔 3°C 测一个点，记录电压值和温度，共测10个点。

注意：

低电流加热，测量过程中让炉内温度始终缓慢上升，使铜电阻温度与温度计温度基本一致。

内容2与内容1电路不同。

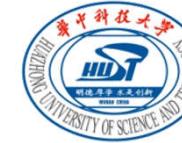


实验内容及步骤

温控仪使用方法：

- 1.开机后在欢迎界面按“下一步”框，进入主界面。
- 2.按触摸屏上“启动”框开始加热。
- 3.加热电流设置在0.5A左右，低电流加热控制温度缓慢上升。
- 4.在启动状态下再次按“启动”框可停止加热。
- 5.需要降温时，可按下“风冷控制”开启风扇散热。
风扇开启时会自动停止加热。

注意：电容触摸屏，手指轻按。



实验内容及步骤

参考数据表格

卧式电桥测量Cu50电阻

重要的实验参数一定要记录

电源电压 $U_s = \text{V}$, 固定电阻 $R_a = \Omega$, $R_b = \Omega$, $R_n = \Omega$

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t ($^{\circ}\text{C}$)										
U (mV)										
R_x (Ω)										



实验内容及步骤

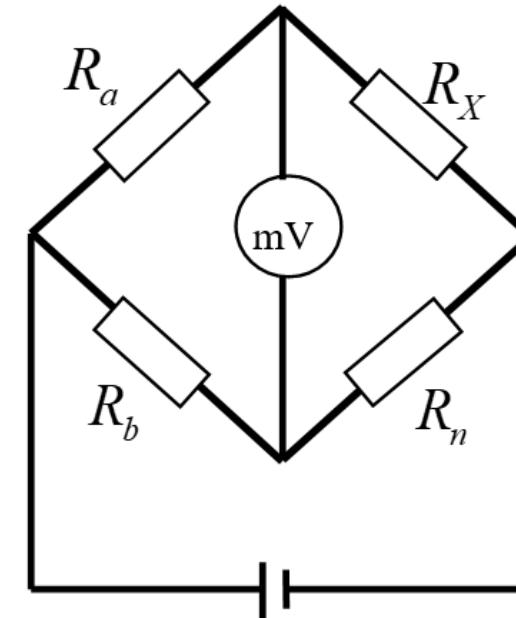
3、用立式电桥测量热敏电阻随温度变化关系（选做）

1) 连接线路，调节桥臂电阻

$$R_a = R_b = 100\Omega ;$$

2) 在室温下调节 R_n 使得电压表示数为零，记录温度和 R_n ，后续升温过程中 R_n 保持不变。

3) 加热升温，每隔 3°C 测一个点，记录电压值和温度，共测10个点。



热敏电阻的温度响应速度快，加热电流可以适当加大。



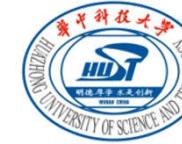
实验内容及步骤

参考数据表格

立式电桥测量热敏电阻

电源电压 $U_s = \text{V}$, 固定电阻 $R_a = \Omega$, $R_b = \Omega$, $R_n = \Omega$

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t ($^{\circ}\text{C}$)										
U_0 (mV)										
R_x (Ω)										
T (k)										
I/T										
$\ln R_x$										



实验内容及步骤

4、交流电桥测量电容

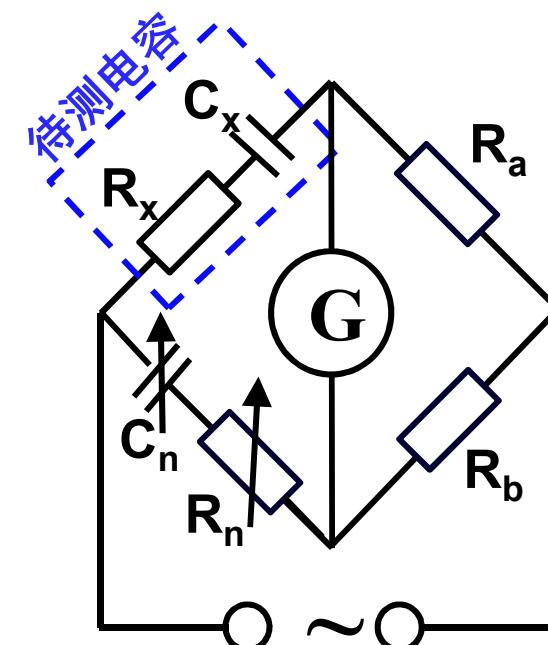
1) 设置电源为正弦波，调节频率为 $(1000\pm 5)\text{Hz}$ 。

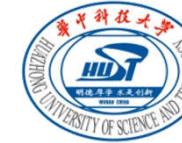
用2根导线将交流电压表的测量端连接到电桥的电源端，调节“幅度调节”旋钮，使得交流电压表示数在 $(2.00\pm 0.02)\text{V}$ 范围内

2) 连接线路。

调节桥臂电阻 $R_a=100\Omega$, $R_b=120\Omega$

交流检流计需用导线连接到电桥中



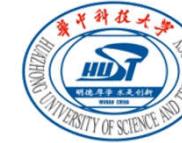


实验内容及步骤

3) 调节电桥平衡

- ✓ 将“灵敏度”旋钮逆时针转动，调节至较低位置。
- ✓ 根据待测电容 C_x 的标称值 $1\mu F \pm 20\%$ ，估算出 C_n 的取值。
- ✓ 将 C_n 调节到估算值附近， R_n 可先调整为 0Ω 。
- ✓ 交替调节 C_n 、 R_n ，使得交流检流计示数最小。然后逐渐增大交流检流计灵敏度，重复调节，直至灵敏度最大。
- ✓ 电桥平衡后，记录 R_a 、 R_b 、 C_n 、 R_n 的值。

自拟表格记录数据。



实验内容及步骤

5、交流电桥测量电感

- 1) 电源设置与内容4相同。
- 2) 连接线路。

调节桥臂电阻 $R_a = 100\Omega$, $R_b = 100\Omega$

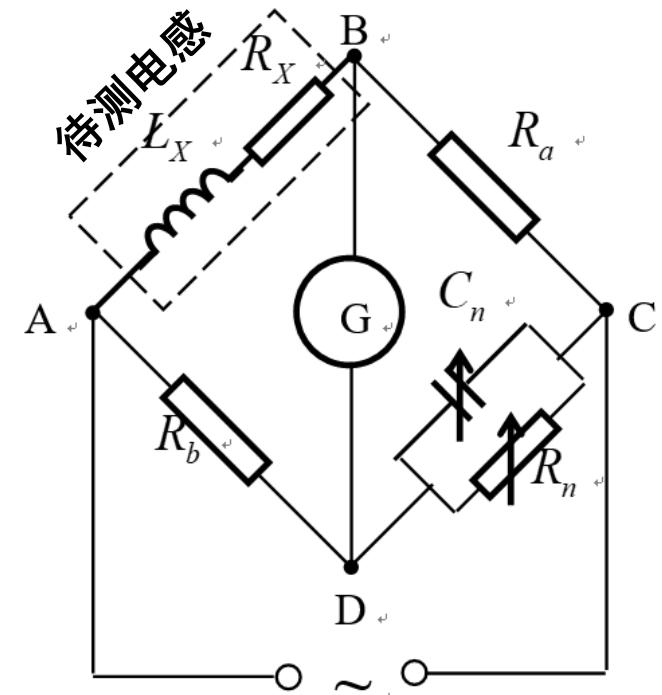
- 3) 调节电桥平衡

与内容4相同的方法调节平衡

待测电感标称值 L_x : $5mH \pm 20\%$

R_x : 小于 10Ω

自拟表格记录数据。



数据处理

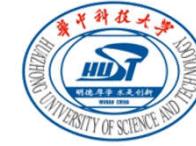


1. 计算Cu50型铜电阻在室温下的电阻值，与理论值比较，求出百分误差。
2. 计算出Cu50型铜电阻不同温度下电阻，做 $R(t) \sim t$ 曲线，用最小二乘法求出 R_0 及 α ，与理论值比较，求出百分误差。
3. 计算待测电容 C_x 及损耗电阻 R_x ，并计算损耗因子 $\tan\delta$ 。
4. 计算待测电感 L_x 及损耗电阻 R_x ，并计算电感的品质因数 Q 。
5. 分析测量过程中哪些因素对测量结果的影响大，尝试提出改进方法。

注意事项：

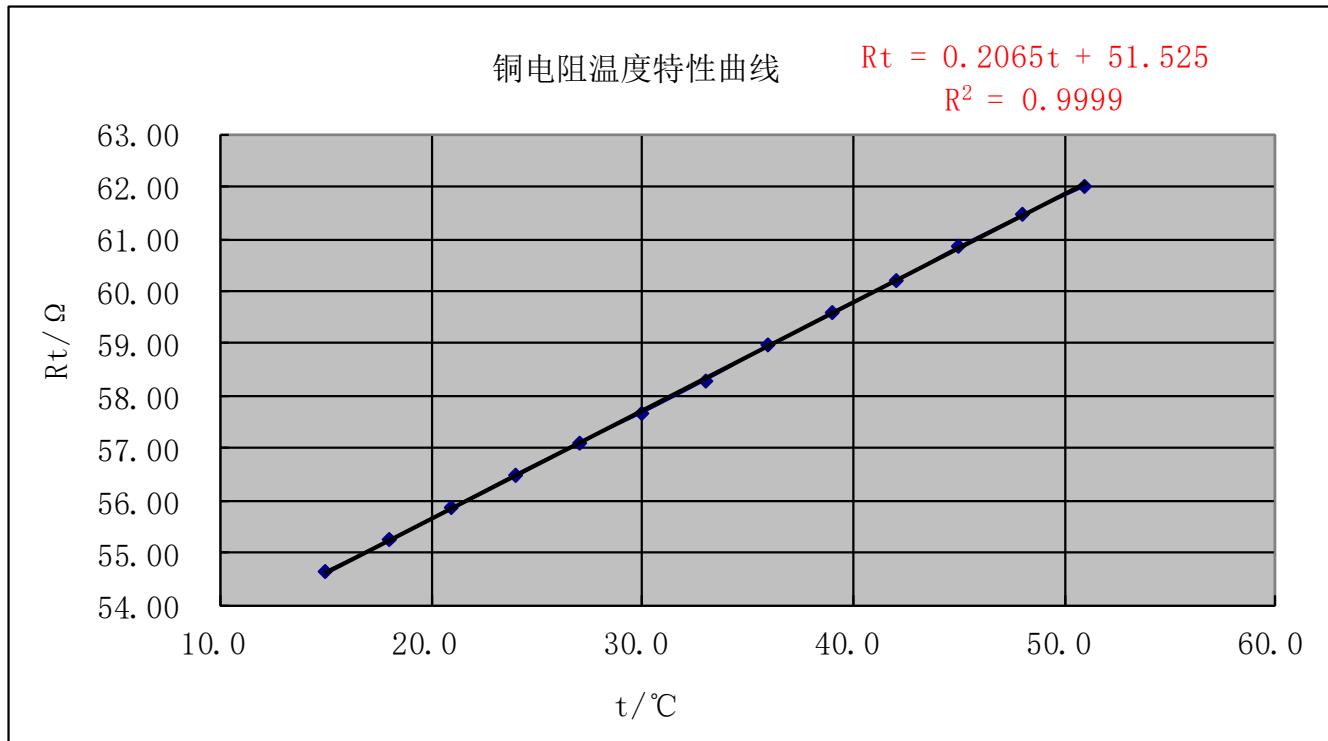
1. 加热炉升温温度不可超过100°C。升温后不可触碰加热炉内部，防止高温烫伤。
2. 加热装置在加热时，应注意关闭风扇电源。

- 实验结束，关上仪器电源，整理好所用仪器和导线。
- 值日的同学做好卫生。



作图参考

非平衡电桥测量Cu50型铜电阻的温度特性



Excel做图：

- 1.数据点选“无线条”。
- 2.用添加“趋势线”（多项式拟合）的方式做拟合线。
- 3.如果是线性关系，“趋势线选项”中选“线性”。