



电子秤的设计

大学物理实验中心. 2024



实验背景



查尔斯·惠斯登（Charles Wheatstone 1802年2月6日 - 1875年10月19日），是19世纪英国著名的物理学家，他一生在多个方面为科学技术的发展做出了贡献。

惠斯通还是一位杰出的实验物理学家，他具有深刻的设计思想和高超的实验技能，在实验领域为物理学的发展做出了重要贡献

- 1833年由Samuel Hunter Christie发明惠斯登电桥，由于是否有电流经过是十分敏感的，惠斯登桥可以获取颇精确的测量。
- 1827年，他发明了万声筒（亦称声音万花筒），利用这一装置能够直观地演示不同振动模式产生的错综复杂的振动曲线特征。
- 1832年，惠斯通用一根管子成功地演示了驻波现象
- 1833年，他还试验在方形平板上演示不同振动模式的叠加



实验背景



查尔斯·惠斯登（Charles Wheatstone 1802年2月6日 - 1875年10月19日），是19世纪英国著名的物理学家，他一生在多个方面为科学技术的发展做出了贡献。

惠斯通还是一位杰出的实验物理学家，他具有深刻的设计思想和高超的实验技能，在实验领域为物理学的发展做出了重要贡献

- 1833年由Samuel Hunter Christie发明惠斯登电桥，由于是否有电流经过是十分敏感的，惠斯登桥可以获取颇精确的测量。
- 1827年，他发明了万声筒（亦称声音万花筒），利用这一装置能够直观地演示不同振动模式产生的错综复杂的振动曲线特征。
- 1832年，惠斯通用一根管子成功地演示了驻波现象
- 1833年，他还试验在方形平板上演示不同振动模式的叠加

目 录

01 / 实验目的

02 / 实验原理

03 / 实验仪器

04 / 实验内容与步骤

05 / 数据处理

06 / 问答题



壹

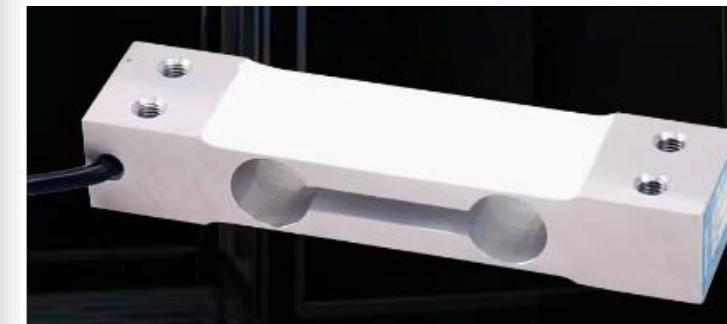
实验目的





1、实验目的

- I. 了解金属箔式应变片的应变效应
- II. 学习单臂电桥、半桥、全桥的工作原理
- III. 了解差动放大器的工作原理
- IV. 设计电子秤系统





貳

实验原理





2、实验原理

2.1 金属电阻的应变效应

金属丝在外力作用下发生机械形变时，其电阻值会发生变化——**金属电阻的应变效应**

泊松比：材料在单向受拉或受压时，横向应变和轴向正应变的绝对值的比值。

$$\mu = -\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon}$$

式中负号的意义是：材料轴向被拉伸，径向就会变细。

金属的电阻表达式为 $R = \rho \frac{l}{S}$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

$\frac{\Delta r}{r} = -\mu \frac{\Delta l}{l}$
 $\frac{\Delta S}{S} = 2 \frac{\Delta r}{r}$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} (1 + 2\mu) + \frac{\Delta \rho}{\rho} = (1 + 2\mu + \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l}) \frac{\Delta l}{l} = k_0 \frac{\Delta l}{l}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = k_0 \frac{\Delta l}{l}$$

k_0 称为电阻应变片的灵敏度系数：

$$k_0 = (1 + 2\mu) + \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l}$$

$\varepsilon_r = \frac{\Delta r}{r}$ 径向应变
$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ 轴向应变



2、实验原理

2.2 金属应变片



- (1) 规格: 60Ω , 120Ω , **350Ω** , 600Ω , 1000Ω 等
- (2) 绝缘电阻: 指已粘贴的应变片的引线与被测件之间的电阻值 R_m 。通常要求 R_m 在 $50\sim100\text{ M}\Omega$ 以上。
- (3) 允许电流: 静态测量时, 一般为 25mA ; 动态测量时, 一般为 $75\sim100\text{mA}$ 。
- (4) 材料: 康铜、镍铬合金、铁铬铝合金、铁镍铬合金、贵金属(铂、铂钨合金等)材料。

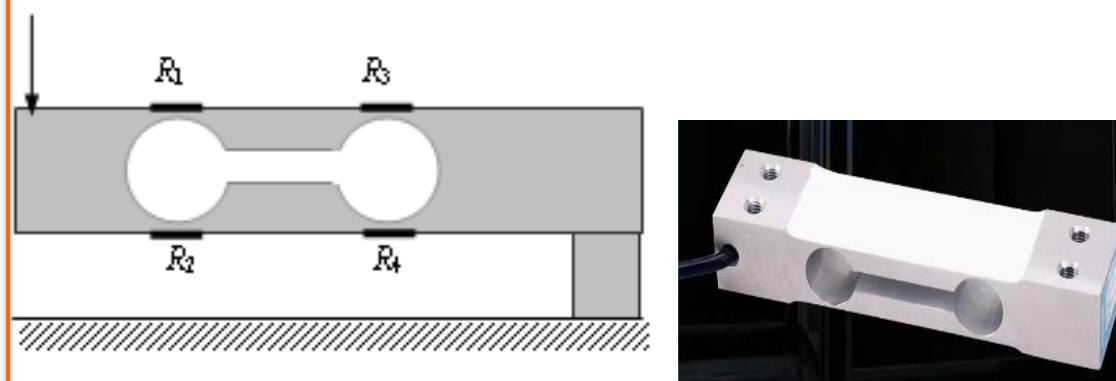


图2 双孔悬臂梁的应变片粘贴示意图

梁的上表面受拉, 电阻片 R_1 、 R_3 受拉伸作用电阻增大; 梁的下表面受压, R_2 、 R_4 电阻减小。这样外力的作用通过梁的形变而使4个电阻值发生变化。



2、实验原理

2.2 金属应变片

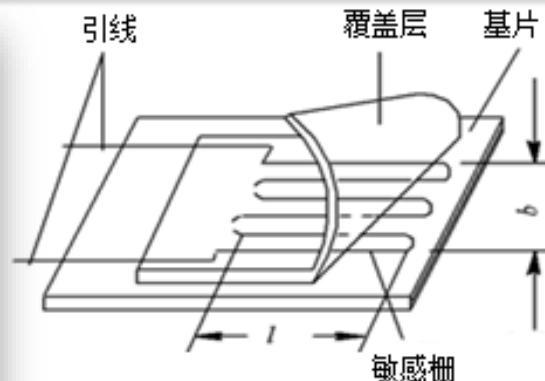


图1 电阻应变片的基本构造

- (1) 规格: 60Ω , 120Ω , **350Ω** , 600Ω , 1000Ω 等
- (2) 绝缘电阻: 指已粘贴的应变片的引线与被测件之间的电阻值 R_m 。通常要求 R_m 在 $50\sim100\text{ M}\Omega$ 以上。
- (3) 允许电流: 静态测量时, 一般为 25mA ; 动态测量时, 一般为 $75\sim100\text{mA}$ 。
- (4) 材料: 康铜、镍铬合金、铁铬铝合金、铁镍铬合金、贵金属(铂、铂钨合金等)材料。

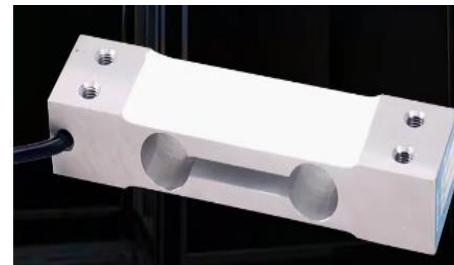
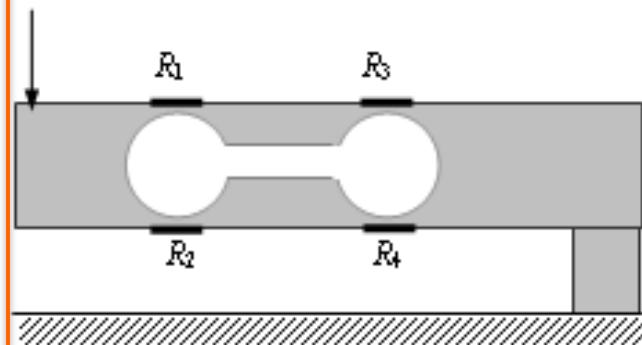


图2 双孔悬臂梁的应变片粘贴示意图

梁的上表面受拉, 电阻片 R_1 、 R_3 受拉伸作用电阻增大; 梁的下表面受压, R_2 、 R_4 电阻减小。这样外力的作用通过梁的形变而使4个电阻值发生变化。



2、实验原理



2.3 应变桥工作原理

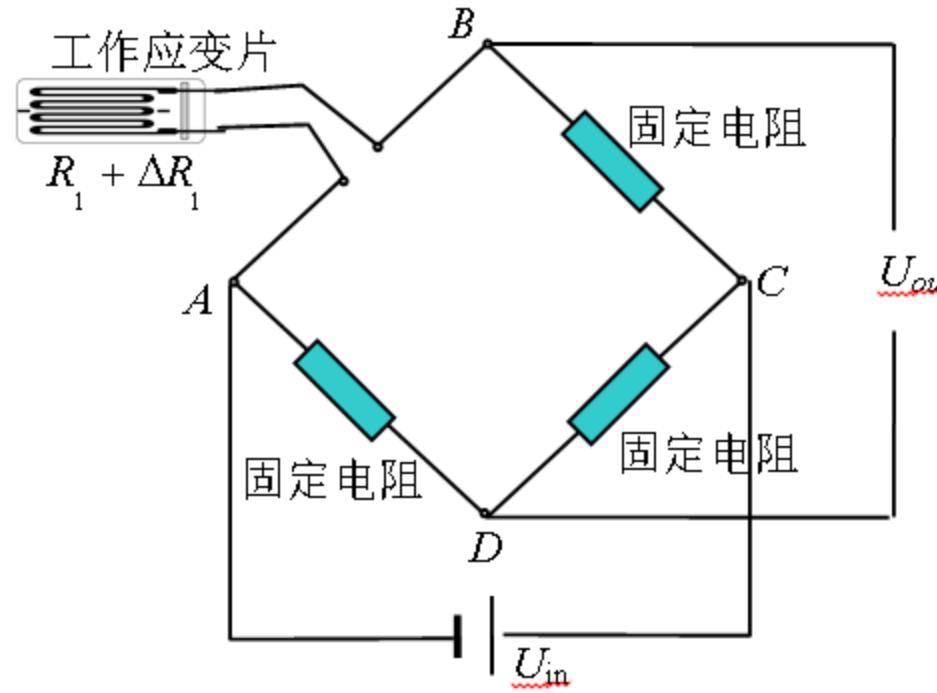


图 3 单臂测量接线法（1/4 桥）

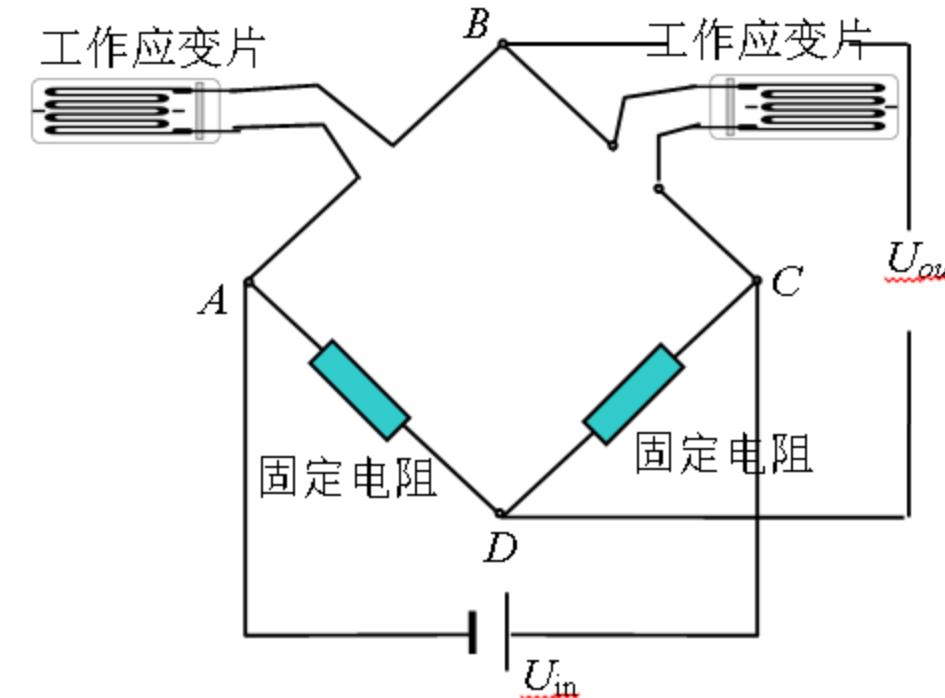


图 4 双臂测量接线法（半桥）



2、实验原理

2.3 应变桥工作原理

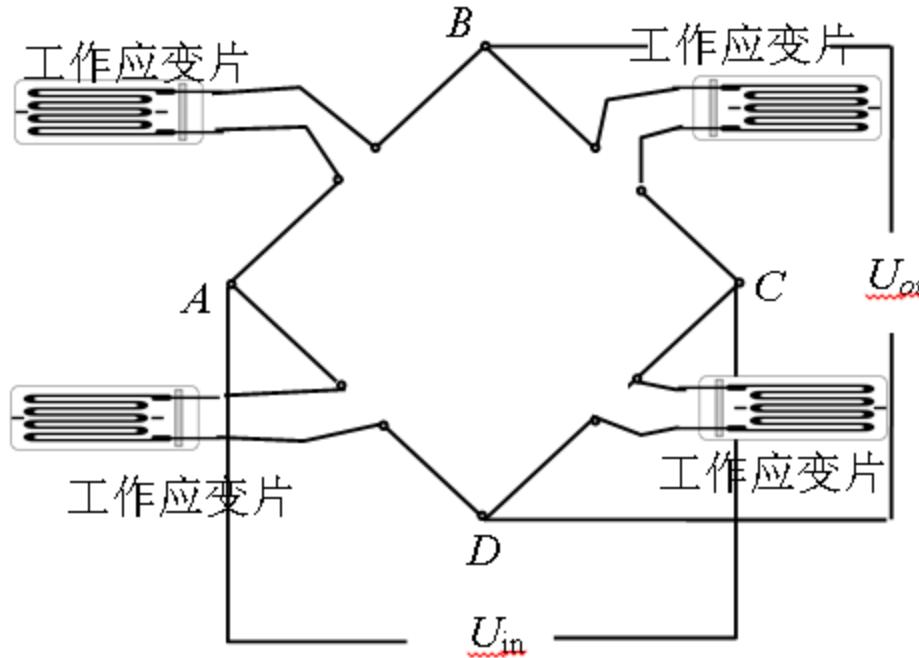


图 5 四臂测量接线法（全桥）

质量压力

↓
桥臂电阻变化

↓
桥路电压变化

桥路电压变化

→ 放大电路

→ 显示

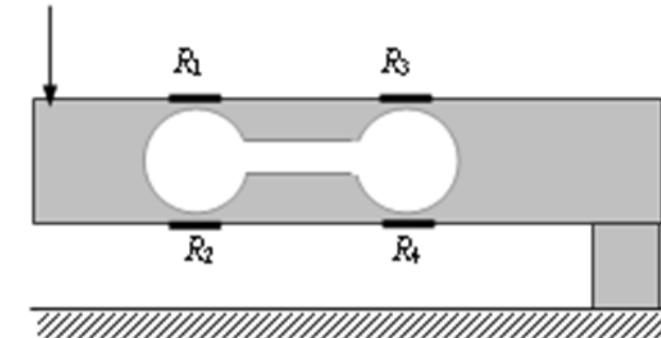
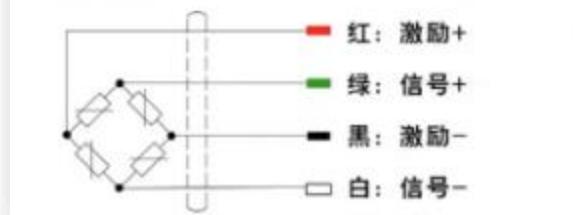
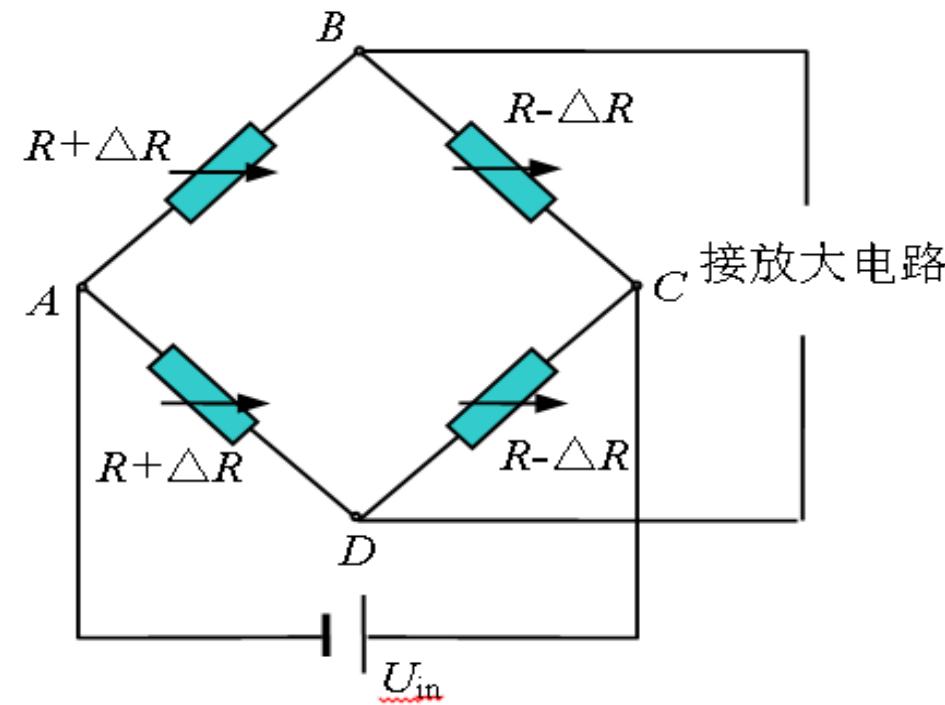
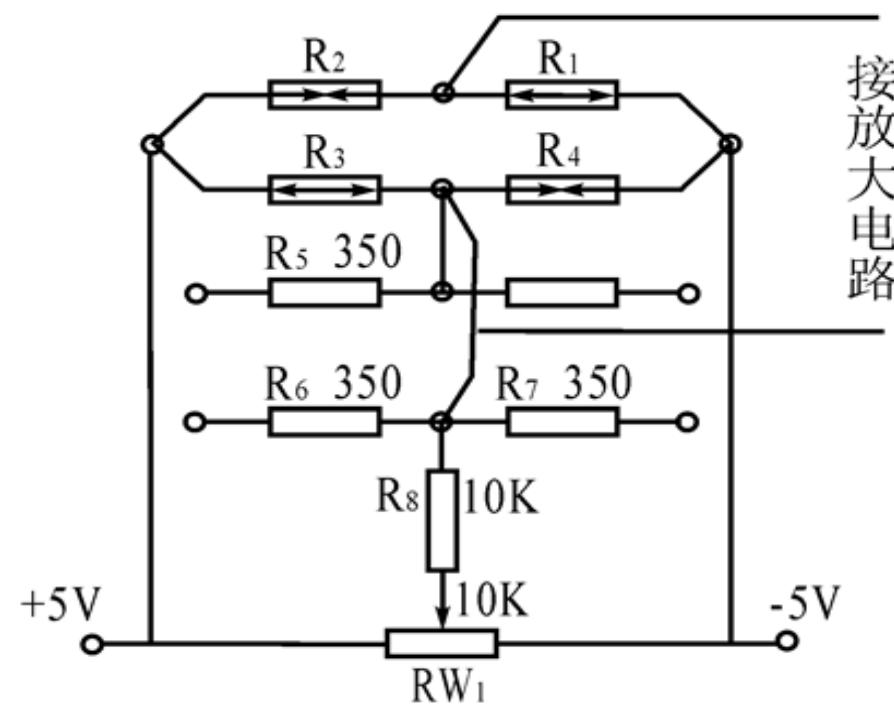
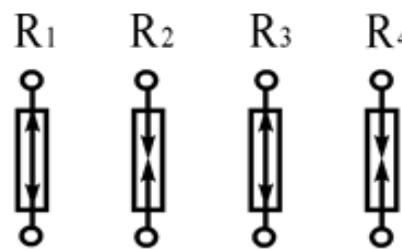


图 2 双孔悬臂梁的应变片粘贴示意图







2、实验原理

2.3应变桥工作原理

在电桥两端加上电压 U ，通过测量两对桥臂中间节点之间的电压差 ΔU ，来确定电阻的微小变化。本实验中四个电阻（包括应变片在平衡电阻）接近相等，即，

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \quad (1)$$

当四个应变片都接入电桥时，电子秤模块上放置砝码后，电阻 R_1 和 R_3 增大， R_2 和 R_4 减小。因此，为了让 ΔU 能准确衡量电阻的变化，需要将一增一减的两个电阻接在相邻的桥臂上，同时增加（或减小）的两个电阻接在相对的桥臂上，如图所示。则有：

$$\Delta U = U \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \quad (2)$$

理想情况下放置砝码前 $\Delta U = 0V$ 。



2、实验原理

2.3 应变桥工作原理

假设放置砝码后，电阻的变化量为 ΔR , ($0 < \Delta R \ll R$), 则，

$$\Delta R_1 = \Delta R_3 = \Delta R, \Delta R_2 = \Delta R_4 = -\Delta R \quad (3)$$

结合(2)式，考虑单臂、双臂和全臂电桥三种情况下 ΔU 与 ΔR 的关系。其中单臂桥指只接入一个应变片电阻，双臂桥的相邻两臂接入应变片，全臂桥指四个电阻均接入应变片。

1. 单臂电桥： $R_4 = R_4 + \Delta R_4$,

$$\Delta U = U \left(\frac{1}{2} - \frac{R-\Delta R}{2R-\Delta R} \right) = U \frac{\Delta R}{2(2R-\Delta R)} \approx U \frac{\Delta R}{4R}$$

2. 双臂电桥： $R_3 = R_3 + \Delta R_3, R_4 = R_4 + \Delta R_4$,

$$\Delta U = U \left(\frac{1}{2} - \frac{R-\Delta R}{2R} \right) = U \frac{\Delta R}{2R}$$

3. 全臂电桥： $R_1 = R_1 + \Delta R_1, R_2 = R_2 + \Delta R_2, R_3 = R_3 + \Delta R_3, R_4 = R_4 + \Delta R_4$,

$$\Delta U = U \left(\frac{R+\Delta R}{2R} - \frac{R-\Delta R}{2R} \right) = U \frac{\Delta R}{R}$$

四个电阻的阻值不是绝对相等，因此 ΔU 可写为，

$$\Delta U = \frac{U}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$



叁

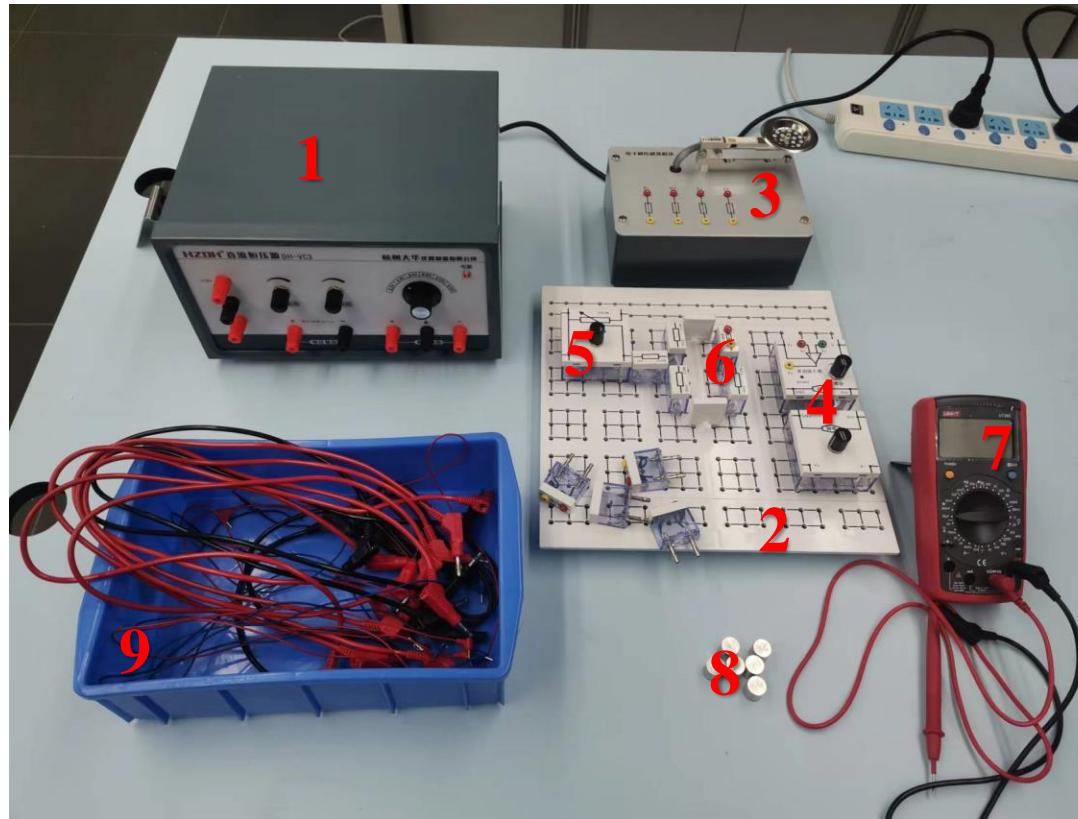
实验仪器





3、实验仪器

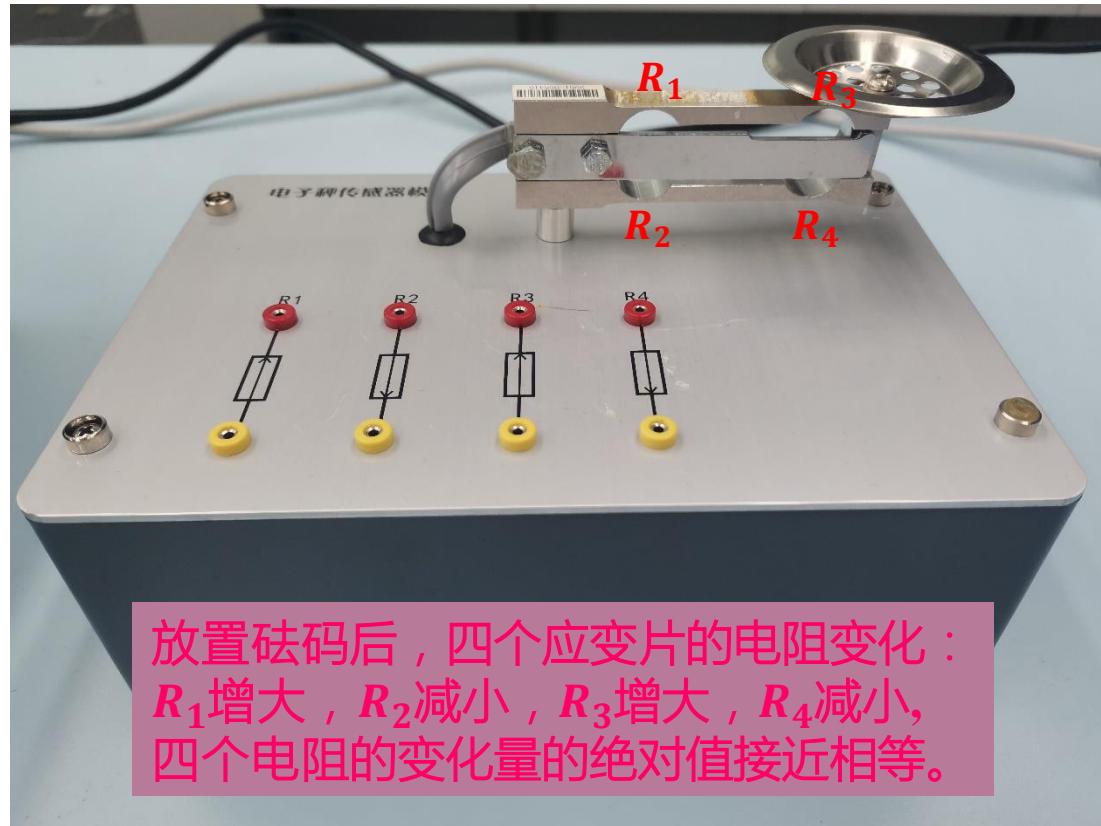
直流恒压源、九孔板1块、电子秤模块1个、差动放大器模块1个、 $22K\Omega$ 电位器模块1个、 $1K\Omega$ 电阻模块一个、 350Ω 电阻模块3个、应变片转接盒模块4个、短接片2个、万用表1个、20g砝码6个、导线若干。



- 1、直流恒压源
- 2、九孔板
- 3、电子秤模块
- 4、差动放大器
- 5、 $22K\Omega$ 电位器
- 6、电阻或转接盒
- 7、万用表
- 8、砝码
- 9、导线



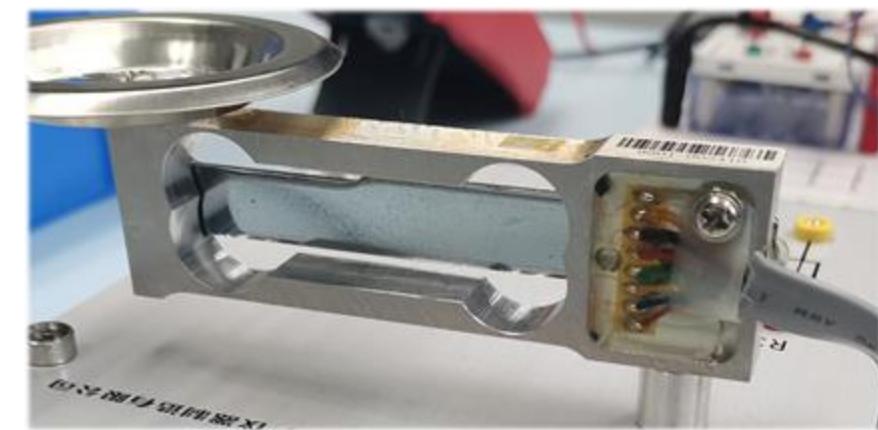
应变片：拉伸时电阻变大，压缩时电阻变小



放置砝码后，四个应变片的电阻变化：
 R_1 增大， R_2 减小， R_3 增大， R_4 减小，
四个电阻的变化量的绝对值接近相等。

电子秤模块简介：

电子秤背面：



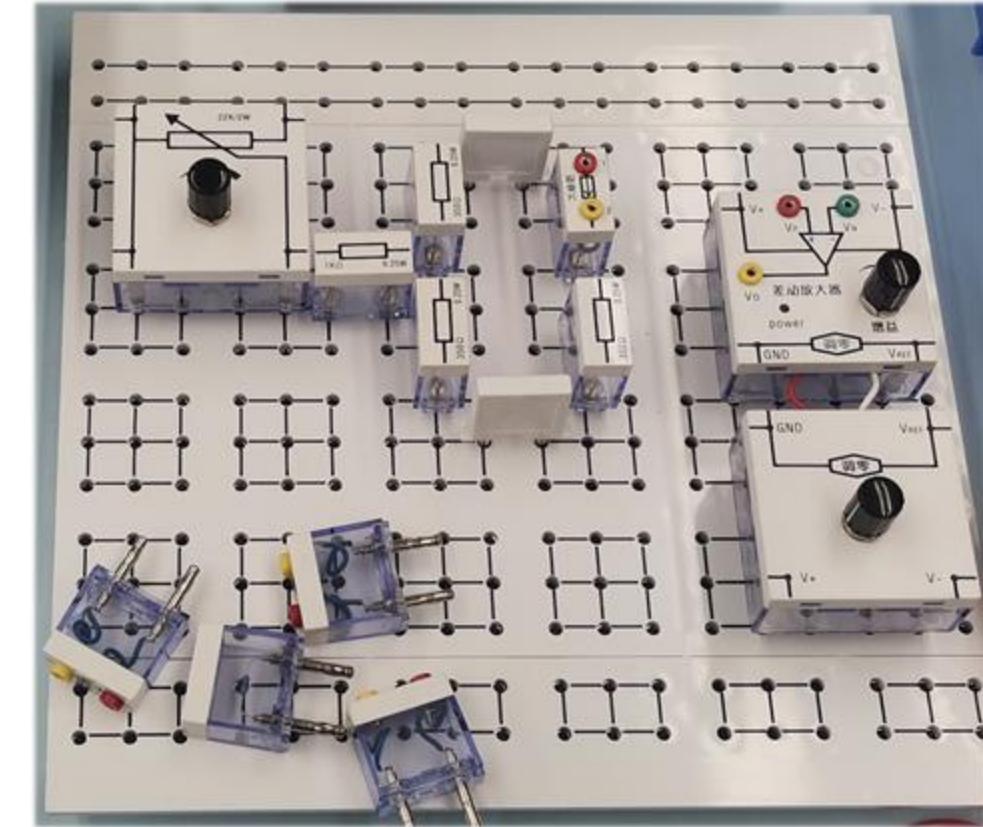
应变片电阻所在的上、下两个梁臂是连接在一起的，确保了四个应变片的等比例拉伸（或压缩）。中间固定横梁的作用是防止应变过大。



3、实验仪器

元件介绍：

- 九孔板：九孔板上有很多“田”字格，每个“田”字格由互相联通的九个插口构成，连线时插在任意一个孔均可。
- 应变片转接盒：两个独立插口，用来连接电子秤模块的应变片电阻。
- 差动放大器：由放大模块与调零模块组成。增益调到最大时可把 ΔU 放大100倍，便于用万用表测量。
- 短接片：用来把两个九宫格连接起来。



注意：

1. 差动放大器两个模块许连接起来，即两个地线（GND）插在一个九宫格，两个参考电压（V_{REF}）插在另一个九宫格。
2. 转接盒、电阻和短接片只能插在两个九宫格之间。

肆

实验内容与步骤



4、实验内容与步骤

4.1 单臂电桥

1. 把元件插在九孔板上：

把电位器、差动放大器，电阻和应变片转接盒按右图所示插在九孔板上，注意22K电位器的滑动端与1K电阻相连，电桥只有一个臂（R4位置）接入应变片；

2. 连线：

- 2.1. 把22K电位器的固定电阻的两端接到电源的 $\pm 4V$ 电压接口上；
- 2.2. 把电桥两端也接到 $\pm 4V$ 电压接口上（为了让 ΔU 为正，电桥的上端接 $+4V$ ，下端接 $-4V$ ）；
- 2.3. 把差动放大器的V+和V-两处分别接到电源的 $+15V$ 和 $-15V$ 电压接口，**注意这里不可以反接**；
- 2.4. 把 $\pm 4V$ 和 $\pm 15V$ 电源的地线接到差动放大器的接地端；
- 2.5. 把R4位置的应变片转接盒接到电子秤模块的R4上；
- 2.6. 把万用表的地线接到差动放大器的地线端，万用表的火线接到差动放大器的输出端 V_O ；



4、实验内容与步骤

4.1 单臂电桥

3. 差动放大器调零：

- 3.1. 把差动放大器的 V_P 和 V_N 两接口短接，把增益调到最大；
- 3.2. 把万用表调到直流电压2V量程（如果显示超量程就先用20V）；
- 3.3. 调节差动放大器的调零旋钮，使万用表测得的电压 V_0 的值接近0V，**小于1mV即可视为已调零**；

4. 调节电桥平衡：

- 4.1. 差动放大器调零后，把差动放大器的 V_P 和 V_N 接口分别接到电桥右臂和左臂的中点，用转接盒连接（ V_P 和 V_N 分别接右侧和左侧，是为了使 ΔU 为正，便于记录）；
- 4.2. 调节22K电位器，使万用表的测得的电压值接近0V，**小于5mV即可视为已调零，可近似认为电桥平衡**；

5. 测量差动放大器输出电压 ΔU 与砝码个数的关系：

- 5.1. 电桥平衡后，记录此时的电压值，即0个砝码时的 ΔU ，填入表1；
- 5.2. 逐个增加砝码，记录对应的 ΔU ，填入表格1；



4、实验内容与步骤

4.2 双臂电桥

1. 在单臂电桥电路的基础上，把R3替换为应变片电阻R3；
2. 按单臂电桥步骤的第4.2步调节电桥平衡；
3. 测量 ΔU 与砝码个数的关系，记录表格2；

4.3 全臂电桥

1. 在双臂电桥电路的基础上，把R1和R2替换为应变片电阻的R1和R2；
2. 按相同方法调节电桥平衡；
3. 测量 ΔU 与砝码个数的关系，记录表格3；



伍

数据处理

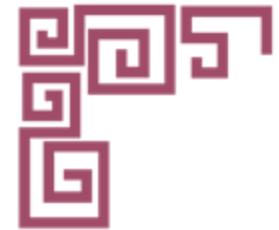
数据处理仅供教师参考，
不发给学生



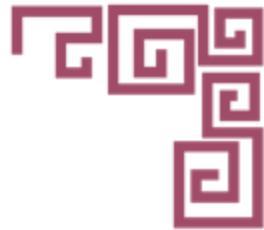


6、问答题

- 1、分析哪些因素会导致电子秤的非线性误差增大，怎么消除；
- 2、若要增加输出灵敏度，可以采取哪些措施？



谢 谢



2024.赵改清