

课程编号 1800440087

得分	教师签名	批改日期

# 深 圳 大 学 实 验 报 告

课程名称: 大学物理实验（一）

实验名称: 电子秤的设计

学 院: 数学科学学院

指导教师: 郭树青

报告人: 刘俊熙 组号: 18

学号 2023193004 实验地点 致原楼 210

实验时间: 2024 年 5 月 7 日

提交时间: 2024 年 5 月 14 日

## 一、实验目的

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

## 二、实验原理

### 1. 金属电阻的应变效应

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。

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。

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

径向应变：

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta r}{r}$$

轴向应变：

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

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：

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

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

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

$$\frac{\Delta S}{S} = 2 \frac{\Delta r}{r}$$

由上式可得：

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

即

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

其中  $k_0$  称为电阻应变片的灵敏度系数：

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

## 2. 金属应变片

- (1) 规格：60  $\Omega$ ，120  $\Omega$ ，350  $\Omega$ ，600  $\Omega$ ，1000  $\Omega$  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 50~100 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 75~100mA。
- (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。

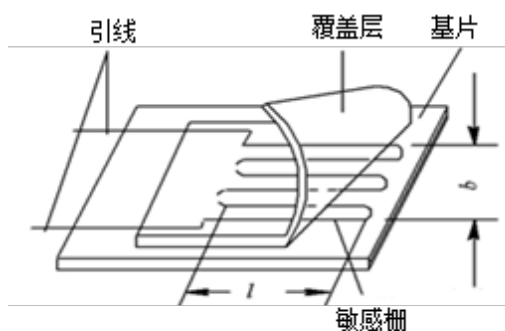


图1 电阻应变片的基本构造

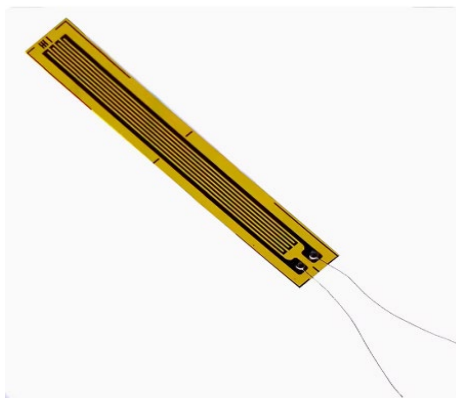


图2 金属应变片

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。

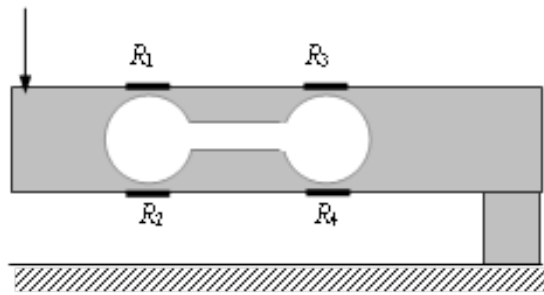


图 3 双孔悬臂梁的应变片粘贴示意图

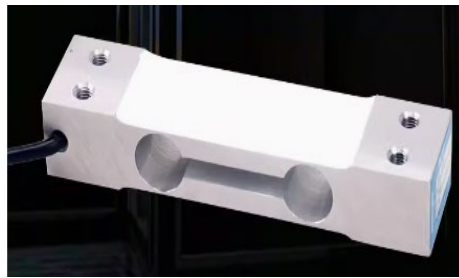


图 4 双控悬臂梁

### 3. 应变桥工作原理

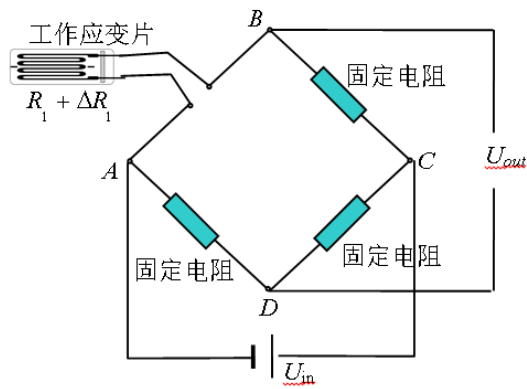


图 5 单臂测量接线法 (1/4 桥)

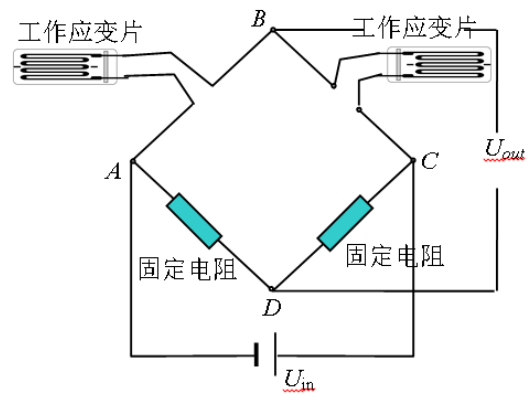


图 6 双臂测量接线法 (半桥)

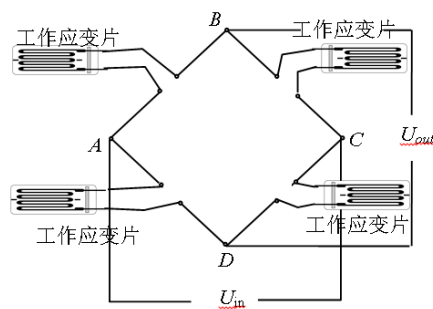


图 7 四臂测量接线法 (全桥)

质量压力导致桥臂电阻变化导致桥路电压变化导致放大电路，故显示。

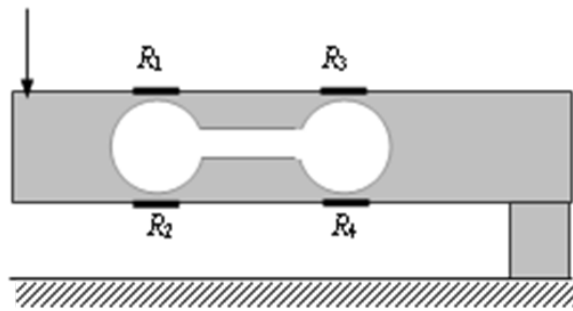


图 8 双孔悬臂梁的应变片粘贴示意图

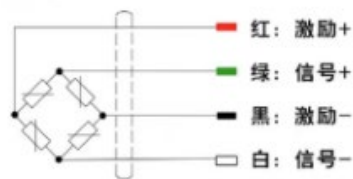
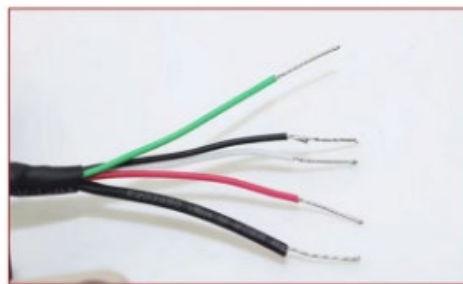


图 9 导线示意图

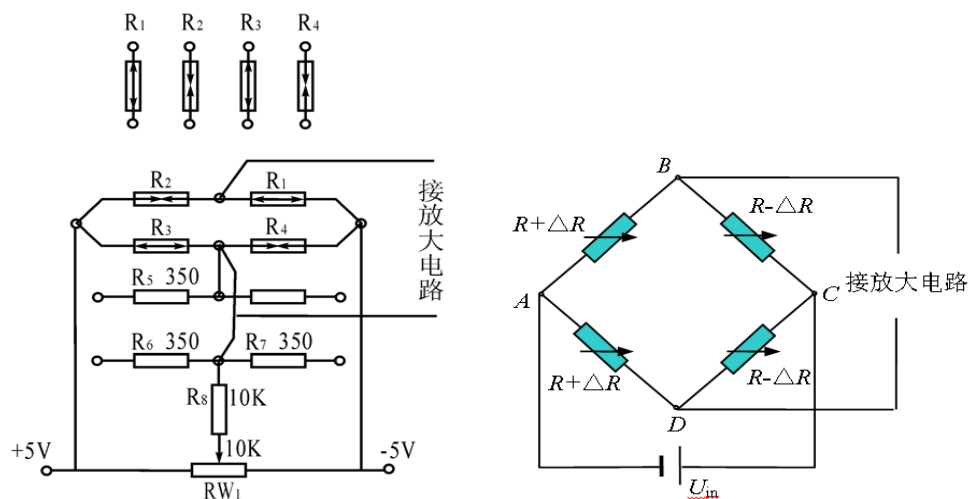


图 10 电路图示意

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  $\Delta U$ ，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  $\Delta U$  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  $\Delta U = 0V$ 。

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

$$\begin{aligned} \Delta R_1 &= \Delta R_3 = \Delta R \\ \Delta R_2 &= \Delta R_4 = -\Delta R \end{aligned} \quad (3)$$

结合(2)式，考虑单臂、双臂和全臂电桥三种情况下  $\Delta U$  与  $\Delta R$  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：

$$\begin{aligned} R_4 &= R_4 + \Delta R_4 \\ \Delta U &= U \left( \frac{1}{2} - \frac{R - \Delta R}{2R - \Delta R} \right) = U \frac{\Delta R}{2(2R - \Delta R)} \approx U \frac{\Delta R}{4R} \end{aligned}$$

2) 双臂电桥：

$$\begin{aligned} R_3 &= R_3 + \Delta R_3 \\ R_4 &= R_4 + \Delta R_4 \\ \Delta U &= U \left( \frac{1}{2} - \frac{R - \Delta R}{2R} \right) = U \frac{\Delta R}{2R} \end{aligned}$$

3) 全臂电桥：

$$\begin{aligned} R_1 &= R_1 + \Delta R_1 \\ R_2 &= R_2 + \Delta R_2 \\ R_3 &= R_3 + \Delta R_3 \\ R_4 &= R_4 + \Delta R_4 \\ \Delta U &= U \left( \frac{R + \Delta R}{2R} - \frac{R - \Delta R}{2R} \right) = U \frac{\Delta R}{R} \end{aligned}$$

四个电阻的阻值不是绝对相等，因此  $\Delta U$  可写为

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

### 三、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、350 $\Omega$  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。

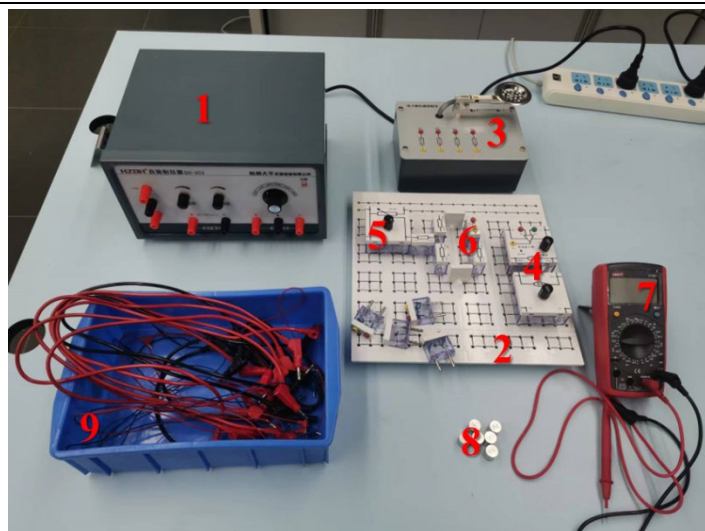


图 11 实验仪器

应变片：拉伸时电阻变大，压缩时电阻变小

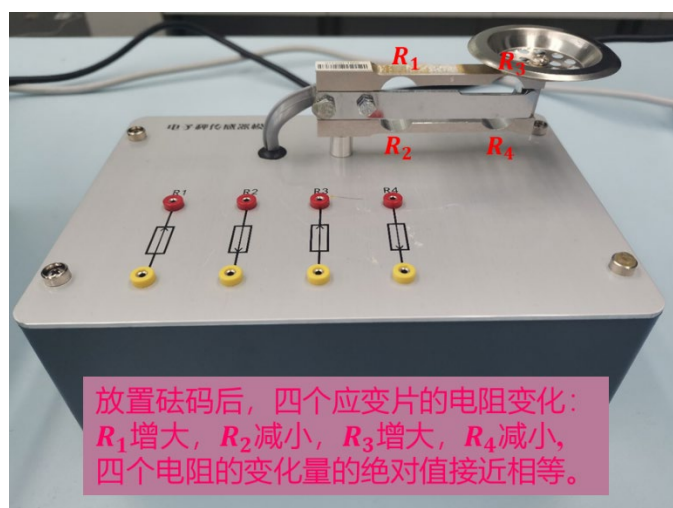


图 12 应变片

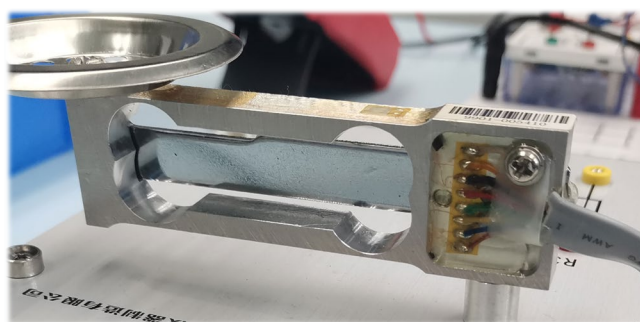


图 13 电子秤背面

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。

元件介绍：

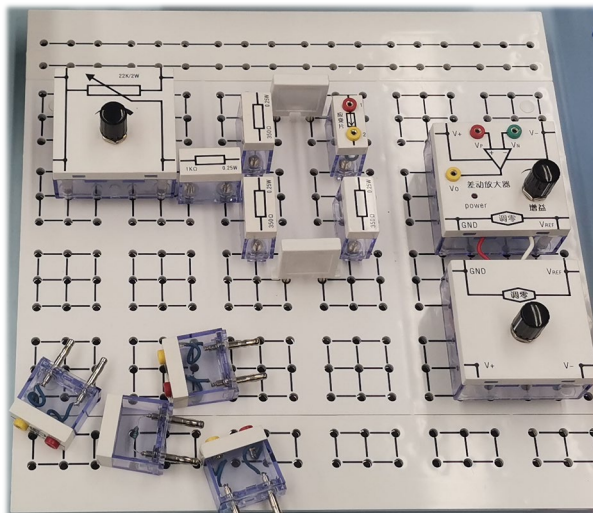


图 14 元件示意图

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 $\Delta U$ 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：

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（VREF）插在另一个九宫格。

转接盒、电阻和短接片只能插在两个九宫格之间。

#### 四、实验内容：

##### (一) 单臂电桥

##### 1. 把元件插在九孔板上：

1.1 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（R<sub>4</sub> 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 $\Delta U$ 为正，电桥的上端接 $+4V$ ，下端接 $-4V$ ）；

2.3. 把差动放大器的 V<sub>+</sub>和 V<sub>-</sub>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 R<sub>4</sub> 位置的应变片转接盒接到电子秤模块的 R<sub>4</sub> 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<sub>0</sub>；

##### 3. 差动放大器调零：

3.1. 把差动放大器的 VP 和 VN 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 VP 和 VN 接口分别接到电桥右臂和左臂的中点，用转接盒连接（VP 和 VN 分别接右侧和左侧，是为了使  $\Delta U$  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  $\Delta U$  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  $\Delta U$ ，填入表 1；

5.2. 逐个增加砝码，记录对应的  $\Delta U$ ，填入表格 1；

## (二) 双臂电桥

1. 在单臂电桥电路的基础上，把  $R_3$  替换为应变片电阻  $R_3$ ；

2. 按单臂电桥步骤的第 4.2 步调节电桥平衡；

3. 测量  $\Delta U$  与砝码个数的关系，记录表格 2；

## (三) 全臂电桥

1. 在双臂电桥电路的基础上，把  $R_1$  和  $R_2$  替换为应变片电阻的  $R_1$  和  $R_2$ ；

2. 按相同方法调节电桥平衡；

3. 测量  $\Delta U$  与砝码个数的关系，记录表格 3；

五、数据记录：（原始数据再抄一份附在这部分）

组号： 18 ； 姓名 刘俊熙

砝码个数	0	1	2	3	4	5	6
砝码质量 (g)	0	20	40	60	80	100	120
$\Delta U(mV)$ 上行	0.0	9.5	19.5	29.0	38.8	48.4	58.2
$\Delta U(mV)$ 下行	3.5	10.4	20.2	29.5	39.1	48.7	58.2

表 1 单臂电桥的数据记录

砝码个数	0	1	2	3	4	5	6
砝码质量 (g)	0	20	40	60	80	100	120
$\Delta U(mV)$ 上行	0.4	20.3	39.1	58.5	77.7	97.0	116.2
$\Delta U(mV)$ 下行	7.7	20.3	39.3	58.7	77.9	96.9	116.3

表 2 双臂电桥数据记录

砝码个数	0	1	2	3	4	5	6
砝码质量 (g)	0	20	40	60	80	100	120
$\Delta U(mV)$ 上行	-0.3	37.7	76.2	115.0	153.0	191.4	229.5
$\Delta U(mV)$ 下行	-0.3	37.9	76.4	114.8	153.5	191.7	230.0

表 3 全臂电桥数据记录

六、数据处理

计算得每个砝码对应的平均电势差如下表所示

砝码个数	0	1	2	3	4	5	6
砝码质量 (g)	0	20	40	60	80	100	120
$\Delta U(mV)$ 平均	1.75	9.95	19.85	29.25	38.95	48.55	58.20

表 4 单臂电桥的数据处理

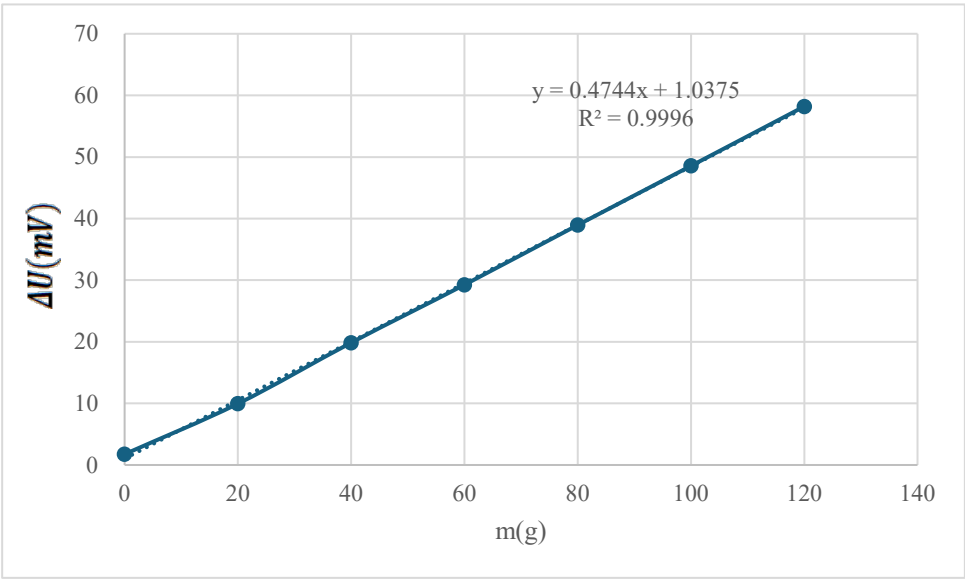


图 15 单臂电桥的桥电压和质量的关系

只把单臂接入应变片时，电桥的灵敏度约  $0.4744mV/g$ 。电子秤的零点误差为  $1.0375mV$ 。

砝码个数	0	1	2	3	4	5	6
砝码质量 (g)	0	20	40	60	80	100	120
$\Delta U(mV)$ 平均	4.05	20.30	39.20	58.60	77.80	96.95	116.25

表 5 双臂电桥数据记录

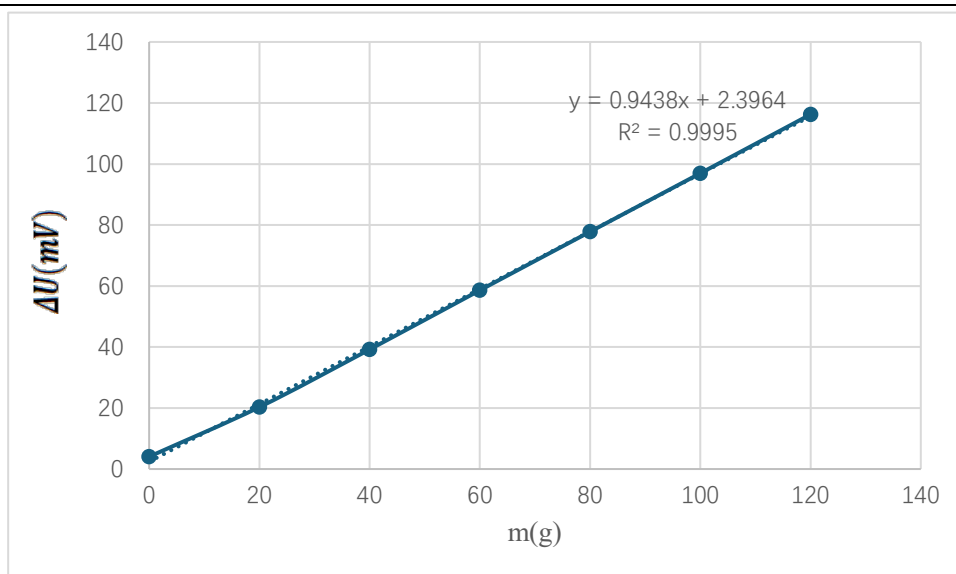


图 16 双臂电桥电压与质量的关系

由图可知，把双臂接入应变片时，电桥的灵敏度约  $0.9438\text{mV/g}$ ，约为单臂电桥灵敏度的 2 倍。本次设计的电子秤的零点误差为  $2.3964\text{mV}$ 。

砝码个数	0	1	2	3	4	5	6
砝码质量 (g)	0	20	40	60	80	100	120
$\Delta U(\text{mV})$ 平均	-0.3	37.80	76.30	114.90	153.25	191.55	229.75

表 6 全臂电桥数据记录

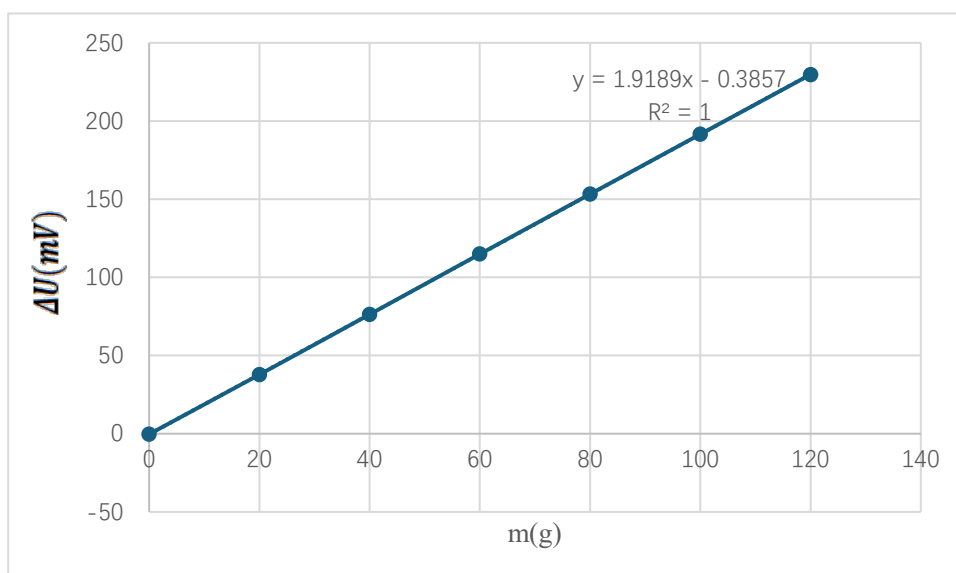


图 17 全臂电桥电压与质量的关系

由图可知，全臂电桥的灵敏度  $1.9189\text{mV/g}$ ，约为单臂电桥灵敏度的 4 倍。本次设计的电子秤的零点误差为  $-0.3857\text{mV}$ 。

## 七、实验结果与总结

### 7.1 结果陈述

在本次电子秤设计的实验中，我们成功实现了电子秤系统的基本功能，并通过实验验证了金属箔式应变片的应变效应以及单臂电桥、半桥、全桥的工作原理。实验过程中，我们使用了电子秤模块、差动放大器模块、电阻模块和应变片转接盒等仪器，并通过直流恒压源提供稳定的电压源。

首先，我们观察到当在电子秤模块上放置不同质量的砝码时，应变片受到的压力导致电阻值发生变化，进而通过电桥电路将电阻值的变化转化为电压信号的变化。利用差动放大器模块，我们成功地将微小的电压信号放大至便于测量的范围。

在实验中，我们分别测试了单臂电桥、双臂电桥和全臂电桥三种情况下，电阻变化与输出电压变化之间的关系。实验数据表明，随着砝码质量的增加，输出电压也相应增加，且增加的趋势与理论预测一致。特别是在全臂电桥配置下，由于四个应变片同时参与测量，系统对质量变化的响应更加灵敏和准确。

通过对实验数据的分析，我们得出以下结论：

1. 金属应变片具有良好的应变效应，能够有效地将机械形变转化为电阻值的变化。
2. 单臂电桥、双臂电桥和全臂电桥的工作原理在实验中得到了验证，且全臂电桥配置下系统的灵敏度更高。
3. 差动放大器模块能够有效地放大微小的电压信号，提高系统的测量精度。

### 7.2、实验总结

通过本次电子秤设计的实验，我们理解了金属应变片的应变效应以及电桥电路的工作原理。实验过程中，我们通过调试电路，优化测试精度，最终实现了电子秤的基本功能。

在实验过程中，我们也发现了一些可以改进的地方。例如，可以考虑采用更先进的信号处理技术来提高系统的测量精度和稳定性。

通过本次实验，我们不仅对电子秤的工作原理有了更深入的了解，也了解了电路设计在不同领域上的重要性。合适的电路设计可以有效地优化系统测量精度，以达到一个更加理想的效果。

## 八、思考题

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？

因素：

- a) 电子秤的传感器老化或损坏。
- b) 电子秤的电路设计出错。
- c) 外部干扰，如电磁干扰、温度变化等。

消除方法：

- a) 定期校准和更换传感器，确保其在正常状态。

- b) 优化电路设计，使用高质量的放大电路和低失真元件。
  - c) 采用屏蔽和滤波技术来减少外部干扰。
2. 若要增加输出灵敏度，可以采取哪些措施？
- a) 使用更高灵敏度的传感器。
  - b) 放大电路采用高增益设计。
  - c) 优化信号处理算法，如采用数字滤波和校准技术。

指导教师批阅意见：

成绩评定：

预习 (20分)	操作及记录 (40分)	数据处理与结果陈述 30 分	思考题 10 分	报告整体 印象	总分