

虚拟仿真实验教学

# 电阻应变传感器灵敏度特性研究

大学物理实验室

# 实验内容

- 熟悉电阻应变片传感器结构，了解不同电桥线路之间的区别；
- 根据电路图正确连接线路；
- 测量单臂电桥、半桥和全桥电路重物 $W$ 和电压 $V$ 数据，绘制 $W$ - $V$ 的关系曲线；
- 计算电桥灵敏度，并将半桥和全桥电路的灵敏度与单臂电桥进行比较。

# 一. 实验原理——应变电阻效应

## 1. 应变电阻效应

一段截面积为A、直径为D、长度为L的金属导线电阻为：

$$R = \rho L/A$$

式中， $\rho$ 为金属导线的电阻率。

两边取对数后微分，

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} - \frac{dA}{A} + \frac{d\rho}{\rho}$$

式中 $dL/L$ 是导线长度的相对变化，可用应变 $\varepsilon$ 表示； $dA/A$ 是导线截面积的变化，对截面积为圆型的导线，有 $dA/A=2dD/D$ ；导线单向受力时，有 $dD/D=-\nu dL/L$ ， $\nu$ 是材料的泊松比。将这些关系式代入上式，可得：

$$\begin{aligned} \frac{dR}{R} &= (1 + 2\nu) \frac{dL}{L} + \frac{d\rho}{\rho} = (1 + 2\nu)\varepsilon + \frac{d\rho}{\rho} \\ &= \left[ (1 + 2\nu) + \frac{d\rho}{\rho\varepsilon} \right] \varepsilon = k_0 \varepsilon \end{aligned}$$

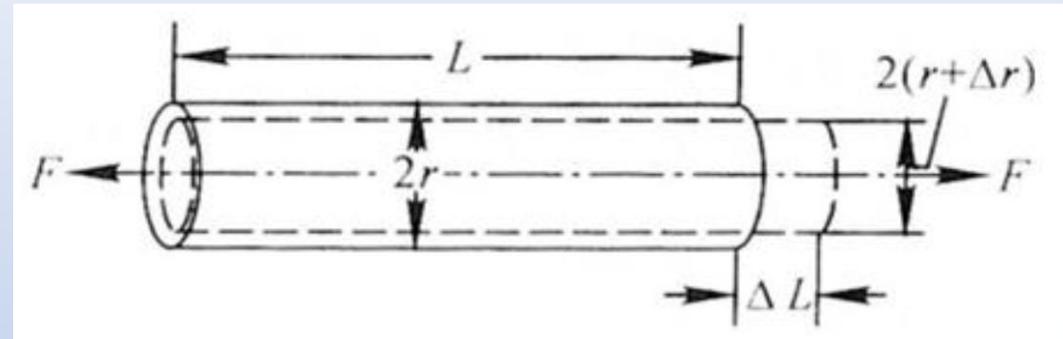


图 1 金属丝受力时几何尺寸变化示意图

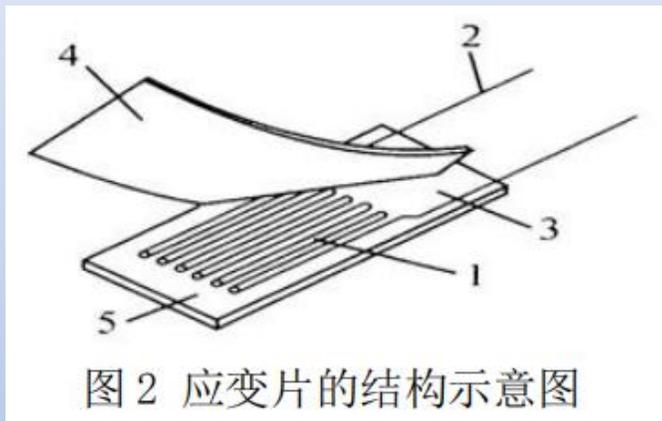
$$k_0 = (1 + 2\nu) + \frac{d\rho}{\rho\varepsilon}$$

$k_0$ 为电阻应变敏感材料(元件)的灵敏系数，其意义是单位应变可产生或转换的电阻值相对变化量，由材料的性质决定。

在弹性范围内，金属材料的泊松比 $\nu$ 通常在0.25~0.4之间， $1+2\nu$ 在1.5~1.8之间，电阻率 $\rho$ 稍有变化。一般金属材料应变敏感元件的灵敏系数值 $k_0$ 为2左右，具体数值需通过实验测定。

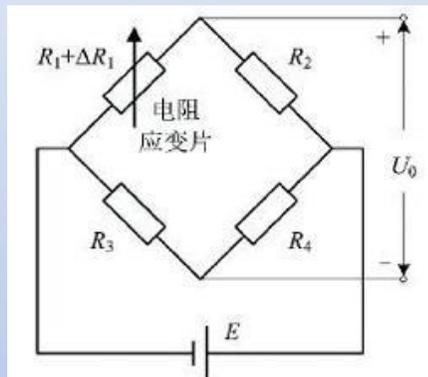
# 一. 实验原理——电桥电路

## 2. 电阻应变片

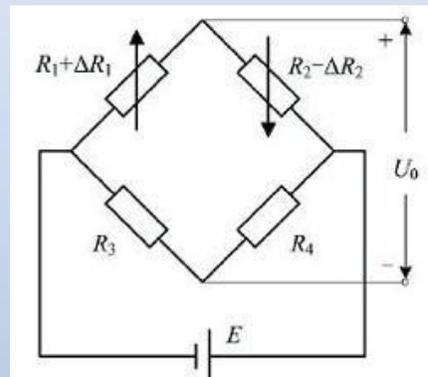


1-敏感栅;2-引线;3-粘接剂;4-盖层;5-基底

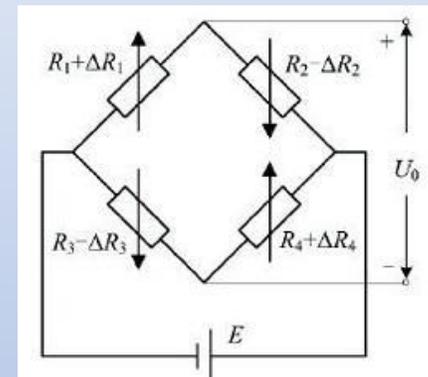
## 3. 电阻应变传感器的转换电路



(1) 单臂电桥



(2) 半桥电路（双臂电桥）



(3) 全桥电路（四臂电桥）

## 电桥平衡条件

电桥相对两臂电阻的乘积相等或相邻两臂的电阻比值相等

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \text{ 或 } R_1 / R_2 = R_3 / R_4$$

# 一. 实验原理——电桥电路

## (1) 单臂电桥

初始状态下，电桥处于平衡状态， $U_0=0$ 。在电桥电路中，只有电阻 $R_1$ 的电阻发生变化，电阻的变化量为 $\Delta R_1$ ，其它电阻 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 不发生变化，此电桥为单臂电桥。当有电阻 $R_1$ 有 $\Delta R_1$ 的改变时，电桥输出电压 $U_0$ 为：

$$U_0 = \frac{U(R_4/R_3)(\Delta R_1/R_1)}{[1 + (R_2/R_1) + (\Delta R_1/R_1)](1 + R_4/R_3)}$$

设电桥比率 $n=R_2/R_1$ ，电桥平衡时有 $R_1/R_2=R_3/R_4$ ，略去分母中的小量 $\Delta R_1/R_1$

$$U_0 = \frac{nU}{(1+n)^2} \cdot \Delta R_1/R_1$$

电桥电压灵敏度定义为： $U_0 = k_\mu (\Delta R_1 / R_1)$

单臂电桥的电压灵敏度则可表示为： $k_\mu = nU/(1+n)^2$

当 $n=1$ 时，即 $R_1=R_2$ ， $R_3=R_4$ 时， $k_\mu$ 最大， $k_\mu = U/4$

## (2) 半桥电桥或双臂电桥

双臂电桥的输出电压为：

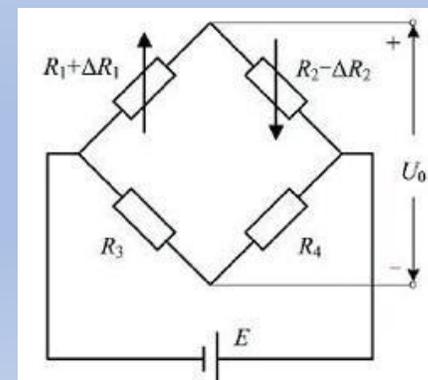
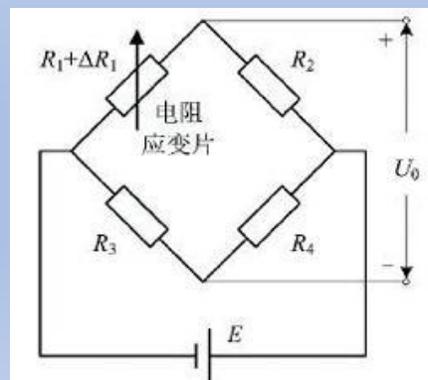
$$U_0 = U \left[ \frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 - \Delta R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right]$$

设电桥初始平衡时，满足：

$$R_1=R_2=R_3=R_4, \Delta R_1 = \Delta R_2, \text{ 则 } U_0 = U \cdot \Delta R_1/2R_1$$

$$k_\mu = U/2$$

**双臂电桥灵敏度比单臂电桥提高了一倍**



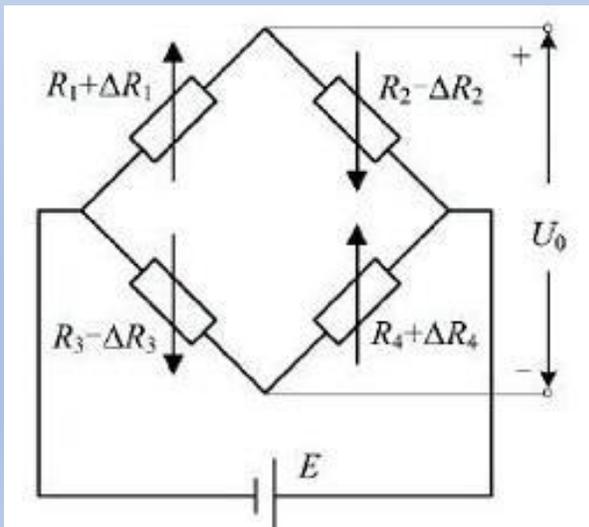
# 一. 实验原理——电桥电路

## (3) 全桥电桥或四臂电桥

设平衡电桥初始时 $R_1=R_2=R_3=R_4$ ，忽略高阶微小量，则 $U_0 = U\Delta R_1/R_1$ 。

$$k_{\mu} = U$$

四臂电桥灵敏度最高，且输出电压 $U_0$ 与 $\Delta R_1/R_1$ 成线性关系。



## 4. 实验用电桥电路

本实验中用到的放大器为差分放大器，实际电路图如图4所示：

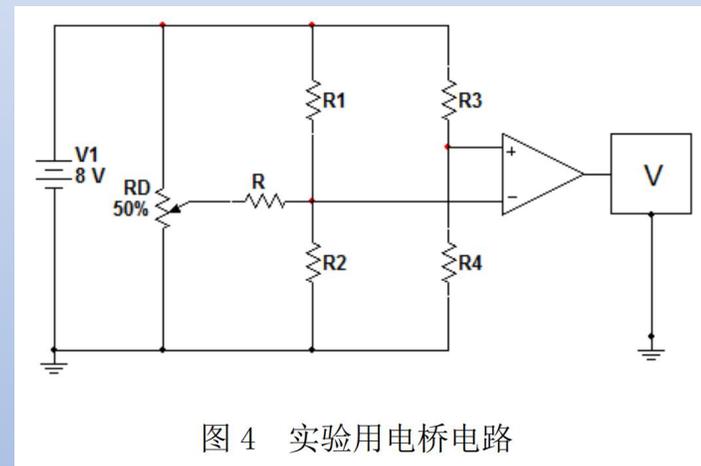


图 4 实验用电桥电路

## 二、实验仪器介绍——SET-N型传感器实验仪



实际仪器



仿真仪器

## 二、实验仪器介绍——仿真仪器操作界面



- ❑ 1 为电源的开关按钮。按下则表示电源开关打开，弹起则表示电源按钮关闭。
- ❑ 2 为电桥调零旋钮。鼠标左击旋钮，旋钮顺时针旋转，桥路电阻 $R$ 增大；鼠标右击旋钮，旋钮逆时针旋转，桥路电阻 $R$ 减小。
- ❑ 3 为增益旋钮。鼠标左击旋钮，旋钮顺时针旋转，差动放大器增益变大，放大系数增大；鼠标右击旋钮，旋钮逆时针旋转，差动放大器增益减小，放大系数减小。
- ❑ 4 为电路调零旋钮。鼠标左击旋钮，旋钮顺时针旋转，差动放大器零点电平升高；鼠标右击旋钮，旋钮逆时针旋转，差动放大器零点电平减小。
- ❑ 7、5、6 表示不同测量量程和精度。  
7、5、6 的最大测量数值分别为200mV、2V、20V。  
量程200mV，测量范围-199.9mV~200.0mV，精度0.1mV；  
量程2V，测量范围-1.999V~2.000V，精度0.001V；  
量程20V，测量范围-19.99V~20.00V，精度0.01V。

# 三、实验仪器调节——差动放大器调零



## 差动放大器调零

- ❑ 点击主电源按钮，打开SET-N型传感器实验仪的电源；
- ❑ 点击电路调零旋钮，对差动放大器调零。

# 四、实验数据测量——计算单臂电桥的灵密度



## (1) 单臂电桥连线

单臂电桥只连接一个工作应变片，其余三个电阻为定值电阻

## (2) 单臂电桥调零

① 在差动放大器调零的基础上，打开实验仪器主电源，点击桥路调零旋钮对单臂电桥调零。

② 点击增益旋钮，确定实验中差动放大器的增益

**注意：在实验过程中，请勿改变差动放大倍数和桥路调零电阻阻值**

## (3) 测量并记录砝码质量 $W$ 和放砝码时电压表读数 $V$

电桥调零后，用鼠标将砝码依次拖动到实验仪的砝码盘上，测量增加和减少砝码时电压表的读数，本实验中共需要10个砝码。

## (4) 计算单臂电桥的灵敏度

① 测量单臂电桥 $V$ - $W$ 曲线。分别测量增加砝码(上升曲线)和减小砝码(下降曲线)的 $V$ - $W$ 曲线。

② 利用最小二乘法求出上升和下降曲线的灵敏度 $S(\text{mV/g})$ ，对灵敏度取平均值，获得单臂电桥灵敏度。

# 四、实验数据测量——计算半桥电路的灵敏度



## (1) 半桥电路连线

试验中半桥电路中的工作应变片，一片受拉力，另一片受压力，然后接入电桥的相邻两臂。

## (2) 半桥电路调零

该操作与单臂电桥的调零操作方法相同。

## (3) 测量并记录砝码质量 $W$ 和放砝码时电压表读数 $V$

电桥调零后，用鼠标将砝码依次拖动到实验仪的砝码盘上，测量增加和减少砝码时电压表的读数，本实验中共需要10个砝码。

## (4) 计算半桥电路的灵敏度

计算过程与单臂电桥的计算方法相同。

# 四、实验数据测量——计算全桥电路的灵敏度



## (1) 全桥电路连线

全桥电路四个电阻都是应变片，实验中对臂应变片的受力方向必须相同(同时受到拉力或者压力作用)

## (2) 测量并记录砝码盘上的砝码质量 $W$ 与对应的电压表读数 $V$

电桥调零后，用鼠标将砝码依次拖动到实验仪的砝码盘上，测量增加和减少砝码时电压表的读数，本实验中共需要10个砝码。

## (3) 计算全桥电路的灵敏度

全桥电路灵敏度的计算方法与单臂电桥灵敏度计算方法相同。

**比较和讨论单臂电桥、半桥电路和全桥电路灵敏度之间的关系。**

# 五、调节和测量注意事项——电路调零



点击电路调零旋钮，对  
差动放大器调零

# 五、调节和测量注意事项——单臂电桥

- ① 单臂电桥只连接一个工作应变片，其余三个电阻为定值电阻
- ② 点击**桥路调零旋钮**对单臂电桥调零。
- ③ 点击**增益旋钮**，确定实验中差动放大器的增益



# 五、调节和测量注意事项——半桥电路

电阻应变片实验

- 半桥电路工作应变片，一片受拉力，另一片受压力
- 接入电桥的相邻两臂

电阻应变片实验

实验已经进行: 03:59:26

记录数据 结束操作

电阻应变片实验

主电源 应变片 差动放大器 电压表

+5V -5V 200mV 2V 20V

Vo Vi

增益 电路调零

实验内容

实验仪器 实验提示 电阻应变片实验

# 五、调节和测量注意事项——全桥电路

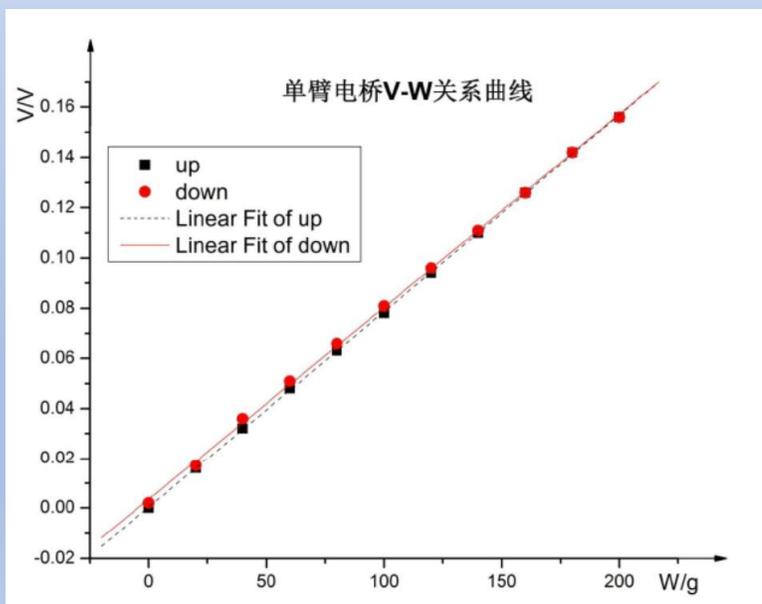
全桥电路四个电阻都是应变片，对臂应变片的受力方向必须相同



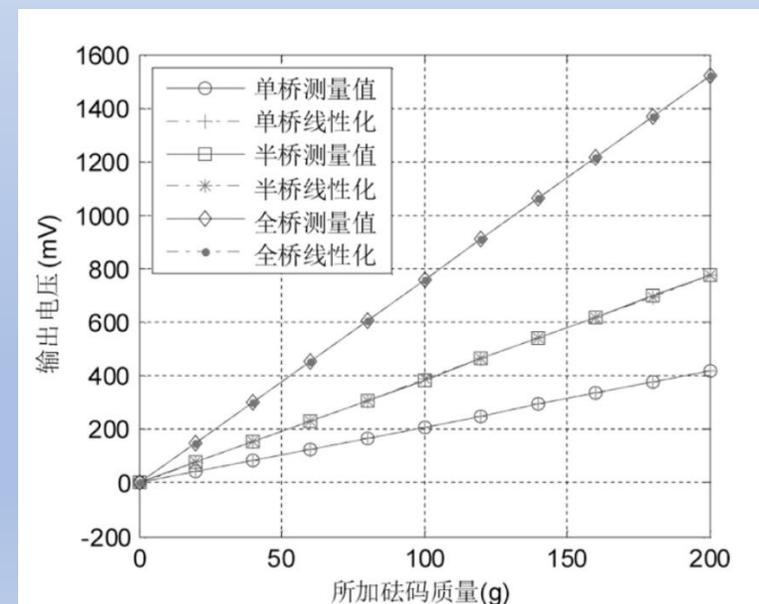
# 五、调节和测量注意事项——数据分析

表 1 金属应变片电阻传感器电桥电路测量数据

砝码质量 $m/g$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
单桥输出 $U_0/mV$	1.7	43.3	84.9	126.6	168	209.9	251.3	292.9	334.5	376.4	417.4
半桥输出 $U_0/mV$	-0.7	76.4	153.9	231.4	308.9	386.2	463.6	541.8	619.1	697.1	774.2
全桥输出 $U_0/mV$	0.3	151.2	302.6	454.9	606.9	758.8	911.1	1 062.8	1 214.6	1 366.6	1 518.0



- 绘制W-V曲线，利用最小二乘法求出上升和下降曲线的灵敏度 $S(mV/g)$ ，对灵敏度取平均值；
- 比较单臂、半桥和全桥电路灵敏度 $S$ 三者之间的关系。



# 接下来进行虚拟仿真实验操作演示

登录网址：[aryun.ustcori.com](http://aryun.ustcori.com)

学生登录账号：CAC+学号，密码为学号

补修的同学用虚拟账号进行登录