

# 东南大学自动化学院

## 现代检测技术 实验报告

实验次数：第1次

姓 名：陈鲲龙      学 号：08022311

## 第二章 箔式电阻应变片实验

### 实验一 金属箔式应变片——单臂电桥性能实验

#### 一、实验目的

了解金属箔式应变片的应变效应及单臂电桥工作原理和性能。

#### 二、基本原理

电阻丝在外力作用下发生机械变形时，其电阻值发生变化，这就是电阻应变效应。描述电阻应变效应的关系式为： $\Delta R/R = K \varepsilon$  式中： $\Delta R/R$  为电阻丝电阻相对变化， $K$  为应变灵敏系数， $\varepsilon = \Delta L/L$  为电阻丝长度相对变化。金属箔式应变片就是通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感元件，通过它反映被测部位受力状态的变化。电桥的作用是完成电阻到电压的比例变化，电桥的输出电压反映了相应的受力状态。单臂电桥输出电压  $U_{o1} = EK \varepsilon / 4$ 。

#### 三、实验器材

主机箱（ $\pm 4V$ 、 $\pm 15V$ 、电压表）、应变传感器实验模板、托盘、砝码、万用表、导线等。

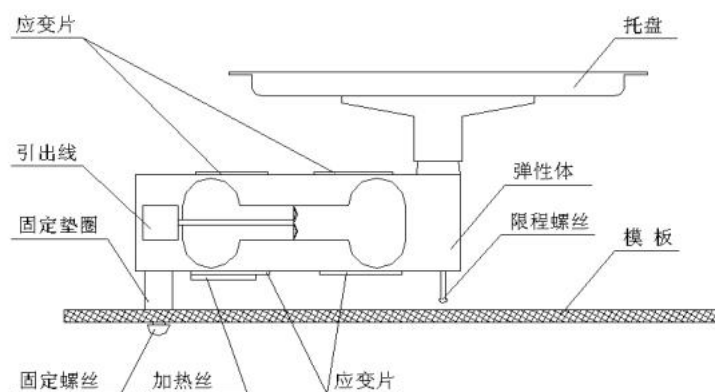


图 2-1 应变式传感器安装示意图

如图 2-1，将托盘安装到应变传感器的托盘支点上，应变式传感器（电子秤传感器）已安装在应变传感器实验模板上。传感器左下角应变片为  $R_1$ ，右下角为  $R_2$ ，右上角为  $R_3$ ，左上角为  $R_4$ 。当传感器托盘支点受压时， $R_1$ 、 $R_3$  阻值增加， $R_2$ 、 $R_4$  阻值减小。如图 2-2，应变传感器实验模板中的  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  为应变片。没有文字标记的 5 个电阻是空的，其中 4 个组成电桥模型是为实验者组成电桥方便而设的。传感器中 4 片应变片和加热电阻已连接在实验模板左上方的  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  和加热器上。可用万用表进行测量判别，常态时应变片阻值为  $350\Omega$ ，加热丝电阻值为  $50\Omega$  左右。

#### 四、实验步骤

1、根据工作原理图、接线示意图安装接线。

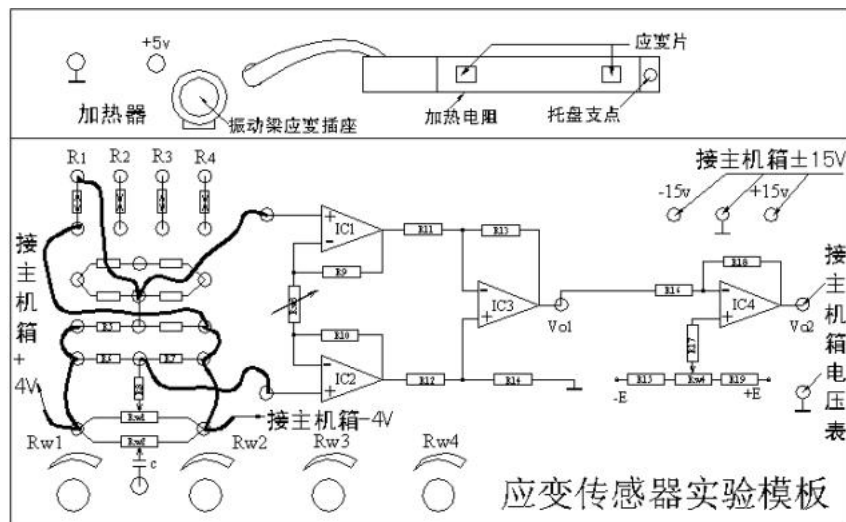


图 2-2 应变传感器实验模板、接线示意图

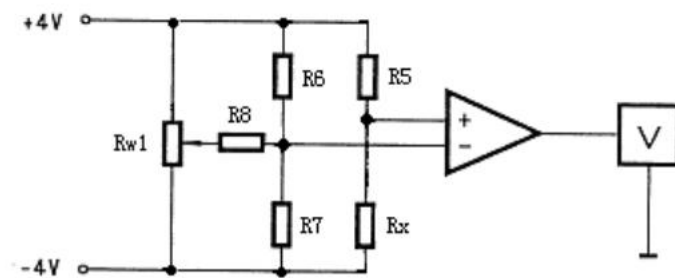


图 2-3 单臂电桥工作原理图

2、放大器输出调零 将实验模板上放大器的两输入端口引线暂时脱开，再用导线将两输入端短接 ( $V_i=0$ )；调节 放大器的增益电位器 RW3 大约到中间位置 (先逆时针旋到底，再顺时针旋转 2 圈)；将主机箱电压表的量程切换开关打到 2V 档，合上主机箱电源开关；调节实验模板放大器的调零电位器 RW4，使电压表显示为零。

3、电桥调零 拆去放大器输入端口的短接线，将暂时脱开的引线复原。调节实验模板上的桥路平衡电位器 RW1，使电压表显示为零。

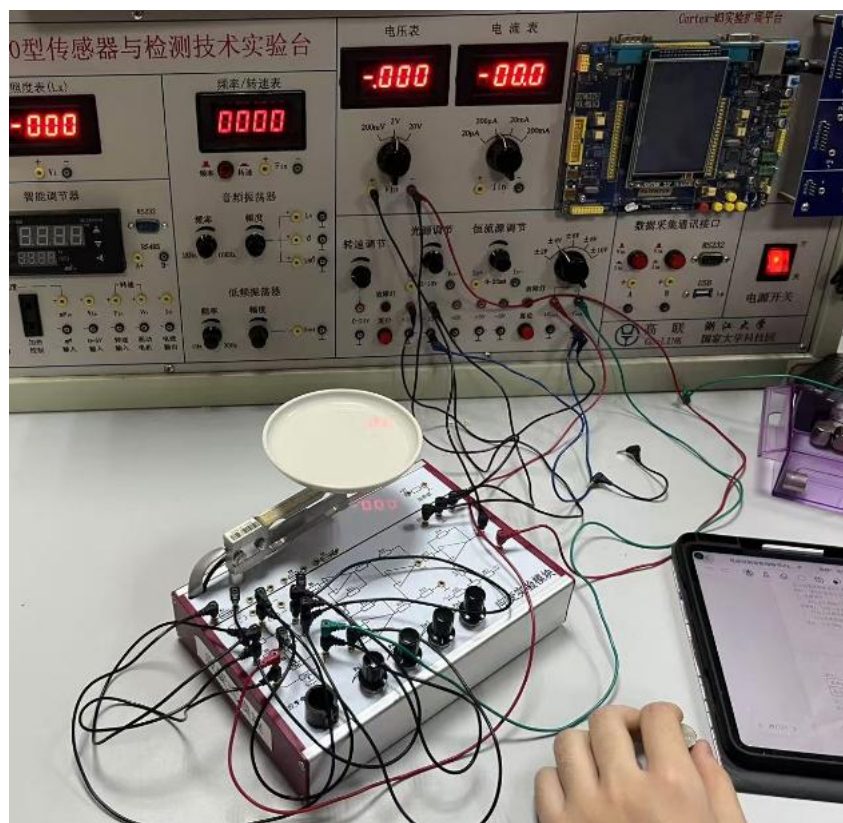
4、应变片单臂电桥实验 在应变传感器的托盘上放置一只砝码，读取数显表数值，依次增加砝码和读取相应的数显表值，直到 200g (或 500 g) 砝码加完。填写实验结果，画出实验曲线。

5、根据表格计算系统灵敏度  $S=\Delta U/\Delta W$  ( $\Delta U$  为输出电压变化量， $\Delta W$  为重量变化量) 和非线性误差  $\delta$ 。  $\delta=\Delta m/y_{FS} \times 100\%$  式中  $\Delta m$  为输出值 (多次测量时为平均值) 与拟合直线的最大偏差； $y_{FS}$  为满量程输出平均值，此处为 200g (或 500g)。实验完毕，关闭电源。

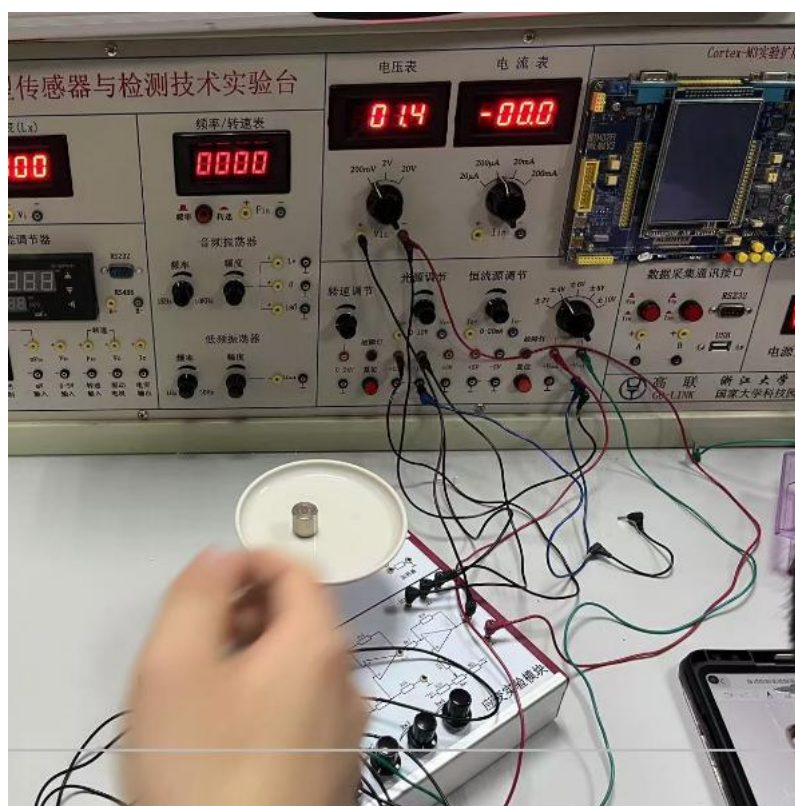
#### 四、实验结果

部分精选实验图片：

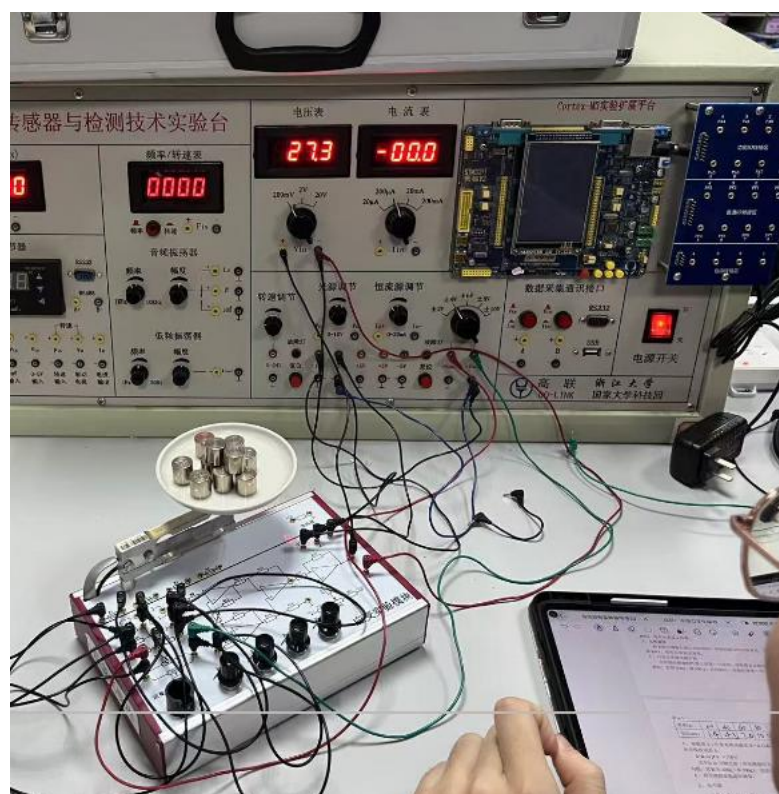
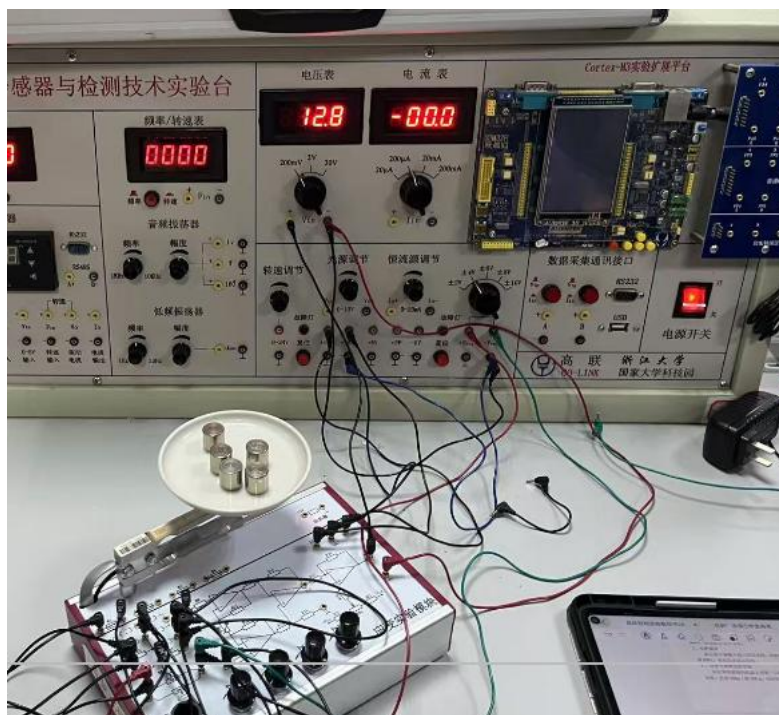
调零：



实验过程中:



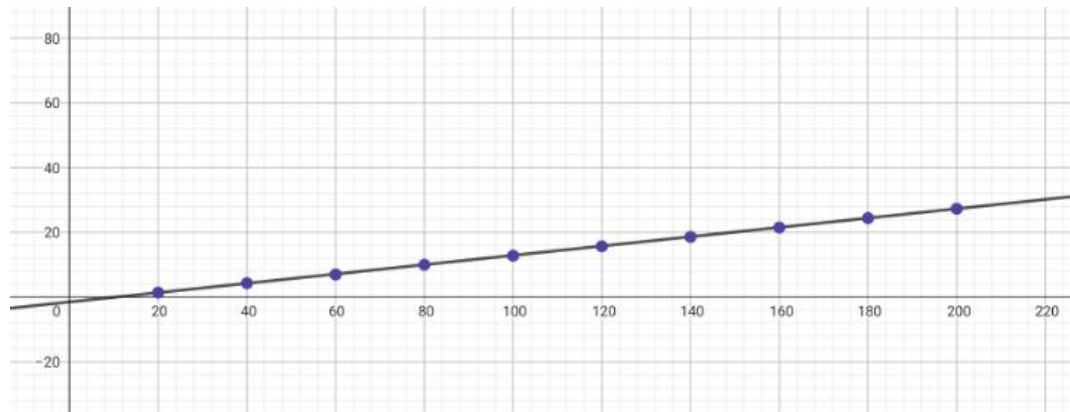




数据记录:

重量 (g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压 (mv)	1.4	4.3	7.0	10.0	12.8	15.7	18.6	21.5	24.4	27.3

数据处理与分析：



系统灵敏度  $S = (27.3 - 1.4) / (200 - 20) = 1/6.9498 = 0.134889$

直线:  $y = 0.143889x - 1.4778$

$\Delta_m = 0.15554$  (60g 处),  $y_{FS} = 200$

非线性误差  $\delta = 0.15554 / 200 * 100\% = 0.07777\%$

实验思考题：

1、单臂电桥工作时,作为桥臂电阻的应变片应选用:(1)正(受拉)应变片;(2)负(受压)应变片(3);正、负应变片均可以。

答:正负均可。单臂电桥对应变计的受力方向没有限制,无论应变计是受拉还是受压,其阻值都会发生变化,从而使得桥路有电压输出。

## 实验二 金属箔式应变片——半桥性能实验

一、实验目的

比较半桥与单臂电桥的不同性能、了解其特点。

二、基本原理

不同受力方向的两只应变片接入电桥作为邻边,电桥输出灵敏度提高,非线性得到改善。当应变片阻值和应变片相同时,其桥路输出电压  $U_{o2} = EK \varepsilon / 2$ 。

三、实验步骤

1、根据图 2-4 工作原理图、图 2-5 接线示意图安装接线。

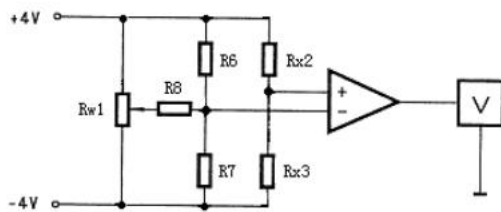


图 2-4 半桥工作原理图

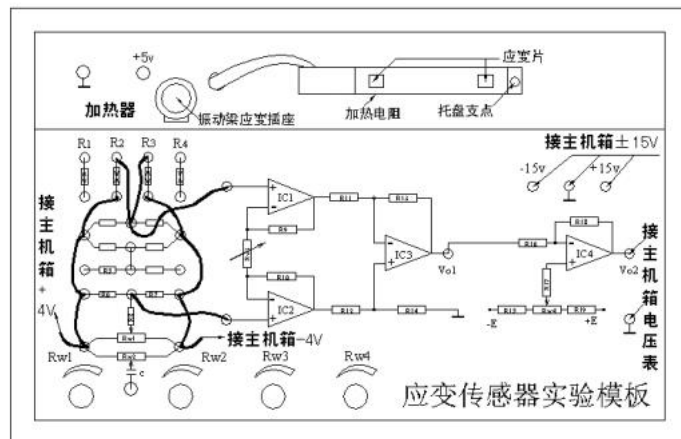


图 2-5 应变传感器实验模板、接线示意图

2、放大器输出调零 将实验模板上放大器的两输入端口引线暂时脱开，用导线将两输入口短接( $V_i=0$ )；调节放 大器的增益电位器 RW3 大约到中间位置(先逆时针旋到底，再顺时针旋转 2 圈)；将主机箱电压 表的量程切换开关打到 2V 档，合上主机箱电源开关；调节实验模板放大器的调零电位器 RW4， 使电压表显示为零。

3、电桥调零 恢复实验模板上放大器的两输入口接线，调节实验模板上的桥路平衡电位器 RW1，使主 机箱电压表显示为零。

4、应变片半桥实验 在应变传感器的托盘上放置一只砝码，读取数显表数值，依次增加砝码和读取相应的数显 表值，直到 200g (或 500 g) 砝码加完。实验结果填入表格，画出实验曲线。

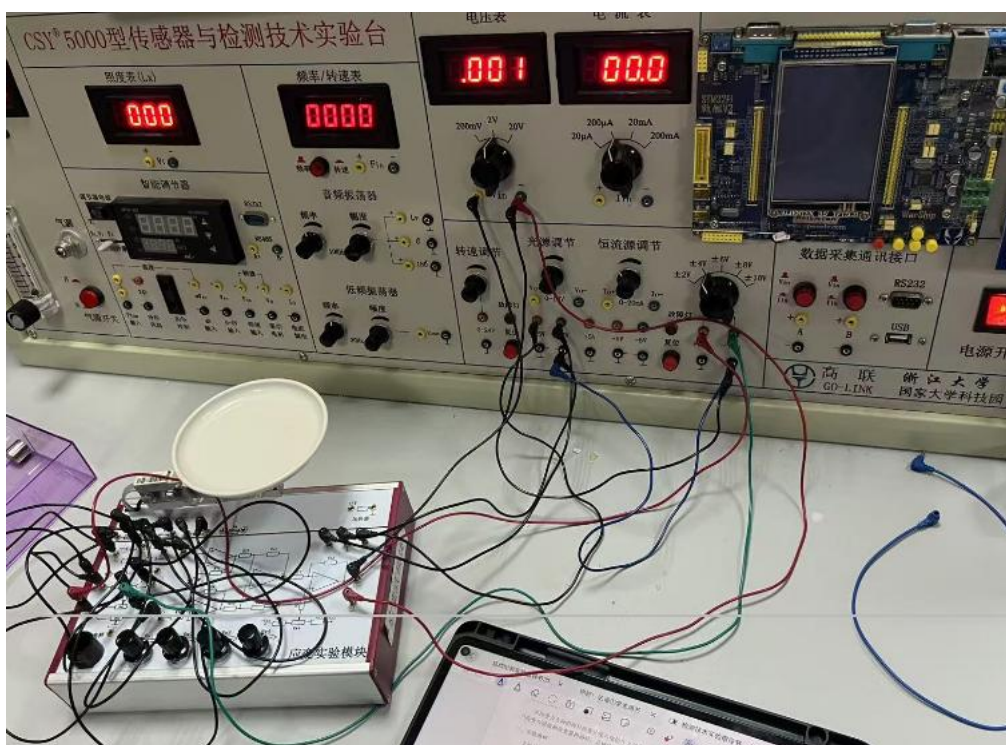
5、计算灵敏度  $S=U / W$ ，非线性误差 $\delta$ 。实验完毕，关闭电源。

#### 四、实验结果

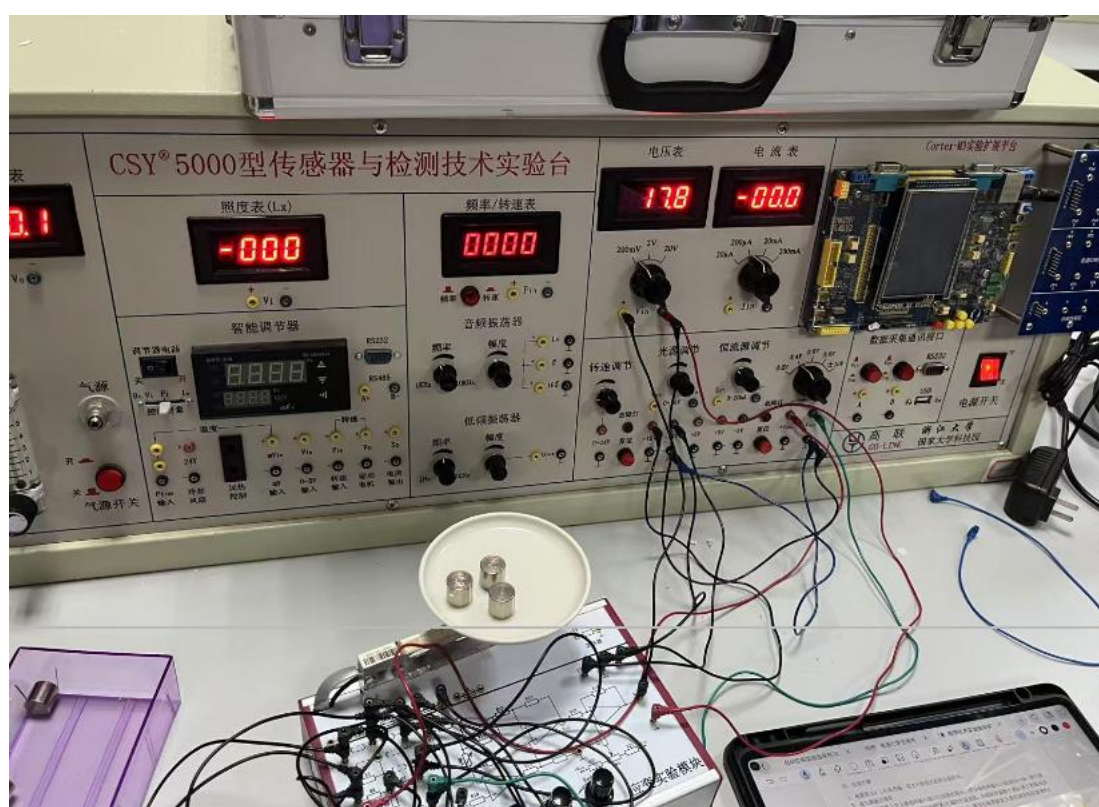
部分精选实验图片：

调零：

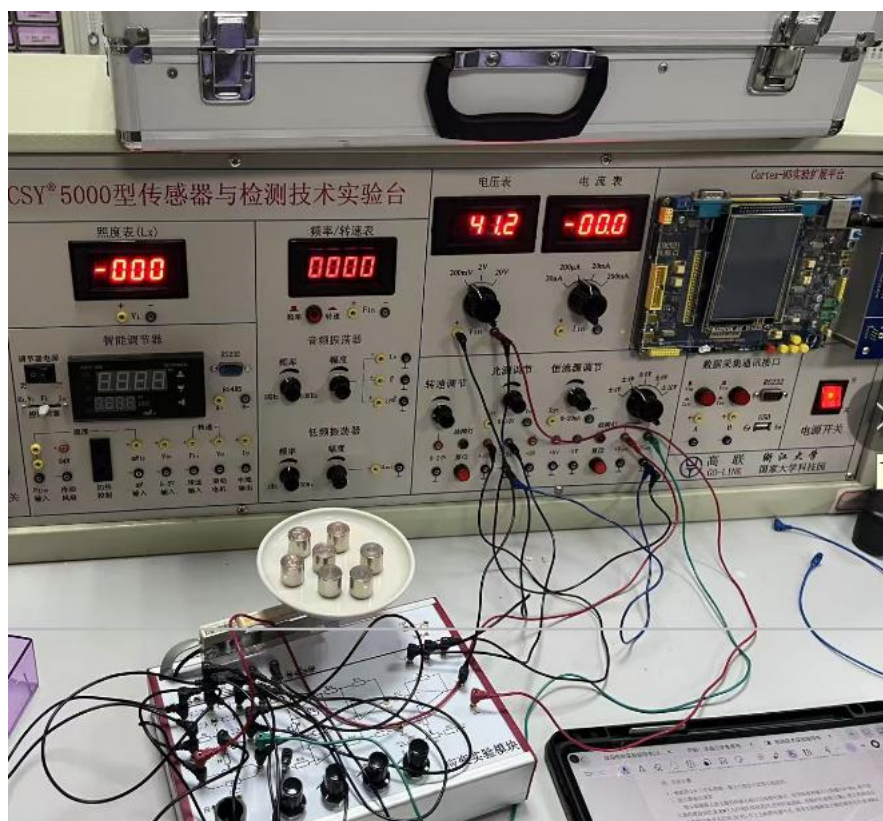




实验过程中:



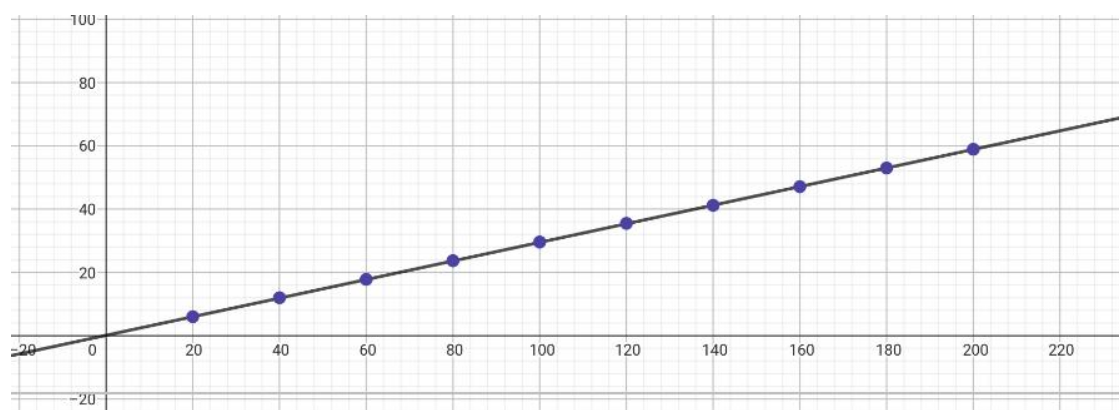




数据记录:

重 量 (g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电 压 (mV)	6.0	12.0	17.8	23.7	29.6	35.5	41.2	47.1	53.0	58.9

数据处理与分析:



系统灵敏度  $S = (58.9 - 6) / (200 - 20) = 0.293888889$

直线:  $y = 0.293888889x + 0.122222$

$\Delta m = 0.12223$  (40g 处),  $y_{FS} = 200$

非线性误差  $\delta = 0.12223 / 200 * 100\% = 0.061115\%$

实验思考题:

1、半桥测量时, 两片不同受力状态的电阻应变片接入电桥时, 应放在: (1) 对边; (2) 邻边。

答: 邻边。

2、半桥测量时, 两片相同受力状态的电阻应变片接入电桥时, 应放在: (1) 对边; (2) 邻边。

答: 对边。

桥路(差动电桥)测量时存在非线性误差, 是因为: (1) 电桥测量原理上存在非线性; (2) 应变片应变效应是非线性的; (3) 调零值不是真正为零。

答: 电桥测量原理上存在非线性。

### 实验三 金属箔式应变片——全桥性能实验

#### 一、实验目的

了解全桥测量电路的优点。

#### 二、基本原理

全桥测量电路中, 将受力方向相同的两应变片接入电桥对边, 相反的应变片接入电桥邻边。当应变片初始阻值  $R_1=R_2=R_3=R_4$ 、其变化值  $\Delta R_1=\Delta R_2=\Delta R_3=\Delta R_4$  时, 其桥路输出电压  $U_o3=KE\varepsilon$ 。其输出灵敏度比半桥又提高了一倍, 非线性误差和温度误差均得到改善。三、实验器材

主机箱( $\pm 4V$ 、 $\pm 15V$ 、电压表)、应变传感器实验模板、托盘、砝码、万用表、导线等。

#### 四、实验步骤

1、根据工作原理图和接线示意图安装接线。

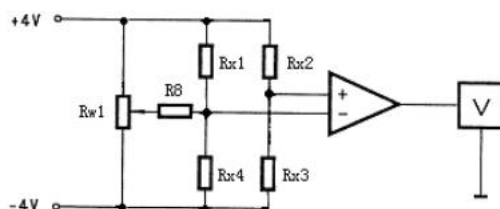


图 2-6 全桥工作原理图

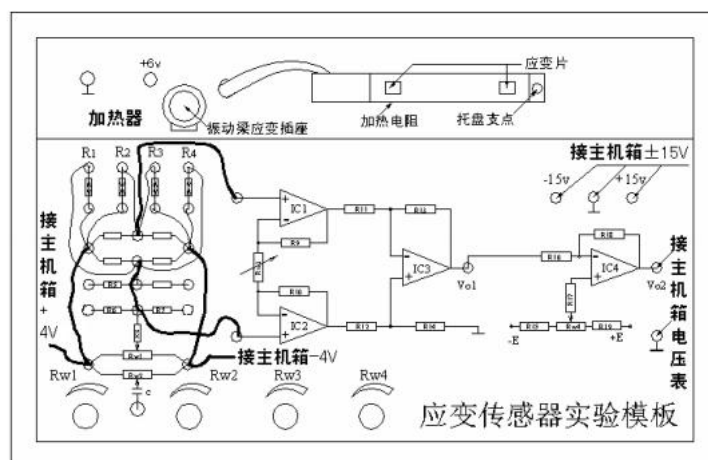


图 2-7 应变传感器实验模板、接线示意图

2、差动放大器调零 将实验模板上放大器的两输入端口引线暂时脱开, 用导线将两输入端口短

接( $V_i=0$ )；调节放大器的增益电位器 RW3 大约到中间位置(先逆时针旋到底，再顺时针旋转 2 圈)；将主机箱电压表的量程切换开关打到 2V 档，合上主机箱电源开关；调节实验模板放大器的调零电位器 RW4，使电压表显示为零。

3、电桥调零 恢复实验模板上放大器的两输入接线，调节实验模板上的桥路平衡电位器 RW1，使主机箱电压表显示为零

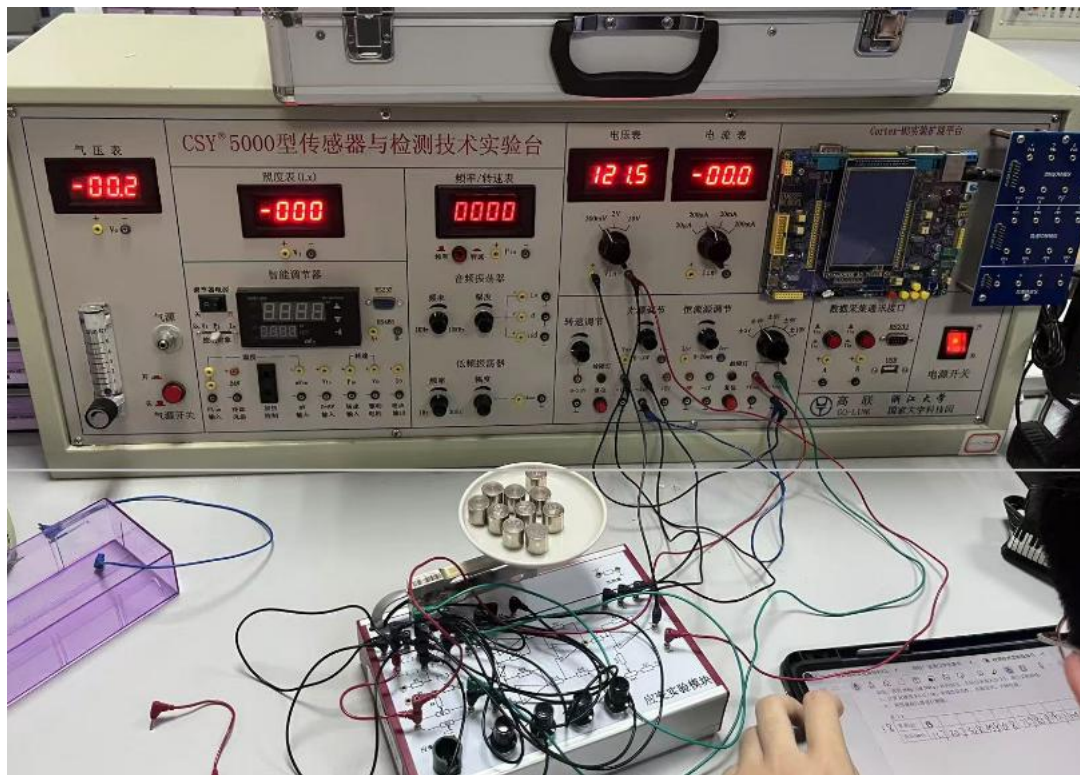
4、应变片全桥实验 在应变传感器的托盘上放置一只砝码，读取数显表数值，依次增加砝码和读取相应的数显表值，直到 200g (或 500 g) 砝码加完。实验结果填入表格，画出实验曲线。

5、计算灵敏度  $S=U/W$ ，非线性误差  $\delta$ 。实验完毕，关闭电源。

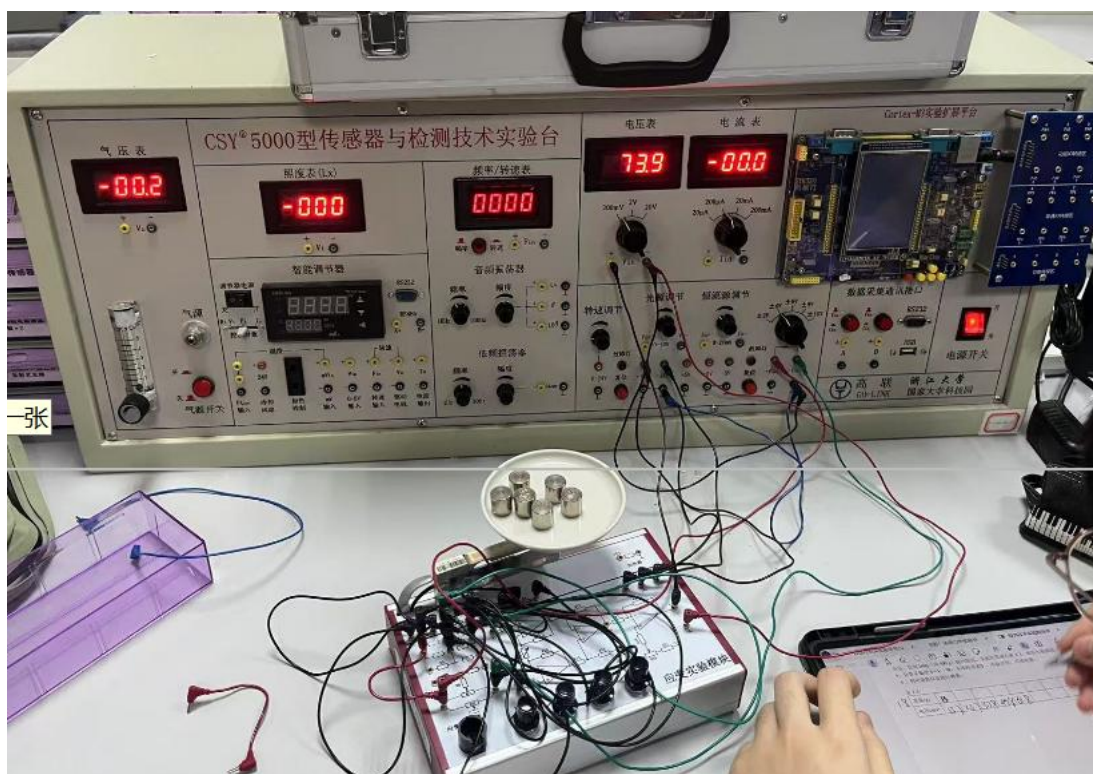
五、实验结果：

部分精选实验图片：

实验过程中：



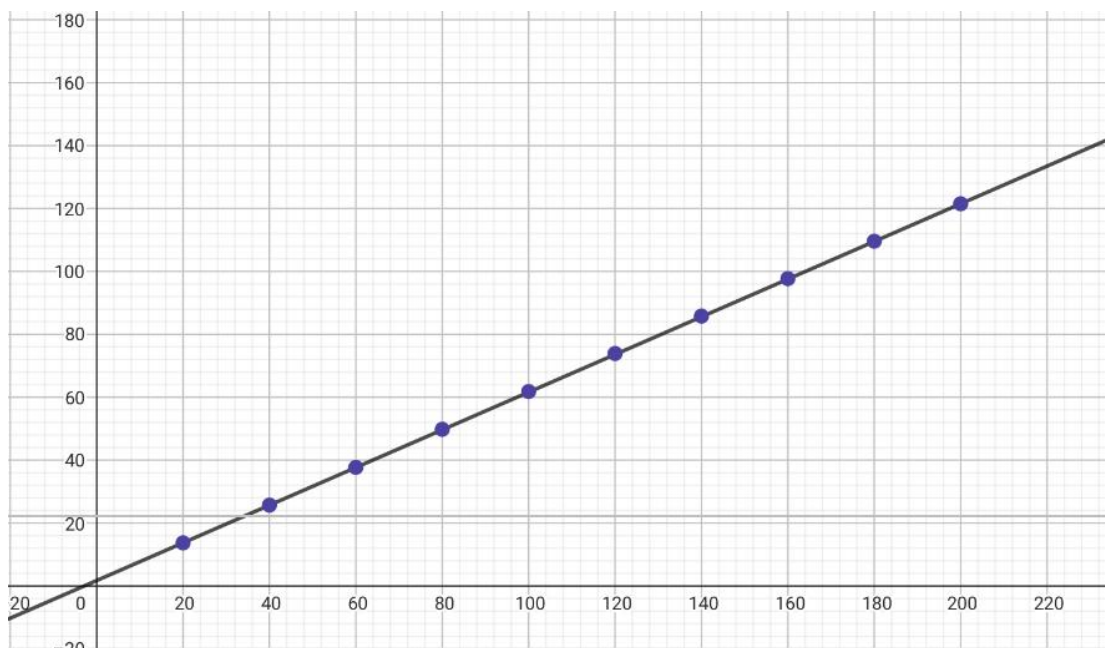




数据记录:

重量 (g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压 (mv)	13.7	25.7	37.7	49.8	61.8	73.9	85.8	97.7	109.6	121.5

数据处理与分析:



系统灵敏度  $S = (121.5 - 13.7) / (200 - 20) = 0.59888889$



直线:  $y=0.59888889x+1.7222222$

$\Delta m=3.7555532$  (120g 处),  $y_{FS}=200$

非线性误差  $\delta = 3.7555532/200 \times 100\% = 1.8777766\%$

实验思考题:

1、测量中, 当两组对边 (如  $R_1$ 、 $R_3$  为对边) 电阻值  $R$  相同时, 即  $R_1=R_3$ ,  $R_2=R_4$ , 而  $R_1 \neq R_2$  时, 是否可以组成全桥: (1) 可以; (2) 不可以。

答: 不可以。

2、某工程技术人员在进行材料拉力测试时在棒材上贴了两组应变片, 如图 2-8, 能否如何利用四片应变片组成电桥, 是否需要外加电阻。

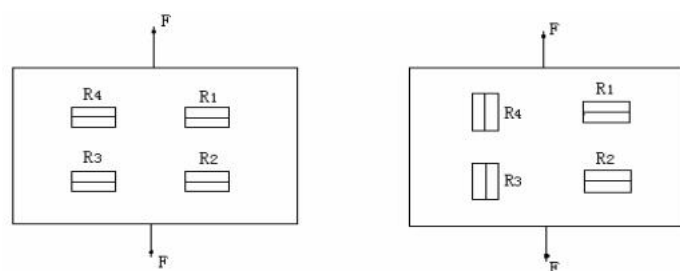


图 2-8 受拉力时应变式传感器圆周面展开图

答: 可以利用它们组成电桥。对于左图, 可以任意选取两个电阻接入电桥的对边, 输出为两倍的横向应变, 如果已知泊松比则可知纵向应变。对于右图, 可以选取  $R_3$ 、 $R_4$  接入电桥对边, 则输出为两倍的纵向应变。两种情况下都需要接入与应变片阻值相等的电阻组成电桥。

3、金属箔式应变片单臂、半桥、全桥性能比较

基本原理如图 2-9 (a)、(b)、(c)。

比较单臂、半桥、全桥输出时的灵敏度和非线性度, 根据实验结果和理论分析, 阐述原因, 得出相应的结论。

注意: 比较实验中, (a)、(b)、(c) 放大电路的放大器增益必须相同。

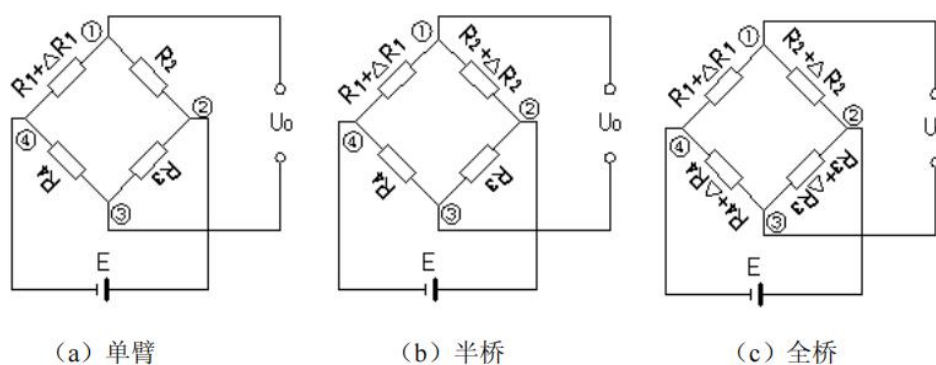


图 2-9 应变电桥

① 单臂

$$U_0 = U_1 - U_3$$

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

$$= \left( \left( 1 + \frac{\Delta R_1}{R_1} \right) / \left( 1 + \frac{\Delta R_1}{R_1 + R_2} \right) - \left( \frac{R_4}{R_3} \right) / \left( 1 + \frac{R_4}{R_3} \right) \right) E$$

设  $R_1=R_2=R_3=R_4$ ，且  $\Delta R_1 / R_1 \ll 1$ 。

$$U_0 \approx (1/4)(\Delta R_1 / R_1)E$$

所以电桥的电压灵敏度： $S=U_0 / (\Delta R_1 / R_1) \approx kE=(1/4)E$

② 半桥

$$U_0 \approx (1/2)(\Delta R_1 / R_1)E$$

$$S=(1/2)E$$

③ 全桥

$$U_0 \approx (\Delta R_1 / R_1)E$$

$$S=E$$

实验小结：本次实验主要是做箔式电阻应变片实验的单臂、半、全电桥的三个版本，理解了应变片测力的原理，体会到了不同电桥的灵敏度差异。