

## 实验 A（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，单臂电桥工作原理和性能。

### 二、基本原理

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。用应变片测量受力时，将应变片粘贴于被测对象表面上，观察应变片电阻值的变化即应变值。通过弹性元件，可以将位移、力、力矩、加速度、压力等物理量转换为应变，因此可以用应变片做成各种参数检测的传感器。

### 三、需用器件与单元

传感器实验模块、砝码、万用表、 $\pm 15V$  电源、 $\pm 5V$  电源、传感器调理电路挂件应变式传感器实验单元、热风枪。

### 四、实验内容与步骤

1. 实验台实物图如图 1-1 所示，应变式传感器已装在传感器实验模块上，传感器实验模块实物图如图 1-2 所示，传感器中各应变片已接入实验模块右下方的  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ ，关于应变片的示意图和实物图如图 1-3(a)和(b)所示，可用万用表测量  $R_1=R_2=R_3=R_4=350\Omega$ 。

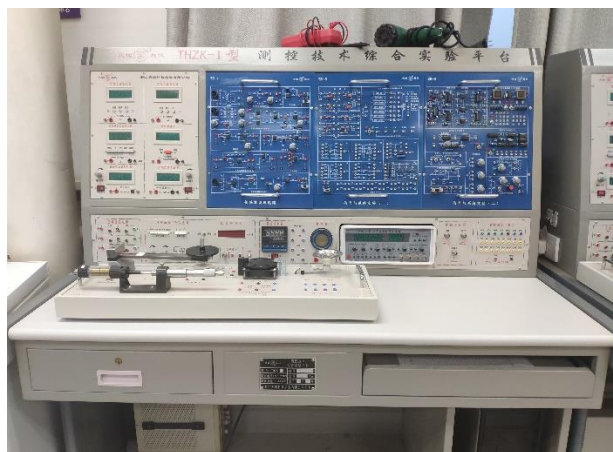
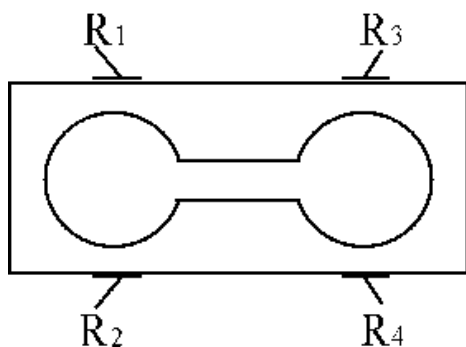


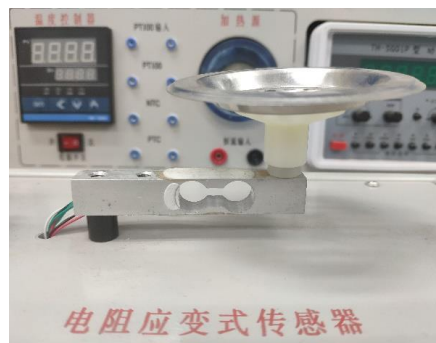
图 1-1 实验台实物图



图 1-2 传感器实验模块实物图



(a) 示意图



(b) 实物图

图 1-3 应变式传感器的示意图和实物图

2. 把  $\pm 15\text{V}$  直流稳压电源接入“传感器调理电路”实验挂箱，检查无误后，开启实验台面板上的直流稳压电源开关，调节  $\text{RW}_5$  使之大致位于中间位置（ $\text{RW}_5$  为 10 圈电位器），再进行差动放大器调零，方法为：将差动放大器的正、负输入端与地短接，输出端  $\text{Uo2}$  接万用表观察电压，调节实验模板上调零电位器  $\text{RW}_6$ （如果仅调节  $\text{RW}_6$  无法调零则可适当调节  $\text{RW}_5$ ），使万用表显示为零，关闭直流稳压电源开关。（注意：当  $\text{RW}_5$  的位置一旦确定，就不能改变。）

3. 按图 1-4 将应变式传感器的其中一个应变片  $\text{R}_1$ （即实验模块右下方的  $\text{R}_1$ ）接入电桥， $\text{R}_1$  作为一个桥臂与  $\text{R}_5$ 、 $\text{R}_6$ 、 $\text{R}_7$  接成直流电桥（ $\text{R}_5$ 、 $\text{R}_6$ 、 $\text{R}_7$  模块内已接好），接上桥路电源  $\pm 5\text{V}$ ，如图 1-4 所示。检查接线无误后，合上直流稳压电源开关，调节  $\text{RW}_3$ ，使万用表电压显示为零。

4. 在砝码盘上放置一只砝码，待万用表数值显示稳定后，读取数显值，以后每次增加一个砝码并读取相应的测量值，直到 200g 砝码加完，记下实验结果填入表 1-1（保留一位小数）。

表 1-1 单臂电桥输出电压与所加负载重量值

重量 (g)										
电压 (mV)										

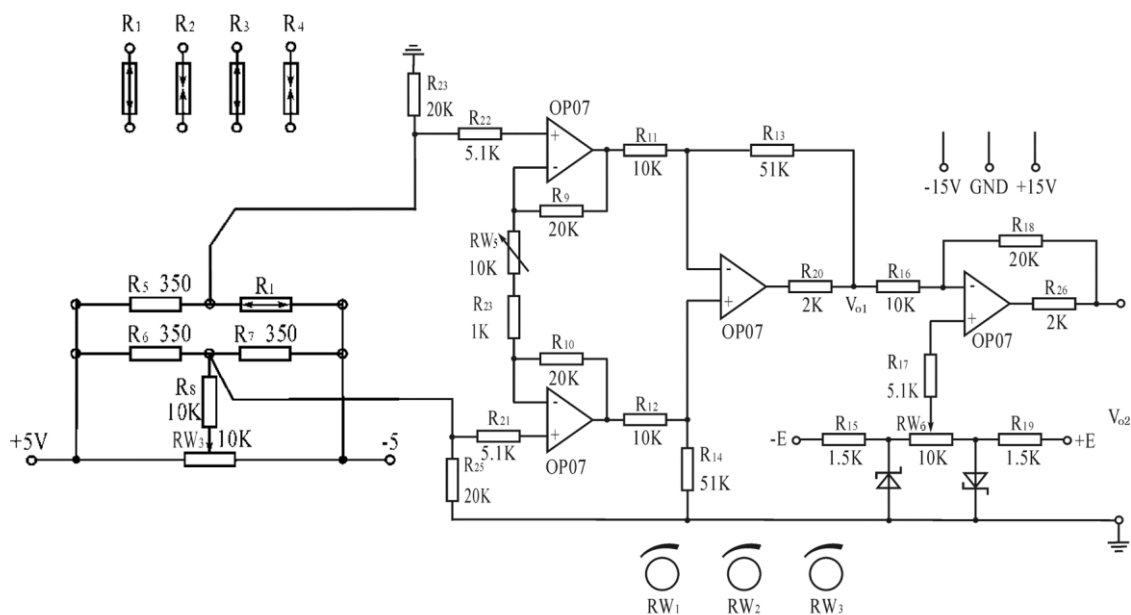


图 1-4 应变式传感器单臂电桥实验接线图

5. 去掉所有砝码，利用热风枪加热所用应变片，观察万用表上电压的变化，并记录下来，所有实验做完后，关闭电源。

## 五、实验注意事项

1. 不要在砝码盘上放置超过 1kg 的物体，否则容易损坏传感器。
2. 电桥的电压为  $\pm 5V$ ，绝不可错接成  $\pm 15V$ ，否则可能烧毁应变片。
3. “传感器调理电路”实验挂箱中有两组  $\pm 15V$  电源。“应变片传感器实验”单元所需电源由位于“差动变压器实验”单元的  $\pm 15V$  电源提供；“电容式传感器实验”单元所需电源由位于本单元的  $\pm 15V$  电源提供。注意：两组电源不要同时使用，否则对实验效果会有影响。

## 六、实验报告要求

1. 根据表 1-1 的实验数据，利用最小二乘法绘制出单臂电桥时传感器的特性曲线，并计算系统灵敏度  $S_1$  和非线性误差  $\delta_{fl}$ 。
2. 从理论上分析产生非线性误差的原因。
3. 回答以下思考题：
  - (a). 单臂电桥时，作为桥臂电阻应变片应选用：（1）正（受拉）应变片（2）负（受压）应变片（3）正、负应变片均可以。
  - (b). 说明步骤 5 的实验现象，并分析该现象出现的原因。

# 实验 A（二） 金属箔式应变片——半桥性能实验

## 一、实验目的

- 1. 了解半桥的工作原理。
- 2. 比较半桥与单臂电桥的不同性能，了解其特点。

## 二、基本原理

把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。

## 三、需用器件与单元

传感器实验模块、传感器调理电路挂件应变式传感器实验单元、砝码、万用表、 $\pm 15\text{V}$  电源、 $\pm 5\text{V}$  电源、热风枪。

## 四、实验内容与步骤

1. 根据图 2-1 接线。 $R_1$ 、 $R_2$  为传感器实验模块右下方的应变片，注意  $R_2$  应和  $R_1$  受力状态相反，即将传感器中两片受力相反（一片受拉、一片受压）的电阻应变片作为电桥的相邻边。接入桥路电源  $\pm 5\text{V}$ ，调节电桥调零电位器  $RW_3$  进行桥路调零，重复实验一中的步骤 4，将实验数据记入表 2-1（保留一位小数）。若实验时显示数值不变化，则说明  $R_1$  与  $R_2$  两应变片受力状态相同，则应更换应变片。

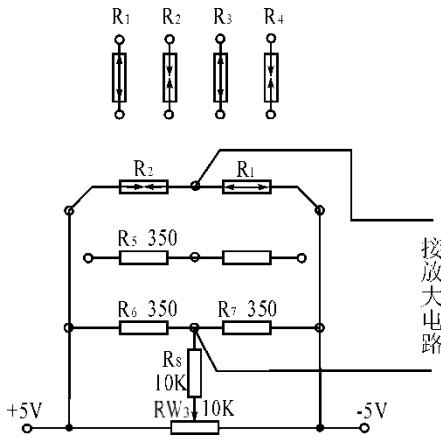


图 2-1 应变式传感器半桥实验接线图

表 2-1 半桥测量时，输出电压与加负载重量值

重量 (g)										
电压 (mV)										

2. 去掉所有砝码，利用热风枪加热所用的两片应变片，注意加热要均匀，观察万用表上电压的变化，并记录下来，所有实验做完后，关闭电源。

## 五、实验注意事项

1. 不要在砝码盘上放置超过 1kg 的物体，否则容易损坏传感器。
2. 电桥的电压为  $\pm 5\text{V}$ ，绝不可错接成  $\pm 15\text{V}$ ，否则可能烧毁应变片。

## 六、实验报告要求

1. 根据表 2-1 的实验数据，利用最小二乘法绘制出半电桥时传感器的特性曲线，并计算灵敏度  $S_2$  和非线性误差  $\delta_{f2}$ 。

2. 分析为什么半桥的输出灵敏度比单臂电桥时高了一倍，而且非线性误差也得到改善。

3. 回答以下思考题：

(a). 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（3）其他（具体说明）

(b). 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。

(c). 说明步骤 2 的实验现象，并分析该现象出现的原因。

# 实验 A（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原理及优点。

## 二、基本原理

全桥测量电路中，将受力性质相同的两个应变片（共四个）分别接入电桥对边，应变片初始阻值相同，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明显改善。

## 三、需用器件和单元

传感器实验模块、传感器调理电路挂件应变式传感器实验单元、砝码、万用表、±15V 电源、±5V 电源、热风枪。

## 四、实验内容与步骤

1. 根据图 3-1 接线，实验方法与实验二相同。将实验结果填入表 3-1（保留一位小数）。

表 3-1 全桥输出电压与加负载重量值

重量 (g)										
电压 (mV)										

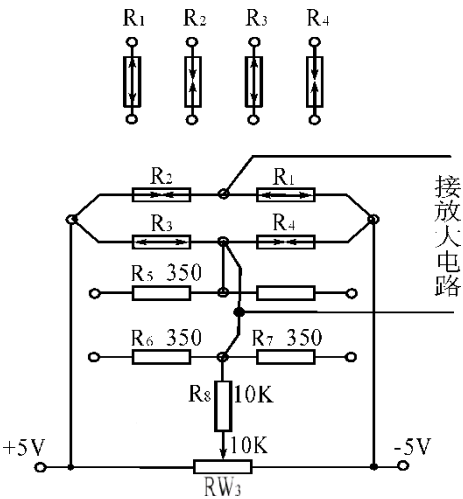


图 3-1 应变式传感器全桥实验接线图

2. 将 10 只砝码全部置于传感器的托盘上，调节电位器  $RW_5$ （增益即满量程调节）使万用表显示为 0.200V 或 -0.200V。
3. 拿去托盘上的所有砝码，调节电位器  $RW_3$ （零位调节）使万用表显示为 0.000V。
4. 重复 2、3 步骤的标定过程，一直到精确为止，把电压量纲 V 改为重量量纲 g，就可以称重，成为一台原始的电子秤。

5. 把砝码依次放在托盘上，填入下表 3-2（保留一位小数）。

表 3-2 电桥输出电压与加负载重量值

重量 (g)										
电压 (mV)										

## 五、实验注意事项

1. 不要在砝码盘上放置超过 1kg 的物体，否则容易损坏传感器。
2. 电桥的电压为  $\pm 5V$ ，绝不可错接成  $\pm 15V$ 。

## 六、实验报告要求：

1. 根据表 3-1 和表 3-2 的实验数据，利用最小二乘法分别绘制出全桥时传感器的特性曲线，同时计算灵敏度  $S_3$  和非线性误差  $\delta_{f3}$ ，注意表 3-1 和 3-2 均要绘制和计算。
2. 比较单臂、半桥、全桥输出时的灵敏度和非线性误差，并从理论上加以分析比较，得出相应的结论。
3. 分析什么因素会导致电子秤的非线性误差增大，怎么消除，若要增加输出灵敏度，应采取哪些措施。
4. 回答以下思考题：
  - (a). 全桥测量中，当两组对边（ $R_1$ 、 $R_3$  为对边）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。

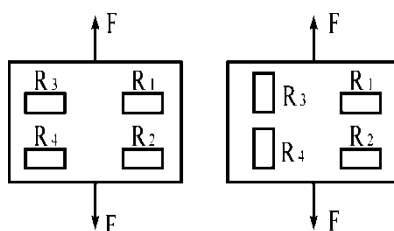


图 3-2 应变式传感器受拉时传感器周面展开图

- (b). 如图 3-2 所示，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，图 3-2 展示的两种方式中哪种更为合理，分析原因并说明如何利用这四片电阻应变片组成电桥，是否需要外加电阻。
- (c). 若用热风枪加热全桥电路中的四片应变片，分析应该会有什么现象并说明原因。
- (d). 对比分析单臂电桥、半桥和全桥电路是否受温度影响，并解释背后的原因。

## 实验 A（四） 电容式传感器的位移特性实验

### 一、实验目的

了解电容式传感器结构及其特点。

### 二、基本原理

利用平板电容  $C = \epsilon S / d$  和其它结构的关系式通过相应的结构和测量电路可以选择  $\epsilon$ 、 $S$ 、 $d$  中三个参数中，保持两个参数不变，而只改变其中一个参数，则可以有测谷物干燥度（ $\epsilon$  变）测微小位移（变  $d$ ）和测量液位（变  $S$ ）等多种电容传感器。变面积型电容传感器中，平板结构对极距特别敏感，测量精度受到影响，而圆柱形结构受极板径向变化的影响很小，且理论上具有很好的线性关系，（但实际由于边缘效应的影响，会引起极板间的电场分布不均，导致非线性问题仍然存在，且灵敏度下降，但比变极距型好得多）成为实际中最常用的结构，其中线位移单组式的电容量  $C$  在忽略边缘效应时为：

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln(r_2/r_1)} \quad (1)$$

式中  $l$  ——外圆筒与内圆柱覆盖部分的长度；

$r_1$ 、 $r_2$  ——外圆筒内半径和内圆柱外半径。

当两圆筒相对移动  $\Delta l$  时，电容变化量  $\Delta C$  为：

$$\Delta C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln(r_2/r_1)} - \frac{2\pi\epsilon(l - \Delta l)}{\ln(r_2/r_1)} = \frac{2\pi\epsilon\Delta l}{\ln(r_2/r_1)} = C_0 \frac{\Delta l}{l} \quad (2)$$

于是，可得两个差动电容测量的静态灵敏度为：

$$k_s = \frac{C_2 - C_1}{\Delta l} = \left[ \frac{2\pi\epsilon(l + \Delta l)}{\ln(r_2/r_1)} - \frac{2\pi\epsilon(l - \Delta l)}{\ln(r_2/r_1)} \right] / \Delta l = \frac{4\pi\epsilon}{\ln(r_2/r_1)} \quad (3)$$

可见灵敏度与  $r_2/r_1$  有关， $r_1$  与  $r_2$  越接近，灵敏度越高，虽然内外极筒原始覆盖长度  $l$  与灵敏度无关，但  $l$  不可太小，否则边缘效应将影响到传感器的线性。

本实验为变面积式电容传感器，采用差动式圆柱形结构，因此可以很好的消除极距变化对测量精度的影响，并且可以减小非线性误差和增加传感器的灵敏度。

### 三、需用器件与单元

传感器实验模块、传感器调理电路挂件电容式传感器实验单元、测微头、万用表、 $\pm 15V$  电源。

### 四、实验步骤

1. 将电容式传感器装于传感器实验模块的黑色支架上，将传感器引线插头插入传感器调理



电路中电容式传感器实验单元的插孔中。

2. RW 调节到大概中间位置 (RW 为 10 圈电位器), 将“电容传感器实验”单元的输出端  $U_o$  接入万用表以读取电压。

3. 把  $\pm 15V$  直流稳压电源接入“传感器调理电路”实验挂箱, 检查无误后, 开启实验台面板上的直流稳压电源开关。

4. 左右旋转测微头, 改变电容传感器动极板的位置, 找到电压值为  $0.0mV$  的位置, 并记录下来 (填入表 4-1 的中间位置), 向左记为负向位移, 向右记为正向位移, 由电压为零处开始先向右每隔  $0.2mm$  移动测微头, 一共向右移动  $1.0mm$ , 记下位移  $X$  与输出电压值, 然后返回零点处位置, 再向左每隔  $0.2mm$  移动测微头, 一共向左移动  $1.0mm$ , 记下位移  $X$  与输出电压值, 将记录的数据填入表 4-1 (位移保留三位小数, 电压保留一位小数)。

表 4-1 电容传感器位移与输出电压值

X (mm)											
V (mV)											

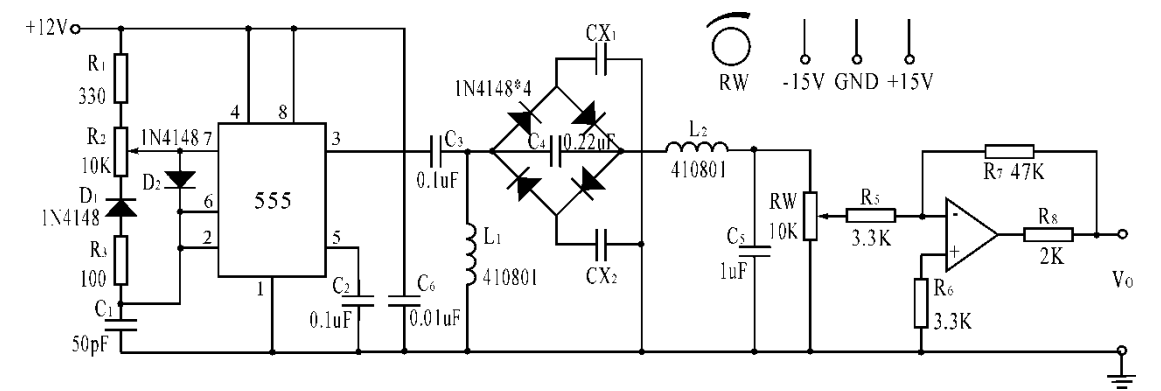


图 4-1 电容传感器位移实验接线图

五、实验注意事项

- 1. 传感器要轻拿轻放, 绝不可掉到地上。
- 2. 做实验时, 不要用手或其它物体接触传感器, 否则将会使线性度变差。

六、实验报告要求

- 1. 整理实验数据, 根据所得的实验数据利用最小二乘法做出传感器的特性曲线, 并计算电容传感器的系统灵敏度和非线性误差。
- 2. 根据实验结果, 分析引起这些非线性的原因, 并说明怎样提高传感器的线性度。

3. 回答以下思考题:

- (a). 简述什么是电容式传感器的边缘效应, 它会对传感器的性能带来哪些不利影响。
- (b). 电容式传感器和电感式传感器相比, 有哪些优缺点?

以上, 实验报告于实验结束后两周内上交, 实验数据附到实验报告最后(同组数据可以复印)。