

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 $R_1=R_2=R_3=R_4=350\Omega$ 。

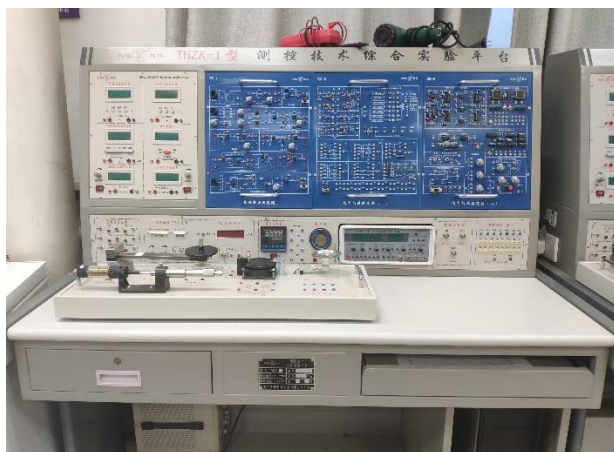
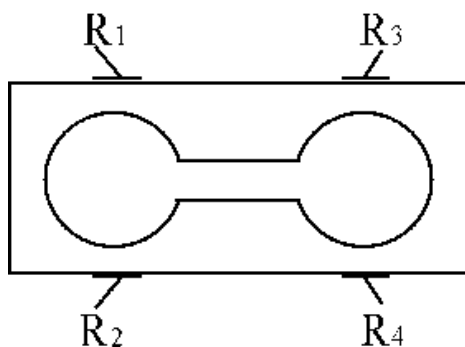


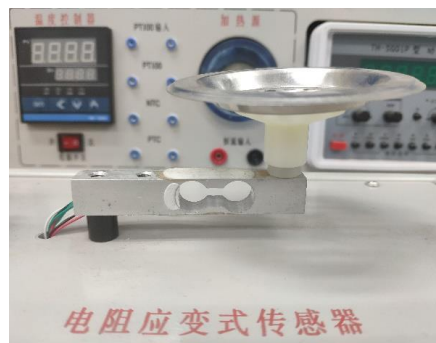
图 1-1 实验台实物图



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 RW_5 使之大致位于中间位置（ 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 Uo2 接万用表观察电压，调节实验模板上调零电位器 RW_6 （如果仅调节 RW_6 无法调零则可适当调节 RW_5 ），使万用表显示为零，关闭直流稳压电源开关。（注意：当 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 R_1 （即实验模块右下方的 R_1 ）接入电桥， R_1 作为一个桥臂与 R_5 、 R_6 、 R_7 接成直流电桥（ R_5 、 R_6 、 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 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)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压 (mV)	5.5	11.1	16.8	22.6	28.1	33.8	39.5	45.2	50.9	56.5

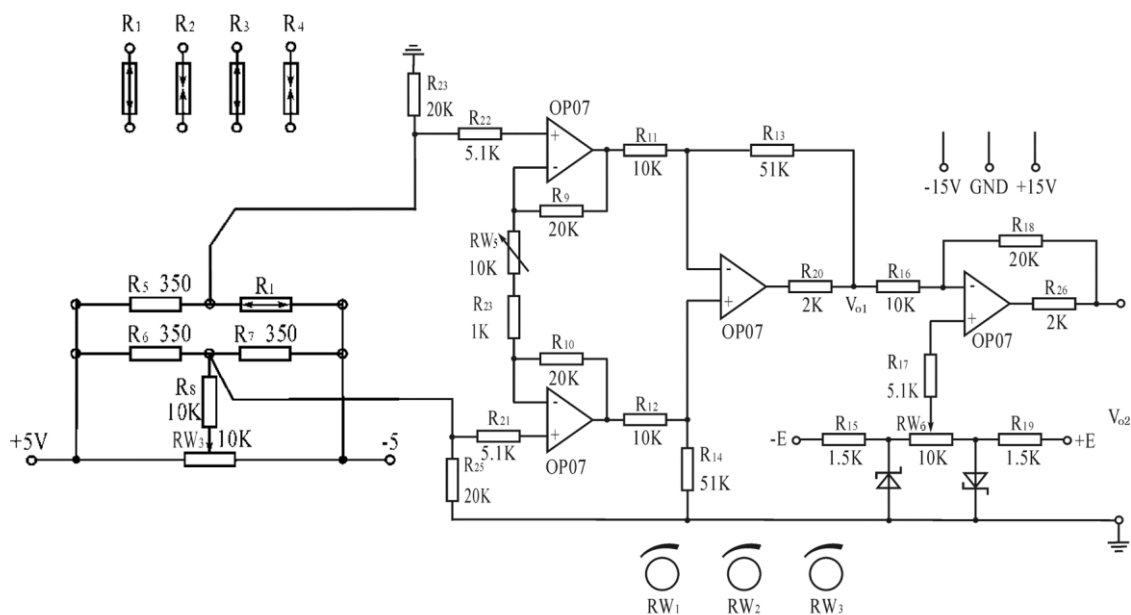


图 1-4 应变式传感器单臂电桥实验接线图

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 δ_{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。

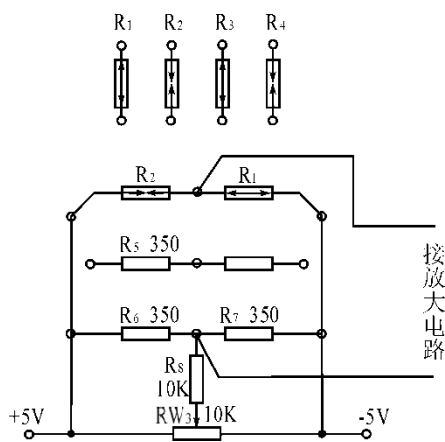


图 2-1 应变式传感器半桥实验接线图

表 2-1 半桥测量时，输出电压与加负载重量值

重量 (g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压 (mV)	10.2	20.5	30.8	41.0	51.2	61.4	71.6	81.9	92.2	102.4

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。

快速减小，停止后逐渐增大

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 δ_{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、 $\pm 15\text{V}$ 电源、 $\pm 5\text{V}$ 电源、热风枪。

四、实验内容与步骤

1. 根据图 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 全桥输出电压与加载重量值

重量 (g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压 (mV)	22.4	45.8	66.6	88.4	110.4	132.4	154.5	176.6	203.3	225.2

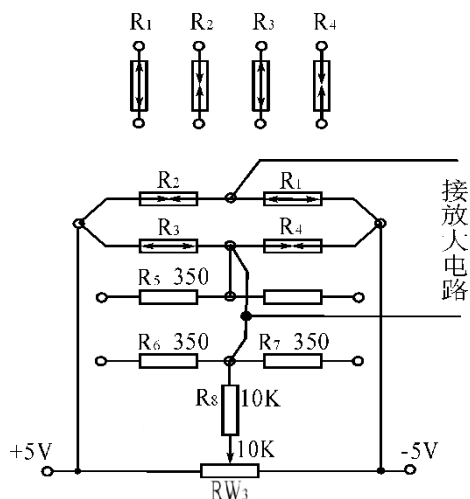


图 3-1 应变式传感器全桥实验接线图

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)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压 (mV)	20.1	39.6	59.8	79.7	99.2	118.6	138.7	157.7	177.5	196.5

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 δ_{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。

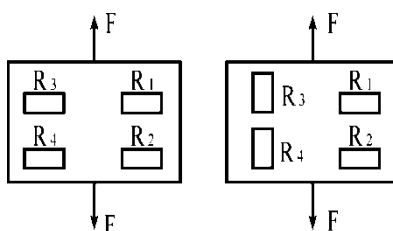


图 3-2 应变式传感器受拉时传感器周面展开图

(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 ϵ 、 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（ ϵ 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 Δl 时，电容变化量 ΔC 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)	3.560	3.760	3.960	4.160	4.360	4.560	4.760	4.960	5.160	5.360	5.560
V (mV)	-242.7	-193.8	-149.6	-105.3	-55.0	0.0	60.3	100.9	145.0	190.1	242.1

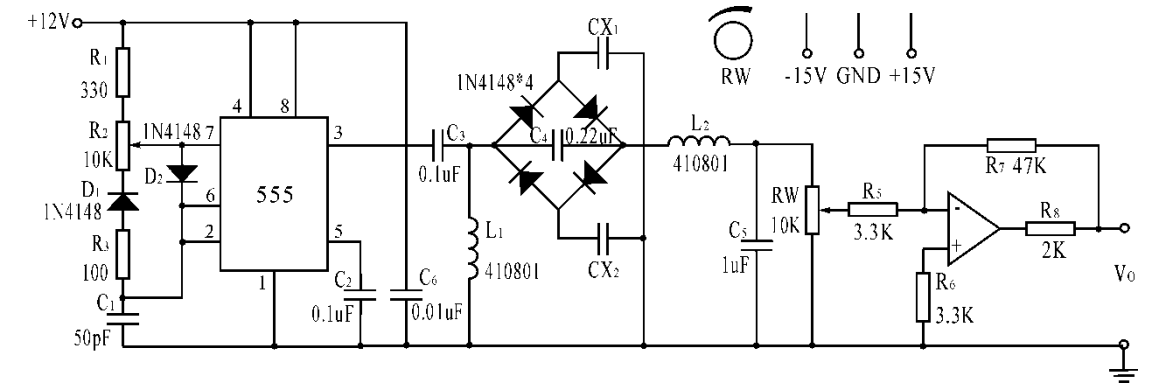


图 4-1 电容传感器位移实验接线图

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)。