

《自动检测技术与系统实验》

实验报告

系列一：电阻应变式传感器 实验

学 校： 南开大学

学 院： 人工智能学院

专 业： 智能科学与技术

实验成员： 2211292 郑皓文

 2212055 张箫鹏

 2212266 张恒硕

实验一 电阻式传感器的单臂电桥性能实验

一、实验目的

- 1、了解电阻应变式传感器的基本结构与使用方法。
- 2、掌握电阻应变式传感器放大电路的调试方法。
- 3、掌握单臂电桥电路的工作原理和性能。

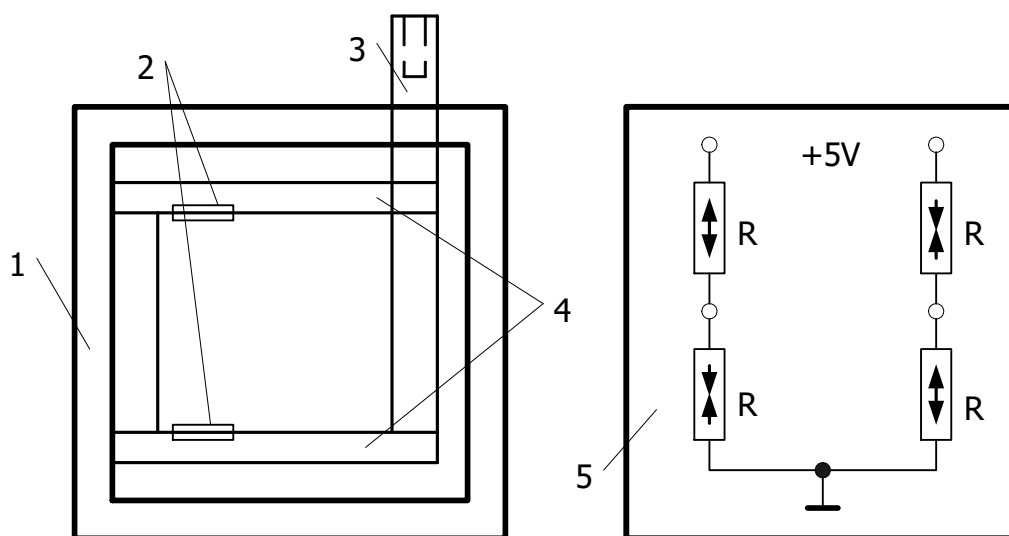
二、实验所用单元

电阻应变式传感器、电阻与霍尔式传感器转换电路板（调零电桥）、差动放大器、直流稳压电源、数字电压表、位移台架。

三、实验原理及电路

1、电阻丝在外力作用下发生机械变形时，其阻值发生变化，这就是电阻应变效应，其关系为： $\Delta R/R = K \epsilon$ ， ΔR 为电阻丝变化值， K 为应变灵敏系数， ϵ 为电阻丝长度的相对变化量 $\Delta L/L$ 。通过测量电路将电阻变化转换为电流或电压输出。

2、电阻应变式传感如图 1-1 所示。传感器的主要部分是上、下两个悬臂梁，四个电阻应变片贴在梁的根部，可组成单臂、半桥与全桥电路，最大测量范围为 $\pm 3\text{mm}$ 。



1—外壳 2—电阻应变片 3—测杆 4—等截面悬臂梁 5—面板接线图

图 1-1 电阻应变式传感器

3、电阻应变式传感的单臂电桥电路如图 1-2 所示，图中 R_1 、 R_2 、 R_3 为固定， R 为电阻应变片，输出电压 $U_0 = EK \epsilon$ ， E 为电桥转换系数。

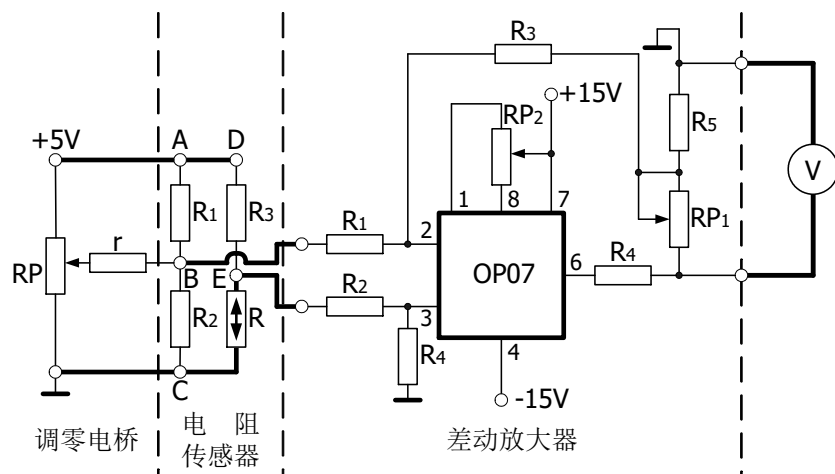


图 1-2 电阻式传感器单臂电桥实验电路图

四、实验步骤

1、固定好位移台架，将电阻应变式传感器置于位移台架上，调节测微器使其指示 15mm 左右。将测微器装入位移台架上部的开口处，将测微器测杆使其与电阻应变式传感器的测杆磁钢吸合，然后调节两个滚花螺母使电阻式应变传感器上的两个悬梁处于水平状态，两个滚花螺母固定在开口处上下两侧。

2、将实验箱（实验台内部已连接）面板上的 $\pm 15\text{V}$ 和地端，用导线接到差动放大器上；将放大器放大倍数电位器 RP_1 旋钮（实验台为增益旋钮）顺时针旋到终端位置。

3、用导线将差动放大器的正负输入端短接，再将其输出端接到数字电压表的输入端；电压量程切换开关拨至 20V 档；接通电源开关，旋动放大器的调零电位器 RP_2 旋钮，使电压表指示向零趋近，然后切换到 2V 量程档，旋动调零电位器 RP_2 旋钮使电压表指示为零；此后调零电位器 RP_2 旋钮不再调节，根据实验适当调节增益电位器 RP_1 。

4、按图 1-2 接线， R_1 、 R_2 、 R_3 （电阻传感器部分固定电阻）与一个的应变片构成单臂电桥形式。

5、调节平衡电位器 RP，使数字电压表指示接近零，然后旋动测微器使电压表指示为零，此时测微器的读数视为系统零位。分别上旋和下旋测微器，每次 0.4mm，上下各 2mm，将位移量 X 和对应的输出电压值 U_0 记入下表中。

表 1-1

$X(\text{mm})$	-2	-1.6	-1.2	-0.8	-0.4	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2
$U_0(\text{mV})$ 正行程	530	410	310	190	90	0	-80	-20 0	-32 0	-44 0	-57 0
$U_0(\text{mV})$ 反行程	530	420	310	200	90	0	-90	-20 0	-32 0	-45 0	-57 0

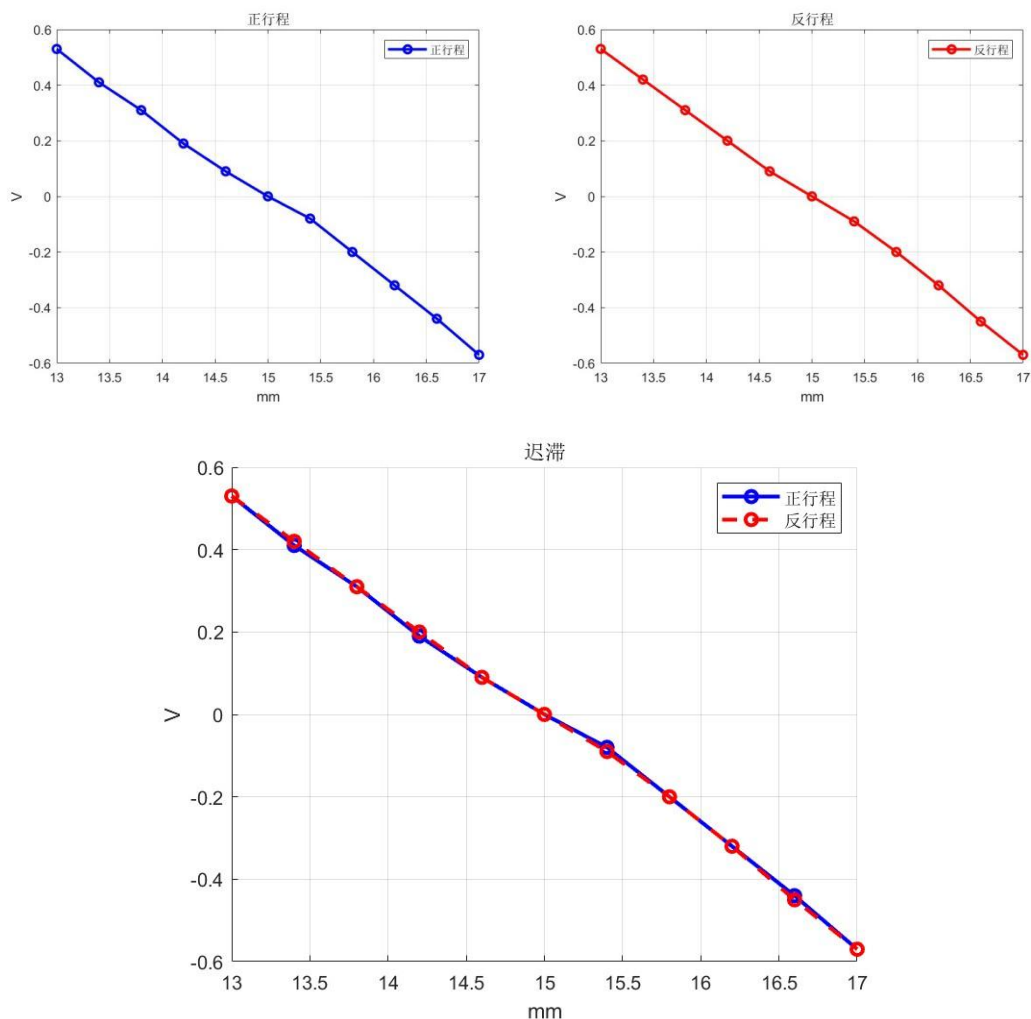
在实验时，**忘记修改电压表量程，使用了 20V 量程进行实验**，数据的精确度稍有欠缺，但影响不大。**本组数据和后续实验的增益不同，请以第二组数组**

为准。

五、实验报告

1、根据表 1-1 中的实验数据，画出输入/输出特性曲线 $U_o = f(X)$ ，并且计算灵敏度和非线性误差。

以下依次给出了正行程、反行程和二者对比的图像：



图组 1-3 实验一输入输出特性曲线

灵敏度：

$$\text{灵敏度: } k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = k_{\text{校准}} = \frac{-570 - 530}{2 - (-2)} = -275 \text{ mV/mm}$$

非线性误差：

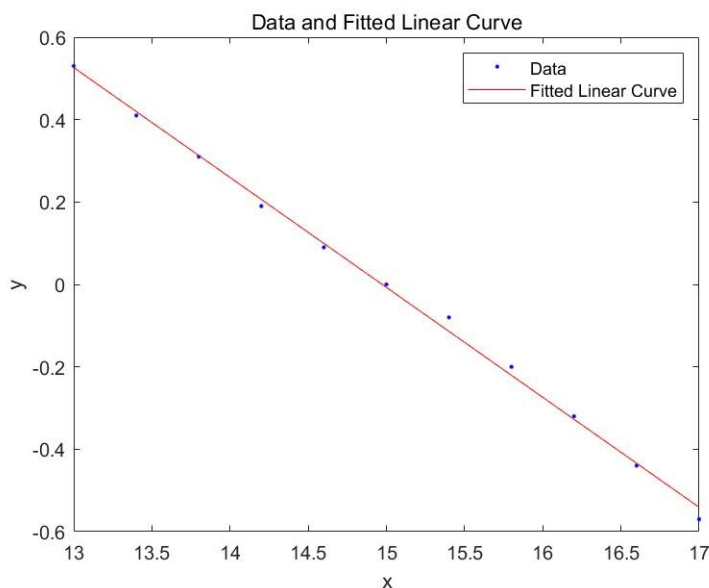


图 1-4 实验一拟合直线

$$\text{拟合直线: } y = -0.266818x + 3.995000$$

$$\text{最大误差: } \Delta L_{\max} = 34\text{mV}$$

$$\text{非线性误差: } \delta = \frac{\Delta L_{\max}}{L} \times 100\% = 3.0909\%$$

$$\text{最小二乘法误差: } \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{i \text{ 真实}} - y_{i \text{ 拟合}})^2} = 17.4\text{mV}$$

2、传感器的输入电压能否从+5V 提高到+10V? 输入电压的大小取决于什么?

不能,其原因可能有多个,如:输入电压倍增,则电阻和应变片的电压也会倍增,这可能超过元件的接受范围,或者带来非线性。又如:电压倍增后,差动放大器输入的电压差会倍增,这可能超出电压表的量程范围,也可能超出电路元件的负载能力。增加电压带来的大电流的热效应也可能会有影响。

3、分析电桥测量电阻式传感器特性时存在非线性误差的原因。

- 在每次扭动螺旋测微器时,可能会给其以极小的、不同的向下的力,使形变变化非线性。
- 电桥电路的电阻元件可能具有并不完全一致的各种参数,导致一定的误差。
- 温度效应:在持续通电的实验过程中,由于电阻产热,可能导致其阻值产生变化。
- 电阻在形变的过程中,可能电阻率也会变化,也可能会受到横向效应的影响,此时阻值变化并不线性。
- 零漂、蠕变的现象也可能带来非线性。

由于第二次课程实验器材故障,换用了其他设备,该设备调节的增益较小,

为了能够横向比较，这里补充另一组实验一的数据。

X (mm)	-2	-1.6	-1.2	-0.8	-0.4	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2
U ₀ (mV)	252	195	143	85	29	-11	-43	-97	-146	-199	-240

在实验中，零点处未能完全调零。
以下展示其折线图 and 拟合直线。

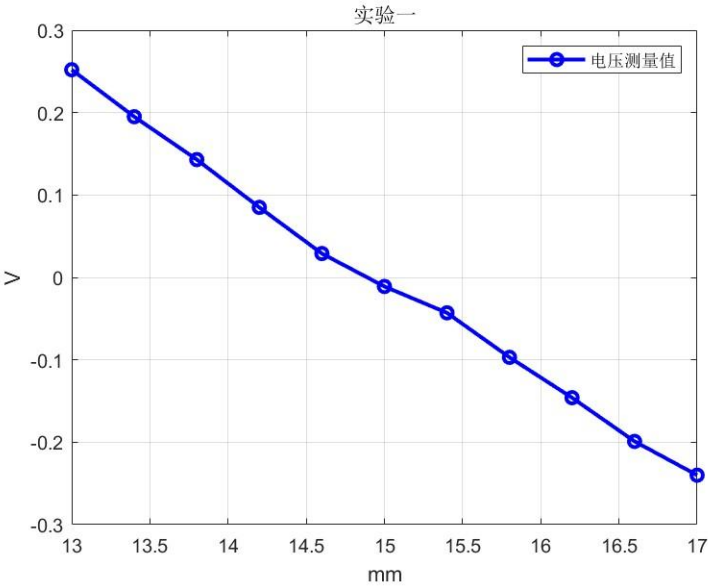


图 1-5 实验一输入输出特性曲线（另一组数据）

灵敏度：

$$\text{灵敏度: } k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = k_{\text{校准}} = \frac{-240 - 252}{2 - (-2)} = -123 \text{ mV/mm}$$

非线性误差：

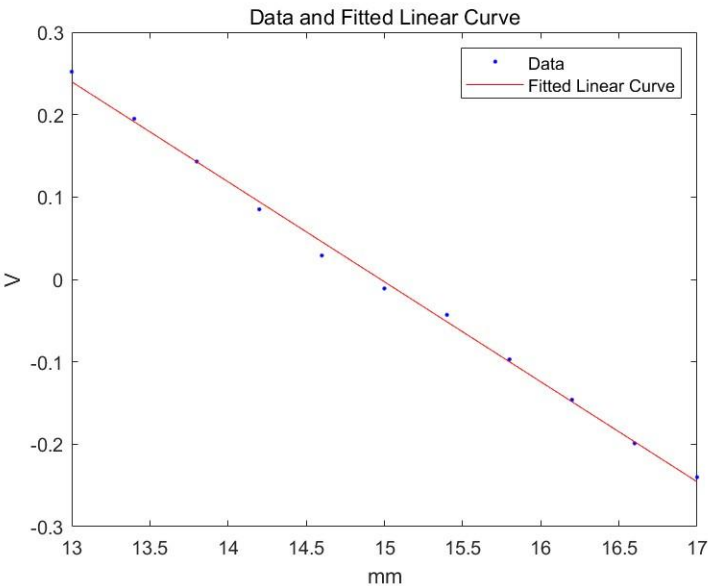


图 1-6 实验一拟合直线（另一组数据）

拟合直线： $y = -0.121341x + 1.817205$

最大误差： $\Delta L_{\max} = 12.2227\text{mV}$

非线性误差： $\delta = \frac{\Delta L_{\max}}{L} \times 100\% = 2.4852\%$

最小二乘法误差： $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{i \text{ 真实}} - y_{i \text{ 拟合}})^2} = 8.434\text{mV}$

实验二 电阻式传感器的半桥性能实验

一、实验目的

掌握半桥电路的工作原理和性能。

二、实验所用单元

同实验一。

三、实验原理及电路

将两个受力方向不同的应变片电阻分别接入电桥的两个相邻桥臂，组成半桥形式的测量电路，转换电路的输出灵敏度提高，非线性得到改善。

实验电路图见图 2-1，当两个应变片的阻值和应变变量相同时，半桥输出电压 $U_0 = 2EK \varepsilon$ 。

四、实验步骤

- 1、按实验一的实验步骤 1 至 3 进行操作。
- 2、按图 2-1 接线，将两个受力方向相反的应变片接入电桥中。

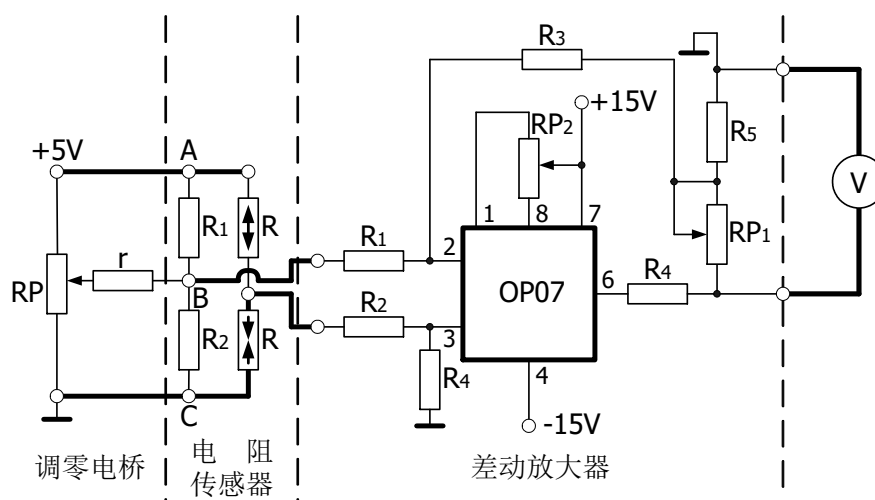


图 2-1 电阻式传感器半桥实验电路

3、调节电桥平衡电位器 RP，使数字电压表指示接近零，然后旋动测微器使表头指示为零，此时测微器的读数视为系统零位。分别上旋和下旋测微器，每次 0.4mm，上下各 2mm，将位移量 X 和对应的输出电压值 U_0 记入下表中。

表 2-1

X (mm)	-2	-1.6	-1.2	-0.8	-0.4	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2
U _o (mV)	-572	-448	-299	-215	-86	14	114	210	284	375	466

在实验中，零点处未能完全调零。

五、实验报告

1、根据表 2-1 的实验数据，画出输入/输出特性曲线 $U_o = f(X)$ ，并且计算灵敏度和非线性误差。

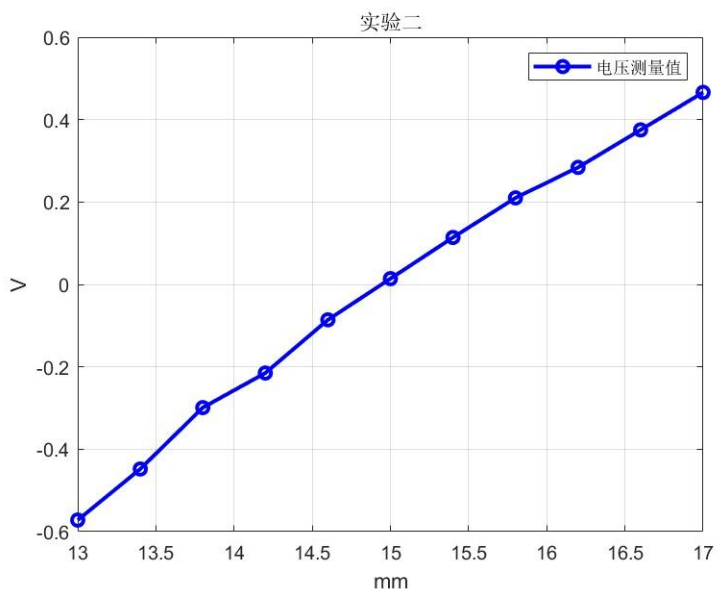


图 2-2 实验二输入输出特性曲线

灵敏度：

$$\text{灵敏度: } k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = k_{\text{校准}} = \frac{572 - (-466)}{2 - (-2)} = 259.5 \text{ mV/mm}$$

非线性误差：

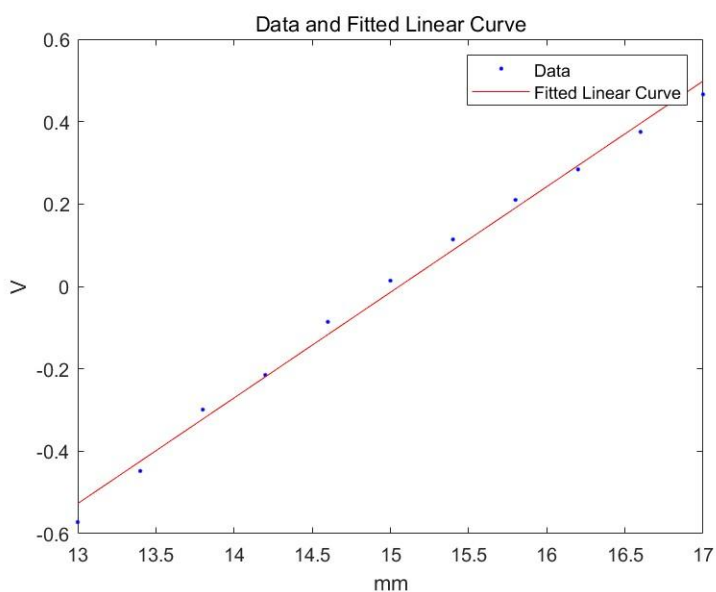


图 2-3 实验二拟合直线

$$\text{拟合直线: } y = 0.256386x - 3.860068$$

$$\text{最大误差: } \Delta L_{\max} = 30.827\text{mV}$$

$$\text{非线性误差: } \delta = \frac{\Delta L_{\max}}{L} \times 100\% = 2.9699\%$$

$$\text{最小二乘法误差: } \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{i \text{ 真实}} - y_{i \text{ 拟合}})^2} = 27.350\text{mV}$$

2、进行半桥测量时，接入的两个应变片电阻的受力方向为什么必须相反？

两个应变片电阻受力方向相反，则电阻变化值相反，电压差变大。后方接的是差动放大器，需要前面提供电压差。这样可以提高灵敏度。

受力方向相反，还可以进行温度补偿，并改善非线性。

实验三 电阻式传感器的全桥性能实验

一、实验目的

掌握全桥电路的工作原理和性能。

二、实验所用单元

同实验一。

三、实验原理及电路

将四个应变片电阻分别接入电桥的四个桥臂，两相邻的应变片电阻的受力方向不同，组成全桥形式的测量电路，转换电路的输出灵敏度进一步提高，非线性得到改善。实验电路图见图 3-1，全桥的输出电压 $U_0 = 4EK \varepsilon$ 。

四、实验步骤

1、按实验一的实验步骤 1 至 3 进行操作。

2、按图 3-1 接线，将四个应变片接入电桥中，注意相邻桥臂的应变片电阻受力方向必须相反。

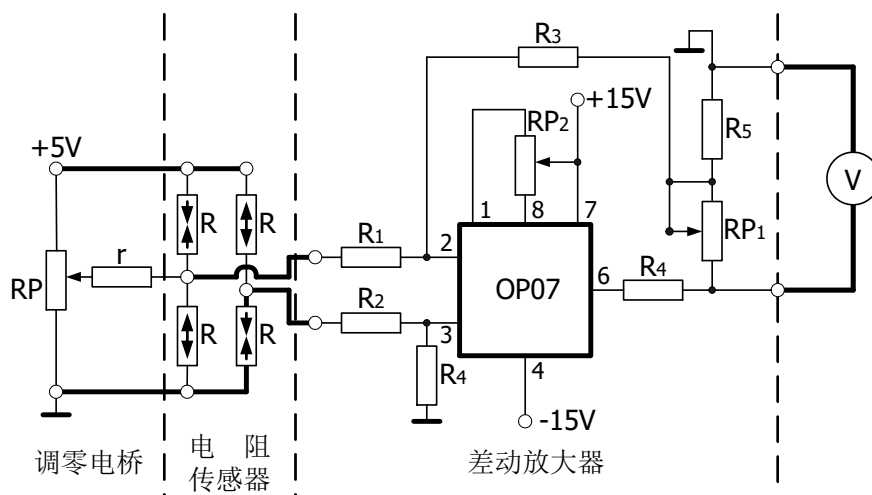


图 3-1 电阻式传感器全桥实验电路

3、调节电桥平衡电位器 RP，使数字电压表指示接近零，然后旋动测微器使表头指示为零，此时测微器的读数视为系统零位。分别上旋和下旋测微器，每次 0.4mm，上下各 2mm，将位移量 X 和对应的输出电压值 U_0 记入下表中。

表 3-1

X (mm)	-2	-1.6	-1.2	-0.8	-0.4	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2
U_0 (mV)	-11 20	-93 3	-68 6	-43 9	-19 3	0	201	428	645	877	107 9

五、实验报告

1、根据表 3-1，画出输入/输出特性曲线 $U_o = f(X)$ ，并且计算灵敏度和非线性误差。

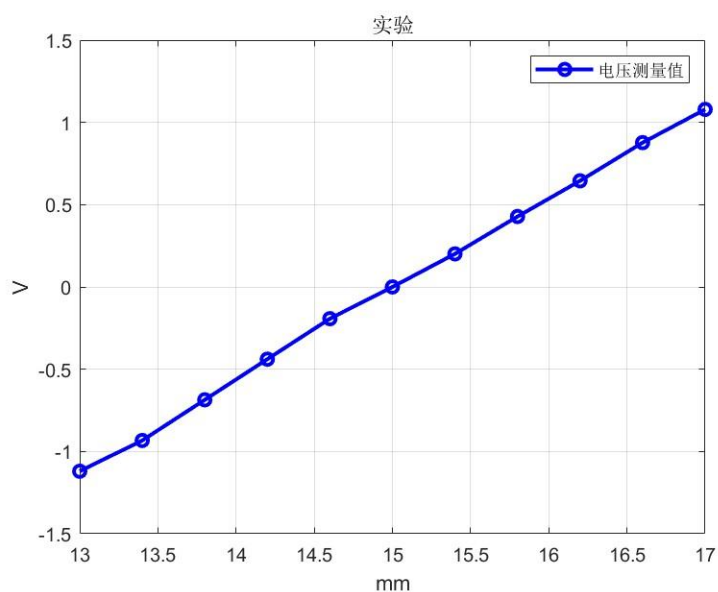


图 3-2 实验三输入输出特性曲线

灵敏度：

$$\text{灵敏度: } k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = k_{\text{校准}} = \frac{1120 - (-1079)}{2 - (-2)} = 549.75 \text{ mV/mm}$$

非线性误差：

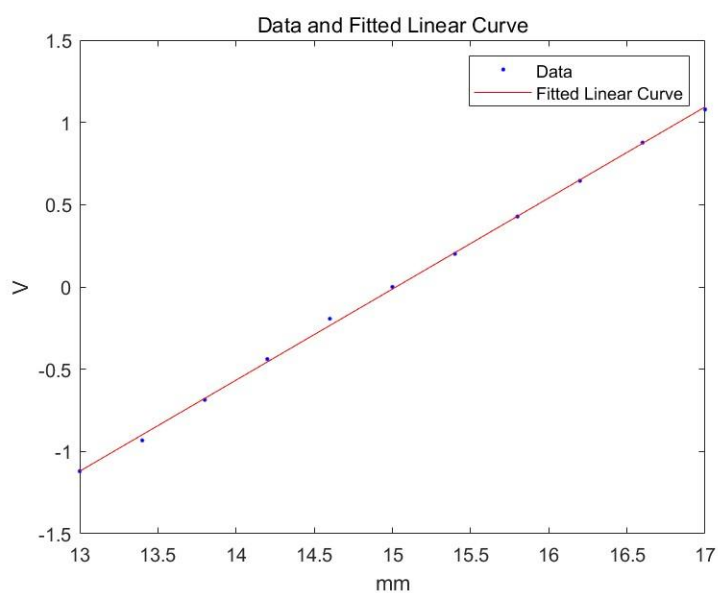


图 3-3 实验三拟合直线

$$\text{拟合直线: } y = 0.553545x - 8.316000$$

最大误差: $\Delta L_{\max} = 41.236\text{mV}$

非线性误差: $\delta = \frac{\Delta L_{\max}}{L} \times 100\% = 1.8752\%$

最小二乘法误差: $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{i \text{ 真实}} - y_{i \text{ 拟合}})^2} = 19.407\text{mV}$

2、全桥测量时，四个应变片电阻是否必须全部一样？

全桥电路的四个电阻需要保持平衡条件 $R_1/R_2 = R_3/R_4$ 才能平衡。因此四个电阻应保持相对一致，满足平衡条件，而非严格的一样。然而，选择电阻值相近、温度系数保持一致的应变片，更加方便实验的进行。

实验四 电阻式传感器的单臂、半桥、全桥性能比较实验

一、实验目的

比较半桥、全桥形式输出时的灵敏度和非线性度。

二、实验所用单元

同实验一。

三、实验报告

1、按实验一、实验二、实验三所得的单臂、半桥和全桥输出时的灵敏度和非线性误差，从理论上进行分析比较，注意实验一、实验二和实验三中的放大器增益必须相同。

为保证放大器增益相同，以上数据中，**实验一请看第二组数据**。

表 4-1 灵敏度和非线性误差对比

	实验一	实验二	实验三
接入应变片数 (个)	1	2	4
灵敏度(mv/mm)	-123	259.5	549.75
非线性误差(1)	2.4852%	2.9699%	1.8752%

可以发现，灵敏度与接入的应变片数基本成正比，而非线性误差大致为反比，其中实验二的非线性误差异常，可能是由于单个数据在记录上出现了问题。

对于灵敏度，最终显示的电压值经差动放大器放大，放大器的输出与输入正相关。接入单臂时只有一个应变片发生形变，半桥则是一对反向形变，全桥则是两对反向形变，电阻的变化为 1:2:4，这与灵敏度 1:2:4 的比例正好契合。

对于非线性误差，应变片数量的提升将逐步消除其影响。单臂电桥在测量过程中忽略了电阻的变化量，导致输出电压与电阻变化之间不是严格的线性关系。半桥电桥中两个应变片受力方向相反，电阻变化相互抵消了一部分非线性因素。全桥电路则通过差动方式消除了非线性误差。

2、若要提高系统的灵敏度，除了采用不同的桥路形式外，还能采用什么措施？

- 选择高灵敏度材料、高精度测量电路。
- 减小传感器尺寸，加快响应。
- 增加放大电路或放大增益，使细小的差别更加明显。

- 控制好温度等环境因素，进行适宜的补偿。