

# **基础实验 A：应变片和差动电容** **实验报告**

姓名：杨小诺

学号：2018011495

班级：自 83

# 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，单臂电桥工作原理和性能。

## 二.基本原理

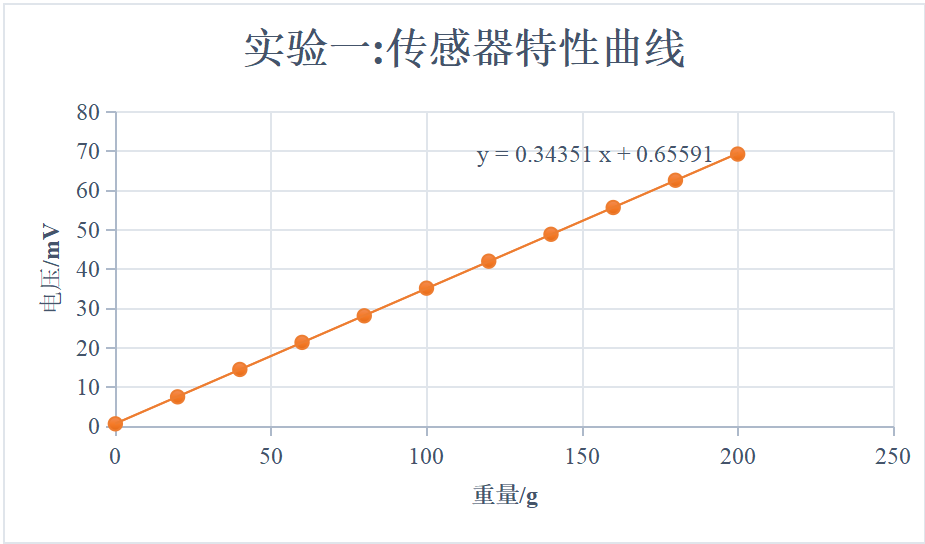
金属丝在外力作用下发生机械形变时，其电阻值会发生变化。用应变片测量受力时，将应变片粘贴于被测对象表面上，观察应变片电阻值的变化即应变值。通过弹性元件，可以将位移、力、力矩、加速度、压力等物理量转换为应变，因此可以用应变片做成各种参数检测的传感器。

## 三.数据处理

表 1-1：单臂电桥输出电压与所加负载重量值

重量/g	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压/mV	0.60	7.46	14.43	21.31	28.07	35.10	41.96	48.80	55.61	62.54	69.20

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  $\delta f_1$ ：



计算系统灵敏度：

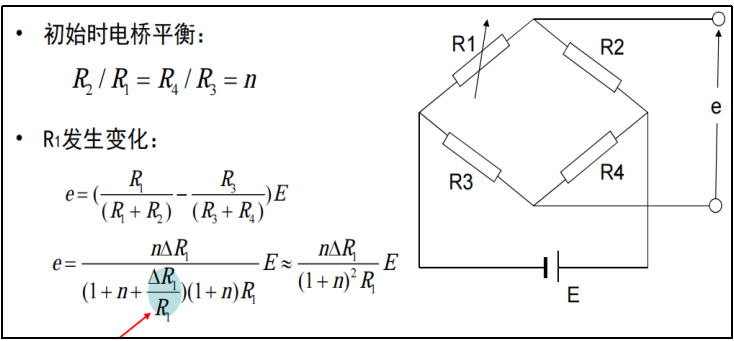
$$S_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0.344$$

计算系统非线性误差：

重量/g	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$\Delta$ /mV	0.05591	0.06611	0.03369	0.04349	0.06671	0.09309	0.08289	0.05269	0.00751	0.05229	0.15791

$$\delta_{f1} = \frac{\Delta_{\max}}{\text{量程}} = \frac{0.15791}{69.2 - 0.6} = 0.230\%$$

2、从理论上分析产生非线性误差的原因：



如上图（图源课件）所示， $n=1$  时，我们将  $\frac{\Delta R}{(2 + \Delta R / R)2R} = \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R}$  近似看作了  $\frac{\Delta R}{4R}$ ，分母中被忽略的  $2\Delta R$  时产生非线性误差的主要原因。此外，温度和电源电压的稳定性也会导致的非线性误差。

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：正、负应变片都可以
- (b) 说明步骤 5 的实验现象，并分析该现象出现的原因：在步骤 5 中，应变片经吹风机加热后，输出电压迅速下降，这是应变片电阻随温度升高而减小导致的。

实验二 金属箔式应变片——单臂电桥性能实验

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

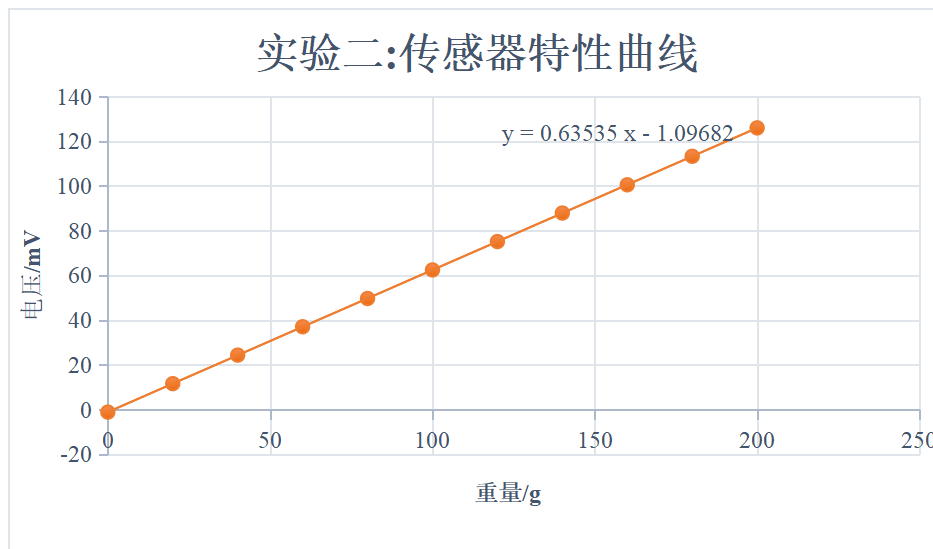
把不同受力方向的应变片接入电桥作为邻边，电桥输出灵敏度提高，非线性得到改善。

三、数据处理

表 2-1：半桥测量时，输出电压与加载重量值

重量/g	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压/mV	-1.12	11.60	24.36	37.05	49.68	62.45	75.14	87.90	100.52	113.27	125.97

- 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  $\delta f_2$ ：



计算系统灵敏度:

$$S_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0.635$$

计算系统非线性误差:

重量/g	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$\Delta/\text{mV}$	0.02318	0.01018	0.04282	0.02582	0.05118	0.01182	0.00518	0.04782	0.03918	0.00382	0.00318

$$\delta_{f1} = \frac{\Delta_{\max}}{\text{量程}} = \frac{0.05118}{125.97 - (-1.12)} = 0.040\%$$

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:

半桥输出电压:

$$e = \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R} E$$

单臂电桥的输出电压:

$$e = \frac{\Delta R_1}{4R_1 + 2\Delta R_1} E \approx \frac{1}{4} \frac{\Delta R_1}{R_1} E$$

从公式中可以直接看出, 半桥的输出灵敏度是单臂电桥输出灵敏度的二倍, 并且半桥时输出本身就是线性的, 不存在需要忽略的非线性项, 因此可以改善非线性误差。

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: 邻边。第二次作业中已经证明过这一问题, 两应变片放在邻边时可以减小非线性误差。

(b) 桥路(差动电桥)测量时存在非线性误差, 是因为: 应变片应变效应是非线性的

(c) 说明步骤 2 的实验现象, 并分析该现象出现的原因: 均匀加热两个应变片, 发现输出电压变化幅度远小于实验一。这是因为两个应变片随温度变化而产生的阻值变化基本相同, 半桥的结构可以让两部分的阻值变化相互抵消, 这种结构的抗干扰能力更强。

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、数据处理

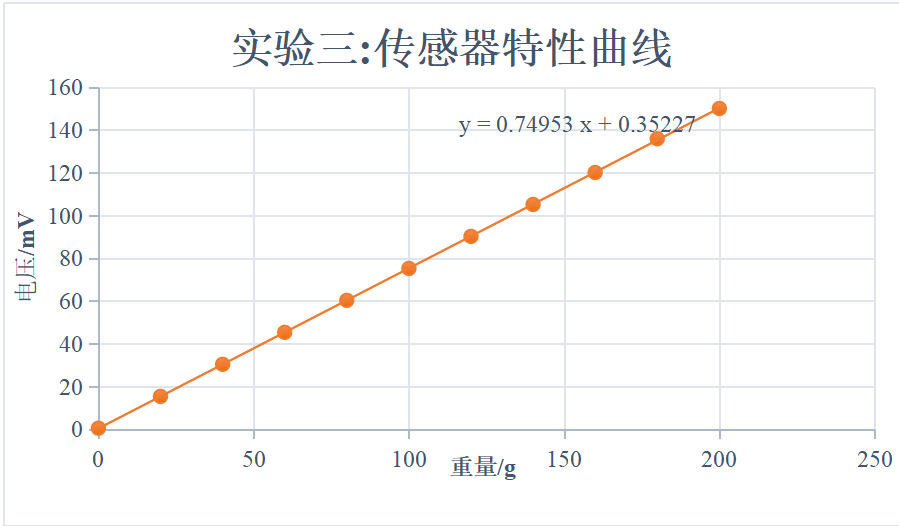
表 3-1：全桥输出电压与加负载重量值

重量/g	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压/mV	0.46	15.35	30.36	45.30	60.27	75.23	90.20	105.15	120.09	135.90	150.05

表 3-2：电桥输出电压与加负载重量值

重量/g	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压/mV	0.3	21.5	42.7	64.0	85.3	106.7	128.0	149.3	170.5	191.9	213.2

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  $\delta f_3$ ，注意表 3-1 和 3-2 均要绘制和计算：



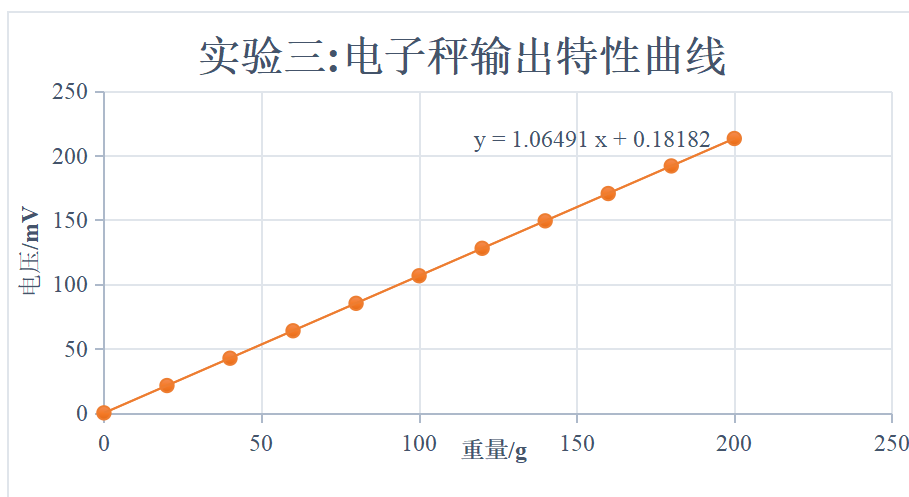
计算系统灵敏度：

$$S_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0.750$$

计算系统非线性误差：

重量/g	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$\Delta$ /mV	0.10773	0.00713	0.02653	0.02407	0.04467	0.07527	0.09587	0.13647	0.18707	0.63233	0.20827

$$\delta_{f1} = \frac{\Delta_{\max}}{\text{量程}} = \frac{0.63233}{150.05 - 0.46} = 0.423\%$$



计算系统灵敏度:

$$S_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 1.065$$

计算系统非线性误差:

重量/g	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$\Delta/\text{mV}$	0.11818	0.01998	0.07822	0.07642	0.07462	0.02718	0.02898	0.03078	0.06742	0.03438	0.03618

$$\delta_{f1} = \frac{\Delta_{\max}}{\text{量程}} = \frac{0.11818}{213.2 - 0.3} = 0.056\%$$

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:

	灵敏度	非线性误差
单臂	0.344	0.230%
半桥	0.653	0.040%
全桥	0.750	0.423%

单臂电桥的输出电压:

$$e = \frac{\Delta R_1}{4R_1 + 2\Delta R_1} E \approx \frac{1}{4} \frac{\Delta R_1}{R_1} E$$

半桥时的输出电压:

$$e = \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R} E$$

全桥时的输出电压:

$$e = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{\Delta R_1}{R_1} E$$

从公式中可以看出, 全桥时的输出灵敏度等于二倍的半桥输出灵敏度等于四倍的单臂电桥输出灵敏度。从计算和近似的过程上来看, 全桥和半桥理论上没有非线性误差, 而单臂电桥非线性误差更大。

从实验结果来看, 三种情况下输出灵敏度的大小关系与理论值是一致的, 但倍数关系却略有不符, 这可能时温度、电源电压或是操作等带来误差; 半桥和单臂的非线性误差情况与理论值比较符合, 但全桥略有不符, 这可能是操作、读数等带来的误差。

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:

导致非线性误差的原因以及消除方法:

首先, 应变片的非线性可能导致电子秤的非线性误差增大, 所以要控待测量物体的重量在一定范围内;

其次，温度或者电源电压的稳定性也会带来影响，所以要尽可能让所有应变片处于相同的环境下、且电源电压尽可能稳定；

增加输出灵敏度的方法：可以在合理的范围内调整放大电路的增益。

#### 4. 回答以下思考题：

(a) 这种电阻值组合下，可以组成全桥测量电路，此时：

$$e = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_1 - \Delta R_1}{R_1 + R_2} = \frac{2\Delta R_1}{R_1 + R_2} E$$

系统灵敏度有改变，但输出关于  $\Delta R_1$  依旧是线性的。

(b) 右图更合理。结合拉力方向，这样粘贴可以构成全桥电路。

(c) 若用热风枪加热全桥电路中的四片应变片：温度均匀时，输出电压会不变。因为全桥电路特殊的结构可以使四个应变片的阻值变带来的影响互相抵消掉。

(d) 对比分析单臂电桥、半桥和全桥电路是否受温度影响：单臂电桥会受到温度的影响而半桥和全桥不会。这是因为半桥和全桥有差动结构，电阻受温度的影响会互相抵消，而单臂电桥受温度的影响无法抵消。

## 实验四 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，保持两个参数不变，而只改变其中一个参数，可以制成多种电容传感器。

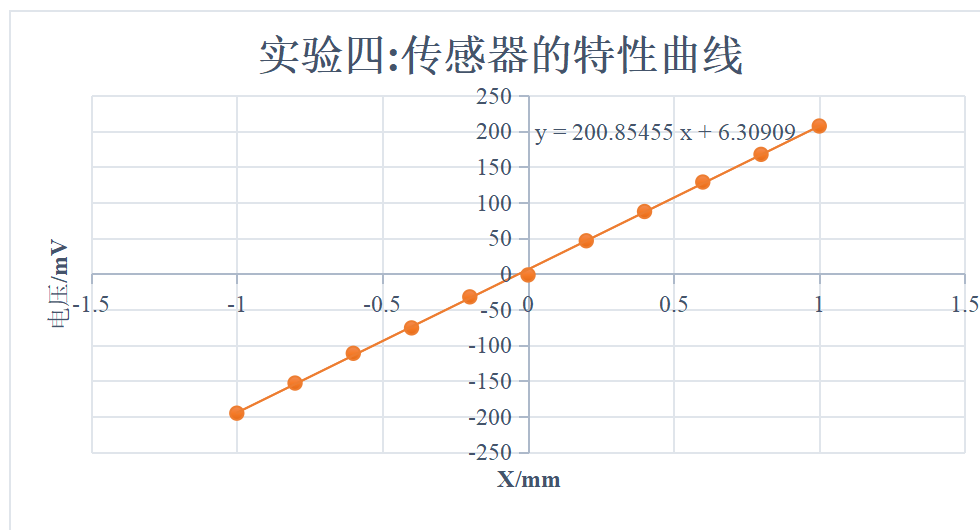
本实验为变面积式电容传感器，采用差动式圆柱形结构，因此可以很好的消除极距变化对测量精度的影响，并且可以减小非线性误差和增加传感器的灵敏度。

### 三、数据处理

表 4-1：电容传感器位移与输出电压值

X/mm	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
电压/mV	-195.1	-152.9	-111.2	-75.6	-32.1	-1.4	46.5	87.5	128.8	167.6	207.3

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。



计算系统灵敏度:

$$S_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 200.855$$

计算系统非线性误差:

重量/g	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$\Delta/\text{mV}$	0.55536	1.47373	3.00282	1.56809	1.76100	7.70991	0.01918	0.84827	1.97736	0.60645	0.13554

$$\delta_{f1} = \frac{\Delta_{\max}}{\text{量程}} = \frac{7.70991}{207.3 - (-195.1)} = 1.916\%$$

## 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。

首先,内外极筒原始覆盖长度可能不够长,边缘效应会引起非线性;

其次,实验过程中我们发现,抖动、温度、光照,甚至人和仪器的相对位置都可能影响到测量结果,所以环境是否稳定也是影响非线性的重要因素。

## 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:

理想条件下,我们认为电容式传感器两极板间的静电场是均匀的。但实际上,极板边缘处的电场一般是不均匀的,电场线会弯曲并且向外发散,由此形成了边缘的附加电容,这就叫边缘效应。

不利影响:会引起极板间的电场分布不均,导致非线性问题,且灵敏度下降。

参考资料: <https://zhidao.baidu.com/question/272652502.html>

熊葵容,倪德儒. 电容传感器的边缘效应[J]. 传感器世界, 1998, 004(003):16-19.

(b) 电容式传感器和电感式传感器相比,有哪些优缺点:

优点: 电容式传感器应用范围更广泛, 电感式传感器只能用于金属被测物体; 电容式传感器的灵敏度更高, 对微小的输入变化更敏感。

缺点: 电容式传感器对环境十分敏感, 因为灰尘、油污和水等都会改变介电常数, 从而改变测量结果, 而电感式传感器对环境要求要低很多。



附：原始数据

2021.4.15

杨小诺 陈浩然

表 1-1

重量 (g)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压 (mV)	0.60	7.46	14.43	21.31	28.07	35.10	41.96	48.80	55.61	62.54	69.20

表 2-1

重量 (g)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压 (mV)	-1.12	11.60	24.36	37.05	49.68	62.45	75.14	87.90	100.52	113.27	125.97

表 3-1

重量 (g)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压 (mV)	0.46	15.35	30.36	45.30	60.27	75.23	90.20	105.15	120.09	135.9	150.65

表 3-2

重量 (g)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压 (mV)	0.3	21.5	42.7	64.0	85.3	106.7	128.0	149.3	170.5	191.9	213.2

表 4-1

X (mm)	8.000	8.020	8.040	8.060	8.080	8.100	7.980	7.960	7.940	7.920	7.900
V (mV)	-1.4	46.5	87.5	128.8	167.6	207.3	-32.1	-75.6	-111.2	-152.9	-195.1

杨尚霖 AS