



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

现代检测技术 实验报告

学院：电信学部自动化学院

班级： 自动化 71

姓名：任泽华 吴焱

学号：2171411498 2174213797

指导老师： 刘瑞玲

2019 年 11 月 14 日

目录

实验一	金属箔式应变片——电子秤实验
实验二	霍尔传感器转速测量实验
实验三	光电传感器转速测量实验
实验四	E 型热电偶测温实验
实验五	电涡流传感器的位移特性实验

实验一 金属箔式应变片——电子秤实验

一、实验目的

了解金属箔式应变片的应变效应，直流全桥工作原理和性能，了解电路的定标。

二、实验仪器

应变传感器实验模块、托盘、砝码、数显电压表、 $\pm 15\text{V}$ 、 $\pm 4\text{V}$ 电源、万用表（自备）。

三、实验原理

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

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon \quad (1-1)$$

式（1-1）中， $\frac{\Delta R}{R}$ 为电阻丝电阻相对变化， k 为应变灵敏系数， $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ 为电阻丝长度相对变化。

金属箔式应变片是通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感组件。如图 1-1 所示，将四个金属箔应变片分别贴在双孔悬臂梁式弹性体的上下两侧，弹性体受到压力发生形变，应变片随弹性体形变被拉伸，或被压缩。

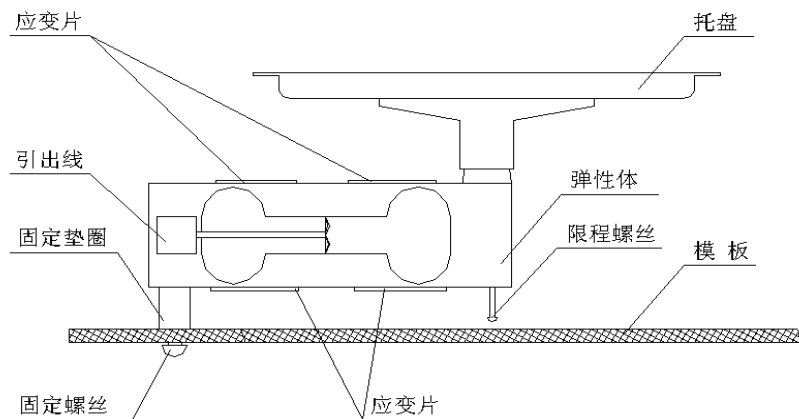


图 1-1 双孔悬臂梁式称重传感器结构图

全桥测量电路中，将受力性质相同的两只应变片接到电桥的对边，不同的接入邻边，如图 1-2。注意 $R_1/R_2/R_3/R_4$ 需要用插线接入电桥。

当应变片初始值相等，变化量也相等时，其桥路输出为

$$U_o = E \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (1-2)$$

式（1-2）中 E 为电桥电源电压， $\frac{\Delta R}{R}$ 为电阻丝电阻相对变化。

式（1-2）表明，全桥输出灵敏度比半桥提高了一倍，非线性误差得到进一步改善。

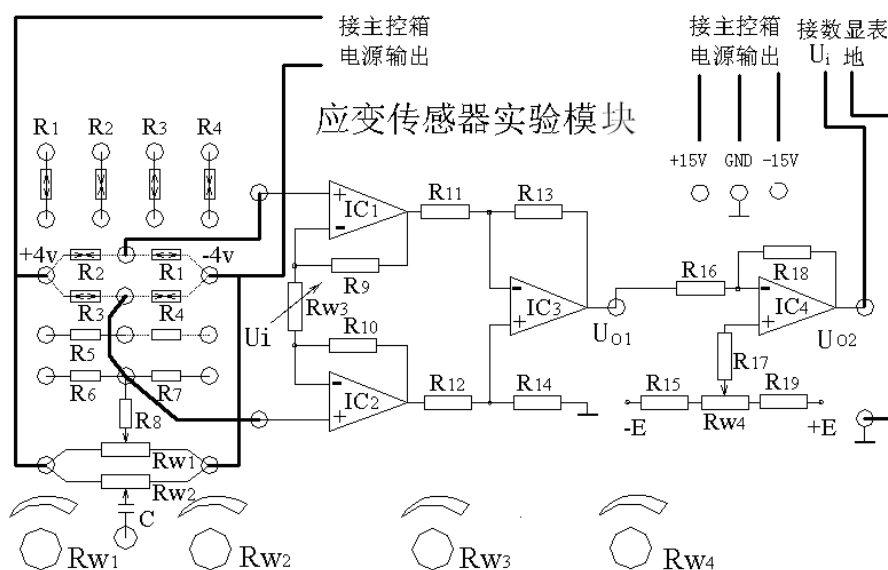


图 1-2 全桥面板接线图

电子称实验原理同全桥测量原理，通过调节放大电路对电桥输出的放大倍数，使电路输出电压值为质量的对应值，电压量纲 (V) 改为质量量纲 (g)，即成一台比较原始的电子称。

四、实验内容与步骤

- 1、将应变传感器上的各应变片分别接到应变传感器模块左上方的 R1、R2、R3、R4 上，可用万用表测量判别， $R1=R2=R3=R4=350\Omega$ 。
- 2、差动放大器调零。从主控台接入 $\pm 15V$ 电源，检查无误后，合上主控台电源开关，将差动放大器的输入端 U_i 短接并与地短接，输出端 U_{O2} 接数显电压表（选择 2V 档）。将电位器 $Rw3$ 调到增益最大位置（顺时针转到底），调节电位器 $Rw4$ 使电压表显示为 0V。关闭主控台电源。
- 3、按图 1-2 接线，将受力相反（一片受拉，一片受压）的两对应应变片分别接入电桥的邻边。
- 4、加托盘后电桥调零。电桥输出接到差动放大器的输入端 U_i ，检查接线无误后，合上主控台电源开关，预热五分钟，调节 $Rw1$ 使电压表显示为零。
- 5、将 10 只砝码（共 200g）置于传感器的托盘上，调节电位器 $Rw3$ （满量程时的增益），使数显电压表显示为 0.200V（2V 档测量）。
- 6、拿去托盘上所有砝码，观察数显电压表是否显示为 0.000V，若不为零，再次将加托盘后电桥调零（调节电位器 $Rw1$ 使电压表显示为 0V）。
- 7、重复 5、6 步骤，直到精确为止，把电压量纲 V 改为质量量纲 Kg 即可以称重。
- 8、将砝码依次放到托盘上并读取相应的数显表值，直到 200g 砝码加完，记下实验结果，填入表 1-1。
- 9、去除砝码，托盘上加一个未知的重物（不要超过 1Kg），记录电压表的读数。根据实验数据，求出重物的质量。
- 10*（选做）保持 $Rw3$ 、 $Rw4$ 不变，使用电阻 R6、R7 和受力相反（一片受拉，一片受压）的两只应变片，按双臂电桥接线，按步骤 4 进行加托盘后电桥调零。将砝码依次放到托盘上并读取相应的数显表值，直到 200g 砝码加完，记下实验结果，填入表 1-1。比较双臂电桥与全桥的输出结果。
- 11、实验结束后，关闭实验台电源，整理好实验设备。

表 1-1 电压-质量记录表

质量(g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压(V)	0.021	0.040	0.059	0.079	0.099	0.118	0.141	0.158	0.178	0.199

五、实验报告

1、根据实验所得数据计算系统灵敏度 $S = \Delta U / \Delta W$ (ΔU 输出电压变化量, ΔW 质量变化量) ;

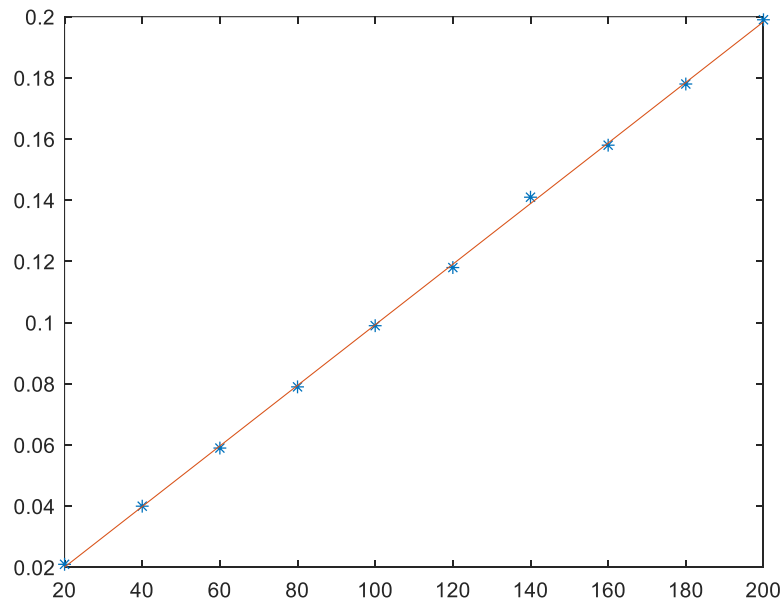
答:

$$S = \frac{\Delta U}{\Delta W} = \frac{0.199 - 0.021}{200 - 20} = 0.000989$$

2、计算电桥的非线性误差 $\delta_{fl} = \Delta m / y_{FS} \times 100\%$ 。

式中 Δm 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(200g)输出平均值。

答: MATLAB 拟合:



$$U = 0.00099W + 0.00027$$

$$\delta_{f1} = \frac{\Delta m}{y_{FS}} * 100\% = \frac{0.141 - 0.13887}{0.200} * 100\% = 1.065\%$$

3、全桥测量中,当两组对边(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?

答: 不可以构成全桥,

$$R_1 * R_3 \neq R_2 * R_4$$

六、注意事项

实验所采用的弹性体为双孔悬臂梁式称重传感器,量程为 1kg,最大超程量为 120%。因此,加在传感器上的压力不应过大,以免造成应变传感器的损坏!

实验二 霍尔传感器转速测量实验

一、实验目的

了解霍尔组件的应用——测量转速。

二、实验仪器

霍尔传感器、可调直流电源、转动源、频率/转速表。

三、实验原理

利用霍尔效应表达式： $U_H = K_H IB$ ，当被测圆盘上装上 N 只磁性体时，转盘每转一周磁场变化 N 次，每转一周霍尔电势就同频率相应变化，输出电势通过放大、整形和计数电路就可以测出被测旋转物的转速。

四、实验内容与步骤

1、如图 1-3，霍尔传感器已安装于传感器支架上，且霍尔组件正对着转盘上的磁钢。

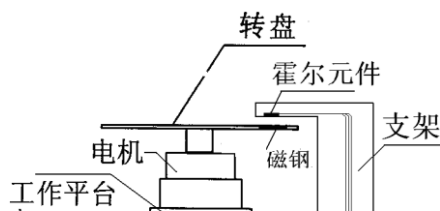


图 1-3

2、将+5V 电源接到三源板上“霍尔”输出的电源端，“霍尔”输出接到频率/转速表（切换到测转速位置）。

3、打开实验台电源，选择不同电源+4V、+6V、+8V、+10V、12V（±6）、16V（±8）、20V（±10）、24V 驱动转动源，可以观察到转动源转速的变化，待转速稳定后记录相应驱动电压下得到的转速值，填入表 1-2。也可用示波器观测霍尔元件输出的脉冲波形。

表 1-2 电压-转速记录表

电压(V)	+4V	+6V	+8V	+10V	12V	16V	20V	24V
转速(rpm)	254	703	1090	1460	1840	2685	3371	4030

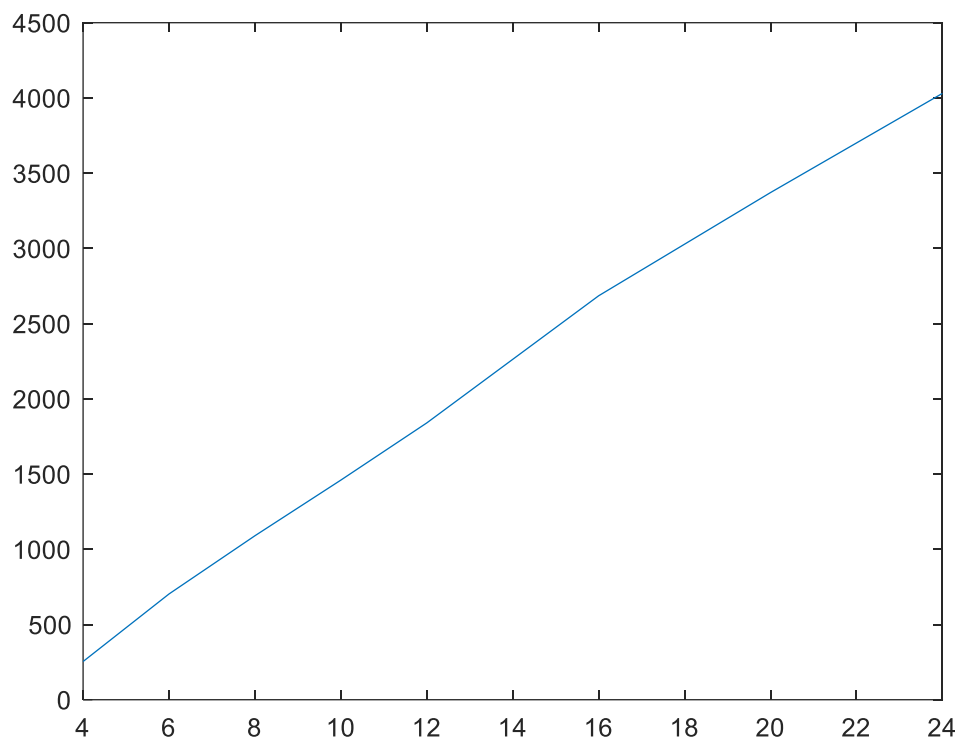
五、实验报告

1、分析霍尔组件产生脉冲的原理。

答：利用霍尔效应表达式： $U_H = K_H IB$ ，当被测圆盘上装上 N 只磁性体时，磁体靠近霍尔元件时，磁感应强度 B 增大，远离时减小，霍尔电压形成脉冲。

2、根据记录的驱动电压和转速，作 V-RPM 曲线。

答：如下图：



实验三 光电传感器转速测量实验

一、实验目的

了解光电转速传感器测量转速的原理及方法。

二、实验仪器

转动源、光电传感器、直流稳压电源、频率/转速表、示波器

三、实验原理

光电式转速传感器有反射型和透射型二种，本实验装置是透射型的，传感器端部有发光管和光电池，发光管发出的光源通过转盘上的孔透射到光电管上，并转换成电信号，由于转盘上有等间距的 6 个透射孔，转动时将获得与转速及透射孔数有关的脉冲，将电脉计数处理即可得到转速值。

四、实验内容与步骤

1、光电传感器已安装在转动源上，如图 1-4 所示。+5V 电源接到三源板“光电”输出的电源端，光电输出接到频率/转速表的“f/n”。

2、打开实验台电源开关，用不同的电源驱动转动源转动，记录不同驱动电压对应的转速，填入表 1-3，同时可通过示波器观察光电传感器的输出波形。

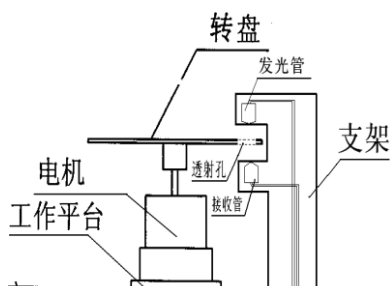


图 1-4

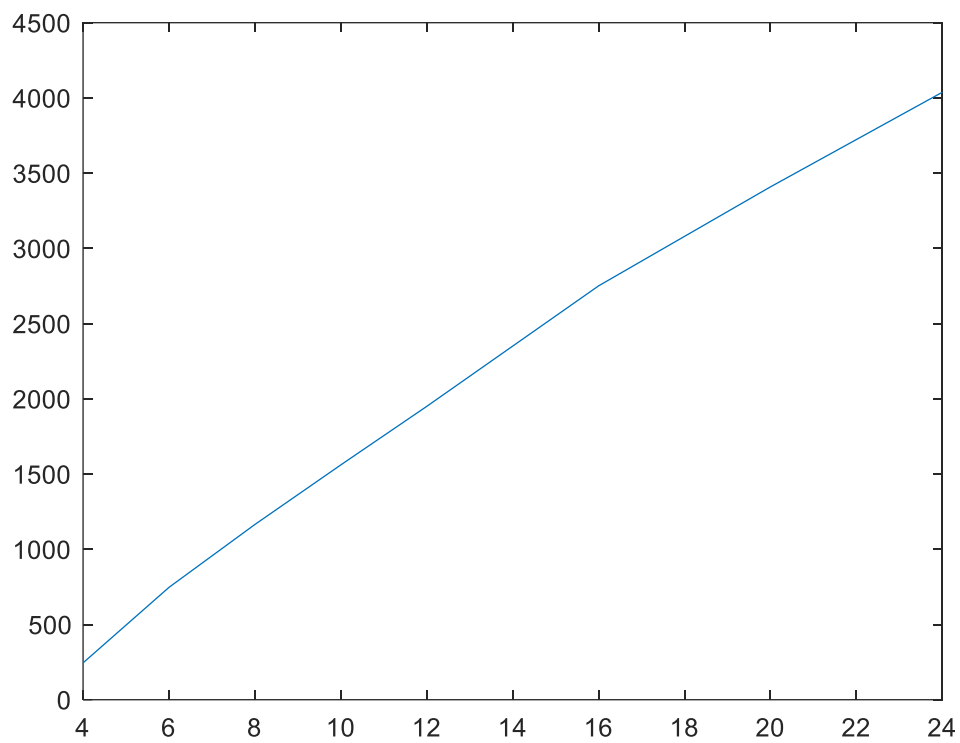
表 1-3 电压-转速记录表

电压(V)	+4V	+6V	+8V	+10V	12V	16V	20V	24V
转速(rpm)	245	747	1165	1561	1950	2751	3409	4038

五、实验报告

根据测得的驱动电压和转速，作V-RPM曲线。并与霍尔传感器测得的曲线比较。

答：如下图



比较:

相同驱动电压下,霍尔传感器和光电传感器在转速测量值上有些许误差,但差距不大,测量精度和误差都很接近。且总体上,转速与驱动电压呈线性关系。

实验四 E 型热电偶测温实验

一、实验目的

了解 E 型热电偶的特性与应用

二、实验仪器

智能调节仪、PT100、E 型热电偶、温度源、温度传感器实验模块。

三、实验原理

热电偶是一种使用最多的温度传感器，它的原理是基于 1821 年发现的塞贝克效应，即两种不同的导体或半导体 A 或 B 组成一个回路，其两端相互连接，只要两节点处的温度不同，一端温度为 T ，另一端温度为 T_0 ，则回路中就有电流产生，如图 1-5 (a)，即回路中存在电动势，该电动势被称为热电势。

两种不同导体或半导体的组合被称为热电偶。当回路断开时，在断开处 a/b 之间便有一电动势 E_T ，其极性和量值与回路中的热电势一致，如图 1-5 (b)，并规定在冷端，当电流由 A 流向 B 时，称 A 为正极，B 为负极。

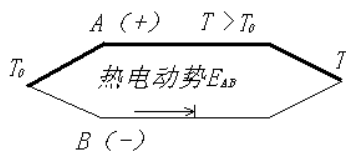


图 1-5 (a)

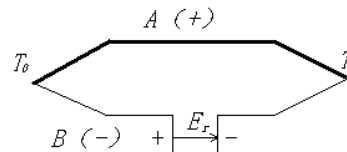


图 1-5 (b)

实验表明，当 E_T 较小时，热电势 E_T 与温度差 $(T - T_0)$ 成正比，即

$$E_T = S_{AB} (T - T_0) \quad (1-3)$$

S_{AB} 为塞贝克系数，又称为热电势率，它是热电偶的最重要的特征量，其符号和大小取决于热电极材料的相对特性。

热电偶工作的基本定律如下：

(1) 均质导体定律

由一种均质导体组成的闭合回路，不论导体的截面积和长度如何，也不论各处的温度分布如何，都不能产生热电势。

(2) 中间导体定律

用两种金属导体 A、B 组成热电偶测量时，在测温回路中必须通过连接导线接入仪表测量温差电势 $E_{AB} (T, T_0)$ ，而这些导体材料和热电偶导体 A、B 的材料往往并不相同。在这种引入了中间导体的情况下，回路中的温差电势是否发生变化呢？热电偶中间导体定律指出：在热电偶回路中，只要中间导体 C 两端温度相同，那么接入中间导体 C 对热电偶回路总热电势 $E_{AB} (T, T_0)$ 没有影响。

(3) 中间温度定律

如图 1-6 所示，热电偶的两个结点温度为 T_1, T_2 时，热电势为 $E_{AB} (T_1, T_2)$ ，两结点温度为 T_2, T_3 时，热电势为 $E_{AB} (T_2, T_3)$ ，那么当两结点温度为 T_1, T_3 时的热电势则为

$$E_{AB} (T_1, T_2) + E_{AB} (T_2, T_3) = E_{AB} (T_1, T_3) \quad (1-4)$$

式 (1-4) 就是中间温度定律的表达式。譬如： $T_1 = 100^\circ\text{C}$ ， $T_2 = 40^\circ\text{C}$ ， $T_3 = 0^\circ\text{C}$ ，则

$$E_{AB} (100, 40) + E_{AB} (40, 0) = E_{AB} (100, 0) \quad (1-5)$$

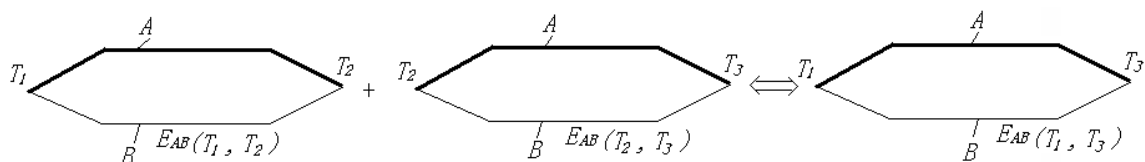


图 1-6 中间温度定律

热电偶的分度号是其分度表的代号（一般用大写字母 S、R、B、K、E、J、T、N 表示）。它是在热电偶的参考端为 0°C 的条件下，以列表的形式表示热电势与测量端温度的关系。

四、实验内容与步骤

- 1、利用 Pt100 温度控制调节仪将温度控制在 50°C ，在另一个温度传感器插孔中插入 E 型热电偶温度传感器。
- 2、将 $\pm 15\text{V}$ 直流稳压电源接入温度传感器实验模块中。温度传感器实验模块的输出 U_{o2} 接主控台直流电压表。
- 3、将温度传感器模块上差动放大器的输入端 U_i 短接，调节 R_{w3} 到最大位置，再调节电位器 R_{w4} 使直流电压表显示为零。
- 4、拿掉短路线，按图 1-7 接线，并将 E 型热电偶的两根引线，热端（红色）接 a，冷端（绿色）接 b，记下模块输出 U_{o2} 的电压值。

温度传感器实验模块

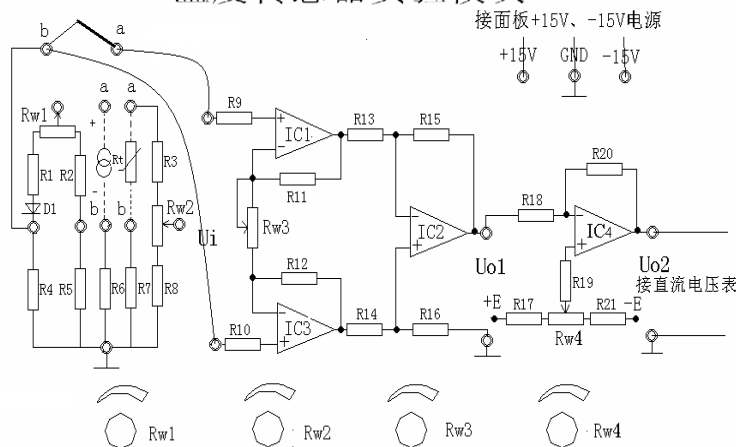


图 1-7

- 5、改变温度源的温度，每隔 5°C 记下 U_{o2} 的输出值，直到温度升至 120°C ，并将实验结果填入表 1-4。
- 6、将温度调节仪重新设定为 50°C ，并通过风扇降温，在降温过程中每隔 5°C 记下 U_{o2} 的输出值，直到温度降至 50°C ，并将实验结果填入表 1-4。

五、数据记录

温度-电压记录表

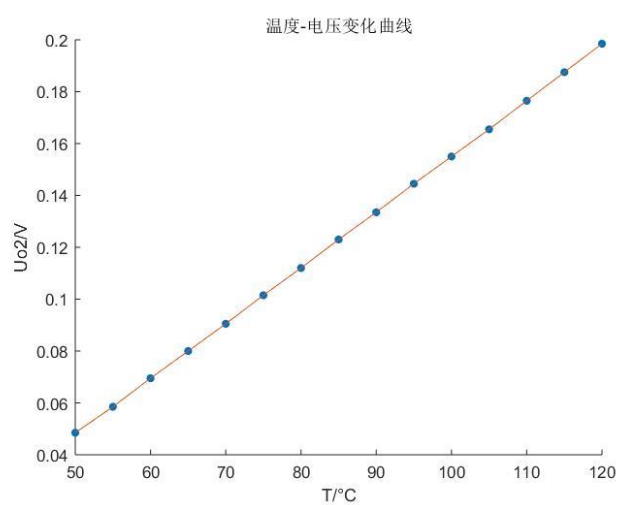
T ($^{\circ}\text{C}$)	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
U_{o2} (V) 升温	0.050	0.061	0.072	0.083	0.094	0.105	0.116	0.127	0.138	0.149	0.160
U_{o2} (V) 降温	0.047	0.056	0.067	0.077	0.087	0.098	0.108	0.119	0.129	0.140	0.150

T (°C)	105	110	115	120							
U _{o2} (V) 升温	0.170	0.181	0.191	0.200							
U _{o2} (V) 降温	0.161	0.172	0.184	0.197							

六、实验报告

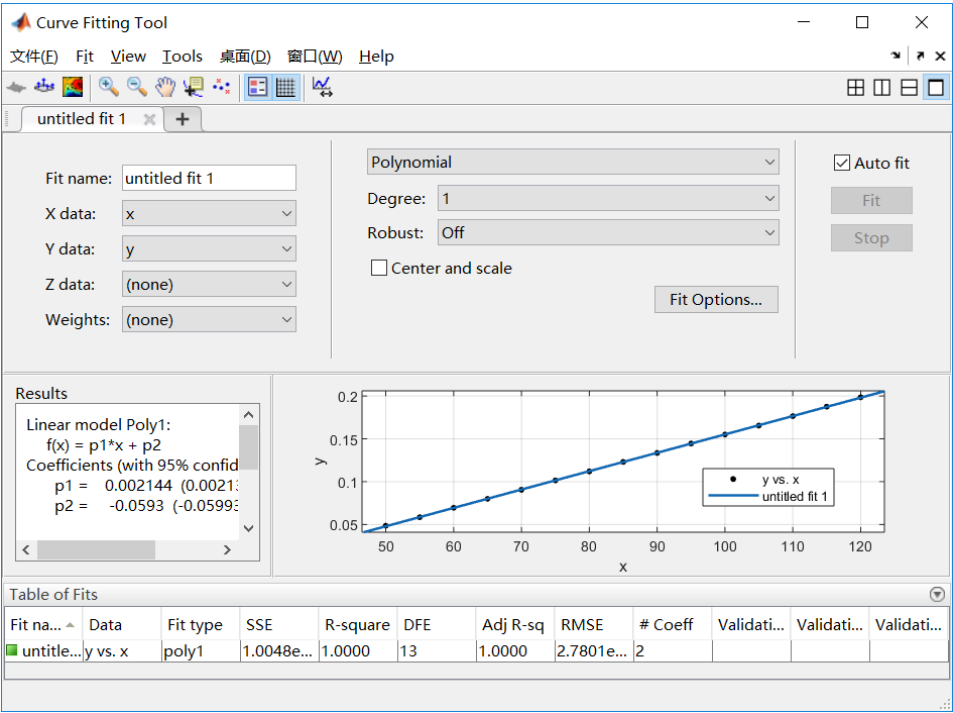
1、根据实验数据，作出 U_{o2}-T 曲线，分析 E 型热电偶的温度特性曲线，计算其非线性误差。

答：U_{o2} 取升温、降温时观测值的均值，用 MATLAB 做出散点图和拟合直线，可以看出，电压随温度的增长近似呈现线性变化。



拟合直线 $U=0.002144T-0.0593$

$$\delta_n = \frac{\Delta L_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% = \frac{3.2000e-04}{0.1985-0.0485} = 0.21\%$$



2、根据中间温度定律和 E 型热电偶分度表,用平均值计算出差动放大器的放大倍数 A。

答： $A = U_{02} / (E_{ab}(T, T_n) - E_{ab}(T, 0)) = U_{02} / (E_{ab}(T, 0) - E_{ab}(T_n, 0))$

查表： $E_{ab}(T, 0) = 1.131\text{mV}$ ；

T	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	均值
U_{02}	0.0485	0.0585	0.0690	0.0800	0.0905	0.1015	0.1120	0.1230	0.1335	0.1440	0.1550	0.1655	0.1760	0.1870	0.1980	
$E_{ab}(T_n, 0)$	3.47	3.64	3.83	4.05	4.29	4.55	4.83	5.14	5.46	5.81	6.17	6.56	6.96	7.39	7.83	
A																

实验三十一 电涡流传感器的位移特性实验

一、实验目的：

了解电涡流传感器测量位移的工作原理和特性。

二、实验仪器：

电涡流传感器、铁圆盘、电涡流传感器模块、测微头、直流稳压电源、数显直流电压表、测微头。

三、实验原理：

通过高频电流的线圈产生磁场，当有导体接近时，因导体涡流效应产生涡流损耗，而涡流损耗与导体离线圈的距离有关，因此可以进行位移测量。

四、实验内容与步骤

1. 按下图安装电涡流传感器。

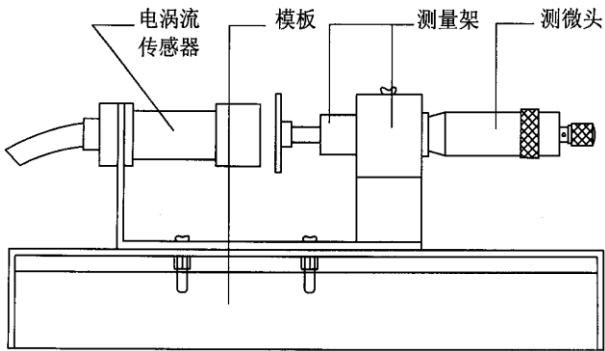


图 31-1

2. 在测微头端部装上铁质金属圆盘，作为电涡流传感器的被测体。调节测微头，使铁质金属圆盘的平面贴到电涡流传感器的探测端，固定测微头。

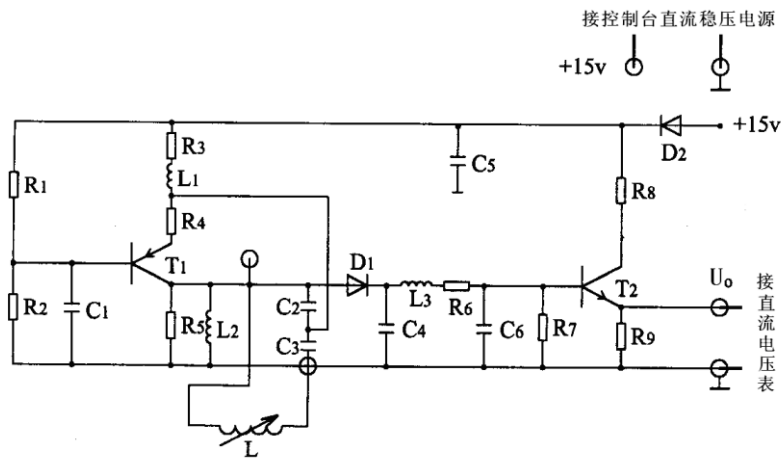



图 31-2

3. 传感器连接按图 31-2，将电涡流传感器连接线接到模块上标有“”的两端，实验模块输出端 U_o 与数显单元输入端 U_i 相接。数显表量程切换开关选择电压 20V 档，模块电源用连接导线从实验台接入 +15V 电源。

4. 打开实验台电源，记下数显表读数，然后每隔 0.2mm 读一个数，直到输出几乎不变为止。将结果列入下表 31-1。

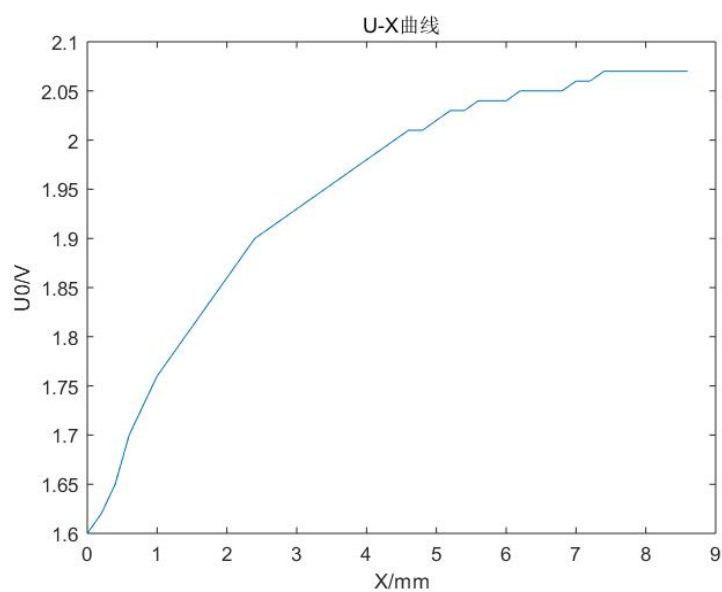
X (mm)	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
U_o (V)	1.60	1.62	1.65	1.70	1.73	1.76	1.78	1.80	1.82	1.84
X (mm)	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
U_o (V)	1.86	1.88	1.90	1.91	1.92	1.93	1.94	1.95	1.96	1.97
X (mm)	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8
U_o (V)	1.98	1.99	2.00	2.01	2.01	2.02	2.03	2.03	2.04	2.04
X (mm)	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8

$U_0(V)$	2.04	2.05	2.05	2.05	2.05	2.06	2.06	2.07	2.07	2.07
$X\ (mm)$	8.0	8.2	8.4	8.6						
$U_0(V)$	2.07	2.07	2.07	2.07						

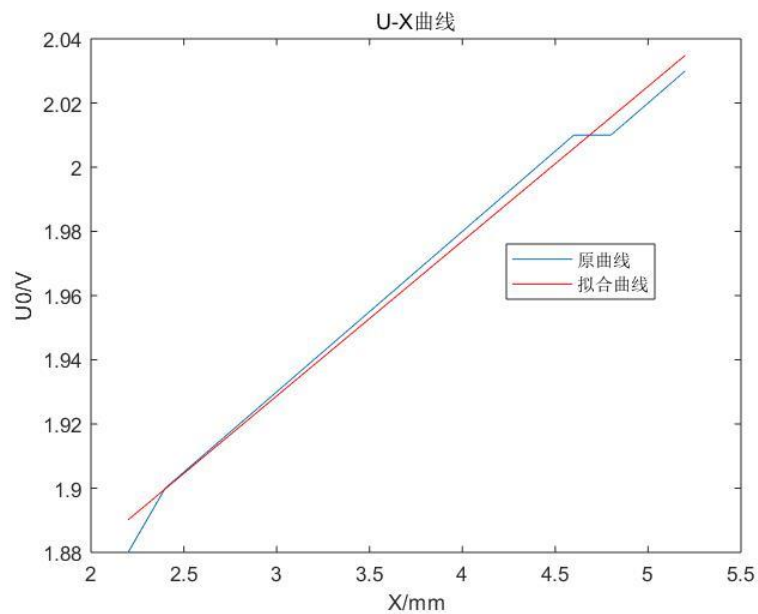
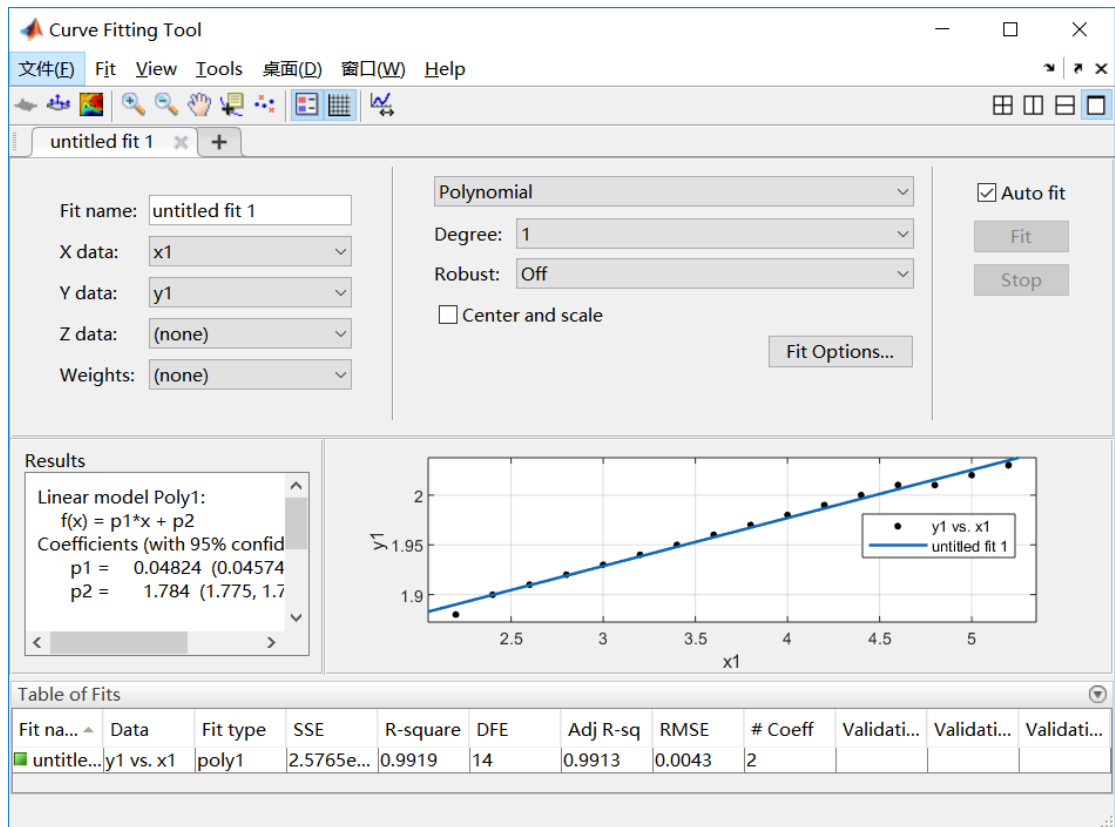
表 31-1

五、实验报告

1. 根据表 31-1 数据，画出 $U-X$ 曲线，根据曲线找出线性区域及进行正、负位移测量时的最佳工作点，并计算量程为 1mm、3 mm 及 5mm 时的灵敏度和线性度（可以用端点法或其它拟合直线）。



曲线在 $[2.2, 5.2]$ 范围内曲线近似为直线，把该段曲线单独画出来：



拟合曲线为： $U=0.04824 \cdot X + 1.784$ ，可计算得：

(1) 则系统灵敏度为 $S = \frac{\Delta U}{\Delta X} = 0.4824V/mm$

(2) 线性度误差为：

① $X=1mm$ 时，

$$U = 0.04824 \times 1 + 1.784 = 1.8322$$

$$\Delta m = U - 1.75 = 0.0822$$

$$u_{FS} = 0.15V$$

$$\delta_f = \frac{\Delta m}{u_{FS}} \times 100\% = 54.8\%$$

②X=3mm 时

$$U = 0.04824 \times 3 + 1.784 = 1.9287$$

$$\Delta m = |U - 1.93| = 0.0013$$

$$u_{FS} = 0.15V$$

$$\delta_f = \frac{\Delta m}{u_{FS}} \times 100\% = 0.85\%$$

③X=5mm 时

$$U = 0.04824 \times 5 + 1.784 = 2.0252$$

$$\Delta m = U - 2.02 = 0.0052$$

$$u_{FS} = 0.15V$$

$$\delta_f = \frac{\Delta m}{u_{FS}} \times 100\% = 3.47\%$$