

传感器技术实验

实验 1 应变片单臂特性

一、实验目的

- 1、了解电阻应变片的工作原理与应用
- 2、掌握应变片测量电路。

二、实验仪器设备

- 1、CSY-9XX 型传感器实验仪
- 2、V9.0 数据采集卡及处理软件

三、实验要求

- 1、预习教材中的相关内容。
- 2、阅读并熟悉本次实验的内容。
- 3、理解电阻应变片的工作原理。
- 4、掌握应变片测量电路。

四、基本原理

电阻应变式传感器是在弹性元件上通过特定工艺粘贴电阻应变片来组成。一种利用电阻材料的应变效应将工程结构件的内部变形转换为电阻变化的传感器,此类传感器主要是通过一定的机械装置将被测量转化成弹性元件的变形,然后由电阻应变片将变形转换成电阻的变化,再通过测量电路将电阻的变化转换成电压或电流变化信号输出。可用于能转化成变形的各种非电物理量的检测,如力、压力、加速度、力矩、重量等,在机械加工、计量、建筑测量等行业应用十分广泛。

1、应变片的电阻应变效应

所谓电阻应变效应是指具有规则外形的金属导体或半导体材料在外力作用下产生应变而其电阻值也会产生相应地改变,这一物理现象称为“电阻应变效应”。以圆柱形导体为例:设其长为: L 、半径为 r 、材料的电阻率为 ρ 时,根据电阻的定义式得

$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{\pi \cdot r^2} \quad (1-1)$$

当导体因某种原因产生应变时,其长度 L 、截面积 A 和电阻率 ρ 的变化为 dL 、 dA 、 $d\rho$ 相应的电阻变化为 dR 。对式 (1-1) 全微分得电阻变化率 dR/R 为:

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} - 2 \frac{dr}{r} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (1-2)$$

式中: dL/L 为导体的轴向应变变量 ε_L ; dr/r 为导体的横向应变变量 ε_r

由材料力学得: $\varepsilon_L = -\mu \varepsilon_r$ (1-3)

式中: μ 为材料的泊松比,大多数金属材料的泊松比为 0.3~0.5 左右;负号表示两者的变化方向相反。将式 (1-3) 代入式 (1-2) 得:

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu) \varepsilon + \frac{d\rho}{\rho}$$

(1—4)

式(1—4)说明电阻应变效应主要取决于它的几何应变(几何效应)和本身特有的导电性能(压阻效应)。

2、应变灵敏度

它是指电阻应变片在单位应变作用下所产生的电阻的相对变化量。

(1)、金属导体的应变灵敏度 K: 主要取决于其几何效应; 可取

$$\frac{dR}{R} \approx (1 + 2\mu) \varepsilon_t$$

(1—5)

其灵敏度系数为:

$$K = \frac{dR}{\varepsilon_t R} = (1 + 2\mu)$$

金属导体在受到应变作用时将产生电阻的变化, 拉伸时电阻增大, 压缩时电阻减小, 且与其轴向应变成正比。金属导体的电阻应变灵敏度一般在 2 左右。

(2)、半导体的应变灵敏度: 主要取决于其压阻效应; $dR/R \approx d\rho/\rho$ 。半导体材料之所以具有较大的电阻变化率, 是因为它有远比金属导体显著得多的压阻效应。在半导体受力变形时会暂时改变晶体结构的对称性, 因而改变了半导体的导电机理, 使得它的电阻率发生变化, 这种物理现象称之为半导体的压阻效应。且不同材质的半导体材料在不同受力条件下产生的压阻效应不同, 可以是正(使电阻增大)的或负(使电阻减小)的压阻效应。也就是说, 同样是拉伸变形, 不同材质的半导体将得到完全相反的电阻变化效果。

半导体材料的电阻应变效应主要体现为压阻效应, 可正可负, 与材料性质和应变方向有关, 其灵敏度系数较大, 一般在 100 到 200 左右。

3、贴片式应变片应用

在贴片式工艺的传感器上普遍应用金属箔式应变片, 贴片式半导体应变片(温漂、稳定性、线性度不好而且易损坏)很少应用。一般半导体应变采用 N 型单晶硅为传感器的弹性元件, 在它上面直接蒸镀扩散出半导体电阻应变薄膜(扩散出敏感栅), 制成扩散型压阻式(压阻效应)传感器。

* 本实验以金属箔式应变片为研究对象。

4、箔式应变片的基本结构

应变片是在用苯酚、环氧树脂等绝缘材料的基板上, 粘贴直径为 0.025mm 左右的金属丝或金属箔制成, 如图 1.1 所示。

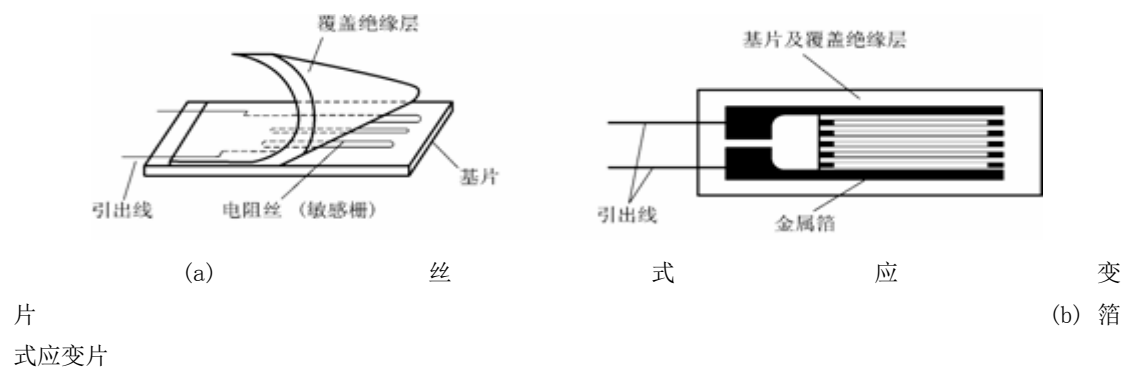


图 1.1 应变片结构图

金属箔式应变片就是通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感元件，与丝式应变片工作原理相同。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： $\Delta R / R = K \varepsilon$ 式中： $\Delta R / R$ 为电阻丝电阻相对变化， K 为应变灵敏系数， $\varepsilon = \Delta L / L$ 为电阻丝长度相对变化。

5、测量电路

为了将电阻应变式传感器的电阻变化转换成电压或电流信号，在应用中一般采用电桥电路作为其测量电路。电桥电路具有结构简单、灵敏度高、测量范围宽、线性度好且易实现温度补偿等优点。能较好地满足各种应变测量要求，因此在应变测量中得到了广泛的应用。电桥电路按其工作方式分有单臂、双臂和全桥三种，单臂工作输出信号最小、线性、稳定性较差；双臂输出是单臂的两倍，性能比单臂有所改善；全桥工作时的输出是单臂时的四倍，性能最好。因此，为了得到较大的输出电压信号一般都采用双臂或全桥工作。基本电路如图 1.2 (a)、(b)、(c) 所示。

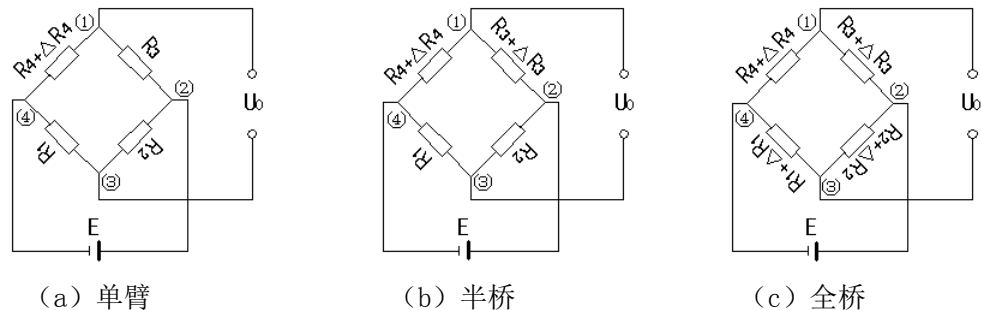


图 1.2 应变片测量电路

(a)、单臂

$$\begin{aligned}
 U_o &= U_{①} - U_{③} \\
 &= \left[(R_4 + \Delta R_4) / (R_4 + \Delta R_4 + R_3) - R_1 / (R_1 + R_2) \right] E \\
 &= \left\{ [(R_1 + R_2)(R_4 + \Delta R_4) - R_1(R_3 + R_4 + \Delta R_4)] / [(R_3 + R_4 + \Delta R_4)(R_1 + R_2)] \right\} E \\
 \text{设 } R_1 &= R_2 = R_3 = R_4, \text{ 且 } \Delta R_4 / R_4 = \Delta R / R \ll 1, \Delta R / R = K \varepsilon。 \\
 \text{则 } U_o &\approx (1/4)(\Delta R_4 / R_4)E = (1/4)(\Delta R / R)E = (1/4)K \varepsilon E
 \end{aligned}$$

(b)、双臂(半桥)

$$\text{同理: } U_o \approx (1/2)(\Delta R / R)E = (1/2)K \varepsilon E$$

(c)、全桥

$$\text{同理: } U_o \approx (\Delta R / R)E = K \varepsilon E$$

6、箔式应变片单臂电桥实验原理图

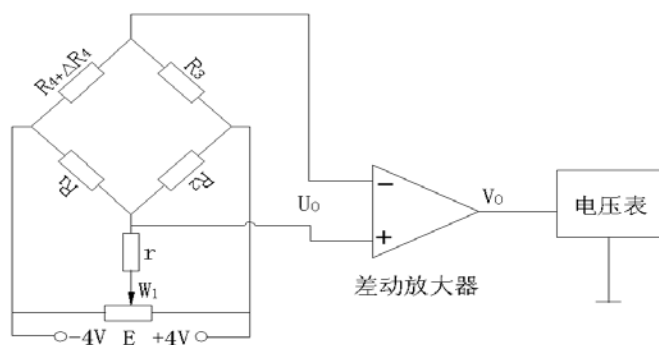


图 1.3 应变片单臂电桥实验原理图

图中 R_1 、 R_2 、 R_3 为 $350\ \Omega$ 固定电阻， R_4 为应变片； W_1 和 r 组成电桥调平衡网络，供桥电源直流 $\pm 4V$ 。桥路输出电压 $U_0 \approx (1/4)(\Delta R_4 / R_4)E = (1/4)(\Delta R / R)E = (1/4)K \varepsilon E$ 。

五、需用器件与单元

机头中的应变梁的应变片、测微头；显示面板中的 F/V 表(或电压表)、 $\pm 2V \sim \pm 10V$ 步进可调直流稳压电源；调理电路面板中传感器输出单元中的箔式应变片、调理电路单元中的电桥、差动放大器； $4\frac{1}{2}$ 位数显万用表（自备）。

1、图 1.4 调理电路面板中的电桥单元。图中：

- (1) 菱形虚框为无实体的电桥模型(为实验者组桥参考而设，无其它实际意义)。
- (2) $R_1=R_2=R_3=350\ \Omega$ 是固定电阻，为组成单臂应变和半桥应变而配备的其它桥臂电阻。
- (3) W_1 电位器、 r 电阻为电桥直流调节平衡网络， W_2 电位器、 C 电容为电桥交流调节平衡网络。

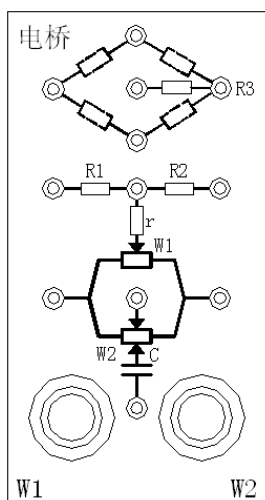


图 1.4 电桥面板图

2、图 1.5 为差动放大器原理图与调理电路中的差动放大器单元面板图。图中：左图是原理图，A 是差动输入的放大器；右图为面板图。

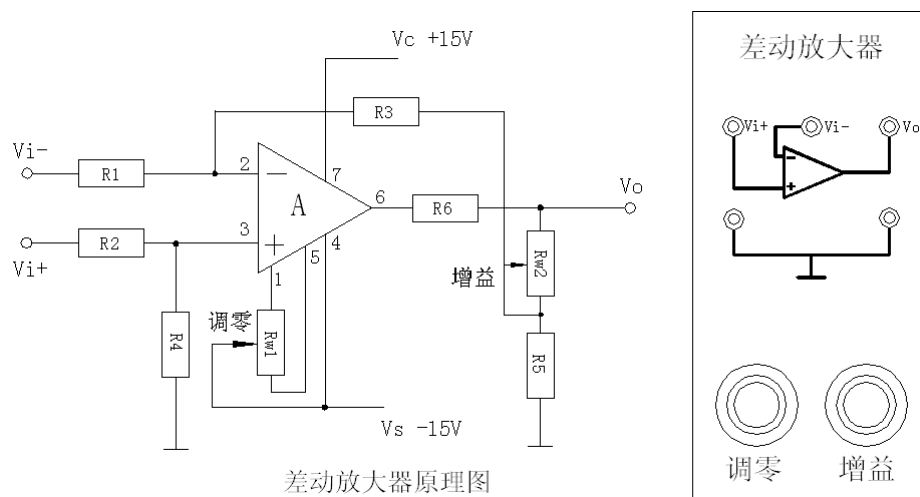


图 1.5 差动放大器原理与面板图

3、附：测微头的组成与使用：

测微头组成和读数如下图 1.6 所示。

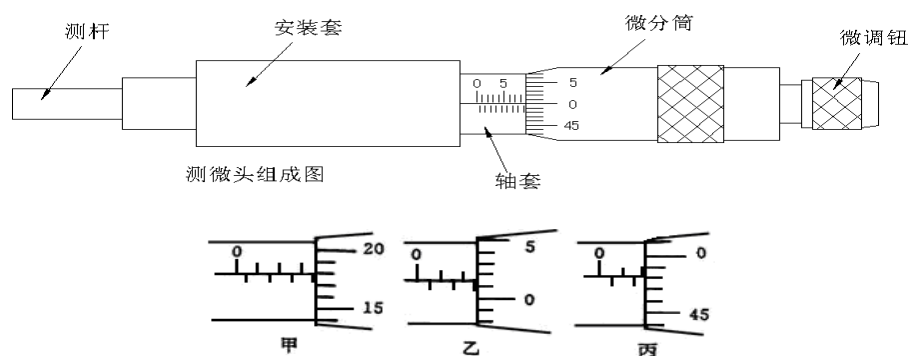


图 1.6 测位头组成与读数

测微头组成： 测微头由不可动部分中的安装套（应变梁的测微头无安装套）、轴套和可动部分中的测杆、微分筒、微调钮组成。

测微头读数与使用： 测微头的安装套便于在支架座上固定安装，轴套上的主尺有两排刻度线，标有数字的是整毫米刻线(1mm / 格)，另一排是半毫米刻线(0.5mm / 格)；微分筒前部圆周表面上刻有 50 等分的刻线(0.01mm / 格)。

用手旋转微分筒或微调钮时，测杆就沿轴线方向进退。微分筒每转过 1 格，测杆沿轴方向移动微小位移 0.01 毫米，这也叫测微头的分度值。

测微头的读数方法是先读轴套主尺上露出的刻度数值，注意半毫米刻线；再读与主尺横线对准微分筒上的数值、可以估读 1 / 10 分度，如图 1.6 甲读数为 3.678mm，不是 3.178mm；遇到微分筒边缘前端与主尺上某条刻线重合时，应看微分筒的示值是否过零，如图 1.6 乙已过零则读 2.514mm；如图 1.6 丙未过零，则不应读为 2 mm，读数应为 1.980 mm。

测微头使用： 测微头在实验中是用来产生位移并指示出位移量的工具。一般测微头在使用前，首先转动微分筒到 10mm 处(为了保留测杆轴向前、后位移的余量)，再将测微头轴套上的主尺横线面向自己安装到专用支架座上，移动测微头的安装套(测微头整体移动)使测

杆与被测体连接并使被测体处于合适位置(视具体实验而定)时再拧紧支架座上的紧固螺钉。当转动测微头的微分筒时，被测体就会随测杆而位移。

六、实验步骤

1、在应变梁自然状态（不受力）的情况下，用 $4\frac{1}{2}$ 位数显万用表 2k Ω 电阻档测量所有应变片阻值；在应变梁受力状态（用手压、提梁的自由端）的情况下，测应变片阻值，观察一下应变片阻值变化情况(标有上下箭头的 4 片应变片纵向受力阻值有变化；标有左右箭头的 2 片应变片 横向不受力阻值无变化，是温度补偿片)。如下图 1.7 所示。

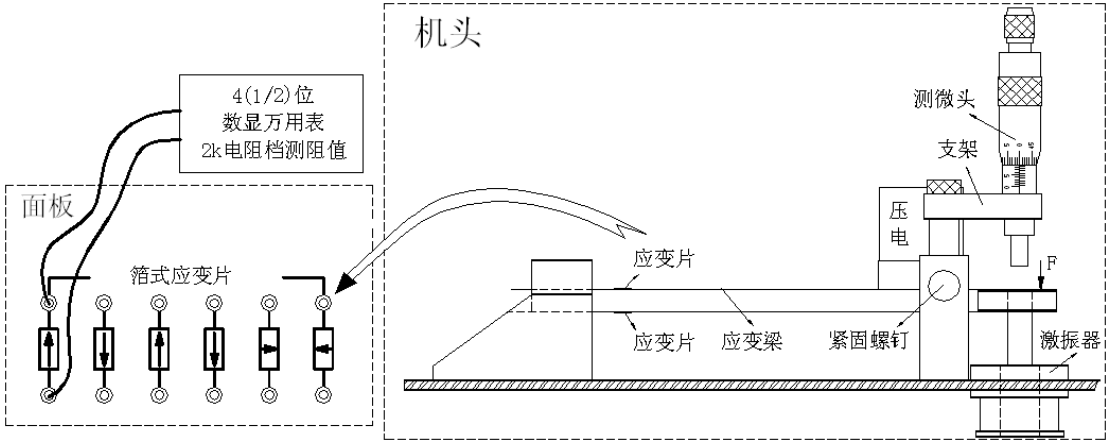


图 1.7 观察应变片阻值变化情况示意图

2、差动放大器调零点：按下图 1.8 示意接线。将 F / V 表(或电压表)的量程切换开关切换到 2V 档，合上主、副电源开关，将差动放大器的增益电位器按顺时针方向轻轻转到底后再逆向回转一点点(放大器的增益为最大，回转一点点的目的：电位器触点在根部估计会接触不良)，调节差动放大器的调零电位器，使电压表显示电压为零。差动放大器的零点调节完成，关闭主电源。

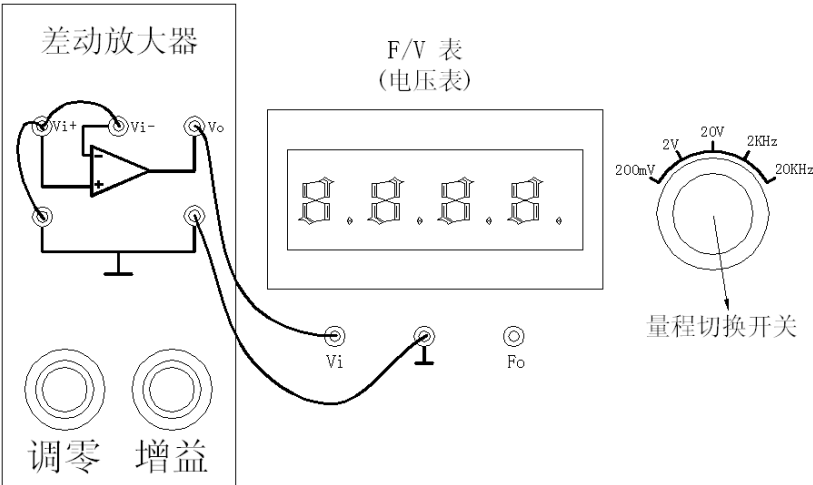


图 1.8 差放调零接线图

3、应变片单臂电桥特性实验：

(1)将 $\pm 2V \sim \pm 10V$ 步进可调直流稳压电源切换到 4V 档，将主板上传感器输出单元中的箔式应变片(标有上下箭头的 4 片应变片中任意一片为工作片)与电桥单元中 R1、R2、R3 组成电桥电路，电桥的一对角接 $\pm 4V$ 直流电源，另一对角作为电桥的输出接差动放大器的二输入端，将 W1 电位器、r 电阻直流调节平衡网络接入电桥中(W1 电位器二固定端接电桥的 $\pm 4V$ 电源端、W1 的活动端 r 电阻接电桥的输出端)，如图 1.9 示意接线(粗细曲线为连接线)。

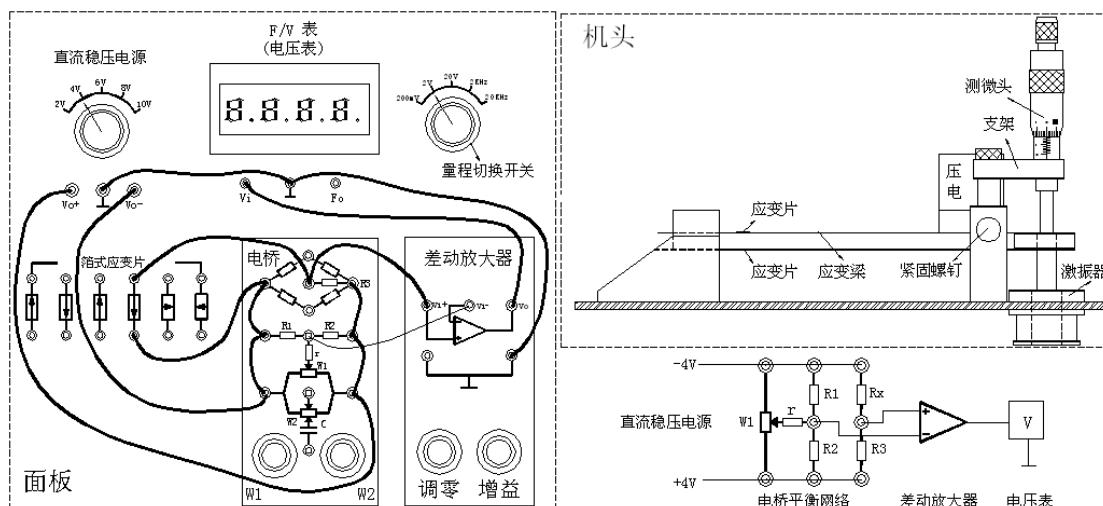


图 1.9 应变片单臂电桥特性实验原理图与接线示意图

(2)检查接线无误后合上主电源开关,当机头上应变梁自由端的测微头离开自由端(梁处于自然状态,图 1.7 机头所示)时调节电桥的直流调节平衡网络 W1 电位器,使电压表显示为 0 或接近 0。

(3)在测微头吸合梁的自由端前调节测微头的微分筒,使测微头的读数为 10mm 左右(测微头微分筒的 0 刻度线与测微头轴套的 10mm 刻度线对准);再松开测微头支架轴套的紧固螺钉,调节测微头支架高度使梁吸合后进一步调节支架高度,同时观察电压表显示绝对值尽量为最小时固定测微头支架高度(拧紧紧固螺钉,图 1.9 机头所示)。仔细微调测微头的微分筒使电压表显示值为 0 (梁不受力处于自然状态),这时的测微头刻度线位置作为梁位移的相对 0 位位移点。首先确定某个方向位移,以后每调节测微头的微分筒一周产生 0.5mm 位移,根据表 1 位移数据依次增加 0.5mm 并读取相应的电压值填入表 1.1 中;然后反方向调节测微头的微分筒使电压表显示 0V (这时测微头微分筒的刻度线不在原来的 0 位位移点位置上,是由于测微头存在机械回程差,以电压表的 0V 为标准作为 0 位位移点并取固定的相对位移 ΔX 消除了机械回程差),再根据表 1.1 位移数据依次反方向增加 0.5mm 并读取相应的电压值填入表 1.1 中。***注:调节测微头要仔细,微分筒每转一周 $\Delta X=0.5\text{mm}$;如调节过量再回调,则产生回程差。**

表 1.1 应变片单臂电桥特性实验数据

位移(mm)	-8.0		-1.0	-0.5	0	+0.5	+1.0		+8.0
电压(mV)									

(4)根据表 1.1 数据画出实验曲线并计算灵敏度 $S=\Delta V/\Delta X$ (ΔV 输出电压变化量, ΔX 位移变化量)和非线性误差 δ (用最小二乘法), $\delta=\Delta m/yFS \times 100\%$ 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; yFS 满量程输出平均值,此处为相对总位移量。实验完毕,关闭电源。

六、思考题:

- 1、 ΔR 转换成 ΔV 输出用什么方法?
- 2、根据图 4 机头中应变梁结构,梁的自由端往下施力时上、下梁片中应变片的应变方向(是拉?还是压?)。
- 3、还可以用什么方法消除测微头的机械回程差?提示:实验步骤(3)中不设 0 位位移点,直接从位移最大处单方向调节测微头。

实验2 电容式传感器的位移实验

一、实验目的

- 1、了解电容式传感器结构及其特点。
- 2、掌握电容式传感器测量电路。

二、实验仪器设备

- 1、CSY-9XX 型传感器实验仪
- 2、V9.0 数据采集卡及处理软件

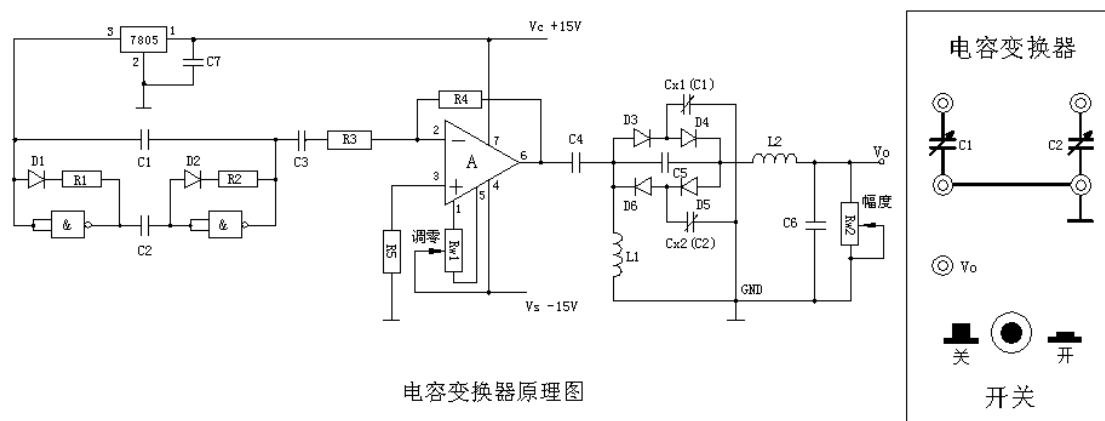
三、实验要求

- 1、预习教材中的相关内容。
- 2、阅读并熟悉本次实验的内容。
- 3、理解电容式传感器的工作原理。
- 4、掌握电容式传感器的测量电路。

四、基本原理：

1、原理简述：电容传感器是以各种类型的电容器为传感元件，将被测物理量转换成电容量的变化来实现测量的。电容传感器的输出是电容的变化量。利用电容 $C = \epsilon A / d$ 关系式通过相应的结构和测量电路可以选择 ϵ 、 A 、 d 中三个参数中，保持二个参数不变，而只改变其中一个参数，则可以有测干燥度（ ϵ 变）、测位移（ d 变）和测液位（ A 变）等多种电容传感器。电容传感器极板形状分成平板、圆板形和圆柱（圆筒）形，虽还有球面形和锯齿形等其它的形状，但一般很少用。本实验采用的传感器为二组静态极片与一组动极片组成二个平板式变面积差动结构（二个平板式变面积电容变化量之差 $\Delta C = \Delta C_1 - \Delta C_2$ ）的电容位移传感器（具体平板式变面积电容传感器原理参阅教课书），差动式一般优于单组（单边）式的传感器。它灵敏度高、线性范围宽、稳定性高。

1、电容变换器原理图与调理电路中的电容变换器面板图：如图 2.1 所示。电容变换器的核心部分是图 2.2 的二极管环形充、放电电路。



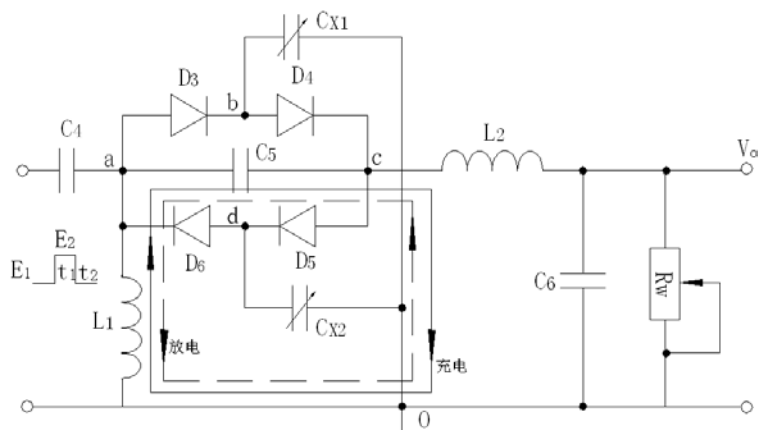


图 2.2 二极管环形充放电电路

在图 2.2 中, 环形充放电电路由 D3、D4、D5、D6 二极管、C5 电容、L1 电感和 CX1、CX2 实验差动电容位移传感器组成。

当高频激励电压 ($f > 100\text{kHz}$) 输入到 a 点, 由低电平 E1 跃到高水平 E2 时, 电容 CX1 和 CX2 两端电压均由 E1 充到 E2。充电电荷一路由 a 点经 D3 到 b 点, 再对 CX1 充电到 0 点(地); 另一路由由 a 点经 C5 到 c 点, 再经 D5 到 d 点对 CX2 充电到 0 点。此时, D4 和 D6 由于反偏置而截止。在 t_1 充电时间内, 由 a 到 c 点的电荷量为:

$$Q1 = CX2 (E2 - E1)$$

(2-1)

当高频激励电压由高电平 E2 返回到低电平 E1 时, 电容 CX1 和 CX2 均放电。CX1 经 b 点、D4、c 点、C5、a 点、L1 放电到 0 点; CX2 经 d 点、D6、L1 放电到 0 点。在 t_2 放电时间内由 c 点到 a 点的电荷量为:

$$Q2 = CX1 (E2 - E1)$$

(2—2)

当然，(2—1)式和(2—2)式是在C5电容值远远大于传感器的CX1和CX2电容值的前提下得到的结果。电容C5的充放电回路由图11—3中实线、虚线箭头所示。

在一个充放电周期内 ($T=t_1+t_2$), 由 c 点到 a 点的电荷量为:

$$Q = Q_2 - Q_1 = (C_{X1} - C_{X2}) (E_2 - E_1) = \Delta C_X \Delta E \quad (2-3)$$

(2—3)

式中: CX1 与 CX2 的变化趋势是相反的 (传感器的结构决定的, 是差动式)。

设激励电压频率 $f=1/T$ ，则流过 ac 支路输出的平均电流 i 为：

$$i = f \circ Q = f \wedge CX \wedge E$$

(2—4)

式中: ΔE —激励电压幅值; ΔCX —传感器的电容变化量。

由(2—4)式可看出: f 、 ΔE 一定时, 输出平均电流 i 与 ΔCX 成正比, 此输出平均电流 i 经电路中的电感 L_2 、电容 C_6 滤波变为直流 I 输出, 再经 R_w 转换成电压输出 $V_{o1} = I R_w$ 。由传感器原理已知 ΔC 与 ΔX 位移成正比, 所以通过测量电路的输出电压 V_{o1} 就可知 ΔX 位移。

2、电容式位移传感器实验原理方块图如图 2.3。

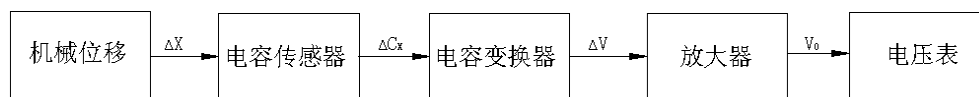


图 2.3 电容式位移传感器实验方块图

五、需用器件与单元：机头中的振动台、测微头、电容传感器；显示面板中的 F/V 表(或电压表)；调理电路面板传感器输出单元中的电容；调理电路单元中的电容变换器、电压放大器。

六、实验步骤:

1、按图 2.4 所示接线。调节测微头的微分筒使测微头的测杆端部与振动台吸合，再逆时针调节测微头的微分筒（振动台带动电容传感器的动片阻上升），直到电容传感器的动片组与静片组上沿基本平齐为止（测微头的读数大约为 20mm 左右）作为位移的起始点。

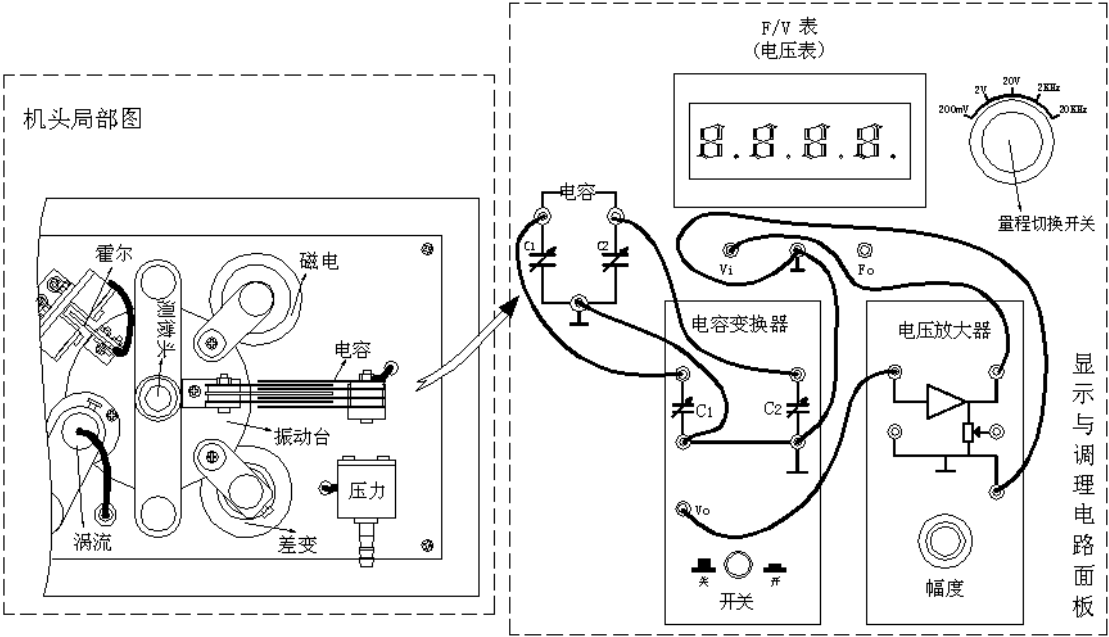


图 2.4 电容传感器位移测量系统接线示意图

- 1、将显示面板中的 F/V 表(或电压表) 的量程切换开关切换到 20V 档，再将电容变換器的按钮开关按一下（开）。检查接线无误后，合上主、副电源开关，读取电压表显示值为起始点的电压，填入下表 2.1 中。
- 3、仔细、缓慢地顺时针调节测微头的微分筒一圈 $\Delta X=0.5\text{mm}$ (不能转动过量，否则回转会引起机械回程差)从 F / V 表(或电压表)上读出相应的电压值，填入下表 2.1 中，以后，每调节测微头的微分筒一圈 $\Delta X=0.5\text{mm}$ 读出相应的输出电压直到电容传感器的动片组与静片组下沿基本平齐为止。

表 2.1 电容传感器测位移实验数据

X (mm)									
V (V)									

- 4、根据表 2.1 数据作出 $\Delta X-V$ 实验曲线，在实验曲线上截取线性比较好的线段作为测量范围并在测量范围内计算灵敏度 $S=\Delta V / \Delta X$ 与线性度。实验完毕，关闭所有电源开关。

实验 3 电涡流传感器位移特性实验

一、实验目的

- 1、了解电涡流传感器结构及其特点。
- 2、掌握电涡流传感器测量电路。

二、实验仪器设备

- 1、 CSY-9XX 型传感器实验仪
- 2、 V9.0 数据采集卡及处理软件

三、实验要求

- 1、 预习教材中的相关内容。

- 2、阅读并熟悉本次实验的内容。
- 3、理解电涡流传感器测量位移的工作原理和特性。
- 4、掌握电涡流传感器的测量电路。

四、基本原理

电涡流式传感器是一种建立在涡流效应原理上的传感器。电涡流式传感器由传感器线圈和被测物体（导体—金属涡流片）组成，如图 3.1 所示。根据电磁感应原理，当传感器线圈（一个扁平线圈）通以交变电流（频率较高，一般为 1MHz~2MHz） I_1 时，线圈周围空间会产生交变磁场 H_1 ，当线圈平面靠近某一导体面时，由于线圈磁通链穿过导体，使导体的表面层感应出呈旋涡状自行闭合的电流 I_2 ，而 I_2 所形成的磁通链又穿过传感器线圈，这样线圈与涡流“线圈”形成了有一定耦合的互感，最终原线圈反馈一等效电感，从而导致传感器线圈的阻抗 Z 发生变化。我们可以把被测导体上形成的电涡等效成一个短路环，这样就可得到如图 3.2 的等效电路。图中 R_1 、 L_1 为传感器线。

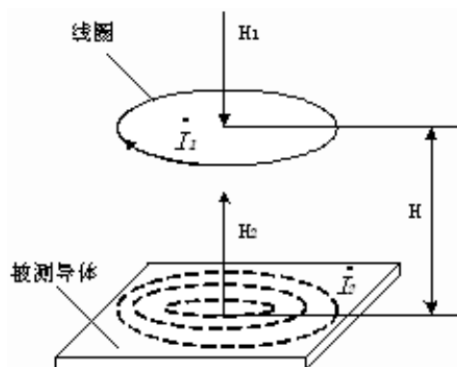


图 3.1 电涡流传感器原理图

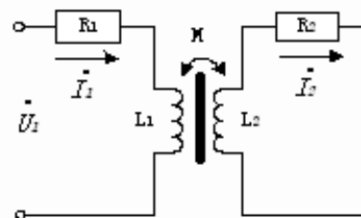


图 3.2 电涡流传感器等效电路

路图

圈的电阻和电感。短路环可以认为是一匝短路线圈，其电阻为 R_2 、电感为 L_2 。线圈与导体间存在一个互感 M ，它随线圈与导体间距的减小而增大。

根据等效电路可列出电路方程组：

$$\begin{cases} R_2 \dot{I}_2 + j\omega L_2 \dot{I}_2 - j\omega M \dot{I}_1 = 0 \\ R_1 \dot{I}_1 + j\omega L_1 \dot{I}_1 - j\omega M \dot{I}_2 = \dot{U}_1 \end{cases}$$

通过解方程组，可得 I_1 、 I_2 。因此传感器线圈的复阻抗为：

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \left[R_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} R_2 \right] + j \left[\omega L_1 - \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} \omega L_2 \right]$$

线圈的等效电感为：

$$L = L_1 - L_2 \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2}$$

线圈的等效 Q 值为：

$$Q = Q_0 \{ [1 - (L_2 \omega^2 M^2) / (L_1 Z_{22})] / [1 + (R_2 \omega^2 M^2) / (R_1 Z_{22})] \}$$

式中： Q_0 — 无涡流影响下线圈的 Q 值， $Q_0 = \omega L_1 / R_1$ ；

Z_{22} — 金属导体中产生电涡流部分的阻抗， $Z_{22} = R_2 + j\omega L_2$ 。

由式 Z 、 L 和式 Q 可以看出，线圈与金属导体系统的阻抗 Z 、电感 L 和品质因数 Q 值都是该

系统互感系数平方的函数，而从麦克斯韦互感系数的基本公式出发，可得互感系数是线圈与金属导体间距离 $x(H)$ 的非线性函数。因此 Z 、 L 、 Q 均是 x 的非线性函数。虽然它整个函数是一非线性的，其函数特征为“S”型曲线，但可以选取它近似为线性的一段。其实 Z 、 L 、 Q 的变化与导体的电导率、磁导率、几何形状、线圈的几何参数、激励电流频率以及线圈到被测导体间的距离有关。如果控制上述参数中的一个参数改变，而其余参数不变，则阻抗就成为这个变化参数的单值函数。当电涡流线圈、金属涡流片以及激励源确定后，并保持环境温度不变，则只与距离 x 有关。于此，通过传感器的调理电路（前置器）处理，将线圈阻抗 Z 、 L 、 Q 的变化转化成电压或电流的变化输出。输出信号的大小随探头到被测体表面之间的间距而变化，电涡流传感器就是根据这一原理实现对金属物体的位移、振动等参数的测量。

为实现电涡流位移测量，必须有一个专用的测量电路。这一测量电路（称之为前置器，也称电涡流变换器）应包括具有一定频率的稳定的震荡器和一个检波电路等。电涡流传感器位移测量实验框图如图 3.3 所示：

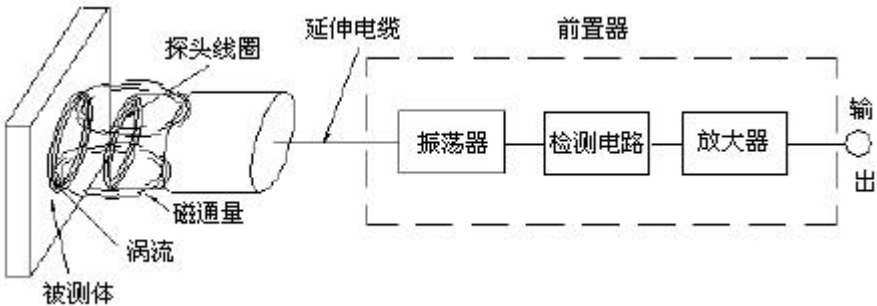


图 3.3 涡流位移特性实验原理框图

根据电涡流传感器的基本原理，将传感器与被测体间的距离变换为传感器的 Q 值、等效阻抗 Z 和等效电感 L 三个参数，用相应的测量电路（前置器）来测量。

本实验的涡流变换器为变频调幅式测量电路，电路原理与面板如图 3.4 所示。

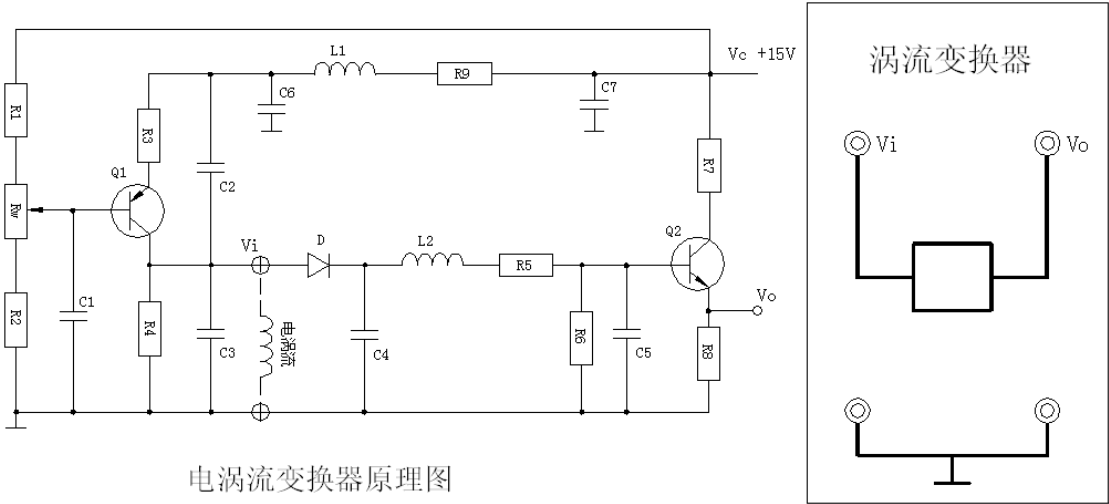


图 3.4 电涡流变换器原理图与面板图

电路组成：(1) $Q1$ 、 $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ 组成电容三点式振荡器，产生频率为 1MHz 左右的正弦载波信号。电涡流传感器接在振荡回路中，传感器线圈是振荡回路的一个电感元件。振荡器作用是将位移变化引起的振荡回路的 Q 值变化转换成高频载波信号的幅值变化。(2) $D1$ 、 $C5$ 、 $L2$ 、

C6 组成了由二极管和 LC 形成的 π 形滤波的检波器。检波器的作用是将高频调幅信号中传感器检测到的低频信号取出来。(3)Q2 组成射极跟随器。射极跟随器的作用是输入、输出匹配以获得尽可能大的不失真输出的幅度值。

电涡流传感器是通过传感器端部线圈与被测物体（导电体）间的间隙变化来测物体的振动相对位移量和静位移的，它与被测物之间没有直接的机械接触，具有很宽的使用频率范围（从 0~10Hz）。当无被测导体时，振荡器回路谐振于 f_0 ，传感器端部线圈 Q_0 为定值且最高，对应的检波输出电压 V_0 最大。当被测导体接近传感器线圈时，线圈 Q 值发生变，振荡器的谐振频率发生变化，谐振曲线变得平坦，检波出的幅值 V_0 变小。 V_0 变化反映了位移 x 的变化。电涡流传感器在位移、振动、转速、探伤、厚度测量上得到应用。

三、需用器件与单元：机头中的振动台、测微头、电涡流传感器、被测体（铁圆片）；显示面板中的 F / V 表（或电压表）；调理电路面板传感器输出单元中的电涡流、调理电路面板中的涡流变换器；示波器（自备）。

四、实验步骤：

1、调节测微头初始位置的刻度值为 5mm 处，松开电涡流传感器的安装轴套紧固螺钉，调整电涡流传感器高度与电涡流检测片相帖时拧紧轴套紧固螺钉并按图 3.5 示意接线。

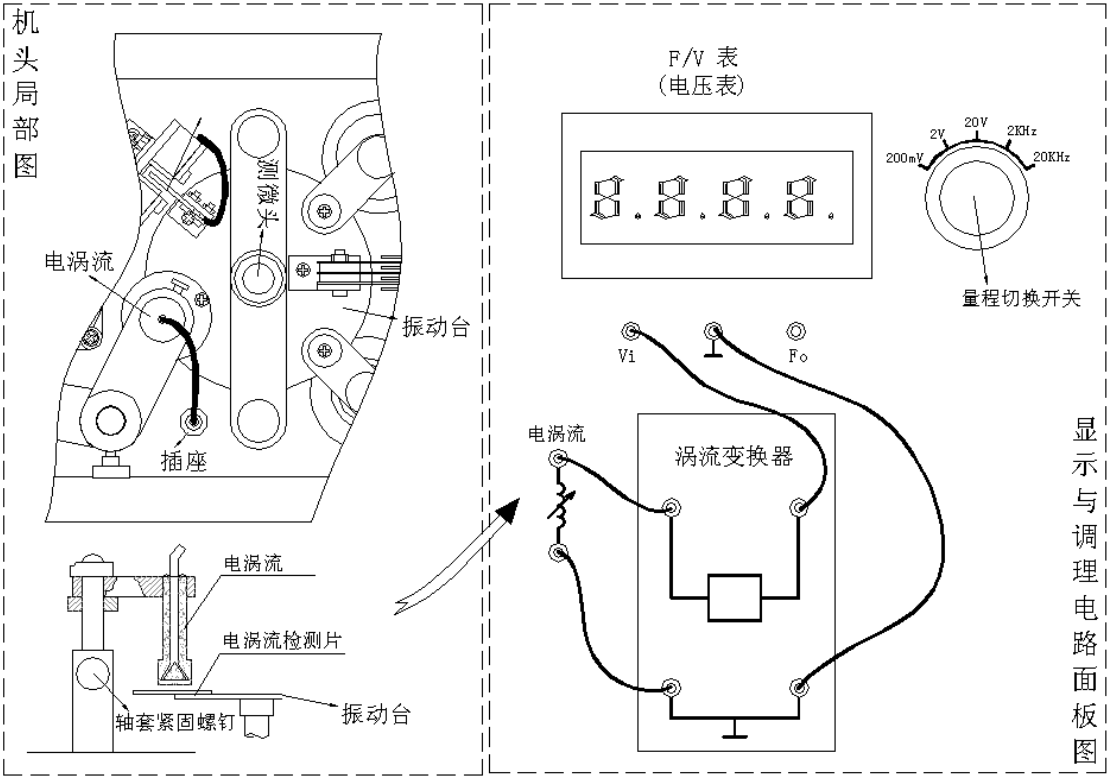


图 3.5 电涡流传感器位移特性实验接线示意图

2、将电压表（F / V 表）量程切换开关切换到 20V 档，检查接线无误后合上主、副电源

开关（在涡流变换器输入端可接示波器观测振荡波形），记下电压表读数，然后逆时针调节测微头微分筒每隔 0.1mm 读一个数，直到输出 V_o 变化很小为止并将数据列入表 3.1。

表 3.1 电涡流传感器位移 X 与输出电压数据

X (mm)										
V_o (V)										

3、根据表 3.1 数据作出 $V-X$ 实验曲线。在实验曲线上截取线性较好的区域作为传感器的位移量程计算灵敏度和线性度（可用最小二乘法或其它拟合直线）。实验完毕，关闭所有电源。

实验 4 线性霍尔式传感器位移特性实验

一、实验目的

- 1、了解霍尔传感器结构及其特点。
- 2、掌握霍尔传感器测量电路。

二、实验仪器设备

- 1、CSY-9XX 型传感器实验仪
- 2、V9.0 数据采集卡及处理软件

三、实验要求

- 1、预习教材中的相关内容。
- 2、阅读并熟悉本次实验的内容。
- 3、理解霍尔传感器测量位移的工作原理和特性。
- 4、掌握霍尔传感器的测量电路。

四、基本原理

霍尔式传感器是一种磁敏传感器，基于霍尔效应原理工作。它将被测量的磁场变化（或以磁场为媒体）转换成电动势输出。霍尔效应是具有载流子的半导体同时处在电场和磁场中而产生电势的一种现象。如图 4.1（带正电的载流子）所示，把一块宽为 b ，厚为 d 的导电板放在磁感应强度为 B 的磁场中，并在导电板中通以纵向电流 I ，此时在板

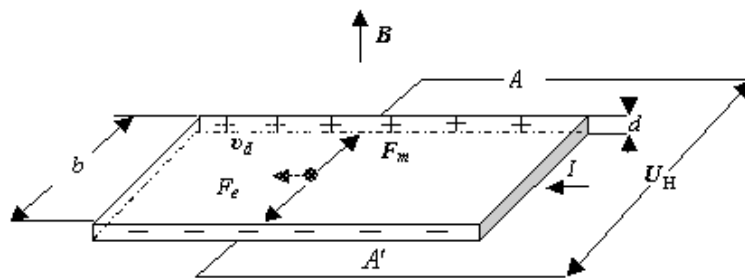


图 4.1 霍尔效应原理

的横向两侧面 A , A' 之间就呈现出一定的电势差，这一现象称为霍尔效应（霍尔效应可以用洛伦兹力来解释），所产生的电势差 U_H 称霍尔电压。霍尔效应的数学表达式为：

$$U_H = R_H \frac{IB}{d} = K_H IB$$

式中： $R_H = -1 / (ne)$ 是由半导体本身载流子迁移率决定的物理常数，称为霍尔系数；

$K_H = R_H / d$ 灵敏度系数，与材料的物理性质和几何尺寸有关。

具有上述霍尔效应的元件称为霍尔元件，霍尔元件大多采用 N 型半导体材料（金属材料中自由电子浓度 n 很高，因此 R_H 很小，使输出 U_H 极小，不宜作霍尔元件），厚度 d 只有 $1\mu m$ 左右。

霍尔传感器有霍尔元件和集成霍尔传感器两种类型。集成霍尔传感器是把霍尔元件、放大器等做在一个芯片上的集成电路型结构，与霍尔元件相比，它具有微型化、灵敏度高、可靠性高、寿命长、功耗低、负载能力强以及使用方便等等优点。

本实验采用的霍尔式位移（小位移 $1mm \sim 2mm$ ）传感器是由线性霍尔元件、两只半圆形永久磁钢组成，其它很多物理量如：力、压力、机械振动等本质上都可转变成位移的变化来测量。霍尔式位移传感器的工作原理和实验电路原理如图 4.2 (a)、(b) 所示。将磁场强度相同的两只永久磁钢极性相对放置着，线性霍尔元件置于两块磁钢间的上下中点，其磁感应强度为 0，设这个位置为位移的零点，即 $X=0$ ，因磁感应强度 $B=0$ ，故输出电压 $U_H=0$ 。当霍尔元件沿 X 轴有位移时，由于 $B \neq 0$ ，则有一电压 U_H 输出， U_H 经差动放大器放大输出为 V 。 V 与 B 、 B 与 X 有一一对应的线性关系。图 4.2(b) 中的 $W1$ 是调节霍尔片的不定位电势，所谓不定位电势： $B=0$ 时 $U_H \neq 0$ 。

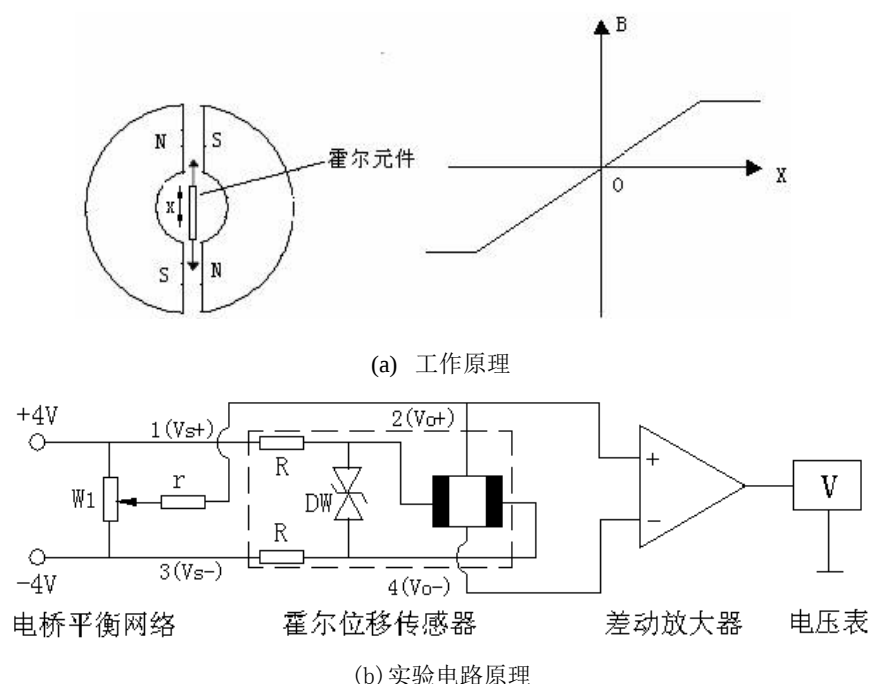


图 4.2 霍尔式位移传感器工作原理图

* 注意：线性霍尔元件有四个引线端。涂黑二端 $1(V_{S+})$ 、 $3(V_{S-})$ 是电源输入激励端，另外二端 $2(V_{O+})$ 、 $4(V_{O-})$ 是输出端。接线时，电源输入激励端与输出端千万不能颠倒，否则霍尔元件要损坏。

五、需用器件与单元

机头中的振动台、测微头、霍尔位移传感器；显示面板中的 F/V 表(或电压表)、 $\pm 2V \sim \pm 10V$ 步进可调直流稳压电源；调理电路面板传感器输出单元中的霍尔；调理电路单元中的电桥、差动放大器。

六、实验步骤

1、差动放大器调零：按图 4.3 示意接线，电压表（F/V 表）量程切换开关打到 2V 档，检查接线无误后合上主、副电源开关。将差动放大器的增益电位器顺时针方向缓慢转到底，

再逆时针回转一点点（防电位器的可调触点在极限端点位置接触不良）；调节差动放大器的调零电位器，使电压表显示为 0。关闭主电源。

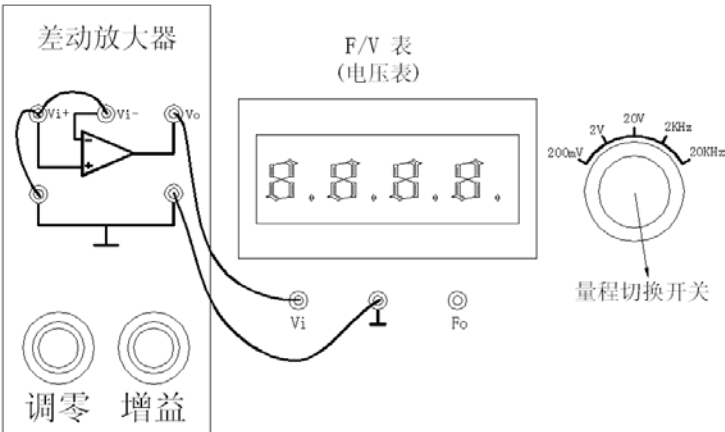


图 4.3 差动放大器调零接线图

2、在振动台与测微头吸合的情况下，调节测微头到 10mm 处使振动台上的霍尔片大约处在两块磁钢间的上、下中点位置（目测）。将 $\pm 2V \sim \pm 10V$ 步进可调直流稳压电源切换到 4V 档，再按 4.4 示意图接线，将差动放大器的增益电位器逆时针方向缓慢转到底（增益最小）。检查接线无误后合上主电源开关，仔细调节电桥单元中的 W1 电位器，使电压表显示 0V。

* 注意：线性霍尔元件有四个引线端。涂黑二端 1 (V_{s+})、3 (V_{s-}) 是电源输入激励端，另外二个 2 (V_{o+})、4 (V_{o-}) 是输出端。接线时，电源输入激励端与输出端千万不能颠倒，否则霍尔元件要损坏。

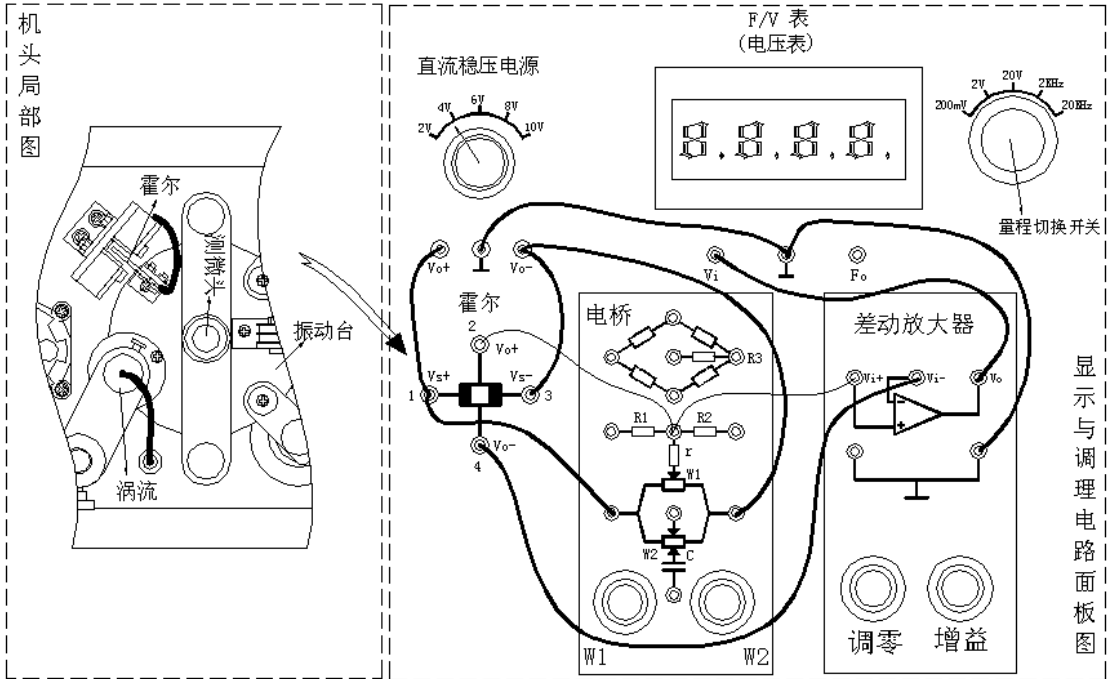


图 4.4 线性霍尔传感器(直流激励)位移特性实验接线示意图

3、将测微头从 10mm 处调到 15mm 处作为位移起点并记录电压表读数。以后，反方向（顺时针方向）仔细调节测微头的微分筒 (0.01mm/每小格) $\Delta X=0.1mm$ (实验总位移从 15

mm~5mm)从电压表上读出相应的电压 V_o 值，填入下表 4.1。

表 4.1 霍尔传感器位移实验数据

X (mm)										
V_o (V)										

4、根据表 4.1 实验数据作出 $V-X$ 特性实验曲线，在实验曲线上截取线性较好的区域作为传感器的位移量程。

5、分析曲线，计算不同测量范围 ($\pm 0.5\text{mm}$ 、 $\pm 1\text{mm}$ 、 $\pm 2\text{mm}$)时的灵敏度和非线性误差。实验完毕，关闭电源。

实验 5 光电传感器测转速实验

一、实验目的

- 1、了解光电传感器结构及其特点。
- 2、掌握光电传感器测量电路。

二、实验仪器设备

- 1、CSY-9XX 型传感器实验仪
- 2、V9.0 数据采集卡及处理软件

三、实验要求

- 1、预习教材中的相关内容。
- 2、阅读并熟悉本次实验的内容。
- 3、理解并掌握光电传感器测量转速的工作原理和特性。

四、基本原理

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(光电断续器也称光耦)，传感器端部二内侧分别装有发光管和光电管，发光管发出的光源透过转盘上通孔后由光电管接收转换成电信号，由于转盘上有均匀间隔的 6 个孔，转动时将获得与转速有关的脉冲数，脉冲经处理由频率表显示 f ，即可得到转速 $n=10f$ 。实验原理框图如图 5.1 所示。

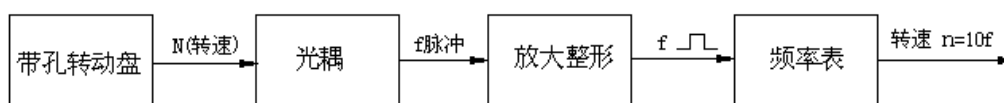


图 5.1 光耦测转速实验原理框图

三、需用器件与单元：机头中的小电机、光电传感器(已装在转速盘上)；显示面板中的 F/V 表、电机控制、 $\pm 2\text{V} \sim \pm 10\text{V}$ 步进可调直流稳压电源；调理电路面板传感器输出单元中的光电。

四、实验步骤：

- 1、按图 5.2 所示接线，将 F / V 表切换到频率 2KHz 档。直流稳压电源调到 10V 档。

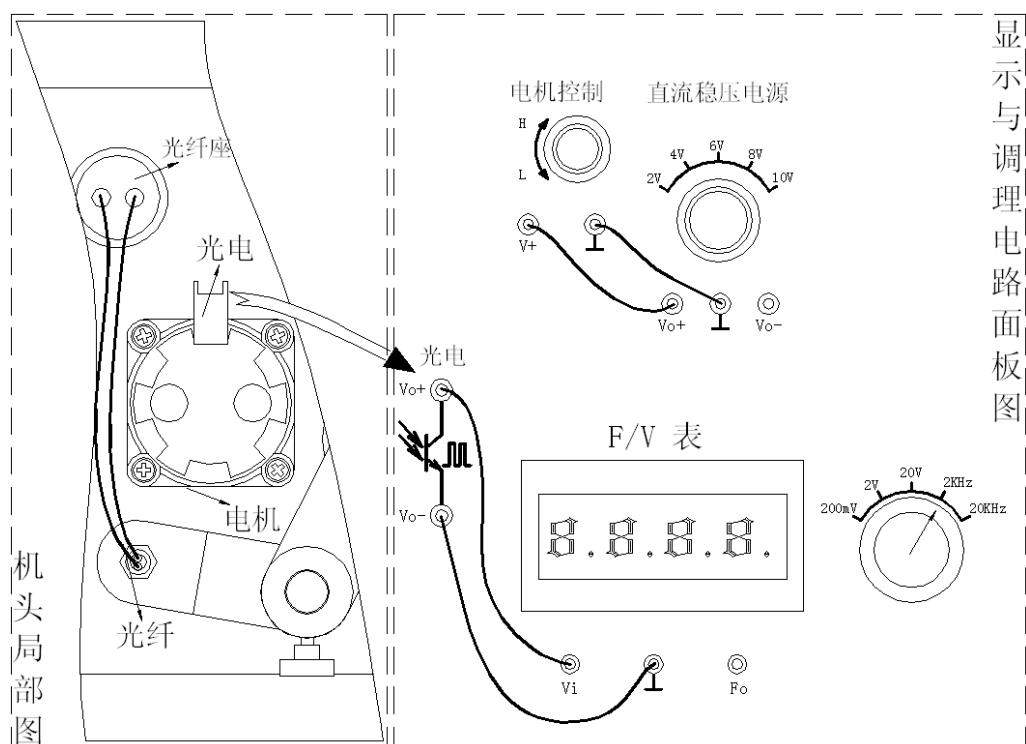


图 5.2 光电传感器测转速实验接线示意图

- 3、检查接线无误后，合上主、副电源开关，调节电机控制旋钮，F / V 表就显示相应的频率 f ，计算转速为 $n=10f$ 。实验完毕，关闭主、副电源。

实验 6 光纤位移传感器测位移特性实验

一、实验目的

- 1、了解光纤传感器结构及其特点。
- 2、掌握光纤传感器测量电路。

二、实验仪器设备

- 1、CSY-9XX 型传感器实验仪
- 2、V9.0 数据采集卡及处理软件

三、实验要求

- 1、预习教材中的相关内容。
- 2、阅读并熟悉本次实验的内容。
- 3、理解并掌握光纤传感器测量位移的工作原理和特性。

四、基本原理

光纤传感器是利用光纤的特性研制而成的传感器。光纤具有很多优异的性能，例如：抗电磁干扰和原子辐射的性能，径细、质软、重量轻的机械性能，绝缘、无感应的电气性能，耐水、耐高温、耐腐蚀的化学性能等，它能够在人达不到的地方(如高温区)，或者对人有害的地区(如核辐射区)，起到人的耳目的作用，而且还能超越人的生理界限，接收人的感官所感受不到的外界信息。

光纤传感器主要分为两类：功能型光纤传感器及非功能型光纤传感器(也称为物性型和结构型)。功能型光纤传感器利用对外界信息具有敏感能力和检测功能的光纤，构成“传”

和“感”合为一体的传感器。这里光纤不仅起传光的作用，而且还起敏感作用。工作时利用检测量去改变描述光束的一些基本参数，如光的强度、相位、偏振、频率等，它们的改变反映了被测量的变化。由于对光信号的检测通常使用光电二极管等光电元件，所以光的那些参数的变化，最终都要被光接收器接收并被转换成光强度及相位的变化。这些变化经信号处理后，就可得到被测的物理量。应用光纤传感器的这种特性可以实现力、压力、温度等物理参数的测量。非功能型光纤传感器主要是利用光纤对光的传输作用，由其他敏感元件与光纤信息传输回路组成测试系统，光纤在此仅起传输作用。

本实验采用的是传光型光纤位移传感器，它由两束光纤混合后，组成 Y 形光纤，半圆分布即双 D 分布，一束光纤端部与光源相接发射光束，另一束端部与光电转换器相接接收光束。两光束混合后的端部是工作端亦称探头，它与被测体相距 d ，由光源发出的光纤传到端部射出后再经被测体反射回来，另一束光纤接收光信号由光电转换器转换成电量，如图 6.1 所示。

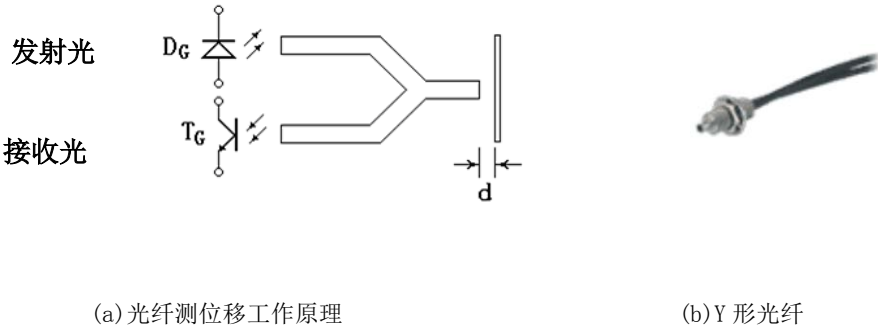


图 6.1 Y 形光纤测位移工作原理图

传光型光纤传感器位移量测是根据传送光纤之光场与受信光纤交叉地方视景做决定。当光纤探头与被测物接触或零间隙时($d=0$)，则全部传输光量直接被反射至传输光纤。没有提供光给接收端之光纤，输出讯号便为“零”。当探头与被测物之距离增加时，接收端之光纤接收之光量也越多，输出讯号便增大，当探头与被测物之距离增加到一定值时，接收端光纤全部被照明为止，此时也被称之为“光峰值”。达到光峰值之后，探针与被测物之距离继续增加时，将造成反射光扩散或超过接收端接收视野。使得输出之讯号与量测距离成反比例关系。如图 6.2 曲线所示，一般都选用线性范围较好的前坡为测试区域。

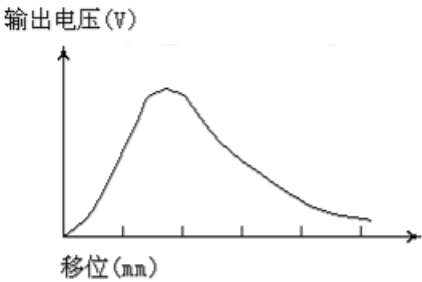


图 6.2 光纤位移特性曲线

五、器件与单元

机头中的振动台、被测体(铁圆片抛光反射面)、Y 形光纤探头、光纤座(光电变换)、测微头；显示面板中的 F/V 表；调理电路面板传感器输出单元中的光纤；调理电路单元中的差动放大器。

六、实验步骤

1、拧松光纤探头支架安装轴套上的螺钉，小心缓慢地拔出支架安装轴。观察二根多模

光纤组成的 Y 形位移传感器：将二根光纤尾部端面(包铁端部)对住自然光照射，观察探头端面现象，当其中一根光纤的尾部端面用不透光纸挡住时，探头端面为半圆双 D 形结构。

2、按图 6.3 示意安装、接线：(1)在振动台上安装被测体(铁圆片抛光反射面)，在振台与测头吸合的情况下调节测微头到 10mm 处。(2)安装光纤：安装光纤时，要用手抓捏两根光纤尾部的包铁部分轻轻插入光纤座中,绝对不能用手抓捏光纤的黑色包皮部分进行插拔，插入时不要过分用力,以免损坏光纤座组件中光电管。将光纤探头支架安装轴插入轴套中,调节光纤探头支架,当光纤探头自由贴住振动台的被测体反射面时拧紧轴套的紧固螺钉。(3)再按图 6.3 示意接线。

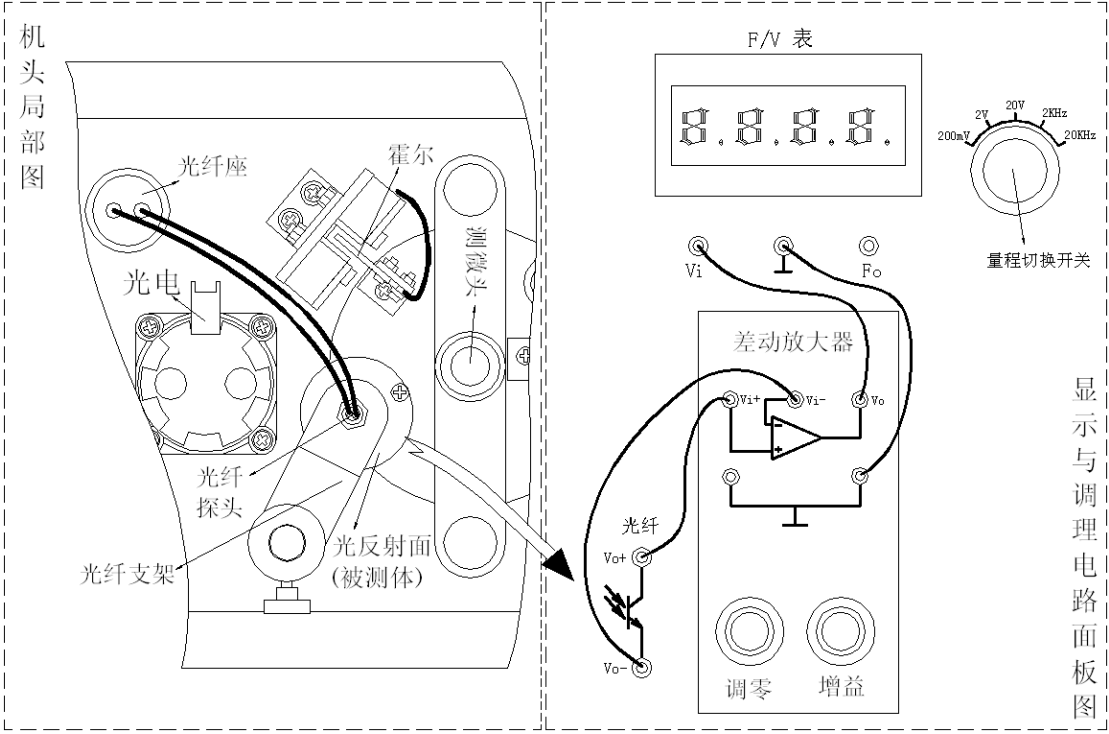


图 6.3 光纤传感器位移实验安装、接线示意图

3、检查接线无误后合上主、副电源开关，将 F / V 表的量程切换开关切换到 2V 档。将差动放大器的增益电位器顺时针方向缓慢转到底后再逆向回转一点点，调节差动放大器的调零电位器使 F / V 表显示为 0。

4、顺时针调节测微头，每隔 $\Delta X=0.1\text{mm}$ 读取电压表显示值（取 $X>8\text{mm}$ 行程的数据），将数据填入表 6.1。

表 6.1 光纤位移传感器输出电压与位移数据

X (mm)										
V (v)										

5、根据表 6.1 中的数据作出实验曲线并找出线性区域较好的范围（前坡）作为光纤位移传感器的量程计算灵敏度和非线性误差。实验完毕，关闭主、副电源。

