

压电晶体传感器基本特性静态标定实验

一、实验目的与要求

- 1.1 观察压电晶体传感器的结构，获得有关的感性认识；
- 1.2 掌握活塞式压力计的工作原理及使用方法；
- 1.3 学会压力计(压电晶体传感器)的校验标定方法；
- 1.4 了解本实验中测量误差的主要来源。

二、实验系统原理图

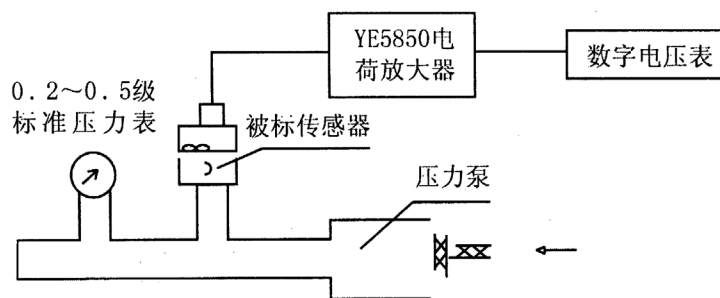


图 1

三、实验主要设备及仪器仪表

本实验所用实验装置为：CY-YD 203压电式传感器一只；YJY-600A压力表校验器一台；YE5850电荷放大器一台；GDM-8341万用表一台。

3.1 CY-YD 203压电式传感器

该传感器为压电晶体传感器，结构示意图如下。其作用力方向垂直于受压面，因此受压面本身(传感器的外壳)便是一个电极，位于传感器内部的另一个电极与传感器尾部的内孔相连。将专用接头旋于传感器尾部，便可输出压电晶体两电极间的电位差。

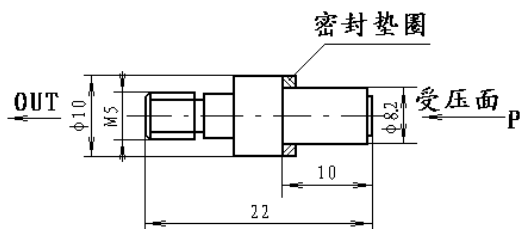


图 2

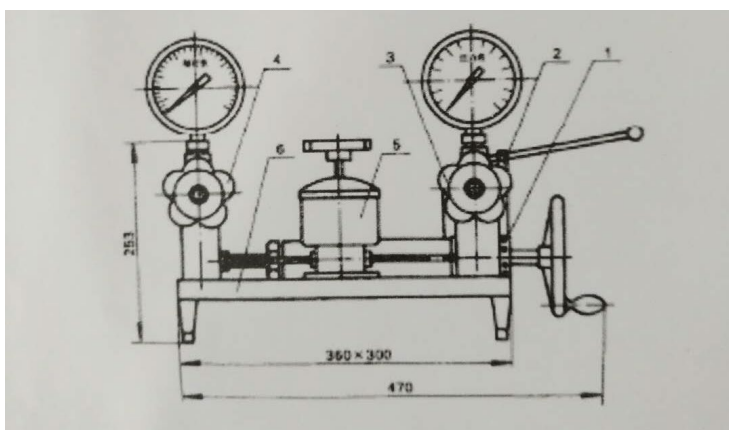
CY-YD 203压电式传感器主要技术指标

灵敏度 (pC/bar)	压力范围 (bar)	线性度	绝缘电阻 (Ω)	自振频率 (kHz)	工作温度 ($^{\circ}\text{C}$)	过载能力
~10	0-300	<1%FS	> 10^{13}	>100	~40-150	120%

3.2 压力表校验器

压力表校验器是利用连通器原理工作的，结构如图3所示，主要用于检验一般压力表及其他测压仪表设备。而本次实验则是利用0.2级的标准压力表对压电传感器进行静态标定。

该压力计的基本参数为： 型号：YJY-600A， 测量范围：1~60 MPa， 传压介质：20#机油， 联接螺帽的螺纹：M20×1.5。



1. 手摇泵 2.手掀泵 3.针形泵 4.针形泵 5.油杯阀门 6.底座

图 3

3.3 YE5850电荷放大器

YE5850电荷放大器是一种输出电压与输入电荷量成正比的宽带电荷放大器，可配接压电式传感器测量振动、冲击、压力等机械量，广泛用于水利、动力、采矿、交通、建筑、地震、航空、航天、兵器、化爆等部门。由于下限频率极低，因而特别适合对压电式压力传感器进行准静态标定。

3.3.1 前面板说明(如图4)



图 4

3.3.1.1 传感器灵敏度调节“pC/Unit”

将放大器灵敏度档置于10.00pC/Unit（即将灵敏度左边档置于10，中间及右边档置于0）

3.3.1.2 输出mV/Unit切换开关

本实验将mV/Unit切换开关置于1(×1)档。

3.3.1.3 工作/复位开关

仪器在预热、非测量及调零时，应置工作/复位开关于复位档；在测量时将其置于工作档。测试结束后，仍应置于复位档，以确保MOSFET管的安全。

3.3.1.4 上/下限频率开关

上/下限频率开关用于选定被测量的频率变化范围。通常，下限频率应置于被测信号中最低频率的0.1倍以下。对于本次的静态标定实验，下限开关可置于“L”档，上限开关置于0.3kHz档。

3.3.1.5 输入信号接口

电荷输入接“Q”位(本次实验选用此位置)；电压输入接“V”位(YE5850检修标定时，可将信号发生器输出电压由此接入)。电压输入灵敏度为 $1 \pm 0.5\%$ pC/mV。

3.3.1.6 调零旋钮

调节电位器旋钮使输出为零。顺时针调节为正，反之为负。

3.3.1.7 过载指示灯

过载指示灯指示仪器工作状态

3.3.2 使用注意事项

3.3.2.1 YE5850电荷放大器使用时必须良好接地；

3.3.2.2 使用前应打开电源开关预热30分钟，电源开关位于后面板上。

3.4 GDM-8341数字万用表

GDM-8341是一款高精度双显示数字万用表，50,000位数，VFD显示屏，双量测/双显示功能，量测速度可选择，最高可达40读值/秒，其直流电压（DCV）基本精度为0.02%，可选择手动/自动换挡，具有11种基本测量和多种高级测量功能。



图 5

四、实验前的准备工作

- 4.1 按照实验系统及各仪器的要求连接系统；
- 4.2 对直流数字电压表进行1h预热；
- 4.3 将YE5850电荷放大器的工作/复位开关置复位，打开电源开关预热30分钟；
- 4.4 用干燥箱干燥CY-YD203压电式传感器，然后用ZC36型高阻仪测得其绝缘阻抗值。

五、实验步骤与记录

5.1 检查活塞式压力计的油路是否通畅并排尽内部空气。其操作步骤为：

- (1) 关闭针形阀3、4，打开油杯上的进油阀5，逆时针旋转压力泵手轮1，使管路内部充满油液；
- (2) 来回缓慢摇动压力泵手轮1，赶出油杯附近管道内的空气；
- (3) 关闭进油阀5，打开针形阀3，来回缓慢摇动压力泵手轮1，赶出该段管道内的空气。排尽空气后，应使节流孔上方有少量集油。

5.2 安装压电晶体传感器，应注意不要漏装密封铜垫。

5.3 旋接压电晶体传感器输出接头。

5.4 检查确认电荷放大器及直流数字电压表的各旋钮开关在正确位置：

“ $\times 10$ ”开关置于下方；mV/Unit切换开关置于1($\times 1$)档；下限开关可置于“L”档，上限开关置于0.3kHz档；工作/复位开关置于复位档（Reset档）；直流数字电压表的面板量程选择500mV。

5.5 记录大气压力、环境温度及湿度。应在测量开始前及结束后各纪录一次，取其平均值作为实验环境参数。

5.6 打开压力表和传感器下方的针型阀。（**注意，针型阀逆时针时针旋转2-3圈即可，切忌选出太多，以免加压后弹出！！！！**）

5.7 对测试系统调零。

5.8 调零结束后，应**立即开始测试**及记录工作：摇动活塞式压力计的压力泵手轮1，记录不同压力所对应的电压值。实验中应注意：

(1) 对各选定压力点，必须分别测量上行(升压)及下行(降压)两个方向的输出电压值。在上行及下行中，当压力接近选定压力值时应平稳缓慢进行，不可使指针超过该点，万一超过，则应将压力泵手轮稍微退回一些，然后继续沿原方向进行；

(2) 实验至少进行三个循环。两个循环之间应将工作/复位开关置复位档对系统重新调零，以消除零漂；

(3) 为了减小各仪表因漂移所产生的误差，读取每个测量点电压表读数的加压时间应尽可能相同。

实验记录表

电压 读数(y) (mV)	压力p (MPa) (x _i)	3	5	10	15	20	25	均值
								\bar{x} 13
上行1								
下行1								
上行2								
下行2								
上行3								
下行3								
上行4								
下行4								
上行5								
下行5								
各压力点电压值平								$\bar{y} =$
理论值y=10* xi								
偏差Δy=yi-y								

六、实验数据处理

6.1 实验结束后，必须及时对实验数据进行分析，舍去那些显然由于不正确的测试而得到的结果，然后对记录中每一个压力的电压表读数取平均值。

6.2 用最小二乘法对实验结果进行线性回归分析，确定拟合直线 $y = a_0 + a_1x$ 的回归系数 a_1 和 a_0 。进而求出相关系数 ρ 以及线性度(非线性误差) L_n 。

$$\begin{cases} a_0 = \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i) \left[\sum_{i=1}^n (x_i y_i) \right]}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \\ a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \end{cases}$$

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}}$$

$$L_n = (\Delta y_{\max} / y_{f.s.}) \times 100\%$$

其中： Δy_{\max} —— 仪器输出的平均值与拟合直线之间的最大偏差；

$y_{f.s.}$ —— 仪器满量程时的理论输出值。

$$6.3 \text{ 灵敏度: } K_Q = \frac{a_1 (\text{mV/MPa}) \times 10 (\text{pC/Unit})}{10 (\text{bar/MPa}) \times 1 (\text{mV/Unit})} = a_1 (\text{pC/bar})$$

七、实验报告要求

7.1 实验目的及要求；

7.2 实验中所用仪器与装置的名称、型号、规格与编号等；

7.3 实验装置原理图；

7.4 实验方法与操作步骤的简要说明；

7.5 原始数据及环境条件记录；

7.6 整理数据，用方格纸绘出测点及拟合直线坐标图；

7.7 思考题

7.7.1 实验为什么要按上行及下行反复进行几次？

7.7.2 本实验中迟滞误差的主要来源有哪些？

7.7.3 本实验压力测点选取时为什么未选0MPa及满量程30MPa？

7.7.4 本实验的标定结果为什么与出厂标定值有差异？

附表：压电式压力传感器（型号CY-YD-203）出厂标定记录

项目 出厂	压力范围 (bar)	过载能力 (%)	灵敏度 (pC/bar)	线性度 (%FS)	绝缘阻抗 (MΩ)	固有电容 (pf)	输出极性
39562	0~300	120	11.75	<1	>1.0E7	5.0	+
39564	0~300	120	12.68	<1	>1.0E7	5.1	+
39573	0~300	120	12.40	<1	>1.0E7	4.9	+
39580	0~300	120	12.32	<1	>1.0E7	5.1	+
39558	0~300	120	12.41	<1	>1.0E7	5.0	+
39566	0~300	120	12.26	<1	>1.0E7	5.0	+
39600	0~300	120	13.22	<1	>1.0E7	5.1	+
39569	0~300	120	11.85	<1	>1.0E7	5.0	+
39597	0~300	120	12.16	<1	>1.0E7	5.0	+
39579	0~300	120	11.96	<1	>1.0E7	5.0	+
39603	0~300	120	12.29	<1	>1.0E7	5.0	+
39596	0~300	120	12.67	<1	>1.0E7	5.1	+