

压力表校验及压力变送器标定实验

能动A71 宋德培 2174110112

2020 年 6 月 15 日

I 实验用仪器

1. 活塞式压力计：用于压力表校验和压力变送器标定的专用设备。型号为YS-250，精度等级为0.05。
2. 标准砝码：YS-60型：0.1 MPa(4块)，0.5 MPa(7块)；YS-250型：2.5MPa(4块)；0.5 MPa(3块)。
3. 被校压力表：型号YB-150；规格 0-16MPa；精度等级1.5级。
4. 电容式压力变送器：压力范围 0~6 MPa，精度0.5 %FS；压阻式压力变送器：压力范围 0~15 MPa，精度0.5%FS，为4~20 mA电流输出型。
5. Fluke 8808A数字多用表，直流电源。

II 实验原理

2.1 压力表的校验

压力表在使用过程中需要定期校验，以判断其准确度是否合格，本实验所用压力表精度等级1.5，量程15 Mpa，因此测量压力时准确度为 ± 0.225 Mpa。

在校验时，将压力表安装在活塞式压力计上，由活塞式压力计提供在其量程内的不同的标准压力值，若在每个标准压力值下，压力表的测量误差均不超过其精度等级所允许的偏差，则该压力表合格，可以继续使用；若在任一标准压力值下，压力表的测量误差超过了其精度等级所允许的偏差，则该压力表不合格，此时需要更换压力表。

2.2 变送器的标定

本实验使用电流型变送器，其电流输出值与压力值成线性关系，压力变送器在使用一段时间后，其输出电信号可能会发生漂移，因此，压力变送器也需要定期进行标定，以得到新的准确的压力-电信号的线性关系，或改变压力变送器变送电路的参数，将变送器的输出值重新调整为标准输出值。

压力变送器标定时，将压力变送器安装在活塞式压力计上。以电流型变送器为例，由活塞式压力计提供在其量程内的不同的标准压力值，从而得到一系列电流与压力的对应关系值，根据最小二乘拟合得到电流与压力的线性关系式：

$$p = a + bI$$

由于本实验使用绝压型压力变送器，式中的 p 为绝对压力。

III 实验操作要点

- 在实验前打开阀门 V_1 ，逆时针转动手轮使泵的气缸内充满液压油
- 顺时针旋转手轮时一定要缓慢，否则由于压力迅速上升会将砝码座弹出
- 加载砝码或卸载后，转动手轮使砝码座底盘底面升起至略超过指示板上缘2~3毫米处。双手顺时针转动砝码，使底盘及砝码以不小于30转/分的初角速度旋转，以克服摩擦力的影响
- 首先测量上行程，然后依次卸载砝码测量下行程
- 一定要先降低压力计内的压力，再卸载砝码

IV 实验数据记录与处理

4.1 原始数据记录

实验数据记录表

压力表精度等级：1.5

压力变送器：量程：0-15 MPa；精度：0.5%；电流型；绝压型

砝码 / MPa		压力 / MPa	压力表读数 / MPa		数字多用表读数 / mA	
YS-60	YS-250		第一组	第二组	第一组	第二组
0	0	0.096	0.0	0.0	4.1075	4.1077
1	3	3.096	3.2	3.2	7.2922	7.2932
2	6	6.096	6.2	6.2	10.4781	10.4785
3	9	9.096	9.2	9.2	13.6651	13.6655
4	12	12.096	12.2	12.2	16.8544	16.8544
3	9	9.096	9.2	9.2	13.6660	13.6657
2	6	6.096	6.2	6.2	10.4790	10.4788
1	3	3.096	3.2	3.2	7.2935	7.2932
0	0	0.096	0.0	0.0	4.1077	4.1076

V 作业及思考题

5.1 压力表

5.1.1 上下行程曲线

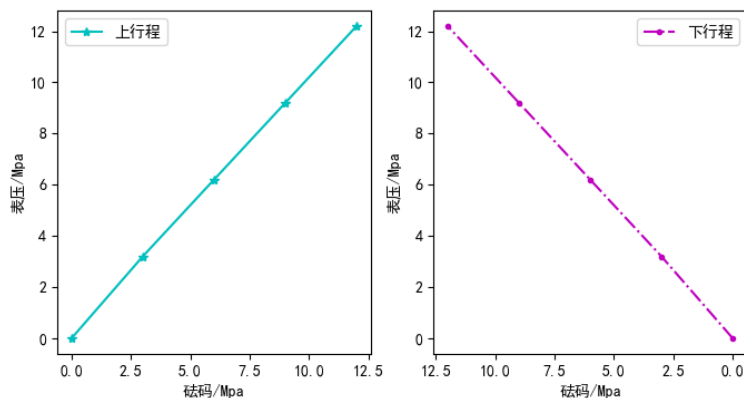


图 1: 压力表上下行程曲线

5.1.2 校验精度

本实验所用压力表精度等级1.5，量程16 Mpa，因此测量压力时准确度为 ± 0.24 Mpa。而校验中最大误差为0.2Mpa，因此校验合格。

5.2 压力变送器

5.2.1 最小二乘拟合

对于更为一般的最小二乘拟合（多变量），可以将问题转换为求使得下式取得最小值的矩阵 w

$$\min \|B - Aw\|^2 = \min \{(B - Aw)^T (B - Aw)\}$$

对上式求导并令导数为零，略去其中的数学推导，可得

$$w = (A^T A)^{-1} A^T B$$

在本问题中， B 为绝对压力值组成的一维列向量， A 为输出电流及1构成的 5×2 的矩阵，通过编程求解，

```
1 avg = (a1+a2+b1[:, -1]+b2[:, -1])/4 #average Amplitude
2 x = np.arange(0.096, 12.097, 3)
3 B = avg.T
4 A = np.array([[0.096, 3.096, 6.096, 9.096, 12.096], [1, 1, 1, 1, 1]]).T
5 c = A.T.dot(A)
6 cc = np.linalg.inv(c)
7 print(cc.dot(A.T.dot(B)))
```

得到如下的拟合直线方程

$$p = 0.9414I - 3.7701$$

标准关系曲线（4 ~ 20mA）方程为

$$p = 0.9375I - 3.75$$

画出压力特性曲线

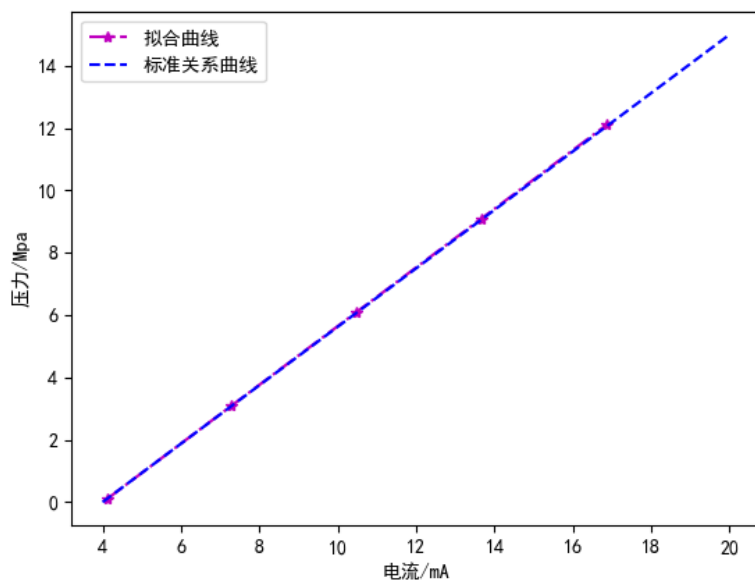
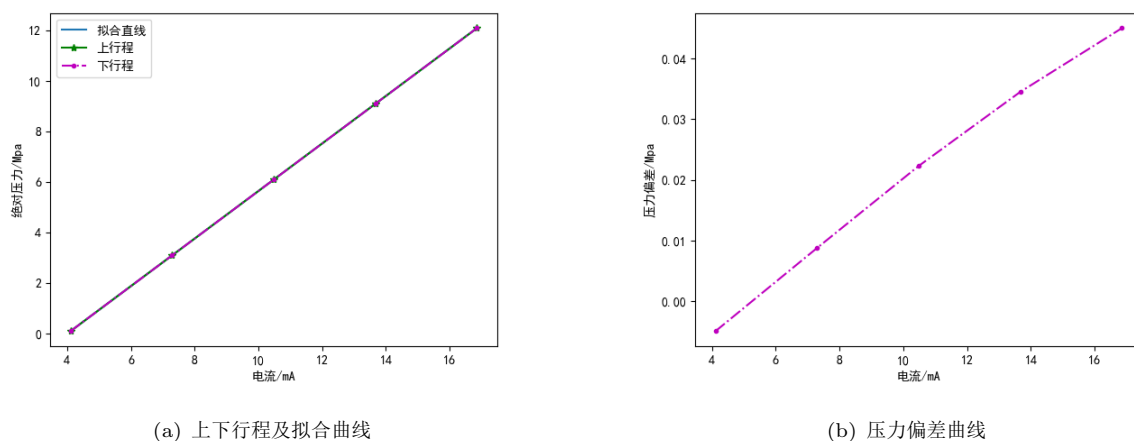


图 2: 压力变送器电流-压力标准线性关系偏离图

5.2.2 实验作图



(a) 上下行程及拟合曲线

(b) 压力偏差曲线

图 3: 压力变送器特性曲线

偏差分析：从图中可以看出，压力变送器的实际特性曲线与其设计曲线并不重合，并且偏离程度随着压力的增大而增大，因此需要进行校准，重新拟合出压力-电流特性曲线，以便以后的使用。

5.2.3 技术指标计算

以压力为自变量，变送器输出电流为因变量，计算其技术指标。

非线性度误差

$$\begin{aligned}\delta_L &= \frac{|\Delta_{max}|}{Y_{max}} \times 100\% \\ &= 0.02045\%\end{aligned}\tag{1}$$

迟滞误差

$$\begin{aligned}\delta_H &= \frac{|\Delta H_m|}{Y_{F.S}} \\ &= 0.003857\%\end{aligned}\tag{2}$$

重复性误差

$$\begin{aligned}\delta_R &= \frac{\Delta R}{Y_{F.S}} \\ &= 0.005933\%\end{aligned}\tag{3}$$