

用传感器测空气相对压力系数¹（简要报告）

刘泓尊 2018011446 计 84

1. 实验目的

1. 加深对理想气体状态方程和查理定律的理解。
2. 初步了解铜电阻温度传感器和硅压阻式差压传感器的工作原理并掌握其使用方法。
3. 学习用作图法和计算机作直线拟合处理实验数据。

2. 数据处理

1. 加热前相关数据的测量和计算

大气压记录表：

	大气压 p/kPa	$t/^\circ\text{C}$
实验前	102.66	22.8
实验后	102.62	23.8

若除室温外再测量 10 组数据, 则测量温度间隔为

$$\Delta t = \frac{80^\circ\text{C} - 22.8^\circ\text{C}}{10} = 5.72^\circ\text{C}$$

测得 $U_b = 104.47\text{mV}$, 书中给出 $\alpha_R = 4.26 \times 10^{-3}^\circ\text{C}^{-1}$, 由 $U_t = U_{R0}(1 + \alpha_R t)$ 得,

$$U_{R0} = \frac{U_t}{1 + \alpha_R t} = \frac{104.47}{1 + 4.26 \times 10^{-3} \times 22.8} = 95.22\text{mV}$$

$$U_{t80} = 127.67\text{mV}$$

测量电压间隔:

$$\Delta U_t = \frac{U_{t80} - U_t}{10} = 2.32\text{mV}$$

热平衡时温度波动范围为 0.05°C , 故 ΔU_t 波动范围为,

$$\delta \Delta U_t = 95.22\text{mV} \times 4.26 \times 10^{-3} \times 0.05 = 0.02\text{mV}$$

测得 $p_c = 102.66\text{kPa}$, $U_m = 41.06\text{mV}$, $U_0 = 0.00\text{mV}$, 故

$$k_p = \frac{U_m - U_0}{p_c} = 0.40\text{mV/kPa}$$

上述计算数据总结如下:

U_m/mV	U_0/mV	$k_p = (U_m - U_0)/p_c$	U_{R0}/mV	$\Delta U_t/\text{mV}$
41.06	0.00	0.40	95.22	2.32

2. (U_t , U_p)数据记录表

$t_b = \underline{100.37^\circ\text{C}}$; 仪器常数 $v/V = \underline{0.02}$;

¹ 原始数据与预习报告附后

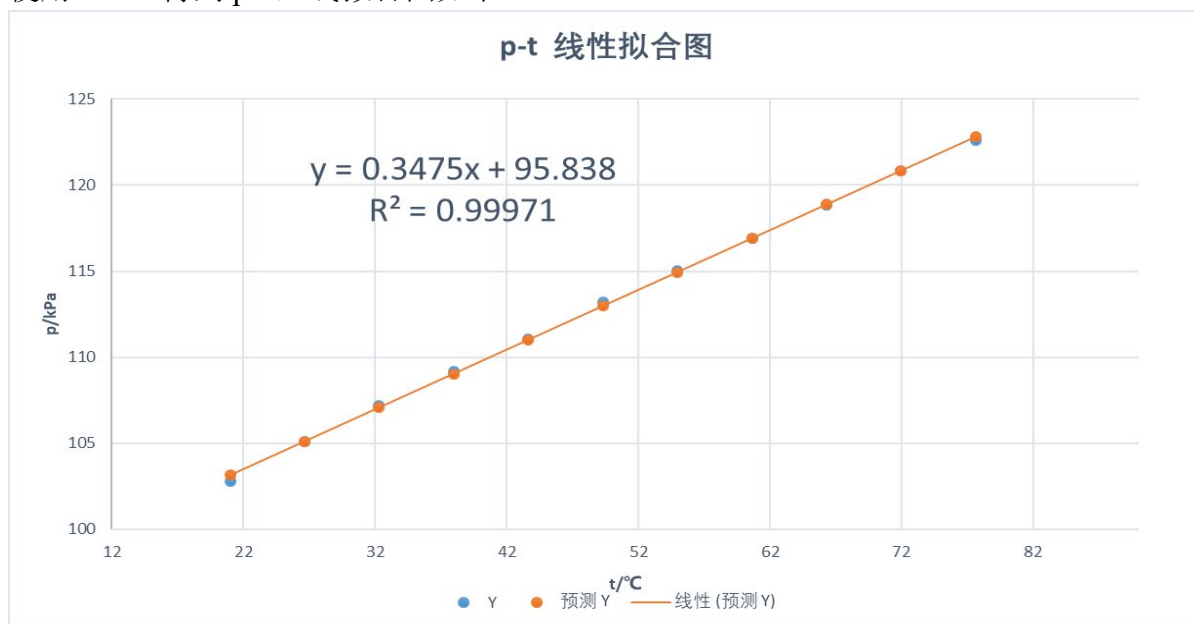
$$U_b = \underline{104.47 \text{ mV}}; \quad k_p = \underline{0.40 \text{ mV/kPa}};$$

每隔 2.32mV 进行一次电压测量，得到数据表格如下

编号	U_t/mV	$t=U_t(1/\alpha_R+t_b)/U_b - 1/\alpha_R \text{ } ^\circ\text{C}$	U_p/mV	$p=p_c+(U_p-U_0)/k_p \text{ /kPa}$
U_{t1}	104.76	20.98	0.05	102.78
U_{t2}	107.08	26.65	0.97	105.09
U_{t3}	109.40	32.31	1.82	107.21
U_{t4}	111.72	37.98	2.60	109.16
U_{t5}	114.04	43.64	3.35	111.04
U_{t6}	116.36	49.30	4.21	113.19
U_{t7}	118.68	54.97	4.94	115.01
U_{t8}	121.00	60.63	5.70	116.91
U_{t9}	123.32	66.29	6.47	118.84
U_{t10}	125.64	71.96	7.26	120.81
U_{t11}	127.96	77.62	7.99	122.63
U_{tb}	137.28	100.37	10.80	129.66

(沸腾时的数据不用于直线拟合)

使用 Excel 得到 p-t 直线拟合图如下:



直线拟合得到 $p = a + bt = 0.3475t + 95.838 (p/\text{kPa}, t/^\circ\text{C})$

相关系数 $r = \sqrt{0.9997} = 0.9998 > 0.999$

$$\alpha_p = \frac{b}{a} = 3.63 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

由于 $\frac{v}{V} = 0.02$, 故:

$$\delta\alpha_p = \left(0.018 + \frac{5v}{V}\right) \times 10^{-3} = 1.18 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

则修正后,

$$\alpha_p = 3.75 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

3. 思考题

1.差压传感器定标时,若先测 U_0 然后测 k_p , 应如何操作? 若传感器的 D 口有漏气, 对定标结果有何影响?

a. 应先转动三通活塞, 使传感器 C 口与 B 管连通而与 A 断开, 此时 C 通大气。然后用机械泵从 D 口抽气, 电压表读数达最大并稳定之后, 记录数值, 即为 U_m ; 之后停泵, 将塑料管从接头上取下, 并使 D 口也通大气, 此时电压表读数即为 U_0 , 由 $K_p = (U_m - U_0)/p_c$ 得到 K_p 。

b. 若 D 口漏气, 则用机械泵抽气时不能达到真空, $\Delta p < p_c$, U_m 减小, 由上述公式, 得 K_p 减小。

2.对水加热时, 为什么要控制好热平衡? 升温过快有什么问题?

a. 热平衡时, 电压表示数稳定, 读数准确。如果不控制热平衡, 装置内存在温差或局部温度不均衡, 导致读数存在误差。

b.

①如果升温过快, 则热量来不及扩散, 导致局部温度较高, 读出的 U_t 和 U_p 不准确。

② U_t 和 U_p 会随着热量的散失而变化、气体压强变化过快, 不稳定, 不便于读数。

3.转动三通活塞时应注意什么? 若需要换水时应如何操作?

a. 缓慢转动, 因为三通活塞为玻璃制品, 易损坏, 同时使用另一只手扶住活塞外壳。

b. 换水前, 要先将加热器电源断开, 再将玻璃系统拿下放在备用烧杯上, 再将水浴杯内的水直接导入实验室门口处的热水回收桶, 注意不要倒掉转子。

4.实验时保持水沸腾时, 若数字表 U_p 的读数单调下降, 则可能是什么问题?

可能是因为仪器密闭性不好, 存在漏气。由于沸腾时, A 泡内气压与大气压差别较大, 三通活塞处可能漏气, 使得 A 泡内气体减少, 气压下降, 导致 U_p 单调下降。

4. 实验小结

本次实验我对理想气体状态方程有了实践性的理解, 了解了铜电阻温度传感器和硅压阻式差压传感器的工作原理并掌握其使用方法, 并练习使用计算机进行直线拟合。

本次实验过程较为顺利, 按部就班测量后最终结果的相关系数是十分符合要求的, 这进一步提醒我在接下来的实验中要严格遵守实验步骤和规则, 这样能为实验过程减少很多麻烦。

本次实验的系统误差分析也让我收获很大, 我脱离了课本, 了解了实际气体与理想气体之间的差异、A 泡容积受温度而热胀冷缩的影响等均对实验结果有不可忽视的影响, 进行数学的理论推导之后, 对 α_p 的测量值进行了有效的修正。这提醒我有时实验中的系统误差是可以也应该通过精密计算消除的, 这对我启发很大。

再次感谢老师的悉心指导!

用传感器测空气相对压力系数（预习报告）

刘泓尊 2018011446 计 84

1. 实验目的

1. 加深对理想气体状态方程和查理定律的理解。
2. 初步了解铜电阻温度传感器和硅压阻式差压传感器的工作原理并掌握其使用方法。
3. 学习用作图法和计算机作直线拟合处理实验数据。

2. 实验原理

1. 理想气体的查理定律

$$p = \frac{p_0 T}{T_0} = p_0 \frac{T_0 + t}{T_0} = p_0 (1 + \alpha_p t)$$

其中 t 为气体的摄氏温度, $T_0 = 273.15\text{K}$, p_0 和 p 分别为气体在温度为 0°C 和 t 时的气体压强, α_p 为相对压力系数。

对于理想气体, $\alpha_p = 3.66 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

2. 铜电阻温度传感器

在 $-50\text{--}100^\circ\text{C}$ 范围内, 铜丝电阻阻值 R 与温度 t 有良好的线性关系:

$$R = R_0 (1 + \alpha_R t)$$

其中 R_0 为 0°C 时的电阻值, α_R 为电阻温度系数, 本实验中铜丝电阻 $\alpha_R = 4.26 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

若测出纯水在沸点时的铜丝电阻的电压 U_{tb} 并根据大气压强查出沸点温度 t_b , 可求得

$$t = \frac{U_t}{U_{tb}} \left(\frac{1}{\alpha_R} + t_b \right) - \frac{1}{\alpha_R}$$

3. 扩散硅压阻式差压传感器

如果将恒定电压加至其上, 在剪切应力的作用下, 从 A 和 B 端会输出与电压差成线性关系的电压。

$$U_p = U_0 + k_p \Delta p$$

若传感器的接口 D 通大气, 接口 C 通被测介质, 则有

$$p = p_c + \frac{U_p - U_0}{k_p}$$

其中 p_c 为大气压强。

3. 实验仪器及装置

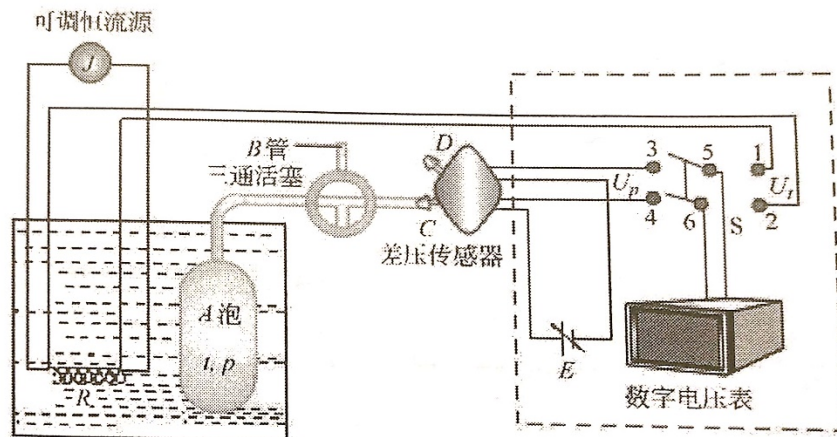


图 1 实验装置示意图

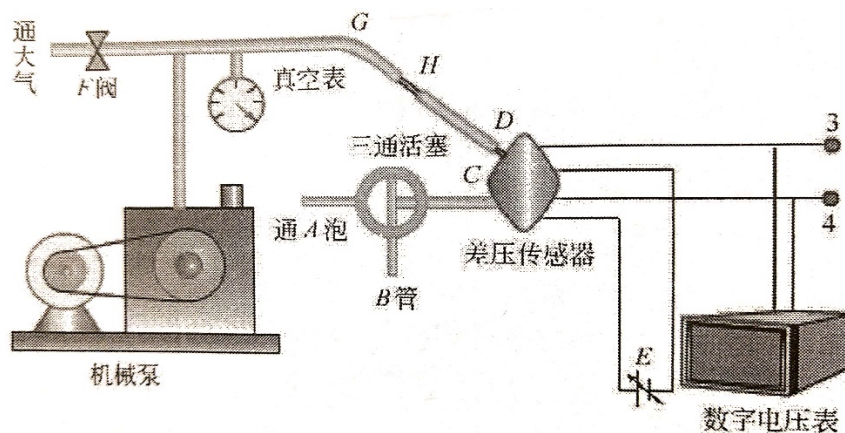


图 2 差压传感器定标装置示意图

1. 压差传感器定标装置
2. 福丁气压计

4. 实验步骤

1. 差压传感器的定标
2. 测量若干组 (U_t, U_p) 值
3. 实验前后用数字式大气压强计各测一次大气压，同时记下室温值

4. 注意事项

- 1) 加热是要将磁力加热搅拌器的电源开关及加热开关同时接通，并调节控温旋钮至所需温度。
- 2) 实验室如需换水，要先将加热器电源断开，“热得快”不能干烧。再用虹吸的方法将杯内的水吸出。或将玻璃系统拿下放在备用的塑料杯上，再将玻璃杯内的水直接到入实验室准备的塑料桶内，以便回收再用。注意搅拌器别倒掉。
- 3) 差压传感器和玻璃制品易损坏，操作时要小心。转动三通活塞时一定要缓慢，另一只手一定要扶住活塞外壳。
- 4) 停泵后应立即将塑料管拔下，让机械泵抽气口通大气。否则，机械泵油会流出泵体进入真空系统，造成污损。

- 5) 实验完毕，将加热器的调速旋钮和温控旋钮旋至最小位置，并将电源及加热开关断开。

5. 系统误差分析

- ① 空气只是近似理想气体
- ② A 泡壁上气体吸附量随温度而变，且泡内可能有水蒸气混入
- ③ A 泡容积因热胀冷缩而变化
- ④ 与 A 泡相连的 C 管等部分中的气体温度不均匀

经过精密计算，修正之后得到修正量：

$$\delta\alpha_p = \left(0.018 + \frac{5v}{V}\right) \times 10^{-3} \text{ ;}$$