

预习	操作记录	实验报告	总评成绩

## 《大学物理实验》课程实验报告

专业：

实验人姓名：

学号：

参加人姓名：

日期： 年 月 日

室温：

相对湿度：

### 实验 4 比热容比测定实验

#### [ 实验前思考题 ]

1. 牛顿冷却定律的适用条件。
2. 气体的比热容比的定义。
3. 气体的比热容比实验中为什么要用集成温度传感器，有何优点，是否可用水银温度计代替？
4. 气体的比热容比测定中，为何放气声消失时，必须迅速关闭活塞？否则会有什么结果？

## 实验部分一 液体比热容的测量

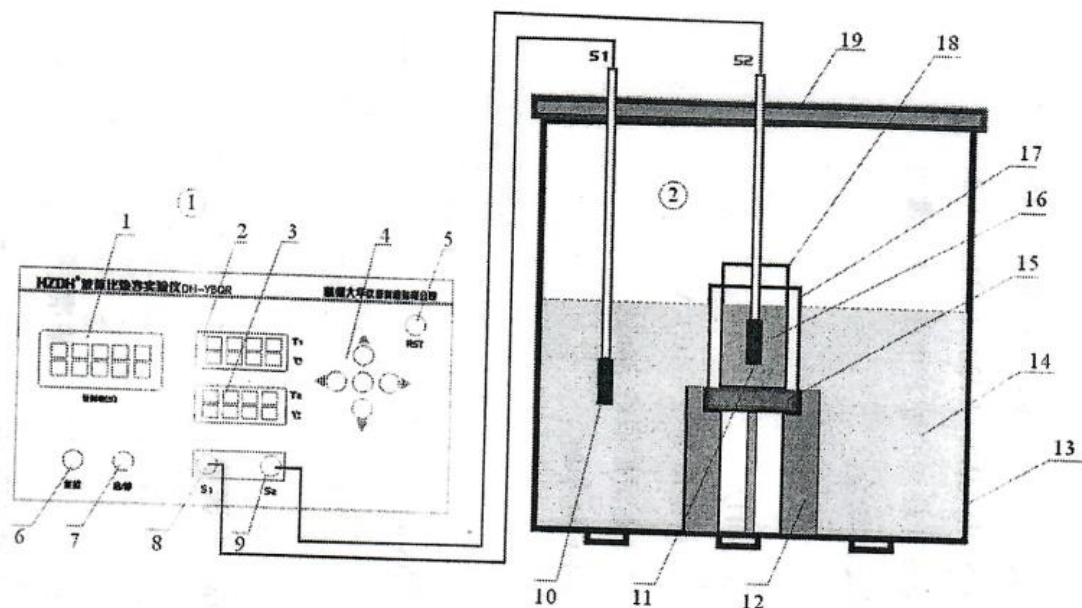
### [ 实验目的 ]

- 1、冷却法测定液体的比热容，并了解比较法的优点和条件；
- 2、最小二乘法求经验公式中直线的斜率；
- 3、用实验的方法考察热学系统的冷却速率同系统与环境间温度差的关系。

### [ 实验仪器 ]

名称	数量	型号
1、液体比热容测试仪	1 台	DH-YBQR
2、实验容器	1 套	自备

1. 仪器主要由测试仪①和实验容器②组成，见图 1 所示。实验容器是具有内、外筒的专用量热器。外筒是一个很大的有机玻璃筒，外筒及其中水的热容量比量热器热容量大得多，加上辅助内筒，使装有待测液体的内筒周围环境保持恒温，并以此作为实验的环境。内筒是用金属铜制作的，内盛待测液体(或已知液体)，内筒和液体(或已知液体)组成我们所要考虑的系统，该装置基本上满足了实验系统需在温度恒定环境中冷却的条件。



1. 计时表 2. 温度显示表 T1 3. 温度显示表 T2 4. 功能按键 5. 复位键(测温系统复位) 6. 计时表复位  
7. 计时表开启或停止 8. 温度传感器 S1 接口 9. 温度传感器 S2 接口 10. 温度传感器 S1  
11. 温度传感器 S2 12. 实验内筒支架 13. 实验外筒 14. 环境水 15. 绝热块 16. 待测液体  
17. 隔离筒 18. 实验内筒(量热器内筒, 放置待测液体) 19. 外筒盖

图 1 实验装置示意图

## [ 原理概述 ]

由牛顿冷却定律知, 一个表面温度为  $\theta$  的物体, 在温度为  $\theta_0$  的环境中自然冷却 ( $\theta > \theta_0$ ), 在单位时间里物体散失的热量  $\delta q / \delta t$  与温度差 ( $\theta - \theta_0$ ) 有下列关系:

$$\frac{\delta q}{\delta t} = k(\theta - \theta_0)$$

当物体温度的变化是准静态过程时, 上式可改写为:  $\frac{\delta \theta}{\delta t} = \frac{k}{C_s}(\theta - \theta_0)$  (1)

(1)式中  $\frac{\delta \theta}{\delta t}$  为物体的冷却速率,  $C_s$  为物质的热容,  $k$  为物体的散热常数, 与物体的表面性质、表面积、物体周围介质的性质和状态以及物体表面温度等许多因素有关,  $\theta$  和  $\theta_0$  分别为物体的温度和环境的温度,  $k$  为负数,  $\theta - \theta_0$  的数值应该很小, 大约在  $10 \sim 15^\circ\text{C}$  之间。

如果在实验申使环境温度  $\theta_0$  保持恒定(即  $\theta_0$  的变化比物体温度  $\theta$  的变化小很多), 则可以认为  $\theta_0$  是常量, 对式(1)进行数学处理, 可以得到下述公式:

$$\ln(\theta - \theta_0) = \frac{k}{C_s}t + b \quad (2) \quad (\text{式中 } b \text{ 为积分常数}).$$

可以将式(2)看成为两个变量的线性方程形式: 其中自变量为  $t$ , 应变量为  $\ln(\theta - \theta_0)$ , 直线斜率为  $k/C_s$ 。

本实验利用式(2)进行测量, 实验方法是: 通过比较两次冷却过程, 其中一次含有待测液体, 另一次含有已知热容的标准液体样品, 并使这两次冷却过程的实验条件完全相同, 从而测量式(2)中未知液体的比热容。

在上述实验过程中, 使实验系统进行自然冷却, 测出系统冷却过程中温度随时间的变化关系, 并从中测定未知热学参量的方法, 叫做冷却法; 对两个实验系统在相同的实验条件下进行对比, 从而确定未知物理量, 叫做比较法。比较法作为一种实验方法, 有广泛的应用。

利用冷却法和比较法来测定待测液体(如饱和食盐水)的热容的具体方法如下:

利用式(2)分别写出对已知标准液体(即水)和待测液体(即饱和食盐水)进行冷却的公式, 如下:

$$\ln(\theta - \theta_0)_w = \frac{k'}{C_s'} t + b' \quad (3)$$

$$\ln(\theta - \theta_0)_s = \frac{k''}{C_s''} t + b'' \quad (4)$$

以上两式中  $C_s'$  和  $C_s''$  分别是系统盛水和盐水时的热容。如果能保证在实验中用同一个容器分别盛水和盐水, 并保持在这两种情况下系统的初始温度、表面积和环境温度等基本相同, 则系统盛水和盐水时的系数  $k'$  与  $k''$  相等, 即:

$$k' = k'' = k$$

令  $S'$  和  $S''$  分别代表由(3)式和(4)式画出的两条直线的斜率, 即

$$S' = \frac{k}{C_s'}, \quad S'' = \frac{k}{C_s''} \quad \text{可得}$$

$$S' C_s' = S'' C_s'' \quad (5)$$

式中  $S'$  和  $S''$  的值可由最小二乘法得出, 热容  $C_s'$  和  $C_s''$  分别为

$$C_s' = m'c' + m_1c_1 + m_2c_2 + \delta C',$$

$$C_s'' = m''c_x + m_1c_1 + m_2c_2 + \delta C''$$

其中  $m', m'', c', c_x$  分别为水和盐水的质量及比热容;  $m_1, m_2, c_1, c_2$  分别为量热器内

筒和搅拌器的质量及比热容;  $\delta C'$  和  $\delta C''$  分别为温度计浸入已知液体和待测液体部分的等效热容。由于数字温度计测温按着浸入液体部分的等效热容相对系统的很小, 故可以忽略不计, 利用式(5), 有

$$c_x = \frac{1}{m''} \left[ \frac{S'}{S''} (m'c' + m_1c_1 + m_2c_2) - (m_1c_1 + m_2c_2) \right] \quad (6)$$

其中水的比热容为

$$c' = 4.18 \times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$$

量热器内筒用金属铜制作, 搅拌器用不锈钢制作, 比热容分别为:  $c_1 = 0.389 \times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ ;  $c_2 = 0.46 \times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$



## [ 仪器说明 ]

测试仪主要由两部分组成，一部分为计时表功能，另外一部分为测温功能；其主要操作说明如下：

- (1) 按计时表下面的复位键清零计时表；
- (2) 按计时表下面的启/停按键，开始计时，计时表动态显示计时值；再次按此键将显示最终计时时间长度；（与通用秒表功能一致）；
- (3) 传感器接口 S1 和 S2 用于连接 DS18B20 数字温度传感器，对应的显示窗口为 T1 和 T2，单位为℃；
- (4) 测试仪上主要功能键为 K1-K6，如图 2 所示；按键 K6 为复位键，按 K6 键测温系统将复位；K1-K2 为左右移位或数据查询键，K3-K4 为功能键，K5 为确认键；

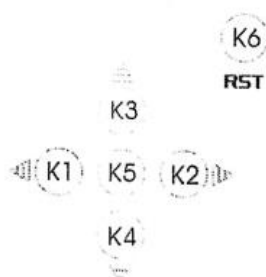



图 2 测试仪主要功能键

- (5) 连接温度传感器 S1 和 S2，开启电源，测试仪显示开始界面如下：

**Stat**：第一排数码管 T1 显示 Stat，表示开始的意思；

：第二排数码管 T2 不显示；

；系统复位后也将显示上面的开始界面；

- (6) 关于自动测量时采集时间间隔和采集数据个数设定，目的是为了自动测量温度并保存数据；按 K4 键出现自动测量采集时间间隔设定界面，显示如下界面：

**ttt.s**：采集时间间隔设置功能，时间单位为 s（秒）；

**060**：默认采集时间间隔为 60s；

此时按中间的确认键 K5，将进入时间设定修改界面。此时 T2 显示窗最低位上的数码管将闪烁，表示该位可以修改。此时，按 K3 键，数字将加 1，按 K4 键数字将减 1。如果按 K1 键将使得更改位左移，一直可以移动到最高位；如果按 K2 键，将使得更改位右移，一直可以移动到最低位。当设定完采集时间间隔的参数后，按确认键完成设定，并退出修改界面。

按 K3 键出现采集数据个数设定界面如下：

**nns**：采集数据个数设置功能；

**20**：显示默认的采集数据个数为 20 组；

此时按中间的确认键 K5, 将进入时间设定修改界面。此时在最低位上的数码管将闪烁, 表示该位可以修改。此时, 按 K3 键, 数字将加 1, 按 K4 键数字将减 1。如果按 K1 键将使得更改位左移, 一直可以移动到最高位; 如果按 K2 键, 将使得更改位右移, 一直可以移动到最低位。当设定好采集数据个数参数后, 按确认键完成设定, 并退出修改界面。

功能界面的切换按 K3 和 K4 键; 设定完采集时间间隔和采集数据个数等参数后, 切换到 StAt 界面, 按确认键, 开始测量。此时, 上面的数码管将显示 T1 温度传感器的值, 下面的数码管将显示 T2 温度传感器的值, 该温度为动态实时测量值, 实验者可以通过计时表的帮助定时记录温度数据, 此时显示情况如下:

45.2C °C; T1 温度显示;

25.1C °C; T2 温度显示;

系统将按照之前设定的采集间隔和采集数据进行采集, 直到采集完成。

如果在系统采集数据没有完成的时候, 按 K3 或者 K4 键, 系统显示如下界面:

Stop ; 停止界面, 按确认系统进入数据查询界面;

  ;

在上述 Stop 界面下, 按确认键 K5, 系统将进入数据查看界面, 此时, 只会显示出已经测试完成的温度数据。

数据显示格式如下:

1 33.5 ; 12 代表第 12 组数据; T1=33.5°C

2 33.2 ; T2=33.2°C

在数据查询界面上, 按 K1 或者 K2 键可查看其它温度数据。

在查看界面中, 按确认键 K5, 将显示一个 rtn 菜单界面:

rtn ; 返回实时温度显示

  ;

在上述返回查询界面下, 按确认键 K5 将返回实时温度显示界面; 若按 K3 或者 K4 将切换到 rst 菜单界面:

rst ; 系统数据复位

  ;

在 rst 菜单界面下按确认键 K5 将使系统数据复位, 清除所有之前的记录, 并重新开始, 系统自动返回到开机界面 StAt。

如果在系统采集数据没有完成的时候, 按确认键, 将会退出温度实时显示界面, 返回到 StAt, 此时按 K3 或者 K4 键可以选择参数设定界面, 并修改。此时温度测试依然会进行, 当测试完成时系统自动进入测试完成数据显示界面。

当系统按照设定的参数,测量完所有的温度数据后,系统将弹出数据查看界面。首先显示的是最后一组数据。此时可以按 K1 键往前翻,按 K2 键往后翻。显示格式为:

1 33.5 ; 12 代表第 12 组数据; T1=33.5℃

2 33.2

此状态下按 K3, K4 是无效的。此时按 K5 按键,系统将弹出 rtn 菜单,在查看界面中,按确认键 K5,将显示一个 rtn 菜单界面:

; 返回到温度查询界面

;

返回到温度查询界面,按确认键 K5 将返回温度查询界面;若按 K3 或者 K4 将切换到 rst 菜单界面:

; 系统数据复位

;

在 rst 菜单界面下按确认键 K5 将使系统数据复位,清除所有之前的记录,并重新开始,系统自动返回到开机界面 StAt。

注意: 1.设备复位 RST 按键会使得设备完全恢复到出厂设定,而菜单选项中的 RST 只是清除之前测量的数据,之前修改的参数依然有效。2.如果温度传感器出现故障或者断开,对应那路的温度显示将是 Err。

## [ 实验步骤 ]

### 1. 用冷却法测定饱和食盐水的热容

(1)将外筒冷却水加至适当高度(要求  $\theta_0$  的波动幅度不超过  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ )

(2)用内部干燥的量热器内筒取纯净水。

要求: 纯净水体积约占内筒的  $2/3$  体积、温度  $\theta$  约比  $\theta_0$  高  $10\sim 15^\circ\text{C}$ 。称其质量后,放入隔离筒,开始实验。每隔 1 min 分别记录一次纯净水温度  $\theta$  和外筒冷却水的温度  $\theta_0$ ,共测 20 分钟。

数据组	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta_0$										
$\theta$										
$\ln(\theta-\theta_0)$										
数据组	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\theta_0$										
$\theta$										
$\ln(\theta-\theta_0)$										



(3)用清洗过的内筒盛取饱和食盐水。

要求：食盐水的体积约占内筒的  $2/3$  体积、饱和食盐水的初温与纯净水 初温之差不超过  $1^{\circ}\text{C}$ 。称其质量后，放入隔离筒，开始实验。每隔 1 分钟记录一次食盐水温度  $\theta$  和外筒冷却水的温度  $\theta_0$ ，共测 20 分钟。

数据组	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta_0$										
$\theta$										
$\ln(\theta - \theta_0)$										
数据组	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\theta_0$										
$\theta$										
$\ln(\theta - \theta_0)$										

## 2、数据处理

(1)在同一张直角坐标纸中，对纯净水及盐水分别作 “ $\ln(\theta - \theta_0) - t$ ” 图，检验得到的是否为一条直线。如果是，则可以认为验证了公式(2)，并间接验证了公式(1)，也就是说，被研究的系统的冷却速率同系统与环境之间温度差成正比。

(2)对水和盐水分别取  $\ln(\theta - \theta_0)$  及相应的  $t$  的数据，用最小二乘法分别求出两条直线的斜率  $S'$  和  $S''$ ，并由此得出未知饱和食盐水的比热容  $c_x$ 。



## 实验部分二 空气比热容比的测量

### [ 实验目的 ]

- 1、观察热力学现象；
- 2、掌握测量空气绝热指数的方法；
- 3、了解压力传感器和电流型集成温度传感器的使用方法和特性。

### [ 实验仪器 ]

名称	数量	型号
1、空气比热容比测定仪	1 台	FB739
2、实验容器	1 套	自备

本仪器主要由三部分组成：机箱（含数字电压表二只）、贮气瓶、传感器两只（电流型集成温度传感器 AD590 一只，和扩散硅压力传感器各一只）

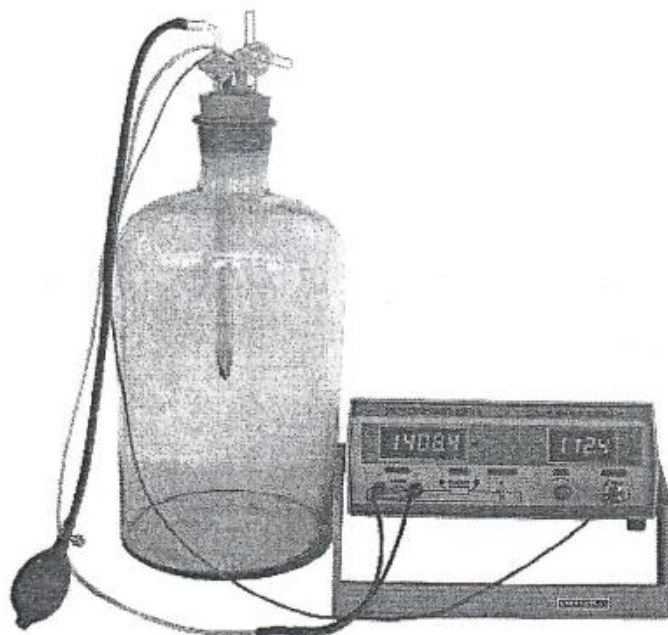


图1 FB739型空气比热容比测定仪实物照片

1. 贮气瓶：它包括玻璃瓶、进气阀、放气阀、橡皮塞
2. 数字电压表：采用三位半数字电压表作硅压力传感器的显示仪表（测空气压强）、采用四位半数字电压表作为集成温度传感器显示仪表（测空气温度）
3. 扩散硅压力传感器配用三位半数字电压表，它的测量范围大于环境气压  $0 \sim 10\text{kPa}$ ，转换灵敏度为  $20\text{mV/kPa}$ ，测量精度为  $5\text{Pa}$ 。实验时，贮气瓶内空气压强变化范围约  $6\text{kPa}$ 。空气温度测量采用电流型集成温度传感器 AD590，该半导体温度传感器灵敏度高、线性好，它的灵敏度为  $1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ 。

### [ 实验原理 ]

设有一个带有两个活塞的容器，如图 1 所示：其中活塞  $C_1$  接充气球，活塞  $C_2$  与环境大气相通(大气压强为  $P_0$ ，室温为  $T_0$ )。若打开活塞  $C_1$  (关闭活塞  $C_2$ )，用充气球将空气

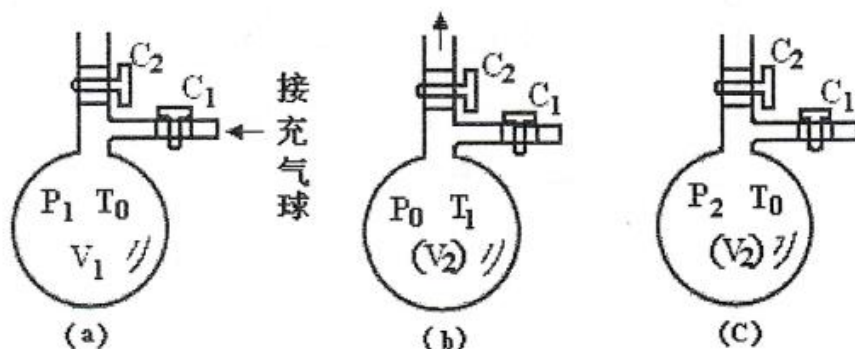


图1 空气比热容比测定实验流程示意图

缓缓压入容器中，此时容器内气体压强增大，温度稍有升高，待气体温度下降至室温  $T_0$ ，且压强稳定时，其压强为  $P_1$ ，体积为  $V_1$ 。然后，关闭活塞  $C_1$ ，并突然将活塞  $C_2$  打开，气体迅速喷出，待容器内空气回复到环境压强  $P_0$  时，将活塞  $C_2$  急速关闭。这时，原容器内空气的体积变  $V_2$  (包括放出一部分气体)，温度降为  $T_1$ 。容器内空气压强变化和温度变化都极快，以至于空气与容器壁之间来不及传递热量，此过程可看做绝热过程，因此满足：

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_0 \cdot V_2^\gamma \quad (1)$$

式中， $\gamma$  为气体绝热指数。活塞  $C_2$  关闭后，容器内空气温度回升。当回升到放气前初始状态温度  $T_0$  时，其压强为  $P_2$ ，因此，放气前图 1(a) 至放气后气体温度回升到室温图 1(c) 这一过程可视为等温过程，由理想气体状态方程得：

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad (2)$$

由公式(1)和公式(2)解得：

$$\gamma = \frac{\lg P_1 - \lg P_0}{\lg P_1 - \lg P_2} \quad (3)$$

### [ 实验步骤 ]

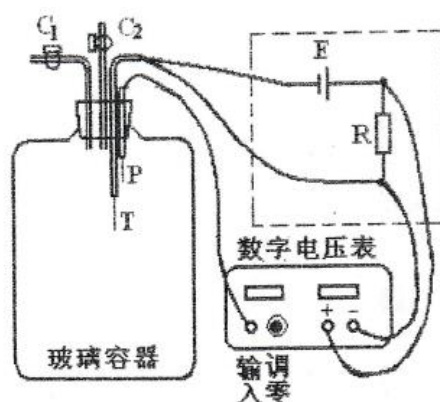


图2 空气比热容比测定仪示意图

1. 按图 2 接好仪器的电路, 集成温度传感器的正负极请勿接错。图 2 中虚线框内部分都已安装在仪表箱内, 其中取样电阻  $R = 5k\Omega$ 。用福廷式气压计测定大气压强  $P_0$ , 用水银温度计测环境室温  $\theta_0$ 。开启电源, 让电子仪器部分预热 20 min, 然后用调零电位器调节零点, 把用于测量空气压强的三位半数字电压表指示值调到 0 (活塞  $C_2$  已开启)。
2. 把活塞  $C_2$  关闭, 活塞  $C_1$  打开, 用充气球把空气稳定地徐徐压入贮气瓶内, 然后关闭活塞  $C_1$  用压力传感器和 AD590 温度传感器测量空气的压强和温度, 记录瓶内压强均匀稳定时, 压强  $P_1$  和温度值  $T_0$ 。
3. 突然打开活塞  $C_2$ , 使瓶内空气与大气相通, 当瓶内压强降至  $P_0$  时, 立刻关闭放气阀  $C_2$ , (这时放气声消失), 将有体积为  $\Delta V$  的气体喷泻出贮气瓶。把瓶中保留的气体作为研究对象, 由于放气过程较快, 瓶内剩下的气体来不及与外界进行热交换, 可以认为是一个绝热膨胀过程。在此过程进行之后, 瓶中剩下的气体由状态 I ( $P_1, V_1, T_0$ ) 转变为状态 II ( $P_0, V_2, T_1$ ), 其中  $V_1$  为瓶中保留气体在状态 I ( $P_1, T_0$ ) 时所占的体积。这时瓶内气体温度降至  $T_1$ 。
4. 当贮气瓶内空气的温度上升至温度  $T_0$  时, 记下贮气瓶内气体压强  $P_2$ 。
5. 把测得的瓶内压强值  $P_1$ 、 $P_2$  和  $P_0$  (以 mV 为单位), 把气压单位换算成 kPa 或 Pa, 并代入公式 (3), 求得空气的比热容比  $\gamma$ , 重复四次求平均值。(请参考附录)。

### [ 注意事项 ]

1. 实验时硅压力传感器请勿用手压, 以免影响测量准确性。
2. 玻璃活塞如有漏气, 可用乙醚将油脂擦干净, 重新涂真空油脂。
3. 橡皮塞与玻璃瓶或玻璃管接触部位等处有漏气只需涂硅化橡胶, 即可防止漏气。
4. 由于硅压力传感器各只灵敏度不完全相同, 一台仪器配一只专用传感器, 请勿将显示器与压力传感器互换。
5. 放气时间太长或太短都将引入较大误差。

### [ 数据记录 ]

1. 表格中使用的主要公式:

(1)  $P_1 = P_0 + P_1' / 20(\text{kPa})$ ;  $P_2 = P_0 + P_2' / 20(\text{kPa})$ ; 其中  $P_0$  单位: kPa;  $P_1'$  和  $P_2'$  单位: mV,  $P_1' / 20$  和  $P_2' / 20$  的单位: kPa

$$(2) \gamma = \frac{\lg P_1 - \lg P_0}{\lg P_1 - \lg P_2} \quad (20\text{mV 读数相当于 } 1.000\text{kPa}).$$

## 2. 数据表格

$P_0$ (kPa)	$P'_1$ (mV)	$T'_1$ (mV)	$P'_2$ (mV)	$T'_2$ (mV)	$P_1$ (kPa)	$P_2$ (kPa)	$\gamma$

## 3. 计算实验结果的平均值:

$$\overline{\gamma_{\text{测}}} = \frac{\quad + \quad + \quad + \quad +}{4}$$

$$=$$

## 4. 将测量结果与理论值比较, 求相对误差 (已知 $\gamma_{\text{理}} = 1.402$ )

$$E = \left| \frac{\gamma_{\text{测}} - \gamma_{\text{理}}}{\gamma_{\text{理}}} \right| \times 100\% =$$