

实验 5 空气比热容比的测定

气体的定压比热容与定容比热容之比称为气体的绝热指数，它是一个重要的热力学常数，在热力学方程中经常用到，本实验用新型扩散硅压力传感器测空气的压强，用电流型集成温度传感器测空气的温度变化，从而得到空气的绝热指数；要求观察热力学现象，掌握测量空气绝热指数的一种方法，并了解压力传感器和电流型集成温度传感器的使用方法及特性。

方法一 用绝热膨胀法测定空气的比热容比

一、实验目的

1. 用绝热膨胀法测定空气的比热容比。
2. 观测热力学过程中状态变化及基本物理规律。
3. 了解压力传感器和电流型集成温度传感器的使用方法及特性。

二、实验原理

理想气体的压强 P 、体积 V 和温度 T 在准静态绝热过程中，遵守绝热过程方程： PV^γ 等于恒量，其中 γ 是气体的定压比热容 C_p 和定容比热容 C_v 之比，通常称 $\gamma = C_p / C_v$ 为该气体的比热容比（亦称绝热指数）。

如图 1 所示，我们以贮气瓶内空气（近似为理想气体）作为研究的热学系统，试进行如下实验过程。

(1) 首先打开放气阀 A ，贮气瓶与大气相通，再关闭 A ，瓶内充满与周围空气同温（设为 T_0 ）同压（设为 P_0 ）的气体。

(2) 打开充气阀 B ，用充气球向瓶内打气，充入一定量的气体，然后关闭充气阀 B 。此时瓶内空气被压缩，压强增大，温度升高。等待内部气体温度稳定，即达到与周围温度平衡，此时的气体处于状态 I (P_1, V_1, T_0)。

(3) 迅速打开放气阀 A ，使瓶内气体与大气相通，当瓶内压强降至 P_0 时，立刻关闭放气阀 A ，将有体积为 ΔV 的气体喷泻出贮气瓶。由于放气过程较快，瓶内保留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的过程。在此过程后瓶中的气体由状态 I (P_1, V_1, T_0) 转变为状态 II (P_0, V_2, T_1)。 V_2 为贮气瓶容积， V_1 为保留在瓶中这部分气体在状态 I (P_1, T_0) 时的体积。

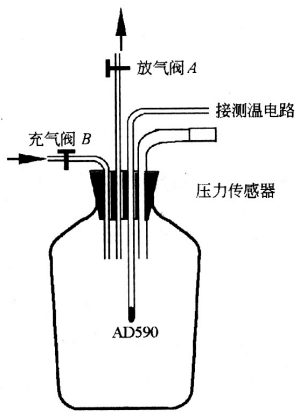


图1 实验装置简图

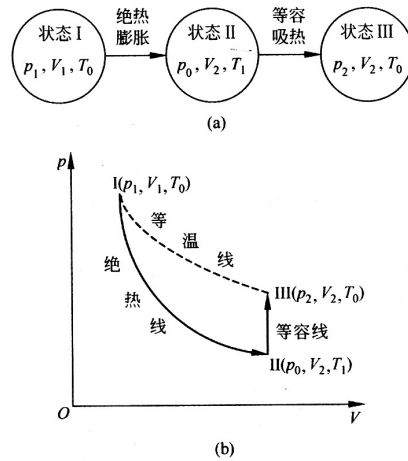


图2 气体状态变化及 P-V 图

(4) 由于瓶内气体温度 T_1 低于室温 T_0 ，所以瓶内气体慢慢从外界吸热，直至达到室温 T_0 为止，此时瓶内气体压强也随之增大为 P_2 。则稳定后的气体状态为 III (P_2, V_2, T_0)。从状态 II→状态 III 的过程可以看作是一个等容吸热的过程。由状态 I→II→III 的过程如图 5 所示。

I→II 是绝热过程，由绝热过程方程得：

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

状态 I 和状态 III 的温度均为 T_0 ，由气体状态方程得

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

合并式 (1)、式 (2)，消去 V_1 、 V_2 得

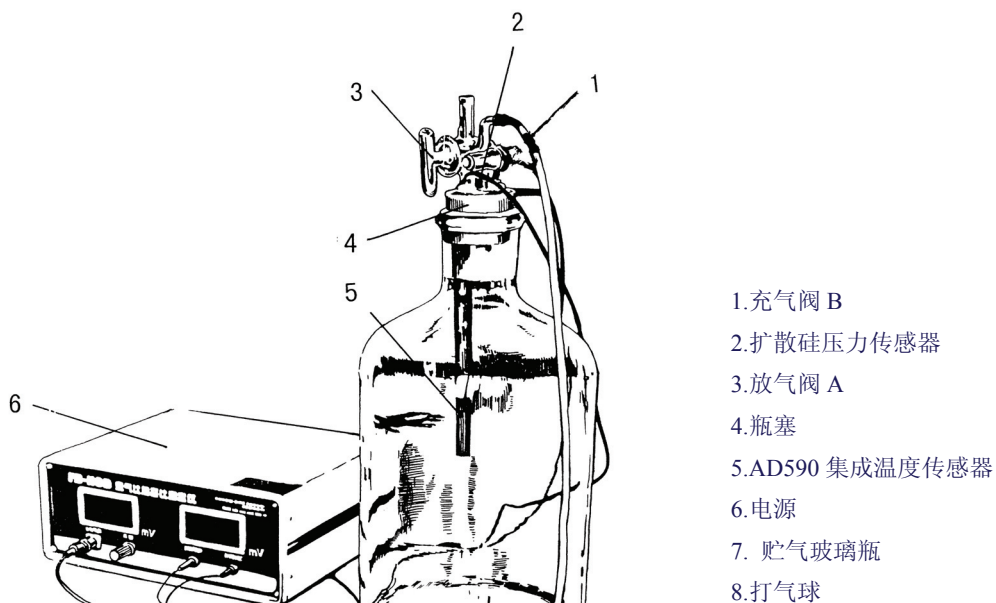
$$\gamma = \frac{\ln P_1 - \ln P_0}{\ln P_1 - \ln P_2} = \frac{\ln(P_1 / P_0)}{\ln(P_1 / P_2)} \quad (3)$$

由式 (5) 可以看出，只要测得 P_0 、 P_1 、 P_2 就可求得空气的绝热指数 γ 。

三、实验仪器

1、FD-NCD 型空气比热容比测定仪

本实验采用的 FD-NCD 型空气比热容比测定仪由扩散硅压力传感器、AD590 集成温度传感器、电源、容积为 1000ml 左右玻璃瓶、打气球及导线等组成。如图 3、图 4 所示。



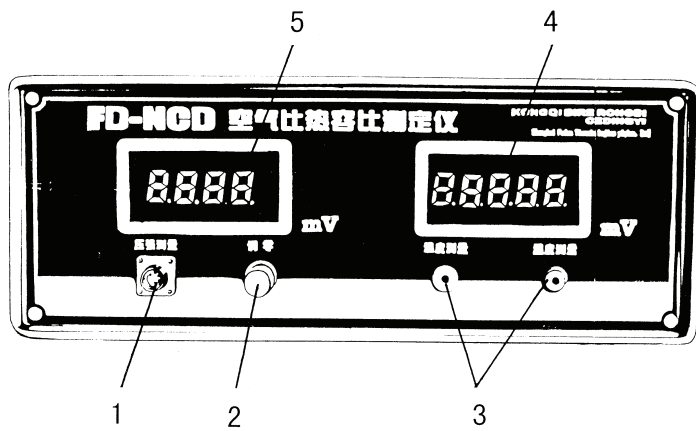


图4 测定仪电源面板示意图

- 1.压力传感器接线端口
- 2.调零电位器旋钮
- 3.温度传感器接线插孔
- 4.四位半数字电压表面板 (对应温度)
- 5.三位半数字电压表面板 (对应压强)

2. AD590 集成温度传感器

AD590 是一种新型的半导体温度传感器,测温范围为 $-50^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。当施加 $+4\text{V}\sim +30\text{V}$ 的激励电压时,这种传感器起恒流源的作用,其输出电流与传感器所处的温度成线性关系。如用摄氏度 t 表示温度,则输出电流为

$$I = Kt + I_0 \quad (1)$$

$K=1\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$,对于 I ,其值从 $273\sim 278\mu\text{A}$ 略有差异。本实验所用 AD590 也是如此。AD590 输出的电流 I 可以在远距离处通过一个适当阻值的电阻 R ,转化为电压 U ,由公式 $I=U/R$ 算出输出的电流,从而算出温度值。如图5。若串接 $5\text{K}\Omega$ 电阻后,可产生 $5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 的信号电压,接 $0\sim 2\text{V}$ 量程四位半数字电压表,最小可检测到 0.02°C 温度变化。

3. 扩散硅压力传感器

扩散硅压力传感器是把压强转化为电信号,最终由同轴电缆线输出信号,与仪器内的放大器及三位半数字电压表相接。它显示的是容器内的气体压强大于容器外环境大气压的压强差值。当待测气体压强为 $P_0+10.00\text{KPa}$ 时,数字电压表显示为 200mV ,仪器测量气体压强灵敏度为 20mV/KPa ,测量精度为 5Pa 。可得测量公式:

$$P_1 = P_0 + U/2000 \quad (2)$$

其中电压 U 的单位为 mV ,压强 P_1 、 P_0 的单位为 10^5Pa

4、气压计

该气压计用来观测环境气压。

5、水银温度计

四、实验内容

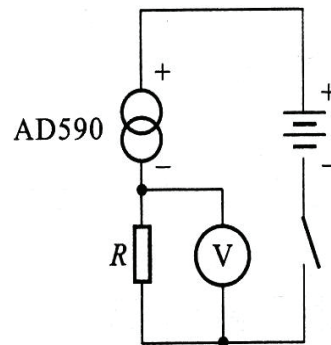


图5 AD590 电路简图

1.打开放气阀 A ，按图 1 连接电路，集成温度传感器的正负极请勿接错，电源机箱后面的开关拨向内。用气压计测定大气压强 P_0 ，用水银温度计测环境室温 T_0 。开启电源，让电子仪器部件预热 20 分钟，然后旋转调零电位器旋钮，把用于测量空气压强的三位半数字电压表指示值调到“0”，并记录此时四位半数字电压表指示值 U_{T_0} 。

2.关闭放气阀 A ，打开充气阀 B ，用充气球向瓶内打气，使三位半数字电压表示值升高到 100mV~150mV。然后关闭充气阀 B ，观察 U_T 、 U_{P_1} 的变化，经历一段时间后， U_T 、 U_{P_1} 指示值不变时，记下 (U_{P_1}, U_T) ，此时瓶内气体近似为状态 I (P_1, T_0) 。注： U_T 对应的温度值为 T 。

3.迅速打开放气阀 A ，使瓶内气体与大气相通，由于瓶内气压高于大气压，瓶内 ΔV 体积的气体将突然喷出，发出“嗤”的声音。当瓶内空气压强降至环境大气压强 P_0 时（放气声刚结束），立刻关闭放气阀 A ，这时瓶内气体温度降低，状态变为 II。

4.当瓶内空气的温度上升至温度 T 时，且压强稳定后，记下 (U_{P_2}, U_T) 此时瓶内气体近似为状态 III (P_2, T_0) 。

5.打开放气阀 A ，使贮气瓶与大气相通，以便于下一次测量。

6.把测得的电压值 U_{P_1} 、 U_{P_2} 、 U_T （以 mV 为单位）填入如下数据表格，依公式（2）计算气压值、依（5）式计算空气的绝热指数 γ 值。

7.重复步骤 2—4，重复 3 次测量，比较多次测量中气体的状态变化有何异同，并计算 $\bar{\gamma}$ 。

五、注意事项

1.实验中贮气玻璃瓶及各仪器应放于合适位置，最好不要将贮气玻璃瓶放于靠桌沿处，以免打破。

2.转动充气阀和放气阀的活塞时，一定要一手扶住活塞，另一只手转动活塞，避免损坏活塞。

3.实验前应检查系统是否漏气，方法是关闭放气阀 A ，打开充气阀 B ，用充气球向瓶内打气，使瓶内压强升高 1000Pa~2000Pa 左右(对应电压值为 20mV~40mV)，关闭充气阀 B ，观察压强是否稳定，若始终下降则说明系统有漏气之处，须找出原因。

4.做好本实验的关键是放气要进行的十分迅速。即打开放气阀后又关上放气阀的动作要快捷，使瓶内气体与大气相通要充分且尽量快底完成。注意记录电压值。

六、问题讨论

1.本实验研究的热力学系统，是指那部分气体？

2. 实验内容 2 中的 T 值一定与初始时室温 T_0 相等吗？为什么？若不相等，对 γ 有何影响？

3.实验时若放气不充分，则所得 γ 值是偏大还是偏小？为什么？

方法二 振动法测定空气的比热容比

一、实验目的

测定空气分子的定压比热容与定容比热容之比。

二、实验原理

气体的定压比热容 C_P 与定容比热容 C_V 之比 $\gamma = C_P / C_V$ 。在热力学过程特别是绝热过程中是一个很重要的参数，测定的方法有好多种。这里介绍一种较新颖的方法，通过测定物体在特定容器中的振动周期来计算 γ 值。实验基本装置如图1所示，振动物体小球的直径比玻璃管直径仅小 0.01~0.02mm。它能在此精密的玻璃管中上下移动，在瓶子的壁上有一小口，并插入一根细管，通过它各种气体可以注入到烧瓶中。

钢球 A 的质量为 m ，半径为 r （直径为 d ），当瓶子内压力 P 满足下面条件时钢球 A 处于力平衡状态。这时 $P = P_L + \frac{mg}{\pi r^2}$ ，式中 P_L 为大气压力。为了补偿由于空气阻尼引起振动物体 A 振幅的衰减，通过 C 管一直注入一个小气压的气流，在精密玻璃管 B 的中央开设有一个小孔。当振动物体 A 处于小孔下方的半个振动周期时，注入气体使容器的内压力增大，引起物体 A 向上移动，而当物体 A 处于小孔上方的半个振动周期时，容器内的气体将通过小孔流出，使物体下沉。以后重复上述过程，只要适当控制注入气体的流量，物体 A 能在玻璃管 B 的小孔上下作简谐振动，振动周期可利用光电计时装置来测得。

若物体偏离平衡位置一个较小距离 x ，则容器内的压力变化 Δp ，物体的运动方程

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \pi r^2 \Delta p \quad (1)$$

因为物体振动过程相当快，所以可以看作绝热过程，绝热方程

$$pV^\gamma = \text{常数} \quad (2)$$

将 (2) 式求导数得出：

$$\Delta p = -\frac{p\gamma \Delta V}{V}, \quad \Delta V = \pi r^2 x \quad (3)$$

将 (3) 式代入 (1) 式得

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\pi^2 r^4 p \gamma}{mV} x = 0 \quad (4)$$

此式即为熟知的简谐振动方程，它的解为

$$\omega = \sqrt{\frac{\pi^2 r^4 p \gamma}{mV}} = \frac{2\pi}{T} \quad (4)$$
$$\gamma = \frac{4mV}{T^2 p r^4} = \frac{64mV}{T^2 p d^4}$$

式中各量均可方便测得，因而可算出 γ 值。由气体运动论可以知道， γ 值与气体分子的自由度数有关，对单原子气体（如氩）只有三个平均自由度，双原子气体（如氢）除上述3个平均自由度外还有2个转动自由度。对多原子气体，则具有3个转动自由度，比热容比 γ 与自由度 f 的关系为。

理论上得出：

单原子气体（Ar, He） $f=3$ $\gamma=1.67$;

双原子气体（N₂, H₂, O₂） $f=5$ $\gamma=1.40$;

多原子气体 (CO₂, CH₄) f=6 γ=1.33

且与温度无关。

本实验装置主要系玻璃制成，且对玻璃管的要求特别高，振动物体的直径仅比玻璃管内径小 0.01mm 左右，因此振动物体表面不允许擦伤。平时它停留在玻璃管的下方（用弹簧托住）。若要将其取出，只需在它振动时，用手指将玻璃管壁上的小孔堵住，稍稍加大气流量物体会会上浮到管子上方开口处，就可以方便地取出，或将此管由瓶上取下，将球倒出来。振动周期采用可预置测量次数的数字计时仪（分 50 次，100 次二档），采用重复多次测量。

振动物体直径采用螺旋测微计测出，质量用物理天平称量，烧瓶容积由实验室给出，大气压力由气压表自行读出，并换算 N/m^2 ($760\text{mmHg} = 1.013 \times 10^5 \text{N/m}^2$)。

三、实验仪器

DH 4602 气体比热气体比热容比测定仪，支撑架，精密玻璃容器，气泵

四、实验内容

1. 仪器调整

(a) 将气泵、储气瓶用橡皮管连接好，装有钢球的玻璃管插入球形储气瓶。将光电接收装置利用方形连接块固定在立杆上，固定位置于空芯玻璃管的小孔附近。

(b) 调节底板上三个水平调节螺钉，使底板处于水平状态。

(c) 接通气泵电源，缓慢调节气泵上的调节旋钮，数分钟后，待储气瓶内注入一定压力的气体后，玻璃管中的钢球离开弹簧，向管子上方移动，此时应调节好进气的大小，使钢球在玻璃管中以小孔为中心上下振动。

2. 实验测量

(a) 设置：接通计时仪器的电源及光电接收装置与计时仪器的连接。打开计时仪器，预置测量次数为 50 次。（如需设置其它次数，可按“置数”键后，再按“上调”或“下调”键，调至所需次数，再按“置数”键确定。本实验按预置测量次数进行，不需要另外置数。）

(b) 测量：按“执行”键，即开始计数（状态显示灯闪烁）。待状态显示灯停止闪烁，显示屏显示的数字为振动 50 次所需的时间。重复测量 5 次。

(c) 其它测量

用螺旋测微计测出钢球的直径 d ，重复测量 5 次。用物理天平称出钢球的质量 m ，左右盘各称一次。

(d) 记录室温和大气压和容器的体积

(e) 根据公式求出空气的比热容比。

$$\gamma = \frac{4mV}{T^2 pr^4} = \frac{64mV}{T^2 pd^4} \quad (5)$$

(f) 估算测量的不确定度

五、注意事项

1、若钢球不作简谐振动，可以调节气泵上面的气流调节阀门，直到钢球在玻璃管上小孔附近作稳定的谐振动。

2、接通电源后若不计时或不停止计时，可能是光电门位置放置不正确，造成钢球上下振动时未挡光，或者是外界光线过强，须适当挡光。

3、本实验装置主要系玻璃制成，且对玻璃管的要求特别高，振动钢球的直径仅比玻璃管内径小

0.01mm 左右，因此钢球表面不允许擦伤，在测量钢球质量和直径是要注意轻拿轻放，还要防止钢球表面粘上灰尘。

六、问题与讨论

1. 注入气体量的多少对小球的运动情况有没有影响？
2. 在实际问题中，物体振动过程并不是理想的绝热过程，这时测得的值比实际值大还是小？为什么？