

实验 1 二氧化碳临界状态观测及 P - V - T 关系实验

1. 实验目的

- (1) 观察凝结和汽化过程；
- (2) 观察临界态附近的气液两相模糊现象；
- (3) 观察超临界压力下加热或冷却时的气液两相连续变化过程；
- (4) 测定某温度下 CO_2 的饱和蒸气压及饱和气、液两相的密度；
- (5) 测定 CO_2 的临界参数 P_c , V_c 和 T_c ；
- (6) 测定 CO_2 的 P - V - T 关系, 在 P - V 图上绘出等温线。

2. 实验设备及原理

- (1) 整个装置由压力台、恒温器和本体 3 部分组成, 如图 1-1 所示。

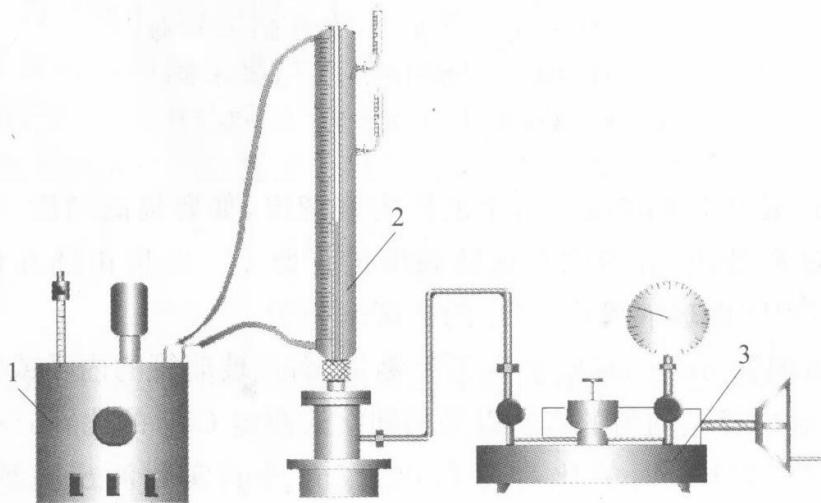


图 1-1 二氧化碳 P - V - T 关系测定实验系统

1—恒温器; 2—本体; 3—压力台

- (2) 实验台本体构成如图 1-2 所示。

(3) 实验时, 由压力台送来高压油, 进入高压容器和玻璃杯的上半部, 压迫水银进入预先装有 CO_2 气体的承压玻璃管, 使 CO_2 被压缩, 其压力和容积通过压力台上的活塞杆前进或后退进行调节。温度由恒温器给水套的水温来控制。

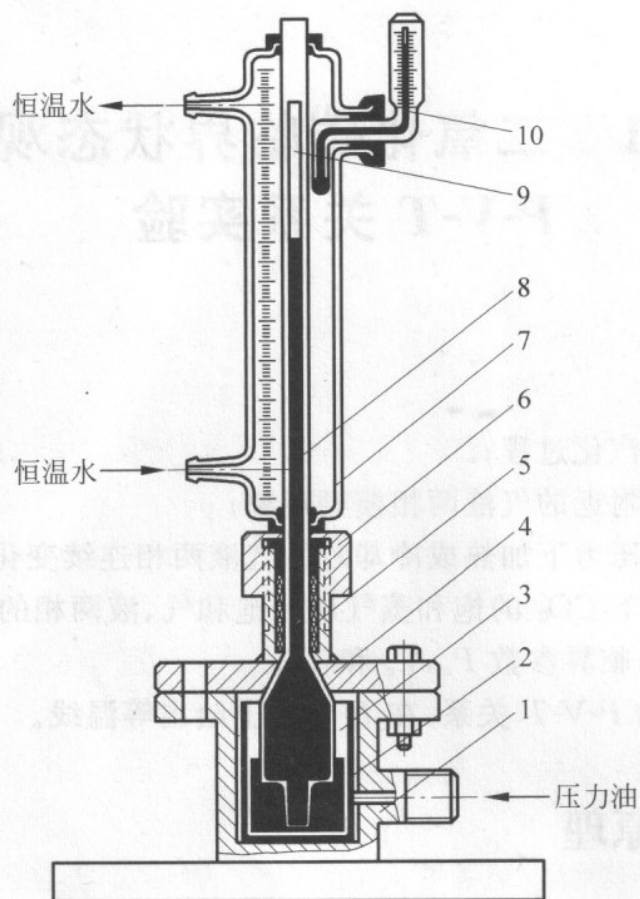


图 1-2 实验台本体

- 1—高压容器；2—玻璃杯；3—压力油；4—水银；
5—密封填料；6—填料压盖；7—恒温水套；
8—承压玻璃管；9—CO₂ 空间；10—温度计

(4) CO₂ 的压力由装在压力台上的压力表读出,如要提高精度,可由加在活塞转盘上的平衡砝码读出,并考虑水银柱高度进行修正。温度由插在恒温水套中的温度计读数,容积则由玻璃管内 CO₂ 的高度来衡量。

由于灌进玻璃管内的 CO₂ 质量 G 不便测量,而且玻璃管的内径或截面积 A 也不易测准(但玻璃管内径是均匀的),所以采用间接法测定 CO₂ 的比容 ν (m³/kg)。已知 CO₂ 液体在 27°C, 9MPa 时的比容为 0.00128m³/kg,实际测出玻璃管内 CO₂ 在 27°C, 9MPa 时的液柱高度为 h_1 (m),则可列出如下关系式:

$$\nu(27^\circ\text{C}, 9\text{MPa}) = \frac{h_1 A}{G} = 0.00128\text{m}^3/\text{kg} \quad (1-1)$$

所以

$$k = \frac{G}{A} = \frac{h_1}{0.00128}(\text{kg}/\text{m}^2) = \text{常数} \quad (1-2)$$

即可以把 k 作为仪器常数。在任意温度和压力的 CO₂ 比容则可计算如下:

$$\nu = \frac{h}{G/A} = \frac{h}{k} \quad (1-3)$$

3. 实验步骤和实验结果的处理

1) 实验步骤

(1) 先将恒温器调节到一定温度(如 27°C), 对本体维持一定温度(一般先做低温条件下的实验, 然后再做较高恒温条件下的实验)。

(2) 利用活塞式压力计对玻璃容器中的 CO_2 加压, 加压时要缓慢转动手轮, 使活塞杆缓慢推进压力油进入本体。玻璃容器内的 CO_2 受压缩后体积逐渐减小, 在此过程中随时记录下各个不同压力(3, 4, 5 MPa, 饱和压力, 6, ..., 9.5 MPa)下的 CO_2 体积数据。每隔 0.5 MPa 读一组压力、体积数据, 注意不要忘记测量在 27°C , 9 MPa 时的液柱高度。在 $t = 27^{\circ}\text{C}$ 的恒温条件下, CO_2 的饱和蒸气压约为 5.8 ~ 5.9 MPa, 此时应注意观察纯物质的相变过程。在比饱和蒸气压稍高和稍低的压力区应适当多记录一些数据, 尤其找准露点与泡点数据, 以便测准饱和气、液相的体积数据。

(3) 做完 27°C 的等温线以后, 可将恒温器调节到临界温度 $t_c = 31.1^{\circ}\text{C}$, 温度计精确到 1°C , 估读一位到 0.1°C 。如果本体内压力已经是 9.5 MPa, 则可将活塞杆缓慢退出, 使压力逐渐下降, 随时记录各不同压力时的 CO_2 柱高度。也可以先卸压, 然后按低压至高压的顺序进行测试, 注意卸压时千万不能拧开油杯阀门卸压(参见注意事项(2))。

(4) 将恒温器调到 35°C , 再读一组压力、体积数据, 与临界点以下及临界点的结果进行比较。

2) 数据处理

(1) 根据 27°C , 9 MPa 的实测数据和已知的该温度、压力条件下的比容值计算仪器常数:

$$k = \frac{G}{A} = \frac{h_1}{0.00128} \quad (1-4)$$

(2) 将测得的数据整理成表, 并在 P - V 图上做出等温线。

(3) 应用 RK 状态方程:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{T^{0.5}V(V+b)} \quad (1-5)$$

$$a = 0.4278 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{P_c}, \quad b = 0.0867 \frac{RT_c}{P_c} \quad (1-6)$$

进行体积数据推算,并与相应的实验值比较。 CO_2 的临界参数为: $T_c = 304.2\text{K}$, $P_c = 7.376\text{MPa}$ 。

(4) 对所测数据进行误差分析。

4. 注意事项

(1) 最高温度不要超过 60°C , 最高压力不要超过 9.5MPa 。

(2) 不要在气体被压缩的情况下打开油杯阀门,使 CO_2 突然膨胀而逸出玻璃管外,水银被冲出玻璃杯。卸压时应该慢慢退出活塞杆,使压力逐渐下降。

(3) 为保证 CO_2 的定温压缩和定温膨胀,除了要保证流过水套的水温恒定以外,加压(或减压)过程也必须足够缓慢,以免玻璃管内的 CO_2 温度偏离管外的恒定温度。

(4) 如果在玻璃管外或水套内壁附有小气泡妨碍观测,可以通过放、充水套中的水的办法将气泡冲掉。

(5) 挪动试验台本体时要平移平放,以免玻璃杯内的水银倾入压力容器。

(6) 玻璃管内 CO_2 读数不是从零开始,注意测量时读数从玻璃管顶部算起。

5. 参考文献

- 1 Vargaftic N B. Tables on the Thermophysical Properties of Liquids and Gases. 2nd Ed. New York: Hemisphere Publishing Corp., 1975. 167~168
- 2 Neindre B L E, Vodar B. Experimental Thermodynamics, Vol II. London: Butterworths, 1968. 347~358
- 3 童景山. 分子聚集理论及其应用. 北京: 科学出版社, 1999. 32~36, 209~216
- 4 童景山. CO_2 气、液、固三相饱和态下 PVT 的计算. 工程热物理学报, 2001, 22(6): 668~670

附 1

表 1-1 实验记录表

实验测定温度_____； 实验人_____； 实验日期_____月_____日

压力/MPa	3	4	5	6	...
CO_2 气(液)柱高/mm					
比容/(m^3/kg)					

附 2

表 1-2 CO₂ 饱和线上的体积数据

温度/℃	压强/MPa	液相比容 $\times 10^3 / (\text{m}^3/\text{kg})$	气相比容 $\times 10^3 / (\text{m}^3/\text{kg})$
10	4.595	1.166	7.52
15	5.193	1.223	6.32
20	5.846	1.298	5.26
25	6.559	1.417	4.17
30	7.344	1.677	2.99
30.04	7.528	2.138	2.14

附 3 CO₂ 的 P - V - T 关系

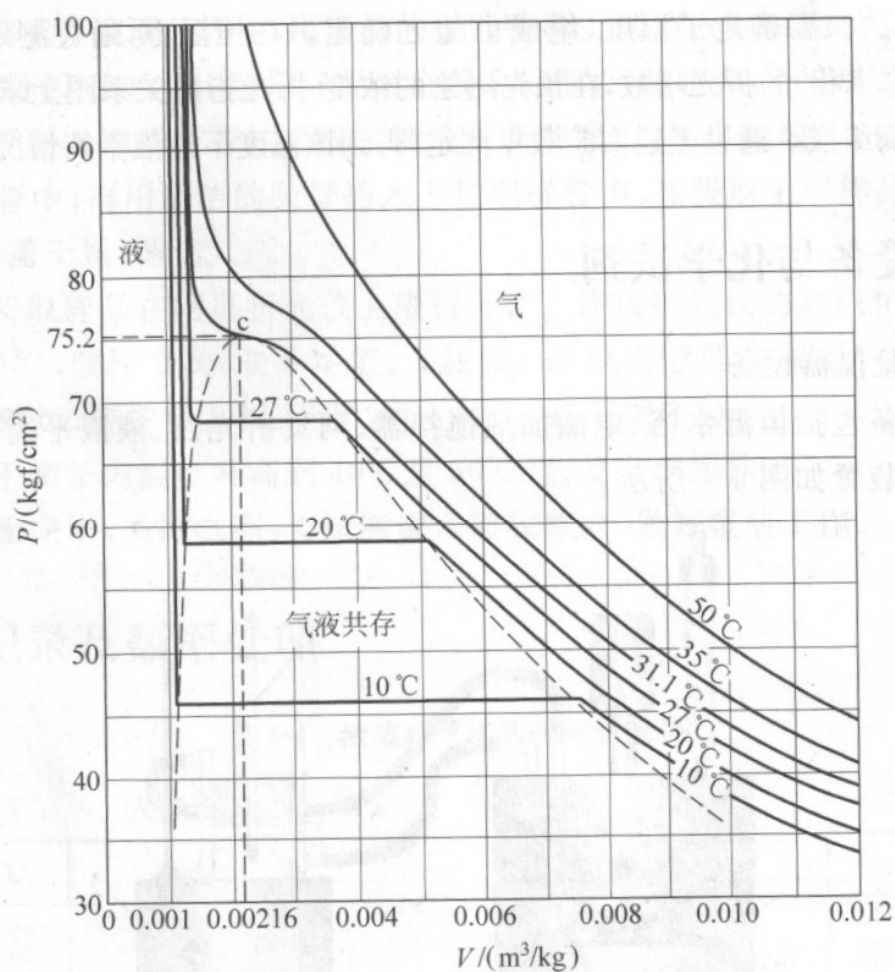


图 1-3 二氧化碳相图关系