

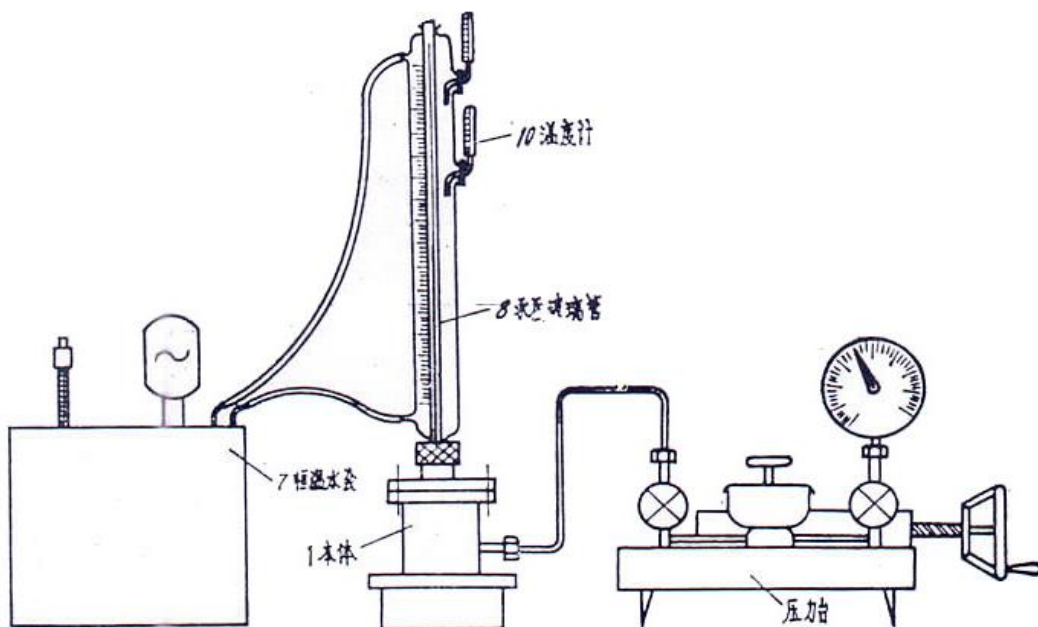
实验一 二氧化碳临界点态观测及 p-v-t 关系实验

一. 实验目的

1. 了解 CO₂ 临界状态的观测方法，增加对临界状态概念的感性认识。
2. 加深对课堂所讲的工质的热力状态、凝结、汽化、饱和状态等基本概念的理解。
3. 掌握 CO₂ 的 p-v-t 关系的测定方法学会用实际气体状态变化规律方法和技巧。
4. 学会活塞式压力计、恒温器等部分热工仪器的正确方法。

二. 实验设备及原理

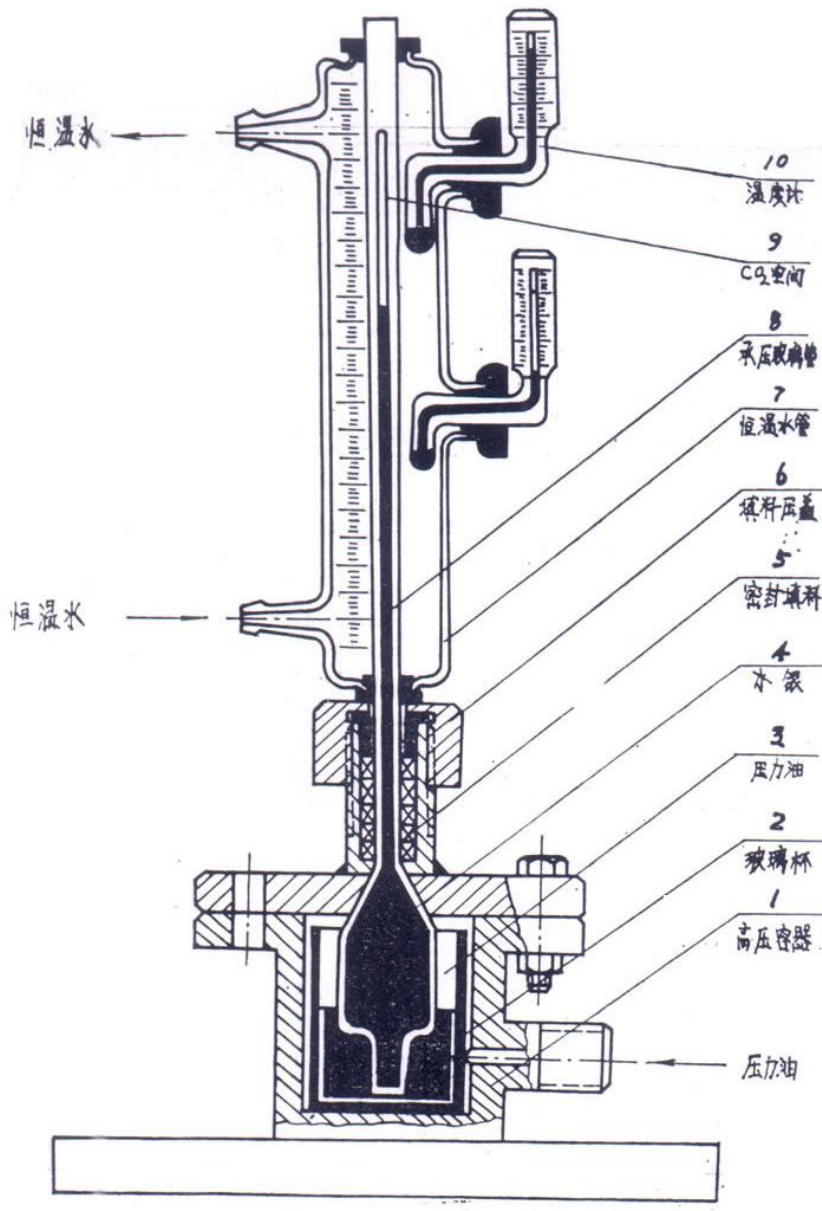
1. 整个实验装备由压力台，恒温器和试验本体及其防护罩三大部分组成，如图一所示。



图一 CO₂ 试验台系统图

①恒温器 ②试验台本体 ③压力台

2. 试验台本体如图二所示。



图二 试验台本体

其中

- 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。

3. 对简单可压热力系统，当工质处于平衡状态时，其状态参数 p 、 v 、 t 之间有：
 对简单的可压缩热力系统，当工质处于平衡状态时，其状态参数 p 、 v 、 t 之间有：

$$F(p, v, t) = 0$$

$$\text{或 } t = f(p, v) \quad (1)$$

本试验就是根据(1), 采用定温方法来测定 CO_2 p-v 之间的关系。从而找出 CO_2 的 p-v-t 关系。

4. 实验中由压力台送来的压力油进入高压容器和玻璃杯上半部, 迫使水银进入预先装了 CO_2 的承压玻璃管。 CO_2 被压缩, 其压力和容积通过压力台上的活塞螺杆的进, 退调节, 温度由恒温器供给的水套里的水温来调节。

5. 实验工质二氧化碳的压力由装压力台的压力表读出 (如要提高精度可由加在活塞转盘上的砝码读出, 并考虑水银柱高度的修正)。温度由插在恒温水套中的温度计读出。比容首先由承压玻璃管内的二氧化碳柱的高度来度量, 而后这根据承压玻璃管内径均匀、截面积不变等条件换算得出。

三. 实验步骤

1. 按图一装好设备, 并开启试验本体上的日光灯。

2. 使用恒温器调定温度

(1) 将蒸馏水注入恒温器内, 注至 30~50mm 为止。检查并接通电路, 开动电动机, 使水循环对流。

(2) 旋转点接点温度计顶端的帽形磁铁调动凸轮示标使凸上端面与所要调定的温度一致, 要将帽形磁铁用横向螺钉锁紧, 以防转动。

(3) 视水温情况, 开、关加热器, 当水温未达到调定的温度时, 恒温器指示灯是亮的, 当指示灯时亮时灭闪动时, 说明温度已达到所需恒温。

(4) 观察玻璃水套上两支温度计, 若其读数相同且与恒温器上的温度计及点接点温度计标定的温度一致时 (或基本一致) 则可 (近似) 认为承压玻璃管内的 CO_2 的温度处于所标定的温度。

(5) 当需要改变试验温度时重复 (2) ~ (4) 即可。

3. 加压前的准备

因为压力台的油缸容量比主容器容量小, 需要多次从油缸里抽油, 再向主容器内充油, 才能在压力表显示压力读数。压力台抽油、充油的操作过程非常重要, 若操作失误, 不但加不上压力还会损坏试验设备, 所以务必认真掌握, 其步骤如下:

(1) 压力表及其入本体油路的两个阀门, 开启压力台上油杯的进油阀。

(2) 摇退压力台上的活塞螺杆, 直至全部退出, 这时压力台油缸中抽满了油。

(3) 先关闭油杯阀门, 然后开启压力表和进入本体油路的两个阀门。

(4) 摇进活塞螺杆, 经本体充油, 如此交复, 直至压力表上有压力读数为止。

(5) 再次检查油杯阀门是否关好, 压力表及本体油路阀门是否开启, 若均已稳定即可进行实验。

4. 做好实验的原始记录及注意事项

(1) 设备数据记录:

仪器、仪表的名称、型号、规格、量程、精度。

(2) 常规数据记录:

室温、大气压、实验环境情况等。

(3) 定承压玻璃管内 CO₂ 的质面比常数 k 值。

由于冲进承压玻璃管内的 CO₂ 质量不便测量，而玻璃管内径或截面积 (A) 又不易测准，因而实验中采用间接办法来确定 CO₂ 的比容，认为 CO₂ 的比容 v 与其高度是一种线性关系，具体如下：

a) 已知 CO₂ 液体在 20℃，9.8Mpa 时的比容

$$v(20^{\circ}\text{C}, 9.8\text{Mpa}) = 0.00117\text{m}^3/\text{kg}$$

b) 如前操作实地测出本试验台 CO₂ 在 20℃，9.8Mpa 时的 CO₂ 液柱高度 Δh^* (m) (注意玻璃水套上刻度的标记方法)

c) 由 a) 可知 $\therefore v(20, 9.8\text{Mpa}) = \Delta h^* A / m = 0.00117\text{m}^3/\text{kg}$

$$\therefore m/A = \Delta h^* / 0.00117 = k \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

那么任意温度，压力下 CO₂ 的比容为

$$v = \Delta h / (m/A) = \Delta h / k \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

式中 $\Delta h = h - h_0$

h——任意温度，压力下水银液柱高度

h₀——承压玻璃内径顶端刻度

(4) 试验中应注意以下几点：

- 做各条定温线时，实验压力 $p \leq 9.8\text{Mpa}$ 实验温度 $t \leq 50^{\circ}\text{C}$
- 一般取 h 时压力间隔可取 0.196~0.490Mpa 但在接近饱和状态时和临界状态时压力间隔取 0.049Mpa。
- 实验中取 h 时水银柱液面高度的读数要注意，应使视线与水银柱半圆型液面的中间一齐。

5. 测定低于临界温度 $t=20^{\circ}\text{C}$ 时的定温线

- 使用恒温器调定 $t=20^{\circ}\text{C}$ 并要保持恒温。
- 压力记录从 4.41Mpa 开始，当玻璃管内水银升起来后，应足够缓慢地摇进活塞螺杆，以保证定温条件，否则来不及平衡，读数不准。
- 按照适当的压力间隔取 h 值至压力 $p=9.8\text{Mpa}$
- 注意加压后，CO₂ 的变化，特别是注意饱和压力与饱和温度的对应关系，液化，汽化等现象，要将测得的实验数据及观察到的现象一并填入表 1。
- 测定 $t=25^{\circ}\text{C}$ ， $t=27^{\circ}\text{C}$ 其饱和温度与饱和压力的对应关系。

6. 测定临界等温线和临界参数，临界现象观察。

- 仿照 5。那样测出临界等温线，并在该曲线的拐点处找出临界压力 P_c 和临界比容 v_c 并将数据填入表 1。
- 临界现象观察

a) 整体相变现象

由于在临界点时，汽化潜热等于零，饱和汽线和饱和液线合于一点所以这时汽液的互相转变不是像临界温度以下时那样逐渐积累，需要一定时间，

表现为一个渐变的过程，而这时当压力稍在变化时，汽、液是以突变的形式互相转化。

b) 汽、液两相模糊不清现象

处于临界点 CO_2 的具有共同参数 (p, v, t)，因而是不能区别此时 CO_2 是气态还是液态，那么这个液体又是接近气体的液体。下面就来用实验证明这个结论。因为这时是处于临界温度下，如果按等温线过程进行来使 CO_2 压缩或膨胀，那么管内是什么也看不到的。现在我们按绝热过程来进行。首先在压力等于 7.64Mpa 附近，突然降压 CO_2 状态点由等温线沿绝热线降到液区，管内 CO_2 出现明显的液面，这就说明，如果这时管内 CO_2 是气体的话，那么这种气体离液区很接近，可以说是接近液体的气体；当我们在膨胀之后，突然压缩 CO_2 时这个液面又立即消失了，这就告诉我们这时 CO_2 液体离气区也是非常接近的可以说是接近气体的液体，既然此时的 CO_2 既接近气态又接近液态所以能处于临界点附近。可以这样说：临界状态究竟如何，饱和汽液分不清。这就是临界点附近饱和汽液模糊不清现象。

7. 测定高于临界温度 $t=50^\circ\text{C}$ 时的等温线，要将数据填入表 1。

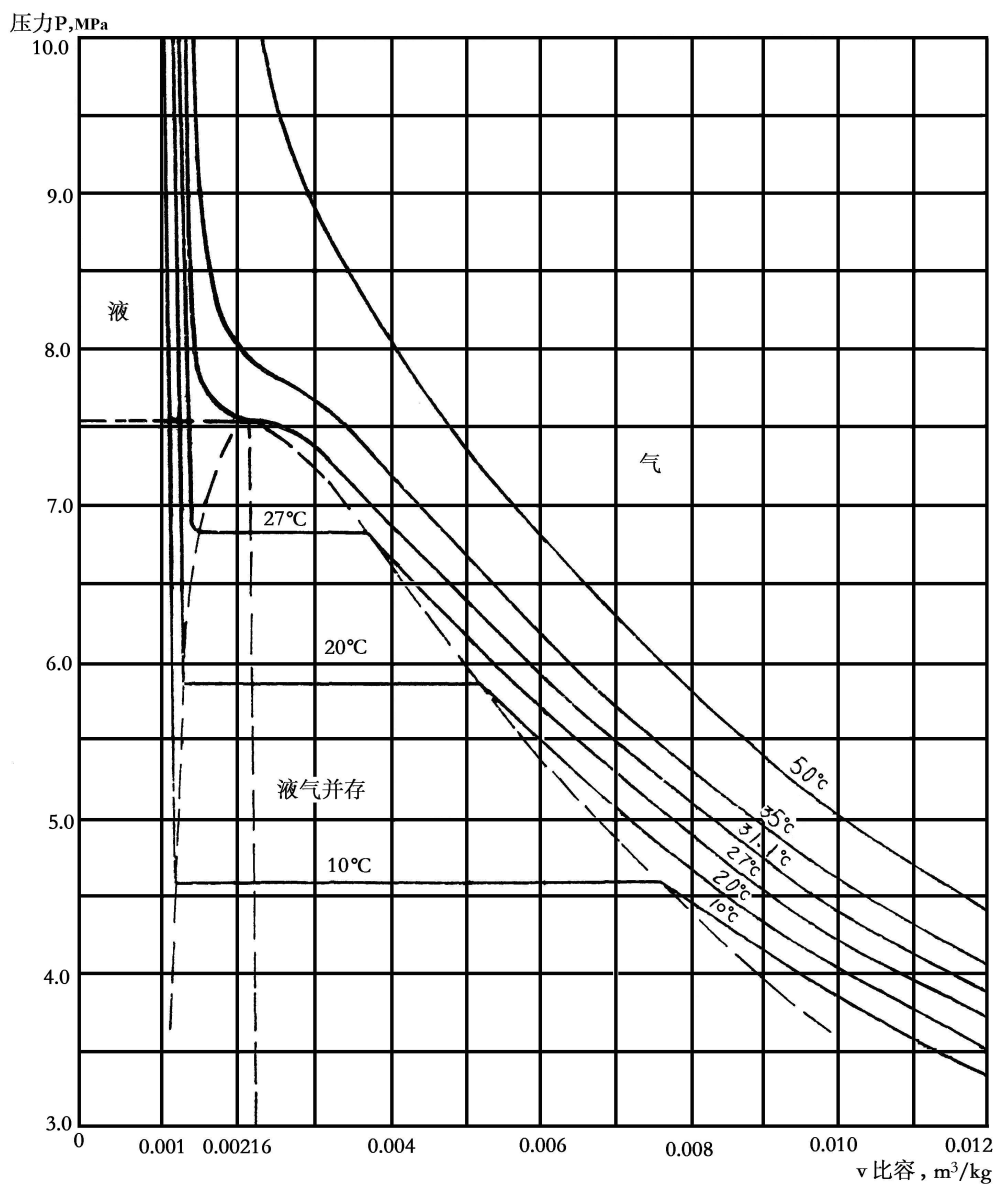
CO₂ 等温实验原始记录

表 1

$t = 20^\circ\text{C}$				$t = 31.1^\circ\text{C}$				$t = 50^\circ\text{C}$			
P(Mpa)	Δh	$v=\Delta h/k$	现象	P(Mpa)	Δh	$v=\Delta h/k$	现象	P(Mpa)	Δh	$v=\Delta h/k$	现象
4.41											
4.90											
9.80											
做出各条等温线所需时间											
分钟				分钟				分钟			

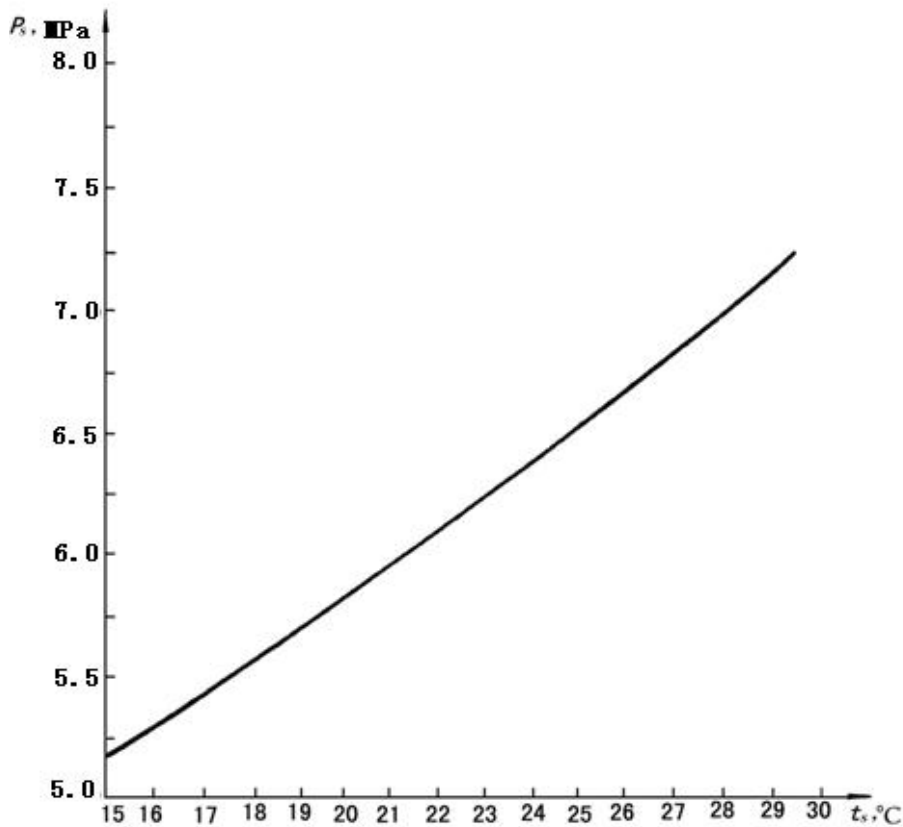
四. 绘制等温曲线与比较

1. 按表 1 的数据仿图三绘出 $p-v$ 图上三条等温线。



图三 标准曲线

2. 将实验测得的等温线与图三所示的标准等温线比较；并分析其中的差异及原因。
3. 将实验测得的饱和温度与饱和压力的对应值与图四绘出的 $t_s \sim p_s$ 曲线相比较。



图四 CO₂ 饱和温度与饱和压力关系曲线

4. 将实验测得的临界比容 v_c 与理论计算值一并填入表 2，并分析其中差异及原因。

临界比容 v_c (m³/kg)

表 2

标准值	实验值	$v_c = \frac{RT_c}{P_c}$	$v_c = \frac{3}{8} \frac{RT_c}{P_c}$
0.00216			

五. 实验报告

1. 简述实验原理及过程。
2. 各种数据的原始记录。
3. 实验结果整理后的图表。
4. 分析比较等温曲线的实验值与标准值之间的差异及其原因。分析比较临界比容的实验值与标准值及理论计算值之间的差异及原因。