

§ 5-1 状态 过程 理想气体

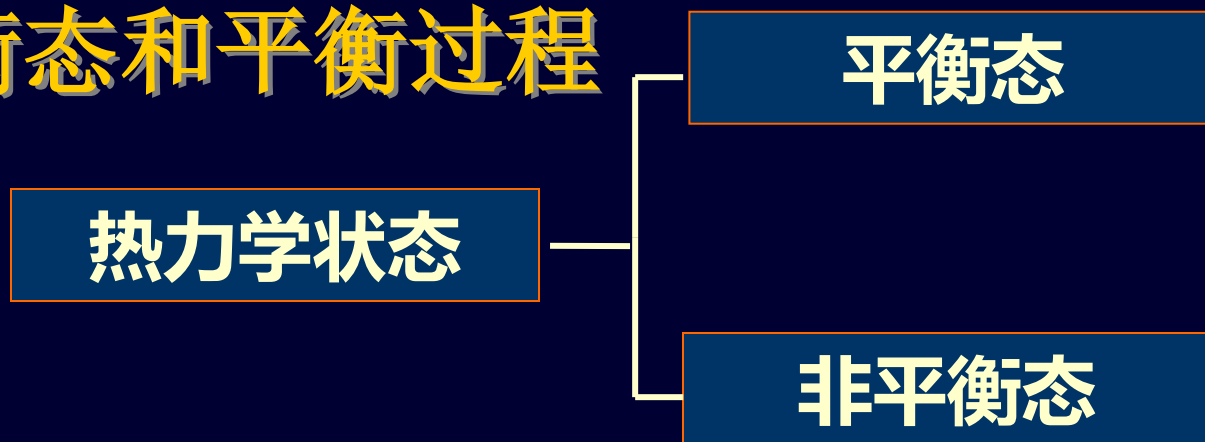
1. 气体状态参量

- 体积 V 气体分子所能到达的空间。 $1\text{dm}^3=1\text{L}$
- 压强 P 气体分子垂直作用于器壁单位面积上的力，是大量气体分子与器壁碰撞的宏观表现。 $760\text{ mmHg}=1.01\times 10^5\text{Pa}$ 。
- 温度 T 反映物体冷热程度的物理量，其高低反映内部分子热运动的剧烈程度。

热力学温标($T:\text{K}$)与摄氏温标($t:^\circ\text{C}$):

$$t=T-273.15$$

2.平衡态和平衡过程



平衡态：在不受外界影响的条件下，系统宏观性质均匀一致、不随时间变化的状态，热动平衡态。气体状态 (P, V, T) 就是指平衡态。

状态1到状态2是一个状态变化的过程。若此过程足够缓慢，这个过程中每一状态都可近似看作平衡态，则叫平衡过程。

平衡态1  非平衡态  平衡态2

状态变化的过程

热力学系统（大量微观粒子组成的气体、固体、液体）状态随时间变化的过程。

非静态过程

系统从平衡态1到平衡态2，经过一个过程,平衡态1必首先被破坏，系统变为非平衡态，从非平衡态到新的平衡态所需的时间为弛豫时间。

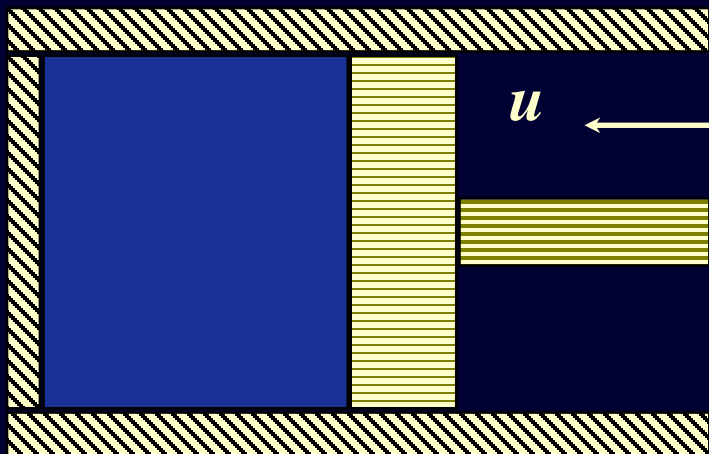
非静态过程：当系统宏观变化比弛豫更快时，这个过程中每一状态都是非平衡态。

平衡过程

在过程中每一时刻，系统都处于平衡态，这是一种理想过程。

当系统弛豫比宏观变化快得多时，这个过程中每一状态都可近似看作平衡态，该过程就可认为是平衡过程。

例1：外界对系统做功，过程无限缓慢，无摩擦。



非平衡态到平衡态的过渡时间，即弛豫时间，约 10^{-3} 秒，如果实际压缩一次所用时间为 1 秒，就可以说是平衡过程。

外界压强总比系统压强大一小量 ΔP ，就可以缓慢压缩。

3.理想气体状态方程

T 不变

玻—马定律
 $PV=\text{constant}$

P 不变

盖—吕萨克定律
 $V/T=\text{constant}$

V 不变

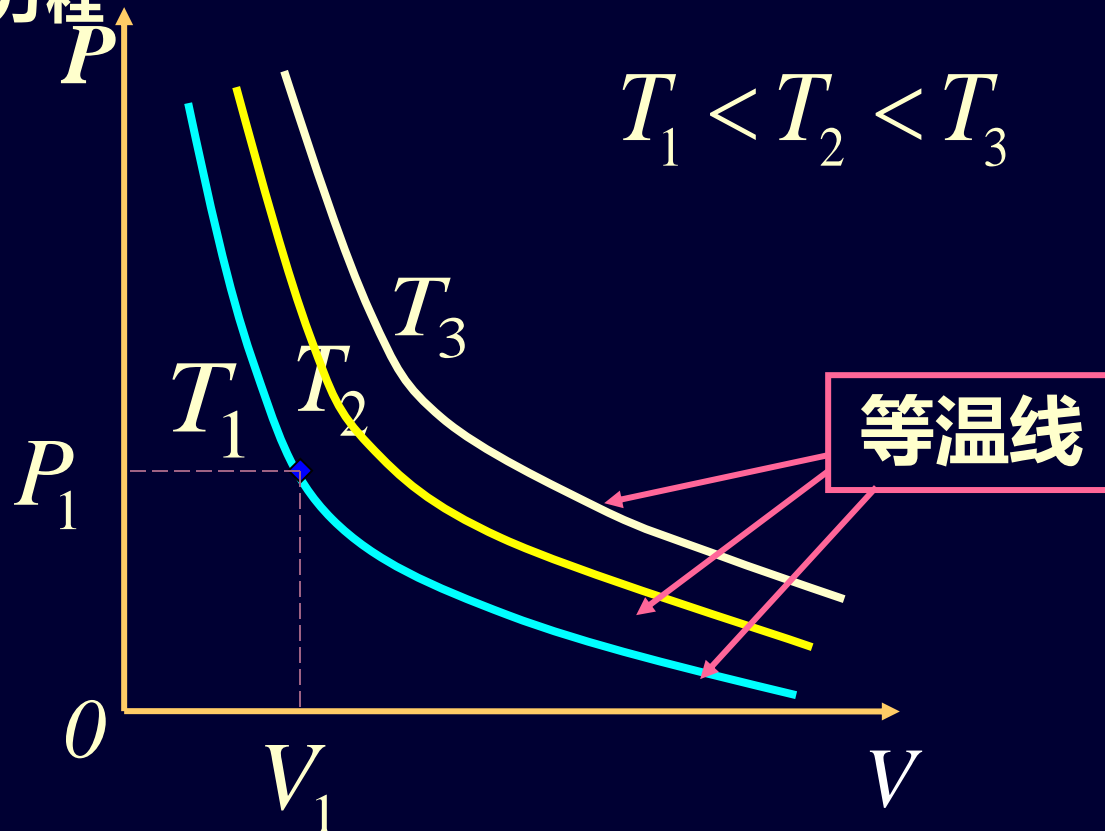
查理定律
 $P/T=\text{constant}$

克拉伯龙方程
 $PV=nRT$

$n=1\text{mol}$

$PV/T=R$

理想气体状态方程



根据状态方程，系统的压强、体积、温度中任两个量一定，就可确定系统的状态，因此常用 P - V 图中的一条曲线来表示系统的准静态过程，曲线上任一点都表示气体的一个平衡态，这种图叫状态图。

例题5-1 某种柴油机的气缸容积为 $0.827 \times 10^{-3} \text{m}^3$ 。设压缩前其中空气的温度 47°C ，压强为 $8.5 \times 10^4 \text{Pa}$ 。当活塞急剧上升时可把空气压缩到原体积的 $1/17$ ，使压强增加到 $4.2 \times 10^6 \text{Pa}$ ，

求这时空气的温度。

如把柴油喷入气缸，将会发生怎样 的情况？

（假设空气可看作理想气体。）

解：本题只需考虑空气的初状态和末状态，并且把空气作为理想气体。我们有

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

已知 $p_1=8.5\times 10^4\text{Pa}$, $p_2=4.2\times 10^6\text{Pa}$,
 $T_1=273\text{K}+47\text{K}=320\text{K}$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{17}, \text{所以}$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} T_1 = 930\text{K}$$

这一温度已超过柴油的燃点，所以柴油喷入气缸时就会立即燃烧，发生爆炸推动活塞做功。

例题5-2 容器内装有氧气，质量为 0.10kg ，压强为 $10 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，温度为 47°C 。因为容器漏气经过若干时间后，压强降到原来的 $5/8$ ，温度降到 27°C 。
问(1)容器的容积有多大？
(2)漏去了多少氧气？

解:(1)根据理想气体状态方程, $pV = \frac{M}{M_{mol}} RT$
求得容器的容积 V 为

$$V = \frac{MRT}{M_{mol}p} = \frac{0.10 \times 8.31 \times 10^{-5} \times (273 + 47)}{0.032 \times 10} \text{ m}^3 \\ = 8.31 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

若漏气若干时间之后，压强减小到 p' ，温度降到 T' 。如果用 M' 表示容器中剩余的氧气的质量，从状态方程求得

$$M' = \frac{M_{mol} p' V}{RT'} = \frac{0.032 \times \frac{5}{8} \times 10 \times 8.31 \times 10^{-3}}{8.31 \times 10^{-5} \times (273 + 47)} m^3$$
$$= 6.67 \times 10^{-2} kg$$

所以漏去的氧气的质量为

$$\Delta M = M - M' = (0.10 - 6.67 \times 10^{-2}) kg = 3.33 \times 10^{-2} kg$$

若漏气若干时间之后，压强减小到 p' ，温度降到 T' 。如果用 M' 表示容器中剩余的氧气的质量，从状态方程求得

$$M' = \frac{M_{mol} p' V}{RT'} = \frac{0.032 \times \frac{5}{8} \times 10 \times 8.31 \times 10^{-3}}{8.31 \times 10^{-5} \times (273 + 47)} m^3$$
$$= 6.67 \times 10^{-2} kg$$

所以漏去的氧气的质量为

$$\Delta M = M - M' = (0.10 - 6.67 \times 10^{-2}) kg = 3.33 \times 10^{-2} kg$$