



热力学小结

过程	等体	等压	等温	绝热
过程特点	$dV = 0$	$dp = 0$		
过程方程	$\frac{p}{T} = C$	$\frac{V}{T} = C$		
热一律	$dQ_v = dE$	$dQ_p = dE + p dv$		
热量 Q	$\nu C_{V,m}(T_2 - T_1)$	$\nu C_{p,m}(T_2 - T_1)$		
功 W	0	$P(V_2 - V_1)$		
内能变化	$\Delta E = E_2 - E_1 = \nu C_{V,m}(T_2 - T_1)$			
摩尔热容	$C_{V,m} = \frac{i}{2} R$	$C_{P,m} = \frac{i+2}{2} R$		



第十三章 热力学基础

第4节 《理想气体的等温过程和绝热过程》

掌握热力学第一定律，
理解理想气体的摩尔定体热容、摩尔定压热容，能分析计算理想气体在等体、等压、等温和绝热过程中的功、热量和内能的改变量

一 等温过程

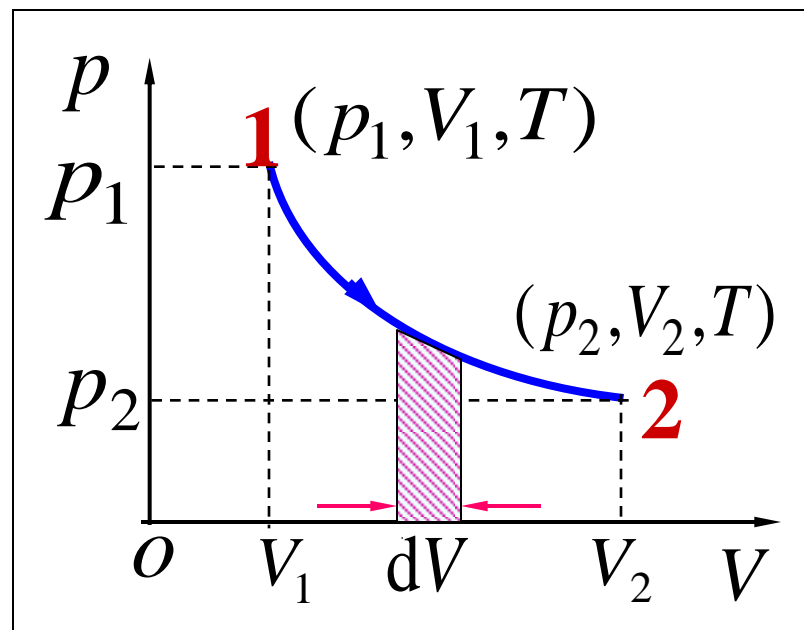
特征 $T = \text{常量}$

过程方程 $pV = \text{常量}$

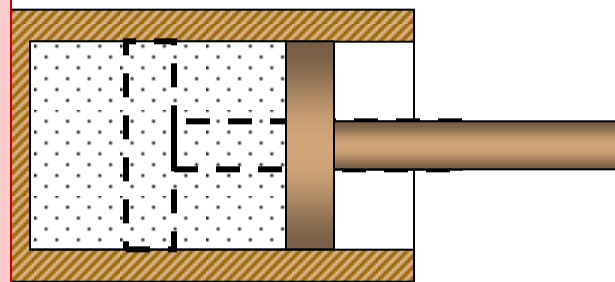
$$dE = 0$$

由热力学第一定律

$$dQ_T = dW = pdV$$



恒温热源
 T



13-4 理想气体的等温过程和绝热过程

$$Q_T = W = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad p = \nu \frac{RT}{V}$$

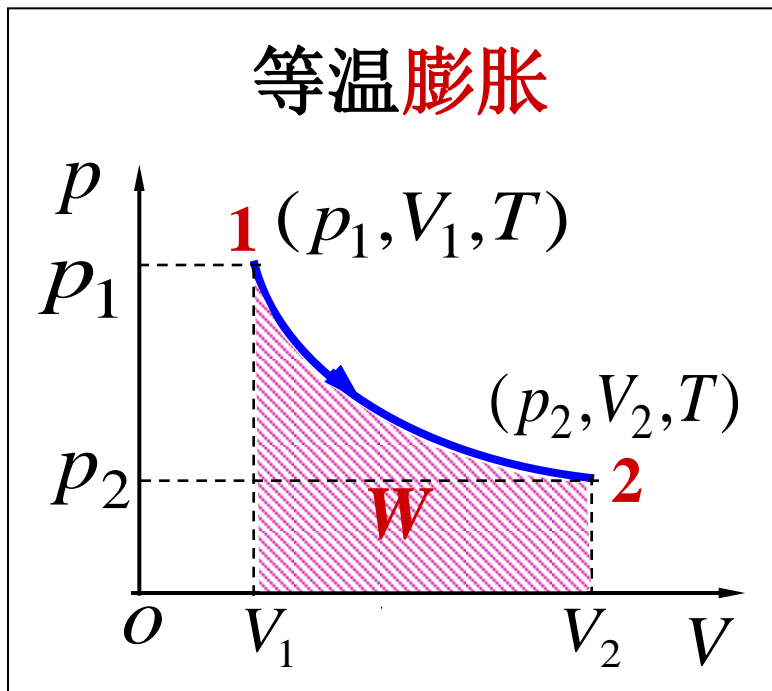
$$Q_T = W = \int_{V_1}^{V_2} \nu \frac{RT}{V} dV = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

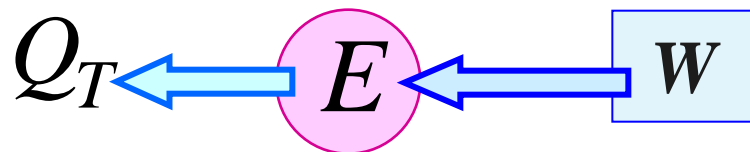
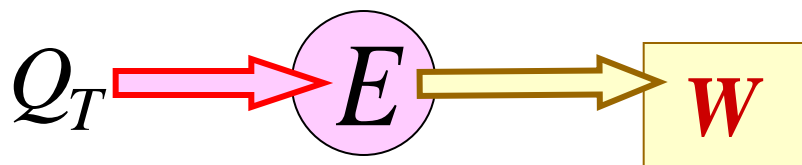
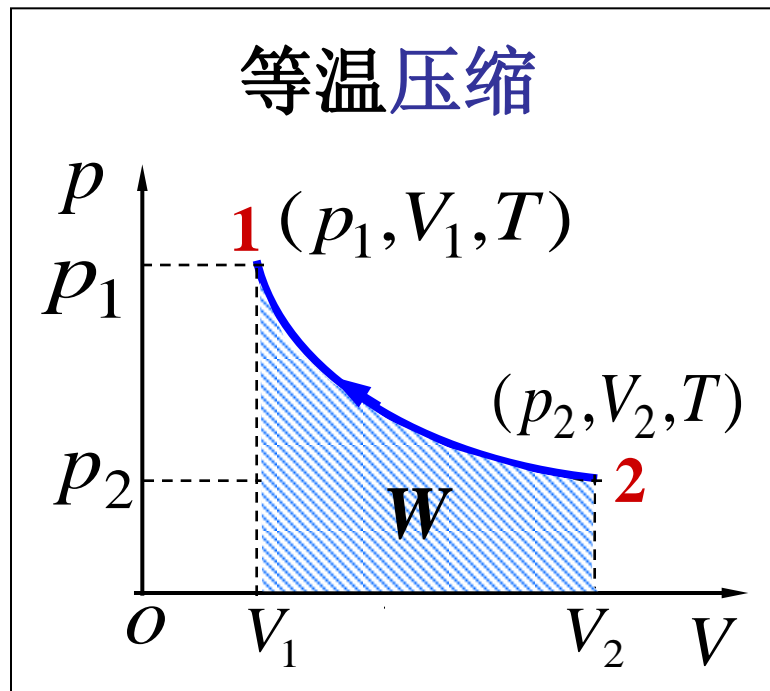


13-4 理想气体的等温过程和绝热过程

等温膨胀



等温压缩



二 绝热过程

与外界无热量交换的过程

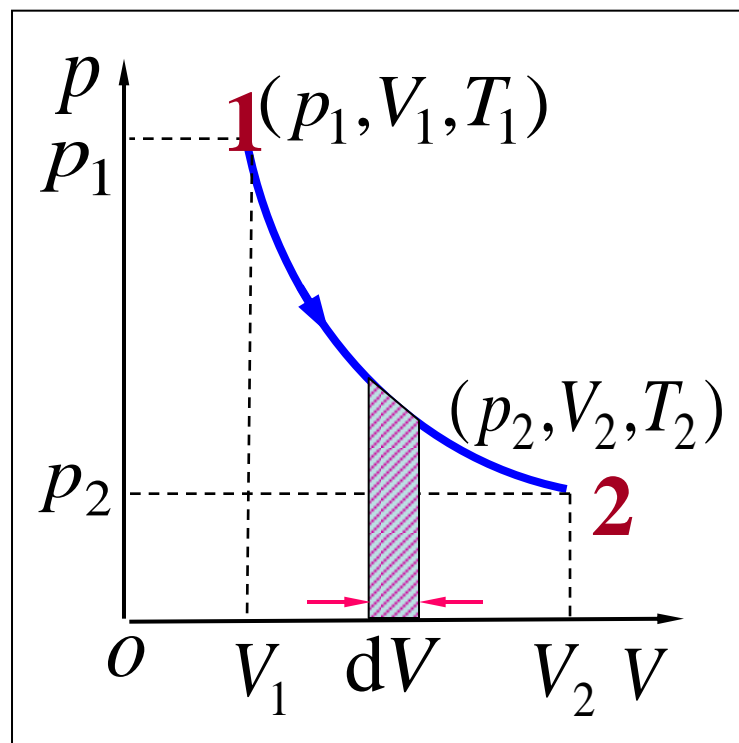
特征 $dQ = 0$

由热力学
第一定律

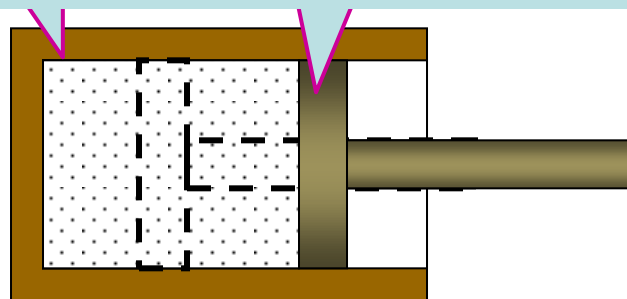
$$dW + dE = 0$$

$$dW = -dE$$

$$dE = \nu C_{V,m} dT$$



绝热的汽缸壁和活塞



13-4 理想气体的等温过程和绝热过程

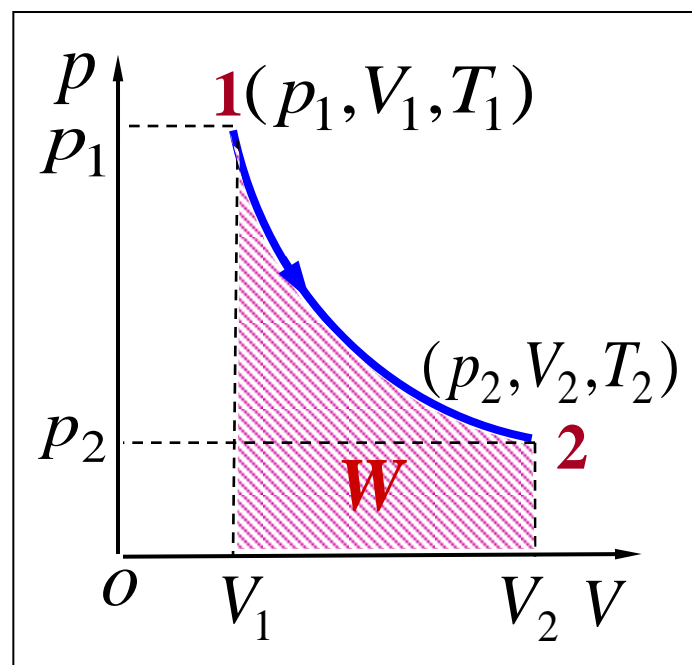
$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = - \int_{T_1}^{T_2} \nu C_{V,m} dT$$

$$= -\nu C_{V,m} (T_2 - T_1)$$

由热力学第一定律有

$$W = -\Delta E$$

$$W = \nu C_{V,m} (T_1 - T_2)$$



13-4 理想气体的等温过程和绝热过程

若已知 p_1, V_1, p_2, V_2 及 γ

由 $pV = \nu RT$ 可得

$$\begin{aligned} W &= C_{V,m} \left(\frac{p_1 V_1}{R} - \frac{p_2 V_2}{R} \right) \\ &= \frac{C_{V,m}}{C_{p,m} - C_{V,m}} (p_1 V_1 - p_2 V_2) \end{aligned}$$

$$W = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1}$$

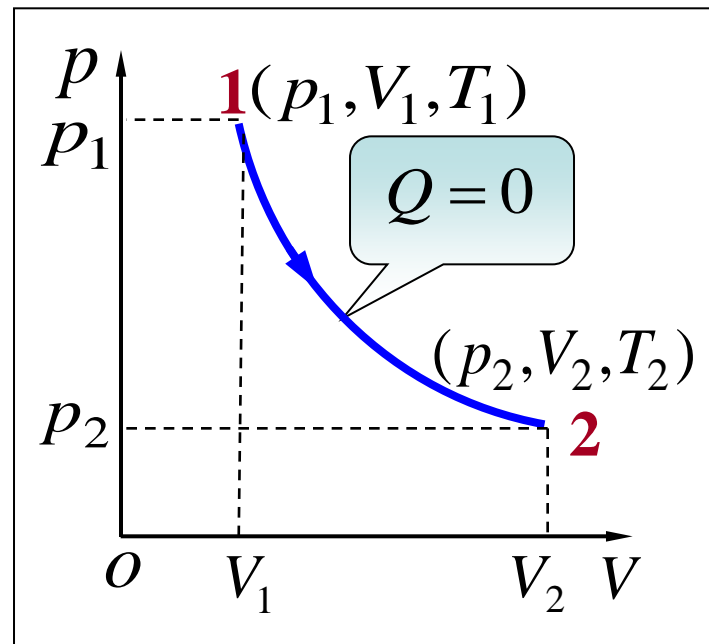


◆ 绝热过程方程的推导

$$\because dQ = 0, \quad \therefore dW = -dE$$

$$\begin{cases} p dV = -\nu C_{V,m} dT \\ pV = \nu RT \end{cases}$$

$$\nu \frac{RT}{V} dV = -\nu C_{V,m} dT$$



分离变量得 $\frac{dV}{V} = -\frac{C_{V,m}}{R} \frac{dT}{T}$

$$\int \frac{dV}{V} = -\int \frac{1}{\gamma-1} \frac{dT}{T}$$

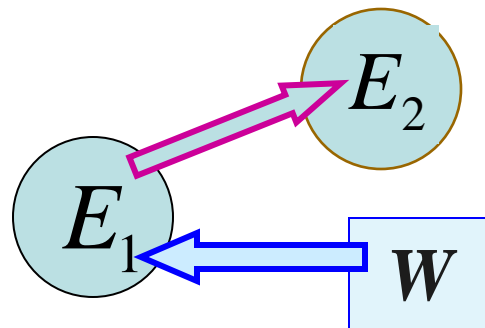
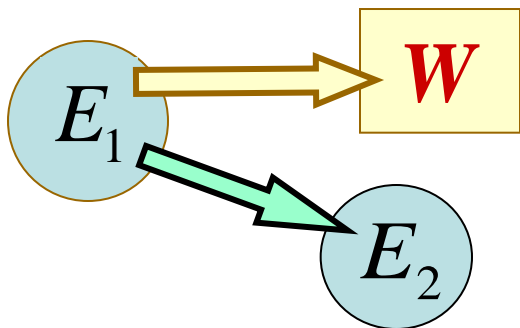
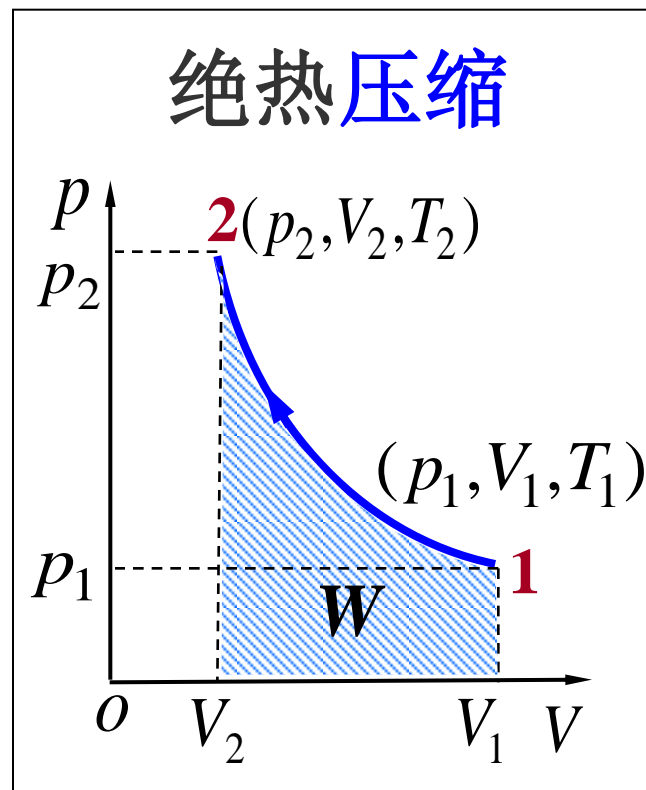
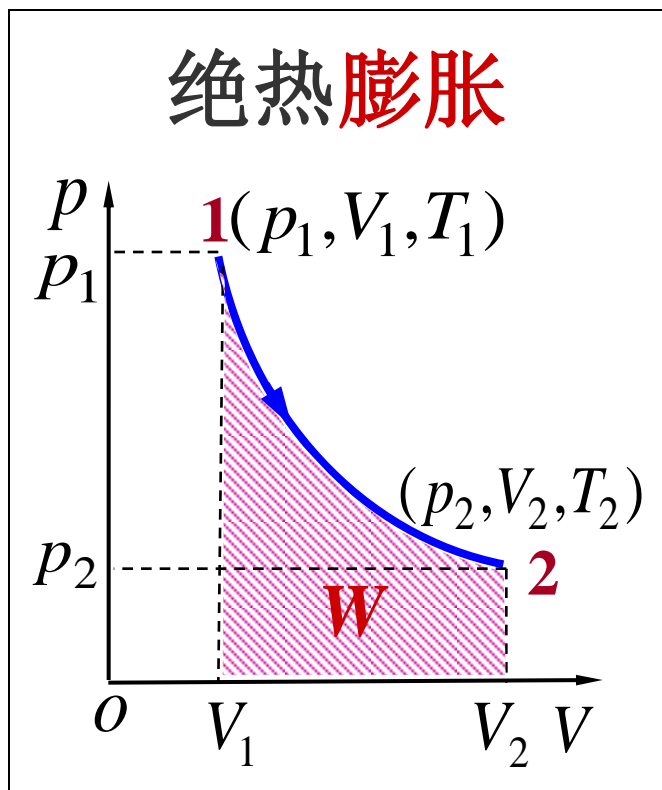
$$V^{\gamma-1} T = \text{常量}$$

绝
热
方
程

$$\begin{aligned} V^{\gamma-1} T &= \text{常量} \\ p V^{\gamma} &= \text{常量} \\ p^{\gamma-1} T^{-\gamma} &= \text{常量} \end{aligned}$$



13-4 理想气体的等温过程和绝热过程



三 绝热线和等温线

绝热过程曲线的斜率

$$pV^\gamma = \text{常量}$$

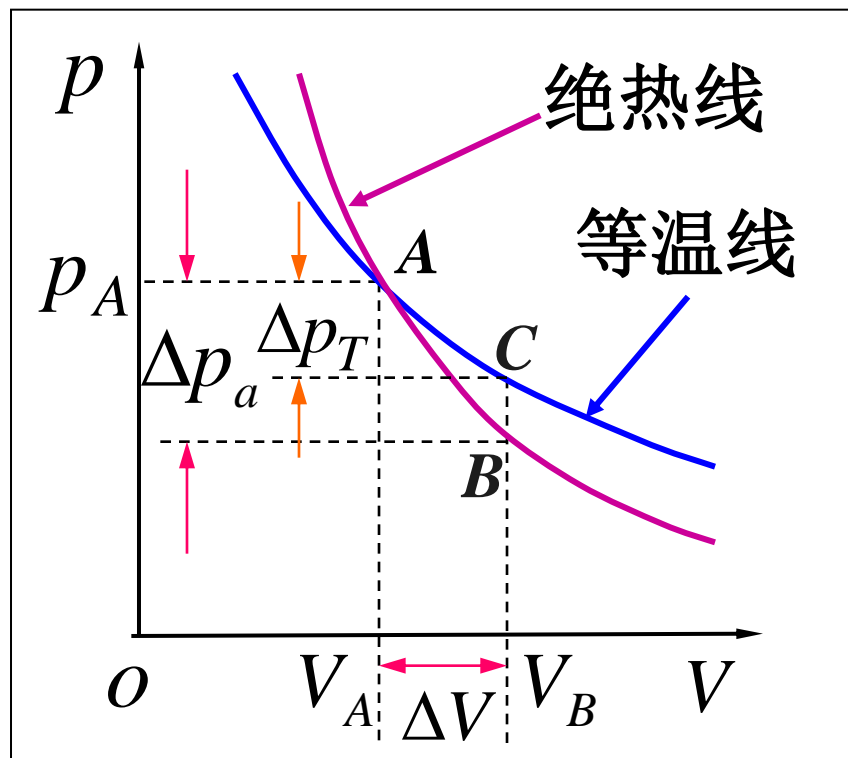
$$\gamma p V^{\gamma-1} dV + V^\gamma dp = 0$$

$$\left(\frac{dp}{dV}\right)_a = -\gamma \frac{p_A}{V_A}$$



等温过程曲线的斜率

意义：对于相同体积变化，等温膨胀过程中系统的压强 P 的下降完全由系统密度的减小引起；对于绝热膨胀过程，系统压强的下降由密度的减小和温度的降低共同产生。因此绝热过程中压强的变化快于等温过程。



绝热线的斜率大于等温线的斜率。



思考题1

当打开一瓶装有香槟、苏打水饮料或者任何其它碳酸饮料瓶时，在开瓶瞬间，为什么瓶口的周围会形成一团白雾，或者看见瓶口突然冒出白烟？



香槟在开启的瞬间，内部有二氧化碳和水蒸气的压强大于大气压，气体迅速膨胀到大气中，在此过程中气体来不及从外界吸收热量，可近似为绝热过程。气体膨胀后体积增大，对外界大气做正功，内能的减小，使气体温度降低，从而造成气体中水蒸气凝结成小水滴，从而形成雾。

@1054



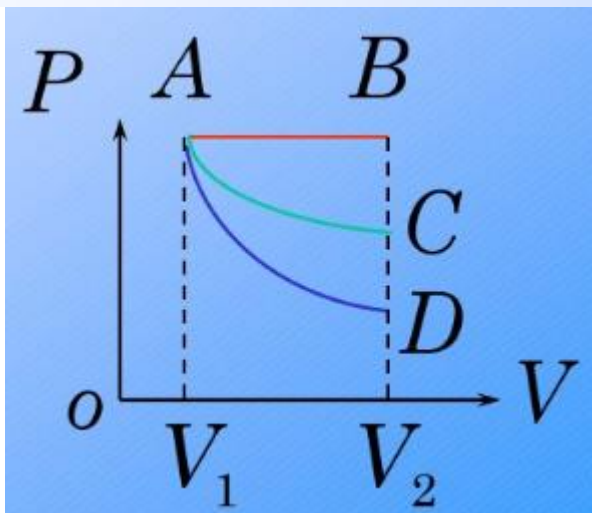
13-4 理想气体的等温过程和绝热过程

过程	等体	等压	等温	绝热
过程特点	$dV = 0$	$dp = 0$	$dT = 0$	$dQ = 0$
过程方程	$\frac{p}{T} = C$	$\frac{V}{T} = C$	$pV = C$	$PV^\gamma = C_1$ $V^{\gamma-1}T = C_2$ $P^{\gamma-1}T^{-\gamma} = C_3$
热一律	$dQ_v = dE$	$dQ_p = dE + pdv$	$dQ_T = pdv$	$dE + pdv = 0$
热量 Q	$\nu C_{V,m}(T_2 - T_1)$	$\nu C_{p,m}(T_2 - T_1)$	$\nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$	0
功 W	0	$P(V_2 - V_1)$	$\nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$	$-\nu C_{V,m}(T_2 - T_1)$ $\frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\gamma - 1}$
内能变化	$\Delta E = E_2 - E_1 = \nu C_{V,m}(T_2 - T_1)$			
摩尔热容	$C_{V,m} = \frac{i}{2} R$	$C_{P,m} = \frac{i+2}{2} R$	∞	0



13-4 理想气体的等温过程和绝热过程

习题103 一定量的理想气体从体积 V_1 膨胀到体积 V_2 分别经历的过程是： AB 等压过程； AC 等温过程； AD 绝热过程,其中吸热最多的过程。



- (A) 是 AB ;
- (B) 是 AC ;
- (C) 是 AD ;
- (D) 既是 AB 也是 AC ,两过程吸热一样多。

[A]

由热力学第一定律 $Q = \nu \frac{i}{2} R \Delta T + W$

再结合PV图分析右边两项,可知



13-4 理想气体的等温过程和绝热过程

109 讨论下列几个过程中温度的变化、内能增量、功、热量的正负。

1. 等容降压过程;
2. 等压压缩过程;
3. 绝热膨胀过程;
4. 未知过程与等温线有两个交点。

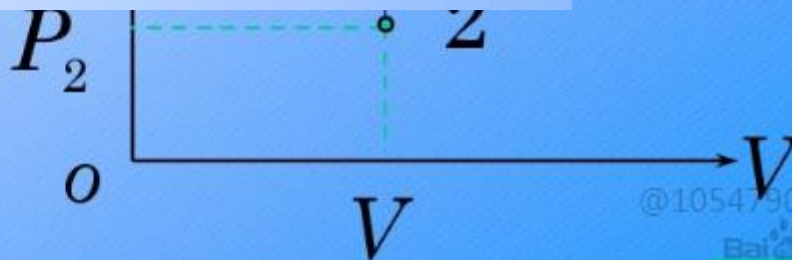
$$P \propto T$$

$$\therefore P \downarrow \rightarrow \Delta T < 0 \rightarrow \Delta E < 0$$

由热力学第一定律 $Q = \Delta E < 0$ 放热过程

$$W = 0$$

由 $\frac{P}{T} = C$



2. 等压压缩过程

体积收缩，曲线
下面积为负值。

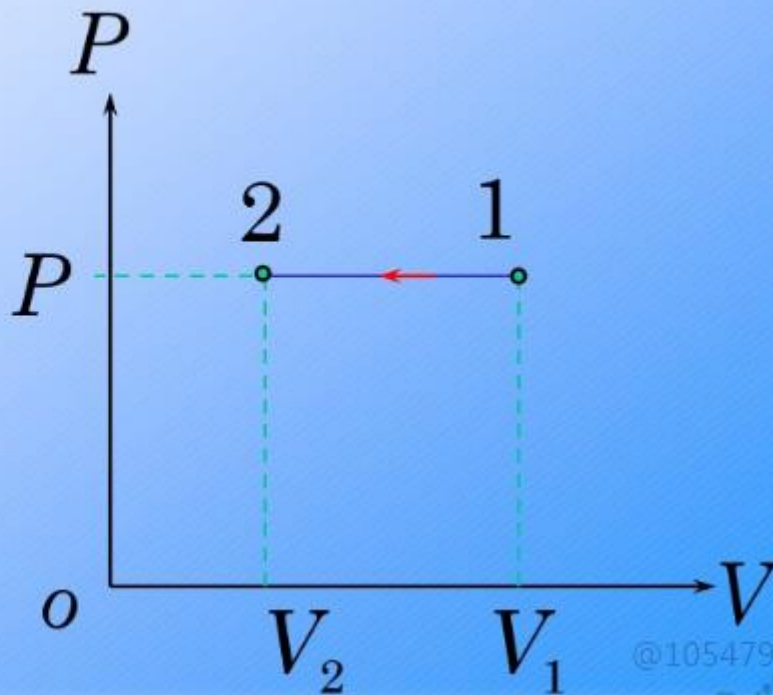
$$\Delta V < 0, \quad W < 0$$

由 $\frac{V}{T} = C$

$$V \propto T$$

$$\therefore \Delta V < 0 \rightarrow \Delta T < 0 \rightarrow \Delta E < 0$$

由热力学第一定律 $Q = \Delta E + W < 0$ 放热



3. 绝热膨胀过程

$$Q = 0$$

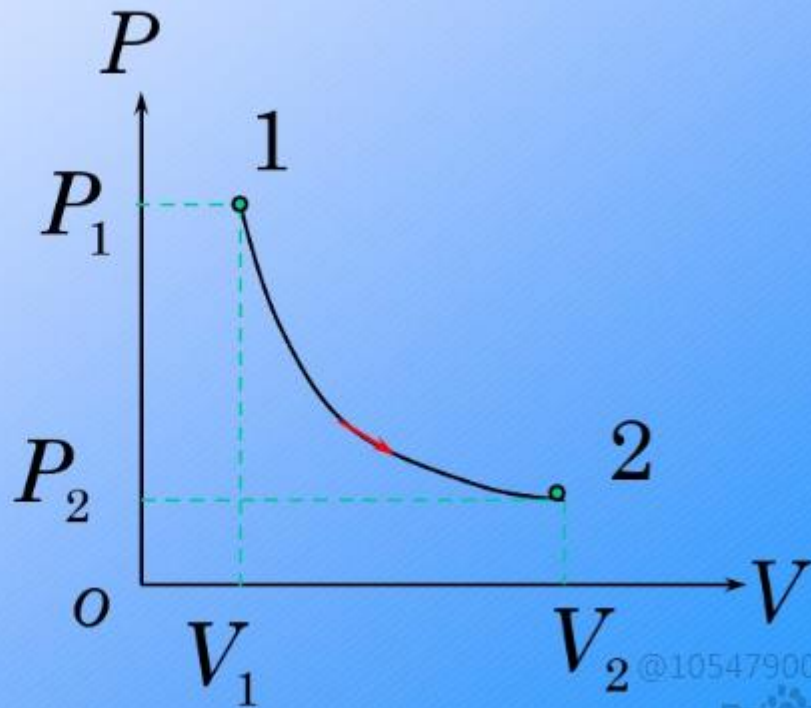
$$\Delta V > 0, \quad W > 0$$

由热力学第一定律

$$0 = \Delta E + W$$

$$\Delta E = -W < 0$$

$$\Delta T < 0$$



4. 未知过程与等温线有两个交点

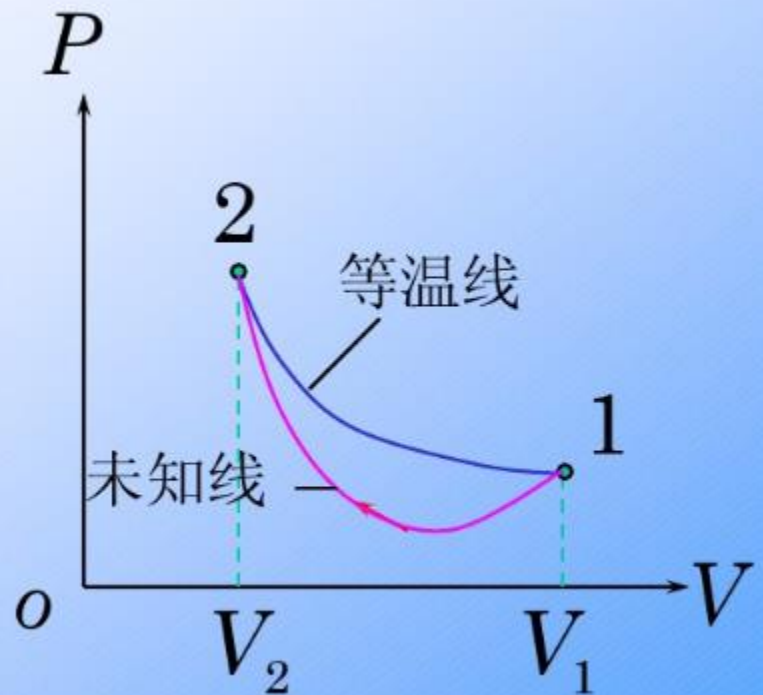
$$\Delta V < 0, \quad W < 0$$

由于1、2点在等温线上，

$$T_1 = T_2$$

$$\Delta T = 0 \rightarrow \Delta E = 0$$

由热力学第一定律 $Q = W < 0$ 放热



例1 温度为 25°C、压强为 1 atm 的 1 mol 刚性双原子分子理想气体，经等温过程体积膨胀至原来的3倍。

(1) 计算这个过程中气体对外的功。

(2) 假设气体经绝热过程体积膨胀至原来的3倍，那么气体对外做的功又是多少？

摩尔气体常数

(2) 绝热过程气体对外做功

$$\begin{aligned} W &= \int_{V_0}^{3V_0} P dV = P_0 V_0^\gamma \int_{V_0}^{3V_0} V^{-\gamma} dV \\ &= \frac{3^{1-\gamma} - 1}{1-\gamma} P_0 V_0 = \frac{1 - 3^{1-\gamma}}{\gamma - 1} RT_0 \quad \gamma = 1 + \frac{2}{i} = 1.4 \\ &= 2.20 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

@1054791

Baidu



13-4 理想气体的等温过程和绝热过程

109

对于理想气体系统来说，在下列过程中，哪个过程系统所吸收的热量、内能的增量和对外作的功三者均为负值？（ ）

- A) 等容降压过程； B) 等温膨胀过程；
C) 绝热膨胀过程； D) 等压压缩过程。

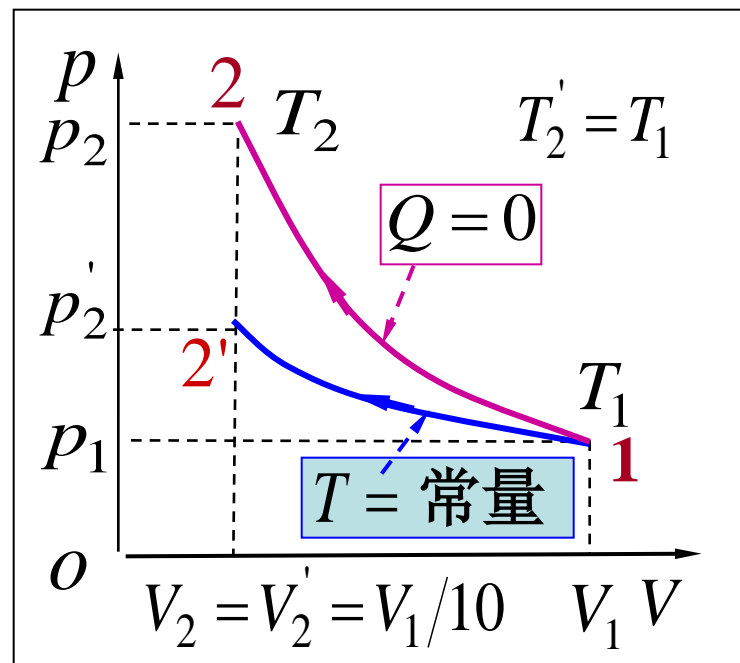
提示：考虑热力学第一定律中各量的符号

$$Q = \Delta E + W$$

	Q	ΔE	W
A等容降压	<0	<0	$=0$
B等温膨胀	>0	$=0$	>0
C绝热膨胀	$=0$	<0	>0
D等压压缩	<0	<0	<0



例2 设有 5 mol 的氢气，最初温度 20°C ，压强 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，求下列过程中把氢气压缩为原体积的 $1/10$ 需作的功：(1) 等温过程 (2) 绝热过程 (3) 经这两过程后，气体的压强各为多少？



13-4 理想气体的等温过程和绝热过程

已知: $\nu = 5 \text{ mol}$ $T_0 = 293 \text{ K}$

$$P_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \quad V = 0.1 V_0$$

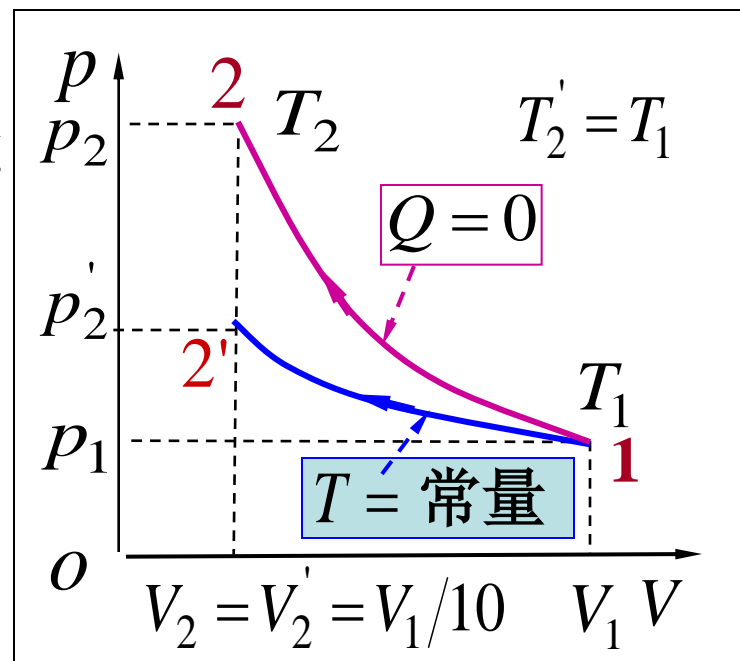
解 (1) 等温过程

$$W'_{12} = \nu RT \ln \frac{V'_2}{V_1} = -2.80 \times 10^4 \text{ J}$$

(2) 氢气为双原子气体

由表查得 $\gamma = 1.41$, 有

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = 753 \text{ K}$$



13-4 理想气体的等温过程和绝热过程

$$W_{12} = -\nu C_{V,m} (T_2 - T_1) \quad C_{V,m} = 20.44 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$W_{12} = -4.70 \times 10^4 \text{ J}$$

(3) 对等温过程

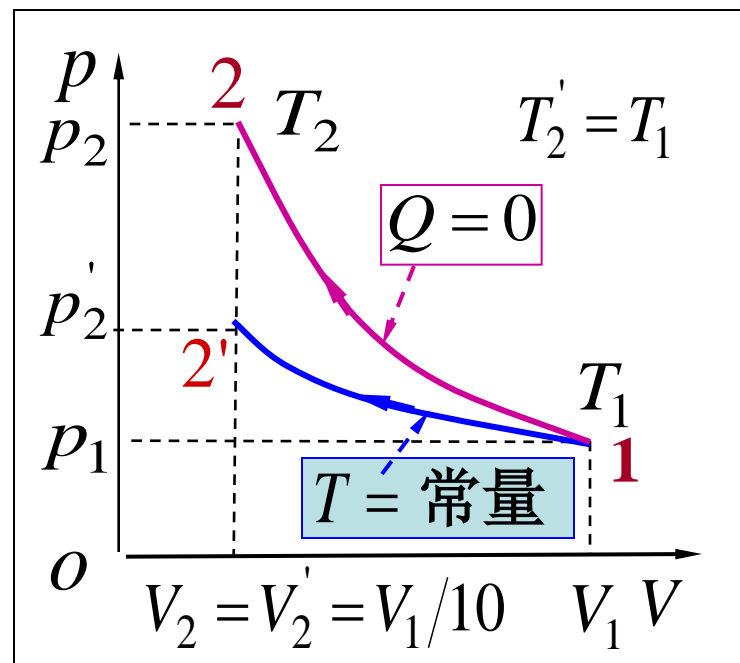
$$p'_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

$$= 1.01 \times 10^6 \text{ Pa}$$

对绝热过程，有

$$p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma$$

$$= 2.55 \times 10^6 \text{ Pa}$$





例3 氮气液化， 把氮气放在一个绝热的汽缸中.开始时,氮气的压强为50个标准大气压、温度为300K； 经急速膨胀后，其压强降至 1个标准大气压，从而使氮气液化.试问此时氮的温度为多少 ？



解 氮气可视为理想气体，其液化过程为绝热过程。

$$p_1 = 50 \times 1.01 \times 10^5 \text{ Pa} \quad T_1 = 300 \text{ K}$$

$$p_2 = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

氮气为双原子气体由表查得 $\gamma = 1.40$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} = 98.0 \text{ K}$$



例4 一汽缸内有一定的水，缸壁由良导热材料制成. 作用于活塞上的压强 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 摩擦不计. 开始时，活塞与水面接触. 若环境(热源) 温度非常缓慢地升高到 100°C . 求把单位质量的水汽化为水蒸气，内能改变多少？

已知 汽化热 $L = 2.26 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$

密度 $\rho_{\text{水}} = 1040 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$\rho_{\text{蒸气}} = 0.598 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$



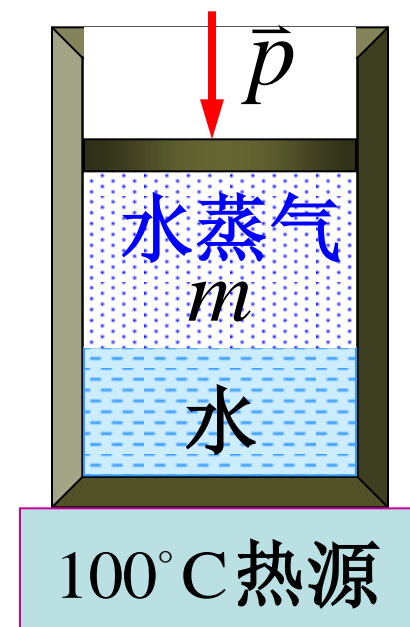
解 水汽化所需的热量 $Q = mL$

水汽化后体积膨胀为 $\Delta V = m\left(\frac{1}{\rho_{\text{蒸气}}} - \frac{1}{\rho_{\text{水}}}\right)$

$$L = 2.26 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\rho_{\text{水}} = 1040 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{蒸气}} = 0.598 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$



13-4 理想气体的等温过程和绝热过程

$$W = \int p dV = p \Delta V = pm \left(\frac{1}{\rho_{\text{蒸气}}} - \frac{1}{\rho_{\text{水}}} \right)$$

$$\Delta E = Q - W = mL - pm \left(\frac{1}{\rho_{\text{蒸气}}} - \frac{1}{\rho_{\text{水}}} \right)$$

$$\frac{\Delta E}{m} = L - p \left(\frac{1}{\rho_{\text{蒸气}}} - \frac{1}{\rho_{\text{水}}} \right) = 2.09 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

