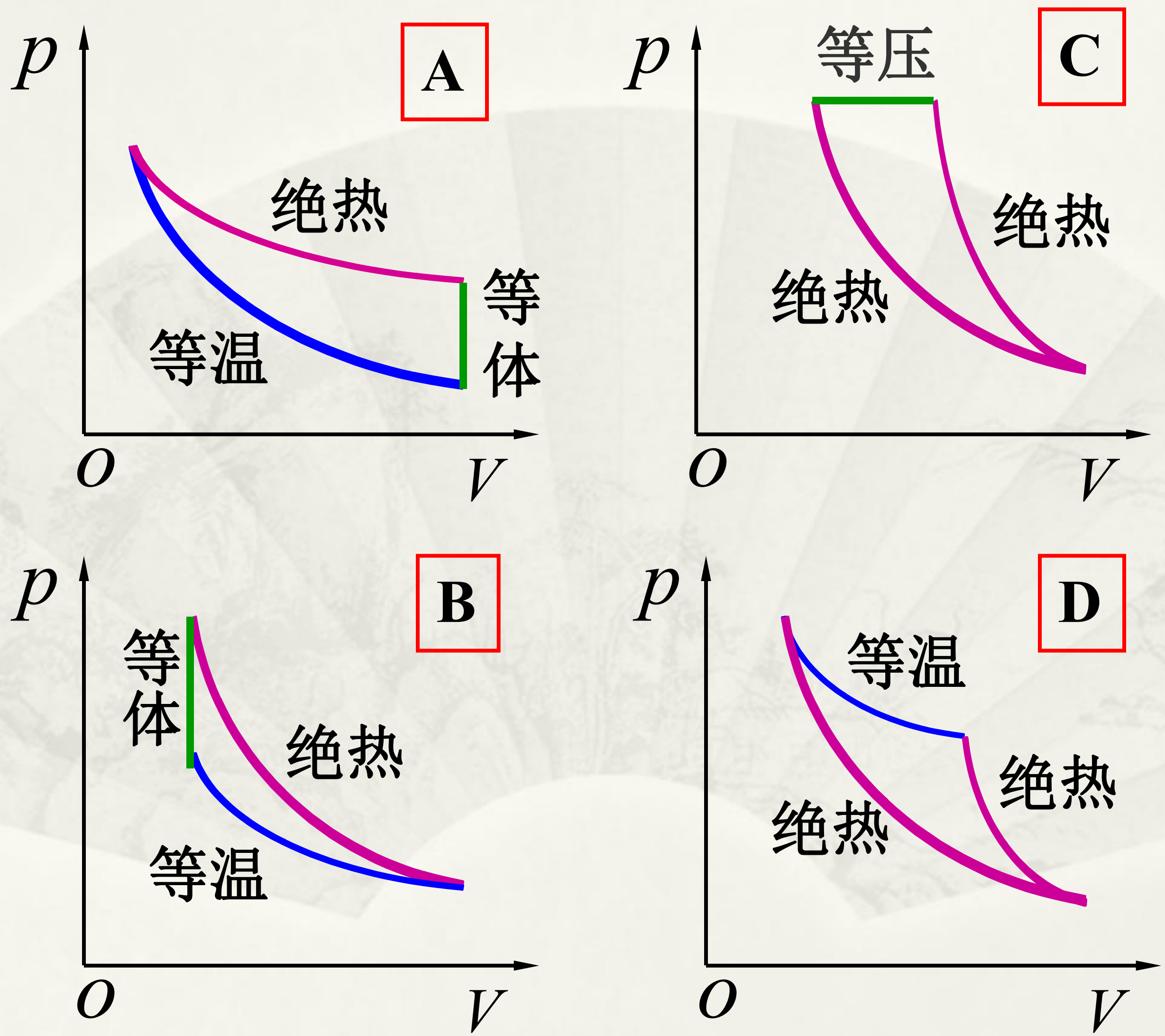
各过程中ΔE, A, Q的计算

	ΔE	A	Q
等容	$\frac{m}{M}C_V(T_2-T_1)$	0	$Q_V=\frac{m}{M}C_V(T_2-T_1)$
等压	$\frac{m}{M}c_V(T_2-T_1)$	$P(V_2-V_1)$ $\frac{m}{M}R(T_2-T_1)$	$\frac{m}{M}c_P(T_2-T_1)$
等温	0	$\frac{m}{M}RT\ln\frac{V_2}{V_1}$ $(P_1V_1\ln\frac{P_1}{P_2})$	$\frac{m}{M}RT\ln\frac{V_2}{V_1}$ $(P_1V_1\ln\frac{P_1}{P_2})$

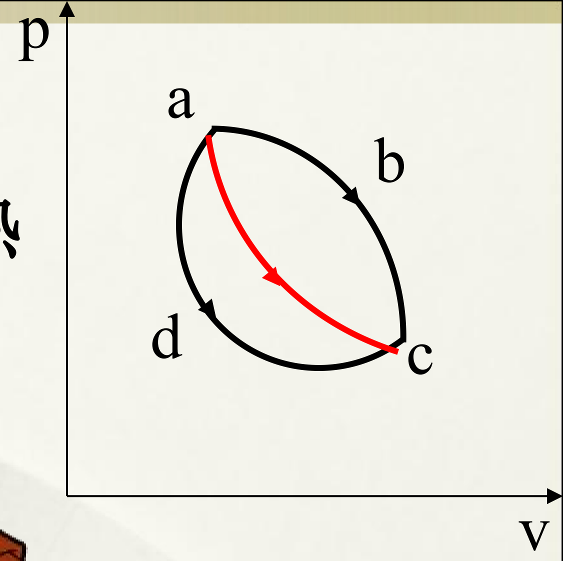
例1、以下四图是某人设计的理想气体的四种循环过程，哪种是物理上可能实现的循环过程？



答案：B

[例2]　若$a\rightarrow c$过程是绝热过程

问：abc过程和adc过程是吸热还是放热



答：$\because a\rightarrow c \quad (dQ=0)$

$$\left.\begin{array}{l} a\rightarrow c \quad (dQ=0) \\ A>0 \\ A=-\Delta E \end{array}\right\} \therefore \Delta E<0$$

abc过程：

$$\left.\begin{array}{l} Q'=A'+\Delta E \\ \Delta E=-A \\ A'>A \end{array}\right\} Q'=(A'-A)>0$$ （吸热）

adc过程：

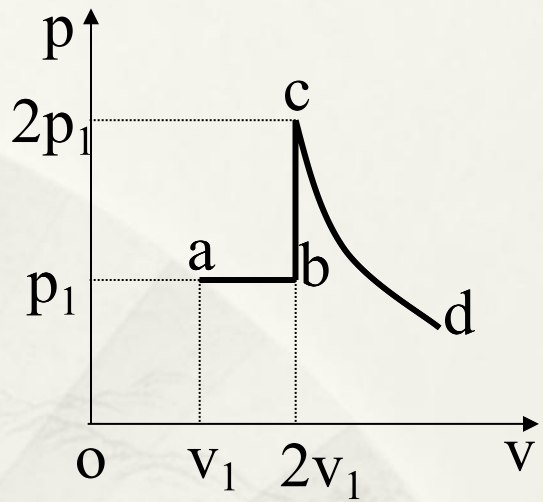
$$\left.\begin{array}{l} Q''=A''+\Delta E \\ \Delta E=-A \\ A''<A \end{array}\right\} Q'=(A''-A)<0$$ （放热）

[例3] 1mol单原子理想气体，由状态a(p_1, V_1)先等压加热至体积增大1倍，再等体加热至压力增大1倍，最后再经绝热膨胀，使其温度降至初始温度，如图所示，试求：

(1) 状态d的体积V_d；

(2) 整个过程对外所做的功；

(3) 整个过程吸收的热量.



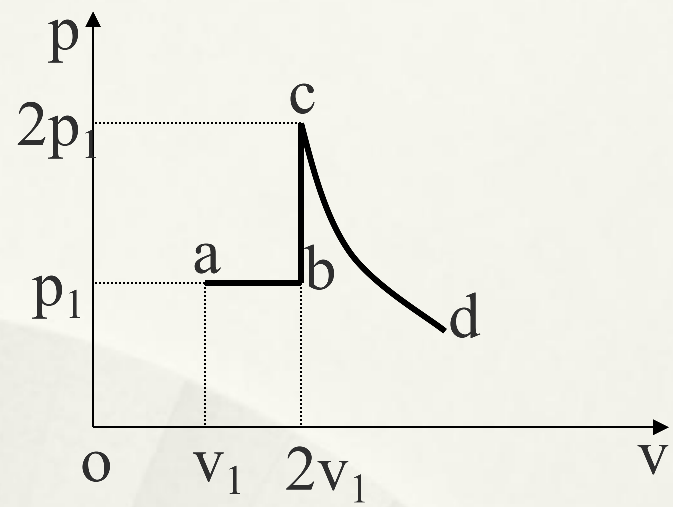
解：(1) 由绝热过程方程：$T_c V_c^{\gamma-1} = T_d V_d^{\gamma-1}$

得： $$V_d = \left(\frac{T_c}{T_d}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} V_c = 15.8 V_1$$

根据题意： $$T_d = T_a = \frac{p_1 V_1}{R}$$ $$V_c = 2V_1$$

$$T_c = \frac{p_c V_c}{R} = \frac{4 p_1 V_1}{R} = 4T_a$$ $$\gamma = \frac{5}{3}$$

(2)整个过程对外所做的功;



$$A = A_{ab} + A_{bc} + A_{cd}$$

其中: $A_{ab} = p_1(V_b - V_a) = p_1V_1$

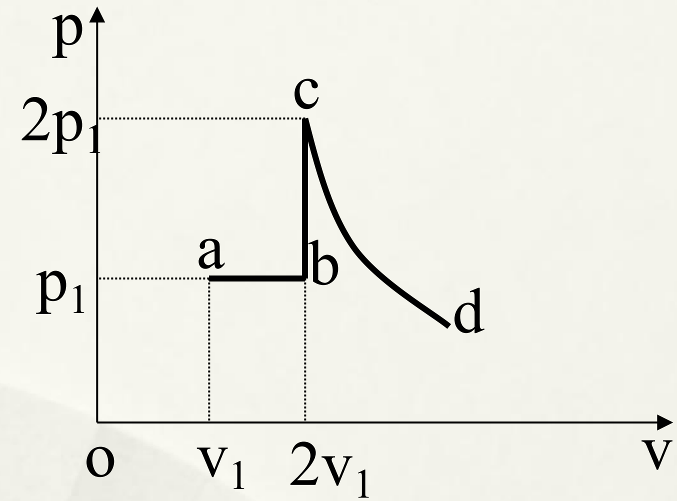
$$A_{bc} = 0$$

$$A_{cd} = -\Delta E_{cd} = C_V(T_c - T_d) = C_V(4T_a - T_a)$$

$$= \frac{3}{2}R \cdot 3T_a = \frac{9}{2}p_1V_1$$

得: $A = \dfrac{11}{2}P_1V_1$

(3) 整个过程吸收的热量.



方法一：$Q = Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{cd} = \frac{11}{2} P_1 V_1$

$$Q_{ab} = C_p (T_b - T_a) = \frac{5}{2} R (T_b - T_a)$$

$$= \frac{5}{2}(p_b V_b - p_a V_a) = \frac{5}{2} p_1 V_1$$

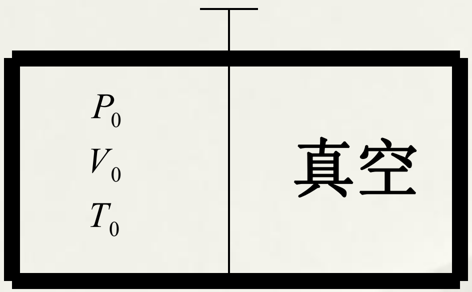
$$Q_{bc} = C_V (T_c - T_b) = \frac{3}{2} R (T_c - T_b) = \frac{3}{2}(p_c V_c - p_b V_b) = 3 p_1 V_1$$

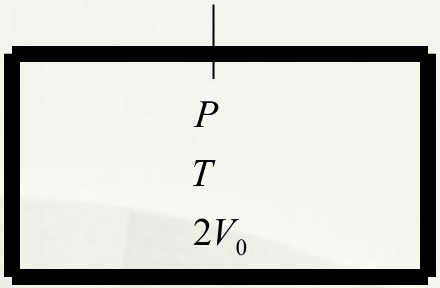
$$Q_{cd} = 0$$

方法二：对abcd整个应用热力学第一定律 $Q = \Delta E + A$

$$\because \quad T_a = T_d, \Delta E = 0 \quad \therefore Q = A = \frac{11}{2} p_1 V_1$$

二、非静态绝热过程——绝热自由膨胀





$$V_0^{\gamma-1}T_0 = (2V_0)^{\gamma-1}T \to T$$

$$P_0V_0^{\gamma} = P\,(2V_0)^{\gamma} \to P$$

∵绝热过程

$$\left.\begin{array}{l} \therefore (E-E_0)+A=0 \\ \text{而}\quad A=0 \end{array}\right\}\quad E=E_0 \qquad (T=T_0)$$

始末两态满足状态方程

$$\frac{P_0V_0}{T_0}=\frac{P\,(2V_0)}{T} \Longrightarrow P=\frac{1}{2}P_0$$

三、多方过程

*过程方程 $pV^n = C$ $n \longrightarrow$ 多方指数

n =∞ —— 等容过程

n=0 —— 等压过程

n =1 —— 等温过程

n =γ —— 绝热过程

一般情况1< n < γ，多方过程可近似代表气体内进行的实际过程。

*多方过程的功

$$\left.\begin{aligned} A &= \int_{V_1}^{V_2} PdV \\ PV^n &= P_1V_1^n \end{aligned}\right\} A = P_1V_1^n \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^n} \boxed{= \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}}$$

*摩尔热容

$$A=\frac{P_1V_1-P_2V_2}{n-1}=-\frac{1}{n-1}\left[\frac{m}{M}R(T_2-T_1)\right]$$

$$\Delta E=\frac{m}{M}C_V(T_2-T_1)$$

$$\boxed{Q=A+\Delta E=\frac{m}{M}\left[C_V-\frac{R}{n-1}\right](T_2-T_1)=\frac{m}{M}C_{mol}\Delta T}$$

$$C_{mol}=C_V-\frac{R}{n-1}\quad \boxed{=\frac{n-\gamma}{n-1}C_V}$$

等容过程：$n=\infty, C_{mol}=C_V$　等温过程：$n=1, C_{mol}=\infty$

等压过程：$n=0, C_{mol}=\gamma C_V=C_P$　绝热过程：$n=\gamma, C_{mol}=0$

$$又 \because C_{mol} = \frac{dQ}{dT} = \frac{n-\gamma}{n-1} C_V$$

$$Q = \frac{m}{M} C_{mol} \Delta T$$

$\therefore$ 当 $1 < n < \gamma$ 时， $C_{mol} < 0$ $\begin{cases} T\uparrow & Q<0 \quad 放热 \\ T\downarrow & Q>0 \quad 吸热 \end{cases}$

当 $n > \gamma$ 或 $n < 1$ 时 $C_{mol} > 0$ $\begin{cases} T\uparrow & Q>0 \quad 吸热 \\ T\downarrow & Q<0 \quad 放热 \end{cases}$

［例4］ 一摩尔的单原子理想气体，从初态（P_1、V_1）出发，经过某一过程$PV^2=C$，体积膨胀到$V_2=2V_1$。

⑴.试写出气体温度与压强间的表达式；

⑵.当气体膨胀时，其温度是升高还是降低；

⑶.在此过程中气体摩尔热容C_{mol}为何值；

⑷.气体分子的平均动能将如何变化。

解:(1).$PV^2=P\left(\frac{m}{M}\frac{RT}{P}\right)^2=\frac{m^2}{M^2}R^2\frac{T^2}{P}=C \quad \therefore PT^{-2}=C'$

$$(2).\left.\begin{aligned} \because PV^2 &= C \\ PT^{-2} &= C' \end{aligned}\right\} VT=C'' \qquad \therefore V\uparrow, T\downarrow$$

③.在此过程中气体摩尔热容C_{mol}为何值；

解法一：

$$C_{mol}=\frac{n-\gamma}{n-1}C_V$$

$$n=2,\qquad C_V=\frac{3}{2}R$$

$$\gamma=\frac{C_P}{C_V}=\frac{i+2}{i}=\frac{5}{3}$$

$$得:C_{mol}=\frac{1}{2}R$$

解法二：

$$C_{mol}=\frac{Q}{T_2-T_1}=\frac{\Delta E+A}{T_2-T_1}$$

$$\Delta E=\frac{i}{2}R\,(T_2-T_1)=\frac{3}{2}R\,(T_2-T_1)$$

$$A=\frac{P_1V_1-P_2V_2}{n-1}=-R\,(T_2-T_1)$$

$$得:C_{mol}=\frac{1}{2}R$$

⑷.气体分子的平均动能将如何变化。

解：

$$\left.\begin{aligned} N_A\Delta\overline{\varepsilon_k} &= \Delta E = \frac{3}{2}R(T_2-T_1) \\ &= \frac{3}{2}(P_2V_2-P_1V_1) \\ P_1V_1^{\,2} &= P_2V_2^{\,2} \\ V_2 &= 2V_1 \end{aligned}\right\} \Delta\overline{\varepsilon_k} = -\frac{3P_1V_1}{4N_A}$$

〈0

分子平均动能减少

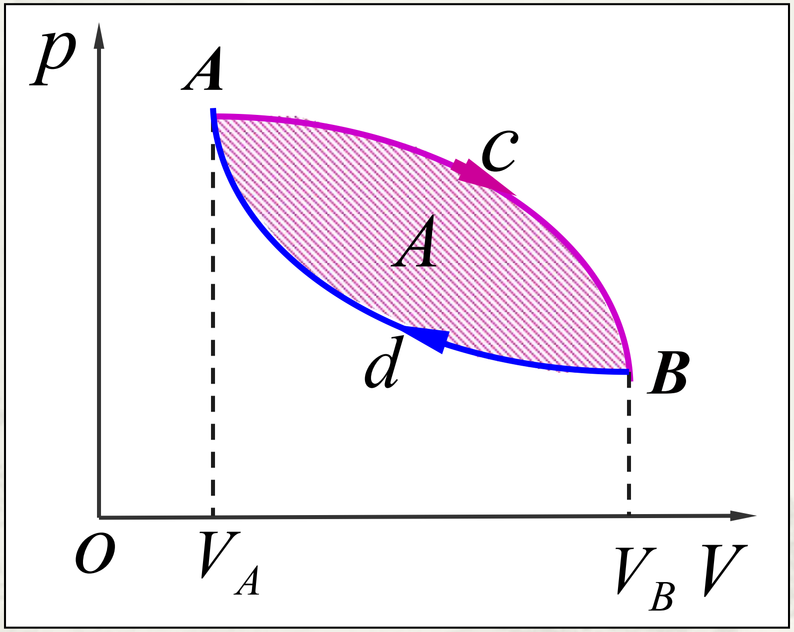
7.5 循环过程　卡诺循环

一 循环过程

系统经过一系列变化状态过程后，又回到原来的状态的过程叫热力学循环过程．

特征 $\Delta E = 0$

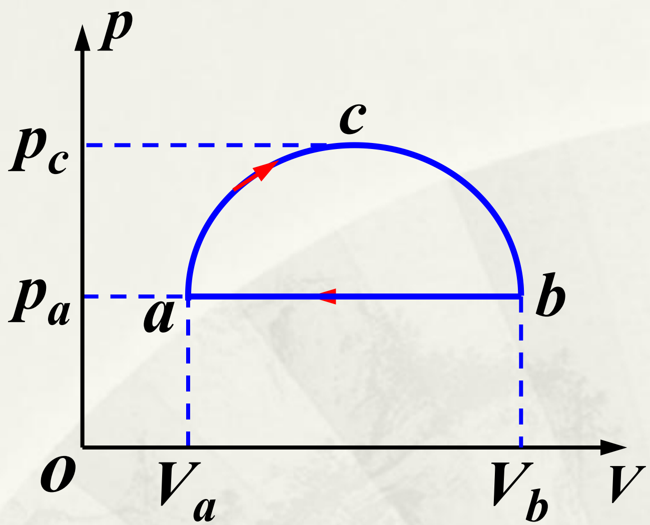
热力学第一定律 $Q = A$



$$\begin{cases} A_{净功} = Q_1 - Q_2 = Q \\ 总吸热 \longrightarrow Q_1 \end{cases}$$

总放热 $\longrightarrow Q_2$（取绝对值）

例1 $p_c = 2p_a$, 循环过程中净吸热为

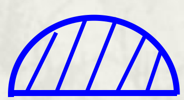


(A) $Q = \frac{m}{M} C_p (T_b - T_a)$

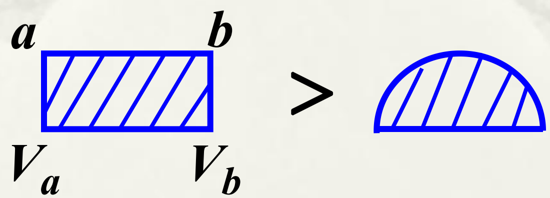
(B) $Q < \frac{m}{M} C_p (T_b - T_a)$

(C) $Q > \frac{m}{M} C_p (T_b - T_a)$

(D) 不能确定

净吸热 $Q =$ 

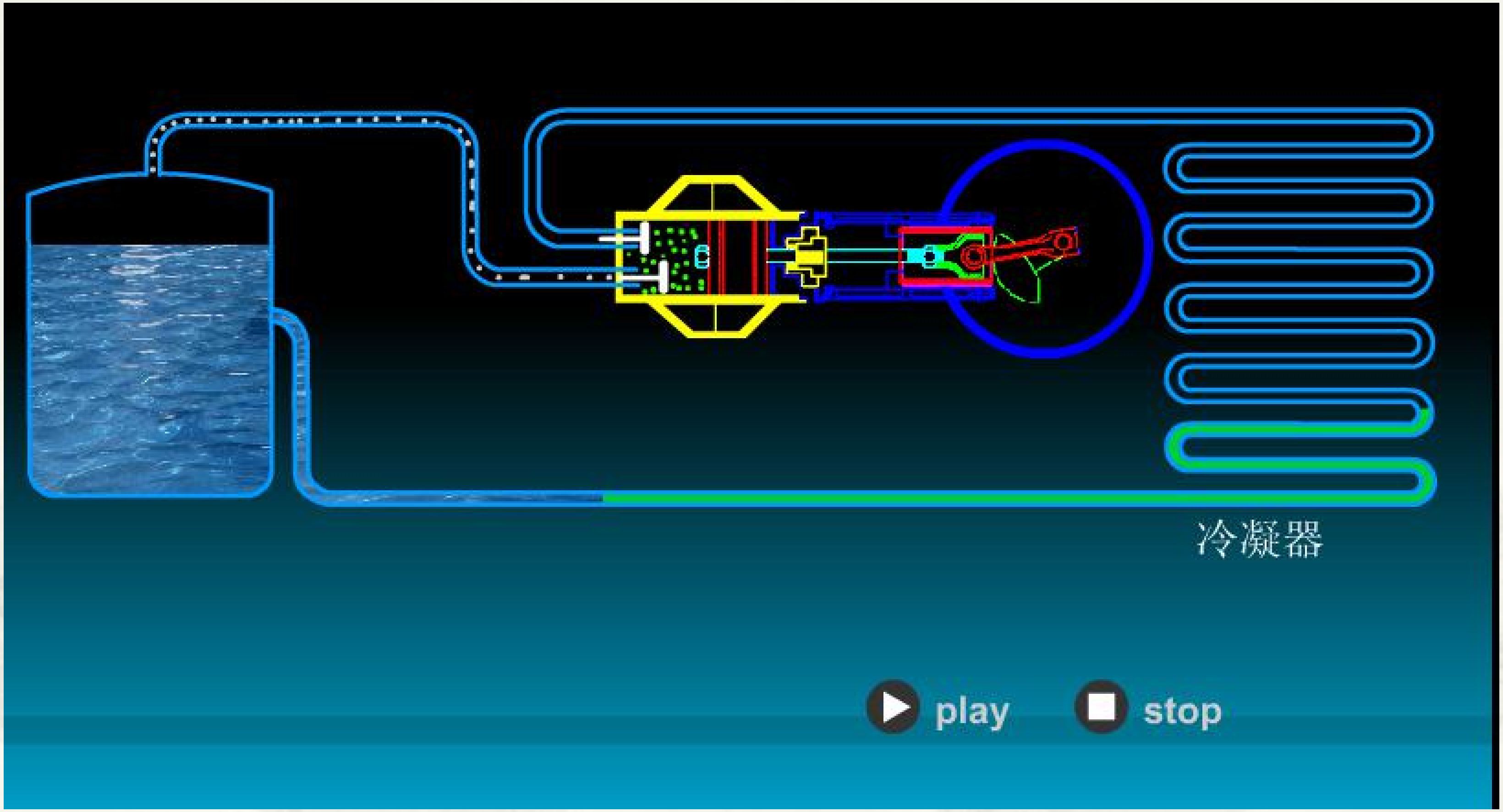
$a \to b$ 过程吸热 $\frac{m}{M} C_p (T_b - T_a) = \frac{i+2}{2} P_a (V_b - V_a)$



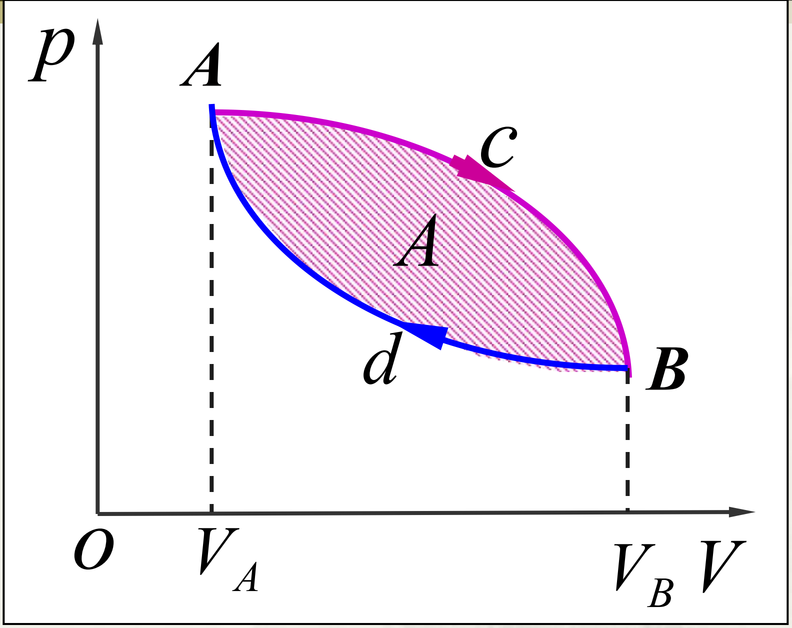
答案：B

二 热机和热机效率

热机 ：持续地将热量转变为功的机器．

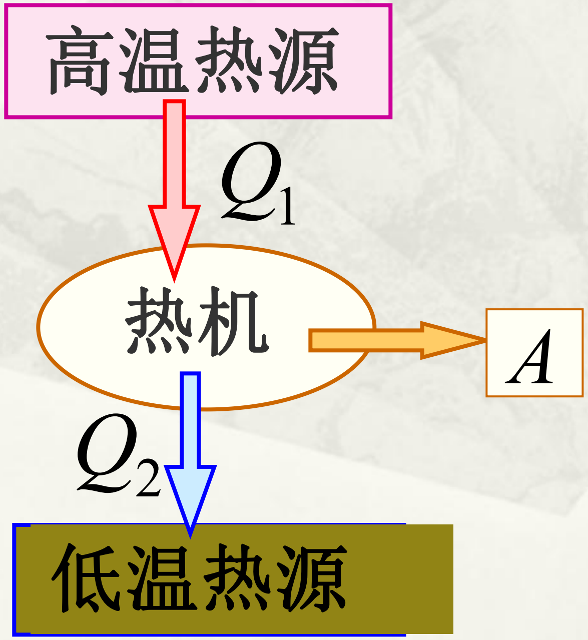


工作物质（工质）：热机中被用来吸收热量并对外做功的物质 ．



热机（正循环）$A > 0$

热机效率

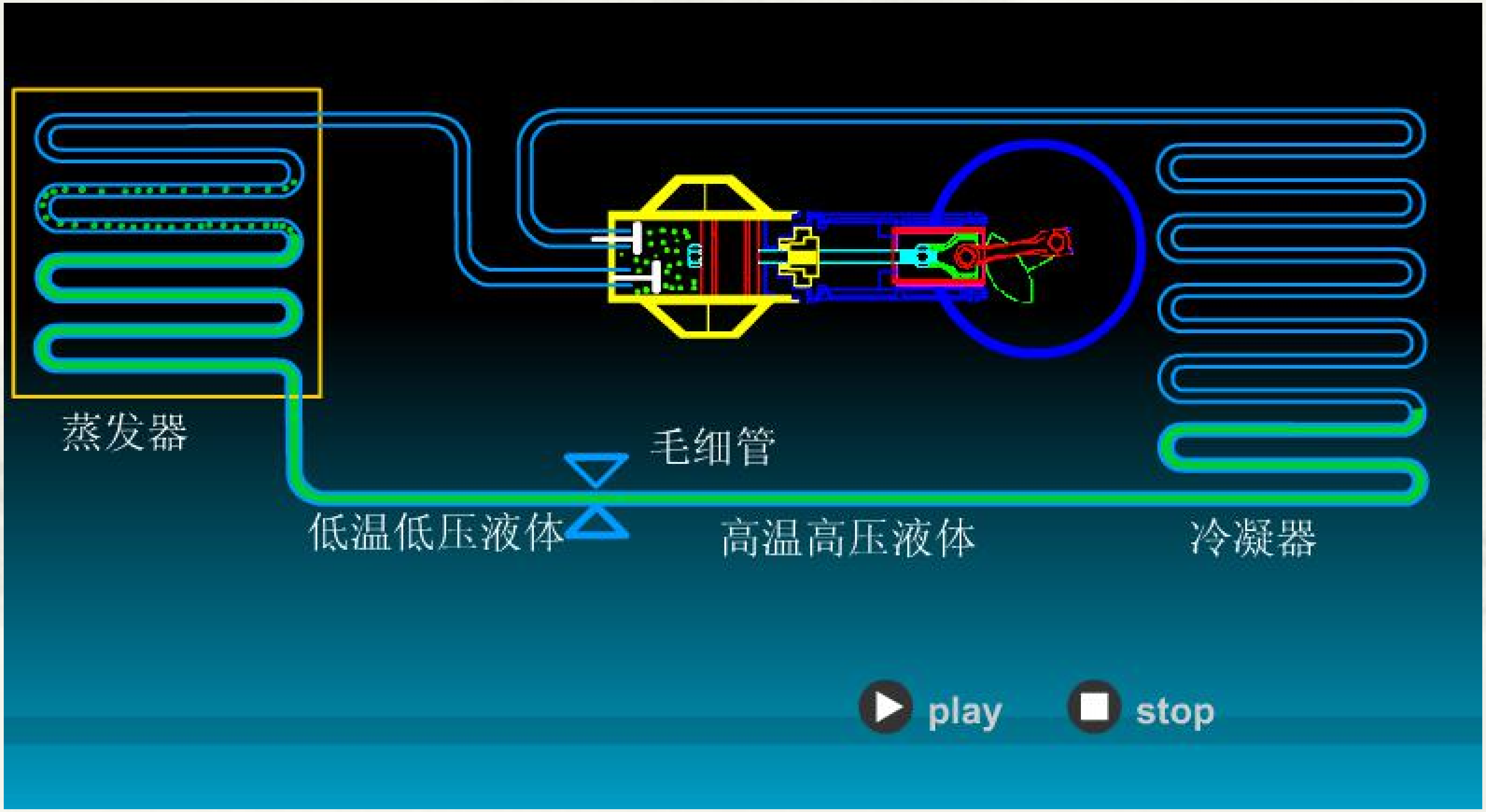


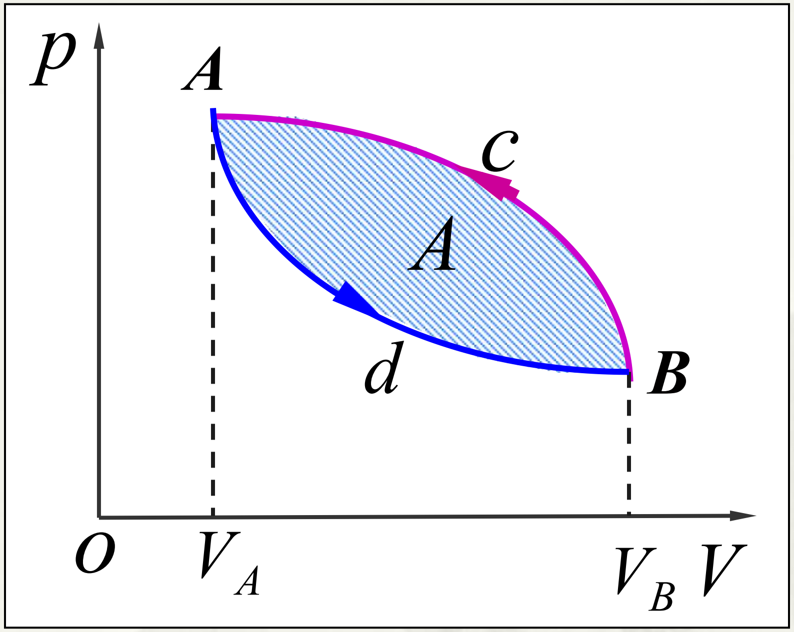
$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

三 致冷机和致冷系数

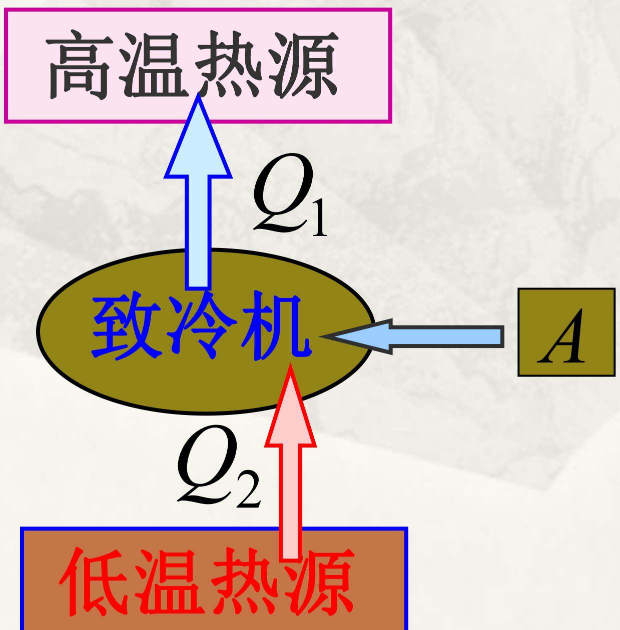
制冷机：

冰箱循环示意图





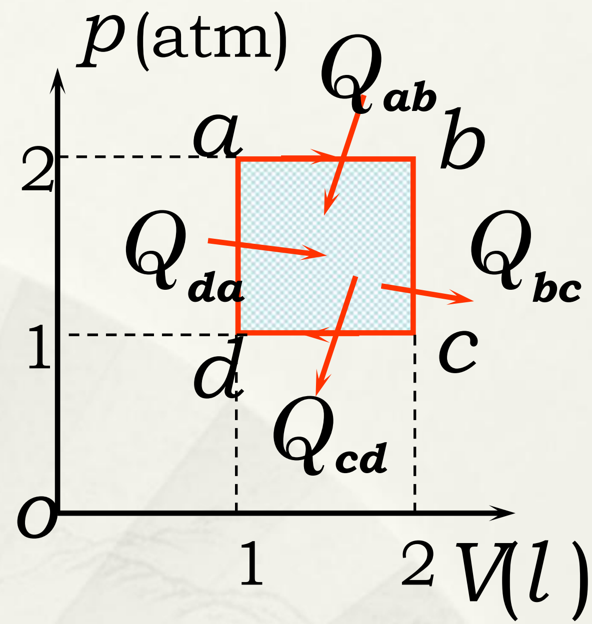
致冷机（逆循环）$A < 0$



致冷机致冷系数

$$\omega = \frac{Q_2}{|A|} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

[例2] 1mol　氢气作如图所示的循环过程计算此循环之效率。



解：$A=(P_a-P_d)(V_b-V_a)$

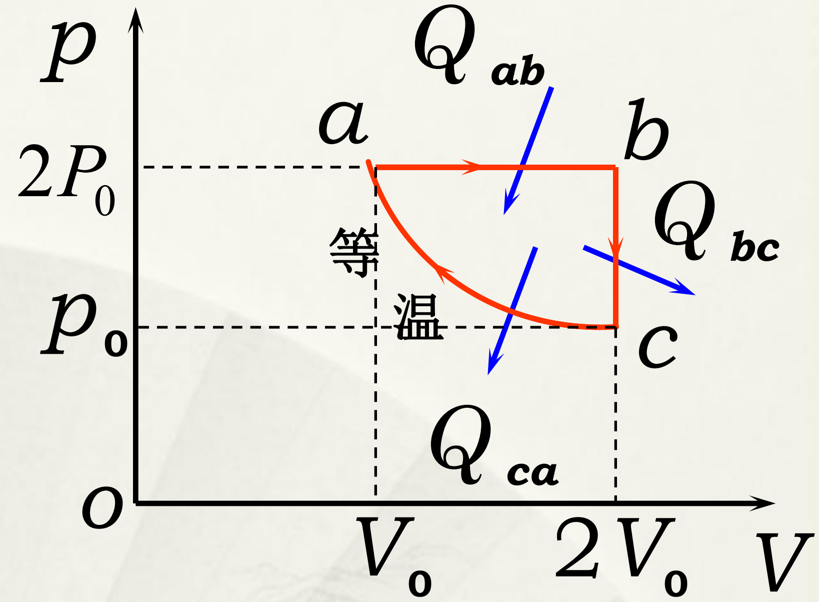
$$Q_{吸}=Q_{ab}+Q_{da}$$

$$=C_P(T_b-T_a)+C_V(T_a-T_d)$$

$$\eta=\frac{A}{Q_{吸}}$$

[例3] $1mol$ 氧气作如图所示的循环。

求：循环效率



解：

$$Q_{ab}=C_P(T_b-T_a)$$

$$Q_{bc}=C_V(T_c-T_b)$$

$$Q_{ca}=RT_c\ln\frac{V_0}{2V_0}$$

$$\eta=1-\frac{Q_{放}}{Q_{吸}}=1-\frac{|Q_{bc}+Q_{ca}|}{Q_{ab}}$$

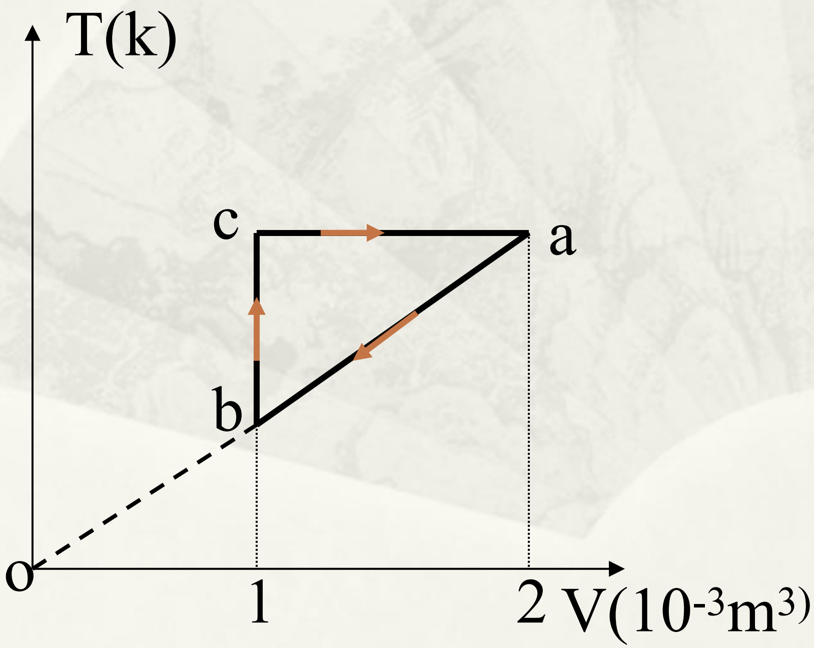
$$(T_b=2T_c=2T_a)$$

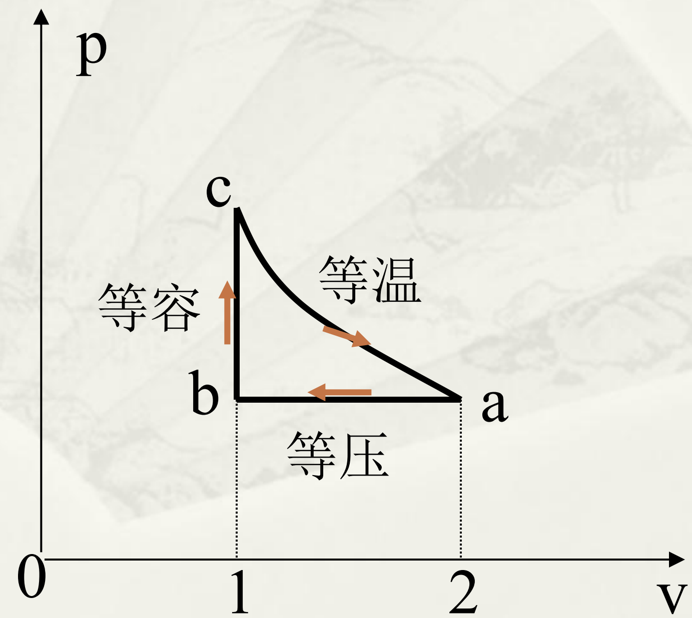
[例4]　　$1mol$单原子分子理想气体的 循环过程如图所示，其中 $T_c = 600K$。试求：

⑴.ab、bc、ca各过程系统吸收的热量 ，

⑵.经一循环系统所作的净 功，

⑶ 循环的效率。





⑴.ab、bc、ca各过程系统吸收的热量

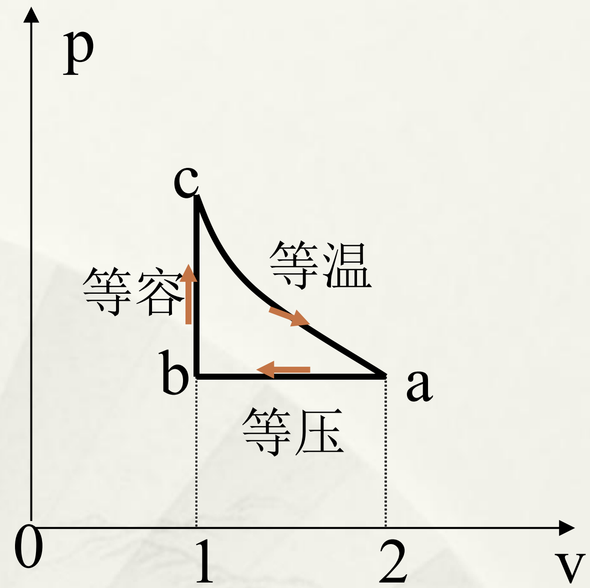
$$Q_{ab} = C_P(T_b - T_a)$$

$$\frac{V_a}{V_b} = \frac{T_a}{T_b} = \frac{T_c}{T_b} = 2$$

$$T_c = T_a = 600k$$

$$C_P = \frac{i+2}{2}R = \frac{5}{2}R$$

Q_{ab} 放热



$$Q_{bc} = C_V(T_c - T_b)$$

$$C_V = \frac{3}{2}R$$

$$T_c = 600k, T_b = 300k$$

Q_{bc} 吸热

$$Q_{ca} = RT_c \ln\frac{V_a}{V_c}$$

吸热

⑵.经一循环系统所作的净 功

解一：

$$A_{净} = A_{ca} - |A_{ab}| = Q_{ca} - R（T_a - T_b）$$

解二：

$$A_{净} = Q_{吸} - |Q_{放}|$$

⑶ 循环的效率。

$$\eta = \frac{A}{Q_{吸}}$$