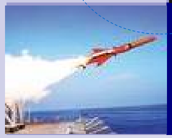


工程热力学

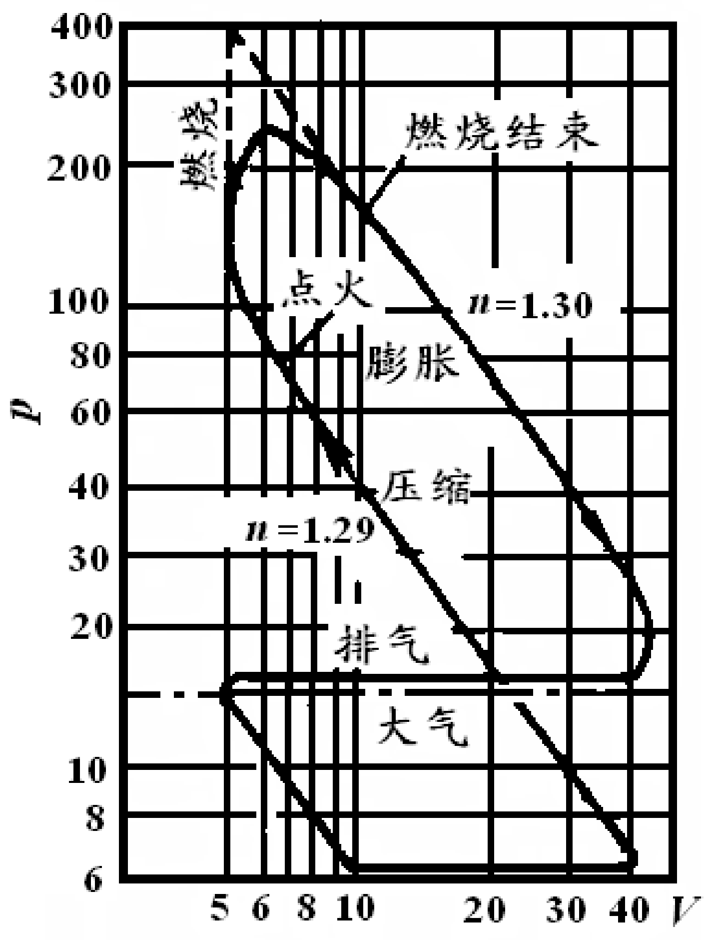
第四章

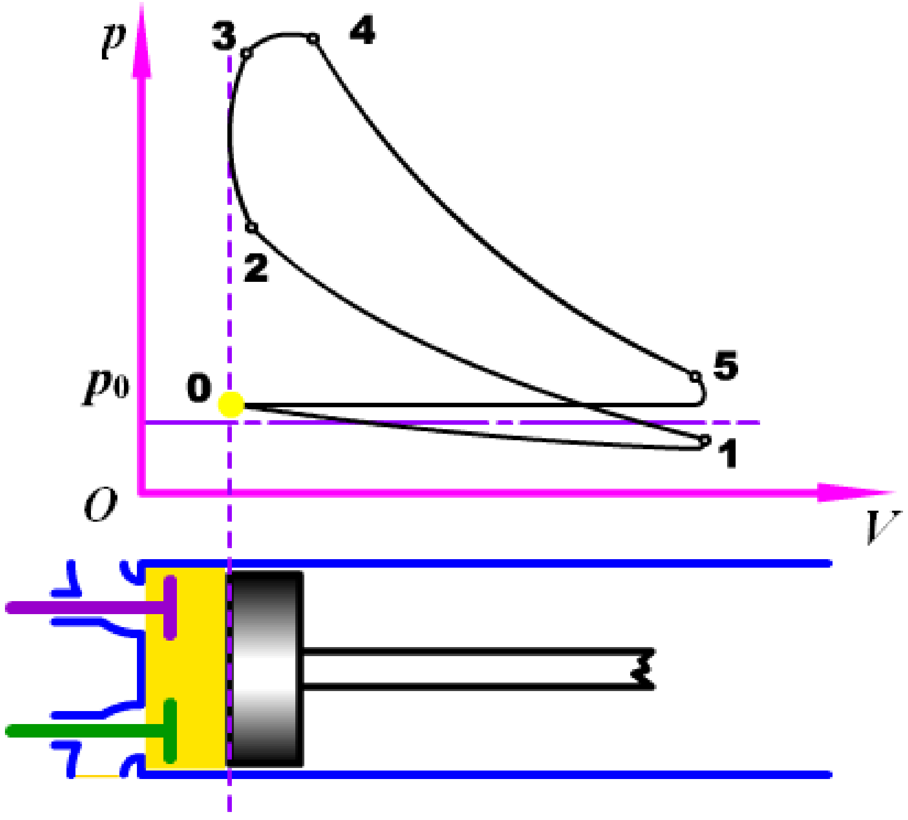
第 四 章
气体的基本热力过程

Basic thermodynamic process

4–1 研究热力过程的目的及一般方法

一、基本热力过程(fundamental thermodynamic process)





p-V diagram of Diesel engine

在log p-log$V$ 图上有log p=−$n$ln$V$+c $\Rightarrow pv^n =$ 常数

$n=0$ $p=$常数 定压过程

(isobaric process; constant pressure process)

$n=1$ $pv=$常数 定温过程

(isothermal process; constant temperature process)

$n=\kappa$ $pv^{\kappa}=$常数 定熵(可逆绝热）过程

(isentropic process; reversible adiabatic process)

$n=\pm\infty$ $v=$常数 定容过程

(isometric process; constant volume process)

pv^n =常数 多变过程(polytropic process)

二、研究热力过程的目的、方法

1．目的

以热力学第一定律为基础，理想气体为工质，分析可逆的基本热力过程中能量转换、传递关系，揭示过程中工质状态参数的变化规律及热量和功量的计算。

2．方法和手段

- 根据过程特点，利用状态方程及热力学第一定律，得出过程方程
- 借助过程方程式，计算各过程初、终态参数。
- 画出过程的p-v图及T-s图，帮助直观分析过程中参数变化及能量关系。
- 确定工质初、终态比热力学能、比焓、比熵的变化量。
- 确定1kg工质对外作出的功和过程热量。

$$\Delta u = c_V \Big|_{t_1}^{t_2} \Delta T \qquad \Delta h = c_p \Big|_{t_1}^{t_2} \Delta T \qquad \Delta s = s_2^0 - s_1^0 - R_\mathrm{g} \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$w = \int_1^2 p\mathrm{d}v \qquad w_\mathrm{t} = -\int_1^2 v\mathrm{d}p$$

$$q = \int_1^2 T\mathrm{d}s \qquad q = \Delta u + w \qquad q = \Delta h + w_\mathrm{t}$$

4–2 理想气体的定压、定容和定温过程

一、过程方程

定容过程（*v*=常数） $n=\pm\infty$ $v_1=v_2$

$$v_1=\frac{R_gT_1}{p_1}\qquad v_2=\frac{R_gT_2}{p_2}\qquad \frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$$

定压过程（*p*=常数） $n=0$ $p_1=p_2$

$$p_1=\frac{R_gT_1}{v_1}\qquad p_2=\frac{R_gT_2}{v_2}\qquad \frac{v_1}{T_1}=\frac{v_2}{T_2}$$

定温过程（T=常数） $n=1$ $T_1=T_2$

$$T_1=\frac{p_1v_1}{R_g}\qquad T_2=\frac{p_2v_2}{R_g}\qquad p_1v_1=p_2v_2$$

二、在$p-v$图及$T-s$图上表示

斜率 $\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_n$ $\left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_n$

$$pv^n=常数\qquad \frac{\mathrm{d}p}{p}+n\frac{\mathrm{d}v}{v}=0\qquad \left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_n=-n\frac{p}{v}$$

$$T\mathrm{d}s=\delta q=c_n\mathrm{d}T\qquad \left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_n=\frac{T}{c_n}$$

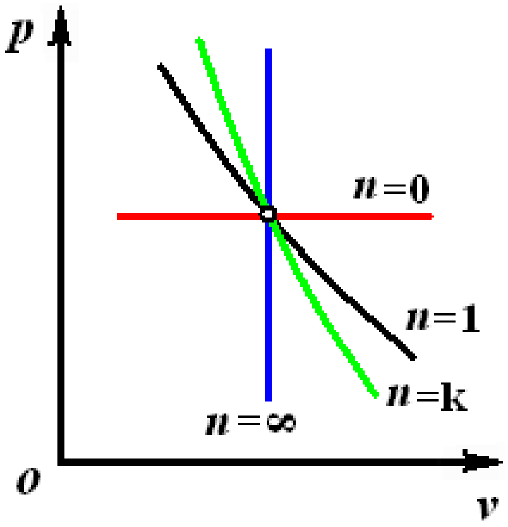
定容过程： $n=\pm\infty$ $\left(\dfrac{\partial p}{\partial v}\right)_v=\pm\infty$ $\left(\dfrac{\partial T}{\partial s}\right)_v=\dfrac{T}{c_V}$

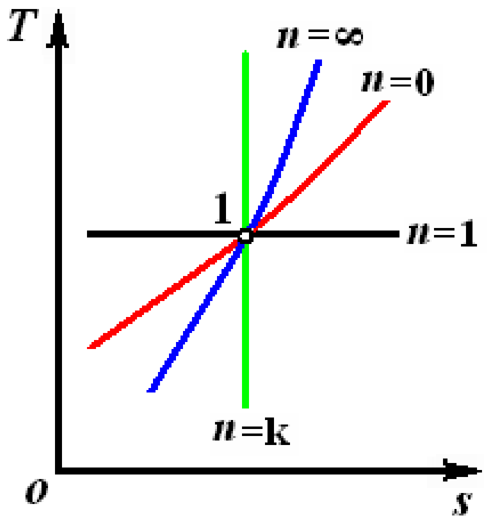
定压过程： $n=0$ $\left(\dfrac{\partial p}{\partial v}\right)_p=0$ $\left(\dfrac{\partial T}{\partial s}\right)_v=\dfrac{T}{c_p}$

定温过程： $n=1$ $\left(\dfrac{\partial p}{\partial v}\right)_T=-\dfrac{p}{v}$ $\left(\dfrac{\partial T}{\partial s}\right)_T=\dfrac{T}{c_T}\Rightarrow 0$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_n=-n\frac{p}{v}$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_n=\frac{T}{c_n}$$





三、比热容

定容过程 **定压过程** **定温过程**

$$c_V = \frac{R_g}{\gamma - 1} \qquad c_p = \frac{\gamma}{\gamma - 1} R_g \qquad c_T \to \infty$$

四、Δu、 Δh和Δs

定容过程

$$\Delta u = c_V \Big|_{T_1}^{T_2} (T_2 - T_1) \qquad \Delta h = c_p \Big|_{T_1}^{T_2} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta s = \int_1^2 c_V \frac{\mathrm{d}T}{T} \Rightarrow \Delta s = c_V \ln \frac{T_2}{T_1}$$

定压过程

$$\Delta u = c_V \Big|_{T_1}^{T_2} (T_2 - T_1) \qquad \Delta h = c_p \Big|_{T_1}^{T_2} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta s = \int_1^2 c_p \frac{\mathrm{d}T}{T} \Rightarrow \Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

定温过程

$$\Delta u = 0 \qquad \Delta h = 0$$

$$\Delta s = \int_1^2 c_V \frac{\mathrm{d}T}{T} + R_\mathrm{g} \ln \frac{v_2}{v_1} \Rightarrow \Delta s = R_\mathrm{g} \ln \frac{v_2}{v_1}$$

五、w, w_t和 q

定容过程

$$w=\int_1^2 p\mathrm{d}v=0 \qquad w_\mathrm{t}=-\int_1^2 v\mathrm{d}p=v\left(p_1-p_2\right)$$

$$q_v=\Delta u+w=\Delta u=c_V\Big|_{T_1}^{T_2}\left(T_2-T_1\right)=\int_1^2 T\mathrm{d}s$$

定压过程

$$w=p\left(v_2-v_1\right) \qquad w_\mathrm{t}=0$$

$$q_p=\Delta h+w_\mathrm{t}=\Delta h=c_p\Big|_{T_1}^{T_2}\left(T_2-T_1\right)=\int_1^2 T\mathrm{d}s$$

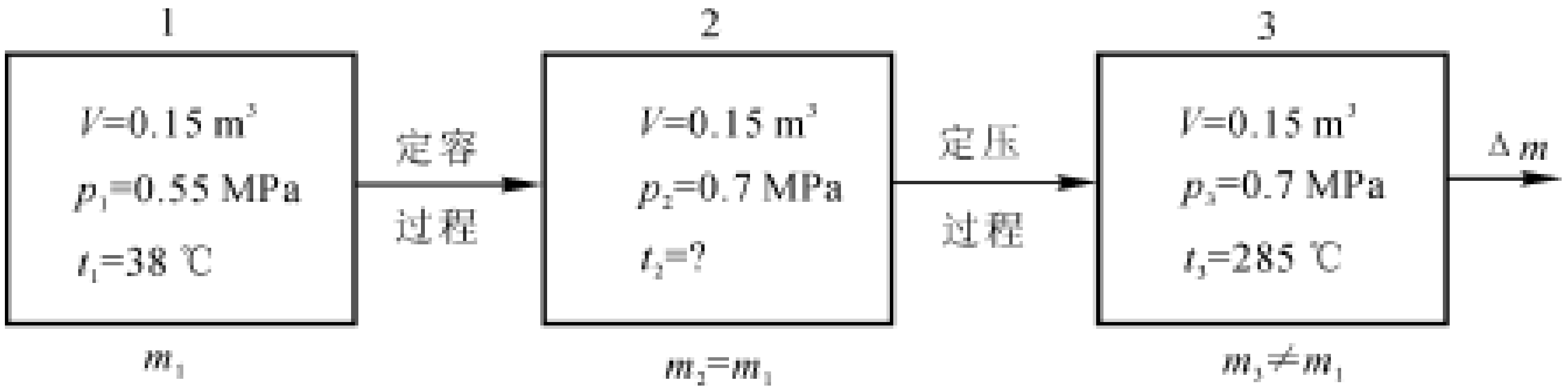
定温过程

$$w=\int_1^2 p\mathrm{d}v=\int_1^2 \frac{pv}{v}\mathrm{d}v=R_\mathrm{g}T_1\ln\frac{v_2}{v_1}$$

$$w_\mathrm{t}=-\int_1^2 v\mathrm{d}p=-\int_1^2 \frac{vp}{p}\mathrm{d}v=-R_\mathrm{g}T_1\ln\frac{p_2}{p_1}$$

$$q=\Delta u+w=\Delta h+w_\mathrm{t}\quad\Rightarrow q=w=w_\mathrm{t}$$

例题：一容积0.15m3的储气罐，内装氧气，其初态压强p1=0.55MPa，温度t1=38℃。若对氧气加热，其温度、压强都升高。储气罐装有压力控制阀，当压强超过0.7MPa时，阀门便自动打开，放走部分氧气，即储气罐中维持的最大压强为0.7MPa。问当罐中氧气温度为285℃时，对罐中的氧气共加入了多少热量？假设氧气的比热容为定值。



4–3 理想气体等比熵（可逆绝热）过程

一、过程方程

$$T\mathrm{d}s = \delta q = \mathrm{d}h - v\mathrm{d}p = 0 \Rightarrow v\mathrm{d}p = \mathrm{d}h = c_p \mathrm{d}T \qquad (A)$$

$$T\mathrm{d}s = \delta q = \mathrm{d}u + p\mathrm{d}v = 0 \Rightarrow -p\mathrm{d}v = \mathrm{d}u = c_V \mathrm{d}T \qquad (B)$$

$$(A)\div(B) \qquad \kappa = -\frac{v}{p}\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}v} \Rightarrow \frac{\mathrm{d}p}{p} + \kappa\frac{\mathrm{d}v}{v} = 0$$

取定比热容，积分 $\ln p + \ln v^{\kappa} = c \Rightarrow pv^{\kappa} = c$

$$p_1 v_1^{\kappa} = p_2 v_2^{\kappa} \Rightarrow p_1 v_1 v_1^{\kappa-1} = p_2 v_2 v_2^{\kappa-1} \Rightarrow$$

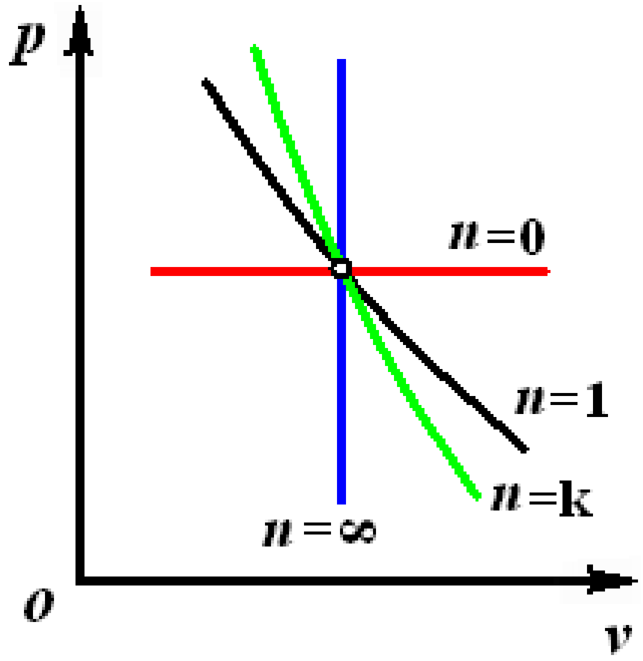
$$T_1 v_1^{\kappa-1} = T_2 v_2^{\kappa-1} \qquad T_1 p_1^{-\frac{\kappa-1}{\kappa}} = T_2 p_2^{-\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

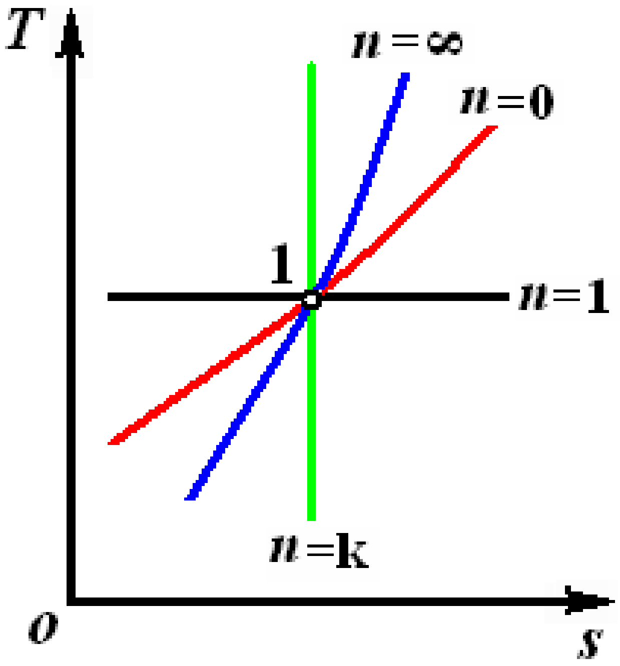
上述三式适用于：

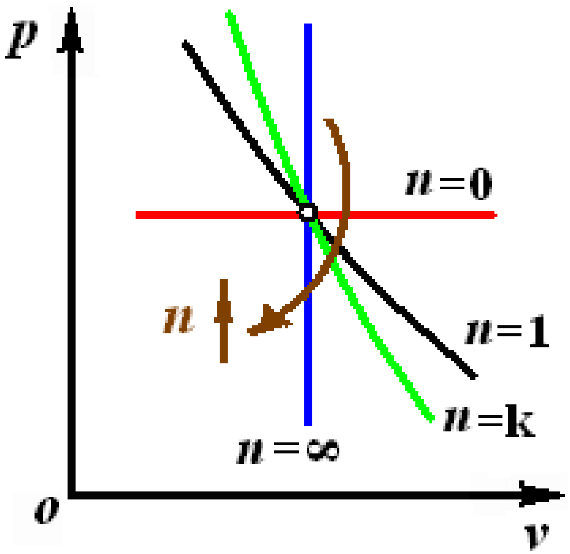
理想气体，定比热，可逆绝热过程

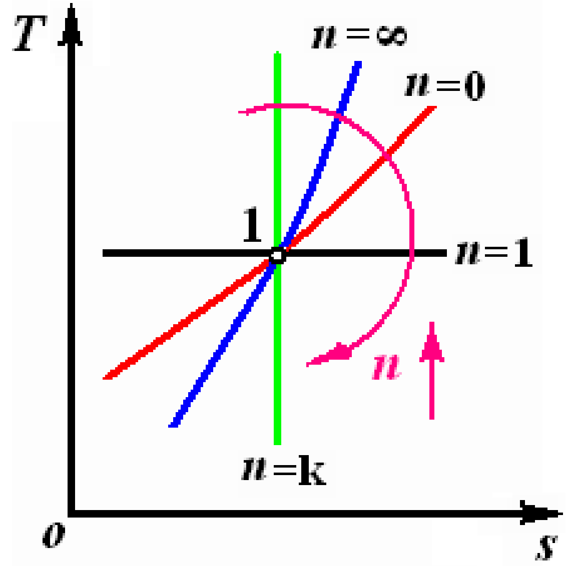
二、在$p-v$图及$T-s$图上表示

$$\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_\kappa = -\kappa\frac{p}{v}\left(=-\frac{c_p}{c_V}\frac{p}{v}\right) \qquad \left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_\kappa = \frac{T}{c_s} = \infty$$









$$\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_n = -n\frac{p}{v}\begin{cases} (n=0) & 0 \\ (n=1) & -\dfrac{p}{v} \\ (n=\kappa) & -\kappa\dfrac{p}{v} \\ n=\pm\infty & \infty \end{cases}$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_n = \frac{T}{c_n}\begin{cases} \dfrac{T}{c_p} \\ 0 \\ \infty \\ \dfrac{T}{c_V} \end{cases}$$

三、比热容

$$c_s \to 0$$

四、$\Delta u, \Delta h, \Delta s$

$$\Delta u = c_V\Big|_{T_1}^{T_2}(T_2 - T_1) = u(T_2) - u(T_1)$$

$$\Delta h = c_p\Big|_{T_1}^{T_2}(T_2 - T_1) = h(T_2) - h(T_1)$$

$$s_2 = s_1 \qquad \Delta s = 0$$

五、w，w_t 和 q

$$w=\int_1^2 p\mathrm{d}v=\int_1^2 \frac{pv^{\kappa}}{v^{\kappa}}\mathrm{d}v=p_1v_1^{\kappa}\int v^{-\kappa}dv=\frac{R_gT_1}{\kappa-1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]$$

或

$$w=\underset{0}{\cancel{q}}-\Delta u$$

$$=-\Delta u=u_1-u_2=\frac{R_g}{\kappa-1}\left(T_1-T_2\right)=\frac{R_gT_1}{\kappa-1}\left[1-\left(\frac{T_2}{T_1}\right)\right]$$

$$=\frac{R_gT_1}{\kappa-1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]$$

$$w_{\mathrm{t}} = \underset{0}{\cancel{q}} - \Delta h = -\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{\kappa}{\kappa-1} R_{\mathrm{g}} \left(T_1 - T_2 \right) = \kappa w$$

六、变比热绝热过程的计算

1. $w = u_1 - u_2$

$w_{\mathrm{t}} = h_1 - h_2$ **查表**

2. **用** κ_{m} **代替** κ

$a)\quad \kappa_{\mathrm{m}} = \dfrac{c_p\big|_{t_1}^{t_2}}{c_V\big|_{t_1}^{t_2}}$

$b)\quad \kappa_{\mathrm{m}} = \dfrac{\kappa_1 + \kappa_2}{2} \qquad \kappa_1 = \dfrac{c_{p1}}{c_{V1}} \qquad \kappa_2 = \dfrac{c_{p2}}{c_{V2}}$

3. $$\Delta s = \int_1^2 c_p \frac{\mathrm{d}T}{T} - R_g \ln \frac{p_2}{p_1} = 0$$

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{R_g}\left(\int_{T_0}^{T_2} c_p \frac{\mathrm{d}T}{T} - \int_{T_0}^{T_1} c_p \frac{\mathrm{d}T}{T}\right)$$

令 $$s^0 = \int_{T_0}^{T} c_p \frac{\mathrm{d}T}{T}$$

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{R_g}\left(s_2^0 - s_1^0\right) \qquad (A)$$

定义 $$\ln p_r = \frac{s^0}{R_g} \longrightarrow p_r = f(T) \longrightarrow$$

$$\ln \frac{p_{r2}}{p_{r1}} = \frac{1}{R_g}\left(s_2^0 - s_1^0\right) \qquad (B)$$

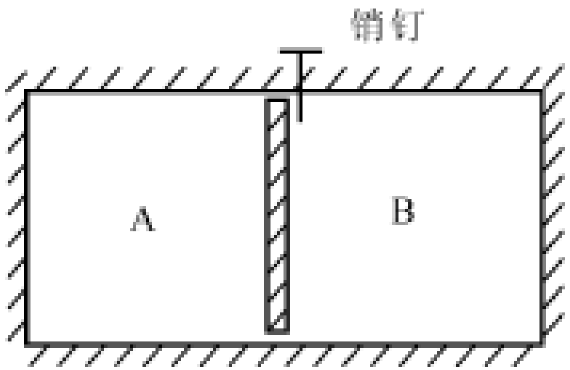
比较式（A）与式（B） $$p_2 = p_1 \frac{p_{r2}}{p_{r1}}$$

例 3-9　一绝热刚体汽缸，被一导热的无摩擦活塞分成两部分。最初活塞被固定在某一位置上，汽缸的一侧储有压力为 0.2 MPa、温度为 300 K 的 0.01 m^3 的空气，另一侧储有同容积、同温度的空气，其压力为 0.1 MPa。去除销钉，放松活塞任其自由移动，最后两侧达到平衡。设空气的比热容为定值，试计算：

(1) 平衡时的温度为多少？

(2) 平衡时的压力为多少？

(3) 两侧空气的熵变值及整个气体的熵变值是多少？



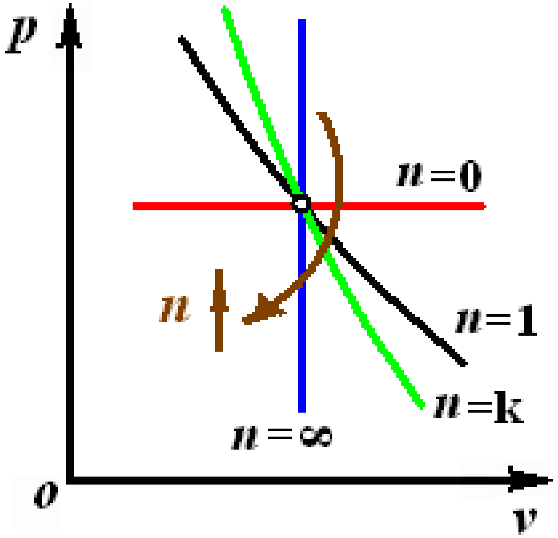
4–4 理想气体多变过程

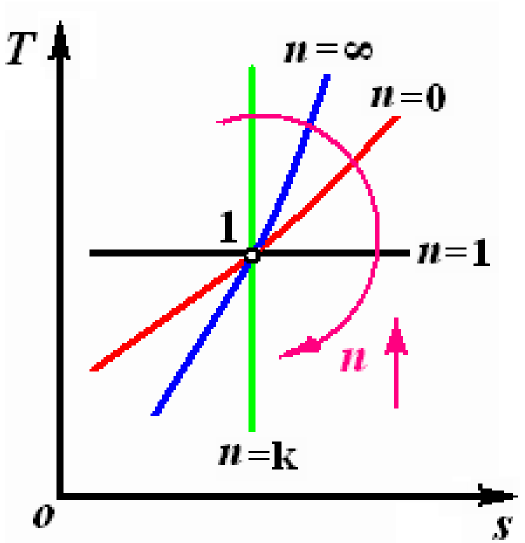
一、过程方程

$$p_1 v_1^{\,n} = p_2 v_2^{\,n} \qquad T_1 v_1^{\,n-1} = T_2 v_2^{\,n-1} \qquad T_1 p_1^{-\frac{n-1}{n}} = T_2 p_2^{-\frac{n-1}{n}}$$

二、在p–v图及T–s图上表示

$$\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_n = -n\frac{p}{v} \qquad \left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_n = \frac{T}{c_n} = \frac{T}{\dfrac{n-\kappa}{n-1}c_V}$$





三、Δu, Δh 和 Δs

$$\Delta u = c_V\Big|_{t_1}^{t_2}(T_2 - T_1)$$

$$\Delta h = c_p\Big|_{t_1}^{t_2}(T_2 - T_1)$$

$$\Delta s = s_2^0 - s_1^0 - R_g \ln\frac{p_2}{p_1} \xrightarrow{\text{定比热容}} \Delta s = c_p \ln\frac{T_2}{T_1} - R_g \ln\frac{p_2}{p_1}$$

$$= c_V \ln\frac{T_2}{T_1} + R_g \ln\frac{v_2}{v_1}$$

$$= c_V \ln\frac{p_2}{p_1} + c_p \ln\frac{v_2}{v_1}$$

四、w, w_{t} 和 q

$$w=\int_1^2 p\mathrm{d}v=\cdots=\frac{R_{\mathrm{g}}T_1}{n-1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right]=\frac{R_{\mathrm{g}}}{n-1}(T_1-T_2)$$

$$w_{\mathrm{t}}=-\int_1^2 v\mathrm{d}p=\cdots=\frac{nR_{\mathrm{g}}T_1}{n-1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right]=nw$$

$$q = \begin{cases} \Delta u + w = c_V\left(T_2 - T_1\right) + \dfrac{R_g}{n-1}\left(T_1 - T_2\right) = \left(\dfrac{R_g}{\kappa - 1} - \dfrac{R_g}{n-1}\right)\left(T_2 - T_1\right) \\ \qquad = \dfrac{n-\kappa}{n-1} c_V\left(T_2 - T_1\right) \\ c_n\left(T_2 - T_1\right) \\ \int_1^2 T\mathrm{d}s \end{cases}$$

五、比热容

$$q=\Delta u+w=\frac{n-\kappa}{n-1}c_V\left(T_2-T_1\right)=c_n\left(T_2-T_1\right)$$

$$c_n=\frac{n-\kappa}{n-1}c_V\quad\begin{cases} n=0 & c_p=\kappa c_V \\ n=1 & c_T\to\infty \\ n=k & c_s\to 0 \\ n=\pm\infty & c_V \end{cases}$$

六、多变指数

$$p_1v_1{}^n=p_2v_2{}^n\Rightarrow\ln p_1+n\ln v_1=\ln p_2+n\ln v_2$$

$$n=\frac{\ln\left(p_2/p_1\right)}{\ln\left(v_1/v_2\right)}$$

或由 $c_n=\dfrac{n-\kappa}{n-1}c_V\Rightarrow n=\dfrac{c_n-c_p}{c_n-c_V}$

七、多变过程的能量关系w / q

$$w=\frac{R_{g}}{n-1}\left(T_{1}-T_{2}\right)=\frac{\kappa-1}{n-1}c_{V}\left(T_{1}-T_{2}\right)$$

$$q=\frac{n-\kappa}{n-1}c_{V}\left(T_{2}-T_{1}\right)$$

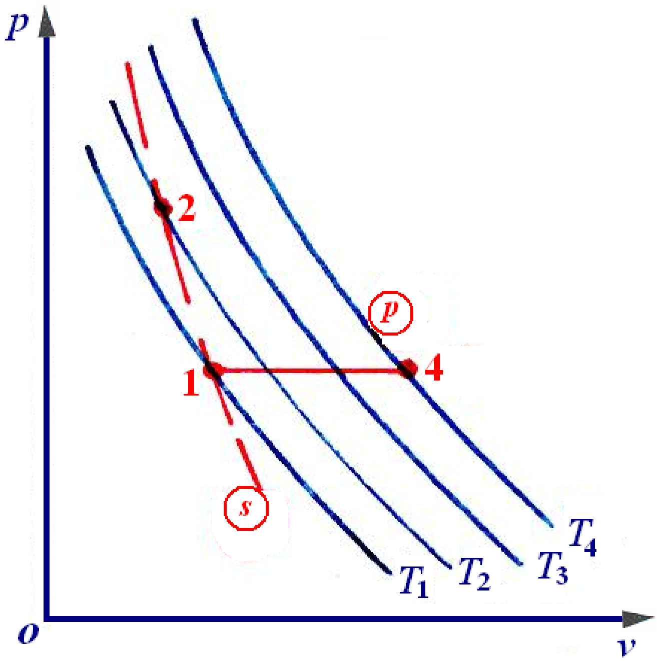
$$\Rightarrow \frac{w}{q}=\frac{\kappa-1}{\kappa-n}$$

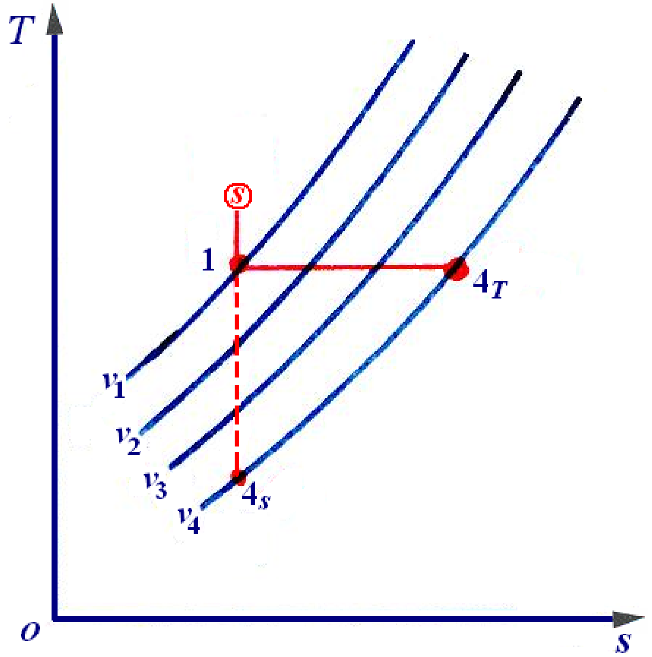
$\Rightarrow$

$n<\kappa$	$\frac{\kappa-1}{\kappa-n}>0$	$\frac{w}{q}>0$	**膨胀，吸热**	**压缩，放热**
$n>\kappa$	$\frac{\kappa-1}{\kappa-n}<0$	$\frac{w}{q}<0$	**膨胀，放热**	**压缩，吸热**

八、关于T–s图及p–v图

1. 在p–v 图上确定 T 增大及 s 增大方向　　在T–s 图上确定 p 增大及 v 增大方向



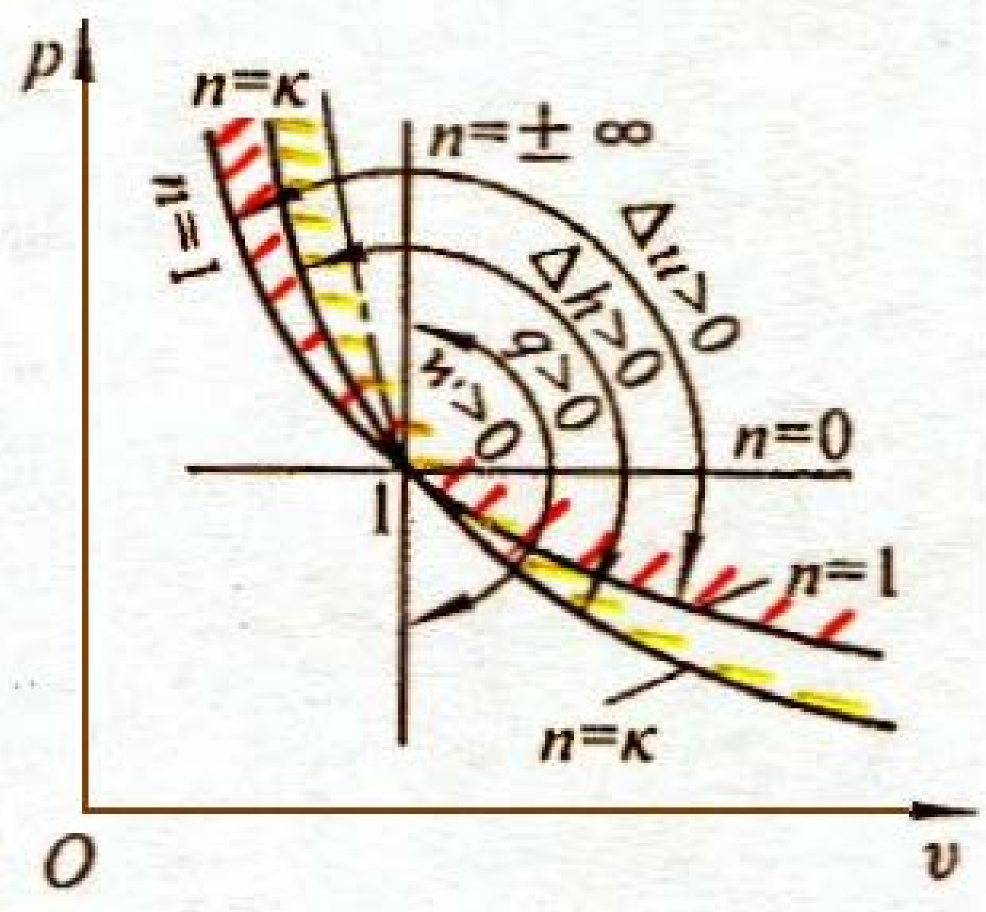


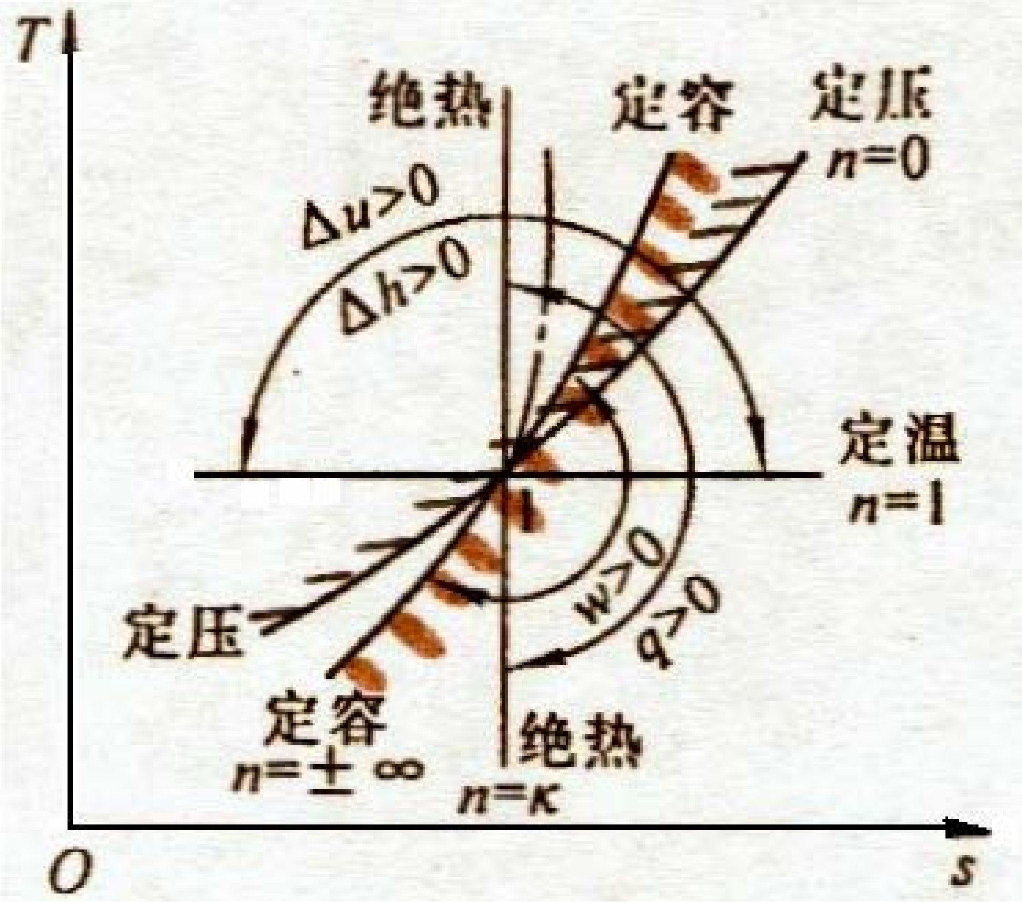
利用特殊过程的特性，如　　$p_1 = p_4$　　$\dfrac{v_4}{T_4} = \dfrac{v_1}{T_1}$　　$\Rightarrow T_4 > T_1$

利用过程的能量关系，如

$$T_1 = T_4 \qquad q = \underbrace{\cancel{\Delta u}}_{0} + w \qquad s_4 > s_1 \Rightarrow \quad q > 0 \Rightarrow \quad v_4 > v_1$$

八、关于T–s图及p–v图


p
n=κ
n=±∞
n=1
Δu>0
Δh>0
q>0
w>0
n=0
1
n=1
n=κ
O
v

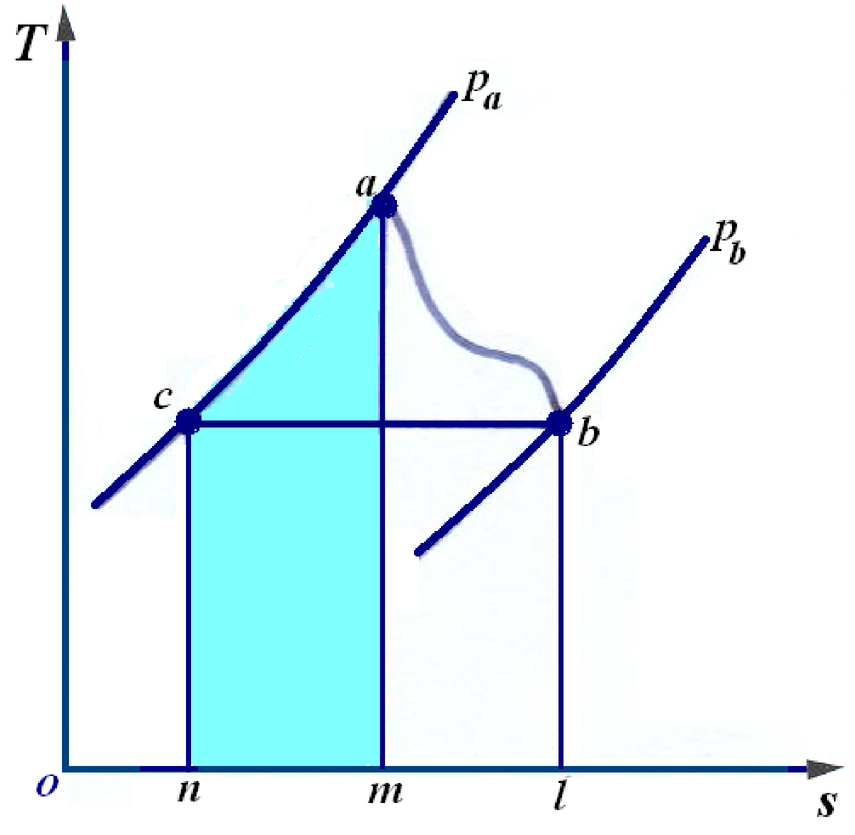

T
绝热
定容
定压
n=0
Δu>0
Δh>0
定温
n=1
w>0
q>0
定压
定容
n=±∞
绝热
n=κ
O
s

2. 在T-s图上用图形面积表示Δu和Δh

依据： a）T-s图上过程下面积表示q

b）$q_p=\Delta h$，$q_v=\Delta u$

例：$h_a - h_b$用什么面积表示?



$$T_c = T_b \qquad h_c = h_b$$

考虑过程等压 $c \longrightarrow a$

$$q_p = h_a - h_c = \text{面积}amnca$$

$$h_a - h_b = \text{面积}amnca$$

知识脉络

- 理想气体的性质与过程
  - 理想气体的热力性质
    - 理想气体状态方程式 $pv=R_gT$
    - 理想气体的比热容
    - 理想气体的热力学能、焓和熵
  - 理想气体的热力过程
    - 研究热力过程的目的和方法
    - 4种基本热力过程的分析 v p T s
    - 多变过程的分析

1. 理想气体状态方程

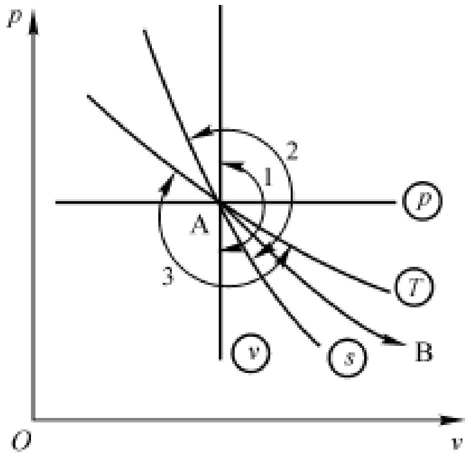
适用于 1 kg 气体 $pv = R_g T$

适用于 m kg 气体 $pV = mR_g T$

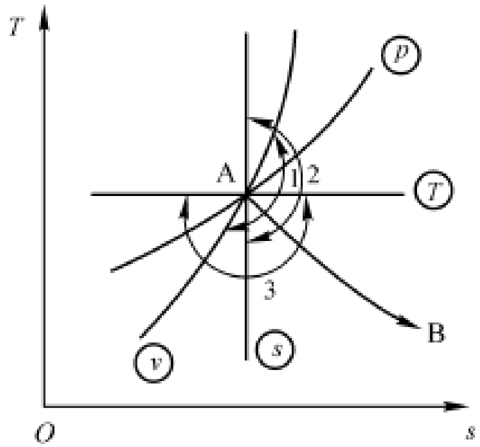
适用于 1 mol 气体 $pV_m = RT$

适用于 n mol 气体 $pV = nRT$

通用气体常数与气体常数之间的关系为 $R_g = \dfrac{R}{M}$



(a)



(b)

表 3-3　理想气体的热力学能、焓和熵

类　　型	热力学能	焓	熵
微元变化	$\mathrm{d}u = c_V \mathrm{d}T$	$\mathrm{d}h = c_p \mathrm{d}T$	$\mathrm{d}s = c_p \frac{\mathrm{d}T}{T} - R_g \frac{\mathrm{d}p}{p}$
有限变化(真实比热容)	$\Delta u = \int_1^2 c_V \mathrm{d}T$	$\Delta h = \int_1^2 c_p \mathrm{d}T$	$\Delta s = \int_1^2 c_p \frac{\mathrm{d}T}{T} - R_g \ln \frac{p_2}{p_1}$
有限变化(平均比热容)	$\Delta u = c_V \Big\|_0^{t_2} t_2 - c_V \Big\|_0^{t_1} t_1$	$\Delta h = c_p \Big\|_0^{t_2} t_2 - c_p \Big\|_0^{t_1} t_1$	$\Delta s = s_{T_2}^0 - s_{T_1}^0 - R_g \ln \frac{p_2}{p_1}$
有限变化(定值比热容)	$\Delta u = c_V \Delta T$	$\Delta h = c_p \Delta T$	$\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R_g \ln \frac{p_2}{p_1}$

熵还有另外 2 个计算公式，即

$$\mathrm{d}s = c_V \frac{\mathrm{d}T}{T} + R_g \frac{\mathrm{d}v}{v}$$

$$\mathrm{d}s = c_p \frac{\mathrm{d}v}{v} + c_V \frac{\mathrm{d}p}{p}$$

表 3－4　气体的各种热力过程

过程	过程方程式	初、终态参数间的关系	功量交换 w	功量交换 w_t[1]	热量交换[2]
定容	$v=$ 定值	$v_2=v_1$; $\dfrac{T_2}{T_1}=\dfrac{p_2}{p_1}$	0	$v(p_1-p_2)$	$c_V(T_2-T_1)$
定压	$p=$ 定值	$p_2=p_1$; $\dfrac{T_2}{T_1}=\dfrac{v_2}{v_1}$	$p(v_2-v_1)$ 或 $R_g(T_2-T_1)$	0	$c_p(T_2-T_1)$
定温	$pv=$ 定值	$T_2=T_1$; $\dfrac{p_2}{p_1}=\dfrac{v_2}{v_1}$	$p_1v_1\ln\dfrac{v_2}{v_1}$	w	w
可逆绝热	$pv^{\kappa}=$ 定值	$\dfrac{p_2}{p_1}=\left(\dfrac{v_1}{v_2}\right)^{\kappa}$ $\dfrac{T_2}{T_1}=\left(\dfrac{v_1}{v_2}\right)^{\kappa-1}$ $\dfrac{T_2}{T_1}=\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$	$\dfrac{R_g}{\kappa-1}(T_1-T_2)$ 或 $\dfrac{R_gT_1}{\kappa-1}\left[1-\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]$	κw	0
多变	$pv^{n}=$ 定值	$\dfrac{p_2}{p_1}=\left(\dfrac{v_1}{v_2}\right)^{n}$ $\dfrac{T_2}{T_1}=\left(\dfrac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}$ $\dfrac{T_2}{T_1}=\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$	$\dfrac{R_g}{n-1}(T_1-T_2)$ 或 $\dfrac{R_gT_1}{n-1}\left[1-\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right]$	nw[3]	$c_n(T_2-T_1)=$ $\dfrac{n-\kappa}{n-1}c_V(T_2-T_1)$

注：① 当忽略流动工质动、位能的变化时，技术功 w_t 就是开口系（稳定流动）对应的轴功 w_s；

② 如果须要精确地考虑比热容不是常量，可以用平均比热容代替表内的 c_V 或 c_p；

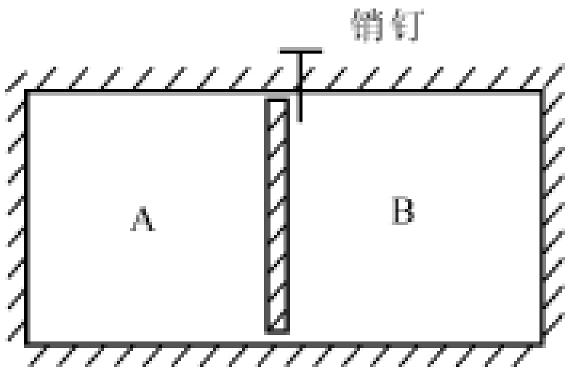
③ $n=\infty$ 时除外。

例3-9　一绝热刚体汽缸，被一导热的无摩擦活塞分成两部分。最初活塞被固定在某一位置上，汽缸的一侧储有压力为0.2 MPa、温度为300 K的0.01 m^3 的空气，另一侧储有同容积、同温度的空气，其压力为0.1 MPa。去除销钉，放松活塞任其自由移动，最后两侧达到平衡。设空气的比热容为定值，试计算：

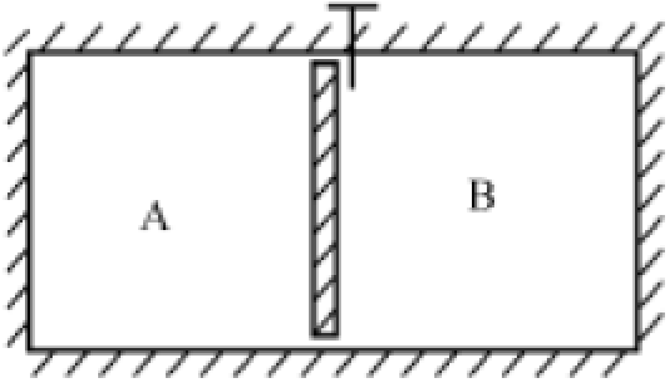
(1) 平衡时的温度为多少？

(2) 平衡时的压力为多少？

(3) 两侧空气的熵变值及整个气体的熵变值是多少？



例 3－11 将例 3－9 中的导热活塞改为无摩擦的绝热活塞，如图 3－16 所示，其他条件不变。(1) 问突然拔走销钉后，终态 A，B 中气体的压力是多少？终态温度能否用热力学方法求出？(2) 假设拔走销钉后，活塞缓慢移动，终温又能否确定？左室气体对右室气体所做的功能否求出？



解 (1) 选取 A 室与 B 室中的气体为闭口系，因 $Q = 0$，

谢谢！