

第二章 热力学第二定律

➤ 热二律的提出背景

热一律以能量守恒定律为根据，引入 U 、 H 两个热力学函数，经 W 、 Q 、 ΔU 及 ΔH 的计算，解决变化中的能量转换。

除此而外，另一被无机、有机、化学工程等领域共同关心的问题：

- 几种放在一起的物质间是否可能发生化学反应？
- 若可能，变化的方向为何，在哪里停下来？

➤ 热二律的提出背景

- **方向问题：** $C(\text{石墨}) \rightarrow C(\text{金刚石})$ 的变化极具价值，但历史上的无数次试验均告失败。

应用热二律计算表明，常温实现这一转化所需压力为大于 1500MPa ($\sim 15000\text{atm}$)。即常温常压下该变化正向是非自发的。

事实表明：一定条件下，并非任何变化都能朝着人们预期的方向进行。

提出的问题：确定条件下的方向为何？

预期方向的实现需要何种条件？

➤ 热二律的提出背景

- 限度问题：在高炉炼铁
- $3\text{CO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightleftharpoons 3\text{Fe} + 3\text{CO}_2$ (高温)

事实表明：一定条件下，变化是有限度的。

提出的问题：

确定条件下某变化的限度如何，平衡位置在哪？

影响平衡位置的因素有哪些，怎样影响？

如何控制条件来控制平衡位置及转化率？

- 方向和限度两个问题是热一律所不能解决的。
- 热二律将引入新的热力学函数 S 、 G 、 A ，解决这两个问题。

第二章 热力学第二定律

学习要求及重点：

深入理解熵、亥姆霍兹函数、吉布斯函数等概念；了解热力学能和熵的本质；掌握封闭系统 PVT 变化、相变化及化学变化三类过程 ΔS 、 ΔA 、 ΔG 的计算；理解热力学重要关系式及其应用；理解并掌握克拉贝龙方程及其应用。

第三章 热力学第二定律

§3-1 自发过程的共同特征及热二律的表述

§3-2 卡诺循环及热机效率

§3-3 热力学第二定律及熵增加原理

§3-4 熵变的计算

§3-5 Helmholtz函数及Gibbs函数

§3-6 热力学重要关系式

§3-7 克拉贝龙(Clapeyron)方程

§ 3-1 自发过程的共同特征及热二律的表述

一、自发过程

在一定条件下能够自己发生的过程（不需环境做功——非体积功）

例如：水的流动、热的传导、气体的扩散、溶质的扩散、原电池放电过程。

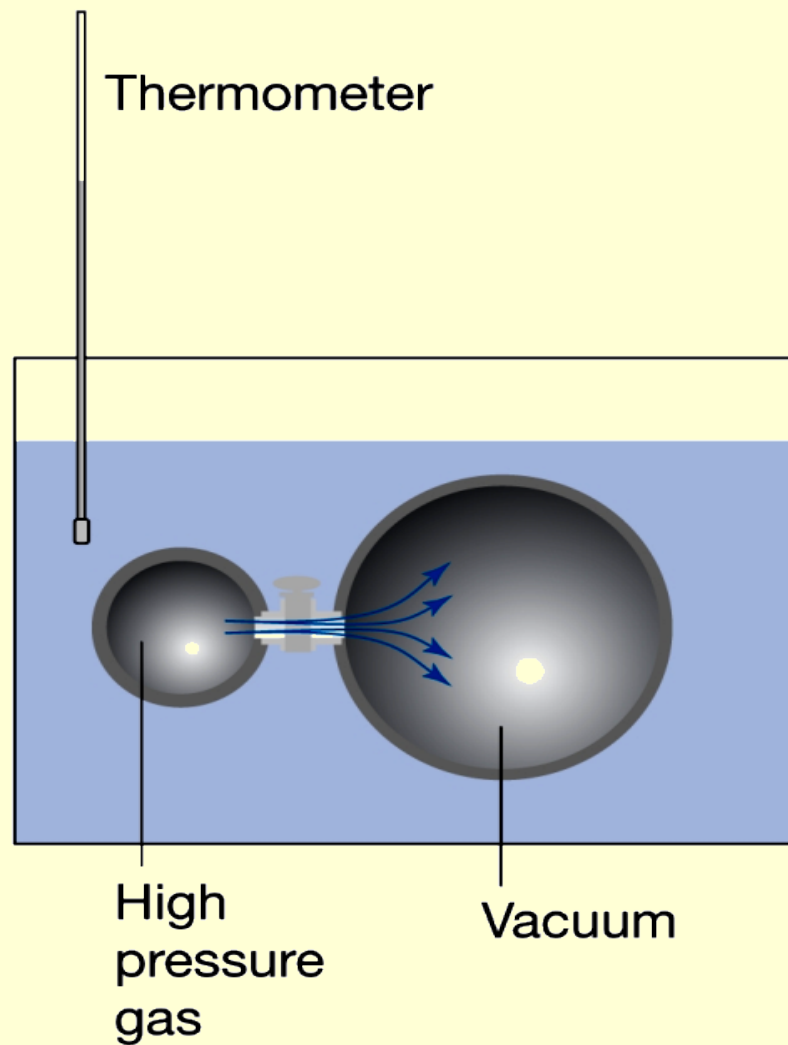
自然界的一切过程都是自发过程

- 明显的自发变化：中和反应、置换反应
铁在潮湿空气中自动生锈
- 经引发明显自发： $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
 $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCl}(\text{g})$
- 难以觉察的自发： $\text{C}(\text{金刚石}) \rightarrow \text{C}(\text{石墨})$
- 非自发： $\text{C}(\text{石墨}) \rightarrow \text{C}(\text{金刚石})$
 $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$
 $\text{C} + \text{H}_2 \rightarrow \text{汽油}$

二、过程的可逆与不可逆性

■ 举例：

箱中有隔板隔开，一边是空气，另一边抽成真空，抽开隔板后空气自动向真空膨胀，充满整个容器，最后压力达到均匀一致。这个过程是不可逆的，也即与上述方向相反的过程是不会自动进行的。需压缩机做电功，系统复原时环境留下了功变热的痕迹。



自发过程	推动力	自发方向	限度平衡态	过程做功	逆过程
气体扩散	压力差	$p_{高} \rightarrow p_{低}$	$\Delta p = 0$	膨胀功	压缩机
热传导	温度差	$T_{高} \rightarrow T_{低}$	$\Delta T = 0$	热机	制冷机
电迁移	电势差	$E_{高} \rightarrow E_{低}$	$\Delta E = 0$	电功	充电机
<u>化学反应</u>	吉布斯函数差	$G_{高} \rightarrow G_{低}$	$\Delta G = 0$	电池	电解池

二、过程的可逆与不可逆性

➤ 自发过程的共同特征：

- (1) 都具明显的**单向自发**倾向，逆过程需借助外力做功，且系统和环境不可同时复原；
- (2) 都具一推动力，**推动力消失为限度**——平衡态；
- (3) 加以控制和利用时，可**获得功**；

结论：一切自发过程皆具有不可逆性。

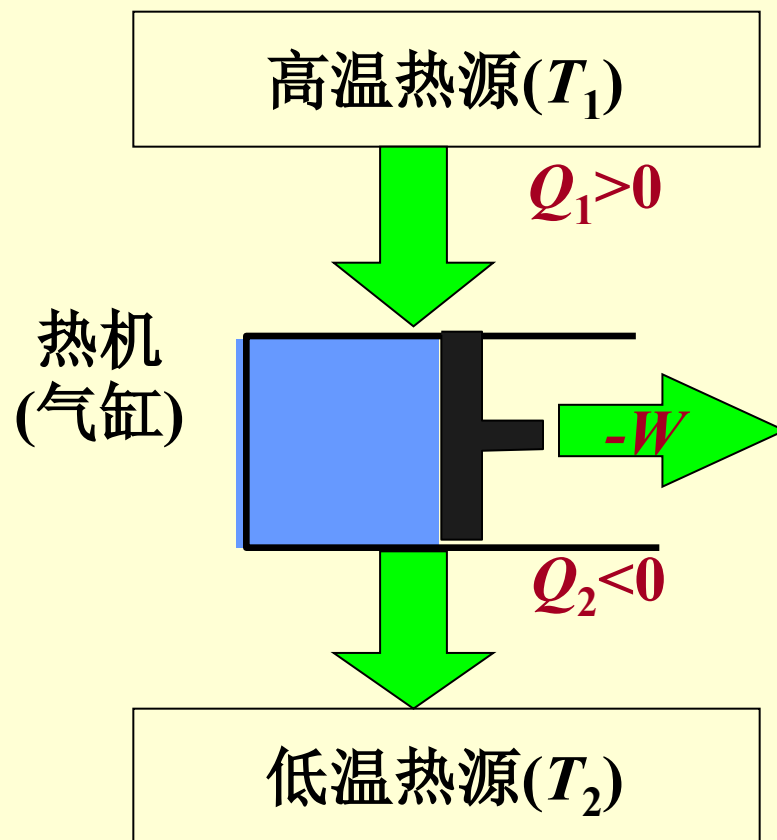
——找寻方向判据的依据。

三、热功转换

热 $\xrightleftharpoons[100\%]{\text{有限度}}$ 功

热机：热循环转化为功的机器。

$$\eta = \frac{-W}{Q_1} < 100\%$$



四、热二律的经典叙述

- 克劳修斯(R.Clausius)说法，热传导的不可逆性：
热不能自动从低温热原传向高温热源而不需环境做功。
- 开尔文(Kelvin)说法，**功热转换**的不可逆性：
不可能从单一热源吸热100%对外做功而不留下任何变化。
- 奥斯瓦德(Ostwald)说法：第二类永动机不可能制造；

任何宏观自发过程发生后，等价于一定数量的功转化为热，或一定数量的热从高温物体传至低温物体。不可简单逆转和完全复原。

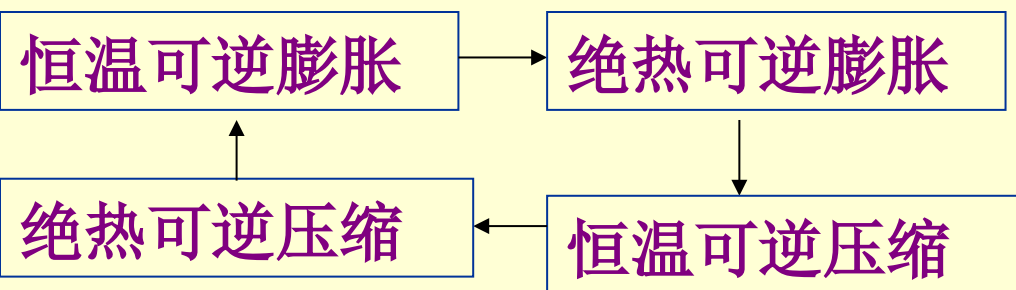
- 热力学第二定律中可以找到类似的热力学函数，只要计算函数的变化值，就能**判断过程的方向**。
- 通过一种理想的热机循环——卡诺循环，来导出一个重要的新的状态函数——“**熵**”，符号“S”。

§ 3-2 卡若循环与热机效率——热转化为功的限度

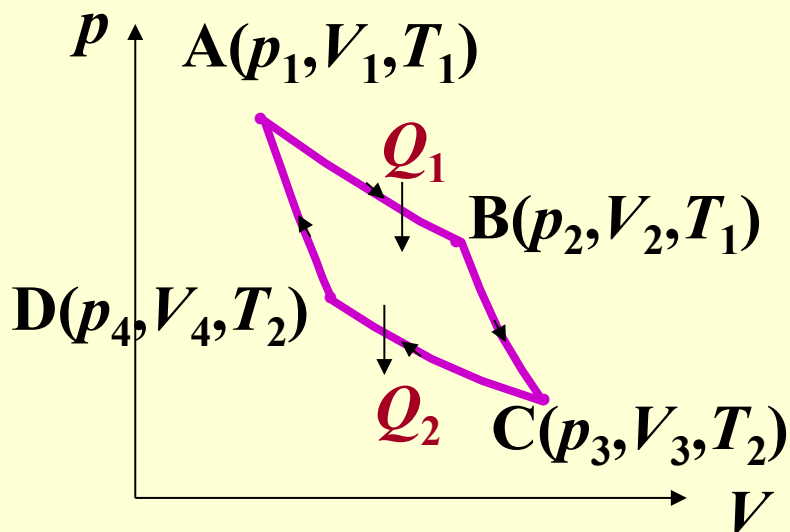
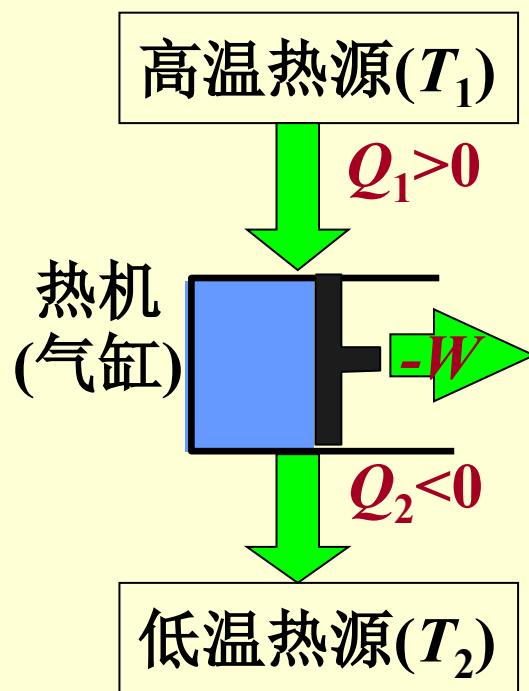
热机效率:

$$\eta \equiv \frac{-W}{Q_1} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1}$$

卡诺热机: 理想气体为工质, 经:



应用第一章所学求 W



§ 3-2 卡若循环与热机效率——热转化为功的限度

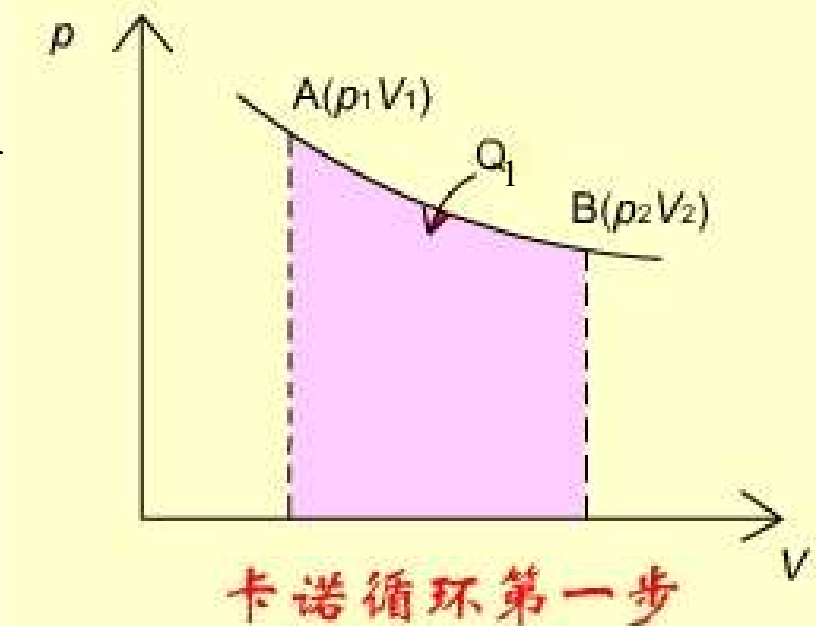
过程1：恒温可逆膨胀（A→B）：从高温热源吸热对外做功

$$\Delta U_1 = 0$$

$$W_1 = -\int_{V_A}^{V_B} p dV = nRT_1 \ln \frac{V_1}{V_2}$$

$$Q_1 = -W_1$$

所作功如AB曲线下的面积所示。

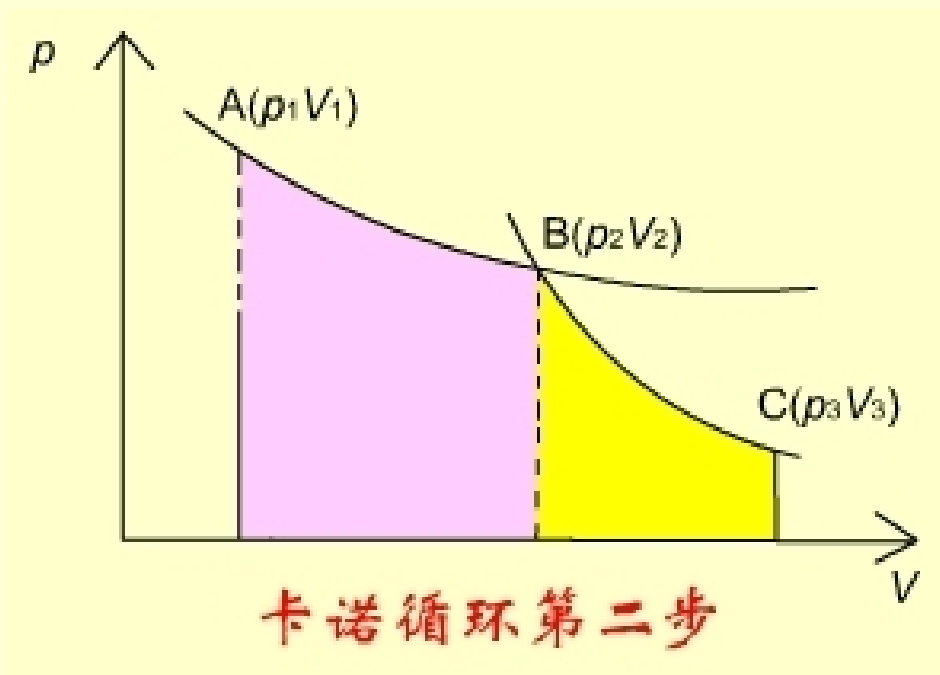


过程2：绝热可逆膨胀（B→C）：耗热力学能对外做功

$$Q' = 0$$

$$W' = \Delta U' = nC_{V,m}(T_2 - T_1)$$

所作功如BC曲线下的面积所示。

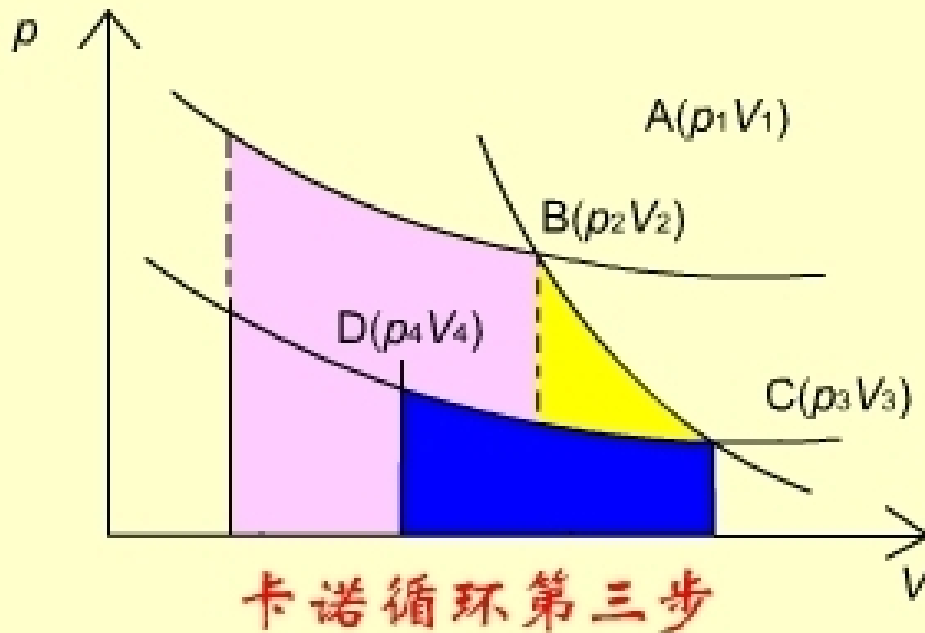


恒温可逆压缩（C→D）：系统得功向低温热源放热

$$\Delta U_2 = 0$$

$$W_2 = -Q_2 = -\int_{V_C}^{V_D} p dV = nRT_2 \ln(V_3 / V_4)$$

环境对系统所作的功
如DC曲线下的面积所示

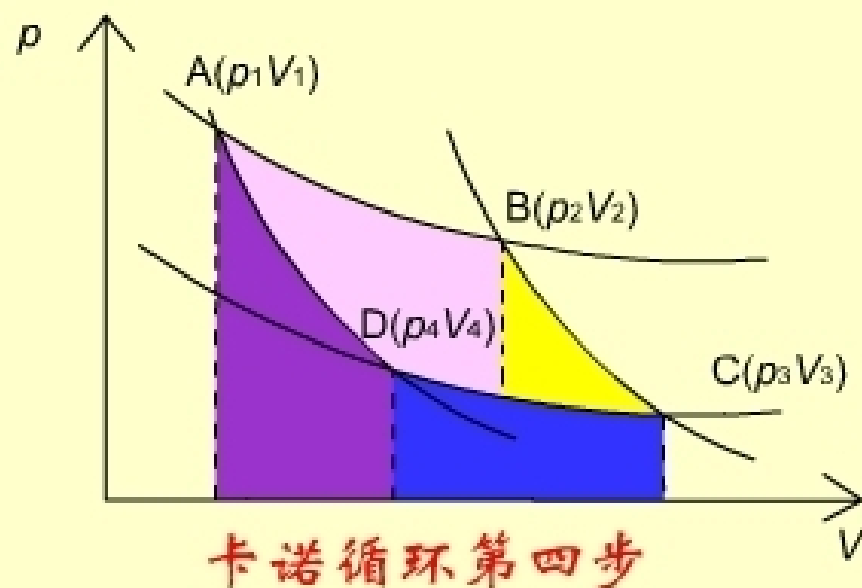
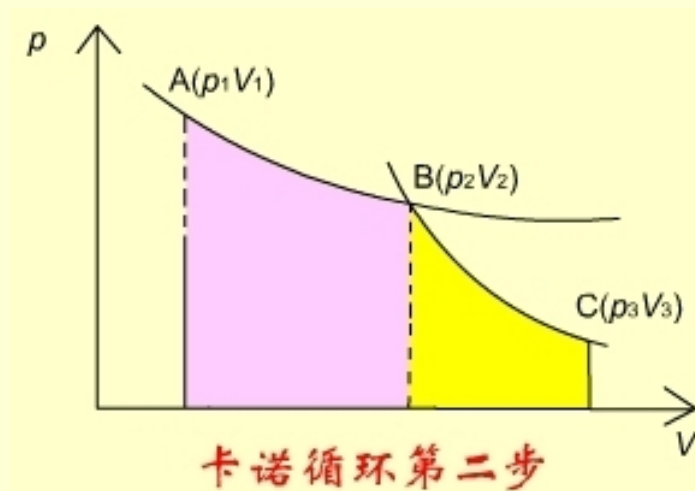


绝热可逆压缩 (D→A) : 对内做功增加热力学能

$$Q'' = 0$$

$$W'' = \Delta U'' = nC_{V,m}(T_1 - T_2)$$

环境对系统所作的功
如DA曲线下的面积所示。



整个循环:

$$\Delta U = 0$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

Q_1 是系统所吸的热, 为正值,

Q_2 是系统放出的热, 为负值。

$$W' = nC_{V,m}(T_2 - T_1)$$

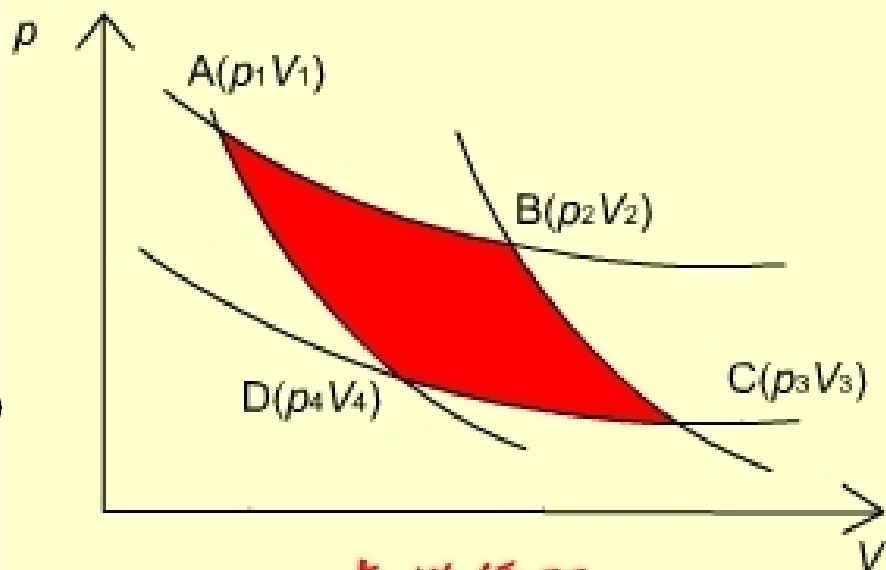
$$W'' = nC_{V,m}(T_1 - T_2)$$

$$W = W_1 + W_2 (W' \text{ 与 } W'' \text{ 抵消})$$

$$W_1 = nRT_1 \ln \frac{V_1}{V_2}$$

$$W_2 = nRT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

$$W = nRT_1 \ln \frac{V_1}{V_2} + nRT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$



卡诺循环

由两绝热可逆过程得:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_3}{V_2}\right)^{c_{V,m} R}, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_4}\right)^{c_{V,m} R}$$

$$V_3 / V_2 = V_4 / V_1$$

$$V_3 / V_4 = V_2 / V_1$$

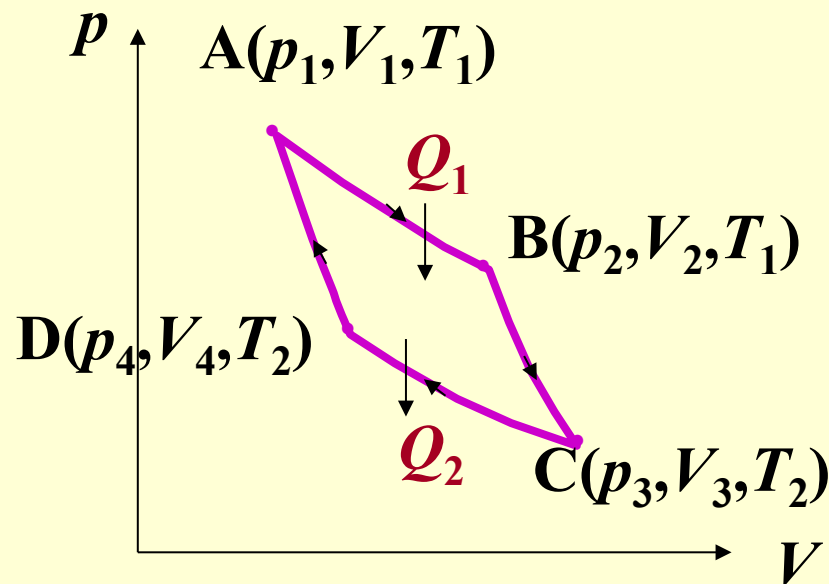
$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_4}{V_1}\right)^{c_{V,m} R}$$

$$W = W_1 + W_2$$

$$= nRT_1 \ln \frac{V_1}{V_2} + nRT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

$$= nRT_1 \ln \frac{V_1}{V_2} + nRT_2 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= nR(T_1 - T_2) \ln \frac{V_1}{V_2}$$



$$\therefore \eta = -\frac{W}{Q_1} = \frac{nR(T_1 - T_2) \ln(V_1 / V_2)}{nRT_1 \ln(V_1 / V_2)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

热机效率及卡诺定理

$$\eta = \frac{-W}{Q_1} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} < 1$$

$$1 + \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \frac{Q_2}{Q_1} = -\frac{T_2}{T_1} \quad \frac{Q_2}{T_2} = -\frac{Q_1}{T_1}$$

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} = 0 \quad \frac{Q}{T} \text{ — 热温商}$$

结论：理想气体为工质的卡若热机的效率 η ，只与两个热源温度(T_1, T_2)有关，温差愈大， η 愈高。卡若循环热温商之和为0

任意热机:

$$\eta_i \leq \eta_r$$

不可逆
可逆

卡若定理

所有可逆热机的效率与卡若热机的效率相等:

$$\eta_r = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

卡若推论

所有工作于同温热源与同温冷源之间的可逆热机，其热机效率都相等，即与热机的工作介质及其变化的类型无关。

可逆热机的效率与工质和过程无关。

可逆循环

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} = 0$$

$$\eta_{ir} < \eta_r \quad \eta_{ir} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1} \quad \eta_r = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\therefore \frac{Q_2}{Q_1} < -\frac{T_2}{T_1}, \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} < 0 \quad \text{不可逆循环}$$

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0 \quad \begin{array}{l} \text{不可逆} \\ \text{可逆} \end{array} \quad (\text{a})$$

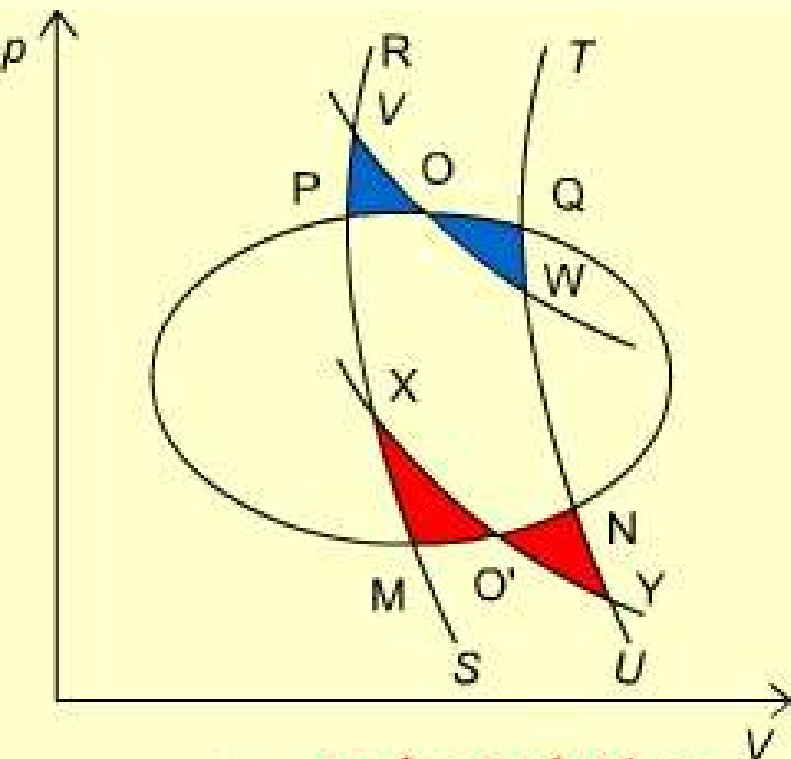
§ 3-3 热力学第二定律及熵增加原理

一、熵及热二律的数学表达式

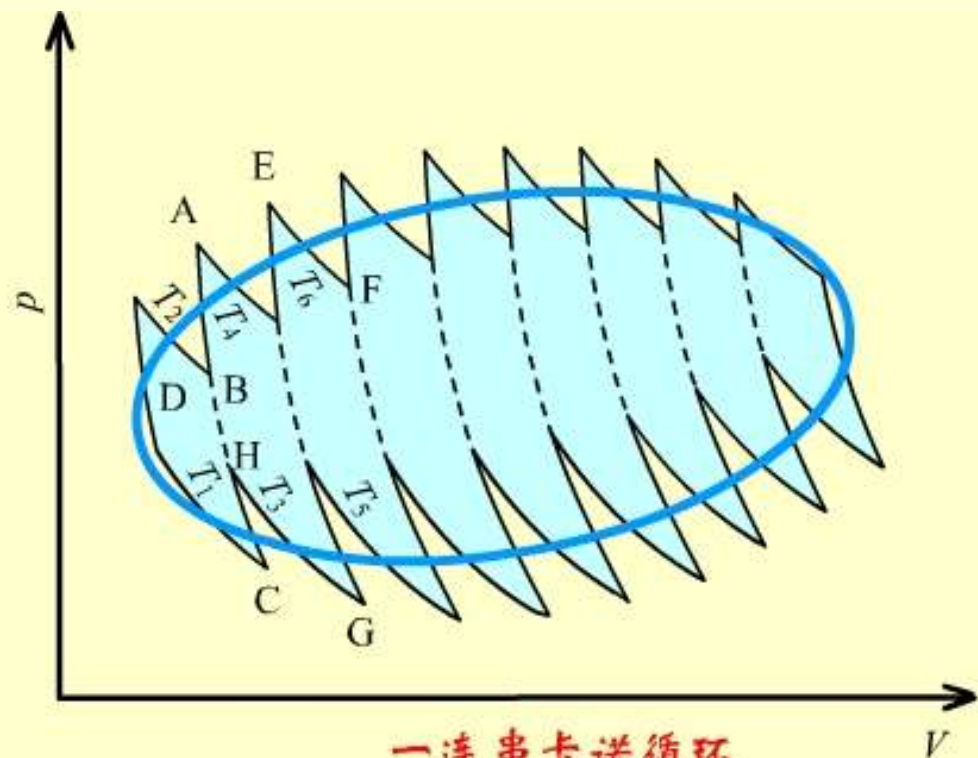
1、熵的提出

式(a)推广到多个热源的无限小的循环过程。

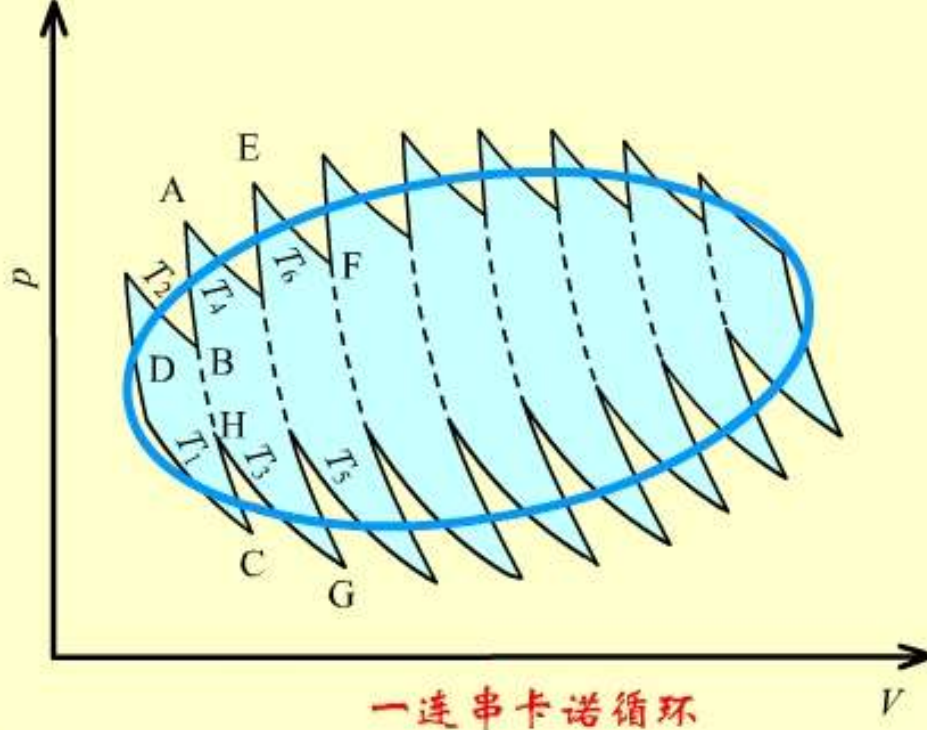
如P105图3.3.1, 有



任意可逆循环



一连串卡诺循环



$$\frac{\delta Q_1}{T_1} + \frac{\delta Q_2}{T_2} = 0, \quad \frac{\delta Q_3}{T_3} + \frac{\delta Q_4}{T_4} = 0, \quad \text{L}$$

$$\frac{\delta Q_1}{T_1} + \frac{\delta Q_2}{T_2} + \frac{\delta Q_3}{T_3} + \frac{\delta Q_4}{T_4} + \text{L} = 0$$

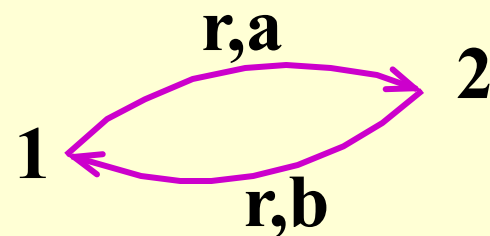
$$\sum \frac{\delta Q}{T} = 0$$

$$\sum \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad \text{或} \quad \oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad \begin{array}{l} \text{不可逆(ir)循环} \\ \text{可逆(r)循环} \end{array}$$

从而使众多小卡诺循环的总效应与任意可逆循环的封闭曲线相当，所以任意可逆循环的热温商的加和等于零，或它的环程积分等于零。任意不可逆循环的热温加和小于零。

一、熵及热二律的数学表达式

对于可逆循环，如图 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1$



$$\text{有: } \oint \frac{\delta Q_r}{T} = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q_r}{T} \right)_a + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q_r}{T} \right)_b = 0$$

$$\text{即: } \int_1^2 \left(\frac{\delta Q_r}{T} \right)_a = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q_r}{T} \right)_b$$

可逆过程热温商的积分值只与始终态有关，而与途径无关——状态函数的变化量。

一、熵及热二律的数学表达式

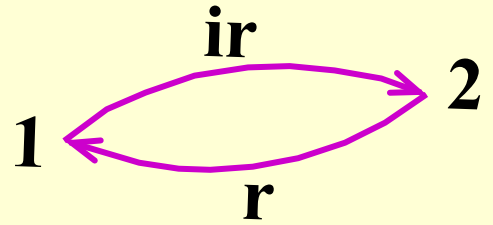
定义： $\Delta S = S_2 - S_1 \equiv \int_1^2 \frac{\delta Q_r}{T}$ 或： $dS \equiv \frac{\delta Q_r}{T}$

- S 称为熵(entropy);
- 熵是状态函数；是宏观热力学性质，广度量；单位为 $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$ 。
- 熵变 (ΔS) 由可逆途径热温商的积分值来计算。
- 宏观热力学只给出了熵变的定义，对于其物理意义不能定义，这将由统计热力学完成。

一、熵及热二律的数学表达式

2、热力学第二定律的数学表达式

对一不可逆循环，如图 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1$



$$\text{有: } \oint \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \frac{\delta Q_{ir}}{T} + \int_2^1 \frac{\delta Q_r}{T} < 0 \quad (\text{不可逆循环})$$

$$\Rightarrow \int_1^2 \frac{\delta Q_{ir}}{T} < \int_1^2 \frac{\delta Q_r}{T} = \Delta S \quad \int_1^2 \frac{\delta Q_r}{T} = \Delta S$$

$$\text{得: } \Delta S \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \quad \text{或} \quad dS \geq \frac{\delta Q}{T} \begin{array}{l} \text{不可逆} \\ \text{可逆} \end{array} \quad (\text{克劳修斯不等式})$$

——热力学第二定律的数学表达式

二、熵增原理及平衡的熵判据

$$\Delta S \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \quad \begin{array}{l} \text{不可逆} \\ \text{可逆} \end{array}$$

➤ 绝热过程, $\delta Q=0$, 则有

$$\Delta S_{\text{绝热}} \geq 0 \quad \text{或} \quad dS_{\text{绝热}} \geq 0 \quad \begin{array}{l} \text{不可逆} \\ \text{可逆} \end{array}$$

➤ 孤立系统, $\delta Q=0$, 则有

$$\Delta S_{\text{iso}} = \Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{su}} \geq 0 \quad \text{或} \quad dS_{\text{iso}} \geq 0 \quad \begin{array}{l} \text{自发} \\ \text{平衡} \end{array}$$

熵增加原理: 系统经绝热过程由一状态到达另一状态, 熵值不减少; 自发变化的结果, 必使孤立系统的熵增加 (孤立系统中可以发生的实际过程都是自发过程)。

方向: 孤立系统的熵增加

限度: 孤立系统熵值达到最大——平衡态。

二、熵增原理及平衡的熵判据

➤ 环境的熵变 ΔS_{su}

热源足够大且体积固定，过程中基本保持 T 均匀不变，即热源的变化总是可逆的。

$$\Delta S_{su} = \frac{Q_{su}}{T_{su}} = - \frac{Q_{sy}}{T_{su}}$$

§ 3-4 熵变的计算

一、单纯 p 、 V 、 T 变化过程 ΔS 的计算

二、定 T 定 p 下相变化过程

三、热力学第三定律及化学反应熵变的计算

➤ 计算原则:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q_r}{T} = \int_1^2 \frac{dU - \delta W_r}{T} = \int_1^2 \frac{dU + pdV}{T}$$

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dH - VdP}{T}$$

➤ 计算方法: 利用状态函数变化量特征, 在确定的始末态间, 设计适合的可逆过程。

一、单纯 p 、 V 、 T 变化过程 ΔS 的计算

1、气、液、固体的定 p 或定 V 的变 T 过程

➤ 定压变温过程：由 $\delta Q_p = dH = nC_{p,m}dT$

$$\text{得： } \Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q_r}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{nC_{p,m}}{T} dT ; \text{ 视 } C_{p,m} \text{ 为常数}$$

$$\Delta S = nC_{p,m} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

➤ 定容变温过程：由 $\delta Q_V = dU = nC_{V,m}dT$

$$\text{得： } \Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q_r}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{nC_{V,m}}{T} dT ; \text{ 视 } C_{p,m} \text{ 为常数}$$

$$\Delta S = nC_{V,m} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

定压及定容下， T 升高，则 S 增大

一、单纯 p 、 V 、 T 变化过程 ΔS 的计算

2、定温下 p 、 V 变化过程：

- 液、固体定温下 p 、 V 变化过程：熵变可忽略不计；

$$\left(\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q_r}{T} = \int_1^2 \frac{dU + pdV}{T}, \quad \Delta S = \int_1^2 \frac{dH - VdP}{T} \right)$$

- 本课程仅讨论理想气体的变化过程：

$$\begin{aligned} \Delta S &= \int_1^2 \frac{\delta Q_r}{T} = \int_1^2 \frac{dU - \delta W_r}{T} = \int_1^2 \frac{-\delta W_r}{T} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{pdV}{T} \\ &= \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRTdV}{TV} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRdV}{V} = nR \ln \frac{V_2}{V_1} = nR \ln \frac{p_1}{p_2} \end{aligned}$$

结论：定 T 下， V 增加，则 S 增大； p 减小，则 S 增大；

一、单纯 p 、 V 、 T 变化过程 ΔS 的计算

2、气体定温下 p 、 V 变化过程：

例3-1：10.00mol理想气体，由25°C，1.000MPa 膨胀到25°C，0.100MPa。假定过程是：

(1)可逆膨胀；

(2)对抗恒外压0.100MPa膨胀；

(3)自由膨胀。

计算体系(sy)熵变及环境(su)熵变。

一、单纯 p 、 V 、 T 变化过程 ΔS 的计算

例3-1: 10.00mol理想气体, 由25°C, 1.000MPa 膨胀到25°C, 0.100MPa。

解: \because 三过程的始终态相同, \therefore 系统熵变相等。

$$\begin{aligned}\Delta S_{sy,3} &= \Delta S_{sy,2} = \Delta S_{sy,1} = \Delta S_T = nR \ln(p_1 / p_2) \\ &= \{ 10.00 \times 8.314 \} [J \cdot K^{-1}] \ln \frac{1.000}{0.100} = 191 J \cdot K^{-1}\end{aligned}$$

(1)可逆膨胀;

(2)对抗恒外压0.100MPa膨胀;

(3)自由膨胀。

$$\Delta S_{su,1} = -\Delta S_{sy,1} = -191 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$[\Delta S_{su,1} = -\frac{Q_{sy,1}}{T} = \frac{W_1}{T} = \frac{nRT \ln(p_2 / p_1)}{T} = nR \ln(p_2 / p_1)]$$

$$\Delta S_{su,2} = -\frac{Q_{sy,2}}{T_{su}} = \frac{W_2}{T_{su}} = \frac{-p_{su} \Delta V}{T_{su}}$$

$$= \frac{-p_{su} (V_2 - V_1)}{T_{su}} = -p_{su} \left(\frac{nR}{p_2} - \frac{nR}{p_1} \right) = -74.8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta S_{su,3} = -\frac{Q_{sy,3}}{T_{su}} = 0$$

思考题1: 计算结果表明?

3、 T 、 p 、 V 同时变化过程

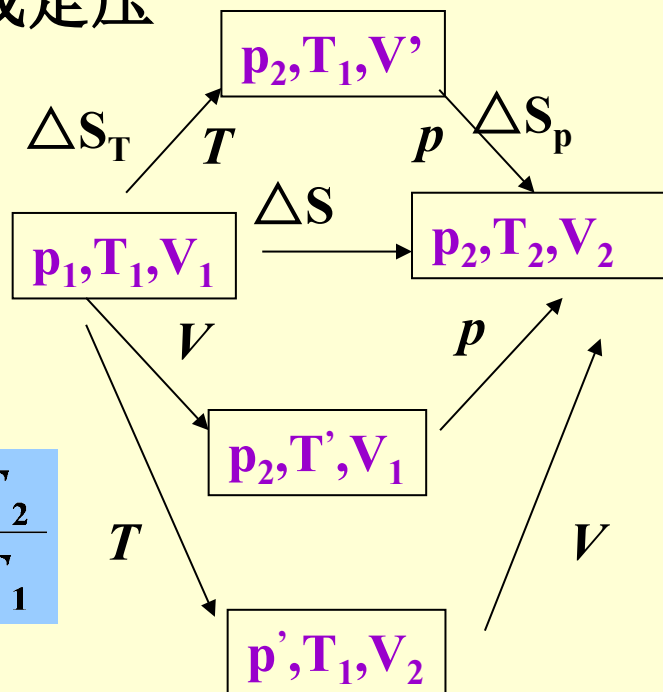
(1) 凝聚态 T 、 p 、 V 同时变化过程近似看成定压变温过程

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{nC_{p,m}}{T} dT$$

(2) 理想气体

如设计为：定 $T \rightarrow$ 定 p

$$\Delta S = \Delta S_T + \Delta S_p = nR \ln \frac{p_1}{p_2} + nC_{p,m} \ln \frac{T_2}{T_1}$$



或：定 $V \rightarrow$ 定 p

$$\Delta S = nC_{V,m} \ln \frac{T'}{T_1} + nC_{p,m} \ln \frac{T_2}{T'} = nC_{V,m} \ln \frac{p_2}{p_1} + nC_{p,m} \ln \frac{V_2}{V_1}$$

或：定 $T \rightarrow$ 定 V

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1} + nC_{V,m} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

理想气体p,T,V变化

$$\Delta S = nR \ln \frac{p_1}{p_2} + nC_{p,m} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S = nC_{v,m} \ln \frac{p_2}{p_1} + nC_{p,m} \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1} + nC_{v,m} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

可逆pTV变化的 ΔS 计算公式同样适用于不可逆过程

一、单纯 p 、 V 、 T 变化过程 ΔS 的计算

3、理想气体 T 、 p 、 V 同时变化过程

例3-2: 5mol氮气, 由 25°C , 1.01MPa 对抗恒外压 0.101MPa 绝热膨胀到 0.101MPa 。 $C_{p,m}(\text{N}_2)=(7/2)\text{R}$ 。
计算 ΔS 。

解: 绝热膨胀 $\Delta U=W$, 体系温度降低,

首先需确定终态 T_2

一、单纯 p 、 V 、 T 变化过程 ΔS 的计算

例3-2:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U &= nC_{V,m}(T_2 - T_1) = n \times \frac{5}{2} R(T_2 - T_1) \\ W &= -p_{su}(V_2 - V_1) = -p_2 \left(\frac{nRT_2}{p_2} - \frac{nRT_1}{p_1} \right) \end{aligned} \right\} T_2 = 221 K$$
$$\Delta U = W$$

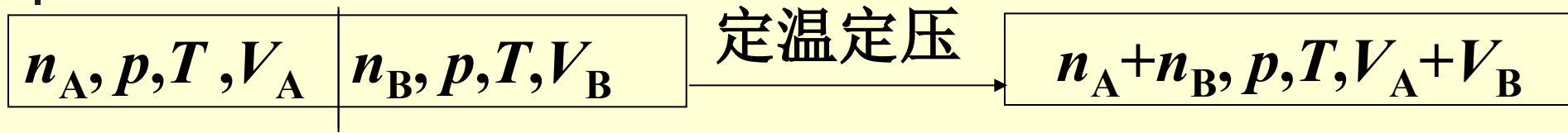
$$\Delta S = nR \ln \frac{p_1}{p_2} + nC_{p,m} \ln \frac{T_2}{T_1} = 52.2 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

5mol氮气
25°C, 1.01MPa



5mol氮气
221K, 0.101MPa

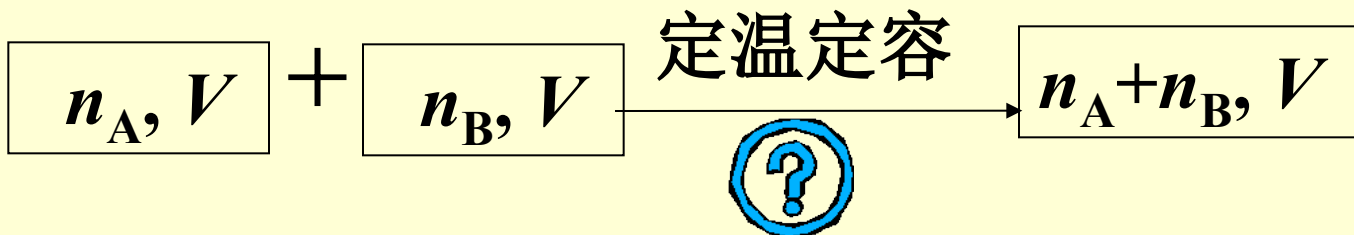
4、理想气体的混合过程



$$\begin{aligned} \Delta_{mix} S &= \Delta S_A + \Delta S_B = n_A R \ln \frac{V_A + V_B}{V_A} + n_B R \ln \frac{V_A + V_B}{V_B} \\ &= n_A R \ln \frac{1}{y_A} + n_B R \ln \frac{1}{y_B} = -n_A R \ln y_A - n_B R \ln y_B \end{aligned}$$

$$\because y_A, y_B < 1, \therefore \Delta_{mix} S > 0$$

结论：定 T 定 p 理气混合过程系统熵增加



$$\Delta_{mix} S = 0$$

混合前后A, B的状态未变

4、理想气体的混合过程

定压变温混合

例3-3 始态为 0°C , 100kPa 的 2mol 单原子B与 150°C , 100kPa 的 5mol 双原子理想气体C, 在恒压 100kPa 下绝热混合达到平衡, 求过程的 W , ΔU , 及 ΔS 。

解：绝热： $Q = \Delta H = 0$

$$\Delta H = \Delta H_B + \Delta H_C$$

$$= n_B C_{p,m}(B)[T_2 - T_1(B)] + n_C C_{p,m}(C)[T_2 - T_1(C)] = 0$$

$$T_2 = 389.82\text{K}$$

$$W = \Delta U = n_B C_{V,m}(B)[T_2 - T_1(B)] + n_C C_{V,m}(C)[T_2 - T_1(C)]$$

$$= -554\text{J}$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/016040111110011000>