热力学第一定律

能量具有各种不同的形式

可以从一种形式转化为另一种形式

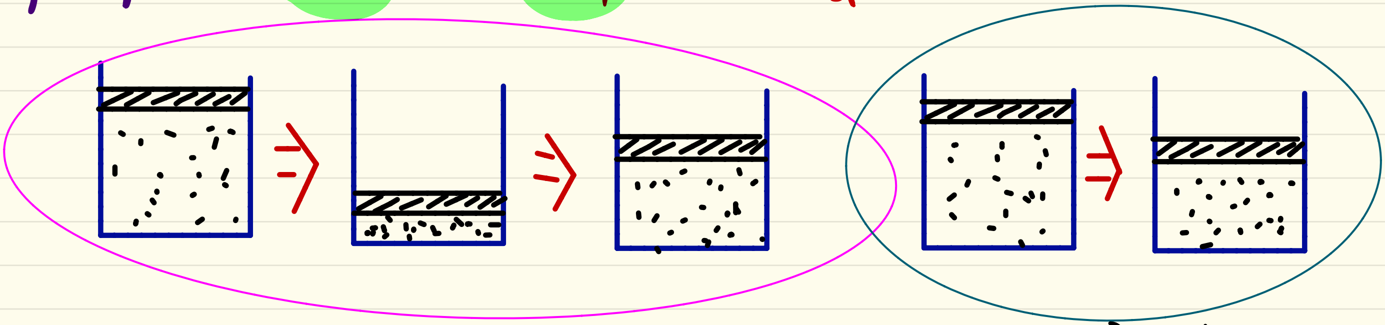
能量在转化和传播的过程中数值不变

绝热过程

没有热传换，系统状态的改变只能通过外界对系统做功。

内能是状态的函数

有关系 $U_0 - U_1 = W_a$



A方法　　　　B方法

非绝热过程（既有传热，也有做功）

$$Q = U_2 - U_1 - W$$

外界对系统做功

或

$$U_2 - U_1 = Q + W$$

$đ$ d-bar

$\tilde{a}$ a-tilde

$\dot{a}$ a dot

或微分形式

$$dU = đQ + đW$$

$\hat{a}$ a-hat

a' a-prime

$\underline{a}$ a-underline

热容、焓

广延量 ✓

强度量 ✗

热容 $C_\gamma \equiv \left(\frac{dQ}{dT}\right)_\gamma$

γ 可以为 $\begin{cases} \text{等容过程} & V & C_V \\ \text{等压过程} & p & C_p \end{cases}$

① 系统体积不变时

$$\text{đ}Q_V = dU$$

定容热容 $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$

② 系统压强不变时

$$\text{đ}Q_p = dU - \text{đ}W = dU + p \cdot dV$$

$$C_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p + p\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p + \left(\frac{\partial (pV)}{\partial T}\right)_p$$

$$C_p = \left(\frac{\partial(U+PV)}{\partial T}\right)_p$$

引入 $H \equiv U+PV$ 焓

等压过程的热传播

$$dQ_p = dH$$

$$Q_p = \Delta H$$

等压过程从外界吸收的热量等于焓的增加

理想气体的物态方程 $PV = nRT$

内能 $U = U(T)$ 内能只是温度的函数

焓 $H \equiv U + PV = U(T) + nRT$

$= H(T)$ 焓也是

$$C_V \equiv \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V = \frac{dU}{dT} = C_V(T)$$

$$C_p \equiv \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p = \frac{dH}{dT} = C_p(T)$$

等容热容
等压热容 也是

对理想气体有 $C_p - C_v = nR$

证明： $C_p = \frac{dH}{dT}$ $C_v = \frac{dU}{dT}$

$H = U + pV$ $dH = dU + d(pV)$

$C_p - C_v = \frac{dH}{dT} - \frac{dU}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{d(pV)}{dT} - \frac{dU}{dT}$

$nRT = pV$ $= \frac{d(nRT)}{dT} = nR$

引入 $\gamma \equiv \frac{C_p}{C_v} = \gamma(T)$

也是温度的函数

对各种气体不同，需测量

利用 $C_p - C_v = nR$ （前面证明）.

$$C_v = \frac{nR}{\gamma - 1}, \quad C_p = \gamma \frac{nR}{\gamma - 1}$$

为研究绝热过程过程方程做准备

另外 $C_v = \frac{dU}{dT}$

$C_p = \frac{dH}{dT}$

积分得 $U = \int C_v \, dT + U_0$

$H = \int C_p \, dT + H_0$

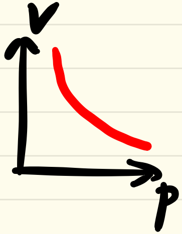
积分常数 / 零点值

若 C_v. C_p 变化不大. 可似为常数

$U = C_v T + U_0$ $H = C_p T + H_0$

$\boxed{\text{过程方程}}$ —— 准静态过程中独立变量之间所满足的函数关系

· 等温过程. $PV = nRT$



· 绝热过程

$$dQ = 0$$

$$dQ = dU + pdV = 0$$

$$dU = C_V \cdot dT = \frac{nR}{\gamma - 1} \cdot dT = \frac{d(PV)}{\gamma - 1}$$

代入绝热过程关系得 $\frac{d(PV)}{\gamma - 1} + p \cdot dV = 0$

微分链式法则.

$$\frac{d(pV)}{\gamma-1}+p\cdot dV=0$$

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

$$\rightarrow p\cdot dV+V\cdot dp+(\gamma-1)\cdot p\cdot dV=0$$

$$\rightarrow V\cdot dp+\gamma\, p\cdot dV=0$$

$$\rightarrow \frac{dp}{p}+\gamma\frac{dV}{V}=0$$

$$\rightarrow \ln p+\gamma\ln V=C$$

$$p\cdot V^{\gamma}=C'$$

$$p=\frac{c'}{V^{\gamma}},\quad \left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_S=-\gamma\frac{c'}{V^{\gamma+1}}=-\gamma\frac{c'}{V^{\gamma}}\cdot\frac{1}{V}=-\gamma\frac{p}{V}$$

γ可由测声速测得

$$a = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}}$$

- 声音的传播可看作绝热过程

$$a^2 = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_s = -v^2\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_s$$

↑代表绝热

$v = \frac{1}{\rho}$

单位质量体积

$$\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_s = -\gamma\frac{P}{v}$$

$$a^2 = \gamma P v = \frac{\gamma P}{\rho}$$

可测

可测