

工程热力学复习资料

1-1

- 从燃料燃烧中得到的热能以及利用热能得到的动力的整套设备（包括辅助设备），统称**热能动力装置**。
- 工质从中吸取热能的物质称为热源（**高温热源**），接受工质排出热能的物质称为冷源（**低温热源**）。

1-2

- 被人为分割出来作为热力学分析对象的有限物质系统称为**热力系统**（简称**系统、体系**），与系统发生质能交换的物体称为**外界**。

	能量交换	物质交换	热量交换
闭口系	√	×	-
开口系	(√)	√	-
绝热系	-	-	×
孤立系	×	×	×

注：1. 从表中可以看出四个系相互之间的关系。 2. 括号表示被动因素

1-3

- 人们把工质在热力变化过程中的某一瞬间所呈现的宏观物理状况称为工质的热力学状态（**状态**）。**状态参数是热力系统状态的单值函数**。
- 压力和温度与系统的质量的多少无关，称为**强度量**；体积、热力学能、焓和熵等与系统质量成正比，具有可加性，称为**广延量**。强度量一般小写，广延量一般大写。
- 绝对压力 p 与大气压力 p_b 及表压力 p_e 或真空度 p_v ：

$$p = p_b + p_e$$

$$p = p_b - p_v$$

- （P16 各压力单位）

1-4

- **如果在不受外界影响的条件下系统的状态能够始终保持不变，则系统的这种状态称为平衡状态。**
- **只要系统的参数不随时间而改变，即认为系统处在稳定平衡状态。**
- 由于两个参数可以完全确定简单可压缩系（理想气体）的平衡状态，所以由任意两个独立的状态参数所组成的平面坐标图上的任意一点，都相对应热力系的某一确定的平衡状态。不平衡状态因系统各部分的物理量一般不同，在坐标图上无法表示。

1-5

- **准平衡过程是进行得无限缓慢的过程**，故准平衡过程又称为准静态过程。（在整个状态变化过程中好像工质始终没有离开平衡状态，此时过程就是准平衡过程。）只有准平衡过程在坐标图中可以用连续曲线表示。并且在气体中，如果工质和外界一旦出现不平衡，工质有足够多的时间得以恢复平衡，使气体的变化过程比较接近准平衡过程。
- 在一个过程中，如果有可能使工质沿相同的路径逆行而恢复到原来状态，并使相互作用中所涉及的外界也恢复到原来状态不留下任何改变，这一过程称为**可逆过程**。可逆过程首先是准平衡过程，满足热和力的平衡方程条件，同时在过程中不应有任何耗散效应，可逆过程必定可以用状态参数图上的连续

实线表示。

1-6

- 功是热力系统通过边界而传递的能量，且其全部效果可表现为举起重物。（有概念：膨胀功）
- 热力学中把热量定义为热力系和外界之间仅仅由于温度不同而通过边界传递的热量。

1-7

- 工质经过一系列的状态变化过程之后回到原来的状态，这一系列过程的综合，称为热力循环（循环）。

$$\text{经济性指标} = \frac{\text{得到的收获}}{\text{花费的代价}}$$

2-2

$$E = U + E_k + E_p$$

$$E_k = \frac{1}{2} mc_f^2$$

$$E_p = mgz$$

- 系统与外界交换功的形式除了前已提及的膨胀功或压缩功这类与系统的界面移动有关的功外，还有因工质在开口系统中流动而传递的功，这种功称为推动功（即可以理解为从外部传来的功），工质在移动位置时总是从后获得推动功，而向前面传输推动功，即使没有活塞存在时也完全一样。工质在传递推动功时没有热力状态的变化，当然也不会有能量形态的变化，像传送带一样。
- 推动功差 $\Delta(p_i v_i)$ 是系统为维持工质流动所需的功，称为流动功。在不考虑工质的宏观动能和位能变化时，开口系与外界交换的功量是膨胀功与流动功之差 $w - \Delta(p_i v_i)$ 。推动功只有在工质移动，越过边界时才起作用。
- 系统与外界交换物质时，储存于越过边界进入系统的工质内部的热力学能带进了系统，同时还把从外部功源获得的推动功带进了系统，因此有了焓的概念。

$$H = U + pV$$

焓是一个状态参数，在工程计算中，关心的是焓的相对变化量 ΔH 。

2-3

- 热力学第一定律根本：

$$\delta Q = dU + \delta W$$

2-4

- 开口系能量方程式：做题。
- 稳定流动能量方程式：

$$q - \Delta u = \frac{1}{2} \Delta c_f^2 + g \Delta z + \Delta(pv) + w_i$$

其中，根据实际意义易得，我们可资利用的功称为技术功：

$$w_t = w_i + \frac{1}{2} \Delta c_f^2 + g \Delta z = q - \Delta u - \Delta(pv) = w - \Delta(pv) = \int_1^2 p dv - \int_1^2 d(pv) = - \int_1^2 v dp$$

3-1

- 理想气体是一种实际不存在的假想气体，其分子是些弹性的、不具有体积的质点；分子间没有相互作用力（高温低压）。水蒸气，氟利昂蒸气，氨蒸气等工作温度和压力离液态不远不能看作理想气体。
- 理想气体状态方程：

$$pV_m = MR_g T = RT$$

其中： $R = MR_g = 8.314 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

3-2

- 比热容：（且 $h = u + R_g T$ ）

$$c = \frac{\delta q}{dT}$$

$$C_m = Mc$$

$$c = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v + \left[\left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v + p \right] \frac{dv}{dT}$$

所以可以推出等容比热容、等压比热容

$$c_v = \frac{du}{dT}, \quad c_p = \frac{dh}{dT}$$

且 $h = u + R_g T$ ，可推

$$c_p - c_v = R_g, \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

- 定值比热容：

$$U_m = \frac{i}{2} RT, \quad \frac{C_{v,m}}{R} = \frac{i}{2}, \quad \frac{C_{p,m}}{R} = \frac{i+2}{2}, \quad \gamma = \frac{i+2}{i}$$

	i	$C_{p,m}/R$	γ
单原子气体	3	2.5	1.67
双原子气体	5	3.5	1.40
多原子气体	6	4.5	1.29

3-3

- 理想气体中: $u = u(T)$, $h = h(T)$ 。
- 对于理想气体, 任何一个过程的热力学能变化量都和温度变化相同的定容过程的热力学能变化量相等; 任何一个过程的焓变化量都和温度变化相同的定压过程的焓变化量相等。理想气体的任何一种过程都有:

$$\boxed{du = c_v dT, \quad dh = c_p dT}$$

- 熵:

$$ds = \frac{\delta q_{rev}}{T}$$

且 $\delta q = c_p dT - v dp$, $pv = R_g T$, 并积分, 有:

$$\boxed{\Delta s_{1-2} = \int_{T_1}^{T_2} c_p \frac{dT}{T} - R_g \ln \frac{p_2}{p_1}}$$

且 $\delta q = c_v dT + p dv$, $p = \frac{R_g T}{v}$, 并积分, 有:

$$\boxed{\Delta s_{1-2} = \int_{T_1}^{T_2} c_v \frac{dT}{T} + R_g \ln \frac{v_2}{v_1}}$$

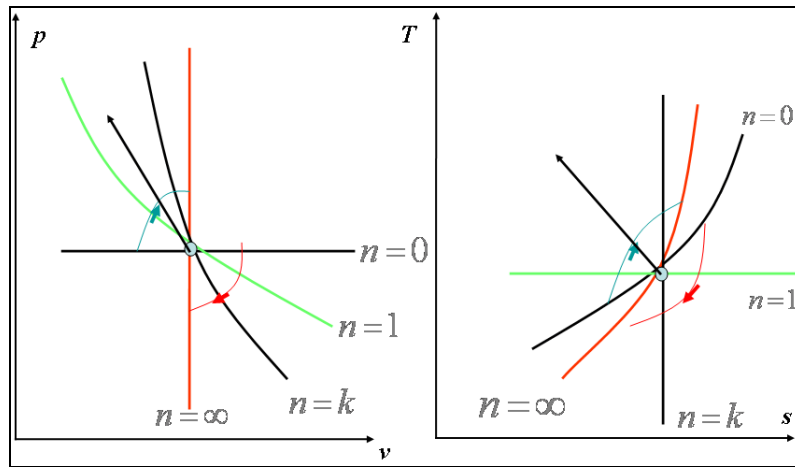
注: 1. 此方程可以用在第十二章计算理想气体混合时的熵变。 2. 在温度变化范围不大或者近似计算时 c_v , c_p 可以看作常数。

3-4

- 液态水在蒸发过程时, 这种液相和气相处于动态平衡的状态称为饱和状态。处于饱和状态的蒸汽称为饱和蒸汽, 液体称为饱和液体。
- 水的三相点: $p = 611.659 \text{ Pa}$, $T = 273.16 \text{ K}$ 。
- 干度:

$$\boxed{x = \frac{p - p'}{p'' - p'}}$$

其它参数皆为线性的。



定容过程
 $n = \infty$

定压过程
 $n = 0$

定温过程
 $n = 1$

定熵过程
 $n = \kappa$

多变过程
 n

Δu	$c_v(T_2 - T_1)$	$c_v(T_2 - T_1)$	0	$c_v(T_2 - T_1)$	$c_v(T_2 - T_1)$
Δh	$c_p(T_2 - T_1)$	$c_p(T_2 - T_1)$	0	$c_p(T_2 - T_1)$	$c_p(T_2 - T_1)$
Δs	$c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$	$c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$	$\frac{q}{T}$ $R_g \ln \frac{v_2}{v_1}$ $R_g \ln \frac{p_1}{p_2}$	0	$c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R_g \ln \frac{v_2}{v_1}$ $c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R_g \ln \frac{p_2}{p_1}$ $c_v \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p \ln \frac{v_2}{v_1}$
c	$c_v = \frac{R_g}{\kappa - 1}$	$c_p = \frac{\kappa R_g}{\kappa - 1}$	∞	0	$\frac{n - \kappa}{n - 1} c_v$
$w = \int_1^2 p dv$	0	$p \Delta v$ $R_g \Delta T$	$R_g T \ln \frac{v_2}{v_1}$ $R_g T \ln \frac{p_1}{p_2}$	$-\Delta u$	$-\frac{R_g}{n - 1} \Delta T$
$w_t = -\int_1^2 v dp$	$-v \Delta p$	0	w	$-\Delta h$ κw	$-\frac{n R_g}{n - 1} \Delta T$ $n w$
q	Δu	Δh	$T \Delta s$ w w_t	0	$\frac{n - \kappa}{n - 1} c_v \Delta T$

5

- $\frac{\delta q}{T}$ 不代表熵的定义，只有可逆过程才能算是，且： $\oint \frac{\delta Q}{T_r} \leq 0$ （克劳修斯积分不等式）。

- 卡诺循环。
- 克劳修斯表述：不可能将热从低温物体传至高温物体而不引起其它变化。开尔文表述为：不可能从单一热源取热使之完全转换为有用的功而不产生其他影响。熵增原理：不可逆热力过程中熵的微增量总是大于零。
- 熵变（微分形式）：

$$dS_{CV} = \delta S_{f,m} + \delta S_{f,Q} + \delta S_g$$

- 剩下的自己做题。

7

- 背压计算：

$$\frac{p_{cr}}{p_0} = v_{cr} = \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

一般双原子气体 $\kappa=1.4$ ， $v_{cr} = 0.528$ 。

- 速度系数： $\varphi = \frac{c_{f2}}{c_{f2s}}$ 。
- 绝热节流：绝对的不可逆过程。
- 剩下的做题，以及书 P265 的表格。

10

- 理想耗汽率： $d_0 = \frac{D/3600}{P_0} = \frac{1}{h_1 - h_2}$ 。
- 书 P328 的一大堆概念。
- 例 10-1、10-2。
- 再热循环中，间壁式再热循环和混合式再热循环（不要机械式记忆，要理解整个循环过程）。
- 回热循环一般可以使效率提高 2%-4%。
- 剩下的做题。

12

- 质量分数、摩尔分数、体积分数分别是 w_i x_i φ_i 。
- 剩下的做题，以及书 P389 的概念。