

第四章作业

4-1 某发明者自称已设计出一台在 540 K 和 300 K 的热源之间循环工作的热机,该热机从高温热源每吸收 1 000 J 的热量可作出 450 J 的净功。他的设计合理吗?

由克劳休斯不等式得:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = \frac{1000}{540} + \frac{1000-450}{300} = 0.0185 \text{ J/K} > 0$$

不符合克劳休斯不等式,即设计不合理

4-3 某可逆热机工作在温度为 150 °C 的高温热源和温度为 10 °C 的低温热源之间,试求:

(1) 热机的热效率为多少?

(2) 当热机输出的功为 2.7 kJ 时,从高温热源吸收的热量及向低温热源放出的热量各为多少?

(3) 如将该热机逆向作为热泵运行在两热源之间,热泵的供热系数为多少? 当工质从温度为 10 °C 的低温热源吸收 4.5 kJ/s 的热量时,要求输入的功率为多少?

$$(1) \quad \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{150 - 10}{423} = 0.331 = 33.1\%$$

(2) 吸热:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{W}{\eta} \\ &= \frac{2.7}{0.331} \\ &= 8.16 \text{ kJ} \end{aligned}$$

放热:

$$\begin{aligned} W &= Q_1 - Q_2 \\ 2.7 &= 8.16 - Q_2 \\ Q_2 &= 5.46 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$(3) \quad \varepsilon' = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{150 + 273}{150 - 10} = 3.02$$

$$\varepsilon' = \frac{Q_1}{W}$$

$$Q_1 = W \cdot \varepsilon'$$

$$Q_1 = (Q_1 - Q_2) \varepsilon'$$

$$Q = (Q_1 - 4.5) \times 3.02$$

$$Q = 6.73 \text{ kJ/s}$$

↓

$$W = Q_1 - Q_2 = 6.73 - 4.5 = 2.23 \text{ kJ/s}$$

4-7 两质量相同、比热容相同(为常数)的物体 A、B,初温各为 T_A 与 T_B 。用它们作高温和低温热源,使可逆机在其间工作,直至两物体温度相等为止。试求:

- (1) 平衡时温度 T_m ;
- (2) 可逆机的总功量;
- (3) 如果两物体直接进行热交换至温度相等,求此平衡温度 T_m 及两物体的总熵变。

(1) 该系统为孤立系统,应用孤立系统熵增原理得:

$$\Delta S = \Delta S_A + \Delta S_B = m c_p \ln \frac{T_m}{T_A} + m c_p \ln \frac{T_m}{T_B} = 0$$

$$\Downarrow$$

$$T_m = \sqrt{T_A T_B}$$

(2) $W = Q_A - Q_B$

$$W = m c_p [(T_A - T_m) - (T_m - T_B)]$$

$$W = m c_p (T_A + T_B - 2\sqrt{T_A T_B})$$

(3) 温度相等时: $Q_A = Q_B$

$$T_m = \frac{T_A + T_B}{2}$$

$$\therefore \Delta S = \Delta S_A + \Delta S_B = m c_p \ln \frac{T_m}{T_A} + m c_p \ln \frac{T_m}{T_B} = m c_p \ln \frac{(T_A + T_B)^2}{4 T_A T_B}$$

4-10 图 4-11 为一烟气余热回收方案图。设烟气比热容 $c_p = 1400 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, $c_v = 1000 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, 求:

- (1) 烟气流经换热器传给热机工质的热量;
- (2) 热机排给大气的最小热量 Q_2 ;
- (3) 热机输出的最大功 W 。

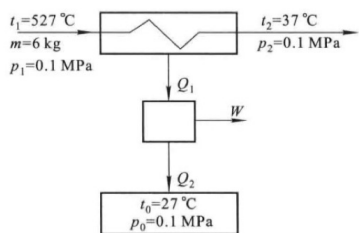


图 4-11 习题 4-10 附图

(1)

$$Q_1 = m c_p (T_1 - T_2)$$

$$= 6 \times 1.4 \times (527 - 37)$$

$$= 4116 \text{ kJ}$$

(2) $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = m c_p \ln \frac{T_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_0} = 0$

$$\Downarrow$$

$$Q_2 = -m c_p T_0 \ln \frac{T_1}{T_1} = 2389 \text{ kJ}$$

(3) $W_{\max} = Q_1 - Q_2 = 4116 - 2389 = 1727 \text{ kJ}$

4-13 质量为 m 、温度为 T_1 的水和质量为 m 、温度为 T_2 的水在绝热容器中定压混合。

试证明混合过程的总熵变为

$$\Delta S = 2mc_p \ln \frac{T_1 + T_2}{2\sqrt{T_1 T_2}}$$

混合后温度: $T_m = \frac{T_1 + T_2}{2}$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$$

$$= mc_p \ln \frac{T_m}{T_1} + mc_p \ln \frac{T_m}{T_2}$$

$$= mc_p \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2}$$

$$= mc_p \ln \left(\frac{T_1 + T_2}{2\sqrt{T_1 T_2}} \right)^2$$

$$= 2mc_p \ln \frac{T_1 + T_2}{2\sqrt{T_1 T_2}} \quad \text{得证}$$

4-18 比热容为定值且摩尔定压热容为 $29 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 的理想气体, 经历了一可逆多变压缩过程。已知多变指数 $n=1.40$, 试判断该过程是吸热、放热、还是绝热?

$$C_p - C_v = R$$

$$C_v = C_p - R$$

$$C_v = 29 - 8.314$$

$$C_v = 20.686 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

$$= \frac{29}{20.686}$$

$$= 1.402 > n$$

\therefore 该过程为放热过程