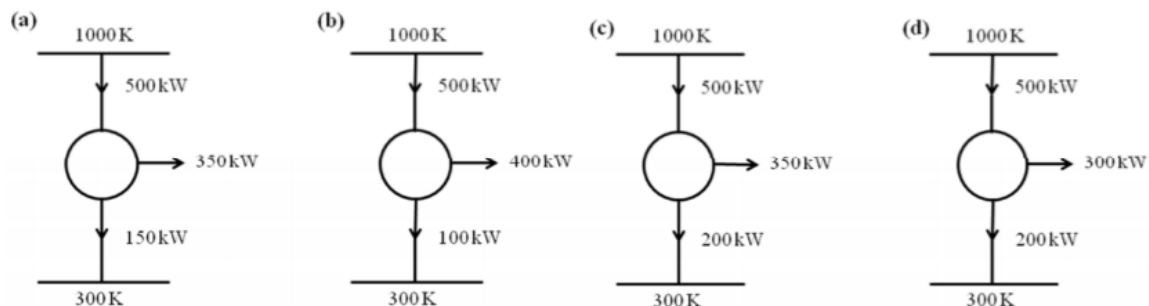


109 年公務人員高等考試三級考試試題

類 科：農業機械、機械工程

科 目：熱力學

一、在下列之四個熱機(a)、(b)、(c)及(d)示意圖中，分別判定其為可逆熱機、不可逆熱機或不可能發生之熱機，並闡述其理由。(20 分)



【解題關鍵】

《考題難易》：★。

《破題關鍵》：熱力學第二定律與卡諾循環之應用。

【擬答】

(a) $\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 0.7$, $\eta_{HE} = \frac{W_{net,out}}{Q_H} = 0.7$

$\therefore \eta_{HE} = \eta_{carnot}$, 故為可逆熱機。

(b) $\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 0.7$, $\eta_{HE} = \frac{W_{net,out}}{Q_H} = 0.8$

$\therefore \eta_{HE} > \eta_{carnot}$, 故為不可能發生之熱機。

(c) 取熱機為系統，則 $500kW \neq 350kW + 200kW$

\therefore 不滿足能量守恆，故為不可能發生之熱機。

(d) $\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 0.7$, $\eta_{HE} = \frac{W_{net,out}}{Q_H} = 0.6$

$\therefore \eta_{HE} < \eta_{carnot}$, 故為不可逆熱機。

公職王歷屆試題 (109 年高等考試)

二、理想空氣在活塞汽缸裝置 (Piston-cylinder device) 中進行等溫壓縮過程，其起始壓力和體積分別為 100 kPa 和 0.6 m³。在此過程中，有 60 kJ 的熱傳量 由此理想空氣向外界環境 (溫度維持在 25°C) 流出。理想空氣的質量為 1 kg，其定壓比熱為常數 $C_{p0} = 1.0035 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ，空氣氣體常數 $R = 0.287 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ，請算出此過程結束時的體積和壓力，以及此過程中熵 (Entropy) 的變化量並說明其來源。(25 分)

【解題關鍵】

《考題難易》：★★。

《破題關鍵》：封閉系統熱力學第一定律與理想氣體熵變化關係式之應用。

【擬答】

$$(1) Q_{12} - W_{12} = \Delta U_{12}$$

其中 ① $Q_{12} = -Q_{out} = -60 \text{ (kJ)}$

$$\textcircled{2} \Delta U_{12} = 0$$

$$\textcircled{3} W_{12} = \int_1^2 P dV = P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 60 \ln\left(\frac{V_2}{0.6}\right)$$

$$\therefore (-60) - 60 \ln\left(\frac{V_2}{0.6}\right) = 0 \Rightarrow V_2 = 0.22 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$(2) P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow 100 \times 0.6 = P_2 \times 0.22 \Rightarrow P_2 = 272.73 \text{ (kPa)}$$

$$(3) \Delta S_{sys} = m(s_2 - s_1) = m \left[C_{p0} \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \right] = -mR \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$\therefore \Delta S_{sys} = -0.288 \text{ (kJ/K)} < 0, \text{ 系統排熱過程會使得熵減少。}$$

三、以克拉珀龍方程式(Clapeyron equation) $\left(\frac{dP}{dT}\right) = \frac{h_{fg}}{Tv_{fg}}$ ，根據下表冷媒 R-134(氣體常數 $R=0.0815$

$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$) 在 -40°C 飽和狀態數據來推算其在 -42°C 時的飽和壓力。在上述方程式中， P 為壓力， T 為溫度， h 為焓 (Enthalpy)， v 體積 (Specific volume)，下標 sat 代表為飽和狀態 (Saturated state)，下標 f 為飽和液態，下標 g 為飽和氣態。(25 分)

溫度(T)	飽和壓力(P_{sat})	v_f (m^3/kg)	v_g (m^3/kg)	h_{fg} (kJ/kg)
-40°C	51.25kPa	0.00071	0.36064	225.86

【解題關鍵】

《考題難易》：★★★。

《破題關鍵》：克拉佩龍方程式之應用。

【擬答】

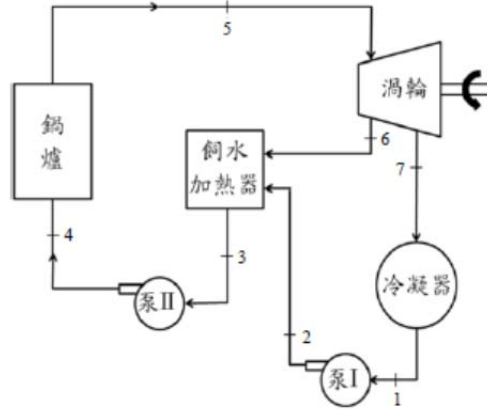
由於 $v_g \gg v_f$ ，故 $v_{fg} \approx v_g$ 。假設將氣體視為理想氣體，則 $v_g = \frac{RT}{P}$ ，故

$$\left(\frac{dP}{dT}\right)_{sat} = \frac{h_{fg}}{Tv_{fg}} = \frac{h_{fg}}{Tv_g} = \frac{Ph_{fg}}{RT^2} \Rightarrow \left(\frac{dP}{P}\right)_{sat} = \frac{h_{fg}}{R} \left(\frac{dT}{T^2}\right)_{sat}$$

將上式積分可得 $\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{sat} = \frac{h_{fg}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)_{sat} \Rightarrow P_2 = 46.23(\text{kPa})$

公職王歷屆試題 (109 年高等考試)

四、有一以水為工作流體之再生循環如下圖所示，蒸氣離開鍋爐 (Boiler) 進入渦輪機 (Turbine) 的狀態為 4 MPa (P_5) 及 400 °C (T_5)，經渦輪機之膨脹過程至 500 kPa 時 (P_6)，部分蒸氣會被抽離至飼水加熱器 (Feedwater heater, FWH) 用來加熱飼水 (Feedwater)，在飼水加熱器的壓力為 500 kPa，而飼水離開飼水加熱器的狀態為壓力 500 kPa 的飽和水 (Saturated water)，而在渦輪機中未被抽離的蒸氣會繼續膨脹至 10 kPa (P_7)。根據下表數據，計算在渦輪機中被抽離加熱飼水蒸氣的比例以及整個循環的效率。假設膨脹過程為等熵過程 (Isentropic process)，且工作流體流經鍋爐或冷凝器 (Condenser) 的前後並未產生壓力變化。(30 分)



P = 4 MPa, T = 400 °C Superheated vapor		$h(\text{kJ/kg})$		$s(\text{kJ/kg}\cdot\text{K})$		
		3213.6		6.7690		
Saturated Steam	v_f (m^3/kg)	v_g (m^3/kg)	h_f (kJ/kg)	h_g (kJ/kg)	s_f ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$)	s_g ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$)
P = 500 kPa	0.001093	0.3749	640.23	2748.7	1.8607	6.8213
P = 10 kPa	0.001010	14.67	191.83	2584.7	0.6493	8.1502

【解題關鍵】

《考題難易》：★★★★。

《破題關鍵》：具有開放式飼水加熱器之理想再生朗肯循環。

【擬答】

狀態 1：

$$\begin{cases} P_1 = 10 \text{ kPa} \\ \text{飽和液體} \end{cases} \Rightarrow \text{查表可得} \begin{cases} v_1 = 0.001010 (\text{m}^3/\text{kg}) \\ h_1 = 191.83 (\text{kJ}/\text{kg}) \end{cases}$$

狀態 2：

$$\begin{cases} P_2 = 500 \text{ kPa} \\ s_2 = s_1 \end{cases} \Rightarrow \text{由開放系統熱力學第一定律可得 } q_{12} - w_{12} = \Delta h_{12} = h_2 - h_1$$

其中 $q_{12} = 0$ ， $w_{12} = -w_{p,I} = -v_1(P_2 - P_1) = -0.495 (\text{kJ}/\text{kg})$

故 $h_2 = 192.33 (\text{kJ}/\text{kg})$

狀態 3：

$$\begin{cases} P_3 = 500kPa \\ \text{飽和液體} \end{cases} \Rightarrow \text{查表可得} \begin{cases} v_3 = 0.001093(m^3/kg) \\ h_3 = 640.23(kJ/kg) \end{cases}$$

狀態 4 :

$$\begin{cases} P_4 = 4MPa \\ s_4 = s_3 \end{cases} \Rightarrow \text{由開放系統熱力學第一定律可得 } q_{34} - w_{34} = \Delta h_{34} = h_4 - h_3$$

其中 $q_{34} = 0$, $w_{34} = -w_{p,II} = -v_3(P_4 - P_3) = -3.83(kJ/kg)$

故 $h_4 = 644.06(kJ/kg)$

狀態 5 :

$$\begin{cases} P_5 = 4MPa \\ T_5 = 400^\circ C \end{cases} \Rightarrow \text{查表可得} \begin{cases} h_5 = 3213.6(kJ/kg) \\ s_5 = 6.7690(kJ/kg \cdot K) \end{cases}$$

狀態 6 :

$$\begin{cases} P_6 = 500kPa \\ s_6 = s_5 \end{cases} \Rightarrow \text{查表可得} \begin{cases} h_{6f} = 640.23(kJ/kg) \\ h_{6g} = 2748.7(kJ/kg) \end{cases} \text{ 及 } \begin{cases} s_{6f} = 1.8607(kJ/kg \cdot K) \\ s_{6g} = 6.8213(kJ/kg \cdot K) \end{cases}$$

$$s_6 = s_{6f} + x_6 s_{6fg} \Rightarrow x_6 = 0.9895$$

$$\therefore h_6 = h_{6f} + x_6 h_{6fg} = 2726.56(kJ/kg)$$

狀態 7 :

$$\begin{cases} P_7 = 10kPa \\ s_7 = s_5 \end{cases} \Rightarrow \text{查表可得} \begin{cases} h_{7f} = 191.83(kJ/kg) \\ h_{7g} = 2584.7(kJ/kg) \end{cases} \text{ 及 } \begin{cases} s_{7f} = 0.6493(kJ/kg \cdot K) \\ s_{7g} = 8.1502(kJ/kg \cdot K) \end{cases}$$

$$s_7 = s_{7f} + x_7 s_{7fg} \Rightarrow x_7 = 0.8159$$

$$\therefore h_7 = h_{7f} + x_7 h_{7fg} = 2144.17(kJ/kg)$$

(1)取飼水加熱器為系統，假設系統為絕熱、不作功，且忽略動位能變化，故由開放系統熱力學第一定律可得

$$m_3 h_3 - (m_2 h_2 + m_6 h_6) = 0 \Rightarrow 1 \times h_3 - (1 - y) \times h_2 - y \times h_6 = 0$$

其中 y 為從渦輪機所抽出水蒸氣之比率

$$\therefore y = \frac{h_3 - h_2}{h_6 - h_2} = 0.1767$$

(2) 4→5：由開放系統熱力學第一定律可得 $q_{45} - w_{45} = \Delta h_{45} = h_5 - h_4$

其中 $q_{45} = q_H = q_{in}$, $w_{45} = 0$

$$\therefore q_H = h_5 - h_4 = 2569.54(kJ/kg)$$

7→1：由開放系統熱力學第一定律可得 $q_{71} - w_{71} = (1-y)\Delta h_{71} = (1-y)(h_1 - h_7)$

其中 $q_{71} = -q_L = -q_{out}$, $w_{71} = 0$

$$\therefore q_L = (1-y)(h_7 - h_1) = 1607.36(kJ/kg)$$

故此循環之熱效率為 $\eta_{R,reg} = 1 - \frac{q_L}{q_H} = 37.45\%$

公
職
王