

108 年特種考試地方政府公務人員考試試題

等 別： 三等

類 科： 機械工程

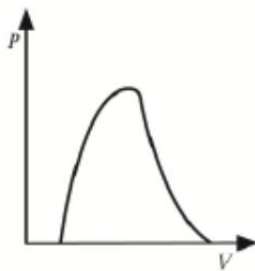
科 目： 熱力學

一、一純物質（例如水）之飽和水氣的 P - V （壓力-體積）示意圖如下所示，請分別依據下圖畫出下列三個過程中的路徑圖。

(一)在常溫下，該物質由壓縮液體（compressed liquid）轉變為過熱蒸氣（superheated vapor）之過程。（5 分）

(二)在一鋼瓶中，將其中的飽和蒸氣（saturated vapor）加熱之過程。（5 分）

(三)由過熱蒸氣以等溫壓縮成飽和液體（saturated liquid）之過程。（5 分）

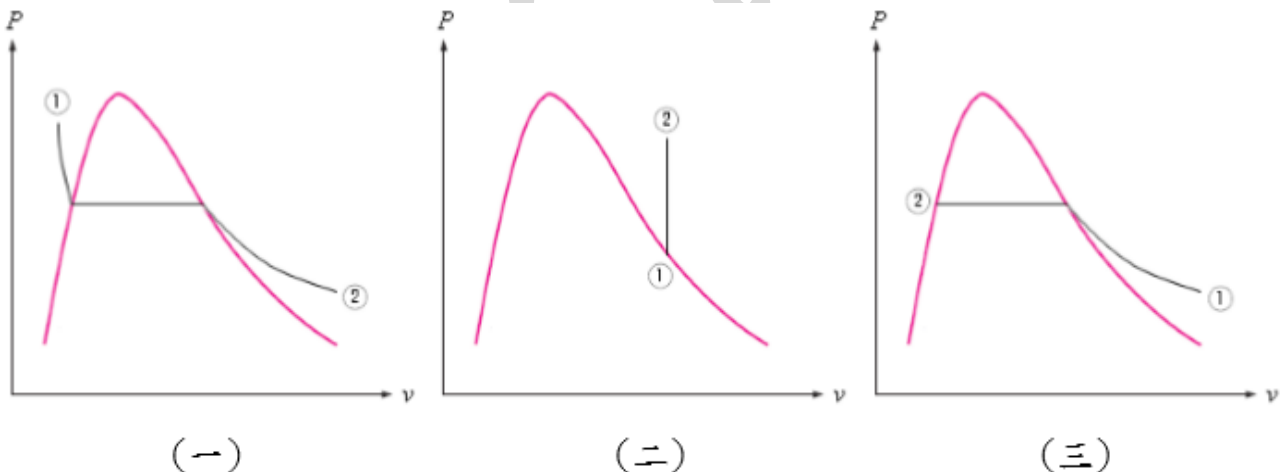


【解題關鍵】

1. 《考題難易》★。

2. 《破題關鍵》純物質的性質。

【擬答】



二、一氣體之狀態方程式為 $P(v-a)=RT$ ，其中 P 為壓力， v 為比體積， T 為溫度， R 為氣體常數， a 為常數。

(一)當等容比熱 (C_v) 為常數時，證明等壓比熱 (C_p) 亦為常數。（10 分）

(二)當過程為可逆絕熱（reversible adiabatic）狀況時，證明此氣體亦遵循 $P(v-a)^k = \text{Constant}$ （常數），其中 k 為比熱比（ratio of specific heat = C_p/C_v ）。（10 分）

【解題關鍵】

1. 《考題難易》★★★★。

2. 《破題關鍵》熱力性質關係式。

【擬答】

$$(-) C_p - C_v = -T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P^2 \left(\frac{\partial P}{\partial v} \right)_T$$

$$\text{其中 (1) } v = \frac{RT}{P} + a \Rightarrow \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P = \frac{R}{P}, \quad (2) P = \frac{RT}{v-a} \Rightarrow \left(\frac{\partial P}{\partial v} \right)_T = -\frac{P}{v-a}$$

$$\therefore C_p - C_v = -T \left(\frac{R}{P} \right)^2 \left(-\frac{P}{v-a} \right) = R$$

由上式可知，當 C_v 為常數時，因 R 亦為常數，故可知 C_p 亦為常數。

$$(二) ds = \frac{C_v}{T} dT + \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v dv, \quad \text{其中 } P = \frac{RT}{v-a} \Rightarrow \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v = \frac{R}{v-a}$$

$$\therefore ds = \frac{C_v}{T} dT + \frac{R}{v-a} dv, \quad \text{其中可逆絕熱過程即等熵過程}$$

$$\text{故 } ds = 0 = \frac{C_v}{T} dT + \frac{R}{v-a} dv, \quad \text{積分此式可得}$$

$$C_v \ln T + R \ln(v-a) = C_1 (\text{常數}) \Rightarrow \ln \left[T(v-a)^{\frac{R}{C_v}} \right] = C_2 (\text{常數})$$

$$\therefore T(v-a)^{\frac{R}{C_v}} = C_3 (\text{常數}) \Rightarrow \frac{RT}{v-a} (v-a)^{\frac{R}{C_v}} = C (\text{常數})$$

$$\text{故 } P(v-a)^{\frac{R}{C_v}} = C$$

三、在一體積為 0.1 m³ 汽缸中，置有氫氣（分子量=2.016 kg/kmol），假設其為理想氣體且其比熱比 k （ratio of specific heat = C_p/C_v ）為 1.41。該氫氣的起始狀態為 1 大氣壓（=101.35 kPa）、30°C。經一活塞以等熵過程壓縮後，壓力為 20 大氣壓。通用氣體常數（Universal gas constant; R_u ）為 8.314 kJ/kmol·K，求：

(一) 氫氣的質量。(5 分)

(二) 氫氣所做的功。(10 分)

【解題關鍵】

1. 《考題難易》★。

2. 《破題關鍵》熱力學第一定律。

【擬答】

$$(-) m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = 0.00811 (\text{kg}), \quad \text{其中 } R = \frac{R_u}{M} = 4.124 (\text{kJ/kg} \cdot \text{K})。$$

$$(二) \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} \Rightarrow V_2 = 0.012 (\text{m}^3)$$

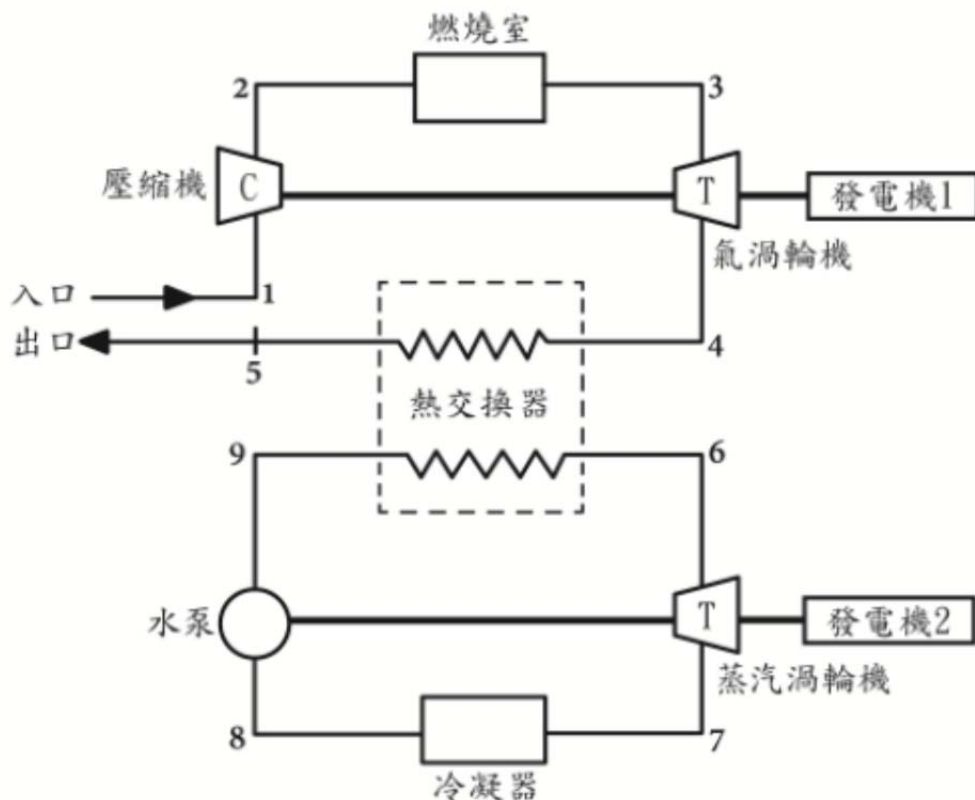
$$\therefore W = \frac{1}{1-k} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = -34.61 (\text{kJ}), \quad \text{其中負號表示為輸入功}$$

四、下圖係一結合布雷登循環（Brayton cycle）的氣渦輪機（Gas Turbine Engine）和蒸汽渦輪機的

公職王歷屆試題 (108 年地方政府考試)

發電廠循環。在氣體循環的工作流體假設為理想空氣（其相關性質可見表一、表二、表三；或者可使用定壓比熱 $C_p = 1.005 \text{ kJ/kg}$ 、氣體常數 $R = 0.287 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ），空氣在壓縮機入口的壓力為 100 kPa ，溫度為 25°C ，壓縮機的壓縮比為 14，其等熵效率為 87%；燃燒器提供 60 MW 的熱量；氣渦輪機的入口溫度為 $1,250^\circ\text{C}$ ，出口壓力為 100 kPa ，其等熵效率為 87%；而此氣體循環在熱交換器的出口溫度為 200°C 。在蒸汽循環的工作流體為水，在水泵入口為 10 kPa 的飽和水（saturated liquid），出口壓力為 12.5 MPa ，其等熵效率為 85%；蒸汽渦輪機入口溫度為 500°C 且等熵效率為 87%。根據下列表所給予之數據，求：

- (一)在氣體循環工作流體的質量流率。(15 分)
- (二)在蒸汽循環工作流體的質量流率。(15 分)
- (三)此電廠循環的熱效率。(10 分)



表一：理想空氣之性質 [h (焓; enthalpy), P_r (reduced pressure)]

溫度(K)	298	473	600	620	640	760	780	800	1523
$h(\text{kJ/kg})$	298.62	475.84	607.32	628.38	649.53	778.46	800.28	822.20	1663.91
P_r	1.09	5.56	13.09	14.77	16.603	31.57	34.853	38.39	515.49

表二

Saturated water	$v_f(\text{m}^3/\text{kg})$	$v_g(\text{m}^3/\text{kg})$	$h_f(\text{kJ/kg})$	$h_g(\text{kJ/kg})$	$s_f(\text{kJ/kg}\cdot\text{K})$	$s_g(\text{kJ/kg}\cdot\text{K})$
$P=10 \text{ kPa}$	0.001010	14.674	191.81	2584.6	0.6492	8.1501

表三

Superheated vapor at $T = 500^\circ\text{C}$	$v(\text{m}^3/\text{kg})$	$h(\text{kJ/kg})$	$s(\text{kJ/kg}\cdot\text{K})$
$P = 12.5 \text{ MPa}$	0.0256	3341.7	6.4617

【解題關鍵】

1. 《考題難易》★★★★。
2. 《破題關鍵》蒸氣與複合動力循環。

【擬答】

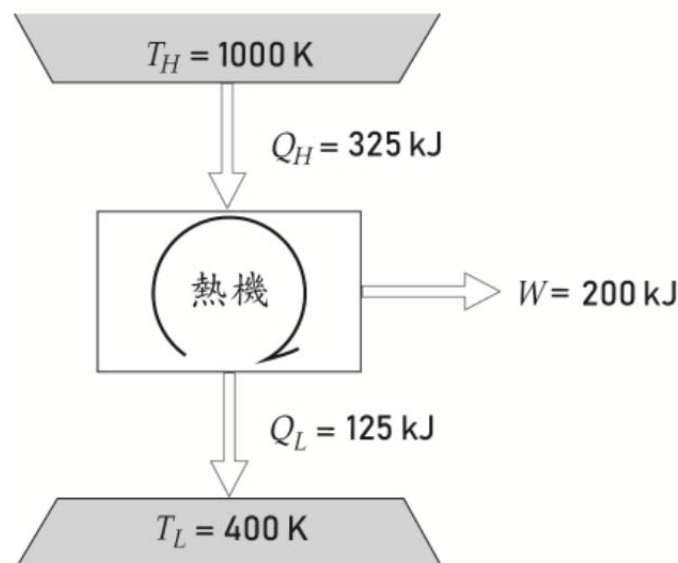
$$(-) \dot{m}_{air} = \frac{\dot{Q}_H}{h_3 - h_2} = 61.27 (kg/s)。$$

$$(二) \dot{m}_{H_2O} = \dot{m}_{air} \frac{h_4 - h_5}{h_6 - h_3} = 8.746 (kg/s)。$$

$$(三) \dot{W}_{net} = \left[\dot{m}(w_T + w_C) \right]_{air} + \left[\dot{m}(w_T + w_P) \right]_{H_2O} = 31.455 (MW)$$

$$\therefore \eta_{th} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_H} = 52.4\%$$

五、如下圖所示，一熱機從溫度 1000 K 的熱儲 (energy reservoir) 中獲得 325 kJ 的熱量，其散熱 125 kJ 至溫度 400 K 的熱沉 (energy sink)，因此經一循環後，該機可輸出 200 kJ 的功。請判定該循環是可逆、不可逆或不可能？並說明原因。(10 分)



【解題關鍵】

1. 《考題難易》★。
2. 《破題關鍵》熱力學第二定律。

【擬答】

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 0.6, \quad \eta_E = \frac{W}{Q_H} = 0.615 > \eta_{carnot}, \text{ 故此循環是不可能的。}$$