

114年專門職業及技術人員高等考試建築師、
25類科技師（含第二次食品技師）、大地工程
技師考試分階段考試（第二階段考試）
暨普通考試不動產經紀人、記帳士考試試題

等 別：高等考試
類 科：化學工程技師
科 目：輸送現象與單元操作
考試時間：2 小時

座號：_____

※注意：(一)可以使用電子計算器。

(二)不必抄題，作答時請將試題題號及答案依照順序寫在試卷上，於本試題上作答者，不予計分。

(三)本科目除專門名詞或數理公式外，應使用本國文字作答。

一、化學工程中，圓管內流體的流動行為是重要的輸送現象。今有一密度為 ρ ，承受靜壓（static pressure）為 p 的牛頓流體（Newtonian fluid），在長度為 L 、半徑為 R 的“長”垂直圓管中，呈現穩定層狀流動（laminar flow）。因為“長”管道，假設不存在“端部效應（end effects）”，即不考慮管道入口和出口處的流體是否與管道表面平行。

(一)請使用圓柱坐標系統（cylindrical coordinates），建立垂直圓管的動量平衡關係，並推導出此系統的流體速度分布方程式（equation of velocity distribution）；流體在圓管中半徑位置（ r ）與流體在軸向方向流速（ U ）的數學關係。（10 分）

(二)請計算此垂直圓管的體積流量（volume rate of flow, Q ）。（10 分）

二、半導體製造廠使用管型高溫爐（tubular furnace）以進行矽晶圓的氧化、擴散和退火等處理。管型高溫爐，爐管的外管徑為 100 cm，管外再包覆兩種絕熱材料，以維持操作環境的安全。第一層包覆為 150 mm 厚的 A 層，材料之熱傳導率（thermal conductivity）為 $0.15 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ；第二層包覆為 250 mm 厚的 B 層（材料的熱傳導率為 $1.50 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ）。高溫爐的爐管外表溫度為 1200°C ，包覆體與外界接觸面的溫度為 50°C 。

(一)請計算當熱傳導處於穩定狀態（steady-state），上述系統的兩包覆層間的溫度為多少 $^\circ\text{C}$ 。（10 分）

(二)假設兩包覆層間接觸不良，存在每公尺爐管 $0.1^\circ\text{C}/\text{W}$ 的「接觸熱阻」（contact resistance），請計算每公尺爐管的熱損失為多少 W ？（10 分）

備註： $\ln(50)=3.912$ ； $\ln(65)=4.174$ ； $\ln(90)=4.500$ 。

三、單一球體在層流至中度亂流 (turbulent flow) 範圍內的外部強制對流 (forced convection) 熱傳分析，可使用經典的 Ranz-Marshall 經驗關係式描述，公式如下：

$$Nu = 2.0 + 0.6 Re^{1/2} Pr^{1/3}$$

式中 Nu 為納塞數 (Nuselt number)； Re 為雷諾數 (Reynold number)； Pr 為普朗特數 (Prandtl number)。公式反映出流體慣性與導熱性之綜合效應，廣泛應用於顆粒乾燥、流體化床反應、氣泡與液滴之傳熱等化工單元操作中。

(一)請分別寫出式中 Nu 、 Re 、 Pr 三參數的定義 (definition)，並說明參數的物理意義。(6 分)

(二)當流體為靜止時，請由熱量傳送基本學理，導證單一球體在無窮盡流體中， $Nu = 2.0$ 。(14 分)

四、在質量傳送的研究中，考慮一球形液滴 B 漂浮於氣體 A 中，此系統常用於探討氣體於液體界面間的溶解與擴散現象。假設液體 B 不發生蒸發，且氣體 A 可溶於液體中，但兩者之間無化學反應。此時，質量傳遞僅受分子擴散控制，氣體 A 自氣相擴散至液滴表面，並進一步進入液相內部，最後達到穩態分布。

(一)請依上述情形，推導出此球形系統在不穩定 (unsteady state) 狀態下的質量傳送 (mass transfer) 關係式 (C_A 與 r 的關係)：

$$dC_A/dt = D_{AB} (1/r^2) [\partial (r^2 \partial C_A / \partial r) / \partial r]$$

式中 C_A 為液滴內 A 成分的濃度； D_{AB} 為 A 對 B 的擴散係數 (diffusivity)； r 為液滴的半徑方向距離。(15 分)

(二)寫出此系統之初始條件 (initial condition, IC) 與邊界條件 (boundary condition, BC)。(5 分)

五、IC 晶圓廠所排放含有毒物質的廢氣可利用填充吸收塔處理，以避免空氣的污染。今有一股含有 95 莫耳百分比 (mole%) 空氣與 5 莫耳百分比硫化氫 (H_2S) 氣體，自吸收塔底部 (直徑 50 公分的圓柱形填充塔) 進入。塔頂的噴嘴將某溶劑均勻分布至填料上，以吸收硫化氫。硫化氫被溶劑吸收後，含硫化氫的溶劑由塔底排出，而被處理後的氣體則由塔頂排出。已知進入塔內的廢氣中有 90% 的 H_2S 被溶劑吸收。若氣體進入塔底的流量為 50 kmole/h，進入口溶劑流量為 90 kmole/h，請計算或說明：

- (一) 離開塔頂廢氣中 H_2S 的莫耳分率。(7 分)
- (二) 離開塔底溶劑中 H_2S 的莫耳分率。(8 分)
- (三) 在填充塔的吸收操作中，說明何謂負載 (loading) 現象。(5 分)