

111年專門職業及技術人員高等考試建築師、
31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、請求解一幂次流體（power-law fluid）流經一半徑為 R ，長度為 L 之水平圓管之流場及體積流率。進口及出口之壓力分別為 p_0 及 p_L 。對於幂次流

體而言， $\tau_{rz} = -m \left| \frac{dv_z}{dr} \right|^{n-1} \frac{dv_z}{dr}$ 。(25 分)

二、手術室內一裝置可將血冷卻，由盤繞線管（coiled tube）沉浸在冰浴（ice bath）中組成。此裝置將流速為 $0.006 \text{ m}^3/\text{h}$ 之血由 40°C 冷卻至 30°C 。盤繞線管之內徑（inside diameter）為 2.7 mm ，外徑（outside diameter）與內徑相近，管壁之熱阻力可忽略，管外側與冰浴間之熱傳係數（heat transfer coefficient）為 $450 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。管內之流動為層流（laminar flow）時， $\text{Nu} = 1.86(\text{RePr} \frac{D}{L})^{1/3}$ ；為紊流（turbulent flow）時， $\text{Nu} = 0.023 \text{ Re}^{0.8} \text{Pr}^{1/3}$ ，其中 Nu 為紐塞數（Nusselt number）， Re 為雷諾數（Reynolds number）， Pr 為普朗特數（Prandtl number）， D 為內徑， L 為管長。血之物性如下：密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ，熱傳導度（thermal conductivity） $k = 0.5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，比熱 $C_p = 4.0 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ ，運動黏度（kinematic viscosity） $\nu = 7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ 。請問盤繞線管所需長度為何？（25 分）

三、一將半鹹水 (brackish water) 純化之逆滲透 (reverse osmosis) 裝置有 900,000 個中空纖維 (hollow fiber)，容許水經由中空纖維擴散 (diffusion)，但鹽無法經其擴散。中空纖維管外徑 (outside diameter) 85 μm ，內徑 (inside diameter) 42 μm ，長 3 ft。每 24 小時流經中空纖維管之平均量為 2,000 gal，進料壓力為 400 psig。請問中空纖維管進口端至出口端之壓力降為多少？對於層流 (laminar flow) 而言，泛寧磨擦係數 (Fanning friction factor) f 與雷諾數 (Reynolds number) Re 間之關係式為 $f = 16/Re$ ；對於紊流 (turbulent flow) 而言， $f = 0.046 Re^{-0.2}$ 。半鹹水之密度為 1.012 g/cm^3 ，黏度 (viscosity) 約為 1 cp。單位換算：1 ft = 12 in.，1 in. = 2.54 cm，1 lb = 0.45359 kg，1 poise = 0.0672 lb/ft·s，1 ft³ = 7.481 gal = 28.316 L，1 g/cm³ = 62.428 lb/ft³， $g = 9.8 \text{ m/s}^2 = 32.174 \text{ ft/s}^2$ 。(25 分)

四、考慮一氣體吸收之問題，在液膜經垂直壁往下流動中，氣體中 A 成份被液膜吸收，液面 (座標為 $x = 0$) 之 A 成份濃度為 C_{A0} 。液膜與垂直壁接觸處座標為 $x = \delta$ ；氣體與液膜開始接觸處之座標為 $z = 0$ 。系統之統治方程式及邊界條件為：

$$v_{\max} [1 - (x/\delta)^2] (\partial C_A / \partial z) = D_{AB} (\partial^2 C_A / \partial x^2)$$

B.C. 1 : $at \ z = 0, \ C_A = 0$

B.C. 2 : $at \ x = 0, \ C_A = C_{A0}$

B.C. 3 : $at \ x = \delta, \ \partial C_A / \partial x = 0$

考量氣體與液膜接觸時間很短的情況下，系統之統治方程式及邊界條件可轉變為：

$$v_{\max} (\partial C_A / \partial z) = D_{AB} (\partial^2 C_A / \partial x^2)$$

B.C. 1 : $at \ z = 0, \ C_A = 0$

B.C. 2 : $at \ x = 0, \ C_A = C_{A0}$

B.C. 3 : $at \ x = \infty, \ C_A = 0$

請利用變數轉換 $\eta = x / \sqrt{4D_{AB}z/v_{\max}}$ ，求解轉變後之方程式及邊界條件。(25分)