

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  $40^\circ\text{C}$  冷卻至  $30^\circ\text{C}$ 。盤繞線管之內徑（inside diameter）為  $2.7 \text{ mm}$ ，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  $\text{Nu}$  為紐塞數（Nusselt number）， $\text{Re}$  為雷諾數（Reynolds number）， $\text{Pr}$  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)  $85\text{ }\mu\text{m}$ , 內徑 (inside diameter)  $42\text{ }\mu\text{m}$ , 長  $3\text{ ft}$ 。每 24 小時流經中空纖維管之平均量為  $2,000\text{ gal}$ , 進料壓力為  $400\text{ psig}$ 。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  $1.012\text{ g/cm}^3$ , 黏度 (viscosity) 約為  $1\text{ cp}$ 。單位換算:  $1\text{ ft} = 12\text{ in.}$ ,  $1\text{ in.} = 2.54\text{ cm}$ ,  $1\text{ lb} = 0.45359\text{ kg}$ ,  $1\text{ poise} = 0.0672\text{ lb/ft}\cdot\text{s}$ ,  $1\text{ ft}^3 = 7.481\text{ gal} = 28.316\text{ L}$ ,  $1\text{ g/cm}^3 = 62.428\text{ lb/ft}^3$ ,  $g = 9.8\text{ m/s}^2 = 32.174\text{ ft/s}^2$ 。(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)