

112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、有一流體在圓管中流動，如圖一所示。請說明或推導如下：

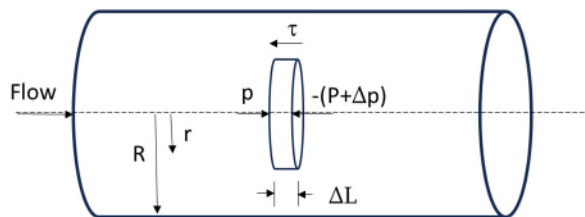
(一)何謂幂次定律流體（power law fluid），請繪出其剪應力（shear stress, τ ）和速度梯度（velocity gradient）的關係，並說明流體的流動行為指數（flow behavior index, n ）對關係曲線的影響。（5 分）

(二)今有一水平圓管，管內的流體為牛頓流體（Newtonian fluid），流動形式為層流（laminar flow）且呈穩定狀態（steady-state）。請寫出 Newtonian fluid 的數學模式（含剪應力、速度梯度和常數等），並推導證明流體流動的速度分布方程式（equation of velocity distribution）：

$$U = U_{\text{Max}} [1 - (r/R)^2]$$

式中： r 為半徑方向位置； R 為圓管之半徑； U 為在 r 位置的流速； U_{Max} 為流體的最大流速（maximum velocity）。（10 分）

(三)承本題(二)，試推導流體平均流速（average velocity）與最大流速的關係？（5 分）



圖一

二、比重 0.8，黏度 (viscosity) 為 $0.02 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 之某流體，水平流經內部直徑 (inner diameter) 200 mm 之鋼管，體積流率 (volume flow rate) 為 $85 \text{ m}^3/\text{h}$ ，鋼管長度為 150 m ；管內部之摩擦因子 (friction factor) 為 0.001 。求流體在此系統的雷諾數 (Reynold No.) N_{Re} 以及每公尺管長的壓力降 (pressure drop) 為多少 Pa ？(15 分)

註：管子的壓降和摩擦係數 (friction factor)，關係如下：

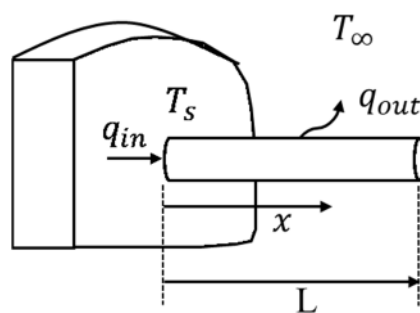
$$(\Delta P / \rho) = (4 f U^2 L) / (2g_c D)$$

ΔP 為壓力降； D 為管徑； f 為摩擦因子； ρ 為流體密度； U 為流體平均流速； L 為管長。

三、為促進化工裝置的熱傳速率 (heat transfer rate)，經常在裝置 (equipment) 上加翅片 (fin) 以加強散熱效果。此類翅片用於增加傳熱面積，可改善使裝置上的金屬壁和導熱性差的流體 (如空氣) 之間的熱傳。圖二為裝置結構中的平板面，加了一均勻直徑的圓桿狀翅片。已知圓桿底部沒有熱量損失，且呈穩定的熱傳狀態。平板面溫度 T_s ，周圍環境溫度 T_∞ ，圓桿的長度為 L ，熱傳導度 (thermal conductivity) 為 k ，對流熱傳係數 (convection heat-transfer coefficient) 為 h ， x 為與金屬平板面附著處為起始點的圓桿位置。

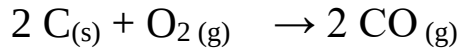
(一)請推導出 $T(x)$ 的溫度分布方程式。(20 分)

(二)由翅片傳送至流體的熱流率。(10 分)

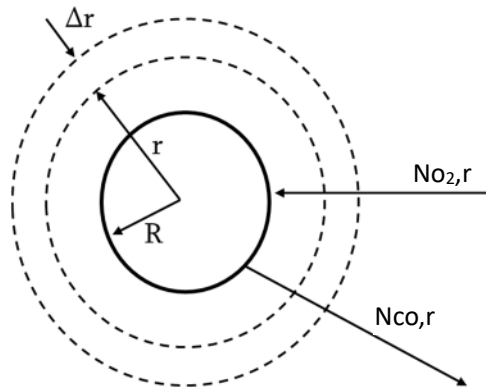


圖二

四、工業程序中同時伴有非均勻化學反應 (heterogeneous chemical reaction) 及擴散質量輸送 (diffusion mass transport) 之實例甚多。今有一球形煤粒，其半徑為 R ，靜置於空氣中， O_2 擴散至球粒表面，發生下反應 (圖三)：



假設 CO 和 O_2 在氣膜中不起化學反應，擴散僅在 r 方向發生，且此系統的質量傳送 (mass transfer) 呈穩定狀態。空氣中 O_2 之莫耳分率 (molar fraction) 為 21 %。試導出 O_2 之莫耳流率 (molar flow rate) (W_{O_2})。(20 分)



圖三

五、廠房內的空氣溫度為 $30^\circ C$ ，壓力為 101.3 KPa ，含有水蒸汽的分壓 (partial pressure) 為 12.54 KPa 。若 $30^\circ C$ 下水的飽和蒸汽壓 (saturated vapor pressure) 為 20.52 KPa ，請計算該廠房的飽和濕度 (saturation humidity, H_s) 和百分比濕度 (percentage humidity, H_p)。(15 分)