

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：

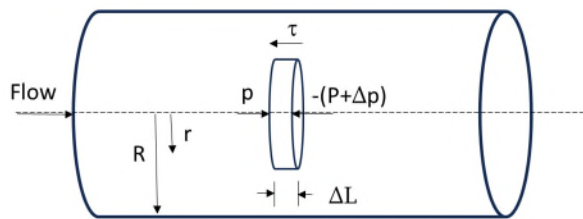
(一)何謂冪次定律流體（power law fluid），請繪出其剪應力（shear stress,  $\tau$ ）和速度梯度（velocity gradient）的關係，並說明流體的流動行為指數（flow behavior index,  $n$ ）對關係曲線的影響。（5分）

(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； $U_{\text{Max}}$  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)  $200 \text{ mm}$  之鋼管，體積流率 (volume flow rate) 為  $85 \text{ m}^3/\text{h}$ ，鋼管長度為  $150 \text{ m}$ ；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.)  $N_{\text{Re}}$  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：

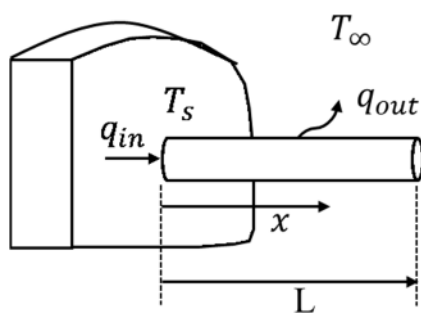
$$(\Delta P / \rho) = (4 f U^2 L) / (2g_c D)$$

$\Delta P$  為壓力降； $D$  為管徑； $f$  為摩擦因子； $\rho$  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  $T_\infty$ ，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。

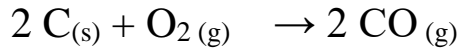
(一)請推導出  $T(x)$  的溫度分布方程式。(20 分)

(二)由翅片傳送至流體的熱流率。(10 分)

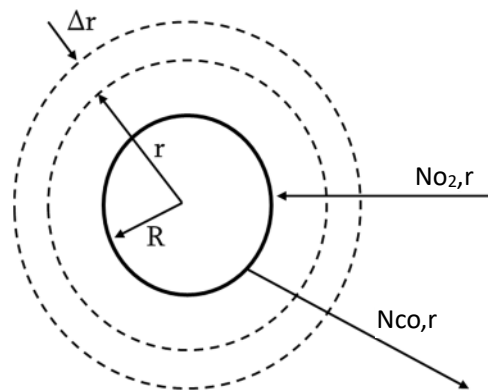


圖二

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  $101.3 \text{ KPa}$ ，含有水蒸汽的分壓 (partial pressure) 為  $12.54 \text{ KPa}$ 。若  $30^\circ C$  下水的飽和蒸汽壓 (saturated vapor pressure) 為  $20.52 \text{ KPa}$ ，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)