

109年專門職業及技術人員高等考試建築師、32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、  
109年第二次專門職業及技術人員特種考試驗光人員考試試題

等 別：高等考試  
類 科：化學工程技師  
科 目：化學反應工程（亦稱化工動力學）  
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、請回答下列問題：

- (一)某化工廠進行  $A + B \rightarrow C$  反應生產 C 產物，反應採用以半批式 (semi-batch) 進行，將 A 由外慢慢加入裝有 B 的批式反應容器中，請說明相較於批式反應器，採用此種操作策略的可能原因或優點。(至少兩項)(6 分)
- (二)承題(一)，說明或繪圖解釋 A 和 C 兩種化合物隨著反應時間增長時，濃度變化情形。(6 分)
- (三)化學工程師進行異相固態觸媒填充床反應器 (Heterogeneous packed bed reactor) 的設計，假設固態多孔觸媒的總重量固定，請說明使用固態多孔觸媒不同顆粒大小可能對反應器操作與轉化率造成的影響或優缺點。(8 分)

二、請回答下列問題：

- (一)化學動力學中，有一經驗法則說到：「溫度每升高  $10^{\circ}\text{C}$  時，反應速率增加兩倍」。依照 Arrhenius equation 反應速率常數  $k = Ae^{-E_a/RT}$ ，其中  $E_a$  為反應活化能，已知兩種反應活化能分別為  $40\text{ kJ/mol}$  和  $160\text{ kJ/mol}$  反應；1. 請針對兩種不同大小活化能，計算在何種絕對溫度 (K) 下升高  $10^{\circ}\text{C}$  時，反應速率常數 (k) 值變化剛好增加兩倍。2. 依據計算結果說明活化能大小對溫度升高造成反應速率常數 (k) 變化的差異。(8 分)
- (二)某化學工程師針對氣相反應  $A \rightarrow B + 2C$ ，設計完成定溫操作下達到 80% 轉化率的塞流式反應器 (PFR)，但計算過程中他輕忽考慮反應前後體積差異影響，請問他實際操作時，能夠得到的轉化率是多少？(8 分)
- (三)承題(二)，如果考慮反應前後體積差異影響，想要設計真正能達到 80% 轉化率的塞流式反應器 (PFR)，請問正確反應器體積應該是原先設計反應器體積的幾倍？(8 分)
- (四)有一液體化學反應  $A \rightarrow B$  為二級反應  $-r_A = kC_A^2$ ，已知在一個體積為  $1,000\text{ m}^3$  的連續攪拌槽式反應器 (CSTR) 操作，轉化率達到 60%；假設在操作條件 (溫度、濃度、進料流速) 完全相同情況下，將體積  $1,000\text{ m}^3$  連續攪拌槽式反應器改為兩個  $500\text{ m}^3$  連續攪拌槽式反應器串聯，請問轉化率變成多少？(10 分)

三、利用一個批式反應器 (batch reactor) 進行氣體解離反應  $A \rightarrow B + C$ ，反應起始時反應器內為純 A 氣體溫度  $450^{\circ}\text{C}$ 、壓力 2 大氣壓。已知此反應為一級反應，反應速率常數  $k$  值為  $0.0212 \text{ min}^{-1}$ ，假設反應器體積溫度固定，請計算反應進行 30 分鐘後反應器內壓力大小？(12 分)

四、化學工程師在實驗室中利用小型反應器，得到  $A + B \rightarrow \text{產物}$ ，反應的基本動力學數據如下：

假設  $C_{A0} = 0.05 \text{ M}$ ,  $C_{B0} = 0.5 \text{ M}$

| 時間 $t, \text{min}$         | 0    | 50    | 100   | 150   | 200    | 250   |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 濃度 $C_A, \text{mol/liter}$ | 0.05 | 0.038 | 0.030 | 0.026 | 0.0222 | 0.002 |

已知反應速率式為： $-dC_A/dt = kC_B C_A^2$ ，請利用積分法 (integral method) 與上列動力學數據，求出速率常數 ( $k$ ) 值。(14 分)

五、已知有一異相觸媒反應 (Heterogeneous catalytic reaction)  $A \rightarrow B + C$  必須在鋅氧化物固體觸媒的表面進行，假設利用微分反應器 (differential reactor) 得到下列動力學實驗數據：

| $P_A(\text{atm})$                       | 2     | 0.1   | 0.5   | 1     | 2     | 1     |
|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $P_B(\text{atm})$                       | 5     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     |
| $P_C(\text{atm})$                       | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 10    |
| $-r_A(\text{mol/h} \cdot \text{g cat})$ | 0.044 | 0.040 | 0.069 | 0.060 | 0.043 | 0.069 |

(一) 依據動力學實驗數據請提出並解釋可能的反應速率式。(8 分)

(二) 由提出的反應速率式，依據 Langmuir-Hinshelwood 原理異相觸媒反應分為：吸附、表面反應、脫附三大步驟。請說明及推導可能的異相觸媒反應機構，及其速率決定步驟。請注意：鋅氧化物固體觸媒的表面活性部位以「S」表示，其他需要的動力學參數值可自行設定。(12 分)