達思化學

課本　2B

第 5 章　　氧化還原反應、化學電池和電解

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

目錄

- 40.1 平衡位置
- 40.2 條件變化可改變平衡位置
- 40.3 勒沙得利爾原理
- 40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響
- 40.5 勒沙得利爾原理與反應商數 (Q_c) 的關係
- 40.6 壓強變化對化學平衡體系的影響
- 40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響

續下頁

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

目錄

- 40.8 催化劑對化學平衡體系的影響
- 40.9 工業上的化學平衡體系
- 關鍵詞彙
- 摘要
- 按節練習
- 按章練習

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.1 平衡位置 (頁38)

- **平衡位置 (position of equilibrium)** 是指體系達致平衡時生成物與反應物的比率。有些反應接近完全。
- 例如考慮以下的反應：

$$2NO(g) \rightleftharpoons N_2(g) + O_2(g)$$

在 427 °C，平衡位置很接近生成物一方。體系達致平衡時，平衡混合物含有大量的 $N_2(g)$ 和 $O_2(g)$，但只有少量的 $NO(g)$。

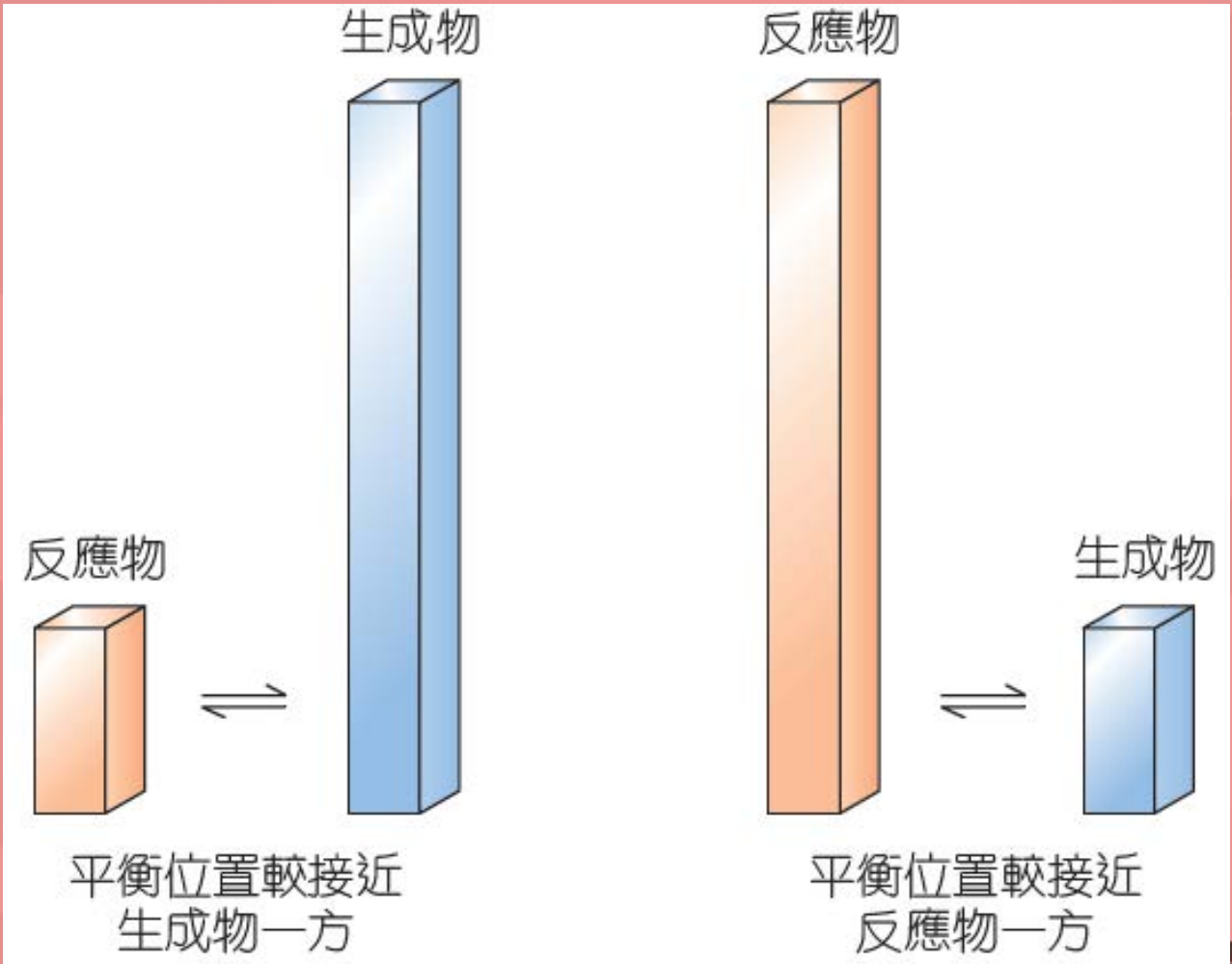
- 氯化氫按以下方程式分解：

$$2HCl(g) \rightleftharpoons H_2(g) + Cl_2(g)$$

在 27 °C，平衡位置很接近反應物一方。體系達致平衡時，平衡混合物含有大量的 $HCl(g)$，但只有少量的 $H_2(g)$ 和 $Cl_2(g)$。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.1 平衡位置 (頁38)



平衡位置反映體系達致平衡時生成物與反應物的比率

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.2 條件變化可改變平衡位置 (頁39)

- 化學家可以藉移動平衡位置，改變平衡混合物中生成物的量。
  - 如果平衡混合物中生成物的量上升，就是平衡位置向右移。
  - 如果平衡混合物中反應物的量上升，就是平衡位置向左移。
- 當平衡體系的條件有所變化時，例如：涉及的物質的濃度、溫度或壓強（在涉及氣體的反應中）出現變化，平衡位置便有可能向左或向右移動。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.3 勒沙得爾原理 (頁39)

勒沙得利爾原理 (Le Chatelier's principle) 指出，當化學平衡體系的條件有所變化時，平衡位置便會移動，以減弱該變化。

- 以下的條件變化可能令化學平衡體系的平衡位置移動：
  - 反應物或生成物的濃度變化；
  - 壓強變化（在涉及氣體的反應中）；
  - 溫度變化。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響 (頁40)

濃度變化對溴水中的化學平衡體系的影響

- 再一次考慮在溴水中存在的化學平衡體系：

$$\underset{\text{黃色或淡棕色}}{Br_2(aq)} + H_2O(l) \rightleftharpoons \underbrace{HOBr(aq) + H^+(aq) + Br^-(aq)}_{\text{無色}}$$

- 可用勒沙得利爾原理預測加入氫氧化鈉溶液或氫氯酸後溴水的顏色變化。

探究濃度變化對平衡體系的影響 參

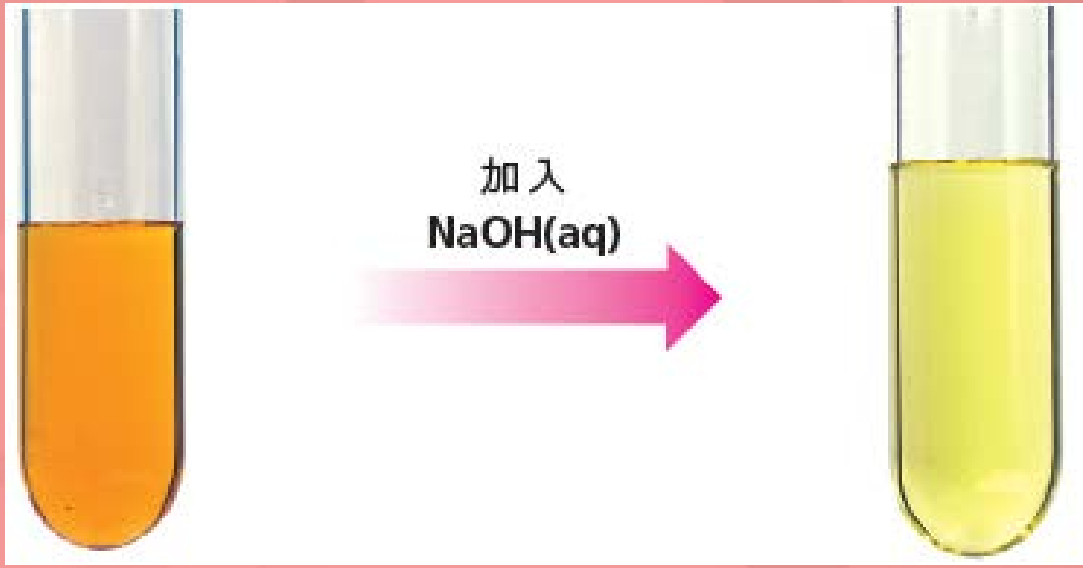
濃度變化對化學平衡體系的影響 參

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響 (頁40)

加入氫氧化鈉溶液的影響

- 把少量的氫氧化鈉溶液加入淡棕色的溴水中，該溶液會變成黃色，這顯示混合物中含有較少的溴和較多無色的生成物。



- 加入的氫氧離子會與氫離子反應，使氫離子的濃度減少。

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O(l)$$

40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響 (頁40)

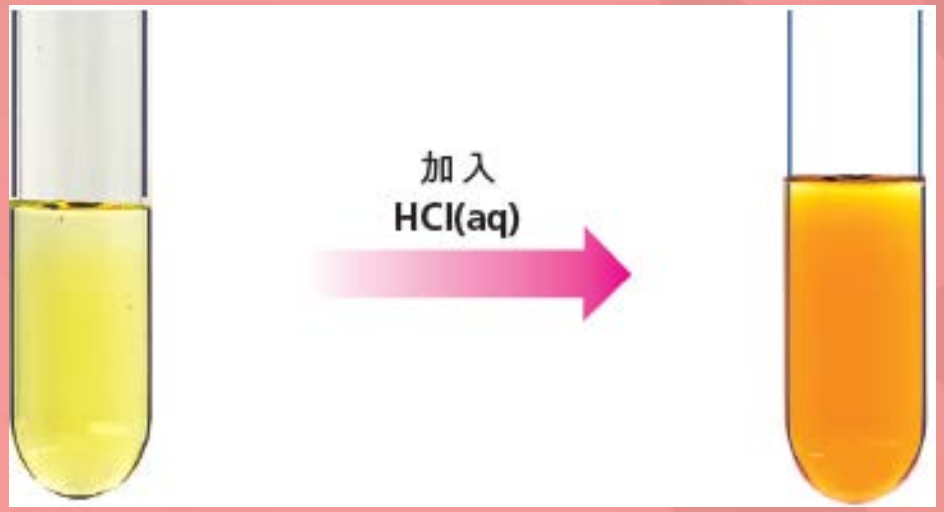
- 氫離子的濃度減少時，根據勒沙得利爾原理，可預測平衡位置會移動以減弱該變化，即是平衡位置向右移以增加氫離子的濃度，一些溴會轉化成無色的生成物。
- 氫離子的濃度減少令逆向反應減慢，正向反應的速率則保持不變，所以體系發生淨正向反應。生成物的濃度逐漸增加令逆向反應加快。
- 當正向反應的速率等於逆向反應的速率時，體系便達致新的平衡狀態。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響 (頁40)

加入氫氯酸的影響

- 把少量的氫氯酸加入黃色的溶液中，溶液會回復淡棕色。



- 加入氫氯酸會增加氫離子的濃度，根據勒沙得利爾原理，可預測平衡位置會移動以減少氫離子的濃度，所以平衡位置會向左移，更多無色的生成物會轉化成溴。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響 (頁40)

- 氫離子的濃度增加令逆向反應加快，正向反應的速率則保持不變，所以體系發生淨逆向反應，直至達致新的平衡狀態。
- 下表總結了把氫氧化鈉溶液和氫氯酸加入溴水對其中的化學平衡體系所產生的影響。

對體系作出的改變	顏色變化	淨反應的方向	平衡位置的移動方向
加入 NaOH(aq)	由淡棕色變成黃色，即 $Br_2(aq)$ 的濃度減少	逆向反應減慢，正向反應的速率則保持不變，即是發生淨正向反應	向右移 $Br_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HOBr(aq) + H^+(aq) + Br^-(aq)$
加入 HCl(aq)	由黃色變成淡棕色，即 $Br_2(aq)$ 的濃度增加	逆向反應加快，正向反應的速率則保持不變，即是發生淨逆向反應	向左移 $Br_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HOBr(aq) + H^+(aq) + Br^-(aq)$

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

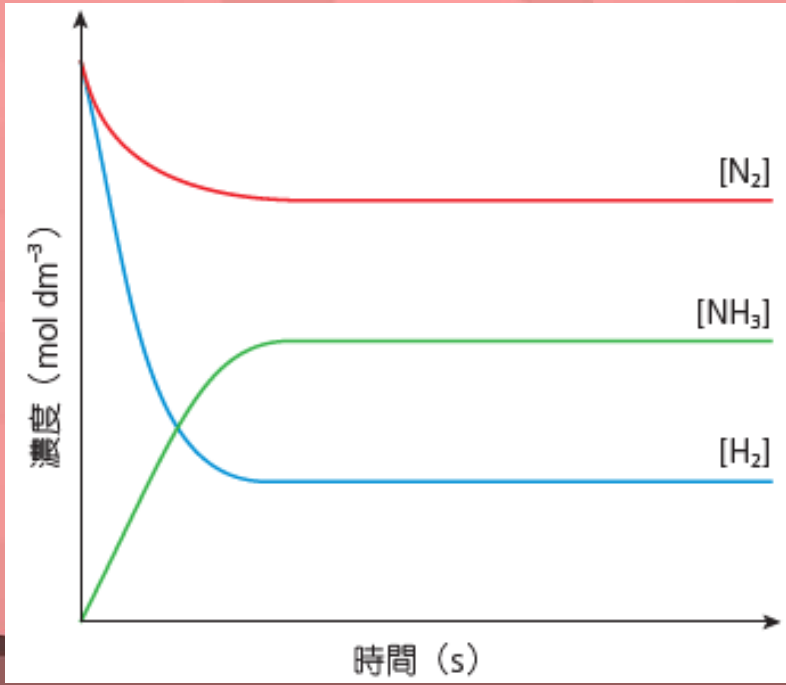
40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響 (頁40)

濃度變化對含氮、氫和氨的化學平衡體系的影響

- 氨的製備是一個以可逆反應為主的重要工業過程，以下是所涉及的反應：

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

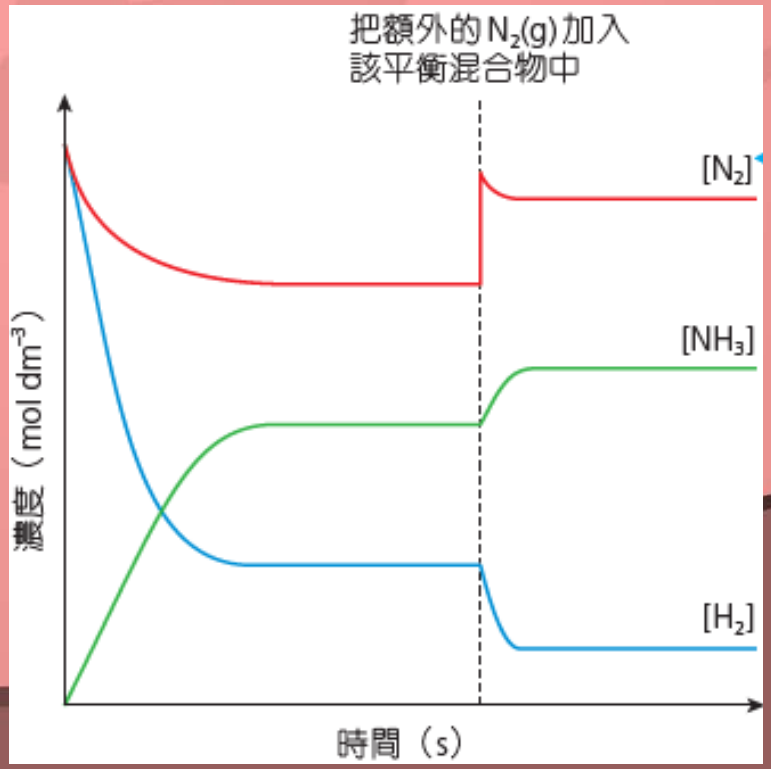
- 加入氮前，平衡混合物中反應物和生成物的濃度維持不變。



精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響 (頁40)

- 假設把額外的氮氣加入平衡混合物中，而該體系的體積和溫度均保持不變，體系不再處於平衡狀態，平衡位置會向右移。一些額外的氮會被消耗，生成更多的氨。
- 過了一段時間後，該體系達致新的平衡狀態，反應物和生成物的平衡濃度都與之前的不同。與之前的平衡混合物相比，當中氨的平衡濃度增加了。

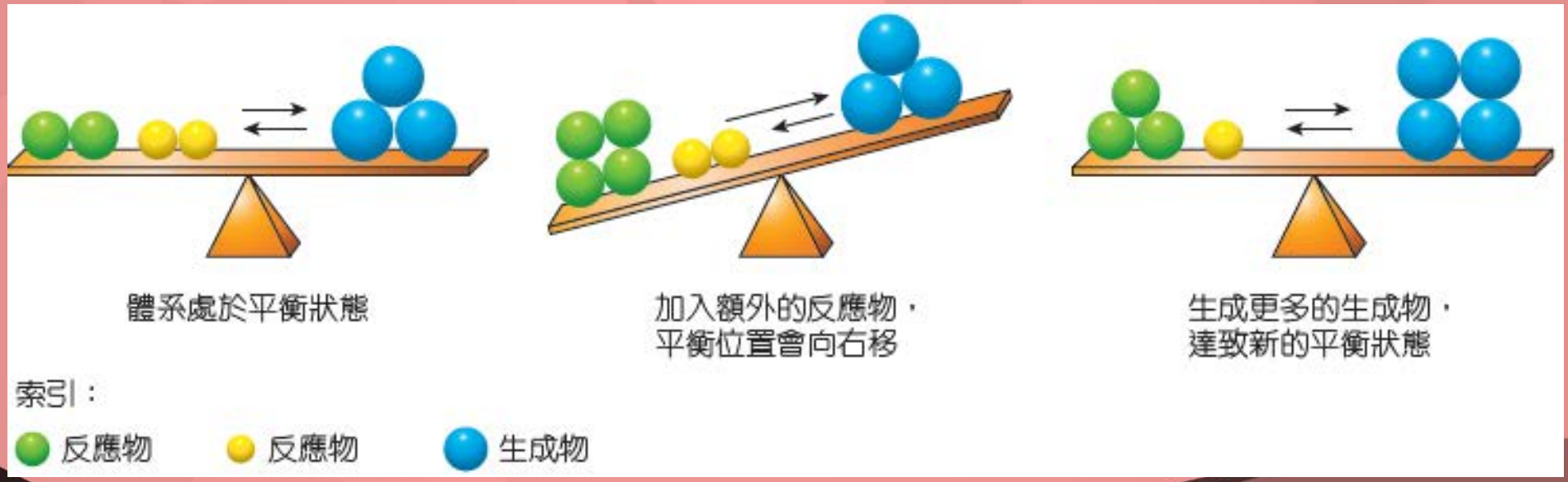


精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響 (頁40)

綜述濃度變化對化學平衡體系的影響

- 下圖以「蹺蹺板」來比喻把額外的反應物加入化學平衡體系所帶來的影響。加入額外的反應物，平衡位置會向右移，生成更多的生成物，直至達致新的平衡狀態。



精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響 (頁40)

一般來說，如果平衡混合物的其中一種物質的濃度增加，平衡位置便會移到相反方向以減少該物質的濃度。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響 (頁40)

小測試 40.1

1 考慮以下涉及四種互溶的液體的化學平衡體系：

$$W(l) + X(l) \rightleftharpoons Y(l) + Z(l)$$

預測並解釋下列各項變化對 Y(l) 的摩爾數的影響：

a) 把額外的 W(l) 加入該平衡混合物中；

平衡位置會向右移。

把一些額外的 W(l) 消耗，生成更多的 Y(l)。

b) 從該平衡混合物移去 Z(l)。

平衡位置會向右移。

W(l) 和 X(l) 反應，生成更多的 Z(l)。

有更多的 Y(l) 生成。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響 (頁40)

小測試 40.1 (續)

2 在 250 °C，$PCl_3(g)$ 與 $Cl_2(g)$ 按以下方程式反應生成 $PCl_5(g)$。

$$PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons PCl_5(g)$$

在 250°C，一個盛載於 10.0 dm^3 容器中的平衡混合物含有 0.552 摩爾的 $PCl_3(g)$、0.252 摩爾的 $Cl_2(g)$ 和 0.348 摩爾的 $PCl_5(g)$。

a) 計算在 250 °C，該反應的平衡常數 (K_c)。

$$K_c = \frac{[PCl_5(g)]}{[PCl_3(g)][Cl_2(g)]}$$

$$= \frac{\left(\frac{0.348}{10.0}\text{ mol dm}^{-3}\right)}{\left(\frac{0.552}{10.0}\text{ mol dm}^{-3}\right)\left(\frac{0.252}{10.0}\text{ mol dm}^{-3}\right)}$$

$$= 25.0\text{ dm}^3\text{ mol}^{-1}$$

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

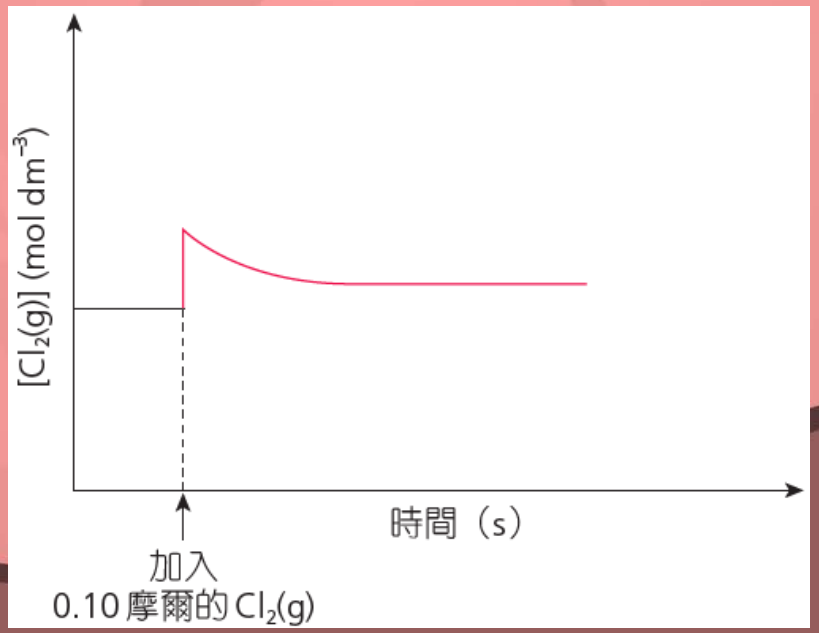
40.4 濃度變化對化學平衡體系的影響 (頁40)

小測試 40.1 (續)

2 b) 把 0.10 摩爾的 $Cl_2(g)$ 加入該平衡混合物中。
(假設該體系的溫度維持於 250 °C。)

i) $PCl_5(g)$ 的生成速率有甚麼變化？
增加

ii) 在下圖，草繪直至達致新的平衡狀態時，$Cl_2(g)$ 的濃度隨時間的變化。



精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.5勒沙得利爾原理與反應商數 (Q_c) 的關係 (頁45)

- 勒沙得利爾原理可用來預測改變化學平衡體系的條件所帶來的影響，但不能解釋當中的原因。
- 反應商數（Q_c）有助解釋改變平衡混合物中某一物質的濃度對體系的影響。用以下反應為例：

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

體系處於平衡狀態時：

$$Q_c = K_c = \frac{[NH_3(g)]^2}{[N_2(g)][H_2(g)]^3}$$

- 如果把額外的氮加入該平衡混合物中，Q_c 表示式中分母的值就會上升，Q_c 值便低於 K_c 值。因此，該體系為提高 Q_c 值，會作出調節，生成更多的氨，即是平衡位置向右移。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.6 壓強變化對化學平衡體系的影響 (頁46)

- 涉及氣體的體系達致平衡時，如果反應方程式其中一方的氣體摩爾數較高，改變該體系的壓強會令平衡位置移動。

壓強變化對化學平衡體系的影響 參

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.6 壓強變化對化學平衡體系的影響 (頁46)

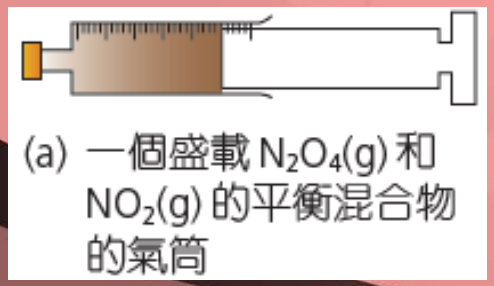
壓強變化對含四氧化二氮和二氧化氮的化學平衡體系的影響

- 考慮這化學平衡體系：

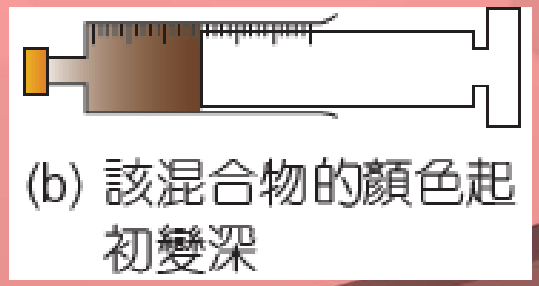
$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

四氧化二氮 淡黃色 ⇌ 二氧化氮 深棕色

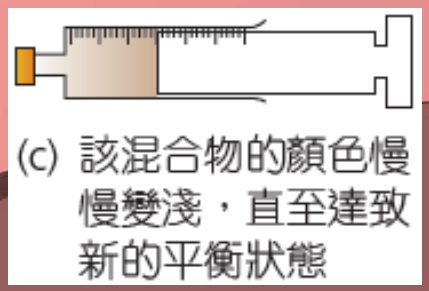
推入柱塞以增加壓強



(a) 一個盛載 $N_2O_4(g)$ 和 $NO_2(g)$ 的平衡混合物的氣筒



(b) 該混合物的顏色起初變深

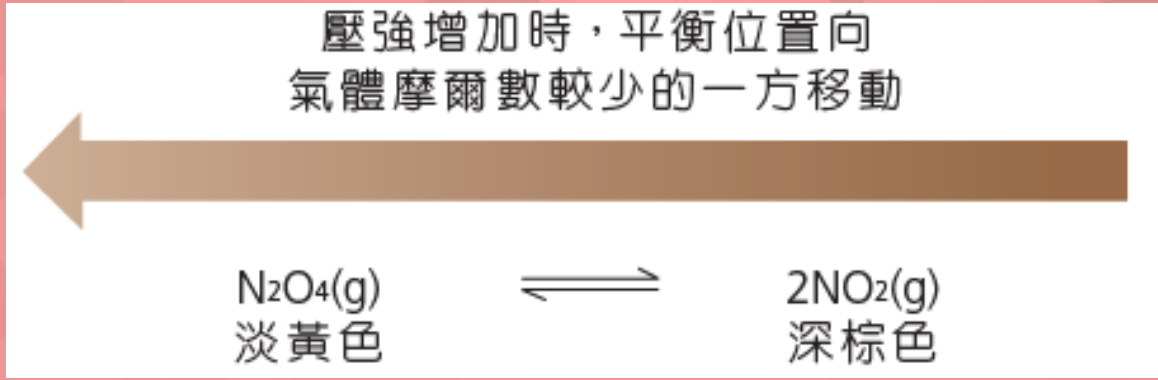


(c) 該混合物的顏色慢慢變淺，直至達致新的平衡狀態

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.6 壓強變化對化學平衡體系的影響 (頁46)

- 氣體的壓強源自氣體分子碰撞容器的內壁。在某溫度下，壓強取決於在已知體積內氣體分子的數目。
- 化學平衡體系的壓強增加時，根據勒沙得利爾原理，可預測體系會作出調節以減少壓強，所以會進行能減少氣體摩爾數的淨反應，即是平衡位置向氣體摩爾數較少的一方移動。

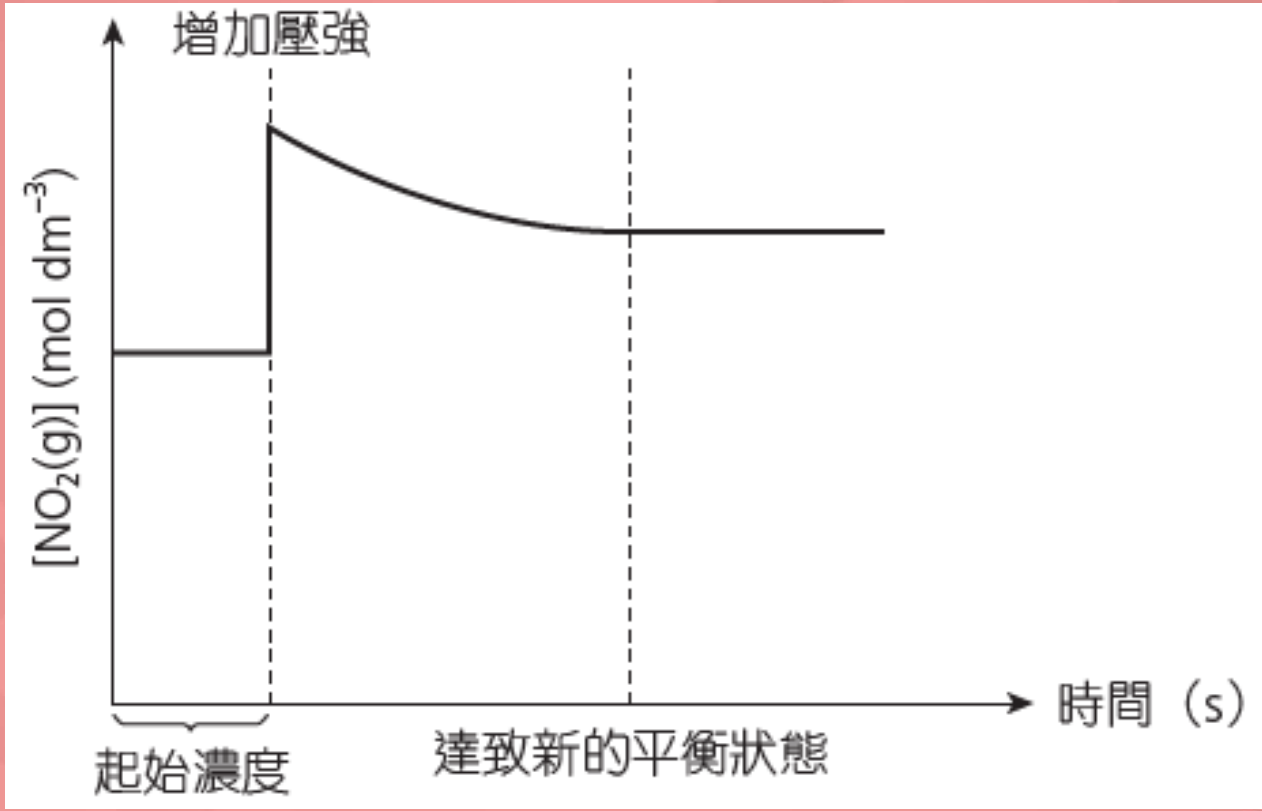


壓強增加時，根據勒沙得利爾原理，可預測該體系會作出調節以減少壓強

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.6 壓強變化對化學平衡體系的影響 (頁46)

- 下圖展示該體系中二氧化氮的濃度隨時間的變化。



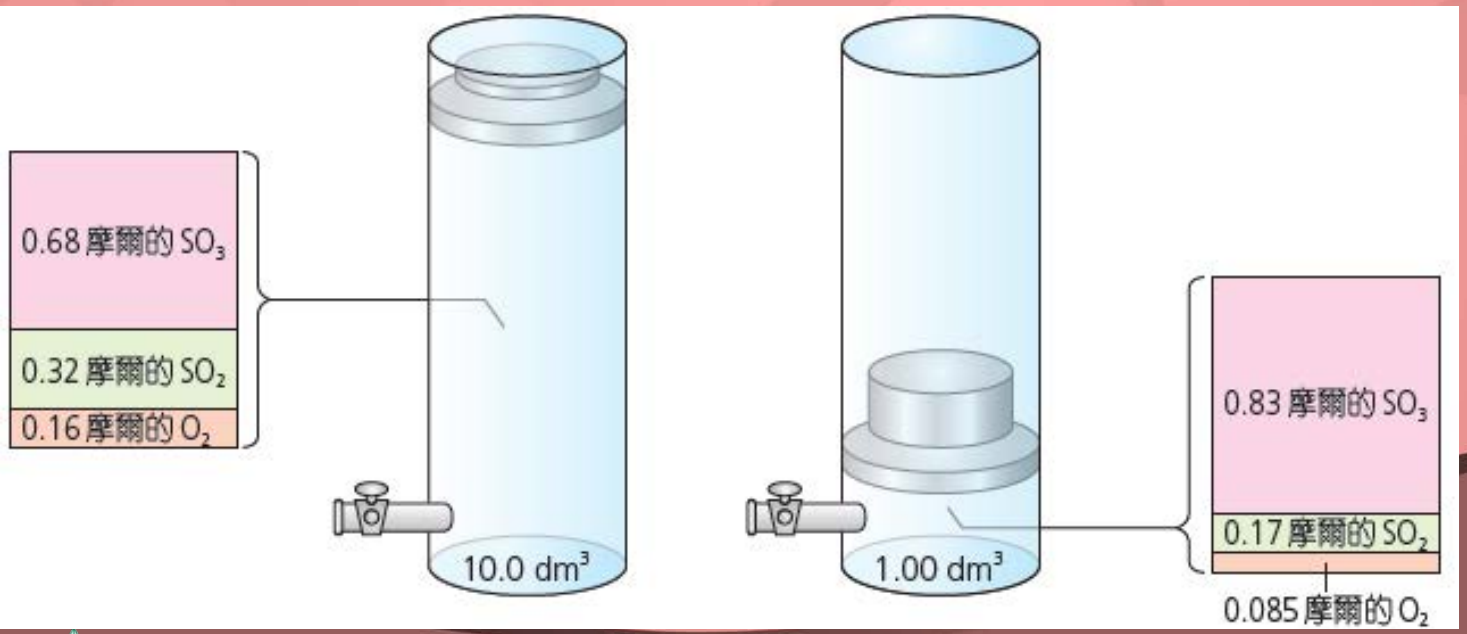
含 $N_2O_4(g)$ 和 $NO_2(g)$ 的體系中 $NO_2(g)$ 的濃度隨時間的變化

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.6 壓強變化對化學平衡體系的影響 (頁46)

壓強變化對含二氧化硫、氧和三氧化硫的化學平衡體系的影響

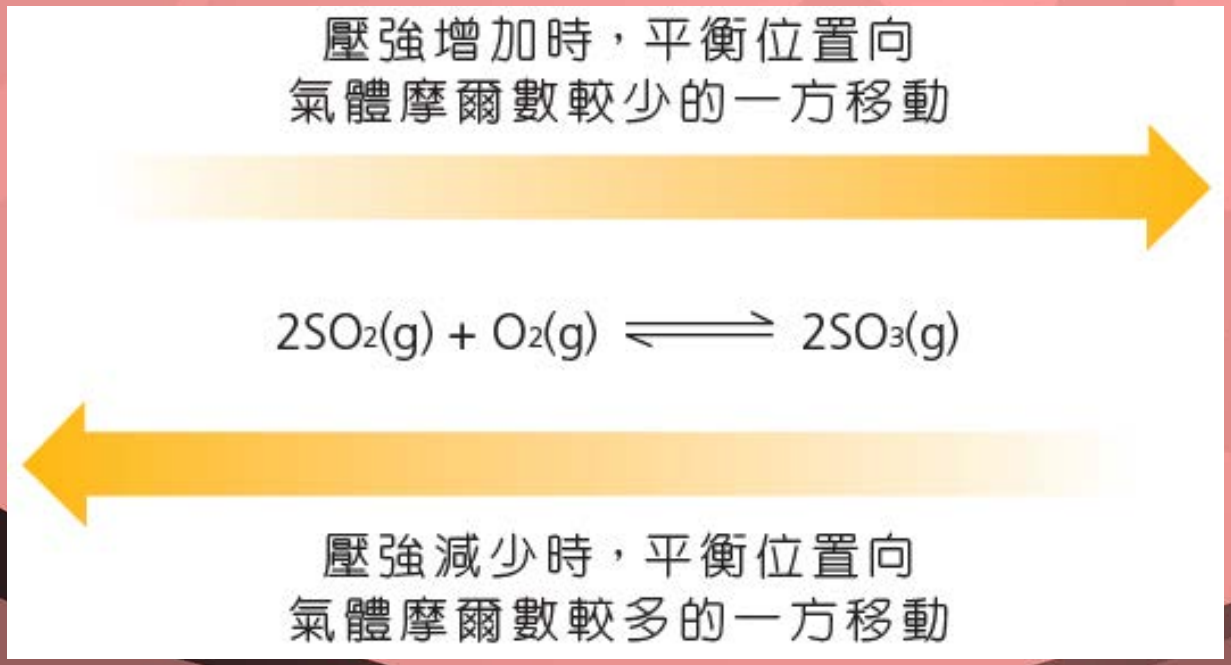
- 以接觸法製備硫酸的過程涉及把二氧化硫轉化成三氧化硫，反應的方程式顯示如下： $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$
- 下圖展示在某溫度，一個10.0 dm^3 容器中平衡混合物的成分。把容器的體積減至1.00 dm^3，而溫度保持不變。



減少含 $SO_2(g)$、$O_2(g)$ 和 $SO_3(g)$ 的容器的體積會增加壓強，使平衡位置向右移

40.6 壓強變化對化學平衡體系的影響 (頁46)

- 在恆溫下，化學平衡體系的壓強增加時，根據勒沙得利爾原理，可預測平衡位置向氣體摩爾數較少的一方移動，即是向右移。
- 壓強減少時，平衡位置便會向相反方向移動。平衡位置向氣體摩爾數較多的一方移動，即是向左移。



勒沙得利爾原理可預測壓強變化對含 $SO_2(g)$、$O_2(g)$ 和 $SO_3(g)$ 的化學平衡體系的影響

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.6 壓強變化對化學平衡體系的影響 (頁46)

壓強變化對含碘化氫、氫和碘的化學平衡體系的影響

- 如果反應過程中氣體的摩爾數沒有改變，在恆溫下改變該化學平衡體系的壓強不會影響其平衡位置。現以氫和碘反應生成碘化氫為例：

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$$

- 壓強增加時，正向反應和逆向反應的速率升幅相同；壓強減少時，正向反應和逆向反應的速率降幅相同。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.6 壓強變化對化學平衡體系的影響 (頁46)

綜述壓強變化對化學平衡體系的影響

- 壓強變化對化學平衡體系的影響取決於方程式兩方氣體的總摩爾數，這總結見於下表。

反應物的摩爾數	生成物的摩爾數	壓強增加（正向反應和逆向反應的速率均上升）		壓強減少（正向反應和逆向反應的速率均下降）	
		淨反應的方向	平衡位置的移動方向	淨反應的方向	平衡位置的移動方向
較多	較少	淨正向反應	向右移（產生更多生成物）	淨逆向反應	向左移（產生更多反應物）
較少	較多	淨逆向反應	向左移（產生更多反應物）	淨正向反應	向右移（產生更多生成物）
相同	相同	沒有淨反應	保持不變	沒有淨反應	保持不變

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.6 壓強變化對化學平衡體系的影響 (頁46)

對於涉及氣體的化學平衡體系，而其方程式兩方的氣體摩爾數不同，

- 增加壓強 (減少體積) 會令平衡位置移向氣體摩爾數較少的一方；
- 減少壓強 (增加體積) 會令平衡位置移向氣體摩爾數較多的一方。

- 以上變化均不會改變 K_c 值。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.6 壓強變化對化學平衡體系的影響 (頁46)

小測試 40.2

1 以下體系在某温度達致平衡狀態：

$$CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$$

把盛載以上氣體的容器的體積減少，而温度保持不變。預測並解釋這變化對下列各項的影響：

a) 平衡位置；

平衡位置會向右移，即是向氣體的摩爾數較少的一方移動。

b) $CH_3OH(g)$ 的分解速率；

$CH_3OH(g)$ 的分解速率增加，因為該容器中物質的濃度增加。粒子碰撞的機會增加，所以每一單位時間內每一單位體積中的有效碰撞較多。

c) K_c 值。 K_c 值不變

因為温度維持不變。

40.6 壓強變化對化學平衡體系的影響 (頁46)

小測試 40.2 (續)

2 考慮以下的化學平衡體系，該反應是在一個維持於恆溫的容器中進行：

$$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$$

把該容器的體積增加，而溫度保持不變。

預測並解釋這變化對下列各項的影響：

a) $H_2(g)$ 的生成速率；

$H_2(g)$ 的生成速率減少

因為該容器中物質的濃度減少。

粒子碰撞的機會減少，所以每一單位時間內每一單位體積中的有效碰撞較少。

b) 平衡位置。

平衡位置沒有變化

因為反應進行時氣體的摩爾數沒有變化。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

- 可用勒沙得利爾原理來預測溫度變化對平衡位置的影響，其中一個重要因素取決於正向反應是放熱的（ΔH 為負值）抑或是吸熱的（ΔH 為正值）。
- 在可逆反應中，逆向反應的焓變值與正向反應的相同，只是正負符號不同。

探究壓強和溫度變化對平衡體系的影響 參

溫度變化對化學平衡體系的影響 參

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

溫度變化對含兩種鈷(II) 離子的化學平衡體系的影響

- 氯化鈷(II) 溶於水時生成粉紅色溶液，溶解過程中產生含有兩種不同顏色的鈷(II) 離子的平衡混合物：

$$Co^{2+}(aq) + 4Cl^{-}(aq) \rightleftharpoons CoCl_4^{2-}(aq) \qquad \Delta H > 0$$

粉紅色　　藍色

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

- 進行以下實驗，以展示溫度變化對含這兩種鈷(II) 離子的平衡混合物的影響。

步驟 1 把氯化鈷(II) 溶於水，然後加入少量的氫氯酸，生成含有兩種鈷(II) 離子的紫色平衡混合物。

步驟 2 把該紫色平衡混合物分成三等分並分別置於試管中，其中一支試管放在常溫下作為對照。把另一支試管置於熱水（90 °C 以上）中，最後一支則放在冰水中。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

在不同的溫度含 $Co^{2+}(aq)$ 和 $CoCl_4^{2-}(aq)$ 的平衡混合物

- 化學平衡體系的溫度上升時，根據勒沙得利爾原理，可預測該體系會作出調節來令溫度下降，所以會發生吸熱的淨反應，即是平衡位置向吸熱的方向移動。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

- 在較高溫度下該平衡混合物呈藍色，而在常溫下則呈紫色，顯示在較高溫度下，平衡混合物含有較多 $CoCl_4^{2-}(aq)$ 離子（藍色）和較少 $Co^{2+}(aq)$ 離子（粉紅色）。
- 在較低溫度下該平衡混合物呈粉紅色，而在常溫下則呈紫色，顯示在較低溫度下，平衡混合物含有較多$Co^{2+}(aq)$ 離子（粉紅色）和較少 $CoCl_4^{2-}(aq)$ 離子（藍色）。

溫度上升時，平衡位置向吸熱的方向移動

$$Co^{2+}(aq) + 4Cl^{-}(aq) \rightleftharpoons CoCl_4^{2-}(aq) \qquad \Delta H > 0$$

溫度下降時，平衡位置向放熱的方向移動

勒沙得利爾原理可預測溫度變化對含 $Co^{2+}(aq)$ 和 $CoCl_4^{2-}(aq)$ 的化學平衡體系的影響

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

溫度變化對含氮、氫和氨的化學平衡體系的影響

- 考慮另一化學平衡體系：

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \qquad H = -92\ kJ\ mol^{-1}$$

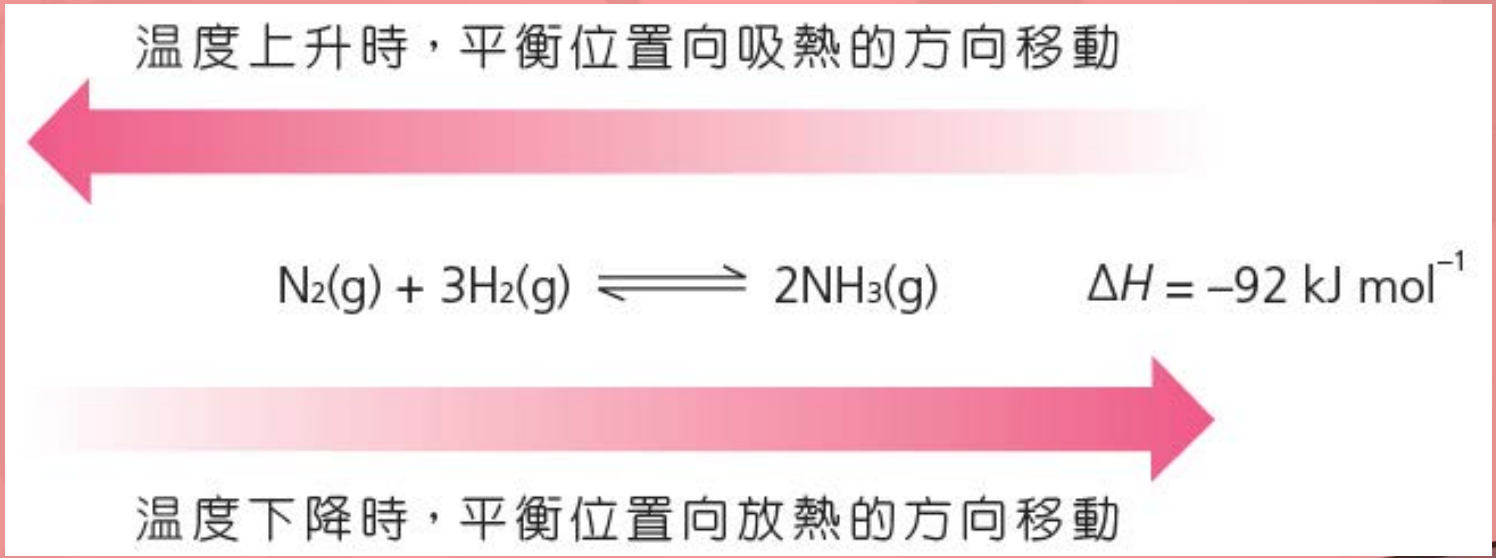
下表展示在固定壓強但不同的溫度，平衡混合物中氨的百分率。

溫度（°C）	平衡混合物中 $NH_3(g)$ 的百分率（%）
300	27.4
400	8.7
500	2.9

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

- 該化學平衡體系的溫度上升時，平衡位置向吸熱的方向移動，即是向左移，產生更多的反應物。
- 該化學平衡體系的溫度下降時，平衡位置向放熱的方向移動，即是向右移，產生更多的生成物。



勒沙得利爾原理可預測溫度變化對含 **$N_2(g)$**、**$H_2(g)$** 和 **$NH_3(g)$** 的化學平衡體系的影響

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

平衡常數值與溫度變化的關係

- 對於吸熱反應：

  $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) \qquad \Delta H = +190\ kJ\ mol^{-1}$

  溫度上升時，NO(g) 的濃度增加而 $N_2(g)$ 和 $O_2(g)$ 的濃度減少，這些變化會影響平衡常數（K_c）值。

- 溫度上升時，[NO(g)] 增加而 $[N_2(g)]$ 和 $[O_2(g)]$ 減少，因此 K_c 值增加。

$$K_c = \frac{[NO(g)]^2}{[N_2(g)][O_2(g)]}$$

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

- 下表列出這反應的 K_c 值隨溫度的變化。

溫度上升

溫度（°C）	K_c 值
300	4.5×10^{-15}
400	8.4×10^{-13}
500	4.0×10^{-11}

K_c 值增加

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

- 對於放熱反應：

  $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g) \qquad \Delta H = -114\ kJ\ mol^{-1}$

  溫度上升時，NO(g) 和 $O_2(g)$ 的濃度增加而 $NO_2(g)$ 的濃度減少。

- 溫度上升時，[NO(g)] 和 $[O_2(g)]$ 增加而 $[NO_2(g)]$ 減少，因此 K_c 值減少。

$$K_c = \frac{[NO_2(g)]^2}{[NO(g)]^2[O_2(g)]}$$

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

- 下表列出這反應的 K_c 值隨溫度的變化。

溫度上升

溫度 (°C)	K_c 值 ($dm^3\ mol^{-1}$)
300	1.9×10^7
400	6.3×10^5
500	5.0×10^4

K_c 值減少

- 與濃度和壓強變化不同，溫度變化會影響 K_c 值。
- 在吸熱反應中，溫度上升令平衡混合物中生成物的濃度增加，因此 K_c 值增加。相反，在放熱反應中，溫度上升令平衡混合物中生成物的濃度減少，因此 K_c 值減少。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

綜述溫度變化對化學平衡體系的影響

- 溫度變化對化學平衡體系的影響取決於正向反應是放熱的抑或是吸熱的，這總結見於下表。

正向反應	溫度上升（正向反應和逆向反應的速率均上升，但升幅不同）			溫度下降（正向反應和逆向反應的速率均下降，但降幅不同）		
	淨反應的方向	平衡位置的移動方向	K_c 值	淨反應的方向	平衡位置的移動方向	K_c 值
放熱（ΔH 為負值）	淨逆向反應	向左移	減少	淨正向反應	向右移	增加
吸熱（ΔH 為正值）	淨正向反應	向右移	增加	淨逆向反應	向左移	減少

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

化學平衡體系的溫度上升時，平衡位置會向吸熱的方向移動。

化學平衡體系的溫度下降時，平衡位置會向放熱的方向移動。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

問 (例題 40.1)

水的分解是一個可逆反應。

$$H_2O(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq)$$

在固定條件下，$[H_2O(l)]$ 被視為一個常數。考慮 K_c 值的定義，$[H^+(aq)][OH^-(aq)]$ 也會是一個常數。

a) 在 298 K，水的 pH 值等於 7.0。求出在這溫度 $[H^+(aq)][OH^-(aq)]$ 的值。

b) 在 323 K，水的 pH 值是 6.6 。推斷水的分解是放熱的抑或是吸熱的。

答 a) 在 298 K，

$pH = -\log[H^+(aq)] = 7.0$

$[H^+(aq)] = 1.0 \times 10^{-7}\ mol\ dm^{-3}$

由於 $[H^+(aq)] = [OH^-(aq)]$，

因此，$[H^+(aq)][OH^-(aq)] = (1.0 \times 10^{-7}\ mol\ dm^{-3})^2$

$= 1.0 \times 10^{-14}\ mol^2\ dm^{-6}$

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

問 (例題 40.1) (續)

答 b) 在 323 K，

$pH = -\log[H^+(aq)] = 6.6$

$[H^+(aq)] = 2.5 \times 10^{-7}\ mol\ dm^{-3}$

由此可推斷溫度上升時，平衡位置向右移。因此，水的分解是吸熱的。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

小測試 40.3

1 考慮以下在固定體積的容器中的化學平衡體系：

$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g) \qquad \Delta H = -41\ kJ\ mol^{-1}$

預測並解釋該體系的溫度上升對下列各項的影響：

a) 平衡位置；

體系的溫度上升時，平衡位置會向吸熱的方向移動，即是向左移。

b) 生成的 $H_2(g)$ 的摩爾數；

$H_2(g)$ 的摩爾數減少。

c) 正向反應的速率；

正向反應的速率增加。

d) K_c 值。

K_c 值減少。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.7 溫度變化對化學平衡體系的影響 (頁50)

小測試 40.3 (續)

2 把鐵(III) 離子 ($Fe^{3+}(aq)$) 加入硫氰酸根離子 ($SCN^{-}(aq)$)，可得一化學平衡體系，平衡混合物呈深紅色。

$$Fe^{3+}(aq) + SCN^{-}(aq) \rightleftharpoons Fe(SCN)^{2+}(aq) \qquad \Delta H < 0$$

棕黃色　　無色　　深紅色

把平衡混合物分成四等分並分別置於試管中，其中一支試管放在常溫下作為對照。

預測並解釋下列各項變化對各支試管中的平衡混合物的影響：

a) 加入一滴 $Fe(NO_3)_3(aq)$

平衡位置會向右移。深紅色會變深。

b) 加入一滴 $AgNO_3(aq)$(已知 $AgSCN(s)$ 不溶於水)

平衡位置會向左移。深紅色會變淺。

c) 把該混合物置於熱水浴中 (70 °C–80 °C)

平衡位置會向吸熱的方向移動，即是向左移。深紅色會變淺。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.8 催化劑對化學平衡體系的影響 (頁57)

- 催化劑不會影響平衡位置，因此不會改變平衡混合物的成分。
- 催化劑可提供一個較低活化能的反應途徑，所以能同時增加正向反應和逆向反應的速率，且增幅相同。
- 雖然催化劑不能影響平衡位置，即是生成物產率，但它們能使體系更快達致平衡狀態，所以在工業中具有重要的地位。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.9 工業上的化學平衡體系 (頁57)

- 大多工業生產過程都涉及可逆反應，反應的平衡產率十分重要。利用勒沙得利爾原理，可找出增加產率的最佳條件。
- 產率並非唯一的考慮因素，有時低溫可達致高產率但反應很緩慢，而採用高溫和高壓強卻會增加化學工廠的建築和營運成本。
- 工業生產採用甚麼操作條件是經多方面的協調才作出的決定。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.9 工業上的化學平衡體系 (頁57)

接觸法

- 通過**接觸法 (Contact process)** 可製備硫酸，當中涉及三個階段。

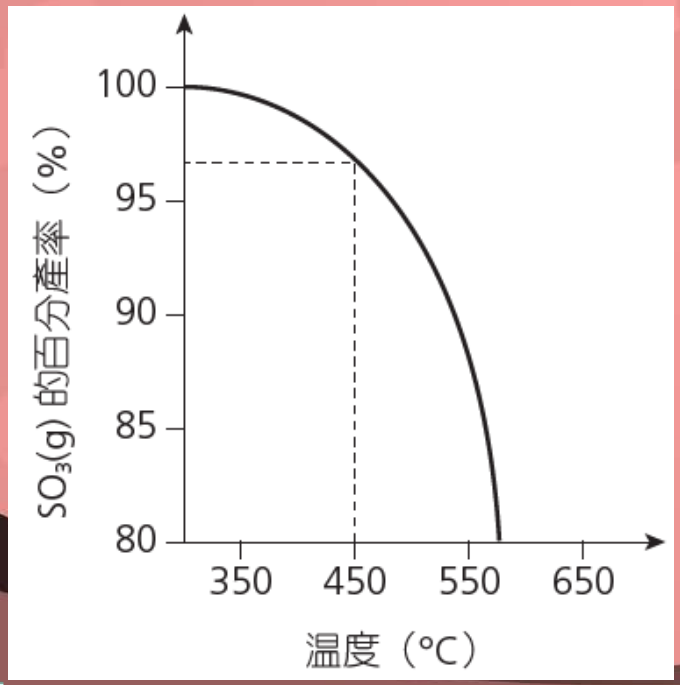
- 生產硫酸的其中一個階段涉及二氧化硫與空氣中的氧在固體氧化釩(V) 催化劑的表面反應生成三氧化硫，所以稱為接觸法。

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) \qquad \Delta H = -198 \text{ kJ mol}^{-1}$$

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.9 工業上的化學平衡體系 (頁57)

- 根據勒沙得利爾原理，採用以下條件三氧化硫的產率最高：
  - 過量的空氣 — 令平衡位置向右移以減少氧的濃度；
  - 高壓強 — 令平衡位置向右移，即是向氣體摩爾數較少的一方移動；
  - 低溫 — 令平衡位置向右移，即是向放熱的方向移動。



在 1 個大氣壓強下三氧化硫的百分產率隨溫度的變化

40.9 工業上的化學平衡體系 (頁57)

- 工業生產所採用的操作條件需在生成物的最高產率和最高反應速率之間取得平衡。
- 生產三氧化硫的實際操作條件是 450 °C 和 1 個大氣壓強，其產率可高達 97%，所以不需要使用高壓強來增加產率，因為壓縮氣體十分昂貴。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

40.9 工業上的化學平衡體系 (頁57)

小測試 40.4

生產硝酸時的一項重要反應是氨的催化氧化作用。

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 6H_2O(g) \qquad \Delta H = -910\ kJ\ mol^{-1}$$

a) 利用勒沙得利爾原理，指出要令 NO(g) 的產率最高，應採用高溫還是低溫，並加以解釋。

應使用較低的溫度。 溫度下降時，平衡位置會向右移，即是放熱的方向。

b) 勒沙得利爾原理預測增加壓強會令 NO(g) 的產率下降，解釋為甚麼在工業上仍採用較高的壓強。

增加反應速率 / 增加達致平衡的速率。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

關鍵詞彙 (頁59)

平衡位置	position of equilibrium	接觸法	Contact process
勒沙得利爾原理	Le Chatelier's principle		

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

摘要 (頁60)

1 勒沙得利爾原理指出，當化學平衡體系的條件有所變化時，平衡位置便會移動，以減弱該變化。

2 一般來說，如果平衡混合物的其中一種物質的濃度增加，平衡位置便會移到相反方向以減少該物質的濃度。

3 下表總結了濃度變化對化學平衡體系的影響。

反應物 $\rightleftharpoons$ 生成物

對平衡體系作出的改變	正向反應和逆向反應的速率	淨反應的方向	平衡位置的移動方向	K_c 值
增加反應物的濃度	正向反應的速率上升	淨正向反應	向右移	不變
減少反應物的濃度	正向反應的速率下降	淨逆向反應	向左移	
增加生成物的濃度	逆向反應的速率上升	淨逆向反應	向左移	
減少生成物的濃度	逆向反應的速率下降	淨正向反應	向右移	

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

摘要 (頁60)

4 下表總結了壓強變化對化學平衡體系的影響。

反應物的摩爾數	生成物的摩爾數	壓強增加（正向反應和逆向反應的速率均上升）		壓強減少（正向反應和逆向反應的速率均下降）		K_c 值
		淨反應的方向	平衡位置的移動方向	淨反應的方向	平衡位置的移動方向	
較多	較少	淨正向反應	向右移	淨逆向反應	向左移	不變
較少	較多	淨逆向反應	向左移	淨正向反應	向右移	
相同	相同	沒有淨反應	保持不變	沒有淨反應	保持不變	

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

摘要 (頁60)

5 下表總結了溫度變化對化學平衡體系的影響。

正向反應	溫度上升（正向反應和逆向反應的速率均上升，但升幅不同）			溫度下降（正向反應和逆向反應的速率均下降，但降幅不同）		
	淨反應的方向	平衡位置的移動方向	K_c 值	淨反應的方向	平衡位置的移動方向	K_c 值
放熱（ΔH 為負值）	淨逆向反應	向左移	減少	淨正向反應	向右移	增加
吸熱（ΔH 為正值）	淨正向反應	向右移	增加	淨逆向反應	向左移	減少

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

摘要 (頁60)

6 a) 接觸法涉及把二氧化硫氧化成三氧化硫的反應：

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

採用以下條件三氧化硫的產率最高：

- 過量的空氣；
- 高壓強；及
- 低溫。

b) 進行接觸法時，生產商會採用以下協調所得的操作條件：

溫度（°C）	壓強	催化劑
450	1 個大氣壓強	固體氧化釩 (V)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

註： 題目按難度由淺至深（ 1 至 5 級） 分類：

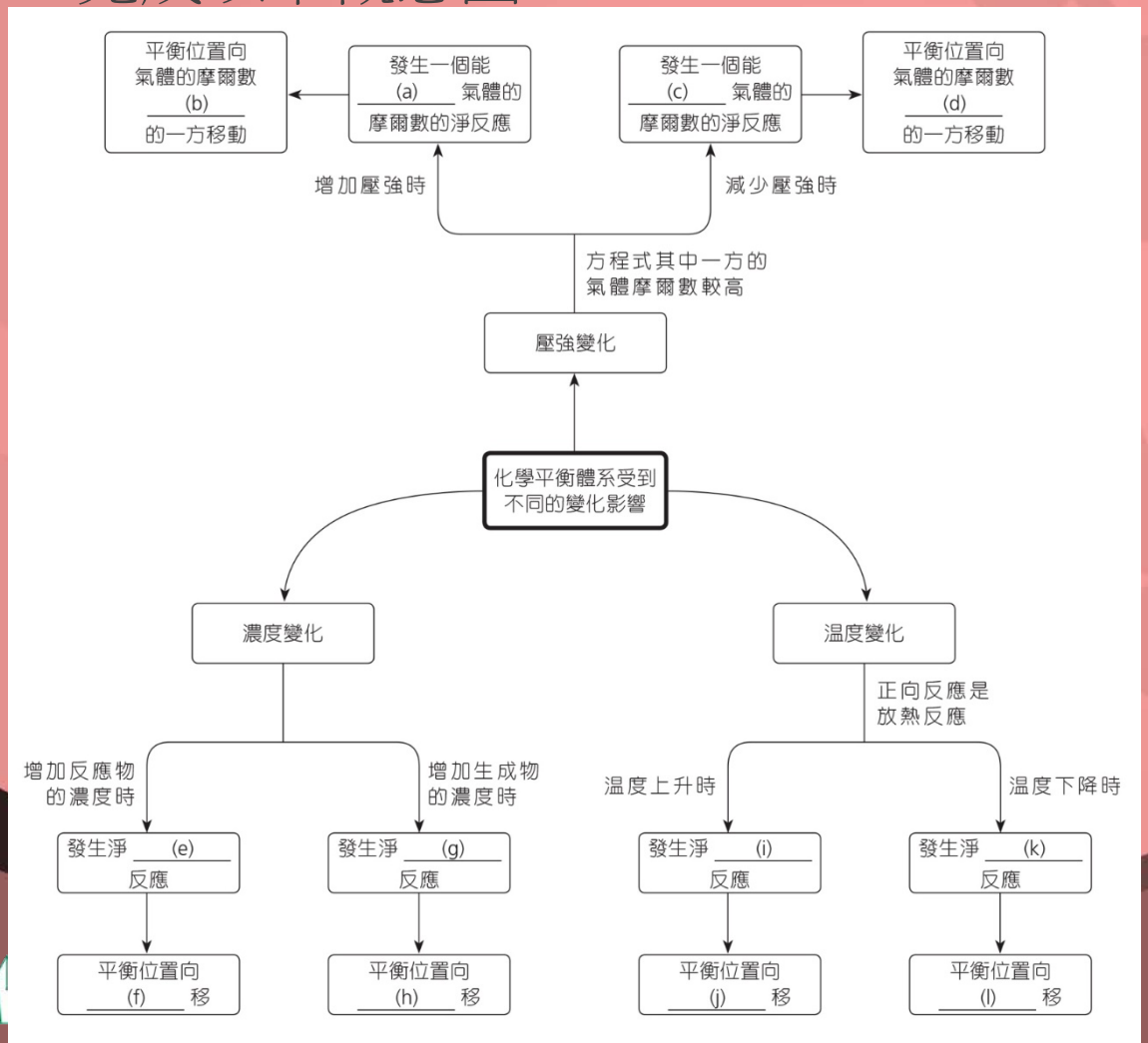
題目以 3 級或以上程度為目標；
題目以 4 級或以上程度為目標；
題目以 5 級程度為目標。
「 * 」顯示有效的傳意可取一分。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

第一部分 知識和理解

1 完成以下概念圖。



a) 減少
b) 較少
c) 增加
d) 較多
e) 正向
f) 右
g) 逆向
h) 左
i) 逆向
j) 左
k) 正向
l) 右

按節練習 (頁62)

第二部分 多項選擇題

2 考慮含 NO(g)、H_2(g)、N_2(g) 和 H_2O(g) 的化學平衡體系：

$$2NO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 2H_2O(g)$$

在常温常壓下，平衡位置極接近右方。

下列哪個可能是該體系的平衡常數？

A 1.54×10^{-3} mol dm^{-3}
B 6.50×10^{2} mol dm^{-3}
C 1.54×10^{-3} dm^{3} mol^{-1}
D 6.50×10^{2} dm^{3} mol^{-1}

答案：D

(OCR Advanced Level, Chem. A, H432/01 Sample Question Paper, 2016,12)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

2 (續) 題解：

$$K_c = \frac{[N_2(g)][H_2O(g)]^2}{[NO(g)]^2\,[H_2(g)]^2}$$

K_c 的單位是 $\frac{\cancel{(mol\ dm^{-3})}\cancel{(mol\ dm^{-3})^2}}{(mol\ dm^{-3})^{\cancel{2}}\ \cancel{(mol\ dm^{-3})^2}}$，即 $dm^3\ mol^{-1}$

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

3 考慮以下平衡體系：

$$Br_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HOBr(aq) + H^+(aq) + Br^-(aq)$$

下列何者可使這體系的顏色變淡？

A 把 HCl(g) 通入該體系
B 把 HBr(g) 通入該體系
C 把 NaBr(s) 加進該體系
D 把 NaOH(s) 加進該體系

(HKDSE, Paper 1A, 2016, 27)

答案：D

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

4 在恆溫下，下列哪個化學平衡體系的平衡位置不會受壓強變化影響？

A $2NOBr(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + Br_2(g)$
B $I_2(g) + Br_2(g) \rightleftharpoons 2IBr(g)$
C $PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons PCl_5(g)$
D $CH_2ClCH_2Cl(g) \rightleftharpoons CH_2{=}CHCl(g) + HCl(g)$

答案：B

題解：
$I_2(g) + Br_2(g) \rightleftharpoons 2IBr(g)$
該反應進行時，氣體的摩爾數沒有變化。
改變壓強不會影響恆溫的化學平衡體系的平衡位置。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

5 某酸鹼指示劑是弱酸，可用化學式 HIn(aq) 來表示，其離解方程式顯示如下：

$$HIn(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + In^-(aq)$$

紅色　　黃色

該體系在某條件下達致平衡時，HIn 的溶液呈黃色。加入 5 滴稀氫氧化鈉溶液對溶液的顏色有甚麼影響？

A 沒有可觀察到的變化
B 由黃色變成橙色
C 由黃色變成紅色
D 由黃色變成橙色，再變成紅色

答案： A

題解：
來自加入的氫氧化鈉溶液的 $OH^-(aq)$ 離子會與 $H^+(aq)$ 離子反應，生成 $H_2O(l)$。平衡位置會向右移，生成更 多的 $H^+(aq)$ 離子。該溶液維持黃色。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

6 在某温度，以下體系達致平衡狀態：

$$PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons PCl_5(g)$$

把該體系的體積減少而温度維持不變。

下列哪項陳述不正確？

A K_c 值增加。
B 平衡位置向右移。
C $PCl_5(g)$ 的分解速率上升。
D $PCl_5(g)$的量增加。

題解：
因為温度維持不變，
所以 K_c 值沒有變化。

答案：A

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

7 考慮以下化學平衡體系：

$$N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$$

增加該體系的壓強

A 對反應速率和平衡位置均沒有影響。
B 令反應速率上升和平衡位置向左移。
C 令反應速率上升和平衡位置向右移。
D 令反應速率上升但不影響平衡位置。

答案：D

題解：

$$N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$$

該反應進行時，氣體的摩爾數沒有變化。
改變壓強對恆溫的化學平衡體系的平衡位置沒有影響。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

8 讓 $CO(g)$、$Cl_2(g)$ 和 $COCl_2(g)$ 的混合物在一個密閉容器中達致平衡。

$$CO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons COCl_2(g) \qquad \Delta H < 0$$

把該化學平衡體系在固定體積的條件下突然加熱，會發生甚麼變化？

A $CO(g)$ 的濃度會減少。
B 該反應的平衡常數會增加。
C 正向反應的速率會下降。
D 容器中氣體分子的總數會增加。

題解：
溫度增加時，平衡位置會向吸熱的方向移動，即是向左移。
有更多的 $CO(g)$ 和 $Cl_2(g)$ 生成。

答案：D

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

9 通過甲烷與水蒸汽的反應可製備氫，讓其反應混合物達致動態平衡。

$$CH_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g) \qquad \Delta H = +206\ kJ\ mol^{-1}$$

下列哪個組合正確展示涉及變化對氫的平衡產率及平衡常數值的影響？

答案：C

	變化	$H_2(g)$ 的平衡產率的影響	K_c 值的影響
A	增加壓強	減少	減少
B	加入催化劑	增加	沒有影響
C	提高溫度	增加	增加
D	去除生成的 CO(g)	增加	增加

(AQA Advanced Subsidiary, Paper 2, Jun. 2016, 21)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

9 (續)

題解：

提高溫度時，平衡位置會向吸熱的方向移動，即是向右移。

[CO(g)] 和 [H_2(g)] 增加，[CH_4(g)] 和 [H_2O(g)] 則減少。

因此，K_c 值會增加。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

10 考慮以下在某液體介質中於 25 °C 時的平衡體系：

$$CH_3COCH_3 + HCN \rightleftharpoons (CH_3)_2C(OH)CN \qquad \Delta H > 0$$

下列哪陳述正確(假設這體系的總體積維持不變)？

A 加入 $(CH_3)_2C(OH)CN$ 會令該平衡常數 K_c 增加。
B 升高溫度會令 $(CH_3)_2C(OH)CN$ 的濃度增加。
C CH_3COCH_3 的濃度必定等於 $(CH_3)_2C(OH)CN$ 的濃度。
D 加入 HCN 後並當達致新的平衡時，HCN 的濃度會回復至加入 HCN 前的數值。

答案：B

(HKDSE, Paper 1A, 2018, 26)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

11 二氧化硫與氧反應可製備三氧化硫。

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) \qquad \Delta H = -198\ \text{kJ mol}^{-1}$$

把催化劑加入這化學平衡體系會發生甚麼變化？

A 正向反應的速率上升而逆向反應的速率下降。
B 正向反應和逆向反應的速率均上升。
C ΔH 值上升。
D 三氧化硫的產率上升。

答案：B

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

12 考慮以下維持在 350 °C 的密閉容器中的化學平衡體系:

$$SO_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons SO_2Cl_2(g) \qquad \Delta H = -85\ kJ\ mol^{-1}$$

下列哪項陳述正確？

A 增加溫度會提升 $SO_2Cl_2(g)$ 的生成速率。
B 增加容器的體積會增加 $SO_2Cl_2(g)$ 的量。
C 增加溫度會增加 $SO_2Cl_2(g)$ 的量。
D 加入催化劑會增加 $SO_2Cl_2(g)$ 的量。

答案：A

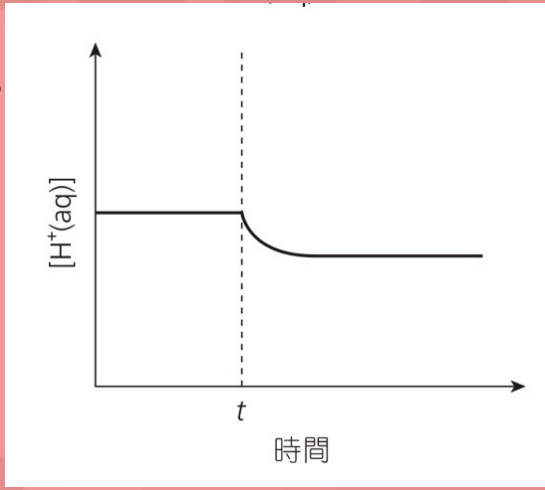
精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

13 考慮以下化學平衡體系：

$$CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H^+(aq) \qquad \Delta H < 0$$

在時間 *t* 的一刻，對該體系施加一個改變。以下坐標圖展示 $H^+(aq)$ 離子的濃度變化。



在時間 *t* 的一刻，施加的改變是

A 加入 HCl(aq)。
B 降低溫度。
C 加入 $CH_3COONa(aq)$。
D 增加容器的體積。

答案：C

題解：
加入 $CH_3COONa(aq)$(即是 $CH_3COO^-(aq)$ 離子) 令平衡位置向左移。因此，$[H^+(aq)]$ 會減少。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

指示：第 14 和 15 題與以下反應有關。
奧斯托惠爾特法是一個用於生產硝酸的方法，這過程的第一個步驟的方程式是：

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 6H_2O(g) \qquad \Delta H = -905\ kJ\ mol^{-1}$$

14 要增加一氧化氮 (NO) 的平衡產率，可以

A 同時增加壓強和溫度。
B 同時減少壓強和溫度。
C 減少壓強但增加溫度。
D 增加壓強但減少溫度。

答案：B

(Edexcel Advanced Level GCE, Unit 4, Jun. 2016, 10(a))

題解：
壓強減少時，平衡位置會向氣體的摩爾數較多的一方移 動，即是向右移。
溫度減少時，平衡位置會向放熱的方向移動，即是向右移。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

15 在這步驟中，所用的催化劑是鉑和銠的合金，壓強介乎 4 至 10 個大氣壓強，而溫度是 1 150 K。未經反應的反應物會再循環。

下列哪項變化會影響平衡常數 (K_c) 值？

A 改變含鉑和銠的催化劑的成分
B 增加壓強至高於 10 個大氣壓強
C 降低溫度至低於 1 150 K
D 不循環未經反應的反應物

答案：C

(Edexcel Advanced Level GCE, Unit 4, Jun. 2016, 10(b))

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

16 以下體系在某溫度達致平衡狀態：

$$O_2(g) + 2HF(g) \rightleftharpoons OF_2(g) + H_2O(g) \quad \Delta H = +318\ kJ\ mol^{-1}$$

把額外的 $O_2(g)$ 加入該體系而溫度保持不變。下列的陳述，何者正確？

A 改變含鉑和銠的催化劑的成分
B 增加壓強至高於 10 個大氣壓強
C 降低溫度至低於 1 150 K
D 不循環未經反應的反應物

答案：C

(Edexcel Advanced Level GCE, Unit 4, Jun. 2016, 10(b))

題解：
(1) 因為溫度維持不變， 所以 K_c 值沒有變化。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

17 以下體系在一個維持於固定溫度的密閉容器中達致平衡：

$$2CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g) + O_2(g)$$

下列的改變，何者會令平衡位置向右移？

(1) 加入適當的催化劑
(2) 減少氧的濃度
(3) 增加容器的體積

A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

答案：D

題解：
(3) 該容器的體積增加時，平衡位置會向氣體的摩爾數較多的一方移動，即是向右移。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

18 在常溫下，讓 $N_2O_4(g)$ 和 $NO_2(g)$ 的混合物在一固定體積容器內達致平衡狀態。

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g) \qquad \Delta H = +57\ \text{kJ mol}^{-1}$$

淡黃色　　深棕色

溫度上升時，下列哪些陳述正確？

(1) 平衡常數 (K_c) 增加。
(2) 該混合物的顏色變深。
(3) 正向和逆向反應的速率均增加。

答案：D

A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

題解：
溫度上升時，平衡位置會向 吸熱的方向移動，即是向右移。
$[NO_2(g)]$ 增加，$[N_2O_4(g)]$ 則 減少。因此，K_c值會增加。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

第三部分 結構性問題

19 在接觸法中，把二氧化硫氧化成三氧化硫是製備硫酸的一個重要反應。

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) \quad \Delta H < 0$$

在工業上，可改變二氧化硫與氧反應的條件來增加反應的速率和產率。

哪條件只增加速率、哪條件只增加產率，而哪條件可增加速率和產率？

就下表中每個條件選出一個答案並畫上「✔」號。

條件	只增加速率	只增加產率	增加速率和產率
高溫	✔ (1)		
高壓強			✔ (1)
使用催化劑	✔ (1)		

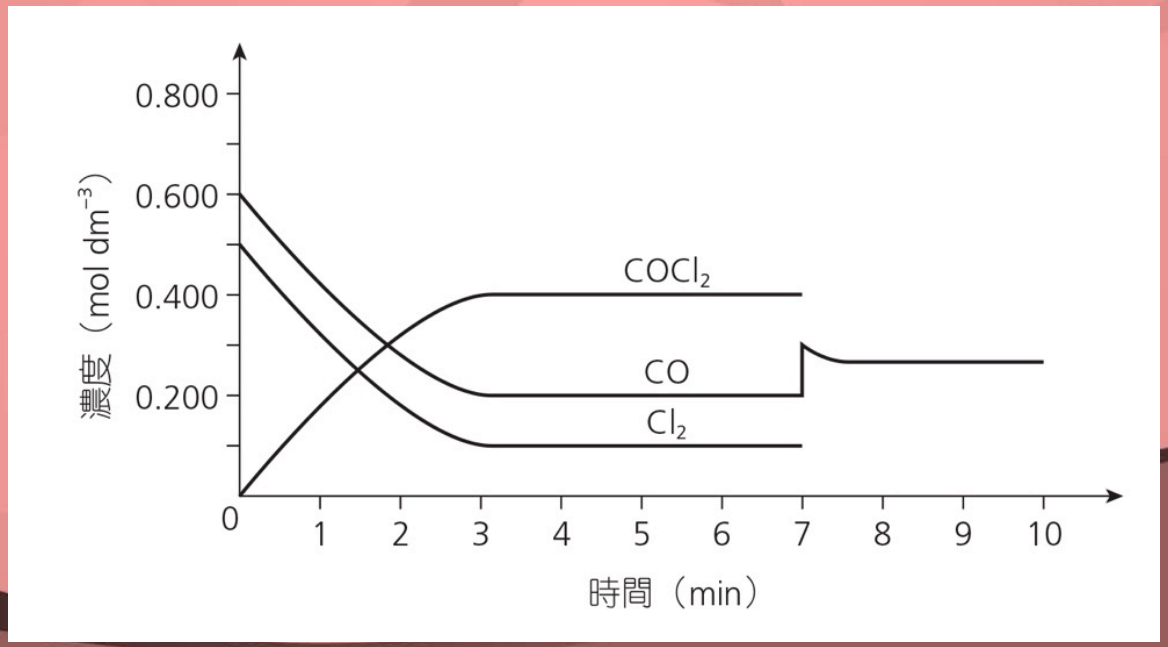
精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

20 CO(g) 和 $Cl_2(g)$ 根據以下方程式反應生成 $COCl_2(g)$。

$$CO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons COCl_2(g)$$

在有催化劑的條件下，把 CO(g) 和 $Cl_2(g)$ 混合。以下坐標圖展示三種氣體的濃度變化。



按節練習 (頁62)

20 (續)

a) 計算該反應的平衡常數 (K_c)。

$$K_c = \frac{[COCl_2(g)]}{[CO(g)]\,[Cl_2(g)]}$$

$$= \frac{0.400 \text{ mol dm}^{-3}}{(0.200 \text{ mol dm}^{-3})\,(0.100 \text{ mol dm}^{-3})} \quad (1)$$

$$= 20.0 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \ (1)$$

b) 在第 7 分鐘的一刻，對該混合物施加了一個改變。

i) 該改變是甚麼？

加入一些 CO(g)。 (1)

ii) 解釋這個改變分別對 $Cl_2(g)$ 和 $COCl_2(g)$ 的濃度有甚麼影響。毋須作計算。

平衡位置會移動以減少 CO(g) 的濃度，即是向右移。 (1)

$[COCl_2(g)]$ 增加。
$[Cl_2(g)]$ 減少。 (1)

按節練習 (頁62)

21 X(g) 和 Y(g) 根據以下方程式反應生成 Z(g)。

$$X(g) + Y(g) \rightleftharpoons Z(g)$$

在某些條件下，這反應的平衡常數 (K_c) 是 0.160 $dm^3\ mol^{-1}$。利用已知的 K_c 值，解釋在這些條件下平衡位置較接近生成物一方還是反應物一方。

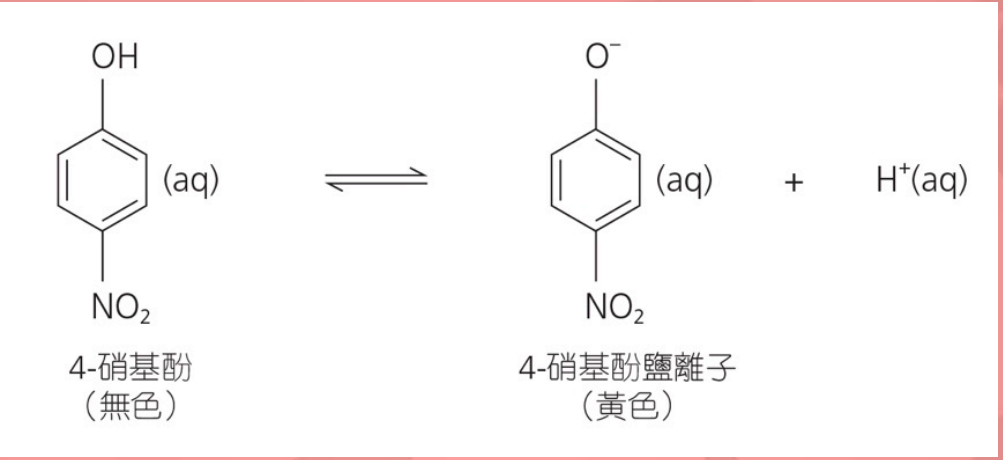
$$K_c = \frac{[Z(g)]}{[X(g)]\,[Y(g)]}$$

在平衡狀態下，反應物較生成物多。
因此，平衡位置較接近反應物一方。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

22 以下方程式顯示 4-硝基酚在水中的電離：



在 25 °C，該電離的平衡常數 K_c 為 8.0×10^{-8} mol dm^{-3}。

a) 寫出 K_c 的表達式。

(可用 HA 來代表 4-硝基酚，並用 A^- 來代表 4-硝基酚鹽離子。)

b) 當上述電離在 25 °C 達致平衡時，一個 4-硝基酚水溶液的 pH 為 2.4。計算在這溶液中 4-硝基 酚的濃度與 4-硝基酚鹽離子的濃度之比。

按節練習 (頁62)

22 (續)

c) 提出當把 NaOH(aq) 徐徐加進 (b) 的溶液時會否有任何顏色改變。解釋你的答案。

d) 建議 4-硝基酚在酸-鹼滴定實驗中的一個可能用途。

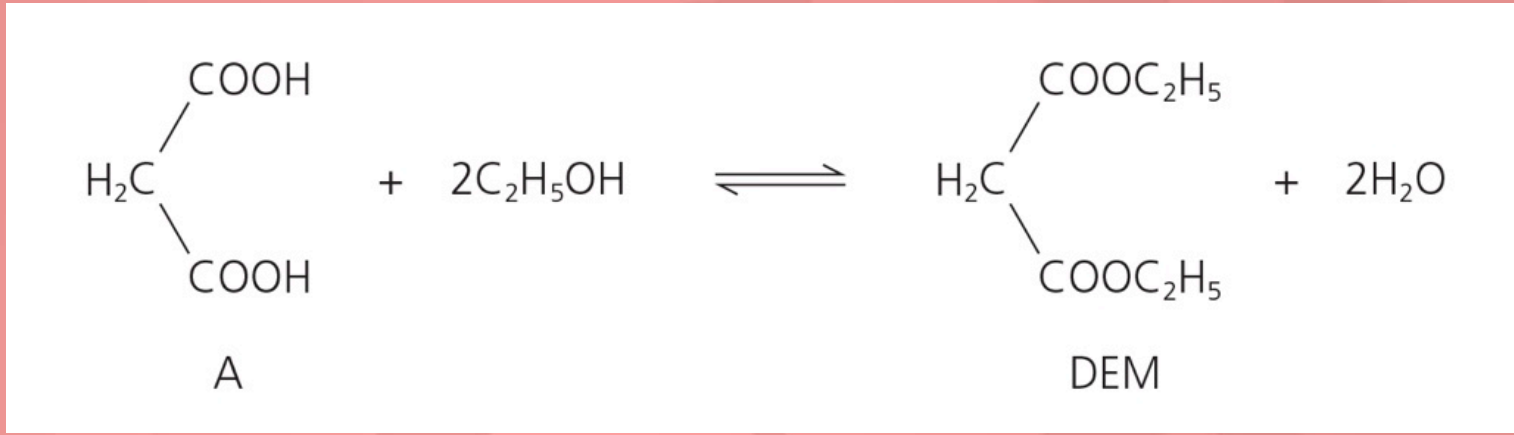
(HKDSE, Paper 1B, 2017,11)

香港公開考試試題答案從略 (如適用)。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

23 丙二酸二乙酯 (DEM) 存在於草莓和提子中，可藉以下反應從酸 A 製備。



在有少量濃硫酸的條件下，讓 2.40 摩爾的 A 和 9.60 摩爾的乙醇的混合物在惰性溶劑中產生反 應，並達致平衡。生成的平衡混合物含有 1.60 摩爾的 DEM，該溶液的總體積是 V dm^3。

a) 寫出酸 A 的系統名稱。

丙二酸 (1)

按節練習 (頁62)

23 (續)

b) 計算這反應的平衡常數 (K_c)。

	A	+	$2C_2H_5OH$	$\rightleftharpoons$	DEM	+	$2H_2O$
起始濃度(mol dm^{-3})	$\frac{2.40}{V}$		$\frac{9.60}{V}$		0		0
平衡濃度 (mol dm^{-3})	$\frac{2.40 - 1.60}{V}$		$\frac{9.60 - 3.20}{V}$		$\frac{1.60}{V}$		$\frac{3.20}{V}$ (1)
	$= \frac{0.80}{V}$		$= \frac{6.40}{V}$				

$$K_c = \frac{[DEM][H_2O]^2}{[A][C_2H_5OH]^2}$$

$$= \frac{\left(\frac{1.60}{V}\text{ mol dm}^{-3}\right)\left(\frac{3.20}{V}\text{ mol dm}^{-3}\right)^2}{\left(\frac{0.80}{V}\text{ mol dm}^{-3}\right)\left(\frac{6.40}{V}\text{ mol dm}^{-3}\right)^2} \quad (1)$$

$$= 0.50 \quad (1)$$

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

23 (續)

c) 加入更多惰性溶劑，使該混合物的總體積增加一倍。指出並解釋這個變化對 DEM 的平衡產率的影響。

沒有影響

方程式的左右兩方的化學物種的摩爾數相同 / 反應商數沒有改變。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

24 下表列出在三個不同的溫度，以下可逆反應的平衡常數 (K_c)：

$$A(aq) + B(aq) \rightleftharpoons C(aq) + D(aq)$$

溫度（K）	298	373	448
K_c	1.0×10^{-2}	2.0	67.8

推斷正向反應是放熱的抑或是吸熱的。

K_c 值隨着溫度上升而增加。這可推定該正向反應是吸熱的。K_c 值增加，這表示 [C(aq)] 和 [D(aq)] 增加，但 [A(aq)] 和 [B(aq)] 減少。這可推定溫度上升時，平衡位置會 向右移。 (1)
根據勒沙得利爾原理，溫度上升時，體系會調節以降低溫度。因此，該正向反應應該是吸熱的。 (1)

按節練習 (頁62)

25 考慮以下體系：

$X_2(g) + 2Y_2(g) \rightleftharpoons 2XY_2(g) \qquad \Delta H = +50\ kJ\ mol^{-1}$

在溫度 T_1，讓 3.00 摩爾的 $X_2(g)$ 和 2.00 摩爾的 $Y_2(g)$ 的混合物在 1.50 dm^3 密閉容器中達致平衡， $XY_2(g)$ 的平衡濃度是 0.560 $mol\ dm^{-3}$。

a) 計算在溫度 T_1，這反應的平衡常數 (K_c)。

在平衡狀態下 $XY_2(g)$ 的摩爾數 = 0.560 $mol\ dm^{-3}$ x 1.50 dm^3

= 0.840 mol

在平衡狀態下所消耗的 $X_2(g)$ 的摩爾數 = $\frac{0.840}{2}$ mol = 0.420 mol

在平衡狀態下所消耗的 $Y_2(g)$ 的摩爾數 = 0.840 mol

	$X_2(g)$	+	$2Y_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$2XY_2(g)$
平衡濃度 ($mol\ dm^{-3}$)	$\frac{3.00 - 0.420}{1.50}$ = 1.72		$\frac{2.00 - 0.840}{1.50}$ = 0.773 (1)		0.560

$$K_c = \frac{[XY_2(g)]^2}{[X_2(g)]\,[Y_2(g)]^2}$$

$$= \frac{(0.560\ mol\ dm^{-3})^2}{(1.72\ mol\ dm^{-3})\,(0.773\ mol\ dm^{-3})^2} \quad (1)$$

$$= 0.305\ dm^3\ mol^{-1} \quad (1)$$

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

25 (續)

b) 在溫度 T_2，讓該混合物在那 1.50 dm^3 容器中達致平衡。K_c 值下降。指出 T_1 還是 T_2 較高溫，並加以解釋。

T_1 是較高的溫度。

由於正向反應是吸熱的，所以 K_c 值會隨着溫度下降而減少。 (1)

c) 在溫度 T_1，讓該混合物在一個 3.00 dm^3 的容器中達致平衡。

預測並解釋該平衡混合物中 $XY_2(g)$ 的量會增加、減少還是保持不變。

$XY_2(g)$ 的量會減少。

該容器的體積增加時，平衡位置會向氣體的摩爾數較多的一方移動，即是向左移。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

26 水的分解顯示如下：

$$H_2O(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq)$$

在固定條件下，$[H_2O(l)]$ 被視為一個常數。考慮 K_c 的定義，$[H^+(aq)][OH^-(aq)]$ 也是一個常數。
在 25 °C，$[H^+(aq)][OH^-(aq)]$ 是 1.00×10^{-14} $mol^2\ dm^{-6}$。
在 60 °C，$[H^+(aq)][OH^-(aq)]$ 是 9.31×10^{-14} $mol^2\ dm^{-6}$。

a) 指出水的分解是放熱的抑或是吸熱的，並加以解釋。

K_c 值隨着溫度上升而增加。這可推定水的分解是吸熱的。
K_c 值增加，這表示 $[H^+(aq)][OH^-(aq)]$ 增加。這可推定溫度上升時，平衡位置會向右移。 (1)
根據勒沙得利爾原理，溫度上升時，體系會調節以降低溫度。因此，水的分解應該是吸熱的。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

26 (續)

b) 通過計算，預測在 60 °C，pH 值為 7 的溶液是中性、酸性還是鹼性。

pH 7 即是 $[H^+(aq)] = 10^{-7}\ mol\ dm^{-3}$

$$[OH^-(aq)] = \frac{9.31 \times 10^{-14}\ mol^2\ dm^{-6}}{10^{-7}\ mol\ dm^{-3}}$$

$$= 9.31 \times 10^{-7}\ mol\ dm^{-3}\ (1)$$

由於 $[OH^-(aq)] > [H^+(aq)]$，所以在 60 °C，pH 值為 7 的溶液是鹼性。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

27 某溶液含有兩種鈷(II) 離子的平衡混合物。

$$Co^{2+}(aq) + 4Cl^{-}(aq) \rightleftharpoons CoCl_4^{2-}(aq) \qquad \Delta H > 0$$

粉紅色　　藍色

該溶液呈紫色，當中含有粉紅色的 $Co^{2+}(aq)$ 離子和藍色的 $CoCl_4^{2-}(aq)$ 離子。把 10 cm^3 的紫色溶液分別置於試管 X、Y 和 Z 中。

把三支試管分別置於不同溫度的水浴中，並觀察其中的平衡混合物的顏色變化。下表展示所得結果。

試管	水浴溫度	可觀察到的變化
X	20 °C	溶液維持紫色
Y	80 °C	溶液變成藍色
Z	0 °C	溶液變成粉紅色

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

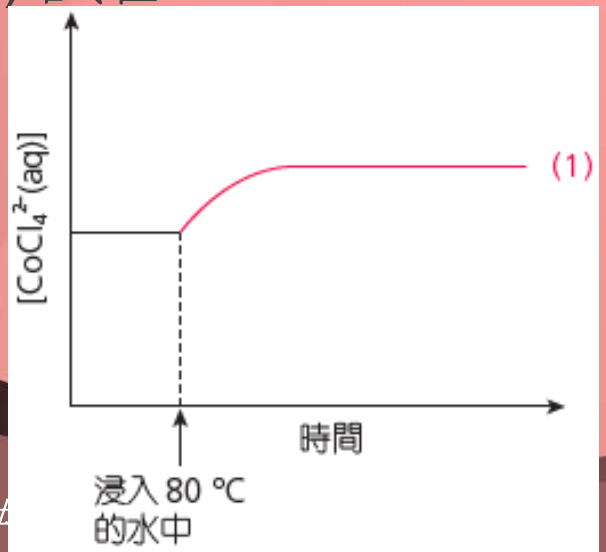
27 (續)

a) 與試管 X 比較，解釋每支試管中混合物的顏色變化。

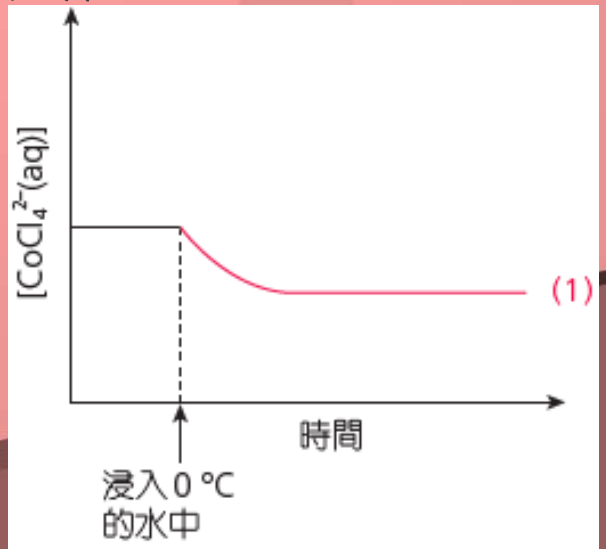
溫度上升時，平衡位置會向吸熱的方向移動，即是向右移。 (1)
藍色的 $CoCl_4^{2-}(aq)$ 離子的濃度增加。溫度下降時，平衡位置會向放熱的方向移動，即是向左移。 (1)
粉紅色的 $Co^{2+}(aq)$ 離子的濃度增加。

b) 在以下各提供的坐標圖上繪出圖線，展示在該體系達致新的平衡狀態的過程中，你預期那混合物中 $CoCl_4^{2-}(aq)$ 離子的濃度變化。

i) 試管 Y



ii) 試管 Z



按節練習 (頁62)

28 從氨製備硝酸的第一個步驟涉及氨與氧的反應。

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 6H_2O(g) \quad \Delta H = -910 \text{ kJ mol}^{-1}$$

對含有以上四種物質的平衡混合物施加下列各項變化時，所得 NO(g) 的摩爾數會增加、減少還是保持不變？就每項變化加以解釋。

a) 增加壓強

減少

壓強增加時，平衡位置會向氣體的摩爾數較少的一方移動，即是向左移。(1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

28 (續)

b) 提升溫度

減少

溫度上升時，平衡位置會向吸熱的方向移動，即是向左移。(1)

c) 加入適當的催化劑

保持不變

催化劑對平衡位置沒有影響。(1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

29 在工業上，氫是通過甲烷與水蒸汽的反應製得，當中涉及兩個步驟。

a) 過程的第一個步驟生成一氧化碳和氫。

$$CH_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g) \quad \Delta H = +206\ kJ\ mol^{-1}$$

i) 預測令 $H_2(g)$ 的產率最高所需的溫度和壓強條件，並加以解釋。

高溫和低壓

溫度上升時，平衡位置會向吸熱的方向移動，即是向右移。 (1)

壓強下降時，平衡位置會向氣體的摩爾數較多的一方移動，即是向右移。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

29 (續)

a) ii) 第一個步驟中使用氧化鎳催化劑。指出為甚麼使用催化劑，以及它對 K_c 值的影響。

增加反應速率 / 增加達致平衡的速率。 (1)

對 K_c 沒有影響。 (1)

b) 第二個步驟在另一個反應器中進行。一氧化碳轉化成二氧化碳，並有更多的氫生成。

$$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g) \qquad \Delta H = -41\ kJ\ mol^{-1}$$

預測在第二個步驟中，增加該體系的總壓強對氫的產率有甚麼影響。試解釋之。

沒有影響

該反應進行時，氣體的摩爾數沒有變化。 (1)

按節練習 (頁62)

30 氮與氫反應生成氨。

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

a) 已計算氮和氫完全反應以生成 5 000 dm^3 的氨最少所需的體積。
在適當的條件下，把這些體積的氮和氫混合，並讓其達致平衡狀態。
該體系達致平衡時含有甚麼氣體？試解釋之。
三種氣體都存在。(1)
該反應是可逆的。/ 氨會分解成氮和氫。(1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

30 (續)

b) 在約 200 個大氣壓強進行哈柏法。
解釋在高於 200 個大氣壓強進行該反應對氨的平衡產率有甚麼影響。
氨的產量增加 / 提升 (1)
壓強增加時，平衡位置會向氣體的摩爾數較少的一方移動，即是向右移。(1)

c) 解釋在高於 200 個大氣壓強進行該反應對達致平衡狀態的速率有甚麼影響。
達致平衡的速率增加。
氣體分子較緊密。/ 所有物質的濃度都增加。
分子碰撞的機會增加，所以每一單位時間內每一單位體積中的有效碰撞較多。 (1)

(Edexcel GCSE (Higher Tier), Unit C3, Jun. 2015, 4(b)(ii)–(iv))

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

31 三氧化硫 (SO_3) 用於硫酸的工業製造。

如以下方程式所示，通過二氧化硫 (SO_2) 與氧 (O_2) 反應來製備 SO_3。

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) \quad \Delta H = -197\ \text{kJ mol}^{-1}$$

可用勒沙得利爾原理來預測不同的條件如何影響平衡位置。

- 利用勒沙得利爾原理顯示要獲取 SO_3 的最高平衡產率，應採用低溫和高壓強。
- 解釋為甚麼工業中採用的實際條件可能與獲取最高平衡產率所需的條件不同。

(OCR Advanced Subsidiary Level, Chem. A, H032/01, Jun. 2016, 25(a))

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

31 (續)

低温令平衡位置向放熱的方向移動，即是向右移。 (1)
高壓令平衡位置向氣體的摩爾數較少的一方移動，即是向右移。 (1)
然而，低温下的反應速率較低。產生高壓的費用昂貴 / 高壓導致安全風險。 (1)
工業中採用的實際條件需要在增加生成物的產量和生產速率、成本和安全風險之間取得平衡。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

32 乙醇可通過乙稀與水蒸汽的反應製備。

$$C_2H_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons C_2H_5OH(g) \qquad \Delta H = -42\ kJ\ mol^{-1}$$

在一個模擬這反應的研習裏，讓 $C_2H_4(g)$ 與 $H_2O(g)$ 的混合物於不同的反應條件下達致平衡，並記錄每一平衡混合物中 $C_2H_5OH(g)$ 的百分產率。下表列出試驗所得的結果：

試驗	反應條件			$C_2H_5OH(g)$ 的百分產率（%）
	溫度（°C）	壓強（atm）	催化劑	
1	200	40	磷酸	15
2	200	80	磷酸	50
3	400	40	磷酸	x
4	400	80	—	y
5	200	40	—	z

(試驗 4 和 5 沒有使用催化劑。)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

32 (續)

a) 哪兩組試驗，$C_2H_5OH(g)$ 的百分產率相同？解釋你的答案。

試驗 1 和 5

就完全相同的混合物，平衡位置只受溫度和壓強的影響。在試驗 1 和 5 中，溫度和壓強也相同，所以它們的 $C_2H_5OH(g)$ 的百分產率也相同。 (1)

b) 哪組試驗，$C_2H_5OH(g)$ 的百分產率最高?解釋你的答案。

試驗 2

溫度減少時，平衡位置會向放熱的方向移動，即是向右移。(1)

壓強增加時，平衡位置會向氣體的摩爾數較少的一方移動，即是向右移。 (1)

在試驗 2 中，溫度最低，壓強則是最高。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按節練習 (頁62)

32 (續)

*c) 在工業上，操作條件顯示如下：

溫度 300 °C
壓強 60 atm
催化劑 磷酸

解釋為甚麼要用這組條件。

300 ° C 的溫度足以增加反應速率，但亦不是太高，可得到合理的產率。 (1)
60 atm 的壓強足以增加速率和產率，而這壓強也足夠低，以減少管道的維修費(建立和營運工廠的成本不高)。 (1)
磷酸催化該反應 / 令該反應增速。 (1)
傳意分數 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

註： 題目按難度由淺至深（ 1 至 5 級） 分類：

題目以 3 級或以上程度為目標；
題目以 4 級或以上程度為目標；
題目以 5 級程度為目標。
「 * 」顯示有效的傳意可取一分。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

第一部分 多項選擇題

指示：第 1 和 2 題與以下資料有關。

下表列出哈柏法涉及反應的平衡常數大約的值。

$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$

溫度（K）	K_c
298	10^4
1 100	10^{-8}

1 下列哪項有關這反應的陳述正確？

答案：D

A 在 298 K，平衡位置較接近反應物一方。

B 在 298K 至 1 100K 之間，沒有任何溫度反應的 K_c 值是 1。

C 溫度增加時，有較多氨生成。

D 在 1 100 K，平衡位置較接近左方。

(OCR Advanced Subsidiary Level, Chem. B (Salters), H033/01, Sample Question Paper, 2014, 10(a))

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

2 在製造氨的試驗性工廠中，200 cm^3 的氮與 300 cm^3 的氫混合並進行反應。
如果該氣體混合物完全反應，最終體積 (在相同的溫度和壓強下) 會是多少？

A 200 cm^3
B 250 cm^3
C 300 cm^3
D 400 cm^3

(OCR Advanced Subsidiary Level, Chem. B (Salters), H033/01, Sample Question Paper, 2014, 10(b))

答案：C

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

2 (續)

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

200 cm^3 300 cm^3

1 摩爾的 N_2 與 3 摩爾的 H_2 反應，會生成 2 摩爾的 NH_3。在這反應中，100 cm^3 的 N_2 與 300 cm^3 的 H_2 反應，生成 200 cm^3 的 NH_3。

剩餘的 N_2 的體積 = (200 – 100) cm^3

= 100 cm^3

氣體的最終體積 = (100 + 200) cm^3

= 300 cm^3

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

3 考慮以下化學平衡體系：

$$CH_3Cl(aq) + OH^-(aq) \rightleftharpoons CH_3OH(aq) + Cl^-(aq)$$

加入下列哪種物質會令平衡位置向左移？

A $HNO_3(aq)$
B $KNO_3(aq)$
C $NaOH(aq)$
D $CH_3Cl(aq)$

題解：
來自 $HNO_3(aq)$ 的 $H^+(aq)$ 離子與 $OH^-(aq)$ 離子反應生成水。平衡位置會向左移，產生更多的 $OH^-(aq)$ 離子。

答案：A

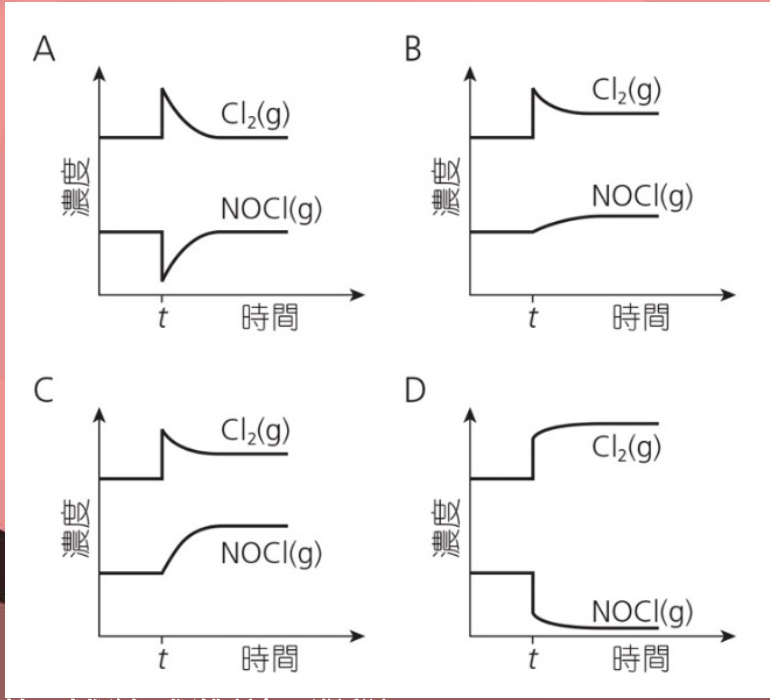
精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

4 NOCl(g) 按以下方程式分解成 NO(g) 和 $Cl_2(g)$。

$$2NOCl(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + Cl_2(g)$$

把一個 NOCl(g) 樣本置於密閉容器中，並讓其達致平衡。該體系達致平衡後，在時間 *t* 的一刻，把額外的 $Cl_2(g)$ 加入那平衡混合物中，讓該體系達致新的平衡狀態。下列哪幅坐標圖正確展示 NOCl(g) 和 $Cl_2(g)$ 的濃度變化？



題解：

加入一些額外的 $Cl_2(g)$ 時，平衡位置會向左移。一些額 外的 $Cl_2(g)$ 會被消耗，並生成更多的 NOCl(g)。

答案：C

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

5 以下反應在一固定體積容器中已達致平衡:

$$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g) \qquad \Delta H = -41.1\ kJ\ mol^{-1}$$

如提升了這體系的溫度，下列何者正確？

A 這體系的壓強保持不變。
B 正向和逆向反應的速率均增加。
C 這反應的平衡常數保持不變。
D $CO_2(g)$ 和 $H_2(g)$ 各自的產率以相同幅度增加。

(HKDSE, Paper 1A, 2016, 26)

答案：B

按章練習 (頁72)

6 以下反應在一固定體積容器中已達致平衡：

$$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g) \qquad \Delta H = -41.1\ kJ\ mol^{-1}$$

如提升了這體系的溫度，下列何者正確？

A 這體系的壓強保持不變。
B 正向和逆向反應的速率均增加。
C 這反應的平衡常數保持不變。
D $CO_2(g)$ 和 $H_2(g)$ 各自的產率以相同幅度增加。

(HKDSE, Paper 1A, 2016, 26)

答案：B

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

7 在工業上，氫的製備涉及以下反應。

$$CH_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g) \qquad \Delta H = +206\ kJ\ mol^{-1}$$

採用哪組條件，所得 $H_2(g)$ 的產率最高？

	壓強(大氣壓強)	溫度(K)
A	100	200
B	200	200
C	100	500
D	200	500

答案：C

題解：

壓強下降時，平衡位置會向氣體的摩爾數較多的一方移 動，即是向右移。

溫度上升時，平衡位置會向吸熱的方向移動，即是向右 移。

因此，低壓和高溫時 $H_2(g)$ 的產量最高。

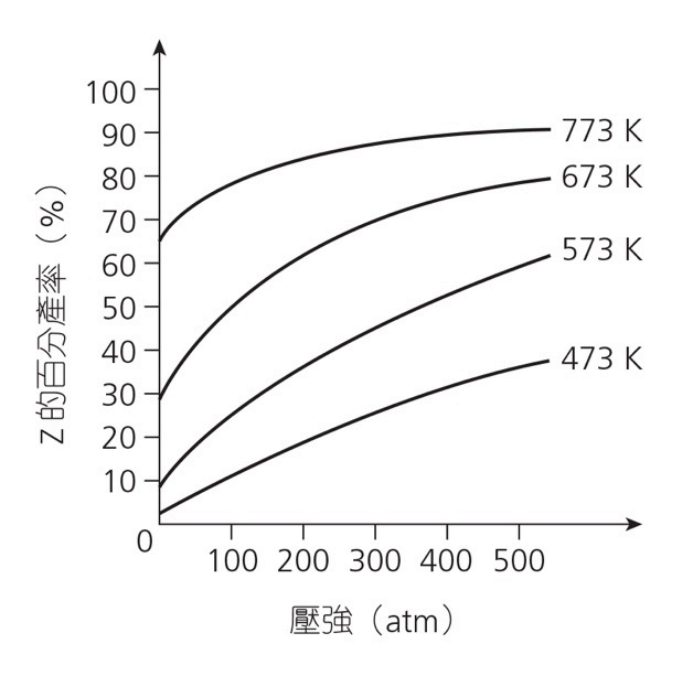
精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

8 在某工業過程中，氣體 X 和 Y 反應，生成唯一的氣體生成物 Z。

$$X(g) + Y(g) \rightleftharpoons Z(g)$$

在不同的壓強和溫度，平衡狀態時生成物 Z 的百分產率的變化顯示如下：



下列哪項有關這反應的陳述正確？

A 降低溫度令平衡常數值減少。
B 降低溫度增加這反應的速率。
C 增加壓強令平衡常數值增加。
D 正向反應是放熱的。

答案：A

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

指示：回答題 9 和題 10 時，請參考以下反應， 其中涉及四個互溶的液體。

$W(l) + X(l) \rightleftharpoons Y(l) + Z(l)$ $\Delta H = +45\ kJ\ mol^{-1}$

在 25 °C，該反應的平衡常數 K_c 是 2.5。在一個 實驗中，把 1.0 mol 的 W(l) 和 1.0 mol 的 X(l) 放入 一個維持在 25 °C 的密封容器內。當達致平衡時，該反應混合物的總體積為 0.20 dm^3。

9 當達致平衡時，容器內會有多少摩爾的 Y(l) 存在？

A 0.44
B 0.61
C 0.71
D 0.83

答案：B

(HKDSE, Paper 1A, 2017, 31)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

10 當達致平衡時，下列何者會增加 Y(l) 的摩爾數？

(1) 從該反應混合物移去 Z(l)
(2) 增加該容器的體積
(3) 增加該反應混合物的溫度

A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

(HKDSE, Paper 1A, 2017, 32)

答案：C

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

指示：第 11 和 12 題與以下資料有關。

在有催化劑的條件下，可通過一氧化碳與甲醇的反應製備乙酸。

$$CO(g) + CH_3OH(g) \rightleftharpoons CH_3COOH(g) \quad \Delta H = -137\ kJ\ mol^{-1}$$

反應是在 200 °C 和 30–60 個大氣壓強進行。

11 下列哪個組合正確展示催化劑對正向反應的速率、逆向反應的速率和 $CH_3COOH(g)$ 的產率的影響？

	正向反應的速率	逆向反應的速率	$CH_3COOH(g)$ 的產率
A	增加	減少	不變
B	增加	增加	不變
C	不變	不變	增加
D	減少	增加	減少

答案：B

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

12 在相同溫度但 100 個大氣壓強進行該反應，會導致下列哪些變化？

(1) 生產成本上升。
(2) $CH_3COOH(g)$ 的產率增加。
(3) 該反應在較高速率下進行。

A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

題解：
壓強增加時，平衡位置會向 氣體的摩爾數較少的一方移 動，即是向右移。

答案：D

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

13 於某温度下，在一密閉容器內達致了以下的平衡：

$$COCl_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + Cl_2(g)$$

下列的陳述，何者正確？

(1) CO(g) 和 $Cl_2(g)$ 的濃度必定相同。
(2) $COCl_2(g)$ 的分解速率等於 CO(g) 的生成速率。
(3) 當容器的體積增加時，該反應的平衡常數 K_c 增加。

A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

答案：B

(HKDSE, Paper 1A, 2015, 31)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

14 氨可通過氮與氫之間的可逆反應製得。

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \qquad \Delta H < 0$$

當達致平衡狀態時，下列哪些變化會增加 $NH_3(g)$ 的產率？

(1) 增加壓強
(2) 降低溫度
(3) 加入 $H_2(g)$

A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

題解：

(1) 壓強增加時，平衡位置會 向氣體的摩爾數較少的一 方移動，即是向右移。

(2) 溫度下降時，平衡位置會 向放熱的方向移動，即是 向右移。

(3) 加入 $H_2(g)$ 令平衡位置向右移。

答案：D

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

指示：以下的題目（第15至16題）均由兩述句組成。學生需先判斷該兩述句是否正確，若兩述句均屬正確，再判斷第二述句是否第一述句的合理解釋，然後根據下表，從A 至D 四項中選出一個適用的答案：

A 兩述句均屬正確，而第二述句為第一述句的合理解釋。

B 兩述句均屬正確，但第二述句並非第一述句的合理解釋。

C 第一述句錯誤，但第二述句正確。

D 兩述句均屬錯誤。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

	第一述句	第二述句	
15	在化學平衡狀態，正向反應速率等於零。	在化學平衡狀態，反應物不會反應以得出生成物。	答案：D
16	加入催化劑可增加可增加正向反應的速率。	催化劑能逆反應的平衡產率 。 *(HKDSE, Paper 1A, 2014, 35)*	答案：C

題解：

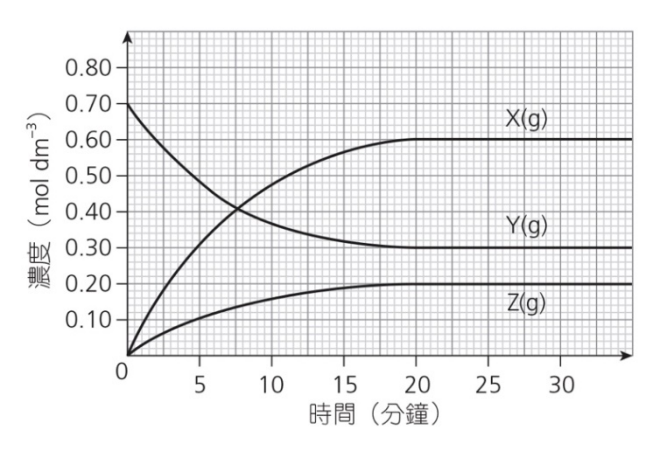
加入催化劑對平衡位置沒有影響，即是對產率沒有影響。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72) 香港公開考試試題答案從略 (如適用)。

第二部分 結構性問題

17 為一個於恆溫下在 2.0 dm^3 的密閉容器內涉及 X(g)、Y(g) 和 Z(g) 的可逆反應進行了一實驗。以下 坐標圖顯示相關的實驗數據。



a) 根據這坐標圖，你如何得知這反應是可逆的？

b) 計算在實驗溫度下這反應的平衡常數 K_c。

c) 評論以下陳述：

「在反應開始後的第 25 分鐘正向反應的速率是零。」

(HKDSE, Paper 1B, 2018, 13)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

18 考慮以下方程式表示的反應。

$$Fe^{3+}(aq) + SCN^{-}(aq) \rightleftharpoons Fe(SCN)^{2+}(aq)$$

K_c = 1 078 $dm^3\ mol^{-1}$ (在 25 °C)

在某實驗中，把 25.0 cm^3 的 0.0100 mol dm^{-3} $Fe_2(SO_4)_3(aq)$ 和 25.0 cm^3 的 0.0100 mol dm^{-3} KSCN(aq) 在一個維持於 25 °C 的錐形瓶中混合。

計算達致平衡狀態時 $Fe(SCN)^{2+}(aq)$ 的濃度。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

18 (續)

假設 $Fe(SCN)^{2+}(aq)$ 的平衡濃度是 x mol dm^{-3}。

	$Fe^{3+}(aq)$	+	$SCN^{-}(aq)$	⇌	$Fe(SCN)^{2+}(aq)$
起始濃度 (mol dm^{-3})	$2 \times \frac{0.0100}{2}$		$\frac{0.0100}{2}$		0
平衡濃度 (mol dm^{-3})	$0.0100 - x$		$0.00500 - x$		x (1)

$$K_c = 1\,078 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} = \frac{[Fe(SCN)^{2+}(aq)]}{[Fe^{3+}(aq)]\,[SCN^{-}(aq)]}$$

$$= \frac{x \text{ mol dm}^{-3}}{(0.0100 - x) \text{ mol dm}^{-3}\,(0.00500 - x) \text{ mol dm}^{-3}} \quad (1)$$

把該方程式重新排列，得出

$$1\,078(0.0100 - x)(0.00500 - x) = x$$

$$0.0539 - 16.17x + 1\,078x^2 = x$$

$$1\,078x^2 - 17.17x + 0.0539 = 0$$

$x = 4.30 \times 10^{-3}$ 或 0.0116 (捨去) (1)

∴ $Fe(SCN)^{2+}(aq)$ 的平衡濃度是 4.30×10^{-3} mol dm^{-3}。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

19 把氮和氫在 723 K 反應製得氨。

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ $K_c = 0.134\ dm^6\ mol^{-2}$(在 723 K)

在模擬這反應的實驗中，把氮和氫的混合物注入一個密閉容器中。氮和氫的起始濃度分別是 0.500 mol dm^{-3} 和 1.50 mol dm^{-3}。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

19 (續)

a) 計算達致平衡時已消耗的氮的百分率。

假設 $2x$ mol dm^{-3} 是 $NH_3(aq)$ 的平衡濃度。

	$N_2(g)$	+	$3H_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$2NH_3(g)$	
平衡濃度 (mol dm^{-3})	$0.500 - x$		$1.50 - 3x$		$2x$	(1)

$$K_c = 0.134 \text{ dm}^6 \text{ mol}^{-2} = \frac{[NH_3(g)]^2}{[N_2(g)]\,[H_2(g)]^3}$$

$$= \frac{(2x \text{ mol dm}^{-3})^2}{(0.500 - x) \text{ mol dm}^{-3}\,(1.50 - 3x)^3 \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}} \quad (1)$$

把該方程式重新排列，得出

$$0.134 = \frac{(2x)^2}{(0.500 - x)27(0.500 - x)^3}$$

$$0.134 \times 27 = \frac{(2x)^2}{(0.500 - x)^4}$$

$$1.90 = \frac{2x}{(0.500 - x)^2}$$

$$1.90(0.500 - x)^2 = 2x$$

$$0.475 - 1.9x + 1.9x^2 = 2x$$

$$1.9x^2 - 3.9x + 0.475 = 0$$

$$x = 0.130 \text{ 或 } 1.92 \text{ (捨去)} \quad (1)$$

已消耗的氮的百分率 $= \frac{0.130}{0.500} \times 100\%$

$= 26.0\%$ (1)

∴ 已消耗的氮的百分率是 26.0%。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

19 (續)

b) 解釋為甚麼反應不在遠高於或遠低於 723 K 進行。

該正向反應是放熱的。

在極高的溫度下操作，平衡位置會向吸熱的方向移動，即是向左移，這使氨的產量下降。 (1)

在極低的溫度下操作，該反應會很慢，需要較長的時間達致平衡。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

20 乙烯氣體和溴氣體會按以下方程式反應。

$$C_2H_4(g) + Br_2(g) \rightleftharpoons C_2H_4Br_2(g)$$

$K_c = 0.600\ dm^3\ mol^{-1}$ (在溫度 T)

把 2.00 摩爾的 $C_2H_4(g)$、1.20 摩爾的 $Br_2(g)$ 和 1.00 摩爾的 $C_2H_4Br_2(g)$ 在一個維持於溫度 T 的 2.00 dm^3 密閉容器中混合。

a) i) 計算在起始條件下該體系的反應商數。

$$Q_c = \frac{\frac{1.00}{2.00}\ mol\ dm^{-3}}{\left(\frac{2.00}{2.00}\ mol\ dm^{-3}\right)\left(\frac{1.20}{2.00}\ mol\ dm^{-3}\right)}$$

$$= 0.833\ dm^3\ mol^{-1} \quad (1)$$

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

20 (續)

a) ii) 預測在起始條件下，正向反應還是逆向反應的速率較高，並加以解釋。

由於 $Q_c > K_c$，$[C_2H_4(g)]$ 和 $[Br_2(g)]$ 必須增加，$[C_2H_4Br_2(g)]$ 則必須減少，直至 $Q_c = K_c$ 。

這會發生淨逆向反應，即是逆向反應的速率較正向反應的速率高。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

20 (續)

b) 計算該體系達致平衡時 $C_2H_4Br_2(g)$ 的濃度。

假設該體系達致平衡時 x 摩爾的 $C_2H_4Br_2(g)$ 會被消耗。

	$C_2H_4(g)$ +	$Br_2(g)$ $\rightleftharpoons$	$C_2H_4Br_2(g)$
平衡濃度 (mol dm^{-3})	$\frac{2.00 + x}{2.00}$	$\frac{1.20 + x}{2.00}$	$\frac{1.00 - x}{2.00}$

$$K_c = 0.600\ \text{dm}^3\ \text{mol}^{-1} = \frac{[C_2H_4Br_2(g)]}{[C_2H_4(g)]\,[Br_2(g)]}$$

$$= \frac{\frac{1.00 - x}{2.00}\ \text{mol dm}^{-3}}{\left(\frac{2.00 + x}{2.00}\ \text{mol dm}^{-3}\right)\left(\frac{1.20 + x}{2.00}\ \text{mol dm}^{-3}\right)}$$

把該方程式重新排列，得出

$$0.600(2.00 + x)(1.20 + x) = 2.00(1.00 - x)$$

$$1.44 + 1.92x + 0.6x^2 = 2.00 - 2x$$

$$0.6x^2 + 3.92x - 0.560 = 0$$

$x = 0.140$ 或 -6.67 (捨去) (1)

$$C_2H_4Br_2(g)\ \text{的平衡濃度} = \frac{1.00 - 0.140}{2.00}\ \text{mol dm}^{-3}$$

$= 0.430\ \text{mol dm}^{-3}$ (1)

∴ $C_2H_4Br_2(g)$ 平衡濃度是 0.430 mol dm^{-3}。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

21 你獲提供常用的實驗室儀器，及以下化學品：

- 乙酸；
- 乙醇；
- 濃硫酸；
- 標準氫氧化鈉溶液。

概述如何進行實驗，測定以下酯化作用的平衡常數 (K_c)：

$$CH_3COOH(l) + CH_3CH_2OH(l) \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3(l) + H_2O(l)$$

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

21 (續)

程序

階段 1 把相同分量的乙酸和乙醇放入梨形瓶中。把 1.00 cm^3 的該混合物移放至一個盛有 25 cm^3 的去離子水的錐形瓶中，然後把該錐形瓶中的混合物與標準氫氧化鈉溶液進行滴定。 (1)

階段 2 把數滴濃硫酸加入梨形瓶中剩餘的酸和醇的混合物。再抽取 1.00 cm^3 的所得混合物，加入 盛有 25 cm^3 的去離子水的錐形瓶中，並迅速地與標準氫氧化鈉溶液進行滴定 (如*階段 1* 所示)。 (1)

階段 3 把梨形瓶中的混合物回流加熱兩小時。冷卻後，再抽取 1.00 cm^3 的所得混合物，加入盛有 25 cm^3 的去離子水的錐形瓶中，並迅速地與標準氫氧化鈉溶液進行滴定 (如*階段 1* 所示)。 (1)

計算

從*階段 1* 的滴定結果測定在原來混合物中乙酸的濃度。
從*階段 2* 和 *3* 的滴定結果測定在平衡混合物中乙酸的濃度。 (1)

測定其他化學物種的濃度，用以下表示式計算酯化作用的平衡常數 (K_c)：

$$K_c = \frac{[CH_3COOCH_2H_3(l)]\,[H_2O(l)]}{[CH_3COOH(l)]\,[CH_3CH_2OH(l)]} \quad (1)$$

傳意分數 (1)

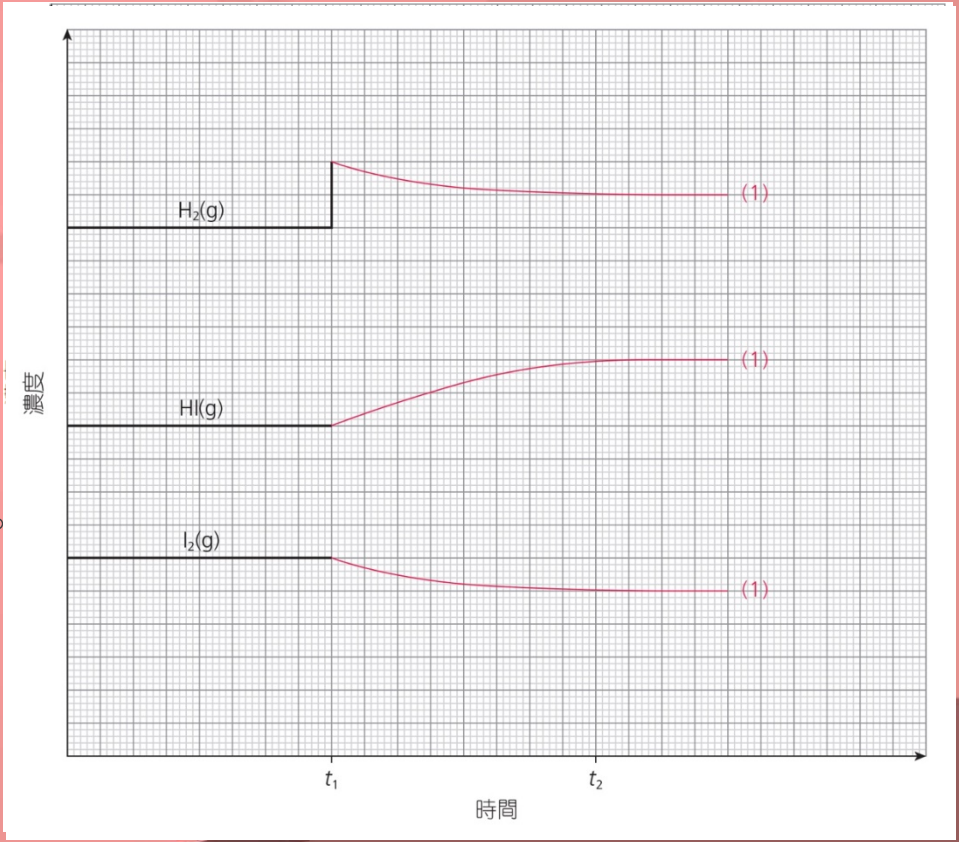
按章練習 (頁72)

22 氫與碘的反應是一個可逆反應。

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g) \qquad \Delta H = -10.4\ kJ\ mol^{-1}$$

把 $H_2(g)$、$I_2(g)$ 和 $HI(g)$ 在一個密閉容器中混合，並讓其達致平衡。在時間 t_1 一刻，把少量的 $H_2(g)$ 加進該平衡體系中。該體系在時間 t_2 一刻達致新的平衡狀態。

a) 在以下坐標圖草繪直至 t_2 時，三種氣體的濃度隨時間的變化。(假設在整個過程中，該體系的溫度維持不變。)



按章練習 (頁72)

22 (續)

b) 在 t_2 之後，把新的平衡體系的容器的體積減半，而溫度維持不變。 預測並解釋這個變化對下列各項的影響:

i) 平衡位置；

體積減少不會影響平衡位置

因為反應進行時氣體的摩爾數沒有變化。 (1)

ii) HI(g) 的分解速率；

HI(g) 的分解速率增加。

氣體分子較緊密。/ 所有物質的濃度都增加。

分子碰撞的機會增加，所以每一單位時間內每一單位體積中的有效碰撞較多。 (1)

iii) K_c 值。

K_c 值沒有變化

因為溫度維持不變。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

23 可通過以下反應製備溴甲烷。

$$CH_3OH(g) + HBr(g) \rightleftharpoons CH_3Br(g) + H_2O(g)$$

$\Delta H = -37.2\ kJ\ mol^{-1}$ (在 298 K)

a) 在恆溫下，把該化學平衡體系的容器的體積減少。預測並解釋這個變化對下列各項的影響：

i) $CH_3Br(g)$ 的生成速率；

$CH_3Br(g)$ 的生成速率增加。
氣體分子較緊密。/ 所有物質的濃度都增加。
分子碰撞的機會增加，所以每一單位時間內每一單位體積中的有效碰撞較多。 (1)

按章練習 (頁72)

23 (續)

a) ii) $CH_3Br(g)$ 的產率；

$CH_3Br(g)$ 的產量沒有變化。

該反應進行時，氣體的摩爾數沒有變化。

改變壓強不會影響平衡位置。 (1)

iii) K_c 值。

K_c 值沒有變化

因為溫度維持不變。 (1)

b) 在固定的壓強和溫度，持續地移去生成物 $CH_3Br(g)$。預測這個變化對 $CH_3Br(g)$ 的產率有甚麼影響，並加以解釋。

$CH_3Br(g)$ 的產率增加。 (1)

移去生成物對正向反應有利。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

24 參考以下化學方程式：

$$H_2O(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq) \qquad \Delta H > 0$$

在固定條件下，$[H_2O(l)]$ 被視為一個常數。考慮 K_c 的定義，$[H^+(aq)][OH^-(aq)]$ 也會是一個常數。

a) 一個水溶液的 pH 定義為 $-\log[H^+(aq)]$。在 298 K，水的 pH 等於 7.0。找出這溫度下的：

i) $[H^+(aq)]$

ii) $[H^+(aq)][OH^-(aq)]$

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

24 (續)

b) 在 298 K，$[H_2O(l)]$ 等於 55.6 mol dm^{-3}。參照 $[H^+(aq)]$ 和 $[OH^-(aq)]$ 的值，提出為甚麼 $[H_2O(l)]$ 被視為一個常數。

c) 解釋在 328 K，水的 pH 會是小於 7.0、等於 7.0，還是大於 7.0。

(HKDSE, Paper 1B, 2015, 11)

香港公開考試試題答案從略 (如適用)。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

25 四氧化二氮 ($N_2O_4(g)$) 可根據以下方程式離解成二氧化氮 ($NO_2(g)$)。

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

把 0.280 摩爾的 $N_2O_4(g)$ 注入 2.00 dm^3 空瓶中，並加熱至 130 ℃。當該體系達致平衡時，瓶內有 0.302 摩爾的 $NO_2(g)$。

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

25 (續)

a) 計算在 130 °C 該反應的平衡常數 (K_c)。

	$N_2O_4(g)$	$\rightleftharpoons$	$2NO_2(g)$
平衡濃度 (mol dm^{-3})	$\dfrac{0.280 - \frac{0.302}{2}}{2.00}$		$\dfrac{0.302}{2.00}$
	= 0.0645		= 0.151 (1)

$$K_c = \frac{[NO_2(g)]^2}{[N_2O_4(g)]}$$

$$= \frac{(0.151 \text{ mol dm}^{-3})^2}{0.0645 \text{ mol dm}^{-3}} \quad (1)$$

$$= 0.354 \text{ mol dm}^{-3} \quad (1)$$

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

25 (續)

b) 在 25 °C，該反應的平衡常數值是 0.120。解釋正向反應是吸熱的抑或是放熱的。

K_c 值隨着溫度上升而增加。這可推定該正向反應是吸熱的。
K_c 值增加，這表示 $[NO_2(g)]$ 增加，但 $[N_2O_4(g)]$ 減少。
這可推定溫度上升時，平衡位置會向右移。 (1)
根據勒沙得利爾原理，溫度上升時，體系會調節以降低溫度。
因此，該正向反應應該是吸熱的。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72) 香港公開考試試題答案從略 (如適用)。

26 在一實驗中，讓 2.0mol 的 $SO_2(g)$ 及 2.0mol 的 $O_2(g)$ 於一個維持在 950K 的密閉容器中反應。該反應的化學方程式如下所示：

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) \qquad \Delta H = -198\ \text{kJ mol}^{-1}$$

當這反應達致動態平衡時，得到 1.8 mol 的 $SO_3(g)$。

a)「動態平衡」一詞是甚麼意思？

b) 在 950 K 時，上述反應的平衡常數 K_c 是 878 $dm^3\ mol^{-1}$。計算該容器的體積。

c) 若上述平衡混合物受到下列各項變化，所得 $SO_3(g)$ 的摩爾數會是增加、減少、還是維持不變？逐一解釋你的答案。

i) 升高溫度

ii) 加進適當的催化劑

(HKDSE, Paper 1B, 2016,10)

按章練習 (頁72)

27 在工業上，在有催化劑的條件下，可通過乙烯與水蒸汽的反應製備乙醇。

$$C_2H_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons C_2H_5OH(g) \qquad \Delta H = -46\ kJ\ mol^{-1}$$

a) 提出令乙醇的產率最高所需的溫度和壓強條件，並加以解釋。

低溫和高壓 (1)
<u>溫度下降時，平衡位置會向放熱的方向移動</u>，即是向右移。(1)
<u>壓強增加時，平衡位置會向氣體的摩爾數較少的一方移動</u>，即是向右移。(1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

27 (續)

b) 指出在反應中使用低溫的一個缺點。

該反應很慢。體系需要一段長時間達致平衡。 (1)

c) 該反應的實際操作條件是 65 個大氣壓強。使用較高壓強除了存在安全隱患外，試提出另一個缺點。

容器的成本高 / 建造外壁較厚的容器所需的費用較昂貴 / 產生高壓的成本高 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

28 二氧化碳與氫反應可生成甲醇。

二氧化碳 + 氫 $\rightleftharpoons$ 甲醇 + 水蒸汽

讓多個相同的二氧化碳與氫的混合物在不同的壓強和溫度達致平衡。
下表列出在不同的條件下甲醇的百分產率。

壓強（atm）	溫度（°C）			
	100	200	300	400
20	90%	81%	52%	38%
40	93%	87%	70%	58%
60	96%	92%	83%	73%
80	98%	95%	90%	83%
100	99%	97%	94%	90%

精工出版社 • 版權所有 不得翻印

按章練習 (頁72)

28 (續)

a) 一名學生預測二氧化碳與氫的反應是吸熱的，而氣體的摩爾數則減少。
指出並解釋上表的結果與該學生的預測是否相符。

甲醇的產量隨着溫度上升而減少。 (1)
這表示溫度上升時，平衡位置會向左移。
溫度上升時，平衡位置會向吸熱的方向移動，即是向左移。 (1)
因此，該正向反應，即是二氧化碳和氫的反應，應該是放熱的。
甲醇的產量隨着壓強增加而增加。 (1)
這表示壓強增加時，平衡位置會向右移。
壓強增加時，平衡位置會向氣體的摩爾數較少的一方移動。 (1)
因此，該正向反應，即是二氧化碳和氫的反應，涉及氣體的摩爾數減少。

b) 指出把額外的二氧化碳加入該平衡混合物時平衡位置的改變，並加以解釋。

加入額外的二氧化碳時，平衡位置會向右移。一些額外的二氧化碳會被消耗。 (1)

精工出版社 • 版權所有 不得翻印