第41章

濃度和温度的變化對化學平衡的影響

- 41.1 濃度變化對化學平衡的影響
- 41.2 壓強或體積變化對化學平衡的影響
- 41.3 温度變化對化學平衡的影響
- 41.4 利用勒沙得利爾原理來預測化學平衡位置的移動及此原 理的局限性
- 41.5 化學平衡在工業上的應用

學習目標

研習本章後,你應能:

- 41.1 ●推斷濃度的變化對化學平衡位置的影響;
 - 利用反應商數預測平衡位置的移動;
- 41.2 ●推斷壓強或體積變化對化學平衡的影響;
- **41.3** ◆ 運用已知的數據歸納温度與平衡常數值的關係;
 - •利用正向反應的 ΔH 的正負符號,預測温度對平衡位置的定性影響;
- 41.4 探究勒沙得利爾原理如何有助預測化學平衡位置的移動,並認識此原理的局限性;
- **41.5** 體會在工業上應用化學平衡的重要性。

第41章

濃度和温度的變化對化學 平衡的影響

若我們需在數天內登上海拔2400米以上的高山,很有可能會適應不到環境突如其來的轉變,因而患上高山症。高山症的徵狀包括疲勞、噁心和嘔吐等。

由於在高原上的空氣較地面的稀薄,故身體較難攝取足夠分量的氧。

參看以下可逆反應:

$$Hb(aq) + O_2(aq) \rightleftharpoons HbO_2(aq)$$
 血紅蛋白 氧 氧合血紅蛋白

若血液內的含氧量不足,所生成的氧合血紅蛋白數量也會減少,因而引發高山症。



攀山者登上高山

試想想…

- 若氧的濃度減少,對以上平衡反應有甚麼影響?
- 人體會作出甚麼調節來維持以上平衡反應的平衡常數 (K_c) 不變? 研習本章後,你應能回答以上問題。

41.1 濃度變化對化學平衡的影響

平衡常數和平衡位置

平衡位置是反應處於平衡時反應物和生成物的相對分量,它與平衡常數 (K_c) 的關係如下:

- **K**。**值較大**時 (遠大於1) , **平衡位置靠近生成物的一方**。反應混合物中主要是生成物。
- **K**c值較小時(遠小於1),**平衡位置靠近反應物的一方**。反應 混合物中主要是反應物。

濃度變化對平衡位置的影響

若反應條件維持不變,平衡混合物的成分也會維持不變。然而, 若濃度或温度等條件有所改變,體系便會自行調節至新的平衡位 置。由於化學平衡的本質是**動態**的,故它會**自動對各項條件的變 化作出相應的調節**。

參看以下化學平衡:

把相同體積的0.001 M硝酸鐵(III) 溶液和0.001 M 硫氰酸鉀溶液混合,會生成橙黃色溶液(圖41.1)。



圖41.1 把相同體積的0.001 M Fe(NO₃)₃(aq)和KSCN(aq)混合 所生成的榜黃色平衡混合物。

若把更多 $Fe(NO_3)_3(aq)$ 或KSCN(aq)加入平衡混合物中,橙黄色的溶液會轉為深紅色(圖41.2(a)和(b))。這表示 $FeSCN^{2+}(aq)$ 的濃度上升,**平衡位置向右移動**。

加入
$$Fe^{3+}$$
(aq)或 SCN^{-} (aq)會令平衡位置向右移
$$Fe^{3+}$$
(aq) + SCN^{-} (aq) $\Longrightarrow FeSCN^{2+}$ (aq)



學習錦囊

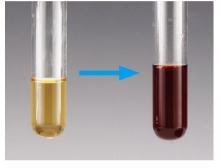
加入Na₃PO₄(s)也可 把Fe³⁺(aq)除去。 Fe³⁺(aq) + PO₄³⁻(aq) — FePO₄(s) 生成的FePO₄(s)是不 溶於水的。 相反,若把 $Fe^{3+}(aq)$ 除去(例如:加入 $Na_2HPO_4(aq)$,讓 $HPO_4^{2-}(aq)$ 與平衡混合物中的 $Fe^{3+}(aq)$ 結合),橙黄色溶液的深度會變淺,最後會轉為淺黃色(圖41.2(c))。

這表示 $Fe^{3+}(aq)$ 的濃度減少,令部分 $FeSCN^{2+}(aq)$ 轉化為 $Fe^{3+}(aq)$ 和 $SCN^{-}(aq)$ 。即是說,**平衡位置向左移動**。

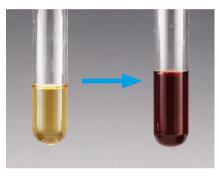
把Fe³⁺(aq)除去會令平衡位置向左移

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

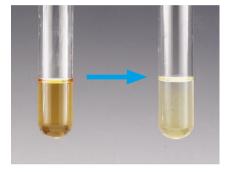
黄色 無色 深紅色



(a) 當加入更多Fe(NO₃)₃(aq)時, 原來的平衡混合物 (左) 會轉為 深紅色。



(b) 當加入更多KSCN(aq)時,原來 的平衡混合物 (左) 會轉為深紅 色。



(c) 當加入Na₂HPO₄(aq)以除去 Fe³+(aq)時,原來的平衡混合物 (左) 會轉為淺黃色。

圖41.2 濃度變化對 $Fe^{3+}(aq) \setminus SCN^{-}(aq)$ 和 $FeSCN^{2+}(aq)$ 平衡混合物的平衡位置的影響。

從以上例子可見,平衡體系受到反應物的濃度變化影響時, **平衡位置**會相應地**移動**。



課文重點

在平衡體系中,反應物或生成物的濃度變化會令該體系的 平衡位置**移動**。

H₂0

例顯41.1

pH變化對平衡位置的影響

參看 CrO_4^{2-} (aq)與 $Cr_2O_7^{2-}$ (aq)在酸性溶液中所達至的平衡體系。

$$2CrO_4^{\ 2^-}(aq) + 2H^+(aq) \Longrightarrow Cr_2O_7^{\ 2^-}(aq) + H_2O(\ell)$$

黄色

- (a) 若把數滴稀硫酸加入平衡混合物中,混合物的橙色會變得更明顯,這表示平衡位置向哪個 方向移動?
- (b) 若把數滴稀氫氧化鈉溶液加入平衡混合物中,平衡位置會向左移動,建議所得平衡混合物的顏色。

題解

- (a) 這表示平衡位置向右移動。
- (b) 平衡混合物的黃色會變得更明顯。



課堂練習41.1

某學生在常温下把溴溶於水中,讓混合物達至平衡:

$$Br_2(aq) + H_2O(\ell)$$
 \Longrightarrow $HOBr(aq) + H^+(aq) + Br^-(aq)$ 黄棕色 無色

- (a) 加入數滴稀氫氯酸會令平衡位置向左移,建議所得平衡混合物的額色。
- (b) 若把數滴KOH(aq)加入平衡混合物中,會令平衡位置向哪個方向 移動?

平衡位置的移動及反應商數 (Q。)

我們可透過定量方法 — 計算平衡體系的**反應商數 (Q_c)**,以更準確地找出平衡位置的移動方向。



學習錦囊

Q。與K。的單位相同。

反應商數 (Q_c) 與平衡常數 (K_c) 的表示方式相同。然而,Q_c 則可從**任何指定時刻**的濃度計算出來,而**不一定處於平衡狀態下**。以下是一般可逆反應的反應商數:

$$aA + bB \Longrightarrow cC + dD$$

$$Q_{c} = \frac{[C]^{c}[D]^{d}}{[A]^{a}[B]^{b}}$$

 K_c 在某特定温度下是一個常數,不會受濃度變化影響。然而, O_c 值則可以改變。

透過比較 Q_c 值和 K_c 值,我們可預測反應混合物的平衡位置的移動方向。

- 若把其中一種反應物加入平衡混合物中, Q。值隨即較K。值小 (見表41.1)。體系需要消耗部分反應物來產生更多生成物, 使Q。值增加,直至Q。值和K。值再次相等。換句話說, 平衡位 置會向右移動,重新達至一個新的平衡狀態。
- 若把其中一種反應物從平衡體系中除去, Q。值隨即較K。值大 (見表41.1)。體系需要消耗部分生成物來生成更多反應物, 使Q。值減少,直至Q。值和K。值再次相等。換句話說, 平衡位 置會向左移動,重新達至一個新的平衡狀態。

表41.1總括了以下反應中反應物或生成物的濃度變化對Q。值的影響:

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

$$Q_{c} = \frac{[C]^{c}[D]^{d}}{[A]^{a}[B]^{b}}$$

	數值變化			
濃度變化	分母 (即[A] [‡] [B] [₺])	分子 (即[C] [°] [<i>D</i>] ^ø)	Q _c	
[A]及/或[B]增加	增加	_	減少	
[A]及/或[B]減少	減少	_	增加	
[C]及/或[D]增加	_	增加	增加	
[C]及/或[D]減少	_	減少	減少	

表41.1 Q。值隨反應物或生成物的濃度變化而改變。

表41.2總結了如何利用反應商數來預測平衡位置的移動。

Q。和 K。的比較	平衡位置的移動方向
$Q_c < K_c$	向右移動或向生成物的方向移動,即會產生更多生成物。
$Q_c > K_c$	向左移動或向反應物的方向移動,即會產生更多反應物。
$Q_c = K_c$	平衡位置沒有變化,即反應物和生成物的濃度維持不變, 體系達至平衡狀態。

表41.2 利用反應商數 (Q_c) 來預測平衡位置的移動。

🗩 課文重點

當平衡體系受到影響時,若 $Q_c < K_c$,反應會產生更多生成物;若 $Q_c > K_c$,反應會產生更多反應物。

考慮以下化學平衡:

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

以下圖表 (圖41.3) 顯示相同分量的氫和碘在密封容器內反應,於第25分鐘達至平衡。該反應的平衡常數 (K_c) 是:

$$K_c = \frac{\left[HI(g)\right]_{\text{eqm}}^2}{\left[H_2(g)\right]_{\text{eqm}}\left[I_2(g)\right]_{\text{eqm}}} = \frac{(3.114 \text{ mol dm}^{-3})^2}{(0.443 \text{ mol dm}^{-3})(0.443 \text{ mol dm}^{-3})} = 49.41$$

🛂 試想想

體系達至新的平衡後,HI(g)的濃度會否與原來的一樣?

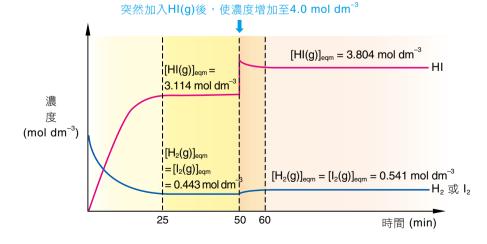


圖41.3 把HI(g)加入平衡體系 $H_2(g) + I_2(g) \Longrightarrow 2HI(g)$ 後,令 $H_2(g)$ 和 $I_2(g)$ 的分量增加。

若在第50分鐘及某特定温度下把一些HI(g)加入平衡混合物中,平衡體系便會受到影響。這一刻的反應商數(Q_c)是:

$$Q_{c} = \frac{\left[HI(g)\right]^{2}}{\left[H_{2}(g)\right]\left[I_{2}(g)\right]} = \frac{(4.0 \text{ mol dm}^{-3})^{2}}{(0.443 \text{ mol dm}^{-3})(0.443 \text{ mol dm}^{-3})} = 81.53$$

由於**Q**。值較**K**。值大,即表示體系並不是處於平衡狀態。平衡位置會向左(反應物一方)移動,重新達至一個新的平衡狀態。

加入
$$HI(g)$$
會令平衡位置向左移
$$H_2(g) + I_2(g) \Longrightarrow 2HI(g)$$

因此,體系會生成更多反應物 $(H_2(g) \pi I_2(g))$,直至於第60分鐘**重新達至一個新的平衡狀態**。此時,反應的平衡常數 (K_c) 是:

$$K_{c} = \frac{\left[HI(g)\right]_{\rm eqm}^{2}}{\left[H_{2}(g)\right]_{\rm eqm}\left[I_{2}(g)\right]_{\rm eqm}} = \frac{(3.804 \text{ mol dm}^{-3})^{2}}{(0.541 \text{ mol dm}^{-3})(0.541 \text{ mol dm}^{-3})} = 49.44$$

平衡狀態受干擾前後所得出的平衡常數大致相同。由此可見,濃度的變化會令平衡位置有所改變,但平衡常數 (K_c) 的數值則不會改變。

🔛 課文重點

平衡體系的K。值在某特定温度下是**常數**,它不會受反應物和 生成物的濃度變化所影響。

H₂0 例題41.2

利用反應商數 (Q.) 來預測平衡位置的移動方向

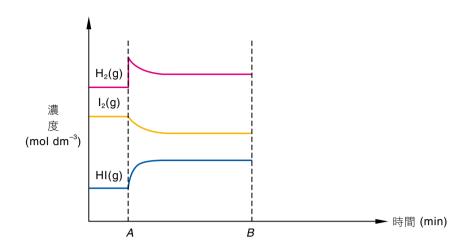
參看 $H_2(g)$ 、 $I_2(g)$ 和HI(g)在某特定温度下於一個密封容器內建立的平衡體系。

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

利用反應商數的概念,預測在下列情況下體系的平衡位置的移動方向:

- (a) (i) 加入H₂(g);
 - (ii) 除去I₂(g);
 - (iii) 加入HI(g)。

(b) 以下是 $H_2(g)$ 、 $I_2(g)$ 和HI(g)濃度對時間的圖表。



- (i) 建議在A點時對平衡混合物所做的干擾。
- (ii) 根據濃度對時間的圖表,推定當體系在A點受干擾時,平衡位置的移動方向。
- (iii) 在B點時,把部分HI(g)從平衡混合物中除去。試完成以上濃度對時間的圖表。

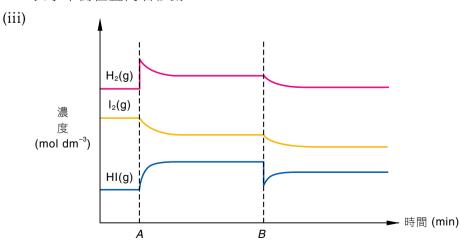
題解

(a) (i) 體系的反應商數:

$$Q_{c} = \frac{[HI(g)]^{2}}{[H_{2}(g)][I_{2}(g)]}$$

當加入了 $H_2(g)$, $[H_2(g)]$ 增加而 Q_c 值下降。由於 $Q_c < K_c$,故平衡位置向右移動。

- (ii) 當把 $I_2(g)$ 除去, $[I_2(g)]$ 減少而 Q_c 值上升。由於 $Q_c > K_c$,故平衡位置向左移動。
- (iii) 當加入了HI(g),[HI(g)]增加而 Q_c 值上升。由於 $Q_c > K_c$,故平衡位置向左移動。
- (b) (i) 在混合物中加入了 $H_2(g)$ 。
 - (ii) 加入 $H_2(g)$ 後, $[H_2(g)]$ 和 $[I_2(g)]$ 均減少,而[HI(g)]則增加,直至達至新的平衡狀態,這表示平衡位置向右移動。

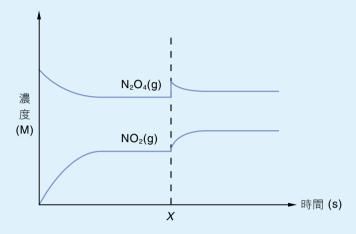


課堂練習41.2

某學生在特定温度下把 $N_2O_4(g)$ 和 $NO_2(g)$ 注入一個密封容器內,並讓混 合物達至平衡。

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

下圖顯示 $N_2O_4(g)$ 和 $NO_2(g)$ 的濃度對時間的圖表。然而,該學生在X點 時進行了一個對上述平衡體系有影響的步驟。



- (a) 指出該學生在X點時進行的步驟。
- (b) 根據圖表,推定當體系在X點受到影響時,平衡位置的移動方向。
- (c) 利用反應商數的概念,解釋在X點後,體系的平衡位置會立刻向哪 個方向移動。

H₂0 例題41.3

預測濃度變化對平衡位置的影響

在100°C下,處於真空的5.00 dm³燒瓶內已達至以下平衡:

$$SO_2Cl_2(g)$$
 \Longrightarrow $SO_2(g) + Cl_2(g)$ $K_c = 0.078 \text{ mol dm}^{-3}$ (在100°C)

然而,這平衡體系受到干擾後,燒瓶內有0.40 mol的 $SO_2Cl_2(g) \times 0.08 \text{ mol}$ 的 $SO_2(g)$ 和0.06 mol的Cl₂(g)。

- (a) 當平衡受干擾後,反應商數(Q。)是多少?
- (b) 平衡位置會循哪個方向移動?

題解

(a) 反應商數
$$(Q_c) = \frac{[SO_2(g)][Cl_2(g)]}{[SO_2Cl_2(g)]}$$

$$[SO_2(g)] = \frac{0.08 \text{ mol}}{5.00 \text{ dm}^3} = 0.016 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[Cl_2(g)] = \frac{0.06 \text{ mol}}{5.00 \text{ dm}^3} = 0.012 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[SO_2Cl_2(g)] = \frac{0.40 \text{ mol}}{5.00 \text{ dm}^3} = 0.08 \text{ mol dm}^{-3}$$

把濃度代入Q。表示式內:

$$Q_c = \frac{(0.016 \text{ mol dm}^{-3})(0.012 \text{ mol dm}^{-3})}{(0.08 \text{ mol dm}^{-3})}$$

 $= 0.0024 \text{ mol dm}^{-3}$

(b) 由於 $Q_c < K_c$,這表示反應將會產生更多生成物 $(SO_2 \pi Cl_2)$,同時會消耗更多反應物 $(SO_2 Cl_2)$,直至 $Q_c = K_c$ 為止。因此,平衡位置將會向右移動。



實驗41.1

實驗作業4A

探究濃度變化對鐵(III) 離子與硫氰酸根離子反應的平衡位置的影響 在本實驗中,你將會探究濃度變化對以下反應的平衡位置的影響:

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



實驗41.2

實驗作業4A

探究濃度變化對鈷(II) 離子與氯離子反應的平衡位置的影響

在本實驗中,你將會探究濃度變化對以下反應的平衡位置的影響:

$$Co^{2+}(aq) + 4Cl^{-}(aq) \Longrightarrow [CoCl_4]^{2-}(aq)$$
 粉紅色 藍色

(注意: $Co^{2+}(aq)$ 的粉紅色是源於絡離子 $[Co(H_2O)_6]^{2+}$,當中 Co^{2+} 離子被六個水分子以八面體形式包圍着。)



實驗41.3

實驗作業4A

探究pH對平衡體系的定性影響

在本實驗中,你將會設計並進行實驗,探究pH對化學平衡體系的定性 影響:

$$Br_2(aq) + H_2O(\ell) \Longrightarrow HOBr(aq) + H^+(aq) + Br^-(aq)$$

 $2CrO_4^{2-}(aq) + 2H^+(aq) \Longrightarrow Cr_2O_7^{2-}(aq) + H_2O(\ell)$

課堂練習41.3

1. 以下反應在某特定温度下的平衡常數 (K_c) 是128.4 mol⁻¹dm³。

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

在該温度下,某 2.0 dm^3 的密封容器內盛有0.0320 mol的 $\text{Fe}^{3+}(\text{ag})$ 、 0.0600 mol的SCN⁻(ag)和0.1020 mol的FeSCN²⁺(ag)。

- (a) 計算體系的反應商數,以顯示體系並不處於平衡狀態。
- (b) 為了達至平衡,平衡位置會向哪個方向移動?
- 2. 在某特定温度下,乙炔與氫在密封容器內反應,生成乙烯。

$$C_2H_2(g) + H_2(g) \Longrightarrow C_2H_4(g)$$

以上反應的平衡常數 (K_c) 是0.072 mol^{-1} dm^3 。反應開始 時, $[C_2H_2(g)] = 0.4 \text{ mol dm}^{-3} \setminus [H_2(g)] = 0.02 \text{ mol dm}^{-3}$ 和 $[C_2H_4(g)] = 3.2 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} \circ$

- (a) 計算在反應開始時的反應商數 (Q_c)。
- (b) 反應循哪個方向移動才能達至平衡?
- (c) 計算在該温度下氫的平衡濃度。
- 3. 在713 K下,以下反應的平衡常數是49.5。

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

把0.40 mol的HI(g)注入10.0 dm³的容器內,讓HI(g)在713 K下分 解,直至達至平衡。

- (a) $H_2(g) \times I_2(g)$ 和HI(g)的平衡濃度分別是多少?
- (b) 在相同温度下,若把0.10 mol的HI(g)加入容器內的平衡混合物 中,計算上述反應的反應商數,並寫出平衡位置的移動方向。
- (c) 分別計算在相同温度下, $H_2(g) \setminus I_2(g)$ 和HI(g)在新的平衡狀態 下的濃度。
- (d) 根據在(c)部的答案,指出在達至新的平衡時,所有加入的 HI(g)是否也分解成 $H_2(g)$ 和 $I_2(g)$ 。



充資率 生活中的化學

夏天時雞蛋蛋殼較薄

很多農夫都知道母雞在夏天時所生的蛋的蛋殼較薄。事實上,蛋殼較薄的 原因與以下反應的平衡位置移動有關:

$$CO_2(aq) + H_2O(\ell) \Longrightarrow H_2CO_3(aq)$$
 (血液中)

$$H_2CO_3(aq)$$
 $\Longrightarrow 2H^+(aq) + CO_3^{2-}(aq)$ (血液中)



當雞隻的體温上升,牠們會像狗隻般喘氣。雞隻喘氣時,會呼出更多 二氧化碳,因而令溶於血液中的二氧化碳濃度減少,令以上三個反應的平 衡位置會向左移動。因此,用來製造蛋殼的碳酸鈣分量亦會減少,導致夏 天所生的雞蛋的蛋殼較薄。

41.2 壓強或體積變化對化學平衡的影響

若氣態平衡體系的體積增加,會使壓強下降,而體積減少則會使 壓強上升。平衡體系對壓強或體積變化會如何反應呢?

方程式兩方涉及不同氣體摩爾數的平衡反應

考慮以下處於平衡狀態的反應:

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

當中的平衡混合物是放在附有可移動活塞的氣筒內(圖41.4)。

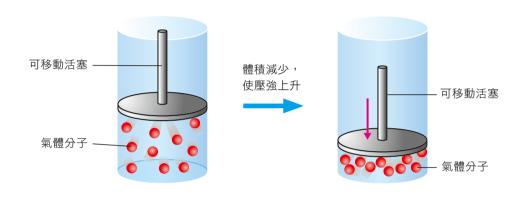


圖41.4 活塞向下推會令容器的體積減少,使氣態混合物的壓強上升。

學習錦囊

從方程式得知, 左方有4摩爾的 氣體分子,而右 方有2摩爾的氣 體分子。 若把活塞向下推,容器的體積減少,使氣態混合物的壓強上升。由於方程式左方氣體的摩爾數較大,壓強上升時,會導致平衡位置向右移動(即氣體摩爾數較小的一方)。體系內氣體的總摩爾數會減少,以抵抗壓強的上升。

體積減少或壓強上升會令平衡位置
向氣體摩爾數較小的右方移動
$$N_2(g) + 3H_2(g) \Longrightarrow 2NH_3(g)$$
 1摩爾 3摩爾 2摩爾

若把活塞向上拉,會出現甚麼變化呢?

參看圖41.5。

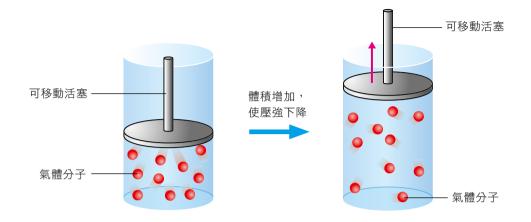
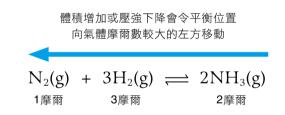


圖41.5 活塞向上拉會令容器的體積上升,使氣態混合物的壓強下降。

容器的**體積增加**,使氣態混合物的**壓強下降**,導致**平衡位置 向左移動 (即氣體摩爾數較大的一方)**。體系內氣體的總摩爾數會 增加,以抵抗壓強的下降。



方程式兩方涉及相同氣體摩爾數的平衡反應

考慮以下處於平衡狀態的反應:

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

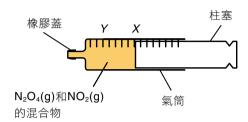
由於**方程式兩方氣體的摩爾數相同**,故壓強變化不會令氣體 的摩爾數改變,也**對平衡位置沒有影響**。

H,0 例題41.4

壓強或體積變化對平衡體系的影響

下圖所示的氣筒盛有在常温下達至平衡的 $N_2O_4(g)$ 和 $NO_2(g)$ 的混合物:

$$N_2O_4(g) \Longrightarrow 2NO_2(g)$$
 無色 棕色



若把氣筒柱塞由刻度X迅速地推至刻度Y,氣態混合物會有甚麼顏色變化?試加以解釋。

題解

混合物的棕色會先變深,然後漸漸變淺。

把柱塞由刻度X迅速地推至刻度Y時,氣筒內的體積會減少,使混合物中的 $NO_2(g)$ 濃度立刻增加, 因此混合物的棕色變深。

體積減少或壓強上升會令平衡位置向左移動,以減少體系中氣體的總摩爾數。因此, $N_2O_4(g)$ 濃度會增加,而NO₂(g)濃度則會減少,混合物的棕色漸漸變淺。



課堂練習41.4

考慮以下二氧化硫與氧在一個密封容器內達至的平衡反應:

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

預測在下列情況下平衡位置的移動方向:

- (a) 容器的體積減少;
- (b) 平衡體系的壓強下降。

41.3 温度變化對化學平衡的影響



學習錦囊

在第37章提及過, 反應速率會隨温度 上升而增加。 當可逆反應的温度上升時,體系會以較短的時間達至平衡。例如,在常温下,乙酸與乙醇的反應需要數小時才能達至平衡。然而,若把反應混合物回流加熱,反應會在大約30分鐘內達至平衡。

另外,温度上升會同時增加正向反應及逆向反應的速率,但加速的**程度並不相同**。因此,反應的K_c值和平衡混合物的成分也會有所改變。同樣地,温度下降時,K_c值亦會有所改變。

温度變化對K。值和平衡位置的影響



在可逆反應的方程 式旁的反應焓變通 常是屬於正向反應 的。 考慮以下反應:

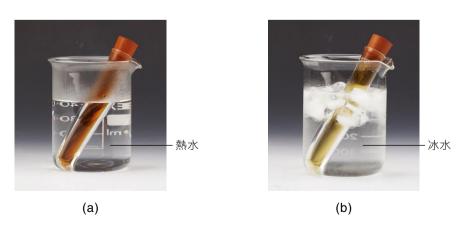
$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$
 $\Delta H = +58 \text{ kJ mol}^{-1}$

表41.3中的實驗數據顯示當温度上升時, K_c值增加,即反應會產生更多生成物,平衡位置則會向右移動。這顯示了**温度上** 升有利吸熱反應進行。

温度 (K)	298	323	343	373
K _c (mol dm ⁻³)	0.0045	0.027	0.098	0.500

表41.3 在 $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ 反應中, K_c 值隨温度變化而改變。

圖41.6顯示了温度變化對N2O4和NO2平衡體系的影響。



- 圖41.6 温度變化對平衡位置的影響。
- (a) 温度上升 (在熱水中) 令平衡位置向右移動,產生更多NO₂(g)。
- (b) 温度下降 (在冰水中) 令平衡位置向左移動,產生更多 $N_2O_4(g)$ 。



學習錦囊

相反,温度下降時, 會使以下反應的平衡 位置向右移動。 $2NO_2(g) \longrightarrow N_2O_4(g)$ $\Delta H = -58 \text{ kJ mol}^{-1}$ 由於正向反應是吸熱的,**温度上升**使平衡位置**向右**移動,產生更多的 $NO_2(g)$,故平衡常數 (K_c) 也會增加。相反,**温度下降**時,平衡位置**向左**移動,產生更多 $N_2O_4(g)$,故平衡常數 (K_c) 便會減少。

表41.4總括了温度變化對平衡位置的影響:

反應種類	温度變化	平衡位置的改變	K。值
放熱反應	上升	向左移動	減少
(正向)	下降	向右移動	增加
吸熱反應	上升	向右移動	增加
(正向)	下降	向左移動	減少

表41.4 温度變化對K。值和平衡位置的影響。



課文重點

在平衡體系中,温度上升有利吸熱反應進行,而温度下降則 有利放熱反應進行。

H20

例題41.5

預測温度變化對平衡位置的影響

考慮以下處於平衡狀態的反應:

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$
 $\Delta H = -196 \text{ kJ mol}^{-1}$

- (a) 正向反應是放熱的還是吸熱的?
- (b) 預測在下列情況下SO3產量的變化:
 - (i) 温度上升;
 - (ii) 温度下降。

頴解

- (a) 反應是放熱的。
- (b) (i) SO₃的產量減少。逆向反應是吸熱的,而温度上升會有利吸熱反應進行。因此,平衡 位置會向左移動,導致SO₃的產量減少。
 - (ii) SO₃的產量增加。正向反應是放熱的,而温度下降會有利放熱反應進行。因此,平衡 位置會向右移動,導致SO₃的產量增加。

可試做章節練習第26題



課堂練習41.5

考慮以下平衡體系,它的正向反應是吸熱的。

$$Co^{2+}(aq) + 4Cl^{-}(aq) \Longrightarrow CoCl_{4}^{2-}(aq)$$
 $\Delta H = 正數$ 粉紅色 藍色

- (a) 預測在下列情況下混合物的顏色改變。
 - (i) 平衡混合物的温度上升;
 - (ii) 平衡混合物的温度下降。
- (b) 温度上升時,平衡體系的K。值有何變化?試加以解釋。



實驗41.4

實驗作業4A

探究温度變化對平衡位置的影響

在本實驗中,你將會探究温度變化對以下反應的平衡位置的影響:

$$Co^{2^+}(aq) + 4Cl^-(aq) \Longrightarrow CoCl_4^{2^-}(aq)$$
 $\Delta H = 正數$ 粉紅色 藍色



實驗41.5

實驗作業4A

探究正向反應是放熱的還是吸熱的

在本實驗中,你將會探究以下平衡狀態的正向反應是放熱的還是吸熱 的:

$$NH_3(aq) + H_2O(\ell) \Longrightarrow NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$



▲ 活動41.1

濃度或温度變化對化學平衡的影響

在本活動中,你將會利用電腦模擬程式探究濃度或温度變化對化學平 衡的影響。

41.4 利用勒沙得利爾原理來預測平衡位置的 移動及此原理的局限性



圖41.7 勒沙得利爾 (1850 - 1936)

我們剛討論過濃度、壓強或體積和温度的變化對平衡位置的影 響。1888年,法國化學家勒沙得利爾 (圖41.7) 透過觀察處於平 衡狀態的化學體系,提出了一個原理,以預測任何一個條件變化 對平衡位置的影響,稱為**勒沙得利爾原理**。

🔛 課文重點

勒沙得利爾原理指出,處於平衡狀態的化學體系因任何一個條件變化而受到影響時,平衡位置會移動,以抗衡該變化。

要注意的是,利用勒沙得利爾原理可以快捷地預測平衡混合物受到影響時,平衡位置的移動方向,但卻未能解釋平衡位置的 移動原因。

利用勒沙得利爾原理來預測濃度變化時平衡位置的移動

再考慮以下平衡:

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

黄色 無色 深紅色

若把額外的Fe³⁺(aq)加入平衡混合物中,Fe³⁺(aq)的濃度便會增加。根據勒沙得利爾原理,若平衡體系的條件有所變化,平衡位置會向某個方向移動,以**抗衡這變化**。而在這反應中,平衡位置會向右移動,以消耗部分新加入的Fe³⁺(aq)。與此同時,反應會生成更多FeSCN²⁺(aq),故橙黃色的溶液會轉為深紅色。再參看圖41.2(a) (第4頁)。

若把 $HPO_4^{2-}(aq)$ 加入平衡混合物中,以除去 $Fe^{3+}(aq)$, $Fe^{3+}(aq)$ 濃度便會減少。根據勒沙得利爾原理,平衡位置會向左移動,使更多 $FeSCN^{2+}(aq)$ 分解來補回被除去的 $Fe^{3+}(aq)$,故橙黄色的溶液會轉為淺黃色。再參看圖41.2(c)。

利用勒沙得利爾原理來預測當温度變化時平衡位置的移動

考慮以下平衡:

$$\operatorname{Co}^{2+}(\operatorname{aq}) + 4\operatorname{Cl}^{-}(\operatorname{aq}) \Longrightarrow \operatorname{CoCl_4}^{2-}(\operatorname{aq})$$
 $\Delta H = 正數$ 粉紅色

根據勒沙得利爾原理,若平衡體系的温度上升,平衡會作出 調節,以除去體系中的熱能。由於正向反應是吸熱的,故平衡 位置會向右移動,溶液會轉為藍色。

相反,若平衡體系的温度下降,平衡也會作出調節,以增 加體系中的熱能。由於逆向反應是放熱的,故平衡位置會向左 移動,溶液會轉為粉紅色。

勤沙得利爾原理的局限性

以第16頁所提及的密封容器內N2O4和NO2的平衡混合物為例, 温度上升也會使容器內的總壓強上升。根據勒沙得利爾原理的預 測:

- 温度上升會使平衡位置向右移動。
- 總壓強上升會使平衡位置向左移動,以減少體系內氣體的摩 爾數。

變化	$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ $\triangle H = +58.1 \text{ kJ mol}^{-1}$
温度上升	平衡位置向右移動,使温度下降
壓強上升 (因温度上升)	平衡位置向左移動,使氣體分子的摩爾數減少(使壓強下降)

表41.5 勒沙得利爾原理的預測互相矛盾。

然而,勒沙得利爾原理並沒有告訴我們平衡位置最終會循哪 個方向移動,這原理的局限性在下列情況下特別明顯:

- 當平衡體系涉及氣態混合物時;
- 當化學方程式左右兩方氣體的摩爾數不相等時;及
- 當同時多於一個條件有所變化時。

因此,要預測濃度或温度的變化對化學平衡的影響時,我們 應使用反應商數和反應的焓變 (ΔH) 。



勒沙得利爾原理的局限性

在本活動中,你將會瀏覽香港中文大學的網頁,認識勒沙得利爾原理 的局限性。

http://www3.fed.cuhk.edu.hk/chemistry/

41.5 化學平衡在工業上的應用



圖41.8 硝酸是製造氮肥的重要化學品。

硝酸的工業生產

硝酸是非常重要的化學品,它常用於生產硝酸銨,而硝酸銨是一種十分普遍的氮肥 (圖41.8)。

$$NH_3(aq) + HNO_3(aq) \rightarrow NH_4NO_3(aq)$$

以下方程式顯示了硝酸的工業生產過程的最後步驟:

在工業上,很多化學品生產的過程都涉及化學平衡。

$$3NO_2(g) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons 2HNO_3(aq) + NO(g)$$

生成的一氧化氮透過與氧的進一步反應而從化學體系中除去。除去一氧化氮後,會令平衡位置向右移動,因此會產生更多所需的生成物 — 硝酸。

🐼 試想想

為甚麼從平衡體系中 除去NO(g)會有助更 多HNO₃(aq)的生成?

氨的工業生產過程 一 哈柏法

在*哈柏法中,氮與氫結合,生成氨。以下是這可逆反應的方程式:

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

哈柏法經過特別設計,可把**剛生成的氨立即除去**。然後,平 衡位置會向右移動,因而生成更多氨。而高壓和低温也會有助氨 的生成。表**41.6**總結了哈柏法中可**增加**氨**產量**的條件變化。

條件變化	平衡位置的移動	氨的產量
除去生成物—NH₃(g)	由於除去氨後,Q。值較K。值小,故平衡位置會向右移動。	增加
壓強上升	由於方程式右方氣體的摩爾數較小,故平衡位置會向右移動。	增加
温度下降	由於正向反應是放熱的,故平衡位置會向右移動。	增加

表41.6 NH₃的產量隨反應條件的變化而增加。

★ 第5冊[,]第54.1節[,]第9頁

高壓有助氨的牛成。然而,輸送氣態混合物的管道需要抵禦 高壓,大大提高了成本。因此,過程的最佳壓強涌常會是200 大氣壓強 (atm)。

此外,雖然低温也有助氨的生成,但温度過低會增加體系達 至平衡所需的時間。因此, 過程的**最佳**温度通常是450°C。

以上條件是從反應速率、牛成物產量和經濟因素之間取得平 衡後所定下來的。

🔀 STSE連繫41.1

化學平衡在工業上的應用—接觸法

在工業上,硫酸的生產過程主要涉及三個階段:

第一階段 製備二氧化硫

把硫在過量的空氣中燃燒可產生二氧化硫。過程中需使用過量的空氣,以確保生成的二氧化硫已與氧混合, 準備第二階段的反應。

$$S(s) + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g)$$

第二階段 把二氧化硫轉化為三氧化硫

二氧化硫和氧在固態V₂O₅作催化劑的情況下,生成三氧化硫。

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$
 $\Delta H = -196 \text{ kJ mol}^{-1}$

第三階段 把三氧化硫轉化為硫酸

把三氧化硫溶於濃硫酸中,生成發煙硫酸 (H₂S₂O₇)。最後,把發煙硫酸加入水中稀釋,以製備98% H₂SO₄。

$$H_2SO_4(\ell) + SO_3(g) \longrightarrow H_2S_2O_7(\ell)$$

 $H_2S_2O_7(\ell) + H_2O(\ell) \longrightarrow 2H_2SO_4(\ell)$

(註:把三氧化硫直接溶於水的過程是高度放熱的,會生成酸性的氣體或煙霧而不是液態的酸,難以收 集。)

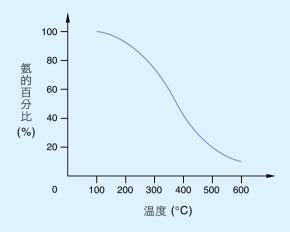
討論問題

- 1. 為甚麼第一階段是使用空氣而不是純氧?
- 2. 解釋下列條件能否增加第二階段所生成三氧化硫的產量:
 - (a) 低温
 - (b) 高壓
- 3. 進行第二階段的最佳條件是450°C和1 atm,解釋採用這些條件的原因。



課堂練習41.6

下圖顯示在不同温度下, $1 \text{ mol } N_2$ 與 $3 \text{ mol } H_2$ 在200 atm下反應,所形成的平衡混合物中氨的百分比。



- (a) 寫出上述反應涉及的方程式。
- (b) 寫出當體系的壓強下降時,反應平衡位置的移動方向,並加以解釋。
- (c) 根據圖表,推定從 N_2 和 H_2 生成 NH_3 的反應是放熱的還是吸熱的。
- (d) 解釋為甚麼在氨的工業生產中,不會採用太高或太低温度。

重要詞彙

	中文詞彙	英文翻譯	頁數
1.	平衡位置	equilibrium position	3
2.	反應商數	reaction quotient	5
3.	勒沙得利爾原理	Le Châtelier's Principle	18

進度評估

若能回答下列問題,在問題旁邊的空格內劃上「✔」號。若未能回答,便需要翻閱課本相關的頁數。

		頁數
1.	你能分辨出平衡常數 (K。) 和平衡位置嗎?	3
2.	化學平衡受到干擾時,平衡位置會有何轉變?	3
3.	反應商數是甚麼?它有何重要性?	5
4.	在平衡混合物中加入或除去反應物或生成物時,反應商數 (Q _c) 會有何變化?	6
5.	 (a) 若Q_c < K_c, 平衡位置會向哪個方向移動? (b) 若Q_c > K_c, 平衡位置會向哪個方向移動? (c) 若Q_c = K_c, 平衡位置會有何轉變? 	7
6.	在某特定温度下,物種的濃度變化會否令平衡常數 (K _c) 的數值改變?	8
7.	壓強或體積變化對平衡位置有何影響?	13–14
8.	(a) 温度應怎樣改變才會有利吸熱的平衡反應? (b) 温度應怎樣改變才會有利放熱的平衡反應?	16–17
9.	勒沙得利爾原理是甚麼?	18
10.	利用勒沙得利爾原理來預測平衡位置的移動方向時有甚麼局限性?	20
11.	化學平衡在工業上有甚麼應用?	21–22

摘要

41.1 濃度變化對化學平衡的影響

- 1. 反應物或生成物的濃度變化會令平衡體系的平衡位置移動,直至達至新的平衡。
- 2. 平衡體系的 K_c 值在某特定温度下是常數,它不會受反應物和生成物的濃度所影響。
- 3. 透過計算平衡體系的**反應商數 (Q_c)**,並與平衡常數 (K_c) 作比較,我們便可預測平 衡位置的移動方向。
 - (a) 若Q_c < K_c, 平衡位置向生成物的方向移動 (即向右移動)。
 - (b) 若Q_c > K_c,平衡位置向反應物的方向移動 (即向左移動)。
 - (c) 若Q_c = K_c,體系達至平衡狀態,平衡位置不會移動。

41.2 壓強或體積變化對化學平衡的影響

- 4. (a) 在方程式兩方涉及不同氣體摩爾數的平衡反應中,壓強變化會使平衡位置移動。
 - (b) 在方程式兩方涉及相同氣體摩爾數的平衡反應中,壓強變化不會使平衡位置移動。

41.3 温度變化對化學平衡的影響

- 5. 温度變化會改變平衡常數的數值,也會使平衡位置移動。
- 6. 在平衡體系中,温度上升有利吸熱反應進行,而温度下降則有利放熱反應進行。

41.4 利用勒沙得利爾原理來預測平衡位置的移動及此原理的局限性

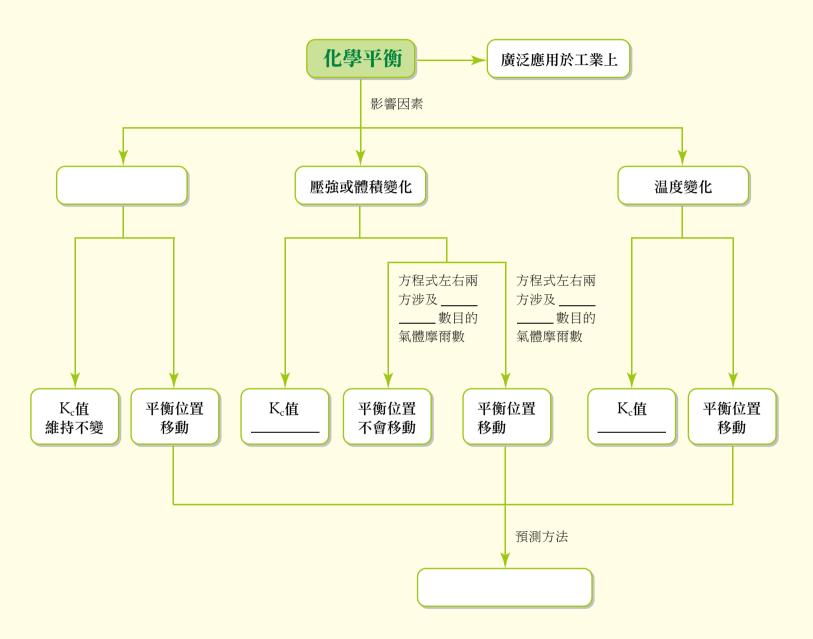
- 7. **勒沙得利爾原理**指出,處於平衡狀態的化學體系因任何一個條件變化而受到影響時,平衡位置會移動,以抗衡該變化。
- 8. 在一些情況下,勒沙得利爾原理在預測平衡位置循哪個方向移動時會有局限性。

41.5 化學平衡在工業上的應用

9. 在化學工業上,可應用化學平衡的概念來提高化學品的產量。

概念圖

完成以下概念圖。



(提示:有所改變、濃度變化、不同、勒沙得利爾原理、維持不變、相同)

章節練習

填充題

第41.1節

- 1. (a) 若 K 。 值 較 大 , 平 衡 位 置 則 靠 近
 - (b) 若 K 。值 較 小 , 平 衡 位 置 則 靠 近 _____的一方。
- 2. 在某特定温度下,反應物或生成物的濃度變 化會使平衡 ______ 移動,直至體系 達至新的平衡狀態。
- 3. 若平衡體系受到影響時,我們可透過計算 _____ (Q_c),並把數值與 _____(K_c) 值作比較,便可預測平衡 位置的移動方向。
 - (a) 若Q_c = K_c,體系達至平衡狀態,平衡 位置移動。
 - (b) 若Q。 < K。, 平衡位置向 ______ 方或 ______ 的方向移動。
 - (c) 若Q_c > K_c, 平衡位置向 _____ 方或 ______ 的方向移動。

第41.3節

- 5. 在平衡體系中,温度上升有利 ______ 反應進行,而温度下降則有利 ______ 反應進行。

第41.4節

6. 勒沙得利爾原理指出,處於平衡狀態的化學 體系因任何一個條件變化而受到影響時,平

第41.5節

7. 科學家把化學平衡的概念應用在化學工業 中,以增加化學品的 _____。

基礎練習題

第41.3節

- 8. 就下列各平衡反應,寫出當發生特定變化時,平衡位置會否移動及向哪個方向移動,並加以解
 - (a) $Zn^{2+}(aq) + 4NH_3(aq) \rightleftharpoons Zn(NH_3)_4^{2+}(aq)$

加入ZnSO₄(aq)

(b) $2CrO_4^{2-}(aq) + 2H^+(aq) \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-}(aq) + H_2O(\ell)$

加入NaOH(aq)

(c) $2N_2O(g) \Longrightarrow 2N_2(g) + O_2(g)$

壓強上升

(d) $H_2(g) + CO_2(g) \rightleftharpoons H_2O(g) + CO(g)$ $\Delta H > 0$

温度上升

第41.4節

- 9. 就下列各個處於平衡狀態的反應,當體系的條件有所改變時,如何知道平衡位置有否移動呢? 試加以解釋。
 - (a) $Fe^{3+}(aq) + SCN^{-}(aq) \rightleftharpoons FeSCN^{2+}(aq)$
 - (b) $2\operatorname{CrO}_{4}^{2-}(aq) + 2\operatorname{H}^{+}(aq) \rightleftharpoons \operatorname{Cr}_{2}\operatorname{O}_{7}^{2-}(aq) + \operatorname{H}_{2}\operatorname{O}(\ell)$
 - (c) $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$

多項選擇題

第41.1節

第10和11題參看以下可逆反應:

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

- 10. 下列哪項或哪些有關反應的陳述不正確?
 - (1) 反應在密封容器內進行,才可達至平衡 狀態。
 - (2) 達至平衡時, SO₂(g)和SO₃(g)的濃度相 等。
 - (3) 達至平衡後,在某特定温度下加入 SO₃(g),會令K_c值減少。
 - A. 只有(1)
 - B. 只有(2)
 - C. 只有(1)和(3)
 - D. 只有(2)和(3)
- ▶11. 下列哪項變化會使Q。值較K。值大?
 - A. 在平衡混合物中加入 $SO_2(g)$
 - B. 在平衡混合物中加入O₂(g)
 - C. 在平衡混合物中加入SO₃(g)
 - D. 從平衡混合物中除去SO₃(g)
- 12. 參看以下平衡反應:

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

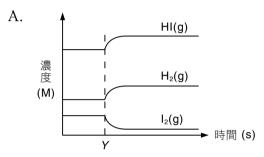
下列哪項有關以上平衡的陳述正確?

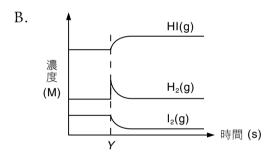
- A. 平衡常數沒有單位。
- B. 體系達至平衡時不會有顏色變化。
- C. 把數滴鐵(III) 離子溶液加入平衡混合物中,會令溶液的顏色變淺。
- D. 當平衡位置向左移動時,溶液會轉為深 紅色。

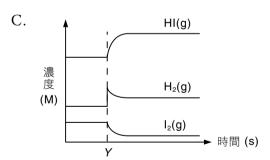
13. 參看以下平衡反應:

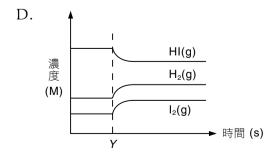
$$H_2(g) + I_2(g) \Longrightarrow 2HI(g)$$

在Y點時,把 $H_2(g)$ 加入反應混合物中,下列哪幅圖表正確顯示各物種的濃度變化?









第41.2節

14. 参看以下在密封容器內進行的反應:

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

下列哪項或哪些變化會使PCl_s(g)的濃度增加?

- (1) 從平衡混合物中除去氯
- (2) 減少容器的體積
- (3) 减低平衡混合物的壓強
- A. 只有(1)
- B. 只有(2)
- C. 只有(1)和(3)
- D. 只有(2)和(3)
- 15. 在某特定温度下,下列哪個體系會因壓強上 升而令平衡位置向生成物的方向移動?
 - A. $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$
 - B. $H_2(g) + I_2(g) \Longrightarrow 2HI(g)$
 - C. $CO_2(g) + NO(g) \rightleftharpoons CO(g) + NO_2(g)$
 - D. $4NO(g) + 6H_2O(g)$ $\implies 4NH_3(g) + 5O_2(g)$

16. 參看以下在密封容器內進行的平衡反應:

$$Cl_2(g) + 3F_2(g) \Longrightarrow 2ClF_3(g)$$

若容器的體積減少,平衡位置會有何影響?

- A. 平衡位置向右移。
- B. 平衡位置向左移。
- C. 平衡位置沒有變化。
- D. 平衡位置先向右移,再向左移。

17. 以下方程式表示氨在水中的電離作用:

$$NH_3(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

當以上體系達至平衡時,下列哪項陳述<u>不正</u>確?

- A. 正向反應和逆向反應的速率相等。
- B. 把氯化銨溶液加入平衡混合物中,會使溶液的pH值下降。
- C. 加入氫氯酸會使更多氨分子電離。
- D. 壓強上升會使平衡位置向左移動。

第41.3節

18. 參看以下平衡反應:

 $3O_2(g) \rightleftharpoons 2O_3(g)$ $\Delta H = +284 \text{ kJ mol}^{-1}$

下列哪些變化會令平衡位置向左移動?

- (1) 温度下降
- (2) 氧氣濃度減少
- (3) 容器體積減少
- A. 只有(1)和(2)
- B. 只有(1)和(3)
- C. 只有(2)和(3)
- D. (1)、(2)和(3)

19. 參看以下平衡反應:

$$4HCl(g) + O_2(g)$$

 $\rightleftharpoons 2H_2O(g) + 2Cl_2(g) \qquad \Delta H < 0$

當温度下降時, K。值和平衡位置有何變化?

	$\underline{K_c \underline{\mathbf{f}}}$	平衡位置的變化	
A.	上升	向左移	
В.	上升	向右移	
C.	下降	向左移	
D.	下降	向右移	

20. 參看以下可逆反應:

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g) \quad \Delta H > 0$$

温度上升會令以上平衡混合物有下列哪項變化?

- A. 反應焓變減少。
- B. K_c值減少。
- C. 正向反應的速率會較逆向反應的速率 高。
- D. 反應混合物的顏色深度減少。

第41.5節

21. 參看硝酸的工業生產:

$$3NO_2(g) + H_2O(\ell)$$

 $\implies 2HNO_3(aq) + NO(g)$

下列哪些有關以上平衡體系的陳述正確?

- (1) 這是氧化還原反應。
- (2) 除去一氧化氮可增加硝酸的產量。
- (3) 加入二氧化氮可增加硝酸的產量。
- A. 只有(1)和(2)
- B. 只有(1)和(3)
- C. 只有(2)和(3)
- D. (1)、(2)和(3)

22. 以下方程式顯示在哈柏法中進行的反應:

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

 $\Delta H = -92 \text{ kJ mol}^{-1}$

下列哪些變化會增加氨的產量?

- (1) 反應温度上升
- (2) 反應混合物的壓強上升
- (3) 氫氣濃度增加
- A. 只有(1)和(2)
- B. 只有(1)和(3)
- C. 只有(2)和(3)
- D. (1)、(2)和(3)

結構題

第41.1節

-)23. 一氧化碳 (CO) 是毒性很高的氣體,它會與血液中的血紅蛋白 (Hb) 爭奪氧,並較氧更能與血紅蛋白緊密地結合。以下是在血液中進行的反應:
 - (1) Hb + O₂ ➡ HbO₂ (氧合血紅蛋白) K₁
 - (2) Hb + CO ← HbCO (碳氧血紅蛋白) K₂
 - (3) $HbCO + O_2 \Longrightarrow HbO_2 + CO$ K_3
 - (a) 比較K₁和K₂的大小。
 - (b) 若要治療一氧化碳中毒,需把病人放在純氧的環境下。解釋這個治療方法的原理。
 - (c) 解釋為甚麼會以純氧而非空氣來作治療。

第41.2節

24. 在1173 K下,以下反應的平衡常數 (Kc) 是0.25。

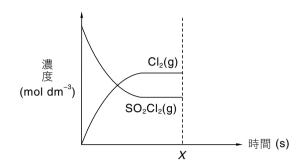
$$CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$$

在密封容器中, $CO_2(g)$ 、 $H_2(g)$ 、CO(g)和 $H_2O(g)$ 的濃度分別是4.0 mol dm $^{-3}$ 、2.0 mol dm $^{-3}$ 、4.0 mol dm $^{-3}$ 和2.0 mol dm $^{-3}$ 。

- (a) 找出若反應在1173 K下需向哪個方向進行才能達至平衡。
- (b) 預測壓強上升對平衡位置的影響,並加以解釋。
- (c) 預測 $CO_2(g)$ 濃度增加對 K_c 值的影響,並加以解釋。

25. 參看以下達至平衡的反應。

$$SO_2Cl_2(g) \Longrightarrow SO_2(g) + Cl_2(g)$$



- (a) 在反應開始時,在某特定温度下,密封容器內盛有 $0.02\ mol\ dm^{-3}$ 的 $SO_2Cl_2(g)$ 。達至平衡時,容器內盛有 $0.012\ mol\ dm^{-3}$ 的 $Cl_2(g)$ 。計算平衡常數在該温度下的數值。
- (b) 體系達至平衡後,於時間X把更多 $SO_2Cl_2(g)$ 加入容器中,在右圖表中略繪 $SO_2Cl_2(g)$ 和 $Cl_2(g)$ 的濃度隨時間的變化,直至達至新的平衡狀態。

第41.3節

26. 參看以下平衡體系:

$$2Br(aq) + H_2O_2(aq) + 2H(aq) \Longrightarrow Br_2(aq) + 2H_2O(\ell)$$
 $\Delta H =$ 負數

- (a) 建議一個方法可顯示體系已達至平衡。
- (b) 若把硫酸加入平衡體系中,預測反應混合物的顏色變化,並加以解釋。
- (c) 若平衡體系的温度上升,預測平衡常數的數值變化,並加以解釋。

▶ 27. 水只會輕微電離,產生氫離子和氫氧離子:

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

下表顯示在不同温度下的K。值:

温度 (°C)	$K_c (mol^2 dm^{-6})$
25	1.01×10^{-14}
50	5.31×10^{-14}
75	1.94×10^{-13}

- (a) 寫出水的電離作用的平衡常數表示式。
- (b) 計算氫離子在75°C下的平衡濃度。
- (c) (i) 計算水在75°C下的pH值。
 - (ii) 你認為水在75°C下是酸性、中性還是鹼性?試加以解釋。
- (d) 推定水的電離作用是放熱的還是吸熱的。

第41.4節

-)28. 乙酸是只能在水中輕微電離的弱酸。25.0 cm³的0.1 M乙酸含有 3.22×10^{-5} mol的H⁺(aq)離子,需要25.0 cm³的0.1 M NaOH(aq)來完全中和。
 - (a) 寫出乙酸在水中的電離作用的方程式。
 - (b) 計算用作中和25.0 cm³的0.1 M乙酸所需NaOH的摩爾數。

第41.5節

29. 以下方程式顯示在哈柏法中進行的反應:

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

- (a) 寫出哈柏法所用的催化劑。
- (b) 完成下表,以寫出(i) 把催化劑加入平衡混合物和(ii) 提升平衡混合物的温度所產生的影響。

	(i) 把催化劑加入平衡混合物	(ii) 提升平衡混合物的温度
對正向反應速率的影響		
對逆向反應速率的影響		
對平衡位置的影響		

- (c) (i) 寫出在這平衡體系中使用高壓的好處。
 - (ii) 然而,哈柏法很少會在極高壓下進行,試簡單解釋。

課題總練習

多項選擇題

1. 把鎳和一氧化碳在400 K下一起加熱,體系 會達至以下平衡。

$$Ni(s) + 4CO(g) \Longrightarrow Ni(CO)_4(g)$$

下列哪項顯示該反應的平衡常數 (K.) 表示式?

- $A. \quad \frac{[Ni(CO)_4(g)]_{eqm}}{[Ni(s)]_{eqm}[CO(g)]_{eqm}^4}$
- B. $\frac{[CO(g)]_{eqm}^4}{[Ni(CO)_4(g)]_{eqm}}$
- $C. \quad \frac{[Ni(CO)_4(g)]_{eqm}}{[CO(g)]_{eqm}^4}$
- $D. \ \frac{[Ni(CO)_4(g)]_{eqm}}{[CO(g)]_{eqm}} \ [$
-)2. 在460°C下,以下反應在密閉容器內達至平 衡。

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

 $K_c = 0.08 \text{ mol dm}^{-3}$

那麼,下列反應的平衡常數在460°C下的數值是多少?

$$NO(g) + \frac{1}{2} Cl_2(g) \rightleftharpoons NOCl(g)$$

- A. $0.04 \text{ mol}^{-\frac{1}{2}} \text{ dm}^{\frac{3}{2}}$
- B. $3.54 \text{ mol}^{-\frac{1}{2}} \text{ dm}^{\frac{3}{2}}$
- C. $6.25 \text{ mol}^{-\frac{1}{2}} \text{ dm}^{\frac{3}{2}}$
- D. $12.5 \text{ mol}^{-\frac{1}{2}} \text{ dm}^{\frac{3}{2}}$
- 3. 参看以下平衡:

AgBr(s)
$$\rightleftharpoons$$
 Ag⁺(aq) + Br⁻(aq)
 $K_c = 3.3 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$

若 $[Br^{-}(aq)]_{eqm} = 5.0 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$, $[Ag^{+}(aq)]_{eqm}$ 是多少?

- A. $5.0 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$
- B. $6.6 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3}$
- C. $1.1 \times 10^{-13} \text{ mol dm}^{-3}$
- D. $3.3 \times 10^{-13} \text{ mol dm}^{-3}$

- 4. 在某特定温度下,下列哪個體系的平衡位置 不受體積變化所影響?
 - A. $SO_2Cl_2(g) \Longrightarrow SO_2(g) + Cl_2(g)$
 - B. $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$
 - C. $C_2H_4(g) + H_2(g) \rightleftharpoons C_2H_6(g)$
 - D. $CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons H_2(g) + CO_2(g)$
- 5. 參看以下可逆反應:

$$Ni^{2+}(aq) + 6NH_3(aq) \Longrightarrow Ni(NH_3)_6^{2+}(aq)$$

綠色 藍色

在25°C下,反應達至平衡時,1 dm³密封容器內含有0.003 mol的Ni²+(aq)、0.055 mol的NH₃(aq)和0.046 mol的Ni(NH₃) $_6$ ²+(aq)。該反應在25°C下的K。值是多少?

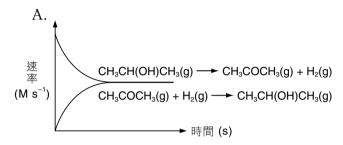
- A. $3.60 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$
- B. $1.81 \times 10^{-9} \text{ mol}^6 \text{ dm}^{-18}$
- C. $2.78 \times 10^2 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$
- D. $5.54 \times 10^8 \text{ mol}^{-6} \text{ dm}^{18}$

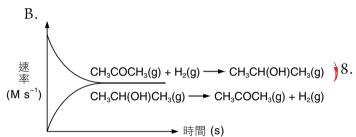
X 化學平衡

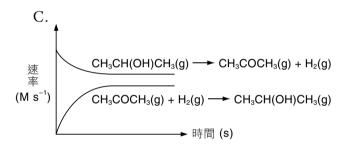
第6和7題參看以下可逆反應:

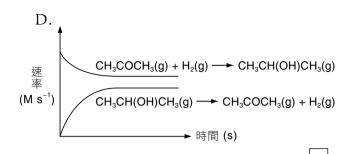
 $CH_3COCH_3(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CH_3CH(OH)CH_3(g)$ $\Delta H = -54 \text{ kJ mol}^{-1}$

6. 把CH₃CH(OH)CH₃(g)放入密封容器內,下 列哪幅圖表正確顯示正向反應和逆向反應的 速率?









7. 達至平衡時,下列哪項壓強和温度變化會增加CH₃CH(OH)CH₃的產量?

	<u></u> 壓強	<u>温度</u>	
A.	上升	上升	
B.	下降	上升	
C.	上升	下降	
D.	下降	下降	

參看以下平衡:

$$N_2O_4(g) \Longrightarrow 2NO_2(g) \quad \Delta H > 0$$

在固定壓強下,温度上升時會令下列哪些增加?

- (1) 分子的總數目
- (2) 反應混合物的顏色深度
- (3) 反應混合物的質量
- A. 只有(1)和(2)
- B. 只有(1)和(3)
- C. 只有(2)和(3)
- D. (1)、(2)和(3)

結構題

9. 在25°C下,以下反應的平衡常數 K_c 是 $2.9 \times 10^{10} \; mol^{-1} \; dm^3 \circ$

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

- (a) 繪出COCl₂的立體結構。
- (b) 6 dm³的容器內盛有[CO(g)]_{eqm} = 1.8×10^{-5} mol dm³和[Cl₂(g)]_{eqm} = 7.3×10^{-6} mol dm³的 平衡反應混合物。平衡反應混合物中COCl₂的質量是多少?

(相對原子質量: C = 12.0、O = 16.0、Cl = 35.5)

10. 乳酸是一種常於牛奶中找到的弱酸,它在水中只會輕微電離。

 $CH_3CH(OH)COOH(aq)$ \Longrightarrow $CH_3CH(OH)COO^-(aq) + H^+(aq)$ $K_c = 1.4 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ 某學生把2.25 g乳酸溶於蒸餾水中,以製備250.0 cm³標準溶液。

- (a) 計算標準溶液中乳酸的濃度。
- (b) 計算標準溶液中氫離子的濃度。
- (c) 根據在(b)部的答案,計算標準溶液的pH值。
- (d) 計算標準溶液中乳酸的電離百分比。

(相對原子質量: $H = 1.0 \cdot C = 12.0 \cdot O = 16.0$)

11. 在酒中的某一元酸 (RCOOH) 與乙醇反應,生成具香甜果味的酯。

$$RCOOH(\ell) + C_2H_5OH(\ell) \Longrightarrow RCOOC_2H_5(\ell) + H_2O(\ell)$$

反應開始時,750 cm³的酒中含有110 g dm⁻³的乙酸和0.10 mol dm⁻³的一元酸。

- (a) 計算在酒中乙醇的濃度(以mol dm⁻³為單位)。
- (b) 寫出反應的平衡常數表示式。
- (c) 達至平衡時, 酯的濃度是0.027 mol dm⁻³。計算一元酸和乙醇的平衡濃度。
- (d) 若水的平衡濃度是60.0 mol dm⁻³,計算反應的平衡常數。

(相對原子質量: $H = 1.0 \cdot C = 12.0 \cdot O = 16.0$)

12. 在綠色的四氯銅(II) 離子溶液中,會出現以下平衡:

$$CuCl_4^{2-}(aq) + 4H_2O(\ell) \Longrightarrow Cu(H_2O)_4^{2+}(aq) + 4Cl^-(aq)$$

藍色

利用反應商數的概念,解釋若在以上體系中進行下列步驟,會否有任何顏色變化:

- (a) 加入氫氯酸;
- (b) 加入硝酸銀溶液。
- 13. 煙霧中含有會導致刺眼感覺的甲醛 (CH_2O) 。甲醛是由臭氧 (O_3) 與大氣中的乙烯 (C_2H_4) 反應而生成,如以下方程式所示:

$$2C_2H_4(g) + 2O_3(g) \Longrightarrow 4CH_2O(g) + O_2(g) \quad \Delta H < 0$$

- (a) 寫出反應的平衡常數 (K_c) 表示式。
- (b) 寫出反應的反應商數 (Q_c) 表示式。
- (c) 寫出下列變化會使反應商數 (Q_c) 大於還是小於平衡常數 (K_c),並建議以上平衡反應的平衡 位置的移動方向。
 - (i) [C₂H₄(g)]增加
 - (ii) [O₃(g)]增加
 - (iii) [O₂(g)]增加
- 14. 當氧進入血液時,會達至以下平衡。

$$Hb(aq) + O_2(aq) \Longrightarrow HbO_2(aq)$$

血紅蛋白 氧合血紅蛋白

在高原的空氣中氧的含量較低,因此有些人可能會患上高山症,而高山症源於血液中氧合血紅蛋白的濃度減少所致。

- (a) 寫出以上在血液中反應的平衡常數表示式。
- (b) 解釋為甚麼人處於高原時,身體會生成較少氫合血紅蛋白。
- (c) 若要治療高山症的病人,他們需要接受純氧。解釋這個治療方法的原理。

)15. 鍍銅是指在物件表面鍍上一層薄薄的銅的電解過程。電鍍溶液含有氰化銅(I)、氰化鉀和氫氧化鉀。為了確保電鍍的質素,過程中需使用低濃度的銅(I) 離子,而且濃度要維持不變。電鍍溶液會達至以下平衡。

$$Cu^{+}(aq) + 4CN^{-}(aq) \rightleftharpoons Cu(CN)_{4}^{3-}(aq) \qquad K_{1} = 1 \times 10^{28} \text{ mol}^{-4} \text{ dm}^{12}$$

- (a) 寫出在物件表面上鍍銅的一個目的。
- (b) 寫出電解池的陰極上所發生反應的半方程式。
- (c) 評論K₁的數值,並寫出它在電鍍過程中的重要性。
- (d) 氰離子與水反應, 生成毒性很高的氰化氫。

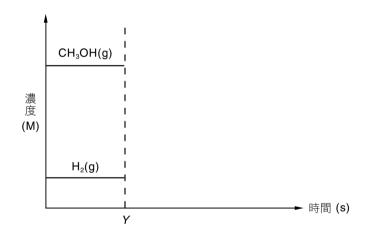
$$CN^{-}(aq) + H_2O(\ell) \Longrightarrow HCN(aq) + OH^{-}(aq)$$

解釋加入氫氧化鉀如何可防止在過程中生成HCN。

16. 以下反應在密封容器內達至平衡。

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

- (a) 寫出以上體系是均相平衡還是多相平衡,並加以解釋。
- (b) 若體系的壓強下降,預測平衡位置的移動方向。
- (c) 部分 $CH_3OH(g)$ 於時間Y時從容器中除去。在以下圖表中,略繪 $CH_3OH(g)$ 和 $H_2(g)$ 的濃度隨時間的變化,直至達至新的平衡。



17. 在825°C下,以下反應平衡常數 (K_c)的數值是4.2×10⁻⁶。

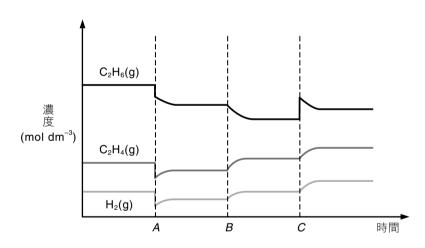
$$2H_2S(g) \Longrightarrow 2H_2(g) + S_2(g)$$

- (a) 寫出該可逆反應處於平衡狀態時的兩個性質。
- (b) 寫出該反應的平衡常數表示式。
- (c) 該反應平衡常數的單位是甚麼?
- (d) 把0.2 mol的 $H_2S(g)$ 放入 1 dm^3 容器內,以達至平衡。 $H_2(g)$ 和 $S_2(g)$ 的平衡濃度分別是多少?
- (e) 預測在某特定温度下,壓強上升會令平衡位置有何變化,並加以解釋。

18. 聚苯乙烯是一種常用於日常生活的聚合物。它的單體苯乙烯可在低壓及有催化劑的情況下,從乙基苯加熱而生成。

- (a) 寫出生成聚苯乙烯的聚合作用的方程式。
- (b) 建議聚苯乙烯在日常生活的一項用途。
- (c) 解釋為甚麼所用的催化劑呈粉狀。
- (d) 解釋為甚麼以上平衡反應較適合於下列條件下進行:
 - (i) 高温
 - (ii) 低壓
- 計19. 推定在各時間A、B和C時,以下平衡體系中發生的變化。

$$C_2H_4(g) + H_2(g) \rightleftharpoons C_2H_6(g)$$
 $\Delta H = 負數$



)20. 蒸汽-甲烷重整作用是一個工業生產氫的方法。由於催化劑可以相同的程度來催化正向和逆向反應,故過程中會使用催化劑以縮短達至平衡的時間。

$$CH_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g)$$

- (a) 寫出反應的平衡常數 (K。) 表示式。
- (b) 寫出催化劑對平衡常數 (K_c) 的影響。
- (c) 已知温度上升會增加CO和H2的產量。
 - (i) 寫出正向反應是放熱的還是吸熱的,並加以解釋。
 - (ii) 推定温度上升對平衡常數 (K_c) 的影響。
- (d) 解釋下列情況對氫產量的影響:
 - (i) 在某特定温度下,平衡體系壓強上升;
 - (ii) 在體系中除去一氧化碳。

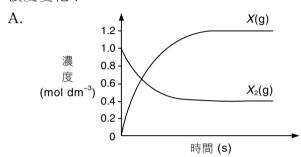
公開試題目

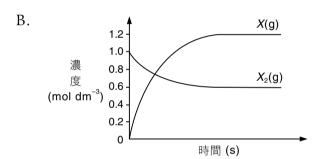
多項選擇題

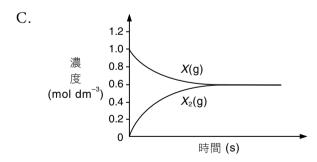
)1. 在一個1 dm^3 的密閉容器內,1摩爾的 $X_2(g)$ 進行分解生成X(g)直到達至平衡。有關的化學方程式如下所示:

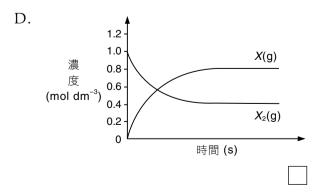
$$X_2(g) \Longrightarrow 2X(g)$$

下列哪坐標圖正確顯示 $X_2(g)$ 和X(g)隨時間的 濃度變化?









(HKDSE 2012 卷一甲部 第27題)

指示: 題2和題3參照下列可逆反應:

$$X_2(g) + 3Y_2(g) \Longrightarrow 2XY_3(g)$$

2. 把 $X_2(g)$ 和 $Y_2(g)$ 的一個混合物,注入一個維持在固定温度的2.0 dm³密閉容器內。當這體系達至平衡時,容器內有0.4 mol的 $X_2(g)$ 、0.3 mol的 $Y_2(g)$ 和0.4 mol的 $XY_3(g)$ 。

下列何者是上述反應在這温度下K_c的數值?

(HKDSE 2013 卷一甲部 第27題)

3. 下列組合,何者顯示催化劑對正向反應速率、逆向反應速率,以及XY₃(g)的產率的效應?

	<u>正向反應</u> <u>速率</u>	<u>逆向反應</u> <u>速率</u>	$XY_3(g)$ 的 產率
A.	增加	增加	不變
В.	不變	不變	不變
C.	增加	減少	增加
D.	減少	增加	減少

(HKDSE 2013 卷一甲部 第28題)

4. 下列各反應體系分別在密封的容器內達至平 衡。在某特定温度下,若容器的體積減少一 半,會使下列哪個反應的濃度分數(反應商 數)立即出現最大的百分比變化?

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

B.
$$H_2(g) + I_2(g) \Longrightarrow 2HI(g)$$

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

D. $CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$ (VCAA, VCE, Written examination 2, Section A, Q7, 2010)

5. 参看以下酸鹼指示劑溶液中的可逆反應:

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

顏色A

顏色E

把氫氧化鈉溶液加入該酸鹼指示劑中,會產 生甚麼變化?

- A. 平衡位置向右移動,顏色B會較明顯。
- B. 平衡位置向左移動,顏色B會較明顯。
- C. 平衡位置向右移動,顏色A會較明顯。
- D. 平衡位置向左移動,顏色A會較明顯。

(IB, IBO, Higher level, Paper 1, TZ1, Q29, MAY 2010)

eta6. 根據以下方程式,麻醉劑氧化亞氮 (N_2O) 會分解成 N_2O 、 N_2 和 O_2 的平衡混合物。

$$2N_2O(g) \Longrightarrow 2N_2(g) + O_2(g)$$

在25°C下, $K = 7.3 \times 10^{37} M$;而在40°C下, $K = 2.7 \times 10^{36} M$ 。由此可得出甚麼合理的結論?

- A. 在25°C下, N_2 和 O_2 的平衡濃度相等。
- B. 在25°C下, N₂O的平衡濃度較在40°C 下的高。
- C. 在較高的温度下 N_2O 的穩定性較低。
- D. 正向反應是放熱反應。

(VCAA, VCE, Written examination 2, Section A, Q6, 2009)

判斷理由題

(請參看封底內頁的答題指示。)

第一敍述句

第二敍述句

7. 增加反應温度可增加 所有可逆化學反應的 產率。 增加反應温度可縮短 所有可逆化學反應達 至平衡所需的時間。

(HKDSE 2012 卷一甲部 第35題)

結構題

8. $Y_2(g)$ 按以下反應式進行分解:

$$Y_2(g) \Longrightarrow 2Y(g) \quad \Delta H > 0$$

在兩個研習 $Y_2(g)$ 分解的實驗裏,分別把不同量的 $Y_2(g)$ 和Y(g)注入一個維持在恆温的 2 dm^3 密閉容器中。下表列出在容器中 $Y_2(g)$ 和Y(g)的起始摩爾數,以及經過一日後容器中Y(g)的摩爾數。

声 段	起始摩爾數		經過一日後Y(g)	
實驗	$Y_2(g)$	Y(g)	的摩爾數	
I	4	0	2	
II	0	4	$\frac{4}{3}$	

(a) 該體系的反應商數Q的表示式如下:

$$Q = \frac{[Y(g)]^2}{[Y_2(g)]}$$

就每一實驗,計算經過一日後這體系的 Q。從計算結果,推定該體系經過一日 後是否已達至平衡。 (5分)

- (b) 考慮實驗I。
 - (i) 如果上述容器的體積由 2 dm^3 下降至 1 dm^3 ,Y(g)的產率會否因此改變?請解釋。
 - (ii) 升高温度對Y(g)的產率有何影響? 請解釋。

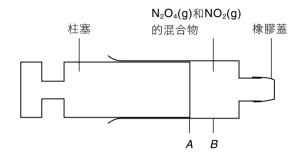
(4分)

(HKASLE 2005 乙部 第8題(b)部)

X 化學平衡

)9. 下圖所示的氣筒盛有在室温下達至平衡的 N₂O₄(g)和NO₂(g)的淡棕色混合物:

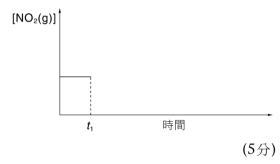
$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$
 無色 深棕色



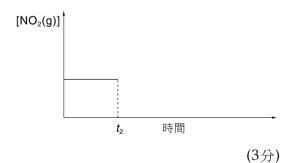
在下列每一情況中,寫出預期的觀察及其原因,並在所提供的坐標圖上繪出直至達到新的平衡時,混合物內 $NO_2(g)$ 濃度的預期變化。

(a) 在時間 t_1 時,把柱塞快速地由A點推至B點而混合物的温度保持不變。

坐標圖



(b) 在時間 t_2 時,把一些 $N_2O_4(g)$ 注入氣筒 內而混合物的體積及温度均保持不變。 坐標圖



(HKASLE 2006 甲部 第4題)

10. 在873 K,下列反應的平衡常數Kc是 0.20 dm³ mol⁻¹。

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

把2.0 mol CO(g)、1.0 mol $Cl_2(g)$ 和 0.5 mol $COCl_2(g)$ 的混合物注入經抽真空的 4.0 dm^3 容器中,並維持在873 K。

- (a) 計算反應開始時,這體系的反應商數, 然後判斷該反應會循哪一方向進行才可 達至平衡。 (3分)
- (b) 計算在873 K達至平衡時COCl₂(g)的濃度。 (3分)
- (c) 如果把這體系的温度維持在873 K而令容器的體積下降,請討論對Kc的影響。 (1分)

(HKASLE 2007 卷二 第4題(a)部)

11. 參照以下方程式所代表的反應:

Fe³⁺(aq) + SCN⁻(aq) \rightleftharpoons Fe(SCN)²⁺(aq) 在一實驗中,25.0 cm³的0.010MFe₂(SO₄)₃(aq) 和25.0 cm³的0.010 M KSCN(aq)於室温下 在一個錐形瓶中混合,並達至平衡。

(a) 當達至平衡時,混合物中的 $Fe(SCN)^{2+}(aq)$ 的濃度是0.0043 M。計算在室温下以上反應的平衡常數 K_c 。

(3分)

(b) 已知FePO₄(s)不溶於水。提出如果把 Na₃PO₄(s)加進這平衡混合物中對平衡 位置會有甚麼影響。 (1分)

(HKDSE 2012 卷一乙部 第13題)

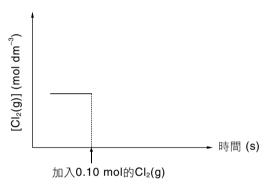
12. 在250°C時,以下反應的平衡常數K_c是 25 mol⁻¹dm³。

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

- 一個維持於250°C的10.0 dm³密封容器,起始時含0.50 mol的PCl₃(g)、0.20 mol的Cl₂(g)和0.40 mol的PCl₅(g)。
- (a) 計算在起始條件下,這體系的反應商 數。預測並解釋在起始條件下,正向反 應速率抑或逆向反應速率會較大。

(2分)

- (b) 計算當這體系在250°C達至平衡時 $Cl_2(g)$ 的濃度。 (2分)
- (c) 把0.10 mol的 $\text{Cl}_2(g)$ 加入(b)的平衡混合物中。在下圖,草繪直至到達新的平衡時, $\text{Cl}_2(g)$ 濃度隨時間的變化。(假設在整個過程,這體系的温度維持於 250°C 。)



(HKDSE 2013 卷一乙部 第12題)

13. 考慮 $H_2(g)$ 和 $I_2(g)$ 在升高温度時的反應:

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

把4.0 mol $H_2(g)$ 和2.0 mol $I_2(g)$ 注入經抽真空的5.0 dm³密閉容器中,並維持在713 K。

- (a) 已知在713 K時這反應的平衡常數 K_c 為 50,分別計算在上述平衡混合物中 $H_2(g)$ 、 $I_2(g)$ 和HI(g)的濃度(以 $mol\ dm^{-3}$ 為單位)。 (4分)
- (b) 推定下列各項變化對平衡混合物中 HI(g)的摩爾數的影響。
 - (i) 若容器的體積減少至2.5 dm³
 - (ii) 若所用H₂(g)和I₂(g)的起始摩爾數 均為4.0

(在每一分題中,可假設其餘條件均保持不變;不需要計算。)

(3分)

(HKASLE 2008 卷二 第4題(a)部)

14. 以下反應在375°C下於1.00 dm³的密閉容器 內進行。

$$Cl_2(g) + SO_2(g) \Longrightarrow SO_2Cl_2(g)$$

 $\Delta H^{\circ} = -84.5 \text{ kJ}$

- (a) 推定反應的平衡常數 (K_c) 表示式。 (1分)
- (b) 若反應的温度變為300°C,預測SO₂Cl₂ 的平衡濃度及K_c的數值會上升還是下 降,並就每項加以解釋。 (3分)
- (c) 若容器的體積變為 1.50 dm^3 ,預測 SO_2Cl_2 的平衡濃度及 K_c 的數值會增加還 是減少,並就每項加以解釋。 (3分)
- (d) 提出在固定的壓強和温度下,加入催化 劑如何影響SO₂Cl₂的平衡濃度,並加以 解釋。 (2分)

(IB, IBO, Standard level, Paper 2, Q5(a), NOV 2009)

15. 從乙酸與乙醇反應,以製備乙酸乙酯的過程 是可逆反應,該體系可達至平衡。

$$CH_3COOH + C_2H_5OH$$

 $CH_3COOC_2H_5 + H_2O$

- (a) 寫出該平衡體系的K。表示式。 (1分)
- (b) 某學生把8.0 mol乙酸和14.5 mol乙醇 混合,再加入少量氫氯酸作為反應的催 化劑。讓反應混合物靜置兩天以達至平 衡後,混合物中剩餘1.5 mol乙酸。
 - (i) 完成下表以顯示混合物的平衡成分。

成分	CH ₃ COOH	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ COOC ₂ H ₅	H ₂ O
起始分量 (mol)	8.0	14.5	0.0	0.0
平衡分量 (mol)				

(ii) 平衡混合物的總體積是1.0 dm³, 計算K_c的數值 (以兩個有效數字來 表示)。

(4分)

- (c) 在某特定温度下,該學生把更多乙醇加入混合物中。
 - (i) 寫出加入乙醇對混合物的平衡成分 的影響,並加以解釋。
 - (ii) K。的數值有甚麼變化?

(2分)

- (d) 若酸催化劑的濃度增加,平衡位置會有 甚麼變化?試加以解釋。 (2分)
- (e) 該學生在較高的温度下重複實驗,發現 K_c的數值下降。解釋這結果提供了甚麼 有關反應的額外資料。 (2分)

(OCR, Advanced GCE, 2816/01, Q1, JUN 2010)

16. 甲烷與蒸汽反應,生成氫,而在很多工業過程中都會使用氫。在特定的條件下,甲烷與蒸汽會產生以下反應。

$$CH_4(g) + 2H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + 4H_2(g)$$

 $\Delta H^{\circ} = +165 \text{ kJ mol}^{-1}$

- (a) 反應開始時,把1.0 mol的甲烷和2.0 mol的蒸汽加入容器內,並加入催化劑一起加熱,直至達至平衡。結果顯示平衡混合物含有0.25 mol的二氧化碳。
 - (i) 計算平衡混合物中甲烷、水蒸汽和 氫的分量(以摩爾為單位)。
 - (ii) 容器的體積為5.0 dm³,計算平衡 混合物中甲烷的濃度 (以mol dm⁻³ 為單位)。

(4分)

(b) 下表顯示在温度T下,另一平衡混合物中各氣體於相同容器內的平衡濃度。

氣體	CH ₄ (g)	H ₂ O(g)	CO ₂ (g)	H ₂ (g)
濃度 (mol dm ⁻³)	0.10	0.48	0.15	0.25

- (i) 寫出該反應的平衡常數 (K_c) 表示式。
- (ii) 計算 K_c 在温度T下的數值,並寫出它的單位。

(4分)

- (c) 把在(b)部所得的混合物放入體積大於 5.0 dm³的容器內,在温度T下讓體系達 至平衡。寫出該變化對氫分量的影響, 並加以解釋。 (3分)
- (d) 當在(b)部所得的混合物在較低温度下 達至平衡時,氫的分量會減少,試加以 解釋。 (2分)

(AQA, GCEAL, Unit 4, Q2, JUN 2010)

17. 以下體系在温度T下於密閉容器中達至動態平衡。

 $P(g) + 2Q(g) \rightleftharpoons 2R(g) \Delta H^{\circ} = 50 \text{ kJ mol}^{-1}$ 當平衡混合物中含有3.82 mol的P和5.24 mol 的R時,反應的 K_c 為68.0 mol $^{-1}$ dm 3 。

- (a) 寫出動態平衡的定義。 (2分)
- (b) 寫出該反應的K_c表示式。 (1分)
- (c) 容器的體積為 10.0 dm^3 ,計算平衡混合物中Q的濃度 (以 $mol \text{ dm}^{-3}$ 為單位)。
 (4分)
- (d) 若其他因素維持不變,寫出温度上升對 P的平衡分量的影響(如有)。 (1分)
- (e) 若其他因素維持不變,寫出使用體積較大的容器對P的平衡分量的影響(如有)。 (1分)
- (f) 若其他因素維持不變,寫出温度上升對 K_c的數值的影響(如有)。 (1分)
- (g) 若其他因素維持不變,寫出使用體積較 大的容器對K_c的數值的影響(如有)。 (1分)

(h) 推定在温度T下以下反應平衡常數的數值。

$$2R(g) \Longrightarrow P(g) + 2Q(g)$$
 (1分) (AQA, GCEAL, Unit 4, Q3, JUN 2011)

18. 在高温和有催化劑的情況下,三氧化硫會分解,如以下方程式所示:

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

 $\Delta H^{\circ} = +196 \text{ kJ mol}^{-1}$

- (a) 在某實驗中,把8.0 mol三氧化硫放入 12.0 dm^3 的容器內,讓反應達至平衡。 在温度 T_1 下,平衡混合物中含有1.4 mol 氧。
 - (i) 計算平衡混合物中三氧化硫和二氧 化硫的分量(以摩爾為單位)。
 - (ii) 寫出該平衡的平衡常數 (K_c) 表示式。
 - (iii) 推定該平衡中Kc的單位。
 - (iv) 計算該平衡中 K_c 在温度 T_1 下的數值。

(若你未能完成在(a)(i)部的運算,你應假設平衡混合物中三氧化硫和二氧化硫的分量分別是5.8 mol和2.1 mol。然而,這並不是正確的數值。)

(7分)

- (b) 在相同温度下,利用相同分量的三氧化 硫於較大的容器中重複實驗。寫出該變 化對下列各項的影響(如有):
 - (i) 新的平衡混合物中氧的分量 (以摩爾為單位);
 - (ii) K_c的數值。

(2分)

(c) 利用相同容器在温度 T_2 下重複實驗, K_c 的數值較在温度 T_1 下的小。寫出哪個温度 $(T_1$ 還是 T_2)較高,試加以解釋。

(3分)

(AQA, GCEAL, Unit 4, Q2, JAN 2012)

19. 某化學家研習以下的平衡體系。

$$2CO(g) + 2NO(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g) + N_2(g)$$

 $\Delta H = -788 \text{ kJ mol}^{-1}$

該化學家把0.46 mol的CO和0.45 mol的NO混合,然後讓混合物在定温下達至平衡。某學生對該平衡混合物作分析,發現當中剩餘0.25 mol的NO。而平衡混合物的總體積為1.0 dm³。

- (a) (i) 寫出該平衡的(K_c)表示式。
 - (ii) 該平衡常數的單位是甚麼?
 - (iii) 求該平衡混合物的K_c的數值,並列 明所有計算步驟。
 - (iv) 從所得K_c的數值,可得知甚麼有關 該實驗的平衡位置?

(7分)

- (b) 化學家提升平衡混合物的温度和壓強, 讓混合物再次達至平衡。
 - (i) K_c的數值會否產生任何變化?試加 以解釋。
 - (ii) 解釋為甚麼温度和壓強改變後,平 衡位置的變化會難以預測。

(3分)

(OCR, AGCE, Chemistry A, F325, Q2, JUN 2012)