

第40章

平衡常數

- 40.1 平衡定律和平衡常數
- 40.2 均相平衡和多相平衡的平衡常數
- 40.3 平衡常數所提供的資料
- 40.4 涉及平衡常數的計算
- 40.5 從實驗中求出平衡常數

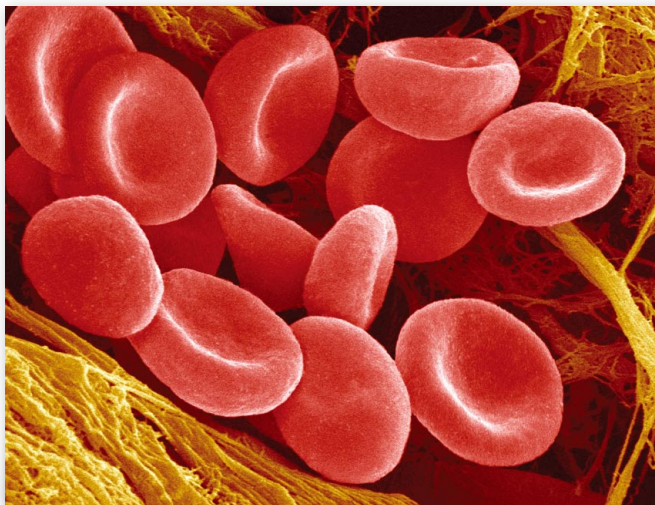
學習目標

研習本章後，你應能：

- 40.1-40.3 • 利用數學式表達在平衡時反應物和生成物濃度與平衡常數 (K_c) 的關係；
 - 認識平衡體系中 K_c 值在定溫下為一常數 (與反應物及生成物的濃度變化無關)；
- 40.4 • 進行涉及方程式的化學計量和平衡常數 (K_c) 的計算 (利用平衡濃度找出 K_c 或利用 K_c 找出平衡濃度)；
- 40.5 • 進行實驗以求出 K_c 。

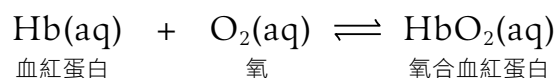
第 40 章 平衡常數

血紅蛋白是紅血球中的一種蛋白質，它負責由肺部運送氧至身體各個組織。



紅血球 (× 5000)

氧與血紅蛋白的結合是可逆反應，該反應可用以下方程式來表示：



若上述反應達至平衡，生成物和反應物的濃度比例 $\left(\frac{[\text{HbO}_2(\text{aq})]}{[\text{Hb}(\text{aq})][\text{O}_2(\text{aq})]} \right)$ 是一個常數。

試想想...

- 當反應達至平衡時，生成物和反應物的濃度比例受甚麼因素影響？
- 若反應物或生成物的起始濃度改變，這個比例會否維持不變？

研習本章後，你應能回答以上問題。

40.1 平衡定律和平衡常數

平衡定律和平衡常數的定義

我們在前一章學習過，當反應達至平衡時，反應物和生成物的濃度均會維持不變。

十九世紀中期，兩位挪威化學家古得柏和偉格（圖40.1）詳細研究了很多平衡體系。他們發現可逆反應在平衡狀態下，反應物和生成物的濃度比例在某特定溫度下是一個常數，而且不會受反應物的起始濃度所影響。

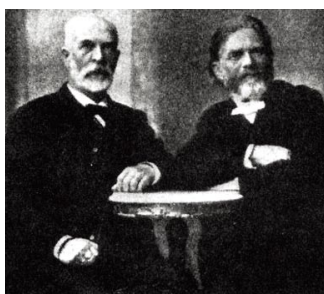
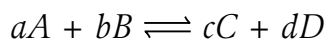


圖40.1 古得柏 (1836 – 1902) (左) 和偉格 (1833 – 1900) (右)。

參看以下反應，



當反應達至平衡時，反應物和生成物的濃度關係表示式是：

$$K_c = \frac{[C]_{\text{eqm}}^c [D]_{\text{eqm}}^d}{[A]_{\text{eqm}}^a [B]_{\text{eqm}}^b}$$

當中

- $[A]_{\text{eqm}}$ 、 $[B]_{\text{eqm}}$ 、 $[C]_{\text{eqm}}$ 和 $[D]_{\text{eqm}}$ 代表括號中物質的平衡濃度 (以 mol dm^{-3} 為單位) (即物質在平衡時的濃度)。
- a 、 b 、 c 和 d 是平衡化學方程式中的計量系數。



學習錦囊

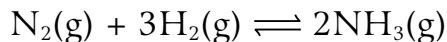
若溫度維持不變，平衡常數的數值也不會改變。

上述表示式表達了反應物和生成物的平衡濃度的關係，這個關係稱之為**平衡定律**。

K_c 則代表**平衡常數**，從表示式所見，它是一個比例，這個比例在某特定溫度下是一個常數。英文字母K右邊的下標「c」是「concentration」的縮寫，它代表平衡常數是以濃度來表示的。

平衡常數在某特定溫度下是固定值

參看以下反應：



在500°C利用不同起始濃度的 N_2 、 H_2 和 NH_3 進行三次實驗，讓混合物反應，直至達至平衡。要計算 K_c 的數值，我們只需把對應的平衡濃度代入以下表示式中：

$$K_c = \frac{[\text{NH}_3(\text{g})]_{\text{eqm}}^2}{[\text{N}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}^3}$$

實驗	起始濃度 (mol dm^{-3})	平衡濃度 (mol dm^{-3})	$K_c = \frac{[\text{NH}_3(\text{g})]_{\text{eqm}}^2}{[\text{N}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}^3}$
1	$[\text{N}_2(\text{g})] = 1.00$ $[\text{H}_2(\text{g})] = 1.00$ $[\text{NH}_3(\text{g})] = 0.00$	$[\text{N}_2(\text{g})]_{\text{eqm}} = 0.92$ $[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}} = 0.76$ $[\text{NH}_3(\text{g})]_{\text{eqm}} = 0.16$	$K_c = \frac{(0.16 \text{ mol dm}^{-3})^2}{(0.92 \text{ mol dm}^{-3})(0.76 \text{ mol dm}^{-3})^3}$ $= 0.06 \text{ mol}^{-2} \text{ dm}^6$
2	$[\text{N}_2(\text{g})] = 0.00$ $[\text{H}_2(\text{g})] = 0.00$ $[\text{NH}_3(\text{g})] = 1.00$	$[\text{N}_2(\text{g})]_{\text{eqm}} = 0.40$ $[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}} = 1.20$ $[\text{NH}_3(\text{g})]_{\text{eqm}} = 0.20$	$K_c = 0.06 \text{ mol}^{-2} \text{ dm}^6$
3	$[\text{N}_2(\text{g})] = 2.00$ $[\text{H}_2(\text{g})] = 1.00$ $[\text{NH}_3(\text{g})] = 3.00$	$[\text{N}_2(\text{g})]_{\text{eqm}} = 2.59$ $[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}} = 2.77$ $[\text{NH}_3(\text{g})]_{\text{eqm}} = 1.82$	$K_c = 0.06 \text{ mol}^{-2} \text{ dm}^6$

表40.1 在500°C下， $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ 的反應中，反應物和生成物的不同起始濃度和平衡濃度。(包括計算所得的 K_c 值。)

如表40.1所示，三個實驗中 N_2 、 H_2 和 NH_3 的起始濃度都不同，所得出的三組 N_2 、 H_2 和 NH_3 的平衡濃度也不同。然而，實驗結果卻顯示， K_c 的數值在某特定溫度下是一個常數，並不受物質的起始濃度所影響。

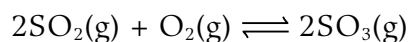
課文重點

在某特定溫度下，反應的平衡常數 (K_c) 的數值是一個常數，並不受反應物和生成物的起始濃度所影響。

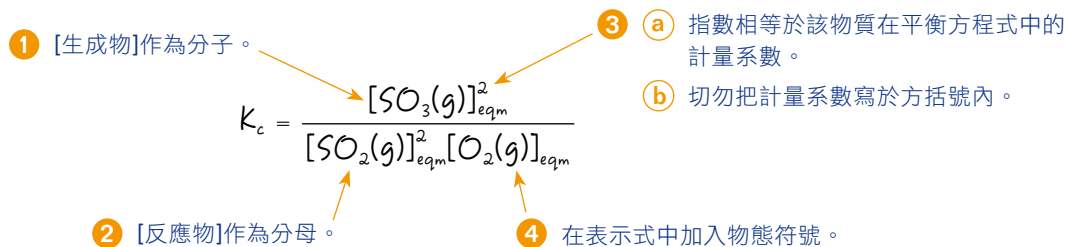
技巧提示40.1

撰寫平衡常數 (K_c) 表示式

考慮以下反應：



反應的平衡常數 (K_c) 表示式可寫成：



例題40.1

寫出平衡常數表示式

寫出下列反應的平衡常數 (K_c) 表示式：

- (a) $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$
 (b) $\text{P}_4\text{O}_{10}(\text{g}) + 6\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons 10\text{POCl}_3(\text{g})$
 (c) $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{SCN}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{FeSCN}^{2+}(\text{aq})$

題解

$$(a) K_c = \frac{[\text{NO}(\text{g})]_{\text{eqm}}^2}{[\text{N}_2(\text{g})]_{\text{eqm}} [\text{O}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}$$

$$(b) K_c = \frac{[\text{POCl}_3(\text{g})]_{\text{eqm}}^{10}}{[\text{P}_4\text{O}_{10}(\text{g})]_{\text{eqm}} [\text{PCl}_5(\text{g})]_{\text{eqm}}^6}$$

$$(c) K_c = \frac{[\text{FeSCN}^{2+}(\text{aq})]_{\text{eqm}}}{[\text{Fe}^{3+}(\text{aq})]_{\text{eqm}} [\text{SCN}^{-}(\text{aq})]_{\text{eqm}}}$$

自我測試40.1

寫出下列反應的平衡常數 (K_c) 表示式：

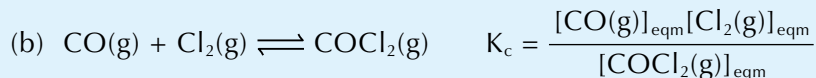
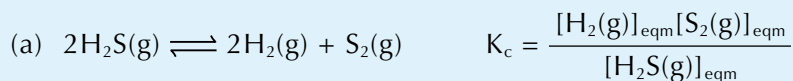
- (a) $2\text{NO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
 (b) $2\text{SO}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CS}_2(\text{g}) + 4\text{O}_2(\text{g})$
 (c) $\text{CH}_3\text{COOH}(\ell) + \text{CH}_3\text{OH}(\ell) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOCH}_3(\ell) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$

可試做章節練習第8題



課堂練習40.1

1. 找出下列各反應平衡常數表示式的錯處，並寫出正確的表示式。



2. 寫出下列平衡常數表示式所代表的平衡化學方程式。

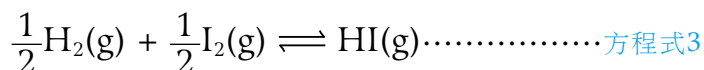
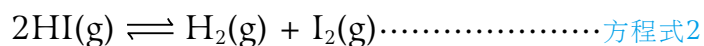
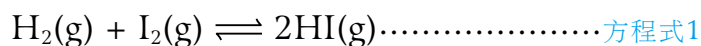
$$(a) \quad K_c = \frac{[\text{NO}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}^2}{[\text{NO}(\text{g})]_{\text{eqm}}^2[\text{O}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}$$

$$(b) \quad K_c = \frac{[\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}^3}{[\text{CH}_4(\text{g})]_{\text{eqm}}^2}$$

平衡常數 (K_c) 與化學方程式的關係

平衡反應的化學方程式可寫成不同的形式，而平衡常數 (K_c) 表示式則必須根據某**特定的方程式**來撰寫。

例如，下列三條化學方程式均可用來表示涉及 $\text{H}_2(\text{g})$ 、 $\text{I}_2(\text{g})$ 和 $\text{HI}(\text{g})$ 的平衡反應：



方程式1、2 和 3的平衡常數 (K_c 、 K_c' 和 K_c'') 表示式分別可寫成：

$$\text{方程式1} : K_c = \frac{[\text{HI}(\text{g})]_{\text{eqm}}^2}{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}[\text{I}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}$$

$$\text{方程式2} : K_c' = \frac{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}[\text{I}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}{[\text{HI}(\text{g})]_{\text{eqm}}^2}$$

$$\text{方程式3} : K_c'' = \frac{[\text{HI}(\text{g})]_{\text{eqm}}}{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}^{\frac{1}{2}}[\text{I}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}^{\frac{1}{2}}}$$

**學習錦囊**

逆向反應的平衡常數是正向反應的平衡常數的倒數。

把方程式1逆轉寫出，便能得出方程式2，而 K_c' 便是 K_c 的倒數。

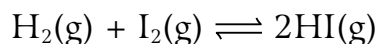
$$\text{即 } K_c' = \frac{1}{K_c}$$

另外，把方程式1除以2，便能得出方程式3，而 K_c'' 便是 K_c 的平方根。

$$\text{即 } K_c'' = \sqrt{K_c}$$

平衡常數的單位

平衡常數 (K_c) 的單位取決於表示式中各物質濃度的次方。以 H_2 、 I_2 和 HI 的體系為例，濃度單位在 K_c 表示式中互相抵消。因此，該反應的 K_c 沒有單位。



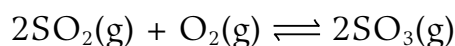
$$K_c = \frac{[HI(g)]_{\text{eqm}}^2}{[H_2(g)]_{\text{eqm}}[I_2(g)]_{\text{eqm}}}$$

$$K_c \text{ 的單位是 } \frac{(\text{mol dm}^{-3})^2}{(\text{mol dm}^{-3})(\text{mol dm}^{-3})} \quad (\therefore \text{沒有單位})$$

**學習錦囊**

我們不應背誦任何反應的 K_c 單位，而是應該自行運算出來。

考慮另一個例子：

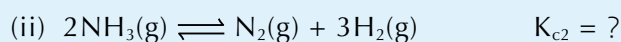
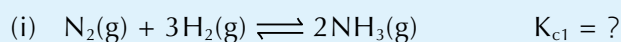


$$K_c = \frac{[SO_3(g)]_{\text{eqm}}^2}{[SO_2(g)]_{\text{eqm}}^2[O_2(g)]_{\text{eqm}}}$$

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

**課堂練習40.2**

(a) 寫出下列反應的平衡常數 (K_{c1} 和 K_{c2}) 表示式：



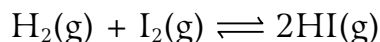
(b) K_{c1} 和 K_{c2} 在數值上有甚麼關係？

(c) K_{c1} 和 K_{c2} 的單位分別是甚麼？

40.2 均相平衡和多相平衡的平衡常數

均相平衡

當平衡體系中的所有反應物和生成物是**同相**時，該體系稱為**均相平衡**。由於 H_2 、 I_2 和 HI 體系中所有物質都是氣相，故它是均相平衡的例子。



上述反應平衡常數表示式如下所示：

$$K_c = \frac{[\text{HI}(\text{g})]_{\text{eqm}}^2}{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}[\text{I}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}$$

多相平衡

當平衡體系中有**兩個或以上的相**存在時，該體系稱為**多相平衡**。多相平衡的平衡常數表示式通常需作較詳盡的考慮。

以固態碳酸氫鈉的熱分解作用為例。在 200°C 下，固態碳酸氫鈉很快分解為固態碳酸鈉、二氧化碳和蒸汽。該反應是可逆的，在密封容器中會達至平衡。這個平衡體系中涉及的物質是不同相的(圖40.2)。



學習錦囊

不同的相有明顯的相界分隔。

例如：一種固體和一種氣體是兩種相



然而，不同的相並不一定表示不同的物理狀態。

例如：兩種不互溶的液體也是兩種相

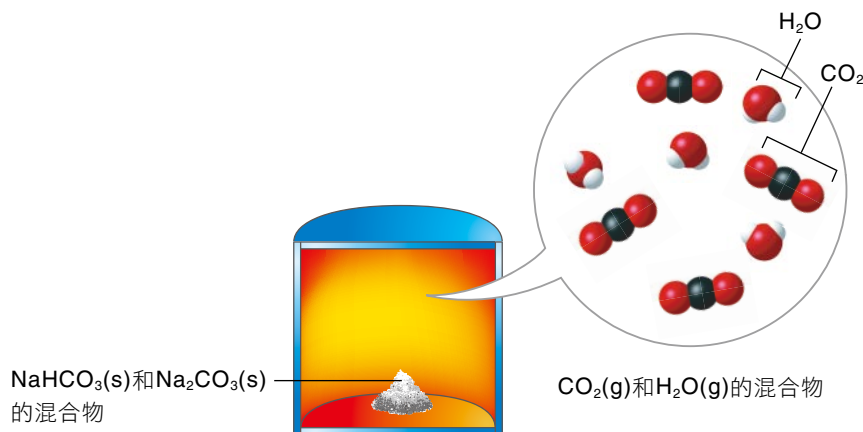
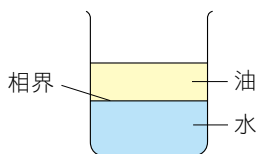


圖40.2 $\text{NaHCO}_3(\text{s})$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s})$ 、 $\text{CO}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的混合物形成了多相平衡的體系。

這反應的平衡常數是

$$K_c' = \frac{[\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s})]_{\text{eqm}}[\text{CO}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}[\text{H}_2\text{O}(\text{g})]_{\text{eqm}}}{[\text{NaHCO}_3(\text{s})]_{\text{eqm}}^2}$$

(留意平衡常數暫以 K_c' 表示，稍後你便會明白其中的原因。)

純淨固體的「濃度」是一個常數，不會受物質的分量所影響。因此，在上述 K_c' 表示式中， $[\text{NaHCO}_3(\text{s})]_{\text{eqm}}$ 和 $[\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s})]_{\text{eqm}}$ 可包含在平衡常數內，把表示式重新排列可得出：

$$K_c' \frac{[\text{NaHCO}_3(\text{s})]_{\text{eqm}}^2}{[\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s})]_{\text{eqm}}} = [\text{CO}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}[\text{H}_2\text{O}(\text{g})]_{\text{eqm}}$$

$$\text{或 } K_c = [\text{CO}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}[\text{H}_2\text{O}(\text{g})]_{\text{eqm}}$$

$$\left(\because \frac{[\text{NaHCO}_3(\text{s})]_{\text{eqm}}^2}{[\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s})]_{\text{eqm}}} \text{ 是一個常數。}\right)$$

同樣地，若在多相平衡中的反應物或生成物是純淨液體，該液體的「濃度」也是一個常數。因此，多相平衡中的純淨固體和液體的「濃度」並不包括在 K_c 表示式內。

試想想

純淨固體或液體的
「濃度」

$$= \frac{\text{物質的分量(mol)}}{\text{體積(dm}^3\text{)}}$$

你知道為何純淨固體
或液體的「濃度」是
一個常數嗎？

課文重點

當平衡體系中的所有反應物和生成物是同相時，該體系稱為均相平衡。

當平衡體系中有兩種或以上的相存在時，該體系稱為多相平衡。

課堂練習40.3

下列哪個或哪些反應是多相平衡？寫出這些多相平衡的平衡常數 (K_c) 表示式：

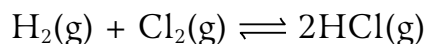
- $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$
- $\text{AgCl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$
- $\text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$
- $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq})$

40.3 平衡常數所提供的資料

平衡常數和反應的程度

平衡常數能顯示反應混合物的成分，亦能顯示有關化學反應的程度，即反應完成的進度。參看以下兩個例子：

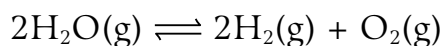
1. 在25°C下，氫與氯的反應：



$$K_c = \frac{[\text{HCl}(\text{g})]_{\text{eqm}}^2}{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}[\text{Cl}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}} = 4.4 \times 10^{32}$$

若 K_c 的數值非常大，這表示在平衡時大部分反應物轉變為生成物，即差不多所有反應物都進行反應，反應幾乎完成。

2. 在25°C下，水蒸氣的分解：



$$K_c = \frac{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}^2[\text{O}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}{[\text{H}_2\text{O}(\text{g})]_{\text{eqm}}^2} = 1.1 \times 10^{-81} \text{ mol dm}^{-3}$$

若 K_c 的數值非常小，這表示在平衡時只有極少量生成物，反應幾乎沒有進行過。

表40.2顯示平衡常數的大小與反應程度的關係。

K_c 的數值	反應程度
非常大	平衡時，大部分反應物轉變為生成物，即反應幾乎完成。
非常小	反應幾乎沒有進行過。平衡時，只有極少量生成物。

表40.2 平衡常數的數值與反應程度的關係。


課堂練習40.4

就下列各反應，按反應傾向完成的程度由低至高排列出來。

- (a) $4\text{NH}_3(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $K_c = 1.0 \times 10^{228} \text{ mol dm}^{-3}$
 (b) $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$ $K_c = 5.0 \times 10^{-31}$
 (c) $2\text{HF}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{F}_2(\text{g})$ $K_c = 1.0 \times 10^{-13}$
 (d) $2\text{NOCl}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$ $K_c = 4.7 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$

平衡常數和反應速率

我們能否從平衡常數 (K_c) 的數值得知化學反應的速率呢？參看在 25°C 下，氫與氧生成水蒸氣的反應：



平衡時，幾乎所有反應物都轉化為生成物。然而，在 25°C 下，反應卻進行得非常緩慢，需要很長的時間才達至平衡。雖然反應的 K_c 值非常大，但卻沒有顯示有關反應速率的資料。


課文重點

K_c 的數值只能顯示在平衡時反應的程度（即完成進度），但不能顯示反應速率的高低。

40.4 涉及平衡常數的計算


電子學習
翻轉課堂

從坐標圖求出反應的平衡常數



<https://e-aristo.hk/r/cm2fc40i01.c>

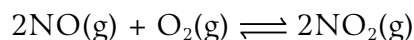
從反應物和生成物的平衡濃度求出平衡常數

若已知反應所涉及物質的平衡濃度，我們便可計算出反應的平衡常數 (K_c)。

 例題40.2

從反應物和生成物的平衡濃度求出平衡常數

考慮以下涉及兩種氮氧化物的平衡反應：



- (a) 寫出上述反應的平衡常數表示式。
 (b) 利用在25°C下的已知平衡濃度，計算平衡常數 (K_c)。

$$[\text{NO}(\text{g})]_{\text{eqm}} = 1.5 \times 10^{-11} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{O}_2(\text{g})]_{\text{eqm}} = 8.9 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{NO}_2(\text{g})]_{\text{eqm}} = 2.2 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$$

題解

$$(a) K_c = \frac{[\text{NO}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}^2}{[\text{NO}(\text{g})]_{\text{eqm}}^2 [\text{O}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}$$

- (b) 把平衡濃度的數值代入 K_c 表示式內，

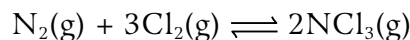
$$\begin{aligned} K_c &= \frac{(2.2 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3})^2}{(1.5 \times 10^{-11} \text{ mol dm}^{-3})^2 (8.9 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3})} \\ &= 2.4 \times 10^{12} \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

 試想想

為甚麼 K_c 的單位是 $\text{mol}^{-1} \text{ dm}^3$?

自我測試40.2

在某特定溫度下，氮氣和氯氣於一個 5 dm^3 的反應瓶中混合，並建立以下平衡反應：



平衡混合物含有 0.0070 mol 的 $\text{N}_2(\text{g})$ 、 0.0022 mol 的 $\text{Cl}_2(\text{g})$ 和 0.9500 mol 的 $\text{NCl}_3(\text{g})$ 。計算該反應的平衡常數。

 電子學習

翻轉課堂

從反應混合物的濃度變化求出平衡常數



<https://e-aristo.hk/r/cm2fc40i02.c>

從濃度的變化求出平衡常數

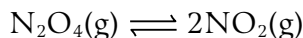
若已知某反應物的起始濃度和平衡濃度，我們便可計算出其他反應物和生成物的平衡濃度，從而計算出平衡常數。



解難策略40.1

從反應混合物的濃度變化求出平衡常數

無色氣體 N_2O_4 和棕色氣體 NO_2 按以下方程式達至平衡：



某學生在實驗中，把0.80 mol的 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 注入一個 5 dm^3 的容器內，讓 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 與 $\text{NO}_2(\text{g})$ 在某特定溫度下達至平衡。平衡時， $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 的濃度是 0.09 mol dm^{-3} 。計算該反應的 K_c 。

- 1 如有需要，計算起始濃度。

$$\begin{aligned} \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \text{ 的起始濃度} &= \frac{0.80 \text{ mol}}{5 \text{ dm}^3} \\ &= 0.16 \text{ mol dm}^{-3} \end{aligned}$$

- 2 寫出已知的起始濃度，並求出其他物質的濃度，從而建立一個起始濃度、濃度變化和平衡濃度的表格。

濃度 (mol dm^{-3})	$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$	
起始	0.16	0
變化	$0.09 - 0.16$ $= -0.07$ (平衡濃度 - 起始濃度)	$2 \times (+0.07)$ $= +0.14$ (1 mol的 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 分解，會生成2 mol的 $\text{NO}_2(\text{g})$ 。)
平衡	0.09	0.14

- 3 寫出反應的平衡常數表示式。

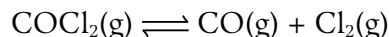
$$K_c = \frac{[\text{NO}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}^2}{[\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})]_{\text{eqm}}}$$

- 4 把平衡濃度代入平衡常數表示式內。

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{(0.14 \text{ mol dm}^{-3})^2}{0.09 \text{ mol dm}^{-3}} \\ &= 0.218 \text{ mol dm}^{-3} \end{aligned}$$

即時練習

在某特定溫度下，1.00 mol的光氣在 1 dm^3 的容器內進行分解，如以下方程式所示：

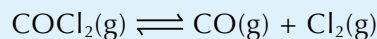


- (a) 平衡時， Cl_2 的濃度是 $0.028 \text{ mol dm}^{-3}$ ， CO 和 COCl_2 的濃度分別是多少？
(b) 計算反應的平衡常數。



課堂練習40.5

1. 如以下方程式所示， COCl_2 分解為 CO 和 Cl_2 ：



在 900°C 下， COCl_2 的平衡濃度是 $3.0 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$ ，而 CO 和 Cl_2 的平衡濃度均是 $5.0 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ 。計算上述反應的 K_c 值。

2. 在 450°C 下，某學生把 2.5 mol 的 $\text{H}_2(\text{g})$ 和 5.0 mol 的 $\text{I}_2(\text{g})$ 混合物注入一個 5 dm^3 的容器內，讓混合物生成 $\text{HI}(\text{g})$ ，並達至平衡。 $\text{HI}(\text{g})$ 的平衡濃度是 $0.934 \text{ mol dm}^{-3}$ 。計算該反應的平衡常數。

從起始濃度和平衡常數求出平衡濃度

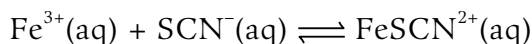
我們亦可利用平衡常數計算出反應物和生成物的平衡濃度。



解難策略40.2

從起始濃度和平衡常數求出平衡濃度

在某特定溫度下，以下反應的 K_c 值是 $137.5 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$ 。



某學生把 500 cm^3 的 $0.200 \text{ mol dm}^{-3} \text{ Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$ 與 500 cm^3 的 $0.200 \text{ mol dm}^{-3} \text{ KSCN}(\text{aq})$ 在上述特定溫度下混合。計算反應混合物中各物質的平衡濃度。

- ① 如有需要，計算起始濃度。

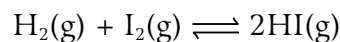
把兩種溶液混合後，

$$\begin{aligned} & \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) \text{ 的起始濃度} \\ &= 0.200 \text{ mol dm}^{-3} \times \frac{500}{1000} \text{ dm}^3 \div \frac{(500 + 500)}{1000} \text{ dm}^3 \\ &= 0.100 \text{ mol dm}^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{SCN}^{-}(\text{aq}) \text{ 的起始濃度} \\ &= 0.200 \text{ mol dm}^{-3} \times \frac{500}{1000} \text{ dm}^3 \div \frac{(500 + 500)}{1000} \text{ dm}^3 \\ &= 0.100 \text{ mol dm}^{-3} \end{aligned}$$

即時練習

在 450°C 下，以下反應的平衡常數是 50.0 。



某學生在實驗中把 0.15 mol H_2 和 0.15 mol I_2 注入一個 5 dm^3 的容器內，讓混合物在 450°C 下反應並達至平衡。計算各物質的平衡濃度。

續

- 2 建立一個起始濃度、濃度變化和平衡濃度的表格。

- 寫出起始濃度。
- 假設其中一種反應物的濃度變化為 x 。
- 根據方程式中的計量系數，寫出各物質的平衡濃度。

假設 $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ 的濃度變化為 $x \text{ mol dm}^{-3}$ 。

濃度 (mol dm^{-3})	$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{SCN}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{FeSCN}^{2+}(\text{aq})$		
起始	0.100	0.100	0
變化	$-x$	$-x$	$+x$
平衡	$0.100 - x$	$0.100 - x$	$0 + x = x$

- 3 寫出反應的平衡常數表示式。

$$K_c = \frac{[\text{FeSCN}^{2+}(\text{aq})]_{\text{eqm}}}{[\text{Fe}^{3+}(\text{aq})]_{\text{eqm}}[\text{SCN}^{-}(\text{aq})]_{\text{eqm}}}$$

- 4 把平衡濃度代入平衡常數表示式內。

$$137.5 = \frac{x}{(0.100 - x)(0.100 - x)}$$

$$137.5 = \frac{x}{(0.100 - x)^2}$$

計算 x 的數值，

$$137.5 \times (0.01 - 0.2x + x^2) = x$$

$$x = 0.0764 \text{ 或 } x = 0.1308 \text{ (捨去)}$$

∴ 平衡濃度：

$$\begin{aligned} [\text{Fe}^{3+}(\text{aq})]_{\text{eqm}} &= (0.100 - 0.0764) \text{ mol dm}^{-3} \\ &= 0.0236 \text{ mol dm}^{-3} \end{aligned}$$

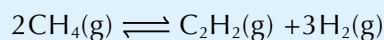
$$\begin{aligned} [\text{SCN}^{-}(\text{aq})]_{\text{eqm}} &= (0.100 - 0.0764) \text{ mol dm}^{-3} \\ &= 0.0236 \text{ mol dm}^{-3} \end{aligned}$$

$$[\text{FeSCN}^{2+}(\text{aq})]_{\text{eqm}} = 0.0764 \text{ mol dm}^{-3}$$



課堂練習 40.6

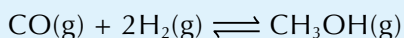
1. 考慮以下反應：



某學生讓 $\text{CH}_4(\text{g})$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2(\text{g})$ 的混合物在 1700°C 下達至平衡。 $\text{CH}_4(\text{g})$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2(\text{g})$ 的平衡濃度分別是 $0.0203 \text{ mol dm}^{-3}$ 、 $0.0451 \text{ mol dm}^{-3}$ 和 $0.1120 \text{ mol dm}^{-3}$ 。計算在 1700°C 下的平衡常數。

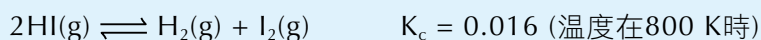
續

2. 某學生讓CO(g)和H₂(g)的混合物在某特定溫度下達至平衡：



CO和H₂的起始濃度分別為0.50 mol dm⁻³和1.00 mol dm⁻³。平衡時，CO的濃度為0.15 mol dm⁻³。計算該反應在同樣溫度下的平衡常數。

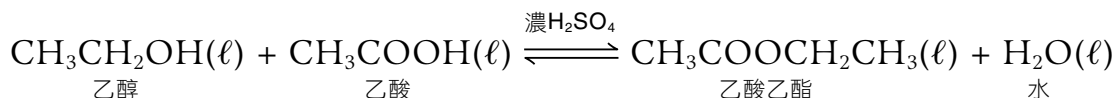
3. 某學生把4.00 mol的HI(g)注入一個經抽真空的5.00 dm³容器內，然後加熱至800 K，讓體系達至以下平衡。



計算各物質的平衡濃度。

40.5 從實驗中求出平衡常數

我們可在學校實驗室內進行簡單實驗，以求出一些化學反應的平衡常數。考慮以濃硫酸作為催化劑的情況下，乙醇與乙酸的酯化作用。



以下是求出上述酯化作用的平衡常數 (K_c) 的步驟：

步驟1：把已知分量的乙醇和乙酸混合，並加入少量的濃硫酸作為催化劑。

步驟2：把反應混合物回流加熱至少三十分鐘，直至反應達至平衡。參看圖40.3。

步驟3：抽取已知分量的平衡混合物與標準氫氧化鈉溶液進行滴定，以測定乙酸的平衡濃度。參看圖40.4。

步驟4：根據平衡方程式，計算乙醇、乙酸乙酯和水的平衡濃度。

步驟5：把所有物質的平衡濃度代入表示式內，以計算平衡常數 K_c 的數值：

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3(\ell)]_{\text{eqm}}[\text{H}_2\text{O}(\ell)]_{\text{eqm}}}{[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\ell)]_{\text{eqm}}[\text{CH}_3\text{COOH}(\ell)]_{\text{eqm}}}$$

學習錦囊

由於平衡體系是均相平衡，故計算 K_c 的數值時應包括 $[\text{H}_2\text{O}(\ell)]_{\text{eqm}}$ 在內。

學習錦囊

在測定各物質的平衡濃度前，應先把化學反應停止。我們可把平衡混合物放進冰浴內冷卻，以停止反應。

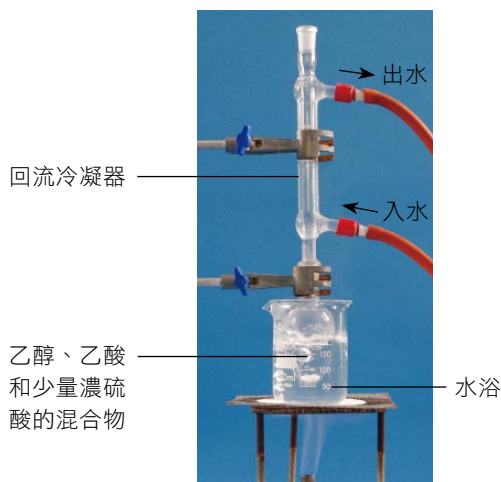


圖40.3 把乙醇與乙酸的混合物在有濃硫酸作為催化劑的情況下回流加熱，直至達至平衡。

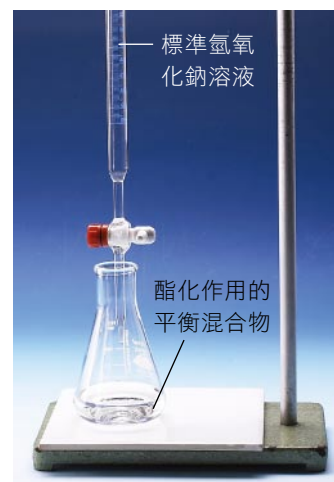


圖40.4 把酯化作用的平衡混合物與標準氫氧化鈉溶液（於滴定管內）滴定，以測定乙酸的平衡濃度。

H₂O 例題40.3

求出乙醇與乙酸的酯化作用的平衡常數

某學生進行實驗，以求出乙醇與乙酸酯化作用的平衡常數 (K_c)。該實驗步驟如下：

步驟	過程
1	把0.25 mol乙酸和0.25 mol乙醇加入置於冰水浴中的梨形瓶內，並把它們混合。
2	利用移液管移送1.0 cm ³ 的反應混合物至盛有25 cm ³ 蒸餾水的錐形瓶中，然後立刻與0.50 M氫氧化鈉溶液進行滴定。記錄所用氫氧化鈉溶液的體積 (V_1 cm ³)。
3	把數滴濃硫酸加入反應混合物中。利用移液管移送1.0 cm ³ 的反應混合物至盛有25 cm ³ 蒸餾水的錐形瓶中，然後立刻與0.50 M氫氧化鈉溶液進行滴定。記錄所用氫氧化鈉溶液的體積 (V_2 cm ³)。
4	把數顆防潮沸小粒加入盛有反應混合物的梨形瓶中，然後利用熱水浴把反應混合物回流加熱約30分鐘。
5	以冰水把梨形瓶迅速冷卻。利用移液管移送1.0 cm ³ 的反應混合物至盛有25 cm ³ 蒸餾水的錐形瓶中，然後立刻與0.50 M氫氧化鈉溶液進行滴定，記錄所用氫氧化鈉溶液的體積 (V_3 cm ³)。

滴定結果如下表所示：

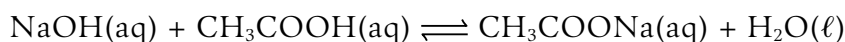
滴定	1	2	3
所用0.50 M NaOH(aq)的體積 (cm ³)	$V_1 = 15.10$	$V_2 = 15.80$	$V_3 = 7.15$

續

- (a) 寫出乙醇與乙酸酯化作用的化學方程式。
- (b) 寫出在步驟1中，把乙酸與乙醇混合時，要把梨形瓶置於冰水浴中的一個原因。
- (c) (i) 在步驟3中，把數滴濃硫酸加入反應混合物中的目的是甚麼？
(ii) 解釋為甚麼在步驟3中，學生要立刻進行滴定。
- (d) 計算下列各項：
(i) 在反應混合物中乙酸和乙醇的濃度；
(ii) 乙酸的平衡濃度；
(iii) 在這些實驗條件下的平衡常數 (K_c)。
- (e) 完成步驟5後，建議可怎樣確定體系已達至平衡。

題解

- (a) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\ell) + \text{CH}_3\text{COOH}(\ell) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3(\ell) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$
- (b) 降低實驗開始時的溫度，可停止或減慢酯化作用，從而可利用滴定來測定反應混合物中乙酸的起始濃度。
- (c) (i) 濃硫酸可作為催化劑，加速酯化作用。
(ii) 在有濃硫酸的情況下，酯化作用會迅速發生。若不立刻進行滴定，部分乙酸會與乙醇發生反應，生成酯。
- (d) (i) 由步驟2可見，



$$\begin{array}{cc} 15.10 \text{ cm}^3 & 1.0 \text{ cm}^3 \\ 0.50 \text{ M} & ? \text{ M} \end{array}$$

1.0 cm^3 反應混合物中 CH_3COOH 的摩爾數

= 所用 NaOH 的摩爾數

$$= 0.50 \text{ mol dm}^{-3} \times \frac{15.10}{1000} \text{ dm}^3$$

$$= 7.55 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}(\ell)] = \frac{7.55 \times 10^{-3} \text{ mol}}{\frac{1.0}{1000} \text{ dm}^3}$$

$$= 7.55 \text{ mol dm}^{-3}$$

由於實驗中使用相同摩爾數的 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 和 CH_3COOH ，

$$[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\ell)] = 7.55 \text{ mol dm}^{-3}$$

- (ii) 滴定結果 V_1 和 V_2 顯示需要 $(15.80 - 15.10) \text{ cm}^3 = 0.70 \text{ cm}^3$ 的 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 來中和濃硫酸。

回流加熱後，用作中和 CH_3COOH 的 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 體積

$$= (7.15 - 0.70) \text{ cm}^3 = 6.45 \text{ cm}^3$$

1.0 cm^3 平衡混合物中， CH_3COOH 的摩爾數

= 所用 NaOH 的摩爾數

$$= 0.50 \text{ mol dm}^{-3} \times \frac{6.45}{1000} \text{ dm}^3$$

$$= 3.225 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

續

$$[\text{CH}_3\text{COOH}(\ell)]_{\text{eqm}} = \frac{3.225 \times 10^{-3} \text{ mol}}{\frac{1.0}{1000} \text{ dm}^3}$$

$$= 3.225 \text{ mol dm}^{-3}$$

(iii) 參看以下平衡：

濃度 (mol dm ⁻³)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\ell) + \text{CH}_3\text{COOH}(\ell) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3(\ell) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$			
起始	7.55	7.55	0	0
變化	-4.325	-4.325	+4.325	+4.325
平衡	3.225	3.225	4.325	4.325

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3(\ell)]_{\text{eqm}}[\text{H}_2\text{O}(\ell)]_{\text{eqm}}}{[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\ell)]_{\text{eqm}}[\text{CH}_3\text{COOH}(\ell)]_{\text{eqm}}}$$

$$= \frac{(4.325 \text{ mol dm}^{-3})^2}{(3.225 \text{ mol dm}^{-3})^2} = 1.80$$

(e) 重複實驗中的步驟5，直至連續兩次滴定所用的NaOH(aq)體積相若。



實驗40.1

實驗作業4A

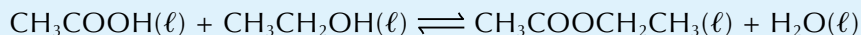
求出乙醇和乙酸的酯化作用的平衡常數

在本實驗中，你將會設計和進行實驗，以求出乙醇和乙酸的酯化作用的平衡常數。



課堂練習40.7

在某特定溫度下，以下反應的平衡常數 (K_c) 是4.0。



- 寫出逆向反應 (即乙酸乙酯的水解作用) 的平衡常數 (K_c') 表示式。然後，計算在該溫度下乙酸乙酯的水解作用的平衡常數。
- 把一摩爾乙酸乙酯與一摩爾水在上述特定溫度下混合。計算平衡混合物中各物種的摩爾數。

重要詞彙

中文詞彙	英文翻譯	頁數
1. 平衡定律	Equilibrium Law	3
2. 平衡常數	equilibrium constant	3
3. 均相平衡	homogeneous equilibrium	8
4. 多相平衡	heterogeneous equilibrium	8

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. 甚麼是平衡定律和平衡常數 (K_c) ?	<input type="checkbox"/>	3
2. 均相平衡是甚麼 ?	<input type="checkbox"/>	8
3. 多相平衡是甚麼 ?	<input type="checkbox"/>	8
4. 在多相平衡中，為甚麼純淨固體和液體的「濃度」並不包括在平衡常數表示式內 ?	<input type="checkbox"/>	9
5. K_c 的大小與化學反應的程度有甚麼關係 ?	<input type="checkbox"/>	10
6. K_c 值與反應速率有關係嗎 ?	<input type="checkbox"/>	11
7. 利用實驗求出 K_c 時涉及甚麼步驟 ?	<input type="checkbox"/>	16

摘要

40.1 平衡定律和平衡常數

1. 根據**平衡定律**，在某特定溫度下，可逆反應 $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ 的**平衡常數** (K_c) 表示式是：

$$K_c = \frac{[C]_{\text{eqm}}^c [D]_{\text{eqm}}^d}{[A]_{\text{eqm}}^a [B]_{\text{eqm}}^b}$$

2. 在特定溫度下，反應的平衡常數 (K_c) 的數值是一個常數，並不受反應物或生成物的起始濃度影響。 K_c 只會受溫度變化所影響。
3. 平衡常數 (K_c) 的數值和單位取決於平衡反應方程式的寫法。

40.2 均相平衡和多相平衡的平衡常數

4. **均相平衡**是指該平衡體系中所有反應物和生成物是同相的。
5. **多相平衡**是指該平衡體系中有兩種或以上的相存在。
6. 在多相平衡中，由於純淨固體和液體的「濃度」在反應中維持不變，故它們不包括在 K_c 表示式內。

40.3 平衡常數所提供的資料

7. 若 K_c 的數值非常大，這表示反應幾乎完成。若 K_c 的數值非常小，即表示反應幾乎沒有進行過。
8. 平衡常數的數值只能顯示在平衡時反應的進度（即完成進度），但不能顯示反應速率的高低。

40.4 涉及平衡常數的計算

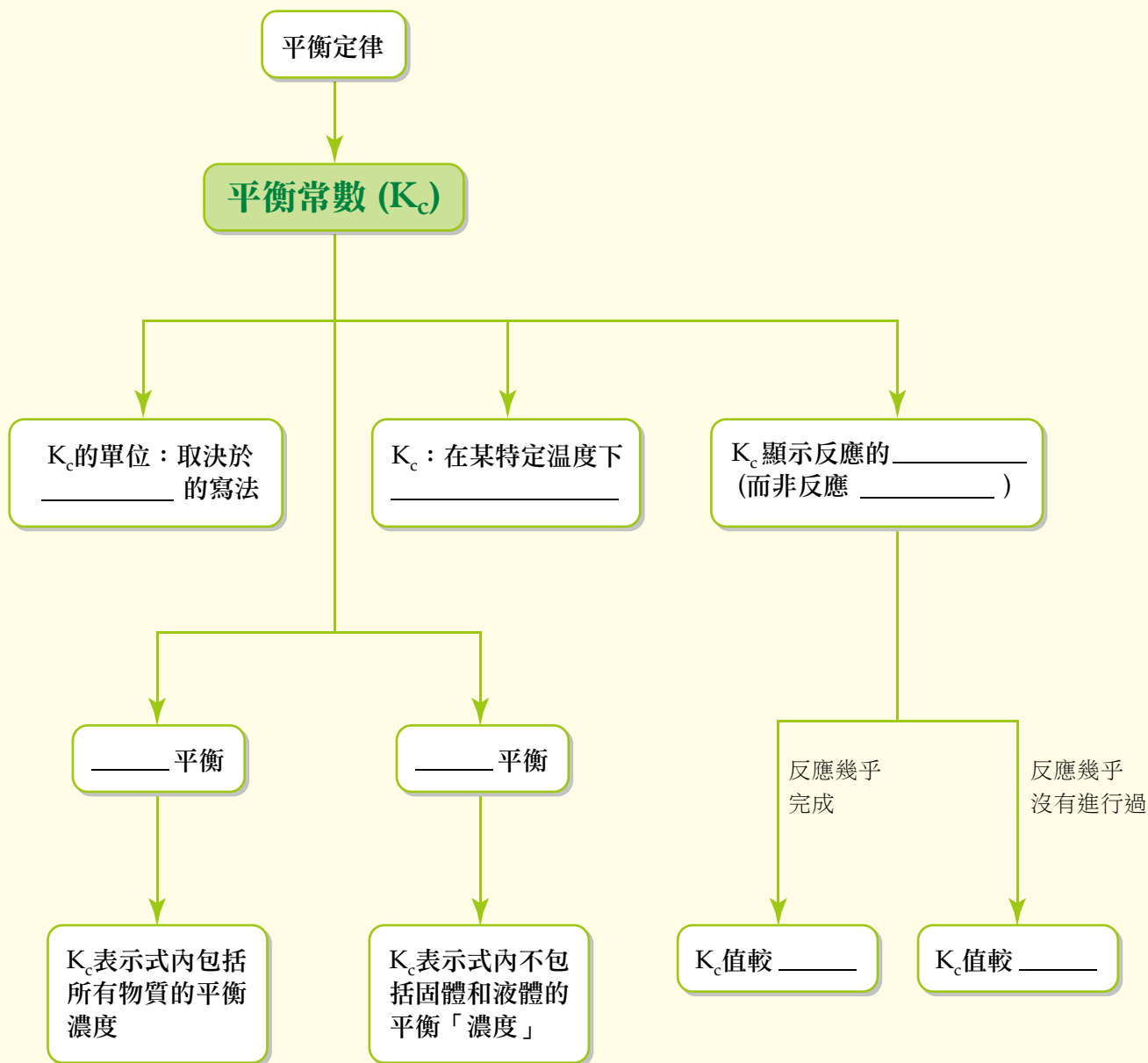
9. 要計算 K_c 值，我們需找出所有物質的平衡濃度，並把各平衡濃度代入平衡常數的表示式內作出計算。
10. 若已知體系中所有物質的起始濃度，我們便可利用平衡常數來計算各物質的平衡濃度。

40.5 從實驗中求出平衡常數

11. 要計算平衡常數，我們需進行實驗來找出反應中各物質的平衡濃度。

概念圖

完成以下概念圖。



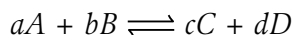
(提示：維持不變、方程式、程度、多相、均相、大、速率、小)

章節練習

填充題

第40.1節

1. 就一般的平衡反應而言：



$K_c =$ _____，而 K_c 的名稱是 _____。 $[A]_{\text{eqm}}$ 、 $[B]_{\text{eqm}}$ 、 $[C]_{\text{eqm}}$ 和 $[D]_{\text{eqm}}$ 則是A、B、C和D的平衡 _____。

2. K_c 在某特定 _____ 下是常數，不會受反應物和生成物的 _____ 濃度影響。

第40.2節

3. _____ 平衡是指所有反應物和生成物是同相的。

4. _____ 平衡是指反應混合物中含有兩種或以上的相。由於純淨固體及液體的 _____ 在整個反應中會維持不變，故不會包括在 K_c 的表示式內。

第40.3節

5. 平衡常數(K_c)的數值顯示化學反應的 _____，但 不會顯示反應 _____。
6. 若 K_c 的數值非常 _____，這表示反應幾乎完成；若 K_c 的數值非常 _____，即表示反應幾乎沒有進行過。

基礎練習題

第40.1節

7. 就下列各平衡常數表示式，寫出所涉及反應的平衡化學方程式。

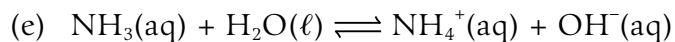
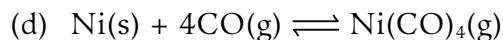
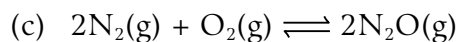
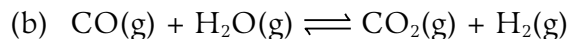
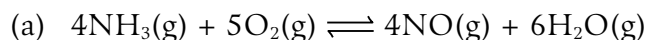
$$(a) K_c = \frac{[\text{HF}(\text{g})]_{\text{eqm}}^2 [\text{Cl}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}{[\text{HCl}(\text{g})]_{\text{eqm}}^2 [\text{F}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}$$

$$(b) K_c = \frac{[\text{CH}_4(\text{g})]_{\text{eqm}} [\text{H}_2\text{O}(\text{g})]_{\text{eqm}}}{[\text{CO}(\text{g})]_{\text{eqm}} [\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}^3}$$

$$(c) K_c = \frac{[\text{SO}_3(\text{g})]_{\text{eqm}}^2 [\text{CO}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}{[\text{CS}_2(\text{g})]_{\text{eqm}} [\text{O}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}^4}$$

第40.2節

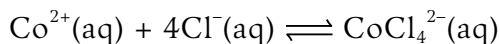
8. 寫出下列各可逆反應的平衡常數(K_c)表示式。



多項選擇題

第40.1節

9. 參看以下反應：



下列哪項正確顯示以上反應的平衡常數表示式？

- A. $\frac{[\text{Co}^{2+}(\text{aq})]_{\text{eqm}}[\text{Cl}^{-}(\text{aq})]_{\text{eqm}}}{[\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})]_{\text{eqm}}}$
- B. $\frac{[\text{Co}^{2+}(\text{aq})]_{\text{eqm}}[\text{Cl}^{-}(\text{aq})]_{\text{eqm}}^4}{[\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})]_{\text{eqm}}}$
- C. $\frac{[\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})]_{\text{eqm}}}{[\text{Co}^{2+}(\text{aq})]_{\text{eqm}}[\text{Cl}^{-}(\text{aq})]_{\text{eqm}}^4}$
- D. $\frac{[\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})]_{\text{eqm}}}{[\text{Co}^{2+}(\text{aq})]_{\text{eqm}}[\text{Cl}^{-}(\text{aq})]_{\text{eqm}}}$

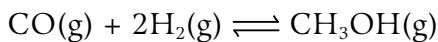
10. 參看以下平衡常數表示式：

$$K_c = \frac{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})]_{\text{eqm}}}{[\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})]_{\text{eqm}}^2[\text{H}^{+}(\text{aq})]_{\text{eqm}}^2}$$

下列哪條方程式可以得出上述平衡常數表示式？

- A. $2\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{H}^{+}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})$
- B. $2\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{H}^{+}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$
- C. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{H}^{+}(\text{aq})$
- D. $\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) + \text{H}^{+}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})$

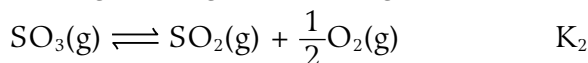
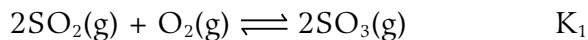
11. 參看以下反應：



上述平衡體系中 K_c 的單位是甚麼？

- A. 沒有單位
- B. $\text{mol}^2 \text{dm}^{-6}$
- C. mol dm^{-3}
- D. $\text{mol}^{-2} \text{dm}^6$

12. 參看以下反應：



下列哪項正確顯示 K_1 和 K_2 在數學上的關係？

- A. $\sqrt{K_1} = \frac{1}{K_2}$
- B. $K_1 = \frac{1}{\sqrt{K_2}}$
- C. $K_1 = \frac{1}{K_2}$
- D. $K_1 = K_2$

第40.2節

13. 下列哪個平衡體系是多相平衡？

- A. $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$
- B. $\text{CH}_3\text{OH}(\ell) + \text{HCOOH}(\ell) \rightleftharpoons \text{HCOOCH}_3(\ell) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$
- C. $5\text{CO}(\text{g}) + \text{I}_2\text{O}_5(\text{s}) \rightleftharpoons \text{I}_2(\text{g}) + 5\text{CO}_2(\text{g})$
- D. $\text{H}^{+}(\text{aq}) + \text{OH}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\ell)$

14. 參看以下反應：



下列哪項正確顯示上述反應的平衡常數表示式？

- A. $\frac{[\text{CaCO}_3(\text{s})]_{\text{eqm}}[\text{H}_2\text{O}(\ell)]_{\text{eqm}}[\text{CO}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}{[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2(\text{aq})]_{\text{eqm}}}$
- B. $\frac{[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2(\text{aq})]_{\text{eqm}}}{[\text{CaCO}_3(\text{s})]_{\text{eqm}}[\text{H}_2\text{O}(\ell)]_{\text{eqm}}[\text{CO}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}$
- C. $\frac{[\text{H}_2\text{O}(\ell)]_{\text{eqm}}[\text{CO}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}{[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2(\text{aq})]_{\text{eqm}}}$
- D. $\frac{[\text{CO}_2(\text{g})]_{\text{eqm}}}{[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2(\text{aq})]_{\text{eqm}}}$

第40.3節

15. 下表顯示四個不同平衡體系的平衡常數：

反應	I	II	III	IV
K_c	2.3×10^{-34}	1.6×10^{16}	5.0×10^{-8}	1.0×10^{112}

下列哪項正確顯示反應完成程度的排序？

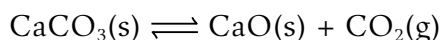
- A. I < II < III < IV
 B. I < III < II < IV
 C. IV < II < III < I
 D. III < II < I < IV

16. 下列哪項有關平衡常數 (K_c) 的數值的陳述正確？

- A. 它顯示正向反應的速率。
 B. 它說明反應是放熱的還是吸熱的。
 C. 它顯示反應的程度。
 D. 它說明反應的百分產率。

第40.4節

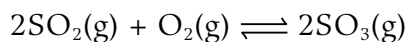
17. 參看以下反應：



在某特定溫度下， $\text{CO}_2(\text{g})$ 的平衡濃度是 0.548 M，在這溫度下的平衡常數是多少？

- A. 0.274 M
 B. 0.300 M
 C. 0.548 M
 D. 1.096 M

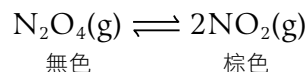
18. 考慮以下可逆反應：



在常溫下，把 1.0 mol 的 SO_2 和 0.5 mol 的 O_2 與催化劑混合，並把混合物的體積壓縮至 250 cm^3 。反應達至平衡時，80% 的 SO_2 已被氧化。反應的 K_c 是多少？

- A. $0.039 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$
 B. $0.125 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$
 C. $32 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$
 D. $40 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$

第19和20題與以下平衡體系有關：



19. 下列哪些方法可證明體系已達至平衡？

- (1) 量度反應混合物的顏色深度
 (2) 量度反應混合物的壓強
 (3) 量度反應混合物的質量

- A. 只有(1)和(2)
 B. 只有(1)和(3)
 C. 只有(2)和(3)
 D. (1), (2)和(3)

20. 在某實驗中，把 0.125 M 的 N_2O_4 在特定溫度下注入一個密封容器內。平衡時， N_2O_4 的濃度是 0.075 M。該反應 K_c 的數值是多少？

- A. 0.045 M
 B. 0.133 M
 C. 1.333 M
 D. 7.500 M

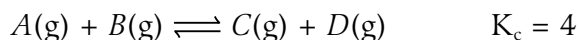
21. 參看以下反應：



在 500°C 下，0.08 M 的 HI 在密封容器中分解，直至反應達至平衡。HI 的平衡濃度是多少？

- A. 0.07 M
 B. 0.06 M
 C. 0.03 M
 D. 0.008 M

22. 參看以下反應：



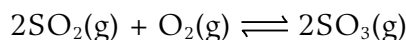
當一摩爾 A 與一摩爾 B 混合時，平衡混合物中共含有多少摩爾的 B？

- A. 1 mol
 B. 2 mol
 C. $\frac{1}{3}$ mol
 D. $\frac{2}{3}$ mol

結構題

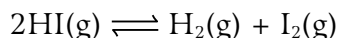
第40.4節

23. 參看二氧化硫氧化為三氧化硫的反應：



若 $\text{SO}_2(\text{g})$ 、 $\text{O}_2(\text{g})$ 和 $\text{SO}_3(\text{g})$ 的平衡濃度分別是 1.75 mol dm^{-3} 、 1.50 mol dm^{-3} 和 2.25 mol dm^{-3} ，計算反應的平衡常數。

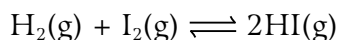
24. 以下反應在 450°C 下的平衡常數 (K_c) 是0.0198。



(a) 某學生把 $\text{HI}(\text{g})$ 注入一個 2.0 dm^3 的密封容器內。平衡時，容器在 450°C 下含有 1.87 mol 的 $\text{HI}(\text{g})$ 。

- (i) 計算 $\text{HI}(\text{g})$ 的平衡濃度。
- (ii) 計算平衡時 $\text{H}_2(\text{g})$ 和 $\text{I}_2(\text{g})$ 的濃度。
- (iii) 計算 $\text{HI}(\text{g})$ 剛被注入容器時的濃度。

(b) 計算以下反應在 450°C 下平衡常數 (K_1) 的數值。



25. 如以下方程式所示，二氧化碳分解為一氧化碳和氧：

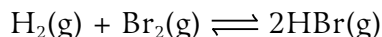


反應開始時，在某特定溫度下，一個 1.0 dm^3 反應瓶含有 0.001 mol 的 $\text{CO}_2(\text{g})$ 。當體系達至平衡時，反應瓶內含有 $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ 的 $\text{CO}(\text{g})$ 。計算在該溫度下反應的平衡常數 (K_c)。

26. 在 373 K 下， $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 分解為 $\text{NO}_2(\text{g})$ ，同時 $\text{NO}_2(\text{g})$ 也結合成 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ ，直至反應達至平衡。 $\text{NO}_2(\text{g})$ 的平衡濃度是 $3.0 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ ，而平衡常數 (K_c) = 0.2 mol dm^{-3} 。

- (a) 寫出該反應的化學方程式。
- (b) 計算 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 的起始濃度。

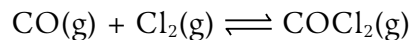
27. 如以下方程式所示，氫與溴反應，生成溴化氫：



在某特定溫度下，上述反應的平衡常數 (K_c) 是12.0。若某學生把下列分量的反應物在一個 2.0 dm^3 的反應瓶中混合，計算體系中各物質的平衡濃度。

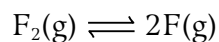
- (a) 4.0 mol 的 $\text{H}_2(\text{g})$ 和 4.0 mol 的 $\text{Br}_2(\text{g})$
- (b) 6.0 mol 的 $\text{H}_2(\text{g})$ 和 4.0 mol 的 $\text{Br}_2(\text{g})$

28. 以下反應在 110°C 下的平衡常數是 $4.7 \times 10^9 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$ 。



在 110°C 下，若某學生把 0.20 mol 的 COCl_2 放入一個 8.0 dm^3 反應瓶內，計算各物質在平衡時的濃度。

29. 在 1000 K 下， $\text{F}_2\text{(g)}$ 離解作用的 K_c 值是 $1.2 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ 。



- (a) 寫出該反應的平衡常數 (K_c) 表示式。
(b) 若 $\text{F}_2\text{(g)}$ 的起始濃度是 0.2 mol dm^{-3} ，計算 $\text{F}_2\text{(g)}$ 和 F(g) 在 1000 K 下的平衡濃度。
(c) 計算在 1000 K 下 $\text{F}_2\text{(g)}$ 的離解百分比。

(空白頁)