

### 2-3.1 化學反應式

#### 一、定義

化學反應式是以符號記錄反應物、生成物、物質狀態與反應條件，可以表明化學反應進行時，原子重新排列的結果以及各物質相對的質量變化。

#### 二、表示法

1. 化學反應式是記錄並描述反應的真實狀況，無法預測反應的結果。
2. 化學式通常於元素後加註相態的標記，以 (g) 表示氣相，(l) 表示液相，(s) 表示固相，(aq) 表示水溶液。

例：工業上常用哈柏法製備氨氣的化學反應式，其表示法如圖 2-14。



#### 小提醒

舉例中的反應式，反應物與生成物以雙箭頭“ $\rightleftharpoons$ ”表示，因為這個反應為可逆反應；若為不可逆反應，以單箭頭“ $\rightarrow$ ”表示。

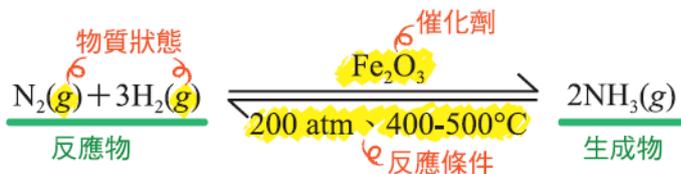


圖 2-14：化學反應式的表示法

#### 三、各係數的意義

化學反應式	$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \xrightarrow{\Delta} 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$		
係數比 (分子數比、莫耳數比、氣體反應體積比)	2	: 1	: 2
反應時的質量比 (應符合質量守恆)	- 2 × 2 = - 4	- 1 × 32 = - 32	+ 2 × 18 = + 36



#### 小提醒

氣體反應體積比 = 係數比的關係只限反應物和生成物。

國中曾學過：化學反應式平衡後的係數比 = 反應物消耗的莫耳數與生成物生成的莫耳數比。



#### 例1 化學反應式的特性

氫氣與氧氣化合成水的反應，可以附圖的方式表示，下列有關此反應的敘述，何者正確？

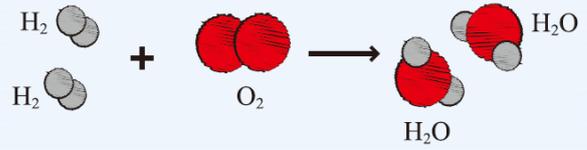
(A) 反應前、後分子的種類不變

(B) 氧氣與水分子均為雙原子分子

(C) 原子的種類不變，故反應屬物理變化

(D) 2 分子氫氣與 1 分子氧氣可反應生成 2 分子水

(E) 氫氣、氧氣和水的反應質量比為 2 : 1 : 2。



**解** (D)

(A) 反應前為  $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ ，反應後為  $\text{H}_2\text{O}$ ，分子種類不同 (B) 水分子 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 為三原子分子 (C) 分子種類改變，產生新物質，反應屬化學反應 (E) 反應前、後質量守恆，反應質量比應為 1 : 8 : 9。

## 練習1

有關化學反應的敘述何者正確？

- (A)反應前後分子數目一定改變 (B)反應前後不一定遵守質量守恆定律 (C)反應後必生成新原子 (D)反應式係數比即為反應物質化合體積比 (E)反應物消耗的莫耳數與係數成正比。

**解** (E)

- (A)反應前後分子數目不一定會改變。例： $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$  (B)化學反應必遵守質量守恆定律 (C)化學反應是原子的重新排列組合，並未產生新原子 (D)氣體反應體積定律需為氣相時才成立。

## 2-3.2 平衡化學反應式

### 一、平衡化學反應式的方法

1. 原子不滅：反應前、後各原子種類及數目不變，也代表質量守恆。
2. 觀察法：以模擬火山爆發實驗的化學反應為例（圖 2-15），

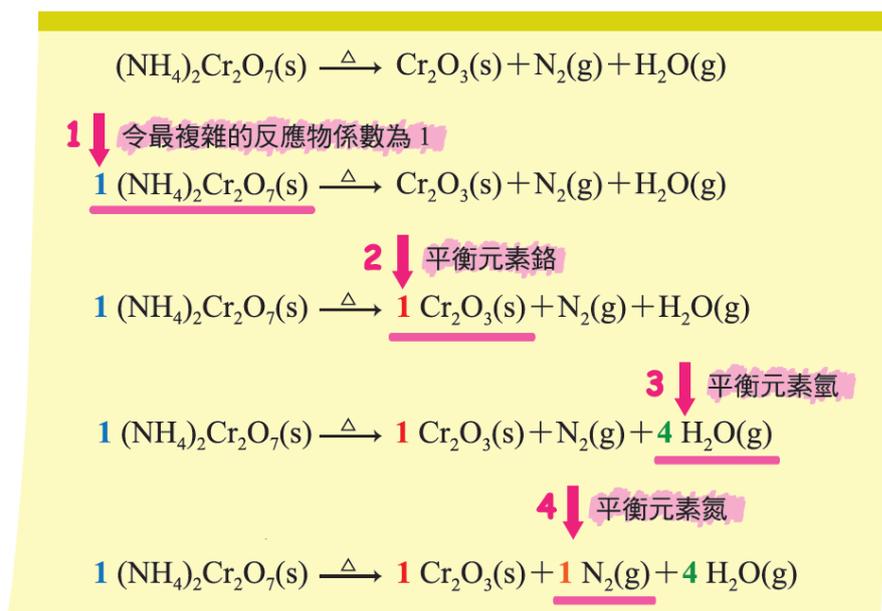


圖 2-15：模擬火山爆發實驗的化學反應

最後可驗算氧原子是否也達平衡狀態，即可獲得最終的平衡反應式。

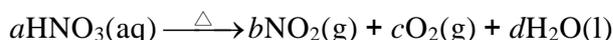
反應式中若平衡係數為 1 者，不需列出，可將平衡反應式再簡化：



3. 代數法：利用假設未知數的方式，來求得平衡係數。

例：硝酸溶液遇到陽光照射發生分解反應： $\text{HNO}_3(\text{aq}) \xrightarrow{\Delta} \text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

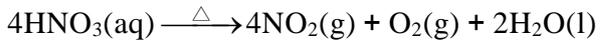
(1) 假設反應物與生成物反應式係數各為  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$



(2) 利用原子不滅及電荷守恆 ( 離子反應式才使用 ), 列出一組聯立方程式。

$$\text{H} : a = 2d \dots\dots \textcircled{1} \quad \text{N} : a = b \dots\dots \textcircled{2} \quad \text{O} : 3a = 2b + 2c + d \dots\dots \textcircled{3}$$

(3) 解聯立方程式, 最後解出  $a : b : c : d = 4 : 4 : 1 : 2$



電荷守恆 : 化學反應前後的總電荷量不變

$$\text{反應物總電荷數} = 1(-2) + 6 \times (-1) + 14 \times (+1) = +6 \quad \left. \vphantom{\text{反應物總電荷數}} \right\} \text{相等}$$

$$\text{生成物總電荷數} = 2 \times (+3) = +6$$



## 例2 平衡化學反應式

銅片與濃硝酸加熱產生硝酸銅、二氧化氮與水，反應式如下：

$a\text{Cu}(\text{s}) + b\text{HNO}_3(\text{aq}) \rightarrow c\text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) + d\text{NO}_2(\text{g}) + e\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ，當反應式完成平衡時， $a + b + c + d + e$  之值最小為何？（ $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$  均為正整數）

(A) 10 (B) 16 (C) 20 (D) 23 (E) 26。

**解**(A)

依原子不滅列出方程式：

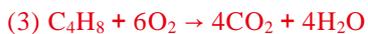
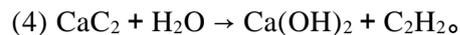
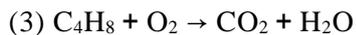
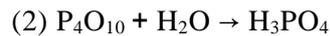
$\text{Cu} : a = c, \text{H} : b = 2e, \text{N} : b = 2c + d, \text{O} : 3b = 6c + 2d + e$

令  $a = 1$ ，代入並解聯立方程式，可得  $a : b : c : d : e = 1 : 4 : 1 : 2 : 2$ ，

$\therefore a + b + c + d + e$  之值最小為 10。

### 練習2

請平衡下列化學反應式：



## 2-3.3 化學計量的基本原理

### 一、化學計量的流程

以聯胺 ( $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g})$ ，分子量 = 32) 與四氧化二氮 ( $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ ，分子量 = 92) 反應生成氮氣與水蒸氣的過程為例：

1. 根據實驗結果列出化學反應式的反應物與生成物： $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。
2. 平衡化學反應式之係數： $2\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightarrow 3\text{N}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。
3. 將相關反應物計量單位都化成莫耳數 (圖 2-16) 反應過程中，反應物的消耗與生成物的生成之莫耳數比等於反應式的係數比。



圖 2-16：化學計量流程



## 小提醒

$$\text{莫耳數} = \frac{\text{物質質量}}{1 \text{ 莫耳物質質量}} = \frac{\text{物質粒子數}}{6.02 \times 10^{23}}$$

4. 例：聯胺(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)與四氧化二氮(N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)混合使用時，可作為火箭的燃料。若取 16 克聯胺與 46 克四氧化二氮反應：

	<b>2</b> N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	+	<b>1</b> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (g)	→	<b>3</b> N <sub>2</sub> (g)	+	<b>4</b> H <sub>2</sub> O(g)
	16 g		46 g				
初	$\frac{16}{32} = 0.5 \text{ mol}$		$\frac{46}{92} = 0.5 \text{ mol}$		0		0
中	-0.5 mol		-0.25 mol		+0.75 mol		+1 mol
末	0		0.25 mol		0.75 mol		1 mol

聯胺(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)是完全被用盡的反應物，稱為限量試劑

反應物消耗的莫耳數與生成物生成的莫耳數，均與平衡係數成正比



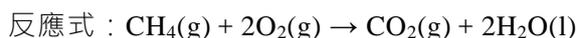
### 延伸補充

#### 1. 限量試劑

(1) 定義：化學反應中，完全被用盡的反應物，稱為限量試劑 (limiting reagent)。

(2) 生成物的產量由限量試劑決定，與過量的反應物無關。

以甲烷 (CH<sub>4</sub>) 燃燒為例：



假設反應前有 1 莫耳 CH<sub>4</sub> 與 3 莫耳 O<sub>2</sub>，依反應式可知 1 莫耳 CH<sub>4</sub> 只需 2 莫耳 O<sub>2</sub> 即可生成 1 莫耳 CO<sub>2</sub> 和 2 莫耳 H<sub>2</sub>O，故限量試劑為 CH<sub>4</sub>。

(3) 尋找限量試劑的方法：以各反應物的  $\frac{\text{初始莫耳數}}{\text{係數}}$ ，所得比值最小者即為限量試劑。

#### 2. 產率

$$\text{產量百分率 (產率)} = \frac{\text{實際產量}}{\text{理論產量}} \times 100\%$$



### 例3 化學計量

素養題

食品保鮮劑可防止食品腐敗，並維持食品的營養與味道。脫氧保鮮劑的主要成分為活性鐵粉，因為鐵可與氧氣、水反應生成氫氧化鐵，藉此吸收包裝袋中的氧氣，從而延長食品的保存期限，其主要的化學反應式： $4\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$ 。已知某脫氧保鮮劑中活性鐵粉的質量為 1.68 克，則該脫氧保鮮劑最多能夠吸收氧氣若干克？(Fe = 56, O = 16)

解 0.72 g

$$\text{Fe 莫耳數} = \frac{1.68}{56} = 0.03 \text{ (mol)}, \text{ 故可吸收 } \text{O}_2 \text{ 重} = 0.03 \times \frac{3}{4} \times 32 = 0.72 \text{ (g)}.$$

莫耳數

### 練習3

近年來，大氣中  $\text{CO}_2$  的濃度上升已成為全球性的問題，因而興起節能減碳運動，國內的環保團體也宣導「中秋節不烤肉」。假若超市賣的烤肉用木炭，其含碳量為 90%，則一包 10 公斤的木炭完全燃燒後，會產生幾公斤的  $\text{CO}_2$ ？ (A) 44 (B) 33 (C) 22 (D) 11 (E) 5.5。

**解** (B)

$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ ，C 重 =  $10 \times 90\% = 9$  (kg)，完全燃燒後產生  $\text{CO}_2$  重 =  $\frac{9}{12} \times 44 = 33$  (kg)。



### 例 4 化學計量

素養題

已知蔗糖的分子量為 342 克 / 莫耳，而其水溶液的發酵可用下列反應式表示：

$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 4C_2H_5OH + 4CO_2$ 。今取蔗糖 3.42 克溶於水後，加酵母使其發酵。假設只考慮蔗糖變為酒精的發酵，且蔗糖的發酵只完成 50%，則在此發酵過程中，所產生的二氧化碳在標準狀態下總共有幾毫升？（在標準溫壓時 1 莫耳氣體為 22.4 升）

(A) 112 (B) 224 (C) 336 (D) 448 (E) 896。

解 (D)

蔗糖 =  $\frac{3.42}{342} = 0.01 \text{ mol}$ ， $0.01 \times 50\% = 0.005$ ，故產生  $CO_2 = 0.005 \times 4 = 0.02 \text{ (mol)}$ ，  
 $0.02 \times 22.4 \times 1000 = 448 \text{ (mL)}$ 。

### 練習 4

開發能源與維護環境是現代科技所面臨的兩大挑戰。若能利用太陽能來電解水，產生氫氣與氧氣以供氫氧燃料電池使用，就可以獲得有用的能量與非常乾淨的水，這樣就不會造成環境的問題。試問 90 公斤的水，完全電解可產生幾公斤的氫？

(A) 0.5 (B) 1 (C) 5 (D) 10 (E) 20。

解 (D)

電解水的反應式： $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$ ，產生的  $H_2$  重 =  $\frac{90 \times 10^3}{18} \times \frac{2}{2} \times 2 \times 10^{-3} = 10 \text{ (kg)}$ 。



### 例 5 化學計量

素養題

汽車常裝有安全氣囊，當強烈碰撞時，氣囊中的雷管發生爆炸，瞬間引起下列反應：

$NaN_3 \rightarrow Na + N_2$  (未平衡)，所產生的氣體快速充滿氣囊，可以達到保護車內人員安全的目的。在 1 大氣壓、 $25^\circ C$  時，若氣囊中置入 65 克的  $NaN_3$ ，當其完全分解後氣囊會膨脹至約多大的體積？（已知 1 大氣壓、 $25^\circ C$  時，氣體的莫耳體積為 24.5 升）(N = 14, Na = 23)

(A) 12.5 (B) 22.4 (C) 28.6 (D) 36.8 (E) 73.5 升。

解 (D)

$NaN_3$  之莫耳數 =  $\frac{65}{23 + 3 \times 14} = 1 \text{ mol}$ ，

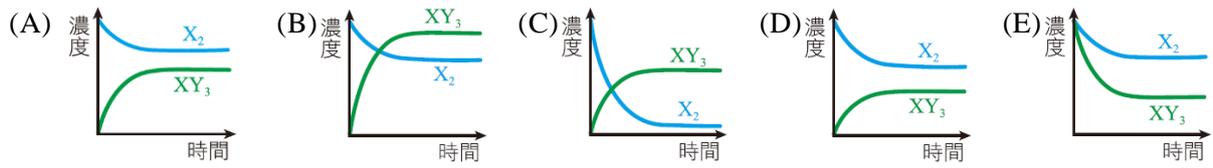
$NaN_3 \rightarrow Na + \frac{3}{2} N_2$ ，1 mol 的  $NaN_3$  可產生  $\frac{3}{2} \text{ mol}$  之  $N_2$ ， $\frac{3}{2} \times 24.5 = 36.8 \text{ (L)}$ 。

### 練習 5

素養題

在一密閉容器內，等莫耳的  $X_2$  和  $Y_2$  進行下列反應： $X_2(g) + 3Y_2(g) \rightarrow 2XY_3(g)$ ，達成平衡。

下列哪一個圖形最能代表在此過程中， $X_2$  和  $XY_3$  的濃度隨時間變化之情形？



**解** (A)  $X_2$  每減少 1 mol，可生成 2 mol 的  $XY_3$ 。