

Chapter

7

化合物化學式的決定

學習目標

1. 認識化學式的定義與種類。
2. 了解化學式的決定方法。
3. 學習從化合物的定量分析結果求得化學式。
4. 學習從未知試樣的定量分析結果求得化合物的重量百分率。

授課節數 4

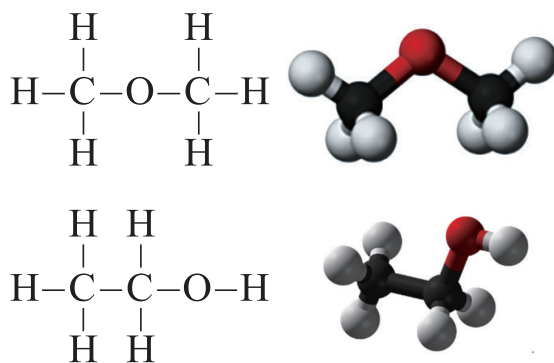
本章綱要

7-1 理論基礎

1. 定量分析求化合物的簡式

7-2 實習活動

測定化合物的化學式是化學家的重要工作之一，利用化學式可讓我們更容易辨別與認識物質。化學式的種類很多，如實驗式、分子式、結構式等，其呈現方式與使用目的皆不相同，以乙醇與甲醚為例，其分子式皆為 C_2H_6O ，但結構式不同而有不同性質。任何新物質的發現，皆須設法推定其化學式以利後續研究，此章將介紹常見的化學式與化學式的決定方式。



7-1 理論基礎

定量分析求化合物的簡式

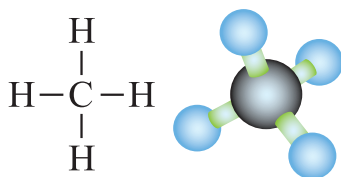
一、化學式

- 以元素符號表示純物質的組成式子，稱為**化學式** (chemical formula)。
- 種類
 - 實驗式** (empirical formula)：表示純物質組成的最簡單化學式，又稱簡式。
 - 僅表示組成原子間的最簡單整數比，如葡萄糖的實驗式為 CH_2O 。
 - 實驗式中各元素的原子量總和，稱為簡式量，如乙酸 (CH_3COOH) 的簡式量為 30。
 - 常以實驗式表示的純物質有金屬元素，如鋰 (Li)、鈉 (Na)；網狀固體，如石墨 (C)、金剛砂 (SiC)；離子化合物，如氯化鈉 (NaCl)、氫氧化鈉 (NaOH)。
 - 分子式** (molecular formula)：表示一分子內所含全部原子種類與數目的化學式。
 - 分子式中各元素的原子量總和，稱為分子量，如乙酸 ($C_2H_4O_2$) 的分子量為 60。
 - 分子式為實驗式的正整數倍，可以下式表示，如苯的分子式為 C_6H_6 ，而簡式為 CH，故分子式為實驗式的 6 倍，其分子量也是簡式量的 6 倍。

$$\begin{aligned} \text{分子式} &= (\text{簡式})_n \\ n &= \frac{\text{分子量}}{\text{簡式量}} \end{aligned}$$

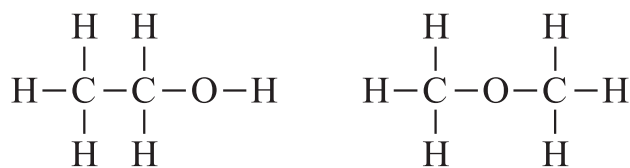
公式 7-1

- 結構式** (structural formula)：表示分子中各原子的排列及鍵結情況之化學式。
 - 結構式未必能表達分子真正形狀，如甲烷 (CH_4) 結構式，其連接碳的 4 個原子並非在同一平面上 (如圖 7-1 所示)。



▲ 圖 7-1 甲烷結構式 (左) 與分子模型 (右)

- ② 同分異構物：分子式相同、結構式不同之物質。如乙醇與甲醚的分子式為 C_2H_6O ，但結構式卻不同（如圖 7-2 所示）。



▲圖 7-2 乙醇（左）與甲醚（右）的結構式

- (4) 示性式 (rational formula)：除表示分子所含的原子種類與數目外，也將能代表分子特性的原子團（即官能基）顯示出來。

- ① 為有機化合物最常用的化學式，如乙酸的示性式為 CH_3COOH 。
 ② 常見的官能基，如羥基（ $-OH$ ）、羧基（ $-COOH$ ）、胺基（ $-NH_2$ ）等。

- (5) 電子點式 (electron dot structure)：表示分子中價電子排列情形的化學式。

二、化學式的決定

1. 決定化學式的方法

1

定性分析，即利用焰色、溶解度、反應等方法測定化合物中各元素種類。

2

定量分析，即針對特定元素利用加熱或反應等方法，測量反應前後的質量變化，得出化合物中各元素的重量百分率。

3

將各元素重量百分率除以該元素原子量，可得原子的最簡單整數比，寫出實驗式。

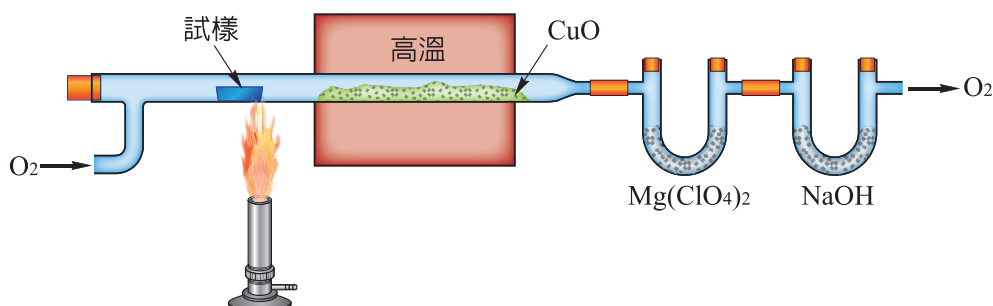
4

測定化合物之分子量，即可決定分子式。

2. 常見定量分析方法

(1) 燃燒法（氧化法）

- ① 主要適用含碳、氫及氧三種元素的化合物。
 ② 方法（如圖 7-3 所示）



▲圖 7-3 燃燒分析法

1

準備兩個 U 形管，一個置入乾燥劑，如 $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ 或無水 CaCl_2 ；另一個置入 NaOH ，並裝設燃燒裝置。

2

將已知重量的試樣放入鉑盤中。

3

將鉑盤置於燃燒裝置中，通入氧氣加熱，使化合物中的 C 轉成 CO_2 ，H 轉成 H_2O 。

4

燃燒裝置內裝有 CuO ，可將燃燒未完全的 C、CO 及 H_2 氧化成 CO_2 和 H_2O 。

5

生成 H_2O 被第一個 U 形管中乾燥劑吸收、 CO_2 則被第二個 U 形管中 NaOH 吸收。

6

1. 稱量 U 形管的增加重量，即得 H_2O 和 CO_2 的重量，進而求出試樣中 C、H 重量。
2. 氧重則可由試樣重與 C、H 重相減求得。
3. 由各元素重量與原子量計算原子數目比，即得實驗式。

例題

01

某化合物只含碳、氫及氧三種元素，重 13.80 克，經完全燃燒後，得到二氧化碳 26.40 克和水 16.20 克，請問此化合物的實驗式為何？

解 (1) 求化合物中碳、氫、氧的質量

$$\text{C} = 26.40 \text{ g} \times \frac{\text{C}}{\text{CO}_2} = 26.40 \text{ g} \times \frac{12}{44} = 7.20 \text{ g}$$

$$\text{H} = 16.20 \text{ g} \times \frac{2\text{H}}{\text{H}_2\text{O}} = 16.20 \text{ g} \times \frac{2 \times 1}{18} = 1.80 \text{ g}$$

$$\text{O} = 13.80 \text{ g} - 7.20 \text{ g} - 1.80 \text{ g} = 4.80 \text{ g}$$

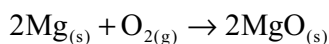
(2) 求碳、氫、氧的莫耳數比為

$$\text{C}:\text{H}:\text{O} = \frac{7.20}{12} : \frac{1.80}{1} : \frac{4.80}{16} \div \div 2:6:1$$

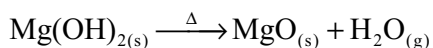
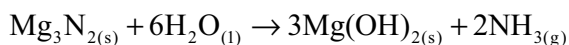
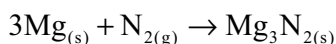
$\therefore$ 化合物簡式為 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$

(2) 化合法

- ① 原理為將化合物與過量的物質反應，由產物質量求得元素質量百分比。
- ② 以氧化鎂為例，鎂在空氣中可氧化生成氧化鎂，反應式如下。故可利用加熱氧化過程的增加重量計算氧化鎂的實驗式。



- ③ 值得注意的是空氣中也有約 80% 的氮，會與鎂生成氮化鎂，為使其完全變成氧化鎂，故會於加熱鎂後再加水，使氮化鎂反應成氫氧化鎂，接著受熱分解即可生成氧化鎂，反應式如下。



例題

02

將 2.44 g 的鎂帶與過量空氣充分氧化，可以生成氧化鎂 4.04 g，請問氧化鎂的實驗式為何？

解 (1) 化合物中元素重量

$$\text{鎂重} = 2.44 \text{ g}$$

$$\text{氧重} = 4.04 \text{ g} - 2.44 \text{ g} = 1.60 \text{ g}$$

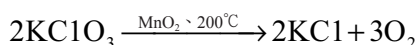
(2) 鎂與氧的莫耳數比

∴ 氧化鎂簡式為 MgO

$$\text{Mg}:\text{O} = \frac{2.44}{24.31} : \frac{1.60}{16.00} = 1:1$$

(3) 分析法

- ① 原理為將化合物經加熱分解後，由減少或剩下的質量求得元素質量百分比。
 ② 以氯酸鉀為例，其受熱會分解成氧氣 (O₂) 與氯化鉀 (KCl)，反應式如下。故可利用分解後所損失重量與殘餘重量計算元素質量百分比。



- ③ 氯酸鉀的分解，通常會加二氧化錳作催化劑，使反應速度加快、反應溫度降低。

例題

03

已知氯酸鉀受熱後會分解成氧氣 (O₂) 與氯化鉀 (KCl)，現有一氯酸鉀試樣重 1.6070 克，經加熱後，失去的重量為 0.6270 克，求氯酸鉀的實驗式。

解 (1) 失去的重量為氧所造成

$$\text{氧重} = 0.6270 \text{ g}$$

$$\text{氯化鉀重} = 1.6070 \text{ g} - 0.6270 \text{ g} = 0.9800 \text{ g}$$

(2) 氯化鉀與氧的莫耳數比

$$\text{KCl}:\text{O} = \frac{0.9800}{39.10 + 35.45} : \frac{0.6270}{16} = 1:3$$

∴ 氯酸鉀簡式為 KClO₃

7-2 實習活動

實驗目的

1. 熟悉化學式的決定方法。
2. 熟悉從化合物中的定量分析結果求得化學式。
3. 熟悉從未知試樣的定量分析結果求得化合物的重量百分率。

器材藥品

名稱	規格	數量	名稱	規格	數量
坩堝	含坩堝蓋	1 組	稱量紙		數張
泥三角		1 個	電子天平	精密度 0.01 g	1 臺
本生燈		1 組	電子天平	精密度 0.0001 g	1 臺
鐵架	含鐵環	1 組	烘箱		1 臺
廣用夾		1 個	鎂帶		1 g
坩堝夾		1 個	二氧化錳		1 g
陶瓷纖維網		1 個	氯酸鉀		3 g
硬試管	Ø 21 × 200 mm	1 支	試樣	氯酸鉀 + 氯化鉀	5 g
燒杯	250 mL	1 個			

實驗步驟

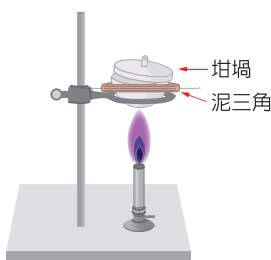
一、氧化鎂的化學式決定

步驟 1



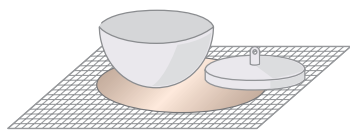
取一洗淨之坩堝置於 105°C 烘箱中烘乾後，取出冷卻至室溫，精稱坩堝重並記錄為 W_0 。

步驟 2



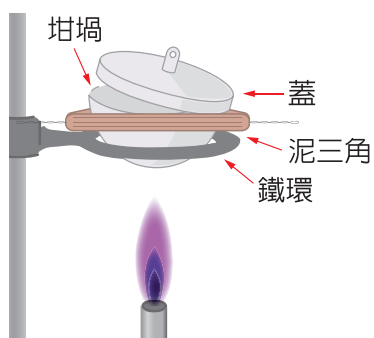
將坩堝連蓋置於泥三角上，以本生燈加熱坩堝至變紅持續 5 分鐘後，關掉本生燈。

步驟 3



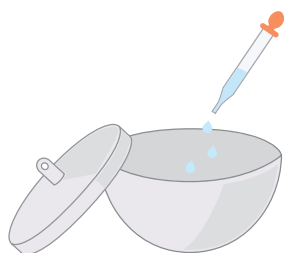
以坩堝夾將坩堝連蓋夾離泥三角，置於陶瓷纖維網上冷卻至室溫後，精稱坩堝重，若與 W_0 不同，則重複步驟 2 ~ 3，至重量相同為止。

步驟 4



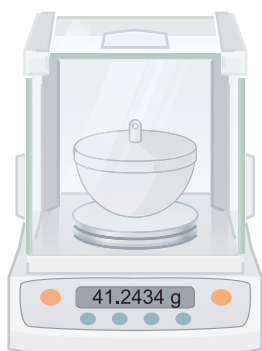
- (1) 取約 1 克鎂帶以砂紙磨光表面並擦拭乾淨後放入坩堝，精稱坩堝重並記錄為 W_1 。
- (2) 坩堝置於泥三角上，微開坩堝蓋並以本生燈加熱，直到坩堝底變紅持續 15 分鐘。

步驟 5



以坩堝夾將坩堝連蓋夾離泥三角，置於陶瓷纖維網上使其冷卻至室溫後，加水約 2 mL 並加蓋。

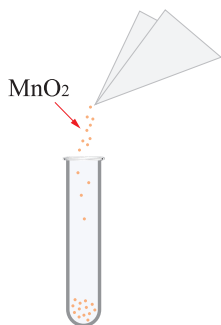
步驟 6



- (1) 將坩堝置於泥三角上，以小火加熱，直到坩堝內物質乾燥後，以大火強熱 5 分鐘。
- (2) 打開坩堝，若內容物非白色，則重複步驟 4 ~ 5，直到內容物呈白色為止。
- (3) 以坩堝夾將坩堝連蓋夾離泥三角，置於陶瓷纖維網上冷卻至室溫後，精稱坩堝重並記錄為 W_2 。
- (4) 重複步驟再做一次實驗。

二、氯酸鉀的化學式決定

步驟 1



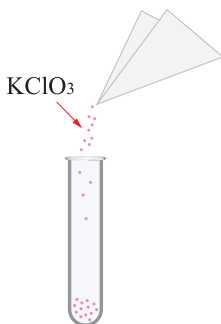
- (1) 取一洗淨之硬試管置於 105°C 烘箱中烘乾，取出冷卻至室溫。
- (2) 以稱量紙 (先折對角線) 稱量 0.2 克二氧化錳並倒入試管中。

步驟 2



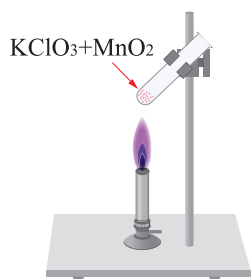
精稱試管重並記錄為 W_0 。

步驟 3



- (1) 以稱量紙 (先折對角線) 稱量 1 克氯酸鉀並倒入試管中，精稱試管重並記錄為 W_1 。
- (2) 輕輕搖動試管使兩種粉末均勻混合。

步驟 4



- (1) 將廣用夾固定於鐵架上，再夾住試管，使試管口向上傾斜約 45° 。
- (2) 以本生燈加熱試管，當固體熔化時，再強熱約 3 分鐘。
- (3) 關閉本生燈使試管冷卻，精稱試管重並記錄為 W_2 。
- (4) 重複步驟再做一次實驗。

三、未知混合物中氯酸鉀含量決定

操作方法與「氯酸鉀的化學式決定」步驟相同，但步驟 3 改稱量 1 g 未知混合物。



充電小站

實驗注意事項

1. 本實驗中的坩堝、試管、藥品等均需預先烘乾去除水分，避免造成誤差。
2. 二氧化錳勿加過多，避免氯酸鉀不易升溫。
3. 實驗做完後的二氧化錳與氯化鉀可加水溶解後過濾，洗滌固體的二氧化錳可去除其表面氯化鉀，再將二氧化錳烘乾即可重複再利用。

實驗數據記錄與分析

一、氧化鎂的化學式決定

1. 數據記錄

	第一次	第二次
坩堝含蓋重, W_0 (g)		
坩堝含蓋 + 鎂帶重, W_1 (g)		
坩堝含蓋 + 氧化鎂重, W_2 (g)		

2. 數據整理

	第一次	第二次	計算參考
鎂帶重, a (g)			$a = W_1 - W_0$
氧化鎂重, b (g)			$b = W_2 - W_0$
氧化鎂中氧重, c (g)			$c = b - a$
氧化鎂中 Mg 莫耳數, d (g)			$d = \frac{a}{24.31}$
氧化鎂中 O 莫耳數, e (g)			$e = \frac{c}{16.00}$
氧化鎂中 Mg 與 O 的莫耳數比 (化為最簡單整數比)			$d : e$

計算過程 (寫第一次即可) :

3. 氧化鎂的實驗式 : _____

二、氯酸鉀的化學式決定

1. 數據記錄

	第一次	第二次
試管 + 二氧化錳重, W_0 (g)		
試管 + 二氧化錳 + 氯酸鉀重, W_1 (g)		
試管 + 二氧化錳 + 殘餘物 (氯化鉀) 重, W_2 (g)		

2. 數據整理

	第一次	第二次	計算參考
失去的氧重, a (g)			$a = W_1 - W_2$
殘餘物 (氯化鉀) 重, b (g)			$b = W_2 - W_0$
氯酸鉀中 O 莫耳數, c (mol)			$c = \frac{a}{16.00}$
氯酸鉀中 KCl 莫耳數, d (mol)			$d = \frac{b}{39.10+35.45}$
氯酸鉀中 KCl 與 O 的莫耳數比 (化為最簡單整數比)			$d : c$

計算過程 (寫第一次即可) :

3. 氯酸鉀的實驗式: _____

三、未知混合物中氯酸鉀含量決定

1. 數據記錄

	第一次	第二次
試管 + 二氧化錳重, W_0 (g)		
試管 + 二氧化錳 + 試樣重, W_1 (g)		
試管 + 二氧化錳 + 殘餘物重, W_2 (g)		

2. 數據整理

	第一次	第二次	計算參考
試樣重, a (g)			$a = W_1 - W_0$
失去的氧重, b (g)			$b = W_1 - W_2$
試樣中氯酸鉀重, c (g)			$c = b \times \frac{39.10+35.45+16.00 \times 3}{16.00 \times 3}$ (未知混合物中無會熱裂解雜質)
試樣中氯酸鉀重量百分率, d (%)			$d = \frac{c}{a} \times 100\%$

計算過程 (寫第一次即可) :

3. 試樣中氯酸鉀平均重量百分率：_____ %

計算過程：

問題與討論

1. 常見化學式的種類有哪些？
2. 測量氧化鎂的實驗式時，坩堝蓋為何要微開？
3. 測量氧化鎂的實驗式時，過程中為何要加水至坩堝蓋內？
4. 測量氯酸鉀的實驗式時，為何要加入二氧化錳？
5. 某試樣為氧化鐵，實驗測得 3.20 g 的氧化鐵可被還原產生 2.24 g 的鐵，請問此氧化鐵的實驗式？



重點整理

1. 以元素符號表示純物質的組成式子，稱為化學式，可分成實驗式、分子式、結構式、示性式、電子點式。
2. 化學式的決定方法：定性分析→以適當方法進行定量分析→求出實驗式→測定分子量求得分子式。



學後評量

- () 1. 測量氧化鎂的實驗式時，若坩堝內有黑色物質，其可能為下列何者？
(A) MgO (B) Mg_3N_2 (C) $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (D) Mg
- () 2. 以本生燈加熱坩堝時，為避免受熱不均而破裂，通常會放在下列何種材料上方？
(A) 陶瓷纖維網 (B) 蒸發皿 (C) 泥三角 (D) 直接加熱即可
- () 3. 表示純物質組成的最簡單化學式，為下列何者？
(A) 實驗式 (B) 分子式 (C) 結構式 (D) 示性式
- () 4. CH_3COOH 是乙酸的？
(A) 實驗式 (B) 分子式 (C) 結構式 (D) 示性式
- () 5. 離子化合物常以下列何種化學式表示？
(A) 實驗式 (B) 分子式 (C) 結構式 (D) 示性式
- () 6. 有機化合物最常用的化學式為？
(A) 實驗式 (B) 分子式 (C) 結構式 (D) 示性式
- () 7. 測量氧化鎂的化學式時，過程中加水至坩堝內主要是為了與下列何種物質反應？
(A) Mg (B) MgO (C) Mg_3N_2 (D) N_2
- () 8. 以燃燒法分析純物質的元素含量時，加入氧化銅是做為下列何種用途？
(A) 催化劑 (B) 還原劑 (C) 氧化劑 (D) 燃料
- () 9. 某化合物只含碳、氫及氧三種元素，重 4.00 克，經完全燃燒後，得到二氧化碳 6.00 克和水 1.63 克，請問此化合物的實驗式為何？
(A) $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$ (B) CH_2O (C) $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ (D) $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$
- () 10. 將氯酸鉀加熱分解以分析其化學式的過程，常會加入二氧化錳，其功用為何？
(A) 催化劑 (B) 還原劑 (C) 氧化劑 (D) 燃料