

3-1 化學式

(一)化學式的意義：

- A、凡用元素符號和簡單數字來表示物質組成的式子，稱為化學式。
- B、常見化學式有實驗式、分子式、結構式、示性式及電子點式等。
- C、電子點式可以將分子內的價電子分布情形表示出來。
- D、醋酸的化學式

實驗式	分子式	結構式	示性式	電子點式
CH ₂ O	C ₂ H ₄ O ₂	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	CH ₃ COOH	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \cdot\ddot{\text{O}} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\ddot{\text{O}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$

(二)實驗式：

- A、表示純物質組成的最簡單化學式，稱為實驗式；它僅能表明物質內所含原子種類與不同原子間的最簡整數比，又稱簡式。
- B、不同的化合物，可以有相同的實驗式。
例：醋酸(乙酸)CH₃COOH 為示性式，其分子式為 C₂H₄O₂，而實驗式則為 CH₂O；
葡萄糖 C₆H₁₂O₆ 為分子式，其簡式為 CH₂O。
可知：乙酸和葡萄糖為不同的物質，有不同的分子式，但是簡式相同。

C、實驗式內各元素之原子量總和，稱為「實驗式量」，簡稱「式量」。

乙酸的分子量 CH₃COOH = 12x2 + 1x4 + 16x2 = 60；

葡萄糖分子量 C₆H₁₂O₆ = 12x6 + 1x12 + 16x6 = 180；

兩者簡式的式量 CH₂O = 12 + 1x2 + 16 = 30。

乙酸的分子量為式量的 2 倍；葡萄糖的分子量為式量的 6 倍。

分子量必為式量的整數倍。

D、實驗式相同的物質，重量百分組成必相同。

乙酸 CH₃COOH 的分子式為 C₂H₄O₂，分子量 = 12x2 + 1x4 + 16x2 = 24 + 4 + 32 = 60

其中 C 的含量佔 $\frac{24}{60}$ ，H 的含量佔 $\frac{4}{60}$ ，O 的含量佔 $\frac{32}{60}$ 。

葡萄糖的分子式為 C₆H₁₂O₆，分子量 = 12x6 + 1x12 + 16x6 = 72 + 12 + 96 = 180

其中 C 的含量佔 $\frac{72}{180} = \frac{24}{60}$ ，H 的含量佔 $\frac{12}{180} = \frac{4}{60}$ ，O 的含量佔 $\frac{96}{180} = \frac{32}{60}$ 。

E、實驗式相同的兩不同化合物，等重時，具有相同的原子數，但是不同的分子數目。

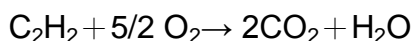
乙炔(C₂H₂)與苯(C₆H₆)，實驗式皆為 CH，重量百分組成 C 佔 $\frac{12}{13}$ ，H 佔 $\frac{1}{13}$ 。

52 克的乙炔(C₂H₂)C 原子質量 = $52 \times \frac{12}{13} = 48$ 克；H 原子質量 = $52 \times \frac{1}{13} = 4$ 克

52 克的苯(C₆H₆) C 原子質量 = $52 \times \frac{12}{13} = 48$ 克；H 原子質量 = $52 \times \frac{1}{13} = 4$ 克

F、實驗式相同的兩不同化合物，等重的有機物完全燃燒時，需氧量相同，生成 CO_2 的質量也相同。

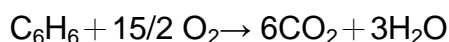
乙炔(C_2H_2)的分子量=26， 苯(C_6H_6)的分子量=78，假設兩者等質量，皆為 78 克



莫耳數比 1 : 5/2 : 2 : 1

$$1 : \frac{5}{2} = \frac{78}{26} : x \quad x = 7.5 \text{ 莫耳(耗氧量)}$$

$$1 : 2 = \frac{78}{26} : y \quad y = 6 \text{ 莫耳(產生 } \text{CO}_2 \text{ 的量)}$$



莫耳數比 1 : 15/2 : 6 : 3

$$1 : \frac{15}{2} = \frac{78}{78} : x \quad x = 7.5 \text{ 莫耳(耗氧量)}$$

$$1 : 6 = \frac{78}{78} : y \quad y = 6 \text{ 莫耳(產生 } \text{CO}_2 \text{ 的量)}$$

G、常以實驗式表示的非分子物質：

(1).金屬元素(金屬晶體)：如鈉(Na)、銅(Cu)、鐵(Fe)、銀(Ag)等。

(2).網狀固體：如金剛石(C)、石墨(C)、矽(Si)、金剛砂(SiC)、二氧化矽(SiO_2)等。

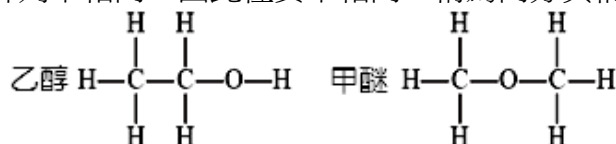
(3).離子化合物：如食鹽(NaCl)、氯化銨(NH_4Cl)、氫氧化鈉(NaOH)、硝酸鉀(KNO_3)等。

【註】：金屬晶體、離子化合物、網狀共價固體都是由原子或離子堆積而形成兩度或三度空間的巨大結構，沒有特定的原子數目及大小，沒有具體的分子存在其中，因此僅知晶體內原子的種類及比例，故以簡式表示。

(三)分子式：

A、分子式是表示分子結構物質每一分子中所含原子種類及數目的化學式。

B、乙醇 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 的分子式為 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ，甲醚 CH_3OCH_3 的分子式為 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ，兩者有相同的分子式，但是結構排列不相同，因此性質不相同，稱為同分異構物。



C、乙醇和甲醚的分子式相同，因此簡式相同，但由於排列不同，因此示性式不同，結構式不同，不是相同物質。

D、分子式=(實驗式) $_n$ ，分子量=(式量) $\times n$ 。

(1)常態下的氣體：

甲、元素：氫氣(H_2)、氧氣(O_2)、氮氣(N_2)、氟氣(F_2)、氯氣(Cl_2)及鈍氣(惰性氣體)。
如 He、Ne、Ar ...等。

乙、化合物： CO 、 CO_2 、 NO 、 NO_2 、 SO_2 、 SO_3 、 CH_4 、 C_2H_6 ...等。

(2)一些非金屬元素：萘(C_{60})、黃磷(P_4)、硫磺(S_8)、溴(Br_2)、碘(I_2)...等。

(3)常見的酸及有機物：

甲、無機含氧酸(H_mXO_n)：如 H_2SO_4 、 HNO_3 、 H_3PO_4 、 H_2CO_3 ...等。

乙、非金屬的氫化物：如 HCl 、 HBr 、 H_2S 、 HCN ...等。

丙、有機化合物：如 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 CH_3COOH ...等。

B、測定方法：

- (1).將定量的有機試料燃燒產物先通過高溫的 CuO(作氧化劑，幫助試料完全氧化)。
- (2).先通過過氯酸鎂 $Mg(ClO_4)_2$ 以吸收 H_2O ，再通過氫氧化鈉 NaOH 以吸收 CO_2 。
- (3).由過氯酸鎂與氫氧化鈉所增加的重量，求得 H、C 之組成。即：

$$\text{測得 } H_2O \text{ 質量求含 H 的質量} = H_2O \text{ 重} \times \frac{2}{18}$$

$$\text{測得 } CO_2 \text{ 質量求含 C 的質量} = CO_2 \text{ 重} \times \frac{12}{44}$$

若含氧元素，則含 O 質量 = 試料質量 - C 元素質量 - H 元素質量。

【例 1】3 g 的某有機化合物完全燃燒以後，得到 4.4 g 的二氧化碳及 1.8 g 的水。試求此有機化合物的實驗式及式量為何？

【答案】：簡式為 CH_2O ，式量 = 30

【解析】：物質含碳 C 質量 = $4.4 \times \frac{12}{44} = 1.2$ 克 物質含氫 H 質量 = $1.8 \times \frac{2}{18} = 0.2$ 克

物質含 O 質量 = $3 - 1.2 - 0.2 = 1.6$ 克

$$\text{莫耳數 } C : H : O = \frac{1.2}{12} : \frac{0.2}{1} : \frac{1.6}{16} = 0.1 : 0.2 : 0.1 = 1 : 2 : 1$$

化合物的簡式 = CH_2O 式量 = $12 + 1 \times 2 + 16 = 30$

【例 2】燃燒維生素 C 試樣 1.76 mg，得二氧化碳 2.64 mg 和水 0.72 mg。

(1) 維生素 C 的實驗式為何？

(2) 若由另一實驗測得其分子量為 180，則維生素 C 分子式及分子量為何？

【答案】：(1) $C_3H_4O_3$ (2) 分子式為 $C_6H_8O_6$ ；精確的分子量 = 176

【解析】：物質含碳 C 質量 = $2.64 \times \frac{12}{44} = 0.72$ mg 物質含氫 H 質量 = $0.72 \times \frac{2}{18} = 0.08$ mg

物質含 O 質量 = $1.76 - 0.72 - 0.08 = 0.96$ mg

$$\text{莫耳數 } C : H : O = \frac{0.72}{12} : \frac{0.08}{1} : \frac{0.96}{16} = 0.06 : 0.08 : 0.06 = 3 : 4 : 3$$

化合物的簡式 = $C_3H_4O_3$ 式量 = $36 + 4 + 48 = 88$

$$\text{分子量} = \text{式量} \times n \quad 180 = 88n \quad \Rightarrow \quad n = 2$$

分子式 = $C_6H_8O_6$ 精確的分子量 = $88 \times 2 = 176$

【例 3】在氧氣下燃燒 3.42 g 只含有氮和氫的化合物，可獲得 9.82 g NO_2 和 3.85 g 水，若由另一實驗測得此氮氫化合物的分子量為 32，則此化合物的分子式為何？(N = 14)

【答案】： N_2H_4

【解析】： NO_2 分子量 = $14 + 32 = 46$ N 佔 $14/46$ ，

H_2O 分子量 = $2 + 16 = 18$ H 佔 $2/18$

物質含 N 質量 = $9.82 \times \frac{14}{46} = 2.99$ 物質含 H 質量 = $3.85 \times \frac{2}{18} = 0.43$

$$\text{莫耳數 } N : H = \frac{2.99}{14} : \frac{0.43}{1} = 0.21 : 0.43 \approx 1 : 2 \quad \text{簡式} = NH_2 \quad \text{式量} = 14 + 2 = 16$$

分子量 \div 式量 = $32 \div 16 = 2$ 分子式 = N_2H_4

【例 4】下列敘述何者正確？(有二答)

- (A)分子式相同，但是結構式不同的化合物稱為同分異構物
(B)氧氣與臭氧互為同分異構物 (C)甲烷和乙烷互為同分異構物 (D)乙醚和乙醇互為同分異構物 (E)乙酸和甲酸甲酯互為同分異構物。

【答案】：(A)(E)

【解析】：(A)有相同的分子式，但是結構排列不相同，因此性質不相同，稱為同分異構物。

(B)氧氣 O_2 與臭氧 O_3 為同素異性體，為相同元素，不同的結構排列。

(C)同分異構物的分子式相同，甲烷與乙烷的分子式不同，不是同分異構物。

(D)乙醇是和甲醚為同分異構物。

(E)乙酸化學是為 CH_3COOH ，甲酸甲酯的化學是為 $HCOOCH_3$ ，兩者的分子式相同，皆為 $C_2H_4O_2$ ，簡式皆為 CH_2O ，兩者是同分異構物。

【例 5】下列敘述，何者錯誤？

- (A) CH_3COOH 與 $C_6H_{12}O_6$ 的簡式相同 (B) CH_3OCH_3 與 C_2H_5OH 的分子式相同
(C) H_2O_2 是過氧化氫的簡式 (D)分子式的原子總數可能多於或等於實驗式的原子總數
(E)結構式既可表示化合物中之原子種類、原子數目，又可表示部分化性。

【答案】：(C)

【解析】：(A) CH_3COOH 的分子式為 $C_2H_4O_2$ ，簡式為 CH_2O ， $C_6H_{12}O_6$ 的簡式也是 CH_2O 。

(B) CH_3OCH_3 與 C_2H_5OH 的分子式都是 C_2H_6O ，兩者的分子式相同，互為同分異構物。

(C) H_2O_2 是過氧化氫的分子式，簡式為 HO 。

(D)分子式約分後成為簡式，因此分子式為簡式的倍數，分子式的原子總數可能是簡式的 1 倍或多倍，因此必多於或等於實驗式的原子總數。

(E)結構式可表示原子間相鍵結的情形，但並不表示分子的實際形狀，利用球－棍模型、空間填充模型等分子模型，可以顯示分子在三度空間的排列形狀。

【例 6】化合物甲經元素分析得 C：54.50%，H：9.18%，其餘為氧；又甲 0.33 g 汽化後，在 200 °C 及 1 大氣壓下之體積為 145 mL；同溫同壓下 145 mL 的氧氣重 0.12 g。求化合物甲之 (1)實驗式？ (2)分子量？ (3)分子式？

【答案】：(1)實驗式： C_2H_4O (2)分子量：88 (3)分子式： $C_4H_8O_2$

【解析】：假設 C 有 54.5 克，H 有 9.18 克，則 O 質量 = $100 - 54.5 - 9.18 = 36.32$ 克

$$\text{則莫耳數比 } C : H : O = \frac{54.5}{12} : \frac{9.18}{1} : \frac{36.32}{16} = 4.54 : 9.18 : 2.27 = 2 : 4 : 1$$

因此簡式為 C_2H_4O ，式量 = $24 + 4 + 16 = 44$

同溫同壓同體積下，氣體的分子數相等，莫耳數相等 \Rightarrow 質量比 = 分子量比

$$\frac{0.12}{32} = \frac{0.33}{x} \Rightarrow x = 88 \quad \text{分子量為 } 88 \Rightarrow 88 \div 44 = 2, \text{ 因此分子式為 } C_4H_8O_2$$

【例 7】同溫同壓下，某氣體化合物僅含碳、氫、氮三元素，將此化合物與恰能使其完全燃燒所需之氧混合，此混合氣體 9 體積燃燒後生成 4 體積的 CO_2 、6 體積的水蒸氣及 2 體積的氮，則其分子式為何？

【答案】： $C_2H_6N_2$

【解析】： $a C_xH_yN_z + (9-a)O_2 \rightarrow 4 CO_2 + 6 H_2O + 2 N_2$ ，

$$\text{則 } ax = 4 \quad ay = 12 \quad az = 4 \quad 2(9-a) = 8 + 6 = 14 \quad 9 - a = 7 \quad a = 2$$

$$x = 2 \quad y = 6 \quad z = 2 \quad \text{因此分子式為 } C_2H_6N_2$$

【例 8】下列何者不為實驗式？

(A) KCl (B) SiO₂ (C) Cu (D) C₆H₆ (E) NaHCO₃。

【答案】：(D)

【解析】：(A)KCl 為離子化合物，以簡式表示； (B) SiO₂ 為網狀固體，以簡式表示。
(C)Cu 為金屬，以簡式表示； (D) C₆H₆：為分子化合物，以分子式表示。
(E)NaHCO₃ 為離子化合物，以簡式表示。

【例 9】某有機化合物由 C、H、N 元素組成，高溫下取其氣體 10 mL 完全燃燒後，在同溫同壓下生成 20 mL CO_{2(g)}、5 mL N_{2(g)}、35 mL H₂O(g)，則此有機化合物分子式為：

(A) C₄H₇N (B) C₂H₅N (C) C₂H₇N (D) C₃H₇N。

【答案】：(C)

【解析】：假設化合物的化學式為 C_xH_yN_z，則 $C_xH_yN_z + O_2 \rightarrow x CO_2 + \frac{y}{2} H_2O + \frac{z}{2} N_2$

同溫同壓下，氣體的體積比 = 莫耳數比：

$$1 : x : \frac{y}{2} : \frac{z}{2} = 10 : 20 : 35 : 5, \text{ 可得 } x : y : z = 2 : 7 : 1$$

因此該化合物為 C₂H₇N

【例 10】等重的甲醛(HCHO)、乙酸(CH₃COOH)和甲酸甲酯(HCOOCH₃)比較，下列何者正確？

(A)有相同的原子數 (B)甲酸甲酯的莫耳數最少 (C)與足量空氣作用時可生成性質相同且體積相等的氣體 (D)燃燒時，甲醛所需的氧最多 (E)溶於水時均不能導電。

【答案】：(A)(C)

【解析】：甲醛(HCHO)、乙酸(CH₃COOH)和甲酸甲酯(HCOOCH₃)三者的簡式都相同，皆為 CH₂O；
甲醛(HCHO)分子量 30，乙酸(CH₃COOH)和甲酸甲酯(HCOOCH₃)的分子量均為 60。
假設每項物質各有 1 克，則：

$$(A) \text{ 甲醛(HCHO)} = \frac{1}{30} \times 4 = \frac{2}{15}, \text{ 乙酸(CH}_3\text{COOH)} = \frac{1}{60} \times 8 = \frac{2}{15},$$

$$\text{甲酸甲酯(HCOOCH}_3\text{)} = \frac{1}{60} \times 8 = \frac{2}{15}, \text{ 等質量時原子數相等。}$$

$$(B) \text{ 各物質 1 克時，甲醛莫耳數} = \frac{1}{30}, \text{ 乙酸莫耳數} = \frac{1}{60}, \text{ 甲酸甲酯莫耳數} = \frac{1}{60}。$$

乙酸和甲酸甲酯的分子莫耳數最少。

(C)(D)簡式相同時，等質量的物質燃燒，產生的 CO₂ 質量相等，需要的氧氣質量相等。



乙酸與甲酸甲酯的分子式相同，均為 C₂H₄O₂。



甲醛：產生 $\frac{1}{30}$ 莫耳 CO₂， $\frac{1}{30}$ 莫耳 H₂O

乙酸與甲酸甲酯：產生 $\frac{1}{60} \times 2 = \frac{1}{30}$ 莫耳 CO₂， $\frac{1}{60} \times 2 = \frac{1}{30}$ 莫耳 H₂O

(E)僅乙酸 CH₃COOH 為弱酸，弱電解質，可導電。

【例 11】現有某一含 C、H、O 的液態未知物，將此未知物 7.40 毫克置於純氧中使其完全燃燒後，產物先通過含無水過氧酸鎂之吸收管，再經氫氧化鈉吸收管，結果過氧酸鎂吸收管重量增加了 5.40 毫克，氫氧化鈉吸收管重量增加了 13.2 毫克，則此未知物的實驗式為何？
(A)C₃H₆O (B)C₃H₄O₂ (C)C₂H₅O₂ (D)C₃H₆O₂。

【答案】：(C)

【解析】：含 C 的重量 = $13.2 \times \frac{12}{44} = 3.60$ (mg)

過氧酸鎂增加的質量為 H₂O 的質量，質量增加 5.40mg，

$$\text{化合物中含 H 質量} = 5.40 \times \frac{1}{9} = 0.60\text{mg}$$

氫氧化鈉增加的質量為 CO₂ 的質量，質量增加 13.2mg

$$\text{化合物中含 C 質量} = 13.2 \times \frac{3}{11} = 3.6\text{mg}$$

含 O 的重量 = $7.40 - 0.60 - 3.60 = 3.20$ (mg)

$$\text{原子莫耳比} = \text{C} : \text{H} : \text{O} = \frac{3.6}{12} : \frac{0.60}{1} : \frac{3.20}{16} = 3 : 6 : 2$$

∴化合物的實驗式為 C₃H₆O₂

【例 12】以下哪些物質的化學式可以顯現該物質的特性？

(A)丙酮(C₃H₆O) (B)乙二酸(H₂C₂O₄) (C)丙醛(C₂H₅CHO) (D)甲酸乙酯(HCOOC₂H₅)
(E)乙醚(C₄H₁₀O)。

【答案】：(C)(D)

【解析】：示性式能顯示化學物質的部分特性，選項中僅(C)(D)為示性式。

(A)(B)(E)皆為分子式。

【例 13】下列關於葡萄糖和冰醋酸 (CH₃COOH) 的敘述，何者錯誤？

(A)有相同的實驗式 (B)等重時，碳元素的重量百分率相同 (C)不等重時，氧元素的重量百分率相同 (D)互為同分異構物 (E)等莫耳數時，葡萄糖中碳元素的重量百分率為冰醋酸的 3 倍。

【答案】：(D)(E)

【解析】：(D)葡萄糖(C₆H₁₂O₆)與冰醋酸(CH₃COOH)，有不同的分子式，但是簡式相同，兩者不是同分異構物。

(E)簡式相同，元素的重量百分組成相同。葡萄糖的 C% = $\frac{72}{180} \times 100\% = 40\%$ ；

$$\text{冰醋酸的 C\%} = \frac{24}{60} \times 100\% = 40\%。$$