

# 化學原理(II)——化學方程式

## 第一部份：簡單的反應

林弘敏 譯

### 一、前言

如果我們把化學方程式解釋為應用於化學上的方程式，那將是一種錯誤的觀念。讓我們舉出一些在化學上常用的方程式為例，像愛因斯坦的質能方程式，凡得瓦方程式，能斯特方程式（Nernst Equation），敘羅丁格方程式（Schroödinger Equation）以及理想氣體定律。這些都是化學家常用到的方程式，但它們都不是化學方程式，而只是能應用於化學上的數學方程式。

簡言之，數學方程式為至少含有一個變數的等式，等號（=）的左邊一定等於其右邊。而在化學方程式中其右邊並不真正等於左邊。化學方程式只表示等號兩邊的質量，原子的種類和數目完全相同，但是方程式兩邊不能像數學方程式一樣可互相置換，因為化學方程式的兩邊含有不同的物質。嚴格來說，化學方程式是一個錯誤的名詞。

事實上，化學方程式只是以化學符號簡明地敘述一種化學反應。例如，當鋅與黃色的硫混合並加熱時，就產生白色固態的硫化鋅。如果要用最簡潔的方法來表示這個化學現象，我們可以這樣寫著：

“鋅加硫產生硫化鋅”

假如我們用元素符號代表元素，用化學式表示化合物，而且以箭頭“→”表示“產生”，那麼上面的文句敘述可改為



這就是化學方程式。開始參與反應的物質，我們稱為反應物，寫在箭頭的左邊，而反應後的生成物寫在箭頭的右邊。有些化學家在寫化學方程式

時仍然使用“=”，但大多數的人較喜歡使用箭號，因為箭號較能表明化學反應進行的方向。我們必須注意在上述的反應中那白色固態生成物（硫化鋅）與銀色的金屬片（鋅）和黃色粉末（硫）兩種反應物完全不同，但是反應物與生成物的質量完全相等，而且兩者的鋅與硫原子數目完全相同。

### 二、化學方程式的歷史

化學方程式是拉瓦錫（Antoine Lavoisier）最先開始使用的。公元1789年在他所發表的“化學元素”一文中，他以下面的文字敘述發酵反應：

“因為葡萄汁可生成碳酸和酒精，所以我認為

葡萄汁 = 碳酸 + 酒精

我們可以把葡萄汁和經發酵後生成的碳酸與酒精，假設能構成一種數學方程式”

我們不可能過份強調拉瓦錫報告的重要性。它對科學界有非常深遠的影響。它在化學史上的地位可與牛頓定律對物理界的影響相媲美。

拉瓦錫提出的化學方程式最有名的也許是由氫與氧生成水的反應。他給這兩種當時剛發現的元素命名為氫和氧。

氫 + 氧 = 水

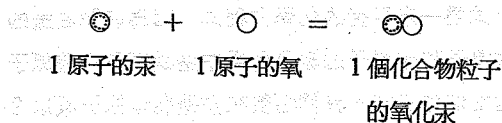
他證實當氫在氧中燃燒，所生成的水重等於氫與氧所失去的總重。拉瓦錫另一個著名的反應為從汞和氧定量製備氧化汞。

汞 + 氧 = 氧化汞  
（銀色液體）（無色氣體）（紅色固體）

這些實驗終於使他導出質量不減定律（Law of Conservation of Mass）。反應前和反應後質量

相等的事實促使拉瓦錫產生靈感而想到用代數方程式來表示化學反應。當然他當時是以文字的方式來表示化學方程式，因為化學符號在二十五年以後才被提出來。

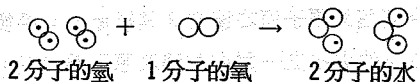
公元 1800 年初期，道耳吞欲使科學家廣泛使用化學符號。當時他用圓圈“○”表示氧，其他元素則在圓圈內再加上一些記號表示。例如汞與氧生成氧化汞的反應，道耳吞寫為



由氫和氧生成水的反應他寫作



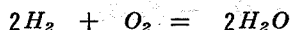
假如道耳吞當時承認給呂薩克化合物體積定律（氫與氧之化合物體積比證明為 2 : 1）和亞佛加厥學說（氫與氧均設為雙原子分子），他就會把上述反應正確地寫如下式：



從元素的拉丁名字中取一個或兩個字母來表示該元素的化學符號，最早為柏傑里爾斯（Jöns Jakob Berzelius）在公元 1814 年提出。對於水的生成反應他寫成



當科學家承認亞佛加厥學說以後，寫在化學符號右上角的數目就改寫在右下角，上面的方程式即改為



方程式中的等號直到二十世紀才開始改用箭號，但當時的化學雜誌以箭號表示的化學方程式仍然很少。Alexander Smith 早在公元 1912 年在他所著的教科書“無機化學概論”中已改用箭號，但大多數的科學家遲至公元 1945 年才改過來。即使在 60 年代和 70 年代我們還會偶然發現一些仍然使用等號“=”的教科書。一般而言，有機化學家比無機化學家較早採用箭號。時至今日，“等

號”雖有時仍被使用的，大多數的化學家似乎都認為化學方程式使用箭號是比較適當的。

### 三、如何寫出化學方程式

要寫出一個化學反應的方程式之前，首先我們必須要了解該反應發生了什麼變化？什麼是反應物？反應後什麼產物生成了？同時我們必須知道如何寫出化學式。不先知道化學式的寫法而想寫出化學方程式猶如不先讀中文而就想寫中文句子。

假設我們已熟知正確化學式的寫法以及在某一反應中的反應物和生成物，下一步驟便是如何把那些資料轉變成化學方程式。寫出化學方程式的一些定則茲簡述如下：

(1) 使用化學符號和化學式來表示反應發生的情形。箭號左邊列出所有反應物，而在右邊列出所有生成物。

(2) 仔細檢查所使用的化學符號和化學式是否正確（必須根據已知的價數或實驗數據）。

(3) 平衡方程式。式中每一項的係數（即計量係數）最好使用最小整數值。

未經化合的元素在化學方程式中就用該元素的符號表示。有少數的元素，其符號與現代所使用的元素名稱不相符合，因為其符號是取自它們的古拉丁名字。這些元素只有十種，但全是重要的金屬元素。我們必須要熟記它們的化學符號：鈉（Sodium）的元素符號為 *Na*，鉀（Potassium）為 *K*，鐵（Iron）為 *Fe*，銅（Copper）為 *Cu*，銀（Silver）為 *Ag*，錫（tin）為 *Sn*，銻（Antimony）為 *Sb*，金（gold）為 *Au*，汞（mercury）為 *Hg*，和鉛（lead）為 *Pb*。除此之外，鎢（wolfram）的元素符號為 *W*，但其通用之英文名稱為 tungsten。

我們也要記住雙原子的氣體元素在化學方程式中必須表示出它們是雙原子分子。氣體中共有五種雙原子分子，即氫（ $\text{H}_2$ ），氮（ $\text{N}_2$ ），氧（ $\text{O}_2$ ），氟（ $\text{F}_2$ ），氯（ $\text{Cl}_2$ ）。低沸點的溴（ $\text{Br}_2$ ）

和高揮發性固體碘 ( $I_2$ ) 也是雙原子分子。所以總共有七種雙原子分子的元素。氫在週期表的第一個位置，其他雙原子分子在週期表上的位置可由第七個位置 (氮)，經過氧的位置而至鹵族元素，畫出一個想像的“7”字來決定。還有一些元素常形成小型的多原子分子，如  $P_4$  與  $P_8$ 。它們在化學方程式中可以多原子分子表示，不過通常我們沒有這樣表示。(只有低熔點的白磷其化學式以  $P_4$  表示，比較穩定的紅磷含有巨型分子，通常在方程式中僅以  $P$  表示。)

化學方程式中的化合物必須以正確的化學式表示。化合物的化學式可由實驗數據決定之。不過通常化學式是由元素的價數 (即元素的化合能力或其離子的電荷數) 來決定。因為鋁為 (+3) 價，氟為 (-1) 價，故氟化鋁的化學式為  $AlF_3$ 。硫酸銨是由硫酸根 ( $SO_4^{2-}$ ) 與銨根 ( $NH_4^+$ ) 形成的，故其化學式為  $(NH_4)_2SO_4$ 。磷酸鎂由鎂離子 ( $Mg^{+2}$ ) 和磷酸根 ( $PO_4^{3-}$ ) 形成的，故其化學式為  $Mg_3(PO_4)_2$ 。應注意的是化學式中元素右下角的數目與該元素的價數恰成反比。假如右下角的數目是 1，通常我們省略不表示。化合物正確的化學式決定之後，就不能為了平衡化學方程式而改變該化學式。

完成化學方程式的最後步驟為檢查它是否平衡。所謂方程式的平衡，即式中箭號的兩邊各元素的原子數目必須完全相同。有一些方程式本來就已平衡，但許多方程式必須在每一項前加上適當的係數後才會平衡。

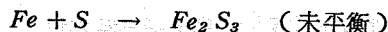
#### 四、化學方程式的平衡

嚴格的說，我們不應說“平衡方程式”，因為它既然被稱為方程式，它應早已獲得平衡。或許我們可把未平衡的化學方程式當作是未完成的方程式。為了要符合質量不減定律，參與反應的所有原子在反應終了時必須完全存在，因此化學方程式左邊的原子應與右邊相同的原子達到平衡 (即原子數目相同)。

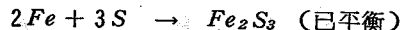
鐵與硫生成硫化亞鐵的反應，其化學方程式可寫為：



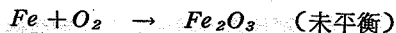
式中每一元素符號可想作是一原子的該元素，在箭號兩邊各有 1 個鐵原子和硫原子，因此上式是一個已平衡的化學方程式。再看看鐵與硫的另一個反應，鐵與硫也可產生硫化鐵，



上式為一未平衡的化學方程式，因為箭號右邊的鐵原子和硫原子的數目各為左邊鐵原子和硫原子的兩倍和三倍。我們必須在左邊將鐵原子乘以 2 和硫原子乘以 3，(即在  $Fe$  前面寫上 2，在  $S$  前面寫上 3) 來達成該化學方程式的平衡



。假如鐵與氧反應生成氧化鐵，它應寫為



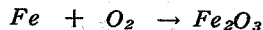
(記住氧為七種雙原子分子之一) 我們可在左邊鐵原子乘以 2 以平衡兩邊鐵原子的數目。方程式左邊有兩個氧原子而右邊有 3 個氧原子。平衡兩邊氧原子的方法之一為在左邊氧原子乘以  $\frac{3}{2}$ 。



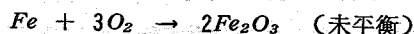
此時上式即成為一平衡方程式，但却不是常用的形式。雖然有時我們使用非整數的計量係數，但平常，我們在化學方程式的平衡中應使用最小整數的係數。在上式中每一項各乘以 2，即可得整數的係數。



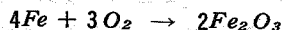
這個方程式



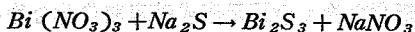
的另一平衡法為先平衡兩邊氧原子的數目，即  $O_2$  項乘以 3，和  $Fe_2O_3$  項乘以 2，使兩邊氧原子總數各等於 6。



因此時右邊兩單位的  $Fe_2O_3$  含有 4 個鐵原子，故很明顯地左邊  $Fe$  項必須乘以 4 以達到平衡。



硝酸銨與硫化鈉的反應寫如下式，



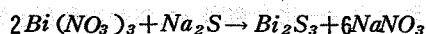
(未平衡)

不管從那一種元素先開始平衡方程式，結果都是一致的。讓我們先平衡鉍原子。如果左邊  $Bi(NO_3)_3$  乘以 2 時，則其鉍原子數目必等於右邊鉍原子的數目，即



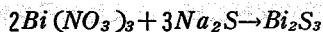
(未平衡)

此時左邊有 6 個單位的硝酸根，所以右邊的  $NaNO_3$  須乘以 6 以得到硝酸根的平衡。



(未平衡)

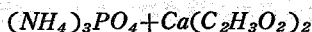
(把硝酸根當作一整體單位的平衡方法比分別平衡氮與氧原子來得方便多了。)現在方程式右邊有 6 個鈉原子，左邊僅有兩個，故右邊  $Na_2S$  項須乘以 3 以平衡兩邊的鈉原子，



(平衡)

而且我們發現同時平衡了兩邊的硫原子。因此上式已成爲平衡方程式。

每當你發現化學方程式中兩邊有多原子離子時最簡便的平衡法爲把它當作一整體而平衡方程式兩邊該離子的個數。最常看到的多原子離子爲  $NH_4^+$ ， $NO_3^-$ ， $OH^-$ ， $C_2H_3O_2^-$ ， $SO_4^{2-}$ ， $CO_3^{2-}$  和  $PO_4^{3-}$ 。讓我們舉下面這個反應爲例。



如果你把鉍根，磷酸根，醋酸根各當作一整體而平衡兩邊各離子的數目，你將會發現它比一種原子的平衡要簡單多了。你可自行平衡看看。

(此方程式各項係數從左至右依序爲 2，3，(1)，和 6。)

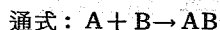
以上幾個方程式是經我們用觀察的方法和加上適當的係數就完成平衡了。許多方程式的確可用這個簡單方法而達到平衡，可是對某些方程式，這個方法就行不通了。尤其是一些複雜的氧化還原方程式的平衡就顯得很不容易。複雜的方

式和其特殊的平衡方法將於第二部分討論。

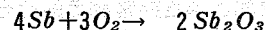
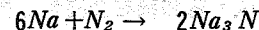
## 五、預測化學反應的生成物

從一組反應物我們並不一定能完全正確地預測該反應的生成物。有時我們必須實地進行該反應的實驗而分析反應後的生成物以確立反應的過程。有時從相同的反應物，因溫度或其他反應條件的變化而生成不同的產物，有些平行反應同時發生而產生許多複雜的生成物。但大部分的化學反應可分成四大類：(1)化合，(2)分解，(3)取代，(4)交換。每一類反應的產物都可以容易地預測出。

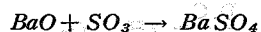
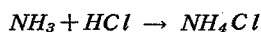
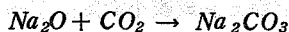
### (1) 化合反應 (Combination)



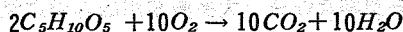
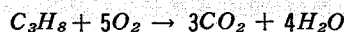
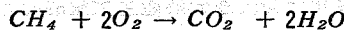
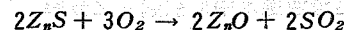
兩個不同的元素可化合成化合物如



假如兩個反應物均爲化合物，而且其中一種爲簡單的共價分子如  $H_2O$ ，或  $CO_2$ ，其產物可能爲該兩化合物之化合。



假如反應物爲氧與某種化合物，則其產物通常爲該化合物中的各種元素的氧化物。



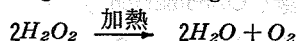
對於含碳和氫的化合物，包括常用的燃料，其氧化反應的主要產物爲  $CO_2$  和  $H_2O$ 。事實上燃料中的碳僅在理想狀態與過剩的氧作用才會完全生成  $CO_2$ ，否則有一些碳可能生成  $CO$ ，或甚至有部分的碳沒有燃燒而殘留下來。唯一可確定是否完全燃燒的方法是作產物的分析。對這樣的反應，

我們都假設其氧化反應是完全的而寫出它的化學方程式。

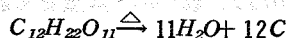
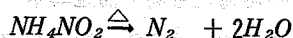
## (2) 分解反應 (Decomposition)

通式： $AB \rightarrow A + B$

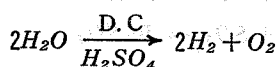
我們很容易辨認什麼反應是分解反應，因為它只含有一種反應物。如果反應中只有一種反應物質，則該物質不是自我互相作用，就是起分解作用。兩種元素化合成的化合物通常可能分裂再形成那兩種元素。（但不穩定化合物如過氧化物或多硫化物分解時失去過剩的氧或硫）例如，



含有兩種元素以上的化合物可能分解生成兩種較為簡單的化合物或生成一種簡單的化合物和一種元素。當然穩定的元素和化合物為分解反應的產物是意料中事。碳，氮和稀有金屬都是穩定的元素，而二氧化碳和水都是非常穩定的化合物。



（“ $\Delta$ ”記號是加熱的意思）穩定化合物惟有在特殊的情況下才能分解成較不穩定的產物，例如水的電解



寫在箭號上面的“D.C.”代表直流電，加進硫酸是欲使電流通過水中而引起水之分解。

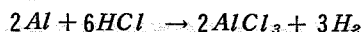
有些化合物快速分解產生大量的氣體，由於短時間氣體體積的迅速膨脹而引起爆炸。這些爆炸性的物質稱為炸藥。大多數常用的炸藥為氮化合物，因它可分裂產生相當穩定的氮氣。

## (3) 取代反應 (Displacement)

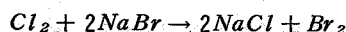
通式： $AB + C \rightarrow CB + A$

取代反應的反應物包括一化合物和一元素。該元素進行取代該化合物中某一種元素，故取代反應的生成物為一新元素（即被取代物）與一種

新化合物。金屬元素或氫應取代化合物中之陽性元素（即陰電性較低之元素），而鹵族元素應取



代化合物中之陰性元素（即陰電性較高之元素）

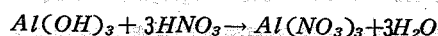
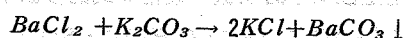
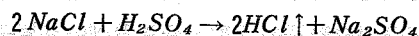


欲使取代反應自發性地進行，則進行取代之元素一定要比被取代元素的活性高。每當一個化學反應只含有一化合物和一元素等兩種反應物，則取代反應往往可能發生，除非該元素為氧，此時產物應為化合物各種元素的氧化物。

## (4) 交換反應（或稱為複分解）(Metathesis)

通式： $AB + CD \rightarrow AD + CB$

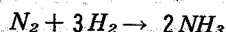
交換反應亦稱為複分解或複取代或配對交換反應。典型的交換反應，其反應物為兩種離子化合物，在反應中它們只是互相交換離子。驅使交換反應進行的原動力可能為產物中有一種是氣體（起逃逸出），或可能是一種非離子性化合物（如水），或是一種固體，其溶解度低，可從溶液沉澱出來。例如



（“ $\uparrow$ ”記號表示氣體產物，“ $\downarrow$ ”表示沉澱產物。交換反應是極其普遍的反應，所以每當你想預測兩種化合物反應後的產物，你一定要考慮可能進行這種簡單的交換反應。

## 六、化學方程式的意義

化學方程式不僅告訴我們什麼產物從什麼反應物而來，而且它也是化學反應的定量陳述。例如



此化學方程式提供我們下面一些化學反應的定性與定量的資料：

(1) 氮加氫產生氨。

(2) 一分子的氮與三分子的氫產生兩分子的氨。

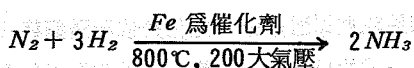
(3) 一莫耳的氮與三莫耳的氫產生兩莫耳的氨。

(4) 因為所有反應物與生成物都是氣體，故在同溫同壓下，一體積的氮與三體積的氫產生兩體積的氨。

(5) 在標準狀況下（0℃與1大氣壓），22.4升的氮與67.2升的氫產生44.8升的氨。

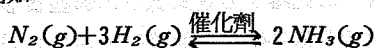
(6) 就質量而言，28.014克的氮與6.048克的氫產生34.062克的氨。

化學方程式甚至告訴我們反應的條件。通常這些條件是註明在箭號的上面或下面。例如

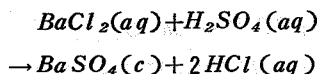


從這個方程式我們知道反應的條件必須是高溫與高壓，而且如無適當的催化劑如鐵，反應將無法迅速進行。（此反應為工業上的哈柏製氨法）

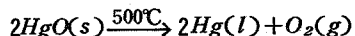
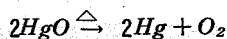
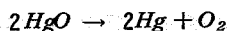
化學式後面添加(s)，(l)，或(g)等記號，以表示該化學式所代表的物質為固體，液體或氣體。例如



上式不僅表明所有三種物質都是氣體，和該反應需要催化劑，同時由一對可逆箭號表示該反應為一可逆反應，可產生反應物與生成物的平衡混合物。“aq”記號表示物質溶於水所形成的水溶液，“c”用來表示晶狀物質。例如



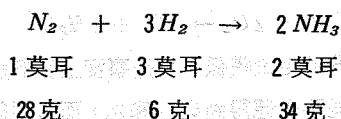
化學方程式的必要部分當然是反應物和生成物。即使最簡單的化學方程式也能告訴我們相當多的資料。方程式中加註物質的狀態和反應的條件雖不是必要，但這樣往往可使方程式顯得更有意義。下面是氯化汞進行分解反應的幾種化學方程式。



我們可以把更多的資料加到化學方程式中，如稍後我們將討論的離子或熱化學方程式。

## 七、化學方程式的計算

因化學方程式是化學反應的定量表示，故我們可利用它來作各種化學計算。例如形成氨的方程式表示28克的氮可與6g的氫化合。



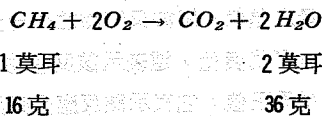
那麼280克的氮可與60克的氫化合，或14克的氮可與3克的氫化合。每一克的氮可與6/28克的氫完全作用。利用因次分析法（或稱因素—單位法）的整個計算過程為

$$\begin{aligned} ? \text{ 克氫} &= 1 \text{ 克氮} \times \frac{1 \text{ 莫耳氮}}{28 \text{ 克氮}} \times \frac{3 \text{ 莫耳氫}}{1 \text{ 莫耳氮}} \times \frac{2 \text{ 克氫}}{1 \text{ 莫耳氫}} \\ &= \frac{6}{28} \text{ 克氫或 } 0.2 \text{ 克氫} \end{aligned}$$

欲產生1公斤的氨在標準狀態(STP)下所需要的體積，其計算過程為

$$\begin{aligned} ? \text{ 升} &= 1000 \text{ 克氮} \times \frac{1 \text{ 莫耳氮}}{17 \text{ 克氮}} \times \frac{3 \text{ 莫耳氫}}{2 \text{ 莫耳氮}} \\ &\quad \times \frac{22.4 \text{ 升氫(STP)}}{1 \text{ 莫耳氫}} \\ &= 1776 \text{ 升氫(STP)} \end{aligned}$$

假如你要知道100克的天然氣（主要為甲烷）燃燒，可產生多少的水，首先寫出該燃燒反應的化學方程式



根據這個已平衡的方程式，我們知道一莫耳的甲烷將產生2莫耳的水。就質量來說每16克的甲烷燃燒將生成36克的水。

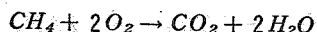
$$? \text{ 克水} = 100 \text{ 克甲烷} \times \frac{36 \text{ 克水}}{16 \text{ 克甲烷}} = 225 \text{ 克水}$$

計算結果表示100克甲烷燃燒應產生225克的水

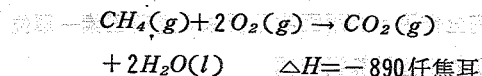
。(注意形成水之重量大於兩倍甲烷的重量)  
基於化學方程式的有關計算，我們有時稱為計量  
(stoichiometry)，它是最基本的化學計算。

## 八、熱化學方程式 (Thermodynamic Equation)

甲烷燃燒的化學方程式使我們知道甲烷燃燒  
的產物和



各化合物間的定量關係。可是事實上我們燃燒甲  
烷的目的並不是想得到 $\text{CO}_2$ 和水，而是要得到它  
所產生的熱量，所以化學方程式的另一更有用形  
式為



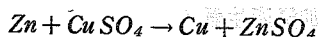
上式就是熱化學方程式。它告訴我們當甲烷在 $25^\circ\text{C}$   
燃燒生成 $\text{CO}_2$ 和水(產物再冷卻至 $25^\circ\text{C}$ )時，  
每一莫耳甲烷燃燒就有890仟焦耳的熱量產生。  
(熱化學方程式中反應物與生成物的狀態均假設  
在 $25^\circ\text{C}$ ，除非特別指定溫度)燃燒一克的甲烷  
(即 $\frac{1}{16}$ 莫耳)產生 $\frac{1}{16} \times 890$ 仟焦耳，即55.6仟焦耳  
的熱量，而50克甲烷就產生 $50/16 \times 890$ 仟焦耳  
的熱能。

在熱化學方程中，每一種反應物和生成物均  
須表明它們的物理狀態。對於普通化學方程式，  
物理狀態的註明是任意的，但在熱化學方程式中  
是一定必要的，因為物質物理狀態的改變勢必改  
變 $\Delta H$ 值。 $\Delta H$ 代表焓變化(Change of enthalpy)  
或熱含量變化。它是生成物之熱含量減去  
反應物熱含量之差值。假如反應物的熱含量大於  
生成物，則 $\Delta H$ 為負值，這表示該反應物是放熱  
的。假如 $\Delta H$ 為正值，它表示該反應是吸熱的。  
 $\Delta H$ 值必須由實驗測得或由熱化學數據表算出。

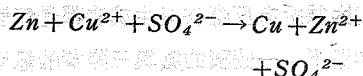
## 九、離子方程式

離子之間的反應常可以離子方程式更明確地  
表示出來。離子方程式只包含實際上參與反應的

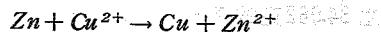
化學物。鋅與硫酸銅的反應通常寫為



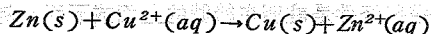
因 $\text{CuSO}_4$ 與 $\text{ZnSO}_4$ 為離子性化合物，上式可改  
寫為



上式兩邊都含有1單位的硫酸根。在此反應中硫  
酸根並不變化，所以它不是反應物，也不是生成  
物。它只是一個“旁觀”離子，因此離子方程式  
就不寫硫酸根。

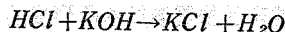
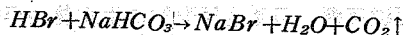
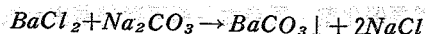


上式也可寫為

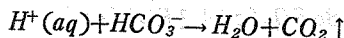
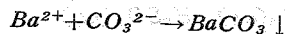


如果我們以醋酸銅，氯化銅或硝酸銅替代硫酸銅  
，上述的反應或其化學方程式完全不受影響。該  
反應的反應物實際上只是 $\text{Zn}$ 和 $\text{Cu}^{2+}$ 離子，也就  
是說整個反應就是銅被鋅取代的反應，不管什麼  
離子作為“旁觀”離子。

離子化合物間的交換反應通常是由於生成固  
體沉澱物，或氣體，或非離子化合物(如水)而  
造成的，因此離子方程式僅寫出那些會形成固體  
，氣體或非離子性產物的離子，而省略所有其他  
不實際參與作用的離子。例如

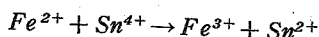


這些反應的方程式可改寫為下面的離子方程式。

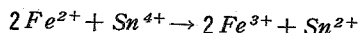


上面最後一式不僅表示 $\text{HCl}$ 被 $\text{NaOH}$ 中和的反應  
，而且也是任何酸的水溶液被任何含氫氧根( $\text{OH}^-$ )  
的鹼中和的反應。

因為離子帶有電荷，因此離子方程式不但左  
右兩邊的每一原子須要平衡，而且兩邊電荷的總  
和也要相等。下面的方程式乍看之下似乎已經平  
衡了，可是經檢查方程式左右兩邊離子的總電荷



後，我們可發現左邊帶有（+6）電荷而右邊帶有（+5）電荷，所以該方程式尚未平衡。當該方程確實平衡之後，即



左右兩邊電荷總數都是+8。

舊的化學文獻常用“·”與“，”而不用“+”與“-”的符號代表正、負離子。如氯化鉀由 $Ca^{\cdot}$ 與 $Cl^{\cdot}$ 兩種離子構成的。公元1930年代的文獻仍使用這些舊符號，現在這些舊符號已完全廢置不用了。鉛離子曾經被寫為 $Al^{\cdot\cdot}$ 或 $Al^{++}$ ，而現在通常寫為 $Al^{3+}$ 。

## 十、有機化學方程式

有機反應的方程式與無機反應的方程式之不同在於有機化合物通常以構造式而不用實驗式表示。因為有機化合物常具有許多同分異構物，所以有使用構造式的必要。雖然有機化學方程式表面上與無機化學方程式有所不同，但它們仍然屬於上述四大類的反應。烯類的加溴反應和醛類的加氫反應都是化合反應。碳氫化合物的加熱裂解和有機酸的去羧反應都是分解反應。鈉與醇類的作用是取代反應。威廉森醚類合成（Williamson ether Syntheses），苯的硝化反應，脂肪酸的酯化反應都是屬於交換反應。

一般化學方程式不說明反應為何或如何發生，可是有機化學家常常使用化學方程式說明反應機構，和中間反應步驟，有時甚至使用立體構造式。

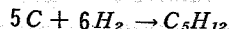
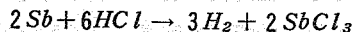
## 十一、化學方程式所不能告訴我們的

化學方程式含有許多關於化學反應的資料，但也有一些資料它無法告訴我們。例如它不能告訴我們反應需要多少時間。有些反應在一秒鐘內就幾乎完成，而有些反應需要幾小時，或幾天，或甚至幾個星期，也有些反應就是我們等了一百

年也難見其完成。同樣的方程式，由於反應條件的不同，可能代表一個很快或很慢的反應。例如鐵的氧化反應可能為五十年舊的穀倉門栓的生鏽過程，也可能為紅熱鐵粉丟入純氧中的劇烈反應。總而言之，化學方程式無法告訴我們反應的速率。

有時反應初期的速率很快，但它却不能反應完成，因為逆反應與正反應同時進行而使整個反應達成平衡狀態。一組指向雙方的箭頭表示化學平衡系統，但第二個箭頭（即逆反應的箭頭）可以省略不用。不過即使方程式使用雙箭頭，它也不能指出平衡點。

值得注意的是即使一個化學方程式看起來似乎完全正確，但反應却不一定會發生。下面幾個已平衡的方程式，其寫法都很適當，但是它們所代表的反應却是不可能發生的。



第一個反應不可能發生，因為銻的活性在氫之下，故無法取代氫。至於第二個反應，雖然碳與氫可生成的化合物似乎無限多，但目前我們仍無法使碳與氫直接反應生成戊烷。總之，化學方程式無法告訴我們其所指的反應是否可能會發生。

雖然有上述的限制，化學方程式仍然是最有價值和最方便的化學工具。它是世界性的化學速記語言，它所代表的意義是特定和定量的。假如當年拉瓦錫沒有創立化學方程式的觀念，我想其他科學家也一定會提出來。

## 後記

本譯文原文刊載於 J. Chem. Ed., 55, 184 (1978)。作者為 Doris Kolb 博士，現為美國伊利諾中央學院化學教授。

本譯文承蒙國立台灣師範大學化學系助教陸大榮先生和陳翠英小姐校閱，在此致謝。  
〔譯者現職：國立臺灣師範大學化學系教授〕