

# 利用「科學史」與「試算表」解讀「原子說」的另一面



李景智／斗六國中

91 年大考指定考科化學試題中的第 15 試題：某元素 X 所形成的五種氣體化合物，在常溫常壓時，每 24.5 升的重量及其中含 X 的重量百分比如表一：

表一

化合物	重量 (克)	含 X 的重量百分比 (%)
甲	60	80
乙	44	82
丙	44	27
丁	30	80
戊	16	75

基於原子學說的模型及本實驗的結果，X 的原子量有多種可能，試問 X 的原子量可能為何？

(A) 3 (B) 6 (C) 8 (D) 12 (E) 16。

## 答題的思考模式

當學生看到「X 的原子量有多種可能」時，他可能會考慮到同位素的情況，同一元素因中子個數不同，所以其原子量有多種可能。不過，當道耳吞從混合氣體的性質研究提出原子說時，他並不知道同位素的存在，他只提到「同一種元素各原子的形狀、質量及各種性質都相同」。

當然有些學生也會利用理想氣體方程式， $PV = nRT$  來解題，常溫常壓時，每 24.5 升的氣體，其莫耳數  $n = 1$ ，假若化學式為  $X_aY_b$ ，元素 X 的原子量為 X，則 1 莫耳的  $X_aY_b$  中含有 X 的重量 =  $a \times X$ ，原子量  $X = (\text{含有 X 的重量} \div a, a \text{ 為正整數})$ ，因此整理成表二：

表二

化合物	重量 (克)	含 X 的重量百分比 (%)	1 莫耳的化合物中含 X 的重量 (克)	原子量 X = ?
甲	60	80	48	$48/a_1$
乙	44	82	36	$36/a_2$
丙	44	27	12	$12/a_3$
丁	30	80	24	$24/a_4$
戊	16	75	12	$12/a_5$

由表二，原子量  $X = 48/a_1 = 36/a_2 = 12/a_3 = 24/a_4 = 12/a_5$



可算出  $a_1 : a_2 : a_3 : a_4 : a_5 = 4 : 3 : 1 : 2 : 1$ ，若  $a_5 = k$ ，則

$a_1 = 4k$ ； $a_2 = 3k$ ； $a_3 = k$ ； $a_4 = 2k$ ，

當  $k = 1$ ，原子量  $X = 12$ ；

當  $k = 2$ ，原子量  $X = 6$ ；

當  $k = 3$ ，原子量  $X = 4$ ；

當  $k = 4$ ，原子量  $X = 3$ ；

當  $k = 5$ ，原子量  $X = 2.4$ ；

當  $k = 6$ ，原子量  $X = 2$ ，

依序可解出元素 X 的原子量。

### 科學家的思考過程

拉瓦節 → 給呂薩克 → 亞佛加厥 → 道耳吞

讓我們回顧一段化學史，英國化學家道耳吞 (John Dalton, 1766 – 1844) 出生於英國曼徹斯特市的貧窮紡織工家庭，但是他依然堅持進行各項科學研究。他開始研究大氣的各種性質，他發現大氣是空氣和水蒸氣的混合氣體。他將兩種氣體分別裝進兩個容器內，個別量其壓力。然後將一方的氣體裝進另一方的容器內。結果兩種氣體混合在一起的壓力剛好等於兩個別容器內壓力的和，這就是有名的「道耳吞氣體分壓定律」。



▲道耳吞

道耳吞認為同種物質的原子，其形狀、大小、重量必然是相同的，不同物質的原子，其形狀、大小、及性質必不相同。他曾議論：假設水的某些原子較其他的重，那麼如果某一體積的水偶然恰為此較重的原子所組成，則其比重必然較大，但這與事實不符，因為我們從來沒有見過這種水，無論得自哪裡的純水，比重都是相同的。他還指出：「我認為不同氣體的質點的大小必然各異，因為一體積氮與一體積氧化合，則生成二體積的氧化氮，此二體積中氧化氮的原子總數不能多於一體積氮或氧含有的原子數。因此，氧化氮分子必較氧、氮原子為大。」

道耳吞並且發現在強壓下，不同氣體的溶解度差別很大，於是他設想：「一系列氣體的溶解

度取決於這些粒子的重量，其中最輕的、最簡單的必是最難溶解的。」氣體粒子的溶解度隨其重量與複雜程度而增加，對終極粒子 (ultimate particles, 即他所謂的簡單原子) 本身的相對重量是他的研究課題。這大概是他格外強調原子相對重量的最初想法。於是道耳吞進一步考慮測定各種

原子的相對大小和質量，以及不同氣體原子化合後所形成的複雜原子的組成，也就是說他在正式提出原子學說的同時就考慮到測定原子量和化合物組成。

因此在沒有根據提出其它假設之前，道耳吞不得不對不同原子結合成化合物時的組合原則，做了武斷的假設。他首先將複雜原子做了以下命名：

1 個 A 原子 + 1 個 B 原子，生成 1 個 C 原子 (AB)，C 稱為二元化合物。

1 個 A 原子 + 2 個 B 原子，生成 1 個 D 原子 (AB<sub>2</sub>)，或 2 個 A 原子 + 1 個 B 原子，生成 1 個 E 原子 (A<sub>2</sub>B)，D、E 稱為三元化合物。

1 個 A 原子 + 3 個 B 原子，生成 1 個 F 原子 (AB<sub>3</sub>)，或 3 個 A 原子 + 1 個 B 原子，生成 1 個 G 原子 (A<sub>3</sub>B)，F、G 稱為四元化合物。

於是他做出結論：如果兩種元素 A 與 B 彼此相化合，化合時遵守最簡原則，程序如下：

當元素 A 和 B 只能得到一種化合物時，此化合物必為二元化合物，即 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>，例如據當時

的了解，氫和氧化合成水，氫和氮化合成氨，所以水的組成是氫 1 氧 1，氨的組成是氫 1 氮 1。若 A 和 B 可以有兩種化合物時，則應認為一個是二元的，另一個是三元的，例如碳和氧可形成兩種化合物，一個是碳 1 氧 1，另一個是碳 1 氧 2 或碳 2 氧 1。若發現元素 A 和 B 可形成三種化合物，則一個是二元的，另兩個是三元的，分別為  $A_1B_2$  和  $A_2B_1$ 。一個二元化合物 AB 的比重，應該比 A 和 B 的混合物大些，即 A 與 B 化合後較它們處於混合狀態時靠得更緊密些。

道耳吞根據以上原則，規定氫原子量為 1 作為基準，於 1803 年進行原子量的最早計算。根據拉瓦節對水的分析結果，水中氫和氧的重量分別佔 15% 和 85%，因此氧的原子量被定為 5.66，不過在 1807 年以前，道耳吞本人並沒有進行分析實驗去測定原子量，顯然道耳吞確定化合物組成的原則是沒有根據的，很多化合物的原子組成被弄錯，計算出的原子量也就不可靠。

### 道耳吞「原子說」

1803 年 10 月 21 日，道耳吞在曼徹斯特的「文學和哲學學會」上第一次敘述關於原子論及原子量的計算見解，其中概括了道耳吞的原子學說，文中的幾個要點敘述如下：

- ◎ 元素（單質）的最終粒子稱為簡單原子，它們極其微小，是看不見的；既不能創造，也不能毀滅和不可再分割的。在一切化學變化中保持其本性不變。
- ◎ 同一種元素的原子，其形狀、質量及各種性質都是相同的；不同元素的原子在形狀、質量及各種性質上則不相同。每一種元素以其原子的質量為最基本的特徵。
- ◎ 不同元素的原子以簡單數目的比例相結合，形

成了化學中的化合現象。化合物的原子稱為複雜原子。複雜原子的質量是所含各種元素原子質量的總合。同一化合物的複雜原子，其組成、形狀、質量、和性質也相同。

1808 年，道耳吞的『化學哲理新體系』（A New System of Chemical Philosophy）第一卷出版，全面敘述他的化學原子論，元素的數目增加到 20 個，原子量較 1803 年的計算值也都有了修正。

### 給呂薩克—查理定律

法國化學家給呂薩克（Joseph Louis Gay-Lussac, 1778 — 1850）在 1805 年重複氫氧化合時體積比的試驗，試驗結果是：當氫過量時，與 100 份體積氧完全化合的氫是 199.89 份；當氧過量時，100 份氧與 199.8 份氫相化合。在 1808 年，給呂薩克作出以下結論：「各種氣體在相互發生化學反應時，常以簡單的體積比相結合，不但氣體間的化合是以簡單體積比的關係相作用，在化合後，氣體體積的改變與發生反應的氣體體積間也有間單的關係。」

此時給呂薩克想到，道耳吞的原子學說中包含的「化學反應中各種原子以簡單數目相化合」，這個概念與他所發現的當氣體物質反應時按簡單整數體積比進行實驗，兩者間一定有關聯。在他綜合推理後，得到以下的結論：

1. 同樣體積中的不同氣體所含原子數應該有簡單的整數比。例如：氫氧化合時體積比為 2:1，如果水的原子組成是氧 1 氫 1，則同體積中氧原子數當為氫原子數的 2 倍；若水的原子組成是氧 1 氫 2，相同體積的氧和氫中含有相同數目的原子。總之，同體積中氧氫的原子數有簡單的整數比。



▲拉瓦節



2. 相同體積的不同氣體，其重量比（及密度比）與原子量之比也有簡單關係。最後他提出一個假說：同溫同壓下，相同體積的不同種氣體（不論是元素或者是化合物）都含有相同數目的原子（他和道耳吞一樣，把各種元素的簡單原子與化合物的複雜原子都稱為原子）。

如果這一假說是正確的話，根據上述結論(2)，不同氣體的密度比，應等於他們的原子量比。也就是可以根據氣體密度值計算出原子量。規定各種氣體的比重以氫為基準，氫的原子量為1，那麼各種氣體的比重值即為原子量值，例如：氮的比重為14，則氮的原子量為14。〈氣體反應體積定律〉確實給道耳吞的原子學說一個有利的支持。例如：1 體積氧與 2 體積的氫恰好化合，若同體積氧與氫含有相同數目的原子，則每一水原子中含有氧 1 氫 2。

不過道耳吞並不認同給呂薩克的見解，他反對的理由是：第一，不同物質的原子大小必定不同，因此在相同體積內，不同氣體物質不可能含有相等數目的原子；第二，如果在相同體積中不同氣體的原子數目相等，則 1 體積氮與一體積氧化合生成 2 體積的氧化氮，每一個氧化氮原子就應只含半個氧原子和半個氮原子；同理，每一水原子中只含有半個氧原子，這與簡單原子是不可分割的無法吻合。

### 亞佛加厥定律

給呂薩克有充分的實驗事實為根據，而化合物的「複雜原子」又不允許半個某種原子存在，這個矛盾最後由亞佛加厥來解決。義大利科學家亞佛加厥（Amedeo Avogadro, 1776 – 1856）提出新的觀點—「分子」，分子就是道耳吞所謂的「複雜原子」，對單質元素來說，是由相同的原

子結合成分子。因此給呂薩克的氣體反應定律改成「在相同溫度、壓力下，同體積的任何氣體都含有相同數目的分子」就可以得到圓滿的回答。試算表解聯立方程式

由以上的化學史，我們知道在道耳吞的原子學說裡，他規定氫的原子量為 1，化合物化合時遵守最簡原則，水的組成是氫 1 氧 1，氨的組成是氫 1 氮 1，化學反應中各種原子以簡單數目相化合，他忽略了原子化合時的原子實際個數。給呂薩克提到同溫同壓下，相同體積的不同種氣體（不論是元素或者是化合物）都含有相同數目的原子（他和道耳吞一樣，把各種元素的簡單原子與化合物的複雜原子都稱為原子），根據以上的

敘述，這一題聯考題的實驗數據可以證實道耳吞與給呂薩克兩人的說法確實需要修正。最後亞佛家厥指出「在相同溫度、壓力下，同體積的任何氣體都含有相同數目的分子」。在這一題中，同溫、同壓、同體積的情況下，則每種化合物的分子數目相同，假設化合物為  $X_mB_n$ 。本題就是  $X_mB_n$  中只要考慮到  $X_m$  這部份，則

$X$  的重量 =  $X'$ （可能原子量） $\times m$ （整數），因此  $X'$ （可能原子量）為  $X$  的因數，在這題中，甲乙丙丁戊五種化合物要符合上述要求，則需要先求最大公因數，再找公因數即為其解，因此本題的選項可選（ABD）。下表為透過試算表操作的結果。

化合物	重量 (克)	含 X 的重量百分比 (%)	X 的重量	X 重量的最大公因數
甲	60	80	48	12
乙	44	82	36	
丙	44	27	12	
丁	30	80	24	
戊	16	75	12	



▲亞佛加厥