

漫談莫耳數與質量、分子量的關係

歐陽良昱

國立臺灣大學 電信工程學研究所

「莫耳數=質量÷原(分)子量」，這個公式對於國(高)中的同學們相信並不陌生。而在現行的理化教科書當中，亦多有提到由於原子量是採用訂定碳 12 的原子量為 12，其他原子的原子量則是相對於碳 12 的原子量而得到，所以原子量沒有單位。這種說法，似無不妥，實則有兩處疑慮。其一，「莫耳數=質量÷原(分)子量」不符合量綱(Dimension)分析。所謂的量綱分析，指的是一個等式的左右兩邊單位必須相同。例如:1 公尺=100 公分，等式兩邊的公尺與公分皆是量測長度的量測單位，所以此式符合量綱分析。又例如:我們不會說 1 度 C 等於 1 公斤，因為攝氏是溫度的量測單位，而公斤是質量的量測單位。其二，同學們可能會對莫耳數與原(分)子量、質量與原(分)子量之間的關係產生似是而非的概念。

我們知道:莫耳數又稱亞佛加厥數，一莫耳等於 6×10^{23} 個原(分)子數，在量綱分析中屬於無量綱(個是用數出來的單位，不是量測單位，所以在量綱分析中屬於無單位，或說無量綱)，而質量的常用量綱為公斤，若原(分)子量無量綱，則「莫耳數=質量÷原(分)子量」等式左右兩邊量綱不同(左邊無量綱，右邊的量綱為質量單

位)。一個不符量綱分析的公式是需要被修改的。另外，有些題目，若用「莫耳數=質量÷原(分)子量」來解釋，會有矛盾之處。例如:現在若將碳 12 的原子量訂為 24(即加倍)，則所有的原(分)子量是否都加倍?既然原子量是相對的，答案似乎為是。但試想:今天拿質量為 12 克的碳 12，利用「莫耳數=質量÷原(分)子量」計算莫耳數，會發現質量為 12 克的碳 12 的莫耳數是

$$\frac{12}{24} = 0.5(\text{莫耳}) = 3 \times 10^{23} \text{個碳12原子數}$$

，而當採用碳 12 的原子量為 12 時，質量為 12 克的碳 12 莫耳數又變回

$$\frac{12}{12} = 1(\text{莫耳}) = 6 \times 10^{23} \text{個碳12原子數}$$

，一個相同的東西竟然會隨著所定的原子量標準不同而擁有不同的原子數目，同學們是否覺得奇怪?又有一問:今若定碳 12 的原子量為 6，問 2 莫耳碳 12 的質量為何?同樣利用「莫耳數=質量÷原(分)子量」，會發現 2 莫耳碳 12 的質量為 $2 \times 6 = 12$ 克(質量=莫耳數×原(分)子量)。若碳 12 的原子量訂回 12，2 莫耳碳 12 的質量又變成 $2 \times 12 = 24$ 克了。相同的東西其質量竟然也會隨著原子量訂定的標準不同而不同，矛盾顯然易見。

問題何在?關鍵之處在於原子量並非沒有單位，它的單位是所謂的『原子質量單位』(atom mass unit, 簡稱 a.m.u.)。1 個碳 12 的質量為 12a.m.u.。如此，因為 1 莫耳的碳 12 其質量為 12 克，也就是說 $6 \times 10^{23}(\text{個}) \times 12(\text{a.m.u.}) = 12(\text{g})$ ，也就提供了 a.m.u.和克(g)的單位換算關係式：

$$1\text{a.m.u.} = \frac{1}{6 \times 10^{23}} \text{g}$$

話說至此，或許有同學要問：既然原子量實際上是有單位的，為何又要說它是沒有單位的?實在是因為在早期原子科學剛起步時，科學家們沒有這麼精確的儀器可以量測一個原子的質量，於是選用中子數加質子數等於 12 的碳 12，做為原子量的標準，訂其原子量為 12，其餘物質的(分)子量則相對於碳 12 而得到，例如：氧 16 原子相對於碳 12 原子的原子量倍數為 4/3 倍，於是氧 16 原子的原子量為 $12 \times 4/3 = 16$ 。這種作法訂出的原子量確實是沒有單位的，我將這種原子量稱為相對原子量，而原子質量單位訂出的原子量稱為絕對原子量。或許我們可以這麼連結絕對原子量和相對原子量的概念：當定義碳 12 相對原子量為 12 時，1a.m.u. (絕對原子量) 對應到的相對原子量便為 1；而當定義碳 12 相對原子量為 24 時，由於一個碳 12 的絕對原子量仍為 12a.m.u.，於是此時 1a.m.u. 所對應到的相對原子量便為 2。

區別了絕對與相對原子量之後，要如何修正「莫耳數=質量÷原(分)子量」?如果我們仍希望保留 1 莫耳等於 6×10^{23} 這個亞

佛加厥數的定義，或許公式可以修改為：

$$\text{莫耳數} = \frac{\left(\frac{\text{質量}}{1 \text{個原(分)子的質量}} \right)}{6 \times 10^{23}(\text{個})}$$

也就是利用上述的絕對原子量取代了原本式子中的相對原子量，並且透過上文將絕對和相對原子量聯繫起來。舉例而言：24 克的碳 12 原子為多少莫耳?帶入修正後的公式：

$$\begin{aligned} \text{莫耳數} &= \left(\frac{24(\text{g})}{12(\text{a.m.u.})} \right) \div (6 \times 10^{23}(\text{個})) \\ &= \left(\frac{24(\text{g})}{12 \times \frac{1(\text{g})}{6 \times 10^{23}(\text{個})}} \right) \div (6 \times 10^{23}(\text{個})) = 2 \end{aligned}$$

如此一來，修正後的公式符合量綱分析(等式兩邊皆無量綱)。而且也解決了上文提到容易產生混淆的觀念。例如：若訂碳 12 的原子量為 24，因為訂的是相對原子量，所以一個碳 12 絕對原子量仍為 12a.m.u.，帶入修正後公式，不會產生相同的東西會隨著訂的原子量標準不同而擁有不同原子數目的問題。而且因為此時 1a.m.u. 所對應到的相對原子量為 2，所以氧 16 的(相對)原子量確為 32，但一莫耳的氧 16 質量根據修正後公式為

$$\begin{aligned} &16(\text{a.m.u.}) \times 1(\text{mole}) \\ &= 16 \times \frac{1}{6 \times 10^{23}}(\text{g}) \times 6 \times 10^{23} = 16(\text{g}) \end{aligned}$$

，也就不再有相同的東西其質量會隨著原子量標準不同而不同的疑慮了。

最後，我們將以上結果列表呈現，表一和表二分別對應到公式修正前後，當碳 12 的(相對)原子量從 12 改為 24 時，質量、原子量與莫耳數間的變化，以供同學參考。

表 1、公式修正前碳 12 與氧 16 質量、原子量與莫耳數間的變化。

原子種類	相對原子量(一莫耳)	一莫耳質量
碳 12	12	12(g)
氧 16	16	16(g)
原子種類	相對原子量(一莫耳)	一莫耳質量
碳 12	24	24(g)
氧 16	32	32(g)

表 2、公式修正後碳 12 與氧 16 質量、原子量與莫耳數間的變化。

原子種類	相對原子量(莫耳)	絕對原子量(個)	一莫耳質量	絕對與相對原子量對應關係
碳 12	12	12 (a.m.u.)	12 (g)	1(a.m.u.)=>1
氧 16	16	16 (a.m.u.)	16 (g)	1(a.m.u.)=>1
原子種類	相對原子量(莫耳)	絕對原子量(個)	一莫耳質量	絕對與相對原子量對應關係
碳 12	24	12 (a.m.u.)	12 (g)	1(a.m.u.)=>2
氧 16	32	16 (a.m.u.)	16 (g)	1(a.m.u.)=>2

參考文獻

曾國輝(1990)：化學。台北市：藝軒。