



第三章 電子天平的操作及莫耳數的計算 －物質定量換算

楊天賜 編著

目的

了解各種天平的原理，熟悉電子天平的秤量法及莫耳數的計算。

原理

天平的原理

天平是一種最早被使用來測量物體質量（或重量）^{註 1}的裝置，一般構造為一根直柱上支著一根橫桿，而桿的兩端則各懸掛著一個小盤。當進行測量質量（或重量）時，其中一邊的小盤放置被測量的物品，另一邊則放置相等重量的砝碼，使兩端呈平衡狀態，屆時只要計算砝碼的重量，便可得知該物品的質量（或重量）。例如：「中藥店內通常都使用天平來秤珍貴藥材」

※註：1.生活上，我們通常會問這個東西有多重？即它的重量有多少？很少會問它的質量是多少？物理量中，質量與重量在定義上是有差異的，質量是指物體中所含有物質的量，物質的量與密度（疏密程度）有關，換句話說密度愈大，物質的量愈多，即質量愈大；假設物質為純物質，密度保持為定值，體積愈大，物質的質量也就愈大。重量是物體受地心引力（萬有引力）的作用所產生的力量。當我們在地球上，地心引力使我們感受到物體的重量；在月球上的地心引力為地球的六分之一，因此在月球上我們感受到物體的重量會是在地球上的六分之一，太空人身處在月球上時，會感到輕飄飄的。然而，相同物體不論它在地球上或月球上，它的質量皆是不變的，但它的重量會因地心引力不同而改變。當然質量愈大，所受的地心引力作用愈大，相對的重量也就愈大。在地球上，人類為了方便當然可以簡單的定義說：「在地球上物體的質量等於重量」，例如：質量一公斤(kg)的物體，它的重量為一公斤重(kgw)。但因地理位置的不同（高山或深谷）造成地心引力作用的少許差異，相同物體將會有不同的重量，但差異不大。人類很聰明的發明天平，利用橫桿兩端的重量平衡狀態，得到標準砝碼的重量等於物體的重量，雖然物體的重量會因地心引力的不同而改變，但砝碼的重量也同時受到相同地心引力的影響而改變，因此「物體等於砝碼的



重量」不會因地理位置的不同而有所改變，所測出來「砝碼的重量」也就是維持不變之「物體的質量」。所以，天平所測出來的量，是物體的「質量」，也是物體在地球上的「重量」。

天平的種類

○粗天平

一般傳統商用的天平，精密度(precision)較差，稱為粗天平(rough balance)。

粗天平可分為 2 種，一種稱為平台天平(platform balance) (如圖 3-1 (a))，可秤重 1 kg，其精密度可達 $\pm 0.1 \text{ g}$ 。另一種稱為三桿天平(triple-beam balance)可秤重 100 g，而其精密度可達 $\pm 0.01 \text{ g}$ 。這二種粗天平，由於操作簡單、故障少、容易調整及維護，所以在傳統中藥店及金飾店中經常被使用。



圖 3-1 常用的粗天平 (彩圖 3)

○數字型電子平台天平

圖 3-2 為數字型電子平台天平(digital electronic platform balance)，簡稱電子天平(electric balance)。它是利用電子零件感應來秤重，並不需要砝碼，可直接從液晶顯示視窗所顯示的數字來讀取所測物的質量，操作比傳統粗天平更簡單方便，但因電子感應卻相當精密。其可秤重大小及精密度視機型而定，因視窗大小及電子零件感應靈敏度的差異，通常秤重愈重，其精密度就較低。以視窗可容納 5 位數字來說，秤重可達 999 g



，其精密度可達 $\pm 0.01 \text{ g}$ （如圖 3-3(a)）；秤重可達 9 g ，其精密度可達 $\pm 0.0001 \text{ g}$ （如圖 3-3(b)），可媲美傳統的分析天平(analytical balance)。精密度愈高的電子天平，價格愈高，早期精密度達 0.001 g 的電子天平要價二十幾萬，但目前已大量生產製造，故成本降低許多，可普遍被採用。傳統的分析天平，校正及操作過程較為繁瑣，在台灣較潮濕的環境中，其分析所用的砝碼，保存較不方便，只要砝碼表層有一點氧化污損將會影響砝碼本身的質量，因此已被精密度達 $\pm 0.0001 \text{ g}$ 之電子天平所取代。



圖 3-2 數字型電子平台天平（彩圖 4）



圖 3-3 五位數字電子天平

建議電子天平不要放在下列位置：

1. 陽光直曬。
2. 潮濕環境。
3. 不平穩的桌面。



莫耳數的計數

一個原子或分子非常微小，其大小用埃(\AA)來表示 ($1 \text{ 埃} = 10^{-10} \text{ m} = 0.1 \text{ nm}$)，即便是使用最精密的電子天平也無法秤出其質量。事實上，一塊我們看得見的物質，是由含有極大數目的原子或分子所組成，極大的數目是以亞佛加厥數^{註2}來計算的。在實驗室裡，我們使用天平可稱取1莫耳的某種物質，它的數量為具有一亞佛加厥數的各種粒子。

※註：2.亞佛加厥數(Avogadro's number)是為了紀念義大利的物理學家阿米迪歐·亞佛加厥(Amedeo Avogadro)。

$$\text{亞佛加厥數} = 6.02 \times 10^{23} = 602\,000\,000\,000\,000\,000\,000$$

(亞佛加厥數所代表的量又稱為1莫耳，在化學方面，如原子、分子或離子等粒子，皆是以莫耳來計算它的數量。)

對任何元素或化合物而言，它的莫耳質量(molar mass)就是一莫耳該元素或化合物的質量。當我們秤取某元素或化合物的克數等於其莫耳質量時，表示我們取得 6.02×10^{23} 個該元素或化合物。由週期表上得知碳的原子量為 12.01，如欲取得 1 莫耳的碳原子，則我們必須稱取 12.01 克的碳。利用週期表可找到任一元素的莫耳質量，元素的組成粒子稱為原子，原子的莫耳質量簡稱為原子量，化合物包括離子化合物及共價化合物，一般可統稱為分子，分子的莫耳質量則簡稱為分子量。多少質量(克)的原子或分子，可換算成莫耳質量(克/莫耳)的多少倍數，即為多少莫耳(數)的原子或分子。

因此，莫耳(數)的計算主要從物質的質量換算得到：

$$\text{莫耳(數)} = \text{質量} \div \text{莫耳質量} \left(\text{或} \frac{\text{質量}}{\text{莫耳質量}} \right)$$

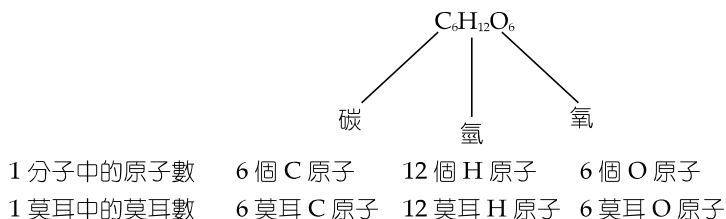
從莫耳數，我們可以換算得到相當於有多少個原子或分子：

$$\text{莫耳(數)} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ (個/莫耳)} = \text{個(數)}$$

因此，我們可以從天平所秤的質量去估算有多少個原子或分子。分子由多個原子所組成，通常我們會使用一化學式來代表某個分子，化學式中的下標數字係代表每種元素的原子總數。例如，在一分子的葡萄糖(化學式為 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 中，其組成元素有 6 個碳原子、12 個氫原子及 6 個



氧原子。從個數的 6.02×10^{23} 倍，也可推論下標數字是表示：1 莫耳的葡萄糖中，有 6 莫耳的碳原子、12 莫耳的氫原子及 6 莫耳的氧原子。



化合物的特性

空氣中含有水氣(H_2O)及氧氣(O_2)，有些固體化合物的特性就是會與水氣及氧氣作用，包括易潮解、易吸附水及易氧化等作用，而影響到所秤的重量；有些化合物含有結晶水，若其結晶水失去的溫度很低，也要注意其在烘乾過程中重量損失；而液體化合物則會因蒸發而損失重量。

易潮解的化合物

潮解指的是某些化合物在在空氣中吸收水氣，使得表面逐漸變得潮濕，最後物質就會從固體變為該物質的溶液。容易潮解的物質包括很多鹽類，如氯化鈣、氯化鎂、氯化鋅、氯化鋁、氫氧化鈉及氫氧化鉀等，在此無法一一列舉。

化學實驗常用的氫氧化鈉($NaOH$)是一種易潮解的化合物，就是放在空氣中它就會吸水氣而溶掉，因此不能用秤量紙盛裝氫氧化鈉，必須用加蓋的秤量瓶。在天平上秤重時盡量速度快，不要使其接觸空氣太久而吸收太多水氣，如果你的記錄是潮解後的重量，那麼實驗當然會有誤差，例如：在天平上 1 克的氫氧化鈉暴露在空氣中，一段時間後氫氧化鈉的重量會比 1 克還重。易潮解的化合物必須儲存在乾燥器中、或防潮箱中。

易吸附水的化合物

化合物如果是固體粉末，粉末中有許多孔洞造成有較多的表面積，表面積愈大，吸附水愈多；表面如果親水性基較多，吸附水就更多，因此固體粉末的表面積與表面性質將是影響吸附水量的重要因素。空氣中的溼度也會影響吸附水量，若大部分的化合物儲存在無除濕的櫃子中，固體粉末吸附水量已達飽和，空氣中的溼度相對地對吸附水量的影響較小。在天平上秤重吸附水後的固體粉末，所秤的重量當然不是化合物實



際的重量，是含有吸附水的重量，因此這些較細顆粒粉末的化合物，在秤重前必須在 105°C 的烘箱中加熱一小時後，置於乾燥器中冷卻至室溫，秤重時也必須用加蓋的秤量瓶，以避免再吸附水而影響實際的重量。易吸附水之化合物暴露在空氣中的增重速率比易潮解之化合物低，但長時間吸附水仍會影響實際的重量很多。易吸附水的化合物也是必須儲存在乾燥器、或防潮箱中。

○易氧化的化合物

化合物如果是還原劑，它本身就容易被氧化，一般稱能使另一種物質還原之物質為還原劑，本身易失去電子而被氧化。常見的還原劑為 Fe^{2+} 、 Sn^{2+} 、 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 、 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 、 NO_2^- 所組成的鹽類、或甲酸(HCOOH)、過氧化氫(H_2O_2)等。另外，還有易氧化的金屬，依據其活性大小的不同，金屬氧化速率也不一樣，常見金屬的活性大小如下：

鉀 > 鈉 > 鋇 > 鋰 > 鈣 > 鎂 > 鋁 > 錳 > 鋅 > 鉻 > 鐵 > 鈷 > 鎳 > 錫 > 鉛 > 氫 > 銅 > 汞 > 銀 > 鉑 > 金。通常金屬活性愈大，氧化速率愈大，愈容易被氧化。

IA、IIA 金屬元素均極易失去電子，在一般的條件下，皆以陽離子形式存在於離子化合物中，只有在隔絕空氣與水分的條件下，才能以元素態存在，一遇到空氣與水分便會進行劇烈的氧化作用，即燃燒起來。活性大於氫的金屬容易生鏽，生鏽所形成之氧化物將增加金屬的重量，雖然可以磨砂紙除鏽，但除鏽程度較難掌握，因此易氧化的金屬應做好防鏽儲存，一般也是儲存在乾燥器、防潮箱中，或在密閉容器中充氮氣保存，易燃者更要儲存在隔絕空氣的重油中。

○含有結晶水的化合物

固體化合物中如果含有結晶水，它與吸附水不同，結晶水以一定的比例和化合物結合在晶體結構中，將含結晶水之化合物加熱至較高溫度時，才能脫去結晶水，其所失去的重量即為結晶水之重量。例如 $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 在空氣中不易潮解，但加熱至 100°C 以上時會失去結晶水；藍色硫酸銅晶體($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)則加熱至 220°C ，可失去結晶水而形成白色無水物(anhydrous compound)粉末狀的 CuSO_4 ，但若吸水或加水則又轉變為藍色硫酸銅水合物(hydrate)，故可視為可逆反應：