

# 『分子量測定』實驗之改進

鄭挺穗

省立埔里高級工業職業學校

『高中基礎理化實驗』在各高中普遍沒受重視，實施情況非常不理想。除了因為在大學聯考中其所佔比例甚低外，部分實驗器材不足也是原因之一。在高中階段的化學可說是實驗的科學，如果不做實驗，許多有趣的化學知識就變成無聊而瑣碎的背誦記憶，減低了學生對科學的興趣，其影響不可謂不深遠。

現行的基礎理化實驗 6 - 1 為『亞佛加厥定律』，內容為分別測量同體積的二氧化碳與氧的質量。因為兩種不同氣體的分子在同溫同壓同體積時，其質量比等於與分子量比，而可由一已知分子的氣體分子量求得一未知氣體物質的分子量。實驗時，二氧化碳及氧需要使用鋼瓶裝的氣體，但國內高中有鋼瓶設備的學校並不多。因此堂而皇之的說『無法實驗』。學生做科學實驗的主要目的，本是學習其過程與方法重於其所得結果，因此在實驗過程中遭遇困難時正是培養師生思考及解決問題能力的最佳時機。

筆者因教學需要，對『高中基礎理化實驗』曾設法改進，本文報告其中實驗 6 - 1 的改進措施，提議兩個簡易實驗：實驗一『以排空氣法測分子量』，及實驗二『不需測體積之分子量簡易測法』為例，列舉實驗數據，並在討論部分比較現行課本的實驗與本文所擬改進實驗之異同，希望能拋磚引玉，共同為高中實驗教學之改進努力。

## 實驗一 排空氣的分子量測定法

### (一) 二氧化碳的分子量

#### 器材

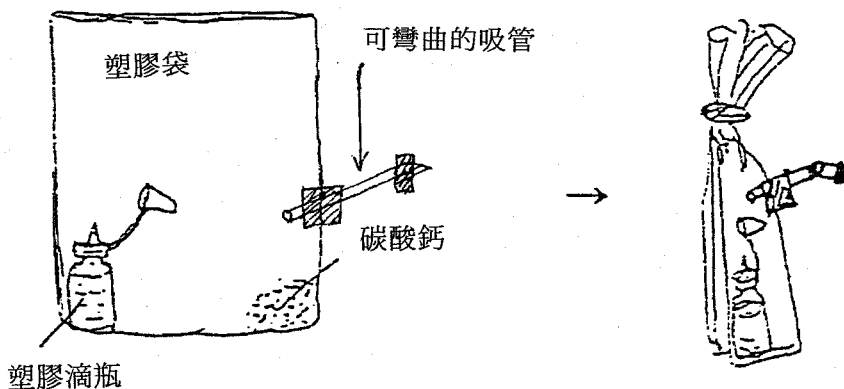
碳酸鈣固體	5 克	剪刀	1 把
(或小蘇打片 10 粒)		長玻璃彎管	3 支
鹽酸(4M)	30mL	水槽	1 個
塑膠袋(3 斤裝) <sup>(註)</sup>	2 個	錐形瓶(500mL)	3 個
吸管(可彎曲)	2 支	橡皮管(40cm)	4 條
膠帶(封箱用寬帶)	10cm	短玻璃彎管	1 支
保特瓶	1 個	量筒(500mL)	1 個
橡皮塞	3 個	大瓶蓋(比保特瓶口大)	1 個

[註]所謂 3 斤裝的塑膠袋係市售用以表示塑膠袋大小的用語，其實際

大小長寬為 40cm×30cm。

### 步驟

- 1.取一個塑膠袋（塑膠袋 A），在其側面邊緣剪一個半圓形，插入一支可彎曲的塑膠吸管（管口先以一小條膠帶繞一圈，可避免吸管口觸破塑膠袋），以膠帶（封紙箱用的草黃色寬帶較佳）貼緊吸管於塑膠袋，折彎吸管的另一端並以膠帶封住管口。塑膠袋裝滿空氣，封閉袋口，輕壓塑膠袋，以試其是否密封不漏氣。



〔圖 1〕製備氣體的裝置

- 2.在塑膠袋的一角放碳酸鈣 5 克（或小蘇打片 10 粒），另一角放裝有鹽酸(4M) 30 毫升的塑膠瓶，將塑膠袋直向對折，壓緊以趕出空氣，扭轉袋口數次並打一活結以封閉塑膠袋口，如圖 1。
- 3.塑膠袋 A 的袋口封閉妥當後，將塑膠滴瓶內的鹽酸倒出，使其與袋內的碳酸鈣或小蘇打片作用，產生二氧化碳。將塑膠袋 A 暫時擱置一旁。
- 4.重複步驟 1，製作另一塑膠袋（塑膠袋 B）並使吸管口脹大略呈喇叭狀，(用剪刀頂部插入吸管一端，剪刀向外張開，旋轉吸管口反覆數次)。將塑膠袋直向對折，壓緊以趕出空氣，扭轉袋口數次並打一活結以封閉塑膠袋口。稱塑膠袋 B 的重量至小數第二位。
- 5.將錐形瓶、橡皮塞、橡皮管、玻璃管、水槽及保特瓶裝置如圖 2。

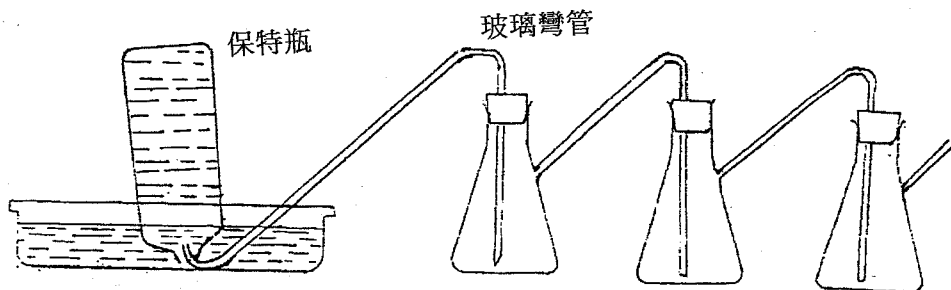


圖 2 測量氣體體積的裝置

- 觀察塑膠袋 A 內是否還有氣泡產生。等氣泡不再產生後，打開兩支吸管管口的膠帶，將塑膠袋 A 上的吸管插入塑膠袋 B 的吸管中，使 A 與 B 兩袋以吸管相連，擠壓塑膠袋 A，將二氧化碳氣體完全壓入塑膠袋 B 中，並稱取塑膠袋 B 的重量。
- 將塑膠袋 B 的吸管口連接於裝置圖中最右方錐形瓶的橡皮管，擠壓塑膠袋 B 使錐形瓶中的空氣被擠入水槽中的保特瓶內。
- 把保特瓶的蓋子放到水槽內盛滿水後，蓋緊保特瓶，移出保特瓶，正立於桌面。用量筒加水使保特瓶內的水全滿，記錄所加入水的體積。

## 結果

### 1. 實驗記錄

[表 1.1] 測定二氧化碳分子量的實驗數據

項 目	實驗 1	實驗 2	實驗 3
空塑膠袋 B 的質量(g)	7.65	7.60	7.58
充滿 CO <sub>2</sub> 後的質量(g)	8.14	8.14	8.02
氣體體積(mL)	916	876	890
氣溫(°C)	27	27	27

[表 1.2] 計算二氧化碳的分子量

項 目	實驗 1	實驗 2	實驗 3
視重(g)	0.51	0.47	0.46
空氣浮力(g)	1.08	1.03	1.05
分子量	42.7	42.2	41.7
誤差(%)	2.98	4.02	5.22
平均分子量=42.2 平均誤差=4.07%			

### 2. 計算

以第一次實驗為例

(27°C 時，空氣的密度為 1.178 g/L，水的蒸氣壓為 26.7 mmHg)

$$\text{氣體視重} \quad 8.14 - 7.65 = 0.49(\text{g})$$

$$0.49 \times 760 / (760 - 26.7) = 0.51(\text{g})$$

$$\text{空氣浮力} \quad 1.178 \times 0.916 = 1.08(\text{g})$$

$$\text{分子量} \quad \frac{0.51 + 1.08}{M} = \frac{1.08}{29.0}$$

$$M = 42.7$$

其他兩次實驗的數據，同樣處理，所得結果彙列於表 1.2。

## (二) 二氧化硫的分子量

### 器材

本實驗除碳酸鈣固體以『焦亞硫酸鈉固體 10 克』取代外，其餘器材與實驗步驟均與（一）『二氧化碳的分子量』相同。

## 結果

實驗記錄列於表 2.1，而計算結果列於表 2.2。

[表 2.1] 測定二氧化硫分子量的實驗數據

項 目	實驗 1	實驗 2	實驗 3
空塑膠袋質量(g)	8.84	9.15	9.08
充滿 SO <sub>2</sub> 後的質量(g)	9.58	9.94	9.88
氣體體積(mL)	475	530	522
氣溫(°C)	24	24	24

[表 2.2] 計算二氧化硫的分子量

項 目	實驗 1	實驗 2	實驗 3
視重(g)	0.74	0.79	0.80
空氣浮力(g)	0.57	0.63	0.62
分子量	66.8	65.1	66.1
誤差(%)	4.40	1.77	3.25
平均分子量=66.2	平均誤差=3.52%		

## 註

本實驗產生二氧化硫的量比理論值少很多，原因為二氧化硫的溶解度較大。但我們是利用塑膠袋 B 測分子量，故與其在塑膠袋 A 的溶解無關，應不會影響實驗結果由表 2.2 可見三次實驗所得誤差之間的相差相當大，因此很可能由於在步驟 7，量氣體的體積時「漏氣」所致，（參考以下討論）。

## 討論

### 1. 氣體的來源

原實驗採用鋼瓶裝的氣體。

本實驗使用製備氣體的簡易裝置，自行製造所需氣體。

### 2. 塑膠袋的體積

原實驗使用同一塑膠袋，先用鋼瓶的導管使塑膠袋充滿二氧化碳，稱取其質量後擠出二氧化碳再充入氧稱重後，測量塑膠袋體積。其目的可能是二氧化碳略溶於水，故只能測量氧氣的體積而假設兩次充氣時的體積相等。塑膠袋因具有彈性，在加壓充氣時，即使隨後調整壓力，使其與大氣壓力相同（打開橡皮帽，使塑膠袋和空氣相通數秒），但塑膠袋體積仍會有所改變。

本實驗將反應物置於一塑膠袋內，排出袋內的空氣，密封塑膠袋後混合反應物，使其在塑膠袋內反應，再將產生的氣體導入另一塑膠袋內（見實驗部分），塑膠袋收集氣體時不需要收集到袋子全滿，不會脹大塑膠袋。但因二氧化碳及二氧化硫皆溶於水，其體積不適合於用排水法來測量，故在塑膠袋和水槽間連接數個錐形瓶（錐形瓶總體積約為收集氣體體積的兩倍以上），以所收集之氣體將空氣排擠出去，所測得的空氣體積即為所收集氣體的體積。

### 3. 塑膠袋的質量

原實驗中空塑膠袋測質量時需連同橡皮塞及乳頭滴管一起稱重，其總質量較大（筆者所用裝置約 50 克）。

本實驗中空塑膠袋僅含一支吸管及兩小塊膠帶，質量較小(筆者的裝置約8克)。據觀察，學生在稱較大的質量時比較會疏忽，因其認為在如此大的質量下即使有些誤差也微不足道；但在測小質量時會較謹慎，一點疏忽會造成很大的誤差。例如：誤差為0.1克時，其所可能導致的誤差百分率分別為：

$$0.1 / 50 = 0.2\%$$

$$0.1 / 8 = 1.2\%$$

#### 4. 氣體的數量

原實驗使用二氧化碳及氧兩種氣體，測其質量再用比例法求出二氧化碳的分子量(視氧分子量32為已知)。

本實驗只使用一種氣體，另一種則使用空氣(不需做實驗，其分子量約為29.0)。若塑膠袋充入空氣然後稱取質量，因塑膠袋內空氣重量和所受空氣浮力抵消，故所得質量和空塑膠袋相同，即『視重為零』，其實重為『塑膠袋體積乘空氣密度』。

#### 5. 氣體的種類

原實驗待測氣體使用二氧化碳，其分子量為44。

本實驗先做二氧化碳，再改用分子量較大的二氧化硫(分子量為64)，發現分子量較大者誤差較小(見實驗結果)，惟二氧化硫具刺激味及毒性，增加實驗困擾。

#### 6. 排水法

原實驗排出水後在塑膠瓶上作一記號，取出塑膠瓶後再加水到此記號，所加入的水即為收集氣體的體積。作記號時因塑膠瓶是濕的，不易畫記(需擦乾)，且線條有厚度，測量時誤差較大。

本實驗使用保特瓶，排出水後使剩餘的水留在保特瓶內取出，再將保特瓶內的水加滿，所加入水的體積即為所收集的氣體體積。

#### 7. 適用氣體

本實驗方法，尤其適用於測量氫與氧的分子量，因兩者均難溶於水，而前者可由鋅與酸，後者可由加二氧化錳於過氧化氫中即可製得。若氣體難溶於水，則上述實驗裝置中的錐形瓶可省略，而使實驗更為簡單。此方法當然也可用於其它氣體，只要其反應可在有限時間內完成就行。

#### 8. 由反應式： $\text{CaCO}_{3(s)} + \text{HCl}_{(aq)} \rightarrow \text{CaCl}_{2(aq)} + \text{CO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

可知若鹽酸的莫耳數大於碳酸鈣莫耳數的兩倍，則碳酸鈣會全部反應生成二氧化碳，本實驗可利用此原理定量試樣含碳酸鈣的純度。以二氧化碳第一次實驗數據為例：

鹽酸： $4 \times 0.03 = 0.12$  (莫耳)

碳酸鈣： $5 / 100 = 0.05$  (莫耳)

故鹽酸的莫耳數大於碳酸鈣莫耳數的兩倍。

純碳酸鈣重量： $(0.49 + 1.08) / 44 \times 100 = 3.56$  (克)

碳酸鈣的純度： $3.56 / 5.0 = 71.2\%$

### 注意事項

1. 錐形瓶中的玻璃管要盡量伸至錐形瓶的底部。
2. 因氣體有擴散作用，故錐形瓶越多越好。至少也需使錐形瓶的總體積大於所要收集氣體的兩倍體積。
3. 錐形瓶需事先烘乾。
4. 由於缺乏氣壓計，大氣壓力視為一大氣壓。
5. 實驗課本未列出的空氣密度，以線性比例算出。

## 實驗二：不需測體積的分子量測定法

### 二氧化碳分子量的測量

#### 器材

碳酸鈣固體	5 克	剪刀	1 把
(或小蘇打片 10 粒)		吸管(可彎曲)	1 支
鹽酸(4M)	30mL	膠帶(封箱用寬帶)	10cm
塑膠袋(3 斤裝)	1 個		

#### 步驟

1. 取一個塑膠袋，在袋底一角放試樣（碳酸鈣或小蘇打片），另一角放裝有鹽酸的小瓶。
2. 將塑膠袋直向對折，並壓緊塑膠袋以趕出袋內的空氣後，扭轉袋口數次並打一活結以封閉塑膠袋。
3. 稱整個塑膠袋的重量為  $W_1$ 。
4. 打開塑膠袋內的點滴瓶蓋倒出鹽酸，使其和碳酸鈣（或小蘇打片）作用，則見大量氣泡產生，且塑膠袋逐漸脹大。等到反應停止後，稱整個塑膠袋的重量為  $W_2$ 。
5. 打開塑膠袋的活結，排出袋中的二氧化碳，（要注意二氧化碳必需完全排出，其法為張開塑膠袋口後往上提，使空氣流入塑膠袋內，再擠出空氣，如此操作數次）。稱整個塑膠袋的重量為  $W_3$ 。

#### 結果

1. 實驗記錄

[表 3.1] 不需測體積測定二氧化碳分子量的實驗數據

項 目	實驗 1	實驗 2	實驗 3
塑膠袋與反應物原質量( $w_1, g$ )	39.76	39.93	39.73
產生二氧化碳後的質量( $w_2, g$ )	39.18	39.38	39.22
擠出二氧化碳後的質量( $w_3, g$ )	38.90	39.11	38.97
分子量	43.0	43.4	43.2
誤差(%)	1.82%	1.36%	1.82%
平均分子量=43.3		平均誤差=1.6%	

## 2. 計算

(a)  $W_1 - W_2$  為所受的空氣浮力，即為同體積的空氣質量。

(b)  $W_1 - W_3$  為二氧化碳的質量。

(c) 以第一次實驗為例，計算分子量如下：

$$\frac{\text{同體積的空氣質量}}{\text{同體積的二氧化碳質量}} = \frac{39.76 - 39.18}{39.76 - 38.90} = \frac{29.0}{M}$$

$$M = 43.0$$

## 討論

1. 本實驗方法之所以稱為『簡易』，係因其利用空氣浮力所減輕的『重量』，即可不需測量氣體的體積，逕自換算而求得氣體的分子量。
2. 本實驗方法不需用體積計算空氣浮力，因此不需測量溫度，也不需空氣密度表，甚為方便。
3. 本實驗方法操作簡單，費時較短，只需約十分鐘即可完成一次實驗。
4. 由〔表 3.1〕可見，三次實驗所得結果相當一致。
5. 「不需測體積的分子量測定法」優於「排空氣的分子量測定法」不僅操作簡便，結果也比較理想。測定分子量越大的氣體，所得結果誤差越小，因其與空氣平均分子量的差距越大。

## 注意事項

1. 操作本實驗的手必需很乾淨，手掌會流汗者要戴手套。
2. 小蘇打與鹽酸的作用是吸熱反應，因此有時在塑膠袋外會有水氣，必需要用面紙擦乾才可稱重( $W_3$ )。
3. 稱重精確度必需至少到小數點第二位，即 0.01 克。

## 參考資料

1. 蕭次融，高中化學教師示範實驗第 37 頁，國立臺灣師範大學化學系(78 年 4 月)。
2. 高中基礎理化實驗手冊，上冊第 45 頁，國立編譯館(85 年 8 月)。
3. 高中化學實驗手冊第二冊，國立編譯館。