

塑膠注射筒在理化實驗上的運用

楊水平

國立彰化師範大學化學系

一、前言

塑膠注射筒是現今醫學界利用非常普遍的注射工具，原先的玻璃注射筒由於再次使用，恐會有傳染疾病的顧慮，現已幾乎被塑膠注射筒所取代。塑膠注射筒的價格便宜且樣式多，可以組合成密閉系統，因此亦偶見於理化實驗中。

早期的教科書即有利用注射筒於理化實驗的實例，如國中化學（國立編譯館，民 66 年）利用注射筒進行氯氣和氫氣反應生成氯化氫，觀察它們的體積關係，計算出氯化氫的原子數比和化學式；在美國 Hubert N. Alyea (1974) 的化學實驗編有利用注射筒進行波以耳定律、溶液和沈澱物的分離以及壓力對平衡的影響之實驗；近年教科書，如國中理化（國立編譯館，民 77 年）利用注射筒當作密閉容器觀察氣體的壓力，高中化學（國立編譯館，民 81 年）利用其進行溫度對於化學平衡的影響之實驗。蕭次融（民 77 年）利用其演示絕熱膨脹的實驗；陳玉玲（民 78 年）利用其進行減壓抽氣過濾；蕭次融（民 79 年）利用其增減壓力和調整浮體的重量以進行浮沈的玩偶與浮體比重之實驗；魏蘊聰（民 80 年）利用其進行氣體的逸散實驗。另外 D.D. Siemer et al. (1988) 利用兩支相連的注射筒進行質量滴定 (mass titrations)；微量有機化學實驗 (Dana W. Mayo et al., 1986) 利用其轉移微量試劑或溶液以及各種色層分析儀 (Hobart H. Willard, 1988) 利用特製注射筒將試樣注入儀器中分析。在本文中的氣體的製造和收集以及氣體的理化實驗，全部使用塑膠注射筒而儘少使用玻璃器材，以簡化實驗的裝置並且方便實驗的操作，這與前面所述的實驗把注射筒當作輔助器材或裝置的一部份有所不同。另外，塑膠注射筒比玻璃注射筒不怕碰撞或壓力過大而破裂是其優點，不過，塑膠注射筒不宜使用某些有機溶劑和不能長久接觸濃硫酸是其缺點 (J. Brandrup et al., 1990)。

本文首先介紹實驗用零件的製作，然後詳述 10 種氣體的製造和收集，最後列出 10 個氣體的理化實驗。在零件的製造方面包括用於連接兩支注射筒的細口軟管和用於封閉注射筒口的套帽；在製造和收集氣體方面包括氫氣、氧氣、二氧化碳、氯氣、硫化氫、

氯化氫、二氧化硫、二氧化氮、一氧化氮和氨氣等常見氣體，製造氣體的參考資料來自 Ronald J. Gillespie et al.(1986)、Raymond Chang (1991)、George M. Bodner et al.(1989) 和 Therald Moeller et al.(1984)；在氣體的理化實驗方面包括氫氣的爆炸、氧氣的助燃性、酸鹼性和漂白作用、吸附作用、比較氣體的溶解速率和溶解度、波以耳定律、查理定律、溫度對氣體溶解度的影響，沈澱作用和擴散現象以及非均勻相催化作用，以上有關理化原理或概念的資料來自 Kirk-Othmer (1976)、Therald Moeller et al.(1984)、Ronald J. Gillespie et al.(1986)、Raymond Chang (1991)、John B. Russell(1992)、George M. Bodner et al.(1989) 和 William L. Masterton et al.(1985)。

二、實驗用零件的製作

(一) 利用注射針頭製作套帽：

取一支附在注射筒口的注射針頭，用鐵鉗剪掉鋼針部位，剩下的塑膠部份即成一個套帽。為避免剪斷處割傷皮膚，可把套帽直立於桌面上用鐵鉗輕輕地敲平。

(二) 利用針頭的塑膠外套製作套帽：

取一支包在針頭的塑膠外套，在閉口端約 1.2 cm 處用美工刀均勻地旋轉切割，然後折斷並用美工刀修飾不平滑部位，即成另一個套帽。

以上兩種套帽在使用前應事先測試是否可與注射筒口密合而在推拉筒栓時不漏氣。

(三) 利用橡膠軟管製作細口軟管：

將內徑約 3 mm 的 silicone 橡膠軟管或其他透明軟管，剪成 4 cm 長即得。值得注意之事是有些橡膠軟管不適合接觸到濃硫酸。

(四) 利用塑膠軟管製作細口軟管：

一般市面上不易購得內徑約為 3 mm 的塑膠軟管，但可買內徑儘可能最小的塑膠透明軟管，置於沸水中使其軟化，在浸泡約 1 分鐘後再取出，用雙手或兩人持軟管兩端拉長等待降至室溫後再鬆手，即變成細口軟管，然後選擇內徑約 3.0~3.4 mm 的部份剪成 4 cm 長即得。

以上兩種細口軟管在使用前亦應事先測試是否可與兩支注射筒緊密連接而不易脫落。

三、氣體的製造和收集

在製造氣體時，以容量 20 mL 的注射筒當作 A 筒，筒內裝入固體反應物；以容量

10 mL 的注射筒當作 B 筒，筒內抽取液體反應物；A 筒和 B 筒再用細口軟管互相連接並用節流夾夾在軟管上控制氣體的生成速率和生成量。在製造氣體完成後，取下 B 筒再連接 10 mL 的注射筒當作 C 筒以便收集氣體。

(一) 操作步驟：

1. 取一支 A 筒，內裝固體反應物（此固體儘可能製成或捲成薄片狀），用筒栓推到筒的前端，使筒內儘可能不要留有空氣，並且在此筒口處套緊一條夾著節流夾的細口軟管。
2. 取一支 B 筒，抽取約 3～6 mL 的液體反應物並儘可能排除筒內的空氣，並與 A 筒互接連接，如圖 1 所示。

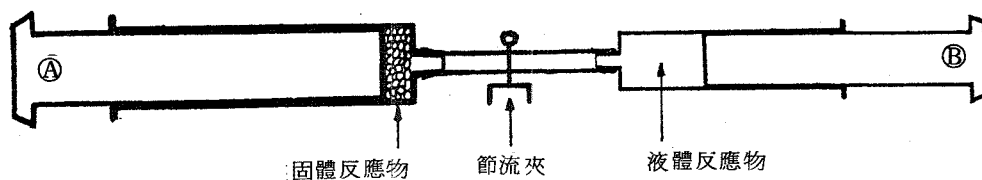


圖 1 製造氣體的裝置

3. 打開節流夾並小心地注入 B 筒的液體反應物 1～2 滴，再關閉節流夾，觀察氣體生成速率，若速率不很快，則可緩慢少量地再次注入，直到氣體生成量約 20 mL（不超出刻度）為止。
4. 關閉節流夾，小心地以旋轉方式拔出 B 筒，再取一支 C 筒（記得排除空氣）並與 A 筒互相連接。
5. 打開節流夾，慢慢地推 A 筒的氣體 5 mL 或 10 mL 到 C 筒並用套帽套緊筒口，如圖 2 所示。再取第二支 C 筒重覆收集該氣體。

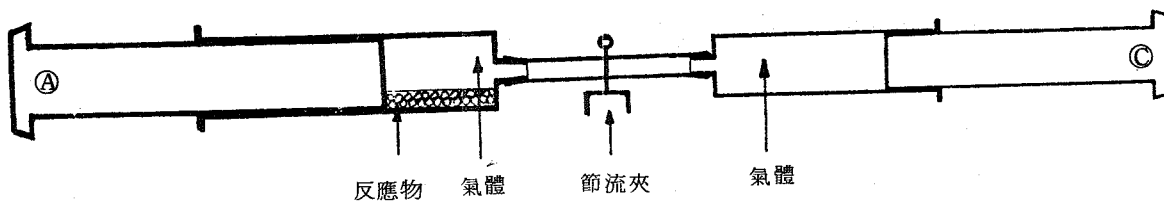


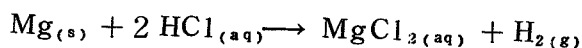
圖 2 收集氣體的裝置

(二) 注意事項：

1. 在操作步驟2中排除B筒內的空氣時，可持筒口朝上並用衛生紙放在筒口處，然後慢推筒栓排除空氣，若不慎推筒栓過度而溢出液體時，則會被衛生紙所吸收；若液體為酸性物質時，則可用沾有5%碳酸氫鈉的衛生紙吸收之。
2. 在步驟3中當注入B筒的液體到A筒時，開始不可一次大量注入，宜先注入1~2滴並觀察生成速率再適時適量注入，否則生成量會超過A筒容量，而溢出有毒氣體危害人體，最好事先應準備一條濕布，以作為氣體生成量超過A筒容量時的覆蓋之用。
3. 若在收集氣體時，不慎將A筒的液滴移到C筒，則可持A筒在下C筒在上，再用手輕彈C筒內的液滴使其恰在該筒口處，然後輕拉A筒的筒栓，C筒的液滴會被移到A筒中。
4. 若要收集多量氣體，則可重覆使用A筒的固體反應物，但應先排除留在筒內的液體再重新製造；若不再製造氣體，則應儘早清洗，否則筒栓前端的橡膠有時會被破壞而變得彈性不佳。

(三) 製造氣體的反應物之用量：

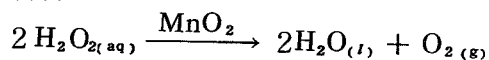
1. 氫氣



A筒：裝入二片約 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 的薄鎂片。

B筒：先抽取約 1 mL 濃鹽酸，再抽取約 5 mL 水。

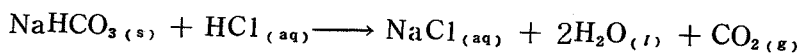
2. 氧氣



A筒：傾斜地裝入 1 小匙（用藥匙小端）二氧化錳粉末。

B筒：先抽取約 1 mL 30% 雙氧水，再抽取約 3 mL 水。

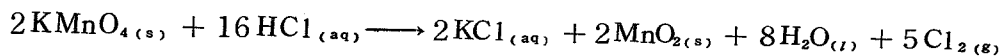
3. 二氧化碳



A筒：傾斜地裝入 2 小匙碳酸氫鈉或碳酸鈉粉末。

B筒：先抽取約 1 mL 濃鹽酸，再抽取約 3 mL 水。

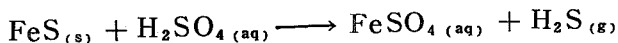
4. 氯氣



A筒：傾斜地裝入 1 小匙高錳酸鉀粉末。

B筒：先抽取約 1 mL 濃鹽酸，再抽取約 3 mL 水。

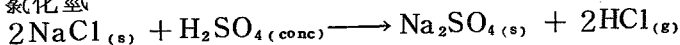
5. 硫化氫



A 筒：傾斜地裝入 4～5 粒（約綠豆大小）硫化鐵固體（不宜取自硫化鐵塊的表面）。

B 筒：先抽取約 2 mL 水，再抽取約 1 mL 濃硫酸。

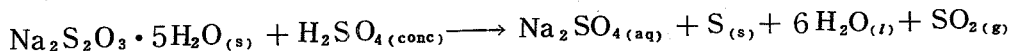
6. 氯化氫



A 筒：傾斜地裝入 2 小匙氯化鈉晶體。

B 筒：抽取約 3 mL 濃硫酸。

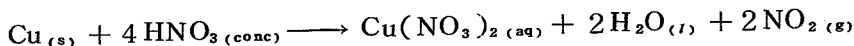
7. 二氧化硫



A 筒：傾斜地裝入約 6 粒硫代硫酸鈉固體。

B 筒：抽取約 3 mL 濃硫酸。

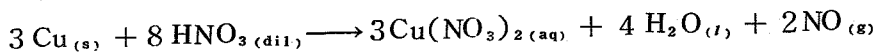
8. 二氧化氮



A 筒：取 15 cm 長的銅絲捲成銅幣狀，再傾斜地放入筒中。

B 筒：抽取約 3 mL 濃硝酸。

9. 一氧化氮

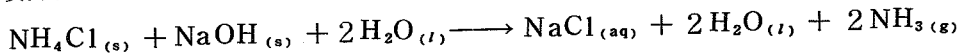


A 筒：取 15 cm 長的銅絲捲成銅幣狀，再傾斜地放入筒中。

B 筒：先抽取約 3 mL 水，再抽取約 1 mL 濃硝酸。

[註]：A 筒和 B 筒內的空氣一定要儘量排除，否則產生無色的一氧化氮會被空氣中的氧氣所氧化變成紅棕色的二氧化氮。

10. 氨氣



A 筒：先裝入一張比筒的內徑略小的濾紙，用筒栓將其推到筒的前端，再傾斜地放入 2 小匙細粒氫氧化鈉和 2 小匙的氯化銨晶體，然後將筒栓的最前端沾 1 滴水，打開節流夾，推筒栓到最前端處，關閉節流夾，立刻有大量氨氣產生而使筒栓自動地往外推。

B 筒：免用。

[註]：筒栓沾 1 滴水即可，否則會產生大量氨氣而把筒栓推到筒外而溢出氨氣，若注入大量的水，則亦可能氨氣被多量的水所溶解而無法收集到氨氣。

四、氣體的理化性質實驗

(一) 氫氣的爆炸：

1. 實驗步驟：

取一支 10 mL 氫氣收集 C 筒並拿下套帽，在筒口沾少許的肥皂水，再將此筒直立於桌上並壓下外筒 0.5 mL 使筒的開口處形成小氣泡，然後用點燃的火柴靠近之，如圖 3 所示。以相同的方法，再試以 1.0 mL 和 1.5 mL 的氣泡，比較其爆炸聲。

2. 實驗結果：

當點燃的火柴靠近氣泡時，可發出爆炸聲，若氣泡體積愈大，則其爆炸聲愈大。

〔註〕：此爆炸聲並非很大，約與一般小氣球破掉聲略同，也不具危險性。

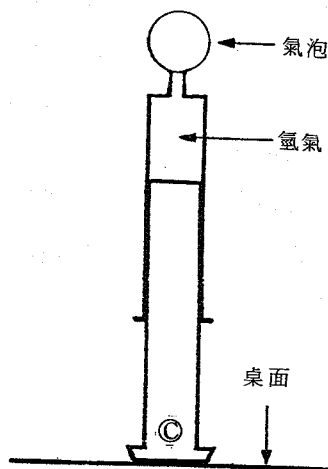


圖 3 氫氣的爆炸裝置

(二) 氧氣的助燃性：

1. 實驗步驟：

取一支 10 mL 氧氣收集 C 筒並取下套帽，再將筒口朝向點燃的蠟燭，然後推出 2 mL 氧氣，觀察蠟燭火焰的變化。以相同的方法，再試以二氧化碳和二氧化硫並加以比較。

2. 實驗結果：

推出的氧氣可以使蠟燭的火焰明顯地增強，但二氧化碳和二氧化硫則否。

(三) 氣體在水中的酸鹼性和漂白作用：

1. 實驗步驟：

取一支 10 mL 氯氣收集 C 筒並取下套帽，再套緊一條細口軟管。另取一支 10 mL 注射 D 筒，內裝沾濕的紅色和藍色石蕊試紙各一小張並與 C 筒互相連接。然後將 C 筒的氯氣完全推到 D 筒，如圖 4 所示。以相同的方法，再試以氧氣和二氧化硫，比較其試紙的變化。

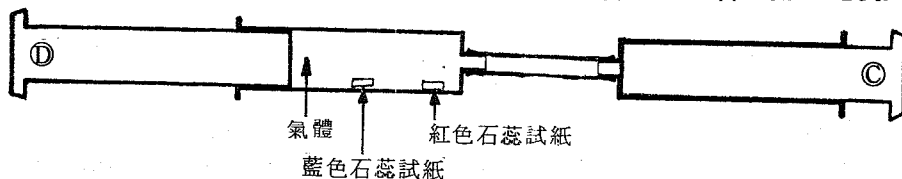


圖 4 酸鹼性和漂白作用的裝置

2. 實驗結果：

剛推入氯氣和二氧化硫時，沾濕的藍色石蕊試紙立即變成紅色，但氧氣則否。靜置一段時間後，氯氣比二氧化硫較容易使沾濕的兩張試紙褪成白色，但氧氣則否。

(四) 吸附作用：

1. 實驗步驟：

取一支 10 mL 注射 D 筒，筒內裝入用衛生紙包妥的活性碳。再取一支 10 mL 氯氣收集 C 筒並以細口軟管與 D 筒互相連接。然後將 C 筒的氯氣完全推到 D 筒，如圖 5 所示，靜置一段時間後，觀察氯氣的顏色變化。

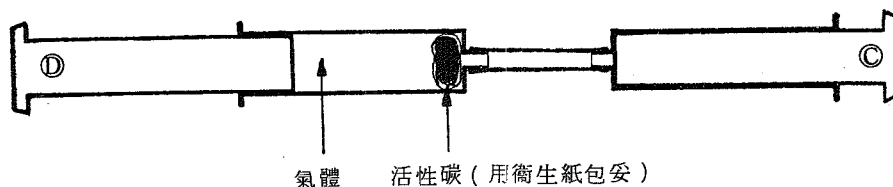


圖 5 演示吸附作用的裝置

2. 實驗結果：

氯氣會被活性碳所吸附，使得在 D 筒氣體的顏色由黃綠色變成無色且體積會縮小。若兩筒的筒栓來回推拉，則吸附作用的速率變快。

(五) 比較氣體的溶解速率和溶解度：

1. 實驗步驟：

取一支 10 mL 氯氣收集 C 筒並取下套帽，再連接一條細口軟管。另取一支 10 mL 注射 D 筒，筒內抽取 2 mL 水並與 C 筒互相連接，然後將 D 筒的水慢慢地推到恰在 C 筒的筒口處即停止並開始計時。觀察筒栓的變化，當筒栓不移動時停止計時，如圖 6 所示。以相同的方法，再試以二氧化碳並與氯氣比較。十分鐘後再將水慢慢地完全推到 C 筒，觀察並比較氣體的體積縮小量。

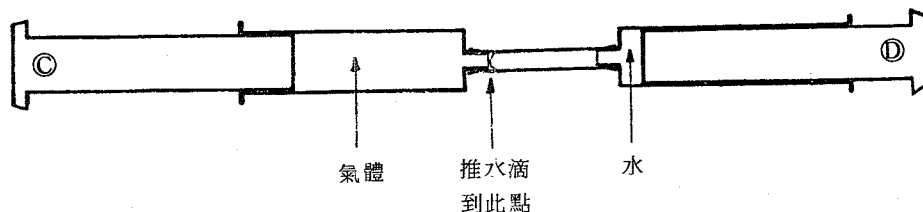


圖 6 比較氣體的溶解速率和溶解度的裝置

2. 實驗結果：

將水推到C筒的筒口處後，與氨氣相連的D筒的筒栓約13秒內會自動地往內推且非常快速，但二氧化碳則根本不移動。十分鐘後將水完全推到C筒，氨氣的體積縮小量約為9mL，而二氧化碳則約為1 mL。

(六) 波以耳定律：

1. 實驗步驟：

取一台最大稱重可達2 kg 的枱秤，在秤盤的中央直立一支10 mL氧氣收集C筒，在筒上放置數張折疊的衛生紙，然後用手掌壓縮筒的體積1.00、2.00、3.00和4.00 mL，觀察壓縮各體積所需重量，如圖7所示。然後測量C筒內徑的半徑，計算氣體的體積與壓力的乘積之值。以相同的方法，再試以二氧化碳。

2. 實驗結果：

實驗結果如表1，對 O_2 與 CO_2 的兩種氣體而言，其體積與壓力的乘積之值為 $1.02 \times 10^{-2} \sim 1.06 \times 10^{-2} \text{ L} \cdot \text{atm}$ ，約為固定值。

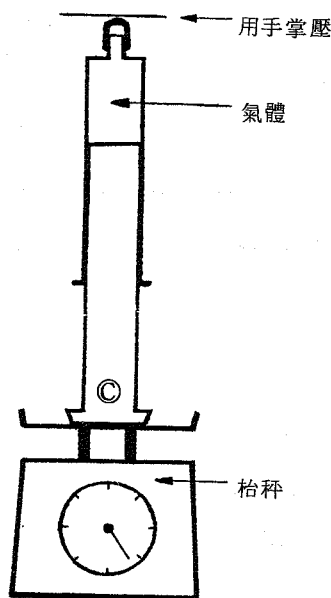


圖7 波以耳定律的裝置

表1 氣體體積與壓力的關係表（在 23°C 時，10 mL 氣體）

氣體	壓縮體積所施以總重 (kg)				體積 $\times$ 壓力 $\times 10^2 (\text{L} \cdot \text{atm})$			
	1.00	2.00	3.00	4.00 (mL)	1.00	2.00	3.00	4.00 (mL)
O_2	0.38	0.61	1.07	1.57	1.06	1.02	1.06	1.05
CO_2	0.37	0.58	1.06	1.60	1.06	1.02	1.06	1.06

〔註〕：①注射筒之重約為0.0010 kg，故可略而不計。

②設氣體的體積為 V ，壓力為 P ，壓縮體積為 V' ，壓縮壓力為 P' ，壓縮時施以重量為 w ，筒的半徑為 r ，當時大氣壓力為 P^0 ，則 $PV = [P^0 + P'][(10.0 - V')/1000]$ 。
若 $P^0 = 1.00 \text{ atm}$ 且 $r = 0.80 \text{ cm}$ ，則 $PV = [1.00 + (w/\pi r^2)(1/1.033)] \times [(10.0 - V')/1000] = (1.00 + 0.481w)(10.0 - V') \times 10^{-3} (\text{L} \cdot \text{atm})$ ，
其中 $1 \text{ atm} = 1.033 \text{ kg/cm}^2$ 。

(七) 查理定律：

1. 實驗步驟：

取一支含 5.00 mL 氧氣收集 C 筒並在筒外用橡皮筋綁妥一重物，然後倒立於燒杯中的水，此時外筒必定要完全浸到水中，靜置 5 分鐘後，再推拉筒栓記其停點，再取其兩個停點的中間值，觀察在室溫、50 和 80°C 時，筒內氧氣的體積。以相同的方法，再試以二氧化碳。計算氣體的體積除以絕對溫度之值。

2. 實驗結果：

實驗結果如表 2，對 O₂ 與 CO₂ 兩種氣體而言，其體積除以絕對溫度之值為 $1.64 \times 10^{-2} \sim 1.69 \times 10^{-2} \text{ mLK}^{-1}$ ，約為固定值。

表 2 氣體體積與溫度的關係（在一大氣壓下，5.00 mL 氣體）

氣體	氣體的體積 (mL)			體積 ÷ 絕對溫度 × 10 ² (mLK ⁻¹)		
	室溫 (23)	50	80 (°C)	296	323	353 (°K)
O ₂	5.00	5.39	5.90	1.69	1.67	1.67
CO ₂	5.00	5.31	5.89	1.69	1.64	1.67

(八) 溫度對氣體溶解度的影響：

1. 實驗步驟：

取一支含 5.00 mL 氧氣收集 C 筒並抽取 2.00 mL 水，筒口套緊套帽並推拉筒栓數次讓筒內的水溶液為飽和溶液，然後持筒的筒口朝上再取下套帽，排除部份氧氣使筒內僅含 2.00 mL 氧氣和 2.00 mL 水溶液，再套緊套帽並在筒外用橡皮筋綁上一重物，然後倒立於水中，其餘操作與前(七)相同，觀察氣體的體積增加量。以相同的方法，再試以二氧化碳。

2. 實驗結果：

氧氣的體積在 50 和 80°C 時比在室溫 (23°C) 時分別增加 0.35 和 3.10 mL，而二氧化碳則分別增加 0.20 和 1.92 mL。此兩種氣體的溫度愈高時，其體積增加量愈大，亦即溶解在水中的體積愈少；因此，氣體的溫度愈高其溶解度愈小。

[註]：本實驗僅觀察溫度與氣體溶解度之間的定性關係，而不探討它們之間的定量關係，

因為此涉及到水、氣體和注射筒的膨脹係數。

(九) 沈澱作用和擴散作用：

1. 實驗步驟：

取一支 10 mL 硫化氫收集筒 C 並套緊一條細口軟管。另取一支 10 mL 注射筒 D，筒內抽取 3.0 mL 醋酸鉛溶液並與 C 筒互相連接，將兩筒控制呈倒 V 型，然後將 C 筒的氣體慢慢地推到 D 筒，如圖 8 所示，觀察 D 筒內溶液變化。以相同的方法，再試以硝酸鉍、硝酸錫、硝酸亞錫和硝酸亞錳等溶液。

2. 實驗結果：

若慢慢地將硫化氫推到 D 筒的各種溶液，則可明顯地見到各種不同顏色的沈澱物擴散到溶液中，其擴散圖案非常漂亮。

〔註〕：各種沈澱物的顏色如下：PbS——黑色，

ZnS——白色，CdS——橙色，SnS——黃色，MnS——灰色。

(+) 非均勻相催化作用：

1. 實驗步驟：

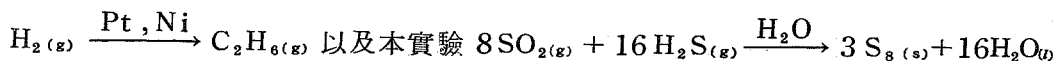
取一支 10 mL 注射筒 C，筒內抽取二氧化硫和硫化氫各 5.00 mL 並在筒口套緊一條夾著節流夾的細口軟管，靜置 10 分鐘，觀察筒內有無變化？另取一支 10 mL 注射筒 D，筒內抽取 3 mL 水並與 C 筒互相連接，然後打開節流夾並慢慢地推 D 筒的水 2~3 滴到 C 筒，再關上節流夾，觀察筒內的變化。

2. 實驗結果：

未含水滴的 C 筒，靜置十分鐘後仍然沒有變化。當推 D 筒的水 2~3 滴到 C 筒時，立刻出現淡黃色固體物且 C 筒的體積縮小。

〔註〕：催化作用可分為均勻相催化作用和非均勻相催化作用，前者是指反應系統中的反應物和催化劑為相同相之催化作用，如 $O_{2(g)} + 2SO_{2(g)} \xrightarrow{NO} 2SO_{3(g)}$ 屬之；

後者是指反應系統中的反應物和催化劑為不同相之催化作用，如 $C_2H_{4(g)} +$



〔S₈ 為淡黃色〕均屬之。

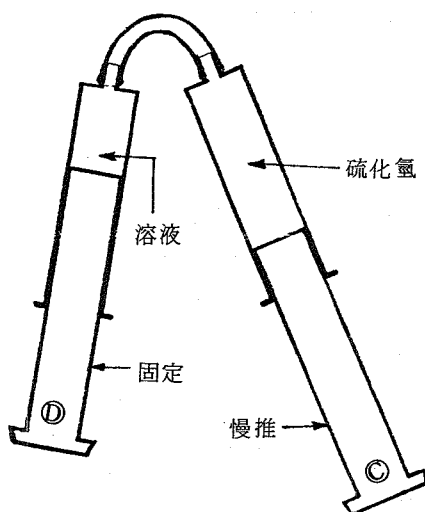


圖 8 沈澱作用和擴散現象的裝置

五、結 語

除了上述列舉十個氣體的理化性質實驗之實例外，本人亦進行了(一)壓力對於氣體溶解度的影響，(二)勒沙特列原理：溫度和壓力對於化學平衡的影響，(三)減壓下溶液的沸騰以及(四)各種氣體的密度大小排序等等，均有明顯的實驗效果而且操作簡易，因此利用塑膠注射筒實在可以進行很多氣體的理化實驗。

塑膠注射筒價格便宜且樣式多，可組合成透明的密閉系統裝置，在進行氣體的理化性質實驗時，裝置組合簡易且操作時間不長，藥品使用量少可避免環境污染，均是其優點，是故若能善加利用於理化實驗中，則洵為一種良好的理化實驗工具。

參考資料

- Dana W. Mayo, Ronald M. Dike and Samuel S. Butcher, 1986, Microscale Organic Laboratory, John Wiley and Sons, Inc., New York etc. (p.27)
- D.D. Siemer, S.D. Reeder and M.A. Wade, 1988, J. Chem. Ed., V65. (p.467)
- George M. Bodner and Harry L. Pardue, 1989, Chemistry — an Experimental Science, John Wiley and Sons, Inc., New York etc. (Cl₂ — p.407)
- Hobart H. Willard, Lynne L. Merritt, Jr., John A. Dean and Frank A. Settle, Jr., 1988, Instrumental Methods of Analysis, Seventh Edition, Wadsworth Publishing Company, Belmont, California. (p.594)
- Hubert N. Alyea, 1974, Armchair Chemistry — a Programmed Laboratory Manual, Second Edition, Princeton University. (p.76 94 238)
- J. Brandrup and E.H. Immergut, 1990, Polymer Handbook, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York etc.
- John B. Russell, 1992, General Chemistry, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., New York etc. (Expt.6 - p.115 ~ 120, Expt.7 - p.121 ~ 127)
- Kirk-Othmer, 1976, Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edi-

tion, Mei Ya Publications, Inc., Taipei. (Expt.1-8:691, Expt.5-2:471 and 4:727)

Ronald J. Gillespie, David A. Humphreys, N. Colin Baird and Edward A. Robinson, 1986, Chemistry, Allyn and Bacon, Inc., Boston .
(H_2 -p.89, CO_2 -p.390, HCl -p.246, Expt.3-p.257, Expt.10-p.672~676)

Raymond Chang, 1991, Chemistry, Fourth Edition, McGraw-Hill, Inc., New York etc. (O_2 -p.893, H_2S -p.897, NO_2 -p.885, NO -p.884, NH_3 -p.883, Expt.3-p.102~105, Expt.8-p.514~515)

Therold Moeller, John C. Bailar, Jr., Jacob Kleinberg, Cyrus O. Guss, Mary E. Castellion and Clyde Metz, 1984, Chemistry——with Inorganic Qualitative Analysis, Second Edition, Academic Press, New York etc. (SO_2 -p.875, Expt.1-p.493, Expt.2-p.135~137 176, Expt.3-p.824~825, Expt.4-p.476, Expt.9-p.123)

William L. Masterton, Emil J. Slowinski and Conrad L. Stanitski, 1985, Chemical Principles, Sixth Edition, CBS College Publishing, USA. (Expt.9-p.476~477)

陳玉玲, 民78年, 簡易過濾, 科學教育月刊, 第125期, 國立台灣師範大學科學教育中心, 台北市。(p.62~65)

國立編譯館, 民66年, 國民中學化學教師手冊, 第二冊, 國立編譯館, 台北市。(p.18~22)

國立編譯館, 民77年, 國民中學理化, 第一冊, 國立編譯館, 台北市。(p.80~81)

國立編譯館, 民81年, 高級中學化學實驗手冊, 第二冊, 第七版, 國立編譯館, 台北市。(p.1~6)

蕭次融, 民77年, 化學演示實驗, 科學教育月刊, 第115期, 國立台灣師範大學科學教育中心, 台北市。(p.27~61)

蕭次融, 民79年, 浮沈的玩偶與浮體的比重, 科學教育月刊, 第132期, 國立台灣師範大學科學教育中心, 台北市。(p.35~40)

魏蘊聰, 民80年, 氣體的擴散及逸散, 科學教育月刊, 第139期, 國立台灣師範大學科學教育中心, 台北市。(p.17~26)

感謝: 本文得以完成, 承蒙本系江武雄教授悉心地指導以及本系邱侶文和黃有道兩位同學熱心地協助, 在此一併誌謝。