

微量化學實驗設計

陳如華 黃澤蘭

Centennial College,

Montreal, Quebec, Canada

前言

微量化學早在檢驗室，藥廠化驗室使用，而利用於教學，則源自普林斯頓大學的 Hubert Alyea 教授，幾十年來不斷改進，最近在美國、加拿大再度掀起熱潮。本文僅簡單討論微量實驗的利弊，介紹所需工具，並以大學普通化學及高中理化實驗，各舉一例說明。

憑良心講，背別人的實驗結果、記理論，在很多中南美洲、中東及亞洲的國家是非常普遍的事實。即使在北美比較偏僻的地區，或經費不足的學校，學生也難得做實驗；因此實驗科學實際卻是紙上談兵，學生一旦進了城市大學後，對實驗課真是束手無策。

微量實驗讓學生做更多的實驗，不僅更安全、快速、經濟，且對環境保護最有幫忙。因為用量至少降低十倍，再加上微量操作，可用冷藏塑膠袋當做 fume hood，不致於汙染實驗室的空氣，對學童的健康是一大保障。微量的結果，藥品的費用、貯藏空間及廢物產量，自然減低十倍以上。老師準備實驗，學生清洗器具也更容易。對教學而言，更重要的是很多實驗可以在課堂上做，每組學生的實驗工具佔位很小，這對於設備不足的學校，真是一大福音。

微量實驗的結果，不比傳統實驗差，學生不但能親手做，親眼看，而且因為微量化，工具、手續簡單，因此能看見整體的結果，例如本篇所將介紹的普通化學實驗，136 個檢驗一覽而盡，學生更能了解，也幫忙記憶，而且實驗結果，如千百個五彩真珠，整齊排列，吸引學生的注意，百看不厭。在此有個笑話，要如何懲罰一個學生？最有效的辦法，就是不讓他做實驗。

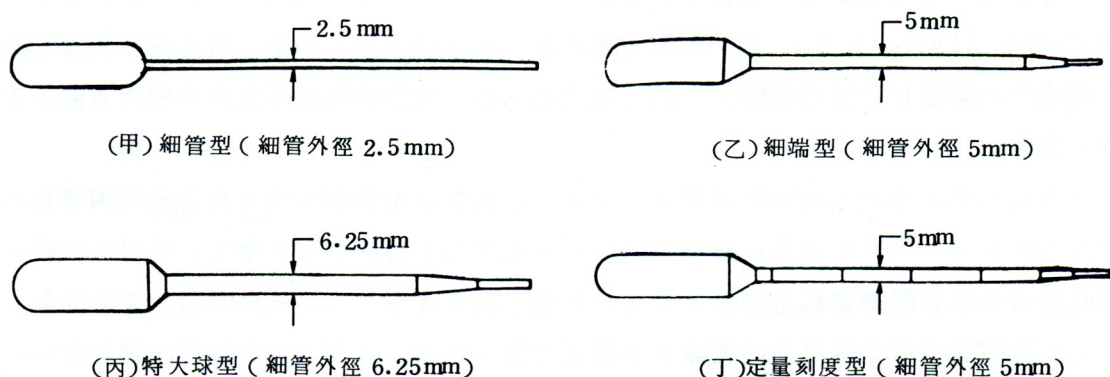
當然不是每一個實驗，都應改成微量，例如要測定化學反應產生多少焦耳的熱，還是傳統的巨量實驗來得管用。如果所需藥品普遍、便宜、不會危害環境、且費時合理，那麼減量就夠了，硬要微量，反而失其意義。另一方面，有許多實驗，因為太長、費時太多、而又收不到足量效果，一般都避免之，如果改用微量方法，則實際可行。另一例

子，若所需藥品昂貴，如硝酸根，或毒性強的溴水，或需有安全設施，如氣體爆炸等，一旦微量化，困難自然消失了。

總之，實驗微量化有很多好處，在傳統的實驗教學，貯藏室裝滿了試管、燒杯、量筒、三角瓶及化學藥品，還不夠用，若微量化後，可騰出許多空間來做更有意義的利用。

器 具

微量實驗的用具甚多，在此簡單介紹三種最常用的器材及其用法。最有用的是 Beral 吸管 (Beral-type Pipet)，來源於微生物實驗，共有四種如圖 1。



〔圖 1〕 塑膠製吸管

Beral 是第一家儀器商，利用高分子乙烯 (polyethylene) 做成的吸量管，易洗、能再用、易標籤，而且同型的每枝，容量及管徑大小，均相當均勻準確。例如(甲)種細管型，可容 4 mL，每毫升約 25 滴。此種只要末端加熱施壓力，即可封口，攜帶試液甚方便。(乙)種細端型，可容 5 mL，每毫升約 50 滴。(丙)種特大球型，可容 8 mL，管徑 6.25 mm，可用於濃度高的液體或較大量的試藥，亦可改用做微量 Chromatography Column。(丁)種定量刻度型，與(乙)種類似，但有刻度，可量 1 mL 或更小量，而且每毫升只有 25 滴。

第二個器具叫反應盤 (Reaction Plates)，每長方盤中有 6 洞、24 洞或 96 洞三種，直排有字母，橫排有數字編號，因此每一個洞都容易表明。

敝校只用 24 洞或 96 洞的反應盤，前者相當於 24 個容量 2.8 mL 小試管，4 × 6 整齊排列，後者相當於 0.3 mL 的 96 微試管，8 × 12 排列。若需大量 (9.6 mL)，可用 6 洞的反應盤。24 洞的反應盤還可兼做 Beral 吸量管的管架。每一種反應盤均用

透明 Polystyrene 做成，易洗，若有頑強的固體粘住，可以用棉花棒充當試管刷。

最後一個工具，是用 acetate sheet 劃格子，用一兩滴試藥混合做反應，此時牙籤就是攪拌棒。若放在投影機上面，可展示給大群學生看。

微量化學實驗實例

(一) 高中理化實驗（酸鹼滴定）

1. 器材：以每組為單位

1 個 24 洞的反應盤：4(A, B, C, D 直排) × 6(1, 2, 3, ..., 6 橫排)

2 張白紙 (4" × 5")

2 支牙籤（塑膠的較好，木質的也可）

3 支吸量管（或稱滴管）

2. 藥品：

3 mL 白醋

數滴指示劑（酚酞）

3 mL 氫氧化鈉 (0.2 M)

3. 實驗步驟：

- (1) 用封口膠帶標明三隻吸量管之用途：白醋、指示劑、氫氧化鈉。各吸取試液後，滴在反應盤 D1, D2, D3 的洞中。
- (2) 將反應盤置於白紙上，在盤上的 A1 洞中加入 10 滴的白醋，及一滴指示劑。
- (3) 用氫氧化鈉滴定到變成粉紅色，記錄下滴數（大約 15 ~ 20 滴），滴定時，用牙籤攪拌。
- (4) 在 A2 — A5 洞中，重覆四次滴定，取平均值，此為氫氧化鈉所需的容積。
- (5) 計算白醋的濃度：因為滴數 (D) 與體積 (V) 成正比，因此

$$N_1 M_1 V_1 = N_2 M_2 V_2 \quad \text{相當於}$$

$$N_1 M_1 D_1 = N_2 M_2 D_2$$

- (6) 假設白醋比重為 1000 g/L，那麼用醋酸的分子量及比重，濃度可計算出來，醋酸在白醋中的重量百分比。

4. 結果：

- (1) 21 組學生均第一次用這種吸量管，用 2 — 5 分準備實驗，重覆滴定 4 — 6 次，

共費時 5—10 分，平均每次滴定費時 1.4 分。相當於傳統式滴定費時之 1/3 左右。

- (2) 以重覆六次滴定為例，每組用白醋少於 3 mL，氫氧化鈉 5 mL，低於傳統方法之 1/10。
- (3) 滴定結果得知醋酸的濃度為 $0.34 \pm 0.02\text{M}$ 或 $0.34 \pm 6\% \text{M}$ 。其精密度超過高中化學之要求。

5. 討論：

- (1) 為了確保每滴容積相同，要學生滴定時滴管要垂直，不能有角度。
- (2) 可以教學生，用汽水的麥管做滴管架，平均需時 2.5 分即可做好。
- (3) 每個學生，可能在課堂的桌面上單獨操作，不需特別實驗室。
- (4) 老師不必擔心學生用吸量管來做水槍玩，因為容量小，效果不佳，不夠好玩。
- (5) 清洗吸量管比定量吸管與滴定管容易且省時甚多。

(二) 普通化學實驗（不溶化合物）

1. 器材：以每組為單位

二張 Data sheet（一張記錄，另一張置透明膠片下，以做化學反應）。記錄表一張透明膠片（acetate sheet）， $8\frac{1}{2}'' \times 11''$ ，一張小型週期表，共六個，代表六類陰離子。數隻牙籤（攪拌用），一張衛生紙（清潔用）。

2. 試藥：一隻 B.Pipet

八種陰離子（0.1M），各裝在細管型吸量管。17 種陽離子（0.1M），各裝在同型吸量管。

3. 實驗步驟：

- (1) 在透明膠片下墊一張空白的記錄表。在此膠片上將做 136 個（ 8×17 ）反應，看那一個反應會產生不溶物或顏色的變化。
- (2) 依膠片下記錄表所示的陽離子，分別滴一滴入橫格子中。
- (3) 然後取一陰離子試藥，自上而下，依記錄表所示在每一方格內加入一滴。小心不要讓吸量管尖端碰到膠片上已有的試藥。反應立即可見，若需要，可用牙籤攪拌，每用過一次的牙籤，得沖水後，方能再用。
- (4) 在另一個記錄表中，記下不溶物的顏色、量及化學式。
- (5) 陰離子中，留下 S^{2-} 最後做。因為硫化氫氣味太濃，且反應時產生的硫化氫，會污染其他的反應，此系列的反應，須到吸風箱（fume hood）內做。

(6) 做完後， Cr^{3+} ， Mn^{2+} ， Co^{2+} ， Ni^{2+} ， Cu^{2+} ， Ag^{+} ， Pb^{2+} ， Ba^{2+} 的化合物，應用吸量管吸取，棄置於重金屬的廢物罐中，其他可沖洗掉，擦乾交回。

(7) 分別在六個小型週期上，在產生不溶物的元素上塗顏色，以標明週期性。

4. 結果：

(1) 每兩人一組，共 10 組實驗，包括記錄結果，每組做 136 個化學反應，在短短 30～40 分鐘內完成。

(2) 實驗的結論是 PO_4^{3-} 及 CO_3^{2-} 能使最多種的陽離子沈澱， OH^- 次之， S^{2-} 再次之， $\text{X}^- (\text{Cl}^-，\text{Br}^-，\text{I}^-)$ 最少。

5. 討論：

(1) 做 OH^- 系列時，要用新鮮的 OH^- 試藥，而且反應後應馬上記錄結果，否則空氣中 CO_2 被吸收，會有副作用而變成 CO_3^{2-} 化合物之沈澱。學生做完 OH^- 系列後，將之留在空氣中愈久，會沈澱的元素愈多，且沈澱量愈多。

(2) S^{2-} 系列應最後做，而且最好用磁盤 (Spot plate) 在吸風機 (fume hood) 內做。因為硫化物會與透明膠片起反應而不準確，而且產生的硫化氫氣體，汙染其他的反應。

謝 辭：

本人參加第七屆科學教育學術研討會，承蒙許榮富教授的鼓勵，蕭次融教授的熱心指導，在此表示十分的敬謝。

參考資料：

1. Thompson, S. CHEMTREK: Microscale Experiments for General Chemistry; Allyn and Bacon: Needham Heights, MA. 1989.
2. MICROSCALE CHEMISTRY; The Woodrow Wilson National Fellowship Foundation: Princeton, N. J., 1987.

編者註：

本篇內容之一部分曾在第七屆科學教育學術研討會 (民國 80 年 11 月 30 日) 以壁報方式發表，同時展出其器材。曾有當場試作實驗的化學教師，而表示對本篇所介紹的內容有興趣而留下姓名與通訊處者有十數名之多。與 Beral 吸管類似的塑膠製品，國產者每支新臺幣 1～3 元，在儀器容器公司可以購得到。本文所提之不溶化合物實驗，首次於 1991 年 3 月在 McGill University 的 PED Workshop 發表並演示。