



化學尋寶： 未知溶液的鑑定

文·圖／邱美智、蕭次融

化學尋寶，其實就是未知溶液的鑑定或是未知溶液的分析，因其實驗操作方法如同尋寶，由一個線索做為引子，利用化學反應向鑑定未知溶液挑戰，甚具趣味性，深信能刺激學生學習化學的意願，故美其名為「化學尋寶」。

“Chem is try”

許多化學教師認為在整個中學化學課程中，最容易引起學生學習化學興趣的單元是化學反應，因其常伴隨著顏色的改變、沉澱的產生，或發出聲光等現象。又有許多化學教育學者認為學生「從未知學習」(learn from unknown)，在學習上最為有效。俗語說「百聞不如一見」，眼見為憑，但在學習化學上，筆者認為「百聞不

如一試」。有人將 Chemistry 的字母拆開，戲稱 Chem is try，學習化學就是要這樣試一試，動手操作實驗，這是強調化學實驗在學習化學的重要性。讓學生親自操作實驗不僅可提高其學習化學的興趣，而且應用 POE 教學，可促進學生自動學習的意願，提高其學習效率。

所謂 POE 教學係指教師在演示實驗或學生在動手操作實驗之前，先讓學生預測 (Predict) 可能發生的現象，然後教師才實際演示實驗或學生才實際動手操作實驗，學生要仔細觀察 (Observe) 所發生的現象，之後要求或鼓勵學生據此加以解釋 (Explain)。經此種教師演示實驗教學或學生操作實驗的過程，可增進學生自動學習的意願並激發學生思考，培養其創意。

為了保護環境，在化學方面提倡「綠色化學」，儘量有效利用反應物，採用濃度低的溶液且用量要少。

綜合上述理念，本文設計一個未知溶液的分析，學生可親自動手操作的實驗。只使用六種試劑，濃度都不超過 0.1 M，用量則只有數滴，而且整個實驗過程都很安全又清潔。這種化學實驗，教師可在一般教室進行教學，學生可在原座位上操作實驗，如此易於教師指導學生學習以及教室管理。

學生實驗

一、目的

利用酚酞指示劑以及未知溶液，互相兩兩相加，由其化學反應的結果，觀察其變化以鑑定未知溶液。

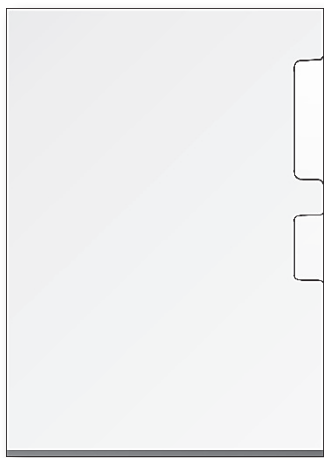


圖 1 資料夾。

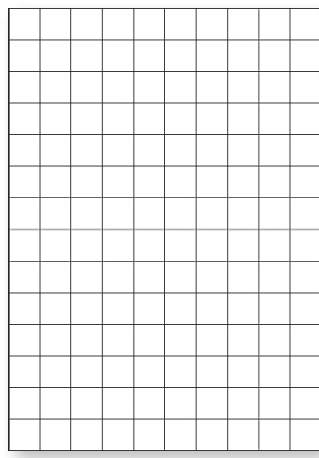


圖 2 畫有 2 公分見方的 A4 紙。

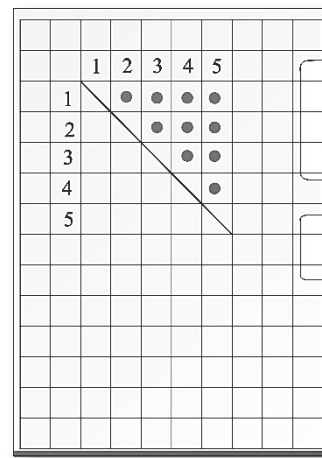


圖 3 夾有 A4 方格紙的資料夾當作墊板。

二、器材

1. 未知溶液五種： BaCl_2 、 Na_2CO_3 、 HCl 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 、 KI ，濃度 0.1 M，分別裝於小滴管（1 毫升，塑膠製），並貼有編號。
2. 酚酞指示劑（0.04%）裝於小滴管（1 mL，塑膠製），並貼有標籤酚酞。
3. 資料夾（塑膠製、透明、夾一張畫有間隔 2 公分方格的白色 A4 紙，如圖 1～3）。
4. 咖啡棒（塑膠製，攪拌用）2 支。
5. 蒸餾水（裝在 5 毫升滴瓶）1 瓶。
6. 面紙（口袋型、小包）1 包。
7. 滴管（1 mL，空白作為自行配製試劑之用）2 支。

以上器材七種，裝於塑膠夾鏈袋，每組一包。

三、步驟

學生：

1. 仔細清點夾鏈袋內的器材是否齊全。若有任何缺少，要舉手請教師補全。
2. 仔細觀察教師的演示實驗並傾聽說明。若有任何疑問，要舉手請教師說明或解釋。
3. 動手操作實驗，將未知溶液兩兩相加，並解答問題。
4. 寫好答案後整理桌面，用過的面紙等

垃圾依教師指示處理，並將所有器材放回原來的夾鏈袋內。

四、問題

學生：

1. 利用酚酞指示劑以及五種未知溶液兩

兩相加，觀察其反應，推測各未知溶液的溶質是什麼化合物。

2. 重複操作實驗，驗證五種未知溶液，確定後將其答案（編號）寫在下列表格內。

座號： 姓名：

未知溶液	KI	HCl	BaCl ₂	Na ₂ CO ₃	Pb(NO ₃) ₂
編號					

教師手冊

一、指導方式

1. 學生二人一組，每組一套試劑與一套器材。將兩張課桌椅並排，學生在原座位上操作實驗，不許學生走動，以利教室管理，使實驗順利進行。實驗操作時間 50 分鐘。
2. 在學生動手操作實驗之前，要求同組學生討論，預期（P）各試劑兩兩相加後可能的反應以及以肉眼即可觀察（O）到的化學變化與可能發生的現象。
3. 教師在學生討論後必須抽問學生，是否確實了解各試劑兩兩相加反應後，化學變化所產生可觀察到的現象，並且要求學生解釋（E）所觀察到的現象，亦即所謂的 POE 教學與學習。
4. 倘若學生有任何疑難，必須板書解釋清楚。下列是試劑兩兩相加可能的反應（以化學反應式表明）以及可觀察到的現象（寫在每一反應式後的括弧內）：
 - (1) $\text{BaCl}_2(aq) + \text{Na}_2\text{CO}_3(aq) \rightarrow 2\text{NaCl}(aq) + \text{BaCO}_3(s)$ （白色沉澱）
 - (2) $\text{BaCl}_2(aq) + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2(aq) \rightarrow \text{Ba}(\text{NO}_3)_2(aq) + \text{PbCl}_2(s)$ （白色沉澱）
 - (3) $\text{Na}_2\text{CO}_3(aq) + 2\text{HCl}(aq) \rightarrow 2\text{NaCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) + \text{CO}_2(g)$ （產生氣泡）
 - (4) $\text{Na}_2\text{CO}_3(aq) + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2(aq) \rightarrow 2\text{NaNO}_3(aq) + \text{PbCO}_3(s)$ （白色沉澱）
 - (5) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(aq) + 2\text{HCl}(aq) \rightarrow 2\text{HNO}_3(aq) + \text{PbCl}_2(s)$ （白色沉澱）
 - (6) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(aq) + 2\text{KI}(aq) \rightarrow 2\text{KNO}_3(aq) + \text{PbI}_2(s)$ （黃色沉澱）
 綜合以上化學反應，可歸納各未知溶液與其他未知溶液會有反應的反應數，如表 1。

表1 五種未知溶液兩兩相加，會有反應的反應數

編號	11	12	13	14	15
未知溶液	BaCl ₂	Na ₂ CO ₃	HCl	Pb(NO ₃) ₂	KI
反應數	2	3	2	4	1

5. 之後，教師要演示器材的使用方法以及實驗的操作方式。要強調這是「滴滴實驗」，要在塑膠墊板上操作實驗。試劑每次只用 1 或 2 滴，不可多用。最好演示上列六個化學反應式中的最後一個反應亦即 (6)，因其所產生的是黃色 PbI_2 沉澱，容易觀察。然後用面紙擦拭墊板。若有需要清洗墊板時，要用所給的蒸餾水滴下兩三滴於墊板後，用咖啡棒來回磨墊板數次，就可用面紙擦乾淨。

解題的方法

未知溶液的分析，其解題的方法有多種。本文介紹其中的兩種實驗操作方法：化學尋寶和普查尋答。為了易於說明，先將五種溶液任意編號如下：

11. $BaCl_2$ 、12. Na_2CO_3 、13. HCl 、
14. $Pb(NO_3)_2$ 、15. KI

一、化學尋寶

顧名思義要尋寶就要有線索，順線索一一尋找下去。本實驗除了五種未知溶液之外，還給了酚酞指示劑。因此首先要善用酚酞指示劑，引子或線索，因為五種未知溶液中，有酸與鹼，可用酚酞指示劑分辨。下面介紹實驗操作步驟 I ~ IV：

- I、利用酚酞指示劑，在鹼性溶液中顯現粉紅色的特性。將五種未知溶液從其滴管各滴 1 滴（相隔 2 公分）於墊板上。然後在各滴溶液上，各滴下 1 滴酚酞指示劑後，分別用咖啡棒一一攪和，結果則見只有一種未知溶液顯現粉紅色。由此可判定該未知溶液是鹼性的 Na_2CO_3 ，如圖 4 流程圖中的①，表示 Na_2CO_3 是第一個可確定的未知溶液。
- II、要自行先製備粉紅色溶液的試劑，其配製方法如下：先在墊板上滴下 Na_2CO_3 溶液 10 滴後，在其上滴下酚

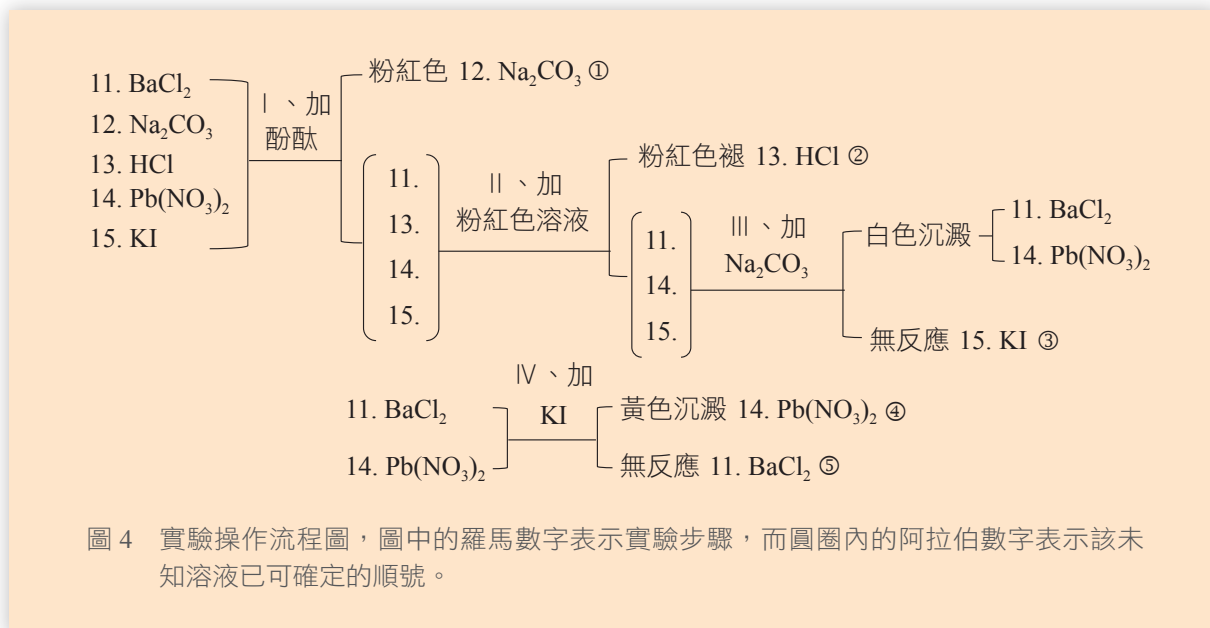


圖 4 實驗操作流程圖，圖中的羅馬數字表示實驗步驟，而圓圈內的阿拉伯數字表示該未知溶液已可確定的順號。

酞指示劑 2 ~ 3 滴至混合液顯現粉紅色。然後，用空吸管將粉紅色溶液吸入，當作試劑備用。之後就用這試劑作為引子，分別滴在其餘的四種未知溶液（同樣各隔 2 公分），即見其中有 1 滴能使滴上去的粉紅色消失，表示酸鹼中和，因此該滴的未知溶液應該是 HCl，如圖 4 流程圖上所標示的②。

III、在尚未判定的三種未知溶液，採用同樣在墊板上操作實驗的方法，滴上 Na_2CO_3 溶液，即見有兩種未知溶液產生白色沉澱，而不產生沉澱的未知溶液，就可判定其為 KI，如流程圖上所標示的③，是第三個可確定的未知溶液。

IV、然後利用 KI 可辨別產生沉澱的那兩種未知溶液。其中與 KI 產生黃色沉澱的是未知溶液 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，流程圖上的④；另一沒反應的就是 BaCl_2 ，是流程圖上的⑤。

如此只要四個步驟 I ~ IV，就可分辨五種未知溶液，完成尋寶。

二、普查尋答

普查尋答係指無任何線索，將未知溶液兩兩相加，觀察其反應結果後，做綜合判斷。這種作法，難度較高，需要對未知溶液的化學反應了解確實。實驗操作步驟與說明如下：

1. 在墊板上每隔 2 公分，各滴每種未知溶液 1 滴，如圖 3（參頁 43），只滴圖中對角線上的一半就可以。然後在各滴上分別滴下他種未知溶液各 1 滴。
2. 觀察其反應並紀錄如表 2，表中（↓白）表示產生白色沉澱，（↓黃）表示產生黃色沉澱，（氣泡）表示產生氣泡，而（X）則表示無反應。

表2 未知溶液兩兩相加反應結果

編號	11	12	13	14	15
11		↓白	X	↓白	X
12			氣泡	↓白	X
13				↓白	X
14					↓黃
15					

3. 表 2 為未知溶液兩兩相加的結果，例如未知溶液 11 號與 12 號相加結果，產生白色沉澱，而 11 號與 13 號相加，則無反應以 X 表示，其餘解釋依此類推。

4. 由於未知溶液兩兩相加，因此表中斜線下面的空白，會與斜線上面的實驗結果相同，因此不需再做實驗也可以補上（斜線兩側對稱），如表 3。表 3 最後一行的「反應數」表示未知溶液兩兩相加的結果會有反應的數目，例如編號 14 的未知溶液與其他四種未知溶液均會有反應，因此反應數為 4，而編號 15 的未知溶液，則只會與編號 14 的反應，所以其反應數為 1。

表3 補全表2暨反應數

編號	11	12	13	14	15
11		↓白	X	↓白	X
12	↓白		氣泡	↓白	X
13	X	氣泡		↓白	X
14	↓白	↓白	↓白		↓黃
15	X	X	X	↓黃	
反應數	2	3	2	4	1

5. 綜合上述，可以將五種未知溶液彼此間的反應關係繪製如圖 5。

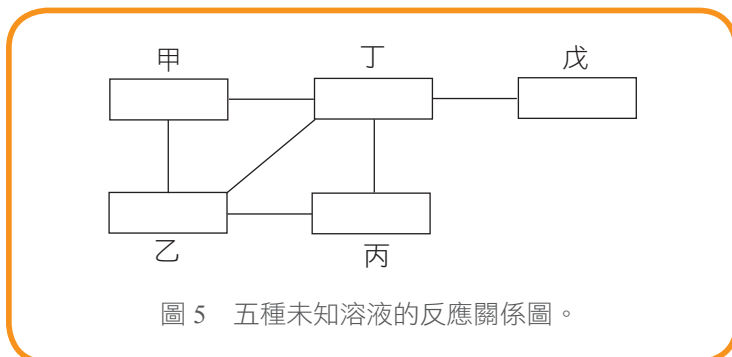


圖 5 五種未知溶液的反應關係圖。

圖 5 中的各連線兩端表示會有反應，例如圖中的丁與其他四種未知溶液均有連線，表示連線兩端的未知溶液兩兩相加的結果會有反應，因此對照表 1（參頁 44），知丁的反應數為 4，因此應該是編號為 14 的未知溶液 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 而戊只會與丁反應，其反應數為 1，對照表 1，知其為編號 15 的未知溶液 KI 。同樣推理可得圖 5 中的乙

（反應數為 3），由對照表 1 知其必為編號 12 的未知溶液 Na_2CO_3 。至此只剩下 BaCl_2 與 HCl 尚未判定，但從表 3 可看出未知溶液兩兩相加會產生氣泡的是 12 與 13 的反應。因此可推知 13 是 HCl ，在圖 5 或圖 6 中的丙位置。因此剩下的 BaCl_2 必為編號 11 的未知溶液，在圖 6 中甲的位置。

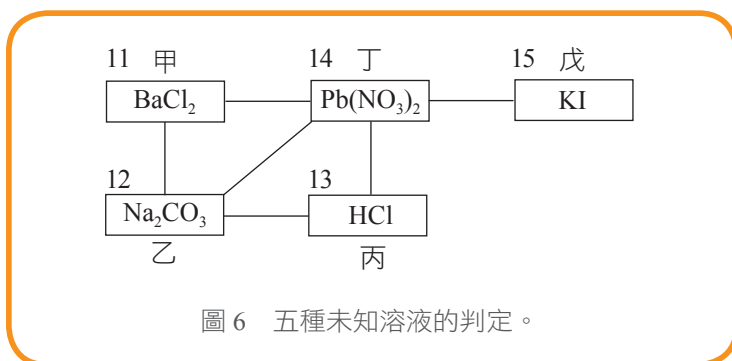


圖 6 五種未知溶液的判定。

結論

以本文所介紹的化學尋寶方式做實驗，試劑用量少，且學生可在教室的原座位上操作實驗，便於教師講解；以及師生互動（POE 教學），可提高教學效率並促進學生學習意願，是一種化學實驗的改進。筆者之一（蕭）曾擔任國際化學奧林匹亞（主要對象為年齡低於 18 歲的高三學生）的命題委員兼裁判，曾命製與本篇類似（但

10 種化合物）的化學實驗題，甚獲好評。其原因是這種好像辦「家家酒」的滴滴實驗，其設計符合 Green Chemistry，而且省時省事又省錢，作為比賽項目，鑑別率又高，實值得在國內推廣。再者，圖 6 曾用於今年的 104 學科能力測驗自然考科試題，第 9～10 題組。

邱美智 大學入學考試中心專員

蕭次融 大學入學考試中心顧問