

八十九學年度高級中學

化學科能力競賽決賽實驗試題解析和評析

謝建國

國立彰化師範大學 化學系

壹、前言

八十九學年度全國高級中學化學科能力競賽決賽實驗試題共分試題(一)及試題(二)。本文以試題(二)作為解析和評析。此次競賽於九十年二月假國立彰化師範大學舉行，計有來自全國各區域所甄選出來的學生四十九名參賽。

競賽的宗旨在於提昇高中學生對科學問題研究的興趣，激發其思考、組織、創造能力。實驗競賽部份，學生必須應用既有的學科能力(如知識能力、操作技巧等)，並配合題目所提供的資料，經由組織統整、創造設計一個實驗流程以解決問題。

由於參賽的學生為全國高中生的菁英，為了能夠選拔出個中翹楚，題目難度相對較高。此試題分為兩段式的成就評量，第一段為滴定至 Na_2CO_3 的第一當量點求出 Na_2CO_3 莫耳數，難度較低，第二段則為求出 CaCO_3 莫耳數，難度較高。

本文將分為實驗試題、參考答案、評量重點分析、評分原則和評審綜合感想等項敘述。

貳、實驗試題

一、題目

測定 $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{CaCO}_3/\text{NaCl}$ 混合物中，各成

分所佔重量百分率。

二、相關資料

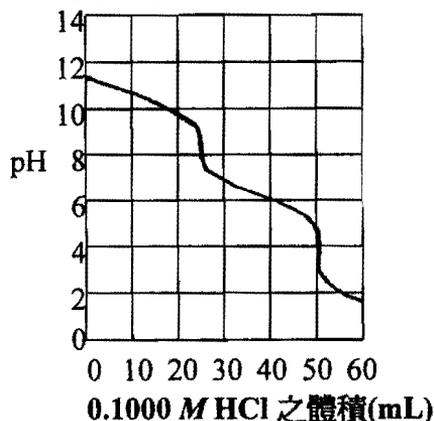
1. Na_2CO_3 ：分子量 105.99，熔點 851°C ，在 0°C 時 100 g 水可溶解 7.1 g。

CaCO_3 ：分子量 100.09，熔點 1339°C ，在 25°C 時 100 g 水可溶解 1.4 mg。

NaCl ：分子量 58.45，熔點 801°C ，在 0°C 時 100 g 水可溶解 35.7 g。

2. 用 0.1000 M HCl 滴定 25.00 mL 0.1000 M

Na_2CO_3 之曲線圖如下所示。



3. 酸鹼指示劑

品名	酸型顏色	變色範圍	鹼型顏色
甲基橙	紅	3.1 — 4.4	橙
溴甲酚綠	黃	3.8 — 5.4	藍
溴瑞香草藍	黃	6.2 — 7.6	藍
酚紅	黃	6.8 — 8.4	紅
酚	無	8.3 — 10.0	紅

4.0.1 N 鹽酸可以煮沸一小時而沒有顯著的 HCl 逸出，0.5 N 鹽酸可以煮沸 10 分鐘而沒有顯著的 HCl 逸出。（以上須適時補充蒸發的水份，以免因水量減少，提高鹽酸濃度而造成 HCl 的逸出）

5. 電子天平有 T 或 Tare 鍵或 Re-Zero 鍵，按一下即可歸零或扣除毛重。

6. 本生燈若不會使用可請教評審。點火時身體應遠離燈具。並請使用擋風板以免風吹火熄。

三、特別說明：

1. 待測混合物限量一包（約 5 g）。已知濃度之 NaOH 溶液及 HCl 溶液總使用量各限 250 mL（自行一次取回）。

2. 限以所提供器材藥品進行實驗。

3. 本試題紙及實驗報告紙於實驗完畢一併繳回。記得寫上組別。

4. 請注意實驗安全。

四、器材藥品：

(一)個人部份

1. 待測混合物(約 5g)	1 袋
2. 漏斗	2 支
3. 玻棒	2 支
4. 洗滌瓶	1 個
5. 刮勺	2 支
6. 滴管	5 支
7. 燒杯(250mL)	5 個
8. 錐形瓶(250mL)	5 個
9. 安全眼鏡	1 副
10. 乳膠手套	1 雙

11. 肥皂粉	
12. 標籤紙	1 些
13. 白紙(草稿用)	1 張
14. 擋風板	1 個
15. 滴定管(酸鹼)	各 1 支
16. 滴定管架	1 套
17. 滴定管刷	1 支
18. 計算機(自備)	
19. 三腳架	1 個
20. 本生燈	1 具
21. 火柴	1 盒
22. 陶瓷纖維網	1 片
23. 小水盆(含冰塊)	1 個
24. 量筒(100mL)	1 支
25. 衛生紙	1 些

(二)公用部份

1. NaOH 溶液(0.2134 N)250mL(每人)
2. HCl 溶液(0.2089 N)250mL(每人)
3. 蒸餾水
4. 電子天秤(0.0001 g)

5. 稱量紙
6. 甲基橙
7. 酚紅
8. 溴瑞香草藍
9. 溴甲酚綠
10. 酚
11. 凡士林

參、參考答案

一題目：測定 $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{CaCO}_3/\text{NaCl}$ 混合物中，各成分所佔重量百分率。

二實驗步驟：（以簡要的文字寫出，但要完整，不可遺漏） [20%]

- 1.以稱量紙稱取 0.6~0.7 g（精稱至 0.0001 g）混合物，置入錐形瓶中，並加入約 50 mL 蒸餾水及 3 滴酚。
- 2.清洗酸式滴定管，並以少量 0.2089 N 鹽酸潤洗。然後裝入此鹽酸，排除氣泡，記下初刻度。以此酸滴定上述混合物至紅色消失（因有 CaCO_3 存在故呈白色）。記錄酸的用量（ V_1 ）。由 V_1 算出 Na_2CO_3 含量。（滴定管操作技巧的細節省略）
- 3.繼續加入大量鹽酸至白色沈澱完全消失，鹽

酸要過量。記下總體積（ V_2 ）， V_2 包含 V_1 在內。

- 4.將反應完之溶液煮沸 5 分鐘，以趕出 CO_2 ，並浸入冰水中冷卻（使用冰水為節省時間）。
- 5.同步驟 2 技巧將 0.2134 N 之 NaOH 溶液裝入另一支鹼式滴定管，並用來反滴定上述過量之鹽酸。至紅色呈現記下 NaOH 溶液用量。再換算出過量鹽酸之量（ V_3 ）。
- 6.算出 Na_2CO_3 、 CaCO_3 、 NaCl 之重量百分率

三、實驗數據：（有系統的以表格方式呈現） [15%]

實驗次別	混合物量(g)	紅色消失時鹽酸用量 V_1 (mL)	白色沈澱消失時鹽酸用量(過量) V_2 (mL)	反滴定 NaOH 溶液用量(mL)	換算出過量的鹽酸 V_3 (mL)	與 CaCO_3 作用之鹽酸 $V_4=V_2-2V_1-V_3$ (mL)	Na_2CO_3 所佔百分率	CaCO_3 所佔百分率
一	0.6346	14.10	44.55	5.95	6.08	10.27	49.20%	16.92%
二	0.6345	14.00	45.30	7.00	7.15	10.15	48.85%	16.72%
三	0.6346	14.10	45.00	6.00	6.23	10.57	49.20%	17.42%
平均							49.08%	17.06%

【附註】：原配方（混合物）中 Na_2CO_3 佔 49.57%， CaCO_3 佔 16.90%。

四、計算過程：（以第一次數據為例，列出計算過程） [15%]

Na_2CO_3 重量百分率：

$$\frac{\frac{14.10}{1000} \times 0.2089 \times 105.99}{0.6346} \times 100\% = 49.20\%$$

CaCO_3 重量百分率：

$$\frac{\frac{10.27}{1000} \times 0.2089 \times \frac{1}{2} \times 100.09}{0.6346} \times 100\% = 16.92\%$$

五、實驗結果：[30%]

Na_2CO_3 的重量百分率為 49.08 %

CaCO_3 的重量百分率為 17.06 %

六、實驗討論：（對於實驗步驟中，某些操作過程或特殊技巧、藥品用量，若有其特殊用意，請一併在此說明）[20%]

- 1.混合物取量 0.6~0.7 g 是考慮到誤差的問題及鹽酸的用量。取用太少時相對誤差大，太多時鹽酸的用量太多。
- 2.混合物加入 50 mL 水，各次實驗應大約一致，避免指示劑顏色的觀察有差距。且水量也不宜太多，否則煮沸不易。
- 3.第一當量點以鹽酸滴定時，要不斷搖盪，以

防止溶液中某一局部區域酸性太強而造成 CaCO_3 分解並逸出 CO_2 或 Na_2CO_3 形成 H_2CO_3 並分解出 CO_2 。如此一來 Na_2CO_3 的滴定就有較大誤差了。

4. 在進行第二當量點的滴定时，過量的鹽酸可迅速地將 CaCO_3 分解掉，可節省操作時間。過量的鹽酸要用已知濃度的 NaOH 溶液反滴定。
5. Na_2CO_3 的第二當量點雖然明顯，但 pH 值較低，此時鹽酸也會和 CaCO_3 作用，故不適合進行 Na_2CO_3 的第二當量點的測定。
6. 反應中會產生大量 CO_2 ，並溶於水中造成酸性，反滴定將消耗更多 NaOH ，故必須藉煮沸除去 CO_2 。

肆、評量重點分析

1. Na_2CO_3 和 HCl 的反應特性及反應式。
2. CaCO_3 和 HCl 的反應式。
3. CO_2 在水中的溶解度和溫度的關係。
4. CO_2 在水中形成酸性。
5. pH 值的意義。
6. 指示劑的變色範圍和選用。
7. 當量點的選定。
8. 反滴定的觀念。
9. 體積莫耳濃度。
10. 重量百分率濃度。
11. 化學計量。
12. 閱讀圖表的能力。
13. 根據分子量、溶解度、酸鹼濃度而預估、設定樣品用量、蒸餾水用量。
14. 稀鹽酸水溶液熱穩定概念的應用。
15. 實驗方法的選擇及實驗流程的設計。

16. 實驗操作技巧。如：天平的稱量、指示劑使用量、滴定操作、加熱煮沸及冷卻。
17. 數據的處理。如：有效實驗結果的取捨、表格的設計、有效數字、平均值及準確度。
18. 實驗討論。

伍、評分原則

1. 實驗步驟滿分 20 分。能完成第一當量點實驗設計者給 10 分，完成第二階段實驗設計者再給 10 分。但步驟中樣品取量、指示劑選擇、指示劑用量、煮沸與否、冷卻應用、反滴定操作…等，若有不理想者，視情況每項酌扣 1-2 分。採用溶於水而後靜置分離溶液者，扣 5 分（靜置後仍有 CaCO_3 懸浮導致效果不佳），採烘乾而未使用滴定方法來求 CaCO_3 含量者亦扣 5 分（使用燒杯烘乾）。
2. 實驗數據滿分 15 分。就表格設計、測量次數、平均值觀念、有效數字、內容呈現完整性每單項給 0-3 分。
3. 計算過程滿分 15 分。兩個階段的計算各佔 7.5 分。評分重點不在準確性，而是在列式、計量過程是否觀念正確。因筆誤（如小數點錯置、數字錯抄、運算失誤）皆只酌扣 1-3 分。
4. 實驗結果滿分 30 分。分為二項，每項各 15 分。給分以最原始數據（滴定體積或稱量結果）的準確度為依據，若因計量觀念錯誤或計算失誤，則不再重覆扣分。評分等級採線性方式，以參考答案為準，誤差每 1% 扣 1 分。
5. 實驗討論滿分 20 分。學生能寫出合理而有意義的討論，每單項給 1-4 分。

陸、評審綜合感想

由學生的實驗報告，將學生解題的思考過程加以分析後，我們歸納出下列九種不同的模式如下。

- 1.有四人（8%）與參考答案大致相同。
- 2.有四人（8%）採靜置溶液後，小心傾析出上層液，將上層液以第一當量點測出 Na_2CO_3 含量，留下的沈澱經烘乾稱重，求出 CaCO_3 含量。
- 3.有三人（6%）採靜置溶液後，小心傾析出上層液，將上層液以第一當量點測出 Na_2CO_3 含量，留下的沈澱經洗滌後（洗滌液有併入上層液）以鹽酸測出 CaCO_3 含量。
- 4.有五人（10%）取特定量的水將混合物溶解後靜置，再取出一定比例的上層液進行第一當量點的滴定，求出 Na_2CO_3 含量，接著再取特定量混合物溶解後，以滴定法測出 Na_2CO_3 及 CaCO_3 總莫耳數，兩相對照，扣除後，求出 CaCO_3 含量。但其中一人在測定 Na_2CO_3 含量時，錯選了溴甲酚綠為指示劑。
- 5.有三人（6%），亦是採靜置溶液後，取上層液完成第一當量點的滴定，求得 Na_2CO_3 含量，但同樣的，其中有一人錯選了溴甲酚綠為指示劑。此三人未再進一步做其它測定。
- 6.有四人（8%）完成第一當量點測定，求出 Na_2CO_3 含量，接著加入溴甲酚綠，完成第二當量點測定，接著算出 CaCO_3 的含量。
- 7.有一人（2%）取混合物烘烤，由 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ 反應式，認為可以算出 CaCO_3 含量。
- 8.有二人（4%）只完成 CaCO_3 及 Na_2CO_3 總

莫耳數的測定。

- 9.有一人（2%）將混合物溶解成特定體積後，趁混濁狀態，迅速取出特定量的溶液完成後續的全部測定。他誤以為混濁液是完全均勻的。

從上述的分析，可以清楚看到同學的解題心路歷程，也可憶測同學迷失概念所在。舉一個最明顯的例子：有些同學採靜置後分離上層液的解題策略，很可能認為若先以滴定方式進行，則鹽酸不僅會與 Na_2CO_3 作用而且也會與 CaCO_3 反應。因此他們才選擇了這種勉為其難的靜置分離模式，以至於既費時又造成了嚴重誤差。靜置分離時，因 CaCO_3 溶液中的微粒懸浮嚴重，且可能分佈不均，雖經多次測定，所得數據非常懸殊，故無法提供有意義的參考答案。

從整體性的角度來統計，約有 18% 的同學能做較完整的實驗設計。另有 25% 的同學能正確的完成至第一當量點為止的實驗設計。換句話說，共有 43% 的同學能完成第一當量點的設計。在思考過程中，90% 的同學都能正確的選用指示劑，50% 的同學使用到反滴定，31% 同學知道煮沸趕出 CO_2 。在數據的處理上，表格的設計，數據的呈現等科學過程技能大部份同學有待訓練，特別是有效數字，注意的人並不多。

整體而言，學生在科學知識及操作技巧上可稱良好，但在實驗方法的擇取則尚稱不足。就題目本身而言，雖然稍具難度，但詳細審視學生的實驗報告，依然可以區分出學生的解題能力。

（下轉第 43 頁）

$$\therefore A \cos \theta < B \times 1 = B \rightarrow B - A \cos \theta > 0$$

因此當 $\alpha = 90^\circ$ ，則 $\cos 90^\circ = 0$ ，

此時，分子 $A - B \cos \theta = 0$

$$\cos \theta = \frac{A}{B} = \frac{2\sqrt{m(m+d)}}{2m+d}$$

θ

θ

$$\cos \theta = \frac{2\sqrt{m(m+d)}}{2m+d}$$

AB 線段為直徑，作一半圓，過 D 的射線與該半圓相交的點，即是 90 度的射門角度。原因是半圓上的圓周角一定是直角。

(五) 射門角度 α 的範圍

如果 $\theta = 90^\circ$ ，則最佳射門角度是多少度？

(上承第 63 頁)

※誌謝：此次試題承蒙廖文峰、李成康、江武雄等多位教授提供寶貴意見，特此誌謝。

柒、參考資料

黃榮茂、林聖富、王禹文、楊得仁等，化學化工百科辭典，台北市曉園出版社有限公司，民 81 年 5 月。

Douglas A. Skoog ; Donald M. West and F. James Holler Fundamentals of Analytical chem-

此時， $\cos \theta = \cos 90^\circ = 0$ ， $\cos \alpha =$

$$\frac{A-0}{B-0} = \frac{A}{B} = \frac{2\sqrt{m(m+d)}}{2m+d}$$

(4) 中求最佳射門角度是 90 度時的入射角度是相同的！

整個來說，因為最佳射門位置的位置與過 A、B 的圓大小有關，圓越大，則 α 角越小，也就是說入射角和最佳射門角度是成反比！且 $0 < \alpha < 180^\circ$

三、結論

目前的數學課程中，一再強調生活數學的重要性，從這個實際的問題中，可衍生出一連串的問題，在探討的過程中可能讓學生瞭解到生活中的數學，以及真實情況和數學表達中的差異，有助於學生更深入的體會。

istry, 7th Edition, Saunders College Publishing, 1996.

Weiss, Gerald S.; Greco, Thomas G; and Richard, Layman H. Experiments in General Chemistry: A Laboratory Program to Accompany Petruccis's General Chemistry, Seventh Edition, Macmillan Publishing Company, New York, 1997.

李成康、江武雄、楊水平，科學教育通訊 17 期 P.1~19，民 80 年 11 月。