

第27屆國際化學奧林匹亞競賽試題評析(Ⅲ)

— 實驗實作競賽 —

*蕭次融 *張一知 +黃良平 °陸大榮
*國立臺灣師範大學化學系
+國立臺灣大學化學系
°國立中興大學化學系

本屆 IChO 的實驗實作與上幾屆的不同，雖有三個實驗，但學生不需要輪做實驗，而在同一個位子上做完三個實驗。各個實驗所需器材混放在一起，因此事前的實驗室參觀，領隊們檢視實驗器材也難猜測實驗內容。實驗的名稱如下：

實作一 未知溶液的辨別

實作二 順一二甘胺酸銅的合成

實作三 二甘胺酸銅中含銅量之測定

其中實作一是獨立的一個定性實驗，實作二與三是相關的實驗，先合成一個錯合物，然後做其定量分析。本屆的實驗命題，可說是考量週全，可以測試高中生操作實驗以及由觀察到結論的科學過程技能 (science process skills) 的能力，也顯現高中化學實驗教育的最有趣的部分：「分析與合成」 (Taking things apart and putting things together)。

三個實驗的時間共五個小時，學生連續站立五個小時做實驗，需要相當體力，而且幾乎都不需要上洗手間。難怪許多領隊認為化學奧林匹亞競賽不僅考驗學生的腦力，也比賽學生的體力與耐力，這或許可以說是「 IChO 三力」。

本屆的實驗，我們四位學生的表現都很不錯。在 40 分中四位的平均是 33.87，得分率 84.69% 是我們參賽四屆中，實驗成績最好的一次。三個實作的平均得分率分別為 96.25% (定性分析)、89.06% (無機合成)、77.84% (定量分析)。

壹、實作試題 (7 月 14 日，星期五，1995)

在操作前你必須先看一遍全部的實驗操作手續及學生報告表。

警告：

在實驗室你必須戴安全眼鏡或你自己的眼鏡，並使用安全吸球。如果你拿下眼鏡或用嘴吸『吸量管』，第一次將被警告。第二次將被扣 5 分。第三次便被逐出實驗室，而且實作成績為零分。

注意事項：

- (1) 每張報告表均需填寫姓名、號碼（看桌上的號碼）以及隊名。
- (2) 只有在監試老師宣佈『開始』後才可以開始。
- (3) 實作時間（包括填寫報告）為五個小時。
- (4) 所有的實驗數據及答案必須寫在學生報告表中空白的部分。只有寫在正確空格上的答案才計分。絕不能在報告表的背面作答。紙不夠寫時，可向監試老師要空白答案紙作答。
- (5) 要使用大會所提供之原子筆作答。
- (6) 除了冷却用水外，其餘一律使用去離子水。
- (7) 有效數字必須正確。

原子量

H : 1.008	C : 12.01	N : 14.01
O : 16.00	Na : 22.99	S : 32.06
K : 39.10	Cu : 63.55	I : 126.9

實作一：未知溶液的辨別

試劑：

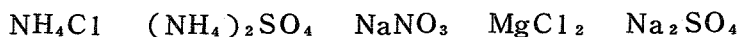
硝酸（濃）	鹽酸（濃）	氫氧化鋇（飽和）
氯化鋇（ 0.5 mol dm^{-3} ）	硫酸（ 6 mol dm^{-3} ）	硝酸（ 6 mol dm^{-3} ）
鹽酸（ 6 mol dm^{-3} ）	氫氧化鈉（ 6 mol dm^{-3} ）	硝酸鋇（ 0.5 mol dm^{-3} ）

桌上的器材：

試管夾 1支、小試管 5支、玻棒 2支、滴管 2支

問題：

在五支分別貼有A, B, C, D, E標籤的試管中，有五種不同的溶液。每一支試管含有一種下列化合物：



試設法利用化學反應以及消去法辨別這些未知溶液，並寫出其反應式。

你有可能只需用上述試劑中的一種或兩種即可辨別上述五種未知溶液。試問是哪一種或哪兩種試劑？

注意：

只可以使用所供給的未知溶液的量，以完成所有的分析。不得請求補充任何未知溶液。

實作二：合成含結晶水之順式二甘氨酸銅 [$\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$] (cis-copper bisglycinate hydrate)

說明：

含結晶水之順式二甘氨酸銅錯合物 [$\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$] 可以經由氫氧化銅和 glycine 在大約 70°C 時反應得到。

藥品：

硫酸銅 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{s})$)、氨水 ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 3 mol dm^{-3} 、
甘氨酸 (glycine)，($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}(\text{s})$)、95%乙醇 (ethanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)、
丙酮 (acetone, CH_3COCH_3)、氫氧化鈉 (NaOH , 2 mol dm^{-3})、
氯化鋇 (BaCl_2 , 0.5 mol dm^{-3})

桌上的器材

燒杯 (250 cm^3) 3 個、量筒 (100 cm^3) 1 個、抽氣瓶 (250 cm^3) 1 個、
陶磁漏斗 (60 mm) 1 個、表玻璃 (watch glass) 2 個、滴管 2 個、括勺 1 個、
玻棒 2 個、裝冰塊盆 1 個、水流抽氣裝置 (共用)、熱水浴 (共用)、天平 (共用)、
溫度計 (100°C) 1 支

附註：

如果公用藥品或儀器有很多人在排隊時，請求監試老師協助。

實驗步驟：

1. 合成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$

- (1) 將 5 克稱量好的含水硫酸銅 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 放入 250 cm^3 的燒杯中，再加入 40 cm^3 的水使之溶解。
- (2) 加入 3 mol dm^{-3} 之氨水溶液至硫酸銅溶液中 (邊加邊輕輕攪拌)，直到生成之固體完全溶解，並且溶液的顏色變成藍紫色。
- (3) 加入 25 cm^3 的 2 mol dm^{-3} 之 NaOH 溶液至上述溶液中，將 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 完全沉澱出。
- (4) 用抽氣過濾方式收集 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 。用水清洗沉澱物，直至濾液中無法偵測到 SO_4^{2-} 為止。

(5) 收集 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 以便合成 $\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 。

在答案紙上寫出上述實驗步驟中主要的反應方程式。

2. 合成含結晶水之順式二甘胺酸銅錯合物

- (1) 將 3.6 克稱量好的 glycine 放入 250 cm^3 的燒杯中，再加入 150 cm^3 的水並放入熱水浴中加熱 (70°C)，將 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 加入其中，並輕輕攪拌直到沉澱完全溶解。趁熱過濾後，將濾液倒入一乾淨的燒杯中 (250 cm^3)，再加入 10 cm^3 的 95% 之乙醇。
- (2) 讓濾液在室溫下冷卻，直到針狀的結晶出現 (大約五分鐘)，再放入冰水浴中繼續冷卻 20 分鐘。
- (3) 用水流抽氣法過濾晶體，並用 95% 乙醇：水 = 1 : 3 的混合液 10 cm^3 清洗結晶一次，再用丙酮清洗兩次，一次 10 cm^3 。用括勺輕壓以便將晶體抽得愈乾愈好。
- (4) 將所收集的晶體放在貼有姓名標籤的表玻璃上，交給監試老師拿去乾燥並於半小時後稱重。稱重時學生必須在場。在學生報告上寫下產物的重量，並要求監試老師簽名。

實作三： $\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 中含銅量之測定

由你自己製備的 $\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 結晶中 $\text{Cu}(\text{II})$ 含量，可以用碘滴定法標定，(以澱粉溶液作指示劑)。依你所得數據然後計算 $\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 中之 x 值。

試劑

標準 KIO_3 溶液 (正確濃度寫在你的溶液瓶上)、 H_2SO_4 (1.0 mol dm^{-3})、

KI (0.6 mol dm^{-3})、 NH_4SCN (2 mol dm^{-3})、

澱粉溶液 ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n (0.5%)、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (將作標定)

桌上的器材

滴定管 (50 cm^3) 1 支、吸量管 (25 cm^3) 1 支、吸球 1 個、

乾燥過之燒杯 (100 cm^3) 2 個、量瓶 (100 cm^3) 1 個、錐形瓶 (250 cm^3) 3 個、

量筒 (10 cm^3) 3 個、量筒 (100 cm^3) 1 個、洗滌瓶 1 個

實驗步驟：

1. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的標定

- (1) 取 25.00 cm^3 之標準 KIO_3 溶液放入錐形瓶。

- (2) 先加 50 cm³ 之蒸餾水於錐形瓶中，再加 10 cm³ KI 溶液，最後加入 5 cm³ 的 1.0 mol dm⁻³ H₂SO₄。
- (3) 馬上用 Na₂S₂O₃ 滴定。在滴定終點前，當被滴定溶液之顏色開始變淺淡黃色時加入 2 cm³ 澱粉溶液，然後繼續滴定至溶液之藍色消退。
- (4) 重複(1)~(3)步驟兩次。

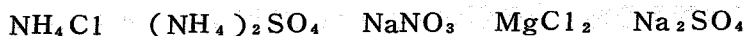
2. Cu(gly)₂ · xH₂O 中 Cu(II) 含量之測定

- (1) 於乾燥之 100 cm³ 燒杯中稱 1.0 克左右 (準確度須至 0.1 mg) 之 Cu(gly)₂ · xH₂O。假如你的產物少於 0.8 克，你可至監試老師處取得足量的 Cu(gly)₂ · xH₂O，但你的成績將被扣 3 分。
- (2) 加入 40 cm³ 水及 8 cm³ 之 H₂SO₄ (1.0 mol dm⁻³) 溶解之。
- (3) 將溶液全量移至 100 cm³ 之量瓶，然後以水稀釋至量瓶標線。
- (4) 取 25.00 cm³ 之 Cu(II) 溶液放入錐形瓶，加入 50 cm³ 水及 10 cm³ KI 溶液。
- (5) 用標定過的 Na₂S₂O₃ 溶液馬上滴定，在滴定終點前，當錐形瓶中之被滴定溶液由棕色變淺淡黃色時，加入 2 cm³ 澱粉溶液及 3 cm³ NH₄SCN 溶液。然後繼續滴定至溶液顏色消退為止。
- (6) 重複(4)~(5)步驟兩次。

貳、試題解答與評析

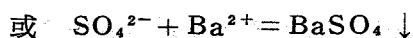
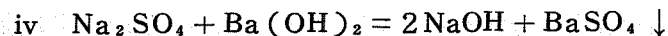
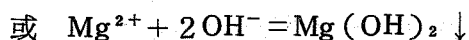
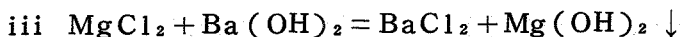
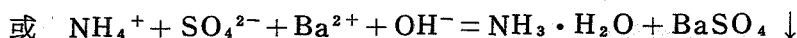
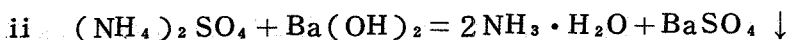
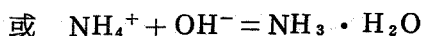
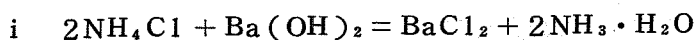
實作一：

這是辨別未知溶液的試題，命題者很用心思，可以評量學生的分析思考、觀察、與綜合判斷的能力。本實驗要求學生只能使用所給予的試劑：強酸（硫酸、硝酸、鹽酸）、強鹼（氫氧化鈉、氫氧化鋇）與強酸強鹼鹽（氯化鋇、硝酸鋇），設法利用化學反應以及消去法，辨別下列五種未知溶液：



並希望學生只用 9 種試劑（硝酸與鹽酸有濃與稀的兩種試劑）中的一種或兩種就可以分辨五種未知溶液。學生在動手操作之前，必須思考找出五種未知溶液的異同。因為五種未知溶液均屬於易溶於水的鹽類，可以將陽離子與陰離子分別思考其可能以五官即可以分辨的化學反應。陽離子一共只有三種：Na⁺、Mg²⁺、NH₄⁺，而陰離子也只有三種：Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻。若以強鹼氫氧化鈉或氫氧化鋇與未知溶液作用，則未知的三種陽離子中，只有 NH₄⁺ 會產生氣體氨，具有特別的氨臭味，而 Mg²⁺ 會產生白色略帶膠

狀的沉澱，故三者可以分辨。至於三種陰離子與 Ba^{2+} 離子作用，只有 SO_4^{2-} 會產生白色沉澱，其他兩種 NO_3^- 與 Cl^- 均無反應，但在未知溶液中前者與 NO_3^- 在一起，而 Cl^- 則分別與加強鹼時能產生氣體氨的 NH_4^+ 與產生 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉澱的 Mg^{2+} 在一起，故可以分辨。綜合上述說明，若使用氫氧化鋇（飽和）溶液一種，就可提供 Ba^{2+} 離子與強鹼的 OH^- 離子。相關的各反應如下：



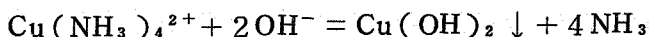
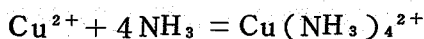
本實驗我們的四位學生都表現很好，在配分 10 分中，有一位得滿分，其餘三位都是 9.5 分，未得滿分的原因是少寫了一個化學反應式。雖然在答案紙上寫了要學生：「寫下用於辨別未知溶液的各實驗步驟的化學反應式」，學生忽略了五個未知溶液應寫五個反應式。翻譯試題時，像這種與得分直接有關的，應特別強調，例如在「用於辨別未知溶液……」的未知溶液前加一個「各」字，並加線以引學生注意。

實作二：

這是無機合成的題目，硫酸銅經由氫氧化銅以合成「含結晶水之順—二甘胺酸銅錯合物」。這一個合成看似相當難，但在我國高中化學實驗第三冊實驗七之四「銅離子及其化合物」與實驗八「錯鹽及複鹽」有類似的內容，至於實驗操作，例如抽濾，在第三冊與第四冊的實驗手冊均有，因此我們的學生都很熟悉，在合成的這一部分，除了一位學生只得 6 分中的 3 分之外，其餘三位在合成的操作上均得滿分。

本實作共 8 分，其配分如下：寫出在合成中的兩個主要反應式（2 分），合成（6 分）視產量給分。茲將大會所給的答案與評分標準並列如下：

1. 在合成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 過程中，所用到的主要化學反應之方程式（2 分）



一個方程式 1 分

2. $\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 的重量 = _____ g (6 分)
- 重量 ≥ 2.8 g (6 分)
- 2.8 g > 重量 ≥ 2.6 g (5 分)
- 2.6 g > 重量 ≥ 2.4 g (4 分)
- 2.4 g > 重量 ≥ 2.0 g (3 分)
- 2.0 g > 重量 ≥ 1.0 g (2 分)
- 1.0 g > 重量 (1 分)
- 打翻產物 (0 分)

實作三：

本實驗係以澱粉溶液為指示劑，用碘滴定法來測定學生在實作二所製備的 $\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 結晶中 Cu 的含量，進而求出該錯合物所含結晶水之分子數，亦即 x 值。本實驗屬於定量分析，學生在個別輔導期間曾經演練過幾次酸鹼滴定，但沒練習過碘滴定，但定量滴定之基本操作類似，可轉用，因此除了一位學生在配分 22 分中只得了 14.5 分之外，其餘三位學生分別得 19.5 分、17.5 分、與 17 分，平均得分率為 77.84%，可說表現尚可。本實驗包括以 KIO_3 的標準溶液來標定大會所提供的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液與 Cu(II) 含量的測定。評分時要評量滴定的準確性外，也很重視計算中數字的處理，有效數字不對即遭扣分。另外，要學生寫出與標定 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液，相關的反應式以及測定 Cu(II) 含量所根據的反應式，以評量學生是否了解滴定中各試劑的當量關係。

結語：

本屆 IChO 的實驗題，在命題的取材與設計上都非常良好，可說與我國高中化學實驗手冊的內容最接近的一次，也可以說最適合高中生競賽的試題。我國學生的表現，也是過去參賽了四屆中的最優者。不過，本屆的理論試題較難，超過我國高中化學教材的內容甚多，得分率不高，致以總分計算，未能得金牌，殊屬可惜。我國的高中生，一般

地說，實驗較弱，將來選拔 IChO 代表時仍應加強輔導實驗，才能有好的表現，尤其完全以紙筆考試篩選過來的「推薦甄選入學」的學生，更需要輔導，以增強其實驗的實力。爲便於了解，我國學生各別的得分情形，以檢討個別輔導的內函與方式，將四位學生的得分，列表於后：

第二十七屆國際化學奧林匹亞 我國學生的實驗成績						
題 號	配 分	銀牌(1)	銀牌(2)	銀牌(3)	銅牌(1)	平均得分(%)
1	10	9.5	9.5	10	9.5	9.625(96.25)
2	8	4.5	8	8	8	7.125(89.06)
3	22	19.5	17	17.5	14.5	17.125(77.84)
小 計	40	33.5	34.5	35.5	32	33.875(84.69)

參、附錄：學生報告

(編輯室註：各實作單元之學生報告原稿均爲整頁，本刊因篇幅所限，特予縮排以供讀者參考。)

實作一

1. 未知溶液的辨別

編 號	A	B	C	D	E
化 學 式					

- 爲辨別未知溶液，你所需選用的試劑是_____。
- 寫下用於辨別未知溶液的各實驗步驟的化學反應式。

實作二

- 請寫出製備 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 有關的主要化學反應式。
- $\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 的重量 = _____ (g)。

監試老師簽名 _____

實作三

1. 標定 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液

(1) 寫出標定 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液時兩個化學反應式，並平衡之。

(2) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的體積_____。

你的 KIO_3 溶液的濃度_____ mol dm^{-3} (查看你瓶子上的標籤)

$V_1 =$ _____ cm^3 , $V_2 =$ _____ cm^3 , $V_3 =$ _____ cm^3

V (平均值) = _____ cm^3

(3) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的濃度 = _____ mol dm^{-3}

2. $\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 中 $\text{Cu}(\text{II})$ 含量之測定

(1) Cu^{2+} 與 I^- 的化學反應方程式

(2) $\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 的重量 = _____ g。

(3) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的體積

$V_1 =$ _____ cm^3 , $V_2 =$ _____ cm^3 , $V_3 =$ _____ cm^3

V (平均值) = _____ cm^3

(4) 在 $\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 中 $\text{Cu}(\text{II})$ 的重量百分比 = _____ %。

(5) 在 $\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 中 x 值為_____ (精確到0.01)。

(6) 假設你所合成出的 $\text{Cu}(\text{gly})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 的重量為2.8克，並以此重量計算其產

率：_____ %。

並列出你的計算式。

★

更正啓事

編輯室

本刊第185期第一頁目錄於「科學教室」項下之「開方杯—可用來開方的一組杯子」一文，作者應為何家瑜、李雅君；特此為排校失誤之處，謹向作者與讀者深致歉意。

★