

2010 年第四十二屆國際化學奧林匹亞競賽 --實驗試題與評分標準(1)

臺灣第 19 屆參加化奧賽工作委員會

壹、前言

台灣第 19 屆國內化學奧林匹亞代表團由蕭次融教授(名譽團長)、方泰山教授(團長)與謝思琪秘書(副團長)率領，於 2010 年 7 月 19~28 日在有 150 年科技發展史的日本東京參加第四十二屆 2010 年和風品味的國際化學奧林匹亞競賽。在張一知教授(台師大)、林萬寅教授(台大)、姚清發教授(台師大)與陳雅玲老師(建中)四位教練合力協同下，經過審題、翻譯、仲裁，在 68 個參賽國、267 位選手激烈競爭下，四位小將榮獲金牌二面、銀牌二面。總積分，僅次於中國大陸、泰國、與南韓，名列 68 參賽國世界第四。累積我國 19 年參賽，共獲金牌 30 面、35 面銀牌、10 面銅牌，保持從未失去任一面獎牌的紀錄。

試題是整個活動競賽的重點，今年實驗題比較傳統也不難，但評分標準卻非常嚴苛，誤差大於 5%就零分。這標準在學術發展已有八百年歷史的歐洲是很正常，我們的學生比較不注重準確度，前年在俄國莫斯科比賽就因此吃了大虧。去年(2009)在英國牛津與劍橋舉行 41st IChO 最後因選對了經濟實惠的微導電度計的實作，而

贏得全球唯一四金的獨佔鰲頭新紀錄! 已有 150 年的科技發展經驗的日本，自明治維新以來，能發動二次世界大戰，細膩精準至登峰造極早已有目共睹!!今年在集訓時也一再強調要加強實驗數據一定要很準。可惜今年卻是決定在一流選手身上的視力，分辨顏色深淺的比色定量的實作二[P2. 比色法決定 Fe(II)和 Fe(III)的含量]。這一題目是我國高中必做的實驗教材，比賽結果：我隊四位國手得分率依序分別為 67%、49%、9%、49%，因此視力的“精與準”亦是將來篩選國手應該加以考量的重要因素，四位國手成績詳如表一。



經過教練天翻譯考題與選手 2 天 10 小時競試，7 月 24 日傍晚，11 位團員重逢於橫濱灣的汎太平洋飯店 (Hotel Pan Pacific, Yokohama Bay)

表一：第 42 屆 2010 年日本東京國際化學奧林匹亞競賽台灣代表隊個人詳細成績一覽

學生國手代號		TPE-S1	TPE-S2	TPE-S3	TPE-S4				
理論試題(60%)		配分(%)				得分			
1 氮氣質量與光譜熱力	17(8)	17	16	17	16				
2 鹼金屬離子鹵化物的結構分析	20(6)	19	19	19	17				
3 有機化合物 COD 分析與應用	9(7)	9	9	8	9				
4 鋰離子電池	8(6)	7	8	8	8				
5 H ₂ 之 光電子光譜	18(7)	17	18	17	17				
6 C ₈ H ₁₀ O 苯環結構的異構物	26 (6)	24	26	26	23				
7 河豚的 tetrodotoxin 劇毒結構	24(7)	21	21	24	23				
8 酯化反應直鏈狀聚合物平均聚合度	20(6)	19	20	20	20				
9 環糊精構形與錯合 NMR 分析	34(7)	34	33	34	30				
理論積分	60%	56.912	58.148	58.528	56.724				
實驗試題(40%)		配分(%)				得分			
P1 漢斯酯和尿素過氧化氫的反應	40(13)	40.0	28.4	38.0	33.6				
P2 比色法決定 Fe(II)和 Fe(III)的含量	45(11)	30.0 (67%)	22.0 (49%)	4.0 (9%)	22.0 (49%)				
P3 聚合物分析	50(16)	48.6	50.0	46.0	38.0				
實作積分	40%	35.885	30.608	28.048	28.458				
實得總分									
42 nd 2010 IChO 總積分 (獎牌)		92.809 (金)	88.756 (金)	86.581 (銀)	85.182 (銀)				

貳、實作中文競賽試題與參考解答 及評分標準

器材

器材	數量
多種用途(在桌面或 1 號塑膠籃內)	
20 mL 燒杯，用來取用少量液體以便溼潤容器	1
Paper	3
2 mL 刻度吸量管之吸球	1
5 mL 刻度吸量管之吸球	1
吸量管架	1
200 mL 塑膠燒杯，裝廢液用	1
安全吸球	1
刮勺	1
鐵架	1
100 mL 洗滌瓶	1
500 mL 洗滌瓶	1
實驗 1 使用(在 1 號塑膠籃內，桌面或滴管架)	
布氏漏斗及橡皮環	1
夾子及固定夾	1
200 mL 廣口錐形瓶	1
300 mL 廣口錐形瓶	1
小型真空馬達附有橡皮管及接頭	1
玻璃毛細管(裝在塑膠製管內)	8
過濾片(裝在有蓋子的結晶盤內)	1
2 mL 刻度吸量管	3

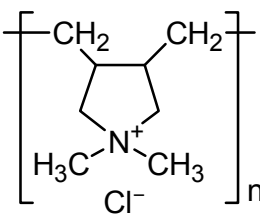
5 mL 刻度吸量管	1
攪拌器	1
10 mm 攪拌子	1
22 mm 攪拌子	1
10 mL 玻璃量瓶	1
測 pH 值用試紙(裝在夾鏈袋內)	3
塑膠製有刻度的 10 mL 量筒	1
塑膠管用來裝玻璃毛細管	1
抽濾用錐形瓶	1
10 mL 試管	1
100 mL 試管	1
有蓋子的 TLC 展開槽	1
TLC 片(裝在夾鏈袋內，使用前仔細檢查是否完整，若有損毀立刻要求更換，此狀況不會被扣分)	4
鑷子	1
夾鏈袋 A 及 B，裝 TLC 用	1 for
夾鏈袋 C 用來裝沉澱物(產物)及過濾片的結晶盒	1
實驗 2 使用(在 2 號塑膠籃內，桌面或滴管架)	
2-mL 刻度吸量管	1
5-mL 刻度吸量管	1
標籤(裝在夾鏈袋中)	4
LED 燈(裝在夾鏈袋中，全程直接使用，不要自袋中取出)	1
Nessler tube (Nessler 試管，有刻度)	5

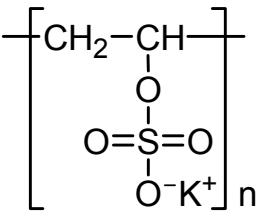
Nessler tube rack (Nessler 試管架)	1
50-mL 容量瓶	2
5-mL 吸量管	1
10-mL 吸量管	1
實驗 3.1 使用(在 2 號塑膠籃內或滴管架) :	
滴定管	1
滴定管夾	1
100-mL 廣口錐形瓶	6
玻璃漏斗(用以將化學試劑倒入滴定管中)	1
1-mL 刻度吸量管	2
5-mL 吸量管	1
20-mL 吸量管	1
實驗 3.2 使用(在 2 號塑膠籃內) :	
10-mL 樣品瓶(在夾鏈袋中)	10
塑膠滴管	1
公用設備:	
不同尺寸的手套	
UV 燈	
清潔用紙	

藥品

藥品	數量	容器
多種用途(1 號塑膠籃內)		
0.5 mol L ⁻¹ hydrochloric acid (0.5 mol L ⁻¹ HCl)	50 mL	塑膠瓶
實驗 1 使用(在 1 號塑膠籃內)		

1,4-dihydro-2,6-dimethyl pyridine-3,5-dicarboxylic acid diethyl ester (C ₁₃ H ₁₉ NO ₄ ; 1,4-DHP_powder)	1 g	樣品瓶
1,4-DHP for TLC (1,4-DHP_TLC)	3 mg	樣品瓶
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	10 mL	玻璃瓶
Ethyl acetate (CH ₃ COOC ₂ H ₅)	25 mL	玻璃瓶
Heptane (C ₇ H ₁₆)	20 mL	玻璃瓶
Potassium iodide (KI)	150 mg	玻璃瓶
Sodium metabisulfite (Na ₂ S ₂ O ₅)	1 g	玻璃瓶
Saturated sodium hydrogencarbonate solution (Sat. NaHCO₃ solution)	25 mL	玻璃瓶
Urea hydrogen peroxide (CH ₄ N ₂ O•H ₂ O ₂ ; UHP)	1 g	樣品瓶
實驗 2 使用(在 2 號塑膠籃內)		
樣品溶液(標示為“ Sample solution ”)	30 mL	塑膠瓶
Fe(bpy) ₃ ²⁺ 標準溶液 1(每升溶液中含 2.00 毫克 Fe) (標示為“ Standard Fe(bpy)₃²⁺ solution 1 ”)	50 mL	塑膠瓶

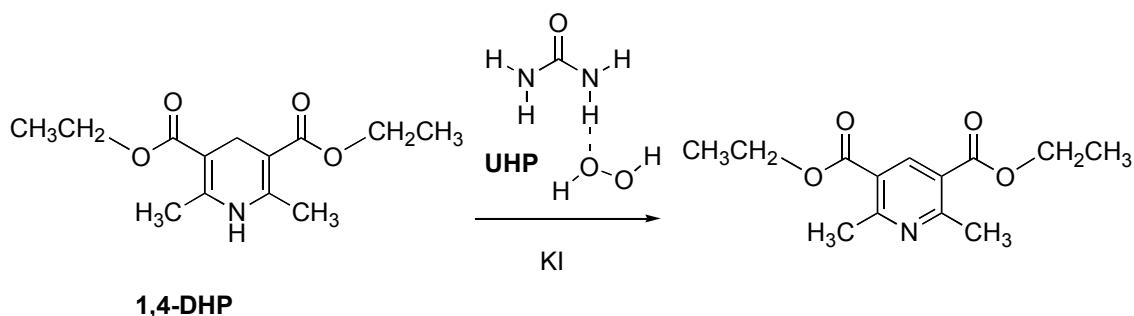
Fe(bpy) ₃ ²⁺ 標準溶液 2(每升溶液中含 3.00 毫克 Fe) (標示為“ Standard Fe(bpy)₃²⁺ solution 2 ”)	50 mL	塑膠瓶
Acetate 緩衝液 (pH 4.6, 醋酸與醋酸钠 1:1 的混合液 CH₃COOH-CH₃COONa 溶液)	50 mL	塑膠瓶
0.1 mol L ⁻¹ disodium hydrogenphosphate solution (0.1 mol L⁻¹ Na₂HPO₄)	25 mL	塑膠瓶
0.2 %(w/v) 2,2'-bipyridine 水溶液 (0.2 %(w/v) C₁₀N₂H₈)	25 mL	塑膠瓶
Sodium thioglycolate (C₂H₃NaO₂S)	20 mg	樣品瓶
實驗 3.1 使用(在 2 號塑膠籃內或桌面)		
多醣體溶液 (標示為“ Polysaccharide solution ”)	50 mL	塑膠瓶
聚銨鹽水溶液(PDAC) 	240 mL	玻璃瓶

(0.0025 mol L⁻¹ PVSK) 聚乙烯醇硫酸鉀水溶液 (0.0025 mol L ⁻¹ ; 以單體計算之濃度) 	240 mL	玻璃瓶
0.5 mol L ⁻¹ NaOH 溶液 (0.5 mol L⁻¹ NaOH)	50 mL	塑膠瓶
TB 指示劑 (toluidine blue (TB) aqueous solution) (1 g L⁻¹ C₁₅H₁₆N₃SCl)	6 mL	點滴瓶

實驗 3.2 使用(在 2 號塑膠籃內)		
樣品溶液 X-1 (X: A-H)	10 mL	點滴瓶
樣品溶液 X-2 (X: A-H)	10 mL	點滴瓶
樣品溶液 X-3 (X: A-H)	10 mL	點滴瓶
樣品溶液 X-4 (X: A-H)	10 mL	點滴瓶
樣品溶液 X-5 (X: A-H)	10 mL	點滴瓶

實作一：漢斯酯(Hantzsch Ester)和 尿素過氧化氫(Urea Hydrogen Peroxide)的反應

本實驗中，你將使用一種對環境比較友善的氧化劑 - 尿素過氧化氫(UHP)- 來氧化 1,4-dihydro-2,6-dimethylpyridine-3,5-dicarboxylic acid diethyl ester (簡稱為 1,4-DHP 或漢斯酯)來製備吡啶雙酯類衍生物。



實驗步驟：

(1) 首先將長 22-mm 的磁攪拌子放入 100 mL 的試管中，用夾子將試管夾好並置於攪拌器的上方。之後將 1 克的 1,4-DHP (標成 1,4-DHP-粉狀物) 及 150 毫克的碘化鉀(KI)加入試管內，再用有刻度的 5 mL 滴管吸取 5 mL 的酒精加到試管內。

(2) 戴手套並將 1 克的尿素過氧化氫(UHP) 加至上述溶液並攪拌(注意:此反應屬於放熱反應)

(3) 薄層色層分析片(TLC)的分析：首先，用玻璃量瓶(measuring glass)配製由乙酸乙酯(ethyl acetate)：庚烷(heptane)所組成的展開液 (體積比為 1：2)，取適量的展開液加至 TLC 展開槽內。之後取 1 毫升的乙酸乙酯加到裝有 3 毫克的 1,4-DHP 的樣品瓶內(標示成 1,4-DHP-TLC)。

(4) 仔細檢查 TLC 片是否完整，如發現有破損或刮傷，請馬上要求更換，此要求並不會被扣分。用鉛筆在 TLC 片的下方輕輕畫一條線 (如圖 1 所標示)。

(5) 在反應的過程中，反應的溶液液將會變成澄清狀(通常是在 20 分鐘之內)。當溶液變成澄清時 (反應溶液的溫度冷卻下降時可能會有沉澱的形成或析出，而此析出物並不會影響到 TLC 的分析)，用玻璃毛細管吸取少量的反應溶液分別點至 TLC 片的中央及右側(如圖 1 所示，標成 Y)。用另一支玻璃毛細管吸取少量步驟(3)中的 1,4-DHP 溶液並點至 TLC 的中央及左側(如圖 1 所示，標成 X)。結果可形成三個點，而中間的點則是包含了反應的溶液(Y)和 1,4-DHP(X)。用鑷子將 TLC 片置於展開槽內展開 (參考圖 1 及圖 2)，當 TLC 片展開到適當的位置時用鉛筆輕輕地將溶劑的前緣畫出。之後將 TLC 片置於波長 254 nm 的 UV 燈下進行分析，用鉛筆將有 UV 吸收的點描繪出來。你可根據 TLC 片的分析結果來判斷反應進行的程度。如果你發現溶液中仍有大量的反應物 1,4-DHP 存在時，你可在十分鐘後重覆一次此 TLC 片的分析步驟 (注意：在步驟 8 時，你

將會再進行一次此 TLC 片的分析) 將此步驟所得到的最後一片 TLC 片裝入標示有“A”的夾鍊袋內。

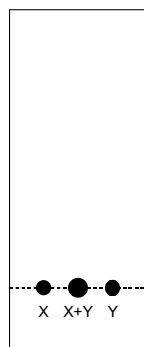


圖 1

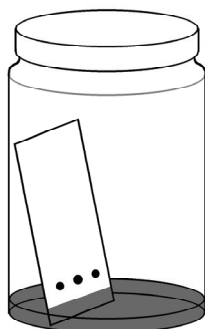


圖 2

將試管內的混合液(包括磁攪拌子)轉移到200 mL的廣口錐形瓶內, 並用30 mL的水洗滌試管。將此200 mL的廣口錐形瓶置於攪拌器上方攪拌, 再用有刻度的2 mL滴管將飽和的碳酸氫鈉溶液少量且分次加入溶液中, 直至溶液的pH值大於7 (用pH紙測試)。將沉澱物用圖3的抽濾裝置進行分離及抽濾, 用少量的水洗滌沉澱物, 並持續抽濾數分鐘以幫助產物的乾燥。

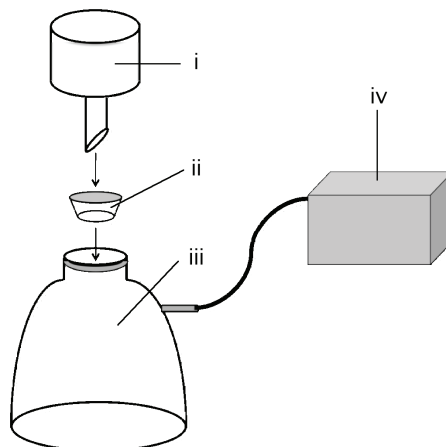


圖 3

- (6) 組裝如圖3的抽濾裝置。首先將小型真空馬達的橡皮管接到抽濾瓶(iii)的側管, 再將布氏漏斗(Buchner funnel)(i)和橡皮圈(ii)置於抽濾瓶(iii)的上方, 之後將過濾片(glass microfiber filter sheet)放置於布氏漏斗(i)內。
- (7) 用塑膠製的10 mL量筒量取5 mL的水, 加到反應的溶液內, 之後加入1克的sodium metabisulfite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), 再
- (8) 將抽濾瓶(iii)內的濾液轉移至300 mL的廣口錐形瓶內, 用有刻度的2 mL滴管吸取2 mL的濾液到10 mL的試管內, 加入10-mm的磁攪拌子到試管內並用夾子夾好試管。之後用有刻度的2 mL滴管吸取1 mL的乙酸乙酯加到試管內並在攪拌器上方劇烈攪拌30秒, 停止攪拌並等待溶液分成兩層時, 用玻璃毛細管吸取上層的乙酸乙酯溶液

進行 TLC 片的分析(重覆實驗步驟(5)的步驟)以觀察是否仍有產物殘留在濾液中。如同步驟(5)，用鉛筆將溶劑的前緣和有 UV 吸收的點(如果有的話)清楚地描繪出來。將 TLC 片裝至標示有”B”的夾鍊袋內。如果你發現仍有產物出現在 TLC 片子上時，代表你須繼續用更多飽和的碳酸氫鈉溶液來中和濾液。

- (9) 如果你發現仍有沉澱物形成時，則需再一次進行分離、抽濾及洗滌的動作，如果沒有沉澱物的形成則可跳過此過濾的步驟。
- (10) 將所分離出來的沉澱物持續抽氣十分鐘，以幫助產物的乾燥。將你的產物和過濾片置於結晶盒(crystallization dish)內，注意不要將攪拌子放至結晶盒內，並將標有你的號碼的蓋子蓋到結晶盒上。之後將結晶盒裝入標示有”C”的夾鍊袋內。

問題：

- (a) 將夾鍊袋”A”內的 TLC 片所顯示的結果描繪至答案卷上。
- (b) 計算並記錄在袋子”A”內的 TLC 片上有 UV 吸收點的 R_f 值(至小數點第二位)。
- (c) 畫出尚未被飽和的碳酸氫鈉所中和前而且是屬於有機陽離子的化合物的結構。
- (d) 寫出 UHP 反應以後所產生的產物的分子式。

(e) 交出下列項目

- i) 放置於標示有”A”夾鍊袋的 TLC 片
- ii) 放置於標示有”B”夾鍊袋的 TLC 片
- iii) 放置於標示有”C”夾鍊袋的結晶盒，結晶盒內含你的產物及過濾片

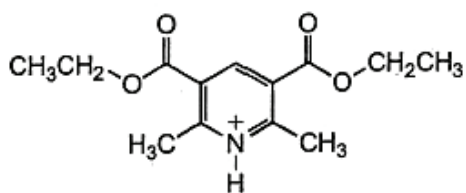
參考解答與評分標準(佔總分 13%)：

- (a) 將夾鍊袋”A”內的 TLC 片所顯示的答案描繪製答案卷上：
指出溶濟(展開液)前線與底線。
- (1) 底線上少於三個點，則扣 3 分。
 - (2) 這些點在浸泡展開液後並沒有在 TLC 上分開，則扣 2 分。
 - (3) 溶液的前線與(或)底線不見，則每一點扣 1 分。
- (b) 計算並記錄在袋子”A”內的 TLC 片上有 UV 吸收點的 R_f 值(至小數點第二位)。

點	R_f 值
1,4-DHP	0.32-0.42
產物	0.61-0.71

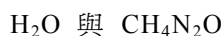
R_f 值(至小數點第二位)在上述範圍之內，每一個得 2 分。在範圍之外則 0 分。如果數值只到小數點第一位，只給予 1 分。

- (c) 畫出尚未被飽和的碳酸氫鈉所中和前而且是屬於有機陽離子的化合物的結構。畫出的正確結構與下圖一致，則可得 2 分



(d) 寫出 UHP 反應以後所產生的產物的分子式。

寫出的正確化學式與下面一致，則可得 1 分。



(e) 交出下列項目：

(i) TLC 片放置於標示有“A”夾鏈袋：鉛筆畫出的紫外光吸收的暗點，如果不清楚或者沒畫出來將會被扣 1 分。

(ii) TLC 片放置於標示有“B”夾鏈袋：
(1) 鉛筆畫出的紫外光吸收的暗點，如果畫的不清楚或者沒畫

出來將會被扣 1 分。

(2) 溶劑的前線與(或)底線不見，則每一點扣 1 分。

(iii) 結晶產物皿放置於標示有“C”夾鏈袋，結晶皿內含你的產物及濾紙：

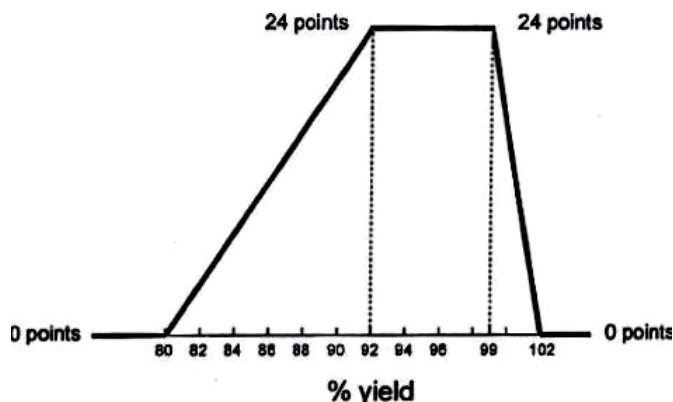
(1) 命題委員將會在 60°C 乾燥你的產物後測量產量。

(2) 在大多數情況下，樣品是純的且可完全溶於 CDCl_3 溶液中。以下的得分計算是根據你的產物在 ^1H NMR 圖譜中沒有出現 1,4-DHP 與副產物且產物完全溶解於 CDCl_3 溶液中。

80.0 ≤ 百分產率 < 92.0 得 0 - 24 分

92.0 ≤ 百分產率 < 99.0 得 24 分

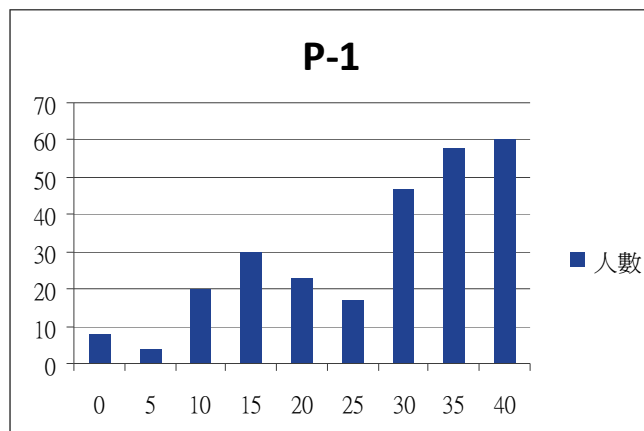
99.0 ≤ 百分產率 < 102.0 得 24 - 0 分



(3) 如果在 ^1H NMR 圖譜中有 1,4-DHP (ca δ 2.19 ppm) 與相應的吡啶 (ca δ 2.85 ppm) 的波峰出現且產率是 100% 或少於 100%，則真實產率應由下列方程式計算之：

$$\frac{\text{Sample mass (g)}}{\text{Theoretical yield (g)}} \times \frac{(\text{Integral at } \delta \text{ 2.85 ppm}) \times 251.3}{(\text{integral at } \delta \text{ 2.19}) \times 253.3 + (\text{integral at } \delta \text{ 2.85 ppm}) \times 251.3} \times 100$$

- (4) 做 $^1\text{H NMR}$ 測量前，在加入 CDCl_3 後有未溶的物質出現，則扣 6 分。
 (5) 如果在 $^1\text{H NMR}$ 圖譜中副產物明顯存在，則扣 6 分。



267 位 (68 參賽國) 選手實作 P1 解題統計

實作二：利用比色法決定 Fe(II)和 Fe(III)的含量

在本實驗中，你需要利用 Fe(II)和 2,2'-bipyridine(bpy) 作用形成深紅色 $\text{Fe}(\text{bpy})_3^{2+}$ 錯合物的顯色反應，以比色分析法決定模擬 magnetite 溶於水之樣品溶液中 Fe(II)和 Fe(III)的含量。

$\text{Fe}(\text{bpy})_3^{2+}$ 的含量可用 Nessler 試管以比色法決定之。這是一種很簡單的技術，在光譜儀器尚未普遍以前已被使用，且其準確度可以達到低於 $\pm 5\%$ 。比色法常使用一組 Nessler 試管；其中一管裝參考溶液，

另一管則裝測試溶液。藉由調整溶液的液柱高度而便使兩溶液顏色深淺一致。

當兩溶液顏色看起來相同時，測試溶液的濃度可由參考溶液之已知濃度和兩溶液之液柱高度，以及下式之朗伯-比耳定律求得

$$A = \epsilon cl$$

式中， A 為吸收值， c 為濃度， l 為光徑長， ϵ 為莫耳吸收常數。首先，你將進行 A 和 B 兩個測量以學習此技術之運用；然後，再進行 C 和 D 的測量以決定 Fe(II)和 Fe(III)的濃度。

實驗步驟：

- (1) 在50mL之容量瓶中，使用合適之吸量管，添加5 mL acetate緩衝液，5mL disodium hydrogenphosphate 溶液(用以遮蔽 Fe(III) 的干擾)，5 mL 2,2'-bipyridine 溶液及10.00 mL 樣品溶液(sample solution)，然後加水稀釋至50 mL刻度處。塞住容量瓶，將溶液混合均勻。至少靜置二十分鐘使其完全顯色。將此溶液標示為”sample 1”。
- (2) 在另一50 mL容量瓶中，加入5 mL acetate 緩衝液，5 mL disodium hydrogenphosphate 溶液及5.00 mL樣品溶液(sample solution)。然後，加入20 mg sodium thioglycolate粉末(過量)將Fe(III)還原為Fe(II)。加水稀釋至50 mL刻度處。塞住容量瓶，將溶液混合均勻。至少靜置二十分鐘。將此溶液標示為”sample 2”。
- (3) 根據下面之”比色測量說明”進行A~D之測量

比色說明與測量：

將一對 Nessler 試管置於 Nessler 試管架上，放在 LED 燈上(實驗全程不可將燈自袋中取出)，並打開此燈(圖 2.1)。將”standard Fe(bpy)₃²⁺ solution 1” 倒入其中一管至一適當高度(建議 70~90 mm)，作為測量 A~D 之參考(試管上之刻度代表由底部算起之 mm 數)。將測試溶液倒入另一試管，自上方往 LED 燈處俯視，以比較

兩溶液顏色之深淺。用刻度吸量管吸取或加入測試溶液直到兩管溶液顏色深淺看起來相同。記錄高度讀數至少要到 1 mm。

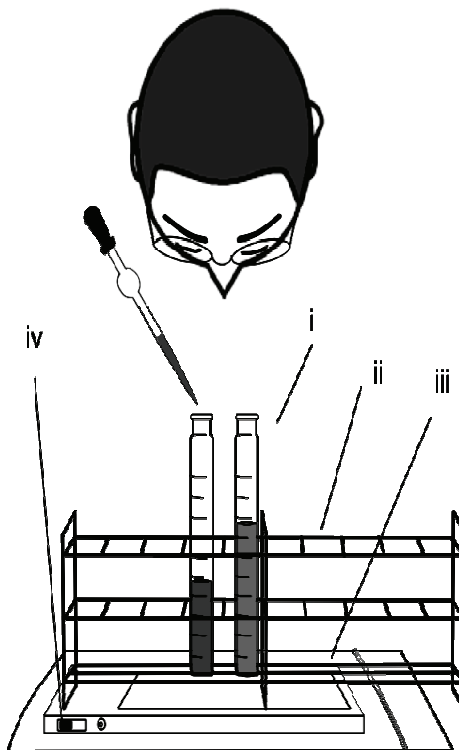


圖 2-1、比色測量：
 i Nessler 試管；
 ii Nessler 試管架；
 iii LED 燈(置於夾鏈袋中)；
 iv 電源開關

注意：一個範圍內的顏色深淺用目測時也許會視為相同。因此擬決定較為可靠之測試溶液的液柱高度時，應將這個顏色範圍的因素考慮進來。例如，當你在調整測試溶液之液柱高度, h, 時，若一直都是增加(或減少)溶液體積，則你將可能得到較真正

值低(或高)的數值。因此欲估計較為可靠的真正值，可由低和高的極限值平均而得。

測量A：使用”standard Fe(bpy)₃²⁺ solution 1”作為參考及測試溶液進行測量。在此測量中，將參考溶液倒入Nessler 試管中至一適當的高度，然後將測試溶液倒入另一Nessler 試管中，直到兩管溶液顏色一致（當顏色一致時，理論上兩溶液之高度應相同），其高度為低極限值。然後，加入更多測試溶液，直到你認為兩管溶液顏色明顯不同，其高度為高極限值。記錄和參考溶液顏色深淺相同之測試溶液高度之低極限值(lower limit)和高極限值(higher limit)。

- a) 將測量 A 之結果填入答案卷之表格中。

測量B：使用”standard Fe(bpy)₃²⁺ solution 1”作為參考溶液，”standard Fe(bpy)₃²⁺ solution 2”作為測試溶液進行測量。

- b) 將測量 B 之結果填入答案卷之表格中。

測量C：進行 ”sample 1” 之測量

- c) 將測量 C 之結果填入答案卷之表格中。

測量D：進行 ”sample 2” 之測量

- d) 將測量 D 之結果填入答案卷之表格中。
- e) 將測試溶液濃度 c 表示為參考濃度 c' ，每一溶液之液柱高度 h 和 h' 的關係式。
- f) 計算原始樣品溶液中 Fe(II)和 Fe(III)的濃度，以 mg L^{-1} 為單位。

參考解答與評分標準(佔總分 11%)：

- (a) 將測量 A 之結果填入答案卷之表格中。

	h' (標準溶液 1 的高度) / mm	h 的下 限 / mm	h 的上 限 / mm	h (測試溶液的估計高度) / mm
測量 A	任何數值	任何數值	任何數值	任何數值

除非沒有答案，否則得兩分。

- (b) 將測量 B 之結果填入答案卷之表格中。

	h' (標準溶液 1 的高度) / mm	h (測試溶液的估計高度) / mm
測量 B	任何數值	任何數值

除非沒有答案，否則得兩分。

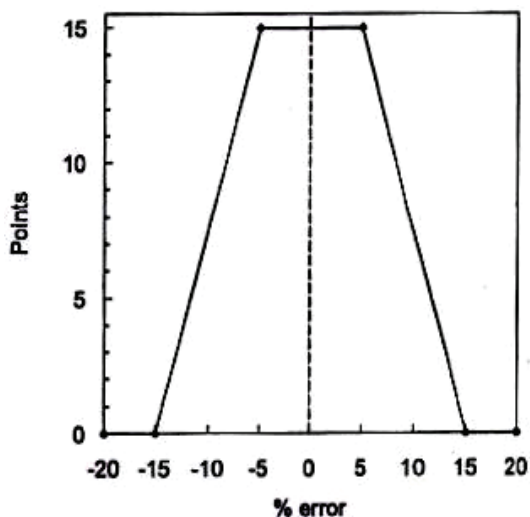
- (c) 將測量 C 之結果填入答案卷之表格中。

	h' (標準溶液 1 的高度) / mm	h (測試溶液 的估計高度) / mm
測量 C	h' 的實驗數值	樣品 1 : $1.23 h'$
		樣品 2 : $1.16 h'$
		樣品 3 : $1.10 h'$

(d) 將測量 D 之結果填入答案卷之表格中。

	h' (標準溶液 1 的高度) / mm	h (測試溶液 的估計高度) / mm
測量 D	h' 的實驗數值	樣品 1 : $0.763 h'$
		樣品 2 : $0.725 h'$
		樣品 3 : $0.749 h'$

對 2c 與 2d，只有在數值的 $\pm 5\%$ 誤差範圍內才可以拿到滿分 15 分。當絕對誤差在 15% 或更多，則得 0 分。線性刻度將被應用來 0 到 15 分的範圍內給分。



$$P = 15 \left[1 - \frac{|MV - H| - MV \cdot 0.05}{(MV \cdot 0.15) - (MV \cdot 0.05)} \right]$$

$$MV = \frac{h' \cdot 2.0(L^{-1})}{c}$$

P : 分數(沒有負值; $P < 0$ 為 0 分)

MV : 專家的 h 數值 (mm)

h : 測試溶液液體管柱的實驗高度 (mm)

h' : 參照溶液液體管柱的實驗高度 (mm)

c : 所提供測試溶液中鐵的正確濃度 (mg L^{-1})

對 2c 而言, $c = 1.63, 1.72$ 與 1.82 , 分別對應樣品 1、2 與 3。

對 2d 而言, $c = 2.62, 2.76$ 與 2.67 , 分別對應樣品 1、2 與 3。

(e) 將測試溶液濃度 c 表示為參考濃度 c' , 每一溶液之液柱高度 h 和 h' 的關係式。

$$C = \frac{c'h'}{h}$$

滿分為 3 分, 任何相對應方程式的形式都可被接受。

(f) 計算原始樣品溶液中 Fe(II) 和 Fe(III) 的濃度, 以 mg L^{-1} 為單位。對 Fe^{2+} 而言:

$$[\text{Fe}^{2+}] = \frac{2.0(\text{mgL}^{-1} \times h'_c \times 50(\text{mL}))}{h_c \times 10(\text{mL})}$$

$[\text{Fe}^{2+}]$: 樣品溶液中 Fe^{2+} 的濃度。

h_c : 測量 C 中的測試溶液液體管柱

實驗高度 (mm)

h'_c : 測量 C 中的標準溶液液體管柱

實驗高度 (mm)

如果從實驗數據中正確計算出濃度，可以得到滿分 3 分。

對 Fe^{3+} 而言：

$$[Fe^{3+}] = \frac{2.0(mgL^{-1} \times h'_D \times 50(mL))}{h_D \times 5(mL)} - [Fe^{2+}]$$

$[Fe^{3+}]$: 樣品溶液中 Fe^{3+} 的濃度。

h_D : 測量 D 中的測試溶液液體管柱

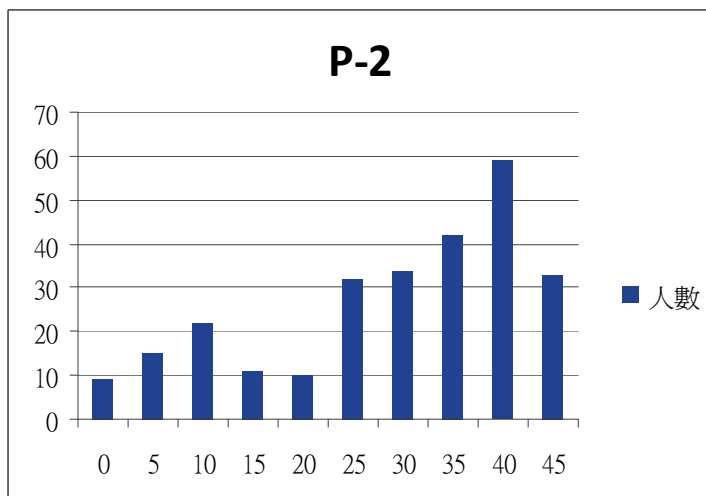
實驗高度 (mm)

h'_D : 測量 D 中的標準溶液液體管

柱實驗高度 (mm)

如果從實驗數據中正確計算出濃度，可以得到滿分 5 分。

	$[Fe^{2+}] / mgL^{-1}$	$[Fe^{3+}] / mgL^{-1}$
樣品 1	8.16	18.0
樣品 2	8.60	19.0
樣品 3	9.08	17.7



267 位 (68 參賽國) 選手實作 P2 解題統計

(續)