



# 設計、色計 - 自行設計微型比色計改良比色法實驗

## 摘要

本實驗主要是為了改善高三比色實驗之實驗的精準度而進行的。利用發光二極體作為光源，搭配光敏電阻，並以塗黑的 T 型玻璃管作為反應槽，組裝成自製微型比色計。

此實驗首先確認傳統比色法之精密度極差，接著針對反應槽長度、光源顏色及光源電壓進行篩選。選出最適合本實驗的反應槽長度、光源及適合光源的電壓，組成高精準度的微型比色計。

以自製微型比色計測量十個濃度不同之校正液後，確認本儀器之檢量線確實具有極佳之線性關係，便可進一步繪製檢量線，並計算待測溶液的平衡常數。本實驗不使用分光光度計主要是因為其成本較高，本組希望能以最低的成本，求  $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} + \text{SCN}^{-}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})^{2+}_{(\text{aq})}$  之平衡常數。

## 壹、研究動機：

高一基礎化學課上課時，老師提及有關濃度計算，但是我們一直很納悶，如何測量溶液的濃度呢？當時我們想到的是以眼睛觀察溶液顏色，判別有色溶液濃度的高低；但是老師卻告訴我們，高三化學課程中，有一實驗是利用眼睛進行比色，並以此作為定量測試，但是學長姊在完成傳統比色法實驗法後，發現各組所測得之數據與理論值相差極大，而人為因素是導致傳統比色法不精準之最大原因，因此我們便開始著手改良此實驗，尋求較精準之方式完成此實驗。雖然傳統目視比色法的原理較為簡單易懂，但卻較不精密，因此本組期望能夠組裝一經濟、實用之儀器，並針對造成該實驗誤差之原因加以改善。

## 貳、研究目的：

- 一、討論實驗課本於比色法實驗中，可能之誤差原因，並設法加以改善。
- 二、自行組裝微型比色計，並檢測此比色計之準確性及其最佳實驗條件。
- 三、討論影響微型比色計測量誤差的因素。
- 四、討論傳統實驗方法與本實驗方法之結果差異性。
- 五、計算出  $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} + \text{SCN}^{-}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})^{2+}_{(\text{aq})}$  反應之平衡常數，並與理論值進行比較。

## 參、研究設備及器材：

### 一、實驗器材及藥品：

(一) 實驗器材				
T 型玻璃管	光敏電阻	LED	三用電表	電源供應器
電子天平	磁攪拌器	攪拌子	1000mL 容量瓶	100mL 容量瓶
安全吸球	移液吸量管	燒杯	50mL 針筒	蝴蝶針
鐵架	試管	滴管	刮杓	橡皮塞
碼錶	鱷魚夾	防水膠帶	藍色膠帶	黑色噴漆
黑色油漆	黑色色紙	矽膠	鞋盒	

藥品				
Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ( 500g )	KSCN ( 500g )	蒸餾水		

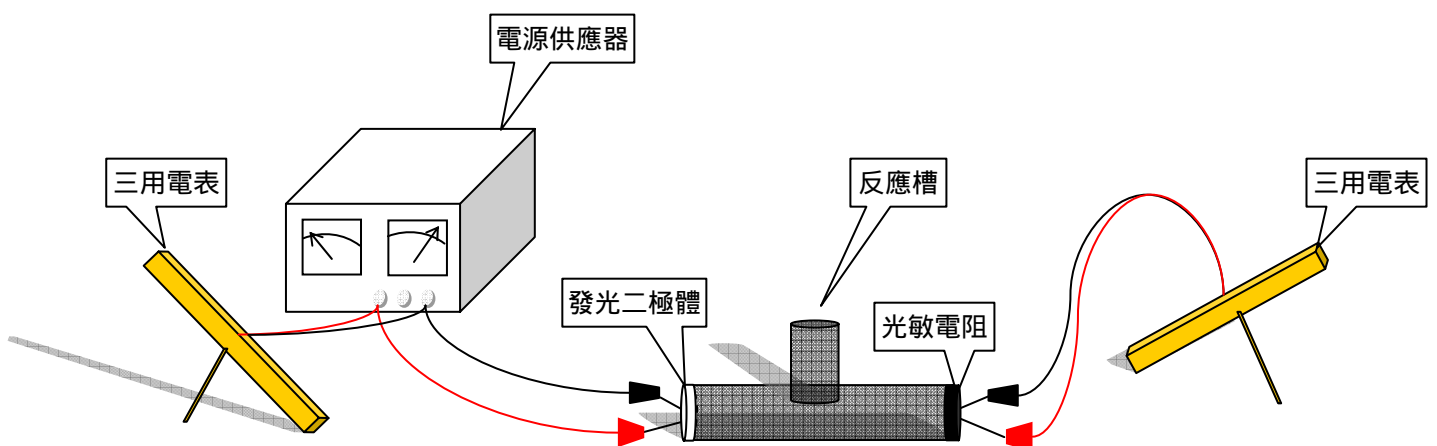
### 二、藥品配製：

(一) 配製備用溶液：		
溶液名稱	濃度、體積	配 製 方 法
Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3(aq)</sub>	2×10 <sup>-3</sup> M, 100mL	1、取 0.484g 的 Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3(s)</sub> ，加水至 100mL。 2、取出上一步驟之水溶液 10mL 稀釋至 100mL。 3、此為 2×10 <sup>-3</sup> M 硝酸鐵水溶液，備用。 4、剩餘 2×10 <sup>-2</sup> M 之 Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3(aq)</sub> 尚有 90mL，亦留下備用。
KSCN <sub>(aq)</sub>	2M、1000mL	1、取 194 公克的 KSCN 晶體，加水至 1L。 2、上述方法配製所得即為 2M 之 KSCN <sub>(aq)</sub> ，備用。

(二) 配製十個濃度的校正液 (利用備用溶液進行下列配製工作)		
編號	[FeSCN <sup>2+</sup> ]	配製方法
1 號	$(\frac{1}{2})^0 \times 10^{-3} \text{M}$	1、取 $2 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ + 2M 的 KSCN (各 15mL)
2 號	$(\frac{1}{2})^1 \times 10^{-3} \text{M}$	1、取 $2 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 稀釋至 $10^{-3} \text{M}$ 2、取 $10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ + 2M 的 KSCN (各 15mL)
3 號	$(\frac{1}{2})^2 \times 10^{-3} \text{M}$	1、取 $10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 稀釋至 $(\frac{1}{2}) \times 10^{-3} \text{M}$ 2、取 $(\frac{1}{2}) \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ + 2M 的 KSCN (各 15mL)
4 號	$(\frac{1}{2})^3 \times 10^{-3} \text{M}$	1、取 $(\frac{1}{2}) \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 稀釋至 $(\frac{1}{2})^2 \times 10^{-3} \text{M}$ 2、取 $(\frac{1}{2})^2 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ + 2M 的 KSCN (各 15mL)
5 號	$(\frac{1}{2})^4 \times 10^{-3} \text{M}$	1、取 $(\frac{1}{2})^2 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 稀釋至 $(\frac{1}{2})^3 \times 10^{-3} \text{M}$ 2、取 $(\frac{1}{2})^3 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ + 2M 的 KSCN (各 15mL)
6 號	$(\frac{1}{2})^5 \times 10^{-3} \text{M}$	1、取 $(\frac{1}{2})^3 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 稀釋至 $(\frac{1}{2})^4 \times 10^{-3} \text{M}$ 2、取 $(\frac{1}{2})^4 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ + 2M 的 KSCN (各 15mL)
7 號	$(\frac{1}{2})^6 \times 10^{-3} \text{M}$	1、取 $(\frac{1}{2})^4 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 稀釋至 $(\frac{1}{2})^5 \times 10^{-3} \text{M}$ 2、取 $(\frac{1}{2})^5 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ + 2M 的 KSCN (各 15mL)
8 號	$(\frac{1}{2})^7 \times 10^{-3} \text{M}$	1、取 $(\frac{1}{2})^5 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 稀釋至 $(\frac{1}{2})^6 \times 10^{-3} \text{M}$ 2、取 $(\frac{1}{2})^6 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ + 2M 的 KSCN (各 15mL)
9 號	$(\frac{1}{2})^8 \times 10^{-3} \text{M}$	1、取 $(\frac{1}{2})^6 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 稀釋至 $(\frac{1}{2})^7 \times 10^{-3} \text{M}$ 2、取 $(\frac{1}{2})^7 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ + 2M 的 KSCN (各 15mL)
10 號	0M	1、取 30mL 純水作為 10 號校正液

(三) 配製四個濃度的待測液	
編號	配製方法
備用溶液	1、配製校正液剩餘 90mL、 $2 \times 10^{-2} \text{M}$ 之 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$ ，備用。
	1、取 2M 之 $\text{KSCN}(\text{aq})$ ，稀釋至 0.02M 之 $\text{KSCN}(\text{aq})$ ，備用。
1 號待測液 (A 液)	1、取 30mL 的 $2 \times 10^{-2} \text{M}$ 之 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$ ，加水到 100mL... A <sub>1</sub> 2、取 30mL 的 $2 \times 10^{-2} \text{M}$ 之 $\text{KSCN}(\text{aq})$ ，加水到 100mL... A <sub>2</sub> 3、取各 15mL 之 A <sub>1</sub> 液與 A <sub>2</sub> 液混合，此即為 1 號待測液 (A 液)
2 號待測液 (B 液)	1、取 20mL 的 $2 \times 10^{-2} \text{M}$ 之 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$ ，加水到 100mL... B <sub>1</sub> 2、取 20mL 的 $2 \times 10^{-2} \text{M}$ 之 $\text{KSCN}(\text{aq})$ ，加水到 100mL... B <sub>2</sub> 3、取各 15mL 之 B <sub>1</sub> 液與 B <sub>2</sub> 液混合，此即為 2 號待測液 (B 液)
3 號待測液 (C 液)	1、取 10mL 的 $2 \times 10^{-2} \text{M}$ 之 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$ ，加水到 100mL... C <sub>1</sub> 2、取 10mL 的 $2 \times 10^{-2} \text{M}$ 之 $\text{KSCN}(\text{aq})$ ，加水到 100mL... C <sub>2</sub> 3、取各 15mL 之 C <sub>1</sub> 液與 C <sub>2</sub> 液混合，此即為 3 號待測液 (C 液)
4 號待測液 (D 液)	1、取 5mL 的 $2 \times 10^{-2} \text{M}$ 之 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$ ，加水到 100mL... D <sub>1</sub> 2、取 5mL 的 $2 \times 10^{-2} \text{M}$ 之 $\text{KSCN}(\text{aq})$ ，加水到 100mL... D <sub>2</sub> 3、取各 15mL 之 D <sub>1</sub> 液與 D <sub>2</sub> 液混合，此即為 4 號待測液 (D 液)

### 三、實驗裝置圖：

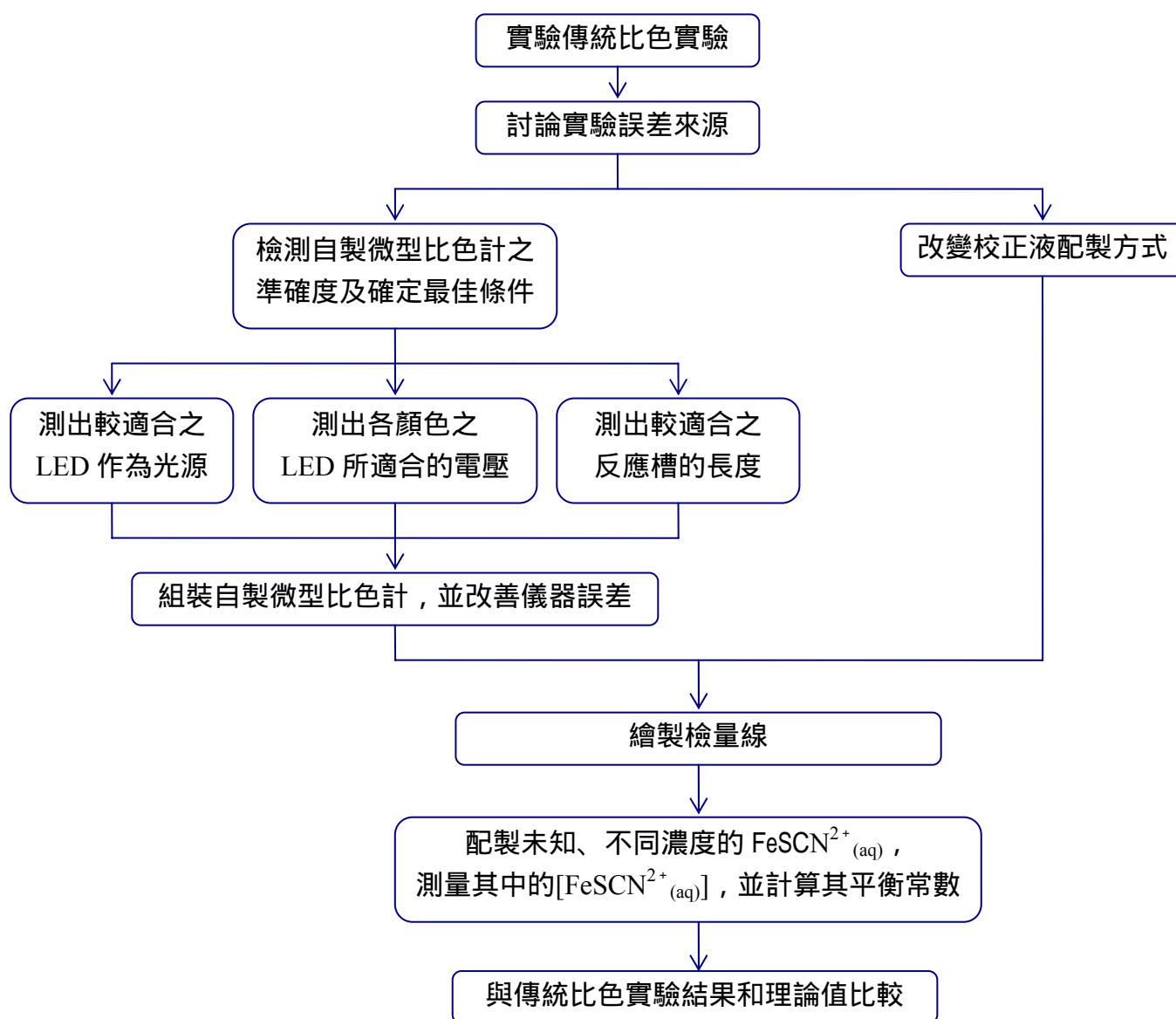


《圖 1》自製微型比色計裝置示意圖

## 肆、研究過程及方法：

### 一、研究過程：

- (一) 實際進行實驗課本中的傳統比色實驗，了解其結果之誤差，並加以討論。
- (二) 檢測自製微型比色計其準確性與靈敏度，並確定最佳實驗條件。
  - 1、測試反應槽長度對實驗結果的影響，並尋求最適合本實驗之反應槽長度。
  - 2、測試市各種顏色的 LED 作為光源時，何者可使電阻值靈敏度最高、線性關係最佳，亦即最適合作為本實驗之光源。
  - 3、測試各顏色 LED 光源所適合的電壓。
- (三) 以各種最適合之工作條件進行檢量線繪製。
- (四) 本實驗採用自行組裝之微型比色計進行濃度測試，並算出其平衡常數。
- (五) 實驗流程圖：



## 二、研究方法

### (一) 傳統比色實驗：

#### 1、實驗步驟：

- (1) 配製 0.002M 之 KSCN 溶液：取 0.0194 克的 KSCN 加水至 100mL。
- (2) 各取 3mL 上述溶液置於編號為 1 ~ 5 號之比色管中。
- (3) 配製 0.2M 的  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ：取 4.837 克的  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  加水至 100mL。
- (4) 取 0.2M、3mL 的  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  置於編號 1 號之比色管中，此為標準液。
- (5) 剩餘 0.2M 之  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  溶液，稀釋至 0.08M 後，取 3mL 加入 2 號比色管。
- (6) 剩餘 0.08M 之  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  溶液，稀釋至 0.032M 後，取 3mL 加入 3 號比色管。
- (7) 剩餘 0.032M 之  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  溶液，稀釋至 0.0128M 後，取 3mL 加入 4 號比色管。
- (8) 剩餘 0.0128M 之  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  溶液，稀釋至 0.00512M 後，取 3mL 加入 5 號比色管。
- (9) 以黑色色紙將第 1、2 號比色管包覆，置於燈源上方
- (10) 以目測法比較兩支比色管內溶液之顏色，以滴管取出 1 號比色管內的標準液。
- (11) 至二管顏色深淺相同，測量兩支比色管的高度，記錄其數值。
- (12) 依上述步驟進行比色，並紀錄標準液與各未知液之最後高度比，計算平衡常數。

#### 2、實驗記錄：

		1 號試管	2 號試管	3 號試管	4 號試管	5 號試管
A 同 學 實 驗 數 據	$[\text{Fe}^{3+}]_0$	0.1	0.04	0.016	0.0064	0.00256
	$[\text{SCN}^-]_0$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	標準液高度 (cm)	-	3.3	2.89	2.89	1.15
	待測液高度 (cm)	-	6.73	6.85	6.55	6.65
	$[\text{FeSCN}^{2+}]$ (M)	-	0.00049	0.000422	0.000441	0.000173
	$K_c$	-	<b>24.35</b>	<b>46.85</b>	<b>132.51</b>	<b>87.59</b>
	誤差值	-	<b>- 86%</b>	<b>- 72%</b>	<b>- 22%</b>	<b>- 48%</b>
B 同 學 實 驗 數 據	$[\text{Fe}^{3+}]_0$	0.1	0.04	0.016	0.0064	0.00256
	$[\text{SCN}^-]_0$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	標準液高度 (cm)	-	8.4	6.6	4.5	1.9
	待測液高度 (cm)	-	8.7	8.7	8.7	8.5
	$[\text{FeSCN}^{2+}]$ (M)	-	0.000966	0.000759	0.000517	0.000224
	$K_c$	-	<b>717.31</b>	<b>206.21</b>	<b>182.13</b>	<b>123.21</b>
	誤差值	-	<b>+ 322%</b>	<b>+ 21%</b>	<b>+ 7%</b>	<b>- 28%</b>

《表 1》

本組二位同學依照課本描述步驟，進行傳統目視比色法實驗數據

- 3、誤差值：因實驗課本提及此反應常溫下之平衡常數為 170，故以 170 為理論值計算誤差，以便討論該實驗之誤差，計算式如下所示：

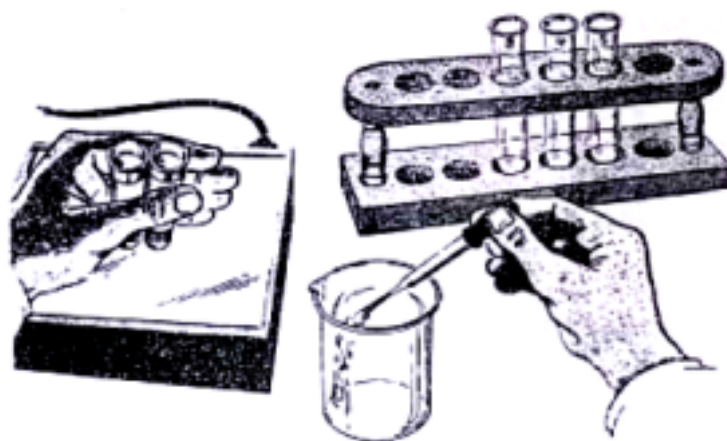
$$\text{誤差值}\% = \frac{\text{實驗值} - 170}{170} \times 100\%$$

4、實驗探討：

觀察本實驗數據可知，即使由同一人進行，實驗數據之精密度極低，以此數據計算平衡常數之平均值不具意義。而本組歸納出本實驗可能造成誤差之主因如下：

- (1) 人類眼睛對於深淺相似之顏色無法進行精密判讀，導致誤差；本組建議以儀器取代眼睛觀察，可增進實驗準確度與精密度；因此本組設計了『微型比色計』，用以改善此實驗的精準度。
- (2) 實驗課本中的實驗方法，以同體積 0.2M 的  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$  與 0.002M 之  $\text{KSCN}(\text{aq})$  混合作為標準液， $\text{KSCN}(\text{aq})$  為限量試劑，因此  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$  大都殘留，但  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$  非無色溶液，會影響顏色判讀準確性，若採 0.002M 之  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$  作為限量試劑，加入 0.2M 的  $\text{KSCN}(\text{aq})$  作為標準液，標準液中  $\text{FeSCN}^{2+}(\text{aq})$  之濃度亦為 0.001M，效果相同，且  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$  完全耗盡，相較於實驗課本中所提及的比色法，對於顏色判讀將更為精準。
- (3) 實驗課本中的方法，標準溶液配製時，以  $\text{SCN}^-$  為限量試劑，為使  $\text{SCN}^-$  濃度極小，採用 0.002M 之  $\text{KSCN}(\text{aq})$ ，但由於  $\text{KSCN}$  式量僅有 97，若配成 100mL 之溶液，僅需取出 0.0194 公克，以現有電子天平(精確至小數點以後三位)配製，秤取上的誤差必定不小，故本組建議配製濃度為 0.002M 之  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$  作為限量試劑，因為  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  式量為 242，欲配製成相同 0.002M 濃度、相同體積之溶液，所需取出之  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  重量較  $\text{KSCN}$  大，因此較不易產生秤量上的誤差。綜觀上述(2)與(3)二論點，本組繪製檢量線之實驗進行時，將以  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$  作為限量試劑，亦建議教科書可利用此法稍加改善目視比色法造成之誤差。

5、比色的裝置及操作如下圖：



《圖 2》比色裝置及操作

(摘錄自高中化學第二冊實驗手冊 實驗九 P.3-4，國立編譯館)

(二) 自製微型比色計：

- 1、四根不同長度的 T 形玻璃管塗黑，並纏繞黑色膠帶，避免外界光線干擾實驗。
- 2、在每支 T 形玻璃管的一端，用矽膠將光敏電阻固定在管口，再用防水膠帶纏繞。
- 3、以防水膠帶纏繞 LED 燈，直至燈泡恰能緊塞住另一端的管口，使 T 形玻璃管內的溶液不會流出。再將燈泡底部塗上黑色油漆，避免底部透光。
- 4、光敏電阻和各種顏色的 LED 燈分別用鱷魚夾接三用電表、電源供應器。

(三) 檢測其準確性，並確定最佳實驗條件：

1、確認反應槽長度：

(1) 操作變因：以長度分別為 26 公分 ( 號反應槽 ) 20 公分 ( 號反應槽 ) 13.5 公分 ( 號反應槽 ) 6.5 公分 ( 號反應槽 ) 之 T 形管作為反應槽。

(2) 控制變因：LED 光源為紅色，光源電壓為 3.5V，溫度為 28 。

(3) 測量方法：

- 1 於十組校正液配製完成後，由稀而濃依序注入 26cm 長之反應槽中，打開光源。
- 2 於光源開啟後 30 秒開始記錄，每隔 15 秒記錄一次電阻值，共測量 150 秒。
- 3 依上述步驟，依序使用 20、13.5、6.5 公分的反應槽進行測量。

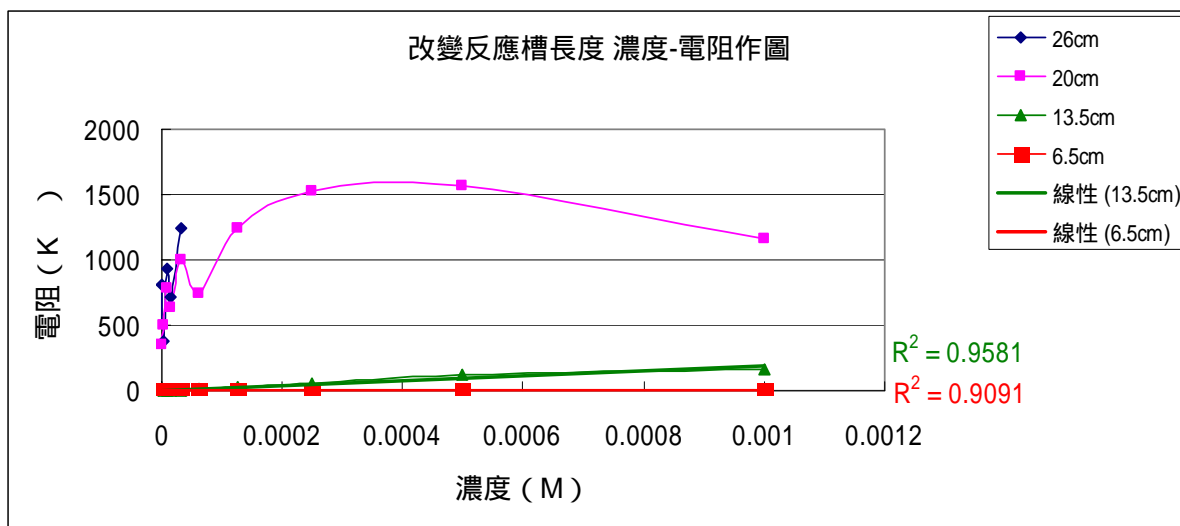
(4) 數據記錄如下表：

長度 濃度	26cm ( 號反應槽 )	20cm ( 號反應槽 )	13.5cm ( 號反應槽 )	6.5cm ( 號反應槽 )
0	813.6K	349.6 K	4.2 K	1.73 K
$(0.5)^8 \times 10^{-3} \text{M}$	373.2 K	506.2 K	3.76 K	1.74 K
$(0.5)^7 \times 10^{-3} \text{M}$	930.8 K	780.0 K	3.78 K	1.63 K
$(0.5)^6 \times 10^{-3} \text{M}$	712.0 K	641.0 K	4.27 K	1.68 K
$(0.5)^5 \times 10^{-3} \text{M}$	1249.4 K	995.4 K	5.28 K	1.77 K
$(0.5)^4 \times 10^{-3} \text{M}$	-	742.4 K	8.41 K	2.07 K
$(0.5)^3 \times 10^{-3} \text{M}$	-	1248 K	23.1 K	2.54 K
$(0.5)^2 \times 10^{-3} \text{M}$	-	1522.4 K	58.0 K	3.48 K
$(0.5)^1 \times 10^{-3} \text{M}$	-	1563.6 K	122.9 K	4.26 K
$(0.5)^0 \times 10^{-3} \text{M}$	-	1166.6 K	166.8 K	5.078 K

《表 2》

以不同反應槽長度，測量十組不同濃度之溶液，濃度與電阻關係

(5) 數據處理如下圖：



《圖 3》

以不同反應槽長度，測量十組不同濃度之溶液，濃度與電阻關係圖

(6) 實驗探討：

- 1 於光源開啟後 30 秒才開始記錄，主要是希望使溶液注入反應槽之後，達到穩定的狀態再進行測量，不要讓水波的晃動或氣泡影響到實驗數據。
- 2 每隔 15 秒記錄一次，主要是因為部分組別的電阻值仍然不斷跳動。
- 3 由上數據表及數據圖可知， 號反應槽於 $[\text{FeSCN}^{2+}] > (0.5)^4 \times 10^{-3} \text{M}$  時，電阻值便超出三用電表的最大限度，因此無法測得電阻值，換言之，使用 號反應槽，其可測量之範圍極小，再者，其濃度對電阻毫無線性關係可言，因此將此長度之反應槽剔除不予使用。
- 4 若使用 號反應槽，其電阻與濃度之間並無線性關係，故不予採用。
- 5 由上圖可知， 號反應槽具有最佳線性關係，且其靈敏度最佳，因此以下實驗本組全部採用此反應槽。

2、選擇不同色光光源：

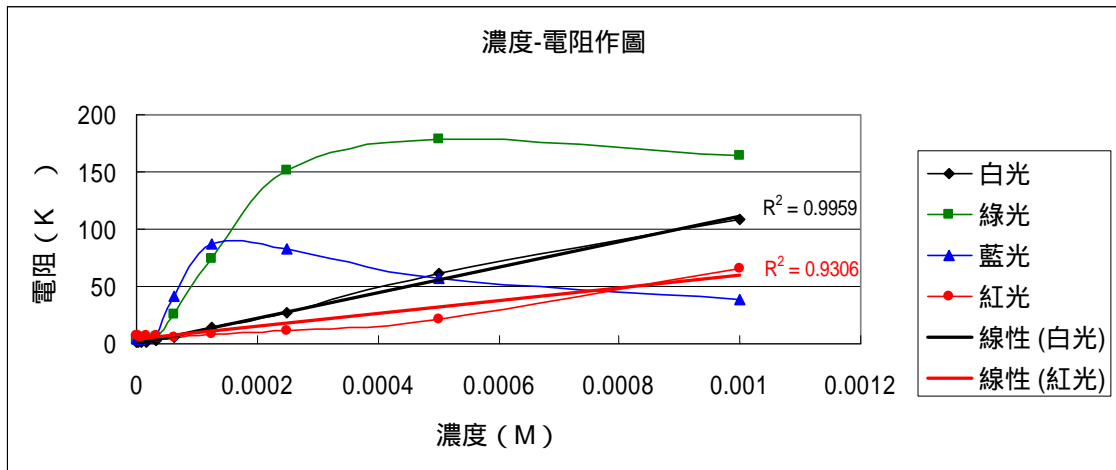
- (1) 操作變因：分別以紅色、綠色、藍色及白色 LED 作為光源，進行測試。
- (2) 控制變因：反應槽長度為 13.5 公分，光源電壓為 3.5V，溫度為 28 。
- (3) 測量方法：
  - 1 於十組校正液配製完成後，由稀而濃依序注入 13.5cm 長之反應槽中，打開光源。
  - 2 於光源開啟後 30 秒開始記錄，每隔 15 秒記錄一次電阻值，共測量 150 秒。
  - 3 依上述步驟，依序進行紅色、綠色、藍色及白色 LED 之測量。
- (4) 數據記錄如下表：

濃度	白光	綠光	藍光	紅光
0	1.4 K	3.71 K	3.72 K	6.46 K
$3.91 \times 10^{-6} \text{ M}$	1.37 K	3.11 K	4.37 K	6.8 K
$7.81 \times 10^{-6} \text{ M}$	1.7 K	2.76 K	4.08 K	6.35 K
$1.56 \times 10^{-5} \text{ M}$	1.88 K	4.08 K	5.1 K	7.34 K
$3.13 \times 10^{-5} \text{ M}$	2.25 K	5.01 K	7.07 K	6.74 K
$6.25 \times 10^{-5} \text{ M}$	5.64 K	25.58 K	41.5 K	6.35 K
$1.25 \times 10^{-4} \text{ M}$	14.03 K	74.2 K	87.75 K	8.67 K
$2.5 \times 10^{-4} \text{ M}$	27.5 K	151.4 K	83.5 K	11.44 K
$5 \times 10^{-4} \text{ M}$	61.38 K	178 K	57 K	21.7 K
$1 \times 10^{-3} \text{ M}$	108.21 K	164.2 K	38 K	66.42 K

《表 3》

以不同光源顏色，測量十組不同濃度之溶液，濃度與電阻關係

(5) 數據處理如下圖：



《圖 4》以不同光源顏色，測十組不同濃度之溶液，濃度與電阻關係圖

(6) 實驗探討：

- 1 以上述四色作為光源，是因為紅、綠、藍為光之三原色，而白色光是混合色光。
- 2 由上可知，各色光源中，以白色與紅色燈光之線性關係最佳，且測量範圍最大。
- 3 白光之靈敏度與線性關係均比紅光好，因此下列實驗本組均將採用白色燈光作為實驗光源。

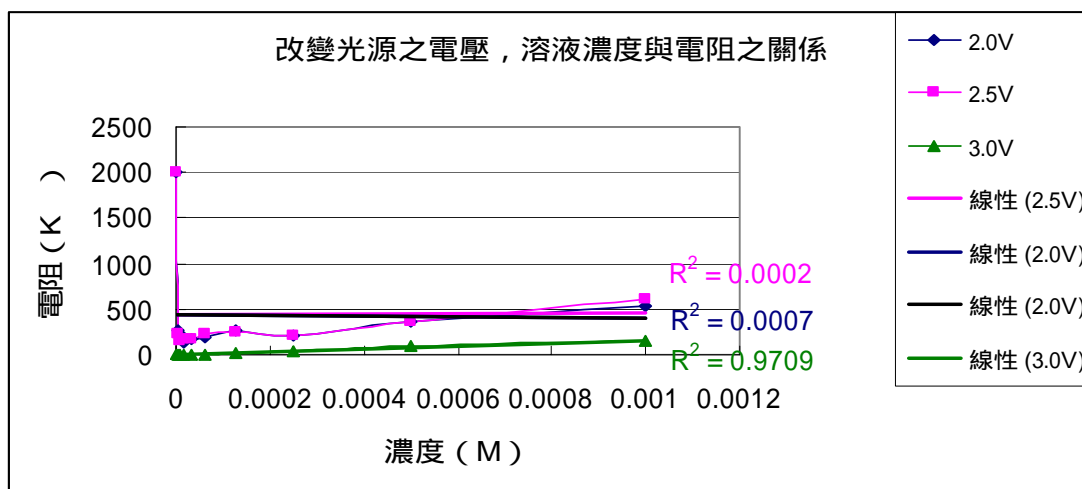
### 3、選擇光源電壓

- (1) 操作變因：以長度分別為 2.0、2.5、3.0V 作為光源電壓，進行測試。
- (2) 控制變因：反應槽長度為 13.5 公分，光源為白色 LED，溫度為 28 。
- (3) 測量方法：
  - 1 於十組校正液配製完成後，由稀而濃依序注入 13.5cm 長之反應槽中，打開光源。
  - 2 於光源開啟後 30 秒開始記錄，每隔 15 秒記錄一次電阻值，共測量 150 秒。
  - 3 依上述步驟，依序進行 2.0、2.5、3.5V 之測量。
- (4) 數據記錄如下表：

濃度	2.0V	2.5V	3.0V
0	2000 K	2000 K	2.65 K
$3.91 \times 10^{-6} \text{ M}$	262 K	235 K	3.462 K
$7.81 \times 10^{-6} \text{ M}$	222.2 K	157 K	2.8 K
$1.56 \times 10^{-5} \text{ M}$	138.2 K	176 K	4.63 K
$3.13 \times 10^{-5} \text{ M}$	170 K	167 K	5.2 K
$6.25 \times 10^{-5} \text{ M}$	185 K	230.2 K	5.926 K
$1.25 \times 10^{-4} \text{ M}$	273 K	248 K	24.04 K
$2.5 \times 10^{-4} \text{ M}$	202 K	206 K	39.48 K
$5 \times 10^{-4} \text{ M}$	363 K	371 K	104.5 K
$1 \times 10^{-3} \text{ M}$	539 K	607.2 K	150 K

《表 4》以不同光源電壓，測量十組不同濃度之溶液，濃度與電阻關係

- (5) 數據處理如下圖：



《圖 5》以不同光源電壓，測量十組不同濃度之溶液，濃度與電阻關係圖

- (6) 實驗探討：

- 1 本組購買各色 LED 工作電壓為 4.5V，但實際使用時，若超過 3.5V 電壓，很快便燒壞，因此採用 2.0、2.5、3.5 三個電壓進行測試。
- 2 由上述結果發現，電壓為 3.0V 時，數據有最佳線性關係，故本組將使用 3.0V 作為光源電壓。

#### 4、檢量線

##### (1) 測量方法：

- 1 將上述實驗條件實際裝置於自製微型比色計，測量溫度為 10 。
- 2 於十組校正液配製完成後，由稀而濃依序注入反應槽中，打開光源。
- 3 每隔 15 秒記錄一次電阻值，共測量 150 秒。

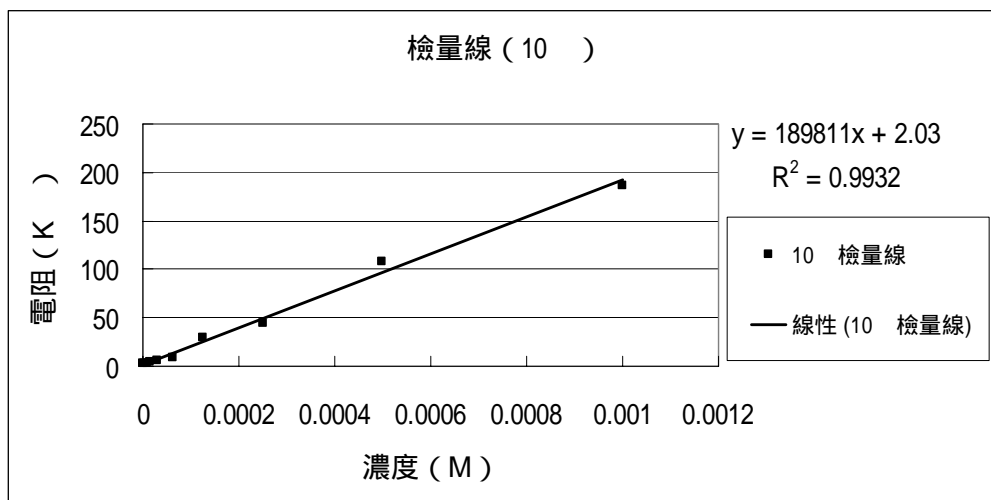
##### (2) 數據記錄如下表：

時間	0	(0.5) <sup>8</sup>	(0.5) <sup>7</sup>	(0.5) <sup>6</sup>	(0.5) <sup>5</sup>	(0.5) <sup>4</sup>	(0.5) <sup>3</sup>	(0.5) <sup>2</sup>	(0.5) <sup>1</sup>	(0.5) <sup>0</sup>
15 s	2.53	2.59	2.98	4.87	6.21	8.52	28.1	43.5	104.3	177
30 s	2.57	2.67	3.13	4.9	6.21	8.61	28.4	43.7	105.3	178
45 s	2.6	2.72	3.2	4.93	6.22	8.68	28.7	44	106	180
60 s	2.62	2.75	3.24	4.96	6.27	8.74	28.9	44.3	106.7	183
75 s	2.63	2.76	3.24	4.98	6.3	8.79	29.2	44.5	107.1	185
90 s	2.63	2.77	3.25	4.98	6.31	8.83	29.6	44.6	107.4	186
105 s	2.63	2.77	3.25	4.98	6.32	8.88	29.9	44.6	107.7	187
120 s		2.77	3.25		6.32	8.93	29.9	44.7	108.1	187
135 s					6.32	8.93	29.9	44.7	108.5	187
150 s						8.93		44.7	108.7	
165 s									108.7	
180 s									108.7	
是否達平衡	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
平衡電阻	2.63 KΩ	2.77 KΩ	3.25 KΩ	4.98 KΩ	6.32 KΩ	8.93 KΩ	29.9 KΩ	44.7 KΩ	108.7 KΩ	187 KΩ

《表 5》

以 10 之十組濃度不同校正液檢量線測量濃度對電阻關係，並藉以繪製檢量線

##### (3) 數據處理如下圖：



《圖 6》本儀器檢量線

(四) 進行實際測量

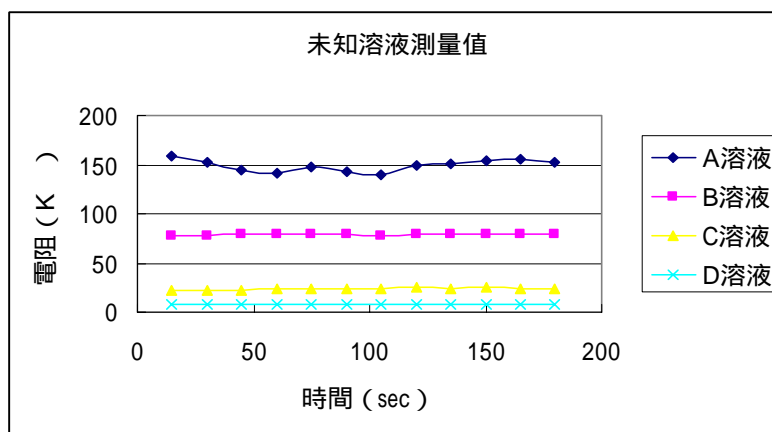
1、測量方法：配製 A、B、C、D 四杯待測液，配製完成後以磁攪拌器攪拌 3 分鐘，注入反應槽靜置 3 分鐘後，依測量、繪製檢量線時之條件進行測量，每隔 15 秒記錄一次電阻值，共測量 150 秒。

2、數據記錄如下表：

時間 (s)	A 溶液	B 溶液	C 溶液	D 溶液
15	158	77.2	22.9	7.89
30	152	78	22.6	7.91
45	145	78.9	22.8	7.96
60	142	79.4	23.1	7.99
75	147	79.7	23.4	8.01
90	143	79.1	23.7	8.06
105	139	78.5	24.1	8.1
120	149	79.8	24.7	8.13
135	151	79.6	24.4	8.11
150	154	79.4	24.8	8.09
165	155	79	24.5	8.15
180	153	78.6	24.1	8.17
平均電阻	149	78.93333	23.75833	8.0475
是否平衡	未平衡	未平衡	未平衡	未平衡
平衡濃度	0.000774	0.000405	0.000114	$3.17 \times 10^{-05}$
平衡常數	156.3049	159.2899	145.9829	144.5610

《表 6》28 時，測量 4 組不同濃度未知液，時間對電阻關係

3、製圖如下：



《圖 7》28 時，測量 4 組不同濃度未知液，時間對電阻關係圖

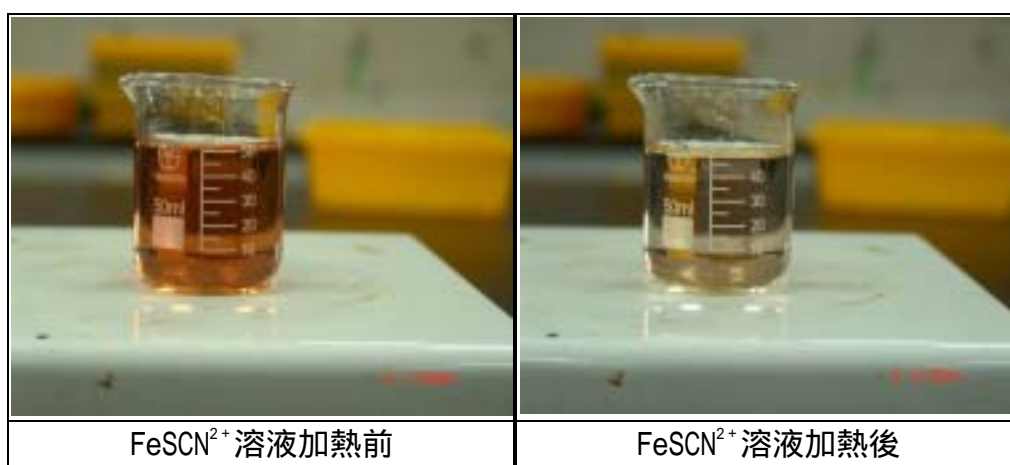
4、平衡常數平均值 =  $\frac{156.3049+159.2899+145.9829+144.561}{4} = 151.5347$

5、以理論值 170 計算，改良實驗之誤差： $\frac{151.5347-170}{170} \times 100\% = -10.86\%$

## 伍、討論：

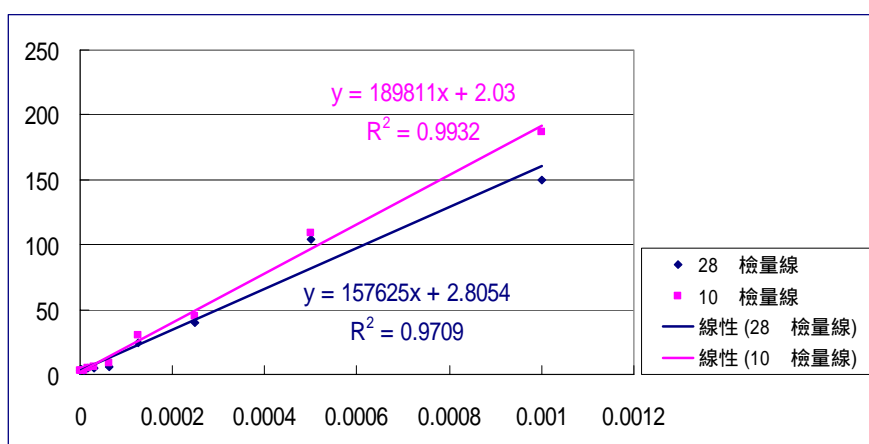
### 一、誤差來源探討：

(一)本實驗在繪製檢量線時,所採用之方法是利用過量的  $\text{KSCN}_{(\text{aq})}$  與極微量(與  $\text{KSCN}_{(\text{aq})}$  濃度相較)之  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3_{(\text{aq})}$  反應,因二反應物之濃度相差甚遠,故將這樣的反應視為完全向右的反應,此時利用  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3_{(\text{aq})}$  作為限量試劑,利用限量試劑的濃度計算出所生成之  $\text{FeSCN}^{2+}$  濃度;但實際上,因為此反應為一不完全反應,因此當以限量試劑濃度推算出濃度最高的校正液中,  $[\text{FeSCN}^{2+}] = 10^{-3}\text{M}$ ,但實際上,此溶液中的  $\text{FeSCN}^{2+}$  濃度略小於  $10^{-3}\text{M}$ 。為克服此誤差,本組於繪製檢量線之前,先配製任一濃度之  $\text{FeSCN}^{2+}$  溶液,置於加熱板上加熱,以瞭解此反應之正反應屬於吸熱反應或是放熱反應,  $\text{FeSCN}^{2+}$  溶液加熱前後之照片如下圖所示：



《圖 8》不同溫度下,  $\text{FeSCN}^{2+}$  溶液之顏色變化

由上二圖可發現當溶液加熱後,溶液顏色變淡,反應朝左邊進行,故推斷正反應為放熱反應,因此本組於進行檢量線的測量之前,先將十個濃度的校正液均降低溫度至  $10^\circ\text{C}$ ,下圖為降溫前、後繪製之檢量線：



《圖 9》不同二溫度下,  $\text{FeSCN}^{2+}$  溶液檢量線之變化

由上圖可看出,降低溫度後,檢量線稍微向上偏移,而相關係數也更接近 1,這表示反應朝右邊更為完全,且線性關係更佳,故本組降低溫度進行校正液的測量能更精準的掌握各校正液較正確的濃度。

- (二) 在繪製檢量線時，若於常溫（28℃）下進行測量，卻發現校正液電阻值會有小幅度的跳動，所以只能於固定時間內記錄一次，並加以平均，這個現象將造成些微的誤差。但若將測量溫度改成低溫（10℃）時進行測量，各個濃度校正液之電阻值能在短時間內達到穩定狀態，可見降低校正液溫度的應可使檢量線的繪製更加精準。
- (三) 進行未知濃度溶液的實際測試時，未知溶液的電阻值跳動幅度均比校正液更大，因此進行記錄時，僅能於固定時間內記錄一次電阻值，並加以平均，此現象將是本實驗中較難解決之困擾，應該也是本實驗中造成誤差的最主要原因。
- (四) 進行待測液之實驗時，需注意確認反應槽中已無其他殘留溶液或蒸餾水存在，故進行本實驗時，本組在每次實驗後，都會使用蒸餾水沖洗反應槽 5 次後，以面紙拭乾。
- (五) 為避免因快速將溶液到入，反應槽中產生氣泡，故本組採用注射筒配合蝴蝶針之軟管將溶液注入反應槽中，但溶液注入同時，仍難免有少量小氣泡產生，故需靜置一段時間才進行數據擷取的動作，使小氣泡對於本實驗影響降至最小。
- (六) 因光敏電阻對於光的強弱極為敏感，故需於每一實驗時，確定電阻、燈源之相對位置為固定，因此本組以矽膠將每一反應槽的光敏電阻固定，此外，LED 以鐵氟龍材質的防水膠帶纏繞，以利固定。
- (七) 因溫度會影響平衡常數大小，而本實驗雖已使用發熱量較小的 LED 作為光源，但 LED 發光時伴隨散發出的微小熱能，也會影響平衡常數。
- (八) 以上誤差原因大多能設法降低其影響，僅少部分無法避免，但不論如何，其精確度與課本目測方法相較，確實增加。

## 二、實驗探討：

- (一) 由數據可知，反應槽若過長，可偵測之濃度範圍極小，且不具線性關係，而長度越短之反應槽，其靈敏度越低，因此反應槽長度亦為重要變因之一，但以往雖有使用類似儀器測量有色溶液之濃度，但卻極少針對反應槽長度進行討論。
- (二) 為測試各種顏色之光源對於本實驗之影響，故本實驗使用各色光 LED 做為光源，結果發現白色光之 LED 光源為最佳光源，但此溶液之最大吸收波長為藍光<sup>文獻 5</sup>，理論上，以藍光測量應有最佳效果，但實際上，測量 8 號、9 號校正液時，以藍光作為光源，其電阻卻不成線性關係，而目視十個濃度校正液之顏色，卻發現 8 號、9 號校正液與其他校正液顏色屬於不同色系，低濃度之校正液屬橘色系列，而高濃度之校正液卻為紅色系，故本組推測，因低濃度時溶液顏色為橘色系，故其最大吸收波長落於藍光，但於 8 號校正液後，由於顏色稍有改變，最大吸收波長不再是藍光，故藍光吸收量減少，電阻值降低。以上僅是本組推論，尚待更精確之實驗證實，或許尚有其他原因亦會造成此一現象。但若此推論無誤，則欲測量溶液濃度，不能以顏色相似溶液製作檢量線。



《圖 10》十個不同濃度之校正液

- (三) 本實驗使用 LED 當光源，LED 亮度將直接影響本實驗結果，由實驗結果可知，光源亮度越低，其效果相當於反應槽長度極長，若光源亮度越高，則與反應槽長度極短相當。故每一實驗均須提供穩定電壓，本組校正及實際測量時所用電壓為 3.0V。
- (四) 本組在繪製檢量線時發現，將越高濃度的校正液於常溫時注入反應槽時，電阻值越容易出現微幅的變化，但空管或純水注入時，電阻值是穩定不變的，由此可知，此一現象並非由於儀器本身造成，而是因為其他校正溶液中， $\text{FeSCN}^{2+}$  濃度不斷在改變造成，在經過降溫處理後發現，測量十個校正液電阻值在極短時間內即達到穩定值，這應是因為在室溫下，此反應之平衡常數較小，溫度降低後可使平衡常數增大，向生成物方向反應更為完全，再加上懸殊的濃度比例，使得反應幾乎已經不再向反應物進行，因此能使  $\text{FeSCN}^{2+}$  濃度不再更動，電阻值也快速達到穩定。
- (五) 進行未知濃度溶液之測定時發現電阻值不斷產生跳動，跳動幅度也比校正液大，本組推論是因為未知濃度溶液中，各物質均無濃度趨近於 0 者，故正、逆反應速率均較校正液大，也因此錯離子濃度與電阻值才會不斷的大幅度跳動。

## 陸、結論：

- 一、本組於 28 時，測得  $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} + \text{SCN}^{-}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})^{2+}_{(\text{aq})}$  之平衡常數為 151.5347。
- 二、本組自行組裝之微型比色計精確度較目視比色法高，成本亦較其他現成儀器低廉。
- 三、當反應達平衡時，各物種之瞬間濃度並非不變，而是微幅改變，故課本中所提及『當反應達平衡狀態，各物種濃度不變』尚待修正。

## 柒、未來與展望：

- 一、此實驗已為比色法提供一個可行性與準確性兼具之儀器與實驗條件，而對於各色光源對於溶液濃度的測定的影響原因，雖有初步推論，但仍待進一步探討。
- 二、針對教科書中所提及『當可逆反應達平衡後，所有物種濃度均不再改變』，本實驗以數據證實有修正必要，而反應達平衡後各物種濃度的變化，將是本組未來研究之主軸。
- 三、此實驗提供一簡易方法，使得微量的鐵離子 ( $\text{Fe}^{3+}$ ) 得以進行定量分析，將可應用於刑事案件現場，對於血液之微量定量分析工作將有所助益。

## 捌、參考文獻與資料：

- 一、楊寶旺等 (民 75 年初版)。高級中學化學，國立編譯館出版。
- 二、黃長司等 (民 90 年)。化學實驗活動手冊，康熙圖書。
- 三、李銘哲等 (民 94 年)，『大家一起來比色』第 45 屆中小學科學作品展覽會參展作品。
- 四、陳宜君 (無日期)。光敏電阻。取自：  
<http://www.phys.ncku.edu.tw/modphyslab/ggda/gds/photoresister.htm>
- 五、環保署環境檢驗所 (民 94 年)。排放管道中氯化氫檢測法-硫氰化汞比色法。取自：  
<http://www.niea.gov.tw/niea/Air/A41272A.htm>

玖、附錄：



四組不同長度之反應槽



各種不同色光之 LED



十組不同顏色之校正液



四杯待測溶液



架設完成之反應槽



自製微型比色計全貌



自製微型比色計全貌  
(置於鞋盒中避免外界光線干擾實驗)

040218

-

=