

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 化學科

第三名

040203

電電看就知道

學校名稱：桃園縣私立新興高級中學

作者：  高一 李佳柔  高一 黃柏源  高一 林家瑜  高一 呂子杰	指導老師：  楊文心  王建民
---	-----------------------------

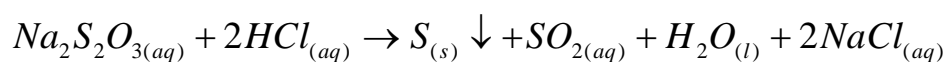
關鍵詞： 導電度、電解質、酸鹼滴定

## 壹、摘要

酸鹼滴定<sup>(6)</sup>由於指示劑<sup>(5)</sup>變色判定不易，且反應速率<sup>(5)</sup>及沉澱滴定<sup>(1)</sup>並也是以肉眼判定實驗結果，因此不易判定當量點，但三項試驗皆會牽涉電解質<sup>(2)</sup>溶液中離子的變化，所以本研究欲利用導電度判定當量點及反應速率級數。

本次的研究的實驗分成兩大部分，第一部分為討論電解質水溶液中影響導電度的因素。由實驗結果得知，電解質溶液的導電度大致上符合歐姆定律<sup>(3)</sup>，而且測量導電度時，必須避免極化程度以及電解作用的干擾，所以要除了必須將輸出電壓控制在 2 ~ 3V，也需固定以下變因：(一) 通電時間 (二) 反應溫度 (三) 電極距離 (四) 電極表面積。且由實驗結果可得到  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)}$  之平衡常數<sup>(7)</sup>，在 0.02M 時為  $1.94 \times 10^{-5}$ ，其誤差值為 6.11%。

第二部分則是進行酸鹼、沉澱滴定，結果顯示以此方法判定當量點誤差值均在 4% 以下。並以導電度測定溶液濃度與反應速率之關係<sup>(5)</sup>，由結果可得到



之反應速率定律式為  $R = k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ ，與預測之實驗結果一致。由此可知由導電度進行有關電解質溶液的實驗是一準確可行的方式，並可應用於其他電解質溶液的化學反應。

## 貳、研究動機

化學老師在高一基礎化學的第三章中介紹了有關電解質的性質，我們學習到由阿瑞尼士<sup>(5)</sup>的定義指出：『電解質是指溶於水中會產生陰陽離子的物質。』且電解質因為解離度的不同分為強電解質與弱電解質。因此我們對於電解質水溶液的導電度感到好奇，想知道如果水溶液產生化學變化導致離子的數量改變或產生新的離子，是否可以藉由測量導電度而了解化學變化的過程與結果？於是我們開始了一系列有關設計測量導電度裝置的研究。

另外，高中化學實驗當中，也有許多實驗與水溶液中電解質的性質有所關聯。譬如我們想到在高二化學第七章中所提到的傳統酸鹼滴定，一般是利用指示劑變色來判定當量點，其滴定終點並不一定是當量點，而且在低濃度的滴定時指示劑的變色會比較不明顯。而在高二化學第六章的反應速率實驗及與老師提及的沉澱滴定實驗均是需要以肉眼進行結果的判讀，常常因觀測者的認定不同而造成誤差。因此我們欲利用導電度的測量對這三個實驗進行改良，改善上述實驗方法的缺點，並印證我們自製導電度裝置的可用性，以其發展更精準、更實用的實驗裝置，並培養對科學精神及方法的進一步認識。

## 參、研究目的

- 一、一設計測量導電度的實驗裝置並加以改進
  - (一) 探討電解質水溶液中電壓與電流的關係
  - (二) 探討溫度與電流的關係
  - (三) 探討電極表面積與電流的關係
  - (四) 探討電極距離與電流的關係
  - (五) 探討溶液濃度與電流的關係
- 二、設計實驗利用本裝置得到醋酸的平衡常數，驗證裝置的可用性。
- 三、利用導電度測定進行以下高中化學實驗
  - (一) 酸鹼滴定
  - (二) 沉澱滴定
  - (三) 化學反應速率

## 肆、研究設備及器材

### 一、儀器：

電源供應器、三用電表、電子秤、加熱磁石攪拌器、酸鹼度計 (pH-meter)

### 二、器材：

量筒、燒杯、容量瓶、錐形瓶、滴定管、漏斗、玻璃棒、刮杓、滴管、鐵架、蝴蝶夾、手套、洗滌瓶、磁石、碳棒、保麗龍、電線、碼表、絕緣膠帶、數位相機

### 三、藥品：

鹽酸	氨水	硫代硫酸鈉	丙酮
醋酸	氫氧化鈉	酚酞酸鹼指示劑	冰塊
硝酸銀	食鹽	鄰苯二甲酸氫鉀	

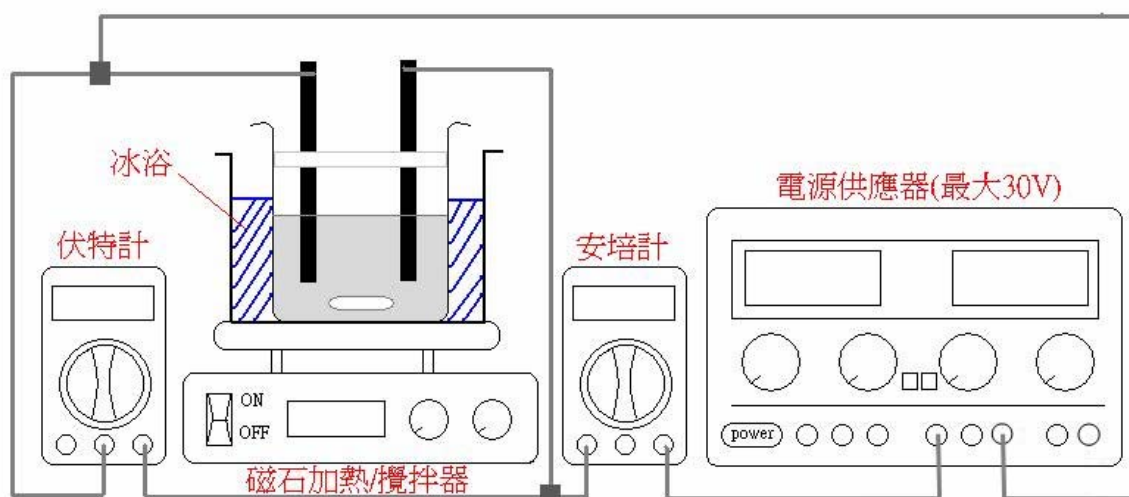


圖 1 測量導電度之裝置設計圖

(※註 ■ 為電線連接處)



圖 2 配置的溶液



圖 3 測量導電度之裝置



圖 4 電壓供應器  
(最大可輸出 30V)



圖 5 三用電表

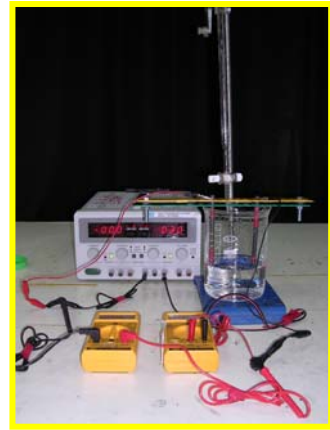


圖 6 滴定裝置



圖 7 實驗藥品

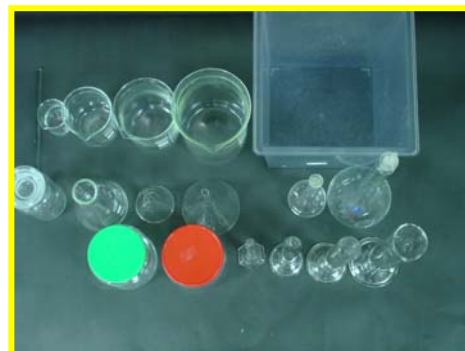


圖 8 實驗器材



圖 9 pH meter



圖 10 加熱攪拌器



圖 11 用數位相機紀錄電流的變化

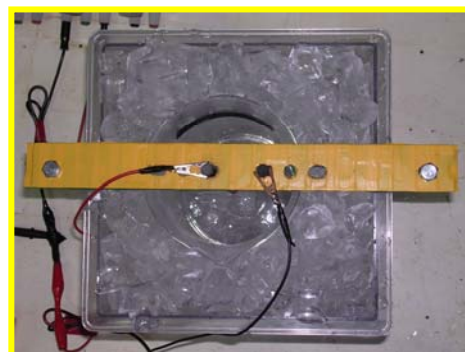
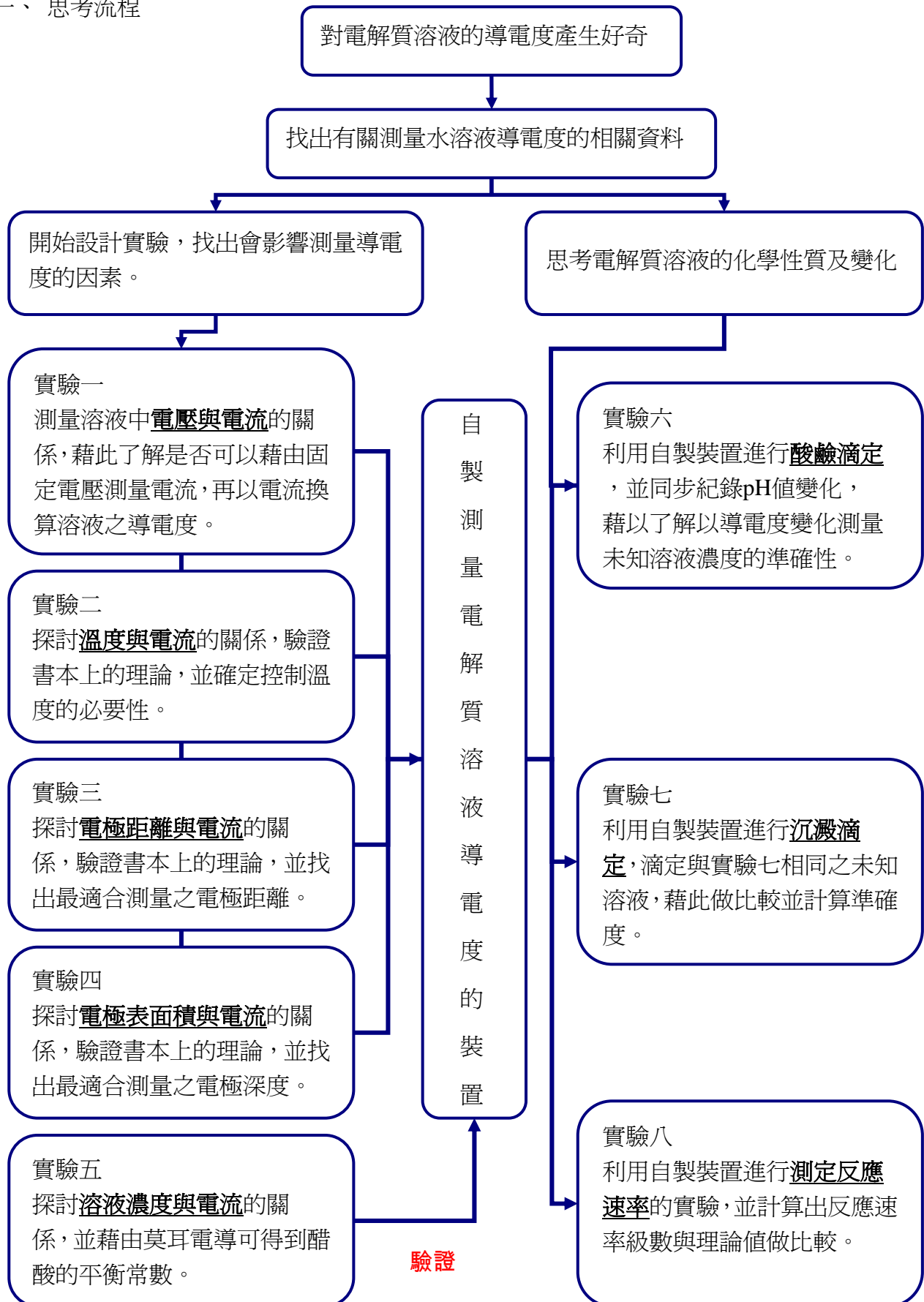


圖 12 冰浴與碳棒固定裝置

## 伍、研究過程或方法

### 一、思考流程



## 二、文獻探討

### (一) 電解質<sup>(2)</sup>

1. 定義：熔融狀態或溶於水中解離成陰、陽離子能幫助導電者，稱為電解質。
  - (1). 離子的化學性質和原子性質完全不同。如： $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
  - (2). 電解質水溶液中，陽離子總電量與陰離子總電量相等，故溶液呈現電中性。
  - (3). 離子在溶液中可以自由移動，通電時，陽離子移向負極，而陰離子移向正極。這些移動的離子，構成電流，故水溶液可以導電。
2. 電解質的強弱：電解質的強度視其在水溶液中的解離度而定，與濃度無關。

### (二) 歐姆定律<sup>(3)</sup>

1. 公式： $V = IR$  【V:電壓(伏特), I: 電流(安培), R: 電阻(歐姆)】
2. 電阻定律： $R = \rho \frac{l}{A}$  【 $\rho$ : 電阻係數, L: 兩電極的距離, A: 通電的溶液截面積】

### (三) 導電度<sup>(1)</sup>

1. 定義：電解質溶液的導電能力，稱為導電度或電導。
2. 公式：導電度通常用L表示，也就是電阻的倒數，即： $L = \frac{1}{R}$   
與電子導體一樣，電解質溶液也遵守歐姆定律： $L = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{A}{l}$   
 $\rho$ 的倒數稱為電導率，常用k表示，即： $k = \frac{1}{\rho}$   
於是有： $L = k \cdot \frac{A}{l}$
3. 莫耳電導：含有1莫耳電解質的溶液置於相距單位長度的二電極間所具有的電導。以下用公式表示莫耳電導與電導率的關係

$$\Lambda_m = k \cdot V_m = \frac{k}{C}$$

【 $V_m$ : 含1莫耳電解質的溶液體積, C: 體積莫耳濃度】

陽離子		陰離子	
$\Lambda_0 \times 10^4 / (\Omega^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1})$		$\Lambda_0 \times 10^4 / (\Omega^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1})$	
$\text{H}^+$	349.82	$\text{OH}^-$	198
$\text{Na}^+$	50.11	$\text{Cl}^-$	76.34
$\text{NH}_4^+$	73.4	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	40.9

表一



4. 柯耳勞希平方根定律： $\Lambda_m = \Lambda_0 - A\sqrt{C_m}$ 。

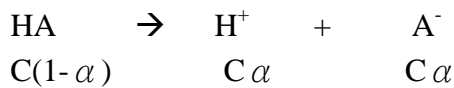
【 $\Lambda_0$ ：溶液無限稀釋時的莫耳電導， $C_m$ ：體積莫耳濃度， $A$ ：常數】

(四) 計算弱電解質的解離度 $\alpha$ <sup>(1)</sup>

電解質溶液中，只有已解離的部分才能傳遞電荷，當溶液非常稀薄時，可假設其全部解離，即全部的離子均可傳遞電荷，故可得到下列關係：

$$\alpha = \frac{\Lambda_m}{\Lambda_0} \quad \text{【}\alpha\text{：解離率，}\Lambda_0\text{：溶液濃度非常稀薄之莫耳電導】}$$

(五) 弱酸弱鹼之平衡常數 (以單質子弱酸為例)<sup>(1)</sup>



$$\text{則 } K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{\text{C}\alpha \cdot \text{C}\alpha}{\text{C}(1-\alpha)} = \frac{\text{C}\alpha^2}{(1-\alpha)}$$

以解離率及體積莫耳濃度代入方程式，即可得到平衡常數。

(六) 酸鹼滴定：<sup>(6)</sup>

1. 酸鹼中和：當酸與鹼反應時產生鹽類和水並放熱的變化，滴定則是應用此原理，藉以求得未知溶液的濃度。
2. 當量點：酸的當量數等於鹼的當量數。
3. 終點：指示劑變色的瞬間即為終點。
4. 差異：滴定終點與當量點不一定相等，若選對指示劑，終點所用去的體積非常接近當量點所計算的體積，但仍無法準確的找出當量點。

註：本研究擬利用導電度變化曲線判定當量點並取代指示劑

(七) 沉澱滴定：<sup>(1)</sup>

1. 利用沉澱反應得知未知溶液濃度的方法。
2. 鹽類在水中之溶解度

陰離子	陽離子	生成鹽之溶解度
Cl <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , I <sup>-</sup>	Ag <sup>+</sup> , Pb <sup>2+</sup> , Hg <sup>2+</sup> , Cu <sup>+</sup> , Tl <sup>+</sup>	溶解度小
	其它陽離子	可溶
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ba <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup>	溶解度小
	其它陽離子	可溶
OH <sup>-</sup>	Sr <sup>2+</sup> , Ba <sup>2+</sup>	可溶
	其它陽離子	溶解度小

表二

3. 關於滴定分析的沉澱反應必須具備以下條件：

- (1). 沉澱反應速率快，不易出現過飽和狀態
- (2). 沉澱產生的沉澱物不致影響測定的準確度
- (3). 有合適的方法指示滴定終點的到達

#### (八) 反應速率<sup>(6)</sup>

1. 定義：定溫下，單位時間內反應物消耗的量或單位時間內生成物的生成量。

註：本研究將反應速率定為『觀察單位時間內導電度的變化』

#### (九) 極化作用：<sup>(7)</sup>

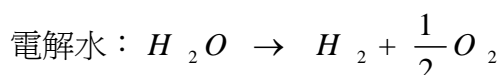
1. 極化作用有三部分：

- (1). 過電壓：類似化學反應的活化能，就是讓電子跳過電極和電解液界面所需要施加的額外電壓。
- (2). 電解液電阻：包括溶液電阻，擴散造成的濃度差以及氣體阻絕等。
- (3). 集電體電阻造成端電壓與電極界面之間的電位落差。

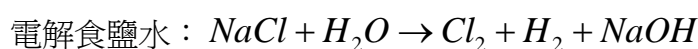
2. 簡單來說，當有電流通過電極時，電極會發生許多化學反應而產生氣體或在電極上產生沉積...等，造成阻力或障礙，為了使通電過程能夠繼續，就需要額外增加一些電壓去克服這些阻力，這個現象極稱為極化作用。

#### (十) 電解：<sup>(8)</sup>

非自發的氧化還原反應，可藉外加電壓迫使反應發生。



(陰極) (陽極)



(陽極) (陰極)

### 三、實驗步驟

#### (一) 實驗一：探討電解質水溶液中電壓與電流的關係

1. 將燒杯與量筒擦乾，取300ml的0.1M NaOH<sub>(aq)</sub> 裝入燒杯。
2. 將兩碳棒上由底部量起2 公分處黏上絕緣膠帶（固定碳棒接觸溶液的表面積），並將碳棒用蒸餾水清洗之後擦乾。
3. 將裝置架好，開啓測量電流及電壓的三用電錶，並將電壓轉至4V。
4. 計時 5 秒，紀錄 5 秒內的最高電流，並觀察解離現象。
5. 將碳棒清洗，並擦乾，以不同電壓，重複1~4步驟。

6. 以不同的溶液 ( $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{NH}_4\text{OH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ )，重複1~5步驟。

### (二) 實驗二：探討溫度與電流的關係

1. 將300ml的0.1M  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  放入燒杯。
2. 將燒杯放進鍋子，在燒杯外放冰塊，並灑鹽加速降低溫度，且加入水增加冰浴表面積，並測量溫度。
3. 達到適當溫度後，將裝置架好，將電壓固定至2V。
4. 開啓測量電流及電壓的三用電錶，計時 5秒，紀錄5秒內的最高電流。
5. 加入熱水使溫度升高，以不同的溫度，重複1~4步驟。

**註**：若水太多，需將多餘的水吸起來，避免溢出鍋子。



圖 13 裝置上的洞可以調整電極距離。

### (三) 實驗三：探討電極距離與電流的關係

1. 取 300ml 的 0.1M  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  放入燒杯中。
2. 將碳棒距離取 8 公分固定住，並將裝置架好。
3. 開啓測量電流及電壓的三用電錶，並將電壓固定於 2V。
4. 改變碳棒的距離，重複 1~3 步驟。
5. 將溶液改成 1M  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 並重複 1~4 步驟。

### (四) 實驗四：探討電極表面積與電流的關係

1. 取 300ml 的 0.1M  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  放入燒杯中。
2. 將兩個碳棒距離每間隔一公分記號，控制碳棒沒入溶液的深度為 1 公分，固定輸出電壓為 2V，開啓測量電流及電壓的三用錶，計時 5 秒，紀錄 5 秒內的最高電流。

**註**：為了方便改變碳棒表面積，我們以碳棒沒入水溶液的深度不同，來改變表面積，因為底面積固定，所以碳棒的表面積與深度成正比。

3. 改變碳棒沒入的深度，重複 1~3 步驟。
4. 將將碳棒用蒸餾水清洗過之後擦乾，將溶液改成 1M  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$  並重複 1~3 步驟。

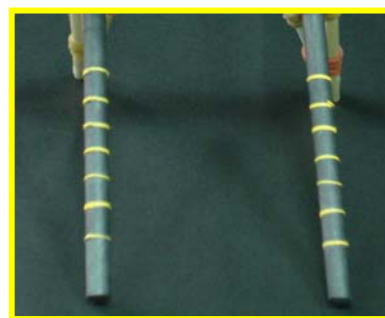


圖 14 在碳棒上作記號

### (五) 實驗五：探討溶液濃度與電流的關係

1. 將燒杯與量筒擦乾，取300ml的1M  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  放入燒杯。
2. 將兩碳棒上由底部量起 2 公分 處黏上絕緣膠帶（固定碳棒接觸溶液的表面積），並將碳棒用蒸餾水清洗之後擦乾。
3. 將裝置架好，開啓測量電流及電壓的三用電錶，並將電壓固定於2V。
4. 計時 5 秒，紀錄 5 秒時的電流。
5. 改變溶液的濃度，重複1~4步驟。

6. 以不同的溶液 ( $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{NH}_4\text{OH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ )，重複1~5步驟。

#### (六) 實驗六：以測量溶液導電度判定酸鹼滴定的當量點

1. 將燒杯與量筒擦乾，取 300ml 0.1M  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  的放入燒杯，加入酚酞，並放入溫度棒，且將 1M  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 放入滴定管中。
2. 將溶液放入冰浴中，並將磁石放入，持續轉動，等待溫度至  $0^\circ\text{C}$ 。  
註：轉動磁石是為了讓容易均勻降溫，且不讓水溶液結冰。
3. 到達  $0^\circ\text{C}$ ，將標定好的 pH-meter 放入水溶液中，將兩碳棒上由底部量起 2 公分處黏上絕緣膠帶（固定碳棒接觸溶液的表面積），並將碳棒用蒸餾水清洗之後擦乾，另外將裝置架好。
4. 開啓測量電流及電壓的三用電錶，並將輸出電壓轉至 2V。
5. 一開始以 5ml 為單位進行滴定，接近當量點時，以 1ml 為單位進行滴定，滴完後攪拌 5 秒，攪拌結束需將攪拌器關掉，並接通電路。
6. 接通電路後計時 5 秒，紀錄 5 秒內的最高的電流、pH 值，紀錄完之後需將電路切斷。  
註：切斷電路是為了避免電解及極化作用而影響實驗數據。
7. 改以 1M 的  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  滴定 0.1M  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ ，重複 1~6 步驟。

#### (七) 實驗七：以測量溶液導電度判定沉澱滴定的當量點

1. 取 300ml 的 0.1M  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 放入燒杯，加入酚酞，並將滴定管乾燥，將 1M 的  $\text{AgNO}_3_{(\text{aq})}$ 放入滴定管中。
2. 將標定好的 pH-meter 放入水溶液中，將兩碳棒上由底部量起 2 公分處黏上絕緣膠帶，並將碳棒用蒸餾水清洗擦乾，將裝置架好。
3. 開啓測量電流及電壓的三用電錶，並將電壓轉至 2V。
4. 一開始以 5ml 為單位進行滴定，接近當量點時，以 1ml 為單位進行滴定（使當量點更明顯），滴完後攪拌 5 秒，攪拌結束需將攪拌器關掉，並接通電路。
5. 接通電路後計時 5 秒，紀錄 5 秒內的最高的電流、pH 值，紀錄完之後需將電路切斷。  
註：切斷電路是為了避免電解而影響實驗數據。
6. 改以 1M  $\text{AgNO}_3_{(\text{aq})}$ 滴 0.1M  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ，重複 1~6 步驟。

#### (八) 實驗八：以測量溶液導電度進行反應速率的測定

1. 取 1M 200ml 的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3_{(\text{aq})}$  放入燒杯，並取 200ml 的 1M  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$  置於量筒中。
2. 將兩碳棒由底部量起 2 公分處黏上絕緣膠帶（固定表面積），碳棒用蒸餾水清洗之後擦乾，將裝置架好，開啓測量電流及電壓的三用電錶，並將電壓固定在 2V。
3. 使用漏斗將量筒內的  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$  快速倒入燒杯內，倒完後接通電路。紀錄 5 秒內的電流值下降值。
4. 使用相機的錄影功能紀錄電流的變化值。
5. 改變  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3_{(\text{aq})}$  濃度，重覆 1~5 步驟。
6. 改以固定  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3_{(\text{aq})}$  濃度，改變  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$  的濃度，重複 1~5 步驟。



圖 15 產生硫的沉澱

## 陸、研究結果

### 一、實驗一：電壓與電流的關係

電壓 (V)	4	3.8	3.5	3.3	3	2.8	2.5
HCl	143.1	128.2	98.3	75.9	54.4	40.2	22.8
NaOH	129.3	117.6	99.6	79	53.1	38.1	19.4
CH <sub>3</sub> COOH	4.68	4.02	3.35	2.79	1.99	1.49	1.11
NH <sub>4</sub> OH	4.34	3.88	3.44	3.05	2.71	2.29	1.85

電壓 (V)	2.3	2	1.8	1.5	1.3	1	
HCl	13.3	3.24	1.034	0.246	0.111	0.051	
NaOH	11.8	3.25	1.77	0.282	0.122	0.062	
CH <sub>3</sub> COOH	0.734	0.451	0.227	0.073	0.041	0.02	
NH <sub>4</sub> OH	1.6	1.24	1.04	0.67	0.445	0.02	

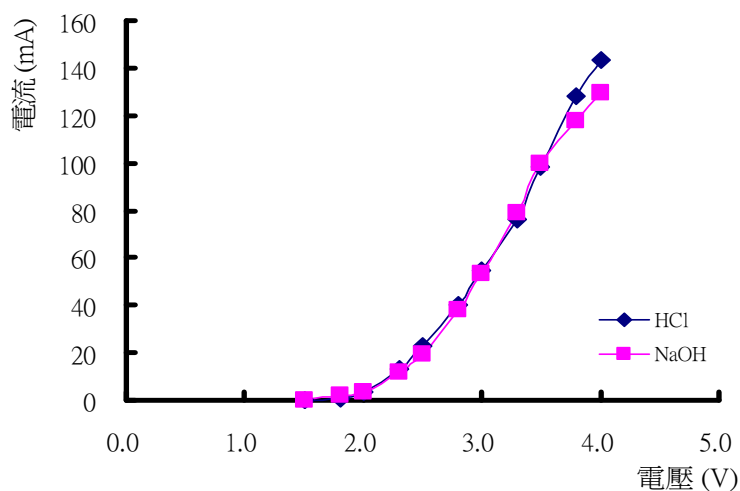


圖 16

紀錄 1M HCl<sub>(aq)</sub>、NaOH<sub>(aq)</sub> 在不同電壓下之電流值。從圖 16 中可以看出 HCl、NaOH 在電壓增加至 2V 後，其導電度才有明顯的線性變化。

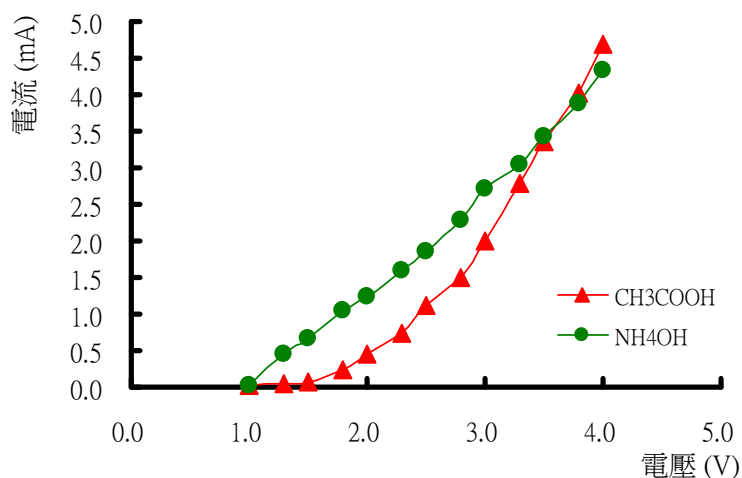


圖 17

紀錄 1M CH<sub>3</sub>COOH<sub>(aq)</sub>、NH<sub>4</sub>OH<sub>(aq)</sub> 在不同電壓下之電流值。從圖 16 中可以看出 CH<sub>3</sub>COOH、NH<sub>4</sub>OH 在電壓增加至 1V 後，其導電度才有明顯的線性變化。

## 二、實驗二：溫度與電流的關係

溫度 (°C)	電流 (mA)
76.5	28.5
60	18.75
50	14.25
40	11.75
30	9.75
20	8.75
10	8
1	7

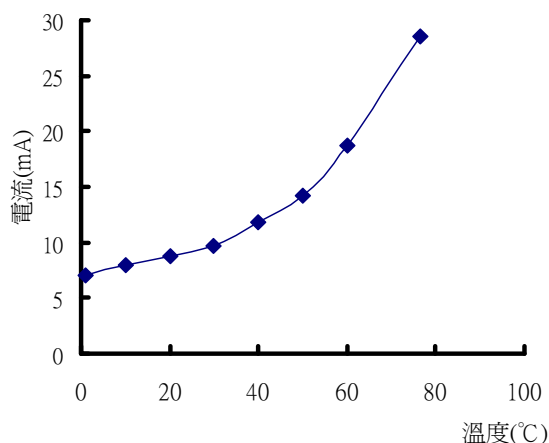


圖 18

固定輸出電壓，觀察並紀錄 0.1M NaOH(aq) 在不同溫度下的電流變化，由圖 18 可顯示出溫度越高，溶液之導電性越佳。

## 三、實驗三：電極距離與電流的關係

碳棒距離	電流 (mA)
1	32.58
2	26.40
3	24.23
4	23.85
5	22.53
6	22.75
7	20.50
8	18.85

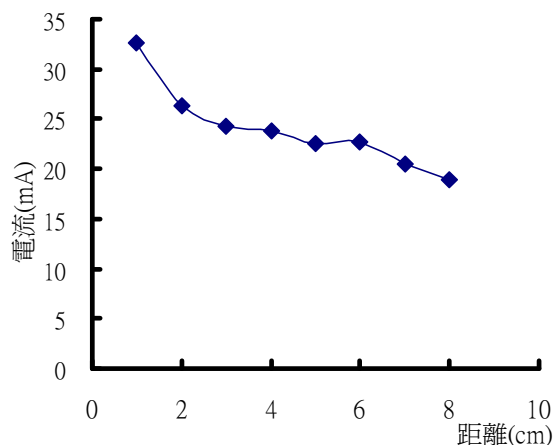


圖 19

固定輸出電壓，改變電極的距離，觀察 0.1M NaOH(aq) 之電流的變化，由圖 19 可顯示出電極距離越大，溶液之導電性越差。

## 四、實驗四：電極表面積與電流的關係

碳棒深度	電流 (mA)
2	19.6
3	39.2
4	58.1
5	70.35
6	119
7	133.7
8	147

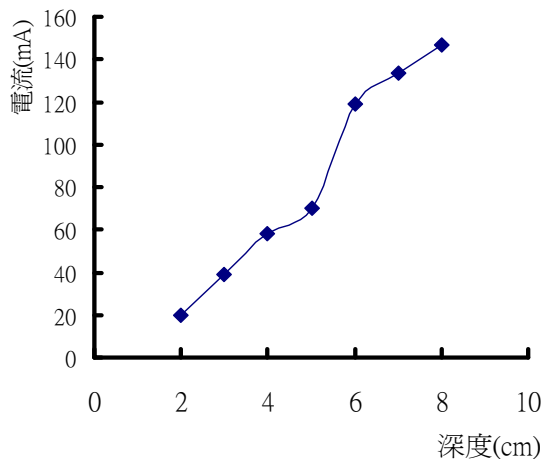


圖 20

固定輸出電壓，改變電極沒入溶液的深度，觀察 0.1M NaOH(aq) 之電流的變化，由圖 20 可顯示出電極接觸溶液的表面積越大，溶液之導電性越佳。

## 五、實驗五：溶液濃度與電流的關係

電流mA \ 濃度 M	HCl	NaOH	CH <sub>3</sub> COOH	NH <sub>4</sub> OH
1.00	100.2	63.3	1.56	1.04
0.80	97.1	61	1.51	1.03
0.60	91.3	59.1	1.50	1.07
0.40	76.5	52.1	1.45	1.05
0.20	58.9	44.8	1.49	1.02
0.10	42.3	35.4	1.46	1.03
0.08	39.4	33	1.48	0.99
0.06	35.90	28	1.48	0.95
0.04	29.80	25.1	1.42	0.95
0.02	22.70	19.3	1.40	0.93
0.01	16.80	14.5	1.36	0.91

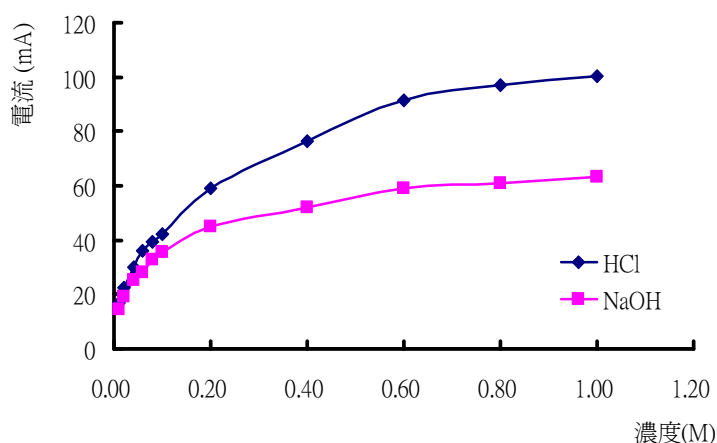


圖 21

固定輸出電壓，紀錄 0.1 M  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  在不同濃度下之電流值。從圖 21 可以看出，溶液濃度越高其導電度越佳。但是導電度的增加有漸趨緩慢的趨勢。而從圖中也可顯示  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$  的導電度比  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  好。

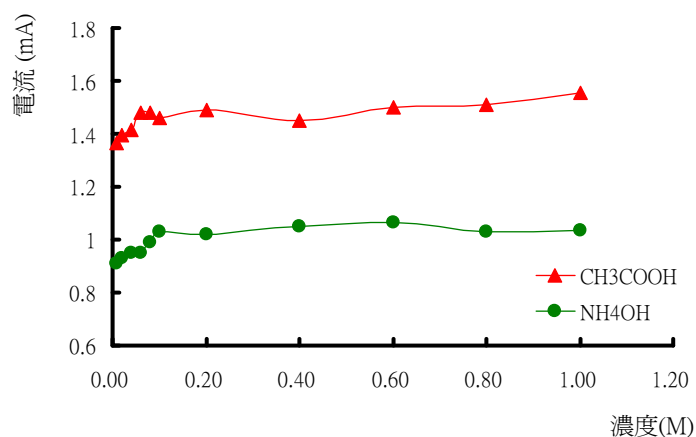


圖 22

固定輸出電壓，紀錄 0.1 M  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{NH}_4\text{OH}_{(\text{aq})}$  在不同濃度下之電流值。從圖 22 可以看出，在低濃度時，溶液濃度越高其導電度越佳。但是導電度的增加有漸趨緩慢的趨勢。而從圖中也可顯示  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$  的導電度比  $\text{NH}_4\text{OH}_{(\text{aq})}$  好。

## 六、實驗六：酸鹼滴定

(一) 以  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  滴定  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 。

體積(ml)	5	10	15	20	25	26	27	28	29	30
pH值	1.53	1.71	1.76	1.85	2.277	2.654	2.723	2.786	8.923	11.19
電流(mA)	1.24	1.12	1.00	0.90	0.856	0.754	0.617	0.666	0.548	0.44
體積(ml)	31	32	33	34	35	40				
pH值	12.36	12.50	12.73	12.82	12.89	12.81				
電流 (mA)	0.70	0.83	0.86	0.85	0.88	1.13				

※ 指示劑在 30 ml時變成紅色。

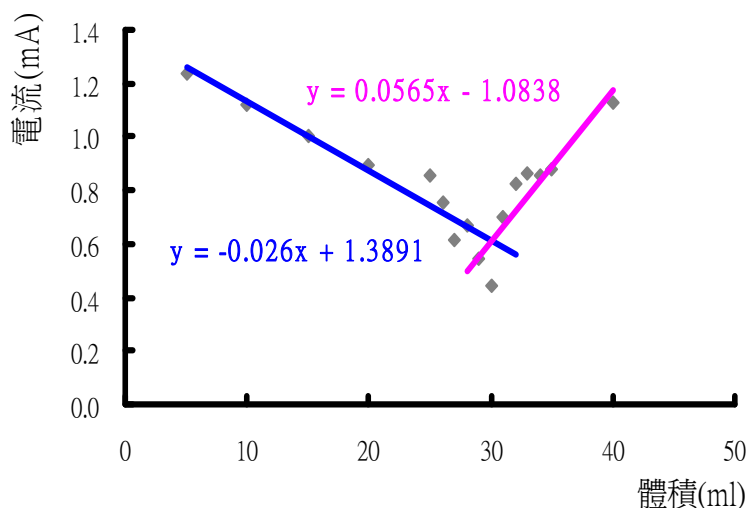


圖 23

以  $1\text{M NaOH}_{(\text{aq})}$  滴定  $300\text{ml } 0.1\text{M HCl}_{(\text{aq})}$ ，固定輸出電壓，溫度以冰浴控制在  $0^\circ\text{C}$ ，紀錄電流的變化，由圖 23 可以看出，在滴定前期，溶液導電度不斷下降，達當量點之後，則導電度開始上升，將兩趨勢線的公式加以計算，得到當量點的體積為 29.97 ml。

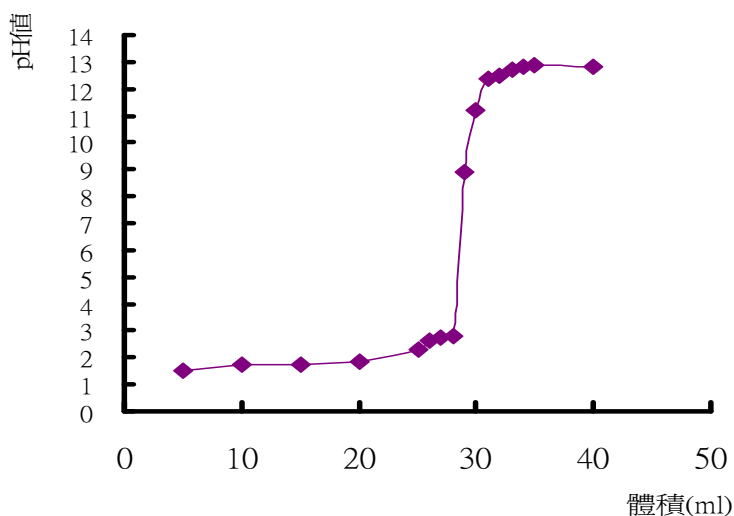


圖 24

以  $1\text{M NaOH}_{(\text{aq})}$  滴定  $300\text{ml } 0.1\text{M HCl}_{(\text{aq})}$ ，固定輸出電壓，溫度以冰浴控制在  $0^\circ\text{C}$ ，紀錄 pH 值的變化，並以  $\text{pH}=7$  當作當量點，由圖中可以得到當量點的體積為 28.90 ml。



(二) 以  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$  滴定  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 。

體積(ml)	5	10	15	20	25	26	27	28	29	30
pH值	13.11	13.09	13.06	13.02	12.97	12.93	12.87	12.85	12.47	12.34
電流 (mA)	20.30	17.23	13.69	12.92	12.32	12.54	11.72	10.13	9.84	7.23
體積(ml)	31	32	33	34	35	40	45	50		
pH值	12.04	9.32	4.97	3.23	2.98	2.86	2.76	2.55		
電流(mA)	6.39	6.89	8.54	10.5	11.51	12.73	14.54	15.84		

※ 指示劑在 30 ml時變成無色。

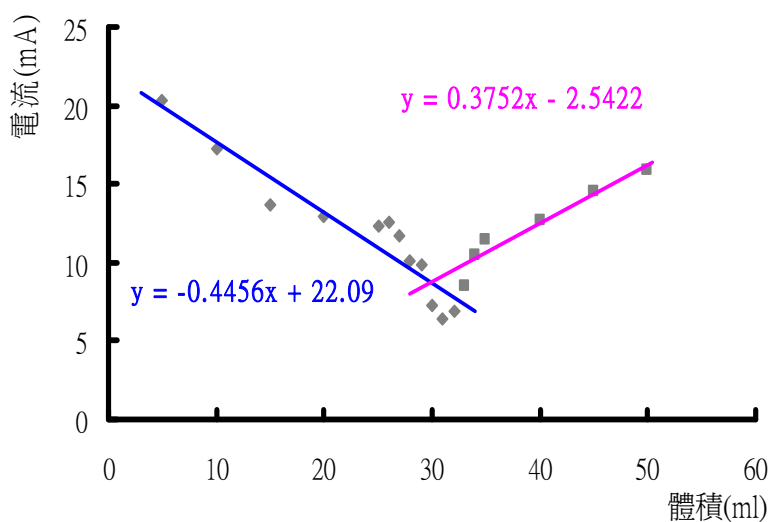


圖 25

以  $1\text{M HCl}_{(\text{aq})}$  滴定  $300\text{ml } 0.1\text{M NaOH}_{(\text{aq})}$ ，固定輸出電壓，溫度以冰浴控制在  $0^\circ\text{C}$ ，紀錄電流的變化，由圖 25 可以看出，在滴定前期，溶液導電度不斷下降，達當量點之後，則導電度開始上升，將兩趨勢線的公式加以計算，得到當量點的體積為 30.01 ml。

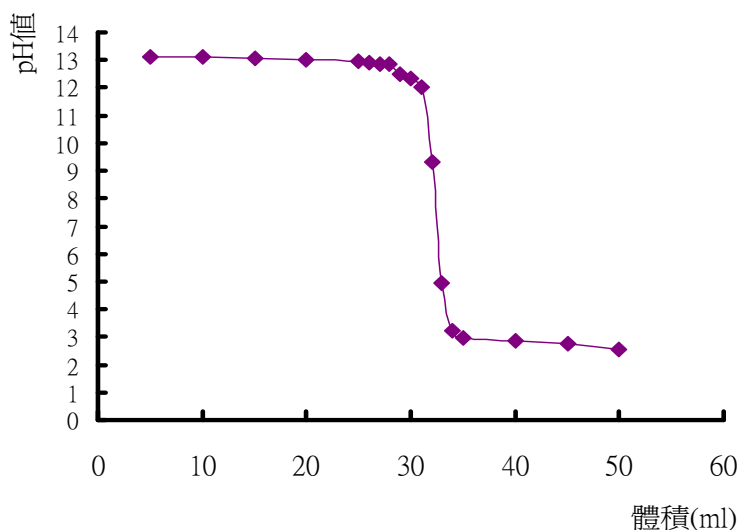


圖 26

以  $1\text{M NaOH}_{(\text{aq})}$  滴定  $300\text{ml } 0.1\text{M HCl}_{(\text{aq})}$ ，固定輸出電壓，溫度以冰浴控制在  $0^\circ\text{C}$ ，紀錄 pH 值的變化，並以  $\text{pH}=7$  當作當量點，由圖中可以得到當量點的體積為 31.20 ml。

## 七、實驗七：沉澱滴定

### (一) 以 $\text{AgNO}_{3(\text{aq})}$ 滴定 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$

體積(ml)	5	10	15	20	25	26	27	28	29	30
電流 (m A)	1.38	1.26	1.18	1.16	1.03	0.82	0.75	0.7	0.62	0.59
體積(ml)	31	32	33	34	35	40				
電流(m A)	1.09	1.52	1.67	1.83	2.17	2.89				

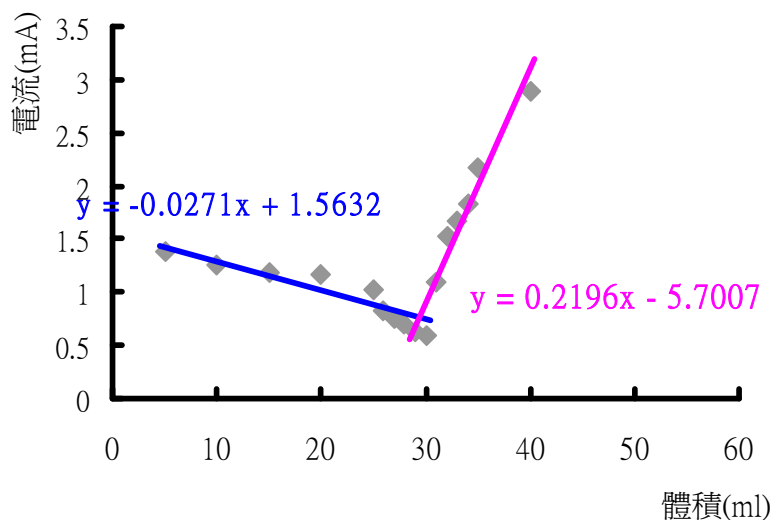


圖 27

以  $1\text{M AgNO}_{3(\text{aq})}$  滴定  $300\text{ml } 0.1\text{M HCl}_{(\text{aq})}$ ，固定輸出電壓，紀錄電流變化。由圖 27 可以看出在滴定前期導電度為下降的趨勢，達當量點之後，導電度則開始上升。並將兩趨勢線的公式加以計算，可以得到當量點的體積為 29.44 ml。

### (二) 以 $\text{ZnSO}_{4(\text{aq})}$ 滴定 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$

體積(ml)	5	10	15	20	25	26	27	28	29	30
電流 (m A)	3.17	2.84	2.69	2.46	2.31	2.12	2.14	2.01	2.07	1.87
體積(ml)	31	32	33	34	35	40				
電流 (m A)	1.76	1.87	2.14	2.19	2.21	2.28				

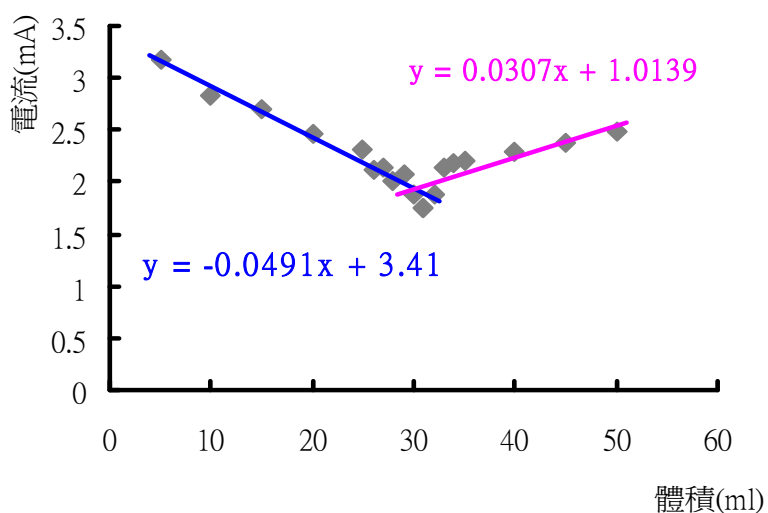


圖 28

以  $1\text{M ZnSO}_{4(\text{aq})}$  滴定  $300\text{ml } 0.1\text{M NaOH}_{(\text{aq})}$ ，固定輸出電壓，紀錄電流變化。由圖 28 可以看出在滴定前期導電度為下降的趨勢，達當量點之後，導電度則開始上升。並將兩趨勢線的公式加以計算，可以得到當量點的體積為 30.03ml。

## 八、實驗八：反應速率的測定

(一) 固定  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  的濃度，觀察  $\text{HCl}(\text{aq})$  之濃度對反應速率的影響。

(速率公式： $\frac{\text{電流降}(mA)}{\text{時間}(s)}$ )

$\text{HCl}(\text{aq})$ 濃度(M)	1	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.1	0.08	0.05
5秒內下降的電流 (m A)	8.3	7.7	7.2	7.4	7	8.1	8.1	7.5	8.3
反應速率 (m A / s)	1.66	1.54	1.44	1.48	1.40	1.62	1.62	1.50	1.66

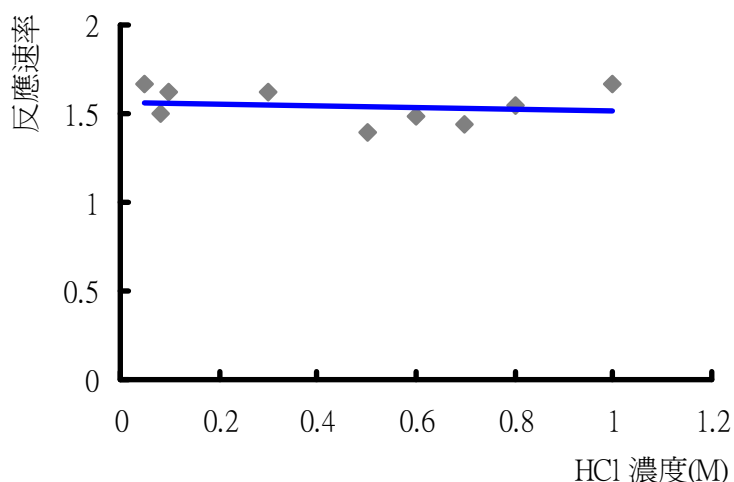


圖 29

固定  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  的濃度為 1M 與不同濃度的作用，溶液混合後紀錄 5 秒內下降的電流值，並計算反應速率（速率公式： $\frac{\text{電流降}(mA)}{\text{時間}(s)}$ ）。由圖 29 可以看

出，在此化學反應進行時， $\text{HCl}(\text{aq})$  的濃度對反應速率並無影響。

(二) 固定  $\text{HCl}(\text{aq})$  的濃度，觀察  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  之濃度對反應速率的影響。

(速率公式： $\frac{\text{電流降}(mA)}{\text{時間}(s)}$ )

硫代硫酸鈉(M)	1	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.1	0.08	0.05
5秒內下降的電流(mA)	8.4	7.5	7	6.5	4.4	3.8	2.5	1.9	1.2
反應速率 (Ma/s)	1.68	1.5	1.4	1.3	0.88	0.76	0.5	0.38	0.24

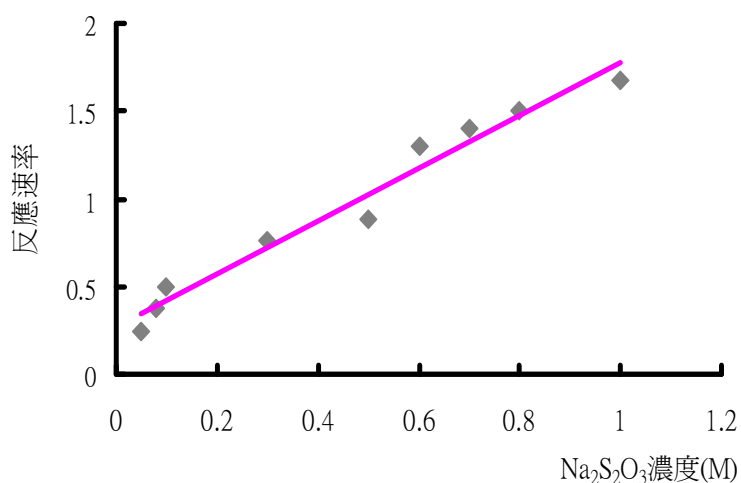


圖 30

固定  $\text{HCl}(\text{aq})$  的濃度為 1M 與不同濃度的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  作用，溶液混合後紀錄 5 秒內下降的電流值，並計算反應速率（速率公式： $\frac{\text{電流降}(mA)}{\text{時間}(s)}$ ）。由圖 30 可以

看出，在此化學反應進行時， $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  的濃度與反應速率大致成正比關係。

## 柒、討論

### (一) 實驗一：探討電解質水溶液中電壓與電流的關係

1. 在實驗一當中，我們分別採用了  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{NH}_4\text{OH}_{(\text{aq})}$  進行不同電壓下電流的測量，由圖 16 可顯示強酸強鹼在電壓 0 ~ 2V 時電流上升幅度很小，一直到電壓超過 2V 之後，電流才開始呈現線性關係。而由圖 17 可顯示弱電解質大致是在電壓超過 1.5V 時，電流開始呈現線性關係。所以我們推測電解質溶液在超過某一電壓後其電壓與電流的關係大致上符合歐姆定律 ( $V = IR$ )，但此歐姆定律<sup>(8)</sup> 必須加以修正為『 $V - V_m = IR$ 』 ( $V_m$  為一固定值)，但電流隨著電壓的增加而升高的趨勢仍是在本實驗得到印證。而導電度為電阻的倒數，若  $V$  與  $V_m$  為定值，則電流與電阻成反比，與導電度成正比關係。因此我們後續測量溶液導電度的實驗採用了固定電壓測量電流的方式，以電流的變化表示導電度變化，但電流必須大於 2V 以上。

2. 為探討為何由實驗作出的數據均需要扣除一固定電壓才會符合歐姆定律。我們根據實驗一之  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$  的電壓對電流關係圖，以電壓 2V 為界做兩趨勢線，可得到兩趨勢線之焦點：電壓為 2.15V，我們推測此為  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$  的分解電壓，即能使  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$  連續不斷電解所必須施加的最小電壓。而從文獻<sup>(1)</sup> 可以查到  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$  之分解電壓應為 1.36V，實際我們測量到的比理論值大，其原因是因為電極上產生極化作用的關係。而所有電解質溶液依照其電解反應而有不同分解電壓。

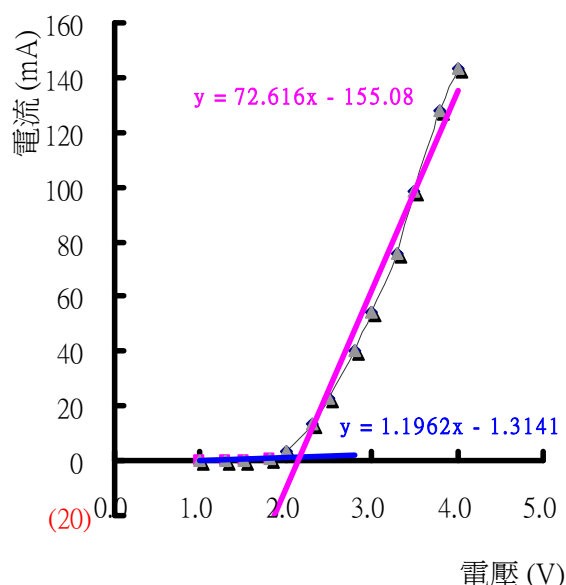


圖 31  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$  之分解電壓

3. 在進行實驗一的過程中，我們發現電壓在超過大約 3.5V 之後，碳棒周圍開始出現明顯的氣泡，此一極化現象會使電流降低，但是此一降低現象可藉由控制通電時間加以改善，但-電極極化現象及水溶液的電解是通電過程中必然產生的現象，因此我們採取以下幾個策略降低極化現象及電解作用所造成的誤差：



圖 32 電極上產生的氣泡

- (1). 電壓太大會造成極化作用及溶液電解，但是電壓太小則會容易測不到電流或使測得的電流誤差比例太大，所以我們必須將電壓控制在 2~3V。
- (2). 經過數次實驗後發現，電流大約在接通電路後約 1~3 秒鐘達到最大電流之後就開始下降，因此我們將通電時間需控制 5 秒以內，紀錄 5 秒內出現之最高電流。
- (3). 我們假設若兩電極之極化程度相當，並不影響電流的測量。因此我們選擇在通電時兩極都會產生氣體的電解質水溶液。
- (4). 我們將電極深度控制在較短長度(2cm 左右)，就算水溶液發生了極化現象，但也由於電極表面積較小，所以電極很快的就被氣體包覆住，而不會使電流下降的誤差太多。

## (二) 實驗二：探討溫度與導電度的關係

由圖 18 可得知，溫度會影響溶液導電度，此一現象是因為，溶液的解離為吸熱反應，溫度升高有利於的解離，使得離子數增加。且因此電流升高。且溫度升高造成離子的移動速率加快，綜合以上兩因素，使得導電度增加。在本研究之滴定實驗中，因為強酸強鹼中和會放出大量的熱，所以必須進行冰浴以降低溫度所造成的實驗誤差。

## (三) 實驗三：探討電極距離與導電度的關係

1. 由圖 19 可得知，電極的距離會影響溶液的導電度，符合歐姆定律中描述『導電度與電極距離成反比』，亦即導電度隨著電極距離增加而降低，這是因為距離增加會影響離子的遷移且離子的移動過程中可能會受到其他離子或水分子的碰撞，因此使得導電度會下降，所以在進行導電度測量時，必須要固定電極距離以避免誤差。
2. 自製裝置的改進：  
實驗進行至此，我們自製的裝置經過數次的使用後，我們在固定電極的部分不斷進行改造。一開始，我們使用保利龍自製杯蓋，因保利龍溶液戳洞，方便我們進行測量，但後來發現此裝置不堪多次使用，且不適合進行電極距離的實驗，所以我們改以竹筷及橡皮筋自製固定裝置，雖然較第一代裝置適合進行實驗，但是竹筷沒有彈性容易斷裂，因此我們又去五金行尋找適合的材料，自製了第三代裝置，兼顧了堅固耐用及方便調整的優點，且取材自生活可見的材料即可製作，以下是我們自製裝置演進圖：

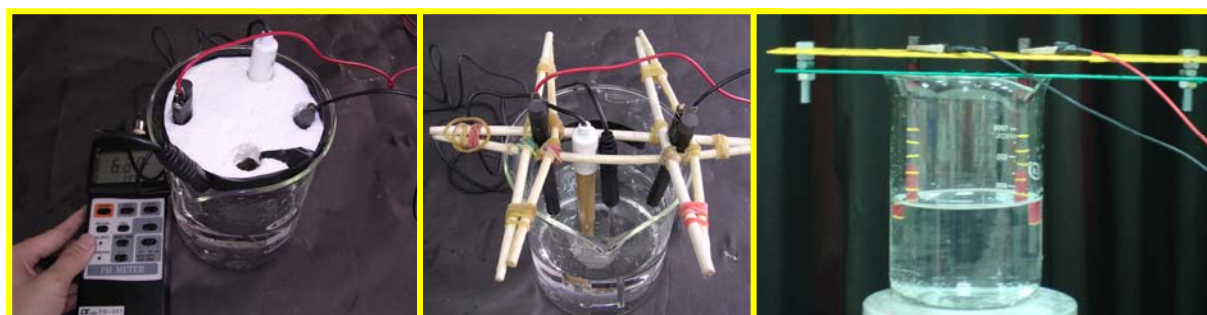


圖 33 自製固定電極裝置的演進：保利龍杯蓋→竹筷架→角鋼裝置

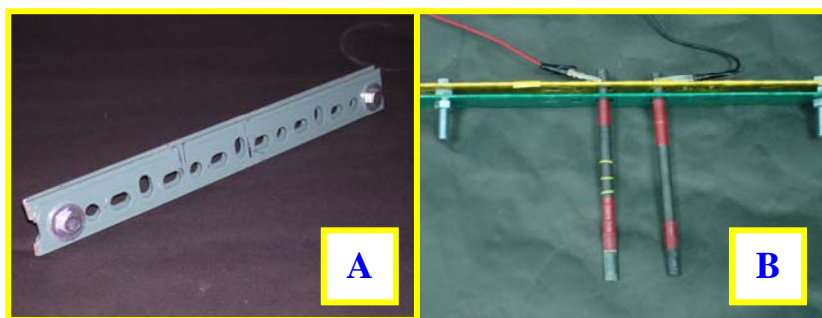


圖 34

第三代裝置

A：從五金行買來的角鋼鋸成兩片以螺絲釘組鎖緊。

B：以絕緣膠帶全部貼滿後即可使用。

#### (四) 實驗四：探討電極表面積與導電度的關係

1. 因為我們使用同一組碳棒，因為底面積相同，所以我們藉由改變碳棒沒入溶液的深度，以電極深度與電流的關係圖，表示電極表面積對導電度的影響。由圖 20 可得知，電極表面積越大導電度越佳，這是因為可以附在電極表面的離子較多的緣故。實驗結果符合歐姆定律中描述『導電度與電極表面積成正比』，所以在做導電度測量時，必須要固定電極深度以避免誤差。
2. 在進行本實驗的時候，我們意外發現，電極的表面積也是極化作用是否明顯的關鍵，表面積越大，電流的降低現象明顯，並且有比較混亂的跳動。我們推測是因為當電極表面積小的時候，兩極即使是產生電解而有氣體附著，但由於表面積小所以兩電極很快的布滿了氣體，所以兩極的極化作用相當而不致影響電流的測量。但是，若電極的表面積大，因為兩電極布滿氣體的速率並不一致，而要使得兩極極化程度相當則要經過一段時間，但時間過長卻會造成溶液的嚴重電解使得成分改變，兩種因素皆會使得電流值非常不穩定。為證實我們的推測，我們另外做了一組實驗：『測量 0.1M 氫氧化鈉溶液，固定輸出電壓為 3V，測量不同電極表面積在 10 秒內之最高最低電流，並觀察兩電極表面產生的氣體』，此實驗目的為觀察電極表面積與電流下降的關係。實驗結果如下，由圖表可顯示出實驗數據大致與我們的推測符合。

電極深度 (cm)	1	2	3	4	5	6	7
最高電流 (mA)	4.2	10.5	18.4	27.4	40.2	47.3	52.9
最低電流 (mA)	3.8	8.2	14.7	22.4	34.1	40.2	41.3
電流降	0.4	2.3	3.7	5	6.1	7.1	11.6

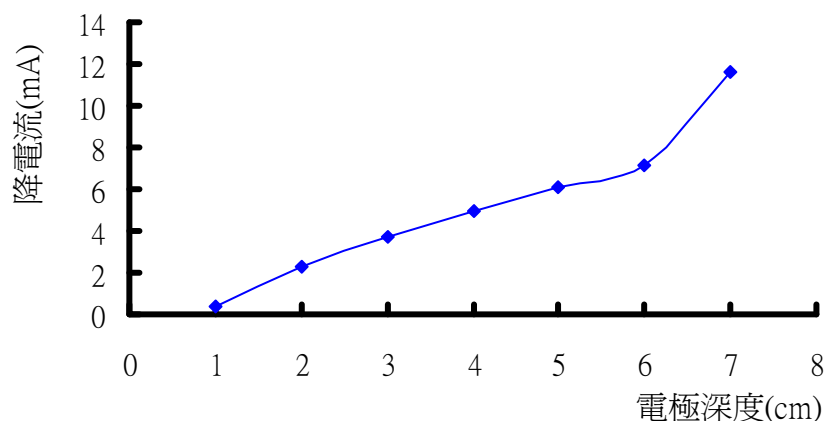


圖 35

固定輸出電壓，改變電極沒入溶液的深度，觀察 0.1M NaOH(aq) 之電流下降的情形。由圖 35 可顯示出電極表面積越大，造成之電流下降越明顯，即極化作用越顯著。

### (五) 實驗五：測定溶液濃度與電導的關係

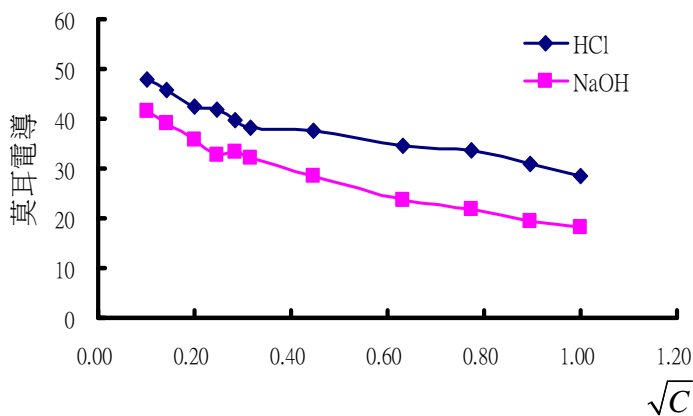
1. 在處理實驗一的數據時，因為強電解質與弱電解質的電流差異過大，因此必須分別對 excel 作圖，才可以看出個別的趨勢。從圖 21 及圖 22 可得知，在低濃度時，其濃度與導電度呈現一線性關係，即導電度隨著濃度增加而增加，這是因為濃度越大溶液中離子數變多的緣故。但是此一現象在濃度增加至某範圍時，電流已顯難以增加，其變化趨於平緩，甚至有濃度增加，電流卻降低的現象。根據德拜-哈克的學說<sup>(1)</sup>，認為稀薄電解質水溶液中，離子間互有引力，不可視為獨立的個體，就好像水中有未解離的分子一樣，此效應在離子數多(濃度高)時更為顯著。即濃度變高，雖然電解質溶液中的離子數變多，但是離子在水中佔據了較大的空間，離子間的碰撞機會增加且引力增強，使得遷移受到影響，如同上班時間溶液塞車的情形，因此導電度會限於瓶頸難以增加。
2. 為進一步探討電解質溶液濃度與導電度的關係，我們將導電度換算成莫耳電導，並將莫耳電導與 $\sqrt{c}$ 用 excel 作圖得到下圖。

**註：**將導電度換算成莫耳電導的方法<sup>(10)</sup>

$$L = k \cdot \frac{A}{l} = \frac{1}{R} = \frac{I}{V} \Rightarrow k = \frac{I \cdot l}{V \cdot A} \quad \text{代入莫耳電導的公式}$$

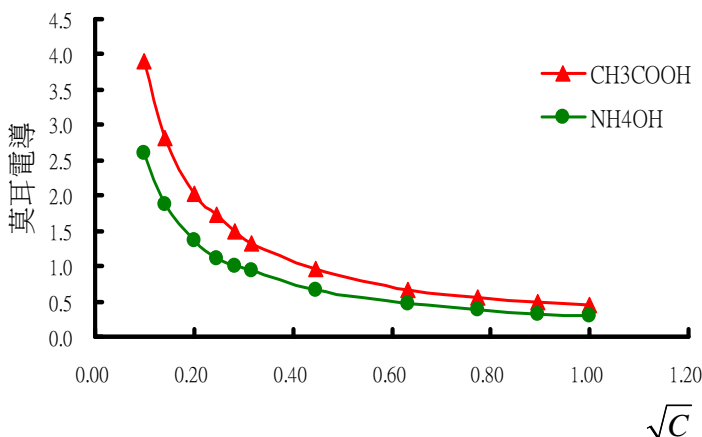
$$\Lambda_m = k \cdot V_m = \frac{k}{C} \Rightarrow \Lambda_m = \frac{I \cdot l}{V \cdot C \cdot A} \Rightarrow \Lambda_m \cdot \frac{A}{l} = \frac{I}{V \cdot C}$$

因為本實驗的 $\frac{A}{l}$ 均控制為定值，以下算出的電導均為 $\Lambda_m \cdot \frac{A}{l}$



圖十

由圖中可以顯示強電解質的莫耳電導與 $\sqrt{C}$ 成一線性關係。



圖十一

由圖中可以顯示弱電解質的莫耳電導會隨著濃度的降低而增大。且在低濃度時，這種趨勢更為顯著。

- (1). 由圖中可以顯示出，實驗數據基本上符合柯耳勞希平方根定律<sup>(1)</sup>

$$\Lambda_m = \Lambda_0 - A\sqrt{C_m} \quad \Lambda_0 \text{ 為溶液濃度趨近於 } 0 \text{ 的莫耳電導，} A \text{ 為常數。}$$

- (2). 從圖中可顯示電解質溶液的莫耳導電均會隨濃度的降低而增大。對弱電解質而言，隨著濃度的降低，其解離度會增大，離子數會增多，故莫耳電導變大。當弱電解質溶液濃度很稀時，這種趨勢更顯著。但對強電解質而言，隨濃度的降低，是因為離子間的互相作用力會減弱，故莫耳電導增加。

- (3). 利用實驗結果得到醋酸的平衡常數：

- A. 假設弱電解質溶液在濃度非常稀薄時為完全解離的狀態，此時的莫耳電導度為  $\Lambda_0$ 。

可以得到以下關係： 解離度  $\alpha = \frac{\Lambda_m}{\Lambda_0}$

- B. 根據文獻<sup>(1)</sup>當中的資料， $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 在 0.01M 時解離度為 0.0422  
代入我們的實驗結果，得到  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 在 0.01M 時的莫耳電導為 3.896

- C. 代入公式計算，可以得到  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 之  $\Lambda_0 = 92.76$

- D. 因此我們可以解由上述數據計算出不同濃度的解離度，再將將不同濃度的解

離度代入  $K_c = \frac{C\alpha^2}{(1-\alpha)}$  即可求的  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 的平衡常數，將結果列於下表。

CH <sub>3</sub> COOH(aq)濃度	1.00	0.80	0.60	0.40	0.20	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0.01
莫耳電導	0.44	0.48	0.55	0.66	0.95	1.32	1.50	1.73	2.02	2.82	3.90
解離度	0.0048	0.0052	0.0060	0.0071	0.0102	0.0142	0.0161	0.0186	0.0218	0.0304	0.0420
平衡常數(*10 <sup>-5</sup> )	2.31	2.18	2.15	2.01	2.12	2.05	2.11	2.12	1.94	1.91	1.84

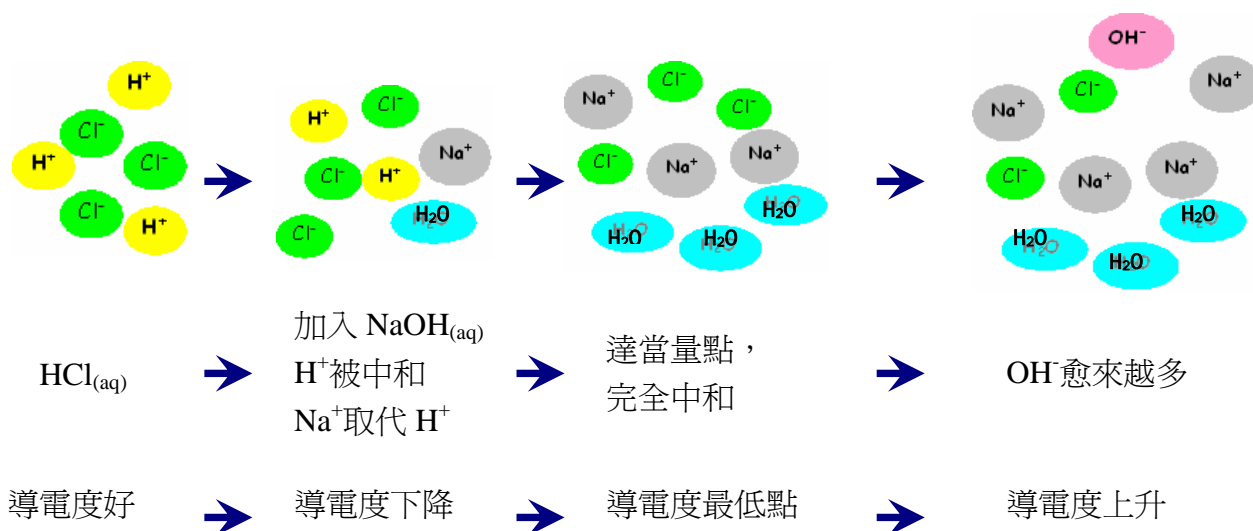
- E. 根據文獻<sup>(1)</sup>的資料  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 的平衡常數<sup>(1)</sup>為  $1.8 \times 10^{-5}$ ，平衡常數不會因為濃度而改變。但從表中可以明顯表示出溶液在低濃度時，其平衡常數較接近理論值， $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 濃度 0.02M 時，其計算出來之平衡常數誤差值為 6.11%。而隨著濃度的增大，經由計算出來的平衡常數偏離理論值較大， $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 濃度 1M 時，其計算出來之平衡常數誤差值為 28.3%。這是因為當溶液濃度變大時，離子間的相互作用力及極化作用開始影響實驗結果。所以，本實驗裝置及設計在低濃度時準確度較高。

#### (六) 實驗六：以測量溶液導電度判定酸鹼滴定的當量點

1. 一般的傳統滴定在低濃度溶液時常因指示劑的變色判定不易而產生誤差，且以選擇酚酞指示劑而言，其變色範圍是pH值 8~10，而強酸強鹼中和時其pH=7，因此通常滴定終點並不完全是當量點，因此我們欲採用測量導電度的實驗設計進行酸鹼滴定，企圖改善以上缺點，並提高實驗結果的準確度。



2. 以氫氧化鈉滴定鹽酸為例，以下圖說明滴定過程中導電度變化的原因。



3. 傳統滴定與導電度滴定法的比較：

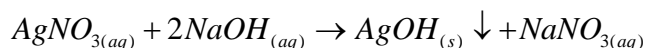
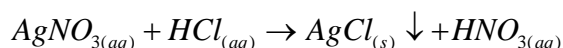
我們將實驗六及實驗七的酸鹼與沉澱滴定表示如下，並以 pH 值變化當作理論值與實驗結果進行比較。由以下數據可以顯示，導電度法與採用指示劑的傳統滴定方法的誤差值均在 10% 以內，甚至還可以控制 3% 以下。但是使用導電度法在選擇被滴定的溶液時有其限制，不可以有容易被還原的金屬離子，且輸出電壓及通電時間也必須嚴格控制，在此條件之下使用導電度滴定法可以避免指示劑變色判斷不一致的缺點，且不需要擔心滴定體積超過當量點的問題。此外，一般的滴定管最小刻度為 1ml，而使用導電度法，由於當量點的體積是經由計算得到，其精確值也可達到較小的單位。

以不同方法找出 300ml 0.1M HCl <sub>(aq)</sub> 之當量體積		
測量的方法	達當量點之體積	誤差值
pH 變化曲線 (以內插法找到 pH=7 的滴定體積)	28.90 ml	作為理論值
指示劑變色 (溶液顏色變紅的瞬間)	30.00 ml	$\frac{ 30 - 28.9 }{28.9} \times 100\% = 3.81\%$
酸鹼滴定之導電度法 (以 1M NaOH 進行滴定)	29.97 ml	$\frac{ 29.97 - 28.9 }{28.9} \times 100\% = 3.7\%$
沉澱滴定之導電度法 (以 1M AgNO <sub>3</sub> 進行滴定)	29.44 ml	$\frac{ 29.44 - 28.9 }{28.9} \times 100\% = 1.86\%$

以不同方法找出 300ml 0.1M NaOH <sub>(aq)</sub> 之當量體積		
測量的方法	達當量點之體積	誤差值
pH 變化曲線 (以內插法找到 pH=7 的滴定體積)	31.2 ml	作為理論值
指示劑變色 (溶液顏色變無色的瞬間)	30.00 ml	$\frac{ 30 - 31.2 }{31.2} \times 100\% = 3.85\%$
酸鹼滴定之導電度法 (以 1M HCl 進行滴定)	30.01 ml	$\frac{ 30.01 - 31.2 }{31.2} \times 100\% = 3.81\%$
沉澱滴定之導電度法 (以 1M AgNO <sub>3</sub> 進行滴定)	30.03 ml	$\frac{ 30.03 - 31.2 }{31.2} \times 100\% = 3.75\%$

#### (七) 實驗七：以測量溶液導電度判定沉澱滴定的當量點

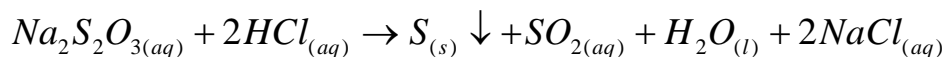
因為當溶液中的離子結合而產生沉澱，離子減少就會使得導電度降低。本實驗利用下列兩化學反應的進行，進行沉澱滴定。



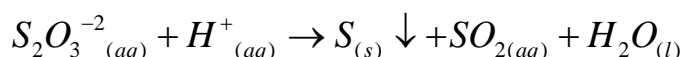
並將實驗結果與上述之酸鹼滴定進行比較，結果發現此實驗設計的結果其準確度相當高。但是我們在實驗過程中本欲以 HCl<sub>(aq)</sub> 對 AgNO<sub>3(aq)</sub> 進行滴定，但是銀離子很快的被還原，在陰極的碳棒上附著了一層銀白色的物質。所以我們後來便改用 AgNO<sub>3(aq)</sub> 對 HCl<sub>(aq)</sub> 進行滴定。從這個經驗，我們發現以導電度測量方法對於沉澱反應有一定的限制，在選擇被滴定的溶液時，必須考慮到其電解的產物，必須避免容易被還原的金屬離子。

#### (八) 實驗八：以測量溶液導電度進行反應速率的測定

我們使用自製的導電度測量裝置進行反應速率的實驗，這個實驗的反應方程式如下：



溶液中的淨離子方程式如下：



反應產生的硫沉澱物會使溶液逐漸混濁，課本是採用在錐形瓶下用錐形瓶下面放一張白紙，白紙畫一個十字，以肉眼從上方往錐形瓶內望去，在看不到十字型的瞬間，反應即完成。可是這個實驗因容易因不同人之認定而產生誤差，因此我們欲利用導電度的測量進行反應速率的測定，反應的進行使得離子減少且產生沉澱，因此導電度會下降。我們本欲測量導電度變化已達平衡的時間，但是，實驗過程中發現在低濃度溶

液混合時，電流下降的速度相當緩慢，當電流下降至漸趨平緩時甚至有可能超過10分鐘，其反應時間過長，不但造成電解反應以及極化作用的增強，嚴重干擾實驗的進行，且因為時間過長，所計算的速率為平均速率並非瞬時速率。而由失敗的經驗我們也觀察到，因此我們將實驗改成『探討固定時間(5秒)的電流變化量』，再換算成速率，並討論有關速率與濃度的關係。由實驗結果的圖29、圖30可以明顯看出， $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 的濃度並不影響反應的速率，而 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3_{(\text{aq})}$ 的濃度則與速率大致上成正比的關係，因此我們根據實驗結果可以推論此反應的速率定律式為： $R = k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ ，總級數為一級，與預測的實驗結果一致。

## 捌、結論

- 一、在固定電壓的條件下，可以電流大小可表示導電度的變化，但輸出的電壓必須大於溶液的分解電壓。
- 二、溫度越高、電極的距離越小導電度越佳。
- 三、電極的表面積越大導電度越佳，但表面積太大會造成電流亂跳動的情形。
- 四、強電解質之濃度越大導電度越佳；弱電解質在低濃度時濃度越大導電度越佳，但在濃度較大時導電度變化不明顯。
- 五、由本實驗結果計算出之  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$  平衡常數，在低濃度時較符合理論值。
- 六、在酸鹼及沉澱滴定試驗，以導電度尋找當量點，誤差值均在 5% 以內。
- 七、在反應速率實驗中，以導電度變化可以明確得知此反應的反應速率對  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3_{(\text{aq})}$  濃度為一級反應，對  $\text{HCl}_{(\text{aq})}$  濃度為零級反應。
- 八、本研究成功的以導電度變化找出酸鹼及沉澱滴定之當量點並判定溶液濃度對反應速率影響，若能改進實驗設備，相信未來可以應用於更多的電解質溶液反應。

## 玖. 參考資料及其他

- 一、王月、熊楚強 (民 93) 電化學。台北縣：新文京。
- 二、葉名倉、劉如熹、周芳妃、邱智宏、陳偉名 (民 97) 高中基礎化全冊  
台南市：南一書局
- 三、林明瑞、劉國棟、劉怡君、張仁昌 (民 97) 高中基礎物理全冊。  
台南市：南一書局
- 四、楊永華、張麗英、羅世焜、何金錫 (民 94) 基礎化學。 台北市：三民書局
- 五、黃長司、黃裕芳、鍾崇燊 (民 94) 物質科學化學篇(下冊)。台中市：康熙圖書網路
- 六、曾國輝 (民 91) 觀念叢書。 台北市：建宏出版社
- 七、周文釗 曹其峰(民 94) 化學(上) 。 台北市：三民書局
- 八、『自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用』，中華民國第四十六屆中小學科學展覽，國立台灣科學教育館。
- 九、『當歐姆遇上阿瑞尼士』，中華民國第四十七屆中小學科學展覽，國立台灣科學教育館。
- 十、『溫度滴定』，中華民國第四十七屆中小學科學展覽，國立台灣科學教育館。
- 十一、『電解質濃度對導電度影響之研究』高雄中學 張楸曦。

**【評語】** 040203

本件作品從實驗過程中所遇到的困難，指示劑的顏色變化不易辨別，提出改進方法。由於整個研究構思完整，對於導電度作為滴定終點，提出完整的數據支持本計畫的想法。完整而仔細的分析數據是一項很獨特的優點。