

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第二名

031626

當歐姆遇上阿瑞尼士

學校名稱：台中縣立爽文國民中學

作者：	指導老師：
國三 李家誼	施富吉
國三 張維恩	王思琪
國三 劉家有	
國三 江梓農	

關鍵詞：歐姆定律 電阻 電流化學效應

題目：當歐姆遇上阿瑞尼士

摘要

本實驗在探討當電解質溶液通電時，其電壓與電流的關係是否有何規律？我們針對不同種類、不同濃度的電解質溶液通以電壓時發現隨著電壓的增加，電壓與電流的關係圖會有明顯的兩個區域產生：

1. 絕緣區：儘管兩極有電位差，但卻測量不到電流。
2. 導電區：隨著電壓增加，電流也呈等比例增加，兩者關係為一斜直線，其斜率為一定值，與歐姆定律相類似。為了與歐姆電阻值做區別，我們稱這個斜率值為「**歐姆離阻值**」。

接著我們又探討兩極的距離，面積對「**歐姆離阻值**」的影響，驗證電解質溶液在導電區也有 $R \propto \frac{L}{A}$ 的關係，最後還探討溫度、濃度以及串並聯電解質溶液對「**離阻值**」的影響。

壹、研究動機

剛開學，老師就在南一版第四冊第一章教了電流與電壓關係，後來在學期中學到第三章電解質之後，就突然想到在剛開學的時候教 1-4 節歐姆定律，其中提到電解質溶液不符合歐姆定律，我們便很好奇，電解質溶液中電壓與電流的關係究竟是如何呢？於是利用我們所學的電壓及電流的測量方法，再請自然老師協助我們對電解質溶液做了一些實驗，並對實驗結果加以分析和探討。

貳、研究目的

- 一、尋找電解質溶液中電壓與電流的關係。
- 二、探討兩極間的距離和離阻值關係。
- 三、探討兩極的面積與離阻值的關係。
- 四、探討不同種類電解質溶液的離阻值。
- 五、探討電解質溶液的串並聯，對離阻值的影響。
- 六、探討溫度對離阻值的影響。
- 七、探討濃度對離阻值的影響。

參、研究設備器材及藥品

- 一、設備：上皿天平、電源供應器、三用電表、玻璃棒、鱷魚夾、電線、水槽、量筒
- 二、藥品：氯化鈉(NaCl)、硝酸鉀 (KNO₃)、氯化鈣(CaCl₂)、硫酸銅(CuSO₄)、硫酸鉛(PbSO₄)、鹽酸(HCl)、硫酸(H₂SO₄)、硝酸(HNO₃)、氫氧化鈉(NaOH)



圖 1



圖 2



圖 3

肆、研究過程與方法

依據研究目的，我們將研究過程分為前置作業和七項實驗，分別詳述如下：

前置作業

(一) 實驗組裝：我們將測量電壓和電流的連接方式用在電解質溶液。利用鱷魚夾電線將電源供應器、伏特計和安培計連接，如圖 4 所示。

(二) 製作兩極距離調整器：我們利用一些簡單零件將兩極碳棒製作成可以調整距離的裝置，如圖 5 所示。

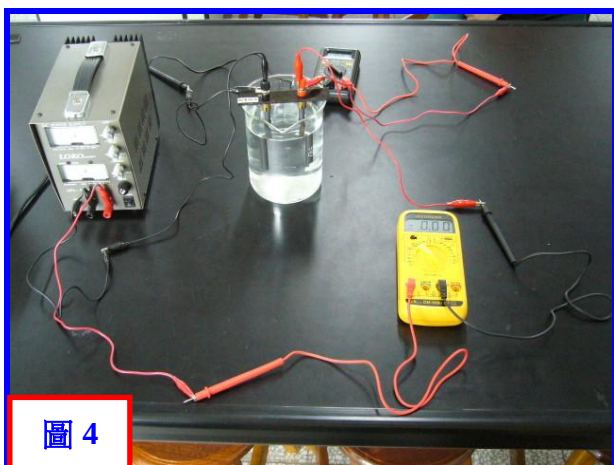
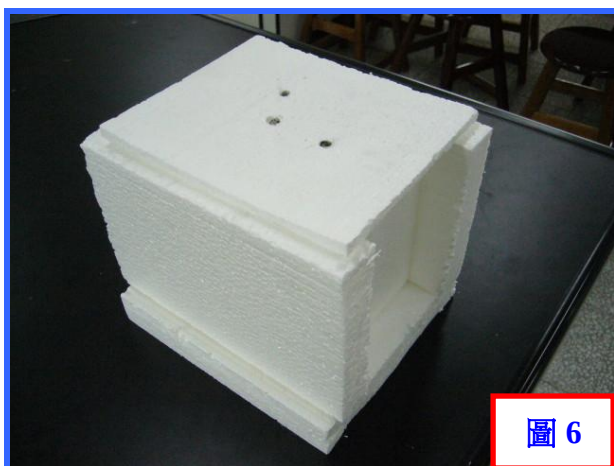


圖 4



圖 5

(三)製作保溫裝置：利用保麗龍製作簡易的保溫箱，以便測量不同溫度所造成的影響。裝置如下圖所示。



(四)串並聯裝置設計：利用鱷魚夾電線將兩杯不同濃度的電解質溶液加以串聯和並聯，裝置圖如下所示。

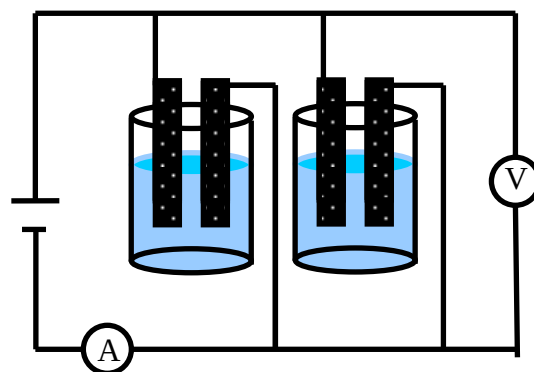
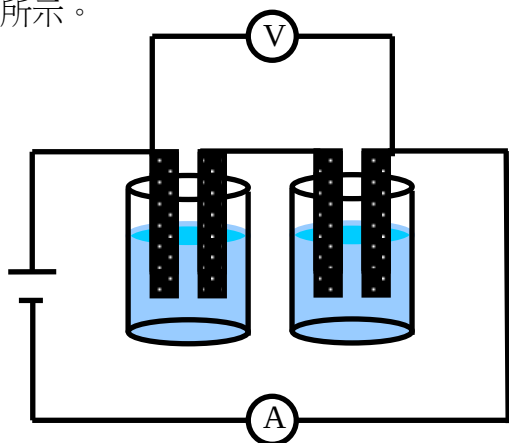


圖 7 串聯裝置圖

圖 8 並聯裝置圖

一、實驗一：探討電解質溶液中，電流和電壓的關係

- (一) 我們將實驗組裝完成如圖 4，並控制電解質溶液所有變因：固定兩極距離、固定兩極面積、溫度控制在常溫，並調製 0.1M 的食鹽水溶液 1 公升。
- (二) 將溶液倒入燒杯中，接著打開電源供應器的開關，電壓從 0V 開始，每增加 0.5V，讀取電流值一次，直到 15V 為止，記錄電壓與電流的數據於表一。

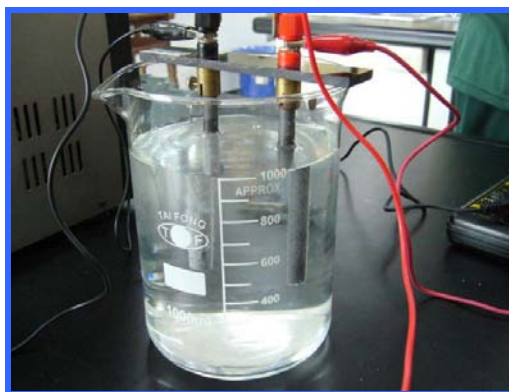
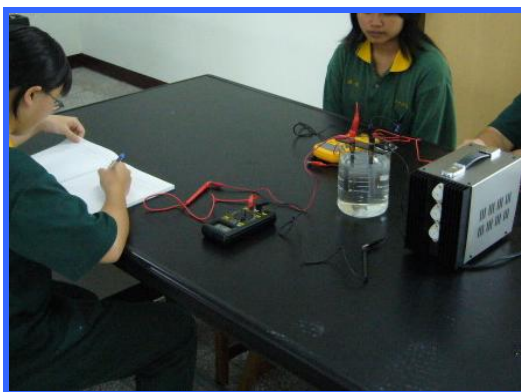


圖 9
測量食鹽水
溶液，電壓
與電流之關
係。

(三) 將表一數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係圖(圖 17)。

(四) 截取導電區域，並求出直線公式，得到斜率值(歐姆離阻值 R')，如圖 18 所示。

二、實驗二：探討兩極間的距離與離阻值的關係

(一) 將碳棒固定於兩極距離調整器上，並控制電解質溶液其他變因：固定兩極面積、溫度控制在常溫，並調製 0.1M 的食鹽水溶液 1 公升。

(二) 改變兩極距離：(測量兩極距離不同時，電壓與電流的關係)

1. 將碳棒裝置於兩極距離調整器。
2. 依據測量步驟，測量兩極距離為 3cm 時，電壓從 0~15V 之電流值(每增加 0.5V，讀取電流值一次)。記錄電壓與電流的數據於表二。
3. 依序改變兩極距離為 4cm、5cm、6cm、7cm、8cm、9cm、10cm，並重複步驟 2。

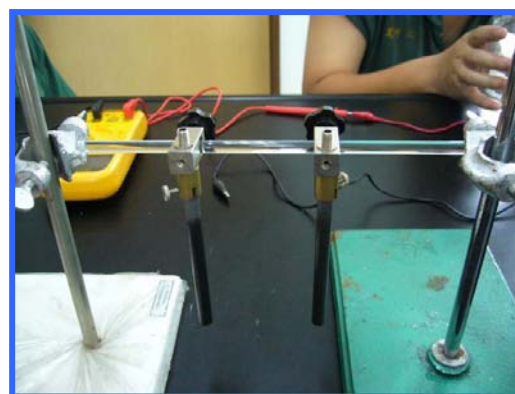


圖 10 自製距離調整器

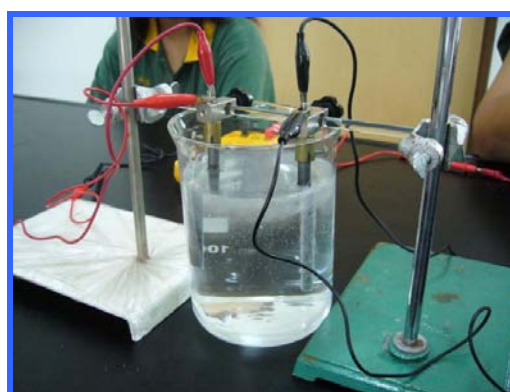
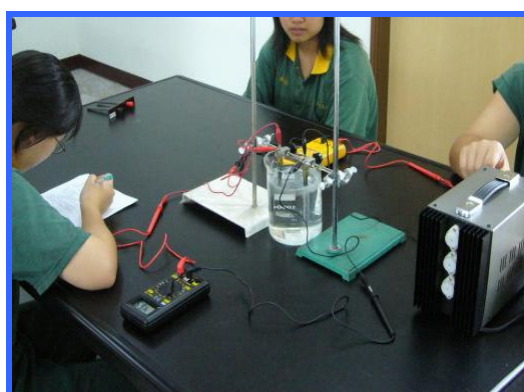


圖 11
測量不同碳
棒距離下，
電壓與電流
之關係。

(三) 將表二數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係圖(圖 19)。截取導電區域，並求出直線公式，得到不同距離的斜率值(歐姆離阻值 R')，如圖 20 所示。

(四) 根據圖 20，對兩極距離和離阻值作圖(圖 21)，並加以分析探討。

三、實驗三：探討兩極的面積大小與離阻值的關係

(一) 在燒杯底下架設升降器(圖 10)，並控制電解質溶液其他變因：固定兩極面積、溫度控制在常溫，並調製 0.1M 的食鹽水溶液 1 公升。

(二) 改變兩極面積：(測量兩極面積不同時，電壓與電流的關係)

1. 藉由相同碳棒，沒入溶液深度不同以改變兩極面積大小。將沒入深度與面積之關係整理成表三。
2. 依據測量步驟，測量碳棒沒入深度為 3cm 時，
3. 電壓從 0~15V 之電流值(每增加 0.5V，讀取電流值一次) 記錄電壓與電流的數據於表四。
4. 依序改變碳棒沒入深度為 4cm、5cm、6cm、7cm、8cm、9cm、10cm，並重複步驟 2。

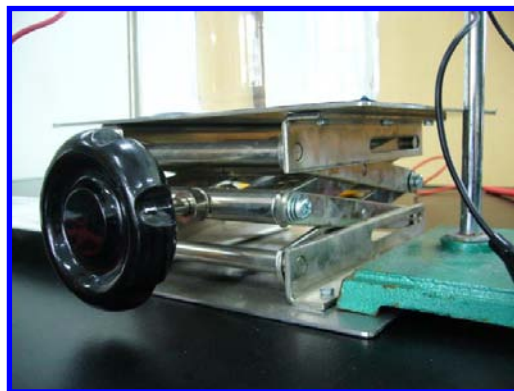


圖 10 升降器

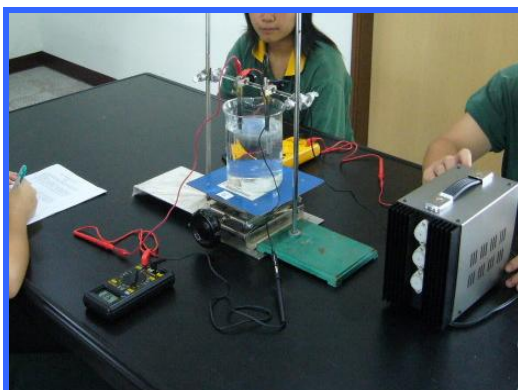
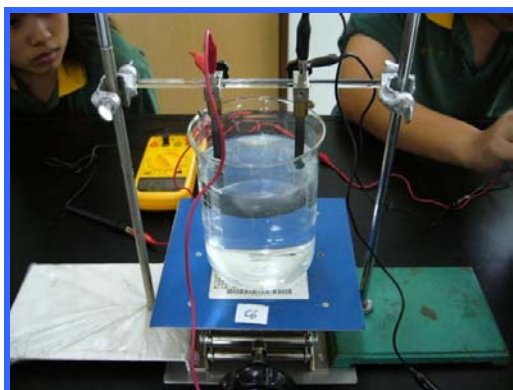


圖 11
測量不同面積下，電壓與電流之關係。

(三) 將表四數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係圖(圖 22)。

(四) 截取導電區域，並求出直線公式，得到不同面積的斜率值(歐姆離阻值 R')，如圖 23 所示。

(五) 根據表三和圖 23 將離阻值、面積和面積倒數整理成表五。

(六) 將表五數據對 EXCEL 作圖，得到面積與離阻值的關係圖(圖 24)，並加以分析探討。

四、實驗四：探討不同種類電解質溶液的離阻值

(一) 控制電解質溶液其他變因：固定兩極面積、溫度控制在常溫，並調製 0.1M 的各種不同電解質溶液 1 公升。

(二) 改變電解質：測量電解質不同時，電壓與電流的關係，並分為下列三個小實驗：



圖 12
測量不同電解質的電壓與電流之關係。

1. 強酸離阻值的比較：

- (1). 測量三種強酸(HCl 、 HNO_3 、 H_2SO_4) 的電壓及電流，並記錄於表六。
- (2). 將表六數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係圖(圖 25)。
- (3). 根據圖 25，對三種不同強酸的離阻值加以分析探討。

2. 各種鹽類離阻值的比較：

- (1). 測量五種鹽類(NaCl 、 KNO_3 、 CaCl_2 、 CuSO_4 、 PbSO_4)的電壓及電流，並記錄於表七。
- (2). 將表七數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係圖(圖 26)。
- (3). 求出直線公式，得到斜率值(離阻值 R')，如圖 27 所示。
- (4). 針對圖 27，對不同鹽類的離阻值加以分析探討。

3. 酸鹼鹽類離阻值的比較：

- (1). 測量 HCl 、 NaOH 、 NaCl 的電壓與電流，記錄於表八。
- (2). 將表八數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係圖(圖 28)。
- (3). 根據圖 28，對強電解質的酸鹼鹽類的離阻值加以分析探討。

五、實驗五：探討電解質溶液的串並聯，對離阻值的影響

- (一) 調製 0.2M 和 0.3M 的食鹽水溶液各 1 公升，並控制電解質溶液其他變因：兩極距離固定、兩極面積固定、溫度控制在常溫。
- (二) 測量兩溶液串並聯時，電壓與電流的關係
 1. 0.2M 食鹽水溶液：測量電壓從 0~15V 之電流值(每增加 0.5V，讀取電流值一次)。
 2. 0.3M 食鹽水溶液：測量電壓從 0~15V 之電流值(每增加 0.5V，讀取電流值一次)。
 3. 將兩電解質串聯：測量電壓從 0~15V 之電流值(每增加 0.5V，讀取電流值一次)。
 4. 將兩電解質並聯：測量電壓從 0~15V 之電流值(每增加 0.5V，讀取電流值一次)。
 5. 記錄電壓與電流的數據於表九。

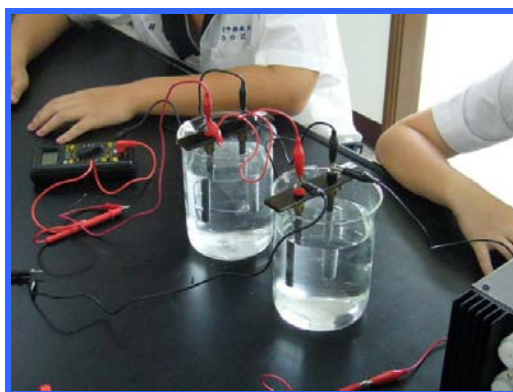


圖 13
測量溶液串
並聯的電壓
與電流之關
係。

- (三) 將表九數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係圖(圖 29)。
- (四) 截取導電區域，並求出直線公式，得到斜率值(離阻值 R')，如圖 30 所示。
- (五) 根據圖 30，探討串並聯後的離阻值與金屬導體串並聯的電阻值是否相似，如表十。

六、實驗六：探討溫度對離阻值的影響

- (一) 改變溶液溫度，並控制電解質溶液其他變因：固定兩極距離、固定兩極面積、調製食鹽水溶液，體積 1 公升，濃度 0.1M。
- (二) 改變溶液溫度：(測量溶液溫度不同時，電壓與電流的關係)

1. 將溶液加熱至我們想要的溫度，並快速將此溶液放入寶麗龍保溫箱。
2. 測量溫度為 30°C 時，電壓從 0~15V 之電流值(每增加 0.5V，讀取電流值一次)，並記錄電壓與電流的數據於表十一。
3. 依序改變溶液溫度為 40°C、50°C、60°C、70°C、80°C，並重複步驟 2。

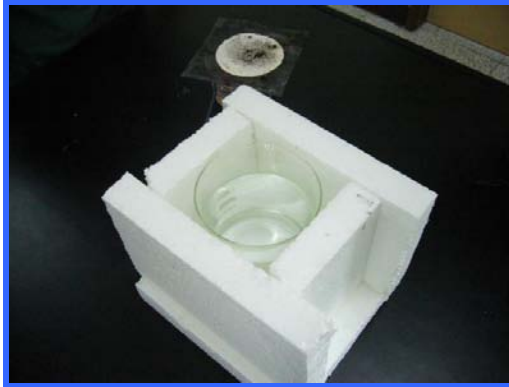
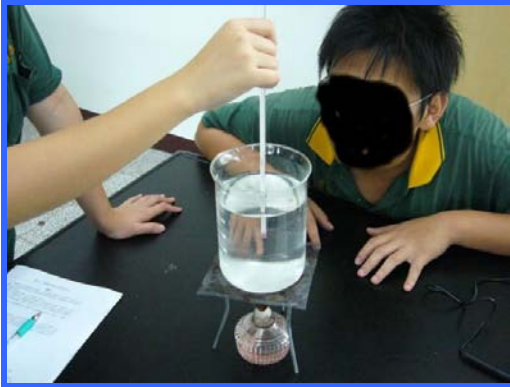


圖 14
加熱電解質
溶液，並放
置保溫裝
置。

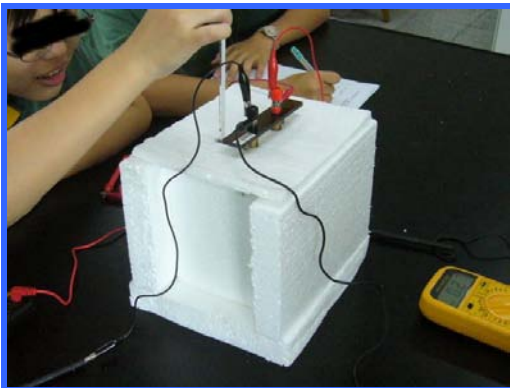


圖 15
測量不同溫
度時，電壓
與電流之關
係。

- (三) 將表十一數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係圖(圖 31)。
- (四) 截取導電區域，並求出直線公式，得到斜率值(離阻值 R')，如圖 32 所示。
- (五) 根據圖 32，對溫度與離阻值之關係加以分析探討。

七、實驗七：探討濃度對離阻值的影響

- (一) 調製不同濃度的食鹽水溶液 1 公升，並控制電解質溶液其他變因：固定兩極距離、固定兩極面積、溫度控制在常溫。
- (二) 改變溶液濃度：(測量溶液濃度不同時，電壓與電流的關係)
 1. 濃度為 0.01M 的食鹽水溶液，測量電壓從 0~15V 之電流值(每增加 0.5V，讀取電流值一次)，並記錄電壓與電流的數據於表十二。
 2. 依序改變溶液濃度為 0.02M、0.03M、0.04M、0.05M、0.06M、0.07M、0.08M、0.09M、0.1M，並重複步驟 1。

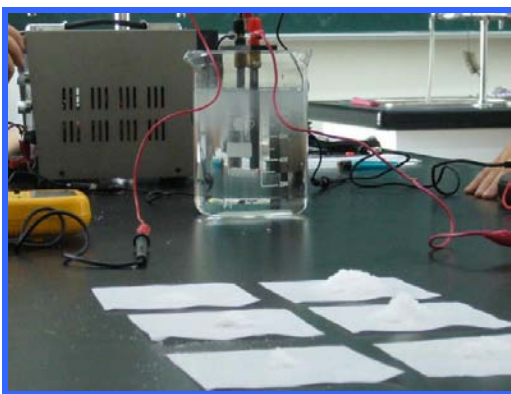
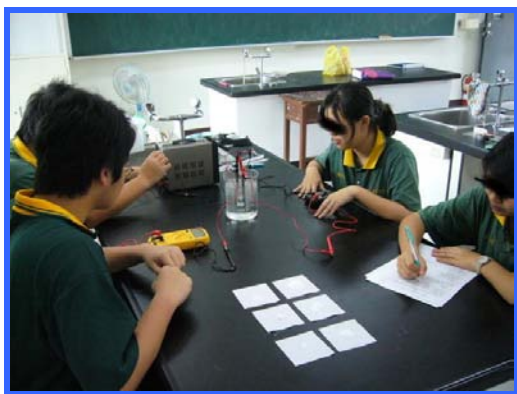


圖 16
測量不同濃
度時，電壓
與電流之關
係。

- (三) 將表十二數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係圖(圖 33)。
- (四) 截取導電區域，並求出直線公式，得到斜率值(離阻值 R')，如圖 34 所示。
- (五) 根據圖 34 的離阻值，計算出導離度($1/R'$)，將數據記錄於表十三。
- (六) 將表十三數據對 EXCEL 作圖，得到導離度($1/R'$)與濃度的關係圖(圖 35)。

伍、研究結果

一、實驗一：探討電解質溶液中，電流和電壓的關係

(一)記錄不同電壓下(0~15V)之電流值，如下表。

表一 電解質溶液，不同電壓下之電流值

※電解質溶液：0.1M 食鹽水溶液 1 公升、距離 5cm、沒入深度 10cm											
外加電壓(V)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
電流(A)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.11	0.18	0.25	0.32
外加電壓(V)	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5
電流(A)	0.40	0.47	0.55	0.63	0.70	0.78	0.86	0.94	1.01	1.09	1.17
外加電壓(V)	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0		
電流(A)	1.25	1.32	1.41	1.48	1.56	1.64	1.72	1.79	1.87		

(二) 將表一數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係，如下圖所示。

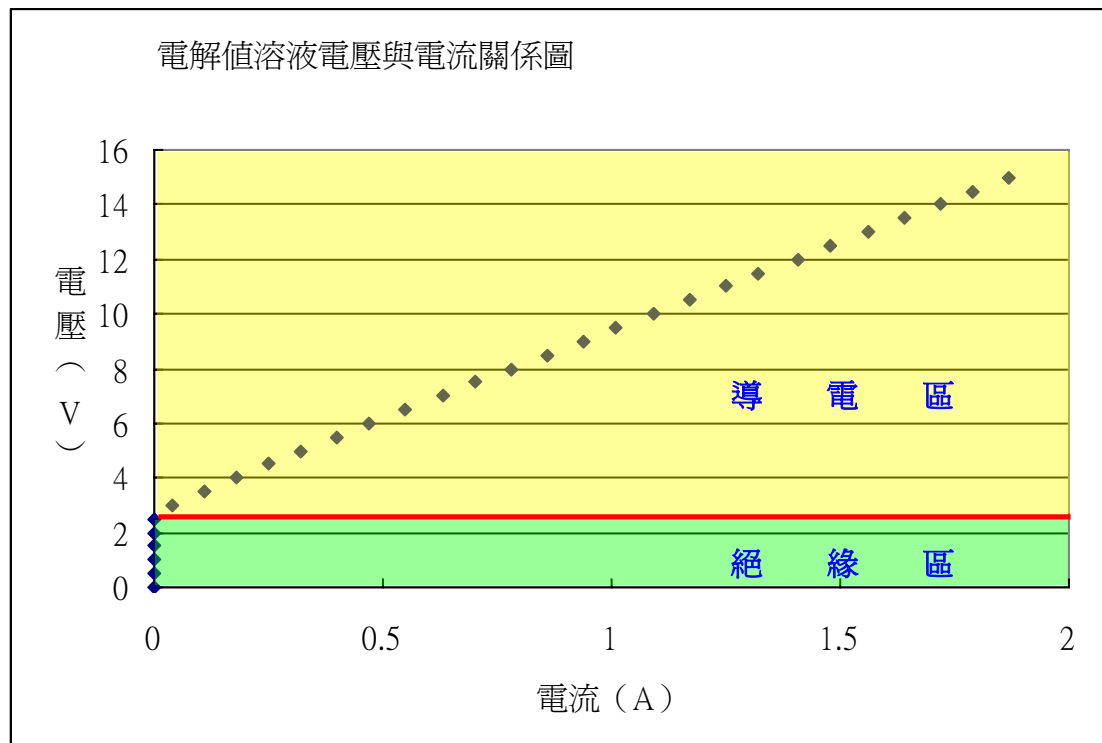


圖 17

說明：

從上圖我們可以發現電解質溶液的電壓與電流關係圖在電壓超過一個限度（截止電壓 V_m ）後電流突然上升。且之後電壓與電流成斜直線上升。這個現象與國中所學的歐姆定律似乎有些相似。金屬導線中的電阻是一個定值，不隨電壓或電流而改變。而在電解質溶液中，當電壓超過一個限度之後，電壓與電流的關係成一斜直線，其斜率也是一個定值。

我們稱這是電解質溶液的「歐姆離阻值」($R' = \frac{V - V_m}{I}$)，以區別歐姆電阻值 $R = \frac{V}{I}$ 。

(三)截取導電區域，並求出斜率值(離阻值 R')，如下圖所示。

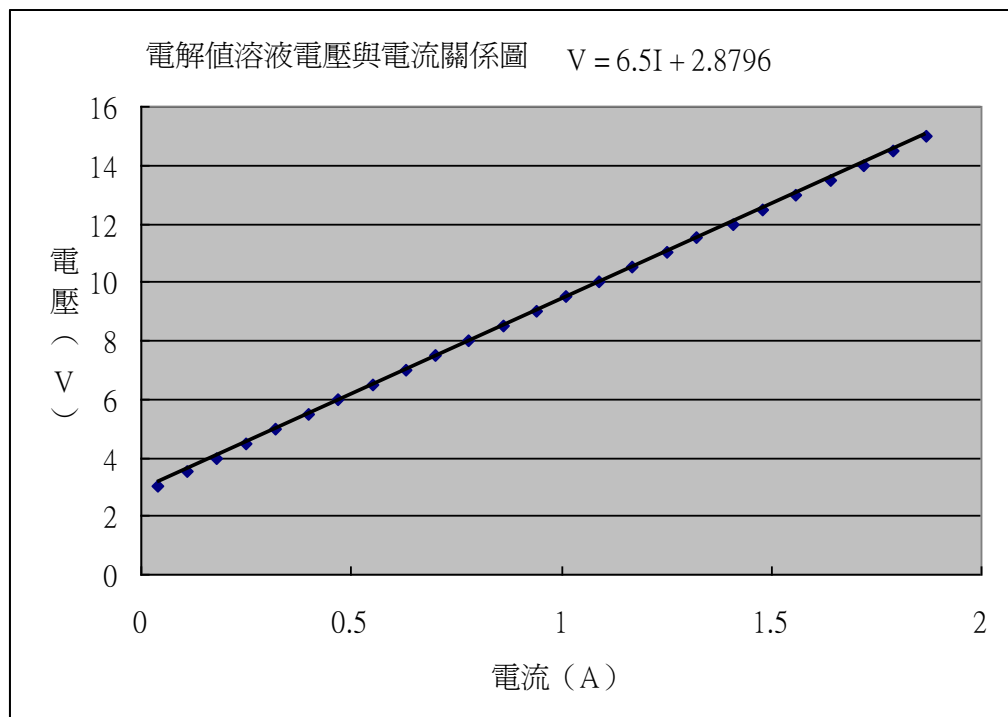


圖 18

說明：

1. 根據上圖我們可以發現，電解質溶液在 $V \geq V_m$ 時，電流會以斜直線上升，而斜率就代表離阻值。當 $V \geq V_m$ 時，這個斜率是一個定值，不隨 V 而改變，代表離阻值為一定值，亦即 $(V - V_m) / I = R'$ (定值)。與金屬導體中， $V / I = R$ (定值) 的意思相同，符合歐姆定律。所以我們認為，只要提供電解質溶液足夠的電壓差，其離阻即為一定值。且 $V \leq V_m$ 為絕緣體， $V \geq V_m$ 為導電體
2. 我們對上圖的斜直線作趨勢線分析，得到電壓與電壓的關係為： $V = 6.5I + 2.8796$ ，此式的 6.5 即為這杯電解質溶液的離阻值。

二、實驗二：探討兩極碳棒的距離與離阻值的關係

(一)觀察兩極碳棒在不同距離，不同電壓下之電流值。將數據記錄於表二。

表二 測量兩極距離不同時，在不同電壓下之電流值

電流 (A) 外加電壓(V)	兩極 距離	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm	8cm	9cm	10cm
0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

3.0	0.06	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
3.5	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
4.0	0.25	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10	0.10	0.09
4.5	0.36	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13
5.0	0.48	0.35	0.30	0.26	0.24	0.20	0.18	0.16
5.5	0.60	0.44	0.37	0.32	0.30	0.25	0.23	0.20
6.0	0.72	0.53	0.45	0.39	0.35	0.31	0.28	0.25
6.5	0.85	0.62	0.53	0.45	0.41	0.36	0.32	0.29
7.0	0.97	0.72	0.60	0.52	0.47	0.41	0.37	0.33
7.5	1.10	0.81	0.68	0.59	0.53	0.46	0.42	0.37
8.0	1.23	0.91	0.76	0.66	0.59	0.52	0.47	0.41
8.5	1.36	1.00	0.84	0.73	0.65	0.57	0.52	0.46
9.0	1.48	1.10	0.91	0.79	0.71	0.63	0.56	0.50
9.5	1.61	1.19	1.00	0.86	0.77	0.68	0.61	0.54
10.0	1.73	1.29	1.08	0.93	0.83	0.73	0.66	0.59
10.5	1.86	1.38	1.16	1.00	0.90	0.79	0.71	0.63
11.0	1.99	1.48	1.24	1.07	0.96	0.84	0.76	0.67
11.5	2.12	1.57	1.32	1.14	1.02	0.89	0.81	0.72
12.0	2.24	1.67	1.40	1.21	1.08	0.95	0.86	0.76
12.5	2.37	1.76	1.48	1.27	1.14	1.00	0.90	0.80
13.0	2.50	1.86	1.56	1.34	1.20	1.06	0.95	0.85
13.5	2.63	1.95	1.64	1.41	1.26	1.11	1.00	0.89
14.0	2.75	2.04	1.72	1.47	1.32	1.17	1.05	0.93
14.5	2.88	2.14	1.79	1.54	1.38	1.22	1.10	0.98
15.0	3.01	2.23	1.87	1.61	1.44	1.27	1.15	1.03

(二)將表二數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係，如下圖所示。

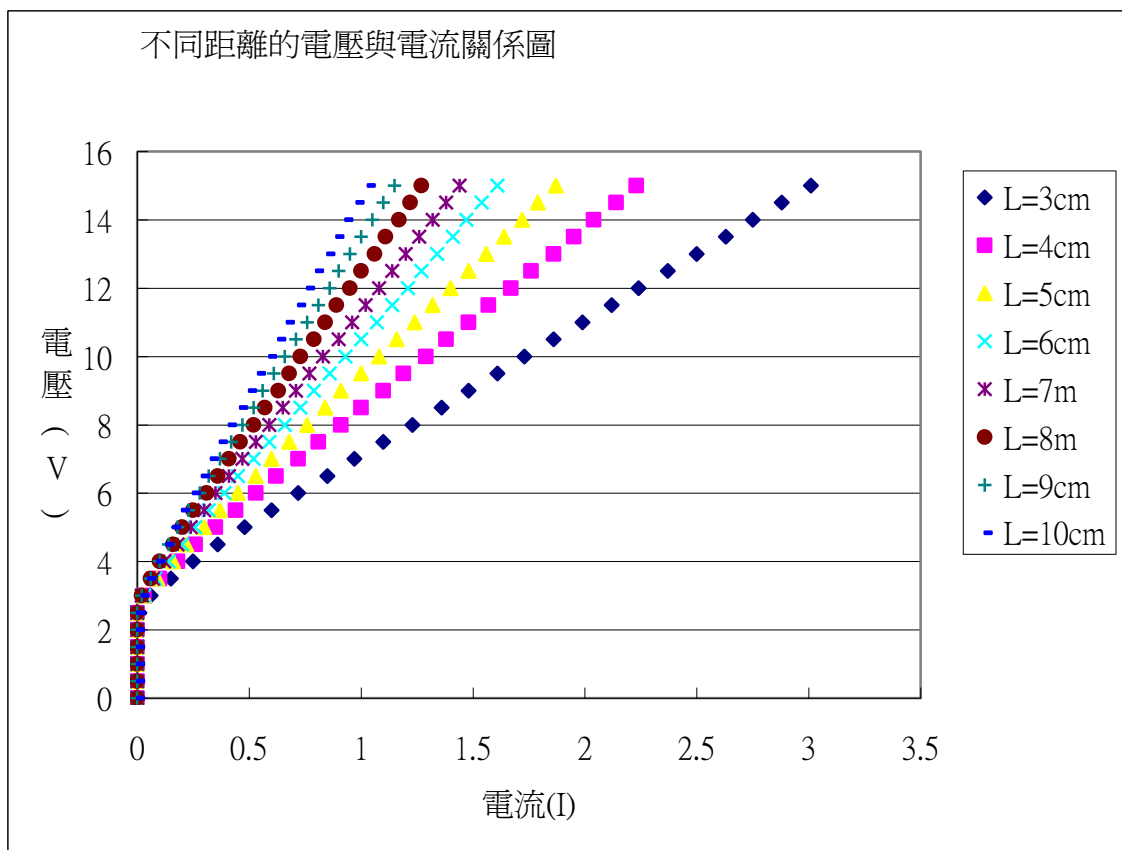


圖 19

(三)截取導電區域(如下圖所示)，並求出兩極在不同距離下之斜率值(即為離阻值 R')。

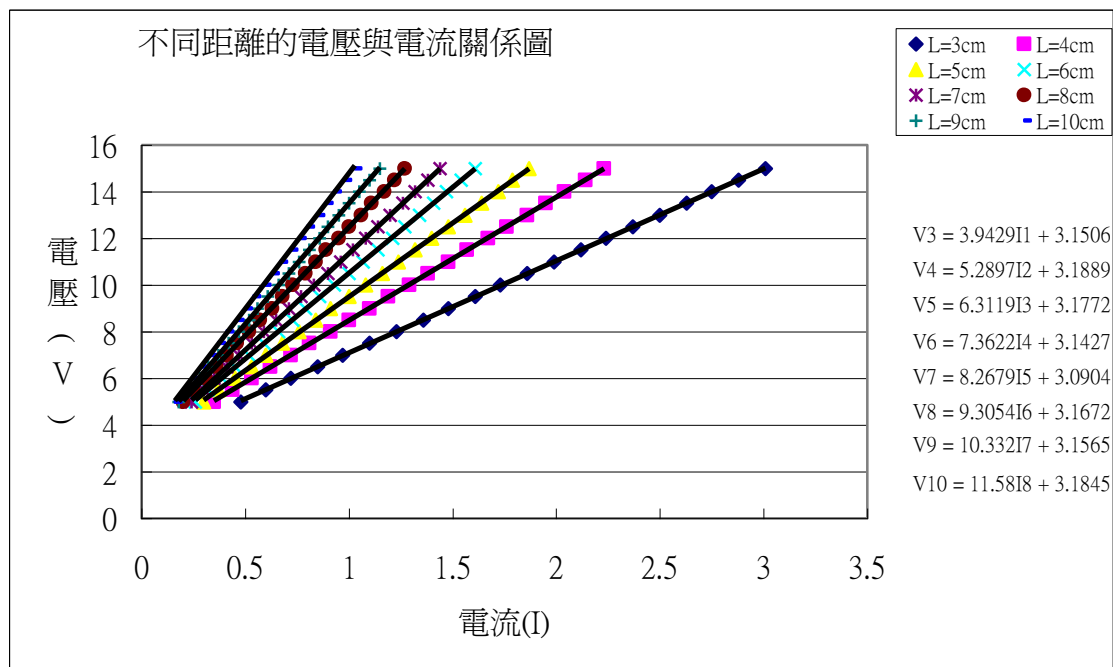


圖 20

說明：

1. 當兩極距離 3cm 時，斜率最小，當兩極距離增加時，斜率依序增加，直到兩極最遠時(10cm)，斜率最大。
2. 斜率代表離阻值，此圖表示當兩極碳棒距離越遠，離阻值 $R' = (V - V_m)/I$ 也越大。

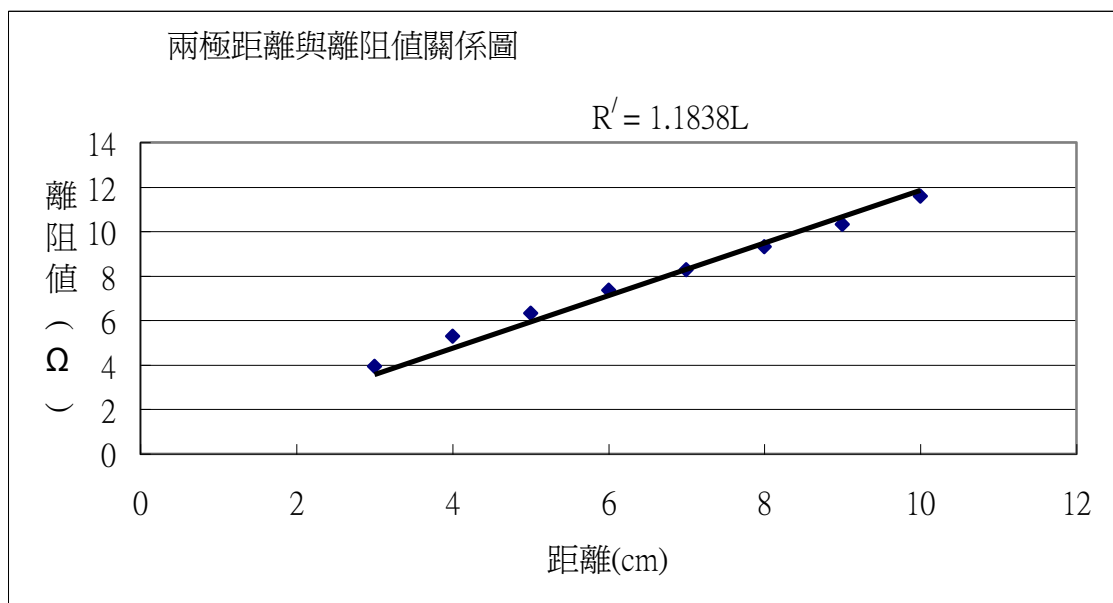


圖 21

說明：

由上圖我們可以發現當兩極距離增加時，離阻值也成等比例增加，且兩者呈現正比關係 $R' \propto L$ ，與歐姆電阻中 $R \propto L$ 相同。

三、實驗三：探討兩極間的面積大小(沒入深度)與離阻值的關係

(一)為了方便改變碳棒面積，我們改以碳棒沒入電解液的深度不同，來改變面積。因為底面積固定，所以碳棒的面積與高度成正比關係。其關係如下表所示：

表三 碳棒沒入深度與面積關係

※碳棒半徑 0.4cm，底面積 0.502656cm ² ，碳棒圓周長=2.513274 cm ²								
沒入深度 (cm)	3	4	5	6	7	8	9	10
面積(cm ²)	8.042	10.556	13.069	15.582	18.096	20.609	23.122	25.635
面積倒數 (cm ⁻²)	0.1243	0.0947	0.0765	0.0642	0.0553	0.0485	0.0432	0.0390

(二) 觀察兩極間在不同面積(沒入深度)，不同電壓下之電流值。將數據記錄於表四。

表四 測量兩極面積不同時，在不同電壓下之電流值

電流 (A) 外加電壓 (V)	沒入深度	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm	8cm	9cm	10cm
0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.0		0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
3.5		0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08
4.0		0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.14
4.5		0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
5.0		0.08	0.11	0.13	0.16	0.18	0.21	0.23	0.26
5.5		0.10	0.13	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.32
6.0		0.13	0.16	0.20	0.24	0.28	0.31	0.35	0.39
6.5		0.14	0.19	0.24	0.28	0.32	0.37	0.41	0.45
7.0		0.16	0.22	0.27	0.32	0.37	0.42	0.47	0.52
7.5		0.18	0.25	0.31	0.36	0.42	0.48	0.53	0.58
8.0		0.20	0.27	0.34	0.40	0.47	0.53	0.59	0.65
8.5		0.23	0.30	0.38	0.45	0.51	0.59	0.65	0.72
9.0		0.25	0.33	0.41	0.49	0.56	0.64	0.71	0.78
9.5		0.27	0.36	0.45	0.53	0.61	0.70	0.77	0.85
10.0		0.29	0.39	0.48	0.57	0.66	0.75	0.83	0.92

10.5	0.31	0.42	0.52	0.61	0.71	0.81	0.89	0.99
11.0	0.33	0.45	0.55	0.65	0.75	0.86	0.96	1.05
11.5	0.35	0.47	0.58	0.70	0.80	0.92	1.02	1.12
12.0	0.38	0.50	0.62	0.74	0.85	0.97	1.08	1.19
12.5	0.40	0.53	0.65	0.78	0.90	1.03	1.14	1.26
13.0	0.42	0.56	0.69	0.82	0.95	1.08	1.20	1.32
13.5	0.44	0.59	0.72	0.86	0.99	1.14	1.26	1.39
14.0	0.46	0.62	0.76	0.90	1.04	1.19	1.32	1.46
14.5	0.48	0.65	0.79	0.95	1.09	1.25	1.38	1.53
15.0	0.50	0.68	0.82	0.99	1.14	1.30	1.44	1.59

(三) 將表四數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係，如下圖所示。

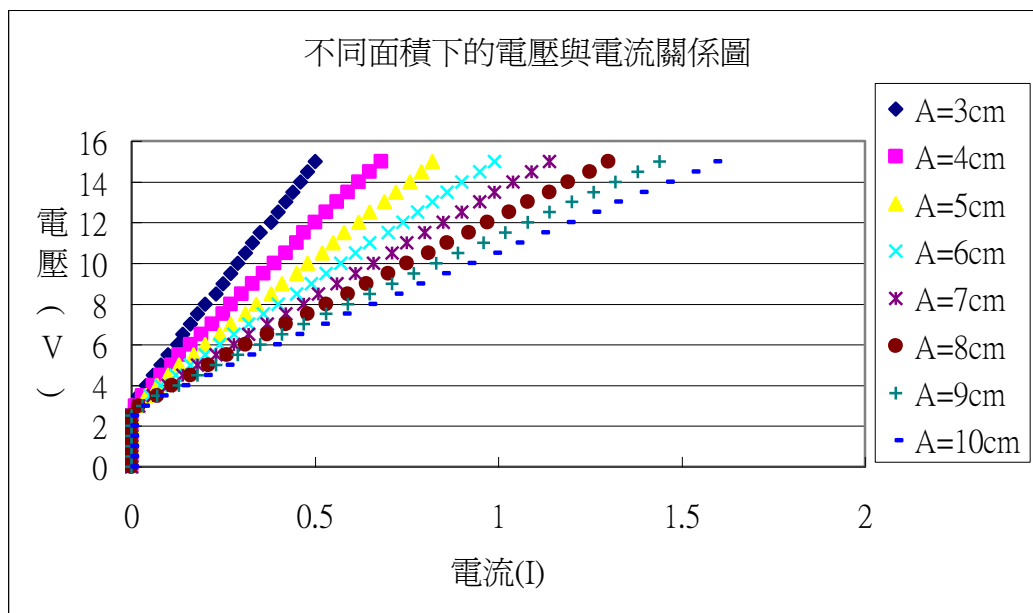


圖 22

(四) 截取導電區域(如下圖所示)，並求出兩極在不同面積下之斜率值(即為離阻值 R')。

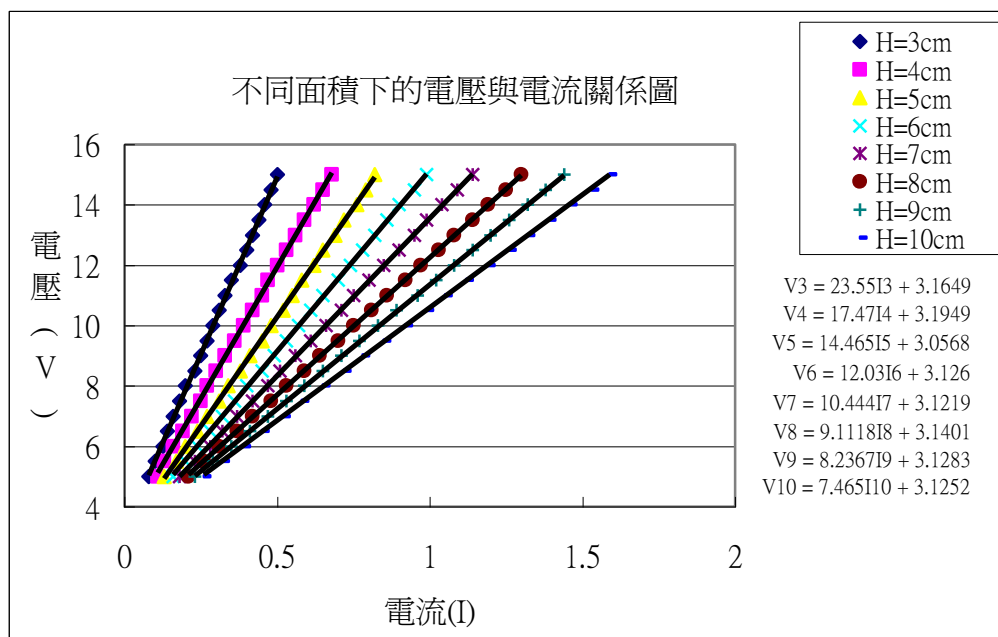


圖 23

說明：

1. 當兩極碳棒沒入深度 4cm 時，斜率最大，當兩極面積逐漸增加時，斜率則依序減少，直到兩極碳棒沒入深度最深時(11cm)，斜率最小。
2. 斜率代表離阻值，此圖表示當兩極面積越大時，斜率越小， $(V-V_m)/I=R'$ 離阻值也越小。

(五)根據表三、表四和圖 23，計算不同面積下離阻值的變化。將數據記錄於表五。

表五 不同面積下離阻值的變化

碳棒半徑=0.4cm，碳棒圓周長=2.513274 cm²，底面積=0.502655

深度 H(cm)	3	4	5	6	7	8	9	10
面積 A(cm ²)	8.042	10.556	13.069	15.582	18.096	20.609	23.122	25.635
1/A(cm ⁻²)	0.124	0.095	0.077	0.064	0.055	0.049	0.043	0.039
離阻值 R' (Ω)	23.550	17.470	14.465	12.030	10.444	9.112	8.237	7.465

(六)將表五數據對 EXCEL 作圖，得到面積與離阻值的關係圖(圖 24)

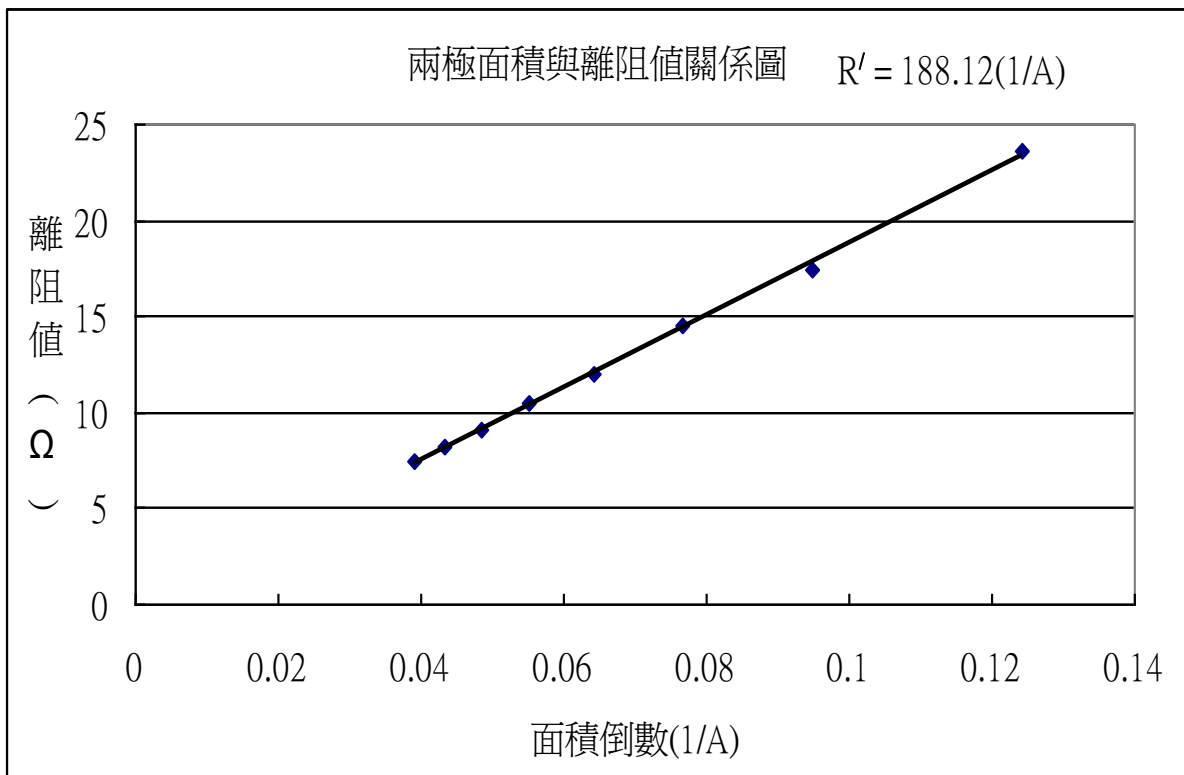


圖 24

說明：

1. 由上圖我們可以發現 R' 正比 1/A，離阻值正比於面積倒數。這與金屬電阻中，電阻與面積成倒數的關係相同。
2. 由圖 21 和圖 24，我們發現 $R' \propto L/A$ 這個關係相似於金屬電阻中 $R \propto L/A$ 。

四、實驗四：探討不同種類電解質溶液的離阻值

(一) 三種強酸(HCl、HNO₃、H₂SO₄)

1. 觀察三種不同強酸(HCl、HNO₃、H₂SO₄)，在不同電壓下之電流值，將數據記錄於表六。

表六 測量不同強酸溶液，在不同電壓下之電流值

※電解質溶液：1 公升、0.1M HCl 溶液								
外加電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(A)	0.15	0.35	0.60	0.83	1.07	1.34	1.62	1.90
※電解質溶液：1 公升、0.1M HNO ₃ 溶液								
外加電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(A)	0.15	0.36	0.61	0.83	1.07	1.35	1.61	1.89
※電解質溶液：1 公升、0.1M H ₂ SO ₄ 溶液								
外加電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(A)	0.27	0.52	0.99	1.38	1.85	2.29	2.77	3.26

2. 將表六數據對 EXCEL 作圖，得到不同強酸下，電壓與電流的關係，並求出其斜率(即離阻值 R')，如下圖所示。

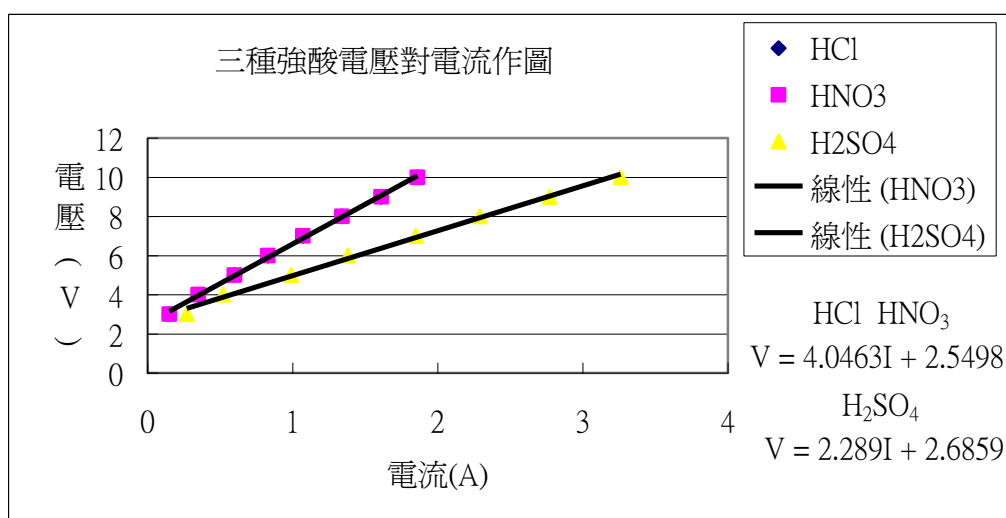


圖 25

說明：

1. 由上圖可知，相同濃度時，HNO₃、HCl 的離阻值都相同，因為兩者價數與離子數都一樣。
2. 但相同濃度時，H₂SO₄ 的離阻值較 HCl 的離阻值小，是因為相同濃度下，H₂SO₄ 解離的離子數較多，且 SO₄²⁻ 的價數較大，容易導電。

(二) 五種鹽類(NaCl、KNO₃、CaCl₂、CuSO₄、PbSO₄)

1. 觀察不同五種鹽類(NaCl、KNO₃、CaCl₂、CuSO₄、PbSO₄)，在不同電壓下之電流值，將數據記錄於表七。

表七 測量不同鹽類電解質溶液，在不同電壓下之電流值

※電解質溶液：1 公升、0.1M NaCl 溶液								
外加電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(A)	0.04	0.16	0.30	0.44	0.58	0.73	0.89	1.04
※電解質溶液：1 公升、0.1M KNO ₃ 溶液								
外加電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(A)	0.03	0.15	0.28	0.43	0.58	0.73	0.88	1.04
※電解質溶液：1 公升、0.1M CaCl ₂ 溶液								
外加電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(A)	0.05	0.20	0.37	0.56	0.75	0.94	1.13	1.32
※電解質溶液：1 公升、0.1M CuSO ₄ 溶液								
外加電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(A)	0.16	0.27	0.37	0.45	0.52	0.62	0.72	0.83
※電解質溶液：1 公升、0.1M PbSO ₄ 溶液								
外加電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(A)	0.05	0.15	0.26	0.37	0.48	0.58	0.69	0.79

2. 將表七數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係，如下圖所示。

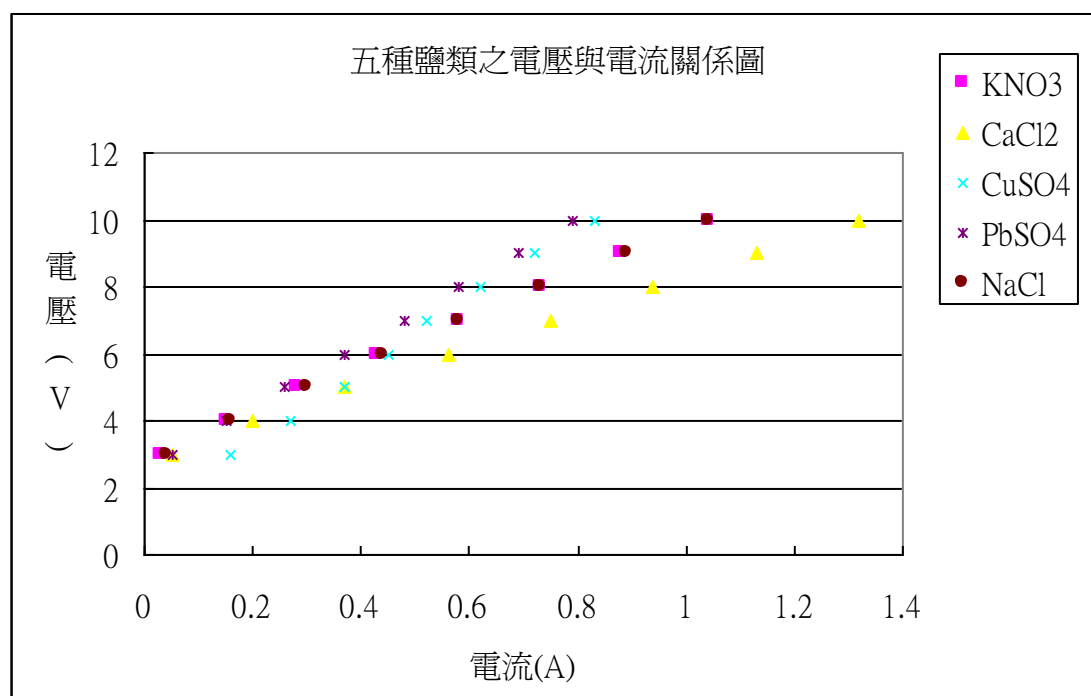


圖 26

3. 求出兩極在不同面積下之斜率(即為離阻值 R')。

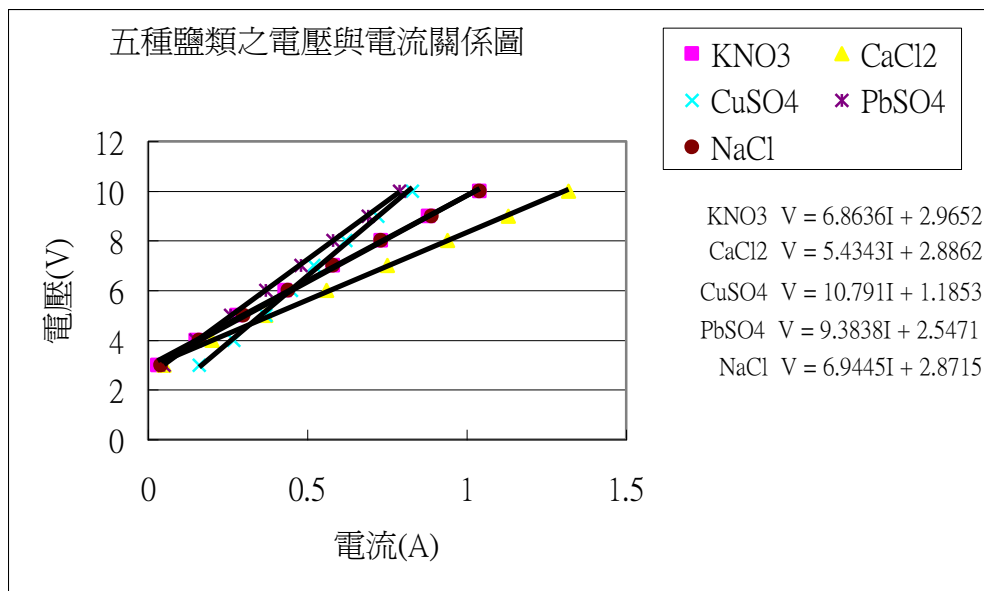


圖 27

說明：

1. 由上圖我們發現幾個有趣的結果，首先我們比較 KNO₃ 和 NaCl 這兩個電解質溶液的離阻值分別是 6.8636Ω 和 6.9445Ω ，結果約略相等。這是因為兩者溶於水後離子所帶的價數皆為+1 和-1 價。CuSO₄ 和 PbSO₄ 的情形也是類似於此。
2. 為何 CuSO₄ 和 PbSO₄ 兩者溶於水後，其離子所帶的價數為+2 和-2 價，其導電能力應該比較強，離阻值應該比較小。可是兩者的離阻值分別為 10.791 和 9.3838 都比 KNO₃ 和 NaCl 來得大。這是因為這兩者的離子重量比較重，離子移動比較慢，導電能力也就比較差。
3. 最後，我們比較同濃度的 NaCl 和 CaCl₂ 這兩種電解質溶液的離阻值。CaCl₂ 的離阻值 R' 比 NaCl 的離阻值小，這是因為同濃度時，CaCl₂ 的離子數目是 NaCl 的 1.5 倍，所以離子數目越多，其導電能力也就比較強，離阻值也就比較小。

(三) 酸鹼鹽(HCl、NaOH、NaCl)

1. 觀察酸鹼鹽(HCl、NaOH、NaCl)在不同電壓下之電流值，將數據記錄於表八。

表八 測量酸鹼鹽電解質溶液，在不同電壓下之電流值

※電解質溶液：1 公升、0.1M HCl 溶液								
外加電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(A)	0.15	0.35	0.60	0.83	1.07	1.34	1.61	1.86
※電解質溶液：1 公升、0.1M NaOH 溶液								
外加電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(A)	0.15	0.36	0.60	0.84	1.08	1.34	1.60	1.86
※電解質溶液：1 公升、0.1M NaCl 溶液								
外加電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(A)	0.04	0.16	0.30	0.44	0.58	0.73	0.89	1.04

2. 將表八數據對 EXCEL 作圖，得到強電解質的酸鹼鹽類，其電壓與電流的關係。並求出其斜率(即離阻值 R')，如下圖所示。

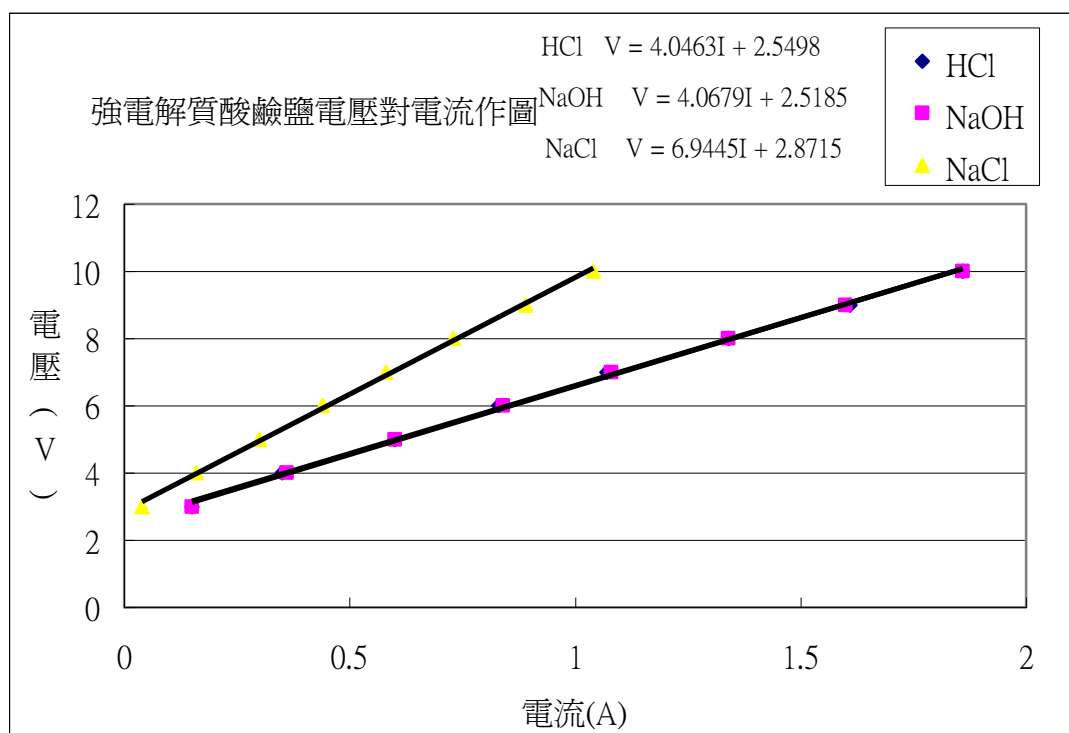


圖 28

說明：

1. 由上圖可知，酸鹼的離阻值較小，鹽的離阻值較大。
2. 由參考資料可以知道，因為 H^+ 的移動速率較 Na^+ 快，所以 $\rho_{NaCl} > \rho_{HCl}$ 。
同理 OH^- 的移動速率較 Cl^- 快，所以 $\rho_{NaCl} > \rho_{NaOH}$ 。
3. 而酸與鹼因 $H^+ > Na^+$ 、 $OH^- > Cl^-$ ，所以兩者的離阻值相似。

五、實驗五：探討電解質溶液的串並聯，對離阻值的影響

- (一) 1.分別測量 0.2M 和 0.3M 電解質溶液，在不同電壓下之電流值。
2.將 0.2M 和 0.3M 電解質溶液串聯，測量在不同電壓下之電流值。
3.將 0.2M 和 0.3M 電解質溶液並聯，測量在不同電壓下之電流值。
4.將上述數據記錄於表九。

表九 測量電解質溶液串並聯時，不同電壓下之電流值

電流 (A) 外加電壓(V)	串 並 聯	0.2M	0.3M	兩者串聯	兩者並聯
0		0.00	0.00	0.00	0.00
0.5		0.00	0.00	0.00	0.00
1.0		0.00	0.00	0.00	0.00
1.5		0.00	0.00	0.00	0.00
2.0		0.00	0.00	0.00	0.00

2.5	0.00	0.00	0.00	0.01
3.0	0.04	0.07	0.00	0.15
3.5	0.13	0.19	0.00	0.30
4.0	0.23	0.33	0.00	0.51
4.5	0.33	0.48	0.00	0.77
5.0	0.44	0.63	0.02	1.04
5.5	0.55	0.78	0.08	1.31
6.0	0.66	0.93	0.15	1.58
6.5	0.77	1.09	0.21	1.85
7.0	0.89	1.25	0.28	2.02
7.5	1.01	1.41	0.35	2.29
8.0	1.13	1.57	0.41	2.56
8.5	1.24	1.73	0.48	2.83
9.0	1.36	1.89	0.55	3.1
9.5	1.48	2.05	0.61	3.4
10.0	1.60	2.21	0.68	3.67
10.5	1.71	2.37	0.75	3.99
11.0	1.83	2.54	0.82	4.28
11.5	1.95	2.69	0.88	4.58
12.0	2.07	2.86	0.95	4.79
12.5	2.19	3.02	1.02	-
13.0	2.31	3.18	1.09	-
13.5	2.42	3.35	1.16	-
14.0	2.54	3.51	1.23	-
14.5	2.65	3.65	1.29	-
15.0	2.76	3.80	1.36	-

(二) 將表九數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係，如下圖所示。

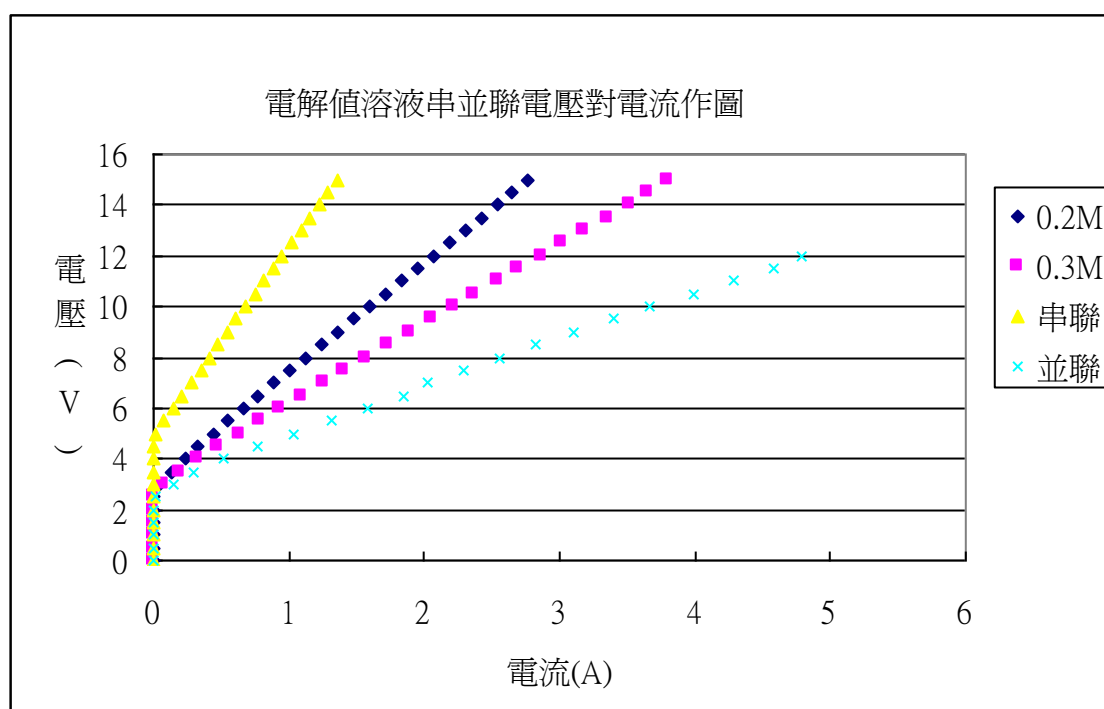


圖 29

(三)截取導電區域，並求出電解質溶液在個別及串並聯下之斜率(即為離阻值 R')。

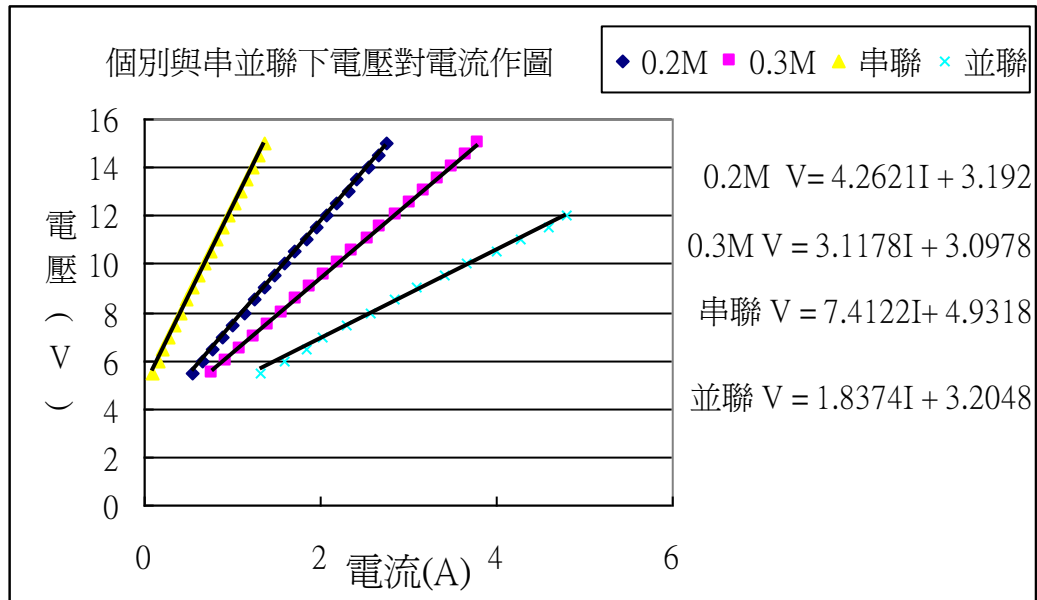


圖 30

說明：

1. 由上圖可知，0.2M 離阻值= 4.26Ω ，0.3M 離阻值= 3.12Ω 。
2. 若由歐姆電阻的串並聯公式來計算，兩電解質溶液串聯時，總離阻值為 $R'_{0.2M} + R'_{0.3M} = 4.26 + 3.12 = 7.38\Omega$ 。
 兩電解質溶液並聯時， $1/R'_{0.2M} + 1/R'_{0.3M} = 1/4.26 + 1/3.12 = 1/1.80$ ，總離阻值為 1.80Ω 。
3. 實際實驗測量所得，兩電解質溶液串聯時，總離阻值為 7.41Ω
 兩電解質溶液並聯時，總離阻值為 1.83Ω

表十 電解質串並聯，理論及實際值之比較

	理論(公式解)	實驗值
串聯	7.38	7.41
並聯	1.80	1.83

4. 由表十發現，總離阻實際值皆比理論值多，此乃因為實驗串並聯時，皆必須增加線路連接，其中必增加其總離阻值。

六、實驗六：探討溫度對離阻值的影響

(一)觀察電解質溶液在不同溫度，不同電壓下之電流值。將數據記錄於表十一。

表十一 測量電解質溶液溫度不同時，在不同電壓下之電流值

溫度 電流 (A) 外加電壓 ℃	30	40	50	60	70	80
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.05
3.0	0.03	0.05	0.06	0.08	0.11	0.13
3.5	0.08	0.10	0.12	0.15	0.20	0.23
4.0	0.14	0.16	0.20	0.22	0.29	0.33
4.5	0.19	0.23	0.27	0.31	0.40	0.44
5.0	0.24	0.30	0.35	0.39	0.50	0.56
5.5	0.31	0.37	0.44	0.48	0.61	0.67
6.0	0.37	0.45	0.52	0.57	0.71	0.79
6.5	0.42	0.52	0.60	0.67	0.83	0.92
7.0	0.49	0.59	0.69	0.76	0.93	1.04
7.5	0.55	0.67	0.77	0.85	1.04	1.16
8.0	0.61	0.75	0.86	0.94	1.16	1.29
8.5	0.67	0.82	0.94	1.04	1.27	1.41
9.0	0.74	0.90	1.04	1.14	1.39	1.54
9.5	0.80	0.97	1.12	1.23	1.50	1.67
10.0	0.86	1.05	1.21	1.33	1.62	1.80
10.5	0.92	1.12	1.29	1.42	1.73	1.93
11.0	0.99	1.20	1.38	1.52	1.85	2.06
11.5	1.05	1.27	1.47	1.63	1.97	2.19
12.0	1.11	1.35	1.56	1.72	2.08	2.32
12.5	1.17	1.43	1.65	1.82	2.20	2.45
13.0	1.23	1.50	1.74	1.93	2.32	2.58
13.5	1.30	1.58	1.82	2.02	2.44	2.71
14.0	1.36	1.65	1.90	2.12	2.56	2.86
14.5	1.41	1.72	1.99	2.22	2.67	2.99
15.0	1.48	1.79	2.07	2.31	2.79	3.13

(二)將表十一數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係，如下圖所示。

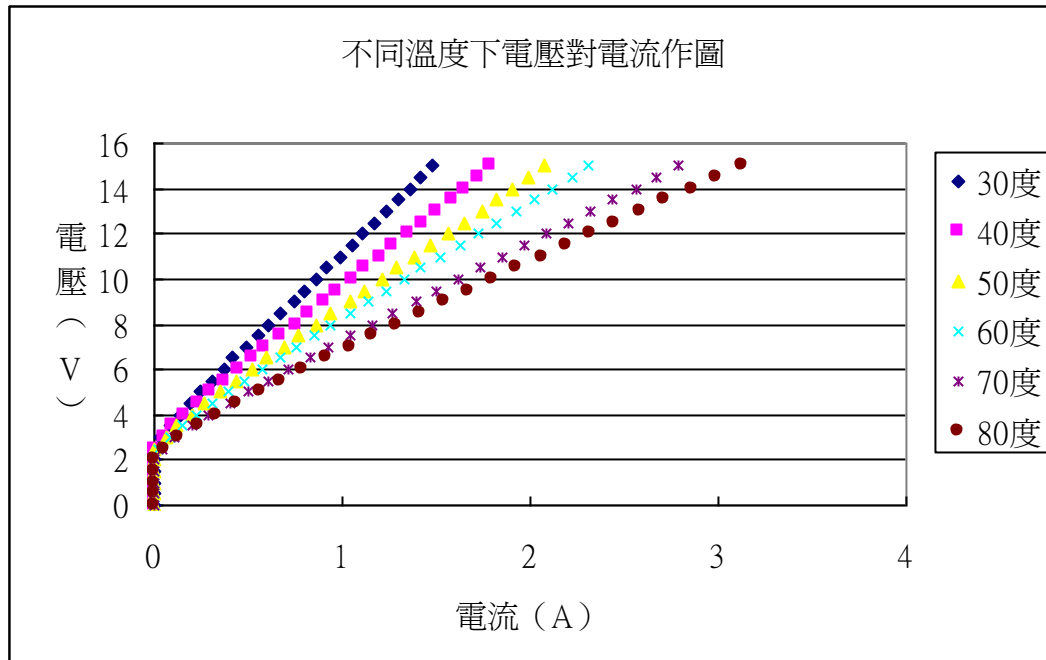


圖 31

(三)截取導電區域(如下圖所示)，並求出兩極在不同溫度下之斜率(即為離阻值 R')。

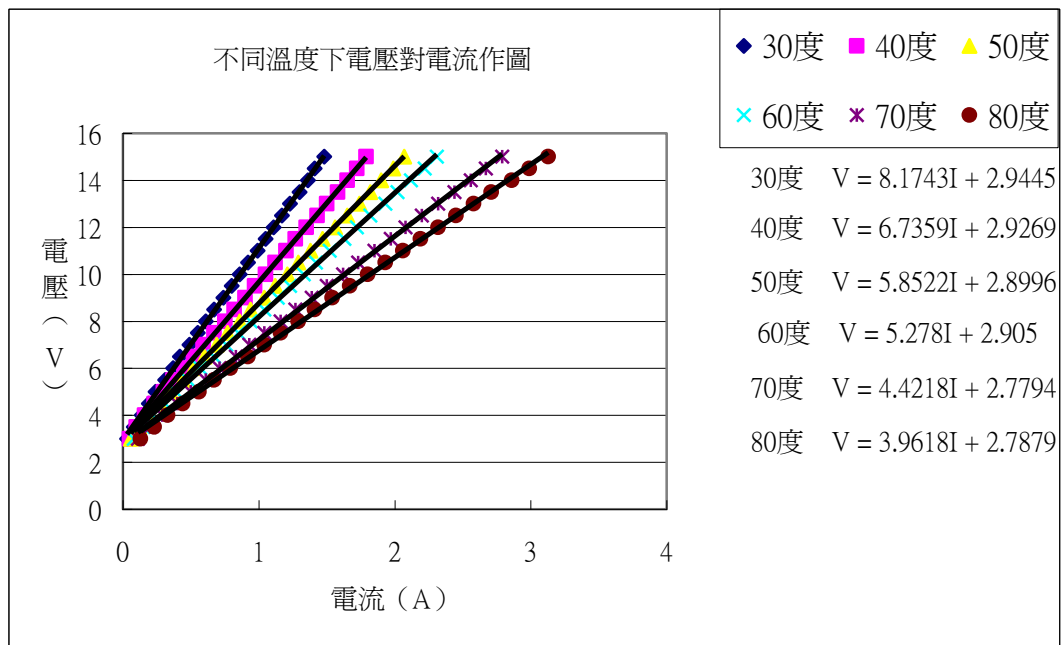


圖 32

說明：

1. 由上圖可知，隨著溫度逐漸上升，其離阻值卻越來越小。這與金屬電阻加熱之後，其電阻值隨著溫度上升而越來越大的關係剛好相反。
2. 我們認為這是因為金屬電阻受熱之後，裡面的原子振盪造成電子流動困難而電阻值升高。但是在電解質溶液中，溫度的升高反而幫助離子的移動，造成導電能力上升，離阻值因而下降。

七、實驗七：探討濃度對離阻值的影響

(一)觀察電解質溶液在不同濃度，不同電壓下之電流值。將數據記錄於表十二。

表十二 測量電解質溶液濃度不同時，在不同電壓下之電流值

電流 (A) 外加電壓	濃度 M	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.0		0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
3.5		0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11
4.0		0.02	0.04	0.05	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15	0.16	0.18
4.5		0.03	0.05	0.07	0.11	0.14	0.16	0.19	0.21	0.23	0.25
5.0		0.04	0.07	0.10	0.14	0.19	0.21	0.25	0.27	0.29	0.32
5.5		0.05	0.08	0.12	0.17	0.23	0.26	0.31	0.33	0.36	0.40
6.0		0.06	0.10	0.14	0.20	0.27	0.31	0.37	0.39	0.43	0.47
6.5		0.07	0.11	0.16	0.24	0.31	0.36	0.43	0.46	0.50	0.55
7.0		0.08	0.13	0.18	0.27	0.36	0.41	0.49	0.52	0.57	0.63
7.5		0.09	0.15	0.21	0.30	0.40	0.46	0.55	0.59	0.64	0.70
8.0		0.10	0.16	0.23	0.34	0.45	0.51	0.61	0.65	0.71	0.78
8.5		0.11	0.18	0.25	0.37	0.49	0.56	0.67	0.72	0.78	0.86
9.0		0.12	0.19	0.27	0.40	0.54	0.61	0.73	0.78	0.85	0.94
9.5		0.13	0.21	0.30	0.44	0.58	0.66	0.79	0.85	0.93	1.01
10.0		0.13	0.23	0.32	0.47	0.63	0.72	0.85	0.91	1.00	1.09
10.5		0.14	0.24	0.34	0.51	0.67	0.77	0.91	0.98	1.07	1.17
11.0		0.15	0.26	0.36	0.54	0.72	0.82	0.98	1.05	1.14	1.25
11.5		0.16	0.27	0.39	0.58	0.77	0.87	1.04	1.11	1.21	1.32
12.0		0.17	0.29	0.41	0.61	0.81	0.92	1.10	1.18	1.28	1.41
12.5		0.18	0.31	0.43	0.64	0.86	0.97	1.16	1.25	1.36	1.48
13.0		0.19	0.32	0.45	0.68	0.90	1.02	1.22	1.31	1.43	1.56
13.5		0.20	0.34	0.48	0.71	0.95	1.08	1.28	1.38	1.50	1.64
14.0		0.21	0.36	0.50	0.75	1.00	1.13	1.34	1.44	1.57	1.72
14.5		0.22	0.37	0.52	0.78	1.04	1.18	1.40	1.51	1.64	1.79
15.0		0.23	0.39	0.54	0.81	1.09	1.23	1.46	1.57	1.70	1.87

(二) 將表十二數據對 EXCEL 作圖，得到電壓與電流的關係，如下圖所示。

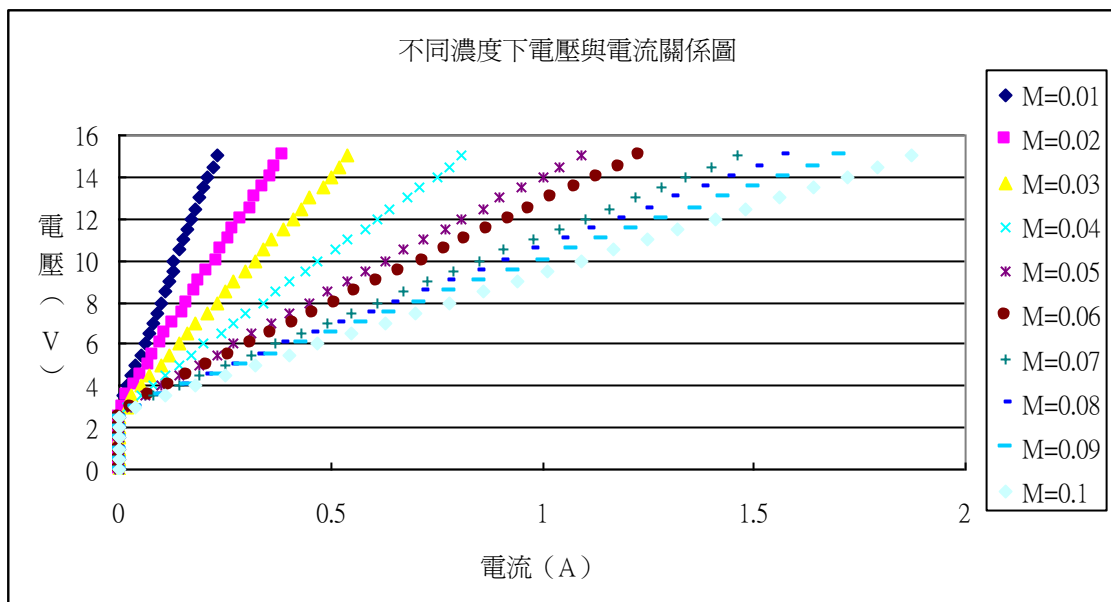


圖 33

(三) 截取導電區域(如下圖所示)，並求出兩極在不同溫度下之斜率(即為離阻值 R')。

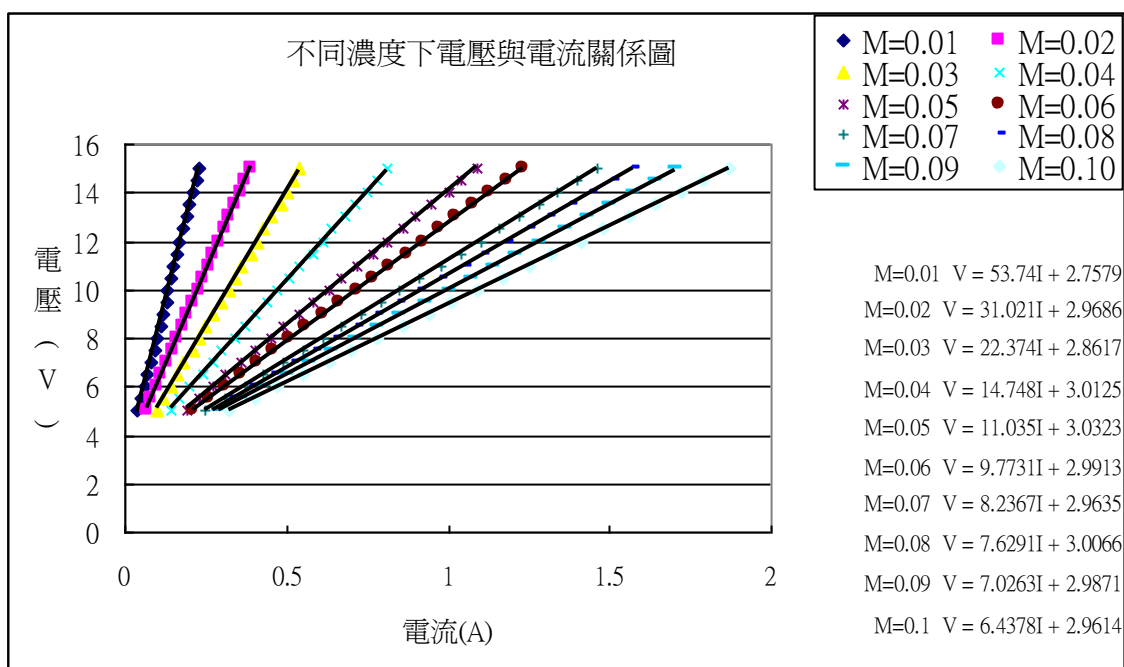


圖 34

(四) 根據圖 34，將濃度與離阻值的關係整理成表十三。

表十三 不同濃度下，導電度的變化

濃度(M)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
離阻值 R'	53.74	31.021	22.374	14.758	11.035	9.773	8.236	7.629	7.026	6.438
導離度 $1/R'$	0.0186	0.0322	0.0447	0.0678	0.0906	0.1023	0.1214	0.1311	0.1423	0.1553

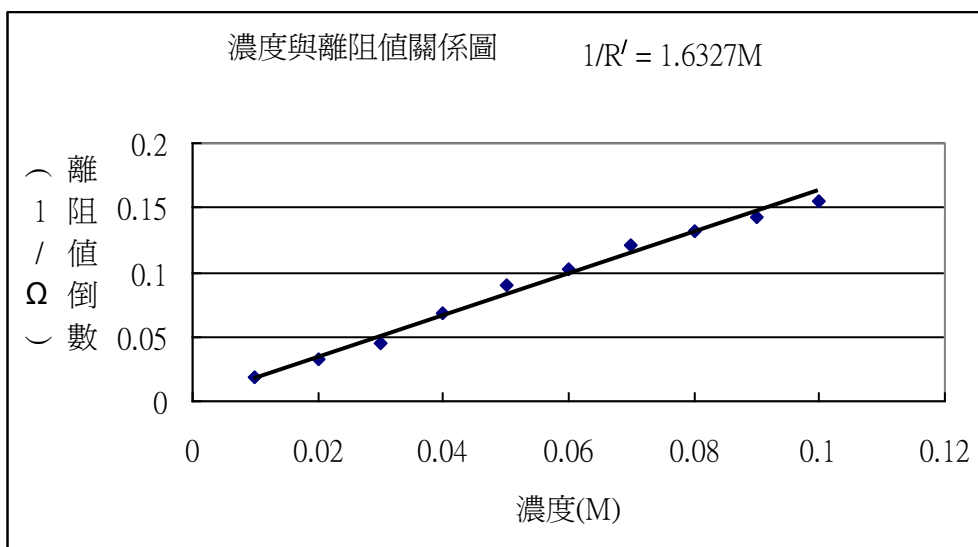


圖 35

說明：

1. 由圖 34 得知，隨著濃度增加，離阻值越來越小。
2. 由圖 35 得知，當濃度增加時，導離度與濃度成正比關係，即 $1/R' \propto M$ 。

陸、研究討論

由上述的實驗數據與圖形，我們先找尋出離阻值，再從兩極間距離、兩極面積、不同種類電解質、串並聯、溫度及濃度等六項變因，來分析電解質溶液中電阻的變化率與這些變因存在何種關係，並配合理論上的公式加以說明離阻值與歐姆電阻兩者相似之處。

一、理論上的公式

1. 導線中的電流： $I = \frac{Q}{t}$ (Q 為電量， t 為通過截面的時間) (1)式

2. 歐姆定律： $R = \frac{V}{I}$ (V 為電壓， I 為電流) (2)式

3. 金屬導線的電阻： $R = \rho \frac{L}{A}$ (ρ 為電阻係數， L 為長度， A 為截面積) (3)式

4. 串聯的總電阻： $R = R_1 + R_2 + \dots$ (4)式

5. 並聯的總電阻： $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$ (5)式

二、比較離阻值與歐姆電阻

【實驗一】：測量電解質溶液中的電阻值

探討電解質溶液中，電流與電壓的關係，找出電阻值。結果顯示，在電壓小於 V_m 時，電流值皆為 0A，我們稱 V_m 為截止電壓，此區域為「絕緣區」；當電壓大於 V_m 時，開始產生電流，隨著電壓加大，電流跟著增加，電壓與電流關係成一直線，此斜率也為一定值，我

們稱此區域為「導電區」。由此得到一公式： $R'(\text{離阻值}) = \frac{V(\text{外加電壓}) - V_m(\text{截止電壓})}{I(\text{電流})} = \text{定值}$ 。

此結果與式(2)中：「當電阻兩端電壓增加時，電流也隨之增加，兩者成正比關係且電阻值為一定值。亦即 $R = \frac{V}{I} = \text{定值}$ 。」的理論有些許不同，因此以下各實驗，我們皆截取導電區部份，並將電解質溶液的電阻值稱為**離阻值**，藉以類比電阻值 R 。

【實驗二】：比較不同兩極間距離的離阻值

我們改變兩極碳棒間的距離，分別為 3cm、4cm、5cm、6cm、7cm、8cm、9cm、10cm，測量其電壓與電流關係圖。如圖 20 所示，其離阻值 R' 分別是 $R'_3 = 3.9429\Omega$ 、 $R'_4 = 5.2897\Omega$ 、 $R'_5 = 6.3119\Omega$ 、 $R'_6 = 7.3622\Omega$ 、 $R'_7 = 8.2679\Omega$ 、 $R'_8 = 9.3054\Omega$ 、 $R'_9 = 10.332\Omega$ 、 $R'_{10} = 11.58\Omega$ 。結果顯示當兩極碳棒間距離越遠，離阻值也成等比例增加，兩者成正比關係，即 $R' \propto L$ ，此結果與式(3)中：「當歐姆電阻長度越長，則電阻值也越大，亦即 $R \propto L$ 。」的理論相似。

【實驗三】：比較兩極面積不同的離阻值

我們改變兩極與水溶液的接觸面積也就是沒入深度，分別為 4cm、5cm、6cm、7cm、8cm、9cm、10cm、11cm，測量其電壓與電流關係圖。如圖 23 所示，其離阻值 R' 分別是 $R'_4 = 14.465\Omega$ 、 $R'_5 = 12.03\Omega$ 、 $R'_6 = 10.444\Omega$ 、 $R'_7 = 9.1118\Omega$ 、 $R'_8 = 8.2367\Omega$ 、 $R'_9 = 7.4649\Omega$ 、 $R'_{10} = 6.9864\Omega$ 、 $R'_{11} = 6.6592\Omega$ 。結果顯示隨著兩接觸面積(沒入深度)變大時，離阻值跟著變小，亦即 $R' \propto 1/A$ 。此結果與式(3)中：「當歐姆電阻的底面積越大，則電阻值越小，亦即 $R \propto 1/A$ 。」的理論相似。結合實驗二與實驗三結果顯示，離阻值 $R \propto \frac{L}{A}$ ，與式(3) $R = \rho \frac{L}{A}$ 的理論相似。

【實驗四】：比較不同電解質的離阻值

(一)比較三種強酸(HCl、HNO₃、H₂SO₄)的離阻值

我們改變電解質，分別測量 HCl、HNO₃、H₂SO₄ 電壓與電流關係圖。如圖 25 所示，我們發現 HCl、HNO₃ 的離阻值幾乎相同 $R'_{\text{單}} = 4.0463\Omega$ ，而 H₂SO₄ 的離阻值為 $R'_{\text{雙}} = 2.289\Omega$ 。結果顯示，同樣都是單質子酸的 HCl、HNO₃，因為其離子價數及離子個數皆相同，因此離阻值相同；而相較於雙質子酸的 H₂SO₄，其離子價數及離子個數皆比單質子酸大，較容易導電，所以其離阻值較小。

(二)比較五種鹽類(NaCl、KNO₃、CaCl₂、CuSO₄、PbSO₄)的離阻值

我們改變電解質，分別測量 NaCl、KNO₃、CaCl₂、CuSO₄、PbSO₄ 電壓與電流關係圖。如圖 27 所示，其離阻值分別為 $R'_{\text{NaCl}} = 6.9445\Omega$ 、 $R'_{\text{KNO}_3} = 6.8636\Omega$ 、 $R'_{\text{CaCl}_2} = 5.4343\Omega$ 、 $R'_{\text{CuSO}_4} = 10.791\Omega$ 、 $R'_{\text{PbSO}_4} = 9.3838\Omega$ ，結果顯示：

1. NaCl 和 KNO₃ 離阻值約略相同，因為此兩個電解質解離後，所帶離子價數相等，皆為 +1 和 -1 價，同理 CuSO₄ 和 PbSO₄ 的離阻值也約略相同。

2. CuSO_4 和 PbSO_4 的離阻值大於 NaCl 和 KNO_3 離阻值，因為前兩者離子分子量較大，重量比較重，所以離子移動較慢，導電能力較差。
3. CaCl_2 的離阻值較 NaCl 小，因為相同濃度時，的離子個數為的 1.5 倍，導電能力較強。

(三)比較酸鹼鹽(HCl 、 NaOH 、 NaCl)的離阻值

我們改變電解質，分別測量 HCl 、 NaOH 、 NaCl 電壓與電流關係圖。如圖 28 所示，其離阻值分別為 $R'\text{HCl} = 4.0463\Omega$ 、 $R'\text{NaOH} = 4.0679\Omega$ 、 $R'\text{NaCl} = 6.9445\Omega$ ，結果顯示酸鹼的離阻值約略相同，而鹽的離阻值較大，因為 H^+ 的移動速率較 Na^+ 快，所以 $R'\text{NaCl} > R'\text{HCl}$ ，同理 OH^- 的移動速率較 Cl^- 快，所以 $R'\text{NaCl} > R'\text{NaOH}$ 。

【實驗五】：比較電解質的串聯與並聯的離阻值

我們分別測量電解質溶液 0.2M、0.3M、串聯和並聯電壓與電流關係圖。如圖 30 所示，其離阻值分別是 $R'0.2\text{M} = 4.2621\Omega$ 、 $R'0.3\text{M} = 3.1178\Omega$ 、 $R'\text{串聯} = 7.4122\Omega$ 、 $R'\text{並聯} = 1.8374\Omega$ 。結果顯示當電解質串聯之後，其總離阻值約等於個別的離阻值總合，此結果與式(4)中：「當歐姆電阻串聯時，其總電阻為個別電阻相加，亦即 $R = R_1 + R_2 + \dots$ 。」的理論相似；當電解質並聯之後，其總離阻值的倒數，為個別離阻值倒數之總合。此結果與式(5)中：「當歐姆電阻並聯時，其總電阻倒數為個別電阻倒數之總合，亦即 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$ 。」的理論相似。

【實驗六】：比較不同溫度下的離阻值

我們改變電解質溶液溫度，分別為 30°C 、 40°C 、 50°C 、 60°C 、 70°C 、 80°C ，測量其電壓與電流關係圖。如圖 32 所示，其離阻值 R' 分別是 $R'30 = 8.174\Omega$ 、 $R'40 = 6.7359\Omega$ 、 $R'50 = 5.8522\Omega$ 、 $R'60 = 5.278\Omega$ 、 $R'70 = 4.4218\Omega$ 、 $R'80 = 3.9618\Omega$ 。結果顯示，隨著溫度上升，離阻值越來越小，因為溫度升高會幫助離子的解離與移動，此結果與「金屬電阻受熱，原子振盪造成電子流動困難而電阻值升高」正好相反，但與「半導體加熱，使電子更容易從價帶跳入傳導帶而導電」結論相似。

【實驗七】：比較不同濃度下的離阻值

我們改變電解質溶液的濃度，分別為 0.01M、0.02M、0.03M、0.04M、0.05M、0.06M、0.07M、0.08M、0.09M、0.1M，測量其電壓與電流關係圖。如圖 34 所示，其離阻值 R' 分別是 $R'0.01\text{M} = 53.74\Omega$ 、 $R'0.02\text{M} = 31.021\Omega$ 、 $R'0.03\text{M} = 22.374\Omega$ 、 $R'0.04\text{M} = 14.748\Omega$ 、 $R'0.05\text{M} = 11.035\Omega$ 、 $R'0.06\text{M} = 9.7731\Omega$ 、 $R'0.07\text{M} = 8.2367\Omega$ 、 $R'0.08\text{M} = 7.6291\Omega$ 、 $R'0.09\text{M} = 7.0263\Omega$ 、 $R'0.1\text{M} = 6.4378\Omega$ 。圖 35 結果顯示，當濃度增加時，離阻值越來越小，導電度則越來越大，因為當濃度增加時，更多離子參與電荷的移動，幫助導電。

柒、研究結論

- (一) 從實驗我們可以清楚的知道，電解質溶液的離阻值和歐姆電阻不盡相同。歐姆電阻其電壓和電流成正比關係，而離阻值包含一截止電壓，當電壓低於此截止電壓時，必無電流產生(絕緣區)，當電壓超過此截止電壓，才有電流的產生(導電區)，且電壓與電流程直線關係，其直線斜率即為電解質的離阻值。
- (二) 在導電區中，兩極碳棒在距離不同、接觸面積不同，如同電子在長短、截面積不同的歐姆電阻中的運動情形中一般。歐姆電阻越長電阻值越大，兩極碳棒距離越遠則電阻越大；此外，在粗細不同的歐姆電阻中，越粗的電阻值越小，兩極碳棒與溶液接觸面積越大離阻值越小。
- (三) 對於兩極距離相同且接觸面積相同而言，影響離阻值大小是電解質本身的種類。產生離子個數越多、價數越大、分子量越小，則離阻值越小，越容易導電。
- (四) 串並聯則與歐姆電阻結果相同的，當兩電解質溶液串聯時，離阻值增加；燈兩電解質溶液並聯時，離阻值減少。
- (五) 當溫度增加時，離子解離更多，也幫助離子移動，因此離阻值降低。
- (六) 濃度增加時，產生離子個數增加，離阻值越小，越容易導電。
- (七) 本實驗連接物理學與化學觀點，探討其中影響電解質溶液導電因素，讓大家體會物理與化學之間的神奇變化。

捌、參考資料

- (一) 邱紀良教授著，科學發展雜誌 393 期，P.66~P.71，2005 年。
- (二) 電解質溶液的電流磁效應，中華民國第四十二屆中小學科學展覽，國立台灣科學教育館。
- (三) 電解與磁場的秘密，中華民國第四十二屆中小學科學展覽，國立台灣科學教育館。
- (四) 電!電!電!電解、電解質、電池相關問題之探討，中華民國第四十四屆中小學科學展覽，國立台灣科學教育館。
- (五) 黃瑞雄、顏溪成教授著，科學發展雜誌 359 期，P.22~P.24，2002 年。
- (六) 南一書局，酸、鹼、鹽，高中化學（上冊），P.129~P.150，95 年 8 月再版。
- (七) 南一書局，國民中學自然與生活科技教科書第四冊，P.16~P.24，2007 年。
- (八) 南一書局，國民中學自然與生活科技教科書第四冊，P.52~P.67，2007 年。

玖、網站

<http://nr.stpi.org.tw/ejournal/NSCM/9409/9409-11.pdf>

<http://nr.stpi.org.tw/ejournal/NSCM/9111/9111-05.pdf>

http://www.nsc.gov.tw/_newfiles/popular_science.asp?add_year=2005&popsc_aid=107

<http://www.sec.ntnu.edu.tw/cultivation/93年/期末報告/物pdf/張楸曦.pdf>

【評 語】 031626 當歐姆遇上阿瑞尼士

針對課程教材中的疑點作為研究主題值得鼓勵。實驗內容對不同電解質，電解質濃度電極間距離，溫度等的改變作完整有系統的探討，參與同學對實驗內容亦有完整的了解。可加強部份：低電壓時應以微量電流計測出電流量，高電壓部份觀察是否符合歐姆定律。