

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

030213

花蓮縣私立海星高級中學

指導老師姓名

韓建誠

作者姓名

胡喬淵

韓奐宇

中華民國第四十四屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：百變粉筆－

粉筆在國中理化實驗課程中的運用

關 鍵 詞：導電度、電解、電池

編 號：

摘 要

在校園的學習活動中，由於粉筆穩定性高，吸水性好，並可以在教室就地取材，達到創意的學習效果。本研究利用粉筆結合國中實驗，經過設計、操作、結果比較，得到以下幾個發現與特色：

壹、粉筆的運用涵蓋離子移動觀察與反應、電解與電池反應等實驗課程。

貳、本研究可以改善實驗課程的方法，達到節省資源、操作簡易、容易觀察、多元發展的重要意義：

一、所有實驗都在小小的粉筆上進行，可以大量節省藥品，並且減少操作空間，讓實驗也可以帶著走，在實驗室以外的其他場合進行。

二、簡易的操作過程中，反應現象可以清楚觀察，體驗知識原理，增進學習的效果與樂趣。

三、可以再發揮巧思，利用粉筆發展出更多元的實驗內容。

目 錄

封面	1
摘要	2
第一章 研究動機	4
第二章 研究目的	4
第三章 研究方法	5
第一節 研究流程	5
第二節 概念與原理	5
第三節 實驗步驟	7
第四章 研究結果	12
第五章 討論	25
第六章 結論	27
參考資料	28

第一章 研究動機

粉筆是校園內老師與學生在知識互動上的橋樑，它很重要，卻常被忽略。研究者希望擴展其運用領域，結合國中實驗，朝向環保與節省資源；操作簡易與容易觀察測量；讓實驗更有趣味。經過討論，粉筆在電解與電池的實驗上，值得嘗試，開始規劃與著手進行百變粉筆的研究。

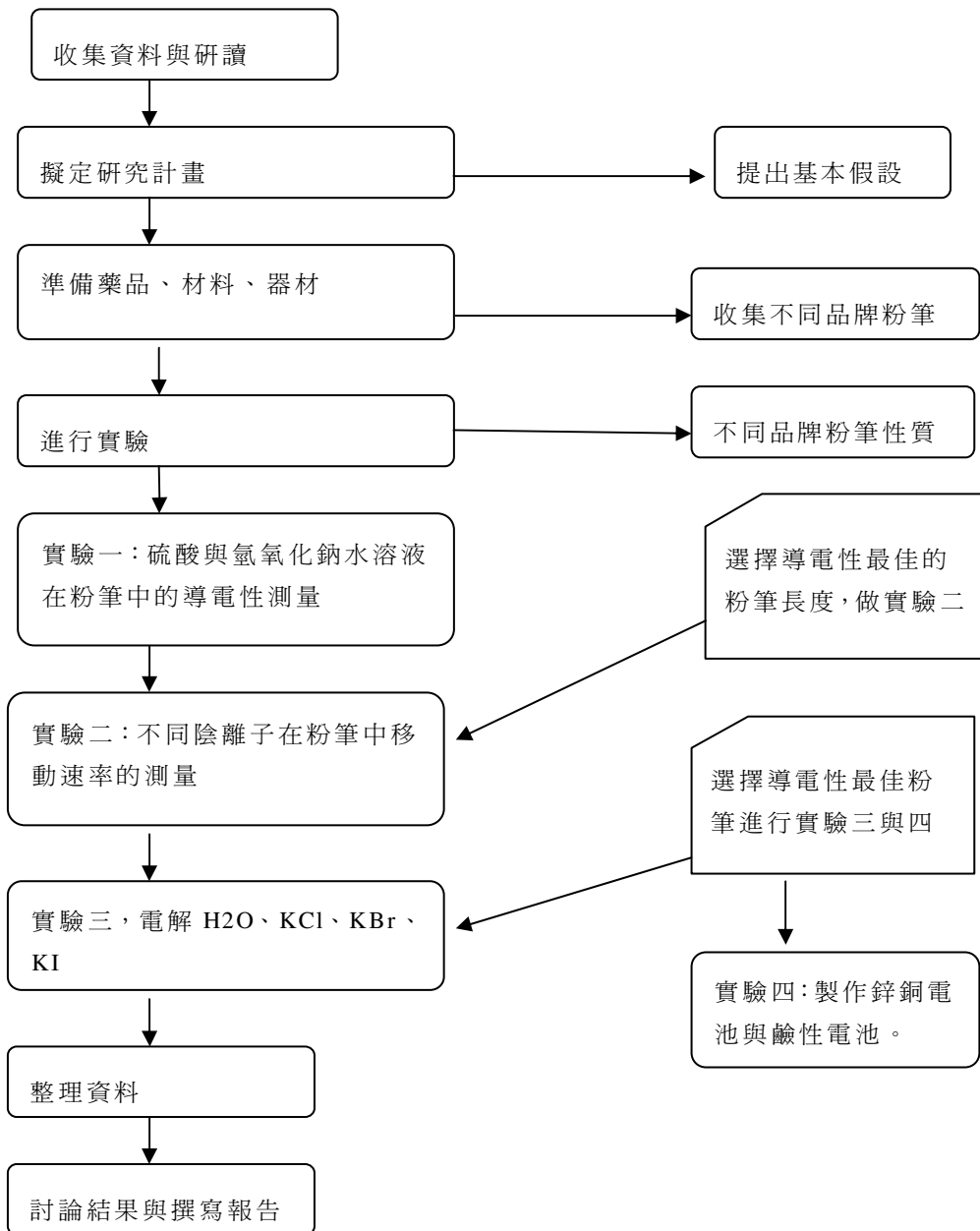
第二章 研究目的

構想分爲四個階段與主題，循序漸進，研究的目的如下：

- 一、了解不同品牌粉筆吸附 H_2SO_4 與 NaOH 水溶液後，導電度的比較。
- 二、比較不同陰離子，於吸附 H_2SO_4 與 NaOH 水溶液的粉筆上之移動速率。
- 三、在粉筆上電解 H_2O 、 KCl 、 KBr 、 KI ，觀察正極與負極的反應與酸鹼性的變化。
- 四、製作鋅銅電池與鹼性電池，測量電流與電壓，讓燈泡發亮。

第三章 研究方法

第一節 研究流程



第二節 概念與原理

壹、 關於實驗一，電解質在粉筆中的導電性探討

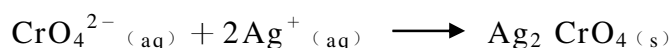
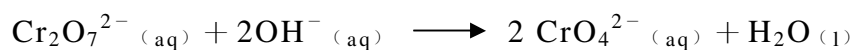
粉筆主要成分為硫酸鈣，膠質與極少量碳酸鈣，吸水性佳穩定性高。

本實驗選擇氫氧化鈉與硫酸水溶液為電解質，比較電解質濃度與導電性的關係；粉筆長度與導電性的關係；不同品牌與導電性的關係。

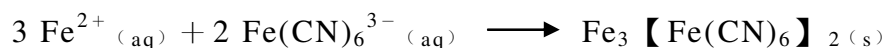
貳、關於實驗二，不同的陰離子在粉筆中移動速率的比較

MnO_4^- 可清楚觀察紫色移動的狀況； $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 與 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ 可觀察，但是沒有 MnO_4^- 顯明，可以利用其他化學作用產生更顯明顏色； SCN^- 無色，必須利用化學反應使其顯色。作用如下：

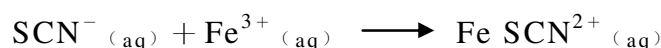
一、電解質為氫氧化鈉時， $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ （橙色）反應形成 CrO_4^{2-} （黃色），可利用 Ag^+ 使其反應產生 Ag_2CrO_4 （s）磚紅色。反應如下：



二、 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ 利用 Fe^{2+} （亞鐵離子）形成藍色 $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ 來觀察。反應如下：

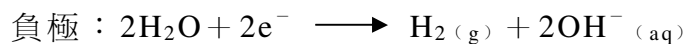
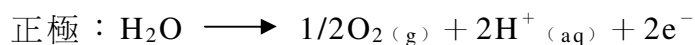


三、 SCN^- 可與 Fe^{3+} 作用，形成 FeSCN^{2+} 血紅色陽離子，而觀察出其移動距離。反應如下：

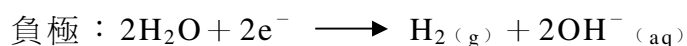
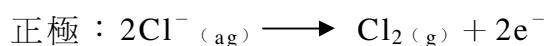


參、關於實驗三，電解 H_2O 、 KCl 、 KBr 、 KI

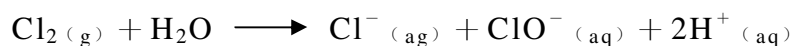
一、電解水



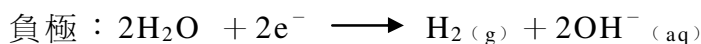
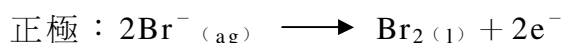
二、電解 KCl



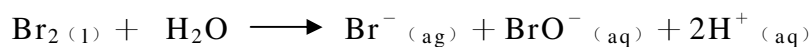
正極除了產生 Cl_2 ，部分 Cl_2 進行以下反應，形成酸性：



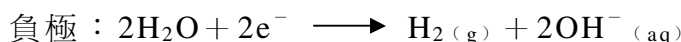
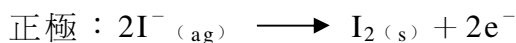
三、電解 KBr



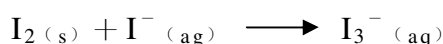
正極除了產生 Br_2 ，部分 Br_2 進行以下反應，形成酸性：



四、電解 KI

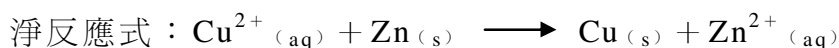
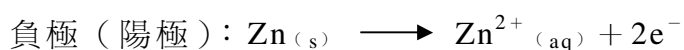
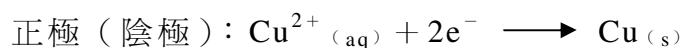


正極產生 I_2 ， I_2 繼續進行以下反應，形成黃褐色的 I_3^{-} ：

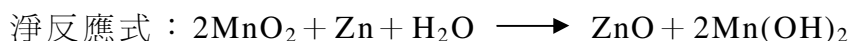
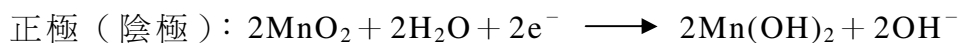


肆、電池的製作

一、 鋅銅電池



二、 鹼性電池



第三節 實驗步驟

壹、藥品與器材

NaOH ； H_2SO_4 ； KMnO_4 ； $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ； $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ； KSCN ； AgNO_3

FeSO_4 ； $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ； KCl ； KBr ； KI ；銅片；鋅片； CuSO_4 ； ZnSO_4 ； KNO_3 ；

MnO_2 ；碳粉；木片；石蕊試紙（藍）；酚酞指示劑；燒杯（50ml、250ml）；

U形管；電源供應器；鑷子；導線；石墨棒；石墨片；乾燥器；鑽頭一組；

自製粉筆架；粉筆（ A_1 、 A_2 、 A_3 、 B_1 、 B_2 、 B_3 品牌）；三用電表；烘箱；砂紙；

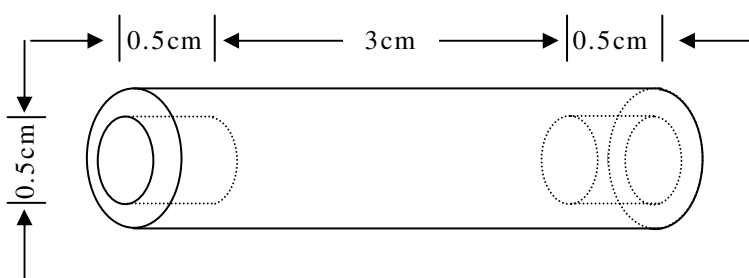
銼刀；燈泡（發光二極體）；自製毛細滴管；剪刀；水彩筆（細）。

貳、實驗步驟

一、實驗一，電解質在粉筆中的導電性探討

(一) 準備

1. 取不同品牌粉筆，環保品牌編號 A，非環保品牌編號 B，剪成 4cm、5cm、6cm。用鑽頭鑽出兩頭深 0.5cm、直徑 0.5cm 的孔，如圖一。穿好後分別呈現 3 cm、4 cm、5 cm 的粉筆放置乾燥箱待用。
2. 配好濃度 0.005M、0.01M、0.025M、0.05M、0.075M 和 0.1M 的 H_2SO_4 與 NaOH 。並測溶液導電度，碳棒在溶液中深度 0.5cm，距離 3cm。



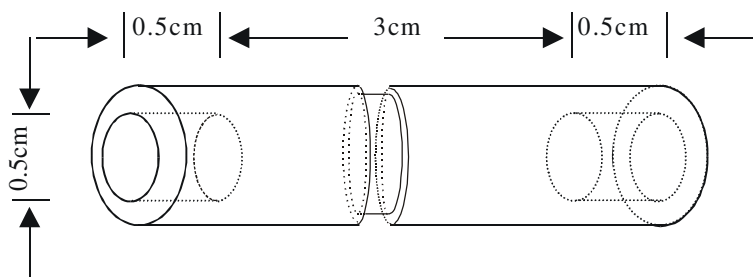
(圖一) 粉筆中測量導電度。

(二) 實驗

1. 將電源供應器調整至 12 伏特直流電，以導線串聯三用電表（先歸零校正），導線兩極接上石墨棒。
2. 把 0.005M 的 NaOH 水溶液倒入約 30ml 於 50ml 燒杯中，以鑷子將 A₁ 品牌 3cm 粉筆放入燒杯中浸泡，使其潤濕。
3. 取出粉筆接上石墨電極通電，測出電流。並紀錄。
4. 重複步驟 2、3，不同粉筆測量三次，求其平均值。
5. 改變粉筆長度，重複步驟 1 至步驟 4。
6. 改變粉筆品牌重複步驟 1 至步驟 5，測量導電度。
7. 依序改變 NaOH 水溶液濃度，重複以上步驟。
8. 將 NaOH 改成 H_2SO_4 水溶液，重複以上步驟。

二、實驗二，不同的陰離子在筆中移動速率的比較

(一) 準備



(圖二)在粉筆上觀察離子移動。

將中間以剪刀刻一個凹槽和兩端以鑽頭穿深 0.5cm 全長 4cm，兩極距離 3cm 的粉筆(A₁,A₂, A₃,B₁,B₂,B₃)分類裝入杯放於乾燥皿待用。如圖二。

(二) 實驗

甲、觀察 KMnO₄ 移動實驗：

1. 取 A₁ 在粉筆凹槽處平均滴入約 0.5ml KMnO₄。
2. 用鑷子夾住粉筆一端，將另一端浸泡 0.1M NaOH 溶液，避免 KMnO₄ 接觸 NaOH 溶液，待 NaOH 水溶液接近凹槽線，取出粉筆，再浸泡另一端。KMnO₄ 因層析作用，將集中於凹槽線附近。
3. 用鑷子點出 KMnO₄ 的前端位置。以石墨棒接上粉筆兩端以 12v 直流電通電 15 分鐘。
4. 15 分鐘後，測量離子所跑的距離，並紀錄。重複(1)~(5)步驟，測 3 次求平均距離。
5. 分別測 A₂,A₃,B₁,B₂,B₃。
6. 將電解液改為 0.1M H₂SO₄ 溶液，重複(1)~(5)步驟。

乙、觀察 K₂Cr₂O₇ 移動實驗：

1. 同實驗甲步驟 1 至 3，將 KMnO₄ 改為 K₂Cr₂O₇。
2. 通電完成以水彩筆沾 0.1M 硝酸銀溶液，於粉筆上由外而內刷一下，使原本黃色不易觀察的部分呈現磚紅色，以利觀察測量 K₂Cr₂O₇ 移動距離。重複以上步驟測量 3 次求平均值。
3. 分別測量 A₂, A₃,B₁,B₂,B₃。重複以上步驟。
4. 將電解液改為 0.1M 硫酸水溶液，重複以上步驟。

丙、觀察 $K_3Fe(CN)_6$ 移動實驗：

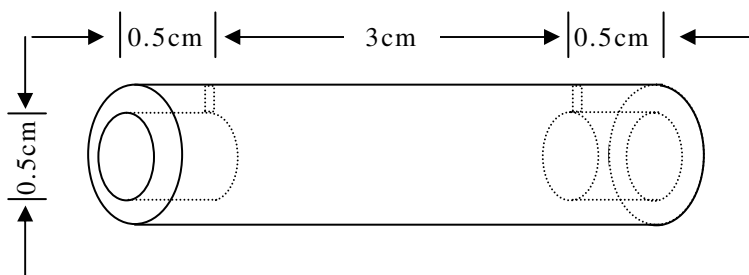
1. 同實驗甲步驟 1 至 3，將 $KMnO_4$ 改為赤血鹽 $K_3Fe(CN)_6$ 。
2. 通電完成以水彩筆沾 1M 硫酸亞鐵溶液，於粉筆上由外而內刷一下，使原本黃色不易觀察的部分呈現藍色 $Fe_3Fe(CN)_6$ ，以利測量 $Fe(CN)^{3-}_6$ 離子移動距離。重複以上步驟測量 3 次求平均值。
3. 分別測量 A_2, A_3, B_1, B_2, B_3 。重複以上步驟。
4. 將電解液改為 0.1M 硫酸水溶液，重複以上步驟。

丁、觀察 $KSCN$ 移動實驗：(無色)

1. 同實驗甲步驟 1 至步驟 2，將 $KMnO_4$ 改為 $KSCN$ 。
2. 以水彩筆沾硫酸鐵($Fe_2(SO_4)_3$)水溶液，於凹槽附近輕描，形成血紅色，確定硫氰化鉀的起始位置。
3. 以石墨棒電極接上粉筆兩端 12v 直流電，通電 15 分鐘後。以水彩筆沾硫酸鐵($Fe_2(SO_4)_3$)水溶液於粉筆上由外而內刷一下，形成 $FeSCN^{2+}$ 紅色，以利觀察測量 SCN^- 離子移動距離。
4. 分別測量 A_2, B_1, B_2, B_3 。重複以上步驟。
5. 將電解液改為 0.1M 硫酸水溶液，重複以上步驟。

三、實驗三：電解 H_2O 、 KCl 、 KBr 、 KI

實驗步驟：



(圖三) 在粉筆上電解結構。

1. 取粉筆(A_2)3cm，以小鑽頭 (1.0mm) 在兩頭 0.5cm 位置鑽出氣孔，如圖三，浸入約 30ml $NaOH(0.1M)$ 溶液中，以鑷子取出，用毛筆沾酚酞指示劑畫在粉筆上，觀察變化，通直流電 12 伏特電解約 10 分鐘，觀

察兩極顏色變化與氣孔是否產生氣體。

2. 重複步驟 1，將電解液改為 $\text{H}_2\text{SO}_4(0.1\text{M})$ 水溶液。
3. 重複步驟 1，將電解液依序改為 $\text{KCl}(0.1\text{M})$ 、 $\text{KBr}(0.1\text{M})$ 、 $\text{KI}(0.1\text{M})$ 等水溶液。電解過程以石蕊試紙測試陽極酸鹼性。

四、實驗四：製作鋅銅電池與鹼性電池

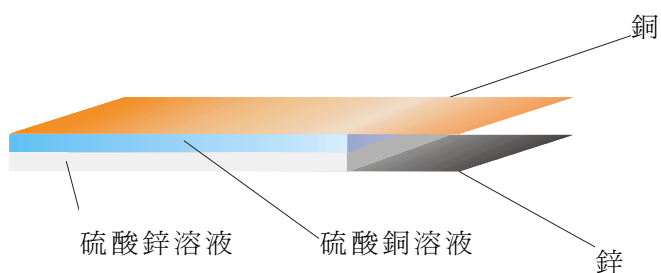
實驗步驟：

(一) 鋅銅電池

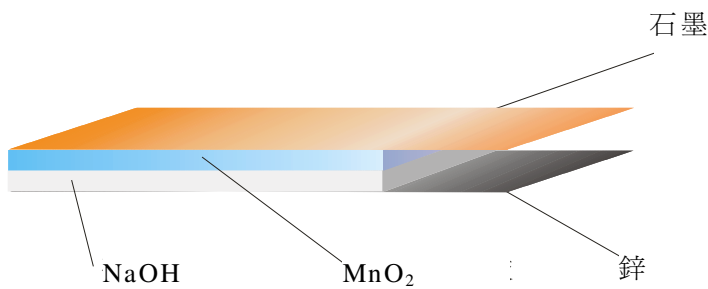
1. 粉筆(A_2)磨成長 \times 寬 \times 高各為 $3\text{cm}\times 1\text{cm}\times 0.4\text{cm}$ 的片狀，分別於 $\text{CuSO}_4(1.0\text{M})$ 、 $\text{ZnSO}_4(1.0\text{M})$ 浸濕，取銅片與鋅片分別與粉筆疊上。如圖四。接通電表，分別測量電流與電壓。
2. 取另一相同規格粉筆片，於 $\text{KNO}_3(1.0\text{M})$ 浸濕，放於原來兩粉筆片中間，當作鹽橋，再測量其電流與電壓。
3. 重複步驟 1、2 三次，並測量 4cm^2 、 5cm^2 、 6cm^2 、 7cm^2 、 8cm^2 等不同接觸面積粉筆。比較電流與電壓。
4. 以最大電流的鋅銅電池進行 2 組、3 組、4 組的串聯，分別測量電流與電壓的變化，同時接上燈泡，觀察燈泡是否發亮。
5. 以二燒杯 250ml，分別盛 200ml $\text{CuSO}_4(1.0\text{M})$ 、 $\text{ZnSO}_4(1.0\text{M})$ 製作 $\text{KNO}_3(1.0\text{M})$ 鹽橋，接上鋅、銅兩極，比較電流與電壓。

(二) 鹼性電池

1. 製作正負電極（如圖五），將 MnO_2 與 C 以不同比例潤濕，填裝至正極石墨片上，再以粉筆潤濕不同濃度的 $\text{NaOH}(0.5\text{M}$ 至 $3.0\text{M})$ ，貼上正極，再覆蓋負極鋅片板，測量電壓與電流。



(圖四) 鋅銅電池



(圖五)鹼性電池結構

第四章 研究結果

依研究流程，先對不同粉筆進行一般性質的比較，從表一中可以看出不同品牌粉筆，存在一些差異。這個基本測量數據有利於作為以下實驗的分析與參考。

(表一)：粉筆性質的基本測量

粉筆	密度 (g/cm^3)	吸附水後的導電度 (mA)	單位體積吸水量 (水 $\text{cm}^3/\text{粉筆 cm}^3$)
	平均	平均	平均
A ₁	0.180	1.1	0.11
A ₂	0.174	0.9	0.12
A ₃	0.455	0.1	0.02
B ₁	0.219	0.2	0.18
B ₂	0.175	0.1	0.17
B ₃	0.187	0.0	0.12

壹、 實驗一：導電度的測定

本實驗的測定，從數據中（表二、表三）可以發現以下結果：

- 一、在相同濃度氫氧化鈉與硫酸水溶液，導電性硫酸水溶液大於氫氧化鈉水溶液；但是在粉筆中的導電性，氫氧化鈉水溶液卻大於硫酸水溶液。
- 二、電解質濃度越高，在粉筆中的導電性越好；且粉筆越短導電性越大。
- 三、以 NaOH 為電解質，導電性最好的是 A₂ 品牌。以 H₂SO₄ 為電解質，導電性最好的是 A₁ 品牌。以 3cm 為例如圖五所示。
- 四、粉筆浸泡電解液時有氣泡產生，以硫酸水溶液比較多。

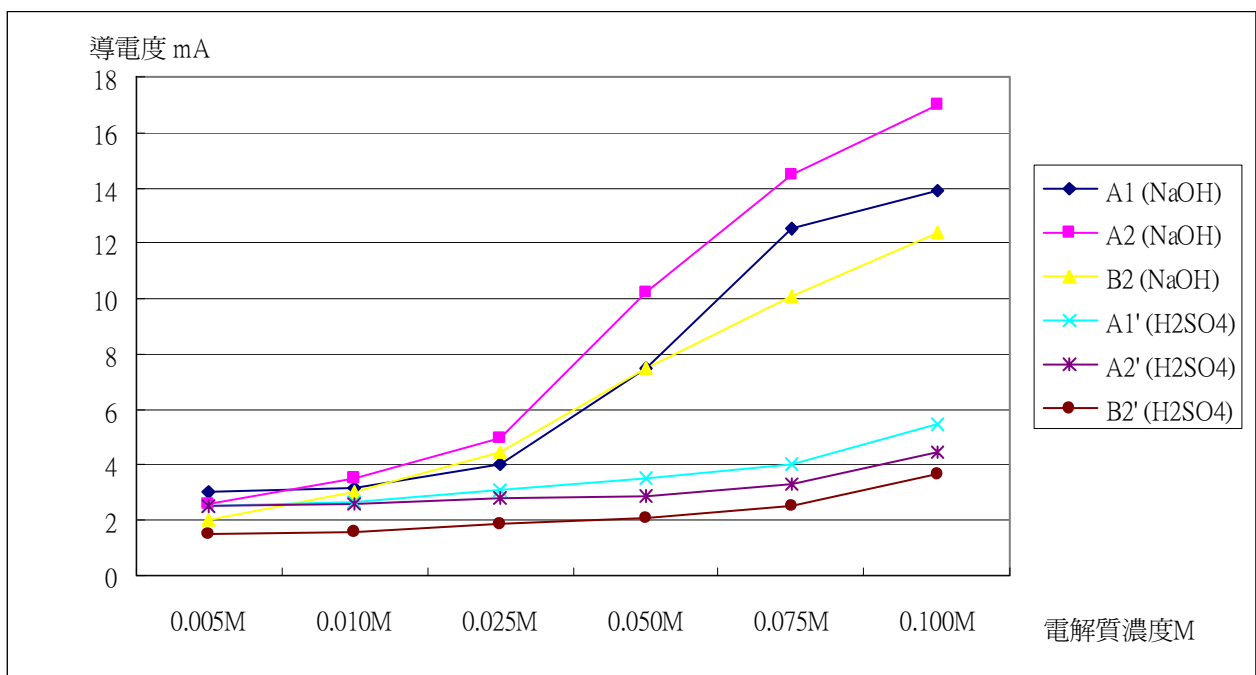
(表二)：NaOH 水溶液與不同粉筆吸附 NaOH 水溶液的導電度

粉筆	種類 \ 濃度	0.005M	0.010M	0.025M	0.050M	0.075M	0.100M
		平均值	平均值	平均值	平均值	平均值	平均值
	NaOH 水溶液	9.0	25.2	40.0	69.5	105.0	137.3
3 公分	A ₁	3.0	3.2	4.0	7.5	12.5	13.9
	A ₂	2.6	3.5	5.0	10.2	14.5	17.0
	A ₃	0.5	0.6	0.7	1.0	1.1	1.2
	B ₁	1.2	2.2	4.5	5.5	9.5	10.0
	B ₂	2.0	3.0	4.5	7.5	10.1	12.4
	B ₃	1.6	2.5	4.0	5.5	7.5	10.0
4 公分	A ₁	1.5	2.4	3.0	6.8	7.8	11.5
	A ₂	2.0	2.6	4.5	7.5	11.0	12.1
	A ₃	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8	1.0
	B ₁	1.5	1.8	3.0	5.0	7.2	9.9
	B ₂	1.9	2.4	3.5	5.4	7.6	9.8
	B ₃	1.5	1.9	4.0	5.5	6.3	7.2
5 公分	A ₁	1.7	1.9	2.5	5.5	8.0	10.0
	A ₂	2.0	2.5	3.5	6.5	11.5	12.5
	A ₃	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7
	B ₁	1.4	1.6	3.0	4.5	6.2	7.5
	B ₂	1.5	2.0	3.0	5.0	6.1	6.6
	B ₃	1.0	1.2	2.5	3.5	4.2	6.0

(表三)：H₂SO₄ 水溶液與不同粉筆吸附 H₂SO₄ 水溶液的導電度

粉筆	種類 \ 濃度	0.005M	0.010M	0.025M	0.050M	0.075M	0.100M
		平均值	平均值	平均值	平均值	平均值	平均值
	H ₂ SO ₄ 水溶液	20.0	38.2	67.3	114.0	184.5	220.7
3 公分	A ₁	2.5	2.7	3.1	3.5	4.0	5.5
	A ₂	2.5	2.6	2.8	2.9	3.3	4.5
	A ₃	0.5	0.6	0.6	0.8	0.9	1.2
	B ₁	1.5	1.7	2.0	2.3	2.5	3.5
	B ₂	1.5	1.6	1.9	2.1	2.5	3.7

	B ₃	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0
4 公分	A ₁	2.5	2.6	3.0	3.5	3.9	5.5
	A ₂	2.0	2.1	2.2	2.3	2.5	2.9
	A ₃	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
	B ₁	1.5	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5
	B ₂	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	2.5
	B ₃	1.0	1.0	1.2	1.5	1.7	2.0
5 公分	A ₁	2.0	2.1	2.3	2.5	3.0	3.5
	A ₂	1.5	1.6	1.7	1.9	2.2	2.8
	A ₃	0.2	0.3	0.4	0.6	0.6	0.7
	B ₁	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0
	B ₂	1.0	1.0	1.3	1.4	1.7	2.5
	B ₃	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.3



(圖六) 3cm 不同粉筆導電度比較

貳、 實驗二：不同陰離子平均移動速率的測量

本實驗通電時間 15 分鐘。在此期間電流將隨時間而減小，因此先測量 15 分鐘內的平均電流，如表四。A₁、A₂、B₂ 研究結果如表五。結果如下：

一、 平均電流的大小，維持實驗一的大小次序。以 NaOH 為電解液，A₂ 導

電度最好；以 H_2SO_4 為電解液， A_1 導電度最好。

二、以 NaOH 為電解液， A_2 導電度最好，相同陰離子在粉筆中移動速率，也是如此；不同陰離子在粉筆中的移動速率以 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ 在 A_2 中最快。

三、以 H_2SO_4 為電解液，陰離子移動速率比較沒有規則性。 SCN^- 的移動速率，反而比在 NaOH 為電解液的粉筆中快，移動速率最快的是 SCN^- 在 B_2 中。如表五所示。

四、加試劑讓不易觀察的陰離子顯色，以利觀察，都如反應原理發生，如圖八至圖十九。

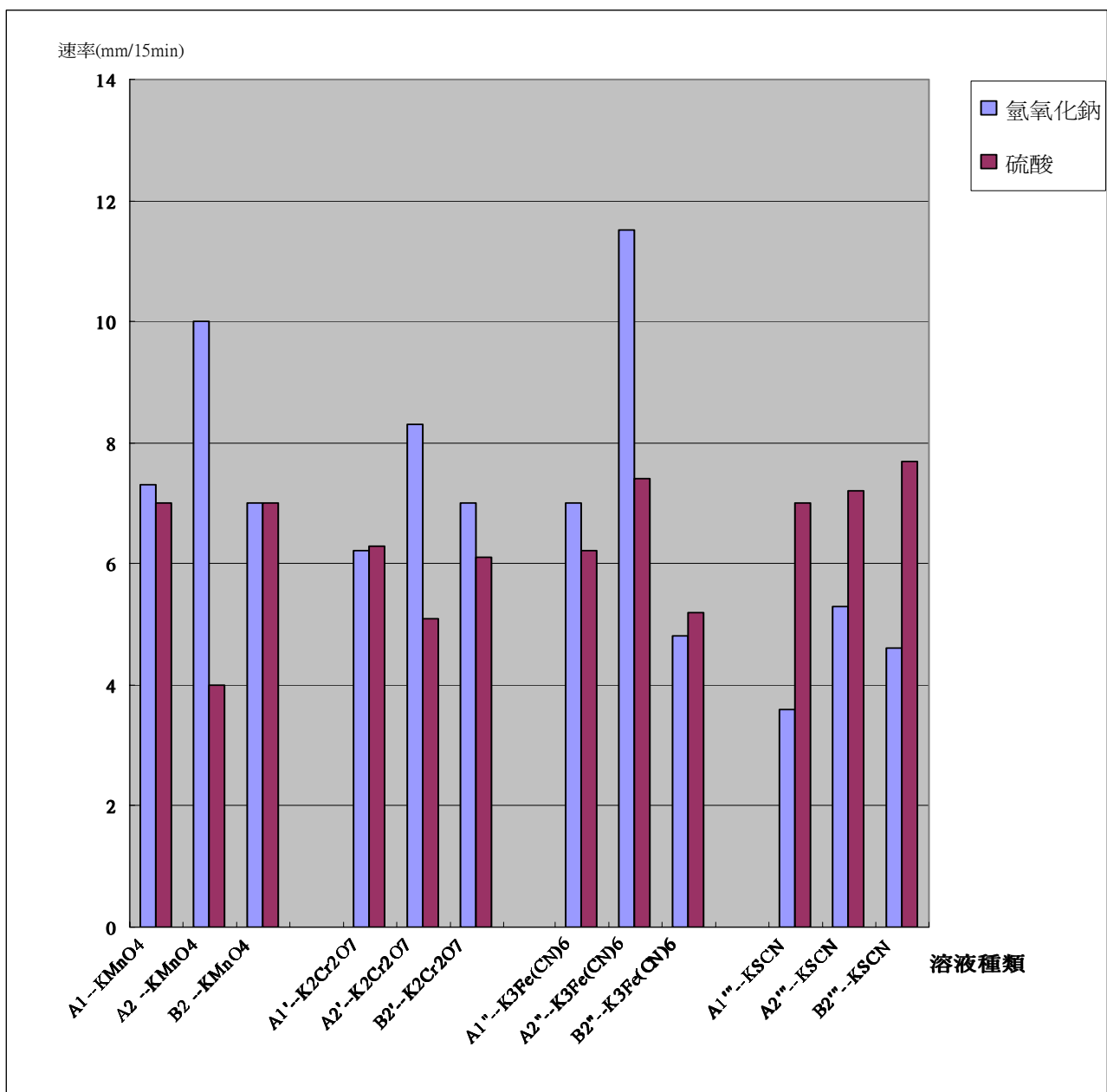
(表四)：平均電流的測定 (mA/15min)

粉筆	電解質	時間				總平均
		0 分	5 分	10 分	15 分	
		平均	平均	平均	平均	
A_1	$\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 0.1M	13.9	12.0	12.0	11.0	12.2
A_2		17.0	15.0	14.8	14.5	15.4
A_3		1.2	1.0	0.8	0.7	0.9
B_1		10.0	9.2	8.0	8.0	8.8
B_2		12.4	11.0	9.3	7.5	10.0
B_3		10.0	9.0	8.5	8.5	9.0
A_1	$\text{H}_2\text{SO}_4_{(\text{aq})}$ 0.1M	5.5	4.1	4.0	3.5	4.3
A_2		4.5	4.0	3.6	3.5	3.9
A_3		1.2	1.0	0.7	0.5	0.9
B_1		3.5	2.5	1.7	1.7	2.4
B_2		3.7	3.3	3.0	2.5	3.1
B_3		3.0	2.5	2.1	2.0	2.4

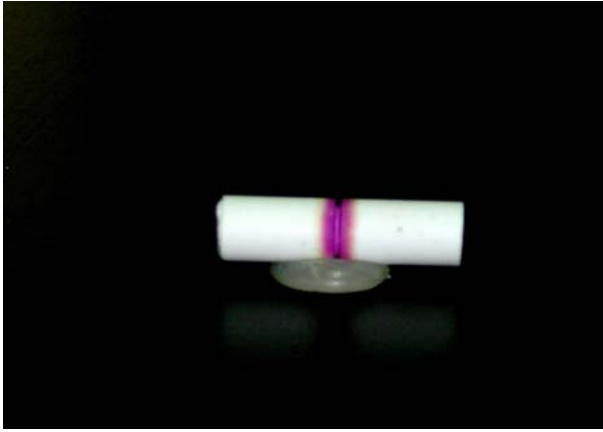
(表五)：離子移動速度 (mm/15min)

粉筆	電解質	陰離子			
		$\text{MnO}_4^-_{(\text{aq})}$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$	$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}_{(\text{aq})}$	$\text{SCN}^-_{(\text{aq})}$
		平均	平均	平均	平均
A_1	$\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 0.1M	7.3	6.2	7.0	3.6
A_2		10.0	8.3	11.5	5.3
A_3		1.1	0.7	1.4	0.2
B_1		7.5	4.2	4.4	2.5

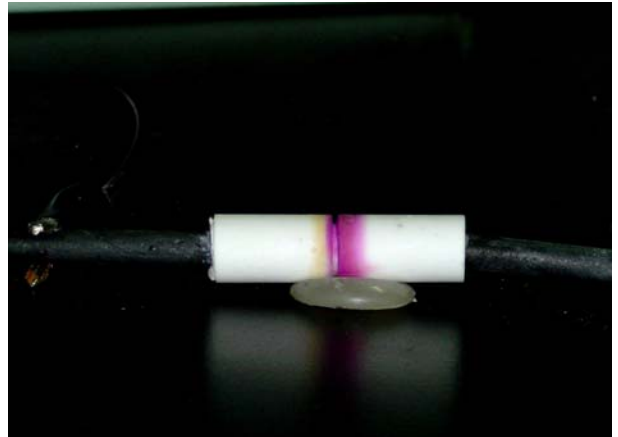
B ₂		7.0	7.0	4.8	4.6
B ₃		7.1	7.0	2.5	3.8
	備註		實際移動離子 為 CrO ₄ ²⁻		
A ₁	H ₂ SO ₄ (aq) 0.1M	7.0	6.3	6.2	7.0
A ₂		4.0	5.1	7.4	7.2
A ₃		1.0	0.8	0.8	0.4
B ₁		2.6	2.3	4.1	7.0
B ₂		7.0	6.1	5.2	7.7
B ₃		2.5	4.0	1.3	6.0



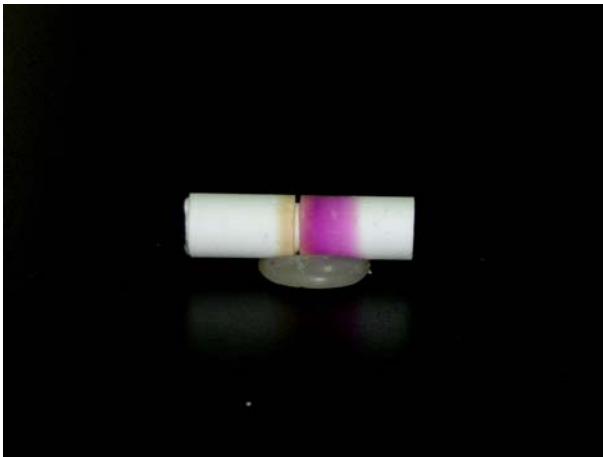
(圖七) 不同離子移動速率比較



(圖八) 通電前 KMnO_4 於粉筆中線位置。



(圖九) 通電中 MnO_4^- 紫色向右邊正極移動。



(圖十) 通電完成明顯可見 MnO_4^- 移動一段距離。



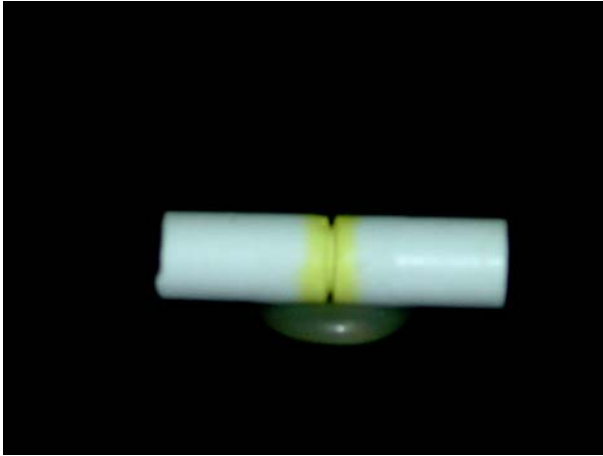
(圖十一) 通電前 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 於粉筆中線，電解液為 NaOH ，使橙色 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 成為黃色 K_2CrO_4 。



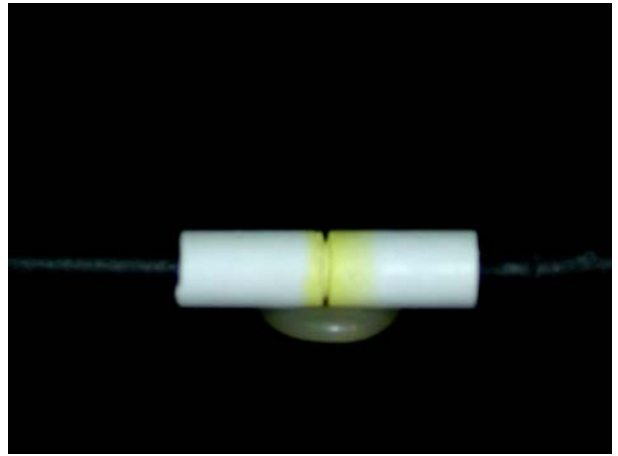
(圖十二) 通電中 CrO_4^{2-} 黃色向右邊正極移動。



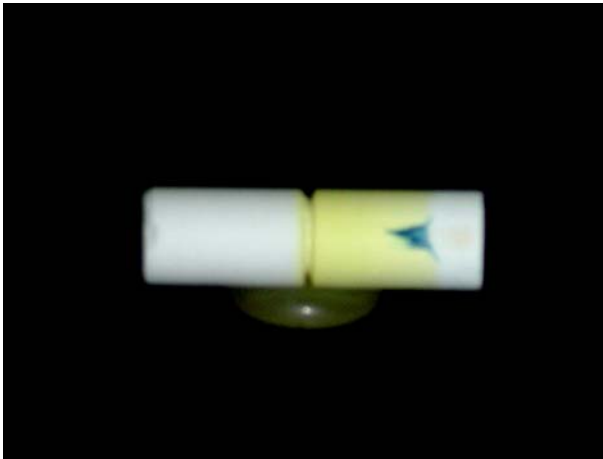
(圖十三) 通電完成以水彩筆沾 AgNO_3 水溶液，由外而內輕輕一劃，顯示 Ag_2CrO_4 磚紅色，利於觀察與測量。



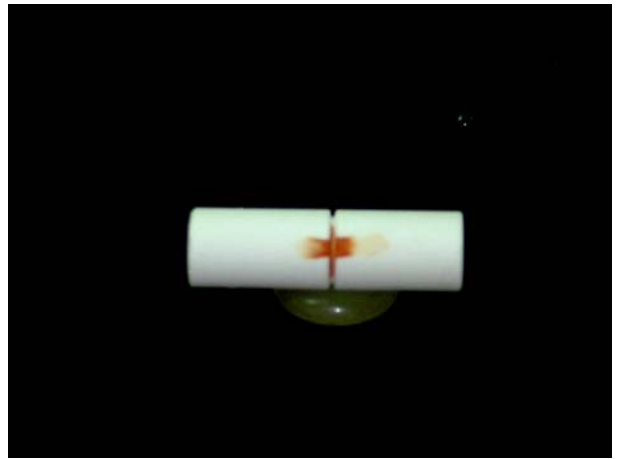
(圖十四) 通電前 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 於粉筆中線。



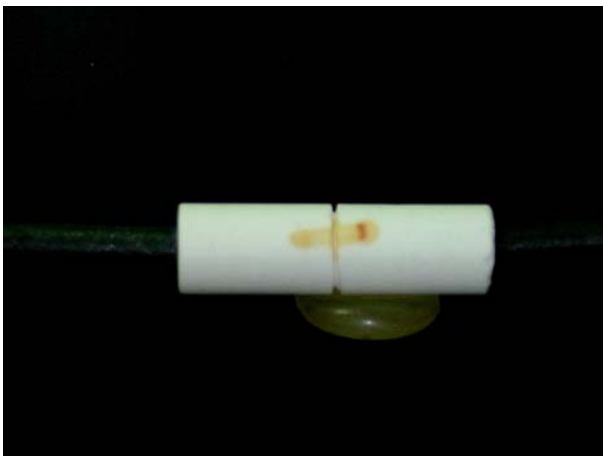
(圖十五) 通電中 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ 黃色向右邊正極移動。



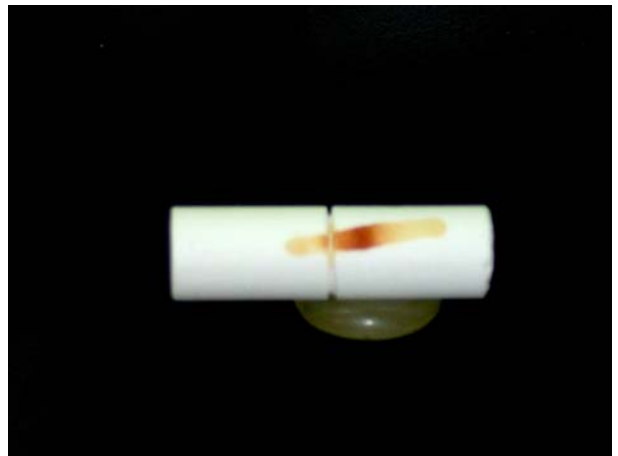
(圖十六) 通電後以水彩筆沾 FeSO_4 水溶液由外而內輕輕劃，顯示 $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ 藍色利於觀察與測量。



(圖十七) 通電前 KSCN 為無色，以水彩筆沾 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 水溶液在中線附近輕描，形成 FeSCN^{2+} 血紅色離子，以確定通電前 KSCN 的位置。



(圖十八) 通電中 SCN^- 不易觀察出往正極動。



(圖十九) 通電後以水彩筆沾 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 水溶液，由外而內輕輕一劃，形成 FeSCN^{2+} 血紅色離子，利於觀察與測量。

參、 實驗三：電解 H_2O 、 KCl 、 KBr 、 KI

本實驗重點在於定性的觀察，符合理論上的結果，整理如表六與表七，研究結果如下：

(一) 關於電解水，氣孔中可以看到氣泡的產生，尤其以 NaOH 為電解質，氣泡的數量在負極幾乎是正極的二倍，以此推論負極產生的氫氣體積是正極氧氣的二倍（圖二二），過程如圖二十至圖二五。

(二) 關於電解鹵化鉀鹽，因為粉筆為白色，很容易觀察顏色變化。負極皆有氫氣產生。至於正極，電解 KCl 可以觀察氣泡的發生，此 Cl_2 氣泡讓濕潤藍色石蕊試紙變成紅色；電解 KBr 正極沒有氣體發生，產生淡黃綠酸性物質；電解 KI 正極如理論上形成 I_3^- 的棕色離子的反應，過程如圖二六至圖三十。

(表六)：電解水

項目	電解質	正極	負極
1. 氣體的產生	$\text{NaOH}_{(\text{aq})}$	O_2	H_2
	$\text{H}_2\text{SO}_4_{(\text{aq})}$	O_2	H_2
2. 產物氣泡量	$\text{NaOH}_{(\text{aq})}$	6	13
	$\text{H}_2\text{SO}_4_{(\text{aq})}$	不易觀察	不易觀察
3. 指示劑與顏色變化	$\text{NaOH}_{(\text{aq})}$	粉紅變白（即無色） 圖二三	粉紅不變 圖二三
	$\text{H}_2\text{SO}_4_{(\text{aq})}$	白不變（即無色） 圖二五	白（即無色）變粉紅 圖二五

(表七)：鹽類的電解

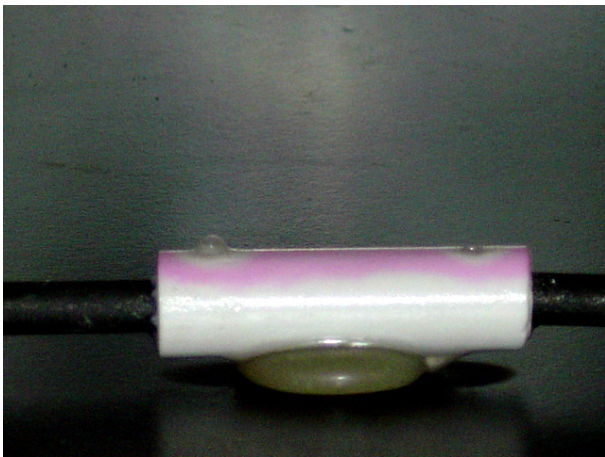
項目 \ 電解質	KCl		KBr		KI	
	正極	負極	正極	負極	正極	負極
1. 氣體的產生	Cl_2 圖二九	H_2	無	H_2	無	H_2 圖二六
2. 產物與顏色變化	氣泡、氣孔周圍微黃色	氣泡無色	無氣泡、氣孔周圍微黃綠色	氣泡無色	無氣泡、氣孔周圍褐色	氣泡無色
3. 加酚酞指示劑變化	微黃色(不變) 圖三十	粉紅色 圖三十	微黃綠色 圖二八	粉紅色 圖二八	棕 (I_3^- 顏色) 圖二七	粉紅色 圖二七
4. 以石蕊試紙檢驗酸減	藍變紅 圖三十	紅變藍	藍變紅	紅變藍	藍色石蕊只有微紅改變	紅變藍



(圖二〇) 電解水尙未通電時的粉筆。



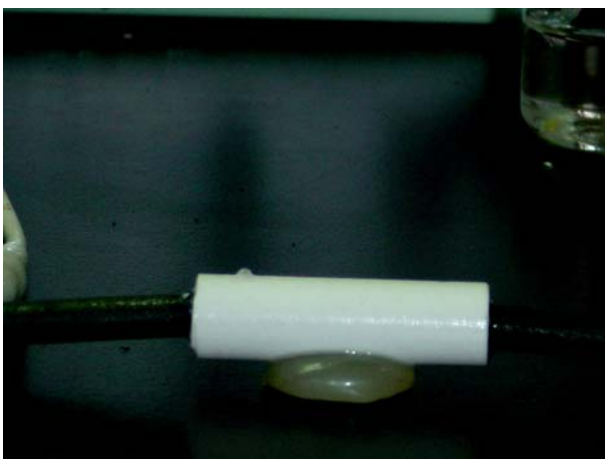
(圖二一) 以 NaOH 爲電解液，水彩筆沾酚酞畫上整上粉筆，顯示粉紅色的鹼性反應。



(圖二二) 電解過程中，左邊負極產生氫氣，右邊產生氧氣，從氣孔中產生氣泡。



(圖二三) 電解後，正極產生的酸，中和鹼使粉紅色消失。



(圖二四) 電解水，以 H_2SO_4 爲電解液，以水彩筆沾酚酞畫上整隻粉筆，顯示粉筆不變色，酸性反應。



(圖二五) 電解後，負極形成粉紅色，表示負極電解過程形成鹼。



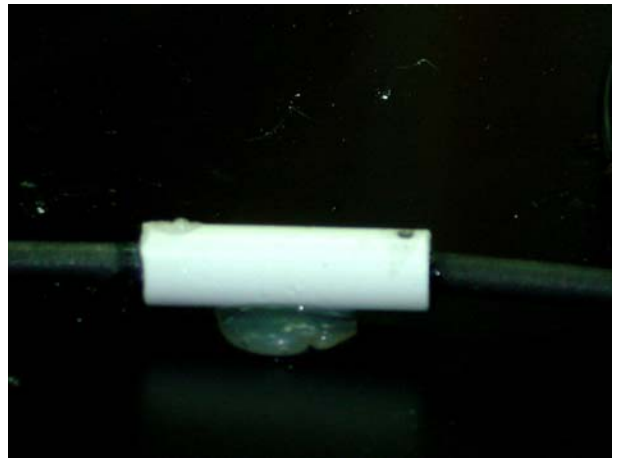
(圖二六) 電解 KI 水溶液，正極形成棕色，負極產生氫氣泡。



(圖二七) 電解後，負極以酚酞測試，產生粉紅色，為鹼性反應，負極反應如同電解水。



(圖二八) 電解 KBr 水溶液，正極產生淡黃綠色。負極如同電解水反應。



(圖二九) 電解 KCl 水溶液，正極產生淡黃色氣體，負極有氫氣泡產生。



(圖三十) 電解 KCl 水溶液，正極產生酸性反應，藍色石蕊試紙變成紅色，負極如同電解水反應。

肆、 實驗四：鋅銅電池的製作

一、關於鋅銅電池從數據中可以發現以下結果：

(一) 電極接觸面積越大，電壓不變，電流越大；使用粉筆製作，電流比傳統實驗（如圖三四）大十倍左右。如表八與圖三一。

(二) 電池串聯電壓變大，電流不變。如表九。以 8cm^2 粉筆製作電池，串聯兩組電池以上可以讓燈泡發亮。如圖三五。

二、關於鹼性電池

(一) 一般而言，電解質濃度越高電流與電壓越大，如表十、圖三二與三三，電壓約維持在 1.7 至 1.8 伏特，穩定電流約在 7mA 至 19mA 間，單組以上可使燈泡發亮如圖三六與三七，但純 MnO_2 與 MnO_2 / C 質量比 2 : 1 的情況下反而電流下降。

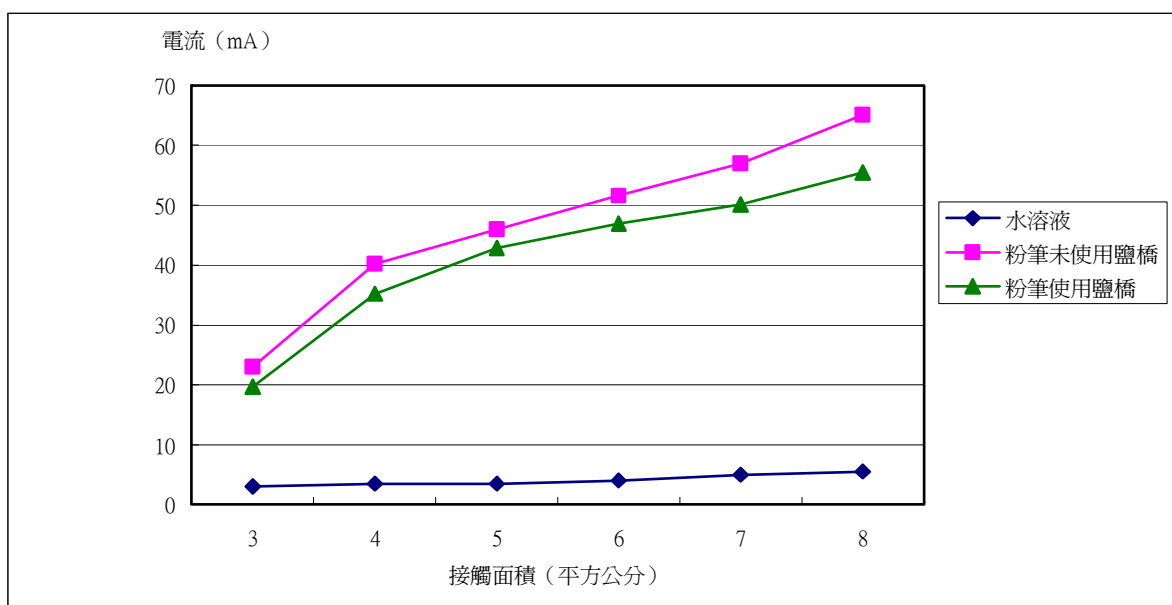
(二) MnO_2 / C 質量比會影響電壓與電流的大小。

(表八)：鋅銅電池

實驗項目	接觸面積 測量項目	3cm^2	4cm^2	5cm^2	6cm^2	7cm^2	8cm^2
		平均	平均	平均	平均	平均	平均
課本實驗（水溶液）	電位差（V）	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	電流（mA）	3.0	3.5	3.5	4.0	5.0	5.5
未使用鹽橋（粉筆）	電位差（V）	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	電流（mA）	23.0	40.2	46.0	51.6	57.0	65.1
使用鹽橋（粉筆）	電位差（V）	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	電流（mA）	19.7	35.2	42.9	47.0	50.2	55.5

(表九)：鋅銅電池的串聯（ 8cm^2 ）

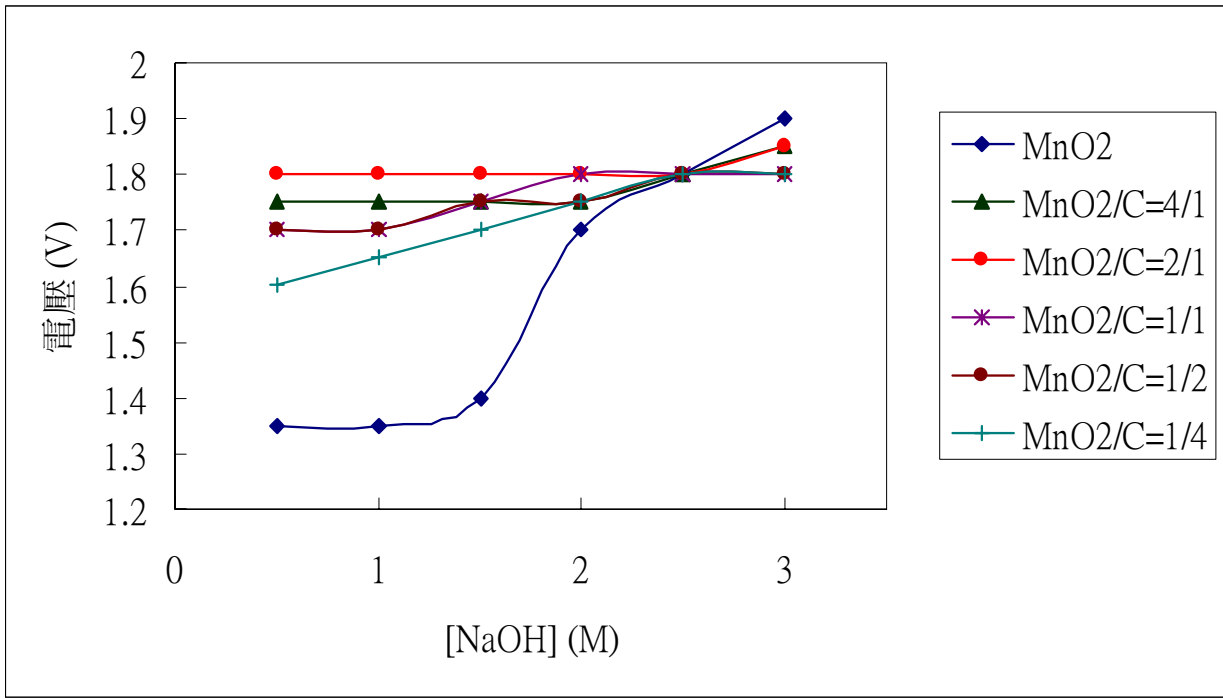
電池串聯	一組	二組	三組	四組
電位差（V）	1.1	2.2	3.2	4.3
電流（mA）	65.1	65.1	64.9	64.4
燈泡亮否	否	亮	亮	亮



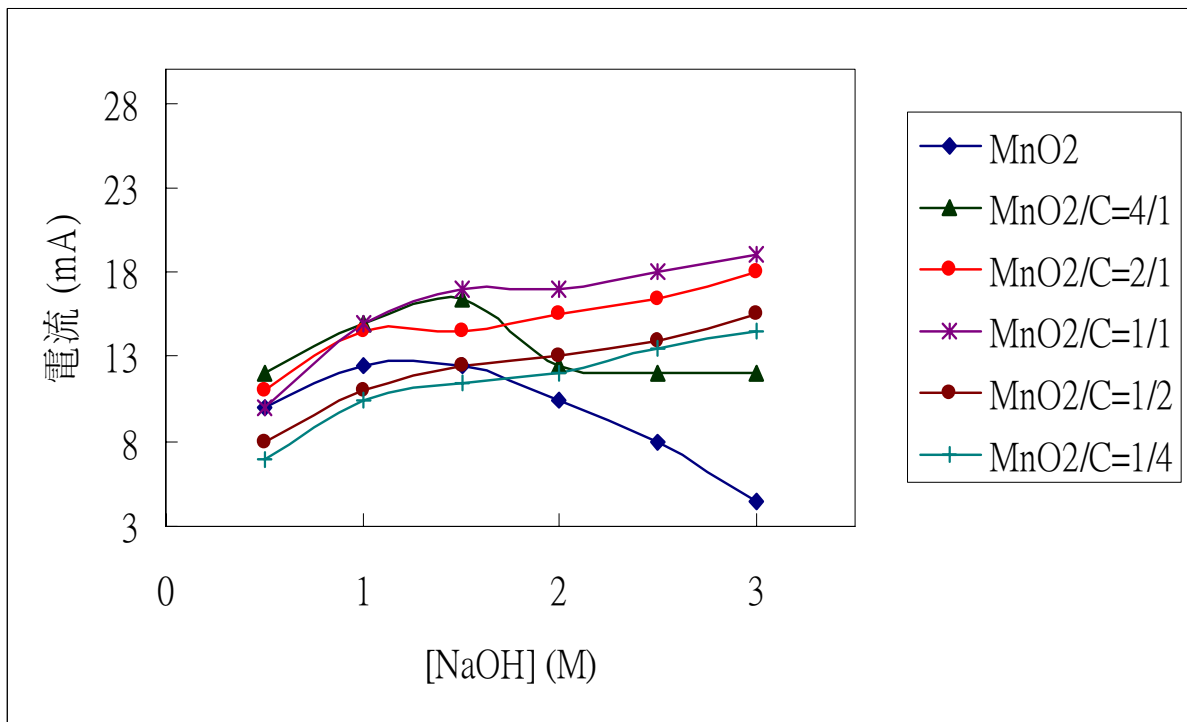
(圖三一) 鋅銅電池電流比較

(表十) 鹼性電池

MnO ₂ / C 質量比	項目 \ NaOH	NaOH					
		0.5M	1.0M	1.5M	2.0M	2.5M	3.0M
純 MnO ₂	穩定電壓 (V)	1.35	1.35	1.40	1.70	1.80	1.90
	穩定電流 (mA)	10.0	12.5	12.5	10.5	8.0	4.5
MnO ₂ / C 質量比 4 : 1	穩定電壓 (V)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.80	1.85
	穩定電流 (mA)	12.0	15.0	16.5	12.5	12.0	12.0
MnO ₂ / C 質量比 2 : 1	穩定電壓 (V)	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.85
	穩定電流 (mA)	11.0	14.5	14.5	15.5	16.5	18.0
MnO ₂ / C 質量比 1 : 1	穩定電壓 (V)	1.70	1.70	1.75	1.80	1.80	1.80
	穩定電流 (mA)	10.0	15.0	17.0	17.0	18.0	19.0
MnO ₂ / C 質量比 1 : 2	穩定電壓 (V)	1.70	1.70	1.75	1.75	1.80	1.80
	穩定電流 (mA)	8.0	11.0	12.5	13.0	14.0	15.5
MnO ₂ / C 質量比 1 : 4	穩定電壓 (V)	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.80
	穩定電流 (mA)	7.0	10.5	11.5	12.0	13.5	14.5



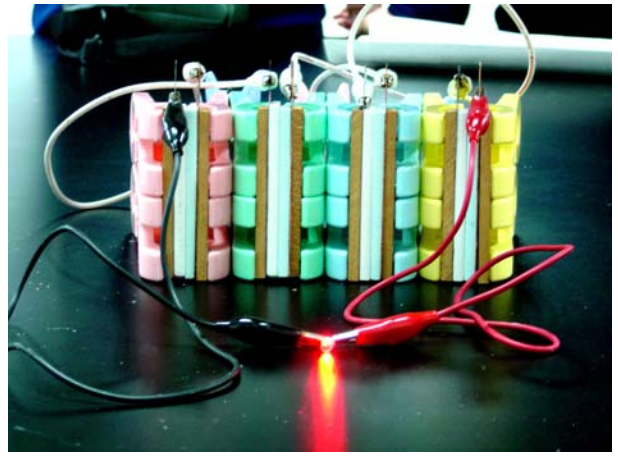
(圖三二) 鹼性電池電壓與電解質濃度關係圖



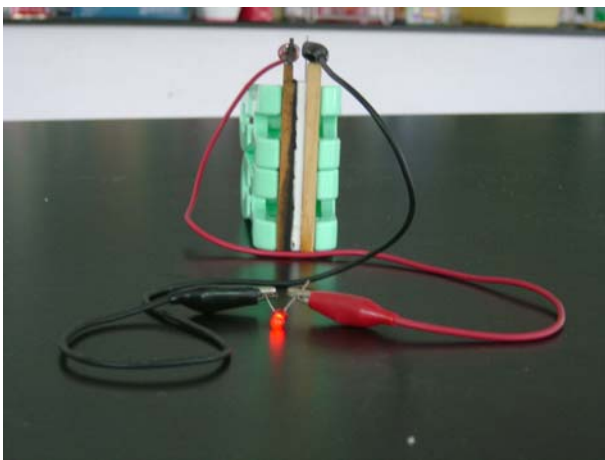
(圖三三) 鹼性電池電流與電解質濃度關係圖



(圖三四) 課程實驗中的鋅銅電池。



(圖三五) 串聯四組鋅銅電池，使燈泡發亮。



(圖三六) 單組鹼性電池，可讓燈泡發亮。



(圖三七) 串聯兩組鹼性電池，使燈泡發亮。

第五章 討論

壹、 關於實驗一：電解質在粉筆中的導電性探討

- 一、 相同濃度與環境下 H_2SO_4 水溶液的導電度比 NaOH 水溶液大。但是在粉筆中卻比較小。探究其原因，粉筆中含有少量碳酸鹽類，在酸的環境中產生 CO_2 氣體，充塞於粉筆中阻礙離子移動，使 H_2SO_4 水溶液導電性降低。
- 二、 實驗中發現，粉筆的長度、電解質的濃度都會影響導電度的大小。粉筆長度越長，離子移動距離越長阻力越大，使導電度變小；溶液濃度越大，參與導電的離子越多，導電性越好。
- 三、 導電度大小與粉筆的密度與吸水性也有關，導電度比較好的 A_1 、 A_2 、

B₂，密度介於 0.174 至 0.180g/cm³ 之間。導電度最小的 A₃，密度 0.455 g/cm³ 最大，密實的粉筆使離子移動空間小，不利離子移動。且單位體積吸水量最小，陰陽離子數量少，導電度小。

貳、關於實驗二：不同陰離子平均移動速率的測量

- 一、 藉著粉筆做陰離子移動速率的觀測，電解質的導電性越好（NaOH 優於 H₂SO₄），陰離子往正極移動速率越快。但是，SCN⁻在粉筆中的移動速率，反而以 H₂SO₄ 為電解液快，可能是 SCN⁻離子質量相對比 SO₄²⁻小，比 OH⁻大，使 SCN⁻離子移動速率，在 H₂SO₄ 中相對比較快。
- 二、 利用離子變色反應，有利於觀察，增加實驗的知識性與趣味。
- 三、 本實驗的操作需考量粉筆的層析效應，依實驗步驟逐一進行。避免操作不當，使觀察之陰離子在吸附電解質過程中擴散，影響測量結果的準確性。

參、關於實驗三：電解 H₂O、KCl、KBr、KI

- 一、 粉筆中 NaOH 的導電性比 H₂SO₄ 好，電解水以 NaOH 為電解質，反應比較劇烈，兩極產生氣體體積可因氣泡數量參考比較，氣體的鑑別也可用線香進行。
- 二、 電解水無論使用 NaOH 或 H₂SO₄ 為電解質，利用酚酞指示劑，在電解過程中很容易觀察出正極與負極酸鹼性的變化，容易驗證理論上的反應結果。
- 三、 電解鹵化鉀負極反應如電解水，產生氫氣，呈現鹼性反應。電解 KCl，正極產生 Cl₂ 氣體酸性反應；電解 KBr，產生 Br₂（觀察不易）酸性反應；電解 KI，正極產生 I₃⁻褐色，酸性表現不明顯。與理論上發生的反應一樣。

肆、關於實驗四：鋅銅電池與鹼性電池的製作

- 一、 金屬接觸粉筆面積越大，產生電流越大。而且比實驗課程中，架鹽橋於兩電解質水溶液間的方法，所產生電流更大。主要因為離子移動距離短。

- 二、 以粉筆做實驗，鹽橋的使用增加電池中離子移動距離，使電流降低。
- 三、 粉筆吸附電解液的鹼性電池，從數據比較，NaOH 濃度在 1.5M 至 3.0M 之間；MnO₂ / C 質量比 2 : 1 與 1 : 1。可以得到比較大的電流與穩定的電壓。濃度太小，起始電壓小，穩定電流小，無法讓燈泡發亮。純 MnO₂ 與 MnO₂ / C 大的質量比，在高濃度 NaOH 下，使 OH⁻ 在 MnO₂ 中的移動阻力比較大，電流反而變小。

第六章 結論

壹、 課程範圍涵蓋氧化還原反應、電解與電池、離子的反應等課程：

- 一、 NaOH 在粉筆中導電性比 H₂SO₄ 好，因此比較適合作為離子移動的電解質，同時也比較適合作為電解水的電解質。
- 二、 即使是不易觀察的離子，在粉筆中移動，依然可以用化學的方法讓其顯色，以利觀察，讓實驗更有趣。
- 三、 在粉筆上電解水，最大的特色是可以清楚觀察汽泡與兩極酸鹼性變化，但是對氣體定量實驗還需思考改進。
- 四、 電解 KI 在兩極有清楚反應的表現，在觀察上比在水溶液中容易，且更容易測出兩極的酸鹼性。
- 五、 使用粉筆做鋅銅電池實驗，電流比傳統實驗大十倍左右，且操作簡易，節省藥品。鹼性電池以粉筆吸附電解液來製作，MnO₂ / C 的質量比 1 : 1；NaOH 濃度 2.0M 表現最穩定。

貳、 本研究可以改善實驗課程的方法，達到節省資源、操作簡易、多元發展的重要意義：

- 一、 實驗在小小的粉筆上進行，可以大量節省藥品，並且減少操作空間，讓實驗也可以帶著走，在實驗室以外的其他場合進行。
- 二、 簡易的操作過程中，容易觀察，體驗知識原理，增進學習的效果與樂趣。
- 三、 可以再發揮巧思，利用粉筆發展出更多元的實驗內容。

參考資料

壹、中文部分

米山正信，張慧華譯，圖解生活化學世界，初版，台北，世茂，86 頁－95 頁，2002。

楊寶旺主編，高級中學基礎化學，台北，龍騰，45 頁－46 頁 130 頁－131 頁，2003。

楊寶旺主編，高級中學物質科學化學篇(下)，台北，龍騰，129 頁－140 頁，2003。

蕭次融(1989)，簡易化學實驗－電解，科學教育月刊，第 121 期。

貳、英文部分

Julie B. Ealy and James L. Ealy, Jr. Visualizing Chemistry Investigations for Teachers.

The American Chemical Society, Washington, DC 1995. p305－312.

評語

030213 國中組化學科 第二名

百變粉筆—粉筆在國中理化實驗課程中的運用

將粉筆用於數種不同的實驗上，設計上有相當的創意，亦具綠色化學之特色。