

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

040209

雙氧水電池與氧化劑水溶液電池研究

學校名稱： 花蓮縣私立海星高級中學

作者：	指導老師：
高二 葉昊定	韓建誠
高二 柯賢治	保淑卿
高二 林筱榕	
高二 程雋	

關 鍵 詞：雙氧水、電池、微型化

摘 要

我們希望嘗試雙氧水電池這個新議題與其他氧化劑次氯酸鈉、硝酸鐵電池，是希望它可以在實驗室輕易製作，且是環保而強力穩定的電池。實驗的過程我們盡可能使用低污染的材料，也發現一些不錯的實驗結果：

- 一、 雙氧水電池，燒杯中直接反應：以 10% 雙氧水、Zn 當陽極所產生的電壓電流最大，比文獻提到的 Al 電極好。
- 二、 雙氧水電池微型化， H_2O_2 30% 中加入寒天末、碳粉與少量磷酸鈉，可產生大且穩定的電流與電壓。如此製作的電池，並不亞於市售電池。
- 三、 三種電池的比較，以 H_2O_2 最為穩定，Zn 或 Mg 為電極可以產生很大的輸出電流。 NaClO 與 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 水溶液電池，反應速率太快，電池雖有高電壓與電流，但不是很穩定。 H_2O_2 確實可以發展為強力環保電池。

壹、研究動機

從網路中看到一篇 2003 年澳洲大學的報導，談到雙氧水可以增進未來燃料電池的電力，它的特色是電力大且穩定，可以直接在溶液中進行。因此，我們希望試試看以雙氧水製作電池，並與其比較結果的差異。另外，利用課程中所學到的一些低污染的氧化劑來製作電池，比較這一些電池，而且朝向環保微型化方向研究。

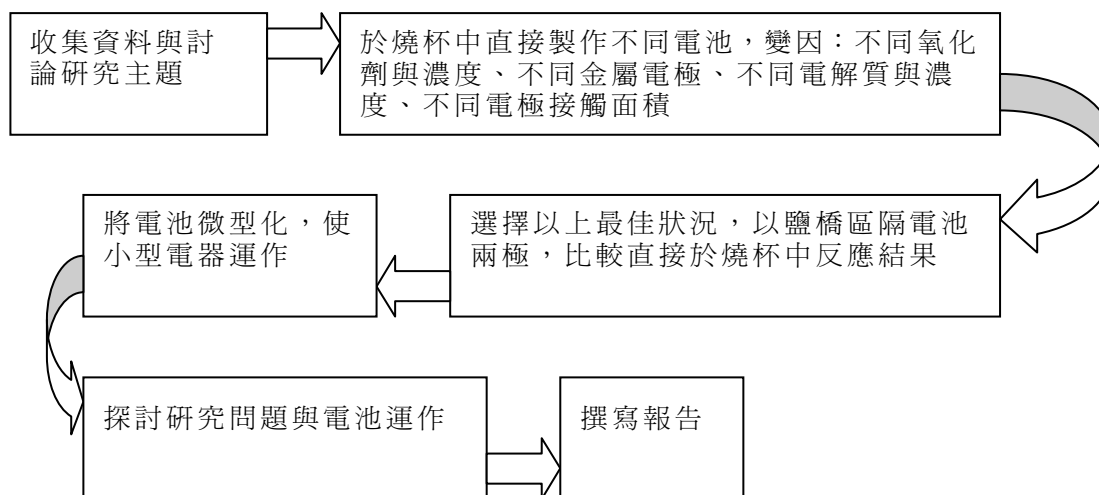
畢竟課程中可以做的電池，在高中實驗室很少，產生的電流與電壓小，無法讓小型電器運轉，而少了一些樂趣；更何況藥品用量大且毒性較強，我們希望嘗試雙氧水電池這個新議題與其他氧化劑電池，就是希望它可以在實驗室輕易製作，且是環保而強力的電池。

貳、研究目的

- 一、 製作雙氧水電池：利用直接與鹽橋區隔的不同反應方式，使用不同電極、不同電解質與濃度、不同雙氧水濃度，並比較結果。
- 二、 製作 NaClO 電池：利用直接與鹽橋區隔的不同反應方式，使用不同電極、不同電解質與濃度、不同 NaClO 濃度，並比較結果。
- 三、 製作 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 電池：利用直接與鹽橋區隔的不同反應方式，使用不同電極、不同電解質與濃度、不同 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 濃度，並比較結果。
- 四、 微型化不同電池：依據上述結果，擇優嘗試電池的微型化，使小型電器運轉，並可以在實驗室以外輕易操作。

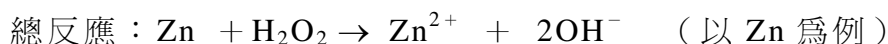
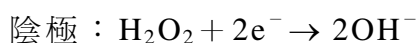
參、研究方法

一、研究流程

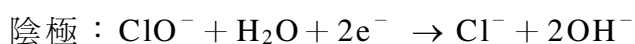


二、原理探討

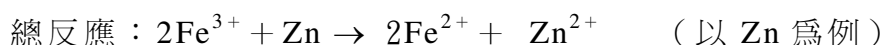
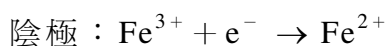
(一) 雙氧水電池



(二) NaClO 電池



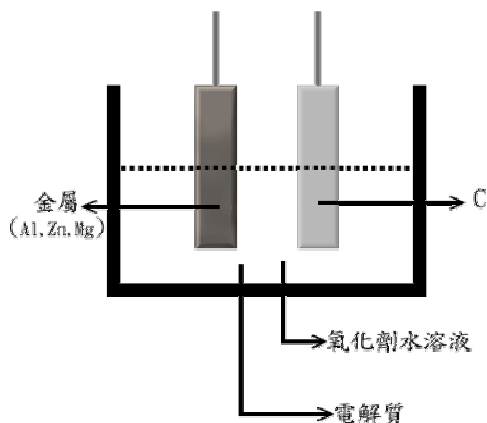
(三) Fe(NO₃)₃ 電池



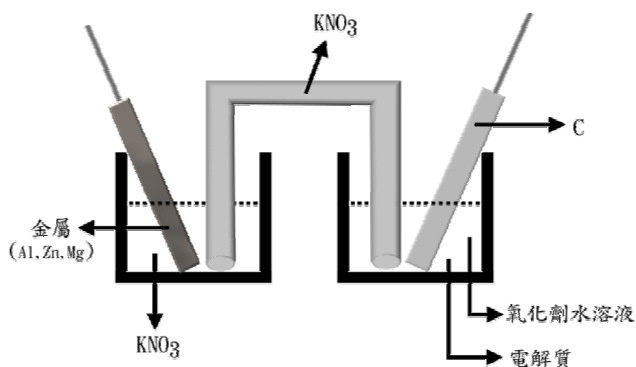
三、使用藥品與器材

H₂O₂、NaClO、Fe(NO₃)₃、KNO₃、H₂SO₄、NaOH、Al、Zn、Mg、磷酸鈉、碳粉、寒天末、石墨片、濾紙、燒杯 100ml、導線、三用電表、量瓶 250ml、砂紙、鹽橋（直徑 1cm）、安全吸球、分度吸量管、粉筆、紙板（0.1cm 厚）、夾子

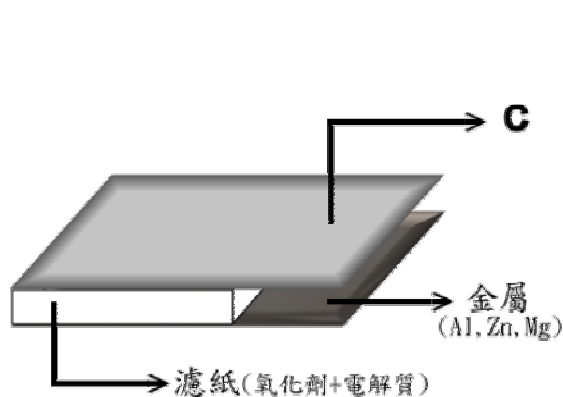
四、方法



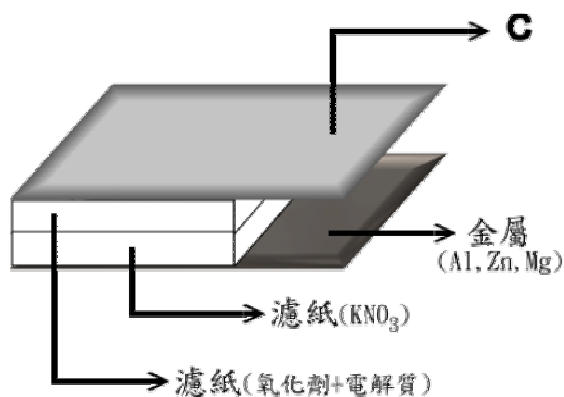
圖一：燒杯中直接反應



圖二：區隔反應



圖三：簡易直接反應



圖四：簡易區隔反應

五、實驗步驟

(一) 溶液中直接反應

1. 取 Al 片以砂紙將其表面磨光。
2. 配得濃度 KNO_3 (1M、0.1M、0.01M)， H_2SO_4 (1M、0.1M、0.01M)， NaOH (1M、0.1M、0.01M) 的 H_2O_2 溶液各 30%、20%、10%、5%。
3. 取 30% KNO_3 (1M、0.1M、0.01M) 三種 H_2O_2 水溶液各 100ml，分別倒入不同 100ml 燒杯中。
4. 將石墨片插入 H_2O_2 水溶液中，作為陰極；Al 片作為陽極，二極相距 1cm，改變兩極接觸面積為 6、12、18 cm^2 ，分別測量電流、電壓並紀錄，操作三次求平均。
5. 將步驟 1. 之 Al 片更換為 Zn 片、Mg 帶，重覆步驟 1.~4.。
6. 將氧化劑 30% H_2O_2 水溶液更換為 20%、10% 重覆以上步驟。

7. 將電解質 KNO_3 更換為 H_2SO_4 (1M、0.1M、0.01M)； NaOH (1M、0.1M、0.01M) 重覆以上步驟。
8. 改變氧化劑為 NaClO 與 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 重複以上步驟。

(二) 鹽橋區隔

1. 溶液中直接反應實驗，由不同金屬、電解液與氧化劑溶液的組合，選擇不同金屬電極產生電功率(電壓*電流)較大之溶液，取 100ml. 倒入 100ml 燒杯 A 中。
2. 取 1M KNO_3 水溶液 100ml. 倒入 100ml 燒杯 B 中，並製作 1M KNO_3 鹽橋(直徑 1cm)，將燒杯 A 及燒杯 B 用鹽橋連接。
3. 將碳片（陰極）插入燒杯 A 中，金屬片（陽極）插入燒杯 B 中。分別測出不同組合電池電壓、電流並記錄，操作三次求平均。

(三) 簡易直接反應

1. 溶液中直接反應實驗，由不同金屬、電解液與氧化劑溶液的組合中，選擇不同金屬電極產生電功率(電壓*電流)較大之溶液。
2. 以五片濾紙（2cm×9cm）吸附選擇的溶液，將碳片（陰極），金屬片（陽極），夾住濾紙。分別測出不同組合簡易電池電壓、電流並記錄，操作三次求平均。

(四) 簡易區隔反應

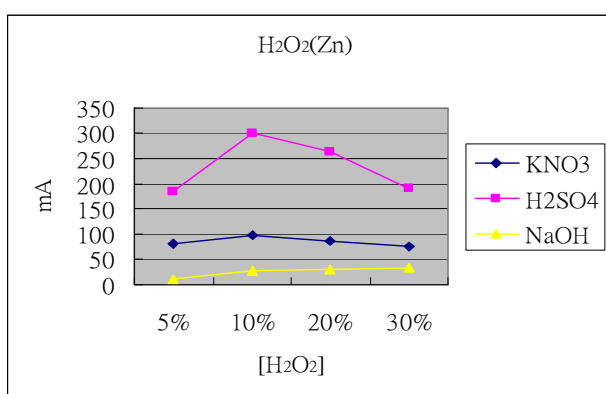
1. 溶液中直接反應實驗，由不同金屬、電解液與氧化劑溶液的組合中，選擇不同金屬電極產生電功率(電壓*電流)較大之溶液。
2. 以五片濾紙（2cm×9cm）吸附選擇的溶液，另外取五片濾紙，吸附 1M KNO_3 水溶液，將碳片（陰極），金屬片（陽極），夾住濾紙。分別測出不同組合簡易電池電壓、電流並記錄，操作三次求平均。

肆、研究結果

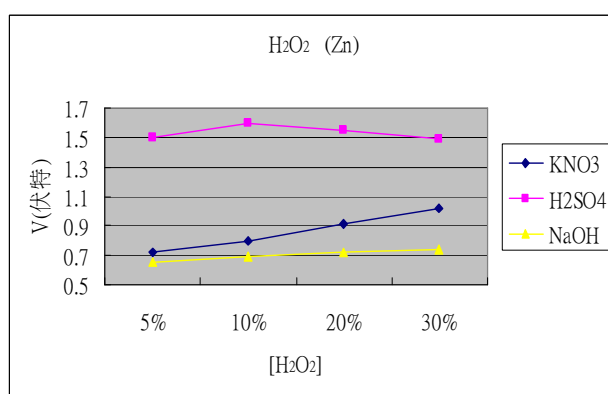
一、主題一：雙氧水電池

- (一) 溶液中直接反應：結果如附錄一。

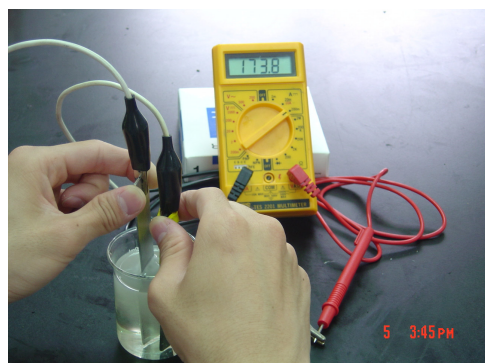
1. 雙氧水濃度以 10%，所產生的電流與電壓呈現較高的情況，對三種不同陽極（Al、Zn、Mg）都是如此。在相同雙氧水與電解質濃度下，電流與電壓比較 $Mg > Zn > Al$ 。
2. 以電解質而言，電解質 KNO_3 、 H_2SO_4 濃度越高電流與電壓呈現越大，但是 $NaOH$ 濃度越高電流與電壓呈現越小。在相同雙氧水與電解質濃度下，電流與電壓比較 $H_2SO_4 > KNO_3 > NaOH$ 。
3. 相同條件下，電極接觸面積越大電流越大，電壓亦有少量變大趨勢。
4. 比較不同電解質 1M 與氧化劑濃度對電流與電壓關係，如下圖五、圖六。



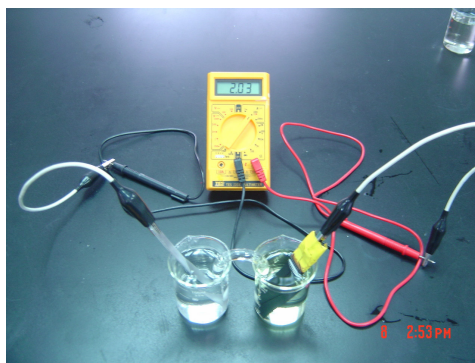
圖五：H₂O₂ 溶液直接反應電流－濃度關係圖



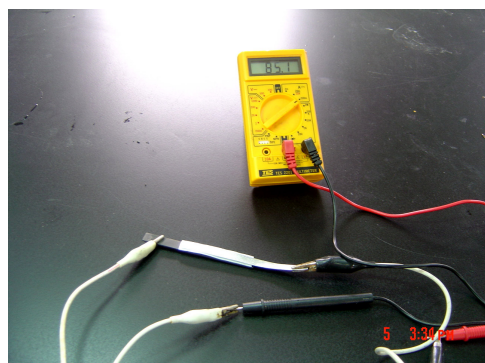
圖六：H₂O₂ 溶液直接反應電壓－濃度關係圖



圖七：燒杯中直接反應



圖八：鹽橋區隔反應



圖九：簡易電池反應測試

(二) 溶液中使用鹽橋區隔反應與簡易電池製作：

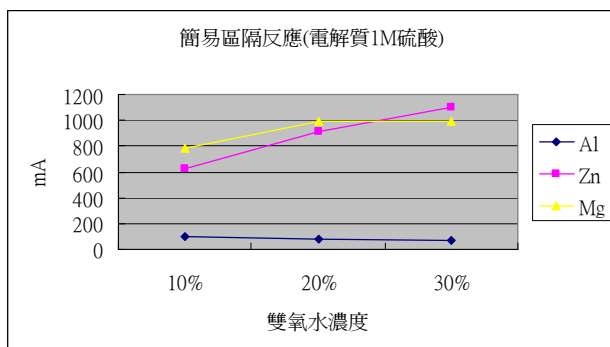
從溶液中直接反應結果(附錄一)，我們選擇較佳狀況(H_2O_2 10%、 H_2SO_4 1.0M，產生的電流與電壓較高)，製作鹽橋區隔電池與簡易電池；同時使用不同雙氧水濃度，比較直接反應的差異。結果如(表一)：

表一： H_2O_2 電池不同反應型式比較表 (電極接觸面積 18cm^2)

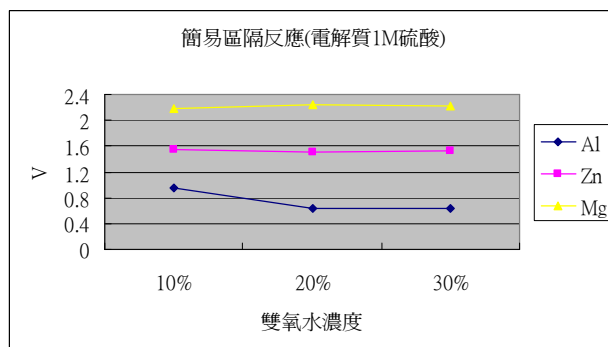
電極	反應	杯中直接反應	鹽橋區隔			簡易直接反應	簡易區隔反應		
Al	濃度	10%	10%	20%	30%	10%	10%	20%	30%
	電解質濃度	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M
	V	1.04	1.44	1.45	1.25	1.05	0.95	0.63	0.64
	mA	112	2.82	3.97	2.02	59.2	95.7	81.8	69.7
	說明	反應過程電極有少量沉積物、有少量氣泡。	穩定，電極無沉積物			反應後電極有少量沉積物，電流逐漸減小後趨穩定。	穩定，電極無沉積物		
Zn	濃度	10%	10%	20%	30%	10%	10%	20%	30%
	電解質濃度	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M
	V	1.59	1.40	1.61	1.63	1.53	1.54	1.51	1.53
	mA	301	2.13	4.50	4.61	604	621	912	1102
	說明	電極有沉積物、有氣泡。	穩定，電極無沉積物			反應後電極有少量沉積物，電流逐漸減小後趨穩定。	穩定，電極無沉積物		
Mg	濃度	10%	10%	20%	30%	10%	10%	20%	30%
	電解質濃度	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M	H_2SO_4 1.0M
	V	2.1	2.10	2.10	2.12	2.15	2.18	2.24	2.23
	mA	353	5.91	6.11	6.89	1121	781	992	991
	說明	電極有沉積物、以 H_2SO_4 為電解質有大量氣泡。	穩定，電極無沉積物。			反應後電極有少量沉積物，電流逐漸減小後趨穩定。	穩定，電極無沉積物		

- 結果顯示在燒杯中直接反應，可以得到相當大的電流，可是穩定性並不如鹽橋區隔。
- 以 H_2SO_4 為電解質，Mg 為電極，可以產生最大的電壓與電流，尤其使用濾紙微型化，更可高達 2.15V，1121mA。
- 直接反應與簡易直接反應，就金屬穩定性而言，在雙氧水中都產生氣泡，尤其 Mg 電極，雖然產生電流與電壓大，但是不穩定。Zn 表現的較佳，甚至比文獻中認定的 Al 電極還要穩定。

- 直接反應與簡易直接反應，電解質 H_2SO_4 對三種金屬電極來說，比使用 KNO_3 輸出功率來的大，缺點是，與金屬產生氫氣的副反應，讓金屬電極壽命較短。
- 鹽橋區隔與簡易區隔反應，金屬 Mg 、 Zn 電極不與 H_2SO_4 直接接觸，沒有氣泡形成，也無沉積物，電流與電壓穩定。30% 雙氧水產生的電流與電壓最大，與直接反應結果不同；對 Al 電極來說， H_2O_2 濃度越高電壓與電流呈現越小，與直接反應相同，依然 10% 最大。如下圖十、十一。



圖十： H_2O_2 不同濃度下，簡易區隔電流

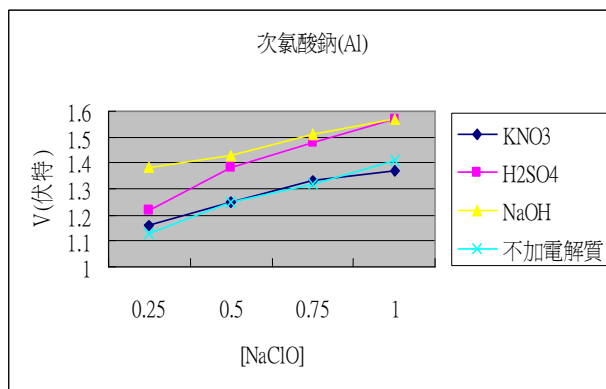
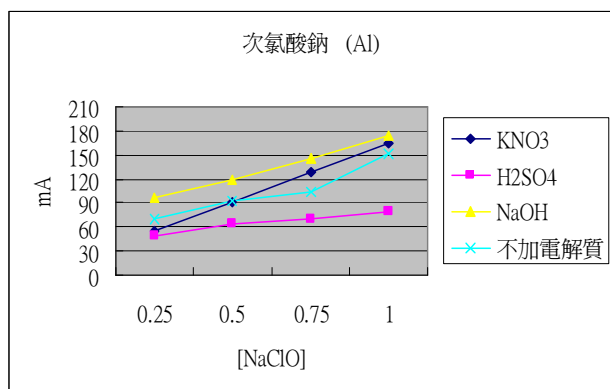


圖十一： H_2O_2 不同濃度下，簡易區隔電壓

二、主題二：次氯酸鈉電池

(一) 溶液中直接反應：結果如附錄二。

- 次氯酸鈉電池，陽極為 Al 、 Zn 、 Mg ，一般而言次氯酸鈉濃度越高，所產生的電流與電壓呈現較高的情況，唯獨陽極為 Mg ，電解質為 NaOH ，次氯酸鈉濃度越大，所產生的電流與電壓呈現較低的情況。在相同次氯酸鈉溶液與電解質濃度下，電流與電壓比較 $\text{Mg} > \text{Al} > \text{Zn}$ 。
- 高濃度 H_2SO_4 為電解質，會造成次氯酸鈉分解，產生氯氣。不適合作為電池。
- 對電解質而言，電解質 KNO_3 、 H_2SO_4 濃度越高電流與電壓呈現越大，但是 NaOH 濃度以 0.1M 所產生電流與電壓，比 1.0M 、 0.01M 大。在相同次氯酸鈉與電解質濃度下，電流與電壓比較 $\text{NaOH} > \text{KNO}_3 > \text{H}_2\text{SO}_4$ 。不加電解質，效果比較差。
- 比較不同電解質 1M 與氧化劑濃度對電流與電壓關係，如下圖十二、圖十三。



圖十二：NaClO 溶液直接反應電流－濃度關係 圖十三：NaClO 溶液直接反應電壓－濃度關係

(二) 使用鹽橋區隔電池簡易電池製作：

從溶液中直接反應結果(附錄二)，我們選擇較佳狀況(以 NaOH、KNO₃ 為電解質)製作鹽橋區隔電池與簡易電池。結果如下(表二)：

表二：NaClO 電池不同反應型式比較表

(電極接觸面積 18cm²)

電極	反應	燒杯中直接反應		鹽橋區隔		簡易直接反應		簡易區隔反應	
Al	濃度	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M
	電解質濃度	KNO ₃ 1.0M	NaOH 0.1M	KNO ₃ 1.0M	NaOH 0.1M	KNO ₃ 1.0M	NaOH 0.1M	KNO ₃ 1.0M	NaOH 0.1M
	V	1.43	1.57	1.30	1.33	1.58	1.55	1.55	1.61
	mA	168	174	1.05	3.25	101	67.2	33.5	32.9
	說明	電極有少量沉積物。		尚穩定，電極無沉積物。		反應後電極有沉積物。		尚穩定，電極無沉積物。	
Zn	濃度	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M
	電解質濃度	KNO ₃ 0.1M	NaOH 1.0M	KNO ₃ 0.1M	NaOH 1.0M	KNO ₃ 0.1M	NaOH 1.0M	KNO ₃ 0.1M	NaOH 1.0M
	V	0.63	1.02	1.12	1.23	1.24	1.22	1.36	1.25
	mA	59.6	94.7	3.14	3.78	36.8	79.5	61.2	64.7
	說明	電極有大量沉積物。		尚穩定，電極無沉積物。		反應後電極有沉積物。		尚穩定，電極無沉積物。	
Mg	濃度	1.0M	0.25M	1.0M	0.25M	1.0M	0.25M	1.0M	0.25M
	電解質濃度	KNO ₃ 1.0M	NaOH 0.1M	KNO ₃ 1.0M	NaOH 0.1M	KNO ₃ 1.0M	NaOH 0.1M	KNO ₃ 1.0M	NaOH 0.1M
	V	1.53	1.82	1.81	1.43	1.94	1.95	1.98	1.94
	mA	196	224	6.48	4.25	254	207	206	134
	說明	電極無沉積物。		尚穩定，電極無沉積物。		反應後電極無沉積物。		尚穩定，電極無沉積物。	

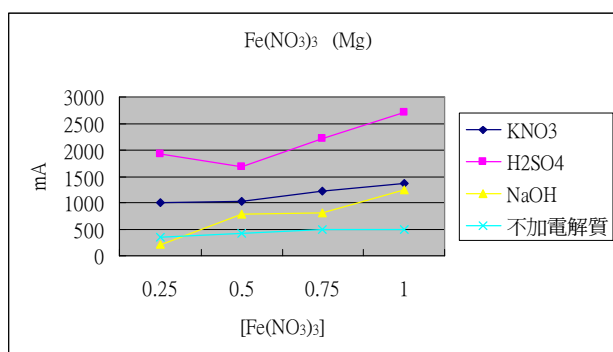
1. 以 NaClO 為氧化劑，Mg 為電極，KNO₃ 為電解液，簡易直接反應所呈現電流與電壓 (1.94V，254mA) 最大，但是穩定性依然不如簡易區隔反應 (1.98V，206mA)。

- 比較電極 Al 與 Zn，呈現的電流與電壓，直接反應 Al 電極較佳，區隔反應以 Zn 電極較好。

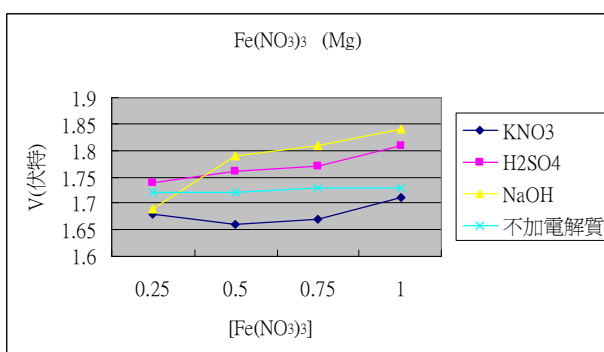
三、主題三：硝酸鐵水溶液電池

(一) 溶液中直接反應：結果如附錄三。

- 在相同電解質濃度下，對三種不同陽極，電流與電壓 $\text{Zn} > \text{Mg} > \text{Al}$ 。
- 相同的電極，不同電解質所呈現的電壓與電流， $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{KNO}_3 > \text{NaOH}$ 。不加電解質，效果比較差。
- 以 NaOH 為電解質，相同電極的狀況下，NaOH 濃度越高，所產生的電流與電壓越小。
- 以 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 為氧化劑，所產生的電流與電壓，一般看來比 H_2O_2 、NaClO 為氧化劑大很多。
- 比較不同電解質 1M 與氧化劑濃度對電流與電壓關係，如下圖十四、圖十五。



圖十四：Fe(NO₃)₃ 溶液直接反應電流濃度關係



圖十五：Fe(NO₃)₃ 溶液直接反應電壓濃度關係

(二) 鹽橋區隔與簡易電池製作：

從溶液中直接反應結果（附錄三），我們選擇較佳狀況（以 H_2SO_4 、 KNO_3 為電解質）製作鹽橋區隔電池與簡易電池。結果如（表三）：

表三：Fe(NO₃)₃ 電池不同反應型式比較表(電極接觸面積 18cm²)

電極	反應	燒杯中直接反應		鹽橋區隔		簡易直接反應		簡易區隔反應	
Al	濃度	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M
	電解質濃度	KNO ₃ 1M	H ₂ SO ₄ 1M	KNO ₃ 1M	H ₂ SO ₄ 1M	KNO ₃ 1M	H ₂ SO ₄ 1M	KNO ₃ 1M	H ₂ SO ₄ 1M
	V	0.54	0.84	1.84	1.73	0.51	0.71	0.98	0.73
	mA	101	179	5.54	5.83	39.2	127	36.2	12.3
	說明	電極無沉積物。		尚穩定，電極無沉積物。		反應後電極無沉積物。電流逐漸變小，稍穩定。		尚穩定，電極無沉積物。	
Zn	濃度	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M
	電解質濃度	KNO ₃ 1M	H ₂ SO ₄ 1M	KNO ₃ 1M	H ₂ SO ₄ 1M	KNO ₃ 1M	H ₂ SO ₄ 1M	KNO ₃ 1M	H ₂ SO ₄ 1M
	V	1.44	1.61	1.94	1.99	1.40	1.61	1.46	1.26
	mA	2105	3511	6.00	6.53	624	2331	528	1385
	說明	電極有沉積物。		尚穩定，電極無沉積物。		反應後電極有沉積物。電流變小速度快，很不穩定。		尚穩定，電極無沉積物。	
Mg	濃度	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M	1.0M
	電解質濃度	KNO ₃ 1M	H ₂ SO ₄ 1M	KNO ₃ 1M	H ₂ SO ₄ 1M	KNO ₃ 1M	H ₂ SO ₄ 1M	KNO ₃ 1M	H ₂ SO ₄ 1M
	V	1.71	1.81	2.55	2.60	1.81	1.75	2.01	1.94
	mA	1366	2704	7.23	9.00	496	2709	598	1425
	說明	電極有沉積物。		尚穩定，電極無沉積物。		反應後電極有沉積物。電流變小速度快，很不穩定。		尚穩定，電極無沉積物。	

1. 直接反應所產生的電壓與電流，在燒杯中比簡易製作來得大，與上兩實驗結果相反。以 Zn 為電極，H₂SO₄(1M)為電解質，電壓與電流更高達 1.61V、3511mA。但電極有沉積物，使電池不穩定。
2. 直接反應產生的電流與電壓很不穩定，電流由大而小改變。
3. 直接反應，Al 電極不會有沉積物，電流雖然小，但是比其他兩電極穩定。
4. 區隔反應，改善了電池穩定性，電極亦無沉積物，但是電流與電壓依然緩慢下降。
5. 區隔反應，以 H₂SO₄(1M)為電解質，Zn、Mg 兩電極都有高電壓與電流的呈現。

四、微型化製作

從以上結果，我們有信心設計出容易操作、電池體積小，電力效能高，並且穩定性高的電池。我們試著調整電解質內容物與改變電解質吸附材質以提高穩定性，結果如表四；針對 H_2O_2 電池，我們試著將 H_2O_2 分子吸附於寒天末測試，結果如表五：

表四、微型化製作

(電極接觸面積 9cm^2)

陰極	陽極	電解質	測量	直接反應	區隔反應			
H ₂ O ₂ 30%	Zn	KNO ₃	電流與電壓		紙版 0.1cm 厚	粉筆 0.4cm 厚		
			V		1.39	1.39		
			mA		79.2	68.9		
			穩定性	同簡易直接反應	穩定性比濾紙大，電流下降緩慢，且操作比濾紙容易	穩定性比濾紙大，電流下降緩慢，且操作比濾紙容易		
		H ₂ SO ₄	V		1.51	1.50		
			mA		387	298		
			穩定性	同簡易直接反應	穩定性比濾紙大，電流下降緩慢，且操作比濾紙容易	穩定性比濾紙大，電流下降緩慢，且操作比濾紙容易		
			NaClO	Mg	KNO ₃	V		1.86
mA	128	298						
穩定性	同簡易直接反應	穩定性比濾紙大，電流逐漸下降，且操作比濾紙容易				穩定性比濾紙大，電流逐漸下降，且操作比濾紙容易		
NaOH	V				1.83	1.83		
	mA				97.2	71.0		
	穩定性	同簡易直接反應			穩定性比濾紙大，電流逐漸下降，且操作比濾紙容易	穩定性比濾紙大，電流逐漸下降，且操作比濾紙容易		
Fe(NO ₃) ₃	Zn	KNO ₃			V	1.61	1.53	1.53
					mA	230	114	79.3
			穩定性	穩定性提高，電流逐漸下降	穩定性比濾紙大，電流逐漸下降，且操作比濾紙容易	穩定性比濾紙大，電流逐漸下降，且操作比濾紙容易		
		Fe(NO ₃) ₃ /C	KNO ₃	V	1.65	1.55	1.53	
				mA	284	129	89.0	
				穩定性	穩定性提高，電流逐漸下降	穩定性比濾紙大，電流逐漸下降，且操作比濾紙容易	穩定性比濾紙大，電流逐漸下降，且操作比濾紙容易	
Fe(NO ₃) ₃ / KNO ₃ /C：質量比 2：1：1								

1. 使用粉筆吸附氧化劑溶液，雖然電流與電壓比較小，但是電池比較穩定。
2. 電池穩定性 H_2O_2 比 NaClO 與 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 好很多，產生的電流也比較大。適

合作更精緻的微型化研究。

3. 碳粉加入電解質有穩定效果，並可提升電流。

4. 電池微型化， NaClO 與 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 兩氧化劑，雖然利用紙版與粉筆吸附電解質區隔兩極，改善了穩定性，但是電流與電壓依然緩慢下降。

依上述結果，我們認為 H_2O_2 確實是作電池很好的氧化劑，因此利用可以吸附雙氧水分子，且穩定的材質寒天末，進一步製作微型的 H_2O_2 電池，結果表五：

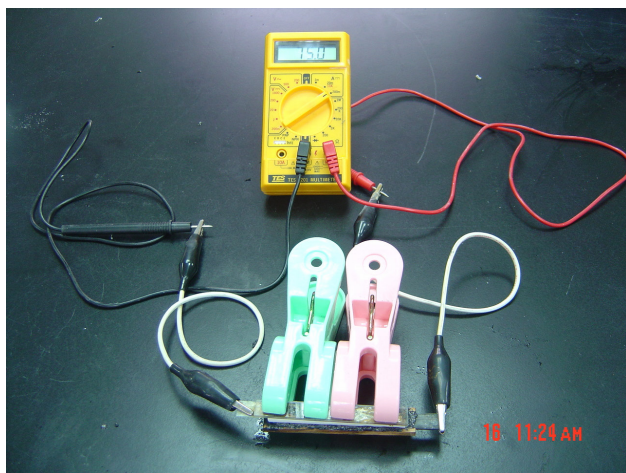
表五： H_2O_2 微型化的進一步研究

(電極接觸面積 9cm^2)

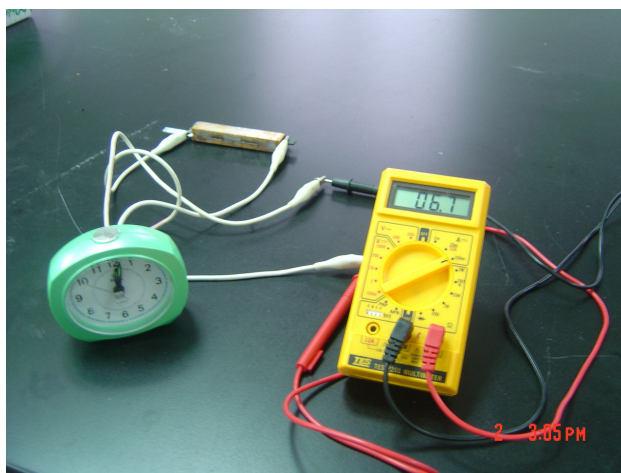
反應方式				簡易直接	簡易區隔（玻璃紙）
陰極	陽極	電解質	電流與電壓		
H ₂ O ₂ 30% /寒天末	Zn	陰極：H ₂ SO ₄ 、1.5M 陽極：飽和KNO ₃ 、寒天末	V	1.38	1.41
			mA	625	420
	Mg		V	2.11	1.83
			mA	711	520
			穩定性	電流較簡易直接反應（紙板）大且穩定，但不如區隔反應。穩定性尚佳。	電流電壓比之前更加穩定，操作也比較容易。穩定。
H ₂ O ₂ 30% /寒天末/ 碳粉	Zn	陰極：H ₂ SO ₄ 、1.5M 陽極：飽和KNO ₃ 、寒天末、碳粉	V	1.36	1.37
			mA	610	489
	Mg		V	2.13	1.99
			mA	721	543
			穩定性	電流比無碳粉時高，但碳粉會使雙氧水分解，體積膨脹，碳粉不宜加太多，穩定性尚佳	電流比無碳粉時高，電池很穩定
H ₂ O ₂ 30% /寒天末/ 碳粉/磷酸鈉（註1）	Zn	陰極：H ₂ SO ₄ 、1.5M 陽極：飽和KNO ₃ 、寒天末、碳粉（註2）	V	1.34	1.36
			mA	603	458
	Mg		V	2.10	1.96
			mA	689	516
			穩定性	磷酸鈉提高雙氧水穩定性，因此電池穩定性佳。	磷酸鈉提高雙氧水穩定性，加上區隔反應，使電池極為穩定。

附註：1.陰極： $\text{H}_2\text{O}_2 30\%$ 與 $\text{H}_2\text{SO}_4 1.5\text{M}$ 混合液 20ml，磷酸鈉 0.5 克，寒天末 7 克，碳粉 0.05 克。 2.陽極： KNO_3 飽和溶液 20ml，寒天末 6 克，碳粉 0.05 克。

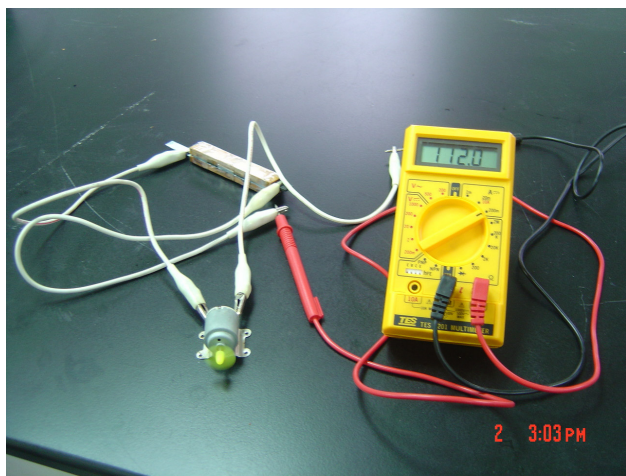
1. 從 H_2O_2 30% 加寒天末，逐一改變，再加入碳粉，甚至再加入可以穩定 H_2O_2 分子的磷酸鈉，確實讓雙氧水電池成為極為穩定的電池。
2. 以 $\text{Zn} \mid \text{KNO}_3$ 、C、寒天末 $\parallel$ 1.5M H_2SO_4 、C、磷酸鈉、寒天末 $\mid \text{H}_2\text{O}_2$ 30% 電池而言 1.36V、458mA，且非常穩定；若以 Mg 為電極 1.96V、516mA。



圖十六：微型化測試



圖十七： H_2O_2 微型化電池接上鬧鐘



圖十八： H_2O_2 微型化電池接上小馬達



圖十九： H_2O_2 微型化電池製作電磁鐵

伍、研究討論

一、關於雙氧水電池

- (一) 本次實驗所使用的金屬為 Zn，Al 及 Mg。在一般環境下，Zn，Al，Mg 會產生 $\text{Zn}(\text{OH})_{2(s)}$ ， $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ 及 $\text{Mg}(\text{OH})_{2(s)}$ ，阻礙金屬片釋放電子，對電流產生影響，電流由大逐漸變小而趨穩定。

- (二) 電解質 KNO_3 濃度越高，使溶液中有大量離子傳導，故電流較大。
- (三) 雙氧水在酸性環境下，氧化能力較強，故以 H_2SO_4 為電解質，電壓電流最大；反之，以 NaOH 為電解質，電壓電流較小。
- (四) 在燒杯中直接反應，以 H_2SO_4 為電解質，金屬表面產生的沉澱會轉變成離子，因此較不會阻礙電流，使電流較穩定；以 NaOH 為電解質， Al 為兩性金屬， Al 氧化後會產生錯離子 $\text{Al}(\text{OH})_4^-_{(\text{aq})}$ ，電極沉積物極少，電流較穩定， Mg ， Zn 則會產生 $\text{Zn}(\text{OH})_{2(\text{s})}$ 及 $\text{Mg}(\text{OH})_{2(\text{s})}$ 沉澱，但因沉澱物會從金屬表面剝落，不會影響電流穩定度。
- (五) 在燒杯中直接反應，雙氧水電流電壓： $10\% > 20\%$ 、 30% 與 5% ，因為高濃度雙氧水產生氣泡與沉澱的速率過多，產生電極極化現象，電壓電流反而小；低濃度雙氧水反應速率過慢，電壓電流小，故 10% 為最佳濃度。
- (六) 鹽橋區隔與簡易區隔反應，將 H_2O_2 以鹽橋區隔或吸附於濾紙再與電解質區隔，由於 H_2O_2 不會與金屬電極直接接觸產生作用（氣泡與沉積物），因此電流與電壓相當穩定。
- (七) 鹽橋區隔與簡易區隔反應，由於 H_2O_2 不會與金屬電極直接接觸產生作用，因此 H_2O_2 濃度越大，電流與電壓表現越大， H_2O_2 30% 最佳。

二、關於次氯酸鈉電池

- (一) NaClO 在酸性環境下，產生 HClO 分子，使 ClO^- 減少，產生較小的電流與電壓。
- (二) 直接反應，電極 Mg 反應過程無沉積物，不影響電極反應，電流呈現較大； Zn 電極有大量沉積產生，電流變小且不穩定，不如 Al 電極大。但是區隔反應，不會有沉積在電極上， Zn 電極比 Al 產生更大的電流。
- (三) 簡易反應與簡易區隔，同狀況下 NaClO 產生的電流不如 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 與 H_2O_2 ，反應速率快了一些，電池穩定性尚可，比 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 好，但比 H_2O_2 差。

三、關於硝酸鐵電池

- (一) 直接反應產生的電流與電壓 $\text{Zn} > \text{Mg} > \text{Al}$ ，但穩定性為 Al 最好，因為

Zn、Mg 表面都會產生綠色 $\text{Fe}(\text{OH})_2(s)$ 附著，使電流下降產生不穩定現象。

- (二) 直接反應以 NaOH 為電解質，會產生 $\text{Fe}(\text{OH})_3(s)$ 沉澱，使 Fe^{3+} 濃度下降，電壓電流變小。
- (三) 簡易反應與簡易區隔，雖然 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 可以產生高的電壓與電流，但反應速率太快，造成電池穩定性不佳。

四、關於微型化

- (一) H_2O_2 、與 NaClO 電池，使用較質密材質的硬紙版與粉筆，雖然讓電流減少，但是提高了穩定性，讓電流不至於明顯下降。
- (二) $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 電池區隔反應，除了使用硬紙板與粉筆外，將 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 、 KNO_3 與碳粉以不同比例混合， $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 比例大，電壓電流有些微的提升，加碳粉讓電流的輸出趨於穩定。
- (三) 在 H_2O_2 中加入寒天末與 $1\text{M H}_2\text{SO}_4$ 為電解質使成膏狀的情況下，可增加電池穩定性，若區隔處理，電流與電壓極為穩定。
- (四) 在 H_2O_2 中加入寒天末與碳粉與 $1\text{M H}_2\text{SO}_4$ 為電解質，不僅穩定性提高，更讓電流與電壓變大，若區隔處理，電流與電壓極為穩定。
- (五) 在 H_2O_2 中加入寒天末與碳粉， H_2O_2 濃度 30% 比 20%、10% 產生更大的電流，結果與在燒杯中直接反應不同，因為使用寒天末吸附 H_2O_2 分子，讓 H_2O_2 分子穩定釋出，且不會因石墨片而使 H_2O_2 分解。
- (六) 加少量磷酸鈉可以讓 H_2O_2 分子更穩定，雖然電流些微減小，但是使電池非常穩定。
- (七) H_2O_2 微型化電池電極接觸面積 9cm^2 ，以 Zn 為電極可以達到 1.36V、458mA，小馬達負載電流可達到 116mA，比較市售 3 號電池，1.57V，2000mA，對小馬達負載電流為 134mA。若增加電極接觸面積與氧化劑的量， H_2O_2 微型化電池將不亞於市售電池。

陸、結論

整個研究歷經九個多月，我們學到很多，除了對電池更深入了解外，過程中面對很多問題，透過團隊的討論、反思修正，實際面對問題並解決問題，這是一

個很好的經驗。從實驗的開始我們就抱著環保的核心概念，盡可能使用低污染材料，也發現到了一些不錯實驗結果，我們有以下的結論：

- 一、 電極接觸面積大，其金屬作用面積及碳片傳導面積增加，使電壓電流增大。電解質濃度越高，電池的電流與電壓越大。
- 二、 鹽橋區隔反應，鹽橋使電阻增加，故電流下降，但因金屬片不直接與氧化劑產生反應故電壓電流較穩定。尤其以簡易區隔電阻小能產生較大的電流電壓，而且穩定。
- 三、 雙氧水電池，燒杯中直接反應：以 10% 雙氧水、1M H_2SO_4 為電解質、Zn 當陽極所產生的電壓電流最大，穩定性尚佳，比文獻提到的 Al 電極好。但是電極都會有沉積物產生，不利電池的穩定性，讓沉積物不發生是重要課題。
- 四、 區隔兩極可使金屬極的沉積物減少甚至沒有，以此改善雙氧水電池，大幅提升電池穩定性。
- 五、 雙氧水電池直接反應產生的電流與電壓 $\text{H}_2\text{O}_2 10\% > 20\% > 30\%$ ；但是區隔反應除了 Al 電極外，Zn、Mg 電極產生的電流與電壓 $\text{H}_2\text{O}_2 30\% > 20\% > 10\%$ 。
- 六、 雙氧水電池微型化， $\text{H}_2\text{O}_2 30\%$ 中加入寒天末、碳粉與少量磷酸鈉，因為使用寒天末吸附 H_2O_2 分子，讓 H_2O_2 分子穩定釋出，磷酸鈉可以穩定 H_2O_2 分子，不會因石墨片而使 H_2O_2 分解。可產生大且穩定的電流與電壓。如此製作的電池，並不亞於市售電池。
- 七、 次氯酸鈉電池：以 NaClO 1.0M、電解質 NaOH 0.1M、Mg 當陽極所產生的電壓電流最大，也比較穩定，尤其區隔簡易電池。
- 八、 硝酸鐵電池：以 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 1.0M、電解質 H_2SO_4 1.0M、Mg 當陽極所產生的電壓電流最大，可是直接反應電極有大量沉積物，電池極為不穩定；區隔反應可以改善此現象，而且微型化可將 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 、 KNO_3 、C 三固體混合，穩定性大幅提升。
- 九、 三種電池的比較，以 H_2O_2 最為穩定，而且寒天末吸附分子微型化後，以 Zn 或 Mg 為電極可以產生很大的輸出電流。NaClO 與 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 水溶液， ClO^- 與 Fe^{3+} 無論使用紙版或寒天末都不易吸附住，使反應速率太快，電池雖有高電壓與電流，但不是很穩定。因此 H_2O_2 確實可以發展為強力環保電池。

十、 從本研究中，我們推想雙氧水電池，若將 Al、Zn、Mg 電極更改成 H_2/C 電極，相信會是一個很好的燃料電池，值得我們繼續嘗試。

參考資料

楊寶旺主編，高級中學化學（下），台北，龍騰，1－32 頁，2004。

曾國輝編著，化學，台北，藝軒，611 頁－640 頁 789 頁－805 頁，2004。

<http://www.sciencedaily.com/releases/1999/12/991215072333.htm>

附錄一

主題：H ₂ O ₂ 電池製作																										
陽極的電極	濃度	30%						20%						10%						5%						
	面積	6cm		12cm		18cm		6cm		12cm		18cm		6cm		12cm		18cm		6cm		12cm		18cm		
	電壓與電流	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A			
Al	KNO ₃ 1M	0.35		0.36		0.36		0.55		0.55		0.57		0.56		0.57		0.62		0.50		0.50		0.51		
			0.31		0.47		0.74		6.62		7.06		7.40		6.87		14.0		33.0		5.72		9.11		13.2	
	KNO ₃ 0.1M	0.54		0.54		0.54		0.54		0.55		0.56		0.55		0.57		0.63		0.47		0.47		0.47		
			0.14		0.15		0.15		7.03		7.47		8.44		7.04		12.0		32.0		5.04		8.00		11.2	
	KNO ₃ 0.01M	0.50		0.50		0.51		0.53		0.53		0.55		0.54		0.55		0.55		0.43		0.44		0.44		
			0.14		0.15		0.13		5.22		6.23		6.83		5.37		8.74		18.9		4.58		6.78		9.38	
	H ₂ SO ₄ 1M	0.71		0.72		0.72		1.01		1.01		1.04		1.01		1.04		1.04		0.91		0.91		0.92		
			14.3		27.0		48.9		41.0		71.0		98.2		42.6		80.5		112		46.7		65.2		79.3	
	H ₂ SO ₄ 0.1M	0.66		0.66		0.68		0.85		0.87		0.88		0.90		0.90		0.92		0.84		0.84		0.84		
			10.0		20.1		38.2		14.0		24.3		42.5		26.8		49.9		86.0		32.0		45.1		59.7	
Zn	H ₂ SO ₄ 0.01M	0.60		0.61		0.60		0.68		0.68		0.68		0.71		0.72		0.72		0.65		0.65		0.66		
			6.44		10.7		18.2		8.9		17.5		36.0		11.7		24.5		50.1		20.1		25.6		44.4	
	NaOH 1M	0.46		0.47		0.47		0.43		0.43		0.43		0.40		0.40		0.41		0.38		0.39		0.39		
			3.85		4.63		5.16		3.34		3.93		4.20		2.74		3.37		3.85		1.92		2.21		2.96	
	NaOH 0.1M	0.53		0.53		0.54		0.44		0.45		0.45		0.40		0.40		0.40		0.39		0.39		0.39		
			4.28		5.34		6.00		3.63		4.16		4.63		3.77		4.57		5.01		3.25		4.09		4.73	
	NaOH 0.01M	0.53		0.53		0.54		0.51		0.51		0.52		0.47		0.47		0.47		0.45		0.45		0.45		
			4.63		5.55		6.33		3.74		4.67		5.41		3.89		4.83		5.36		3.68		3.94		4.99	
	KNO ₃ 1M	0.93		1.00		1.02		0.90		0.90		0.91		0.80		0.80		0.80		0.71		0.72		0.72		
			56.4		71.1		76.2		65.8		77.7		86.2		76.0		90.1		98.6		60.2		72.3		80.6	
Mg	KNO ₃ 0.1M	0.85		0.85		0.85		0.82		0.81		0.82		0.74		0.81		0.81		0.70		0.71		0.71		
			25.6		28.9		39.8		26.5		30.9		44.6		36.7		46.3		55.0		32.5		47.6		56.3	
	KNO ₃ 0.01M	0.76		0.77		0.77		0.74		0.74		0.74		0.69		0.70		0.70		0.68		0.68		0.68		
			14.4		19.5		28.9		23.5		28.7		37.1		31.5		39.8		44.4		21.2		33.3		40.9	
	H ₂ SO ₄ 1M	1.50		1.49		1.49		1.54		1.54		1.55		1.58		1.59		1.59		1.49		1.50		1.50		
			150		170		190		176		210		264		222		289		301		163		174		185	
	H ₂ SO ₄ 0.1M	1.40		1.40		1.40		1.44		1.44		1.44		1.47		1.47		1.47		1.45		1.46		1.46		
			86.2		109		112		103		115		123		185		203		233		134		158		173	
	H ₂ SO ₄ 0.01M	1.23		1.24		1.24		1.32		1.32		1.32		1.39		1.38		1.39		1.37		1.38		1.38		
			58.4		64.6		72.1		64.5		74.0		78.8		85.4		89.8		99.8		72.2		86.1		92.4	

附錄二

主題：NaClO 電池製作																									
陽極的電極	濃度	1.0M						0.75M						0.50M						0.25M					
	面積	6cm		12cm		18cm		6cm		12cm		18cm		6cm		12cm		18cm		6cm		12cm		18cm	
	電壓與電流	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A		
Al	KNO ₃ 1M	1.42		1.43		1.43		1.40		1.41		1.41		1.31		1.33		1.33		1.21		1.21		1.21	
			142		155		168		109		136		146		77.4		94.2		99.1		50.0		52.3		58.8
	KNO ₃ 0.1M	1.37		1.37		1.37		1.32		1.33		1.33		1.24		1.24		1.25		1.15		1.16		1.16	
			125		154		165		101		109		128		72.3		86.4		91.6		44.5		51.7		54.1
	KNO ₃ 0.01M	1.08		1.09		1.09		1.00		1.01		1.01		0.94		0.93		0.94		0.86		0.86		0.86	
			119		124		143		84.1		98.0		105		69.4		73.4		79.2		34.6		38.7		42.8
	H ₂ SO ₄ 1M	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解
	H ₂ SO ₄ 0.1M	1.55		1.57		1.57		1.44		1.45		1.48		1.35		1.38		1.38		1.21		1.22		1.22	
		67.2		69.2		78.6		58.3		63.2		70.0		50.3		56.2		63.9		42.3		46.4		49.7	
H ₂ SO ₄ 0.01M	1.54		1.58		1.61		1.39		1.39		1.40		1.25		1.25		1.26		1.18		1.18		1.20		
		54.4		58.1		82.4		48.0		53.7		70.8		40.3		48.2		52.5		33.4		43.4		60.7	
NaOH 1M	1.73		1.73		1.73		1.56		1.57		1.57		1.50		1.50		1.50		1.48		1.49		1.50		
		129		136		152		120		124		148		92.5		97.4		101		83.6		85.4		94.1	
NaOH 0.1M	1.57		1.57		1.57		1.50		1.51		1.51		1.43		1.43		1.43		1.37		1.38		1.38		
		133		156		174		128		132		145		109		112		120		92.2		95.5		95.9	
NaOH 0.01M	1.21		1.22		1.23		1.13		1.13		1.14		1.05		1.05		1.05		0.95		0.95		0.95		
		121		128		134		112		118		127		99.7		106		110		84.6		88.8		91.4	
無	1.41		1.41		1.41		1.32		1.32		1.32		1.23		1.24		1.25		1.13		1.13		1.13		
		118		129		152		82.3		99.8		104		63		80.0		93.2		48.2		58.6		69.7	
Zn	KNO ₃ 1M	0.92		0.92		0.92		0.85		0.85		0.86		0.80		0.80		0.80		0.73		0.74		0.75	
			12.5		20.3		25.4		11.7		18.8		46.4		21.3		31.7		51.4		20.9		22.8		48.9
	KNO ₃ 0.1M	0.61		0.62		0.63		0.58		0.58		0.58		0.54		0.54		0.55		0.49		0.49		0.50	
			14.2		22.7		59.6		14.4		24.8		58.0		12.8		22.1		46.7		9.09		14.5		33.7
	KNO ₃ 0.01M	0.54		0.54		0.54		0.51		0.51		0.52		0.46		0.46		0.47		0.42		0.42		0.42	
			12.3		22.3		59.0		13.7		20.8		44.6		8.34		11.2		27.8		6.51		10.8		21.6
	H ₂ SO ₄ 1M	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解
	H ₂ SO ₄ 0.1M	1.14		1.16		1.18		1.00		1.02		1.03		0.94		0.95		0.95		0.87		0.88		0.88	
		32.1		40.6		50.3		29.8		36.8		42.0		28.7		33.5		40.8		28.6		32.1		38.9	
H ₂ SO ₄ 0.01M	1.23		1.24		1.25		0.94		0.94		0.94		0.86		0.87		0.87		0.86		0.86		0.86		
		20.4		24.2		49.7		18.6		22.1		44.0		23.4		29.5		45.1		26.9		30.8		40.2	
NaOH 1M	1.02		1.02		1.02		1.05		1.05		1.05		1.21		1.21		1.21		1.32		1.32		1.32		
		73.2		78.0		94.7		69.7		75.		89.7		68.1		74.8		85.3		71.5		72.5		84.4	
NaOH 0.1M	1.07		1.08		1.08		1.08		1.08		1.09		1.10		1.11		1.12		1.16		1.17		1.17		
		30.3		41.7		78.1		32.8		44.7		69.2		32.0		46.9		71.4		40.7		52.5		65.6	
NaOH 0.01M	0.82		0.82		0.82		0.79		0.79		0.80		0.70		0.71		0.72		0.58		0.58		0.59		
		19.6		23.7		38.3		15.6		19.6		29.5		14.1		16.0		24.8		8.04		9.44		11.1	
	無	1.05		1.07		1.09		0.82		0.83		0.83		0.70		0.71		0.71		0.69		0.69		0.70	
		23.3		83.6		103		19.6		29.9		48.7		17.1		25.6		40.5		17.5		25.3		33.2	
Mg	KNO ₃ 1M	1.52		1.53		1.53		1.42		1.42		1.42		1.33		1.34		1.34		1.03		1.03		1.03	
			157		176		196		122		131		146		65.0		82.2		100		30.4		37.5		46.6
	KNO ₃ 0.1M	1.52		1.52		1.52		1.40		1.40		1.40		1.30		1.30		1.31		1.01		1.01		1.01	
			152		173		196		103		112		121		52.3		70.7		92.4		26.3		32.2		40.8
	KNO ₃ 0.01M	1.49		1.49		1.50		1.38		1.38		1.36		1.25		1.25		1.29		1.01		1.01		1.01	
			130		168		194		94		101		109		44.6		59.9		81.3		21.7		26.0		31.6
	H ₂ SO ₄ 1M	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解	熱解
	H ₂ SO ₄ 0.1M	1.69		1.71		1.72		1.85		1.85		1.89		1.94		1.98		1.98		2.01		2.02		2.02	
			53.8		66.4		69.3		58.6		67.3		77.0		63.2		77.3		79.4		36.0		38.5		49.5
	H ₂ SO ₄ 0.01M	1.38		1.39		1.40		1.81		1.82		1.82		1.86		1.86		1.86		2.11		2.11		2.12	
			56.4		67.1		82.8		124		159		178		81.4		94.7		113		47.8		65.7		82.6
NaOH 1M	1.83		1.83		1.84		1.80		1.80		1.81		1.99		2.01		2.05		2.11		2.12		2.14		
		23.5		33.5		44.0		11.5		17.6		28.7		11.4		16.6		26.2		7.07		9.01		12.3	
NaOH 0.1M	1.42		1.43		1.43		1.58		1.59		1.60		1.72		1.72		1.73		1.81		1.82		1.82		
		121		133		143		146		163		175		164		179		196		189		200		224	
NaOH 0.01M	1.41		1.41		1.41		1.47		1.47		1.47		1.53		1.53		1.54		1.58		1.59		1.60		
		104		113		122		112		118		126		112		120		132		117		125		142	
無	1.68		1.68		1.69		1.51		1.52		1.52		1.51		1.51		1.51		1.49		1.50		1.50		
		74.0		92.8		127		68.3		90.1		121		52.7		81.5		101		44.8		67.3		92	

附錄三

主題：Fe(NO ₃) ₃ 電池製作																									
陽極的電極	濃度	1.0M						0.75M						0.50M						0.25M					
	面積	6cm		12cm		18cm		6cm		12cm		18cm		6cm		12cm		18cm		6cm		12cm		18cm	
	電壓與電流	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A
Al	KNO ₃ 1M	0.52		0.53		0.54		0.50		0.51		0.52		0.49		0.49		0.50		0.36		0.37		0.37	
			36.1		67.2		101		22.7		49.1		68.5		25.4		38.2		53.1		16.8		29.9		45.3
	KNO ₃ 0.1M	0.48		0.48		0.49		0.45		0.45		0.46		0.42		0.43		0.43		0.33		0.33		0.35	
			34.2		57.7		84.4		22.1		44.1		60.1		20.2		34.3		50.7		16.5		25.7		33.3
	KNO ₃ 0.01M	0.46		0.46		0.46		0.45		0.45		0.45		0.39		0.40		0.40		0.33		0.33		0.34	
			28.2		43.3		59.5		25.3		3.88		54.7		21.2		32.2		47.5		14.8		22.7		26.7
	H ₂ SO ₄ 1M	0.83		0.84		0.84		0.82		0.82		0.83		0.81		0.81		0.82		0.81		0.81		0.81	
			88.5		135		179		71.2		108		144		64.2		84.2		114		45.4		77.1		99.2
	H ₂ SO ₄ 0.1M	0.83		0.83		0.84		0.80		0.81		0.81		0.80		0.80		0.80		0.78		0.79		0.79	
			79.3		122		167		65.2		90.4		133		54.5		82.7		103		41.5		69.4		91.4
Zn	H ₂ SO ₄ 0.01M	0.80		0.81		0.81		0.78		0.78		0.78		0.74		0.74		0.75		0.74		0.74		0.74	
			58.4		76.3		102		45.4		75.5		94.9		44.4		71.2		99.3		43.1		67.7		84.4
	NaOH 1M	0.73		0.73		0.73		0.74		0.74		0.75		0.72		0.72		0.72		0.71		0.71		0.72	
			24.2		37.8		58.1		21.4		33.8		50.7		22.1		35.2		49.1		10.3		13.9		24.5
	NaOH 0.1M	0.82		0.82		0.82		0.81		0.82		0.82		0.78		0.78		0.78		0.76		0.76		0.77	
			45.3		59.7		87.1		45.7		63.1		81.2		43.4		62.4		82.2		32.4		46.7		62.2
	NaOH 0.01M	0.82		0.82		0.83		0.81		0.81		0.82		0.79		0.80		0.80		0.77		0.77		0.77	
			45.1		61.2		92.3		48.1		69.0		99.4		44.4		66.4		84.3		40.7		60.9		75.0
	無	0.53		0.53		0.53		0.53		0.54		0.54		0.52		0.52		0.53		0.53		0.53		0.53	
			24.3		36.4		53.3		19.2		37.6		56.1		14.9		30.5		58.5		11.8		29.6		54.2
Mg	KNO ₃ 1M	1.44		1.44		1.44		1.41		1.42		1.42		1.42		1.42		1.42		1.43		1.43		1.43	
			1404		1812		2105		1009		1561		1919		834		1050		1458		651		899		1356
	KNO ₃ 0.1M	1.43		1.43		1.43		1.42		1.42		1.42		1.42		1.42		1.42		1.41		1.42		1.42	
			960		1450		1880		795		1321		1584		710		947		1181		563		748		991
	KNO ₃ 0.01M	1.43		1.43		1.43		1.41		1.41		1.42		1.41		1.41		1.42		1.41		1.41		1.41	
			952		1380		1796		727		1109		1241		636		813		1143		485		687		794
	H ₂ SO ₄ 1M	1.61		1.61		1.61		1.42		1.42		1.42		1.38		1.38		1.38		1.37		1.37		1.37	
			1941		2303		3511		1712		2211		2713		1342		1634		2156		1080		1133		2070
	H ₂ SO ₄ 0.1M	1.56		1.56		1.56		1.41		1.41		1.42		1.36		1.36		1.36		1.36		1.36		1.36	
			1353		1624		2251		1228		1640		2337		1054		1454		1998		977		1234		1823
	H ₂ SO ₄ 0.01M	1.45		1.45		1.45		1.40		1.40		1.40		1.38		1.38		1.38		1.36		1.36		1.36	
			1122		1429		2047		1045		1423		2018		942		1212		1777		857		975		1374
	NaOH 1M	1.44		1.45		1.45		1.44		1.44		1.44		1.43		1.43		1.44		1.18		1.18		1.18	
			1020		1422		1733		739		972		1213		430		587		1074		153		197		353
	NaOH 0.1M	1.46		1.46		1.46		1.44		1.44		1.44		1.42		1.42		1.43		1.31		1.31		1.32	
			1052		1523		1946		858		1074		1321		562		811		1014		252		317		413
	NaOH 0.01M	1.47		1.48		1.48		1.45		1.44		1.45		1.36		1.36		1.37		1.30		1.31		1.31	
			1145		1620		2102		916		1111		1491		486		770		984		218		265		324
	無	1.49		1.49		1.50		1.48		1.48		1.49		1.48		1.48		1.49		1.47		1.47		1.48	
			451		542		734		446		584		730		297		336		547		268		359		501

評語

040209 雙氧水電池與氧化劑水溶液電池研究

本件作品在改良電池的製作方法，包括了化學成份、種類、添加物與電極等變項的探討。作者也嘗試讓電池微型化以改善實驗室的電池操作。所以本件作品對於電池的改良具有明顯的貢獻。

但是本研究中對於電池的電量酸鹼性的影響等的說明及其實驗的原因須加以說明，才使得本作品具有完整性。