

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

031624

氫氫效速

學校名稱：嘉義市立蘭潭國民中學

作者： 國二 黃佳弘 國二 楊皓晴 國二 李明之	指導老師： 張耀宗 王柏仁
---	-----------------------------

關鍵詞： 氫氣、電解水

題目：氫氫效速

摘要：

本實驗以簡單之設備探討出最佳電解產氫速率條件，經實驗發現：不鏽鋼做為電極之效果比碳棒好；電極形狀以能與水溶液接觸面積愈大愈好，我們以不鏽鋼線捲成花捲狀作為電極效果最好；氫氧化鈉水溶液濃度在小於0.7 M時，濃度愈大電解速率愈快，超過0.7M時不再增快，因此0.7M氫氧化鈉水溶液最佳；另外我們也發現電壓愈大電解速率也愈快；而溫度的影響則是溫度愈高速率愈快，溫度每升高10°C 電解速率增加效率約10%；最後我們在電極旁外加磁場，發現會造成電解速率變慢。

壹、 研究動機

自然與生活科技課程教到水電解，而我們之前在報紙上看到能源危機發展使用替代能源，以太陽能發電電解水產生氫後，再將氫用於氫燃料電池中，氫氣在能量轉換的過程中，不會產生造成地球暖化的二氧化碳，是很好的替代能源。但是學校實驗課的電解器材產生氫氣的速率很慢，於是我們想要找出提高電解速率的最佳條件，為環境盡一份心力。

貳、 研究目的

- 一、探討不同電極形狀對電解水速率之影響
- 二、探討不同氫氧化鈉濃度及二電極間距離對電解水速率之影響
- 三、探討不同電壓對電解水速率之影響
- 四、探討不同溫度對電解水速率之影響
- 五、探討加入磁場後對電解速率的影響

參、 研究器材及藥品

- 一、器材：直流電源供應器、燒杯、25ml 量筒、量瓶、滴定管、碳棒電極、不鏽鋼電極（不鏽鋼鐵線）、鱷魚夾導線、碼錶、電子秤、數位相機。
- 二、藥品：氫氧化鈉(NaOH)、蒸餾水

肆、 研究過程與方法

一、文獻探討：

- （一）在課本的實驗中，手很容易沾到氫氧化鈉溶液，而全國科展42屆「生命之源～水的電解研究」、44屆「改良電解水的裝置並探討電解速率的影響因素」及45屆「極有不同」中都設計不同的實驗裝置，但我們覺得有些部分太複雜，有些則仍然容易沾到氫氧化鈉溶液，因此我們想要找到簡單不沾手的裝置。
- （二）在課本中常以碳棒作為電池或電解各種溶液的電極，因為在電解過程中本身不會起反應，是很好用的電極材料，而全國科展45屆「極有不同」指出碳棒會有碳粉掉落，而後會影響電解速率，但我們認為課本一直採用碳棒應有它的優點，因此我們再次使用碳棒試試看。
- （三）課本中以迴紋針或注射針頭作為電極，但電解速率太慢，我們認為應是與溶液接觸面積太小。在第 42 屆全國科展「生命之源～水的電解研究」及45屆「極有不同」中有探討到「電極材料」的問題，但並未找出何種電極狀可增加電解效率，因此我們嘗試以不鏽鋼線彎曲成各

種形狀來試驗。

- (四) 課本中的水電解實驗，只提到加入氫氧化鈉少許做為幫助導電用，並未清楚說明濃度。第 42 屆全國科展「生命之源～水的電解研究」中提到氫氧化鈉濃度0.75M時最佳，而45屆「極有不同」中提到氫氧化鈉最佳濃度為0.5M，兩者所提最佳濃度皆是以氫氧產生比值最接近2而言，且兩者的結果不同。我們則是想以產生氫氣速率最快的最小濃度來找最佳濃度，且兩者皆未提到不同電壓與電極間距是否會造成最佳濃度改變，因此我們著手研究。
- (五) 全國科展42屆「生命之源～水的電解研究」中有探討溫度對電解速率的影響，對於溫度上升所提升之效率並未說明，只提到溫度升高可增加速率，因此我們想要進一步研究溫度上升所提升的效率。
- (六) 的六冊課本中提到帶電粒子在磁場中會受力而改變運動方向，我們聯想到電解液中的離子在磁場中是否會受影響而增加反應速率，因此嘗試在電極旁加磁場，以了解是否能增加電解速率。

二、探討在電壓12V 時，不同電極材料及不同形狀下，電解水的氣體產率：

(一) 準備電極材料：

1. 碳棒為長8cm×直徑0.6cm。分別纏上外覆絕緣橡膠皮的銅線，再用AB膠將銅線與電極接觸的地方封住，待其凝固後以膠帶包覆，使銅線與空氣隔絕，以免銅線發生反應。
2. 以直徑1.2mm之不銹鋼線折成下列各種形狀：直線、8段對折、螺旋形、花捲型，預計當電極之外的不銹鋼線塗一層AB膠作為絕緣。



碳棒電極

直線不銹鋼電極



螺旋狀不銹鋼電極



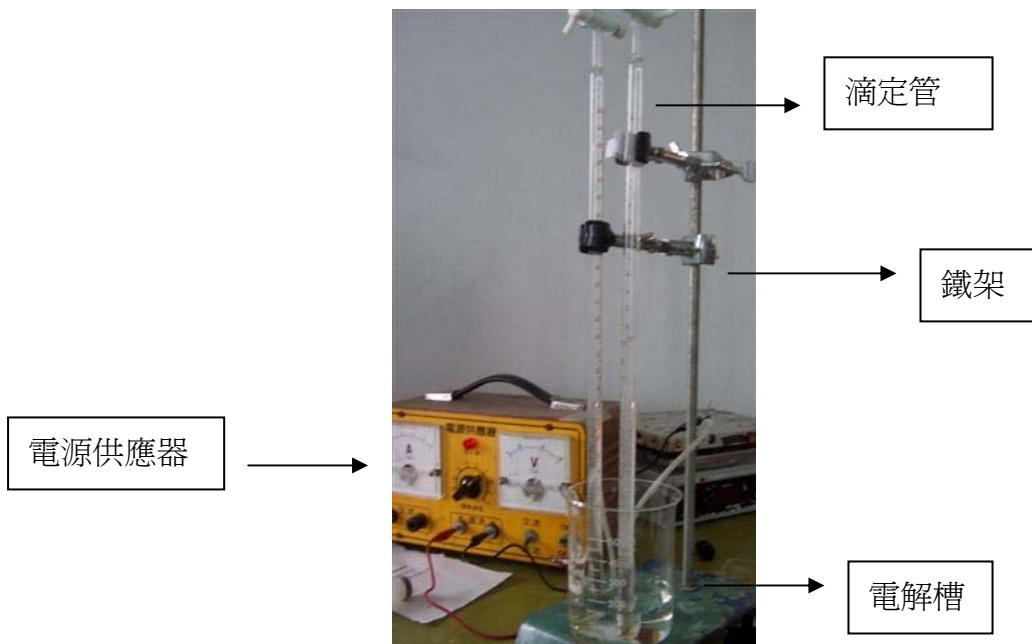
花捲形不鏽鋼電極



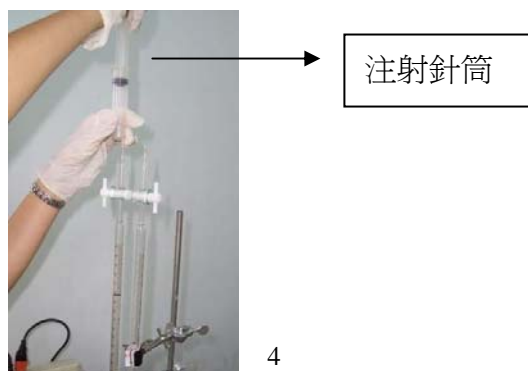
八段對折不鏽鋼電極



- (二) 配置電解液：取蒸餾水與氫氧化鈉，用量瓶配置0.5M氫氧化鈉水溶液。
(三) 先在燒杯中倒入0.5M氫氧化鈉水溶液，將正負電極放入兩支25ml 的滴定管倒插入燒杯中，用鐵夾把滴定管架好並用水平儀校正使滴定管垂直水平面，且固定兩電極的距離3cm。



- (四) 以注射針筒抽出滴定管中空氣。



(五) 利用直流電源供應器，調整電壓為12V，紀錄不同電極電解時負極氫氣的生成量為5ml、10ml、15ml、20ml的反應時間，重覆五次。

(六) 比較步驟(五)之結果，找出最佳效率之電極。

三、探討不同氫氧化鈉濃度及電極間距對電解水速率之影響

(一) 取步驟一效率最佳之電極－花捲型為電極，12V為電壓。

(二) 配置不同濃度之電解液：取蒸餾水與氫氧化鈉，用量瓶配置0.1M、0.2M、0.3M、0.4M、0.5M、0.6M、0.7M、0.8M、0.9M、1M氫氧化鈉水溶液。

(三) 將上述不同濃度之氫氧化鈉水溶液為電解液，每一濃度改變電極間距為1cm、2cm、3cm、4cm、5cm、6cm、7cm、8cm、9cm、10cm，重複步驟一中之(三)~(五)，紀錄生成5ml氫氣所需時間，重覆五次。

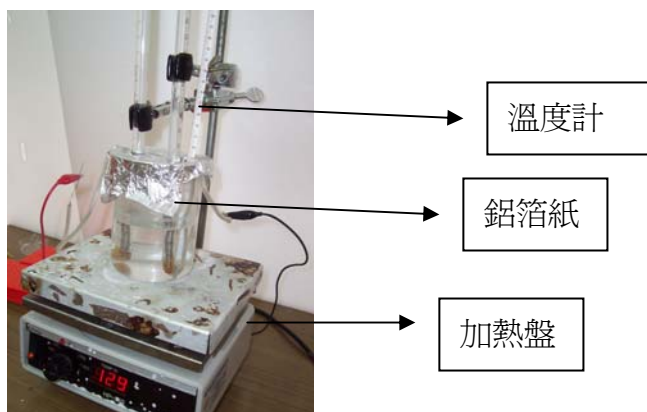
(四) 比較步驟(三)之結果，找出最佳濃度及電極間距。

四、探討不同電壓對電解水速率之影響

取步驟一效率最佳之電極－花捲型為電極，步驟二之最佳濃度0.7M為電解液，改變電壓為1.5V、3V、6V、9V、12V，重複步驟一中之(三)~(五)，紀錄生成20ml氫氣所需時間，以了解不同電壓對電解水速率之影響。

五、探討不同溫度對電解水速率之影響

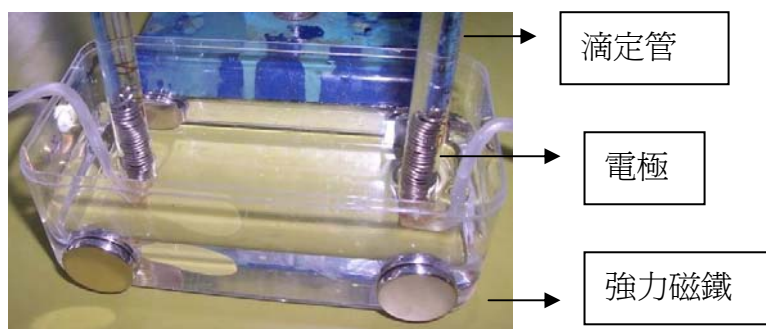
(一) 取花捲型不繡鋼線為電極，0.1M氫氧化鈉水溶液為電解液，使用12V電壓，將燒杯置於加熱盤上加熱，放置溫度計於燒杯中測溫，在燒杯上加蓋以減少水蒸發而影響濃度，調整溫度為30℃、40℃、50℃、60℃、70℃、80℃，重複步驟一中之(三)~(五)，紀錄生成20ml氫氣所需時間，以了解不同溫度對電解水速率之影響。裝置如下圖：



(二) 將氫氧化鈉水溶液濃度改為0.1M、0.2M、0.3M、0.4M、0.5M、0.6M、0.7M、0.8M、0.9M、1.0M，重複步驟(一)。

六、探討加入磁場後對電解速率的影響

- (一) 取花捲型不繡鋼線為電極，0.5M氫氧化鈉水溶液為電解液，使用12V電壓電解，測量氫氣生成20ml所需時間五次。
- (二) 在電極旁之滴定管外放置鈦鐵硼強力磁鐵，利用右手開掌定則判定離子受力方向，調整磁極方向使離子受力方向向下，重複步驟(一)。
- (三) 調整磁極方向使離子受力方向向上，重複步驟(一)
- (四) 改變氫氧化鈉水溶液濃度為0.2M、0.7M，重複步驟(一)、(二)裝置如下圖：



七、綜合上述各部分實驗結果，歸納整理出電解水的最佳反應條件。

伍、研究結果

一、探討不同電極形狀對電解水速率之影響

(一) 碳棒為電極，6V，電極間距3cm，0.5MNaOH (表1-1)

次 數 \ 氫 體 積	5ml	10ml	15ml	20ml
1	5'13	10'27	15'20	20'53
2	5'18	10'37	15'17	20'51
3	5'15	10'29	15'26	20'50
4	5'15	10'30	15'27	20'52
5	5'17	10'31	15'31	20'57
平均	5'15	10'30	15'25	20'53

(二) 直線不銹鋼線為電極，6V，電極間距3cm，0.5MNaOH (表1-2)

次 數 \ 氫 體 積	5ml	10ml	15ml	20ml
1	5'10	10'38	16'50	24'11
2	5'17	10'39	17'02	24'13
3	5'20	10'43	16'47	24'12
4	5'21	10'29	17'04	24'10
5	5'18	10'37	16'58	24'14
平均	5'17	10'37	16'53	24'12

(三) 8段對折不銹鋼線為電極，6V，電極間距3cm，0.5MNaOH (表1-3)

次 數 \ 氫 體 積	5ml	10ml	15ml	20ml
1	01'33	03'07	04'40	05'53
2	01'30	03'04	04'38	05'57
3	01'32	03'06	04'35	05'54
4	01'35	03'03	04'35	05'55
5	01'29	03'03	04'42	05'56
平均	01'32	03'05	04'38	05'55

(四) 螺旋形不銹鋼線為電極，6V，電極間距3cm，0.5MNaOH (表1-4)

次 數 \ 氫 體 積	5ml	10ml	15ml	20ml
1	2'23	4'47	7'09	9'37
2	2'24	4'45	7'03	9'35
3	2'21	4'47	7'02	9'36
4	2'26	4'46	7'06	9'38
5	2'24	4'45	7'01	9'37
平均	2'23	4'46	7'05	9'36

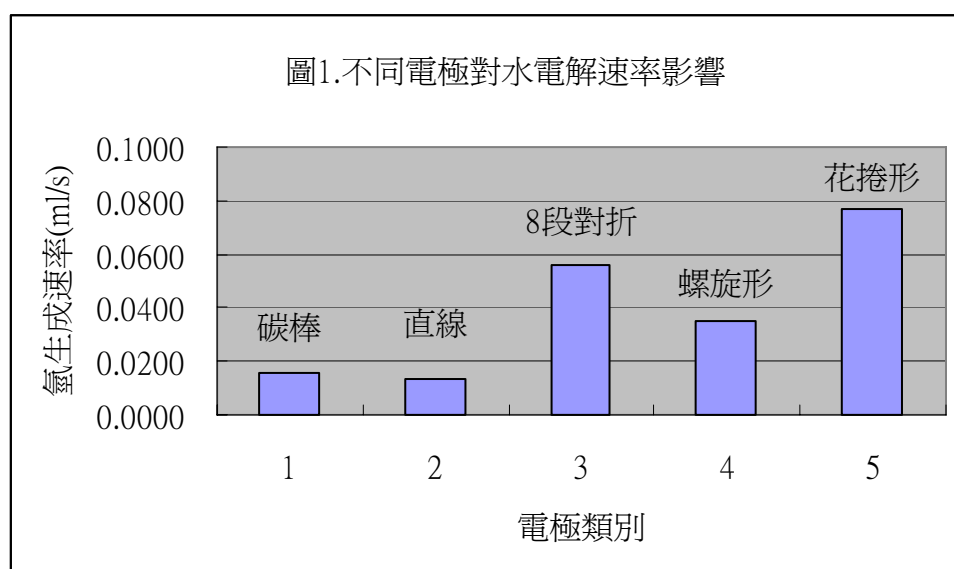
(五) 花捲型不銹鋼線為電極，6V，電極間距3cm，0.5MNaOH (表1-5)

次 數 \ 氫 體 積	5ml	10ml	15ml	20ml
----------------------	-----	------	------	------

1	01'04	02'02	03'12	04'22
2	01'01	02'03	03'15	04'23
3	01'03	02'00	03'10	04'19
4	01'05	02'04	03'11	04'23
5	01'03	02'07	03'12	04'20
平均	01'03	02'03	03'12	04'21

實驗一總整理：不同電極形狀與電解水產生20ml氫氣所需時間（表1-6）

	碳棒	直線不銹鋼線	8段對折不銹鋼線	螺旋形不銹鋼線	花捲型不銹鋼線
時間 (S)	1253	1452	355	576	261
氫生成速率 (ml/s)	0.0160	0.0138	0.0563	0.0347	0.0766



二、探討不同氫氧化鈉濃度及二電極間距離對電解水速率之影響

氫氧化鈉濃度0.1M，花捲型不銹鋼線為電極，12V（表2-1）

次數 間距	1	2	3	4	5	平均 (s)	氫氣生 成速率
3cm	24'22	24'23	24'19	24'26	24'34	24'25	0.0137
4cm	26'23	26'15	26'38	26'40	26'37	26'31	0.0126
5cm	28'21	28'33	28'18	28'40	28'32	28'29	0.0117
6cm	30'22	30'43	30'14	30'21	30'51	30'31	0.0109
7cm	32'12	32'17	32'19	32'18	32'32	32'20	0.0103

8cm	34'16	34'54	34'33	34'10	34'48	34'30	0.0097
9cm	37'33	37'42	37'39	37'21	37'17	37'30	0.0089

氫氧化鈉濃度0.2M，花捲型不銹鋼線為電極，12V（表2-2）

次數 間距	1	2	3	4	5	平均 (s)	氫氣生 成速率
3cm	11'54	11'32	11'36	12'02	11'43	11'27	0.0291
4cm	12'32	12'24	12'43	12'43	12'34	12'29	0.0267
5cm	14'26	14'30	14'23	14'33	14'21	14'32	0.0229
6cm	15'22	15'27	15'32	15'43	15'21	15'25	0.0216
7cm	17'22	17'43	17'32	17'41	17'20	17'32	0.0190
8cm	19'20	19'21	19'40	19'32	19'14	19'27	0.0171
9cm	22'24	22'43	22'25	22'51	22'18	22'29	0.0148

氫氧化鈉濃度0.3M，花捲型不銹鋼線為電極，12V（表2-3）

次數 間距	1	2	3	4	5	平均 (s)	氫氣生 成速率
3cm	10'11	10'21	10'32	10'23	10'32	10'24	0.0321
4cm	10'54	10'28	10'32	10'55	11'04	11'35	0.0288
5cm	11'06	11'20	11'43	11'54	11'25	11'30	0.0290
6cm	11'45	11'54	11'35	11'32	11'25	11'38	0.0287
7cm	12'32	12'43	12'43	12'12	12'41	12'34	0.0265
8cm	12'55	12'59	12'54	13'10	12'56	13'46	0.0242
9cm	13'24	13'54	13'43	13'27	13'38	13'37	0.0245

氫氧化鈉濃度0.4M，花捲型不銹鋼線為電極，12V（表2-4）

次數 間距	1	2	3	4	5	平均 (s)	氫氣生 成速率
3cm	6'44	6'48	6'58	6'38	7'02	6'50	0.0488
4cm	6'58	6'48	7'02	7'03	7'09	7'24	0.0450
5cm	7'20	7'03	7'12	7'18	7'31	7'17	0.0458
6cm	7'55	7'38	7'49	7'59	7'56	7'51	0.0425
7cm	8'08	8'02	8'13	8'21	8'12	8'09	0.0409
8cm	8'20	8'42	8'42	8'39	8'13	8'31	0.0391
9cm	8'53	9'09	8'49	9'11	9'02	9'01	0.0370

氫氧化鈉濃度0.5M ，花捲型不銹鋼線為電極，12V （表2-5）

次數 間距	1	2	3	4	5	平均 (s)	氫氣生 成速率
3cm	4'30	4'22	4'18	4'21	4'31	4'24	0.0758
4cm	4'50	4'38	4'32	4'48	4'38	4'41	0.0712
5cm	5'01	5'05	5'12	5'10	5'01	5'06	0.0654
6cm	5'12	5'23	5'11	5'30	5'10	5'17	0.0631
7cm	5'57	5'55	6'03	6'05	5'57	5'59	0.0557
8cm	6'40	6'32	6'50	7'03	6'58	6'50	0.0488
9cm	7'20	7'18	7'30	7'30	7'42	7'28	0.0446

氫氧化鈉濃度0.6M ，花捲型不銹鋼線為電極，12V （表2-6）

次數 間距	1	2	3	4	5	平均 (s)	氫氣生 成速率
3cm	2'54	2'58	3'02	3'01	3'05	3'00	0.1111
4cm	2'55	2'54	3'10	3'04	3'02	3'01	0.1105
5cm	2'56	2'59	3'11	3'05	3'12	3'05	0.1081
6cm	3'15	3'20	3'19	3'30	3'39	3'25	0.0976
7cm	3'36	3'54	3'45	3'22	3'19	3'35	0.0930
8cm	3'55	4'02	4'03	4'01	3'55	3'59	0.0837
9cm	4'10	4'03	4'09	4'16	4'02	4'08	0.0806

氫氧化鈉濃度0.7M ，花捲型不銹鋼線為電極，12V （表2-7）

次數 間距	1	2	3	4	5	平均 (s)	氫氣生 成速率
3cm	2'22	2'31	2'24	2'30	2'18	2'23	0.1399
4cm	2'21	2'32	2'18	2'25	2'19	2'23	0.1399
5cm	2'34	2'26	2'17	2'30	2'28	2'25	0.1379
6cm	2'50	2'55	2'58	3'05	3'07	2'59	0.1117
7cm	2'58	3'04	3'10	3'17	3'20	3'10	0.1053
8cm	3'08	3'12	3'20	3'22	3'16	3'16	0.1020
9cm	3'50	3'24	3'35	3'26	3'29	3'33	0.0939

氫氧化鈉濃度0.8M ，花捲型不銹鋼線為電極，12V （表2-8）

次數 間距	1	2	3	4	5	平均 (s)	氫氣生 成速率
3cm	2'32	2'14	2'25	2'32	2'31	2'27	0.1361
4cm	2'40	2'31	2'19	2'30	2'23	2'29	0.1342
5cm	2'26	2'32	2'31	2'33	2'28	2'30	0.1333
6cm	2'58	2'57	2'59	2'56	2'55	2'57	0.1130
7cm	3'12	3'02	3'21	3'20	3'05	3'12	0.1042
8cm	3'15	3'20	3'30	3'12	3'17	3'18	0.1010
9cm	3'23	3'42	3'29	3'37	3'41	3'34	0.0935

氫氧化鈉濃度0.9M，花捲型不銹鋼線為電極，12V（表2-9）

次數 間距	1	2	3	4	5	平均 (s)	氫氣生 成速率
3cm	2'23	2'23	2'35	2'31	2'25	2'27	0.1361
4cm	2'32	2'19	2'24	2'25	2'31	2'26	0.1370
5cm	2'11	2'17	2'32	2'19	2'25	2'20	0.1429
6cm	2'57	2'56	2'55	2'56	2'56	2'56	0.1136
7cm	3'08	3'09	3'12	3'11	3'10	3'10	0.1053
8cm	3'18	3'22	3'20	3'19	3'21	3'20	0.1000
9cm	3'31	3'29	3'28	3'30	3'32	3'30	0.0952

氫氧化鈉濃度1.0M，花捲型不銹鋼線為電極，12V（表2-10）

次數 間距	1	2	3	4	5	平均 (s)	氫氣生 成速率
3cm	2'15	2'14	2'25	2'28	2'17	2'20	0.1429
4cm	2'18	2'24	2'12	2'21	2'19	2'19	0.1439
5cm	2'21	2'23	2'21	2'15	2'23	2'21	0.1418
6cm	3'01	2'57	3'00	2'59	2'58	2'59	0.1117
7cm	3'13	3'12	3'11	3'14	3'10	3'12	0.1042
8cm	3'20	3'20	3'19	3'21	3'19	3'20	0.1000
9cm	3'25	3'23	3'24	3'25	3'23	3'24	0.0935

實驗二整理：不同氫氧化鈉濃度、電極間距與氫氣生成速率之關係(表2-11)（換算成氫生成速率ml/s）

濃度 間距	0.1M	0.2M	0.3M	0.4M	0.5M	0.6M	0.7M	0.8M	0.9M	1.0M
3cm	0.0137	0.0291	0.0321	0.0488	0.0758	0.1111	0.1399	0.1361	0.1361	0.1429
4cm	0.0126	0.0267	0.0288	0.0450	0.0712	0.1105	0.1399	0.1342	0.1370	0.1439
5cm	0.0117	0.0229	0.0290	0.0458	0.0654	0.1081	0.1379	0.1333	0.1429	0.1418
6cm	0.0109	0.0216	0.0287	0.0425	0.0631	0.0976	0.1117	0.1130	0.1136	0.1117
7cm	0.0103	0.0190	0.0265	0.0409	0.0557	0.0930	0.1053	0.1042	0.1053	0.1042
8cm	0.0097	0.0171	0.0242	0.0391	0.0488	0.0837	0.1020	0.1010	0.1000	0.1000
9cm	0.0089	0.0148	0.0245	0.0370	0.0446	0.0806	0.0939	0.0935	0.0952	0.0935

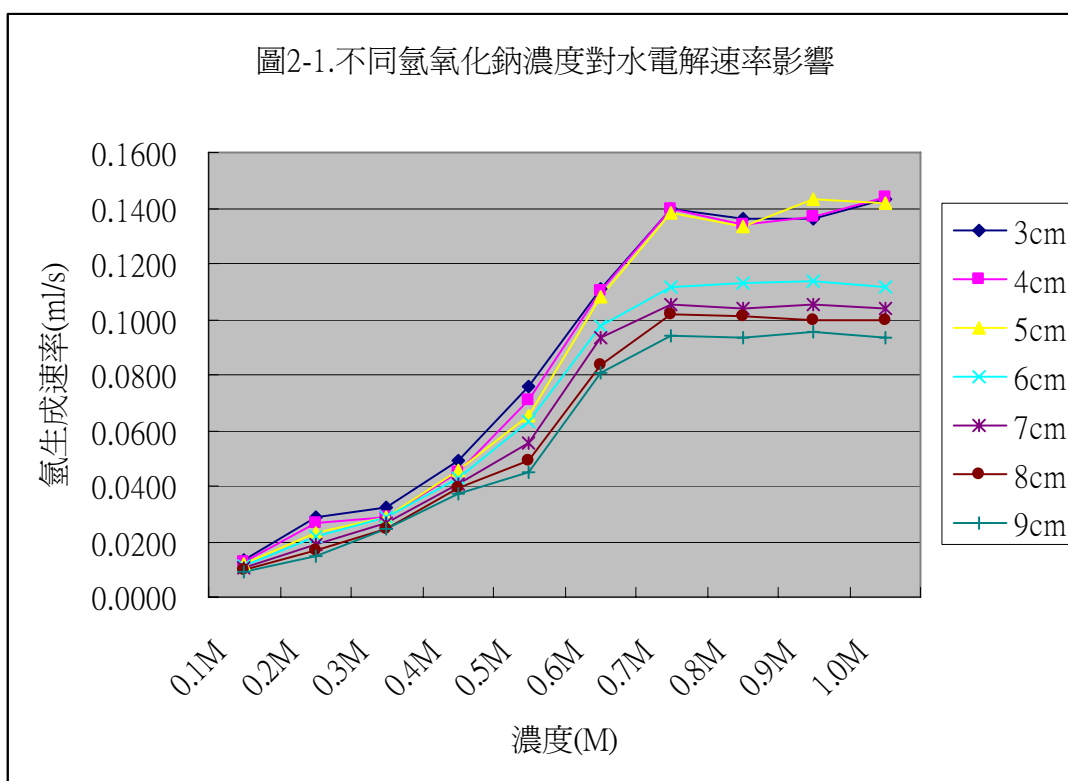
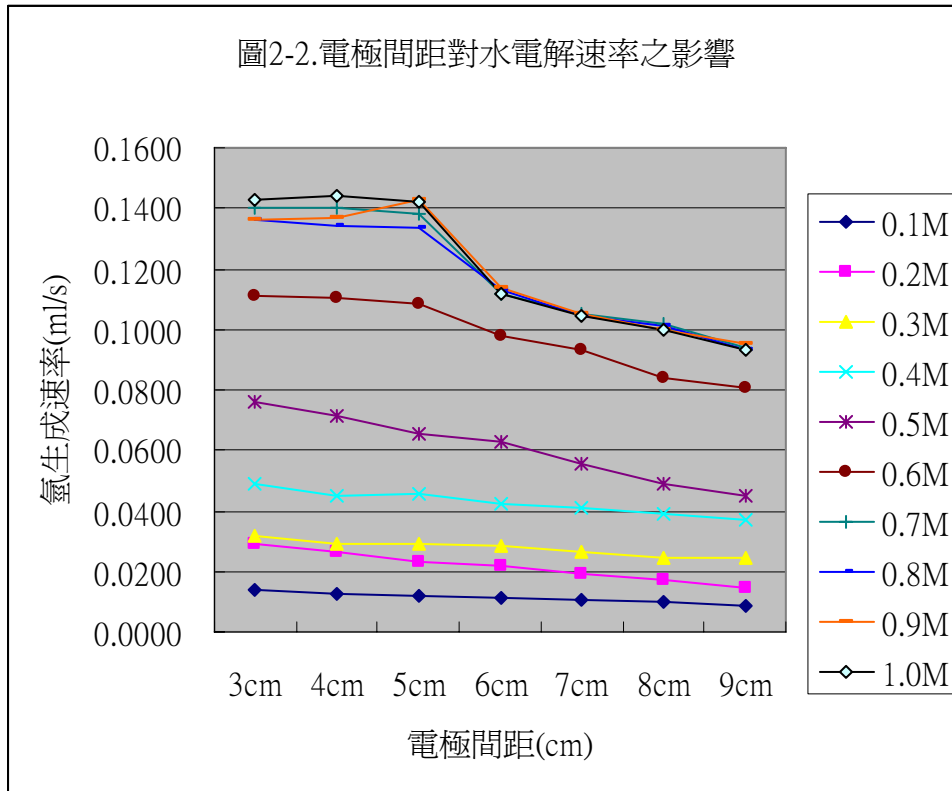


圖2-2.電極間距對水電解速率之影響



三、探討不同電壓對電解水速率之影響

0.1M氫氧化鈉水溶液 (表3-1)

電壓 \ 次數	1	2	3	4	5	平均	反應速率ml/s
1.5V	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	0
3V	50'20	50'15	50'12	50'21	50'17	50'17	0.0066
6V	35'22	35'30	35'38	35'29	35'17	35'27	0.0094
9V	28'17	28'29	28'30	28'29	28'21	28'25	0.0117
12V	24'10	24'25	24'20	24'21	24'29	24'21	0.0137

0.2M氫氧化鈉水溶液 (表3-2)

電壓 \ 次數	1	2	3	4	5	平均	反應速率ml/s
1.5V	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	0
3V	33'11	33'15	33'20	33'14	33'16	33'15	0.0100
6V	19'18	19'20	29'23	19'21	19'25	19'21	0.0172

9V	16'15	16'20	16'21	16'18	16'22	16'19	0.0204
12V	11'58	12'02	12'05	11'55	11'59	11'59	0.0278

0.3M氫氧化鈉水溶液 (表3-3)

次 電 壓	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
1.5V	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	0
3V	30'22	30'21	30'30	30'32	30'32	30'27	0.0109
6V	17'30	17'32	17'29	17'25	17'38	17'30	0.0190
9V	14'25	14'32	14'26	14'29	14'28	14'28	0.0230
12V	10'11	10'19	10'21	10'19	10'22	10'18	0.0324

0.4M氫氧化鈉水溶液 (表3-4)

次 電 壓	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
1.5V	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	0
3V	27'20	27'19	27'30	27'15	27'32	27'23	0.0122
6V	15'24	15'27	15'23	15'22	15'21	15'19	0.0218
9V	10'24	10'25	10'27	10'23	10'21	10'24	0.0321
12V	06'54	06'54	06'48	06'49	06'53	06'52	0.0485

0.5M氫氧化鈉水溶液 (表3-5)

次 電 壓	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
1.5V	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	0
3V	25'23	25'55	25'20	25'40	25'10	25'30	0.0131
6V	14'43	14'53	15'02	14'55	14'47	14'52	0.0224
9V	09'43	09'50	09'39	09'54	09'48	09'47	0.0341
12V	04'22	04'25	04'27	04'22	04'25	04'24	0.0758

0.6M氫氧化鈉水溶液 (表3-6)

次 電 壓	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
1.5V	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	0

3V	19'20	19'33	19'28	19'32	19'23	19'21	0.0175
6V	07'52	07'47	07'51	07'55	07'50	07'51	0.0425
9V	05'09	05'08	05'10	05'09	05'12	05'10	0.0645
12V	02'55	02'55	02'59	03'02	03'03	02'59	0.1117

0.7M氫氧化鈉水溶液 (表3-7)

次 電 壓	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
1.5V	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	0
3V	18'30	18'32	18'29	18'19	18'22	18'26	0.0181
6V	06'36	06'32	06'39	06'41	06'30	06'36	0.0505
9V	03'54	03'55	03'49	03'50	03'52	03'52	0.0862
12V	02'19	02'17	02'19	02'20	02'21	02'19	0.1439

0.8M氫氧化鈉水溶液 (表3-8)

次 電 壓	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
1.5V	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	0
3V	18'35	18'33	18'27	18'37	18'31	18'32	0.0185
6V	06'40	06'42	06'39	06'43	06'29	06'39	0.0501
9V	03'55	03'49	03'56	03'52	03'48	03'52	0.0862
12V	02'22	02'27	02'25	02'28	02'26	02'26	0.1370

0.9M氫氧化鈉水溶液 (表3-9)

次 電 壓	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
1.5V	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	0
3V	18'28	18'27	18'32	18'25	18'31	18'29	0.0185
6V	06'29	06'34	06'26	06'38	06'35	06'32	0.0510
9V	03'55	03'54	03'53	03'44	03'47	03'51	0.0866
12V	02'20	02'28	02'24	02'28	02'29	02'26	0.1370

1.0M氫氧化鈉水溶液 (表3-10)

次數 電壓	1	2	3	4	5	平均	反應速率ml/s
1.5V	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	不反應	0
3V	18'40	18'31	18'34	18'29	18'32	18'33	0.0185
6V	06'32	06'35	06'33	06'41	06'35	06'35	0.0506
9V	03'52	03'52	03'45	03'51	03'45	03'49	0.0873
12V	02'29	02'27	02'19	02'14	02'22	02'22	0.1408

實驗三整理：不同電壓及濃度對產生氫氣速率影響（表3-11）（換算成氫生成速率ml/s）

濃度 電壓	0.1M	0.2M	0.3M	0.4M	0.5M	0.6M	0.7M	0.8M	0.9M	1.0M
1.5V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3V	0.0066	0.0100	0.0109	0.0122	0.0131	0.0175	0.0181	0.0185	0.0185	0.0185
6V	0.0094	0.0172	0.0190	0.0218	0.0224	0.0425	0.0505	0.0501	0.0510	0.0506
9V	0.0117	0.0204	0.0230	0.0321	0.0341	0.0645	0.0862	0.0862	0.0866	0.0873
12V	0.0137	0.0278	0.0324	0.0485	0.0758	0.1117	0.1439	0.1370	0.1370	0.1408

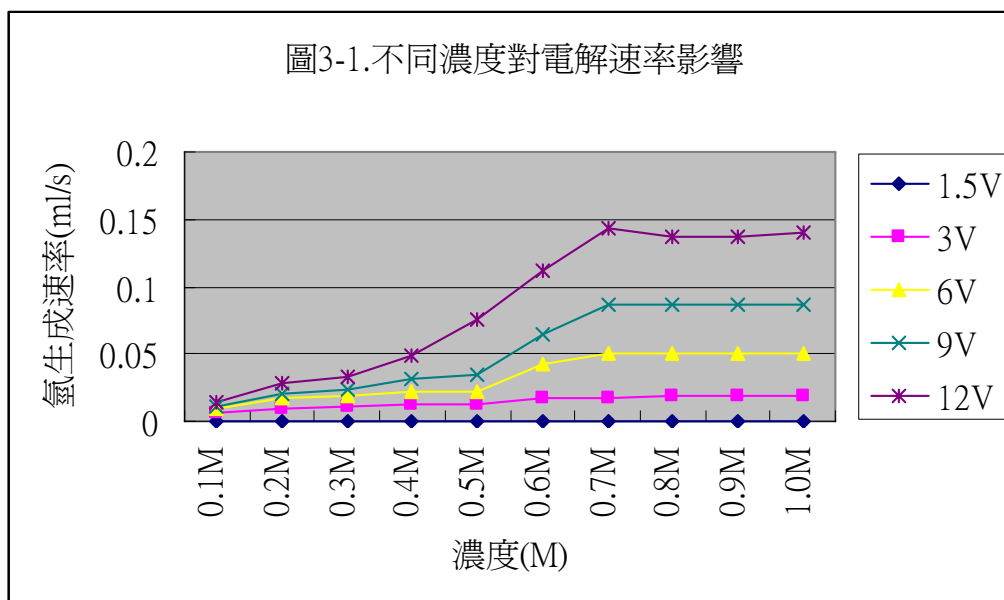
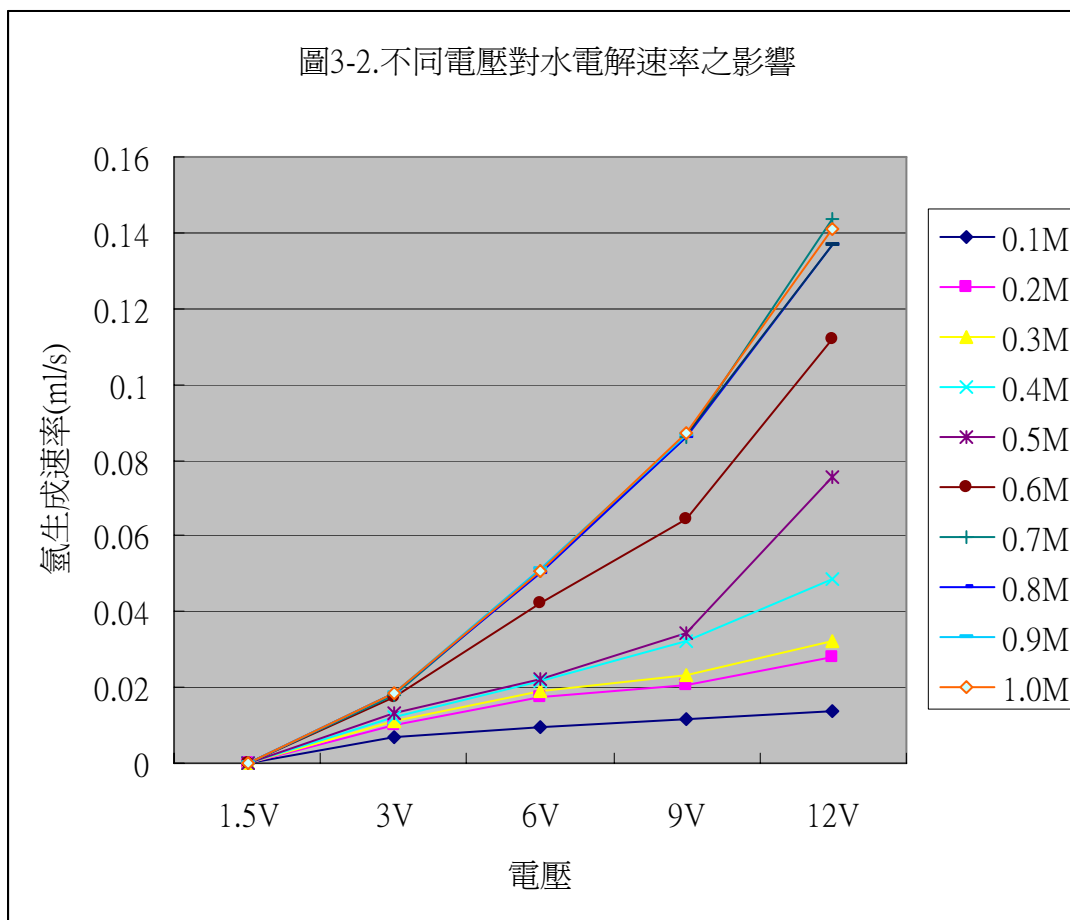


圖3-2.不同電壓對水電解速率之影響



四、探討不同溫度對電解水速率之影響

0.1M氫氧化鈉水溶液 (表4-1)

次 溫 度	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
30°C	24'19	24'22	24'16	24'39	24'13	24'26	0.0136
40°C	23'20	23'16	23'28	23'15	23'27	23'22	0.0143
50°C	21'50	21'55	21'51	21'49	21'58	21'52	0.0152
60°C	19'59	19'56	20'01	20'03	19'56	19'59	0.0167
70°C	18'45	18'42	18'39	18'50	18'43	18'44	0.0178
80°C	16'48	16'39	16'40	16'51	16'38	16'47	0.0199

0.2M氫氧化鈉水溶液 (表4-2)

次數 溫度	1	2	3	4	5	平均	反應速率ml/s
30°C	12'05	12'01	11'56	11'58	11'54	11'57	0.0279
40°C	10'26	10'24	10'30	10'27	10'19	10'24	0.0321
50°C	9'14	9'15	9'20	9'11	9'17	9'16	0.0360
60°C	8'00	8'02	7'57	7'55	8'03	8'01	0.0416
70°C	7'11	7'21	7'16	7'09	7'11	7'15	0.0460
80°C	6'24	6'28	6'30	6'19	6'21	6'25	0.0519

0.3M氫氧化鈉水溶液 (表4-3)

次數 溫度	1	2	3	4	5	平均	反應速率ml/s
30°C	10'18	10'17	10'20	10'15	10'16	10'18	0.0324
40°C	9'28	9'30	9'31	9'21	9'26	9'28	0.0352
50°C	8'48	8'50	8'43	8'53	8'46	8'48	0.0379
60°C	7'16	7'18	7'12	7'20	7'17	7'16	0.0459
70°C	6'51	6'50	6'52	6'48	6'49	6'51	0.0487
80°C	6'13	6'10	6'16	6'17	6'11	6'13	0.0536

0.4M氫氧化鈉水溶液 (表4-4)

次數 溫度	1	2	3	4	5	平均	反應速率ml/s
30°C	6'53	6'52	6'55	6'50	6'49	6'53	0.0484
40°C	6'24	6'25	6'26	6'20	6'23	6'24	0.0521
50°C	5'51	5'50	5'54	5'48	5'49	5'51	0.0570
60°C	5'14	5'13	5'16	5'17	5'10	5'14	0.0637
70°C	4'40	4'40	4'42	4'43	4'38	4'40	0.0714
80°C	4'08	4'10	4'06	4'05	4'11	4'08	0.0806

0.5M氫氧化鈉水溶液 (表4-5)

次數 溫度	1	2	3	4	5	平均	反應速率ml/s
30°C	4'23	4'24	4'25	4'21	4'22	4'23	0.0760

40°C	3'59	4'02	3'56	3'57	4'01	3'59	0.0837
50°C	3'43	3'45	3'47	3'40	3'50	3'45	0.0889
60°C	3'21	3'19	3'23	3'22	3'20	3'21	0.0995
70°C	2'56	2'58	2'54	2'55	2'57	2'56	0.1136
80°C	2'40	2'38	3'36	2'39	2'37	2'38	0.1266

0.6M氫氧化鈉水溶液 (表4-6)

次 溫 度	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
30°C	2'59	2'57	2'56	3'01	3'02	2'59	0.1117
40°C	2'45	2'47	2'49	2'48	2'46	2'47	0.1198
50°C	2'33	2'34	2'35	2'32	2'31	2'33	0.1307
60°C	2'15	2'16	2'17	2'14	2'13	2'15	0.1481
70°C	2'01	2'03	2'05	2'02	2'04	2'03	0.1626
80°C	1'48	1'49	1'50	1'47	1'46	1'48	0.1852

0.7M氫氧化鈉水溶液 (表4-7)

次 溫 度	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
30°C	2'21	2'20	2'19	2'22	2'23	2'21	0.1418
40°C	2'08	2'07	2'09	2'10	2'26	2'08	0.1563
50°C	2'00	1'58	1'57	2'01	1'59	1'59	0.1681
60°C	1'45	1'47	1'46	1'48	1'44	1'46	0.1887
70°C	1'32	1'34	1'33	1'35	1'31	1'33	0.2151
80°C	1'24	1'23	1'26	1'25	1'27	1'25	0.2353

0.8M氫氧化鈉水溶液 (表4-8)

次 溫 度	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
30°C	2'22	2'18	2'20	2'21	1'19	2'20	0.1429
40°C	2'06	2'05	2'08	2'09	2'07	2'07	0.1575
50°C	1'58	1'59	2'00	1'56	1'57	1'58	0.1695
60°C	1'45	1'47	1'49	1'48	1'46	1'47	0.1869

70°C	1'35	1'33	1'33	1'34	1'35	1'34	0.2128
80°C	1'23	1'22	1'21	1'25	1'24	1'23	0.2410

0.9M氫氧化鈉水溶液 (表4-9)

次 溫 度	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
30°C	2'21	2'23	2'24	2'19	2'17	2'21	0.1418
40°C	2'08	2'10	2'09	2'07	2'11	2'09	0.1550
50°C	1'55	1'56	1'57	1'58	1'54	1'56	0.1724
60°C	1'48	1'49	1'50	1'47	1'46	1'48	0.1852
70°C	1'32	1'33	1'36	1'35	1'34	1'34	0.2128
80°C	1'25	1'26	1'28	1'22	1'24	1'25	0.2353

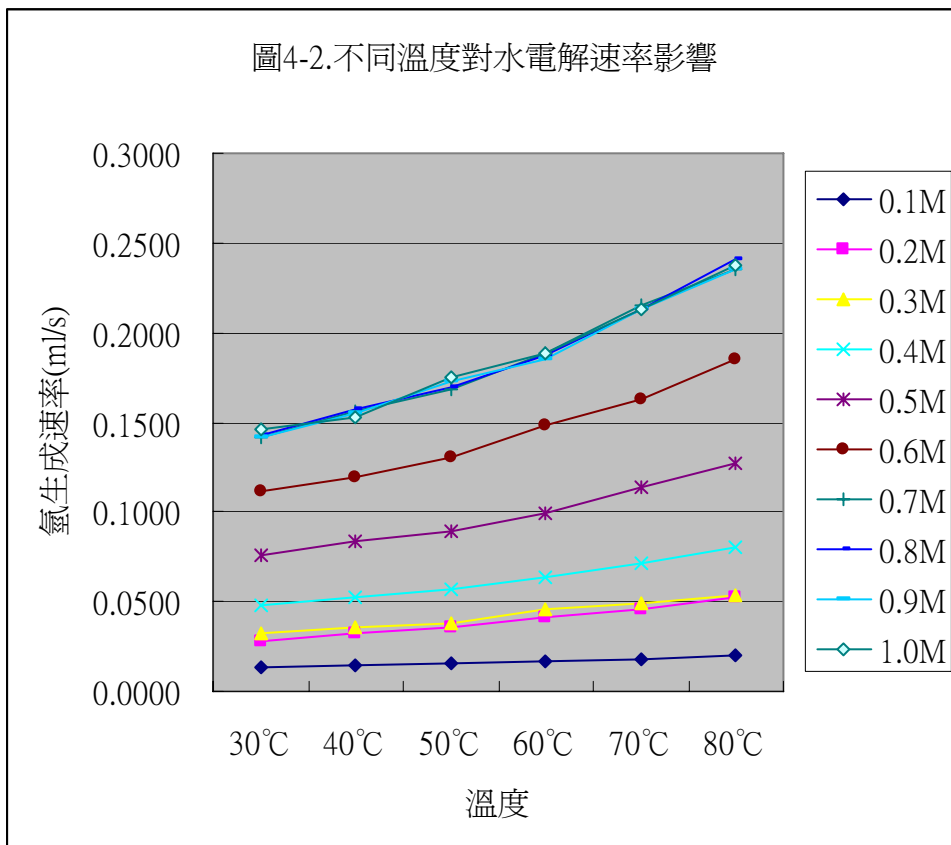
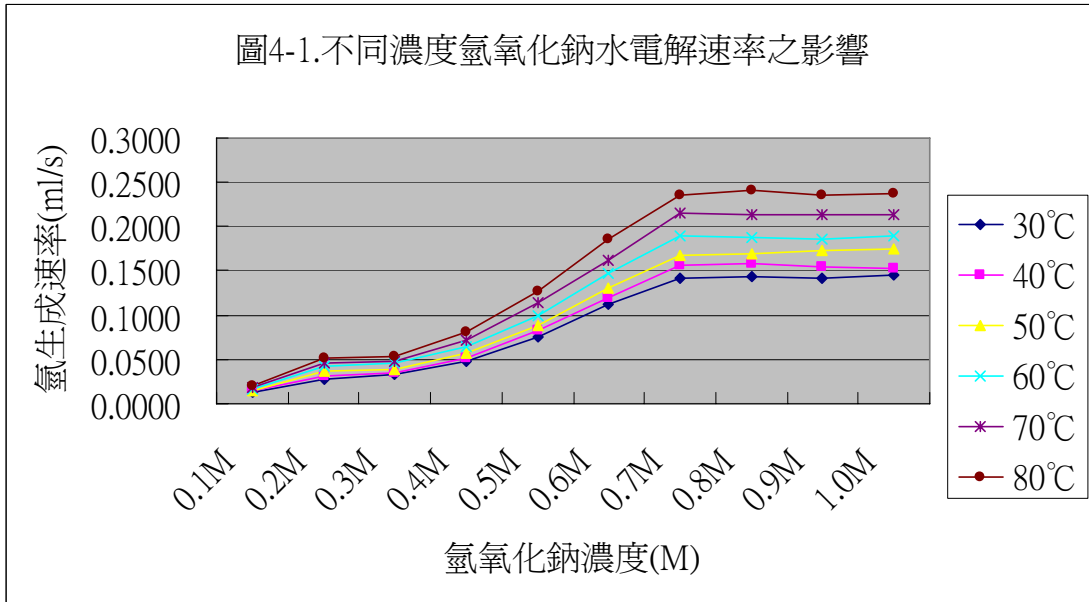
1M氫氧化鈉水溶液 (表4-10)

次 溫 度	1	2	3	4	5	平均	反應速 率ml/s
30°C	2'14	2'19	2'20	2'15	2'17	2'17	0.1460
40°C	2'09	2'11	2'15	2'13	2'07	2'11	0.1527
50°C	1'54	1'54	1'53	1'55	1'53	1'54	0.1754
60°C	1'44	1'46	1'48	1'45	1'47	1'46	0.1887
70°C	1'33	1'35	1'34	1'34	1'34	1'34	0.2128
80°C	1'24	1'25	1'26	1'23	1'22	1'24	0.2381

實驗四整理：不同溫度及濃度對產生氫氣速率影響 (表4-11) (換算成氫生成速率ml/s)

濃 溫 度	0.1M	0.2M	0.3M	0.4M	0.5M	0.6M	0.7M	0.8M	0.9M	1.0M
30 °C	0.0136	0.0279	0.0324	0.0484	0.0760	0.1117	0.1418	0.1429	0.1418	0.1460
40 °C	0.0143	0.0321	0.0352	0.0521	0.0837	0.1198	0.1563	0.1575	0.1550	0.1527
50 °C	0.0152	0.0360	0.0379	0.0570	0.0889	0.1307	0.1681	0.1695	0.1724	0.1754
60 °C	0.0167	0.0416	0.0459	0.0637	0.0995	0.1481	0.1887	0.1869	0.1852	0.1887

70 °C	0.0178	0.0460	0.0487	0.0714	0.1136	0.1626	0.2151	0.2128	0.2128	0.2128
80 °C	0.0199	0.0519	0.0536	0.0806	0.1266	0.1852	0.2353	0.2410	0.2353	0.2381



五、探討加入磁場後對電解速率的影響

0.2M，電極間距9CM（表5-1）

次數 磁場	1	2	3	4	5	平均
無磁場	22'29	22'26	22'32	22'27	22'31	22'29
外加磁場使離子 受力方向向下	22'49	22'55	22'52	22'54	22'50	22'52
外加磁場使離子 受力方向向上	23'16	23'15	23'18	23'12	23'14	23'15

0.2M，電極間距3CM（表5-2）

次數 磁場	1	2	3	4	5	平均
無磁場	11'48	11'52	11'49	11'50	11'51	11'50
外加磁場使離子 受力方向向下	13'32	13'34	13'35	13'29	13'30	13'32
外加磁場使離子 受力方向向上	14'05	14'03	14'02	14'07	14'08	14'05

0.5M，電極間距9CM（表5-3）

次數 磁場	1	2	3	4	5	平均
無磁場	7'31	7'32	7'30	7'28	7'29	7'30
外加磁場使離子 受力方向向下	7'53	7'50	7'51	7'54	7'52	7'52
外加磁場使離子 受力方向向上	8'44	8'48	8'52	8'50	8'46	8'48

0.5M，電極間距3CM（表5-4）

次數 磁場	1	2	3	4	5	平均
無磁場	4'24	4'25	4'26	4'23	4'22	4'24
外加磁場使離子 受力方向向下	5'01	5'03	5'05	5'04	5'02	5'03

外加磁場使離子 受力方向向上	5'17	5'10	5'11	5'12	5'14	5'14
-------------------	------	------	------	------	------	------

0.7M，電極間距9CM（表5-5）

次 磁 場 數	1	2	3	4	5	平均
無磁場	3'28	3'29	3'32	3'30	3'31	3'30
外加磁場使離子 受力方向向下	3'45	3'41	3'43	3'42	3'44	3'43
外加磁場使離子 受力方向向上	4'09	4'11	4'07	4'12	4'06	4'09

0.7M，電極間距3CM（表5-6）

次 磁 場 數	1	2	3	4	5	平均
無磁場	2'28	3'33	2'30	2'27	2'32	2'30
外加磁場使離子 受力方向向下	2'52	2'51	2'53	2'54	2'55	2'53
外加磁場使離子 受力方向向上	3'01	3'03	2'59	3'00	3'02	3'01

實驗五整理：外加磁場前後的電解速率比較（表5-7）（換算成氫生成速率ml/s）

氫氧化鈉濃度	0.2M		0.5M		0.7M	
電極間距	3cm	9cm	3cm	9cm	3cm	9cm
無磁場	0.0148	0.0282	0.0444	0.0758	0.0952	0.1333
外加磁場使離子 受力方向向下	0.0146	0.0246	0.0424	0.0660	0.0897	0.1156
外加磁場使離子 受力方向向上	0.0143	0.0237	0.0379	0.0637	0.0803	0.1105

外加磁場前後的電解速率比值（表5-8）

氫氧化鈉濃度	0.2M		0.5M		0.7M	
電極間距	3cm	9cm	3cm	9cm	3cm	9cm
無磁場	1	1	1	1	1	1
外加磁場使離子 受力方向向下	0.98	0.87	0.95	0.87	0.94	0.87

外加磁場使離子 受力方向向上	0.97	0.84	0.85	0.84	0.84	0.83
-------------------	------	------	------	------	------	------

陸、討論

一、在課本的實驗中，手很容易沾到氫氧化鈉溶液，而全國科展歷屆作品中都設計不同的實驗裝置，但我們嘗試以注射針筒加塑膠管需要挖洞並用矽膠、熱熔膠或AB膠，都容易有漏水現象，經過我們多次實驗與思考改進後，發現以滴定管作為集氣管很好用，並不需要裝滿溶液後再倒插入溶液中，只要以空管插入後，轉開滴定開關，再以注射針筒抽出空氣即可，而且這樣做的另一個好處是氫氧化鈉溶液不必太多，只要比管口稍高即可，這個發現可以改進一般課堂上的實驗方法，而且組裝快速，完全不必再做任何加工，可以減少實驗儀器裝置時間並增加安全性。

二、我們在研究過程二發現的電極問題：

- (一) 原先認為碳棒作為電極應該是很好的選擇，可是我們在研究時發現正極的碳棒在電解一段時間後，會有碳粉脫落並散佈在溶液中，隨後會影響電解速率，這與全國科展45屆作品「極有不同」所言相同，因此我們認為碳棒並不是最好的電極，而上述作品並且提到以不鏽鋼作為電極是最佳選擇，於是我們改以不鏽鋼作為電極。
- (二) 課本中以迴紋針或注射針頭作為電極，但電解速率太慢，我們認為應是與溶液接觸面積太小。歷屆全國科展作品中雖有探討到「電極材料」的問題，但並未找出何種電極狀可增加電解效率，因此我們嘗試以不鏽鋼線彎曲成各種形狀來試驗，多次實驗之後發現彎成花捲狀的電極效果最好，推測應是接觸面積大的關係，這種電極可以讓課堂上的電解水實驗速率快很多。
- (三) 實驗過程中也發現到，氣泡之生成集中在電極最下面約2cm處，再往上並無氣泡產生，因此電極太長並無助益，我們所做的電極就以5cm長為限。
- (四) 由表1-6.及圖1.可看出，電極形狀與電解速率相關，接觸面積愈大的電極，電解速率愈快，目前想到的是將不鏽鋼線捲成花捲狀效率最高，是碳棒的4.8倍，直線不鏽鋼的5.6倍。

三、我們在研究過程三發現的氫氧化鈉濃度及二電極間距離問題

- (一) 由圖2-2可看出各濃度在電極間距變大時電解速率都變小，但濃度大於0.7M時，5cm以下的電極間距並未影響反應速率，電極間距需超過5cm時才會使反應速率變慢。由此可知濃度較大時，離子較多，此時電極間距在某一範圍下即達最大值，即使再縮段距離也無法加快反應速率。
- (二) 電極間距相同時，濃度愈大反應速率愈快，但各間距在濃度0.7M以上

時，反應速率即不再加快，因此此濃度是較佳濃度。

- (三) 由表2-11.數據可看出，電極間距小於5cm，濃度0.7M時，即可得最大速率。

四、我們在實驗三發現的電壓問題

- (一) 1.5V的電壓無法讓水產生電解反應，推測要能讓水電解應有一最低電壓門檻，而3V就可產生反應，因此最低電壓應為1.5V~3V之間。
- (二) 由圖3-2.可看出，電壓愈大，反應速率愈大。
- (三) 由圖3-1.可看出各個不同電壓條件下，濃度大於0.7M時，濃度變大反應速率並沒有跟著變大，再次證明濃度0.7M即可產生反應速率的最大值。

五、我們在實驗四發現的溫度問題

- (一) 由圖4-2.可看出，溫度愈高，反應速率愈大，因此可將太陽熱水器與電解水裝置結合，利用太陽能熱水器加熱後的熱水來電解以增高電解產氫速率。
- (二) 由表4-11.數據計算，較佳濃度0.7M時，溫度每升高10°C 電解速率增加效率如下表：

溫度變化(°C)	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
氫氣生成速率比值	1.1016	1.0756	1.1226	1.1398	1.0941
增加效率(%)	10.16	7.56	12.26	13.98	9.41

由上表可知，電解速率的增加量，雖然看起來並非線性增加，但大約為10%左右。

- (三) 由表4-11.數據計算，各濃度，溫度80°C與30°C電解速率比值如下表：

濃度	0.1M	0.2M	0.3M	0.4M	0.5M	0.6M	0.7M	0.8M	0.9M	1.0M
電解速率比值	1.46	1.86	1.66	1.67	1.66	1.66	1.66	1.69	1.66	1.63

由上分析可知，80°C時的電解速率約為30°C時的電解速率的1.7倍，濃度似乎不大影響此結果。

六、我們在實驗五發現的磁場問題

- (一) 由表5-7可知各種濃度及各種電極間距在加入磁場後，都會使電解速率變慢，這可能是離子受力後會影響導電度使電流變小，而我們實際測電流也發現是如此(0.5M，9cm時，無磁場之電流為0.29A，外加磁場使離子受力方向向下時電流為0.27A，外加磁場使離子受力方向向上時電流為0.26A)。

- (二) 比較加磁場後與加磁場前的電解速率比值，發現濃度較小的0.2M，磁場的影響較小，而濃度大的0.7M影響則較大。
- (三) 比較同一濃度與電極間距時發現，外加磁場使離子受力方向向下的影響較小，外加磁場使離子受力方向向上的影響較大，因此離子受力向上時對導電度的影響較大。
- (四) 原先想利用磁場使離子受力與電流同一方向來讓電流增大，但實際操作時利用右手開掌定則發現到：磁場、電流、離子受力方向皆互相垂直，不可能使離子受力與電流同一方向，只能讓離子受力向上或向下，實驗後發現都會使電流變小。

柒、結論

一、實驗裝置、電極材料與電極形狀：

- (一) 以滴定管作為電解水集氣管很好用，可減少實驗儀器裝置時間，手亦不會接觸到氫氧化鈉溶液，可增加實驗安全性。
- (二) 碳棒作為電極會有碳粉末掉落影響電解速率，不鏽鋼是較佳電極材料。
- (三) 不同電極形狀會影響電解水速率，增加與水溶液的接觸面積可有效增加電解產氫速率，本實驗所設計的「不鏽鋼花捲狀電極」是極佳的電極，電解產氫速率是碳棒的4.8倍，直線不鏽鋼的5.6倍。

二、不同氫氧化鈉濃度及二電極間距離對電解水速率之影響：

電極間距小於5cm，濃度0.7M時，即可得最大速率。

三、探討不同電壓對電解水速率之影響

- (一) 能讓水電解的最低電壓應為1.5V~3V之間。
- (二) 電壓愈大，反應速率愈大。

四、探討不同溫度對電解水速率之影響

- (一) 溫度愈高，反應速率愈大。
- (二) 溫度每升高10°C 電解速率增加效率約10%。
- (三) 80°C時的電解速率約為30°C時的電解速率的1.7倍。

五、探討加入磁場後對電解速率的影響

- (一) 在加入磁場後，都會使電解速率變慢，這是離子受力後會影響導電度使電流變小。
- (二) 濃度較小的0.2M，磁場的影響較小，而濃度大的0.7M影響則較大。
- (三) 外加磁場使離子受力方向向下的影響較小，外加磁場使離子受力方向向上的影響較大，因此離子受力向上時對導電度的影響較大。

捌、參考資料

- 一、南一書局主編（民96年版），自然與生活科技第三冊，南一書局。
- 二、南一書局主編（民96年版），自然與生活科技第四冊，南一書局。
- 三、南一書局主編（民96年版），自然與生活科技第五冊，南一書局。
- 四、中華民國中小學科展第21屆至第30屆優勝作品專輯（民84），國立台灣科學教育館。
- 五、國立台灣科學教育館全國網站：<http://www.ntsec.gov.tw/>，全國中小學科學展覽會歷屆作品。

【評語】 031624

本作品以不鏽鋼材質作成各類形狀之電極，借由增加電極表面積，改變電解質 NaOH 濃度，電壓、溫度、及外加磁場等變因，研究及優選氫氣產生速率的最佳條件。實驗數據相當完整，具有相當一致趨勢。電解水為科展常見題材，本作品實驗嚴謹，足見學生們相當用心。