

# 水的電解實驗改進

## 國中組化學第三名

臺中縣立大甲國民中學

作者：陳信夫 許文勝

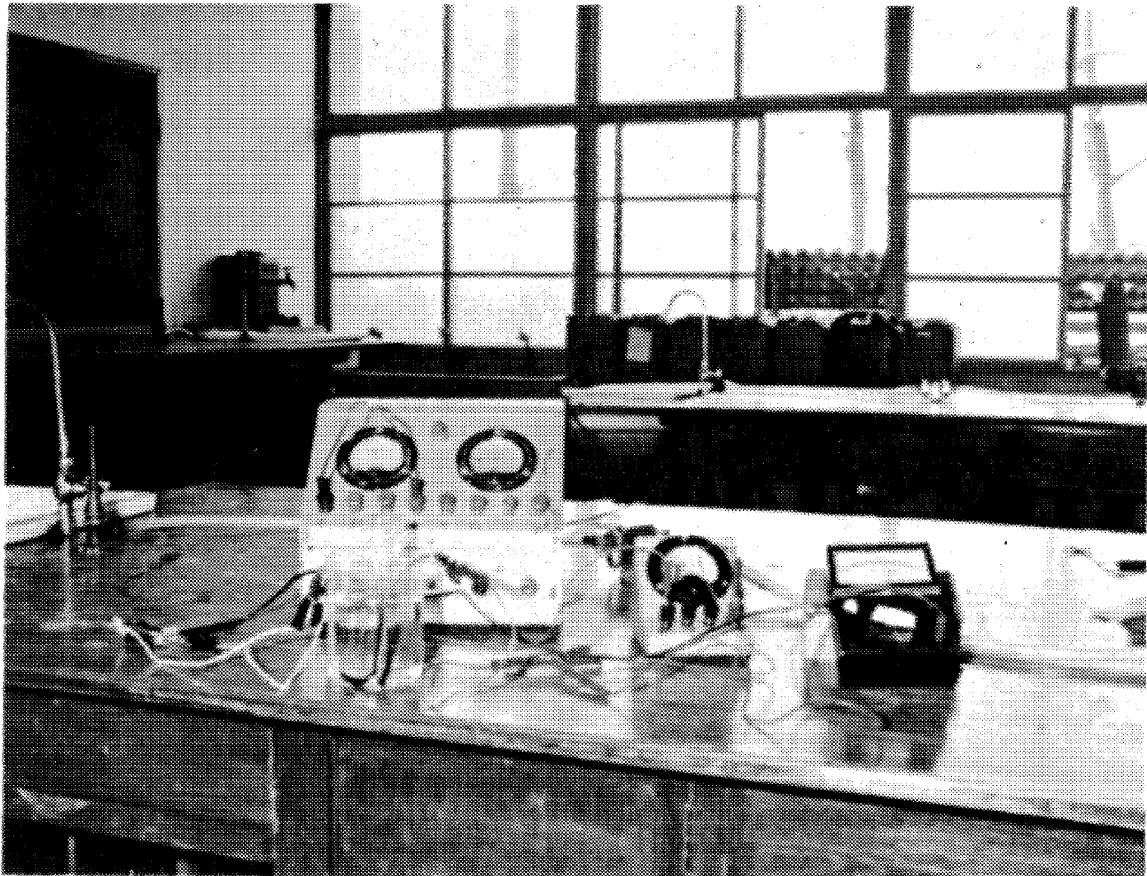
指導教師：紀介人 林玫欣

研究動機：

國中化學課本第二冊 48 頁有關水的電解，是採碳棒為電極。在純水中加入幾滴硫酸，通入電流電解水。經過多次實驗所得結果與課本上所言之結果相去甚遠。在陰極所獲之氣體體積與陽極所得之氣體體積比，不接近 2：1，且在陽極有黑色的小粒子浮游其間，因此希望能從多種電極與多種電解質，並以簡便又確實的方法驗證之。

研究過程：

〔方法一〕 1 裝置：如下圖：



電極：碳棒

(經過酸鹼充分將表面洗滌乾淨，以蒸餾水沖洗，烘乾後，再使用之。

電解質：硫酸水溶液 1M，2M

2 步驟：依據課本上之實驗方法，按上圖之裝置，進行電解。

3 結果記錄如下：

實驗 控制 變因	1	2	3	4	5	6
電極種類	碳棒	碳棒	碳棒	碳棒	碳棒	碳棒
溫度	15℃	15℃	60℃	15℃	15℃	15℃
電壓	6.7 V	6.7 V	6.7 V	6.64 V	6.6 V	4.2 V
電流	0.12 A	0.12 A	0.12 A	0.3 A	0.3 A	0.11 A
電解質	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
濃度	1 M	1 M	1 M	2 M	2 M	2 M
電解時間	6 分	6 分	6 分	6 分	6 分	6 分
氣體體積(陽)	1.4cc	1.5cc	8.2cc	2.6cc	4 cc	2.9 cc
氣體體積(陰)	5.8cc	5.1cc	31.9cc	11.8cc	13.1cc	15.6cc
氧：氫 氧 1 氫 2	1 : 4.14	1 : 3.04	1 : 3.89	1 : 4.53	1 : 3.27	1 : 5.37
氧氫體積 平均比	1 : 3.81		1 : 4.39			

4. 討論：

- (1) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的濃度若高於 2 M 或低於 1 M 者，電解效果不比 1 ~ 2 M 的效果好，故未列出。
- (2) 由上表中，我們可以得到陰極所獲的氣體體積（若是氫）大約為陽極氣體體積之 3 ~ 4 倍，與課本上之結果不合。
- (3) 電解經過一段時間後，發現陽極試管壁上附有黑色浮在液面上之黑色粒子。由此觀察、推知，在電解過程中，陽極之碳棒可能參加反應；因而認為以碳棒做為電極並不理想。

〔方法二〕

1 由上述實驗之經驗，進而改用多種金屬為電極，以  $H_2SO_4$  為電解質，依照上述的方法與裝置，重複此實驗，俾能找出適合於硫酸電解質之電極。所用的金屬電極有：Pt, Pb, Fe, 不銹鋼，黃銅，鎳，鋁，鋅等。

2 結果見下表：

實驗次數 控制變因	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
電極種類	白金	白金	鉛條	鉛條	鉛條	不銹鋼	不銹鋼	不銹鋼	不銹鋼	不銹鋼
溫度			15°C	15°C	15°C	15°C	15°C	15°C	15°C	15°C
電壓			6.7V	6.5V	4.1V	6.5V	6.3V	6.1V	4V	4V
電流			0.24A	0.34A	0.07A	0.18A	0.31A	0.34A	0.06A	0.12A
電解質	$H_2SO_4$	$H_2SO_4$	$H_2SO_4$	$H_2SO_4$	$H_2SO_4$	$H_2SO_4$	$H_2SO_4$	$H_2SO_4$	$H_2SO_4$	$H_2SO_4$
濃度	0.1M	0.1M	1M	2M	1M	1M	2M	2M	1M	2M
電解時間			6分鐘	6分	16分	6分	6分	6分	18分	12分
氧體積(陽)	4cc	4.6cc	4cc	6.9cc	1.8cc	2.2cc	3.7cc	4.5cc	1.7cc	1.8cc
氫體積(陰)	7.5cc	7.4cc	10.8cc	15.2cc	9.1cc	8.1cc	14.8cc	15.8cc	9cc	9.8cc
氧體積：氫體積	1:1.87	1:1.60	1:2.70	1:2.20	1:5.05	1:3.68	1:4.00	1:3.51	1:5.29	1:5.44
總平均比值	1:1.73		1:3.31			1:4.38				
附圖	附有實物		"			"				
反應現象	陽極電極有被溶解現象		陽極表面附有黃色小粒子			陽極附近溶液有變黃的現象				

討論：1 效果比較差的電極，其實驗數據不予列出討論。例：鐵、銅、鋅、鋁等。

2 由表中所列可知，陰極氣體體積與陽極氣體體積的比值，不近於 2 : 1，因而推想此電解除了與電極種類有關外，應與所加電解質的性質也有關係。

3 以鉑金絲為電極效果雖比較好些，可惜鉑絲電極價昂不合算。

方法三]

在蒸餾水中，加入不同的電解質，重複上述之實驗，觀察電解後的各種現象，並可得下表中之結果：

因素 \ 次數	1	2	3	4	5	6	7	8
電極種類	不銹鋼	不銹鋼	不銹鋼	不銹鋼	不銹鋼	銅棒	鎳棒	鎳棒
溫度	45℃	35℃	30℃	60℃	60℃	19℃	60℃	15℃
電壓	6.7V	6.5V	6.7V	6 V	6.25V	6.2V	6 V	6.5V
電流	0.04 A	0.04 A	0.04 A	0.105 A	0.04 A	0.21 A	0.195 A	0.075 A
電解質	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	NaOH	NaOH	NaOH	KOH	KOH
濃度	5%	5%	5%	4%	3%	5%	5%	5%
電解時間	22分	20分	20分	80分	82分	7分	15分	19分
氧氣體積數	1.1cc	2.3cc	1.7cc	1.9cc	14.7 cc	7.45 cc	10.9 cc	5.1cc
氫氣體積數	5.7cc	4.9cc	4.2cc	29.4 cc	29.9 cc	11.15 cc	13.2 cc	8.8cc
氧氫氣體積比值	1:5.18	1:2.13	1:2.47	1:1.97	1:2.03	1:1.49	1:1.21	1:1.72
總平均比值	1 : 3.26			1 : 2.00		1:1.49	1 : 1.46	

因 素 \ 次 數	9	10	11	12	13	14	15
電 極 種 類	鎳 棒	鎳 棒	鎳 棒	鎳 棒	鎳 棒	鉛 棒	鉛 棒
溫 度	60 °C	45 °C	60 °C	35 °C	60 °C	23 °C	60 °C
電 壓	6 V	5.6V	6 V	5.6 V	6 V	6 V	6 V
電 流	0.05A	0.19A	0.05A	0.14A	0.05 A	0.08A	0.195 A
電 解 質	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH	KOH
濃 度	1%	5%	5%	5%	10%	5%	5%
電 解 時 間	4分	7分	4分	10分	4分	9分 22秒	15分
氧 體 積 數	18cc.	5.2cc.	11.2cc.	4.6cc.	10.4cc.	2.6cc.	2.3cc.
氫 體 積 數	4cc.	12.0cc.	22.2cc.	11.3cc.	20.3cc.	6.2cc.	17cc.
氧 氫 體 積 比 值	1:2.22	1:2.34	1:1.98	1:2.45	1:1.95	1:2.38	1:5.31
總 平 均 比 值	1 : 2.18					1 : 3.84	

討論：1 從上面附表(二)，附表(三)中，互相比較，可清楚的看出：以 NaOH 來幫助水的電解，效果要比使用  $H_2SO_4$  時，好得多。  
2 如果以 NaOH 為電解質，以鎳或不銹鋼為電極，所得效果會更好。

#### 〔方法四〕

上面幾個實驗所討論的均是電極、電解質與電解之關係，下二個實驗則是對電壓（方法五），電解時之溫度控制（方法四）做一探究  
在此實驗中，將電解液加熱至所需要之溫度，並隨時加熱，使其溫度保持在所需溫度左右，但不超過 3 度，不降低 1 度。

如此可得下列表中之各項結果：

因素 \ 實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9
電極種類	鉛條	鉛條	鉛條	鉛條	鎳棒	鎳棒	鎳棒	鎳棒	鎳棒
溫度	15 °C	23 °C	35 °C	45 °C	35 °C	45 °C	60 °C	60 °C	60 °C
電壓	6.7 V	6 V	5.6 V	5.8 V	5.6 V	5.8 V	6 V	6 V	6 V
電流	0.06 A	0.05 A	0.14 A	0.19 A	0.14 A	0.19 A	0.05 A	0.05 A	0.05 A
電解質	KOH	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH
濃度	5 %	5 %	5 %	5 %	5 %	5 %	10 %	5 %	1 %
電解時間	19分	15分	10分	7分	10分	7分	4分	4分	4分
氧體積數	6.8 cc.	3.3 cc.	2.7 cc.	3.2 cc.	4.6 cc.	5.2 cc.	10.4 cc.	11.2 cc.	1.8 cc.
氫體積數	11.7 cc.	6.5 cc.	4.4 cc.	3.1 cc.	11.3 cc.	12.2 cc.	20.2 cc.	22.2 cc.	4 cc.
氧氫體積比值	1:1.72	1:1.96	1:1.63	1:0.96	1:2.45	1:2.34	1:1.95	1:1.98	1:2.22
氫比值	1.72 : 1.76 : 1.63 : 0.96				$(1.96 + 1.78 + 2.22) \div 3 = 2.05$ 2.45 : 2.34 : 2.05				

討論：從表中可以看出電解時，溫度不同所得之電解結果也不同，且隨著電極種類之不同，所需之理想溫度也不同。例如：鉛為電極時，在 23℃ 時效果較好；而以鎳為電極時，以 60℃ 時所得結果較為理想。

〔方法五〕

重複上述之實驗，改變電壓，觀察電解與電壓之關係，可得下表中之結果：

因素 \ 實驗次數	1	2	3	4	5	6
電極種類	碳棒	碳棒	鉛條	鉛條	不銹鋼	不銹鋼
溫度	15℃	15℃	15℃	15℃	15℃	15℃
電流	0.3A	0.11A	0.24A	0.07A	0.18A	0.06A
電壓	6.6V	4.2V	6.7V	4.1V	6.5V	4V
電解質	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
濃度	2M	2M	1M	1M	1M	1M
電解時間	6分	18分	6分	16分	6分	16分
氧體積數	4cc	2.9cc	4cc	1.8cc	2.2cc	1.7cc
氫體積數	13.1cc	15.6cc	10.8cc	9.1cc	8.1cc	9cc
氧氫體積比值	1:3.27	1:5.37	1:2.70	1:5.05	1:3.68	1:5.29
氫比值	3.27 : 5.37		2.70 : 5.05		3.68 : 5.29	

討論：觀察上表得知，電壓的大小亦會影響結果，不管使用任何電極以 6V ± 0.5 的電壓做為電解，最為適合。

綜合以上五種方法之實驗，可推測認為電解水時，以下列之條件較為優良：

(1) 電解液採用 3%~5% 之 NaOH 水溶液。

(2)電壓為  $6V \pm 0.5$  。

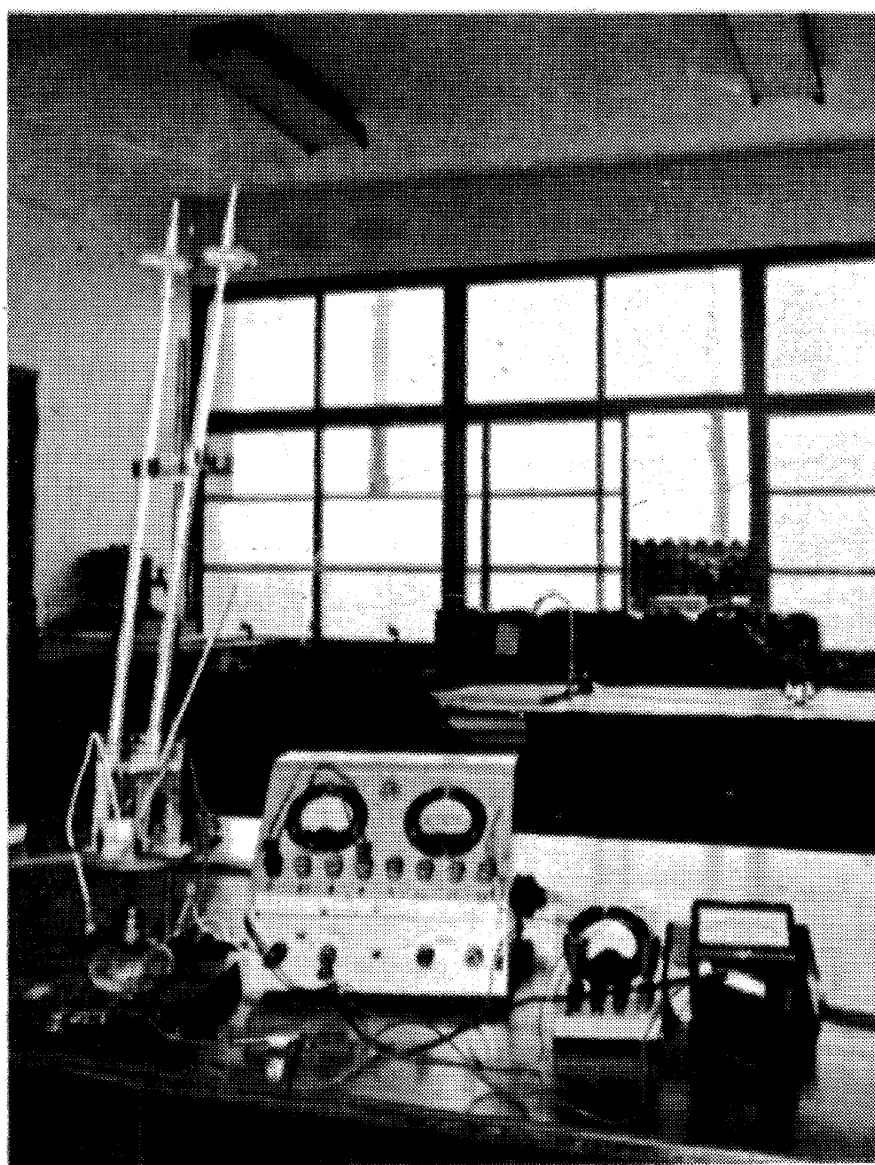
(3)電極宜用純鎳製成，因在實驗過程中，幾乎不影響鎳的重量（下面有實驗可驗證之）。

(4)電解時溫度控制在  $60^{\circ}\text{C}$  左右。（以鎳為電極時，不銹鋼亦同）

實驗結果之驗證：

為檢證上述條件之可靠性，再做下列之實驗，以期得到更精確的結果  
〔求證一〕

I 裝置：如圖





## II、步驟：

- 1 鍍片洗淨，烘乾，在分析天平上稱重。
- 2 用蒸餾水配置 4% 的 NaOH 水溶液，並加熱至 60℃。
- 3 為得較精確的氣體體積，採下列之方法：
  - (1) 將滴定管裝滿已配置好的 NaOH 水溶液，倒插入電解槽中，接好電路（如上圖）。
  - (2) 每隔一段時間，測量所產生的氣體體積，測量時要將滴定管中欲測量的刻度與管外水平面對齊，目的在使內外壓力相等。
- 4 記錄電流、電壓、時間。
- 5 以火柴檢驗所產生的氣體是否有可燃性？助燃性？

## III、數據：

1 電解時間：11 分 24 秒

2 電極重量改變的情況：

電極	溫度	電流	電壓	電解液	濃度	氧體積數	氫體積數	氧氫體積比值
鍍塊	60℃	1.5 A	6.2 V	NaOH	4%	16.3cc	33.6cc	1:2.06

反應前後	陽極	陰極
電解前重量	6.5601g	7.6648g
電解後重量	6.560g	7.665g

3 陽極產生的氣體與陰極產生的氣體之情形：

電極	電解時間	7 分鐘	10 分鐘	11 分 24 秒
陽極		4.7 cc	6.6 cc	7.6 cc
陰極		9.5 cc	12cc	14.9 cc
氧氫體積比值		1 : 2.02	1 : 1.81	1 : 1.96
平均比值		1 : 1.93		

4. 陽極氣體有助燃性，陰極氣體有可燃性。（以火柴棒試驗之）

### III、討論：

1. 電極重量未改，其間之差值為人為（稱量時造成的）誤差，故知在電解過程中，鎳不起反應，不會影響氣體之生成。
2. 陽極氣體體積與陰極氣體體積比，十分接近 1 : 2
3. 知陽極產生氧氣，陰極產生氫氣。

#### 〔求證二〕

除了上述之結果，若在平時取材方便之利，也可以不銹鋼做為電極，而可有下列之結果：

(一) 新的不銹鋼當電極，NaOH 做為電解液，得下列表中之數據：

電極種類	溫度	電流	電壓	電解質	濃度	氧體積數	氫體積數	氧氫體積比值
不銹鋼 (未使用)	60°C	0.105A	6V	NaOH	4%	14.9cc	29.4cc	1:1.97

重量 \ 電極	陽 極	陰 極
電解前重量	1.1997 克	1.2499 克
電解後重量	1.1953 克	1.1455 克
差	0.0044 克	1.1044 克

(二) 使用多次以後的不銹鋼在實驗過程中，有愈來愈理想之趨勢；因此，取使用多次後的不銹鋼所產生的結果記下來做為參考：

電極種類	溫度	電流	電壓	電解質	濃度	氧體積數	氫體積數	比值
不銹鋼 (使用多次)	60°C	0.04A	6.25V	NaOH	3%	14.7cc	29.9cc	1:2.03

重量 \ 電極	陽 極	陰 極
電解前重量	0.9819 克	0.9847 克
電解後重量	0.9849 克	0.985 克
差	+ 0.0030 克	0.0003 克

討論：用新的不銹鋼做爲電極時，重量雖有些改變，但對實驗結果影響並不太大，尤其在經過多次的使用以後，所呈現的效果更爲理想。因此吾等以爲，在取材做電極時，不妨把不銹鋼列入考慮。

#### 實驗總結及建議：

經過這一段長時間的實驗，所得的結果，雖不能盡善盡美，但已從實驗中知道理論與實際往往有些差距。課本上所言的電解水方法，或許是在極爲理想之情況下；只是在通常條件下不易控制。例如：電極碳棒必須純度高，而且在電解過程中，不會干擾實驗，因此經過此一連串的反覆驗證後，拙見以爲部份電極碳棒、鋁、鋅、鉑、鉛等在電解時不易獲得預期之效果，而且電解質  $H_2SO_4$  水溶液導電性雖良好，但似乎比不上以  $NaOH$  做爲電解液來得理想。

鑑於上述理由，吾等建議：

- 1 將加入水之電解質改爲  $NaOH$ ，濃度爲 3%~5%。
- 2 將電極改用鎳棒，不銹鋼也可，因不銹鋼易得。
- 3 電解時要能控制溫度。鎳爲電極時，以  $60^\circ C$  爲最佳。
- 4 電壓在  $6V \pm 0.5$  時，結果更理想。