

# 臺灣二〇〇四年國際科學展覽會

科 別：化學科

作品名稱：多重電極並聯情況下交、直流電解水的比較研究

學 校：臺中縣立大雅國民中學

作 者：黃鈺婷、張雅惠

## 壹、摘要：

### 英文摘要：

The temperature of the water was commonly higher and both of electrodes were oxidized during electrolysis by using alternating current, but the above happenings were only found at the positive electrode by using direct current. It can be explained by the principle of the microwave stove. The exchange of the current causes the water molecules to release heat. The strength and weakness of electrolytes, the length and width of the electrodes, and the frequency of the alternating current can affect the rate of electrolysis of water. Commonly speaking, the stronger the electrolyte is, the faster the rate of electrolysis will be. NaOH and HNO<sub>3</sub> are strong electrolytes, but the amount of the gas is zero during electrolysis by using alternating current. Maybe both of electrolytes react with stainless-steel electrodes to form some kinds of protective layers to affect the conduction of current. When copper bars, carbon bars, and iron nails are used as electrodes, either the alternating current or direct current is used, the amount of the gas is very small. Maybe these electrodes react with oxygen produced during electrolysis to form oxidized layers to block the conduction of current. Long and wide electrodes produce more amount of the gas. The amount of the gas increases when the frequency of the alternating current increases. The longer the distance between electrodes is, the smaller the amount of the gas will be. The smaller the angle between electrodes is, the smaller the amount of the gas will be, too. When the number of multiple electrodes in parallel increases, the total amount of the gas almost increases. The amount of the gas is smaller at the farther electrode. The amount of the gas at the electrode at the same distance becomes smaller when the number of multiple electrodes in parallel increases. At the same voltage, the effective current of the alternating current is about 0.707 of that of direct current. So we can predict that the total amount of the gas electrolyzed by alternating current must be about 0.707 of the total amount of the gas electrolyzed by direct current. When we used stainless-steel electrodes and the electrolyte- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, we found the ratio was about 0.4286. Maybe the system of the electrolysis of water doesn't obey the ideal linear system of Ohm's Law and some part of electrical energy is wasted by increasing the temperature of the water and the oxidization of electrodes.

### 中文摘要：

交流電解普遍水溫較高且兩極都有被氧化現象，直流電解則只有正極有上述現象，可能是交流電有類似微波爐的原理，電流交替時造成水分子震盪發熱。電解質強弱、電極種類、電極長短粗細、交流電頻率會影響電解水速率：強電解質較快，但 NaOH、KNO<sub>3</sub> 雖是強電解質，在交流電解時，氣體產生量幾乎是零，這可能是他們與不銹鋼電極反應形成某種保護層而影響導電；以銅棒、碳棒、鐵釘為電極時，不管是交流電或直流電，氣體體積都很小，這可能是這些電極和產生的氧氣反應，形成氧化層阻礙了導電；長的和粗的電極氣體產生量較多；交流電頻率越大，則電解所產生的氣體量也隨之增加；電極之間的距離越大兩極的氣體體積越小；兩電極之間的角度越小，兩極的氣體體積越少；多重電極並聯的個數越多，總氣體體積約略越大，距離越遠的氣體體積越小，同距離的氣體體積隨並聯的個數越多氣體體積越小。在相同電壓下，交流電輸出的均方根電壓(電流)為直流電電壓(電流)的 0.707 倍( $1/\sqrt{2}$ )，所以推測交、直電解水的氣體總體積比值也應為 0.707，但我們以不銹鋼為電極、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 為電解液下比值為 0.4286，這可能是本電解水系統並非為遵守歐姆定律的理想線性系統，且電解水時部分電能被消耗在水溫的升高及電極的氧化上。

## 貳、研究動機：

做電解水實驗時，佑任突發奇想：若用交流電來電解水，則結果會如何？其兩極氣體總體積與直流電的兩極氣體總體積比會如何？如果準備三個試管同時用交流電來電解，一個接火線，另兩個接地線，或一個接地線，另兩個接火線，則它們之間所得到的氣體體積比率會如何？於是我們就在老師的指導下，展開我們的探索之旅。

## 參、研究目的：

- 一、改變不同溶質，交、直流電解水的比較研究。
- 二、改變不同電極，交、直流電解水的比較研究。
- 三、不同電極、不同溶質，交、直流電解水體積的比較研究。
- 四、改變不同電極長度、粗細，交、直流電解水的比較研究。
- 五、改變不同頻率，交流電解水的研究。
- 六、雙重電極並聯，以(一地兩火、一正兩負)交、直流電解水的比較研究。
- 七、改變電極距離，以(一地兩火、一正兩負)交、直流電解水的比較研究。
- 八、改變電極角度，以(一地兩火、一正兩負)交、直流電解水的比較研究。
- 九、多重電極並聯，以(一地多火、一正多負)交、直流電解水的比較研究。

## 肆、研究器材：

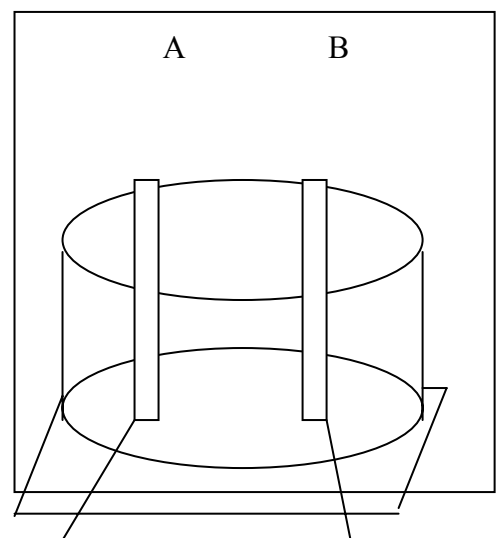
電解水槽、驗電筆、燒杯、試管、透明水管、塑膠水槽、導線、溫度計、電源供應器、玻璃棒、量筒、碼表、上皿天秤、刮勺、氫氧化鈉、氨水、硫酸、醋酸、硝酸鉀、白金、不銹鋼、銅棒、鐵釘、碳棒、橡皮塞、軟木塞。

## 伍、研究過程：

### 一、改變不同溶質，交、直流電解水的比較研究

#### (一)、前言：

探討各種電解質溶質影響交、直流電解水的情形，從而找出交、直流電解水時幫助導電的最好電解質。經詢價白金絲 1cm 要 100 元，為免大量實驗耗損太多白金絲，造成學校負擔太大，因此基於成本考量及方便後續做多重電極並聯實驗（在透明水管上），我們電極選用不銹鋼絲。



(二)、步驟：

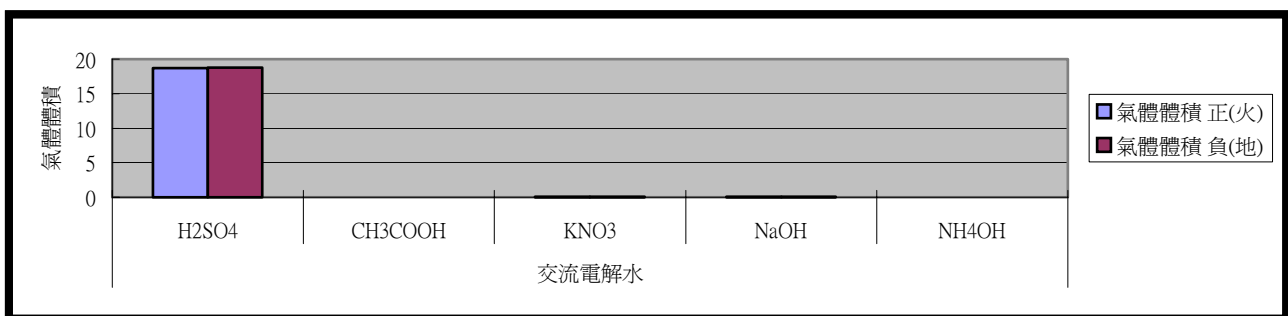
- 1、配 0.1M 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $\text{KNO}_3$ 、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{NH}_4\text{OH}$  溶液各 1000 毫升。各準備兩個量筒裝滿各溶液，再將剩餘各溶液倒入 5 個電解水槽中，用手一一壓住試管口，使之倒插入電解水槽中。
- 2、將五組電解水槽中各電極(不銹鋼)以(火-地、正-負)方式各通以交、直流電，電壓調到 40V，電解 10 分鐘。觀察並紀錄溫度變化、溶液顏色、兩個量筒內氣體的體積及電極的變化。

(三)、結果：表一：

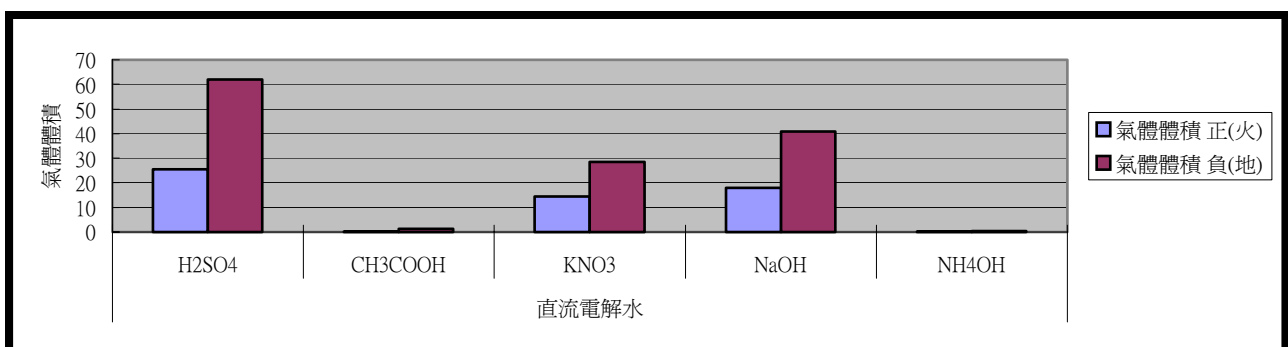
		氣體體積		溫度		溶液顏色		電極變化	
		正(火)	負(地)	正(火)	負(地)	正(火)	負(地)	正(火)	負(地)
交流電 解水	$\text{H}_2\text{SO}_4$	18.7	18.8	升高多	升高多	褐	褐	黑(多)	黑(多)
	$\text{CH}_3\text{COOH}$	0	0	升高少	升高少	無	無	黑(少)	黑(少)
	$\text{KNO}_3$	0.25	0.25	升高	升高	淡褐	淡褐	黑(少)	黑(少)
	$\text{NaOH}$	0.25	0.25	升高	升高	淡褐	淡褐	黑(少)	黑(少)
	$\text{NH}_4\text{OH}$	0	0	升高少	升高少	無	無	黑(少)	黑(少)
直流電 解水	* $\text{H}_2\text{SO}_4$	25.5	62	微溫	不變	褐	無	黑	無
	$\text{CH}_3\text{COOH}$	0.2	1.2	微溫	不變	無	無	無	無
	$\text{KNO}_3$	14	28.5	微溫	不變	淡褐	無	黑	無
	* $\text{NaOH}$	18	40.8	微溫	不變	淡褐	無	黑	無
	$\text{NH}_4\text{OH}$	0.25	0.5	微溫	不變	無	無	無	無

註：\* 負極氣體體積太多，時間縮為 5 min，再將體積乘以 2

圖一：



圖二：



#### (四)、討論：

- 1、使用強酸、弱酸、強鹼、弱鹼與鹽類當成電解質電解水時，很明顯可以比較出來：硫酸將是接下來實驗最好的選擇！不論是直流或交流，以硫酸當電解液時，其明顯的氣體產生量與反應速率可讓實驗進行時易於觀察與比較。
- 2、弱電解質的  $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $\text{NH}_4\text{OH}$  不論在直流或交流電解中氣體體積都很少， $\text{NaOH}$ 、 $\text{KNO}_3$  雖是強電解質，但此特性並沒有讓電解水發揮最好的優勢！尤其是交流電源時，氣體產生量幾乎是零；與我們的知識背景相出入，值得好好思考其真正原因！
- 3、由實驗也發現：交流電解水普遍水溫都升高且兩極都有被氧化現象（電極因不銹鋼中鐵被氧化而變黑、溶液因不銹鋼中鐵離子溶出而變褐色），而直流電解水則只有正極有上述現象，這是因為交流電解水兩極都會產生氧氣，而直流電解水則只有正極才會。至於為什麼交流電解水水溫略高於直流電解水水溫，可能是交流電有類似微波爐的原理，電流交換時造成水分子震盪發熱，而直流電只純粹是正極被氧化發熱。
- 4、交流電解水兩極氣體體積比約為 1:1，而直流電解水正負極氣體體積比不是 1:2，這主要是因為交流電解水兩極都會產生氫和氧，而直流電下正極產生的氧有一部分會和不銹鋼電極反應，以致正極產生的氧體積變小了。

## 二、改變不同電極，交、直流電解水的比較研究

#### (一)、前言：

由研究一顯示： $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液較適合同時做交、直流電解水的研究。接著來探討不同電極影響交、直流電解水的情形，以找出較適合做交、直流電解水的電極。

#### (二)、步驟：

- 1、配 0.1M 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液 1000 毫升。將兩個量筒裝滿  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液，再將剩餘溶液倒入電解水槽中，用手一一壓住試管口，使之倒插入電解水槽中〈不要有任何空氣進入〉。
- 2、依上法再準備十四組電解水裝置。
- 3、分別以（鉑—鉑、不銹鋼—不銹鋼、銅棒—銅棒、不銹鋼—碳棒、不銹鋼—銅棒、不銹鋼—鐵釘）為電極（各電極要等長），插入溫度計，各通以交、直流電，電壓調到 40V，電解 10 分鐘（利用驗電筆檢測交流電解槽中 AB 兩電極何者為火線、地線）。觀察並紀錄溫度變化、溶液顏色、兩個量筒內氣體的體積及電極的變化。

(三)、結果：

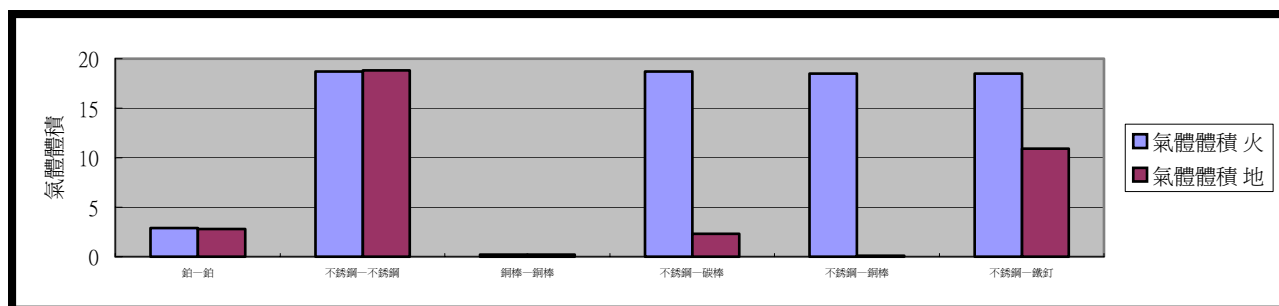
表二：交流電解水

	氣體體積		溫度	溶液顏色		電極變化	
	火	地		火	地	火	地
鉑—鉑	2.9	2.8	微溫	無	無	少量變黑溶解	少量變黑溶解
不銹鋼—不銹鋼	18.7	18.8	兩極升高明顯	淡褐	淡褐	少量變黑溶解	少量變黑溶解
銅棒—銅棒	0.2	0.2	微溫	無	無	少量溶解	少量溶解
不銹鋼—碳棒	18.7	2.3	火線升高明顯	淡褐	無	少量變黑溶解	少量溶解
不銹鋼—銅棒	18.5	0.1	火線升高明顯	淡褐	無	少量變黑溶解	少量溶解
不銹鋼—鐵釘	18.5	10.9	兩極升高明顯	淡褐	褐	少量變黑溶解	變黑溶解

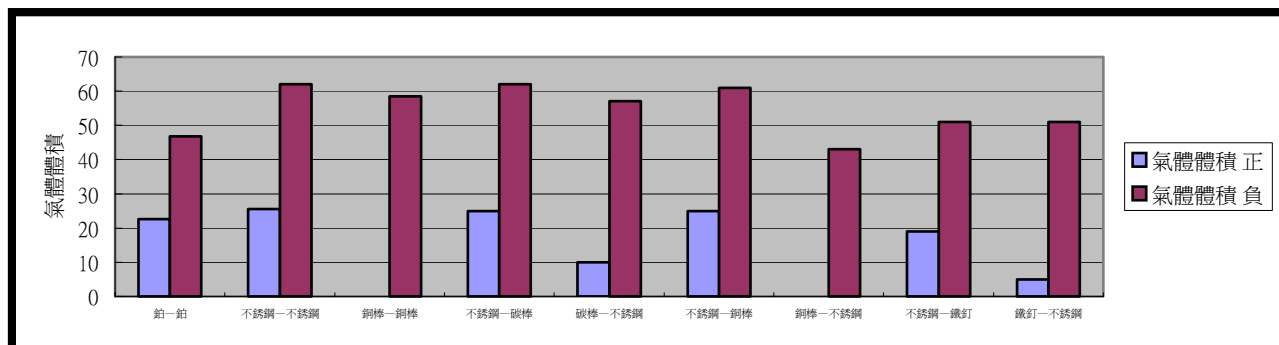
表三：直流電解水（註：\* 負極氣體體積太多，時間縮為 5min，再將體積乘以 2）

	氣體體積		溫度	溶液顏色		電極變化	
	正	負		正	負	正	負
鉑—鉑	22.6	46.7	正極微溫	無	無	變黑	無
* 不銹鋼—不銹鋼	25.5	62	正極微溫	淡褐	無	少量變黑溶解	無
* 銅棒—銅棒	0.0	58.4	不變	無	無	變黑	無
* 不銹鋼—碳棒	25	62	正極微溫	淡褐	無	少量變黑溶解	無
* 碳棒—不銹鋼	10	57	不變	無	無	少量溶解	無
* 不銹鋼—銅棒	25	61	正極微溫	淡褐	無	少量變黑溶解	無
* 銅棒—不銹鋼	0	43	不變	無	無	少量溶解	無
* 不銹鋼—鐵釘	19	51	正極微溫	淡褐	無	少量變黑溶解	無
* 鐵釘—不銹鋼	5	51	正極微溫	褐	無	變黑	無

圖三：



圖四：



(四)、討論：

- 1、由圖表可知，以銅棒、碳棒、鐵釘為電極時，不管是交流電或直流電，氣體體積都很小，又由電極的變化推知：可能是這些電極和產生的氧氣反應，並形成氧化層阻礙了導電。
- 2、交流電解水時，以鉑—鉑，不銹鋼—不銹鋼，銅棒—銅棒為電極不同材料時，其火地線的氣體產生量非常符合預期的是接近 1：1 的理想比例！但若轉變成不銹鋼—碳棒、不銹鋼—銅棒與不銹鋼—鐵釘，則很明顯的火線所產生的氣體量是地線的 10 倍到 100 倍不等，這樣的結果非常耐人尋味，因為氣體中含混的氫氣及氧氣跟電極為何是有極大的關係存在！假設兩極皆為合金的不鏽鋼時，它的合金特性反而有助於電極的作用！也許其產生的離子亦有助於電解水的形成？！以工業利用的大量生產觀點來看，如此的速率與使用狀況可以增產也減少用電與材料的損耗，不啻為一項好消息與優質發現！

**三、不同電極、不同溶質，交、直流電解水體積的比較研究。**

(一)、前言：

綜合上述結果來探討不同電極、不同溶質，交、直流電解水體積的關係。

(二)、步驟：

同上述研究一、二步驟，另做碳棒、鐵釘在  $H_2SO_4$  溶液中，鉑、碳棒、銅、鐵釘、不銹鋼在  $NaOH$  溶液中的比較。

(三)、結果：

表四：

電極：不銹鋼		氣體體積		氣體總體積	電極：不銹鋼		氣體體積		氣體總體積	交直流體積比值
		火	地				正	負		
交流電解水	$H_2SO_4$	18.7	18.8	37.5	直流電解水	$H_2SO_4$	25.5	62	87.5	<b>0.4286</b>
	$CH_3COOH$	0	0	0		$CH_3COOH$	0.2	1.2	1.4	0.000
	$KNO_3$	0.25	0.25	0.5		$KNO_3$	14	28.5	43	0.012
	$NaOH$	0.25	0.25	0.5		$NaOH$	18	40.8	58.8	0.009
	$NH_4OH$	0	0	0		$NH_4OH$	0.25	0.5	0.75	0.000

表五：

溶液： $H_2SO_4$		氣體體積		氣體總體積	溶液： $H_2SO_4$		氣體體積		氣體總體積	交直流體積比值
		火	地				正	負		
交流電解水	鉑—鉑	2.9	2.8	5.7	直流電解水	鉑—鉑	22.6	46.7	69.3	0.0822
	碳棒-碳棒	0.1	0.1	0.2		碳棒-碳棒	14.3	42.9	57.3	0.0035
	銅棒—銅棒	0.2	0.2	0.4		銅棒—銅棒	0	58.4	58.4	0.0069
	鐵釘-鐵釘	13.5	13.6	27.1		鐵釘-鐵釘	14.3	71.2	85.5	0.3169
	不銹鋼—不銹鋼	18.7	18.8	37.5		不銹鋼—不銹鋼	25.5	62.0	87.5	<b>0.4286</b>
	不銹鋼—碳棒	18.7	2.3	21		不銹鋼—碳棒	25	62	87	0.2414

碳棒—不銹鋼	18.7	2.3	21	碳棒—不銹鋼	10	57	67	0.3134
不銹鋼—銅棒	18.5	0.1	18.6	不銹鋼—銅棒	25	61	86	0.2163
銅棒—不銹鋼	18.5	0.1	18.6	銅棒—不銹鋼	0	43	43	0.4326
不銹鋼—鐵釘	18.5	10.9	29.4	不銹鋼—鐵釘	19	51	70	0.4200
鐵釘—不銹鋼	18.5	10.9	29.4	鐵釘—不銹鋼	5	51	56	0.5250

表六：

溶液：H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		氣體體積		氣體總 體積	溶液：NaOH		氣體體積		氣體總 體積	交直流 體積比 值
		火	地				正	負		
交流 電 解 水	鉑—鉑	2	2	4	直 流 電 解 水	鉑—鉑	20.8	10.6	31.4	<b>0.1274</b>
	碳棒-碳棒	0	0	0		碳棒-碳棒	22	2.4	24.4	0.0000
	銅---銅	0	0	0		銅---銅	24.4	10.8	35.2	0.0000
	鐵釘-鐵釘	0.1	0.1	0.2		鐵釘-鐵釘	28.8	14	42.8	0.0047
	不銹鋼-不銹鋼	0	0	0		不銹鋼-不銹鋼	27.2	11.4	38.6	0.0000

#### (四)、討論：

- 1、經查台中縣第四十屆科展（清泉國中）物理組「交流電解水的直觀研究」：交直流電解水（H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、20V，電極=?）的體積比值=0.15625，發現以鉑在 NaOH 溶液中的值最接近，奈何它太貴且太細，且在硫酸溶液中亦有溶斷情形（變黑溶解），在氫氧化鈉溶液中於交流電情況下氣體產生量又很小，經詢價白金絲 1cm 要 100 元，為免大量實驗耗損太多白金絲，造成學校負擔太大，因此基於成本考量及方便後續做多重電極並聯實驗（在透明水管上），我們電極選用不銹鋼絲。

### 四、改變不同電極長度、粗細，交、直流電解水的比較研究

#### (一)、前言：

探討不同電極長度、粗細影響交、直流電解水的情形。

#### (二)、步驟：

- 1、配 0.1M 的 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液 1000 毫升。將兩個量筒裝滿 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液，再將剩餘溶液倒入電解水槽中，用手一一壓住試管口，使之倒插入電解水槽中。
- 2、依上法再準備五組電解水裝置。
- 3、分別以不同電極長度（5cm、1cm）、粗細（直徑 2mm、1mm）不銹鋼、鐵釘為電極，插入溫度計，各通以交、直流電，電壓調到 40V，電解 10 分鐘。觀察並紀錄溫度變化、溶液顏色、兩個量筒內氣體的體積及電極的變化。

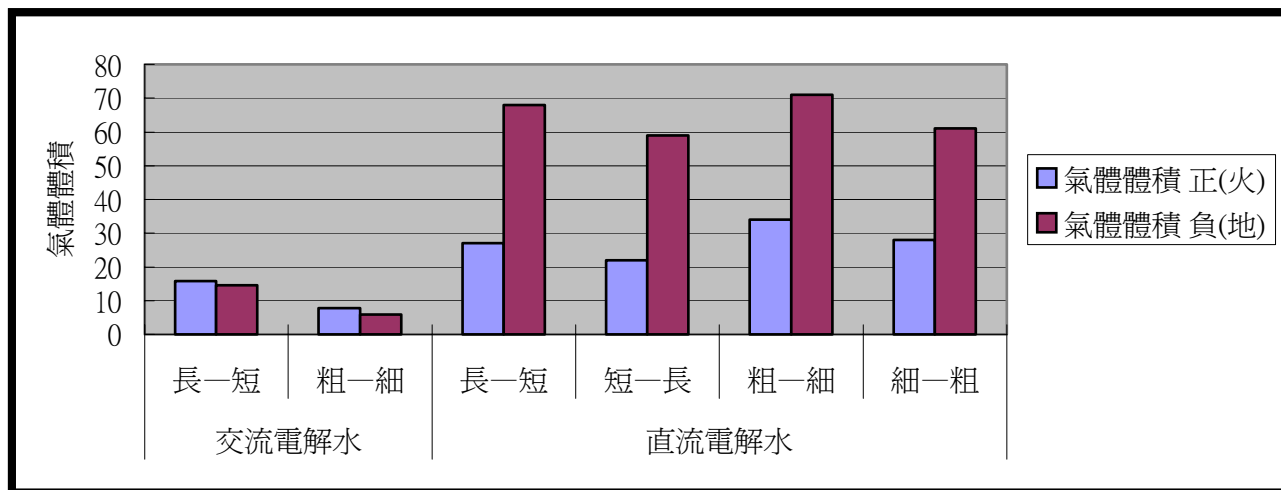
#### (三)、結果：表七：



		氣體體積		比例		溫度	溶液顏色		電極變化	
		正(火)	負(地)	正(火)	負(地)		正(火)	負(地)	正(火)	負(地)
交流電 解水	長—短	15.8	14.6	1.08	1	兩極升高	褐	褐	黑	黑
	粗—細	7.8	5.8	1.34	1	兩極升高	褐	褐	黑	黑
直流電 解水	*長—短	27	68	1	2.52	正極微溫	褐	無	黑	無
	*短—長	22	59	1	2.68	正極微溫	褐	無	黑	無
	*粗—細	34	71	1	2.09	正極微溫	褐	無	黑	無
	*細—粗	28	61	1	2.18	正極微溫	褐	無	黑	無

註：\* 負極氣體體積太多，時間縮為 5 min，再將體積乘以 2

圖五：



#### (四)、討論：

- 1、長的和粗的電極氣體產生量較多，且在直流電解水中氣體產生比例也較大，但與長度或粗細不成正比關係，只約略與其表面積大小相關，這可由電解水時氣體大多由電極底端產生得到印證。

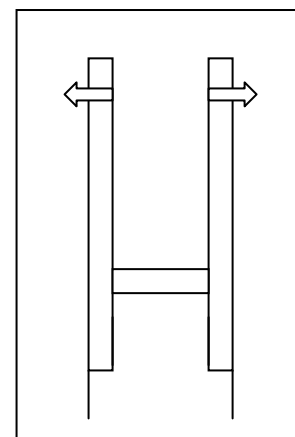
### 五、改變不同頻率，交流電解水的研究

#### (一)、前言：

探討不同交流電頻率影響交流電解水的情形。

#### (二)、步驟：

- 1、為避免變頻器過電流產生，改配 0.05M 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液 1000 毫升。電解水改用右圖全玻璃管裝置，裝滿  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液。
- 2、以不銹鋼為電極，各通以不同頻率的交流電，電解 10 分鐘。觀察並紀錄溫度變化、溶液顏色、兩個量筒內氣體的體積及電極的變化。

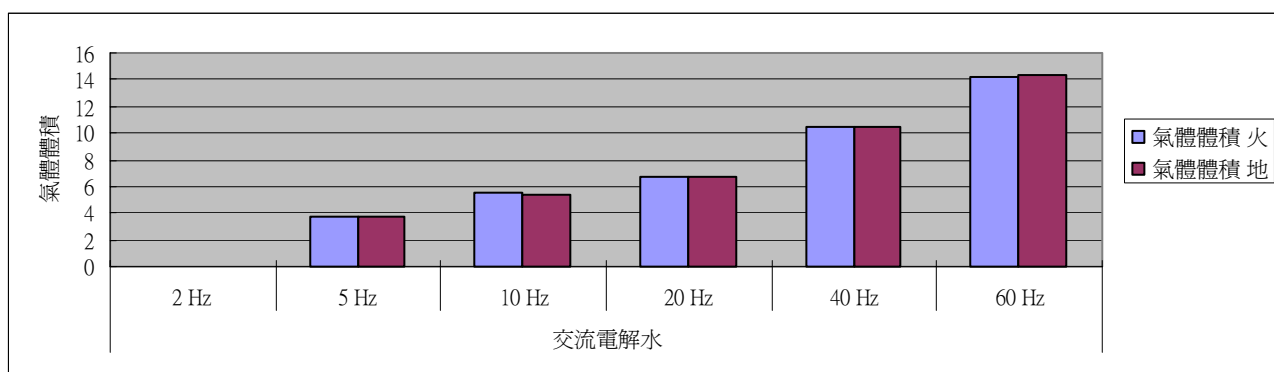


(三)、結果：表(八)：

		氣體體積		溫度	溶液顏色		電極變化	
		火	地		火	地	火	地
交流電 解水	2 Hz	0	0	38	無	無	黑(少)	黑(少)
	5 Hz	3.8	3.8	46	無	無	黑(多)	黑(多)
	10 Hz	5.6	5.4	53	微黃	微黃	黑(多)	黑(多)
	20 Hz	6.8	6.8	65	黃褐	黃褐	黑(多)溶解	黑(多)溶解
	40 Hz	10.5	10.5	80	棕色	棕色	溶斷	溶斷
	60 Hz	14.2	14.3	92	棕色(深)	棕色(深)	溶斷(快)	溶斷(快)

※變頻器設定：220 V時頻率為60 Hz，頻率調降時電壓、電流亦隨著降。

圖六：



(四)、討論：

- 1、由於向廠商借來的變頻器是一個可以改變頻率的儀器，它可使交流電的頻率不會侷限於固定數值，而可以隨著使用者的需要而改變頻率並且其電壓與電流也會隨著增減，是一向不錯的儀器！根據實驗結果可以得知，當頻率越大，則電解所產生的氣體量也隨之增加，幾乎成正比的現象。
- 2、當頻率到達40以上，電極有明顯被溶斷（底部）的現象，我們曾試著延長電解時間，發現最後電極竟溶斷了，這驗證了之前實驗的推測—電極被氧化溶斷了。
- 3、因變頻器設定為220 V時頻率60 Hz，故電解水時兩極溫度上升比前述幾個實驗都來的高，這是否也是加速電極溶斷的主因之一？
- 4、進行此一系列實驗時，會發現電流會隨著電解時間增長而增加，可以解釋為因為水溶液的水被電解掉了，導致溶液的濃度漸漸升高所致。

**六、雙重電極並聯，以(一地兩火、一正兩負)交、直流電解水的比較研究**

(一)、前言：

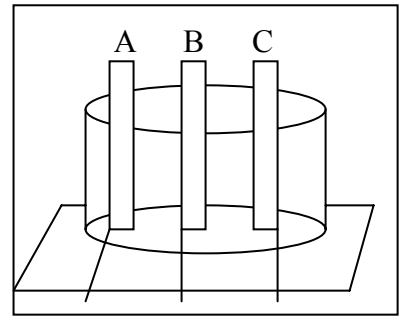
探討電解水的各種組合：(地-火-火)、(火-地-火)、(火-地-地)、(地-火-地)或(正-負-負)、(負-正-負)、(負-正-正)、(正-負-正)，以了解交、直流電解水的加成性及兩火(負)或兩地(正)之間的差異。

(二)、步驟：

1、配 0.1M 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液 1000 毫升。將三個量筒裝滿  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液，再將剩餘溶液倒入電解水槽中，用手一一壓住試管口，使之倒插入電解水槽中。

2、依上法再分別準備七組電解水裝置。

3、將六組電解水槽中各試管以(地--火----)、(地--火)、(地-火-火)、(火-地-火)、(火-地-地)、(地-火-地)或(正--負----)、(正------負)、(正-負-負)、(負-正-負)、(負-正-正)、(正-負-正)方式連接電源供應器電極(不銹鋼電極，各電極長度要等長)，各通以交、直流電，電壓調到 40V，電解 10 分鐘。觀察並紀錄溫度變化、溶液顏色、三個量筒內氣體的體積及電極的變化。



(三)、結果:

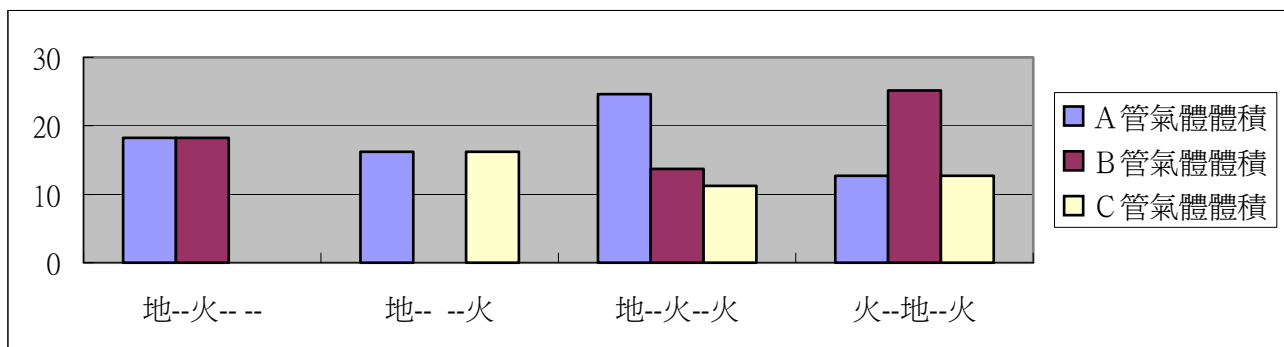
表(九)：各電極間的距離：AB=BC=3cm

A—B—C 體積	地-- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">火</span> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">--</span>	地-- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">--</span> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">火</span>	地-- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">火</span> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">火</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">火</span> --地-- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">火</span>
A管氣體體積	18.2	16.2	24.6	12.7
B管氣體體積	18.2		13.7	25.2
C管氣體體積			11.2	12.7

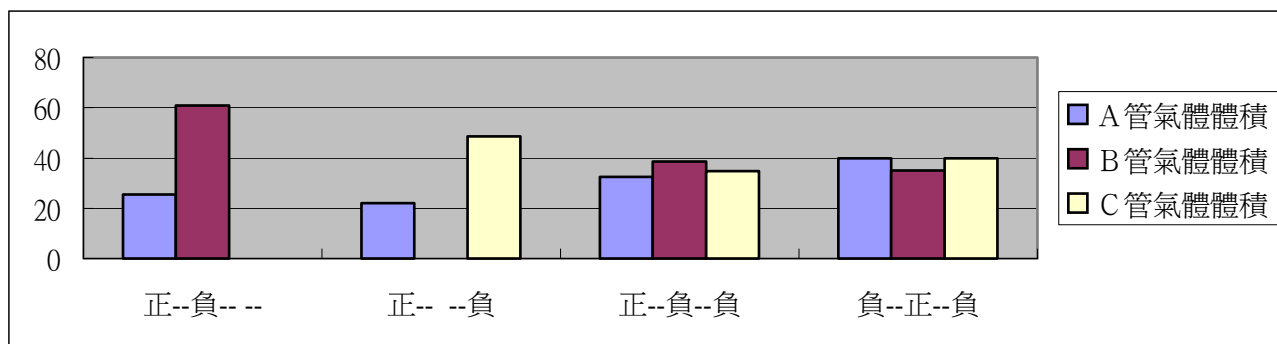
表(十)：註：\* 負極氣體體積太多，時間縮為 5 min，再將體積乘以 2

A—B—C 體積	正-- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">負</span> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">--</span> O <sub>2</sub> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">H<sub>2</sub></span> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">--</span>	正-- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">--</span> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">負</span> O <sub>2</sub> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">--</span> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">H<sub>2</sub></span>	正-- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">負</span> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">負</span> O <sub>2</sub> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">H<sub>2</sub></span> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">H<sub>2</sub></span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">負</span> --正-- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">負</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">H<sub>2</sub></span> --O <sub>2</sub> -- <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">H<sub>2</sub></span>
* A管氣體體積	25.4	22.0	32.5	40.0
* B管氣體體積	61.0		38.7	35.1
* C管氣體體積			48.5	34.8

圖七:



圖八:



#### (四)、討論：

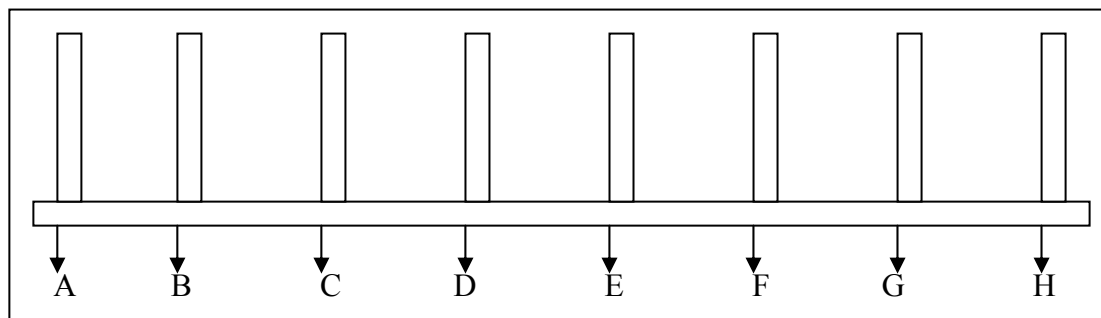
- 1、由表(九)顯示：(火-地-火)組合中地線的氣體體積並不等於(地-火-☐)組合中地線氣體體積的兩倍，(地-火-火)組合中地線的氣體體積並不等於(地-火-☐)和(地-☐-火)組合中地線氣體體積的總和，它們都只是大於其中任一個組合而已，所以交流電解水並聯時氣體體積不具有加成性。
- 2、由表(九)中黑體字部分顯示：(火-地-火)組合中地線的氣體體積都略大於(地-火-火)組合中地線的氣體體積，這是因為(火-地-火)中兩火距離中間地線較近的緣故。
- 3、由表(九)中兩火氣體體積顯示：(地-火-**火**)組合中離地線較遠的**火**線的氣體體積都小於較近的火線的氣體體積。
- 4、表(九)中兩火線氣體體積總和略大於地線氣體體積，這可能是地線受氧化較多的緣故。
- 5、由表(十)中灰色區塊顯示：(負-正-負)組合中正極的氣體體積並不等於(正-負-☐)組合中正極氣體體積的兩倍，(正-負-負)組合中正極的氣體體積並不等於(正-負-☐)和(正-☐-負)組合中正極氣體體積的總和，它們都只是大於其中任一個組合而已，所以直流電解水並聯氣體體積不具有加成性。
- 6、由表(十)中黑體字部分顯示：(負-正-負)組合中正極的氣體體積都略大於(正-負-負)組合中正極的氣體體積。
- 7、由表(十)中兩負氣體體積比顯示：(正-負-**負**)組合中離正極較遠的**負**極的氣體體積都小於較近的負極的氣體體積。

### 七、改變電極距離，以(一地兩火、一正兩負)交、直流電解水的比較研究

#### (一)、前言：

由研究六得知地-火線、正-負極之間的距離越遠氣體體積越少，因此設計改變電極距離來探討(一地一火、一地兩火)或(一正一負、一正兩負)交、直流電解水之間的差異。

(二)、步驟：



- 1、準備一口徑約 4cm、長度約 60cm 的透明水管，分別於 A、B、C、D、E、F、G、H(間距各 5cm)插入不銹鋼絲當電極(各電極長度要等長)，水管兩端各塞上橡皮塞。(如上圖)
- 2、配 0.1M 的  $H_2SO_4$  溶液 1000 毫升。打開水管一端的橡皮塞，將此溶液倒入灌滿水管。
- 3、取導線以(地-火)或(正-負)方式連接電源供應器：(A-B)、(A-C)、(A-D)、(A-E)、(A-G)、(A-H)，另以(地-火-火)或(正-負-負)方式連接電源供應器：(A-B-C)、(A-C-E)、(A-D-G)，各通以交、直流電，電壓調到 40V，電解 5 分鐘。觀察並紀錄溫度變化、溶液顏色、各個試管內氣體的體積及電極的變化。

(三)、結果：

表(十一)：交流電：

距離(cm)	5	10	15	20	25	30	35
體積(地)	9.0	6.3	5.2	4.4	3.8	3.4	3.1
體積(火)	8.9	6.3	5.1	4.4	3.7	3.3	3.1

表(十二)：直流電：註：\* 負極氣體體積太多，時間縮為 2.5min，再將體積乘以 2

距離(cm)	* 5	* 10	* 15	* 20	25	30	35
體積(正)	11.7	10.4	8.3	6.8	5.7	4.7	4.4
體積(負)	29.9	26.5	20.5	16.9	14.0	13.8	9.6

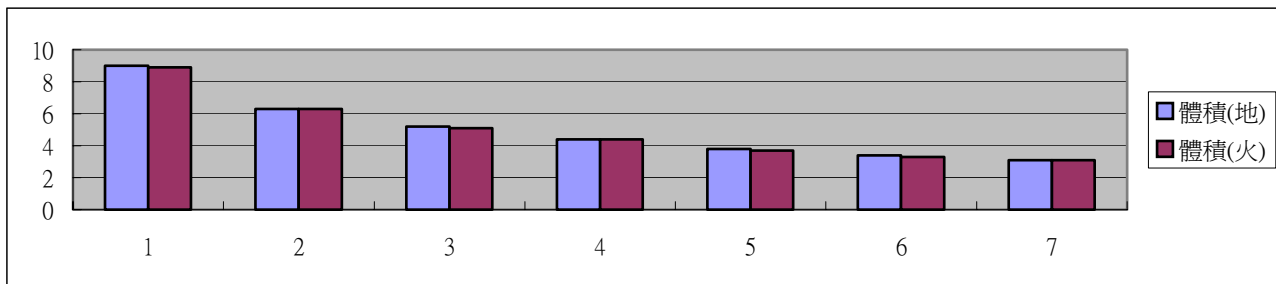
表(十三)：交流電：

距離 體積	5cm (A-B-C)	10cm (A-C-E)	15cm (A-D-G)
1 號體積的讀數	9.8	8.6	5.6
2 號體積的讀數	7.9	7.3	5.7
3 號體積的讀數	2.0	1.4	0.8

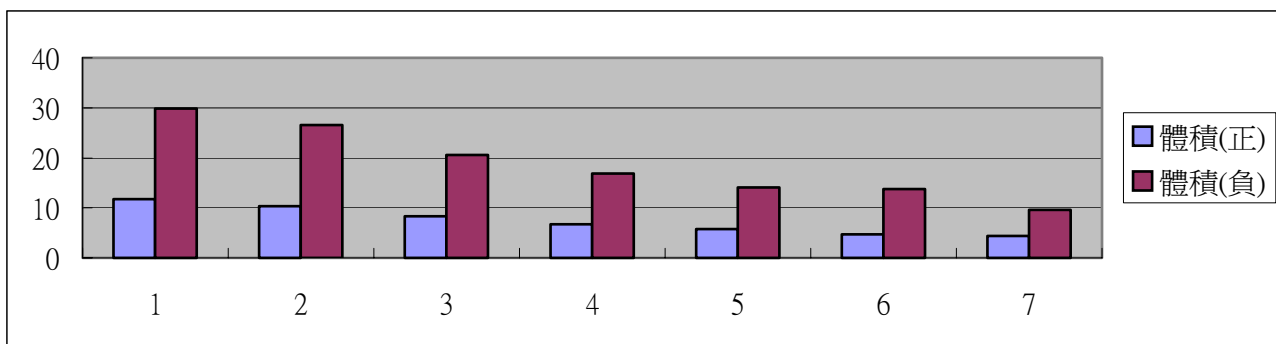
表(十四)：直流電：註：\* 負極氣體體積太多，時間縮為 2.5min，再將體積乘以 2

距離	* 5cm (A-B-C)	* 10cm (A-C-E)	15cm (A-D-G)
1 號體積的讀數	13.5	9.2	6.5
2 號體積的讀數	23.5	16.1	11.7
3 號體積的讀數	5.3	2	0.9

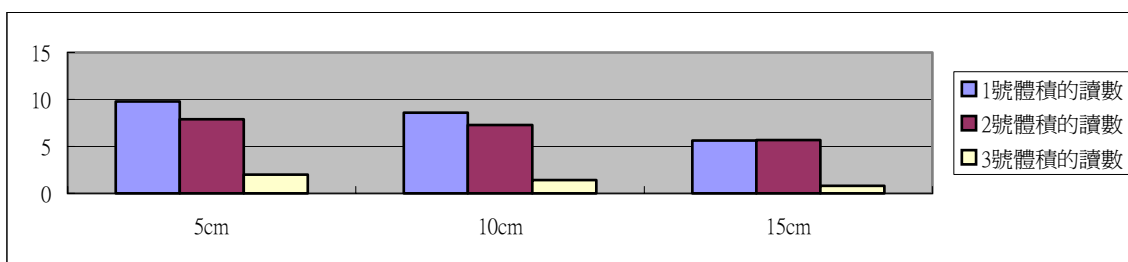
圖(九):



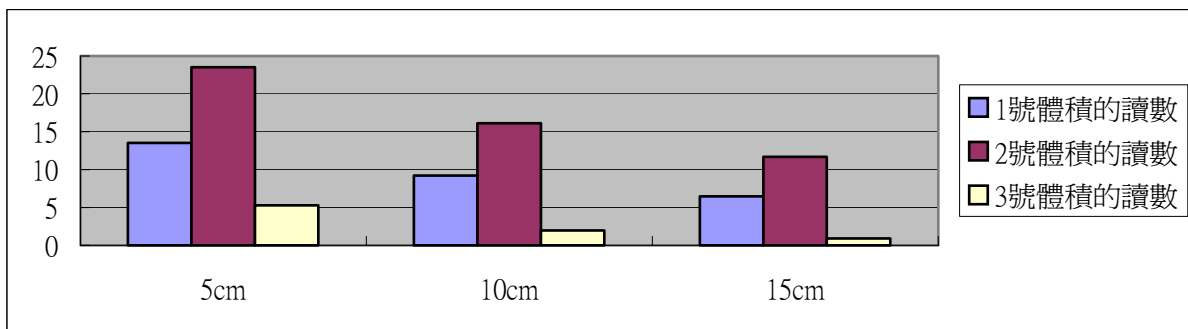
圖(十):



圖(十一):



圖(十二):



#### (四)、討論：

- 1、由表(十一)顯示(地-火)線之間的距離越大兩極的氣體體積越小，約呈反比關係。
- 2、由表(十三)顯示(地-火-火)線之間的距離越大各極的氣體體積越小，但距離較遠的火線(3 號)氣體體積遞減比率較大。
- 3、由表(十二)顯示(正-負)極之間的距離越大兩極的氣體體積越小，約呈反比關係。
- 4、由表(十四)顯示(正-負-負)極之間的距離越大各極的氣體體積越小，但距離較遠的負極(3 號)氣體體積遞減比率較大。

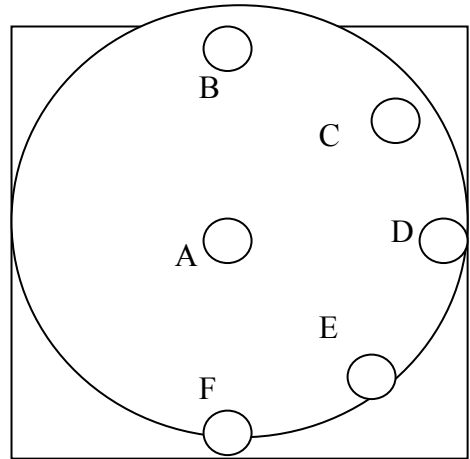
### 八、改變電極角度，以(一地兩火、一正兩負)交、直流電解水的比較研究

#### (一)、前言：

由研究七資料顯示在(地-火-火)、(正-負-負)中兩火線、負極似乎會互相影響，故設計改變兩火線、兩負極之間的角度來探討兩極的體積關係。

#### (二)、步驟：

- 1、取塑膠水槽用鑽孔器製作如右圖裝置，準備三個同長度的不鏽鋼絲為電極，插到橡皮塞中，再塞到塑膠水槽的三個小孔中。
- 2、配 0.1M 的  $H_2SO_4$  溶液 1000 毫升。
- 3、取導線以(地-火-火)、(正-負-負)方式連接電源供應器：(F-A-E)、(F-A-D)、(F-A-C)、(F-A-B)，各通以交、直流電，電壓調到 40V，電解 5 分鐘。觀察並紀錄溫度變化、溶液顏色、各個試管內氣體的體積及電極的變化。



#### (三)、結果:

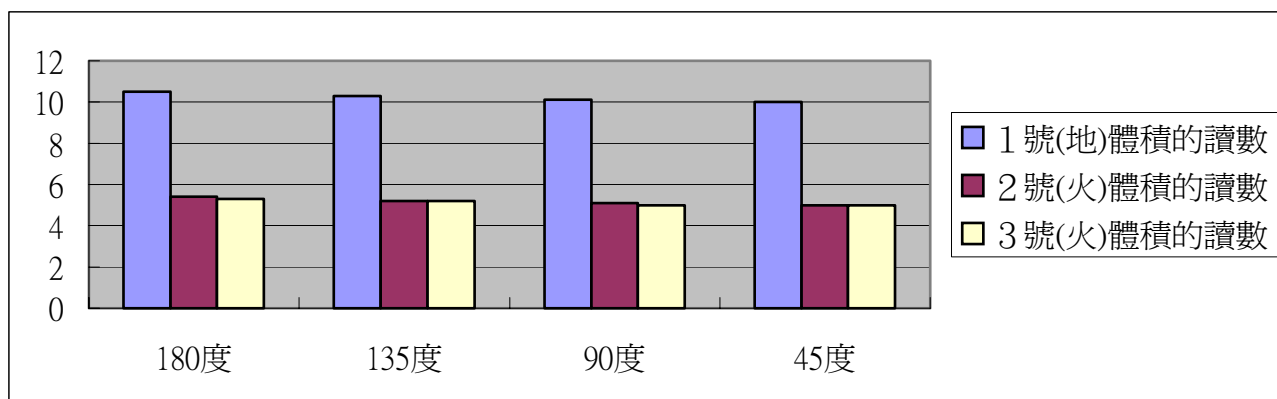
表(十五)：

電極角度 體積	180° (F-A-E)	135° (F-A-D)	90° (F-A-C)	45° (F-A-B)
1 號(地)體積的讀數	10.5	10.3	10.1	10
2 號(火)體積的讀數	5.4	5.2	5.1	5
3 號(火)體積的讀數	5.3	5.2	5	5

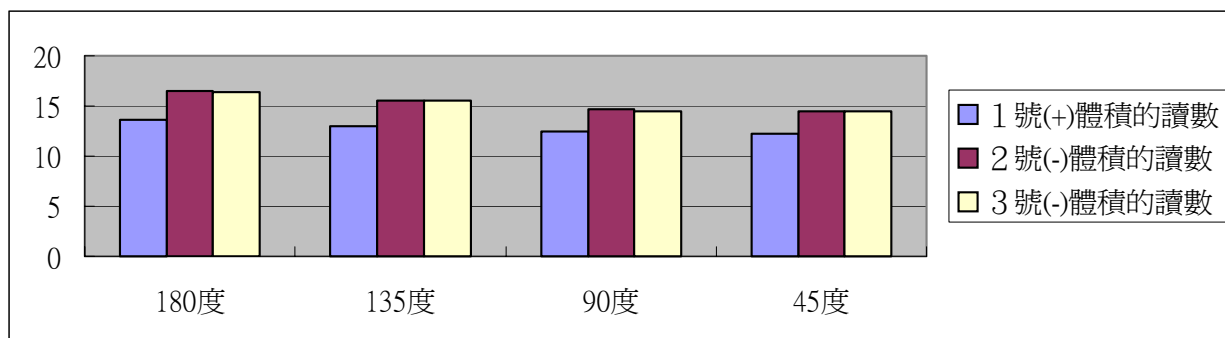
表(十六)：

電極角度 體積	180° (F-A-E)	135° (F-A-D)	90° (F-A-C)	45° (F-A-B)
1 號(+)體積的讀數	13.6	13.0	12.4	12.2
2 號(-)體積的讀數	16.5	15.5	14.7	14.5
3 號(-)體積的讀數	16.4	15.5	14.5	14.5

圖(十三):



圖(十四):



#### (四)、討論：

- 1、由表(十五)資料顯示兩火線之間的角度越小，兩極的氣體體積越少，顯示兩火線之間的互相干擾隨兩火線之間的角度變小而變大，但較不明顯。
- 2、由表(十六)資料顯示兩負極之間的角度越小，兩極的氣體體積越小，顯示兩負極之間的互相干擾隨兩負極之間的角度變小而變大，較明顯。

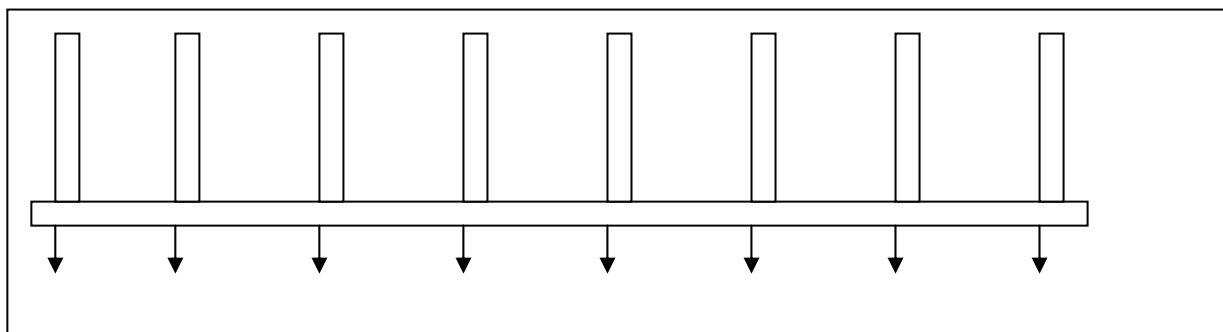
### 九、多重電極並聯，以(一地多火、一正多負)交、直流電解水的比較研究

#### (一)、前言：

由研究八得知兩地線或兩負極確實會互相影響，故設計一地多火或一正多負來探討交、直流電解水的差異。



(二)、步驟：



- 1、準備一口徑約 4cm、長度約 60cm 的透明水管，分別於 A、B、C、D、E、F、G、H、I(間距各 5cm)插入不銹鋼絲當電極(各電極長度要等長)，水管兩端各塞上橡皮塞。(如上圖)
- 2、配 0.1M 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液 1000 毫升。打開水管一端的橡皮塞，將此溶液倒入灌滿水管。
- 3、將此電解水管中各電極以地-火(A-B)、地-火-火(A-B-C)、地-火-火-火(A-B-C-D)、地-火-火-火-火(A-B-C-D-E)、地-火-火-火-火-火(A-B-C-D-E-F)、地-火-火-火-火-火-火(A-B-C-D-E-F-G)或正-負(A-B)、正-負-負(A-B-C)、正-負-負-負(A-B-C-D)、正-負-負-負-負(A-B-C-D-E)、正-負-負-負-負-負(A-B-C-D-E-F)、正-負-負-負-負-負-負(A-B-C-D-E-F-G)方式連接電源供應器，各通以交、直流電，電壓調到 40V，電解 5 分鐘。觀察並紀錄溫度變化、溶液顏色、各個試管內氣體的體積及電極的變化。
- 4、依上法再將此電解水管中各電極以地-火(C-D) 地-☐-☐-火(B-E) 地-☐-☐-☐-火(A-F) 地-地-火-火(B-C-D-E) 地-地-地-火-火-火(A-B-C-D-E-F)或正-負(C-D) 正-☐-☐-負(B-E) 正-☐-☐-☐-☐-負(A-F) 正-正-負-負(B-C-D-E) 正-正-正-負-負-負(A-B-C-D-E-F) 方式連接電源供應器。

(三)、結果:

表(十七)：

電極組合 體積	地-火 (A-B)	地-火-火 (A-B-C)	地-火-火-火 (A-B-C-D)	地-火-火-火-火 (A-B-C-D-E)	地-火-火-火-火-火 (A-B-C-D-E-F)	地-火-火-火-火-火-火 (A-B-C-D-E-F-G)
A(地)體積的讀數	9.1	10.4	10.8	10.8	10.8	10.8
B(火)體積的讀數	9.1	7.9	7.5	7.4	7.3	7.3
C(火)體積的讀數		3.1	3.0	3.0	2.9	2.9
D(火)體積的讀數			0.8	0.5	0.5	0.5
E(火)體積的讀數				0	0	0
F(火)體積的讀數					0	0
G(火)體積的讀數						0

表(十八)：註：\* 負極氣體體積太多，時間縮為 2.5min，再將體積乘以 2

電極組合 體積	* 正-負 (A-B)	* 正-負-負 (A-B-C)	* 正-負-負-負 (A-B-C-D)	* 正-負-負-負-負 (A-B-C-D-E)	* 正-負-負-負-負-負 (A-B-C-D-E-F)	* 正-負-負-負-負-負-負 (A-B-C-D-E-F-G)
A(+)體積的讀數	11.7	13.7	15.1	16.4	17.7	17.9
B(-)體積的讀數	29.9	29.6	29.4	29.0	28.9	28.6
C(-)體積的讀數		7.2	6.8	6.5	6.1	5.7
D(-)體積的讀數			2.6	2.5	1.6	1.3
E(-)體積的讀數				1.0	0.8	0.5
F(-)體積的讀數					0.3	0.1
G(-)體積的讀數						0.1

表(十九)：

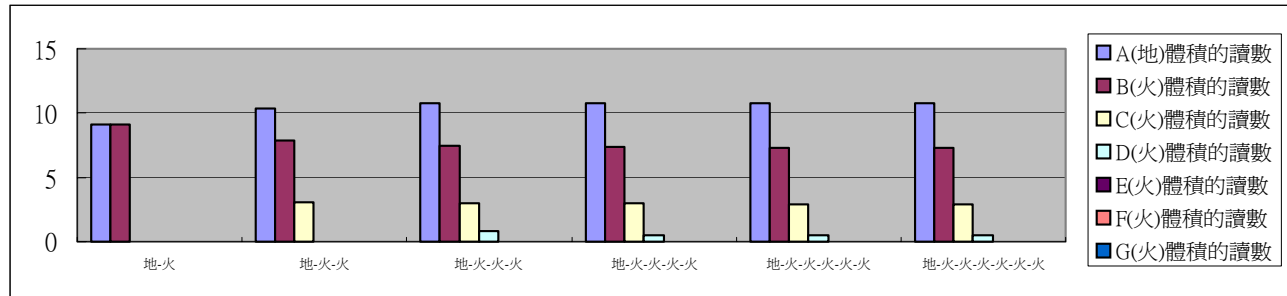
電極組合 體積	地-火 (C--D)	地-□-□-火 (B-----E)	地-□-□-□-□-火 (A-----F)	地-地-火-火 (B--C--D--E)	地-地-地-火-火-火 (A-B-C-D-E-F)
A 體積的讀數			4		1.7
B 體積的讀數		5.5		3.7	4.1
C 體積的讀數		9		9.8	10.2
D 體積的讀數	9			9.8	10.3
E 體積的讀數		5.5		3.8	4
F 體積的讀數				3.9	1.5
氣體總體積	18	11	7.9	27.1	32.6

表(二十)：註：\* 負極氣體體積太多，時間縮為 2.5min，再將體積乘以 2

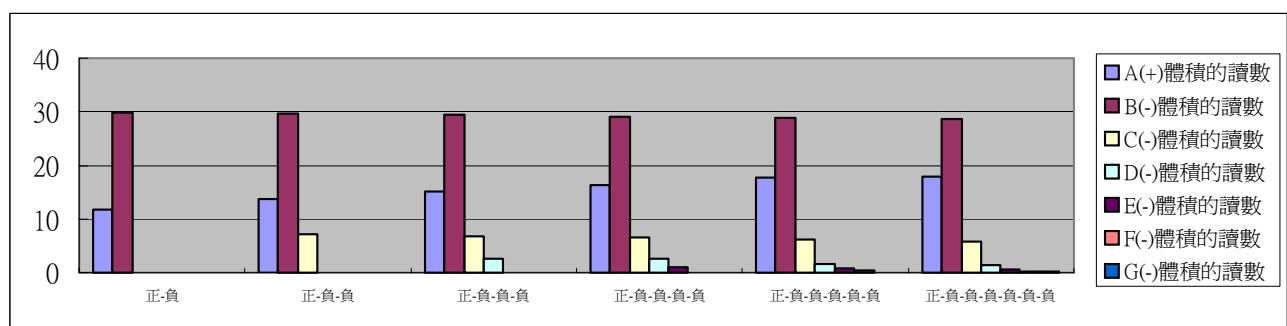
電極組合 體積	* 正-負 (C--D)		正- <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -負 (B-----E)		正- <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -負 (A-----F)		* 正-正-負-負 (B--C--D--E)		* 正-正-正-負-負-負 (A-B-C-D-E-F)	
A 體積的讀數					5.5	137			1.3	13
B 體積的讀數					8.1	234			2.6	57
C 體積的讀數	11.7	351					13.0	390	14.4	429
D 體積的讀數	29.9	351					32.2	377	36.4	416
E 體積的讀數			20.0	234			6.0	70	6.2	73
F 體積的讀數							11.7	137	1.6	18
氣體總體積	32				21.6		13.2		41.4	

註：為比較正負極通過的電流大小關係，我們在每個電處接上安培計。

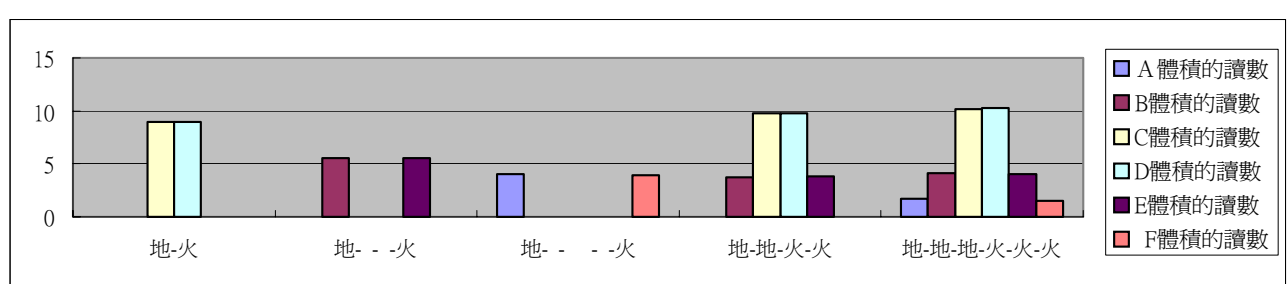
圖(十五):



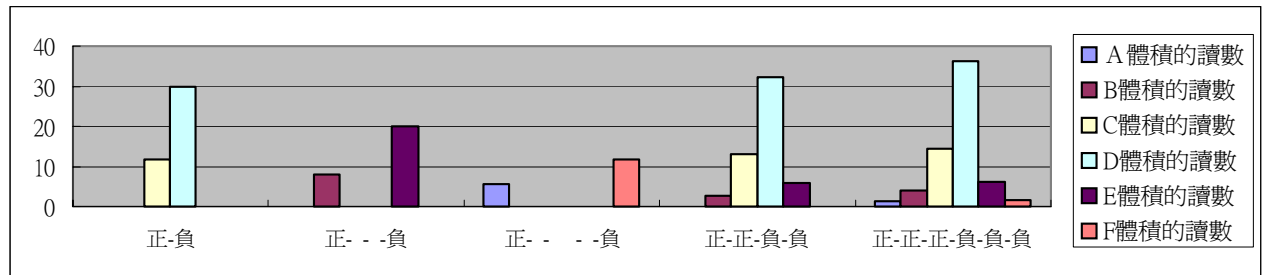
圖(十六):



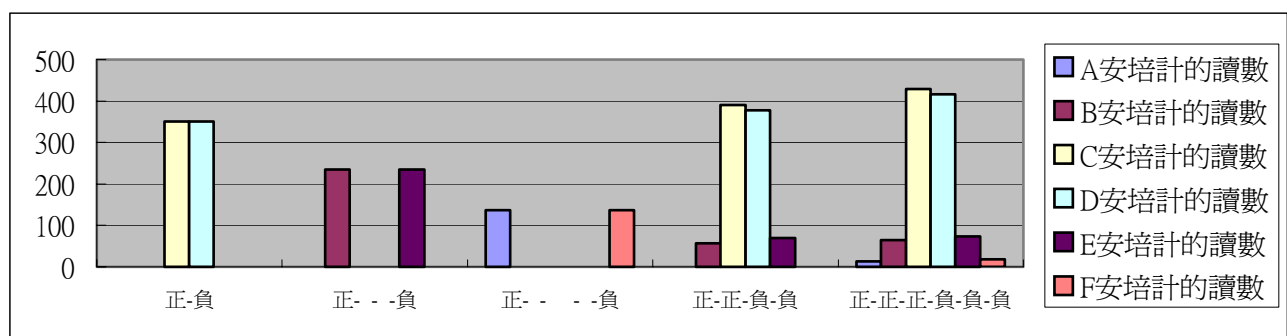
圖(十七):



圖(十八):



圖(十九):



## 乙、討論：

- 1、由表(十七)資料顯示：一地多火下並聯火線的個數越多，總氣體體積約略越大；距離越遠的火線氣體體積越小；同距離的火線其氣體體積隨並聯的火線個數越多氣體體積越小。
- 2、由表(十九)資料顯示：(地-地-火-火)的總氣體體積不等於(地-火)和(地-☐-火)氣體體積的總和；(地-地-地-火-火-火)的總氣體體積也不等於(地-火)、(地-☐-☐-火)和(地-☐-☐-☐-火)氣體體積的總和，它們都只是大於其中任一個組合而已，所以交流電解水並聯不具有加成性。
- 3、由表(十八)資料顯示：一正多負下並聯負極的個數越多，總氣體體積越大；距離越遠的負極氣體體積越小；同距離的負極其氣體體積隨並聯的負極個數越多氣體體積越小。
- 4、由表(二十)資料顯示：(正-正-負-負)的總氣體體積不等於(正-負)和(正-☐-負)氣體體積的總和；(正-正-正-負-負-負)的總氣體體積也不等於(正-負)、(正-☐-☐-負)和(正-☐-☐-☐-負)氣體體積的總和，它們都只是大於其中任一個組合而已，所以直流電解水並聯不具有加成性。
- 5、又由表(二十)資料得知：同屬內側的正、負極(C、D)其正極(C)的電流大於負極(D)的電流，這可能是因為負極產生氫氣的速率大於正極產生氧氣的速率，以致造成氣體屏蔽電極(負極效應較大)而影響導電。

## 伍、結論：

- 一、交流電也能將水電解，只不過由於正、負極的快速轉換，在兩極都會產生氫氣與氧。而且通常電解會有高溫的產生，很容易就引燃氫氧混合的氣體，造成程度不一的爆炸。若是能完整收集氣體並加以分離，會發現氫氣與氧氣仍是 2：1 的比例。
- 二、電解時的電量與反應物質的量之間，形成法拉第的電氣分解法則。電流在離子傳導體內部藉著離子的移動而傳送。在電極與溶液的介面，由於電極反應進行而有電荷移動。陽極面進行金屬的溶解、產生氧等氧化反應(陽極氧化)，陰極面則進行金屬的析出、產生氫等還原反應(陰極還原)。
- 三、使用強酸、弱酸、強鹼、弱鹼與鹽類當成電解質電解水時，弱電解質的  $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $\text{NH}_4\text{OH}$  不論在直流或交流電解中氣體體積都很少，這是因為他們解離度小的關係。 $\text{NaOH}$ 、 $\text{KNO}_3$  雖是強電解質，但此特性並沒有讓電解水發揮最好的優勢！尤其是交流電源時，氣體產生量幾乎是零，這可能是他們與不銹鋼電極反應形成某種保護層而影響導電。硫酸不論在直流或交流電解中，其明顯的氣體產生量與反應速率可讓實驗進行時易於觀察與比較，但為何如此?不得而知。
- 四、交流電解水普遍水溫都升高且兩極都有被氧化現象，而直流電解水則只有正極有上述現象，這是因為交流電解水兩極都會產生氧氣，而直流電解水則只有正極才有，且交流電有類似微波爐的原理，電流交替時造成水分子震盪發熱，而直流電只純粹是正極被氧化發熱，因此交流電解水溫略高於直流電解。
- 五、交流電解水兩極氣體體積比約為 1：1，而直流電解水正負極氣體體積比不是 1：2，這主要是因為交流電解水兩極都會產生氫和氧，而直流電下正極產生的氧有一部分會和不銹鋼電極反應，以致正極產生的氧體積變小了。

- 六、以銅棒、碳棒、鐵釘為電極時，不管是交流電或直流電，氣體體積都很小，又由電極的變化推知：可能是這些電極和產生的氧氣反應，並形成氧化層阻礙了導電。
- 七、長的和粗的電極氣體產生量較多，但不成正比關係，只約略與其表面積大小相關。
- 八、當交流電頻率越大，則電解所產生的氣體量也隨之增加，幾乎成正比的現象，且頻率到達 40 以上時水溫上升很快，電極有明顯被溶斷的現象。
- 九、由研究五、六、七、八顯示交、直流電解水並聯時氣體體積不具有加成性。
- 十、(地-火)線或(正-負)極之間的距離越大兩極的氣體體積越小，約呈反比關係。(地-火-火)線或(正-負-負)極之間的距離越大各極的氣體體積越小，但距離較遠的火線或負極氣體體積遞減比率較大。
- 十一、兩火線或兩負極之間的角度越小，兩極的氣體體積越少，顯示兩火線或兩負極之間的互相干擾隨兩火線或兩負極之間的角度變小而變大，但交流電較不明顯。
- 十二、一地多火或一正多負下並聯火線或負極的個數越多，總氣體體積約略越大；距離越遠的火線或負極氣體體積越小；同距離的火線或負極其氣體體積隨並聯的火線或負極個數越多氣體體積越小。
- 十三、本研究原想用白金絲當電極，奈何它太貴且太細，且在硫酸溶液中亦有溶斷情形（變黑溶解），在氫氧化鈉溶液中於交流電情況下氣體產生量又很小，後改以銅棒、碳棒、鐵釘為電極也不理想，最後只好選擇不銹鋼和硫酸溶液，但缺點是它會跟部分氧氣反應而影響體積測量。
- 十四、根據大學普通物理學所述：在相同電壓下，交流電輸出的均方根電壓(電流)為直流電電壓(電流)的 **0.707** 倍( $1/\sqrt{2}$ )，所以推測交、直電解水的氣體總體積比值也應為 0.707，但我們用不同材料為電極時所得氣體總體積比值卻都不一樣，也不是台中縣第四十屆科展（清泉國中）物理組「交流電解水的直觀研究」：交直流電解水（ $H_2SO_4$ 、20V，電極=?）的體積比值=0.15625，如我們以不銹鋼為電極、0.1M  $H_2SO_4$  為電解液，同在 30V 情況下，交、直電解水的氣體總體積比值約為 0.4286，這到底孰是孰非？亦或有更複雜的原因就不得而知了！我們推測其與 0.707 之所以有差距，可能是本電解水系統並非為遵守歐姆定律的理想線性系統（不銹鋼和  $H_2SO_4$  溶液皆非線性材料），且電解水時部分電能被消耗在水溫的升高及電極的氧化上，故造成其值的變小。

## 陸、未來展望：

從本研究中我們很驚訝的發現「交、直電解水」竟是如此不同，其中有許多的疑惑，但限於我們只是國二的學生，所知所學實在很有限，平時也沒有太多時間可以投入研究，因此針對以下幾個問題我們希望日後可以繼續研究而能有所突破：

1. 找出交、直流電解水時真正的氣體總體積比值。
2. 找出不同**頻率**下交、**直**流電解水的差異（因變頻器是跟廠商借的，且它只能輸出交流電，所以本研究只做不同頻率下交流電解水）。
3. 找出交、直流電解水中多重電極並聯時各電極電場互相干擾與距離、電壓、溫度、電解質強度、電解質濃度、電極種類等的關係，並從而導出它們的關係式。
4. 找出交、直流電解水中多重電極並聯時與各組電極（地—火、正—負）氣體體積之間的加成性關係。

## 柒、參考資料：

- 一、國中理化第一、三冊 國立編譯館。
- 二、高中基礎理化上、下冊。
- 三、高中化學。
- 四、大學普通物理學。