

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 化學科

佳作

040201

發現氧氣的消失

臺南縣私立興國高級中學

作者姓名：

高三 張琮浩 高三 翁涵育 高一 林彥宇  
高一 郭容桂

指導老師：

楊仁文

# 主題：發現氧氣的消失

## 壹、摘要：

以石墨棒為電極電解水所得的氫氣和氧氣之體積比竟然高達 12 : 1 甚至更高，此結果與我們在課本的認知上有很大的差異，為此我們設計了本研究，深入研究影響氫氣和氧氣之體積比異常之各因素，包括電極是否受污染、電極種類、電極面積、電解質種類、濃度、電壓等等因素之影響。由這些廣泛的探討與產物性質之檢驗結果，也讓我們了解以石墨棒為電極電解  $\text{Na}_2\text{SO}_{4(aq)}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_{4(aq)}$  為何嚴重偏離氫氣和氧氣之體積比 2 : 1 之原因。此外；由本研究亦意外的發現以石墨棒為電極棒電解  $\text{NaOH}_{(aq)}$  在低電壓電解(4V 以下) 得接近氫氣和氧氣之體積比 2 : 1 之結果，然而當電壓上升至 5V 以上時，電解所得之氫氣和氧氣之體積比急速增加至 8 : 1 以上。

由本研究發現石墨棒中之不完全結晶碳成分在電解水的反應中可在陽極和電解質離子發生副反應，此副反應在  $\text{Na}_2\text{SO}_{4(aq)}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_{4(aq)}$  有較低的啟動電壓(4V 甚至更低即可)，而在  $\text{NaOH}_{(aq)}$  則有較高的啟動電壓(約 5V 以上)，此外；我們亦由電解之產物分析推得各電解條件下所發生之反應。

## 貳、研究動機：

在一次電能利用率之研究主題中，以石墨棒為電極，稀硫酸幫助導電條件下，以 6V 之電流，進行水的電解實驗，才通電不久，赫然發現陽極之石墨棒出現剝落的現象，而陰極之石墨棒則無特殊改變，且電解至後來亦不見如課本之記載氫氧體積比 2 : 1 之結果，因此引起了我們莫大的好奇，反覆進行此實驗，甚至更換不同來源之石墨電極結果皆然，故興起了本主題之研究。

## 參、研究目的：

- 一、研究以黃金電極和石墨棒電極電解  $\text{Na}_2\text{SO}_{4(aq)}$ 、 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_{4(aq)}$ ，觀察其陰陽極之體積比之差異。
  - 1、研究電解質濃度對陰陽極氣體生成比率之影響。
  - 2、研究電解電壓對陰陽極氣體生成比率之影響。
- 二、觀察電極面積之影響。
- 三、觀察不同來源之石墨電極對氣體生成比率之影響。
- 四、檢驗電解上述電解條件，其陰陽極氣體產物和水溶液之性質。
- 五、由研究結果推測出可能之反應機制。

## 肆、研究設備及器材：

一、藥品：試藥級硫酸鈉、氫氧化鈉、硫酸、氫氧化鈣、亞硫酸鈉、草酸鈉、過錳酸鉀、單寧酸、硫酸亞鐵、硝酸鐵、硝酸銀、鹽酸。(照片 1)

二、器材：

(一) 30V 直流電源供應器。[照片 2]

(二) 電子天平。[照片 2]

(三) PH 儀。[照片 2]

(四) 離心機。[照片 2]

(五) 比色計。[照片 2]

(六) 自製電解水裝置。[照片 3]

(七) 自製氣體溶解度測定儀。[照片 3]

(八) 自製氣體生成器。[照片 3]

(九) 電池石墨電極(3 號電池用)、石墨礦石電極、三角鉛筆筆蕊(HB)、黃金電極。

(照片 4)



照片 1



照片 2



照片 3



照片 4

『註』：照片 4；依次為；三角鉛筆筆蕊(HB)、電池石墨電極、石墨礦石電極、glass carbon、黃金電極。

## 伍、研究過程或方法：

### 一、溶液的電解：

#### (一) 溶液之配製：

##### 1、固體溶質：

- (1) 以電子天平秤取所需之固體溶質。
- (2) 先置入燒杯中以適量之蒸餾水溶解。
- (3) 將(2)之液體倒入容量瓶中。
- (4) 再加水至所需體積。

##### 2、稀硫酸、稀鹽酸之配製：

- (1) 以注射針筒吸取所需之濃硫酸、鹽酸體積。
- (2) 緩緩置入水中，使之均勻混合。
- (3) 將(2)之液體倒入容量瓶。
- (4) 再加水至所需體積。

#### (二) 溶液之電解：

- 1、將器材裝置<如照片 5>所示。
- 2、小心將溶液倒入。
- 3、打開電解水裝置之通氣孔，以注射針筒吸取溶液，關閉注射集氣管。
- 4、打開電源調整至所需電壓，再關閉電源。
- 5、接通電路打開電源，並開始紀錄。
- 6、改變各溶液濃度、電壓、電極面積、電極種類，重複 1~5 之步驟。



照片 5：電解裝置

### 二、氣體產物之檢驗：

- (一) 氫氣之檢驗：以正在燃燒之火柴，靠近試管口，若管口氣體燃燒並發出爆鳴聲，則為  $H_2$ 。
- (二) 氧氣之檢驗：以線香餘燼置入試管內，觀察餘燼若復燃，則管中氣體為  $O_2$ 。
- (三) 二氧化碳之檢驗：將氣體通入澄清之石灰水，若呈混濁，則為  $CO_2$ 。

### 三、電解後水溶液產物分析：

#### (一) 水溶液樣本製造：

- 1、分別將 0.1M 之  $Na_2SO_{4(aq)}$ 、 $H_2SO_{4(aq)}$ 、 $NaOH_{(aq)}$  置於電解裝置中，以 4V 之電壓電解 4 小時，過濾收集電解液。
- 2、分別將 0.1M 之  $Na_2SO_{4(aq)}$ 、 $H_2SO_{4(aq)}$ 、 $NaOH_{(aq)}$  置於電解裝置中，以 12V 之電壓電解 2 小時，過濾收集電解液。

- (二) PH 值之檢測：取適量各條件之樣本溶液，以 PH 儀測量之。

(三) 金屬離子之檢測：取適量各條件之樣本溶液，加入緩緩滴入 1M NaOH<sub><aq></sub> 鹼化之觀察是否有沈澱發生。

(四) 沈澱測試：

1、NaOH<sub><aq></sub> 電解液：

- (1) 於溶液中加入適量 0.25M 之 Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2(aq)</sub>，觀察是否有沈澱生成。
- (2) 將(1)所得之溶液置於離心機使沈澱分離，並移除濾液。
- (3) 將(2)所得之沈澱加入少量 0.5M HCl<sub><aq></sub> 觀察沈澱遇酸之變化。

2、Na<sub>2</sub>SO<sub>4<aq></sub> 或 H<sub>2</sub>SO<sub>4<aq></sub> 電解液：

- (1) 取適量 Na<sub>2</sub>SO<sub>4<aq></sub> 或 H<sub>2</sub>SO<sub>4<aq></sub> 樣本溶液 (以 0.5M NaOH<sub><aq></sub> 調整 PH 值使接近 7)
- (2) 於(1)之溶液中加入適量 0.25M 之 Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2(aq)</sub>，觀察是否有沈澱生成。
- (3) 將(2)所得之溶液置於離心機使沈澱分離，並傾出濾液。
- (4) 將(3)所得之沈澱加入少量 0.5M HCl<sub><aq></sub> 觀察沈澱遇酸之變化。
- (5) 將(4)之溶液離心收集其濾液。

(五) 溶液性質測試：

1、測試試劑製作：

依(一)之方法配製 0.005M KMnO<sub>4<aq></sub>、 0.01M Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4<aq></sub>、 0.01M Na<sub>2</sub>SO<sub>3<aq></sub>、  
0.01M 單寧酸亞鐵溶液、 0.01M Fe((NO<sub>3</sub>)<sub>3(aq)</sub>)

2、NaOH<sub><aq></sub> 電解液鑑定：

- (1) 將(四)之 1-(3)所得之濃縮溶液以 0.1M NaOH<sub><aq></sub> 調整 PH 值使略小於 7。
- (2) 取適量 0.01M 單寧酸亞鐵溶液置於試管中，將(1)所得之溶液滴入其中觀察溶液之顏色變化。
- (3) 取適量 0.01M 單寧酸亞鐵溶液置於試管中，將 0.01M Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4<aq></sub> 滴入其中觀察溶液之顏色變化並與(2)之變化比較之。
- (4) 取適量 0.005M KMnO<sub>4<aq></sub> 置於試管中並以硫酸酸化之，將(1)所得之溶液滴入其中觀察溶液之顏色變化。

3、Na<sub>2</sub>SO<sub>4<aq></sub> 或 H<sub>2</sub>SO<sub>4<aq></sub> 電解液鑑定：

- (1) 將(四)之 2-(5)所得之濃縮溶液加入 0.1M NaOH<sub><aq></sub> 調整 PH 值使略小於 7。
- (2) 取適量 0.01M 單寧酸亞鐵溶液置於試管中，將(1)所得之溶液滴入其中觀察溶液之顏色變化。
- (3) 取適量 0.01M 單寧酸亞鐵溶液置於試管中，將 0.01M Na<sub>2</sub>SO<sub>3<aq></sub> 滴入其中觀察溶液之顏色變化並與(2)之變化比較之。
- (4) 取適量 0.005M KMnO<sub>4<aq></sub> 置於試管中並以硫酸酸化之，將(3)所得之溶液滴入其中觀察溶液之顏色變化。

陸、研究結果：

表[1]:以 Au 電極電解 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,NaOH,Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液

溶質	濃度 (M)	電壓 (V)	時間			V <sub>(陰)</sub> ml	V <sub>(陽)</sub> ml	V <sub>氣</sub> /V <sub>陽</sub>	V <sub>氣</sub> ml	V <sub>(CO2)</sub> ml	V <sub>H2</sub> /V <sub>O2</sub>	R <sub>H2</sub> (ml/分)
			時	分	秒							
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	4	0	7	50	8.4	4.0	1.0	4.0	0	2.10	1.07
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	8	0	1	54	8.2	4.0	1.0	4.0	0	2.05	4.32
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	12	0	1	13	7.4	3.6	1.0	3.6	0	2.06	6.08
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.3	4	0	9	47	7.0	3.4	1.0	3.4	0	2.06	0.72
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.3	8	0	3	0	8.3	4.0	1.0	4.0	0	2.08	2.77
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.3	12	0	1	44	8.3	4.1	1.0	4.1	0	2.02	4.79
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.1	4	0	24	8	7.1	3.4	1.0	3.4	0	2.09	0.29
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.1	8	0	8	57	9.4	4.6	1.0	4.6	0	2.04	1.05
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.1	12	0	4	44	9.0	4.4	1.0	4.4	0	2.05	1.90
NaOH	0.5	4	0	17	20	4.7	2.3	1.0	2.3	0	2.04	0.27
NaOH	0.5	8	0	4	24	7.1	3.5	1.0	3.5	0	2.03	1.61
NaOH	0.5	12	0	3	20	10.4	5.2	1.0	5.2	0	2.00	3.12
NaOH	0.3	4	0	56	4	4.5	2.1	1.0	2.1	0	2.14	0.08
NaOH	0.3	8	0	7	10	6.7	3.2	1.0	3.2	0	2.09	0.93
NaOH	0.3	12	0	4	24	7.9	3.9	1.0	3.9	0	2.03	1.80
NaOH	0.1	8	0	23	20	7.3	3.5	1.0	3.5	0	2.09	0.31
NaOH	0.1	12	0	10	36	7.0	3.3	1.0	3.3	0	2.12	0.66
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	4	0	19	50	3.7	1.7	1.0	1.7	0	2.18	0.19
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	8	0	4	2	6.3	3.1	1.0	3.1	0	2.03	1.56
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	12	0	1	51	5.7	2.8	1.0	2.8	0	2.04	3.08
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.4	4	0	15	25	2.5	1.2	1.0	1.2	0	2.08	0.16
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.4	8	0	2	56	4.2	2.0	1.0	2.0	0	2.10	1.43
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.4	12	0	1	32	4.3	2.1	1.0	2.1	0	2.05	2.80
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.3	4	0	44	40	5.1	2.1	1.0	2.1	0	2.43	0.11
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.3	8	0	6	3	6.6	3.3	1.0	3.3	0	2.00	1.09
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.3	12	0	3	43	8.5	4.2	1.0	4.2	0	2.02	2.29
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.2	8	0	7	13	6.3	3.0	1.0	3.0	0	2.10	0.87
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.2	12	0	4	23	7.6	3.7	1.0	3.7	0	2.05	1.73
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.1	8	0	13	18	7.0	3.3	1.0	3.3	0	2.12	0.53
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.1	12	0	4	28	4.3	2.0	1.0	2.0	0	2.15	0.96

表[2]:以電池石墨棒定電壓(12V)電解 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液

溶質	濃度 (M)	電壓 (V)	時間			V <sub>(陰)</sub> ml	V <sub>(陽)</sub> ml	V <sub>氣/V<sub>陽</sub></sub>	V <sub>氣</sub> ml	V <sub>(CO<sub>2</sub>)</sub> ml	V <sub>H<sub>2</sub>/V<sub>O<sub>2</sub></sub></sub>	R <sub>H<sub>2</sub></sub> (ml/分)
			時	分	秒							
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.1	12	0	27	50	27.9	4.10	0.74	3.03	1.07	9.20	1.00
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.2	12	0	14	19	22.5	3.80	0.69	2.62	1.18	8.58	1.57
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.3	12	0	9	3	19.6	3.80	0.69	2.62	1.18	7.48	2.17
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.4	12	0	6	8	16.4	3.40	0.68	2.31	1.09	7.09	2.67
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	12	0	7	0	20.3	4.40	0.67	2.95	1.45	6.89	2.90

表[3]:以電池石墨棒定濃度(0.5M)電解 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液

溶質	濃度(M)	電壓(V)	時間			V <sub>(陰)</sub> ml	V <sub>(陽)</sub> ml	V <sub>氣/V<sub>陽</sub></sub>	V <sub>氣</sub> ml	V <sub>(CO<sub>2</sub>)</sub> ml	V <sub>H<sub>2</sub>/V<sub>O<sub>2</sub></sub></sub>	R <sub>H<sub>2</sub></sub> (ml/分)
			時	分	秒							
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	4	2	24	29	25.2	2.90	0.71	2.07	0.83	12.17	0.17
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	6	0	41	6	34.1	6.60	0.72	4.75	1.85	7.18	0.83
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	8	0	17	7	24.9	4.90	0.71	3.48	1.42	7.16	1.45
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	10	0	6	38	13.9	3.00	0.66	1.98	1.02	7.02	2.10
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	12	0	7	0	20.3	4.40	0.67	2.95	1.45	6.89	2.90

表[4]:以電池石墨棒定電壓(4V,12V)電解 NaOH 溶液

溶質	濃度(M)	電壓(V)	時間			V <sub>(陰)</sub> ml	V <sub>(陽)</sub> ml	V <sub>氣/V<sub>陽</sub></sub>	V <sub>氣</sub> ml	V <sub>(CO<sub>2</sub>)</sub> ml	V <sub>H<sub>2</sub>/V<sub>O<sub>2</sub></sub></sub>	R <sub>H<sub>2</sub></sub> (ml/分)
			時	分	秒							
NaOH	0.1	4	1	32	11	10.2	2.80	1.00	2.80	0.00	3.64	0.11
NaOH	0.2	4	0	33	33	7.5	2.70	1.00	2.70	0.00	2.78	0.22
NaOH	0.3	4	0	26	21	8.9	3.20	1.00	3.20	0.00	2.78	0.34
NaOH	0.5	4	0	11	20	6.3	2.10	1.00	2.10	0.00	3.00	0.56
NaOH	0.7	4	0	15	54	9.1	3.00	1.00	3.00	0.00	3.03	0.57
NaOH	1	4	0	6	51	5.7	2.10	1.00	2.10	0.00	2.71	0.83
NaOH	0.1	12	0	21	35	26.0	2.20	1.00	2.20	0.00	11.82	1.20
NaOH	0.2	12	0	6	29	12.6	1.20	1.00	1.20	0.00	10.50	1.94
NaOH	0.5	12	0	5	20	22.1	1.90	1.00	1.90	0.00	11.63	4.14
NaOH	0.7	12	0	3	52	25.8	2.10	1.00	2.10	0.00	12.29	6.67
NaOH	1	12	0	3	25	28.3	2.10	1.00	2.10	0.00	13.48	8.28

**表[5]:以電池石墨棒定濃度(0.5M,0.2M)電解 NaOH 溶液**

溶質	濃度(M)	電壓(V)	時間			V <sub>(陰)</sub> ml	V <sub>(陽)</sub> ml	V <sub>氧</sub> /V <sub>陽</sub>	V <sub>氧</sub> ml	V <sub>(CO2)</sub> ml	V <sub>H2</sub> /V <sub>O2</sub>	R <sub>H2</sub> (ml/分)
			時	分	秒							
NaOH	0.5	4	0	11	50	8.3	3.50	1.00	3.50	0.00	2.37	0.70
NaOH	0.5	4.5	0	6	28	5.7	2.30	1.00	2.30	0.00	2.48	0.88
NaOH	0.5	5	0	17	47	11.4	1.20	1.00	1.20	0.00	9.50	0.64
NaOH	0.5	6	0	14	9	16.3	1.60	1.00	1.60	0.00	10.19	1.15
NaOH	0.5	6.5	0	16	25	22.7	2.00	1.00	2.00	0.00	11.35	1.38
NaOH	0.5	7	0	13	15	23.3	1.90	1.00	1.90	0.00	12.26	1.76
NaOH	0.5	8	0	11	0	26.0	2.00	1.00	2.00	0.00	13.00	2.36
NaOH	0.5	12	0	5	20	22.1	1.90	1.00	1.90	0.00	11.63	4.14
NaOH	0.2	4	0	33	33	7.5	2.70	1.00	2.70	0.00	2.78	0.22
NaOH	0.2	5	0	29	39	9.4	1.30	1.00	1.30	0.00	7.23	0.32
NaOH	0.2	6	0	28	18	15.5	1.70	1.00	1.70	0.00	9.12	0.55
NaOH	0.2	8	0	17	10	16.7	1.70	1.00	1.70	0.00	9.82	0.97
NaOH	0.2	10	0	10	46	16.3	1.50	1.00	1.50	0.00	10.87	1.51
NaOH	0.2	12	0	6	29	12.6	1.20	1.00	1.20	0.00	10.50	1.94

**表[6]:以電池石墨棒定電壓(8V)電解 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液**

溶質	濃度(M)	電壓(V)	時間			V <sub>(陰)</sub> ml	V <sub>(陽)</sub> ml	V <sub>氧</sub> /V <sub>陽</sub>	V <sub>氧</sub> ml	V <sub>(CO2)</sub> ml	V <sub>H2</sub> /V <sub>O2</sub>	R <sub>H2</sub> (ml/分)
			時	分	秒							
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.1	8	0	16	45	24.5	3.20	0.74	2.35	0.85	10.42	1.46
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.2	8	0	11	5	25.5	3.90	0.75	2.93	0.98	8.72	2.30
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.3	8	0	7	16	24.3	3.90	0.72	2.81	1.09	8.65	3.34
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.4	8	0	6	53	26.7	4.50	0.67	3.02	1.49	8.86	3.88
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	8	0	4	37	24.1	4.40	0.72	3.17	1.23	7.61	5.22

表[7]:以電池石墨棒定濃度(0.5M)電解 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液

溶質	濃度(M)	電壓(V)	時間			V <sub>(陰)</sub> ml	V <sub>(陽)</sub> ml	V <sub>氣</sub> /V <sub>陽</sub>	V <sub>氣</sub> ml	V <sub>(CO2)</sub> ml	V <sub>H2</sub> /V <sub>O2</sub>	R <sub>H2</sub> (ml/分)
			時	分	秒							
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	4	0	34	47	25.7	3.80	0.83	3.14	0.67	8.20	0.74
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	6	0	6	42	17.4	2.80	0.76	2.13	0.67	8.18	2.60
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	8	0	4	37	24.1	4.40	0.72	3.17	1.23	7.61	5.22
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	10	0	2	51	21.0	4.70	0.67	3.15	1.55	6.67	7.37
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	12	0	2	51	25.0	5.80	0.65	3.77	2.03	6.63	8.77

表[8]:以電池石墨棒電解 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液(0.5M,8V)探討電極面積的影響

溶質	電極長度 cm	時間			V <sub>(陰)</sub> ml	V <sub>(陽)</sub> ml	V <sub>氣</sub> /V <sub>陽</sub>	V <sub>氣</sub> ml	V <sub>(CO2)</sub> ml	V <sub>H2</sub> /V <sub>O2</sub>	R <sub>H2</sub> (ml/分)
		時	分	秒							
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	0	4	37	24.1	4.40	0.72	3.17	1.23	7.61	5.22
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	0	5	2	26.5	5.50	0.70	3.85	1.65	6.88	5.26
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	0	3	59	22.4	4.90	0.68	3.33	1.57	6.72	5.62

表[9]:探討電極種類電解(8V,0.5M)NaOH 溶液的影響

電極	電壓 (V)	時間			V <sub>(陰)</sub> ml	V <sub>(陽)</sub> ml	V <sub>氣</sub> /V <sub>陽</sub>	V <sub>氣</sub> ml	V <sub>(CO2)</sub> ml	V <sub>H2</sub> /V <sub>O2</sub>	R <sub>H2</sub> (ml/分)
		時	分	秒							
Au	8	0	4	24	7.1	3.5	1.00	3.50	0.00	2.03	1.61
glass carbon	8	0	13	24	16.3	1.10	1.00	1.10	0.00	14.82	1.22
電池石墨棒	8	0	11	0	26.0	2.00	1.00	2.00	0.00	13.00	2.36
三角鉛筆蕊	8	0	11	31	17.5	1.40	1.00	1.40	0.00	12.50	1.52
石墨礦石	8	0	4	5	6.8	3.1	1.00	3.10	0.00	2.19	1.67

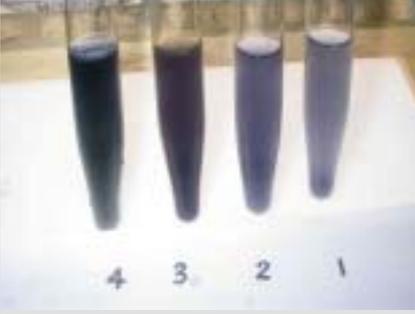
表[10]:以石墨礦石電極電解不同溶液的影響

溶質	濃度 (M)	電壓 (V)	時間			V <sub>(陰)</sub> ml	V <sub>(陽)</sub> ml	V <sub>氣</sub> /V <sub>陽</sub>	V <sub>氣</sub> ml	V <sub>(CO2)</sub> ml	V <sub>H2</sub> /V <sub>O2</sub>	R <sub>H2</sub> (ml/分)
			時	分	秒							
NaOH	0.5	8	0	4	24	7.1	3.5	1.00	3.50	0.00	2.03	1.61
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	8	0	3	11	3.0	1.10	1.00	1.10	0.00	2.73	0.94
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5	8	0	1	40	6.7	1.90	1.00	1.90	0.00	3.53	4.02

**表[11]:樣品分析(I) :**

檢驗項目		分析樣本	0.1M NaOH <sub>&lt;aq&gt;</sub> 4V 電解 4hrs	0.1M NaOH <sub>&lt;aq&gt;</sub> 12V 電解 2hrs	推論 (依產物性質及 原子不滅)
陰極氣體檢驗			可燃產生爆鳴聲	可燃產生爆鳴聲	生成 H <sub>2</sub>
陽極氣體測試			(1)使餘燼復燃 (2)澄清石灰水無變化	(1)使餘燼復燃 (2)澄清石灰水無變化	若生成 CO <sub>2</sub> 則已在 NaOH <sub>&lt;aq&gt;</sub> 被吸收
PH 測試	電解前		12.90	12.90	電解過程產物水溶液 呈酸性
	電解後		12.78	12.63	
電解液金屬離子測試			無沈澱	無沈澱	氧氣產生之異常非 因電極金屬污染所 造成
加 0.25M Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (aq)			大量白色沈澱生成	大量白色沈澱生成	水溶液中含 OH <sup>-</sup> 、 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 、C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
白色沈澱加入 1M HCl <sub>&lt;aq&gt;</sub>			沈澱溶解且生成少量氣泡	沈澱溶解且生成大量 氣泡	確認有 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
濃縮液中和後再加 0.01M 單寧酸亞鐵 (藍墨汁)			無變化	單寧酸亞鐵褪色 (照片 7)	12V 電解生成 C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
濃縮液中和後再加 0.01M Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (aq)			顏色無明顯變化	顏色變深黃(照片 6)	生成 Fe (C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> <sup>3-</sup>
酸化後滴入 0.005M KMnO <sub>4</sub>			溶液不褪色	紫紅色消失, 但常溫需 時約數分鐘(照片 8)	溶液有還原力, 還原 力較弱與 C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 之特 性相同
 <p>照片 6</p>		 <p>照片 7</p>		 <p>照片 8</p>	
1、 Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (aq) 2、 Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (aq) + C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 3、 Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (aq) + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 4、 Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (aq) + SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		1、 單寧酸亞鐵 2、 單寧酸亞鐵 + C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 3、 單寧酸亞鐵 + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 4、 單寧酸亞鐵 + SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		1、 KMnO <sub>4</sub> (aq) 2、 KMnO <sub>4</sub> (aq) + SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 3、 KMnO <sub>4</sub> (aq) + C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	

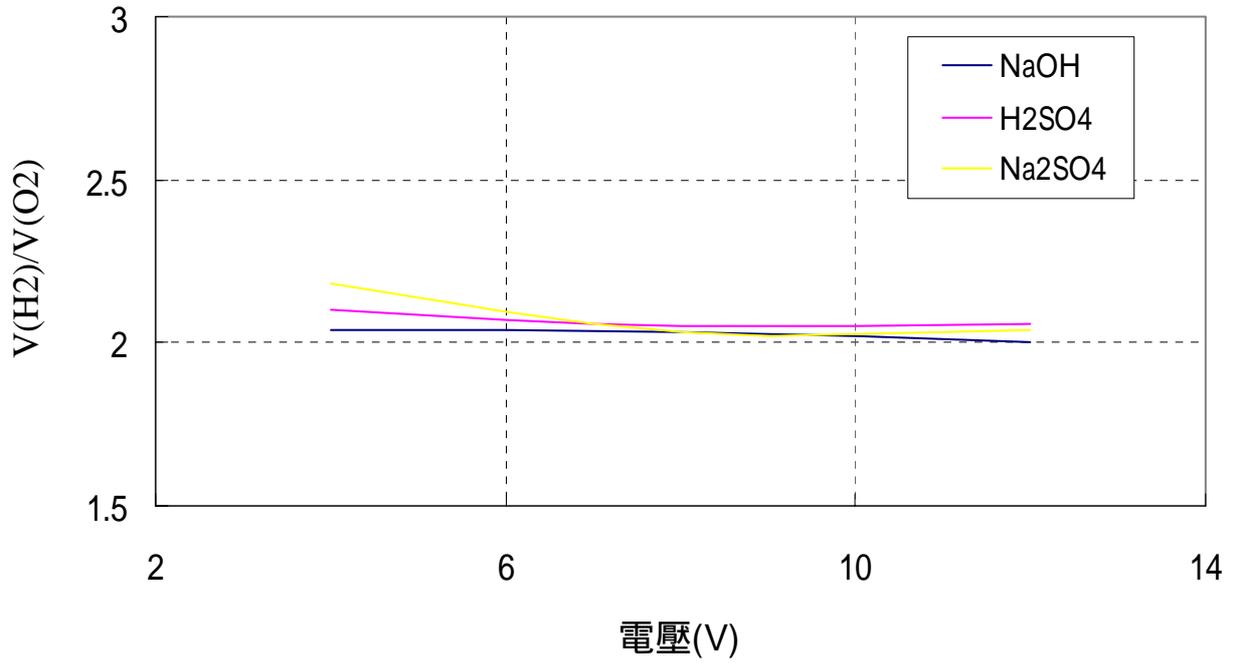
表[12]:樣品分析( II ) :

檢驗項目		分析樣本	0.1M H <sub>2</sub> SO <sub>4(aq)</sub> 4V 電解 4hrs	0.1M H <sub>2</sub> SO <sub>4(aq)</sub> 12V 電解 2hrs	推論 (依產物性質及原子不滅)
陰極氣體檢驗			可燃產生爆鳴聲	可燃產生爆鳴聲	生成 H <sub>2</sub>
陽極氣體測試			(1)無法使餘燼復燃但仍可助燃。 (2)使澄清石灰呈白色混濁, 通入過量則白色沉澱消失。	(1)無法使餘燼復燃但仍可助燃。 (2)使澄清石灰呈白色混濁, 通入過量則白色沉澱消失。	陽極氣體產物混為 O <sub>2</sub> 和 CO <sub>2</sub> 。
PH 測試	電解前		0.87	0.87	電解過程產物水溶液呈酸性
	電解後		0.83	0.81	
電解液金屬離子測試			無沈澱	無沈澱	氧氣產生之異常非因電極金屬污染所造成
液緩緩以 NaOH <sub>(aq)</sub> 調 PH 7, 加入過量的 0.25MBa(NO <sub>3</sub> ) <sub>2(aq)</sub> , 觀察沈澱生成情形			明顯白色沈澱生成	明顯白色沈澱生成	溶液中可能含有 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 、C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
上述白色沈澱加入 0.5M HCl <sub>(aq)</sub>			部分沈澱溶解但無明顯氣泡生成	部分沈澱溶解但無明顯氣泡生成	可能含 C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 但無 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
取移去 Ba <sup>2+</sup> 離子及 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 之接近中性之濾液滴入裝有 0.01M 單寧酸亞鐵溶液 (藍墨汁) 之試管中, 觀察溶液之顏色變化, 並與加入 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 及 C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 之單寧酸亞鐵溶液比色。			由藍色轉成藍紫色, 與加入 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 之變化相同(照片 7), 試管溶液不均勻時混有些微黃色。	由藍色轉成藍紫色與加入 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 之變化相同(照片 7), 試管溶液不均勻時混有些微黃色。	確認有 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , 可能含有 C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
取同上述處理之樣本滴入裝有 0.01M Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3(aq)</sub> 觀察溶液之顏色變化, 並與加入 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 之單寧酸亞鐵溶液比色。			試液由黃色轉成深橘黃色, 與加入 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 之變化相同(照片 6)	試液由黃色轉成深橘黃色, 與加入 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 之變化相同(照片 6)	生成 Fe(SO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> <sup>3-</sup>
酸化後滴入 0.005M KMnO <sub>4</sub>			紫紅色迅速消失 (照片 8)	紫紅色迅速消失 (照片 8)	溶液有還原力較強
將電解液靜置一天後酸化後滴入 0.005M KMnO <sub>4</sub>			紫紅色消失, 但常溫需時約數分鐘(照片 8)	紫紅色消失, 但常溫需時約數分鐘(照片 8)	溶液有還原力, 還原力較弱與 C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 之特性相同
 <p>照片 9</p>		 <p>照片 10</p>		 <p>照片 11</p>	
1、Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3(aq)</sub> 2、Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3(aq)</sub> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 3、Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3(aq)</sub> + SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 4、Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3(aq)</sub> + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 電解樣品		1、單寧酸亞鐵 2、單寧酸亞鐵 + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 3、單寧酸亞鐵 + SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 4、單寧酸亞鐵 + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 電解樣品		1、單寧酸亞鐵 2、單寧酸亞鐵 + C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 3、單寧酸亞鐵 + NaOH 電解樣品	

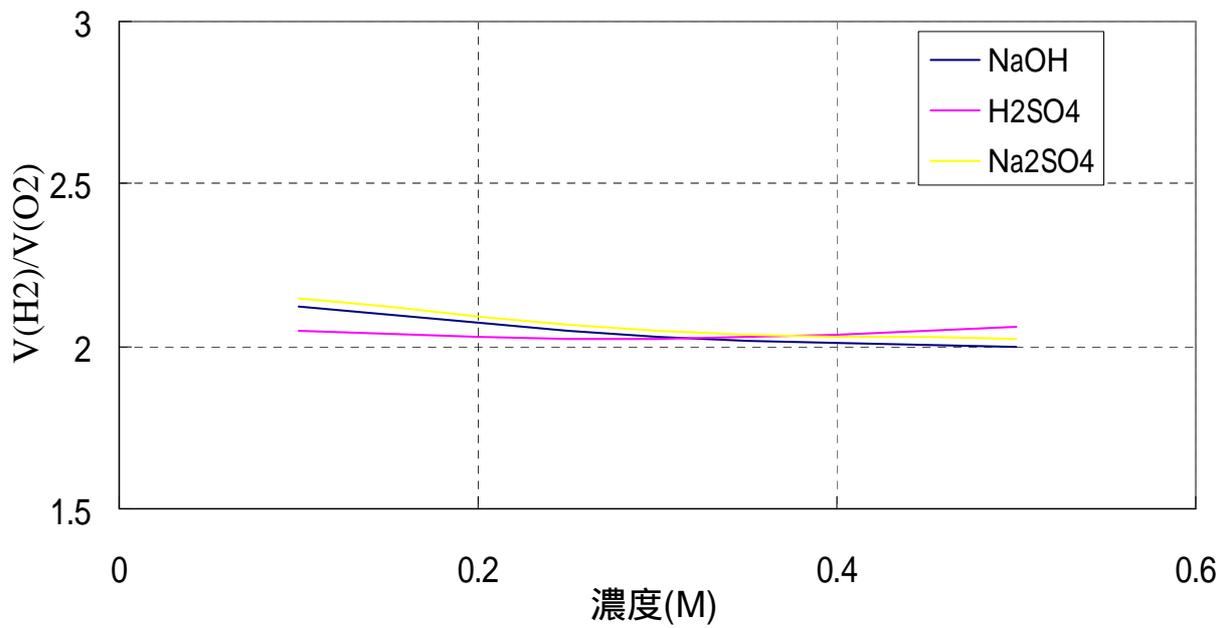
表[13]:樣品分析( III ) :

檢驗項目		分析樣本	0.1M Na <sub>2</sub> SO <sub>4(aq)</sub> 4V 電解 4hrs	0.1M Na <sub>2</sub> SO <sub>4(aq)</sub> 12V 電解 2hrs	推論 (依產物性質及 原子不滅)
陰極氣體檢驗			可燃產生爆鳴聲	可燃產生爆鳴聲	生成 H <sub>2</sub>
陽極氣體測試			(1)無法使餘燼復燃但仍可助燃。 (2)使澄清石灰呈白色混濁，通入過量則白色沉澱消失。	(1)無法使餘燼復燃但仍可助燃。 (2)使澄清石灰呈白色混濁，通入過量則白色沉澱消失。	陽極氣體產物混為 O <sub>2</sub> 和 CO <sub>2</sub> 。
PH 測試	電解前		7.34	7.34	電解過程產物水溶液呈酸性
	電解後		6.61	6.54	
電解液金屬離子測試			無沈澱	無沈澱	氧氣產生之異常非因電極金屬污染所造成
加入過量的 0.25M Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2(aq)</sub> ，傾出濾液緩緩以 NaOH <sub>(aq)</sub> 調 PH 7，觀察沈澱生成情形			明顯白色沈澱生成	明顯白色沈澱生成	溶液中可能含有 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 、C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
上述白色沈澱加入 0.5M HCl <sub>(aq)</sub>			部分沈澱溶解但無明顯氣泡生成	部分沈澱溶解但無明顯氣泡生成	可能含 C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 但無 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
取移去 Ba <sup>2+</sup> 離子及 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 之接近中性之濾液滴入裝有 0.01M 單寧酸亞鐵溶液 (藍墨汁) 之試管中，觀察溶液之顏色變化，並與加入 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 單寧酸亞鐵溶液比色。			由藍色轉成藍紫色，與加入 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 之變化相同(照片 7)，試管溶液不均勻時混有些微黃色。	由藍色轉成藍紫色與加入 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 之變化相同(照片 7)，試管溶液不均勻時混有些微黃色。	確認有 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ，可能含有 C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
取同上述處理之樣本滴入裝有 0.01M Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3(aq)</sub> 觀察溶液之顏色變化，並與加入 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 及 C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 之單寧酸亞鐵溶液比色。			試液由黃色轉成深橘黃色，與加入 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 之變化相同(照片 6)	試液由黃色轉成深橘黃色，與加入 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 之變化相同(照片 6)	生成 Fe (SO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> <sup>3-</sup>
將電解液酸化後滴入 0.005M KMnO <sub>4</sub>			紫紅色迅速消失 (照片 8)	紫紅色迅速消失 (照片 8)	溶液有還原力較強，有 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 的特性
將電解液靜置一天後酸化後滴入 0.005M KMnO <sub>4</sub>			紫紅色消失，但常溫需時約數分鐘(照片 8)	紫紅色消失，但常溫需時約數分鐘(照片 8)	溶液有還原力，還原力較弱與 C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 之特性相同
 <p>照片 12</p>		 <p>照片 13</p>		 <p>照片 14</p>	
1、Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3(aq)</sub> 2、Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3(aq)</sub> + C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 3、Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3(aq)</sub> + NaOH 電解樣品		電解 05M Na <sub>2</sub> SO <sub>4(aq)</sub> 2hrs 後之電池 石墨電極		電解 05M Na <sub>2</sub> SO <sub>4(aq)</sub> 1hrs 後之電解溶液	

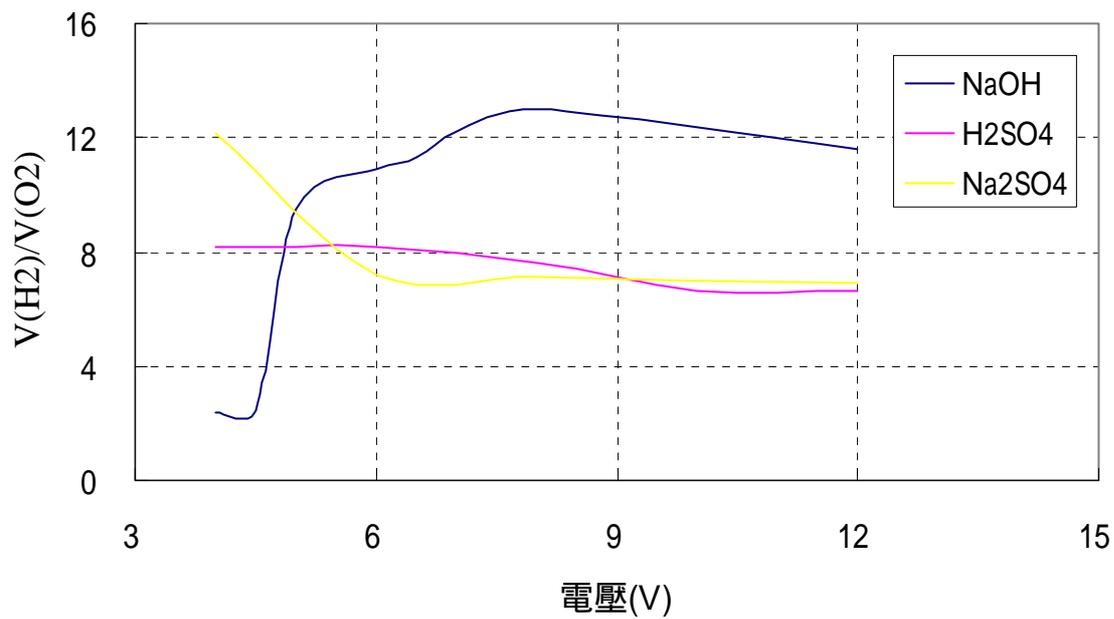
圖[1]:以Au電極電解定濃度(0.5M)溶液電想壓之影響



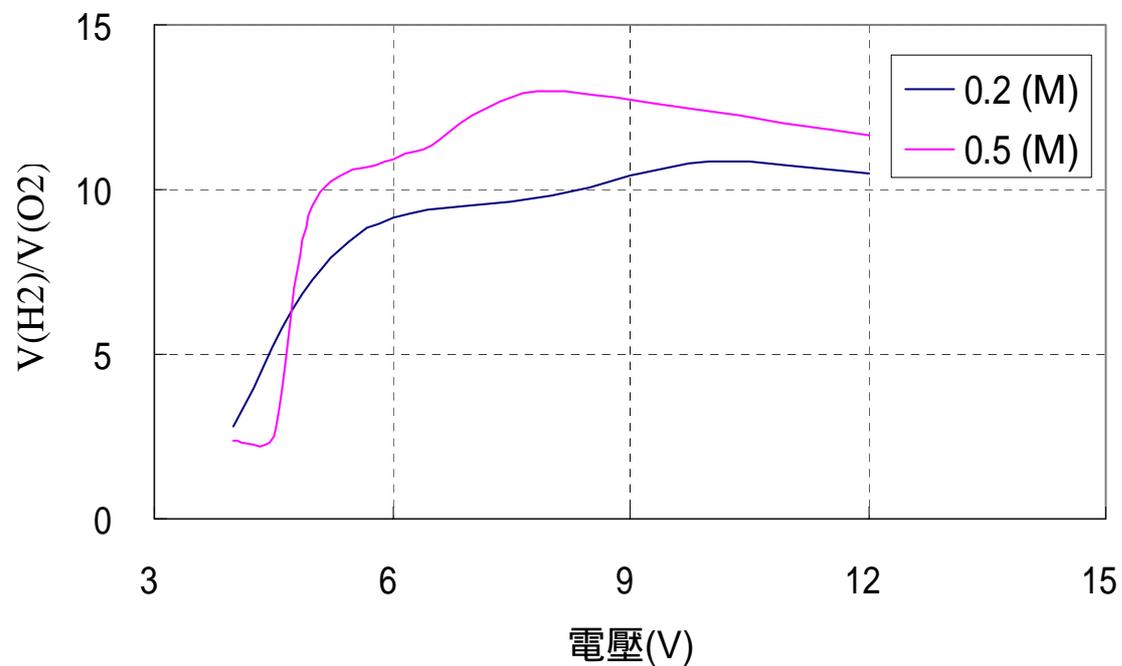
圖[2]:以Au電極定電壓(12V)電解溶液濃度的影響



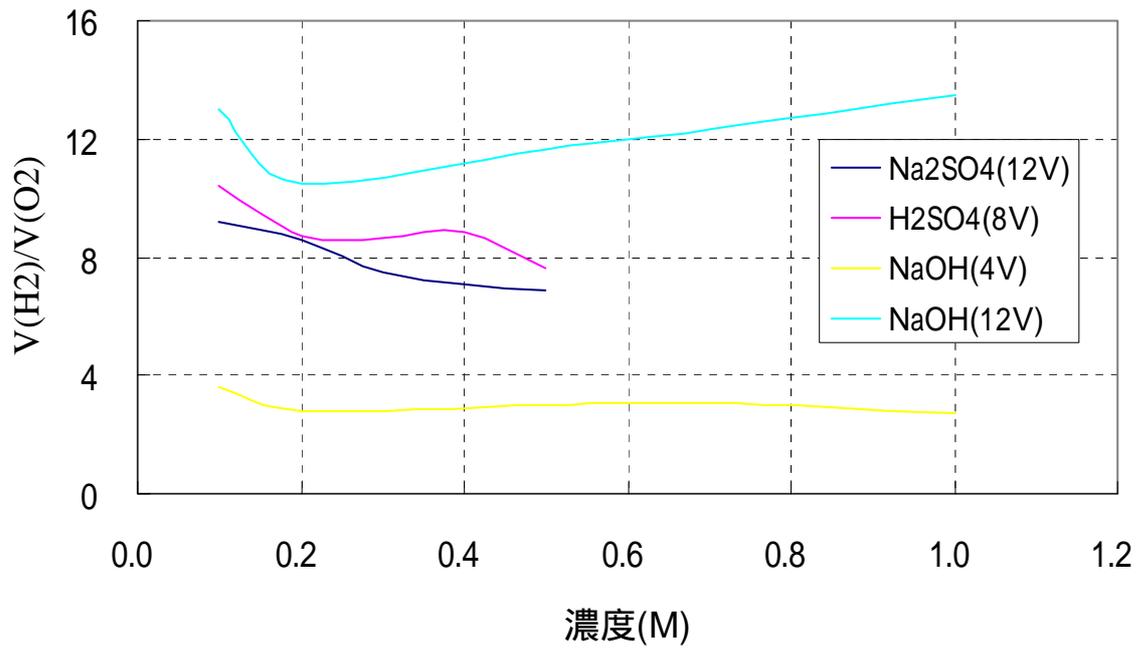
圖[3]:電池石墨電極電解濃度(0.5M)溶液,電壓之影響



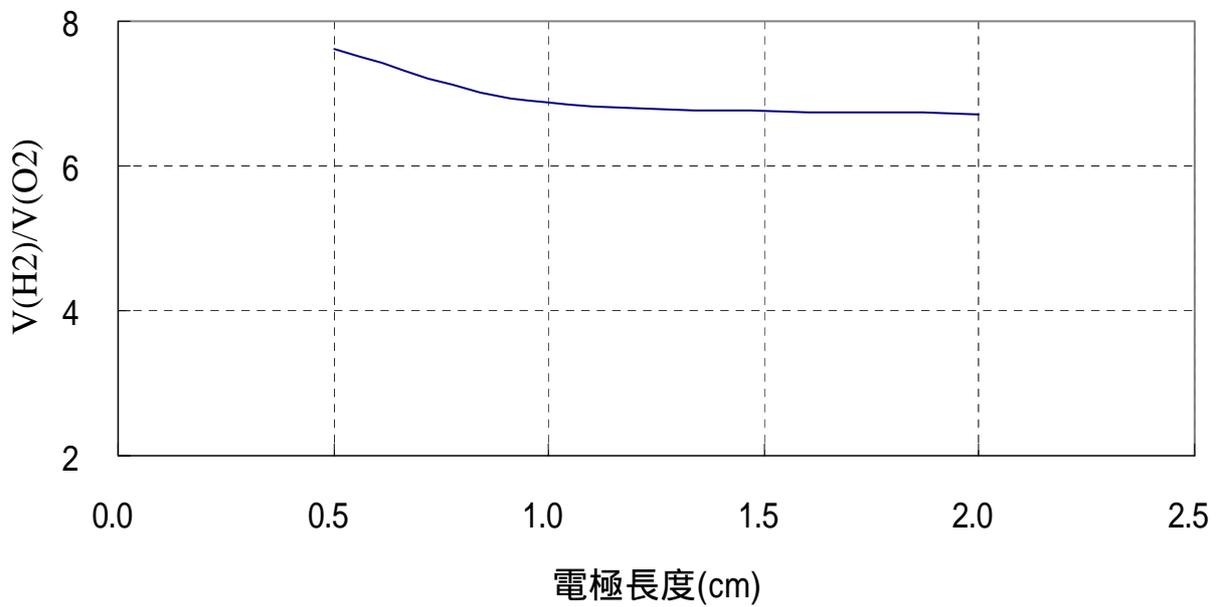
圖[4]:以電池石墨電解NaOH溶液,電壓之影響



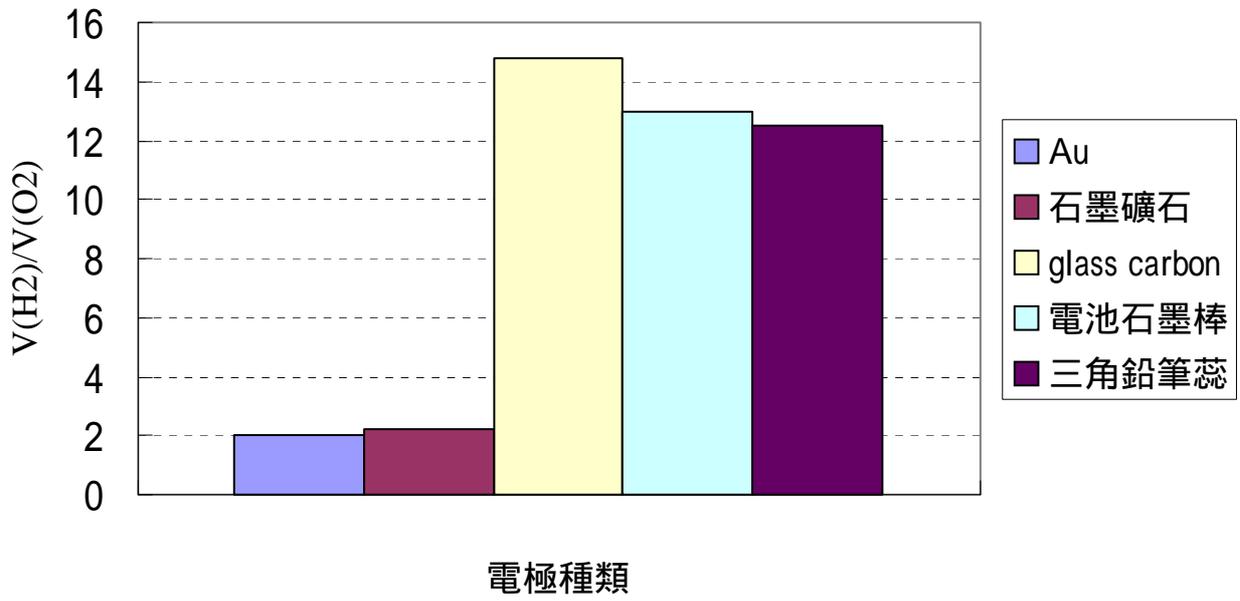
圖[5]:以電池石墨電極定壓電解溶液,濃度之影響



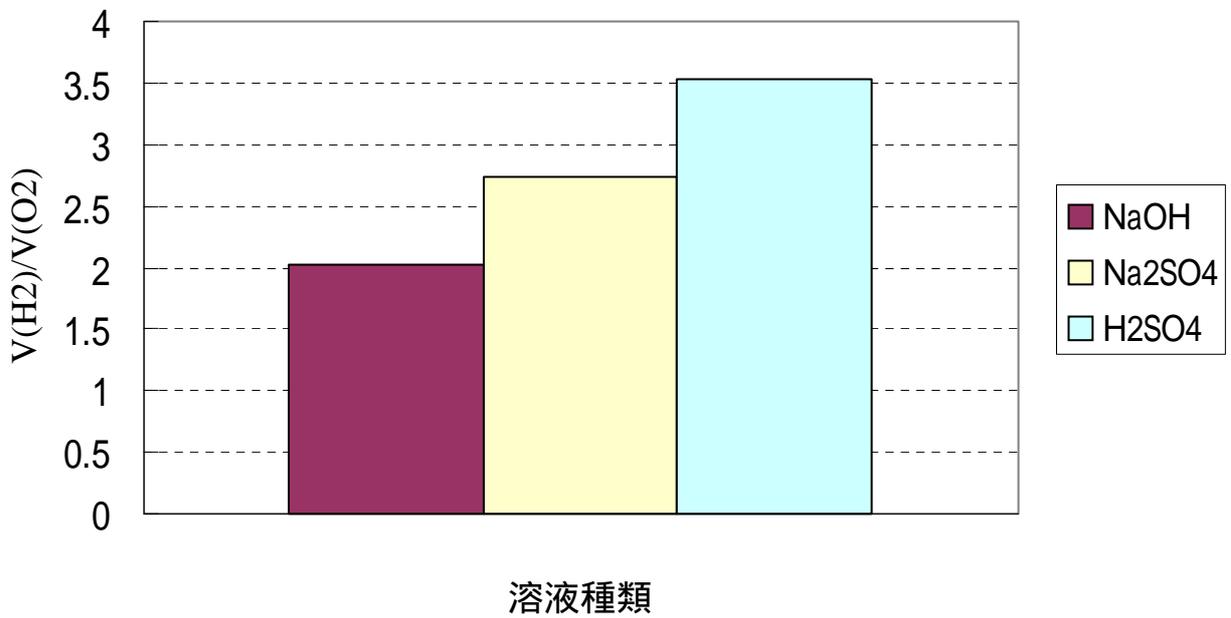
圖[6]:以電池石墨電極電解H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(0.5M,8V),電極長度之影響



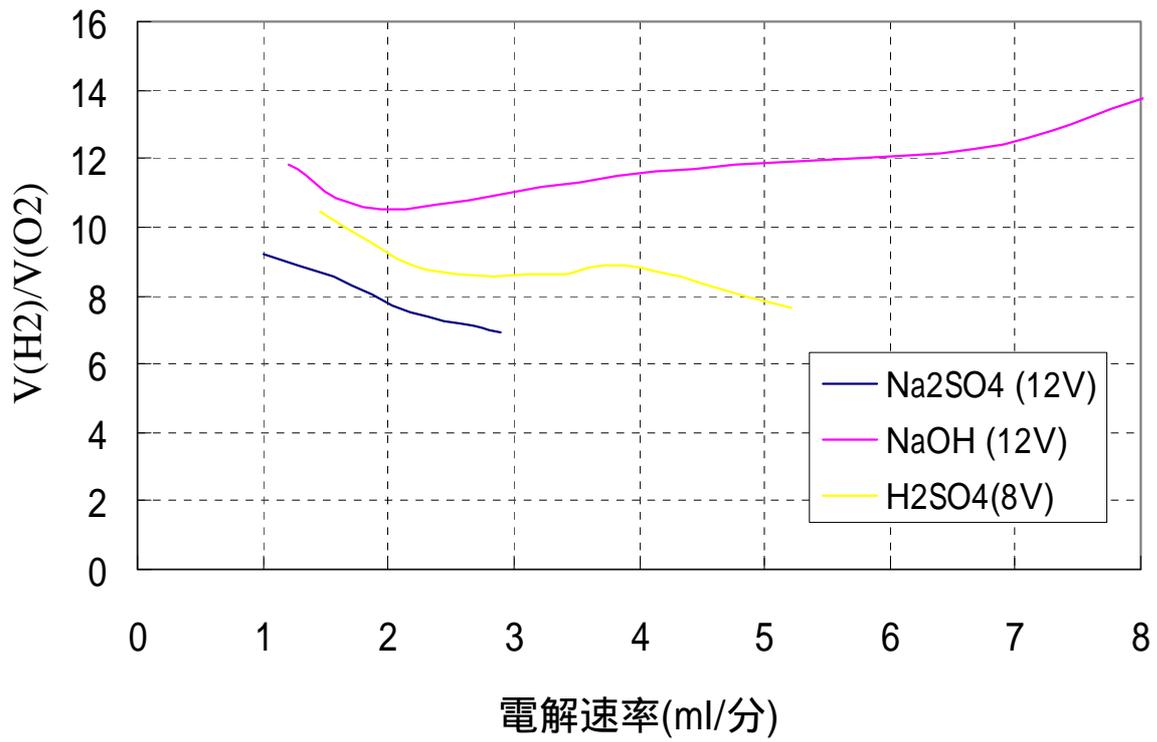
圖[7]:電解NaOH(0.5M,8V),電極種類之影響



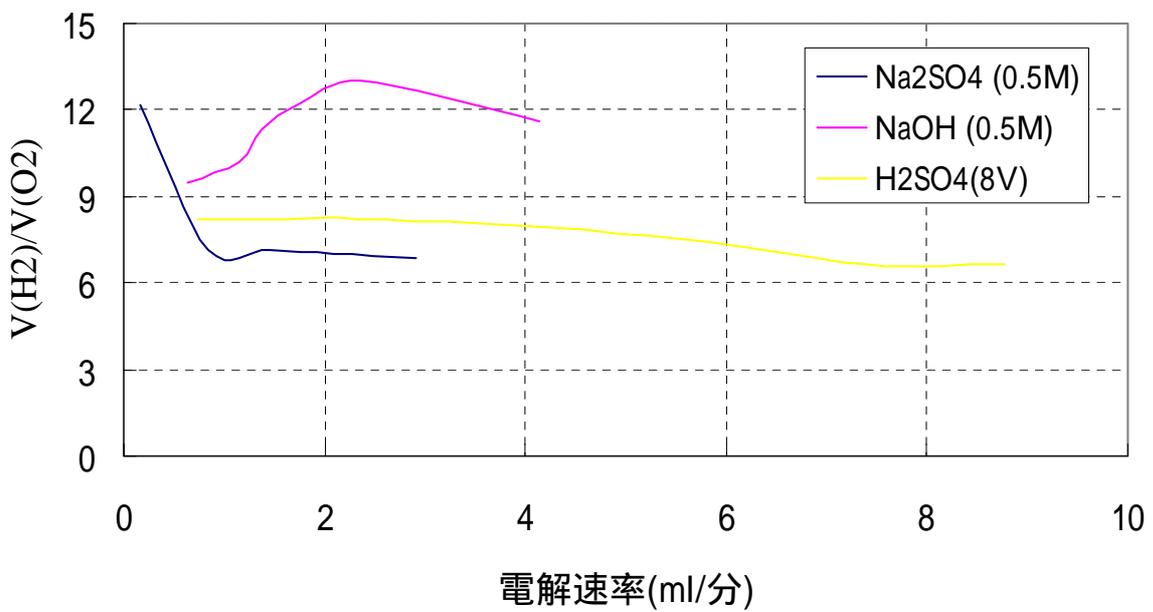
圖[8]:以石墨礦石電極電解不同溶液之影響



圖[9]:電池石墨電極電解溶液,濃度速率之影響



圖[10]:電池石墨電極電解溶液,電壓速率之影響



## 柒、討論：

- 一、由[表]1、圖[1]、圖[2]得知，於常溫下，使用 Au 電極對  $\text{Na}_2\text{SO}_{4(aq)}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_{4(aq)}$ 、 $\text{NaOH}_{(aq)}$ (0.1M 0.5 M)以 4V 12V 之電壓電解之，所得的氫氣和氧氣之體積比均接近 2 : 1 之結果，些微之誤差來自電解後陽極產生之微量之副反應產生暗紅色物質所致（如照片 15），此現象為可能為黃金電極中所含之微量 Cu 氧化所形成（如反應式[一]），當電解之時間增長或電壓增高則陽極表面之暗紅色物質顏色有加深之現象，此現象應為  $\text{Cu}_2\text{O}$  在氧化成黑色之  $\text{CuO}$  所導致（如反應式[二]）。



照片 15

- 二、由[表]3、[表]5、[表]7 和圖[3]、圖[4]得知：

- 1、使用電池石墨棒電極對  $\text{Na}_2\text{SO}_{4(aq)}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_{4(aq)}$ 以 4V 12V 之電壓電解，經測量得知氫氣和氧氣之體積比值高達 6.6 12.26，此結果顯示，此電解條件除了電解水外，在 4V 左右即能引發副反應，導致陽極產生之  $\text{O}_2$  體積減少。

- 2、由下列實驗結果：

- (1) 電解所得之氫氣和氧氣之體積比值，在定濃度下隨電壓升高而降低。
- (2) 陽極之電池石墨棒有明顯剝落之現象（如照片 16）。
- (3) 電解之陽極氣體產物中經檢驗除了氧氣之外上含可使澄清石灰水成白色混濁之氣體即  $\text{CO}_2$ （如照片 17）。

得知；在低電壓即可引發之電解副反應，導致陽極產生之  $\text{O}_2$  體積減少之因素確定有電極上的碳和溶液中的離子或陽極生成之  $\text{O}_2$  反應，故電壓愈高， $\text{O}_2$  生成速率越大，與電極接觸時間越短，或陽極上的  $\text{O}_2$  形成氣膜導致溶液和電極之接觸機會減少，故副反應發生比率減少，所以氫氣和氧氣之體積比值隨電壓升高而降低。。



照片 16



照片 17

3、此外由[表]5、和圖[3]、圖[4]之結果得知：

- (1) 電解  $\text{NaOH}_{\text{aq}}$  亦得相當高之氫氣和氧氣之體積比值，但此比值在電解電壓 4V 5V 有急增之現象，此情形顯示電解  $\text{NaOH}_{\text{aq}}$  在 4V 以下之電解不易啟動副反應，所得氫氣和氧氣之體積比值接近 3，而此副反應在較高之電壓生成（5V 以上），導致陽極產生之  $\text{O}_2$  體積銳減（氫氣和氧氣之體積比值在 9.5 13 之間）。
- (2) 由於電解氫氧化鈉陽極之副反應對電壓之需求較高，因此電壓引發副反應的效應較明顯，故僅在電壓高至一定程度時，才顯出電壓愈高，氣體生成速率越大，與電極接觸時間越短，副反應發生比率愈小之情形。

三、由[表]2、[表]4、[表]6 和圖[5]得知，定電壓電解  $\text{Na}_2\text{SO}_{4\text{aq}}$ 、 $\text{NaOH}_{\text{aq}}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{aq}}$  所得之氫氣和氧氣之體積比值均隨濃度之升高而降低，此與  $\text{O}_2$  和陽極碳之接觸時間有關，但數據顯示高電壓電解  $\text{NaOH}_{\text{aq}}$  高濃度也有高氫氣和氧氣之體積比值，依此結果推測電解  $\text{NaOH}_{\text{aq}}$  副反應之濃度效應較電解  $\text{Na}_2\text{SO}_{4\text{aq}}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{aq}}$  明顯。

四、二、三之情形亦可由圖[9]、圖[10]電解速率對氫氣和氧氣之體積比值關係圖得知。

五、由[表]8 和圖[6]顯示，定電壓和濃度電解  $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{aq}}$  電極面積愈大（電解速率愈大），氫氣和氧氣之體積比值愈小，此結果再次顯示部分副反應由陽極上的碳和  $\text{O}_2$  或溶液之接觸所產生。

六、由[表]9、[表]10 和圖[7]、圖[8]得知，含較完整石墨結晶之石墨礦石電極電解各溶液均有較低之氫氣和氧氣之體積比值（2 3.5），此證據顯示電極上參與反應之碳為不為整結晶之活性碳。

七、由[表]11 之樣本分析結果及討論二得知，電解  $\text{NaOH}_{\text{aq}}$ ；

1、較低電壓之電解（4V 以下）：

產物分析結果	歸納生成之反應
(1) 陰極有 $\text{H}_2$ 生成。	陰 極： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ （主要反應）
(2) 陽極微量的碳剝落。	
(3) 陽極氣體有助燃性。	陽 極： $2\text{OH}^- \rightarrow 1/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ （主要反應）
(4) 氫氣和氧氣之體積比值接近 3。	
(5) 水溶液含 $\text{CO}_3^{2-}$ 。	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
(6) 水溶液之 PH 值下降。	水溶液：
(7) 水溶液無 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 之反應。	$\text{CO}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
(8) 水溶液無還原力。	

2、較高電壓之電解 (5V 12V):

產物分析結果	歸納生成之反應
(1) 陰極有 H <sub>2</sub> 生成。 (2) 陽極大量的碳剝落。 (3) 陽極氣體有助燃性。 (4) 氫氣和氧氣之體積比值 8 13。 (5) 水溶液含大量 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 。 (6) 水溶液之 PH 值下降。 (7) 水溶液含 C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 之反應。 (8) 水溶液有弱還原力。	陰 極： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ (主要反應) 陽 極： $\text{C} + 6\text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ (主要反應) $2\text{C} + 8\text{OH}^- \rightarrow \text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 6\text{e}^-$ (次要反應) $2\text{OH}^- \rightarrow 1/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ 水溶液： $\text{CO}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

八、由[表]12 之樣本分析結果及討論二得知，電解 Na<sub>2</sub>SO<sub>4(aq)</sub>；

產物分析結果	歸納生成之反應
(1) 陰極有 H <sub>2</sub> 生成。 (2) 陽極明顯的碳剝落。 (3) 陽極氣體助燃性不高。 (4) 氫氣和氧氣之體積比值接 近 9。 (5) 水溶液無明顯 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 反應。 (6) 水溶液之 PH 值微量下降。 (7) 水溶液含 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 之反應。 (8) 水溶液具強還原力。 (9) 水溶液靜置一天後仍有弱還原 力。	陰 極： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ (主要反應) 陽 極： $2\text{C} + \text{SO}_4^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_3^{2-} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 6\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ (主要反應) $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ 水溶液： $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

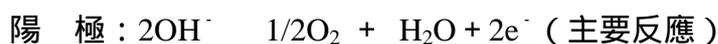
九、由[表]13 之樣本分析結果及討論二得知，電解 H<sub>2</sub>SO<sub>4(aq)</sub>；

產物分析結果	歸納生成之反應
(1) 陰極有 H <sub>2</sub> 生成。 (2) 陽極明顯的碳剝落。 (3) 陽極氣體助燃性不高。 (4) 氫氣和氧氣之體積比值接 近 9。 (5) 水溶液無明顯 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 反應。 (6) 水溶液之 PH 值微量下降。 (7) 水溶液含 SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 之反應。 (8) 水溶液具強還原力。 (9) 水溶液靜置一天後仍有弱還原 力。	陰 極： $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ (主要反應) 陽 極： $2\text{C} + \text{SO}_4^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_3^{2-} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 6\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ (主要反應) $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ 水溶液： $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

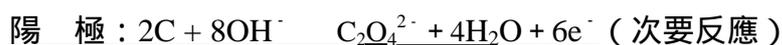
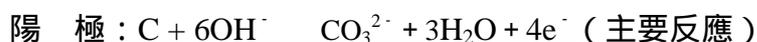
## 捌、結論：

- 一、以黃金為電極電解  $\text{NaOH}_{\text{aq}}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_{4\text{aq}}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{aq}}$ ，在本研究之濃度和電壓電流範圍內均能得到  $\text{H}_2$  和  $\text{O}_2$  體積比值接近 2:1 之情形，且以含較少不完整結晶碳之石墨礦石電極電解上述溶液亦能得到  $\text{H}_2$  和  $\text{O}_2$  體積比值接近 2:1 之情形(約在 2 ~ 3.5 之間)。
- 二、由不同種類電極之電解結果歸納得知，電極棒之未完整結晶的碳在電壓之驅動下，可與溶液產生反應而導致電解水之反應發生異常。
- 三、由實驗結果得知，含不完整結晶碳之石墨電極電解含  $\text{SO}_4^{2-}$  在較低之電壓下 (4V 以下) 即可啟動明顯副反應取代原電解水之陽極反應，而對於  $\text{OH}^-$  存在的環境中則需較高之電壓下 (4.5V 以上) 方能啟動明顯副反應取代原電解水之陽極反應。
- 四、由此研究之結果和產物分析得知，電解下列溶液在電極含未完整結晶的碳存在下其主要的陰陽極反應如下：

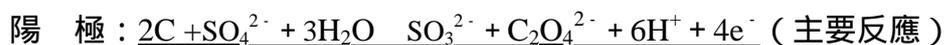
(一) 以較低電壓 (4V 以下) 電解  $\text{NaOH}_{\text{aq}}$ ：



(二) 以較高電壓 (5V ~ 12V) 電解  $\text{NaOH}_{\text{aq}}$ ：



(三) 以 4V ~ 12V 之電壓電解  $\text{Na}_2\text{SO}_{4\text{aq}}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{aq}}$ ：



- 五、於實驗室以電池石墨棒為電極電解水，欲得到氫氣和氧氣之體積比值接近 2:1 之結果，以  $\text{NaOH}_{\text{aq}}$  為溶質是較好選擇且須將電壓控制在 4V 左右。

## 玖、參考資料及其他：

### 一、未來展望：

由本次研究我們意外之發現電池石墨棒電解水之不理想情形，深入研究才發現電化學領域的多變複雜和有趣，相信除了已經研究的現象外應有更多更細微的新事物藏身其中，等待我們去發現探討。

### 二、參考資料：

- (一) 張文彬、陳錦瑞，定性分析，正文書局，87年9月版。
- (二) 方金祥，微型化學實驗之設計與製作，高雄復文圖書出版社，2000年3月。
- (三) 曾國輝，氧化還原反應，建宏出版社，91年2月版。

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
評 語

---

高中組 化學科

佳作

040201

發現氧氣的消失

臺南縣私立興國高級中學

評語：

能簡易方法發現以石墨棒為電極電解水的副產物並作分析，實驗細心，態度良好，能再做定量分析會更好。