

# 台灣二〇〇二年國際科學展覽會

科 別：化學科

作品名稱：FeSO<sub>4</sub> 催化雙氧水製造氧氣之研究

得獎獎項：化學科佳作

學 校：國立沙鹿高級工業職業學校

作 者：林莉雯 翁麗雯

## 摘 要

1894 年 H.J.H Fenton 首先發現亞鐵離子催化過氧化氫具有強氧化力，故將其稱為”Fenton reagent”。在本研究裡將對 Fenton reagent 做一深入探討，探討在不同 pH 值溶液、不同  $\text{Fe}^{2+}$  濃度比下產生氧氣的效能，並且間接也印證了  $\text{HO}\cdot$  自由基在 Fenton reaction 製氧過程中的重要性。

亞鐵離子在 Fenton reaction，並非單純只當催化劑。當 pH 值 = 3.0、4.0、5.0 時，過氧化氫與硫酸亞鐵濃度比為 1 : 0.25、1 : 0.5、1 : 1 時，當  $\text{FeSO}_4$  濃度增大時，氧氣產量依序增加。依反應機構解釋，可確定亞鐵離子為 Fenton reaction 反應速率之重要因子。但，當 pH 較高且硫酸亞鐵濃度為過氧化氫兩倍時，反而抑制氧氣的產量。且若當條件為 pH= 5 且過氧化氫與硫酸亞鐵濃度比為 1:1 時，氧氣生成平衡體積最接近最大體積，可證實過氧化氫在短時反應最完全。由結論中幾個論點可歸納出，當實驗條件為 pH= 5 且過氧化氫與硫酸亞鐵濃度比為 1:1 時，氧氣的收集會有最好的效果。

## Abstract

In 1894, H. J. Fenton first found that the ferrous iron can catalyze hydrogen peroxide with the strong oxidizing ability; so we called "Fenton's Reagent". This discovery will make a further research to explore the efficiency of the production of oxygen that under a series of different pH values, and different proportions of  $\text{Fe}^{2+}$  concentration. This experiment indirectly proves that the free radical of hydroxyl ion as a important role to produce oxygen in the Fenton reaction.

In the Fenton reaction, the ferrous iron is not simply utilized as the catalyst. While the pH value is 3、4 and 5, and the proportion of hydrogen peroxide to ferrous sulfate is 1:0.25, 1:0.5, and 1:1, when the concentration of ferrous sulfate increases, the volume of the oxygen produced will increase simultaneously. According to the reaction mechanism, we affirm that the ferrous iron is a significant

factor in the Fenton reaction rate. But, if the pH value is higher, and the concentration of ferrous sulfate is the double of hydrogen peroxide, the volume of oxygen is refrained reversely. And as the pH value is 5, and the proportion of hydrogen peroxide to ferrous sulfate is 1:1, the equilibrium volume of the oxygen produced will approach the maximum, which proves that hydrogen\_peroxide can completely react in a short time. According to the conclusion, we conducted that as the pH value is 5, and the proportion of hydrogen peroxide to ferrous sulfate is 1:1, which is the optimum condition of the oxygen preparation.

## 一、 研究動機：

高一化學實驗課曾製備氧氣，氧氣的製造只是單純由二氧化錳催化過氧化氫得來。但，只有二氧化錳才可用來催化過氧化氫分解出氧氣嗎？吾等甚感興趣。翻閱相關書籍，仿間有許多詳細探討製氧催化劑的文獻。但，對於有名的費頓試劑( Fenton reagent )-----過氧化氫 + 低濃度亞鐵離子，進行一連鎖的自由基反應機制，書中並未提及過氧化氫與亞鐵離子濃度比例及 pH 大小是否對氧氣生成的體積有影響。查詢資料的過程，發現費頓試劑( Fenton reagent )大多應用於難以分解的有機物資、有毒物資、染料廢水之處理上，並且受到學術與工業上的矚目。此引起我們研究興趣，經由兩年的醞釀，故今設計此實驗探討之。

## 二、 研究目的：

- 1、探討在不同 pH 值溶液下，對特定  $\text{Fe}^{2+}$  濃度比催化過氧化氫產生氧氣體積之影響。
- 2、探討不同  $\text{Fe}^{2+}$  濃度比，在一定 pH 值下催化過氧化氫產生氧氣體積之影響。
- 3、間接印證  $\text{HO} \cdot$  在 Fenton reaction 製氧過程中的重要性。

### 三、 研究設備與器材：

#### A、器材：

恆溫槽（電熱式） ×1

【調整 30±0.1℃】

鐵架、鐵環 ×1

蝴蝶夾 ×1

側管錐形瓶 數個

滴定管 (50mL) × 3

水準瓶 × 1

吸量管 (1mL) ×2

(5mL) ×2

(10mL) × 2

橡皮吸球 ×4

容量瓶 (100mL) ×8

(500mL) ×1

(1000mL) ×3

滴管 ×4

量筒 (25mL) ×1

(10mL) ×2

燒杯 (100mL) ×2

漏斗 ×2

橡皮管

量氣管

血清塞 數個

玻棒 數個

溫度計 數個

針筒 數個

#### B、藥品

30% 過氧化氫

硫酸亞鐵

硫酸 18M

KMnO<sub>4</sub>

石臘膜 數個

Na<sub>2</sub>(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)

NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

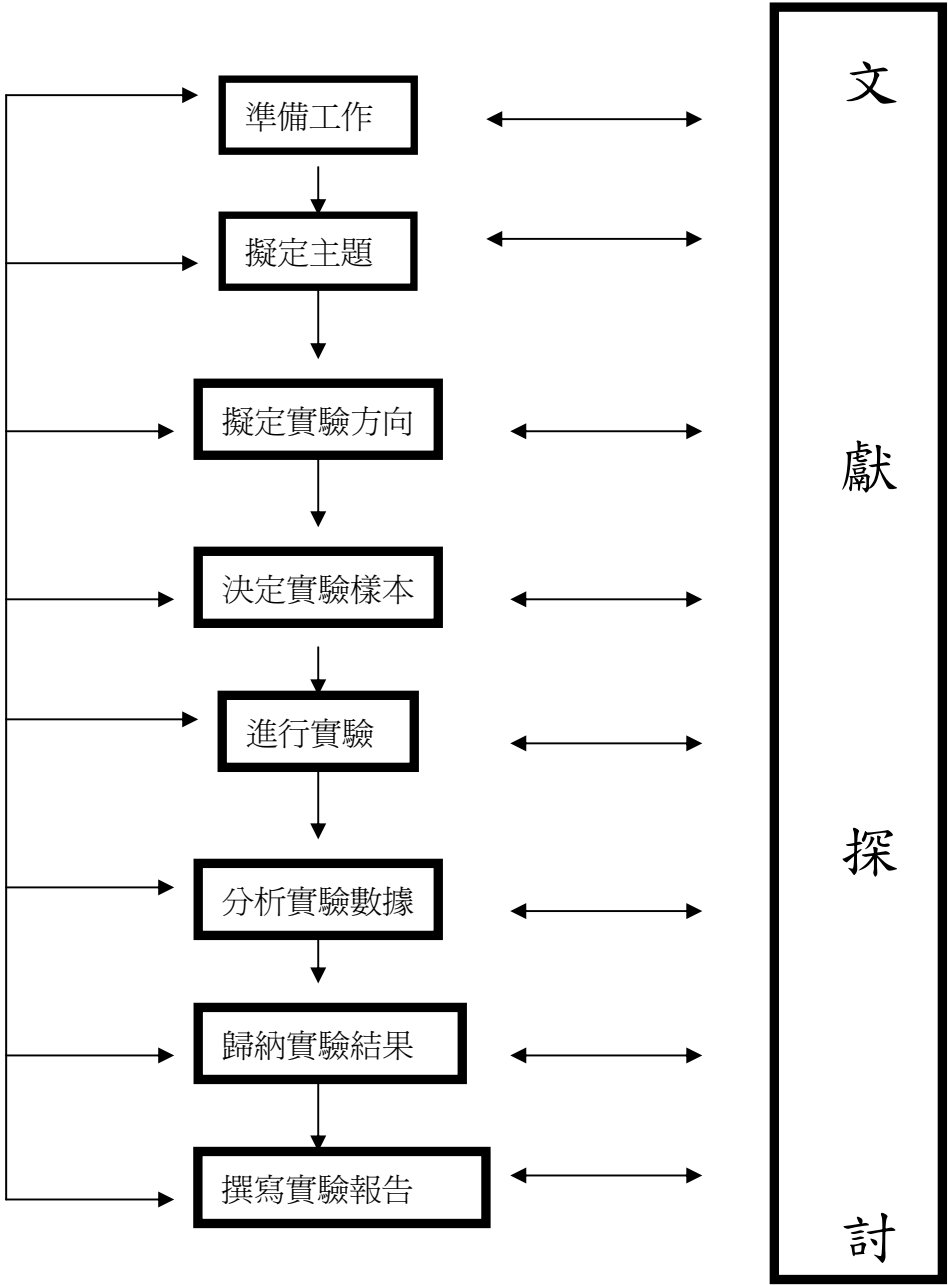
NaOH

#### C、儀器

pH 計

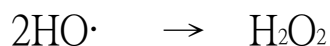
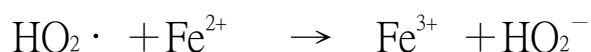
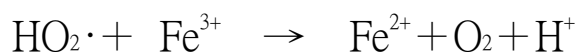
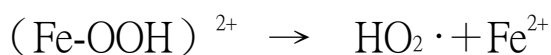
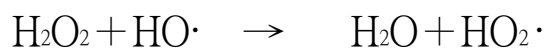
四、 研究過程：

◎ 實驗步驟流程圖





◎ 實驗原理：費頓試劑( Fenton reaction )的反應機制



費頓試劑的反應首先由亞鐵離子和過氧化氫作用產生氫氧自由基，氫氧自由基在和過氧化氫作用產生  $\text{HO}_2\cdot$  自由基，其可把鐵離子還原成亞鐵離子，亞鐵離子便可繼續和過氧化氫作用而成爲一連鎖反應，反應便可一直進行，直至過氧化氫消耗完全時，反應才告終止。

## (一)、標定過氧化氫水溶液：

因市販的過氧化氫水溶液，常含有機安定劑如乙醯苯銨，所以需經蒸餾後再用適量的水稀釋。又常工業用的 30% $\text{H}_2\text{O}_2$  含有如硫酸等無機安定劑，故需經減壓(50~100 mm Hg)蒸餾純化。因餾出液尚含有殘餘的硫酸安定劑，故需慢慢加入氫氧化鋇溶液產生硫酸沉澱。用濾紙濾出沉澱後，再經減壓蒸餾取中間餾出液，用適量的水稀釋，則可供本實驗試樣。

配製過氧化氫水溶液：取 10mL 試藥級過氧化氫配成 100mL 水溶液，並標定出其體積莫耳濃度。

### 1、先以草酸鈉標定過錳酸鉀

- ①、將草酸鈉以 110°C 乾燥。
- ②、精稱 0.2 g 草酸鈉三份，分別置於 250mL 的錐形瓶中。
- ③、加入 50mL 1M 硫酸溶解之。
- ④、加熱至 60°C -90°C，以過錳酸鉀滴定至微粉紅色，保持 30 秒不褪色，即達滴定終點。
- ⑤、以硫酸做空白實驗。
- ⑥、計算過錳酸鉀的莫耳濃度。

## 2、再以過錳酸鉀標定過氧化氫

- ①、在量取已配好過氧化氫溶液 3mL 於錐形瓶中，加 50mL 1M 硫酸混合之。
- ②、已標定過之 0.04M 過錳酸鉀標準溶液滴定至粉紅色，持續維持 30 秒不褪色，即達滴定終點。
- ③、取 3mL 的水及 50mL 1M 硫酸做空白實驗。
- ④、計算出配製之過氧化氫的體積莫耳濃度。

## (二)、過氧化氫的配製：

由標定過之 1.14M 過氧化氫溶液中取 5.00mL 稀釋成 500mL 後得到 0.0114M 之過氧化氫溶液。

## (三)、pH 值的控制 (緩衝溶液的配製)

- 1、取  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  59.8 克配成水溶液 1000mL 0.5M 後，用 0.1M 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  滴定調製，此時，同步使用 pH 計直到  $\text{pH} = 3.0$

時停止。

2、取  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  溶於  $\text{H}_2\text{O}$  中配置成 0.5M 後，用 0.1M 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (aq) 滴定調製，同步使用 pH 計直到 pH =4.0 時停止。

3、取  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  溶於  $\text{H}_2\text{O}$  中配置成 0.5M 後，用 0.1M 的  $\text{NaOH}$ (aq) 滴定調製，同步使用 pH 計直到 pH =5.0 時停止。

#### (四)、硫酸亞鐵溶液的配製：

取 0.693g 硫酸亞鐵配成 100.00mL 水溶液，得到  $[\text{FeSO}_4]=0.02280\text{M}$

取 50mL 的 0.0228M 硫酸亞鐵配成 100.00mL 水溶液，得 0.01140M

取 50mL 的 0.0114M 硫酸亞鐵配成 100.00mL 水溶液，得 0.00570M

取 50mL 的 0.0057M 硫酸亞鐵配成 100.00mL 水溶液，得 0.00285M

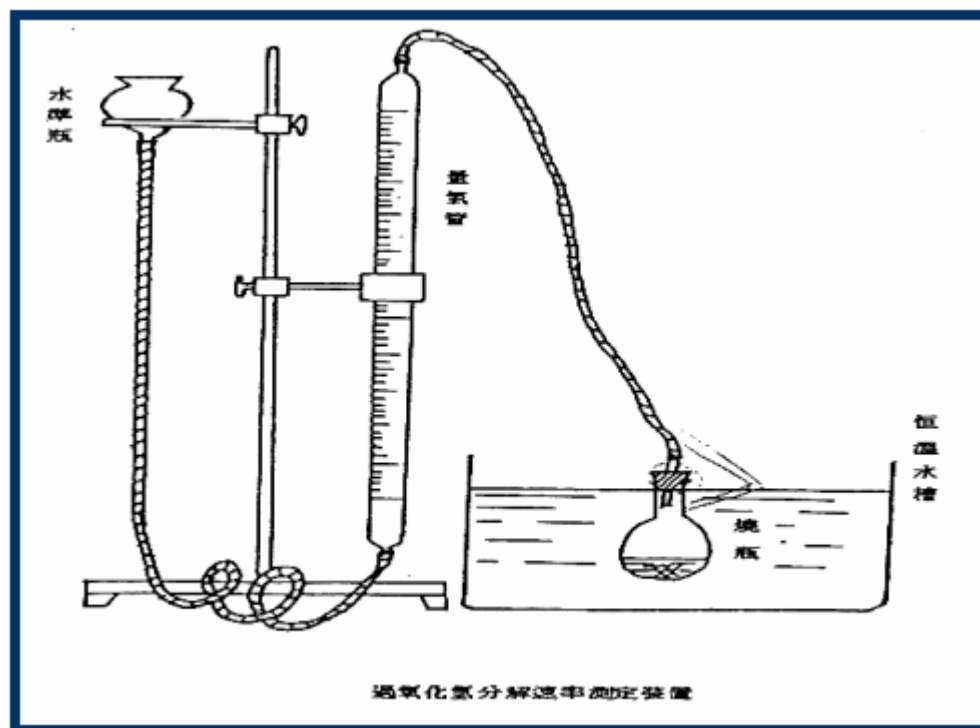
### (五)、硫酸亞鐵與過氧化氫的分解反應：

1、 過氧化氫濃度：硫酸亞鐵濃度=1：1，在  
pH=3.0、4.0、5.0 下的反應。

①、恆溫槽控制溫度為 30℃。

②、側管錐形瓶、量氣管、水準瓶以硬質橡皮管連接如下圖所示，並將側管錐形瓶近於恆溫槽中。

③、經由水瓶口注入適量的水，使量氣管注滿水至最上



方的刻度。上下移動水準瓶，觀察裝置是否有漏氣現象，以石臘膜封緊。

④、裝置妥當後，注意使水準瓶內水面與量氣管上方刻度的滿水位置等高。

- ⑤、取 0.0114M 的過氧化氫 10.0mL 及 pH =3 的緩衝溶液 10mL 倒入側管錐形瓶內，並用血清塞塞住，及用石臘膜封起來。將側管錐形瓶與量氣管連接後放回恆溫水槽中，使保持溫度平衡。此時過氧化氫尚未分解，量氣管及水準瓶的水平應保持等高，與③所述情形相同。
- ⑥、將側管錐形瓶移離恆溫水槽，各自以一注射針筒插入血清塞，迅速注入 10mL 0.0114M 硫酸亞鐵溶液。再將側管錐形瓶放回恆溫水槽內，並激烈震盪燒瓶內的溶液，同時繼續不停地擺動，使之充分混合均勻且反應。此時 pH 值 = 3.0。
- ⑦、觀察有氣體的產生，每隔 3 秒鐘記錄一次所逸出的氧氣體積  $V_t$ 。此時，也需隨時調整水準瓶內水面與量氣管的水面等高，直至氣體完全停止逸出達平衡為止。將側管錐形瓶取出，放入 62.9°C 熱水浴中，待至一段時間，見量氣管液面靜止不動，取出錐形瓶放置恆溫槽，待至量氣管液面靜止不動，記錄此時的生成體積  $V_\infty$ 。
- ⑧、以氣體生成體積對時間作圖。

⑨、pH=4.0 時，除了在⑥改取 pH =4 的緩衝溶液 10mL，其餘重複 1-8 步驟。

⑩、pH=5.0 時，除了步驟 6 改取 pH =5 的緩衝溶液 10mL，其餘重複①-⑧步驟。

2、過氧化氫濃度：硫酸亞鐵濃度=1：2，在 pH=3.0、4.0、5.0 下的反應。

除了步驟 1 的⑥的硫酸亞鐵改取 0.0228M 10mL，其餘重複步驟 1。

3、過氧化氫濃度：硫酸亞鐵濃度=2：1，在 pH=3.0、4.0、5.0 下的反應。

除了步驟 1 的⑥的硫酸亞鐵改取 0.0057M 10mL，其餘重複步驟 1。

4、過氧化氫濃度：硫酸亞鐵濃度=4：1，在 pH=3.0、4.0、5.0 下的反應。

除了步驟 1 的⑥的硫酸亞鐵改取 0.00285M 10mL，其餘重複步驟 1。

5、將步驟 1 至 4 所得的數據，取不同亞鐵離子濃度分別在 pH=3.0、4.0、5.0 下，以氧氣生成體積對時間作圖。

**【註】：**

$V_t$ ：爲反應開始  $t$  時間內，逸出氧氣的體積。需隨調整水準瓶內與量氣管的水面等高，直至氣體完全停止爲止。

$V_{\infty}$ ：由開始至反應終了，所逸出氧氣的總體積。



## 五、研究結果

### (一)、過錳酸鉀的標定：

稱取 $\text{Na}_2(\text{C}_2\text{O}_4)$ 的重量	0.2326 g	0.2412 g	0.2511 g
$\text{KMnO}_4$ 體積	17.35 mL	17.95 mL	18.50 mL
空白試驗	0.10 mL	0.10 mL	0.10 mL
真正 $\text{KMnO}_4$ 的用量	17.25 mL	17.85 mL	18.40 mL
$\text{KMnO}_4$ 的濃度	0.04 M	0.04 M	0.04 M

過錳酸鉀的平均濃度 = 0.04 M

(二)、過氧化氫的標定：

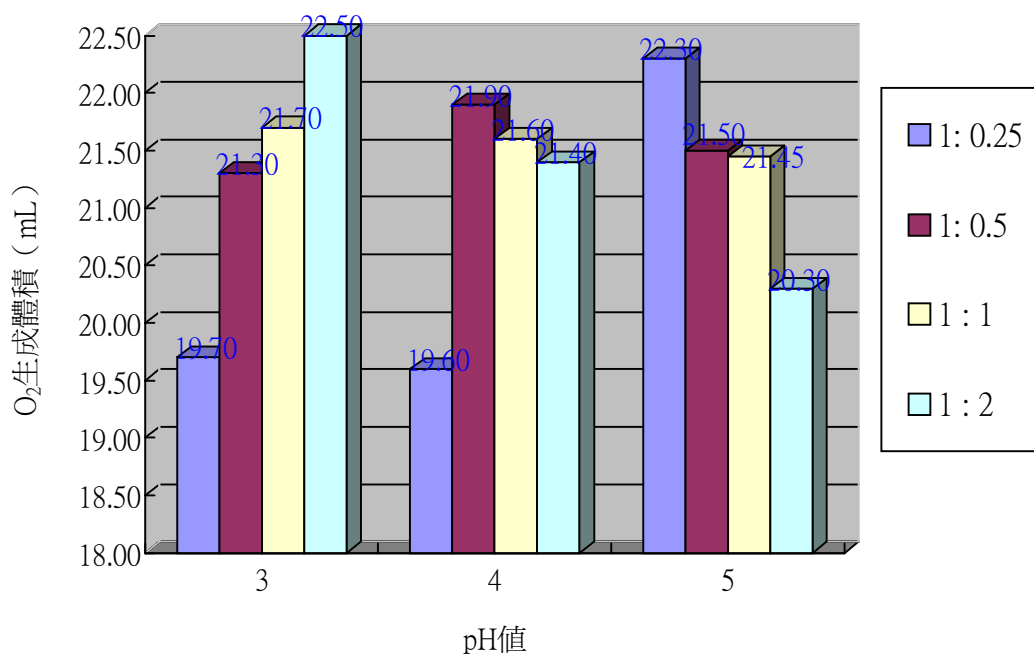
取 $\text{H}_2\text{O}_2$ 的體積	3.00mL	3.00mL	3.00mL
$\text{KMnO}_4$ 的體積	33.25mL	34.30mL	35.10mL
空白試驗	0.05mL	0.05mL	0.05mL
真正 $\text{KMnO}_4$ 的用量	33.20mL	34.25mL	34.95mL
$\text{H}_2\text{O}_2$ 的濃度	1.11M	1.14M	1.17M

$\text{H}_2\text{O}_2$  的平均濃度 = 1.14M

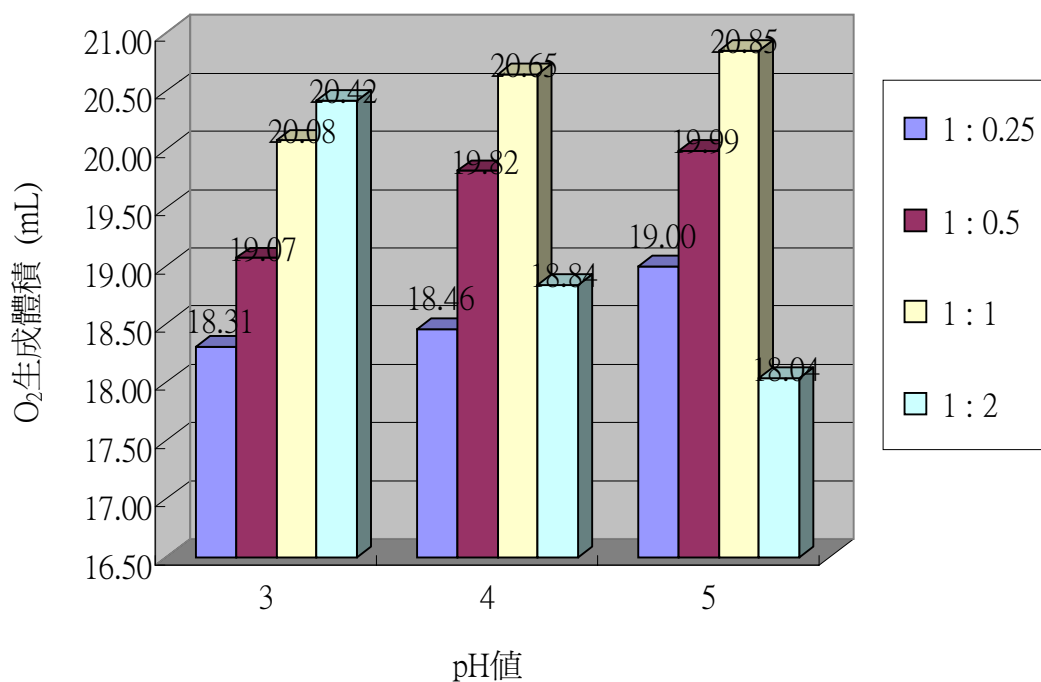
(三)、在不同 pH 值  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$  濃度比之下，所產生的氧氣  
平均體積

<div> <p>pH 值</p> <p><math>\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4</math></p> <p>濃度比</p> </div>		3	4	5
1 : 0.25	$V_{\infty}$ (mL)	19.70	19.60	22.30
	$V_{\text{平衡}}$ (mL)	18.31	18.46	19.00
	$V_{\infty} - V_{\text{平衡}}$	1.39	1.14	3.30
1 : 0.5	$V_{\infty}$ (mL)	21.30	21.90	21.50
	$V_{\text{平衡}}$ (mL)	19.07	19.82	19.99
	$V_{\infty} - V_{\text{平衡}}$	2.23	2.08	1.51
1 : 1	$V_{\infty}$ (mL)	21.70	21.60	21.45
	$V_{\text{平衡}}$ (mL)	20.08	20.65	20.85
	$V_{\infty} - V_{\text{平衡}}$	1.62	0.95	0.60
1 : 2	$V_{\infty}$ (mL)	22.50	21.40	20.30
	$V_{\text{平衡}}$ (mL)	20.42	18.84	18.04
	$V_{\infty} - V_{\text{平衡}}$	2.08	2.56	2.26

表一、氧氣平均體積之整理



圖一、 $O_2$ 在酸性 pH 值下產生的  $V_{\infty}$



圖二、 $O_2$ 在酸性 pH 值下產生的  $V_{平衡}$

## 六、討論

經選取五次再現性高的數據我們發現

### (一)、從平衡體積來看

1、由圖二若在不同 pH 值之下，過氧化氫與硫酸亞鐵的濃度比定量時，反應平衡時氧氣生成的體積有以下的趨勢：

①、濃度比 **【 $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{FeSO}_4 = 1 : 1$ 】**

平衡時氧氣體積：

$$\text{pH}=5 > \text{pH}=4 > \text{pH}=3$$

②、濃度比 **【 $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{FeSO}_4 = 1 : 0.5$ 】**

平衡時氧氣體積：

$$\text{pH}=5 > \text{pH}=4 > \text{pH}=3$$

③、濃度比 **【 $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{FeSO}_4 = 1 : 0.25$ 】**

平衡時氧氣體積：

$$\text{pH}=5 > \text{pH}=4 > \text{pH}=3$$

④、濃度比 **【 $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{FeSO}_4 = 1 : 2$ 】**

平衡時氧氣體積：

$$\text{pH}=3 > \text{pH}=4 > \text{pH}=5$$

(二)、由圖二若 pH 固定值，改變硫酸亞鐵濃度，發現有以下的趨勢：

1、當 pH=3

平衡時的氧氣體積隨  $\text{FeSO}_4$  濃度增加

而增加  $1:2 > 1:1 > 2:1 > 4:1$

2、當 pH=4

平衡時，氧氣體積隨  $\text{FeSO}_4$  濃度增加而增加；但，當

$\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4 = 1:2$  時，平衡的體積竟下降了。

3、當 pH=5

平衡時，氧氣體積變化隨  $\text{FeSO}_4$  濃度增加而增加；但，

當  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4 = 1:2$  時，平衡的體積竟下降了。

## 七、結論

- 1、 Fenton reaction 其反應過程牽扯到一連鎖的自由基反應。  
文獻記載 Fenton reaction 反應速率主要與  $\text{HO} \cdot$  有關，反應前幾分鐘， $\text{HO} \cdot$  會快速急遽的變化。我們由實驗數據發現，實驗三分鐘之內， $\text{O}_2$  會快速急遽的產生，因此間接地印證  $\text{HO} \cdot$  在 Fenton reaction 製氧過程中，扮演極為重要角色。

$\text{HO} \cdot$  氧化能力僅次於氟，可無選擇性地氧化分解有機物，不需龐大設備，操作簡單；且過氧化氫分解後生成水及氧氣也均不會對環境造成二次污染，此為最大優點。大多應用於難以分解的有機物資、有毒物資、染料廢水之處理上，並且受到學術與工業上的矚目。

- 2、  $\text{Fe}^{2+}$  在 Fenton reaction，並非單純只當催化劑。當 pH 值= 3.0、4.0、5.0 時，固定  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度，改變  $\text{FeSO}_4$  濃度，使比為 1 : 0.25、1 : 0.5、1 : 1，當  $\text{FeSO}_4$  濃度增大時，氧氣產量依序變大。

依反應機構解釋可知：





若當 $[\text{Fe}^{2+}]$ 變大時，其 $[\text{HO} \cdot]$ 也會變大。因此，我們可確定 $[\text{Fe}^{2+}]$ 為 Fenton reaction 反應速率之重要因子。

但，當  $\text{pH} = 4.0$ 、 $\text{pH} = 5.0$  且  $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{FeSO}_4 = 1 : 2$  時，經由檢驗發現產生  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  赤褐色與  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  白色沉澱物沉澱物，經由反應機構可知：當 $[\text{Fe}^{3+}]$ 消耗掉時，導致 $[\text{Fe}^{2+}]$ 降低，產率下降。

因此，在 Fenton reaction 中，當  $\text{pH}$  較高且硫酸亞鐵濃度為過氧化氫兩倍時，反而環境會抑制氧氣的生成，產量降低。

3、設計實驗前，為選定  $\text{pH}$  研究的範圍，經一連串測定，

發現若實驗初  $\text{pH}$  太高( $> 6$ )時：

(1)、 $\text{Fe}^{3+}$  因產生  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  赤褐色沉澱物，由反應機構可知：

將不利於  $\text{Fe}^{2+}$  的產生，除此，也發現

$\text{Fe}(\text{OH})_2$  白色沉澱物。在 Fenton reaction 製氧過程中，是阻礙。

(2)、 $\text{H}_2\text{O}_2$  會分解成  $\text{H}_2\text{O}$  與  $\text{O}_2$ ，危險性很高。

因此，選定  $\text{pH} = 3、4、5$  為研究的範圍。



- 4、從表一整體看來，當  $\text{H}_2\text{O}_2$ :  $\text{FeSO}_4$  濃度比為 1:1 時，氧氣生成平衡體積最接近最大體積(  $V_\infty - V_{\text{平衡}}$  )，所以可以證實在這樣的比例下，過氧化氫在短時反應越完全。
- 5、由前幾點我們可以歸納出，若當實驗環境為  $\text{pH}=5$  且  $\text{H}_2\text{O}_2$  與  $\text{FeSO}_4$  濃度比為 1:1 時，收集氧氣會有最好的效果。

## 八、參考資料

- (一)、林春雲，利用 Fenton 法氧化 2,4-二硝基酚之研究，淡江大學水資源及環境工程學系碩士論文。
- (二)、潘俊宏，1998 年 6 月 5 日，國立高雄師範大學化學系碩士班碩士論文， p.2~p.3。
- (三)、張芳淑，淡江大學水資院及環境工程所碩士論文。
- (四)、雷敏宏、楊寶旺、廖德章，化學實驗上冊，高立圖書有限公司、總經銷新科技書局，p.147~p.154。
- (五)、邱淑哲、涂漢欽、張煜光(編著)，基礎化學實習第一冊，正文書局有限公司，p.113~p.124。
- (六)、黃旭村、黃進添，普通化學實驗 I，復文書局有限公司，p.35~p.38。

# 附錄一、測試三實驗數據的紀錄與整理

pH = 3	1 : 0.25	1 : 0.5	1 : 1	1 : 2
時間(sec)	O <sub>2</sub> 生成體積(mL)			
0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2.10	3.20	5.50	3.40
6	6.10	6.50	10.10	7.30
9	8.55	9.80	15.40	12.30
12	9.80	13.40	15.80	15.70
15	12.55	14.50	16.10	15.70
18	13.70	14.70	16.30	16.30
21	13.70	14.90	16.60	16.50
24	13.85	15.10	17.00	16.70
27	13.85	15.65	17.20	17.40
30	14.50	15.80	17.30	17.40
33	14.80	16.30	17.50	17.80
36	15.70	16.55	17.70	18.40
39	16.20	16.70	17.90	18.90
42	16.60	17.00	18.05	19.20
45	16.70	17.20	18.10	19.30
48	16.70	17.35	18.15	19.30
51	16.90	17.45	18.20	19.30
54	17.20	17.50	18.35	19.30
57	17.30	17.70	18.35	19.30
60	17.50	17.80	18.35	19.65
63	17.50	17.95	18.35	19.65
66	17.65	18.00	18.35	19.65
69	17.65	18.20	18.35	19.65
72	17.70	18.30	18.35	19.65
75	17.70	18.40	18.50	19.65
78	17.80	18.60	18.60	20.00
81	17.80	18.70	18.65	20.00
84	17.80	18.80	18.65	20.00
87	17.85	18.80	18.65	20.05
90	17.90	18.90	18.65	20.05
93	17.90	18.90	18.70	20.05
96	18.00	18.90	18.90	20.10

99	18.00	18.95	19.00	20.10
102	18.00	18.95	19.20	20.20
105	18.10	19.00	19.20	20.20
108	18.10	19.00	19.20	20.20
111	18.20	19.00	19.20	20.20
114	18.20	19.00	19.20	20.30
117	18.25	19.00	19.25	20.30
120	18.30	19.00	19.25	20.30
123	18.30	19.05	19.25	20.30
126	18.30	19.05	19.30	20.40
129	18.30	19.05	19.30	20.40
132	18.30	19.05	19.30	20.40
135	18.30	19.05	19.40	20.40
138	18.30	19.05	19.40	20.40
141	18.30	19.05	19.40	20.40
144	18.30	19.05	19.50	20.40
147	18.30	19.05	19.50	20.45
150	18.30	19.05	19.50	20.45
153	18.30	19.05	19.60	20.45
156	18.30	19.05	19.60	20.45
159	18.30	19.05	19.60	20.50
162	18.30	19.05	19.60	20.50
165	18.30	19.05	19.80	20.50
168	18.30	19.05	19.80	20.50
171	18.30	19.05	19.80	20.50
174	18.30	19.05	19.80	20.50
177	18.30	19.05	19.90	20.55
180	18.30	19.05	19.90	20.55
183	18.30	19.05	19.90	20.60
186	18.30	19.05	19.90	20.60
189	18.30	19.05	19.90	20.60
192	18.30	19.05	19.90	20.60
195	18.30	19.05	19.90	20.60
198	18.30	19.05	20.00	20.60
201	18.30	19.05	20.00	20.60
204	18.30	19.05	20.00	20.60
207	18.30	19.05	20.00	20.60

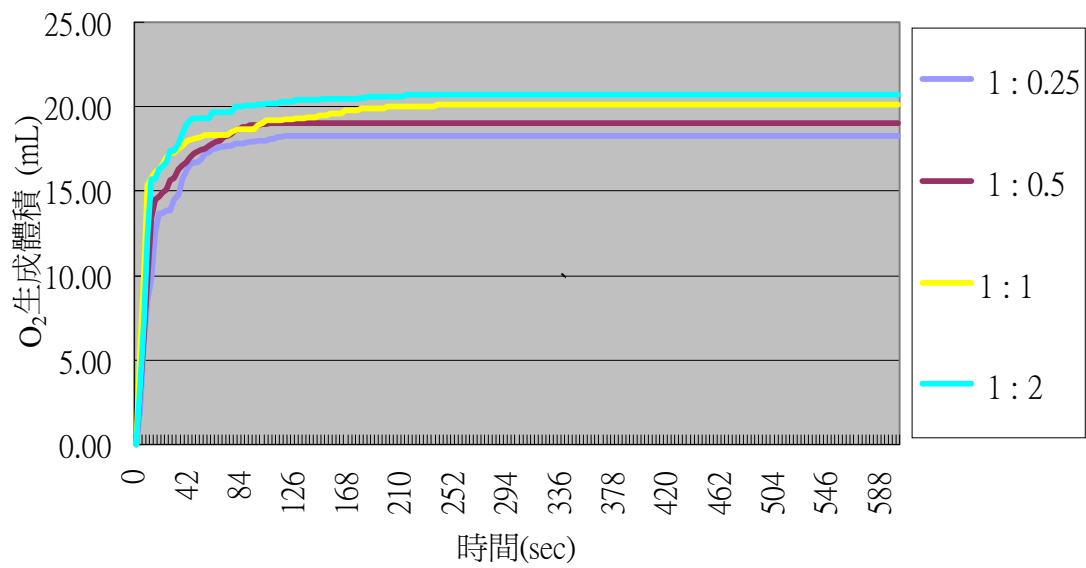
210	18.30	19.05	20.00	20.60
213	18.30	19.05	20.00	20.70
216	18.30	19.05	20.00	20.70
219	18.30	19.05	20.00	20.70
222	18.30	19.05	20.00	20.70
225	18.30	19.05	20.00	20.70
228	18.30	19.05	20.00	20.70
231	18.30	19.05	20.00	20.70
234	18.30	19.05	20.00	20.70
237	18.30	19.05	20.10	20.70
240	18.30	19.05	20.10	20.70
243	18.30	19.05	20.10	20.70
246	18.30	19.05	20.10	20.70
249	18.30	19.05	20.10	20.70
252	18.30	19.05	20.10	20.70
255	18.30	19.05	20.10	20.70
258	18.30	19.05	20.10	20.70
261	18.30	19.05	20.10	20.70
264	18.30	19.05	20.10	20.70
267	18.30	19.05	20.10	20.70
270	18.30	19.05	20.10	20.70
273	18.30	19.05	20.10	20.70
276	18.30	19.05	20.10	20.70
279	18.30	19.05	20.10	20.70
282	18.30	19.05	20.10	20.70
285	18.30	19.05	20.10	20.70
288	18.30	19.05	20.10	20.70
291	18.30	19.05	20.10	20.70
294	18.30	19.05	20.10	20.70
297	18.30	19.05	20.10	20.70
300	18.30	19.05	20.10	20.70
303	18.30	19.05	20.10	20.70
306	18.30	19.05	20.10	20.70
309	18.30	19.05	20.10	20.70
312	18.30	19.05	20.10	20.70
315	18.30	19.05	20.10	20.70
318	18.30	19.05	20.10	20.70

321	18.30	19.05	20.10	20.70
324	18.30	19.05	20.10	20.70
327	18.30	19.05	20.10	20.70
330	18.30	19.05	20.10	20.70
333	18.30	19.05	20.10	20.70
336	18.30	19.05	20.10	20.70
339	18.30	19.05	20.10	20.70
342	18.30	19.05	20.10	20.70
345	18.30	19.05	20.10	20.70
348	18.30	19.05	20.10	20.70
351	18.30	19.05	20.10	20.70
354	18.30	19.05	20.10	20.70
357	18.30	19.05	20.10	20.70
360	18.30	19.05	20.10	20.70
363	18.30	19.05	20.10	20.70
366	18.30	19.05	20.10	20.70
369	18.30	19.05	20.10	20.70
372	18.30	19.05	20.10	20.70
375	18.30	19.05	20.10	20.70
378	18.30	19.05	20.10	20.70
381	18.30	19.05	20.10	20.70
384	18.30	19.05	20.10	20.70
387	18.30	19.05	20.10	20.70
390	18.30	19.05	20.10	20.70
393	18.30	19.05	20.10	20.70
396	18.30	19.05	20.10	20.70
399	18.30	19.05	20.10	20.70
402	18.30	19.05	20.10	20.70
405	18.30	19.05	20.10	20.70
408	18.30	19.05	20.10	20.70
411	18.30	19.05	20.10	20.70
414	18.30	19.05	20.10	20.70
417	18.30	19.05	20.10	20.70
420	18.30	19.05	20.10	20.70
423	18.30	19.05	20.10	20.70
426	18.30	19.05	20.10	20.70
429	18.30	19.05	20.10	20.70

432	18.30	19.05	20.10	20.70
435	18.30	19.05	20.10	20.70
438	18.30	19.05	20.10	20.70
441	18.30	19.05	20.10	20.70
444	18.30	19.05	20.10	20.70
447	18.30	19.05	20.10	20.70
450	18.30	19.05	20.10	20.70
453	18.30	19.05	20.10	20.70
456	18.30	19.05	20.10	20.70
459	18.30	19.05	20.10	20.70
462	18.30	19.05	20.10	20.70
465	18.30	19.05	20.10	20.70
468	18.30	19.05	20.10	20.70
471	18.30	19.05	20.10	20.70
474	18.30	19.05	20.10	20.70
477	18.30	19.05	20.10	20.70
480	18.30	19.05	20.10	20.70
483	18.30	19.05	20.10	20.70
486	18.30	19.05	20.10	20.70
489	18.30	19.05	20.10	20.70
492	18.30	19.05	20.10	20.70
495	18.30	19.05	20.10	20.70
498	18.30	19.05	20.10	20.70
501	18.30	19.05	20.10	20.70
504	18.30	19.05	20.10	20.70
507	18.30	19.05	20.10	20.70
510	18.30	19.05	20.10	20.70
513	18.30	19.05	20.10	20.70
516	18.30	19.05	20.10	20.70
519	18.30	19.05	20.10	20.70
522	18.30	19.05	20.10	20.70
525	18.30	19.05	20.10	20.70
528	18.30	19.05	20.10	20.70
531	18.30	19.05	20.10	20.70
534	18.30	19.05	20.10	20.70
537	18.30	19.05	20.10	20.70
540	18.30	19.05	20.10	20.70

543	18.30	19.05	20.10	20.70
546	18.30	19.05	20.10	20.70
549	18.30	19.05	20.10	20.70
552	18.30	19.05	20.10	20.70
555	18.30	19.05	20.10	20.70
558	18.30	19.05	20.10	20.70
561	18.30	19.05	20.10	20.70
564	18.30	19.05	20.10	20.70
567	18.30	19.05	20.10	20.70
570	18.30	19.05	20.10	20.70
573	18.30	19.05	20.10	20.70
576	18.30	19.05	20.10	20.70
579	18.30	19.05	20.10	20.70
582	18.30	19.05	20.10	20.70
585	18.30	19.05	20.10	20.70
588	18.30	19.05	20.10	20.70
591	18.30	19.05	20.10	20.70
594	18.30	19.05	20.10	20.70
597	18.30	19.05	20.10	20.70
600	18.30	19.05	20.10	20.70

pH = 3





pH = 4	1 : 0.25	1 : 0.5	1 : 1	1 : 2
時間(sec)	O <sub>2</sub> 生成體積(mL)			
0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2.10	2.30	4.50	2.40
6	7.20	2.70	8.20	6.60
9	11.50	12.70	13.50	11.50
12	13.90	14.80	14.40	14.80
15	14.30	15.00	15.10	14.90
18	14.60	15.10	15.60	15.10
21	14.70	15.30	15.80	15.50
24	15.00	15.60	16.10	15.75
27	15.10	16.00	16.30	16.00
30	15.30	16.20	16.60	16.10
33	15.90	16.50	17.00	16.30
36	16.50	16.80	17.10	16.55
39	16.90	17.10	17.20	16.55
42	17.20	17.20	17.30	16.55
45	17.40	17.55	17.50	16.80
48	17.55	18.10	17.65	17.20
51	17.65	18.15	17.80	17.40
54	17.65	18.15	18.05	17.70
57	17.65	18.20	18.10	18.00
60	17.65	18.25	18.20	18.45
63	17.65	18.25	18.30	18.60
66	17.85	18.30	18.50	18.85
69	18.00	18.30	18.65	19.05
72	18.00	18.70	18.65	19.10
75	18.05	18.90	18.65	19.20
78	18.05	19.00	18.65	19.25
81	18.05	19.10	18.70	19.35
84	18.10	19.15	18.90	19.35
87	18.10	19.20	19.00	19.35
90	18.10	19.30	19.10	19.35
93	18.15	19.35	19.10	19.35
96	18.15	19.35	19.10	19.35
99	18.15	19.40	19.10	19.35
102	18.20	19.40	19.10	19.35

105	18.20	19.40	19.10	19.40
108	18.20	19.45	19.20	19.40
111	18.20	19.45	19.35	19.40
114	18.25	19.45	19.45	19.40
117	18.25	19.50	19.45	19.40
120	18.25	19.50	19.55	19.50
123	18.25	19.50	19.55	19.50
126	18.30	19.50	19.55	19.50
129	18.30	19.55	19.55	19.50
132	18.30	19.55	19.55	19.50
135	18.30	19.60	19.55	19.50
138	18.35	19.60	19.70	19.50
141	18.35	19.65	19.70	19.50
144	18.35	19.65	19.70	19.50
147	18.35	19.65	19.80	19.55
150	18.35	19.65	19.80	19.55
153	18.35	19.75	19.80	19.55
156	18.35	19.75	19.80	19.55
159	18.40	19.75	19.80	19.55
162	18.40	19.75	19.80	19.55
165	18.40	19.75	19.80	19.55
168	18.40	19.75	19.95	19.65
171	18.40	19.80	19.95	19.65
174	18.40	19.80	20.00	19.65
177	18.40	19.80	20.00	19.65
180	18.45	19.80	20.05	19.65
183	18.45	19.80	20.05	19.70
186	18.45	19.80	20.15	19.70
189	18.45	19.80	20.15	19.70
192	18.45	19.80	20.15	19.70
195	18.45	19.80	20.25	19.70
198	18.45	19.80	20.25	19.70
201	18.45	19.80	20.25	19.70
204	18.45	19.80	20.25	19.70
207	18.45	19.80	20.25	19.70
210	18.45	19.80	20.30	19.70
213	18.45	19.80	20.30	19.70

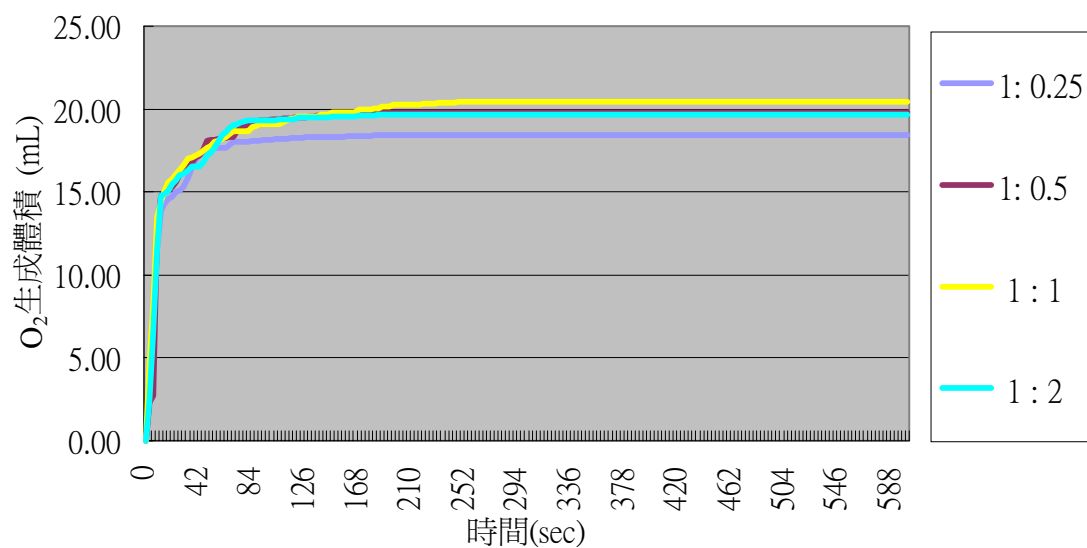
216	18.45	19.80	20.30	19.70
219	18.45	19.80	20.35	19.70
222	18.45	19.80	20.35	19.70
225	18.45	19.80	20.35	19.70
228	18.45	19.80	20.35	19.70
231	18.45	19.80	20.40	19.70
234	18.45	19.80	20.40	19.70
237	18.45	19.80	20.40	19.70
240	18.45	19.80	20.40	19.70
243	18.45	19.80	20.40	19.70
246	18.45	19.80	20.45	19.70
249	18.45	19.80	20.45	19.70
252	18.45	19.80	20.45	19.70
255	18.45	19.80	20.45	19.70
258	18.45	19.80	20.45	19.70
261	18.45	19.80	20.45	19.70
264	18.45	19.80	20.45	19.70
267	18.45	19.80	20.45	19.70
270	18.45	19.80	20.45	19.70
273	18.45	19.80	20.45	19.70
276	18.45	19.80	20.45	19.70
279	18.45	19.80	20.45	19.70
282	18.45	19.80	20.45	19.70
285	18.45	19.80	20.45	19.70
288	18.45	19.80	20.45	19.70
291	18.45	19.80	20.45	19.70
294	18.45	19.80	20.45	19.70
297	18.45	19.80	20.45	19.70
300	18.45	19.80	20.45	19.70
303	18.45	19.80	20.45	19.70
306	18.45	19.80	20.45	19.70
309	18.45	19.80	20.45	19.70
312	18.45	19.80	20.45	19.70
315	18.45	19.80	20.45	19.70
318	18.45	19.80	20.45	19.70
321	18.45	19.80	20.45	19.70
324	18.45	19.80	20.45	19.70

327	18.45	19.80	20.45	19.70
330	18.45	19.80	20.45	19.70
333	18.45	19.80	20.45	19.70
336	18.45	19.80	20.45	19.70
339	18.45	19.80	20.45	19.70
342	18.45	19.80	20.45	19.70
345	18.45	19.80	20.45	19.70
348	18.45	19.80	20.45	19.70
351	18.45	19.80	20.45	19.70
354	18.45	19.80	20.45	19.70
357	18.45	19.80	20.45	19.70
360	18.45	19.80	20.45	19.70
363	18.45	19.80	20.45	19.70
366	18.45	19.80	20.45	19.70
369	18.45	19.80	20.45	19.70
372	18.45	19.80	20.45	19.70
375	18.45	19.80	20.45	19.70
378	18.45	19.80	20.45	19.70
381	18.45	19.80	20.45	19.70
384	18.45	19.80	20.45	19.70
387	18.45	19.80	20.45	19.70
390	18.45	19.80	20.45	19.70
393	18.45	19.80	20.45	19.70
396	18.45	19.80	20.45	19.70
399	18.45	19.80	20.45	19.70
402	18.45	19.80	20.45	19.70
405	18.45	19.80	20.45	19.70
408	18.45	19.80	20.45	19.70
411	18.45	19.80	20.45	19.70
414	18.45	19.80	20.45	19.70
417	18.45	19.80	20.45	19.70
420	18.45	19.80	20.45	19.70
423	18.45	19.80	20.45	19.70
426	18.45	19.80	20.45	19.70
429	18.45	19.80	20.45	19.70
432	18.45	19.80	20.45	19.70
435	18.45	19.80	20.45	19.70

438	18.45	19.80	20.45	19.70
441	18.45	19.80	20.45	19.70
444	18.45	19.80	20.45	19.70
447	18.45	19.80	20.45	19.70
450	18.45	19.80	20.45	19.70
453	18.45	19.80	20.45	19.70
456	18.45	19.80	20.45	19.70
459	18.45	19.80	20.45	19.70
462	18.45	19.80	20.45	19.70
465	18.45	19.80	20.45	19.70
468	18.45	19.80	20.45	19.70
471	18.45	19.80	20.45	19.70
474	18.45	19.80	20.45	19.70
477	18.45	19.80	20.45	19.70
480	18.45	19.80	20.45	19.70
483	18.45	19.80	20.45	19.70
486	18.45	19.80	20.45	19.70
489	18.45	19.80	20.45	19.70
492	18.45	19.80	20.45	19.70
495	18.45	19.80	20.45	19.70
498	18.45	19.80	20.45	19.70
501	18.45	19.80	20.45	19.70
504	18.45	19.80	20.45	19.70
507	18.45	19.80	20.45	19.70
510	18.45	19.80	20.45	19.70
513	18.45	19.80	20.45	19.70
516	18.45	19.80	20.45	19.70
519	18.45	19.80	20.45	19.70
522	18.45	19.80	20.45	19.70
525	18.45	19.80	20.45	19.70
528	18.45	19.80	20.45	19.70
531	18.45	19.80	20.45	19.70
534	18.45	19.80	20.45	19.70
537	18.45	19.80	20.45	19.70
540	18.45	19.80	20.45	19.70
543	18.45	19.80	20.45	19.70
546	18.45	19.80	20.45	19.70

549	18.45	19.80	20.45	19.70
552	18.45	19.80	20.45	19.70
555	18.45	19.80	20.45	19.70
558	18.45	19.80	20.45	19.70
561	18.45	19.80	20.45	19.70
564	18.45	19.80	20.45	19.70
567	18.45	19.80	20.45	19.70
570	18.45	19.80	20.45	19.70
573	18.45	19.80	20.45	19.70
576	18.45	19.80	20.45	19.70
579	18.45	19.80	20.45	19.70
582	18.45	19.80	20.45	19.70
585	18.45	19.80	20.45	19.70
588	18.45	19.80	20.45	19.70
591	18.45	19.80	20.45	19.70
594	18.45	19.80	20.45	19.70
597	18.45	19.80	20.45	19.70
600	18.45	19.80	20.45	19.70

pH = 4



pH = 5	1 : 0.25	1 : 0.5	1 : 1	1 : 2
時間(sec)	O <sub>2</sub> 生成體積(mL)			
0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2.10	2.20	4.10	2.30
6	6.20	7.80	8.10	6.70
9	11.40	12.70	13.40	11.70
12	14.00	14.80	14.50	14.60
15	14.45	15.00	15.00	14.60
18	14.60	15.20	15.50	15.00
21	14.80	15.40	15.80	15.20
24	15.00	15.80	16.10	15.30
27	15.20	16.10	16.40	15.35
30	15.70	16.40	16.80	15.40
33	16.10	16.60	17.00	15.50
36	16.50	16.85	17.20	15.60
39	17.00	17.10	17.30	15.65
42	17.25	17.50	17.45	15.70
45	17.50	17.80	17.55	15.80
48	17.65	17.90	17.60	15.90
51	17.80	18.00	17.70	15.95
54	17.80	18.10	18.00	16.00
57	17.80	18.10	18.10	16.10
60	17.80	18.10	18.20	16.15
63	17.80	18.30	18.30	16.20
66	17.80	18.30	18.50	16.30
69	17.90	18.50	18.60	16.45
72	17.90	18.65	18.65	16.50
75	18.05	18.80	18.70	16.60
78	18.05	19.05	18.80	16.65
81	18.05	19.10	18.80	16.70
84	18.10	19.15	18.85	16.80
87	18.10	19.20	18.90	16.85
90	18.15	19.25	19.05	16.90
93	18.15	19.30	19.15	16.95
96	18.20	19.30	19.20	17.15
99	18.20	19.30	19.20	17.20
102	18.25	19.30	19.25	17.30

105	18.25	19.35	19.30	17.45
108	18.25	19.35	19.30	17.50
111	18.30	19.35	19.40	17.60
114	18.35	19.40	19.40	17.65
117	18.35	19.40	19.45	17.70
120	18.40	19.45	19.50	17.70
123	18.40	19.45	19.50	17.70
126	18.40	19.50	19.60	17.80
129	18.45	19.50	19.65	17.80
132	18.50	19.60	19.65	17.80
135	18.50	19.60	19.70	17.85
138	18.60	19.60	19.80	17.85
141	18.60	19.65	19.80	17.85
144	18.75	19.65	19.80	17.85
147	18.75	19.65	19.90	17.90
150	18.75	19.70	19.90	17.90
153	18.75	19.70	20.05	17.90
156	18.75	19.70	20.05	17.90
159	18.80	19.70	20.15	17.90
162	18.80	19.70	20.15	17.90
165	18.90	19.70	20.20	17.95
168	18.90	19.80	20.20	17.95
171	18.90	19.80	20.30	17.95
174	18.90	19.80	20.30	17.95
177	18.90	19.80	20.30	17.95
180	18.90	19.85	20.40	17.95
183	19.00	19.85	20.40	18.00
186	19.00	19.85	20.40	18.00
189	19.00	20.00	20.45	18.00
192	19.00	20.00	20.50	18.00
195	19.00	20.00	20.50	18.00
198	19.00	20.00	20.50	18.00
201	19.00	20.00	20.60	18.00
204	19.00	20.00	20.65	18.00
207	19.00	20.00	20.65	18.00
210	19.00	20.00	20.70	18.00
213	19.00	20.00	20.70	18.00



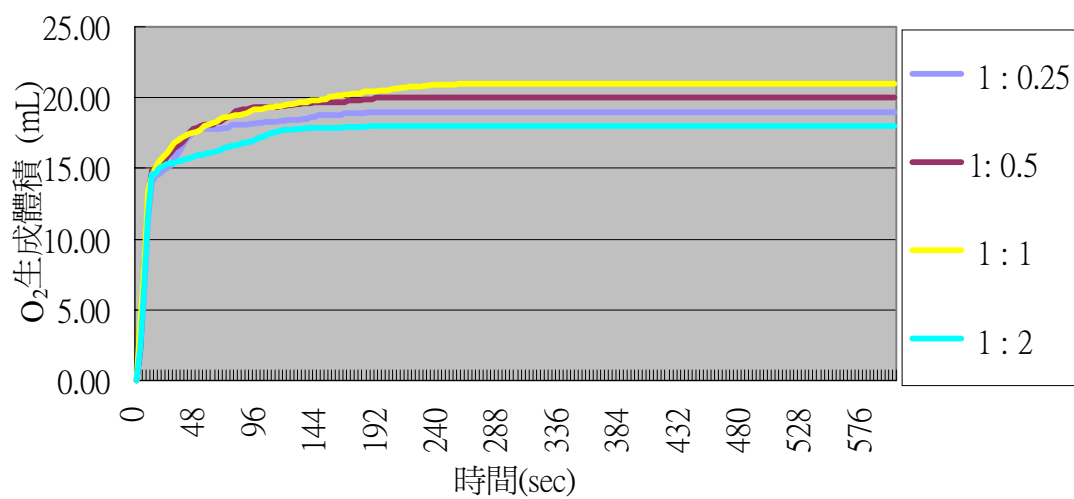
216	19.00	20.00	20.75	18.00
219	19.00	20.00	20.75	18.00
222	19.00	20.00	20.80	18.00
225	19.00	20.00	20.80	18.00
228	19.00	20.00	20.85	18.00
231	19.00	20.00	20.85	18.00
234	19.00	20.00	20.90	18.00
237	19.00	20.00	20.90	18.00
240	19.00	20.00	20.90	18.00
243	19.00	20.00	20.90	18.00
246	19.00	20.00	20.90	18.00
249	19.00	20.00	20.90	18.00
252	19.00	20.00	20.90	18.00
255	19.00	20.00	21.00	18.00
258	19.00	20.00	21.00	18.00
261	19.00	20.00	21.00	18.00
264	19.00	20.00	21.00	18.00
267	19.00	20.00	21.00	18.00
270	19.00	20.00	21.00	18.00
273	19.00	20.00	21.00	18.00
276	19.00	20.00	21.00	18.00
279	19.00	20.00	21.00	18.00
282	19.00	20.00	21.00	18.00
285	19.00	20.00	21.00	18.00
288	19.00	20.00	21.00	18.00
291	19.00	20.00	21.00	18.00
294	19.00	20.00	21.00	18.00
297	19.00	20.00	21.00	18.00
300	19.00	20.00	21.00	18.00
303	19.00	20.00	21.00	18.00
306	19.00	20.00	21.00	18.00
309	19.00	20.00	21.00	18.00
312	19.00	20.00	21.00	18.00
315	19.00	20.00	21.00	18.00
318	19.00	20.00	21.00	18.00
321	19.00	20.00	21.00	18.00
324	19.00	20.00	21.00	18.00

327	19.00	20.00	21.00	18.00
330	19.00	20.00	21.00	18.00
333	19.00	20.00	21.00	18.00
336	19.00	20.00	21.00	18.00
339	19.00	20.00	21.00	18.00
342	19.00	20.00	21.00	18.00
345	19.00	20.00	21.00	18.00
348	19.00	20.00	21.00	18.00
351	19.00	20.00	21.00	18.00
354	19.00	20.00	21.00	18.00
357	19.00	20.00	21.00	18.00
360	19.00	20.00	21.00	18.00
363	19.00	20.00	21.00	18.00
366	19.00	20.00	21.00	18.00
369	19.00	20.00	21.00	18.00
372	19.00	20.00	21.00	18.00
375	19.00	20.00	21.00	18.00
378	19.00	20.00	21.00	18.00
381	19.00	20.00	21.00	18.00
384	19.00	20.00	21.00	18.00
387	19.00	20.00	21.00	18.00
390	19.00	20.00	21.00	18.00
393	19.00	20.00	21.00	18.00
396	19.00	20.00	21.00	18.00
399	19.00	20.00	21.00	18.00
402	19.00	20.00	21.00	18.00
405	19.00	20.00	21.00	18.00
408	19.00	20.00	21.00	18.00
411	19.00	20.00	21.00	18.00
414	19.00	20.00	21.00	18.00
417	19.00	20.00	21.00	18.00
420	19.00	20.00	21.00	18.00
423	19.00	20.00	21.00	18.00
426	19.00	20.00	21.00	18.00
429	19.00	20.00	21.00	18.00
432	19.00	20.00	21.00	18.00
435	19.00	20.00	21.00	18.00

438	19.00	20.00	21.00	18.00
441	19.00	20.00	21.00	18.00
444	19.00	20.00	21.00	18.00
447	19.00	20.00	21.00	18.00
450	19.00	20.00	21.00	18.00
453	19.00	20.00	21.00	18.00
456	19.00	20.00	21.00	18.00
459	19.00	20.00	21.00	18.00
462	19.00	20.00	21.00	18.00
465	19.00	20.00	21.00	18.00
468	19.00	20.00	21.00	18.00
471	19.00	20.00	21.00	18.00
474	19.00	20.00	21.00	18.00
477	19.00	20.00	21.00	18.00
480	19.00	20.00	21.00	18.00
483	19.00	20.00	21.00	18.00
486	19.00	20.00	21.00	18.00
489	19.00	20.00	21.00	18.00
492	19.00	20.00	21.00	18.00
495	19.00	20.00	21.00	18.00
498	19.00	20.00	21.00	18.00
501	19.00	20.00	21.00	18.00
504	19.00	20.00	21.00	18.00
507	19.00	20.00	21.00	18.00
510	19.00	20.00	21.00	18.00
513	19.00	20.00	21.00	18.00
516	19.00	20.00	21.00	18.00
519	19.00	20.00	21.00	18.00
522	19.00	20.00	21.00	18.00
525	19.00	20.00	21.00	18.00
528	19.00	20.00	21.00	18.00
531	19.00	20.00	21.00	18.00
534	19.00	20.00	21.00	18.00
537	19.00	20.00	21.00	18.00
540	19.00	20.00	21.00	18.00
543	19.00	20.00	21.00	18.00
546	19.00	20.00	21.00	18.00

549	19.00	20.00	21.00	18.00
552	19.00	20.00	21.00	18.00
555	19.00	20.00	21.00	18.00
558	19.00	20.00	21.00	18.00
561	19.00	20.00	21.00	18.00
564	19.00	20.00	21.00	18.00
567	19.00	20.00	21.00	18.00
570	19.00	20.00	21.00	18.00
573	19.00	20.00	21.00	18.00
576	19.00	20.00	21.00	18.00
579	19.00	20.00	21.00	18.00
582	19.00	20.00	21.00	18.00
585	19.00	20.00	21.00	18.00
588	19.00	20.00	21.00	18.00
591	19.00	20.00	21.00	18.00
594	19.00	20.00	21.00	18.00
597	19.00	20.00	21.00	18.00
600	19.00	20.00	21.00	18.00

pH = 5



## 評 語

本研究探討封費頓世試劑生氧氣，以爲廢水理時之用，研究認真惜乏創新性，故給予佳作。