

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高中組 化學科

最佳團隊合作獎

040212

瓶中「迅」—探討於洗滌瓶中過氧化氫反應速率  
定律式的影響

學校名稱：國立臺中文華高級中學

作者：  高二 梁瑋珊  高二 陳羿廷  高二 江冠葳	指導老師：  梁玉龍  王雅玲
---	-----------------------------

關鍵詞：洗滌瓶、過氧化氫、反應速率定律式

## 摘要

- 一、使用簡易的儀器—「天鵝型」的洗滌瓶，加上以針筒與針頭的進料裝置，輔以電子天秤測量排水質量，可以測量出較有效的反應速率值。讓一般高中學校的化學實驗室也能方便、減量(減少為 1/50~1/10)、便宜、快速與準確的完成反應速率的實驗，並且不使用有毒性的水銀來量測氣體體積與壓力，達成綠色化學實驗室的境界，改善實驗室的安全環境。
- 二、本實驗量測到反應速率與濃度的關係：
  - (一)有  $R \propto [\text{H}_2\text{O}_2]^1$ 、 $R \propto [\text{H}_2\text{O}_2]^1 \times [\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2]^1$ 、 $R \propto [\text{H}_2\text{O}_2]^1 \times [\text{KI}]^1$  與各項參考文獻資料是相同的。
  - (二)二氧化錳加入的質量與反應速率有正向關係。
  - (三)碘化鉀水溶液是進行雙氧水測反應速率的較佳觸媒催化劑。

# 內文：

## 壹、研究動機

體育課運動時不小心受傷，到健康中心護士阿姨常利用雙氧水來消毒傷口。雙氧水在傷口會起泡泡，使我們聯想起國中的理化課，利用雙氧水與二氧化錳來製備氧氣，反應速率非常的迅速，一下子就得到好幾瓶的氧氣，這樣的實驗讓我們留下深刻的印象。高一的基礎化學第三章，提及化學反應的快慢有不同的反應速率，有非常快的例如煙火的爆炸，也有很慢的例如鐵的生鏽。與老師討論：雙氧水在沒有催化劑下分解的速率非常緩慢，在有催化劑的作用時速率就非常的快。因為血液中的血紅素含有亞鐵離子，對雙氧水有催化作用，可以使雙氧水加速分解生成氧氣。速率的快慢不只有觀測現象就好，最佳的探討是要定量的表示，老師分享反應速率定律式的觀念，不禁讓我們對雙氧水的反應速率定律式的研究產生興趣。反應物濃度的級數是如何找到，反應速率定律式包括哪一種反應物，催化劑會不會也出現在反應速率定律式中，催化劑會不會有級數的關係？我們對這樣的研究有很大的興趣，到網路上、圖書館找尋相關的資料與研究文獻，針對文獻已有的研究，我們想探討反應速率定律式在各種鹽類與雙氧水反應時有何影響。

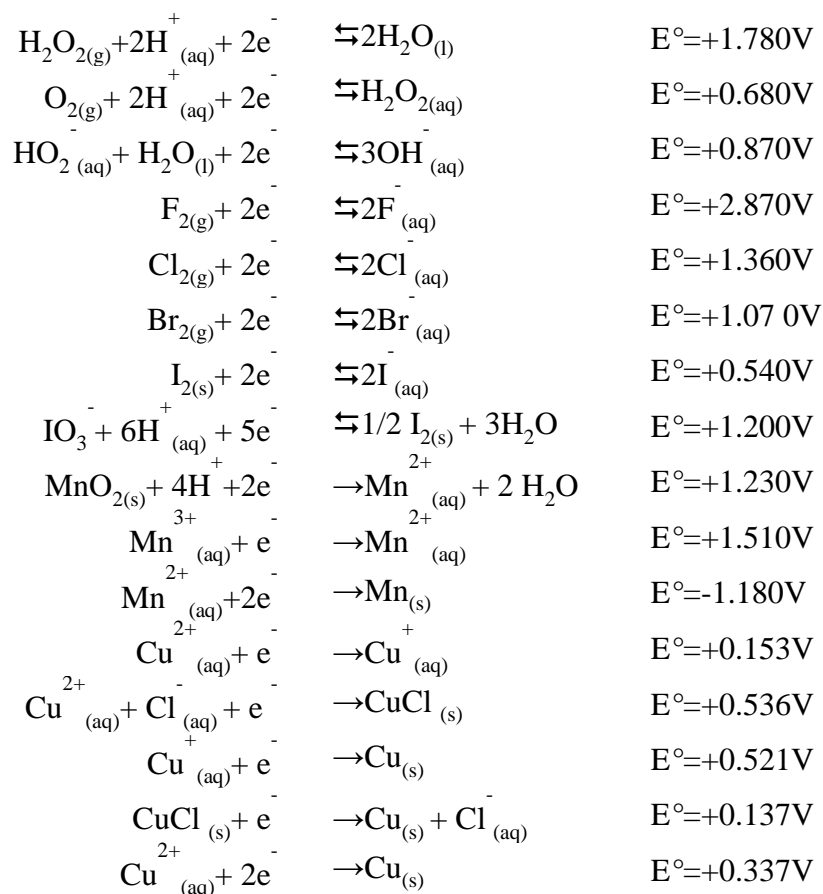
## 貳、文獻探討

在探討雙氧水分解的反應速率的研究文獻中，大多都使用非常複雜，操作不方便的收集氣體的裝置，例如參考文獻(十)、(十二)。在參考文獻(一)、(二)中使用非常簡易與有效的裝置—「天鵝型」洗滌瓶，讓反應速率測定的普及性能在一般的實驗室中順利進行，尤其是有氣體生成的實驗皆可以操作。所以本實驗採用「天鵝型」洗滌瓶作為主要反應槽，並改良反應物加入反應槽的進料方式。

在參考文獻(一)、(二)中使用排出水的體積換算出氧氣氣體的體積，在實驗上，實驗數據不夠精確，而參考文獻(十)使用水銀的氣壓計易造成環境污染，非綠色化學實驗的精神。參考文獻(十二)使用的是排水法，利用水的重量拉動滑尺，使其感應部分通過光遮斷器，藉由A/D 電路，電腦收集電壓與時間的數據，再配合校準線的資料繪出反應速率與時間的關係圖。這些無法即時得知排出水量的體積，尤其是在反應最先開始的反應速率的觀察上。所以本實驗立即使用電子天秤秤量排出水的質量來換算出氧氣生成的體積，並轉換資料繪出反應速率與時間的關係圖。

穩定的亞鐵離子與鐵離子在實驗室中不易長期取得，在參考文獻(六)、(七)、(八)、(十)、(十一)、(十二)皆利用錯合物的方式來保有亞鐵離子與鐵離子，這樣的反應物對雙氧水的反應速率效果不好。反而在參考文獻(十)提及碘化鉀有不錯的催化雙氧水分解的能力。在參考文獻(一)也使用不同濃度碘化鉀水溶液來催化分解雙氧水。在參考文獻(十四)、(十五)、(十六)中提及，化學反應速率定律式宜使用於勻相反應的過程，所以非勻相的觸媒催化分解反應不列入本實驗定律式的探討。

從參考文獻(十) 取得觸媒催化分解雙氧水能力相關的氧化還原反應資料如下：可以讓我們在實驗之前就能預測各項觸媒催化分解雙氧水能力大小的初步情形，進而可以減少錯誤的實驗步驟與實驗數據，當然不同的實驗測量工具皆有自己的信度、效度，我們仍然會經過多次的實驗找到最佳的組合。



在多數的參考文獻中常以觀測到的體積總量或是總壓與反應時間來作圖(如參考文獻(十))，應以反應速率與反應物濃度來作圖才能明確找到反應的相關級數與各項相關資料(如參考文獻(一))，所以本實驗要換算出變化量與濃度的關係性。至於不溶於水中的反應物本實驗以其同狀態但不同質量的狀況，找到非勻相的關係。

## 參、實驗目的

1. 使用簡易的儀器測量出反應速率。
2. 測定各反應物之反應級數。
3. 採用不同鹽類與雙氧水反應時，對反應速率定律式的影響。
4. 列出各種鹽類和雙氧水的反應速率定律式。

## 肆、實驗藥品與器材

### 一、實驗藥品

1. 雙氧水 35% ( $\text{H}_2\text{O}_2 = 34.02$ ) (不用時須冷藏)
2. 溴化鈉 ( $\text{NaBr} = 102.91$ )
3. 氯化鉀 ( $\text{KCl} = 74.56$ )
4. 溴化鉀 ( $\text{KBr} = 119.01$ )
5. 碘化鉀 ( $\text{KI} = 166.01$ )
6. 四水合氯化錳 ( $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 197.91$ )
7. 二氧化錳 ( $\text{MnO}_2 = 86.94$ )
8. 硫酸亞鐵 ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 278.03$ )
9. 硫酸亞錳 ( $\text{MnSO}_4 = 151.00$ )
10. 硫酸銨亞鐵 ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 392.16$ )

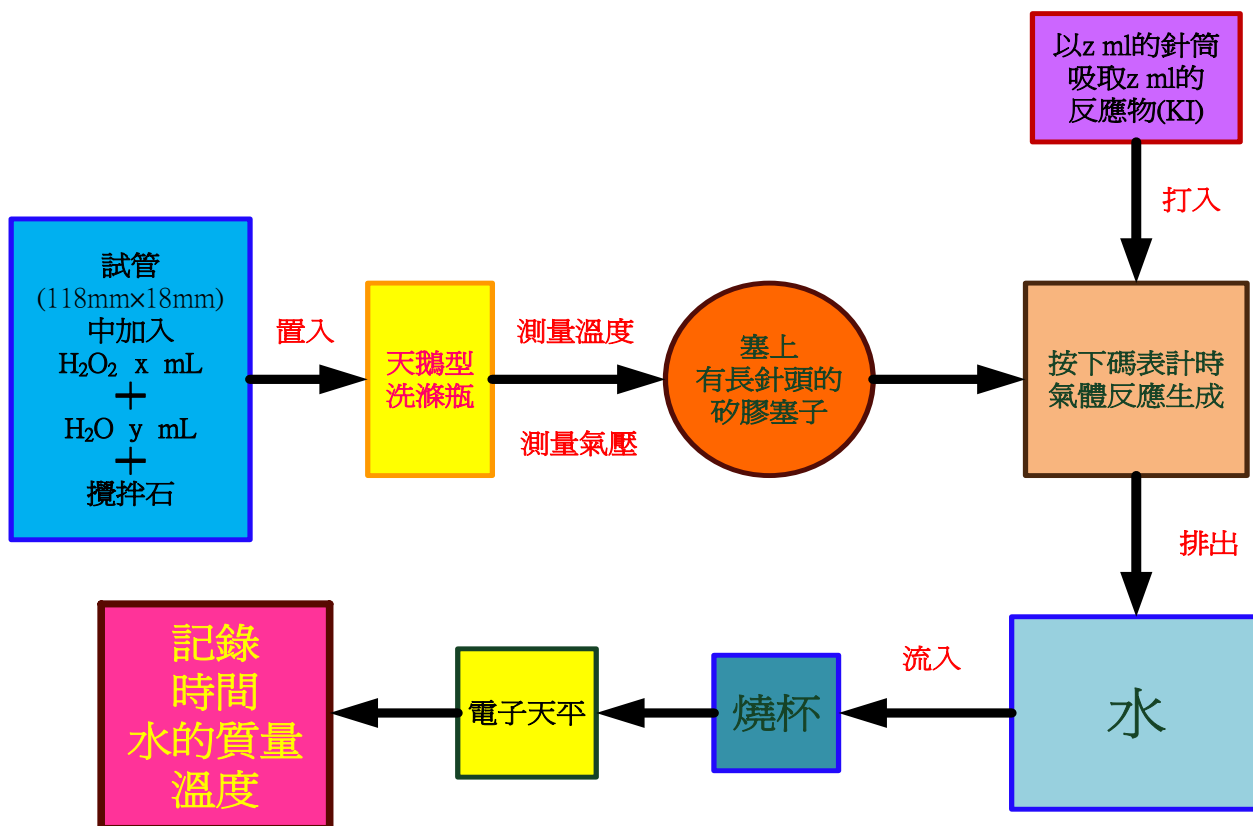
### 二、實驗器材

1. 電子秤兩台 ( $\pm 0.01 \text{ g}$ )
2. 攪拌器兩台
3. 「天鵝型」洗滌瓶 500ml 三個
4. 電子溫度計一組 (TES 1306 KJ)
5. 試管 (118mm $\times$ 18mm) 110 支
6. 容量瓶 (250 ml) 兩個
7. 吸量管 (5 ml) 三個、吸球三個
8. 燒杯 (250 ml) 六個, (100 ml) 五個, (500 ml) 兩個, (50 ml) 四個
9. 玻棒兩支
10. 滴管兩支
11. 手套一雙
12. 試管架三個
13. 鑷子兩個
14. 矽膠塞子 (8 號) 兩個
15. 透明吸管兩支
16. 培養皿兩個
17. 碼表兩個
18. 三秒膠一罐
19. 標籤紙
20. 針筒 (5 ml) 兩支, (3 ml) 兩支, (1 ml) 兩支, 含針頭



## 伍、研究過程與方法

### 一、實驗步驟流程圖



### 二、配置實驗溶液:

(一) 使用吸量管和吸球取雙氧水濃度 35% 的藥品 24.3g 至燒杯並加入些許蒸餾水，再將溶液倒入 250mL 的容量瓶內，加蒸餾水至 250mL 的刻線，均勻搖晃後，完成 1M 雙氧水的配置。



(二) 取硫酸亞鐵粉末 3.8g 至燒杯內，並加入蒸餾水，再將燒杯置於攪拌器上進行攪拌。攪拌均勻後再將溶液倒入 250mL 的容量瓶內，加蒸餾水至 250mL 刻線均勻混合後，完成 0.1M 硫酸亞鐵的配置。



(三) 取硫酸銨亞鐵粉末 6.95g 至燒杯內，並加入蒸餾水，再將燒杯置於攪拌器上進行攪拌。攪拌均勻後再將溶液倒入 250mL 的容量瓶內，加蒸餾水至 250mL 刻線均勻混合後，

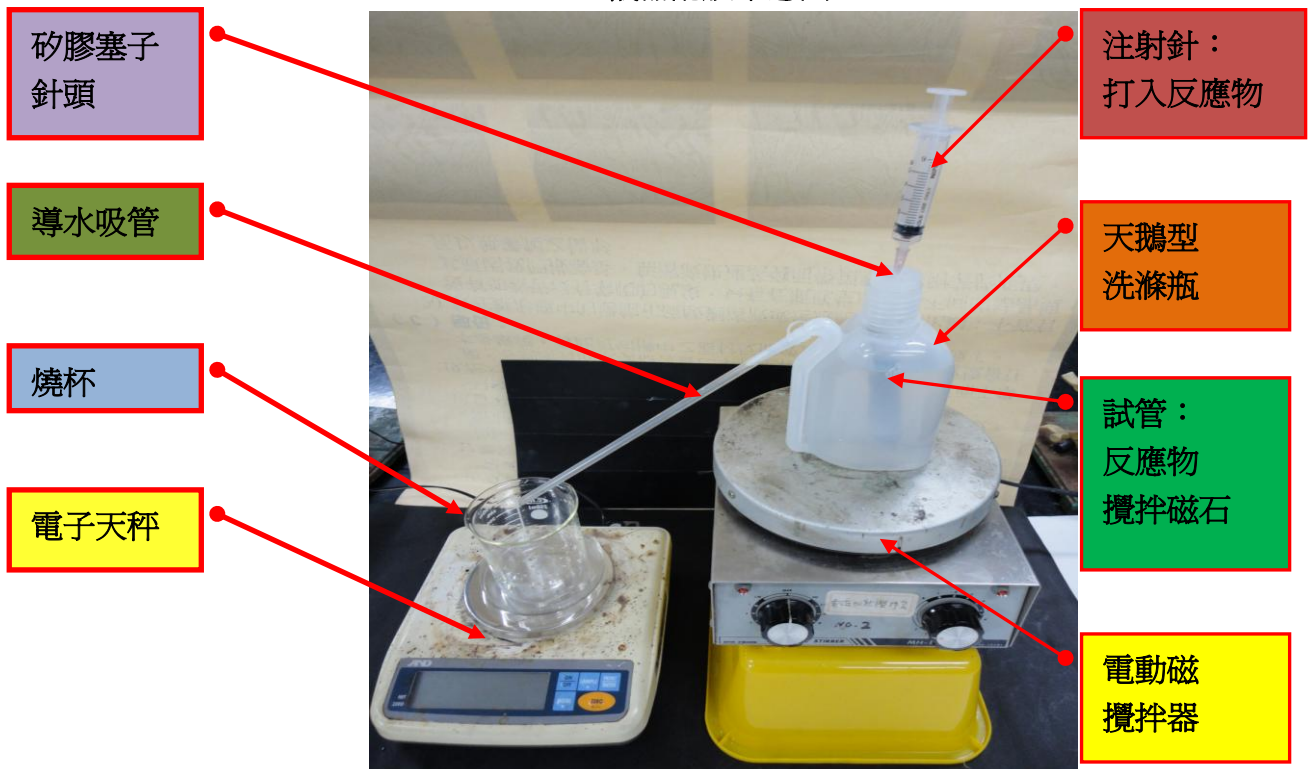
完成 0.1M 硫酸銨亞鐵溶液的配置。

- (四) 取碘化鉀粉末 2.08g 至燒杯內，並加入蒸餾水，再將燒杯置於攪拌器上進行攪拌。攪拌均勻後再將溶液倒入 100mL 的容量瓶內，加蒸餾水至 100mL 刻線均勻混合後，完成 0.5M 碘化鉀溶液的配置。
- (五) 取溴化鈉 52g 至燒杯內，並加入蒸餾水，再將燒杯置於攪拌器上進行攪拌。攪拌均勻後再將溶液倒入 100mL 的容量瓶內，加蒸餾水至 100mL 刻線均勻混合後，完成 0.5M 溴化鈉溶液的配置。
- (六) 取氯化鉀粉末 37.3g 至燒杯內，並加入蒸餾水，再將燒杯置於攪拌器上進行攪拌。攪拌均勻後再將溶液倒入 100mL 的容量瓶內，加蒸餾水至 100mL 刻線均勻混合後，完成 0.5M 氯化鉀溶液的配置。
- (七) 取溴化鉀粉末 5.9g 至燒杯內，並加入蒸餾水，再將燒杯置於攪拌器上進行攪拌。攪拌均勻後再將溶液倒入 100mL 的容量瓶內，加蒸餾水至 100mL 刻線均勻混合後，完成 0.5M 氯化鉀溶液的配置。

### 三、儀器配放方式

- (一) 將裝有 450mL 蒸餾水的洗滌瓶置於電動攪拌器上，攪拌器下方用一個盆子將其墊高，並將洗滌瓶原本的蓋子(旋轉式的)換成橡膠塞子，插上針管以便等一下要將針筒插在上方，並可防止反應開始後產生的氣體溢出。
- (二) 再將洗滌瓶的噴口裝上一打了洞的透明塑膠吸管。打洞是利用大氣壓力防止被擠出來的水卡在吸管中間。將吸管口對準一個 200mL 的燒杯，而燒杯則是置於電子天秤上，電子天平在燒杯放上去之後歸零，便可測出溢出的水的質量，有了水的質量便知道水溢出的體積，也就等同氣體的體積，如此可算出反應速率。

儀器配放示意圖：





#### 四、 實驗步驟

##### (一) 第一次實驗

將已經調配好的雙氧水 1M 用針筒吸取 1mL，再將蒸餾水和硫酸亞鐵溶液依照比例置於試管內，三種溶液的比例為下表：

編號 藥品	②	③	④	⑤
$\text{H}_2\text{O}_2$	1	1	1	1
$\text{H}_2\text{O}$	3	2	1	0
$\text{Fe}^{2+}$	1	2	3	4

(註:編號①的  $\text{Fe}^{2+}$  的量是 0 完全無反應所以我們將其省略)

將試管放置於洗滌瓶中，將他們置於磁石攪拌器上塞緊塞子之後開始攪拌，再將針筒內的藥劑透過插在塞子上的針管注入試管中，自洗滌瓶內的水從洗滌瓶沿著吸管流出來開始計時，一分鐘之前都是每 10 秒記錄一次水的重量，60 秒後則是每 30 秒記錄一次。3 分鐘後便停止記錄，完成了這次的實驗。

自左邊算起為 1(空白),2, 3, 4, 5

##### (二) 第二次實驗:

將已經調配好的雙氧水 1M 用針筒吸取 1mL，再將蒸餾水和硫酸銨亞鐵溶液依照比例置於試管內，三種溶液的比例為下表：

編號 藥品	②	③	④	⑤
$\text{H}_2\text{O}_2$	1	1	1	1
$\text{H}_2\text{O}$	3	2	1	0
$\text{Fe}^{2+}$	1	2	3	4

(註:編號①的  $\text{Fe}^{2+}$  的量是 0 完全無反應所以我們將其省略)

將試管放置於洗滌瓶中，將他們置於磁石攪拌器上塞緊塞子之後開始攪拌，再將針筒內的藥劑透過插在塞子上的針管注入試管中，自洗滌瓶內的水從洗滌瓶沿著吸管流出來開始計時，一分鐘之前都是每 10 秒記錄一次水的重量，60 秒後則是每 30 秒記錄一次。3 分鐘後便停止記錄，完成了這次的實驗。

自左邊算起為 5, 4, 3, 2, 1(空白)





(三) 第三次實驗：

1. 將已經調配好的雙氧水 1M 用針筒吸取 1mL，再將蒸餾水和硫酸亞鐵溶液依照比例置於試管內，三種溶液的比例為下表：

編號 藥品	②	③	④	⑤
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1	1	1	1
H <sub>2</sub> O	3	2	1	0
Fe <sup>2+</sup>	1	2	3	4

(註:編號①的 Fe<sup>2+</sup>的量是 0 完全無反應所以我們將其省略)

將試管放置於洗滌瓶中，將他們置於磁石攪拌器上塞緊塞子之後開始攪拌，再將針筒內的藥劑透過插在塞子上的針管注入試管中，自洗滌瓶內的水從洗滌瓶沿著吸管流出來開始計時，一分鐘之前都是每 10 秒記錄一次水的重量，60 秒後則是每 30 秒記錄一次。3 分鐘後便停止記錄，完成了這次的實驗。



2. 將硫酸亞鐵水溶液改換成 0.5M 碘化鉀水溶液，比例同上表(Fe<sup>2+</sup>改為 I<sup>-</sup>)

自前面第一根試管開始是編號 2、3、4、5

3. 將硫酸亞鐵水溶液改換成 0.5M 溴化鈉水溶液，比例同上表(Fe<sup>2+</sup>改為 Br<sup>-</sup>)

但是其效果不佳，產生的氣泡極微細小，就連編號⑤，也就是離子濃度最高的一組，其產生的氣泡仍然細小無法將洗滌瓶內的水擠出，所以我們將其捨棄。

4. 將硫酸亞鐵水溶液改換成 0.5M 氯化鉀水溶液，比例同上表(Fe<sup>2+</sup>改為 Cl<sup>-</sup>)

(四) 第四次實驗

1. 這次我們將控制變因雙氧水，一樣也是 1M 的雙氧水溶液的量增為 5mL。雙氧水及亞鐵離子和蒸餾水的體積比例如下表：

編號 藥品	①	②	③	④	⑤
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	5	5	5	5	5
Fe <sup>2+</sup>	5	4	3	2	1
H <sub>2</sub> O	0	1	2	3	4

從這次實驗開始，我們將每個編號的藥品都重複實驗 3 次，並取其平均值以縮小實驗可能的誤差。實驗步驟則承前 3 次實驗的步驟攪拌、記錄。

2. 再做一次 KI 的實驗，並且重複做 3 次，而比例則改為這次實驗的比例。

(五) 第五次實驗

雙氧水為控制變因，取  $\text{MnO}_2(\text{s})$  各有 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5g，3 種藥品總質量固定為 10g，如下表：

編號 藥品	①	②	③	④	⑤
$\text{MnO}_2$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$\text{H}_2\text{O}$	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5
$\text{H}_2\text{O}_2$	5	5	5	5	5

註:單位為 g

所以我們將 5mL 的雙氧水吸至針筒內， $\text{MnO}_2(\text{s})$ 和蒸餾水則是置於試管中，放入裝了水的洗滌瓶後先用磁石攪拌器攪拌，再打入雙氧水，自洗滌瓶內的水從洗滌瓶沿著吸管流出來開始計時，一分鐘之前都是每 10 秒記錄一次水的重量，60 秒後則是每 30 秒記錄一次。3 分鐘後便停止記錄，完成了這次的實驗。

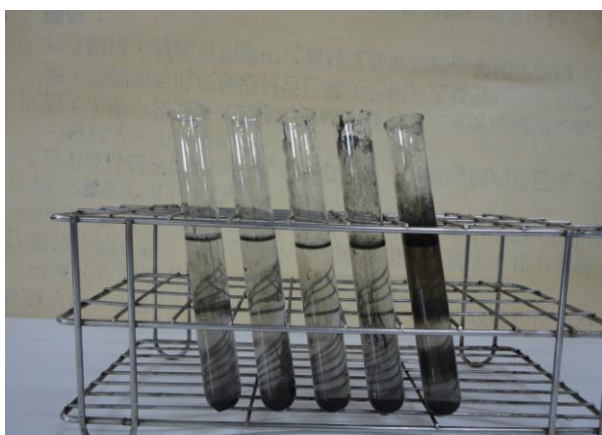
(六) 第六次實驗：( $\text{MnO}_2(\text{s})$ 粉末取 0.2g，排出水量效果最好。)

將  $\text{MnO}_2(\text{s})$ 粉末取 0.2g 加水置於試管內，而改變雙氧水的量。三者如下表：

編號 藥品	①	②	③	④	⑤
$\text{MnO}_2$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
$\text{H}_2\text{O}$	5	6	7	8	9
$\text{H}_2\text{O}_2$	5	4	3	2	1

註:單位為 g

取 0.2g  $\text{MnO}_2(\text{s})$ 粉末是因為前一次的實驗數據轉化成表格後發現編號②的曲線圖最好，所以我們這次實驗固定  $\text{MnO}_2(\text{s})$ ，將雙氧水的質量改變。我們將雙氧水吸至針筒內， $\text{MnO}_2(\text{s})$ 和蒸餾水則是置於試管中，放入裝了水的洗滌瓶後先用磁石攪拌器攪拌，再打入雙氧水，自洗滌瓶內的水從洗滌瓶沿著吸管流出來開始計時，一分鐘之前都是每 10 秒記錄一次水的重量，60 秒後則是每 30 秒記錄一次。3 分鐘後便停止記錄，完成了這次的實驗。



二氧化錳與雙氧水反應後的溶液，明顯觀察到二氧化錳的沉澱

## 陸、實驗結果與討論（圖表＋數據）

一、以文獻(一)的方式進行雙氧水與亞鐵離子的反應模式

(一)固定雙氧水的濃度為 0.1M，固定硫酸銨亞鐵的濃度為 0.5M，以文獻(一)的比例，排出水量的表列數據：

固定雙氧水的濃度為 0.1M,固定硫酸銨亞鐵的濃度 0.5M，大氣壓值：769.5mmHg																				
初水溫	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :Fe:H <sub>2</sub> O體積			H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :Fe:H <sub>2</sub> O	10秒	20秒	30秒	40秒	50秒	60秒	1.5分鐘	2.0分鐘	2.5分鐘	3.0分鐘	3.5分鐘	4.0分鐘	4.5分鐘	5.0分鐘	5.5分鐘	末水溫
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe	H <sub>2</sub> O		10	20	30	40	50	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	
28.5°C	1	1	3	01:01:03	0.6	0.83	1.17	1.39	1.62	1.84	2.38	2.8	3.23	3.54	3.85	4.15	4.46	4.67	4.86	28.4°C
29.8°C	2	1	2	02:02:02	1.11	2.33	3.05	3.95	4.64	5.37	7.22	8.73	9.88	10.88	11.77	12.48	13.11	13.67	14.1	29.5°C
29.2°C	3	1	1	03:01:01	1.9	3.94	5.73	7.48	9	10.5	14.15	16.89	19.09	20.85	22.23	23.44	24.39	25.27	25.93	29.6°C
29.2°C	4	1	0	04:04:00	3.83	6.88	9.73	12.4	14.8	17	22.25	26.05	29.25	31.59	33.51	35	36.32	37.3	38.16	30.0°C

(二) 固定雙氧水的濃度為 0.075M，固定硫酸銨亞鐵的濃度為 0.5M，以文獻(一)的比例，排出水量的表列數據：

固定雙氧水的濃度為 0.075 M,固定硫酸銨亞鐵的濃度 0.5M																				
初水溫	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :Fe:H <sub>2</sub> O體積			H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :Fe:H <sub>2</sub> O	10秒	20秒	30秒	40秒	50秒	60秒	1.5分鐘	2.0分鐘	2.5分鐘	3.0分鐘	3.5分鐘	4.0分鐘	4.5分鐘	5.0分鐘	5.5分鐘	末水溫
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe	H <sub>2</sub> O		10	20	30	40	50	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	
30.4°C	1	1	3	01:01:03	0.87	1.1	1.34	1.42	1.59	1.76	2.19	2.5	2.75	2.99	3.23	3.38	3.6	3.67	3.84	30.6°C
30.3°C	2	1	2	02:02:02	3.7	4.41	4.9	5.38	5.89	6.34	7.52	8.47	9.26	9.91	10.39	10.88	11.23	11.59	11.87	30.6°C
30°C	3	1	1	03:01:01	2.6	4.2	5.41	6.69	7.79	8.87	11.38	13.47	15.06	16.32	17.3	18.16	18.9	19.48	19.97	30.7°C
29.8°C	4	1	4	04:04:00	3.31	5.98	8.02	9.97	11.6	13.1	16.53	19.62	21.8	23.54	24.88	25.98	26.9	27.66	28.27	30.9°C

(三) 固定雙氧水的濃度為 0.05M，固定硫酸銨亞鐵的濃度為 0.5M，以文獻(一)的比例，排出水量的表列數據：

固定雙氧水的濃度為 0.05 M,固定硫酸銨亞鐵的濃度 0.5M，大氣壓值 769.5mmHg																				
初水溫	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :Fe:H <sub>2</sub> O體積			H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :Fe:H <sub>2</sub> O	10秒	20秒	30秒	40秒	50秒	60秒	1.5分鐘	2.0分鐘	2.5分鐘	3.0分鐘	3.5分鐘	4.0分鐘	4.5分鐘	5.0分鐘	5.5分鐘	末水溫
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe	H <sub>2</sub> O		10	20	30	40	50	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	
	1	1	3	01:01:03	0.06															
30.4°C	2	1	2	02:02:02	1.39	18.5	2.25	2.54	3	3.28	3.9	4.41	4.84	5.18	5.56	5.84	6.08	6.28	6.43	30.5°C
29.2°C	3	1	1	03:01:01	1.94	2.8	3.52	4.14	4.66	4.93	6.41	7.56	8.32	9.08	9.71	10.15	10.55	10.97	11.25	30.6°C
30.1°C	4	1	4	04:04:00	3.45	4.54	5.55	6.63	7.54	8.28	10.38	12.18	13.57	14.59	15.47	16.17	16.76	17.26	17.67	30.3°C

(四) 固定雙氧水的濃度為 0.1M，固定硫酸銨亞鐵的濃度為 0.5M，以文獻(一)的比例，計算出的平均反應速率的表列數據：

濃度		固定雙氧水的濃度為 0.1 M,固定硫酸銨亞鐵的濃度 0.5M，大氣壓值：769.5mmHg															
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :Fe:H <sub>2</sub> O	15	25	35	45	55	75	105	135	165	195	225	255	285	315	
0.02	0.1	01:01:03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.014	0.0143	0.0103	0.0103	0.01	0.0103	0.007	0.0063	
0.04	0.1	02:02:02	0.12	0.07	0.09	0.07	0.07	0.06	0.0503	0.0383	0.0333	0.0297	0.0237	0.021	0.0187	0.0143	
0.06	0.1	03:01:01	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.12	0.0913	0.0733	0.0587	0.046	0.0403	0.0317	0.0293	0.022	
0.08	0.1	04:04:00	0.31	0.29	0.27	0.24	0.22	0.18	0.1267	0.1067	0.078	0.064	0.0497	0.044	0.0327	0.0287	

(五) 固定雙氧水的濃度為 0.1M，固定硫酸銨亞鐵的濃度為 0.075M，以文獻(一)的比例，計算出的平均反應速率的表列數據：

濃度		固定雙氧水的濃度為 0.075 M, 固定硫酸銨亞鐵的濃度 0.5M														
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :Fe:H <sub>2</sub> O	15	25	35	45	55	75	105	135	165	195	225	255	285	315
0.02	0.1	01:01:03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.0103	0.0083	0.008	0.008	0.005	0.0073	0.0023	0.0057
0.03	0.1	02:02:02	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.0317	0.0263	0.0217	0.016	0.0163	0.0117	0.012	0.0093
0.05	0.1	03:01:01	0.16	0.12	0.13	0.11	0.11	0.08	0.0697	0.053	0.042	0.0327	0.0287	0.0247	0.0193	0.0163
0.06	0.1	04:04:00	0.27	0.2	0.2	0.16	0.15	0.11	0.103	0.0727	0.058	0.0447	0.0367	0.0307	0.0253	0.0203

(六) 固定雙氧水的濃度為 0.1M，固定硫酸銨亞鐵的濃度為 0.05M，以文獻(一)的比例，計算出的平均反應速率的表列數據：

濃度		固定雙氧水的濃度為 0.05 M, 固定硫酸銨亞鐵的濃度 0.5M, 大氣壓值 769.5mmHg														
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :Fe:H <sub>2</sub> O	15	25	35	45	55	75	105	135	165	195	225	255	285	315
0.01	0.1	01:01:03														
0.02	0.1	02:02:02	1.71	-1.6	0.03	0.05	0.03	0.02	0.017	0.0143	0.0113	0.0127	0.0093	0.008	0.0067	0.005
0.03	0.1	03:01:01	0.09	0.07	0.06	0.05	0.03	0.05	0.0383	0.0253	0.0253	0.021	0.0147	0.0133	0.014	0.0093
0.04	0.1	04:04:00	0.11	0.1	0.11	0.09	0.07	0.07	0.06	0.0463	0.034	0.0293	0.0233	0.0197	0.0167	0.0137

(七) 不同濃度的雙氧水，固定硫酸銨亞鐵的濃度為 0.5M，以文獻(一)的比例，計算出的平均反應速率的表列數據：

	第15秒	第25秒	第35秒	第45秒	第55秒	第75秒	第105秒	第135秒	第165秒	第195秒	第225秒	第255秒	第285秒	第315秒
0.015M的雙氧水平均反應速率	0.023	0.024	0.008	0.017	0.017	0.014	0.010	0.008	0.008	0.008	0.005	0.007	0.002	0.006
0.02M的雙氧水平均反應速率	0.023	0.034	0.022	0.023	0.022	0.018	0.014	0.014	0.010	0.010	0.010	0.010	0.007	0.006
0.02M的雙氧水平均反應速率	1.711	-1.625	0.029	0.046	0.028	0.021	0.017	0.014	0.011	0.013	0.009	0.008	0.007	0.005
0.03M的雙氧水平均反應速率	0.071	0.049	0.048	0.051	0.045	0.039	0.032	0.026	0.022	0.016	0.016	0.012	0.012	0.009
0.03M的雙氧水平均反應速率	0.086	0.072	0.062	0.052	0.027	0.049	0.038	0.025	0.025	0.021	0.015	0.013	0.014	0.009
0.04M的雙氧水平均反應速率	0.122	0.072	0.090	0.069	0.073	0.062	0.050	0.038	0.033	0.030	0.024	0.021	0.019	0.014
0.04M的雙氧水平均反應速率	0.109	0.101	0.108	0.091	0.074	0.070	0.060	0.046	0.034	0.029	0.023	0.020	0.017	0.014
0.045M的雙氧水平均反應速率	0.160	0.121	0.128	0.110	0.108	0.084	0.070	0.053	0.042	0.033	0.029	0.025	0.019	0.016
0.06M的雙氧水平均反應速率	0.267	0.204	0.195	0.161	0.151	0.115	0.103	0.073	0.058	0.045	0.037	0.031	0.025	0.020
0.06M的雙氧水平均反應速率	0.204	0.179	0.175	0.152	0.151	0.121	0.091	0.073	0.059	0.046	0.040	0.032	0.029	0.022
0.08M的雙氧水平均反應速率	0.305	0.285	0.268	0.242	0.216	0.175	0.127	0.107	0.078	0.064	0.050	0.044	0.033	0.029

(八) 不同濃度的雙氧水，固定硫酸銨亞鐵的濃度為 0.5M，以文獻(一)的比例，計算出的平均反應速率的平均值表列數據：

	第15秒	第25秒	第35秒	第45秒	第55秒	第75秒	第105秒	第135秒	第165秒	第195秒	第225秒	第255秒	第285秒	第315秒
0.015M的雙氧水平均反應速率	0.023	0.024	0.008	0.017	0.017	0.014	0.010	0.008	0.008	0.008	0.005	0.007	0.002	0.006
0.02M的雙氧水平均反應速率	0.867	-0.796	0.026	0.035	0.025	0.019	0.016	0.014	0.011	0.012	0.010	0.009	0.007	0.006
0.03M的雙氧水平均反應速率	0.079	0.061	0.055	0.052	0.036	0.044	0.035	0.026	0.024	0.019	0.016	0.013	0.013	0.009
0.04M的雙氧水平均反應速率	0.116	0.087	0.099	0.080	0.074	0.066	0.055	0.042	0.034	0.030	0.024	0.020	0.018	0.014
0.045M的雙氧水平均反應速率	0.160	0.121	0.128	0.110	0.108	0.084	0.070	0.053	0.042	0.033	0.029	0.025	0.019	0.016
0.06M的雙氧水平均反應速率	0.236	0.192	0.185	0.157	0.151	0.118	0.097	0.073	0.058	0.045	0.039	0.031	0.027	0.021
0.08M的雙氧水平均反應速率	0.305	0.285	0.268	0.242	0.216	0.175	0.127	0.107	0.078	0.064	0.050	0.044	0.033	0.029

(九) 在不同時間，將雙氧水與平均反應速率作圖，如下所示：

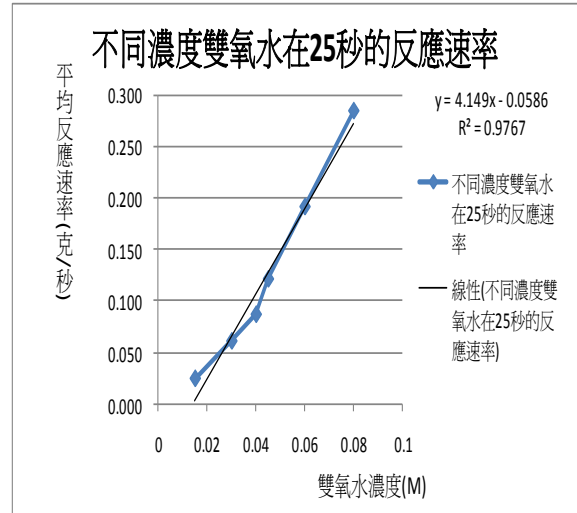
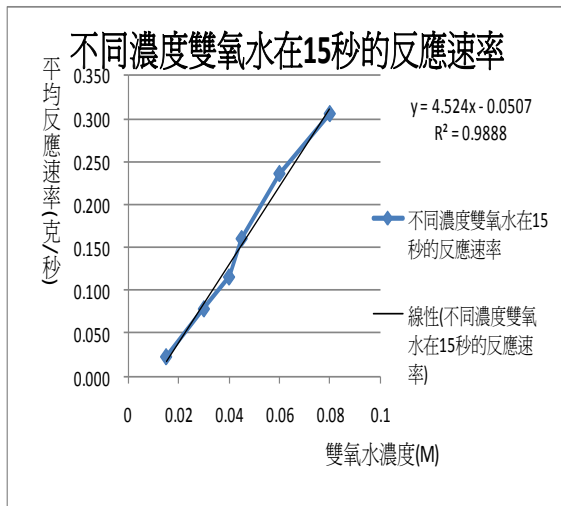


圖 1-a. 不同濃度雙氧水在 15 秒的反應速率

圖 1-b. 不同濃度雙氧水在 25 秒的反應速率

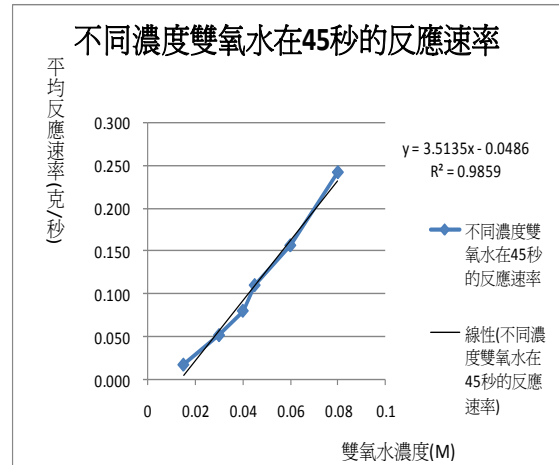
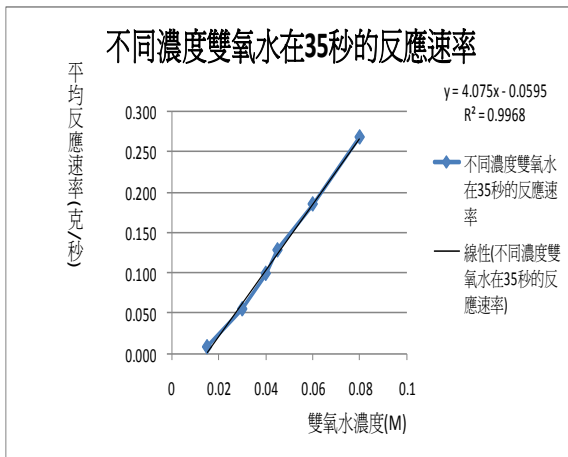


圖 1-c. 不同濃度雙氧水在 35 秒的反應速率

圖 1-d. 不同濃度雙氧水在 45 秒的反應速率

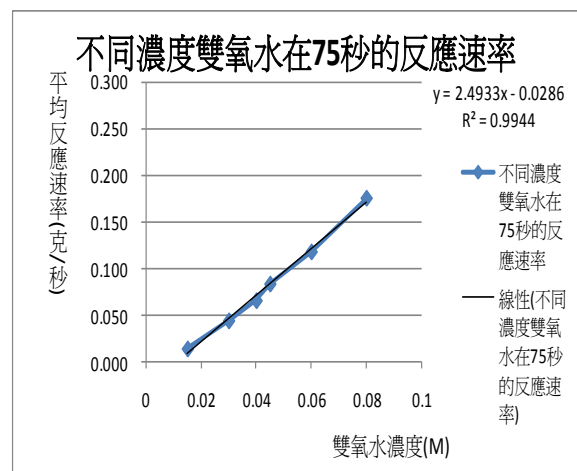
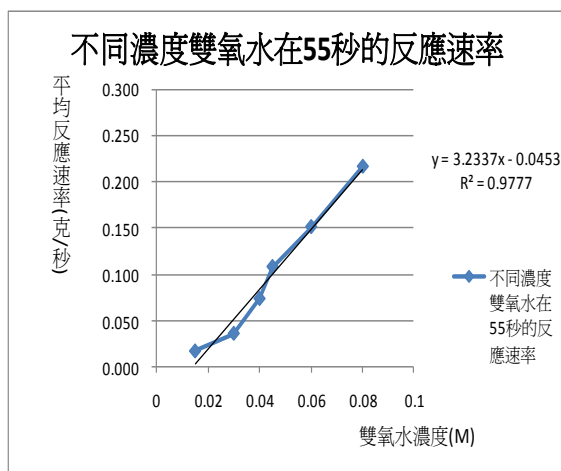


圖 1-e. 不同濃度雙氧水在 55 秒的反應速率

圖 1-f. 不同濃度雙氧水在 75 秒的反應速率



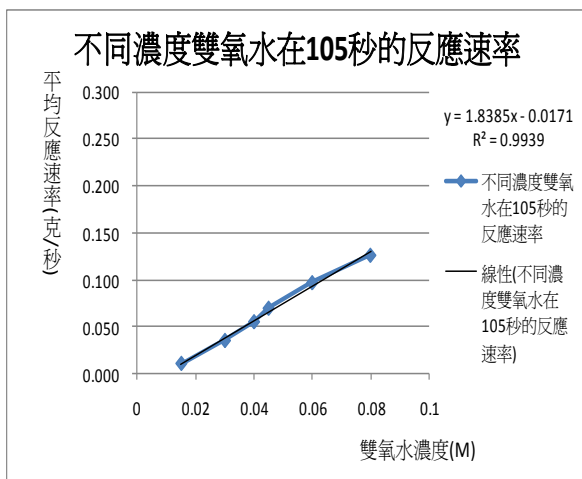


圖 1-g. 不同濃度雙氧水在 105 秒的反應速率

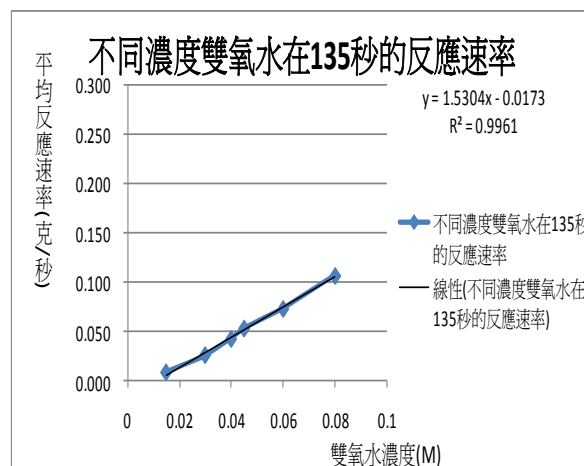


圖 1-h. 不同濃度雙氧水在 135 秒的反應速率

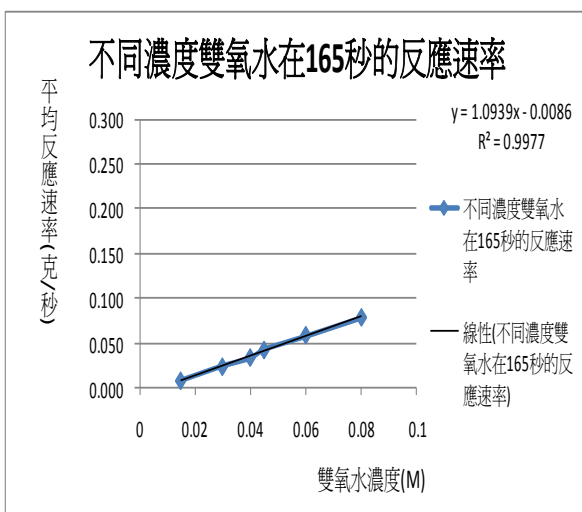


圖 1-i. 不同濃度雙氧水在 165 秒的反應速率

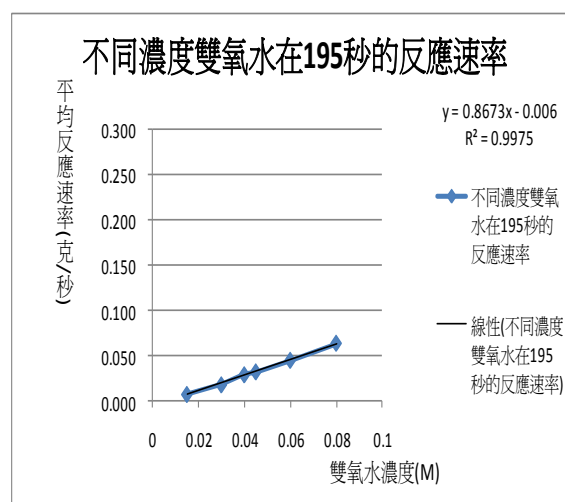


圖 1-j. 不同濃度雙氧水在 195 秒的反應速率

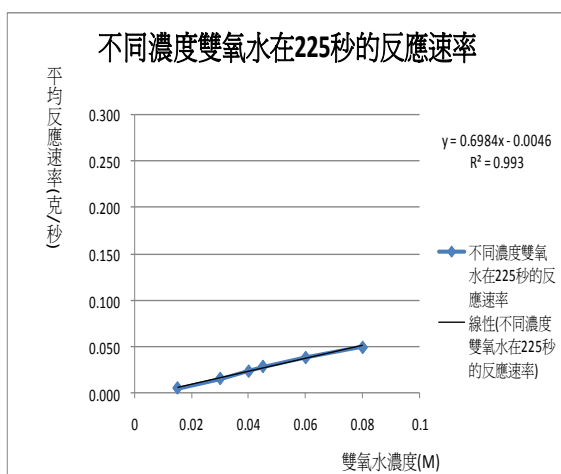


圖 1-k. 不同濃度雙氧水在 225 秒的反應速率

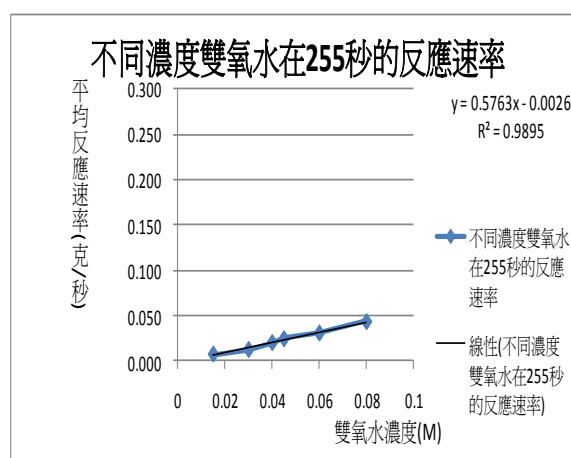


圖 1-l. 不同濃度雙氧水在 255 秒的反應速率

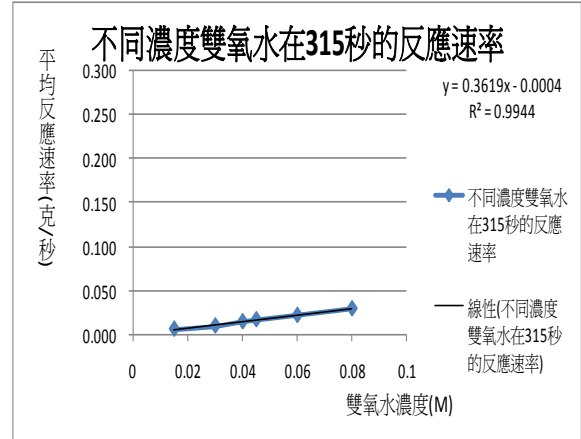
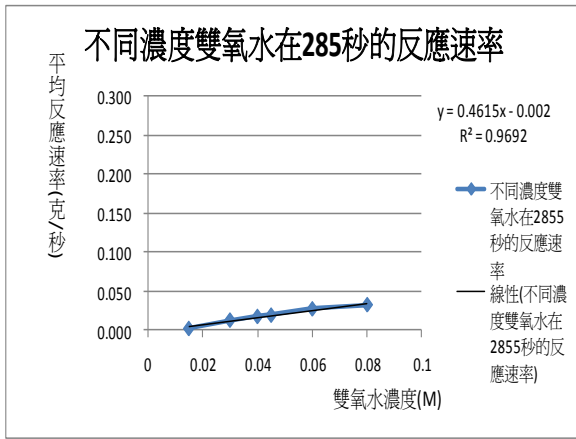


圖 1-m. 不同濃度雙氧水在 285 秒的反應速率

圖 1-n. 不同濃度雙氧水在 315 秒的反應速率

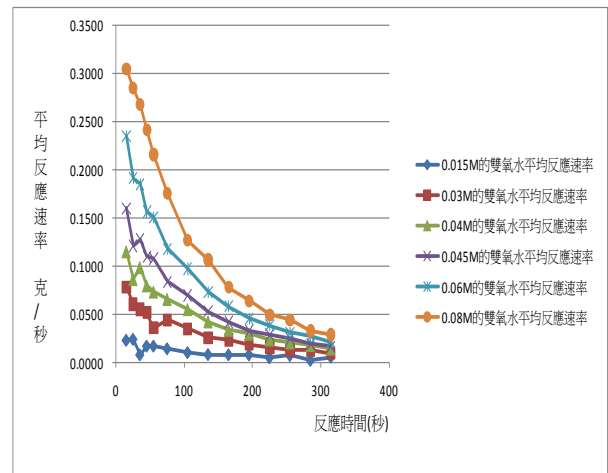
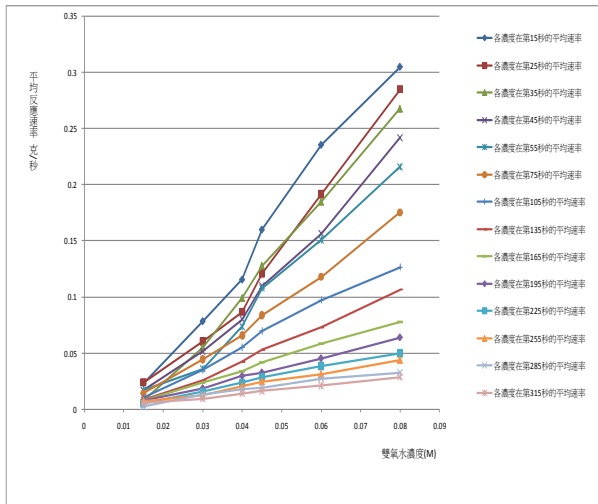


圖 1-o. 不同濃度雙氧水，在不同時間的反應速率整合

圖 1-p. 各濃度雙氧水在不同時間的反應速率整合

(十) 本數據小結：

1. 由上述的相關圖示得知反應速率與雙氧水的濃度是正比關係，反應級數是一級反應。公式如下：

$$R \propto [H_2O_2]^1$$

2. 因為改變加入反應物的方式，及使用電子天秤來量測排出水的質量，讓本裝置更容易與更準確的判斷雙氧水的反應級數，比文獻(一)的測量結果更好。
3. 由圖 1-p 知反應的時間越長，反應的平均速率越小，而且於不同濃度的雙氧水的趨勢線上皆有一致的結果。這是因為雙氧水的濃度隨反應的時間越來越低，所以平均速率越小。並且在高濃度的雙氧水中更出現明顯的降幅，而低濃度降低的趨勢就比較小。



二、使用本實驗的進料方式，固定雙氧水濃度，改變硫酸銨亞鐵濃度，歸納亞鐵離子濃度的反應級數。

(一) 固定雙氧水濃度 1M，改變硫酸銨亞鐵濃度，排水質量(克)。

固定雙氧水濃1M,改變硫酸銨亞鐵濃度															
時間	0.5M排水質量			0.4M排水質量			0.3M排水質量			0.2M排水質量			0.1M排水質量		
10	7.23	7.45	7.2	7.05	6.3	5.59	6.5	6.1	4.36	5.83	5.78	5.21	5.27	5.76	5.59
20	8.32	8.75	8.47	8.32	7.3	6.61	7.44	6.98	5.26	6.5	6.3	5.77	5.58	6.09	5.86
30	9.73	10.04	9.93	9.45	8.5	7.71	8.08	7.88	6.17	7.06	6.59	6.37	6.05	6.32	6.1
40	11.04	11.49	11.32	10.61	9.69	9.07	8.92	8.87	7.14	7.75	7.68	7.02	6.47	6.8	6.37
50	12.33	12.91	12.77	11.51	11.1	10.42	10.21	9.66	8.19	8.62	8.39	7.74	6.77	7.16	6.63
60	13.65	14.23	14.22	12.9	12.13	11.67	11.15	10.73	9.03	9.18	9.44	8.52	7.08	7.54	7.07
90	17.1	18.34	18.32	16.14	15.87	15.22	13.67	13.77	12.25	11.18	11.26	10.75	8.16	8.62	8.16
120	20.5	22.03	22.21	19.26	19.29	17.83	16.41	16.38	15.07	13.13	13.11	13.05	9.31	9.76	9.42
150	23.65	25.72	25.96	22.09	22.66	21.6	18.95	19.16	17.78	15.13	15.15	15.05	10.31	10.73	10.62
180	26.63	28.68	28.25	24.78	25.7	24.73	21.18	21.57	21.03	17.14	17.07	17.26	11.27	11.95	11.81

(二) 固定雙氧水濃度 1M，改變硫酸銨亞鐵濃度，排水質量速率(克/秒)。

固定雙氧水濃1M,改變硫酸銨亞鐵濃度,硫酸銨亞鐵排水質量速率															
時間	0.5M硫酸銨亞鐵排水質量速率			0.4M硫酸銨亞鐵排水質量速率			0.3M硫酸銨亞鐵排水質量速率			0.2M硫酸銨亞鐵排水質量速率			0.1M硫酸銨亞鐵排水質量速率		
15	0.109	0.130	0.127	0.127	0.100	0.102	0.094	0.088	0.090	0.067	0.052	0.056	0.031	0.033	0.027
25	0.141	0.129	0.146	0.113	0.120	0.110	0.064	0.090	0.091	0.056	0.029	0.060	0.047	0.023	0.024
35	0.131	0.145	0.139	0.116	0.119	0.136	0.084	0.099	0.097	0.069	0.109	0.065	0.042	0.048	0.027
45	0.129	0.142	0.145	0.090	0.141	0.135	0.129	0.079	0.105	0.087	0.071	0.072	0.030	0.036	0.026
55	0.132	0.132	0.145	0.139	0.103	0.125	0.094	0.107	0.084	0.056	0.105	0.078	0.031	0.038	0.044
75	0.115	0.137	0.137	0.108	0.125	0.118	0.084	0.101	0.107	0.067	0.061	0.074	0.036	0.036	0.036
105	0.113	0.123	0.130	0.104	0.114	0.087	0.091	0.087	0.094	0.065	0.062	0.077	0.038	0.038	0.042
135	0.105	0.123	0.125	0.094	0.112	0.126	0.085	0.093	0.090	0.067	0.068	0.067	0.033	0.032	0.040
165	0.099	0.099	0.076	0.090	0.101	0.104	0.074	0.080	0.108	0.067	0.064	0.074	0.032	0.041	0.040

(三) 固定雙氧水濃度 1M，改變硫酸銨亞鐵濃度，排水質量平均速率(克/秒)。

固定雙氧水濃1M,改變硫酸銨亞鐵濃度,硫酸銨亞鐵平均排水質量速率(克/秒)					
時間(秒)	0.5M	0.4M	0.3M	0.2M	0.1M
15	0.122	0.110	0.091	0.058	0.030
25	0.139	0.114	0.082	0.048	0.031
35	0.138	0.124	0.093	0.081	0.039
45	0.139	0.122	0.104	0.077	0.031
55	0.136	0.122	0.095	0.080	0.038
75	0.130	0.117	0.098	0.067	0.036
105	0.122	0.102	0.091	0.068	0.039
135	0.118	0.111	0.089	0.067	0.035
165	0.091	0.098	0.088	0.068	0.037

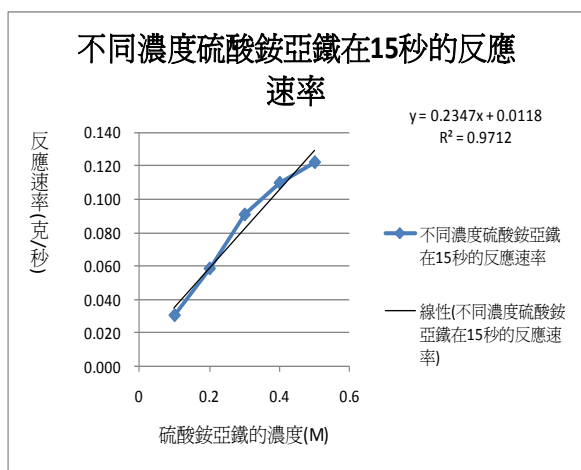


圖 2-a. 不同濃度硫酸銨亞鐵在 15 秒的反應速率

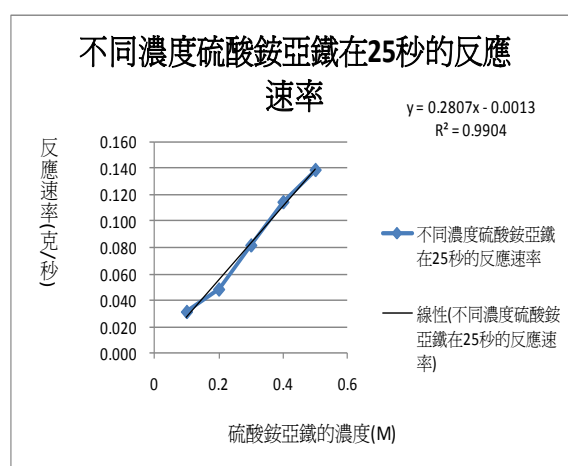


圖 2-b. 不同濃度硫酸銨亞鐵在 25 秒的反應速率

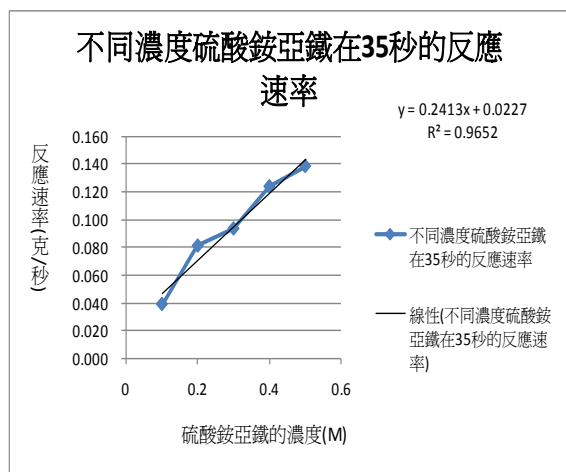


圖 2-c. 不同濃度硫酸銨亞鐵在 35 秒的反應速率

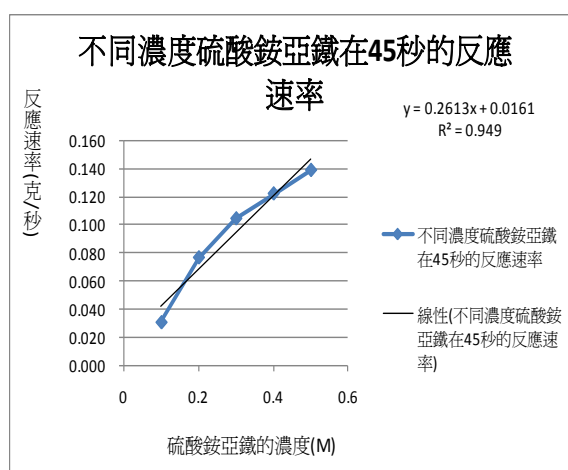


圖 2-d. 不同濃度硫酸銨亞鐵在 45 秒的反應速率

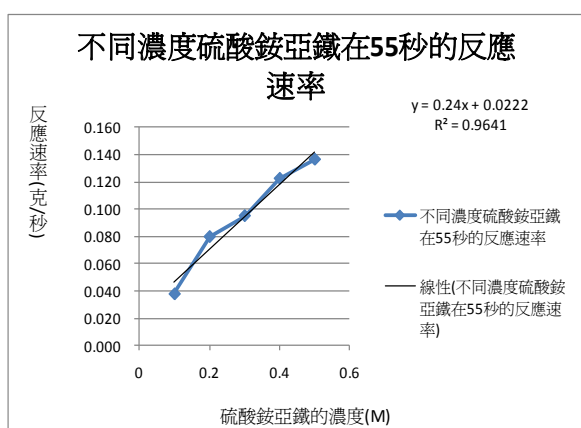


圖 2-e. 不同濃度硫酸銨亞鐵在 55 秒的反應速率

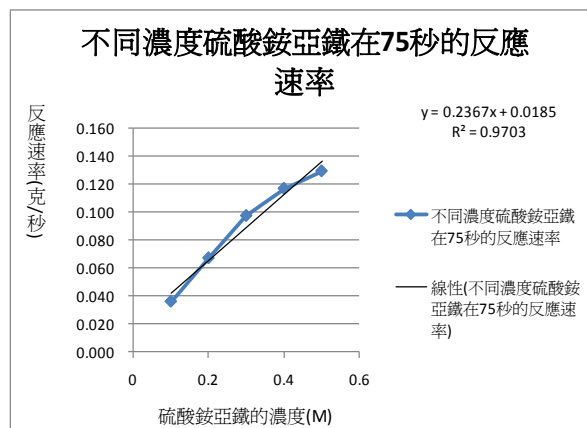


圖 2-f. 不同濃度硫酸銨亞鐵在 75 秒的反應速率

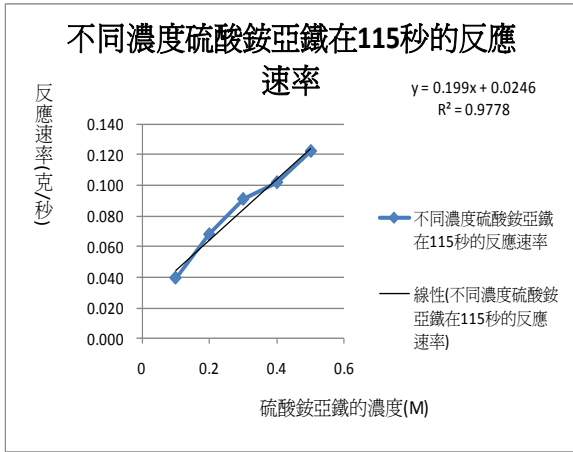


圖 2-g. 不同濃度硫酸銨亞鐵在 115 秒的反應速率

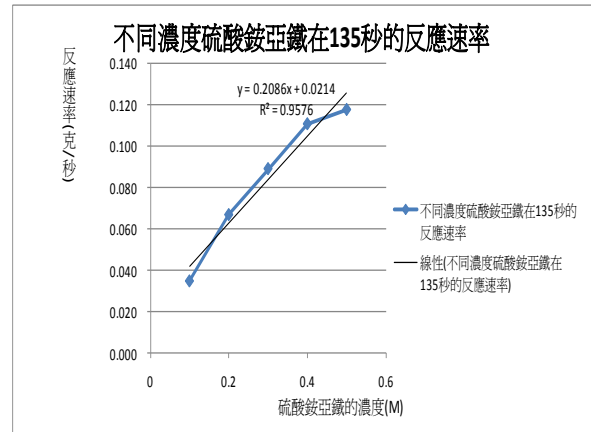


圖 2-h. 不同濃度硫酸銨亞鐵在 135 秒的反應速率

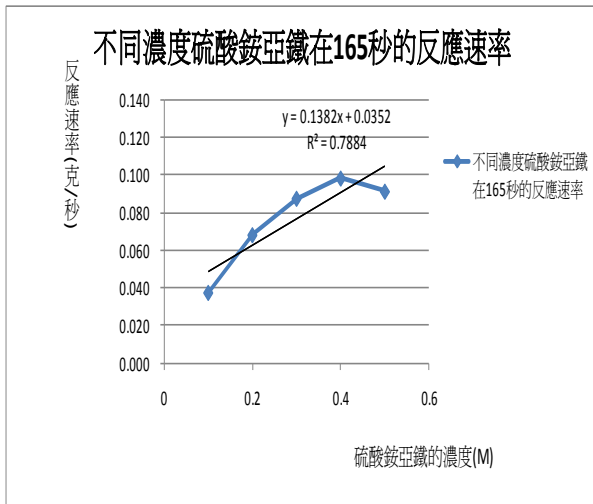


圖 2-i. 不同濃度硫酸銨亞鐵在 165 秒的反應速率



照片說明：四組硫酸銨亞鐵與雙氧水反應後的溶液(一次進行兩組的結果)

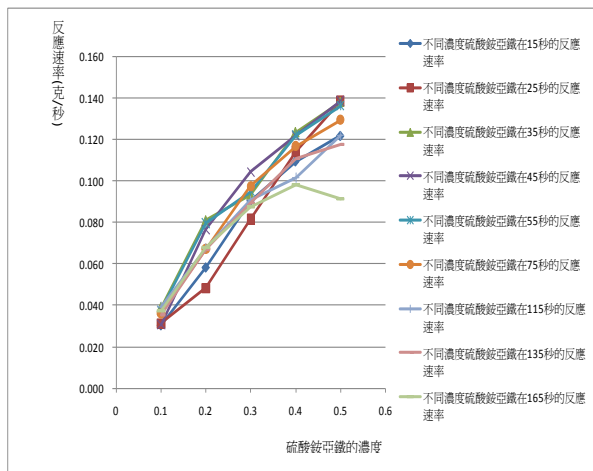


圖 2-j. 不同濃度硫酸銨亞鐵與在不同時間的反應速率的整合圖

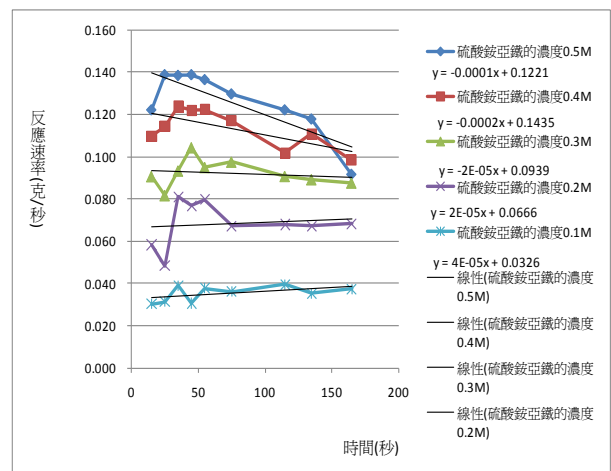


圖 2-k. 各濃度硫酸銨亞鐵在不同時間的反應速率整合：

(四) 本數據小結：

1. 由上述的相關圖示得知反應速率與硫酸銨亞鐵的濃度是正比關係，反應級數是一級反應。公式如下：

$$R \propto [\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2]^1$$

2. 由圖 2-k 知反應的初期，反應的平均速率是增加，而且於不同濃度硫酸銨亞鐵的趨勢線上皆有一致的結果。而隨著反應時間加長，反應的平均速率也越來越低，這是因為雙氧水的濃度隨反應的時間越來越低，所以平均速率越小。並且在高濃度的雙氧水中更出現明顯的降幅，而低濃度降低的趨勢就比較小。

三、 使用本實驗的進料方式，固定雙氧水濃度 1M，改變碘化鉀濃度，歸納碘離子濃度的反應級數。

(一) 固定雙氧水濃度 1M, 改變碘化鉀濃度，排水質量(克)。

固定雙氧水濃1M, 改變碘化鉀濃度															
時間(秒)	0.25M碘化鉀排水質量(克)			0.2M碘化鉀排水質量(克)			0.15M碘化鉀排水質量(克)			0.1M碘化鉀排水質量(克)			0.05M碘化鉀排水質量(克)		
10	5.43	5.42	4.83	4.83	6.05	5.33	5.26	5.04	4.87	5.68	5.23	5.11	4.91	5.09	5.26
20	8.91	9.02	6.83	6.83	7.8	7.56	7.07	6.58	6.67	6.22	5.68	6.11	5.06	5.62	5.56
30	12.91	12.98	9.44	9.44	10.45	10.56	9.21	8.86	9.19	7.32	6.86	7.32	5.66	5.73	6.19
40	16.73	16.64	12.28	12.28	12.97	13.87	11.59	11.09	11.47	8.56	8.13	8.79	6.5	5.93	6.99
50	20.21	20.37	14.98	14.98	15.34	16.4	13.82	13.49	13.64	9.81	9.49	10.24	7.09	7.09	7.77
60	23.75	23.68	17.07	17.07	17.95	19.19	16.07	15.59	15.59	11.09	10.7	11.75	7.72	8.3	8.46
90	32.31	32.67	23.69	23.69	24.48	26.56	22.04	21.69	21.93	14.92	14.87	15.98	9.97	10.57	10.82
120	39.35	39.68	29.3	29.3	30.22	32.95	27.46	26.9	27.69	18.41	18.48	20.06	12.15	13.02	13.15
150	41.91	45.55	34.34	34.34	35.27	38.31	32.26	32.67	32.45	21.73	22.15	23.76	14.21	15.31	15.17
180	49.41	49.69	38.57	38.57	39.56	42.86	36.52	35.86	36.87	24.72	25.38	27.22	16.27	14.44	17.44

(二) 固定雙氧水濃度 1M, 改變碘化鉀濃度，排水質量速率(克/秒)。

固定雙氧水濃1M, 改變碘化鉀濃度															
時間(秒)	0.25M碘化鉀排水質量速率(克/秒)			0.2M碘化鉀排水質量速率(克/秒)			0.12M碘化鉀排水質量速率(克/秒)			0.1M碘化鉀排水質量速率(克/秒)			0.05M碘化鉀排水質量速率(克/秒)		
15	0.348	0.360	0.200	0.200	0.175	0.223	0.181	0.154	0.180	0.054	0.045	0.100	0.015	0.053	0.030
25	0.400	0.396	0.261	0.261	0.265	0.300	0.214	0.228	0.252	0.110	0.118	0.121	0.060	0.011	0.063
35	0.382	0.366	0.284	0.284	0.252	0.331	0.238	0.223	0.228	0.124	0.127	0.147	0.084	0.020	0.080
45	0.348	0.373	0.270	0.270	0.237	0.253	0.223	0.240	0.217	0.125	0.136	0.145	0.059	0.116	0.078
55	0.354	0.331	0.209	0.209	0.261	0.279	0.225	0.210	0.195	0.128	0.121	0.151	0.063	0.121	0.069
75	0.285	0.300	0.221	0.221	0.218	0.246	0.199	0.203	0.211	0.128	0.139	0.141	0.075	0.076	0.079
105	0.235	0.234	0.187	0.187	0.191	0.213	0.181	0.174	0.192	0.116	0.120	0.136	0.073	0.082	0.078
135	0.085	0.196	0.168	0.168	0.168	0.179	0.160	0.192	0.159	0.111	0.122	0.123	0.069	0.076	0.067
165	0.250	0.138	0.141	0.141	0.143	0.152	0.142	0.106	0.147	0.100	0.108	0.115	0.069	-0.029	0.076

(三) 固定雙氧水濃度 1M，改變碘化鉀濃度，排水質量平均速率(克/秒)。

固定雙氧水濃1M,改變碘化鉀濃度					
排水質量平均速率(克/秒)					
時間(秒)	0.25M碘化鉀	0.2M碘化鉀	0.12M碘化鉀	0.1M碘化鉀	0.05M碘化鉀
15	0.303	0.199	0.172	0.066	0.033
25	0.352	0.275	0.231	0.116	0.045
35	0.344	0.289	0.230	0.133	0.061
45	0.330	0.253	0.227	0.135	0.084
55	0.298	0.250	0.210	0.133	0.084
75	0.269	0.228	0.205	0.136	0.076
105	0.218	0.197	0.182	0.124	0.077
135	0.150	0.172	0.170	0.119	0.071
165	0.176	0.145	0.132	0.108	0.038

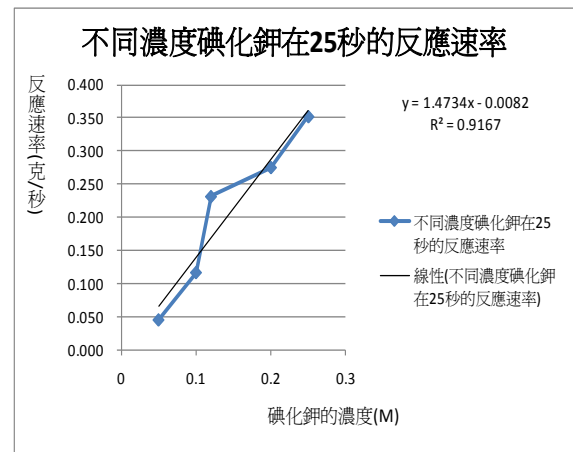
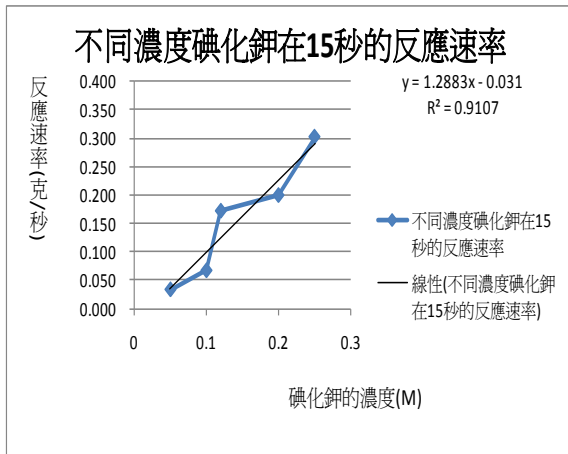


圖 3-a. 不同濃度碘化鉀在 15 秒的反應速率

圖 3-b. 不同濃度碘化鉀在 25 秒的反應速率

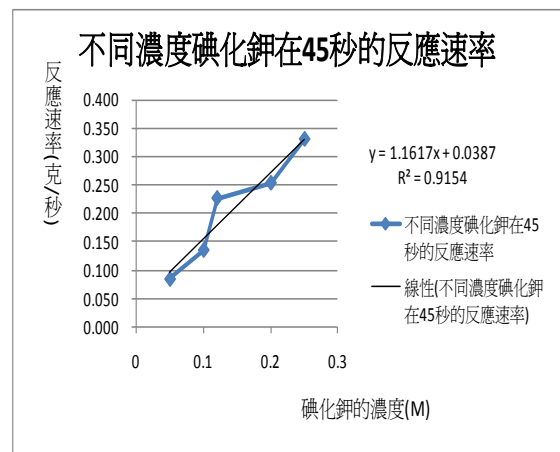
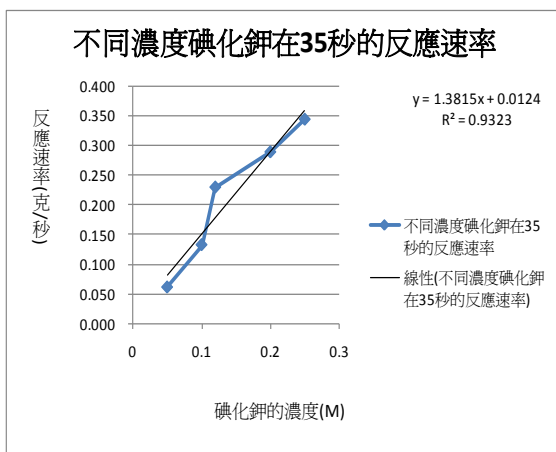


圖 3-c. 不同濃度碘化鉀在 35 秒的反應速率

圖 3-d. 不同濃度碘化鉀在 45 秒的反應速率

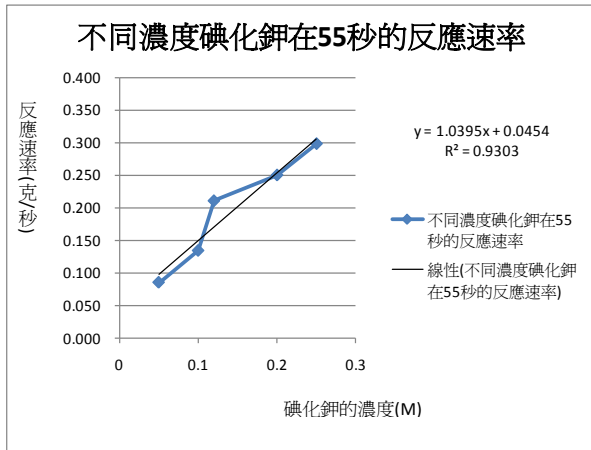


圖 3-e. 不同濃度碘化鉀在 55 秒的反應速率

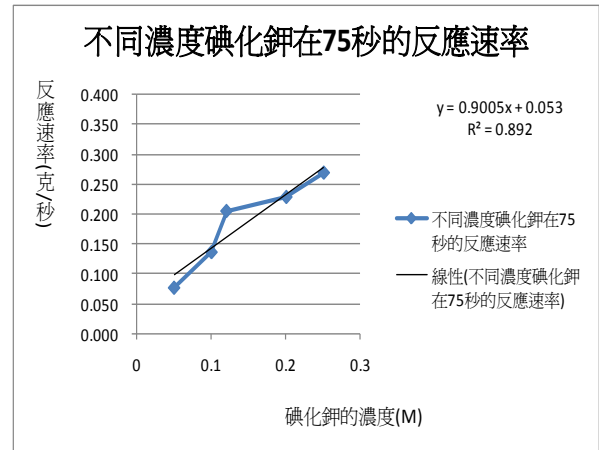


圖 3-f. 不同濃度碘化鉀在 75 秒的反應速率

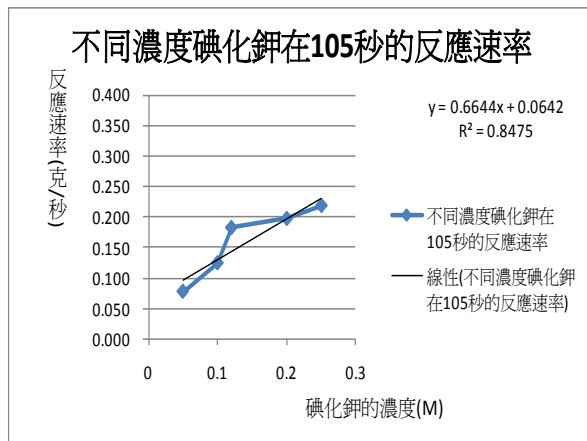


圖 3-g. 不同濃度碘化鉀在 105 秒的反應速率

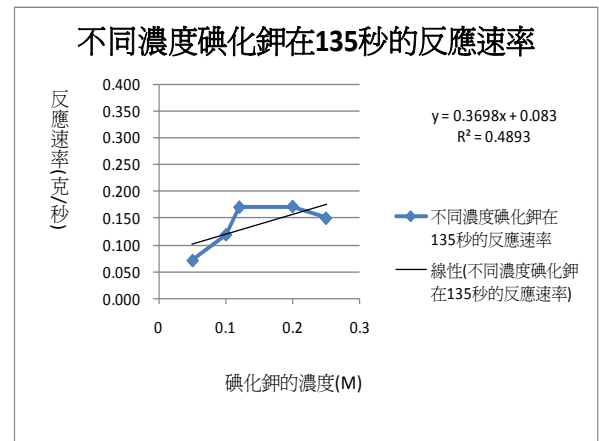


圖 3-h. 不同濃度碘化鉀在 135 秒的反應速率

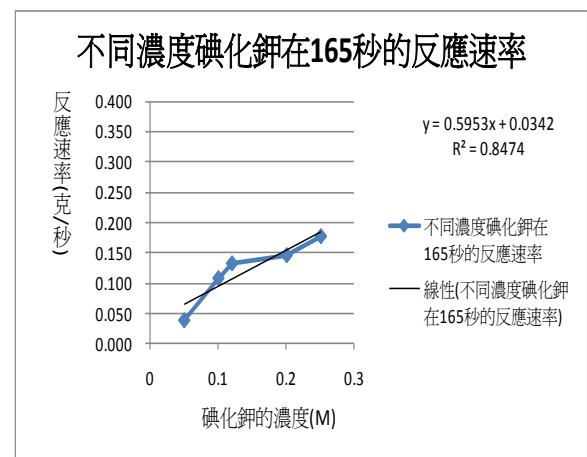


圖 3-i. 不同濃度碘化鉀在 165 秒的反應速率



照片說明:實驗時注入藥品的各式針筒



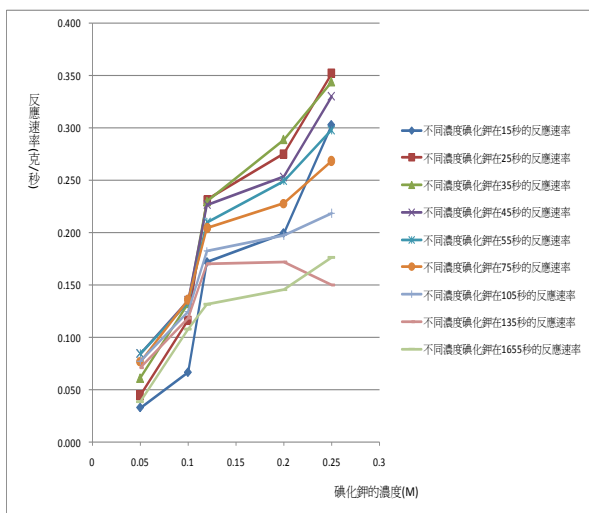


圖 3-j. 不同濃度碘化鉀與在不同時間的反應速率的整合圖

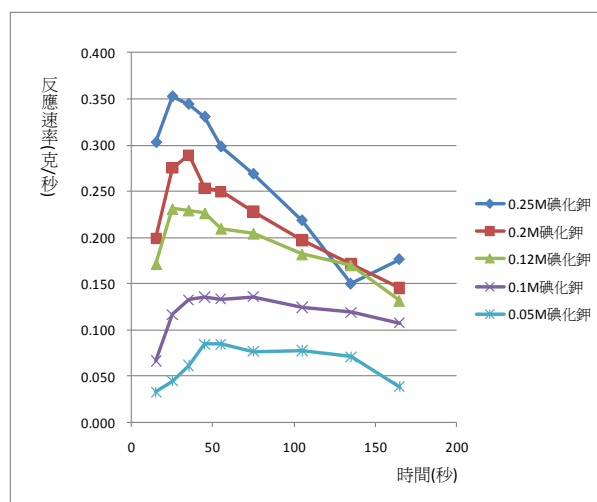


圖 3-k. 各濃度碘化鉀在不同時間的反應速率整合

(四) 本數據小結：

1. 由上述的相關圖示得知反應速率與碘化鉀的濃度是正比關係，反應級數是一級反應。公式如下：

$$R \propto [KI]^1$$

2. 由圖 3-k 知反應的初期，反應的平均速率是增加，而且於不同濃度碘化鉀的趨勢線上皆有一致的結果。而隨著反應時間加長，則反應的平均速率也越來越低，這是因為雙氧水的濃度隨反應的時間越來越低，所以平均速率越小。並且在高濃度的雙氧水中更出現明顯的降幅，而低濃度降低的趨勢就比較小。

四、使用本實驗的進料方式，固定雙氧水濃度 1M，改變二氧化錳的反應質量，歸納二氧化錳的質量與反應速率的相關。

(一) 固定雙氧水濃度 1M，改變二氧化錳的反應質量，排水質量(克)。

固定雙氧水濃度為1M,改變二氧化錳的質量															
時間(秒)	0.05克二氧化錳排水質量			0.1克二氧化錳排水質量			0.15克二氧化錳排水質量			0.2克二氧化錳排水質量			0.25克二氧化錳排水質量		
10	8.9	8.18	9.06	12.86	14.67	14.53	19.04	14.81	15.73	19.62	23.06	21.2	28.65	23.76	30.25
20	13.18	12.09	12.36	19.78	21.69	22.2	29.84	26.83	29.73	32.84	34.85	37.5	48.54	43.26	50.74
30	16.09	14.88	14.79	24.53	26.34	27.81	37.08	34.86	38.64	42.39	45.69	48.91	58.79	56.44	62.18
40	18.83	17.06	16.85	28.64	30.16	33.65	44.21	41.23	46.21	49.84	53.72	55.96	64.75	63.78	67.56
50	21.13	19.24	18.54	32.39	33.69	36.95	48.98	46.27	50.98	55.48	59.65	61.38	66.08	67.52	69.97
60	23.43	21.16	20.1	35.43	36.57	39.23	53.04	50.93	55.07	59.82	63.97	64.84	68.29	69.78	71.02
90	28.38	25.82	23.74	42.92	44.3	49.95	61.71	59.69	64.08	66.76	70.68	69.82	68.95	70.65	71.92
120	32.56	29.51	27.12	48.63	49.86	54.36	66.01	65.15	67.46	69.27	72.79	70.83	69.49	70.99	72.05
150	36.04	32.71	29.64	52.96	54.27	58.98	68.19	68.29	69.29	70.12	73.51	71.26	69.56	70.99	72.28
180	39.26	35.74	31.94	56.49	57.78	62.53	69.24	70	70.07	70.53	73.83	71.32	69.56	71.2	72.28



(二) 固定雙氧水濃度 1M，改變二氧化錳的反應質量，排水質量速率(克/秒)。

固定雙氧水濃度為1M,改變二氧化錳的質量															
時間(秒)	0.05克二氧化錳排水質量速率			0.1克二氧化錳排水質量速率			0.15克二氧化錳排水質量速率			0.2克二氧化錳排水質量速率			0.25克二氧化錳排水質量速率		
15	0.428	0.391	0.330	0.692	0.702	0.767	1.080	1.202	1.400	1.322	1.179	1.630	1.989	1.950	2.049
25	0.291	0.279	0.243	0.475	0.465	0.561	0.724	0.803	0.891	0.955	1.084	1.141	1.025	1.318	1.144
35	0.274	0.218	0.206	0.411	0.382	0.584	0.713	0.637	0.757	0.745	0.803	0.705	0.596	0.734	0.538
45	0.230	0.218	0.169	0.375	0.353	0.330	0.477	0.504	0.477	0.564	0.593	0.542	0.133	0.374	0.241
55	0.230	0.192	0.156	0.304	0.288	0.228	0.406	0.466	0.409	0.434	0.432	0.346	0.221	0.226	0.105
75	0.165	0.155	0.121	0.250	0.258	0.357	0.289	0.292	0.300	0.231	0.224	0.166	0.022	0.029	0.030
105	0.139	0.123	0.113	0.190	0.185	0.147	0.143	0.182	0.113	0.084	0.070	0.034	0.018	0.011	0.004
135	0.116	0.107	0.084	0.144	0.147	0.154	0.073	0.105	0.061	0.028	0.024	0.014	0.002	0.000	0.008
165	0.107	0.101	0.077	0.118	0.117	0.118	0.035	0.057	0.026	0.014	0.011	0.002	0.000	0.007	0.000

(三) 固定雙氧水濃度 1M，改變二氧化錳的反應質量，排水質量平均速率(克/秒)。

固定雙氧水濃度為1M,改變二氧化錳的質量					
平均排水質量速率					
時間(秒)	0.05克二氧化錳	0.1克二氧化錳	0.15克二氧化錳	0.2克二氧化錳	0.25克二氧化錳
15	0.383	0.720	1.227	1.377	1.996
25	0.271	0.500	0.806	1.060	1.162
35	0.233	0.459	0.702	0.751	0.623
45	0.206	0.353	0.486	0.566	0.249
55	0.193	0.273	0.427	0.404	0.184
75	0.147	0.288	0.294	0.207	0.027
105	0.125	0.174	0.146	0.063	0.011
135	0.102	0.148	0.079	0.022	0.003
165	0.095	0.118	0.039	0.009	0.002

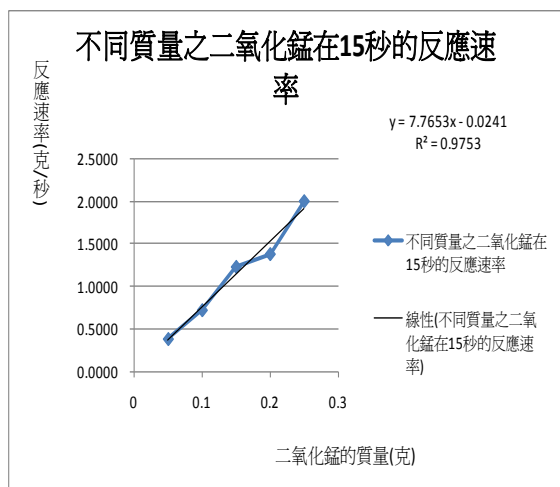


圖 4-a. 不同質量之二氧化錳在 15 秒的反應速率

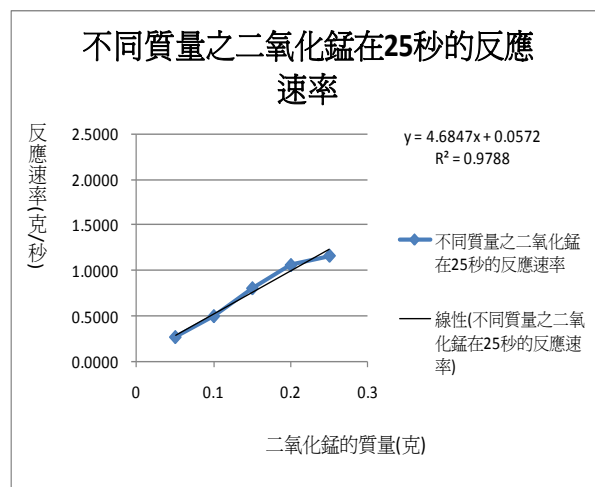


圖 4-b. 不同質量之二氧化錳在 25 秒的反應速率

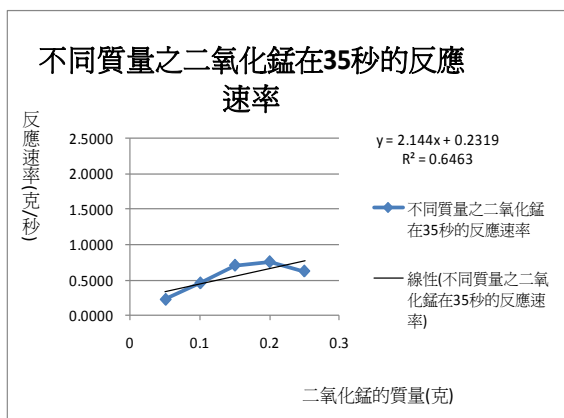


圖 4-c. 不同質量之二氧化錳在 35 秒的反應速率

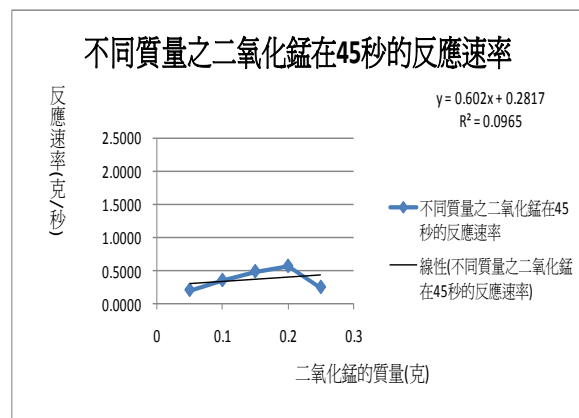


圖 4-d. 不同質量之二氧化錳在 45 秒的反應速率

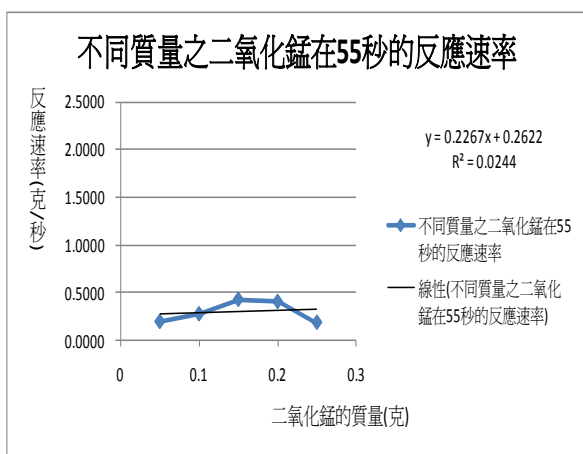


圖 4-e. 不同質量之二氧化錳在 55 秒的反應速率

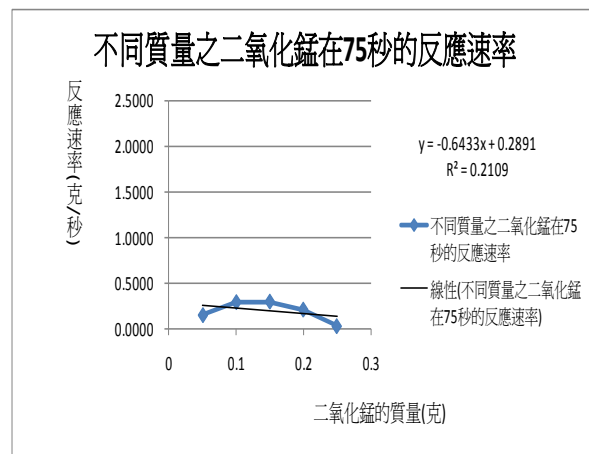


圖 4-f. 不同質量之二氧化錳在 75 秒的反應速率

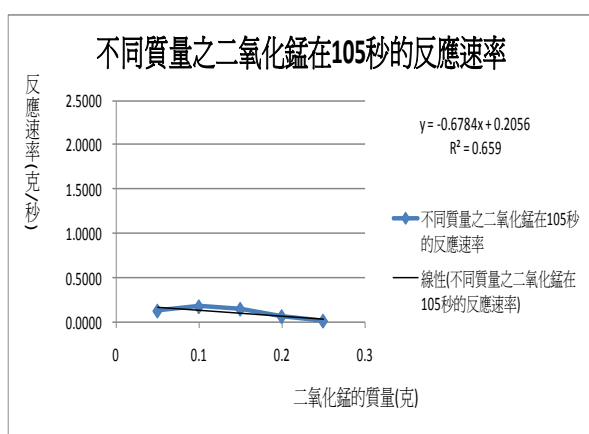


圖 4-g. 不同質量之二氧化錳在 105 秒的反應速率

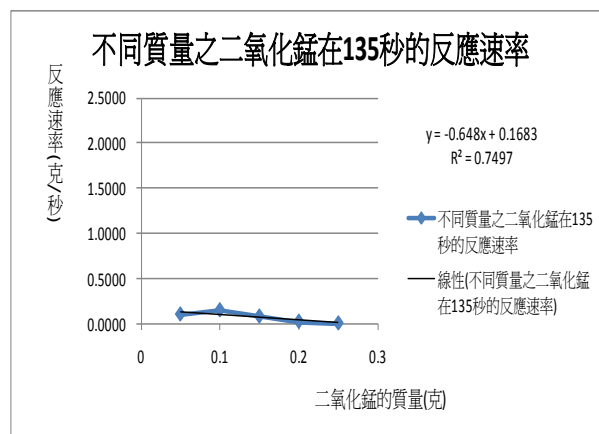


圖 4-h. 不同質量之二氧化錳在 135 秒的反應速率

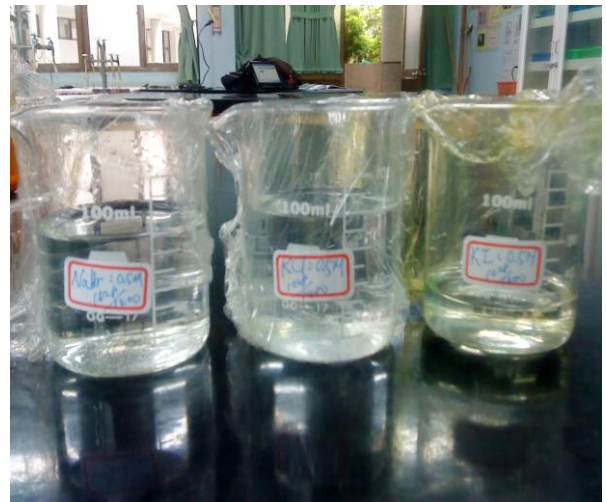
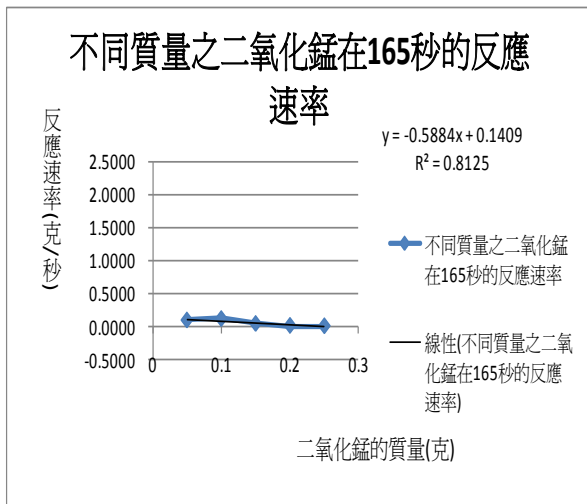


圖 4-i. 不同質量之二氧化錳在 165 秒的反應速率

照片說明:由左至右為溴化鈉 溴化鉀 碘化鉀水溶液

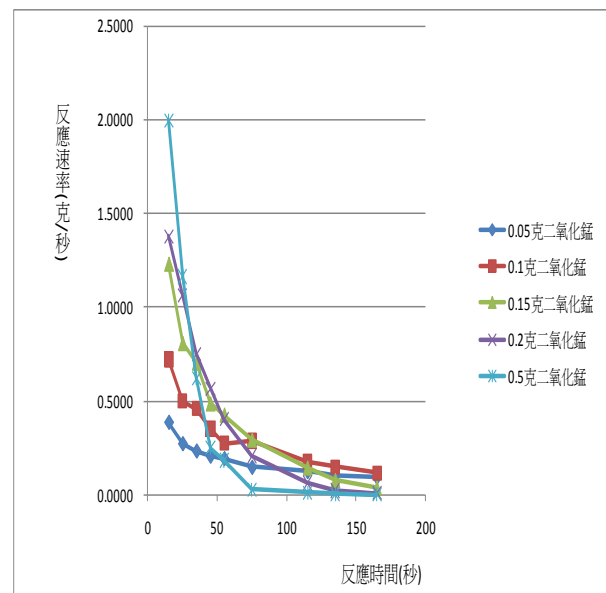
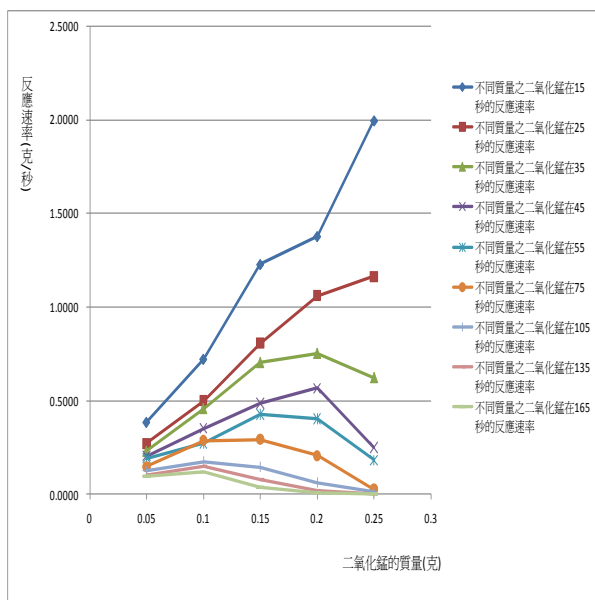


圖 4-j. 不同質量之二氧化錳在不同時間的反應速率的整合圖

圖 4-k. 各質量之二氧化錳在不同時間的反應速率整合

#### (四) 本數據小結：

1. 由上述的相關圖示得知反應速率與二氧化錳加入的質量多少有正向關係，尤其是初期的平均反應速率，更是有顯著性。
2. 由圖 4-k 知反應的初期，反應的平均速率是增加，而且於不同濃度雙氧水的趨勢線上皆有一致的結果。而隨著反應時間加長，則反應的平均速率也越來越低，這是因為雙氧水的濃度隨反應的時間越來越低，所以平均速率越小。甚至雙氧水的量已經反應完，並且在高濃度的雙氧水中更出現明顯的降幅，而低濃度降低的趨勢就比較小。

五、使用本實驗的進料方式，固定二氧化錳的質量為 0.2 克，改變雙氧水濃度，歸納雙氧水濃度的反應級數。

(一) 固定二氧化錳的質量 0.2 克，改變雙氧水濃度，排水質量(克)。

固定二氧化錳的質量0.2克,改變雙氧水濃度															
時間(秒)	0.5M雙氧水排水質量(克)			0.4M雙氧水排水質量(克)			0.3M雙氧水排水質量(克)			0.2M雙氧水排水質量(克)			0.1M雙氧水排水質量(克)		
10	20.59	19.65	22.03	18.32	17.54	19.68	17.56	16.79	17.85	15.69	15.98	13.87	4.56	10.97	8.63
20	34.45	34.58	35.86	31.68	29.38	33.25	26.85	32.67	28.64	24.53	17.83	21.62	9.02	15.71	13.13
30	43.74	44.29	45.53	40.38	38.97	43.21	32.21	35.98	35.42	28.78	25.85	25.68	12.54	17.52	15.28
40	50.46	51.49	52.91	45.88	43.85	48.72	35.85	40.32	39.43	30.68	28.59	27.82	14.83	18.12	16.32
50	55.65	58.14	58.01	50.23	47.75	51.96	38.29	42.04	41.77	31.62	30.17	29.01	16.23	18.52	16.84
60	59.48	61.29	62.34	53.54	50.39	53.97	39.57	43.29	43.1	32.11	30.92	29.62	16.86	18.72	16.97
90	66.43	66.95	68.34	57.78	53.88	56.15	41.27	44.64	44.63	32.67	31.4	30.29	17.73	18.9	17.35
120	67.95	68.62	70.48	58.88	54.85	56.69	41.81	45.24	44.88	32.84	31.76	30.74	17.98	19.16	17.66
150	69.54	69.24	71.06	59.2	55.41	57.03	41.89	45.33	45.33	33.05	31.94	30.74	18.02	19.19	17.66
180	69.86	69.7	71.44	59.47	55.71	57.19	42.07	45.33	45.34	33.13	32.13	30.77	18.17	19.19	17.66

(二) 固定二氧化錳的質量 0.2 克，改變雙氧水濃度，排水質量速率(克/秒)。

固定二氧化錳的質量0.2克,改變雙氧水濃度															
時間(秒)	0.5M雙氧水，排水質量速率(克/秒)			0.4M雙氧水，排水質量速率(克/秒)			0.3M雙氧水，排水質量速率(克/秒)			0.2M雙氧水，排水質量速率(克/秒)			0.1M雙氧水，排水質量速率(克/秒)		
15	1.386	1.493	1.383	1.336	1.184	1.357	0.929	1.588	1.079	0.884	0.185	0.775	0.446	0.474	0.450
25	0.929	0.971	0.967	0.870	0.959	0.996	0.536	0.331	0.678	0.425	0.802	0.406	0.352	0.181	0.215
35	0.672	0.720	0.738	0.550	0.488	0.551	0.364	0.434	0.401	0.190	0.274	0.214	0.229	0.060	0.104
45	0.519	0.665	0.510	0.435	0.390	0.324	0.244	0.172	0.234	0.094	0.158	0.119	0.140	0.040	0.052
55	0.383	0.315	0.433	0.331	0.264	0.201	0.128	0.125	0.133	0.049	0.075	0.061	0.063	0.020	0.013
75	0.232	0.189	0.200	0.141	0.116	0.073	0.057	0.045	0.051	0.019	0.016	0.022	0.029	0.006	0.013
105	0.051	0.056	0.071	0.037	0.032	0.018	0.018	0.020	0.008	0.006	0.012	0.015	0.008	0.009	0.010
135	0.053	0.021	0.019	0.011	0.019	0.011	0.003	0.003	0.015	0.007	0.006	0.000	0.001	0.001	0.000
165	0.011	0.015	0.013	0.009	0.010	0.005	0.006	0.000	0.000	0.003	0.006	0.001	0.005	0.000	0.000

(三) 固定二氧化錳的質量 0.2 克,改變雙氧水濃度，排水質量平均速率(克/秒)。

固定二氧化錳的質量0.2克,改變雙氧水濃度					
平均排水質量速率(克/秒)					
時間(秒)	0.5M雙氧水，排水質量速率(克/秒)	0.4M雙氧水，排水質量速率(克/秒)	0.3M雙氧水，排水質量速率(克/秒)	0.2M雙氧水，排水質量速率(克/秒)	0.1M雙氧水，排水質量速率(克/秒)
15	1.421	1.292	1.199	0.615	0.457
25	0.956	0.942	0.515	0.544	0.249
35	0.710	0.530	0.400	0.226	0.131
45	0.565	0.383	0.217	0.124	0.077
55	0.377	0.265	0.129	0.062	0.032
75	0.207	0.110	0.051	0.019	0.016
105	0.059	0.029	0.015	0.011	0.009
135	0.031	0.014	0.007	0.004	0.001
165	0.013	0.008	0.002	0.003	0.002

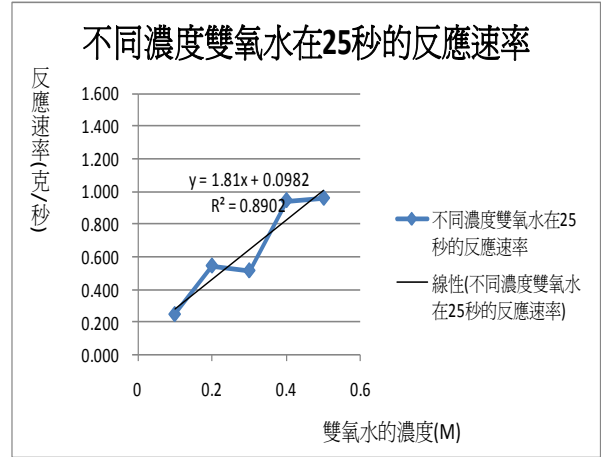
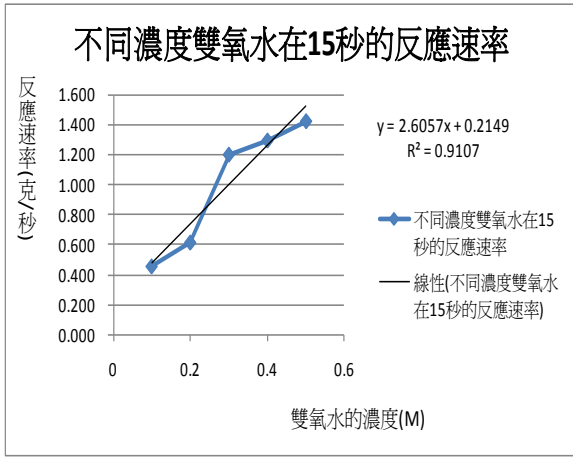


圖 5-a. 不同濃度雙氧水在 15 秒的反應速率

圖 5-b. 不同濃度雙氧水在 25 秒的反應速率

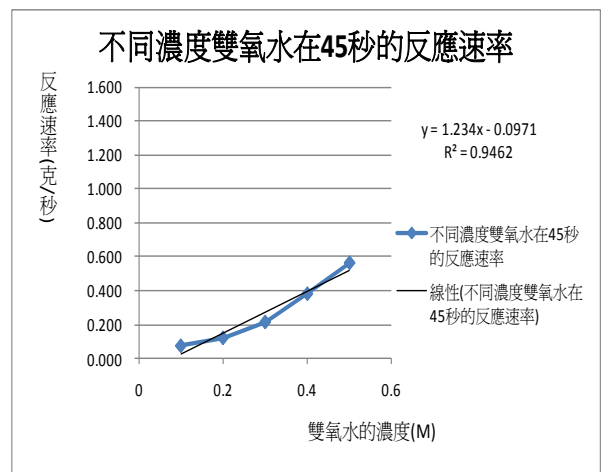
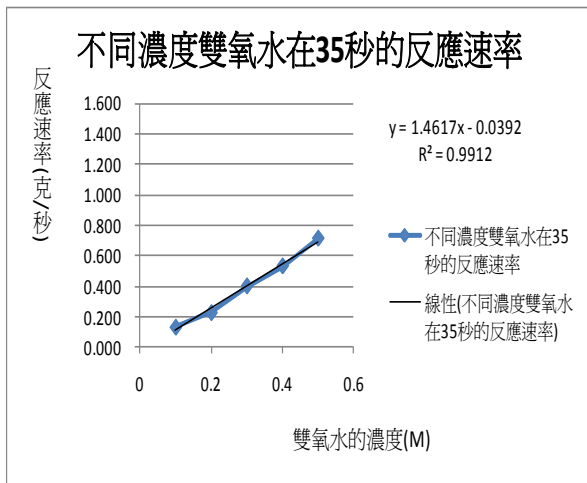


圖 5-c. 不同濃度雙氧水在 35 秒的反應速率

圖 5-d. 不同濃度雙氧水在 45 秒的反應速率

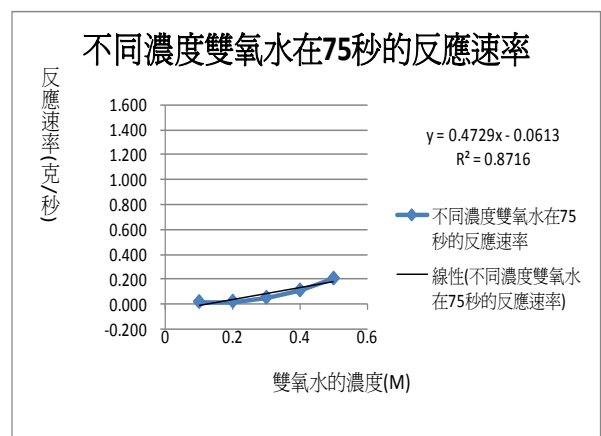
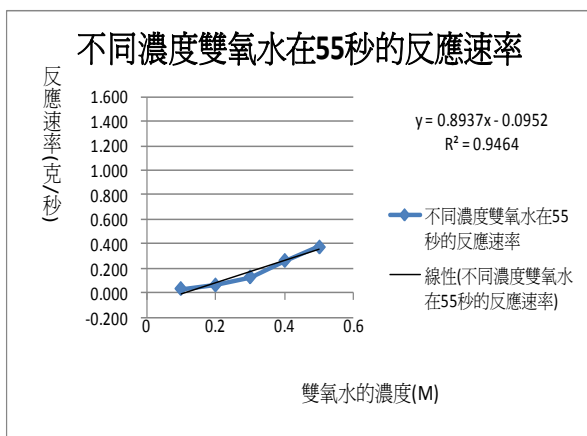


圖 5-e. 不同濃度雙氧水在 55 秒的反應速率

圖 5-f. 不同濃度雙氧水在 75 秒的反應速率

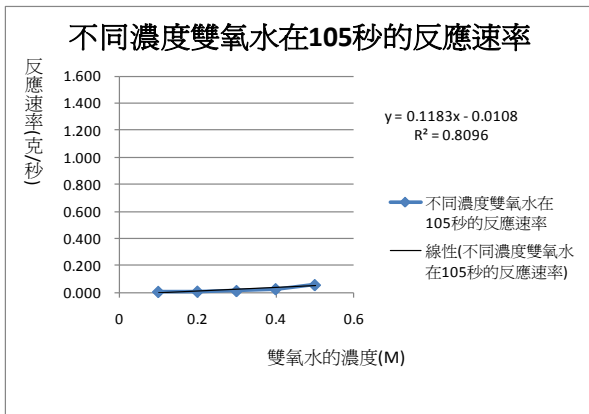


圖 5-g. 不同濃度雙氧水在 105 秒的反應速率

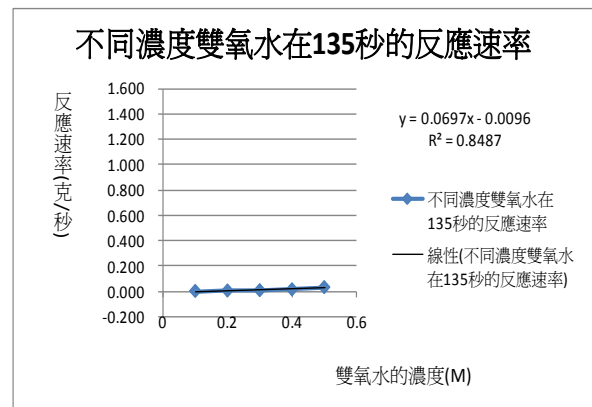


圖 5-h. 不同濃度雙氧水在 135 秒的反應速率

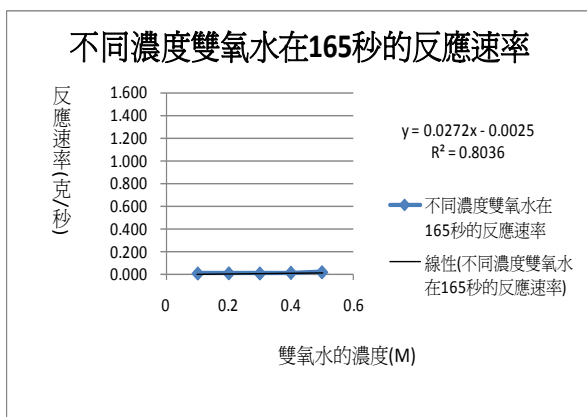


圖 5-i. 不同濃度雙氧水在 165 秒的反應速率



照片說明：實驗中水從洗滌瓶流出

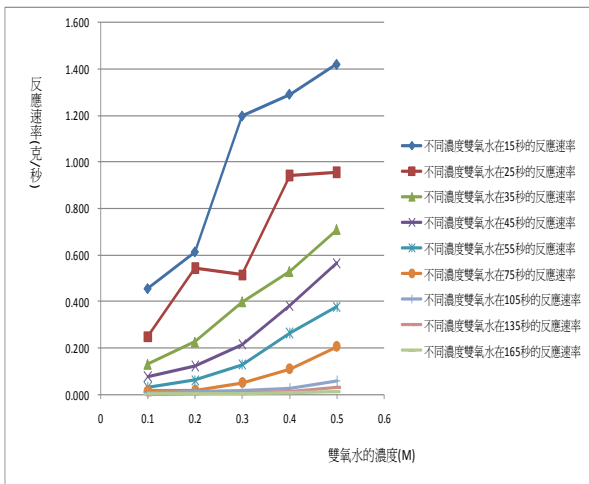


圖 5-j. 不同濃度雙氧水與在不同時間的反應速率的整合圖

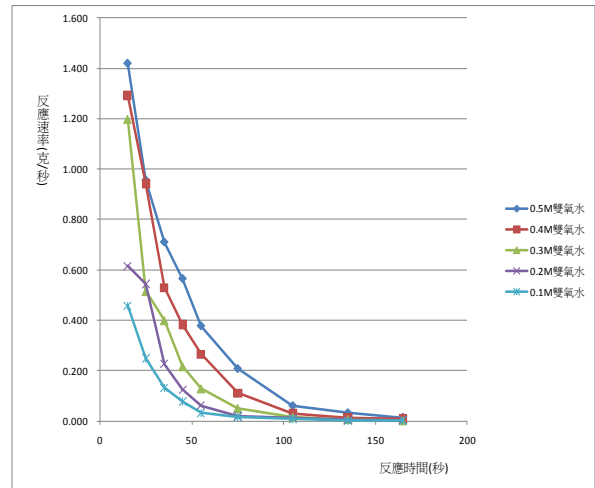


圖 5-k. 各濃度雙氧水在不同時間的反應速率整合

(四) 本數據小結：

- 由上述的相關圖示得知反應速率與雙氧水的濃度是正比關係，反應級數是一級反應。公式如下：

$$R \propto [\text{H}_2\text{O}_2]^1$$

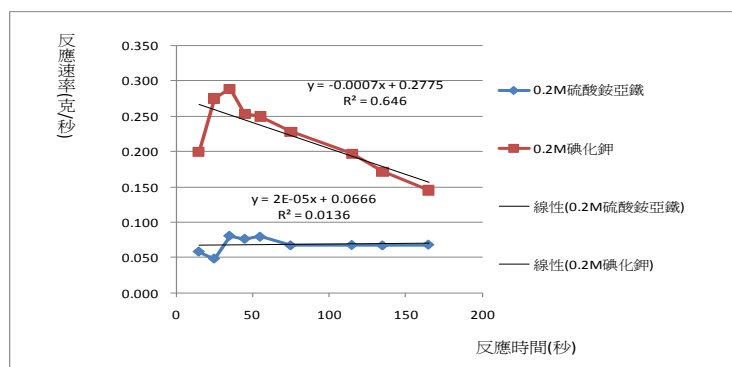


2. 由圖 5-k 知反應的初期，反應的平均速率是增加，而且於不同濃度雙氧水的趨勢線上皆有一致的結果。而隨著反應時間加長，則反應的平均速率也越來越低，這是因為雙氧水的濃度隨反應的時間越來越低，所以平均速率越小。並且在高濃度的雙氧水中更出現明顯的降幅，而低濃度降低的趨勢就比較小。

六、 比較相同濃度的雙氧水與 0.2M 同濃度的硫酸銨亞鐵與碘化鉀之平均反應速率：

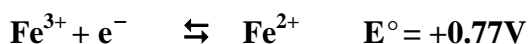
相同濃度的雙氧水與0.2M同濃度的硫酸銨亞鐵與碘化鉀 之平均反應速率的比較(克/秒)		
時間(秒)	0.2M硫酸銨亞鐵	0.2M碘化鉀
15	0.058	0.199
25	0.048	0.275
35	0.081	0.289
45	0.077	0.253
55	0.080	0.250
75	0.067	0.228
115	0.068	0.197
135	0.067	0.172
165	0.068	0.145

圖 6-a 固定濃度的雙氧水與同為 0.2M 硫酸銨亞鐵與碘化鉀之平均反應速率(克/秒)的比較。



(一) 本數據小結：

1. 相同濃度的雙氧水與 0.2M 同濃度的硫酸銨亞鐵與碘化鉀之平均反應速率的比較，得知碘化鉀的平均反應速率比硫酸銨亞鐵之平均反應速率來的大，由下列還原電位可得知。



2. 利用碘化鉀來與雙氧水反應測平均反應速率，是很不錯的選擇，與文獻(十二)比較更有可靠性與操作性。因為我們對溴化鈉、氯化鉀、溴化鉀、氯化亞錳、硫酸亞錳進行同樣的操作收集的氣體對平均反應速率無顯著性的結果。

七、 其他的觀察與討論：

(一) 洗滌瓶:

1. 洗滌瓶為天鵝嘴型，瓶口處用矽膠塞塞上。在矽膠塞上插入針頭，這樣可以將藥品直接混合，無氣體逸散的疑慮。比較文獻上的做法較無記錄產生氣體時間的誤差。
2. 為了準確接住噴口受氣體擠壓流出的水，我們在噴口處接上透明吸管一根。因受壓力影響，水會卡在吸管中，造成實驗極大的誤差，所以我們在和噴口與交接處的吸管戳洞，利用大氣壓力，使水順暢流出。
3. 洗滌瓶內的水量為控制變因，我們盡量裝滿水，讓氣體產生時能即時測量，但洗滌瓶內需留有一定空間，防止水流入試管。



## (二) 其他:

1. 原本使用的  $\text{FeSO}_4$  因溶解情況不佳，改為  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ 。
2.  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2(\text{aq})$  為土黃色，經與  $\text{H}_2\text{O}_2$  反應後靜置一段時間，皆沉澱為透明深紅棕色，試管壁上仍有微量氣泡。
3.  $\text{KI}$  與  $\text{H}_2\text{O}_2$  反應後成維大利飲料般的顏色(透明亮黃色)，而試管壁上仍有微量氣泡，表示反應還在持續。
4.  $\text{MnO}_2$  因為是固體，所以要先放在試管內再將  $\text{H}_2\text{O}_2$  打入試管。反應後顏色呈黑色，沉澱後變為透明無色， $\text{MnO}_2$  為催化劑本質不變。
5. 可知  $\text{NaBr}$ 、 $\text{KCl}$ 、 $\text{MnCl}_2$  效果與文獻所說的不同，無法與  $\text{H}_2\text{O}_2$  產生預期的反應。
6. 由文獻(十)提供的還原電位序列表得知  $\text{I}^-$  氧化電位伏特比  $\text{Cl}^-$  大，所以  $\text{KI}$  的反應比  $\text{KCl}$  好很多， $\text{KI}$  與  $\text{H}_2\text{O}_2$  反應極快，而  $\text{KCl}$  只會緩慢的產生些微的氣泡，無法提供足夠的壓力，所以  $\text{KCl}$  的數據我們不採用。
7. 我們將  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  和試劑的總量固定為 10mL。
8. 我們將  $\text{H}_2\text{O}_2$  的濃度從 0.1M 改為 1M，這樣反應較為明顯，比較容易觀察。
9. 圖表前幾秒的數據因時間、壓力的關係造成圖表有些雜亂，到實驗後半段就相對的穩定了。
10. 文獻(十一)採用  $\text{Fe}^{2+}$  的錯離子反應不佳，所以我們仍然採用  $\text{Fe}^{2+}$  做催化劑。
11. 已知 2 mol 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解會放出約 23.9Kcal 的熱量(參考文獻十二)，這就可以說明為什麼我們做實驗時溫度會升高。
12. 做  $\text{MnO}_2$  催化  $\text{H}_2\text{O}_2$  產生  $\text{O}_2$  的實驗時因氣體產生非常快速又大量，很可能把針筒往上推，所以我們要控制  $\text{MnO}_2$  的量並注意矽膠塞子是否塞緊。
13. 打入催化劑時要注意不能把殘留在針筒內的空氣打入，以免剛開始洗滌瓶內的水就被擠出來，會影響實驗數據。
14. 反應物的使用量比較；本實驗大幅減少反應物的使用，更環保更有綠色，如下表所示。

方 式	本實驗	文獻(十二)	文獻(十)
反應物的使用量 (ml)	5ml	201.6ml	50ml
反應用量比較	1 倍	約 40 倍	10 倍

## 柒、結論：

- 一、使用簡易的儀器—「天鵝型」的洗滌瓶，加上以針筒與針頭的改良進料裝置，輔以電子天秤測量排水質量，可以立即性地測量出較有效的反應速率值。讓一般高中學校的化學實驗室也能方便、減量(減少為 1/50~1/10)、便宜、快速與準確的完成反應速率的實驗，並且不使用有毒性的水銀來量測氣體體積與壓力，達成綠色化學實驗室的境界，改善實驗室的安全環境。
- 二、本實驗量測到反應速率與濃度的關係：
  - (一)有  $R \propto [\text{H}_2\text{O}_2]^1$ 、 $R \propto [\text{H}_2\text{O}_2]^1 \times [\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2]^1$ 、 $R \propto [\text{H}_2\text{O}_2]^1 \times [\text{KI}]^1$  與各項參考文獻的資料是相同的。
  - (二)二氧化錳加入的質量與反應速率有正向關係。
  - (三)碘化鉀水溶液是進行雙氧水測反應速率較佳的觸媒催化劑。

## 捌、未來展望與研究

能在高中實驗室推行『天鵝型』洗滌瓶與各式反應速率的實驗，並完成其他有氣體生成的實驗的相關測定，建構一套有關的檢定數據，以提供化學實驗的對照關係。

## 玖、參考文獻

- 一、Barlag, R., Nyasulu, F. (2010). Wash Bottle Laboratory Exercises: Iodide-Catalyzed  $H_2O_2$  Decomposition Reaction Kinetics Using the Initial Rate Approach. *J. Chem. Educ.* 87, 78-80.
- 二、Nyasulu, F., Paris, S., Barlag, R. (2009). Wash Bottle Laboratory Exercises: Mass of  $NaHCO_3$  in an Alka-Seltzer Tablet, Molar Mass of  $CO_2$ , and the Ideal Gas Law Constant. *J. Chem. Educ.*, 86, 842-844.
- 三、Chen, Y., Yaung, J. (2002). Alka Seltzer Fizzing—Determination of Percent by Mass of  $NaHCO_3$  in Alka Seltzer Tablets. *J. Chem. Educ.*, 79, 848–850.
- 四、Kavanah, P., Zipp, A. (1998). Gas Experiments with Plastic Soda Bottles. *J. Chem. Educ.*, 75, 1405–1406.
- 五、Teggins, J., Mahaffy, C. (1997). Kinetics Studies Using a Washing Bottle. *J. Chem. Educ.*, 75, 566.
- 六、Roth, J. P., Cramer, C. J. (2008). Direct Examination of  $H_2O_2$  Activation by a Heme Peroxidase. *J. AM. CHEM. SOC.*, 9, 130, 7802-7803.
- 七、Primus, J. L., Grunenwald, S., Hagedoorn, P.L., Albrecht-Gary A.M., Mandon, D., Veeger, C. (2002). The Nature of the Intermediates in the Reactions of Fe(III)-and Mn(III)-Microperoxidase-8 with  $H_2O_2$ : a Rapid Kinetics Study. *J. AM. CHEM. SOC.*, 7(124), 1214-1221.
- 八、Walling, C., Goosen, A. (1973). Mechanism of the Ferric Ion Catalyzed Decomposition of Hydrogen Peroxide. Effect of Organic Substrates. *J. AM. CHEM. SOC.*, 95(9), 2987-2991.
- 九、John, W. H. (1996). *General chemistry*, 561-564, USA.
- 十、張毓禎等(2002)。鹵鹽催化雙氧水分解反應的研究。《化學教育》，60(1)，119-128。
- 十一、王蕊、姜晴方(2000)。讓亞鐵離子步上高中實驗的舞台吧！—以氧化還原反應準備檢測亞鐵離子的探討。第40屆全國科展高中化學科作品。臺北市。
- 十二、呂凱筠、林侑瑩(2002)。以自製的反應儀器研究鹽類對雙氧水分解反應的影響。第42屆全國科展高中化學科作品。臺北市。
- 十三、竹內敬人(2003)。《圖說化學》。東京市：東京書籍株式會社，88-89。
- 十四、黃長司等(2010)。《高級中學化學下》。臺北市：康熙出版股份有限公司，18-24。
- 十五、葉名倉等(2006)。《普通高級中學基礎化學》。臺南市：南一書局企業股份有限公司，139。
- 十六、楊寶旺等(2004)。《普通高級中學物質科學化學教師手冊》。臺北市：龍騰文化事業股份有限公司，13。
- 十七、米山正信(2002)。《圖解生活化學世界》。臺北市：世茂出版社，94-95。

## 【評語】 040212

本作品主探究鐵離子與過氧化氫及碘化鉀的動力學分析，實驗過程有一定的複雜度，本團隊三位學員能齊力改進裝備，提升實驗便利，值得鼓勵。