

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 化學科

040206

催化！氧化！KI 與雙氧水的反應探討

學校名稱：新北市立板橋高級中學

作者： 高二 董芮妤 高二 黃姿綸 高二 黃俊凱	指導老師： 陳玉鈴
---	------------------

關鍵詞：雙氧水、三碘離子 (I_3^-)、自身氧化還原

摘要

本研究最主要目的是:探討溫度、鹼性、溶劑、KI 對 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 分解反應的影響。兩種方法收集氣體並交叉比對數據。總結實驗重要結論如下:

- 一、溫度固定下，不同濃度 NaOH 對不同濃度 H_2O_2 分解產生的總壓力均為： $2\text{M} > 1\text{M} > 0\text{M}$ ；但是高濃度 NaOH 對不同濃度 H_2O_2 分解產生的總壓力均為： $2\text{M} > 4\text{M} > 8\text{M}$ 。
- 二、 25°C 下，對 KI 分解 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 反應產生 O_2 ，速率較易實驗及觀測。溫度： 0°C 、 25°C 、 50°C 、 75°C ，其產生 O_2 的速率(單位: mL / min)依序為:0.46、29.4、40、167。
- 三、在不同酸鹼度對 KI 分解 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 反應氧氣產生總壓力及產生速率，均為酸>微鹼>鹼；而且 KI 與雙氧水反應 pH 值則是迅速的上升大於 7，最後呈微鹼性。
- 四、 H_2O_2 氧化 KI 比例(%):原始數據(0.09)>礦物油(0.08)>正己烷(0.04)。 H_2O_2 自身氧還比例(%):原始數據(97.3)>礦物油(94.46)>正己烷(94.25)。

壹、 研究動機

高一化學課程教授還原反應時，提及 I 會氧化成 I_2 ，這印象一直深植我們腦海中。藉由一次專題實驗課的機會，我們決定做實驗印證。未料將 KI 加入雙氧水中，卻發現 KI 不僅只使自己氧化，還會讓雙氧水氧化產生氧氣。這意外的發現，使我們更想了解 KI 在此實驗中扮演的角色，以及溫度、酸鹼性與本實驗的關係，尤其是鹼性物質如何與酸性的雙氧水反應？因此，決定深入探討鹼性物質對實驗的影響性。

貳、 研究目的

- 一、雙氧水的基本性質檢測(濃度、密度、pH 值)
- 二、探討溫度對不同濃度 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 分解反應的影響
- 三、探討鹼性的大小對 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 分解反應的影響
- 四、探討不同溫度對 KI 分解 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 反應的影響
- 五、探討不同的酸鹼度對 KI 分解 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 反應的影響
- 六、探討溶劑萃取 $\text{I}_2 + \text{I}^- \rightleftharpoons \text{I}_3^-$ 中之 I_2 對 KI 分解 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 反應的影響

參、實驗設備及器材

器材: 滴定管、量筒、抽濾瓶、燒杯、電子秤、分光光度計、多頻道圖形精靈(Pasco)、絕對壓力感測器(型號 PS-2107)、相對壓力感測器(型號 PS-2114)、pH 計(型號 PS-2102)、磁石攪拌器(HMS-102)、封口模(parafilm)。

藥品: 試藥級雙氧水(30%)、碘化鉀、氫氧化鈉、正己烷、礦物油、過錳酸鉀、硫代硫酸鈉。



裝置:



圖.1 水準儀



圖.2 pasco 測量氧氣壓力

肆、研究過程或方法

一、雙氧水的基本性質檢測

(一) 雙氧水濃度標定

實驗 1-1

實驗方法:

1. 取 1mL 雙氧水置於容量瓶內，稀釋至 250mL，取 25mL 上述溶液及 20mL 1: 8 之 H_2SO_4 : H_2O 溶液於錐形瓶內均勻混合，再將置於滴定管中的 0.02M $\text{KMnO}_{4(\text{aq})}$ 緩慢滴入錐形瓶中，直到粉紅色不會消失。
2. 取 20mL 蒸餾水 及 15mL 上述 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ ，當作空白溶液置於錐形瓶中，再將滴定管中的 0.02M $\text{KMnO}_{4(\text{aq})}$ 緩慢滴入錐形瓶中，直到粉紅色不會消失。

(二) 雙氧水密度測定

實驗 1-2

實驗方法:

使用比重計測量雙氧水(30%)密度

(三) 雙氧水 pH 值測定

實驗 1-3

實驗方法:

使用 pH 計測量雙氧水(30%) pH 值

二、探討溫度對不同濃度 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 分解反應的影響

實驗 2-1

實驗方法:

1. 在 30°C 下，分別取雙氧水 3%、6%、9%、12%、15%、18% 各 10mL 置於錐形瓶中，利用磁石攪拌器攪拌，並接上 pasco，測 5 分鐘內產生的 O_2 壓力。
2. 重複上述實驗，並將溫度改為 40°C 、 50°C 、 60°C 。

三、探討鹼性的大小對 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 分解反應的影響

實驗 3-1

實驗方法:

1. 在 30°C 取 4.0M NaOH 5mL，加入雙氧水 6%10mL 置於錐形瓶中，利用磁石攪拌器攪拌，並接上 pasco，測 5 分鐘內產生的 O_2 壓力。
2. 重複上述實驗，並將溫度改為 40°C 、 50°C 、 60°C 。

實驗 3-2

實驗方法:

1. 取 1.0M $\text{NaOH}(\text{aq})$ 5mL，加入雙氧水 3%、6%、12%、18% 各 10mL 置於錐形瓶中，利用磁石攪拌器攪拌，並接上 pasco，測 5 分鐘內產生的 O_2 壓力。
2. 重複上述實驗，並將濃度改為 2.0M、4.0M、8.0M。

四、溫度對 KI 分解雙氧水)的影響

實驗 4-1

實驗方法:

在 0°C 下，取 30% 的雙氧水 1 mL +9 mL 蒸餾水，置於錐形瓶中，再將置於滴定管中的 0.5 M $\text{KI}(\text{aq})$ 滴入 1 mL。使用排水集氣法，測量產生 O_2 體積。

實驗 4-2

實驗方法:

同實驗 4-1 將溫度控制在 25°C 下

實驗 4-3

實驗方法:

同實驗 4-1 將溫度控制在 50°C 下

實驗 4-4

實驗方法:

同實驗 4-1 將溫度控制在 75°C 下

實驗 4-5

實驗方法:

在 25°C 下，取 30% 的雙氧水 1 mL + 9 mL 蒸餾水，置於錐形瓶中，再將置於滴定管中的 0.5 M $\text{KI}_{(\text{aq})}$ 滴入 1 mL。使用 pasco 溫度感應器，測量溫度的變化。

五、探討不同的酸鹼度對 KI 分解 $\text{H}_2\text{O}_2_{(\text{aq})}$ 反應的影響

實驗 5-1

實驗方法:

1. 取 30% 的雙氧水 1 mL + 9 mL 蒸餾水，置於錐形瓶中，此時水溶液中的 $\text{pH}=4.2$ (酸性)，再將置於吸量管中的 0.5 M $\text{KI}_{(\text{aq})}$ 滴入 1 mL。使用排水集氣法，測量產生 O_2 體積直到反應完畢(不再產生氣泡)。
2. 收集錐形瓶中的液體，置於分光光度計中，測量液體在 456nm 時的吸光值。

實驗 5-2

實驗方法

1. 取 30% 的雙氧水 1 mL + 8.9 mL 蒸餾水 + 0.1 mL 0.4M $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ，置於錐形瓶中，此時水溶液中的 $\text{pH}=7.7$ (中性)。再將置於吸量管中的 0.5 M $\text{KI}_{(\text{aq})}$ 滴入 1 mL。使用排水集氣法，測量產生 O_2 體積直到反應完畢(不再產生氣泡)。
2. 收集錐形瓶中的液體，置於分光光度計中，測量液體在 456nm 時的吸光值。

實驗 5-3

實驗方法:

1. 取 30% 的雙氧水 1 mL + 7 mL 蒸餾水 + 2 mL 4M $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ，置於錐形瓶中，此時水溶液中的 $\text{pH}=11.9$ (鹼性)。再將置於吸量管中的 0.5 M $\text{KI}_{(\text{aq})}$ 滴入 1 mL。使用排水集氣法，測量產生 O_2 體積直到反應完畢(不再產生氣泡)。
2. 收集錐形瓶中的液體，置於分光光度計中，測量液體在 456nm 時的吸光值。

實驗 5-4

實驗方法:

1. 重複上述 [實驗 5-1](#) ~ [實驗 5-3](#)，將排水集氣法改為使用多頻道圖形精靈(Pasco)之絕對壓力感測器，測量產生 O_2 壓力直到反應完畢(壓力恆定) 為止。
2. 收集錐形瓶中的液體，以 0.001M 的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 滴定溶液，計算 $\text{I}_2 + \text{I}_3$ 的莫耳數。

實驗 5-5

實驗方法:

1. 取 30% 的雙氧水 1 mL + 9 mL 蒸餾水，置於錐形瓶中，此時水溶液中的 $\text{pH}=4.2$ (酸性)，再將置於滴定管中的 0.5 M $\text{KI}_{(\text{aq})}$ 滴入 1 mL。
2. 測量溶液 pH 值的變化量。

六、探討溶劑萃取 $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$ 中之 I_2 對 KI 分解 $H_2O_2(aq)$ 反應的影響

實驗 6-1

實驗方法:

1. 取 30% 的雙氧水 1 mL + 9 mL 蒸餾水 + 20 mL 正己烷，置於錐形瓶中，再將置於吸量管中的 0.5 M $KI(aq)$ 滴入 1 mL。反應過程中以壓力計測量產生的氣體壓力。
2. 當壓力恆定後，將反應後的溶液利用分液漏斗分層（上層含有正己烷，下層包括雙氧水及蒸餾水），分別置入兩個錐形瓶中，各滴入 10 滴 2% 的澱粉液，再利用 0.001M 的 $Na_2S_2O_3$ 滴定兩溶液，直到溶液呈現透明無色。

實驗 6-2:

實驗方法:

1. 取 30% 的雙氧水 1 mL + 9 mL 蒸餾水 + 20 mL 礦物油，置於錐形瓶中，再將置於滴定管中的 0.5 M $KI(aq)$ 滴入 1 mL。反應過程中以壓力計測量產生的氣體壓力。
2. 當壓力恆定後，將反應後的溶液利用分液漏斗分層（上層含有礦物油，下層包括雙氧水及蒸餾水），分別置入兩個錐形瓶中，各滴入 10 滴 2% 的澱粉液，再利用 0.001M 的 $Na_2S_2O_3$ 滴定兩溶液，直到溶液呈現透明無色。

伍、實驗結果與討論

實驗結果

一、雙氧水的基本性質檢測

實驗 1-1

結果:

利用公式 $[MnO_4^-] \times V_{MnO_4^-} \times 5 = [H_2O_2] \times V_{H_2O_2} \times 2$ 可以得知 $[H_2O_2] = 0.04M$ ，

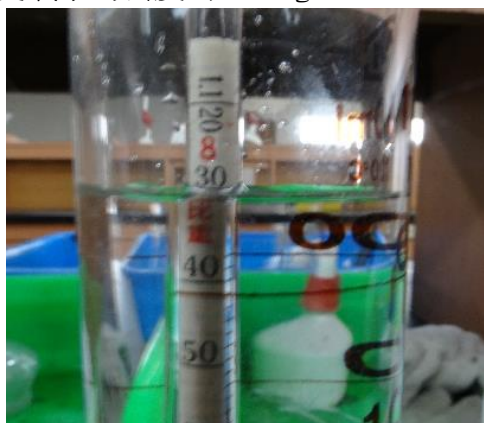
再由公式 $P\% = \frac{[H_2O_2] \times 250 \times M_{H_2O_2}}{1000 \times D_{H_2O_2}} \times 100\%$

可以求得雙氧水的濃度為 30%

	$KMnO_4(aq)$ 體積 (mL)
蒸餾水	0.05 mL
雙氧水	19.9 mL

實驗 1-2

結果: 雙氧水的密度為 1.13 g/cm^3 。



5



圖.1-2-1 比重計

實驗 1-3

結果:

測量後得知雙氧水濃度為 30% 的 pH 值為 2.4，為酸性。

二、探討溫度對不同濃度 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 分解反應的影響

實驗 2-1

表.2-1 不同溫度對不同濃度 H_2O_2 分解產生的總壓力(Pa)

雙氧水 濃度 溫度	3%	6%	9%	12%	15%	18%
30	375	375	375	419	424	420
40	1668	1972	1959	2703	2804	2956
50	4793	5163	7133	7322	7718	8007
60	7153	8073	9377	9397	10996	17882

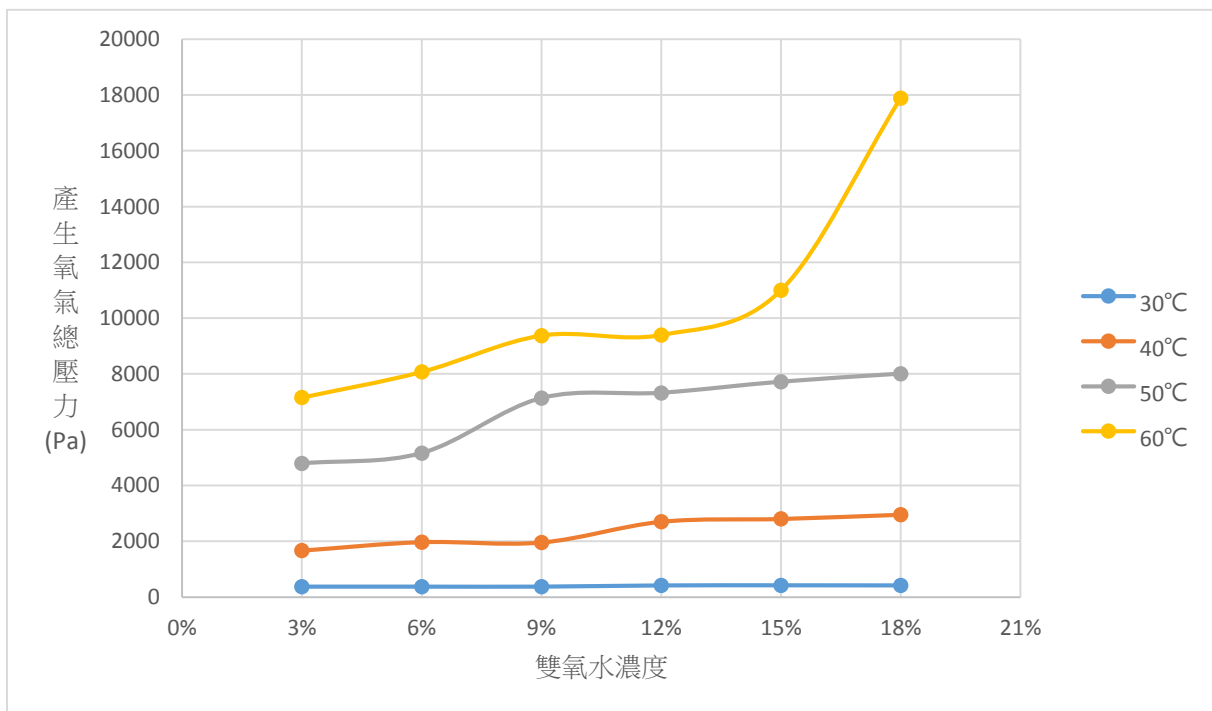


圖.2-1-1 溫度對不同濃度 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 分解反應之影響

備註: 因溫度高, 氧氣產生量多, 壓力持續累積, 故加裝安全措施。

1. 將錐形瓶貼膠帶, 以避免意外發生時玻璃碎片四散
2. 利用 500g 砝碼壓住瓶塞, 避免瓶塞彈起。
3. 利用壓克力安全遮擋保護裝置, 提高實驗之安全性

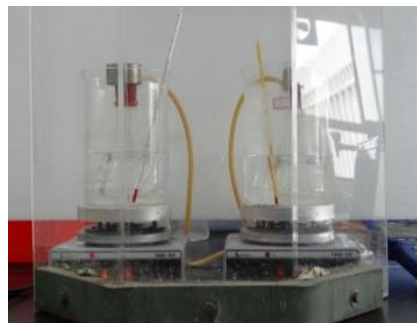


圖.2-1-2 使用安全遮擋保護裝置

結果:

1. 由圖表知:溫度在 30°C 及 40°C, 雙氧水濃度由 3%至 18%, 分解產生氧氣量均少, 氧氣量變化緩慢上升。
2. 由圖表知:溫度在 50°C 及 60°C, 雙氧水濃度由 3%至 18%, 分解產生氧氣量均明顯變多, 尤其 60°C 雙氧水濃度 15%與 18%比較,其變化量最大。

三、探討鹼性的大小對 H_2O_2 (aq) 分解反應的影響

實驗 3-1

表.3-1 加鹼與否, 對不同溫度下 6% H_2O_2 分解產生的總壓力

	6%	6%(加鹼)
30°C	375	999
40°C	1972	2936
50°C	5163	8285
60°C	8073	13846

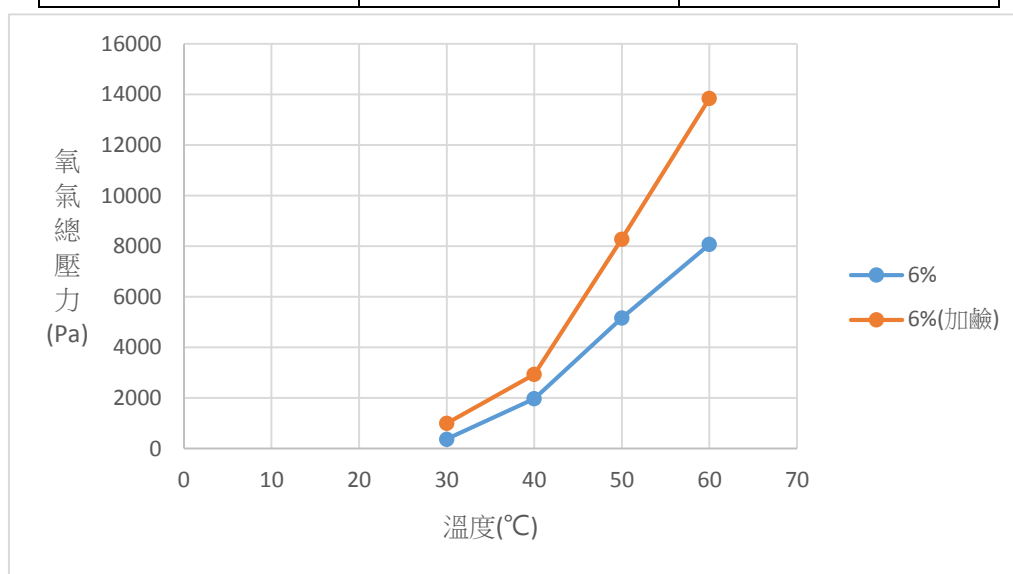


圖.3-1 加鹼與否, 對不同溫度下 6% H_2O_2 分解產生的總壓

結果:

不同溫度下，在 4.0M NaOH ，加入雙氧水 6%分解產生 O₂總壓力，均比純雙氧水 6%分解產生 O₂總壓力多，且溫度越高，產量差越大。

實驗 3-2

表.3-2-1 不同濃度 NaOH 對不同濃度 H₂O₂分解產生的總壓力(0M.1M.2M)

	3%	6%	12%	18%
0M	375	375	419	420
1M	3786	6292	11640	15278
2M	5550	10082	27786	28852

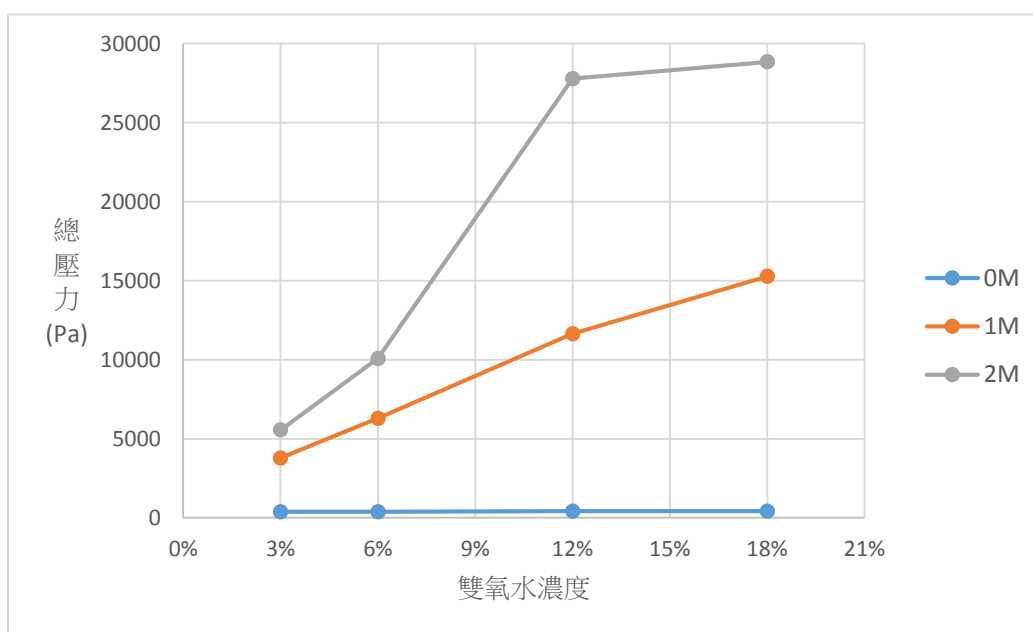


圖.3-2-1 不同濃度 NaOH 對不同濃度 H₂O₂分解產生的總壓力

結果:不同濃度 NaOH 對不同濃度 H₂O₂分解產生的總壓力均為：2M>1M>0M。

表.3-2-2 不同濃度 NaOH 對不同濃度 H₂O₂分解產生的總壓力(2M.4M.8M)

	3%	6%	12%	18%
2M	5550	10082	27786	28852
4M	1003	985	16333	28441
8M	437	487	657	15301

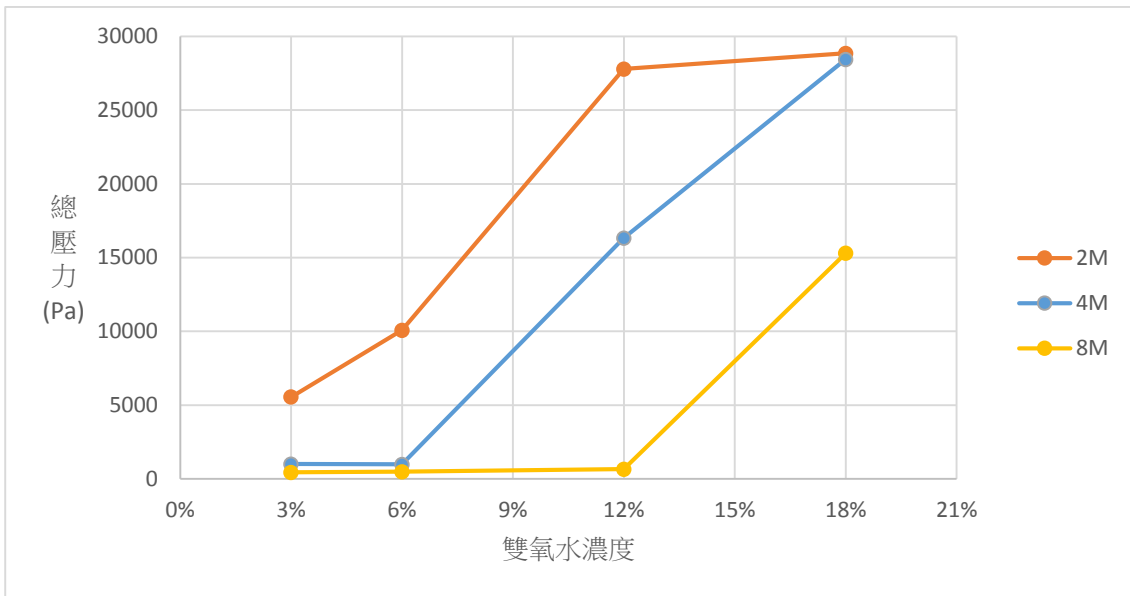


圖.3-2-2 不同濃度 NaOH 對不同濃度 H₂O₂ 分解產生的總壓力

結果:不同濃度 NaOH 對不同濃度 H₂O₂ 分解產生的總壓力均為：2M>4M>8M。

四、探討不同溫度對 KI 分解 H₂O₂ (aq) 反應的影響

實驗 4-1

表.4-1 時間與產生的氧氣體積關係(0°C)

時間 (單位:min)	產生 O ₂ 量 (單位:mL)	全部產生 O ₂ 量 (單位:mL)
8	3	3
10	1.5	4.5
12	1	5.5

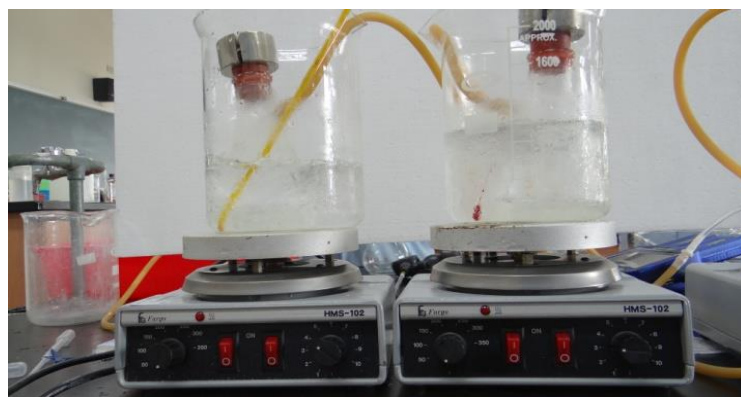


圖.4-1 在恆溫 0°C 下進行實驗

實驗 4-2

表.4-2 時間與產生的氧氣體積關係(25°C)

時間 (單位:min)	產生 O ₂ 量 (單位:mL)	全部產生 O ₂ 量 (單位:mL)
2	17	17
4	17	34
6	15	49
8	11	60
10	9	69
12	6	75
14	5	80
16	4	84
18	3	87
20	2	89
22	2	91
24	2	93
26	2	95
28	2	97
30	1	98
32	1	99
34	1	100

實驗 4-3

表.4-3 時間與產生的氧氣體積關係(50°C)

時間 (單位:min)	產生 O ₂ 量 (單位:mL)	全部產生 O ₂ 量 (單位:mL)
1	42	42
2	27	75
2.5	25	100

實驗 4-4

表.4-4-1 時間與產生的氧氣體積關係(75°C)

時間 (單位:min)	產生 O ₂ 量 (單位:mL)	全部產生 O ₂ 量 (單位:mL)
1	47	47
1.5	53	100

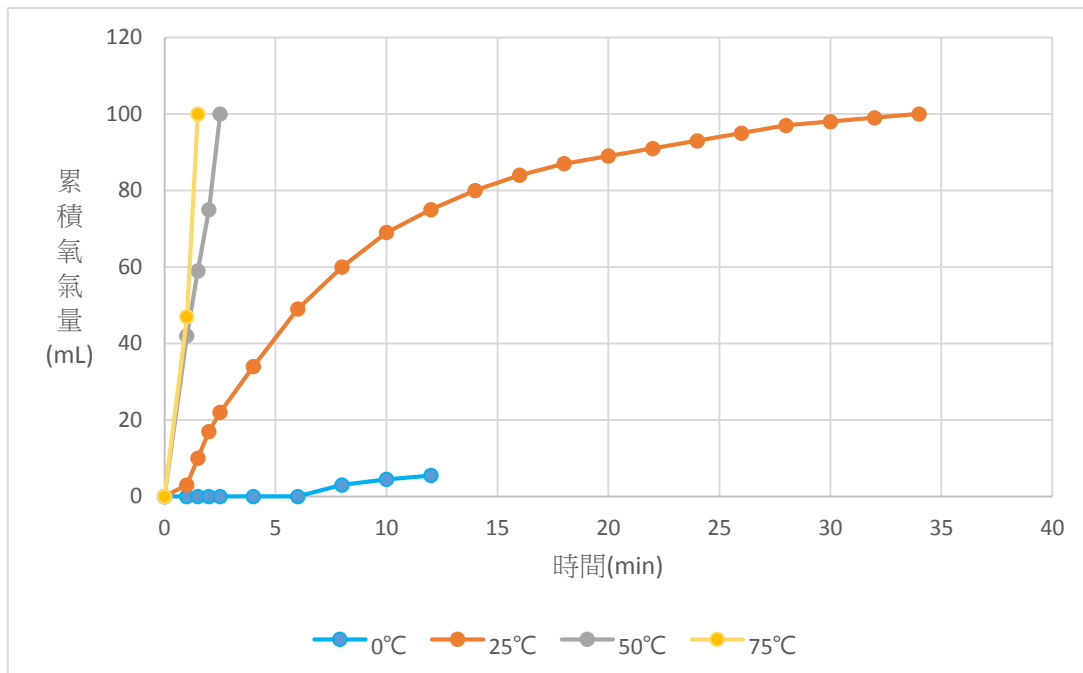


圖.4-4 不同溫度所產生的氧氣體積

表.4-4-2 不同溫度與產生的氧氣速率關係

溫度 (單位: °C)	產生 100mL O ₂ 所需時間 (單位:min)	產生 O ₂ 的速率 (單位: mL / min)
0	註	0.46
25	34	29.4
50	2.5	40
75	1.5	167

註:在 0°C 下, O₂ 產生速率實在太慢, 礙於專題課時間有限, 恕只提供速率的數據。

結果:

1. 溫度 50°C 以上對 KI 分解 H₂O₂ (aq) 反應會產生快速 O₂ 產生; 溫度 0°C 下, 則較緩慢進行; 25°C 下, 對 KI 分解 H₂O₂ (aq) 反應產生 O₂, 速率較易實驗及觀測。
2. 溫度: 0°C、25°C、50°C、75°C, 其產生 O₂ 的速率(單位: mL / min)依序為: 0.46、29.4、40、167。

實驗 4-5

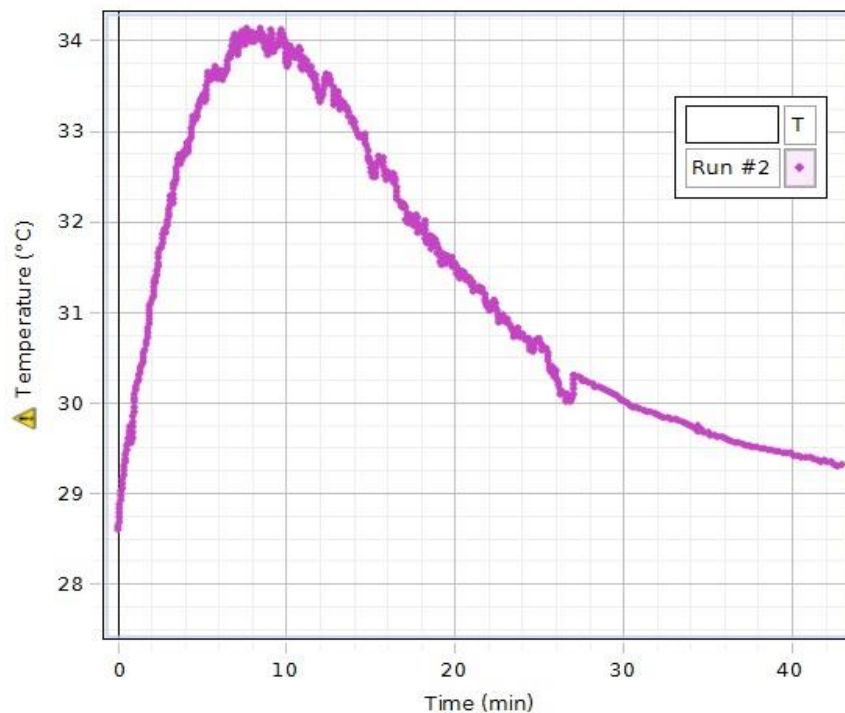


圖.4-5 反應中溫度變化

結果:

KI 分解與雙氧水的反應是放熱反應，溫度快速由 28.5°C 上升 34°C。

表.4-5-2 不同溫度下 KI 分解雙氧水的溶液吸光值

溫度(單位:°C)	吸光值(456nm)
25	0.672
50	0.342
75	0.11

結果:

KI 分解與雙氧水的反應，溫度越高，碘分子吸光值(456nm)越低。

五、探討不同的酸鹼度對 KI 分解 H_2O_2 (aq) 反應的影響

實驗 5-1

表.5-1 酸性條件下 KI 分解雙氧水的時間與產生的氧氣體積關係(pH=4.2)

時間 (單位:min)	產生 O ₂ 量 (單位:mL)	全部產生 O ₂ 量 (單位:mL)
2	17	17
4	17	34
6	15	49
8	11	60
10	9	69
12	6	75
14	5	80
16	4	84
18	3	87
20	2	89
22	2	91
24	2	93
26	2	95
28	2	97
30	1	98
32	1	99
34	1	100

實驗 5-2

表.5-2 中性條件下 KI 分解雙氧水的時間與產生的氧氣體積關係(pH=7.7)

時間(單位:min)	產生 O ₂ 量(單位:mL)	全部產生 O ₂ 量(單位:mL)
2	14	14
4	19	33
6	15	48
8	12.5	60.5
10	9.5	70
12	7	77
14	6.5	83.5
16	5	88.5
18	4	92.5
20	3.5	96

最後在中性條件下，經過三個小時，總共可收集到 149mL 的氧氣。

實驗 5-3

表.5-3-1 鹼性條件下 KI 分解雙氧水的時間與產生的氧氣體積關係(pH=11.9)

時間 (單位:min)	產生 O ₂ 量 (單位:mL)	全部產生 O ₂ 量 (單位:mL)
2	8	8
4	2	10
6	3	13
8	2	15
10	2	17
12	3	20
14	4.5	24.5
16	0.5	25
18	2	27
20	2	29

表.5-3-2 比較酸、中、鹼性條件下 KI 分解雙氧水的時間與產生的氧氣體積關係

時間 (單位:min)	實驗 5-1 酸	實驗 5-2 中	實驗 5-3 鹼
2	10	14	8
4	19	33	10
6	32	48	13
8	42	60.5	15
10	49	70	17
12	55	77	20
14	60	83.5	24.5
16	64	88.5	25
18	68	92.5	27
20	71	96	29

表.5-3-3 比較不同酸鹼性條件下 KI 分解雙氧水的氧氣產量與溶液顏色關係(排水集氣法)

	pH 值	O ₂ 產量(20 分鐘)	O ₂ 總產量(3 小時)	吸光值(456nm)
酸	4.2	71	145	1.246
中	7.7	96	149	0.672
鹼	11.9	29	36	0.279

結論:使用排水集氣法，在不同酸鹼度氧氣產生總壓力及產生速率，均為酸 (pH=3.8) > pH =7.8 > 鹼 (pH=13)。

實驗 5-4

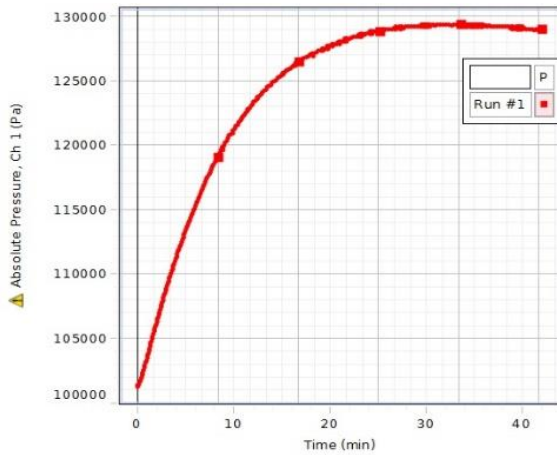


圖.5-4-1 酸性下反應產生氧氣的壓力

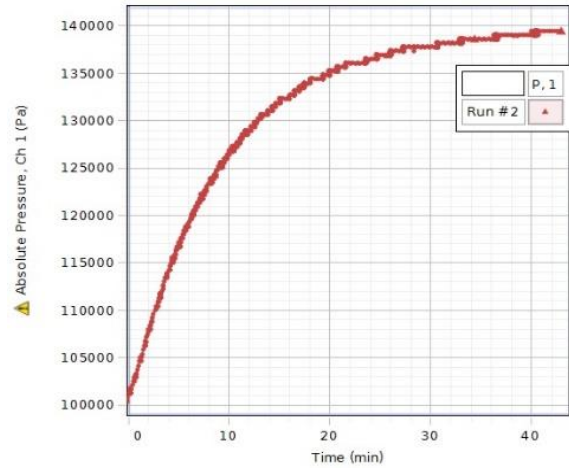


圖.5-4-2 中性下反應產生氧氣的壓力

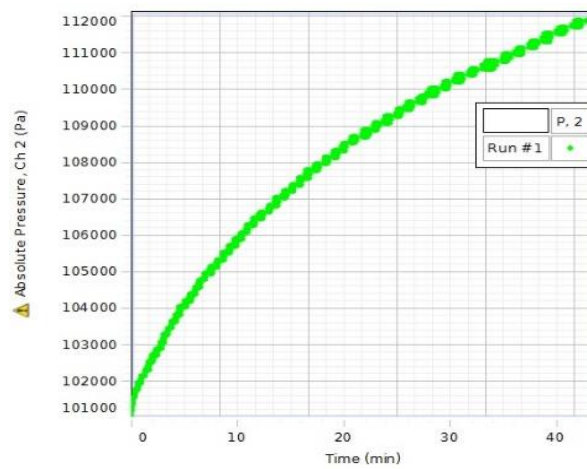


圖.5-4-3 鹼性下反應產生氧氣的壓力

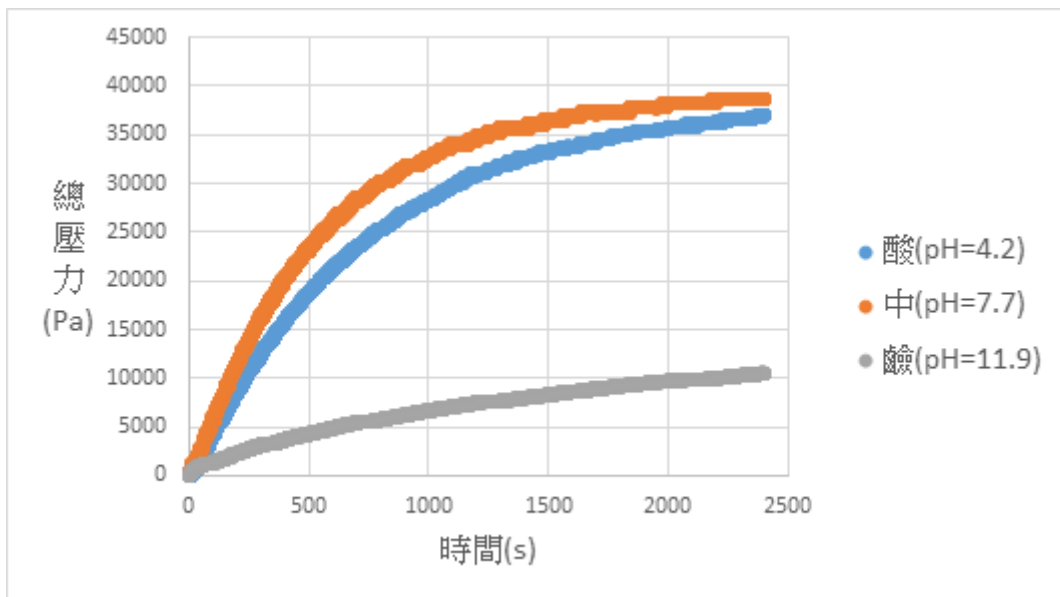


圖.5-4-4 不同酸鹼度氧氣產生總壓力

結論:使用多頻道圖形精靈(Pasco)之絕對壓力感測器下，不同酸鹼度氧氣產生總壓力及產生速率，均為酸 (pH=4.2) > pH=7.7 > 鹼 (pH=11.9)

表.5-4 比較不同酸鹼性條件下 KI 分解雙氧水的氧氣量 (壓力檢測法)

		壓力(Pa)	O ₂ (mmol)	用去 H ₂ O ₂ (mmol)	H ₂ O ₂ 用於自身氧還 (%)
1	酸(pH=4.2)	36164	0.0049	0.0097	97.32
2	中(pH=7.7)	37018	0.005	0.0099	99.26
3	鹼(pH=11.9)	9763	0.0013	0.0026	26.27

結論:

經由精密的壓力檢測，發現在中性下仍然為產氣量最高的(99.26%)，其次為酸(97.32%)，最後為鹼(26.27%)。

實驗 5-5

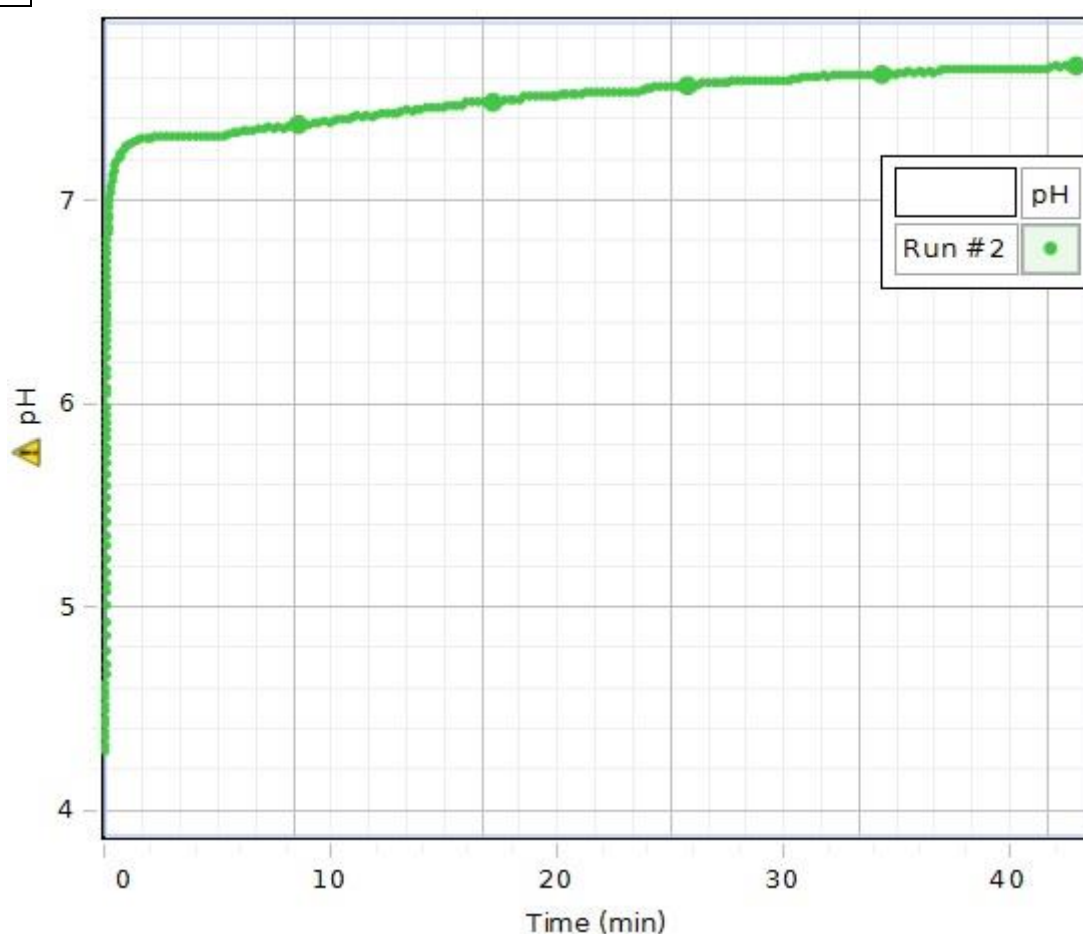


圖.5-5 反應中 pH 值變化

結果:

KI 與雙氧水反應 pH 值則是迅速的上升大於 7，最後呈微鹼性。

六、探討溶劑萃取 $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$ 中之 I_2 對 KI 分解 $H_2O_2(aq)$ 反應的影響

表.6-1 滴定 $Na_2S_2O_3$ 所需體積及氧氣產生壓力

	$Na_2S_2O_3$ 體積(mL)	ΔP (帕)
原始條件(未加正己烷)	17	36164
20mL 正己烷萃取(上層)	3	35024
20mL 正己烷萃取(水層)	4.5	

結果:

$Na_2S_2O_3$ 體積(mL):原始條件(未加正己烷)17 mL>正己烷萃取(上層)3mL+正己烷萃取(水層)4.5mL

ΔP (帕): 原始條件(未加正己烷)36164(帕)> 正己烷萃取 35024(帕)。

實驗 6-2

表.6-2-1 滴定 $Na_2S_2O_3$ 所需體積及氧氣產生壓力

	$Na_2S_2O_3$ 體積(mL)	ΔP (帕)
原始條件(未加礦物油)	17	36164
20mL 礦物油萃取(上層)	12.2	35104
20mL 礦物油萃取(下層)	3	

結果:

$Na_2S_2O_3$ 體積(mL):原始條件(未加礦物油)17 mL >(礦物油萃取(上層)上層 12.2mL+礦物油萃取(水層)3mL ; ΔP (帕):原始條件(未加礦物油)36164>(礦物油萃取)35104。

表.6-2-2 各溶質所需莫耳數及氧化比例

	$V_{Na_2S_2O_3}$ (mL)	$(I_2 + I_3^-)$ mol	H_2O_2 莫耳數	H_2O_2 氧化 KI 比例(%)
原始數據	17	8.5×10^{-6}	8.5×10^{-6}	0.09
正己烷(上層)	3	1.5×10^{-6}	1.5×10^{-6}	0.02
正己烷(下層)	4.5	2.3×10^{-6}	2.3×10^{-6}	0.02
礦物油(上層)	12.2	6.1×10^{-6}	6.1×10^{-6}	0.06
礦物油(下層)	3	1.5×10^{-6}	1.5×10^{-6}	0.02

結果:

H_2O_2 氧化 KI 比例(%):原始數據(0.09)>礦物油(0.08)>正己烷(0.04)。

表.6-2-3 自身氧化還原比例

	△P (帕)	O ₂ (mmol)	用去 H ₂ O ₂ (mmol)	H ₂ O ₂ 自身氧還比例(%)
原始條件	36164	0.0049	0.0097	97.32
正己烷	35024	0.0047	0.0094	94.25
礦物油	35104	0.0047	0.0094	94.46

結果:H₂O₂ 自身氧還比例(%):原始數據(97.3)>礦物油(94.46)>正己烷(94.25)。

表.6-2-4 計算及總整理

		壓力 (Pa)	O ₂ (mmol)	用去 H ₂ O ₂ (mmol)	H ₂ O ₂ 用於自身氧還(%)
1	1mL H ₂ O ₂ +9mL H ₂ O	422			
2	1mL H ₂ O ₂ +9mL H ₂ O +1mL0.5M KI	36586			
3	△2-1(校正水產生的壓力)	36164	0.0049	0.0097	97.32
4	1mL H ₂ O ₂ +9mL H ₂ O + 20 mL 正己烷	2577			
5	1mL H ₂ O ₂ +9mL H ₂ O +1mL0.5M KI + 20 mL 正己烷	37601			
6	△5-4(校正正己烷產生的壓力)	35024	0.0047	0.0094	94.25
7	1mL H ₂ O ₂ +9mL H ₂ O + 20 mL 礦物油	848			
8	1mL H ₂ O ₂ +9mL H ₂ O+1mL0.5M KI + 20 mL 礦物油	35952			
9	△8-7(校正礦物油產生的壓力)	35104	0.0047	0.0094	94.46

結果:

由與礦物油實驗對比得知， $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$ 之平衡式對 KI 分解 H₂O₂ (aq) 反應，會影響 H₂O₂ 氧化 KI 比例(%)及 H₂O₂ 自身氧還比例(%)關係。

討論

一、雙氧水的基本性質檢測

經文獻得知： $H_2O_2 \leftrightarrow H^+ + HO_2^-$ $K_{a1}=2.4 \times 10^{-12}$ ，1M 雙氧水 PH=6，解離一半時 PH=4。本實驗原試藥級雙氧水為 35%，經標定為 30%，若依上述文獻資料概念,這高濃度雙氧水解離其 pH 值經本實驗測出為 2.4 應屬合理，何況原試藥級雙氧水應該有添加穩定劑影響 pH 值。

二、探討溫度對不同濃度 H₂O₂ (aq) 分解反應的影響

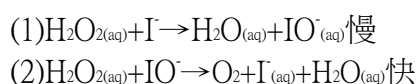
我們可以發現，溫度越高或者是濃度越高，皆可以使雙氧水分解產氧的能力增加。其是溫度變化使壓力增加的效果很顯著。低溫時，濃度由 3% 上升至 18%，壓力變化只是從 375 帕上升至 420 帕，變化不大。但是即使雙氧水只是低濃度的 3%，當溫度由 30°C 上升至 60°C 時，壓力變化卻從 375 帕上升至 7153 帕!增加有 19 倍之多。故雙氧水必須保存在低溫下避免危險!

三、探討鹼性的大小對 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 分解反應的影響

- (一) 當我們加入 1M 及 2M 的 NaOH 時可以發現，氧氣的壓力上升了。雙氧水在鹼中的確較不安定，易分解產生氧氣。
- (二) 但我們發現，當 NaOH 的濃度，由 2M 上升至 4M 或 8M 時，當鹼的濃度越高，產生氧氣的壓力居然越小!顛覆了我們傳統的 H_2O_2 在鹼中較不安定會產生較多氧氣的想法。仔細去換算濃度後發現，30%的雙氧水，換算成體積莫耳濃度為 9.97M，當遇到鹼性較強的 NaOH 時(例如 8M)， H_2O_2 會解離出 $\text{H}^+(\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HO}_2^- \text{Ka}=10^{-12})$ 與鹼產生酸鹼中和，產生鹽和水。剩下的雙氧水較少，自然產生氧氣的壓力較小。故使用 8M 的 NaOH 時，雙氧水的濃度在 3%、6%、12%產氧量皆相當小，必須到 18%的高濃度，才能與 NaOH 中和後還有多餘的雙氧水產生氧氣。

四、探討不同溫度對 KI 分解 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 反應的影響

- (一) 我們可以從圖中發現， 0°C 一開始的產氧速率相當慢，幾乎是平的。到了某一個時間點後，開始產生氧氣。還有 25°C 一開始也是有一段產氧速率較慢的時期。由於雙氧水的分解中，自身氧化還原的部分可分成兩個步驟:



第一步驟很慢，故一開始氧氣產生的速率很慢，直到[IO]累積至一定量之後，即可很快進行第二步驟反應: $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})+\text{IO}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{O}_2+\text{I}^-_{(\text{aq})}+\text{H}_2\text{O}(\text{aq})$ (快) 故本實驗一開始沒有馬上產生氧氣，是因為[IO]在一開始還相當低，等[IO]夠多了，產氧速率就會快起來。

- (二) 我們發現溫度越高，產生 O_2 的速率越快，產生 100mL O_2 所需時間越短。溫度越高，因為超越低限能的粒子數增多及碰撞頻率增加的關係，不論是吸熱或放熱反應，反應速率皆會變快。這也是本實驗可觀察到的溫度越高，產生 O_2 的速率越快的原因。我們好奇 KI 分解雙氧水的反應是吸熱或放熱反應呢?於是我們繼續做了「實驗 4-5」。
- (三) 由圖.4-5-1 得知，雙氧水的分解反應是放熱反應，隨著時間的增加，溫度逐漸上升。經查證，不論是氧化還原 $\text{I}^-+\text{I}_2 \rightleftharpoons \text{I}_3^- \Delta\text{H}=-18.3$ 或是自身氧化還原反應 $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2 \Delta\text{H}=-98.2\text{kJ}$ 皆是放熱反應。前期因為雙氧水濃度高，反應速率快，故在前 500 秒溫度皆為上升的趨勢。500 秒後，雙氧水濃度低，亦可觀察到氧氣產生速率變慢，放熱較少，外界散熱大於雙氧水分解放熱，故在後 500 秒溫度為下降的趨勢。
- (四) 此外， $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})+2\text{H}^+_{(\text{aq})}+2\text{I}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})+\text{I}_2 \Delta\text{H}<0$ ，低溫利於放熱反應的進行，促使平衡向右移動，可觀察到溫度越低， $\text{I}^-_{(\text{aq})}$ 被氧化的程度越大，溶液的褐色較深，在波長 456 nm 吸光值較高。(註:依據參考文獻(白書禎，民 87)，我們選定波長 456nm 測定吸光值，其值為碘分子與三碘錯離子 I_3^- 在該波長混合的吸光值)。

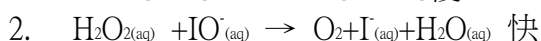
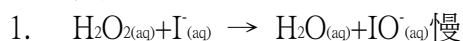
五、探討不同的酸鹼度對 KI 分解 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 反應的影響

- (一) 最後在鹼性條件下，經過三個小時，總共可收集到 36mL 的氧氣。且由[實驗 5-1](酸)、[實驗 5-2](中)、[實驗 5-3](鹼)氧氣產生速率，中>酸>鹼。雙氧水之氧化力及還原力受 pH 值影響。我們觀察到酸性條件下顏色明顯是呈現較深褐色的，因為雙氧水在酸中氧化力較強 ($\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$)，使得較多的碘離子被氧化成 I_2 ，產生了較多的 $\text{I}_2 + \text{I}^-$ ($\text{I} + \text{I}_2 \rightleftharpoons \text{I}_3^-$)，自然水溶液為較深的棕色，456nm 吸光值為 1.246，較中及鹼性高。在鹼性下，吸光值最低(水溶液幾近無色)，且產氧量也最少。鹼性下 I_2 會被分解 ($3\text{I}_2 + 6\text{OH}^- \rightleftharpoons 5\text{I}^- + \text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$)，使得水溶液顏色為非常非常淺的褐色，幾近無色。我們再利用較精密的壓力檢測器做進一步的實驗。
- (二) [實驗 5-4]故少量的鹼(使雙氧水成中性)可以有效的使雙氧水不穩定，大量的產生氧氣，但當鹼的濃度太高(使雙氧水成鹼性)，則會與雙氧水酸鹼中和，而消耗了雙氧水，使產氧量下降!
- (三) [實驗 5-5]

30%的雙氧水 1 mL + 9 mL 蒸餾水，測定 pH 值約為 4.3。在加入 0.5M 1 mL 的中性 KI 之後，我們可以發現溶液的 pH 值在 100 秒內有大幅度的變化，pH 值由 4.3 迅速的升至 7.25，之後的 40 分鐘內，pH 值則是緩緩的上升。為了確認 pH 值的變化，我們另外用了廣用試紙進行測試，先將 KI 滴於廣用試紙上，呈現綠色(中性)，再於試紙中央滴一滴雙氧水，當雙氧水向外擴散的同時，試紙迅速呈現深藍色(鹼性)。

由於雙氧水的分解可以分成下列兩個部分:

一為氧化還原的部分: $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{OH}^-$ 產生 OH^- ，使 pH 值快速上升二為雙氧水自身氧化還原的部分



第一步驟很慢，故一開始氧氣產生的速率很慢，當 $[\text{IO}^-]$ 累積至一定量之後，即可進行第二步驟反應: $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) + \text{IO}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{O}_2 + \text{I}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$ (快) $[\text{IO}^-]$ 在此呈現動態平衡，與水反應進行 $\text{IO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HIO} + \text{OH}^-$ 反應，產生 OH^- ，使 pH 值上升。次碘酸(HIO)在 25°C 時 $K_a = 2.3 \times 10^{-11}$ ，故 IO 的 $K_b = 4.3 \times 10^{-4}$ 鹼性強。雖然雙氧水本身為酸，亦會解離產生 H^+ 。 $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HO}_2^-$ 但雙氧水的 $K_a = 10^{-12}$ ，產生的酸性小。

六、探討溶劑萃取 $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$ 中之 I_2 對 KI 分解 $H_2O_2(aq)$ 反應的影響

(一) **實驗 6-1**

因為碘為非極性分子，易溶於非極性的溶劑中，故加入正己烷以萃取 I_2 分子，觀察對於下層水層中的雙氧水產氧量是否有影響。

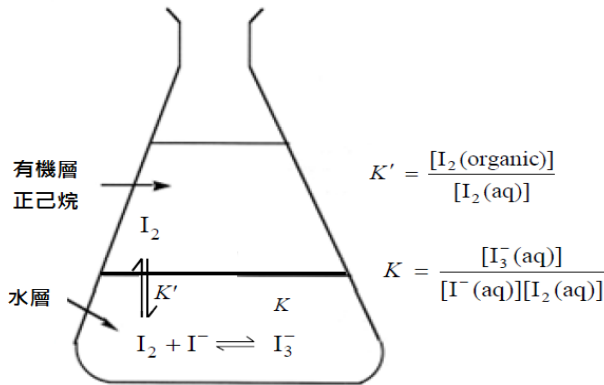
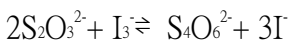
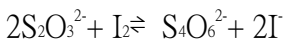


圖 6-2 加入正己烷後之液

我們雖然在參考資料中，曾探討二氯甲烷中 K' 為 38，表示大部分的 I_2 都被萃取至二氯甲烷中，只剩少部分的 I_2 流在水層中。但是我們利用正己烷萃取 I_2 的結果，並不如預期。壓力的上升，除了可能是產氧量的增加亦可能因正己烷的揮發性高，可能導致壓力上升及碘蒸氣的產生（於實驗數據中已修正），於是我們改用礦物油進行**實驗 6-2**實驗。

(二) **實驗 6-2**

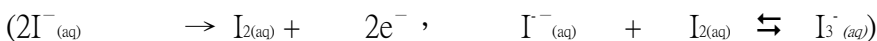
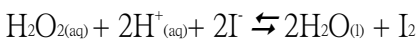
1. 我們可以很明顯的發現，利用礦物油的萃取，可將 I_2 成功的萃取至礦物油中。且產氧量下降。當利用 0.001M 的 $Na_2S_2O_3$ 滴定溶液時，不論是 I_2 或是 I_3^- 皆能與 $Na_2S_2O_3$ 進行氧化還原反應



且不論是 I_2 或是 I_3^- 皆兩者的價數皆為 2，故可由下列關係式計算得 $(I_2 + I_3^-)$ 的莫耳數。

$$(I_2 + I_3^-) \text{mol} \times 2 = [Na_2S_2O_3] \times V_{Na_2S_2O_3} \times 1$$

$$(I_2 + I_3^-) \text{mol} \times 2 = 0.001 \times 0.017 \times 1 \quad (I_2 + I_3^-) \text{mol} = 8.5 \times 10^{-6}$$



$$5 \times 10^{-4} - 2X \quad + X \quad 5 \times 10^{-4} - 2X - Y \quad X - Y \quad + Y$$

不論 Y 值為何， $(I_2 + I_3^-) \text{mol}$ 為 $(X - Y) + Y = X \text{mol}$ ，與被雙氧水氧化的 I_2 量相同。再由方程式 $H_2O_{2(aq)} + 2H^+_{(aq)} + 2I^- \rightleftharpoons 2H_2O_{(l)} + I_2$ 可得知，產生的 I_2 莫耳數與消耗的 H_2O_2 莫耳數相同，皆為 $X \text{mol}$ ，故可推得 H_2O_2 參與氧化 KI 的比例。（註：1mL 的雙氧水含有 0.00997 莫耳。 $(1 \times 1.13 \times 30\%) / 34 = 0.00997$ ）

2.表.6-2-4 可發現，加入正己烷或礦物油皆可將氧氣的產率下降，由 97.32%下降為 94.25%及 94.46%。因為碘為非極性分子，易溶於非極性的溶劑中，故加入溶劑(正己烷或礦物油)以萃取 I₂ 分子。因為 $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})} + 2\text{H}^+_{(\text{aq})} + 2\text{I}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + \text{I}_2$ ，若將 I₂ 分子萃取至上層的正己烷或礦物油中，會破壞平衡，使平衡向右移動，故雙氧水會有較多比例進行氧化還原產生 I₂ 分子，較少比例進行自身氧化還原產生氧氣。

陸、 結論

一、本實驗經標定雙氧水的濃度為 30%，密度為 1.13 g/cm³，pH 值為 2.4。

二、溫度在 30°C 及 40°C，雙氧水濃度由 3%至 18%，分解產生氧氣量均少，氧氣量變化緩慢上升。

溫度在 50°C 及 60°C，雙氧水濃度由 3%至 18%，分解產生氧氣量均明顯變多，尤其 60°C 雙氧水濃度 15%與 18%比較,其變化量最大。

三、不同溫度下，在 4.0M NaOH，加入雙氧水 6%分解產生 O₂總壓力均比純雙氧水 6%分解產生 O₂總壓力多，且溫度越高，產量差越大。溫度固定下，不同濃度 NaOH 對不同濃度 H₂O₂分解產生的總壓力均為：2M>1M>0M；但是高濃度 NaOH 對不同濃度 H₂O₂分解產生的總壓力均為：2M>4M>8M。

四、溫度 50°C 以上對 KI 分解 H₂O_{2(aq)} 反應會產生快速產生 O₂；溫度 0°C 下，則較緩慢進行；25°C 下，對 KI 分解 H₂O_{2(aq)} 反應產生 O₂，速率較易實驗及觀測。

溫度：0°C、25°C、50°C、75°C，其產生 O₂的速率(單位: mL / min)依序為:0.46、29.4、40、167。KI 分解與雙氧水的反應是放熱反應，溫度快速由 28.5°C 上升 34°C。

五、使用排水集氣法，在不同酸鹼度對 KI 分解 H₂O_{2(aq)} 反應氧氣產生總壓力及產生速率，均為酸 (pH=3.8) >pH=7.8>鹼 (pH=13)。使用多頻道圖形精靈(Pasco)之絕對壓力感測器下，不同酸鹼度對 KI 分解 H₂O_{2(aq)} 氧氣產生總壓力及產生速率，均為酸 (pH=4.2) >pH=7.7>鹼 (pH=11.9)。而且 KI 與雙氧水反應 pH 值則是迅速的上升大於 7，最後呈微鹼性。

六、Na₂S₂O₃ 滴定體積(mL):原始條件(未加)17mL>(礦物油萃取)(上層)12.2mL+(礦物油萃取)(水層) 3mL >正己烷萃取(上層)3mL+正己烷萃取(水層)4.5mL；△P (帕): 原始條件(未加)36164>(礦物油萃取)35104>(正己烷萃取)35024

H₂O₂ 氧化 KI 比例(%):原始數據(0.09)>礦物油(0.08)>正己烷(0.04)。H₂O₂ 自身氧還比例(%):原始數據(97.32)>礦物油(94.46)>正己烷(94.25)。

柒、參考資料

- 一、中華民國第 53 屆中小學科學展覽，國中組 化學科，『氧』眉吐氣。
- 二、中華民國第 42 屆中小學科學展覽，國中組 化學科，e 世代的製氧法。
- 三、中華民國第 46 屆中小學科學展覽，高中組 化學科，速戰速決-以雙氧水的分解探討反應速率。
- 四、卓靜哲、徐宜廷、邱一峰、何金昭、張毓禎(民 91)。鹵鹽催化雙氧水分解反應的研究。化學教育，60，119-128。
- 五、邱一峰、林承遠、施祐融、邱靜滢、何金昭、徐宜廷、張毓禎(民 90)。有趣的化學實驗-----神奇的碘化鉀。化學教育，241。
- 六、教育部數位教學資源入口網。http://content.edu.tw/senior/chemistry/tp_sc/learn/add/new_page_1.htm
- 七、白書禎、郭廷瑜、鍾仕偉、蘇宗德(民 87)。疊氮修正希巴辣光度測氧法及其在環境監測上的應用。化學(中國化學會)，56 (3),173-185。
- 八、為友歡、李燕麗、陳小華、盧榮妹(2004)。略談影響 H₂O₂ 分解的因素。南寧師範高等專科學校學報，21，85-86。
- 九、What is the mechanism of the reaction between iodide ion and hydrogen peroxide?<http://antoine.frostburg.edu/chem/senese/101/kinetics/faq/mechanism-h2o2-iodide.shtml>
- 十、Edward L.King(1963).*How Chemical Reaction Occur?*New York
- 十一、高玉華、陳傳祥(2008)。碘化鉀－過氧化氫催化分解反應體系中副反應的研究。江蘇科技大學學報（自然科學版），22，78-80。

【評語】 040206

學生探討KI與H₂O₂反應關係時應從其還原電位來想這些問題，可能一些答案就可知道，對酸鹼度的影響也可知道，因酸鹼也參與氧化還原反應。