

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 化學科

040209

“速” “氫” 專案

學校名稱：桃園縣立平鎮高級中學

作者： 高二 彭紹瑋 高二 邱逸貞 高二 鄭伯軍	指導老師： 張威進
---	------------------

關鍵詞：秒錶反應、氫離子、碘—澱粉

摘要

對於基礎化學(三)的實驗教材中秒錶反應($\text{IO}_3^- + 3\text{HSO}_3^- \rightarrow \text{I}^- + 3\text{SO}_4^{2-} + 3\text{H}^+$)其反應速率的測定結果，反應速率與 $[\text{KIO}_3]$ 成正比，即對 $[\text{KIO}_3]$ 而言為一級反應關係。

進一步探討影響反應速率的因素，改變配製藥品中 H_2SO_4 的量，探討對秒錶反應的反應速率影響，發現變藍時間的倒數與 $[\text{H}^+]$ 成正比，即對 $[\text{H}^+]$ 而言為一級反應關係。

改變每次實驗中 H_2SO_4 的量，發現只要每次實驗過程中 H_2SO_4 的量固定，則 $[\text{H}^+]$ 的大小不影響級數的判定結果。

$[\text{H}^+]$ 愈大，對第二步反應($\text{IO}_3^- + 5\text{I}^- + 6\text{H}^+ \rightarrow 3\text{I}_{2(\text{s})} + 3\text{H}_2\text{O}$)產生 I_2 所需的 $[\text{KI}]$ 愈小，但要有一定的 $[\text{KI}]$ 才能產生 I_2 ，此結果會影響秒錶反應速率的測定中，當 $[\text{KIO}_3]$ 太小時，變藍的時間測定會比預期的時間長，而造成判定的誤差變大。

由電位的計算知當溶液變藍時，剩下的 $[\text{HSO}_3^-]$ 相差不大，故 $[\text{H}^+]$ 變大對秒錶反應中變藍時間的影響討論並非是第二步提早反應的關係，應是 $[\text{H}^+]$ 會影響秒錶反應的反應速率。

重複實驗結果相同，更加確定結果之正確性：秒錶反應的反應速率 $R \propto [\text{IO}_3^-][\text{H}^+]$

壹、研究動機

在做有關”秒錶反應”的實驗課時，做完實驗後，利用剩餘時間，幫老師配製 B 溶液時，不小心將桌旁的硫酸溶液多加了一倍的量，重做實驗後，發現溶液變藍的時間縮短了，於是我們去問老師為何如此？老師建議我們到圖書館查資料，找有關影響反應速率的各種變因，以協助我們了解有關這個實驗的各種實驗過程，並透過實作使更加了解影響秒錶反應的因素，並試圖探討原因。

在查過很多書籍和網路資料後，發現有許多類似的反應速率相關實驗，但是使用的藥品都不同，因此我們決定透過實作來探討一些變因的影響。

貳、研究目的

- 一、 確認秒錶反應實驗中， KIO_3 的濃度對反應速率的影響。
- 二、 研究秒錶反應實驗中，除了 KIO_3 的濃度會影響反應速率外，是否還有其他物質之濃度會改變實驗中變藍的時間。
- 三、 比較不同濃度的氫離子對秒錶反應速率的影響。
- 四、 氫離子濃度雖不同，但若將氫離子濃度固定時，是否會影響 KIO_3 的濃度對秒錶反應速率影響的判定。
- 五、 探討變藍的反應機制，及其影響的條件。

參、研究設備及器材

- 一、 試藥： $\text{KIO}_3(\text{s})$ 、 $\text{KI}(\text{s})$ 、濃 H_2SO_4 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5(\text{s})$ 、澱粉、 $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s})$ 、甲基橙指示劑。
- 二、 器材：250 mL 錐形瓶、稱量瓶(加蓋)、精密天平、刮勺、玻棒、溫度計、滴管、10 mL 及 50 mL 量筒、50 mL 滴定管(含架)、2 mL 及 10 mL 刻度吸量管、漏斗、手套、洗瓶、安全吸球、烘箱、碼錶、50、100、150、500 mL 及 1000 mL 燒杯、500 mL 及 1000 mL 容量瓶。

肆、研究過程與方法

目前用來測定反應速率的實驗有： $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ [過硫酸銨]與 KI (碘化鉀)的反應(藝軒圖書之普通化學實驗)、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 與 HCl 的反應(JOHN WILEY 之化學實驗手冊)、 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與 KI 在酸性溶液中的反應(五南圖書之普通化學實驗)及高中實驗教材中的秒錶反應實驗[KIO_3 與 NaHSO_3 之反應](以泰宇版為主)等。因高中實驗教材的藥品較易取得，對考試而言，也是需要研究的課程，故以秒錶反應實驗為主：

實驗過程如下：

一、硫酸溶液的配製與標定：

(一)配製：以刻度吸量管量取約 3 mL 的濃硫酸，加入裝有約 600 mL 蒸餾水的燒杯中，攪拌均勻後再加蒸餾水至 1 升。

(二)標定

1. 精秤經烘乾且放冷的 Na_2CO_3 約 0.1~0.2 克，放入 250 mL 錐形瓶中。
2. 加 50 mL 蒸餾水，攪拌溶解之。
3. 滴加 3 滴甲基橙指示劑後，以上述配置好的硫酸溶液滴定之，直到橙色的甲基橙變成粉紅色為止，記錄所用之硫酸溶液體積。
4. 重複上述步驟 2 次，計算 H_2SO_4 的平均濃度。



圖一 秤取 Na_2CO_3



圖二 H_2SO_4 滴定 Na_2CO_3



圖三 滴定達當量點

二、各溶液之配製：

(一)配製 A 溶液：0.02 M KIO_3 溶液

取 4.30 克 $\text{KIO}_3(\text{s})$ 置入 1 L 容量瓶中，緩慢加入 100 mL 蒸餾水，攪拌均勻後，再慢慢加入蒸餾水直到刻度處。

(二)配製澱粉指示劑溶液：

取 2 克澱粉，置入 20 mL 的蒸餾水中，攪拌均勻後，慢慢倒入 400 mL 的熱水中，將溶液加熱至澄清或半透明狀，不需煮沸，冷卻後就可以使用了(每次需新鮮配製)。

(三)配製 B 溶液：0.008 M NaHSO_3 溶液

取 0.76 克 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5(\text{s})$ 置入 1 L 容量瓶中，緩慢加入 100 mL 蒸餾水，攪拌均勻後，再慢慢加入蒸餾水直到刻度處。

(四)配製 KI 溶液：0.003 M KI 溶液

取 0.25 克 $\text{KI}(\text{s})$ 置入 500 mL 容量瓶中，緩慢加入 100 mL 蒸餾水，攪拌均勻後，再慢慢加入蒸餾水直到刻度處。

三、原秒錶反應測定之實驗：固定 B 液中 NaHSO_3 、 H_2SO_4 及澱粉液之濃度，

改變 A 液中 KIO_3 之濃度，測定秒錶反應速率

(一)先取兩個 10 mL 量筒及 50 mL 燒杯 3 個洗淨烘乾備用，量筒先標示 A、B。

(二)以 A 量筒量取 10 mL A 溶液，以 B 量筒量取 5 mL B 溶液、1 mL 澱粉液、1 mL

0.0553 M H_2SO_4 及 3 mL 水，使總體積變為 10 mL。

(三)將各溶液置入 25°C 恆溫槽中，靜置約 2 分鐘後使溫度穩定。

(四)將 A、B 兩量筒的溶液一起倒入燒杯中，立即以碼錶計時，然後搖盪燒杯，使溶液混合均勻後，靜置，觀察燒杯中溶液的變化，直到藍色出現時，停止計時，記錄時間 t_0 ，並計算其反應速率 R_0 。

(五)重複步驟(二)~(四)兩次，記錄時間 t_0 ，並計算其反應速率 R_0 ，計算平均反應速率。

(六)改變 A 量筒取 A 溶液之量為 9 mL、8 mL、7 mL、…、2 mL，再加蒸餾水至 10 mL 刻度處，重複步驟(二)~(五)，記錄時間 $t_1 \sim t_9$ ，並計算其反應

速率 $R_1 \sim R_9$ ，計算平均反應速率。

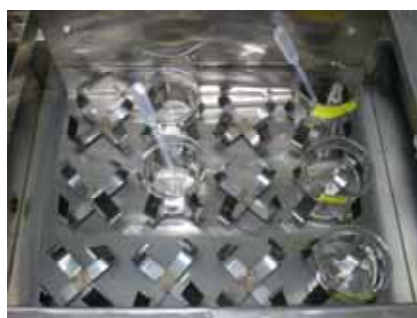


圖四 A、B 液放置於量筒中



圖五 A、B 液一起倒入燒杯中

圖六 實驗最後，藍色出現



圖七 恆溫槽裝置

四、秒錶反應測定之實驗 1：

固定 A 液 KIO_3 之濃度
及 B 液中之 $NaHSO_3$ 、

澱粉液濃度，改變 B 液中之 H_2SO_4 濃度，測定對變藍時間之影響

(一)先取兩個 10 mL 量筒及 50 mL 燒杯 3 個洗淨烘乾備用，量筒先標示 A、B。

(二)以 A 量筒量取 10 mL A 溶液，以 B 量筒量取 5 mL B 溶液、1 mL 澱粉液、0.6 mL $0.0578 M H_2SO_4$ 及 3.4 mL 水，使總體積變為 10 mL。

(三)將各溶液置入 $25^\circ C$ 恆溫槽中，靜置約 2 分鐘後使溫度穩定。

(四)將 A、B 兩量筒的溶液一起倒入燒杯中，立即以碼錶計時，然後搖盪燒杯，使溶液混合均勻後，靜置，觀察燒杯中溶液的變化，直到藍色出現時，停止計時，記錄時間 t_0 ，並計算其反應速率 R_0 。

(五)重複步驟(二)~(四)兩次，記錄時間 t_0 ，並計算其反應速率 R_0 ，計算平均反應速率。

(六)改變 B 量筒取 H_2SO_4 溶液之量為 0.8 mL、1.0 mL、1.2 mL、...、2.4 mL，再加蒸餾水至 10 mL 刻度處，重複步驟(二)~(五)，記錄時間 $t_1 \sim t_7$ ，並計算其反應速率 $R_1 \sim R_7$ ，計算平均反應速率。

五、秒錶反應測定之實驗 2: 固定 B 液中 $NaHSO_3$ 及澱粉液之濃度，改變 A 液中 KIO_3 之濃度，測定反應速率

(一)先取兩個 10 mL 量筒及 50 mL 燒杯 3 個洗淨烘乾備用，量筒先標示 A、B。

(二)以 A 量筒量取 10 mL A 溶液，以 B 量筒量取 5 mL B 溶液、1 mL 澱粉液、0.5 mL H_2SO_4 及 3.5 mL 水，使總體積變為 10 mL。

(三)將各溶液置入 25°C 恆溫槽中，靜置約 2 分鐘後使溫度穩定。

(四)將 A、B 兩量筒的溶液一起倒入燒杯中，立即以碼錶計時，然後搖盪燒杯，使溶液混合均勻後，靜置，觀察燒杯中溶液的變化，直到藍色出現時，停止計時，記錄時間 t_0 ，並計算其反應速率 R_0 。

(五)重複步驟(二)~(四)兩次，記錄時間 t_0 ，並計算其反應速率 R_0 ，計算平均反應速率。

(六)改變 A 量筒取 A 溶液之量為 9 mL、8 mL、7 mL、…、2 mL，再加蒸餾水至 10 mL 刻度處，重複步驟(二)~(五)，記錄時間 $t_1 \sim t_9$ ，並計算其反應速率 $R_1 \sim R_9$ ，計算平均反應速率。

(七)改變 B 量筒中 H_2SO_4 溶液之量為 1.5 mL、2.0 mL 及 2.5 mL，再加蒸餾水至 10 mL 刻度處，重複步驟(二)~(六)，記錄時間 $t_1 \sim t_9$ ，並計算其反應速率 $R_1 \sim R_9$ ，計算平均反應速率。

六、 KIO_3 與 KI 在酸性溶液中反應成 I_2 之實驗：固定 KIO_3 之濃度為 0.02 M，改變 KI 及 $[\text{H}^+]$ 之濃度，測定是否可反應成 I_2

(一)先取兩個 10 mL 量筒及 50 mL 燒杯 3 個洗淨烘乾備用，量筒先標示 A、B。

(二)以 A 量筒量取 10 mL KIO_3 溶液，以 B 量筒量取 0.5 mL KI 溶液、1 mL 澱粉液、0.5 mL 0.001 M H_2SO_4 及 7.5 mL 水，使總體積變為 10 mL。

(三)將各溶液置入 25°C 恆溫槽中，靜置約 2 分鐘後使溫度穩定。

(四)將 A、B 兩量筒的溶液一起倒入燒杯中，然後搖盪燒杯，使溶液混合均勻後，靜置，觀察燒杯中溶液的變化是否在 4 分鐘內有藍色出現，記錄結果。

(五)重複步驟(二)~(四)，但改變 KI 的量為 0.6 mL、0.7 mL、…直到藍色出現為止，記錄結果。

(六)重複步驟(二)~(五)，但改變 $[\text{H}^+]$ 的量為 1.0 mL、1.5 mL 及 2.0 mL，記錄結果。

伍、研究結果

一、硫酸溶液的配製與標定： 溫度：25°C

實驗次數	Na ₂ CO ₃ 重(g)	H ₂ SO ₄ 用量(mL)	[H ₂ SO ₄]	平均值
1	0.109	18.10	0.0568	0.0578
2	0.212	34.50	0.0580	
3	0.321	51.70	0.0586	

1. 計算式以第一次數據為例：

$$\frac{0.109}{105.98} = M \times \frac{18.10}{1000} \quad \therefore M = 0.0568$$

$$\text{硫酸水溶液的平均濃度} = \frac{0.0568 + 0.0580 + 0.0586}{3} = 0.0578$$

$$\text{絕對偏差} = \frac{0.001 + 0.0002 + 0.0008}{3} = 0.00067, \text{相對偏差} = \frac{0.00067}{0.0578} \times 100\% = 1.16\%$$

$$\text{標準差} = \sqrt{\frac{0.001^2 + 0.0002^2 + 0.0008^2}{3}} = 0.000748$$

二、原秒錶反應測定之實驗： 溫度：19.0°C，溼度：59%，壓力：73.12 cmHg

改變 KIO₃ 濃度：

KIO ₃ (mL)	水 (mL)	藍色 出現	平均	反應速率 (M/s)	KIO ₃ (mL)	水 (mL)	藍色 出現	平均	反應速率 (M/s)
10	0	33.41	32.67	6.09×10 ⁻⁵	5	5	66.31	67.82	2.93×10 ⁻⁵
		32.32					70.43		
		32.29					66.72		
9	1	40.89	38.54	5.16×10 ⁻⁵	4	6	92.24	90.36	2.20×10 ⁻⁵
		38.77					88.43		
		35.95					90.42		
8	2	44.41	43.34	4.59×10 ⁻⁵	3	7	117.2	118.45	1.68×10 ⁻⁵
		43.24					122.46		
		42.38					115.69		
7	3	49.24	48.39	4.11×10 ⁻⁵	2	8	152.56	159.26	1.25×10 ⁻⁵
		47.2					158.26		
		48.73					166.95		
6	4	55.84	55.30	3.60×10 ⁻⁵					
		56.27							
		53.78							

固定 B 溶液：(數據為原分區科展之資料)

0.00796 M NaHSO₃ 5 mL + 澱粉液 1 mL + 0.0553 M H₂SO₄ 1.0 mL + 水 3 mL

$$[\text{NaHSO}_3] = \frac{0.757}{190.1} \times \frac{1000}{1000} \times 2 = 0.00796 \text{ M} \quad [\text{H}_2\text{SO}_4] = \frac{0.0553 \times 1}{20} = 0.002765 \text{ M}$$

1. 計算式以第一次數據為例：

$$\text{藍色出現平均時間} = \frac{33.41 + 32.32 + 32.29}{3} = 32.67(\text{秒})$$

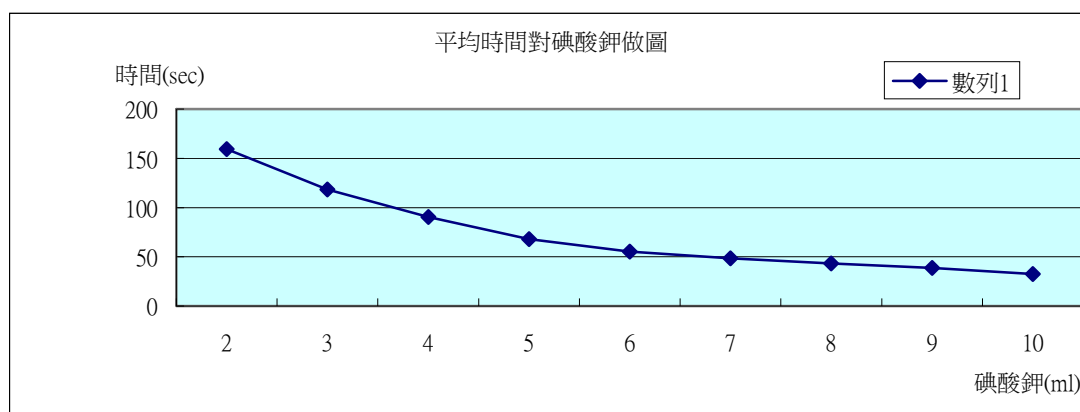
$$\text{反應速率 } R = \frac{0.00796/4}{32.67} = 6.09 \times 10^{-5} \text{ (M/s)}$$

$$[\text{KIO}_3] = \frac{4.323}{214} \times \frac{1000}{1000} = 0.0202 \text{ M}$$

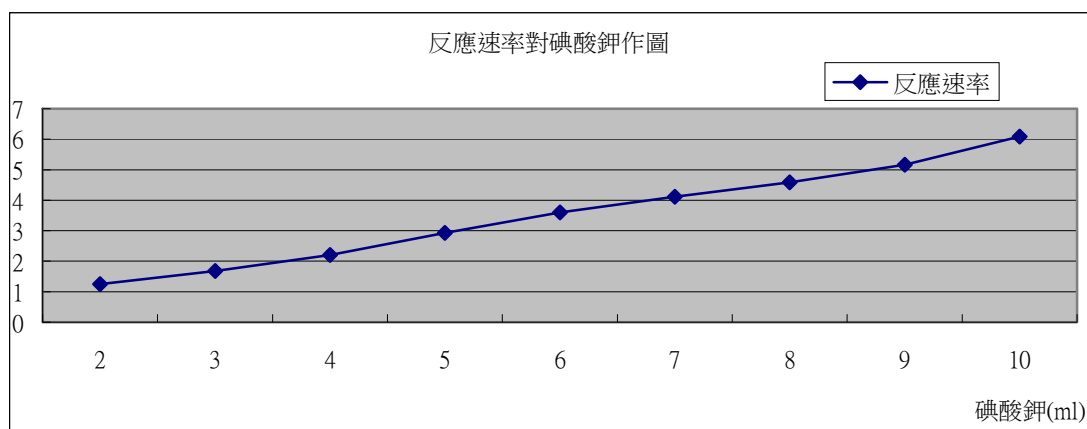
$$\text{取 KIO}_3 \text{ 10 mL 得 } [\text{KIO}_3] = \frac{0.0202 \times 10}{20} = 0.0101 \text{ M}$$

$$\text{取 KIO}_3 \text{ 9 mL 得 } [\text{KIO}_3] = \frac{0.0202 \times 9}{20} = 9.09 \times 10^{-3} \text{ M} \dots$$

2. 數據處理後，作圖如下：



圖八 變藍時間對 KIO₃ 使用體積作圖 1



圖九 反應速率對 KIO₃ 使用體積作圖 1

3. 數據分析：

[KIO ₃](10 ⁻³ M)	10.1	9.09	8.08	7.07	6.06	5.05	4.04	3.03	2.02
反應速率 (a×10 ⁻⁵ M/s)	6.09	5.16	4.59	4.11	3.60	2.93	2.20	1.68	1.25

$$y = A + Bx \quad \text{得} \quad A = -0.06378, \quad B = 0.5901, \quad r(\text{相關係數}) = 0.99744$$

三、秒錶反應測定之實驗 1： 溫度：25°C

固定 A 溶液：0.0200 M KIO₃ 10 mL

$$[\text{KIO}_3] = \frac{4.281}{214} \times \frac{1000}{1000} = 0.0200 \text{ M}$$

固定 B 溶液部份成份：

0.00804 M NaHSO₃ 5 mL + 澱粉液 1 mL

$$[\text{NaHSO}_3] = \frac{0.764}{190.1} \times \frac{1000}{1000} \times 2 = 0.00804 \text{ M}$$

改變 [H₂SO₄] 濃度：

H ₂ SO ₄ (mL)	水 (mL)	藍色 出現	平均	反應速率 (M/s)	H ₂ SO ₄ (mL)	水 (mL)	藍色 出現	平均	反應速率 (M/s)
0.6	3.4	35.94	38.50	5.22×10 ⁻⁵	1.6	2.4	14.39	14.75	1.36×10 ⁻⁴
		37.38					14.85		
		42.17					15.01		
0.8	3.2	30.56	28.49	7.06×10 ⁻⁵	1.8	2.2	13.19	13.46	1.49×10 ⁻⁴
		27.13					13.09		
		27.78					14.09		
1.0	3.0	23.38	24.45	8.22×10 ⁻⁵	2.0	2.0	11.35	11.38	1.77×10 ⁻⁴
		24.84					11.15		
		25.12					11.63		
1.2	2.8	20.88	19.74	1.02×10 ⁻⁴	2.2	1.8	10.02	10.10	1.99×10 ⁻⁴
		18.52					10.08		
		19.82					10.20		
1.4	2.6	16.63	16.09	1.25×10 ⁻⁴	2.4	1.6	9.37	8.67	2.32×10 ⁻⁴
		15.81					8.54		
		15.84					8.09		

1. 計算式以第一次數據為例：

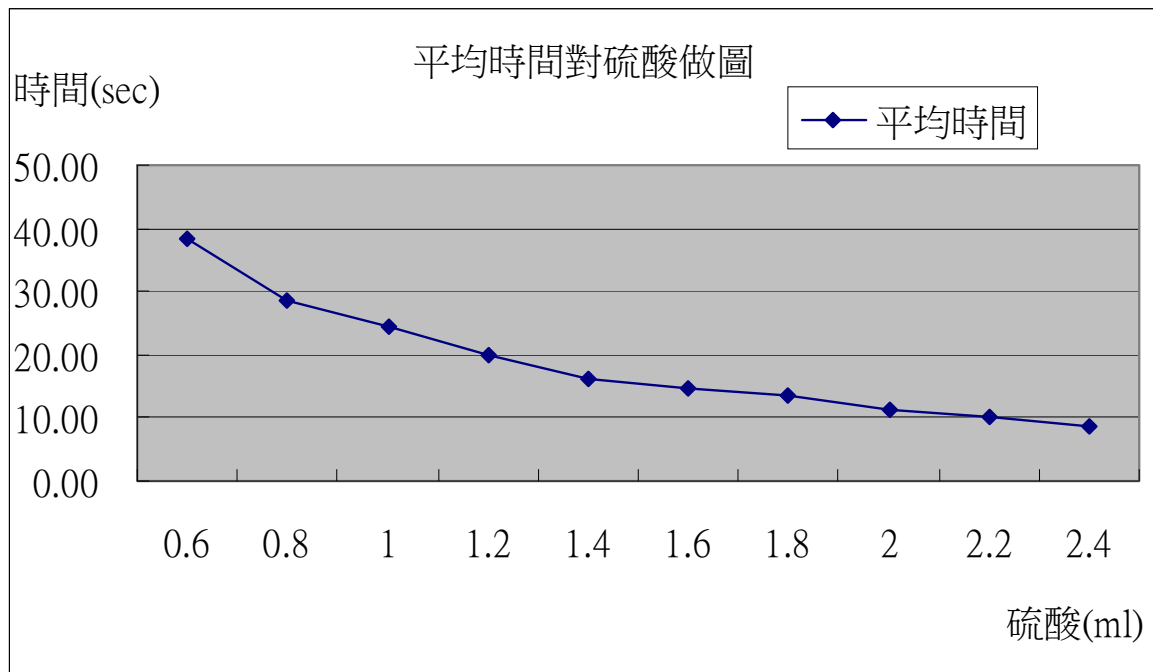
$$\text{藍色出現平均時間} = \frac{35.94 + 37.38 + 42.17}{3} = 38.50(\text{秒})$$

$$\text{反應速率 } R = \frac{0.00804/4}{38.50} = 5.22 \times 10^{-5} (\text{M/s})$$

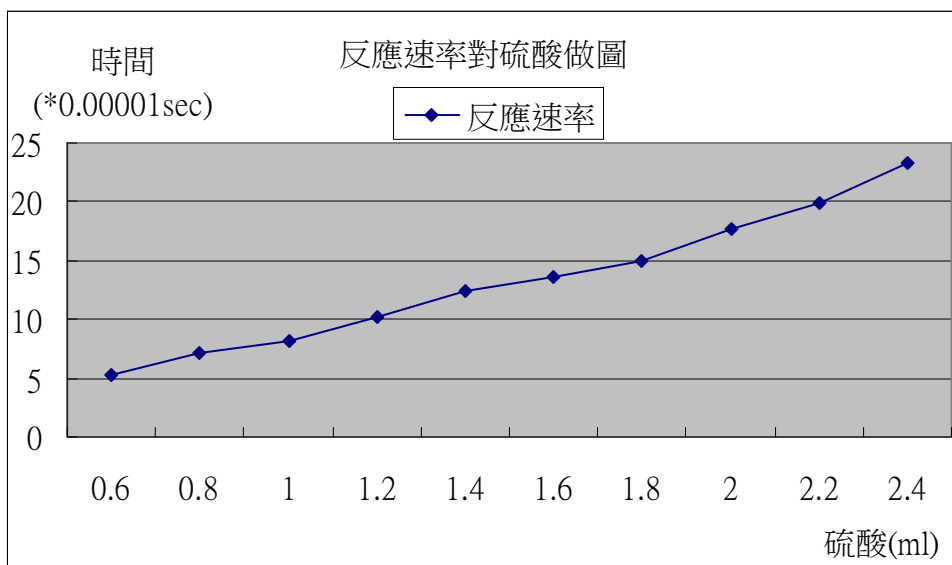
$$\text{取 } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0.6 \text{ mL 得 } [\text{H}_2\text{SO}_4] = \frac{0.0578 \times 0.6}{20} = 0.001734 \text{ M}$$

$$\text{取 } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 1.0 \text{ mL 得 } [\text{H}_2\text{SO}_4] = \frac{0.0578 \times 1.0}{20} = 0.00289 \text{ M} \dots$$

2. 數據處理後，作圖如下：



圖十 變藍時間對 H₂SO₄ 使用體積作圖



圖十一 反應速率對 H₂SO₄ 使用體積作圖

3. 數據分析：

[H ₂ SO ₄](10 ⁻³ M)	1.73	2.31	2.89	3.47	4.05	4.62	5.20	5.78	6.36	6.94
反應速率 (a×10 ⁻⁵ M/s)	5.22	7.06	8.22	10.2	12.5	13.6	14.9	17.7	19.9	23.2

$$y = A + Bx \quad \text{得} \quad A = -1.02555, B = 3.29309, r(\text{相關係數}) = 0.99267$$

四、秒錶反應測定之實驗2： 溫度：25°C

(一)固定 B 溶液：

0.00804 M NaHSO₃ 5 mL + 澱粉液 1 mL + 0.0578 M H₂SO₄ 0.5 mL + 水 3.5 mL

$$[\text{NaHSO}_3] = \frac{0.764}{190.1} \times \frac{1000}{1000} \times 2 = 0.00804 \text{ M} \quad [\text{H}_2\text{SO}_4] = \frac{0.0578 \times 0.5}{20} = 0.001445 \text{ M}$$

改變 KIO₃ 濃度：

KIO ₃ (mL)	水 (mL)	藍色 出現	平均	反應速率 (M/s)	KIO ₃ (mL)	水 (mL)	藍色出 現	平均	反應速率 (M/s)
10	0	57.19	56.85	3.54×10 ⁻⁵	5	5	105.25	105.05	1.91×10 ⁻⁵
		54.81					107.25		
		58.54					102.66		
9	1	65.90	63.48	3.17×10 ⁻⁵	4	6	127.15	124.31	1.62×10 ⁻⁵
		63.56					123.45		
		60.97					122.32		
8	2	70.75	71.05	2.83×10 ⁻⁵	3	7	174.75	184.35	1.09×10 ⁻⁵
		71.75					178.41		
		70.66					199.90		
7	3	79.43	78.33	2.57×10 ⁻⁵	2	8	259.66	256.40	7.84×10 ⁻⁶
		79.17					252.51		
		76.40					257.03		
6	4	91.22	90.61	2.22×10 ⁻⁵	1	9	624	624	3.22×10 ⁻⁶
		89.47							
		91.15							

1. 計算式以第一次數據為例：

$$\text{藍色出現平均時間} = \frac{57.19 + 54.81 + 58.54}{3} = 56.85(\text{秒})$$

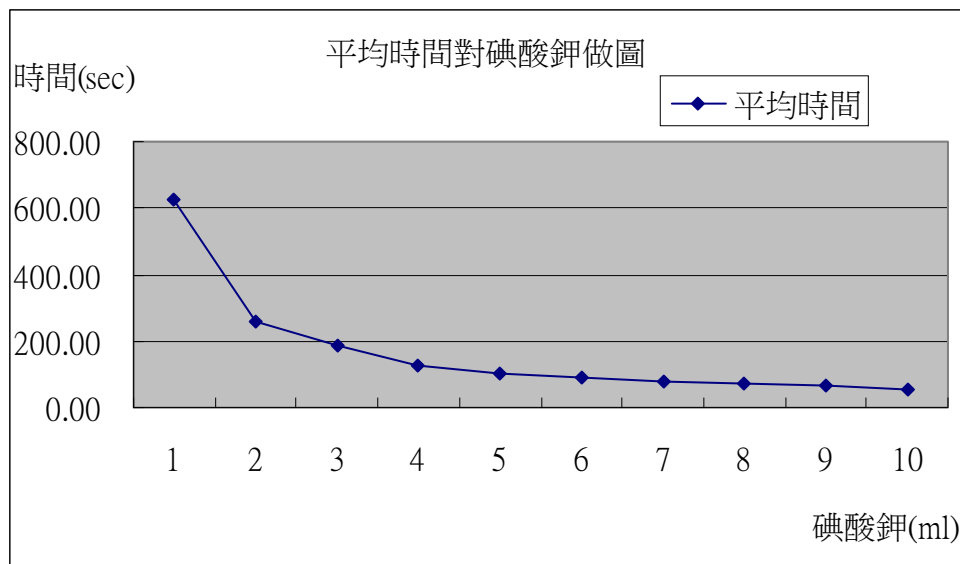
$$\text{反應速率 } R = \frac{0.00804/4}{56.85} = 3.54 \times 10^{-5} \text{ (M/s)}$$

$$[\text{KIO}_3] = \frac{4.281}{214} \times \frac{1000}{1000} = 0.0200 \text{ M}$$

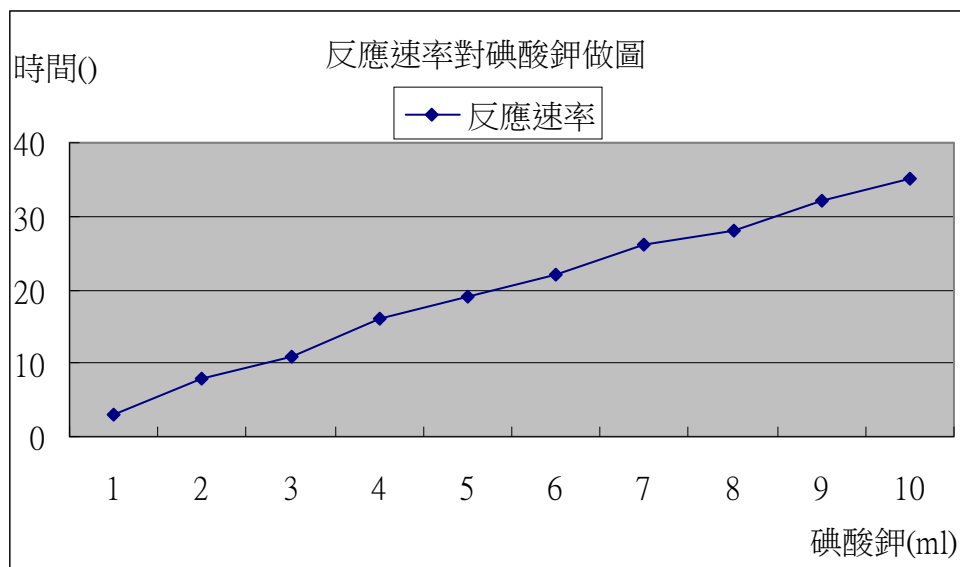
$$\text{取 } \text{KIO}_3 \text{ 10 mL 得 } [\text{KIO}_3] = \frac{0.0200 \times 10}{20} = 0.0100 \text{ M}$$

$$\text{取 } \text{KIO}_3 \text{ 9 mL 得 } [\text{KIO}_3] = \frac{0.0200 \times 9}{20} = 9.00 \times 10^{-3} \text{ M} \dots$$

2. 數據處理後，作圖如下：



圖十二 變藍時間對 KIO_3 使用體積作圖 2



圖十三 反應速率對 KIO_3 使用體積作圖 2

3. 數據分析：

$[\text{KIO}_3](10^{-3} \text{ M})$	10.0	9.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00
反應速率 ($a \times 10^{-5} \text{ M/s}$)	3.54	3.17	2.83	2.57	2.22	1.91	1.62	1.09	0.784	0.322

$$y = A + Bx \quad \text{得 } A = 0.08813, B = 0.34863, r(\text{相關係數}) = 0.997515$$

(二)固定 B 溶液：

0.00802 M NaHSO₃ 5 mL + 澱粉液 1 mL + 0.0578 M H₂SO₄ 1.5 mL + 水 2.5 mL

$$[\text{NaHSO}_3] = \frac{0.762}{190.1} \times \frac{1000}{1000} \times 2 = 0.00802 \text{ M} \quad [\text{H}_2\text{SO}_4] = \frac{0.0578 \times 1.5}{20} = 0.004335 \text{ M}$$

改變 KIO₃ 濃度：

KIO ₃ (mL)	水 (mL)	藍色 出現	平均	反應速率 (M/s)	KIO ₃ (mL)	水 (mL)	藍色出 現	平均	反應速率 (M/s)
10	0	19.00	18.66	1.07×10^{-4}	5	5	36.44	35.79	5.60×10^{-5}
		18.63					36.00		
		18.34					34.94		
9	1	20.32	20.56	9.75×10^{-5}	4	6	41.20	41.74	4.80×10^{-5}
		21.38					41.59		
		19.99					42.42		
8	2	24.25	23.63	8.48×10^{-5}	3	7	56.58	54.95	3.65×10^{-5}
		24.57					52.03		
		22.07					56.23		
7	3	25.38	24.98	8.03×10^{-5}	2	8	80.85	80.25	2.50×10^{-5}
		24.56					78.29		
		25.00					81.62		
6	4	30.03	30.86	6.50×10^{-5}	1	9	164.09	161.51	1.24×10^{-5}
		30.59					164.91		
		31.97					155.53		

1. 計算式以第一次數據為例：

$$\text{藍色出現平均時間} = \frac{19.00 + 18.63 + 18.34}{3} = 18.66(\text{秒})$$

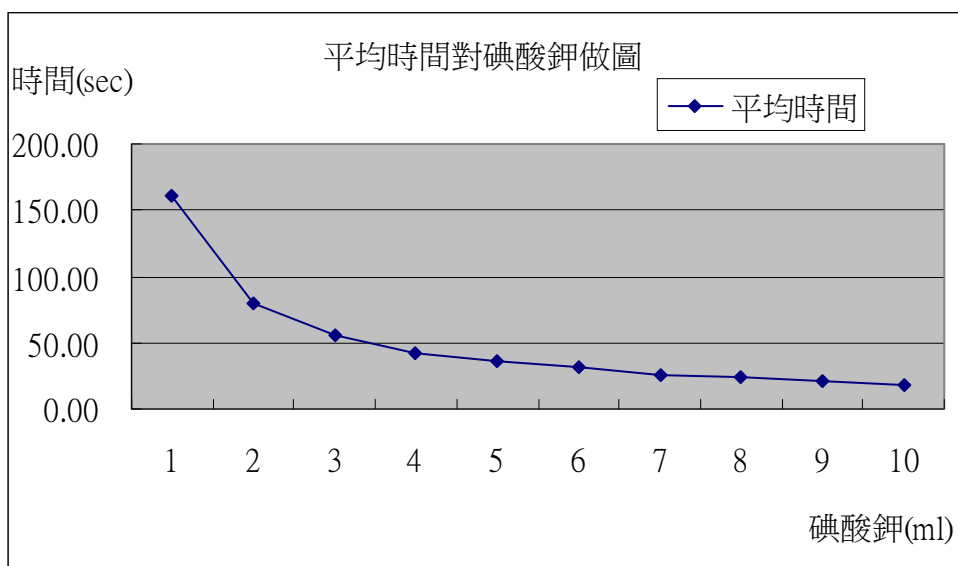
$$\text{反應速率 } R = \frac{0.00802/4}{18.66} = 1.07 \times 10^{-4} \text{ (M/s)}$$

$$[\text{KIO}_3] = \frac{4.281}{214} \times \frac{1000}{1000} = 0.0200 \text{ M}$$

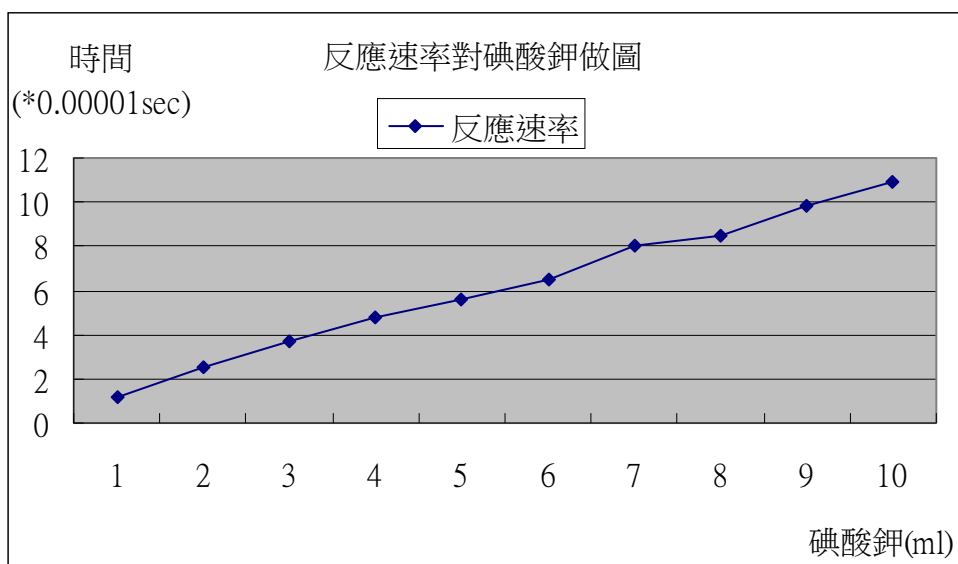
$$\text{取 KIO}_3 \text{ 10 mL 得 } [\text{KIO}_3] = \frac{0.0200 \times 10}{20} = 0.0100 \text{ M}$$

$$\text{取 KIO}_3 \text{ 9 mL 得 } [\text{KIO}_3] = \frac{0.0200 \times 9}{20} = 9.00 \times 10^{-3} \text{ M} \dots$$

2. 數據處理後，作圖如下：



圖十四 變藍時間對 KIO_3 使用體積作圖 3



圖十五 反應速率對 KIO_3 使用體積作圖 3

3. 數據分析：

$[\text{KIO}_3](10^{-3} \text{ M})$	10.0	9.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00
反應速率 ($a \times 10^{-5} \text{ M/s}$)	10.7	9.75	8.48	8.03	6.50	5.60	4.80	3.65	2.50	1.24

$y = A + Bx$ 得 $A = 0.43733$ ， $B = 1.034121$ ， $r(\text{相關係數}) = 0.998182$

(三)固定 B 溶液：

0.00802 M NaHSO_3 5 mL + 澱粉液 1 mL + 0.0578 M H_2SO_4 2.0 mL + 水 2.0 mL

$$[\text{NaHSO}_3] = \frac{0.762}{190.1} \times \frac{1000}{1000} \times 2 = 0.00802 \text{ M} \quad [\text{H}_2\text{SO}_4] = \frac{0.0578 \times 2.0}{20} = 0.00578 \text{ M}$$

改變 KIO_3 濃度：

KIO_3 (mL)	水 (mL)	藍色 出現	平均	反應速率 (M/s)	KIO_3 (mL)	水 (mL)	藍色出 現	平均	反應速率 (M/s)
10	0	11.96	11.84	1.69×10^{-4}	5	5	23.59	24.45	8.20×10^{-5}
		11.88					25.87		
		11.68					23.89		
9	1	13.91	13.30	1.51×10^{-4}	4	6	31.03	30.81	6.51×10^{-5}
		13.68					30.85		
		12.31					30.54		
8	2	16.40	15.93	1.26×10^{-4}	3	7	37.59	37.51	5.35×10^{-5}
		16.13					36.66		
		15.25					38.28		
7	3	17.55	17.87	1.12×10^{-4}	2	8	69.32	65.06	3.08×10^{-5}
		18.02					63.65		
		18.05					62.22		
6	4	20.18	20.84	9.62×10^{-5}	1	9	113.72	118.05	1.70×10^{-5}
		21.29					113.47		
		21.06					126.97		

1. 計算式以第一次數據為例：

$$\text{藍色出現平均時間} = \frac{11.96 + 11.88 + 11.68}{3} = 11.84(\text{秒})$$

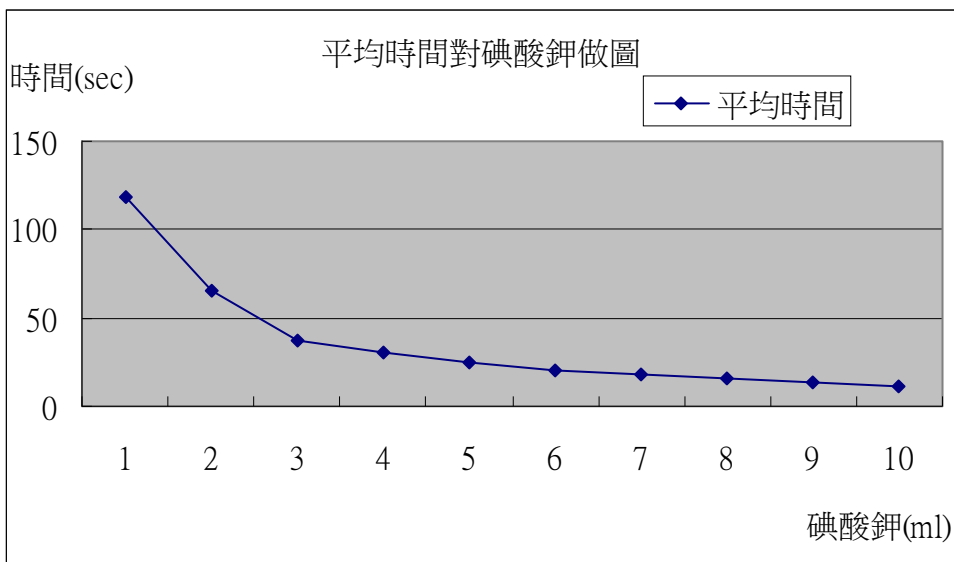
$$\text{反應速率 } R = \frac{0.00802/4}{11.84} = 1.69 \times 10^{-4} \text{ (M/s)}$$

$$[\text{KIO}_3] = \frac{4.281}{214} \times \frac{1000}{1000} = 0.0200 \text{ M}$$

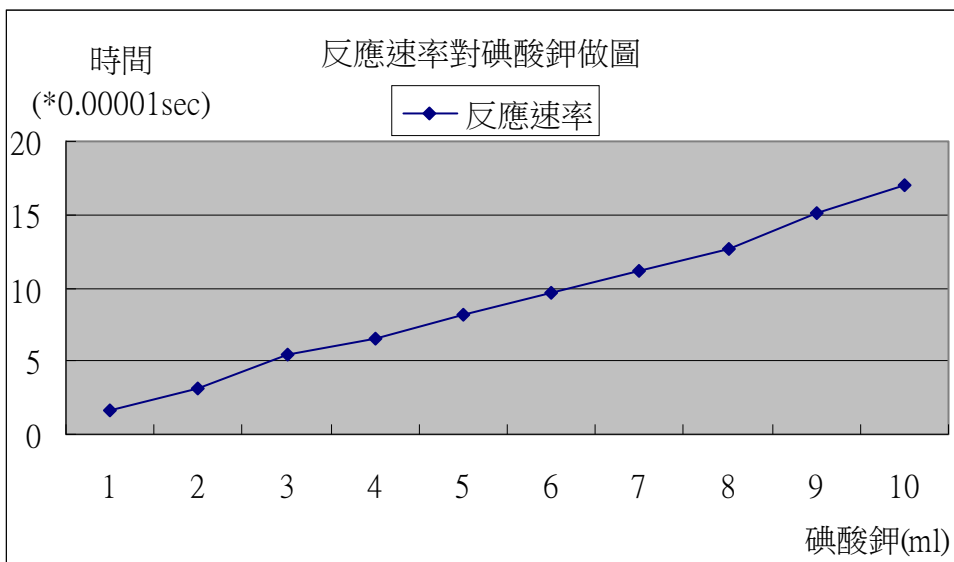
$$\text{取 } \text{KIO}_3 \text{ 10 mL 得 } [\text{KIO}_3] = \frac{0.0200 \times 10}{20} = 0.0100 \text{ M}$$

$$\text{取 } \text{KIO}_3 \text{ 9 mL 得 } [\text{KIO}_3] = \frac{0.0200 \times 9}{20} = 9.00 \times 10^{-3} \text{ M} \dots$$

2. 數據處理後，作圖如下：



圖十六 變藍時間對 KIO₃ 使用體積作圖 4



圖十七 反應速率對 KIO₃ 使用體積作圖 4

3. 數據分析：

[KIO ₃](10 ⁻³ M)	10.0	9.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00
反應速率 (a×10 ⁻⁵ M/s)	16.9	15.1	12.6	11.2	9.62	8.20	6.51	5.35	3.08	1.70

$y = A + Bx$ 得 $A = -0.063333$, $B = 1.652606$, $r(\text{相關係數}) = 0.997832$

(四)固定 B 溶液：

0.00796 M NaHSO₃ 5 mL + 澱粉液 1 mL + 0.0578 M H₂SO₄ 2.5 mL + 水 1.5 mL

$$[\text{NaHSO}_3] = \frac{0.764}{190.1} \times \frac{1000}{1000} \times 2 = 0.00804 \text{ M} \quad [\text{H}_2\text{SO}_4] = \frac{0.0578 \times 2.5}{20} = 0.007225 \text{ M}$$

改變 KIO_3 濃度：

KIO_3 (mL)	水 (mL)	藍色 出現	平均	反應速率 (M/s)	KIO_3 (mL)	水 (mL)	藍色出 現	平均	反應速率 (M/s)
10	0	11.72	11.52	1.74×10^{-4}	5	5	24.66	25.03	8.01×10^{-5}
		11.53					24.51		
		11.31					25.91		
9	1	12.76	12.73	1.58×10^{-4}	4	6	26.93	26.29	7.63×10^{-5}
		12.91					26.09		
		12.52					25.85		
8	2	14.28	14.80	1.35×10^{-4}	3	7	34.49	33.83	5.93×10^{-5}
		15.06					32.88		
		15.06					34.12		
7	3	16.13	16.67	1.20×10^{-4}	2	8	57.43	54.36	3.69×10^{-5}
		16.64					53.25		
		17.23					52.41		
6	4	19.07	18.74	1.07×10^{-4}	1	9	94.87	110.32	1.82×10^{-5}
		18.72					121.24		
		18.44					114.86		

1. 計算式以第一次數據為例：

$$\text{藍色出現平均時間} = \frac{11.72 + 11.53 + 11.31}{3} = 11.52(\text{秒})$$

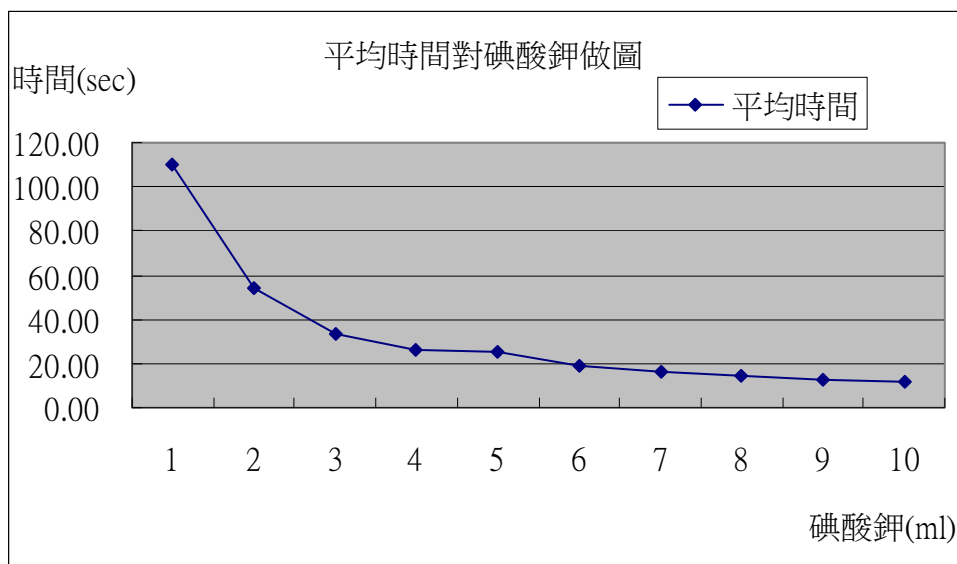
$$\text{反應速率 } R = \frac{0.00804/4}{11.52} = 1.74 \times 10^{-4} (\text{M/s})$$

$$[\text{KIO}_3] = \frac{4.281}{214} \times \frac{1000}{1000} = 0.0200 \text{ M}$$

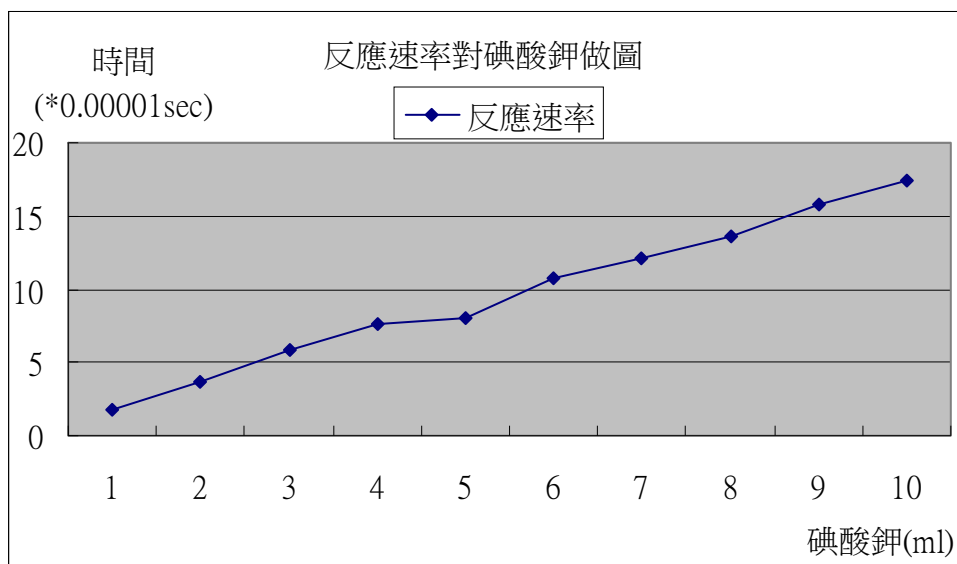
$$\text{取 } \text{KIO}_3 \text{ 10 mL 得 } [\text{KIO}_3] = \frac{0.0200 \times 10}{20} = 0.0100 \text{ M}$$

$$\text{取 } \text{KIO}_3 \text{ 9 mL 得 } [\text{KIO}_3] = \frac{0.0200 \times 9}{20} = 9.00 \times 10^{-3} \text{ M} \dots$$

2. 數據處理後，作圖如下：



圖十八 變藍時間對 KIO_3 使用體積作圖 5



圖十九 反應速率對 KIO_3 使用體積作圖 5

3. 數據分析：

$[\text{KIO}_3](10^{-3} \text{ M})$	10.0	9.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00
反應速率 ($a \times 10^{-5} \text{ M/s}$)	17.4	15.8	13.5	12.0	10.7	8.01	7.63	5.93	3.69	1.82

$y = A + Bx$ 得 $A = 0.36$ ， $B = 1.68873$ ， $r(\text{相關係數}) = 0.996832$

五、 KIO_3 與 KI 在酸性溶液中反應成 I_2 之實驗：

固定 KIO_3 溶液：0.0200 M KIO_3 10 mL

$$[\text{KIO}_3] = \frac{4.281}{214} \times \frac{1000}{1000} = 0.0200 \text{ M}$$

$$[\text{H}_2\text{SO}_4] = 0.00578 \times \frac{17.3}{100} = 0.001 \text{ M} \quad [\text{KI}] = 0.001 \text{ M}$$

H ₂ SO ₄ (mL)	KI 量(mL)	現象	KI 量(mL)	現象	出現時間(s)
1.0	6.4	不出現藍色	6.5	出現藍色	302.88
1.5	4.2	不出現藍色	4.3	出現藍色	293.22
2.0	3.3	不出現藍色	3.4	出現藍色	240.46
2.5	2.6	不出現藍色	2.7	出現藍色	253.73

陸、討論

- 一、由研究結果二之”原秒錶反應測定之實驗”可得知： KIO_3 濃度愈大，變藍的時間愈短，再將數據作圖可得圖九，由圖九知：反應速率與 $[\text{KIO}_3]$ 成正比，即對 $[\text{KIO}_3]$ 而言為一級反應關係。
- 二、由研究結果三之”秒錶反應測定之實驗 1”可得知： H^+ 濃度愈大，變藍的時間愈短，再將數據作圖可得圖十一，由圖十一知：反應速率與 $[\text{H}^+]$ 成正比，即對 $[\text{H}^+]$ 而言為一級反應關係。
- 三、由研究結果四之”秒錶反應測定之實驗 2”可得知：當 H^+ 濃度固定時， KIO_3 濃度愈大，變藍的時間愈短，再將數據作圖可得圖十三、十五、十七及十九，由圖知：反應速率與 $[\text{KIO}_3]$ 成正比，即對 $[\text{KIO}_3]$ 而言為一級反應關係，只要一次實驗過程中 H_2SO_4 的量固定，則 H^+ 濃度的大小不影響級數的判定結果。
- 四、對於 $[\text{H}^+]$ 對變藍時間的影響，假設是因為第二步反應($\text{IO}_3^- + 5\text{I}^- + 6\text{H}^+ \rightarrow 3\text{I}_{2(s)} + 3\text{H}_2\text{O}$)中，因 H^+ 變大，使其電位升高，故第一步反應還未完全反應前，第二步已進行，使藍色提前出現，為了驗證假設是否成立，故做了” KIO_3 與 KI 在酸性溶液中反應成 I_2 之實驗”。
- 五、由研究結果四之” KIO_3 與 KI 在酸性溶液中反應成 I_2 之實驗”可得知： H^+ 濃度愈大，變藍時所需的 $[\text{KI}]$ 愈小，但要有一定的 $[\text{KI}]$ ，才能使第二步反應進行，此結果會影響秒錶反應速率的測定中，當 $[\text{KIO}_3]$ 較大時，變藍的時間測定會比預期的時間長，而造成判定的誤差變大。

說明如下：(原分區科展之資料)

$[\text{H}^+]$	R 對 $[\text{KIO}_3]$ 作圖	A	B	R(相關係數)
0.002765×2	線性： $y = A + Bx$	-0.06378	0.5901	0.99744
0.00415×2		0.40056	0.791749	0.99932
0.00553×2		0.17056	1.22805	0.99699
0.006913×2		0.2625	1.68597	0.99794

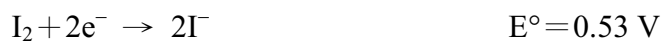
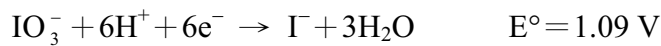
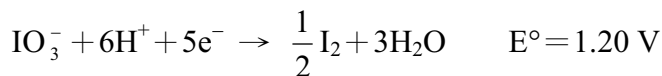
(新的資料)

[H ⁺]	R 對 [KIO ₃] 作圖	A	B	R(相關係數)
0.001445×2	線性：y=A+Bx	0.0881	0.34863	0.997515
0.004335×2		0.43733	1.03412	0.998182
0.00578×2		-0.06333	1.652606	0.997832
0.007225×2		0.36	1.6887	0.996832

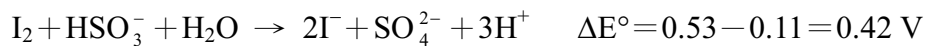
由相關係數 R 知：當 [H⁺] 固定時，R 對 [KIO₃] 作圖皆為線性關係，[H⁺] 的大小不會影響此判定結果；但 [H⁺] 愈大，斜率 B 的值亦愈大，表示 [H⁺] 會影響 R，且由研究結果三知：兩者成正比。在實驗中，若變藍時間愈短，其誤差愈大。

六、對於第一步反應($\text{IO}_3^- + 3\text{HSO}_3^- \rightarrow \text{I}^- + 3\text{SO}_4^{2-} + 3\text{H}^+$)及第二步反應($\text{IO}_3^- + 5\text{I}^- + 6\text{H}^+ \rightarrow 3\text{I}_{2(s)} + 3\text{H}_2\text{O}$)是否會同時進行，利用電位的觀點計算時：

由半電池電位：



得全反應的標準電位：



故當第一步進行至電位與第二步相同時，第二步即開始反應產生 I₂，當 I₂ 遇到澱粉便產生藍色，由此判定第一步反應完成，但實際上第一步應還未反應完(假設)，當 [H⁺] 增加時，第二步電位升高，使得第一步反應所剩的 HSO₃⁻ 更多，更早產生藍色，由電位計算可得：

$$\left(\text{涅斯特方程式 } \Delta E = \Delta E^\circ - \frac{0.059}{n} \log \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} \right)$$

當 [IO₃⁻]=0.01 M、[HSO₃⁻]=0.004 M、[H⁺]=0.02 M 時，第一步電位為 ΔE₁=0.98—

$$\frac{0.059}{2} \times \log \frac{(0.004-x)^2 \cdot 0.032^3}{0.01 \times x}, \text{ 第二步 } \Delta E_2 = 0.67 - \frac{0.059}{5} \times \log \frac{(10^{-4})^3}{0.01 \cdot (0.004-x)^5 \cdot 0.032^6}$$

，當 $\Delta E_1 = \Delta E_2$ 時，可求得 $x = 1.73 \times 10^{-6} \text{ M}$ ……(1)

$$\text{若將 } [H^+] = 0.018 \text{ M 時，第一步電位為 } \Delta E_1 = 0.98 - \frac{0.059}{2} \times \log \frac{(0.004-x)^2 \times 0.03^3}{0.01 \times x},$$

$$\text{第二步電位為 } \Delta E_2 = 0.67 - \frac{0.059}{5} \times \log \frac{(10^{-4})^3}{0.01 \times (0.004-x)^5 \times 0.03^6}, \text{ 當 } \Delta E_1 = \Delta E_2 \text{ 時，可}$$

求得 $x = 1.45 \times 10^{-6} \text{ M}$ ……(2)

$$\text{若將 } [H^+] = 0.008 \text{ M 時，第一步電位為 } \Delta E_1 = 0.98 - \frac{0.059}{2} \times \log \frac{(0.004-x)^2 \times 0.02^3}{0.01 \times x},$$

$$\text{第二步電位為 } \Delta E_2 = 0.67 - \frac{0.059}{5} \times \log \frac{(10^{-4})^3}{0.01 \times (0.004-x)^5 \times 0.02^6}, \text{ 當 } \Delta E_1 = \Delta E_2 \text{ 時，可}$$

求得 $x = 5 \times 10^{-7} \text{ M}$ ……(3)

$$\text{若將 } [H^+] = 0.005543 \text{ M，第一步電位為 } \Delta E_1 = 0.98 - \frac{0.059}{2} \times \log \frac{(0.004-x)^2 \cdot 0.017^3}{0.01 \times x},$$

$$\text{第二步電位為 } \Delta E_2 = 0.67 - \frac{0.059}{5} \times \log \frac{(10^{-4})^3}{0.01 \times (0.004-x)^5 \times 0.017^6}, \text{ 當 } \Delta E_1 = \Delta E_2 \text{ 時，}$$

可求得 $x = 3.2 \times 10^{-7} \text{ M}$ ……(4)

$$\text{若將 } [H^+] = 0.00277 \text{ M，第一步電位為 } \Delta E_1 = 0.98 - \frac{0.059}{2} \times \log \frac{(0.004-x)^2 \cdot 0.0147^3}{0.01 \times x},$$

$$\text{第二步電位為 } \Delta E_2 = 0.67 - \frac{0.059}{5} \times \log \frac{(10^{-4})^3}{0.01 \times (0.004-x)^5 \times 0.0147^6}, \text{ 當 } \Delta E_1 = \Delta E_2 \text{ 時，}$$

可求得 $x = 2.17 \times 10^{-7} \text{ M}$ ……(5)

由 (1)~(5) 知當溶液變藍時，剩下的 $[HSO_3^-]$ 相差不大，故並非是第二步提早反應的關係，應是 $[H^+]$ 會影響秒錶反應的反應速率。

七、由分區科展資料及新資料可得知：重複實驗結果相同，更加確定結果之正確性。

柒、結論



其反應速率與 $[\text{KIO}_3]$ 成正比，即對 $[\text{KIO}_3]$ 而言為一級反應關係。

二、秒錶反應的反應速率與 $[\text{H}^+]$ 成正比，即對 $[\text{H}^+]$ 而言為一級反應關係。

三、只要一次實驗過程中 H_2SO_4 的量固定，則 H^+ 濃度的大小不影響級數的判定結果。

四、第二步反應($\text{IO}_3^- + 5\text{I}^- + 6\text{H}^+ \rightarrow 3\text{I}_{2(\text{s})} + 3\text{H}_2\text{O}$)之探討： H^+ 濃度愈大，產生 I_2 所需的 $[\text{KI}]$ 愈小，但要有一定的 $[\text{KI}]$ ，才能產生 I_2 ，此結果會影響秒錶反應速率的測定中，當 $[\text{KIO}_3]$ 太小時，變藍的時間測定會比預期的時間長，而造成判定的誤差。

五、由電位的計算知當溶液變藍時，剩下的 $[\text{HSO}_3^-]$ 相差不大，故 $[\text{H}^+]$ 變大對秒錶反應中變藍時間的影響討論並非是第二步提早反應的關係，應是 $[\text{H}^+]$ 會影響秒錶反應的反應速率。

六、重複實驗結果相同，更加確定結果之正確性：

秒錶反應的反應速率 $R \propto [\text{IO}_3^-][\text{H}^+]$

捌、參考資料

一、 書籍

1. 余瑞琳校閱，北京大學化學系普通化學教研室編著，普通化學實驗，修訂本，藝軒圖書出版社，P.115~P119，1999年10月
2. 魏明通編著，普通化學實驗，五南圖書出版股份有限公司，P.77~84，2007年8月
3. 廖芳瑜譯，J.A. Beran 著，化學實驗手冊，第六版，台灣西書出版社，P.355~368，John Wiley & Sons. Inc，90年10月初版
4. 王英娟、柯清彬等合著，化學實驗，初版，華格那企業，P.137~154，2004年9月
5. 田福助編著，電化學－理論與應用，新科技書局，高立圖書有限公司，P.89~92、95~100，86年12月20日
6. 陳竹亭主編，基礎化學(三)實驗，泰宇出版股份有限公司，

二、 網站

1. [http://myweb.ncku.edu.tw/~shiehmrk/exp\(12\).htm](http://myweb.ncku.edu.tw/~shiehmrk/exp(12).htm)
2. http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/~genchem99/doc/d9710/9719_E19.2.pdf
3. <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1510121908890>
4. <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1205071902648>
5. <http://tw.myblog.yahoo.com/torrinaliu-blog/article?mid=4403&prev=-1&next=4388>
6. http://content.edu.tw/senior/chemistry/tp_sc/subject/clock.html

【評語】 040209

研究題目和秒錶有關，為一十分有趣且被普遍研究的題目，建議對已有之研究成果作較仔細的瞭解，以突顯本研究之創意及成果。