

碘鐘實驗—碘鐘交響曲

- 國立臺灣大學化學系，普通化學實驗，國立臺灣大學出版中心：台北，民國 105 年。
- 版權所有，若需轉載請先徵得同意；疏漏之處，敬請指正。
- 臺大化學系普化教學組魏景怡助教（2007.02）、林哲仁助教（2011.07）、張馨云助教（2016.11）。

一、目的：學習以初期反應速率法決定過硫酸根離子（ $S_2O_8^{2-}$ ）與碘離子（ I^- ）反應之反應級數及速率常數。

二、實驗技能：刻度吸量管之使用，反應速率測定。

三、原理：

（一）反應速率與反應級數

化學反應速率是以單位時間內反應物或產物之濃度變化表示，若以

$aA + bB \rightarrow cC$ 之反應為例：

$$\text{反應速率 (rate)} = \frac{-d[A]}{a \cdot dt} = \frac{-d[B]}{b \cdot dt} = \frac{d[C]}{c \cdot dt} \quad (1)$$

反應速率與反應物濃度之間的關係可用一個數學式，稱為速率定律式（rate law）表示：

$$\text{rate} = k[A]^m[B]^n \quad (2)$$

k 為速率常數（rate constant）在定溫下為定值。對反應物 A 而言，反應級數為 m ；反應物 B 而言，反應級數為 n ；總反應級數為此二級數之和 $m+n$ 。反應級數可為整數、分數或負數，且並非由化學平衡方程式係數決定，而是由反應機構決定並經由實驗測得。本次實驗利用初期反應速率法來決定反應速率。

（二）過硫酸根離子與碘離子反應之速率定律式

本實驗欲使用初期反應速率法測定過硫酸根離子（ $S_2O_8^{2-}$ ）與碘離子（ I^- ）反應（式 3）之速率定律式（式 4）。反應速率的測定是利用在反應液內加入限量的硫代硫酸根（ $S_2O_3^{2-}$ ）作為計時劑，其可與反應產物之一的碘分子（ I_2 ）作用，如式 5 所示。 $S_2O_3^{2-}$ 與 I_2 反應的速率極快，可以在混合的剎那間即完成，所以反應式 3 所產生的 I_2 可以立刻被 $S_2O_3^{2-}$ 作用掉而再產生 I^- 。事實上可視為有 $S_2O_3^{2-}$ 存在， I_2 不會存在，一旦 $S_2O_3^{2-}$ 消耗完時， I_2 與 I^- 形成 I_3^- ， I_3^- 就會與原先加於

反應液中的澱粉指示劑生成藍黑色錯合物；記錄此藍黑色出現的時間 (Δt)，並由 $S_2O_3^{2-}$ 之用量和它與 $S_2O_8^{2-}$ 之化學計量關係 (式 6)，可知此段時間內 $S_2O_8^{2-}$ 的濃度變化，而測得平均速率，如式 7 所示。



$$\text{rate} = k[S_2O_8^{2-}]^m[I^-]^n \quad (4)$$



$$\Delta[S_2O_3^{2-}] = 2\Delta[S_2O_8^{2-}] \quad (6)$$

$$\text{rate} = \frac{-\Delta[S_2O_8^{2-}]}{\Delta t} = \frac{-\frac{1}{2}\Delta[S_2O_3^{2-}]}{\Delta t} \quad (7)$$

(三) 初期反應速率法

初期反應速率法是改變某一種反應物的初濃度，其它反應條件維持固定不變進行一系列的試驗，以求取濃度變化對反應初速率的影響。反應初速率的測定，通常是在反應物混合之初，極短的一段時間內，量測某反應物或產物濃度之變化量作為反應初速率的近似值。

本實驗分次將反應物 $S_2O_8^{2-}$ 與 I^- 之起始濃度增為 2 倍，其它測定條件維持不變，如表 1 所示。其中試驗 1、試驗 2 及試驗 3 之反應初速率分別以 r_1 、 r_2 及 r_3 表示，經由比較其反應初速率可決定反應級數 m 與 n ，如式 8 與 9 所示：

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{k(2[S_2O_8^{2-}]_1)^m([I^-]_1)^n}{k([S_2O_8^{2-}]_1)^m([I^-]_1)^n} = 2^m \quad (8)$$

$$\frac{r_3}{r_1} = \frac{k([S_2O_8^{2-}]_1)^m(2[I^-]_1)^n}{k([S_2O_8^{2-}]_1)^m([I^-]_1)^n} = 2^n \quad (9)$$

表 1 初期反應速率法各組試劑之濃度及取量

試驗 編號	0.20 M NaI (mL)	0.20 M NaCl (mL)	0.0050 M Na ₂ S ₂ O ₃ (mL)	2% 澱粉 (mL)	0.10 M K ₂ SO ₄ (mL)	0.10 M K₂S₂O₈ (mL)
1	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0
2	2.0	2.0	1.0	1.0	0	4.0
3	4.0	0	1.0	1.0	2.0	2.0

四、儀器及材料：刻度吸量管 (5 mL, 2 支)、安全吸球、錐形瓶 (50 mL, 10 個)、軟木塞 (6 個)、燒杯 (100 mL, 2 個)、計時器、工程計算機 (自備)。





五、藥品：0.20 M 碘化鈉 (sodium iodide, NaI)、0.10 M 過硫酸鉀 (potassium persulfate, K₂S₂O₈)、0.20 M 氯化鈉 (sodium chloride, NaCl)、0.10 M 硫酸鉀 (potassium sulfate, K₂SO₄)、2% 澱粉溶液 (starch)、0.0050 M 硫代硫酸

鈉 (sodium thiosulfate, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)。

六、實驗流程：

洗淨烘乾錐形瓶 → 依表 1 取量 NaI , NaCl , 澱粉, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, K_2SO_4 →
 加入 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 並開始計時 → 混合搖晃 20 秒 → 靜置記錄變色時間 →
 二次重複試驗 → 計算速率定律 → 配製碘鐘交響曲溶液

七、實驗步驟：

步驟	示範
1. 洗淨、烘乾 10 個 50 mL 錐形瓶並放冷至室溫，貼上標籤標示之以分別進行如表 1 的 3 項計時試驗。	
2. 按表 1 用量，以定量液體分注器準確量取所需的 0.20 M NaI 、0.20 M NaCl 、0.0050 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 及 2% 澱粉溶液置於錐形瓶中。	
3. 以 5 mL 刻度吸量管分別準確量取 0.10 M K_2SO_4 及 0.10 M $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ，當加入最後一個反應物 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 時，應同時開始記錄時間並儘速將試劑完全加入反應瓶中，以軟木塞塞住瓶口且用手搖動錐形瓶 20 秒，溶液混合均勻後靜置。 註： $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 為最後一個加入的試劑，應儘速全部加入並同步計時。每次操作方式應固定，以提高實驗精確性，搖動時注意勿使溶液外濺！刻度吸量管的使用，參考實驗技能與示範影片。	
4. 溶液一變色即停止計時，記錄反應變色時間。（此時溶液中之計時劑 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 用盡， I_3^- 與澱粉指示劑形成藍黑色錯合物）。 註：整個溶液應是同時突然變色，若不是如此，表示溶液沒有充分混合。	

5.	洗淨、烘乾錐形瓶。重複上述三種不同初濃度的計時試驗。	<table border="1"> <thead> <tr> <th>試驗編號</th> <th>NaI (mL)</th> <th>NaCl (mL)</th> <th>Na₂S₂O₈ (mL)</th> <th>澱粉 (mL)</th> <th>K₂SO₄ (mL)</th> <th>K₂S₂O₈ (mL)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2.0</td> <td>2.0</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2.0</td> <td>2.0</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> <td>0</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>4.0</td> <td>0</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>	試驗編號	NaI (mL)	NaCl (mL)	Na ₂ S ₂ O ₈ (mL)	澱粉 (mL)	K ₂ SO ₄ (mL)	K ₂ S ₂ O ₈ (mL)	1	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2	2.0	2.0	1.0	1.0	0	4.0	3	4.0	0	1.0	1.0	2.0	2.0
試驗編號	NaI (mL)	NaCl (mL)	Na ₂ S ₂ O ₈ (mL)	澱粉 (mL)	K ₂ SO ₄ (mL)	K ₂ S ₂ O ₈ (mL)																								
1	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0																								
2	2.0	2.0	1.0	1.0	0	4.0																								
3	4.0	0	1.0	1.0	2.0	2.0																								
6.	若同一測定條件之二次重複試驗，其變色時間的差異超過 3 秒則需重做一次。																													
7.	計算求出速率定律式中的 m、n 及 k 值。	$\text{rate} = k[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^m[\text{I}^-]^n$																												
8.	<p>將教師所指定的變色時間 (Δt)，代入步驟 7 所得速率定律式，設計一組試劑取量；實際量取試劑，測量變色時間是否與預定時間一致。</p> <p>註：設計取量可先將一種反應物（如 I^-）之取量體積固定，如 2.0 或 4.0 mL，僅變化另一反應物（如 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$）之體積，以簡化計算。</p>	$\frac{\text{rateX}}{\text{rate1}} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t} = \frac{(x \cdot 0.10/10)^m}{(2 \times 0.10/10)^m} = \left(\frac{x}{2}\right)^m$ $\frac{\text{rateY}}{\text{rate3}} = \frac{\Delta t_3}{\Delta t} = \frac{(y \cdot 0.10/10)^m}{(2 \times 0.10/10)^m} = \left(\frac{y}{2}\right)^m$																												
9.	<p>碘鐘交響曲：準備一組試劑，與他組同學一起配合交響曲之音樂開始反應，觀察各組自行設計之反應試劑，是否能準確地配合節奏而變色。</p>																													

八、參考資料：

1. Dept. of Chemistry, U. of Illinois at Urbana-Champaign *General Chemistry Experiments, Chemistry 102*, 1991, Stipes Publishing Co.
2. Skoog, D. A.; West, D. M.; Holler, F. J. *Fundamentals of Analytical Chemistry*; 5th ed., 1988, Saunders College Publishing: Chicago, pp 124-130.