

## 碘鐘實驗—碘鐘交響曲

- 國立臺灣大學化學系，大學普通化學實驗第 16 版，國立臺灣大學化學系：台北，民國 113 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）、佘瑞琳講師（2024.09）。

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表示，稱為速率定律式 (rate law)：

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

$k$  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 ( $\Delta t$ )，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) 初速率法

初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：

表 1 初速率法各組試劑之濃度及取量

試驗編號	<b>0.20 M NaI (mL)</b>	0.20 M NaCl (mL)	0.0050 M $Na_2S_2O_3$ (mL)	2% 澱粉 (mL)	0.10 M $K_2SO_4$ (mL)	<b>0.10 M <math>K_2S_2O_8</math> (mL)</b>
1	<b>2.0</b>	2.0	1.0	1.0	2.0	<b>2.0</b>
2	2.0	2.0	1.0	1.0	0	<b>4.0</b>
3	<b>4.0</b>	0	1.0	1.0	2.0	2.0

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{k(2.0[S_2O_8^{2-}]_1)^m([I^-]_1)^n}{k([S_2O_8^{2-}]_1)^m([I^-]_1)^n} = 2.0^m \quad (8)$$

$$\frac{r_3}{r_1} = \frac{k([S_2O_8^{2-}]_1)^m(2.0[I^-]_1)^n}{k([S_2O_8^{2-}]_1)^m([I^-]_1)^n} = 2.0^n \quad (9)$$

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,  $K_2S_2O_8$ )、0.20 M 氯化鈉 (sodium chloride, NaCl)、0.10 M 硫酸鉀 (potassium sulfate,  $K_2SO_4$ )、2 % 澱粉溶液 (starch)、0.0050 M 硫代硫酸鈉 (sodium thiosulfate,  $Na_2S_2O_3$ )。

## 六、實驗流程：

洗淨烘乾錐形瓶 → 依表 1 取量 NaI, NaCl, 澱粉,  $Na_2S_2O_3$ ,  $K_2SO_4$  →  
 加入  $K_2S_2O_8$  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，標示後進行如表1的3項試驗。	
2.	按試驗1之用量，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 $Na_2S_2O_3$ 及2%澱粉，加入錐形瓶中。	
3.	(1) 以 5 mL 刻度吸量管準確量取 0.10 M $K_2SO_4$ ，轉置於錐形瓶。 (2) 以另一支吸量管量取最後一個反應物 0.10 M $K_2S_2O_8$ ，快速且完全加入反應瓶中並同時開始計時。以軟木塞塞住瓶口，用手搖動錐形瓶20秒，溶液混合均勻後靜置觀察。  註：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！	 
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 $Na_2S_2O_3$ 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，若非如此，表示溶液沒有充分混合。	

5.	<p>按試驗 1 之藥品取量，進行第二次重複試驗。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，則需再做第三次。</p> <p>註：隨時洗淨、烘乾錐形瓶以備用。</p>																													
6.	<p>按照試驗 2 及 3 之取量，進行不同初濃度的二次重複計時試驗。</p>	<table border="1" data-bbox="963 450 1300 580"> <thead> <tr> <th>試驗編號</th> <th>NaI (mL)</th> <th>NaCl (mL)</th> <th>Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (mL)</th> <th>澱粉 (mL)</th> <th>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (mL)</th> <th>K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (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 <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (mL)	澱粉 (mL)	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (mL)	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (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 <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (mL)	澱粉 (mL)	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (mL)	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (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																								
7.	<p>計算速率定律式中的 <math>m</math>、<math>n</math> 及 <math>k</math> 值。</p>	$\text{rate} = k [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^m [\text{I}^-]^n$																												
8.	<p>將教師所指定的變色時間 (<math>\Delta t</math>)，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：可先將 <math>\text{I}^-</math> 之取量固定，如 2.0 或 4.0 mL，僅調整 <math>\text{S}_2\text{O}_8^{2-}</math> 及 <math>\text{K}_2\text{SO}_4</math> 體積，以簡化計算。</p>	$\frac{r_x}{r_1} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_x} = \frac{(x \times 0.10/10.0)^m}{(2.0 \times 0.10/10.0)^m} = \left(\frac{x}{2.0}\right)^m$ $\frac{r_y}{r_3} = \frac{\Delta t_3}{\Delta t_y} = \frac{(y \times 0.10/10.0)^m}{(2.0 \times 0.10/10.0)^m} = \left(\frac{y}{2.0}\right)^m$																												
9.	<p>碘鐘交響曲： 準備一組試劑，與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>																													
10.	<p>(1) 實驗廢液含碘，應倒入指定之廢液回收桶以集中處理。 (2) 刷洗所用玻璃器材並去除標籤。</p>	