

# 利用溶液的導電性觀察溫度如何 國中組化學科第一名

台中縣立豐東國民中學

作者：張欽圳、張二郎  
謝俊賢、王敦正  
陳永傑、陳志弘  
劉翁興  
指導老師：蔡平和

## 一、研究動機

在化學課本第四冊第十九章19.~ 2的實驗中，介紹「溫度高低如何影響反應速率」，同時上課時老師指導我們以  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  的水溶液在  $20^\circ\text{C}$ ， $30^\circ\text{C}$ ， $40^\circ\text{C}$ ， $50^\circ\text{C}$ ， $60^\circ\text{C}$  等不同溫度時加入  $\text{HCl}$  溶液，觀察反應所產生“硫”的沉澱遮著錐形瓶底“十”字所需的時間，求出時間的倒數代表反應速率，並以探討溫度對反應速率的影響，但實驗結果均令我們師生不很滿意，我們實驗如下：

1 實驗的方法及步驟：（由三組同學分別進行）

(1)以  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0.1 M 25ml，及  $\text{HCl}$  0.2 M 25ml 測量其初溫，並控制在  $20^\circ\text{C}$ ，在錐形瓶內混合，並開始計算時間，一位同學由錐形瓶口向下看，觀察“硫”沉澱遮著瓶底白紙上的“十”字為止，量出所需時間。

(2)以相同方法測定兩液在  $30^\circ\text{C}$ ， $40^\circ\text{C}$ ， $50^\circ\text{C}$ ， $60^\circ\text{C}$  時相混合反應所需時間（以上為課本內實驗方法）。

（備註：課本中實驗係以  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ （60 g / l）50 ml， $\text{HCl}$ （2 M）5 ml 反應，溫度只控制  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  使其分別在  $20^\circ\text{C}$ ， $30^\circ\text{C}$ ， $40^\circ\text{C}$ ， $50^\circ\text{C}$ ， $60^\circ\text{C}$  下和室溫的  $\text{HCl}_{(aq)}$  反應， $\text{HCl}_{(aq)}$  並未控制溫度，除非實驗後以計算方法修正（課本中未提到），否則實驗結果更不準確。

2 實驗結果如下：（表一）

組別	項目	溫度				
		20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
第1組	時間SEC	37.69	17.80	8.24	6.48	5.32
	時間倒數	0.027	0.056	0.121	0.154	0.188
第2組	時間SEC	28.77	16.52	9.96	7.35	6.67
	時間倒數	0.035	0.061	0.100	0.136	0.150
第3組	時間SEC	31.52	20.18	7.97	6.84	5.68
	時間倒數	0.032	0.050	0.126	0.146	0.176

以20°C時的反應速率為1 然後依  $R = 2 \frac{t_2 - t_1}{10}$  公式推算

出30°C 40°C 50°C 60°C的反應速率。

上述實驗只靠肉眼觀察，準確性偏低，故實驗只能看出大致趨勢，即「溫度愈高反應速率愈大」，然而實驗結果與理論上的

理想值  $R = 2 \frac{t_2 - t_1}{10}$  (圖四)却相去甚遠，因此尋找另外的實

驗方法，以求得更正確的結果是同學們大家所期望的。

## 二、研究目的

1. 尋找一種更精確的方法，以測定  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  與  $\text{HCl}(\text{aq})$  反應時，其反應速率與溫度的關係：本研究將利用溶液的導電性來觀察溫度與反應速率的關係，並導出可信的通則。
2. 利用上項研究的結果，推展並實驗研究其他的化學反應是否也遵循此通則。

## 三、推理與假設

### 1. 推理：

依據原實驗的反應為  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{S}$  設使用  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液加  $\text{HCl}$  溶液最後體積為50 ml，又設二種溶液剛混合時形成的濃度  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

爲 0.1 M，而 HCl 爲 0.2 M（此時 NaCl 之濃度爲 0），當反應進行時  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8(\text{aq})$  與  $\text{HCl}(\text{aq})$  之濃度必遞減，而  $\text{NaCl}(\text{aq})$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{S}$  等之濃度必遞增，此時若能分別測定各不同濃度之  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8(\text{aq})$ 、 $\text{HCl}(\text{aq})$ 、 $\text{NaCl}(\text{aq})$  之導電量則必會發現  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8(\text{aq})$  及  $\text{HCl}(\text{aq})$  因濃度降低而使導電度減小，而  $\text{NaCl}(\text{aq})$  却因反應繼續產生，濃度變大而增加導電量。故若將三者溶液在其相關濃度下之導電量相加必可推理出其導電量增減的趨勢，（ $\text{H}_2\text{O}$  及對導電量影響極小不計）。然後再由此趨勢反觀在真正實驗時反應進行的程度（即測定反應時的導電量就能知道反應物或生成物各到達若干濃度）。

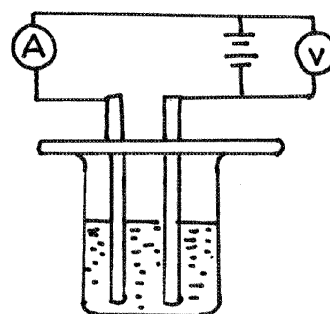
## 2 初步實驗觀察及建立假設：

### (1) 實驗方法與步驟：

a 配製  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8(\text{aq})$  0.1 M、0.08 M、0.06 M、0.04 M、0.02 M 各 50 ml，並測量分別於 20°C、30°C、40°C、50°C、60°C 時之導電量（實驗裝置如圖）。

控制因素：

- (a) 碳棒間距離須保持一定。
- (b) 碳棒沒入溶液深度一定。
- (c) 每次測驗後必須沖洗碳棒。
- (d) 測量時同時測量電壓使其保持定值。



b 配製  $\text{HCl}(\text{aq})$  0.2 M、0.16 M、0.12 M、0.08 M、0.04 M 各 50 ml，並測量分別於 20°C、30°C、40°C、50°C、60°C 時之導電量。

c 配製  $\text{NaCl}(\text{aq})$  0.04 M、0.08 M、0.12 M、0.16 M、0.2 M，50 ml 並分別測量於 20°C、30°C、40°C、50°C、60°C 時各濃度之導電值。

(2) 實驗結果：（表二、三、四、五、六）

表 二

物質種類	測量項目	20°C時測量所得數據					
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	M	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0
	mA	112	90	72	50	42	0
HCl	M	0.02	0.16	0.12	0.08	0.04	0
	mA	280	234	183	140	100	0
NaCl	M	0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.2
	mA	0	42	57	71	87	102
預測導電量 (上列三項之 mA相加)	mA	392	366	312	261	229	102

表 三

物質種類	測量項目	30°C時測量所得數據					
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	M	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0
	mA	135	114	97	75	48	0
HCl	M	0.20	0.16	0.12	0.08	0.04	0
	mA	315	266	212	167	120	0
NaCl	M	0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20
	mA	0	51	68	87	103	120
預測導電量 (上列三項之 mA相加)	mA	450	431	377	329	271	120

表 四

物質種類	測量項目	40°C時測量所得數據					
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	M	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0
	mA	155	132	104	81	58	0
HCl	M	0.20	0.16	0.12	0.08	0.04	0
	mA	343	290	242	193	140	0
NaCl	M	0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20
	mA	0	58	79	96	118	140
預測導電量 (上列三項之 mA相加)	mA	498	480	428	370	316	140

表 五

物質種類	測量項目	50°C時測量所得數據					
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	M	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0
	mA	170	143	121	95	68	0
HCl	M	0.20	0.16	0.12	0.08	0.04	0
	mA	365	315	265	215	160	0
NaCl	M	0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20
	mA	0	65	88	112	131	158
預測導電量 (上列三項之 mA相加)	mA	535	523	475	422	365	158

表 六

物質種類	測量項目	60°C時測量所得數據					
Aa <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	M	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0
	m A	180	156	134	102	75	0
HCl	M	0.20	0.16	0.12	0.08	0.04	0
	m A	390	334	286	235	178	0
NaCl	M	0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20
	m A	0	73	98	124	150	175
預測導電量 (上列三項之 m A相加)	m A	570	563	518	461	403	175

上列各表中所列m A 之數值，係以同樣的條件下進行三次實驗將每次所得數值相加求取平均值（因個位數已屬估計值，故平均值捨去小數部分以四捨五入）

(3)分析說明：

- a 當Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3(aq)</sub> 之莫耳濃度 0.10 M 降至 0.08 M 時，由方程式  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{SO}_2 + \text{S}$  可計算出此時之 HCl 濃度必由 0.20 M 降至 0.16 M 而 NaCl<sub>(aq)</sub> 濃度必由 0M 升至 0.04 M。
- b 當Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3(aq)</sub> 反應濃度到達 0.04 M 時，其導電量為 90 m l，與其同時 HCl<sub>(aq)</sub> 濃度為 0.16 M，導電值 234 m A，NaCl<sub>(aq)</sub> 濃度為 0.04 M 導電量為 42 m A，三種溶液合計導電量為 366 m A（此係推斷出的數值可能會受其他變因影響，例如反應產生的 SO<sub>2</sub> 溶於液體中形成 H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 將會使導電量升高）。
- c 餘此類推，當Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 與 HCl 反應至不同濃度時，會出現不同的導電量。

### 3. 建立假設：

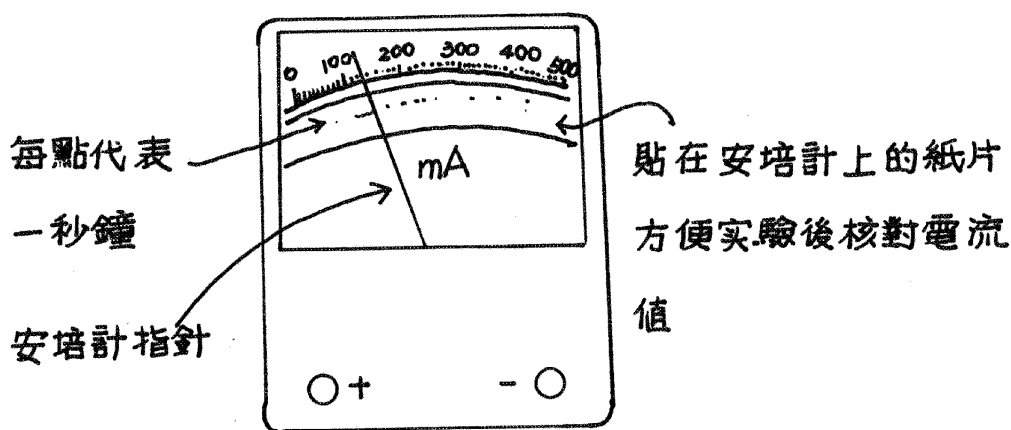
- (1) 依據實驗觀察結果，若以已知濃度之  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  與  $\text{HCl}(\text{aq})$ ，在定溫反應，反應進行至不同程度時，全部溶液之導電量會隨之變化。
- (2) 因溶液在不同的溫度下會有不同的導電量，故  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$ ， $\text{HCl}(\text{aq})$ ， $\text{NaCl}(\text{aq})$ ，在不同的溫度下其導電量的總和（即預測導電量）亦會有不同。
- (3) 二溶液相反應，開始時其濃度變化很大，而後濃度變化趨於減小，是故當反應開始時，溶液的導電量變化很大，反應接近終結時導電量的變化，必漸趨變小。

### 4. 實驗證明：

(1) 實驗裝置：（同上之初步實驗）

(2) 實驗方法與步驟：

- a 配製 0.2 M 之  $\text{HCl}(\text{aq})$ ，及 0.1 M 之  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$ ，各若干 ml，每次實驗時取該二溶液各 25 ml，先控制其溫度（ $20^\circ$ ）後插入碳棒再混合，計時同時開始並觀察導電量（一位同學負責觀察時間）並一秒一秒的讀出，另一位同學負責觀察安培計的指針，為了方便計錄，先在安培計外殼對著刻度的上方貼上一紙片，每秒鐘均在紙片上用簽字筆點出指針的位置（打點），以方便實驗後核算其電流值。（如圖）
- b 依上項步驟分別測定溶液反應溫度為  $30^\circ$ ， $40^\circ$ ， $50^\circ$ ， $60^\circ$  時，時間與導電量之間的關係。
- c 將上列實驗所得數據中，取各次不同溫度實驗時反應開始至導電值趨於不變所須時間（此時間可作為反應開始到終止所需時間）求出此時間的倒數（代表反應速率）為縱座標，以反應速率為橫座標，繪出其關係圖。



(3) 實驗結果：

(4) 實驗討論：

- a 由上實驗結果的數據，本應可取在某一段固定時間內的導電量（例如在五個不同溫度反應中，均取用第四秒時的導電量），然後以此導電量對照“預測的總導電量”以求出當時反應中各物質的濃度進而推測在各不同溫度中，所生成物濃度最大者，其反應速率為最大。但經研判結果認為“預測總導電量”所受變因影響太多例如  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8(\text{aq})$ 、 $\text{HCl}(\text{aq})$  等三液體的濃度會影響（反應時  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$  及  $\text{HCl}$  濃度降低， $\text{NaCl}$  濃度增加，三者之濃度變化並不一致）。又如反應產生  $\text{SO}_2$ ，其溶於水後形成  $\text{H}_2\text{SO}_3$  對液體的導電亦會發生影響，況且溶液的導電量與溶液的濃度並不成簡單正比。綜上所述，因變因太多，故無法採用取固定時間的導電量做為觀測反應速率的方法。而以探討反應終止所需時間較為妥當。
- b 由實驗觀察得知，當二溶液混合初期，其導電量由急劇變化而後漸趨緩和，此情形在各種不同溫度進行的實驗中皆相同，尤其以高溫時的反應更為明顯，此點已可顯示在高溫時化學反應速率較大。
- c 二溶液混合後在某一段相當的時間以後，其導電量漸趨於沒有變化，顯示反應亦漸趨於完成，唯本次實驗結果，其



最後導電量與“預測的總導電量”並不符合(在各不同溫度的實驗反應中的均偏高)，經研判結果，應將反應所生  $\text{SO}_2$  溶於水形成之  $\text{H}_2\text{SO}_3$  其導電量加入，(本次實驗推理時雖然未加入考慮，但對實驗結果之研判並不發生影響)。(備註：即或考慮  $\text{SO}_2$  之問題但因所生  $\text{SO}_2$  溶於水的比例較難判斷，亦有所困難)。

- d 二溶液於一般實驗反應時是沒有通電的。因本實驗為利用其導電量的變化，觀察其反應速率，必須通電，然而通電時引起的電流化學效應，究竟對其反應影響多少，亦必要探討。假設以本次實驗所測最大電流，為  $0.570 \text{ mA}$  通電觀察時間最大為  $50$  秒，以此通入的電量，電解  $\text{Cl}^-$

$$\text{依據法拉第電解定律之所分析 } \text{Cl}^- \text{ 之原子數} = \frac{I \times t}{96500}$$

$$\times \frac{A}{V} = \frac{0.57 \times 50}{96500} \times \frac{1}{1} = 0.0003 \text{ 克原子，又二溶液}$$

合體積為  $50 \text{ ml}$  因通電所改變  $\text{Cl}^-$  之濃度僅約  $0.006 \text{ M}$  而已，故對反應影響極小。其它各離子所引起的電解反應與上述情形類同，故本實驗因通電而影響實驗的結果甚微。

- e 實驗時選用電源之電壓，須預先做若干類似實驗後，慎為選擇，因電壓的高低會影響導電量，故預先使用若干不同的電壓測量預測為最大導電值及最小導電值，調整電壓，使欲實驗的各反應測量導電量時，可使用同一個安培計進行測量，如此可避免因電流超過安培計容納範圍，須換用較大測量值的安培計，造成因最小刻度單位不同，估計值大小範圍亦不同影響實驗的準確性(本實驗使用電壓為  $4 \text{ V}$ ，選用電壓的大小須視實驗時的條件不同會有不同)

- f 每次實驗測量導電量時，最好同時測量電源之電壓，以求確定其電壓值，增加實驗結果的準確性，為了方便控制電

源電壓，可直接使用可變電源，或在線路上加裝一可變電阻。

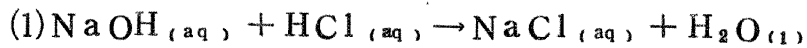
- g 各溶液分別測定其在不同濃度不同溫時的導電量時，均一致發現，溫度越高導電量越大（在同濃度時）亦即離子與碳棒接觸增多，如此可顯示溫度愈高時，反應物或產物間各粒子移動速率愈大，碰撞機會愈大，符合碰撞學說。
- h 做實驗時二溶液若是在高溫時反應以測其導電量的值時因其導電量變化較為急劇，觀察者應特別注意。（在安培計上貼上一紙片，以便隨時在紙片上點出指針位置的記號，將有助於實驗後核對導電度）。
- i 在各種不同溫度使二溶液混合反應時，因反應初期，反應物的濃度較大，故混合初期濃度變化亦大，混合初期的導電量變化亦較急劇，故觀察者亦應特別注意（實驗記錄方法最好同上述）。
- j 測量導電量時，安培計的指針有時會有微小幅度的振動現象（通常在 5 mA 範圍以內）此現象經研判後，為通電時，因電解反應產生氣體氣泡或多或少地阻礙液體內離子移動與碳棒接觸的機會，故偶而發生導電值指針不隱定現象，遇此情形，取其幌動時範圍的平均值（此現象因範圍不大，對本實驗結果影響亦小）。
- k 如討論(一)中所述，欲了解在各不同溫度時二溶液的反應速率，可直接測量二溶液由混合開始計時，並同時測量導電量不再變化為止，計時停止，而後以時間的倒數代表反應速率求出與溫度間的關係，利用此方法，實驗結果相當理想，如圖五所列曲線圖，與理想值的曲線極為符合。
- l 配製不同濃度的液體時，可逐步的稀釋配製，例如先配製 0.2 M 溶液再取出其中一部份配成 0.16 M 又再取 0.16 M 中之一部份配成 0.12 M 溶液餘此類推，此法一則省時，再則所配製出的濃度亦較準確。
- m 本次實驗研究所使用溫度範圍為 20°C 至 60°C，溫度組

距為每隔10°C 做一次實驗。經老師指導我們希望將溫度範圍擴大，並將溫度組距縮小可得更精確實驗結果，此建議將做為我們以後研究的參考。

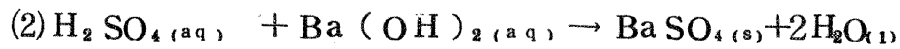
## 五、實驗方法之推廣

依據上述研究所得結果，為探討是否適用於其他的反應，

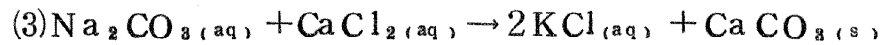
1 現再以三種不同反應實驗驗證之。



0.4M25ml    0.4M 25ml



0.4 M 25ml    0.4 M 25ml

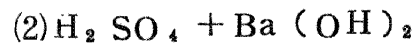


0.4 M 25ml    0.4M 25ml

2 實驗結果：



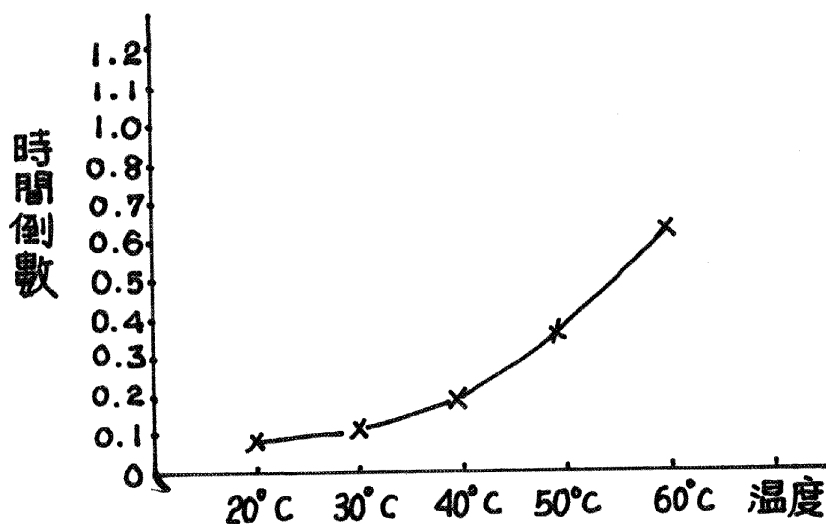
項目 \ 測量值 \ 溫度	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
導電值趨於不變 所須時間	9.64 sec	5.12 sec	2.58 sec	1.47 sec	0.95 sec
上項時間 倒數	0.103	0.195	0.388	0.680	1.053



項目 \ 測量值 \ 溫度	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
導電值趨於不變 所須時間	11.82 sec	6.52 sec	3.08 sec	1.73 sec	1.12 sec
上項時間 倒數	0.085	0.153	0.325	0.578	0.892



項目 \ 測量值 \ 溫度	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
導電值趨於不變 所須時間	15.30 sec	7.92 sec	5.36 sec	3.05 sec	1.57 sec
上項時間 倒數	0.065	0.126	0.187	0.328	0.637



由上列三種不同反應物之實驗可以看出：

- 1 溫度影響反應速率的關係仍然明確而且理想。
- 2 不同的反應物在同溫度時反應，其反應速率亦有所不同。

## 六、結 論

- 1 由上述的研究可以看出，直接觀察導電量的變化，確實可以準確地觀察出溫度對反應速率的影響。雖然實驗手續較直接觀察硫的沉澱為複雜，但本實驗準確性極高。
- 2 本實驗除了發現溫度與反應速率的關係之外，另一發現為；利

用導電量的變化，也可觀察一個反應，在初期時段，導電量急劇變化，而後漸趨變化緩和，可發現探討濃度與反應速率的關係。

3. 除了本實驗利用  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  與  $\text{HCl}$  反應，能遵循上敘法則外，其它反應（限能解離的溶液間之反應）亦可應用此一法則加以實驗探討。

評語：測定溫度對於反應速率之影響，作者選  $\text{HCl}$  與  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  反應為對象，而不以課本中目測混濁度為準，而改以導電度之改變為基準，較課本方法正確甚多，且可由實驗結果，探討濃度與反應速率之關係，本作品可予推廣，並可作修編課本時之參考