

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030204

非「硫」不可？

學校名稱：新北市立五峰國民中學

作者： 國二 陳願之 國二 洪 楷 國二 蕭晏亭	指導老師： 李孟珊 徐增錦
---	-----------------------------

關鍵詞：沉澱反應、反應速率、秒錶實驗

非「硫」不可？

摘要

1. 探討溫度對於化學沉澱反應速率的影響。
2. 利用國中常見的不同種類化學沉澱反應代替硫代硫酸鈉與鹽酸反應來進行本實驗研究。
3. 分別利用光電比色計的透光度變化及導電度計的導電度大小變化來進行本實驗研究的測量方法。
4. 利用上述的實驗過程來找出最適合本實驗研究的反應溶液配置與方法。

壹、研究動機

在社團課老師介紹「濃度與溫度對反應速率影響」的單元實驗時，提到課本是利用硫代硫酸鈉與鹽酸反應時，會產生黃色硫的沉澱，藉此測量反應時間來判斷反應速率。然而我們在進行本實驗過程中，常聞到陣陣的臭味，令人很不舒服，原因是此反應除了產生黃色固體硫的沉澱之外，也會產生刺鼻臭味的氣體 $\text{SO}_2(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3+\text{HCl}\rightarrow\text{NaCl}+\text{H}_2\text{O}+\text{S}\downarrow+\text{SO}_2\uparrow)$ 。我們就好奇的問老師，我們學過的沉澱反應有好幾種，為什麼非「硫」不可？一定要採用這種會產生刺鼻臭味氣體的實驗，是否可利用其他無臭的沉澱反應來代替呢？另外，在實驗的設計上，是利用肉眼觀察黃色固體硫遮住十字的同時來研判反應時間及速率，如此會因每個人的判斷不同而不夠客觀，是否有其他更好的測量方法呢？因此我們想利用科展活動的期間來探討以上相關的問題，希望能得到答案。

貳、研究目的

- 一、利用不同測量的方法，進行「溫度對反應速率影響的實驗」，分析比較其結果。
- 二、利用不同種類的沉澱反應，進行「溫度對反應速率影響的實驗」，分析比較其結果。
- 三、探討不同種類的沉澱反應其吸放熱情形與溫度影響反應速率的關聯。

參、使用設備及器材

一、實驗藥品

硫代硫酸鈉 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

硫酸鈉 Na_2SO_4

氯化鋇 BaCl_2

氯化鈣 CaCl_2

鹽酸 HCl

碳酸鈉 Na_2CO_3

氯化鈉 NaCl

碘化鉀 KI

硝酸銀 AgNO_3

硝酸鉛 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

氯化鎂 MgCl_2

二、實驗設備

燒杯

酒精燈

三腳架

陶瓷纖維網

溫度計

玻棒

光電比色計

加熱板

滴管

刮勺

十字標記

電子秤

導電度計

碼錶

試管

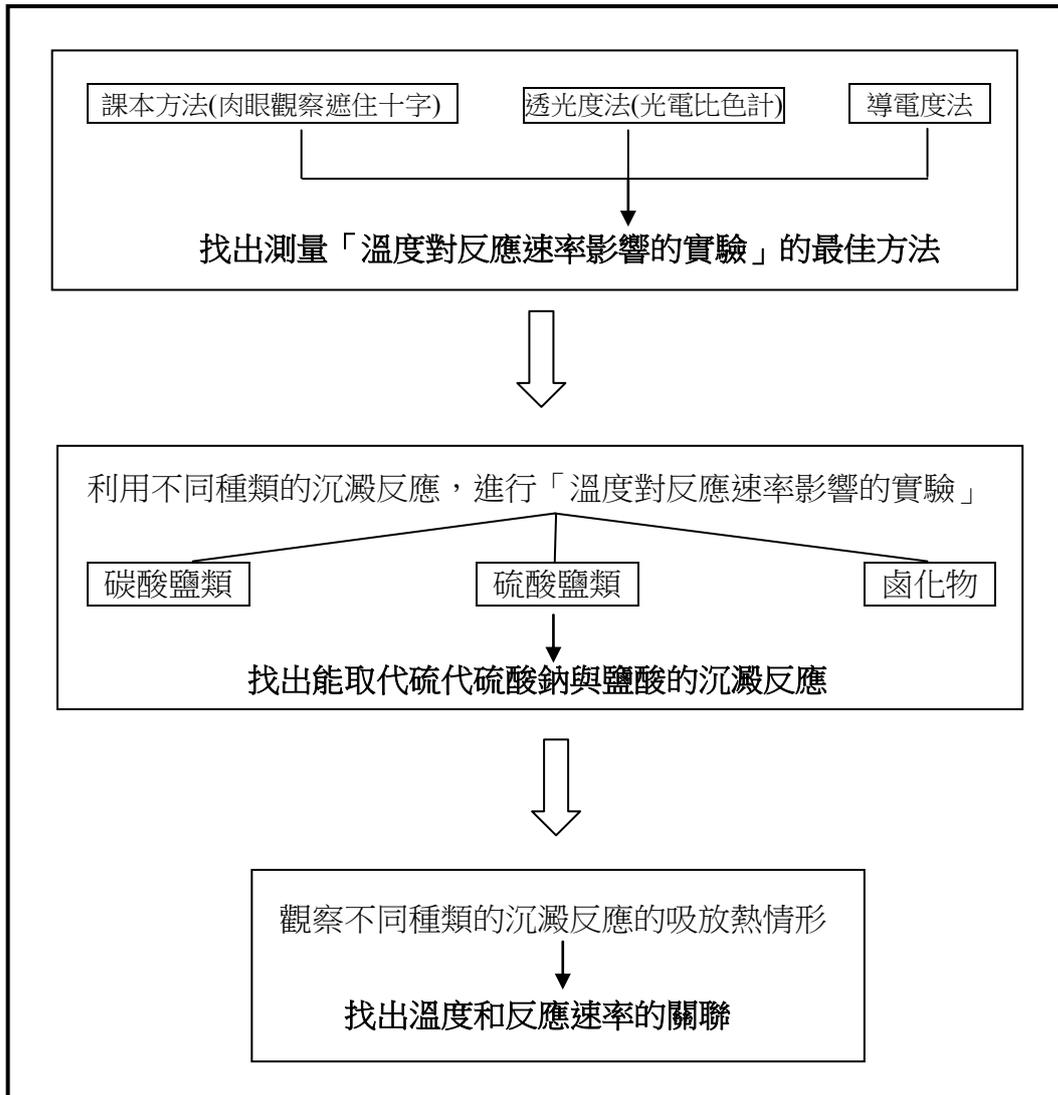
量筒

試管架

錐形瓶

肆、研究過程與方法

一、實驗架構與流程



二、實驗步驟

(一) 將本實驗的測量方法分別利用課本方法(肉眼觀察)、透光度法(光電比色計)與導電度法進行，分析比較其結果：

1. 以麥克筆在白紙的中央部位畫一個十字記號。
2. 在一試管中加入 5 毫升 0.5M 硫代硫酸鈉的溶液，在另一試管中加入 10 毫升 0.5M 的鹽酸。
3. 以大燒杯裝至約 800 毫升的水，控制水的溫度約為 20°C 左右，同時將兩試管放入大燒杯中一段時間。
4. 另取一小燒杯放在畫十字記號的白紙上，先將試管中的硫代硫酸鈉加入小燒杯中，再將另一試管的鹽酸倒入小燒杯，立即按碼錶計時。當小燒杯裡溶液的沉澱恰好遮住白紙上的十字記號時，記錄反應時間。
5. 改變大燒杯內的溫度，分別為 30°C、40°C、50°C、60°C，重複步驟 2~5。

6. 以溫度作橫坐標，時間作縱坐標，做成圖表，觀察溫度和時間的關係圖。
7. 以溫度作橫坐標，時間倒數作縱坐標，做成圖表，觀察溫度和時間倒數關係圖。
8. 將步驟 4 的實驗測量方法改於光電比色計中進行，重複 1~7 實驗步驟。
9. 將上述測量結果進行分析比較。
10. 將步驟 4 的實驗測量方法改以導電度計進行，重複 1~7 實驗步驟。
11. 將上述測量結果進行分析比較。



實驗裝置與流程圖

(二) 利用不同種類的沉澱反應，進行「溫度對反應速率影響的實驗」：

1. 溫度對碳酸鹽類沉澱的影響

- (1) 將沉澱反應之反應物改為適當濃度的 $\text{MgCl}_2(\text{aq})$ 與 $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ ，重複實驗步驟 1-1~1-8。
- (2) 將沉澱反應之反應物改為適當濃度的 $\text{CaCl}_2(\text{aq})$ 與 $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ ，重複實驗步驟 1-1~1-8。
- (3) 將沉澱反應之反應物改為適當濃度的 $\text{BaCl}_2(\text{aq})$ 與 $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ ，重複實驗步驟 1-1~1-8。



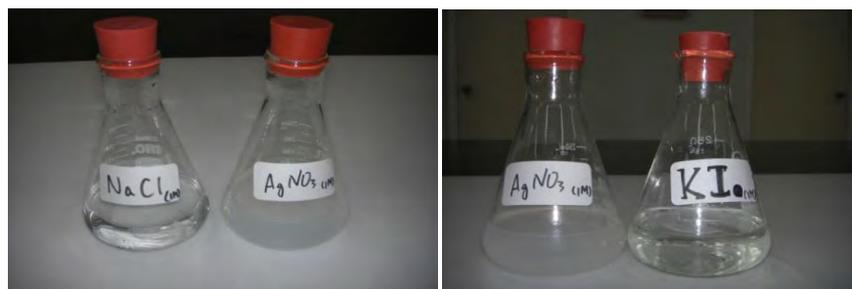
2. 溫度對硫酸鹽類沉澱的影響

- (1) 將沉澱反應之反應物改為適當濃度的 $\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$ 與 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ ，重複實驗步驟 1-1~1-8。
- (2) 將沉澱反應之反應物改為適當濃度的 $\text{BaCl}_{2(\text{aq})}$ 與 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ ，重複實驗步驟 1-1~1-8。



3. 溫度對鹵化物類沉澱的影響

- (1) 將沉澱反應之反應物改為適當濃度的 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_{2(\text{aq})}$ 與 $\text{KI}_{(\text{aq})}$ ，重複實驗步驟 1-1~1-8。
- (2) 將沉澱反應之反應物改為適當濃度的 $\text{AgNO}_{3(\text{aq})}$ 與 $\text{KI}_{(\text{aq})}$ ，重複實驗步驟 1-1~1-8。
- (3) 將沉澱反應之反應物改為適當濃度的 $\text{AgNO}_{3(\text{aq})}$ 與 $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ ，重複實驗步驟 1-1~1-8。



4. 比較上述的實驗結果，進行分析比較。

(三) 探討不同種類的沉澱反應其吸放熱情形與溫度影響反應速率的關聯：

分別紀錄於步驟二中所有沉澱反應進行時的溫度變化，並與步驟二的實驗結果進行分析比較。

伍、實驗結果與討論

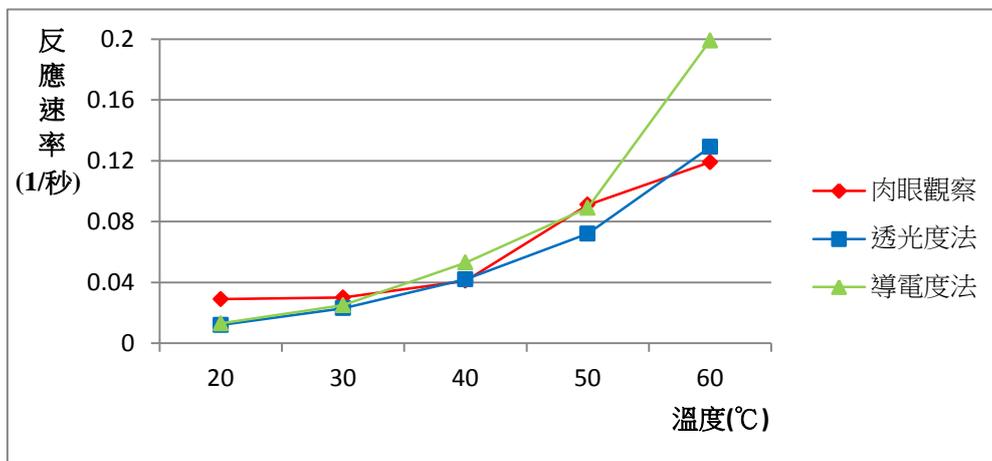
一、分別利用課本方法(肉眼觀察)、透光度法(光電比色計)與導電度法進行測量，分析比較其結果：

(一) 反應時間、反應速率與每上升 10°C 的前後速率比：

反應物：硫代硫酸鈉水溶液(0.5M, 5ml)+鹽酸水溶液(0.5M, 10ml)進行沉澱反應

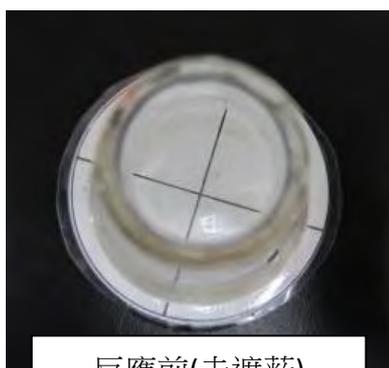
(控制變因：濃度、質量；操縱變因：溫度)

溫度(°C)		20	30	40	50	60
時間 (秒)	肉眼觀察	34.50	32.97	24.60	11.00	8.41
	透光度法	81.36	43.58	24.02	13.95	7.74
	導電度法	75.31	40.06	18.89	11.18	5.03
反應 速率 (1/秒)	肉眼觀察	0.029	0.030	0.041	0.091	0.119
	透光度法	0.012	0.023	0.042	0.072	0.129
	導電度法	0.013	0.025	0.053	0.089	0.199
每上 升 10°C 的前 後速 率比	肉眼觀察	-	1.046	1.340	2.236	1.308
	透光度法	-	1.867	1.814	1.722	1.802
	導電度法	-	1.880	2.121	1.690	2.223

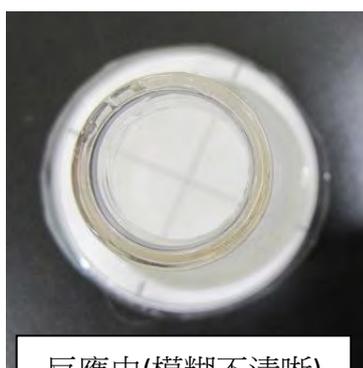


(二) 反應過程：

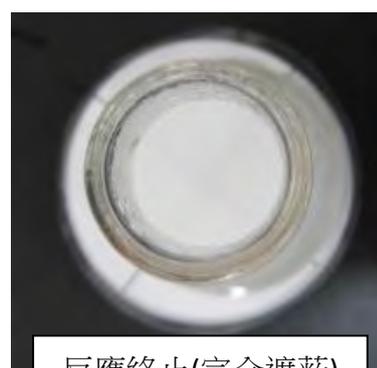
1. 課本(目視法)



反應前(未遮蔽)



反應中(模糊不清晰)

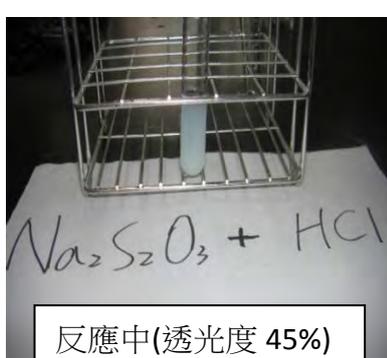


反應終止(完全遮蔽)

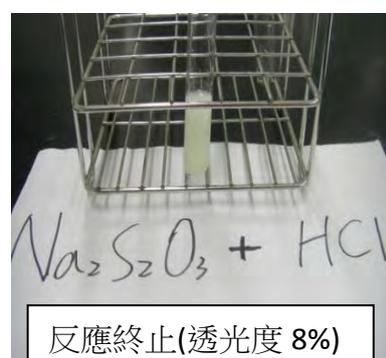
2. 透光度法



反應前(透光度 100%)



反應中(透光度 45%)



反應終止(透光度 8%)

3. 導電度法



反應前(導電度 8.62)



反應中(導電度 4.86)



反應終止(導電度 4.85)

註：僅呈現實驗過程照片，並非最後處理完之數據，本研究實驗數據為3次測量之結果取平均值。

由以上實驗結果可發現，利用透光度法(光電比色計)與導電度法比課本方法(肉眼觀察遮住白紙上的十字)來的客觀與準確，因此以下實驗我們均採用此兩種方法進行。

二、利用不同種類的沉澱反應，進行「溫度對反應速率影響的實驗」

(一) 溫度對碳酸鹽類沉澱的影響：

1. 碳酸鈉水溶液(0.05M, 1ml)+氯化鎂水溶液(0.05M, 1ml)進行沉澱反應

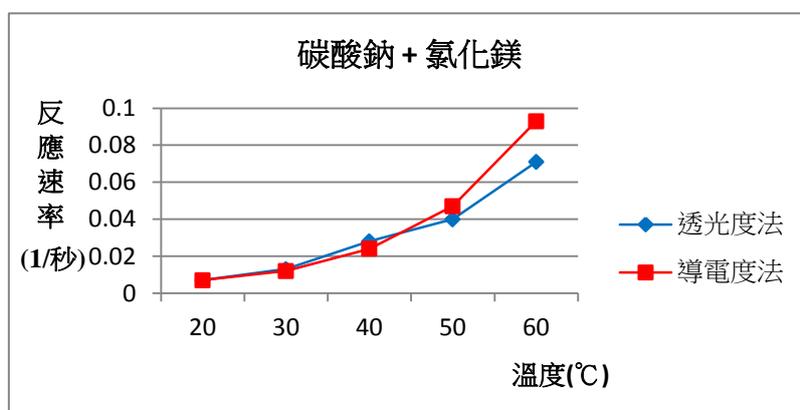
(控制變因：濃度、質量；操縱變因：溫度)

(1) 透光度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	142.39	0.007	-
30	74.36	0.013	1.915
40	35.46	0.028	2.097
50	25.17	0.040	1.409
60	14.11	0.071	1.784

(2) 導電度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	136.22	0.007	-
30	80.16	0.012	1.699
40	42.13	0.024	1.903
50	21.08	0.047	1.999
60	10.77	0.093	1.957



2. 碳酸鈉水溶液(0.025M, 1ml)+氯化鈣水溶液(0.025M, 1ml)進行沉澱反應

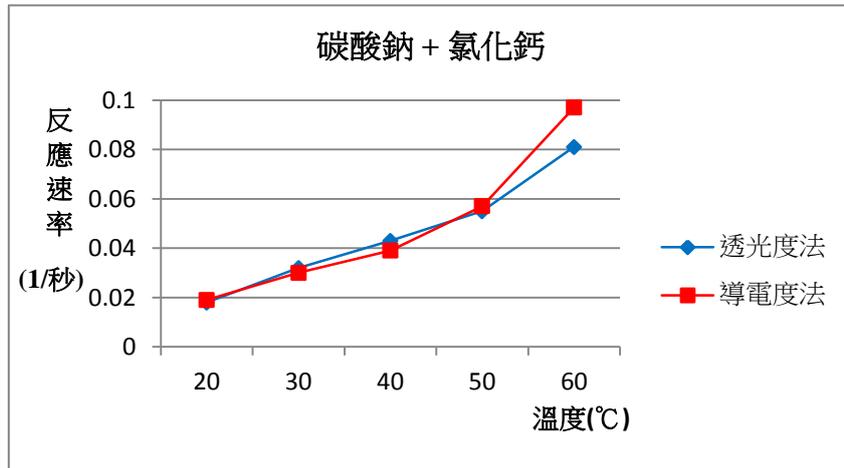
(控制變因：濃度、質量；操縱變因：溫度)

(1) 透光度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	56.84	0.018	-
30	31.68	0.032	1.794
40	23.30	0.043	1.360
50	18.18	0.055	1.282
60	12.30	0.081	1.478

(2) 導電度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	54.00	0.019	-
30	33.87	0.030	1.594
40	25.55	0.039	1.326
50	17.61	0.057	1.451
60	10.32	0.097	1.706



反應前(透光度 98%)



反應中(透光度 56%)



反應終止(透光度 10%)



反應前(導電度 7.63)



反應中(導電度 5.48)



反應終止(導電度 5.38)

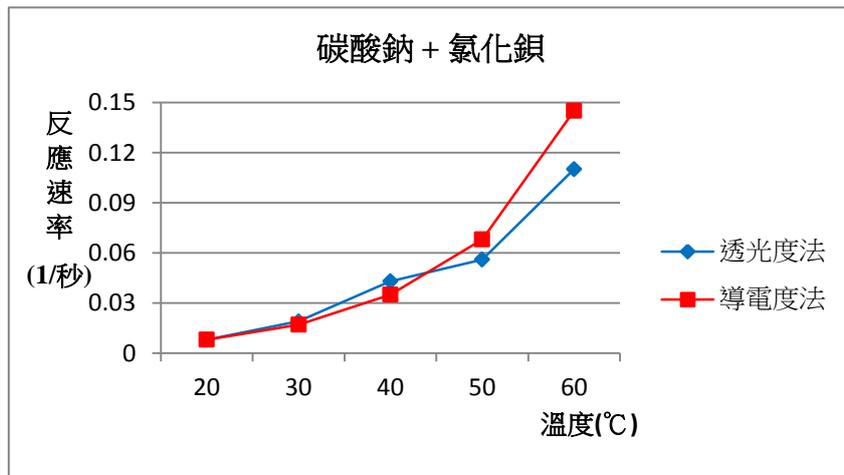
3. 碳酸鈉水溶液(0.01M, 1ml)+氯化鋇水溶液(0.01M, 1ml)進行沉澱反應
(控制變因：濃度、質量；操縱變因：溫度)

(1) 透光度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	120.05	0.008	-
30	52.20	0.019	2.300
40	23.40	0.043	2.231
50	17.87	0.056	1.309
60	9.10	0.110	1.964

(2) 導電度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	118.32	0.008	-
30	60.13	0.017	1.968
40	28.91	0.035	2.080
50	14.60	0.068	1.980
60	6.90	0.145	2.116



由以上實驗結果可發現：

- ① 碳酸鹽類沉澱反應速率與溫度成正相關，即溫度越高、沉澱速率越快。
- ② 碳酸鹽中以碳酸鋇的沉澱反應速率較符合一般化學反應，每上升 10°C 反應速率增加 2 倍的理論。

(二) 溫度對硫酸鹽類沉澱的影響：

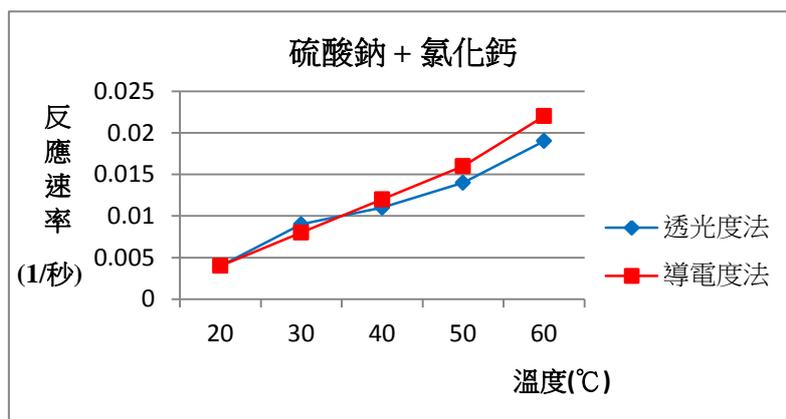
1. 硫酸鈉水溶液(1M, 1ml) + 氯化鈣水溶液(1M, 1ml)進行沉澱反應
(控制變因：濃度、質量；操縱變因：溫度)

(1) 透光度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	240.00	0.004	-
30	105.83	0.009	2.268
40	90.36	0.011	1.171
50	74.00	0.014	1.221
60	51.55	0.019	1.435

(2) 導電度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	232.15	0.004	-
30	115.30	0.008	2.013
40	82.31	0.012	1.400
50	62.57	0.016	1.315
60	45.24	0.022	1.383



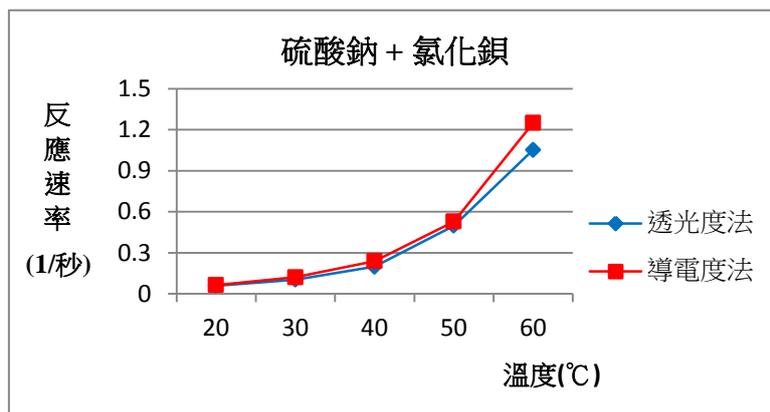
2. 硫酸鈉水溶液(0.005M, 1ml) + 氯化鋇水溶液(0.005M, 1ml)進行沉澱反應
(控制變因：濃度、質量；操縱變因：溫度)

(1) 透光度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	17.00	0.059	-
30	9.70	0.103	1.753
40	5.05	0.198	1.921
50	2.01	0.498	2.512
60	0.95	1.053	2.116

(2) 導電度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	15.77	0.063	-
30	8.25	0.121	1.912
40	4.18	0.239	1.974
50	1.89	0.529	2.212
60	0.80	1.250	3.635



反應前(透光度 100%)



反應中(透光度 68%)



反應終止(透光度 3%)



反應前(導電度 9.69)



反應中(導電度 5.08)



反應終止(導電度 4.85)

由上面實驗結果可發現：

- ① 硫酸鹽類沉澱反應速率與溫度成正相關，即溫度越高、沉澱速率越快。
- ② 硫酸鹽中以硫酸鋇的沉澱反應速率較符合一般化學反應，每上升 10°C 反應速率增加 2 倍的理論。

(三) 溫度對鹵化物類沉澱的影響：

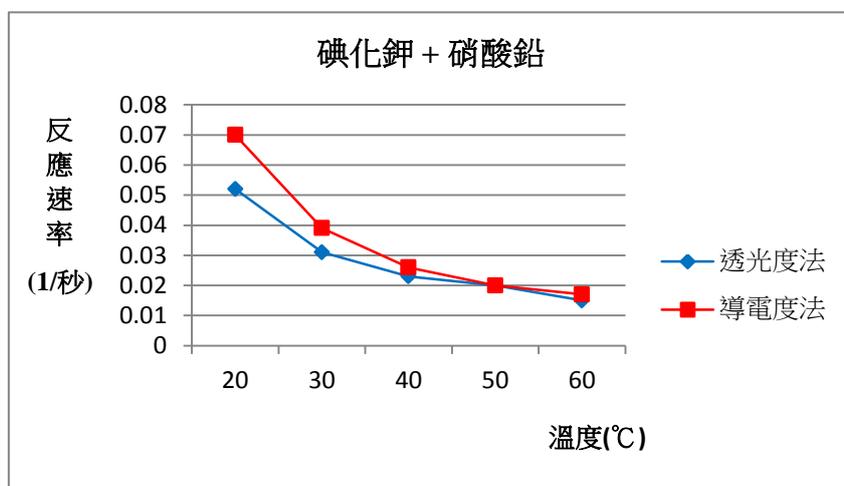
1. 碘化鉀水溶液(0.01M, 2ml) + 硝酸鉛水溶液(0.01M, 1ml)進行沉澱反應
(控制變因：濃度、質量；操縱變因：溫度)

(1) 透光度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	19.36	0.052	-
30	32.45	0.031	0.597
40	43.62	0.023	0.744
50	49.82	0.020	0.876
60	65.82	0.015	0.757

(2) 導電度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	14.20	0.070	-
30	25.64	0.039	0.554
40	39.11	0.026	0.656
50	49.42	0.020	0.791
60	60.49	0.017	0.817



反應前(導電度 3.80)



反應中(導電度 3.71)



反應終止(導電度 3.56)

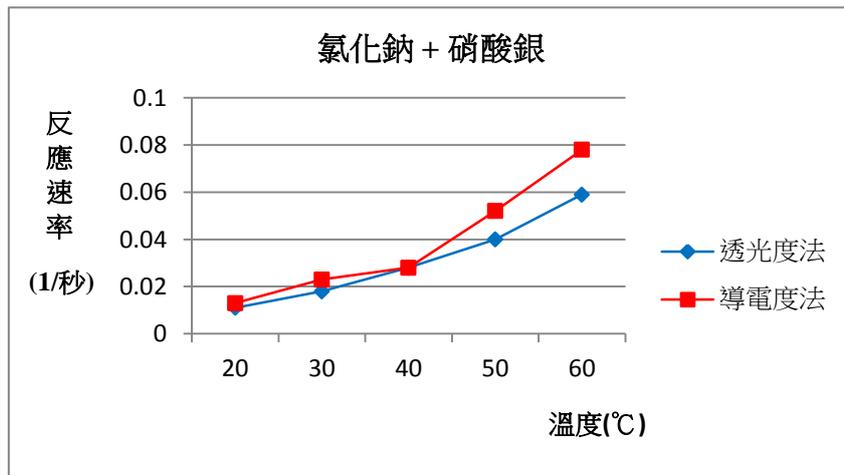
2. 氯化鈉水溶液(0.01M,1ml)+硝酸銀水溶液(0.01M,1ml) 進行沉澱反應
(控制變因：濃度、質量；操縱變因：溫度)

(1) 透光度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	93.00	0.011	-
30	56.33	0.018	1.651
40	35.93	0.028	1.568
50	25.17	0.040	1.427
60	17.09	0.059	1.473

(2) 導電度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	76.65	0.013	-
30	43.84	0.023	1.748
40	35.50	0.028	1.235
50	19.20	0.052	1.849
60	12.88	0.078	1.491



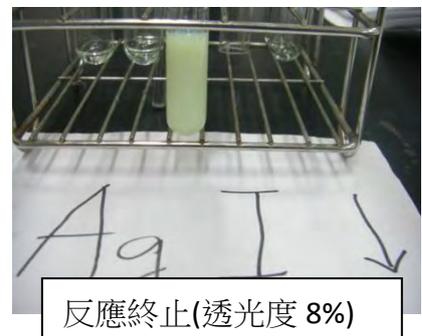
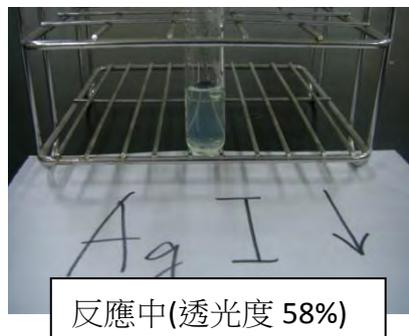
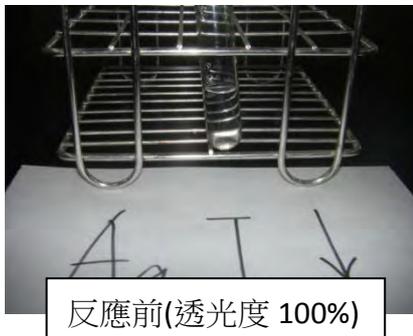
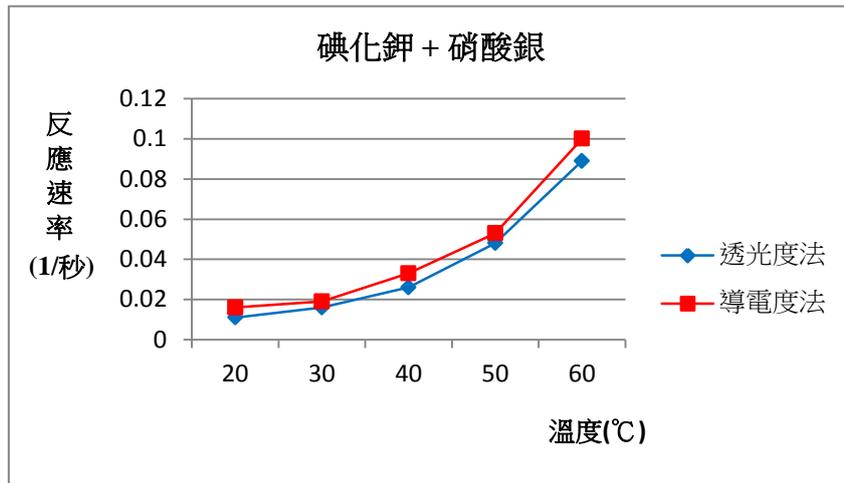
3. 碘化鉀水溶液(0.01M, 1ml)+硝酸銀水溶液(0.01M, 1ml)進行沉澱反應
(控制變因：濃度、質量；操縱變因：溫度)

(1) 透光度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	87.93	0.011	-
30	64.32	0.016	1.367
40	37.86	0.026	1.699
50	20.64	0.048	1.834
60	11.21	0.089	1.841

(2) 導電度法

溫度(°C)	時間(秒)	反應速率(1/秒)	每上升 10°C 的前後速率比
20	61.50	0.016	-
30	52.28	0.019	1.176
40	30.65	0.033	1.706
50	18.87	0.053	1.624
60	10.00	0.100	1.887



由上面實驗結果可發現：

- ① 鹵化物類沉澱反應速率大多與溫度成正相關，即溫度越高、沉澱速率越快；但碘化鉛的沉澱反應速率卻與溫度成負相關，即溫度越高、沉澱速率反而越慢。
- ② 鹵化物類每上升 10°C 的沉澱反應速率較不規則，與一般化學反應反應速率增加 2 倍的理論較不符合。

(四) 沉澱物外觀

高濃度(0.5M~1M)反應物於反應 30 秒後產生之沉澱物外觀，當時氣溫 20°C：

沉澱反應的反應物	照片	
$\text{MgCl}_{2(\text{aq})}$ 與 $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$		
沉澱物不均勻分布，多集中在試管上端，呈白色棉花狀。		
$\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$ 與 $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$		
沉澱物不均勻分布，多集中在試管上端，呈白色棉絮狀。		
$\text{BaCl}_{2(\text{aq})}$ 與 $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$		
沉澱物不均勻分布在試管上端，部分易結成小塊後，快速向下端沉降，呈白色小塊狀。。		
$\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$ 與 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$		
沉澱物一開始均勻分布，但沉降速率快，沉澱一下子就集中於試管底端，呈白色粉狀。		

$\text{BaCl}_{2(\text{aq})}$ 與 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$		
沉澱物均勻分布，呈白色。		
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_{2(\text{aq})}$ 與 $\text{KI}_{(\text{aq})}$		
沉澱物均勻分布，呈鮮黃色。		
$\text{AgNO}_{3(\text{aq})}$ 與 $\text{KI}_{(\text{aq})}$		
沉澱物均勻分布，呈淡黃色。		
$\text{AgNO}_{3(\text{aq})}$ 與 $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$		
沉澱物均勻分布，呈白色。		

Na ₂ S ₂ O ₃ (aq)與 HCl(aq)		
	沉澱物均勻分布，呈黃色。	

由上面結果可發現：

- ① 沉澱物分布較為均勻者為(Na₂S₂O₃ + HCl)、硫酸鋇與鹵化物類沉澱反應。
- ② 沉澱物分布較不均勻者為碳酸鹽類、硫酸鈣沉澱反應。

三、探討不同種類的沉澱反應其吸放熱情形與溫度影響反應速率的關聯

實驗結果如下圖表 (當天室溫為 20°C)：

沉澱反應的反應物	於反應過程中的溫度變化
MgCl ₂ (aq)與 Na ₂ CO ₃ (aq)	溫度由 20°C → 18.5°C
CaCl ₂ (aq)與 Na ₂ CO ₃ (aq)	溫度由 20°C → 18.4°C
BaCl ₂ (aq)與 Na ₂ CO ₃ (aq)	溫度由 20°C → 18.2°C
CaCl ₂ (aq)與 Na ₂ SO ₄ (aq)	溫度由 20°C → 20.0°C
BaCl ₂ (aq)與 Na ₂ SO ₄ (aq)	溫度由 20°C → 20.1°C
Pb(NO ₃) ₂ (aq)與 KI(aq)	溫度由 20°C → 21.5°C
AgNO ₃ (aq)與 KI(aq)	溫度由 20°C → 19.2°C
AgNO ₃ (aq)與 NaCl(aq)	溫度由 20°C → 18.5°C
Na ₂ S ₂ O ₃ (aq)與 HCl(aq)	溫度由 20°C → 19.8°C

由上面實驗結果可發現：

- (一) 碳酸鹽類沉澱、大部分的鹵化物沉澱(除了含鉛的鹵化物沉澱)及硫的沉澱反應過程中，溶液的溫度均有下降，表示此三種沉澱反應為吸熱反應。
- (二) 硫酸鹽類沉澱反應過程中，溶液的溫度變化極少，表示此沉澱反應吸放熱不明顯。
- (三) 含鉛的化合物沉澱反應，例如：硝酸鉛及碘化鉀沉澱反應過程中，溶液的溫度有明顯上升，表示此類沉澱反應為明顯放熱的反應。

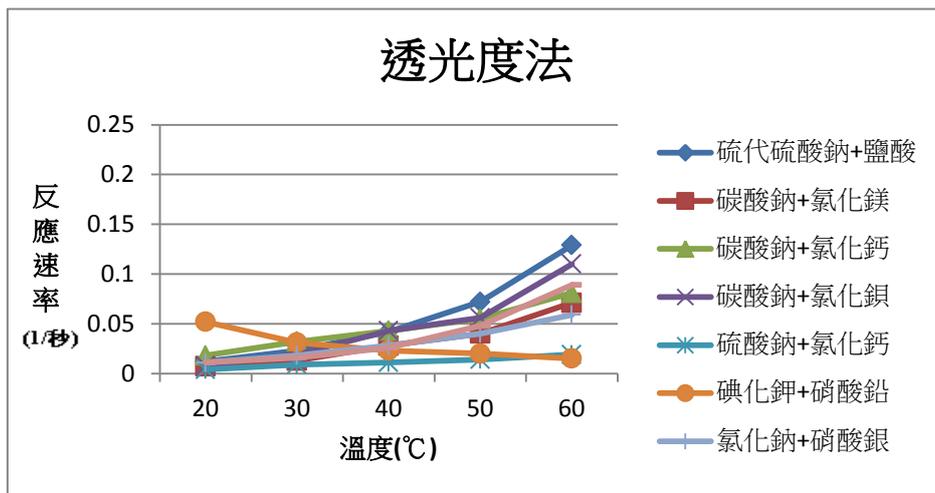
陸、結論

一、針對本次實驗採不同的測量方法部份進行分析比較：

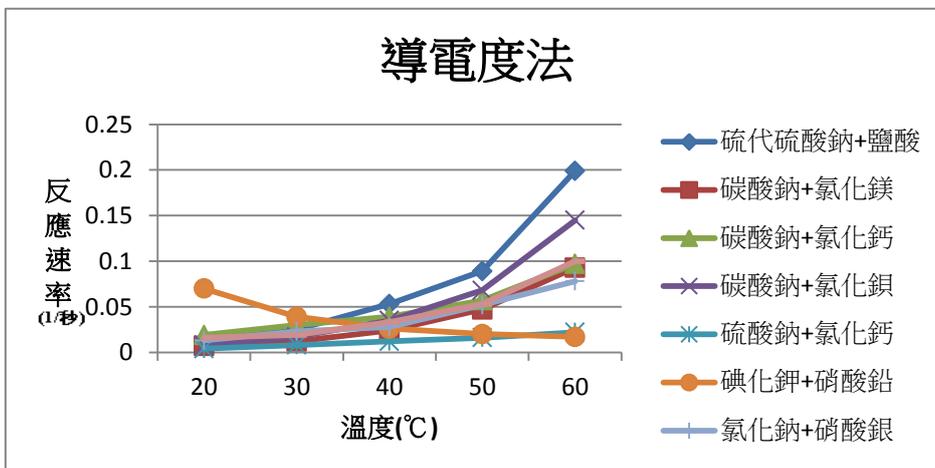
- (一) 採用課本方法即利用肉眼觀察產生黃色固體 S↓ 遮住白紙上的十字，來判斷反應時間的過程中，人為感官誤差是不可避免的，尤其在溫度較高、沉澱反應很快時，根本來不及計時，造成的實驗誤差明顯。
- (二) 採用透光度法是利用光電比色計測量沉澱產生時的透光度變化，來判斷反應終了時間，此方法會比課本方法(肉眼觀察遮住白紙上的十字)來的客觀及準確；但是，我們發現有些反應的沉澱分布很不均勻或沉降太快，造成光電比色計的透光度非常不穩定，無法量得準確的數據，並不適合本實驗方法進行，例如：碳酸鹽類、硫酸鈣的沉澱反應。
- (三) 採用導電度法是利用導電度計測量沉澱產生時的導電度變化，來判斷反應終了時間，我們發現此方法測量得到的實驗結果比課本(目視法) 來的客觀及準確；且不論沉澱是否均勻都可適用(除非反應前後溶液的電流大小不變)。

二、針對不同種類的沉澱反應，進行溫度對反應速率影響的實驗結果，綜合比較如下圖：

(一) 透光度法



(二) 導電度法



1. 由我們的實驗結果發現「溫度對沉澱反應速率的影響」如下：
 - (1) 大部分的沉澱反應速率均與溫度成正相關，也就是溫度越高，沉澱的反應速率越快。例如：我們實驗項目中的碳酸鹽類沉澱、硫酸鹽類沉澱反應等。
 - (2) 但有些的沉澱反應速率與溫度卻成負相關，也就是溫度越高，沉澱的反應速率反而越慢。例如：我們實驗項目中含鉛的化合物沉澱反應均是如此。
2. 造成上述結果不同的原因，我們認為應是反應過程中吸熱或放熱影響造成，因為從化學平衡的觀點來看：
 - (1) 若沉澱反應為吸熱，則溫度上升會有利沉澱的產生，而使沉澱速率增加。而從我們的實驗項目結果中發現，在室溫下進行碳酸鹽類、硫的沉澱兩種反應過程中，溶液的溫度均下降，表示此兩種沉澱反應為吸熱反應，而實驗結果也發現，兩種沉澱速率均隨溫度上升而增加。
 - (2) 若沉澱反應為放熱，則溫度上升不利沉澱的產生，而使沉澱速率減慢。而從我們的實驗項目中發現，在室溫下進行硝酸鉛及碘化鉀沉澱反應過程中，溶液中溫度上升，表示此沉澱反應為放熱反應，而且實驗結果也發現，此反應速率隨溫度上升而減少。所以，我們推論大部分含鉛的化合物沉澱反應速率均隨溫度上升而下降。

三、針對本次所有沉澱實驗而言：

- (一) 我們發現 $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{BaCO}_3 \downarrow + 2\text{NaCl}$ 的沉澱反應最接近一般化學反應速率的理論，即溫度每上升 10°C ，反應速率變為兩倍；其次 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{S} + \text{SO}_2$ 沉澱反應；再來是 $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{NaCl}$ 沉澱反應；其他鹵化物沉澱的反應速率與溫度關係較不規律；最差的是含鉛的化合物沉澱反應與溫度關係呈負相關，最不符合理論。
- (二) 我們發現有些沉澱反應不適合設計做為課本「溫度對反應速率影響的實驗」，例如：
 1. 硫酸鈣的沉澱反應非常慢，即使在高濃度(1M) 室溫 20°C 下反應時間仍要4分鐘，反應時間偏長，可能會造成此實驗無法在一堂實驗課中順利完成。
 2. 硫酸鋇的沉澱反應非常快，即使在低濃度(0.005M) 室溫 20°C 下的反應時間也只要17秒，高溫下反應時間太快(約1-3秒)，會造成來不及測量。
- (三) 我們在導電度法進行各種不同沉澱反應速率的實驗中，反應物大多採低濃度(0.01M 以下)進行。因本次實驗所使用的導電度計偵測範圍為 $0\mu\text{S} \sim 20\text{mS}$ ，高濃度的反應物其溶液的導電度容易超過儀器偵測上限，故需以低濃度反應物搭配使用。但如此反而大大減少實驗藥品用量，符合環保的概念！

例如，反應物所需適當用量比較如下：

每次實驗	硫代硫酸鈉水溶液用量	鹽酸水溶液用量
課本方法	(0.5M, 5ml)	(0.5M, 10ml)
導電度法	(0.01M, 10ml)	(0.01M, 20ml)

※ 導電度法的藥品用量只需課本方法的 1 / 25

四、針對反應沉澱物是否均勻分布對測量方法的影響比較：

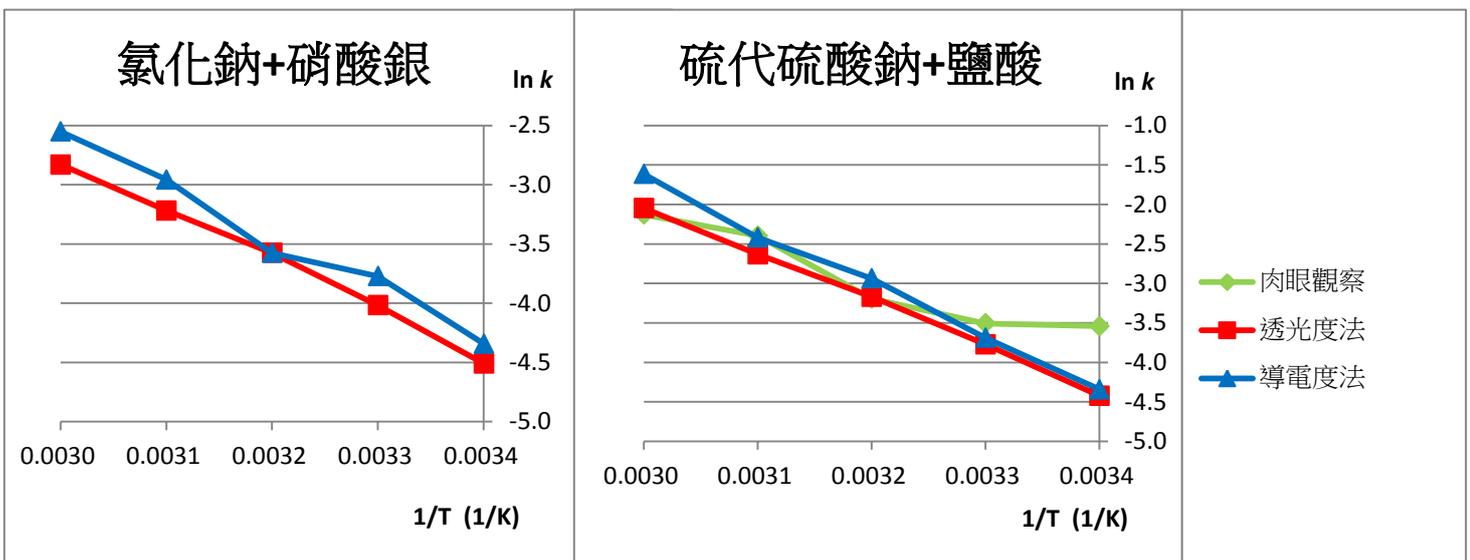
由本次實驗結果，可將反應沉澱物分為均勻分布與不均勻分布兩大類。其中，分布均勻者為 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{HCl}$ 與鹵化物類沉澱反應；較不均勻者為碳酸鹽類、硫酸鹽類沉澱反應。

我們進一步依據阿瑞尼士方程式($\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln A$)繪製反應速率對數-溫度倒數($\ln k - 1/T$)關係圖，藉由各反應之活化能(斜率)是否為一定值，探討對測量方法的準確性影響。

結果發現：

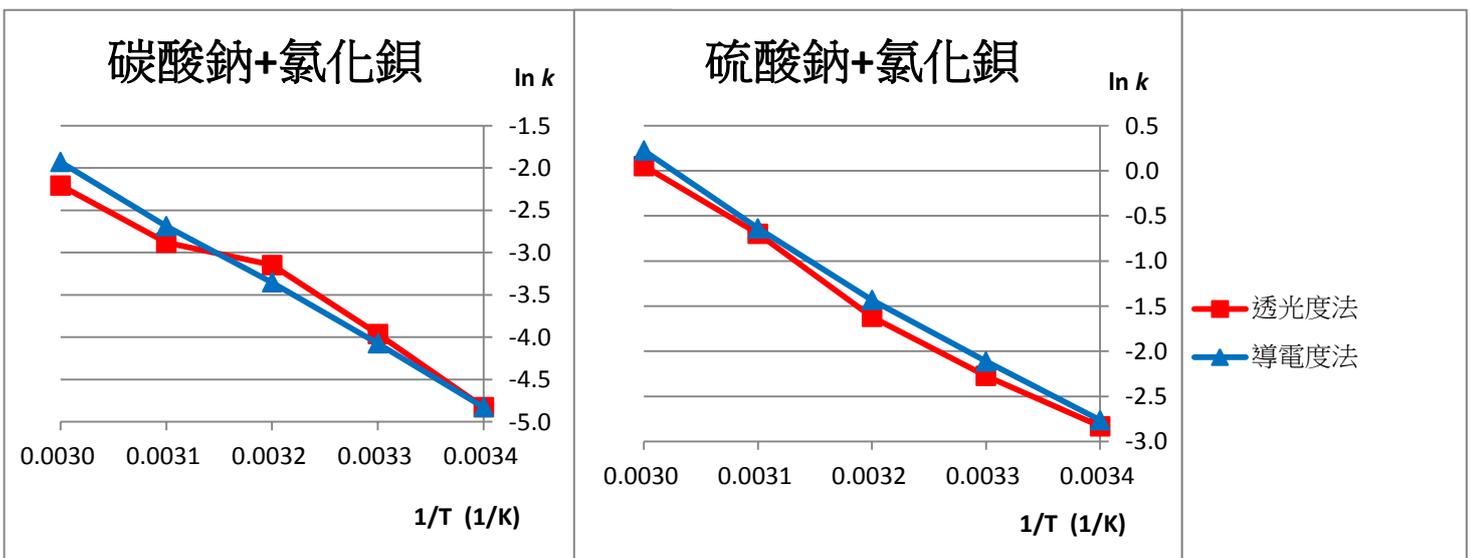
(一) 若沉澱均勻分布者，以透光度法測量結果較導電度法準確，由圖一(a)及圖一(b)其活化能(斜率)較一致可得知。

(二) 若沉澱不均勻分布者，以導電度法測量結果較透光度法準確，由圖二(a)及圖二(b)其活化能(斜率)較一致可得知。



圖一(a) 沉澱均勻分布－氯化鈉+硝酸銀

圖一(b) 沉澱均勻分布－硫代硫酸鈉+鹽酸



圖二(a) 沉澱不均勻分布－碳酸鈉+氯化銀

圖二(b) 沉澱不均勻分布－硫酸鈉+氯化銀

五、綜合以上所有實驗結果的分析比較：

我們建議課本將此實驗改以 $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{BaCO}_3 \downarrow + 2\text{NaCl}$ 低濃度反應物搭配導電度法，理由如下：

- (一) 反應過程中，不會有刺鼻臭味的氣體產生，造成身體不適。
- (二) 此反應的結果較符合一般化學反應，每上升 10°C 反應速率增加 2 倍的理論。
- (三) 採用導電度法是利用沉澱產生時的導電度的變化，來判斷反應終了時間，比目測法觀察遮住十字來得客觀。
- (四) 以產生 BaCO_3 的沉澱反應中，適當的反應物濃度及用量為 0.01M 、 10ml ，較課本以產生 S 沉澱時所需的反應物濃度及用量為 0.5M 、 10ml 的少了許多，大大減少反應物藥品的用量，更環保！

柒、參考資料

康軒文教事業股份有限公司(2013)。國民中學自然與生活科技課本 2 下(2 月初版)。新北市：康軒文教事業股份有限公司。

張欽圳、張二郎、謝俊賢、王敦正、陳永傑、陳志弘、劉翁興(1984)。利用溶液的導電性觀察溫度如何影響反應速率。查詢日期：2012 年 12 月 20 日，檢自 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/22/pdf/22m/016.pdf>。

劉筱君(1987)。化學反應的觀察與反應速率實驗的研究。查詢日期：2012 年 12 月 20 日，檢自 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/25/pdf/25m/034.pdf>。

許湏菱、王歆掄、鄭沛寒(1999)。化學反應速率實驗的研究。查詢日期：2012 年 12 月 20 日，檢自 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/37/pdf/37m/039.pdf>。

【評語】 030204

本作品以不同種類之化學沉澱反應，來探討離子於溶液中的沉澱速率。實驗之設計與方法較無創新，需多思考其應用性，仍屬優良之作品。