

# 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科(二)

032901

Arduino 與 Excel 在化學反應連續量測之應用—  
秒錶實驗

學校名稱：桃園市立龍岡國民中學

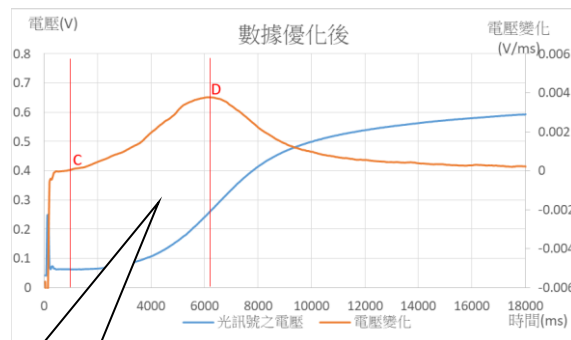
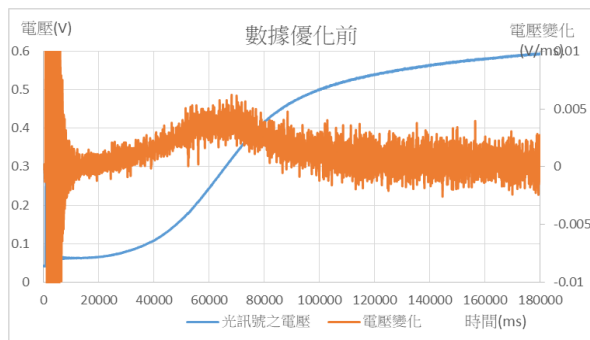
作者：  國三 何佳芸  國三 林佳韻  國三 陳品叡	指導老師：  林柏儒
---	------------------

關鍵詞： ARDUINO、trend、硫代硫酸鈉

## 摘要

硫酸鈉水溶液與鹽酸溶液反應會產生硫沉澱，沉澱量變化可用來表示化學反應快慢。近年來，數位量測取代肉眼觀察，但量測終點的閾值卻都是由實驗者主觀地自訂。我們不斷改進實驗，做了以下努力與成效：

- 一、 利用 ARDUINO 配合光敏電阻進行**全程連續量測**，並由數值分布圖發現硫沉澱速度並非固定。
- 二、 因為有讀取到**全程連續量測值**，我們測試出同時配合 EXCEL 的 **AVERAGE** 與 **高次方 TREND** 函數進行數據優化，可以成功反推**每個瞬間反應速度**。
- 三、 由**全程連續量測**發現，原想以反應結束的時間做為閾值是**不可行**，但我們意外找出**非人為定義之閾值**，且此閾值不受(1)**外在光源強度**、(2)**容器深淺或容量**、(3)**感應器校準與否**之影響。
- 四、 我們求得**達到反應最快時**之反應速率級數。



但，何處是量測結束的臨界值(閾值)？

## 壹、前言

### 一、研究動機

八年級時，老師在理化課帶我們進行硫代硫酸鈉水溶液與鹽酸混和的實驗，此實驗會在燒杯底裡產生硫的沉澱，若在燒杯底部墊一張畫有十字的標記，此標記將因沉澱物的阻隔而逐漸看不清。

當時課本要我們以肉眼觀察及手持碼表來進行實驗的紀錄，看何時會看不清此標記，但因為每個人視力狀況不同，同桌每人所測得的結果也不同，所幸結果差異性極大也符合實驗定性的趨勢，因此也不太算失敗，但我們心中卻產生幾個疑慮：

(一) 計時開始的時刻？是剛倒入之時？還是倒完之後？

(二) 何時結束計時？

(1) 不同學生肉眼觀察可能的誤差

(2) 標示顏料與亮度的誤差

(3) 天色的誤差

(4) 容器深淺的誤差

(三) 如果濃度太低，底下十字的標示遮不住怎麼辦？

經向老師詢問後，老師建議我們改用 ARDUINO 去進行數位量測，並提供相關設備讓我們去嘗試改進實驗。

### 二、目的

(一) 利用 ARDUINO UNO 建立一個取代肉眼觀察與碼錶計時的數位連續量測系統。

(二) 利用 EXCEL 比較 AVERAGE 與 高次方 TREND 函數使用與否對數據的影響。

(三) 針對硫代硫酸鈉與鹽酸反應，找出一個非人為定義之計時結束時間點(閾值)，並且此閾值且不受(1)外在光源強度、(2)容器深淺或容量、(3)感應器校準與否之影響

(四) 反推達到反應最快時之反應速率級數。

### 三、文獻回顧

#### (一)傳統教科書量測方式

教科書如康軒[1]，都建議以**肉眼配合碼表**進行硫覆蓋標記的時差，只要起始濃度與個對照組濃度差異夠大，定性上確實可達該有的效果。

#### (二)初階電子量測方式

為必免人為量測誤差，開始有實驗利用電子電路測量特定自訂閾值，如配合光敏電阻設定特定閾值以觸動蜂鳴器[2]、利用三用電表[3-4]紀錄特定電壓的時間點或利用小夜燈光敏電阻的臨界開關電壓[5]，這些實驗幾乎都是手動時間量測，但閾值出於自訂或偵測器的預設值，這些閾值的設定就顯得不夠客觀。

#### (三)進階數位化量測方式

因為 ARDUINO 微控制器平台有內建時間序再配合各種模組，於是也被利用來解放手持碼表的各種實驗量測，但部分實驗還是只做**自訂閾值的時間差量測**[6]。

#### (四)數位化**連續**量測方式

[7][8]利用 ARDUINO 微控制器平台進行實驗的連續量測，並由測得之電壓值觀察反應的狀況，該實驗的用意只想看出約在某個**時間區間**趨勢，並無明確指出較精確的變化**時間點**。

#### (五)EXCEL 函數 在數據上之分析

承(四)，相較只找出趨勢變化的時間區段，我們更想找出較精確的變化時間點，我們利用 EXCEL 進行優化處理，但有關 AVERAGE 與 TREND 函數使用與否對數據的影響這部分，在我們能力所及下查不到有同時針對使用 AVERAGE 與 TREND 兩個函數的相關探討。

## 貳、 研究設備及器材

### 一、 化學實驗器材：

鹽酸、硫代硫酸鈉、水、電子秤、燒杯、量筒

### 二、 量測設備器材

個人電腦、arduino uno 、雷射模組 、 LED 燈 、光敏電阻模組

### 三、 自製量測設備(示意圖如下)

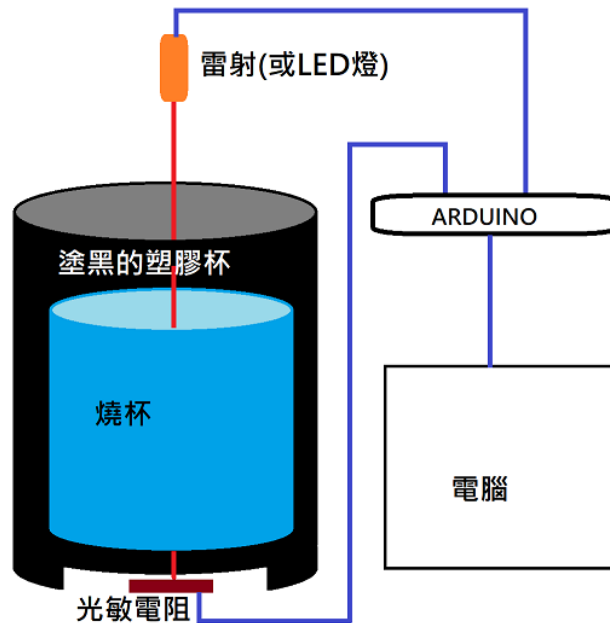


圖 1 實驗裝置示意圖


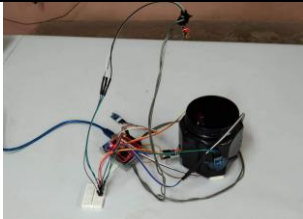




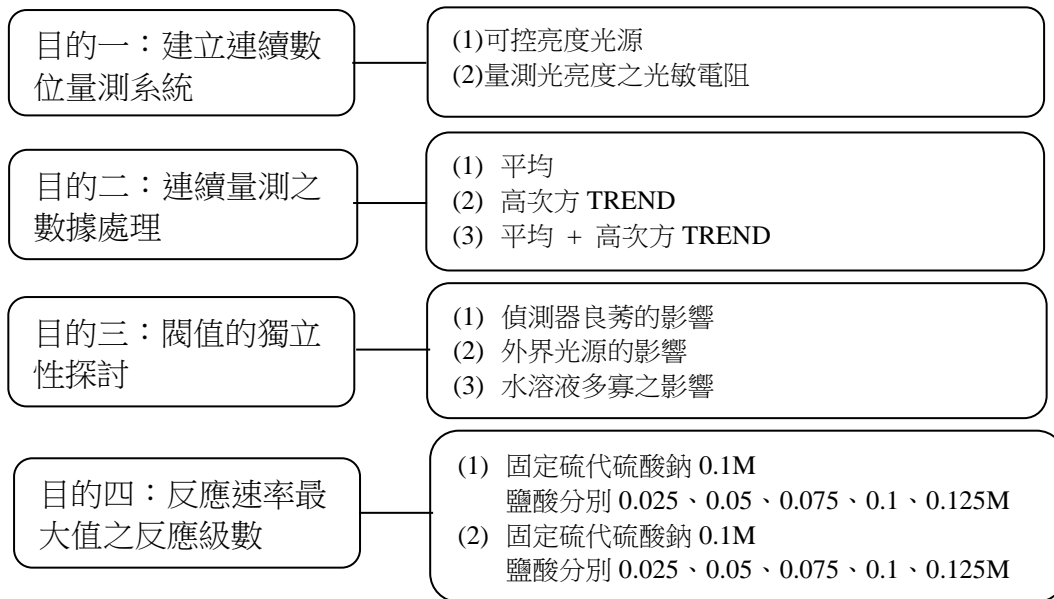
第一期(無外加光源)	第二期(外加雷射光)	第三期(外加雷射與 LED)
		
用紙盒架高燒杯，讓感測器能順利至於燒杯下方	利用黑色塑膠盒框住燒杯並將感測器固定在特定位置	利用書擋取代鐵絲(易變形)，讓光源固定度更高
		
利用另一個直立紙盒組合光敏電阻陣列	利用鐵絲架高雷射模組	書擋上方架設雙光源(雷射及 LED)

圖 2 實驗裝置的改進

## 參、研究過程或方法



## 一、建立連續數位量測系統

### (一) 硬體：

ARDUINO UNO 外接 LED 燈或雷射光模組及光敏電阻模組

### (二) 接腳

燈源(LED 燈或雷射模組)

➔ 接在數位腳位 PIN9 及 GND

光敏模組 5 個，

➔ 每個模組的類比腳，依序接在類比腳位 A0、A1、A2、A3 及 A4

每個模組另外兩隻腳分別接在 5V 及 GND

### (三) 程式

```
void setup() {  
  Serial.begin(19200);  
  delay(2000);  
  pinMode(9, OUTPUT);  
  int r = 25;  
  int n0 = 50;  
  for (int i = 1; i <= 50000000; i++) {  
    if(i % 5 == 0){  
      analogWrite(9, 40);  
      delay(r);  
    }  
    else if(i % 5 == 1){  
      analogWrite(9, 80);  
      delay(r);  
    }  
    else if(i % 5 == 2){  
      analogWrite(9, 120);  
      delay(r);  
    }  
    else if(i % 5 == 3){  
      analogWrite(9, 160);  
      delay(r);  
    }  
  }  
}
```

環境設定

光源強度設定

```
}
else if(i % 5 == 4 ){
  analogWrite(9, 200);
  delay(r);
}
float k0 = 0;
float k1 = 0;
float k2 = 0;
float k3 = 0;
float k4 = 0;
float k5 = 0;
for (int j = 1; j <= n0; j++) {
  k0 = k0 + analogRead(A0);
  k1 = k1 + analogRead(A1);
  k2 = k2 + analogRead(A2);
  k3 = k3 + analogRead(A3);
  k4 = k4 + analogRead(A4);
  //k5 = k5 + analogRead(A5);
}
Serial.print(i);
Serial.print(" ");
Serial.print(millis());
Serial.print(" ");
Serial.print(k0/n0);
Serial.print(" ");
Serial.print(k1/n0);
Serial.print(" ");
Serial.print(k2/n0);
Serial.print(" ");
Serial.print(k3/n0);
Serial.print(" ");
Serial.println(k4/n0);
//Serial.print(" ");
//Serial.println(k5/n0);
}
}
void loop() {
}
```

讀取感應器之數  
值，並設定 n0 個  
數值取平均

將所讀到之數值輸出到螢  
幕，我們再利用 **tera term**  
將數值轉存到電腦

## 二、數據處理

本實驗將實驗進行全程連續量測，並繪出電壓(V)對應時間(t)之關係圖，示意如下

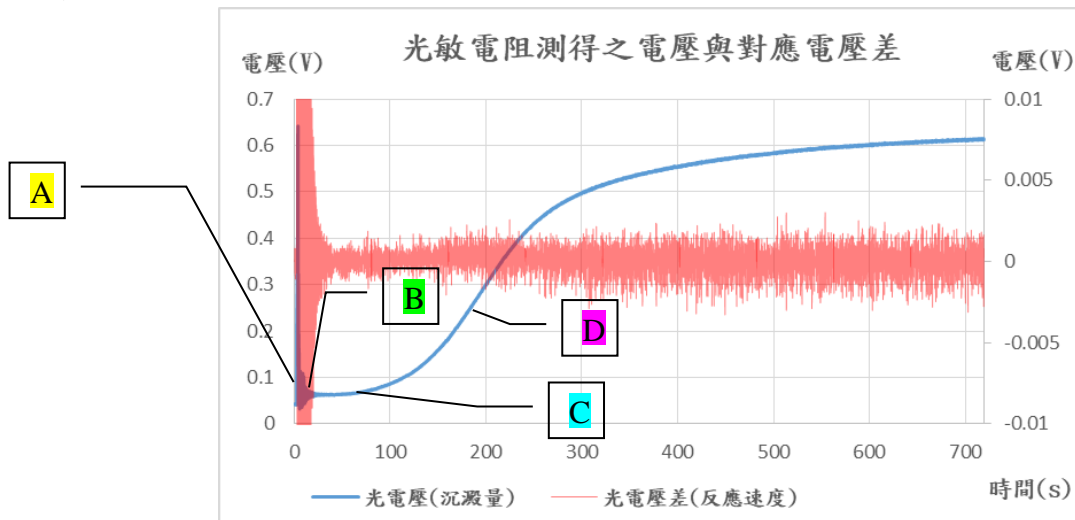


圖 3 電壓(V)對應時間(t)之關係圖說明示意圖

### (一) 電壓(V)對應時間(t)之關係圖說明

#### (1) 光電壓，如圖藍色線

對光敏電阻而言，**光越弱(硫沉澱量越大)**所測得電壓越高，**硫沉澱量與所測得之光電壓成正相關。**

#### (2) 光電壓差，如圖紅色線

光電壓差資料來源為藍線上各相鄰數值之差值，用來表示變化量，因為每兩點時間間格相同，亦可用來表示反應的變化快慢。因為**數據尚未優化**，由藍線本應該明顯看出 200 秒附近反應速度應該最快，但由紅線分布卻看不出來，這也是本實驗所努力的方向。

#### (3) 圖示中重要觀察點

- A 點** 兩溶液開始倒入 → 一開始電壓波動最大開始處
- B 點** 兩溶液倒入完畢 → 一開始電壓波動最大結束處
- C 點** 硫開始明顯產生 → 電壓變化由 0 開始變大之處
- D 點** 硫產生速度最快之瞬間 → 斜率最大 (**本實驗所要找的閾值**)

### (二) 優化數據操作方式

一般在進行數據整理都會使用到取平均值，甚至使用 EXCEL 裡的線性回歸，而 EXCEL 有另一個函數 trend 也是回歸之應用，但大部分都只使用到一次線性回歸，但我們在觀察實驗數據所畫出之圖形後，我們發現圖形至少有 2 個轉折點，**因此我們捨棄一次方 trend 優化改選擇高次方(三次方) trend 優化**

#### 1. 利用 EXCEL 的 AVERAGE 函數功能取平均值：

假設 EXCEL 儲存格 C1 到 C10 是原始數據，D3 是針對 C3 往上 2 個時間點起往下數 10 個數據進行優化(建議往上往下的範圍一樣大)，只需在 D2 輸入 AVERAGE(C1:C10)



2. 利用 EXCEL 的 **TREND** 函數功能進行數據高次方趨勢回歸優化，實際操作範例如下(參考圖 4)：

假設 EXCEL 儲存格 G5 是我們優化後的數據，我們取上 2 個時間點起往下數 10 個數據進行優化(建議往上往下的範圍一樣大)

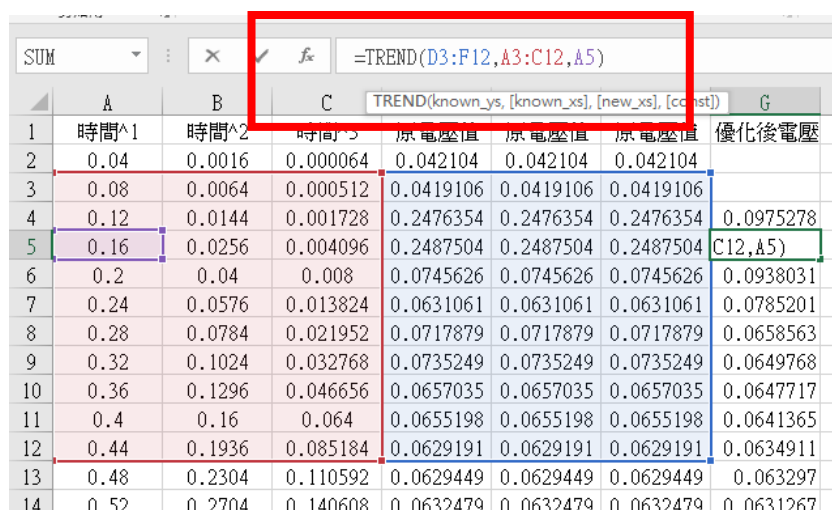
TREND 函數第一組參數：選三組一模一樣的電壓範圍，D3:F12

其中儲存格數值  $D_n=E_n=F_n$ ， $n = 3\sim 12$

TREND 函數第二組參數：選三組時間的範圍，A3:C12

其中儲存格數值  $B_n=A_n^2$ ； $C_n=A_n^3$ ， $n = 3\sim 12$

TREND 函數第三組參數：選想要優化的時間點，A5



	A	B	C	TREND(known_ys, [known_xs], [new_xs], [const])			G
1	時間^1	時間^2	時間^3	原電壓值	原電壓值	原電壓值	優化後電壓
2	0.04	0.0016	0.000064	0.042104	0.042104	0.042104	
3	0.08	0.0064	0.000512	0.0419106	0.0419106	0.0419106	
4	0.12	0.0144	0.001728	0.2476354	0.2476354	0.2476354	0.0975278
5	0.16	0.0256	0.004096	0.2487504	0.2487504	0.2487504	C12,A5)
6	0.2	0.04	0.008	0.0745626	0.0745626	0.0745626	0.0938031
7	0.24	0.0576	0.013824	0.0631061	0.0631061	0.0631061	0.0785201
8	0.28	0.0784	0.021952	0.0717879	0.0717879	0.0717879	0.0658563
9	0.32	0.1024	0.032768	0.0735249	0.0735249	0.0735249	0.0649768
10	0.36	0.1296	0.046656	0.0657035	0.0657035	0.0657035	0.0647717
11	0.4	0.16	0.064	0.0655198	0.0655198	0.0655198	0.0641365
12	0.44	0.1936	0.085184	0.0629191	0.0629191	0.0629191	0.0634911
13	0.48	0.2304	0.110592	0.0629449	0.0629449	0.0629449	0.063297
14	0.52	0.2704	0.140608	0.0632479	0.0632479	0.0632479	0.0631267

圖 4 EXCEL 之 **高次方** TREND 函數優化數據操作示意圖

### 三、閾值的獨立性探討

#### (一)不同偵測器的影響

如圖 5，我們將感測器由一個換成四個，針對 0.05M 30cc 硫代硫酸鈉水溶液與 0.05M 30cc 鹽酸水溶液進行實驗，並比較不同感測器是否可以找出同一個閾值(反應最快的時間點)

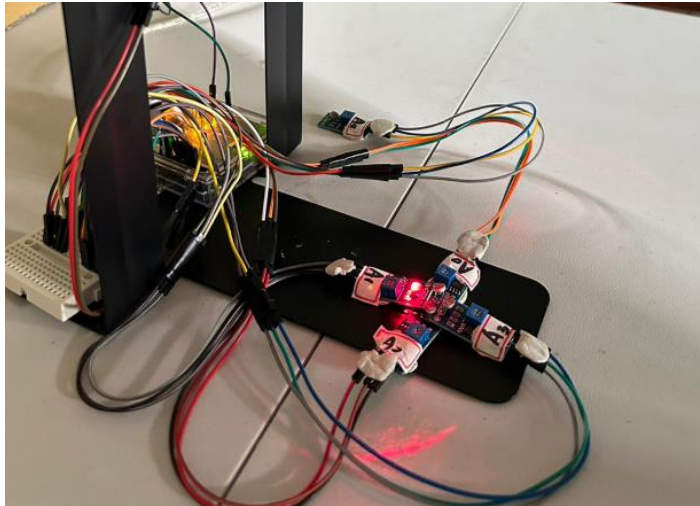


圖 5 將裝置得感測器由 1 個改裝成 5 個，並依與 ARDUINO 所連接之腳位名稱依序編號成 A0、A1、A2 及 A3。

#### (二)環境光源(改變外接光源強度)的影響

我們將於燒杯上方架設 LED 燈，利用改變 LED 電壓依序成 3.91V、3.13V、2.34V、1.56V 及 0.78V，並比較不同感測器是否可以找出同一個閾值(反應最快的時間點)

#### (三)溶液容量多寡的影響

我們使用濃度相同但體積不同的硫代硫酸鈉水溶液與鹽酸水溶液進行實驗，常理來看，若濃度相同下，溶液越多產生的硫沉澱應該也越多，遮光效果也會更明顯，我們想比較不同容量的是否可以找出同一個閾值(反應最快的時間點)。

### 四、反推達到反應最快時之反應速率級數

#### (一)理論背景

有關反應速率級數之求法如下，  
已知假設反應速率最快的表示式為

$$R = k [A_0]^m [B_0]^n$$

我們假設反應速率最快的表示式與上式雷同為

$$R_{\max} = k [A_0]^m [B_0]^n$$

若固定[B<sub>0</sub>]則

$$\ln R_{\max} = (\ln k + n \ln [B_0]) + m \ln [A_0]$$

$$\ln R_{\max} = m \ln [A_0] + C \quad (1)$$

其中  $C = (\ln k + n \ln [B_0])$

由(1)知，若給不同的[A<sub>0</sub>]會找到  $\ln R_{\max}$  vs  $\ln [A_0]$  之線性關係圖，m 即為該線性圖的斜率；同理，固定[A<sub>0</sub>]改變[B<sub>0</sub>]可求得 n。

## (二)實驗設計

利用 250cc 的燒杯，在有雷射光(較 LED 光源，光的方向性與強度穩定較高)照射的狀態下進行實驗

實驗組別	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 濃度(混合前)	HCl 濃度(混合前)
EXP N-1	0.1	0.025
EXP N-2	0.1	0.05
EXP N-3	0.1	0.075
EXP N-4	0.1	0.1
EXP N-5	0.1	0.125
EXP H-1	0.025	0.1
EXP H-2	0.05	0.1
EXP H-3	0.075	0.1
EXP H-4	0.1	0.1
EXP H-5	0.125	0.1

表 1 實驗組別說明 N 代表硫代硫酸鈉固定，H 代表鹽酸固定

## 肆、研究結果

### 一、數據優化

如圖 6 之優化流程圖所示，優化會進行四個步驟 ABCD，我們以 1、0 分別代表是、否有執行該步驟，如優化代碼 1001，就代表進行 A 及 D 之優化，並將呈現各種優化的成果如下表

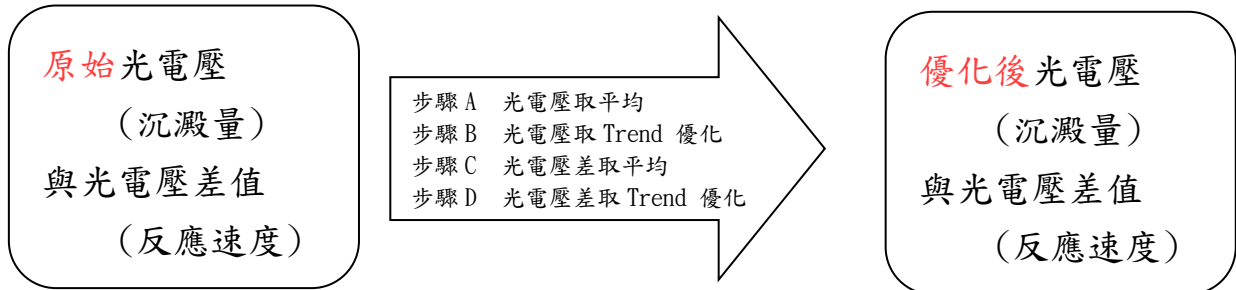


圖 6 數據優化之 4 個步驟 ABCD

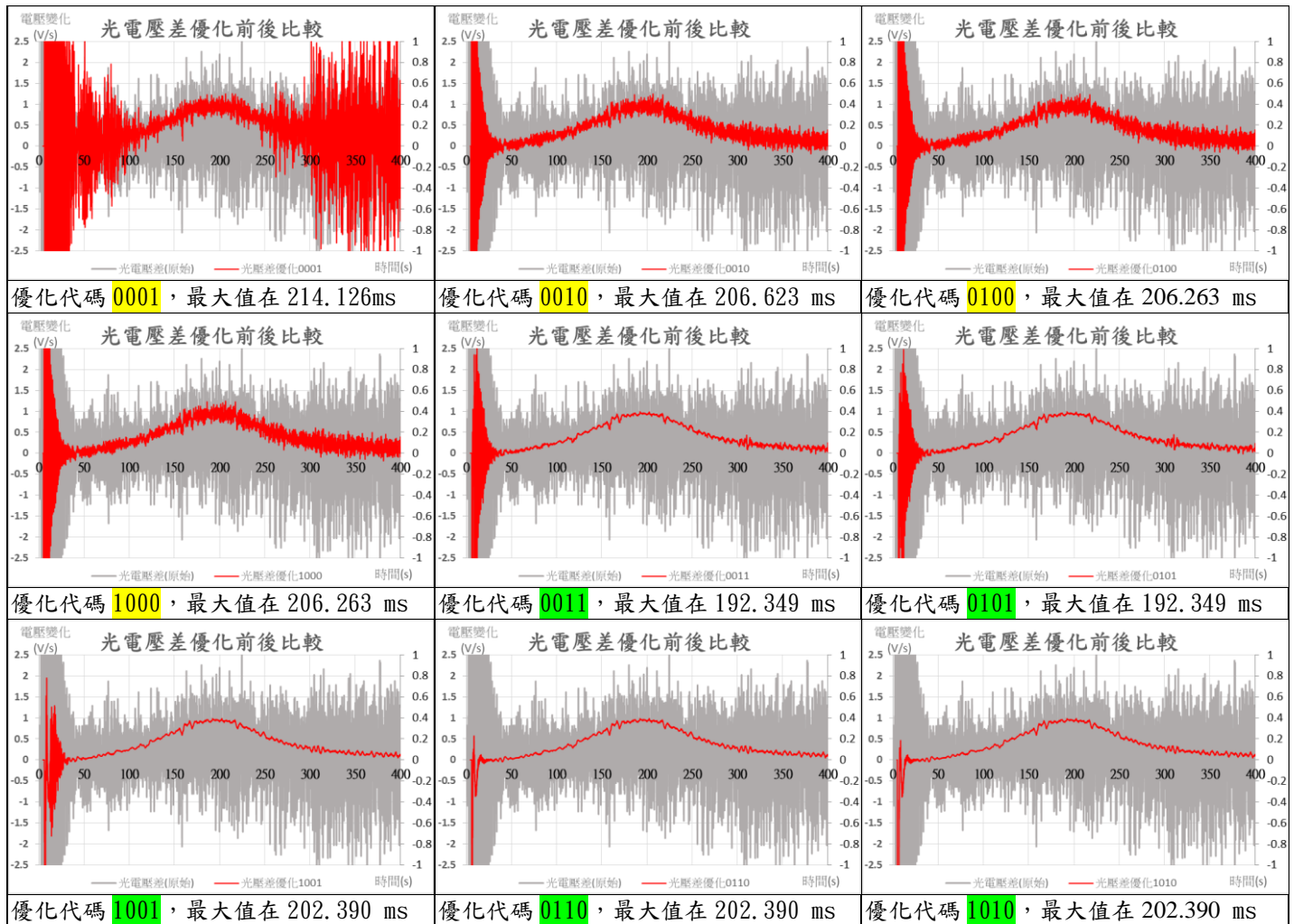
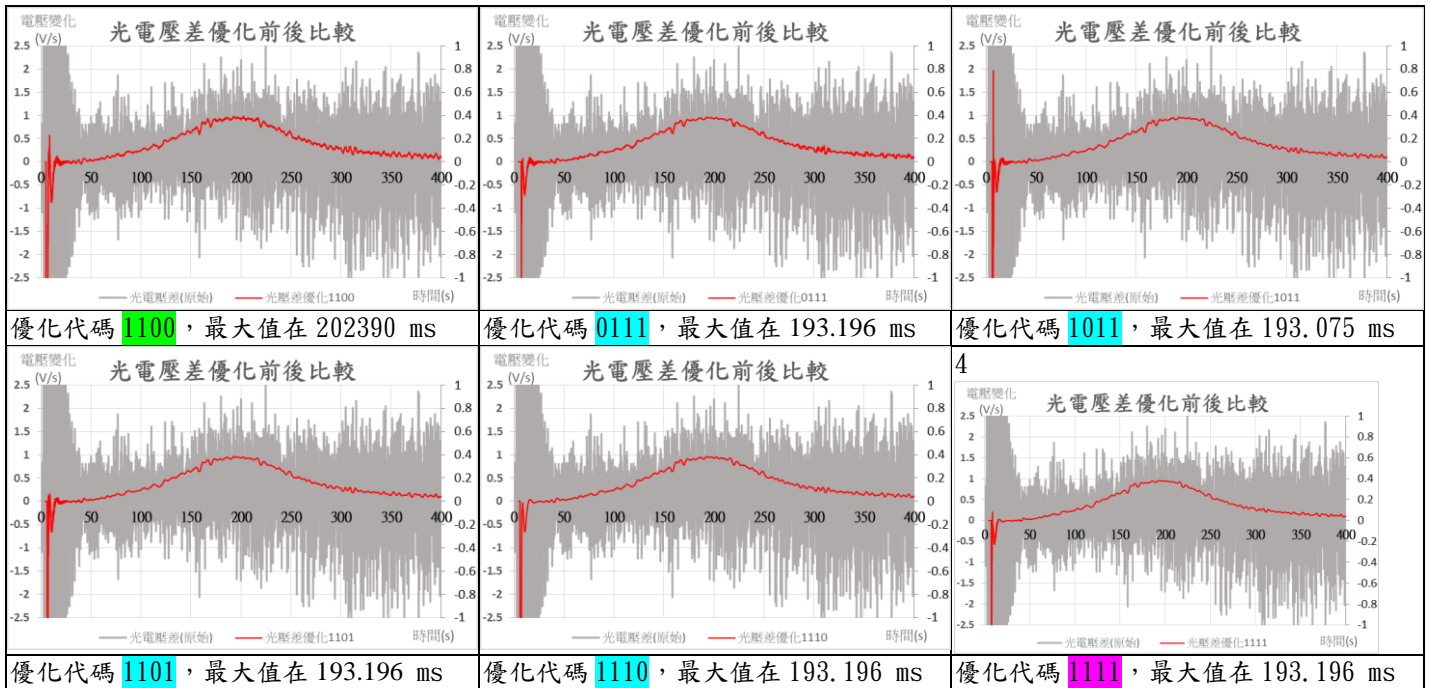


表 2 各種優化結果一覽表

優化代碼 ABCD 共四碼，分別代表 A：光電壓取平均，B：光電壓取 Trend 優化，C：光電壓差取平均，D：光電壓差取 Trend 優化。優化步驟的次數 1、2、3 及 4 次分別以黃色、綠色、藍色及紫色表示。



續表 2 各種優化結果一覽表

優化代碼 ABCD 共四碼，分別代表 A：光電壓取平均，B：光電壓取 Trend 優化，C：光電壓差取平均，D：光電壓差取 Trend 優化。優化步驟的次數 **1**、**2**、**3** 及 **4** 次分別以 **黃色**、**綠色**、**藍色** 及 **紫色** 表示。

### (一) 我們利用優化次數進行簡單劃分

- (1) **一個步驟優化**：最大值落在 206.6 秒至 214.1 之間，相較未優化(灰色線條)，數據變動確實有變小，但實驗始末處優化效果極差，反應速度最大值發生時間點變動頗大，期數值不列入考慮。
- (2) **二個步驟優化**：數據變動小，最大值落在 192.3 秒與 202.4 秒之間，因為反應速度最大值發生時間點變動還是不小，數值暫不列入考慮。
- (3) **三個步驟優化**：數據變動又更小，最大值落在 193.1 與 193.2 之間，而且反應速度最大值發生時間點之數值集中。
- (4) **四個步驟優化**：數據變動極小，最大值落在 193.2，幾乎與三步驟優化相同。

(二) 綜合(一)之結果，每多做一個步驟，數據就越收斂，因此我們認為 **合理的優化應該在 ABCD 四個步驟裡至少要執行 3~4 個步驟**。

## 二、閾值穩定性

### (一)不同亮度環境光(光源)之影響

我們在燒杯上方加裝了由 4 個 LED 燈珠並聯的 LED 陣列光源，利用調整輸入電壓依序為 3.91V、3.13V、2.34V、1.56V 及 0.78V 來表示不同的亮度 1~5，進行閾值位置(反應速度最大值發生時間點)之測量。

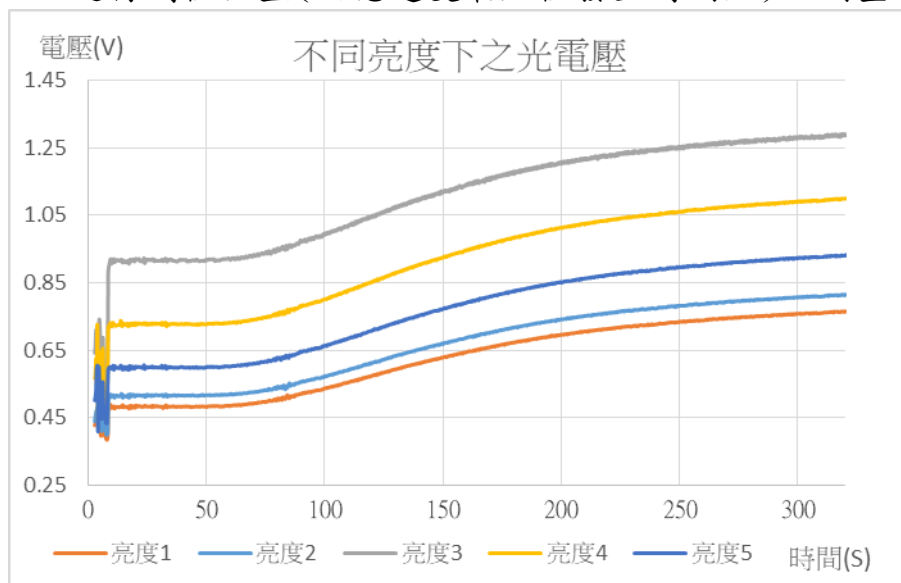


圖 7 不同亮度環境光對實驗之影響

不同操作變因下之反應最快時間點(閾值)								
操作變因	硫代硫酸鈉		鹽酸		LED 燈電壓(V)	感測器編號	反應最快時間點(ms)	
	濃度(M)	體積(cc)	濃度(M)	體積(cc)				
外界不同光源	0.05	30	0.05	30	3.91	A2	123.73	1.37%
	0.05	30	0.05	30	3.13	A2	124.37	1.56%
	0.05	30	0.05	30	2.34	A2	125.30	1.62%
	0.05	30	0.05	30	1.56	A2	125.64	1.43%
	0.05	30	0.05	30	0.78	A2	122.22	1.34%

表 3 在不同亮度環境光(光源)下，閾值之變化

由表知，在不同光源下，反應速度最大值的時間點平均值在 124.3 秒附近，代表閾值幾乎不受外界光源之影響。

## (二)不同光敏偵測器之影響

我們利用四個同款的光敏模組作為偵測器，進行閾值位置(反應速度最大值發生時間點)之測量。

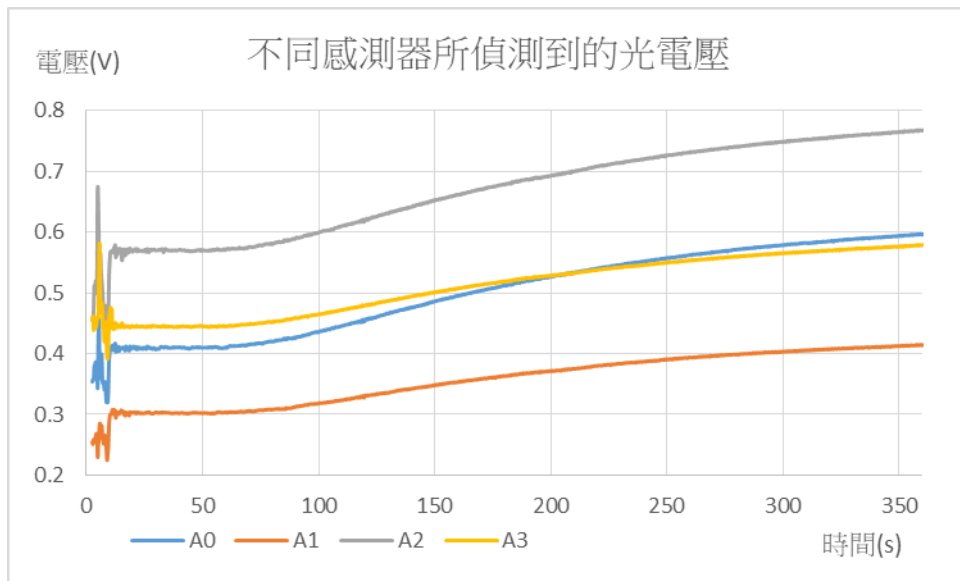


圖 8 不同光敏偵測器對實驗之影響

不同操作變因下之反應最快時間點								
操作變因	硫代硫酸鈉		鹽酸		LED 燈電壓 (V)	感測器編號	反應最快時間點 (ms)	
	濃度 (M)	體積 (cc)	濃度 (M)	體積 (cc)				
不同感測器	0.05	30	0.05	30	2.34	A0	128.20	1.16%
	0.05	30	0.05	30	2.34	A1	125.30	1.10%
	0.05	30	0.05	30	2.34	A2	125.52	1.62%
	0.05	30	0.05	30	2.34	A3	123.27	1.01%

表 4 使用 4 個未校準之光敏模組量測下，閾值之變化

- (一) 因為四個光敏模組並沒有統一歸零，故對光的響應各有不同，甚至可看出 A0 與 A3 兩個模組的曲線有交會過。
- (二) 雖然每個光敏模組對光的響應不同，由表 4 知，反應速度最大值的時間點平均值都在 125.5 秒附近，代表閾值幾乎不受光敏偵測器之影響。

### (三)不同溶液體積之影響

利用三杯不同體積之溶液，進行閾值位置(反應速度最大值發生時間點)之測量。

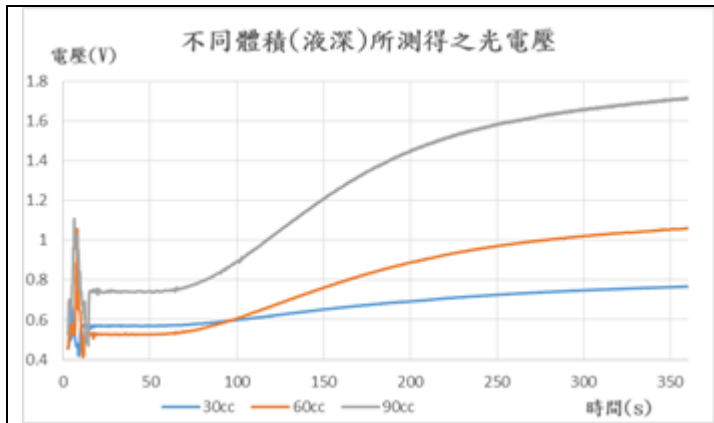


圖 9 不同容量(溶液深度)對實驗之影響

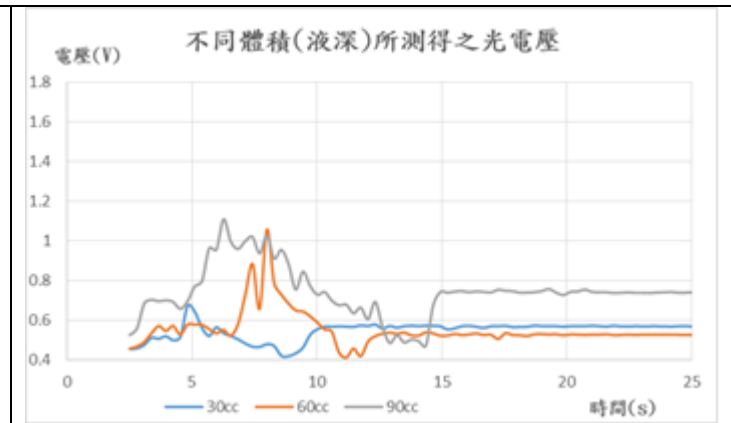


圖 10 取圖 9 的前 25 秒。體積大者，手動倒入時間較長，以致多花 2-3 秒才達閾值。

不同操作變因下之反應最快時間點								
操作變因	硫代硫酸鈉		鹽酸		LED 燈電壓(V)	感測器編號	反應最快時間點(ms)	
	濃度(M)	體積(cc)	濃度(M)	體積(cc)				
不同溶液體積	0.05	30	0.05	30	2.34	A2	125.30	1.62%
	0.05	60	0.05	60	2.34	A2	128.14	2.31%
	0.05	90	0.05	90	2.34	A2	127.81	2.16%

表 5 倒入同濃度但不同容量之反應物時，閾值之變化

- (一) 由平均值看出反應速度最大值的時間點平均值都在 127.8 秒附近，這似乎明顯比不同光源與不同偵測器值平均值(約 125 秒)大
- (二) 由圖 9 的前端放大如圖 10 可看出，因為溶液體積變多，需要更久的時間才能倒完及趨於穩定，所以達到閾值需要更久的時間，另外從圖 10 最高點可看出，我們在倒入 60cc 的動作偏慢，以致反應速度最大值的時間點被延長。
- (三) 整體而言，扣除各 60cc 與各 90cc 手動混和花了較長的時間外，水溶液多寡似乎也不影響閾值的時間點。



### 三、反應速率最大值之反應級數

為求數據的穩定，我們進行四步驟優化(如表???)，ABCD 優化範圍分別取 25、25、10 及 10。

我們將 10 組實驗數據以圖表方式表列如下表

	全時域電壓與電壓變化分布	局部時段電壓與電壓變化分布
EXP N-1	<p>電壓(V) ( [Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], [HCl] )=( 0.1M, 0.025M ) 電壓變化 (V/ms)</p> <p>時間(ms)</p>	<p>電壓(V) ( [Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], [HCl] )=( 0.1M, 0.025M ) 電壓變化 (V/ms)</p> <p>時間(ms)</p>
EXP N-2	<p>電壓(V) ( [Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], [HCl] )=( 0.1M, 0.05M ) 電壓變化 (V/ms)</p> <p>時間(ms)</p>	<p>電壓(V) ( [Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], [HCl] )=( 0.1M, 0.05M ) 電壓變化 (V/ms)</p> <p>時間(ms)</p>
EXP N-3	<p>電壓(V) ( [Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], [HCl] )=( 0.1M, 0.075M ) 電壓變化 (V/ms)</p> <p>時間(ms)</p>	<p>電壓(V) ( [Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], [HCl] )=( 0.1M, 0.075M ) 電壓變化 (V/ms)</p> <p>時間(ms)</p>
EXP N-4	<p>電壓(V) ( [Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], [HCl] )=( 0.1M, 0.1M ) 電壓變化 (V/ms)</p> <p>時間(ms)</p>	<p>電壓(V) ( [Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], [HCl] )=( 0.1M, 0.1M ) 電壓變化 (V/ms)</p> <p>時間(ms)</p>
EXP N-5	<p>電壓(V) ( [Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], [HCl] )=( 0.1M, 0.125M ) 電壓變化 (V/ms)</p> <p>時間(ms)</p>	<p>電壓(V) ( [Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], [HCl] )=( 0.1M, 0.125M ) 電壓變化 (V/ms)</p> <p>時間(ms)</p>
	全時域電壓與電壓變化分布	局部時段電壓與電壓變化分布

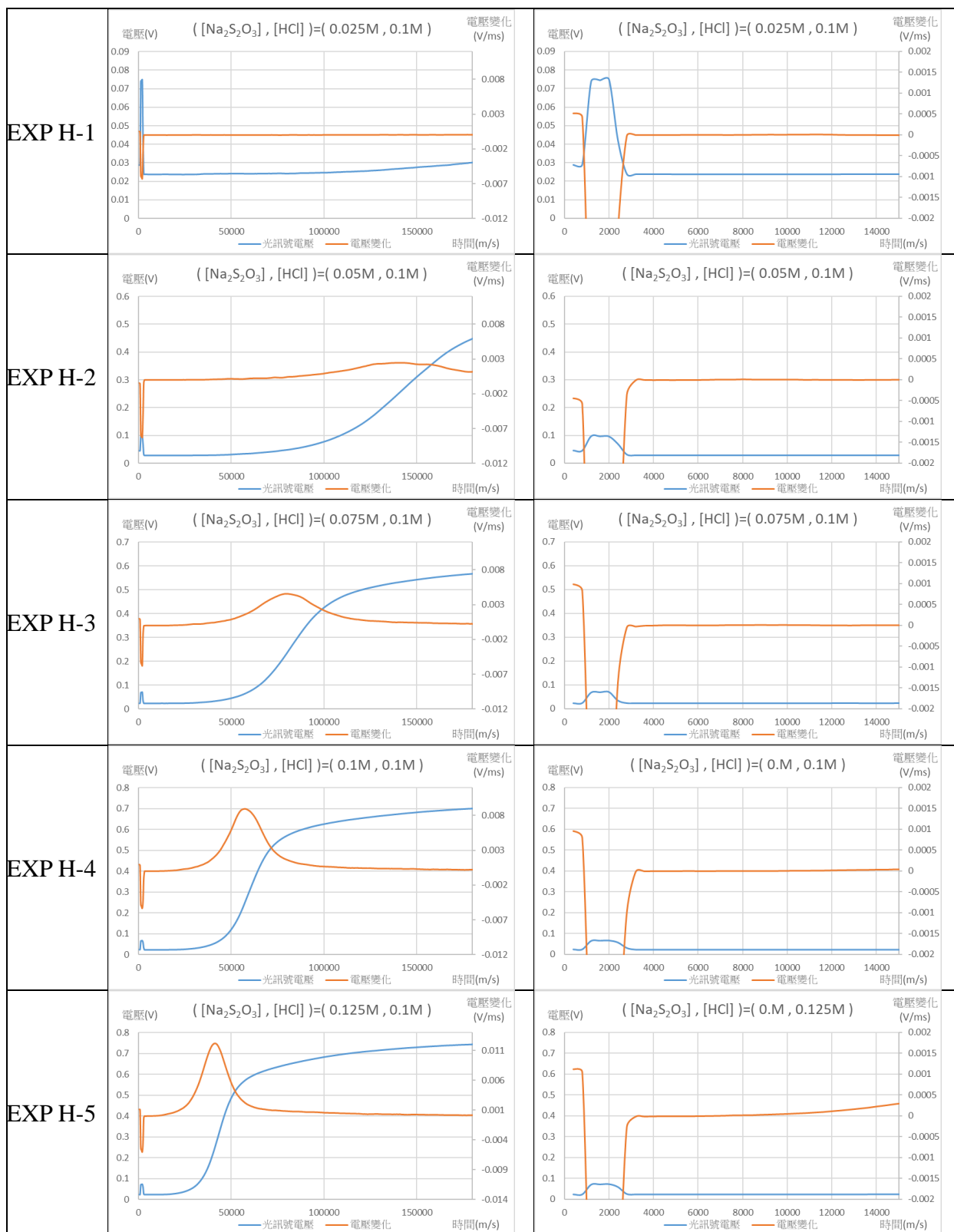


表 6 不同濃度之溶液反應實驗數據列表

我們將表 2 的結果節錄至下表

實驗別	混合前 Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 濃度(M)	混合前 HCl 濃度(M)	倒入時間 A (s)	倒完時間 B (s)	明顯產硫時間 C (s)	快速產硫時間 D (s)
EXP N-1	0.1	0.025	0.8	2.4	12.8	89.2
EXP N-2	0.1	0.05	0.8	2.4	12.4	72.0
EXP N-3	0.1	0.075	0.8	2.4	10.8	64.0
EXP N-4	0.1	0.1	0.8	2.4	11.6	55.6
EXP N-5	0.1	0.125	0.8	2.4	12.8	46.8
EXP H-1	0.025	0.1	0.8	2.4	181.6	未量出見(4)
EXP H-2	0.05	0.1	0.8	2.4	38.8	139.6
EXP H-3	0.075	0.1	0.8	2.4	22.8	81.2
EXP H-4	0.1	0.1	0.8	2.4	16.4	58.8
EXP H-5	0.125	0.1	0.8	2.8	10.4	43.2

表 7 不同溶液反應到達 A(倒入時間)、B(倒完時間)、C(明顯產硫之時間)、D(快速產硫之時間)點之時刻列表

表 7 中，

- (1) 我們將各組數據擷取後，都手動將倒入時間點當成 0.8 s，並以此點為標準開始擷取後續之數據。
- (2) 10 個實驗中發現，我們將兩溶液混和大約都花 1.6~2 秒鐘。
- (3) EXP H-1 中，因為硫代硫酸鈉濃度太淡，以致無法在我們預設的 180 秒內量出快速產硫之時間。
- (4) 我們預設實驗的時間只有 180 秒是因為硫在水中並非溶液，時間過久硫將發生沉澱，影響透光度。

	混合前 Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 濃度(M)	混合前 HCl 濃度(M)	快速產硫之速度 D		
			相對倒入 之時刻 A	相對倒完 之時刻 B	相對明顯產生硫 之時刻 C
EXP N-1	0.1	0.025	1.131E-05	1.152E-05	1.309E-05
EXP N-2	0.1	0.05	1.404E-05	1.437E-05	1.678E-05
EXP N-3	0.1	0.075	1.582E-05	1.623E-05	1.880E-05
EXP N-4	0.1	0.1	1.825E-05	1.880E-05	2.273E-05
EXP N-5	0.1	0.125	2.174E-05	2.252E-05	2.941E-05

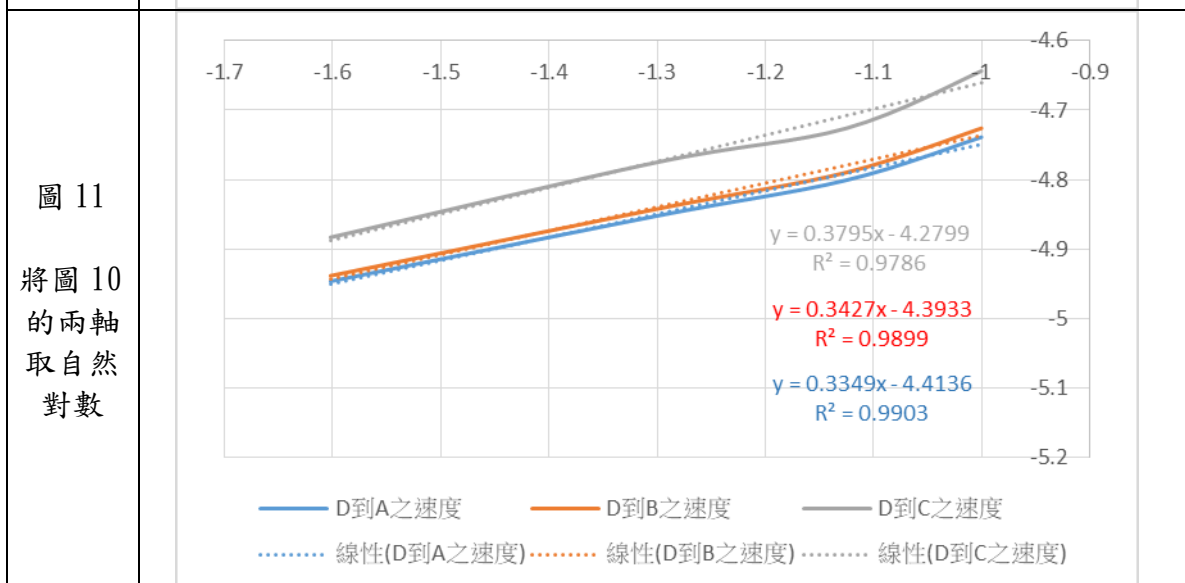
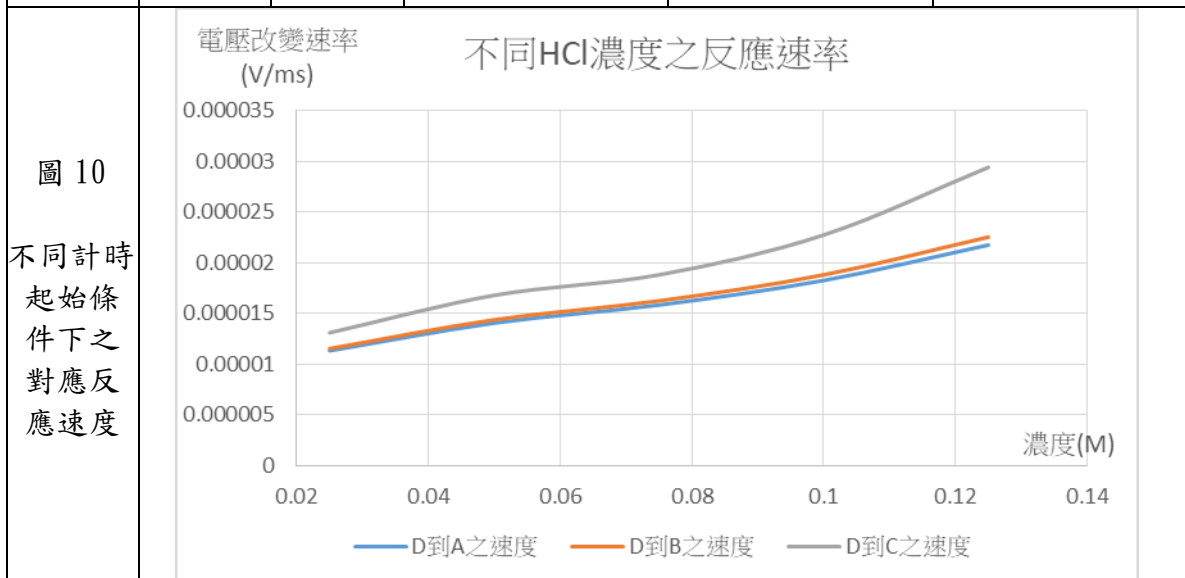


表 8 不同濃度的鹽酸，在不同計時起始條件下之對應反應速度列表，其中各點分別為 A(倒入時間)、B(倒完時間)、C(明顯產硫之時間)、D(快速產硫之時間)點之時刻。

根據方程式(1)，我們將圖 10 兩軸取自然對數並作圖求得趨勢線，我們發現，似乎計時的起始點可以直接以倒入瞬間來計算即可。

	混合前 Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 濃度(M)	混合前 HCl 濃度(M)	快速產硫之速度 D		
			相對倒入 之時刻 A	相對倒完 之時刻 B	相對明顯產生硫 之時刻 C
EXP H-1	0.025	0.1	未量出	未量出	未量出
EXP H-2	0.05	0.1	7.205E-06	7.289E-06	9.921E-06
EXP H-3	0.075	0.1	1.244E-05	1.269E-05	1.712E-05
EXP H-4	0.1	0.1	1.724E-05	1.773E-05	2.358E-05
EXP H-5	0.125	0.1	2.358E-05	2.475E-05	3.049E-05

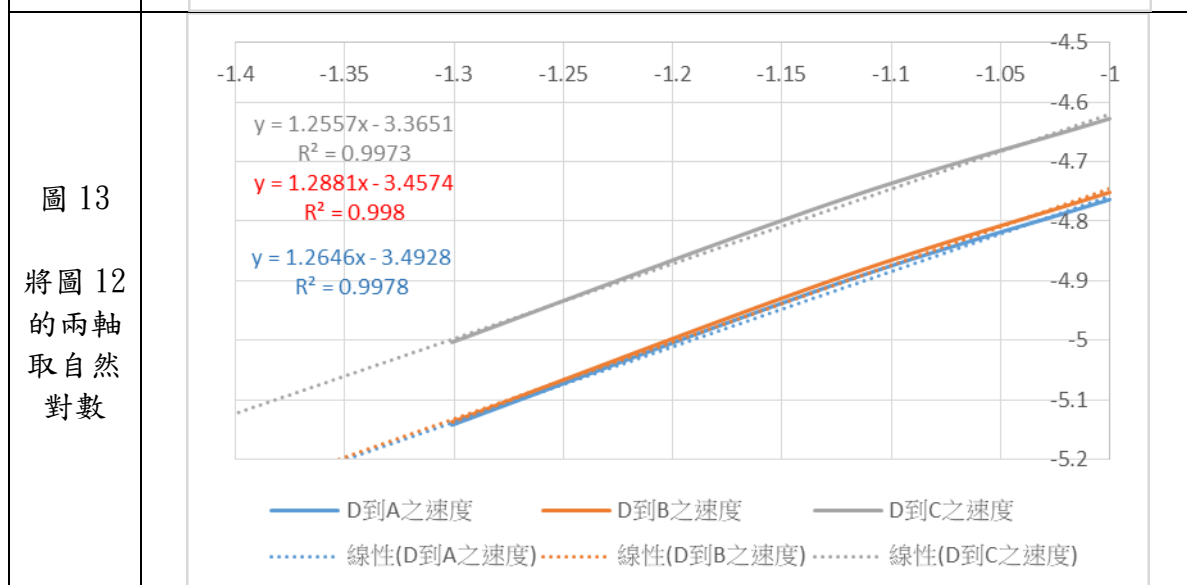
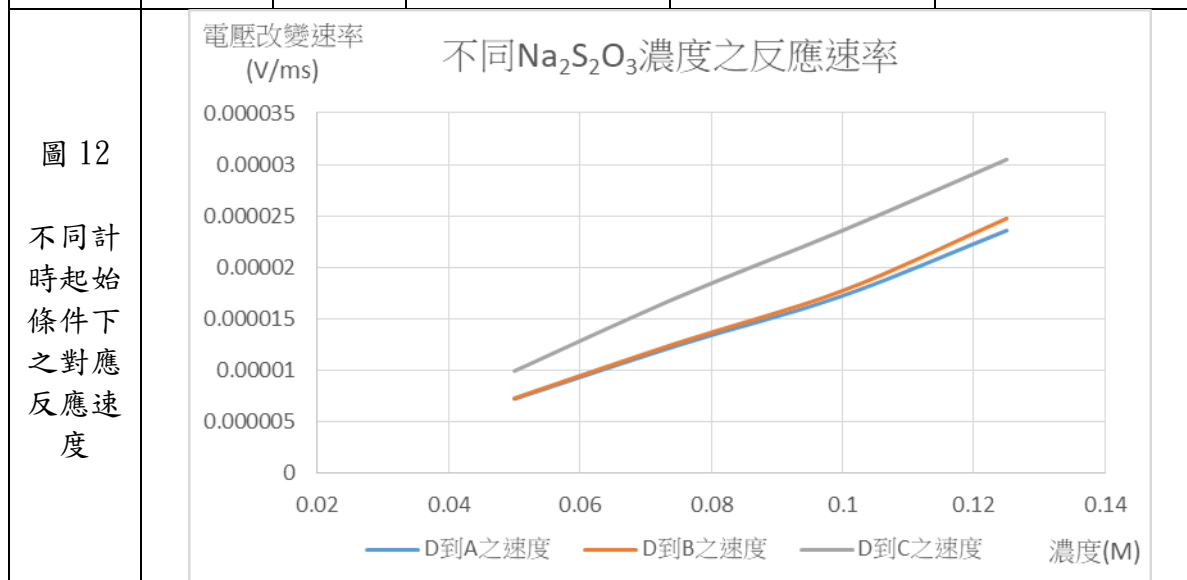


表 9 不同濃度的鹽酸，在不同計時起始條件下之對應反應速度列表，其中各點分別為 A(倒入時間)、B(倒完時間)、C(明顯產硫之時間)、D(快速產硫之時間)點之時刻。

根據方程式(1)，我們將圖 10 兩軸取自然對數並作圖求得趨勢線  
綜合表 8 及表 9 之結果

	量測區間					
	硫產量最快至 剛倒入之間		硫產量最快至 剛倒完之間		硫產量最快至 硫明顯產出之間	
	級數	R <sup>2</sup>	級數	R <sup>2</sup>	級數	R <sup>2</sup>
硫代硫酸鈉	1.265	0.998	1.288	0.998	1.256	0.997
鹽酸	0.335	0.990	0.3427	0.990	0.3795	0.979

表 10 硫代硫酸鈉與鹽酸反應達反應最快時之反應級數

我們發現，似乎計時的起始點可以直接以倒入瞬間來計算即可。

## 伍、討論

### 一、有關實驗裝置

#### (一)環境光

問題：一開始我們直接以光敏電阻在明亮的實驗室直接實驗，我們發現偵測器過度靈敏，連我們走動的光影也被記錄進去。

改進方式：

(1)自製裝置(如圖 1)，一來固定雷射與光敏電阻的位置，二來黑色的外殼也部分減少外來光線的進入，最後我們在整個裝置外面又罩上一個大紙箱，大幅減少側光的進入。

(2)實驗裝置至於桌面上，電腦與人都蹲到桌面下作業。

問題：因為要同時比較多個光敏偵測器對閾值之影響，我們無法使用雷射進行單點量測，我們改用 LED 光源進行多點量測，但 LED 亮度不足必須使用多個 LED 亮度才夠，但每個 LED 穩定度不同，造成整體亮度有些許飄動

改進方式：希望能買到雷射擴束片，將雷射光的截面積均勻擴展。

#### (二)液體倒入的時間差

問題：我們為避免撞擊裝置外圍遮光用的紙箱，我們小心翼翼將溶液倒入但卻不免質疑速度是否固定，太快怕濺出、太慢怕影響量側結果。

改進方式

(1)目前沒有辦法有效控制倒入速度，只好請同一位同學練習倒入的動作，儘量讓每次倒入的速度皆相同

(2)本來要自製機器手臂用程控來控制到入的速度，但燒杯重量偏重與手臂的夾力不足，以致倒入時液體容易傾倒，因此本次實驗沒有採用，有點可惜。

#### (三)雷射的入射角度

問題：我們懷疑當硫沉澱時。光的折射率改變會造成雷射光點照不到光敏電阻。

改進方式：

(1)我們先利用雷射鏡頭前方的可調凸透鏡片將雷射光點調大，並採儘量直

射的角度進行照射。

(2)我們嘗試改用 LED 光照射，但亮度偏暗且 LED 的光強度相較較不穩定。

## 二、有關化學反應

### (一)實驗的容器

問題：我們發現即使是同樣是 250CC 的燒杯，不同時期購入的燒杯外觀還是不一樣。

改進方式：我們取同一時期購入的燒杯(250CC)，並以裝滿半杯為目標，故兩溶液都各取 60CC。

### (二)實驗的溶液濃度

問題：

1. 一開始我們以 0.8M 的濃度進行實驗，雖然速度反應很快，偵測器偵測也沒困難，但因為手動倒入的速度不太固定且偏慢，此倒入的誤差偏大。

2. 實驗後發現，有一堆硫就沉澱卡在杯底，確實會影響後須光強度量測。

改進方式：我們將實驗濃度減低為 0.025、0.05、0.75、0.1 及 0.125M 五個等級，

1. 一來延長實驗量測時間(減少 混合溶液之時間差 所佔之比例)，

2. 二來避免硫沉澱卡杯底造成誤差。

## 三、數位取值

### (一)電腦數據擷取

問題：我們一開始利用程控的延遲效果，讓電腦一秒呈現 50 組數據，但我們發現，光是讀取雷射光強度的數據，就發現數據浮動很大。

改進方式：我們改採讓電腦內部先讀取 50 個數據並進行平均後，才呈現第一組數據，然後每秒產生 25 組數據，此時我們發現數據穩定度大增。

### (二)EXCEL 數據處理

問題：我們發現亮度類比訊號只有 10 bit，也就是我們所測得的電壓只被分解成 1024 階，以致即使是穩定的純雷射光照射，其量測出來的電壓也會明顯的上下跳動

改進方式：我們將數據讀出後，以 EXCEL 進行高次方 TREND 函數的修正，不



但電壓值趨於穩定，也可明顯看出電壓變化速度之分布。

#### 四、為什麼不量久一點去找反應停滯的點？

因為反應應該不會完全結束，就算將近結束的時刻，硫在水中並非溶液，硫會開始發生沉澱的現象，故光強度會發生非預期的改變，故量測時間不宜太久，因此本次實驗統一以 3 分鐘為限。

#### 五、本實驗最大盲點(優點?)

光敏電阻上之光強度不等於光敏電阻對應的電壓值，也不等於硫的沉澱量，但本實驗所量測的是倒入開始的**時間點**、倒入完成的**時間點**、硫明顯產出的**時間點**與硫快速產出的**時間點**，都**不是量測產量**，都**只量訊號的變化的瞬間**，故無需校正每個光敏電阻。

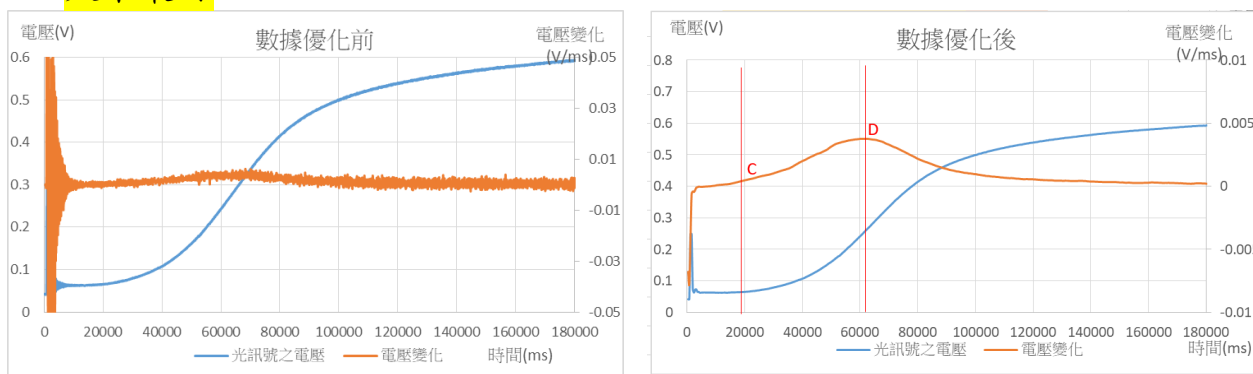
## 陸、結論

### 一、我們的目的

本實驗大部分的篇幅都圍繞在硫代硫酸鈉、鹽酸與硫沉澱的光訊號對應電壓，但我們真正的目的是在介紹一個數位量測與數據優化的方法。大部分此類秒表實驗進行數位化，都只是為了取代馬表進行更精確的計時，也就是說沒有利用數位量測也可以。但我們利用 ARDUINO 是為了連續記錄全時段的電壓強度變化，而非單純的起點與終點兩個時間點的計時，有了全時段的數據才能用 EXCEL 的 AVERAGE 與高次方 TREND 優化數據，才能找出我們要的閾值。

### 二、實驗結果

(一)我們可選擇性針對原始光敏電阻所測之電壓(代表硫沉澱)與電壓差(代表硫沉澱速度或整體化學反應速度)各進行 AVERAGE 與高次方(三次方)TREND 優化，我們發現同時對電壓與電壓差都進行 AVERAGE 與高次方 TREND 優化效果最好。



### (二)閾值的獨立性

我們屏除人為自訂實驗終點(閾值)，改以化學反應最快的點當成閾值，這個點源自兩化合物的本性，並不受人為影響，並由實驗測試(硫代硫酸鈉與鹽酸溶液各 0.05M)得知，該閾值

(1)不受外界光源亮度影響

在 5 個不同光源下，平均閾值之時間點為  $124.3 \pm 1.36$  秒

(2)不受感應器校準與否之影響

我們使用 4 個光敏感測器同時偵測，雖然如圖 8 可發現每個感測器對光的響應程度不同，但平均閾值之時間點為  $125.5 \pm 2.03$  秒

(3)不受反應物容量影響

在 3 個不同反應物容量下(如圖 11)，每個實驗透光度皆不同，但平均

閾值之時間點為  $127.8 \pm 2.42$  秒，相較(1)、(2)多了約兩秒，主要是因為後來溶液量變多，手動倒入的時間也變長所致。

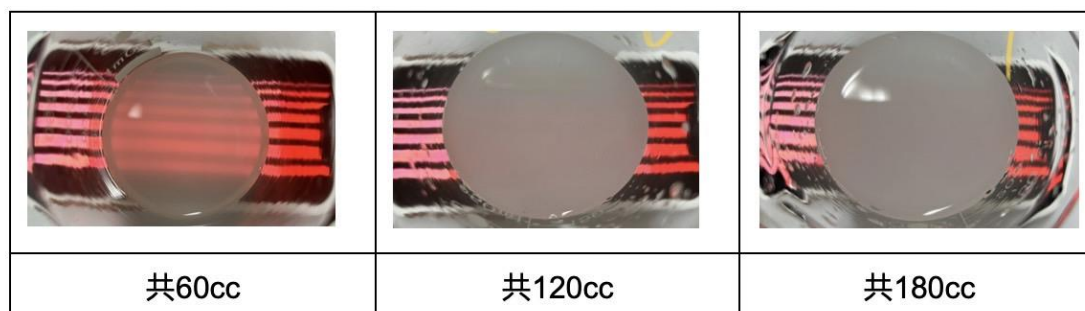


圖 11，不同容量(混和後)透光度明顯不同，但經由卻有一樣的變化最快點(閾值)

### (三)達到反應最快時之反應速率級數

由圖 11、13 我們利用 EXCEL 線性回歸求得硫快速產出之反應速率資訊為：硫代硫酸鈉的反應級數大概為 1.25~1.28 之間，鹽酸的反應級數約為 0.33~0.37 之間，而且  $R^2$  都近似 0.99，精確度頗高。

	量測區間					
	硫產量最快至 剛倒入之間		硫產量最快至 剛倒完之間		硫產量最快至 硫明顯產出之間	
	級數	$R^2$	級數	$R^2$	級數	$R^2$
硫代硫酸鈉	1.265	0.998	1.288	0.998	1.256	0.997
鹽酸	0.335	0.990	0.3427	0.990	0.3795	0.979

本實驗的濃度選擇都偏淡，主要是因為我們都採手動混和溶液，無法有效控制溶液混和之時間，但在這些低濃度反應中，量測起點採溶液倒入開始的**時間點**、倒入完成的**時間點**或硫明顯產出的**時間點**皆可，對反應級數都沒甚麼太大變化。

### 三、應用

本實驗技術除了可以用來做一些基本化學數位量測外，我們期待用來監測、預測警示可能發生的事情。例如：海水矽酸鹽的增加，用來預測馬祖藍眼淚爆發的時機；地熱區的稀有氣體增加，用來預測地殼變動的狀況；水中溶氧量變化，控制水產產量等。

## 柒、參考文獻資料

- [1]國中自然與生活科技第四冊，反應速率，康軒出版社。
- [2]葉亦心，「硫晶」歲月—自製偵測器探討硫代硫酸鈉與鹽酸之反應速率，第五十一屆全國中小學科展。
- [3]湯又明，快快快看誰反應快-利用光敏電阻測定反應速率，第四十七屆全國中小學科展。
- [4]莊博璋，快您喝的水多「氣」了嗎，第五十八屆全國中小學科展。
- [5]陳千慈、陳致學，自製光感應工具在國中化學實驗的應用，金門地區第 59 屆科學作品
- [6] 蔡佳欣、陳敬元，消失的十字架，第六十屆全國中小學科展
- [7] 何君郁、曾筠惠，以自組 LED 光電測定儀連續測定觀察結晶紫的褪色反應，第五十五屆全國中小學科展
- [8] 何君郁、李炤彤、王春喜，自組簡易多功能光度計微觀碘鐘反應之變化及其反應速率，第五十六屆全國中小學科展

※書寫說明：

1. 作品說明書一律以 A4 大小紙張由左至右打字印刷（或正楷書寫影印）並裝訂成冊。
2. 作品說明書內容，總頁數以 30 頁為限（不含封面、封底及目錄）。
3. 內容使用標題次序為壹、一、(一)、1、(1)。
4. 研究動機內容應包括作品與教材相關性（教學單元）之說明。
5. 原始紀錄資料（一律以 A4 大小紙張裝訂成冊）須攜往評審會場供評審委員查閱，請勿將研究日誌或實驗觀察原始紀錄正本或影本寄交科教館，科教館將予以退回，不代為轉交評審委員。
6. 作品說明書自本頁起請勿出現校名、作者、校長及指導教師姓名等，並且照片中不得出現作者或指導教師之臉部，以便密封作業。
7. 本作品說明書電腦檔案（PDF 檔及 WORD 檔或 ODT 檔，檔案大小限 10M Bytes 以內）供評審委員審查。
8. 作品若有引用他人研究、延續自己先前已發表之研究等，應在作品說明書中詳實寫出本次作品創新部分或自己參與研究之比重。
9. 參考資料書寫方式請參考最新 APA 格式。（附錄供參考）

## 【評語】 032901

本作品透過自製光學感測系統偵測化學反應產生顆粒所造成的光學遮蔽性作為判斷化學反應程度的依據，並利用數據平均化 TREND 函數對時間三次方優化作圖以提高數據的可判讀性。該系統可取代人眼觀測，降低人為判斷上的誤差，並已由實驗驗證出對時間判斷的精確性，且可由該系統訂出反應動力級數，未來具應用潛力。後續可在感測系統準確度與偵測極限上著墨，以明確應用範圍與可行性。

# 作品海報

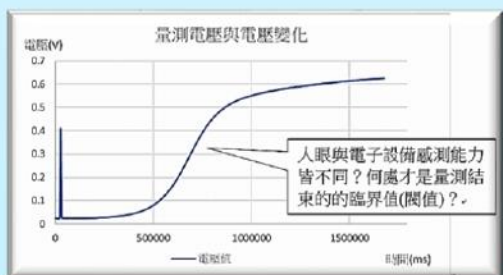
Arduino 與 Excel 在化學反應

連續量測之應用—秒錶實驗



## 壹、研究動機

八年級時，老師帶我們進行硫代硫酸鈉水溶液與鹽酸混和實驗，當時課本要我們以肉眼觀察及手持碼表來進行硫沉澱遮蔽的紀錄，但我們對當時實驗準確性產生疑慮，於是想要找到一個外在環境影響（光源明暗、儀器好壞、反應物多寡）的方法。



## 貳、文獻回顧

### (一)傳統教科書量測方式

教科書如康軒[1]，都建議以肉眼配合碼表進行硫覆蓋標記的時差，只要起始濃度與個對照組濃度差異夠大，**定性上確實可達該有的效果。**

### (二)初階電子量測方式

為必免人為量測誤差，開始有實驗利用電子電路測量特定自訂閾值，如配合光敏電阻設定特定閾值以觸動蜂鳴器[2]、利用三用電表[3-4]紀錄特定電壓的時間點或利用小夜燈光敏電阻的臨界開關電壓[5]，**這些實驗幾乎都是手動時間量測，但閾值出於自訂或偵測器的預設值**，這些閾值的設定就顯得不夠客觀。

### (三)進階數位化量測方式

因為 ARDUINO 微控制器平台有內建時間序再配合各種模組，於是也被利用來**取代手持碼表的各種實驗量測，但部分實驗還是只做自訂閾值的時間差量測**[6]。

### (四)數位化連續量測方式

[7][8]利用 ARDUINO 微控制器平台進行實驗的**連續量測，該實驗的用意只想看出約在某個時間區間趨勢，並無明確指出較精確的變化時間點。**

### (五)EXCEL 函數 在數據上之分析

承(四)，因受限電子儀器精確度，一般實驗設計都只能找出趨勢變化的時間區段。**我們利用 EXCEL 進行數據優化，成功將全程個時間點的反應速度找出；**但有關 EXCEL 的 AVERAGE 函數與高次方 TREND 函數使用與否對數據的影響這部分，在我們能力所及下查不到相關探討。

## 參、研究目的與方法

目的一：  
建立連續數位量測系統

- (1)加入可控亮度之光源
- (2)加入量測亮度之光敏電阻
- (3)不斷改進量測設備

得到

- (1)硫沉澱之遮蔽光電壓值
- (2)雜亂的光電壓變化值分布

目的二：  
連續量測之數據處理

- (1) EXCEL 取平均
- (2) EXCEL 高次方 TREND
- (3) 平均 + 高次方 TREND

得到

- (1)可分析之光電壓變化分布
- (2)找到非人為定義之閾值

目的三：  
閾值的獨立性探討

- (1)偵測器良莠的影響
- (2)外界光源的影響
- (3)水溶液多寡之影響

目的四：  
反應速率最大值之反應級數

- (1)固定硫代硫酸鈉 0.1M；改變鹽酸濃度
- (2)固定鹽酸 0.1M；改變硫代硫酸鈉濃度

比較：

在低濃度下，實驗的起始點應在何時；剛倒入時；倒完時？還是開始沉澱時？

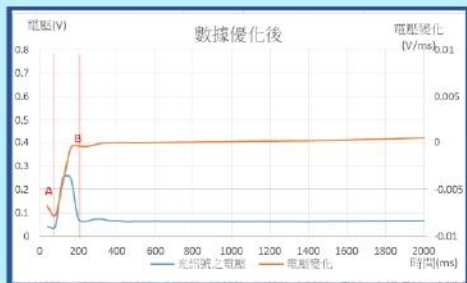
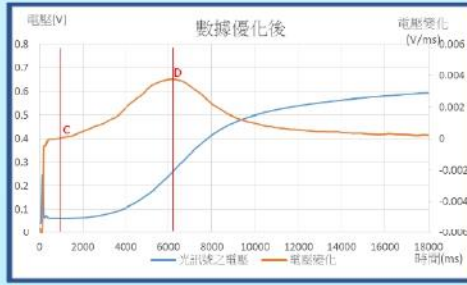
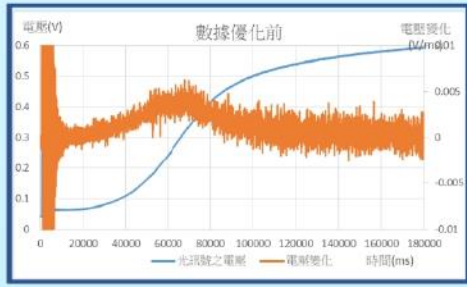
## 肆、研究設備與過程

### 一：建立連續數位量測系統

自製量測設備(示意圖如下)

說明	圖片
完整示意圖	
初期 無遮光 無外加光源	
中期 有遮光 外加雷射 (鐵絲固定)	
後期 有遮光 加雷射、LED (以鐵架固定)	

## 二、連續量測之數據處理



### 藍線

硫遮蔽後之光電壓，用來表示沉澱量

### 橘線

任兩點電壓差值，用來表示反應速率

全區 強光照射時，所測得電壓將下降，電壓越高所測得亮度越低。

**A 點** 兩溶液開始倒入之瞬間

→ 一開始電壓波動最大開始處

**B 點** 兩溶液倒入完畢之瞬間

→ 一開始電壓波動最大結束處

**C 點** 硫開始明顯產生之瞬間

→ 電壓變化由 0 開始變大之處

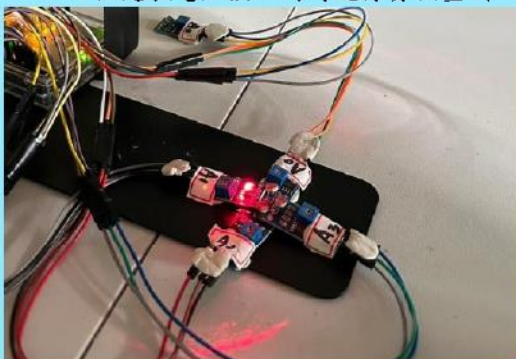
**D 區** 硫產生速度最快之瞬間

→ 斜率最大

## 三、閾值的獨立性探討

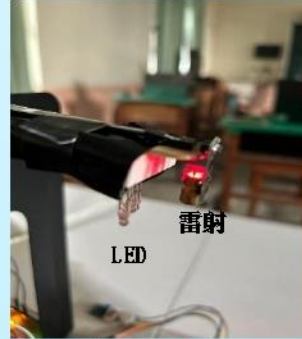
### (一)偵測器之良莠(或校正)

以四個光敏電阻模組同時進行實驗量測



### (二)外界光源的影響

我們改變 LED 燈的亮度進行實驗量測



### (三)水溶液多寡之影響

以相同濃度但容量分別各為 30、60、90 毫升的水溶液進行實驗

## 四：反應速率最大之反應級數

### (一)求鹽酸反應級數

固定硫代硫酸鈉 0.1M；

鹽酸分別 0.025、0.05、0.075、0.1、0.125M

### (二)求硫代硫酸鈉反應級數

固定鹽酸 0.1M；

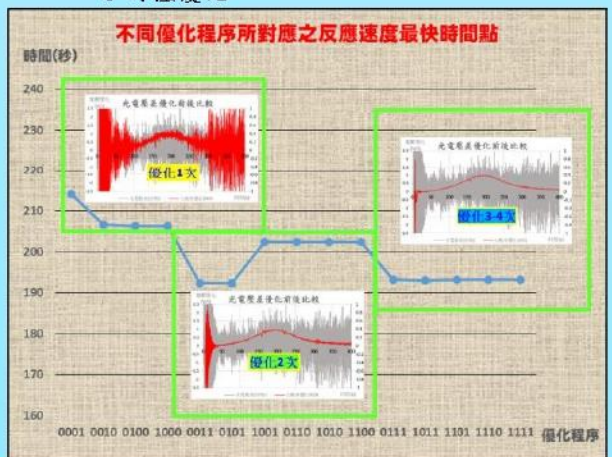
硫代硫酸鈉分別 0.025、0.05、0.075、0.1、0.125M

## 伍、研究結果

### 一、連續量測之數據處理



其中，優化程序 ABCD 若為 1010，代表只執行 A 與 C 兩種優化。



### 結論

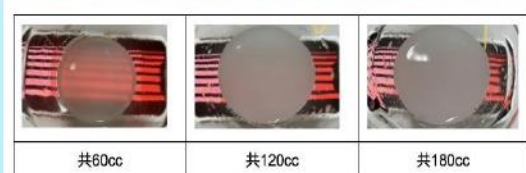
不取優化(灰底)，數值幾乎看不出任何趨勢  
取 1 次優化，可略看出趨勢，但數值跳動仍偏大  
取 2 次優化，明顯看出趨勢，數值跳動明顯偏小  
取 3-4 次優化，可明顯找出我們要找的閾值

## 二、閾值的獨立性探討

閾值獨立性測試			反應最快時間點(s)
操作變因			
外界光源亮度影響	LED 電壓	3.91 V	123.73
		3.13 V	124.37
		2.34 V	125.3
		1.56 V	125.64
		0.78 V	122.22
感應器良莠的影響	感測器編號	A0	128.20
		A1	125.30
		A2	125.52
		A3	123.27
反應物多寡的影響	溶液體積	30 ml	125.30
		60 ml	128.14
		90 ml	127.81

原控制變因：

- (1) LED 電壓 2.34V；
- (2) 感應器編號 A2；
- (3)  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$  及  $\text{HCl}$  分別為 0.05M 各 30ml。



結論

光源亮度變化、感測器是否校正與反應物多寡，幾乎都不致影響反應最快的發生時間點

## 三、反應速率最大値之反應級數

	量測區間					
	硫產量最快至剛倒入之間		硫產量最快至剛倒完之間		硫產量最快至硫明顯產出之間	
	級數	$R^2$	級數	$R^2$	級數	$R^2$
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	1.265	0.998	1.288	0.998	1.256	0.997
$\text{HCl}$	0.335	0.990	0.343	0.990	0.380	0.979

結論

- (1) 在低濃度的反應下，不論量測起點為何，反應級數都相差不大， $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$  級數約為 1.26 而  $\text{HCl}$  的級數約為 0.35。

陸、討論

### 一、溶液反應的均勻性

- (1) 我們利用漏斗讓兩容易入杯前先行混合，如下圖可見溶液混合時確實產生蠻大的擾動
- (2) 我們用 4 個偵測器也量出相近的結果，代表混合程度不差。



## 二、閾值為什麼不挑反應結束之時

實驗之初，我們確實要找反應結束之時當作閾值，但後來發現實驗好像難以完全停止，而切後來亮度變化及小，很難找出一個明確的實驗結束之時間點

## 三、硫沉澱對光亮度的影響

1. 實驗若太久，硫將沉澱卡杯底，影響光的量測，因此我們濃度的選擇是以不要太快就完成，也不要時間拖太久。
2. 有其他老師建議我們改用碘來進行實驗，但這似乎與我們原始想進行本實驗探討的動機不符，所以未更改實驗對象。

## 四、為什麼感應器無須進行光流明之校正

本實驗的閾值是找反應最快的時刻，這是一個相對值而不是一個絕對值，所以我們無須找出量得電壓與光流明之對應關係，我們只要找出變化最快的時刻便可。

## 五、倒入的時間差

目前沒有辦法有效控制倒入速度，只好請同一位同學練習倒入的動作，儘量讓每次倒入的速度皆相同，希望將來自製機器手臂用程控來控制到入的速度。

## 六、LED 與雷射光源的比較

1. 雷射光穩定適合單個光感應器實驗之操作，但因硫產生造成折射率改變，會有光點偏移之疑慮
2. LED 陣列照射面積大，但陣列中每個燈珠亮度較不穩定，所以數據會較差。

## 柒、參考文獻資料

- [1] 國中自然與生活科技第四冊，反應速率，康軒出版社。
- [2] 葉亦心，「硫晶」歲月—自製偵測器探討硫代硫酸鈉與鹽酸之反應速率，第五十一屆全國中小學科展。
- [3] 湯又明，快快快看誰反應快—利用光敏電阻測定反應速率，第四十七屆全國中小學科展。
- [4] 莊博瑋，快您喝的水多「氧」了嗎，第五十八屆全國中小學科展。
- [5] 陳千慈、陳致學，自製光感應工具在國中化學實驗的應用，金門地區第 59 屆科學作品
- [6] 蔡佳欣、陳敬元，消失的十字架，第六十屆全國中小學科展
- [7] 何君郁、曾筠惠，以自組 LED 光電測定儀連續測定觀察結晶紫的褪色反應，第五十五屆全國中小學科展
- [8] 何君郁、李炤彤、王春喜，自組簡易多功能光度計微觀碘鐘反應之變化及其反應速率，第五十六屆全國中小學科展。