中華民國第四十七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

第三名

030801

「硫」來「硫」去－「硫」成愁－自製微型化學儀器，檢測空氣中硫化氫含量

學校名稱：高雄市立後勁國民中學

作者：	指導老師：
國三 鄭玉松	蕭虹
國三 莊頌平	陳佳琪

關鍵詞：硫化氫　亞甲藍　自製微型化學儀器

摘　要

在學校上課時，偶爾傳來隱約的臭味，此時我們想瞭解這些臭味是什麼成份？依據所查的資料顯示，硫化氫是臭味主要來源之一。於是我們大家分頭收集資料，發現環保署網站上所公佈環境檢測標準方法是使用「甲烯藍比色法」(亞甲藍比色法)[文獻二]。我們依據環保署資料實驗，並自製設計「微型攜帶式化學儀器」，實際去偵測學校四周的空氣是否含有硫化氫，並配合LED燈、光敏電阻及三用電錶，可有效的檢測出硫化氫的存在。在自製微型化學儀器對硫化氫檢測分析結果誤差值在4%以內，偵測極限爲0.03ppm。

貳、研究動機

學校在煉油廠附近，當我們在上課時，尤其在空氣較不流通情形下，就會隱約聞到臭味，我們猜想是不是附近煉油廠所排放出來的廢氣？在南一課本第三冊 1.3 水溶液與空氣的單元中有討論到空氣的成分，課堂上大家彼此討論著我們周遭環境中空氣與廢氣問題。當時就想著：這些廢氣對我們人體有那些害處？於是同學們分別去查證一些資料，發現煉油廠所排放的廢氣中，可能含有硫化氫的存在，所查的資料中顯示[文獻三]：當硫化氫的濃度在 0.05ppm 以上有顯著臭味，10ppm 以上就會有明顯的危害。那我們的生活週遭硫化氫的存在是否過量呢？是否有較簡易的方法偵測空氣中硫化氫的含量呢？所以我們開始一連串的研究……

參、研究目的

一、尋找檢測硫化氫的資料，了解其檢測過程。

二、組裝一個微型簡易可攜帶的化學儀器來偵測空氣中硫化氫的含量

三、了解校園附近、煉油廠所排放的氣體中，是否含有硫化氫氣體存在，而其含量是否足以對我們人體產生害處。

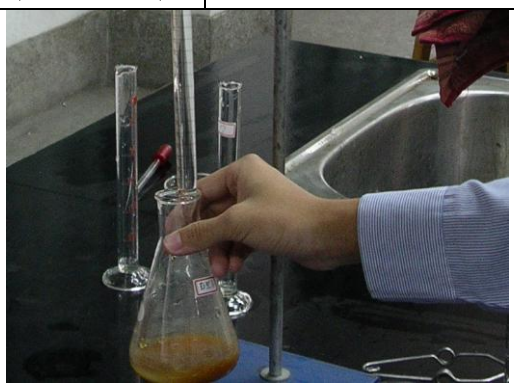
肆、研究設備及器材

一、實驗所需的器材：

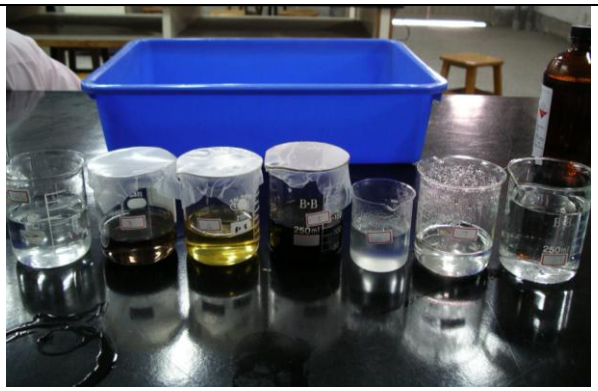
(一)實驗器材				
AB 膠	熱熔膠	三通閥	細軟管	黑色膠帶
黑色噴漆	T 型管	四通管	玻璃管	平底玻璃管
針筒	光敏電阻	電池(3V)	三用電表	鱷魚夾
電源供應器	分光光度計	發光二極體	校正過錐形瓶	燒杯
電子天平	吸量管	滴管	量筒	漏斗
(二)實驗藥品				
硫化鈉	DPDA 溶液	氯化鐵	硫代硫酸鈉	硫酸鋅
硫酸銨	碘化鉀	氫氧化鈉	硫酸	鹽酸
澱粉	碘			

二、實驗藥品的配製[文獻二]：

吸 附 液	
1・取 2 g 硫酸鋅加水到 200 mL 與 2.4 g 氫氧化鈉加水至 120 mL 2・加入硫酸銨〔$(NH_4)_2SO_4$〕一直加至沉澱溶解。	
呈 色 液	
DPDA 溶液	0. 2 g 之 N ， N－ 二甲基對苯二胺二鹽酸鹽，〔$(CH_3)_2NC_6H_4NH_2$・2HCl〕溶於 100 mL 之(1＋3)體積比的濃硫酸稀釋液。
氯化鐵溶液	1 g 氯化鐵溶於 100 mL 之(1 ＋ 99) 體積比的濃硫酸稀釋液。
滴 定 液	
碘溶液	秤取 4 g 碘化鉀(KI)置於 250 mL 燒杯，加入 25 mL 蒸餾水和 1. 27g 碘(I_2)，攪拌使其溶解後，用蒸餾水稀釋至 100mL，加入 3 滴濃鹽酸(HCl)。置於棕色玻璃瓶並貯存於冷暗處。
澱粉液	秤取 0.2 g 可溶性澱粉，加入少量蒸餾水，調成均勻糊狀，此糊狀物小心地倒入 100 mL 沸水中，繼續煮沸直至澄清，冷卻後，置於有蓋之玻璃瓶。
硫代硫酸鈉溶液(0.087M)	秤取 10.8 g 的硫代硫酸鈉並加水到 500 mL
硫化鈉標準液	
硫化鈉溶液 (0.042M)	溶解 1 g 硫化鈉(Na_2S・$9H_2O$)於經煮沸且加蓋放冷後之蒸餾水 100 mL。
硫化鈉 標準液 (4.46×10^{-3}M)	取〔 89.3 / (b-a) 0.1〕 mL 之「硫化鈉溶液」，稀釋至 100 mL 標線。並取出 1 mL 此時 Na_2S 標準液之當量等於 100 μ L H_2S(0℃ ，760 mmHg)。



相片 1
利用硫代硫酸鈉滴定硫化鈉含量



相片 2
反應試劑

伍、研究過程或方法

實驗流程：

學校在煉油廠附近，上課時會隱約聞到臭味。
經我們查證資料後發現其臭味之一的來源爲硫化氫氣體。

↓

我們想利用簡單的器材，
自行組裝並改良攜帶式的化學儀器，檢測校園四周硫化氫氣體的含量。

↓

實驗一：利用發光二極體、光敏電阻與三用電錶，自製一個微型、精確攜帶式的檢測氣體微型化學儀器，並偵測其可行性。

↓

實驗二：根據環保署資料，配製標準硫化氫溶液，以自製微型化學儀器製作檢量線。

↓

實驗三：利用自製儀器進行吸收液與標準硫化氫溶液反應所需時間之探討。

↓

實驗四：(1)製作不同濃度硫化氫氣體。
(2)探討本儀器打入上述硫化氫氣體的情況，並找出最佳的打氣量及打氣速度。

↓

實驗四-1：探討吸收不同濃度硫化氫氣體，檢測吸收情形並測電阻值。

實驗四-2：利用自製儀器，檢測「打入氣體量」吸收情形，決定檢測時導入氣體之適當體積。

實驗四-3：利用自製儀器，檢測所需導入檢測氣體的「打氣速度」。

↓

實驗五：分別在不同地方測量硫化氫的含量：
1.加工區附近(A 區)　　2.後勁溪堤岸附近(B 區)
3.都會公園附近(C 區)　　4.教室附近(D 區)

↓

綜合以上結果，整理並進行討論，
同時歸納出結論

【實驗一】利用發光二極體、光敏電阻與三用電錶，自製一個微型、精確攜帶式的檢測氣體

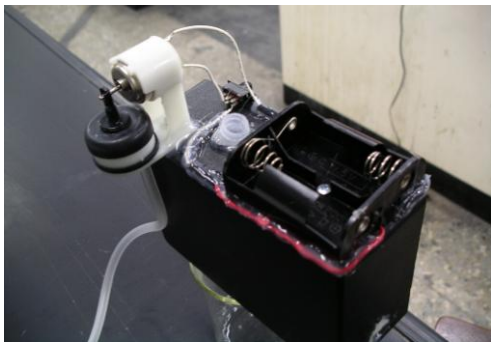
微型化學儀器，並偵測其可行性。

一、利用「抽氣馬達」(相片 3)、「針頭」設計一個可以控制流速的開關，並利用「發光二極體」、「光敏電阻」、「三用電錶」，設計一個簡易的比色儀器。

二、以不同的發光二極體(紅、橙、綠、藍、白)，偵測亞甲藍溶液不同濃度的電阻值，每次實驗測量三次，取其平均值。

三、選擇適當的發光二極體，並選定不同長度的玻璃管(6、8、10、12cm)，偵測不同濃度亞甲藍溶液的電阻值，並每次實驗測量三次，取其平均值。

四、選擇適當長度玻璃管以進行以下實驗。



相片 3　　「抽氣馬達」

相片 4　儀器打氣裝置及溶液槽的外觀

【實驗二】根據環保署資料，配製標準硫化氫溶液，以自製微型化學儀器製作檢量線。

一、根據環保署資料，利用滴定法找出「硫化氫的標準液」濃度。

二、分別精取 20.0、16.0、12.0、8.00、4.00、0.00 mL「硫化氫標準液」置於 25 mL 量瓶，並標示爲 A、B、C、D、E、F 瓶，各添加適量的「吸收液」至大約 20.0 mL。

三、各量瓶中再分別加入「DPDA 溶液」2 mL，加瓶蓋後小心倒轉混合均勻後(不可振盪以免 H_2S 逸散)，迅速地分別加入「氯化鐵溶液」1 mL，再加瓶蓋，小心地倒轉混合均勻(不可振盪混合)，而後加「吸收液」稀釋至 25mL 量瓶的標線，然後靜置數分鐘。

四、利用自製微型光學儀器，使用「紅色」光源測定以上混合溶液之電阻值，以電阻值對硫化氫濃度畫出之標準檢量線，來檢討本實驗儀器的偵測靈敏度、偵測極限及效度。

【實驗三】利用自製儀器進行吸收液與標準硫化氫溶液反應所需時間之探討。

一、以自製微型化學儀器偵測「實驗三」中不同濃度的硫化氫與呈色液反應時偵測之電阻值達到穩定值所需時間。

二、選擇反應所需時間以進行以下實驗。

【實驗四】製作硫化氫氣體，探討吸收液對硫化氫氣體情況，並決定檢測時打氣量與打氣

速度。

一、利用針頭組裝可抽取硫化氫氣體的裝置，如圖 1：

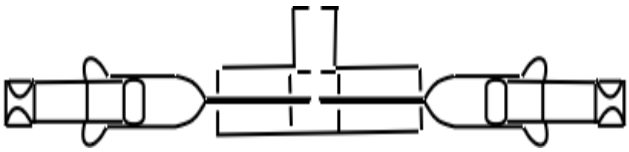


圖1. 硫化氫氣體抽取裝置

二、在抽氣櫃中(相片 5)，利用「硫化鈉固體」與「硫酸」製作硫化氫氣體，最後用硫酸鋅與氫氧化鈉的「吸收液」吸收反應多餘的氣體。

相片 5　硫化氫氣體的製作

三、利用「吸收液」及比色法，檢測針筒中硫化氫的濃度，並將收集的氣體稀釋成 1ppm、0.5ppm、0.2ppm、0.05ppm 備用。

四、將「吸收液」直接打入針筒內作吸收不同濃度硫化氫氣體，檢測其吸收的情形，並測電阻值。(實驗四-1)

五、利用自製儀器，在不同濃度的硫化氫氣體以打氣方式導入，並測電阻值，檢測「打入氣體量」吸收的情形，決定檢測時所需導入檢測氣體之適當體積，以進行以下實驗。(實驗四-2)

六、利用自製儀器，在不同濃度的硫化氫氣體在不同打氣速度下，其測電阻值。決定檢測時所需導入檢測氣體打氣速度，以進行以下實驗。(實驗四-3)

七、每個實驗均作實驗室中的空白實驗，了解實驗室中硫化氫的含量，並作三次求平均值。

【實驗五】分別在不同地方測量硫化氫的含量：加工區附近(A 區- 相片 6)、後勁溪堤岸附近(B 區- 相片 7)、都會公園附近(C 區- 相片 8)、教室附近(D 區- 相片 9)

一、利用自製儀器，分別以流速 25mL/min，打氣 4 分鐘，並於打完氣後，2 分半鐘，檢測上述四個地點的硫化氫含量，並比較。

二、每個地點測量三次，並求其平均值。

相片 6 加工區附近(A 區)

相片 7 後勁溪堤岸附近(B 區)

相片 8 公園附近(C 區)

相片 9 教室附近(D 區)

陸、研究結果

【實驗一】利用發光二極體、光敏電阻與三用電錶，自製一個微型、精確攜帶式的檢測氣體微型化學儀器，並偵測其可行性。

一、利用「抽氣馬達」、「針頭」設計一個可以控制流速的開關。

(一)參考比色法儀器圖(圖 2)[文獻四]：

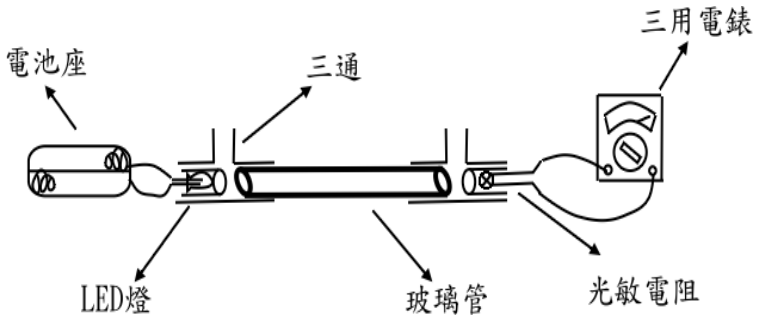


圖2.　參考比色法儀器示意圖

(二)儀器改良與設計(圖 3)：

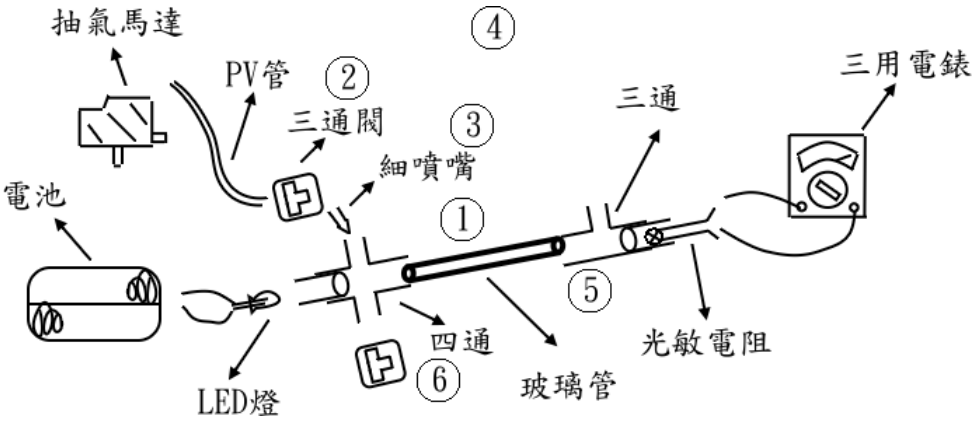


圖3.　　儀器改良示意圖

1.利用抽氣馬達、PV 管、三通閥來作打氣的裝置：
改良⇒發現打氣的速度太快，不易控制，因此將原來的「三通閥」改為「養魚用的打氣開關閥」。

2.從上方打氣會使得泡泡直接往上的情形，而無法順利向右方流出：
改良⇒我們將打氣裝置改為下方，氣體流向比較順利。

3.打氣的過程，打入的氣泡本身太大，易造成右方三通管中的「溶液噴出」：
改良⇒所以我們將打氣出口從「PV 管」改為「球針」，但氣泡仍然太大。後來使用「注射針頭」，發現「注射針頭」能使氣泡變小而平穩打入。

4.在打氣的過程中，有些氣泡會「卡住」於玻璃管及右方三通的接口處。
改良⇒我們測試幾個試管的寬度，發現外徑寬度為 10mm 的玻璃管及內徑為 10mm 的三通、四通管連接後，氣泡即可順利流出，反應槽內的體積約為 $9cm^3$。

5.爲了使氣泡能保持較佳的流速，所以我們將原來的儀器，向右上旋轉了幾個不同的角度，大約在__30__度左右時，氣泡可以快速且順利流出，其結果如表一所列。

表一　　傾斜角度與氣泡移動的情況

傾斜角度	氣泡移動的情況
0	氣泡往上，無法完全排出
10	氣泡往上，無法完全排出
20	氧泡一部份往上，一部份排出
30	氣泡順利完全排出

6.因爲傾斜的關係，打入的溶液會從左方流出。

改良⇒我們加了一個三通閥，一方面可控制右上方打入「吸收液」時，讓溶液內部壓力釋放，並可避免溶液會從左方流出，於清洗時也可方便流出。

(三)新完成檢測硫化氫含量的儀器圖(圖 4)：

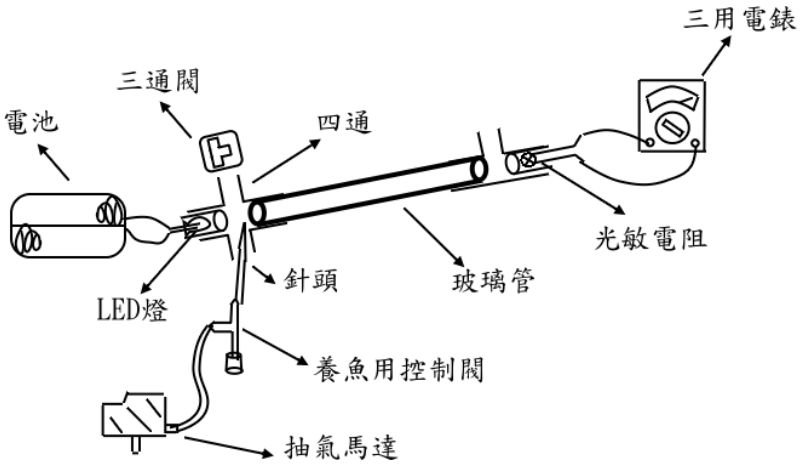
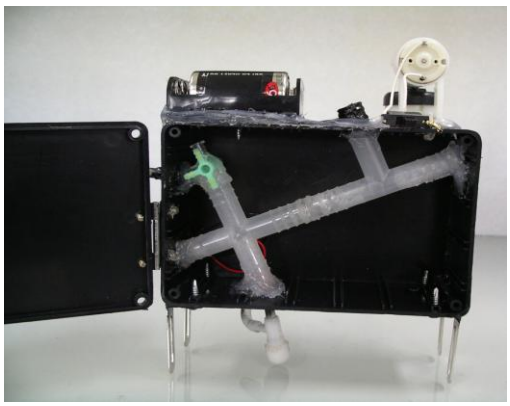


圖4.　檢測硫化氫含量的儀器示意圖



相片 10　簡易的比色儀器

1.利用「發光二極體」、「光敏電阻」、「三用電錶」，設計一個簡易的比色儀器(相片 10)，因爲實驗是藉光敏電阻來測量，實驗過程怕受外界光線干擾，儀器漆成黑色。

改良⇒儀器漆成黑色時，難辨別在打氣的過程中，溶液是否有順利通過，故不將儀器塗黑，而改用黑色的塑膠盒代替噴漆，並固定儀器。

2.爲增加盒子下方「養魚用的打氣開關閥」使用便利，我們在下方加裝腳架，供偵測時固定站立。

3.爲固定盒子前方的蓋子，我們加裝螺絲與轉軸，方便開啓使用，並達儀器不透光的效果。

二、以不同的發光二極體(紅、橙、綠、藍、白)，偵測不同濃度，亞甲藍溶液的電阻值值(表二、圖5及圖6)。每次實驗測量三次，取平均值。

表二　　測量不同濃度的亞甲藍溶液之電阻值：(反應槽長度= 6 cm)

亞甲藍溶液濃度 ($\times10^{-5}$ M)	電阻值(×1KΩ)				
LED 燈的顏色	白	紅	橙	綠	藍
0	2.5	8	7	5.5	5.5
0.1	3	9.5	8	7.5	8
0.2	3.5	10.5	8.5	7.5	8
0.3	3.5	11.5	8.5	7.5	8
0.4	3.5	13	9	7.5	8
0.5	3.5	14.5	9.5	7.5	8
0.6	3.5	15	9.5	7.5	8
0.7	3.5	16	9.5	7.5	8
0.8	3.5	17.5	9.5	7.5	8
0.9	3.5	18.5	10	7.5	8
1	3.5	19.5	10	7.5	8
2	4.5	55	19	8	8
3	5.5	110	30	9	8
4	6.5	142	55	10	8
5	6.5	165	120	11.5	8
6	6.5	190	160	13	8
7	7	220	205	14.5	8
8	7.5	247	235	16	8
9	8.5	286	350	17.5	9
10	9.5	330	500	19.5	9
20	17	---	---	55	14
30	20	---	---	100	30
40	33	---	---	160	40
50	45	---	---	220	45
60	56	---	---	300	57
70	75	---	---	420	70
80	90	---	---	550	80
90	135	---	---	800	140
100	175	---	---	-	220

註：--- 表示電阻值太高，偵測不明顯

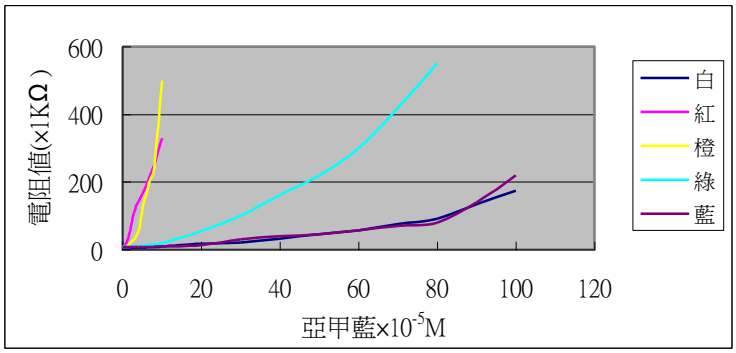


圖5.　不同LED燈對亞甲藍濃度與電阻值之關係

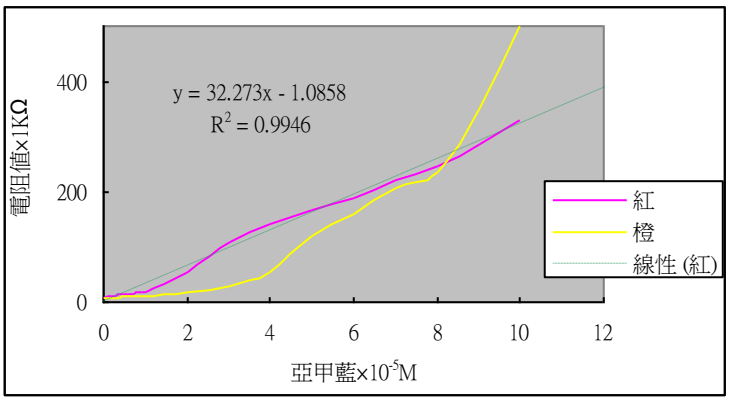


圖6. 探討紅色及黃色的LED燈對亞甲藍濃度與電阻值之關係

三、選擇適當的發光二極體並選定不同的玻璃管長(6、8、10、12cm)，偵測不同濃度亞甲藍溶液的電阻值，並每次實驗測量三次，取平均值。

(一)根據資料查證，亞甲藍反應所得到的濃度為 **1×10^{-6}M～1×10^{-3}M** 之間，配製法如首頁說明所示。

(二)利用本濃度製作適合本實驗儀器的濃度，並隨所測得的反應結果，找出本實驗適合的所需實驗的長度。

(三)先以不同的玻璃管長(6、8、10、12cm)，偵測不同濃度亞甲藍溶液的電阻值。每次實驗測量三次，取平均值。

(四)以不同長度的玻璃管，偵測不同濃度的亞甲藍溶液電阻值的結果如表三及圖7所示：

表三　　玻璃管長度與不同濃度的亞甲藍溶液之電阻值

亞甲藍液濃度($\times10^{-5}$ M)	紅色的 LED 燈電阻值(×1KΩ)			
玻璃管長度	6cm	8cm	10cm	12cm
0	8	9	9	10
2	55	86	121	150
4	142	175	203	235
6	190	275	370	430
8	247	390	600	---

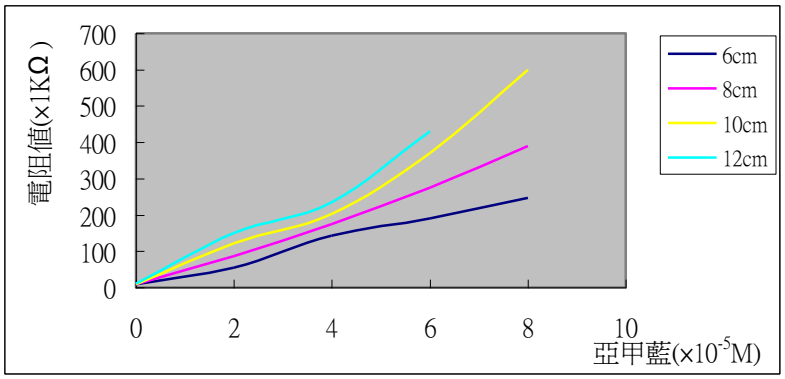


圖7.　玻璃管長度與不同濃度的亞甲藍溶液之電阻值

【實驗二】根據環保署資料，配製標準硫化氫溶液，以自製微型化學儀器製作檢量線。

一、根據環保署資料，利用滴定法找出「硫化氫的標準液」濃度。

(一)硫代硫酸鈉滴定法

1.原理：$Na_2S + I_2 \rightarrow 2NaI + S$　　$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI$

2.滴定：使用 0.1M 硫代硫酸鈉標準液滴定，直至呈淡黃色時，加入 5 mL 澱粉指示液，繼續滴定至澱粉之藍色消失時爲終點，記錄耗用量a mL 。另作空白試驗，記錄耗用量b mL，其結果如表四所列。

表四　　用0.1M 硫代硫酸鈉標準液滴定

實驗次數	1	2	3	平均
a(mL)	12.1	12.3	12.1	12.1
b(mL)	24.2	24.6	23.9	24.2

3.結果：取〔89.3 / (b-a) 0.1〕mL= **73. 8 mL** 之「硫化鈉溶液」，稀釋至 100 mL 標線，並取 1 mL 硫化鈉標準液於 200 mL 量瓶，以「**吸收液**」稀釋至標線，當硫化鈉標準液。

二、利用自製微型光學化學儀器，使用「紅色」光源測定標準(A)、(B)、(C)、(D)、(E)、(F)混合溶液之電阻值。

表五　硫化氫標準溶液之檢量線與本儀器檢測之電阻值關係

	標準溶液					
項目	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
換算硫化氫 mole	4.46×10^{-7}	3.57×10^{-7}	2.68×10^{-7}	1.78×10^{-7}	0.89×10^{-7}	0
換算硫化氫重量(mg)	0.015	0.012	0.009	0.006	0.003	0
自製儀器電阻值(1KΩ)	52	41.5	31.5	20.5	10.5	8

表六　本實驗儀器的偵測靈敏度、偵測極限及效度

	標準溶液					
項目	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
利用「實驗二」的電阻值換算出亞甲藍溶液的濃度(M)	1.64×10^{-5}	1.32×10^{-5}	1.01×10^{-5}	0.67×10^{-5}	0.36×10^{-5}	0.28×10^{-5}
利用方程式算出亞甲藍溶液的濃度(M)	1.78×10^{-5}	1.42×10^{-5}	1.07×10^{-5}	0.71×10^{-5}	0.36×10^{-5}	0
反應率(%)	92.13	92.96	94.39	94.37	1	0

註：根據反應方程式 $2[H_2N \cdot C_6H_4 \cdot N(CH_3)_2] + 6FeCl_3 + H_2S \rightarrow C_{16}H_{18}ClN_3S$(亞甲藍)$+ NH_4Cl + 6FeCl_2 + 4HCl$，算出標準硫化氫濃度能產生亞甲藍濃度的理論值。

【實驗三】利用自製儀器進行吸收液與標準硫化氫溶液反應所需時間之探討。

一、探討本儀器所偵測標準硫化氫溶液的反應所需時間

表七　反應時間電阻值變化與反應穩定時間

硫化氫標準液	電阻值(×1KΩ)						
反應時間	0 秒	30 秒	60 秒	90 秒	120 秒	150 秒	180 秒
(A)	8	43	51	52	52	52	52
(B)	8	34	40.5	41.5	41.5	41.5	41.5
(C)	8	27	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5
(D)	8	18	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5
(E)	8	10	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5

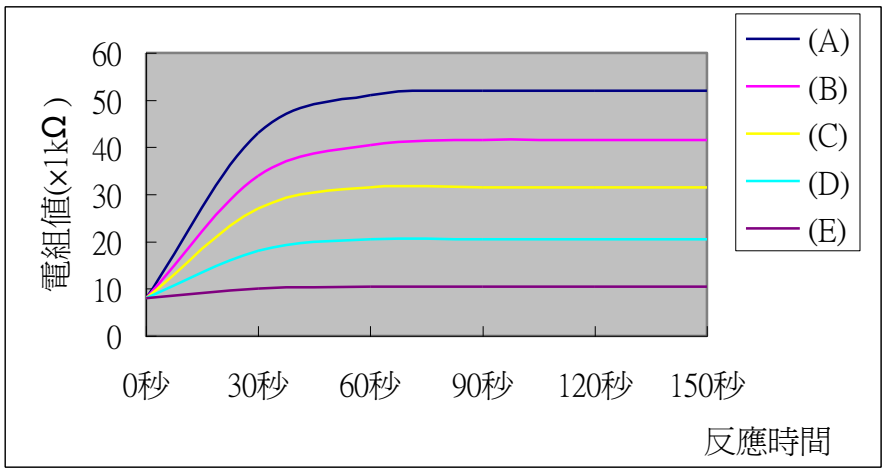


圖 8.　不同濃度硫化氫與呈色液所需反應時間

表八　偵測各濃度的標準液之電阻值不再跳動所需時間

標準液	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
反應時間(秒)	90	90	60	60	60

註：原則以電阻值不跳動爲反應終點，但爲確保實驗精準性，當電阻值不再跳動時，均再等至2.5 分後，當做反應的終點。

【實驗四】製作硫化氫氣體，探討吸收液對硫化氫氣體情況，並決定檢測時打氣量與打氣速度。

一、在安全的考量上，我們在抽風櫥進行硫化氫氣體的製作，而本實驗所需要的濃度測試均不超過 1ppm，實驗上**較無危險性**。

二、利用針頭及實驗儀器組裝可抽取硫化氫氣體的裝置

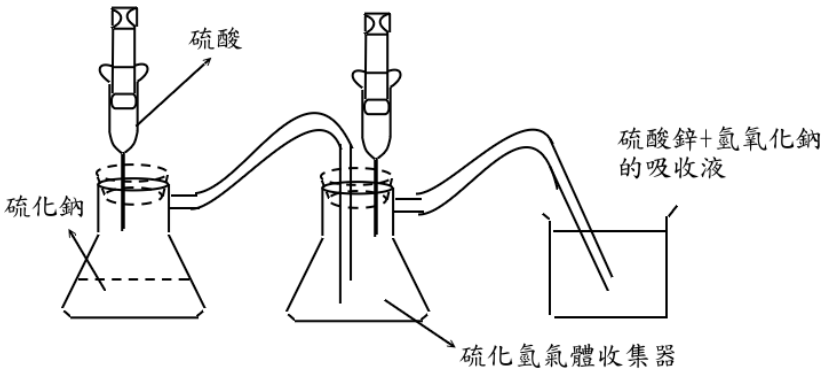


圖 9.　製作硫化氫氣體的裝置圖

相片 11　將硫酸加入硫化鈉後的反應情形

(一)步驟：

1.取硫化鈉 0.1g，並加入硫酸 6M，以便製造硫化氫，如右上圖所示。

2.利用 25mL 的針筒，利用向上排氣法，在試管中抽取數個 25mL 反應的硫化氫氣體備用。

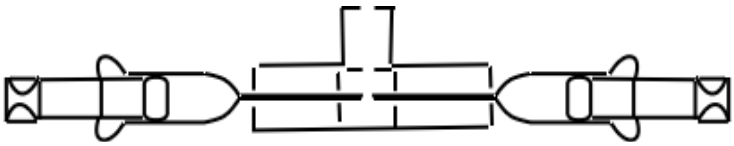


圖 10.　稀釋硫化氫氣體濃度的裝置圖

(二)檢測氣體的濃度：

1.利用三通製作密閉空間

2.從收集氣體抽取 1mL 後，加入 20ml「吸收液」充分溶解後，再加入 「DPDA 溶液」2 mL，「氯化鐵溶液」1 mL，加「吸收液」至 25mL，並測其電阻值，算出硫化氫的濃度。

表九　　產生硫化氫氣體樣品經滴定後所檢測的濃度

	電阻值 (×1KΩ)	硫化氫 (mg)	1mL 硫化氫的濃度(ppm)
針筒 1	31	0.0087	8.7
針筒 2	27.5	0.0076	7.6

表十　利用已知濃度的硫化氫，分別稀釋成 0.05、0.2、0.5、1 ppm 的硫化氫所需體積

硫化氫氣體樣品	針筒 1、2 所需取出體積(mL)			
預期稀釋濃度	0.05ppm	0.2ppm	0.5ppm	1 ppm
(1)針筒 1(8.7ppm)	0.57	2.3	5.7	11.5
(2)針筒 2(7.6ppm)	0.66	2.6	6.6	13.2

三、探討不同濃度硫化氫溶液氣體「溶液吸收」的電阻值

表十一　　不同濃度硫化氫直接吸收後與所偵測電阻值之關係

打入硫化氫 100ml 的濃度 (ppm)	0(氮氣)	0.05	0.2	0.5	1
硫化氫理論重(mg)	0	5×10^{-3}	2×10^{-2}	5×10^{-2}	0.1
電阻值(×1KΩ)	7.0	19.5	65	157.0	301.0
由實驗三電阻值所算出硫化氫 mg	0.00091	0.00496	0.0197	0.0495	0.0961
誤差%		-0.771	-1.466	-0.956	-3.811

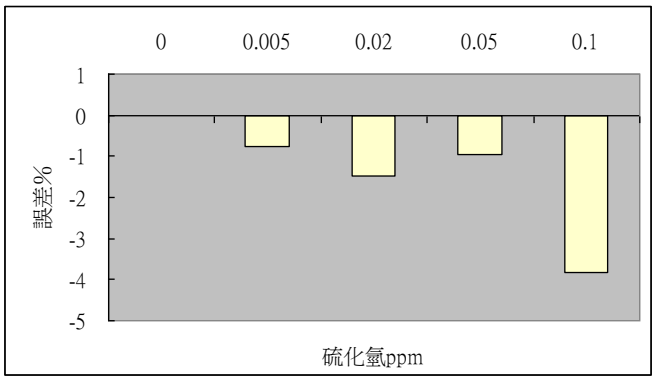


圖 11.　不同濃度硫化氫直接吸收後與原濃度之誤差關係

四、探討「打入氣體量」在不同濃度的硫化氫下，檢測其吸收的情形，並測電阻值。

(一)在不同濃度硫化氫下，以不同「打入氣體體積量」測其電阻值，並測其吸收的情形。
(二)每個硫化氫濃度各測量三次，並求其平均值。

表十二　不同濃度的硫化氫分別打入不同氣體量並測其電阻值

硫化氫濃度 (ppm)	電阻值(×1KΩ)				
打入氣體的體積	25mL	50mL	75mL	100mL	125mL
0(氮氣)	5	5	6	6	6
0.05	8	11.5	15.5	19	23
0.2	19	34.5	50	65	80
0.5	42	80	118	156	193
1	78	152	226	299	376

表十三　根據「表十二」的電阻值換算出硫化氫的濃度

硫化氫濃度(ppm)	硫化氫吸收濃度 ppm				
打入氣體的體積	25mL	50mL	75mL	100mL	125mL
0.00	0.0003	0.0003	0.0006	0.0006	0.0006
0.05	0.0012	0.0024	0.0037	0.0048	0.0061
0.20	0.0048	0.0098	0.0148	0.0197	0.0246
0.50	0.0123	0.0246	0.0369	0.0492	0.0612
1.00	0.0239	0.0479	0.0719	0.0955	0.1205

表十四　不同濃度硫化氫在不同打氣體積所產生的誤差值

硫化氫濃度(ppm)	誤差值(%)				
打入氣體的體積	25mL	50mL	75mL	100mL	125mL
0.05	-1.235	-5.247	-2.263	-4.012	-2.469
0.2	-4.012	-1.774	-1.028	-1.466	-1.728
0.5	-1.975	-1.728	-1.646	-1.604	-2.098
1	-4.321	-4.197	-4.156	-4.459	-3.604

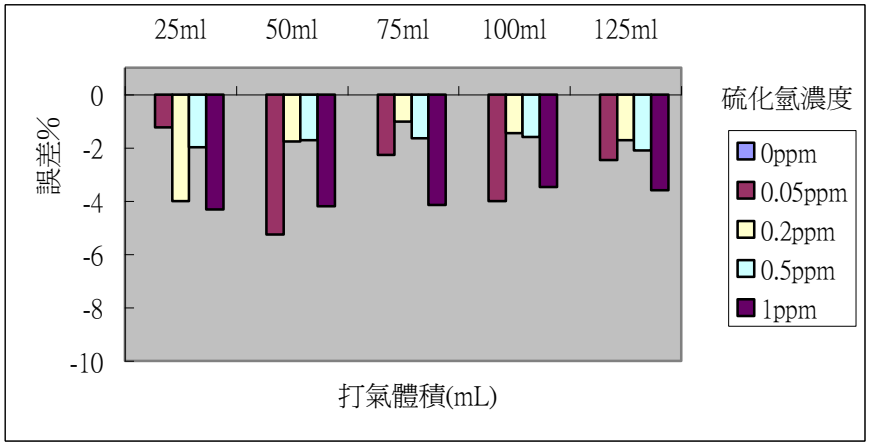


圖 12.　不同濃度硫化氫在不同打氣體積所產生的誤差值

表十五　利用打氣與吸收兩種不同方法的差異性(氣體體積採用 100ml)

硫化氫濃度(ppm)	電阻值(×1KΩ)		電阻差值(×1KΩ)	硫化氫 ppm		打氣損失比例%
	吸收	打氣		吸收	打氣	
0.05	19.5	19	-0.5	0.0496	0.048	-3.23%
0.2	65	65	0	0.197	0.197	-0.00%
0.5	157	156	-1	0.495	0.492	-0.61%
1	301	299	-2	0.961	0.955	-0.62%

五、探討「打氣速度快慢」在不同濃度的硫化氫下，測其吸收的情形，並測電阻值。

(一)在不同濃度硫化氫下，以不同的「打氣速度」，測其電阻值，並測其吸收的情形。
(二)每個硫化氫濃度各打入 100mL，並求三次平均。

表十六　偵測不同濃度 100mL 的硫化氫，在不同打氣速度下，其電阻值變化情形

硫化氫濃度(ppm)	電阻值(×1KΩ)								
打氣的速度(mL/min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	6	6	6	6	6	6	6	6	氣體速度太快，溶液易噴出
0.05	19.5	19.5	19.5	19	19	18	17.5	16.5	
0.2	65	65	65	65	65	62.5	60.5	58	
0.5	157	157	156.5	156.5	156	153	149	144	
1	301	301	300	299	299	293	286	281	

表十七　根據「表十六」的電阻值換算出硫化氫的濃度

硫化氫濃度(ppm)	硫化氫吸收濃度(ppm)								
打氣的速度(mL/min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	
0.05	0.0050	0.0050	0.0050	0.0048	0.0048	0.0045	0.0043	0.0040	
0.2	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0197	0.0189	0.0182	0.0174	
0.5	0.0495	0.0495	0.0494	0.0494	0.0492	0.0482	0.0469	0.0453	
1	0.0962	0.0962	0.0959	0.0955	0.0955	0.0936	0.0913	0.0897	

表十八　不同濃度硫化氫在不同打氣速度下所產生的誤差值

硫化氫濃度(ppm)	誤差值%								
打氣的速度(mL/min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0.05	-0.77	-0.77	-0.77	-4.01	-4.01	-10.49	-13.73	-20.22	
0.2	-1.47	-1.46	-1.478	-1.47	-1.47	-5.52	-8.76	-12.81	
0.5	-0.96	-0.96	-1.28	-1.28	-1.60	-3.55	-6.14	-9.38	
1	-3.81	-3.81	-4.14	-4.46	-4.46	-6.40	-8.67	-10.29	

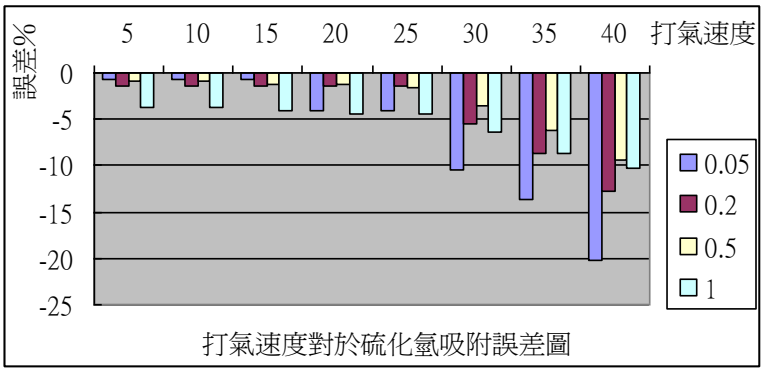


圖 13.　不同濃度硫化氫在不同打氣速度下所產生的誤差值

【實驗五】分別在不同地方測量硫化氫的含量：加工區附近(A 區)、後勁溪堤岸附近(B 區)、都會公園附近(C 區)、教室附近(D 區)

一、利用自製儀器，分別以流速 25mL/min，打氣 4 分鐘(打氣的體積= 100ml)，並於打完氣後，2 分半鐘，檢測上述四個地點的硫化氫含量並比較。

表十九　　利用自製儀器在不同偵測地點下偵測的電阻值

打氣的地點	電阻值 (×1KΩ)	硫化氫 (mg)	硫化氫 理論 ppm	最大可能濃度 ppm
A 區 工廠附近	13	0.00286	0.028	0.0313
B 區 後勁溪堤岸附近	21	0.0055	0.055	0.0615
C 區 都會公園附近	8	0.00124	0.012	0.0134
D 區 學校附近	9	0.00156	0.016	0.0179

註：因爲所測得的硫化氫均在 0.05 左右或以下，依「實驗四」得知其誤差在 4%以下，所以硫化氫實際的濃度爲理論濃度×1.075 倍後，再加誤差值，即是最大可能硫化氫濃度。

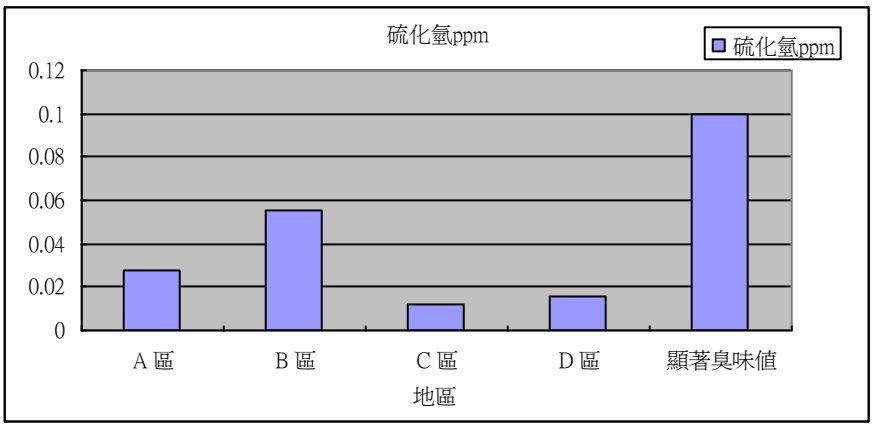


圖 14.　　利用不同偵測地點的電阻值換算出硫化氫的濃度

柒、討 論

【實驗一】

(一)由實驗結果得知，紅光及橙光在不同濃度的亞甲藍溶液，有明顯的吸收，且紅光在偵測過程中，有較大的靈敏度。

(二)亞甲藍溶液的濃度愈大，其顏色愈深，能通過的光的強度愈小，因此光敏電阻所偵測到的電阻值愈大。

1.紅光光源可用於亞甲藍濃度爲 10^{-4}M～10^{-5}M，電阻值 = 32.273× 亞甲藍濃度 -1.0858，R^2 值= 0.9946

2.橙光光源可用於亞甲藍濃度爲 10^{-4}M～10^{-5}M，電阻值 = 38.659× 亞甲藍濃度 -26.359，R^2 值= 0.8807

3.綠光光源可用於亞甲藍濃度爲 10^{-4}M～8×10^{-4}M，電阻值 = 6.2015× 亞甲藍濃度-62.53，R^2 值= 0.9627

4.故本實驗適合的光源爲紅光

(三)採用紅色發光二極體爲光源後，測不同反應槽的長度大小，以 6cm 有較大的偵測範圍，故反應槽以 6cm 爲主。

(四)亞甲藍溶液濃度在 10^{-4}M 以下時，對於紅光的吸收，呈線性關係，其 R 值高達 0.995 以上，故本儀器是具有可行性。

(五)本儀器偵測極限之電阻值爲 18Ω 。

【實驗二】

(一)本實驗的溶液配製均是依照環保署所公布的方法配製，所以溶液的計算部分均未加以探討其來源，一切以公布的數據爲主。

(二)利用自製儀器來偵測硫化氫含量發現，在反應的過程中，吸收液及呈色液並未完全反應，故我們將取其平均值= 93% 做爲反應率的標準。

(三)實驗結果發現，利用環保署所採用的方法，在本儀器上所測得的硫化氫濃度應再乘以(1/0.93)=1.075 倍，即爲實驗所得到的硫化氫濃度。

(四)我們將電阻值直接換成硫化氫的 mg 數，得到關係式爲：

【硫化氫 mg】=(【電阻值】- 4.1905) / 3085.7

【實驗三】

(一)依照本實驗儀器數據所示，在硫化氫打入之後，反應大約經過 90 秒後，其電阻值的穩定度固定。不再變化。

(二)在較高濃度的硫化氫，依推測反應的時間大約在 150 秒後就幾乎就可以完成，即可視爲完全反應。

(三)我們偵測硫化氫的濃度，主要以電阻值穩定即可視爲停止，爲了更加精確，故平衡後，原則上，本儀器的反應時間，仍停至 2 分半，以確保精準性。

【實驗四】

(一)利用「吸收液」作直接吸收的方式測得濃度，並在稀釋之後，再次吸收的濃度，其精準度相當高，均在 97%以上

(二)本實驗直接對「打氣吸收」的硫化氫濃度比照「溶液吸收」的方式，發現打氣的吸收度，在良好的控制下，打氣的效果可達 95%以上。

(三)濃度越濃，打氣所得到的誤差越小，而濃度越淡時，因爲本儀器的偵測極限範圍，造成誤差較大(極低濃度下，較不靈敏)。

(四)爲了克服濃度太低的情形，所以打氣時間以 4 分鐘爲宜，打氣時間越久，吸收的濃度越大。

(五)打氣速率經測試後，發現打氣速度 25mL/min 與 10mL/min 的差異性不大，爲了方便起見，故採用 25mL/min 爲我們的標準值。

(六)經電阻換算後，本實驗的儀器偵測極限爲 0.03ppm，以下之範圍均不予探討。

【實驗五】

(一)所得到的硫化氫含量在打氣 100mL(4 分鐘下)，誤差約小於 4% ，考慮反應產率在 93%下，故實際的硫化氫濃度最大可能 =【硫化氫 ppm】×(1+4%) ×1.075

(二)因爲儀器在較低濃度下，誤差值較大，在極低的硫化氫濃度下，所測出來的電阻值大約在 8~18 之間，表示電阻值在 8~18 之間的硫化氫的濃度範圍，應屬於較無含硫化氫的空氣品質。

(三)根據文獻，硫化氫常存在於工廠廢氣、溫泉區、污水溝、礦山等，我們實驗發現後勁溪堤岸附近、煉油廠附近可偵測出含量略高的硫化氫存在。

(四)由實驗的結果得知，空氣中硫化氫的含量爲 B 區>A 區>D 區> C 區，但硫化氫含量均符合環檢署所公佈的安全範圍值在安全範圍內。

(五)學校及工廠附近的臭味的成份，經自製儀器實驗結果證實並不是完全爲硫化氫成份，表示仍有其他成份的臭味存在。

捌、結 論

一、透過自行組裝的微型簡易儀器，我們開發另一種檢測空氣中硫化氫的方法，此裝置的零件於日常上生活中常見的物品，簡易、便宜易取得，約數百元左右，使成本相較實驗室的分光光度計便宜數百倍以上。

二、我們所設計的儀器操作方便、簡單，只需將儀器攜帶至戶外，以流速 25mL/min，打氣 4 分鐘(打氣的體積= 100mL)，可側得空氣中是否含有硫化氫的存在，其偵測極限爲 0.03ppm，R^2 值= 0.9946。

三、由實驗得知：甲藍溶液的濃度愈濃，能透過光的強度愈小，光敏電阻所偵測到的電阻值就愈大。尤其在亞甲藍溶液濃度在 10^{-4}M 以下時，對於紅光的吸收，呈線性關係，故本儀器來檢測硫化氫氣體是具有可行性的。

四、利用自製儀器來偵測硫化氫含量發現，利用環保署所採用的方法在反應的過程中，反應大約經過 90 秒後，爲了確保電阻值的穩定度固定不再變化，反應均等至 2 分半，即可作爲測量依據。

五、在檢測的的四個地點，我們分別將實驗分三次進行，只針對學校及學校周遭的四個定點檢測，檢測值都符合環檢署 10ppm 以下的安全範圍值。

六、實驗的結果發現後勁溪附近有硫化氫的含量接近 0.06ppm，已達嗅覺臭味的範圍(0.05ppm)，或許可能與一些廢水排放、垃圾堆積有關，形成硫化氫的釋放濃度比其他地方高。

七、未來我們希望能夠更廣泛地應用這套儀器，只要選取適當的溶劑，就可有效偵測空氣中其他成份之含量。

玖、參考資料

一、方金祥 (民 87)。微型化學實驗之設計與製作。高雄市：復文書局。

二、行政院環境保護署環檢所 (民94)。排放管道中硫化氫檢驗法 —甲烯藍比色法。中華民國94年11月30日環檢署字第0940097070號公告(NIEA A406.71A)

三、陳玟妏 (民 95)。高雄市臭味調查及改善。中山大學環境工程研究所論文。

四、第 43 屆全國科展高中化學組說明書 (民 92)。真的「甲」不了—自製模組式微型化學裝置測定溶液中甲醇的含量。

五、網路資料關鍵字：硫化氫。(資料整理於實驗日誌中)

【評　語】　030801　「硫」來「硫」去－「硫」成愁－自製微型化學儀器，檢測空氣中硫化氫含量

本作品組裝一套可攜式裝置，以測量空氣中硫化氫的濃度。該裝置以發光二極體、化學反應槽、光敏電阻及馬達等重要元件所構成。研究內容包括硫化氫吸收液的配製，儀器的實驗條件以及現場的實測。本作品的研究方法具科學精神，且其結果亦具實用價值，是一件好作品。