



行政院環境保護署

111 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

電子鼻與人工智慧整合分析技術 在油品污染偵測上的應用

期末報告(定稿本)

主辦單位： 行政院環境保護署
專案執行單位：東海大學／智慧永續循環經濟研究所
專案主持人：陳鶴文 教授
專案執行期間：111 年 9 月 01 日起至
112 年 8 月 31 日止

中華民國 112 年 08 月 印製



111 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗申請計畫書

一、專案基本資料表

申請編號：

(由本署填寫)

專案性質	☒ 實驗性質 ☐ 非實驗性質		專案技術編碼	LAB-R-I-C2-M (如非實驗性質含氣溶劑之生物整治模場為 NLAB-S-R-C1-B，填寫請參考附件 1-4)	
專案類別(單選)	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型		研究主題	☐ 整治 ☒ 調查 ☐ 政策類或其他	
申請機構系所	東海大學 智慧永續循環經濟研究中心				
機構地址	台中市西屯區台灣大道四段 1727 號				
專案主持人	陳鶴文	職等/職稱	特聘教授		
協同主持人	林冠宇	職等/職稱	助理教授		
專案名稱	中文	電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品污染偵測上的應用			
	英文	Application of electronic nose and artificial intelligence integrated analysis technology in oil pollution detection			
	關鍵字	電子鼻、氣味成分分析、油污偵測、人工智慧			
執行期程	自民國 111 年 7 月 1 日起至民國 112 年 8 月 31 日止				
專案主持人	姓名：陳鶴文 E-mail： hwchen@thu.edu.tw		專線：04-23590121#33636 手機：		
專/兼任人員	姓名：李侑民 E-mail： g08350020@go.thu.edu.tw		專線： 手機：0908977005		
經費分析總表 (僅模場試驗專案需填寫兩年度金額)	專案預估總經費		第一年申請經費	第二年申請經費	編列說明
	1.	人事費用	263,446		(1~6 項相加之 50%為限)
	2.	設備使用含維護費	0		(與計畫實驗相關)
	3.	耗材與主要費用	378,316		(與計畫主體相關)
	4.	其它研究相關費用	35,617		(含差旅與租賃費用)
	5.	雜項費用	22,621		(1~6 項相加之 5%為限)
	6.	行政管理費	70,000		(1~6 項相加之 10%為限)
	7.	自籌款	0		(申請單位自行籌備款項)
	申請補助經費(1~6 項)		770,000		總金額：770,000
計畫總經費(1~7 項)		770,000		總金額：770,000	

說明：

1. 本署以部份補助為原則，得指定不補助項目，不補助項目應為自籌款項，應自行核銷不得申請。
2. 非實驗性質之專案，若第一項費用編列金額超出比率，須於申請公文內向本署說明，俾利審查。
3. 補助專案經費編列自申請起經專案核准後，經費編列中各項費用單價與需求只可減少與下修。

專案主持人：

陳鶴文

(簽名及蓋章)

日期：

8/28



土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

111 年度專案成果績效自評表

填表日期：112 年 1 月 3 日

一、專案基本資料

專案性質	☒ 實驗性質 ☐ 非實驗性質	專案類別	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型
研究主題	☒ 整治 ☐ 調查 ☐ 其他		
執行機構	東海大學智慧永續循環經濟研究所	專案主持人	陳鶴文
專案名稱	電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品汙染偵測上的應用		
專案執行期程	☐ 申請階段 ☐ 期中 ☒ 期末		

二、成果績效自評

「計畫總預估數」應與計畫審查核定值相符，請執行單位依實際達成之量化成果填寫於欄位中。

(一) 學術面

項目 \ 目標達成程度			申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半年 達成率	備註 (說明未達成 原因或學術產 出發表名稱)
A 學術 產出 及 活動	1.國內投稿 (篇數)	(1)論文	0	0	0		
		(2)研討會論文	1	0	0		
	2.國外投稿 (篇數)	(1)期刊論文	1	0	0		
		(2)國際研討會 論文發表	1	0	0		
	3.報告 (篇數)	(1)技術報告	0	0	0		
		(2)研究報告	0	0	0		
	4.專著(本數)		0	0	0		
	5.辦理學術 會議(場數)	(1)研討/說明會	0	0	0		
		(2)成果發表會	0	0	0		
		(3)論壇	0	0	0		
6.研發改良 技術(項數)	(1)已開發技術	0	0	0			
	(2)技術平台	0	0	0			
B 人才 培育	7.研發人員 (人數)	(1)碩士	1	0	0		
		(2)博士	0	0	0		
	8.研究團隊 (個數)	(1)跨領域團隊	0	0	0		
		(2)跨機構團隊	0	0	0		
		(3)形成研究中 心	0	0	0		
		(4)形成實驗室	0	0	0		
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)					



(二) 產業面

項目 \ 目標達成程度				申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半年 達成率	備註 (說明未達成原因或專利、技術轉移相關詳細資料)
A 智慧財產權	1.專利 (件數)	已核准	發明	0	0	0		
			新型/設計	0	0	0		
			合計	0	0	0		
		申請中	發明	0	0	0		
			新型/設計	0	0	0		
			合計	0	0	0		
B 研發技術轉移	2.先期技術 成果移轉	件數		0	0	0		
		授權金(仟元)		0	0	0		
		衍 生 利 益 金 (仟元)		0	0	0		
	3.技術移轉 (專利)	件數		0	0	0		
		授權金(仟元)		0	0	0		
		衍生利益金 (仟元)		0	0	0		
	4.技術移轉 (應用技術)	件數		0	0	0		
		授權金(仟元)		0	0	0		
		衍 生 利 益 金 (仟元)		0	0	0		
	5.可移轉 產業技術	(1)技術(件數)		0	0	0		
		(2)品種/系 (件數)		0	0	0		
C 產學研合作	6.促成合作 研究	件數		0	0	0		
		金額(仟元)		0	0	0		
	7.促成投資	件數		0	0	0		
		投資金額 (仟元)		0	0	0		
	8.促成取得 業界科專	件數		0	0	0		
		業界投資金額 (仟元)		0	0	0		
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)						



(三) 政策面

目標達成程度			申請預估數	期中達成數	期末達成數	結案後半年達成率	備註 (說明未達成原因或其他詳細資料)
項目							
A 服務 便民	1.技術服務	次數	0	0	0		
		收入(仟元)	0	0	0		
	2.諮詢服務	次數	0	0	0		
		收入(仟元)	0	0	0		
B 政策 推動	3.協助政府推動 (件數)	(1)政策	0	0	0		
		(2)法規	0	0	0		
C 技術 效益	4.整治技術提升(%)		0	0	0		
	5.整治成本降低(%)		0	0	0		
	6.提升能源效率(%)		0	0	0		
7.其他指標 (請自行命名)		(請自填)					

三、請依前述學術面、產業面、政策面等預期量化成果，具體敘明研究成果對本署政策推動之助益。(200字為限)

學術面(如國內外研討會、期刊投稿件數、或人才培育碩博士生說明)
1. 投稿期刊 1 篇、參與國際研討會發表論文 1 篇。 2. 培育 1 名碩士生、3 名碩士研究生。
產業面(如合作研發產業、申請專利、洽談技術移轉廠商件數說明)
1. 根據研究進度與成果申請新型專利。
政策面(如整治費用降低、特定污染物整治效益提升、或提供政府作為監測/管制標準、污場址管理等政策及法規研訂之參考)
1. 建立簡易型、低成本感測系統，增加檢測效能。



四、主要研究人力

請依照「專案主持人」、「協同主持人」、「專任人員」、「兼任人員」及「臨時工」等類別之順序分別填寫

姓名	服務機構/系所	職稱	在本研究專案內擔任之具體工作性質、項目及範圍	執行期間
陳鶴文	東海大學/環工系	特聘教授	研究概念構想、研究內容與時程規劃、計劃進度控管	20%
林冠宇	東海大學/環工系	助理教授	研究內容與時程規劃	20%
張凱傑	東海大學/環工系	兼任人員	撰寫報告內容、現地實作採樣	20%
張喻茹	東海大學/環工系	兼任人員	收集數據資料及分析、 現地實作採樣	20%
簡劭恆	東海大學/環工系	兼任人員	實驗設備組裝、實驗數據整理	20%

五、產業界資源投入表

專案執行若有與產業界合作，請執行單位依實際量化成果填寫於欄位中。

投入資源類別	數量	說明
1.自籌款	元	
2.人力	人月	
3.設備		
4.其他資源 (請自行增列)	(請自填)	



行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐申請計畫書 ☐期中報告 ☐修正計畫書 ☐期末報告 **審查意見回覆對照表**

計畫年度	111 年度	計畫類型	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他	主持人：陳鶴文 NO：	
計畫名稱	電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品污染偵測上的應用		
審查意見		執行單位回覆	
委員一 本計畫擬以電子鼻進行分析並與人工智慧技術相結合，以提昇污染偵測技術，研究具創新性。 本計畫主持人擅長利用監測工具與與人工智慧結合分析，具計畫執行能力。		感謝委員建議。	
委員二 本研究擬以人工智慧分析感測油品訊號，研究符合人工智慧應用趨勢。 建議與市面上現行油品監測方法，作分析時間、便利性、及成本比較，以判定是否後續有機會深入發展。		感謝委員建議。 待實驗有初步成果後，將與現行監測方法進行比較。	
委員三 有關專案可行性，該研究技術透過建置電子鼻與人工智慧技術，建立具低成本、高準確性之檢測系統。協助分析受污染土壤中揮發性有機物組成，進而建置數據資料庫，應用創新科技建立污染分析之綠色技術。 有關硬體實驗設計，本研究擬針對手持式 PID 進行校正，確保 VOC 感測器偵測數據之準確性及穩定性，惟電子鼻設備規格與手持 PID 偵測極限差異過大，建議宜補充說明電子鼻於低濃度時之應變措施，以利相關單位之參考。		感謝委員建議。 實驗設計內將有氣體濃縮單元或增加氣提時間。未來將針對本設備的敏感度與偵測極限進行分析。	



委員四 研究主題符合土壤及地下水污染整治基金補助精神、探討課題新穎、整體研究架構明確方法可行、技術未來應用及推廣性應加強。	感謝委員建議。
委員五 電子鼻 sensor 偵測選擇性影響結果，是否可更廣泛如對 PAH、unsaturated compounds 等。	感謝委員建議。 可以，本研究使用之感測器內，有些可以偵測 PAH 類物質。本研究結束時將提出參數重要性，解釋何種電子鼻為必要之 sensor。
委員六 1. 本研究技術擬透過建置電子鼻感測設備進行污染場址監測。 2. 本計畫以管柱實驗方式測試電子鼻功能，建議實驗設計應考量現地狀況。 3. 建議補充說明本案所使用電子鼻的偵測污染物種類及偵測極限。 圖譜的比對軟體可以進一步說明。	感謝委員建議。 1. 管柱實驗為實地試驗前的方法，提供一種較為固定的實驗環境以提供模式訓練，待模式參數等設置確定後，將依實地試驗所可能遇到之問題對電子鼻模組進行重新設計。 2. 目前本研究所選用之電子鼻感測器其規格與靈敏度及範圍已於內文附上表格。 因為經費關係，本研究會以人工調配方式控制氣體與土壤中待測物質濃度，並與感測器分析結果進行比對並建立數學模式。
委員七 請補充說明人工智慧演算模型之執行方法、實施步驟，以及後監測結果之驗證方式為何？ 請補充說明本技術開發之電子鼻，主要針對何種揮發性化合物？敏感度/可信度範圍為何？建議應有實驗測值之驗證比較，相關作法應予以說明。	感謝委員建議。 將於修正稿提供人工智慧模型運算流程規劃。 目前本研究所選用之電子鼻感測器其規格與靈敏度及範圍以於內文附上表格。本研究會以人工調配方式控制氣體與土壤中待測物質濃度，並與感測器分析結果進行比對並建立數學模式。



委員八 下列意見請確認，並於計畫書修正稿中修正： 1. p.11-42 耗材：研究方法中未見使用貴重儀器卻編列貴重儀器耗材，請補充說明。 2. p.11-43 其它：已申請雜費則不得申請計程車資、報告中請補充說明到台北理由。 p.11-43 雜項費用：辦公室文具及雜項費用以 5,000 元為限。	感謝委員建議。 1. 在系統實地驗證階段，須了解實際樣本的氣體組成，因此需要貴重儀器的協助。 2. 經費已重新修訂 3. 經費已重新修訂
---	---



行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐構想書 ☐申請計畫書 ☐期中報告
☐修正計畫書 ☐期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	111 年度	計畫類型	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他	主持人： 陳鶴文	
計畫名稱	電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品污染偵測上的應用		
審查意見		執行單位回覆	
1. 經審閱階段成果報告，執行進度符合本署核定之定稿本內容及預期完成目標。		感謝委員肯定。	



行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐構想書
 ☐申請計畫書
 ☒期中報告
 ☐修正計畫書
 ☐期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	111 年度	計畫類型	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他		主持人：陳鶴文 NO：B4
計畫名稱	電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品污染偵測上的應用		
審查意見		執行單位回覆	
委員一 1. 本計畫已完成氣味資料庫建置、設備組裝、感測器測試等，尚符合原規劃進度。 2. 目前擬測試的濃度均以空氣為準，建議應適度轉換成土壤中之濃度，以更精確提供土壤地下水管制應用。 3. 本計畫擬針對複雜之混合物，挑戰性頗大，建議後續能在研究成果中，彙整可以分析之主要目標污染物、其濃度範圍、以及應用限制。		感謝委員指導。 1. 待感測器校正完畢後，後續將開始進行土壤曝氣實驗，分析土壤之影響並調整回歸模式。	
委員二 1. 報告第 9 頁說明將採用 TGS2610-C00、TGS2611-C00…等八款式，但在第 16 頁則說明 TGS2602-B00…等六款式，與前面有所差異，請補充說明變動之因素。 2. 本研究採用 Arduino Uno R3 開發板進行作業，請補充說明除 Arduino 微型控制器板外，是否曾利用其他廠牌開發板如 Raspberry Pi 做比較分析。 3. 報告第 33 頁說明透過校正方式可以達到最佳配適，請補充說明校正的方式與條件。		感謝委員指導。 1. 此研究規劃先以測試氣體感測器之準確度進行著手，氣體感測器的選擇以偵測之氣體較為安全為主，因此先選擇第 16 頁之氣體感測器規格。 2. 因此研究初期規劃先採用基本控制器 Arduino Uno R3 開發板進行實驗，後續加入演算法的分析，才會考慮 Raspberry Pi 較高等級的開發版進行。 3. 本研究後續將利用神經網路進行訓練，利用其非線性回歸的特性來對多種感測器的數值進行權重分配，詳細方法已補充於報告第 11 頁中。	



委員三 1. 本研究整合人工智慧與電子鼻技術，應用於土壤油品污染的檢測，利用指紋圖譜作為運算依據，藉此辨認受測氣體的種類及濃度。電子鼻組成之系統極為複雜，期中報告偏重於氣體測試流程與相關程式穩定度測試，至於(1)電子鼻氣味分析與(2)氣味資料庫的建置說明(實驗)較為不足，有待加強。	感謝委員指導。
委員四 1. 期中報告符合預定進度。 2. 完成實驗腔體及感測設備建置。 3. 期末報告時，請將氣體感測器測試之測試資料，進行比對評估準確性。 4. 圖目錄、表目錄附錄部分頁數不對。	感謝委員指導。
委員五 1. 後續如何驗證氣體感測器之準確度，請說明。	感謝委員指導。 1. 我們會在測試腔體內產生固定氣體的濃度，接著將感測器放置測試腔體內，並且開始進行測試感測器讀取之數值與測試腔體內之氣體濃度之差距。



行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐構想書 ☐申請計畫書 ☐期中報告 ☐修正計畫書 ☒期末報告 **審查意見回覆對照表**

計畫年度	111 年度	計畫類型	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他		主持人：陳鶴文 NO：B4
計畫名稱	電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品污染偵測上的應用		
審查意見		執行單位回覆	
委員一 1. 本計畫以 6 個半導體氣體感應器，結合微控制器開發版，進行測試氣體訊號接收，並使用數據解析，期盼成為電子鼻子，以偵測土壤中的有機污染物。研究構想不錯。 2. 計畫中個別及混合測試乙醇及丙酮兩種化合物，測試的化合物與實際土壤地下水常見污染物有明顯差異，建議增加說明；且所使用的濃度相當高，如何回歸到真實情境建議討論其可行性。 3. 在測試真實土壤樣品的部分，目前尚未提供數據，尚無法判定其有效性。		1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議，已修訂完成。(請詳見第 55 頁) 3. 感謝委員建議，因感測器種類較少，在氣體偵測之準確度仍在調校，未來將持續往土壤逸散實驗進行，並加入類神經網路之學習。	
委員二 1. 本計畫採用低成本的 Arduino 板進行分析，另透過神經網路架構進行資料的校正，研究結果初步完成預設目標。 2. 本計畫氣體感測修正誤差值在乙醇與丙酮上均呈現顯著地降低誤差值。 3. 本報告在第 53 頁有關土壤逸散實驗並未說明其實驗結果。		1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員肯定。 3. 感謝委員建議，土壤逸散實驗補充在第 5.7.2 節之實驗結果中。	
委員三 1. 計畫進度符合原定目標。 2. 實驗結果顯示乙醇測試與手持式 TVOC 偵測器，平均誤差在 3-5ppm，丙酮誤差在 100-150ppm 之間，不同氣體差異		1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議。 3. 感謝委員建議，後續會持續改善氣體感測器之誤差，以及解析度，以提供更準確之測量數值。	



性大，有待持續研究改善。 3. 績效自評表請更新至期末。 4. 論文期刊發表後，請於自評表備註欄註明。	4. 感謝委員建議，績效自評表已修訂完成。 5. 感謝委員建議。
委員四 1. 本研究以電子鼻與人工智慧技術建立污染土壤 VOCs 的快速檢測系統，期末報告成果具體符合預期。 2. 請補充期末報告執行成果之中、英文摘要。 3. 未來應建立氣體感測器之精密度、準確度與偵測極限等數據。 4. 環境條件對不同 VOCs 種類是否造成不同程度的影響。	1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議，已修訂完成。 3. 感謝委員建議。 4. 感謝委員建議，根據實驗數據得知，溫度和濕度會造成不同 VOCs 種類影響，未來規劃會將環境條件加入演算法中校正和分析。
委員五 1. 計畫實驗採用三種不同特性的台灣土壤進行逸散率測試，建議補充其與油品污染偵測之關聯性。 2. 計畫預期建立低成本、低開發複雜度、高操作性極高方便之偵測設備，是否有本計畫研發設備與市面上檢測技術之比較與分析？	1. 本計畫實驗採用三種不同特性的台灣土壤，主要是有三種土壤資料(例如土壤深度、PH 值、總體密度.....等等)，並後續在油品污染偵測實驗中，能提供類神經網路之學習，提供逸散率實驗更多資料。 2. 因此研究規劃先採用基本控制器 Arduino Uno R3 開發板進行實驗，後續加入演算法的校正和分析使系統更完整時，後續會與市面上檢測技術比較與分析。



專案執行績效審核—自評表

專案主持人	陳鶴文	專案名稱	電子鼻與人工智慧整合分析技術 在油品污染偵測上的應用			
專案類型	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型		專案主題	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他		
項次	類別	缺失點數	自評項目	執行單位檢核		本署審核
				是	否	
一	計畫書 核定修正	1 點	依規定期限內備文提送	☒	☐	
		1 點	書面資料完整且無補件情況	☒	☐	
		1 點	報告依格式規定撰寫	☒	☐	
		1 點	依規定期限內上傳電子檔	☒	☐	
		1 點	系統資料依規定期限內登錄且資料登錄完整（含本署 SRFS 系統與科技部 GRB 系統）	☒	☐	
二	期中及期末	1 點	依規定期限內備文提送	☒	☐	
		1 點	書面資料完整且無補件情況	☒	☐	
		1 點	報告依格式規定撰寫	☒	☐	
		1 點	依規定期限內上傳電子檔	☒	☐	
		1 點	系統資料依規定期限內登錄且資料登錄完整（含本署 SRFS 系統與科技部 GRB 系統）	☒	☐	
三	結案及核銷	2 點	依規定期限至本署 BAF 系統上傳支用單據	☒	☐	
		3 點	結案上傳支用單據及相關資料完整	☒	☐	
四	其他	4 點	計畫主持人配合出席本專案成果發表活動（或指定代理人如協同主持人、同專業且為助理研究員以上職等）	☒	☐	
		1 點	計畫執行者於執行期間與單位內各處室溝通良好，行政作業效率良好。	☒	☐	
合計		20 點				

註：執行單位於計畫執行期間進行缺失檢核於期中及期末送本署審核，並於期末統一計算。
未依實況登錄者，由本署補登依各階段執行紀錄進行缺失點數扣款。

缺失扣款機制：

- 1.依結案標準，於專案執行期間，視各執行單位行政作業配合度，依「專案執行績效審核—自評表」（[附件 17](#)）進行績效缺失記點，缺失點數達扣款規定者，依核定總金額按比例扣款（或追繳）。
- 2.缺失點數達 5 點者總金額款項扣 1.5%，缺失點數達 7 點者總金額款項扣 3%，缺失點數達 7 點以上者每增加缺失 1 點，加扣總金額款項 1%。



計畫摘要

(一)中文部分：

目前台灣有許多運作超過十年的老舊加油站，油品洩漏問題嚴重，易危害健康與環境，且眾多的老舊加油站導致環保署監測工作效率低落，而傳統的光譜與基於氣相色譜的分析方法無法有效且即時分析出油品污染之土壤的組成成分與污染程度。本研究利用電子鼻（e-nose）來檢測土壤污染的程度，並利用 LSTM 預測發生污染事件後所經過的時間的影響。

本計畫預計結合電子鼻與人工智慧技術，建立一個低成本、高準確性、快速的檢測系統，協助判定受污染土壤中揮發性有機物的組成。

為了測試土壤內之 VOC 濃度，設計一組 VOC 微型感測器測試腔體，並使用手持式 PID 進行校正，在進行實場 VOC 感測器偵測受 VOC 污染之土壤時，可有一台可攜式比對校正儀器，確保 VOC 感測器偵測數據的準確性及穩定性。

本計畫氣體感測器會對多種氣體有反應，後續採用三組氣體感測器進行測試，針對乙醇氣體進行實驗數據之收集與分析，接著使用丙酮氣體進行實驗數據之收集與分析，但因氣體感測氣無分離氣體之功能，在測試乙醇和丙酮的實驗過程中，無法辨別氣體的種類和濃度，需要再增加數種氣體感測器的種類，進行交叉比對後，再進行大數據分析。

未來希望將測試腔體的容積縮小，以加快氣體在腔體內平均擴散的速度，並提供攜帶的功能，在氣體感測器的部分，增加不同種類感測器之數量，透過氣體感測器之不同性質，收集氣體數據，再經由大數據分析和神經網路訓練，實踐分辨氣體之功能。



計畫摘要

(二)英文部分：

Currently, there are many old gas stations in Taiwan that have been operating for over a decade. The issue of fuel leakage is severe, posing risks to health and the environment. The large number of these old gas stations has led to low efficiency in monitoring by the Environmental Protection Administration. Traditional spectroscopy and gas chromatography-based analysis methods are ineffective and not real-time in analyzing the composition and degree of soil contamination caused by oil products.

This study utilizes an electronic nose to assess the level of soil pollution and employs LSTM (Long Short-Term Memory) to predict the temporal impact following a pollution event. The project aims to integrate electronic nose technology with artificial intelligence to establish a low-cost, high-accuracy, and rapid detection system. This system will aid in determining the composition of volatile organic compounds (VOCs) in contaminated soil.

To measure VOC concentrations in the soil, a set of micro-sensors for VOCs is designed for testing chambers. Handheld PID (Photoionization Detector) devices are used for calibration. During the on-site detection of soil contaminated with VOCs using the VOC micro-sensors, a portable reference calibration instrument is employed to ensure the accuracy and stability of the VOC sensor data.

The gas sensors in this project respond to multiple gases. Subsequently, three sets of gas sensors are tested. Experiments are conducted for ethanol gas data collection and analysis, followed by experiments with acetone gas data. However, due to the lack of gas separation functionality in the sensors, the type and concentration of gases cannot be distinguished during the testing process. It is necessary to incorporate various types of gas sensors and conduct cross-comparisons before performing extensive data analysis.



In the future, the aim is to reduce the volume of the testing chamber to accelerate the average diffusion rate of gases within it. Portability will be enhanced. In terms of gas sensors, the variety of sensors will be increased to collect gas data based on the different characteristics of the sensors. Through extensive data analysis and neural network training, the capability to differentiate between gases will be achieved.



目錄

第一章 前言	1
第二章 研究目的	1
第三章 文獻探討	2
3.1 國內水土汙染與監測現況	2
3.2 電子鼻的介紹與其環境監測的應用潛力	3
3.3 人工智慧的發展與應用	5
第四章 研究方法與過程（含工作進度甘特圖）	7
4.1 研究架構	7
4.2 硬體實驗設計	8
4.3 人工智慧模型開發	10
4.4 研究進度及預期完成之工作項目（甘特圖）	13
第五章 結果與討論（含結論與建議）	14
5.1 建置氣味資料庫	14
5.2 設備建置與測試	15
5.3 硬體設備實體圖	26
5.4 氣體感測器測試數據	27
5.5 氣味資料處理	32
5.6 AI 校正、類神經網路	46
5.7 電子鼻與土壤逸散率實驗	53
第六章 未來展望	65
參考文獻	66
附錄 1 氣體感測器靈敏度特性圖	68
附錄 2 氣體感測器實體圖	71
附錄 3 氣體感測器規格表	74



圖目錄

圖 4-1 研究流程圖	7
圖 4-2 土壤 VOC 逸散測試流程圖	8
圖 4-3 ANN 示意圖	11
圖 4-4 LSTM 與 RNN 結構差異	12
圖 5-1 測試腔體測計圖	15
圖 5-2 土壤 VOC 逸散測試腔體實體照片	16
圖 5-3 電子鼻硬體架構	17
圖 5-4 使用麵包板做基本電路實驗與測試	18
圖 5-5 氣體感測器治具	18
圖 5-6 氣體感測器內部電路	19
圖 5-7 氣體感測器改善電路	19
圖 5-8 氣體感測器最新版治具	20
圖 5-9 TGS2602 氣體感測器靈敏度特性	21
圖 5-10 簡化的氣體感測器電路	21
圖 5-11 RS 和 RL 組合	22
圖 5-12 TGS2602 氣體感測器測試實驗	24
圖 5-13 ARDUINO 讀值	24
圖 5-14 軟體架構流程圖	25
圖 5-15 電子鼻實驗設備實體圖	26
圖 5-16 TGS2602 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/07)	27
圖 5-17 TGS2602 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/12)	27
圖 5-18 TGS2602 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/12)	28
圖 5-19 TGS2612 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/05)	29
圖 5-20 TGS2612 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/05)	29
圖 5-21 MQ131 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/15)	30
圖 5-22 預熱後，MQ131 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/15)	30
圖 5-23 MQ137 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/13)	31



圖 5-24	MQ138 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/16)	· 31
圖 5-25	實驗環境與設備	····· 33
圖 5-26	HONEYWELL PPBRAE 3000 手持式 TVOC 偵測器	····· 33
圖 5-27	實驗數據收集	····· 34
圖 5-28	第 1 次氣體感測器實驗(流量：500CC，時間：15 秒)	35
圖 5-29	第 2 次氣體感測器實驗(流量：500CC，時間：15 秒)	35
圖 5-30	第 1 次氣體感測器實驗(流量：500CC，時間：30 秒)	37
圖 5-31	第 2 次氣體感測器實驗(流量：500CC，時間：30 秒)	37
圖 5-32	第 1 次氣體感測器實驗(流量：500CC，時間：60 秒)	39
圖 5-33	第 2 次氣體感測器實驗(流量：500CC，時間：60 秒)	39
圖 5-34	第 1 次氣體感測器實驗(流量：500CC，時間：15 秒)	41
圖 5-35	第 2 次氣體感測器實驗(流量：500CC，時間：15 秒)	41
圖 5-36	第 1 次氣體感測器實驗(流量：500CC，時間：30 秒)	43
圖 5-37	第 2 次氣體感測器實驗(流量：500CC，時間：30 秒)	43
圖 5-38	混合氣體之氣體感測器實驗(流量：500CC，時間：15 秒)	····· 45
圖 5-39	研究流程圖	····· 46
圖 5-40	感測器數值校正	····· 47
圖 5-41	神經網路架構	····· 48
圖 5-42	氣體感測器之數據分析	····· 49
圖 5-43	氣體感測器 TGS2602 原始讀值(氣體:乙醇)	····· 51
圖 5-44	氣體感測器 TGS2602 線性回歸之數據(氣體:乙醇)	·· 51
圖 5-45	氣體感測器 TGS2602 線性回歸之數據(氣體:丙酮)	·· 52
圖 5-46	氣體感測器 TGS2602 線性回歸之數據(氣體:丙酮)	·· 52
圖 5-47	南投惠蓀森林土	····· 53
圖 5-48	桃園平鎮系紅土	····· 53
圖 5-49	台南嘉南平原將軍系土	····· 54
圖 5-50	土壤逸散率實驗環境	····· 54
圖 5-51	土壤逸散率之實驗設計	····· 55
圖 5-52	將軍系土之空白樣品實驗(手持式氣體偵測器)	····· 57



圖 5-53 將軍系土之空白樣品實驗(TGS2602).....	58
圖 5-54 將軍系土之樣品分析實驗(手持式氣體偵測器).....	59
圖 5-55 將軍系土之樣品分析實驗(TGS2602).....	60
圖 5-56 惠蓀森林土之空白樣品實驗(手持式氣體偵測器).....	61
圖 5-57 惠蓀森林土之空白樣品實驗(TGS2602).....	62
圖 5-58 惠蓀森林土之樣品分析實驗(手持式氣體偵測器).....	63
圖 5-59 惠蓀森林土之樣品分析實驗(TGS2602).....	64
圖附錄 1-1 TGS-2602 氣體靈敏度特性圖	68
圖附錄 1-2 TGS-2612 氣體靈敏度特性	68
圖附錄 1-3 MQ-131 氣體靈敏度特性	69
圖附錄 1-4 MQ-137 氣體靈敏度特性	69
圖附錄 1-5 MQ-138 氣體靈敏度特性	70
圖附錄 2-1 TGS2602 氣體感測器實體圖	71
圖附錄 2-2 TGS2612 氣體感測器實體圖	71
圖附錄 2-3 SPG30 氣體感測器實體圖	72
圖附錄 2-4 MQ131 氣體感測器實體圖	72
圖附錄 2-5 MQ137 氣體感測器實體圖	73
圖附錄 2-6 MQ138 氣體感測器實體圖	73



表目錄

表 4-1 測試氣體濃度與供氣流量	9
表 4-2 感測器規格	10
表 5-1 土壤氣味有機化合物之資料庫	14
表 5-2 氣體感測器之實驗數據表(流量：500CC，時間：15 秒)	36
表 5-3 氣體感測器之實驗數據表(流量：500CC，時間：30 秒)	38
表 5-4 氣體感測器之實驗數據表(流量：500CC，時間：30 秒)	40
表 5-5 氣體感測器之實驗數據表(流量：500CC，時間：15 秒)	42
表 5-6 氣體感測器之實驗數據表(流量：500CC，時間：30 秒)	44
表 5-7 相關係數範圍	49
表 5-8 乙醇係數值	50
表 5-9 丙酮係數值	50
表 5-10 氣體感測器修正誤差值(氣體:乙醇).....	51
表 5-11 氣體感測器修正誤差值(氣體:丙酮).....	52
表 5-12 土壤基本資料	56
表 5-13 土壤基本資料	56
表 5-14 將軍系土之空白樣品實驗相關數據.....	57
表 5-15 將軍系土之空白樣品實驗相關數據.....	58
表 5-16 將軍系土之樣品分析實驗相關數據.....	59
表 5-17 將軍系土之樣品分析實驗相關數據.....	60
表 5-18 惠蓀森林土之空白樣品實驗相關數據.....	61
表 5-19 惠蓀森林土之空白樣品實驗相關數據.....	62
表 5-20 惠蓀森林土之樣品分析實驗相關數據.....	63
表 5-21 惠蓀森林土之樣品分析實驗相關數據.....	64



附錄表 3-1 TGS2602 規格表	74
附錄表 3-2 TGS2612 規格表	75
附錄表 3-3 SPG30 規格表	76
附錄表 3-4 MQ131 規格表	77
附錄表 3-5 MQ137 規格表	78
附錄表 3-6 MQ138 規格表	79



第一章 前言

目前台灣有許多運作超過十年的老舊加油站，油品洩漏問題嚴重，易危害健康與環境，且眾多的老舊加油站導致環保署監測工作效率低落，而傳統的光譜與基於氣相色譜的分析方法無法有效且即時分析出油品污染之土壤的組成成分與污染程度。本研究利用電子鼻（e-nose）來檢測土壤污染的程度，試圖區分由汽油和柴油引起的污染，並利用LSTM預測發生污染事件後所經過的時間的影響。本研究選用台灣常見的兩種土壤：淋溶土（Acrisol）以及弱育土（Inceptisol）作為實驗樣本，並以超級柴油、92無鉛汽油、95無鉛汽油、以及98無鉛汽油作為實驗用污染物。本研究使用之參考儀器與美國光化測站相同，以每小時捕捉空氣樣品後，經熱脫附儀將空氣樣本注入GC-FID進行分析。主成分分析（PCA）和人工神經網絡（ANN）分析表明，電子鼻結果可用於檢測土壤污染並區分污染物和污染程度。

第二章 研究目的

本計畫預計結合電子鼻與人工智慧技術，建立一個低成本、高準確性、快速的檢測系統，協助判定受汙染土壤中揮發性有機物的組成，預計開發的系統內容：包含感測元件選用、軟體系統開發以及邊緣計算器等硬體系統的研發。不同型號的氣體感測器具備的敏感度以及可感測的污染物類別皆不相同，因此當實驗透過多個感測器記錄污染物時，研究人員可以取得更加多樣的數據來源，並藉此更顯著地歸納出污染物的特徵。在設備採購與實驗樣本設置完成後，本計畫將逐期監測環境參數，並分析環境參數作為建模時的參數設定。透過電子鼻收集受汙土壤的相關數據，建立建模所需的資料庫。

在數據前處理部分，收集各個受汙土壤對應時間變化的數據，建立氣味資料庫，並進行數據清洗以及正規化作為建模時的輸入源。在開發模式時，本計畫擬透過人工神經網路(ANN)開發氣味數據辨識模式，首先建立氣味資料庫，擷取各類油品及受汙土壤的特徵，爾後對其進行分類，建立訓練數據集、測試集以及驗證集，並完成模式的開發。最後，本計畫將分析模型產出之結果，審視模式辨識結果，逐次校正模式，以提升模型的成功率與準確度。



第三章 文獻探討

3.1 國內水土污染與監測現況

隨著國內油品市場開放競爭劇烈，加油站林立，許多老舊加油站使用大多超過 10 年，近年來環保署執行之「全國十年以上加油站及大型儲油槽潛在污染源調查計畫」中進行調查發現許多十年以上加油站洩漏問題嚴重，一旦發生洩漏則油品入滲於土壤、地下水中或透過地下水將污染範圍擴大造成污染事件，石油污染將對人類與環境產生危害，已成為台灣水土污染的主要來源之一(林煥修，2006)。

環境保護署積極針對全國加油站及大型儲存槽之水土污染進行調查，藉以確保周遭環境以及居民飲用水的安全，除了訂定分年分期計畫進行污染調查工作，並依事業單位之地下儲槽系統設置日期排序，針對儲槽營運使用時間較久者優先進行污染調查，期能逐年掌握所有既設加油站之污染潛勢，亦依土壤、地下水檢測結果及污染程度，建立污染潛勢分級原則與污染潛勢名單，並依管理辦法要求所屬事業單位確實設置防止地下水污染設施及監測設備，並進行監測申報，以避免未來造成環境污染。

然而，全國加油站數量龐大導致環境監測工作存在高成本低效率的問題，而提高了稽查難度與整治成本。目前國內外傳統用於檢測石油碳氫化合物的主流分析技術有：氣相色譜法(Gas Chromatography)、氣相層析質譜法(Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)、高效能液相層析法(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)、紅外線光譜法(Infrared Spectroscopy, IRS)、超臨界流體層析法(Supercritical Fluid Chromatography, SFC)、薄層色譜法(Thin Layer Chromatography, TLC)、同位素比值質譜法(Isotope-Ratio Mass Spectrometry, IRMS)、重量分析法(Gravimetric Methods)(Paíga et al., 2012; Szarlip et al., 2014)。然而，在石油的揮發特性和土壤有機質背景值的顯著影響下，傳統的光譜與基於氣相色譜的分析方法無法有效且即時的分析出油品污染之土壤的組成成分與污染程度(Malley et al., 1999)。

在國內絕大多數加油站僅利用測漏管進行土壤氣體監測以評估油品滲漏的監測效果，但是難以即時掌握油品滲漏的發生時機與污染程度。因此，如何有效地監測石油碳氫化合物所造成之水土污染問題亦成為一項深具挑戰性的任務。近年來，歸功於多感官材料與微電路設計的進步和計算機科學的快速發展，利用氣味分子辨識化合物的傳感器—電子鼻得到了快速的發展與應用。因為電子鼻具備模擬生物嗅覺系統的特性，適合用於偵測與辨識具揮發特性的化學物質，且得益於近年來材料與電子電路的蓬勃發展，電子鼻技術相較於過去在偵測的敏感度、成本與硬體大小等各方面都已有顯著的發展。



因此本計畫期望透過電子鼻技術結合人工智慧技術建置總石油碳氫化合物之自動化監測與污染物辨識模型，預期使該模式具備即時監測土壤污染狀況與辨識污染物及污染程度的能力。

3.2 電子鼻的介紹與其環境監測的應用潛力

嗅覺是生物五大感官之一，也是扮演生物生存的重要角色。嗅覺感知是指有氣味的物質激活鼻子的嗅覺細胞感受器後，藉由數百萬個嗅覺細胞與氣體反應後，傳送不同排列組合的化學訊號而形成嗅覺紋理，再將化學訊號轉成電波訊號送到大腦皮質以辨別氣體的種類及含量。

生物本能上可藉由嗅覺來尋找食物、標記地盤、感知環境及躲避危險等。隨著文明發展及科技日新月異，嗅覺的應用也越來越廣泛，例如：藉由嗅覺分辨食物腐敗、辨別咖啡豆種類或訓練緝毒犬追查毒品等。

然而精準的嗅覺判斷除生物先天本能外，另需依賴長期訓練及經驗累積，但此過程不僅耗時費事且成本高昂，且生物嗅覺對於氣味的判斷並無客觀公正的標準，易受其生理及心理狀態影響。應用感測器矩陣技術建置人工嗅覺模型，是以模擬哺乳動物嗅覺感官的結構及原理，使生物主觀的感覺有了科學化的基礎，其概念亦被視為電子鼻發展的重大貢獻之一。

人體嗅覺刺激的產生大致可以分成四個步驟(Mombaerts, 2001)，包含(1)氣味分子經由人體呼吸進入鼻腔；(2)氣味分子擴散並進入於鼻腔黏膜中的嗅覺細胞，在嗅覺細胞中的受體蛋白活化成 G 蛋白並合成為 cAMP，而後產生受體電位和脈衝電位；(3)產生之訊號先後傳遞至嗅球、嗅覺皮質、大腦皮質；(4)由大腦辨別氣味。電子鼻是一種可以模擬生物嗅覺細胞感知氣味，且具備定性和定量的氣味分析儀器。因此，與人體產生嗅覺的過程相似，電子鼻可歸類為仿生科技，即模仿人體嗅覺原理製作出的儀器，對應人體嗅覺產生的四個步驟，電子鼻的系統可分為(1)取樣系統、(2)化學感測器陣列系統、(3)圖譜辨識系統、(4)氣味分析系統(Bartlett & Gardner, 2000)。

氣味分子由取樣系統進入化學感測器陣列後，連接圖譜辨識及氣味分析系統，而後產生結果。通常電子鼻晶片的表面塗有一層含碳的高分子材料，當高分子接觸到氣體時便會膨脹變大，改變了原先的電阻，在感測器矩陣中配置數種不同的晶片感測器，當不同成分的氣味分子接觸到感測器陣列時，會使每個感測器產生不同程度的電阻變化，不同的氣體及濃度會讓陣列中各個感測器產生不同的電阻數據，與預先建立的資料庫作比對，便成為該氣味獨特的電阻組合圖，傳送至電腦經訊號處理及統計分析後，成為特定氣體的圖譜或稱電子指紋圖，再以指紋圖作為運算依據，不同的氣體便呈現不同的身分辨識的指紋圖，藉此辨認受測氣體的種類及濃度。



近年來，由於計算機科學與感測器技術的快速發展，電子鼻也陸續地被應用於諸多層面。在醫療方面，眾多研究使用氣相色譜(GC)或氣相層析質譜(GC-MS)等分析儀器進行頂空分析(Headspace Analysis)時發現，微生物的生長過程會產生許多揮發性有機化合物，包括醇類、脂肪酸或萜烯，其中有部分化合物具有特徵氣味(Pavlou et al., 1999)，且學者於培養微生物時亦發現，培養液的類型和時長以及微生物種類都會影響產生之揮發性化合物的數量和性質，由於其揮發性化合物的性質恰好是某些傳染性微生物的特徵，因此可用作辨識疾病的依據。

對此，Turner & Megan (2004)利用電子鼻技術進行採樣並分析數種細菌、微生物以及與其生長時產生之揮發性有機化合物，並透過主成分分析(Principle Component Analysis, PCA)簡化數據集，藉此找出對應疾病之特徵，以達成早期診斷與微生物疾病檢測的目的。

在食品安全與品質管理方面，電子鼻亦成功得到廣泛的應用，控管肉類食品品質時最重要的指標是肉品的色澤與氣味，雖然食品變質時會產生某些揮發性有機化合物，但是現行研究還無法透過單一類型的化合物鑑定食品品質；然而，揮發性有機化合物的組合卻能形成獨特的指紋(Fingerprint)或圖譜(Pattern)，若將其透過電子鼻紀錄並分析，便可以得到辨識肉類食品品質的分析模式，以確保食品安全與品質管制。由此可見電子鼻應用領域廣泛，在環境監測領域也有諸多貢獻。

電子鼻在環境監測領域普遍應用於空氣品質監測、水質監測、製程控制(Process Control)與污染控制(Pollution Control)。指出電子鼻已陸續被應用於監測石油與天然氣工業中的氣體洩漏和污染物，以及偵測化工行業在製造過程中釋放的揮發性有機化合物。儘管電子鼻現階段多應用於偵測具備揮發性質的化合物，電子鼻亦可應用於偵測土壤中腐植質的組成成分，如腐植酸(Humic Acid, HA)與黃腐酸(Fulvic Acid, FA)，以辨識土壤的肥沃程度。

電子鼻在環境監測的應用還包括燃料混合物分析、油品洩漏檢測、以及煉油廠環境的安全檢測等等。Ferreiro-González et al. (2016)透過電子鼻於實驗過程中成功識別不同種類特性的汽油衍生產品與其燃燒後的殘留物，其研究結果也證明電子鼻可應用於連續高頻的環境監測。綜觀上述，相較於傳統的氣相色譜分析方法，電子鼻擁有更多優勢，且具備眾多環境監測的應用潛力。因此本計畫相信若能將人工智慧技術結合電子鼻系統，開發模式提高電子鼻系統分析與識別的能力，則能更多的體現電子鼻環境監測的應用價值。



3.3 人工智慧的發展與應用

人工智慧(Artificial Intelligence, AI)是指透過經驗、知識的擷取、累積與推論讓電腦具有人類的知識與行為，並具有學習、推理與判斷解決問題、知識儲存記憶、瞭解人類所說的語言等能力。它利用仿真技術將人類思考的邏輯機械化，透過各式演算法對數據進行學習，以萃取出隱含在數據中的規則，尤其在圖像的解析與應用上(例如：車牌辨識系統、人臉辨識...等等)發揮了極大的成效(Jiang & Learned-Miller, 2017)。AI 技術的特點是透過經驗和知識的累積、擷取，使電腦能夠模仿人類思維與行為，並且具有學習、解決問題、邏輯推理及理解、記憶人類語言等能力，而這些能力是將人類對各種問題進行的思考、邏輯推演、計畫與決策及解決問題等過程，經分解成各個基本步驟，再利用程式設計的方法，將決策過程系統化、結構化與公式化，並利用這個方法來解決或處理各種更複雜的問題(Chang, 2020)，因此也非常適用應用於像「土壤、地下水污染場址整治」這類複雜的環境問題上。

透過它們的協助，我們可以更快、更準確地執行重複性、精密度高的任務，當系統是一個隨時間變化的動態系統時，藉由資料的持續更新以及演算法的持續學習，可以更快速的掌握變動的環境特徵(Valle-Cruz et al., 2020)，因此在環境監測與管理上逐漸受到重視(Saarela et al., 2019; Wei et al., 2019)。然而環境監測的重大課題之一是環境資料與數據本身擁有極高的不確定性，應用傳統數學模式進行分析有相當多的限制與難度。舉例來說，當本計畫回顧水土污染相關的文獻(特別是受石油碳氫化合物污染)時發現，釋放到環境中的污染物容易受到蒸發、微生物降解、溶解等過程影響，產生(水油)乳化、光氧化以及礦物聚集等作用，進而導致土壤本身的狀況發生改變。

然而這些過程又取決於污染物的類型、性質、數量、反應時間以及土壤的種類，土壤與污染物之間的交互作用也增加採樣分析的不確定性與難度。因此，如何於環境監測的過程中納入相關聯的顯著參數進行分析，以加強準確率，降低不確定性亦是本計畫期望解決的挑戰之一。近年來受到演算法以及機器學習快速發展的影響，眾多環境監測與管理相關的研究已展示如何透過類神經網路(Artificial Neural Network, ANN)以及相關的深度學習(Deep Learning)演算法對複雜的環境資料進行分析與建模，眾多結果也證明了借助人工智慧技術的優勢，管理者與決策者將能夠更有效、更迅速的進行分析、管理與決策。類神經網路(ANN)也被稱為人工神經網路，是機器學習的子集，深度學習演算法的核心，也是眾多神經網路演算法的根本。

其名稱和結構靈感來自人腦，模仿生物神經元彼此之間發送訊號的方式，每一個節點或神經元會連接到另一個，而且具有相關加權和臨界值；若任何個別節點的輸出值高於指定臨界值，則網路將立即啟動該節點，並將資



料傳送至下一層，反之系統則不會將任何資料傳遞至網路的下一層。

根據本計畫回顧過往相關文獻發現，近期應用電子鼻儀器進行物件分析辨識的研究多使用類神經網路(ANN)結合主成分分析(Principle Component Analysis, PCA)或卷積神經網路(CNN)二種方法簡化數據並建立圖譜識別模式(Pattern Recognition Model)。考量到在執行相關研究時，實驗的執行往往需要連接多個不同型號、種類的感測晶片收集數據，此過程可能造成變數過多，導致模式建置時模式無法擷取有效特徵，因此根據上述回顧文獻的結果表示開發模式時若使用 ANN 結合 PCA 或 CNN 簡化數據，則能有效取得物件的關鍵特徵，並且模式能夠提供高辨識成功率、高準確度的結果。

7



4.2 硬體實驗設計

本研究為了測試土壤內之 VOC 濃度，設計一組 VOC 微型感測器測試腔體，實驗流程圖如圖 4-2 所示。測試腔體為一個 20 L 之圓筒型透明壓克力腔體，待測土壤置於測試腔體底部。腔體底部有一氣體入口，用以將土壤內之 VOC 藉由曝氣方法使其逸散置腔體環境中。腔體側邊上方有一個乾淨空氣入口，用來通入空氣，進行每次實驗測試後之腔體歸零，並由下方氣體出口流出。腔體正上方有三個感測器裝置口，用來裝設待測 VOC 感測器。

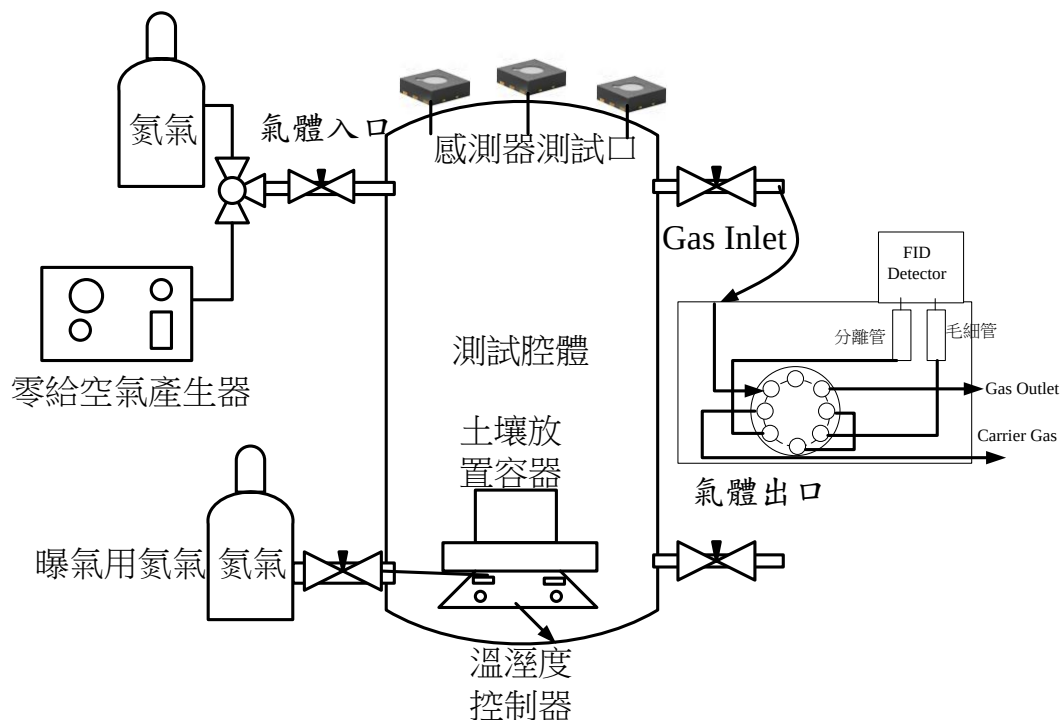


圖 4-2 土壤 VOC 逸散測試流程圖

在進行土壤逸散 VOC 測試前，本研究將先針對所購置之 VOC 感測器進行校正，實驗系統示意圖如圖 4-2 所示。實驗設備包括氣體校正器(Thermo Scientific 146C)、零氣體供應器(Thermo Scientific MODEL 111)及氣體吸收瓶。測試溫度控制在 20-25°C，氣體吸收瓶用來增加零空氣的濕度。測試腔體內之溫溼度以 Honeywell HIH-4602-C 進行偵測，參考儀器擬利用氣體層析儀-火焰式離子偵測器(Gas chromatograph with flame ionization detector, GC-FID)及手持式 PID。

本研究擬針對手持式 PID 進行校正，以利未來在進行實場 VOC 感測器在偵測受 VOC 污染之土壤時，可有一台可攜式比對校正儀器，確保 VOC 感測器偵測數據的準確性及穩定性。校正實驗之測試氣體產生源包括 0.99 ppm 之苯(Linde, NIST traceable by weight)及 1.03 ppm 之苯、0.96 ppm 之 1,3 丁二烯與



1.03 ppm 之四氯乙烯混和氣體產生源。表 4-1 為各測試氣體濃度及供應流量，所有測試氣體皆控制在 25ppb 以下以避免延遲效應對測試箱體之影響。執行測試時，每個微型感測器皆在腔體中暴露於 VOC 氣體下超過 15 小時。在進行第一種微型感測器(UniTec SENS-IT)測試時(方法一)，測試氣體濃度先上升至 25 ppb 後再逐漸降至 0 ppb，每個設定濃度值測試 90 分鐘，共 10 個設定濃度值。方法二由較低濃度開始進行測試，並以較低流量(2 L/min)之測試氣體通入腔體使 VOCs 達到 25 ppb，每個濃度設定點之測試時間為 180 分鐘。

表 4-1 測試氣體濃度與供氣流量

苯 (ppb)	三種氣體混和 (ppb)				供氣流量 (L/min)
	苯	1,3 丁二烯	四氯乙烯	總 VOCs	
24.75	25.75	24.00	25.75	75.50	2
5.25	5.46	5.09	5.46	16.01	5
1.14	1.18	1.10	1.18	3.47	5
0.25	0.26	0.24	0.26	0.76	8

本研究使用之參考儀器與美國光化測站相同，其採用美國 Perkin Elmer 公司自動 VOCs 分析系統作為光化測站主要監測設施，其中熱脫附儀、氣相析儀/火焰離子偵測器為主要之分析儀器，以每小時捕捉空氣樣品後，經熱脫附儀將空氣樣本注入 GC-FID 進行分析，分析管柱分為兩種，一是 PLOT 管柱，主要分離低碳數(C2-C5)之 VOCs 物種，二為 BP-1 管柱，主要分離高碳數(C6-C12)VOCs 物種。

電子鼻設備將由多個氣體感測器以及處理器連接空氣幫浦組成。目前市面上已經有許多款式的氣體感測器，根據不同的感測原理大致可分為半導體式(MOS)、電化學式(EC)、催化式(CAT)、以及紅外線式(NDIR)。不同感測原理的氣體感測器對應的產品特色、感測範圍、觀測目標、以及敏感度皆不盡相同。考量到實驗所觀測的目標為石油碳氫化合物，且油品在與土壤相互作用後揮發的氣體濃度可能較低，需要高敏感度儀器進行監測，故本計畫擬使用費加羅 (FIGARO) 所提供的 TGS2600-B00、TGS2610-C00、TGS2611-C00、TGS2612-D00、TGS2611-E00、TGS2620-C00、TGS2602-B00、TGS2610-D00 等八款半導體式氣體感測器，其規格如表 4-2 所示。



表 4-2 感測器規格

名稱	檢測目標	濃度檢測範圍	解析度
TGS2600-B00	整體空氣品質	1-30ppm	0.3~0.6 ppm
TGS2610-C00	可燃氣體(甲烷、乙烷...)	500-10,000ppm	0.50~0.62 ppm
TGS2610-D00	丁烷，LP 氣體	1 ~ 25% LEL	0.37~0.60 %LEL
TGS2611-C00	甲烷	1~25 %LEL	0.54~0.66 %LEL
TGS2612-D00	甲烷、丙烷、異丁烷	1~25 %LEL	0.47~0.60 %LEL
TGS2611-E00	甲烷，天然氣	1~25 %LEL	0.52~0.65 %LEL
TGS2620-C00	乙醇、有機溶劑	50 ~ 5000ppm	0.3~0.5 ppm
TGS2602-B00	VOC、氨氣、硫化氫等	1 ~ 30ppm	0.08~0.5 ppm

不同型號的氣體感測器具備的敏感度以及可感測的污染物類別皆不相同，因此當實驗透過多個感測器記錄污染物時，研究人員可以取得更加多樣的數據來源，並藉此更顯著地歸納出污染物的特徵。

4.3 人工智慧模型開發

4.3.1 數據前處理

由於資料中的部分變數數值差異極大，不易進行模型建置，也容易發生數值較小的變數會排除的現象發生，也會導致演算法搜尋範圍變大降低模型效能，因此先利用資料正規化(Normalization)的方式將資料轉換至 0 至 1 之間，其公式如下式，常用於神經網路和迴歸方程式的加權輸入和最佳化演算法中，能有效提升模型準確度和提升收斂速度，且對於線性模型，資料正規化會使梯度下降過程更加平穩，使算法較容易收斂到全域最佳解。

$$Z_i = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

由於資料中的變數和變數之間的範圍不盡相同，且每個範圍所代表的涵義也不同，因此希望數據更具有比較性且有效提升模型的準確度，因此將數據進行資料標準化，其公式如下式：

$$X_i = (X_i - X_{\text{mean}}) / X_{\text{std}} \quad (2)$$

完成正規化後，為使模型可以被驗證其準確度，因此將每一資料集切分為訓練集(Training data)與測試集(Test data)，其比例為訓練集(80%)和測試集 Test data (20%)。



4.3.2 人工智慧模型

本研究預計利用 ANN 來分類電子鼻所蒐集之數據。神經網路也被稱為人工神經網路 (ANN) 或模擬神經網路 (SNN)，是機器學習的子集，也是深度學習演算法的核心。其名稱和結構靈感來自人腦，模仿生物神經元彼此之間發送訊號的方式。人工神經網路 (ANN) 由一個節點層組成，包含一個輸入層、一個或多個隱藏層，以及一個輸出層。每一個節點或人工神經元會連接到另一個，而且具有相關加權和臨界值。如果任何個別節點的輸出高於指定臨界值，隨即啟動該節點，並將資料傳送至網路的下一層。否則，不會將任何資料傳遞至網路的下一層。

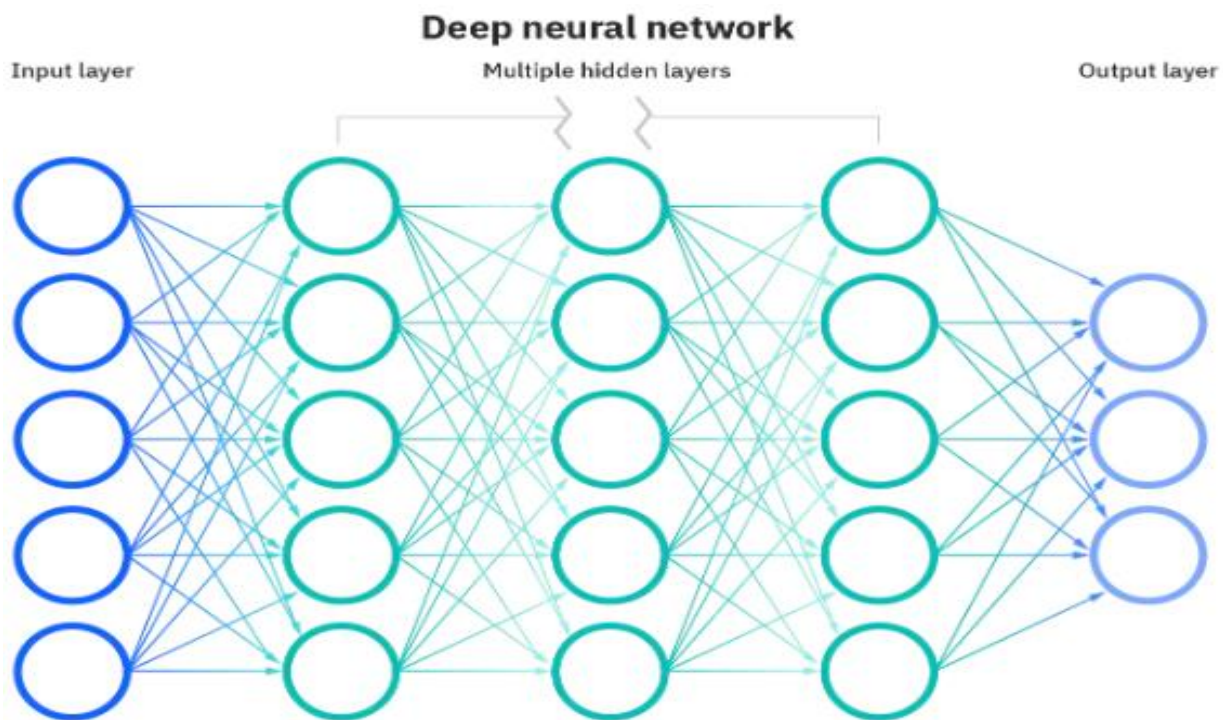


圖 4-3 ANN 示意圖

本研究另外選擇 LSTM 來預測未來污染擴散範圍。目的是希望利用污染擴散程度與時間的關係，進行及早預防與處理污染。長短期記憶 (Long short-term memory, LSTM) 是一種特殊的 RNN，主要是為了解決長序列訓練過程中的梯度消失和梯度爆炸問題。簡單來說，就是相比普通的 RNN，LSTM 能夠在更長的序列中有更好的表現。LSTM 結構，如圖 4-3 所示(IMB，什麼是神經網絡)，和普通 RNN 的主要輸入輸出區別如圖 4-4 所示。

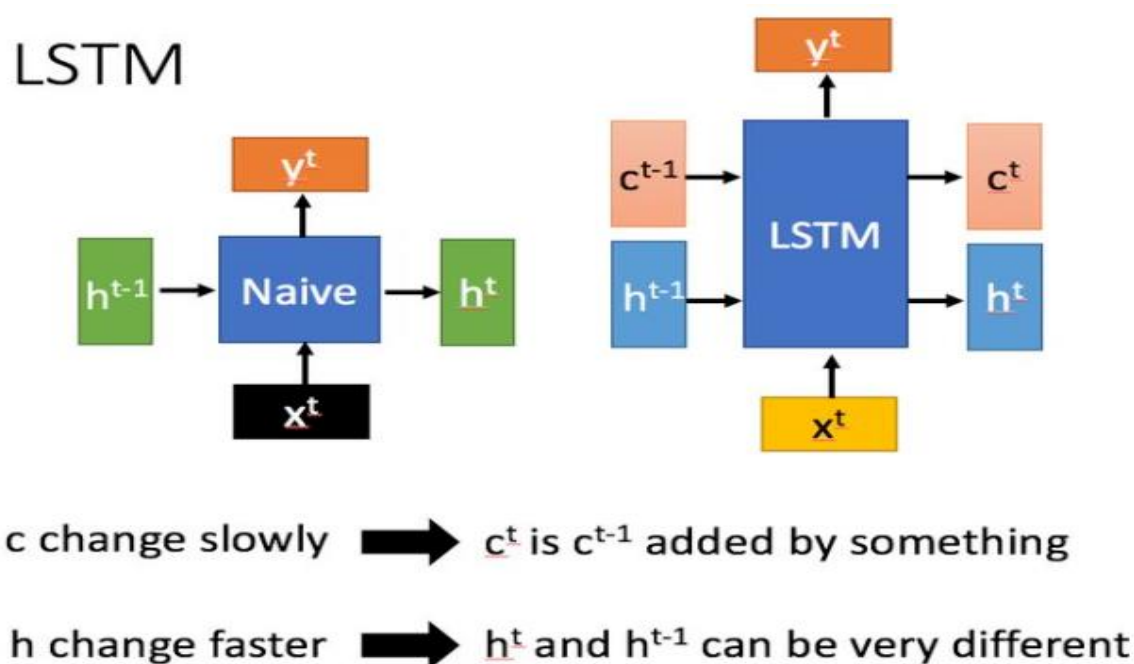


圖 4-4 LSTM 與 RNN 結構差異

相比 RNN 只有一個傳遞狀態 h^t ，LSTM 有兩個傳輸狀態，一個 c^t (cell state)，和一個 h^t (hidden state)。(Tips：RNN 中的 h^t 等於 LSTM 中的 c^t) 其中對於傳遞下去的 c^t 改變得很慢，通常輸出的 c^t 是上一個狀態傳過來的 c^{t-1} 加上一些數值。而 h^t 則在不同節點下往往會有很大的區別。

LSTM 內部主要有三個階段：

STEP 1：忘記階段。這個階段主要是對上一個節點傳進來的輸入進行選擇性忘記。簡單來說就是會“忘記不重要的，記住重要的”。具體來說是通過計算得到的 z^f (f 表示 forget) 來作為忘記門控，來控制上一個狀態的 c^{t-1} 哪些需要留哪些需要忘。

STEP 2：選擇記憶階段。這個階段將這個階段的輸入有選擇性地進行“記憶”。主要是會對輸入 x^t 進行選擇記憶。哪些重要則著重記錄下來，哪些不重要，則少記一些。當前的輸入內容由前面計算得到的 z 表示。而選擇的門控信號則是由 z^i (i 代表 information) 來進行控制。將上面兩步得到的結果相加，即可得到傳輸給下一個狀態的 c^t 。也就是上圖中的第一個公式。

STEP 3：輸出階段。這個階段將決定哪些將會被當成當前狀態的輸出。主要是通過 z^o 來進行控制的。並且還對上一階段得到的 z^o 進行了放縮（通過一個 tanh 激活函數進行變化）。

與普通 RNN 類似，輸出 y^t 往往最終也是通過 h^t 變化得到。



4.4 研究進度及預期完成之工作項目（甘特圖）

工作項目	年月	111 年度						112 年度						備 註
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	
1. 土壤樣品採集														
2. 油品選擇														
3. 設備建置與測試														
4. 氣味分析														
5. 建置氣味資料庫														
6. 期中報告撰寫														
7. 氣味資料處理														
8. 電子鼻與 AI 辨識整合														
9. 電子鼻與大數據分析整合														
10. 期末報告撰寫														
工作進度估計百分比 (累 積 數)		10	20	30	35	40	50	65	70	75	80	90	100	%
預定查核點	期中	1.實驗設備建置 2.電子鼻氣味分析 3.建置氣味資料庫												
	期末	4.電子鼻氣味資料處理 5.電子鼻及 AI 辨識整合 6.電子鼻與大數據分析技術建立												
說明：														
1、工作項目請視專案性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起迄日期。														
2、「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：(1)工作天數，(2)經費之分配，(3)工作量之比重，(4)擬達成目標之具體數字。														
3、「預定查核點」，請在條形圖上標明※符號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。														
4、以 12 個月作規劃，其中期中報告書提送要件需達計畫執行進度 50%以上，期末報告書需於計畫結束前 1.5 個月提送。														



第五章 結果與討論（含結論與建議）

5.1 建置氣味資料庫

土壤氣味資料庫，參考環保署土壤及地下水污染整治基金會，於 100 年 1 月 31 日修訂「土壤污染管制標準」中規範污染物之管制項目及管制標準值，建立土壤氣味有機化合物之資料庫，如表 5-1。

表 5-1 土壤氣味有機化合物之資料庫

編號	名稱	管制標準
1	苯 (Benzene)	5 毫克／公斤
2	四氯化碳 (Carbon tetrachloride)	5 毫克／公斤
3	氯仿 (Chloroform)	100 毫克／公斤
4	1,2-二氯乙烷 (1,2-Dichloroethane)	8 毫克／公斤
5	順-1,2-二氯乙烯 (cis-1,2-Dichloroethylene)	7 毫克／公斤
6	反-1,2-二氯乙烯 (trans-1,2-Dichloroethylene) 50 毫克／公斤	50 毫克／公斤
7	1,2-二氯丙烷 (1,2-Dichloropropane)	0.5 毫克／公斤
8	1,2-二氯苯 (1,2-Dichlorobenzene)	100 毫克／公斤
9	1,3-二氯苯 (1,3-Dichlorobenzene)	100 毫克／公斤
10	3,3'-二氯聯苯胺 (3,3'-Dichlorobenzidine)	2 毫克／公斤
11	乙苯 (Ethylbenzene)	250 毫克／公斤
12	六氯苯 (Hexachlorobenzene)	500 毫克／公斤
13	五氯酚 (Pentachlorophenol)	200 毫克／公斤
14	四氯乙烯 (Tetrachloroethylene)	10 毫克／斤
15	甲苯 (Toluene)	500 毫克／公斤
16	總石油碳氫化合物 (TPH)	1000 毫克／公斤
17	三氯乙烯 (Trichloroethylene)	60 毫克／公斤



18	2,4,5-三氯酚 (2,4,5-Trichlorophenol)	350 毫克／公斤
19	2,4,6-三氯酚 (2,4,6-Trichlorophenol)	40 毫克／公斤
20	氯乙烯 (Vinyl chloride)	10 毫克／公斤
21	二甲苯 (Xylenes)	500 毫克／公斤

5.2 設備建置與測試

5.2.1 氣體測試流程與實驗腔體建置

本研究為了測試土壤內之 VOC 和其他氣體濃度，設計一組壓克力感測器測試腔體，圓筒型透明壓克力腔體的尺寸直徑 300mm、厚度 10 mm、高 410mm，待測土壤置於測試腔體的土壤放置容器上。土壤放置容器的尺寸直徑 100mm、高 50mm 高，腔體底部有一氣體入口，用以將土壤內之 VOC 藉由曝氣方法使其逸散置腔體環境中。腔體側邊上方有一個乾淨空氣入口，用來通入乾淨空氣，進行每次實驗測試後之腔體氣體歸零，並由下方氣體出口流出。腔體正上方有三個感測器裝置口，用來裝設待測 VOC 感測器，如圖 5-1 所示。

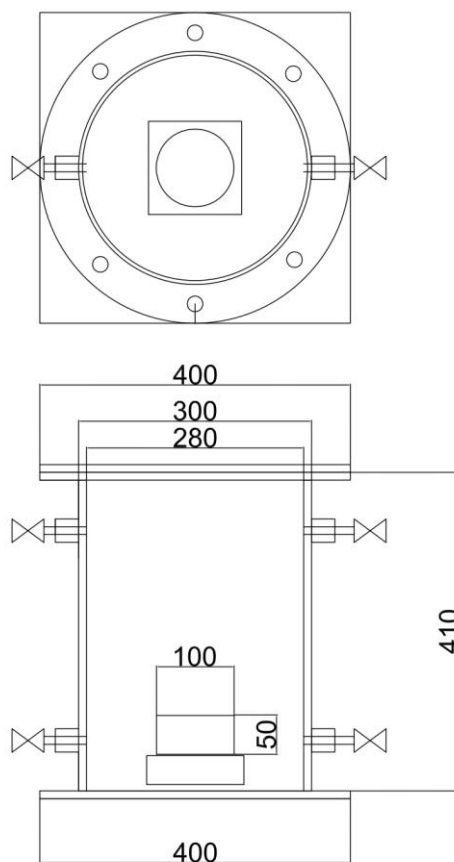


圖 5-1 測試腔體測計圖



如圖 5-2 所示，測試腔體完成之實體照片，測試腔體內部安裝溫溼度感測器，測試土壤內之 VOC 和其他氣體濃度，能同時記錄腔體內的溫溼度數值，作為測試土壤內之 VOC 和其他氣體濃度的參考。測試腔體上方是安裝氣體感測器位置，提供測試土壤和其他氣體實驗時，能收集測試腔體內的氣體濃度，並且將數值傳至電腦紀錄。

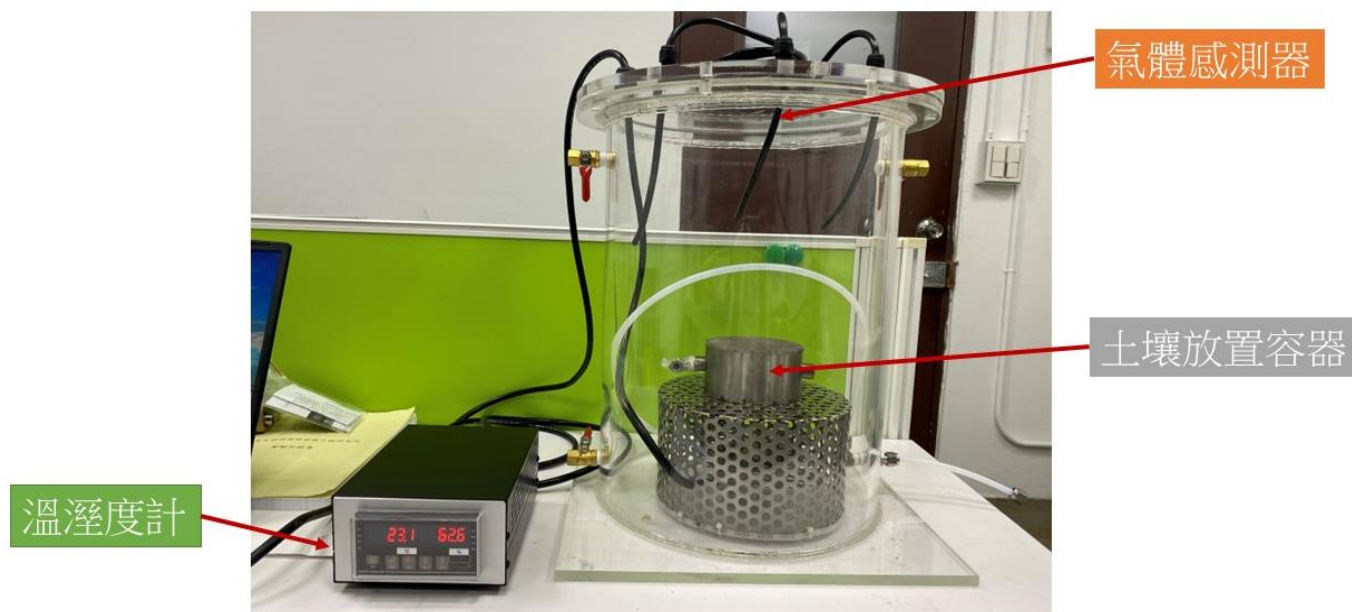


圖 5-2 土壤 VOC 逸散測試腔體實體照片

5.2.2 氣體感測器規格

電子鼻設備將由多個氣體感測器以及處理器連接空氣幫浦組成。目前市面上已經有許多款式的氣體感測器，根據不同的感測原理大致可分為半導體式(MOS)、電化學式(EC)、催化式(CAT)、以及紅外線式(NDIR)。不同感測原理的氣體感測器對應的產品特色、感測範圍、觀測目標、以及敏感度皆不盡相同。

考量到實驗所觀測的目標為石油碳氫化合物，且油品在與土壤相互作用後揮發的氣體濃度可能較低，需要高敏感度儀器進行監測，故本研究擬使用氣體感測器 TGS2602-B00、TGS2612-D00、SPG30、MQ-131、MQ-137、MQ-138 等六款半導體式氣體感測器，其規格如附錄 3。



5.2.3 電子鼻硬體架構

本研究採用 Arduino Uno R3 是一款微控制器開發板，主要用於簡單 I/O 控制、基本數位訊號處理和類比訊號 I/O 介面，只需透過 USB 就能連線電腦。本研究以 Arduino Uno R3 讀取氣體感測器電壓值，經 Arduino 程式計算氣體感測氣數值後，將數值轉換成數位訊號傳送至電腦端，如附圖 5-3 所示。

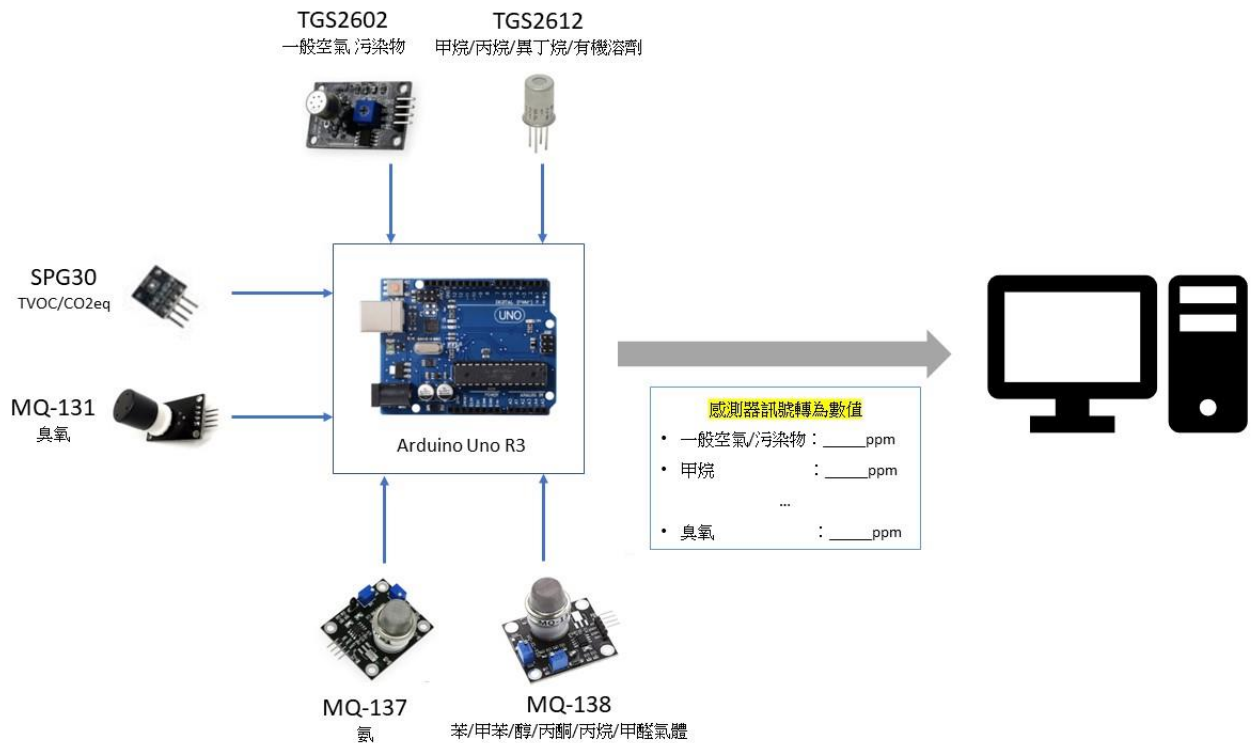


圖 5-3 電子鼻硬體架構

初期研究使用麵包板做基本電路實驗與測試，如附圖 5-4，麵包板與 Arduino 連接時，若是電路或線路有被外力碰觸時，氣體感測器數值會受影響，為了改善外力之影響，我們製作治具連結氣體感測器和 Arduino Uno R3，使實驗與收集數據有更穩定的數值，如附圖 5-5：

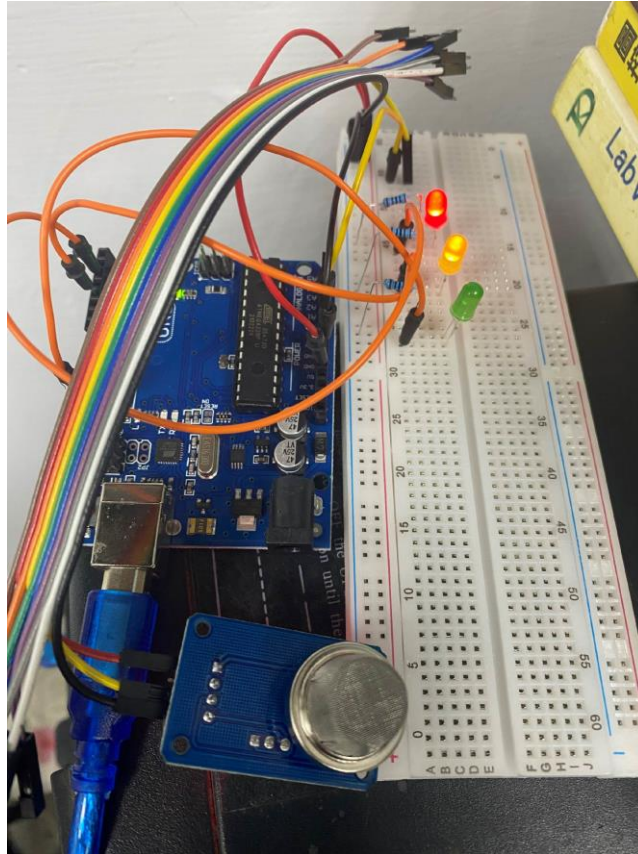


圖 5-4 使用麵包板做基本電路實驗與測試

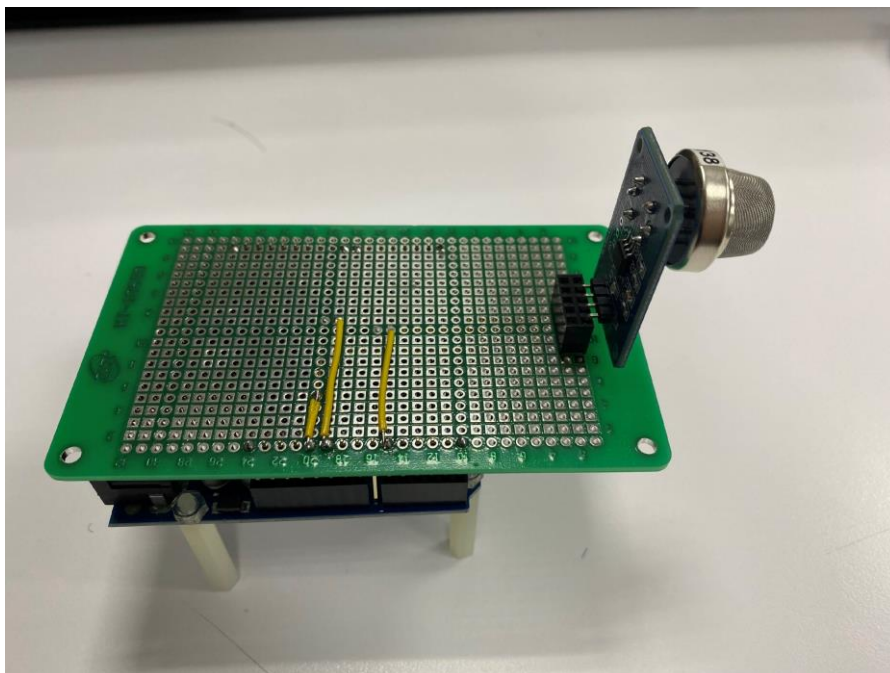


圖 5-5 氣體感測器治具



為了能讓 Arduino 可以控制氣體感測器加熱電阻，如圖 5-6 所示，VH 是加熱電壓，RH 是加熱電阻，為了使氣體感測器可以正常運作，氣體感測器的 VH 會連接至 Arduino 輸出電壓 5V，但 Arduino 輸出電流最多只能提供 40mA，一般氣體感測器加熱電流大約是 55mA 至 220mA 左右。

因此 Arduino 電源輸出 5V 是無法有效提供電流給氣體感測器的加熱電阻完全加熱，因而造成氣體感測器無法正常運作，故將氣體感測器電路稍作修改，改用外部電源提供給氣體感測器加熱電流，最大電流能提供 1A，使氣體感測器能完全加熱，並且正常運作，如圖 5-7 所示。

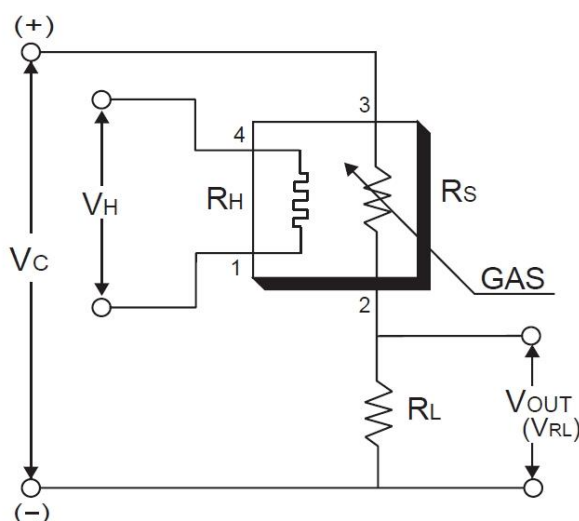


圖 5-6 氣體感測器內部電路

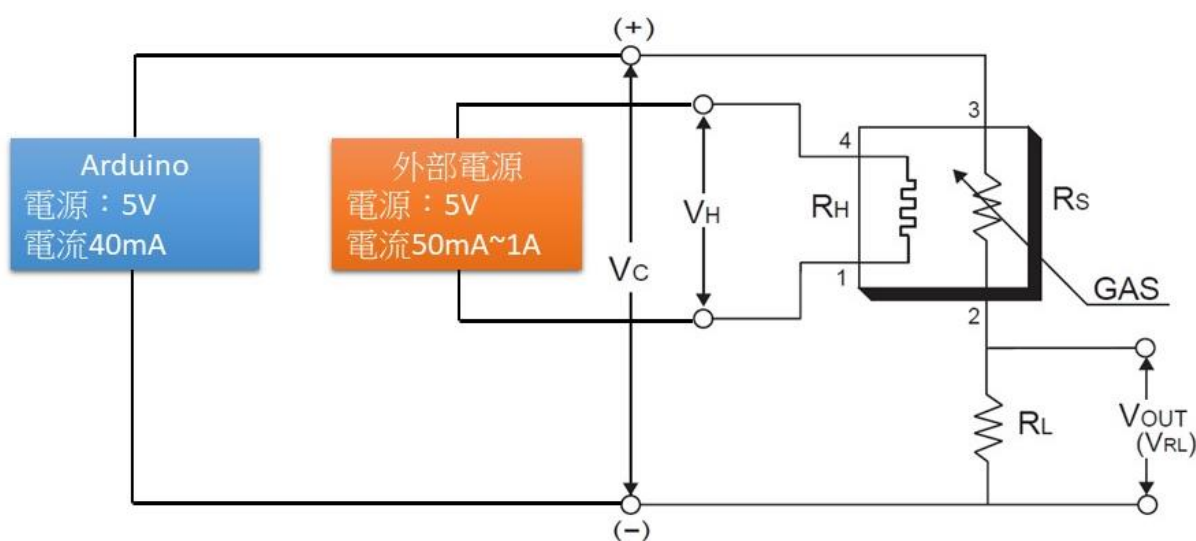


圖 5-7 氣體感測器改善電路



最新版本氣體感測器治具，增加了一些功能，氣體感測器額外電源供應，電源供應的元件是使用 7805 穩壓 IC，提供穩定的 5V 電壓以及 1A 電流，氣體感測器 LED 指示燈，以及 DHT22 溫溼度感測器，以上功能提供實驗時，能準確判斷氣體感測器的狀態，作為實驗過程時的參考，如圖 5-8 所示。

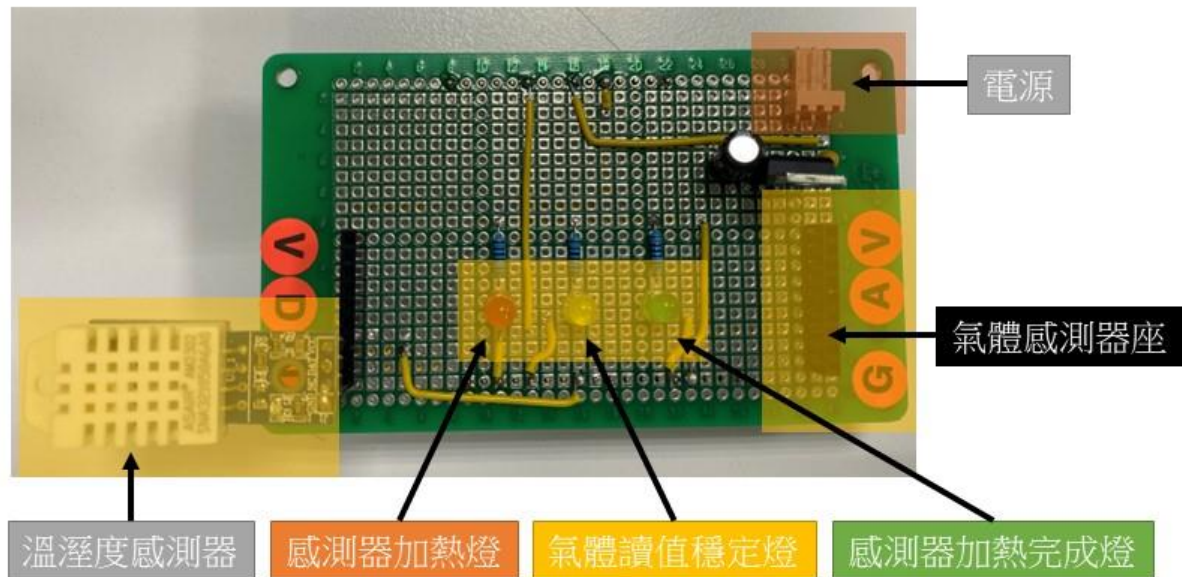


圖 5-8 氣體感測器最新版治具

5.2.4 氣體感測器計算方式

氣體傳感器的工作原理是用於測量環境中氣體的濃度，根據要測量的內容，有許多不同的類型。

以 TGS2602 為例子，TGS2602 是日本 FIGARO 公司所生產，屬於金屬氧化物半導體氣體感測元件(Metal Oxide Semiconductor Gas Sensor)。

基於氧氣作用下，須具備感測元件於潔淨空氣之電阻值，以及被測氣體之電阻值進行比較，不同氣體、不同濃度之數值皆不同。氣體感測器有一個內建可變電阻器，可根據氣體濃度改變其值，如果氣體濃度高，電阻會降低。

如果氣體濃度低，電阻會增加。除了內建電阻器外，還需要包括一個負載電阻器。該電阻器用於調整傳感器的靈敏度和準確度。該值的範圍可以從 2k 歐姆到 47k 歐姆。電阻值越高，氣體感測器變得越靈敏。

如圖 5-9 所示，根據氣體感測器的電阻比(R_S/R_0)，提供我們一種氣體的濃度，單位為百萬分之幾 (ppm)。 R_S 是根據氣體濃度變化的氣體感測器電阻， R_0 是在沒有其他氣體或新鮮空氣的情況下，氣體感測器在已知濃度下的電阻值。

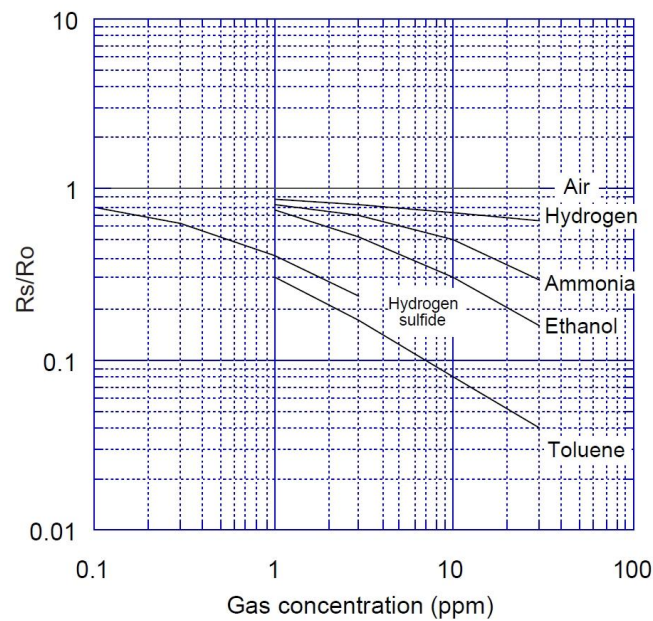


圖 5-9 TGS2602 氣體感測器靈敏度特性

如圖 5-6，我們可以使用歐姆定律，如式 3，推導出一個公式來找到 RS 電阻值。

$$V = I \times R \quad (3)$$

其中 V 是電壓，I 是電流，R 是電阻。

回顧圖 5-6 中的電路，我們可以看到 RS 與 RL 串聯。因此，我們可以簡化電路，如圖 5-10 下所示：

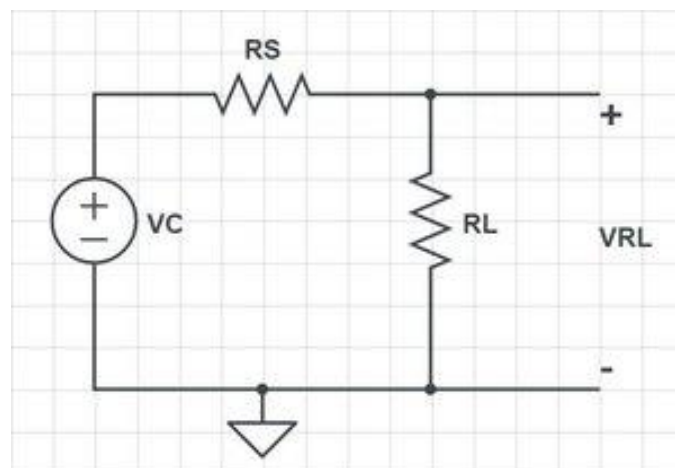


圖 5-10 簡化的氣體感測器電路



現在我們將兩個電阻串聯起來，如圖 5-11 所示：

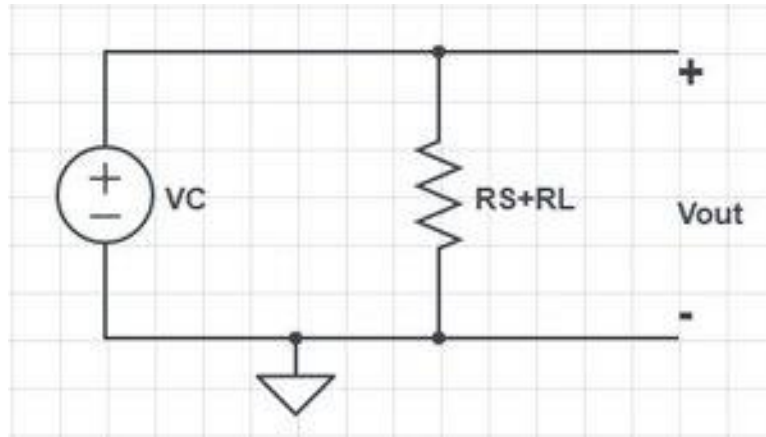


圖 5-11 RS 和 RL 組合

根據歐姆定律，我們可以推導出 I，如式 4：

$$I = V / R \quad (4)$$

在我們的電路中等於，如式 5：

$$I = VC / (RS+RL) \quad (5)$$

從圖 5-6 回到我們的原始電路，我們可以使用 I 和歐姆定律獲得的值獲得負載電阻器的輸出電壓，如式 6：

$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ V_{RL} &= [VC / (RS + RL)] \times RL \\ V_{RL} &= (VC \times RL) / (RS + RL) \end{aligned} \quad (6)$$



所以現在我們求解氣體感測器內建電阻值 R_S ，如式 7：

$$\begin{aligned}VRL \times (R_S + R_L) &= VC \times R_L \\(VRL \times R_S) + (VRL \times R_L) &= VC \times R_L \\(VRL \times R_S) &= (VC \times R_L) - (VRL \times R_L) \\R_S &= [(VC \times R_L) - (VRL \times R_L)] / VRL \\R_S &= [(VC \times R_L) / VRL] - R_L\end{aligned}\tag{7}$$

這個公式將幫助我們找到不同氣體的氣體感測器的電阻值。

從圖 5-9 中我們可以看出，新鮮空氣中的阻力比是一個常數：

$$R_S / R_0 = 1$$

要計算 R_0 ，我們需要找到新鮮空氣中的 R_S 值。這將通過從氣體感測器器獲取模擬平均讀數並將其轉換為電壓來完成。然後我們將使用 R_S 公式找到 R_0 。



5.2.4 氣體感測器和 Arduino 程式測試

經計算氣體感測器之 RS / R0 值後，我們須實際測試感測器及運算式是否能正常運作，例圖所示，將沾有酒精的衛生紙靠近 TGS2602 氣體感測器時，Arduino 輸出的數值有正常運作，如圖 5-13、5-13 所示。

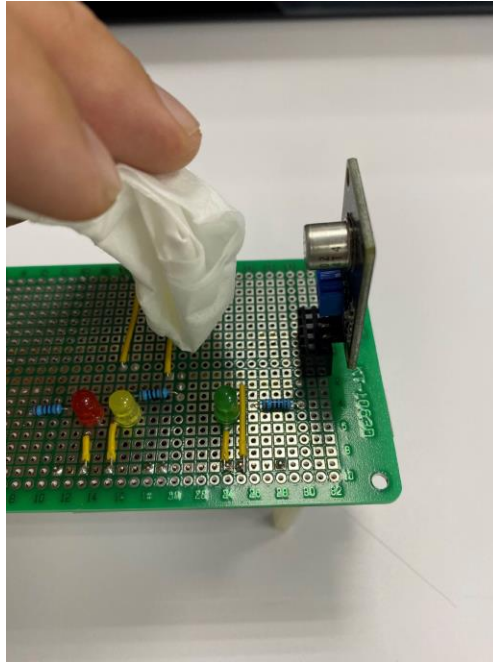


圖 5-12 TGS2602 氣體感測器測試實驗

```
COM8
16:41:51.613 -> ---
16:41:52.589 -> TGS2602
16:41:52.589 -> Toluene:3.54ppm
16:41:52.624 -> ethanol:47.26ppm
16:41:52.624 -> ---
16:41:53.601 -> TGS2602
16:41:53.601 -> Toluene:3.18ppm
16:41:53.601 -> ethanol:41.09ppm
16:41:53.635 -> ---
16:41:54.577 -> TGS2602
16:41:54.612 -> Toluene:2.85ppm
16:41:54.612 -> ethanol:35.51ppm
16:41:54.647 -> ---
16:41:55.588 -> TGS2602
16:41:55.588 -> Toluene:2.50ppm
16:41:55.623 -> ethanol:30.00ppm
16:41:55.623 -> ---
16:41:56.600 -> TGS2602
16:41:56.600 -> Toluene:2.18ppm
16:41:56.634 -> ethanol:25.11ppm
16:41:56.634 -> ---
16:41:57.611 -> TGS2602
16:41:57.611 -> Toluene:1.89ppm
16:41:57.611 -> ethanol:20.79ppm
16:41:57.646 -> ---
16:41:58.587 -> TGS2602
16:41:58.622 -> Toluene:1.64ppm
16:41:58.622 -> ethanol:17.31ppm
16:41:58.657 -> ---
```

圖 5-13 Arduino 讀值



5.2.5 軟體架構

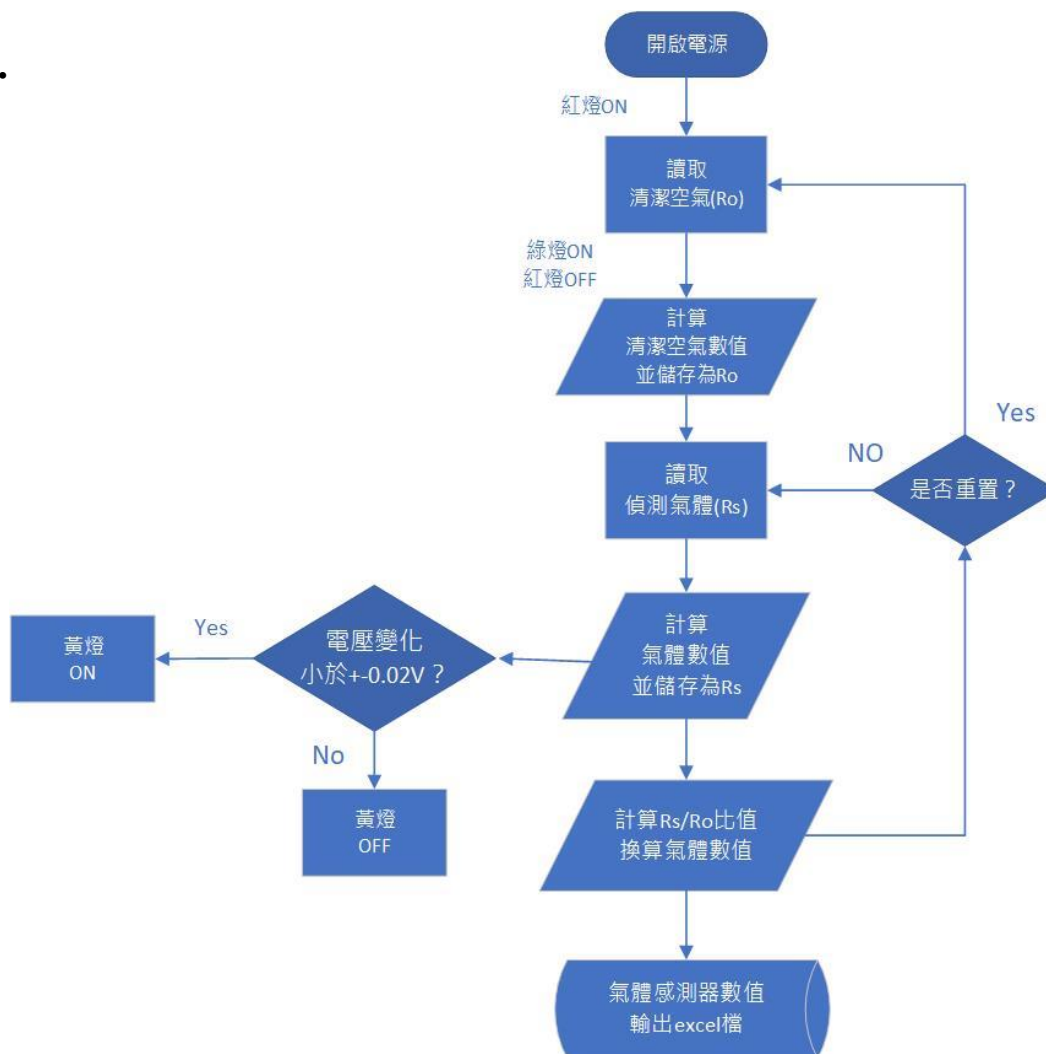


圖 5-14 軟體架構流程圖

Arduino 的軟體架構如附圖 5-14 所示，從開啟電源後，會開始讀取清潔空氣 25 秒鐘，從中取樣 50 次數值作平均，最後計算 R_o 電阻值儲存在記憶體中。

當已經取得清潔空氣的 R_o 電阻值後，就可以將氣體感測器放置到偵測器體的環境中，每隔 0.05 秒取樣一次，並總計取樣五次作平均，最後計算 R_s 電阻值儲存在記憶體中。

最後計算 R_s/R_o 比值對照氣體感測器的電阻比值，求得氣體濃度，若是氣體感測器在取樣的過程中，電壓值變化小於 0.02V，則 LED 黃燈會亮起，代表氣體讀值穩定。

當氣體測試完畢，測試腔體要放入新鮮空氣，並且 Arduino 要按下重置鍵，將氣體感測器讀值重置。



5.3 硬體設備實體圖

如附圖 5-15，電子鼻硬體設備實體圖，測試腔體內部上方安裝氣體感測器治具，氣體感測器數值傳至 Arduino 板計算氣體讀值，最終 Arduino 將計算結果傳至電腦存檔紀錄。

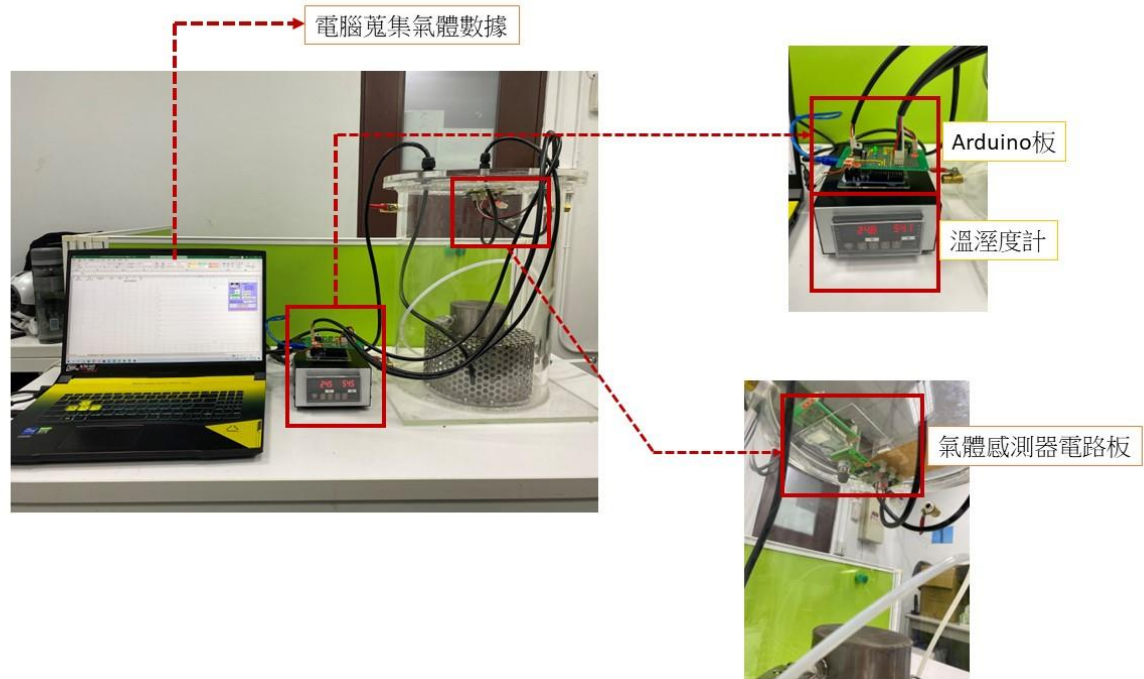


圖 5-15 電子鼻實驗設備實體圖



5.4 氣體感測器測試數據

5.4.1 TGS-2602 氣體感測器

如附圖 5-16、5-17，是氣體感測器 TGS2602 的實際測試，主要是測量氣體感測器在新鮮空氣的環境中，感測器讀值是否穩定，橫坐標是時間，縱座標是電壓，經過實際測試後，TGS2602 在 0 到 300 秒之間，電壓會急遽的變化，在 300 到 7200 秒之間，電壓讀值趨近於穩定。

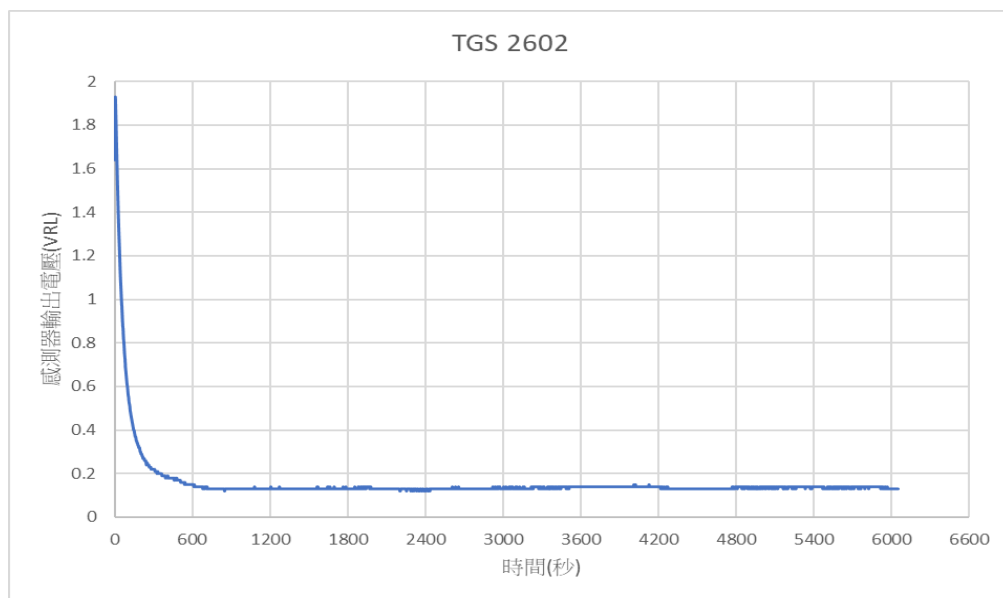


圖 5-16 TGS2602 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/07)

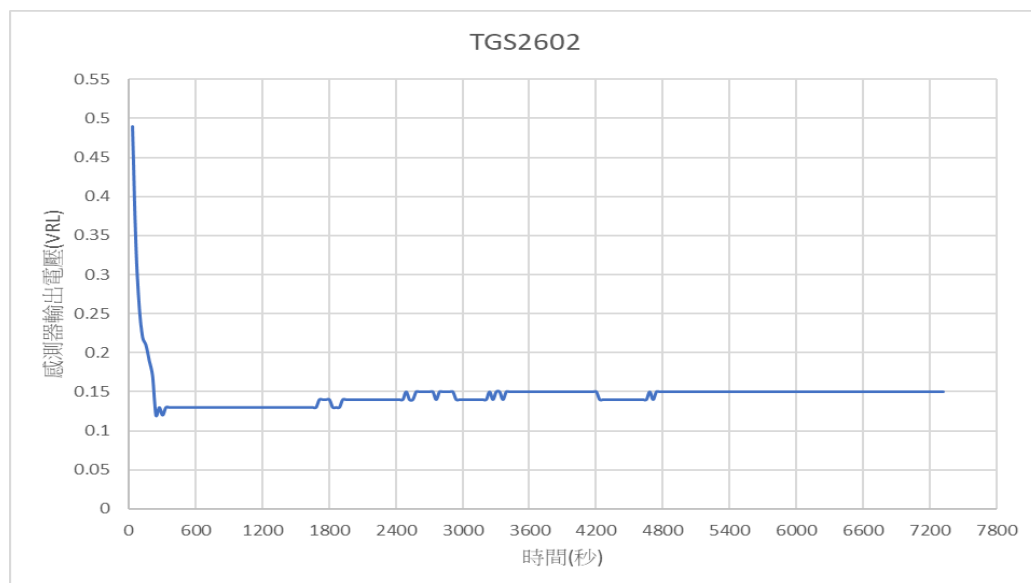


圖 5-17 TGS2602 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/12)

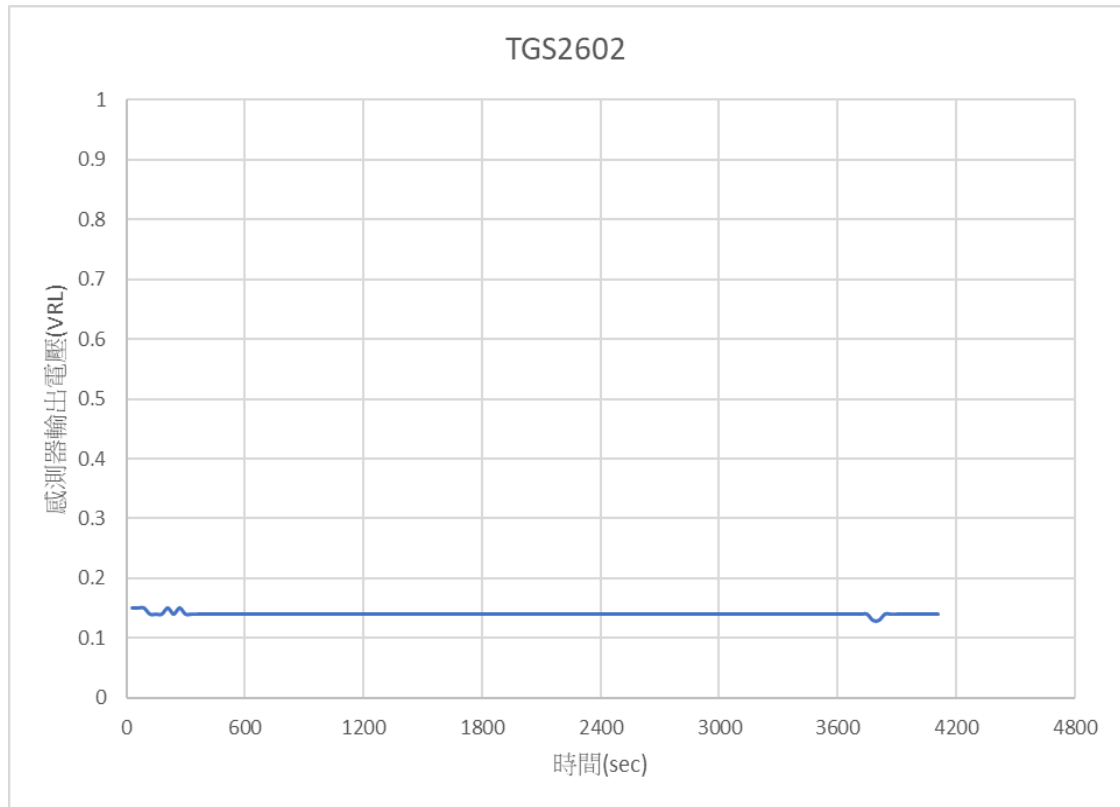


圖 5-18 TGS2602 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/12)

如附圖 5-18，TGS2602 氣體感測器經預熱後，重新啟動 Arduino 板測試氣體感測器讀值，經紀錄後，氣體感測器讀值穩定在 0.15V 左右。



5.4.1 TGS-2612 氣體感測器

如附圖 5-19，是氣體感測器 TGS2612 的實際測試，主要是測量氣體感測器在新鮮空氣的環境中，感測器讀值是否穩定，橫坐標是時間，縱座標是電壓，經過實際測試後，TGS2612 在 0 到 7200 秒之間，電壓會急遽的變化，在 7200 到 9600 秒之間，電壓讀值趨近於穩定。

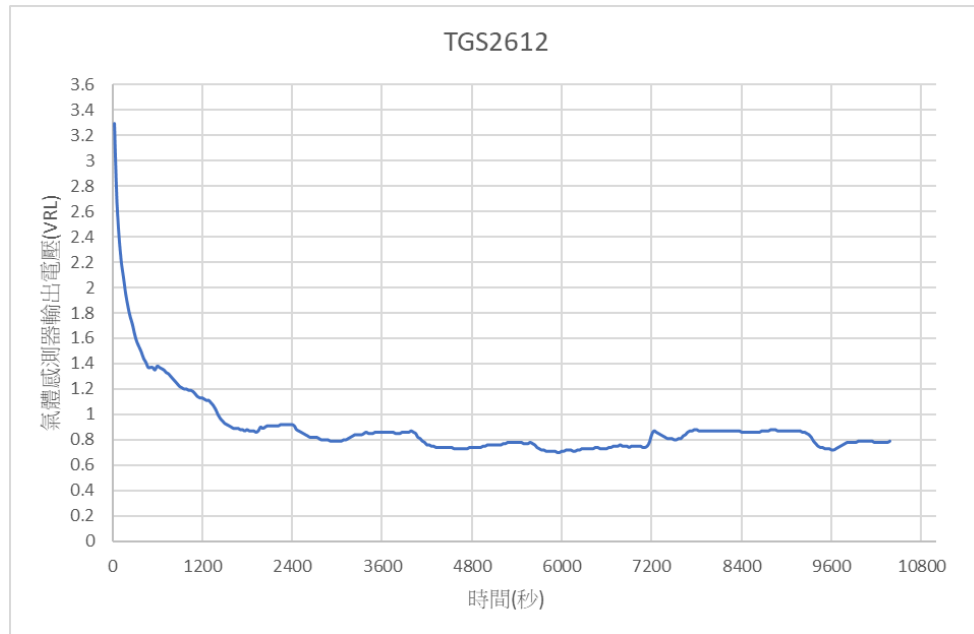


圖 5-19 TGS2612 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/05)

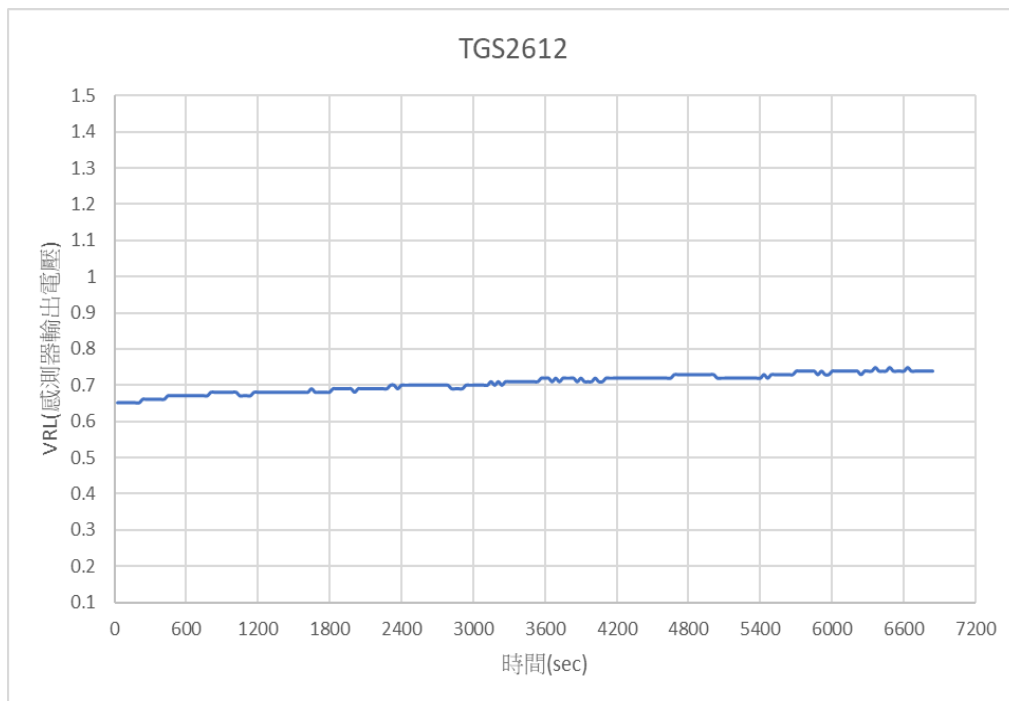


圖 5-20 TGS2612 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/05)



如附圖 5-20，TGS2612 氣體感測器經預熱後，重新啟動 Arduino 板測試氣體感測器讀值，經紀錄後，氣體感測器讀值穩定在 0.65~0.75V 左右。

5.4.2 MQ-131 氣體感測器

如附圖 5-21，是氣體感測器 MQ-131 的實際測試，測量氣體感測器在新鮮空氣的環境中，感測器讀值是否穩定，橫坐標是時間，縱座標是負載電阻 VRL 電壓，經過實際測試後，MQ-131 在 0 到 2400 秒之間，電壓會些微幅度的變化，在 2400 到 3600 秒之間，穩定在 3.6V 左右。如附圖 5-22，經預熱後，MQ131 的電壓值趨近於穩定。

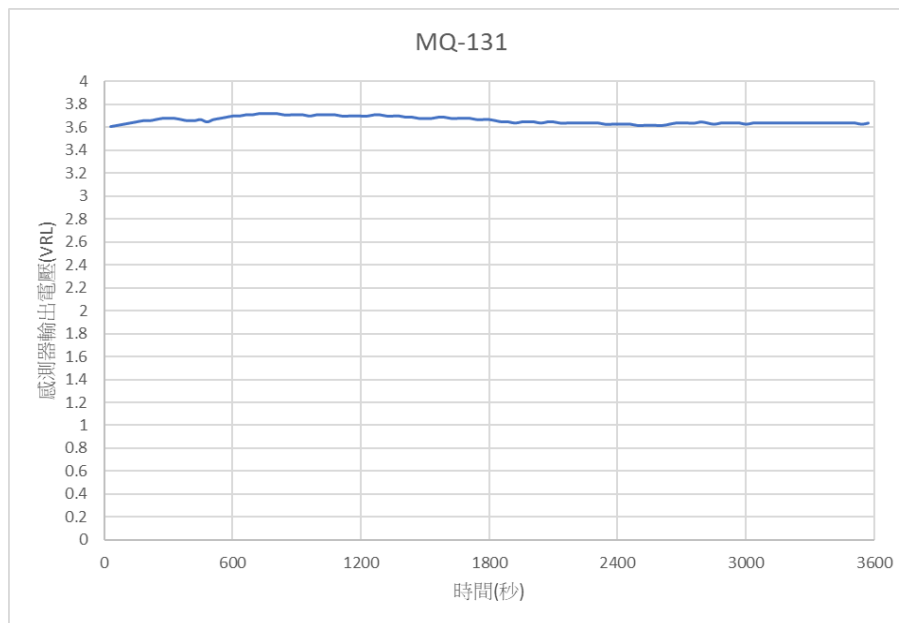


圖 5-21 MQ131 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/15)

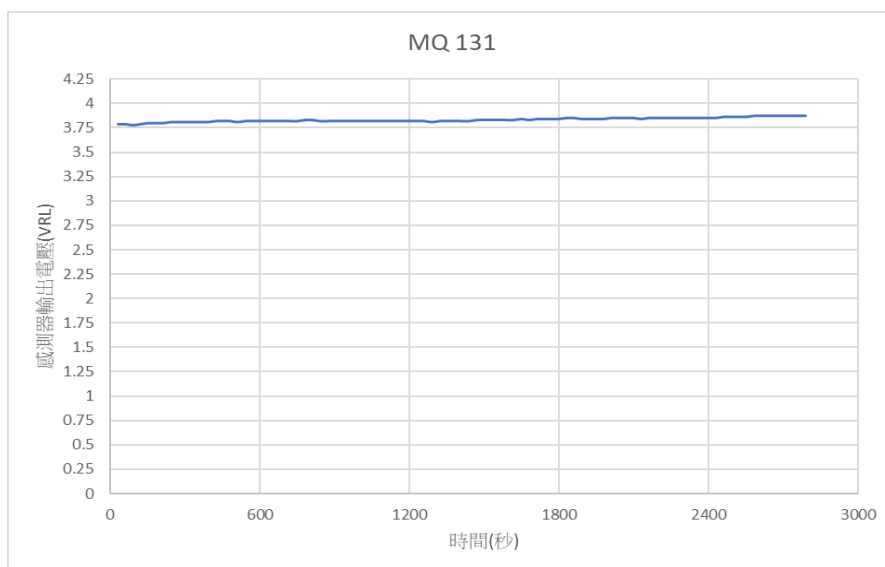


圖 5-22 預熱後，MQ131 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/15)



5.4.3 MQ-137 氣體感測器

如附圖，是氣體感測器 MQ-137 的實際測試，測量氣體感測器在新鮮空氣的環境中，感測器讀值是否穩定，橫坐標是時間，縱座標是負載電阻 VRL 電壓。

經過實際測試後，MQ-131 在 0 到 600 秒之間，電壓從 1V 持續降低至 0.45V 左右，電壓會些微幅度的變化，在 600 到 6000 秒之間，電壓讀值趨近於穩定。

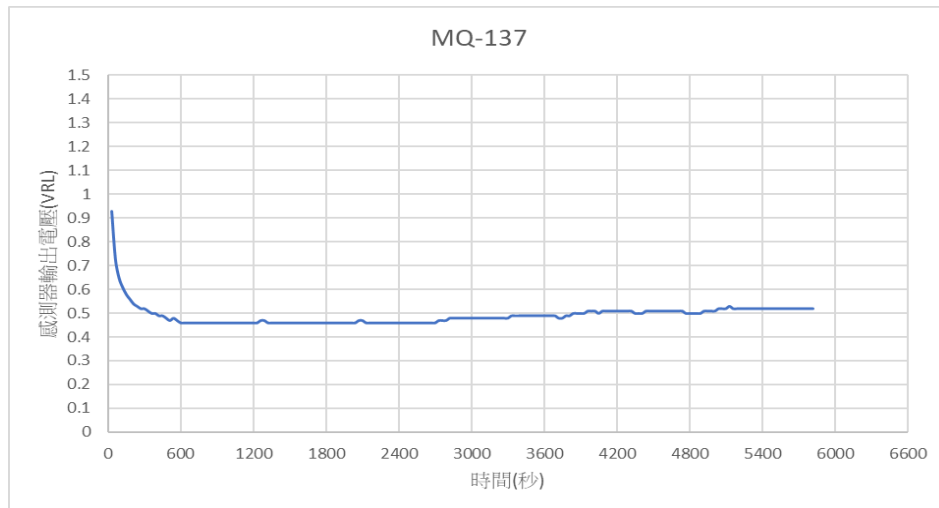


圖 5-23 MQ137 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/13)

5.4.4 MQ-138 氣體感測器

如附圖，是氣體感測器 MQ-138 的實際測試，測量氣體感測器在新鮮空氣的環境中，感測器讀值是否穩定，橫坐標是時間，縱座標是負載電阻 VRL 電壓。

經過實際測試後，MQ-138 在 0 到 300 秒之間，電壓從 0.175V 持續降低至 0.1V 左右，電壓會些微幅度的變化，在 300 到 7200 秒之間，電壓讀值趨近於穩定。

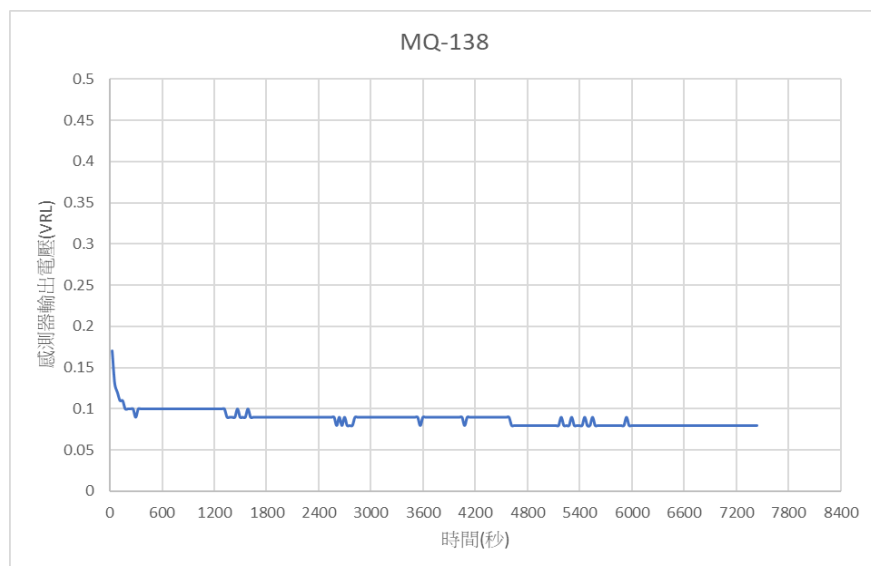


圖 5-24 MQ138 電路測試電壓讀值(實驗時間 2022/12/16)



5.5 氣味資料處理

5.5.1 實驗規劃

本計畫實驗規劃分為四個階段，如下：

第一階段，蒐集乙醇氣味資料，使用控制流量和時間，收集固定濃度之資料，提供後續資料之分析，總共蒐集三種氣體濃度資料，依序為 500cc/min/15sec、500cc/min/30sec、500cc/min/60sec。

第二階段，收集丙酮氣味資料，使用控制流量和時間，收集固定濃度之資料，提供後續資料之分析，總共蒐集三種氣體濃度資料，依序為 500cc/min/10sec、500cc/min/15sec、500cc/min/30sec。

第三階段，透過收集到的資料數據，透過線性回歸模型，建立出校正公式。

第四階段，混合氣體測試，將乙醇和丙酮輸入至測試腔體中，觀察氣體感測器之資料數據變化，總共收集兩種氣體濃度資料。

第五階段，換算土壤逸散率建立 AI 模型，放置不同性質的土壤或厚度，使用乙醇從土壤下方曝氣，回推土壤逸散氣體的濃度，輸入短時間濃度變化，判斷輸入流量。

5.5.2 實驗環境

本計畫實驗環境如附圖 5-25，硬體部分於 5.3 節說明，洗滌瓶裝測試液體，經由空壓機曝氣到測試腔體中。另外本實驗使用 Honeywell ppbRAE 3000 手持式 TVOC 偵測器，手提式偵測器的偵測方式採泵吸式氣體偵測器，量測範圍 1ppb ~ 10,000ppm，探頭是光離子式(PID)探頭，標準搭配 10.6eV 紫外燈，校正係數內建超過 220 種 VOC 氣體，手提式偵測器在實驗之前，經過標準氣體校正，如圖 5-26 所示。

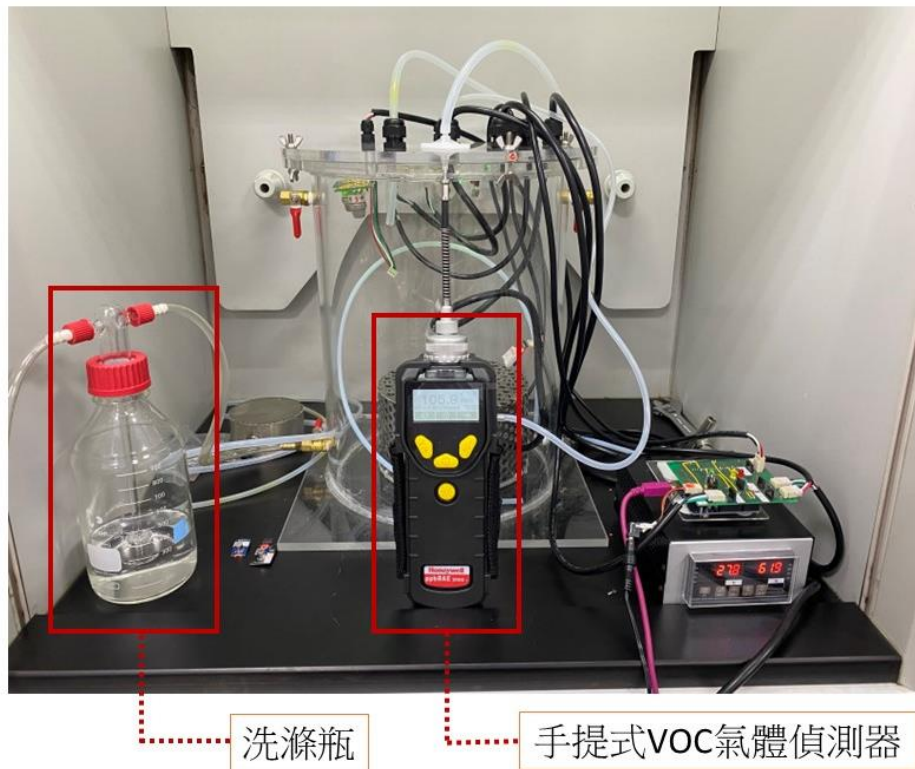
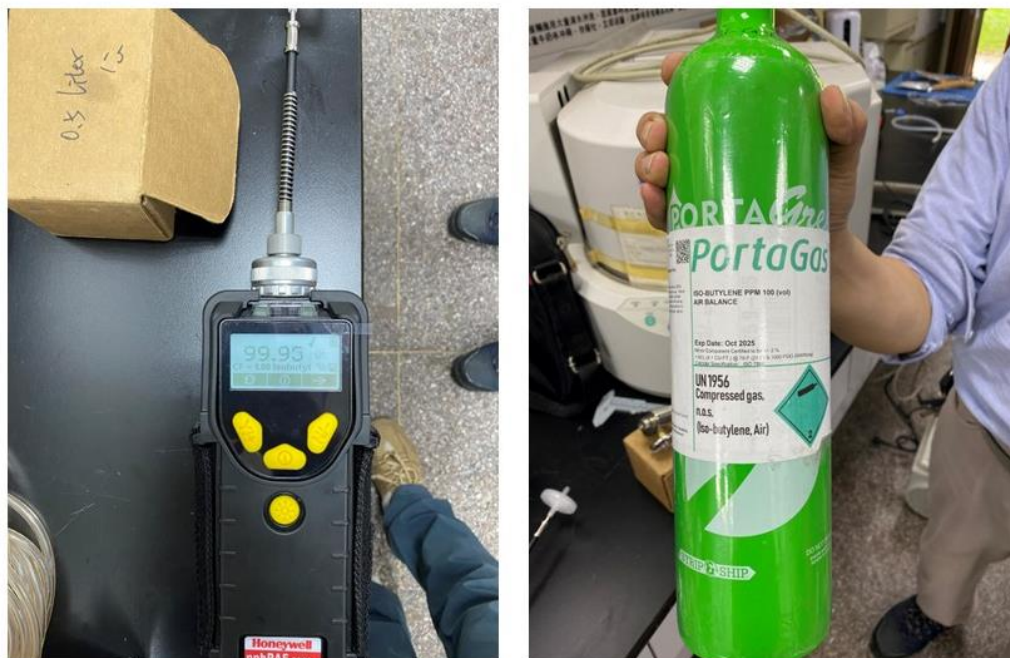


圖 5-25 實驗環境與設備



使用標準氣體異丁烯(Iso-butylene)校正手提式氣體偵測器

圖 5-26 Honeywell ppbRAE 3000 手持式 TVOC 偵測器



5.5.3 實驗數據收集

本計畫實驗記錄氣體感測器之日期、時間、電壓值、電阻值、濃度值、溫度及濕度，數據均收集在 Excel 檔中，如附圖 5-27 所示，收集之數據會進行 AI 校正和數據處理，並觀察氣體感測器之變化量，溫度和濕度之影響。

AI 校正和數據處理之成果於第 5.5.1 章節說明。

Date	Time	Voltage(V)_2606	Ethanol(ppm)_2602	RO(Kohm)_2602	RS(Kohm)_2602	Voltage(V)_138	Ethanol_138(ppm)	RO(Kohm)_138	RS(Kohm)_138	Voltage(V)_2	Ethanol_2(ppm)	RO(Kohm)_2	RS(Kohm)_2	°C	RH%
2023/6/20	03:59:10 PM	0.12	0.81	431.8	409.59	0.1	1.74	230.69	230.69	0.17	68.86	130.18	132.12	26	87.6
2023/6/20	03:59:11 PM	0.12	0.93	431.8	392.81	0.09	1.93	230.69	225.09	0.17	68.76	130.18	130.24	26.3	87.8
2023/6/20	03:59:12 PM	0.13	0.97	431.8	385.07	0.1	1.74	230.69	230.69	0.17	68.86	130.18	132.12	26.3	87.8
2023/6/20	03:59:13 PM	0.13	1.05	431.8	362.99	0.09	1.83	230.69	230.69	0.17	68.86	130.18	132.12	26.4	87.9
2023/6/20	03:59:14 PM	0.14	1.23	431.8	349.67	0.1	1.83	230.69	230.69	0.17	68.86	130.18	132.12	26.4	87.9
2023/6/20	03:59:15 PM	0.15	1.37	431.8	320.29	0.1	1.83	230.69	236.88	0.17	68.86	130.18	130.24	26.5	88
2023/6/20	03:59:16 PM	0.16	1.57	431.8	295.2	0.09	1.83	230.69	236.88	0.17	67.01	130.18	132.12	26.5	88
2023/6/20	03:59:17 PM	0.17	1.8	431.8	266.23	0.1	1.83	230.69	230.69	0.17	68.86	130.18	130.13	25.9	87.5
2023/6/20	03:59:18 PM	0.18	2.16	431.8	262.22	0.09	1.83	230.69	230.69	0.17	67.01	130.18	130.13	25.9	87.5
2023/6/20	03:59:19 PM	0.19	2.29	431.8	248.27	0.1	1.93	230.69	230.69	0.17	68.86	130.18	130.13	26.7	88.1
2023/6/20	03:59:20 PM	0.21	2.7	431.8	235.68	0.09	1.74	230.69	230.69	0.17	68.86	130.18	130.13	26.7	88.1
2023/6/20	03:59:22 PM	0.21	2.92	431.8	224.26	0.1	1.83	230.69	230.69	0.17	70.69	130.18	130.13	25.7	87.4
2023/6/20	03:59:23 PM	0.22	3.15	431.8	216.4	0.1	1.83	230.69	230.69	0.17	70.69	130.18	132.12	25.7	87.4
2023/6/20	03:59:24 PM	0.22	3.31	431.8	208.99	0.1	1.83	230.69	225.09	0.17	68.86	130.18	130.13	25.8	87.4
2023/6/20	03:59:25 PM	0.23	3.56	431.8	206.67	0.1	1.83	230.69	230.69	0.17	67.01	130.18	132.12	25.8	87.4
2023/6/20	03:59:26 PM	0.23	3.56	431.8	204.34	0.1	1.74	230.69	225.09	0.17	70.69	130.18	132.12	25.7	87.4
2023/6/20	03:59:27 PM	0.23	3.48	431.8	204.34	0.1	1.93	230.69	236.88	0.17	67.01	130.18	130.13	25.7	87.4
2023/6/20	03:59:28 PM	0.23	3.48	431.8	204.34	0.1	1.83	230.69	225.09	0.17	70.69	130.18	132.12	25.8	87.4
2023/6/20	03:59:29 PM	0.23	3.56	431.8	202.11	0.1	1.93	230.69	225.09	0.17	67.01	130.18	130.13	25.8	87.4
2023/6/20	03:59:30 PM	0.23	3.73	431.8	199.88	0.1	1.93	230.69	225.09	0.17	68.86	130.18	130.13	26.4	87.8
2023/6/20	03:59:31 PM	0.23	3.73	431.8	199.88	0.1	1.93	230.69	225.09	0.17	68.86	130.18	132.12	26.4	87.8

圖 5-27 實驗數據收集



5.5.4 實驗成果

以下實驗透過感測器 TGS2602、MQ138、MQ2，以及手持式氣體感測器進行氣體偵測之實驗，實驗氣體使用乙醇進行，流量是 500cc/min，時間是 15 秒，如圖 5-28、圖 5-29 所示，實驗數據如附表 5-2。

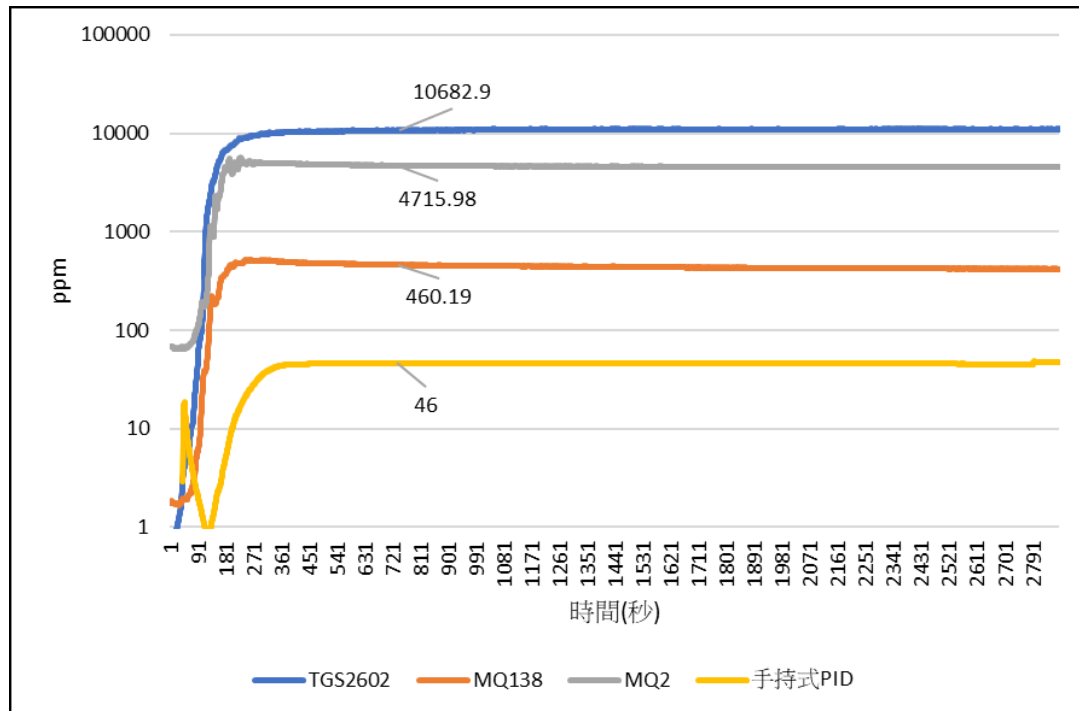


圖 5-28 第 1 次氣體感測器實驗(流量：500cc，時間：15 秒)

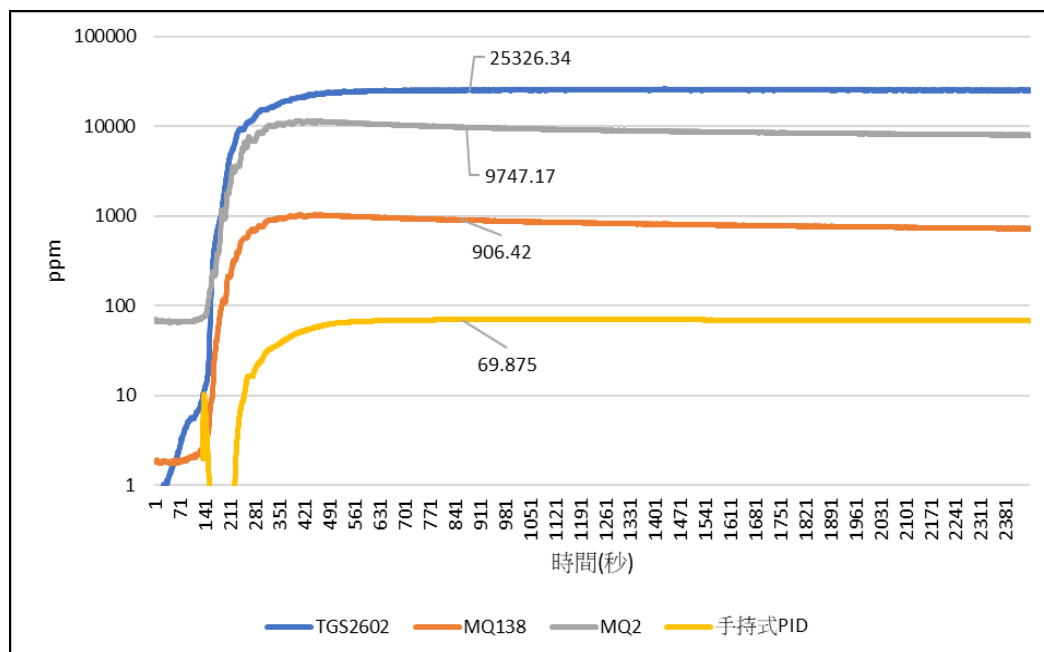


圖 5-29 第 2 次氣體感測器實驗(流量：500cc，時間：15 秒)



表 5-2 氣體感測器之實驗數據表(流量：500cc，時間：15 秒)

氣體:乙醇	流量：500cc/min 時間：15 秒			
型號	TGS2602			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	10682	317	0.12	3.45
第 2 次實驗	25326	532	0.09	3.6
型號	MQ138			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	460	294	0.18	1.75
第 2 次實驗	906	402	0.17	2.02
型號	MQ2			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	4715	297	0.25	1.76
第 2 次實驗	9747	428	0.23	2.06
型號	ppbRAE 3000 手持式氣體偵測器			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)		
第 1 次實驗	46	388		
第 2 次實驗	69	537		



以下實驗透過感測器 TGS2602、MQ138、MQ2，以及手持式氣體感測器進行氣體偵測之實驗，實驗氣體使用乙醇進行，流量是 500cc/min，時間是 30 秒，如圖 5-30、圖 5-31 所示，實驗數據如附表 5-3。

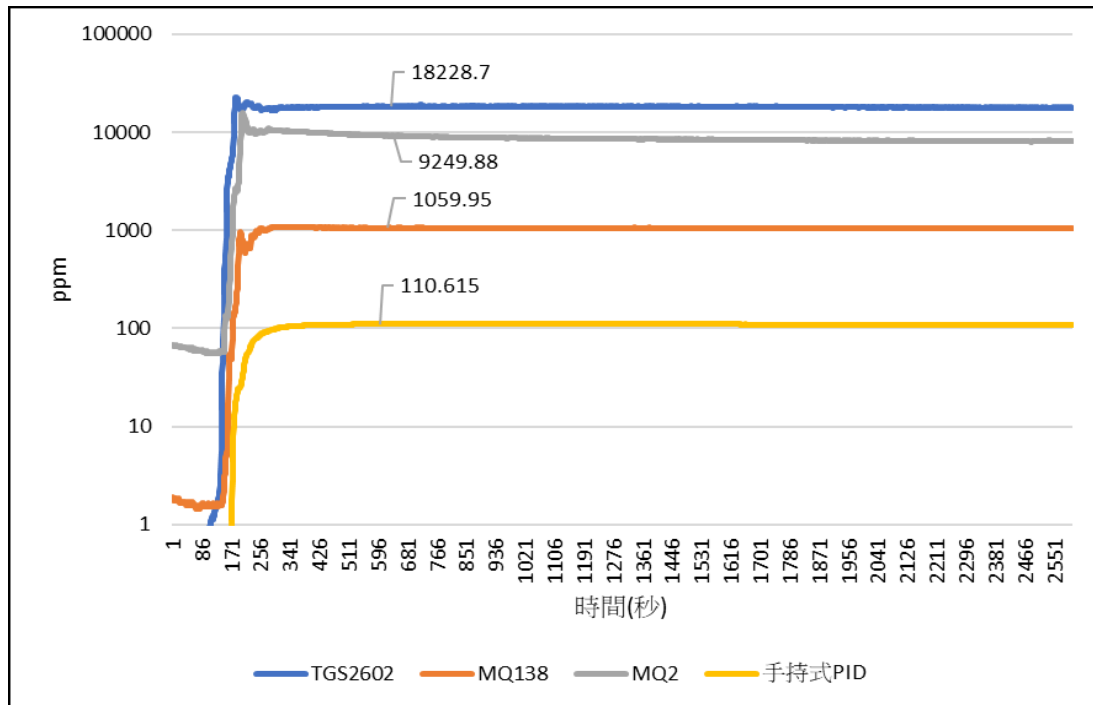


圖 5-30 第 1 次氣體感測器實驗(流量：500cc，時間：30 秒)

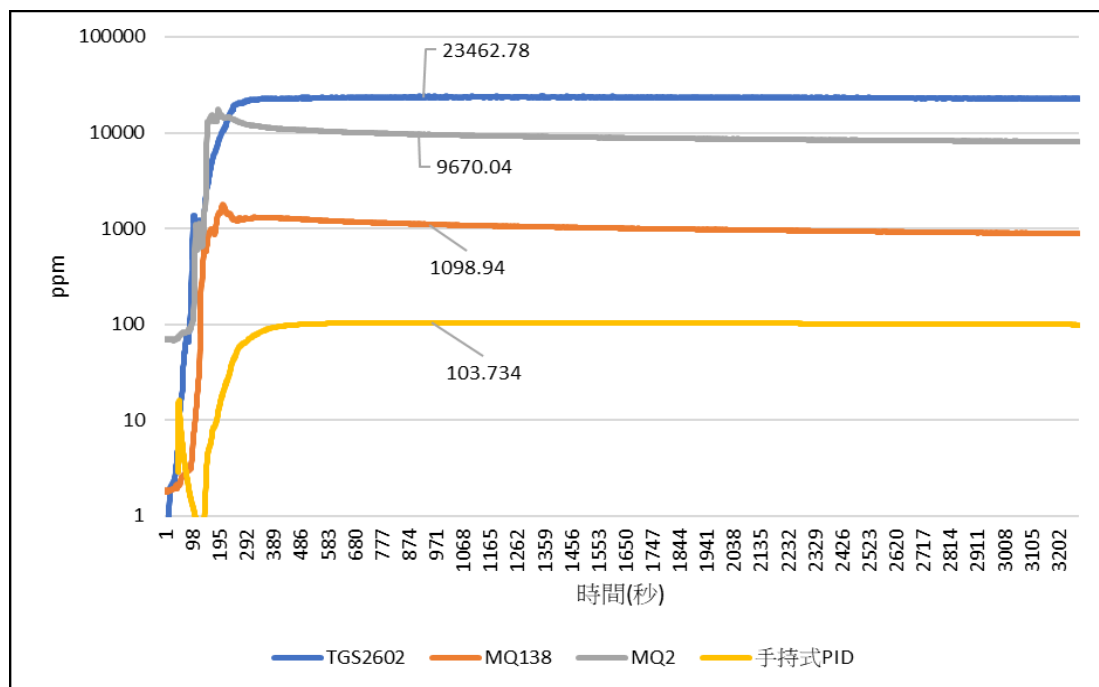


圖 5-31 第 2 次氣體感測器實驗(流量：500cc，時間：30 秒)



表 5-3 氣體感測器之實驗數據表(流量：500cc，時間：30 秒)

氣體:乙醇	流量：500cc/min 時間：30 秒			
型號	TGS2602			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	18128	275	0.12	3.73
第 2 次實驗	22316	350	0.11	3.76
型號	MQ138			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	1059	297	0.14	2.02
第 2 次實驗	1098	350	0.17	2.14
型號	MQ2			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	9249	290	0.25	2.14
第 2 次實驗	9670	630	0.27	2.21
型號	ppbRAE 3000 手持式氣體偵測器			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)		
第 1 次實驗	110	358		
第 2 次實驗	103	449		



以下實驗透過感測器 TGS2602、MQ138、MQ2，以及手持式氣體感測器進行氣體偵測之實驗，實驗氣體使用乙醇進行，流量是 500cc/min，時間是 60 秒，如圖 5-32、圖 5-33 所示，實驗數據如附表 5-4。

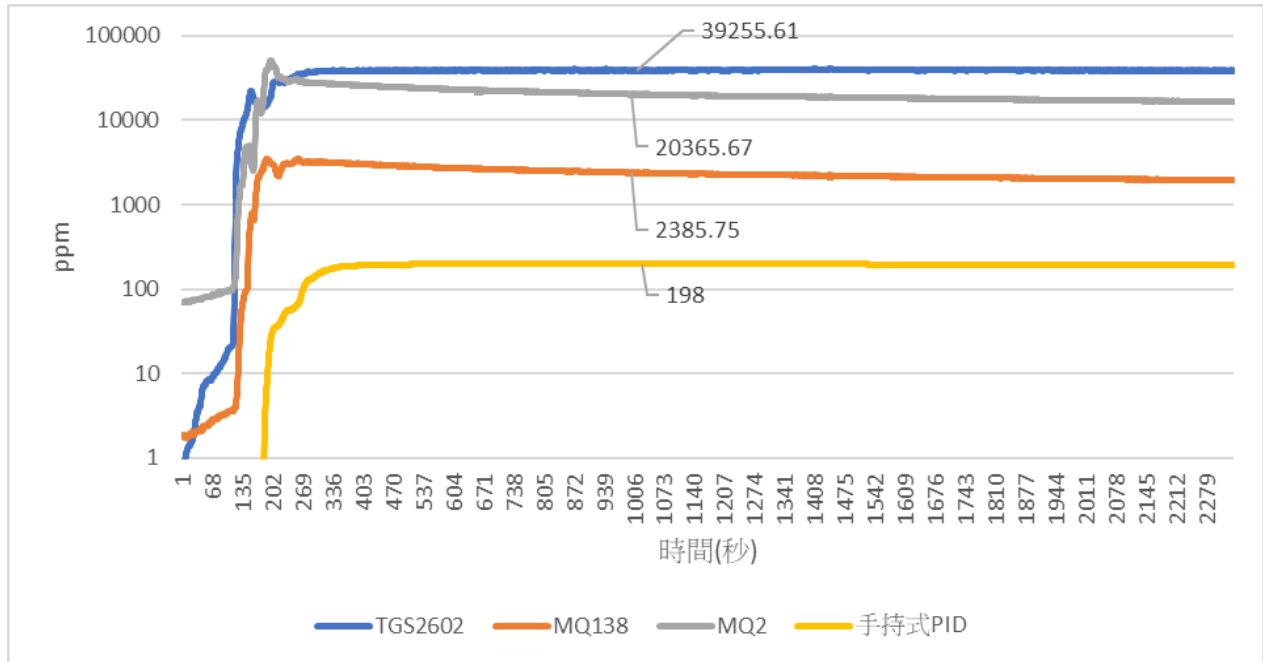


圖 5-32 第 1 次氣體感測器實驗(流量：500cc，時間：60 秒)

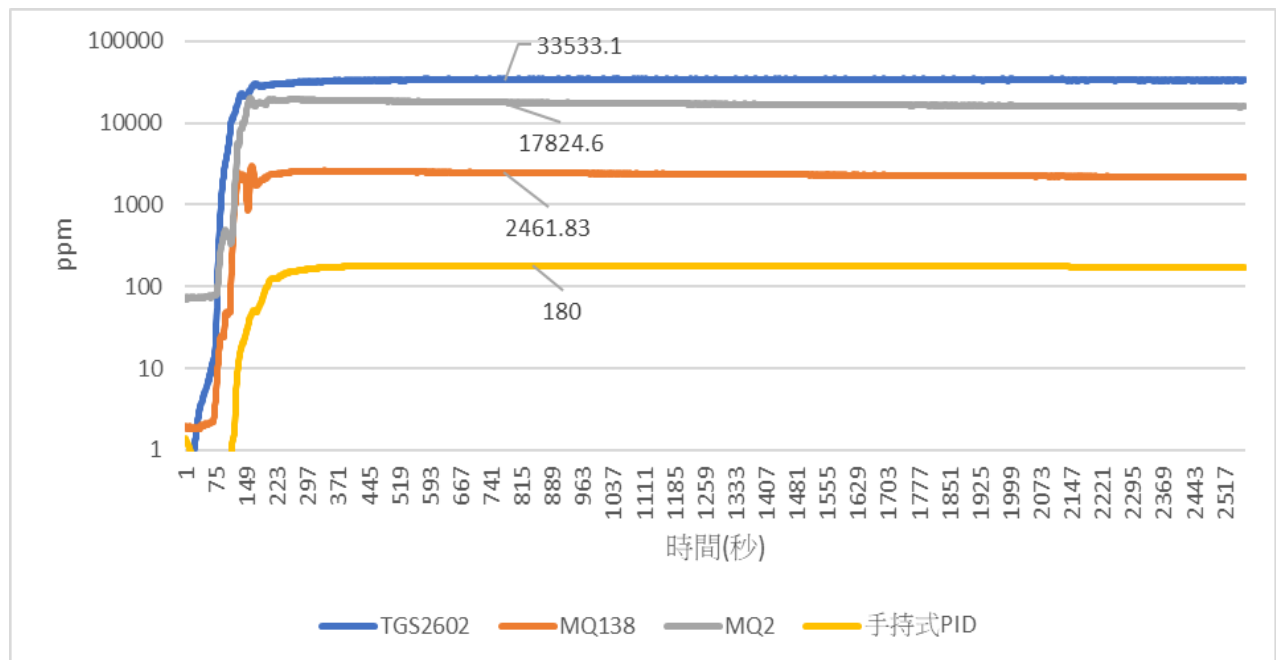


圖 5-33 第 2 次氣體感測器實驗(流量：500cc，時間：60 秒)



表 5-4 氣體感測器之實驗數據表(流量：500cc，時間：30 秒)

氣體:乙醇	流量：500cc/min 時間：60 秒			
型號	TGS2602			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	39255	269	0.11	3.91
第 2 次實驗	33533	206	0.11	3.88
型號	MQ138			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	2385	270	0.16	2.58
第 2 次實驗	2461	222	0.14	2.48
型號	MQ2			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	20365	276	0.25	2.64
第 2 次實驗	17824	213	0.23	2.54
型號	ppbRAE 3000 手持式氣體偵測器			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)		
第 1 次實驗	198	354		
第 2 次實驗	180	281		



以下實驗透過感測器 TGS2602、MQ138、MQ2，以及手持式氣體感測器進行氣體偵測之實驗，實驗氣體使用丙酮進行，流量是 500cc/min，時間是 15 秒，如圖 5-34、圖 5-35 所示，實驗數據如附表 5-5。

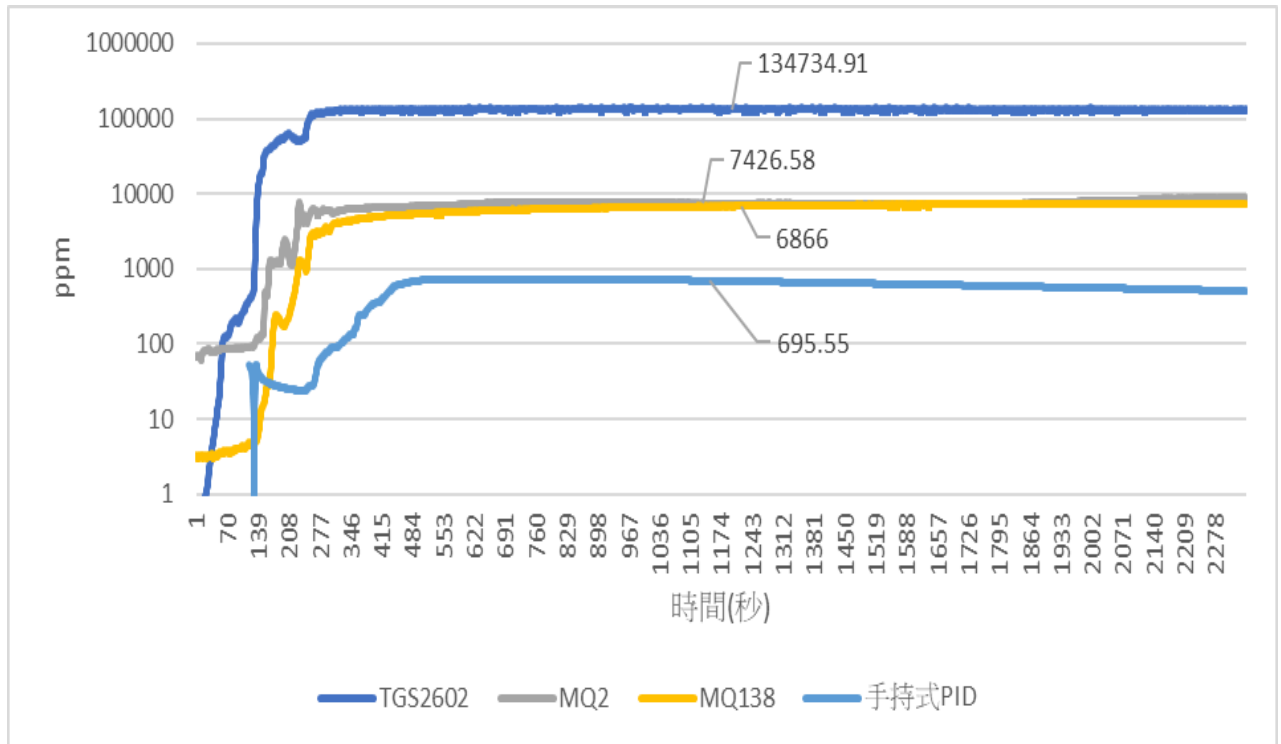


圖 5-34 第 1 次氣體感測器實驗(流量：500cc，時間：15 秒)

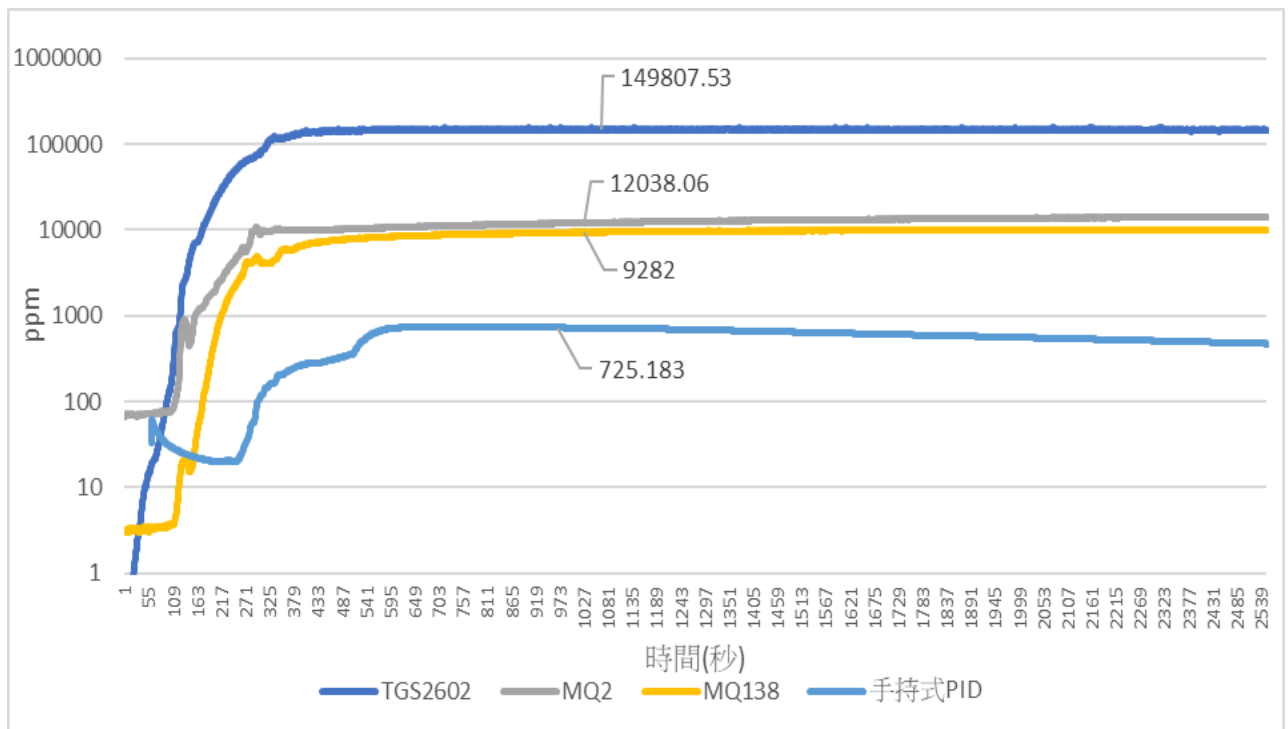


圖 5-35 第 2 次氣體感測器實驗(流量：500cc，時間：15 秒)



表 5-5 氣體感測器之實驗數據表(流量：500cc，時間：15 秒)

氣體:丙酮	流量：500cc/min 時間：15 秒			
型號	TGS2602			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	134734	268	0.11	4.36
第 2 次實驗	149807	380	0.1	4.37
型號	MQ138			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	6866	322	0.12	2.08
第 2 次實驗	9282	487	0.11	2.18
型號	MQ2			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	7426	301	0.26	2.24
第 2 次實驗	12038	325	0.18	2.07
型號	ppbRAE 3000 手持式氣體偵測器			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)		
第 1 次實驗	695	464		
第 2 次實驗	725	603		



以下實驗透過感測器 TGS2602、MQ138、MQ2，以及手持式氣體感測器進行氣體偵測之實驗，實驗氣體使用丙酮進行，流量是 500cc/min，時間是 30 秒，如圖 5-36、圖 5-37 所示，實驗數據如附表 5-6。

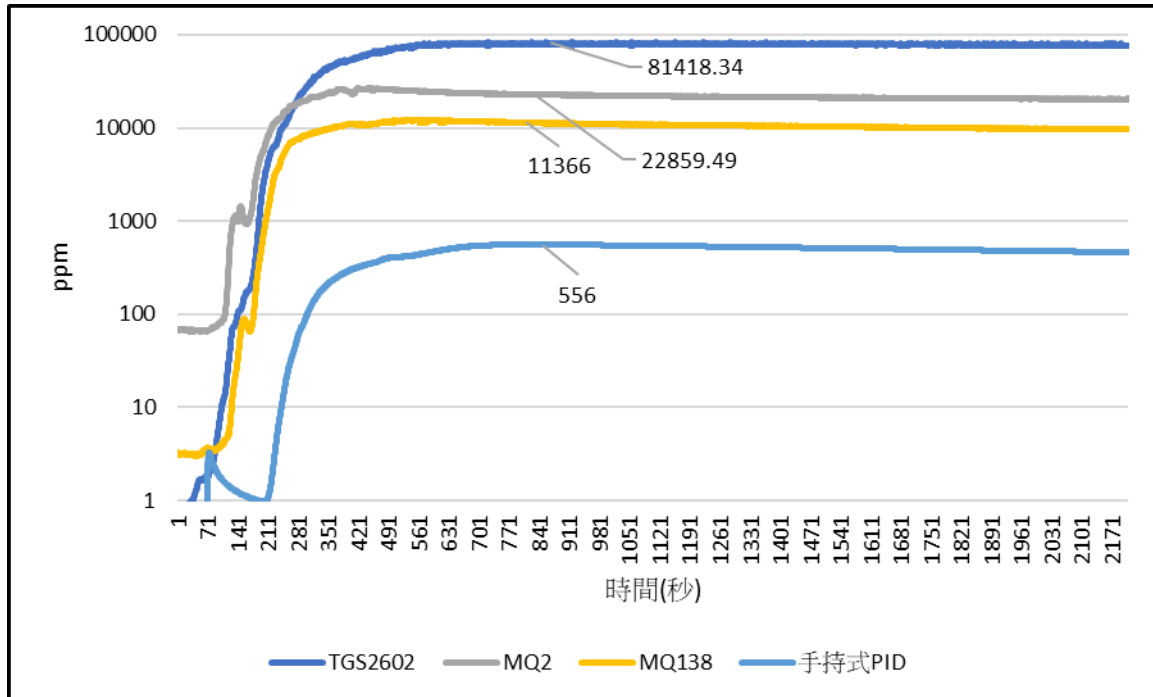


圖 5-36 第 1 次氣體感測器實驗(流量：500cc，時間：30 秒)

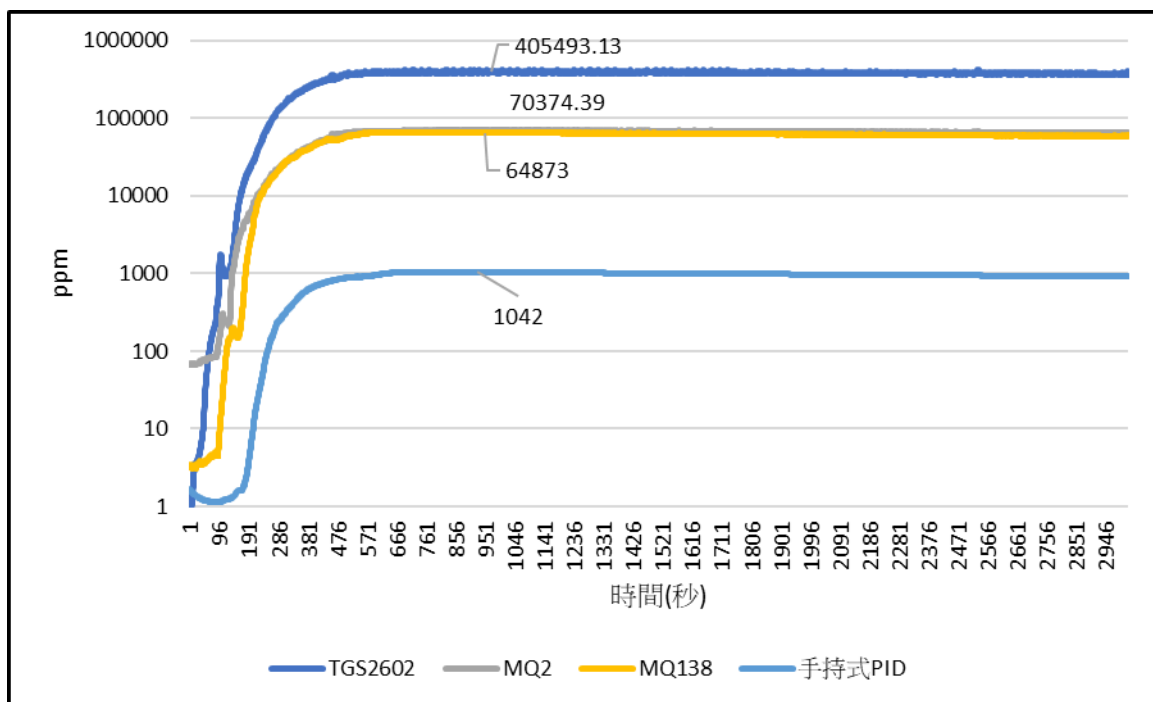


圖 5-37 第 2 次氣體感測器實驗(流量：500cc，時間：30 秒)



表 5-6 氣體感測器之實驗數據表(流量：500cc，時間：30 秒)

氣體:丙酮	流量：500cc/min 時間：30 秒			
型號	TGS2602			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	81418	567	0.18	4.49
第 2 次實驗	405493	496	0.11	4.58
型號	MQ138			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	11366	518	0.17	2.70
第 2 次實驗	64873	532	0.1	2.94
型號	MQ2			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)	初始電壓(V)	氣體穩定電壓(V)
第 1 次實驗	22859	453	0.25	2.77
第 2 次實驗	70374	532	0.17	3.08
型號	ppbRAE 3000 手持式氣體偵測器			
	氣體濃度(ppm)	反應時間(秒)		
第 1 次實驗	556	731		
第 2 次實驗	1042	643		



以下實驗透過感測器 TGS2602、MQ138、MQ2，以及手持式氣體感測器進行氣體偵測之實驗，實驗氣體使用乙醇和丙酮進行混合測試，每隔十分鐘釋放流量是 500cc/min，時間是 15 秒的氣體，氣體釋放依序是乙醇、丙酮、乙醇、丙酮，共計四次，如圖 5-38 所示，當乙醇和丙酮混合進入測試腔體時，氣體感測器之數據無法分辨混氣體的種類。

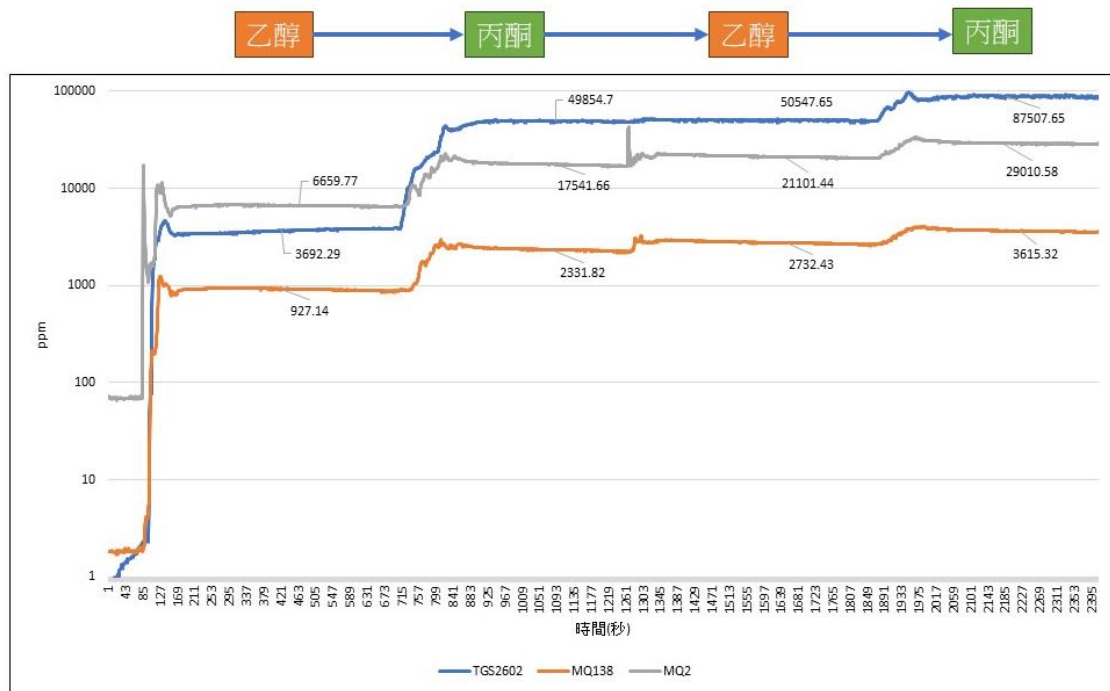


圖 5-38 混合氣體之氣體感測器實驗(流量：500cc，時間：15 秒)



5.6 AI 校正、類神經網路

整體研究流程圖如下所示：

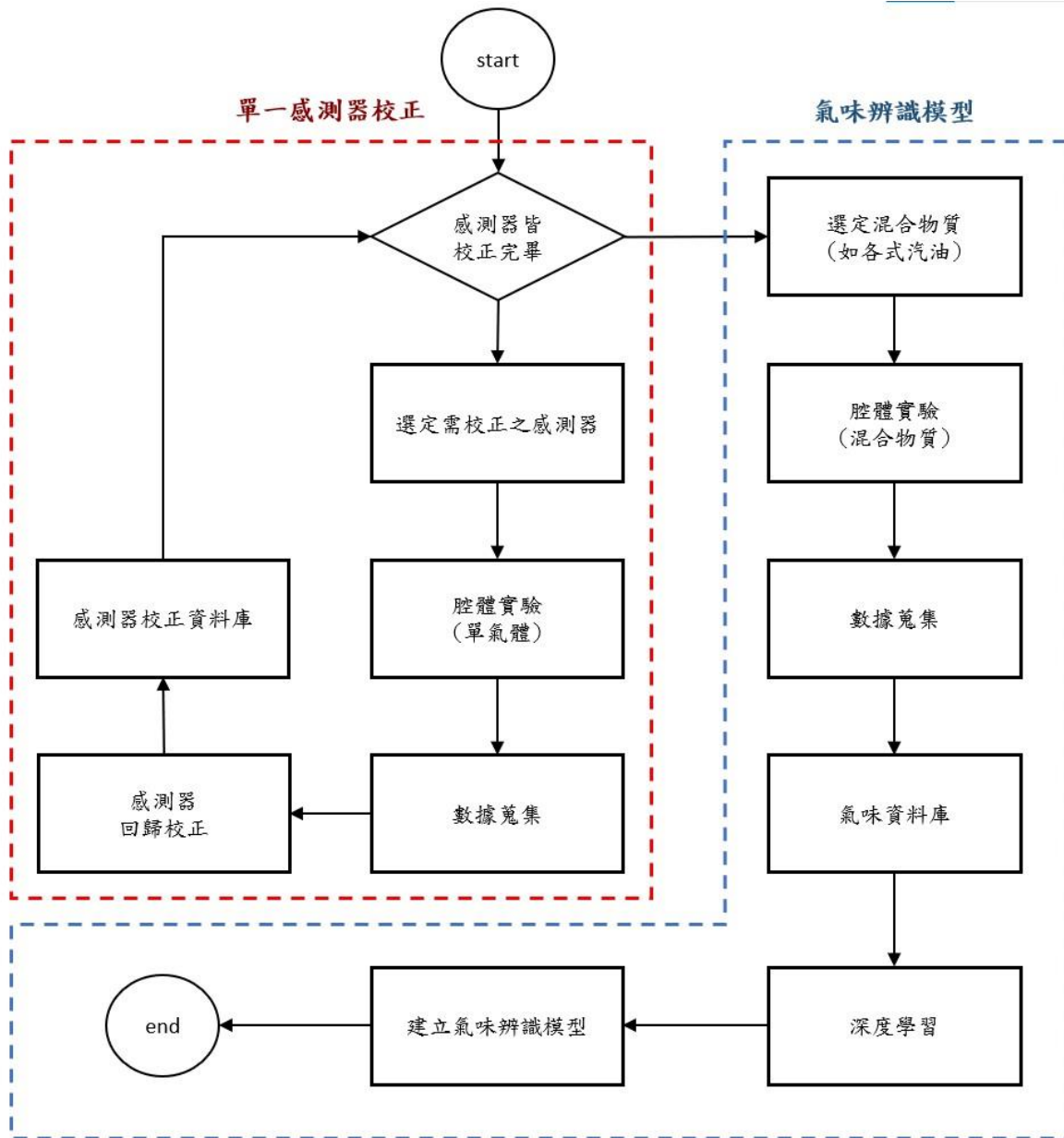


圖 5-39 研究流程圖

在一開始，我們會先採取線性回歸方式對每一個感測器進行數值校正。由於電子鼻感測器運作的原理是由電阻值轉換為各氣體的濃度值，而每顆感測器讀出來的數值會與標準值有些微的誤差，因此需要使用線性回歸來將感測器讀出的值校正為標準值。

線性回歸的結果如圖 5-39 所示，其中藍色數值為感測器讀出之數值，紅色為標準值，綠色為感測器讀出之數值經過線性回歸轉換後的值。

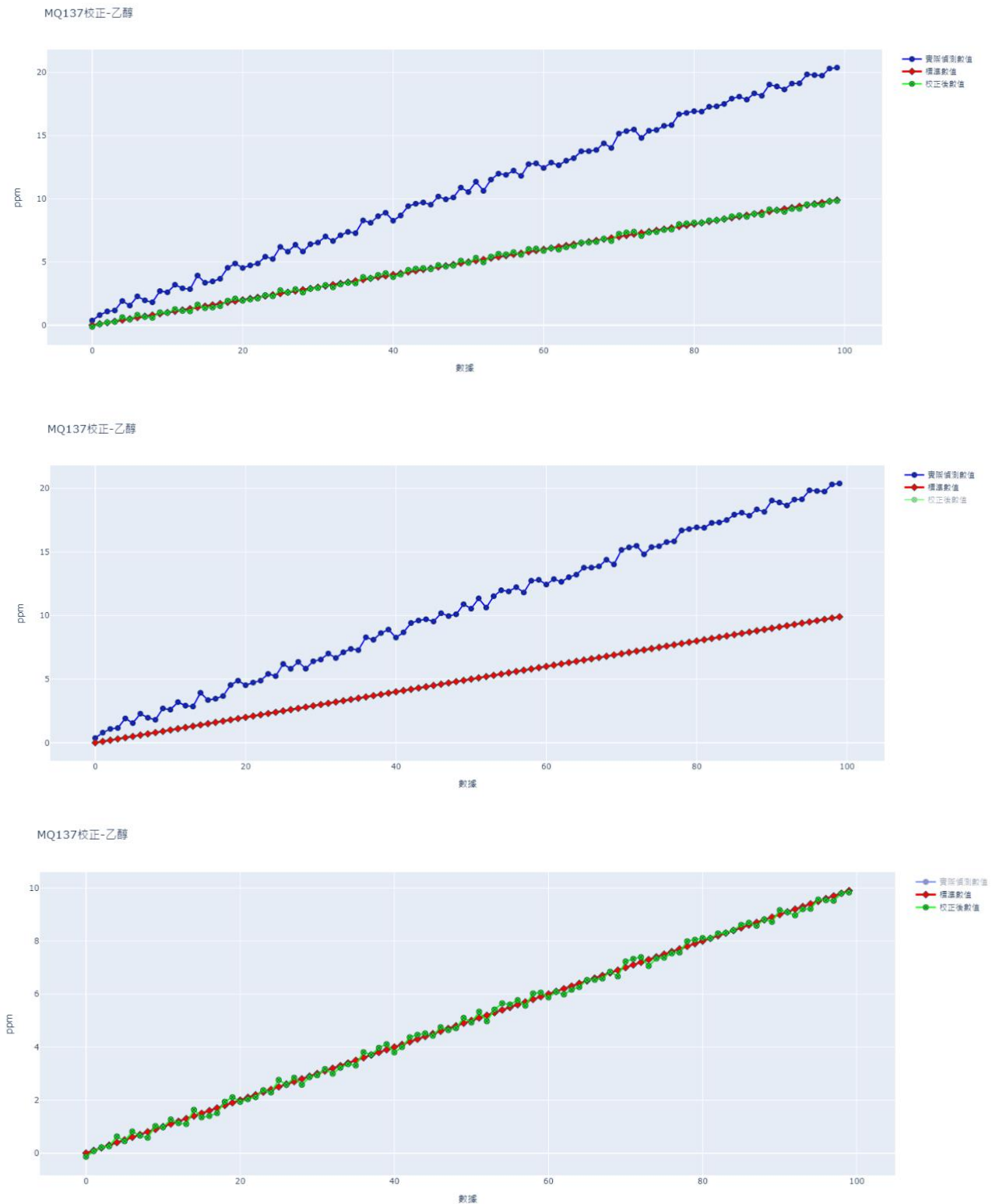


圖 5-40 感測器數值校正

如圖 5-40 所示，可以看到經過線性回歸轉換後，每個感測器的數值與標準值一致，方便後續類神經網路訓練。



當各感測器經過回歸校正數值後，即可使用類神經網路模型進行污染物分析預測。神經網路模型架構如圖 5-41 所示：

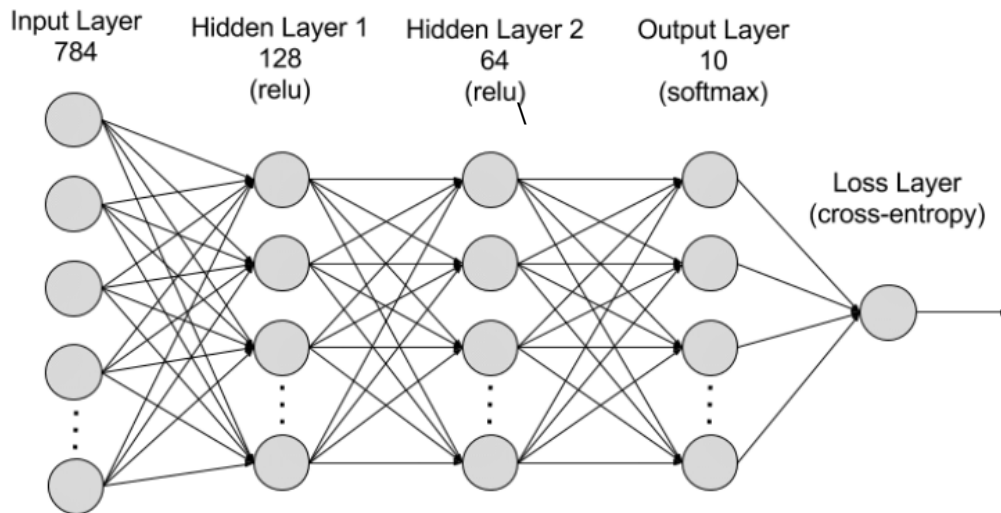


圖 5-41 神經網路架構

神經網路模型整體架構共分為三個主要部分，分別為：(1) 輸入層，將來自外界的資訊從輸入層進入人工神經網路。輸入節點對資料進行處理，對其進行分析或分類，並將其傳遞至下一層；(2) 隱藏層，從輸入層或其他隱藏層取得輸入。人工神經網路可以有大量的隱藏層。每個隱藏層分析前一層的輸出，進一步處理，並將其傳遞給下一層。(3) 輸出層，給出人工神經網路所有資料處理的最終結果。它可以有一個或多個節點。例如，如果我們有一個二元 (是/否) 分類問題，輸出層將有一個輸出節點，其結果為 1 或 0。但是，如果我們有一個多類別分類問題，則輸出層可能包含多個輸出節點。

實驗初期會以較為安全的乙醇為實驗樣本，測試電子鼻是否能分類出不同濃度的乙醇。後續會依序加入各種汽油混和樣本。每次設定完實驗樣本後，紀錄當前樣本的添加物，並使用電子鼻讀取當前樣本之濃度值。其中，電子鼻所讀取之數值為神經網路的輸入；樣本的添加物成分即為 Ground truth。經過多筆實驗數據訓練過後，神經網路即可學會區分樣本混和物成分。



5.6.1 氣體感測器之環境影響

以下附圖 5-42 是將數據做分析後，與手持式 PID 做比對，整理出影響氣體感測器之係數，分別有感測器讀值、感測器初始電壓、溼度和溫度，如附表 5-7 是相關係數範圍。

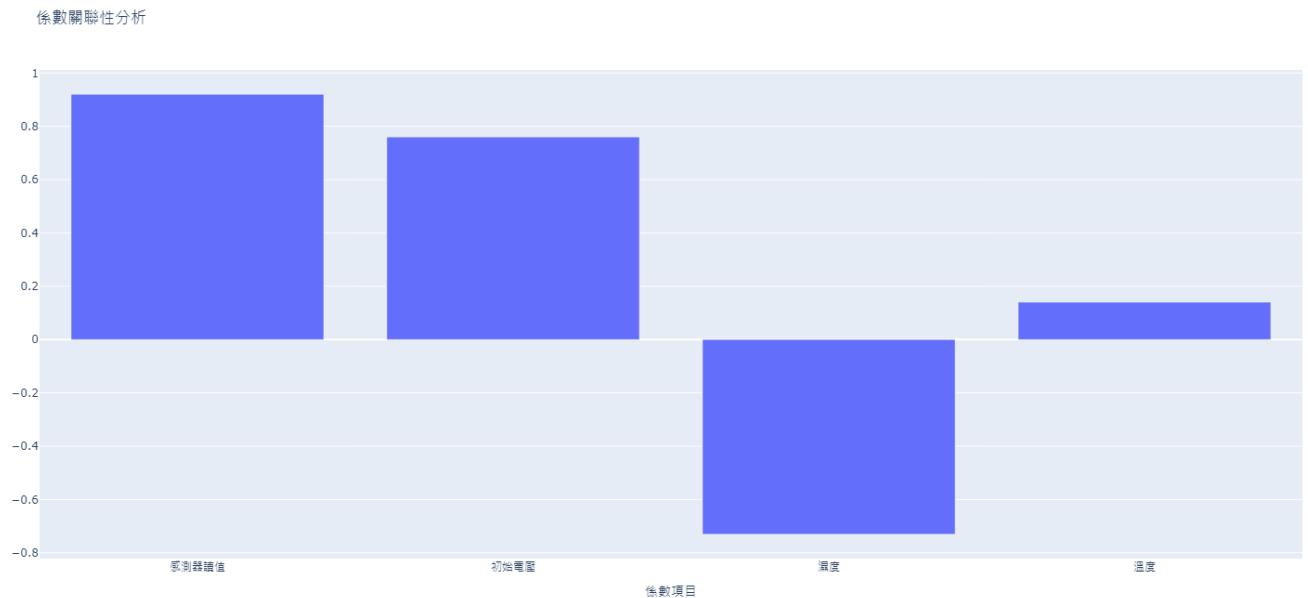


圖 5-42 氣體感測器之數據分析

表 5-7 相關係數範圍

相關係數範圍(絕對值)	變項關聯程度
1.00	完全相關
.70 至.99	高度相關
.40 至.69	中度相關
.10 至.39	低度相關
.10 以下	微弱或無相關



5.6.2 實驗校正成果

過線性回歸轉換後得到公式 8，並將原始感測器數值和係數值帶入公式後，得到氣體感測器校正之讀值，表 5-8 為乙醇係數值，表 5-9 為丙酮係數值，。

$$\text{校正值} = \text{原始感測器數值} \times \alpha_1 + \text{初始電壓} \times \alpha_2 + \text{濕度} \times \alpha_3 + \beta \dots\dots(8)$$

表 5-8 乙醇係數值

乙醇				
	α_1	α_2	α_3	β
TGS2602	5.5475	1.8759	-1.6344	-95.0450
MQ138	1.1896	2.6298	-8.3508	245.7470
MQ2	5.6709	8.7822	-2.9744	63.7170

表 5-9 丙酮係數值

丙酮				
	α_1	α_2	α_3	β
TGS2602	3.1362	6.5343	-2.1634	924.7767
MQ138	1.3789	2.7252	-2.0372	1608.324
MQ2	1.1917	-1.6241	-1.9408	1888.1816



如附圖 5-43 所示，TGS2602 氣體感測器和手持式 TVOC 偵測器在乙醇狀態下之原始讀值。

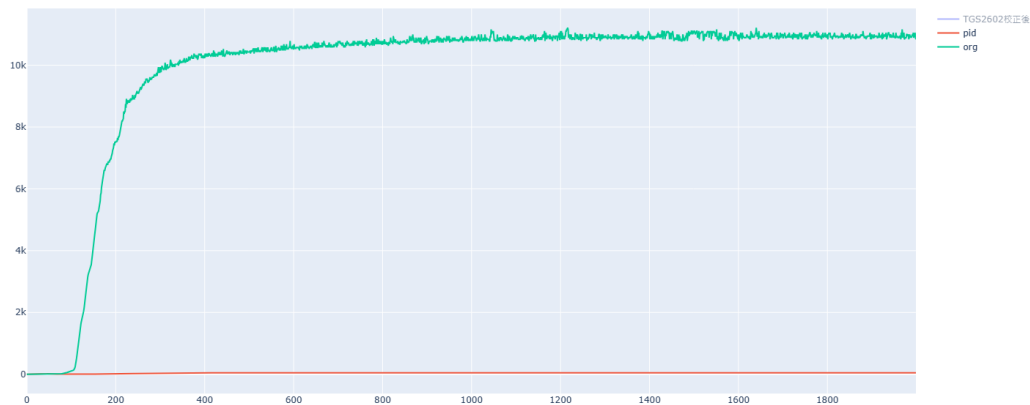


圖 5-43 氣體感測器 TGS2602 原始讀值(氣體:乙醇)

如附圖 5-44 所示，TGS2602 感測器之原始數值，經過線性回歸轉換後，帶入公式和 TGS2602 之乙醇係數，TGS2602 和手持式 TVOC 偵測器平均誤差在 3~5ppm 左右，如表 5-10 所示。

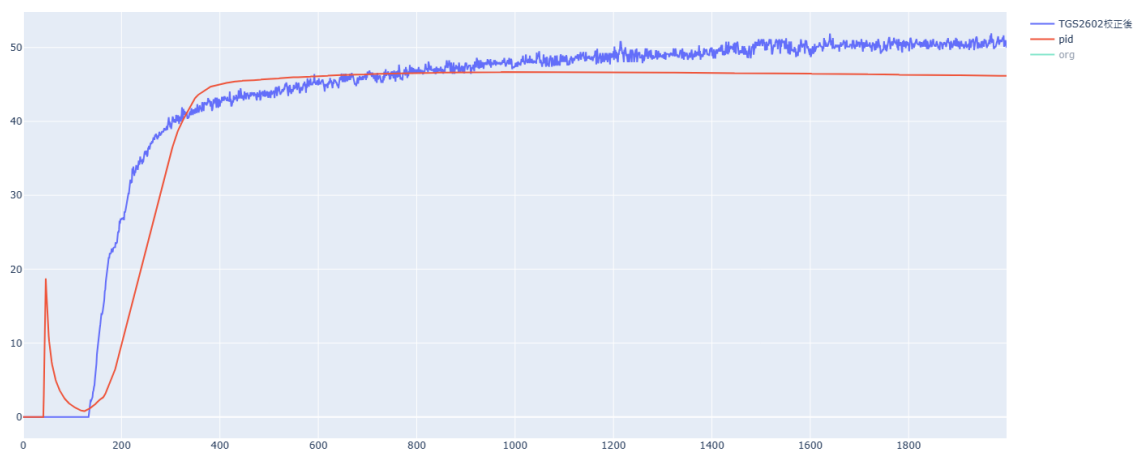


圖 5-44 氣體感測器 TGS2602 線性回歸之數據(氣體:乙醇)

表 5-10 氣體感測器修正誤差值(氣體:乙醇)

乙醇		
	修正前平均誤差	修正後平均誤差
TGS2602	9774.14	3.17
MQ138	380.65	4.91
MQ2	4285.44	4.77



如附圖 5-45 所示，TGS2602 氣體感測器和手持式 TVOC 偵測器在丙酮狀態下之原始讀值。

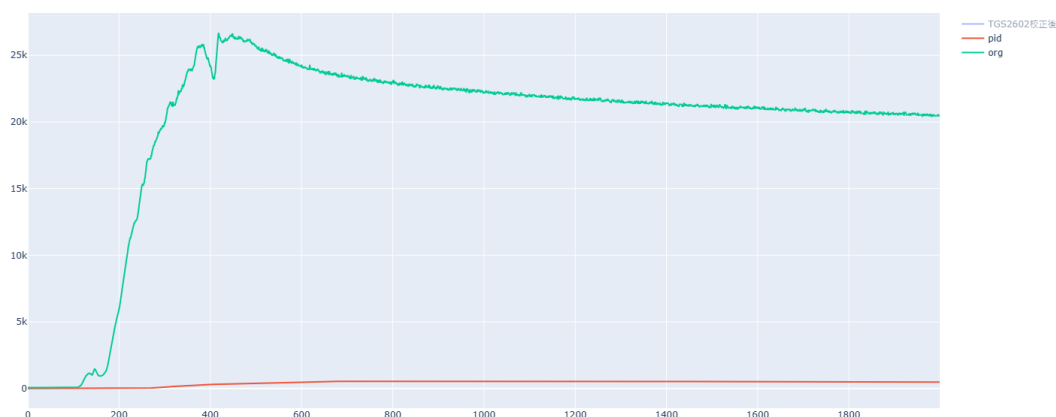


圖 5-45 氣體感測器 TGS2602 線性回歸之數據(氣體:丙酮)

如附圖 5-46 所示，TGS2602 感測器之原始數值，經過線性回歸轉換後，帶入公式和 TGS2602 之丙酮係數，TGS2602 和手持式 TVOC 偵測器平均誤差在 100~150ppm 之間，如表 5-11 所示。

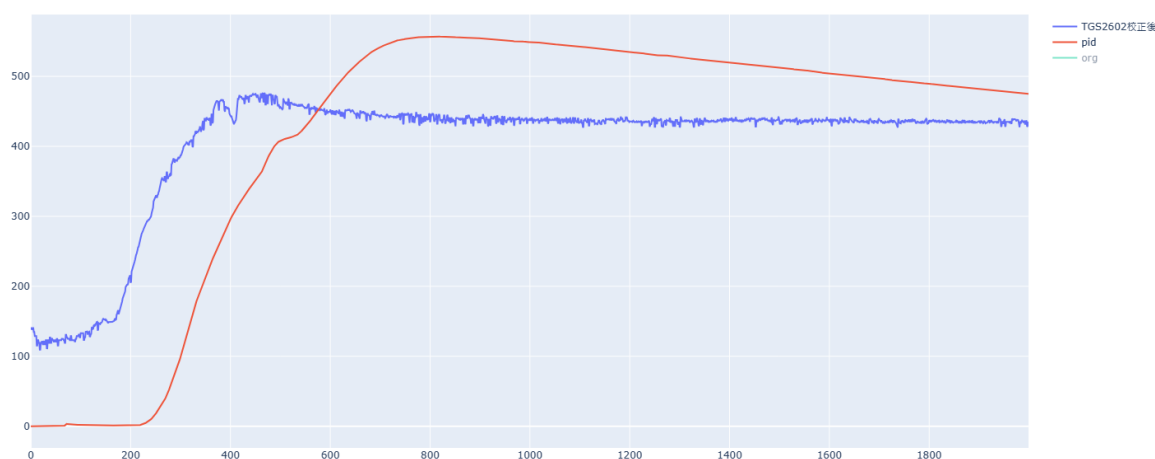


圖 5-46 氣體感測器 TGS2602 線性回歸之數據(氣體:丙酮)

表 5-11 氣體感測器修正誤差值(氣體:丙酮)

丙酮		
	修正前平均誤差	修正後平均誤差
TGS2602	118218.77	115.84
MQ138	5097.31	149.79
MQ2	19303.16	104.99



5.7 電子鼻與土壤逸散率實驗

5.7.1 實驗設計與土壤基本資料

本實驗採用三種不同特性與代表性的台灣土壤，分別是南投惠蓀森林的森林土、桃園平鎮系的紅土(北部地區代表性土系)與台南嘉南平原將軍系的土(嘉南平原代表性土系)，如表 5-12、表 5-13 是土壤基本資料，如圖 5-47、圖 5-48、圖 5-49 是測試土壤照片。



圖 5-47 南投惠蓀森林土



圖 5-48 桃園平鎮系紅土



圖 5-49 台南嘉南平原將軍系土

針對不同土壤量，以及不同的氣體濃度，藉由 AI 推算出土壤逸散率，土壤量分別為 100g、200g、300g，氣體使用乙醇，氣體流量設定在 500cc/min，釋放時間為 30 秒、60 秒和 120 秒進行實驗，並且收集數據，如圖 4-50 是土壤逸散率實驗環境，如圖 5-51 是土壤逸散率之實驗設計。

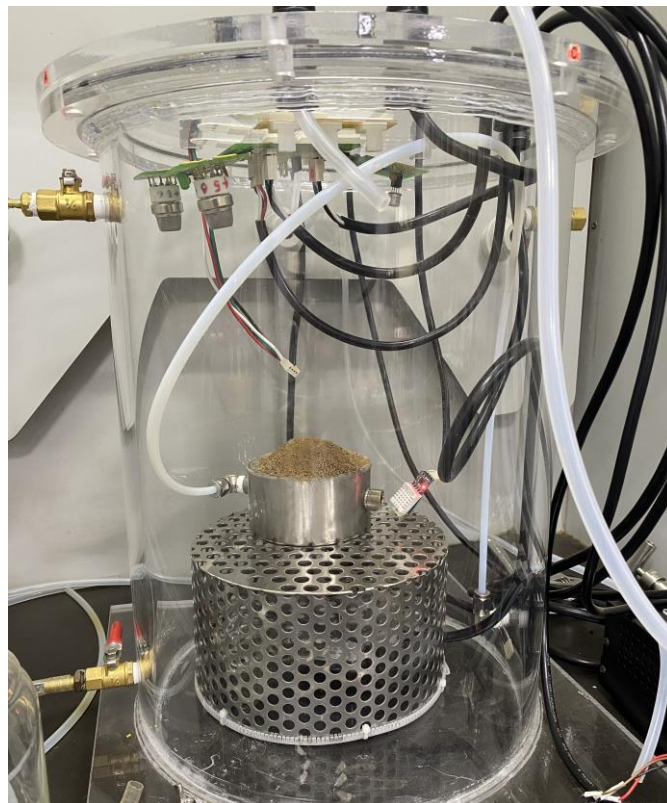


圖 5-50 土壤逸散率實驗環境

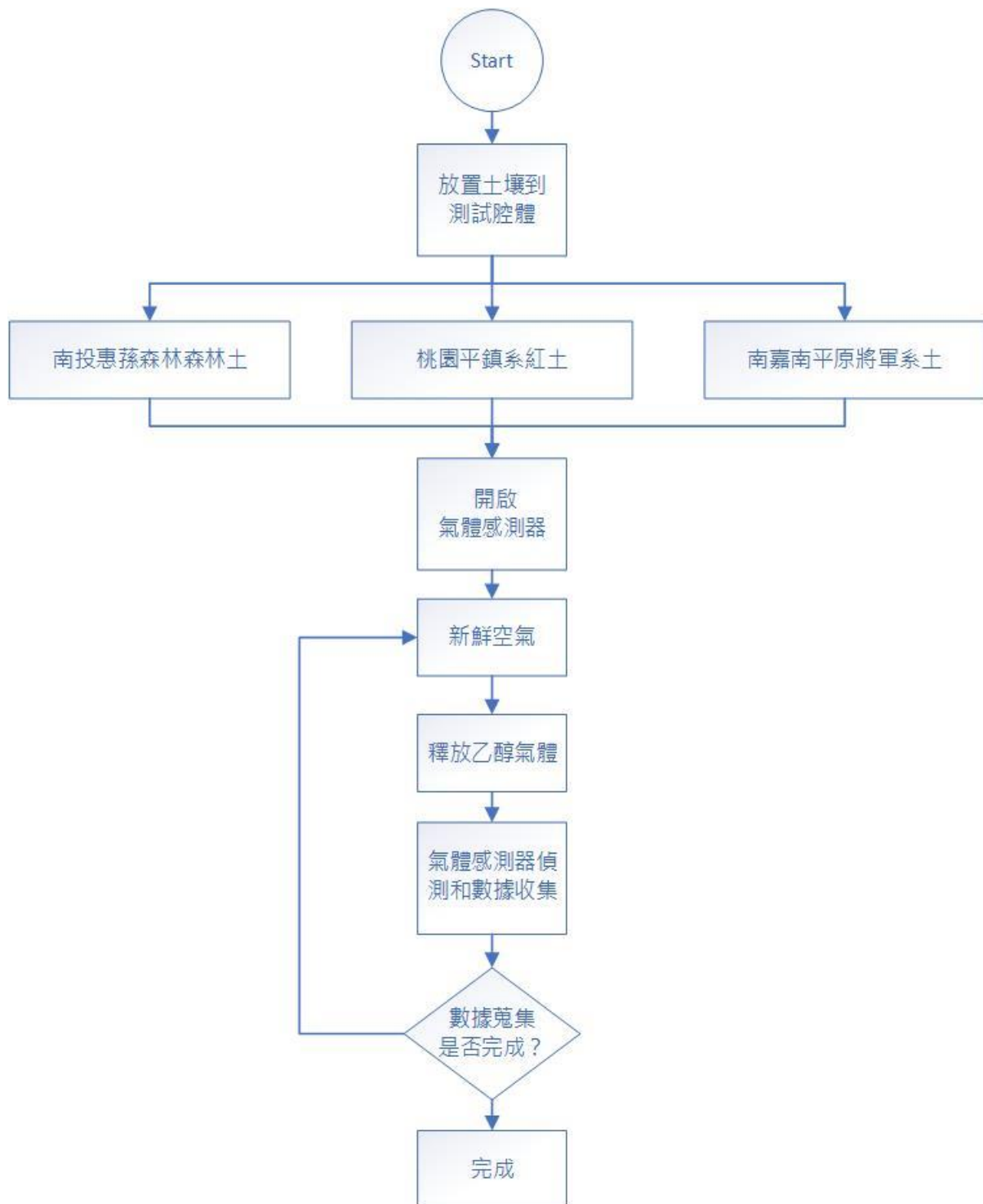


圖 5-51 土壤逸散率之實驗設計



	土壤深度 (cm)	砂粒 Sand(%)	粉粒 Silt(%)	黏粒 Clay(%)	土壤質地 (Soil texture)	引用資料
將軍系	0-30	24.8	64.2	11.0	粉質壤土 (Silt loam)	[17]
平鎮系	0-30	18.1	42.4	39.5	粉質黏壤土 (Silty clay loam)	[18]
惠蓀森林	0-30	27.0	59.0	14.0	粉質壤土 (Silt loam)	

表 5-12 土壤基本資料

表 5-13 土壤基本資料

	GPS 座標 (經度, 緯度)	土壤 深度 (cm)	pH	總體密 度 (g/cm ³)	保水 力 (in/ft) [19]	孔隙率 (%)	導水 係數 [20]	水分 (%)	灰分 (%)
將軍系	(120.2596, 23.4718)	0-30	7.2 [21]	1.4 [25]	1.50 - 2.30	NI	0.3	1.0	3.2
平鎮系	(121.1863, 24.9095)	0-30	4.4 [23]	1.24 [6]	1.75 - 2.50	50.3 [24]	0.12	2.5	8.7
惠蓀森林	(121.0080 9, 24.0769)	0-30	4.1	0.73	1.50 - 2.30	NI	0.3	3.7	10.1



5.7.2 土壤逸散率實驗成果

以下附圖 5-52 是台南嘉南平原將軍系土，使用手持式氣體偵測器進行空白樣品實驗數據，表 5-14 是相關實驗之數據。

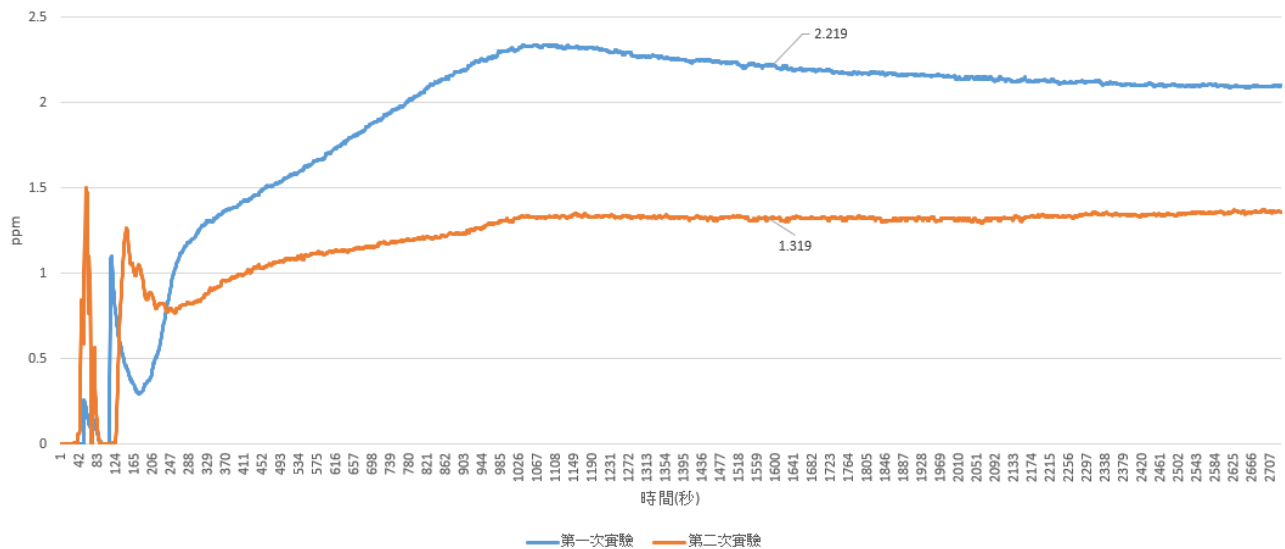


圖 5-52 將軍系土之空白樣品實驗(手持式氣體偵測器)

表 5-14 將軍系土之空白樣品實驗相關數據

空白樣品實驗		
感測器型號：手持式氣體偵測器		
	第一次實驗	第二次實驗
土壤種類	台南嘉南平原將軍系土	台南嘉南平原將軍系土
測量前土壤重量	90.7g	90.7g
加入實驗液體土壤重量	無	無
測量後土壤重量	90.7g	90.6g
曝氣時間氣體	15min	15min
氣體	空氣	空氣
實驗液體	無	無
液體量	無	無
實驗時間	45min	45min
濃度	2.219ppm	1.319ppm



以下附圖 5-53 是台南嘉南平原將軍系土，使用 TGS2602 進行空白樣品實驗數據，表 5-15 是相關實驗之數據。

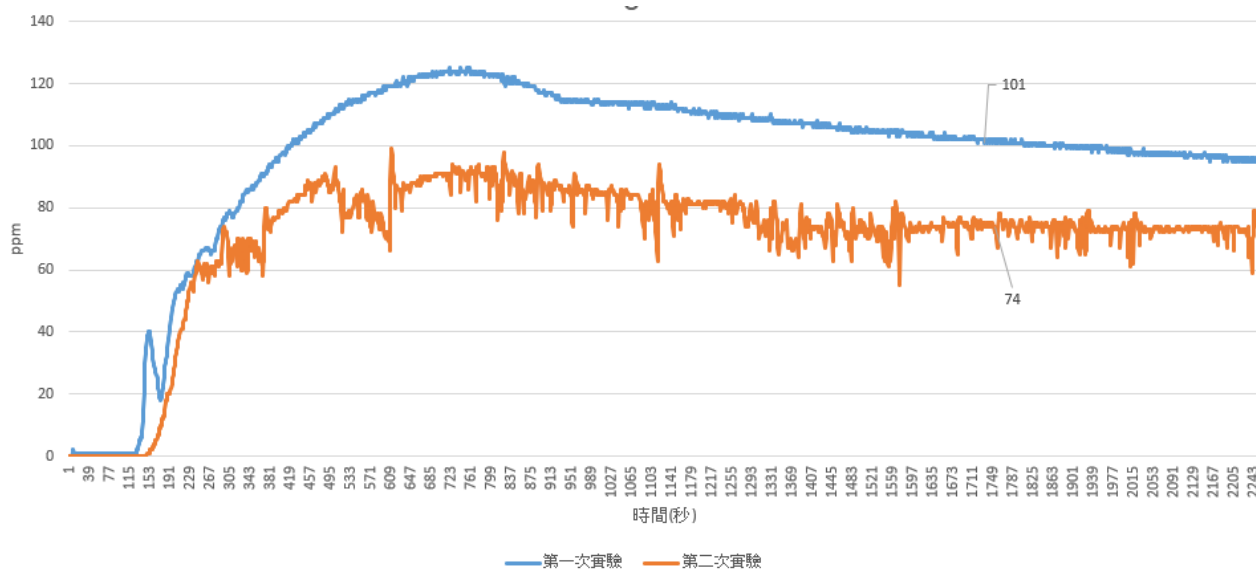


圖 5-53 將軍系土之空白樣品實驗(TGS2602)

表 5-15 將軍系土之空白樣品實驗相關數據

空白樣品實驗		
感測器型號：TGS2602 氣體感測器		
	第一次實驗	第二次實驗
土壤種類	台南嘉南平原將軍系土	台南嘉南平原將軍系土
測量前土壤重量	90.7g	90.7g
加入實驗液體土壤重量	無	無
測量後土壤重量	90.7g	90.6g
曝氣時間氣體	15min	15min
氣體	空氣	空氣
實驗液體	無	無
液體量	無	無
實驗時間	45min	45min
濃度	101ppm	74ppm



以下附圖 5-54 是台南嘉南平原將軍系土，使用手持式氣體偵測器進行樣品分析實驗數據，表 5-16 是相關實驗之數據。

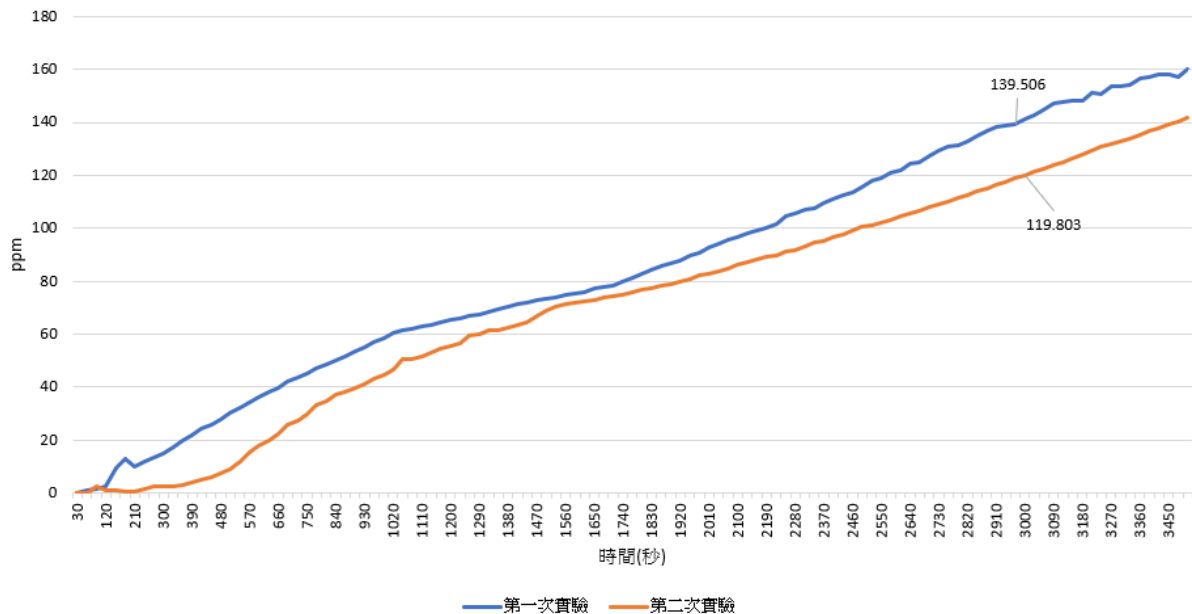


圖 5-54 將軍系土之樣品分析實驗(手持式氣體偵測器)

表 5-16 將軍系土之樣品分析實驗相關數據

樣品分析實驗		
感測器型號：手持式氣體偵測器		
	第一次實驗	第二次實驗
土壤種類	台南嘉南平原將軍系土	台南嘉南平原將軍系土
測量前土壤重量	89.55g	89.40g
加入實驗液體土壤重量	90.30g	90.20g
測量後土壤重量	90.85g	89.85g
曝氣時間氣體	15min	15min
氣體	乙醇	乙醇
實驗液體	乙醇	乙醇
液體量	1cc	1cc
實驗時間	57min	57min
濃度	139ppm	119ppm



以下附圖 5-55 是台南嘉南平原將軍系土，使用 TGS2602 氣體感測器進行樣品分析實驗數據，表 5-17 是相關實驗之數據。

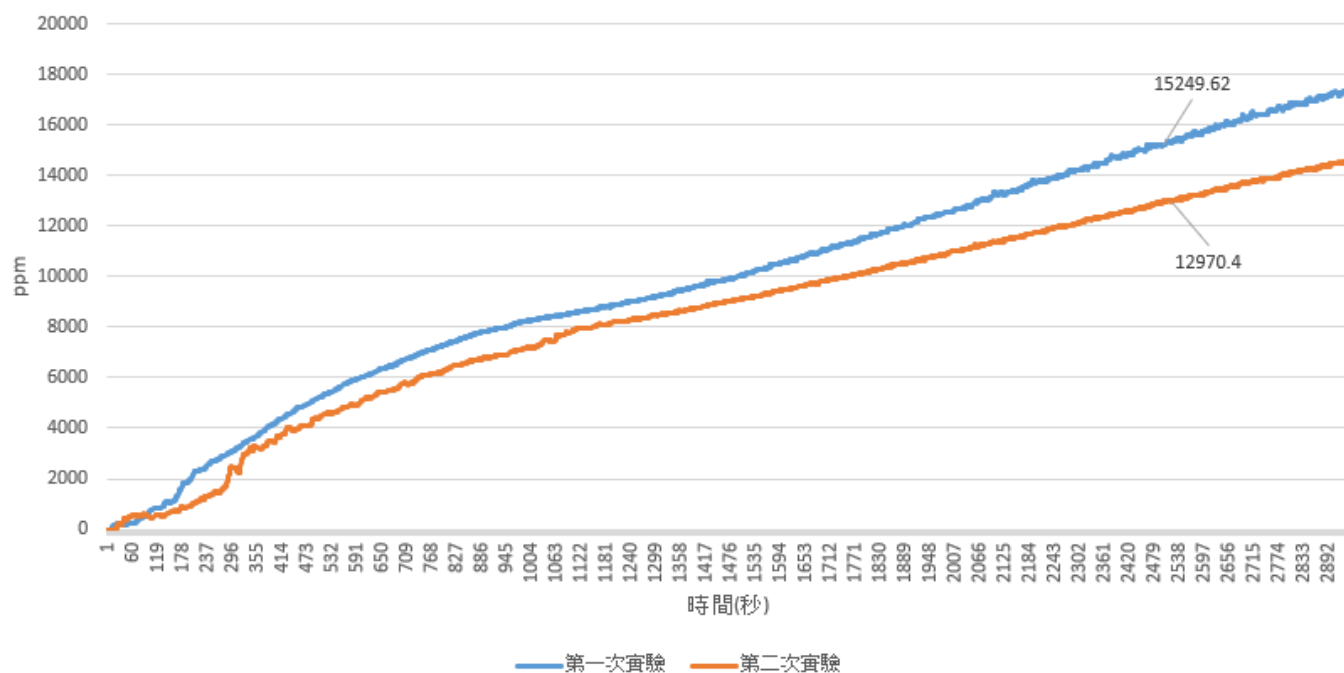


圖 5-55 將軍系土之樣品分析實驗(TGS2602)

表 5-17 將軍系土之樣品分析實驗相關數據

樣品分析實驗		
感測器型號：TGS2602 氣體感測器		
	第一次實驗	第二次實驗
土壤種類	台南嘉南平原將軍系土	台南嘉南平原將軍系土
測量前土壤重量	89.55g	89.40g
加入實驗液體土壤重量	90.30g	90.20g
測量後土壤重量	89.85g	89.85g
曝氣時間氣體	15min	15min
氣體	乙醇	乙醇
實驗液體	乙醇	乙醇
液體量	1cc	1cc
實驗時間	57min	57min
濃度	15249ppm	12970ppm



以下附圖 5-56 是南投惠蓀森林土，使用手持式氣體偵測器進行空白樣品實驗數據，表 5-18 是相關實驗之數據。

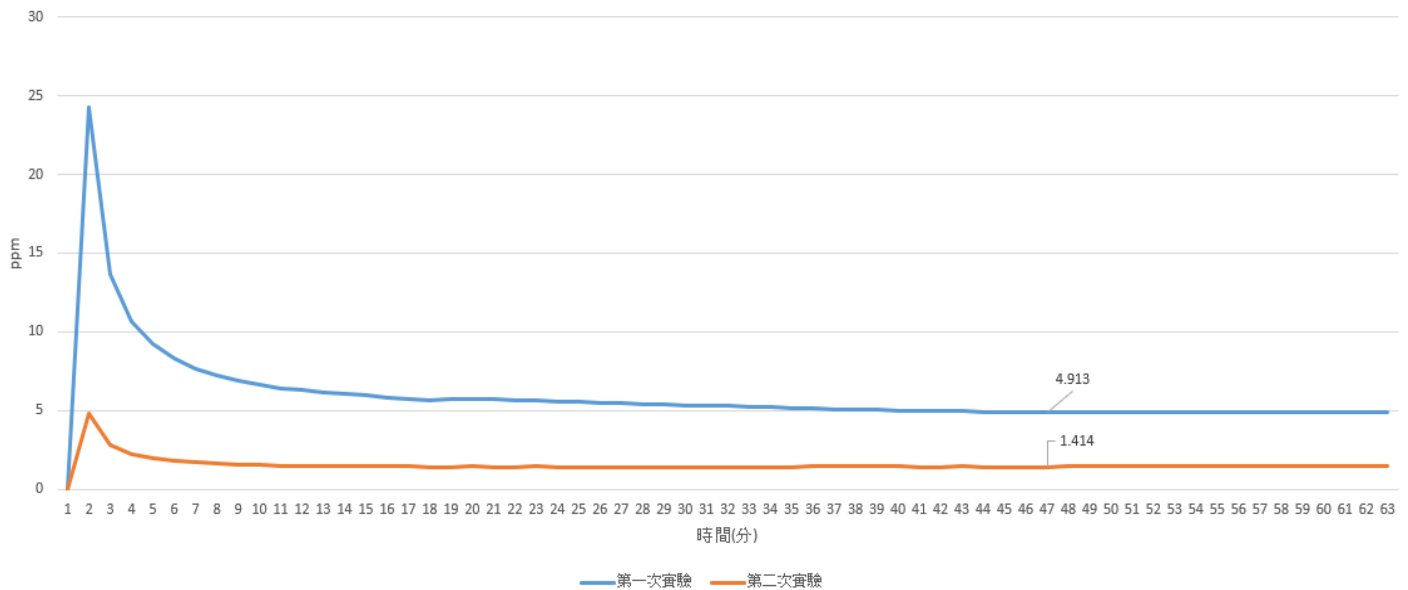


圖 5-56 惠蓀森林土之空白樣品實驗(手持式氣體偵測器)

表 5-18 惠蓀森林土之空白樣品實驗相關數據

空白樣品實驗		
感測器型號：手持式氣體偵測器		
	第一次實驗	第二次實驗
土壤種類	南投惠蓀森林土	南投惠蓀森林土
測量前土壤重量	61.15g	60.95g
加入實驗液體土壤重量	無	無
測量後土壤重量	60.95g	60.80g
曝氣時間氣體	15min	15min
氣體	空氣	空氣
實驗液體	無	無
液體量	無	無
實驗時間	63min	63min
濃度	4.913ppm	1.414ppm



以下附圖 5-57 是南投惠蓀森林土，使用 TGS2602 氣體感測器進行空白樣品實驗數據，表 5-19 是相關實驗之數據。

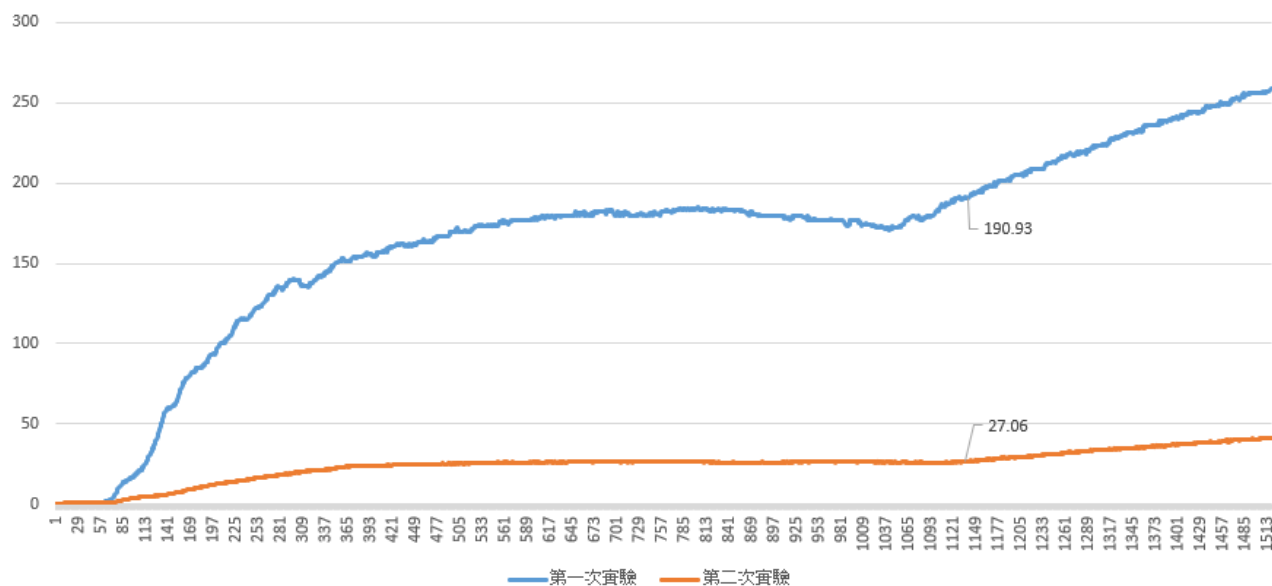


圖 5-57 惠蓀森林土之空白樣品實驗(TGS2602)

表 5-19 惠蓀森林土之空白樣品實驗相關數據

空白樣品實驗		
感測器型號：TGS2602 氣體感測器		
	第一次實驗	第二次實驗
土壤種類	南投惠蓀森林土	南投惠蓀森林土
測量前土壤重量	61.15g	60.95g
加入實驗液體土壤重量	無	無
測量後土壤重量	60.95g	60.80g
曝氣時間氣體	15min	15min
氣體	空氣	空氣
實驗液體	無	無
液體量	無	無
實驗時間	25min	25min
濃度	190ppm	27ppm



以下附圖 5-58 是南投惠蓀森林土，使用手持式氣體偵測器進行樣品分析實驗數據，表 5-20 是相關實驗之數據。

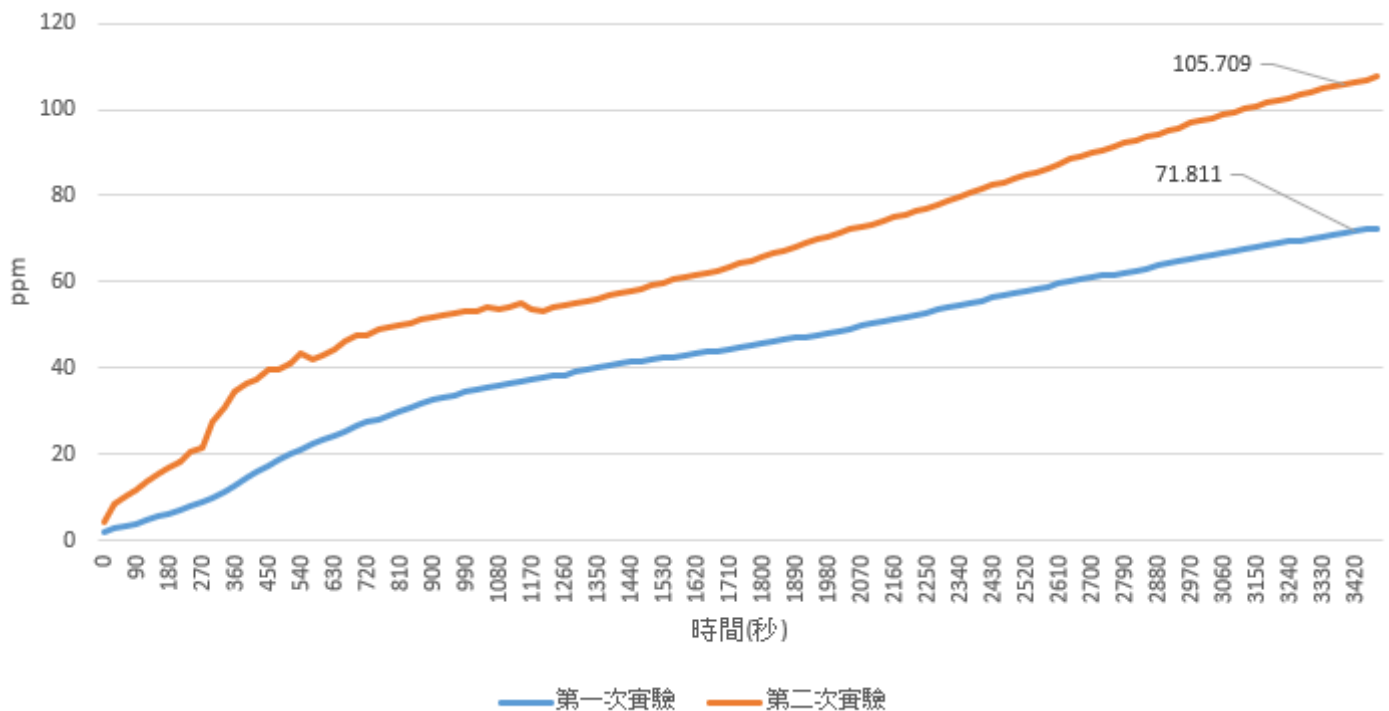


圖 5-58 惠蓀森林土之樣品分析實驗(手持式氣體偵測器)

表 5-20 惠蓀森林土之樣品分析實驗相關數據

樣品分析實驗		
感測器型號：手持式氣體偵測器		
	第一次實驗	第二次實驗
土壤種類	南投惠蓀森林土	南投惠蓀森林土
測量前土壤重量	60.80g	60.95g
加入實驗液體土壤重量	61.75g	61.90g
測量後土壤重量	61.45g	61.60g
曝氣時間氣體	15min	15min
氣體	乙醇	乙醇
實驗液體	乙醇	乙醇
液體量	1cc	1cc
實驗時間	58min	58min
濃度	71ppm	105ppm



以下附圖 5-59 是南投惠蓀森林土，使用 TGS2602 氣體感測器進行樣品分析實驗數據，表 5-21 是相關實驗之數據。

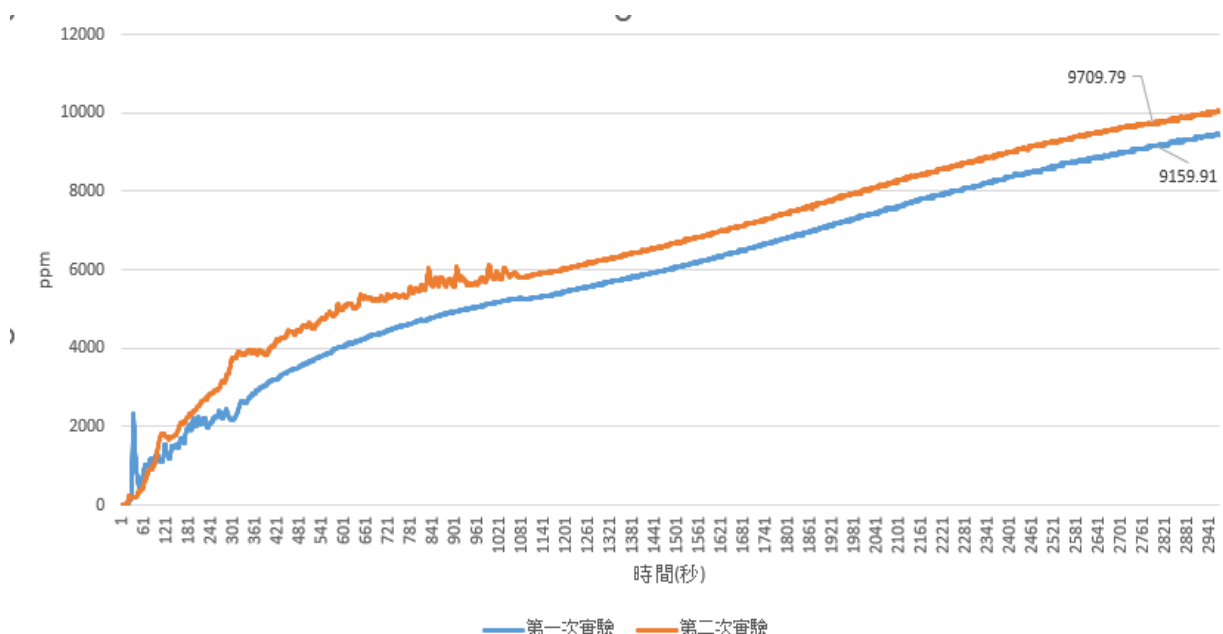


圖 5-59 惠蓀森林土之樣品分析實驗(TGS2602)

表 5-21 惠蓀森林土之樣品分析實驗相關數據

樣品分析實驗		
感測器型號：TGS2602 氣體感測器		
	第一次實驗	第二次實驗
土壤種類	南投惠蓀森林土	南投惠蓀森林土
測量前土壤重量	60.80g	60.95g
加入實驗液體土壤重量	61.75g	61.90g
測量後土壤重量	61.45g	61.60g
曝氣時間氣體	15min	15min
氣體	乙醇	乙醇
實驗液體	乙醇	乙醇
液體量	1cc	1cc
實驗時間	49min	49min
濃度	9709ppm	9159ppm



第六章 未來展望

本氣體感測器採用之感測器是低成本、低開發複雜度、高操作性和高方便之需求，Arduino 板之架構，軟硬體皆為開放架構，可以根據感測器多寡進行電路修改、刪減未使用的元件，軟體方便可以使用功能豐富之函式庫進行改寫；感測器部分需注意要提供額外電壓，提供適當的電流給氣體感測器有穩定的加熱。

經實驗氣體感測器之特性，目前在新鮮空氣之下，氣體感測器之輸出電壓均為穩定，後續使用單一氣體開始進行實驗和校正，得到氣體感測器之數據，並針對數據進行線性回歸，得到較準確及穩定之數值。

因土壤地下水常見污染物較為複雜，此計畫採用循序漸進的方式實驗，先從最簡單的乙醇和丙酮之氣體進行測試，未來技術較成熟時，將會實驗土壤地下水之功能。

因氣體感測器會對多種氣體有反應，後續採用三組氣體感測器進行測試，先針對乙醇氣體進行實驗數據之收集與分析，接著使用丙酮氣體進行實驗數據之收集與分析，但因氣體感測氣無分離氣體之功能，在測試乙醇和丙酮的實驗過程中，無法辨別氣體的種類和濃度，需要再增加數種氣體感測器的種類，進行交叉比對後，再進行大數據分析。

未來希望將測試腔體的容積縮小，以加快氣體在腔體內平均擴散的速度，並提供攜帶的功能，在氣體感測器的部分，增加不同種類感測器之數量，透過氣體感測器之不同性質，收集氣體數據，再經由大數據分析和神經網路訓練，實踐分辨氣體之功能。

增加土壤測試之種類，透過 AI 技術分析每種土壤之溢散率，並且依序加入不同單一氣體、混和氣體和各種汽油混和之樣本，檢測氣體感測器之準確度和穩定度，並收集之樣本數據，輸入至神經網路訓練，使神經網路學會區分氣體濃度和混和物成分。



參考文獻

- [1] Bartlett, P., & Gardner, J. (2000). Electronic Noses. Principles and Applications. Measurement Science And Technology, 11(7), 1087-1087.
- [2] Chang, F., Chang, L., Kang, C., Wang, Y., & Huang, A. (2020). Explore Spatio-Temporal PM2.5 Features in Northern Taiwan Using Machine Learning Techniques. Science Of The Total Environment, 736, 139656.
- [3] Ferreiro-González, M., Barbero, G., Palma, M., Ayuso, J., Álvarez, J., & Barroso, C. (2016). Determination of Ignitable Liquids in Fire Debris: Direct Analysis by Electronic Nose. Sensors, 16(5), 695.
- [4] Jiang, H., & Learned-Miller, E. (2017). Face Detection with the Faster R-CNN. 2017 12Th IEEE International Conference On Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2017).
- [5] Malley, D., Hunter, K., & Webster, G. (1999). Analysis of Diesel Fuel Contamination in Soils by Near-Infrared Reflectance Spectrometry and Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography. Journal Of Soil Contamination, 8(4), 481-489.
- [6] Mombaerts, P. (2001). How smell develops. Nature Neuroscience, 4(S11), 1192-1198.
- [7] Paíga, P., Mendes, L., Albergaria, J., & Delerue-Matos, C. (2012). Determination of total petroleum hydrocarbons in soil from different locations using infrared spectrophotometry and gas chromatography. Chemical Papers, 66(8).
- [8] Saarela, M., Ryyänen, O., & Äyrämö, S. (2019). Predicting hospital associated disability from imbalanced data using supervised learning. Artificial Intelligence In Medicine, 95, 88-95.
- [9] Szarlip, P., Stelmach, W., Jaromin-Gleń, K., Bieganski, A., Brzezińska, M., & Trembaczowski, A. et al. (2014). Comparison of the dynamics of natural biodegradation of petrol and diesel oil in soil. Desalination And Water Treatment, 52(19-21), 3690-3697.
- [10] Turner, A., & Magan, N. (2004). Electronic noses and disease diagnostics. Nature Reviews Microbiology, 2(2), 161-166.
- [11] Valle-Cruz, D., Criado, J. I., Sandoval-Almazán, R., & Ruvalcaba-Gomez, E. A. (2020).



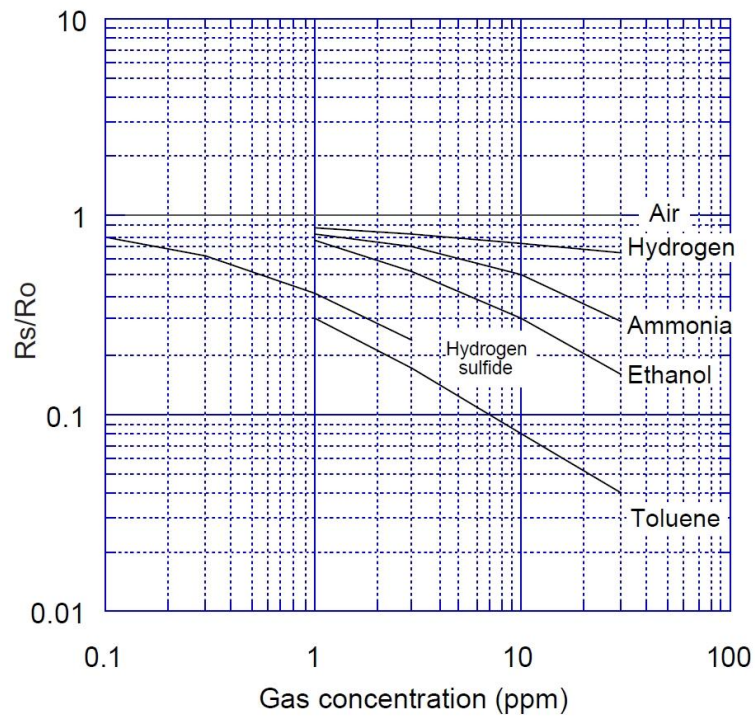
電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品污染偵測上的應用

- [12] Assessing the public policy-cycle framework in the age of artificial intelligence: From agenda-setting to policy evaluation. *Government information quarterly*, 37(4), 101509.
- [13] Wei, L., Yuan, Z., Zhong, Y., Yang, L., Hu, X., & Zhang, Y. (2019). An Improved Gradient Boosting Regression Tree Estimation Model for Soil Heavy Metal (Arsenic) Pollution Monitoring Using Hyperspectral Remote Sensing. *Applied Sciences*, 9(9), 1943.
- [14] 林煥修 (2006)。加油站土壤及地下水受揮發性有機物污染之整治：彰化縣加油站案例研究。國立中興大學環境工程學系所碩士論文，台中市。
- [15] 行政院環境保護署，「土壤污染管制標準」，依土壤及地下水污染整治法第六條第二項規定訂定之，修正日期民國 100 年 1 月 31 日。
- [16] 參考網址：IBM，什麼是神經網絡？
<https://www.ibm.com/cn-zh/cloud/learn/neural-networks>
- [17] 游宜庭. 生物炭之製備及其對設施土壤品質改善與植物生長之影響. 2016: 1-84
- [18] 周秉瀟. 稻稈添加對浸水土壤中鐵物種變化的作用. (2022): 1-156.
- [19] Schwankl, L.J. and T. Prichard. 2009. University of California Drought Management Web Site. <http://UCManageDrought.ucdavis.edu>. Viewed Aug. 13, 2009.
- [20] Woubet G Alemu. Role of Soil and Water Conservation Measures to Ecosystem Services at Anjeni Watershed, Northwest Ethiopia. 2011: 1-92.
- [21] 游宜庭. 生物炭之製備及其對設施土壤品質改善與植物生長之影響. 2016: 1-84.
- [22] NI: 無資料
- [23] 周秉瀟. 稻稈添加對浸水土壤中鐵物種變化的作用. 2022: 1-156.
- [24] 林保瑞. 銅、鎘在幾種台灣土壤中脫附性之探討. 2011: 1-109.
- [25] 賴允傑、陳尊賢。2018。行政院環境保護署：全國土壤性質調查與管理計畫 (第 2 期)。期末報告(定稿本)。

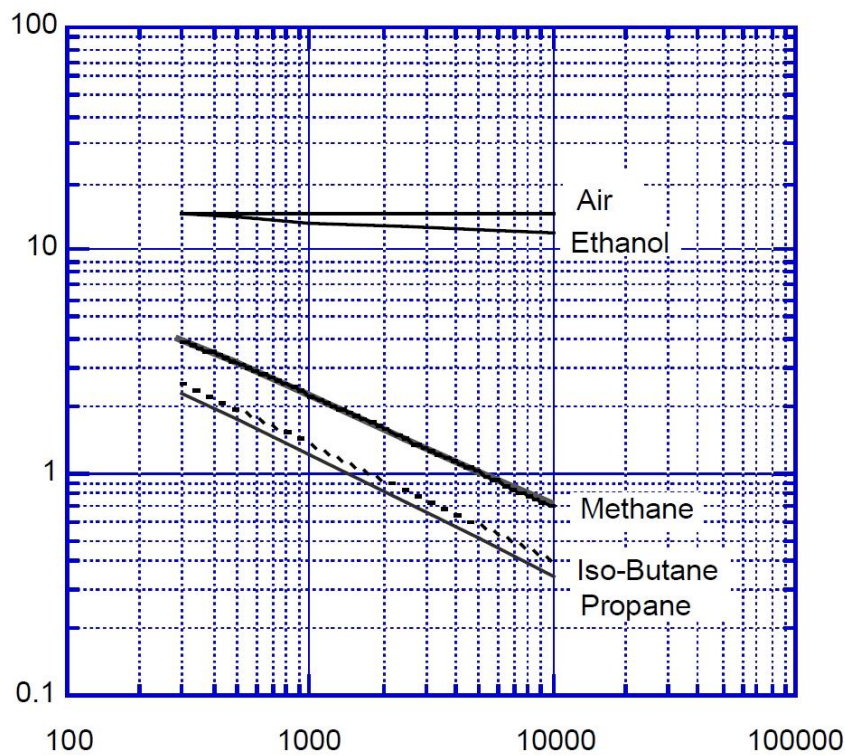


附錄 1

附錄 1 氣體感測器靈敏度特性圖



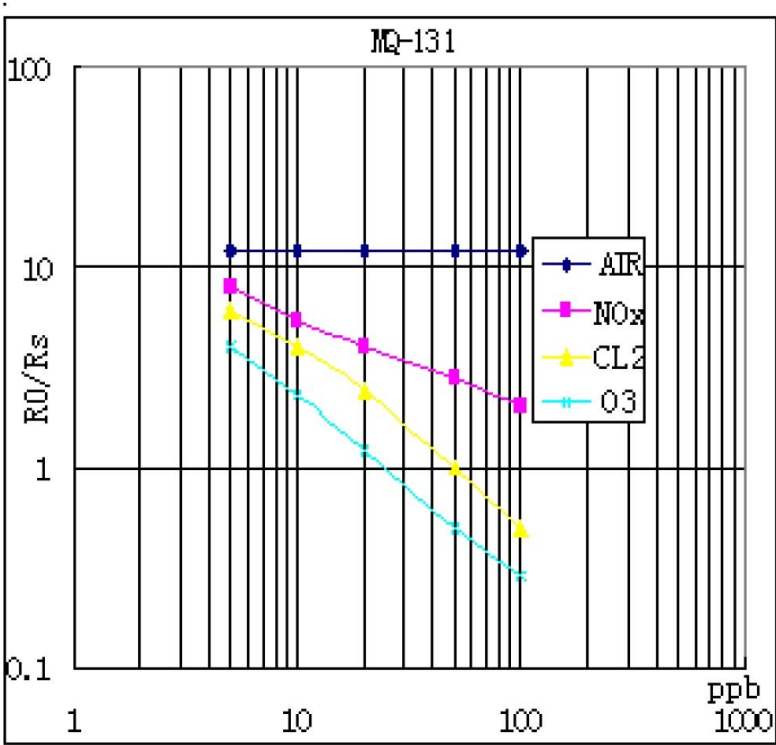
圖附錄 1-1 TGS-2602 氣體靈敏度特性圖



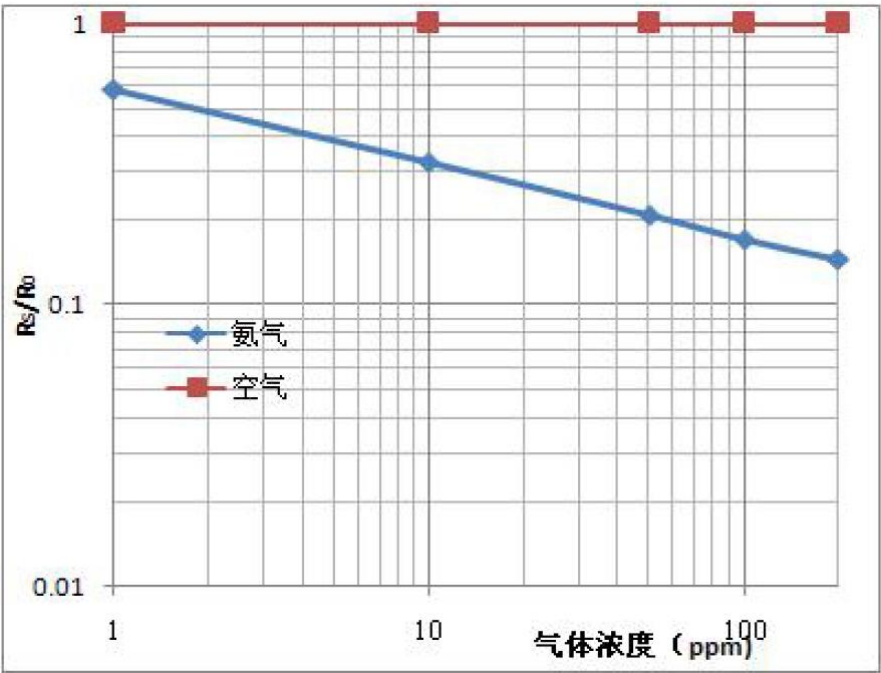
圖附錄 1-2 TGS-2612 氣體靈敏度特性



電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品污染偵測上的應用



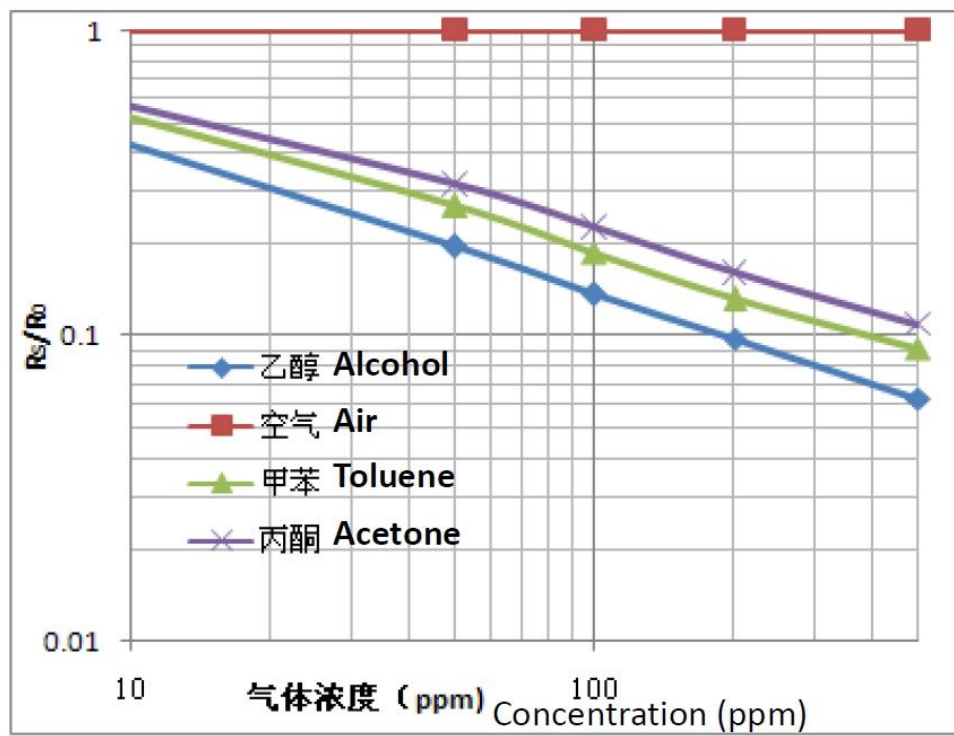
圖附錄 1-3 MQ-131 氣體靈敏度特性



圖附錄 1-4 MQ-137 氣體靈敏度特性



附錄 1

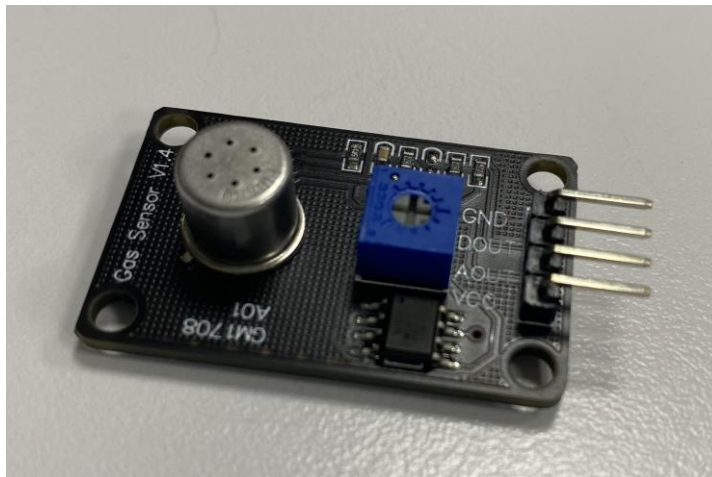


圖附錄 1-5 MQ-138 氣體靈敏度特性

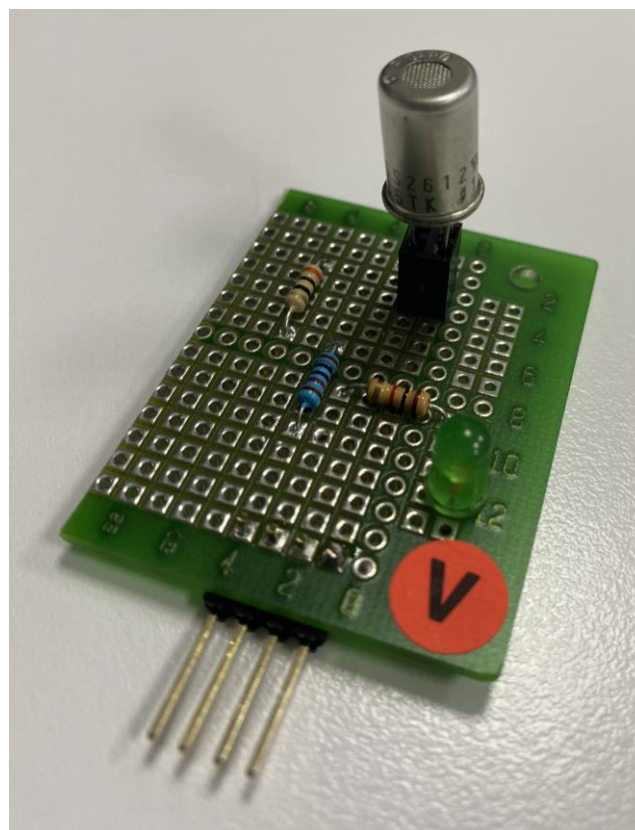


電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品污染偵測上的應用

附錄 2 氣體感測器實體圖



圖附錄 2-1 TGS2602 氣體感測器實體圖



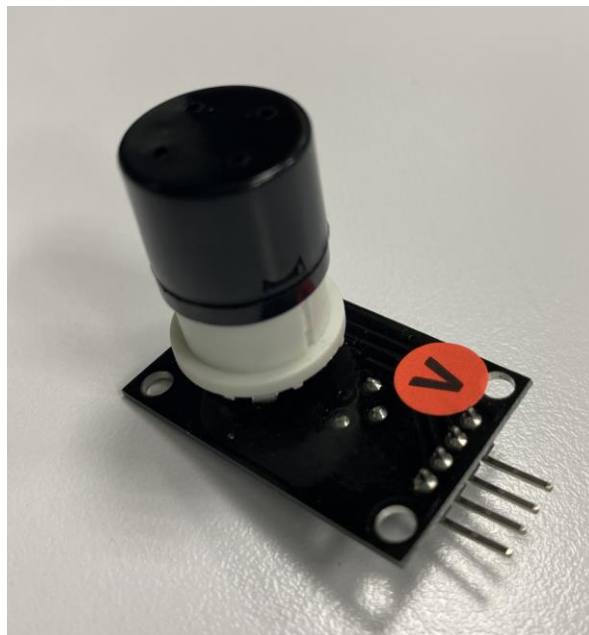
圖附錄 2-2 TGS2612 氣體感測器實體圖



附錄 1



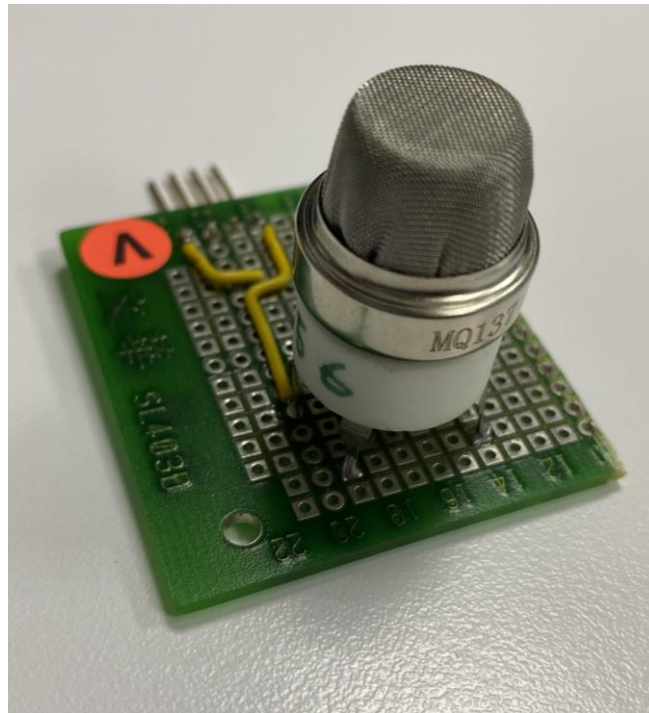
圖附錄 2-3 SGP30 氣體感測器實體圖



圖附錄 2-4 MQ131 氣體感測器實體圖



電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品污染偵測上的應用



圖附錄 2-5 MQ137 氣體感測器實體圖



圖附錄 2-6 MQ138 氣體感測器實體圖



附錄 3 氣體感測器規格表

TGS-2602 氣體感測器

TGS2602 為空氣污染、臭味檢測專用之空氣感測器，不僅對香煙的煙霧或烹調臭味有很高的靈敏度，而且對硫化氫、VOC、氨氣有高靈敏度。當接觸到可檢知的氣體存在時，空氣中該氣體的濃度越高，感測器的電導率就越高，其規格如附錄表 3-1 所示。

附錄表 3-1 TGS2602 規格表

外型	圖附錄 2-1
型號	TGS2602
檢測原理	氧化物半導體式
標準封裝	TO-5 金屬
對象氣體	空氣汙染(VOC、氨氣、硫化氫等)
檢測範圍	乙醇 1~30ppm，附錄圖 1-1
加熱電壓(VH)	5.0±0.2V AC/DC
回路電壓	5.0±0.2V DC
負載電阻(RL)	可變 (0.45KΩ min)
加熱電阻	室溫約 59Ω
加熱電流	56±5mA
加熱器功耗	280mW
氣體感測器電阻(Rs)	10~100kΩ
實驗氣體條件	正常空氣 20±2°C，65±5%R.H.
迴路條件	Vc=5.0±0.01V DC、VH=5.0±0.05V DC
預熱時間	7 天



電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品污染偵測上的應用

TGS-2612 氣體感測器

TGS2612 對甲烷、丙烷與丁烷氣體具有很高的靈敏度，是針對 LNG 與 LPG 最為理想的氣體感測器。由於其對揮發性的酒精（居住環境常見的干擾氣體）靈敏度很低，其規格如附錄表 3-2 所示。

附錄表 3-2 TGS2612 規格表

外型	圖附錄 2-2
型號	TGS2612
檢測原理	氧化物半導體式
標準封裝	TO-5 金屬
對象氣體	甲烷、丙烷、異丁烷
檢測範圍	每種氣體 1~25%LEL，附錄圖 1-2
加熱電壓(VH)	5.0±0.2V AC/DC
回路電壓	5.0±0.2V DC
負載電阻(RL)	可變 (0.45KΩ min)
加熱電阻	室溫約 59Ω
加熱電流	56±5mA
加熱器功耗	280mW
氣體感測器電阻(Rs)	1.2~12.0kΩ(5000ppm 甲烷中)
實驗氣體條件	甲烷、丙烷、異丁烷在正常空氣 20±2°C，65±5%R.H.
迴路條件	Vc=5.0±0.01V DC vH=5.0±0.05V DC
預熱時間	7 天



附錄 1

SPG30 氣體感測器

SPG30 空氣質量傳感器通過監測氣體感測器周圍的揮發性有機化合物，並且對其他氣體的污染具有很強的抵抗力，可確保低漂移和長期穩定性，從而獲得極其可靠的結果，其規格如附錄表 3-3 所示。

附錄表 3-3 SPG30 規格表

外型	圖附錄 2-3
型號	SPG30
檢測原理	金屬氧化物
標準封裝	DFN 封裝
對象氣體	TVOC、CO ₂
檢測範圍	TVOC：0~60000ppb Co ₂ ：400~60000ppb
加熱電壓(VH)	3.3V±0.2V 或 5.0±0.2V DC
回路電壓	3.3V±0.2V 或 5.0±0.2V DC
電源電流	48.2ma
加熱器功耗	280mW
氣體感測器電阻(Rs)	1.2~12.0kΩ(5000ppm 甲烷中)
實驗氣體條件	在正常空氣 25°C
預熱時間	15 秒



電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品污染偵測上的應用

MQ-131 氣體感測器

MQ-131 臭氧感測器所使用的氣敏材料是在清潔空氣中電導率較低的三氧化鎢(WO_3)。當感測器所處環境中存在臭氧時，感測器的電導率隨空氣中臭氧氣體濃度的增加而減小。MQ131 臭氧感測器對臭氧的靈敏度高，對氯氣、二氧化氮等強氧化性氣體也有一定的靈敏度，對有機干擾氣體向與臭氧相反的方向反應，其規格如附錄表 3-4 所示。

附錄表 3-4 MQ131 規格表

外型	圖附錄 2-4
型號	MQ131
檢測原理	氧化物半導體式
標準封裝	塑封
對象氣體	臭氧
檢測範圍	臭氧 10~1000ppb，附錄圖 1-3
加熱電壓(VH)	5.0±0.1V AC/DC
回路電壓	5.0±0.1V DC
負載電阻(RL)	可變(1MΩ max)
加熱電阻	室溫約 35Ω±3Ω
加熱電流	142±5mA
加熱器功耗	≤800mW
氣體感測器電阻(Rs)	200KΩ -1000KΩ (50ppb 臭氧中)
實驗氣體條件	20±2°C，55±5%R.H.
迴路條件	V _C =5.0±0.1V DC V _H =5.0±0.1V DC
預熱時間	不少於 24 小時



附錄 1

MQ-137 氣體感測器

MQ137 氣體傳感器所使用的氣敏材料是在清潔空氣中電導率較低的二氧化錫(SnO_2)。當傳感器所處環境中存在氨氣時，傳感器的電導率隨空氣中氨氣濃度的增加而增大。MQ137 氣體感測器對氨氣的靈敏度高，對其它有機胺（如三甲胺、乙醇胺等）的監測也很理想，其規格如附錄表 3-5 所示。

附錄表 3-5 MQ137 規格表

外型	圖附錄 2-5
型號	MQ137
檢測原理	氧化物半導體式
標準封裝	金屬罩
對象氣體	氨氣
檢測範圍	氨氣 5~500ppm，附錄圖 1-4
加熱電壓(VH)	5.0±0.1V AC/DC
回路電壓	5.0±0.1V DC
負載電阻(RL)	可變(4.7kΩ max)
加熱電阻	室溫約 30Ω±3Ω
加熱電流	166±5mA
加熱器功耗	≤950mW
氣體感測器電阻(Rs)	200KΩ -1000KΩ (50ppb 臭氣中)
實驗氣體條件	20±2°C，55±5%R.H.
迴路條件	Vc=5.0±0.1V DC VH=5.0±0.1V DC
預熱時間	不少於 48 小時



電子鼻與人工智慧整合分析技術在油品污染偵測上的應用

MQ-138 氣體感測器

MQ138 氣體感測器的敏感材料是 SnO_2 ，在清潔空氣中電導率較低。當 VOC 氣體存在時，氣體感測器的電導率隨著氣體濃度的升高而升高。MQ138 氣體感測器對甲苯、丙酮、酒精、甲醇等具有很高的靈敏度，也可以很好地監測氫氣和其他有機蒸氣。它可以檢測各種有機氣體，是一種適用於各種應用的低成本感測器，其規格如附錄表 3-6 所示。

附錄表 3-6 MQ138 規格表

外型	圖附錄 2-6
型號	MQ138
檢測原理	半導體式
標準封裝	膠木、金屬罩
對象氣體	甲苯、丙酮、酒精、氫氣
檢測範圍	5~500ppm，附錄圖 1-5
加熱電壓(VH)	5.0±0.1V AC/DC
回路電壓	5.0±0.1V DC
負載電阻(RL)	可變(4.7kΩ max)
加熱電阻	室溫約 30Ω±3Ω
加熱電流	166±5mA
加熱器功耗	≤950mW
氣體感測器電阻(Rs)	20KΩ - 200KΩ (1000ppm 苯中)
實驗氣體條件	20±2°C，55±5%R.H.
迴路條件	Vc=5.0±0.1V DC VH=5.0±0.1V DC
預熱時間	不少於 48 小時