



行政院環境保護署

水質感測物聯網應用技術研發及 農地污染潛勢區布建驗證

期末報告
(定稿本)



工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

中華民國 106 年 12 月

計畫期末報告基本資料表

委辦單位	行政院環境保護署		
執行單位	財團法人工業技術研究院		
參與計畫人員姓名			
年 度	106年	計畫編號	EPA-106-U1L1-02-A011
研究性質	☐ 基礎研究 ☒ 應用研究 ☐ 技術發展		
研究領域			
計畫屬性	☐ 科技類 ☒ 非科技類		
全程期間	106 年 1 月 ~ 106 年 12 月		
本期期間	106 年 1 月 ~ 106 年 12 月		
本期經費	31,000 千元		
	資本支出		經常支出
	土地建築_____千元		人事費 10,968.1 千元
	儀器設備_____千元		業務費 7,192 千元
	其 他_____千元		材料費 7,900 千元
			其 他 4939.9 千元
摘要關鍵詞（中英文各三則）			
<u>水質感測, water quality monitoring</u>			
<u>多功能水質感測器, multi-in-one water quality sensor</u>			
<u>物聯網, internet of things</u>			

計畫成果中英文摘要（簡要版）

- 一、中文計畫名稱：
水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證
- 二、英文計畫名稱：
Development of the IoT sensing application technology on water quality and installed distribution verification of farmland pollution potential
- 三、計畫編號：
EPA-106-U1L1-02-A011
- 四、執行單位：
財團法人工業技術研究院
- 五、計畫主持人（包括共同主持人）：
朱振華 協同主持人：陳范倫
- 六、執行開始時間：
106/01/01
- 七、執行結束時間：
106/12/31
- 八、報告完成日期：
106/12/26(期末報告定稿本)
- 九、報告總頁數：
491
- 十、使用語文：
中文，英文
- 十一、報告電子檔名稱：
EPA-106-U1L1-02-A011.DOC
- 十二、報告電子檔格式：
Microsoft Office WORD 2013
- 十三、中文摘要關鍵詞：
水質感測，多功能水質感測器，物聯網
- 十四、英文摘要關鍵詞：
water quality monitoring, multi-in-one water quality sensor, internet of things
- 十五、中文摘要（約三百至五百字）

我國地小人稠，全國各地工廠與工業區林立，部分緊鄰民宅，導致各工廠或工業區廢污水未妥善處理而排放之陳情案件層出不窮。目前常用之水質監測設備存在設置經費較高、設備體積較大等缺點；因此，目前常用之監測儀器並不適用於未來大量設置或廣佈等應用情境。有鑑於近年來線上水質分析及採樣技術之精進，同時大數據處理與無線傳輸技術的進步，使得開發一體積小、耐用佳、操作簡單、設置費用低廉且具無線數據傳輸與物聯網功能之新一代廢污水監測與物聯網互動式資訊系統成為可行

之技術開發方向。

本計畫共達成以下成果：1.利用光學與電化學技術，開發重金屬、化學需氧量、懸浮固體物、酸鹼度、電導度與溫度等微型化水質監測元件，並完成實際廢水之驗證與相對應品檢/品管/品保制度；2.完成小型化水質監測系統原型機設計，包括前處理模組、通訊模組及水質感測模組，並完成標準品及 3 種不同應用情境之真實樣品之 5 重複測試；3. 於桃園市及台中市布建 30 點水質感測器，透過實際採樣與資料比對結果，完成污染農地物聯網整合系統報告；4. 建立水質監測物聯網平台，包含「預警分析模組」及「污染源頭分析模組」等運用模式。5.提出 2 篇學術論文及 3 項次專利之申請

十六、英文摘要：

Taiwan is a small island, which is highly populated. There are many complaints and petitions due to the discharge of untreated wastewater from the factories and industrial area. Up to present, there are disadvantages that are high installation cost and high spatial occupation of the common used water quality monitor instruments. Hence, these are not suitable for widespread installation. Recently, based on the improvement of the technology on on-line water sampling and quality analysis, as well as the big data and wireless transmission technology, developing a durable, small volume-occupied, easy-operation and low cost water quality monitor IoT interactive information system becomes a possible route.

The achievements in this project are as follows, 1) completed the development of the miniaturized water quality monitor element using optical and electrochemical technologies for heavy metal, chemical oxygen demand, suspension solid, pH, conductivity and temperature monitoring and accomplished the verification of monitoring element for real wastewater detection as well as the corresponding system of Quality Assurance, Quality Inspection and Quality Control; 2) finished the miniaturized water quality monitoring system prototype design, including pretreatment module, communication module and water quality sensing module, and also completed five repeating tests of standard and three real wastewater samples from different application scenarios; 3) accomplished the polluted farmland IoT integrated system report by the comparison of the results between real samplings and data collecting from the water quality sensors in thirty locations in Tao-Yuan and Tai-Chung; 4) established the operation mode of water quality monitoring IoT platform, including “early-warning model” and “pollution source analysis module”; and 5) proposed two academic papers and three patents applications.

目錄

計畫期末報告基本資料表	I
計畫成果中英文摘要（簡要版）	III
目錄	V
圖目錄	IX
表目錄	XIX
計畫成果中英文摘要（詳細版）	XXI
第 1 章、緒論	1-1
1.1 計畫緣起	1-1
1.2 計畫背景	1-2
1.3 差異化競爭策略分析(競爭技術比較)	1-3
1.4 計畫目標與內容	1-7
1.5 章節安排	1-11
1.6 預定進度與查核重點	1-12
第 2 章、即時微型水質監測元件開發	2-1
2.1 奈米光學重金屬離子感測元件開發	2-1
2.1.1 原理	2-1
2.1.2 實施步驟與方法	2-3
2.1.3 重點研發成果	2-5
2.1.4 小結	2-17
2.2 電化學重金屬離子感測元件開發	2-18
2.2.1 原理	2-18
2.2.2 實施步驟與方法	2-23
2.2.3 重點研發成果	2-31
2.2.4 小結	2-49
2.3 COD/SS 光電感測元件開發	2-50

2.3.1 原理.....	2-50
2.3.2 實施步驟與方法	2-52
2.3.3 重點研發成果	2-62
2.3.4 小結.....	2-83
2.4 酸鹼值、導電度與溫度微型化感測器開發.....	2-84
2.4.1 原理.....	2-84
2.4.2 實施步驟與方法	2-85
2.4.3 重點研發成果	2-87
2.4.4 小結.....	2-89
第 3 章、 多功能水質感測器系統整合組裝與測試.....	3-1
3.1 多合一水質處理節點.....	3-2
3.1.1 原理與目的.....	3-2
3.1.2 實施步驟與方法	3-3
3.1.3 重點研發成果	3-9
3.1.4 小結.....	3-11
3.2 物聯網通訊模組.....	3-12
3.2.1 原理與目的.....	3-12
3.2.2 實施步驟與方法	3-13
3.2.3 重點研發成果	3-16
3.2.4 小結.....	3-18
3.3 新式小型化水質檢測系統原型機設計.....	3-19
3.3.1 原理與目的.....	3-19
3.3.2 實施步驟與方法	3-22
3.3.3 重點研發成果	3-25
3.3.4 小結.....	3-27
3.4 小型化水質檢測系統原型機整合組裝與測試	3-29
3.4.1 原理與目的.....	3-29
3.4.2 實施步驟與方法	3-29

3.4.3 重點研發成果	3-33
3.4.4 小結	3-42
第 4 章、農地污染潛勢區域水質感測物聯網布建規劃	4-1
4.1 污染農地潛勢區布建規劃	4-2
4.2 污染農地物聯網整合系統規劃	4-23
4.2.1 污染農地水質感測器布建規劃指引	4-23
4.2.2 污染農地物聯網整合分析系統規劃	4-28
4.3 水質感測器校正維護標準作業程序	4-36
4.4 污染農地物聯網水質布建數據分析	4-53
4.5 小結	4-70
第 5 章、建立水質監測物聯網維護品保品管制度與物聯網平台開發	5-1
5.1 規劃水質感測器試驗平臺並建立維護品保品管制度	5-1
5.1.1 微型水質感測器之測試驗證方法	5-2
5.1.2 微型水質感測器之品保品管制度	5-25
5.1.3 微型水質感測器之驗證登錄平台規劃	5-30
5.1.4 小結	5-32
5.2 水質監測物聯網應用平台開發	5-33
5.2.1 水質自動連續監測預警分析模組建立	5-33
5.2.2 疑似污染源頭分析模組建立	5-44
5.2.3 快速稽查 E 化模組規劃設計	5-62
5.2.4 污染熱區分析模組規劃設計	5-79
5.2.5 小結	5-95
第 6 章、結論與建議	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 建議	6-1
第 7 章、參考文獻	7-1

附件一、「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」案評選會議紀錄	1 -
附件二、「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」啟動會議會議紀錄	7 -
附件三、「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」2 月工作進度檢討會議紀錄.....	13 -
附件四、「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」第一次工作進度會議紀錄.....	17 -
附件五、「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」期中報告審查會議紀錄.....	23 -
附件六、「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」期末報告審查會議紀錄.....	33 -
附件七、106 年度科技計畫成果效益報告	43 -
附件八、小型化水質監測系統原型機主要控制與訊號擷取電路板佈設	53 -
附件九、專利_崁入式感測模組結構 (STRUCTURE OF EMBEDDED SENSOR MODULES).....	57 -
附件十、微型水質感測器之品保品管制度	65 -
附件十一、水科技物聯網平台_水質自動連續監測預警分析模組.....	91 -
附件十二、規劃污染農地物聯網整合系統報告.....	101 -
附件十三、2017 廢水處理技術研討會論文_電化學感測器於水體重金屬離子檢測之研發與應用	117 -
附件十四、工業污染防治季刊_以環境感測物聯網分析應變模式應用於水質連續自動監測及管理.....	123 -

圖目錄

圖 1-1、計畫作業架構及工作項目.....	1-11
圖 2-1、奈米光學感測技術應用示意(量子點).....	2-2
圖 2-2、奈米光學感測技術應用示意(光子晶體).....	2-2
圖 2-3、奈米光學感測技術應用示意(表面拉曼散射增強技術).....	2-2
圖 2-4、連續相合成系統(以 CdSe/ZnSe 為例).....	2-3
圖 2-5、Purcell effect 示意.....	2-4
圖 2-6、奈米光學重金屬感測元件應用示意.....	2-5
圖 2-7、無鎘量子點合成步驟示意.....	2-6
圖 2-8、無鎘量子點成品，(A)右為純化前、左為純化後，(B)樣品乾燥後.....	2-6
圖 2-9、無鎘量子點 STEM 與 EDS 分析結果.....	2-7
圖 2-10、無鎘量子點之吸收光譜與螢光光譜(激發光 450 nm).....	2-7
圖 2-11、無鎘量子點油相轉水相流程示意.....	2-8
圖 2-12、(a)油相與(b)水相無鎘量子點之吸收光譜與螢光光譜(激發光 380 nm)...	2-9
圖 2-13、水相無鎘量子點長時間螢光訊號變化.....	2-9
圖 2-14、量子點感測銅離子機制示意(a)陽離子交換與(b)競爭官能基.....	2-10
圖 2-15、(a)水相無鎘量子點於不同 pH 值條件下感測去離子水與 1 mg/L 銅離子溶液之螢光強度變化 (@380 nm)，(b) 水相無鎘量子點於不同稀釋倍數下感測去離子水與 1 mg/L 銅離子溶液之螢光強度變化 (@380 nm, pH 7.2).....	2-11
圖 2-16、不同陽離子對無鎘量子點螢光訊號強度影響.....	2-12
圖 2-17、(a)無鎘量子點於不同銅離子濃度下之螢光強度變化(@380 nm, pH 7.2)與(b)其數值代入 Stern-Volmer 公式所得檢量線.....	2-13
圖 2-18、無鎘量子點與市售比色法對真實水樣銅離子感測能力比測分析.....	2-13
圖 2-19、簡易無鎘量子點銅離子感測元件.....	2-14
圖 2-20、無鎘量子點於簡易感測元件中螢光強度隨時間變化關係.....	2-15
圖 2-21、(a)螢光增強膜剖面電子顯微鏡照片與(b)透光率分析(內圖為外觀影像照片).....	2-16
圖 2-22、螢光增強感測元件架構示意.....	2-16

圖 2-23、不同螢光增強感測元件對無鎘量子點之螢光增強效果比較	2-17
圖 2-24、三電極電解槽系統	2-18
圖 2-25、三電極線路示意圖	2-19
圖 2-26、循環伏安法的電位變化示意圖	2-19
圖 2-27、典型的可逆氧化還原反應循環伏安圖	2-20
圖 2-28、線性掃描伏安法示意圖	2-20
圖 2-29、方波伏安法所施加之電位波形圖	2-21
圖 2-30、微分脈衝伏安法所施加之電位波形圖	2-22
圖 2-31、LTC1650 DATASHEET 圖	2-22
圖 2-32、剝除伏安法電位程序圖	2-23
圖 2-33、Dual-rail Supply Voltage Circuit 圖	2-25
圖 2-34、三電極電路圖	2-26
圖 2-35、經過加法器與反相器電壓	2-26
圖 2-36、電流電壓轉換器示意圖	2-27
圖 2-37、ADS1115 模組	2-27
圖 2-38、網版電極圖	2-29
圖 2-39、三電極裝置圖	2-29
圖 2-40、三電極裝置與電路結合測試圖	2-29
圖 2-41、實驗流程圖	2-30
圖 2-42、水樣分析示意圖	2-30
圖 2-43、不同沉積電位之重金屬 Cu 剝除伏安圖	2-32
圖 2-44、不同沉積時間之重金屬 Cu 剝除伏安圖	2-33
圖 2-45、低濃度銅離子濃度之剝除伏安圖	2-34
圖 2-46、高濃度銅離子濃度之剝除伏安圖	2-35
圖 2-47、低濃度銅離子濃度之剝除伏安圖(修飾電極)	2-36
圖 2-48、高濃度銅離子濃度之剝除伏安圖(修飾電極)	2-37
圖 2-49、修飾電極再現性測試結果	2-38
圖 2-50、真實水樣標準添加低濃度銅離子測試結果	2-40
圖 2-51、真實水樣標準添加高濃度銅離子測試結果	2-40

圖 2-52、不同沉積電位之重金屬 Zn 剝除伏安圖	2-41
圖 2-53、不同沉積時間之電流訊號變化伏安圖.....	2-42
圖 2-54、不同鋅離子濃度之電流訊號變化伏安圖.....	2-43
圖 2-55、鋅離子濃度精密度測試結果	2-44
圖 2-56、真實水樣鋅離子濃度測試結果	2-45
圖 2-57、0ppm 電流與時間關係圖	2-46
圖 2-58、1ppm 電流與時間關係圖	2-47
圖 2-59、2ppm 電流與時間關係圖	2-47
圖 2-60、5ppm 電流與時間關係圖	2-47
圖 2-61、8ppm 電流與時間關係圖	2-48
圖 2-62、10ppm 電流與時間關係圖	2-48
圖 2-63、1ppm 到 10ppm 相關曲線.....	2-48
圖 2-64、本計畫預計產出之微型化光學感測器模組	2-50
圖 2-65、UV-Vis Absorbance Spectrum of Water Quality Parameters (Envirotech, 2011)....	2-52
圖 2-66、微型水質光電感測器開發製作步驟.....	2-54
圖 2-67、多合一光學感測元件光機平台，整體大小結合 UV-LED 以及可見光 lamp	2-55
圖 2-68、多合一光學感測元件光機平台讀取以及光源驅動電路設計	2-56
圖 2-69、多成分演算法分析程序流程圖	2-58
圖 2-70、光譜多成分定性分析演算法流程圖	2-60
圖 2-71、多成分定量演算法程序流程圖	2-61
圖 2-72、利用兩個反射面鏡搭配一個平面的微型光柵以及一個陣列型感光元件建 構一個傳統 CT 形式的分光光譜儀架構	2-62
圖 2-73、利用一個反射面鏡搭配一個凹面的光柵來縮小整體光譜檢測器尺寸，整 體尺寸可縮小到 100mm 以下之長度.....	2-63
圖 2-74、反射率量測之架設，包含複合紫外線、可見光光源、雙融熔光纖、準直 鏡，以及光譜儀.....	2-64
圖 2-75、經過蒸鍍後進行反射率檢測之紫外光高效反射鍍膜結果	2-64

圖 2-76、利用 Bosch-Process 乾式蝕刻方式完成之光柵結構。	2-65
圖 2-77、六通道微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台設計架構。	2-66
圖 2-78、實際完成之六通道微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台及控制電路。	2-66
圖 2-79、微型化廣範圍 COD/SS 檢測平台多波長通道之感測器光學機構.....	2-68
圖 2-80、利用石英半球透鏡(直徑 4mm)，測試可見光及近紅外光束分散狀態 .	2-69
圖 2-81、測試可紫外光光束分散狀態，此封裝形式為了加強紫外光能量密度，刻意將光束集中在 7 度角的範圍.....	2-69
圖 2-82、光學水質分析系統設備全貌	2-70
圖 2-83、光源穩定度實驗結果(a)間隔 5 sec;(b)間隔 1 min;(c)間隔 1 hr.....	2-71
圖 2-84、COD 標準曲線試驗結果(標準品：KHP).....	2-72
圖 2-85、SS 標準曲線試驗結果(標準品：高嶺土).....	2-72
圖 2-86、竹東鎮水資源回收中心之放流水 COD _t 趨勢圖	2-74
圖 2-87、竹東鎮水資源回收中心之放流水 COD _s 趨勢圖.....	2-75
圖 2-88、竹東鎮水資源回收中心之放流水 SS 趨勢圖	2-75
圖 2-89、模式推估與真實水樣之 SS 比較圖.....	2-77
圖 2-90、SS 預估之誤差分析.....	2-77
圖 2-91、模式推估與真實水樣之 COD _s 比較圖	2-78
圖 2-92、COD _s 預估之誤差分析	2-78
圖 2-93、模式推估與真實水樣之 COD _t 比較圖.....	2-79
圖 2-94、COD _t 預估之誤差分析.....	2-79
圖 2-95、微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台 COD _s 標準品測試結果(a)254 nm; (b) 280 nm	2-80
圖 2-96、微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台 SS 標準品測試結果(a)450 nm; (b) 550 nm; (c)650 nm; (b) 850 nm.....	2-82
圖 2-97、(a)酸鹼值、導電度與溫度微型化感測單元配置設計。(b)銻錫氧化薄膜與 鉑金屬分別用來製作酸鹼值感測電極、電導度感測電極以及溫度感測電極；金導 線用來保護感測電極，並做為感測訊號傳導使用。	2-85
圖 2-98、酸鹼值、導電度與溫度微型化感測單元製作流程.....	2-86

圖 2-99、(a)酸鹼值、導電度與溫度微型化感測單元製作完成品。(b)光學顯微鏡下的溫度感測元件.....	2-86
圖 2-100、電路輸出電壓與酸鹼值關係	2-87
圖 2-101、鉑金屬電極電阻與溫度關係圖	2-88
圖 2-102、在 25°C 溫度下，鉑金屬感測元件電壓與電導度關係圖.....	2-89
圖 3-1、現地線上水質監測系統.....	3-2
圖 3-2、線上即時水質監測系統.....	3-2
圖 3-3、pH 感測器結構與等效電路	3-3
圖 3-4、多合一水質感測架構.....	3-4
圖 3-5、多合一水質感測節點電路圖	3-4
圖 3-6、多合一水質感測通道隔離架構	3-5
圖 3-7、導電度量測 H 橋電路圖.....	3-6
圖 3-8、溫度量測電路圖	3-7
圖 3-9、嵌入式處理器內部等校電路圖	3-8
圖 3-10、隔離型電源模組實體圖.....	3-9
圖 3-11、多合一感測節點主電路板實體圖	3-10
圖 3-12、多合一水質訊號處理節點原型實體圖.....	3-11
圖 3-13、SEMTECH 白皮書東京市區測試.....	3-12
圖 3-14、桃園市佈點位置	3-14
圖 3-15、LoRa 訊號測試用發射器	3-15
圖 3-16、現場訊號測試	3-15
圖 3-17、桃園市 LoRa 基地台現場	3-16
圖 3-18、(a)水樣前處理模組外觀。(b)水樣前處理模組內裝設計。	3-20
圖 3-19、小型化水質監測系統原型機檢測流程.....	3-21
圖 3-20、(a)水樣前處理模組外觀。(b)水樣前處理模組內裝設計。	3-22
圖 3-21、小型化水質監測系統原型機設計	3-23
圖 3-22、新型微流體整合原型機實體	3-23
圖 3-23、(a)水樣物性微流體檢測晶片，包含溫度、電導度，以及 pH 感測電極； (b) 重金屬離子濃度檢測模組；(c) CODs 光學檢測模組。	3-24

圖 3-24、水樣前處理模組實體與濾材配裝	3-24
圖 3-25、各感測模組之檢量線：(a) 溫度；(b) 電導度；(c) 酸鹼值；(d) CODs； (e) 銅離子濃度。	3-26
圖 3-26、利用竹東圳與竹東廢水處理廠之實場水樣進行各感測模組檢量線的可靠 度驗證：(a) 溫度；(b) 電導度；(c) 酸鹼值；(d) CODs；(e) 銅離子濃度。	3-27
圖 3-27、小型化水質監測系統原型機設計規劃	3-30
圖 3-28、小型化水質監測系統原型機實體	3-30
圖 3-29、(a)小型化水質監測系統原型機內裝與架設；(b)桃園市蘆竹區徐厝排水架 設情況；(c)桃園市蘆竹區蘆竹排水架設情況；(d)台中市大里區大里溪架設情況。	3-32
圖 3-30、桃園市蘆竹區徐厝排水系統原型機量測結果與實驗室真實數據比對.	3-35
圖 3-31、桃園市蘆竹區蘆竹排水系統原型機量測結果與實驗室真實數據比對.	3-38
圖 3-32、台中市大里區大里溪排水系統原型機量測結果與實驗室真實數據比對	3-41
圖 3-33、原型機在進行相同天數水質監測後，(a)使用透明矽膠管易生成生物膜， 而(b)使用不透光黑色矽膠管，生物膜較不易形成。	3-41
圖 4-1、農地污染潛勢區布建規劃	4-3
圖 4-2、桃園市徐厝排水布建位置	4-5
圖 4-3、桃園市整體農地布建位置	4-6
圖 4-4、桃園市驗證用感測器布建位置	4-17
圖 4-5、台中市詹厝園圳布建位置	4-19
圖 4-6、浮動式載體外觀設計	4-22
圖 4-7、污染農地水質感測器布建規劃指引架構	4-24
圖 4-8、農地物聯網整合系統規劃概念	4-29
圖 4-9、整合分析系統架構	4-30
圖 4-10、結合地理資訊系統之物聯網概念圖	4-33
圖 4-11、機台內設備位置與線路圖	4-36
圖 4-12、現地機台校正之順序	4-38
圖 4-13、相同名稱之資料夾的 Excel 檔及 Arduino 程式	4-39

圖 4-14、Arduino 程式檔之「工具」確認開發板	4-40
圖 4-15、馬達進流時間與清洗時間等參數設定	4-41
圖 4-16、Arduino 程式檔溫度校正欄位	4-42
圖 4-17、溫度校正之參數彙整與輸入	4-43
圖 4-18、Arduino 程式檔 pH 校正欄位	4-44
圖 4-19、pH 校正之參數彙整與輸入	4-45
圖 4-20、Arduino 程式檔 EC 校正欄位	4-46
圖 4-21、EC 校正之參數彙整與輸入	4-47
圖 4-22、Arduino 程式檔 COD 校正欄位	4-48
圖 4-23、COD 校正之參數彙整與輸入	4-49
圖 4-24、Arduino 程式檔 Cu 校正欄位	4-50
圖 4-25、Cu 校正之參數彙整與輸入	4-51
圖 4-26、桃園工業區上下游 pH 值變化	4-56
圖 4-27、桃園工業區上下游溫度變化	4-56
圖 4-28、桃園工業區上下游導電度變化	4-57
圖 4-29、桃園工業區上下游銅離子變化	4-57
圖 4-30、桃園工業區上下游 CODs 變化	4-58
圖 4-31、桃園農田灌溉區上下游 pH 變化	4-59
圖 4-32、桃園農田灌溉區上下游溫度變化	4-59
圖 4-33、桃園農田灌溉區上下游導電度變化	4-60
圖 4-34、桃園農田灌溉區上下游銅離子變化	4-60
圖 4-35、桃園農田灌溉區上下游 CODs 變化	4-61
圖 4-36、桃園替代水源區上下游 pH 變化	4-62
圖 4-37、桃園替代水源區上下游溫度變化	4-62
圖 4-38、桃園替代水源區上下游導電度變化	4-63
圖 4-39、桃園替代水源區上下游銅離子變化	4-63
圖 4-40、桃園替代水源區上下游 CODs 變化	4-64
圖 4-41、桃園驗證區域上下游 pH 變化	4-65
圖 4-42、桃園驗證區域上下游 pH 變化	4-65

圖 4-43、桃園驗證區域上下游導電度變化	4-66
圖 4-44、桃園驗證區域上下游銅離子變化	4-66
圖 4-45、桃園驗證區域上下游 CODs 變化.....	4-67
圖 4-46、台中灌溉區上下游 pH 變化.....	4-68
圖 4-47、台中灌溉區上下游溫度變化	4-68
圖 4-48、台中灌溉區上下游導電度變化	4-69
圖 4-49、台中灌溉區上下游銅離子變化	4-69
圖 4-50、台中灌溉區上下游 CODs 變化.....	4-70
圖 5-1、通過型式認證之車輛排氣分析儀	5-31
圖 5-2、空氣品質監測站使用之儀器設備與標準氣體	5-32
圖 5-3、SPC 管制圖.....	5-34
圖 5-4、水質監測靜態模擬預警分析模組	5-35
圖 5-5、預警資訊-導電度異常訊號	5-40
圖 5-6、預警資訊-溫度異常訊號	5-41
圖 5-7、水科技物聯網應用平台_即時水質預警頁籤	5-42
圖 5-8、水科技物聯網應用平台_ 基本測站資訊頁籤	5-43
圖 5-9、水科技物聯網應用平台_歷史監測數據.....	5-43
圖 5-10、水科技物聯網應用平台_ 歷史預警檢視.....	5-44
圖 5-11、污染源頭分析模組資料庫規劃設計	5-45
圖 5-12、資料庫整合架構	5-54
圖 5-13、概念性資料庫結構	5-54
圖 5-14、污染源頭分析流程示意圖.....	5-56
圖 5-15、污染源頭分析查詢功能.....	5-57
圖 5-16、疑似污染源頭分析模組__Step1、2 標的選擇與流域分析（方法 1） ..	5-60
圖 5-17、疑似污染源頭分析模組__Step1、2 標的選擇與流域分析（方法 2） ..	5-60
圖 5-18、疑似污染源頭分析模組__STEP3 場廠分析	5-61
圖 5-19、疑似污染源頭分析模組__STEP4 進階分析-1.....	5-62
圖 5-20、疑似污染源頭分析模組__STEP4 進階分析-2.....	5-62
圖 5-21、快速稽查 E 化模組架構圖	5-64

圖 5-22、快速稽查 E 化模組流程圖	5-66
圖 5-23、監控中心之快速稽查 E 化流程圖	5-67
圖 5-24、最短路徑分析模組	5-69
圖 5-25、任務派遣單	5-69
圖 5-26、即時監控區畫面	5-70
圖 5-27、污染源頭分析步驟圖	5-71
圖 5-28、污染源頭分析模組畫面示意圖	5-71
圖 5-29、污染熱區規劃架構	5-72
圖 5-30、即時行動稽查流程	5-74
圖 5-31、任務報告書 E 化模組	5-78
圖 5-32、類神經網路分析軟體_Weka	5-81
圖 5-33、神經網路叢集分析污染熱去排程架構	5-83
圖 5-34、倒傳遞神經網路	5-86
圖 5-35、神經網路預測模型	5-87
圖 5-36、徐厝排水流域分佈	5-88
圖 5-37、常用之激勵函數	5-89
圖 5-38、觀測與預測 pH 比較圖	5-91
圖 5-39、觀測與預測溫度比較圖	5-92
圖 5-40、觀測與預測導電度比較圖	5-92
圖 5-41、觀測與預測 CODs 比較圖	5-93
圖 5-42、觀測與預測導電度比較圖(訓練 100 次)	5-94
圖 5-43、GIS 工作圖台上之分析流程	5-95

表目錄

表 1-1、重金屬分析設備之監測方式與比較.....	1-5
表 1-2、COD&SS 分析設備之監測方式與比較.....	1-6
表 1-3、廣佈型水質感測裝置之監測方式與比較.....	1-7
表 1-4、預定工作進度(以甘特圖表示).....	1-14
表 1-5、本計畫查核點說明	1-15
表 2-1、改質後網版電極之銅離子精密度測試結果	2-38
表 2-2、六通道微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台之感測器規格.....	2-67
表 2-3、建議之 COD 與 SS 量測波段與特徵波長	2-73
表 2-4、新竹縣竹東鎮生活污水廠基本水質分析.....	2-74
表 2-5、單波段雙波段之 SS 建模結果(Modelss)	2-77
表 2-6、單波段雙波段之 CODs 建模結果(ModelCODs).....	2-78
表 2-7、微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台 CODs 標準品測試結果	2-80
表 2-8、微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台 SS 標準品測試結果.....	2-81
表 3-1、各點位訊號強度測試結果.....	3-17
表 3-2、系統原型機耗電量估算 (單位：日).....	3-31
表 3-3、系統原型機耗電量實測結果	3-42
表 4-1、列管中污染農地件數及面積(資料來源：台灣環境資訊協會).....	4-2
表 4-2、桃園市規劃布建點位	4-7
表 4-3、桃園市驗證用感測器布建點位	4-17
表 4-4、台中市初步規劃布建點位.....	4-19
表 4-5、浮動式載體進度規劃.....	4-22
表 4-6、國內使用於河川水質模擬模式適用範圍.....	4-34
表 4-7、現場原型機維護表單 (範例)	4-52
表 4-8、數據傳輸完整度分析.....	4-53
表 5-1、NIEA 水質檢測儀器與方法彙整表.....	5-4
表 5-2、NIEA 溫度檢測儀器與方法比較表.....	5-5
表 5-3、NIEA 酸鹼度檢測儀器與方法比較表.....	5-6

表 5-4、NIEA 導電度檢測儀器與方法比較表.....	5-7
表 5-5、NIEA 懸浮固體檢測儀器與方法比較表.....	5-8
表 5-6、NIEA 化學需氧量檢測儀器與方法比較表	5-9
表 5-7、NIEA 化學需氧量檢測儀器與方法比較表(續).....	5-10
表 5-8、GB/HJ/JJG 水質檢測儀器與方法彙整表	5-12
表 5-9、GB/HJ/JJG 溫度檢測儀器與方法比較表	5-13
表 5-10、GB/HJ/JJG 酸鹼度檢測儀器與方法比較表	5-14
表 5-11、GB/HJ/JJG 導電度檢測儀器與方法比較表	5-15
表 5-12、GB/HJ/JJG 懸浮固體檢測儀器與方法比較表	5-16
表 5-13、GB/HJ/JJG 化學需氧量檢測儀器與方法比較表	5-17
表 5-14、GB/HJ/JJG 化學需氧量檢測儀器與方法比較表(續)	5-18
表 5-15、GB/HJ/JJG 化學需氧量檢測儀器與方法比較表(續)	5-19
表 5-16、GB/HJ/JJG 重金屬檢測儀器與方法比較表	5-20
表 5-17、GB/HJ/JJG 重金屬檢測儀器與方法比較表(續).....	5-21
表 5-18、GB/HJ/JJG 重金屬檢測儀器與方法比較表(續).....	5-22
表 5-19、GB/HJ/JJG 導電度檢測儀器與方法比較表	5-24
表 5-20、水質監測靜態模擬預警模組預警判斷.....	5-36
表 5-21、靜態環境資料庫資料內容盤點	5-46
表 5-22、水系流域運作場廠查詢資料表	5-50
表 5-23、資料倉儲 ETL 工具	5-50

計畫成果中英文摘要（詳細版）

中文計畫名稱：水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證

英文計畫名稱： Development of the IoT sensing application technology on water quality
and installed distribution verification of farmland pollution potentia

計畫編號：EPA-106-U1L1-02-A011

執行單位：財團法人工業技術研究院

計畫主持人(包括共同主持人)：朱振華(陳范倫)

計畫期程：106 年 1 月 1 日-106 年 12 月 31 日

中文摘要：

我國地小人稠，全國各地工廠與工業區林立，部分緊鄰民宅，導致各工廠或工業區廢污水未妥善處理而排放之陳情案件層出不窮。目前常用之水質監測設備存在設置經費較高、設備體積較大等缺點；因此，目前常用之監測儀器並不適用於未來大量設置或廣佈等應用情境。有鑑於近年來線上水質分析及採樣技術之精進，同時大數據處理與無線傳輸技術的進步，使得開發一體積小、耐用佳、操作簡單、設置費用低廉且具無線數據傳輸與物聯網功能之新一代廢污水監測與物聯網互動式資訊系統成為可行之技術開發方向。

本計畫共達成以下成果：1.利用光學與電化學技術，開發重金屬、化學需氧量、懸浮固體物、酸鹼度、電導度與溫度等微型化水質監測元件，並完成實際廢水之驗證與相對應品檢/品管/品保制度；2.完成小型化水質監測系統原型機設計，包括前處理模組、通訊模組及水質感測模組，並完成標準品及 3 種不同應用情境之真實樣品之 5 重複測試；3. 於桃園市及台中市布建 30 點水質感測器，透過實際採樣與資料比對結果，完成污染農地物聯網整合系統報告；4. 建立水質監測物聯網平台，包含「預警分析模組」及「污染源頭分析模組」等運用模式。5.提出 2 篇學術論文及 3 項次專利之申請。

英文摘要：

Taiwan is a small island, which is highly populated. There are many complaints and petitions due to the discharge of untreated wastewater from the factories and industrial area. Up to present, there are disadvantages that are high installation cost and high spatial occupation of the common used water quality monitor instruments. Hence, these are not suitable for widespread installation. Recently, based on the improvement of the technology on on-line water sampling and quality analysis, as well as the big data and wireless transmission technology, developing a durable, small volume-occupied, easy-operation and low cost water quality monitor IoT interactive information system becomes a possible route.

The achievements in this project are as follows, 1) completed the development of the miniaturized water quality monitor element using optical and electrochemical technologies for heavy metal, chemical oxygen demand, suspension solid, pH, conductivity and temperature monitoring and accomplished the verification of monitoring element for real wastewater detection as well as the corresponding system of Quality Assurance, Quality Inspection and Quality Control; 2) finished the miniaturized water quality monitoring system prototype design, including pretreatment module, communication module and water quality sensing module, and also completed five repeating tests of standard and three real wastewater samples from different application scenarios; 3) accomplished the polluted farmland IoT integrated system report by the comparison of the results between real samplings and data collecting from the water quality sensors in thirty locations in Tao-Yuan and Tai-Chung; 4) established the operation mode of water quality monitoring IoT platform, including “early-warning model” and “pollution source analysis module”; and 5) proposed two academic papers and three patents applications.

前言：

我國地狹人稠，各緊鄰民宅之工廠或工業區廢污水未妥善處理而排放之陳情案件層出不窮；部分工廠位於天然水體上游，而下游設有灌溉用取水口，也常導致民眾對於健康之疑慮。由於近年來線上水質分析及採樣技術日益精進，且大數據處理與無線傳輸技術的進步，使得建立一套水質自動監控並搭配物聯網互動式資訊系統應用於水體水質監測之設備為可行之發展方向。環保署為有效保障民眾生命財產安全並提高人民生活品質，同時基於對自然水體之保護與永續發展之需求，已著手規劃未來長期發展方向。本計畫即利用近年線上水質分析與採樣技術之精進及數據處理與無線傳輸的進步，針對「即時線上水質監測技術」、「物聯網無線感測系統」及「水質監測物聯網平台」等三大方向，應用光學與電化學技術，搭配晶片型微流道技術，開發體積小、耐用佳、操作簡單、設置費用低廉且具無線傳輸與物聯網功能之廣佈型感測裝置，達成微型化水質感測器於大規模水域廣佈使用之目的。

研究方法：

依據計畫邀標書敘述，本「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」業務委託之專業服務案，共可區分為【即時微型水質監測元件開發】、【多功能水質感測器系統整合組裝與測試】、【農地污染潛勢區域水質感測物聯網布建規劃】與【建立水質監測物聯網維護品保品管制度與平台開發】四個分項計畫執行。以下將各分項計畫工作目標逐一條列說明如下：

分項(一) 即時微型水質監測元件開發：微型化水質監測元件設計與製作，採用微流體晶片整合電化學或奈米光學或微型光譜等其他自動監測技術進行水中 pH、導電度、水溫、COD、SS 及 2 種重金屬之 7 測項以上檢測，開發工作須於執行 9 個月內完成

- a. 完成 1 種以上奈米光學重金屬離子感測元件，需為無銅材料，檢測元件光學訊號週衰減率於常溫水環境條件需小於 20%，重金屬可檢測範圍濃度需低於放流水標準。

- b.以電化學方式開發對水體中金屬離子濃度測定之分析模組，可有效分離水體中至少兩種以上金屬離子訊號，量測分離特定金屬離子訊號具選擇性及專一性，同時評估其量測誤差干擾產生之可能情況與幅度，檢測範圍濃度需低於放流水標準。
- c.採用光電感測元件進行水中 COD、SS，透過水質成分量測與光學頻譜特性交互關係，建立多成分定性與定量分析演算處理吸收光譜資料，COD 及 SS 濃度準確率需>70%。
- d.酸鹼值、導電度，與溫度微型化感測器以進行水質物性檢測：酸鹼值精確度為 ± 0.1 pH；導電度量測範圍為 $150 \mu\text{S/cm}$ - 15mS/cm ，誤差 $\pm 5\%$ ；溫度精確度為 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 。

分項(二) 多功能水質感測器系統整合組裝與測試：完成微流道、感測、過濾、清潔、校正、電力、通訊等基本模組之原型機組裝及執行實驗室、模擬 3 種不同應用情境、現地之標準品、真實樣品測試各 5 重複詳細測試，測試期程地點與比對方式需提送細部計畫經本署同意後始得執行

- a. 為避免微顆粒造成系統裝置與微流體檢測晶片堵塞，設置微顆粒前處理模組，大於 $5 \mu\text{m}$ 之懸浮顆粒去除率>98%；為避免微型化感測器因殘留或菌藻影響量測準確度，設置自潔模組，系統清潔時間<60 秒。系統裝置需含必要穩定供電模組、控制/訊號處理/紀錄貯存模組，及通訊傳輸模組。
- b.開發水質感測器訊號前處理電路，可處理微電壓、直流電阻、交流阻抗變化之訊號型式，並放大轉換為數位資料。直流電阻訊號可提供感測器運算應用，交流阻抗訊號可處理特定頻率阻抗量測，並降低感測元件極化風險以提升壽命。
- c.開發多合一水質訊號處理節點，可結合上述多組前處理電路於單一裝置，並具微處理器進行驅動與感測資料運算；節點具串列通訊介面，可接收整合數位化感測裝置資料。完成之感測器有體積小、成本低、安裝易且系統整合後維運簡單等特性，利於實際大量佈建為原則。

- d. 無線通訊模組具彈性，如 WiFi，藍芽，Lora 等不同協定可迅速更換。除無線通訊亦須具有線通訊擴充，可相容 IoT 多樣情境的應用模式。研發產出原型機，並具有可商業化之完成度，以利於未來實際場域大量佈建之應用。
- e. 整合微流道、感測、過濾、清潔、校正、電力、通訊等模組之原型機，須進行實驗室、模擬 3 種不同應用情境、現地之標準品、真實樣品測試各 5 重複詳細測試，測試期程地點與比對方式需提送細部計畫經本署同意後始得執行。

分項(三) 農地污染潛勢區域水質感測物聯網布建規劃：選擇桃園、臺中或彰化任一高污染潛勢區，實際布建 30 套原型機，進行 30 日以上完整測試，規劃設計後續物聯網應用及環域分析應用軟硬體需求

- a. 選擇一農地污染潛勢區，結合開發完成之微型 pH、溫度、導電度、重金屬、COD 或 SS 感測器，須布建至少 30 套原型機，進行 30 日以上完整測試。
- b. 交付自規劃設計布建位置及附屬需求至維運之詳細測試內容與具體建議(電力、網路、防盜..等)。
- c. 結合上述之地理資訊系統及灌溉渠道系統，嘗試連結取水口、灌溉水系、池塘(埤塘)、水井、關水閘門或監測點，規劃設計物聯網整合系統。
- d. 規劃設計農地污染潛勢區域之大數據管理及智慧分析資訊系統，利用時間及空間模式規劃數據分析資料，搭配農地污染預警及應變決策系統。

分項(四) 建立水質監測物聯網維護品保品管制度與平台開發：制定完整維護運轉與校正保養等品保品管制度手冊，完成物聯網應用平台結合已開發之連續監測數據及應用分析模組，測試並模擬至少 4 種應用情境

- a. 規劃水質感測器試驗平臺並建立維護品保品管制度，測試已開發之微型 pH、溫度、導電度、重金屬、COD 或 SS 感測器，設計其驗證機制與品保制度，並制定完整維護運轉與校正保養等品保品管制度手冊。
- b. 水質自動連續監測預警分析模組建立，可應用於不同水系及條件，利用歷

史水質監測數據可自動產生預警模式。

- c. 疑似污染源頭分析模組建立，結合動態水質自動連續監測數據及靜態運作場廠基本資料、申報資料、環域資訊及稽查處分資料，快速產生可疑之污染源頭資料。
- d. 設計污染熱區分析模組，在水質監測數據異常時，可自動推估可能排放污染之區域及污染熱區，必要時可結合地理資訊系統呈現熱區分佈。
- e. 設計快速稽查 E 化模組，利用物聯網概念結合手持式設備，將監測歷史趨勢圖、疑似污染源頭、可能擴散之污染熱區等資訊呈現於手持式稽查平台，配合最短路徑分析及導航功能快速抵達。

另外，本工作團隊亦會協助署內針對本案研發成果之專利申請、技術轉移、學術論文發表、新聞宣傳及配合 106 年度科技計畫之計畫調整、管考進度、重要成果效益報告及交辦事項進行必要之協助，包括：

- a. 本案之研究成果至少須執行臺灣或歐盟或美國計 3 項次專利申請工作(每地區每項專利視為一項次)。
- b. 本案研發成果須投稿 2 篇以上研討會或學術論文，感測器整合組裝系統達可技術轉移等級，協助後續製造生產及授權事宜。
- c. 配合 106 年度科技計畫辦理計畫調整、執行成果填報及提交年度重要成果效益報告。
- d. 協助本計畫成果如需適時發表，配合研擬及提供推廣文件、海報、新聞或論文等資料。
- e. 協助辦理規劃擴大或延續計畫之相關建議事項。

結論：

- (1) 利用光學法之優勢，針對重金屬濃度檢測，開發整合光子晶體結構之螢光增強膜的無鎘量子點螢光探針，並針對化學需氧量及懸浮固體物的特徵波長與演算模型，建置微型化多波長檢測平台，以及建立多成分定性定量演算法。
- (2) 以電化學檢測原理為基礎，利用恆電位法對重金屬銅與鋅進行定性定量檢測，開發出網版式電極與分析技術平台，並採用銦錫氧化物薄膜及鉑金屬電極製作酸鹼值、電導度與溫度感測元件，開發出微型化感測晶片。
- (3) 搜集彙整與微型水質感測器測試驗證方法相關法規標準，並針對微型感測器進行法規標準比較，初步建立微型感測器之品檢/品管/品保制度，並完成檢驗項目選定、檢驗方法確認與各檢驗項目之目標規格訂定。
- (4) 配合系統原型機之設計開發與製作，完成水質感測訊號前處理模組、抽換式 LoRa 無線通訊模組，以及水樣前處理模組設計開發與製作。
- (5) 完成 30 套原型機之製作，並透過研析農田渠道分布及流向，及考量農田污染掌握性及上下游物聯網驗證適性規劃及布建，進行 30 天完整測試，並整合布建經驗提出農地物聯網整合系統規劃報告，作為未來水質感測器大量布建時之參考基礎。同時於實驗室模擬 3 種不同應用情境，以現地之標準品與真實樣品進行各 5 重複以上之測試比對。
- (6) 完成水質物聯網平台開發，包含預警與源頭分析模組，作為水質異常預警及結合動靜態資訊迅速追源至上游，有效掌握水體品質。

建議：

- (1) 針對目前感測裝置之不穩定性，建議加強電路設計與導入自我校正程序，提高未來感測模組自動化與穩定性之能力。小型化水質監測系統原型機所用之電源，可以尋求太陽能或燃料電池等替代方案，以有效延長原型機維護時間。
- (2) COD/SS 未來可搭配多波段檢測平台，以利後續實廠廢水之布建與測試。

- (3) 持續規劃其他國內污染農地潛勢區域，評估其布建可行性及所需水質感測器，以掌握我國水質相關資訊與應用對策。

第1章、緒論

我國地狹人稠，各緊鄰民宅之工廠或工業區廢污水未妥善處理而排放之陳情案件層出不窮；部分工廠位於天然水體上游，而下游設有灌溉用取水口，也常導致民眾對於健康之疑慮。由於近年來線上水質分析及採樣技術日益精進，且大數據處理與無線傳輸技術的進步，使得建立一套水質自動監控並搭配物聯網互動式資訊系統應用於水體水質監測之設備為可行之發展方向。環保署為有效保障民眾生命財產安全並提高人民生活品質，同時基於對自然水體之保護與永續發展之需求，已著手規劃未來長期發展方向。本計畫即利用近年線上水質分析與採樣技術之精進及數據處理與無線傳輸的進步，針對「即時線上水質監測技術」、「物聯網無線感測系統」及「水質監測物聯網平台」等三大方向，應用光學與電化學技術，搭配晶片型微流道技術，開發體積小、耐用佳、操作簡單、設置費用低廉且具無線傳輸與物聯網功能之廣佈型感測裝置，達成微型化水質感測器於大規模水域廣佈使用之目的。

1.1 計畫緣起

1. 「科學技術白皮書」以智慧科技打造永續成長的幸福社會為願景，並以科研創新轉化、永續綠能環境、產業科技加值、幸福多元社會為規劃核心。「打造綠能科技國度，形塑低碳智慧社會」聯結產、官、學、研監測及救災系統，包括都市規劃、氣象預報、醫療救援、災害風險管理、水土保持、災害潛勢評估與調查、量測與檢測、設施安全監測、通訊傳輸等領域，雲端化防災資訊與科技，提供連線警報，即時啟動救災機制。
2. 環保署科技發展中程目標「堅持環境正義、善用科學技術、捍衛世代正義、廣納民眾意見、永續國家發展」，「環境白皮書」政策目標：保護環境資源，追求永續發展，是世界潮流也為後代子孫留下淨土。環境是全民的公共財，依總統環境政見揭示「前瞻且正義的環境政策」、「循環且多樣的自然生態」、「再生且節能的低碳家園」、「潔淨且健康的生活環境」及「優質且幸福的社會氛圍」作為施政五大主軸。針對事業廢水管制，102 年 3 月發布「水污染防治措施及檢測

申報管理辦法」，強化繞流排放、逕流廢水管理及推動連續自動連線等管理措施。104 年 3 月發布「水污染防治費收費辦法」，104 年 5 月開徵水污染防治費。水污費將用於水污染防治工作，保護及提升水體水質，改善生活環境，增進國民健康。為確保飲用水水源水質並提昇飲用水品質，加強飲用水水源環境監測與風險管理，以降低因水環境衝擊，造成因飲水暴露途徑的健康風險，達成自來水事業自發性配合，供應安全、衛生品質的永續發展目標。

3. 104 年 2 月 26 日「政府開放資料座談會」中張副院長指示科技會報辦公室協助環保署評估「物聯網」技術運用於廢水污染源排放監控。104 年 6 月 18 日科技會報辦公室「評估物聯網技術應用於自然水體環境水質監測之可行性及操作模式計畫構想」溝通會議結論，有關水污染排放即時監測相關議題，請環保署除感測器等元件開發外，可針對整體系統進行規劃，將有助於達成即時環境監控之目標。

1.2 計畫背景

1. 廢污水處理排放與人民生活品質高度相關

我國各工廠與工業區之廢污水排放，除少數海放外其餘皆納入各縣市之天然水體如河川等。我國地小人稠，工廠與工業區部分鄰近民宅，導致各工廠或工業區廢污水未妥善處理而排放之陳情案件層出不窮；另有部分位於排放天然水體上游，而下游設有農田水利會之取水口，也常導致民眾對於健康之疑慮，民眾環保意識抬頭，若可有效建立一套水質自動監控並搭配物聯網互動式資訊系統，除可降低各縣市環保局稽查人力需求外，也可以有效保障民眾生命財產安全並提高人民生活品質，同時對於自然水體之保護與永續發展有重要貢獻。由於環保稽查人力有限，無法隨時因應全國各地可能有排放疑慮之處進行稽查，突顯國內對於水體自動監測預警、各事業單位放流水自動監控之相關技術與管理措施需要加速開發與研擬。

2. 廢污水自動監測物聯網預警系統發展

環保署為強化監控全台廢水排放，管制工業區、工廠業者加裝「廢水 24 小時自動監測與連線傳輸」，密切控管有無偷排廢水，於民國 102 年展開第 1 階

段，有 35 處大型工業區完成，目標民國 103 年底共 55 家業者設置完畢，掌握全台工業區 90%以上水量即時排放情況。監測的項目包括進流的水量，以及放流口的水量、水溫、pH 值、導電度、化學需氧量、懸浮固體、其他指定項目及影像等。此計畫之目的為強化業者自主管理能力、建立污染即時監控及預警應變機制。

上述計畫所運用之監測設備皆為目前常用之儀器，雖然可靠度佳，但一些常用之監測器如 pH 計、導電度計等需要人力定期校正與清洗等，增加人力維護需求；而重金屬、SS 與 COD 等則有相對設置經費較高、設備體積較大等缺點。因此，目前常用之監測儀器並不適用於未來大量設置等應用情境。

有鑑於近年來線上水質分析及採樣技術的日益精進，同時大數據處理與無線傳輸技術的進步，使開發體積小、耐用佳及具無線數據傳輸功能之自動監控裝置，搭配物聯網功能之區域性水質自動監控系統成為可行之技術開發方向。

1.3 差異化競爭策略分析(競爭技術比較)

1. 技術研發競爭力分析

目前國內之水質線上分析設備大多為仰賴進口國外廠商進口，因此相關技術等研發專利皆為國外認證，由於現場量測操作上所面臨情況繁多，進口線上分析設備無法因應所有需求，常需視實際量測情況而進行修改，但修改過程易受到外國專利或設計結構與方式限制，無法提升國內技術門檻，若有技術團隊協助設備商解決現況與提供方法或新技術演進，並減少與國外原廠的溝通聯繫時效性，將可提昇客戶服務效能與產業獲利。

2. 成本競爭力

由於國內常使用線上儀器多為歐洲與日本進口，其成本也居高不下，如下表所示，建置一組進口線上設備其價格昂貴，一般業者、小型污水處理廠甚至未來大規模的流域佈建較無法負擔此費用，形成普及率不高的情況，因此一般仍維持傳統分析儀器檢測方法，但由於傳統分析耗時且無法即時檢測 COD、SS 與重金屬，亦無法立即針對系統狀況做出即時反應與即時掌握水質變化，進而

採取有效因應措施。若能大幅降低產品成本或開發本土化產品，並具有即時量測之資訊，可打破目前產品多為國外市場所壟斷之現況，此外也可提昇設備商獲利能力，產業將更具銷售優勢。

3. 目前水質感測器之開發現況

- (1) 目前設置於現場之水質量測設備，從量測方法來看，大部分多採接觸式進行量測，其設置惡劣環境易造成量測設備感測器損壞及量測品質不穩定，故維護方面需定時清理或更換感測器
- (2) 從量測方法來看，若設備需加藥方式量測，其必需定期更換加藥物，對於量測後水樣必需進一步處理，不僅需額外維護及藥材費用且增加環境上負荷；從量測項目來看，大數監測設備僅有單一水質量測項目，缺乏整合多水質項目之量測
- (3) 從監測功能來看，除利用電極量測方式外，一般量測設備都需反應及量測時間，無法即時提供量測之水質資訊，失去水質自動監測之目的。

因此，本計畫利用朝向「體積小」、「耐用」、「維護容易」及「低成本」的方向，開發可應用於大規模區域水質監測之即時線上水質監測技術，在技術開發原理部分以目前較新穎之技術為主，感測器開發包含奈米光學技術、電化學法與光學分析法等，設備最小化則以微流道技術為主，本計畫所開發之感測器可適用之範圍與是市售商品之比較如表 1-1~表 1-3 所示，並細部分析如下：

線上即時重金屬分析設備之比較

- (a) 目前 ICP、AA 設備無法應用於本計劃之限制有下述幾點：(1)建置成本高：目前 ICP 與 AA 等重金屬分析儀，大多仰賴國外進口，除安裝與維護成本居高不下(均超過 100 萬以上)，同時亦需搭配購買原廠水質資料庫才可進行分析；(2)無法現地即時分析：儀器建置於實驗室內，無法於現地進行即時的污染物量測；(3)耗時費力：分析儀器需要人力進行前處理、上機分析與數據整理；此外，若以原子吸收光譜法進行重金屬分析，每次僅分析一種重金屬，較為耗時費力。

- (b) 市售光學法與電化學法具有下述幾點限制,故無法應用於本計劃:包含(1)無法即時分析:目前大多以加藥比色法進行分析,需要加藥反應時間,並非即時監測;(2)操作成本高:需要額外添加藥品,除了化學藥品的成本增加外,同時需要有廢液處置成本等問題;(3)現場安裝費用昂貴:市售重金屬分析儀器,若要定點連續監測多種重金屬,則安裝的體積十分龐大,以市售的電化學離子選擇性電極為例,單一電極僅能偵測單一金屬種類,對於成分複雜水源需同時擴充電極數量,造成初設成本增加及使用不便。
- (c) 本計劃所開發的奈米光學感測與電化學感測電極,具有可偵測多種金屬特性、穩定性佳、可有效降低生物積垢並延長使用壽命等有優點,同時亦具有設備體積小且操作成本低等優勢。

表 1-1、重金屬分析設備之監測方式與比較

項目\設備	本計畫		ICP	AA	市售光學法	市售電極法	
圖示							
代表廠牌	ITRI	ITRI	Agilent	SpectraA	Hach	Cole-Parmer	Modern Water
測定原理	奈米光學感測	改質電化學電極	原子發射光譜法	原子吸收光譜法	光學比色法	離子交換	伏安法
量測方式	實驗室/攜帶式 連續/批次式	實驗室/攜帶式 連續/批次式	實驗室 批次式	實驗室 批次式	實驗室/攜帶式 批次式	實驗室/攜帶式 批次式	實驗室/攜帶式/ 批次式
價格(單位:仟元)	<100	<100	2,500	1,200	200~1,000	500~1,000	800~1,200
優點	- 即時分析 - 感測時間短 - 無添加藥劑成本 - 建置成本較低 - 可線上量測 - 可現址安裝	- 同時監測多項 - 即時分析 - 無添加藥劑成本 - 建置成本較低 - 可線上量測 - 可現址安裝	- 同時監測多項 - 無添加藥劑	無添加藥劑	- 可線上量測 - 可現址安裝	- 可線上量測 - 可現址安裝 - 同時監測多項	
缺點	單一重金屬分析(量子點)	需前處理	- 建置成本高 - 需前處理 - 需人力操作 - 無法線上量測 - 無法現址安裝	- 建置成本高 - 需前處理 - 單一重金屬分析 - 需人力操作 - 無法線上量測 - 無法現址安裝	- 無法即時監測 - 現場安裝貴 - 需添加藥劑 - 廢液處置問題	- 無法即時監測 - 現場安裝貴 - 需添加藥劑 - 廢液處置問題	- 需添加藥劑 - 廢液處置問題 - 現場安裝貴 24小時只能測量三次水樣

線上即時 COD/SS 分析設備之比較

- (a) 目前 COD 與 SS 設備如需同時具備線上安裝與即時量測功能,大多需要仰賴進口商提供之設備(ex:今日儀器提供之 S::CAN),但其安裝成本居高不下(均超過 100 萬以上),且需搭配購買原廠水質資料庫,方可在較短時間內訓練完成,但其亦不能監測較複雜之水質,大多花了很高之購置成本僅能放在放流口監測(即時但低濃度)

- (b) 傳統水質利用化學氧化法雖然可偵測較高之濃度，但是其需要加藥反應時間(1-2hr)，並非真正即時量測，建置成本一樣會達到 80-150 萬，且需要許多的後續維護與加藥成本（可偵測高濃度但非即時）
- (c) 本計劃所開發的光學感測元件，除可擁有微型光譜之技術自主性可大量降低產品成本外，搭配多成分定性定量演算法的開發，具有可偵測多種水質成分、即時監測性高、具有設備體積小且操作成本低等優勢

表 1-2、COD&SS 分析設備之監測方式與比較

項目	設備	本計畫	COD&SS 線上光學偵測	COD 線上傳統量測	COD 傳統分析儀器	SS 傳統分析儀器
圖示						
代表廠牌		ITRI	S::CAN	無	無	無
測定原理		光學頻譜& 演算法	光學法	化學氧化法	化學氧化法 光學比色法	乾燥法
量測方式		實驗室/攜帶式 連續/批次式	批次式	批次式	實驗室 批次式	實驗室 批次式
價格(單位：仟元)		50-100	1,400	800~1500	500	500
優點		●同時監測兩項以上 ●即時光譜分析 ●具自動清洗功能 ●可線上量測 ●可現址安裝 ●無藥劑成本 ●建置成本較低	●同時監測兩項以上 ●即時分析 ●無藥劑成本 ●可線上量測 ●可現址安裝	●標準方法 ●可線上量測 ●可現址安裝	●標準方法	
缺點		●需利用短時間建立與修正資料庫及演算法	●需利用短時間建立與修正資料庫及演算法 ●建置成本高	●單一量測 ●體積龐大 ●建置成本高 ●須藥劑成本 ●耗時(>2hr)	●建置成本高 ●須藥劑成本 ●耗時	●建置成本高 ●需耗材成本 ●耗時

廣佈型水質感測裝置之比較

目前線上或測站式水樣取得仍是以大體積取得使用，在傳統的固定式測站或非連續式線上感測元件其水樣汲水較無問題，該地具有可取得電源，在操作上較無須顧慮水質感測系統整體功耗。然若為未來實際應用面來說，成本與能耗皆須考量的情境下，微型化整體水質感測系統將較有其能減低能耗以及相較於固定式測站的低成本模組化設備。因此，在感測系統上，若能微型化則能減少取水用量需求，在多成分感測分析時，各藥劑等使用亦能降低需求總量，整體則更有助於水樣與各藥劑與清洗時的輸送能耗，因此，微流道技術則具有其特殊優勢。

而且國內自行開發之新方法/新技術演進，可打破國外市場壟斷，提昇國內廠商服務效能，大幅降低產品成本，並提昇設備商獲利能力。而系統朝「體積小」、「耐用」、「維護容易」及「低成本」的方向進行開發，可應用於大規模區域之即時線上水質監測技術，而設備最小化則以微流道技術為主。最重要的是，微型化水質監測系統是目前世界各國積極發展中的技術，尚無實體系統廠商，因此發展微型化水質監測系統正是一個利基點。

表 1-3、廣佈型水質感測裝置之監測方式與比較

項目	設備	本計畫	現階段水質監測系統	線上水質監測系統	EU微型化水質快速監測系統
圖示					 (Form: EU 2020年水質監測計畫)
代表廠牌		ITRI	Endress+Hauser、KORBI	HYDROLAB、libelium	研發中
測定原理		電化學/光學	電化學/光學	光學	光學
量測方式		實驗室/攜帶式 連續/批次式	固定設置 批次式	攜帶式 連續式/批次式	實驗室/攜帶式 連續/批次式
尺寸大小		18公分×15公分×10公分	200公分×100公分×300公分	75公分長，直徑15公分	30公分高，直徑10公分
價格(單位：仟元)		100-150	>1,000	750-950	>100
優點		- 水樣前處理 - 即時光譜分析 - 自動清洗功能 - 無添加藥劑 - 建置成本較低 - 可線上(即時)量測 - 可現址安裝	- 可線上量測 - 同時監測多項 - 包含水樣前處理	- 可線上(即時)量測 - 可現址安裝 - 無添加藥劑 - 電動刷子清潔檢測元件	- 可線上(即時)量測 - 可現址安裝 - 自動清洗功能
缺點		取樣與多重檢測造成耗電量高	- 建置成本高 - 無法現址安裝 - 耗時 - 試劑消耗大，以及廢液處置問題	- 無前處理 - 僅單一重金屬分析	- 無前處理 - 僅單一重金屬分析 - 需添加藥劑 - 容易受到干擾

1.4 計畫目標與內容

依據計畫邀標書敘述，本「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」業務委託之專業服務案，共可區分為【即時微型水質監測元件開發】、【多功能水質感測器系統整合組裝與測試】、【農地污染潛勢區域水質感測物聯網布建規劃】與【建立水質監測物聯網維護品保品管制度與平台開發】四個分項計畫執行。以下將各分項計畫工作目標逐一條列說明如下：

分項(一) 即時微型水質監測元件開發：微型化水質監測元件設計與製作，採用微流體晶片整合電化學或奈米光學或微型光譜等其他自動監測技術進行水中 pH、導電度、水溫、COD、SS 及 2 種重金屬之 7 測項以上檢

測，開發工作須於執行 9 個月內完成

- e. 完成 1 種以上奈米光學重金屬離子感測元件，需為無鎘材料，檢測元件光學訊號週衰減率於常溫水環境條件需小於 20%，重金屬可檢測範圍濃度需低於放流水標準。
- f. 以電化學方式開發對水體中金屬離子濃度測定之分析模組，可有效分離水體中至少兩種以上金屬離子訊號，量測分離特定金屬離子訊號具選擇性及專一性，同時評估其量測誤差干擾產生之可能情況與幅度，檢測範圍濃度需低於放流水標準。
- g. 採用光電感測元件進行水中 COD、SS，透過水質成分量測與光學頻譜特性交互關係，建立多成分定性與定量分析演算處理吸收光譜資料，COD 及 SS 濃度準確率需>70%。
- h. 酸鹼值、導電度，與溫度微型化感測器以進行水質物性檢測：酸鹼值精確度為 ± 0.1 pH；導電度量測範圍為 150 μ S/cm-15 mS/cm，誤差 $\pm 5\%$ ；溫度精確度為 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 。

分項(二) 多功能水質感測器系統整合組裝與測試：完成微流道、感測、過濾、清潔、校正、電力、通訊等基本模組之原型機組裝及執行實驗室、模擬 3 種不同應用情境、現地之標準品、真實樣品測試各 5 重複詳細測試，測試期程地點與比對方式需提送細部計畫經本署同意後始得執行

- f. 為避免微顆粒造成系統裝置與微流體檢測晶片堵塞，設置微顆粒前處理模組，大於 5 μ m 之懸浮顆粒去除率>98%；為避免微型化感測器因殘留或菌藻影響量測準確度，設置自潔模組，系統清潔時間<60 秒。系統裝置需含必要穩定供電模組、控制/訊號處理/紀錄貯存模組，及通訊傳輸模組。
- g. 開發水質感測器訊號前處理電路，可處理微電壓、直流電阻、交流阻抗變化之訊號型式，並放大轉換為數位資料。直流電阻訊號可提供感測器運算應用，交流阻抗訊號可處理特定頻率阻抗量測，並降低感測元件極化風險以提升壽命。

- h. 開發多合一水質訊號處理節點，可結合上述多組前處理電路於單一裝置，並具微處理器進行驅動與感測資料運算；節點具串列通訊介面，可接收整合數位化感測裝置資料。完成之感測器有體積小、成本低、安裝易且系統整合後維運簡單等特性，利於實際大量佈建為原則。
- i. 無線通訊模組具彈性，如 WiFi，藍芽，Lora 等不同協定可迅速更換。除無線通訊亦須具有線通訊擴充，可相容 IoT 多樣情境的應用模式。研發產出原型機，並具有可商業化之完成度，以利於未來實際場域大量佈建之應用。
- j. 整合微流道、感測、過濾、清潔、校正、電力、通訊等模組之原型機，須進行實驗室、模擬 3 種不同應用情境、現地之標準品、真實樣品測試各 5 重複詳細測試，測試期程地點與比對方式需提送細部計畫經本署同意後始得執行。

分項(三) 農地污染潛勢區域水質感測物聯網布建規劃：選擇桃園、臺中或彰化任一高污染潛勢區，實際布建 30 套原型機，進行 30 日以上完整測試，規劃設計後續物聯網應用及環域分析應用軟硬體需求

- e. 選擇一農地污染潛勢區，結合開發完成之微型 pH、溫度、導電度、重金屬、COD 或 SS 感測器，須布建至少 30 套原型機，進行 30 日以上完整測試。
- f. 交付自規劃設計布建位置及附屬需求至維運之詳細測試內容與具體建議(電力、網路、防盜..等)。
- g. 結合上述之地理資訊系統及灌溉渠道系統，嘗試連結取水口、灌溉水系、池塘(埤塘)、水井、關水閘門或監測點，規劃設計物聯網整合系統。
- h. 規劃設計農地污染潛勢區域之大數據管理及智慧分析資訊系統，利用時間及空間模式規劃數據分析資料，搭配農地污染預警及應變決策系統。

分項(四) 建立水質監測物聯網維護品保品管制度與平台開發：制定完整維護運轉與校正保養等品保品管制度手冊，完成物聯網應用平台結合已開發之連續監測數據及應用分析模組，測試並模擬至少 4 種應用情境

- f. 規劃水質感測器試驗平臺並建立維護品保品管制度，測試已開發之微型 pH、溫度、導電度、重金屬、COD 或 SS 感測器，設計其驗證機制與品保制度，並制定完整維護運轉與校正保養等品保品管制度手冊。
- g. 水質自動連續監測預警分析模組建立，可應用於不同水系及條件，利用歷史水質監測數據可自動產生預警模式。
- h. 疑似污染源頭分析模組建立，結合動態水質自動連續監測數據及靜態運作場廠基本資料、申報資料、環域資訊及稽查處分資料，快速產生可疑之污染源頭資料。
- i. 設計污染熱區分析模組，在水質監測數據異常時，可自動推估可能排放污染之區域及污染熱區，必要時可結合地理資訊系統呈現熱區分佈。
- j. 設計快速稽查 E 化模組，利用物聯網概念結合手持式設備，將監測歷史趨勢圖、疑似污染源頭、可能擴散之污染熱區等資訊呈現於手持式稽查平台，配合最短路徑分析及導航功能快速抵達。

另外，本工作團隊亦會協助署內針對本案研發成果之專利申請、技術轉移、學術論文發表、新聞宣傳及配合 106 年度科技計畫之計畫調整、管考進度、重要成果效益報告及交辦事項進行必要之協助，包括：

- e. 本案之研究成果至少須執行臺灣或歐盟或美國計 3 項次專利申請工作(每地區每項專利視為一項次)。
- f. 本案研發成果須投稿 2 篇以上研討會或學術論文，感測器整合組裝系統達可技術轉移等級，協助後續製造生產及授權事宜。
- g. 配合 106 年度科技計畫辦理計畫調整、執行成果填報及提交年度重要成果效益報告。
- h. 協助本計畫成果如需適時發表，配合研擬及提供推廣文件、海報、新聞或論文等資料。
- i. 協助辦理規劃擴大或延續計畫之相關建議事項。

1.5 章節安排

本計畫主要工作執行方法將於後續章節說明，其計畫作業架構及工作項目如圖 1-1 所示。

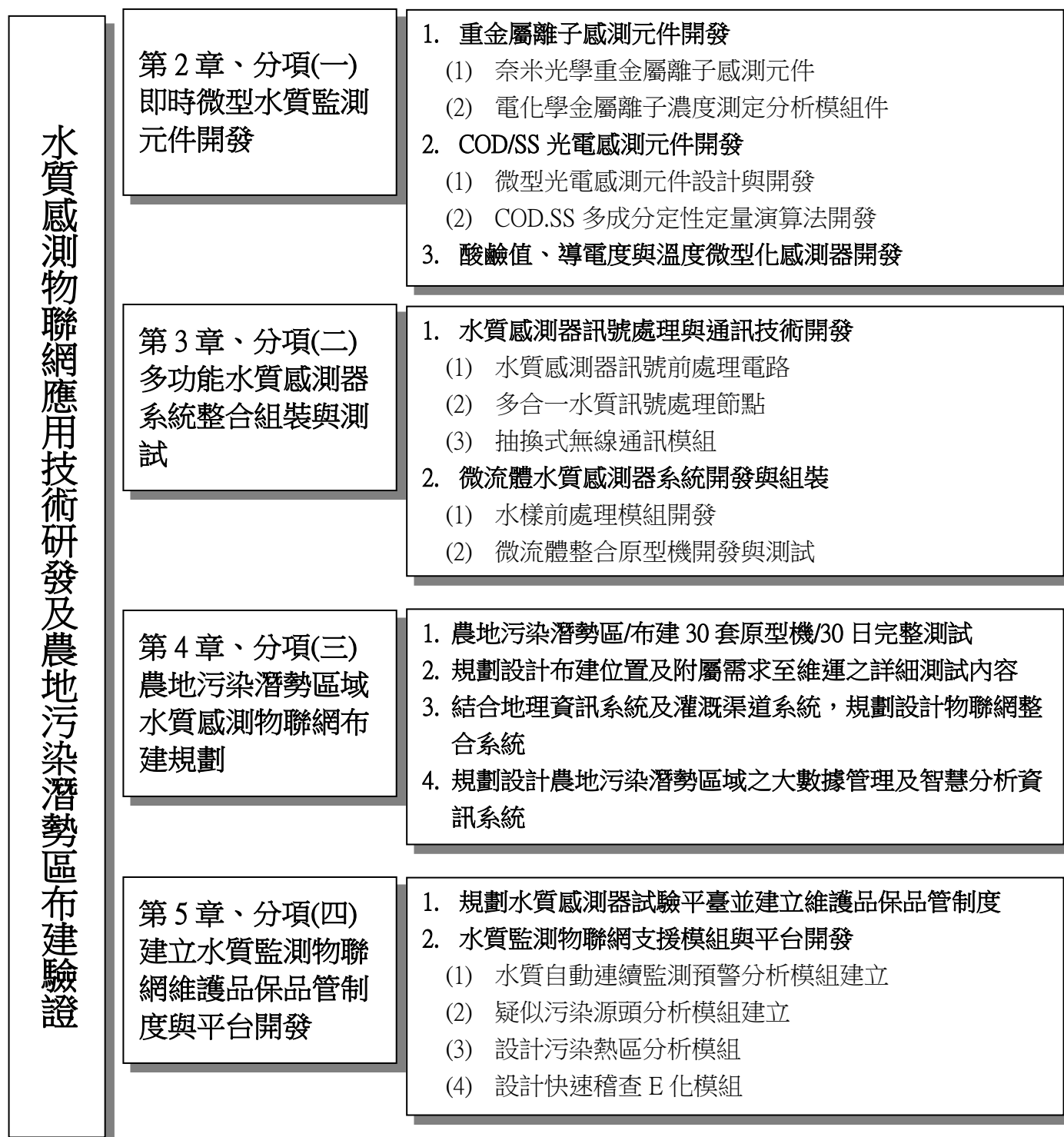


圖 1-1、計畫作業架構及工作項目

1.6 預定進度與查核重點

本計畫自民國 106 年 1 月 1 日起開始執行，至民國 106 年 12 月 31 日止。於決標後即召開工作起始會議，並於 2 個月內召開第一次工作啟動會議，按本計畫服務建議書所訂期程提出第一次工作進度報告、期中工作進度報告與期末報告，送請環保署審查。截至 11 月 30 日止，已完成之工作與查核點包括：

(一) 第一次工作進度報告(106 年 5 月 9 日提出)

1. 提出農地污染潛勢區域之布建規劃
2. 提出 COD.SS 與重金屬感測方法開發步驟
3. 提出微型化水質檢測系統及水質感測器訊號處理與通訊技術開發步驟
4. 提出水質感測器品保品管制度與水質感測物聯網平台規劃

(二) 期中工作進度報告(106 年 6 月 30 日提出，106 年 9 月 19 日審查)

1. 完成重金屬感測用無鎘量子點材料開發
2. 完成紫外光波段高效反射鍍膜技術建立
3. 完成多功能微型化感測器開發
4. 完成微型 pH、溫度、導電度感測器之標準作業程序書三份
5. 建立水質自動連續監測預警分析模組，提交系統平台

(三) 期末工作進度報告(106 年 11 月 30 日提出初稿)

1. 完成重金屬離子量子點螢光感測應用測試
2. 多成分重金屬(兩種以上)電化學感測分析技術平台建立
3. 電化學微機電感測模組晶片製作與效能評估
4. 完成 COD.SS 光電感測元件原型及功能測試
5. 完成抽換式無線通訊模組設計、水質感測訊號前處理電路設計及多合一水質訊號處理節點，並產出原型機
6. 完成整合水樣前處理模組之小型自動化水質檢測系統裝置原型機實地場

域測試

7. 完成提交 30 套水質感測設備之原型機，並完成污染潛勢農地之布建工作及規劃污染農地物聯網整合系統報告
8. 完成微型重金屬(擇二)、COD 或 SS 感測器之標準作業程序書四份
9. 完成水質感測器試驗平台網站規劃，包含：水質自動連續監測預警分析模組及污染源頭分析模組
10. 完成污染熱區分析模組及設計快速稽查 E 化模組分析報告

按評選須知之規定及本章預定工作進度，本計畫工作之預定進度及查核重點
如下表 1-4 及表 1-5 所示：

表 1-4、預定工作進度(以甘特圖表示)

預定進度(以甘特圖表示)													
工作內容項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. 即時微型水質監測元件開發													
1.1 重金屬離子感測元件開發				1.1.1.1					1.1.1.2 1.1.2.1			1.1.1.3 1.1.2.2	
1.2 COD/SS 光電感測元件開發					1.2.1.1			1.2.2.1	1.2.1.2			1.2.2.2	
1.3 酸鹼值、導電度與溫度微型化感測器開發						1.3							
2. 多功能水質感測器系統整合組裝與測試													
2.1 水質感測器訊號處理與通訊技術開發								2.1.1		2.1.2		2.1.3	
2.2 微流體水質感測器系統開發與組裝									2.2.1	2.2.2.1		2.2.2.2	
3. 農地污染潛勢區域水質感測物聯網布建規劃													
3.1 農地污染潛勢區/布建 30 套原型機/30 日完整測試								3.1		3.2			
3.2 規劃設計布建位置及附屬需求至維運之詳細測試內容													
3.3 結合地理資訊系統及灌溉渠道系統，規劃設計物聯網整合系統													
3.4 規劃設計農地污染潛勢區域之大數據管理及智慧分析資訊系統												3.3	
4. 建立水質監測物聯網維護品保品管制度與平台開發													
4.1 規劃水質感測器試驗平臺並建立維護品保品管制度						4.1.1						4.1.2	
4.2 水質監測物聯網支援模組與平台開發			4.2.1						4.2.2	4.2.3 4.2.4			
5. 撰寫期末報告												5.1	5.2
預定進度累積百分比(%)		5	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100

表 1-5、本計畫查核點說明

查核點	預定完成時間	查核點內容說明
1.1.1.1	106.04.30	完成重金屬感測用無鎘量子點材料開發
1.1.1.2	106.08.31	完成量子點與螢光增強膜整合元件製作，檢測元件光學訊號週衰減率於常溫水環境條件需小於 20%
1.1.1.3	106.11.30	重金屬離子量子點螢光感測應用測試，重金屬可檢測範圍濃度需低於放流水標準
1.1.2.1	106.08.31	多成分重金屬(兩種以上)電化學感測分析技術平台建立，偵測極限低於放流水標準
1.1.2.2	106.11.30	電化學微機電感測模組晶片製作與效能評估
1.2.1.1	106.05.31	完成紫外光波段高效反射鍍膜技術
1.2.1.2	106.08.31	完成微型光譜檢測平台開發
1.2.2.1	106.07.31	COD.SS 定性定量演算法建立，實驗室標準品分析準確率 >90%
1.2.2.2	106.11.30	完成 COD.SS 光電感測元件原型及功能測試，實際廢(污)水分析準確率 >70%
1.3	106.06.30	完成多功能微型化感測器，功能包含水體 pH 值(感測範圍：pH1-14，精確度：±0.1pH)、電導度(感測範圍：150 μ S/cm-15 mS/cm，誤差 <5%)，以及溫度(精確度：±0.3℃)
2.1.1	106.07.31	完成抽換式無線通訊模組設計，並產出原型機
2.1.2	106.09.30	完成水質感測訊號前處理電路設計，並產出設計文件
2.1.3	106.11.30	完成多合一水質訊號處理節點，並產出原型機

2.2.1	106.08.31	完成水樣前處理模組設計開發與製作，大於 5 μ m 之懸浮顆粒去除率>98%；自潔模組系統清潔時間<60 秒
2.2.2.1	106.09.30	完成水樣前處理模組與小型自動化水質檢測系統裝置原型機整合測試，需含穩定供電、控制/訊號處理/紀錄貯存及通訊傳輸模組
2.2.2.2	106.11.30	完成整合水樣前處理模組之小型自動化水質檢測系統裝置原型機，並完成實驗室、模擬 3 種不同應用情境、現地之標準品、真實樣品各 5 重複測試
3.1	106.07.31	完成提交 30 套水質感測設備之原型機
3.2	106.09.30	完成桃園市污染潛勢農地之布建工作
3.3	106.11.30	完成規劃污染農地物聯網整合系統報告
4.1.1	106.06.30	完成微型 pH、溫度、導電度感測器之標準作業程序書三份
4.1.2	106.11.30	完成微型重金屬(擇二)、COD 或 SS 感測器之標準作業程序書四份
4.2.1	106.03.31	建立水質自動連續監測預警分析模組，提交系統平台
4.2.2	106.08.31	建立疑似污染源頭分析模組，提交系統平台
4.2.3	106.09.30	完成設計污染熱區分析模組，提交規劃設計報告
4.2.4	106.09.30	完成設計快速稽查 E 化模組，提交規劃設計報告
5.1	106.11.30	提出計畫期末報告初稿
5.2	106.12.31	完成計畫期末報告

第2章、 即時微型水質監測元件開發

水質自動監測目的在於提供有效、即時及完整之水質特性資訊，以做為廢水自動控制及自動化之用。目前設置於現場之水質量測設備，從量測方式來看，大部分多採接觸式進行量測，其設置於惡劣環境易造成量測設備感測器損壞及量測品質不穩定，故維護方面需定時清理或更換感測器；從量測方法來看，若設備需加藥方式量測，其必需定期更換加藥物，對於量測後水樣必需進一步處理，不僅需額外維護及藥材費用且增加環境上負荷；從量測項目來看，大多數監測設備僅有單一水質量測項目，缺乏整合多水質項目之量測；從監測功能來看，除利用電極量測方式外，一般量測設備都需反應及量測時間，無法即時提供量測之水質資訊，失去水質自動監測之目的。有鑑於此，本計畫在水質感測技術部分應用目前較新穎之奈米光學技術、電化學法與光學分析法為開發基礎，設備最小化則以微型化感測技術為主，開發同時具有「體積小」、「耐用」、「維護容易」及「低成本」特性之廣佈型水質感測技術，以提供未來各單位應用於不同情境水體監測系統之建置。

2.1 奈米光學重金屬離子感測元件開發

2.1.1 原理

奈米光學感測技術為利用特定材料之微量物理或化學性質變異，即可造成顯著光譜變化特性，如量子點之螢光變化、光子晶體之反射光變化與表面電漿共振之消光波長變化(含表面拉曼散射增強)等技術，進行各種環境、醫療等感測應用之訊號轉譯功能，圖 2-1、圖 2-2 及圖 2-3 為各種奈米光學感測技術應用示意。由於本技術具有可肉眼直接辨識光特性(顏色、光強度)變化，或可大幅增強特殊光學訊號(拉曼散色)強度能力，加以材料使用量少、所需量測設備成本低及微小化易，極具開發成可攜式、快篩類別感測器潛力。

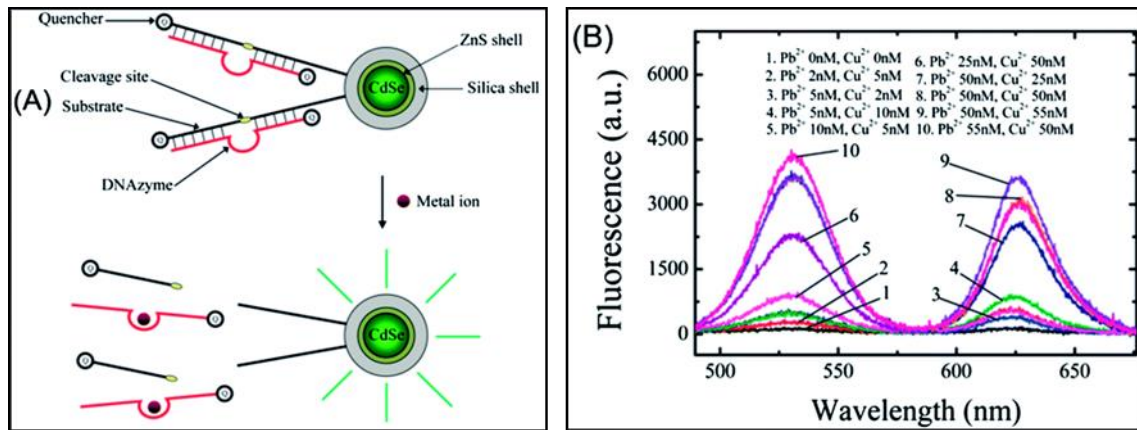


圖 2-1、奈米光學感測技術應用示意(量子點)

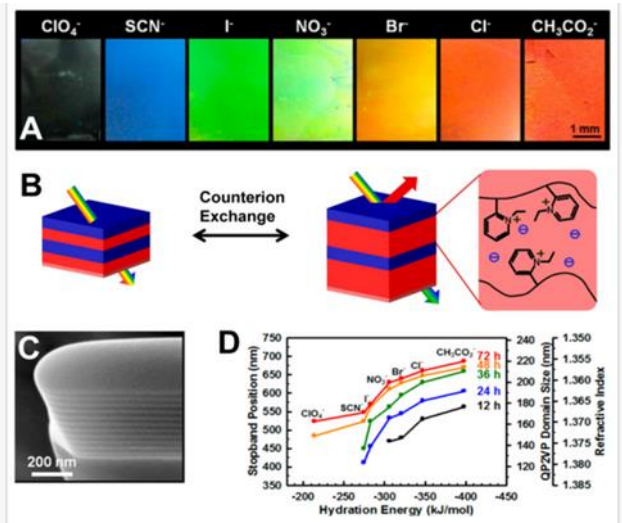


圖 2-2、奈米光學感測技術應用示意(光子晶體)

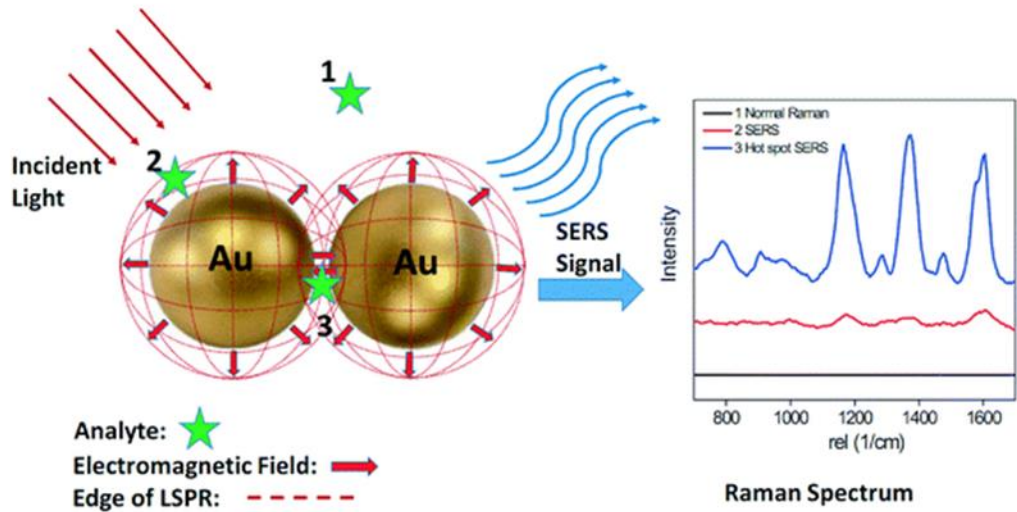


圖 2-3、奈米光學感測技術應用示意(表面拉曼散射增強技術)

環境水體重金屬污染為我國與全世界重要污染議題，發展可攜式快速感測器有助於快速掌握污染流向，與及時釐清污染來源與責任歸屬。各種重金屬離子感測技術中，螢光法具有低成本、攜帶便利性與快速感測能力，為少數可商品化之感測技術。奈米光學技術中，量子點螢光法相較傳統有機螢光劑，又具有激發光源光譜範圍廣、材料穩定性高與感測靈敏度佳等特性，適合應用於環境水體重金屬離子感測。然多數量子點材料以重金屬鎘進行製備，如硫化鎘、硒化鎘等，易有使用後產生重金屬二次污染問題。是故，發展無鎘量子點感測材料，為本技術應用於環境水體重金屬離子感測之重要關鍵。

2.1.2 實施步驟與方法

本計畫將開發可感測水中重金屬離子之高效率無鎘量子點，並搭配螢光增強薄膜材料，進一步提升螢光產生量，以達到快速檢測(20 分鐘內)與低重金屬離子偵測濃度(低於放流水標準)等感測要求。

為達上述目的，本計畫選用磷化銦外覆硫化鋅(InP/ZnS)為無鎘量子點，進行重金屬離子感測材料製備。與其他無鎘量子點材料相較，磷化銦/硫化鋅因具量子效率高、螢光半高峰窄等優點，可得較佳之感測應用靈敏度。本計畫將採連續相合成法製備磷化銦量子點，如圖 2-4 所示，於量子點成核後迅速加入過量的殼層材料前驅物，同時調控溫度至利於殼層生長的环境，以限制量子點晶體繼續成長並生成殼層材料。連續相合成法著重於前驅物進料之速度、混合均勻性及溫度控制等關鍵，於適當控制條件下，可達使量子點製備達量產規模，有助於後續感測器之商品化應用。

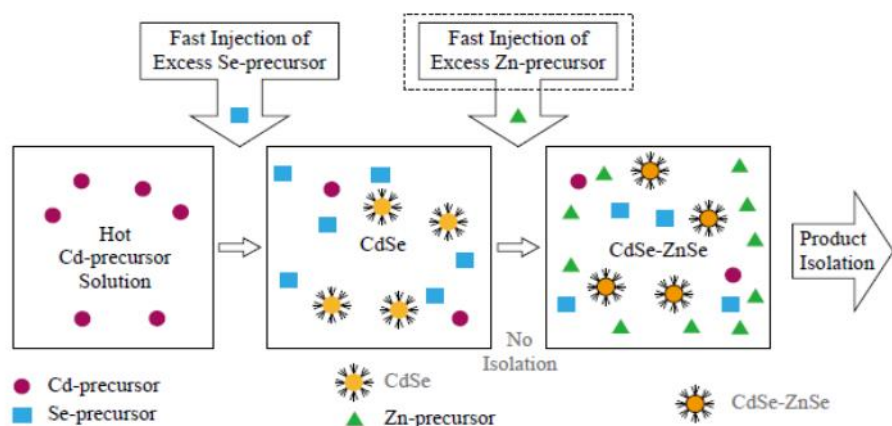


圖 2-4、連續相合成系統(以 CdSe/ZnSe 為例)

所合成之磷化銦量子點，再經適當表面修飾程序，於不影響量子點量子效率穩定度條件下，使具目標重金屬離子高親和力之官能基(如琥珀酸硫醇，Mercaptosuccinic acid, MSA，對銅離子具高親和力)，被修飾於磷化銦量子點表面。如此，即可藉由量子點與水中目標重金屬離子形成複合物，產生螢光猝滅(fluorescence quenching)效應，達到感測水中目標重金屬離子濃度之成效。

由於無鎘量子點之量子效率較一般鎘系量子點為低，於感測器應用之感測靈敏度或將因此受限。為克服此一缺點，本計畫採將磷化銦量子點與螢光增強薄膜結合方式，提高激發光之利用效率，達到增加螢光收集量效果，提升其所製成之重金屬離子感測器靈敏度。於螢光增強薄膜製作，採膽固醇液晶 μ -cavity pumping 技術，其可透過液晶自組裝機制，形成折射率週期變化的層狀結構，產生遵守布拉格定律(Bragg's law)之類一維光子晶體，並透過調整液晶的旋距(pitch)來調整反射光的波段，當量子點分散於其中時，膽固醇型液晶提供了微共振腔(microcavity)的機制，使得量子點激發光和膽固醇液晶的微共振腔互相耦合(coupling)，提高同調性以提升激發光密度(Purcell 效應，如圖 2-5)。藉由此一效應，激發光和微共振腔的耦合將使光子截止區(stopband)邊緣的激發光速率增加，並致使最終激發光密度增加，達到提升螢光收集效率功效。

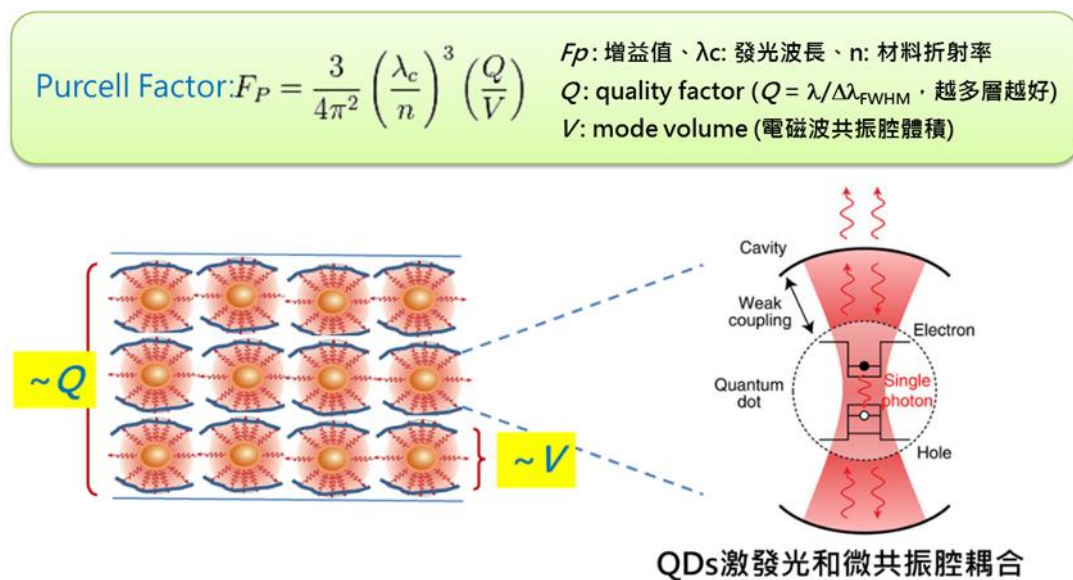


圖 2-5、Purcell effect 示意

經由前述步驟所製得之重金屬感測元件(結合磷化銦量子點與螢光增強膜材料)，將於實驗室組裝成一螢光感測系統，含激發光源與螢光強度感測元件，如圖 2-6 所示，測試其對水中目標重金屬離子濃度之螢光猝滅效果、光學訊號於常溫水環境條件之週衰減率，與探討水中其他離子對其感測之干擾程度，並實際測試至少 2 種不同廢(污)水來源之目標重金屬離子濃度，驗證其真實水樣之感測能力。

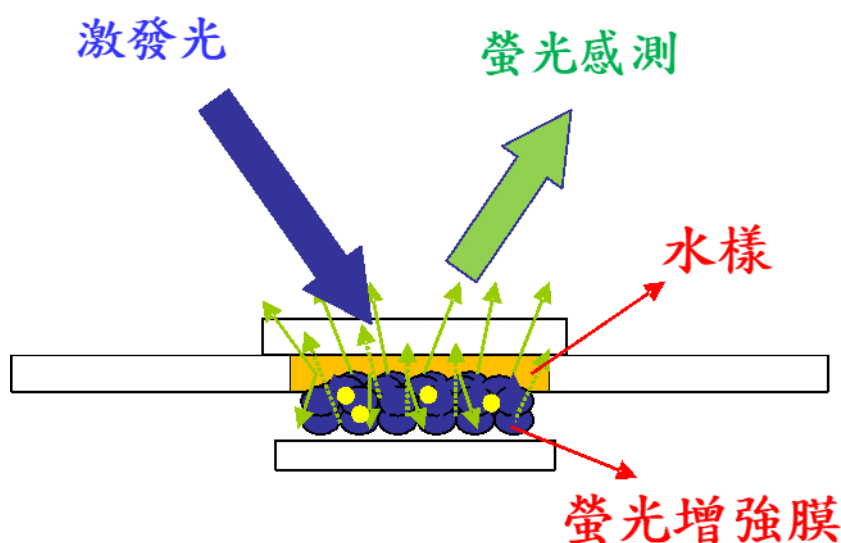


圖 2-6、奈米光學重金屬感測元件應用示意

2.1.3 重點研發成果

(a) 無鎘量子點製備

本計畫以如圖 2-7 所示流程進行無鎘量子點合成，簡略合成步驟減述如後。
取 0.2 mmole 醋酸銦(Indium acetate, In precursor) 加入 16 mmole 油酰胺(Oleylamine, OAm)中，於 110℃ 下脫氣 30 分鐘後，加入 0.1 mmole 的[三(三甲硅基)]磷(tris(trimethylsilyl)phosphine, P precursor)，於 190℃ 下反應 90 秒得 InP 奈米晶粒；將 0.1 mmole 硬脂酸鋅(zinc stearate, Zn precursor)溶於 0.3 mmole (1-octadecene, ODE) 及 0.3 mmole(dodecanthiol, DDT)中，快速注入前述 InP 奈米晶粒溶液中，於 250℃ 下過夜攪拌，即可製得 InP/ZnS 結構之無鎘量子點。所得量子點再以離心沉降移除未反應之殘留藥品，並經四次以甲苯溶劑清洗純化後，所得無鎘量子點成品如圖 2-8 所示。

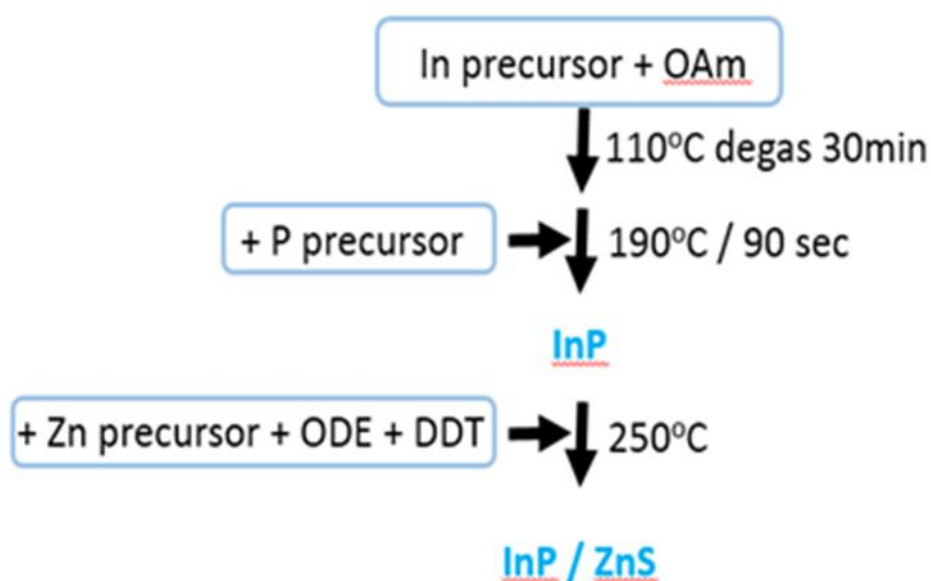


圖 2-7、無鎘量子點合成步驟示意

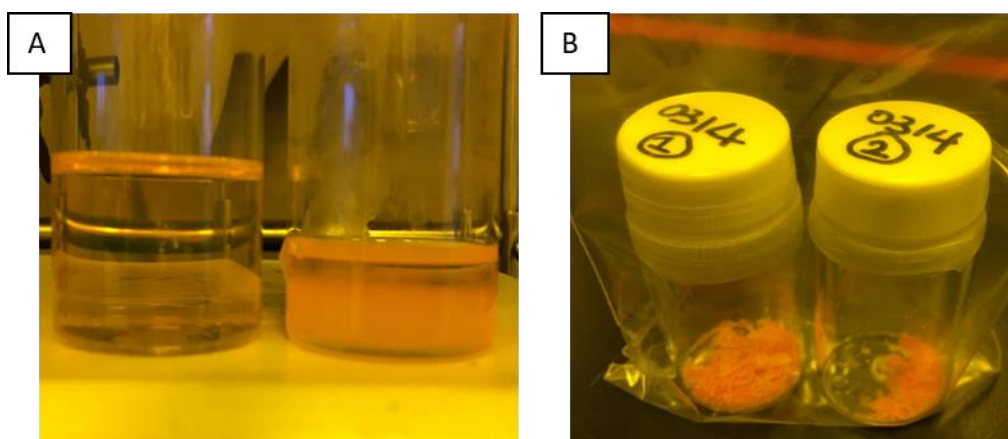


圖 2-8、無鎘量子點成品，(A)右為純化前、左為純化後，(B)樣品乾燥後

圖 2-9 為本計畫無鎘量子點之 STEM 分析與 EDS 圖譜，由 STEM-EDS 的分析結果，由無鎘量子點之鋅 Zn、硫 S、銦 In、磷 P 等元素的分析結果，可驗證本計畫之 InP/ZnS 量子點組成與設計相符。另經由量子點吸收與螢光光譜分析，如圖 2-10 所示，可知本計畫所合成之 InP/ZnS 無鎘量子點，其吸收光波長約可達 560 nm，以 450 nm 光源激發後，可放出最大強度約於 540 nm 之螢光(半高峰寬約 60 nm)。另分析本計畫無鎘量子點之絕對螢光效率達 51.5%，顯示其具有優良之螢光材料特性，適合進行螢光感測器之應用。

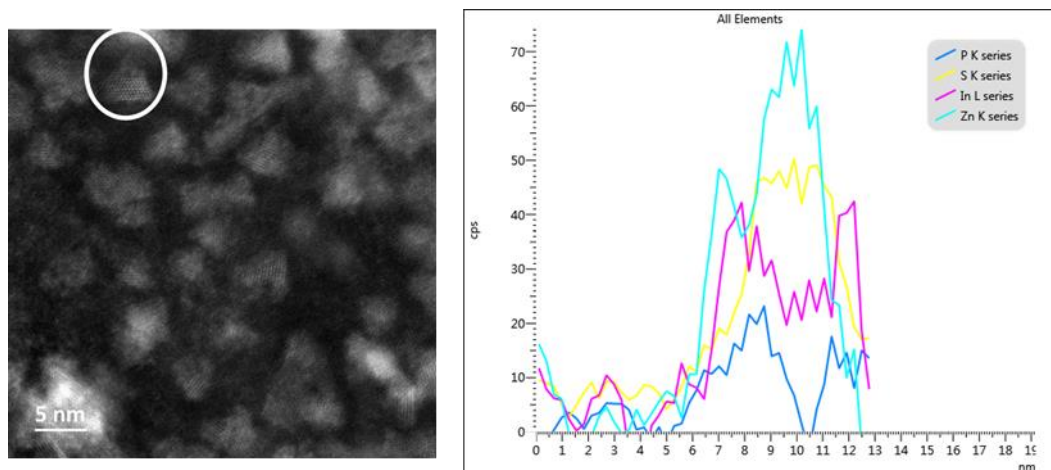


圖 2-9、無鎘量子點 STEM 與 EDS 分析結果

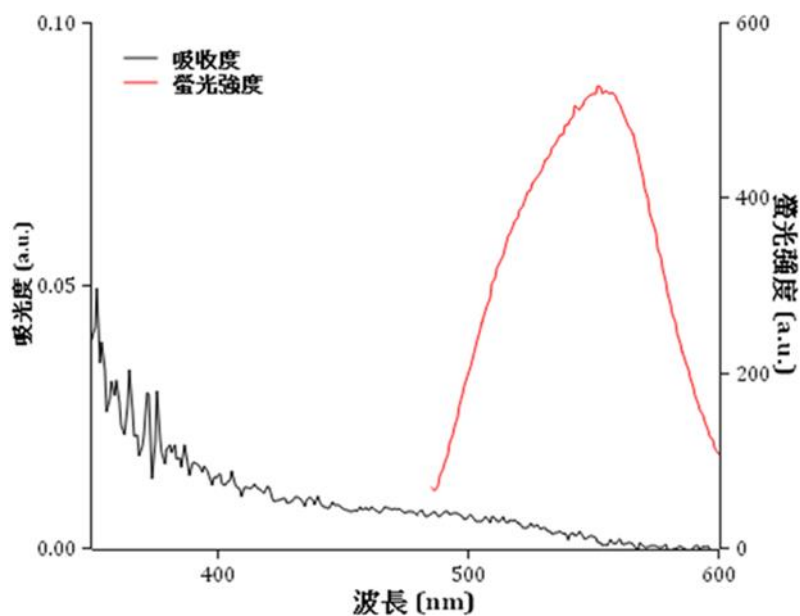


圖 2-10、無鎘量子點之吸收光譜與螢光光譜(激發光 450 nm)

(b) 無鎘量子點油相轉水相

由於無鎘量子點採油相程序製備，其表面被疏水性官能基包覆，無法溶於水中，故需先將其表面疏水性官能基置換為親水性官能基，始能進行後續水中銅離子感測應用。本研究以常見應用於鎘系量子點之巯基乙酸，進行無鎘量子點表面疏水性官能基置換，詳細流程如圖 2-11 所示。

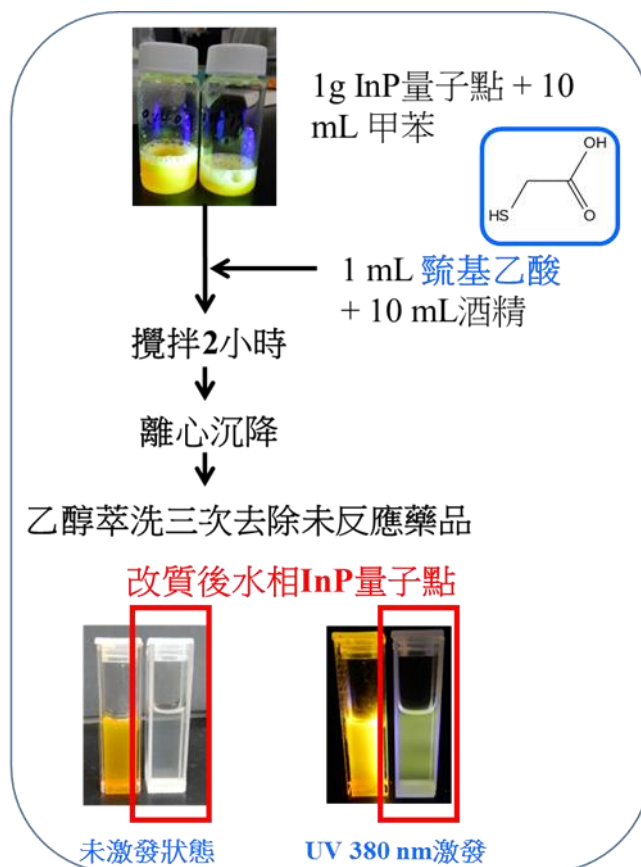


圖 2-11、無鎘量子點油相轉水相流程示意

圖 2-12(a)與(b)為無鎘量子點自油相轉換為水相後吸收光譜與螢光光譜分析(激發光波長為 380 nm)，分析結果顯示，轉為水相之無鎘量子點其螢光波峰略有偏移(自 540 nm 偏移至 553 nm，半高峰寬約增加 10 nm)。圖 2-13 為水相無鎘量子點長時間螢光訊號穩定度變化，長時間觀察結果顯示，本計畫所開發之無鎘量子點，於相轉換 4 日後，以 380 nm 激發光照射所得螢光訊號即達穩定。綜合此些螢光特性資料，可知本計畫將油相無鎘量子點依前述流程轉為水相後，螢光特性仍維持穩定，可做為螢光感測材料。

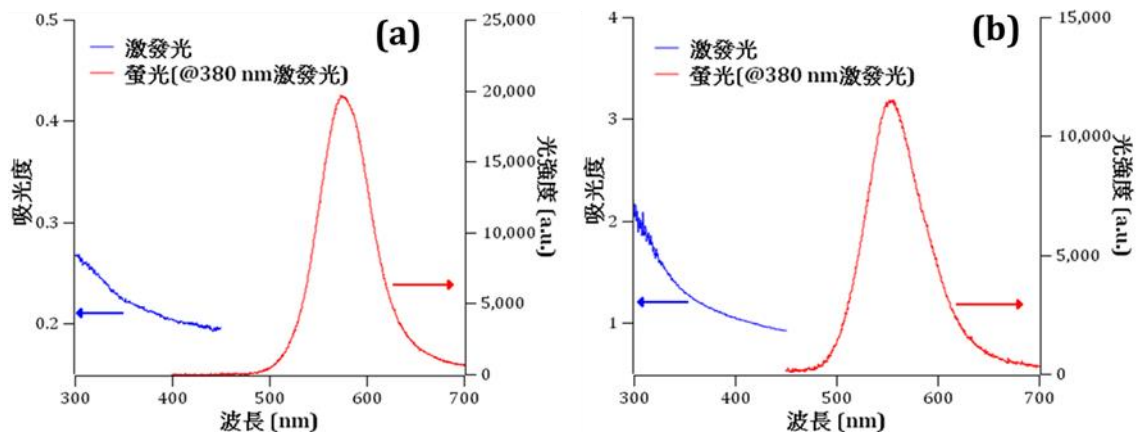


圖 2-12、(a)油相與(b)水相無鎘量子點之吸收光譜與螢光光譜(激發光 380 nm)

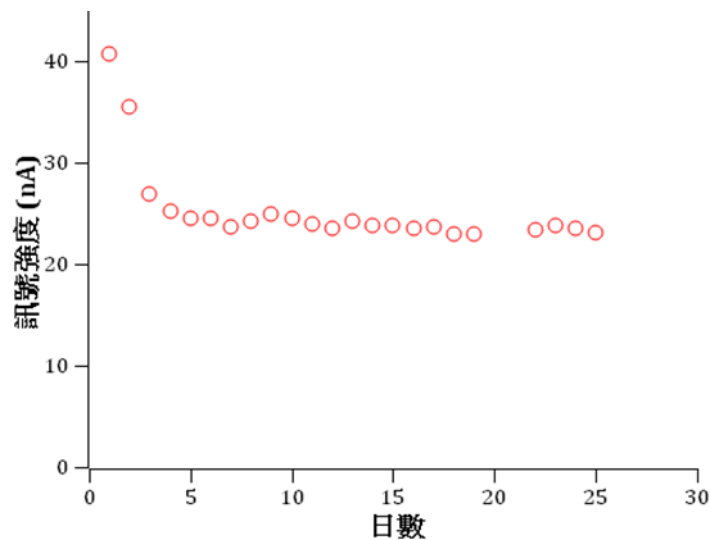


圖 2-13、水相無鎘量子點長時間螢光訊號變化

(c) 無鎘量子點之水中銅離子感測能力測試

量子點於製備時通常會使用包覆劑(capping agent)修飾其表面，以避免量子點產生團聚並維持奈米顆粒狀態。包覆劑之官能基與分子結構，將影響量子點應用於重金屬離子之感測能力。本計畫使用巯基乙酸(Thioglycolic acid, TGA)為常見之水相量子點包覆劑，其以巯基鍵結覆蓋(Thiol-capped)於量子點表面，使量子點表面帶有親水性之羧基。當無鎘量子點感測水中銅離子時，因銅離子與量子點表面之硫化鋅進行離子交換形成硫化銅，或與量子點表面包覆劑競爭巯官能基結合配體，將造成量子點發生螢光猝滅現象，如圖 2-14 所示。本研究即利用螢光猝滅程度對比於水中銅離子濃度，進行水樣中銅離子濃度感測。

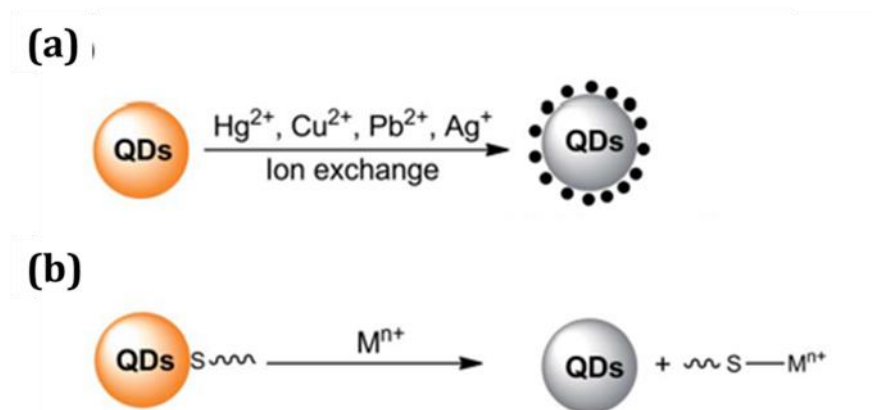


圖 2-14、量子點感測銅離子機制示意(a)陽離子交換與(b)競爭官能基

為了解本計畫所開發無鎘量子點之水中銅離子適合感測條件，以為後續應用之參數設定，分別測試完成轉相之無鎘量子點於不同 pH 值條件與稀釋倍數下之螢光訊號特性。圖 2-15(a)為水相無鎘量子點於不同 pH 值條件下感測去離子水與 1 mg/L 銅離子溶液之螢光強度變化結果，其中，銅離子溶液以去離子水進行調配，pH 值以 Tri-HCl 緩衝溶液進行調整，量子點/水樣/緩衝溶液之體積比為 0.8/0.1/1.0；測試結果顯示，於 pH 為 7 條件下，水相無鎘量子點有最佳螢光訊號強度，且對去離子水(無銅離子)與 1 mg/L 銅離子溶液有最大訊號差異。圖 2-15(b)為水相無鎘量子點於不同稀釋倍數下感測去離子水與 1 mg/L 銅離子溶液之螢光強度變化(@pH 值 7.2)，測試結果顯示，將水相無鎘量子點溶液稀釋 2 倍、4 倍後，其螢光訊號強度分別降低為原液 1/2 與 1/4，考量無鎘量子點材料為銅離子感測主要成本，於稀釋 4 倍條件下，1 mg/L 銅離子溶液之感測訊號與去離子水(無銅離子)即有儀器顯著可辨識螢光訊號差異，故本計畫後續銅離子感測測試均採稀釋 4 倍之無鎘量子點溶液為之。

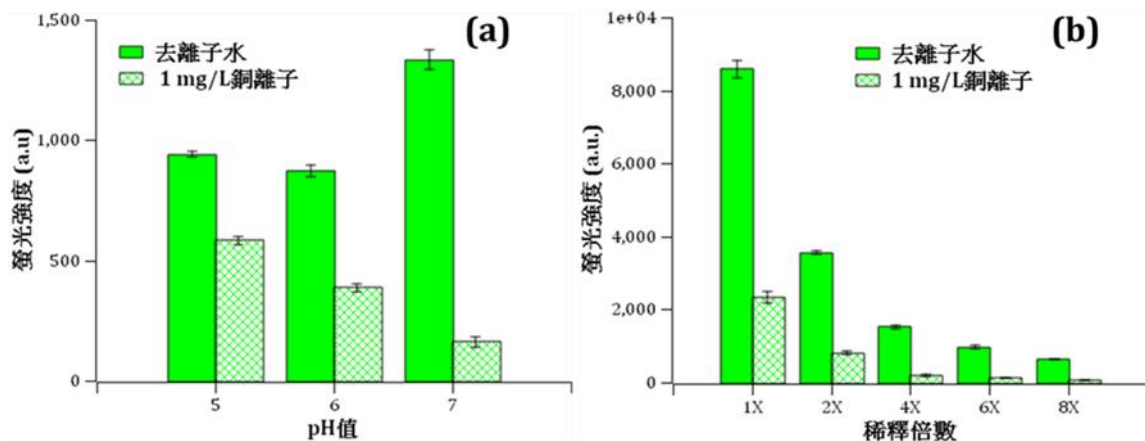


圖 2-15、(a)水相無鎘量子點於不同 pH 值條件下感測去離子水與 1 mg/L 銅離子溶液之螢光強度變化 (@380 nm)，(b) 水相無鎘量子點於不同稀釋倍數下感測去離子水與 1 mg/L 銅離子溶液之螢光強度變化 (@380 nm, pH 7.2)

為了解環境水體中可能存在之陽離子對無鎘量子點感測銅離子之螢光訊號干擾情形，本研究以去離子水配製各種重金屬離子模擬廢水，測試無鎘量子點在此些陽離子存在下之螢光訊號強度變化，圖 2-16 為不同陽離子對無鎘量子點螢光訊號強度影響(測試條件：pH 值 7.2 @ Tris-HCl 緩衝溶液、鈣離子濃度 50 mg/L、鎂離子濃度 20 mg/L、鈉離子濃度 50 mg/L、鉀離子濃度 50 mg/L、鋁離子濃度 0.3 mg/L、鎘離子 0.1 mg/L、六價鉻離子 0.2 mg/L、銅離子 0.2 mg/L、三價鐵離子 0.15 mg/L、錳離子 10 mg/L、汞離子 0.005 mg/L、鎳離子 1 mg/L、鉛離子 1 mg/L、鋅離子 5 mg/L 與銀離子 0.5 mg/L)。測試結果顯示，銅離子於 0.2 mg/L 濃度下即可使無鎘量子點產生明顯螢光猝滅現象，但於前述濃度之鈣、鎂、鈉、鉀、鋁、鎘、六價鉻、三價鐵、錳、汞、鎳、鉛、鋅與銀等陽離子存在下，無鎘量子點螢光訊號受其影響則較為輕微。

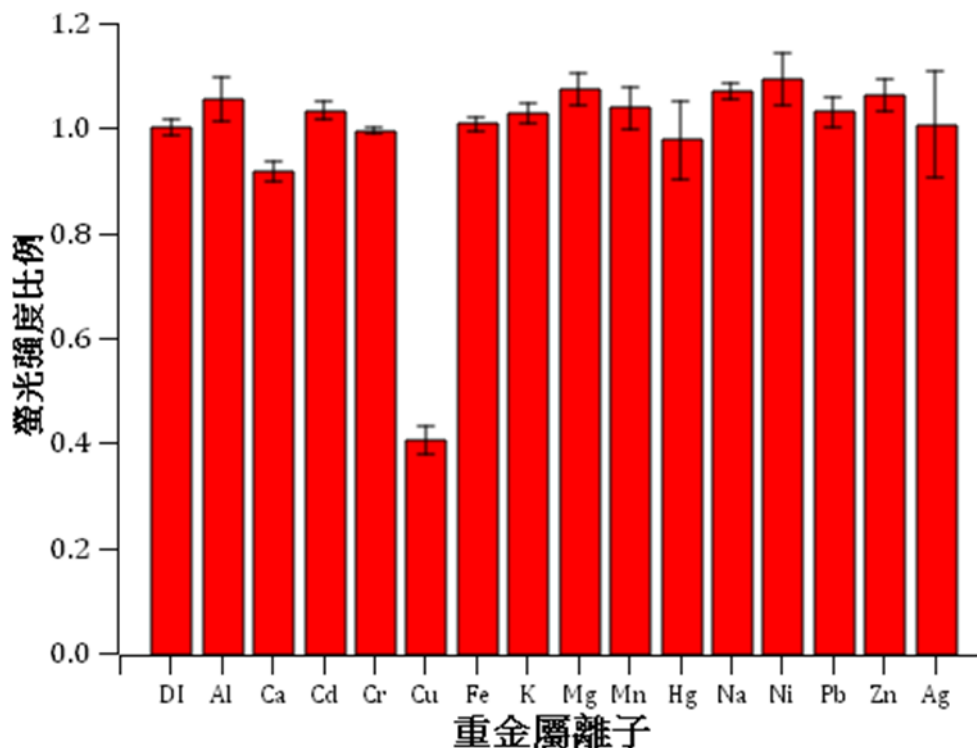


圖 2-16、不同陽離子對無鎘量子點螢光訊號強度影響

無鎘量子點感測不同銅離子濃度模擬水樣之螢光光譜如圖 2-17(a)所示，螢光圖譜顯示，無鎘量子點之螢光強度，均隨著模擬水樣中銅離子濃度的增加而降低。此一螢光猝滅現象可以 Stern-Volmer 方程式(1)予以描述：

$$\frac{F_0}{F} = 1 + K_{SV}[Cu^{2+}] \quad (1)$$

式中 F_0 與 F 分別為無鎘量子點於無銅離子水樣及含銅離子水樣之螢光強度， K_{SV} 為 Stern-Volmer 常數(L/mg)。測試結果如圖 2-17(b)所示，無鎘量子點之螢光訊號，於銅離子濃度 0.2 - 1.4 mg/L 範圍呈良好之 Stern-Volmer 方程式線性關係($R^2=0.993$)。以 $3S_b/m$ 進行偵測極限(Limit of detection, LOD)計算，其中， S_b 為空白標準偏差($n=7$)， m 為檢量線斜率，可得無鎘量子點於此感測條件下之偵測極限為 0.01 mg/L，符合本計畫檢測範圍濃度需低於放流水標準(3 mg/L)之要求。

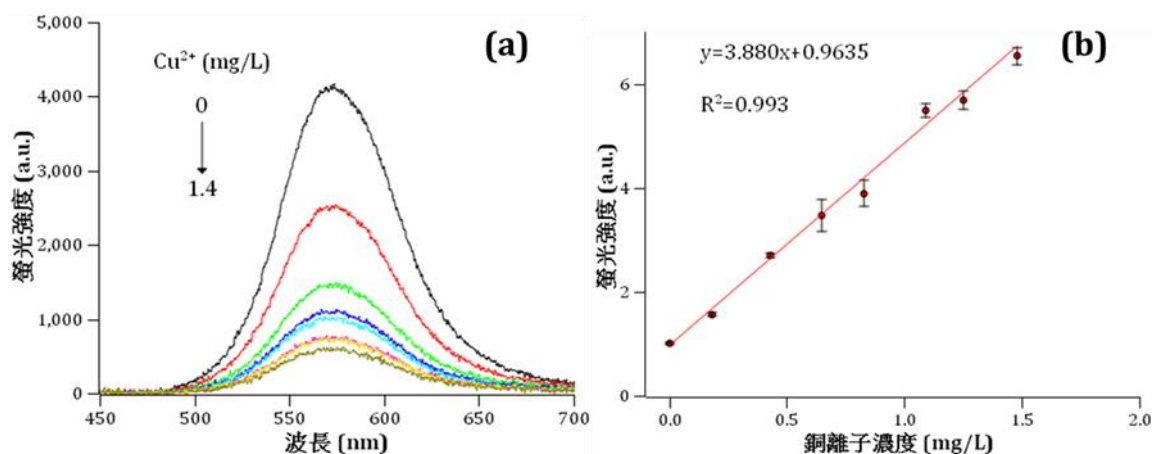


圖 2-17、(a)無鎘量子點於不同銅離子濃度下之螢光強度變化(@380 nm, pH 7.2)與
(b)其數值代入 Stern-Volmer 公式所得檢量線

本計畫為驗證無鎘量子點對真實水樣中銅離子之感測能力，以 13 件來自不同環境水體(新竹頭前溪與徐厝排水)之樣本，分別以 ICP 儀器、市售銅離子比色法感測器與本計畫所開發無鎘量子點，感測各水樣中銅離子濃度，所得結果如圖 2-18 所示。感測結果顯示，本計畫所發展之無鎘量子點與市售比色法相較，所得銅離子感測結果與 ICP 儀器有較佳之相關性($R^2=0.984$)，具備良好環境水體銅離子感測能力。

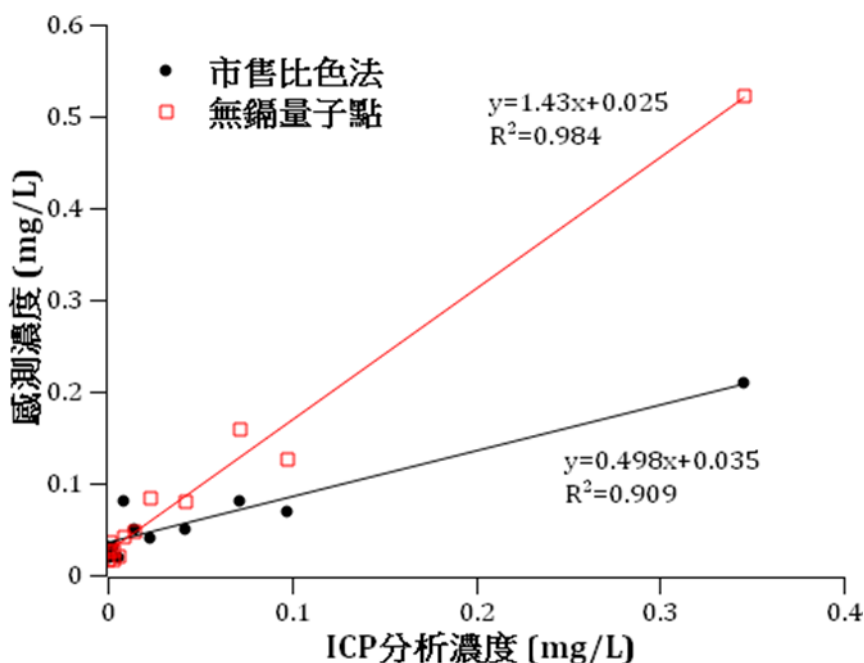


圖 2-18、無鎘量子點與市售比色法對真實水樣銅離子感測能力比測分析

(d) 無鎘量子點感測元件設計

i. 簡易無鎘量子點感測元件

為使無鎘量子點具備便利之銅離子感測應用性，本計畫設計如圖 2-19 所示之簡易無鎘量子點感測元件。其主要將『激發光源』、『水樣感測管』與『光電極管』整合組裝成一元件，其中，激發光源為市售紫外光 LED 燈泡，水樣感測管為可容裝 3 mL 量子點與水樣混合溶液，光電極管為將螢光(前置過濾片濾除激發光)訊號轉成電流輸出，所獲得電流訊號再以示波器顯示其強度。如此，即可以簡易之電子訊號進行水中銅離子感測。

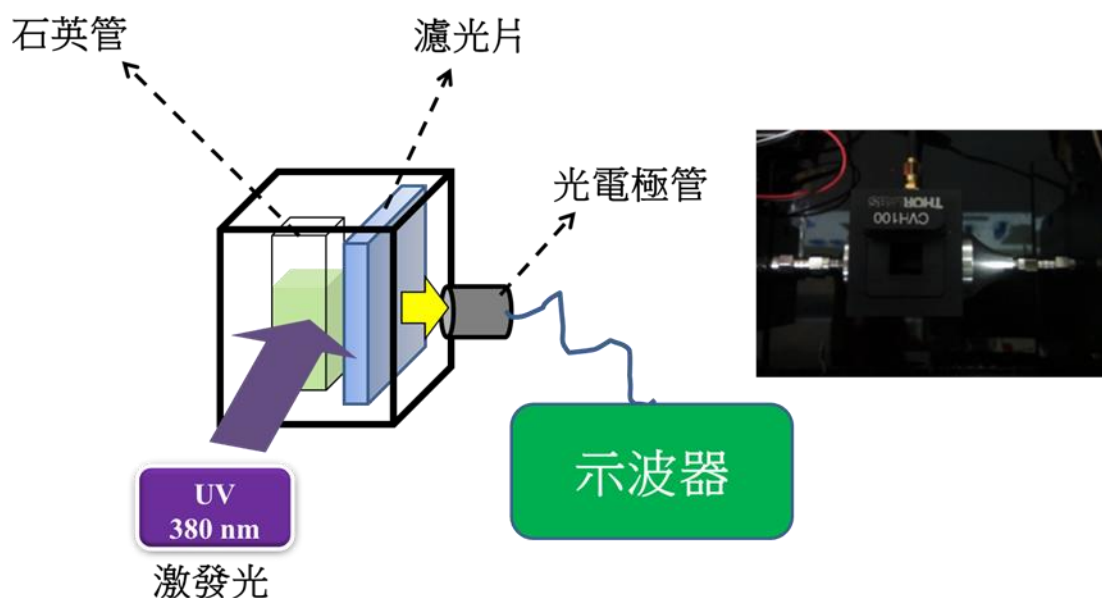


圖 2-19、簡易無鎘量子點銅離子感測元件

本計畫將無鎘量子點與去離子水混合(量子點/水之體積比為 1:2)，置於簡易無鎘量子點感測元件中，每日量測其螢光強度變化，測試無鎘量子點於常溫水環境條件下之光學訊號衰減狀態，所得結果如圖 2-20 所示。測試結果顯示，本計畫所開發之無鎘量子點於常溫水環境中，其螢光訊號強度於 15 日後，始低於原始強度 80%，符合檢測元件光學訊號週衰減率於常溫水環境條件下需小於 20%之計畫目標。

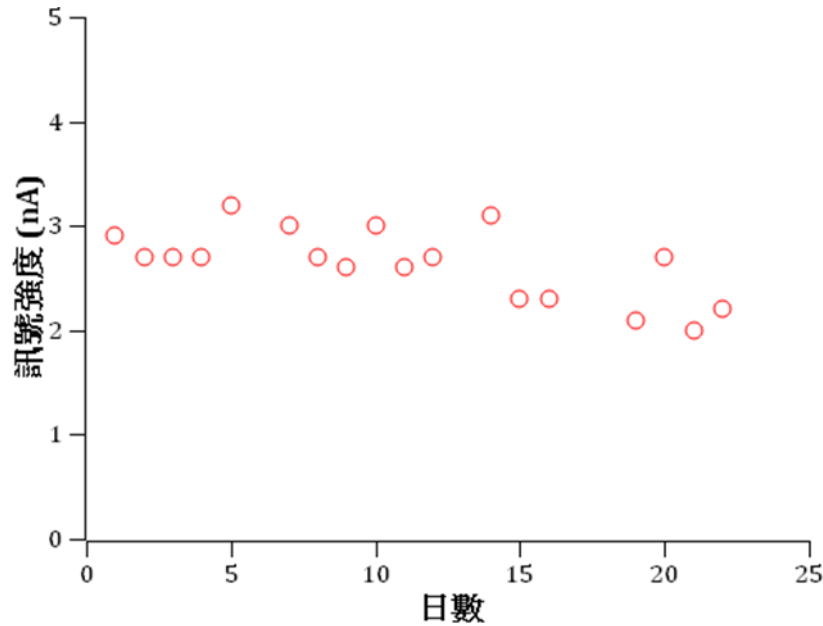


圖 2-20、無鎘量子點於簡易感測元件中螢光強度隨時間變化關係

ii. 螢光增強膜感測元件

本研究螢光增強膜製作主要參考文獻製備，製作方式概述如下：將所購買得之 PA6 薄膜以異丙醇清洗後以高壓空氣乾燥，C3M(Merck)、C6M(Merck)與 LC756 (BASF)等液晶單體依比例混合，採用岩田空氣噴槍塗佈法(Iwata painting airbrush)噴塗於薄膜上。所得膜材置於 80°C 烘箱 60 秒以去除殘餘有機溶劑，當冷卻至室溫後，於氮封狀態下以汞燈照射 200 秒進行光敏聚合。

圖 2-21(a)為螢光增強膜剖面電子顯微鏡照片，由剖面照片可知，螢光增強膜為多層均勻薄膜堆疊而成。圖 2-21(b)為螢光增強膜之透光率分析，分析結果顯示，螢光增強膜於波長 520 - 560 nm 範圍，透光率顯著降低，且外觀呈顯著綠色，顯現此螢光增強膜具有一維光子晶體之光能隙特性。此光能隙位置與本研究所製備之水相無鎘量子點螢光波峰位置重疊，可以其對此螢光具布拉格反射鏡特性，強化無鎘量子點之螢光訊號收集量。

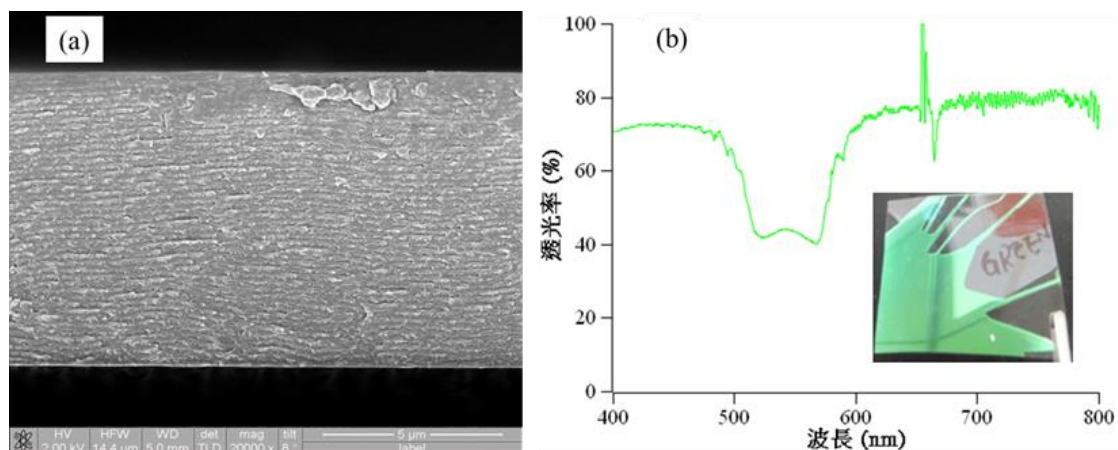


圖 2-21、(a)螢光增強膜剖面電子顯微鏡照片與(b)透光率分析(內圖為外觀影像照片)

螢光增強感測元件組裝則以矽膠裁製直徑 5 mm、深度 2 mm 圓孔之模板，於模板底座第一層貼合螢光增強膜(綠光膽固醇液晶膜)，底座第二層貼合玻璃載玻片或鏡子基板(反射率>90 %)。將無鎘量子點與適量水樣、Tri-HCl 緩衝溶液混合後，取 0.04 mL 滴放於螢光增強感測試片孔洞中，以波長 380 nm 之 LED 燈源於正上方照射激發螢光，並在與激發光垂直照射方向夾角 30 度位置，以螢光光譜儀收集並記錄螢光強度，圖 2-22 為螢光增強感測元件構示意。

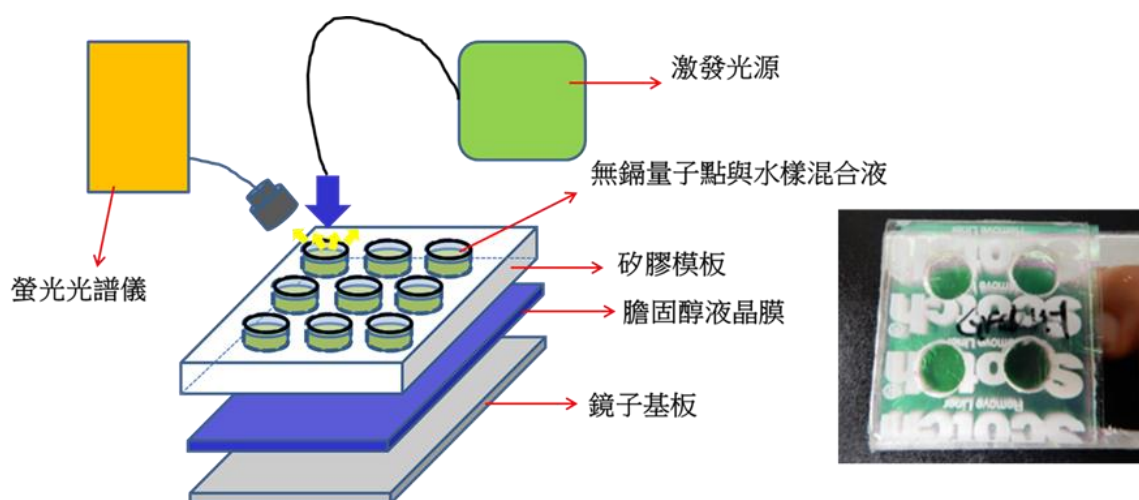


圖 2-22、螢光增強感測元件架構示意

螢光增強膜屬一維光子晶體材料，可反射波長位於其光能隙(488 nm 至 588 nm) 波段之螢光，有效提高螢光訊號收集效率，今將其與玻璃與鏡子基板組合製成螢光增強元件，並測試其對無鎘量子點之螢光增強效果。圖 2-23 為不同螢光增強元件對無鎘量子點之螢光增強效果比較，結果顯示，以無鎘量子點螢光波峰 553 nm 強度為基準，螢光增強膜搭配玻璃及鏡子基板，分別可增強螢光訊號 4.7 倍與 10.5 倍。如此，將可藉由此一螢光增強感測元件，大幅降低無鎘量子點使用量，將有效節省感測材料之消耗。

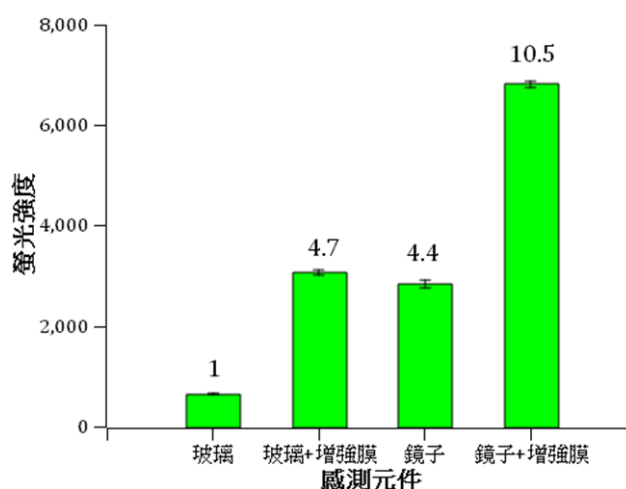


圖 2-23、不同螢光增強感測元件對無鎘量子點之螢光增強效果比較

2.1.4 小結

量子點螢光法重金屬離子感測器具有靈敏度高與響應時間短等優點，為近年熱門發展之感測技術。本計畫開發無鎘量子點為銅離子螢光感測材料，避免傳統鎘系量子點感測可能產生二次環境污染疑慮。於銅離子感測結果顯示，無鎘量子點對以去離子水模擬之含銅離子水樣，偵測極限可達 0.01 mg/L，且對環境水樣之銅離子濃度感測結果，較市售比色法感測器有較佳之標準方法(ICP 儀器分析)比測結果。於感測元件設計方面，將『激發光源』、『水樣感測管』與『光電極管』整合組裝為一感測元件，使銅離子感測應用更具便利性；另亦利用具一維光子晶體結構之膽固醇液晶膜為螢光增強膜，有效提升螢光訊號強度達 10.5 倍，可降低無鎘量子點材料之使用量。未來將繼續將前述材料與元件發展成銅離子感測模組，達到實際應用於環境感測之目的。

2.2 電化學重金屬離子感測元件開發

2.2.1 原理

2.2.1.1 電化學分析原理

電化學是研究化學變化和電能之間關係，而應用在分析領域的原理則是在一個電化學反應的系統中，使用穩定的氧化還原反應並且電位穩定的電極當做參考電極，進一步觀察電化學系統中工作電極的反應。控制電極間的電位差變化也就是控制工作電極的能量變化，製造電子在工作電極和分析物之間傳遞現象的發生，可以藉由電流值的變化、氧化還原反應和分析物的電化學特性，推算分析物的含量及性質，達到定性或定量分析。

三電極系統是目前最常用的電化學系統，包含工作電極(working electrode)、輔助電極(counter electrode or auxiliary electrode)以及參考電極(reference electrode)，如圖 2-24 與圖 2-25 所示。工作電極是利用可以容易改變電位並且能和分析物反應得到電流訊號的材料，而參考電極則是相反。除非電流量太大，參考電極的電位是固定不變的，它必須提供一個穩定的相對電位值，因此會外加一個輔助電極，讓參考電極的電流量可以忽略，達到固定參考電位的目的，並且和工作電極形成完整的迴路讓工作電極擁有相當的電流量來觀察可能發生的電化學反應。

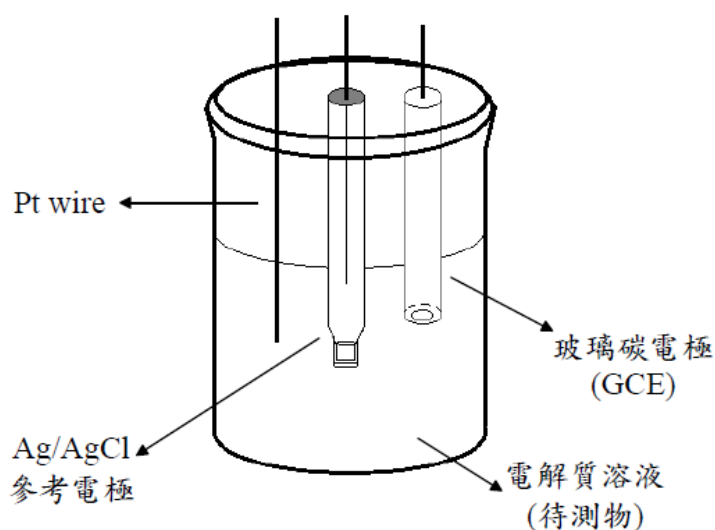


圖 2-24、三電極電解槽系統

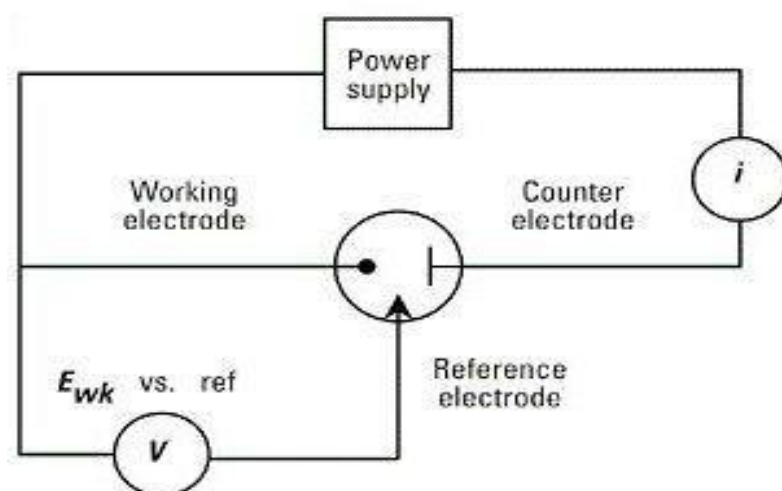


圖 2-25、三電極線路示意圖

2.2.1.2 伏安法(voltammetry)

電化學分析技術一般稱為伏安法(voltammetry)，包括線性掃描伏安法、循環伏安法、方波伏安法和微分脈衝伏安法。

1. 循環伏安法(cyclic voltammetry, CV)

循環伏安法是在某個電位範圍內施予工作電極來回反覆的線性電位變化，如圖 2-26 所示。一次來回的電位變化是為一次循環。當控制電極的電位的變化從低電位到高電位的過程，稱為正掃描，分析物在電極表面進行氧化反應，當電位反向變化進行負掃描時，則電極表面被氧化的分析物此時被還原。如此反覆進行，而得到多次循環曲線圖形，如圖 2-27 所示。從循環伏安法，可以觀察到一個分析物氧化還原的反應電位和可逆性。

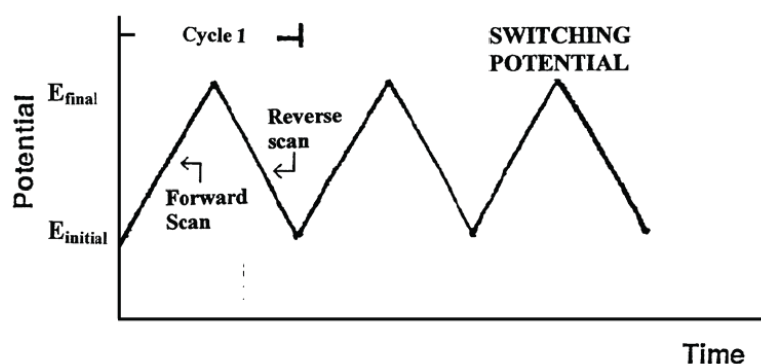


圖 2-26、循環伏安法的電位變化示意圖

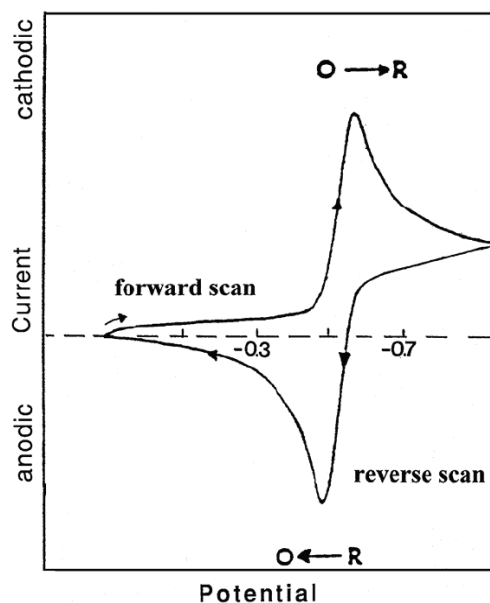


圖 2-27、典型的可逆氧化還原反應循環伏安圖

2. 線性掃描伏安法(linear sweep voltammetry, LSV)

線性掃描伏安法是常見的電化學研究方法，可用於電極反應的性質、機制及動力學參數的探討。它主要是施加一可變電位激發訊號(potential excitation signal)於工作電極時，會產生法拉第電流(Faradaic current)。簡單來說是由儀器對控制電極，提供一個隨著時間線性變化的電位，進而量測其電流變化。當系統有氧化劑存在時，電位向陽極方向掃描時，還原產物會在電極上氧化，產生氧化峰；或是當系統有還原劑時，電位向陰極方向掃描，氧化產物則在電極上還原，產生還原峰，如圖 2-28 所示。

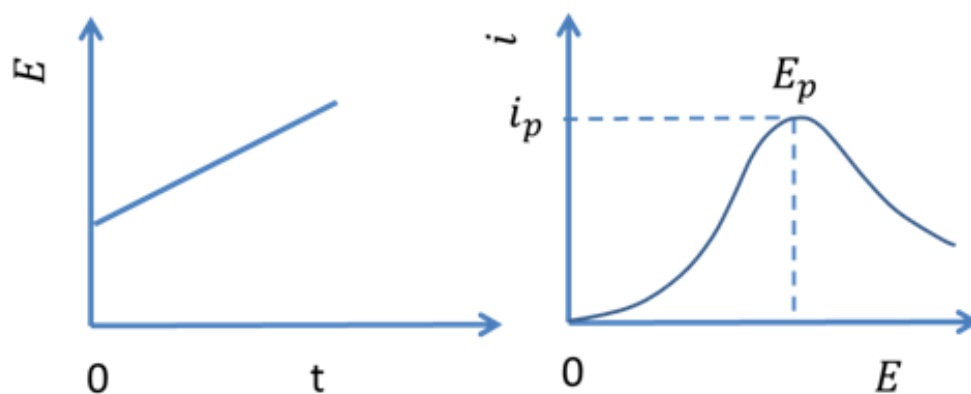


圖 2-28、線性掃描伏安法示意圖

3. 方波伏安法(square wave voltammetry, SWV)

方波伏安法之電位波形是在一隨時間改變的階梯電位(ΔE_s)上，加上週期性且固定振幅(ΔE_p)的方形波，如圖 2-29 所示。由於電流的量取為正向波和逆向波即將結束之際，此時非法拉第電流已經衰退至可忽視的程度，因此利用此電流的取樣技術，可將大部分由於施予電位之極性改變所引起的瞬間充電電流(charging current)，衰減至可忽略的程度。由於電流為正逆向電流相減後得到，不但背景電流的干擾可獲大幅改善，電流大小也有加成的效果。

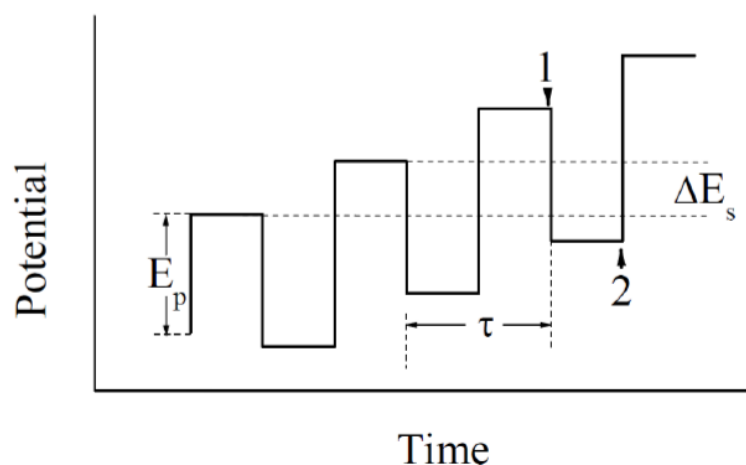


圖 2-29、方波伏安法所施加之電位波形圖

4. 微分脈衝伏安法(differential pulse voltammetry, DPV)

微分脈衝伏安法的電位波形是在一個隨時間作線性改變的直流電位上，加上一個週期且固定振幅的脈波，如圖 2-30 所示。當脈波剛加於電極時，由電雙層的電容作用產生的充電電流與由分析物產生得法拉地電流會同時產生，若於此時即記錄電流，則無法有效避免充電電流的影響，因為充電電流會隨時間成指數型衰退，法拉第電流也會隨時間減小。但相對於充電電流，法拉第電流衰退的速度遠比充電電流緩慢，因此在適當的時機量取電流，可得到已去除大部分充電電流干擾之電流，因此電流取樣(current sampling)技術的運用，在脈波結束前量取電流，雖然電流訊號較剛施加脈波時小，卻能大大減小了充電電流的比例，降低背景電流，相當於提高靈敏度。但比起方波伏安法仍有一個最大的缺點，就是掃描的速度較慢。

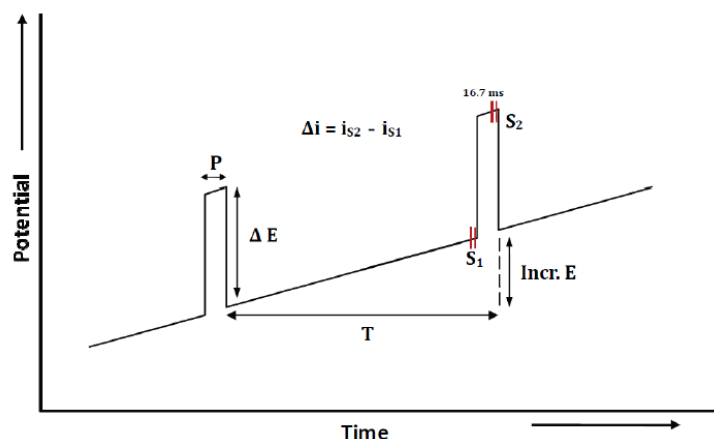


圖 2-30、微分脈衝伏安法所施加之電位波形圖

P : pulse width ; ΔE : pulse amplitude ; S : sampling width ;

T : pulse period ; Incr. E : increment potential between pulses

2.2.1.3 微機電感測模組原件開發原理

本計劃以電化學測試原理-剝除伏安法進行銅離子濃度檢測，利用三電極法設計基本電路，使用 IC-LTC1650 產生 DAC 階梯式電壓如下圖 2-31 所示，輸入特定恆電位：-0.7V、-0.2V、0.01V 及 0.5V，符合剝除伏安法電化學初始實驗流程。在重金屬離子溶液中由三電極工作反應後，由對電極 Counter electrode (CE) 產生電流，經過電流電壓轉換器後將電流轉換為電壓，最後再以 IC-ADS1115 讀 ADC 值，由運算放大器電壓電流轉換公式： $V=-IR$ 得到電流值，繪製電流與時間在各濃度：0ppm、1ppm、2ppm、5ppm、8ppm 及 10ppm 關係圖，以及在特定恆電位-0.2V 及 0.01V 電流相關曲線，與實際儀器做比較來檢測此金屬離子檢測元件開發效果。

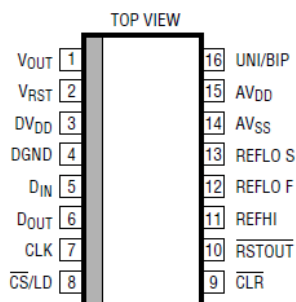


圖 2-31、LTC1650 DATASHEET 圖

2.2.2 實施步驟與方法

2.2.2.1 電化學感測平台設置

目前電化學感測平台設計以三電極型式作為量測基礎，與一般三電極型式分析方法不同之處為採用以網版印刷方式將元件製備為一平面結構，使得待測分析樣品所需體積量能有效降低，但不影響其量測結果。

另外考量到未來應用情境，本研究使用方波陽極剝除伏安法(Square wave anodic stripping voltammetry SWASV)，如圖 2-32 所示，主要可分成四個階段：第一階段為清潔階段(Cleaning step)，目的為以一正偏壓對工作電極表面進行電化學清理，使得可能吸附在電極表面之不純物質脫附或分解。第二階段為電化學預濃縮階段(pre-concentration)，主要是將待測樣品中之待測物質以電化學反應沈積(Electrodeposition)於工作電極表面。第三階段為平衡階段(Equilibration step)，此階段反應目的為使待測物質電沈積於工作電極表面之結構能穩定化。第四階段為剝除階段(Stripping step)，剝除時我們採用方波伏安法(SWV)，目的在於可以消除記憶效應，施予工作電極持續變化之偏壓，待測物質本身具有不同之氧化電位特性，使得待測物質能在其特定電壓區間從工作電極表面析出進而得到電流訊號。

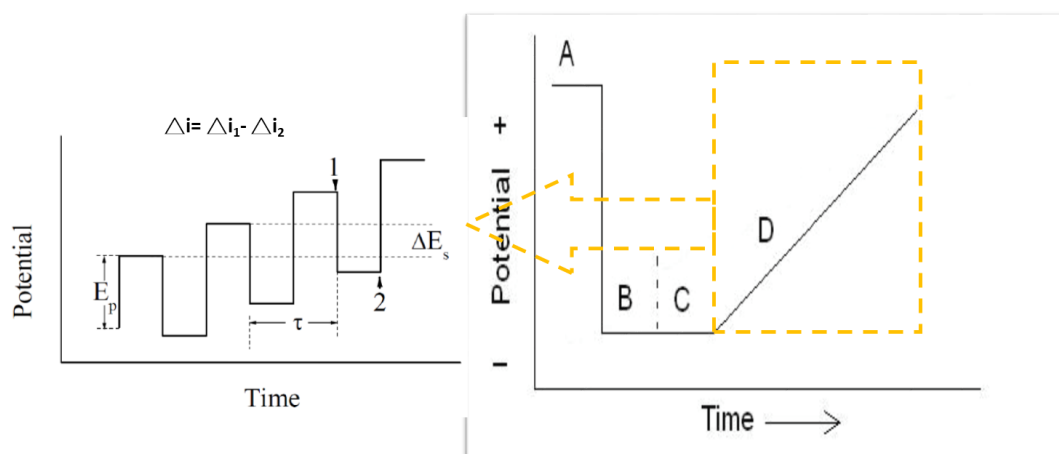


圖 2-32、剝除伏安法電位程序圖

A : Cleaning step ; B : Electrodeposition step ;

C : Equilibration step ; D : Stripping step

2.2.2.2 研究步驟

2.2.2.2.1 電極材料

電化學分析對於偵測重金屬具有卓越的靈敏度，汞(Hg)由於能夠掃描電位範圍大能夠用於多種金屬分析上，成為電化學析出分析的膜電極首選。但近年來由於綠色化學的趨勢和歐洲條例中明文規定禁止含有金屬汞的輸出與貯存，打算減少有害物的使用以及開發新的替代電極。而鉍(Bi)、金(Au)、銀(Ag)、銻(Sb)、碳(C)與含硼金剛石測試的結果具有取代汞的能力。

1. 銅的測定

沉積金屬與金電極表面之間容易產生相互作用，進而形成了預沉積層，因此我們選擇金作為工作電極。金亦可被用於檢測鉛、鎘、汞、砷和銻等重金屬，對於未來研究有很好的發展性。目前所選用之網版電極材料分別如下：

工作電極(Working Electrode, WE): Gold

參考電極(Reference Electrode, RE): Silver

輔助電極(Counter Electrode, CE): Gold

2. 鋅的測定

由於鋅的氧化電位位置過低，若以金作為工作電極容易產生氫氣，進而干擾測定結果。鉍(Bi)電極具有能夠測定低氧化電位之重金屬的性質，但由於氧化電位與銅非常接近，無法同時用於測定銅。目前所選用之網版電極材料分別如下：

工作電極(Working Electrode, WE): Bismuth

參考電極(Reference Electrode, RE): Silver

輔助電極(Counter Electrode, CE): Carbon

2.2.2.3 微機電感測平台設置

本計劃所開發微機電感測電路使用 LTC1650，產生 DAC 恆電位電路，此 IC 特點為具有低雜訊、SPI 快速傳輸、且內部具有 Unipolar 以及 Bipolar 切換功能，

當電路使用時，若將 UNI/BIP 腳位 16 與 REFHI 腳位 11 串接，即可以產生雙極功能，此功能啟動可以輸出正、負電壓 DAC 符合此電化學實驗程序。

電路設計時，為了供應穩定正、負電壓源給各個運算放大器以及 DAC IC，加入了：Dual-rail Supply Votage Circuit(如圖 2-33 所示)輸入 10 伏特電壓給此電路進行分壓，分成穩定 5V 及-5V，使各個 IC 在運作時可以達到最佳效果，也不會因為電路設計太多運算放大器使電源供應不足問題，利用此電路解決了此項問題，使電壓更加穩定。

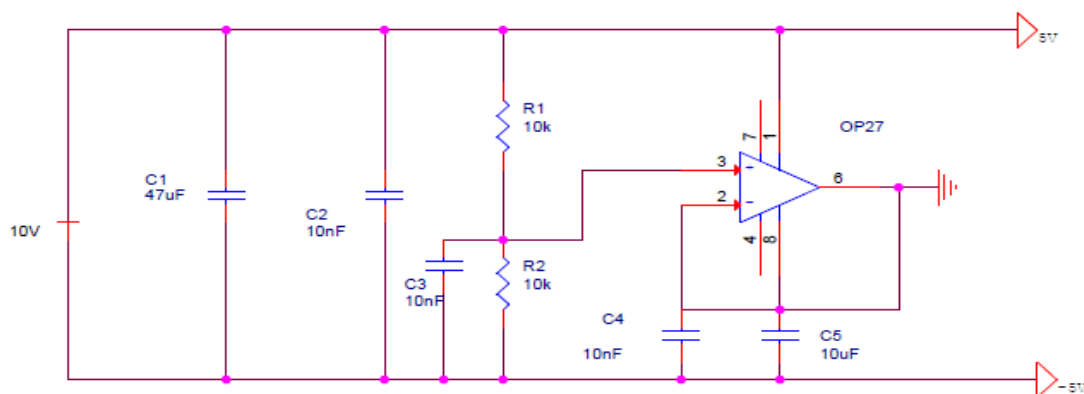


圖 2-33、Dual-rail Supply Votage Circuit 圖

本計劃所使用之三電極電路圖(如圖 2-34 所示)，此工作電路我們運用了五顆運算放大器(OP27)分別為兩個電壓隨耦器(Buffer)、電位調整電路、反相器電路、電流電壓轉換器電路。

- 1 號框架：此為 LTC1650，以 SPI 傳輸方式，腳位 5 到 8 分別為：Din、Dout、CLK、CS，依序連接到 MCU 的 MOSI、MISO、SLK、SS，進行 SPI 傳輸，由 MCU 撰寫 driver，設定 DAC 輸入電壓時序。
- 2 號框架：圖 2-35 為電位調整電路-加法器與反相器電路，此處設計是為了將輸入 DAC 電壓與參考電極輸出電壓相加，讓工作電極 Working Electrode (WE)跟參考電極 Reference Electrode (RE)在離子檢測溶液中可以保持相同電位，讓溶液中產生電位恆定，但經過加法器後輸出電壓為負值，所以再加入反相器電路，讓電壓恆正，達到此效果。
- 3 號框架：此為電壓隨耦器經過此運算放大器，有 Buffer 作用會使電壓更加穩

定，穩定後連接至工作電極(WE)，在金屬溶液中工作電極(WE)與對電極 Counter electrode (CE)，產生電化學作用。

4 號框架：為一個電壓隨耦器，經過此电路有 Buffer 作用會使電壓更加穩定，此處設計是為了將參考電極在溶液中電化學作用得出的電壓值做穩壓，電壓穩定後經過加法器與其他運算放大器，讓工作電極 (WE)跟參考電極 (RE)在離子檢測溶液中可以保持相同電位。

5 號框架：為電流電壓轉換器，由對電極(CE)流出的電流，經過電流電壓轉換器电路與電阻搭配，換算公式及电路示意圖如下圖 2-36，利用 IC-ADS1115 讀取之 ADC 值即為 V_{out} ，再經過公式轉換。此處我們使用的電阻值為 $100k\Omega$ ，轉換後繪製出各濃度電流與時間關係，檢測金屬離子溶液趨勢變化。

$$V_{out} = I_{in} * R_f \quad (2)$$

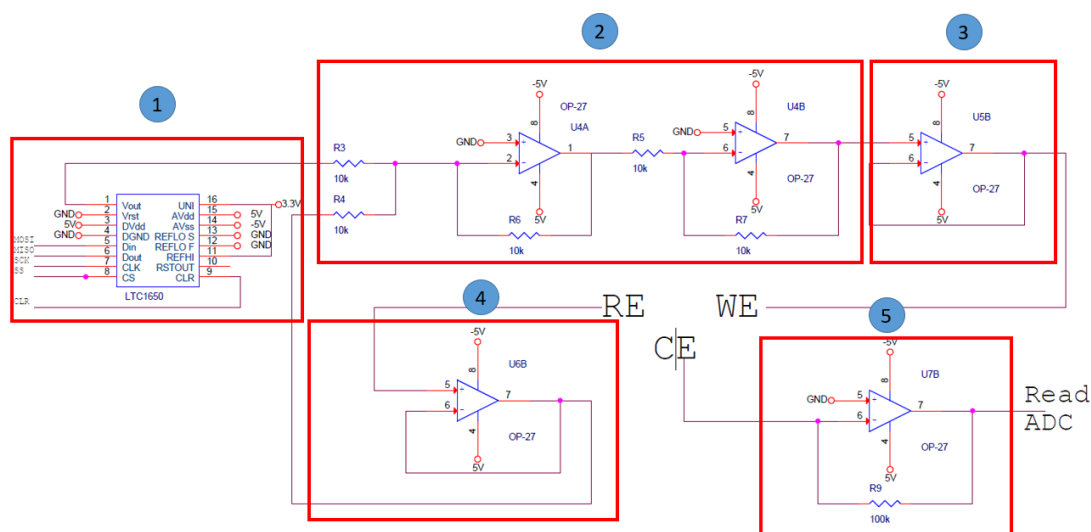


圖 2-34、三電極电路圖

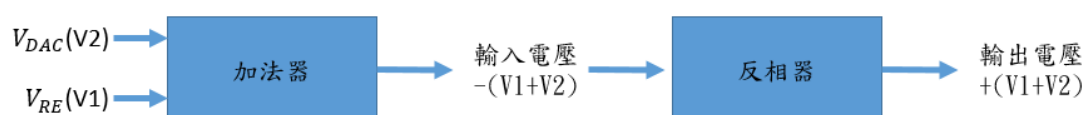


圖 2-35、經過加法器與反相器電壓

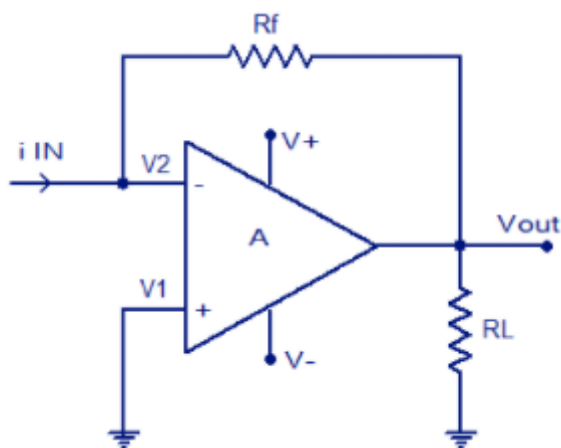


圖 2-36、電流電壓轉換器示意圖

為了使 ADC 讀取精準度提升，使用 IC-ADS1115 如下圖 2-37 所示，此 IC 使用 I2C 傳輸功能，具有低功耗、在 ADC 電壓取樣上也高於其他 IC，數據抓取時可以達到 860SPS，達到了精準度的提升，且抓取的時間也可以配合實驗規劃達到每 0.1s 紀錄一筆數據。使我們在三電極電路最後 ADC 值讀取可以達到電壓單位精準度到毫伏，讓數值轉換時更加精確。

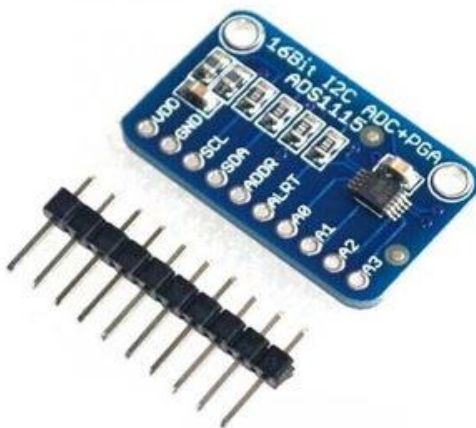


圖 2-37、ADS1115 模組

2.2.2.3.1 研究步驟

由於電化學分析時，不同的待測物需要不同的操作條件，操作條件選擇可能會無法進行反應，而誤判電極不適用。研究步驟如下：

1. 大範圍 CV 圖譜分析：

從大範圍 CV 圖譜分析可以得到以下資訊：

- (1) 電極氧化與還原電位：清洗與剝除時的電壓限制，以避免電極本身的破壞。
- (2) 待測物的氧化與還原電位：得到沉積電位選擇範圍與剝除電位範圍。

2. 固定沉積時間改變沉積電位：

沉積電位會影響氧化峰電流的大小，選擇最佳沉積電位。

3. 固定沉積電位改變沉積時間：

氧化峰電流大小隨沉積時間增加而增加，選擇可明顯測定峰電流之最短沉積時間。

4. 比較緩衝溶液與水樣之比例：

緩衝溶液可控制分析時最佳 pH 值與避免水體樣品中其他物質的干擾，但水體樣品比例過低重金屬測定可能不夠明顯。

5. 清洗電位與時間：

以高濃度待測物電沉積後，測試能夠將沉積在電極表面之待測物清洗乾淨之電位與時間。

本計劃電化學重金屬分析另一開發重點，為自行研發電化學微機電感測模組，因此目前先依照市售電化學分析設備，經過實際測定分析後得到網版電極分析重金屬最適化清洗流程、沉積電位與時間與剝除電位與時間等，建立完整的實驗流程與方法後，與本計劃自行研發的微機電感測電路配置進行整合。本計劃針對重金屬離子感測元件之整體電路實驗設備，包含網版電極、三電極裝置、三電極裝置與電路結合等如下圖 2-38 ~圖 2-40 所示。

經過實際測試後，使用恆電位法作為本計劃研發所操作的方波伏安法的前期實驗，進行三電極裝置實驗流程規劃。以金網版電極測定水中銅離子為例，清洗流程以 0.5 V 清洗 30 秒;電沉積流程以-0.7 V 沉積 120 秒;剝除流程以-0.2V 剝除 30 秒再以 0.01V 剝除 30 秒，如下圖 2-41 所示。依照最適化的分析流程與方法，進行實際水樣測試如圖 2-42 所示。



圖 2-38、網版電極圖

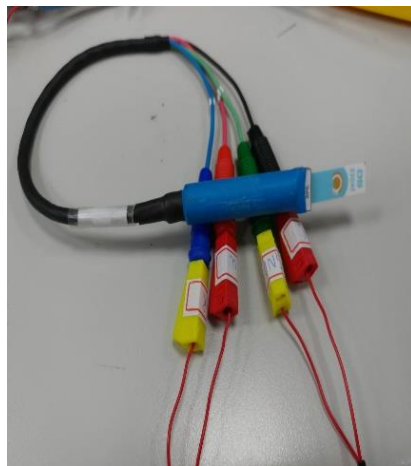


圖 2-39、三電極裝置圖

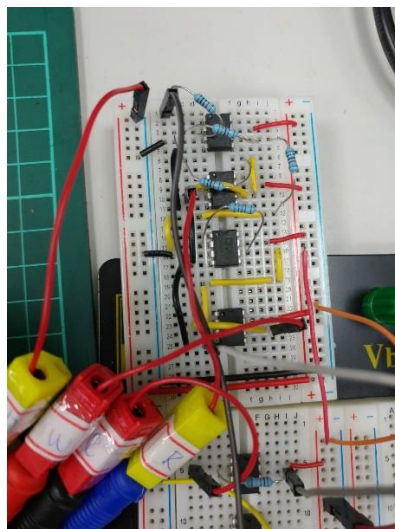


圖 2-40、三電極裝置與電路結合測試圖

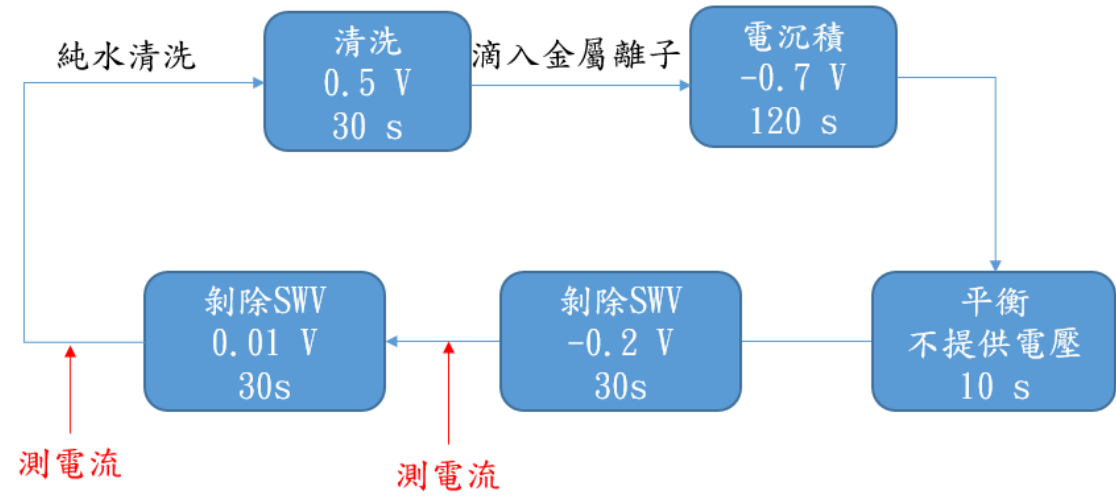


圖 2-41、實驗流程圖



圖 2-42、水樣分析示意圖

2.2.3 重點研發成果

本計劃已開發完成多成分重金屬(兩種以上)電化學感測分析技術平台建立，且偵測極限均可低於放流水標準(銅:3 ppm 與鋅:5 ppm)，符合計劃指標規定。本計劃檢測水體中重金屬離子的電化學感測分析技術平台，主要可分成四個階段：分別為清潔階段、預濃縮階段、平衡階段與剝除階段。預濃縮是給予一固定恆電位進行電化學沈積，使水體中重金屬離子濃縮在電極表面上，此步驟對於重金屬氧化峰電流訊號影響甚大，故篩選最適化的沉積電位與沉積時間，對於電極偵測水體中的重金屬離子濃度十分重要。此外，本計劃透過表面修飾電極可增強電流峰值訊號，擴大未來實際可定量重金屬濃度範圍，提升未來電化學感測分析技術應用性。綜上所述，本計劃多成分重金屬電化學感測分析技術平台針對不同沉積電位、沉積時間、表面修飾電極、線性範圍、偵測極限、再現性、精準度等多項指標進行評估試驗，達到最適化操作參數與條件。

另一方面，本計劃電化學技術主軸，為自行研發電化學微機電感測模組與效能評估。依照目前分析結果，已建立重金屬 1ppm 至 10ppm 的相關曲線，可推估標準溶液濃度值。但本計劃電化學微機電感測模組雜訊干擾較大，目前線性相關係數與市售電化學儀器相比尚有差異，故未來會加入分隔電路、穩壓器降低其雜訊干擾，同時針對剝除伏安法階梯式 DAC 電壓輸入進行測試，以提升電化學微機電感測模組未來應用性。

2.2.3.1 銅離子分析

2.2.3.1.1 沉積電位選定

本試驗之測試樣本為銅離子標準品和 0.1 M 醋酸/醋酸鈉緩衝溶液(pH 4.6)，以 1:1 比例配製而成的標準測試水樣，分別針對不同沉積電位-0.5 V、-0.6 V、-0.7 V 與-0.8 V 進行電化學沉積測試，此試驗之沉積時間為 180 秒，反應平衡時間為 30 秒。從伏安圖譜中觀察到在電位為-0.15 V 處產生明顯的 Cu(II)氧化波峰電流訊號(如圖 2-43 所示)，隨著沉積電位不同可觀察到剝除電流峰值之變化。由伏安圖譜中發現剝除電流峰值最高的沉積電位為-0.7 V，代表在此沉積電位下，

能以電化學反應沉積最多銅離子於工作電極表面，故-0.7 V 為本計劃之最適化沉積電位。後續試驗以此沉積電位進行測試評估，以達到最適化操作參數設定。

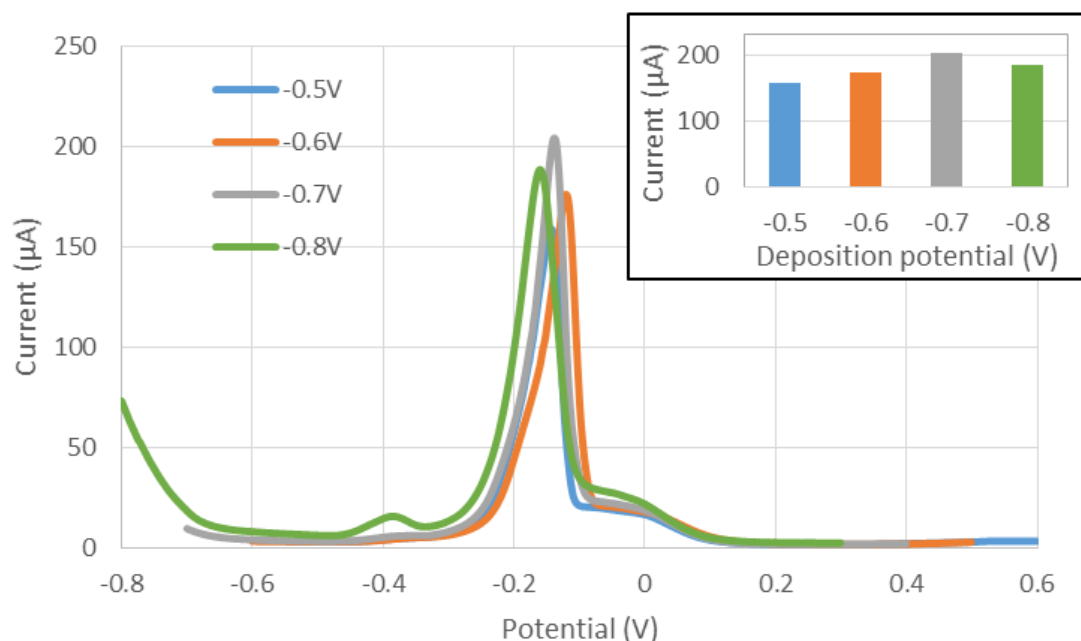


圖 2-43、不同沉積電位之重金屬 Cu 剝除伏安圖

2.2.3.1.2 沉積時間選定

本試驗分別針對不同沉積時間 30、60、90、120、150、180、270 與 300 秒，進行電化學沉積測試，此試驗之沉積電位為-0.7 V，反應平衡時間為 30 秒。於伏安圖譜中觀察到在電位為-0.15 V 附近產生明顯之波峰電流訊號(如圖 2-44 所示)，隨著沉積時間不同可觀察到剝除電流峰值之顯著變化。一般而言，沉積時間越長，代表沉積於電極表面上的銅離子濃度越高，因此剝除電流訊號也會有所提升。由本次驗之伏安圖譜中發現，沉積時間增加，剝除電流訊號亦顯著增加，但當沉積時間增加為 120 秒，電流訊號可維持穩定，考量電極偵測時間有限與電流訊號穩定。本計劃以 120 秒做為最適化沉積時間，後續試驗以此沉積時間進行測試評估，以達到最適化操作參數設定。

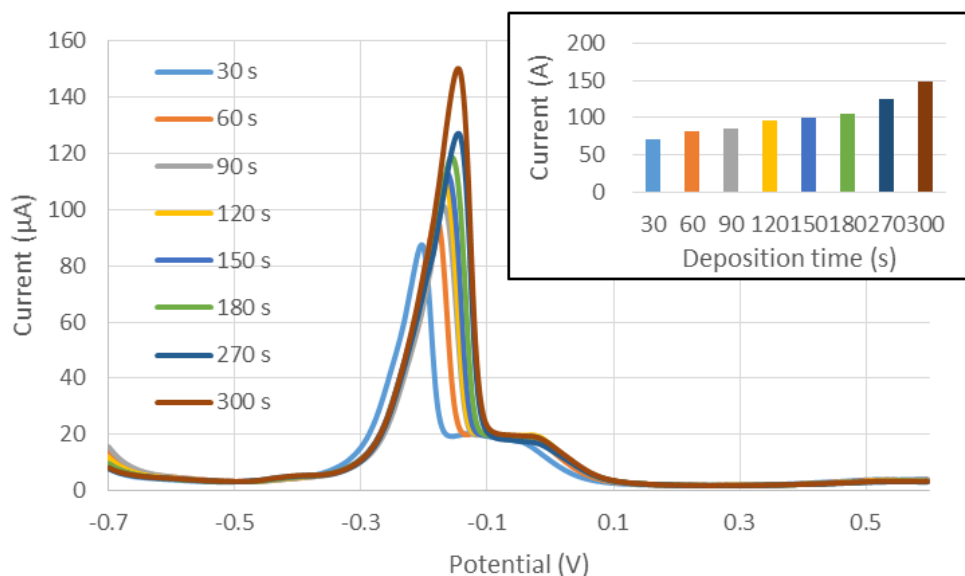


圖 2-44、不同沉積時間之重金屬 Cu 剝除伏安圖

2.2.3.1.3 市售電極測定銅離子濃度檢量線

本計劃針對不同濃度範圍銅離子進行濃度檢量線測試，期望可符合灌溉用水標準(0.2 ppm)與工業區放流水標準(3.0 ppm)，擴大未來電極可使用範圍，因此分別針對低濃度: 0.14~0.5 ppm 與高濃度: 2~10ppm 銅離子分析。本試驗之沉積電位為-0.7 V，沉積時間為 120 秒，反應平衡時間為 30 秒。於伏安圖譜(圖 2-45)中觀察到在電位為-0.03 V 附近產生明顯之 Cu(II)氧化波峰電流訊號，且於 0.14 ppm (140 ppb)開始出現明顯峰電流變化，此濃度低於 Cu(II)之灌溉用水標準(0.2 ppm)，隨著銅離子濃度不同可觀察到剝除電流峰值之顯著變化。將伏安圖譜中不同濃度銅離子所量測到的電流峰值，繪製銅離子濃度與電流峰值變化圖(如圖 2-45 插圖所示)。由結果發現，目前分析方法的 R^2 值為 0.9919，顯示於 0.14~0.5 ppm 的銅離子濃度區間，峰面積值與濃度具有正向線性相關趨勢，透過迴歸得到濃度與峰面積的關係式得到 $I_p (\mu A \cdot V) = -0.0146 + 0.3753[Cu]$ ([Cu], ppm)，且線性關係至 0.14 ppm 仍成立。由於低濃度(0.14~0.5 ppm)銅離子樣本，剝除電流峰值訊號較小，故後續需經過適當的電極表面改質程序，增強剝除電流峰值訊號。

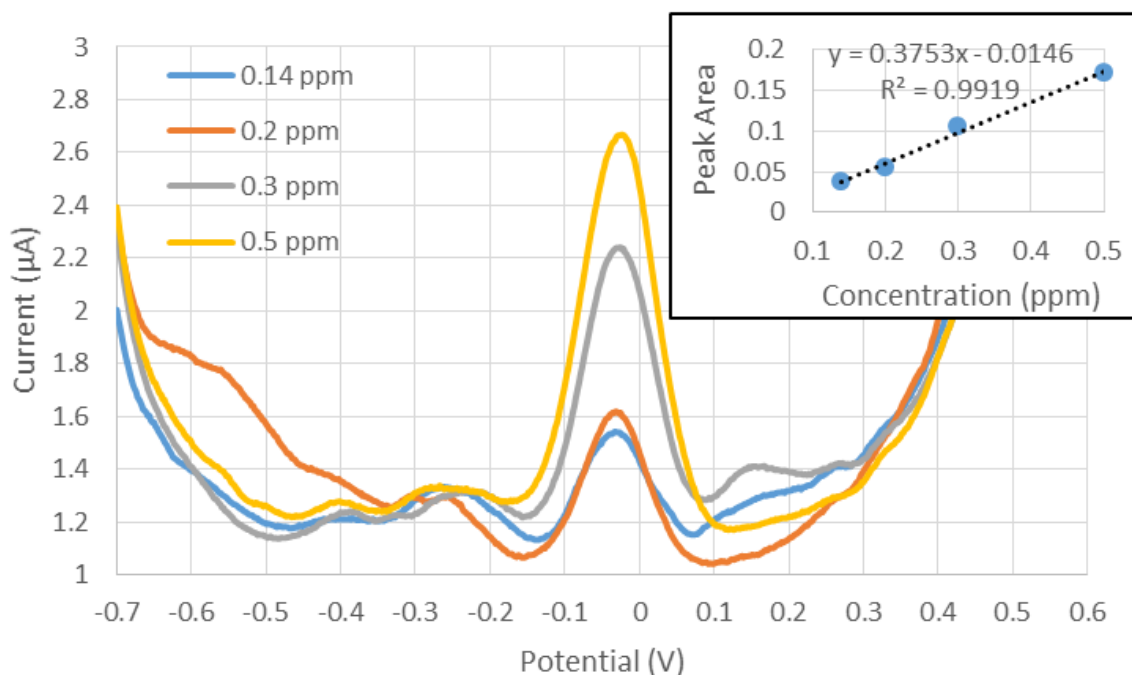


圖 2-45、低濃度銅離子濃度之剝除伏安圖

另一方面，高濃度銅離子(2~10 ppm)分析，於伏安圖譜(圖 2-46)中觀察到在電位為-0.05 V 附近產生明顯之 Cu(II)氧化波峰電流訊號，且於 2 ppm 開始出現明顯峰電流變化，此濃度低於 Cu(II)之放流水標準(3 ppm)，隨著銅離子濃度不同可觀察到剝除電流峰值之顯著變化。將伏安圖譜中不同濃度銅離子所量測到的電流峰值，繪製銅離子濃度與峰面積值變化圖(如圖 2-46 插圖所示)。由結果發現，目前分析方法的 R^2 值為 0.9913，顯示於 2~5 ppm 的銅離子濃度區間，峰面積值與濃度具有正向線性相關趨勢，透過迴歸得到濃度與峰面積的關係式得到 $I_p (\mu A \cdot V) = -0.2505 + 0.1395 [Cu] ([Cu], ppm)$ 。

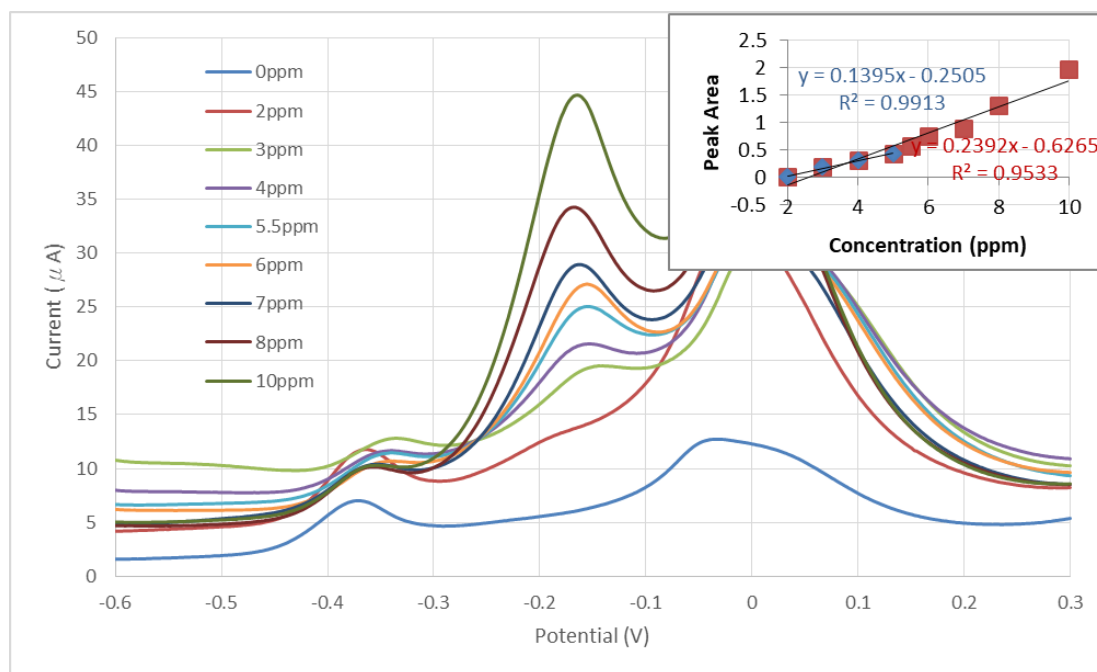


圖 2-46、高濃度銅離子濃度之剝除伏安圖

2.2.3.1.4 修飾電極測定銅離子濃度檢量線

本計劃所使用的工作電極材料為金網版電極，希望能在平滑的電極表面上增加接觸面積，故本試驗利用電沉積法修飾電極，滴覆 100 μM 金標準品與 1% Nafion 在市售金網版電極上，以 -0.7 V 沉積電位與 360 秒沉積時間進行電鍍，透過此方法增加電極表面積，可有效提升工作電極表面電子轉移效率。

為了進一步了解經表面修飾後的電極，針對不同濃度範圍銅離子的偵測影響，符合灌溉用水標準(0.2 ppm)與工業區放流水標準(3.0 ppm)，因此分別針對低濃度: 0.06~0.5 ppm 與高濃度: 2~10 ppm 銅離子分析，此試驗之沉積電位為 -0.7 V，沉積時間為 120 秒，反應平衡時間為 30 秒。低濃度銅離子 0.06~0.5 ppm 於伏安圖譜(圖 2-47)中觀察到在電位為 -0.75 V 附近產生明顯之波峰電流訊號，隨著銅離子濃度不同可觀察到剝除電流峰值之顯著變化。將伏安圖譜中不同濃度銅離子所量測到的電流峰值，繪製銅離子濃度與電流峰值變化圖(如圖 2-47 插圖所示)。透過迴歸得到濃度與電流的關係式為 $I_p (\mu\text{A}) = 0.4251 + 0.8249[\text{Cu}]$ ($[\text{Cu}]$, ppm), R^2 值為 0.9309，顯示於 0.06~0.5 ppm 的銅離子濃度區間，具有線性相關趨勢，可於 0.06 ppm (60 ppb) 發現明顯峰電流值，此濃度遠低於 Cu(II) 之灌溉用水

標準(0.2 ppm)。此外，電極經表面改質後，剝除電流峰值訊號有顯著提升，大幅增強剝除電流峰值訊號 2.5 倍以上。

另一方面，為了符合法規放流水標準的偵測(3.0 ppm)，高濃度銅離子量測範圍 2~10 ppm 於伏安圖譜中顯示，並且於 2~5 ppm 的銅離子濃度區間，具有線性相關趨勢，繪製銅離子濃度與峰面積值變化圖(如圖 2-48 插圖所示)。透過迴歸得到濃度與峰面積的關係式為 $I_p (\mu A \cdot V) = 0.2796 + 0.1463[Cu]$ ($[Cu]$, ppm)， R^2 值為 0.9972，可於 2 ppm 發現明顯峰值，此濃度低於 Cu(II)之灌溉用水標準(3 ppm)。本計劃修飾後的金網版電極的標準曲線，均可符合銅離子灌溉用水標準與放流水標準，可針對不同水質需求，進行銅離子濃度分析，為一具高潛力應用價值的感測器。

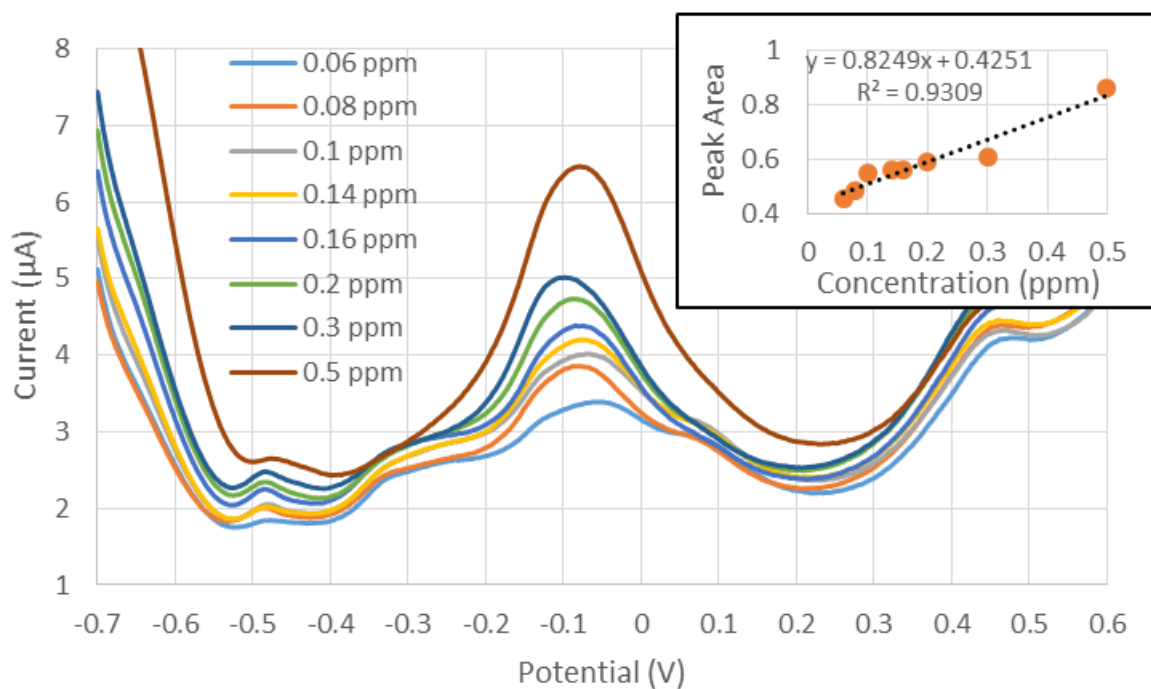


圖 2-47、低濃度銅離子濃度之剝除伏安圖(修飾電極)

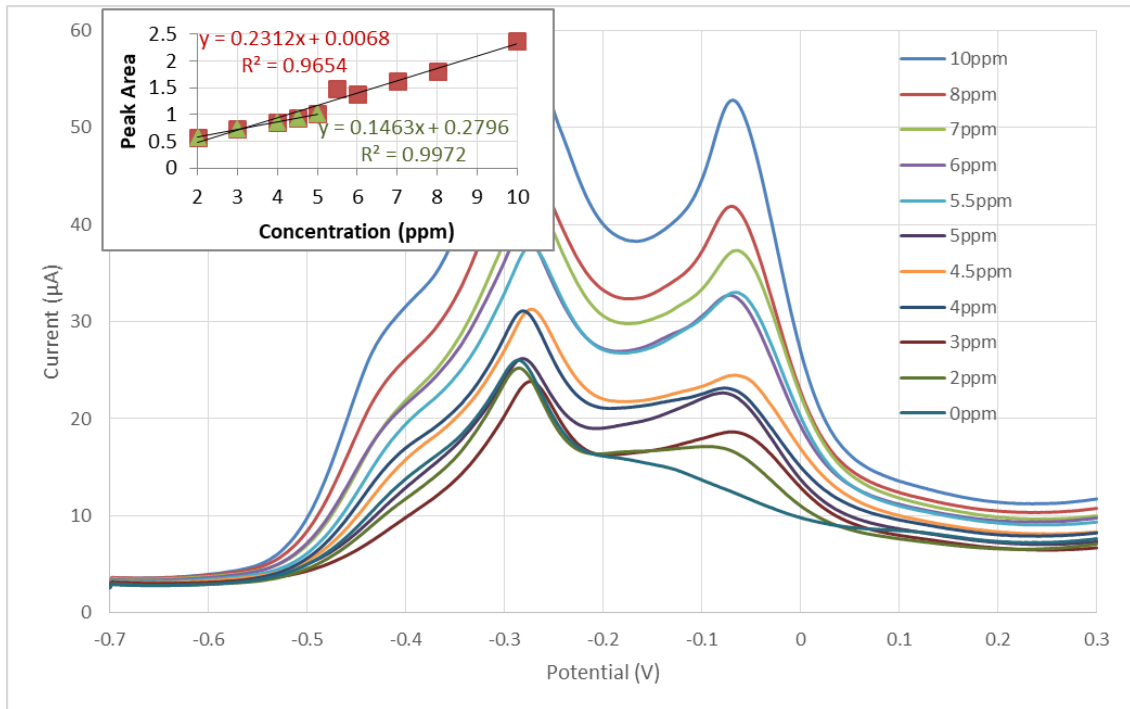


圖 2-48、高濃度銅離子濃度之剝除伏安圖(修飾電極)

2.2.3.1.5 修飾電極精密度測定

本試驗針對修飾電極進行精密度測試，以利未來水質感測應用規格化使用所需。本試驗於重金屬銅之平均氧化電位：-0.0806805 V 的掃描電位，針對線性濃度範圍下線(2 ppm)與上限(5 ppm)銅標準溶液進行交叉量測各三次，分別計算三次量測值之標準差(Standard Deviation, S.D.)，其測試結果如下表 2-1 所示。由表 2-1 結果得知，本試驗所使用修飾後的網版電極，其 2 ppm 銅離子濃度電流訊號之標準偏差為 $0.00889393 \mu\text{A}\cdot\text{V}$ ，電流訊號平均值為 $0.570403 \mu\text{A}\cdot\text{V}$ ，計算後即可得精密度為 1.559 %。5 ppm 銅離子濃度電流訊號之標準偏差為 $0.0397924 \mu\text{A}\cdot\text{V}$ ，電流訊號平均值為 $1.02705 \mu\text{A}\cdot\text{V}$ ，計算後即可得精密度為 3.874 %。依照本試驗修飾電極精密度測定結果，本計劃之修飾電極可有效符合品保品管制度，即精密度小於相對標準差 5 % 以內，提升未來電化學水質感測應用規格化使用。

表 2-1、改質後網版電極之銅離子精密度測試結果

濃度(ppm)	峰面積($\mu\text{A}\cdot\text{V}$)
2	0.57386
5	0.99044
2	0.57705
5	1.0694
2	0.5603
5	1.0213

2.2.3.1.6 修飾電極再現性測試

為了進一步探討不同改質電極之間差異度，本試驗以相同方法針對不同電極進行測試，利用 $100\ \mu\text{M}$ 金標準品與 1%Nafion，以 -0.7V 沉積電位與 360 秒沉積時間進行電沉積修飾電極表面，測試其差異度並計算其相對標準偏差(Relative Standard Deviation, RSD)，結果如圖 2-49 所示，不同改質電極 RSD 值為 7.05%，藉由此數據得知本試驗針對不同片修飾電極間差異程度不大且具有再現性，因此利用此改質方法所得到的電極偵測結果數據具可信度，提升本計畫改質電極之價值與應用性。

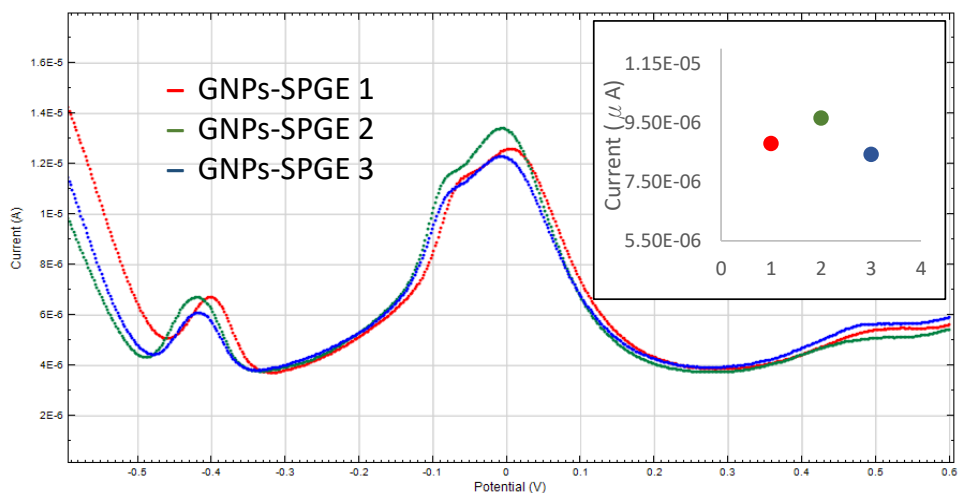


圖 2-49、修飾電極再現性測試結果

2.2.3.1.7 真實水樣銅離子濃度測試

本計劃為針對國內高風險農地污染潛勢區域進行完整的監測物聯網布建規劃，透過 24 小時不間斷的監測網絡，對可能流入高風險農地進行污染預警及應變行動，將有效遏阻不肖業者偷排及提升農地整治改善進度。因此本計劃開發的修飾電極，透過銅標準品評估修飾電極的準確性、再現性、偵測極限與範圍，均符合計劃需求。因此為了進一步評估修飾電極對於高風險農地污染潛勢流域之應用性，本試驗針對真實水樣進行測試，結果如圖 2-50 所示。本試驗針對桃園高風險農地污染潛勢排水道採集水樣，由實驗室感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP-OES)，分析結果得知桃園排水道水樣濃度約為 0.026~0.028 ppm，低於修飾電極可分析的偵測極限，故本試驗以標準添加 0.05~0.5 ppm 銅離子的方式進行實驗評估測試。於伏安圖譜中所量測到的電流峰值，繪製銅離子濃度與峰面積值變化圖(如圖 2-50 插圖所示)。透過迴歸得到濃度與峰面積的關係式為 $I_p (\mu A \cdot V) = -0.427 + 13.601[Cu] ([Cu], ppm)$ ， R^2 值為 0.9342，顯示於 0.05~0.5 ppm 的銅離子濃度區間，具有線性相關趨勢。代表本計劃修飾後金網版電極的標準曲線，均可符合銅離子灌溉用水標準，進行銅離子濃度分析。

另一方面，本計劃同時也針對高濃度銅離子進行測試，以符合法規放流水標準(銅:3 ppm)，提升未來開發之應用性。本試驗針對真實水樣進行測試，結果如所示圖 2-51。故本試驗以 11/8 桃園區 G 號原型機(TYG)水樣標準添加 2~5 ppm 銅離子的方式進行實驗評估測試，原水樣以 ICP 檢測銅離子濃度為 N.D.，並取同一日驗證 A 點原型機(TA)水樣(ICP 檢測銅離子濃度為 0.35ppm)進行同步驗證。於伏安圖譜中所量測到的峰面積值，繪製銅離子濃度與峰面積值變化圖(如圖 2-51 插圖所示)。透過迴歸得到濃度與電流的關係式為 $I_p (\mu A \cdot V) = 1.6972 + 0.9153[Cu] ([Cu], ppm)$ ， R^2 值為 0.9922，顯示真實水樣於 0.3~5 ppm 的銅離子濃度區間，具有線性相關趨勢。代表本計劃修飾後金網版電極的標準曲線，均可符合銅離子放流水標準，進行銅離子濃度分析，為一具高潛力應用價值的感測器。

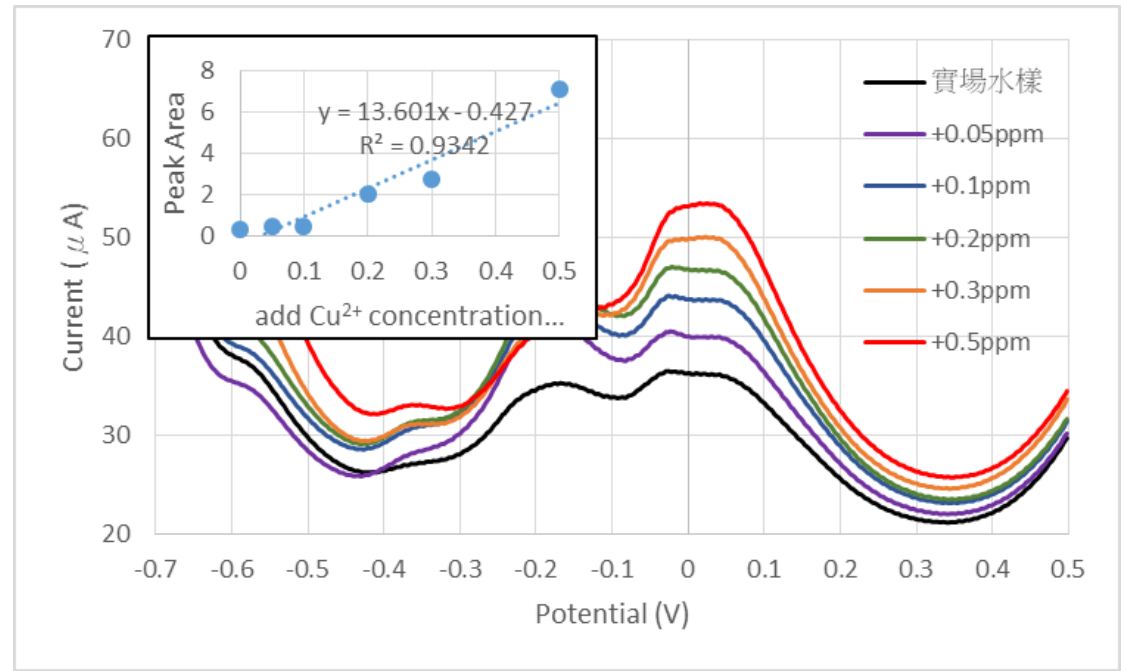


圖 2-50、真實水樣標準添加低濃度銅離子測試結果

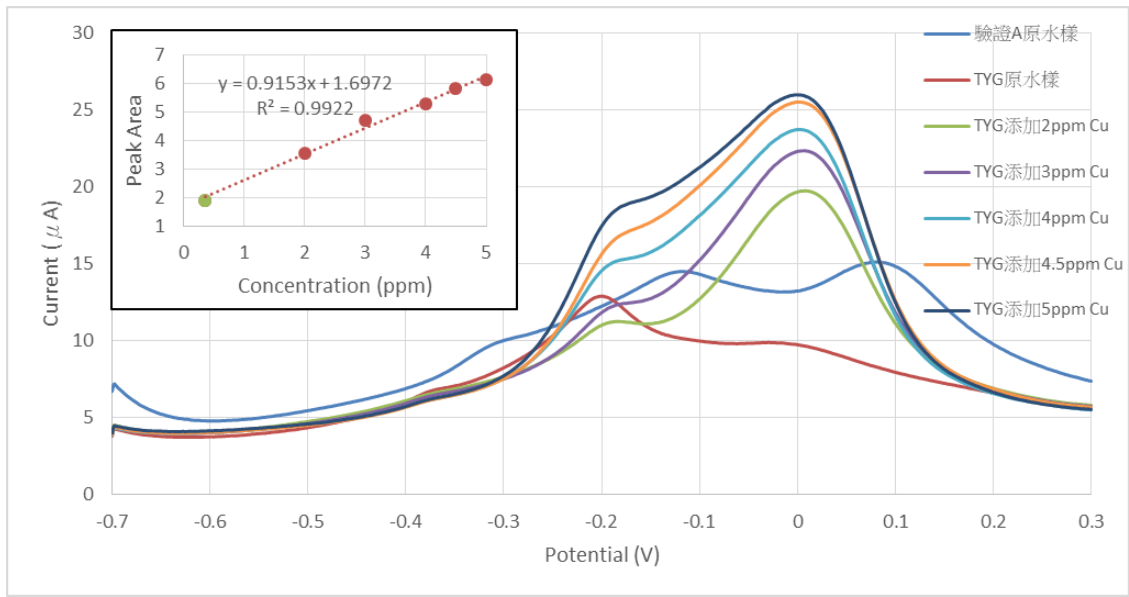


圖 2-51、真實水樣標準添加高濃度銅離子測試結果

2.2.3.2 鋅離子分析

2.2.3.2.1 沉積電位選定

本試驗之測試樣本為鋅離子標準品(20 ppm)和 0.1 M 醋酸/醋酸鈉緩衝溶液 (pH 4.6)，以 1:1 比例配製而成的標準測試水樣，分別針對不同沉積電位-1.3 V、-1.4 V、-1.5 V、-1.6 V 與-1.7 V 進行電化學沉積測試，此試驗之沉積時間為 120 秒，反應平衡時間為 30 秒。從伏安圖譜中觀察到在電位為-1.25 V 附近產生明顯之波峰電流訊號(如圖 2-52 所示)，隨著沉積電位不同可觀察到剝除電流峰值之變化。由伏安圖譜中發現剝除電流峰值最高的沉積電位為-1.6 V，代表在此沉積電位下，能以電化學反應沉積最多銅離子於工作電極表面，故-1.6 V 為本計劃之最適化沉積電位。後續試驗以此沉積電位進行測試評估，以達到最適化操作參數設定。

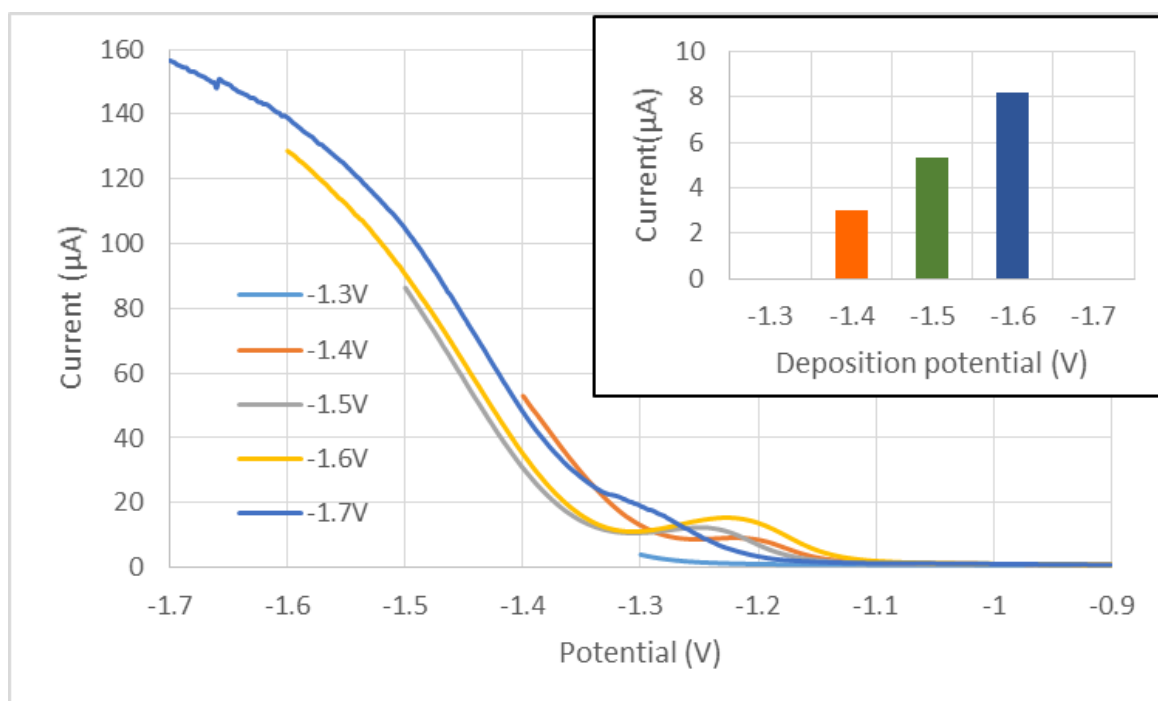


圖 2-52、不同沉積電位之重金屬 Zn 剝除伏安圖

2.2.3.2.2 沉積時間選定

本試驗分別針對不同沉積時間 30、60、90、120、150 與 180 秒，進行電化學沉積測試，此試驗之沉積電位為-1.6 V，反應平衡時間為 30 秒。於伏安圖譜中觀察到在電位為-1.2 V 附近產生明顯之波峰電流訊號(如圖 2-53 所示)，隨著沉積時間不同可觀察到剝除電流峰值之顯著變化。一般而言，沉積時間越長，代表沉積於電極表面上的銅離子濃度越高，因此剝除電流訊號也會有所提升。由本次驗之伏安圖譜中發現，沉積時間增加，剝除電流訊號亦顯著增加，但當沉積時間增加為 150 秒，電流訊號可維持穩定，考量電極偵測時間有限與電流訊號穩定。本計劃以 150 秒做為最適化沉積時間，後續試驗以此沉積時間進行測試評估，以達到最適化操作參數設定。

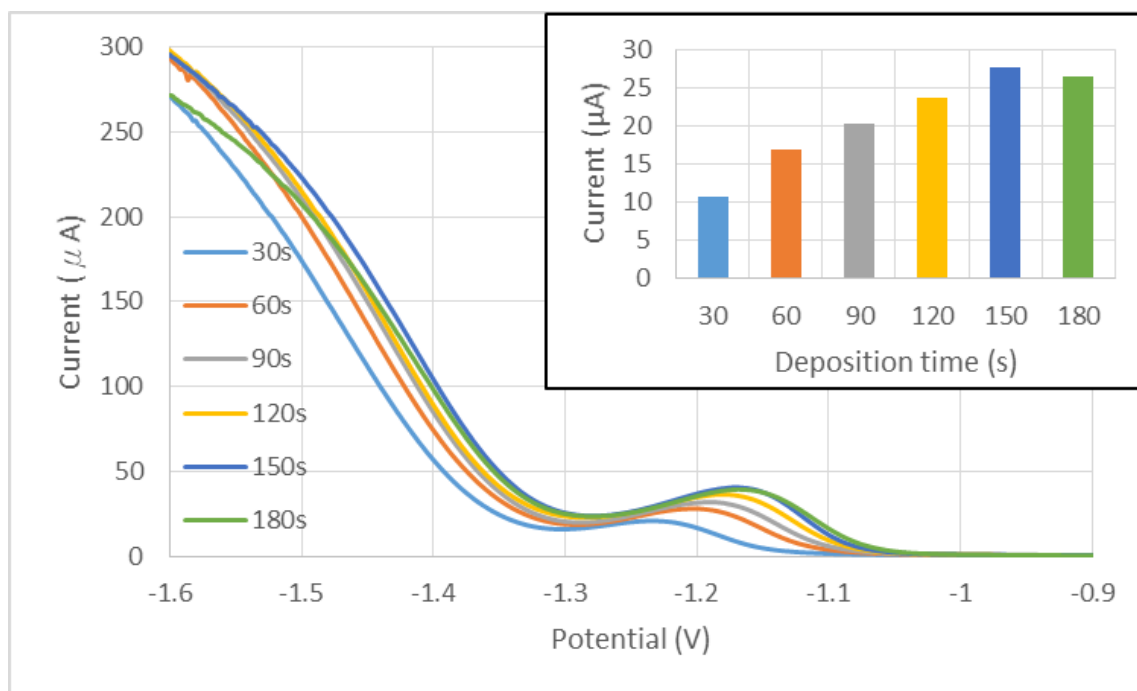


圖 2-53、不同沉積時間之電流訊號變化的伏安圖

2.2.3.2.3 鋅離子濃度線性範圍測試

本試驗之沉積電位為-1.6 V，沉積時間為 150 秒，反應平衡時間為 30 秒。於伏安圖譜(圖 2-54)中觀察到在電位為-1.2V 附近產生明顯之 Zn(II)氧化波峰電流訊號，且於 4 ppm 開始出現明顯峰電流變化，此濃度低於 Zn(II)之放流水標準(5 ppm)，鋅離子濃度 4~15ppm 可觀察到剝除電流峰值之顯著變化。將伏安圖譜中不同濃度鋅離子所量測到的峰面積值，繪製鋅離子濃度與峰面積值變化圖(如圖 2-54 插圖所示)。由結果發現，目前分析方法的 R^2 值為 0.993，顯示於 4~10ppm 濃度區間，峰面積值與濃度具有良好線性相關趨勢，透過迴歸得到濃度與峰面積的關係式得到 $I_p (\mu A \cdot V) = 2.2037 + 0.4706[Cu] ([Cu], ppm)$ 。

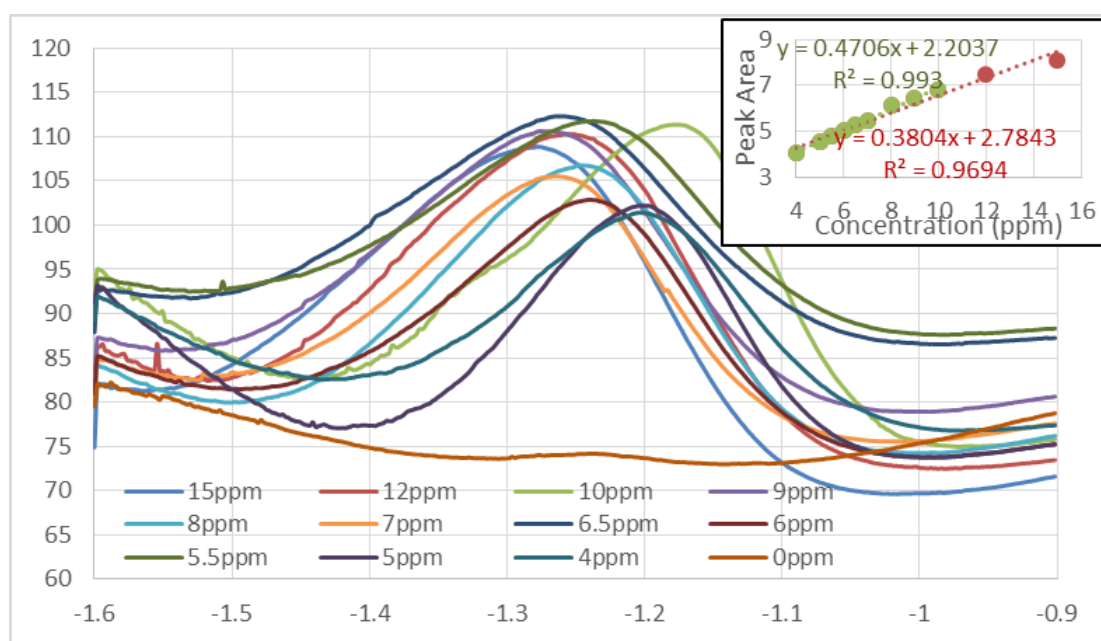


圖 2-54、不同鋅離子濃度之電流訊號變化伏安圖

2.2.3.2.4 鋅離子濃度精密度測試

為了進一步探討電極對於鋅離子濃度精密度(重複性)的變化，本試驗使用 5 ppm 與 10 ppm 鋅離子標準溶液進行交叉量測各三次，分別計算三次量測值的相對標準差。經過測試後，5 ppm 鋅離子標準差約為 2.357 %，10 ppm 鋅離子標準差約為 1.603 %，均可符合小於相對標準差 5 %內，代表本計劃鋅離子感測電極的精密度十分良好。

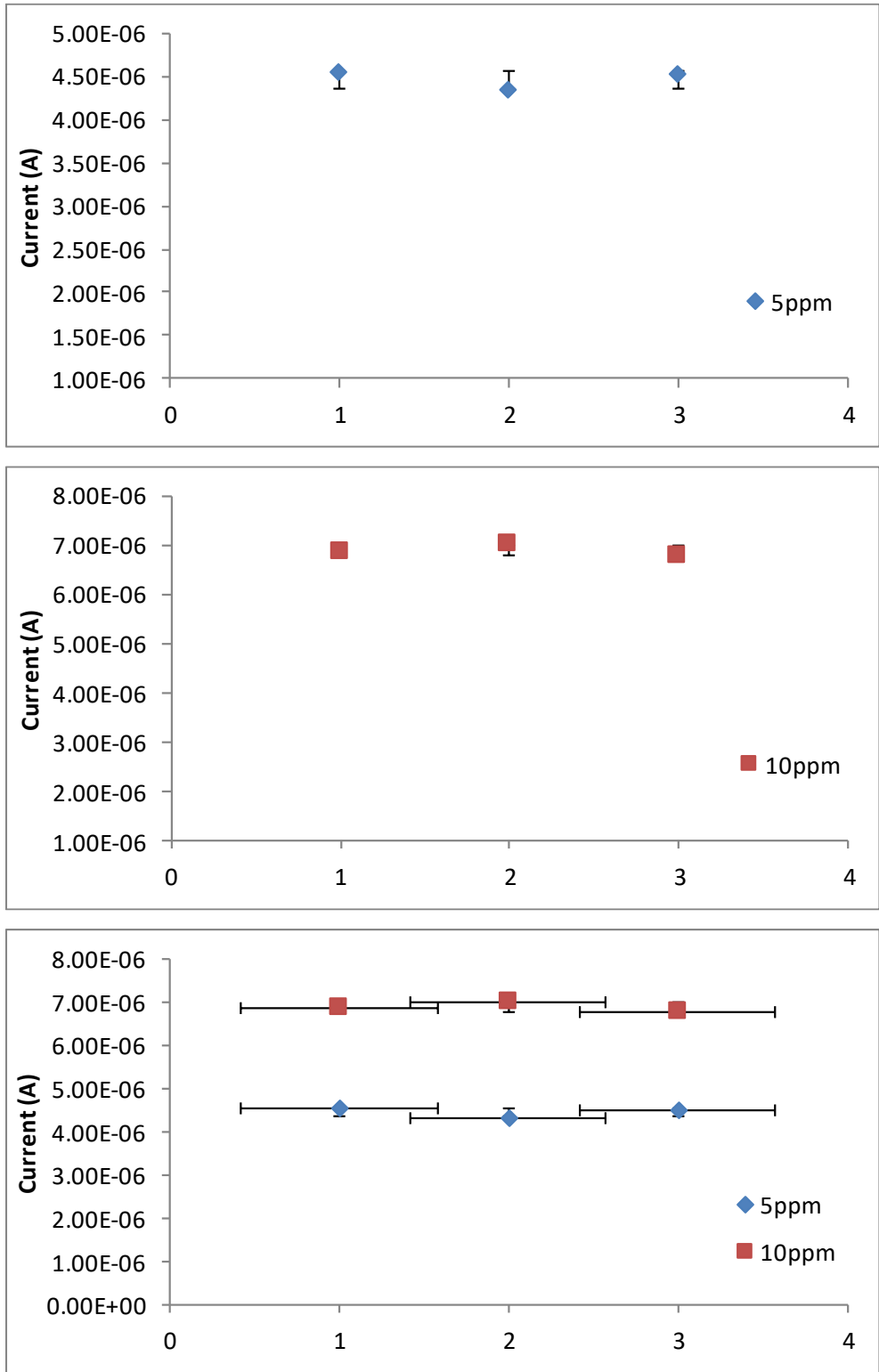


圖 2-55、鋅離子濃度精密度測試結果

2.2.3.2.5 真實水樣鋅離子濃度測試

本計劃為針對國內高風險農地污染潛勢區域進行完整的監測物聯網布建規劃，透過 24 小時不間斷的監測網絡，對可能流入高風險農地進行污染預警及應變行動，將有效遏阻不肖業者偷排及提升農地整治改善進度。因此本計劃開發修飾電極，透過鋅標準品評估修飾電極的精密度、偵測極限與範圍，均符合計劃需求。因此為了進一步評估修飾電極對於高風險農地污染潛勢流域之應用性，本試驗針對真實水樣進行測試，結果如圖 2-56 所示。本試驗針對桃園高風險農地污染潛勢排水道採集水樣，由實驗室感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP-OES)，分析結果得知桃園排水道水樣遠低於鋅放流水標準 5 ppm 的法規標準，故本試驗以桃園 G 號原型機(TYG)(11/8 原水樣以 ICP 檢測鋅離子濃度為 N.D.)標準添加 5~10 ppm 鋅離子的方式進行實驗評估測試，並以桃園驗證 B(TB)點水樣(11/8 原水樣以 ICP 檢測鋅離子濃度為 0.46)進行驗證實驗。於伏安圖譜中所量測到的電流峰值，繪製鋅離子濃度與峰面積值變化圖(如圖 2-56 插圖所示)。透過迴歸得到濃度與峰面積的關係式為 $I_p (\mu A \cdot V) = 0.5247 + 0.9971[Zn]$ ($[Zn]$, ppm), R^2 值為 0.9871，顯示於 0.46~10 ppm 的鋅離子濃度區間，具有線性相關趨勢。代表本計劃修飾後鈇網版電極的標準曲線，均可符合鋅離子放流水標準，可進行鋅離子濃度分析，為一具高潛力應用價值的感測器。

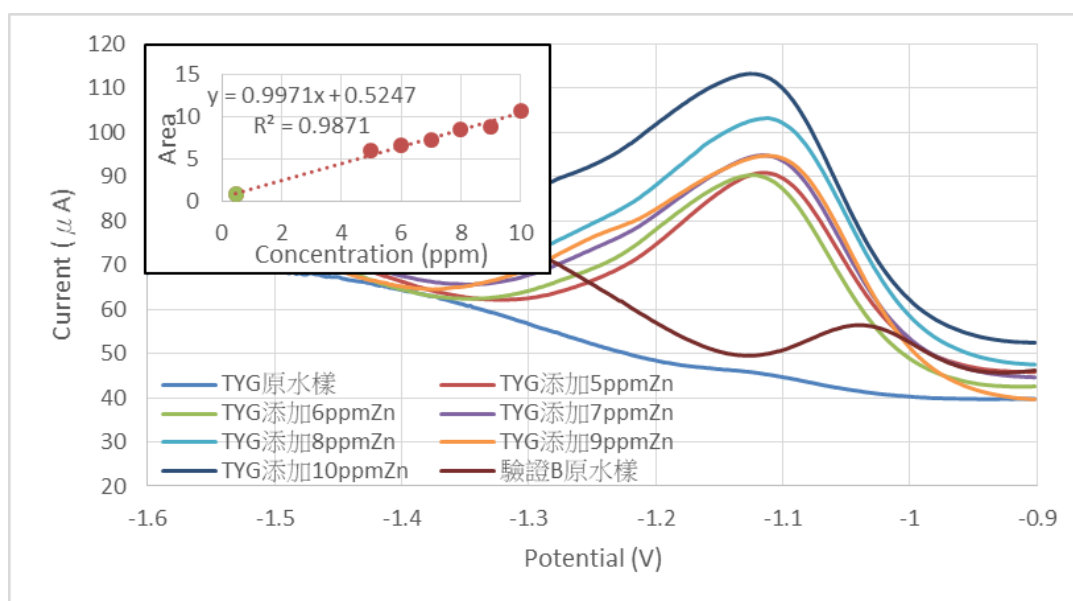


圖 2-56、真實水樣鋅離子濃度測試結果

2.2.3.3 電化學微機電感測模組晶片製作與效能評估

本計劃電化學微機電感測模組效能評估測試結果如下圖 2-57~圖 2-62 分別所示，針對 0ppm、1ppm、2ppm、5ppm、8ppm、10ppm 繪製出電流與時間關係圖及建立分析曲線；電流與時間關係圖繪製為在電沉積-0.7V 時與特定恆電壓-0.2V、0.01V 時電流與時間關係；而分析曲線建立是由特定恆電壓-0.2V 及 0.01V 分別輸入 30 秒穩定後取 ADC 電壓值，經過運算放大器電流電壓轉換器公式 $V=-IR$ ，換算出電流，再做相減取得。由結果圖 2-63 顯示從低濃度 1ppm 到高濃度 10ppm 其濃度相關曲線，可以得到 R^2 值為 0.882，與市售儀器測定出相關曲線 R^2 值為 0.9587 尚有差異。後續會再針對電路模組感度進行改善。以上述實驗方式，方可建立 1ppm 至 10ppm 的相關曲線，推估標準溶液濃度值。

本試驗已完成電化學微機電感測模組晶片製作與效能評估，後續除了對電路整合的提升，製成微型化開發模組，也針對本計畫所需場域之廢水進行量測，針對濃度量測相關曲線做進一步修正，使金屬溶液離子檢測元件開發可以做後續使用。以下列出未來工作項目。

- 1、針對整體電路開發出微型化模組，加入分隔電路、穩壓器，除了降低其雜訊干擾。
- 2、針對剝除伏安法階梯式 DAC 電壓輸入再做測試，改變此工作特定恆電位輸入方式，以連續性的工作時序量測重金屬檢測溶液。

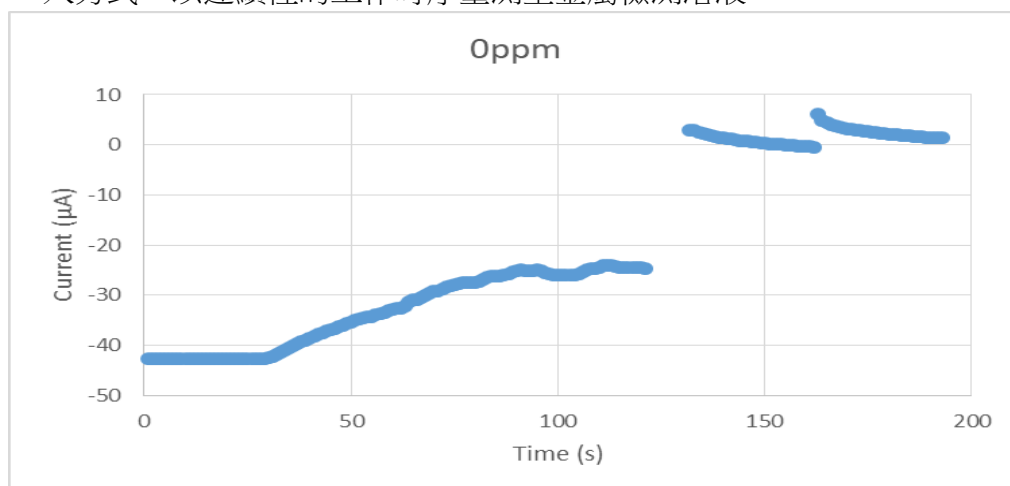


圖 2-57、0ppm 電流與時間關係圖

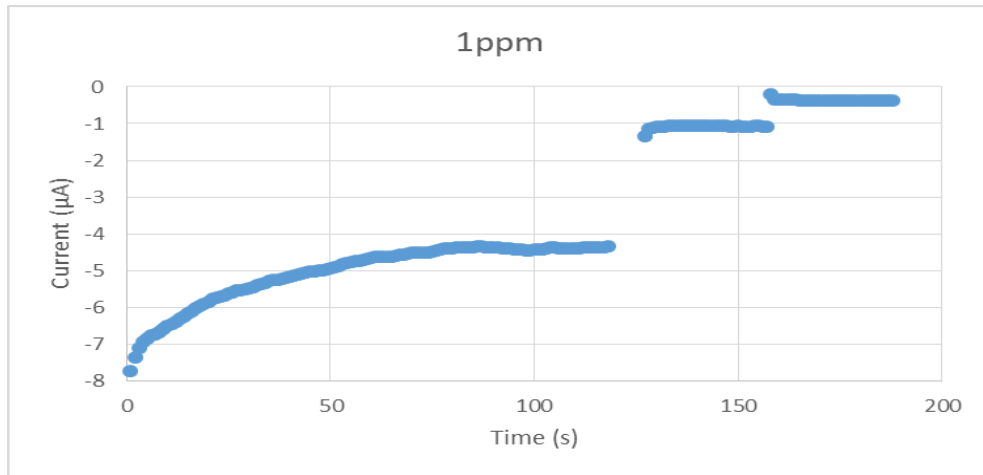


圖 2-58、1ppm 電流與時間關係圖

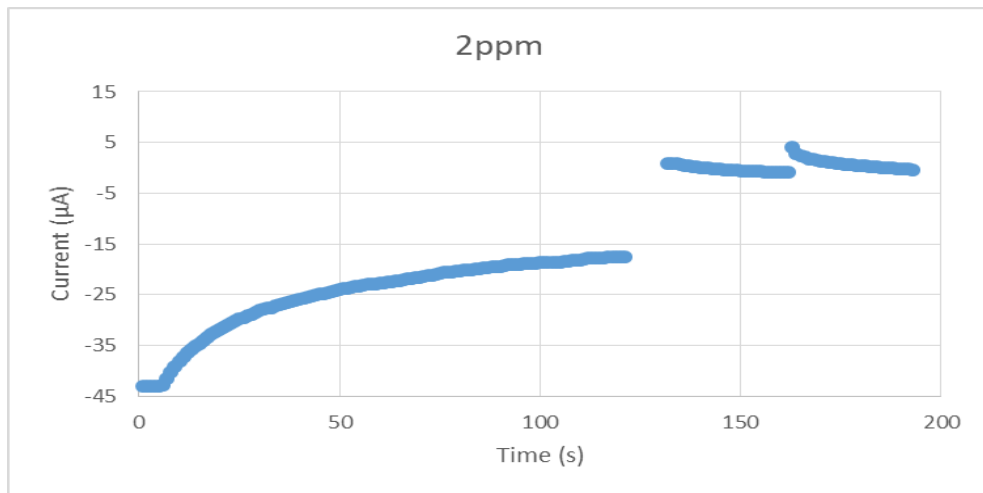


圖 2-59、2ppm 電流與時間關係圖

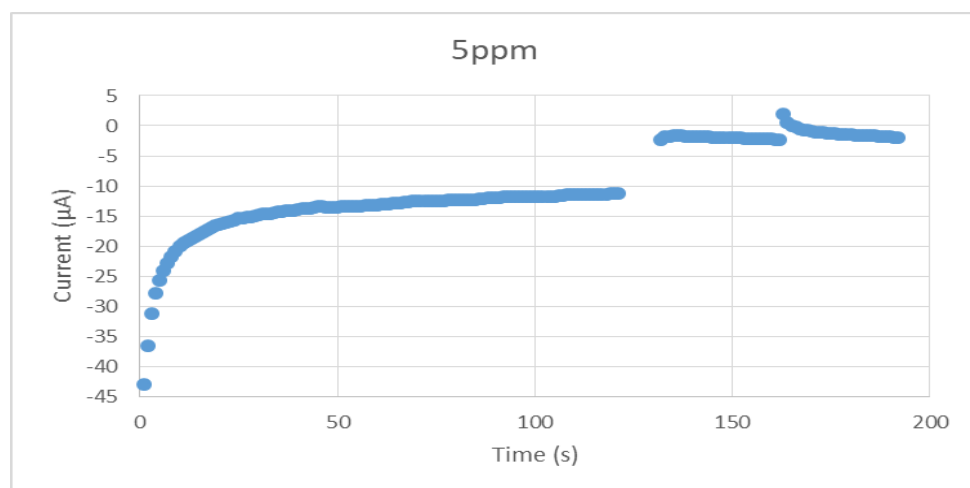


圖 2-60、5ppm 電流與時間關係圖

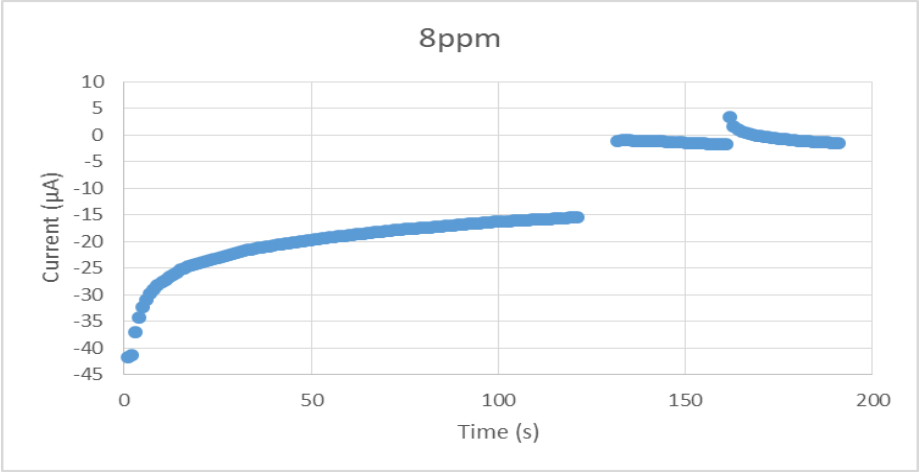


圖 2-61、8ppm 電流與時間關係圖

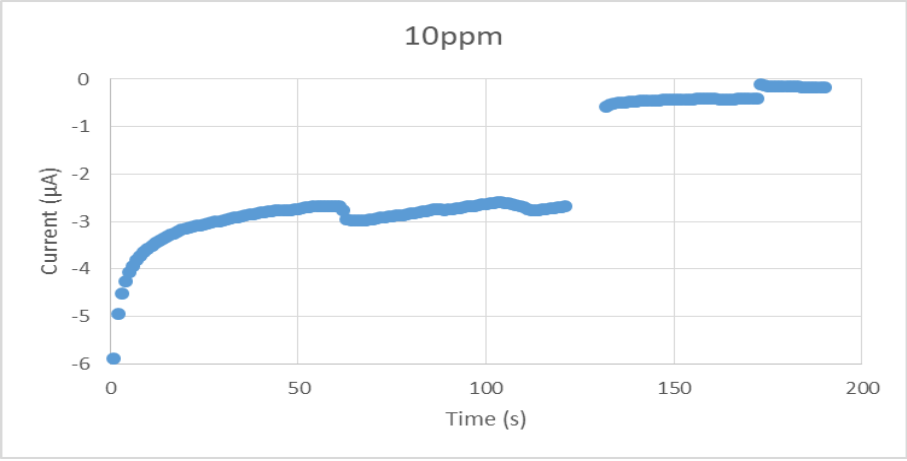


圖 2-62、10ppm 電流與時間關係圖

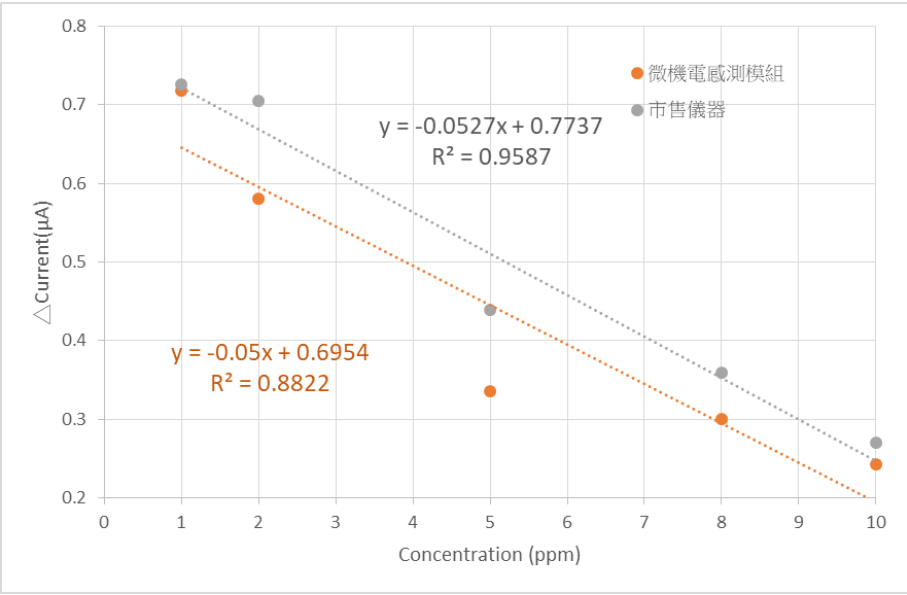


圖 2-63、1ppm 到 10ppm 相關曲線

2.2.4 小結

本計劃以剝除伏安法做為檢測水體中重金屬離子的電化學方法，此方法可分為預濃縮與剝除兩步驟。經過預濃縮程序會使重金屬離子沉積在電極表面上，再經由方波伏安法將重金屬氧化剝除，得到水體中的重金屬離子濃度。本計劃經由測試結果發現，測定銅的最適化沉積電位為-0.7 V，而沉積時間為 120 秒，藉由此最適化參數調整，可得到較大的電流峰值訊號。另一方面，為了降低偵測極限，透過電極表面修飾可大幅增強電流峰值訊號，可於低濃度 0.06 ppm (60 ppb) Cu(II) 即發現明顯峰電流值，此濃度遠低於 Cu(II) 之灌溉用水標準(0.2 ppm)，相較於未修飾的電極，電流峰值訊號可增加 2.5 倍以上，而偵測極限可由原本 0.14 ppm 大幅降到 0.06 ppm，擴大可偵測的範圍。此外，本試驗修飾電極具有再現性與精密度，代表利用此改質方法所得到的電極偵測結果數據具可信度。以相同的方法測定鋅的最適化沉積電位為-1.6 V，而沉積時間為 150 秒，藉由此最適化參數調整，可得到較大的電流峰值訊號。綜上所述，本計劃多成分重金屬電化學感測分析技術平台針對不同沉積電位、沉積時間、表面修飾電極、線性範圍、偵測極限、再現性、精準度等多項指標進行評估試驗，達到最適化操作參數與條件，提升本計畫水質感測器之價值與應用性。

另一方面，本計劃自行研發電化學微機電感測模組與效能評估，依照目前分析結果，已建立重金屬 1ppm 至 10ppm 的相關曲線，可推估標準溶液濃度值。但本計劃電化學微機電感測模組雜訊干擾較大，目前線性相關係數與市售電化學儀器相比尚有差異，故未來會加入分隔電路、穩壓器降低其雜訊干擾，同時針對剝除伏安法階梯式 DAC 電壓輸入進行測試，以提升電化學微機電感測模組未來應用性。

2.3 COD/SS 光電感測元件開發

2.3.1 原理

2.3.1.1 微型光電感測元件設計原理

本工作將以高度整合多波長光學感測系統與光譜讀取模組，形成一高度整合包含光源以及光譜讀取模組供 COD/SS 光學感測器應用。利用微機電製作與設計核心，輔以微型加工技術，進而將傳統大型光譜設施微縮至掌上大小，進而整合全光譜非破壞性應用檢測平台。。

將利用紫外線高效率之反射層加注在微型分光元件上形成一對紫外線波段有較高利用效率之高校分光模式，在以此取的之 UV 光譜提供後續演算法推測水中的 COD 含量。預定實際微型化光學感測器如下圖 2-64 所示，圖 2-64 中之右上圖為因應低功耗需求的多波長光源次模組以及右下角的紫外線全光譜檢測模組。在紫外線全光譜檢測模組中更包含了一個對應微流體晶片所需要通過的抽換式卡夾位置，方便在系統維護時進行硬體更新。

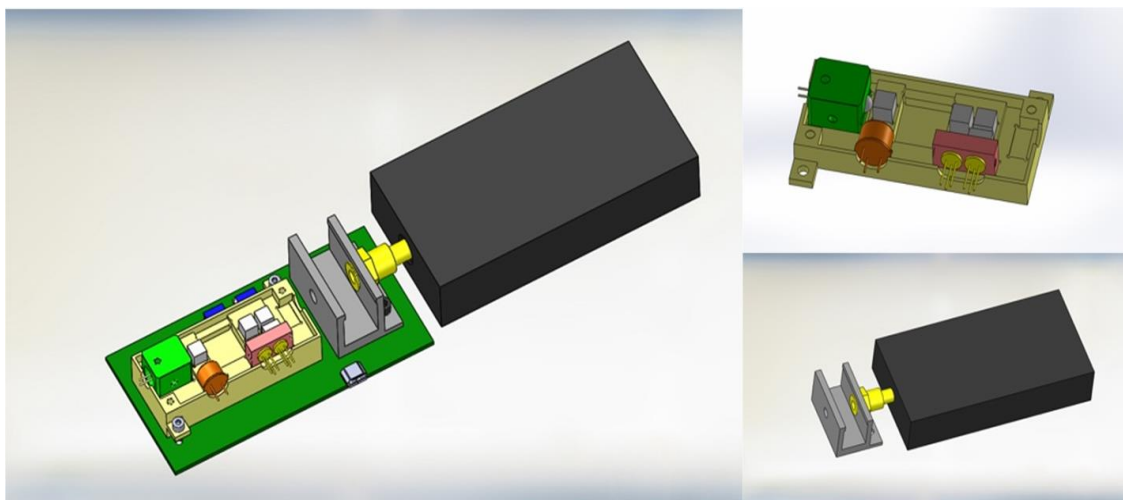


圖 2-64、本計畫預計產出之微型化光學感測器模組

預計使用之整體微型光學檢測模組，包含複合式多波長光源以及微型光譜檢測手段。其中光源包含從紫外線到可見光範圍之多波長廣範圍兼具低功耗之高整合性光源次模組。

目前設計搭配使用 50%穿透率/50%反射率之 Poka-Dot Metal 面鏡作為分束功

能之主要 Beam-splitter，因為在 COD/SS 檢測應用中，需包含 UV/VIS/NIR 三個廣範圍波段。唯有使用 Poka-Dot Splitter 才有可能涵蓋此廣範圍。而由於使用 Poka-Dot 會產生 1/2 的光能量耗損，因此在感測器佈置安排上，以對應具較高量子效應之 NIR 波段感測器放置於耗損最高的位置，而量子效應對低的藍光以及 UV 波段則是盡可能減少穿透損失，已維持一定的訊雜比。

2.3.1.2 多成分定性定量演算法開發原理

目前即時水質監測技術之研究方法有光學頻譜分析量測、Software sensor、人工智慧及統計等技術。其中利用光譜分析量測之技術具有靈敏、準確、快速、降低干擾、可微量取樣及全系統分析等多種優點，可取代多數水質分析實驗與傳統接觸式量測設備，以減輕分析時間過長與設備維護費用昂貴等問題。光譜分析量測技術運用於廢水水質檢測中，大多以紫外光/可見光區段分光為普遍運用之方法，可量測之水質項目包括化學需氧量、總有機碳、硝酸鹽類、總氮、金屬錯合物、懸浮固體物等，故運用範圍廣泛。

關於光譜分析量測技術運用於廢水水質檢測中，將污染物與光學頻譜特性結合，建立其廢水指紋資料庫，以光學頻譜量測監控廢水之微量有機物濃度、懸浮微粒與重金屬，並與標準方法之結果比對，發展一套可同時分析水中多種成分與其濃度之方法，稱之水質多成分定性定量演算法。因此，本工作項目之主要目的是利用光學頻譜分析技術，並搭配水質多成分定性定量演算法，可同步且快速解析廢水中化學需氧量(COD)、總懸浮固體物(SS)與多種成分與其濃度，以達到即時自動監測水質的目標(常見廢水光譜特性如圖 2-65 所示)。

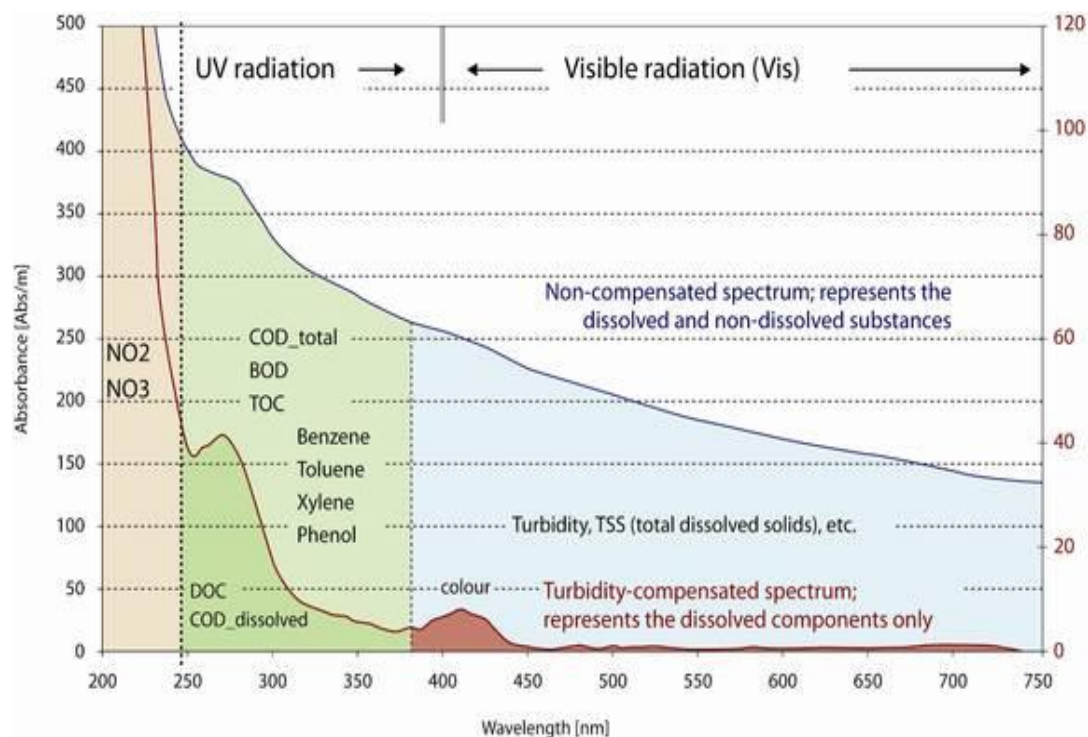


圖 2-65、UV-Vis Absorbance Spectrum of Water Quality Parameters (Envirotech, 2011)

2.3.2 實施步驟與方法

2.3.2.1 微型光電感測元件設計步驟

微型光學檢測模組，包含複合式多波長光源以及微型光譜檢測手段。其中光源包含從紫外線到可見光範圍之多波長廣範圍兼具低功耗之高整合性光源次模組。利用高深寬比之乾蝕刻技術整合高效率紫外線增強光學反射鍍膜技術開發一從 250nm 波長之分光元件，以供後續取得整體從紫外線到可見光之光譜應用。整體開發步驟分為：光譜儀光學架構模擬計算、適用紫外線波段之高效反射鍍膜技術、微型分光光柵加工製作以及整體光譜儀整合測試。

本期著重在於光譜儀光學架構模擬計算、適用紫外線波段之高效反射鍍膜技術開發。光柵元件在傳統的作法中，如 HORIBA 等光柵提供商，皆利用精密加工切削後得到，體積較為龐大，因此難以進行硬體校正，需搭配軟體進行非更是重要。

1. 光譜儀光學架構模擬計算

微型光譜儀由於元件尺寸與光機空間小，因此往往需要利用大型自動設備進行定位與組裝，雖然自動化生產是大量生產時的必要工具，然而採用立體光學元件（一組入射狹縫、兩組凹面鏡、一組光柵與線型偵測器等）之設計，需要之組裝對位技術與人工成本，相對也是造成小型光譜儀售價居高不下的原因。因此，運用扁平化光學架構的優勢，使元件的「三維定位（位置、角度）」簡化為「二維」定位，讓組裝流程簡便。利利用商用光學模擬軟體 Radiant ZEMAX 12®進行光譜儀架構建立以及計算光譜儀的解析度以及設計各元件的相對位置。並得到關鍵元件之光柵所需設計之密度，來進行未來分光元件之設計參考依據。

2. 適用紫外線波段之高效反射鍍膜技術

本期著重在利用以半導體製作方式實現微型化分光元件的各項製程調整以及試製。已開發試用於紫外線波段之高效能反射技術，同時藉由此高效能反射膜層上再加上一不影響紫外線波段反射率之保護層。最後再藉由半導體製作方式搭配乾式 Bosch-Process 乾式蝕刻製程實現微型分光光柵結構。

實際下線進行金屬真空鍍膜測試，並搭配設計防止反射金屬層氧化以及兼具增強紫外線反射功能的氧化物鍍膜，進行實際測試。利用真空電子槍蒸鍍系統蒸鍍(E-gun Physical Evaporation Vapor Deposition, E-gun PVD)在紫外光本身具有一定反射率的鋁金屬層，搭配防止脫層的鈦金屬層，來形成多層金屬反射層，最後再反射層上再加上在紫外光波長可增強反射之電漿增益型化學氣相鍍膜(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, PECVD)之矽氧化層(SiO_x)。

完成此鍍膜後再利用商用氙燈(Hamamatsu)以及進行反射率測試，來判定在紫外光波段之整體鍍膜反射效率，整體開發步驟如圖 2-66 所示。

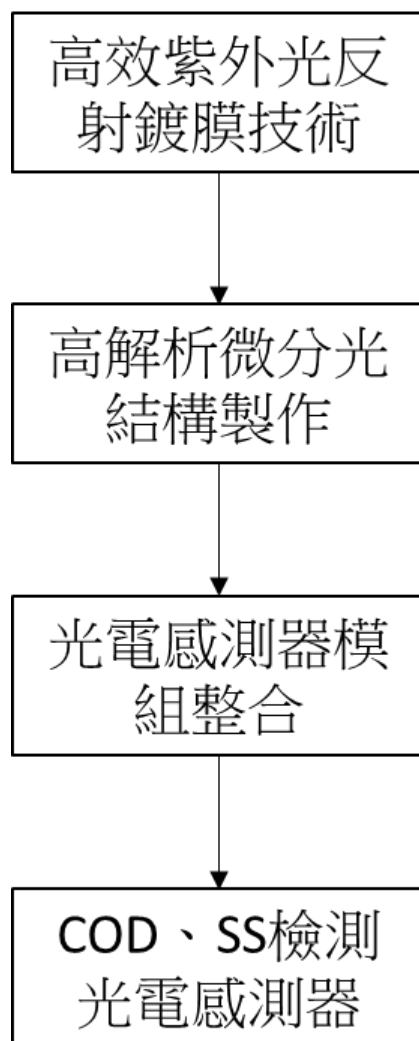


圖 2-66、微型水質光電感測器開發製作步驟

3. 微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台設計

由於因應未來佈建之需求以及高 SNR 之感測器，使用傳統的 CCD 或 CIS 陣列之光譜檢測手段，並無法提供較佳之訊號，因此搭配使用單點式感光二極體，可提供較高的 SNR 以及較低的建構成本。所以本微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台將利用下圖 2-67 設計。

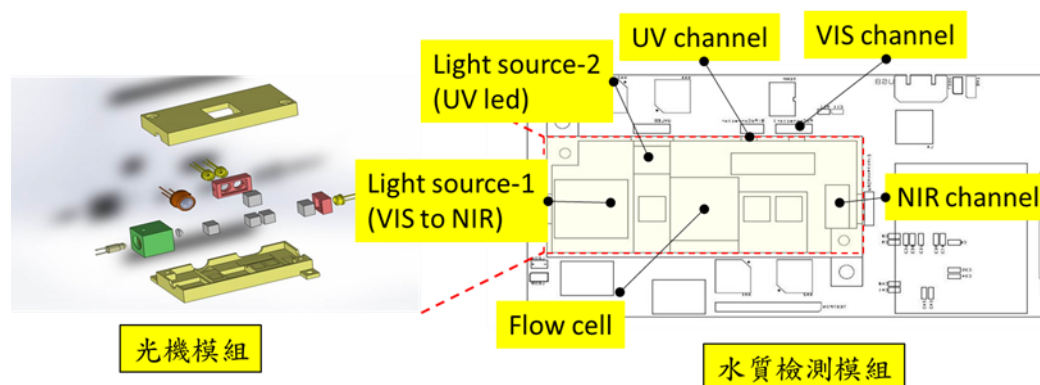


圖 2-67、多合一光學感測元件光機平台，整體大小結合 UV-LED 以及可見光 lamp

藉由整合 2 個 UV channel (254nm 以及 280nm 之 UVLED) 以及三個可見光 (藍色 450nm, 綠色 550nm 以及紅色 650nm 之多波長 channel) 搭配 850nm 之 NIR 波段進行多波長檢測平台。其中光源部分設定使用兩個 UV-LED (254nm 以及 280nm) 以及搭配黑體輻射之可見光暨近紅外光光源 (lamp) 來進行檢測。其中 UV-LED 利用 pulse-mode 來進行 modulation 驅動，此 modulation 驅動方式，搭配 PD 端讀取電路可大幅降低雜訊的攝入，而僅擷取與 UV-LED 驅動有關頻率的訊號。進而提升整體的 SNR。而在 Lamp 方面則是藉由石英微型半球透鏡將光束壓縮到僅有 4mm 之直徑，進而提高檢測效率。下圖 2-68 為微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台之讀取以及驅動電路設計。

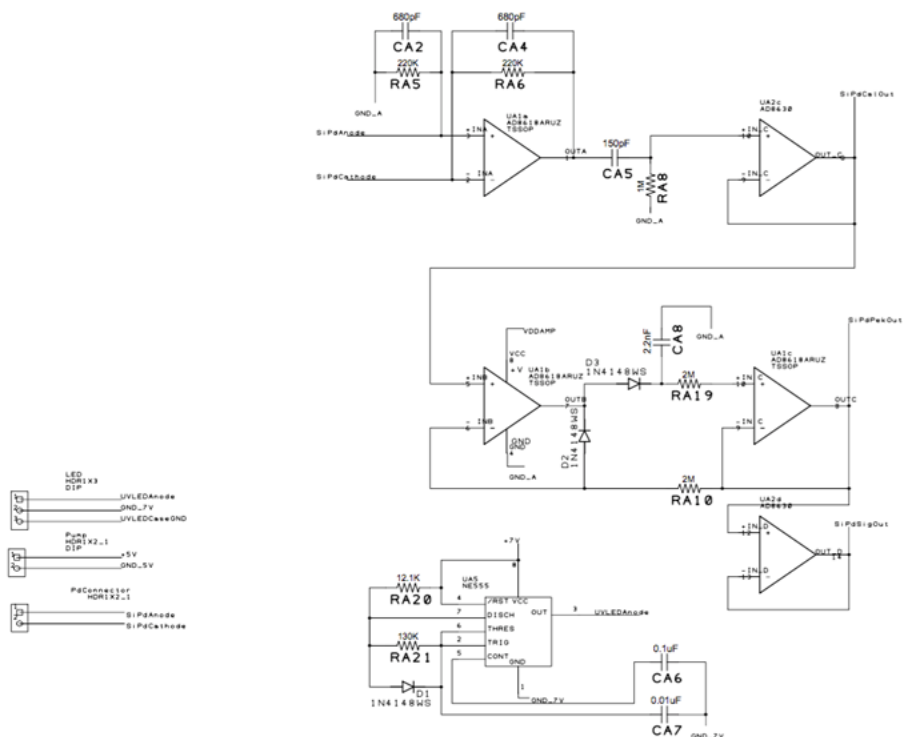


圖 2-68、多合一光學感測元件光機平台讀取以及光源驅動電路設計

2.3.2.2 COD.SS 多成分定性定量演算法開發步驟

1. COD 及 SS 水質光學特性之建立

針對廢水中可能之成分進行分類與分析，建立各種水質光學頻譜特性，其內容包含界定水質成分量測項目、界定各種成分光學頻譜特性及建立各種成分交互關係，做為多成分定性與定量演算法之基礎。本計畫依實廠水質量測之需求訂定水質成分量測項目，並配製標準品及掃描其吸收光譜建立其光譜特性資料庫，並探討其各種成分是否有交互關係存在，其主要建置內容如下：

➤ 訂定水質成分量測項目

實廠操作之依據，常以化學需氧量(COD) 與懸浮固體(SS)為各處理單元操作依據，而進流之污染負荷(包含重金屬)含量更會影響整個污水處理廠各個處理單元，另外其成分放流濃度亦應環保法規之放流水標準。因此，本計畫以 COD、SS 做為量測項目之分類，做為廢水水質監測系統主要量測項目。

➤ 界定各種成分光學頻譜特性

根據訂定量測之水質項目，其標準品之選用一方面考量其成分特性及代表性，另一方面亦可與環保署環檢所之檢驗方法做比對。因此，本計畫以高嶺土做為 SS 量測之標準品，以鄰苯二甲酸氫鉀做為 COD 量測之標準品，兩者在成分特性上都較為穩定，可建立單一成分之光譜特性，以界定其成分之吸收波段、特徵波長及吸光係數，以做為後續多成分演算法之基礎。

➤ 建立各種成分交互關係

廢水中不同成分及組成之吸收度是否影響整體吸收光譜，造成各種成分在演算無法準確定性及定量，本計畫亦探討其各種成分交互關係、各種成分互相影響程度、干擾程度，以避免在演算或量測時造成濃度高估與低估之情況。

2. 廢水水質多成分定性定量演算法建立

廢水多成分演算之分析程序，其為利用全波段掃描之吸收光譜，經過資料前處理及雜訊剔除，再根據所建置之光譜特性資料庫不同成分之吸收光譜特性，依序定性及定量出廢水水質成分。多成分演算法之分析程序主要分為吸收光譜資料前處理、多成分定性演算法及多成分定量演算法三個部分，其流程如圖 2-69 所示，以下就依各程序步驟做說明。

➤ 吸收光譜資料前處理

在進入多成分定性及定量分析演算程序之前，對於掃描水質所得之吸收光譜需訂定其資料分析之範圍值，進一步去除雜訊以選取較有意義之光譜資料做為後續演算法計算之依據。因此，選取資料上限時根據 Beer-Lambert 定律經驗計算公式，所得之吸光度其值若為 2 以上，代表其物質成分所吸收光強度之程度在於 99%至 100%間，其吸光差異值只在於 1%以下，是故設定吸光度 2 為吸收光譜資料上限值，以做為資料前處理之依據；而選取資料下限值，往往取決於儀器偵測之靈敏度而定，因此於本計畫所使用儀器之吸光度偵測極限為 0.001，是故設定吸光度 0.001 為吸收光譜資料下限值，以做為資料前處理之依據。

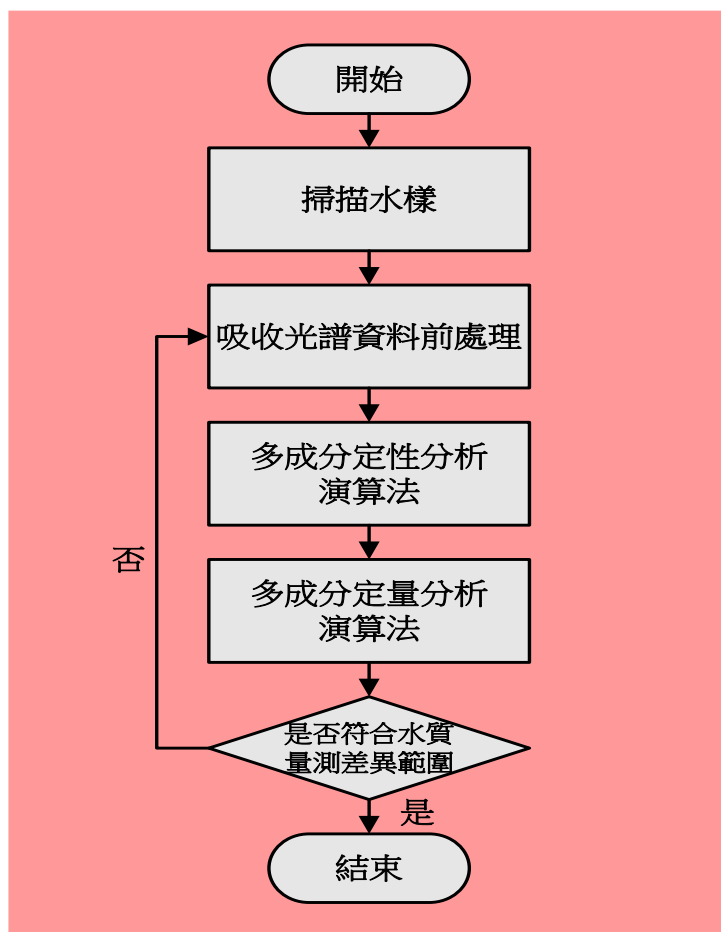


圖 2-69、多成分演算法分析程序流程圖

➤ 多成分定性分析演算法

針對不同成分其吸收波段亦不同，而多成分定性分析法分析即為利用全波段掃描之吸收光譜，比對所建置之水質光譜特性資料，由長波長至短波長依序檢視其吸光度以推估水樣中存在水質成分，並計算其初步推估濃度，以定性出水樣之成分。多成分定性演算流程與程序如圖 2-70 所示。

➤ 多成分定量分析演算法

多成分定量分析演算法主要根據多成分定性之結果，利用其初步推估之濃度進一步推估水樣各成分之濃度。其演算法首先需根據所建置之光譜特性資料庫，判斷水樣各種成分間是否存在交互影響關係，在各種成分無干擾之下可依多成分定量分析程序，以線性規劃與扣除濃度方法推估成分之濃度；若在各

種成分間有交互影響關係存在，必需還原其造成之吸光度，再以同樣之演算程序推估水樣之成分濃度，多成分定量演算流程與程序如圖 2-71 所示。

3. COD 及 SS 推估模式建立步驟

本計畫將利用真實水樣建立光譜資料庫，定義主要吸收波長後，分別利用統計方式針對 SS 及溶解性(CODs)建立演算模式，同時針對欲建立演算法之特定場域，定義其 SS 對總化學需氧量(COD_t)之貢獻度，來開發完整之 COD 與 SS 濃度推估模式，主要工作敘述如下：

- (a) ModelSS：以總吸光度(ABSCOD_t)扣除 COD_s 吸光度(ABSCOD_s)獲得 SS 吸光度(ABSSS)之資料庫，再利用定性分析推估出之 SS 特徵波長，藉由統計方式建立 SS 之推估模式-ModelSS，以推估真實水樣之 SS 濃度。
- (b) ModelCOD_s：利用定性分析推估出之 COD_s 特徵波長，搭配 COD_s 吸光度(ABSCOD_s)之資料庫，藉由統計方式建立 COD_s 之推估模式-ModelCOD_s，以推估真實水樣之 COD_s 濃度。
- (c) 藉由 $\Delta \text{COD}/\text{SS}$ 比例之建立($\Delta \text{COD}=\text{COD}_t-\text{COD}_s$)，將推估 SS 濃度轉化成 COD 濃度。
- (d) 最終以 COD_s 濃度加上 SS 所貢獻的 COD 濃度，求得總化學需氧量(COD_t)濃度。
- (e) 以實際濃度與推估濃度作為比對，平均誤差是否符合在正負 30%以內，來檢驗所建置 model 的可靠性。若不符合誤差範圍內，就必須重新修正演算法的建立，直到結果是可以接受的。

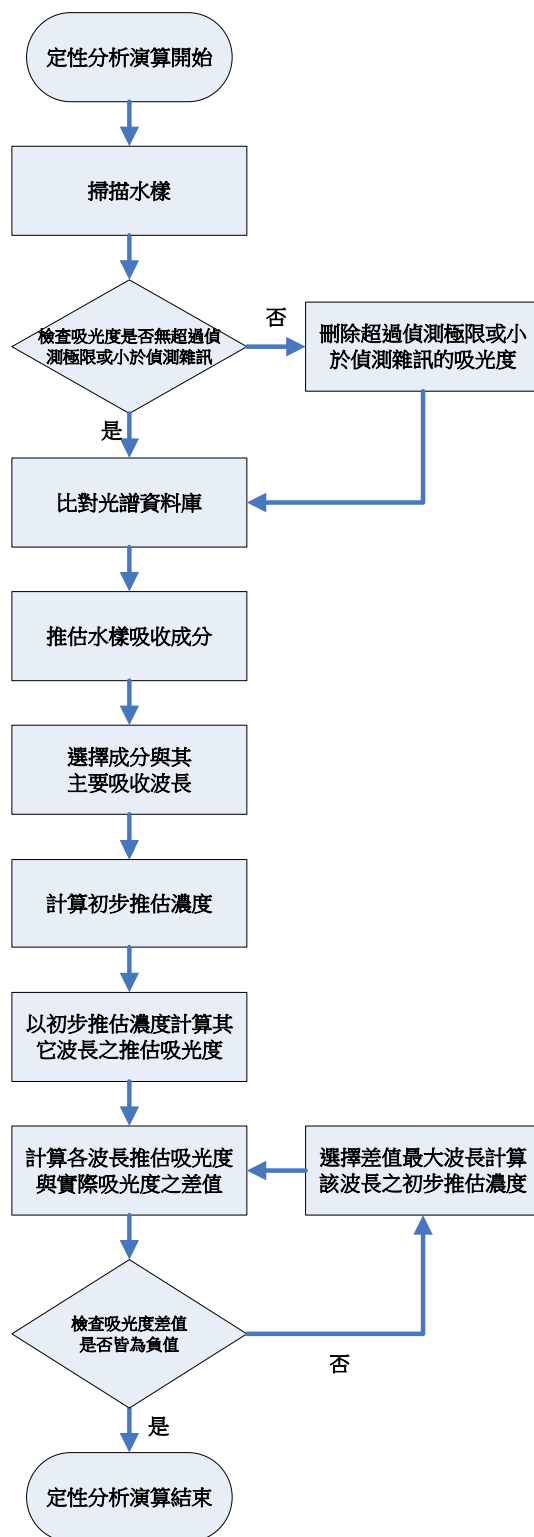


圖 2-70、光譜多成分定性分析演算法流程圖

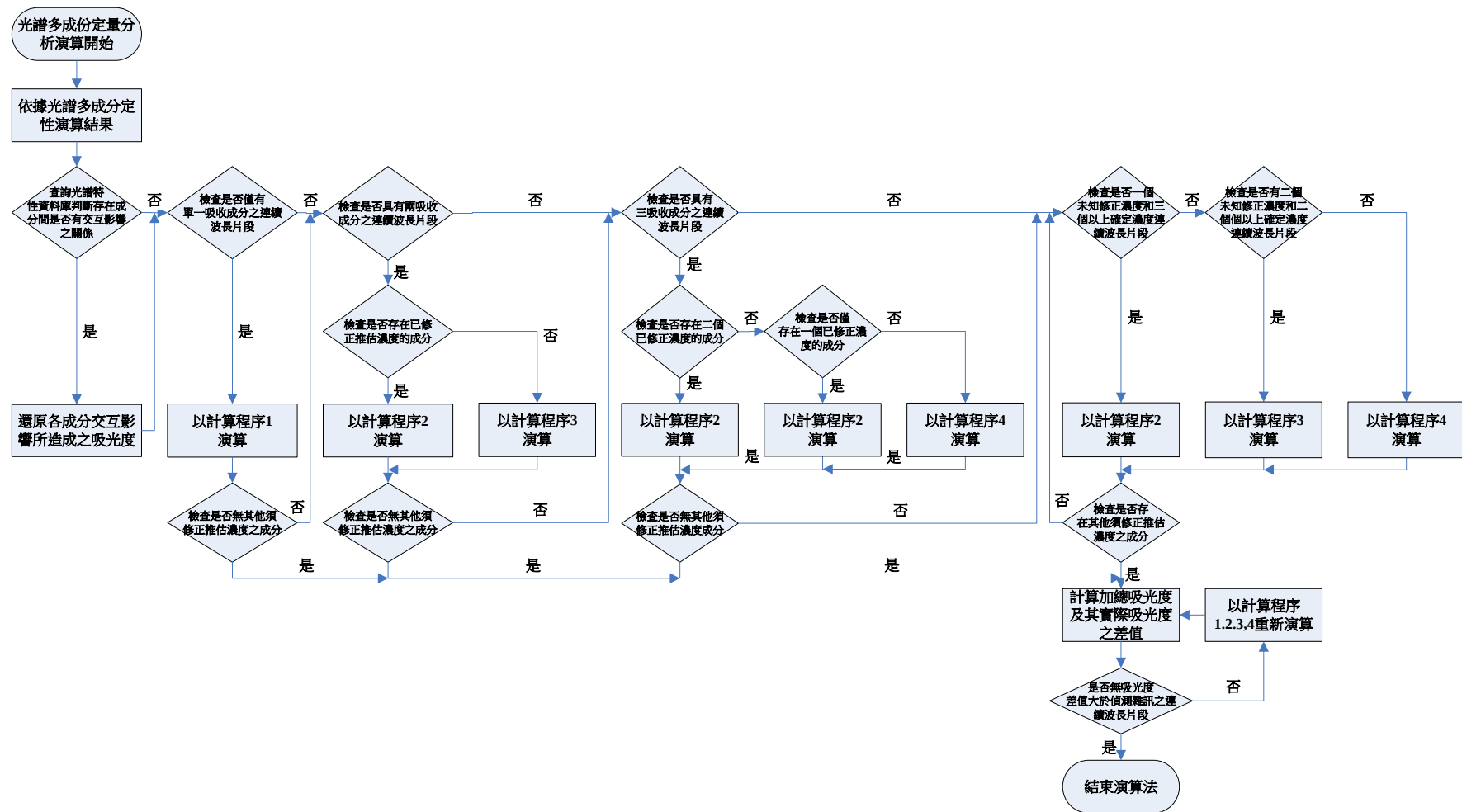


圖 2-71、多成分定量演算法程序流程圖

2.3.3 重點研發成果

2.3.3.1 光譜儀光學架構模擬計算

下圖 2-72 及圖 2-73 為利用 ZEMAX 軟體計算出之一般光譜儀常用的兩種架構之尺寸以及元件配置差異。模擬之設定光場環境皆為包含紫外線以及可見光之 250~600nm 的平行入射光源。圖 2-72 顯示利用兩個反射面鏡搭配一個平面的微型光柵以及一個陣列型感光元件，可完成一個傳統 CT 形式的分光光譜儀架構，其中光柵之密度為 400 lines/mm ($2.5\ \mu\text{m}/\text{line}$)，符合一般微機電製作技術之可實現能力範圍，且整體尺寸可控制在 10mm 的光軸長度內。整體尺寸長度約 130mm。但製作成本較高且組裝之精密度需求較高，而且在組裝過程中容易因為元件彼此之相對關係互相干擾。而採用一個反射面鏡搭配一個凹面的光柵 (如圖 2-73 所示)，可達到 72mm 之光路徑長度，光柵之密度為 400 lines/mm ($2.5\ \mu\text{m}/\text{line}$)，並且整體光譜檢測器整體尺寸可縮小到 100mm 以下之長度。

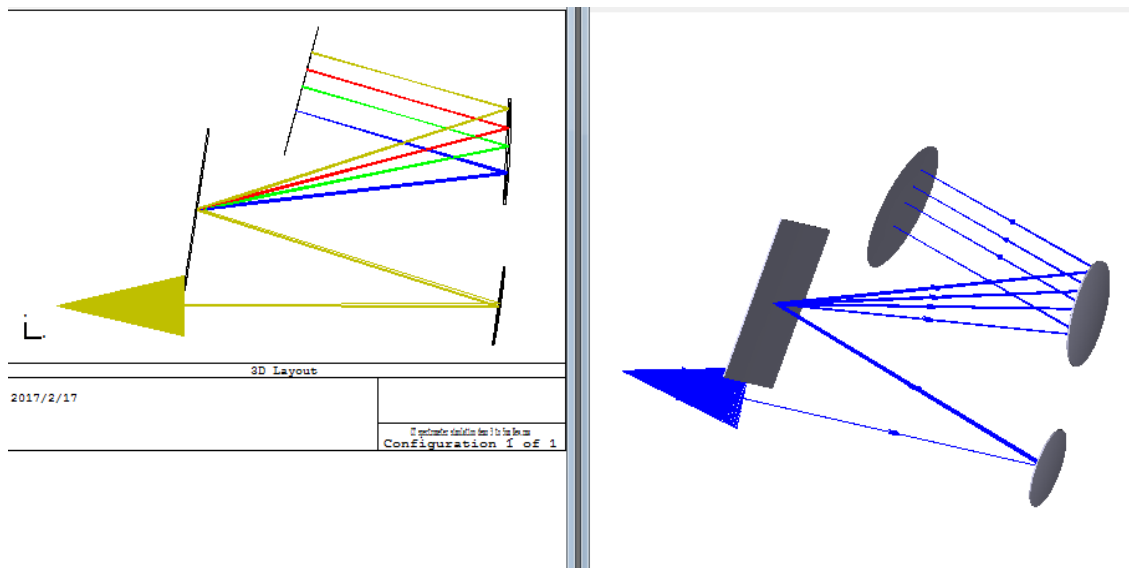


圖 2-72、利用兩個反射面鏡搭配一個平面的微型光柵以及一個陣列型感光元件建構一個傳統 CT 形式的分光光譜儀架構

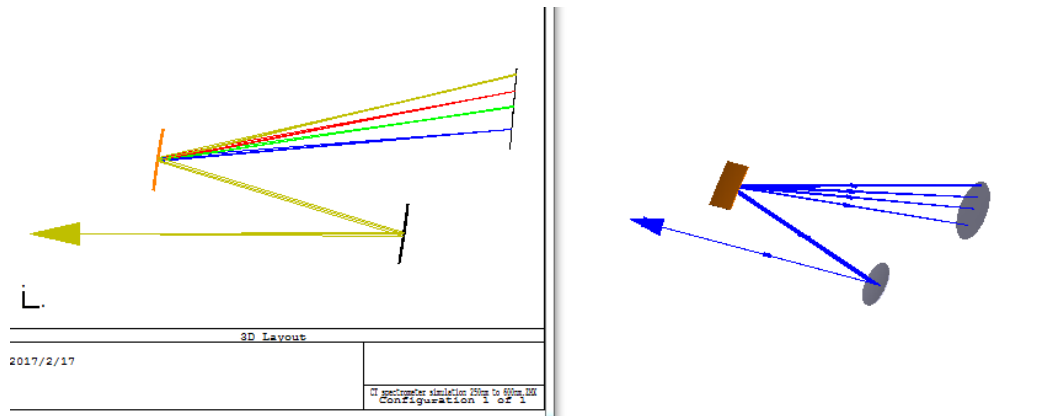


圖 2-73、利用一個反射面鏡搭配一個凹面的光柵來縮小整體光譜檢測器尺寸，整體尺寸可縮小到 100mm 以下之長度

由上面兩種形式的分光感測器模擬比較發現，利用具凹面反射之微光柵結構，可有效的達到較易組裝以及較低的生產成本。且整體光學機構的複雜程度可大幅降低，兼具有小型化以及低成本的優勢。

微型光譜檢測器大多採用單一分光凹面聚焦元件，而早期大多為球面光柵之形式，其優點為容易製造，成本較低，但有兩個主要缺點：各波長聚焦點不是在一平面上而產生色散像差(dispersion aberration)；另外由於斜向入射易造成雜閃光。為了改善凹面光柵的缺失，運用非球面光柵設計，調整不同波長之繞射角度，以及不同入射光束之反射聚焦光路，成為本裝置中的核心光學設計能力。除了將光柵曲率設計為「非對稱曲面」使得分光聚焦光束落在同平面以成像至線型偵測器外，增強光譜分光之解析度。

2.3.3.2 適用紫外線波段之高效反射鍍膜技術

由前節模擬可以理解，微型光譜儀所需之光柵微結構是以反射式為主，因此光柵的反射面效率在分光的波段範圍顯得格外重要。而為了搭配以微機電製作平台發展的微型光柵深蝕刻技術，因而需發展可在製程過程中相互可整合的鍍膜技術。下圖 2-74 為進行反射率量測之架設。本計劃用反射率量測之架設，利用複合紫外線以及可見光光源(Hamamatsu, L10290 氙燈)，以雙融熔光纖導入入射光與接收反射光，藉由準直鏡投影並收取反射光譜訊號後，藉由光譜儀檢測、計算比對出反射率。

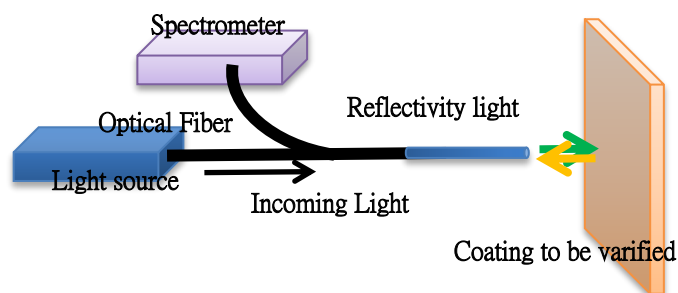


圖 2-74、反射率量測之架設，包含複合紫外線、可見光光源、雙融熔光纖、準直鏡，以及光譜儀

下圖 2-75 為經過蒸鍍後進行反射率檢測之紫外光高效反射鍍膜結果。Silicon 晶圓經過 Ti/Al/(PE)SiO 的多層紫外線高效反射鍍膜層結構，在複合紫外線以及可見光光源(Hamamatsu, L10290 氙燈)，以及利用雙融熔光纖將入射光以及反射光藉由準直鏡投影並收取反射光譜訊號後，交由光譜儀計算出反射率。由檢測結果可以得知目前利用 Ti/Al/(PE)SiO 的在紫外線波段可得到>80%的反射率，不僅如此，在 200~600nm 的包含可見光以及紫外光波段亦可達到高於 80% 的反射率。此反射率對於光電檢測器而言可達到更高的訊雜比。

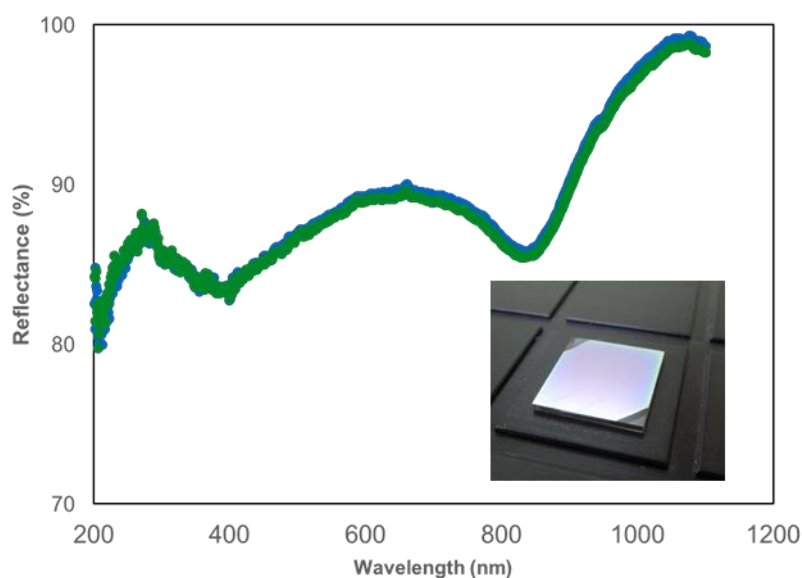


圖 2-75、經過蒸鍍後進行反射率檢測之紫外光高效反射鍍膜結果

2.3.3.3 Bosch-Process 乾式蝕刻加工技術應用於微型深蝕刻光柵結構

藉由非等向式乾式蝕刻技術蝕刻 Si 基材以及產生側壁類鐵佛龍結構之保護層交替製程，利用電漿耦合乾式反應蝕刻技術藉由交替 CF_4/O_2 電漿以及 O_2 電漿可實現僅往 Z 方向蝕刻，而不產生側向蝕刻之技術來實現光柵結構。最終可實現如下圖 2-76 之結構，光柵整體的深度可達到 $100\mu\text{m}$ 的厚度。

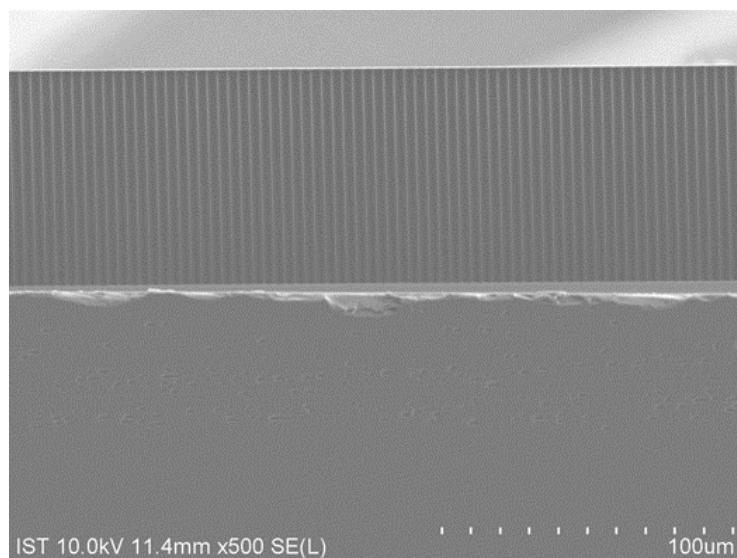


圖 2-76、利用 Bosch-Process 乾式蝕刻方式完成之光柵結構。

2.3.3.4 微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台開發結果

本計畫針對未來佈建之 COD 以及 SS 光學檢測平台，開發之六通道微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台設計架構如圖 2-77 所示。利用三組 Poka-Dot Splitter 分隔開四組獨立光束，分別進入 450nm、550nm、650nm 以及 850nm 之光感測區域。而在 UV 光波段則是利用 Poka-Dot 組合 254nm 以及 280nm 兩光束進入單一光感測器，而利用電路控制 254nm 驅動以及 280nm 驅動時間的不同步來擷取兩不同 UV 段的訊號強度。檢測包含 254nm(Si-PD for UV)、280nm(Si-PD for UV)、450nm(PD-1)、550nm(PD-2)、650nm(PD-3)以及 850nm(PD-4)。

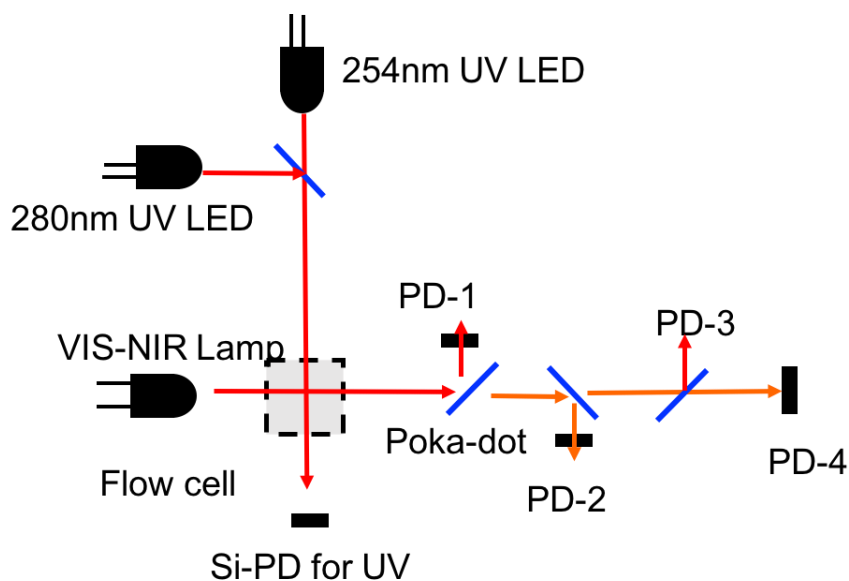


圖 2-77、六通道微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台設計架構。

搭配使用的 Photodiode 在不同波長的光電量子效應，量子效應越高代表產生的光電流越強。下圖 2-78 為目前架構下完成之驗證平台，利用 Arduino IDE 環境搭配不同波長 channel 之光電感測器放大 AFE 電路，將整體感測器尺寸縮小為 10cm*10cm*2cm。包含檢測 254nm(Si-PD for UV)、280nm(Si-PD for UV)、450nm(PD-1)、550nm(PD-2)、650nm(PD-3)以及 850nm(PD-4)。

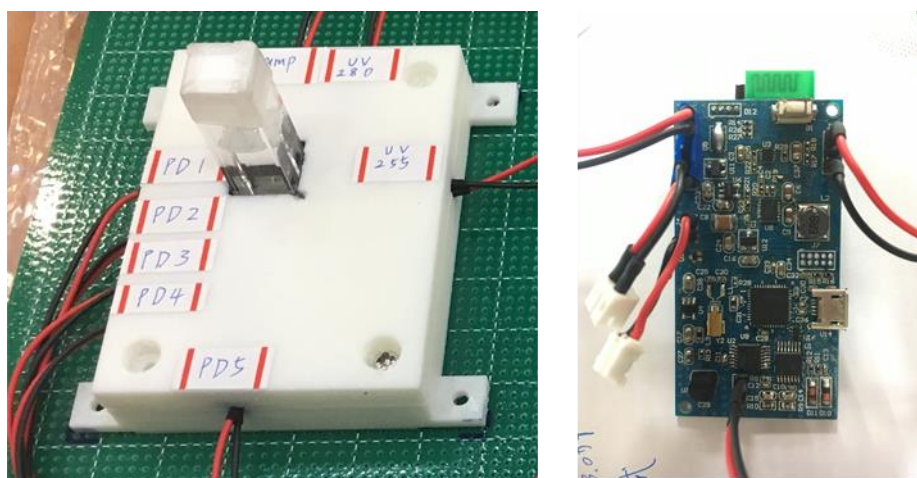


圖 2-78、實際完成之六通道微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台及控制電路。

整體控制板上使用的控制器為 ARM Cortex M0 搭配 12bit ADC，對外界溝通可藉由藍芽、USB 等溝通，自帶一 600mAh 充電式聚合物鋰電池，即使整體系統斷電亦可維持 COD/SS 感測器獨立運作超過 5 小時。

實際整合於此感測平台的感測器規格如下表 2-2。使用之波長範圍皆具有 FWHM=10nm。在 UV channel 則是利用兩個不同波長的 UV-LED 來進行檢測，UV-LED 中心波長 254nm 以及 280nm，FWHM=8nm。

表 2-2、六通道微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台之感測器規格

	PD for UV	PD 1	PD-2	PD-3	PD-4
型式	Enhanced-Si				
波長範圍(nm)	190~300	450	550	650	850
Sensitivity(A/W)	0.36				
Dark noise(A)	2p@0.01V				
Package Size	TO-18				
Sourcing	Hamamatsu				

圖 2-79，為六通道微型化廣範圍多波長 COD/SS 光機平台之內裝圖。利用 Poka-Dot 進行光學分束，搭配 Bandpass Filter 進行特定波長訊號擷取。由側視圖可以觀測得到三個可見光 channel 分別為：450nm（藍）、550nm（綠）以及 650nm（紅）。

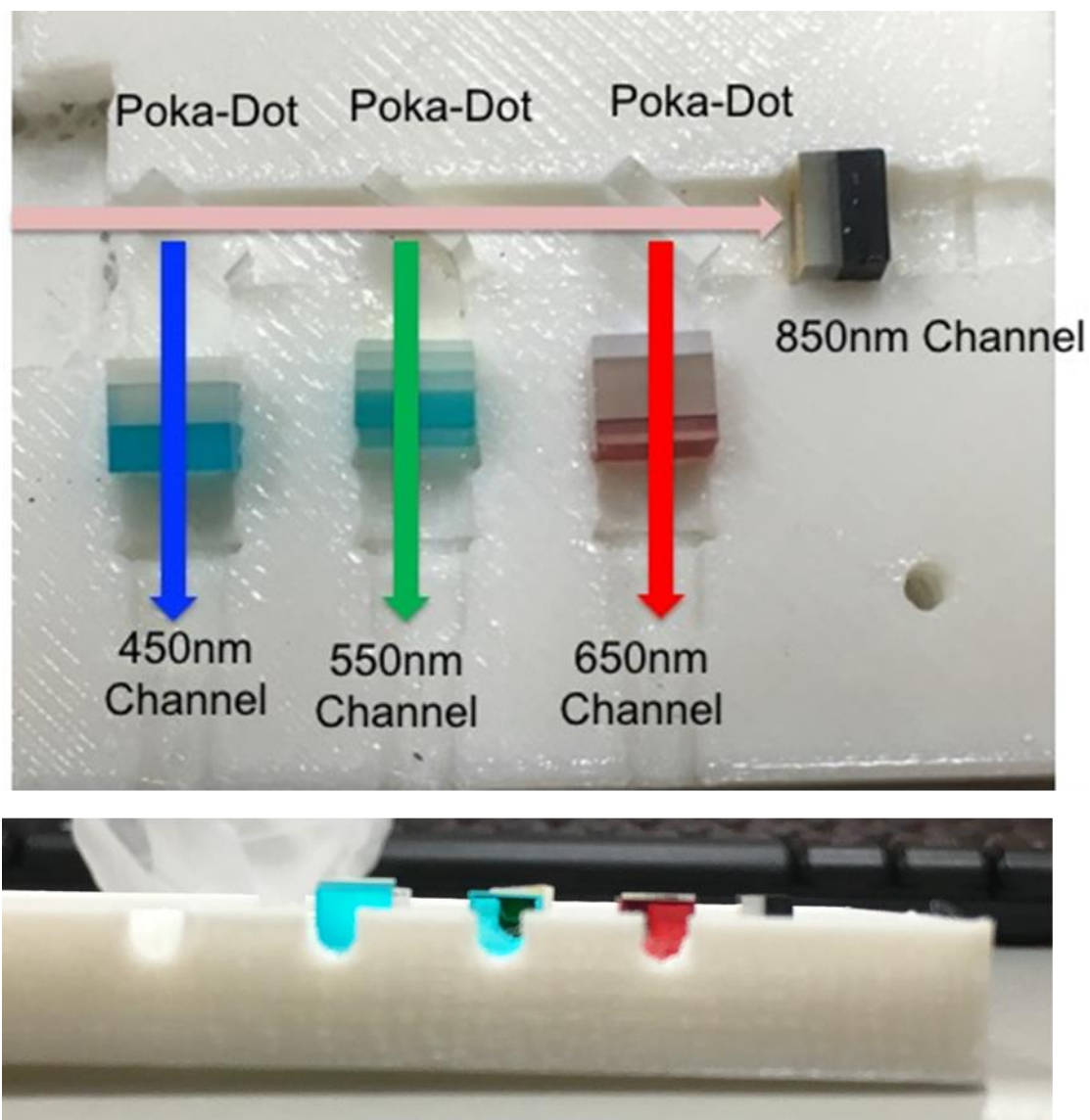


圖 2-79、微型化廣範圍 COD/SS 檢測平台多波長通道之感測器光學機構

多波長聚光測試如下圖 2-80，利用石英半球透鏡(直徑 4mm)，測試可見光及進紅外光光束分散狀況。由測試可以發現光束可有效控制在 5mm 內，光能量皆可達到 95%以上。以利組裝。

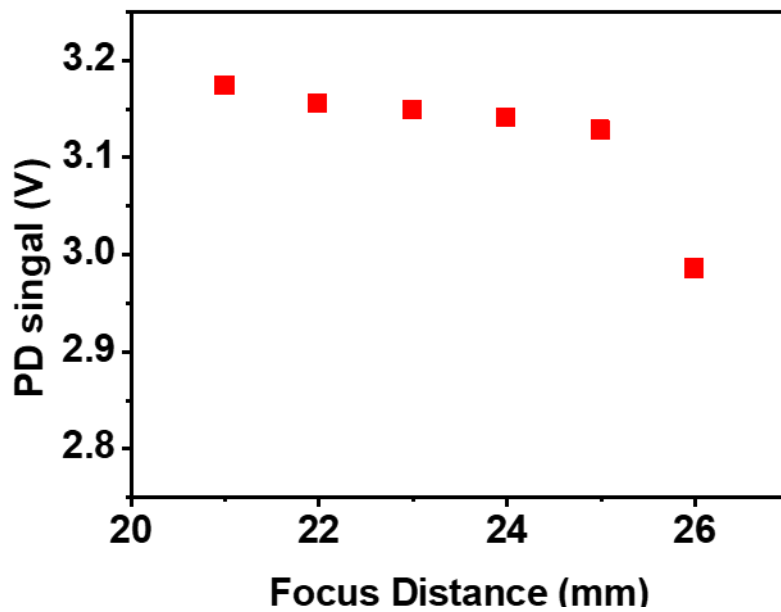


圖 2-80、利用石英半球透鏡(直徑 4mm)，測試可見光及近紅外光束分散狀態

下圖 2-81，為利用 UV-LED 經過 TO-39 封裝 ball-lens 後，進行紫外光光束分散狀態測試。搭配測試後發現光能量可以有效在 25mm 內進行傳遞，訊號強度達到 67.5dBmV。

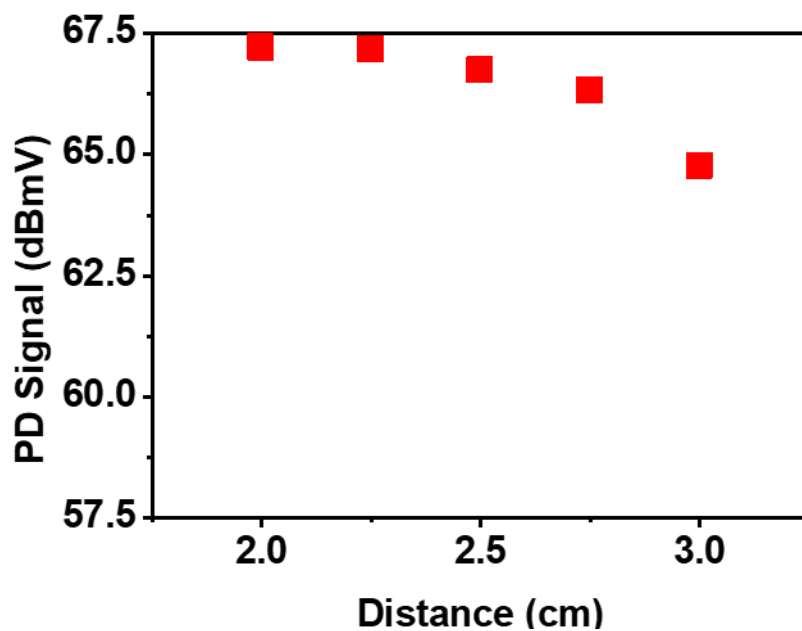


圖 2-81、測試可紫外光光束分散狀態，此封裝形式為了加強紫外光能量密度，刻意將光束集中在 7 度角的範圍

2.3.3.5 COD/SS 定性定量演算法開發結果

本計畫針對 COD 及 SS 光學特性之建立採用之整體設備全貌如圖 2-82 所示，監測系統設置於本所實驗室，整體組件分為「UV-VIS 光源組件」、「水樣量測組件」及「資訊收集組件」，本節將分別針對「光學感測組件穩定度測試」、「特徵波長建立」及「多成分定性定量演算法」之開發成果進行說明。

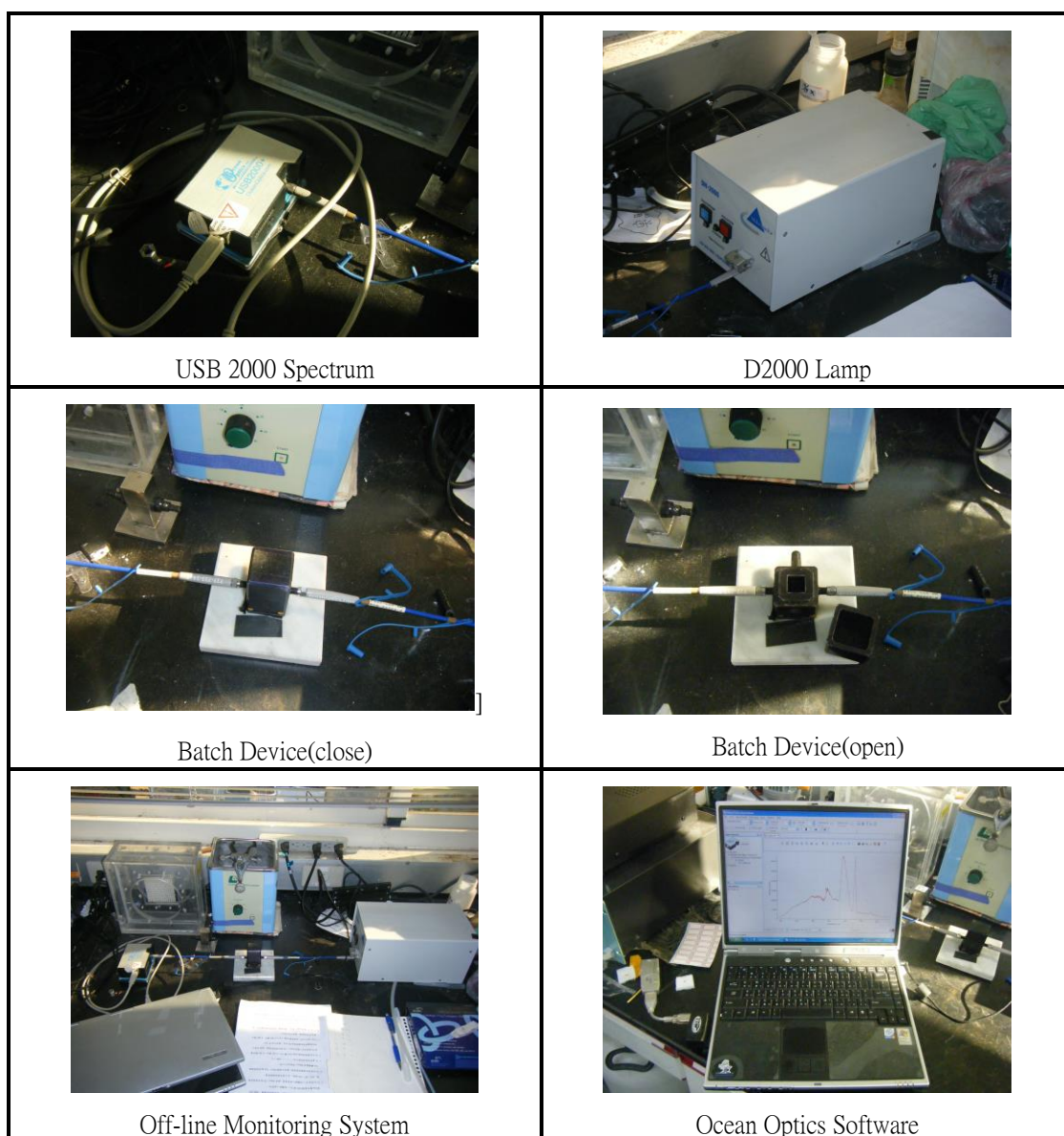


圖 2-82、光學水質分析系統設備全貌

1. 光學感測組件穩定度測試

本計畫為研究光源在連續操作下，其隨時間的衰減程度，故在光源開啟並熱機 5mins 後，監測其光源強度對時間的變化，結果如圖 2-83 所示。

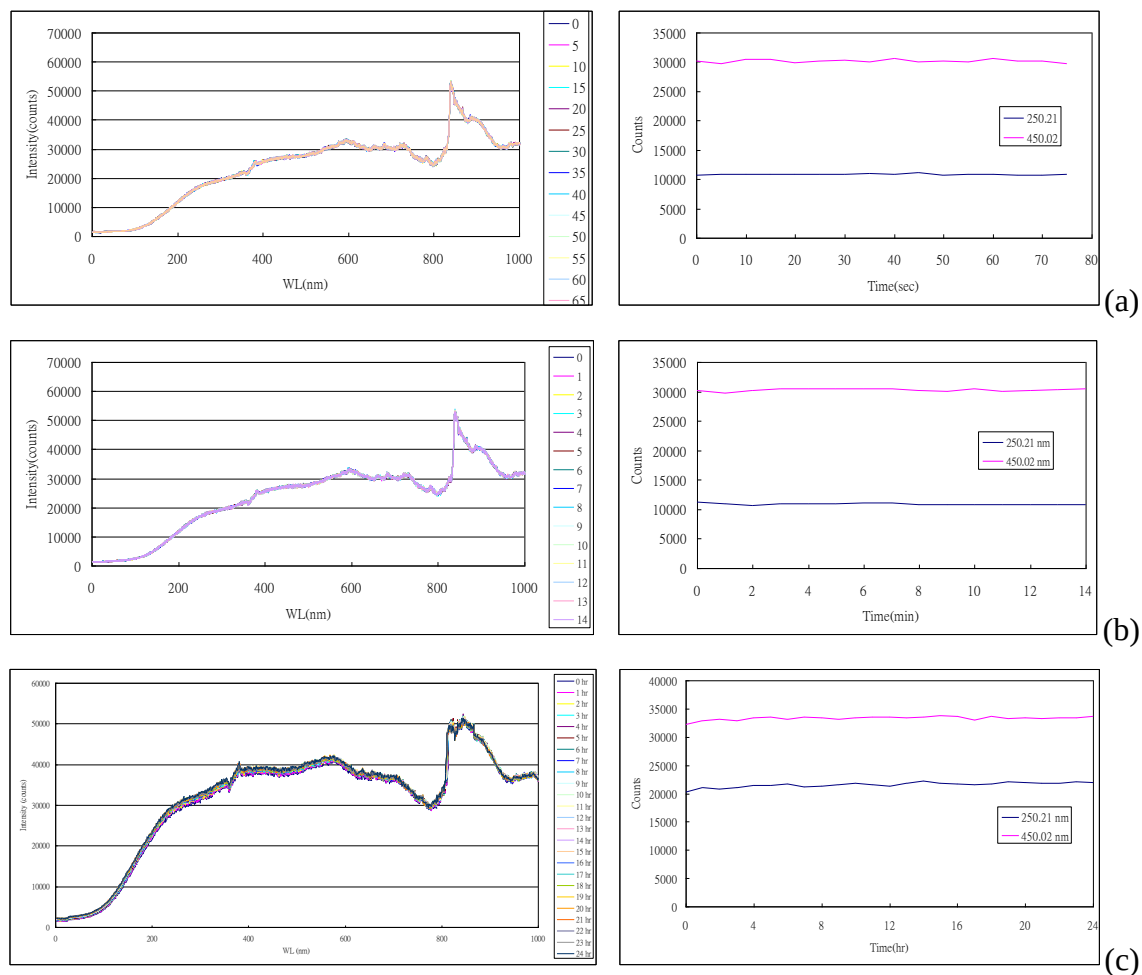


圖 2-83、光源穩定度實驗結果(a)間隔 5 sec;(b)間隔 1 min;(c)間隔 1 hr

文獻顯示(Vaillant et al., 2002)，利用光學法來監測水質，COD 的監測波長落於 200~350 nm，而 SS 之監測波長則全波段皆有反應。根據圖 2-83 結果顯示，無論間隔 5 sec、1 min 或 1hr 之連續監測，光源強度的變化率均小於 1%，而在將研究中主要可能使用的波段 250nm 及 450nm 單獨觀察，發現即使光源連續開啟 24 hrs 以上，其光源的強度變化仍然很小，顯示本計畫使用之光源熱機迅速且穩定性極高，適合作為開發光學演算法之使用。

2. COD 與 SS 特徵波長之建立

在確認光學監測系統本身穩定性之後，利用配製不同濃度鄰苯二甲酸氫鉀 (KHP) 及高嶺土 (Kaolin) 溶液，其成分特性穩定，亦為 COD 與 SS 標準水質時常用的標準品，以此做為系統量測水樣之穩定性及準確性測試，其結果如下圖 2-84 及圖 2-85 所示。

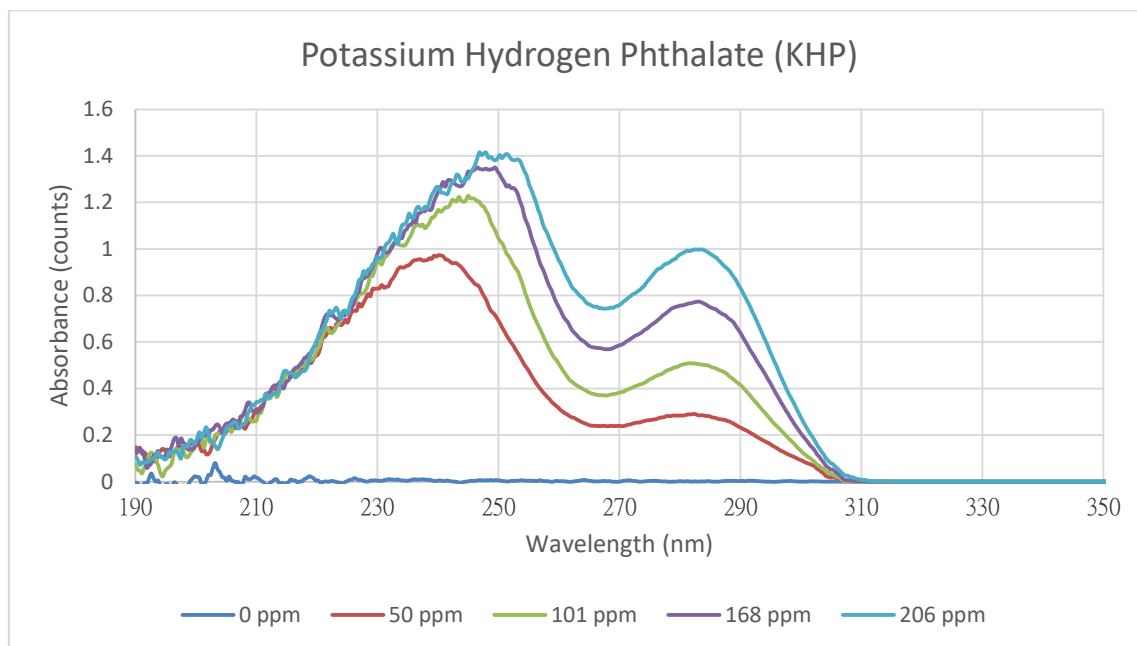


圖 2-84、COD 標準曲線試驗結果(標準品：KHP)

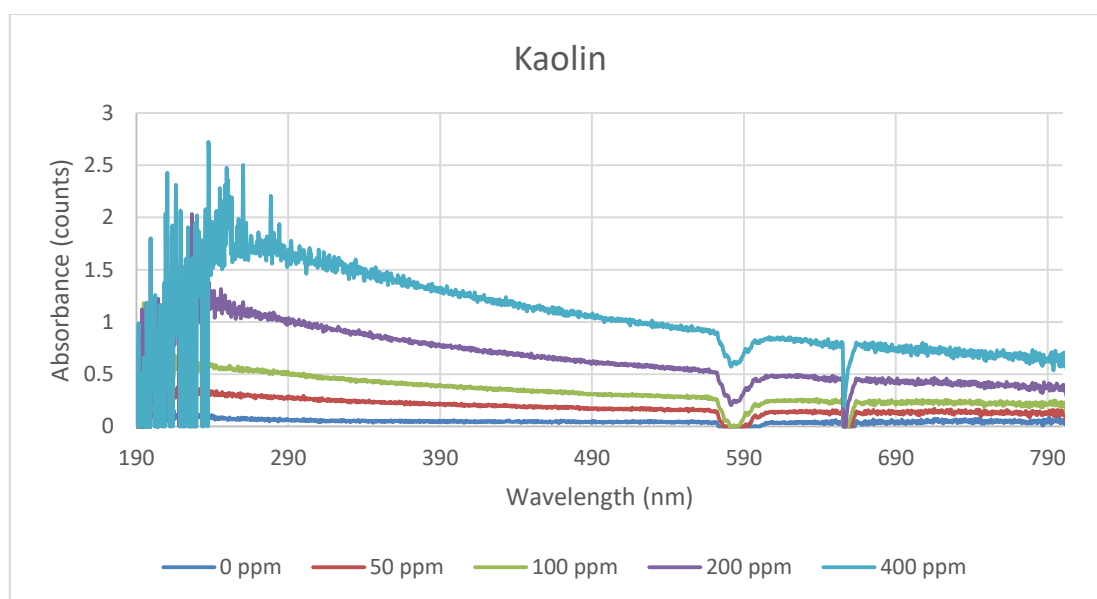


圖 2-85、SS 標準曲線試驗結果(標準品：高嶺土)

利用光學量測系統在不同濃度 COD 標準液所掃描出波長之平均吸光度值，與配製濃度做相關性分析，其結果如圖 2-84 所示，由結果顯示，其吸光度與濃度之 R^2 值而在 0.99 以上的光學波段大約介於 261-298nm 之間，而 R^2 在 0.95 以上之波段則橫跨 250 nm 至 300 nm 之間，顯示量測系統對於不同濃度標準溶液所掃描出的相對應吸光度值，其在波長 250 nm 至 300 nm 間具有一定的相關性，以此可分別建立各濃度與各波長 250 nm 至 300 nm 吸光度之相關曲線，用以推估其他於濃度 200 mg/L 內的標準溶液濃度值。

圖 2-85 為利用光學量測系統在不同濃度 SS 標準液所掃描出波長之平均吸光度值與配製濃度之相關性分析結果，由結果顯示，實驗中所量測之波長大於 310nm 後之 R^2 值幾乎全部在 0.99 以上，顯示量測系統對於不同濃度標準溶液所掃描出的相對應吸光度值，其在波長大於 310 nm 之波段均具有一定的相關性，可用以推估其他於濃度 400 mg/L 內的標準溶液濃度值。

綜合以上之標準品實驗結果，進一步整理出提供後續多成分定性定量演算法之建議參考波長區間如下表 2-3 所示。

表 2-3、建議之 COD 與 SS 量測波段與特徵波長

Water Parameters	Standard Solution	Absorption Wavelengths	Characteristic Wavelength
COD	KHP	190nm - 310nm	280nm, 267nm
SS	Kaolin	190 nm - 800nm	-

3. 多成分定性定量演算法建立

本計畫第一季先利用新竹縣竹東生活污水廠之生活污水做為廢水來源，針對 SS 與 COD 進行多成分定性定量演算法之建模，分別敘述如下：

➤ 竹東生活污水廠之生活污水基本水質分析

本計畫於本年度(FY106)2.6~4.30 期間針對新竹縣竹東鎮水資源回收中心之

放流水進行連續採樣(共計採樣 44 次)，由於本計畫主要利用該水源進行 COD 與 SS 光學演算法之建置，故採樣結果僅針對其 COD、SS 及簡單基本水質分析為主，採樣結果如表 2-4 所示，其中 CODs 與 SS 之濃度趨勢圖如圖 2-86~圖 2-88 所示。

表 2-4、新竹縣竹東鎮生活污水廠基本水質分析

水質項目	濃度範圍	平均值
CODt(mg/L)	46 - 160	81.7 ± 34.5
CODs(mg/L)	35 - 130	71.1 ± 30.3
SS(mg/L)	0 - 58	24.2 ± 17.3
pH	6.5 - 7.9	7.2 ± 0.4
EC(μ S/cm)	330 - 620	520 ± 70

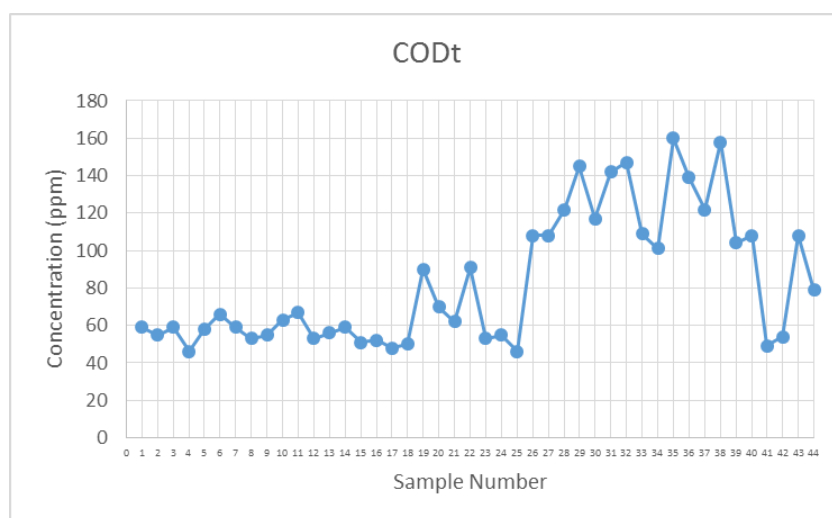


圖 2-86、竹東鎮水資源回收中心之放流水 CODt 趨勢圖

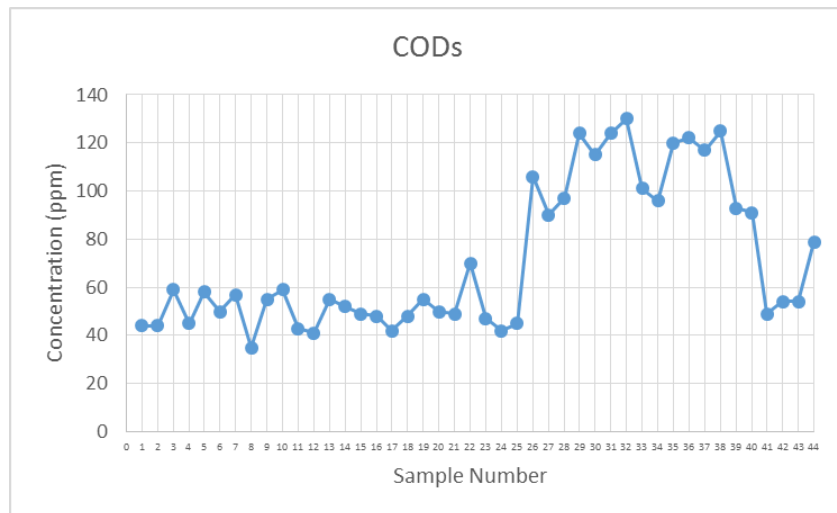


圖 2-87、竹東鎮水資源回收中心之放流水 CODs 趨勢圖

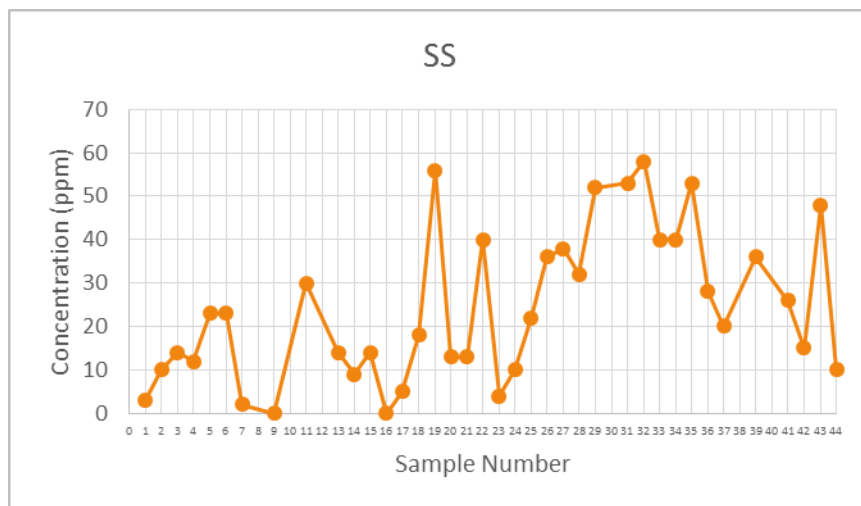


圖 2-88、竹東鎮水資源回收中心之放流水 SS 趨勢圖

由上述結果可觀察到，採樣期間其 COD_t、COD_s 與 SS 之平均濃度分別為 81.7、71.1 及 24.2mg/L，且其濃度變化趨勢有隨季節變化而有所改變，因此在後續針對演算法的建置時，需考慮在季節交替之時，針對演算法做修正之評估。

➤ SS 光學演算法之建立(Modelss)

承前節所述，SS 光學演算法之建議量測波段為大於 310nm 之後的範圍，根據採樣分析結果與光學掃描結果利用統計建模方式進行運算，其建模結果如表 2-5 所示，由表中可知，利用單波長建立以 613.32nm 為最佳波段，而雙波長結果

則以 455.36 與 556.43nm 之組合結果較佳，這樣的結果顯示如單一波段 SS 可能建議以長波段為主，以避免環境水體中色度的干擾，而如計算中採取多波段同時運算的結果，除可降低環境因素的干擾外，亦可建立與多種不同物種之關係，後續演算法之建立將建議以多波段的方式進行。

圖 2-89 及圖 2-90 則是根據建模結果針對真實水樣進行之預測分析，其結果顯示利用前述雙波段建模的結果可準確預估真實水樣中 SS 濃度之趨勢，單因其 SS 濃度大多低於 50mg/L 且樣本結果略為集中，因此其預測 30%內的準確率只達到大約 70%，後續建模之部份將針對不同環境之顆粒特性做進一步之探討。

➤ COD 光學演算法之建立(ModelCODs)

同樣承前節所述，COD 光學演算法之建議量測波段為 250-300nm 之間的範圍，根據採樣分析結果與光學掃描結果利用統計建模方式進行運算，其建模結果如表 2-6 所示，由表中可知，利用單波長建立以 254.32nm 為最佳波段，而雙波長結果則以 252.08 與 299.7nm 之組合結果較佳，由 COD 建模的結果顯示其單波段與雙波段之結果誤差差異較小，但利用雙波段之結果仍較佳，亦可建立與多種不同物種之關係，後續演算法之建立將建議以多波段的方式進行。

圖 2-91~圖 2-92 與圖 2-93 及圖 2-94 則是根據建模結果針對真實水樣進行 COD_s 與 COD_t 之預測分析，其結果顯示利用前述雙波段建模的結果可準確預估真實水樣中 COD_s 濃度之趨勢且其預測 30%內的準確率達到 100%(平均誤差 10%)，後續導入 SS 所貢獻的 COD 濃度後，所推估的 COD_t 濃度亦可準確的推估 COD_t 之濃度趨勢，其預測誤差為 11.7%(<30%)。

由上述演算法建置與推估結果可知，本計畫所建立之多成分定性定量演算法確實可準確預估真實水樣之 COD 與 SS，後續將利用所開發之演算法及步驟，結合計畫所開發之光電感測元件，設計小型化 COD/SS 之光電感測裝置。

表 2-5、單波段雙波段之 SS 建模結果(Modelss)

Regression Method	Multiple Linear - Stepwise	Simple Linear
Wavelength (nm)	455.36, 556.43	613.32
R ²	0.671	0.590
Model Equation	$SS = (5112.108 * ABS_{455.36} + (4701.850 * ABS_{556.43}) + 4.968$	$SS = (ABS_{613.32} - 0.003788) / 0.000815$
Average Error (ppm)	7.87	11.12

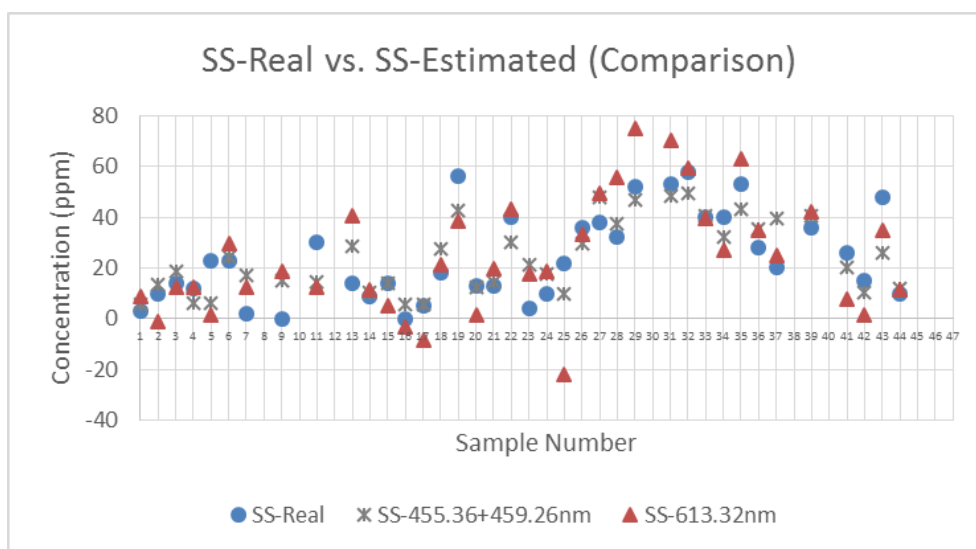


圖 2-89、模式推估與真實水樣之 SS 比較圖

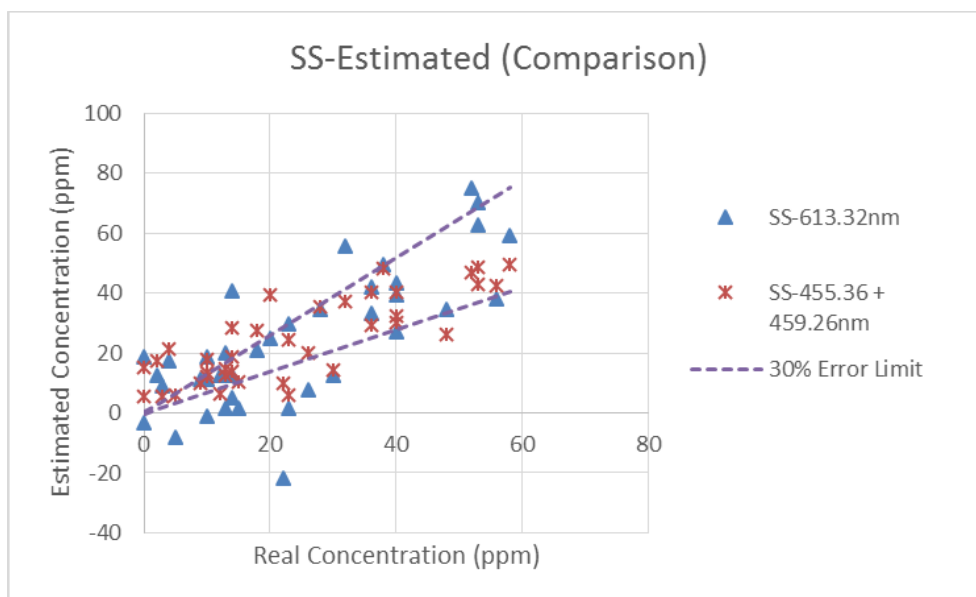


圖 2-90、SS 預估之誤差分析

表 2-6、單波段雙波段之 CODs 建模結果(ModelCODs)

Regression Method	Multiple Linear - Backward	Simple Linear
Wavelength (nm)	252.08, 299.7	254.32
R ²	0.942	0.926
Model Equation	$CODs = (372.657 * ABS_{252.08}) + (-330.132 * ABS_{299.7}) + 10.764$	$CODs = (ABS_{254.32} + 0.111879) / 0.007029$
Average Error (%)	10	11

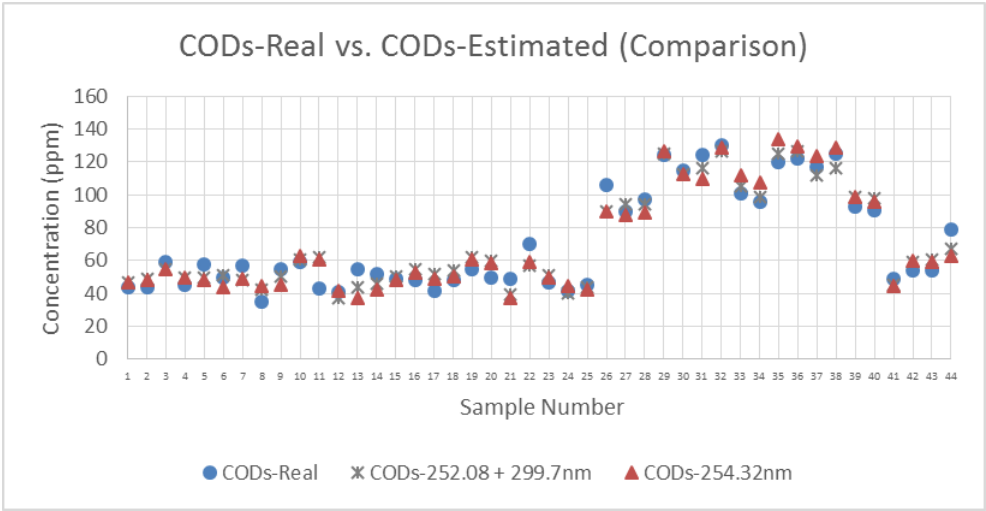


圖 2-91、模式推估與真實水樣之 CODs 比較圖

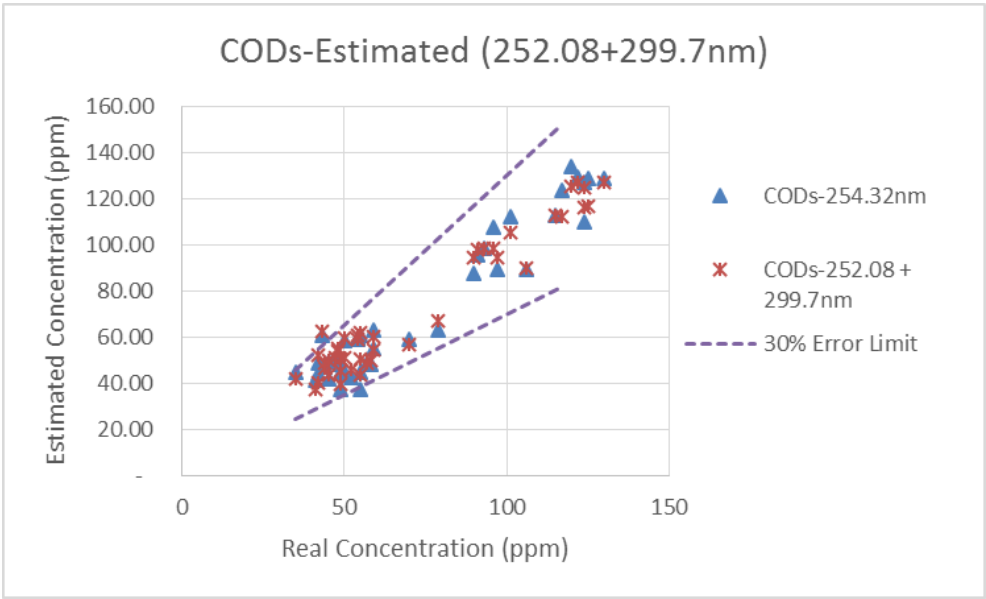


圖 2-92、CODs 預估之誤差分析

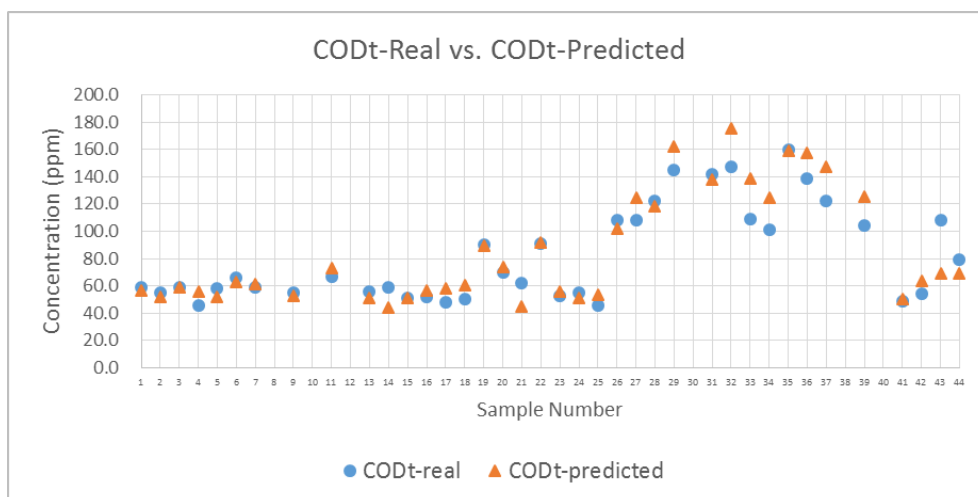


圖 2-93、模式推估與真實水樣之 CODt 比較圖

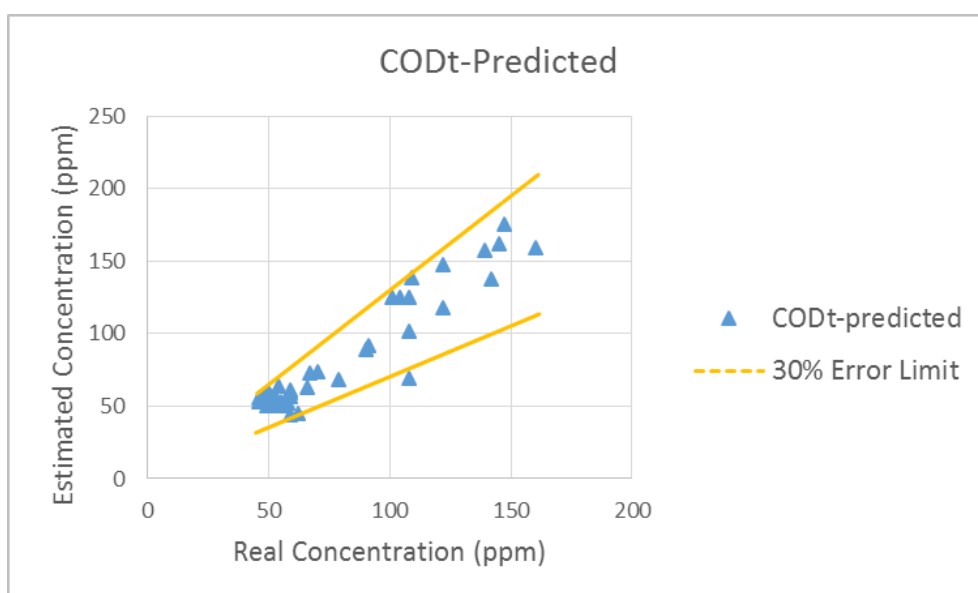


圖 2-94、CODt 預估之誤差分析

2.3.3.6 微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台測試結果

在前述多成分定性定量演算法開發的基礎下，本計畫所開發之微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台之 COD 標準品測試結果如表 2-7 及圖 2-95 所示，由結果顯示，無論利用 254 nm 或 280 nm 針對 0-200 ppm COD 標準品 KHP 之建模結果，其平均誤差均 <3 ppm 且整體誤差 $<4\%$ ，與本計畫團隊利用高精密儀器所開發之多成分定性定量演算法之誤差相較，差距非常有限，後續可利用本檢測平台快速開發不同場域之 CODs 線上檢測工具。

表 2-7、微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台 CODs 標準品測試結果

使用波長(nm)	254	280
平均誤差(ppm/%)	2.5 / 3.8	2.83 / 3.5
R ²	0.9986	0.9998

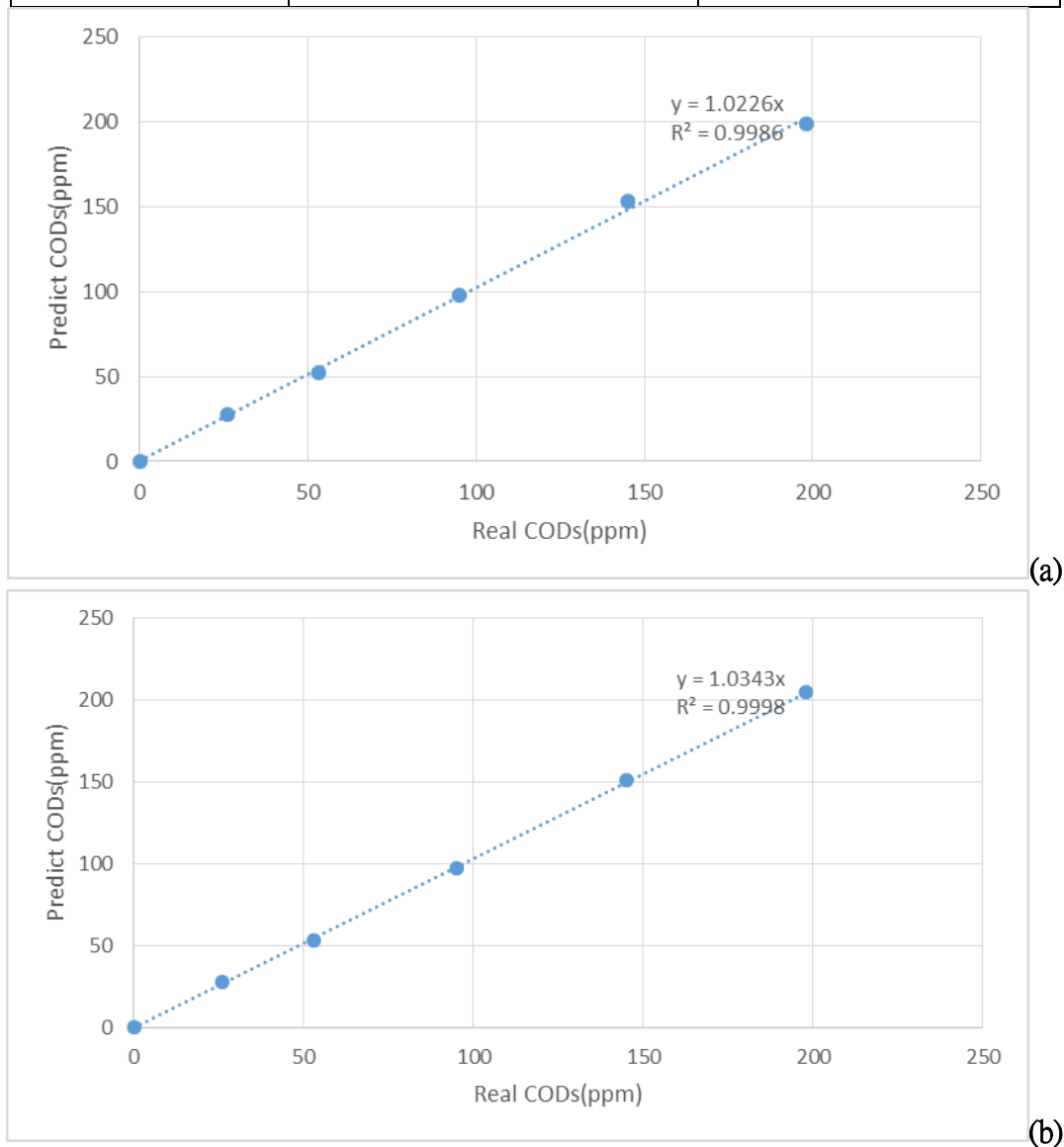


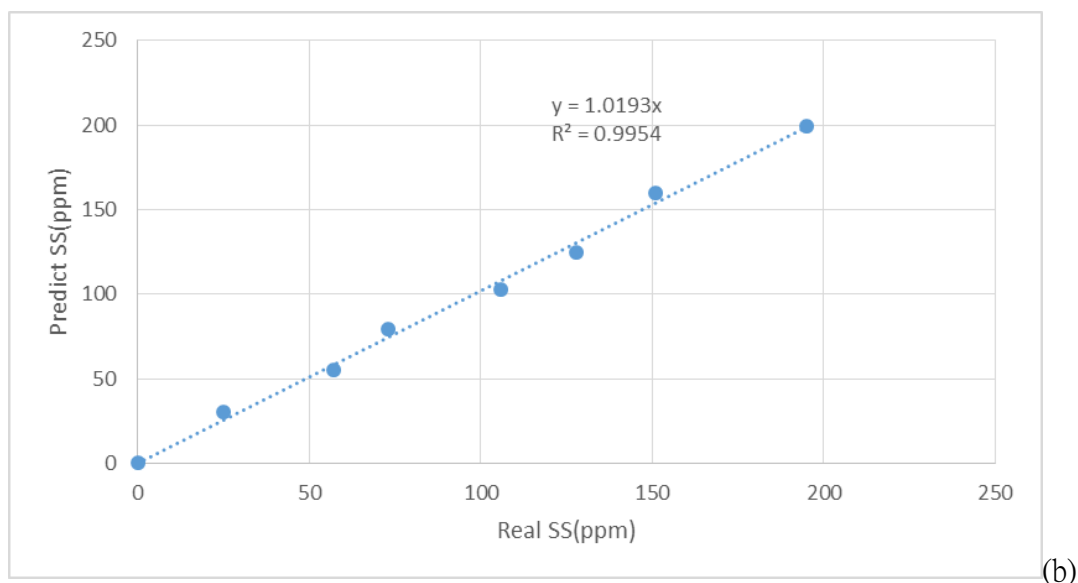
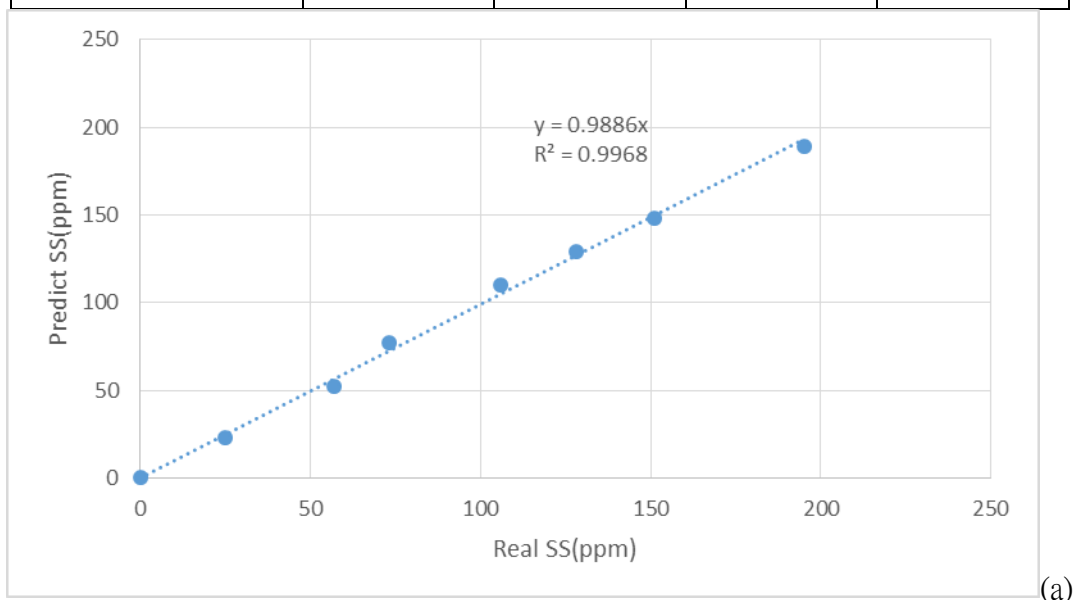
圖 2-95、微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台 CODs 標準品測試結果(a)254 nm;
(b) 280 nm

表 2-8 及圖 2-96 為本計畫所開發之微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台之 SS 標準品測試結果，由表可知，利用 450、550、650 及 850 nm 分別針對 0-200 ppm SS 標準品(Kaolin)之建模結果，其平均誤差分別為 3.13、4.0、3.38 及 1.38

ppm，誤差百分比分別為 4.6、6.4、5.6 及 2.1%，此結果與前述多成分定性定量演算法之誤差相較，差異並不明顯，但在 SS 的推估上，利用紅外光的推估結果則相對較為優異，這樣的結果可能因為紅外光較不容易受到有機物(UV 波段貢獻)與色度(VIS 波段貢獻)之影響，較能夠獨立判讀 SS 之濃度，此部分的結果可提供後續實廠廢水 SS 濃度的推估參考，提供更正確之 SS 推估濃度以利後續多成分定性定量演算法針對 COD 之推估。

表 2-8、微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台 SS 標準品測試結果

使用波長(nm)	450	550	650	850
平均誤差(ppm/%)	3.13 / 4.6	4.0 / 6.4	3.38 / 5.6	1.38 / 2.1
R ²	0.9968	0.9954	0.9989	0.9995



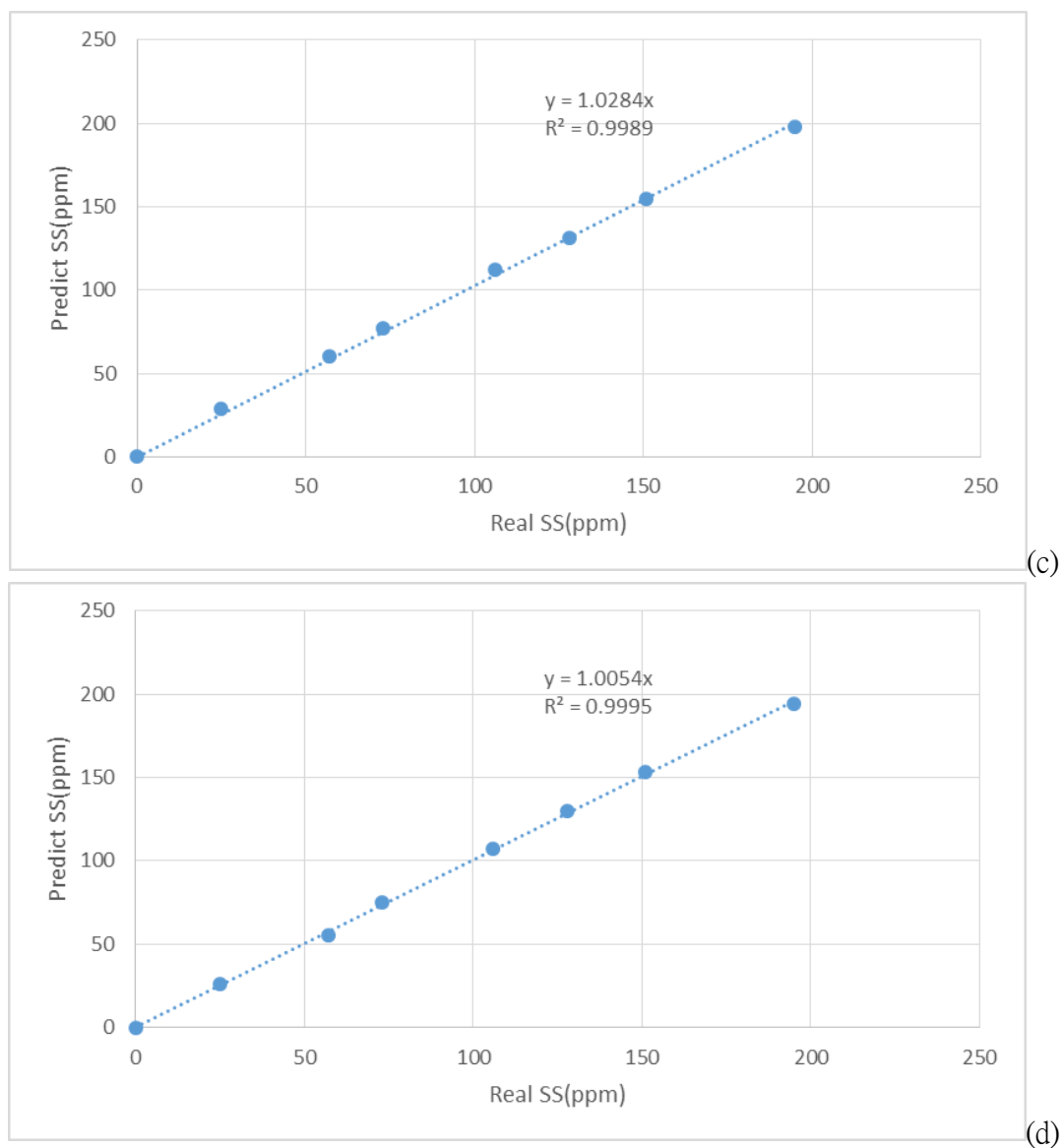


圖 2-96、微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台 SS 標準品測試結果(a)450 nm; (b) 550 nm; (c)650 nm; (b) 850 nm

2.3.4 小結

在光譜取得架構上利用商用模擬已確定主要關鍵元件微型光柵之尺寸規格以及彼此之光學構建的相對位置。光柵需達到 400 lines/mm，且整體光軸長度僅需 72mm。並已實際下線進行微機電製程技術整合 Ti/Al/(PE)SiO 的複合多層膜可完成在紫外線波段有>80%的高效反射率。未來將持續開發適用於紫外線分光應用之深蝕刻微光柵技術，應用於整合紫外線增強反射鍍膜技術並實現紫外光波段分光光譜之取得。

本計畫利用光學頻譜法建立 COD/SS 多成分定性定量演算法之特徵波長與演算模型，分別可利用 250-300nm 與 310-800nm 之波段針對 CODs 與 SS 進行演算法推估，並已利用生活污水建模完成。所開發之演算法可針對需監測場域之廢水做修正，並提供 COD/SS 連續監測之後續使用。

本計畫針對未來佈建之 COD 及 SS 光學檢測平台，利用三組 Poka-Dot Splitter 分隔開四組獨立光束，開發六通道微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台設計 (254、280、450、550、650 及 850nm)。利用標準品試驗之結果顯示 CODs 之推估結果及誤差均與桌上型 UV-VIS 光譜儀所建構之演算法結果接近，但在 SS 的推估結果顯示，因紅外光較不容易受到有機物(UV 波段貢獻)與色度(VIS 波段貢獻)之影響，較能夠獨立判讀 SS 之濃度，此部分的結果可提供後續實廠廢水 SS 濃度的推估參考，提供更正確之 SS 推估濃度以利後續多成分定性定量演算法針對 COD 之推估。

2.4 酸鹼值、導電度與溫度微型化感測器開發

2.4.1 原理

本計畫利用微機電製程技術開發酸鹼值、導電度與溫度微型化感測器用以進行水質物性檢測。酸鹼值感測器採用延伸式閘極感測場效電晶體(Extended Gate Field Effect Transistor, EGFET)為量測基礎架構，開發銦錫氧化物(Indium Tin oxide, ITO)透明導電薄膜作為前端感測器，此感測薄膜主要於玻璃載板上，利用物理性射頻(Radio Frequency, RF)濺鍍銦錫氧化物製成，由於此感測薄膜是直接採用產業標準制式化的製程架構與流程，故不僅無須再重新開發機台及調整製程，又可達到快速大量生產、低成本與可拋棄性等優點。酸鹼值量測主要利用銦錫氧化物薄膜與酸鹼溶液接觸，吸引氫離子靠近來產生表面電位之介電層，當薄膜表面與溶液間感測到氫離子的濃度差，進而發生介面電位勢改變，促使 EGFET 通道電流 I_d 產生改變。再對應到 EGFET 特性曲線，在固定汲極電壓下通道電流對應到的閘極電壓 V_g ，由此判別當下閘極電壓大小，來推算不同閘極電壓所代表之酸鹼值。隨著待測溶液中氫離子濃度增高，薄膜表面及附近吸附了較多的離子團，使電位提升，反之若同樣的薄膜晶片淨入氫離子濃度較低的待測溶液，表面電位隨之變小。

再者，銦錫氧化物透明導電薄膜同時具導電性佳及高度離子選擇性等優點，且銦錫氧化物薄膜的溫度電阻約 $2\Omega/^\circ\text{C}$ ，具有 $R^2 = 0.997788$ 良好線性度，因此在 105 年度「水污染感測器與物聯網資訊展示先期研究計畫」亦採用銦錫氧化物透明導電薄膜做為導電度與溫度感測器。然而，在測試過程中發現由於感測電極相當接近，且有水樣做為介質，造成銦錫氧化物薄膜易發生電解氧化現象，導致電導度與溫度感測電極失效。雖然透過微流道區隔感測區、降低驅動電壓、採用繼電器(relay)，以及程式控制檢測流程等方法，僅能稍微延長電導度與溫度感測器使用時間，因此，本計畫改採用惰性金屬材料來製作電導度與溫度微型化感測器。

用來製造電阻式溫度感測器的金屬有很多，一般都是利用電阻值隨溫度升高而增加的特性來進行量測，而電阻與溫度的關係係數則稱為校正溫度係數，其中以鉑(白金，Pt)最為常用，主要是因為它具有相當良好的穩定性。而此種溫

度感測器有以下特點，包括特性直線趨近直線，可直接由電阻值本身推算溫度，無須參考基準溫度，且國際上對於鉑已確立其準確值，以及無插入效應誤差。所謂插入效應誤差，為感測器置入待測物體或環境中時因深度不同所造成之量測結果誤差。此外，利用鉑電極的高化學穩定性，作為電導度感測器，並採用二極式電極量測原理，設計兩電極長度，固定其間距，測量其水溶液中電阻值，最後將其轉換為電導單位，則可得水中電導值。酸鹼值、導電度與溫度微型化感測器設計如圖 2-97 所示。

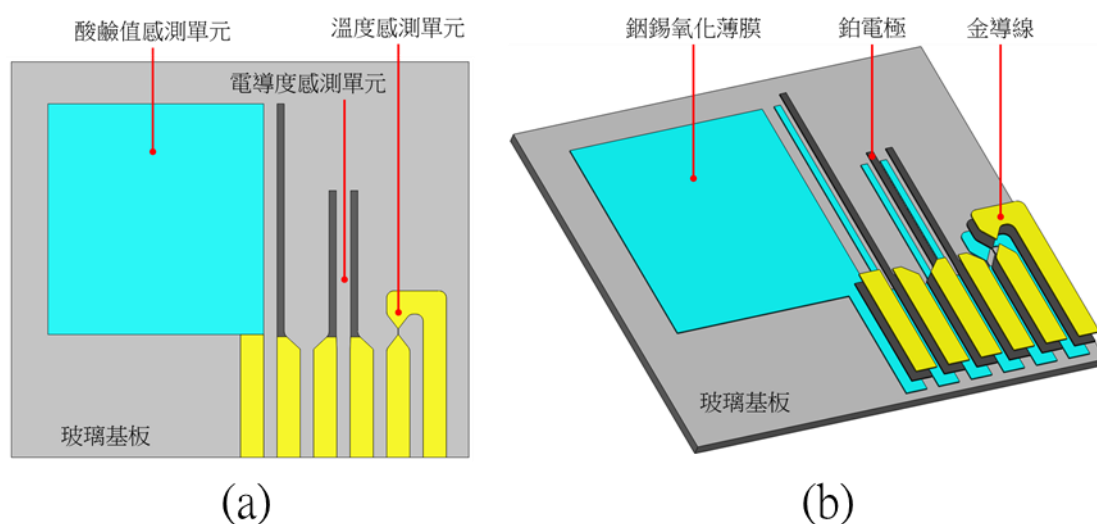


圖 2-97、(a)酸鹼值、導電度與溫度微型化感測單元配置設計。(b)錫錫氧化薄膜與鉑金屬分別用來製作酸鹼值感測電極、電導度感測電極以及溫度感測電極；金導線用來保護感測電極，並做為感測訊號傳導使用。

2.4.2 實施步驟與方法

本計畫利用微機電製程技術製作酸鹼值、導電度與溫度微型化感測單元。在製作酸鹼值、導電度與溫度微型化感測單元時所選擇的底材為厚度 0.7 mm 的鈉鉀玻璃 (Soda-lime glass)，在製程上首先於玻璃底材上利用物理 RF 濺鍍錫錫氧化薄膜，於黃光室中經過清潔、光阻塗佈、曝光顯影、蝕刻之後，再以丙酮 (Acetone) 去除光阻即完成酸鹼值感測器的製作，後續需要濺鍍兩層金屬層，第一

次濺鍍的金屬作為電導度及溫度感測元件。考慮到材料特性，選用鉑金屬做為電導度及溫度感測元件，其熔點高 (1768°C)、延展性佳、溫度變化時電阻變化具良好直線性，以及高化學穩定性。而第二層金屬的用途則是導線作用，在此選擇金 (Au) 當成導線是因為其導電性佳、電阻率低以及化學活性小不易發生化學變化。依序經過黃光微影 (Photolithography)、金屬薄膜沉積 (Thin film deposition)、剝離 (Lift-off) 等製程，即是電導度及溫度感測元件。製作流程如圖 2-98 所示，而圖 2-99 為酸鹼值、導電度與溫度微型化感測單元製作完成品。

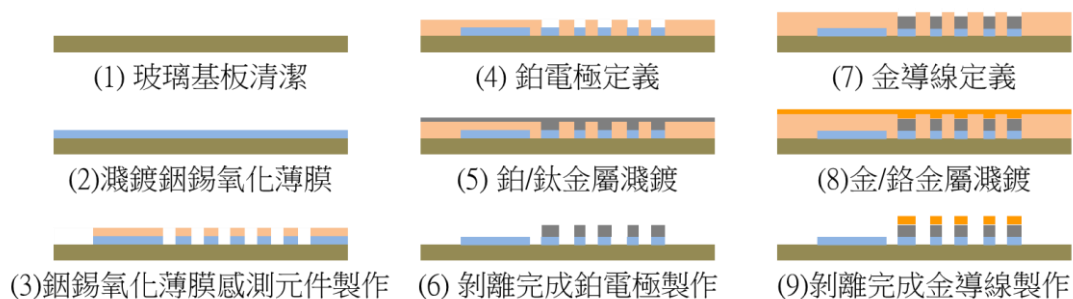


圖 2-98、酸鹼值、導電度與溫度微型化感測單元製作流程

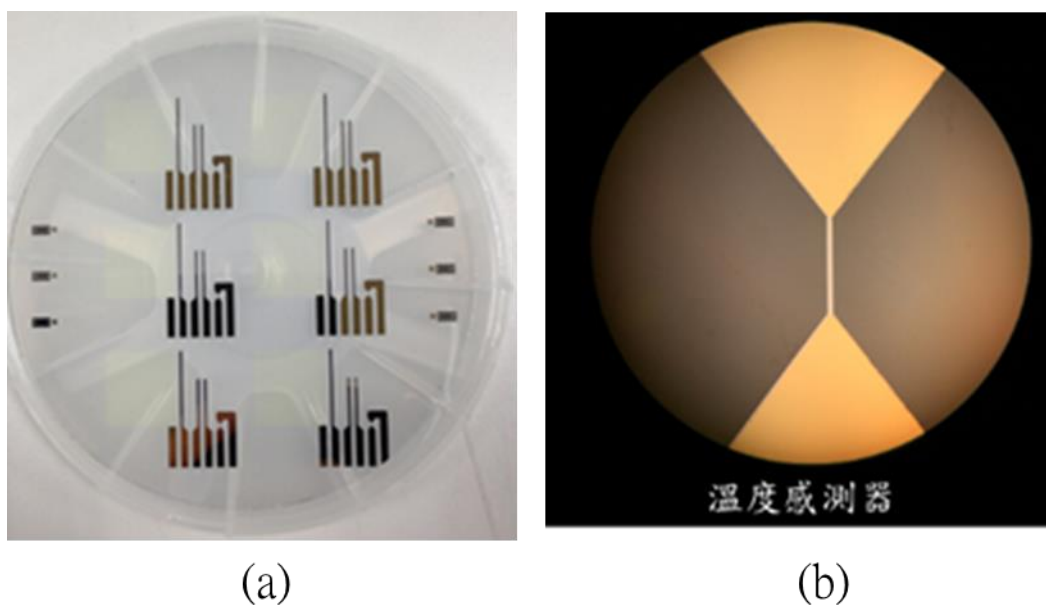


圖 2-99、(a)酸鹼值、導電度與溫度微型化感測單元製作完成品。(b)光學顯微鏡下的溫度感測元件

酸鹼值量測部分，其電壓、電流量測仍是利用三組 IC4007 並聯的量測電路系統，將 MOS 源極端接地，汲極端接上直流電壓 9V，使電晶體運作在飽和區，再將閘極經軟式排線插槽(Slot)與薄膜上晶片感測電極連接，晶片下端即是感測區塊，浸入待測溶液中作量測；參考電極部份，則施加一穩定 3V 電壓，同樣浸入水中，使整體運作穩定降低雜訊干擾；量測時同時放置市售 pH 酸鹼度計，以其顯示出來的數值作為對應基準。再接上 I/V 轉換電路將電流訊號轉為電壓訊號，供後端訊號擷取電路接收。

溫度部份利用軟式排線插槽將鉑電極感測端與另一端線路連接訊號擷取電路進行電阻量測，此部分主要量測鉑金屬電阻隨溫度變化的特性。而電導度量測則是在同溫度下進行量測，也將鉑金屬連接後端訊號擷取電路，量測不同離子濃度水中電導度。此兩部份於每次量測前，皆先利用二次去離子水將感測區及氣槍進行清洗與吹乾後量測。

2.4.3 重點研發成果

本計畫中酸鹼量測結果部份由圖 2-100 表示。電壓隨著 pH 值增加而減小，而連接後端電路轉換成電壓輸出，實驗採酸鹼滴定方式進行，反覆五次量測不同酸鹼值下的電壓取平均誤差，結果顯示由酸性滴定到鹼性，量測靈敏度為-55.03 mV/pH，反之，由鹼性滴定到酸性的靈敏度則為-57.74 mV/pH，其精確度為 $\pm 0.1\text{pH}$ ，線性度達 $R^2 = 0.978$ 。

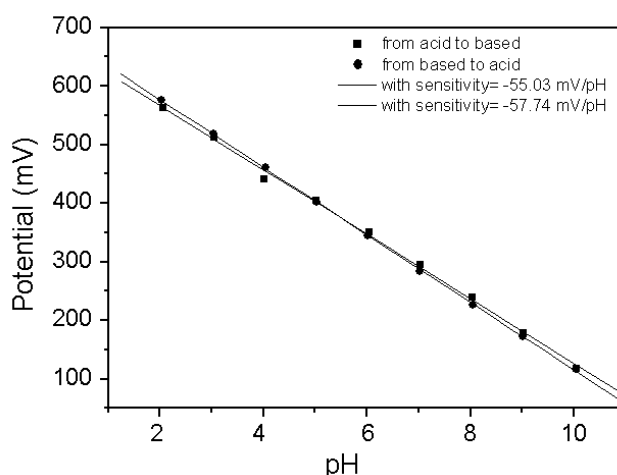


圖 2-100、電路輸出電壓與酸鹼值關係

溫度量測部份由溫度感測與電阻關係來討論。量測結果如圖 2-101 所示，可知鉑金屬感測電極與溫度呈高度線性關係，每升 1°C 電阻變化約為 2.7Ω 左右，此可為未來酸鹼值及電導量測等其他溫度校正之應用。最後電導量測部份，由於電導主要與電阻倒數成正相關，故在此主要利用訊號擷取電路量測出電阻訊號後，經數據整理繪製出其電導度與電壓關係圖，如圖 2-102 所示。圖中顯示隨著離子濃度增加造成電導度上升，相對地感測電壓也增加，與預期相符，而其偵測極限 $\leq 0.1\text{mS/cm}$ ($100\mu\text{S/cm}$)，而可偵測最高電導度為 15.5mS/cm 。而從圖 2-102 亦可得知，電導度 $>3\text{mS/cm}$ ，電導度的量測電壓變化趨於緩慢，亦即電壓變化誤差可能影響到讀值的準確性，因此需要透過重新設計感測電極大小，以及電路調整，才能夠更精準量測高電導度水樣。

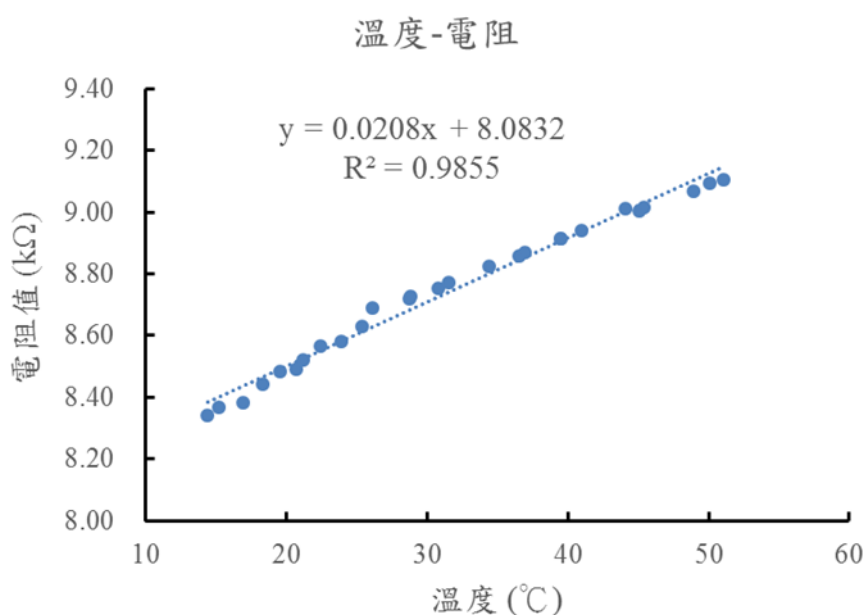


圖 2-101、鉑金屬電極電阻與溫度關係圖

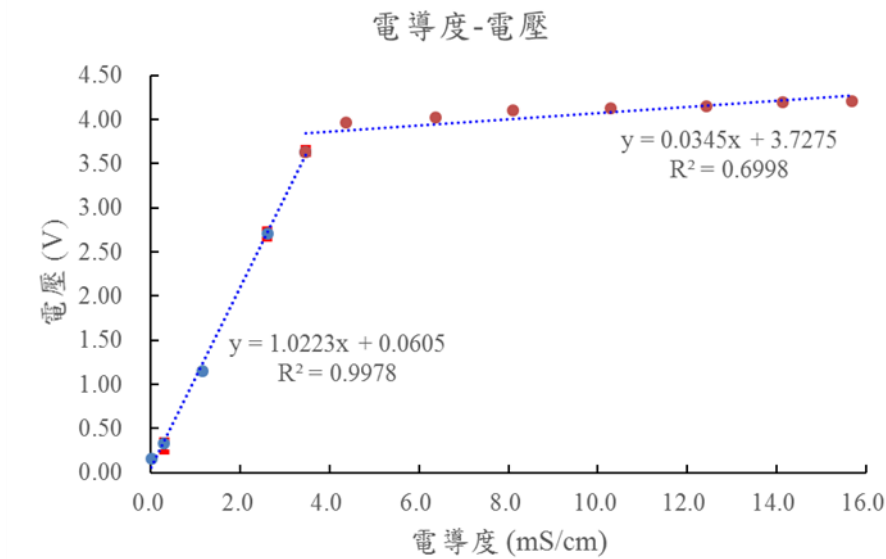


圖 2-102、在 25°C 溫度下，鉑金屬感測元件電壓與電導度關係圖

2.4.4 小結

本計畫在銻錫氧化物感測薄膜上製作酸鹼值感測元件，並採用鉑金屬電極做為電導度與溫度感測元件，利用後端電路進行量測。結果顯示，水質酸鹼測量範圍達 pH=1~pH=13，經後端電路轉換輸出電壓，其靈敏度從酸性滴定到鹼性與鹼性滴定到酸性分別為-55.03mV/pH 以及-57.74 mV/pH，精確度為±0.1 pH，且其通道電流量測結果穩定性佳，不同酸鹼值對應輸出電壓值線性度也可達 $R^2 = 0.978$ ，而溫度部份，鉑金屬感測電極電阻對應溫度變化特性線性度達 $R^2 = 0.9814$ ，精確度為±0.5°C。電導部份則顯示隨著離子濃度增加造成電導度上升，相對地感測電壓也增加，而最高與最低偵測極限分別為 15.68mS/cm 以及 0.07mS/cm (70 μ S/cm)，誤差±5%，但當電導度超過 3mS/cm，會有一定的量測不穩定性，這會是未來電路重新設計之重點。

第3章、多功能水質感測器系統整合組裝與測試

本計畫將以即時性、便利性與自動化等功能以及採低成本為理念，設計製作一小型化多功能水質檢測系統。目前重要的水質檢測項目如重金屬離子濃度分析技術，主要運用架設於實驗室中的大型分析儀器，卻面臨不易搬遷至現場進行即時檢測與造價十分昂貴之問題。此外，現地檢測主要是以流動注入分析法設計的全自動流動分析儀(如下圖 3-1 所示)，雖有自動化採樣、分析快速、高精確度及低偵測極限等特性，但其系統龐大且造價昂貴以致無法實際搬運至現場進行量測。近來市面上亦有可在野外進行自動化水質檢測系統，如圖 3-2，但無法偵測水中較低的離子濃度(如 ppb/nM 等級)，造成靈敏度不佳，再者，造價也十分可觀。因此，若要達成可於野外輕易搬運以具高靈活度，且可自動化即時監測水質之目的，而在價格上更需大幅降低到可普及於一般非專業人士，勢必還有大幅改善空間。

水質監控目的在於提供水體品質相關資訊，最常應用於日常飲用水、工業廢水處理、水庫河川水質相關研究及水產養殖。本計畫提出透過自動化、監控、通訊及控制技術建立小型自動化水質監控系統裝置，而裝置亦將建置水樣前處理模組，以去除直徑為 $5\mu\text{m}$ 以上之顆粒，以避免檢測晶片中的微流道阻塞，並阻絕藻類以及微生物進入檢測晶片，以避免附著在感測電極，進而影響感測電極的精確性、穩定性及壽命，並使用模組化的無線感測器整合至微型化水質監控系統裝置進行監測資料的無線傳輸，主要是因為無線感測器本身具有定位、資料收集、接收功能、低電流消耗與擴充介面，量測時可與自製水質感測器連接，達到即時監控水質狀況。

大型 (2公尺×1公尺×3公尺)

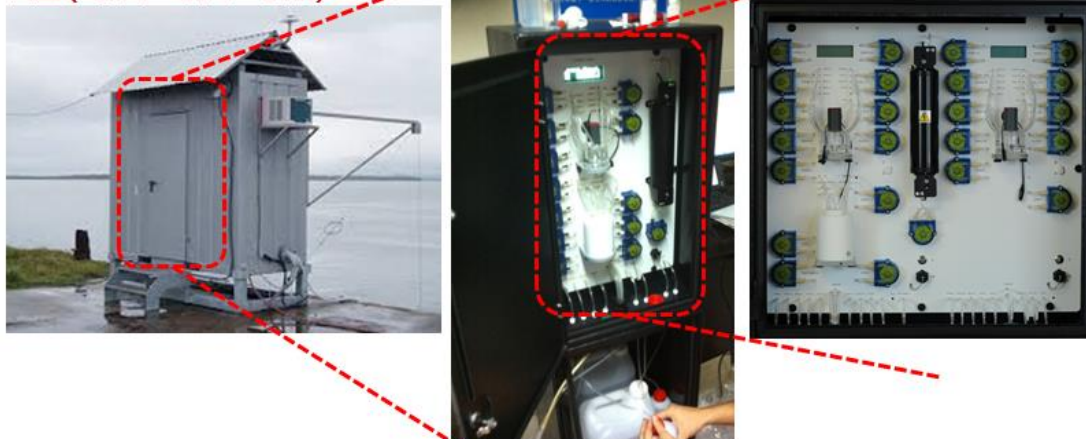


圖 3-1、現地線上水質監測系統



圖 3-2、線上即時水質監測系統

3.1 多合一水質處理節點

3.1.1 原理與目的

水質感測多合一的主要門檻在於訊號之間的交互干擾問題，先前報告指出電極式水質感測元件訊號極其微弱，加上多組感測元件通常放置於同一目標水體內，相較於感測元件的高內阻特性，水便成為一個絕佳的導體，因此多種感測器整合時就會面臨訊號電位相互拉扯的問題，造成量測數值飄動甚至無法反應水體狀態最終導致感測裝置無法運作，因此多合一的開發上重點在於解決訊號相互干擾問題。

多合一即代表了同一單元中必須同時存在多組感測器，而水質感測器高內阻的特性下水體自然成為相對極低的導電路徑，如圖 3-3 所示， R_2+R_3 為量測電極的內阻， R_4+R_5 為參考電極的內阻，通常高達 $G\Omega$ 以上等級； R_1 為待測液體的阻值，通常為數 K 至數百 $K\Omega$ 等級，比感測器內阻低了百萬倍以上，電流的流向就如同水往低處流的道理，當同一水體中存在多組感測器時，感測器之間的電流不會只在自己的量測電極與參考電極之間流動，甚至會大部分透過水體 R_1 流到其他感測器，因此造成了不同感測器之間的訊號相互干擾，輕則影響量測精度，嚴重則造成感測器完全無法正常工作。

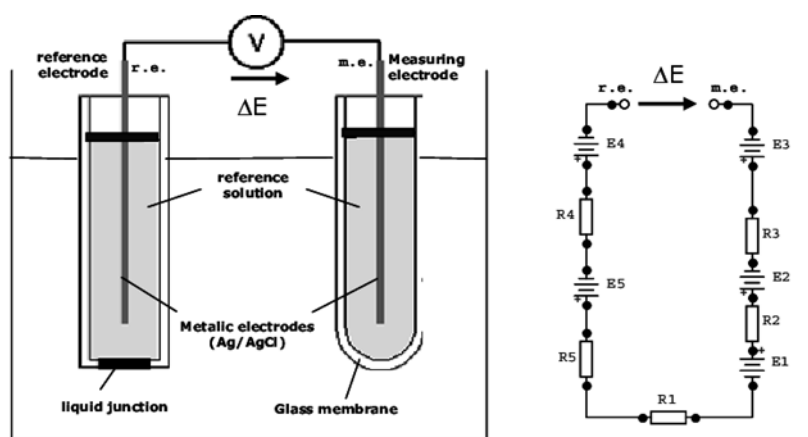


圖 3-3、pH 感測器結構與等效電路

因此在多合一節點的電路設計上，必須謹慎考量每一個接觸水體的感測器隔離問題，如此才可避免感測訊號相互干擾的問題。

3.1.2 實施步驟與方法

承先前開發的水質前處理電路模組，已將此模組設計為完全隔離獨立運作的狀態，因此在導入多合一設計時降低了许多可能發生的干擾問題，也增加了在多合一節點電路上的設計彈性，相較於以市售模組進行整合的作法更可進一步降低整體裝置功耗數倍以上。裝置電路板核心使用嵌入式單晶片處理器進行整合控制，並可即時針對各組感測數值進行相關的補償校正計算，透過 LCD 顯示器與面板按鍵可直接操作感測器配置、校正設定等功能，降低工程人員的安裝難度，達到更快速佈建的目的，處理節點整體架構如圖 3-4 所示。

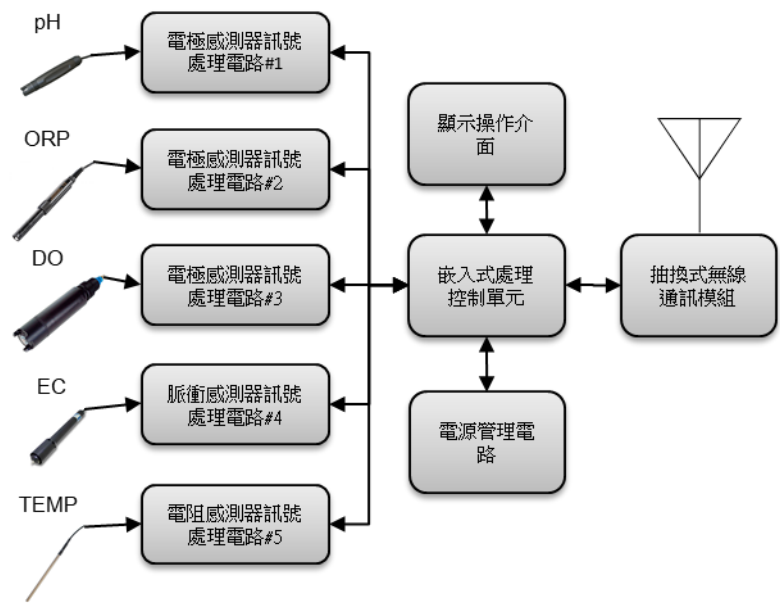


圖 3-4、多合一水質感測架構

整體的電路圖如圖 3-5 所示：

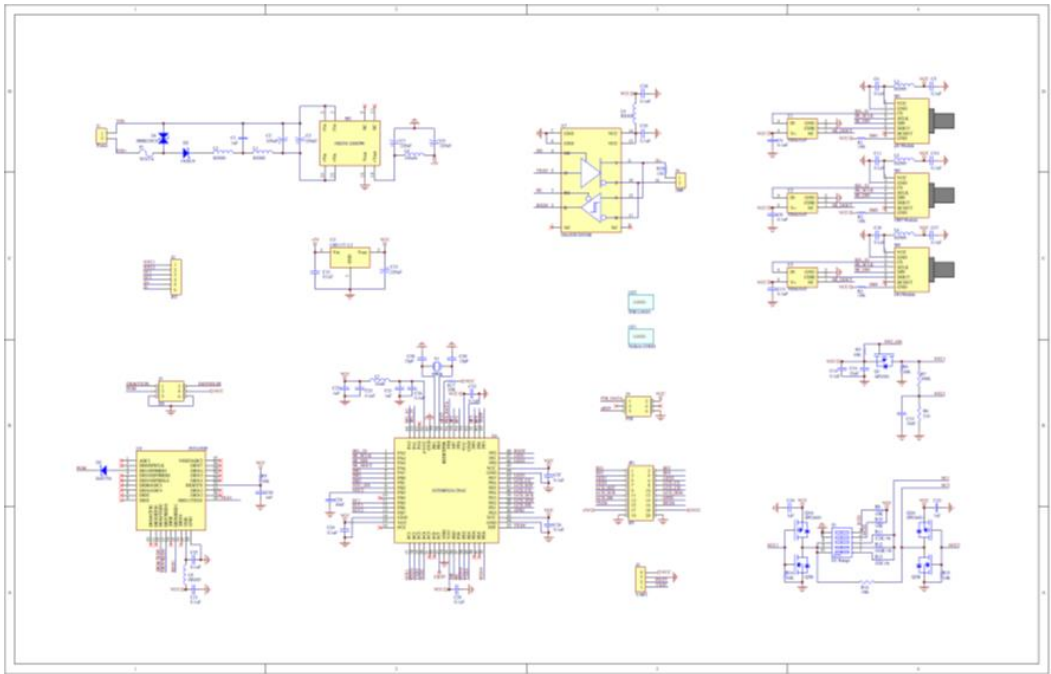


圖 3-5、多合一水質感測節點電路圖

在各通道的隔離設計上，並非將全部通道隔離就是好設計，必須考量到產品化的成本、電路合理性、電路板佈局…等等因素；本成果之隔離設計如圖 3-6 所示，其中實線為非隔離電路，虛線為隔離電路。訊號前處理電路由於負責電極感測器的超微量電流訊號，因此三組模組均獨立具有隔離設計；溫度感測的部分則因為接觸水體的感測器本身即為絕緣包覆的設計，因此電路無須隔離；電源模組亦採取隔離式模組，阻斷外部電源與待測水體之間因為地迴路而產生的電流問題。導電度電路與其感測器則與節點本身成為一組獨立的迴路，因此也可視為單獨的隔離，如此架構即實現了多合一節點在每個感測器迴路下皆具有獨立隔離的狀態。

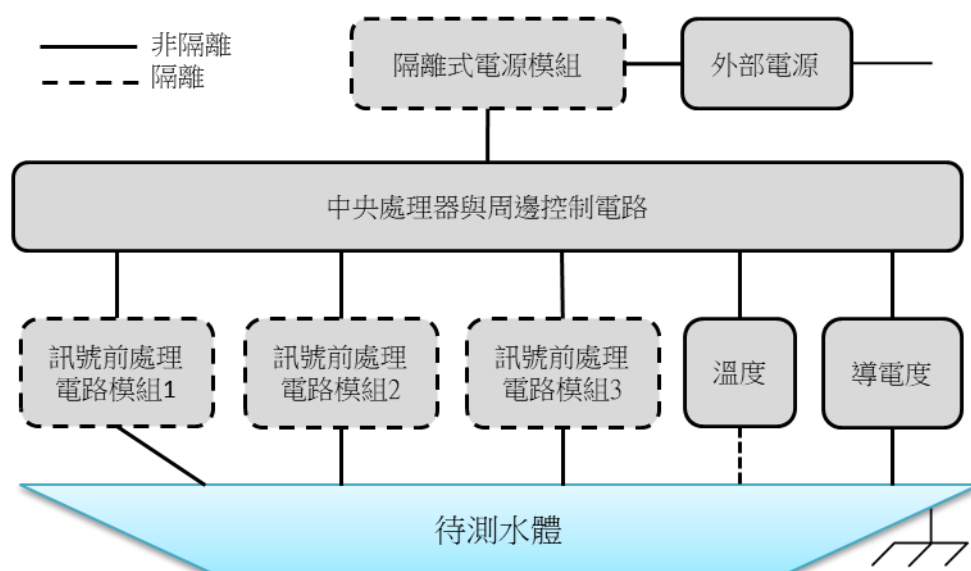


圖 3-6、多合一水質感測通道隔離架構

節點包含了五組感測電路，分別是三組電極感測器訊號處理模組、一組脈衝感測器訊號處理電路、一組電阻感測器訊號處理電路。電極感測器訊號處理模組即為先前描述的訊號前處理模組，這是針對高阻抗電化學感測器諸如 pH、ORP、DO、重金屬離子等這類的感測元件訊號特性所設計的隔離型前處理模組。

脈衝感測器訊號處理電路負責導電度量測工作，導電度(Conductivity)為將電流通過 1cm^2 截面積，長 1cm 之液柱時電阻(Resistance)之倒數，單位為 S/cm (mho/cm)，導電度較小時以其或表示為 mS/cm 或 $\mu\text{S/cm}$ 。實務上會以固定

頻率的直流脈衝電流來進行量測，但若長時間使用直流電容易造成正負感測電極上的氧化還原反應，造成電極上附著異物而影響量測。本技術以交換相位週期性脈衝訊號來防止電極氧化，電路上以二顆 SPC6601 配對 MOSFET 構成 H 橋電路，如圖 3-7 所示，左右二邊各一顆 SPC6601 構成高電位與低電位的開關迴路，並以單晶片輸出二組互為反相的震盪訊號，頻率約為 1KHz。當左半側為高電位時，右半側則為低電位，反之亦反，結構如同英文字母 H 結構，受力在其中的負載透過特定電阻限流後連接感測器，形成一個正負週期性變換的限電流訊號，因此當目標水體阻抗改變時，電極之間的阻抗就會形成一組同步改變的電壓輸出，此電壓會與水體導電度成線性關係；而因為電流方向是不斷轉變的，因此也同時避免了電極被氧化還原而覆蓋異物的問題。

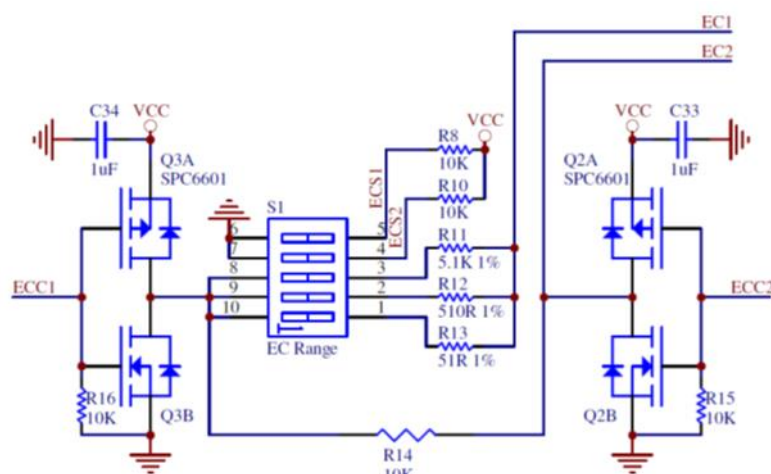


圖 3-7、導電度量測 H 橋電路圖

電阻感測器訊號處理電路負責水溫的量測，感測器使用的是 NTC 負溫度係數電阻，目標溫度會與感測器電阻呈現非線性反比關係，因此電路設計上使用一個 AP2303 MOSFET 做為電壓開關，在量測需求的當下才開啟電壓，這樣可以避免在非量測時間時加注在感測器上的電流使得感測器溫度上升，影響量測精度。當電壓開啟後，會透過一只電阻做限流，此定電流加注在感測器上後會產生一組電壓，此電壓就會與感測器量測到的目標溫度呈現相關性，進而得到溫度量測值。

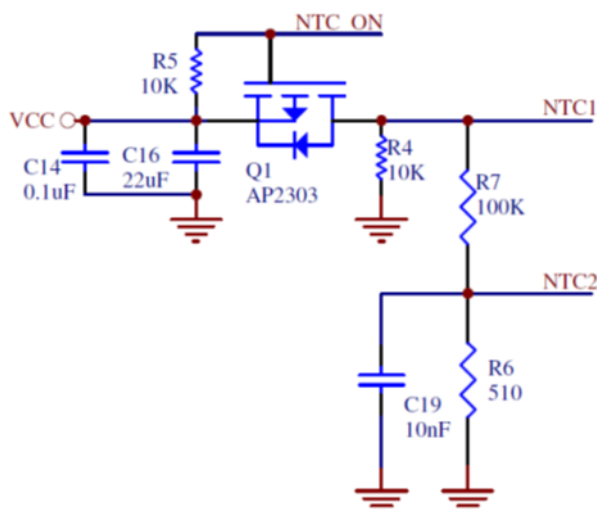


圖 3-8、溫度量測電路圖

整個節點的周邊工作協調控制透過一只嵌入式處理器單元來進行，本技術使用 Atmel 生產之 AVR ATxmega128A3，這是一顆具有運作穩定、低耗電、高效能等特性之 8 位元單晶片 RISC 核心處理器，但因部分指令集及資料匯流排為 16 位元，因此又歸類為 8/16 位元處理器，內建有 ADC、DAC、SPI、UART、I2C 等豐富 I/O 介面，128K bytes Flash 程式空間、8K bytes 記憶體單元，4K Bytes EEPROM，運算速度可達 32MIPS，加上豐富的指令集使得處理速度超越一般 8 位元處理器數倍，高度整合的設計也讓周邊幾乎不需要再其他元件即可運作，市場價格小於 4 美元，且自身低功耗小於 50mW，更符合低功耗的需求，其內部等校電路架構如圖 3-9 所示。

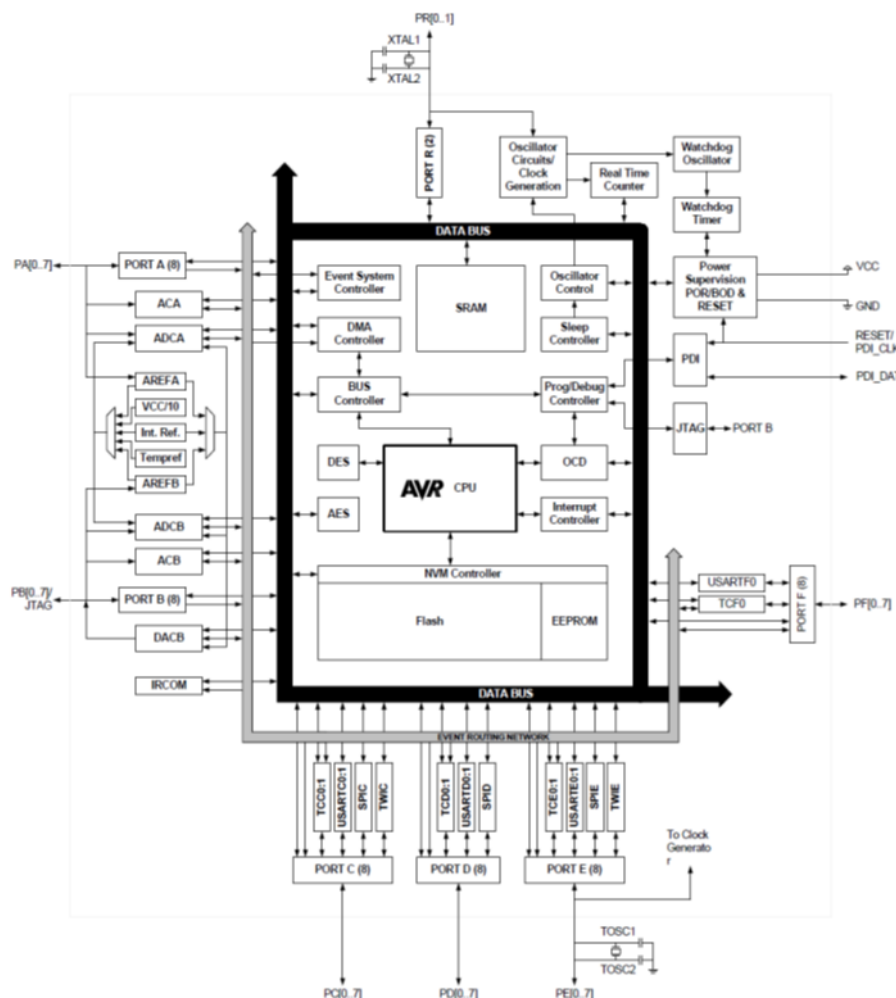


圖 3-9、嵌入式處理器內部等校電路圖

節點電源部分考慮到應用環境的多變性，因此以 DC10-30V 的廣域供電範圍為目標。硬體內部電壓則使用 DC5V 及 3.3V，低電壓的好處可以降低功耗、減少零件自發熱造成的誤差等，為現今電子產品設計的趨勢。另外考慮到多合一感測器干擾問題，隔離式電源成為設計上的重點。若以一般非隔離穩壓電路來處理，因為電流迴路共地相通的關係，上前描述的導電度與溫度感測電路並沒有獨立存在隔離電路，因此有可能會導致極微小的感測訊號遭衰減，造成無法感測到真正的數值，表現出來的會是呈現不穩定跳動甚至完全無法顯示。因此電源管理部分採用 MINMAX MIW2322 隔離型 DC-DC 轉換器，外觀如圖 3-10 所示，這是一顆具有 1500V 的隔離能力，可以承受 DC9-36V 的四倍輸入電壓範圍，600mA 的電流輸出能力，漣波輸出小於 50mVp-p，轉換效率 80%，並通過 EMI

規範認證之 DC-DC 電源轉換模組，使得外部電源得以與節點內部完全隔離，再加上內部隔離型前處理訊號模組的格局，構成各通道感測器訊號獨立隔離的運作環境。



圖 3-10、隔離型電源模組實體圖

顯示操作介面部分採用 128x64 像素之單色液晶模組，搭配 4 組按鍵做為操作按鈕，此介面可直接操作設定與校正相關程序，並可透過顯示畫面即時瀏覽各感測器的感測數值，使得感測節點本身也具備獨立運作的功能。

3.1.3 重點研發成果

在以前述設計為基礎後進行電路板佈局，佈局以模組化設計為考量，設計三組感測訊號前處理電路模組安裝槽，預設為酸鹼度(pH)、氧化還原度(ORP)及水中溶氧量(DO)感測器連接點；另外溫度與導電率感測直接設計在主板上，並預留抽換式通訊模組連接端子，實際製作完成的電路板雛形如圖 3-11 所示。



圖 3-11、多合一感測節點主電路板實體圖

外殼使用 IP65 防水規格品，具有可啟閉之側開透明蓋，設有掛鎖孔可供加裝防止他人操作。透明蓋內部為液晶顯示螢幕與操作按鍵，使用者可透過此介面進行讀取、設定、校正等三大類工作。可經由螢幕讀取各感測器的量測數值以及資料通訊狀況；設定可透過按鍵輸入各感測器預設狀態、補償因子、單位等等訊息；校正可透過使用標準液的比對，進行斜率、零點等調整，輸入相對應的補償參數進行校對。外殼下方設計有四組防水式迫緊頭提供感測器、通訊、電源接線使用，整體外觀如圖 3-12 所示：



圖 3-12、多合一水質訊號處理節點原型實體圖

3.1.4 小結

本年度成功開發水質感測訊號前處理模組，並整合脈衝導電度量測、溫度量測電路，共同整合設計多合一水質訊號處理節點，將五種常用之水質感測整合於單一裝置內，可搭配多數市場上共通性的感測元件，例如 pH、ORP 等，有效降低水質感測應用成本，預期可應用在廣泛的市售水質感測元件。本成果由於掌握完整軟硬體設計資源，因此未來亦可透過修改韌體或部分硬體來適應例如重金屬、氨…等其他特殊感測器，拓展產品應用範圍。

3.2 物聯網通訊模組

3.2.1 原理與目的

承期中之 LoRa 通訊模組成果，為驗證通訊模組之效能，本研究將開發之通訊模組直接結合本年度原型機實地佈建進行測試。LoRa 先進的展頻技術使其接收靈敏度可達到-129dBm 優秀特性，然而實際應用時的地形地物、天氣狀況、環境干擾、元件誤差…等種種因素通常會讓結果不如理論。從 SEMTECH AN1200.22 白皮書指出理論上在-126dBm 以上強度訊號皆可接收，文件中在日本東京市區進行實地測試，從測試的傳輸成功率資料來看（如圖 3-13），基地台天線架設於 35 公尺高(約十層樓)的建築物條件下，LoRa 在 H 點接收訊號強度大於-126dBm 時資料失誤率為 10%，此時距離基地台為 1350 公尺，在 D 點地鐵站入口地勢較低地區，通訊距離大幅縮減為 330 公尺，訊號強度為-124dBm，資料失誤率為 10%。

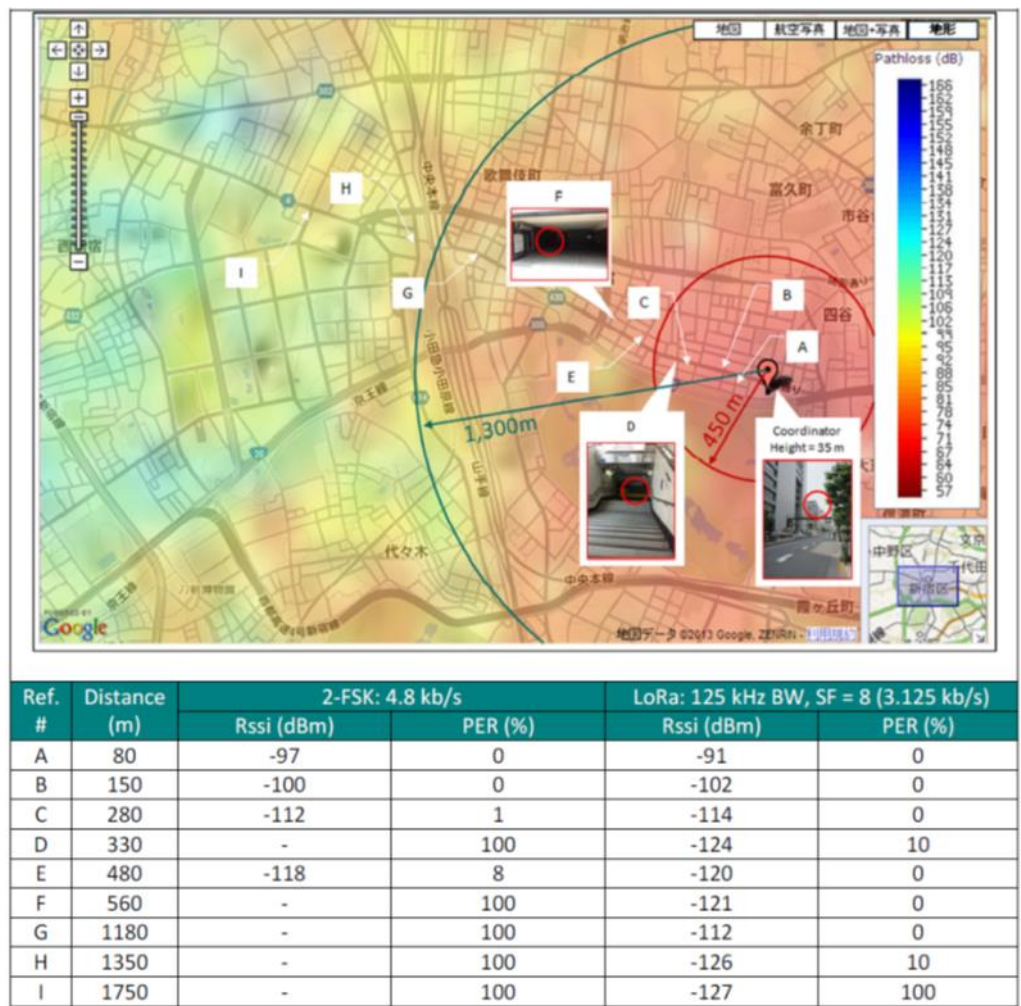


圖 3-13、SEMTECH 白皮書東京市區測試

從以上結果來看，正如無線通訊的物理限制，地形地物同樣對於 LoRa 通訊距離有很大的影響性，以架高到 10 層樓高度的基地台來看，若要確保通訊的成功率，實用通訊距離約在半徑 1000 公尺上下，若周邊有建築物件或處於低窪，更要下修到 500 公尺以下，這份資料可初步瞭解 LoRa 在大都會市區的通訊能力。

本計畫在桃園市大園區一帶進行 24 點原型機佈建，其中 22 個點較為集中因此規劃以 LoRa 為主要無線通訊介面。該地區鄰近桃園機場且主要為農田用地，環境寬敞無高聳建築物，但仍有部分區域屬於工業區且有廠房等地形物件，勢必對射頻訊號造成影響，本計畫將於此區域選點佈建基地台，以期能接收範圍內所有感測點資訊。

3.2.2 實施步驟與方法

圖 3-14 為桃園市佈點位置圖，分佈較為瘦長，其中點 A 及點 14 分別為二個最遠點，二者間直線距離為 2810 公尺，點 F 以下有較多建築物障礙，加上大多數的點集中在點 F 半徑 1000 公尺內，因此基地台的建置位置選擇以此點附近為主。經過多次造訪現場及相關可行性狀況評估後，在距離點 F 偏北約莫 60 公尺處有一座土地公廟，經過多次與當地里長、鄰長及廟方維護人員協調後，同意商借土地公廟外牆做為基地台架設的地點，並取得所需要的市電電源。



圖 3-15、LoRa 訊號測試用發射器



圖 3-16、現場訊號測試

3.2.3 重點研發成果

基地台工程使用鋼骨鎖附在土地公廟外牆，高度約 5 公尺，裝置二組全向性天線，防水 LoRa 閘道器 (Gateway) 架設於骨架中間盡可能靠近天線，避免天線線材過長造成訊號衰減的問題；閘道器透過乙太網路連接並採用 PoE(Power over Ethernet)供電，以網路線材佈線至內側遮雨棚之金屬電控箱後，再經由 4G 路由器透過行動網路將資料傳輸至後端伺服器，電控箱並設置抽風扇防止內部溫度過熱造成當機，提升基地台整體穩定性，圖 3-17 為架設完工的基地台現場。



圖 3-17、桃園市 LoRa 基地台現場

經過實地測試 22 個點位訊號強度結果如表 3-1、各點位訊號強度測試結果所示，點 A、B、C、E、G 最低強度落在-123~-125dBm 範圍，屬於訊號狀況比較差的點，其中點 A、B、G 與基地台距離分別為 1880、1430、1540 公尺，明顯在規劃半徑 1000 公尺範圍外，因此符合預期訊號會比較差的狀況，且點 A 與 B 實際佈建點更低於路面水平，更劣化了訊號條件；點 C 落於半徑臨界點，且與基地台之間多數為建築物，因此也看到了訊號強度較弱的狀況，點 E 距離雖然僅 679 公尺，但與基地台中間存在許多工廠建築物，部分為鐵皮建物，推測因此造

成訊號較不穩定的情形。

即便如此，在此基地台的架設條件下，仍然可以收到所有 22 點的資料，滿足涵蓋所有感測點的需求。

表 3-1、各點位訊號強度測試結果

點位代碼	直線距離(M)	最低強度(dBm)	訊號狀況
A	1880	-125	★
B	1430	-122	★
C	1010	-125	★
D	839	-113	★★
E	679	-123	★
F	20	-78	★★★★★
G	1540	-124	★
H	675	-112	★★
1	896	-116	★★
2	631	-106	★★★★
3	849	-105	★★★★
4	267	-97	★★★★★
5	370	-107	★★★★
6	533	-96	★★★★★
7	860	-110	★★
8	472	-100	★★★★
9	182	-100	★★★★
10	276	-100	★★★★
11	468	-91	★★★★★
12	586	-101	★★★★
13	830	-105	★★★★
14	1040	-112	★★

3.2.4 小結

年度成功開發抽換式 LoRa 無線通訊模組，滿足低功耗、傳輸距離長、穩定性高、抽換式等特性，並透過實際建置基地台建構規劃經驗，且成功應用於原型機佈建，透過後端 iCenter 資料伺服器接收處理各感測器之 raw data 儲存於 SQL 資料庫中，提供應用端軟體進一步應用。受限於現場環境無法將基地台設置高度提高，若可將進一步提升訊號傳輸的強度與可靠性。未來可藉此技術與經驗，拓展符合 LoRa 需求之場域佈建，快速建立水質物聯網通訊技術能量。

3.3 新式小型化水質檢測系統原型機設計

3.3.1 原理與目的

目前水質檢測技術，檢測數據精確者如實驗室分析法，因其所使用的大型檢測儀器無法搬運至現場進行分析，而衍生出耗費時間採集、樣本保存及搬運過程充滿不確定變數等問題；而方便攜帶者如現場即時分析法，則因檢測程序或實驗設備過於簡陋而大大地犧牲了靈敏度與準確性。

本計畫採用微全分析系統(Micro Total Analysis System, μ TAS)，開發出一套具有多目標、即時性、自動化與遠端監測等功能之多目標即時遠端水質檢測系統用以檢測環境之水質，運用嵌入式系統(Embedded system)取代電腦下達指令，操控微型幫浦、微型電磁閥、多功能水質感測器，以及光學偵測模組等元件，用以取代大型檢測儀器內的各式元件，並藉由微機電系統(Micro Electro Mechanical System, MEMS)、微流體系統、光學偵測與分析、嵌入式系統、遠端網路監測等技術，製作出小型自動化水質檢測系統裝置，達到多目標即時遠端水質檢測之目的。

基於 105 年執行「水污染感測器與物聯網資訊展示先期研究計畫」所開發之微型化水質檢測系統裝置，其系統裝置包含水質檢測微流體晶片、多個流體驅動與控制元件、離子強度調節劑(ISA)儲存筒、清洗液儲存筒、微控制器、量測資料儲存槽、藍牙無線通訊模組以及行動電源，並於實場可進行運作。因此，考量實場情況與監測標的，本計畫亦重新規劃設計小型化水質監測系統原型機，其系統原型機之各零組件使用規劃與運作流程如圖 3-18 所示。

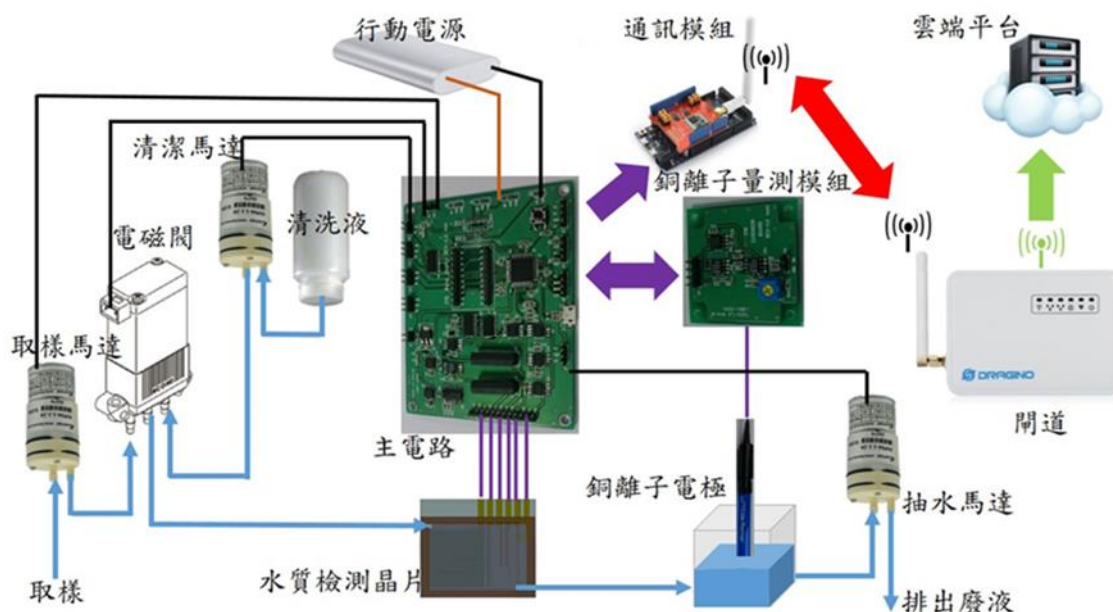


圖 3-18、(a)水樣前處理模組外觀。(b)水樣前處理模組內裝設計。

其中系統原型機所採用之微流體晶片，係利用微型流道管線技術以及電化學檢測技術/光學偵測技術，整合水中 pH 值、電導度感測電極，以及電化學感測電極/光學偵測模組於一微流體晶片，使其成為一移動式分析系統。而微流體晶片包含水樣/清潔液注入區、水質物性(酸鹼值、電導度與溫度)檢測區，以及 CODs 光學檢測區與銅離子濃度檢測區，最後由廢液排出口排出。水樣透過與外殼設有相對應之流體管道與注入穿孔經水樣/清潔液注入區的注入口注入流道，並流入水質物性檢測區進行溫度、電導度與酸鹼值檢測，而後水樣繼續注入 CODs 光學檢測區與銅離子濃度檢測區，進一步進行 CODs 濃度與銅離子濃度檢測，最後由廢液排出口排出。而流體驅動與控制元件分別連接各相對應的注入穿孔與注入口，用以驅動流體流動。而每次檢測所需的水樣體積大約 1 ml，並且在每次檢測完畢後利用自潔程序將清潔液注入清洗微流道與感測電極，以避免廢液或者污穢物殘留，進而影響電極靈敏度與準確度，整個清洗時間可在 60 秒內完成，而配合實場環境，清洗時間可座談性調整。而感測電極進行待測水樣檢測在所量測得到的電壓/電流訊號，配合電子電路訊號處理器，進行訊號之轉換與判讀。測得待測水質物性與銅離子濃度值透過無線傳輸傳送至後端平台。而整個小型化水質監測系統原型機檢測流程與時間設定如圖 3-19 所示，係以 LoRa 做為無線傳輸模組，故每 20 分鐘檢測一次，而取樣跟清潔時間為 120 秒，係為整個系統原型機各個感測模組均填滿檢測水樣或者是清潔用水之時間。

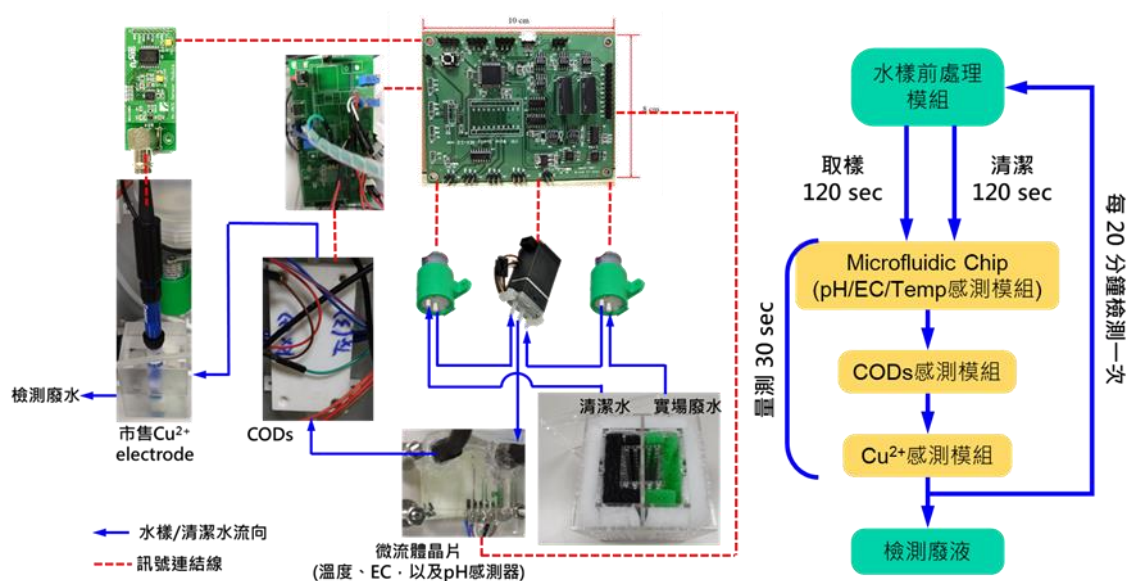


圖 3-19、小型化水質監測系統原型機檢測流程

但本計畫所製作之水質檢測晶片整合多種微小尺寸元件，包含流體注入口及排出口，並增設微型混合器與檢測流道出入口之導角等設計，使其成為具有高性能之水質檢測晶片，以提高實驗的便利性。但微流體晶片一旦阻塞，會導致水流通量明顯降低，而縮短微流體晶片之使用壽命，造成操作成本增加。因而將水樣進行前處理，以降低阻塞問題，是小型自動化水質監測系統裝置所必須面對的課題。

現階段對於微流體晶片微流道阻塞處理仍無比較明確的，一般仍以過濾器先行過濾較大之顆粒，並利用酸液清洗微流道，以避免微流道阻塞。本計畫的目的為針對水質檢測前處理部分，以過濾系統取而代之做為分析方法的前處理方式，選用適當之前處理程序，可延長微流體晶片使用壽命，增加感測器檢測效率，有效降低操作成本。水樣前處理模組設計如圖 3-20 所示。

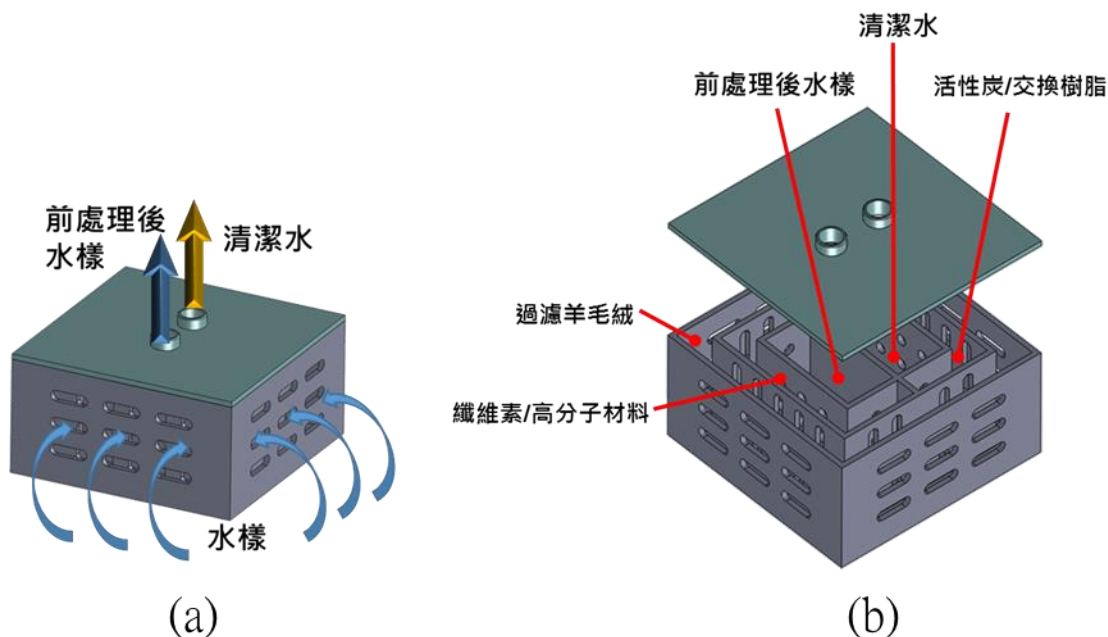


圖 3-20、(a)水樣前處理模組外觀。(b)水樣前處理模組內裝設計。

3.3.2 實施步驟與方法

本計畫製作之小型自動化水質檢測系統裝置，設計的重點在於運用電化學/光機偵測技術整合檢測晶片，使得原先架設於實驗室的檢測系統演變為小型自動化分析系統，並以整合電化學感測電極/光學偵測模組之微流體晶片取代。依系統設計可分為水質檢測晶片整合電化學感測電極/光機模組、微型幫浦、微型電磁閥、訊號處理與無線傳輸模組。檢測流程係啟動微型幫浦將檢測樣本經由水樣前處理模組抽取注入水質檢測晶片，先進行水中酸鹼值、電導度量測，再利用電化學感測電極進行水中重金屬離子濃度檢測，以及利用光學偵測模組進行 CODs 之量測，接著透過類比數位轉換晶片 (Analog Digital Convert, ADC) IC，將訊號由類比電壓/電流訊號轉換為數位訊號，再經訊號處理電路即時運算並得到檢測樣本之重金屬離子濃度以及 COD 值，最後顯示將量測數據透過無線傳輸模組傳送至後端監測管控平台，整體檢測系統原型機架構如圖 3-21 所示。而小型化水質檢測系統原型機體積為 $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$ ，實體如圖 3-22 所示，相關感測模組實體如圖 3-23 所示。

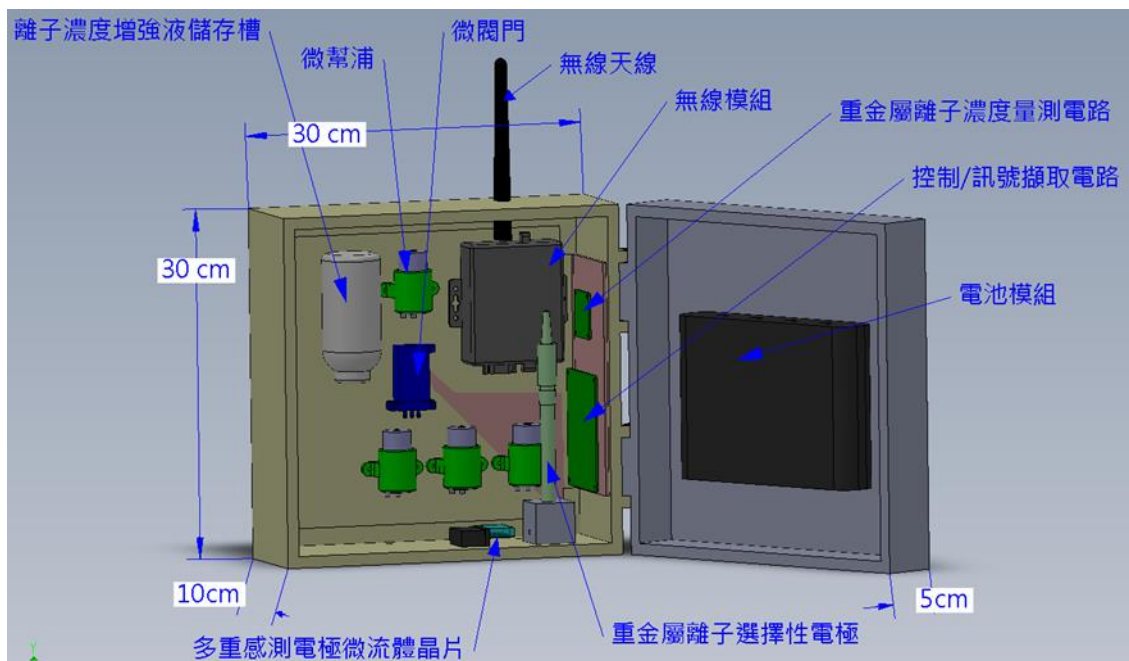


圖 3-21、小型化水質監測系統原型機設計

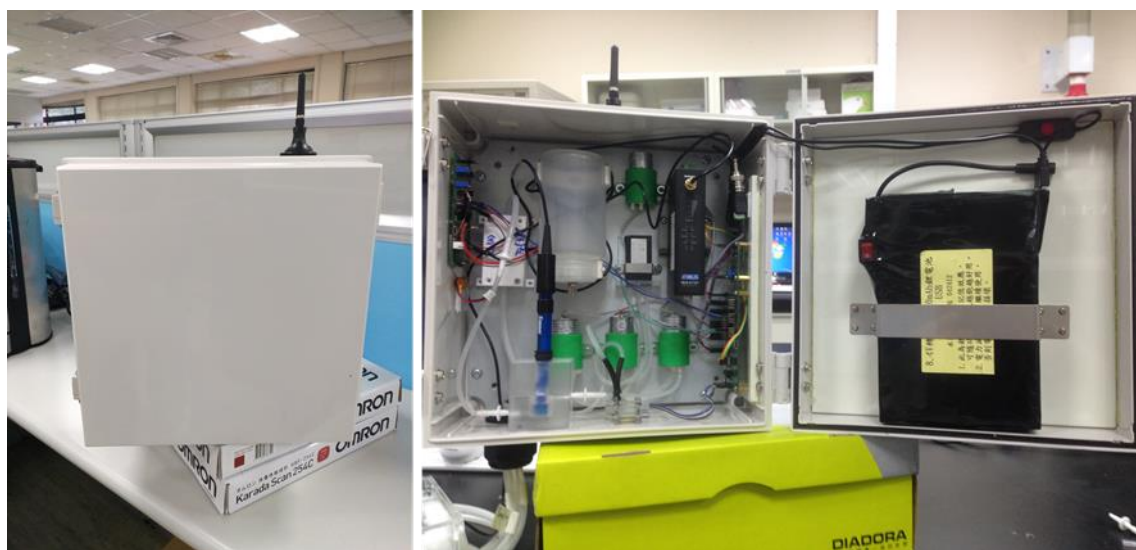


圖 3-22、新型微流體整合原型機實體

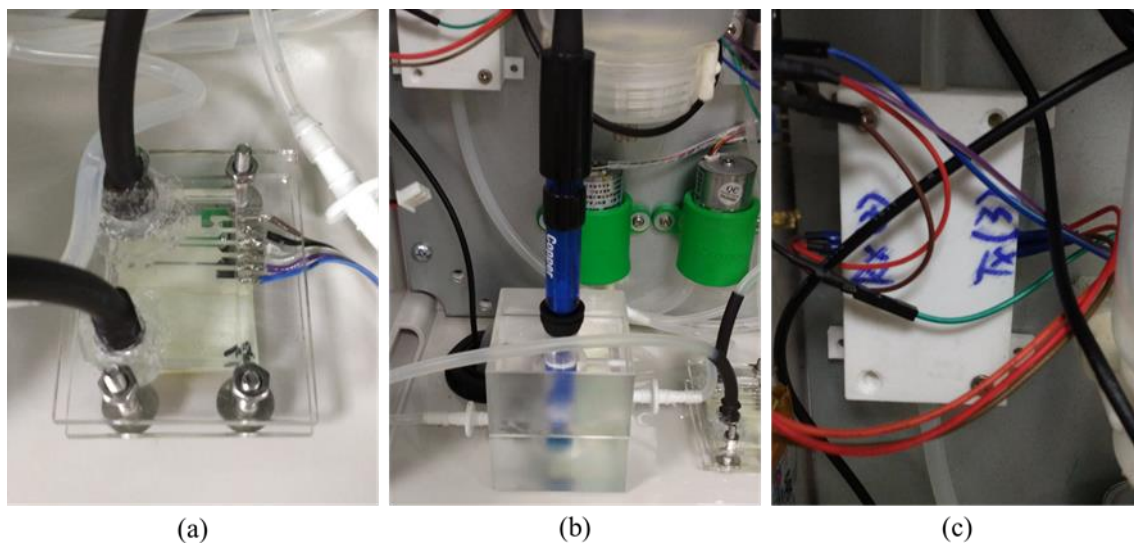


圖 3-23、(a)水樣物性微流體檢測晶片，包含溫度、電導度，以及 pH 感測電極；
(b) 重金屬離子濃度檢測模組；(c) CODs 光學檢測模組。

而水樣前處理模組外圍過濾材採用羊毛絨進行大直徑顆粒或者是髒污物的攔截，比白棉起來，孔細較小，因此攔阻效果較佳，且清洗過後仍可重複使用，降低維護成本。第二層濾材則採用化學纖維進行較小粒徑顆粒攔截，冀望能將大於 $5\ \mu\text{m}$ 之懸浮顆粒去除率達到 $>98\%$ 。另外，考慮到系統原型機空間利用率與維護等問題，本計畫將水樣前處理模組部分濾材更換為活性炭，加強水質過濾處理效果，做為系統清潔使用。圖 3-24 為水樣前處理模組實體以及濾材配裝。

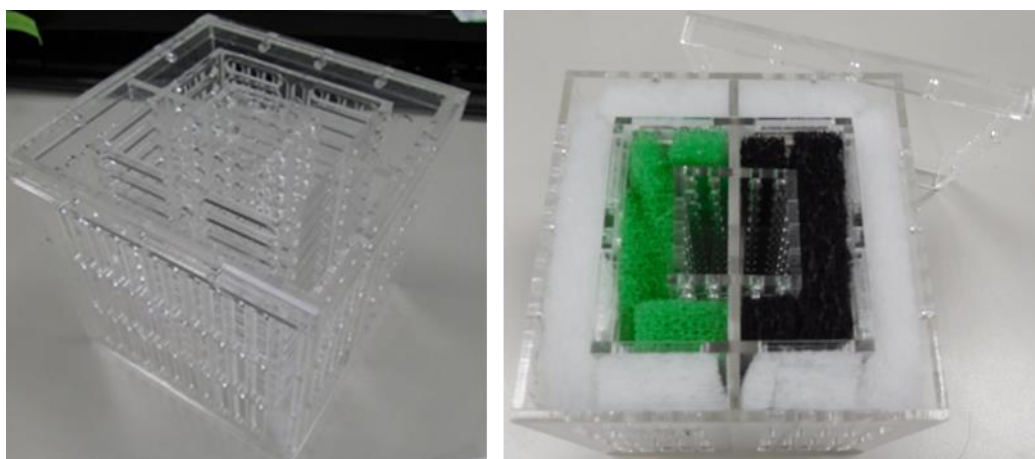


圖 3-24、水樣前處理模組實體與濾材配裝

3.3.3 重點研發成果

在完成濾材配裝後，採用已知濃度為每微升(μl) 1×10^4 的 50、20、10，以及 $5 \mu\text{m}$ 粒徑之塑膠微粒各 $5 \mu\text{l}$ 進行混合，以測試進行懸浮顆粒去除率。透過羊毛絨與化學纖維過濾後，在分光光度計下量測，水樣中 50、20，以及 $10 \mu\text{m}$ 粒徑之塑膠微粒已完全去除，但 $5 \mu\text{m}$ 粒徑之塑膠微粒的濃度為 1.73×10^3 ，換算後去除率 $>85\%$ ；再將第二層抽換成仿羊毛纖維做為濾材，利用相同混合液進行測試，發現 $5 \mu\text{m}$ 粒徑之塑膠微粒濃度降至 9.73×10^2 ，去除率為 90.27% ；最嘗試使用玻璃纖維過濾材，而 $5 \mu\text{m}$ 粒徑之塑膠微粒濃度為 1.53×10^2 ，去除率為 98.47% ，已符合本計畫的規劃，因此後續的過濾材均採用羊毛絨與玻璃纖維搭配進行微小顆粒之過濾排除。目前水體經羊毛絨與活性炭進行處理，在完成檢測確認水體處理後酸鹼值與電導度分別維持約在 6.8 跟 $540 \mu\text{S/cm}$ ，適合當作系統清潔使用。

在完成小型化水質監測系統原型機後，首先應建立原型機各檢測模組之檢量線，以便後續監測數據之判讀。各感測模組檢量線之建立，係以實驗室標準流程所配置之溶液加以進行量測，而各感測模組之檢量線如圖 3-25 所示，溫度、電導度、酸鹼值、CODs，以及銅離子濃度的 R^2 分別為 0.99、0.97、0.97、0.99，以及 0.99。

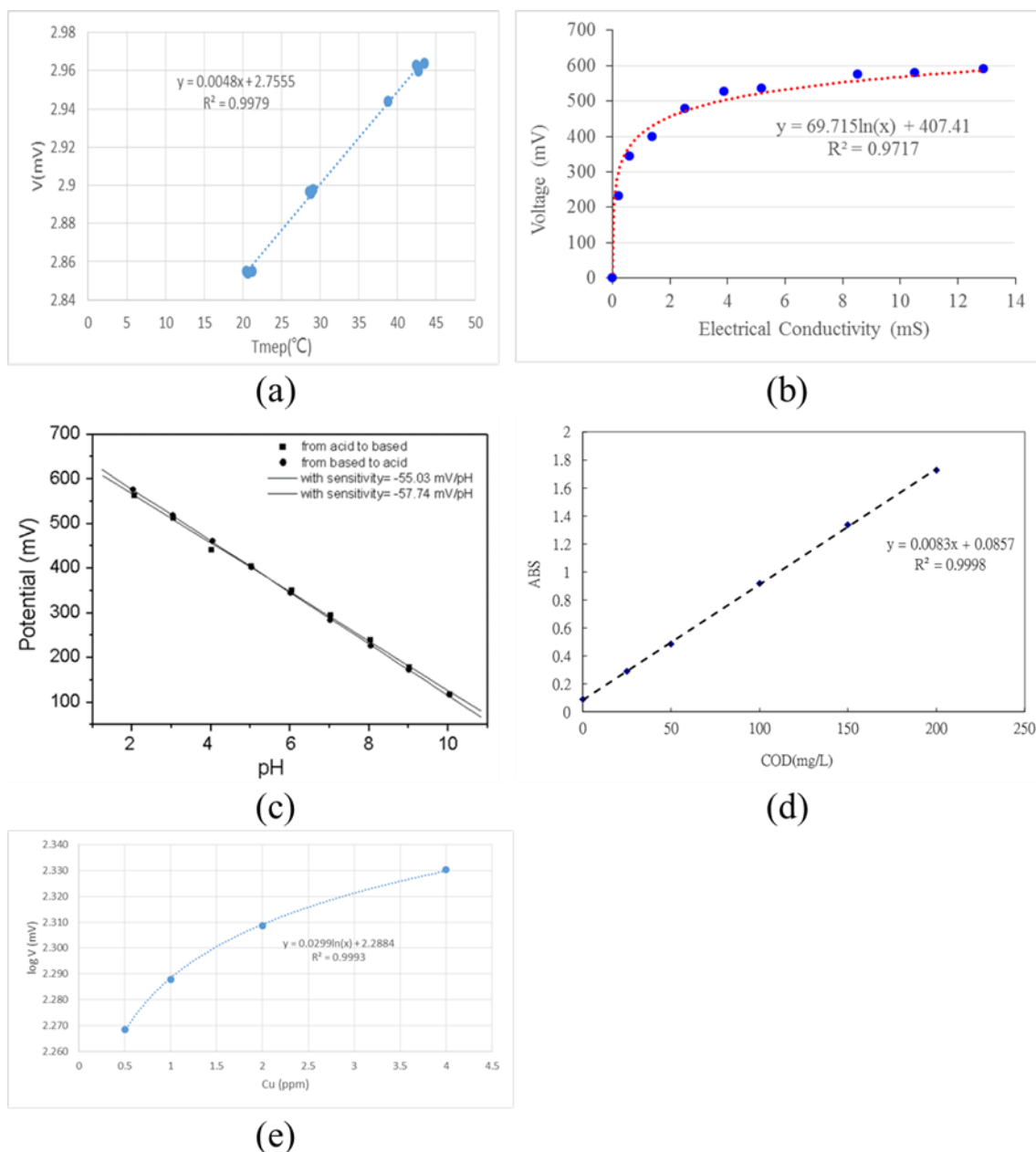


圖 3-25、各感測模組之檢量線：(a) 溫度；(b) 電導度；(c) 酸鹼值；(d) CODs；
(e) 銅離子濃度。

在完成小型化水質監測系統原型機各感測模組之檢量線建立後，便以竹東圳以及竹東廢水處理廠之實場廢水進行測試驗證，但其採樣之各項量測值無法完整驗證個感測模組之檢量線量測範圍，因此透過標準液的添加來驗證檢量現的可靠度，而實場廢水添加標準液也同時以實驗室機台加以定量，最後驗證結果如所示，可得知各感測模組之檢量線可正確呈現量測讀值，因此該小型化水質監測系統原型機邊能依照計畫規劃佈建於實地場域。

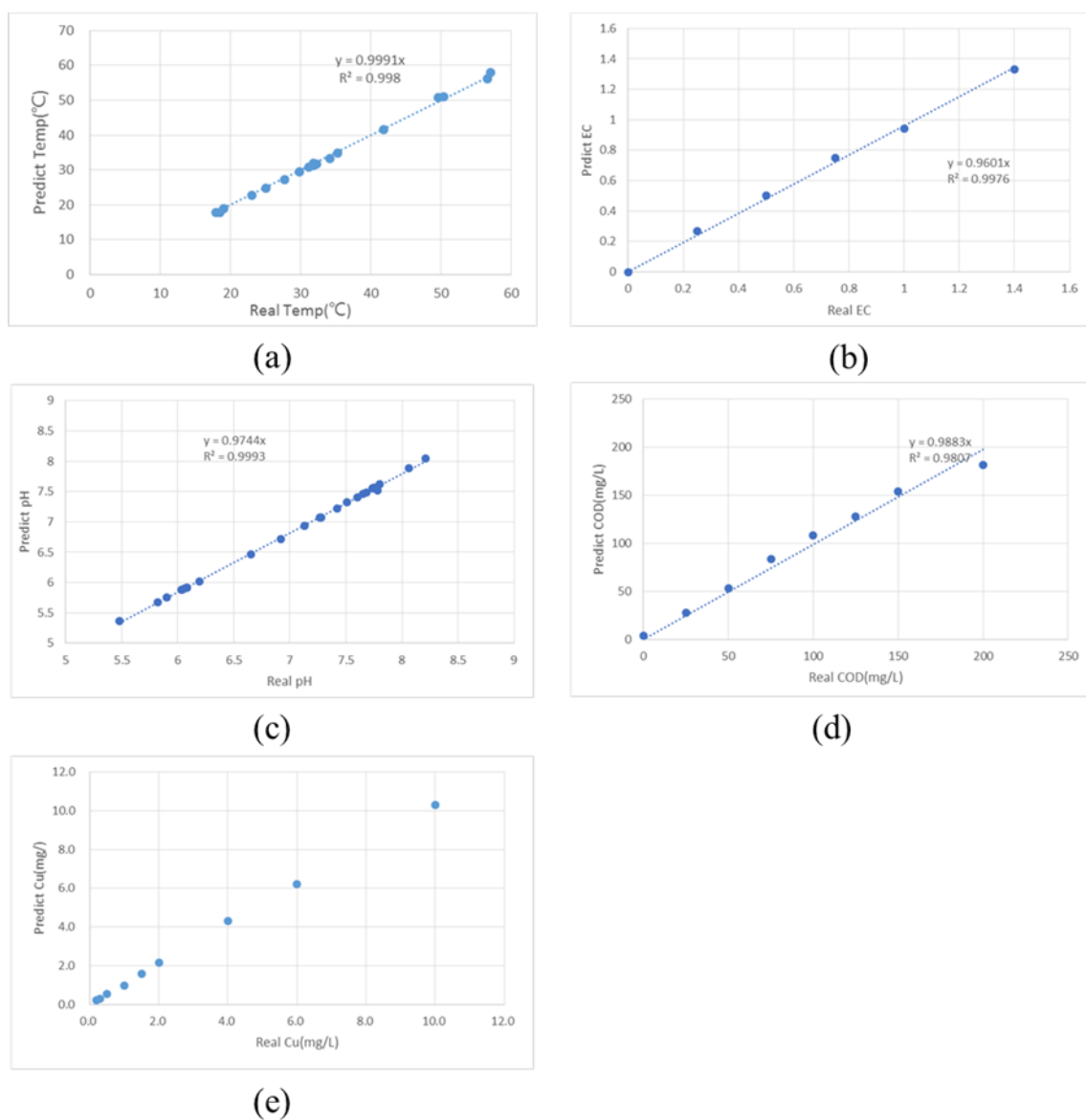


圖 3-26、利用竹東圳與竹東廢水處理廠之實場水樣進行各感測模組檢量線的可靠度驗證：(a) 溫度；(b) 電導度；(c) 酸鹼值；(d) CODs；(e) 銅離子濃度。

3.3.4 小結

現階段已完成小型化水質監測系統原型機設計製作與組裝，在組裝完成後除用標準液建立各感測模組之檢量線，亦透過竹東圳與竹東廢水處理廠之實場水樣進行可靠度之測試驗證，確認系統原型機可正確地量測到溫度、電導度、酸鹼值、CODs，以及銅離子濃度，以便大量佈建時能監測到正確讀值，此外，因為系統原型機安裝簡易以及維運簡單，將能夠提供未來實際物聯網之應用。

已完成水樣前處理模組設計與製作，並搭配不同的濾材可將 $5\ \mu\text{m}$ 粒徑之塑膠微粒去除率達到 98.47%，可大幅降低檢測微流體晶片堵塞問題。然而，為避免懸浮顆粒殘留造成堆積以及生物膜產生，因此在水樣前處理模組中搭配活性炭進行過濾水體，來做為系統清潔使用，並提高系統原型機空間使用率，在完成檢測確認水體處理後酸鹼值與電導度分別維持約在 6.8 跟 $540\ \mu\text{S/cm}$ ，適合當作系統清潔使用。

3.4 小型化水質檢測系統原型機整合組裝與測試

3.4.1 原理與目的

在「3.3 新式小型化水質檢測系統原型機設計」中，已針對小型化水質監測系統原型機加以說明其設計與製作原理，主要是利用微機電製程技術設計與製作水樣物性感測模組與 CODs 光學偵測模組，而銅離子濃度感測模組因微型化模組尚未驗證，故先採用市售銅離子濃度感測電極進行整合測試，並配合嵌入式系統，除了 CODs 光學偵測與銅離子濃度感測模組等量測訊號擷取與邏輯演算均有搭配之電路板外，在主要控制電路板即能完成水樣驅動與控制、水樣物性量測資訊擷取、CODs 與銅離子濃度量測資料蒐集，以及量測資訊無線傳送等程序，達到多目標即時遠端水質檢測之目的。小型化水質監測系統原型機，其系統原型機之各零組件使用規劃與運作流程就如圖 3-18 所示，而整個檢測流程與時間設定如圖 3-19 所示。

3.4.2 實施步驟與方法

本計畫製作之小型自動化水質檢測系統裝置，設計的重點在於運用電化學/光機偵測技術整合檢測晶片，使得原先架設於實驗室的檢測系統演變為小型自動化分析系統，並以整合電化學感測電極/光學偵測模組之微流體晶片取代。依系統設計可分為水質檢測晶片整合電化學感測電極/光機模組、微型幫浦、微型電磁閥、訊號處理與無線傳輸模組，整體檢測系統原型機設計規劃與實體分別如圖 3-27 與圖 3-28 所示，而相關感測模組實體如圖 3-23 所示。

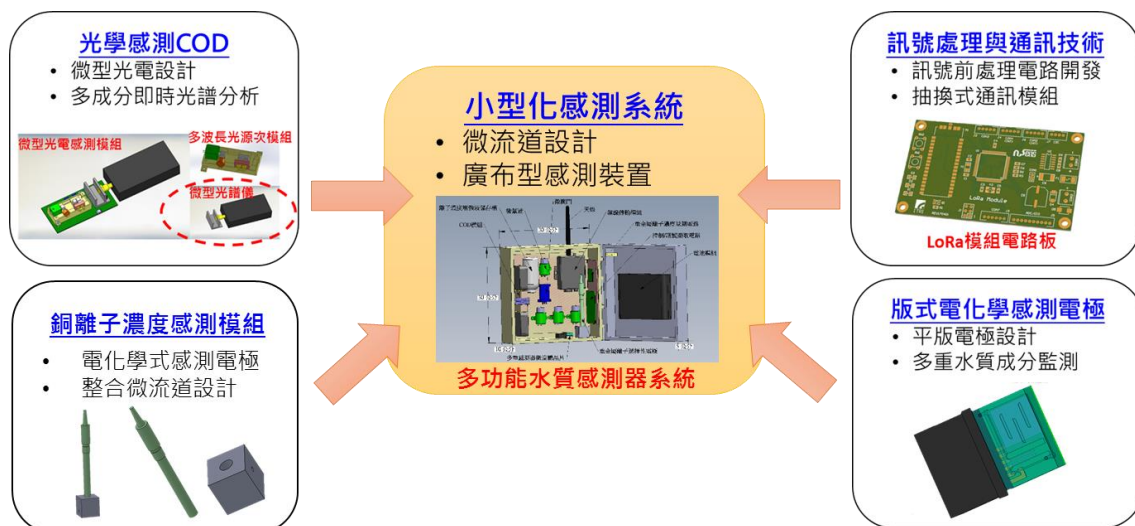


圖 3-27、小型化水質監測系統原型機設計規劃

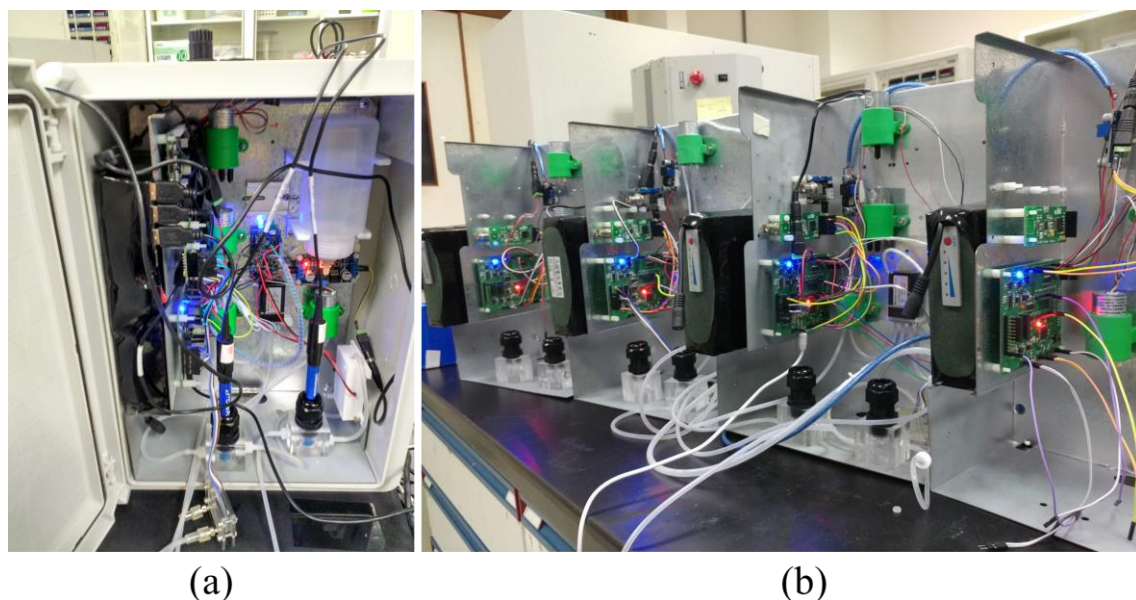


圖 3-28、小型化水質監測系統原型機實體

本計畫避免微流道阻塞，以過濾系統取而代之做為分析方法的前處理方式，選用適當之前處理程序，延長各感測模組之使用壽命，增加感測模組檢測效率，有效降低操作成本。此外，在考慮到系統原型機須長時間進監測程序，因此應有足夠的電源供應各個感測模組、水樣驅動與控制元件、訊號擷取與邏輯運算，以及無線傳輸之運作，粗略估計水質物性/重金屬離子選擇性電極感測模組，以及流體控制模組(微幫浦與微閥門)耗電量，在馬達以最高流速驅動的常開模式，每次偵測耗電量約 24.87 mAh；光機模組在啟動 UV LED (254- or 280-nm)平均功

耗為 210 mW，而空載(idle)平均功耗電量為 0.891 mW；對於無線通訊模組，分別以 LoRa 與 GSM 傳輸來計算耗電量，LoRa 在啟動傳送時約 80mA，傳送時間 <1 秒，空載時則約 80 μ A，而 GSM 在啟動傳送時約 350mA，時間 <1 秒，空載時約 25mA，以上述各模組與元件，以及監測與傳輸次數相互搭配來計算系統原型機初估的耗電量，如表 3-2 所示，顯示適當的模組、元件、監測次數與傳輸次數搭配，可以有效增加系統原型機維護的時間，而本計畫採用的行動電源容量為 51,850mAh。

表 3-2、系統原型機耗電量估算 (單位：日)

	1. 水質物性/重金屬離子選擇性電極感測模組，以及流體控制模組 2. 35,700 mAh行動電源	1. 水質物性/重金屬離子選擇性電極感測模組，以及流體控制模組 2. 光機模組 3. 35,700 mAh行動電源	1. 水質物性/重金屬離子選擇性電極感測模組，以及流體控制模組 2. 51,850 mAh行動電源	1. 水質物性/重金屬離子選擇性電極感測模組，以及流體控制模組 2. 光機模組 3. 51,850 mAh行動電源
每20分鐘/GSM每次傳送	14.57	11.71	21.16	17.00
每20分鐘/LoRa每次傳送	23.36	16.77	33.92	24.36
每60分鐘/GSM每次傳送	29.34	25.20	42.61	36.60
每60分鐘/LoRa每次傳送	69.89	50.23	101.51	72.96
每20分鐘/GSM每天傳送	17.53	13.54	25.46	19.67
每20分鐘/LoRa每天傳送	24.90	17.56	36.16	25.50
每60分鐘/GSM每天傳送	32.97	27.83	47.89	40.43
每60分鐘/LoRa每天傳送	74.35	52.50	107.99	76.25

為了確認小型化水質監測系統原型機之效能，於實場進行架設進行驗證(圖 3-29)，並同時進行採樣，再於實驗室以儀器對水樣進行檢測比對，而三個實場水樣包括桃園市蘆竹區徐厝排水與蘆竹排水，以及台中是大里區大里溪，驗證比對結果將在「3.4.3 重點研發成果」詳述。

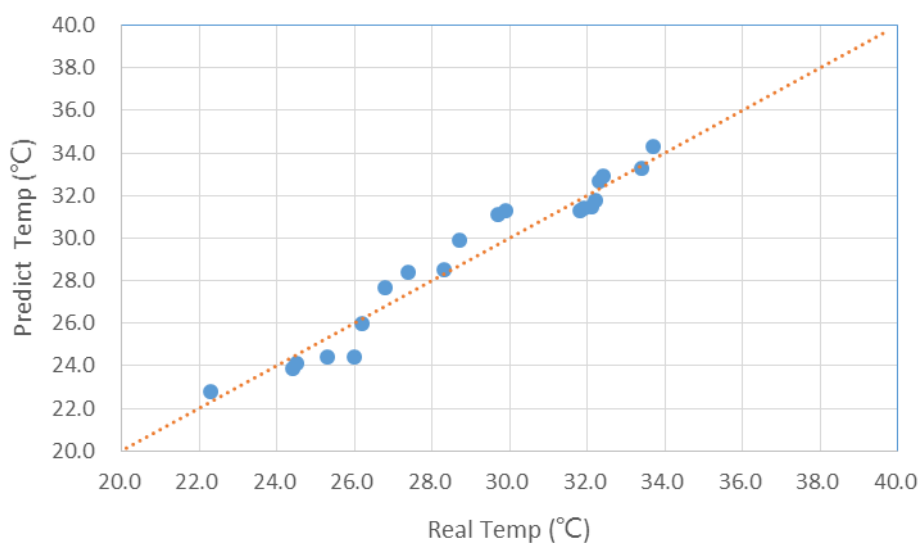


圖 3-29、(a)小型化水質監測系統原型機內裝與架設；(b)桃園市蘆竹區徐厝排水架設情況；(c)桃園市蘆竹區蘆竹排水架設情況；(d)台中市大里區大里溪架設情況。

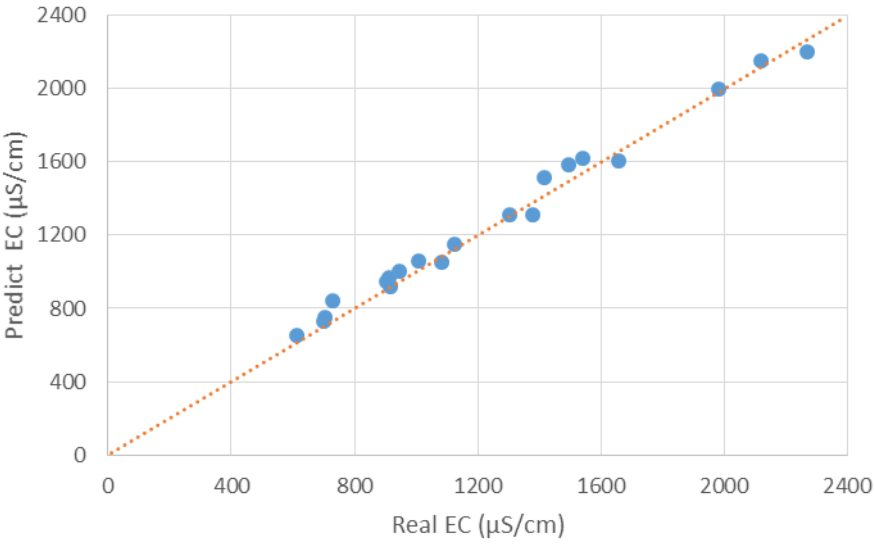
3.4.3 重點研發成果

為了確認小型化水質監測系統原型機之效能，於實場進行架設進行驗證，並同時進行採樣，以進行實驗室、模擬 3 種不同應用情境、現地之標準品、真實樣品測試各 5 重複以上詳細測試，而三個實場水樣包括桃園市蘆竹區徐厝排水與蘆竹排水，以及台中是大里區大里溪，驗證比對結果在下列詳述。在驗證過程中，考慮到樣本移動後溫度將有所改變，所以溫度係在現場以校正後之溫度計進行量測，再與原型機比對：

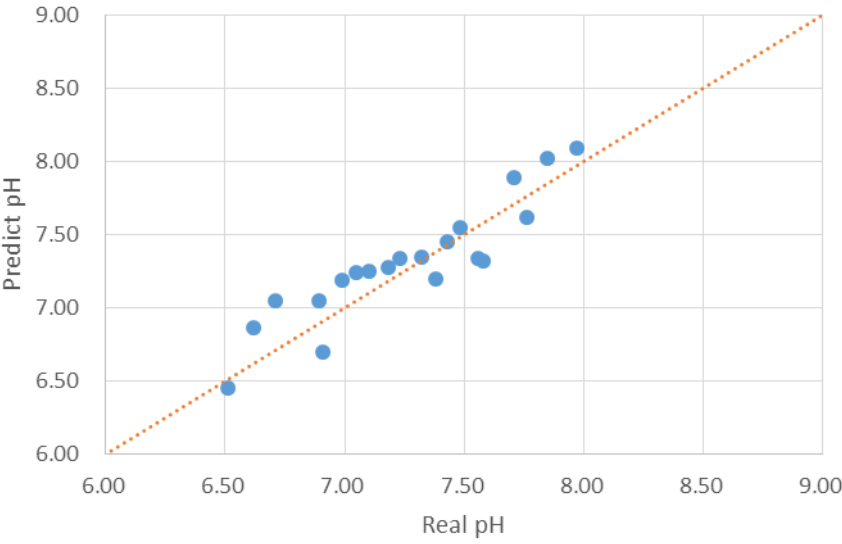
1. 桃園市蘆竹區徐厝排水：系統原型機量測結果與實驗室真實數據比對，如圖 3-30 所示，溫度、電導度與酸鹼值平均誤差分別為 2.44%、4.58%，以及 2.2%，而銅離子以及 CODs 濃度誤差分別高達 68.02%與 51.61%，可能原因包括檢測區形成生物膜，以及檢量線飄移所造成的誤差，而另外一個造成 CODs 誤差產生的原因在於前處理模組無法及時過濾過多微顆粒。



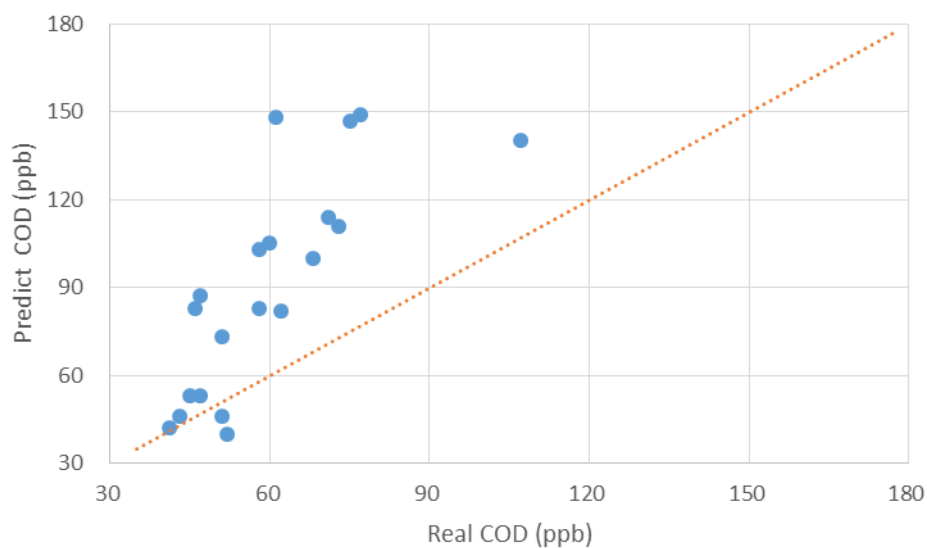
(a) 溫度



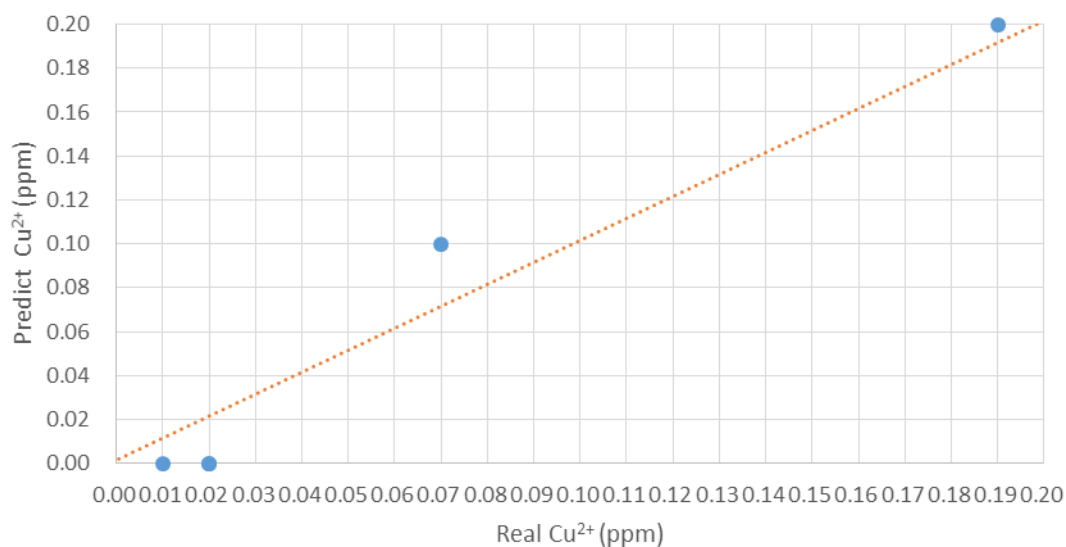
(b) 電導度



(c) 酸鹼值



(d) CODs

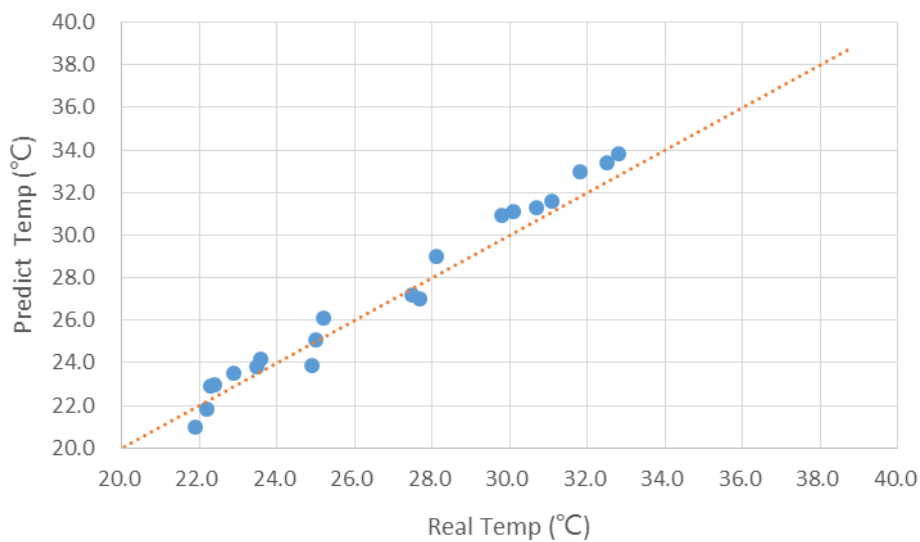


(e) 銅離子濃度

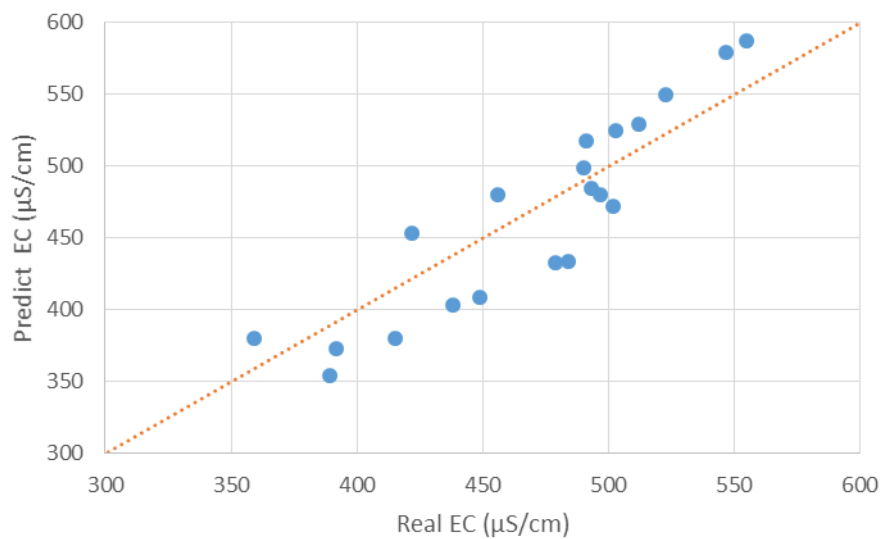
圖 3-30、桃園市蘆竹區徐厝排水系統原型機量測結果與實驗室真實數據比對

- 桃園市蘆竹區蘆竹排水：圖 3-31 為系統原型機量測結果與實驗室真實數據比對，溫度、電導度與酸鹼值平均誤差分別為 2.63%、1.75%，以及 6.02%，而銅離子濃度因採樣數不足，比對出來的誤差偏高，將繼續採樣比對，但 CODs 之比對誤差則高達 88.81%，除了前處理模組無法及時過濾過多微顆粒，以及光學模組形成生物膜，還有就是實場溶解性化學物質不確定，造成量測

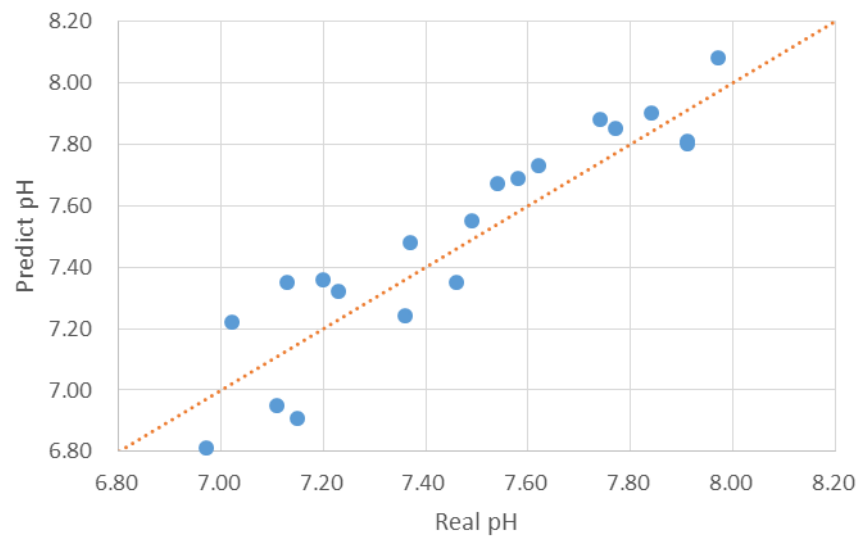
演算法所建立的檢量線產生變化或者是飄移，針對這種不確定因素，係在於系統原型機係採用單一波長進行偵測，無法蒐集其它波長之影響，因而造成量測高誤差，後續將是一改進的重點。



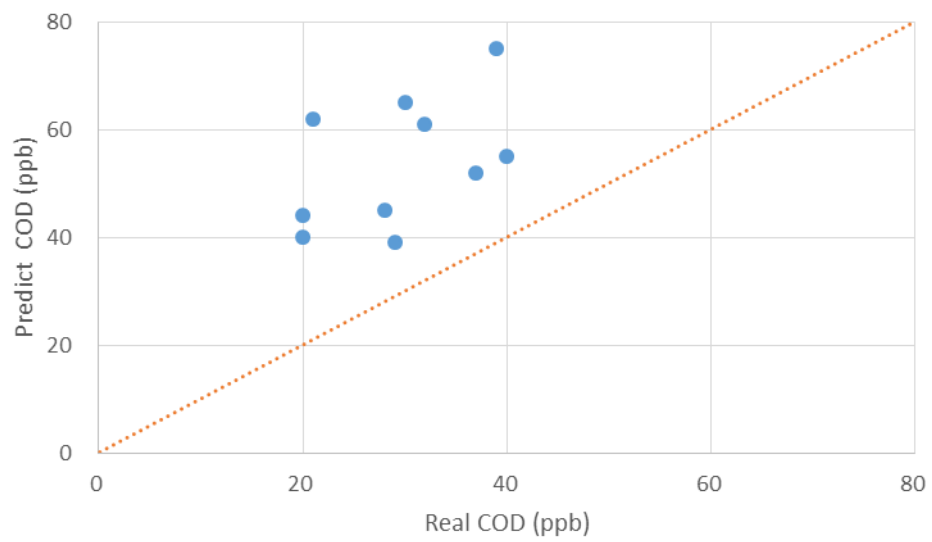
(a) 溫度



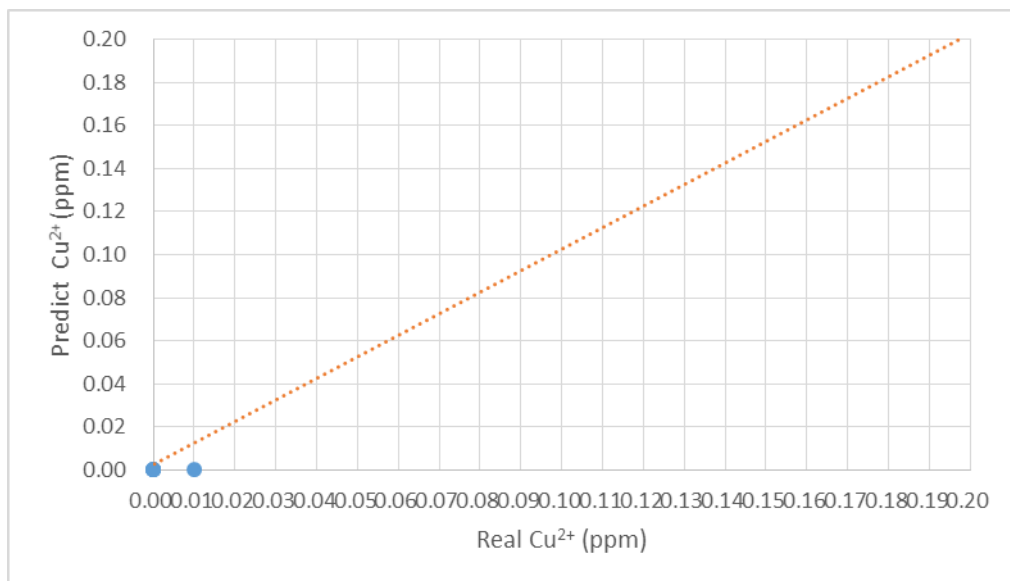
(b) 電導度



(c) 酸鹼值



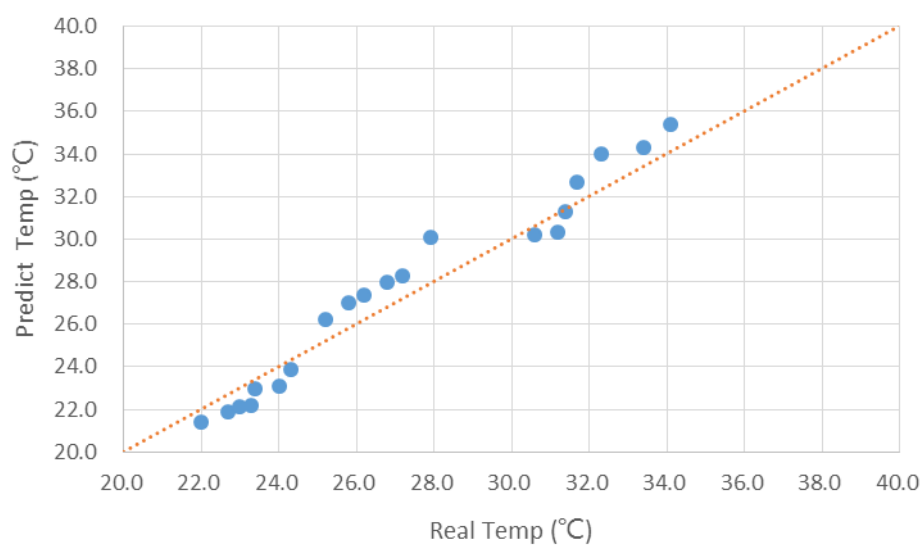
(d) CODs



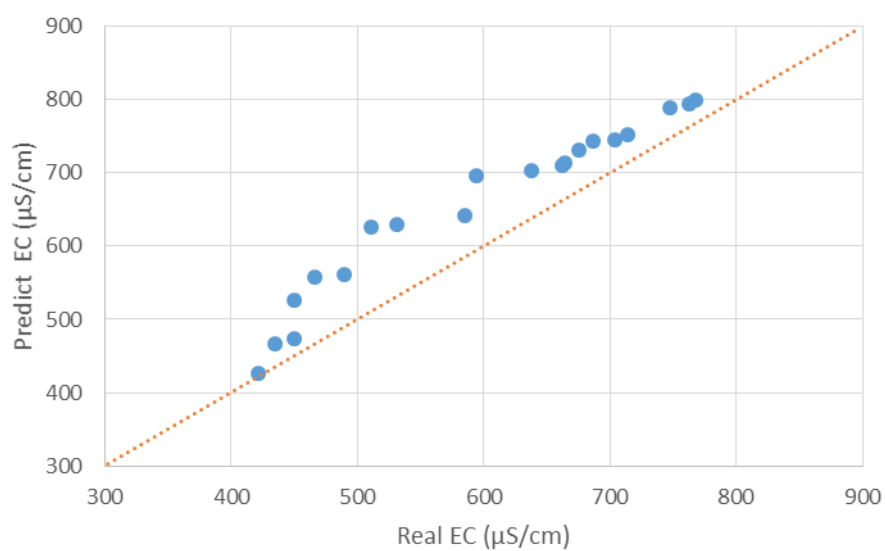
(e) 銅離子濃度

圖 3-31、桃園市蘆竹區蘆竹排水系統原型機量測結果與實驗室真實數據比對

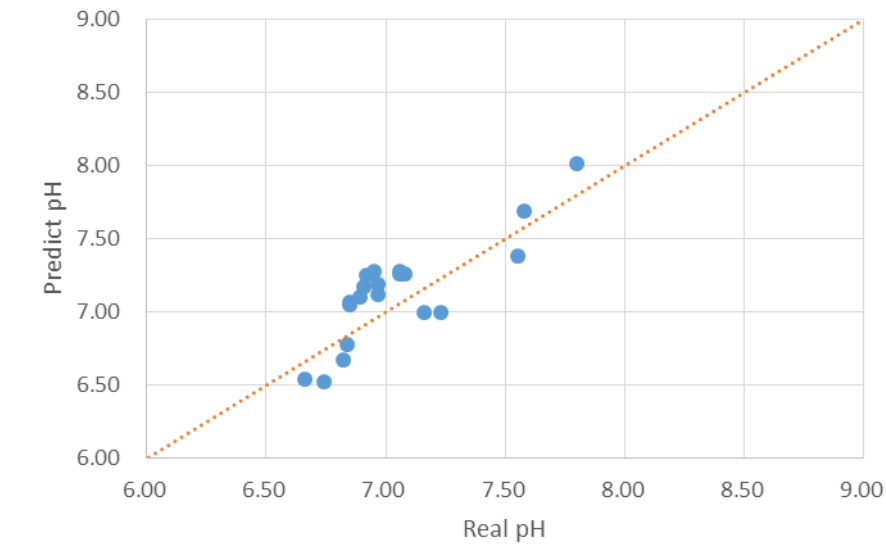
3. 台中市大里區大里溪：如圖 3-32 所示，溫度、電導度與酸鹼值平均誤差分別為 3.55%、9.98%，以及 2.81%，但大里溪水樣在實驗室檢驗中，有檢驗出銅離子濃度 10-50ppb 左右，但系統原型機卻無法偵測到，主要原因在於市售銅離子檢測靈敏度為 0.1ppm(100ppb)，因此後續解決方法可能使用離子強度調節劑(ISA)外，透過微型化銅離子濃度感測模組亦提高靈敏度，因此後續會以微型化銅離子濃度感測模組為開發目標。但 CODs 比對誤差卻高於桃園場域，高達 221.48%，除了前處理模組無法及時過濾過多微顆粒，跟光學模組形成生物膜，推測最有可能的原因正如上述蘆竹排水所討論的，在於實場溶解性化學物質不確定，與系統採單一波長進行偵測造成量測演算法的不準確性，因而造成量測高誤差，後續將透過光學偵測平台建立各實場之演算法，並選用適合各實場之偵測波長進行檢測，以降低量測誤差。



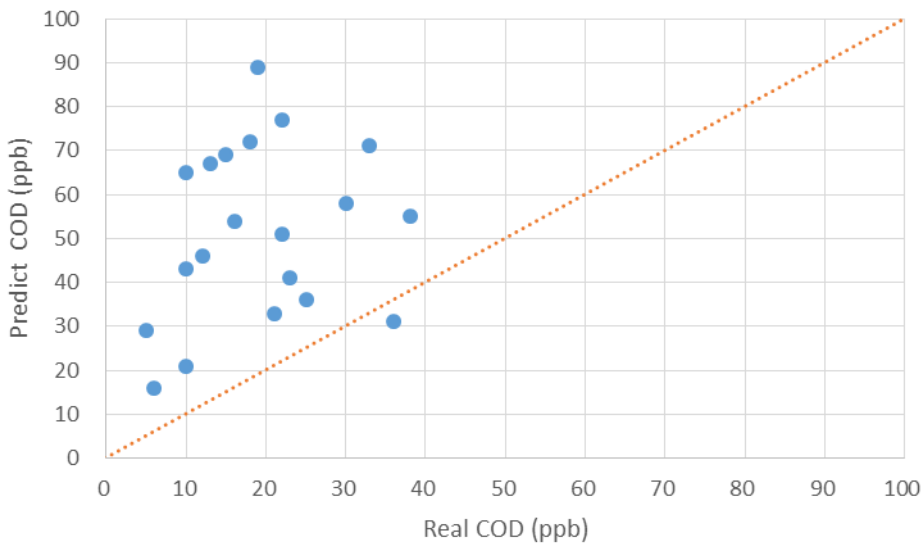
(a) 溫度



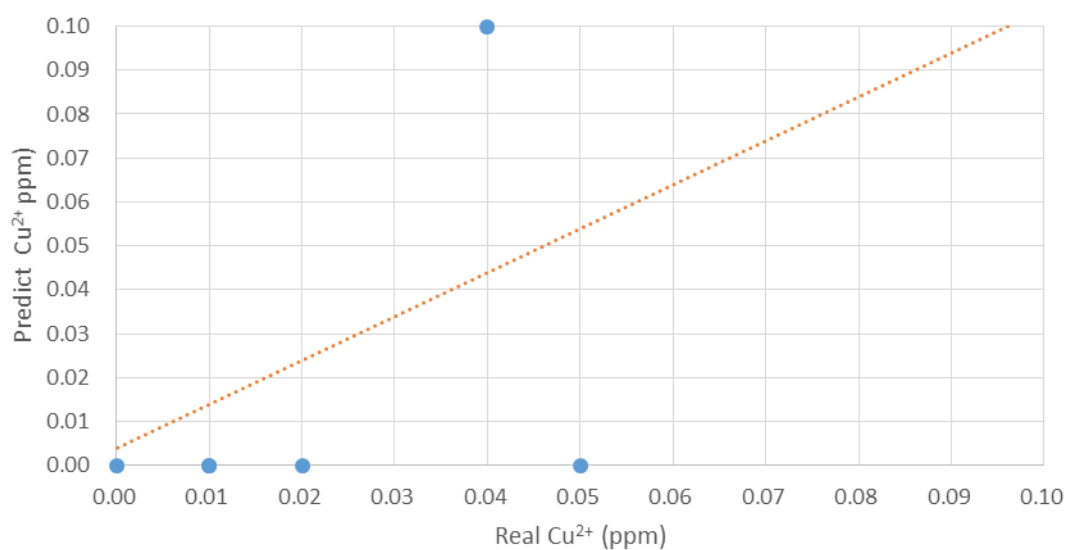
(b) 電導度



(c) 酸鹼值



(d) CODs



(e) 銅離子濃度

圖 3-32、台中市大里區大里溪排水系統原型機量測結果與實驗室真實數據比對

在上述各實場驗證比對，發現生物膜對於各感測模組具有一定影響，除了透過清潔系統進行清潔外，在驗證過程中也嘗試將取樣及清潔矽膠管更換成黑色不透光矽膠管，原型機經過長時間之運作，發現可有效抑制生物膜之生成，如圖 3-33 所示，因此佈建之原型機均採用黑色不透光矽膠管做為取樣與清潔之零組件。

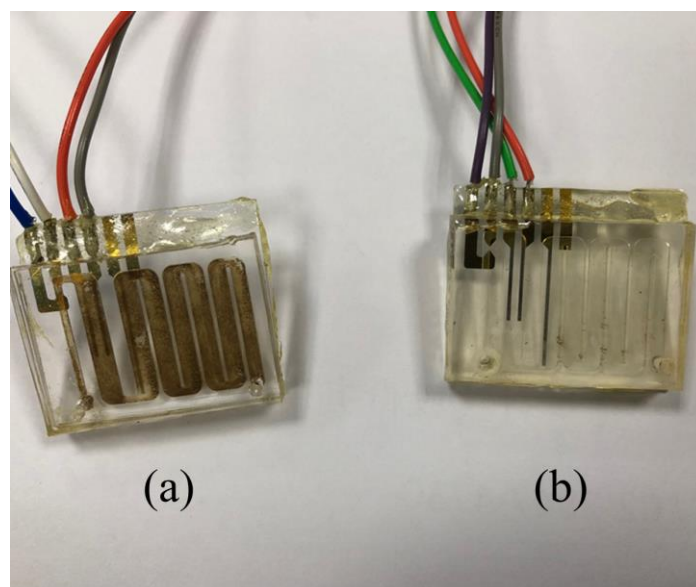


圖 3-33、原型機在進行相同天數水質監測後，(a)使用透明矽膠管易生成生物膜，而(b)使用不透光黑色矽膠管，生物膜較不易形成。

而 68000mAh 容量之行動電源實測耐用結果顯示，在系統原型機安裝水質物性、CODs，以及銅離子濃度感測模組，並以每 20 分鐘進行檢測，以及採用 LoRa 進行傳輸，可使用天數約在 20-22 天；而以 60 分鐘進行檢測與 GSM 傳送，可使用天數則約在 15-20 天，如表 3-3 所示。

表 3-3、系統原型機耗電量實測結果

設定傳送方式	電池實測耐用結果
每20分鐘/LoRa每次傳送	20-22天
每60分鐘/GSM每次傳送	15-20天

3.4.4 小結

小型化水質監測系統原型機於實場進行架設進行驗證，並同時進行採樣進行實驗室、模擬 3 種不同應用情境、現地之標準品、真實樣品測試各 5 重複以上詳細測試，而三個實場水樣包括桃園市蘆竹區徐厝排水與蘆竹排水，以及台中是大里區大里溪，在驗證過程中，考慮到樣本移動後溫度將有所改變，所以溫度係在現場以校正後之溫度計進行量測，再與原型機比對。而比對結果顯示溫度、電導度，以及酸鹼值誤差分別在 2.44~3.55%、4.58~9.98%，以及 1.75~2.81%，表示溫度與酸鹼值檢測能維持在一定誤差範圍內，但電導度之誤差相對較大，推測可能原因在於檢量線建立仍不夠完整，後續將持續改進其檢量線之完整建立。

而 CODs 比對誤差從 51.61%到 221.48%，除了前處理模組無法及時過濾過多微顆粒，跟光學模組形成生物膜，最有可能的原因在於實場溶解性化學物質不確定，與系統採單一波長進行偵測造成量測演算法的不準確性，造成量測高誤差，後續將透過光學偵測平台建立各實場之演算法，並選用適合各實場之偵測波長進行檢測，以降低量測誤差。對於銅離子濃度的比對誤差，除了生物膜與檢量線漂移的影響，主要是受限於市售銅離子感測電極的偵測極限，未來將透過微型化銅離子濃度感測模組提高靈敏度，儘量減少離子強度調節劑之使用。對於生物膜之解決方式，可透過清潔系統進行清潔外，採用不透明黑色矽膠管避免陽光照射，亦可有效抑制生物膜的生長。

針對小型化水質監測系統原型機採用 68000mAh 容量之行動電源，在系統原型機安裝水質物性、CODs，以及銅離子濃度感測模組，並以 LoRa 與 GSM 進行監測數據傳輸，可使用天數約 15-22 天，後續可尋找其它替代電源方案，以延長原型機維護之時間。

第4章、農地污染潛勢區域水質感測物聯網布建規劃

目前國內河川水質監測的主要目的，是為了掌握河川水質現況及其環境變化情形，突顯各河川及灌溉區域之水質特性，提供訂定水污染防治策略的參考。從民國 66 年至 90 年間，主要由前臺灣省水污染防治所辦理河川水質取樣與檢驗工作。然而從民國 91 年起，全國性河川水質監測則由環保署環境監測及資訊處執行，統籌辦理全國環境水質監測工作，建立長期水質變化資料庫。目前全國各水體監測對象包括 54 條流域、53 座水庫、453 口區域性地下水監測井及 20 處沿海海域，詳細監測結果分別可上全國環境水質監測資訊網查詢，網址：<http://wq.epa.gov.tw/>。

我國由於地狹人稠，工業區及工廠鄰近農地，導致農地因取水灌溉之需求，加上工業區及部分不肖業者污水灌排不分，常常發生工業污水污染農地的環境事件。民國 71 年，桃園市觀音區（原桃園縣觀音鄉）大潭村發生第一起鎘米事件，由於當地高銀化工廠排出含高濃度鎘的工業廢水，且未經妥善處理即排入農田旁灌溉渠道，造成農地遭受污染而種出含有「鎘」的稻米。相隔兩年後（民國 73 年），桃園市蘆竹區（原桃園縣蘆竹鄉）也爆發鎘米事件，污染源指向基力化工廠，污染起因亦為違規排放未經妥善處理的高濃度鎘及鉛工業廢水，導致位於中福村、新興村及新庄村等三個村莊間的農地遭受污染。桃園市鎘米事件爆發後，彰化縣、臺中市、雲林縣等地區陸續發生污染事件，自此，農地污染問題引起大眾關注，政府環保與農政機關（單位）隨即加強執行土壤重金屬調查，確保農糧生產安全，並掌握臺灣地區農地污染分布情形。

有鑑於此，針對國內高風險農地污染潛勢區域進行完整的監測物聯網布建規劃，將是刻不容緩的議題，透過 24 小時不間斷的監測網絡，對可能流入高風險農地進行污染預警及應變行動，將有效遏阻不肖業者偷排及提升農地整治改善進度，此外，本團隊已於去（105）年初步開發水質感測原型機及水質物聯網應用模式，期透過今（106）年農地場域布建，驗證感測原型機及相關應用模式可行性，並滾動式修正精進，同步確認需配合布建之配套措施，訂定布建、校正標準流程及大數據智慧應用分析規劃，作為未來大量布建之參考。

4.1 污染農地潛勢區布建規劃

環保署 2002 年到 2015 年所有污染農地案件，至今仍有半數在列管中，多位在彰化、桃園、台中。其中近百筆列管逾 10 年仍未整治完畢，95%列管中農地無改善整治進度，顯示農地重金屬污染問題改善速度緩不濟急。參考台灣環境資訊協會發起的「守護農地計畫」內容¹，從 2002 年到 2015 年 12 月 20 日止，統計累計列管農地總數為 5,574 件，仍未解列共 2,800 件，累計面積約 932.7 公頃，仍未解列共 396.1 公頃。累計筆數最多的縣市分別是：彰化縣(45%)、桃園市(34%)、台中市(13%)、新竹市(4%)和台南市(2%)。列管中污染農地筆數最多的縣市，依序是彰化縣(1,325 筆，225 公頃，47%)、桃園市(1,280 筆，150 公頃，46%)、台中市(129 筆，12.3 公頃，5%)，佔全國列管件數約 98%。如表 4-1。以重金屬來說，污染面積最大是銅(70%)，其次是鎳(46%)、鋅(36%)和鉻(34%)，最後是鎘(11%)、鉛(4%)、砷(1%)、汞(低於 1%)。

表 4-1、列管中污染農地件數及面積(資料來源：台灣環境資訊協會)

市地區	列管中 農地件數 (筆)	百分比	列管中 農地面積 (公頃)	百分比
彰化縣	1325	47%	225	57%
桃園市	1280	46%	150	38%
臺中市	129	5%	12.3	3%

以近五年而言，新增的列管農地有 3,541 件，主要集中在桃園市(46%)、彰化縣(37%)、台中市(14%)。本計畫擬先針對高污染潛勢區，以桃園市及台中市農地作為水質原型機及水質物聯網應用模式驗證場域，同步達到監控上游工廠排水及下游灌溉農地渠道，維持農地灌溉用水品質，預計於 6 月完成原型機實驗室測試及組裝，訂於 7 月布建 30 套去年計畫團隊所開發之微型化水質感測系統，進行 30 日以上完整測試，並於 9 月完成農地之布建測試。感測項目至少包含：pH、溫度、導電度、重金屬等，而其餘項目如：微型 COD.SS 感測器則依據計畫開發期程適度進行結合。測試內容包括有：(一)即時監測數據查詢。監測點可顯示設定時間間隔(ex: 每 20、30 或 60 分鐘)之自動監測數據。查詢資料包含：

¹台灣環境資訊協會，「守護農地計畫」：<https://farmland.e-info.org.tw/#>

測站名稱、測站編號、監測項目、設備狀態、日期/時間、測值、單位、偵測器狀態及法規管制等。(二) 歷史數據查詢，可顯示選擇功能，包括有測站名稱，監測項目、時間區間(起迄)、時間間隔，並以曲線圖表呈現。以下分別說明桃園市及台中市場域，目前執行概況。(三) 歷史數據分析。透過一般統計分析或預警法則分析，瞭解蒐集之水質感測數據合理性及異常處。(四) 物聯網應用情境分析。包括物聯網平台之水質預警模組及源頭分析模組，以實際感測數據線上測試。

為有效運用今(106)年 30 點水質原型機布建，本團隊規劃布建 22 點於桃園市徐厝排水及下游農地，作為整體物聯網農地水質監控，另以 2 點布建於農科計畫高階感測器旁(Modern Water 公司)，作為未來比對本計畫感測器實場數據穩定性及準確性，此外，於台中市布建 6 點，作為農地水質定期監控之用，規劃如下圖 4-1，相關說明如下。



圖 4-1、農地污染潛勢區布建規劃

一、 桃園市農地場域布建規劃

依據桃園市環保局 105 年「桃園市滲厝埤下游農地暨上游灌渠底泥污染調查計畫」調查，滲厝埤下游 2-2-6 小組灌區農地污染土壤污染情形，共有 129

筆農地(面積 15.9 公頃)遭受銅、鋅污染，污染農地多位於灌渠兩側，初步判斷是引灌、或越田引灌灌渠水源而致污染，為典型引灌受污染水源所造成之農地系統性污染，該區引灌除來自滲眉埤外(103 年停用)，尚有引灌自徐厝排水，其中，引灌滲眉埤水源農地共 57 筆(面積 6.7 公頃)，引灌徐厝排水水源之農地計 72 筆(面積 9.2 公頃)。依據 105 年 7 月徐厝排水上游 8 項重金屬底泥檢測結果，超標項目為銅、鋅，其中污染物銅離子即為本計畫今(106)年布建之水質原型機感測項目。

為掌握徐厝排水水質以監測管制農地可能污染源，並作為下游緊急應變管控之用，本團隊透過桃園市環保局及「桃園市滲眉埤下游農地暨上游灌渠底泥污染調查計畫」執行團隊「瑞昶科技股份有限公司」協助，擬針對「蘆竹區之徐厝排水道、下游農田取水口及渠道」，將該範圍界定為本計畫 22 套原型機的區域，以作為即時監測及下游緊急應變管控之用。以整體農地污染應用情境考量，先以上游工廠排水道規劃布點，透過各點掌握各區列管廠商，於上游工廠排水道規劃 5 點連續監測點位，於下游取水口規劃 1 點點位，其排水道布建範圍總長度約 1.7 公里，如圖 4-2。本團隊已於計畫執行期間多次赴現地場勘，經評估現地原型機適宜架設位置、取樣合宜性及代表性，已於 10 月完成布建。由於該區域深度較淺，故布建位置應以橋下中心處為主，然由於原型機可架設位置與採樣取水口高程差較大，用電量較大，需較常更換行動電源。

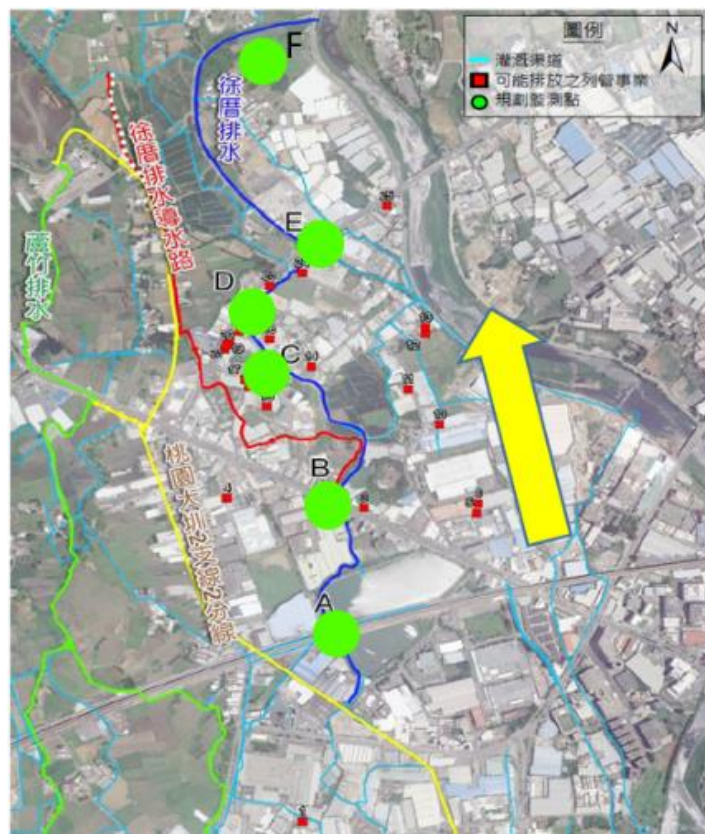


圖 4-2、桃園市徐厝排水布建位置

在整體農地布建規劃方面，本團隊依據其農田渠道分布及流向，考量農田污染掌握性及上下游物聯網驗證適性，並多次與桃園市環保局、桃園市農田水利會及其各分會、及桃園市政府水務局共同討論布建位置，以能提供各部會效益為優先考量，如替代水源水質監測、農地用水品質監測等。最後，規劃 16 點布建點位（編號 1-14 及 G、H），整體場域上下游布建規劃如下圖 4-3，點位如表 4-2。上述規劃已於 10 月完成布建。

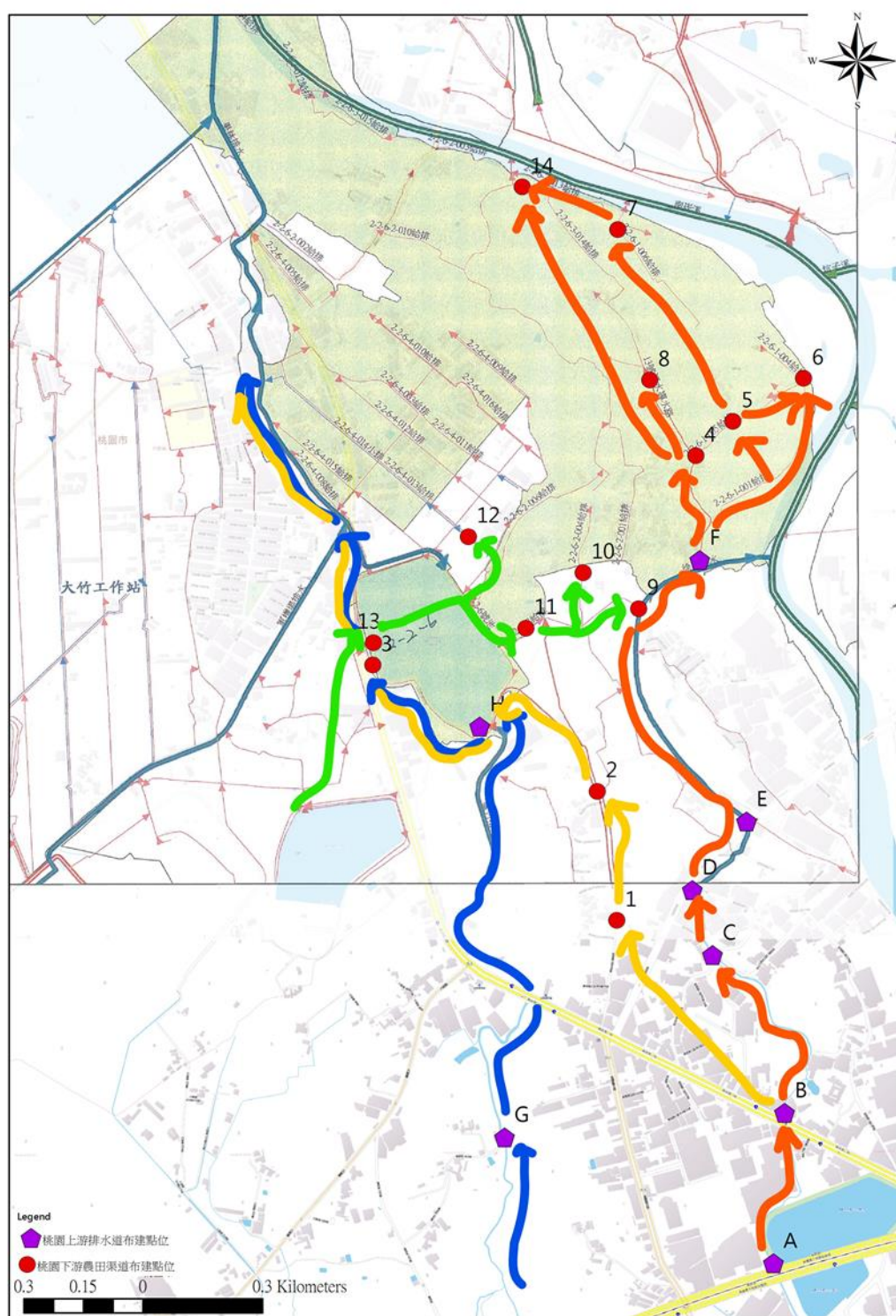


圖 4-3、桃園市整體農地布建位置

徐厝排水(橘色)、徐厝排水支流(黃色)、蘆竹排水(藍色)、桃園大圳 2-2-4(綠色)

表 4-2、桃園市規劃布建點位

監測點 編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
1	25.06522	121.267	徐厝排水 導水路	
2	25.06815	121.26652	徐厝排水 導水路	

監測點 編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
3	25.071032	121.260925	徐厝排水 導水路及 蘆竹排水 匯流	
4	25.07577	121.26899	農田渠道	

監測點 編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
5	25.07655	121.26992	農田渠道	
6	25.07752	121.27168	農田渠道	

監測點 編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
7	25.08091	121.26706	農田渠道	
8	25.07749	121.26785	農田渠道	

監測點 編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
9	25.0723	121.26756	農田渠道	
10	25.07312	121.26618	農田渠道	

監測點 編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
11	25.07186	121.26475	農田渠道	
12	25.07394	121.26332	農田渠道	

監測點 編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
13	25.07154	121.26095	桃園 2-2-4 大圳	
14	25.08188	121.26468	農田渠道	

監測點 編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
A	25.057421	121.270890	徐厝排水	
B	25.060833	121.271175	徐厝排水	
C	25.064421	121.269389	徐厝排水	

監測點 編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
D	25.065902	121.268887	徐厝排水	
E	25.067453	121.270238	徐厝排水	
F	25.073192	121.269558	農田 取水口	

監測點 編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
G	25.060292	121.264192	蘆竹排水	
H	25.069621	121.263595	蘆竹排水	

此外，為確認本計畫研發之水質微型感測原型機於實場布建時之數據準確度，本團隊配合由行政院農委會委辦台大生工所之農地水質布建計畫，將 2 套水質感測原型機布建於該計畫 2 台高階感測器桃園布建位置，進行數據比對以利於後續修正及應用，已與台大生工所溝通協調，最快將於今（106）年 12 月協助比對數據。本團隊已於 10 月布建 2 台原型機完成，位置與點位分別如圖 4-4 及表 4-3 所示，。

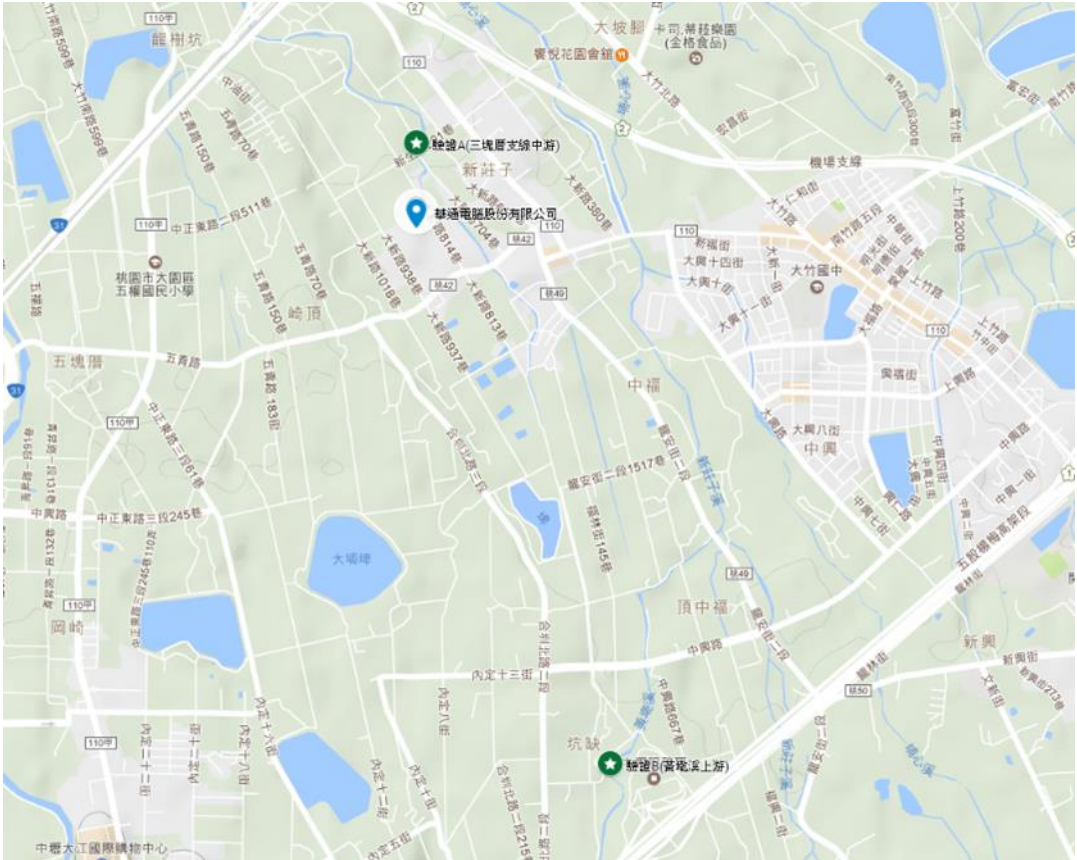


圖 4-4、桃園市驗證用感測器布建位置

表 4-3、桃園市驗證用感測器布建點位

監測點 編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
驗證 A	25.02834	121.24178	三塊厝 支線中游	

監測點 編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
驗證 B	25.00484	121.24988	黃墘溪上游	

二、 台中市農地場域布建規劃

台中市環保局過去已投入約 1 億 9 千萬元經費進行污染農地整治工作（包含剷除及停耕補償、整治工程及監督驗證、監測及補充調查等）。100 年至今，針對大里區農地污染週邊及上游高污染潛勢事業共計稽查 2,596 家次，查獲 248 家次違反水污法之業者，均依法告發處分，裁處金額達 2,334 萬 4,500 元。104 年度迄今針對區域內查獲違規情節重大者，勒令停工 3 家次，廢止許可 1 家次，涉刑責移送檢察機關偵辦 6 家次。目前台中市地區農地污染控制場址計有 123 筆土地(面積 11.5 公頃)，其中 88 筆土地(面積 8.1 公頃)集中於詹厝園圳灌溉小組範圍（污染項目以鎳、鉻為主；個別場址含 2 項以上重金屬污染的有 36 筆）。另根據其歷史灌溉水源水質分析，99 年-103 年水質與灌溉用水水質標準比較，重金屬銅及鋅等項目檢測結果均符合標準，超標項目則為鎳、鉻、鎘。

為確保台中市農地特定保護之水體水質無虞、保護糧食安全及落實健康流域管理，台中市環保局配合環保署政策依據水污染防治法第九條規定，劃設臺中市詹厝園圳應特予保護農地水體之排放總量管制區，進行重金屬廢水總量削減管制。本計畫配合其總量管制區定期監測之需求，透過台中市環保局協助，根據農田灌溉水源主支流匯流情形，以取水口及農田灌溉水為主，規劃 6 點水

質感測器布建點位，污染農地潛勢區上游多重金屬事業密集分布區，期藉由水質感測器布建提供污染有效監控及應變，取代人工採樣，然主要污染物為鎳、鉻、鎘，非為本計畫今(106)年欲布建之水質原型機感測項目銅，因此，今(106)年是以台中場域布建驗證及其他水質背景資訊監測提供為主，未來待上述重金屬感測項目研發完成後，可抽換感測頭模組。該場域布建規劃分布如下圖 4-5。

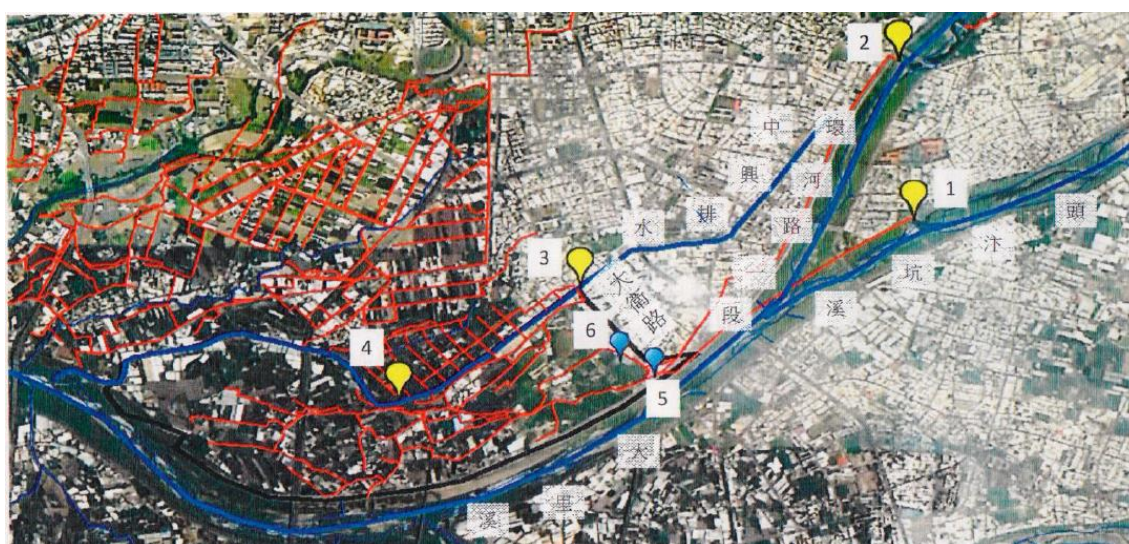
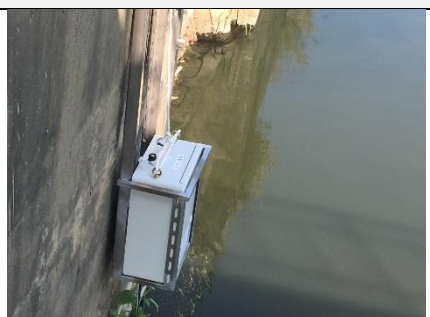


圖 4-5、台中市詹厝園圳布建位置

本團隊已於計畫執行期程，多次赴現地場勘，評估現地原型機適宜架設位置、取樣適宜性、相關配套措施及現地採樣，並經過台中市環保局及台中農田水利會確認，已於 10 月完成布建。6 點實際點位及現場流域狀況如下表 4-4 所示。

表 4-4、台中市初步規劃布建點位

監測點編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
1	24.10085	120.6980833	詹厝園圳取水口	

監測點編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
2	24.11059722	120.6970278	大突寮圳取水口	
3	24.09641667	120.6797083	中興排水	
4	24.08921944	120.6697556	詹厝園圳 四給取水口	
5	24.09098889	120.6839278	農田渠道（詹厝園 第一給水上游）	

監測點編號	緯度	經度	流域屬性	現場布建情形
6	24.09193333	120.6819889	農田渠道（大突寮幹線第二給水上游）	

三、浮動式載體設計建置及布建規劃

固定式水質監測站可利用網狀方式布建，掌握一污染潛勢地區上下游用水品質，以即時數據分析達到溯源及預警等功能。然其設置時間長，投入資源較高的特性下，若在現實環境中發生短期間連續監測水質的需求，在時效及資源的限制下恐難以即時支援。故本團隊於 10 月設計浮動式載體，搭載今（106）年配置於固定式測站之水質感測元件 pH、溫度、導電度及銅離子，配備 GPS 及 GSM 通訊模組，電力以行動電源供應，外觀設計上以代表我國之鴛鴦為模版，並貼上軟式太陽能板作為未來概念示範，如圖 4-6；內裝部分將考量散熱、通訊模組訊號強度及防水性設計。期以此浮動式水質監測載體解決空間上之連續水團監測不足，及急迫性環境問題之連續監測需求。

執行期程規劃如下表 4-5，截至 11/27，已完成載具草模 3D 列印，後續將持續進行各系統組件及整體模組測試，確保浮體載重穩定度及防水防撞強度，並強化外觀美化，將於今（106）年底前，以一實際應用場域測試，並回傳即時連線數據至水質物聯網平台，提供使用者即時監測浮動式載體水質數據及歷史移動軌跡資訊。

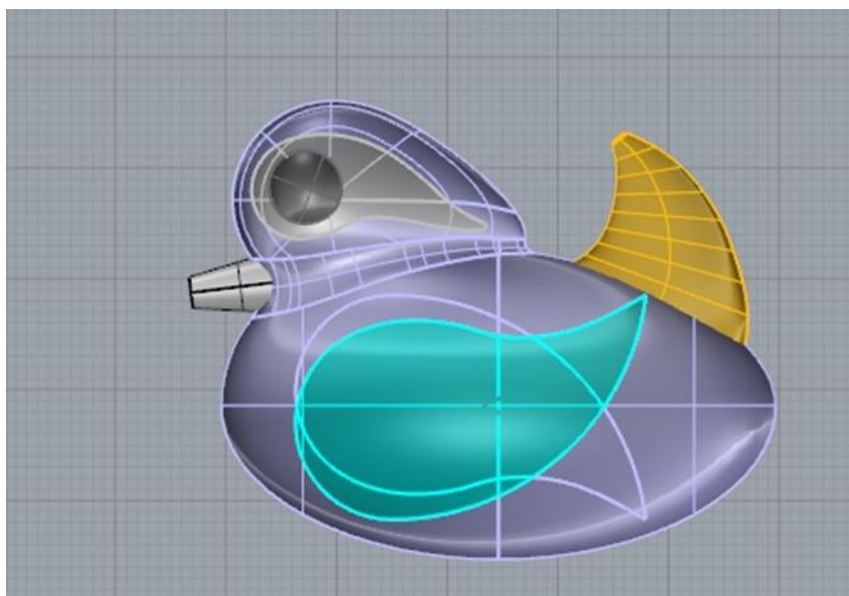


圖 4-6、浮動式載體外觀設計

表 4-5、浮動式載體進度規劃

期程規劃	執行工作
10/17 - 11/19	模組配置溝通及 3D 建模設計
11/20 - 11/26	草模 3D 列印
11/27 - 12/3	各模組軟硬件測試
12/4 - 12/12	表面鍍膜及上色
12/13 - 12/19	整體系統測試
12/20 -	浮動式載體實際場域上線

4.2 污染農地物聯網整合系統規劃

有鑑於本計畫除了利用 105 年度已開發之原型機，進行 30 處水質測站布建外，也必須針對高風險污染潛勢農地布建可能衍生之電力、網路、設備安全及維護機制、大數據應用等進行完整規劃，期以此「污染農地物聯網整合系統規劃報告」，作為未來水質感測器大量布建時之參考基礎，並得以針對不同布建場域再做調整。本規劃主要分為布建標準流程指引及大數據智慧應用分析規劃，期待未來不同單位需透過水質感測器監控污染農地潛勢區時，強化布建規劃及數據應用方式之一致性，以整體監控農地為考量，妥善獲取並應用污染資訊進行管理，可參考附件十，主要目標分述如下。

一、 水質感測器布建標準化

考量未來大量應用水質感測器布建時，需能瞭解現地需求、場域流系分布及有效監控污染農地，同步取得中央、地方及現地居民協助，本報告依據過去布建及溝通經驗，撰寫布建標準流程指引，協助未來有布建需求之單位於整體水質感測器布建標準化。

二、 智慧物聯數據應用系統性

當以水質感測器自動監控整體農地，配合物聯網資通訊技術可達到資料自動傳輸、加值及應用管理，本報告提供如何以系統性方式結合動靜態資訊，達到監控污染、熱區追蹤、污染溯源及物聯網其他情境相關應用，作為未來智慧物聯監控農地之參考。

4.2.1 污染農地水質感測器布建規劃指引

依據過去水質物聯網感測器布建經驗，從前期的布建選址規劃、中期溝通協調到後期感測器架設，以及後續數據傳輸期間之運作維護及保養校正規劃訂定標準作業及注意事項如下說明，架構如下圖 4-7。



圖 4-7、污染農地水質感測器布建規劃指引架構

一、 布建選址規劃

為有效利用投入資源，選址應以能解決實際迫切面臨之環境問題為優先，如重點污染潛勢區、民眾經常檢舉區域及環境污染事件頻發區域。透過上述環境問題思考選址規劃，以污染溯源取締不法廠商為主、或作為下游使用水源之居民及農民定期監測，再依各監測場域特性分配布建點數及位置。布建選址規劃重點整理如下：

- (一) 各監測點需有區別性，在監測水流範圍需有不同來源之進流或出流。盡量在支流分支上一些的位置，以確保掌握每條區灌排水質變化。
- (二) 選址應考量監測代表性，至少需涵蓋實際需解決環境問題之關鍵點。常見布建位置如排水道、農田取水口及農田渠道等。
- (三) 對於流域掌握度應完整，盡量涵蓋上中下游整體場域概念作為布建規劃，以利後續資訊加值利用。
- (四) 由於布建位置經常涉及不同主管機關管轄範圍，其通常最瞭解當地實際問題，選址應能盡量配合當地主管機關需求調整，通常可請教地方環保

局或地方農田水利會瞭解環境問題嚴重地區。

- (五) 規劃後需輔以現勘瞭解現地實際狀況，該地水文流向的實際狀況、周遭環境遮蔽情形及是否有敏感工廠等，皆須納入考量。

二、感測器架設注意事項

前項所述為選址原則，實際布設位置仍應考量現場環境可行性，並以不影響當地主管機關及居民之現地設備、水路及其他業務用途為原則。架設注意重點事項如下：

- (一) 施工應考量固定感測器位置與實際抽水位置高度，過高將影響抽水難度，而架設延伸架將可能增加感測器受風面積。建議應盡量以靠近水面固定點為優先，若為農田渠道則以路邊為主，若需架設延伸架，應盡量緊貼牆壁，避免懸空垂降。
- (二) 架設位置鄰近抽水處之水體需具有一定深度，避免抽不到水之情形，且抽水位置應盡量靠近水道中段，或導引中段水源至抽水處，以確保採樣代表性。
- (三) 應事先訪談當地主管機關或附近居民現地環境狀況，瞭解該區是否經常淹水、淹水深度及異常環境條件，通常在枯水期可能因河面乾枯造成感測器暴露高溫而損壞，在暴雨期也可能因大水沖刷造成感測器被沖毀，視情況需設計全防水或部分防水裝置、通風設計等。
- (四) 建議透過現地溝通，可尋求里長協助，降低周遭居民戒心，甚至可共同巡察照顧機器，減少機器遭破壞可能性，並可於機器表面貼上「錄影中」等字樣，並於機台外箱上鎖，預防設備遭破壞或盜竊。
- (五) 應避免金屬及混凝土遮蔽區域，如工場鐵皮屋附近、或垂降過深之架設處，以避免干擾通訊傳輸，若輔以 LoRa 作為通訊模組，基地台應盡量設置能涵蓋最大量感測器位置，並架設於高處。
- (六) 機台架設後需校正，並同時測試現場數據及經由通訊模組傳輸數據差異

性，以同時確保感測器數據準確性、通訊可行性及後端數據轉換正確性。

三、 感測器維運規劃

由於水質監測設備所處環境較為惡劣，訊號、電源線及設備本身常受天候及人為因為影響，需定期保養與校正機台，以及突發狀況應變維運，確保維持感測器持續運作及數據準確度，以下先就大面向通則說明，今（106）年水質感測器維運校正將於 4.3 節詳述：

（一） 定期保養與校正機台是指固定時間對水質監測設備之檢查及維護保養，時間長短需視現場水質狀況而異，可透過歷史布建經驗或數據異常預警系統決定校正時間，一般而言每台設備一個月至少需巡檢維運一次，維運規劃項目包括：

1. 水質感測器檢視及處理：是否受到淤積、漂流物影響，是否有障礙物以及雜物需清理，抽水處水量是否充足，機台溫度是否異常。
2. 水質感測器校正：由設備供應商至現場驗證感應器具之準確度，並備料以即時更換故障之感測元件。在校正機台前，須先了解機台內部各設備相對位置以及管路設計，並且在校正前先確認各項設備是否有損壞、當機，若有設備損壞，須立即更換，管線須檢查是否脫落或阻塞。
3. 通訊設備檢查：以適當方式檢測資料傳輸是否正常，採用 LoRa 模組者需檢查設備本身外，尚須確認基地台之通風及溫度情形，避免異常環境造成斷訊。
4. 電源檢查：若未採用外接電源者，需確認行動電源電力是否足夠，不足者直接更換。
5. 整體檢查：檢查水質監測與監控器具是否發生異位、接頭鬆動等現象，需依檢查項目逐一測試各功能並紀錄結果。必要之設備需透過適當之儀器取得數據，或應相關儀器進行清理、介接等動作，以確保設備正常運作。

(二) 突發狀況應變維運是指感測器遭環境或人為造成無法持續運作或數據不準確，通常可藉由數據傳輸之前端平臺即時呈現數據中斷或異常瞭解，人員至現場處理項目包括：

1. 通訊中斷處理：需確認機台是否遭人為或環境破壞、確認行動電源電力是否足夠、機台是否有持續抽水檢測、是否有障礙物或雜物堵塞，以及機箱內通訊模組是否正常運作，採以 LoRa 通訊模組者，尚須確認基地台是否因異常環境導致當機。
2. 數據異常處理：先觀察並排除周遭環境異常情形，再逐項檢測機台各設備，由設備供應商至現場驗證感應器具之準確度，並備料以即時更換故障之感測元件。

四、行政配合事項

由於水質監測設備所處環境較為惡劣，訊號、電源線及設備本身常受天候及人為因為影響，需定期保養與校正機台，以及突發狀況應變維運，確保維持感測器持續運作及數據準確度，以下分別說明：

- (一) 選址前應先與地方環保局溝通，以瞭解當地環境問題並獲得有關資訊，再釐清相關場域主管機關，通常農田渠道為農田水利會管轄；河溪及排水道為市政府水務局管轄；部分水路為地方區公所管轄。實際管轄範圍劃分仍應直接向相關單位瞭解。
- (二) 為利於布建推動，建議拜會各主管機關，說明布建原委及可提供的效益，盡可能減少其額外負擔業務為原則，此外，亦需瞭解主管機關的需求及配合事項，盡力配合，建立良好溝通管道有助於減少繁冗之行政程序。
- (三) 申請布建實際位置宜以公有土地為主，然此部分不易釐清，建議向主管機關洽詢是否有相關資源可以查詢，如桃園地區即可利用「桃園住宅及不動產資訊桃寶網」查詢，通常地段地號屬於公有土地皆可以申請，部分私有土地有可能仍是屬於農田水利會，需逐一確認。
- (四) 各主管機關對於布建申請程序不一，原則上若水質感測器體積不大，且

不影響原有水路排水、供水、現有設備正常運作或污染水質情形下，盡量爭取從簡處理，必要時需陪同現勘。

- (五) 必要時可尋求原布建計畫業務單位協助，以公文、Email 或電話方式協請當地主管機關配合。

4.2.2 污染農地物聯網整合分析系統規劃

水質感測原型機後透過資通訊傳輸 24 小時不打烊進行數據接收，接下來的工作便是如何將上述龐大的水質監控資訊進行管理及智慧分析應用，本團隊彙整下列四個應用方向。

- 一、 平時大數據的管理與背景分析：當上述高風險污染潛勢農地環境感測物聯網完成系統整合及布建後，將可生產及提供量大及即時的巨量感測數據資料。這些資料蒐集後必須經過驗證法則檢核後，可匯入本項工作之資料倉儲進行大數據分析，深入發掘有意義的資料價值，進而轉換成可加值運用的資訊，提供該區域背景資料分析、關聯性分析、預測或採行決策等加值運用於解決環境課題。因此強化大數據分析技術將關係著未來環境感測物聯網能否產生深度的布建效益。
- 二、 時間與空間概念的熱區分析：目前某些縣市雖有流域周遭疑似污染源位置資訊，但未整合視覺化地理圖資系統，無法結合時空分析難以判別熱區。可藉由列管污染源資訊系統(EMS)資料，提供流域運作場廠位置分布，結合其基本與申報資料，分析該區域歷史稽查紀錄，以利判別污染來源，達到污染控制與責任釐清。時序上以小時、週或月為週期，分析污染源是否有固定的行為模式。
- 三、 異常趨勢的先期預警：各監測農地有不同的污染背景濃度，除與法規管制值進行比對與警報發佈外，平時可利用背景污染濃度即時監測數據，未達法規管制值前，針對農地污染低濃度或超低濃度的監測數據，可利用統計管制理論偵測短期較大變化或異常情況，發揮監測農地平時之特性管制及預警管理。

四、事件發生後的應變決策：考量目前水系流域及農地污染的環保犯罪模式已朝向跨轄區化及非預期化之污染方式發展，以致環保單位查察與應變處理工作困難，而可查察資料如業者申報資料及人員稽查登錄系統資料散落在各系統間，尚無單一系統可就建檔資料進行相互勾稽比對查核，找出可疑不法線索。可將前述環境感測物聯網系統，結合環保署各種申報系統及公害陳情系統等資料匯出整理，透過大數據分析方式，來檢核各樣申報資料可疑事證，查察整個可疑案件不法的重複出現地點或頻率時間，可事先進行環境污染事件預防及稽查。另外也可以結合農地污染附近之緊急應變物件進行啟動及處理。

為達到上述應用方向，有效運用水質物聯網監測資訊，確實達到改善環境品質，本節提供以整合分析系統規劃及物聯網情境應用規劃兩部分，介紹如何以系統性方式結合動靜態資訊，達到監控污染、熱區追蹤、污染溯源及物聯網其他情境相關應用，作為未來智慧物聯監控農地之參考，規劃概念如圖 4-8。



圖 4-8、農地物聯網整合系統規劃概念

一、整合分析系統規劃

過去農地陳情事件或污染事件發生時，大多使用人工判別可能影響之範圍，無自動化預警機制提供政府單位相關資訊，在資訊延遲且紛亂情況下，

既費時且可能發生誤判。因此如何有效運用水質測站監測數據，規劃高風險污染潛勢農地監控網絡，結合縣市地理資訊系統(GIS)及農田水利會灌溉渠道系統，以物聯概念啟動後續之應變決策及物件將是本節重點。為了達到此目的，建議整合分析系統架構如下圖 4-9：

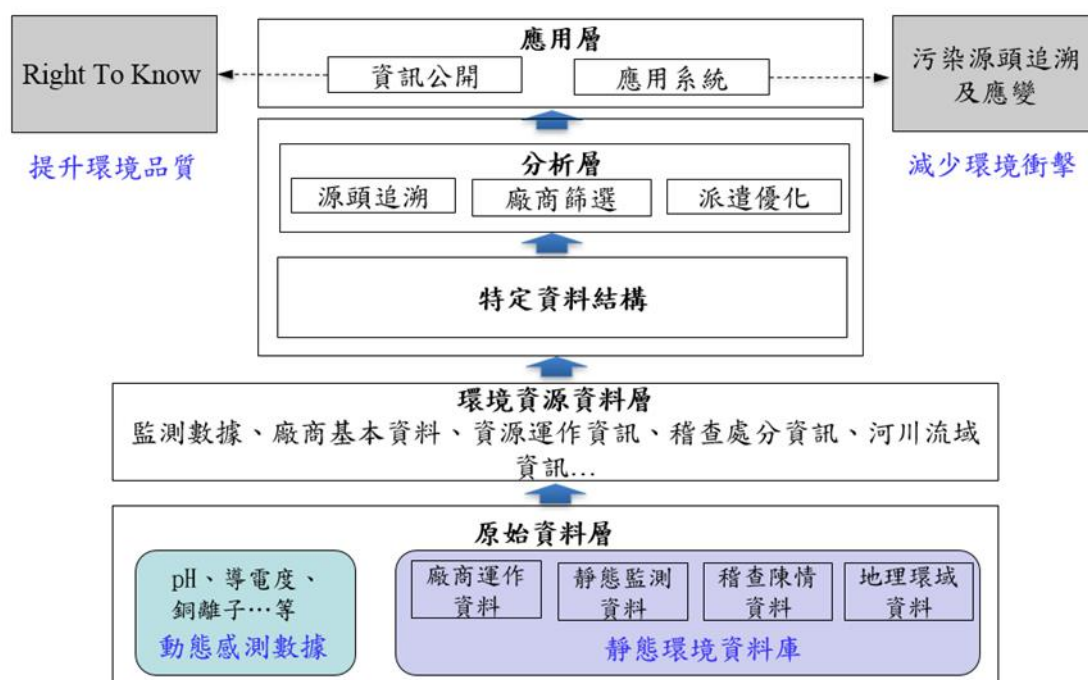


圖 4-9、整合分析系統架構

（一） 原始資料層

先定義系統使用目的，並依據該目的分析所需資料以介接內外部原始資料。以污染農地水質感測器監測而言，即時介接動態資訊即為各布建水質感測器的 pH、導電度、溫度、銅離子數據，其可透過通訊模組直接回傳至系統，可藉此瞭解農地網絡污染情形；若以源頭排放追溯及事故應作為加值分析，可進一步介接：（一）廠商原料使用、產業別及廢棄物排放情形；（二）水量水質每月監測數據；（三）民眾稽查陳情資訊；（四）河川及排水道上下游流域資訊等。作為後續分析層資料應用。

上述資訊，可於公開之「環境資源資料庫」²及需申請帳號之「環境資源資料交換平台（CDX）」³取得，若透過 CDX 取得資料可設定後續隨該平台同步更新，大部分資料可自由訂閱，少部分如廠商運作資訊，由於牽涉到個資，需再與該資料提供主管機關洽談介接方式及用途。由於此類資料多為統計及申報資料，更新頻率較長，多為 1 天或 1 個月。而跨域資訊往往涉及多個主管機關，建議若需達到自動化介接更新，需召開跨部會議，以利同時取得各主管機關同意及固定聯絡窗口。

（二） 環境資源資料層

為利於後續分析應用，原始資料需依主題分類，整理成環境資源資料。依過去歸類經驗，可粗分為：（一）水質監測數據；（二）地理環域資訊；（三）廠商基本資訊；（四）資源運作資訊；（五）稽查處分資訊。上述資訊即依源頭追溯及污染熱區預測需求設計。

（三） 分析層

分析系統多採用關聯式資料庫存放資料，其格式與一般 Open Data 下載 Excel 表不同，其是以列（屬性 Attribute）和行（值組 Tuple）的形式組織起來的資料的集合，一個資料庫包括一個或多個表（關聯 Relation），需將環境資源資料層轉換為特定資料結構。前述資料庫架構建立後，即可設計分析層概念模式，需將模式程式化，後端可配合關聯資料語言（SQL）串連資料庫，亦可應用地理資訊系統（GIS）達到圖層套疊及分析功能。在分析模式可發展方向可分為平時大數據的管理與背景分析、時間與空間概念的熱區分析、異常趨勢的先期預警及事件發生後的應變決策。

（四） 應用層

應用層是以資料層及模式層為基礎，透過前端設計，於系統平台提供應用服務以解決實際問題，一般可分為資訊公開及應用系統服務。以污染農地水質感測器監測而言，資訊公開即為提供主管機關或居民水質監測

²參考網址：<https://erdb.epa.gov.tw/>

³參考網址：<https://cdx.epa.gov.tw/CDX/main.aspx>

資訊，達到污染資訊透明化及民眾有感，有分析需求的單位亦可下載後進一步資訊加值；應用系統則是透過各種模式分析及預測，結合跨域資訊，作為決策支援資訊提供。在前端應用功能可設計功能如下：

1. 可連結資料倉儲，顯現相關廠商資料或污染農地之情形，並在不干擾畫面解讀的前提之下，依照類型不同使用不同顏色或圖示進行區別。
2. 可透過地理資訊系統(GIS)呈現高風險污染潛勢農地水質監控網絡，並提供相關資料的圖層套疊功能，包括附近流域、工廠及重要設施位置，須建立介面進行勾選欲顯示或取消之目標物。重要設施如灌溉用幹線、支線及分線圖層，池塘位置，緊急遮斷(關閉)閘門位置，取水口及水井位置等，概念如圖 4-10。
3. 可根據污染點(水質測站警報或民眾陳情)，劃分以污染點位為中心之影響範圍。該影響範圍半徑可讓使用者於操作介面上自行設定。可根據影響範圍，進一步篩選出重要工廠或設施，其餘不在影響範圍半徑內的不顯示於畫面中。
4. 可輔以污染溯源分析及熱區預測分析功能，配合地理資訊系統(GIS)呈現高風險區域。
5. 規劃結合污染農地之取水泵浦及緊急遮斷閘門設備，利用物聯概念將預警資訊與應變設施連動，發揮即時預警與應變效益。
6. 可結合 E 化派遣，提供手持設備查詢結果。

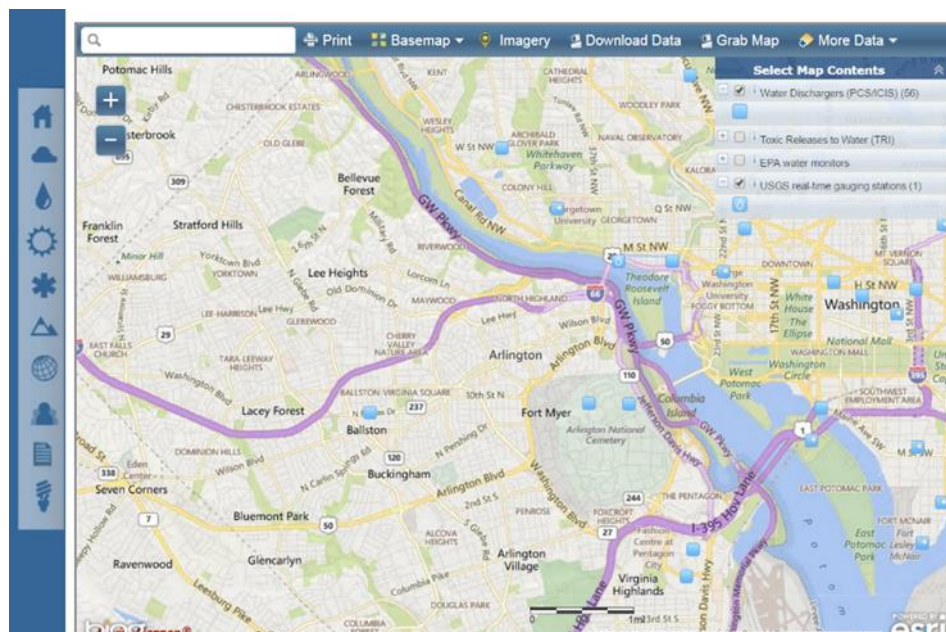


圖 4-10、結合地理資訊系統之物聯網概念圖

二、物聯網情境應用規劃

透過物聯網的概念，以物對物快速準確傳遞並處理訊息，將可有效提升環境問題發生的應變處理。對於水質事件理論之系統化定義，必須確認其因果條件，以污染農地物聯網整合分析而言，也就是其上位系統之污染源頭追溯及下位系統之污染熱區分析。此外，亦可將感測元件搭載至浮動式載體，以移動式監測方式，持續檢測水團的污染物進出情形，作為物聯網情境加值應用，以下說明各模組建置規劃。

（一）污染源頭追溯

污染溯源模組目的為迅速篩選疑似污染排放源，以啟動物聯應變稽查。前端平台應符合實際應用需求，以突發污染事件之新聞或民眾舉報應用情境為例，主管機關需立即調查該污染事件疑似排放源，透過系統以 GIS 查詢距離該污染事件最近之感測點，並逐步以河段、工廠位置、工廠特性至數據比對，篩選疑似污染源，可立即啟動 E 化派遣，或配合歷史監測數據分析挑選敏感時段，派遣人力至現場採樣及稽查。

系統又可分為上游固定污染源系統、上游監測資料系統、附近環域資

訊系統及歷史陳情與稽查系統。需透過資料庫及圖台功能建立以實現上述功能，資料庫部分，常見的介接資料包括：運作場廠基本資料、稽查告發裁處、製程資料、原物料資料、污染關聯表、水列管_基本資料、水列管_定期申報項目_共通水質項目、河川流域資料、農田渠道資料、地形高程_數值高度模型（DEM）等。圖台需有流程化的概念，依序篩選「感測器」、「流域」、「場廠」後，進行所選定之可疑場廠進行污染物的「時序」分析，最後可匯出篩選分析的資訊，作為後續決策及連結現場指揮調度之快速稽查 E 化派遣用。

（二） 污染熱區分析

污染熱區模組目的為評估污染發生時的影響，以利即時展開應變行動，一般需分析四個問題，方能達到快速評估預警水污染防治工作：(一)污染到達下游敏感地區的時間；(二)最大污染濃度是多少；(三)將造成多大的污染區域；(四)污染濃度將會持續或超過安全現值的時間。為解決上述問題，可採用傳統環工水質擴散模式，模擬河川與取水口的水質狀況，目前國內較為常見的模式如 QUAL2K、WASP、SWMM，適用範圍如下表 4-6。

表 4-6、國內使用於河川水質模擬模式適用範圍⁴

模式名稱	承受水體	可模擬之污染物
QUAL2K	屬於為甲類、乙類及丙類水體 河川	有機物(BOD)、營養鹽(NH ₃ -N,TP)
WASP	屬於為甲類、乙類及丙類水體 河川	有機物(BOD)、營養鹽(NH ₃ -N,TP)
SWMM	不拘，工廠或工業區地表逕流	沉積物(SS)、有機物(BOD)、營養鹽(NH ₃ -N,TP)

此類模式在建置時，需蒐集流域水文及水理參數作為水床建模，真實數據需投入大量資源對真實環境進行測量及整理，而採用預設參數則與我國實際情形有落差。若在資源有限的前提下，亦可運用機器學習，透過

⁴行政院環境保護署環境影響評估河川水質評估模式技術規範，中華民國 100 年 11 月 29 日訂定。

類神經網路法，以過去各工廠排水道及節點水質歷史監測數據，再配合如流量流速、周遭定期水質監測數據，用以訓練模式，預測未來下游污染熱區。最後，再以 GIS 呈現於圖台輔助決策。

4.3 水質感測器校正維護標準作業程序

本節依據今（106）年 30 台水質感測器維運及校正經驗，針對本團隊設計之原型機彙整相關標準作業程序，以作為未來相關計畫執行參考。

一、現場機台觀察維護

維護原型機前，需先了解機台內部各設備相對位置以及管路設計，並且確認各項設備是否有損壞、當機，若有設備損壞，須立即更換，管線須檢查是否脫落或阻塞，現場機台內設備位置與線路圖如圖 4-11 所示，其維護注意事項如下：

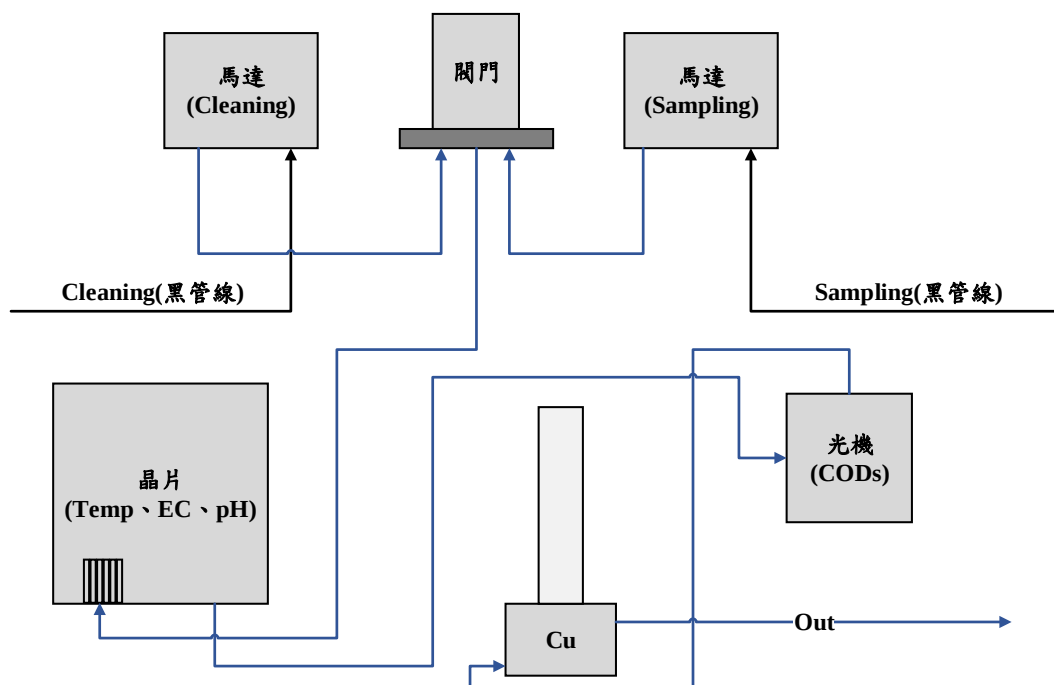


圖 4-11、機台內設備位置與線路圖

- （一） 首先至原型機現場前，需先觀察該架設點原型機之網路平台資料，預先評估現場維護事項與問題導向，以便至原型機架設點時，可先準備足夠之維護用具。
- （二） 至原型機架設點時，觀察現場環境對原型機的影響及破壞，包括：土石覆蓋、渠道水位過高淹沒、昆蟲於機台內築巢、人為破壞等。

- (三) 拉起水中之過濾器，並已清理過濾器表面之樹枝、葉、垃圾、底泥等異物。
- (四) 確認原型機內部原先設置電池之電量，以沒電量或 1-4 電池格數作為紀錄。
- (五) 電量確定後，若是沒電時需先換上已充飽電之電池後再進行後續維護與校正；若是仍有剩餘電量，可先進行現場原型機維護與校正後再換上已充飽電之電池。
- (六) 確認電池持續供電後，將電腦端 USB 接頭與原型機 Mini USB 連接上，對原型機內部電路主機板按下 Reset (長按 1 秒)，使機台重新啟動，觀察此時原型機運作狀態，各項維護確認事項如下：
 - 1. 電路板上 LED 訊號燈閃爍情形(綠色:正常運作、藍色:閒置狀態、紅色:錯誤訊息)。
 - 2. 觀察電路板是否因環境潮濕導致生鏽、接觸不良。
 - 3. Sampling 與 Cleaning 馬達抽水狀況是否正常。
 - 4. 管線、閥門、晶片、光機與 Cu 電極是否因異物或生物膜生長造成阻塞，若阻塞時會先以手指指尖擠壓管線，並以針筒灌入清水進行清洗排除管線內生物膜以及異物，現場原型機之晶片損壞判定之因素是以：晶片發生阻塞無法清洗，或是以肉眼觀察晶片發現已變色、氧化、被腐蝕，或是經晶片量測取得之電壓值與阻值異常過高等因素來判定晶片已損壞，損壞之晶片可直接以新的晶片進行替換；若光機發現異常，需先更換新的光機於原型機內，並將異常之光機拆除帶回至實驗室進行酸、鹼清洗；若 Cu 電極異常，則是以清水與手動之方式清理電極；若 Cu 電極已損壞，直接更換新的 Cu 電極。
 - 5. 確認原型機運作是否穩定，運作後於電腦程式端觀察數值與電壓值是否異常，並於網路平台確認原型機訊號之穩定性。

- (七) 確定原型機可穩定運作後，將過濾器拆除後開始進行校正，將管線放於校正液中，重新燒錄程式於原型機，使原型機再次運作，此時觀察電腦程式端之偵測數值與電壓值是否與實際數值有巨大的落差與異常，若偵測值與實際值於 10%誤差值內，則可選擇不必校正，若偵測值與實際值誤差高於 10%時，需以各別校正液(EC、pH、COD、Cu)進行手動校正。
- (八) 運作後確認電腦程式端之偵測數值與電壓值是否與實際校正值相近且符合於 10%誤差值內，並且確認網路平台上最新一筆資料是否順利更新、網路平台數值與電腦上偵測數值是否相應吻合，若數值差異大或不符合，需重新校正；若各項數值穩定、符合於誤差值內且順利上傳於網路平台時，完成原型機現場維護校正。
- (九) 確認校正程序完善後，裝上已清洗完畢之過濾器，並燒錄正確之 Arduino 程式於原型機，拔掉原型機端上 Mini USB，將原型機關門鎖上，並且安裝原型機於原先架設之地點，讓原型機抽取現場水源，並將收取現場水源之網路平台數值與現場溫度、pH、EC 攜帶式 sensor 測量值進行比較，若兩者測值不正確，需重新開啟原型機重新維護、校正；若數值穩定且正確，其完成原型機之維護與校正。

二、 現場機台檢測及校正

原型機以馬達抽取水樣，經過濾器過濾後，水樣依序進入晶片、光機、Cu 感測器，考量校正時的穩定性、方便性，建議以晶片、光機、Cu 感測器之順序依序校正，下圖 4-12 為現地機台校正之順序。

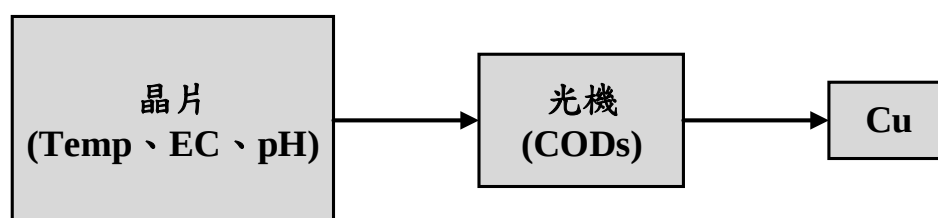


圖 4-12、現地機台校正之順序

下列統整各項分析參數檢量線之線性公式，分析項目包含(Temp、pH、EC、COD、Cu)以 excel 建立相關公式，公式如下：

- a. Temp: $V = a \times \text{Temp} + b$ $a=0.048$ $\ggggggg \quad \text{Temp} = \frac{V-b}{a}$
- b. EC: $V = a \times \text{EC}^2 + b \times \text{EC} + c$ $c=0$
- c. pH: $\log V = a \times \text{pH} + b$ ($y = ax + b$) $\ggggggg \quad \text{pH} = \frac{\log V - b}{a}$
- d. COD: $\text{ABS} = -\log \frac{V}{V_0} = a \times \text{COD}$ $\ggggggg \quad \text{COD} = \frac{-\log \frac{V}{V_0}}{a}$
- e. Cu: $\log V = a \times \ln \text{Cu} + b$ $\ggggggg \quad \text{Cu} = \exp\left(\frac{\log V - b}{a}\right)$

以下說明各檢測機台之各項分析參數校正標準作業程序：

(一) 溫度校正 SOP

1. 首先開啟工作電腦，並同時觀察校正機台的電路、水管、晶片…等是否有異常、接錯，接著確認 Sampling、Cleaning、Out 三條水管相對位置，並將 Sampling 水管做記號(在水管末端貼上膠帶)，方便辨識。
2. 開啟工作電腦內與機台相對應名稱之資料夾的 Excel 檔及 Arduino 程式檔，如圖 4-13 所示。

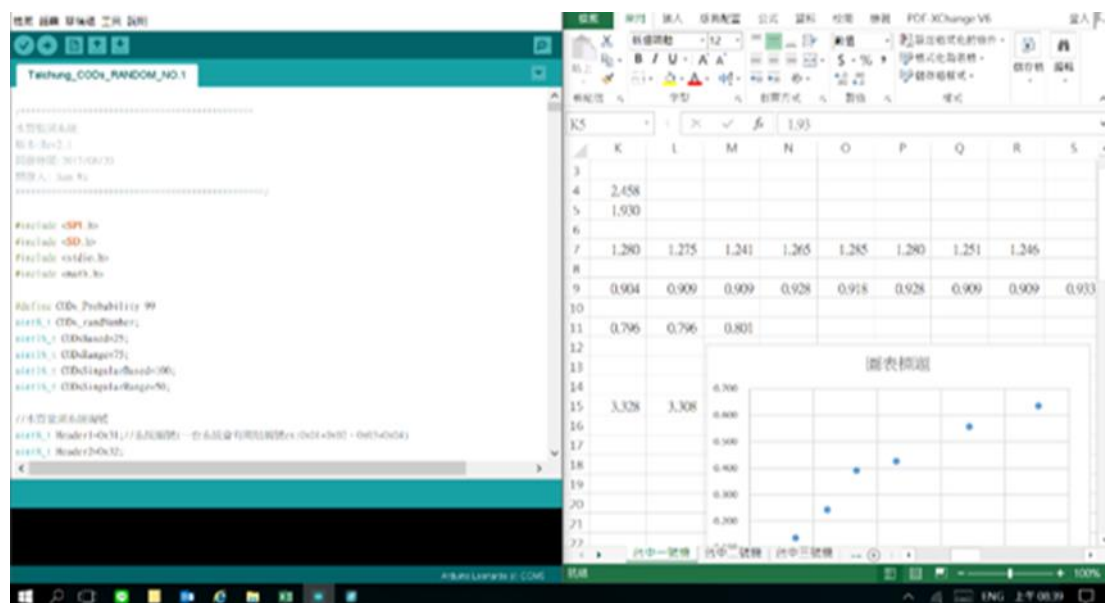


圖 4-13、相同名稱之資料夾的 Excel 檔及 Arduino 程式

3. 將機台之 USB 接頭與電腦端連上，並於 Arduino 程式檔「工具」確認開發板為: Arduino Leonardo，再確認序列埠是否有偵測到訊號，如圖 4-14。

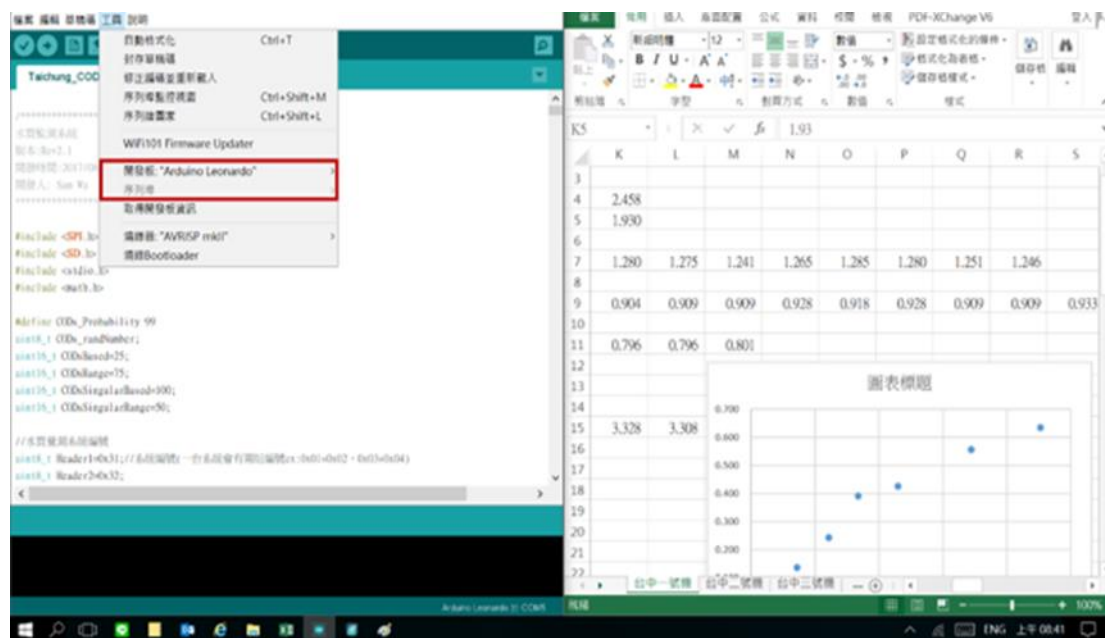


圖 4-14、 Arduino 程式檔之「工具」確認開發板

4. 接著以燒杯裝取常溫水(約略 25°C，350 mL)與準備溫度偵測器。
5. 將 Sampling、Cleaning、Out 三條水管放於燒杯中，並將溫度偵測器之偵測點插入 out 水管內(末端)。
6. 設計馬達進流時間與清洗時間之參數: Arduino 程式檔之 Sampling time=60、Cleaning time=60、delayMin=1、delaySec=1，設計馬達進流量之參數: Arduino 程式檔之 Sampling_PWM_Percent 100、Cleaning_PWM_Percent 100，如下圖 4-15 所示。

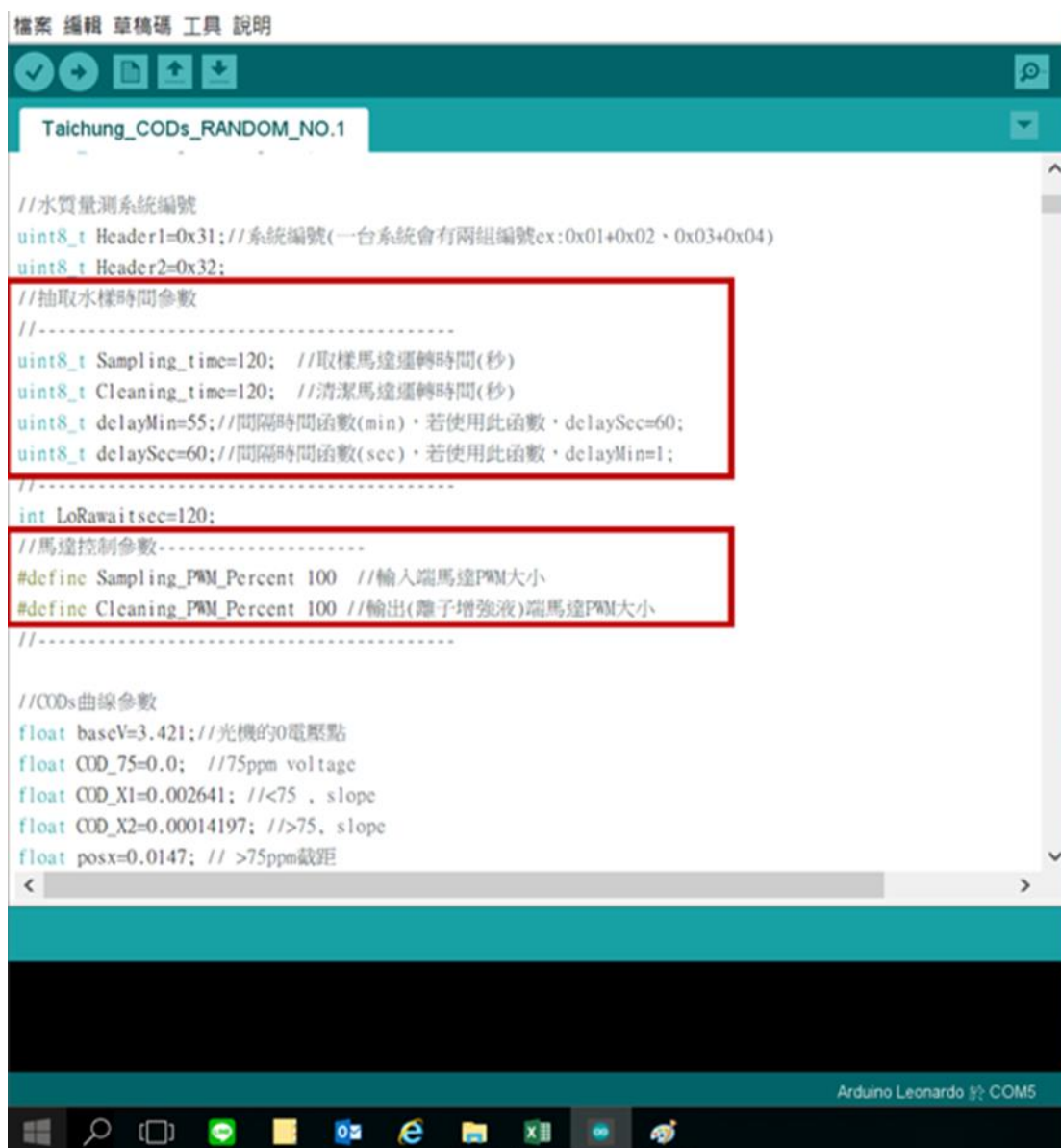


圖 4-15、馬達進流時間與清洗時間等參數設定

7. 確認 Arduino 程式檔之 Temp_X_Coefficient 為 0.0048，開啟機台 Power，並將 Arduino 程式檔上傳，確認是否有成功燒錄至機台，直到成功為止，如圖 4-16。

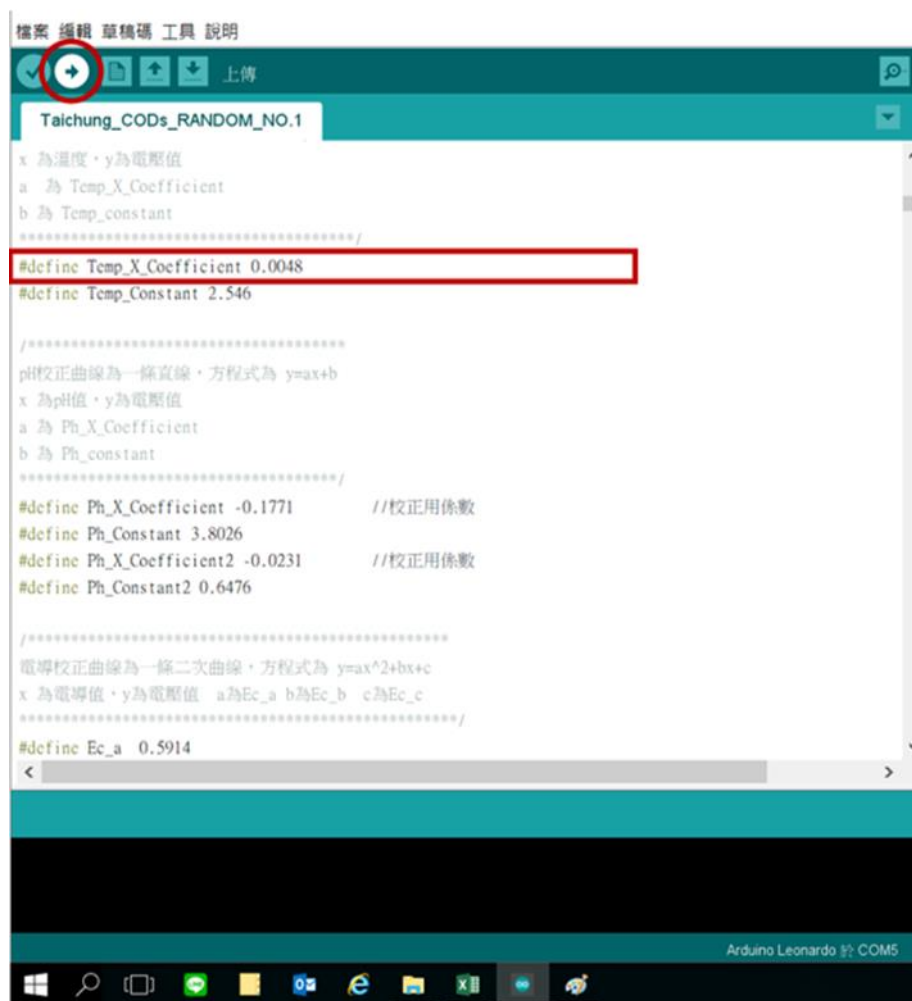


圖 4-16、Arduino 程式檔溫度校正欄位

8. 機台開始運轉，觀察 Out 水管之出水量是否異常，查看 Arduino 程式檔之溫度電壓值(實測電壓)與溫度偵測器之溫度實際值(實測溫度)，並輸入實測電壓與實測溫度於 Excel 檔，可得到 Temp_Constant 數值，並將 Temp_Constant 數值輸入於 Arduino 程式檔案，如圖 4-17 所示。

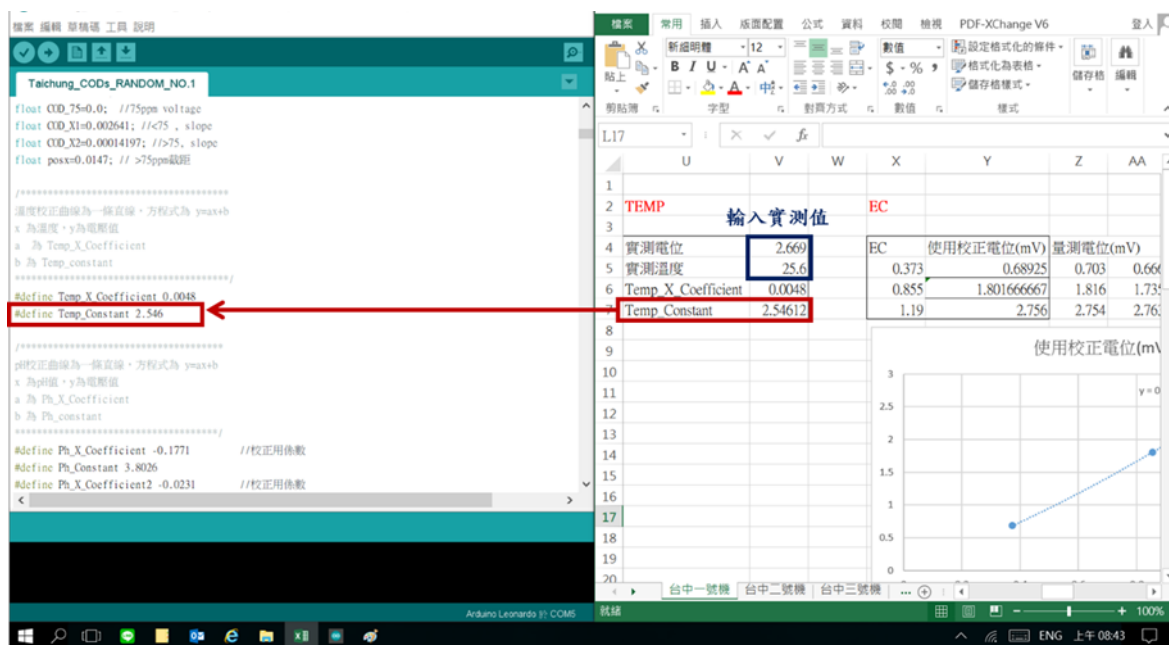


圖 4-17、溫度校正之參數彙整與輸入

- 調整參數後，將 Arduino 程式重新燒錄至機台，並觀察第一筆資料所測得之溫度值是否與溫度偵測器之溫度實際值相近，若兩筆溫度數值相近，則已完成溫度校正程序，若數值相差甚多，則須再次重新校正。

(二) pH 校正 SOP

- 將閥門出水管路接於 pH 進流接頭，pH 出流接頭直接流出(左下進流、右上出流)。
- pH sensor 插入校正點，並鎖緊固定，將電極之訊號源與電路板連接。
- 準備 pH 4 與 pH 7 校正液。
- 將 Sampling、Cleaning、Out 三條水管放於 pH 校正液中。
- 確認馬達進流時間與清洗時間之參數: Arduino 程式檔之 Sampling time=60、Cleaning time=60、delayMin=1、delaySec=1，設計馬達進流量之參數: Arduino 程式檔之 Sampling_PWM_Percent 100、Cleaning_PWM_Percent 100，同溫度校正 SOP 之第六點(6)。

6. 開啟機台 Power，並將 Arduino 程式檔上傳，確認是否有成功燒錄至機台，直到成功為止，並確認 Arduino 程式檔案中的 pH 校正欄位如圖 4-18。

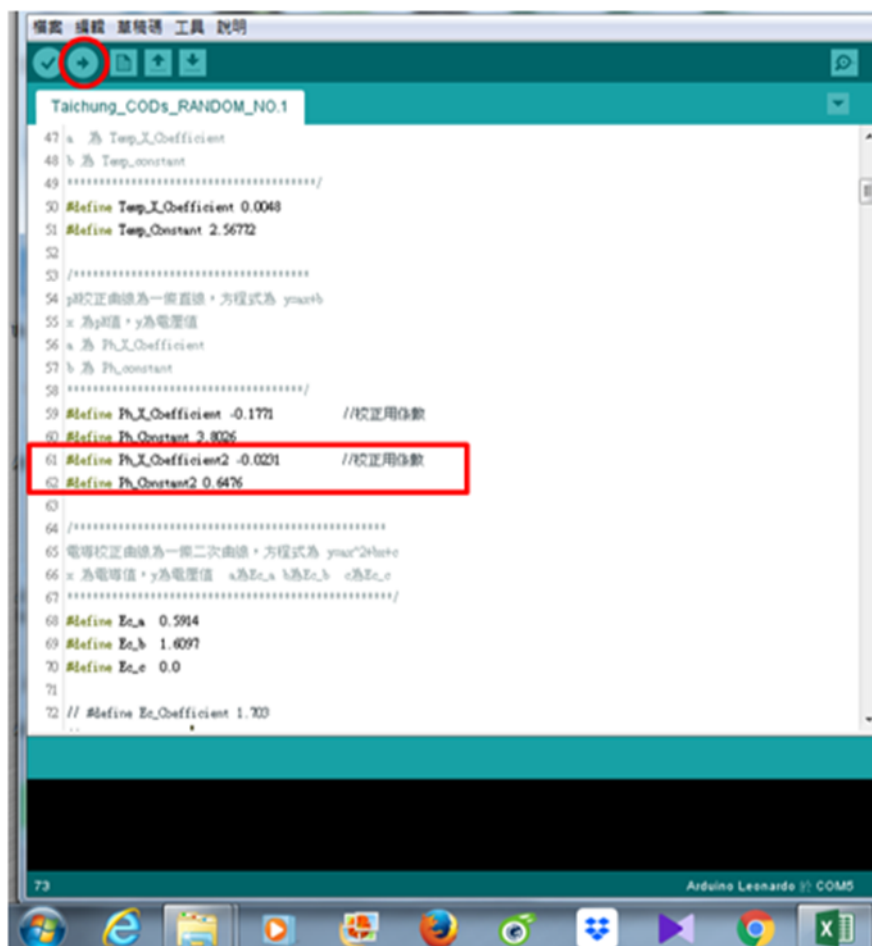


圖 4-18、Arduino 程式檔 pH 校正欄位

7. 機台開始運轉，觀察 Out 水管之出水量是否異常，查看 Arduino 程式檔之 pH4、7 之電壓值(實測電壓)，並輸入 pH4、7 之實測電壓值於 Excel 檔，即可得到 pH 與電壓之間的斜率公式，將建立之斜率與截距參數輸入於 Arduino 程式檔案中的 Ph_X_Coefficient2 與 Ph_Constant 之數值，如圖 4-19。

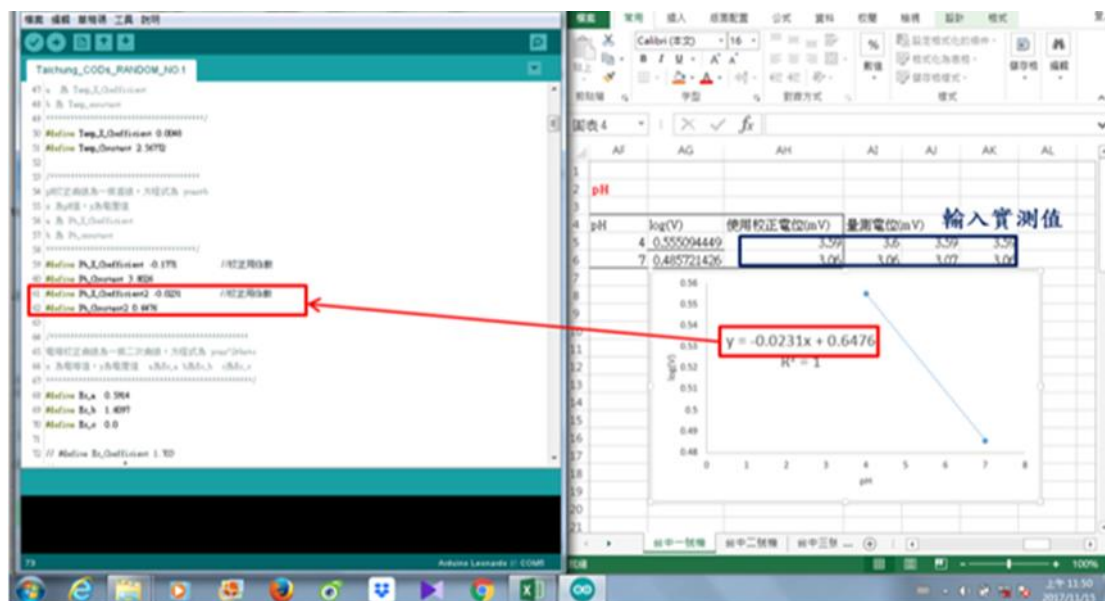


圖 4-19、pH 校正之參數彙整與輸入

- 調整參數後，將 Arduino 程式重新燒錄至機台，並觀察第一筆資料所測得之 pH 值是否與實際 pH 實測器之實際值相近，若兩筆 pH 數值相近，則已完成 pH 校正程序，若數值相差甚多，則須再次重新校正。

(三) EC 校正 SOP

- 將閥門出水管路接於晶片進流接頭，出水從晶片出流接頭接水管直接流出。
- 準備 EC 校正液，濃度分別為 320、750、1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。
- 將 Sampling、Cleaning、Out 三條水管放於 EC 校正液中。
- 確認馬達進流時間與清洗時間之參數: Arduino 程式檔之 Sampling time=60、Cleaning time=60、delayMin=1、delaySec=1，設計馬達進流量之參數: Arduino 程式檔之 Sampling_PWM_Percent 100、Cleaning_PWM_Percent 100，同溫度校正 SOP 之第六點(6)。
- 開啟機台 Power，並將 Arduino 程式檔上傳，確認是否有成功燒錄

至機台，直到成功為止，並確認 Arduino 程式檔案中的 EC 校正欄位，如圖 4-20 所示。

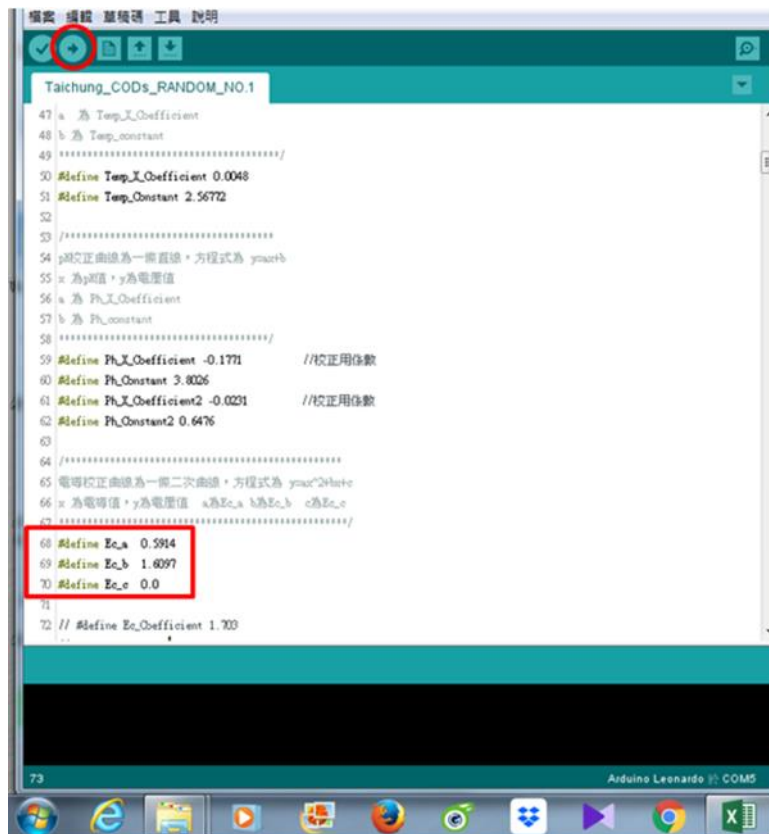


圖 4-20、Arduino 程式檔 EC 校正欄位

6. 機台開始運轉，觀察 Out 水管之出水量是否異常，查看 Arduino 程式檔之 EC 測量之電壓值(實測電壓)，並輸入 EC 之實際濃度以及實測電壓值於 Excel 檔案中，即可得到 EC 與電壓之間的多項式公式，並設定截距為 0，將建立之多項式參數輸入於 Arduino 程式檔案中的 Ec_a、Ec_b 與 Ec_c 之數值，如圖 4-21。

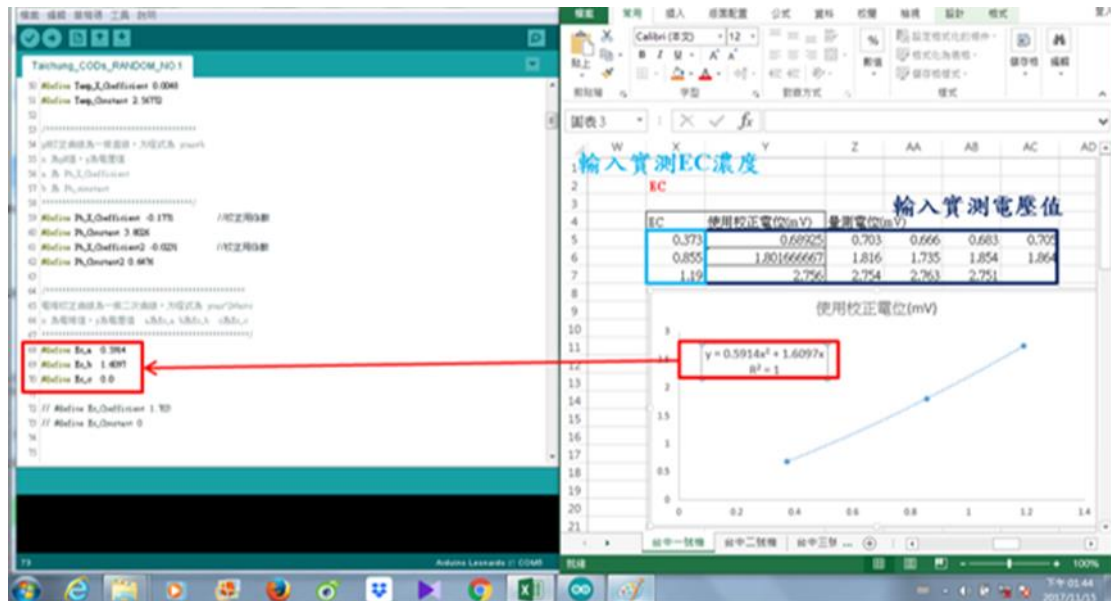


圖 4-21、EC 校正之參數彙整與輸入

- 調整參數後，將 Arduino 程式重新燒錄至機台，並觀察第一筆資料所測得之 EC 值是否與實際 EC 感測器之實際值相近，若兩筆 EC 數值相近，則已完成 EC 校正程序，若數值相差甚多，則須再次重新校正。

(四) COD 校正 SOP

- 將閥門出水管路接於光機進流接頭(側面)，出水從光機出流接頭(上方)接水管直接流出。
- 準備 COD 檢量線配製之標準液，濃度分別為 25、50、75、100、125、150、175、200 mg/L。
- 將 Sampling、Cleaning、Out 三條水管放於 COD 檢量線配製之標準液中。
- 確認馬達進流時間與清洗時間之參數: Arduino 程式檔之 Sampling time=60、Cleaning time=60、delayMin=1、delaySec=1，設計馬達進流量之參數: Arduino 程式檔之 Sampling_PWM_Percent 100、Cleaning_PWM_Percent 100，同溫度校正 SOP 之第六點(6)。

5. 開啟機台 Power，並將 Arduino 程式檔上傳，確認是否有成功燒錄至機台，直到成功為止，並確認 Arduino 程式檔案中的 COD 校正欄位，如圖 4-22。

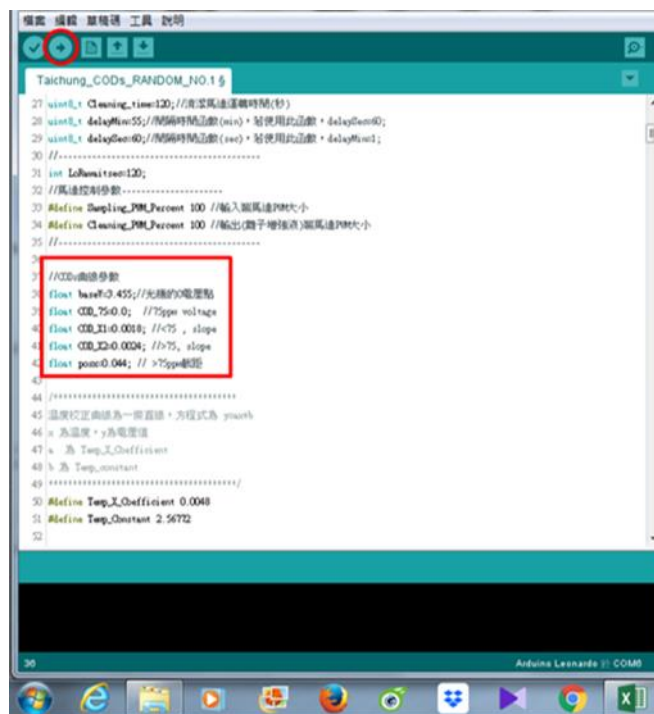


圖 4-22、Arduino 程式檔 COD 校正欄位

6. 機台開始運轉，觀察 Out 水管之出水量是否異常，查看 Arduino 程式檔之 COD 測量之電壓值(實測電壓)，並輸入 COD 之實際濃度以及實測電壓值於 Excel 檔案中，即可得到 COD 與電壓之間的斜率公式，以 COD 75 mg/L 為界線分別畫出高、低濃度之檢量線，COD 低濃度須設定截距為 0，將建立之參數輸入於 Arduino 程式檔案中的 baseV=(光機測得 COD 0 mg/L 之電壓)、COD_75=、COD_X1=、COD_X2=、posx=(高濃度檢量線之截距)等數值，如圖 4-23 所示。

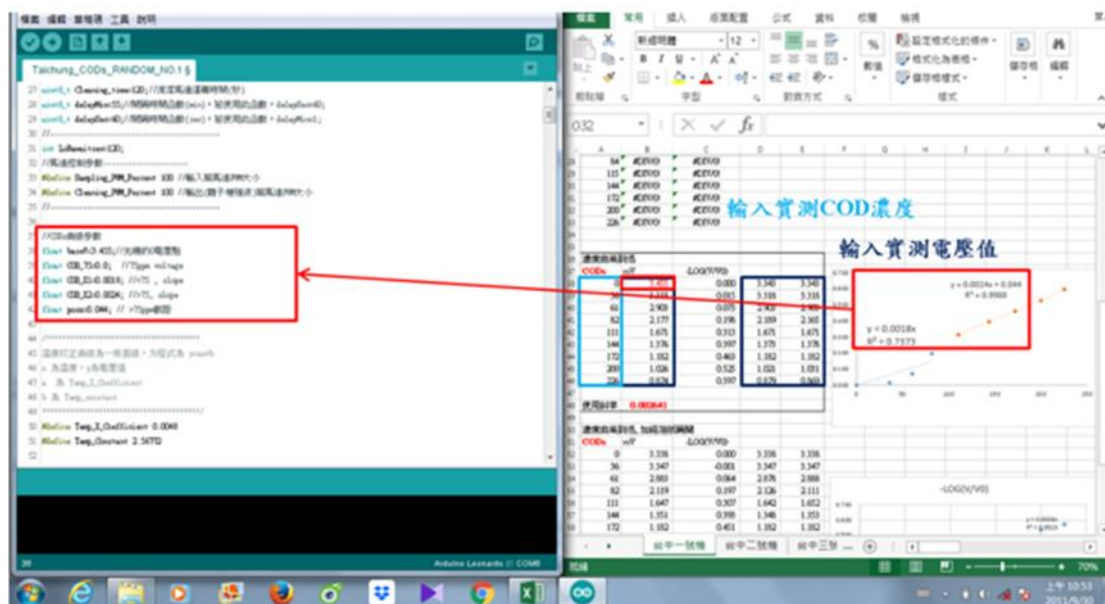


圖 4-23、COD 校正之參數彙整與輸入

- 調整參數後，將 Arduino 程式重新燒錄至機台，並觀察第一筆資料所測得之 COD 值是否與實際值相近，若兩筆 COD 數值相近，則已完成 COD 校正程序，若數值相差甚多，則須再次重新校正。

(五) Cu 校正 SOP

- 將閥門出水管路接於 Cu 進流接頭，Cu 出流接頭直接流出(左下進流、右上出流)。
- Cu sensor 插入校正點，並鎖緊固定，將電極之訊號源與電路板連接。
- 準備 Cu 檢量線配製之標準液，濃度分別為 0.5、1、2、3、4、6、10 mg/L。
- 將 Sampling、Cleaning、Out 三條水管放於 Cu 檢量線配製之標準液中。
- 確認馬達進流時間與清洗時間之參數: Arduino 程式檔之 Sampling time=60、Cleaning time=60、delayMin=1、delaySec=1，設計馬達進流量之參數: Arduino 程式檔之 Sampling_PWM_Percent 100、Cleaning

_PWM_Percent 100，同溫度校正 SOP 之第六點(6)。

6. 開啟機台 Power，並將 Arduino 程式檔上傳，確認是否有成功燒錄至機台，直到成功為止，並確認 Arduino 程式檔案中的 Cu 校正欄位，如圖 4-24。

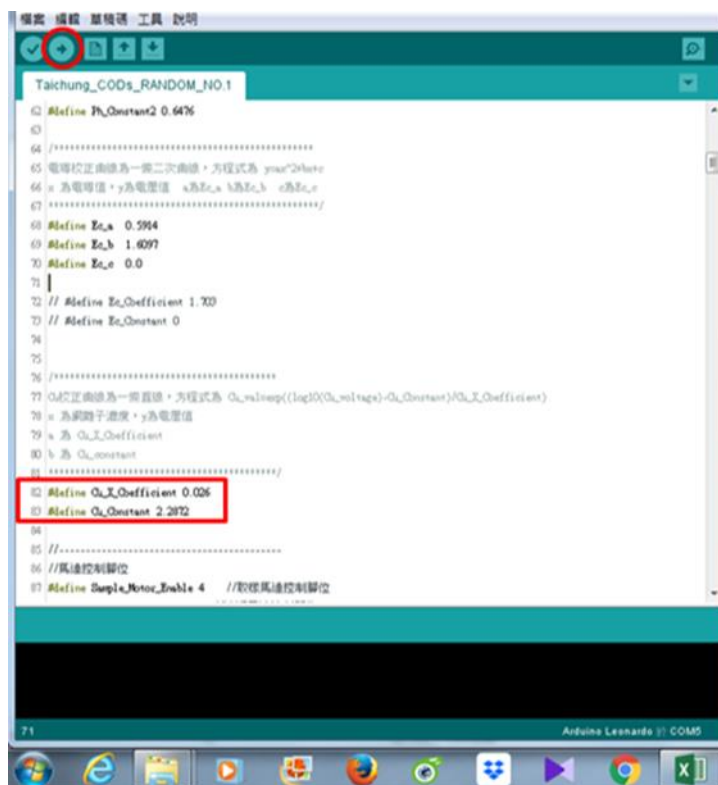


圖 4-24、Arduino 程式檔 Cu 校正欄位

7. 機台開始運轉，觀察 Out 水管之出水量是否異常，查看 Arduino 程式檔之 Cu 之電壓值(實測電壓)，並輸入 Cu 實測濃度與實測電壓值於 Excel 檔，即可得到 Cu 與電壓之間的斜率公式，將建立之斜率與截距參數輸入於 Arduino 程式檔案中的 Cu_X_Coefficient 與 Cu_Constant 之數值，如圖 4-25。

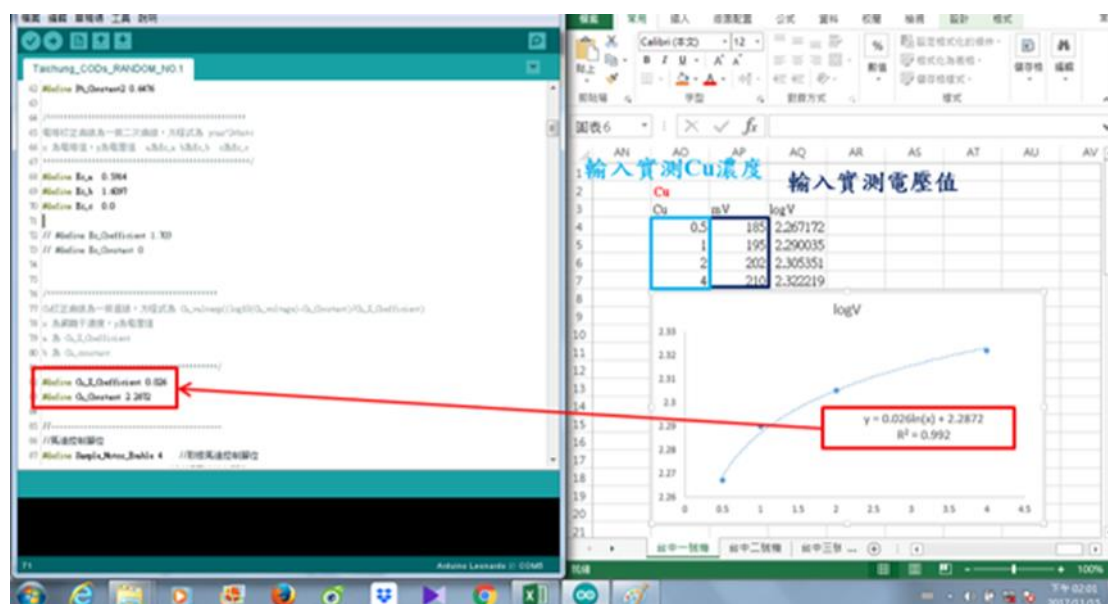


圖 4-25、Cu 校正之參數彙整與輸入

8. 調整參數後，將 Arduino 程式重新燒錄至機台，並觀察第一筆資料所測得之 Cu 值是否與實際值相近，若兩筆 Cu 數值相近，則已完成 Cu 校正程序，若數值相差甚多，則須再次重新校正。

前述為原型機內部各設備校正之程序，完成校正後，需連同實際至現場維護時，原型機外部影響、內部各設備與管路等維護事項一同記錄於「現場原型機維護表單」，下表 4-7 為「現場原型機維護表單」填寫之範例。

表 4-7、現場原型機維護表單（範例）

原型機 名稱	維護人員	原型機 突發事件	電池更換 日期與時間	剩餘 電量	有無 校正	其他原型機維護事項
桃園 X 號機	小明、小王	落石覆蓋機台	10/30 電池取回	沒電	有	水管阻塞
	小王、小李	異物拖移過濾器	11/3 11:00 更換	1	有	水管更換成黑管；更換過濾器
	小李、小明	機台內螞蟻築巢	11/21 13:40 更換	1	有	清洗水管；清洗過濾器；清洗晶片

4.4 污染農地物聯網水質布建數據分析

截至 11 月底止，本團隊布建之 30 台水質感測原型機已至少進行 1 個月完整驗證測試，各點由於架設環境及應用場域不同，在數據傳輸完整度及濃度特性上有所差異。

一、數據傳輸完整度分析

今（106）年布建水質原型機因應不同場域，傳輸部分採用 GSM 及 LoRa 二種通訊模組。LoRa 模組由於受到與架設基地台距離限制，且容易受到傳輸路徑上金屬或水泥障礙物之干擾，數據傳輸完整度在各布建點表現上差距甚大。由於水質感測器發送數據頻率重新調整過，能測試週期較短，今（106）年數據傳輸完整度，針對距離基地台位置較遠且干擾物較多之桃園徐厝排水 A 點～F 點進行長時間（1 星期）分析，其他 LoRa 及 GSM 通訊以短時間（完整測試週期 43 小時）分析，分析結果如下表 4-8 所示。可看出距離最遠之徐厝排水 A 點～C 點資料完整度約在 80% 以下，其他點數據傳輸完整度非常良好。

本分析是以資料總筆數/理論筆數，作為資料完整度計算方式，其中資料總筆數為該週期實際平台接收數據筆數，而理論筆數為該週期總小時數乘以每小時預計傳輸筆數。該方法於大尺度下可快速篩分結果，然有可能無法避免測站在短時間內多次傳輸數據之誤判，未來建議探討固定時間點以程式自動判讀數據傳輸完整度之可行性。

表 4-8、數據傳輸完整度分析⁵

測站名稱	編號	地點	感測模組	資料總筆數	理論筆數	資料完整度
徐厝排水_A	A	桃園	LoRa	173	336	51%
徐厝排水_B	B	桃園	LoRa	273	336	81%
徐厝排水_C	C	桃園	LoRa	233	336	69%
徐厝排水_D	D	桃園	LoRa	341	336	100%
徐厝排水_E	E	桃園	LoRa	343	336	100%
徐厝排水_F	F	桃園	LoRa	342	336	100%

⁵測試週期

徐厝排水 A～F：11/18-11/24

其他點位：11/24-11/18 19：00

測站名稱	編號	地點	感測模組	資料總筆數	理論筆數	資料完整度
蘆竹排水_G	G	桃園	LoRa	89	86	100%
蘆竹排水_H	H	桃園	LoRa	87	86	100%
徐厝排水_1	1	桃園	LoRa	87	86	100%
徐厝排水_2	2	桃園	LoRa	90	86	100%
徐厝排水,蘆竹排水_3	3	桃園	LoRa	88	86	100%
徐厝排水_4	4	桃園	LoRa	89	86	100%
徐厝排水_5	5	桃園	LoRa	90	86	100%
徐厝排水_6	6	桃園	LoRa	88	86	100%
徐厝排水_7	7	桃園	LoRa	90	86	100%
徐厝排水_8	8	桃園	LoRa	90	86	100%
桃園大圳 2-2-4_9	9	桃園	LoRa	88	86	100%
桃園大圳 2-2-4_10	10	桃園	LoRa	89	86	100%
桃園大圳 2-2-4_11	11	桃園	LoRa	89	86	100%
桃園大圳 2-2-4_12	12	桃園	LoRa	90	86	100%
桃園大圳 2-2-4_13	13	桃園	LoRa	89	86	100%
徐厝排水_14	14	桃園	LoRa	88	86	100%
三塊厝支線_驗證 A	驗證 A	桃園	GSM	43	43	100%
黃墘溪_驗證 B	驗證 B	桃園	GSM	45	43	100%
頭汴坑溪_1	1	台中	GSM	46	43	100%
大里溪_2	2	台中	GSM	46	43	100%
中興排水_3	3	台中	GSM	45	43	100%
中興排水_4	4	台中	GSM	45	43	100%
大里溪_5	5	台中	GSM	44	43	100%
大里溪_6	6	台中	GSM	45	43	100%

二、 水質各點濃度分布及異常情形分析

藉由分析各區域水質特性將有助於了解各區域環境特性對水質特性之影響。以下將分析區域概略區分為，工業區、灌溉區、驗證區、替代水源區以及台中區灌溉區，並且為了比較同一區上下游水質特性之共通與差異性，將各區域之上下游測站點位分類如下：

(一) 桃園工業區：包含有徐厝排水 A~F，取上游徐厝排水 A 與下游徐厝排水 F 之資料進行比對。

(二) 桃園灌溉區：包含徐厝排水 1~2、徐厝排水 4~8、徐厝排水 14 以及桃園大

圳-2-2-4_09~12，取上游徐厝排水 5 與下游徐厝排水 14 之測資料進行比對。

(三) 桃園驗證區：桃園替驗證區域包含上游黃墘溪驗證 B 與三塊厝支線驗證 A 之資料進行比對。

(四) 桃園替代水源區：包含蘆竹排水 G&H 與徐厝排水蘆竹排水 3，取上游徐厝排水蘆竹排水 3 與下游桃園大圳 2_2_4_12 之資料進行比對。

(五) 台中區灌溉區：包含頭汴坑溪_1、大里溪_2、中興排水_3、4 以及大里溪_5、6，取上游大里溪_6 與下游頭汴坑溪_1 之資料進行比對。

藉由上述分類，將各點之 pH 值、溫度、導電度、銅離子與化學需氧量等數值進行比較。由於各量測點位於 11 月初完成佈放，並於 11/8 完成校正。因此確認量測系統穩定後，取 11/11 00:00:00~11/18 23:59:59 共八天之時間區間進行資料分析，於該時間內有機會可觀察一周內工作時段中之水質參數變化，並比較與人為活動之相關性。資料處理上，主要針對資料分佈特性與範圍(標準差)，集中之區間(平均值)，以及變化週期(劇烈或平緩)等數據特性進行分析。

圖 4-26-圖 4-30 分別為 pH 值、溫度、導電度、銅離子與 CODs 之上下游比較圖。pH 值變化比較上，上游徐厝排水 A 較於劇烈，而下游徐厝排水 F 則較相對平緩。而溫度變化比較上，上下游溫度變化趨勢相近，但下游有較多部規折峰值出現。於導電度變化比較上，上下游導電度整體變化趨勢有極高相似度，而上游數值明顯較下游為高，有可能水中導電之正負離子自上游排入水中，傳遞至下游後整體含量擴散遞減。於銅離子變化比較上，上游有感測到不規則峰值出現，而下游之感測值持續為零。整體而言，銅離子均遠低於警戒值。於化學需氧量之比較上，上游化學需氧量變化範圍較小；下游變化範圍較大。此外，上游數值於最後兩天降至為零，於該時段可能資料傳輸斷線。扣除該時段資料，上下游數值明顯位於相同均值上，但下游數值分佈範圍較廣。

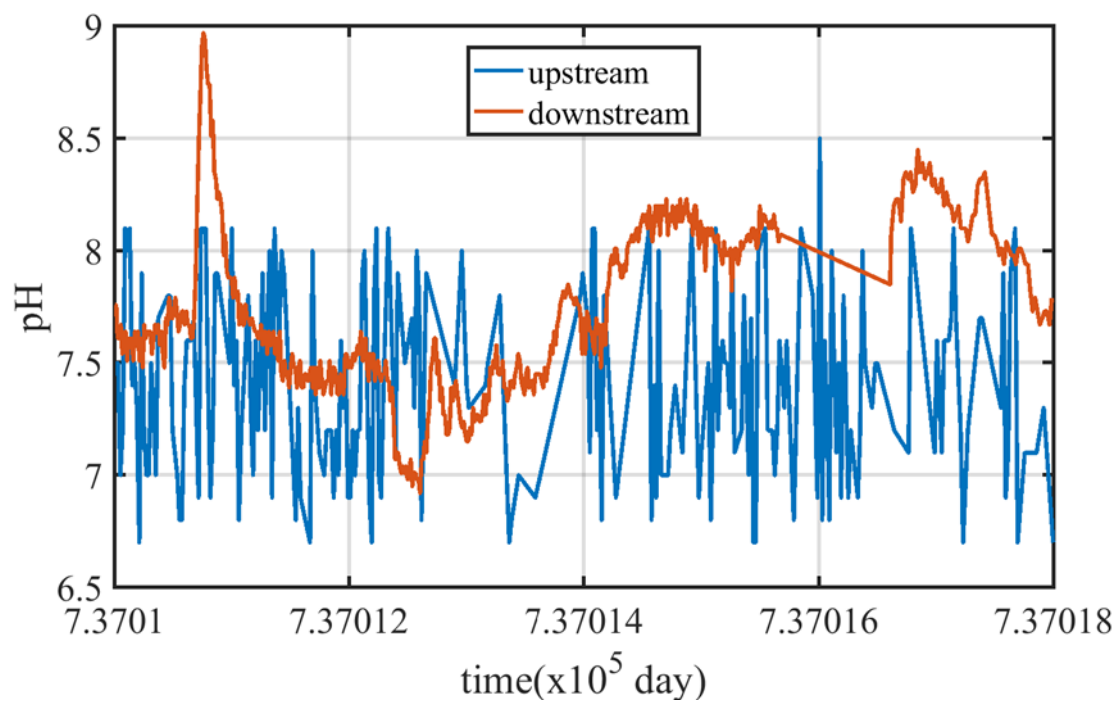


圖 4-26、桃園工業區上下游 pH 值變化

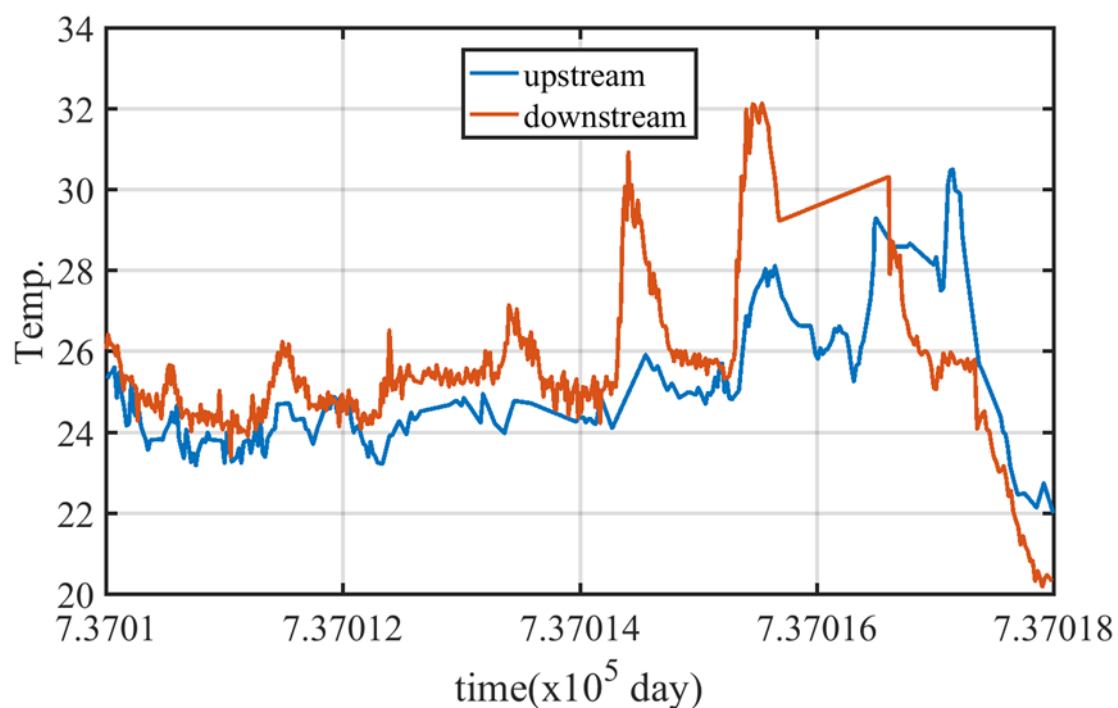


圖 4-27、桃園工業區上下游溫度變化

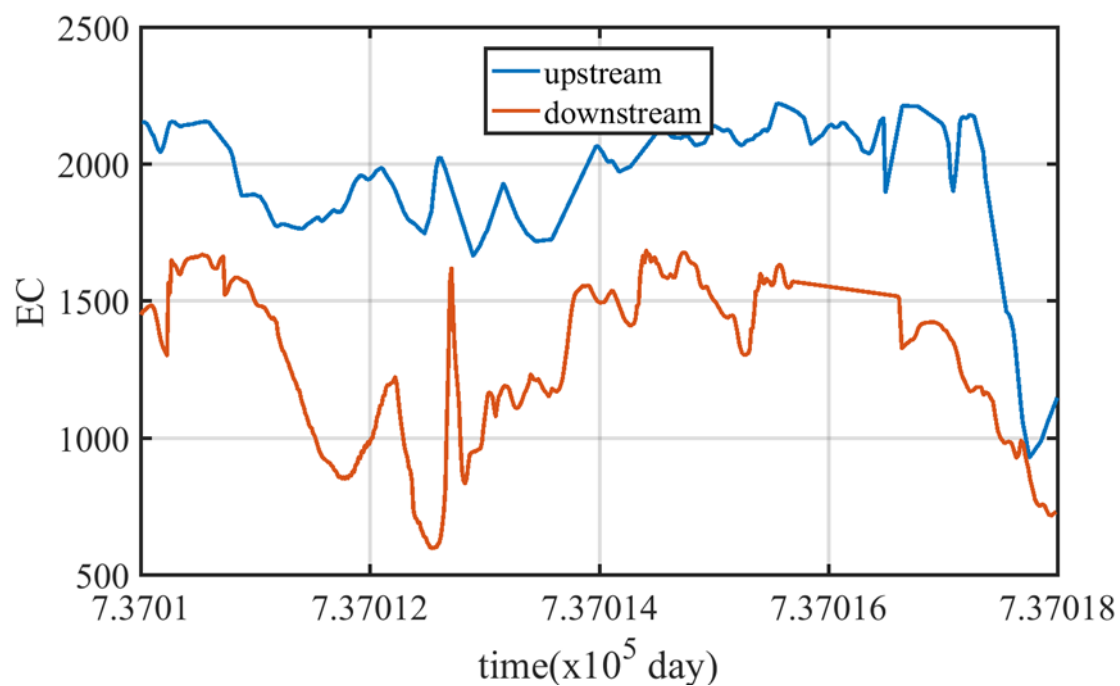


圖 4-28、桃園工業區上下游導電度變化

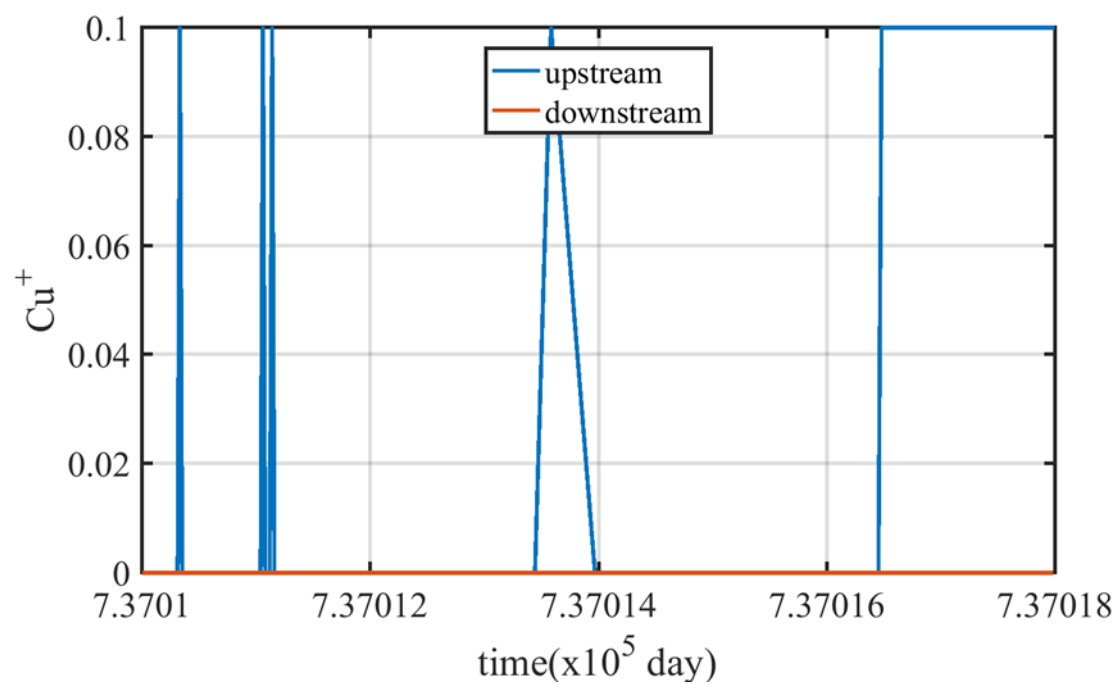


圖 4-29、桃園工業區上下游銅離子變化

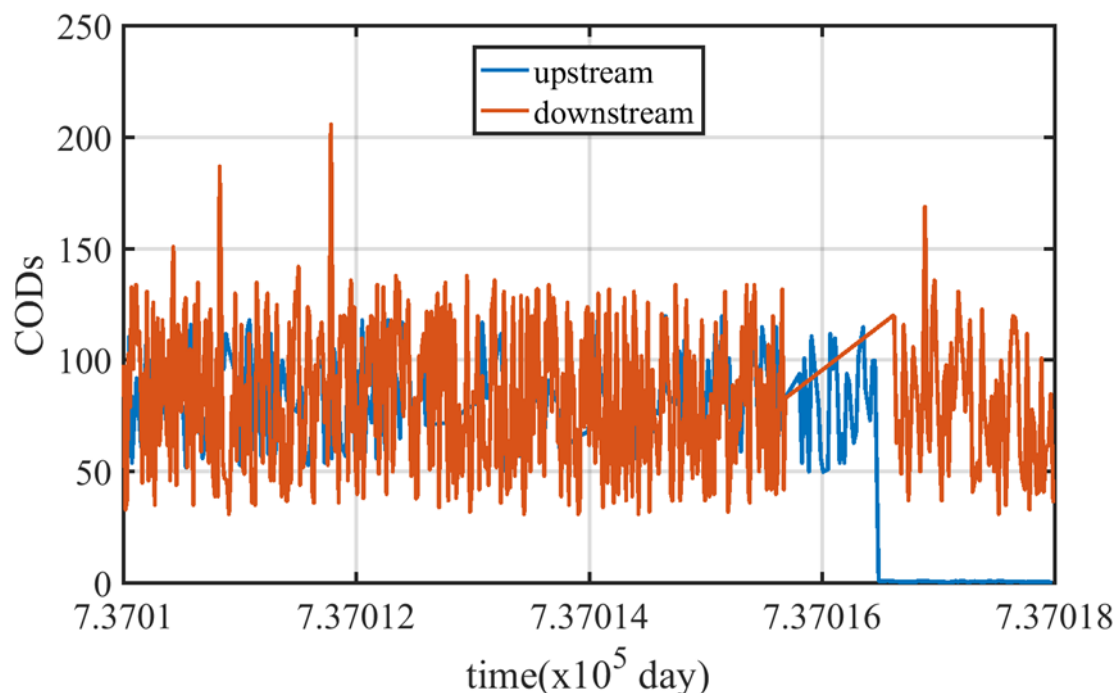


圖 4-30、桃園工業區上下游 CODs 變化

圖 4-31-圖 4-35 分別為 pH 值、溫度、導電度、銅離子與 CODs 之上下游比較圖。pH 值變化比較上，上游徐厝排水 5 與下游徐厝排水 14 均顯示劇烈變化。而下游相較於上游顯示整體水 pH 值偏高。而溫度變化比較上，上下游溫度變化趨勢相近，且兩組數值有極高之相似度。於導電度變化比較上，於 11/15 之前上下游導電度整體變化趨勢差異性極大，而上游數值明顯較下游數值為高，有可能水中導電之正負離子自上游排入水中，傳遞至下游後整體含量擴散遞減。且 11/15 前下游導電度均低於警戒值。而於 11/15 之後，上下游導電度之曲線相似。此變化須與各種外在環境因素相比對方能推敲其原因。於銅離子變化比較上，上游有感測到不規則峰值出現，而下游之數值大部分為 0.01，且變化不大。整體而言，銅離子均遠低於警戒值。於化學需氧量之比較上，上游化學需氧量變化範圍較小；下游變化範圍較大。上游有零星數值超過警戒標準，且大部分振盪波峰逼近於警戒值。而下游於零星波峰超過警戒值，且振盪波峰約在 80 左右，離警戒值有一段距離。

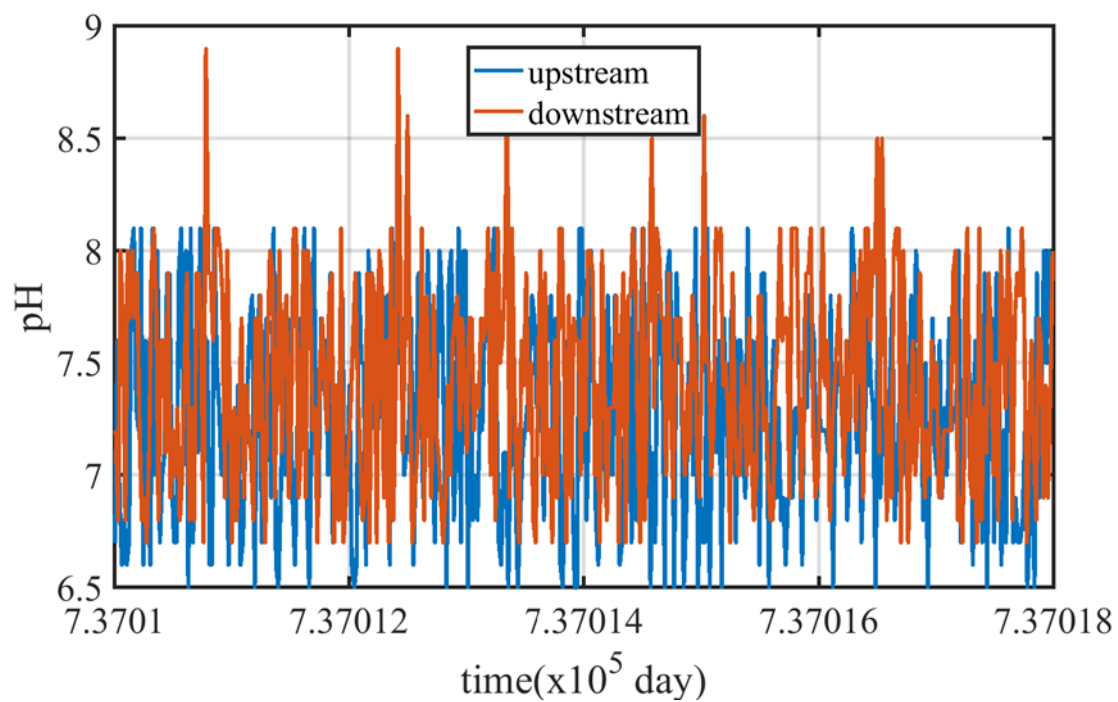


圖 4-31、桃園農田灌溉區上下游 pH 變化

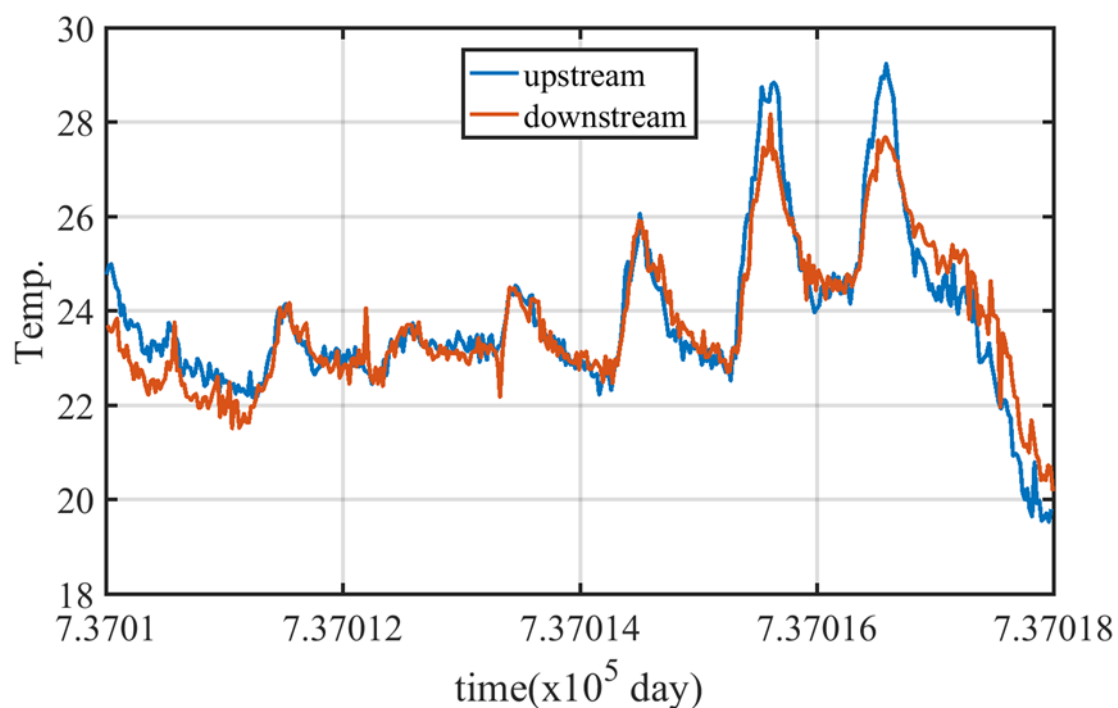


圖 4-32、桃園農田灌溉區上下游溫度變化

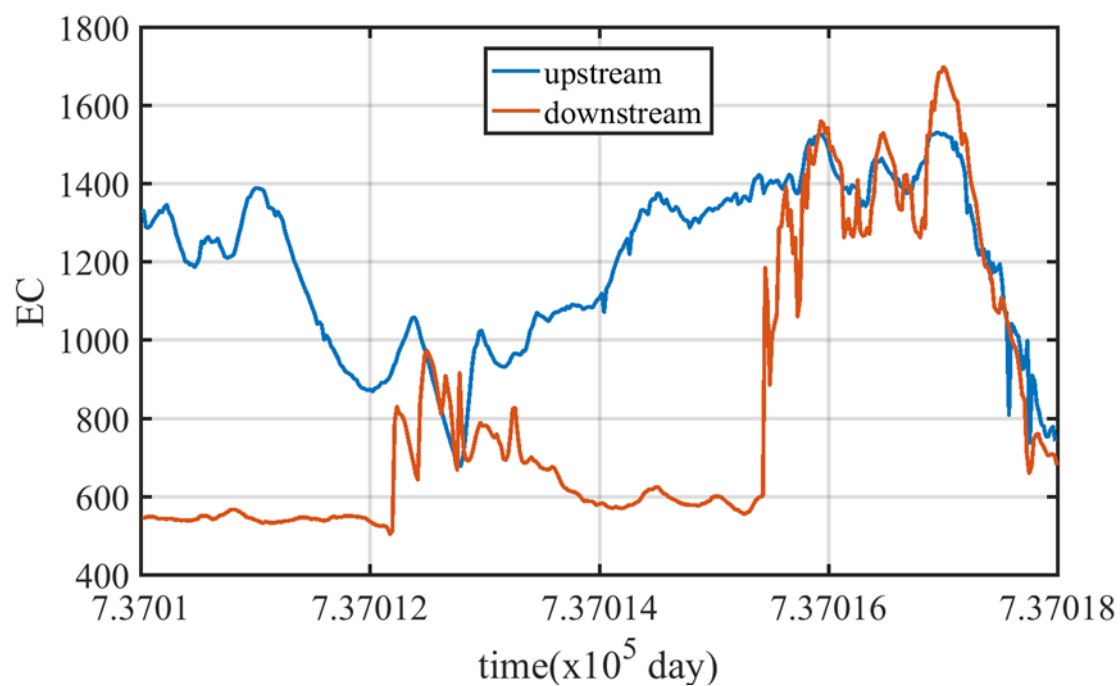


圖 4-33、桃園農田灌溉區上下游導電度變化

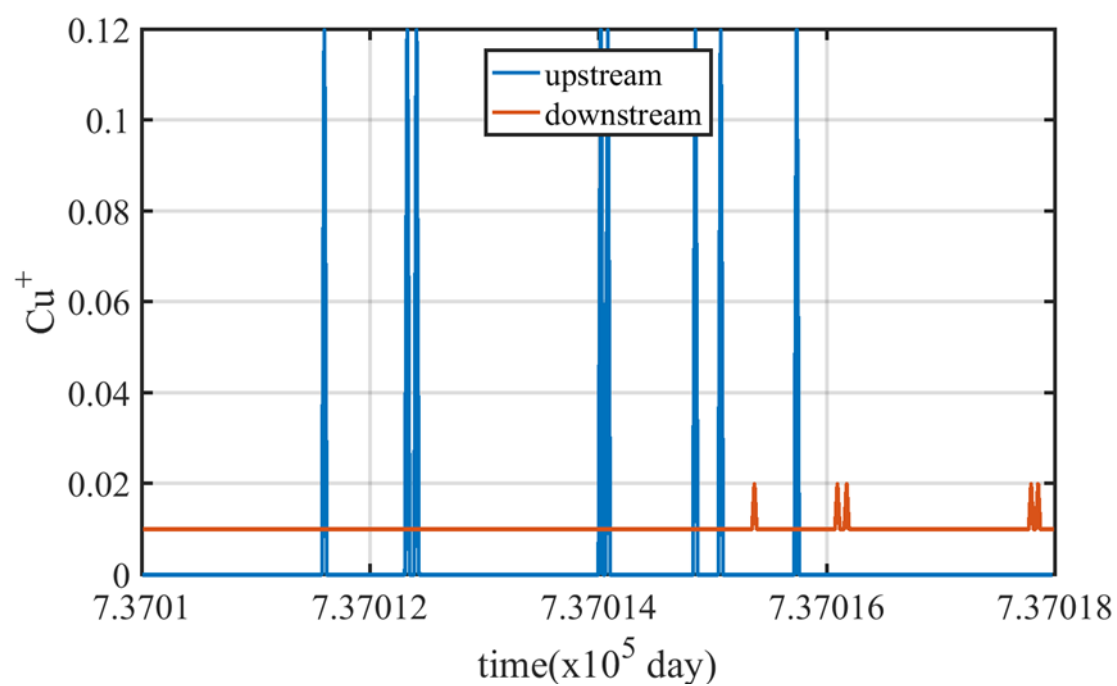


圖 4-34、桃園農田灌溉區上下游銅離子變化

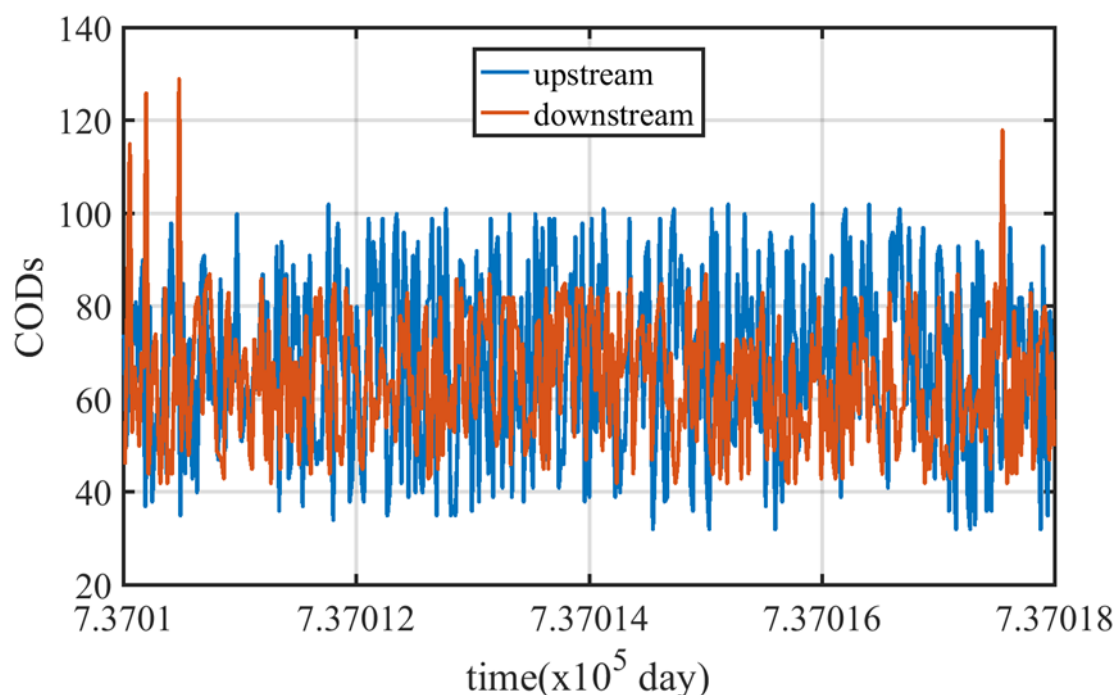


圖 4-35、桃園農田灌溉區上下游 CODs 變化

桃園替代水源區取上游徐厝排水蘆竹排水 3 與下游桃園大圳 2_2_4_12 之資料進行比對。圖 4-36-圖 4-40 分別為 pH 值、溫度、導電度、銅離子與 CODs 之上下游比較圖。pH 值變化比較上，上游徐厝排水蘆竹排水 3 與下游桃園大圳 2_2_4_12 均顯示劇烈變化。而下游相較於上游顯示整體水質之 pH 值變化趨勢一致。而溫度變化比較上，上下游溫度變化趨勢相近，且兩組數值存在著一個固定溫差。於導電度變化比較上，上下游導電度整體變化趨勢差異性極大，但均屬於平緩變化，而上游數值明顯較下游數值為高。且整體上下游導電度均遠低於警戒值。於銅離子變化比較上，上游有感測到不規則峰值出現，而下游數值均為 0，且整體而言，銅離子均遠低於警戒值。於化學需氧量之比較上，上游與下游化學需氧量變化範圍均在 25~90 之間，且數值之振盪變化相對劇烈。整體而言，替代水源區之水質參數均低於警戒值，具有較佳之灌溉條件。

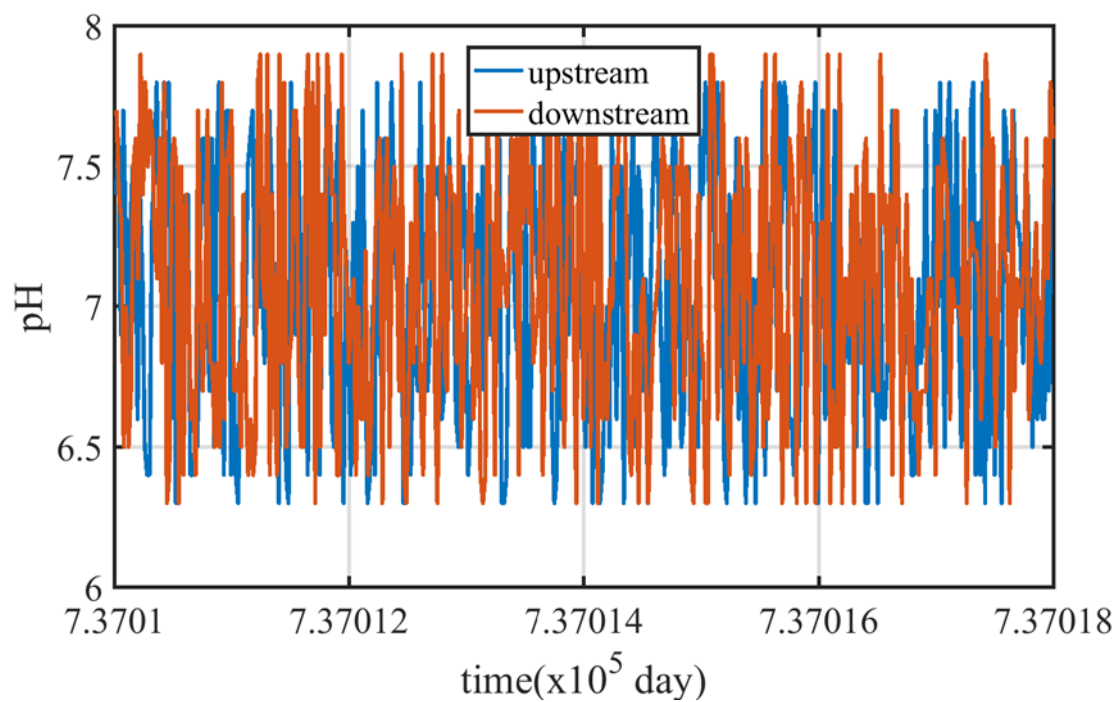


圖 4-36、桃園替代水源區上下游 pH 變化

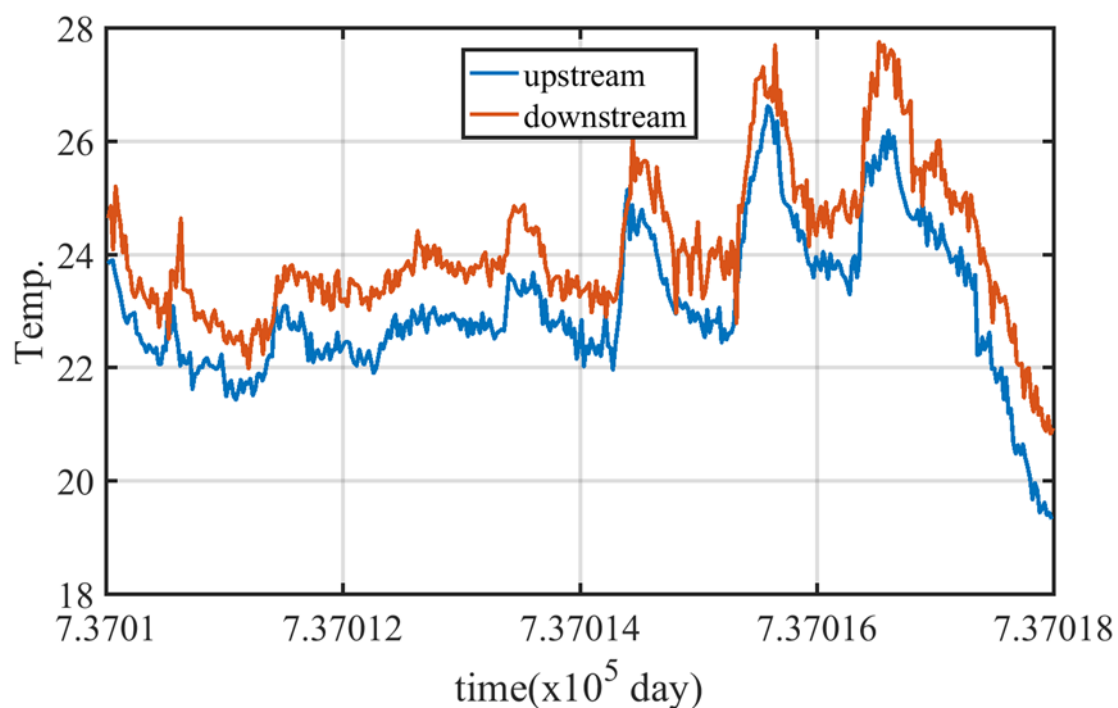


圖 4-37、桃園替代水源區上下游溫度變化

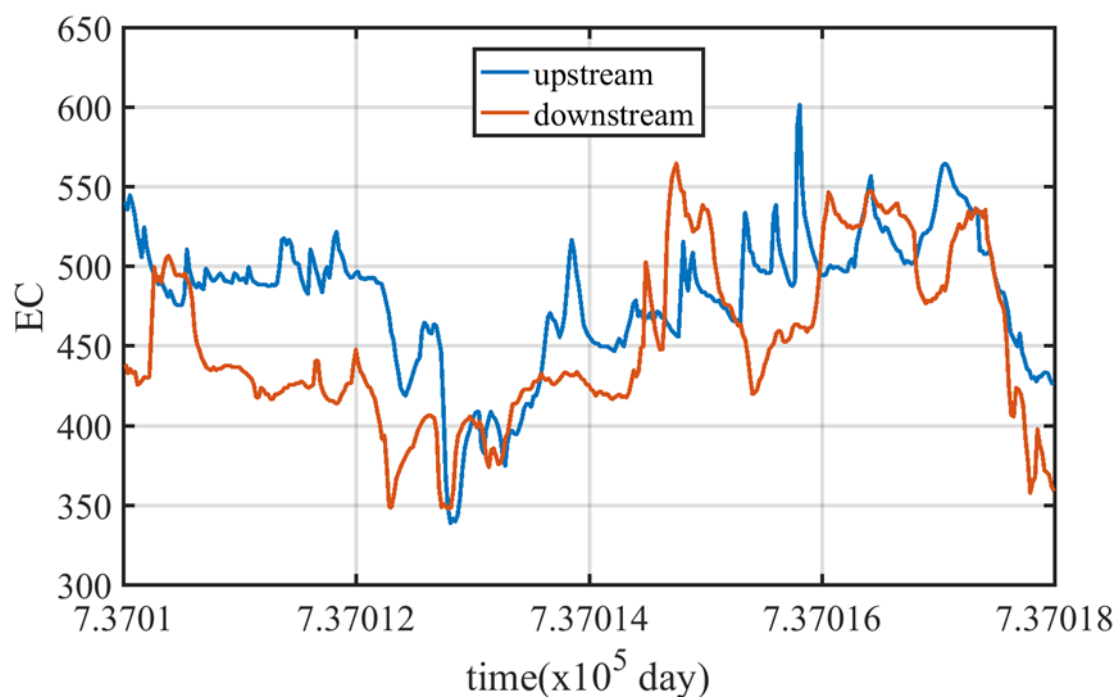


圖 4-38、桃園替代水源區上下游導電度變化

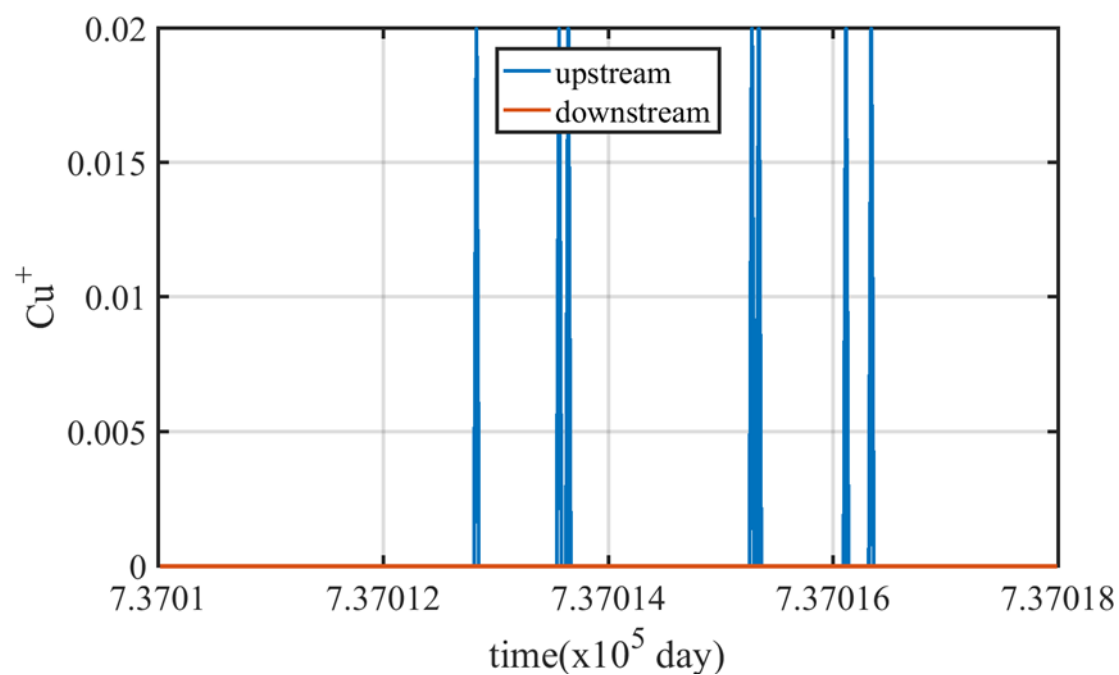


圖 4-39、桃園替代水源區上下游銅離子變化

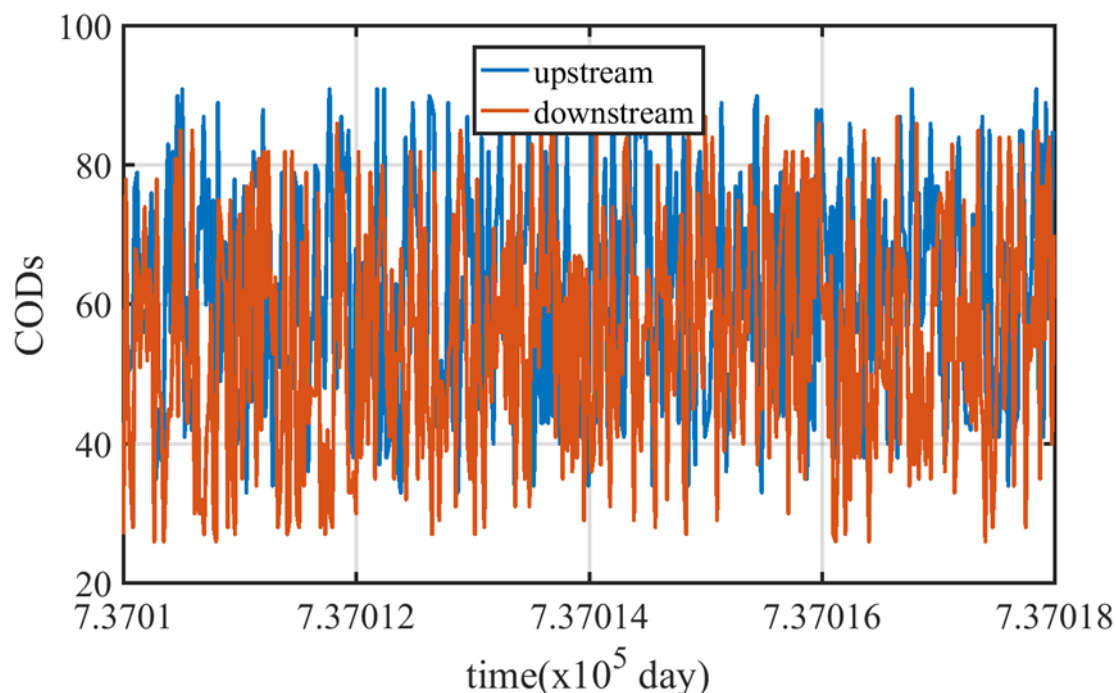


圖 4-40、桃園替代水源區上下游 CODs 變化

桃園驗證區域取上游黃墘溪驗證 B 與三塊厝支線驗證 A 之資料進行比對。圖 4-41-圖 4-45 分別為 pH 值、溫度、導電度、銅離子與 CODs 之上下游比較圖。於 pH 值變化比較上，上游黃墘溪驗證 B 與三塊厝支線驗證 A 均顯示平緩變化。而下游相較於上游顯示整體水質之 pH 值變化範圍較小，但水質比較偏鹼性。而溫度變化比較上，上下游溫度變化趨勢相近，且兩組數值存在著類似之振盪峰值，於 11/14 過後有週期性飆高現象，須進一步比對該時段之環境或人為參數。於導電度變化比較上，上下游導電度整體變化趨勢差異性極大，但均屬於平緩變化，而上游數值明顯較下游數值為高，且變化較下游數值有明顯振盪。且整體上下游導電度數值均遠高於警戒值，下游甚至超過警戒值 750 之 2-3 倍；而上游超過警戒值達 4-5 倍。於銅離子變化比較上，於上下均游有感測到不規則峰值出現，而下游有最大數值均為 0.25。且整體而言，銅離子均遠低於警戒值。於化學需氧量之比較上，上游與下游化學需氧量變化範圍均在 60~160 之間，且振盪變化相對劇烈。整體而言，替代水源區之水質化學需氧量均之平均值落於警戒值 100，顯是有一半左右之數值高於警戒值。相較而言，驗證場域之水質條件較不適合作為灌溉用水。

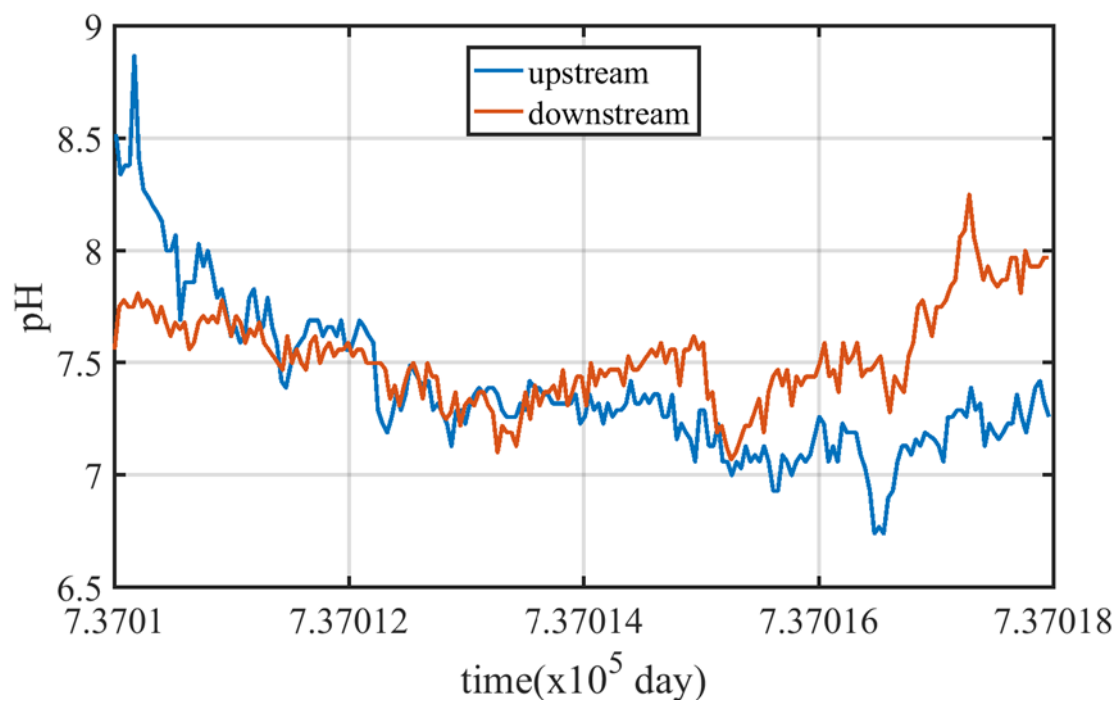


圖 4-41、桃園驗證區域上下游 pH 變化

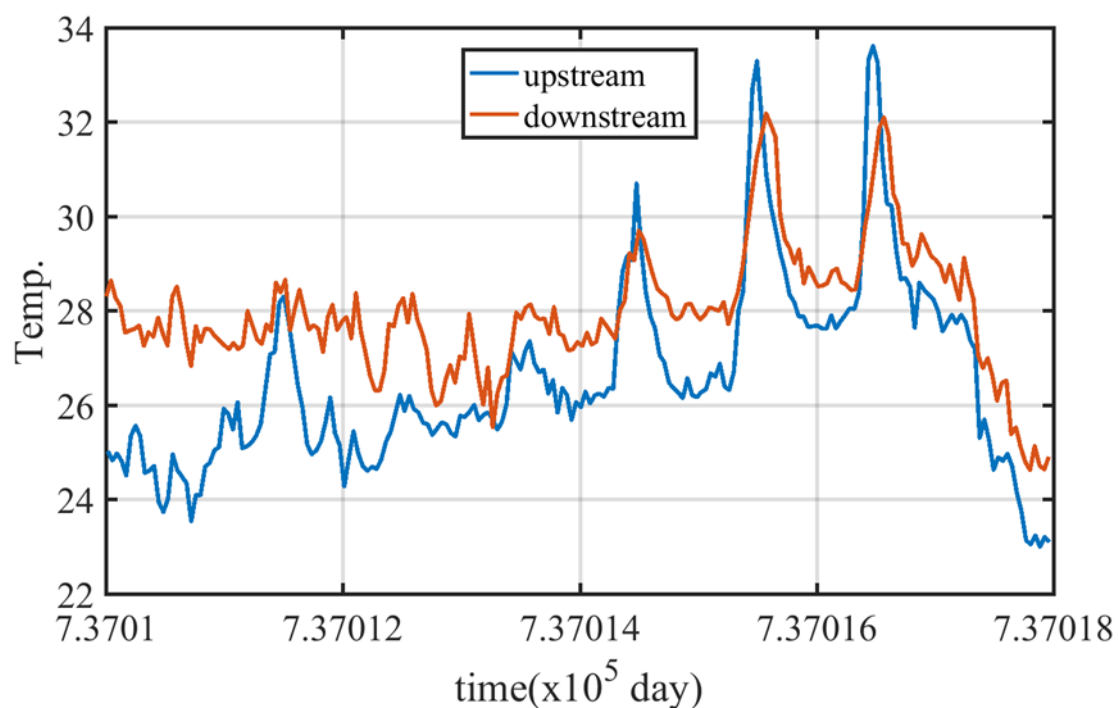


圖 4-42、桃園驗證區域上下游 pH 變化

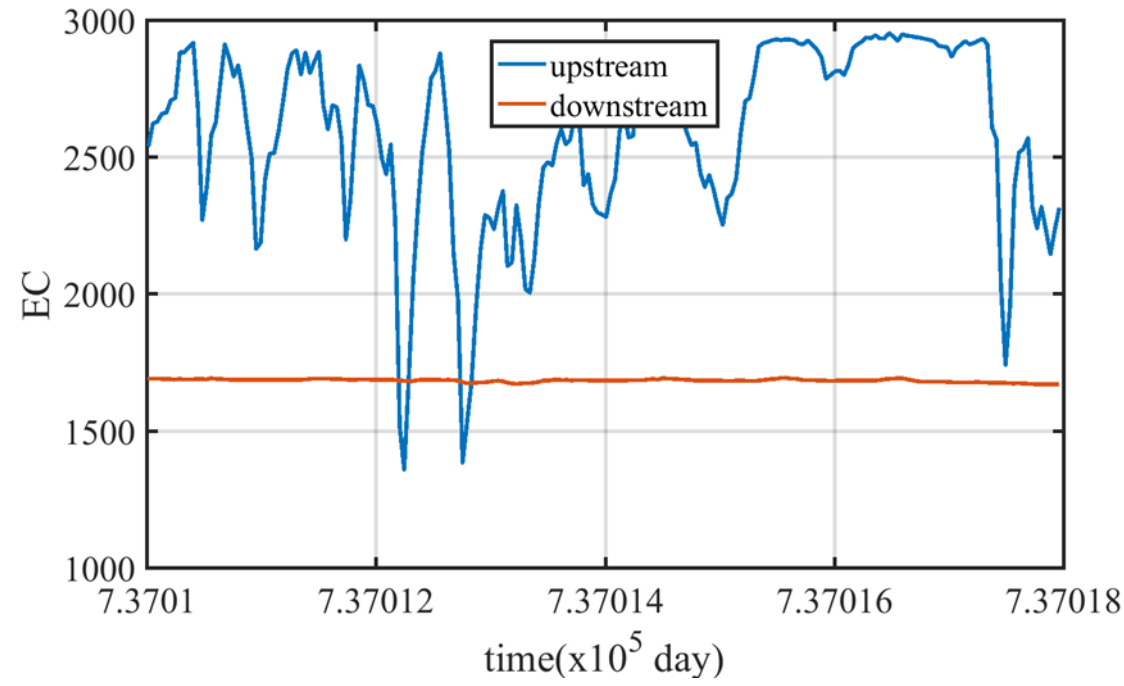


圖 4-43、桃園驗證區域上下游導電度變化

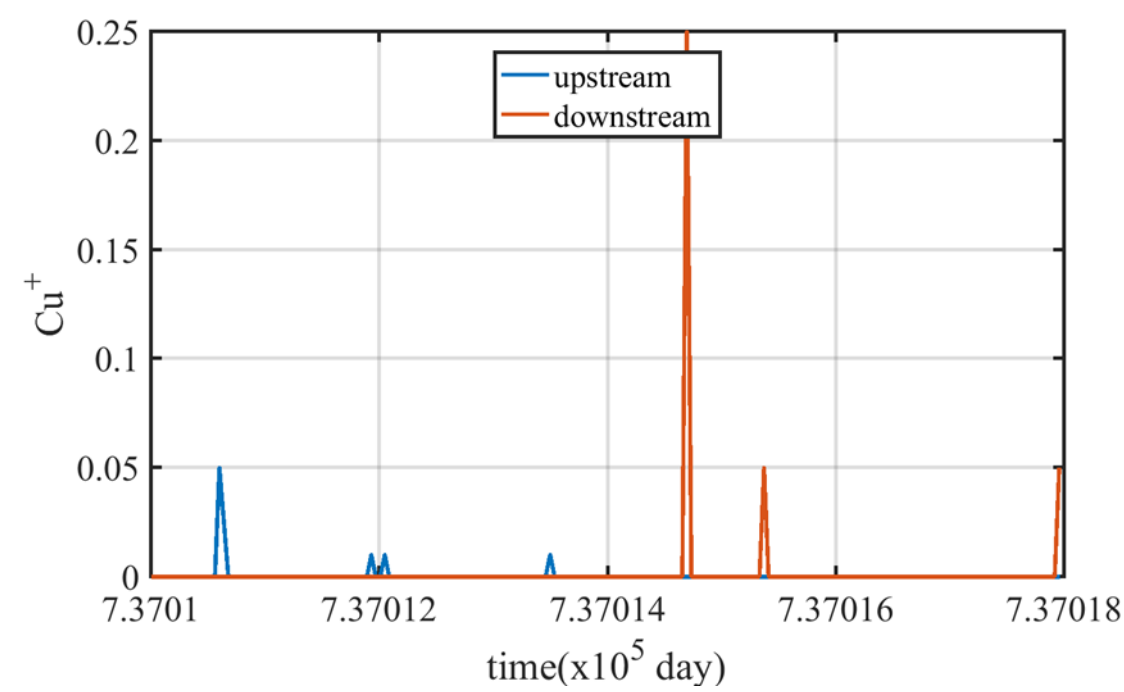


圖 4-44、桃園驗證區域上下游銅離子變化

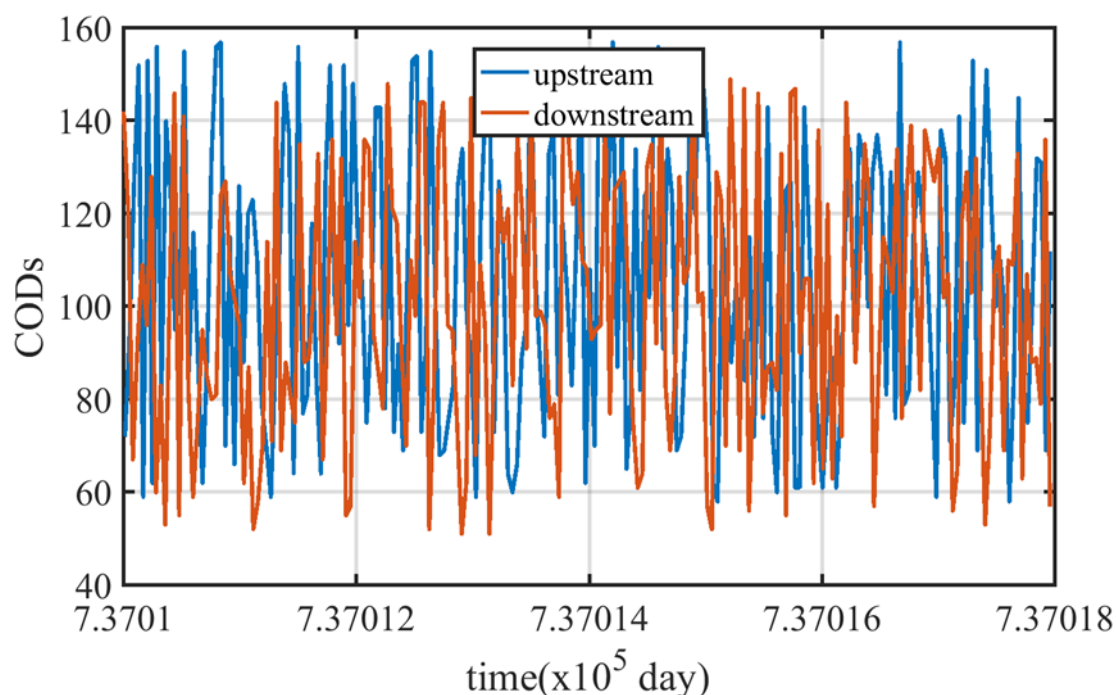


圖 4-45、桃園驗證區域上下游 CODs 變化

台中區灌溉區域取上游大里溪_6 與下游頭汴坑溪_1 之資料進行比對。圖 4-46-圖 4-50 分別為 pH 值、溫度、導電度、銅離子與 CODs 之上下游比較圖。於 pH 值變化比較上，上游大里溪_6 與下游頭汴坑溪_1 均顯示大幅度之 pH 值變化。上游顯示水質 pH 值之變化範圍為 5-15；而下游水質 pH 值之變化範圍為 7-16，水質比較偏鹼性。而溫度變化比較上，上下游溫度變化趨勢相近，且兩組數值存在著類似之振盪峰值，且變化具有週期性，可能該該段期間台中地區日夜溫差較大，或有其他週期性活動。於導電度變化比較上，上下游導電度於 11/13 以前變化趨勢差異性極大；而 11/13 過後兩者變化趨勢相近，且均屬於平緩變化。且整體上下游導電度數值之均值逼近於警戒值，於 11/13 過後，上下游導電度穩定位於警戒值之上。於銅離子變化比較上，於上游有感測到不規則峰值出現，而上游有最大範圍為 0-65。於 11/13 過後有感測到銅離子濃度異常飆高之現象，且最大值超過警戒值 20 倍，此現象為少數獲得銅離子濃度高於警戒值之記錄。此外，值得一提的是，11/13 過後於 pH 與導電度均有發現異常變化趨勢，此情況應非偶然發生。於化學需氧量之比較上，上游與下游化學需氧量變化範圍均在 60~160 之間，且數值之振盪變化相對劇烈。整體而言，水質化學需氧量均之平均值落於警戒值 60，上游 COD 值均位於警戒值下；然

而下游 COD 值除了零星幾組資料高於警戒值外，大部分也落於警戒值以下。

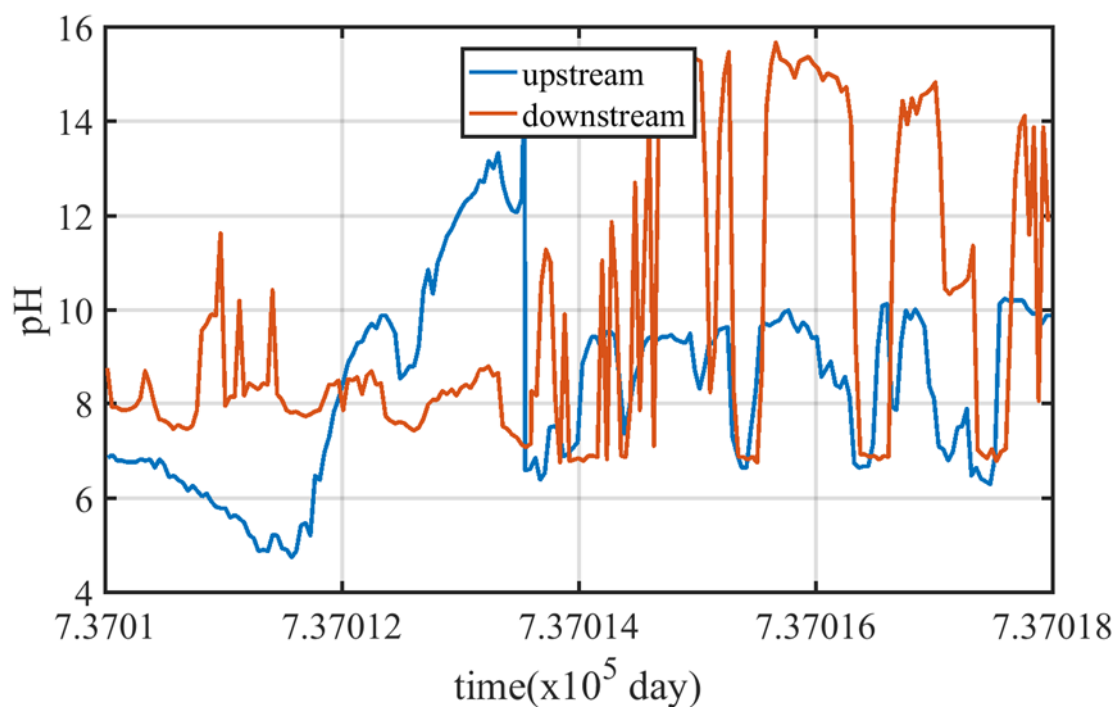


圖 4-46、台中灌溉區上下游 pH 變化

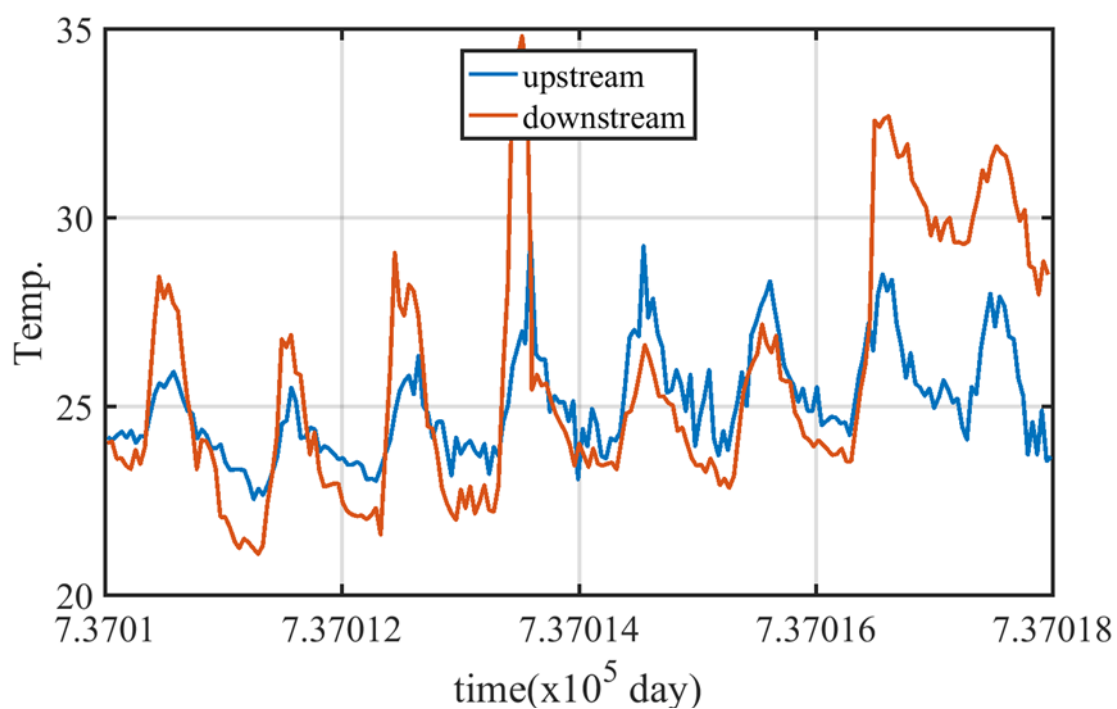


圖 4-47、台中灌溉區上下游溫度變化

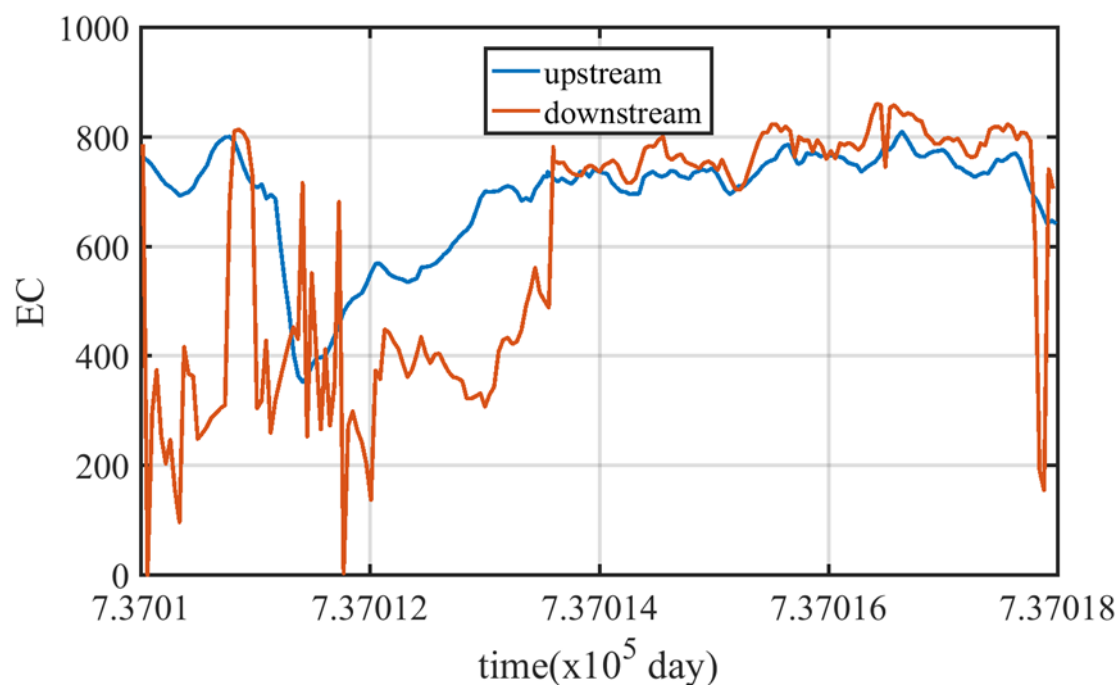


圖 4-48、台中灌溉區上下游導電度變化

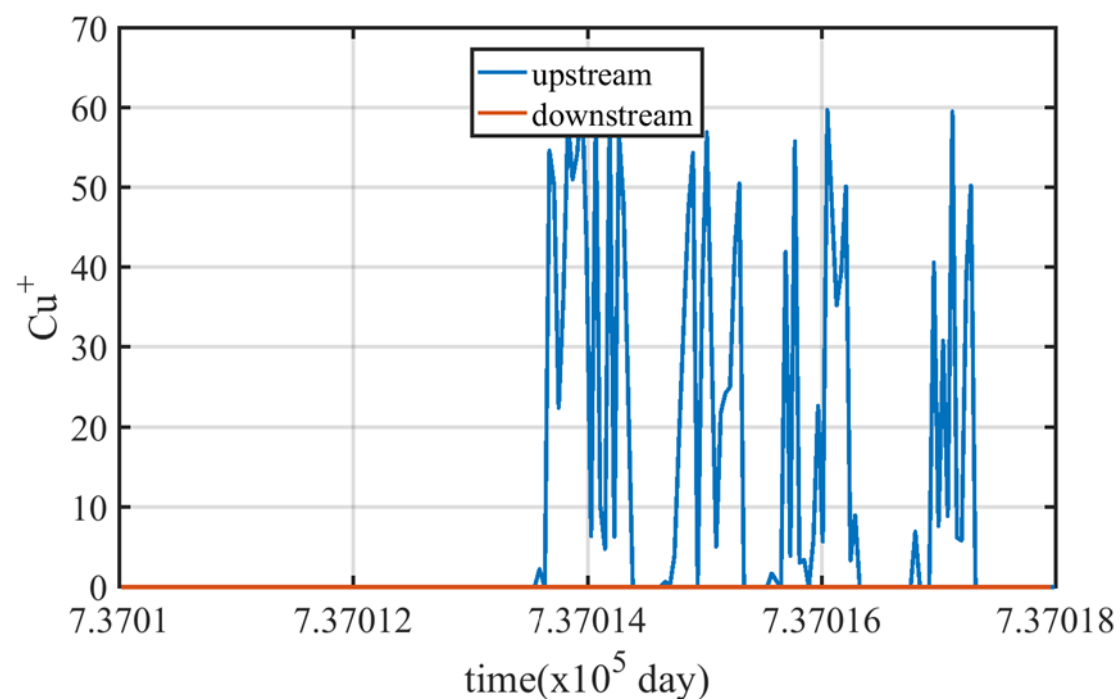


圖 4-49、台中灌溉區上下游銅離子變化

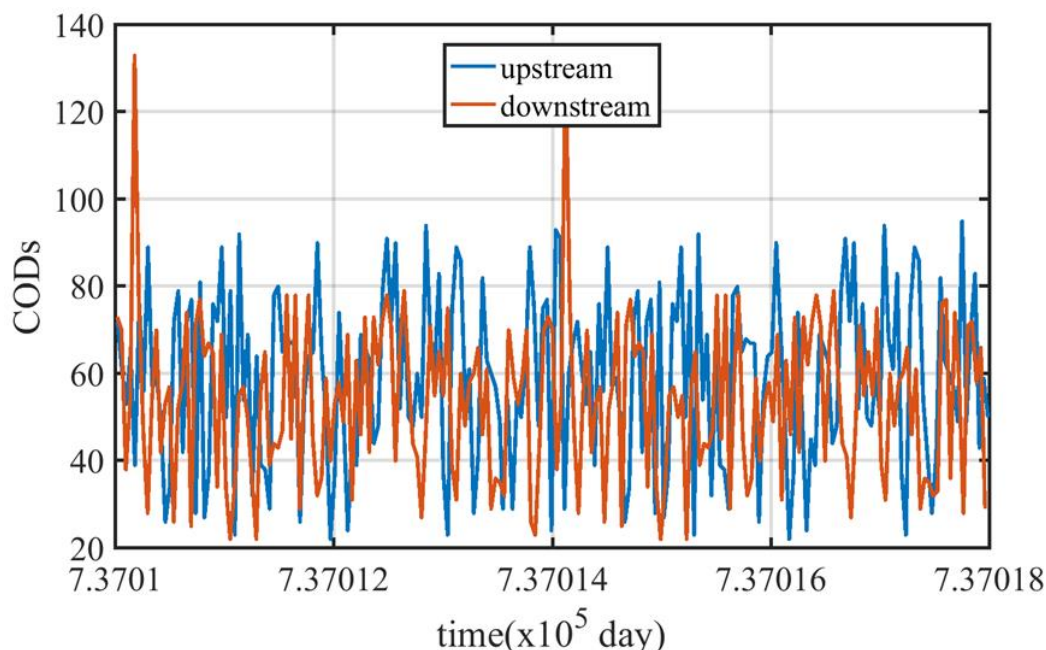


圖 4-50、台中灌溉區上下游 CODs 變化

4.5 小結

本節已規劃桃園市及台中市水質感測器共 30 點布建點位，已於 7 月將執行實際場域測試，布建至國內高風險農地污染潛勢區域進行完整的監測物聯網，驗證 105 年開發之水質感測器成果，並透過 24 小時不間斷的監測網絡，對可能流入高風險農地規劃污染預警及應變行動，亦將持續蒐集國外針對河川或農地流域布建之經驗，汲取及相關配套措施及大數據分析可取之處，並配合我國高人口密集及住宅工商混雜之特性，完整規劃我國高風險農地污染潛勢區之整合系統報告，作為未來其他縣市廣布感測器之參考，完成一份污染農地物聯網整合系統報告。未來可整案複製至我國高風險污染潛勢農地，發揮即時預警與應變效益。

除此之外，本工作也分析布建後之 30 台感測器之數值特性，在資料完整性特性來說，該方法於大尺度下可快速篩分結果，然有可能無法避免測站在短時間內多次傳輸數據之誤判，未來建議探討固定時間點以程式自動判讀數據傳輸完整度之可行性；資料特性方面初步分析結果，以目前資料水準已可以看出各區域水質大致上之水質特性，除銅離子因感測元件的限制，導致在分析結果尚無法明顯看出其變化特性，未來銅離子感測器達到一定的感測水準後，將持續分析其各區域上下游的水質特性變化。

第5章、 建立水質監測物聯網維護品保品管制度 與物聯網平台開發

近年來水質污染事件越加頻繁，導致災難性的環境問題及嚴重的社會問題。有鑑於未來水質感測器及布建之需求，本章節將建立微型水質感測器的品檢/品管/品保制度，以確保微型水質感測器之出貨品質與後續維護使用之可靠度。同時，亦於數據應用端，建立水質物聯網平台，依據去（105）年所建立之水質預警模組及源頭分析模組建立前後台分析功能，期望當發生水質污染時，預先發現與反應之管制界限來發揮早期預警功能，同時偵測出短期內較大的變化或異常情況，並結合動態水質自動連續監測數據及靜態運作場廠基本資料、申報資料、環域資訊及稽查處分資料，快速產生可疑之污染源頭資料。

此外，將於今（106）年同步規劃設計污染熱區模組及快速稽查 E 化模組，期於上游偵測到污染時，快速模擬污染擴散情形，並警告下游區域啟動相關物聯應變，能夠盡快防範與預警，避免人類及生態環境重大危害，並且，因應現場稽查人員所需的主要資料進行規劃及統整，透過設計快速稽查 E 化模組，將監測歷史趨勢圖、疑似污染源頭、可能擴散之污染熱區等資訊協助稽查人員快速抵達。

5.1 規劃水質感測器試驗平臺並建立維護品保品管制度

本工作項目將針對本計畫所開發之微型溫度、酸鹼度、導電度、重金屬(擇二)、化學需氧量與懸浮固體感測器，制定相關的操作/校正/保養/維修程序，並建立微型水質感測器之品檢/品管/品保制度，以確保微型水質感測器之產品品質與後續維護使用之可靠度。此外，本工作項目亦將規劃一微型水質感測器之驗證登錄平台網站，提供有通過產品驗證之微型水質感測器資訊，作為政府機關或企業用戶採購與驗收微型水質感測器之參考依據。

本工作項目初期將針對微型溫度、酸鹼度與導電度感測器三個項目，撰寫儀器手冊與品質文件，待微型重金屬(擇二)、化學需氧量與懸浮固體感測器開發完成後，再著手撰寫上述四個項目之儀器手冊與品質文件。

為了建立良好的品保品管制度，初步將參考相關的國內法規(EPA、NIEA 等)

與國外或國際標準(GB、ISO 等)，建立微型水質感測器之品檢制度，例如：檢驗項目選定、檢驗方法確認、抽檢頻率訂定、檢驗報告編訂等。經由品質檢驗所得之數據統計結果，可用來評估微型水質感測器之性能與規格，作為品管制度建立之基礎，例如：允收訂定、不良品判定等。利用品管七大手法與失效模式效應分析等工具，可對微型水質感測器進行可靠度分析與根本原因分析，作為產品改良或製程改善之參考依據，進一步提升微型水質感測器之性能與規格，與國際上其他產品能夠分庭抗禮，形成一 PDCA 正向循環的品保制度，達到良好的品質保證目標，確保微型水質感測器之產品品質與後續維護使用之可靠度。

本工作項目亦將規劃一微型水質感測器之驗證登錄平台網站，初期將先著重在微型水質感測器之儀器資訊提供，鼓勵國內外儀器商在平台網站上自行刊載相關的儀器規格資料，待品保管理制度逐漸完備並朝法制化開始推動之後，即可對微型水質感測器進行驗證查核與合格登錄，提供政府機關或企業用戶有通過產品驗證之微型水質感測器資訊，作為採購與驗收微型水質感測器之參考依據。驗證登錄制度成熟之後，更可將登錄儀器項目拓展至一般的水質檢測儀器或高精密性之水質分析設備，朝向全方位水質分析儀器設備驗證登錄平台之目標邁進。

5.1.1 微型水質感測器之測試驗證方法

5.1.1.1 國內法規標準

國內目前尚未針對微型水質感測器之測試驗證方法訂定相關的法規標準，因此初步將參考 EPA 與 NIEA 針對一般水質檢測儀器所制定之法規標準，作為未來訂定微型水質感測器測試驗證方法之參考，以降低將來進行法規標準調和之差異性與困難度。

與本計畫所開發之微型水質感測器相關的 NIEA 水質檢測儀器與方法，搜集與彙整如表 5-1 所示，其中 NIEA 溫度檢測儀器與方法之比較，如表 5-2 所示，NIEA 酸鹼度檢測儀器與方法之比較，如表 5-3 所示，NIEA 導電度檢測儀器與方法之比較，如表 5-4 所示，NIEA 懸浮固體檢測儀器與方法之比較，如表 5-5 所示，NIEA 化學需氧量檢測儀器與方法之比較(不含海水與鹵水)，如表 5-6 與表 5-7 所示，而 NIEA 重金屬檢測儀器與方法，由於僅針對原子吸收光譜儀

(AAS)、感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP-AES)或感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)等貴重儀器訂定檢測方法,並無針對簡易式或可攜式之重金屬檢測儀器作規範,因此不列入比較。表格標註"一"處表示該檢測方法無需訂定此測試項目,而表格空白處為目前 NIEA 尚未明確訂定規格與說明之測試項目,將參考國外或國際的法規標準再做進一步的規格評估,而已經訂定規格與說明之測試項目,將作為微型水質感測器目標規格之重要參考。

表 5-1、NIEA 水質檢測儀器與方法彙整表

檢測項目	方法號碼	方法名稱	自動監測	備註
溫度	NIEA W217.51A	水溫檢測方法		
	NIEA W218.50C	水溫檢測方法 —自動監測設施法	V	
酸鹼度	NIEA W424.52A	水之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法 —電極法		
	NIEA W425.50C	水之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法 —自動監測設施法	V	
導電度	NIEA W203.51B	水中導電度測定方法 —導電度計法		
	NIEA W204.50C	水中導電度測定方法 —自動監測設施法	V	
懸浮固體	NIEA W210.58A	水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法 —103~105 °C 乾燥		
	NIEA W211.50C	水中懸浮固體檢測方法 —自動監測設施法	V	
化學需氧量	NIEA W517.52B	水中化學需氧量檢測方法 —密閉式重鉻酸鉀迴流法		
	NIEA W515.54A	水中化學需氧量檢測方法 —重鉻酸鉀迴流法		
	NIEA W514.21B	海水中化學需氧量檢測方法 —重鉻酸鉀迴流法		海水
	NIEA W516.55A	含高濃度鹵離子水中化學需氧量檢測方法 —重鉻酸鉀迴流法		鹵水
	NIEA W518.50C	水中化學需氧量檢測方法 —自動監測設施法	V	
重金屬	NIEA W303.51A	水中金屬檢測方法 —石墨爐式原子吸收光譜法		
	NIEA W306.55A	水中銀、鎘、鉻、銅、鐵、錳、鎳、鉛及鋅檢測方法 —火焰式原子吸收光譜法		
	NIEA W309.22A	海水中鎘、鉻、銅、鐵、鎳、鉛及鋅檢測方法 —APDC 整合 MIBK 萃取原子吸收光譜法		海水
	NIEA W311.53C	水中金屬及微量元素檢測方法 —感應耦合電漿原子發射光譜法		
	NIEA W313.53B	水中微量元素檢測方法 —感應耦合電漿質譜法		

表 5-2、NIEA 溫度檢測儀器與方法比較表

檢測方法	水溫檢測方法	水溫檢測方法 —自動監測設施法
量測原理	溫度計法(直讀式) 感測器法(直讀式)	感測器法(直讀式)
量測範圍	0 ~ 100 °C 或合適範圍	
解析度	0.1 °C	0.1 °C
最低偵測極限 (LOD)	—	—
應答時間		
準確度		
精密度		
零點漂移		
全幅漂移		
化學干擾		
補償		
校正週期	合適週期	合適週期
校正條件	全幅校正：合適條件	全幅校正：合適條件
備註		校正與維護紀錄保存 3 年

表 5-3、NIEA 酸鹼度檢測儀器與方法比較表

檢測方法	水之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法 —電極法	水之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法 —自動監測設施法
量測原理	電極法(直讀式)	電極法(直讀式)
量測範圍		
解析度	0.01(pH) 0.5 °C(手動溫度補償) 0.1 °C(自動溫度補償)	應優於 0.1(pH)
最低偵測極限 (LOD)	—	—
應答時間		
準確度	±0.05(pH) ±0.5 °C(溫度)	±0.1(pH)
精密度	0.1(pH 全距)	
零點漂移		
全幅漂移		
化學干擾		
補償	手動/自動溫度補償：量測溫度	自動溫度補償：量測溫度
校正週期	合適週期(pH) 3 個月(溫度)	1 個月(pH)
校正條件	零點校正(pH)：7.0 ± 0.5 全幅校正(pH)：3 ~ 5 或 9 ~ 11	零點校正(pH)：7.0 ± 0.5 全幅校正(pH)：3 ~ 5 或 9 ~ 11
備註	儀器參數範圍： 1. 零點電位：-25 ~ 25 mV 2. 零電位 pH 值：6.55 ~ 7.45 3. 斜率：-56 ~ -61 mV/pH 4. 靈敏度：95 ~ 103 %	校正與維護紀錄保存 3 年

表 5-4、NIEA 導電度檢測儀器與方法比較表

檢測方法	水中導電度測定方法 —導電度計法	水中導電度測定方法 —自動監測設施法
量測原理	電極法(直讀式)	電極法(直讀式)
量測範圍	1 ~ 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	
解析度	應優於 1 $\mu\text{S}/\text{cm}(\text{EC})$ 0.1 $^{\circ}\text{C}(\text{溫度})$	
最低偵測極限 (LOD)	—	—
應答時間		
準確度		$\pm 1 \%$ (EC)
精密度		
零點漂移		
全幅漂移		
化學干擾		
補償	手動/自動溫度補償：25 $\pm$ 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 溫度補償參數：1.91 $\%/^{\circ}\text{C}$	自動溫度補償：25 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$
校正週期	使用前(EC)	1 個月(EC)
校正條件	全幅校正(EC)：0.01 N 氯化鉀	全幅校正(EC)：合適條件
備註		校正與維護紀錄保存 3 年

表 5-5、NIEA 懸浮固體檢測儀器與方法比較表

檢測方法	水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法 —103~105 °C 乾燥	水中懸浮固體檢測方法 —自動監測設施法
量測原理	秤重法	秤重法 散射光法(直讀式) UV/VIS/NIR 吸收光譜法(直讀式)
量測範圍	2.5 ~ 200 mg(總固體重)	
解析度	0.1 mg	
最低偵測極限 (LOD)	—	
應答時間		
準確度		±20 %
精密度	參照內文表二(全距百分比)	
零點漂移		
全幅漂移		
化學干擾	Fe ⁺² 、碳酸鹽	
補償		
校正週期	—	3 個月
校正條件	—	零點校正：蒸餾水或去離子水 全幅校正：合適條件之高嶺土
備註	空白樣品：蒸餾水或去離子水，< 5 % 法規限值	校正與維護紀錄保存 3 年 RATA 週期：3 個月(光學原理) RATA 週期：6 個月(非光學原理) RATA 準確度：參照內文表一

表 5-6、NIEA 化學需氧量檢測儀器與方法比較表

檢測方法	水中化學需氧量檢測方法 —密閉式重鉻酸鉀迴流法	水中化學需氧量檢測方法 —重鉻酸鉀迴流法
量測原理	重鉻酸鉀氧化滴定法	重鉻酸鉀氧化滴定法
量測範圍	10 ~ 220 mg/l($\text{Cl}^- < 2000 \text{ mg/l}$)	$< 400 \text{ mg/l}(\text{Cl}^- < 2000 \text{ mg/l})$
解析度	—	—
最低偵測極限 (LOD)		
應答時間		
準確度	$\pm 15 \%$	$\pm 15 \%$
精密度	20 %(全距百分比)	20 %(全距百分比)
零點漂移		
全幅漂移		
化學干擾	吡啶、 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 、 Cr^{+6} 、 Mn^{+2} 、 Fe^{+2} 、硫化物、亞硫酸鹽、亞硝酸鹽氮	吡啶、 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 、 Cr^{+6} 、 Mn^{+2} 、 Fe^{+2} 、硫化物、亞硫酸鹽、亞硝酸鹽氮
補償		
校正週期	—	—
校正條件	—	—
備註	樣品體積：2.5 ~ 10 ml 空白樣品：去離子水 查核樣品：合適濃度	樣品體積：20 ml 空白樣品：去離子水 查核樣品：合適濃度

表 5-7、NIEA 化學需氧量檢測儀器與方法比較表(續)

檢測方法	水中化學需氧量檢測方法 —自動監測設施法
量測原理	重鉻酸鉀/高錳酸鉀/臭氧氧化滴定法 高級氧化/高溫燃燒 NDIR 二氧化碳測定法 UV/VIS 吸收光譜法(直讀式)
量測範圍	
解析度	
最低偵測極限 (LOD)	
應答時間	
準確度	±20 %
精密度	
零點漂移	
全幅漂移	
化學干擾	
補償	
校正週期	3 個月
校正條件	零點校正：試劑水(比電阻 $\geq 16 \text{ M}\Omega\text{-cm}$) 全幅校正：合適條件
備註	校正與維護紀錄保存 3 年 RATA 週期：3 個月(光學原理) RATA 週期：6 個月(非光學原理) RATA 準確度：參照內文表一

5.1.1.2 國外法規標準

中國大陸目前尚未針對微型水質感測器之測試驗證方法訂定相關的法規標準，但針對一般的水質檢測儀器，除了較傳統的檢測方法有制定國家標準(GB)以外，環境保護部也針對較新穎的檢測方法以及線上水質自動監測儀器，制定相關的環境保護標準(HJ)，部分水質檢測儀器，更經由國家品質監督檢驗檢疫總局，制定完整的計量檢定規程(JJG)，因此初步將參考中國大陸 GB、HJ 與 JJG 之法規標準，作為國內法規標準尚未明確訂定規格與說明之測試項目之參考。

與本計畫所開發之微型水質感測器相關的 GB/HJ/JJG 水質檢測儀器與方法，搜集與彙整如表 5-8 所示，其中 GB/HJ/JJG 溫度檢測儀器與方法之比較，如表 5-9 所示，GB/HJ/JJG 酸鹼度檢測儀器與方法之比較，如表 5-10 所示，GB/HJ/JJG 導電度檢測儀器與方法之比較，如表 5-11 所示，GB/HJ/JJG 懸浮固體檢測儀器與方法之比較，如表 5-12 所示，GB/HJ/JJG 化學需氧量檢測儀器與方法之比較，如表 5-13、表 5-14 與表 5-15 所示，GB/HJ/JJG 重金屬檢測儀器與方法之比較(不含 AAS、ICP-AES 與 ICP-AES)，如表 5-16、表 5-17 與表 5-18 所示。表格標註"—"處表示該檢測方法無需訂定此測試項目，而表格空白處為目前 GB/HJ/JJG 尚未明確訂定規格與說明之測試項目。

表 5-8、GB/HJ/JJG 水質檢測儀器與方法彙整表

檢測項目	標準號碼	標準名稱	自動監測	備註
溫度	GB 13195-1991	水質—水溫的測定 —溫度計或顛倒溫度計測定法		
酸鹼度	GB 6920-1986	水質—pH 值的測定 —玻璃電極法		
	HJ/T 96-2003	pH 水質自動分析儀技術要求	V	
導電度	HJ/T 97-2003	電導率水質自動分析儀技術要求	V	
懸浮固體	GB 11901-1989	水質—懸浮物的測定 —重量法		
化學需氧量	HJ 828-2017	水質—化學需氧量的測定 —重鉻酸鹽法		
	HJ/T 399-2007	水質—化學需氧量的測定 —快速消解分光光度法		
	HJ/T 377-2007	環境保護產品技術要求 —化學需氧量(CODCr)水質線上自動監測儀	V	
	JJG 975-2002	化學需氧量(COD)測定儀檢定規程		
	JJG 1012-2006	化學需氧量(COD)線上自動監測儀檢定規程	V	
重金屬	GB 7475-1987	水質—銅、鋅、鉛、鎘的測定 —原子吸收分光光度法		
	GB 7472-1987	水質—鋅的測定 —雙硫脲分光光度法		
	GB 7470-1987	水質—鉛的測定 —雙硫脲分光光度法		
	GB/T 13896-1992	水質—鉛的測定—示波極譜法		
	HJ 776-2015	水質—32 種元素的測定 —電感耦合等離子體發射光譜法		
	HJ 700-2014	水質—65 種元素的測定 —電感耦合等離子體質譜法		
	HJ 485-2009	水質—銅的測定 —二乙基二硫代氨基甲酸鈉分光光度法		
	HJ 486-2009	水質—銅的測定 —2,9-二甲基-1,10-菲囉啉分光光度法		
	HJ 762-2015	鉛水質自動線上監測儀技術要求及檢測方法	V	

表 5-9、GB/HJ/JJG 溫度檢測儀器與方法比較表

檢測方法	水質—水溫的測定 —溫度計或顛倒溫度計測定法
量測原理	溫度計法(直讀式)
量測範圍	-6 ~ 40 °C(水溫計) -2 ~ 40 °C(深水溫度計) -2 ~ 32 °C(顛倒溫度計之主溫計) -20 ~ 50 °C(顛倒溫度計之輔溫計)
解析度	0.2 °C(水溫計) 0.2 °C(深水溫度計) 0.1 °C(顛倒溫度計之主溫計) 0.5 °C(顛倒溫度計之輔溫計)
最低偵測極限 (LOD)	—
應答時間	
準確度	
精密度	
零點 漂移	
全幅 漂移	
化學 干擾	
補償	
校正週期	合適週期
校正條件	全幅校正：合適條件
備註	

表 5-10、GB/HJ/JJG 酸鹼度檢測儀器與方法比較表

檢測方法	水質—pH 值的測定 —玻璃電極法	pH 水質自動分析儀技術要求
量測原理	電極法(直讀式)	電極法(直讀式)
量測範圍	0 ~ 14(pH)	2 ~ 12(pH) 0 ~ 40 °C(溫度)
解析度	0.1(pH)	應優於 0.1(pH)
最低偵測極限 (LOD)	—	—
應答時間		t_{90} : < 30 秒鐘
準確度	±0.1(pH)	±0.1(pH)
精密度	重複性：參照內文表三(pH 全距) 再現性：參照內文表三(pH 全距)	±0.1(pH)* * 6 次測定值與平均值之最大差值
零點 漂移		±0.1(零點校正溶液，24 小時)
全幅 漂移		±0.1(全幅校正溶液，24 小時)
化學 干擾		
補償	手動溫度補償：量測溫度	自動溫度補償：量測溫度
校正週期	合適週期(pH)	1 個月(pH)
校正條件	全幅校正(pH)：樣品值 ± 2，25 °C	零點校正(pH)：6.865，25 ± 1 °C 全幅校正(pH)：4.008 與 9.180，25 ± 1 °C
備註	儀器參數：斜率-59.16 mV/pH	實際水樣比對準確度：±0.1 平均無故障連續運行時間：≥ 720 小時/次

表 5-11、GB/HJ/JJG 導電度檢測儀器與方法比較表

檢測方法	電導率水質自動分析儀技術要求
量測原理	電極法(直讀式)
量測範圍	0 ~ 500 mS/m 0 ~ 40 °C(溫度)
解析度	應優於 0.1 mS/m(EC)
最低偵測極限 (LOD)	—
應答時間	t_{90} : < 30 秒鐘
準確度	±1 %(EC)
精密度	1 %(EC 相對標準差)
零點漂移	±1 %(零點校正溶液，24 小時)
全幅漂移	±1 %(全幅校正溶液，24 小時)
化學干擾	
補償	自動溫度補償：量測溫度
校正週期	1 個月(EC)
校正條件	零點校正(EC)：< 0.1 mS/m，25 ± 0.5 °C 全幅校正(EC)：0.03 M 氯化鉀，25 ± 0.5 °C
備註	實際水樣比對準確度：±1 % 平均無故障連續運行時間：≥ 720 小時/次

表 5-12、GB/HJ/JJG 懸浮固體檢測儀器與方法比較表

檢測方法	水質—懸浮物的測定 —重量法
量測原理	秤重法
量測範圍	5 ~ 100 mg(總固體重)
解析度	應優於 0.1 mg
最低偵測極限 (LOD)	—
應答時間	
準確度	
精密度	0.4 mg(全距)
零點漂移	
全幅漂移	
化學干擾	
補償	
校正週期	—
校正條件	—
備註	

表 5-13、GB/HJ/JJG 化學需氧量檢測儀器與方法比較表

檢測方法	水質—化學需氧量的測定 —重鉻酸鹽法	水質—化學需氧量的測定 —快速消解分光光度法
量測原理	重鉻酸鉀氧化滴定法	重鉻酸鉀氧化分光光度法
量測範圍	16 ~ 700 mg/l($\text{Cl}^- \leq 1000 \text{ mg/l}$)	低範圍：15 ~ 150 或 15 ~ 250 mg/l($\text{Cl}^- \leq 1000 \text{ mg/l}$) 高範圍：100 ~ 1000 mg/l($\text{Cl}^- \leq 1000 \text{ mg/l}$)
解析度	—	低範圍：應優於 0.1 mg/l 高範圍：應優於 1 mg/l
最低偵測極限 (LOD)	方法偵測極限(MDL)：4 mg/l	低範圍方法偵測極限(MDL)：3.0 或 2.3 mg/l 高範圍方法偵測極限(MDL)：22 或 33 mg/l
應答時間		
準確度		
精密度	10 %(全距百分比)	
零點漂移		
全幅漂移		
化學干擾	吡啶、芳香烴、 Cl^- 、 Fe^{+2} 、 硫化物、亞硫酸鹽	吡啶、芳香烴、 Cl^- 、 Mn^{+6} 、 Mn^{+5} 、 Mn^{+3} 、 有機氮化物、亞硫酸鹽
補償		
校正週期	—	—
校正條件	—	零點校正：一級水
備註	空白樣品：超純水或蒸餾水	檢量線：空白與 6 個濃度 空白樣品：一級水 低範圍最大吸光波長：440 nm 高範圍最大吸光波長：600 nm

表 5-14、GB/HJ/JJG 化學需氧量檢測儀器與方法比較表(續)

檢測方法	環境保護產品技術要求— 化學需氧量(CODCr)水質線上自動監測儀
量測原理	重鉻酸鉀氧化滴定/庫倫滴定法 重鉻酸鉀氧化分光光度法
量測範圍	$\geq 1000 \text{ mg/l}$
解析度	應優於 1 mg/l
最低偵測極限 (LOD)	
應答時間	
準確度	$\pm 10 \%$
精密度	10% (相對標準差)
零點漂移	$\pm 5 \text{ mg/l}$ (零點校正溶液，24 小時)
全幅漂移	$\pm 10 \%$ (全幅校正溶液，24 小時)
化學干擾	
補償	
校正週期	1 週
校正條件	零點校正：超純水或蒸餾水 全幅校正：約 800 mg/l
備註	實際水樣比對準確度： $\pm 15 \%$ 平均無故障連續運行時間： $\geq 360 \text{ 小時/次}$

表 5-15、GB/HJ/JJG 化學需氧量檢測儀器與方法比較表(續)

檢測方法	化學需氧量(COD)測定儀檢定規程	化學需氧量(COD)線上自動監測儀檢定規程
量測原理	A 類：重鉻酸鉀氧化分光光度法 B 類：重鉻酸鉀氧化庫倫滴定法	重鉻酸鉀氧化滴定/庫倫滴定法 重鉻酸鉀氧化分光光度法 高級氧化電化學感測器法(直讀式)
量測範圍	A 類：0 ~ 1500 mg/l	30 ~ 1000 mg/l
解析度	A 類：應優於 1 mg/l B 類：應優於 0.1 mg/l	應優於 1 mg/l
最低偵測極限 (LOD)		
應答時間		
準確度	A 類：±8 % B 類：±2.0 mg/l	±10 %
精密度	A 類：3 % (相對標準差) B 類：2 % (相對標準差)	
零點漂移	A 類：±6 mg/l (零點校正溶液，20 分鐘)	±5 mg/l (零點校正溶液，4 小時)
全幅漂移		±10 % (500 mg/l，24 小時)
化學干擾		
補償		
校正週期	1 年(檢定週期)	1 年(檢定週期)
校正條件	零點校正：蒸餾水 全幅校正：合適條件	零點校正：重蒸餾水 全幅校正：合適條件之鄰苯二甲酸氫鉀
備註	A 類：COD 標準溶液之相對擴充不確定度 ≤ 3 % 最大吸光波長：420 或 610 nm B 類：0.05 M 重鉻酸鉀標準溶液之相對擴充不確定度 ≤ 1 % 消耗 0.05 M 重鉻酸鉀標準溶液 1ml 相當於 COD 值 40 mg/l	COD 標準溶液之相對擴充不確定度 ≤ 3 % COD 標準溶液應追溯到標準參考物質，En ≤ 1

表 5-16、GB/HJ/JJG 重金屬檢測儀器與方法比較表

檢測方法	水質—銅的測定— 二乙基二硫代氨基甲酸鈉分光光度法	水質—銅的測定— 2,9-二甲基-1,10-菲囉啉分光光度法
量測原理	二乙基二硫代氨基甲酸鈉配合分光光度法	2,9-二甲基-1,10-菲囉啉配合分光光度法
量測範圍	0.04 ~ 6 mg/l	直接法：0.12 ~ 1.3 mg/l 萃取法：0.08 ~ 3.2 mg/l
解析度	應優於 0.01 mg/l	應優於 0.01 mg/l
最低偵測極限 (LOD)	方法偵測極限(MDL)：0.01 mg/l	直接法方法偵測極限(MDL)：0.03 mg/l 萃取法方法偵測極限(MDL)：0.02 mg/l
應答時間		
準確度		
精密度		
零點漂移		
全幅漂移		
化學干擾	Mn ⁺³ 、Fe ⁺³ 、Co ⁺³ 、Ni ⁺³	Cr ⁺⁶ 、Sn ⁺⁴ 、硫化物、氰化物
補償		
校正週期		
校正條件		
備註	檢量線：空白與 7 個濃度 空白樣品：去離子水 最大吸光波長：440 nm	直接法檢量線：空白與 5 個濃度 萃取法檢量線：空白與 6 個濃度 空白樣品：去離子水 添加樣品：20 或 2 mg/l 最大吸光波長：457 nm

表 5-17、GB/HJ/JJG 重金屬檢測儀器與方法比較表(續)

檢測方法	水質—鋅的測定 —雙硫脲分光光度法	水質—鉛的測定 —雙硫脲分光光度法
量測原理	雙硫脲配合分光光度法	雙硫脲配合分光光度法
量測範圍	0.005 ~ 0.05 mg/l	0.01 ~ 0.3 mg/l
解析度	應優於 0.001 mg/l	應優於 0.01 mg/l
最低偵測極限 (LOD)	方法偵測極限(MDL) : 0.005 mg/l	方法偵測極限(MDL) : 0.01 mg/l
應答時間		
準確度		
精密度		
零點漂移		
全幅漂移		
化學干擾	Cl ⁻ 、Bi ³⁺ 、Fe ³⁺ 、Co ³⁺ 、Ni ³⁺ 、 Sn ⁺² 、Pb ⁺² 、Cu ⁺² 、Pd ⁺² 、 Cd ⁺² 、Hg ⁺² 、Ag ⁺ 、Au ⁺	Sn ⁺⁴ 、Tl ⁺³ 、Bi ⁺³
補償		
校正週期		
校正條件		零點校正：40 mg/l 雙硫脲
備註	檢量線：空白與 6 個濃度 空白樣品：無鋅蒸餾水 最大吸光波長：535 nm	檢量線：空白與 7 個濃度 空白樣品：無鉛蒸餾水或去離子水 最大吸光波長：510 nm

表 5-18、GB/HJ/JJG 重金屬檢測儀器與方法比較表(續)

檢測方法	水質—鉛的測定 —示波極譜法	鉛水質自動線上監測儀技術要求及檢測方法
量測原理	示波極譜法	不限
量測範圍	0.1 ~ 10 mg/l	I 類低範圍：0.005 ~ 0.2 mg/l I 類高範圍：0.2 ~ 0.4 mg/l II 類低範圍：0.2 ~ 2 mg/l II 類高範圍：2 ~ 4 mg/l
解析度	應優於 0.01 mg/l	I 類低範圍：0.001 mg/l I 類高範圍：0.01 mg/l II 類低範圍：0.1 mg/l II 類高範圍：0.1 mg/l
最低偵測極限 (LOD)	方法偵測極限(MDL)：0.02 mg/l	I 類最低定量極限(LOQ)：0.005 mg/l II 類最低定量極限(LOQ)：0.2 mg/l
應答時間		
準確度		I 類：±10 % (記憶效應測試±10 %) II 類：±5 % (記憶效應測試±10 %)
精密度		5 % (相對標準差)
零點漂移		±5 % (最低可量測濃度，24 小時)
全幅漂移		±10 % (80 % 最高可量測濃度，24 小時)
化學干擾		Cr ⁺⁶ 、Cr ⁺³ 、As ⁺³ 、Ni ⁺³ 、Cu ⁺² 、Zn ⁺² 、Cd ⁺² 干擾效應測試濃度參照內文表二 干擾效應測試準確度：±30 %
補償		
校正週期		當樣品自動查核不通過時，需執行自動校正
校正條件		零點校正：無鉛蒸餾水 全幅校正：合適條件
備註	檢量線：空白與 8 個濃度 空白樣品：無鉛蒸餾水或去離子水 鉛氧化峰電位：約-0.34 V	原始數據與運行紀錄儲存容量：≥ 1 年 I 類添加樣品：合適濃度，±20 % II 類添加樣品：合適濃度，±25 % I 類實際水樣比對準確度：±0.01 mg/l (Pb ⁺² ≤ 0.05 mg/l) I 類實際水樣比對準確度：± 15 % (Pb ⁺² > 0.05 mg/l) II 類實際水樣比對準確度：± 15 % 最小維護週期：≥ 168 小時 (數據有效率 ≥ 90 %) 3 台儀器數據一致性：≤ 10 %

5.1.1.3 國際法規標準

國際標準化組織(ISO)目前尚未針對微型水質感測器之測試驗證方法訂定相關的法規標準，但針對一般的水質檢測儀器，均已制定相對應的國際標準，另外也特別針對線上水質自動監測儀器，制定一完整的測試方法標準(ISO 15839)，但此標準主要是在敘述如何在實驗室內或是現場環境中，進行線上水質自動監測儀器之效能測試，標準中詳述各種效能測試項目之方法步驟，例如：應答時間(response time)、遲滯時間(delay time)、上升時間(rise time)、下降時間(fall time)、線性(linearity)、變異係數(coefficient of variation)、偵測極限(limit of detection)、定量極限(limit of quantification)、重複性(repeatability)、最低可偵測變化(lowest detectable change)、偏差(bias)、短期漂移(short-term drift)、日間重複性(day-to-day repeatability)、記憶效應(memory effect)、干擾(interference)、環境與操作條件(environmental and operating conditions)、長期漂移(long-term drift)、可用性(availability)與正常運作時間(up-time)，但並未提到這些測試項目之目標規格，因此初步將參考 ISO 15839 之測試方法，作為國內法規標準尚未明確訂定測試方法之測試項目之參考。

與本計畫所開發之微型水質感測器相關的 ISO 水質檢測儀器與方法，搜集與彙整如表 5-19 所示。

表 5-19、GB/HJ/JJG 導電度檢測儀器與方法比較表

檢測項目	標準號碼	標準名稱	自動監測	備註
通用	ISO 15839:2003	Water quality—On-line sensors/analysing equipment for water—Specifications and performance tests	V	
溫度				
酸鹼度	ISO 10523:2008	Water quality—Determination of pH		
導電度	ISO 7888:1985	Water quality—Determination of electrical conductivity		
懸浮固體	ISO 11923:1997	Water quality—Determination of suspended solids by filtration through glass-fibre filters		
化學需氧量	ISO 6060:1989	Water quality—Determination of the chemical oxygen demand		
	ISO 15705:2002	Water quality—Determination of the chemical oxygen demand index (ST-COD)—Small-scale sealed-tube method		
重金屬	ISO 8288:1986	Water quality—Determination of cobalt, nickel, copper, zinc, cadmium and lead—Flame atomic absorption spectrometric methods		
	ISO 11885:2007	Water quality—Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)		
	ISO 15586:2003	Water quality—Determination of trace elements using atomic absorption spectrometry with graphite furnace		
	ISO 17294-1:2004	Water quality—Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)—Part 1: General guidelines		
	ISO 17294-2:2016	Water quality—Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)—Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes		

5.1.2 微型水質感測器之品保品管制度

5.1.2.1 建立品質檢驗制度

為了建立良好的品保品管制度，初步將參考相關的國內法規(EPA、NIEA 等)與國外或國際標準(ISO、GB 等)，建立微型水質感測器之品檢制度。

微型溫度、酸鹼度、導電度、懸浮固體、化學需氧量與重金屬感測器共通的測試項目，初步選定量測範圍、線性範圍、解析度、精密度、準確度與應答時間六項，其中微型酸鹼度感測器還需額外測試感測器之零點電位、零電位 pH 值、斜率與靈敏度四項。此外，為配合實際場域之監測應用，因此本年度微型重金屬感測器以銅離子與鋅離子作為標的。各測試項目之名詞定義與測試方法，分別敘述如下：

- (1) 量測範圍(measurement range)：為感測器可正常量測之最小值至最大值之區間。量測範圍之測試方法，為使用最小值與最大值之標準溶液，分別確認感測器均可正常讀取到量測值，即可將此標準溶液最小值至最大值之區間，視為最大量測範圍，量測範圍之規格，應介於最大量測範圍之間。
- (2) 線性範圍(linearity range)：為量測值具有良好線性關係之最小值至最大值之區間。線性範圍之測試方法，為使用至少三種不同條件之標準溶液，確認量測值之線性相關係數(r 值)應大於或等於 0.995，即可將此標準溶液最小值至最大值之區間，視為最大線性範圍，線性範圍之規格，應介於最大線性範圍之間。一般來說，線性範圍應介於量測範圍之間。
- (3) 解析度(resolution)：為量測值可讀取到之最小刻度。解析度之測試方法，為使用最小值與最大值之標準溶液，分別確認量測值可讀取到之最小刻度，若二個量測值之最小刻度一致，此最小刻度即可視為解析度之規格，若二個量測值之最小刻度不一致，則需將量測範圍分段標示不同解析度之規格，必要時應使用其他條件之標準溶液，確認量測範圍之分段點。
- (4) 精密度(precision)：狹義的精密度指的是重複性(repeatability)，即組內精密度(within-run precision)，為一組相同量測條件之重複性測試中，各量測值

間接近之程度；廣義的精密度指的是再現性(reproducibility)，包含組間精密度(run-to-run precision)、日內精密度(within-day precision)、日間精密度(day-to-day precision)、實驗室內精密度(within-lab precision)與實驗室間精密度(lab-to-lab precision)，為一組不同量測條件之再現性測試中，各量測值間接近之程度。本測試項目之精密度，指的是狹義的重複性。精密度之測試方法，為使用至少二種不同條件之標準溶液，每個條件交叉量測各三次，分別計算每個條件三次量測值之標準差(Standard Deviation；SD)或是相對標準差(Relative Standard Deviation；RSD)，即可視為精密度，必要時亦可改用全距(Range；R)或全距百分比(Relative Range；RR)來表示。精密度之規格，應大於或等於每個條件各別之精密度。

- (5) 準確度(accuracy)：狹義的準確度指的是真實度(trueness)，即系統性誤差(systematic error)，為一組量測值之平均值，與真值(或標準值)偏差之程度；廣義的準確度指的是真實度與精密度之總和，包含系統性誤差與隨機性誤差(random error)，為一筆量測值與真值(或標準值)偏差之程度。本測試項目之準確度，指的是狹義的真實度。準確度之測試方法，為使用至少二種不同條件之標準溶液，每個條件交叉量測各三次，分別計算每個條件三次量測值之平均值(mean value)，與標準值之差值或相對差值，即可視為準確度。準確度之規格，應大於或等於每個條件各別之準確度。
- (6) 應答時間(response time)：狹義的應答時間，為量測值開始發生突然變化之瞬間，至量測值初次達到最終穩定應答量指定百分比之讀值，所需之時間間隔；廣義的應答時間，還包含測試條件變化之瞬間，至量測值開始發生突然變化所需之時間間隔。本測試項目之應答時間，指的是狹義的應答時間。應答時間之測試方法，為使用二種不同條件之標準溶液，由某一條件改變至另一條件，其量測值開始發生突然變化，至量測值初次達到 90%最終穩定應答量之讀值，所需之時間間隔，即可視為應答時間，以 t_{90} 表示。重複上述測試方法三次， t_{90} 之規格，應大於或等於每次測試各別之 t_{90} 。
- (7) 零點電位與零電位 pH 值：溶液 pH 值等於 7.00 時，所測得之電位稱為

零點電位，而測得電位為零時，溶液之 pH 值稱為零電位 pH 值。理論上 pH 值等於 7.00 時電位值為 0 mV，實際上則因電極狀況與溫度而異，故需以 pH 值接近 7.00 之緩衝液校正零點。一般校正後會顯示零點電位或零電位 pH 值，如無此功能，可採用緩衝液在校正溫度下之 pH 值、測定電位與求得之斜率值來計算。更詳細的說明可參考 NIEA W424.52A。

- (8) 斜率與靈敏度：斜率為 pH 值改變 1.00 時電位之改變量，此為溫度之函數，25 °C 時理論值為-59.2 mV/pH，實際上則因電極狀況與溫度而異，故需以第二種緩衝液校正斜率並由此補償校正與樣品測定溫度不同所造成之電位差異，而靈敏度則為電極實際斜率除以理論值之百分比。一般校正後會顯示斜率或靈敏度，如無此功能，可由已知 pH 值之兩種緩衝液和其測得之電位，計算求得校正溫度下之斜率，再轉換為 25 °C 之斜率，25 °C 斜率除以理論值-59.2 乘上 100%即為靈敏度。更詳細的說明可參考 NIEA W424.52A。

5.1.2.2 建立品質管制制度

經由品質檢驗所得之數據統計結果，可用來評估微型水質感測器之性能與規格，作為品管制度建立之基礎，並參考 EPA、NIEA、GB、ISO 等已經訂定規格與說明之測試項目，作為微型水質感測器目標規格之重要參考。

微型水質感測器各測試項目之目標規格，初步是參考 EPA、NIEA、GB、ISO 等已經訂定規格與說明之測試項目，找出其共同可滿足的參考規格，作為微型水質感測器目標規格之理想值，而微型水質感測器各測試項目之實際規格，由於量測原理不同以及感測材料本身的特性，勢必無法與一般的水質檢測儀器或高精密性之水質分析設備比擬，因此要達到目標規格之理想值，勢必會有很大的難度與挑戰性，後續將彙整各測試項目之數據結果，比較實際規格與目標規格理想值之差異，再重新修訂各測試項目之目標規格。微型溫度、酸鹼度與導電度感測器各測試項目之目標規格理想值，分別敘述如下。

(二) 微型溫度感測器

- (1) 量測範圍：包含 $0 \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 線性範圍：包含 $0 \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 解析度：優於 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- (4) 精密度：小於 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- (5) 準確度：介於 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- (6) 應答時間 t_{90} ：小於 30 秒鐘。

(三) 微型酸鹼度感測器

- (1) 量測範圍：包含 $0 \sim 14$ 。
- (2) 線性範圍：包含 $2 \sim 12$ 。
- (3) 解析度：優於 0.1。
- (4) 精密度：小於 0.1。
- (5) 準確度：介於 ± 0.1 。
- (6) 應答時間 t_{90} ：小於 30 秒鐘。
- (7) 零點電位： $-25 \sim 25\text{ mV}$ 。
- (8) 零電位 pH 值： $6.55 \sim 7.45$ 。
- (9) 斜率： $-56 \sim -61\text{ mV/pH}$ 。
- (10) 靈敏度： $95 \sim 103\%$ 。

(四) 微型導電度感測器

- (1) 量測範圍：包含 $0 \sim 5000\text{ }\mu\text{ S/cm}$ 。
- (2) 線性範圍：包含 $0 \sim 4000\text{ }\mu\text{ S/cm}$ 。
- (3) 解析度：優於 $1\text{ }\mu\text{ S/cm}$ 。
- (4) 精密度：相對標準差小於 5 %。

(5) 準確度：介於 $\pm 20 \mu\text{S/cm}$ 或讀值之 $\pm 5\%$ 中較大者。

(6) 應答時間 t_{90} ：小於 30 秒鐘。

(五) 微型懸浮固體感測器

(1) 量測範圍：包含 0 ~ 400 mg/L。

(2) 線性範圍：包含 0 ~ 200 mg/L。

(3) 解析度：優於 1 mg/L。

(4) 精密度：相對標準差小於 5 %。

(5) 準確度：介於 $\pm 12 \text{ mg/l}$ 或讀值之 $\pm 20\%$ 中較大者。

(6) 應答時間 t_{90} ：小於 30 秒鐘。

(六) 微型化學需氧量感測器

(1) 量測範圍：包含 0 ~ 250 mg/L。

(2) 線性範圍：包含 0 ~ 200 mg/L。

(3) 解析度：優於 1 mg/L。

(4) 精密度：相對標準差小於 5 %。

(5) 準確度：介於 $\pm 12 \text{ mg/L}$ 或讀值之 $\pm 20\%$ 中較大者。

(6) 應答時間 t_{90} ：小於 30 秒鐘。

(七) 微型銅離子感測器

(1) 量測範圍：包含 2 ~ 10 mg/l。

(2) 線性範圍：包含 2 ~ 5 mg/L。

(3) 解析度：優於 0.1 mg/L。

(4) 精密度：相對標準差小於 5 %。

(5) 準確度：介於 $\pm 0.1 \text{ mg/L}$ 或讀值之 $\pm 5\%$ 中較大者。

(6) 應答時間 t_{90} ：小於 5 分鐘。

(八) 微型鋅離子感測器

(1) 量測範圍：包含 4 ~ 15 mg/L。

(2) 線性範圍：包含 4 ~ 10 mg/L。

(3) 解析度：優於 0.1 mg/L。

(4) 精密度：相對標準差小於 5 %。

(5) 準確度：介於 ± 0.2 mg/L 或讀值之 ± 5 %中較大者。

(6) 應答時間 t_{90} ：小於 5 分鐘。

5.1.2.3 建立品質保證制度

利用品管七大手法與失效模式效應分析等工具，可對微型水質感測器進行可靠度分析與根本原因分析，作為產品改良或製程改善之參考依據，進一步提升微型水質感測器之性能與規格，與國際上其他產品能夠分庭抗禮，形成一 PDCA 正向循環的品保制度，達到良好的品質保證目標，確保微型水質感測器之產品品質與後續維護使用之可靠度。

5.1.3 微型水質感測器之驗證登錄平台規劃

目前國內常使用之水質檢測儀器或高精密性之水質分析設備，幾乎都由國外進口，儀器設備之相關資訊揭露常不齊全，使用者往往只能片面相信國外原廠或國內代理商自行提供之性能測試數據，或未經驗證之儀器規格參數，造成使用者在採購與驗收水質檢測分析儀器設備之困難與風險，這正是因為國內目前針對水質檢測分析儀器設備，欠缺完善的品質管理制度與具有公信力的驗證登錄平台。完善的品質管理制度，應包含驗證參考物質之追溯、產品規格與性能之驗證、產品品保與品管制度之確認、產品登錄與後市場管理查核機制等規範，待品質管理制度規範建立完整之後，驗證登錄平台自然就會應運而生。

國內目前有一些平台有針對氣體檢測儀器進行登錄，比如說在機車排氣定期檢驗資訊管理系統之網站上(如圖 5-1 所示)，就有對通過型式認證之車輛排氣分析儀進行登錄，或是在空氣品質監測網之網站上，也有列出各監測儀器之廠牌型號與規格(如圖 5-2 所示)，雖然平台功能與管理範圍尚不完整，但仍有不少地方可以作為參考借鏡。

由於國內目前尚無建立類似的水質檢測分析儀器設備驗證登錄平台，因此洽可藉由本計畫之投入，先規劃一微型水質感測器之驗證登錄平台網站，初期將先著重在微型水質感測器之儀器資訊提供，鼓勵國內外儀器商在平台網站上自行刊載相關的儀器規格資料，待品保品管制度逐漸完備並朝法制化開始推動之後，即可對微型水質感測器進行驗證查核與合格登錄，提供政府機關或企業用戶有通過產品驗證之微型水質感測器資訊，作為採購與驗收微型水質感測器之參考依據。驗證登錄制度成熟之後，更可將登錄儀器項目拓展至一般的水質檢測儀器或高精密性之水質分析設備，朝向全方位水質分析儀器設備驗證登錄平台之目標邁進。

項目	公司	廠牌	型式	有效期限
1	宇慶	日本HORIBA	MEXA-584L	105/11/22
2	貝爾特	貝爾特	BE-1000	106/1/27
3	宇慶	日本HORIBA	MEXA-441JE	106/7/8
4	理研	日本RIKEN KEIKI	RI-803ET	107/3/30
5	貝爾特	貝爾特	SENSOR-603	107/6/16
6	貝爾特	貝爾特	BE-2000	109/4/30

圖 5-1、通過型式認證之車輛排氣分析儀

標準儀器設備	一般儀器設備	標準氣體鋼瓶
臭氧一級標準光度計 (O ₃ SRP)	動態氣體稀釋校正器	甲烷標準氣體 (NIST-SRM)
一級高量流量計 (Root Meter)	零值氣體產生器	一氧化氮標準氣體 (NIST-SRM)
層流式標準流量計 (Molbloc/Molbloc 1+)	臭氧光度計/分析儀	丙烷標準氣體 (NIST-SRM)
標準大氣壓力計	二氧化硫分析儀	CO/SO ₂ /NO 混合標準氣體 (NIST-SRM)
標準溫度計	氮氧化物分析儀	
白金電子式標準溫度計	一氧化碳分析儀	
標準計時馬錶	乾式流量計	

圖 5-2、空氣品質監測站使用之儀器設備與標準氣體

5.1.4 小結

- (1) 本工作項目已搜集彙整與微型水質感測器測試驗證方法相關的國內/國外/國際法規標準，並針對微型溫度、酸鹼度、導電度、懸浮固體、化學需氧量與重金屬感測器進行詳細的法規標準比較。
- (2) 本工作項目已初步建立微型溫度、酸鹼度、導電度、懸浮固體、化學需氧量、銅離子與鋅離子感測器之品檢/品管/品保制度，完成檢驗項目選定、檢驗方法確認與各檢驗項目之目標規格理想值訂定。
- (3) 本工作項目已初步規劃一微型水質感測器之驗證登錄平台網站。

5.2 水質監測物聯網應用平台開發

相較其他領域，環境監控在物聯網應用中算是領先發展群，隨著環保意識的持續抬頭，未來此領域對物聯網的建置需求將會日漸加深，成為環境監控的主流系統。本計畫擬建立水質監測物聯網應用平台，即時呈現感測資訊，並輔以相關概念模式，達到後端應用加值，改善環境品質。本團隊已於去（105）年規劃設計預警概念模組及污染源頭分析模組。今（106）年將再開發污染熱區模組及快速稽查 E 化模組。提供全國水質安全資訊，降低稽查人力，提供偷排預警，確保全國水體永續環境利用之優點，以下分別說明各模組之規劃。

5.2.1 水質自動連續監測預警分析模組建立

為使水質監測數據，除了與法規管制值進行比對與警報發佈外，尚需讓監測設備建置成效更彰顯，因此引用統計製程控制(Statistical Process Control, SPC)的觀念於水質預警上，於本次進度報告已開發完成水質監測數據分析統計預警模組，除了能夠預先發現與反應之管制界限來發揮早期預警功能，同時可以偵測出短期內較大的變化或異常情況，未來持續配合實際場域資料更新管制條件，提高水質預警水準。以下說明本年度針對 pH、溫度、導電度、銅離子 4 種感測器的預警規則以及平台操作畫面的介紹。

一、 預警規則：

本計畫以管制圖為預警核心基礎，其根據歷史統計資訊，將點位繪製為中心線(center line, CL)、管制上限(upper control limit, UCL)及管制下限(lower control limit, LCL)，如圖 5-3。

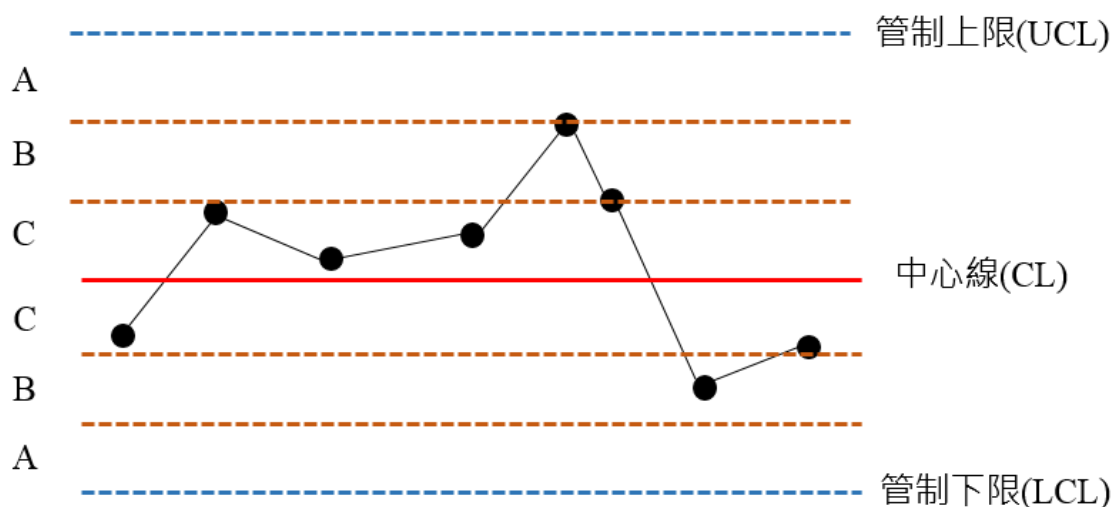


圖 5-3、SPC 管制圖

河川自然水體預警概念步驟如圖 5-4 所示，可隨著水質背景特性及其他預警需求，傳送不同時間頻率之水質檢測數據進行即時計算。並根據以下步驟，建立一筆某檢測站某監測值的管制界限設定。重覆以上步驟後，建立所有監測站的所有監測值管制界限設定。

Rule 1：連續 N1 點在管制界限(A 區)之外視為異常。

Rule 2：連續 N2 點中有 N3 點落在 A 區或 A 區之外視為異常。

Rule 3：連續 N4 點中有 N5 點落在 B 區或 B 區之外視為異常。

Rule 4：連續 N6 點上升視為異常。

Rule 5：連續 N7 點下降視為異常。

Rule 6：連續 N8 點的全距值小於 X1 視為異常。

Rule 7：連續 N9 點的全距值大於 X2 視為異常。

Rule 8：

(一) 1 點超過行政院環境保護署訂定之 pH 放流水標準(6.0~9.0) 視為異常。

(二) 1 點超過行政院環境保護署訂定之導電度放流水標準(750 mhos/cm)視為異常。

(三) 1 點超過行政院環境保護署訂定之銅離子放流水標準(3.0 mg/L 視為異常。

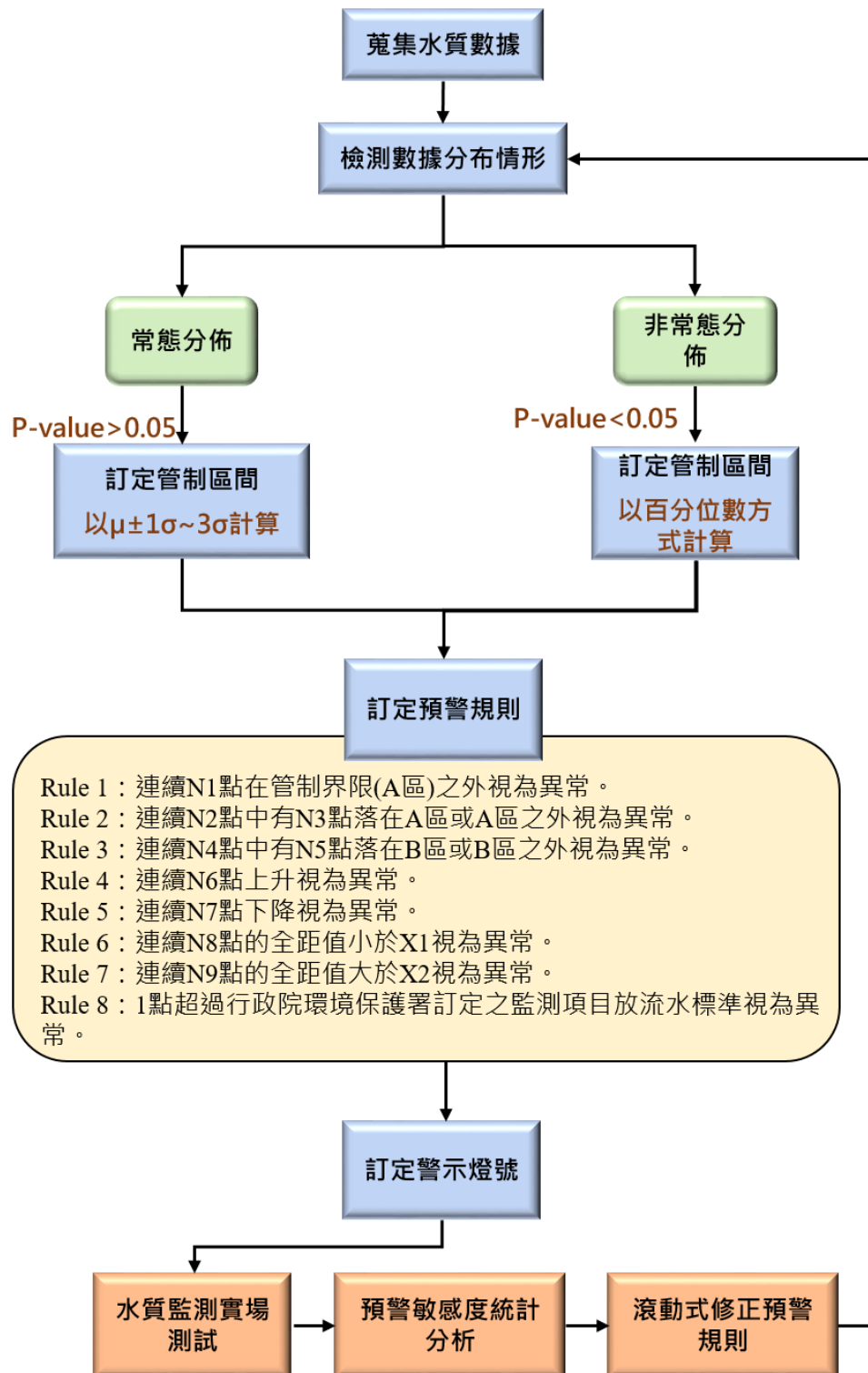


圖 5-4、水質監測靜態模擬預警分析模組

表 5-20、水質監測靜態模擬預警模組預警判斷

狀況	規則	預警判斷
單一測站 單一監測值	Rule 1：連續 N1 點在管制界限 (A 區) 之外視為異常 Rule 2：連續 N2 點中有 N3 點落在 A 區或 A 區之外視為異常 Rule 3：連續 N4 點中有 N5 點落在 B 區或 B 區之外視為異常	水質異常變化
	Rule 4：連續 N6 點上升視為異常	水質異常變化
	Rule 5：連續 N7 點下降視為異常	水質異常變化
	Rule 6：連續 N8 點的全距值小於 X1 視為異常	感測頭老化
	Rule 7：連續 N9 點的全距值大於 X2 視為異常	水質不穩定
	Rule 8：水質超過法規標準	水質超標

二、 各監測站管制區間預設規則訂定：

各量測點位於 11 月初完成佈建，並於 11/8 完成感測器校正工作。因此確認量測系統穩定後，取樣 11/13 00:00:00~11/20 23:59:59 共八天之時間區間進行資料分析，於該時間內有機會可觀察一周內工作時段中之水質觀測參數變化，並進行資料分布統計分析，設定各感測項之即時預警規則。

在資料設定設，若遇到於取樣期間，數值持續超過法規標準，或是該測項持續為 ND 之測項，因資料於常態或非常態分析結果，會是一個無意義之資料，所以暫時不予以設定。以此穩定時間區間資料分布函數均為常態分布，故五種感測項均以常態分不規則做分析設定，如下說明：

(一) pH 測項：

Rule 1：連續 3 點在管制界限(A 區)之外視為異常。

Rule 2：連續 9 點中有 3 點落在 A 區或 A 區之外視為異常。

Rule 3：連續 24 點中有 15 點落在 B 區或 B 區之外視為異常。

Rule 4：連續 6 點上升視為異常。

Rule 5：連續 6 點下降視為異常。

Rule 6：連續 5 點的全距值小於(總全距值/8)視為異常，且連續出現 2 點。

Rule 7：連續 8 點的全距值大於(總全距值/1.2)視為異常。

Rule 8：1 點超過行政院環境保護署訂定之 pH 放流水標準(6.0~9.0) 視為異常。

(二) 溫度測項：

Rule 1：連續 3 點在管制界限(A 區)之外視為異常。

Rule 2：連續 9 點中有 3 點落在 A 區或 A 區之外視為異常。

Rule 3：連續 24 點中有 15 點落在 B 區或 B 區之外視為異常。

Rule 4：連續 10 點上升視為異常。

Rule 5：連續 10 點下降視為異常。

Rule 6：連續 10 點的全距值小於(總全距值/10)視為異常，且連續出現 8 點。

Rule 7：連續 8 點的全距值大於(總全距值/2)視為異常。

Rule 8：1 點超過行政院環境保護署訂定之溫度放流水標準(38°C (5-9 月)35°C (10-4 月))視為異常。

(三) 導電度測項：

Rule 1：連續 3 點在管制界限(A 區)之外視為異常。

Rule 2：連續 9 點中有 5 點落在 A 區或 A 區之外視為異常。

Rule 3：連續 24 點中有 20 點落在 B 區或 B 區之外視為異常。

Rule 4：連續 10 點上升視為異常。

Rule 5：連續 10 點下降視為異常。

Rule 6：連續 5 點的全距值小於(總全距值/100)視為異常，且連續出現 3 點。

Rule 7：連續 8 點的全距值大於(總全距值/3)視為異常。

Rule 8：1 點超過行政院環境保護署訂定之導電度放流水標準($750 \mu\text{mhos/cm}$)視為異常。

(四) 銅離子測項：

Rule 1：連續 3 點在管制界限(A 區)之外視為異常。

Rule 2：連續 9 點中有 3 點落在 A 區或 A 區之外視為異常。

Rule 3：連續 24 點中有 12 點落在 B 區或 B 區之外視為異常。

Rule 4：連續 2 點上升視為異常。

Rule 5：連續 2 點下降視為異常。

Rule 6：連續 5 點的全距值小於(總全距值/8)視為異常，且連續出現 3 點。

Rule 7：連續 8 點的全距值大於(總全距值/1.3)視為異常。

Rule 8：1 點超過行政院環境保護署訂定之銅離子放流水標準(3.0 mg/L)視為異常。

(五) CODs 測項：

Rule 1：連續 3 點在管制界限(A 區)之外視為異常。

Rule 2：連續 9 點中有 3 點落在 A 區或 A 區之外視為異常。

Rule 3：連續 24 點中有 18 點落在 B 區或 B 區之外視為異常。

Rule 4：連續 4 點上升視為異常。

Rule 5：連續 4 點下降視為異常。

Rule 6：連續 5 點的全距值小於(總全距值/8)視為異常，且連續出現 3 點。

Rule 7：連續 8 點的全距值大於(總全距值/1.3)視為異常。

Rule 8：1 點超過行政院環境保護署訂定之銅離子放流水標準(100 mg/L)視為異常。

(六) 預警分析初步結果：

本工作於待所有感測項目資料穩定後，於 11/23-11/27 陸續透過上述條件方法設定各測站五種感測項之預警條件，設定當下即開始啟動預警機制，並且排除資料傳輸完整度與感測器例行維護等資料異常時段，雖然觀察時間至 11 月 28 日僅幾天，但已觀察到以下 2 點資料異常事件討論，如下所述：

1. 導電度異常訊號：本團隊在於 11 月 27 日設定徐厝排水 B 測站預警規則，觀察發現此測站導電度掉持續 2 天導電度掉到 $10 \mu \text{mho/cm}$ 。依管制理論來看，本站導電度為常態分布，LCL 為 382.930、M(平均值)為 479.228、UCL 為 575.520、 σ (標準差)為 32.099；而 Rule1 的管制條件為連續 3 點在管制界限(A 區)之外視為異常(管制界限： 575.520 $\uparrow$ 或 382.930 $\downarrow$)，Rule6 為連續 5 點的全距值小於((總全距值: 146.000)/50) 視為異常，且連續出現 3 點。此事件確實也從此兩個管制條件顯示異常訊號圖示，表示預警條件可正確分析異常訊號工作，因此預警，本團隊派員前往了解後發現，該區域水位過低，水質感測器抽水有限，導致量測誤所致。

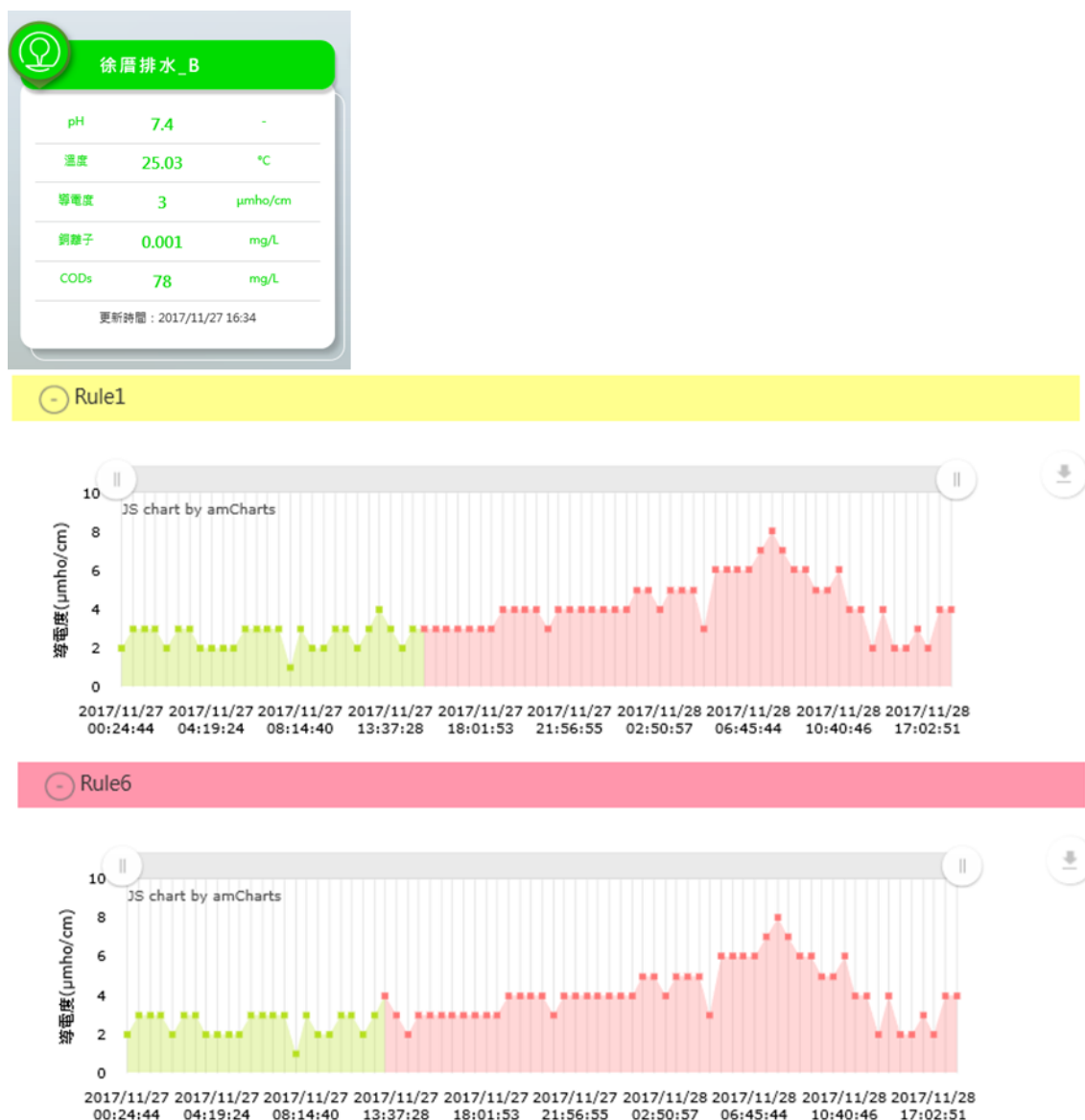


圖 5-5、預警資訊-導電度異常訊號

- 溫度異常訊號：同事件 1，本事件於同時段啟動桃園大圳 2-2-4_13 預警設定後，發現此測站所設定之預警條件，確實可以正確地顯示溫度異常且持超過預警界限，無論是從 Rule1 顯示連續 3 點超過管制界限 (A 區)，或是 Rule2 顯示連續 9 點有 3 點超過 A 區或 A 區之外，以及 Rule 8 1 超過行政院環境保護署訂定之溫度放流水標準(38°C(5-9 月)35 °C(10-4 月)，這些預警條件都可以被正確的分析出異常訊號。本團隊於 11 月 28 日派員了解後，發現此測站是因為晶片損壞所導致的異，修復更新晶片後，溫度訊號已恢復正常值。

未來本功能模組，會持續依照各種水測站的水質特性調整預警條件，並且增加更多元之預警功能，以目前的感測數值來看，若遇到某感測項之測值持續為零達一定頻率時，應可新增排除其他預警條件直接警戒之功能條件，以達到更即時顯示異常狀況警報。

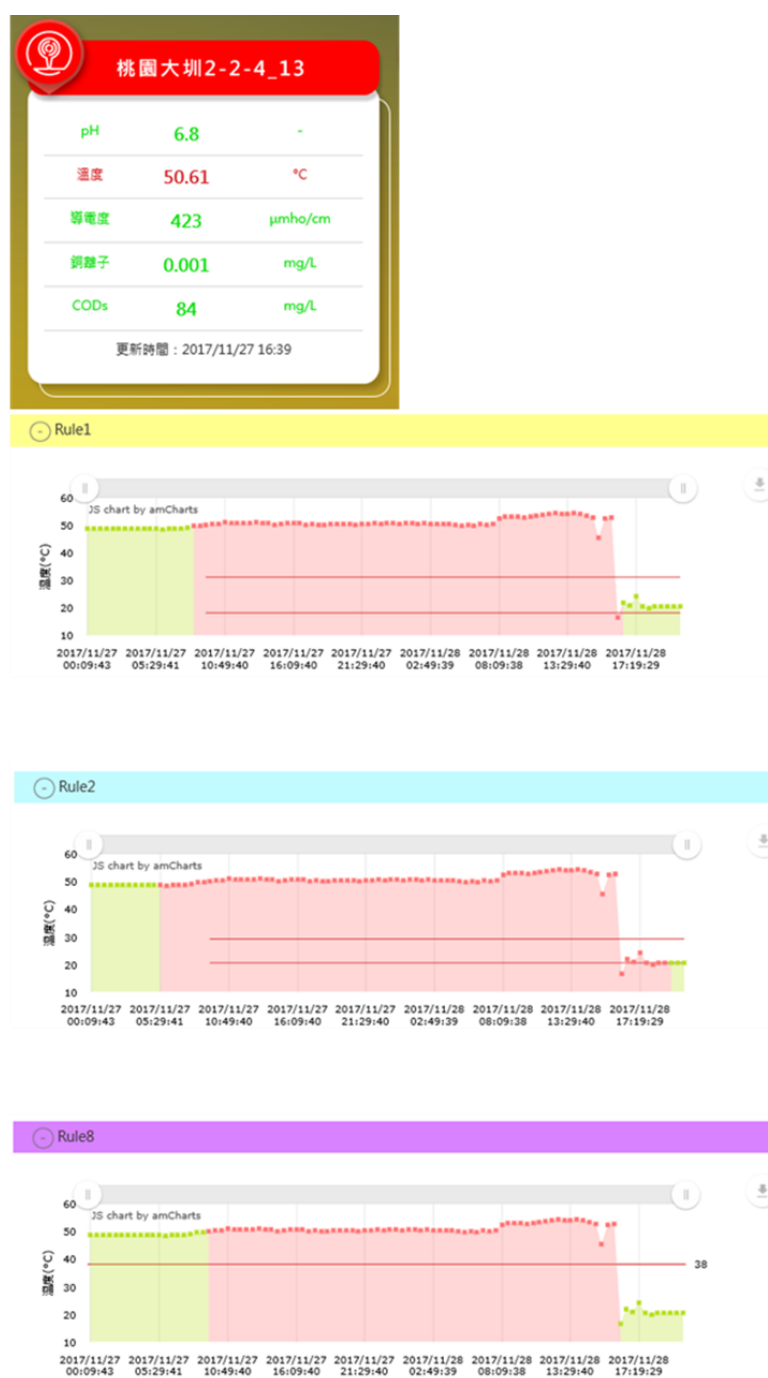


圖 5-6、預警資訊-溫度異常訊號

三、 水質自動連續監測預警分析模組建立：

根據水質自動連續監測預警分析模組建立四個分析頁籤，分別為「即時水質預警」、「基本測站資訊」、「歷史監測資訊」、「歷史預警檢視」等。

如圖 5-5 整體頁面設計以上排四個頁籤變換四種水質分析主題，左列顯示各種五種水質分析模組，中間為資訊內容的展示區，其中左半部為質監測站各類詳細資訊，右半部為地理資訊(包含測站位置、主要河川圖資、工業排水圖資、農田灌溉區圖資、地理位置搜尋)，以提高操作的流暢度，以下將一一介紹各頁籤的展示內容。

(一) 即時水質預警

如圖 5-7，根據測站回傳的數值與該站該測項的預警管制規則，點選某測站時，該測站於 WEB GIS 圖層會出現光圈，並呈現不同顏色的燈號，紅燈為符合預警規則、黃燈為符合法規上限、綠燈為正常水質，並且可以點選左下角「各感測項目代表意義」，讓民眾了解水質之優劣對生活安全造成的影響(如圖 5-7)。



圖 5-7、水科技物聯網應用平台_即時水質預警頁籤

(二) 基本測站資訊

如圖 5-8 所示，根據使用者點選的測站，顯示該測站測站位置(地址、二維座標)、詳細資訊(水道類型)、即時狀況、測站環境與監測設備的照片。



圖 5-8、水科技物聯網應用平台_基本測站資訊頁籤

(三) 歷史監測數據

如圖 5-9，使用者可以選擇資料顯示的區間後，平台以折現圖呈現歷史監測數據資料，並同時呈現不同水質燈號於不同監測時間上的變化，若要觀看更多測項，可使用捲軸下拉功能即可依序了解其測項的水質歷史監測數據。

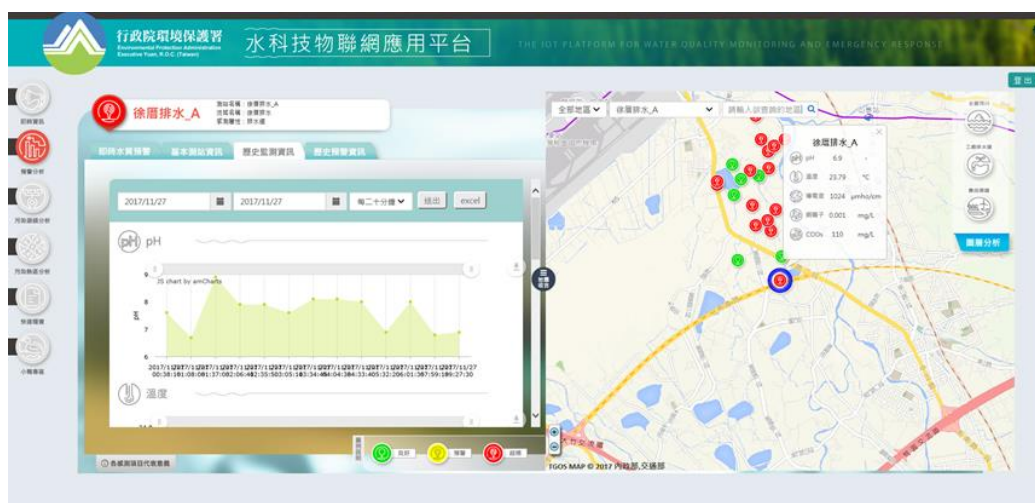


圖 5-9、水科技物聯網應用平台_歷史監測數據

(四) 歷史預警檢視

如圖 5-10，使用可透過上排勾選不同測項與不同顏色的預警規則，並選擇資料的時間範圍後，平台即可以折現圖顯示該測站資料，並以該預警規則的顏色，顯示符合預警法則的測值，若要了解該測項更多預警規則，可點選其它規則，即可依序了解其測項的歷史預警數據。

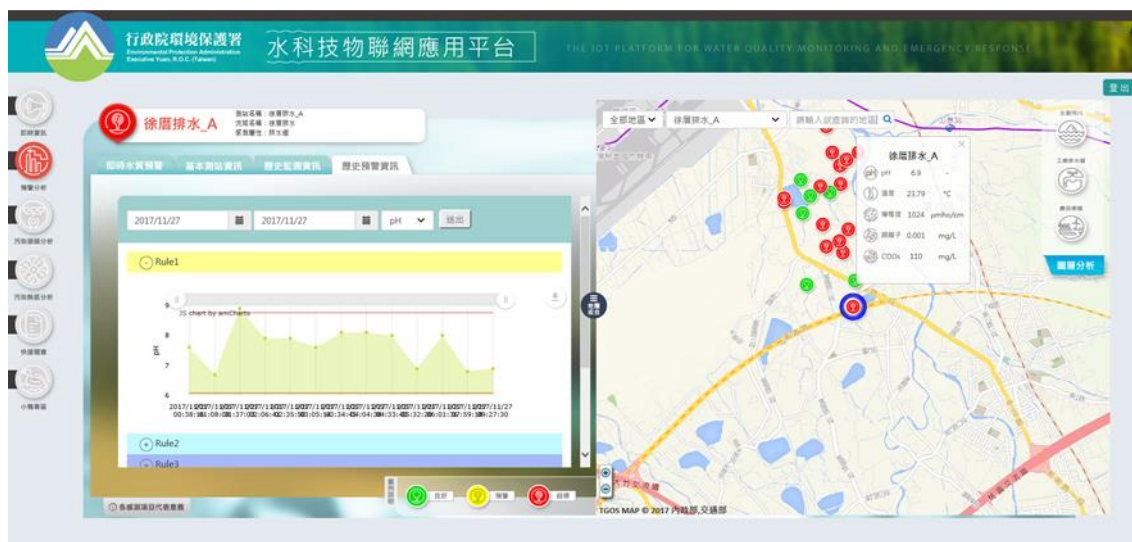


圖 5-10、水科技物聯網應用平台_ 歷史預警檢視

本團隊已於 3 月底完成水科技物聯網預警分析功能開發，相關工作說明請參考附件 9，後續將持續測試優化功能，並以今（106）年場域布建收集數據，驗證平台及預警規則。

5.2.2 疑似污染源頭分析模組建立

透過水質自動連續監測預警分析模組可即時監控水質，於感測項目超標或超標前做預警，而預警後的作為，可分為上游之污染源頭追溯及下游之污染熱區分析，分別於本節及 5.2.3 節詳述。本模組目的為：當污染事實發生時，可快速透過地形高低差，追溯上游，並結合動態水質自動連續監測數據及靜態運作場廠基本資料、申報資料、環域資訊及稽查處分資料，快速產生可疑之污染源頭資料。本模組於去（105）年規劃設計，今（106）年將配合物聯網平台建置，並以桃園市布建場域作為模式驗證，概念模式可分為：（一）資料庫架構及資料

內容；(二) 污染源頭分析流程。以下分別說明。

一、資料庫架構及資料內容

配合本團隊開發之水質微型化感測器，數據蒐集將以 pH、導電度、溫度、銅離子為主，未來亦可依需求擴充其他感測項目，如鉛離子及其他重金屬。整體環境資料庫結構設計如下圖 5-11，動靜態資料之介接，在整體資料庫模組中為原始資料層，其結構依各資料源有所不同，並無特定之格式限定。上述資料進入資料庫後，需依據資料用途之不同主題分類，如監測濃度資訊、廠商歷史運作資訊、河川上下游段資訊等，建構為環境資源資料層。而為利於資料分析應用，需依分析層處理需求，將資料進行前處理，轉為特定資料結構。最後，透過關聯動靜態資料，當污染情形發生時，迅速以源頭追溯、廠商篩選及派遣優化分析功能，達到篩選可能污染源及即時稽查派遣需求。

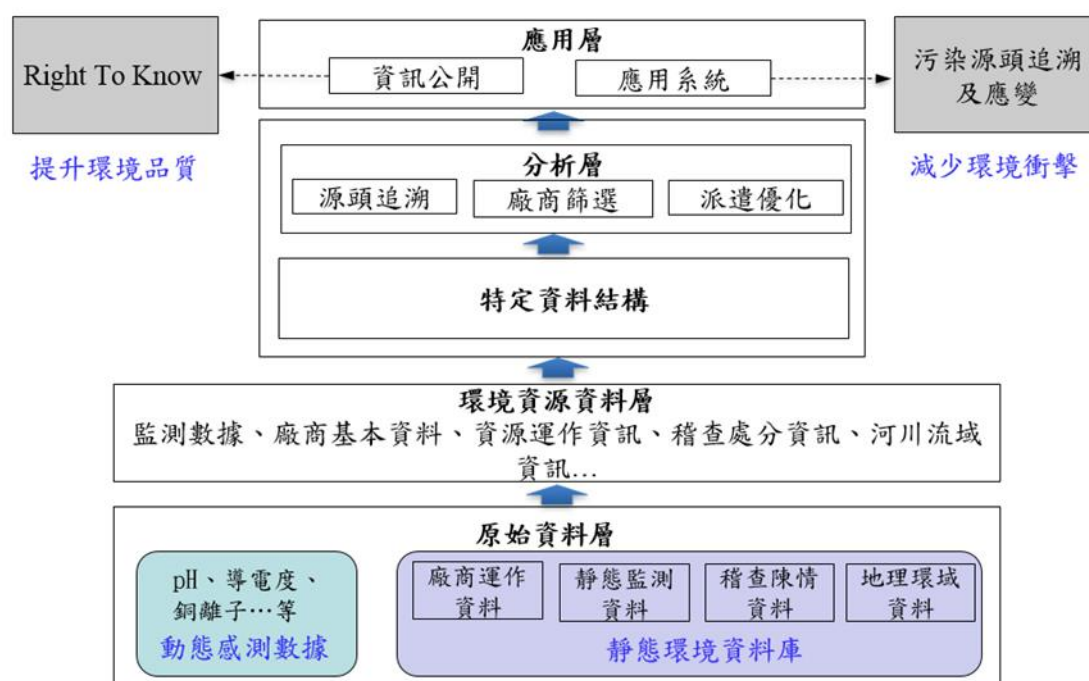


圖 5-11、污染源頭分析模組資料庫規劃設計

為完成污染源頭分析模組規劃設計，必須納入環境資料庫系統進行研析，其又包含以即時感測為主的動態資訊，及其他環境資料庫建置之靜態資訊。擬將下列靜態環境資料庫，區分為四個資料倉儲方向，各為廠商運作資料、靜態監測資料、稽查陳情資料及地理環域資料等。本團隊整理污染源頭分析模組整

體需介接資料庫名稱及資料表相關內容，請參考表 5-21，由於部分資料源需跟各部會溝通確認，今年將以驗證模組功能為主，先介接部分資料，並於未來年度介接以完備，環境物聯網平台。

表 5-21、靜態環境資料庫資料內容盤點

倉儲分類	介接部會	介接資料庫	資料更新頻率	於本資料庫中用途
場廠運作資料	行政院環保署-廢管處	環境保護許可管理系統(EMS)	資料異動時更新	污染源頭分析-廠商基本資料(名稱、位置、行業別、製程別)
	行政院環保署-廢管處	環境保護許可管理系統(EMS)	資料登載為廠場設置時最大設計值，設備更新才會更新 2.每月	污染源頭分析-廠商營業資料(用水、用電量、產能)
	地方環保局-空保科	固定污染源-即時量測值(氣狀污染物及排放流率 1 小時值)	1 天(小時平均值)	污染源頭分析-廠商空污排放資料
	地方環保局-空保科	CEMS 煙道即時量測值資料檔(不透光率-粒狀污染物)	1 小時	污染源頭分析-煙道空污排放資料
	地方環保局-空保科	CEMS 煙道即時量測值資料檔(氣狀污染物)	1 小時	污染源頭分析-煙道空污排放資料
	行政院環保署-水保處	水污染源許可及申報資料	半年	污染源頭分析-廠商水污排放檢測種類及量、排放口位置
	行政院環保署-廢管處	事業原物料及廢棄物之使用與產出申報資料	1 個月	污染源頭分析-廠商原料、廢棄物申報種類及量
	行政院環保署-廢管處	事業廢棄物許可及申報資料	1 季	污染源頭分析-廠商原料、廢棄物申報種類及量
	行政院環保署-廢管處	重點事業廢棄物-生物醫療廢棄物之產出及清理流向	1 個月	污染源頭分析-廠商原料、廢棄物申報種類及量

倉儲分類	介接部會	介接資料庫	資料更新頻率	於本資料庫中用途
	行政院環保署-廢管處	重點事業廢棄物-有機廢液之產出及清理流向	1 個月	污染源頭分析-廠商原料、廢棄物申報種類及量
	行政院環保署-廢管處	重點事業廢棄物-廢酸鹼之產出及清理流向	1 個月	污染源頭分析-廠商原料、廢棄物申報種類及量
	行政院環保署-廢管處	重點事業廢棄物-爐碴之產出及清理流向	1 個月	污染源頭分析-廠商原料、廢棄物申報種類及量
	行政院環保署-廢管處	重點事業廢棄物-有害性集塵灰之產出及清理流向	1 個月	污染源頭分析-廠商原料、廢棄物申報種類及量
	行政院環保署-廢管處	重點事業廢棄物-有害污泥之產出及清理流向	1 個月	污染源頭分析-廠商原料、廢棄物申報種類及量
	行政院環保署-廢管處	重點事業廢棄物-一般污泥之產出及清理流向	1 個月	污染源頭分析-廠商原料、廢棄物申報種類及量
	行政院環保署-毒管處	毒性化學物質許可及申報資料	1 季	污染源頭分析-廠商化學物質製造、輸入、輸出、購買、販賣、使用、廢棄、貯存種類及量
	行政院環保署-毒管處	運作紀錄資料(毒性化學物質許可管理)	1 個月	污染源頭分析-廠商化學物質製造、輸入、輸出、購買、販賣、使用、廢棄、貯存種類及量
	經濟部中部辦公室	工廠申報選定化學物質流向資料	半年	污染源頭分析-廠商化學物質製造、輸入、輸出、購買、販賣、使用、廢棄、貯存種類及量
靜態監測	勞動部-職業安全衛生署	管制性化學許可資料	不定期	污染源頭分析-廠商化學物質製造、輸入、輸出、購買、販賣、使用、廢棄、貯存種類及量
	行政院環保署-土基會	土壤及地下水污染管制區公告資料	1 個月	污染源頭分析-土壤及地下水監測數據(廠址位置、列管狀態、土壤及地下水數據)

倉儲分類	介接部會	介接資料庫	資料更新頻率	於本資料庫中用途
資料	行政院環保署-土基會	土壤及地下水污染場址基本資料	1 天	污染源頭分析-土壤及地下水監測數據(廠址位置、列管狀態、土壤及地下水數據)
	行政院環保署-監資處	全國環境水質監測資料	不定期	污染源頭分析-河川、水庫、海域、地下水定期監測資料
	行政院環保署監資處	河川水質監測資料	1 個月	污染源頭分析-河川、水庫、海域、地下水定期監測資料
	行政院環保署監資處	水庫水質監測資料	1 季	污染源頭分析-河川、水庫、海域、地下水定期監測資料
	行政院環保署監資處	海域水質監測資料	1 季	污染源頭分析-河川、水庫、海域、地下水定期監測資料
	行政院環保署監資處	區域性地下水水質監測資料	1 季	污染源頭分析-河川、水庫、海域、地下水定期監測資料
	行政院環保署-監資處	海灘夏季水質監測資料	採樣頻率每年調整，約 6~9 月戲水人潮較多期間執行	圖層套疊-海灘水質監測資料
	環保局檢驗科	空氣品質監測小時值(一般污染物,每日更新)	1 天	污染源頭分析-河川、地下水、空品測站數據
	環保局檢驗科	空氣品質監測小時值資料(一般污染物,每日更新)	1 天	污染源頭分析-河川、地下水、空品測站數據
	環保局檢驗科	空氣品質監測小時值資料(其它測項,每小時更新)	1 小時	污染源頭分析-河川、地下水、空品測站數據
	行政院環保署土污基管會	環境資源資料庫	不定期	污染源頭分析-污染農地範圍
	行政院環保署土污基管會	環境資源資料庫		污染源頭分析-污染農地範圍

倉儲分類	介接部會	介接資料庫	資料更新頻率	於本資料庫中用途
動態監測資料	環保局所轄連線對象	臺中市水量水質自動監測連線傳輸監測紀錄值即時資料集	1 小時	
	環保局所轄連線對象	桃園市水量水質自動監測連線傳輸監測紀錄值即時資料集	1 小時	
稽查陳情資料	行政院環保署-督察總隊	環保報案中心公害陳情案件資訊	1 天	污染源頭分析-污染地點、名稱及污染行為
	行政院環保署-管考處	環保署裁罰處分	1 季	污染源頭分析-環保署稽查處分廠商資料
地理環境域資料	農田水利會	農田水利會圖資	無	污染源頭/預警分析-農田渠道、河溪、大圳水路、水門
	經濟部水利署	水庫堰壩 基本資料	1 天	圖層套疊-水庫位置及資料
	水利署河川海岸組	河川(支流)	無	預警分析-主要河川及支流
	水利署河川海岸組	河川(河道)	無	預警分析-主要河川及支流
	水利署河川海岸組	河川流域範圍圖	無	預警分析-主要河川及支流
	內政部地政司衛星測量中心	高程差	無	污染源頭分析-地形圖(高層差)

資料庫主要根據環境保護許可管理系統(EMS)、環保稽查處分管制系統(EEMS)、列管事業機構基本資料為主，並呈現在地圖上。列管事業機構的座標是根據 EMS 資料中，事業機構的「實際座標」為主，如果此欄位未填寫，則使用「營運資料-大門位置之經緯座標」，如果該欄位也未填寫，則採用「營運資料-事業大門位置之經緯座標」。運作場廠細部資料來源初步整理如表 5-22 所示。

表 5-22、水系流域運作場廠查詢資料表

資料名稱	資料來源系統：界接方式	更新頻率
運作場廠基本資料	EMS：CDX	每月一次
稽查告發裁處	EEMS：Web Service	每天一次
製程資料	EMS：CDX	每月一次
原物料資料	EMS：CDX	每月一次
污染關聯表	EMS：CDX	每月一次
水列管_基本資料	水保處：WebService	每天一次
水列管_定期申報項目-共通水質項目	水保處：WebService	每天一次

資料倉儲整合工具(ETL)規劃分以下 4 種，主要是根據資料來源分別設計對應的 ETL 方式，資料介接的方式為暫定，將依照實際系統來源的建議方式再行修改，整理如表 5-23 所示。

表 5-23、資料倉儲 ETL 工具

	來源	ETL 工具說明	ETL 工具	系統(暫定)
1	行政院環境保護署 環境資源資料交換 平台(CDX) 網址： http://cdx.epa.gov.tw	由 CDX 平台提供 Web Service 或 FTP 下載檔案後自行處理。因此 CDX 類的資料來源是由本團隊自行開發的 CDX 交換排程工具，自 CDX 取得 CDX 檔案後，解析 XML 檔案並載入到的資料庫內。	自行開發的 CDX 交換排程工具	● 環境保護許可管理系統(EMS) ● 事業廢棄物申報及管理系統 ● 土壤及地下水管理資訊系統

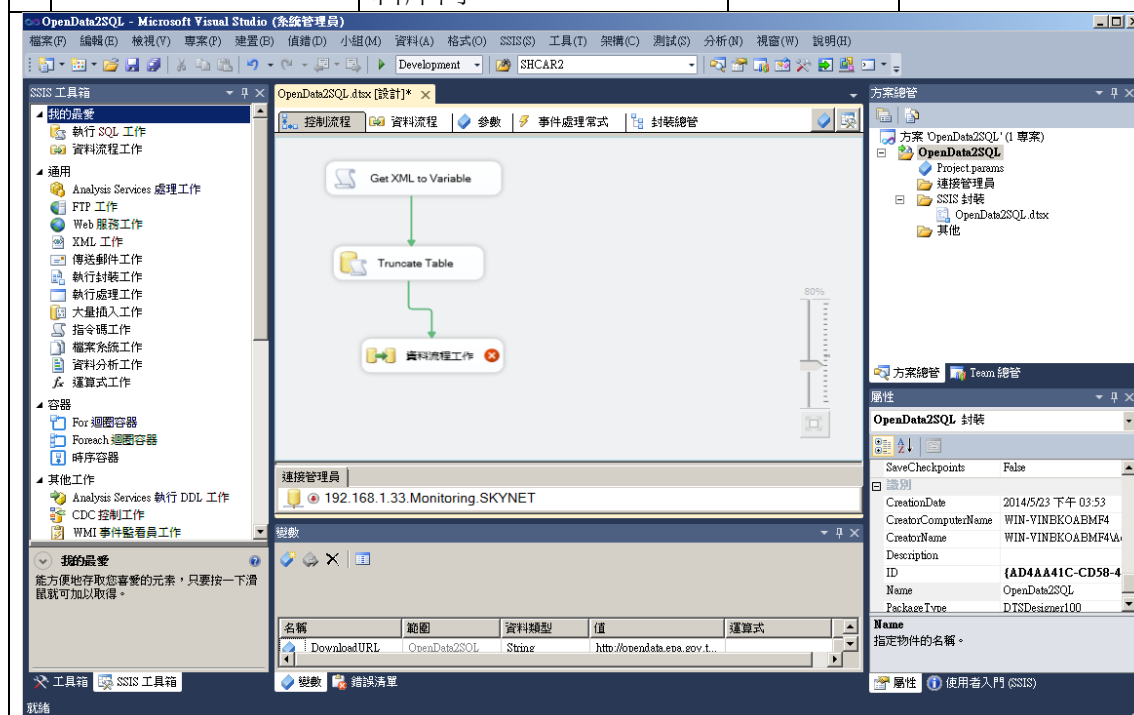
來源	ETL 工具說明	ETL 工具	系統(暫定)																														
EMS 直接下載 <table border="1"> <thead> <tr> <th>檔案名稱</th> <th>頻率</th> <th>日期</th> <th>時間</th> <th>操作</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EMS_P_02</td> <td>每月</td> <td>3日</td> <td>7時</td> <td>儲存設定</td> </tr> <tr> <td>EMS_P_03</td> <td>每月</td> <td>5日</td> <td>7時</td> <td></td> </tr> <tr> <td>EMS_S_07</td> <td>每月</td> <td>7日</td> <td>7時</td> <td>EMS_P_02 test</td> </tr> <tr> <td>SGW_S_02</td> <td>每月</td> <td>21日</td> <td>7時</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SOIL_S_01</td> <td>每月</td> <td>21日</td> <td>7時</td> <td>排程測試</td> </tr> </tbody> </table> 其他下載 載入名單 下載 毒化物運作場廠 排程設定 年份 民國 103 年 ☒ 自動 SQL Conn Server=RFD;UID=SKYNET;PWD=SKYNET;database=Monitoi 排程時間 每月 4日 12時 陳情 排程設定 有效時間 2 天內之未結案案件 SQL Conn Server=RFD;UID=SKYNET;PWD=SKYNET;database=Monitoi 排程時間 每小時	檔案名稱	頻率	日期	時間	操作	EMS_P_02	每月	3日	7時	儲存設定	EMS_P_03	每月	5日	7時		EMS_S_07	每月	7日	7時	EMS_P_02 test	SGW_S_02	每月	21日	7時		SOIL_S_01	每月	21日	7時	排程測試	EEEMS EEEMS 介面開放時間: 21:00-23:00 排程設定 ☒ 當日資料(往前一天) ☐ 區間資料 2014年11月17日 ~ 2014年11月18日 SQL Conn Server=RFD;UID=SKYNET;PWD=SKYNET;database=Monitoi 排程時間 每日 21時 水汙染 排程設定 ☒ 當日資料(往前一天) ☐ 區間資料 2014年11月17日 ~ 2014年11月18日 SQL Conn Server=RFD;UID=SKYNET;PWD=SKYNET;database=Monitoi 排程時間 每日 7時 AQMC 解壓縮 來源路徑 目的路徑 排程時間 每月 15日 10時 清除訊息		
檔案名稱	頻率	日期	時間	操作																													
EMS_P_02	每月	3日	7時	儲存設定																													
EMS_P_03	每月	5日	7時																														
EMS_S_07	每月	7日	7時	EMS_P_02 test																													
SGW_S_02	每月	21日	7時																														
SOIL_S_01	每月	21日	7時	排程測試																													

2 行政院環境保護署
環境資源資料開放
平台(OpenData)
網址：
<http://opendata.epa.gov.tw>

由 CDX 平台提供 Web Service 或 FTP 下載檔案後自行處理。因此 CDX 類的資料來源是由本團隊自行開發的 CDX 交換排程工具，自 CDX 取得 CDX 檔案後，解析 XML 檔案並載入到的資料庫內。

微軟的
SQL
Server
Data
Tools,SSD
T

環保署-全國環境
水質監測網



	來源	ETL 工具說明	ETL 工具	系統(暫定)
3	各系統 Web Service	對於尚未進入 CDX 或 Opendata 的外部系統，則透過 Web Service 整合界面，由於各系統 Web Service 格式並不相同，因此由自行開發的整合工具，針對不同的 Web Service 來源定期取得資料後，定期會入資料倉儲。	自行開發的 Web Service 排程工具	● 毒性化學物質許可管理系統 ● 環保署稽查處分管制系統
4	資料庫	對於部分署內的系統，則採用資料庫對資料的整合方式，透過資料庫的排程工具(Sql job)與預存程序(stored procedure)將資料取回。	資料庫的排程工具(Sql job)與預存程序(stored procedure)	● 公害陳情網路受理系統 ● 水污染源管制資料管理系統

The screenshot displays the EEMS (Environmental Emergency Monitoring System) interface. It features several sections for configuring data collection and scheduling:

- EMS Section (Highlighted with a Red Box):**
 - 直接下載 (Direct Download):** Includes buttons for EMS_P_02, EMS_P_03, EMS_S_07, SQW_S_02, and SOIL_S_01, each with a '儲存設定' (Save Settings) button.
 - 排程下載設定 (Scheduling Download Settings):** A table for scheduling downloads for various data sources with columns for frequency, day, and time.
 - 其他下載 (Other Downloads):** Includes a '載入名單' (Load List) button and a '下載' (Download) button.
 - 排程設定 (Scheduling Settings):** Includes fields for year (民國 103), month (4), day (12), and time (12時), with a '儲存設定' (Save Settings) button.
 - SQL Conn:** A text field containing 'Server=RPID;UID=SKYNET;PWD=SKYNET;database=Monitor'.
 - 排程時間 (Scheduling Time):** A dropdown menu set to '每月' (Monthly).
 - 排程測試 (Scheduling Test):** A button to test the scheduling configuration.
- EEMS Section:** Includes a '儲存設定' (Save Settings) button and a '排程測試' (Scheduling Test) button.
- SQL Conn:** A text field containing 'Server=RPID;UID=SKYNET;PWD=SKYNET;database=Monitor'.
- 排程時間 (Scheduling Time):** A dropdown menu set to '每日' (Daily).
- 排程測試 (Scheduling Test):** A button to test the scheduling configuration.
- 水污染 (Water Pollution):** Includes a '儲存設定' (Save Settings) button and a '排程測試' (Scheduling Test) button.
- SQL Conn:** A text field containing 'Server=RPID;UID=SKYNET;PWD=SKYNET;database=Monitor'.
- 排程時間 (Scheduling Time):** A dropdown menu set to '每日' (Daily).
- 排程測試 (Scheduling Test):** A button to test the scheduling configuration.
- AQMC解壓縮 (AQMC Decompression):** Includes a '儲存設定' (Save Settings) button and a '排程測試' (Scheduling Test) button.
- SQL Conn:** A text field containing 'Server=RPID;UID=SKYNET;PWD=SKYNET;database=Monitor'.
- 排程時間 (Scheduling Time):** A dropdown menu set to '每月' (Monthly).
- 排程測試 (Scheduling Test):** A button to test the scheduling configuration.

來源	ETL 工具說明	ETL 工具	系統(暫定)
----	----------	--------	--------

名稱	已啟用	狀態	上次執...	上次執行
EEMS_sync	是	閒置	成功	2014/11/25 下午 11:30:00
EMS_000	是	閒置	成功	2014/12/10 下午 06:05:41
EMS_001	是	閒置	成功	2014/12/4 下午 05:10:39
EMS_002	是	閒置	成功	2014/12/10 下午 06:04:45
EMS_003	是	閒置	成功	2014/12/4 下午 05:10:49
EMS_004	是	閒置	成功	2014/12/4 下午 05:10:52
EMS_P_03_001	是	正在執...	失敗	2014/12/4 下午 05:10:55
EMS_S_07_001	是	閒置	成功	2015/3/20 上午 10:20:00
SGW_S_02_001	是	閒置	成功	2015/3/20 上午 10:20:00
SOIL_S_01_001	是	正在執...	失敗	2015/3/20 上午 10:12:00
syspolicy_purge_history	是	閒置	成功	2014/11/26 上午 02:00:00
WaterData_1_Sync	是	閒置	成功	2015/3/20 上午 10:00:00
WaterData_2_Grid_ID_update	是	閒置	成功	2015/3/20 上午 10:00:00
水庫水質監測資料 (每季)	是	閒置	成功	2014/12/4 下午 05:11:32
水庫水質監測點基本資料 (每季)	是	閒置	成功	2014/12/4 下午 05:11:36
河川水質測點基本資料 (每月1~5)	是	閒置	成功	2014/12/4 下午 05:11:40
河川水質監測資料 (每月)	是	閒置	成功	2014/12/4 下午 05:11:43
空氣品質即時污染指標 (每小時)	是	閒置	成功	2015/3/20 下午 06:00:00
空氣品質監測站基本資料 (每月)	是	閒置	成功	2014/12/4 下午 05:11:48
海域水質監測資料 (每季)	是	閒置	成功	2014/12/4 下午 05:11:52
海域水質監測點基本資料 (每季)	是	閒置	成功	2014/12/4 下午 05:11:59

本系統透過介接與本案相關之內、外部系統資料，彙整建立一個即時環境監測及列管污染源資料庫，提供使用者透過分析統計後之圖表資料，掌握訊息並有效進行各項決策及人力稽查支援，如圖 5-12 所示。

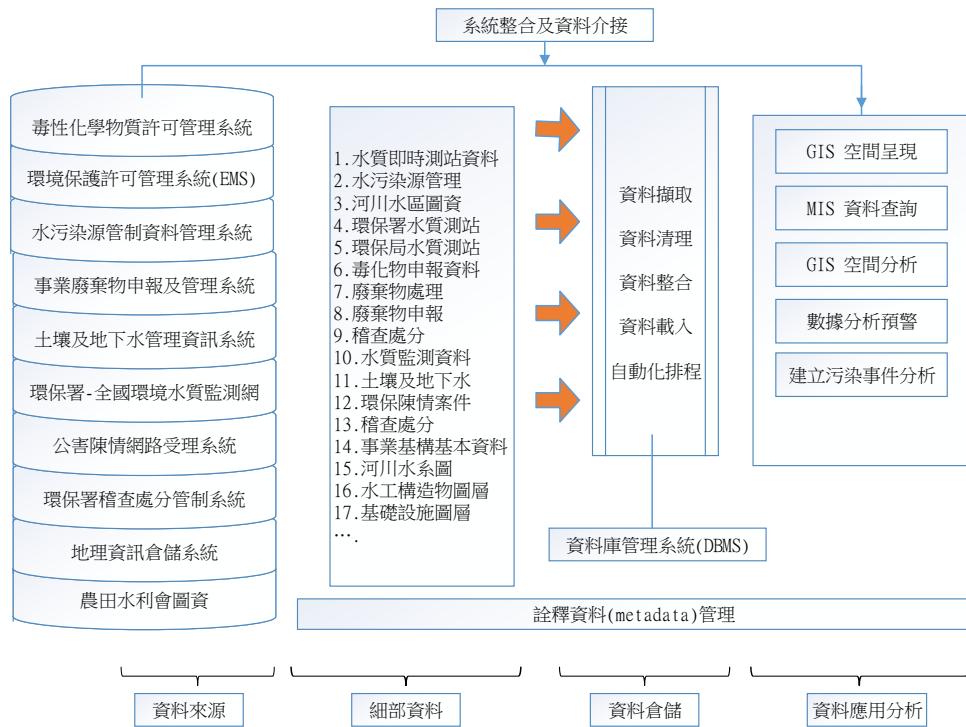


圖 5-12、資料庫整合架構

各類資料整合進入資料倉儲後，概念性的資料庫結構如圖，如圖 5-13 所示，由於資料表格多，因此將較核心的資料表以單一圖示表示。

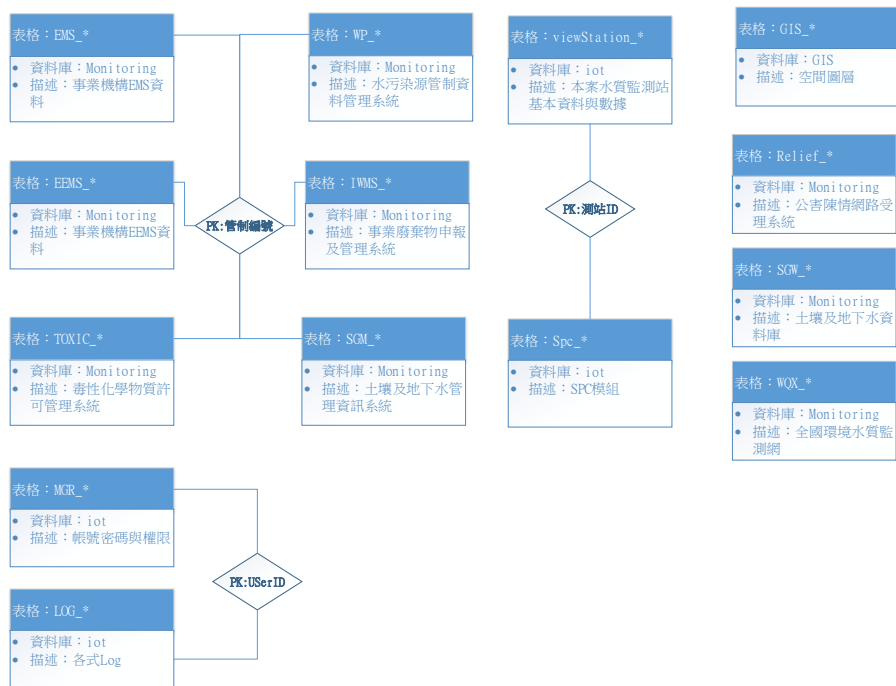


圖 5-13、概念性資料庫結構

二、污染源頭分析流程

水質事件理論之系統化定義，是為水質污染事件以水質污染感測元件之即時監測值資料為預警機制，預警的條件為上述之水質監測靜態模擬預警分析模組，若將污染事件以系統化的定義方式，必須確認其因果條件，也就是其上位系統之疑似污染源頭及下位系統之影響衝擊，本模組是以上位系統的源頭分析為主，包括：上游固定污染源系統、上游監測資料系統、附近環域資訊系統及歷史陳情與稽查系統。本節呈上述所描述的污染源頭分析模組資料庫規劃，以此作為未來物聯網平台建置之方法學，達到快速追溯源頭稽查不肖廠商，以維護環境品質，分析模組流程說明如下圖 5-14：

(一)實時監測水質：

以水質物聯網感測器蒐集某河川自然水體水質監測數據項目，即時監測環境水體各監測項目是否符合標準。

(二)配合地理環域資料分析上游河段路徑：

當感測數據超過水質標準，即啟動污染源頭分析機制，配合河川流域、水位及斷面圖等資訊，篩選上游所有河段路徑。

(三)配合上游感測數據篩選污染河段：

依據前述篩選之河段路徑，分析此河段上所有感測數據，以感測濃度高低差異判斷污染物擴散情形，進一步限縮污染排放源之所在上游段。

(四)匹配污染河段廠商：

透過靜態資料庫之廠商點位資料，匹配出上游河段所有運作廠商。

(五)篩選可疑污染源廠商：

承上所篩選出可疑污染排放運作廠商，進一步以以下三種規則，交叉比對靜態資料庫，限縮調查範圍，以增加稽查有效性及時效性。

Rule 1：比對各廠商製程、排放廢棄物、污染物、化學品使用及廢棄量等申報資料，篩選與超標污染物有關之可能廠商。

Rule 2：比對土壤及地下水及其他監測資料，作為輔助參考資訊。

Rule 3：比對水污稽查處分資料、公害陳情網路受理系統及環保署稽查處分廠商資料，作為輔助參考資訊。

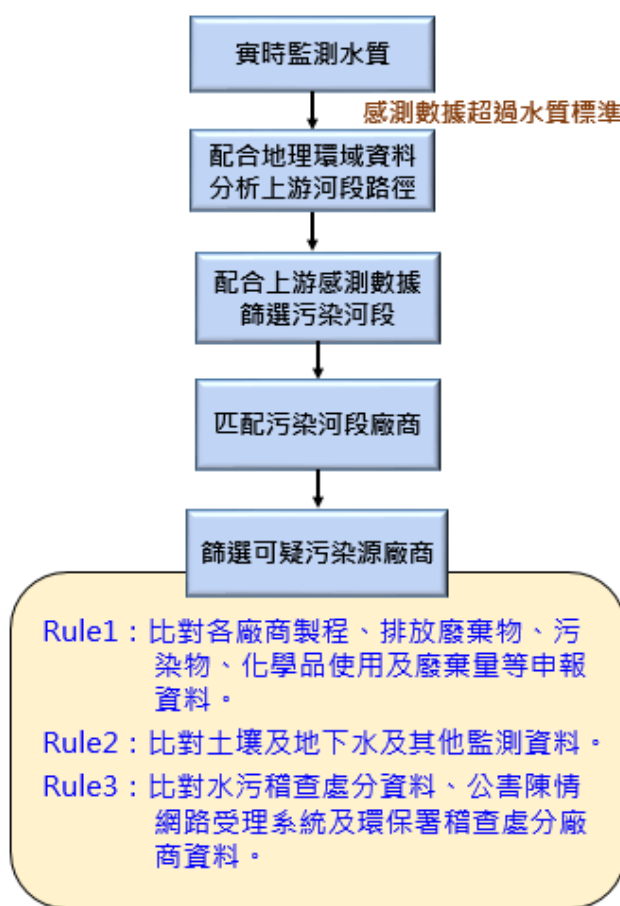


圖 5-14、污染源頭分析流程示意圖

前台頁面呈現方式，除了顯示水質感測器及列管事業機構點位，將以 GIS 地圖顯示以外，本團隊可再根據水污染管理的特性，提供進階篩選功能，以協助污染源頭分析，包含：列管類別、行業別、稽查情形、製程、許可之水質項目、上游分析等等，另可依照主辦單位或稽查單位之實際需求，於功能中擴充相關資料(如 EMS)欄位，提供決策者掌握重要資訊，作為污染源頭判斷之依據。



圖 5-15、污染源頭分析查詢功能

在此模組中，上游的判斷為一重要功能。要判斷某一個污染行為的上游區域，首先要知道兩個訊息，第一，該污染行為所在流域；第二，流域中該污染行為的上游區域，為了完成此功能的開發本工作團隊從地理資訊的角度切入以上幾個問題。

一、由污染行為發生地點決定及其所在流域

地表上污染行為的發生必定對應空間上一個特定的地點，該地點的位置可轉換為一個特定的座標，得到座標位置後就可透過套疊流域範圍的圖資來找出該污染行為所在的流域為何。

二、找出流域中位於該污染行為上游的範圍

若後續可蒐集到河川流域各段坡度高差之圖層，則可直接以相關河系資料判斷，不需做推估。然若缺乏此部分圖資，則需判斷該流域中那些區域屬於其上游範圍，水往低處流，水流是受到重力引導而流動，因此所謂的上游就是指地形高度較高的地區，由此可知透過比對該地點與同流域範圍內其他

區域的地形高度就可以得到上游範圍，然基於地形高低差未必為實際河川坡度之高低差，仍會有些許誤差。

基於以上的概念分析，工作團隊設計規劃方法如下：

一、 資料來源

依據概念分析，可以知道所需的資料包含(一)污染地點的座標、(二)河川流域、(三)地形高度。第二項資料則以水利署對外公開的全台灣流域範圍圖資為準，以地理資訊倉儲系統中的特定縣市的範圍圖資篩選之流域，再透過比對河流圖層、國土測繪中心正射影像圖、通用版電子地圖及地形資料校正圖資，針對有疑慮部分使用 GIS 範圍流域計算的功能重新劃定流域範圍，並排除零碎流域範圍後，共得出不同的流域範圍。

第三項地形高程資料在目前以數值高度模型(DEM)為主，台灣可取得的 DEM 有許多來源，由於流域的判斷並非完全依照行政界線，故使用的 DEM 範圍區要能完整涵蓋地區範圍，在考量資料經度及資料取得難易度後，工作團隊選用中研院所整理的 ASTER 全台灣 DEM 資料，該資料是美國太空總署(NASA)透過衛星影響分析而得到的全世界陸地地形高度資料，目前最新為第二版，解析度為 30 公尺，是目前可免費取得的台灣地形資料中解析度最高最完整的一種。

二、系統設計

主要可分為二個部分，第一是資料庫、第二是圖台功能，在資料庫部分依據概念分析以網格方式建立，首先依照 DEM 的資料特性切成網格，其次套疊流域圖層計算每個網格的所在流域，使每一個網格除所在位置的經緯度座標外都包含其所在流域與地形高度的資訊。

本團隊後續將持續介接靜態資料源，除了公開資訊可直接下載外，必要時跨部會資料將協請署內發文，或採以購買方式，模組系統建立部分，將委請資訊團隊配合環境物聯網平台開發前後台，並採以視覺化設計，訂於 8 月提交系統平台。

根據上述疑似污染源頭分析模組需求類似網購平台購物車的概念，依序篩選「感測器」、「流域」、「場廠」後，進行所選定之可疑場廠進行污染物的「時序」分析，最後可匯出篩選分析的資訊，作為後續快速稽查 E 化派遣之用。

如圖 5-16，整體頁面設計以上列四個步驟進行疑似污染源頭分析工作，左側可顯示感測器與流域及場廠資訊，右側圖台可展示感測器位置與流域分布及場廠位置圖資。

STEP1、STEP2：標的選擇與流域分析

標的選擇與流域分析，分成兩種邏輯設定，可運用在不同追蹤思考情境，如下說明：

1. 已知可疑污染（圖 5-16）：此情境是運用接獲到通報某測站附近已遭受到污染時使用，在圖台選定要追蹤的測站，選取分析區域、起訖時間，系統就會顯示該測站感測器超標次數與頻率資訊，確認分析的河段區段後，勾選後即可往下一階段篩選可疑場廠。
2. 污染例行追蹤（圖 5-17）：此情境運用在例行性稽查可疑感測點或河段周圍工廠物料使用情形。在頁面左側選取分析區域、起訖時間，系統就會顯示該區域時間區段之的所有測站超標次數與頻率資訊，確認分析的河段區段後，勾選想要追蹤之感測站後即可往下一階段篩選流域區段與可疑場廠。

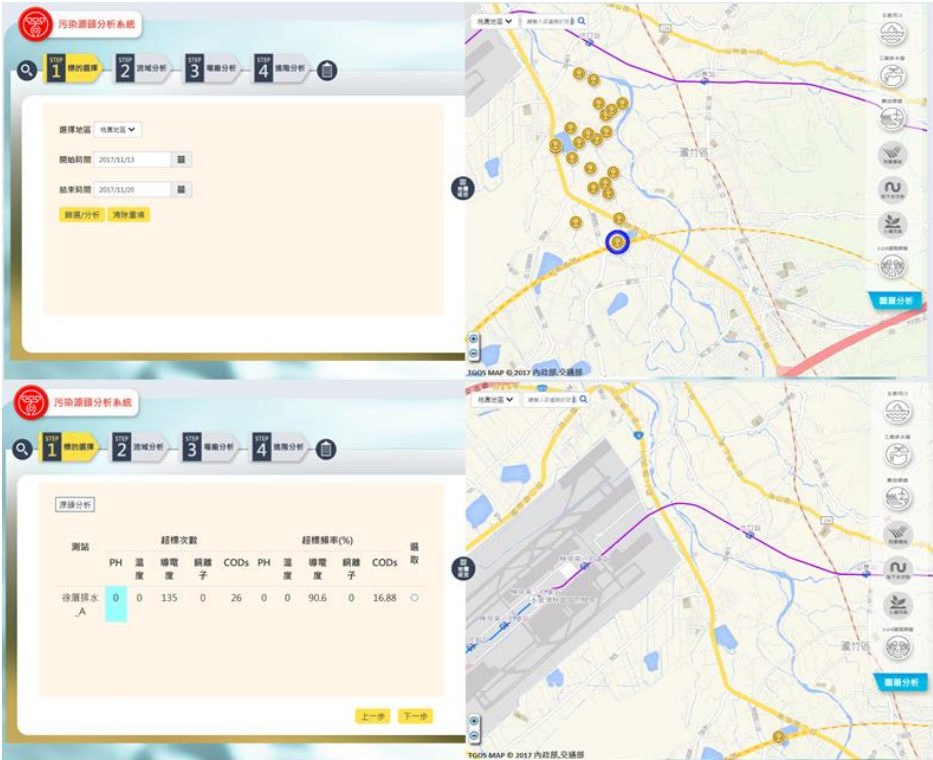


圖 5-16、疑似污染源頭分析模組__Step1、2 標的選擇與流域分析（方法 1）

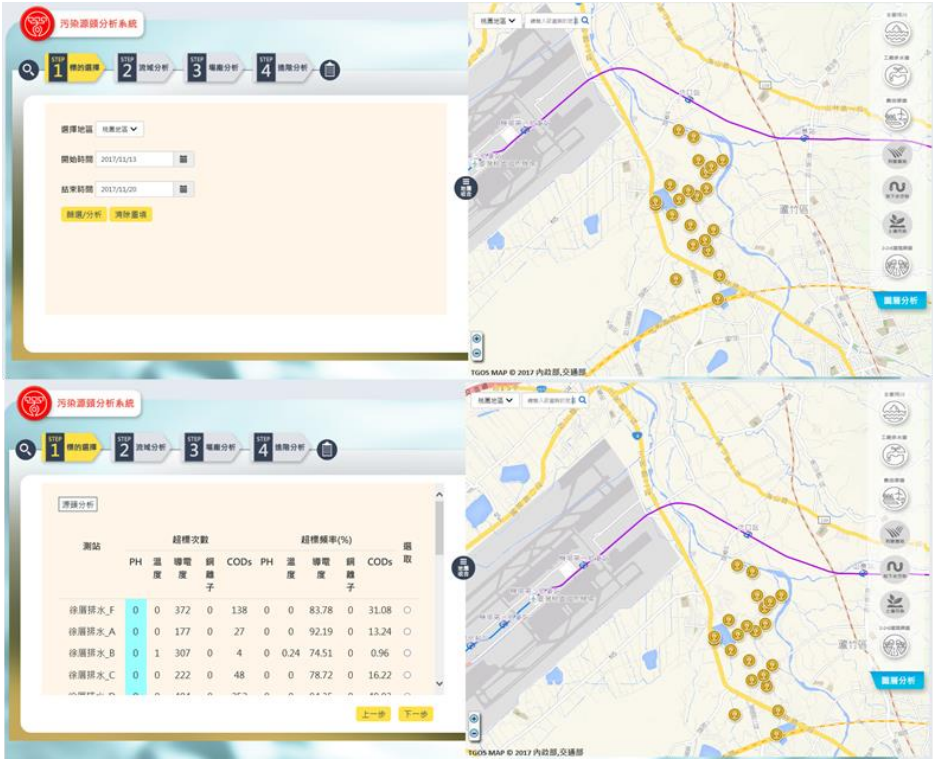


圖 5-17、疑似污染源頭分析模組__Step1、2 標的選擇與流域分析（方法 2）

STEP3：場廠分析

經過上述的條件篩選後流域，進入 STEP3 即可分析此流域的可疑場廠，從資訊區域選擇各種分析條件後(場廠範圍、河段方圓距離、產業別、使用物料、排放廢棄物、使用化學品、排放化學品、製程別、歷史稽查紀錄)，系統會自動篩選出上列綜合條件下的場廠清單，並且在圖台上用色綠工廠顯示；使用者若加選其他工廠，也可以直接從圖台選取，被選取後的工廠一樣會換成綠色工廠，以視區隔。

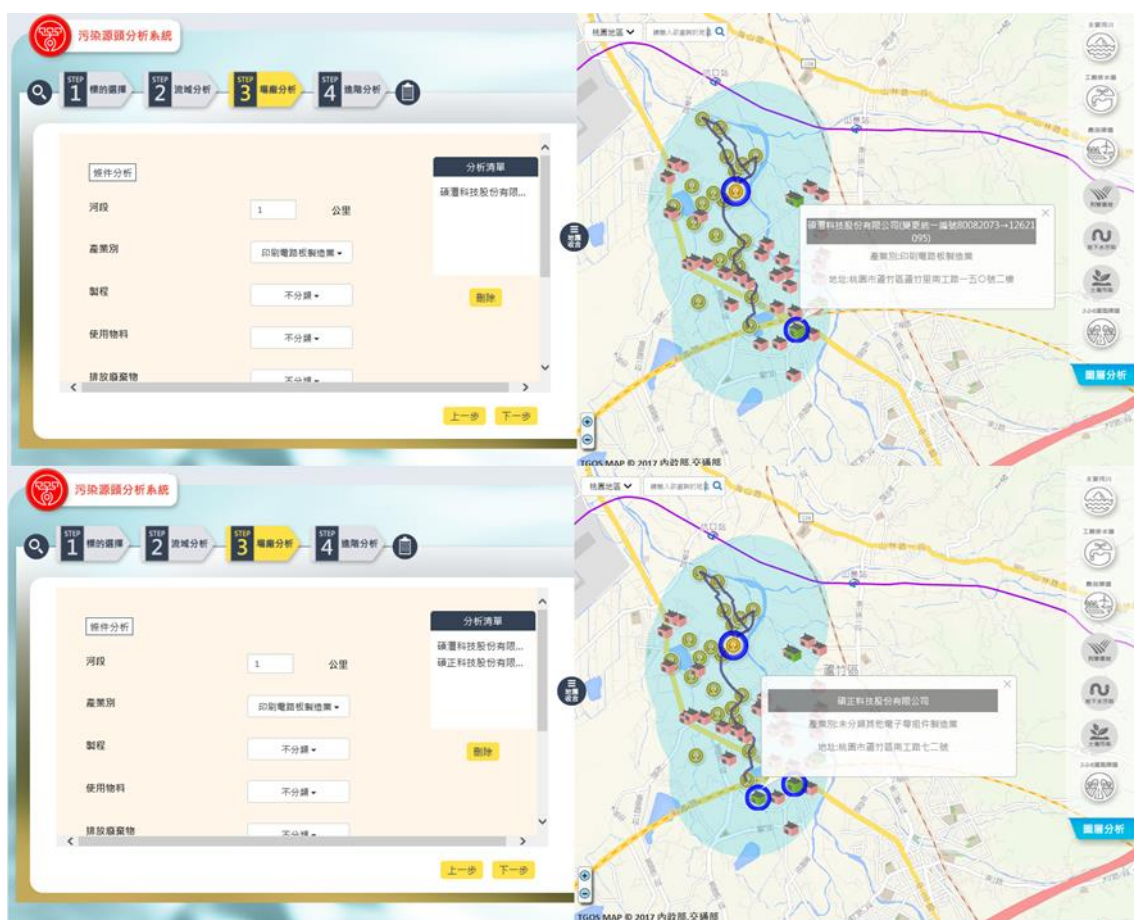


圖 5-18、疑似污染源頭分析模組_STEP3 場廠分析

STEP4：進階分析

經過 STEP3 的場廠篩選後，進入 STEP4 即可依序針對各廠家進行異常物料流動進行時序分析，並且存放分析圖至匯出區，系統可依不同的檔案格式匯出，作為後續快速稽查 E 化模組之用。



圖 5-19、疑似污染源頭分析模組_STEP4 進階分析-1



圖 5-20、疑似污染源頭分析模組_STEP4 進階分析-2

5.2.3 快速稽查 E 化模組規劃設計

台灣經濟規模快速發展，然而工業化與城市化對環境帶來重大壓力，特別是台灣都市土地腹地面積小且河川多為短小，也造成工業區污染很快就外溢到臨近住宅區，目前稽查車輛無法隨時被監控中心掌握，在平時稽查派遣調度上

造成不便；也鑒於過往在陳情案件發生後，需先一一了解各稽查車輛位置，人工評估到場時間，其過程恐耽誤到達現場的時間，而造成稽查準確度下降，因此時效性及有效性更加重要，在此背景下，本團隊擬配合前述之疑似污染源頭分析模組，針對水污染事件發生時，因應現場稽查人員所需的主要資訊進行規劃及統整，透過設計快速稽查 E 化模組，未來可配合物聯網概念結合手持式設備，將監測歷史趨勢圖、疑似污染源頭、可能擴散之污染熱區等資訊呈現於手持式稽查平台，配合最短路徑分析及導航功能，協助稽查人員快速抵達。

本模組搭載了「即時監控區」、「任務派遣模組」、「疑似污染源頭分析模組」、「污染熱區分析模組」、「樹脂縮時膠囊布建模組」、「雲端車隊管理模組」、「任務稽查 APP 模組」、「任務報告書」、「資料庫查詢模組」、「樹脂縮時膠囊布建計畫」等等，強化監控中心人員資訊分析及任務調派，提升稽查人員檢測水質及採集證據效率，有助於繁冗的資料分析、通訊來往以及文書工作之橫向整合。

提供監測中心發現水質污染異常時，於第一時間找出疑似污染源頭並彙整任務內容，發派任務予最適宜行動之稽查小組之功能。本模組也能讓行動稽查小組在接收到任務的第一時間迅速前往疑似污染源頭，無須進行目的地設定及路線選擇，即可快速前往疑似污染源頭之座標。一旦稽查記錄建立齊全後，便可找到廠商習慣排水之頻率以及時間，配合政府專業稽查人員行動，便可迅速限縮稽查可能違法排放廢水之業者。

為了強化監控中心對於該管轄範圍之水質的掌控，本模組規劃可配合其他水質監測工具，如由台大范致豪教授研發之離子交換樹脂縮時膠囊，其具備成本低、檢測速度快、布建方式簡單及不需耗電之優點，可大範圍長時間的監控未設置微型感測器之點位，監控中心可依據歷史水質監控數據以及歷史稽查任務來判斷，流域中時常發生污染排放現象之地點，派遣稽查小組於無任務時進行樹脂縮時膠囊之布建及回收並進行記錄，可使監控中心掌控未受監控的區域水質狀況，以及週末以及夜間工廠排放之狀況。

一、快速稽查 E 化模組架構

本模組依使用對象可分為負責資料分析及計畫擬定的監控中心以及負責

行動的稽查小組，監控人員主要負責於監控中心進行資料分析以及下達命令之工作，稽查人員則依照監控人員下達之指令至現場進行水質檢測之稽查任務，為使監控中心下達正確且快速的指令，本模組配有「任務派遣模組」、「即時監控區」、「污染源頭分析模組」、「污染熱區分析模組」以及「樹脂縮時膠囊布建模組」，另一方面為使稽查小組可在接受任務後馬上執行任務以及強化與監控中心的連結所搭載之模組有「雲端車隊管理模組」以及裝載著「任務報告書」、「資料庫查詢模組」、「樹脂縮時膠囊布建計畫」之行動稽查 APP 模組，各模組之簡單介紹如下圖 5-21 所示，詳細介紹於「快速稽查執行單位介紹」章節將進一步說明。



圖 5-21、快速稽查 E 化模組架構圖

二、 快速稽查 E 化流程

本模組依使用對象分為監控中心及稽查小組，為了在污染狀況發生時可使資訊分析與即時行動之串連順暢，本報告規劃流程如圖 5-22。此流程圖分為兩部分，一為平日無污染預警情形，為加強水質控管的嚴密度而進行的強

化水質監控流程，二則是出現污染警訊時啟動的快速稽查 E 化流程。

第一種狀況是無特別污染狀況時，監控中心為了強化管轄範圍之流域水質監控，特別規劃使用低成本、好建置、檢測快速之樹脂縮時膠囊，由監控中心人員擬定樹脂縮時膠囊布建計畫，使用「任務派遣模組」發佈放置地點及回收時間於稽查人員。

發佈後稽查人員之行動稽查 APP 便會發出接受通知，稽查人員收到通知後若現場工作情況容許，便前往計畫地點進行布建或回收，回收之樹脂縮時膠囊則由配合之檢驗中心進行檢驗。

第二種狀況是當水質物聯網平台出現污染預警訊號，監控中心人員判斷需至現場確認情形，可使用「污染源頭分析模組」分析疑似污染源頭可能位置，並以「任務派遣模組」之雲端車隊系統找到最適宜出任務的行動稽查小組，填寫任務單之後，使用「任務派遣模組」上傳「行動稽查 APP 模組」以及「雲端車隊管理模組」。

行動稽查小組之裝載著行動稽查 APP 之智慧型裝置便會發出緊急通知聲響通知行動稽查人員，另一方面也可將導航路徑同時發佈至稽查小組之「雲端車隊管理系統」，當行動稽查小組接收任務後即刻進行導航，而在當任務單及派遣任務發送完畢後的監控中心人員，即刻開始污染熱區分析模組，進行下游污染擴散模擬，分析可能影響之下游範圍，發佈水門關閉預警建議，通知於各水門掌管單位。本模組由內而外結合監控中心以及即時行動稽查小組，並且由下而上結合監控中心以及水門聯絡網，以達到快速稽查並且阻止污染影響範圍擴大之目的。

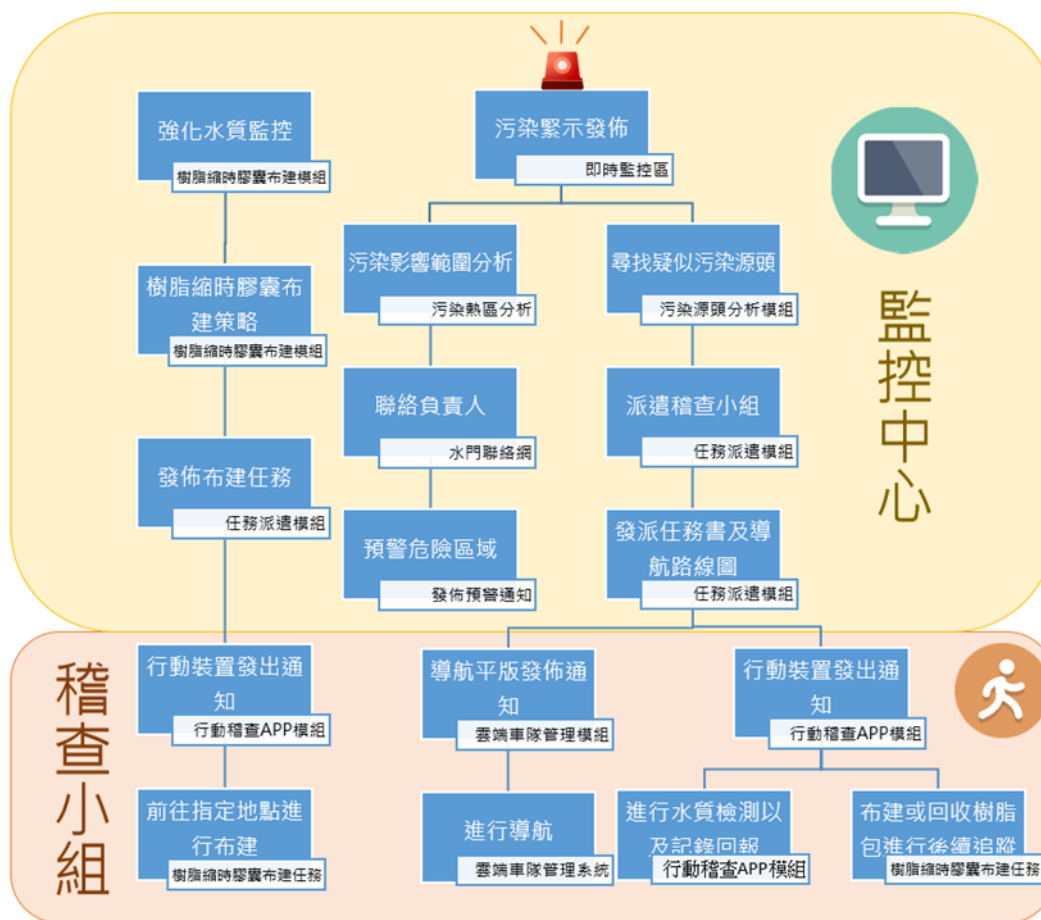


圖 5-22、快速稽查 E 化模組流程圖

三、 快速稽查使用單位功能介紹

(一) 監控中心

監控中心主要使用系統即為環保署掌管之水科技物聯網應用平台，配合平台設置專責監控區，監控區機台僅處理水科技物聯網應用平台之相關事務，並且由監控人員隨時監控各測站狀況，或是依據歷史水質監控資料、類別產業的污染新聞、土壤及地下水污染場址等等擬定樹脂縮時膠囊之配置計畫，以下將依序說明監控中心收到污染警示後啟動的任務流程、未來監控中心之配置原則及應用模組介紹。

1. 疑似污染警報應變任務流程

當測站發出水污染預警或經人員判斷異常情形時，立即啟動「水污染稽查流程」如圖 5-23 所示，資料分析與派遣任務由監控中心人員負責，首先使用「疑似污染源頭分析模組」找出疑似污染源頭，再以「任務派遣模組」規劃最適稽查小組，並透過「雲端車隊管理模組」以及「行動稽查 APP 模組」發出任務通知，調派稽查小組至現場，同步以「污染熱區分析模組」模擬此污染水流可能影響到的下游範圍，必要時，建議下游水門管轄單位關閉水門阻斷污染水源，阻止污染源擴大影響其他水流。



圖 5-23、監控中心之快速稽查 E 化流程圖

2. 監控中心配置

未來若稽查範圍擴及全國，建議於農田密集分布區中心建立監控中心，一座監控中心可掌控地區之流域水質品質、水門聯絡網、稽查任務小組，當異狀發生時可以以最快的速度完成資料分析並發出派遣任務單，達到全面性的水質監控，根據當地稽查任務派遣之頻率配置：

- (1) 監控中心人員：監控中心人員由所有工作人員輪班擔任，此輪班機制可使所有工作人員深刻瞭解監控中心以及稽查小組使用之模組以及邏輯，弭平由於工作性質不同而產生之代溝。
- (2) 即時監控區設備：根據監控人員數量建置配備雙螢幕以及音響之電腦設備。
- (3) 稽查小組人員待命區：稽查小組人員無稽查任務並且完成定期巡邏以及樹脂縮時膠囊建置工作時，可回到監控中心設置之稽查小組人員待命區進行稽查裝備整備或補充。

3. 監控中心使用之模組

(1) 任務派遣模組

本模組提供監控中心使用雲端車隊管理系統內之最短路徑分析模組尋找目前最適宜前往出任務之稽查小組功能，如圖 5-24 所示，由監控人員選取此次初任務之稽查小組後，系統自動整合分析模組之資料成任務派遣單如圖 5-25 所示，任務派遣單需具備以下訊息：派遣組別、日期時間、稽查工廠與地址、異常測站及異常現象。當監控中心人員按下確定派遣之按鈕後，此任務單會以不同的型態發送到兩個系統，一為稽查小組之智慧型裝置上的稽查 APP，二為稽查小組之車輛導航系統。

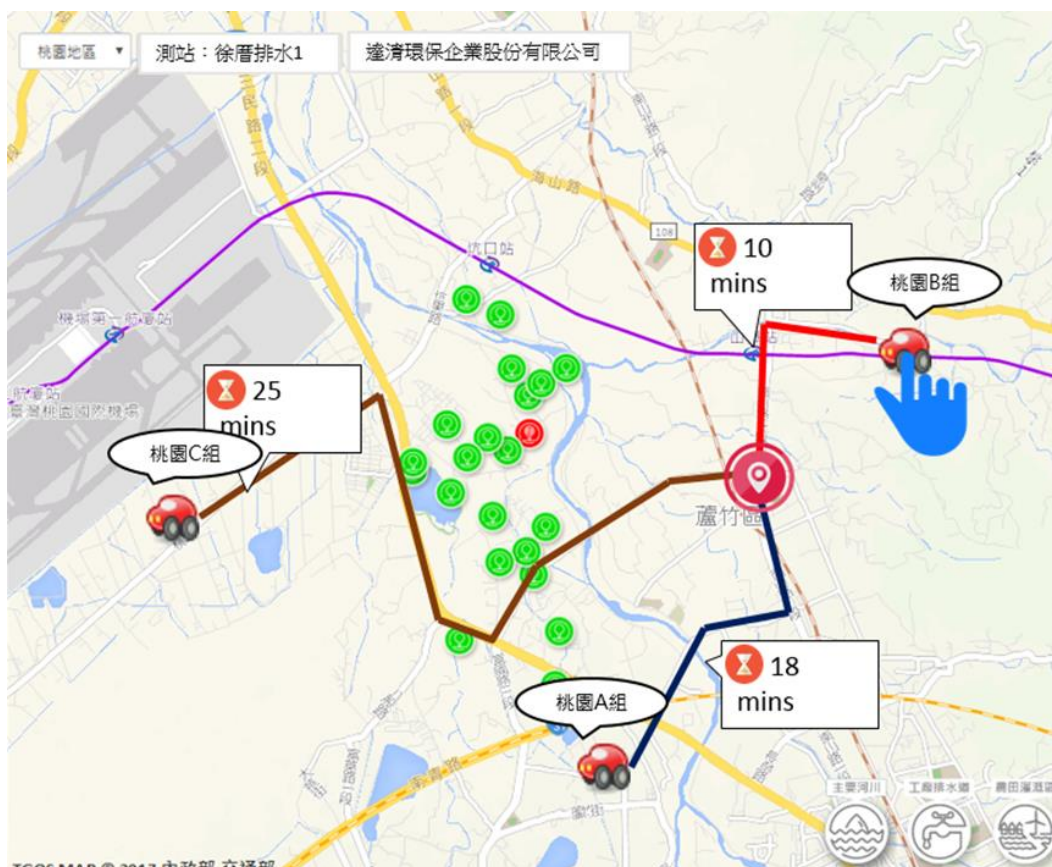


圖 5-24、最短路徑分析模組

派遣組別：	
桃園B組	
日期時間：2017/10/10 09：00	
稽查工廠：	
達清環保企業股份有限公司	
地址：	
桃園市蘆竹區長興里南崁路二段142巷37號及39號	
異常測站：	
徐厝排水1	
備註：	
請輸入異常現象為何，簡短敘述此次事件	
確定送出派遣任務單？	是 否

圖 5-25、任務派遣單

(2) 即時監控區

監控中心規劃配備大型屏幕及電腦監控設備，搭載水科技物聯網應用平台之水質自動連續監測模組，監控畫面如下圖 5-26 所示，監控人員可隨時觀看目前所有測站情況同時回顧各測站之歷史水質資料，另外當有測站發生狀況時電腦會發出緊急示警響，通知監控人員啟動快速稽查 E 化模組。另外平時監控人員也可透過四種分析頁籤，分別為「即時水質預警」、「基本測站資訊」、「歷史監測資訊」、「歷史預警檢視」，進行水質即時監控及趨勢分析。



圖 5-26、即時監控區畫面

(3) 污染源頭分析模組

污染源頭分析模組結合各部會既有之資料庫，並建立污染源頭分析流程如圖 5-27 所示，當污染狀況發生時，可快速透過地形高低差，追溯上游，並結合動態水質自動連續監測數據及靜態運作場廠基本資料、申報資料、環域資訊及稽查處分資料，快速產生可疑之污染源頭資料，使用介面如圖 5-28 所示，監控人員完成四步驟之分析流程後，接著使用分析出之疑似污染源頭資料進行派遣任務。

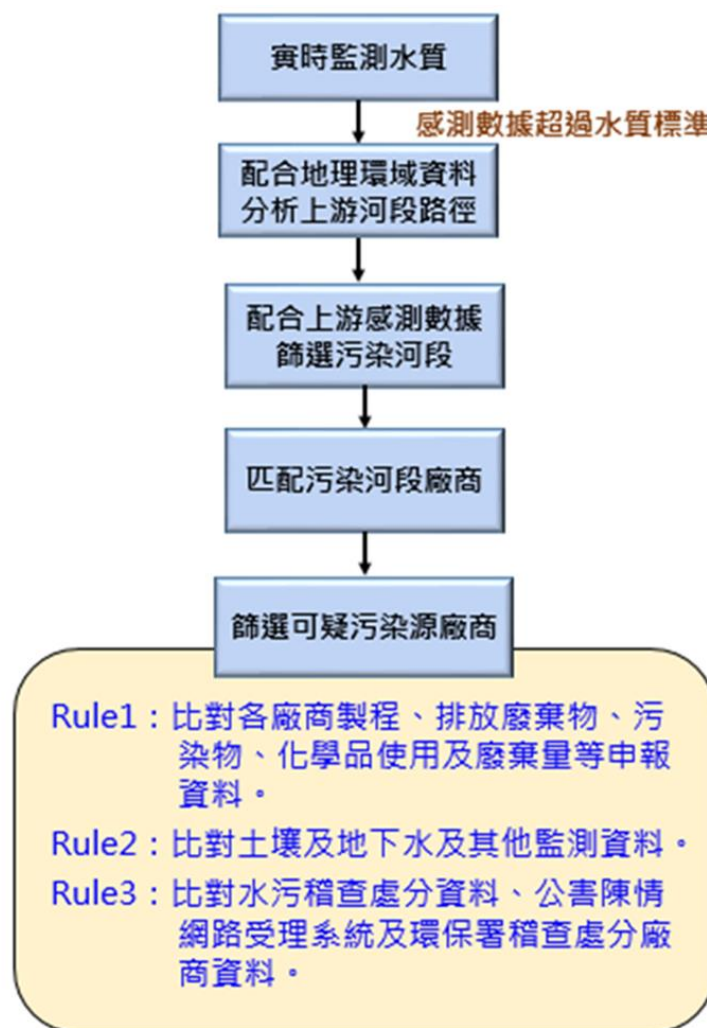


圖 5-27、污染源頭分析步驟圖



圖 5-28、污染源頭分析模組畫面示意圖

(4) 污染熱區分析模組

在進行污染稽查的同時也必須兼顧下游水質狀況，故本污染熱區分析模組即是為避免污染範圍擴大所開發之模組，使用了類神經網路分析軟體 Weka 進行污染模擬分析，污染熱區規劃架構請見下圖 5-29，分析出之結果將分為四個種類，「污染到達下游敏感地區之時間」、「最大污染濃度之數值」、「最大擴散污染區域」、「污染濃度將會持續或超過安全現值之時間」。當污染狀況發生時，監控中心在完成任務派遣之工作項目之後，使用此模組進行污染擴散模擬分析，及早預測污染往下游之擴散流向，並直向連結水門聯絡網，將污染分析數據預警通知書傳達於水門管理單位，建議水門管理單位何時關閉水門並且何時可以再度開啟水門。

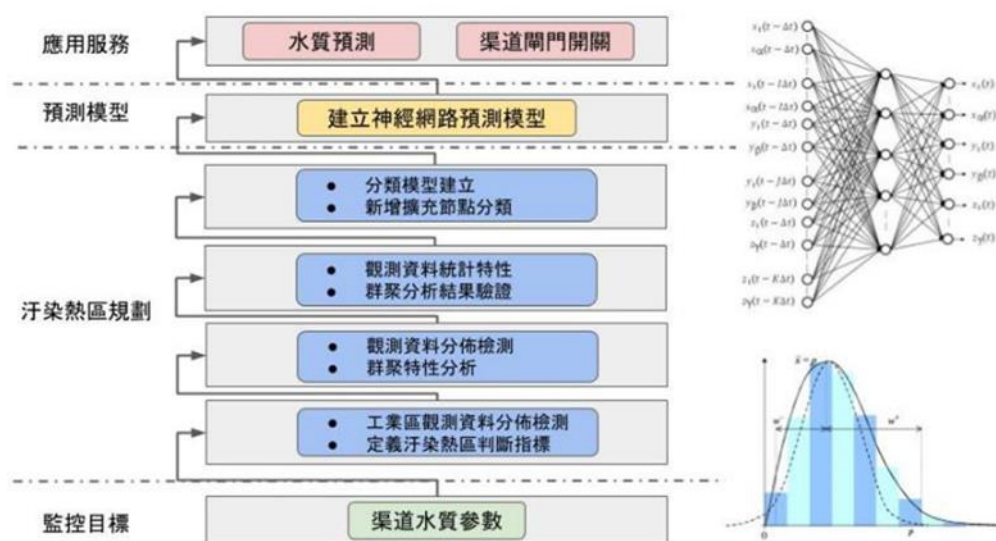


圖 5-29、污染熱區規劃架構

(5) 樹脂縮時膠囊布建模組

監控中心不只有在即時監控區發生狀況時派出稽查小組，為了強化監控中心對於該管轄範圍之水質的掌控，除了固定設置微型感測器之點位，流域中時常發生污染排放現象之地點，可使用成本較低之離子交換樹脂縮時膠囊進行記錄，由於樹脂縮時膠囊布

建方式簡單且不需耗費電力，可使監控中心掌控週末以及夜間工廠排放之狀況，樹脂縮時膠囊之布建計畫由監控中心人員進行規劃而布建工作則由稽查小組人員執行，回收之樹脂縮時膠囊則由稽查小組人員回收至監控中心，由監控中心人員進行檢測以及數據記錄。

(二) 稽查小組

稽查小組負責進行任務的執行，而資料分析及計畫擬定由監控中心負責，稽查小組便是實現任務目標的工作團隊，稽查小組無稽查任務時主要進行樹脂縮時膠囊之建置與回收以及定期巡邏，而當監控中心發出稽查任務時則立刻往任務地點進行稽查任務。以下說明任務流程圖、每一組稽查小組車上必須配備之裝備以及即時行動稽查車輛配置原則。

1. 稽查小組任務流程

沒有污染稽查任務時，稽查小組也仍須前往流域現場進行定期巡邏，主要任務為觀察轄區內水質情形，透過色度或簡易手持設備確認水質是否落在安全範圍，另外也可於定期巡邏之期間進行樹脂縮時膠囊之布建及回收工作。

一旦收到由監控中心傳來的任務單，便啟動如圖 5-30 之即時行動稽查流程，完成當下之工作之後即刻出發前往稽查現場，抵達後使用搭載了水污染行動稽查 APP 之智慧型裝置之照相及錄影紀錄功能，將現場狀況記錄於 APP 上，同時使用手持式水質檢測儀以及重金屬檢測儀完成水質檢測並且記錄於 APP 之任務報告書中，若現場污染狀況超出簡易水質檢測儀以及重金屬檢測儀之功能，則先針對簡易的水質作檢測記錄，而後使用簡易的採樣儀器將樣本帶回研究室進行後續研究。稽查任務結束後可直接使用行動稽查 APP 上傳任務報告書於雲端，不需再另外做紙本記錄，若有必要則進行樹脂包之布建與回收，監控中心可同步觀看任務報告書，並將任務報告書之內容視為進行下一步行動任務指派分析的指標。



圖 5-30、即時行動稽查流程

2. 稽查小組配置

稽查小組人員為所有工作人員輪班擔任，平時無任務時會於監控中心待命及器材保養整備，而監控中心規劃布建於重點污染源密集區，平時將會派遣 2 到三組稽查小組人員進行定期流域巡邏及樹脂縮時膠囊布建計畫，各組巡邏地點鄰近工業區以及水質時常發生異常之區域，當有稽查任務發出時便可迅速抵達現場。

3. 即時行動稽查車配置設

為了迅速完成稽查任務並提高機動性，即時行動稽查車裝載之配備必須以可攜式之微型設備為主：

(1) 手持式多功能水質檢測儀

為了提高稽查效率，規劃選用方便攜帶之手持式水質檢驗設

備，並且採用可由電池供電之設備，因應稽查時周遭環境通常不具備可用電之條件，檢驗設備必須搭載的功能有可檢測 pH、溫度、導電度、懸浮固體、COD、銅離子自由氯及總氯、總鹼度、硬度、銅、二氧化氯、氟化物、硫化物…等等數據，未來若有其他必須檢測之品項也可再增加，為了因應野外及黑暗狀況，檢驗設備也必須搭載背光的 LCD 螢幕以方便讀取數據，以及防水、防震與防塵之加值功能。每一台行動稽查車皆須配備同樣的水質檢驗設備。

(2) 手持式水質重金屬檢測儀

不同於一般多功能水質檢測儀，重金屬檢測儀必須可以檢測出鉛、汞、銅與鎘等等常見之排放污染物質以及河川污染物質。未來若有其他必須檢測之品項也可再增加。每一台行動稽查車皆須配備同樣的水質重金屬檢驗設備。

(3) 水質採樣設備

當稽查人員認為現場狀況超出手持式多功能水質檢測儀能檢測的範圍，並需要保全證據時，除了進行一般簡易型的水質檢測，同時進行水質採樣，因不能立刻全面性檢驗，水樣需以適當方法保存以延緩其變質。保存的方法包括 pH 值控制、冷藏或添加試劑等，以降低生物性的活動及成分之分解、吸附或揮發等。

為了使水樣適當保存，水質採樣設備必須配備：能平穩固定水樣瓶的保溫箱、冰塊、採樣器、樣品瓶（塑膠瓶、玻璃瓶、透明/棕色）、滴管、量杯、洗滌瓶、蒸餾水、硝酸/硫酸。

(4) 離子交換樹脂縮時膠囊布建設備

於疑似污染源進行影音記錄、水質檢測的同時，本報告規劃與台大生物環境系統工程系合作，使用其開發之「離子交換樹脂縮時膠囊」，於疑似污染源頭進行以及污染關注區域布建，離子交換樹脂縮時膠囊為台大范致豪教授所研發，相較於傳統重金屬檢測耗

費高成本並需耗時兩天，樹脂縮時膠囊成本造價便宜並且只需 3 分鐘便可取得檢測結果。為了追蹤疑似污染源頭日後是否持續排放污染源以及記錄排放週期，完成水質檢測之流程後，若此污染源頭為第一次訪查，則進行樹脂縮時膠囊之布建，布建位置為排水口，布放之時間與規律則由監控中心決定。

(5) 雲端車隊管理系統之導航任務接收機台

稽查小組之車輛必須配備具有雲端車隊管理系統之平板放置於駕駛前方，雲端車隊管理系統具有 GPS 定位設備，可即時於雲端觀看各個行動稽查小組所在位置，並且同步紀錄車輛行進路線可供日後查詢使用，當監控中心派出任務時，同步設定目的地座標於派遣系統並且偵測目前車輛所在位置，當行動稽查小組接下任務後直接開始導航，使行動稽查小組能再前往任務的途中可保持行車安全，不需要邊使用手持行動稽查 APP 邊進行危險駕駛，在保護水資源的同時也保障稽查人員之人身安全。

(6) GPS 定位系統

使用雲端車隊管理之 GPS 定位系統，可記錄車輛歷史行進路線更日後查詢，也可同時觀看其他車輛目前之詳細點位。

(7) 路徑規劃功能

使用 GIS 地圖資訊系統，搭配路徑規劃功能，導航功能必須具備離線功能，使行動稽查小組深入至收訊不佳之腹地時仍舊能順暢使用導航功能，導航的過程同時播放語音導航以及測速照相機警告等常見功能。

(8) 任務地點派遣功能

可由監控中心發出任務派遣單至行動稽查 APP 的同時，發佈車輛派遣任務至雲端車隊管理平板，行動稽查小組之雲端車隊管理系統會顯示有任務需要接受並顯示任務位置以及預計行車時間，

當行動稽查小組之駕駛接收任務之後自動顯示行經行徑路線，駕駛不需再自行操作設定導航，加強稽查之即時性及效率。

(9) 行車記錄器

行車記錄器目前已屬於行車必備工具，配備行車記錄器可在發生有爭議之事故時，為行動稽查小組以及其他用路人多一份證據備存。需配備夜拍功能、廣角 160 度~180 度、解析度 1080P 以上能夠自動偵測疑似撞擊事情並且即時強迫紀錄保留影像資料的 G-Sensor，以及手動保留影像紀錄之按鍵，為了保護放置車上的行動水質檢驗設備，也必須具備停車監控功能。

4. 稽查小組使用之模組

(1) 行動稽查 APP 模組

行動稽查 APP 模組是為了強化現場稽查人員及監控中心資訊串連，可同時調閱廠商靜態資訊與歷史任務記錄、樹脂縮時膠囊布建計畫、以及記錄任務過程及結果並即時上傳雲端回傳於監控中心，減少稽查小組繁冗之文書作業，並使監控中心能依現場狀況做出迅速確實之指令。

(2) 任務報告書

稽查人員無須使用紙筆紀錄，稽查記錄將全程使用稽查 APP 內建之任務報告書功能進行記錄，記錄完畢後將任務書上傳，監控中心便可透過雲端同步收到，任務報告書初步規劃有以下項目必須記錄：

- (a) 記錄時間：系統自動產生。
- (b) 任務組別：根據 APP 登入之身分由系統自動產生。
- (c) 現場影音記錄：限制最多 5 張照片、影片記錄最多 3 筆且每筆不超過 5 分鐘。

- (d) 現場水流之顏色外觀記錄：請稽查人員使用文字記錄，若現場有其他狀況發生也可紀錄於此。
- (e) 檢測數據記錄：初步訂定為 pH、溫度、導電度、懸浮固體、COD、銅離子、銅、鎘、鉛、汞…等等如下圖所示之項目，為了使任務報告書盡量簡潔清晰，檢測數據紀錄表單會如圖 5-31 另開一頁面進行記錄。
- (f) 採樣記錄：若稽查地點現場污染現象超出稽查小組所能檢測之範圍，稽查小組便會將現場水樣採集回去，為方便日後水質檢測記錄，並且告知監控中心將有需要進行深度檢測之水樣，於任務報告書回報是否有採樣，並且必須將檢測數據日後補上。
- (g) 如稽查人員確實有進行採樣則回答是：共採幾瓶，需檢測何種項目？/否）。

任務組別：
桃園B組

日期時間：2017/10/10 10:00
稽查工廠：
達清環保企業股份有限公司

地址：
桃園市蘆竹區長興里南崁路二段142巷37號及39號

現場照片
[Color Swatches: Blue, Grey, Green] +

現場水流之顏色外觀記錄
現場水流呈現深黑色，散發惡臭.....

檢測數據記錄
進入檢測數據記錄表單

是否採樣？
採樣兩管，需檢測XXX物質。

檢測數據記錄表單

PH值	
溫度	
導電度	
銅離子	
CODs	
鉻/六價鉻	
懸浮固體	
氨	
溴	
鉛	
汞	
鎘	

圖 5-31、任務報告書 E 化模組

(3) 資料庫查詢模組

於稽查 APP 內建場廠歷史監測資料以及歷史稽查資料以供現場稽查小組查詢，此模組將結合廢管處之環境保護許可管理系統(EMS)、事業原物料及廢棄物之使用與產出申報資料、事業廢棄物許可及申報資料、重點事業廢棄物（生物醫療、有機廢液、廢酸鹼等等）、環保署之水污染源許可及申報資料、環保署之環保報案中心公害陳情案件資訊、環保稽查處分管制系統(EEMS)、運作場廠基本資料以及本計畫產出之稽查記錄等等，目的在於供行動稽查小組人員可以在稽查的同時以最快速的方法搜尋到相關資訊，因應現場之狀況臨機應變做出判斷，達到稽查任務效益最大化，於此模組稽查人員可以依場廠名稱查詢歷史稽查紀錄，也可以時間歷程查詢歷史稽查記錄，也可回顧各個稽查小組過去完成之歷史稽查任務。

(4) 樹脂縮時膠囊布建計畫

為了幫助監控中心強化對於該管轄範圍之水質的掌控，稽查小組於無稽查任務時進行監控中心規劃的樹脂縮時膠囊布建計畫，此功能可記錄了監控中心發出的樹脂縮時膠囊布建計畫，記錄了樹脂縮時膠囊布建點位以及期程，同時也可設置行事曆通知提醒稽查小組何時該回收樹脂縮時膠囊。

5.2.4 污染熱區分析模組規劃設計

台灣地區由於地狹人稠，經濟成長快速，社會環境大幅變遷，生活的現代化造成各種污染量的急劇上升，市鎮污水、工業廢水、畜牧廢水以及垃圾滲出水大量排入，造成河川水質污染。近年來水質污染事件越加頻繁，導致災難性的環境問題及嚴重的社會問題。當發生水質污染時，最重要的是即時警告下游區域，能夠盡快防範與預警，避免人類及生態環境重大危害。

因此，為了評估污染物的影響及即時展開應變行動，需透過污染熱區模式

模擬快速分析四個問題，方能達到快速評估預警水污染防治工作:

- (一) 污染到達下游敏感地區的時間。
- (二) 最大污染濃度是多少。
- (三) 將造成多大的污染區域。
- (四) 污染濃度將會持續或超過安全現值的時間。

然而，工廠因製造過程產生之廢水，其排放地點不見得會臨近於工廠廠址，有可能透過暗管延伸至較遠渠道排放。而過往傳統的河道模式，由於需要多方面的真實的水文/水理參數來做為河道水床建模，這些參數的取得多半是以人工方式進行測量蒐集與整理，相當耗費人力，且因臺灣河道陡且短，水文變化變化莫測，模擬的可信度也會隨之變低，也因為此方法對於未來計畫大量布建後的場域擴充性較低，現地調查會相當耗時與耗人力。

一、 工作說明

考量未來能夠大量布建的模式擴充性以及準確掌握污染熱區之範圍，以確保後續分析應用之可靠度，因此計劃中將提出一個以神經網路叢集分析功能分析各觀測節點之群聚特性再進一步定義污染熱區之規劃流程。並結合神經網路之分類功能，可自動分析新增之觀測節點是否屬於污染熱區。計劃中使用之類神經網路分析軟體為 Weka。Weka 是以 JAVA 程式語言開發的資料探勘軟體，由紐西蘭懷卡托大學(University of Waikato)的研究團隊開發，起先是被設計為用於分析農業領域數據的工具，現在已被廣泛應用在各種不同領域的數據分析工作。

Weka 為受 GNU(General Public Licence)通用公眾授權條款保護的開源軟體，對於想在自己的程式中應用 Weka 功能的研究或開發人員，可導入 Weka 提供的 API 進行應用。Weka 亦設計有圖形使用者操作介面，方便一般使用者直接進行操作。

使用 Weka 可進行多種的資料探勘工作，包含數據預處理、機器學習分類器、迴歸分析、群集分析、關聯性分析、特徵選擇、特徵可視化工具等。於各種資料

探勘功能中，Weka 也提供數種類的演算法供使用者選擇使用，例如分類器中可選擇貝式網路(Bayes Net)、多層感知器(multi-layer perceptron, MLP)、決策樹(Decision tree)等演算法使用，其中演算法中的各項參數及驗證方法也可以依使用者需求進行詳細的設定。由於 Weka 為開源軟體，若使用者需求的演算法沒有包含在 Weka 的基本配置中，可以透過網路資源，有不同的開發團隊為 Weka 進行演算法擴充與整合，甚至使用者可自行開發新的演算法。



圖 5-32、類神經網路分析軟體_Weka

二、實施方法

建立適當之水質預測模型，方有可能獲得準確之預測結果。而適當模型之建立取決於正確之數值與參數輸入之設定。因此，決定污染熱區之量測節點，並設定為建立預測模型之輸入參數，是獲得準確預測結果之關鍵步驟。以下將具體描述決定污染熱區之流程。

(一) 工業區觀測節點分析

於鄰近工業區之渠道，有較高機率可量測到較高濃度之污染物含量。統

計該區各節點污染物觀測濃度各時段於不同時間解析度下之分布狀況。可進一步定義出觀測濃度之門檻值、濃度超標持續時間以及濃度超標次數，即可判定該觀測節點是否為污染熱區。

(二) 觀測節點群聚特性分析

群聚分析主要是將一群資料，具有相似特性即歸類為同一類別。計劃中將每個節點觀測資料之分佈特性之描述參數，如常態分佈模型模型之平均值與標準差等參數，以神經網路進行群聚特性分析。再進一步找出何種類別觀測節點屬於定義之污染熱區節點。

(三) 觀測節點統計特性

分析觀測節點量測資料之分佈特性，並統計其濃度超標持續時間以及濃度超標次數，若其超標次數與持續時間符合污染熱區之定義，即將該觀測節點之觀測區預定義為污染熱區。以及統計特性進一步驗證神經網路群聚特性分析結果。

(四) 觀測節點分類模型

根據統計特性分析結果，將已知觀測節點進行分類，並建立神經網路分類模型。當觀測節點擴充後即可由短期記錄資料快速判斷該節點觀測區域是否屬於污染熱區。

(五) 預測模型建立

將污染熱區觀測節點之量測資料設定為神經網路模型中之輸入層；將灌溉區域觀測節點之量測資料設定為神經網路模型中之輸出層，建立倒傳遞神經網路模型。輸入層連接隱藏層與隱藏層連接輸出層之權重係數可以梯度法求得。決定出各層權重係數後，及可獲得適用於水質預測之神經網路模型。

(六) 灌溉渠道閘門開關決策

將污染熱區即時觀測資料輸入至神經網路水質預測模型中，即可預測下一時間單位之水質狀況。預測之時間單位取決於建置神經網路預測模型時，

用以建構輸出層之時間稽延(time lag)長度。當一小時內預測結果達警戒程度即控制閘門關閉，待監測水質低於警戒標準，且三小時內預報結果低於警戒程度，則重新開啟渠道閘門。

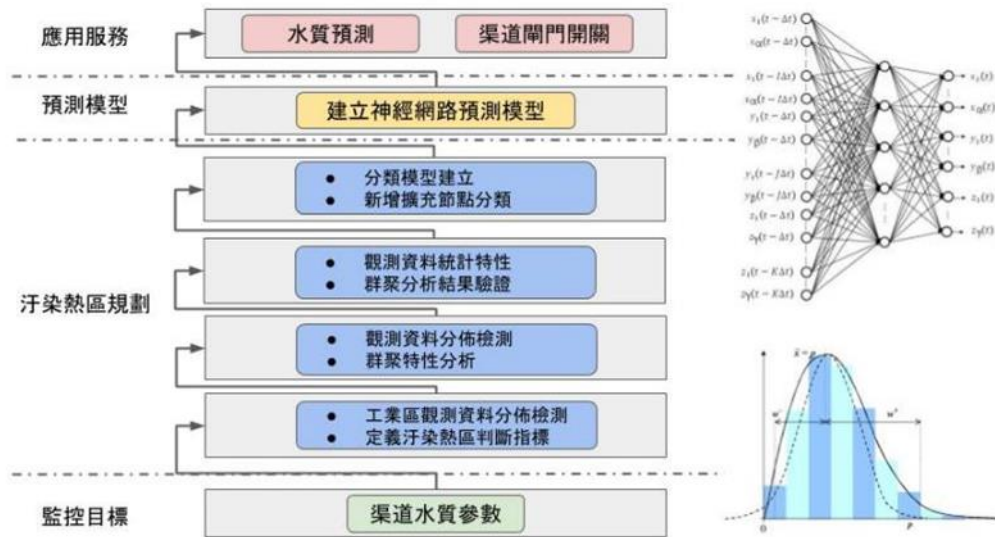


圖 5-33、神經網路叢集分析汙染熱去排程架構

三、 資料測試與參數調整驗證理論與方法

當擴散物質於流體之傳輸方程式有平流(advection)與擴散(diffusion)兩種。平流之質量通量(mass flux, J_{adv})，其定義為

$$J_{adv} = \frac{\dot{M}}{A} = \frac{C \times Q}{A} = C \times u \quad (1)$$

其中， C 、 Q 、 A 與 u 分別為濃度、流量、流體截面面積與平均流速。而擴散之縱向質量通量(Longitudinal mass flux)為

$$J_{dif} = -D_m \cdot \frac{dC}{dx} \quad (2)$$

其中， D_m 為分子擴散係數。此方程式亦稱為 Fick's first law of diffusion 故總質量通量(total mass flux)可表示為

$$J_{\text{tot}} = J_{\text{adv}} + J_{\text{dif}} = C \cdot u - D_m \cdot \frac{dC}{dx} \quad (3)$$

於三維空間之流場則可改寫為

$$J_{\text{tot}} = C \cdot \bar{u} - D_{m,x} \cdot \frac{dC}{dx} \bar{i} - D_{m,y} \cdot \frac{dC}{dy} \bar{j} - D_{m,z} \cdot \frac{dC}{dz} \bar{k} \quad (4)$$

若擴散係數不因為擴散方像不同而有所不同，擴散係數 $D_{m,x}=D_{m,y}=D_{m,z}$ ，則為等向性(Isotropic)擴散；反之，則為非等向性(Antisotropic)擴散。若擴散係數不因位置而改變， $D_m \neq f(x,y,z)$ ，則為均質性(Homogeneous)擴散；反之，擴散係數為物質所在位置之函數，為非均質性(Inhomogeneous)擴散。

取一微小之控制體積，並透過中央差分法(central difference approach)描述控制體積內之各方向淨流量。接著以雷諾傳輸方程式描述控制體積中物質之變化

$$\frac{dB}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{c.v.} \beta \cdot \rho \cdot dV + \int_{c.s.} \beta \cdot \rho \cdot V \cdot d\bar{A} \quad (5)$$

物質之總質量可視為總體性質 $B=M$ ；物質濃度 $C=\beta \cdot \rho$ 為內含性質。因次為 $[M/L^3]$ 。

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{c.v.} C \cdot dV = \frac{dM}{dt} - \int_{c.s.} C \cdot V \cdot d\bar{A} \quad (6)$$

控制體積內之物質總量之變化率等於物質質量本身之變化率與物質總流出量。因質量守恆

$$\frac{\partial}{\partial t} [C \cdot V]_{c.v.} = \frac{dM}{dt} - \sum_{c.s.} \Delta \dot{M} \quad (7)$$

控制體積內，物質質量之變化必定是因為該物質之反應與該物質流入或流出控制體積所造成。一般以反應速率 R 代表物質質量隨時間之改變率：

$$\frac{dM}{dt} = R \Delta x \Delta y \Delta z \quad (8)$$

反應速率 R 之因次為 $[ML^{-3}T^{-1}]$ 。若 $R>0$ ，表示該物質會因為反應而生成；若 $R<0$ ，則該物質會因反應而減少；若物質為守恆性物質，則反應率 $R=0$ 。最後式(7)可表示為

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \left[\frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z} \right] = R \quad (9)$$

將式(4)中之質量通量引入式(9)可得

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot \left(C \cdot \bar{u} - D_{m,x} \cdot \frac{dC}{dx} \bar{i} - D_{m,y} \cdot \frac{dC}{dy} \bar{j} - D_{m,z} \cdot \frac{dC}{dz} \bar{k} \right) = R \quad (10)$$

由於渠道中物質擴散可簡化成一維傳輸，若僅考慮 x 方向，則擴散方程式可減化為

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_x \frac{\partial C}{\partial x} = D_{m,x} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + R \quad (11)$$

根據中央差分法時間與空間之微分項可表示為

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{C(t+\Delta t, x) - C(t-\Delta t, x)}{2\Delta t} \\ \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{C(t, x+\Delta x) - C(t, x-\Delta x)}{2\Delta x} \\ \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{C(t, x+\Delta x) - 2C(t, x) + C(t, x-\Delta x)}{(\Delta x)^2} \end{cases} \quad (12)$$

假設物質於渠道傳輸過程為產生額外之反應，假設反應速率為 0 。接著以中央差分法將式(11)離散化可得

$$\begin{aligned} \frac{C(t+\Delta t, x) - C(t-\Delta t, x)}{2\Delta t} + u_x \frac{C(t, x+\Delta x) - C(t, x-\Delta x)}{2\Delta x} \\ = D_{m,x} \frac{C(t, x+\Delta x) - 2C(t, x) + C(t, x-\Delta x)}{(\Delta x)^2} \end{aligned} \quad (13)$$

式(13)整理簡化後可得時空間序列模型

$$C(t + \Delta t, x) = C(t - \Delta t, x) + 2\Delta t \left[\frac{-u_x}{2\Delta x} + \frac{D_{m,x}}{(\Delta x)^2} \right] C(t, x + \Delta x) - \frac{4\Delta t D_{m,x}}{(\Delta x)^2} C(t, x) + 2\Delta t \left[\frac{u_x}{2\Delta x} + \frac{D_{m,x}}{(\Delta x)^2} \right] C(t, x - \Delta x) \quad (14)$$

但由於實際量測時，感應子布放位置並非相當密集，且感應子之量測取樣也達一小時，並非數學模型中之極小間距。因此以時空間序列模型建構預測模型時，可考慮引入較長時間稽延與較多觀測點位之資料，以提升預測準確度。故應用於實際資料預測中使用之模型為

$$C(t + \Delta t, x) = \sum_{i=0}^I \sum_{j=-J}^J \phi_{i,j} C(t - i\Delta t, x - j\Delta x) \quad (15)$$

類神經網路是一種生物神經元模型，且經常被使用描述系統輸入與輸出間之關係。此系統可由很多個可計算單元組成，可平行建立且其組成架構與生物神經元相似。神經網路之典型組成樣態包括計算單元、網路拓撲架構與學習演算法。其中，有幾種不同型式之類神經網路其中倒傳遞(feedforward)多層(multilayered)具誤差導傳遞演算法之監督式神經網路，由於其單純性是目前較被廣為使用之神經網路學習模型。

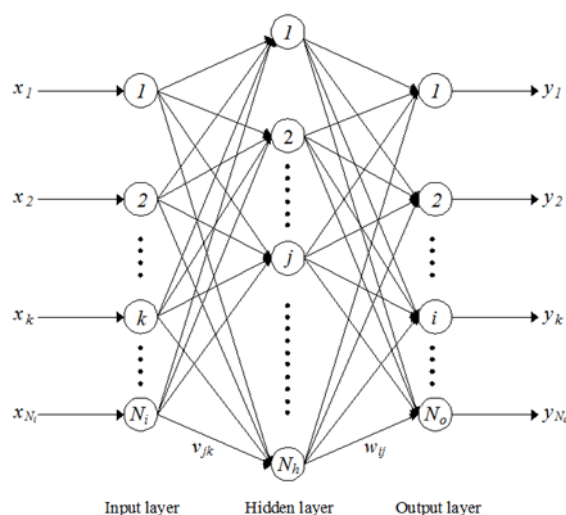


圖 5-34、倒傳遞神經網路

圖 5-34 為倒傳遞網路架構，包括一個輸入層、至少一個隱藏層與一個輸出層。每層之節點均與鄰近層之節點相連。在考慮一層隱藏層之條件下，輸出節點與輸入結點之相關數學表示式為

$$y_n(t) = g \left(\sum_{m=1}^{N_h} v_{nm} g \left(\sum_{l=1}^{N_i} \mu_{ml} x_l(t) \right) \right), \quad n = 1, 2, \dots, N_o \quad (16)$$

其中， v_{nm} 為隱藏層與輸出層中神經元彼此連結之權重係數； μ_{ml} 為輸入層與隱藏層中神經元彼此連結之權重係數。 N_i 、 N_h 與 N_o 分別代表輸入層、隱藏層與輸出層之節點個數。 g 為激勵函數(activation function)，可以是現性函數或非線性函數。將式(14)中輸入項與輸出項分別套入式(15)中之輸入層與輸出層之神經元節點。可得

$$C(t + \Delta t, x) = g \left(\sum_{m=1}^{N_h} v_{nm} g \left(\sum_{i=0}^I \sum_{j=-J}^J \mu_{m,ij} C(t - i\Delta t, x - j\Delta x) \right) \right) \quad (17)$$

若激勵函數為線性方程式，則式(15)等價於式(14)。由此可知，此架構下之神經網路模型為較廣義之時空間序列模型。圖 5-35 為式(15)對應之預測神經網路架構。

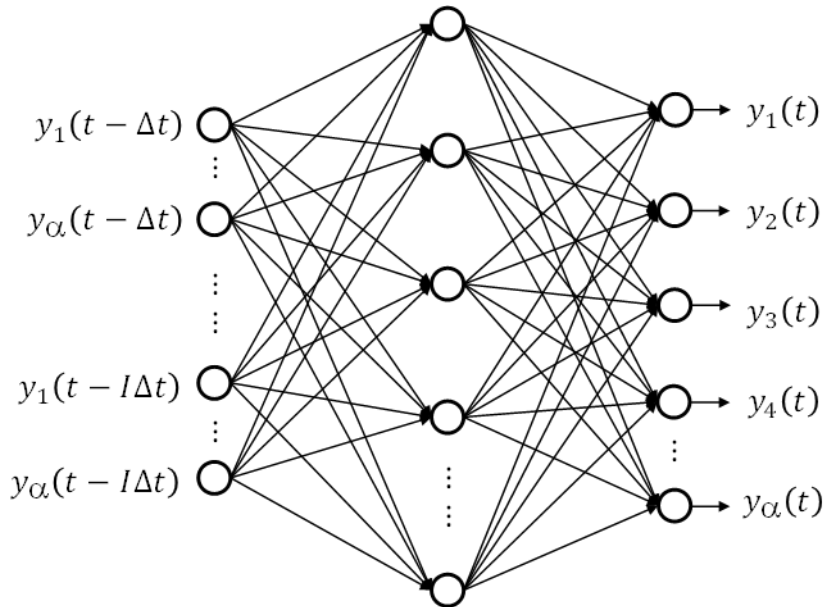


圖 5-35、神經網路預測模型

基於擴散方程式所延伸架構之神經網路模型，進一步應用於觀測水質分析與預測中之資料測試與參數調整驗證方法，須針對現場渠道分佈與流向做進一步規劃。

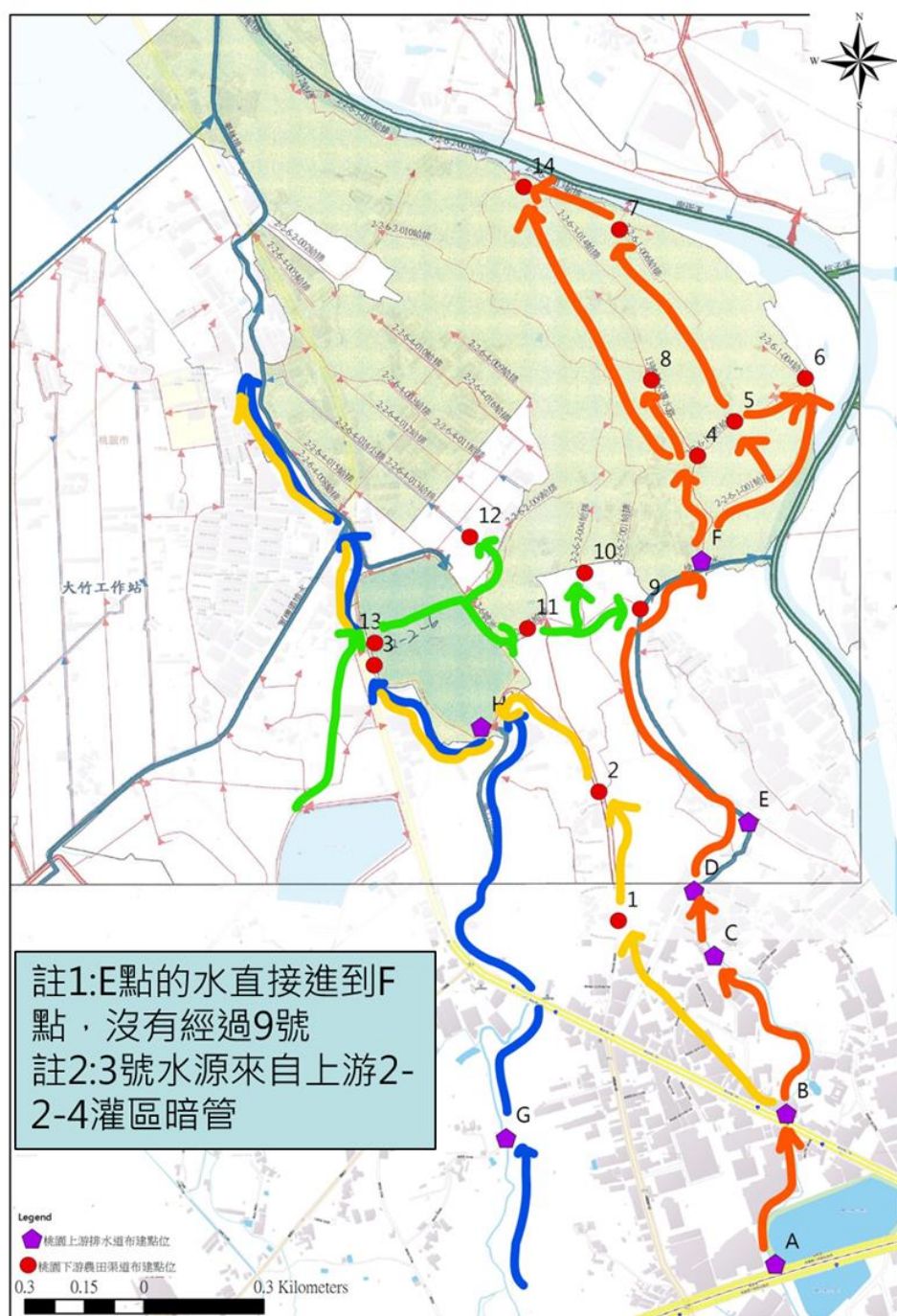


圖 5-36、徐厝排水流域分佈

上圖為桃園流域分布圖。圖中橘紅色線條為當前灌溉渠道之流向。A-D 點為上游經過工業區部分，經由 E 點從 F 點進入灌溉渠道。因此 F 點為關鍵觀測節點，若其濃度過高將進一步控制閘門關閉。故建立之神經網路預測模型將考慮以 A-F 點時間稽延 $t-i\Delta t$, $i=0\sim I$ 之觀測濃度做為輸入層節點，其中 I 最少為 2；考慮 F 點 $t+\Delta t$ 之觀測濃度做為輸出層節點以訓練其預測網路模型。預計測試調整參數概述如下：

- (一) 時間稽延長度影響：根據擴散方程式推導結果，理論之時間稽延長度 $I=1$ 。但由於實際時間取樣為 1 小時。因此須考慮較大之時間稽延長度以降低預測誤差。
- (二) 觀測點位數量影響：理論上之預測模型需有密集觀測資料，但考慮實際監測點位距離，並非理論模型中預期之微小距離與大量觀測點位。藉由評估觀測點位個數對預測結果之影響，可在容許誤差範圍內選擇有限之觀測點位數據以提升分析效率，或建議於適當位置新增點位以提升預測精度。
- (三) 激勵函數選擇：於神經網路中使用激勵函數主要是引入非線性特徵。而常見之激勵函數可選擇 sigmoid、tanh 以及 Relu，函數波形可參考圖 5-37。而於物質擴散監測中，激勵函數對預測結果之影響可做進一步探討。

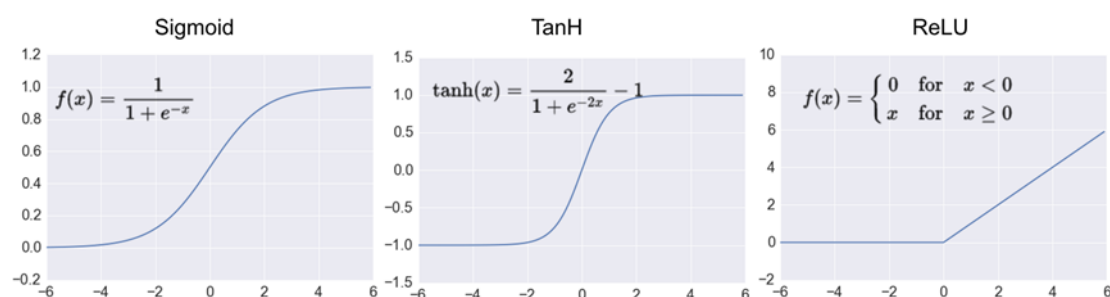


圖 5-37、常用之激勵函數

- (四) 代價函數(cost function)之選擇：於監督式學習中，常用之代價函數選擇包括有誤差均方根(mean square error)與 cross-entropy。其影響之預測準確度與分析速度亦將被進一步探討。

四、 預警預報能力與限制

此預警預報模式是從理論之擴散方程式出發，透過中央差分法離散化得到時空序列模型，再延伸至對應之神經網路模型。此預警預報模式之能力與限制可從推導過程之數學假設進行探討。由於推導過程中均假設時間取樣是在極小時間範圍內，而空間中觀測點位之切割也是考量大量觀測點，點位間距離也是相當小。然而，實際佈放考量成本與實際感應子運作狀態，時間取樣為每小時一筆且目前點位不放也相當有限。因此預測過程成難免會有較大誤差，因此可考慮透過增加輸入之時間稽延長度以提升預測精度。

此模型之預報時間長度設定，可於輸出層中擴充。若是要預報 3hr 後之反應，可於輸出層中增加 $t+2\Delta t$ 與 $t+3\Delta t$ 。隨著時間推移在進行滾動式修正。預計於三小時後預報於超過物質濃度警戒標準之域測量可達 70%。

五、 量測資料初步訓練結果

本工作循著河道，將上游至下游之間的水質監測資料作為訓練資料取出，根據先前推導之理論監測資料為有著時間相關性的資料，在數個監測站的各項參數中，每個時間點往前取一段固定時間長度的資料，將此資料依時間點排序即為時間序列資料。我們將各個測站之各項參數的時間序列資料排列，作為 LSTM-RNN 之模型輸入訓練資料集，訓練目標為預測下游測站下一個或更長的時間點的各項參數的數值。

徐厝排水 F 點位為渠道出水口，其上游觀測點位由上游至下游分別為徐厝排水 A、B、C、D 與 F。為預測渠道出水口之徐厝排水 F 點位之水質狀況。將考慮上游各觀測點位與渠道出水口之觀測資料以建立預測模型。然而，銅離子因 F 點位之觀測值多半為 0 故無法進行訓練，因此預測反應資料將包括 pH、溫度、導電度與 CODs。此外，由於各觀測點之時間取樣並不一致，無法直接輸入預測模型，因此透過 Cubic Hermite spline 進行資料整理與重新取樣，可獲

得 10 分鐘一筆之取樣資料。以 Cubic Hermite spline 可避免於掉包率較高之區間獲得違反資料特性之取樣值。

考慮以時間區間 2017/11/08 00:00:00~ 2017/11/15 14:20:00 之即時感測資料，以訓練 1000 次之結果進行探討。圖 5-38 為觀測 pH 值與預測 pH 值之比較圖。此區段之觀測 pH 值分佈於 7~9 之間。於此時間區間內觀測 pH 值與預測 pH 值之相對誤差平均值約為 0.78%。換言之，由歷史觀測 pH 值建立之預測模型，於此時間區間內之預測結果亦有高達 99%之準確率。

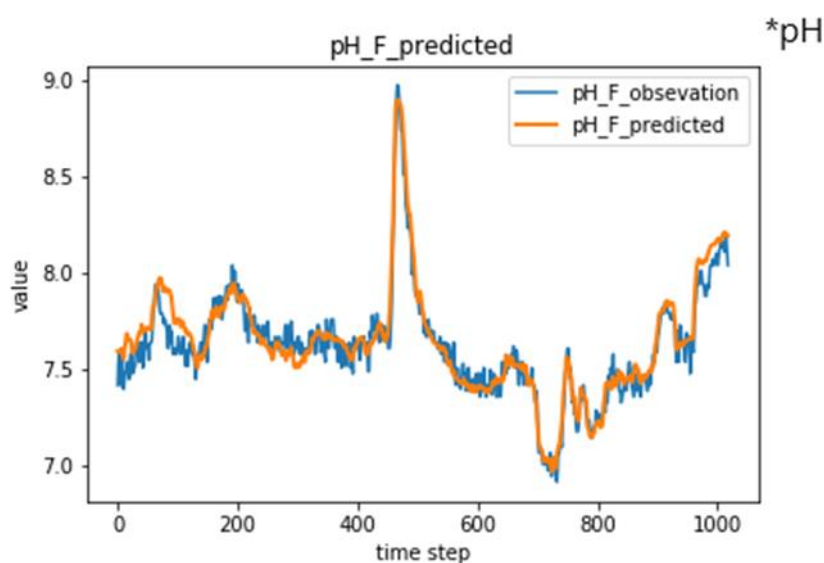


圖 5-38、觀測與預測 pH 比較圖

圖 5-39 為溫度與預測溫度之比較圖。此區段之觀測溫度分佈於 24~33 度之間。於此時間區間內觀測溫度與預測溫度之相對誤差平均值約為 0.868%。換言之，由歷史觀測溫度建立之預測模型，於此時間區間內之預測結果有高達 99%之準確率。

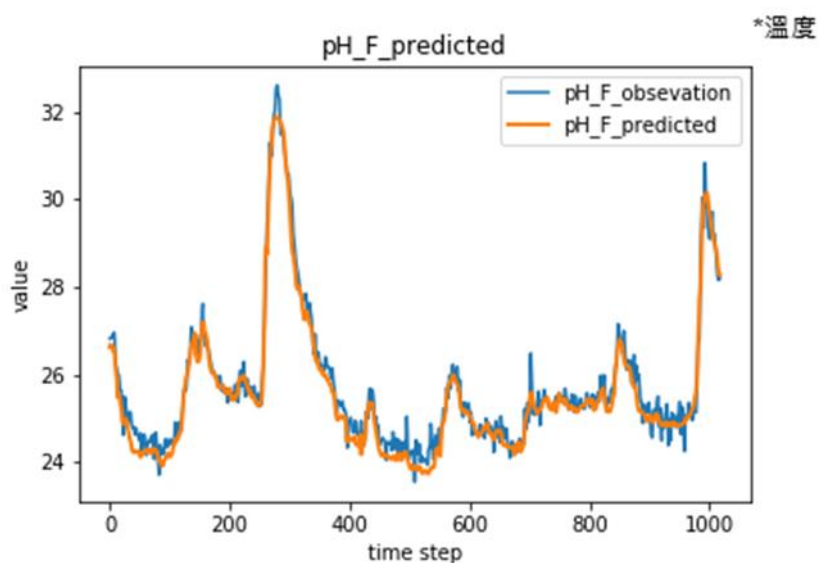


圖 5-39、觀測與預測溫度比較圖

圖 5-40 為觀測導電度與預測導電度之比較圖。此區段之觀測導電度分佈於 600~1700 之間。於此時間區間內觀測導電度與預測導電度之相對誤差平均值約為 1.24%。換言之，由歷史觀測導電度建立之預測模型，於此時間區間內之預測結果有高達 98%之準確率。

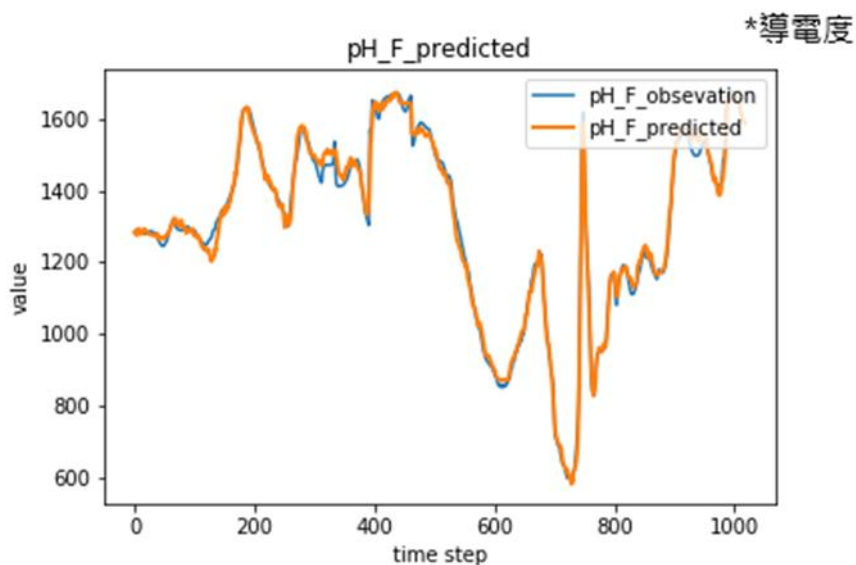


圖 5-40、觀測與預測導電度比較圖

圖 5-41 為觀測化學需氧量 CODs 與預測 CODs 之比較圖。此區段之觀測 CODs 分佈於 25~200 之間。於此時間區間內觀測 CODs 與預測 CODs 之相對誤差平均值約為 17.357%。換言之，由歷史觀測導電度建立之預測模型，於此時間區間內之預測結果約有 82%之準確率。

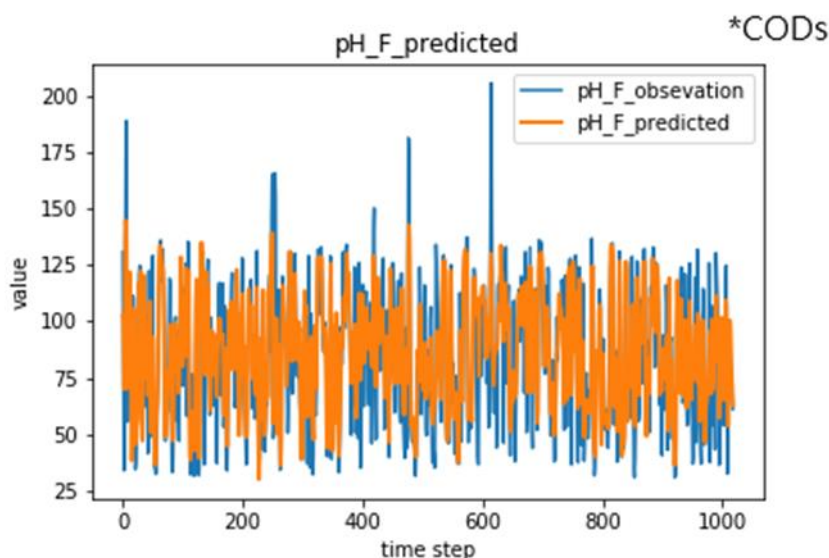


圖 5-41、觀測與預測 CODs 比較圖

為進一步探討訓練次數對預測結果之影響，再考慮訓練次數 100 次之條件下，以觀測導電度資料建立導電度之預測模型。圖 5-42 為觀測導電度與預測導電度之比較結果。於此時間區間內觀測導電度與預測導電度之相對誤差平均值約為 4.287%。考慮訓練次數 100 次時，歷史觀測導電度建立之預測模型，於此時間區間內之預測結果仍有 95%之準確率。

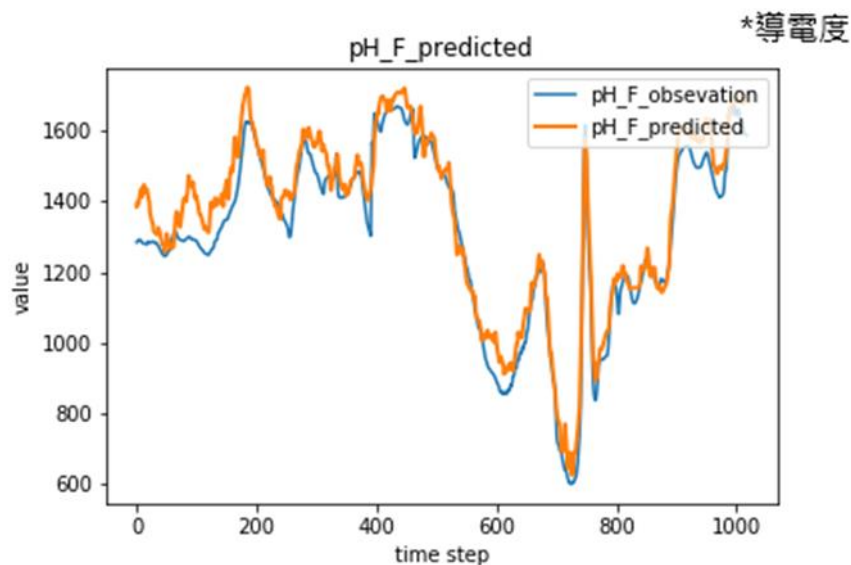


圖 5-42、觀測與預測導電度比較圖(訓練 100 次)

綜合以上初步分析結果，本工作建立水質預測模型，具有高準確度之預測結果。特別是，溫度、pH 值與導電度等可由擴散方程式描述之環境觀測參數。而化學需氧量 CODs 不單反應水中有機物，也能表示水中具還原性質之無機物，如硫化物、亞鐵離子、亞硫酸鈉等。因此，其代表一高度偶合之系統，可能須考慮更複雜之模型方能提升其預測準確度。

六、大數據學習建置結果應用於 GIS 工作圖台

此預測模式預計架構於 WEKA 軟體上，此軟體是由 JAVA 開發之 Open Source 軟體，將進一步被安裝於 GIS 工作圖台上。而觀測點位量測之水質資料寫入預報 GIS 工作圖台上之資料庫中後，將以 JAVA 寫程式呼叫歷史紀錄，並根據 WEKA 之讀取格式排列輸入層與輸出層之對應欄位，接著再呼叫 WEKA 將排列好資料輸入並訓練其預測神經網路模型。而即時量測資料輸入完成訓練之神經網路模型即可獲得目標觀測點位之預測值。圖 5-43 為流程架構圖。

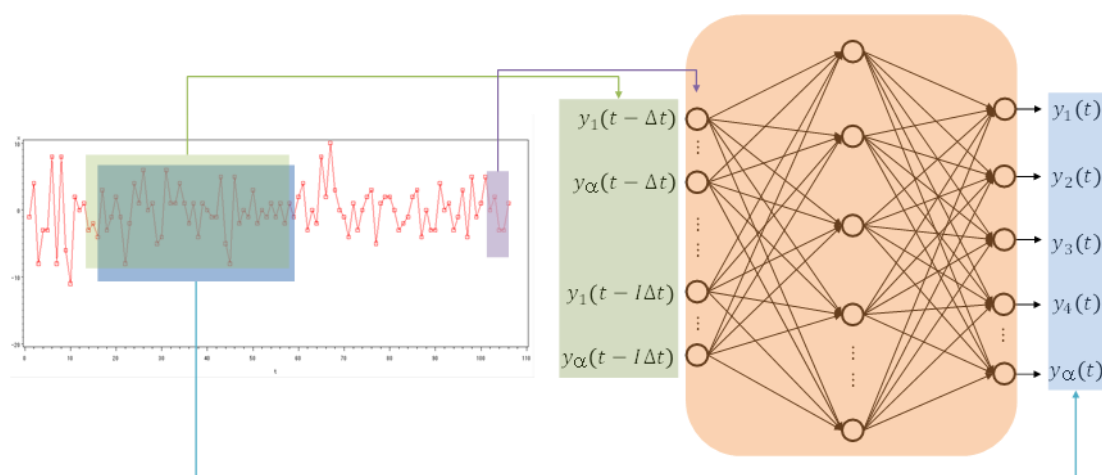


圖 5-43、GIS 工作圖台上之分析流程

5.2.5 小結

今年亦將前一年度規劃水質自動連續監測預警分析模組及疑似污染源頭分析模組建立於系統平台，其中，預警分析模組可於感測器失效或水體偵測項目發生異常情形前提前預警，亦可早期發現水質監測數據異常的時段及濃度；源頭分析模組則於污染發生時，結合動靜態資訊迅速追源至上游，以透過物聯技術發出警訊及啟動應變決策。

此外，本年度也規劃設計「污染熱區分析模組」與「快速稽查 E 化模組」，前者可針對水污染事件發生前，做到污染熱區污染項目預報，以及農田灌溉區水門開關閉之預警功能，作為後續啟動疑似污染源頭與快速 E 化稽查參考。而「快速稽查 E 化模組」可因應現場稽查人員所需的主要資料進行規劃及統整，並利用物聯網概念結合手持式設備，達到快速派遣、稽查、現場分析查詢及即時資料回傳之功能，強化污染事件發生時稽查之有效性及時效性。

第6章、結論與建議

6.1 結論

1. 利用光學法之優勢，針對重金屬濃度檢測，開發整合光子晶體結構之螢光增強膜的無鎘量子點螢光探針，並針對化學需氧量及懸浮固體物的特徵波長與演算模型，建置微型化多波長檢測平台，以及建立多成分定性定量演算法。
2. 以電化學檢測原理為基礎，利用恆電位法對重金屬銅與鋅進行定性定量檢測，開發出網版式電極與分析技術平台，並採用銻錫氧化物薄膜及鉑金屬電極製作酸鹼值、電導度與溫度感測元件，開發出微型化感測晶片。
3. 搜集彙整與微型水質感測器測試驗證方法相關法規標準，並針對微型感測器進行法規標準比較，初步建立微型感測器之品檢/品管/品保制度，並完成檢驗項目選定、檢驗方法確認與各檢驗項目之目標規格訂定。
4. 配合系統原型機之設計開發與製作，完成水質感測訊號前處理模組、抽換式 LoRa 無線通訊模組，以及水樣前處理模組設計開發與製作。
5. 完成 30 套原型機之製作，並透過研析農田渠道分布及流向，及考量農田污染掌握性及上下游物聯網驗證適性規劃及布建，進行 30 天完整測試，並整合布建經驗提出農地物聯網整合系統規劃報告，作為未來水質感測器大量布建時之參考基礎。同時於實驗室模擬 3 種不同應用情境，以現地之標準品與真實樣品進行各 5 重複以上之測試比對。
6. 完成水質物聯網平台開發，包含預警與源頭分析模組，作為水質異常預警及結合動靜態資訊迅速追源至上游，有效掌握水體品質。

6.2 建議

1. 針對目前感測裝置之不穩定性，建議加強電路設計與導入自我校正程序，提高未來感測模組自動化與穩定性之能力。小型化水質監測系統原型機所用之電源，可以尋求太陽能或燃料電池等替代方案，以有效延長原型機維護時間。
2. COD/SS 未來可搭配多波段檢測平台，以利後續實廠廢水之布建與測試。
3. 持續規劃其他國內污染農地潛勢區域，評估其布建可行性及所需水質感測器，以掌握我國水質相關資訊與應用對策。

第7章、參考文獻

- 1、 中華民國科學技術白皮書(民國 104 年至 107 年) -以智慧科技打造永續成長的幸福社會，科技部，中華民國 104 年 6 月。
- 2、 103 年版環境白皮書，行政院環境保護署，中華民國 103 年 11 月。
- 3、 水污染防治措施及檢測申報管理辦法，行政院環境保護署，中華民國 102 年 3 月。
- 4、 水污染防治費收費辦法，行政院環境保護署，中華民國 104 年 3 月 31 日。
- 5、 Murphy, C. J. Peer reviewed: optical sensing with quantum dots. *Anal. Chem.* 74, 520 – A (2002).
- 6、 Zhang, C. Y., Yeh, H. C., Kuroki, M. T. & Wang, T. H. Single-quantum-dot-based DNA nanosensor. *Nat. Mater.* 4, 826 – 831 (2005).
- 7、 Fenzl, C., Hirsch, T. & Wolfbeis, O. S. Photonic Crystals for Chemical Sensing and Biosensing. *Angew. Chem. Int. Ed.* 53, 3318 – 3335 (2014).
- 8、 Homola, J., Yee, S. S. & Gauglitz, G. Surface plasmon resonance sensors: review. *Sens. Actuators B Chem.* 54, 3 – 15 (1999).
- 9、 Chen, Y. & Ming, H. Review of surface plasmon resonance and localized surface plasmon resonance sensor. *Photonic Sens.* 2, 37 – 49 (2012).
- 10、 Wu, P., Zhao, T., Wang, S. & Hou, X. Semiconductor quantum dots-based metal ion probes. *Nanoscale* 6, 43 – 64 (2014).
- 11、 Lim, H. S., Lee, J.-H., Walish, J. J. & Thomas, E. L. Dynamic Swelling of Tunable Full-Color Block Copolymer Photonic Gels via Counterion Exchange. *ACS Nano* 6, 8933 – 8939 (2012).
- 12、 Wei, H., Hossein Abtahi, S. M. & Vikesland, P. J. Plasmonic colorimetric and SERS sensors for environmental analysis. *Env. Sci Nano* 2, 120 – 135 (2015).
- 13、 Boonmee, C., Noipa, T., Tuntulani, T. & Ngeontae, W. Cysteamine capped

- CdS quantum dots as a fluorescence sensor for the determination of copper ion exploiting fluorescence enhancement and long-wave spectral shifts. Spectrochim.
- 14、Baron-Jaimez, J., Joya, M. R. and Barba-Ortega, J., Anodic stripping voltammetry - ASV for determination of heavy metals, Journal of Physics: Conference Series 466 (2013) 012023.
 - 15、Richard J. R., Anthony F. F., Christopher W. S., Samuel P. K., Gregory T. A. K., Microfabricated electrochemical analysis system for heavy metal detection, Sensors and Actuators B, 34 (1996) 450-455.
 - 16、Barendrecht, E., Electroanal. Chem., 2 (1967) 53.
 - 17、Takeda, Humberto H., et al. "Electrochemical sensing of levodopa or carbidopa using a glassy carbon electrode modified with carbon nanotubes within a poly (allylamine hydrochloride) film." Analytical Methods 8.6 (2016): 1274-1280.
 - 18、Lin, W. C., et al. "Electrochemical photocatalytic degradation of dye solution with a TiO₂-coated stainless steel electrode prepared by electrophoretic deposition." Applied Catalysis B: Environmental 140 (2013): 32-41.
 - 19、Chou, C. H., Chang, J. L. and Zen, J. M. "Homogeneous Platinum-Deposited Screen-Printed Edge Band Ultramicroelectrodes for Amperometric Sensing of Carbon Monoxide." Electroanalysis 21.2 (2009): 206-209.
 - 20、Neufeld, Tova, et al. "A micro flow injection electrochemical biosensor for organophosphorus pesticides." Biosensors and Bioelectronics 15.5 (2000): 323-329.
 - 21、Douglas, A., James, F. and Timothy, A. "Principles of instrumental analysis," Instrumental analysis, (1998).
 - 22、廖憶華,「以光學頻譜分析定性及定量廢水水質特性之研究」,國立中央大學環境工程研究所碩士論文,中華民國 95 年。

- 23、鄭禹祥，「COD、SS 及流量即時自動監測系統之發展與建立」，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，中華民國 96 年。
- 24、游佩蓉，「利用 UV/VIS/NIR 吸收光譜同步量測水中 SS、有機物及重金屬之研究」，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，中華民國 98 年。
- 25、Pan, J. Y., Lin, P., Maseeh, F., and Senturia, S. D. "Verification of FEM analysis of load-deflection methods formeasuring mechanical properties of thin films" IEEE Solid- State Sensors Workshop, pp. 70 – 73, 1990.
- 26、鄭立，中華民國 97 年，ZigBee 開發手冊，台北市：全華。
- 27、松井邦彥，中華民國 88 年，感測器應用電路的設計與製作，台北市：建興。
- 28、Barnard, H., Rhoades, B., Wetzel, C., Derr, A., Zaneveld, J. R. V., Moore, C., Koch, C., and Walsh, I. "Real-time and long-term monitoring of phosphate using the in-situ CYCLE sensor, " IEEE Oceans MTS Conference, pp. 1-6, October 2009.
- 29、Cleary, J., Maher, D., Slater, C., and Diamond, D. "In situ monitoring of environmental water quality using an autonomous microfluidic sensor, "IEEE Sensors Applications Symposium Conference, pp.23-25, February 2010.
- 30、行政院環境保護署環境影響評估河川水質評估模式技術規範，中華民國 100 年 11 月 29 日訂定。
- 31、水污染感測器與物聯網資訊展示先期研究計畫，EPA-105-L101-02-A209，行政院環境保護署，中華民國 105 年。
- 32、跨部會化學物質資訊服務平台計畫，EPA-104-J03-02-A216，行政院環境保護署，中華民國 104 年。
- 33、天羅地網—環境資訊暨污染預警監控系統資訊服務計畫委託專案管理，，桃園市環保局，101 年。
- 34、永續物料管理制度推動及系統功能提升專案工作計畫，行政院環境

保護署，中華民國 104 年。

- 35、Picot, O. T.; Dai, M.; Billoti, E.; Broer, D. J.; Peijs, T.; Bastiaansen, C. W. M. A Real Time Optical Strain Sensor Based on a Cholesteric Liquid Crystal Network. RSC Adv. 2013, 3 (41), 18794 – 18798.
- 36、Carvajal, J. J.; Peña, A.; Kumar, R.; Pujol, M. C.; Mateos, X.; Aguiló, M.; Díaz, F.; Vázquez de Aldana, J. R.; Méndez, C.; Moreno, P.; et al. New Approaches for the Fabrication of Photonic Structures of Nonlinear Optical Materials. Spec. Issue Based 15th Int. Conf. Lumin. Opt. Spectrosc. Condens. Matter ICL08 2009, 129 (12), 1441 – 1447.

附件一、「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」案評選會議紀錄

行政院環境保護署「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區
布建驗證」案評選會議紀錄

壹、會議時間：105 年 11 月 23 日（星期三）上午 10 時

貳、會議地點：本署二樓預報會議室

參、主持人：施明德委員

記錄：程凱麟

肆、評選委員會組成：外聘委員人、內派委員人，共計人組成。

伍、出席委員：張委員小萍、吳委員俊哲、柯委員雅娟、施委員明德
委員

編號	審查意見	回覆意見
1	1.P9 分項(四)專利如何能在 106 年內完成申請?尚未列入 P91 之工作進度? 2.超過環境標準時，是否有實驗室比對的規劃? 3.預期之微流道系統之開發是否列入本計畫，以導入樣品前處理裝置，來執行預濃縮或稀釋，以提高可測的量或降低偵測極限? 4.P7 分項(一)b「評估其量測誤差干擾…」應是干擾導致之量測誤差。 5.農地污染區域布建規劃中提到 105 年原型機為基礎，至少可測 pH、溫度、導電度、重金屬，那麼為何不包括 COD/SS? 6.建議本計畫 105 年之先期計畫成果列入本計畫背景資料	1.感謝委員意見，本計畫於重金屬、化學需氧量、懸浮固體物、酸鹼度、導電度及溫度均有微型化感測器的研發產品，另外，亦針對微型化系統之水樣前處理、電路前處理、通訊模組及微流道均有系統開發產品，預期會在計畫執行過程中針對較成熟且具商業化之技術對台灣、中國、歐盟及美洲等地區提出專利申請，請委員參閱計畫書之計畫工作目標與項目(p.9)及各分項及子項評估基準(p.81, 總計畫評估基準)內均有說明。 2.感謝委員意見，本計畫所有感測器所設定之計畫目標值，均會與相關項目之標準方法進行比對，以取得具有公信力之實驗數據與驗證。 3.感謝委員意見，本團隊針對微系統設計之長期規劃，會在所設計之微流道系統加入稀釋與濃縮前處理系統，可針對不同應用情境，如工業區(高濃度)與自來水(低濃度)等不同高低濃度之環境進行環境監測之任務。 4.感謝委員意見，本團隊遵照辦理，將於計畫書中進行修正。 5.感謝委員意見，COD 與 SS 暫不納入之理由說明如下： (a) 本團隊有幸於 105 年度承接環保署招標之「水污染感測器與物聯網資訊展示先期研究計畫」，該計畫於今年度以微流道系統為基礎，設計同時可測定 pH、溫度、導電度、重金屬(銅)之感測系統，COD 與 SS 尚未納入設計； (b) 由於本計畫今年需佈建之場域為農地污染潛勢區，所需監測之區域以灌溉渠道為主，COD 與 SS 在該場域之污染情形並不常見； (c) COD 與 SS 為明年度(106)才會進行開發之感測項目，因感測技術開發需要半年以上之時間，考量現場 30 台原型機之布建從規劃地點、機台設計製作、現場布建、操作維護到資訊收集均需於上半年就進行規劃，在時效上恐有不及。 6.感謝委員意見，本團隊遵照辦理，將於計畫書中進行修正，請委員先行參閱計畫書之表 7.2(p.101)中「水污染感測器與物聯網資訊展示先期研究計畫」之團隊實績說明部份。
2	1.水質監測部份，請進一步對可檢測範圍、干擾物質以及不同檢測項目間之境懾作用等再作說明。 2.QAQC 部分請再說明詳細作法，例如是否以 NIEA 方法進行比對測試等。 3.水質感測器系統之水流量需求請再說明。	1.感謝委員意見，由於本團隊長期規劃之微感測系統會包含不同情境所需之前處理系統、稀釋與濃縮系統與微型化感測器，因此可針對不同濃度與污染物之區域進行最佳化配置，達到其環境監測之需求。 2.感謝委員意見，本團隊針對微型水質感測器品檢/品管/品保之作法，初步將參考相關的國內法規(例如：NIEA W425.50C 水之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法 - 自動監測設施法)與國際標準(例如：ISO 15839, Water quality - On-line sensors/analysing equipment for water - Specifications and performance tests)，選定檢驗項目並確認檢驗方法之適用性，與標準方法進行比對測試，經由檢驗所得到之數據統計結果，可用來評估微型水質感測器之性能與規格，作為後續品保品管制度建立之基礎。 3.感謝委員意見，本團隊目前水質感測器系統之水流量需求為每次採樣 1mL，未來會持續精進，希望能將系統整體周邊之採樣水樣、藥劑用量及清洗水量同步降低，以降低整體系統設計體積與耗電量。 4.感謝委員意見，本計畫考量未來產品可應用在不同情境，因此

	4.對不同通訊技術，請再說明干擾或限制條件為何？ 5.全案經費運用分配上，人事費用比例頗高，且尚包含派遣人力，請進一步說明人力運用情形。	針對逐年實場存在的條件而評估開發適用的通訊技術；受限於無線必然的物理限制，例如高頻率傳輸速率快但穿透力低，低頻率傳輸距離遠但傳輸速率較低，因此各種通訊技術都是為了不同情境需求所誕生，是在傳輸距離、速度、耗電量之間作平衡，例如：藍芽是做為短距離中速率低耗電應用，如電腦周邊、穿戴式裝置產品；Wifi 無線網路是為了短距離高速率設計，但耗電量較高；3G/4G 是為了中高速長距離設計，但耗電量更高，無法連續長時間使用。因此，本團隊必然會將不同應用情境之狀況納入布建考量，在執行時加強注意相關的干擾與限制條件。 5.感謝委員意見，本計畫因屬研發型計畫，因此針對感測器研發之人力負擔需求較大，各計畫所需之人力配置與需求請參閱計畫書之「分項計畫經費需求概算」(p.95)，另外，由於本計畫需進行原型機之現場布建，從原型機裝機、操作維護與現場問題排除均有大量現場駐守時間之需求，本計畫所需之派遣人力即主要針對此部份進行支援，但同時亦會支援本計畫相關研發之進行，預計會分別由材化所與綠能所進行聘用。
3	1.農地污染之重金屬管制項目有 8 項，除銍金屬以外，本計畫選擇其中兩項作為偵測元件開發的對象，建議能具體說明何種金屬且較高優先選擇性，未來如何兼顧不同金屬選擇性、準確性及長期穩定性 (durability)。 2.量子點材料可考量 GaP 的運用，另碳材的選用也可考量使用 graphene oxide 的可行性。 3.野外環境光學量測元件使用紫外光源的環境干擾性較高，未來如何克服？ 4.污染場址監測元件布建原則及污染重金屬在入流水與土壤吸附眾金屬之關連性。	1. 感謝委員意見，本團隊說明如下： (a) 建議量子點以銅離子為標的污染物，另外，電化學感測器部份則以銅離子與鉛離子為標的，相關實驗室測試數據較多，較易展現成果； (b) 部分官能基對特定重金屬離子具高親和力，可將其修飾於量子點表面，以進行特定重金屬選擇性吸附，如巯基丁二酸對銅離子有高親和性，可應用於辨識水中銅離子； (c) 電化學偵測方法的開發中，一般來說容易受到水體樣品裏之高濃度負離子干擾，造成金屬離子之濃度定量結果產生異常偏移或甚至使得電極失效，故因此在微流道系統中加入離子交換以及離子吸附程序，以避免高濃度負離子對分析程序產生影響，以此提升分析模組本身的準確性以及長期穩定性。 2. 感謝委員意見，本團隊說明如下： (a) 非鎘量子點中，GaP 與 GO 目前仍存有量產不易、量子效率偏低等缺點，仍屬前瞻性材料研究； (b) 本計畫會持續關注相關材料進展，並評估其應用可行性。 3. 感謝委員意見，本團隊在光學部份會針對兩個方向進行感測器強化的設計，說明如下： (a) 本團隊針對微型光電感測元件部份納入「紫外線增強光學反射鍍膜技術」，預期可增強市售紫外光源之強度，增進光學法量測之靈敏度； (b) 本團隊針對 COD 及 SS 所開發之多成分定性定量演算法，具有同步考量小顆粒光學貢獻之功能，可將環境中之顆粒干擾納入考慮並加以計算扣除，同時獲得 COD 與 SS 之數據。 4. 感謝委員意見，本團隊布建原則是以桃園市高風險污染潛勢農地為主要涵蓋對象，以海峰大橋為中心 2 公里內，結合縣市地理資訊系統(GIS)及農田水利會灌溉渠道系統，以取水口、制水門、分渠水門、放水門及攔河堰等進行定位，目前已初步與桃園市環保局討論並訂定 30 處布建點位，後續將進一步與署內溝通確認。由於農地灌溉渠道較一般河川水質複雜，土壤會吸附入流水之重金屬，且其渠道非單純的上下游關係，此外，污染為非點源，可能發生多處同時有超標情形，因此，在水質物聯網預警、源頭追蹤等模組應用上，本團隊將納入空間與時間分析概念模式，綜合考量並進行適度調整。

4	1.有關微型水質監測元件，可偵測重金屬為哪些?體積為何?耐用度?固定方式? 2.本案之風險為何請說明，及如何避免或降低。 3.農地污染 IOT 之軟硬體架構請說明(監測元件布署方式及密度) 4.水源源頭分析功能 10 項有哪些請說明資料來源是否均已備妥。 5.由於水質監測多樣污染，建置設備是否模組化，希望能達成設備有效性、放置安全性及成本合理性。 6.本案期程很短，期中及期末報告期能及早提供對本案後續審查有助益。 7.成本分析中對監測設備通訊費用補充說明。	1. 感謝委員意見，本團隊說明如下： (a) 本團隊目前之原型機種可量測之重金屬為銅離子，但目前放流水標準之八大重金屬中，已有針對銅離子與鉛離子進行相關感測技術的開發，未來會配合署內朝其他物種進行感測技術之後續研發； (b) 目前所開發之感測元件體積為 85mmx75mmx7.5mm，與其他通訊、採樣及電力系統利用壓克力板固定於同一支架內，而外觀體積則委託專業設計公司製作，同時具有時尚感、完全防水、隱蔽性與安全性。 2. 感謝委員意見，本團隊針對本計畫可能遭遇之困難，說明如下： (a) 在重金屬量子點開發部份，因量子點易受水體中其他離子干擾，影響特定重金屬離子感測結果。藉由修飾對特定重金屬具高親和性之官能基，進行高選擇性吸附，以降低感測干擾。 (b) 現場原型機的布設，易受現場地形地物的不熟悉、人為蓄意破壞與天然災害等因素造成毀損，本團隊在布設點之選擇會充分與環保署及相關主管機關作積極的聯繫與溝通，儘量避免人為選點不良與隱蔽性不足等問題；而本團隊亦會密集注意環境變化，針對天然災害如颱風、暴雨等事件，事先進行布設點機台之維護與相關必要防護措施之進行，以避免無謂之損害。 3. 感謝委員意見，監測元件將以 105 年先期研究計畫開發之水質感測器原型機為主，布署方式將以近五年新增列管農地最多的縣市-桃園市作為示範場域，以海峰大橋為中心 2 公里內布建 30 點位，涵蓋高污染潛勢農地，以取水口、制水門、分渠水門、放水門及攔河堰等進行定位，目前已初步與桃園市環保局討論並訂定 30 處布建點位，後續將依據環保署確同意後的點位進行布建。 4. 感謝委員意見，水質污染源頭分析目的為當下游感測器監測項目超標時，得以快速結合動態監測資料及靜態廠商資訊與河川資訊等，以追蹤上游污染源，10 項分析功能包括：(1)事業機構名稱或管編關鍵字、(2) 環保列管情形、(3) 稽查情形(一年內是否有稽查、告發、處分)、(4)行業別、(5)製程、(6)原料、(7) 許可的水質項目、(8) 污染點的上游處、(9) 稽查查處情形(10) 稽查時間區間等。105 年先期研究計畫已盤點靜態環境資料庫資料內容，將於 106 年計畫執行期程持續與部會溝通及蒐集。 5. 感謝委員意見，本團隊所開發之感測器、通訊裝置及相關前處理系統亦規劃以模組化設計為主，以因應未來之研發進度與不同場域需求，可快速進行模組的更換，降低系統更新的時間，亦具備更高的應用性；此外，本團隊亦有委託設計公司進行專業開發，未來在感測器外觀設計與現地裝置的問題會與環保署進行充分溝通後進行設計與改良。 6. 感謝委員意見，本團隊遵照辦理，將於計畫書中進行修正。 7. 感謝委員意見，本團隊說明如下： (a) 若採用 GSM/3G 通訊技術會有衍生出的通訊月租費，但由於監測系統傳輸封包量小，因此可與行動數據網路業者租用低流量 SIM 卡，每個監測點估計約在 NT100 元/月； (b) 若使用例如 LoRa、ZigBee 之區域無線通訊技術，一個區域內的監測點資料會集中透過 gateway 傳出，因此僅需單一點
---	---	--

		固網或行動網路即可將資料傳出，因此通訊費用相對會低很多。
5.	1.重金屬可檢測濃度僅高低於放流水標準，未來應用該數據恐有爭議，建議應下調偵測極限。 2.監測器之布建應考量傳輸、防盜、sensor 現地清潔等問題。 3.另監測點布建宜與桃園市環保局討論，與該市既有天羅地網計畫進行合作，另選擇桃園市之原因宜說明。 4.建議工研院除硬體技術開發外，宜同步建立其 business model，加強服務模式之建立。	1. 感謝委員意見，本團隊針對各物種感測器之開發期程，均會依照技術開發的成熟度，逐年由高濃度往低濃度開發，未來對感測技術之規劃會下修至自然水體之標準，適應各種不同情境之需求。 2. 感謝委員意見，本團隊說明如下： (a) 監測器可透過防盜開關等設計，當觸發時直接透過無線發送警報狀態，亦或是當無線斷線時後台監控系統亦可得知斷線狀態，啟動相關應對程序，例如現場警報、設備鎖定等設計功能； (b) 本團隊所開發之微系統在今年度計畫之執行具有自潔系統之設計，因其屬於「微型」系統，所需之採樣水樣、藥劑用量及清洗水量均不高，對現場污染情況極低，但仍感謝委員之提醒，未來在設計與驗證感測器功能時會一併納入考量。 3. 感謝委員意見，本團隊挑選桃園市是由於其列管農地總數多，其在全國各縣市統計列管農地排名第二(34%)，在近五年新增列管農地排名第一(46%)。而布建點位已初步與桃園市環保局討論並訂定 30 處，在應用及整合上亦達成初步共識，未來將持續與各主管機關溝通，以利於後續合作及推動。 4. 感謝委員意見，本團隊針對產業推廣之說明如下(請參閱計畫書 p.87-88)： (a) 透過本計畫之執行可加速國內智慧監測與雲端服務產業、並建立新興水處理服務商業模式，達成科研創新轉化、永續綠能環境、產業科技加值、幸福多元社會之最終目標 (b) 透過國內運用模式與經驗，有效輸出相關技術與服務至東南亞與大陸地區，提升產業競爭力、創造更大產值與增加就業機會。

附件二、「水質感測物聯網應用技術研發及 農地污染潛勢區布建驗證」啟動會議會議紀 錄

「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」啟動會議會議紀錄

一、時間：106 年 1 月 23 日（星期一）14 時

二、地點：本署 2 樓預報會議室

三、主席：張處長順欽

記錄：程凱麟

四、出（列）席單位及人員：詳如簽名單

五、主席致詞：(略)

六、計畫執行單位簡報：工研院（略）

七、審查意見：

(一)秦委員靜如

- 1.多數 COD/SS 光電感測感測系統針對廢污水，測值較高，不知此技術如欲運用於灌溉水系統，水質較佳的系統偵測極限約為何？
2. 106 年目標(原型機):溶解性銅是不限分析技術亦或光學與電化學均需完成？

(二)王委員俊凱

1. 光學系統與電化學系統整合是如何達成？
2. 表面增強拉曼散射光譜技術(SERS)難度高，實際上如何進行？尤其是重金屬之檢測常仰賴 functionalization。另外，如何進行即時性的測量？(如果可以一再重覆使用，或者是如何替換) 最後選擇的目標物是如何產生的？所選取的銅難度如何？
3. 是否能採用 active 檢測方式？

(三)監資處

1. 新開發之監測項目請全力以赴，依實際開發進度，滾動整合至原型機。

2.現地測試之條件請協助彙整並提供評析意見。

八、 主席結論：

- (一)感測器之重金屬測項開發，請針對各區域常見之水質污染及各項目之可能偵測極限等條件綜整後，選定標的。
- (二) 請協助瞭解目前現有之設計與測項，是否符合在地環保機關之需求。本計畫之研發成果應同時考量環境管理最迫切需求與後續應用與實際效益，以達到產出最大化。
- (三)本計畫項目與經費繁多，請業務科定期與工業技術研究院討論工作進度與研發進度成果，依本案契約書規定，辦理各項工作項目。

九、 散會：16 時

編號	審查意見	回覆意見
1	1. 多數COD/SS 光電感測感測系統針對廢污水，測值較高，不知此技術如欲運用於灌溉水系統，水質較佳的系統偵測極限約為何？ 2. 106 年目標(原型機):溶解性銅是不限分析技術亦或光學與電化學均需完成？	1. 感謝委員意見，目前利用光學法監測水質之線上監測儀器，其大多數之設計參數與理念多以略微高估預測濃度為設計方向，主要是擔心低估污染濃度造成預警不及之現象；未來本工作團隊如需建置在灌溉水系統中，會依據實際建置之演算法訂立時記得偵測極限，如欲濃度過低的狀況，將搭配統計管制法則之導入，針對較低濃度之水質利用其他表示方式(如：安全燈號)達成。 2. 感謝委員意見，FY106 年目標原型機內含有銅離子監測，目前是依據 FY105 年成果建置，係利用離子選擇性電極之方式來達成，後續將視電化學感測電極開發進度逐步將計畫成果導入。
2	1. 光學系統與電化學系統整合是如何達成？ 2. 表面增強拉曼散射光譜技術(SERS)難度高，實際上如何進行？尤其是重金屬之檢測常仰賴 functionalization。另外，如何進行即時性的測量？(如果可以一再重覆使用，或者是如何替換) 最後選	1. 感謝委員意見，工作團隊補充說明如下： (a) 光學系統與電化學系統係屬於兩種不同的檢測系統，在一般大型水質監測系統不易被整合，而在本計畫透過微流體檢測系統的設計，利用分區檢測的概念，將兩種不同系統整合在同一微流體檢測系統中，可以驅使水樣、試劑與清潔用水分別進入不同檢測區域，以實現同時進行光學與電化學檢測，達到多樣化檢測的目的。 (b) 所需要的樣品水體藉由分流後進入檢測子模組中獨立運算檢測，最終運算後的訊號在回到主要整體系統模組中進行最後的校正運算。利用此水平分工，搭配垂直整合概念，可兼具保持各感測子模組之功能最佳化，在彙整到一個最終系統中進行資訊整合及校正演算。 2. 感謝委員意見，工作團隊補充說明如下： (a) 本計畫以奈米光學技術進行水中重金屬離子感測器開發，奈米光學技術包含 量子點、光子晶體、表面電漿共振與表面增強拉曼散射(SERS)等等技術，今年度將以

	擇的目標物是如何產生的?所選取的銅離子感測材料開發 3. 是否能採用 active 檢測方式?	技術成熟度相對較高之量子點進行水中銅離子感測材料開發 (b) 由於奈米光學材料重複使用，有清洗不易並影響後續感測能力問題，故本計畫以發展低材料成本 可簡易使用為目標 (如以色帶方式 使量子點可連續感測水中銅離子濃度)，技術發展暫不考量材料回收再使用 (c) SERS 技術具有可同時檢測多種重金屬離子之潛力，然其材料成本高昂，實務應用上仍需有所取捨；今年度將評估低成本 SERS 技術進行重金屬離子感測之可行性，以為後續感測材料是否應用 SERS 技術之參考 3. 感謝委員建議，現階段控制電路中的微程序控制器(Microprogrammed Control Unit, MCU)為 ARM-based 處理晶片，為一多功能處理器，透過程序控制與功能喚醒機制，亦可達到 active 檢測方式。
3	1. 新開發之監測項目請全力以赴，依實際開發進度，滾動整合至原型機。 2. 現地測試之條件請協助彙整並提供評析意見。	1. 感謝委員建議，工作團隊會依實際開發進度，適時將已成熟之項目，滾動整合至原型機。 2. 感謝委員意見，本工作團隊遵照辦理，本團隊今年規劃將於台中市布建 6 點於農田取水口及渠道，布建處彼此相聚較遠，僅能以 GSM 傳輸數據，並於桃園市布建 24 點分布於排水道、農田取水口及渠道，布建處相距較近，可透過 LoRa 或其他方式傳輸數據。其中農田取水口及渠道較易於布建，可直接安裝於採水處附近，然排水道通常採水處及可行布建處相距較遠，需以較大揚程抽水。

附件三、「水質感測物聯網應用技術研發及
農地污染潛勢區布建驗證」2 月工作進度檢
討會議紀錄

「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」2月工作進度檢討會議紀錄

- 一、 時間：106年2月21日（星期二）10時
- 二、 地點：本署2樓預報會議室
- 三、 主席：張處長順欽(王副處長嶽斌代)
記錄：程凱麟
- 四、 出（列）席單位及人員：詳如簽名單
- 五、 主席致詞：(略)
- 六、 計畫執行單位簡報：工研院（略）
- 七、 會議結論：
 - (一) 實驗場域測試之數據及初步分析比對結果請執行單位於兩星期內提供承辦科。
 - (二) 本計畫開發之感測元件與技術，針對不同應用場域及各單位計畫之連結，可搭配載具或不同平台，朝提升時空解析度及後續效益最大化。
 - (三) 農地高污染潛勢區請就桃園及臺中已完成現勘之地點，配合布設條件及分析應用，提出數量及鄰近關鍵控制點之規劃，內容包括通訊與數據傳輸。
 - (四) 電化學重金屬感測元件，針對銅離子與鋅離子，使用不同工作電極偵測不同重金屬之應用及後續效益較高，請據以辦理開發工作。
 - (五) 計畫聯繫及重要檔案請多使用已建立之群組及雲端硬碟共用，以便掌握時效及分享。
 - (六) 請依合約及計畫進度，加速辦理各工作項目，按時間表提出各季亮點成果，以利推廣運用。
- 八、 散會：11時

行政院環境保護署 會議簽名單

會議名稱：「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建
驗證」2月工作進度檢討會議

時間：106年2月21日（星期二）上午10時

地點：環保署2樓預報會議室

主席：張處長順欽

記錄：程凱麟

出席（列）席單位及人員：

王徽斌

機關或單位名稱及姓名

出席單位或機關：

工業技術研究院

牛振華 (材化所)

張冠甫 王榮豪

陳三倫 (綠能所)

楊博傑 (綠能所)

環管處

高俊睿

水保處

張樹鴻

鄧不信

監資處

游添如

環檢所

附件四、「水質感測物聯網應用技術研發及 農地污染潛勢區布建驗證」第一次工作進度 會議紀錄

「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」第一次工作進度會議紀錄

二、 時間：106 年 5 月 9 日（星期二）下午 4 時

三、 地點：本署 4 樓 1 會議室

四、 主席：張處長順欽(王副處長嶽斌代)

記錄：程凱麟

五、 出（列）席單位及人員：詳如簽名單

六、 主席致詞：(略)

七、 計畫執行單位簡報：工研院（略）

八、 審查意見：

- (一) 部分摘要文字已重複出現在綱要計畫、服務建議書，期中與期末報告可適度精簡。期末報告可公開查詢及下載，訴求對象應考量民眾角度，太過專業之術語或原理建議可適度簡化。
- (二) LoRa 受干擾及傳輸失敗機率似乎偏高，補漏之自動機制建議為何？
- (三) 電阻式感測器改用鉑 Pt 電極，壽命可由 37 天延長多少？此部份成本增加幅度為何？
- (四) 灌溉渠道或是河川水位之變化，是否有相關感測器可直接整合應用？
- (五) 預警分析模組之警示燈號似乎顏色過多，是否有較易區分之配色，或搭配恆亮、閃爍或是不同顆數代表。
- (六) 靜態資料庫是否已完成盤點？以及預計完成之介接期程？
- (七) 期中請補充歷次意見辦理情形，並針對不同工作項目提供單項之時程表格，以供確認期程及完成情形。

(八) 應用系統應符合實際環境治理需求，協助釐清污染來源、時段、物種等，達到熱區鑑別、智慧稽查及即時應變之目的。

(九) 可針對同應用領域產品比較，針對系統、精確度、一致性、再現性等項目評比。

九、 會議結論：

第一次工作報告、酸鹼度、導電度與水溫測項開發工作符合契約書預定進度，審查結果通過，請參考審查意見納入期中、期末辦理。並依本案契約書規定，辦理契約相關事宜。

十、 散會：下午 5 時 30 分

審查意見	回覆意見
1. 部分摘要文字已重複出現在綱要計畫、服務建議書，期中與期末報告可適度精簡。期末報告可公開查詢及下載，訴求對象應考量民眾角度，太過專業之術語或原理建議可適度簡化。	感謝委員意見，工作團隊在後續之相關報告與期中即期末之摘要與結論會適度修正相關文字描述，以符合公開查詢所需之水準，提供一般民眾便於閱讀。
2. LoRa 受干擾及傳輸失敗機率似乎偏高，補漏之自動機制建議為何？	感謝委員意見，工作團隊提供說明如下： 1. 目前國內 NCC 開放 LoRa 此類 IoT 無線射頻裝置可使用的頻段為 922~928MHz，與 GSM 900 行動網路使用的 890-915 及 935-960MHz 並不重疊，反而主要威脅為高速公路 ETC 系統使用了 922.75 及 924.25MHz 二個頻道，但僅在高速公路沿線使用。且 LoRa 運作為跳頻方式，因此不會被特定頻道干擾而抑制通訊。 2. 傳輸失敗通常是因為訊號強度不足，LoRa 通訊雖然標稱十公里以上通訊距離，但實際佈建時需考量環境地形等因素，因此會以半徑 1 公里左右範圍來考量基地台架設(實測訊號強度大於-120dBm)，若有不足之處可再加上 LoRa Repeater 來中繼傳輸；另外本計畫通訊模組韌體上有設計間格重發機制，可進一步確保通訊成功率。
3. 電阻式感測器改用鉑 Pt 電極，壽命可由 37 天延長多少？此部份成本增加幅度為何？	感謝委員意見，將電阻式感測電極改為鉑金屬製作，主要考量鉑金屬為惰性金屬，不易起化學反應，且採用標準半導體製程製作，電極會具有極佳的黏著性與穩定性，大幅提升感測器的使用時間，預計可維持 180 天以上，而感測電極採用標準半導體製程大量製作，製作成本僅增加一至二成左右。
4. 灌溉渠道或是河川水位之變化，是否有相關感測器可直接整合應用？	謝謝委員建議，水位計現階段已是相當普遍的感測器，在 108 年系統原型機的開發規劃上，考量系統原型機的空間佈設與控制電路的整合，將會整合水位計以進行水位變化。

5. 預警分析模組之警示燈號似乎顏色過多,是否有較易區分之配色,或搭配恆亮、閃爍或是不同顆數代表。	感謝委員意見,工作團隊將調整燈號為紅(水質超過法規標準)、黃(水質異常變化)、藍(感測頭老化)、綠(水質正常),已修正於 5.2.1 節。
6. 靜態資料庫是否已完成盤點?以及預計完成之介接期程?	感謝委員意見,已完成靜態資料庫盤點,期中報告中表 5-11 已定義整體需介接資料庫名稱及資料表相關內容,然由於部分資料源需跟各部會溝通確認,今年是以驗證模組功能為主,故會先介接部分資料,並於明年有初步成果以利於與各部會溝通,完成表 5-11 資料介接。
7. 期中請補充歷次意見辦理情形,並針對不同工作項目提供單項之時程表格,以供確認期程及完成情形。	感謝委員意見,工作團隊提供說明如下: 1. 工作團隊已於期中報告中補充歷次意見辦理情形,詳見附件 2-附件 4; 2. 工作團隊目前各工作項目均依照服務建議書之預定工作進度進行(詳如表 1-1 及 1-2),後續將於重點工作達成時主動召開進度說明會議,提供確切之工作項目達成情形。
8. 應用系統應符合實際環境治理需求,協助釐清污染來源、時段、物種等,達到熱區鑑別、智慧稽查及即時應變之目的。	感謝委員意見,工作團隊規劃之污染源頭及 E 化派遣模組即以符合實際環境治理需求,除了即時監控掌握環境資訊外,亦需實際降低環境污染,減少污染源頭。
9. 可針對同應用領域產品比較,針對系統、精確度、一致性、再現性等項目評比。	感謝委員意見,工作團隊已與期中報告納入同應用領域產品之比較,詳見 1.3 節

附件五、「水質感測物聯網應用技術研發及 農地污染潛勢區布建驗證」期中報告審查會 議紀錄

「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」 期中報告審查會議紀錄

- 一、開會時間：106 年 9 月 19 日（星期二）上午 10 時
- 二、開會地點：本署 2 樓預報會議室
- 三、主席：王副處長嶽斌
記錄：程凱麟
- 四、出（列）席單位及人員：如會議簽名單
- 五、主席致詞
- 六、計畫執行單位簡報：（略）
- 七、審查意見：

（一）游委員勝傑

- 1. 建議宜說明本技術與國內外技術之差異。
- 2. 本技術宜擴充其功能，建議應擴充至不同重金屬即時監測。
- 3. 本研究目前宜考量未來布設後如何延長單次充電可使用之時間。
- 4. 本系統未來是否可改變操作模式取代目前商業化之 sensor?
- 5. 浮動式載體甚佳，惟測試之意義宜釐清。

（二）秦委員靜如

- 1. 修飾網版電極之再現性測試：若為自行製備之網版電極宜有較完整之特性分析，確認材料穩定性，若為市售電極也建議進行較多樣品數的確認。
- 2. p3-28：實測提到電導度與溫度感測電極氧化問題，建議除場址本身水質可能之影響外，亦應進行基本的電極長效性調查。

3. 雖然本計畫旨在多功能水質感測器系統開發，但在實際水樣調查之分析為系統開發成效之對比基準，因此其分析結果之準確度與可信度亦應注意。
4. 光學法(UV 光譜)偵測 COD 與 SS，其模式建立實為數據類神經學習之結果，即具有系統之針對性，即使水質性質穩定系統，當有突發事件是否仍可有效預警，亦或是如何應用此一系統與模式宜思考。
5. 模型機所使用之銅離子電極，其偵測極限為何?初步測試之結果(平鎮、許厝等)之結果是否合理，亦或是低於分析極限?
6. 所開發之重金屬電化學電極也應進行長效性測試。
7. 報告呈現結果是系統結果非實驗室分析，宜有現場採樣之實驗室水質分析結果作為系統分析比對之基準。

(三)王委員俊凱

1. 量子點螢光效率及其穩定度須有更明確的量測數據。
2. 量子點螢光用於檢測銅離子的基本效率應有更明確的數據。
3. 光學設計用於螢光加強效益應有明確的說明。
4. 光譜系統的設計須有清楚數量的評定及測量數據 (sensitivity、noise level、light leaking, etc.)。
5. 目前偵測原型機與目標及其他市售(包括外國)機型的不同地方為何?
6. COD 測量(光譜)的標準品檢測誤差為何?是否有能減少誤差?有否進行前處理以降低誤差?雙波長之距離較小，可否有多波長演算的可能性?演算法為何受限於線性?
7. 溫度、pH 及銅離子現場量測有漂移現象，原因為何?

8. 能否實驗室模擬環境因子對於感測器的影響。

(五)監資處

1. 計畫須有適度亮點，例如移動式，加裝 pH、導電度、水溫等感測元件，搭配 GPS 及傳輸元件，瞭解水團何時被流入污染物，與固定式監測設備概念不同，請先行評估及試驗，適時可發布揭露，以利未來經費爭取，適當時機可進行實地現勘及搭配記者會。
2. 針對高 SS 或高色度等對光學原理測定項目之干擾程度？例如 SS 影響到銅，而 SS 高可能是降雨、底泥擾動、工廠直接排放。
3. 針對強降雨或颱風等異常狀況之設備應變方式為何？
4. 前處理單元建議需適當固定，例如使用鐵線綁繞於固定架，以免水流強勁直接沖走前處理。
5. 針對原型機之機內環境，是否有相關狀態參數紀錄，例如箱內溫度、壓力，及電源之電壓、電流，或無法成功抽取水樣時，是否有預先警示，以利預先做出因應及處制措施。

八、結論：

本計畫期中報告經委員審查原則通過，後續請受委託單位檢附審查意見回復表，依委員及與會單位相關意見加速辦理後續工作，並依契約內容辦理相關請款事宜。

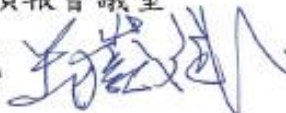
九、散會：上午 12 時。

行政院環境保護署 會議簽名單

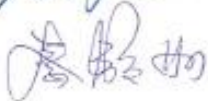
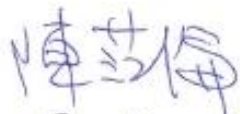
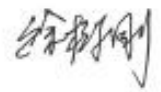
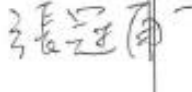
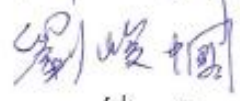
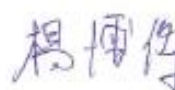
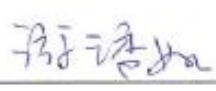
會議名稱：「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」期中報告審查

時間：106年9月19日（星期二）上午10時

地點：環保署2樓預報會議室

主席：王副處長嶽斌  記錄：程凱麟

出席（列）席單位及人員：

機關或單位名稱及姓名	
出席單位或機關：	
游委員勝傑	
秦委員靜如	
王委員俊凱	王俊凱
工業技術研究院	
	   
	   
	 
監資處	 

「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」期中審查委員意見回覆

編號	審查意見	回覆意見
(一) 游委員勝傑	1. 建議宜說明本技術與國內外技術之差異	1. 感謝委員意見，工作團隊說明如下。本技術與國內外技術之差異點於期中報告 1.3 差異化競爭策略分析中有做比較，請參考期中報告 p.1-3~1-7。
	2. 本技術宜擴充其功能，建議應擴充至不同重金屬即時監測	2. 感謝委員建議，工作團隊說明如下。本計畫自 FY105 即開始針對不同重金屬離子做一系列電化學版式電極之開發，後續將逐年針對放流水標準管制之八大重金屬繼續開發，以提升重金屬即時監測之應用性。
	3. 本研究目前宜考量未來布設後如何延長單次充電可使用之時間	3. 感謝委員意見，工作團隊說明如下。本計畫所開發之原型機應用微流道設計搭配小型幫浦，搭配使用低耗電之 LoRa 傳輸模組，大幅降低整體系統所需電量。同時亦開發 60000mA 之行動電源模組，預計單次充電可使用約 1 個月。
	4. 本系統未來是否可改變操作模式取代目前前商業化之 sensor?	4. 感謝委員意見，工作團隊說明如下。由於本計畫開發多項感測器，整體系統亦以體積小、耐用度高、初設與維運成本降低為目標，搭配目前以日趨成熟的物聯網應用模式，可開發一本土化之環境水質監測平台，改變目前線上監測儀器及 sensor 多為進口代理商壟斷的現況。
	5. 浮動式載體甚佳，惟測試之意義宜釐清	5. 感謝委員意見，工作團隊說明如下。因本計畫所開發之多項線上水質監測設備均有小型化之考量，因此希望能將此技術搭配通訊及行動電源裝置，開發移動式之水質監測裝置，可即時且快速的瞭解特定區域的水質狀況，增加計畫開發成果的多元應用方向。

(二) 秦委員靜如	1. 修飾網版電極之再現性測試：若為自行製備之網版電極宜有較完整之特性分析確認材料穩定性，若為市售電極也建議進行較多樣品數的確認	1. 感謝委員建議，工作團隊說明如下。未來使用新網版電極前將進行市售電極修飾前後再現性測試，確認原市售電極與修飾後電極之再現性。待修飾條件確定後，未來考慮與上游廠商配合製備網版電極，以便於控制電極製作穩定性。
	2. p3-28：實測提到電導度與溫度感測電極氧化問題，建議除場址本身水質可能之影響外，亦應進行基本的電極長效性調查	2. 感謝委員建議，電導度與溫度感測電極目前均已改採用鉑金屬製作，因其為惰性金屬，可以大幅提高使用壽命，並避免電極氧化現象，未來亦會針對使用狀況詳實紀錄與觀察，確認其使用方式與生命週期。
	3. 雖然本計畫旨在多功能水質感測器系統開發，但在實際水樣調查之分析為系統開發成效之對比基準，因此其分析結果之準確度與可信度亦應注意	3. 感謝委員建議，未來在現場布建原型機時，會同步比對系統感測數據與實驗室標準方法之數據分析比對，以確認分析結果之準確度與可信度。
	4. 光學法(UV 光譜)偵測 COD 與 SS，其模式建立實為數據類神經學習之結果，即具有系統之針對性，即便水質性質穩定系統，當有突發事件是否仍可有效預警，亦或是如何應用此一系統與模式宜思考	4. 感謝委員意見，本工作團隊所建置之光學感測方式即是利用光學法快速偵測之特性，搭配所開發之演算法來即時分析現場之 COD 與 SS，因此在現場突發事件產生時，應可在光學指紋訊號上偵測獲得異常訊號，且未來此系統將規劃應用於大規模場域布建，如能妥善規劃布建之上下游關係，可將布建裝置與物聯網平台緊密結合，達到有效預警的目的。
	5. 模型機所使用之銅離子電極，其偵測極限為何？初步測試之結果(平鎮、許厝等)之結果是否合理，亦或是低於分析極限？	5. 感謝委員建議，工作團隊說明如下。原型機所使用之銅離子電極目前為市售 ISE 電極，其手冊之量測範圍為 6ppb~6ppm，但工作團隊測試結果顯示其在水樣銅離子濃度<1ppm 時之量測值即有不穩定之現象。由於目前正在進行原型機布建，將進行實場水樣在原型機與實驗室標準方法之水質分析比對，以確認銅離子電極量測結果合理性與偵測極限測試。後續在實際場域布建時針對銅離子濃度的表示方式亦會修正。
	6. 所開發之重金屬電化學電極也應進行長效性測試	6. 感謝委員建議，工作團隊說明如下。未來將於修飾過後紀錄修飾日期，不定期紀錄相同濃度之重金屬氧化峰電流以確認電極穩定性，並於期末報告展示。
	7. 報告呈現結果是系統結果非實驗室分析，宜有現場採樣之實驗室水質分析結果作為系統分析比對之基準	7. 感謝委員建議，工作團隊遵照辦理，將於期末報告呈現分析比對之結果。

(三)王委員俊凱	1. 量子點螢光效率及其穩定度須有更明確的量測數據 2. 量子點螢光用於檢測銅離子的基本效率應有更明確的數據 3. 光學設計用於螢光加強效益應有明確的說明 4. 光譜系統的設計須有清楚數量的評定及測量數據(sensitivity、noise level、light leaking, etc.) 5. 目前偵測原型機與目標及其他市售(包括外國)機型的不同地方為何 6. COD 測量(光譜)的標準品檢測誤差為何?是否有能減少誤差?有否進行前處理以降低誤差?雙波長之距離較小,可否有多波長演算的可能性?演算法為何受限於線性?	1. 感謝委員建議,工作團隊說明如下。油相無鎘量子點原量子效率約 50%,經水相改質後量子效率約降低 2-3%。穩定度測試將於期末報告中提出測試結果。 2. 感謝委員建議,工作團隊說明如下。水樣中銅離子與無鎘量子點表面硫化鋅進行金屬離子置換,形成表面低能缺陷硫化銅。激態電子將因此傳遞導出,無法落回基態放出螢光,造成螢光猝滅效應。本研究以此原理進行銅離子螢光檢測材料開發。期末報告將提出不同濃度之銅離子感測應用結果。 3. 感謝委員建議,工作團隊說明如下。螢光增強膜由膽固醇液晶製備,為一維光子晶體結構,具有特定光能隙。本研究利用特定光能隙可提高特定波長反射率,與材料表面光電場強度,達到增進激發光利用效率或螢光產生率之效果,使量子點螢光訊號收集量得以提高,提高材料利用效率。 4. 感謝委員意見,工作團隊說明如下。本光譜檢測器設計主要關鍵在光電檢測器效率,目前此 COD/SS 微型檢測模組規格已可達到 Photosensitivity: 0.36A/W、Darkcurrent: 2pA、Noise NEP=1.6x10⁻¹⁵ W/Hz^{1/2}。未來在不同場域應用時,可搭配所開發之演算法,快速設定所需之演算波段,設計適合該場域之光機模組,達到廣泛應用的效益。 5. 感謝委員意見,工作團隊說明如下。本技術與國內外技術之差異點於期中報告 1.3 差異化競爭策略分析中有做比較,請參考期中報告 p.1-3~1-7。 6. 感謝委員意見,工作團隊說明如下。 (a) 目前用已配置 COD 的標準藥劑為鄰苯二甲酸氫鉀(KHP),標準曲線之建置結果如期中報告 2.3.3.4 中有描述,其在 UV 波段具有良好的線性關係。 (b) 本工作團隊所開發之光機模組在標準品測試時因其為溶解性 COD,故不需前處理即可直接量測,但其於原型機內操作時需設置前處理過濾模組,方能避免現場水樣中顆粒物質干擾引起的誤差。 (c) 感謝委員建議,雙波長之物理意義接近,未來在演算法之訓練時會避免
---	---	--

		(d) 本工作團隊所建置之演算法除線性外亦利用倒傳遞類神經網路訓練與建置，已確立不同場域之演算法快速建置標準步驟。
7. 溫度、pH 及銅離子現場量測有漂移現象，原因為何?	7. 感謝委員意見。工作團隊推估原型機之基線飄移現象應是現場溫度造成電路之不穩定，但具體影響程度仍須長時間測試，在現場布建完成後，將針對此現象之原因進行進一步之測試，儘速釐清原因並進行修正此現象之方法測試。	
8. 能否實驗室模擬環境因子對於感測器的影響	8. 感謝委員意見。本計畫所開發之原型機目前已於實驗室完成標準品與現場水樣之測試，由於實驗室較難控制不同環境溫度，故相關環境因子測試採直接現場布建並進行 1 個月以上之連續測試，後續將依據測試結果進行修正。	

(四)監資處	1. 計畫須有適度亮點，例如移動式，加裝 pH、導電度、水溫等感測元件，搭配 GPS 及傳輸元件，瞭解水團何時被流入污染物，與固定式監測設備概念不同，請先行評估及試驗，適時可發布揭露，以利未來經費爭取，適當時機可進行實地現勘及搭配記者會。	1. 感謝署內長官建議，本工作團隊本年度所開發之所有水質測項、前處理電路、前處理過濾及通訊模組均為單一模組化，除可應用於固定式裝置外，亦可分別與其他移動式裝置進行結合，提供不同場域之監測使用。未來亦會配合國際趨勢及國內法規，針對各可能之應用方向作進一步之評估與試驗，增加開發成果之應用性。
	2. 針對高 SS 或高色度等對光學原理測定項目之干擾程度？例如 SS 影響到銅，而 SS 高可能是降雨、底泥擾動、工廠直接排放。	2. 感謝署內長官建議，本工作團隊在感測器開發之同時，會針對各測項可能產生之干擾進行實驗，釐清其對所開發之感測項目之實際影響程度，實驗結果將納入未來設計之參考(例如：溫度補償、導電度補償等…)。
	3. 針對強降雨或颱風等異常狀況之設備應變方式為何？	3. 感謝署內長官意見，本計畫所開發之原型機組均設計為完全防水，且在裝機時會利用鋼架固定於牆面或風切最小之位置。但在實場應用時仍須積極與相關主管機關聯繫，取得布建位置之環境資訊，避免天災發生時造成原型機組之損壞。
	4. 前處理單元建議需適當固定，例如使用鐵線綁繞於固定架，以免水流強勁直接沖走前處理	4. 感謝署內長官建議，本計畫所開發之原型機前處理單元如需固定時將採硬管連接固定架之方式施做，確保在水流速度較快時，避免受力過大而脫離。
	5. 針對原型機之機內環境，是否有相關狀態參數紀錄，例如箱內溫度、壓力，及電源之電壓、電流，或無法成功抽取水樣時，是否有預先警示，以利預先做出因應及處制措施	5. 感謝署內長官建議，本工作團隊本年度所開發之原型機，在箱內相關狀態尚無法紀錄，這部分在下一版原型機時會納入考量。但在機器操作異常時，可配合物聯網平台端之預警系統，即時發出警示，通知維護人力立即到場排除，避免機器與 sensor 之損壞。

附件六、「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」期末報告審查會議紀錄

「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布 建驗證」期末報告審查會議紀錄

一、開會時間：106 年 12 月 18 日（星期一）上午 10 時

二、開會地點：本署 4 樓第 6 會議室

三、主席：張處長順欽

記錄：程凱麟

四、出（列）席單位及人員：如會議簽名單

五、主席致詞

六、計畫執行單位簡報：（略）

七、審查意見：

（一）游委員勝傑（書面意見）

本案已成功完成水質感測器之建置，未來可大幅降低採用外貨之成本與時間。

建議工研院團隊宜就國家環境監測整體需求提出一 Roadmap，並另請環保署寬列預算，讓我國亦能有自我品牌。

本計畫智財權產出之歸屬為何？是否有相關之專利佈局。

建議工研院可將該設備於該院其他研究計畫案中進行長效性測試。

智慧化水管理亦為水利署重點研發方向，建議監資處可與水利署綜企組討論類似研究之分工，以免重複投入資源。

（二）吳委員俊哲

本報告並未針對開發元件的干擾分析及長效分析進行深入探討。

現場測試比對之化學需氧量及銅離子分析誤差較大，請具體瞭解其原因及提出改善方法。

建議未來能提出各元件及模組的成本估算。

建議未來在實場測試時，可以在單站架設置兩相同監測模組進行平行比對。

(三)林委員致廷

本案使用電阻抗技術及頻率技術進行微型化水質感測器之研發，同時，組裝成模組進行測試，以規劃後續物聯網應用與環域分析之需求。最後，本案須建立水質監測物聯網平台之基礎模組。整體而言，本案書面報告完整，執行成效尚屬優良，惟提供下列建議使本案更臻目標之達成。

感測器部分，開發設計說明完整，然測試數據尚缺重複性測試與感測器 $N > 3$ 統計分析，以進一步說明其量產可行性。

原型機部分，測試資料於實體水樣上略顯不足，計畫原本規劃 30 套原型機進行 30 日測試，建議將這些量測資料併入本節進行分析，將可更清楚展示性能。另建議進行電源使用分析，因為物聯網架設對於電源要求亦為重要之參數。

有鑑於測試時，已發覺感測器受水樣污染而鈍化，建請加入更換感測器之機制，以利實際應用時供檢測人員得以易於使用。

於檢測模組操作設計上，建議進一步與環保稽查員溝通，建立使用者經驗，改善現行所建議校正步驟繁複之問題。於平台預測模型上，主要使用目標服務為水質預測及閘門開關，然所描述之理論模型建立方法(NN)仍過為簡略，

未清楚描述關鍵參數之建立，若為第一年之執行成果，
建請來年計對此一部分詳實討論。

建議針對所發展之 QD&CV 檢測 Cu^{2+} 進行比對，以加強系
統模組的效能

電源使用分析建議加入全系統測試，以確實評估系統 life
time

光譜元件建議加入穩定度測試

(五)監資處

現有實場測試之結果，針對微流體之精進方向及延壽之具
體作法為何?並請補充合約各項工作執行完成情形進度
對照表。

針對不同場域之加值應用及使用情境，以及例如浮動式載
具之應用，未來可加強論述及補充相關測試。

結論與建議請針對實驗室與現地測試、比對遭遇之問題，
歸納整理實際突破之進展及具未來挑戰性待釐清之問
題。

八、結論：

本計畫期末報告經委員審查修正後通過，後續請受委託
單位儘速依委員及與會單位相關審查意見提出修正稿，
並依契約內容辦理相關結案事宜。

九、散會：上午 11 時 30 分。

行政院環境保護署 會議簽名單

會議名稱：「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」期末報告審查

時間：106 年 12 月 18 日（星期一）上午 10 時

地點：環保署 4 樓 6 會議室

主席：張順欽

記錄：程凱麟

出席（列）席單位及人員：

程凱麟

機關或單位名稱及姓名

出席單位或機關：

吳委員俊哲

吳俊哲

林委員致廷

林致廷

游委員勝傑

（書面意見）

工業技術研究院

材化：王榮豪 張冠甫 徐樹剛 蕭仁樹
牛振華

綠能：蕭柏凱 何平世 傅范倫

監資處

劉玉玫

程凱麟

陳佳沛

「水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證」期末審查委員意見回覆

編號	審查意見	回覆意見
(一) 游委員勝傑	1. 本案已成功完成水質感測器之建置，未來可大幅降低採用外貨之成本與時間。	1. 感謝委員建議，未來工作團隊會針對本年度計畫不足之處更加精進，提高產品產業化的技術能量與國內產業參與投資及採用產品的機會。
	2. 建議工研院團隊宜就國家環境監測整體需求提出一 Roadmap，並另請環保署寬列預算，讓我國亦能有自我品牌。	2. 感謝委員建議，工作團隊於服務建議書有針對「水質自動監控與物聯網應用情境」做規劃，期末報告也在「1.3 差異化競爭策略分析」中有針對所開發之產品與國際大廠間的技術差異及優缺點分析，目前也已經有針對「物聯網平台建置」及「感測技術創新」兩部分之 Roadmap 規劃，未來亦會配合環保署長期規劃，以水質感測產品國產化為重要目標。 水質自動監測物聯網技術開發產業化策略(FY105~109)
	3. 本計畫智財權產出之歸屬為何?是否有相關之專利佈局。	3. 感謝委員意見，依本案契約書第十四條第三款：機關有權永久無償利用該著作財產權，本案相關之智材權仍屬於主管機關。另專利申請之相關資料及前案比較如附件七所示。
	4. 建議工研院可將該設備於該院其他研究計畫案中進行長效性測試。	4. 感謝委員意見，工作團隊未來會盡力在個科技計畫及業界合作計畫中落實產品之精確性與長效性之測試，目前初步之品保品管制度如附件八所示。
	5. 智慧化水管理亦為水利署重點研發方向，建議監資處可與水利署綜企組討論類似研究之分工，以免重複投入資源。	5. 感謝委員意見，在本年度計畫執行的過程中，在進度會議與研討會中經環保署媒合下，有幸與其他相關單位如：環檢所、水利局、縣市環保局及水利署交換意見與討論，未來在配合本計畫成果之公布，會積極與其他公部門進行合作可能性之討論與分工，將國家資源投入效益最大化。

(二)吳委員俊哲	1.本報告並未針對開發元件的干擾分析及長效分析進行深入探討。 2.現場測試比對之化學需氧量及銅離子分析誤差較大，請具體瞭解其原因及提出改善方法。 3.建議未來能提出各元件及模組的成本估算。 4.建議未來在實場測試時，可以在單站架設置兩相同監測模組進行平行比對。	1.感謝委員意見，實驗室的驗證測試均採用標準品進行，但實場狀況較多，導致干擾因素也增多，後續將先瞭解現場水樣之特性，再於實驗室模擬各種干擾因子針對感測模組進行驗證分析，以瞭解確認各感測模組的準確性與使用壽命等相關規格。 2.感謝委員意見，在化學需氧量的誤差主要是來自於單波長偵測(254nm)及前處理裝置無法過濾微細顆粒所造成，而銅離子之誤差主要來於現場水樣濃度過低所造成的計算效應，其絕對誤差並不高(<0.05ppm)。後續除了蒐集監測資料繼續進行比對外，也會持續增加現場採樣次數，瞭解現場水樣之特性，以精進感測模組的準確性並排除演算法設定參數的錯誤，以及減少特定干擾的產生(例如生物膜的生成)。 3.感謝委員意見，因應系統廣泛布建之需求，各感測模組開發應考慮到維運替換等問題，因此對於感測模組之製程成本應有詳細的評估，現階段已針對製程與封裝進行成本估算，以作為未來安裝與維運的成本估算，也謝謝委員重要的建議。 4.感謝委員建議，後續場域將選定較為寬闊的測站地點同時架設兩套系統原型機，或設置於其他同類型或高階感測器附近，以進行各項水質數據之平行比對驗證。
-----------------	--	--

(三) 林委員致廷	本案使用電阻抗技術及頻率技術進行微型化水質感測器之研發，同時，組裝成模組進行測試，以規劃後續物聯網應用與環域分析之需求。最後，本案須建立水質監測物聯網平台之基礎模組。整體而言，本案書面報告完整，執行成效尚屬優良，惟提供下列建議使本案更臻目標之達成。 1. 感測器部分，開發設計說明完整，然測試數據尚缺重複性測試與感測器 $N > 3$ 統計分析，以進一步說明其量產可行性。 2. 原型機部分，測試資料於實體水樣上略顯不足，計畫原本規劃 30 套原型機進行 30 日測試，建議將這些量測資料併入本節進行分析，將可更清楚展示性能。另建議進行電源使用分析，因為物聯網架設對於電源要求亦為重要之參數。 3. 有鑑於測試時，已發覺感測器受水樣污染而鈍化，建議加入更換感測器之機制，以利實際應用時供檢測人員得以易於使用。 4. 於檢測模組操作設計上，建議進一步與環保稽查員溝通，建立使用者經驗，改善現行所建議校正步驟繁複之問題。 5. 於平台預測模型上，主要使用目標服務為水質預測及閘門開關，然所描述之理論模型建立方法(NN)仍過為簡略，未清楚描述關鍵參數之建立，若為第一年之執行成果，建請來年針對此一部分詳實討論。 6. 建議針對所發展之 QD&CV 檢測 Cu^{2+} 進行比對，以加強系統模組的效能 7. 電源使用分析建議加入全系統測試，以確實評估系統 life time 8. 光譜元件建議加入穩定度測試	1. 感謝委員建議，後續將會持續進行重覆性測試與再現性以及穩定性分析，以確保微型感測器的開發可以真正落實應用於各種場域。而所開發的微型感測器係以微機電製程技術來設計製作，而現階段微機電製程技術已屬成熟技術，為來可與廠商進行量產，以降低成本，達到大量佈建之目的。 2. 感謝委員意見，後續會提供原始監測數據，並以統計分析的手法加以分析比較，確認系統原型機的性能。亦會針對各感測器、驅動器以及通訊模組的耗電量進行精確的量測計算，以確認原型機所需採用的電源供應方案。 3. 感謝委員建議，目前也朝向直接替換感測器並簡化校正程序的方向進行，因此與廠商合作完善微型感測器製程技術，以及降低製程成本，將能提高原型機佈建的可行性。 4. 感謝委員建議，目前已經開始在建立標準校正程序，希望透過二至三點的標準品校正過程便以完成校正程序，以簡化校正流程。 5. 感謝委員建議，透過監測數據導入所建立之預測評估模型，能真正驗證模型建立的正確性與準確性，後需將在有更多監測數據後，會加以測試驗證。 6. 感謝委員建議，後續會針對兩種不同量測技術進行實驗數據比對並進行評估，以提供後續原型機或者是攜帶式監測系統的設計採用，讓稽查人員可以依實地現況使用，達到最佳的稽查效果。 7. 感謝委員意見，電源使用情況將會影響維運時間的設定，如果能詳細瞭解電源使用情況，將能更有效進行人力分配，降低維運成本，相當感謝審查委員的建議，未來也將在系統建立電源監測與管理機制，以冀達到最有效的維運管理。 8. 感謝審查委員的建議，將提供製程膜厚參數進行比對分析，並測試光學元件的量測穩定性，以提高系統的監測可靠性。
------------------	---	---

(四)監資處	1.現有實場測試之結果，針對微流體之精進方向及延壽之具體作法為何?並請補充合約各項工作執行完成情形進度對照表。	1.感謝署內長官建議，本工作團隊本年度已完成各項查核點工作，並製成表格以供查驗。而針對微流體感測模組後續之開發上，感測晶片部分將會朝向可更換式模組進行設計，以利後續的維運與校正；而微流道模組則會整合定量與稀釋模組，以減少檢測或者是穩定試劑之使用，降低對環境的二次污染。
	2.針對不同場域之加值應用及使用情境，以及例如浮動式載具之應用，未來可加強論述及補充相關測試。	2.感謝署內長官建議，現階段所開發的系統原型機係以農田灌溉用水監測為標的，而針對各種不同實場，可利用抽換式模組更換不同的感測模組進行特定標的物進行監測，並且除了固定式系統之開發，也將針對浮動式載具進行研究開發，擴大實場應用範圍。
	3.結論與建議請針對實驗室與現地測試、比對遭遇之問題，歸納整理實際突破之進展及具未來挑戰性待釐清之問題。	3.感謝署內長官的建議，將會針對結論與建議進行修改，以精確的敘述呈現研究開發結果，並說明現階段所碰到的問題，以及問題解決的建議。

附件七、106 年度科技計畫成果效益報告

工業技術研究院編印

中華民國 106 年 12 月 25 日

106 年度科技計畫成果效益報告

- 一、年度科技計畫成果效益事實報告表（表 1-1）
- 二、科技計畫成果效益自評表（表 1-2）

表 1-1

106 年度科技計畫成果效益事實報告表 (請由計畫主持人、執行人填寫)

壹、計畫基本資料

領域別：環境科技

計畫主持人 <u>朱振華</u>
計畫名稱『 <u>水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證</u> 』
審議編號 <u>106-0331-02-12-01</u>
計畫期程 <u>106</u> 年 <u>1</u> 月至 <u>106</u> 年 <u>12</u> 月
全程經費 <u> </u> 億 <u>31,000</u> 千元 <u>106</u> 年度經費 <u> </u> 億 <u>31,000</u> 千元
執行機構 <u>財團法人工業技術研究院</u>

貳、計畫目的與預期成效

我國地小人稠，全國各地工廠與工業區林立，部分緊鄰民宅，導致各工廠或工業區廢污水未妥善處理而排放之陳情案件層出不窮；另有部分污染源排放口位於天然水體上游，而下游設有重要之民生用水取水口，也常導致民眾對於健康之疑慮。目前常用之水質監測設備雖然可靠度佳，但一些常用之監測器如 pH 計、導電度計等需要人力定期校正與清洗等，增加人力維護需求；而重金屬或化學需氧量等水污法重要收費水質項目則有相對設置經費較高、設備體積較大等缺點；因此，目前常用之監測儀器並不適用於未來大量設置或廣佈等應用情境。

有鑑於近年來線上水質分析及採樣技術之精進，同時大數據處理與無線傳輸技術的進步，使得開發一體積小、耐用佳、操作簡單、設置費用低廉且具無線數據傳輸與物聯網功能之新一代廢污水監測與物聯網互動式資訊系統成為可行之技術開發方向。因此，為有效保障民眾生命財產安全並提高人民生活品質，同時基於對自然水體之保護與永續發展之需求，著手規劃未來長期發展方向。本計畫在水質感測技術部分應用目前較新穎之奈米光學技術、電化學法與光學分析法為開發基礎，設備最小化則以微型化感測技術為主，針對 COD、SS 與重金屬等重要水質管制項目，開發同時具有「體積小」、「耐用」、「維護容易」及「低成本」特性之廣佈型水質感測技術與系統，以提供未來各單位應用於不同情境水體監測系統之建置。另外，針對國內高風險農地污染潛勢區域進行完整的監測物聯網布建規劃，以一實際場域測試，驗證開發之水質感測器成果，並透過 24 小時不間斷的監測網絡，對可能流入高風險農地規劃污染預警及應變行動，未來可整案複製至我國高風險污染潛勢農地，發揮即時預警與應變效益。

參、計畫目的主要內容

本計畫即利用近年線上水質分析與採樣技術之精進及數據處理與無線傳輸

的進步，針對「即時線上水質監測技術」、「物聯網無線感測系統」及「水質監測物聯網平台」等三大方向，應用光學與電化學技術，搭配晶片型微流道技術，開發體積小、耐用佳、操作簡單、設置費用低廉且具無線傳輸與物聯網功能之廣佈型感測裝置，達成微型化水質感測器於大規模水域廣佈使用之目的。

本計畫總目標如下：

- (1). 即時微型水質監測元件開發：微型化水質監測元件研發設計與製作，採用微流體晶片整合電化學或奈米光學或微型光譜等其他自動監測技術進行水中 pH、導電度、水溫、COD、SS 及 2 種重金屬之 7 測項以上檢測；
- (2). 多功能水質感測器系統整合組裝與測試：完成微流道、感測、過濾、清潔、校正、電力、通訊等基本模組之原型機組裝及執行實驗室、模擬 3 種不同應用情境、現地之標準品、真實樣品測試各 5 重複詳細測試；
- (3). 農地污染潛勢區域水質感測物聯網布建規劃：選擇桃園與臺中各一高污染潛勢區，實際布建總共 30 套原型機，進行 30 日以上完整測試，並規劃設計後續物聯網應用及環域分析應用軟硬體需求；
- (4). 建立水質監測物聯網維護品保品管制度與平台開發：制定完整維護運轉與校正保養等品保品管制度手冊，完成物聯網應用平台結合已開發之連續監測數據及應用分析模組，模擬至少 4 種應用情境。

肆、計畫經費與人力

計畫名稱	執行情形	總人力 (人年)	研究員級	副研究員級	助理研究員級
水質感測 物聯網應 用技術研 發及農地 污染潛勢 區布建驗 證	原訂	12.8	6.17	5	1.67
	實際	12.8	6.17	5	1.6
	差異	0	0	0	0

伍、計畫已獲得之主要成就與成果（out put）

1. 請就本計畫涉及之(1)學術成就(2)技術創新(3)經濟效益(4)社會影響(5)非研究類成就(6)其他效益方面說明重要之成果及重大之突破，以文字方式分列說明。

(1)學術成就

相較其他領域，環境監控在物聯網應用中算是領先發展群，隨著環保意識的持續抬頭，未來此領域對物聯網的建置需求將會日漸加深，成為環境監控的主流系統；本計畫所開發之水質感測元件與物聯網平台技術可協助相關部會建置不同情境之智慧水質環境監控系統。本計畫共達成以下成果：(i)利用光學與電化學技術，開發重金屬、化學需氧量、懸浮固體物、酸鹼度、電導度與溫度等微型化水質監測元件，並完成實際廢水之驗證與相對應品檢/品管/品保制度；(ii)完成小型化水質監測系統原型機設計，包

括前處理模組、通訊模組及水質感測模組，並完成標準品及 3 種不同應用情境之真實樣品之 5 重複測試；(iii)於桃園市及台中市布建 30 點水質感測器，透過實際採樣與資料比對結果，完成污染農地物聯網整合系統報告；(iv)建立水質監測物聯網平台，包含「預警分析模組」及「污染源頭分析模組」等運用模式。(v)提出 2 篇學術論文及 3 項次專利之申請，最後將研發成果彙整撰寫研究報告書一本。

(2)技術創新

開發之微流體晶片式水質檢測系統，擁有體積小、分析快速、高精確度、無污染、試劑用量少等優點，可偵測 pH 值、電導度、重金屬等離子濃度，並具備溫度與流速自動補償。不但所需樣本量得以減少，且能降低所需的反應試劑使用量與檢測成本，適合應用於移動式檢測裝置及嵌入式系統上，實現遠端 24 小時網路監控水質之技術。

2.請依本計畫(涉及)設定之成果項目以量化績效指標方式及佐證資料格式填寫主要之量化成果(如學術成就代表性重要論文、技術移轉經費/項數、技術創新項數、技術服務項數、重大專利及項數、著作權項數等項目，含量化與質化部分)。

(1)學術成就

- a.研討會論文 1 篇：2017 廢水處理技術研討會論文_電化學感測器於水體重金屬離子檢測之研發與應用
- b.期刊 1 篇：工業污染防治季刊_以環境感測物聯網分析應變模式應用於水質連續自動監測及管理
- c.專利嵌入式感測模組結構提出 3 件：中華民國新式及發明各 1 件；美國發明專利 1 件
- d.研究報告撰寫 1 本：水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證期末報告

(2)技術創新

(1)軟性技術產出

- a.微型水質感測器之品保品管制度，包含：pH. EC. Temp. CODs. SS. Cu 與 Zn。
- b.各項水質原型機水質分析參數檢量線與現場校正 SOP，包含：pH. EC. Temp. CODs. Cu.
- c.多成分定性定量演算法
- d.電化學感測分析技術平台，包含 pH. EC. Temp. CODs. SS. Cu 與 Zn。
- e.水質感測物聯網平台，包含：
 - (a)建置污染預警分析模組
 - (b)建置污染源頭分析模組
 - (c)設計污染熱區分析模組
 - (d)設計快速稽查 E 化派遣模組

(2)硬性技術產出

- a.光學感測模組開發
 - (a)重金屬 Cu 感測無錫量子點開發
 - (b)COD&SS 多波長微型化光譜檢測平台
- c.電化學感測模組開發

- (a)重金屬 Cu 與 Zn 微機電感測模組
- (b)pH.EC.Temp 微型化感測晶片
- d.抽換式無線通訊模組
- e.多合一水質訊號處理節點
- f.水樣前處理模組
- g.小型化水質感測原型機

陸、評估計畫主要成就及成果之價值與貢獻 (out come)

請依前述重要成果及重大突破說明其價值與貢獻度如：

1.學術成就(科技基礎研究) (權重 40%)

- a.本計畫利用光學法之優勢，開發無鎘量子點螢光探針，針對銅離子感測結果顯示其偵測極限可達 0.01 mg/L，且對環境水樣之感測結果優於市售比色法，並完成感測元件及光子晶體結構之螢光增強膜設計，有效提升螢光訊號強度達 10.5 倍，降低無鎘量子點材料之使用量，使未來銅離子感測應用更具便利性。另外，建立多成分定性定量演算法之針對化學需氧量及懸浮固體物的特徵波長與演算模型，分別可利用 250-300nm 與 310-800nm 之波段針對 CODs 與 SS 進行演算法推估，COD_t 與 COD_s 之推估誤差<12%，SS 之推估誤差<30%；針對演算發結果開發微型化廣範圍多波長 COD/SS 檢測平台設計，其 CODs 與 SS 之推估結果與桌上型 UV-VIS 光譜儀所建構之演算法結果接近。
- b.本計畫以電化學為原理，分別開發出網版式電極及微型化感測晶片，在網版式電極部分，針對重金屬銅與鋅之分析技術平台，檢測濃度範圍可低於放流水標準(Cu²⁺: 3 mg/L; Zn²⁺: 5 mg/L)，而以恆電位法開發之微機電感測模組，在銅標準品濃度 1~10 ppm 具有良好之靈敏度；而微型化感測晶片則分別利用銦錫氧化物薄膜及鉑金屬電極做為酸鹼值、電導度與溫度感測元件，其測量精確度分別可達±0.1 pH、±5%EC 及±0.5℃。

2.技術創新(科技整合創新) (權重 60%)

- a.成功開發水質感測訊號前處理模組，並整合脈衝導電度量測、溫度量測電路，共同整合設計多合一水質訊號處理節點，將五種常用之水質感測整合於單一裝置內，可搭配多數市場上共通性的感測元件，例如 pH、ORP 等，有效降低水質感測應用成本，預期可應用在廣泛的市售水質感測元件。
- b.成功開發抽換式 LoRa 無線通訊模組，滿足低功耗、傳輸距離長、穩定性高、抽換式等特性，並透過實際建置基地台建構規劃經驗，且成功應用於原型機佈建，透過後端 iCenter 資料伺服器接收處理各感測器之 raw data 儲存於 SQL 資料庫中，提供應用端軟體進一步應用。
- c.已完成小型化水質監測系統原型機設計製作與組裝，在組裝完成後除用標準液建立各感測模組之檢量線，亦透過竹東圳與竹東廢水處理廠之實場水樣進行可靠度之測試驗證，確認系統原型機可正確地量測到溫度、電導度、酸鹼值、CODs，以及銅離子濃度，以便大量佈建時能監測到正確讀值，此外，因為系統原型機安裝簡易以及維運簡單，將能夠提供未來實際物聯網之應用。

柒、與相關計畫之配合
無

捌、後續工作構想及重點

1. 持續以實廠水樣針對網版式電極及微型化感測晶片進行重複性測試，並與標準檢測實驗室結果進行比對與修正；針對目前感測裝置之不穩定性，建議加強電路設計與導入自我校正程序，提高未來感測模組自動化與穩定性之能力。
2. 針對各感測模組量測相互干擾之問題，除利用訊號前處理模組進行解決外，各感測模組應為各自獨立之模塊，可獨立進行監測程序，避免共線造成干擾，亦可建構抽換式感測機構，減少系統設計大規模之修改。
3. 針對小型化水質監測系統原型機所用之電源，尋求包括太陽能電池以及燃料電池等替代方案，以有效延長原型機維護時間。
4. 持續設計規劃污染熱區模組與快速稽查 E 化模組，分別針對水污染事件發生前後，預報預警污染熱區與水門開關閉機制，以及因應現場稽查人員所需的主要資料進行規劃及統整。

玖、檢討會與建議

1. 本案已成功完成水質感測器之建置，未來可大幅降低採用外貨之成本與時間，建議能提出各元件及模組的成本估算，並進一步規劃其量產的可行性。
2. 針對開發元件的干擾以及長效等分析比對進行深入探討，例如現場測試比對之化學需氧量及銅離子分析誤差較大，應具體瞭解其原因及提出改善方法；針對所發展之 QD&CV 檢測 Cu^{2+} 進行比對；以及光譜元件進行穩定度測試等。
3. 而對於系統原型機，建議持續進行監測數據蒐集與比對，包含全系統測試，才能更清楚展示性能，以及進行電源使用分析，才能準確評估系統維運週期。也建議於固定測站架設兩套系統原型機進行平行比對。
4. 於平台預測模型上，描述之理論模型建立方法過為簡略，應清楚描述關鍵參數之建立，並針對針對不同場域之加值應用及使用情境，加強論述及補充相關測試。
5. 宜就國家環境監測整體需求提出一完整規劃，並與相關計畫進行研究分工，以免重複投入資源。

填表人：_____聯絡電話：_____傳真：_____

表 1-2

106 年度科技計畫成果效益自評表
(請由計畫主持人、執行人填寫，再由主管部會署初核)

壹、計畫基本資料

領域別： 環境科技

計畫主持人 <u>朱振華</u>
計畫名稱『 <u>水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證</u> 』
審議編號 <u>106-0331-02-12-01</u>
計畫期程 <u>106</u> 年 <u>1</u> 月至 <u>106</u> 年 <u>12</u> 月
全程經費 <u> </u> 億 <u>31,000</u> 千元 <u>106</u> 年度經費 <u> </u> 億 <u>31,000</u> 千元
執行機構 <u>財團法人工業技術研究院</u>

貳、計畫目標與執行內容是否符合(如有差異，請說明)

無差異

參、計畫已獲得之主要成就與成果

本計畫共達成以下成果：1.利用光學與電化學技術，開發重金屬、化學需氧量、懸浮固體物、酸鹼度、電導度與溫度等微型化水質監測元件，並完成實際廢水之驗證與相對應品檢/品管/品保制度；2.完成小型化水質監測系統原型機設計，包括前處理模組、通訊模組及水質感測模組，並完成標準品及 3 種不同應用情境之真實樣品之 5 重複測試；3. 於桃園市及台中市布建 30 點水質感測器，透過實際採樣與資料比對結果，完成污染農地物聯網整合系統報告；4. 建立水質監測物聯網平台，包含「預警分析模組」及「污染源頭分析模組」等運用模式。5.提出 2 篇學術論文及 3 項次專利之申請

肆、計畫主要成就與成果之價值與貢獻度 (out put) (如論文篇數、技術移轉經費/項數、技術項數、技術創新項數、技術服務項數、專利權項數、著作權項數等)

- a.研討會論文 1 篇：2017 廢水處理技術研討會論文_電化學感測器於水體重金屬離子檢測之研發與應用
- b.期刊 1 篇：工業污染防治季刊_以環境感測物聯網分析應變模式應用於水質連續自動監測及管理
- c.專利嵌入式感測模組結構提出 3 件：中華民國新式及發明各 1 件；美國發明專利 1 件
- d.研究報告撰寫 1 本：水質感測物聯網應用技術研發及農地污染潛勢區布建驗證期末報告

伍、評估計畫主要成就及成果之價值與貢獻 (out come)

1. 透過本計畫之執行可以加速國內智慧監測與雲端服務產業、並建立新興水處理服務商業模式，達成科研創新轉化、永續綠能環境、產業科技加值、幸福多元社會之最終目標。同時，透過國內運用模式與經驗，有效輸出相關技術與服務至東南亞與大陸地區，提升產業競爭力、創造更大產值與增加就業機會。
2. 由於地球環境持續惡化、水資源缺乏與各類環保議題的加溫，使環境感測技術結合物聯網應用逐漸受到重視；本計畫所開發之水質感測元件與物聯網平台技術可協助相關部會建置不同情境之智慧水質環境監控系統。透過 24 小時不間斷之水質監測數據進行監測區域之特性分析與背景濃度建立，未來除可應用於本計畫所發展之「預警分析」及「污染源頭分析」外，亦可針對「總量管制」、「環境稽查」及「水污費徵收」等其他功能作加值運用，透過物聯技術發出警訊及啟動應變決策，有效提升稽查處分時效並節省人力，提升民眾對於政府環境水質監控之信心。
3. 開發具有多目標、即時性、自動化與遠端監測等功能之多目標即時遠端水質檢測系統用以檢測環境之水質，用以取代大型檢測儀器，並利用微機電製程技術製備之多功能水質檢測晶片，使其具有輕薄短小以及可批次大量生產能力等特性，降低檢測所需之成本，在產業競爭日趨嚴苛的現當下，更顯現獨特價值。
4. 各環保主管機關可應用於稽查、預警、水污費徵收外，資訊也可提供相關單位應用，包含水利署(水資源安全)、農委會(灌溉用水)、自來水公司(飲用水)、工業局(各工業區)及營建署(下水道與水資源中心)等。提供全國水質安全資訊，降低稽查人力，提供偷排預警，確保全國水體永續環境利用之優點。

陸、與相關計畫之配合程度

本計畫目前並無與其他相關計畫連結，惟執行計畫期間，於相關單位如：環檢所、水利局、縣市環保局及水利署均有接觸，未來會配合環保署長期規劃，積極與其他公部門進行合作可能性之討論與分工，將國家資源投入效益最大化。

柒、計畫經費的適足性與人力運用的適善性

計畫經費的適足性與人力運用妥適，且預算之執行率及達成率均佳。

捌、後續工作構想及重點之妥適性

1. 後續工作主要仍針對「即時微型水質監測元件」、「多功能水質感測器系統整合」及「建立水質監測物聯網」三大方向規劃，持續以實廠水樣針對所開發的水質感測晶片進行重複性測試，避免模組量測互相干擾問題，提高未來感測模組自動化與穩定性之能力。
2. 由於現場安裝條件不同，未必能取得足夠之供電，為必面感測器因缺電造成維運之困難與校正頻率之提高，未來將加強環境獵能之規劃，針對小型化水質監測系統原型機所用之電源，尋求包括太陽能電池以及燃料電池等替代方案，以有效延長原型機維護時間。
3. 延續預警及源頭追蹤模組建立，考量實際下游緊急應變及環境執法應用，持

續擴增污染熱區模組與快速稽查 E 化模組，分別針對水污染事件發生前後，預報預警污染熱區與水門開關閉機制，及下游用水機制管理，以及因應現場稽查人員所需的主要資料進行規劃及統整，輔以實際場域驗證，滾動式調整物聯網平臺應用分析功能。

玖、檢討會與建議

- 1.未來工作團隊會針對本年度計畫不足之處更加精進，提高產品產業化的技術能量與國內產業參與投資及採用產品的機會。
- 2.化學需氧量的誤差主要是來自於單波長偵測（254nm）及前處理裝置無法過濾微細顆粒所造成，而銅離子之誤差主要來於現場水樣濃度過低所造成的計算效應，其絕對誤差並不高（ $<0.05\text{ppm}$ ）。後續除了蒐集監測資料繼續進行比對外，也會持續增加現場採樣次數，瞭解現場水樣之特性，以精進感測模組的準確性並排除演算法設定參數的錯誤，以及減少特定干擾的產生（例如生物膜的生成）；後續亦會針對兩種不同重金屬量測技術進行實驗數據比對並進行評估，以提供後續原型機或者是攜帶式監測系統的設計採用，讓稽查人員可以依實地現況使用，達到最佳的稽查效果。
- 3.後續場域將選定較為寬闊的測站地點同時架設兩套系統原型機，或設置於其他同類型或高階感測器附近，以進行各項水質數據之平行比對驗證。
- 4.未來透過監測數據導入所建立之預測評估模型，能真正驗證模型建立的正確性與準確性，後續將在有更多監測數據後，會加以測試驗證。
- 5.在本年度計畫執行的過程中，在進度會議與研討會中經環保署媒合下，有幸與其他相關單位如：環檢所、水利局、縣市環保局及水利署交換意見與討論，未來在配合本計畫成果之公布，會積極與其他公部門進行合作可能性之討論與分工，將國家資源投入效益最大化。

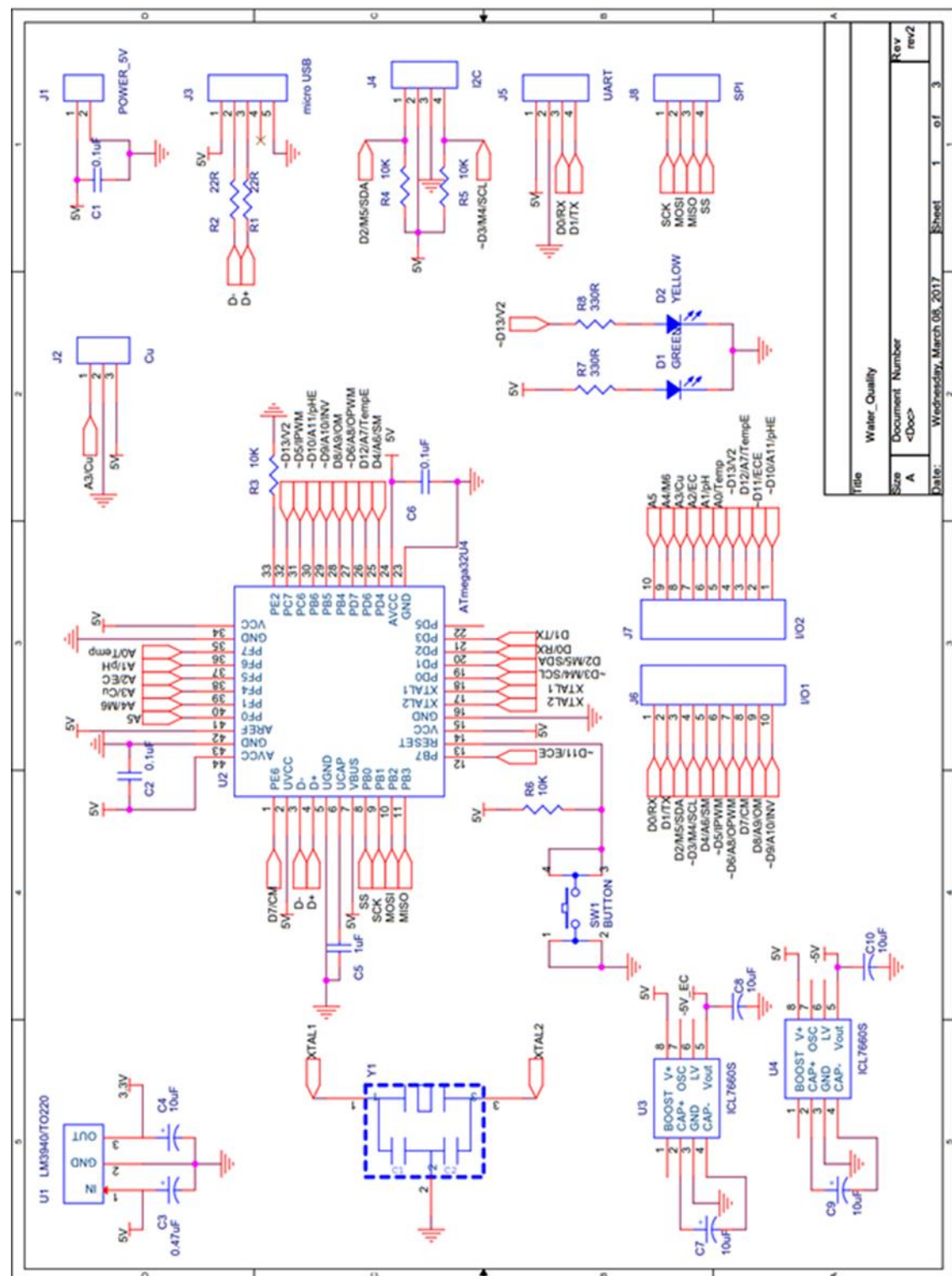
計畫主持人簽名：_____

填表人：_____聯絡電話：_____

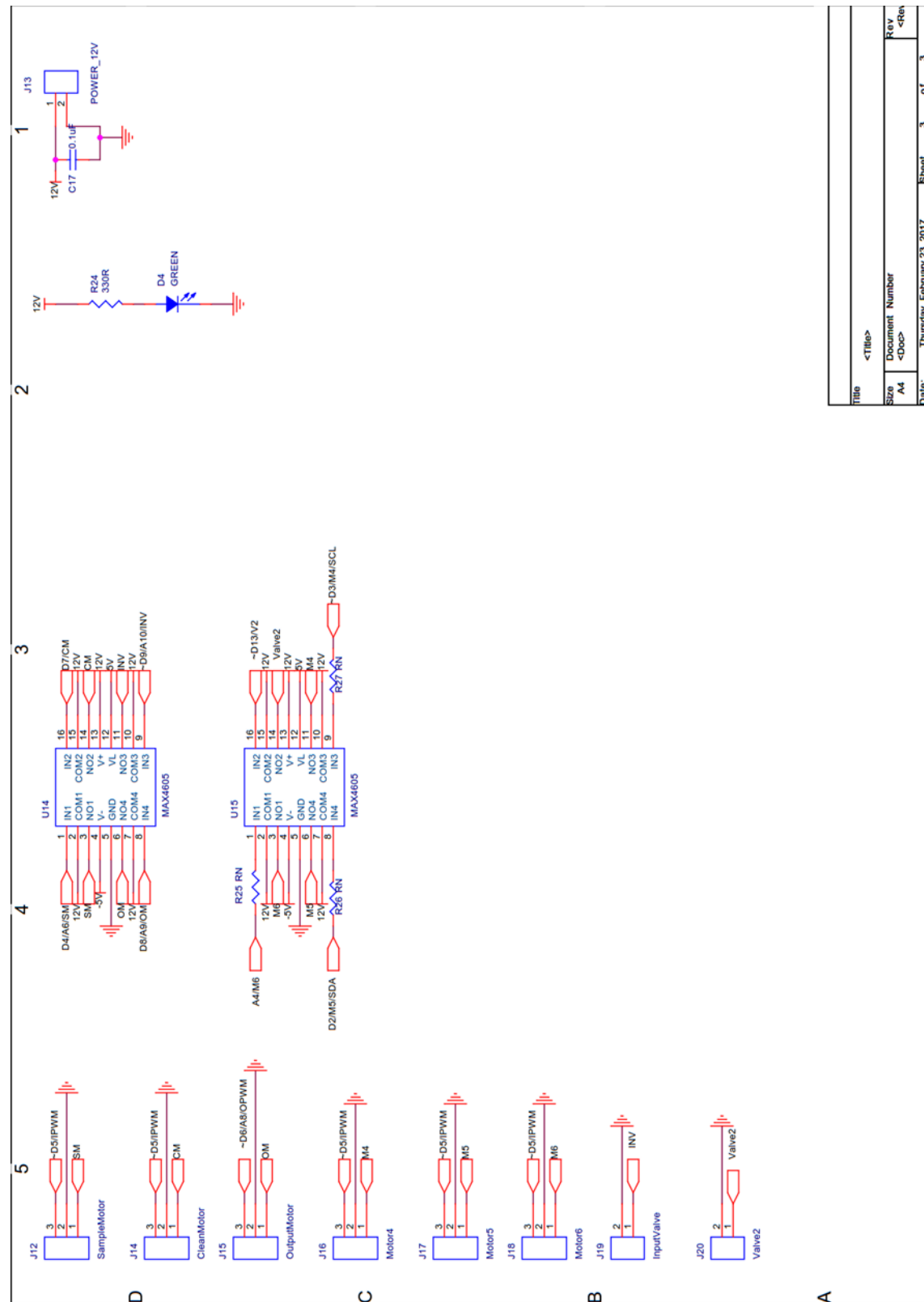
主管部會評估意見：

主管簽名：_____

附件八、小型化水質監測系統原型機主要控制與訊號擷取電路板佈設







附件九、專利_崁入式感測模組結構 (Structure of Embedded Sensor Modules)

專利摘要

本創作為一種嵌入式感測模組結構，內容為一內嵌感測器之旋入式螺絲結構，以做為管件或者是槽體內流體各項性質、成分與含量監測/感測之模組結構，關鍵項目包括：一旋入式螺絲結構，用以裝置於管件或者是槽體內，並於結構上內藏複數孔洞，讓流體於結構內產生穩定之層流 (Laminar flow)，減少微顆粒流入結構內與避免氣泡產生；一個平板式薄層感測模組，用以監測/感測管件或者是槽體內之流體性質、成分與含量。

創作說明

一、創作的背景和動機

目前對於管件或者是槽體中，流體性質、成分與含量的檢測大部分仍採用離線式(Off-line)檢測，亦即於管件或者是槽體中針對流體進行取樣，再於實驗室中進行檢測，即便是在線式(On-line)檢測，仍須將管件或是槽體中流體，利用分管方式引入檢測區域，此法除增加建置成本外，所檢測的資訊也並非即時(real-time)資訊，因此現階段也有將感測模組直接安裝在管件或者槽體中進行在線即時檢測，但仍會因為流體流動的不穩定性，以及氣泡與微顆粒的影響，降低量測的準確度與穩定性。

此外，近來由於微機電製程技術與網版電極印刷技術的提升，感測模組轉變為單一或多重薄膜式感測結構，大幅減少感測器體積，但直接安裝在管件或槽體中，其干擾因素大幅增加，所以在單一或多重薄膜式感測模組進行量測前，進行樣本前處理，避免溶液樣本直接衝擊量測晶片，降低感測模組受到的干擾。因此本創作的動機即提供單一或多重薄膜式感測模組進行在線即時量測的裝置與保護結構，將感測模組內嵌於旋入式螺絲結構中，直接裝置於管件或是槽體，且螺絲結構內藏複數孔洞可讓樣本形成層流，並避免氣泡生成與微顆粒的影響，以增加量測穩定性。

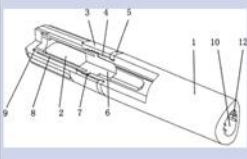
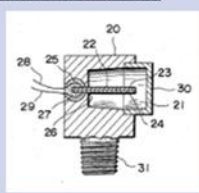
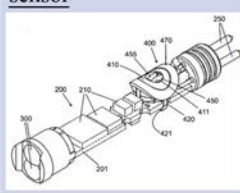
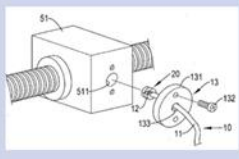
二、設定創作的基本目的

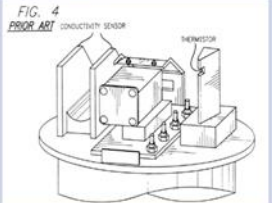
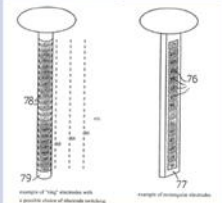
由於微機電製程與網版電極印刷技術的提升，單一或多重薄膜式感測模組的研發越顯重要，但感測模組應用於管件或者是槽體進行樣本性質、成分與含量之檢測，一般均配合分管設計與微流道系統進行檢驗，僅能達到非即時在線檢測，若不採用分管系統而直接安置於管件，將會受到樣本擾動，以及氣泡與微顆粒的影響，進而造成量測的準確性與穩定性。

本創作藉由感測模組內嵌於一旋入式螺絲結構，藉由螺絲結構將感測模組直接安置於管件或槽體中，同時利用螺絲結構內藏複數孔洞，減少管件或者是槽體內樣本擾動，使其形成層流狀態，並避免氣泡產生與微顆粒的影響，進而達到感測模組可即時在線進行量測，以及維持量測的準確度與穩定性。

三、分析比較前案與本案的功能、手段及效果差異

搜尋 Thomson Innovation (TI)資料庫、中華民國專利資訊網、USPTO 等三種資料庫，以” screw”、” embedded”、” sensor”、” pipe line”、” flow”等為關鍵字搜尋。數種不同的裝置技術中，以離線/在線安置的方式與本創作較有關連性，但與本創作最大的不同是，這些前案並無提到旋入式螺絲結構內嵌感測模組，以及螺絲結構內藏複數孔洞，相關比較表如下：

	CN 204115773 U	US4348905A	DE202013007756U1	TW 201043809 A1 TW M441751U1
圖示	插入式溫濕度傳感器 	Vibration sensor for an automotive vehicle 	Sensor and cover for a sensor 	用於滾珠螺桿裝置之感測模組 
技術特徵	插入式溫濕度感測器包括探頭杆、感測器線路板和探頭罩	感測模組裝置於腔體旋入與機構連結進行監測	機構設置印刷電路板可內嵌感測模組(含電路)	感測器透過螺套與螺桿裝置結合
目的	克服現有插入式溫濕度感測器其外罩易鬆脫，使用不便，以及吸濕性差的缺陷	進行機械振動之監測	整合印刷電路之機構可內嵌感測與開關模組	進行螺桿裝置溫度與速度之量測
Claim重點	探頭杆和探頭罩通過螺紋相連接，過濾防護罩的兩端分別設於探頭罩和基座上的環形槽內，以定位卡緊過濾防護罩	用於監測流體各項參數之裝置，包含量測數據擷取與處理	整合印刷電路於機構外殼，內嵌感測與開關模組，應用於密封元件監測	一種用於滾珠螺桿裝置之感測模組，其係與一滾珠螺桿裝置之螺套相結合
技術限制	與系統連接仍需要固定方式	因採用壓電材料進行振動監測，須有腔體讓壓電材料形成共振	機構外殼整合印刷電路，製程成本偏高	僅限應用於滾珠螺桿各項參數監測

	US6577134B2	US6419807B1
圖示	Sensor and sensor system for liquid conductivity, temperature and depth 	Sensor array for detecting electrical characteristics of fluids 
技術特徵	多重感測模組整合	陣列式感測模組進行不同特性之流體監測
目的	多種水樣特性監測	監測不同特性之流體進行流量控制
Claim重點	用於監測流體各項參數之裝置，包含量測數據擷取與處理	一種傳感器陣列，用於檢測具有不同電特性的流體的分配，包括多層結構
技術限制	針對特定感測模組設計結構加以整合，技術難度高	陣列式感測模組製作難度高

本專利提案之特點為：

1. 新穎性:使用旋入式螺絲結構內嵌感測模組，以及螺絲結構內藏複數孔洞兩項創新技術，讓感測模組可直接安置於管件或是槽體中進行在線即時量測，並透過複數孔洞讓樣本形成穩定流體，以維持量測準確度與穩定性。
2. 進步性: 不使用分管系統將樣本分流至感測器模組，而是透過旋入式螺絲結構將感測模組安置於管件或是槽體中，可減少建置成本並達到在線即時檢測之目的，而在螺絲結構內藏複數孔洞，除排除樣本擾動干擾，更可避免氣泡與微顆粒之干擾，並避免感測晶片受水流磨損。
3. 可實施性: 此技術建構在旋入式螺絲結構上，於管件或槽體上製作安裝孔洞，而螺絲結構開設複數孔洞並內嵌感測模組，於安置時將螺絲結構旋入安裝孔洞即可達到在線即時監測之目的，不會破壞原始管件與槽體結構。

四、詳述可達成本案之基本目的的具體技術手段

本創作有兩項主要技術，分別為旋入式螺絲結構內嵌單一或多重感測模組及螺絲結構開設複數孔，讓感測模組可以在線即時檢測管件或槽體中樣本性質、成分與含量。主要因為微機電製程與網版電極印刷技術的成熟，單一或多重感測模組的研發日趨增多，為使單一或多重感測模組可直接安裝至管件或槽體中進行在線即時監測，因此採用旋入式螺絲結構，將單一或多重感測模組內嵌至螺絲結構中，而螺絲結構可旋入管件或槽體中的安裝孔洞完成裝置。而流體因流動干擾，所產生的微顆粒與氣泡也會影響到感測模組量測的準確度與穩定性，因此透過螺絲結構的複數孔洞，將流體形成層流流動，可減少擾動干擾，微顆粒也將被排除，可避免氣泡產生，提升感測模組的準確度與穩定性。本發明專利之感測器，實施在燒杯中以磁石攪拌產生不同轉速，而插入晶片於燒杯溶液中進行酸鹼度量測，其量測電壓值與流速變異量可小於4%，顯示本裝置對於不同流速之流體均具有良好之感測效能。

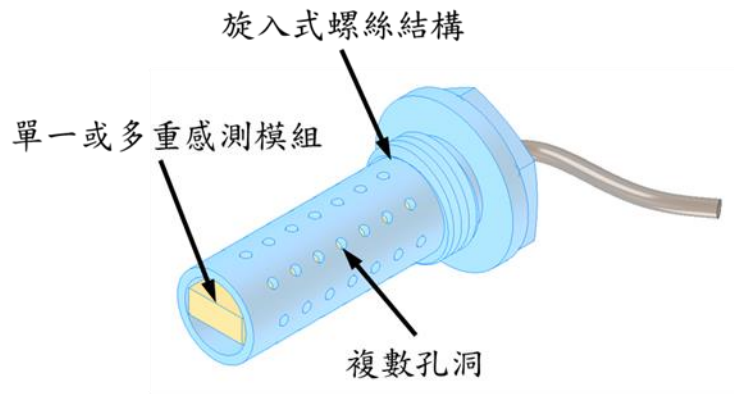


圖 1 旋入式螺絲結構內嵌單一或多重感測模組

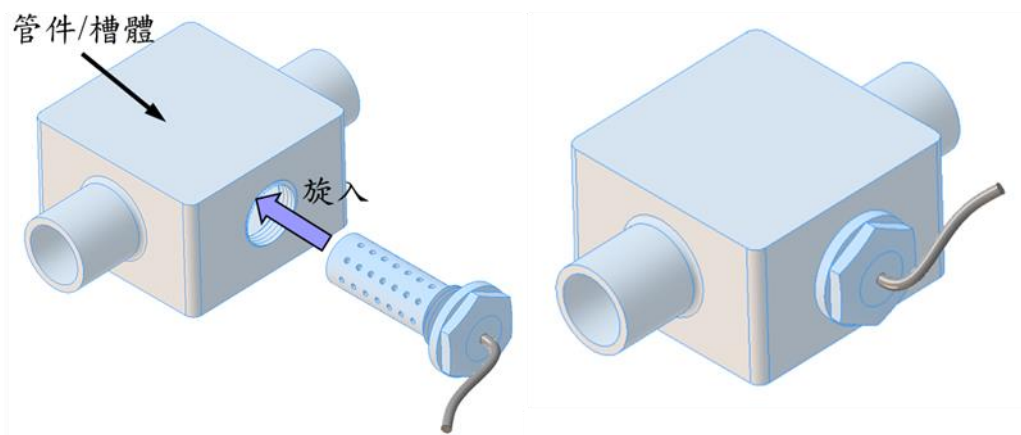


圖 2 螺絲結構內嵌感測模組旋入裝置於管件/槽體中

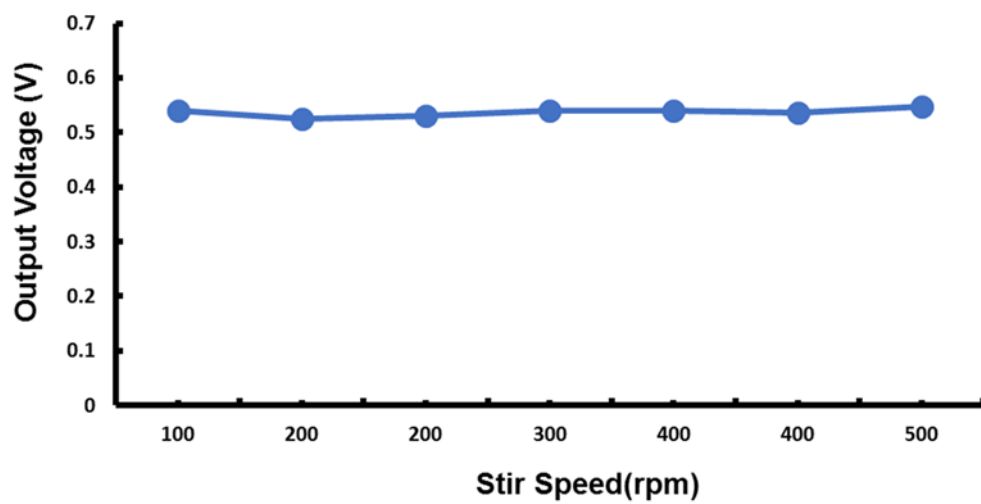


圖 3 酸鹼度與流速關係

五、提出預定主張的專利權範圍

1. 一種嵌入式感測模組結構，安置於管件、表頭或者是槽體中做為在線即時量測裝置，其包含有：

一單一或多重感測模組，用以感測樣本性質、成分與含量；

一旋入式螺絲結構，其內嵌單一或多重感測模組，並開設複數孔洞；

旋入式螺絲結構用以安裝至管件或者是槽體中，以進行在線即時量測；

複數孔洞，驅使樣本流動穩定，並避免氣泡與微顆粒干擾感測模組量測。

2. 如第一項所述，樣本性質、成分與含量，可為溶液之離子濃度、溫度、酸鹼度、電導度、光穿透度、濁度、生化需氧量、化學需氧量及特定生物分子之含量。

3. 如第一項所述，該感測模組透過該複數孔洞與液體接觸，且該液體可自由進出該螺絲結構。

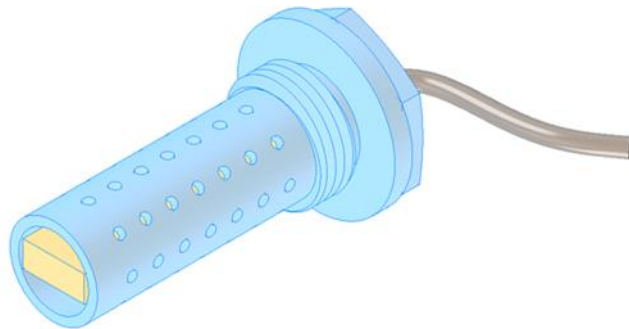
4. 如第一項所述，該複數孔洞之孔洞大小約為 50 微米至 10000 微米。

5. 如第一項所述，該感測晶片之接腳透過防水封裝內嵌於該螺絲結構中，該螺絲結構尾端引出一連接線，作為感測晶片量測之供電與良策訊號傳輸。

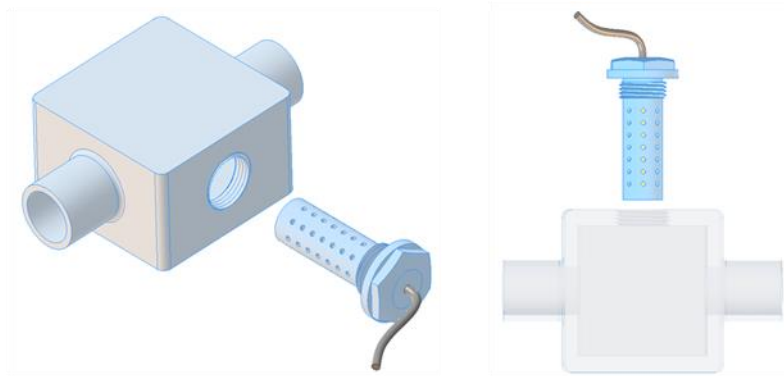
6. 如第一項所述，該螺絲結構可透過緊配旋緊或墊圈結構達到旋入後之水密性。

7. 如第 3 項所述，於同一螺絲結構上，該孔洞結構可透過不同大小之組合，分別達成過濾及氣泡之濾除，或流體快速交換之快速感測目的。

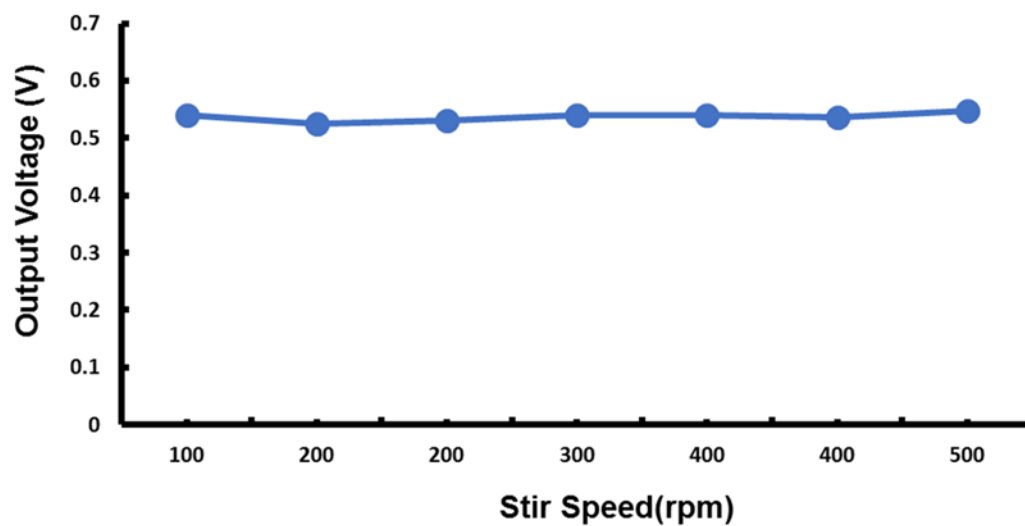
六、圖式



圖示一 旋入式螺絲結構內嵌感測模組，以及複數開孔結構



圖示二 旋入式螺絲結構安置於管件示意圖



圖示三 酸鹼度與流速關係

附件十、微型水質感測器之品保品管制度

1. 微型溫度感測器測試與驗證標準作業程序(草案)
2. 微型酸鹼度感測器測試與驗證標準作業程序(草案)
3. 微型導電度感測器測試與驗證標準作業程序(草案)
4. 微型懸浮固體感測器測試與驗證標準作業程序(草案)
5. 微型化學需氧量感測器測試與驗證標準作業程序(草案)
6. 微型銅離子感測器測試與驗證標準作業程序(草案)
7. 微型鋅離子感測器測試與驗證標準作業程序(草案)

微型溫度感測器測試與驗證標準作業程序(草案)

1. 前言

本標準作業程序適用於對直讀式微型溫度感測器所做之測試與驗證，以確保微型溫度感測器之產品品質與後續維護使用之可靠度。

本標準作業程序適用於在實驗室中所做之測試與驗證，以及在客戶指定場所中所做之現場測試與驗證。

2. 準備事項

- (1) 檢查實驗室或客戶指定場所之環境溫度與相對濕度，是否在微型溫度感測器的工作範圍內，並記錄此溫度與相對濕度。
- (2) 檢查微型溫度感測器是否可正常啟動，暖機後讀值是否可正常顯示。
- (3) 準備微型溫度感測器測試與驗證所需之儀器設備與標準品。

3. 標準作業程序

本標準作業程序包含量測範圍測試、線性範圍測試、解析度測試、精密度測試、準確度測試與應答時間測試共 6 項，各測試項目之名詞定義、測試方法與判定要求，分別敘述如下：

3.1 量測範圍測試

- (1) 名詞定義：感測器可正常量測之最小值至最大值之區間。
- (2) 測試方法：使用最小值與最大值之溫度，分別確認感測器均可正常讀取到量測值，即可將此溫度最小值至最大值之區間，視為最大量測範圍，量測範圍之規格，應介於最大量測範圍之間。

- (3) 判定要求：量測範圍應包含 $0 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

3.2 線性範圍測試

- (1) 名詞定義：量測值具有良好線性關係之最小值至最大值之區間。
- (2) 測試方法：使用至少三種不同條件之溫度，確認量測值之線性相關係數(r 值)應大於或等於 0.995，即可將此溫度最小值至最大值之區間，視為最大線性範圍，線性範圍之規格，應介於最大線性範圍之間。一般來說，線性範圍應介於量測範圍之間。
- (3) 判定要求：線性範圍應包含 $10 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

3.3 解析度測試

- (1) 名詞定義：量測值可讀取到之最小刻度。
- (2) 測試方法：使用最小值與最大值之溫度，分別確認量測值可讀取到之最小刻度，若二個量測值之最小刻度一致，此最小刻度即可視為解析度之規格，若二個量測值之最小刻度不一致，則需將量測範圍分段標示不同解析度之規格，必要時應使用其他條件之溫度，確認量測範圍之分段點。
- (3) 判定要求：解析度應優於 0.1°C 。

3.4 精密度測試

- (1) 名詞定義：狹義的精密度指的是重複性(repeatability)，即組內精密度(within-run precision)，為一組相同量測條件之重複性測試中，各量測值間接近之程度；廣義的精密度指的是再現性(reproducibility)，包含組間精密度(run-to-run precision)、日內精密度(within-day precision)、日間精密度(day-to-day precision)、實驗室內精密度(within-lab precision)與實驗室間精密度(lab-to-lab precision)，為一組不同量測條件之再現性測試中，各量測值間接近之程度。本測試項目之精密度，指的是狹義的重複性。

- (2) 測試方法：使用至少二種不同條件之溫度，每個條件交叉量測各三次，分別計算每個條件三次量測值之標準差(Standard Deviation；SD)或是相對標準差(Relative Standard Deviation；RSD)，即可視為精密度，必要時亦可改用全距(Range；R)或全距百分比(Relative Range；RR)來表示。精密度之規格，應大於或等於每個條件各別之精密度。

- (3) 判定要求：精密度應小於標準差 0.3 °C。

3.5 準確度測試

- (1) 名詞定義：狹義的準確度指的是真實度(trueness)，即系統性誤差(systematic error)，為一組量測值之平均值，與真值(或標準值)偏差之程度；廣義的準確度指的是真實度與精密度之總和，包含系統性誤差與隨機性誤差(random error)，為一筆量測值與真值(或標準值)偏差之程度。本測試項目之準確度，指的是狹義的真實度。
- (2) 測試方法：使用至少二種不同條件之溫度，每個條件交叉量測各三次，分別計算每個條件三次量測值之平均值(mean value)，與標準值之差值或相對差值，即可視為準確度。準確度之規格，應大於或等於每個條件各別之準確度。
- (3) 判定要求：準確度應介於 ± 0.3 °C。

3.6 應答時間測試

- (1) 名詞定義：狹義的應答時間，為量測值開始發生突然變化之瞬間，至量測值初次達到最終穩定應答量指定百分比之讀值，所需之時間間隔；廣義的應答時間，還包含測試條件變化之瞬間，至量測值開始發生突然變化所需之時間間隔。本測試項目之應答時間，指的是狹義的應答時間。
- (2) 測試方法：使用二種不同條件之溫度，由某一條件改變至另一條件，其量測值開始發生突然變化，至量測值初次達到 90 %最終穩定應答量之讀值，所需之時間間隔，即可視為應答時間，以 t_{90} 表示。重複上述測試方法三

次， t_{90} 之規格，應大於或等於每次測試各別之 t_{90} 。

- (3) 判定要求：應答時間 t_{90} 應小於 30 秒鐘。

4. 參考資料

- (1) 行政院環境保護署，水溫檢測方法，NIEA W217.51A，1999 年。
- (2) 行政院環境保護署，水溫檢測方法—自動監測設施法，NIEA W218.50C，2014 年。
- (3) 中國大陸環境保護部，水質—水溫的測定—溫度計或顛倒溫度計測定法，GB 13195-1991，1991 年。
- (4) 行政院環境保護署，水質檢測方法總則，NIEA W102.51C，2005 年。
- (5) 行政院環境保護署，環境檢驗品質管制指引通則，NIEA-PA101，2004 年。
- (6) ISO, Water quality—On-line sensors/analysing equipment for water—Specifications and performance tests, ISO 15839:2003 (2003).

微型酸鹼度感測器測試與驗證標準作業程序(草案)

1. 前言

本標準作業程序適用於對直讀式微型酸鹼度感測器所做之測試與驗證，以確保微型酸鹼度感測器之產品品質與後續維護使用之可靠度。

本標準作業程序適用於在實驗室中所做之測試與驗證，以及在客戶指定場所中所做之現場測試與驗證。

2. 準備事項

- (1) 檢查實驗室或客戶指定場所之環境溫度與相對濕度，是否在微型酸鹼度感測器的工作範圍內，並記錄此溫度與相對濕度。
- (2) 檢查微型酸鹼度感測器是否可正常啟動，暖機後讀值是否可正常顯示。
- (3) 準備微型酸鹼度感測器測試與驗證所需之儀器設備與標準品。

3. 標準作業程序

本標準作業程序包含量測範圍測試、線性範圍測試、解析度測試、精密度測試、準確度測試與應答時間測試共 6 項，各測試項目之名詞定義、測試方法與判定要求，分別敘述如下：

1.1 量測範圍測試

- (1) 名詞定義：感測器可正常量測之最小值至最大值之區間。
- (2) 測試方法：使用最小值與最大值之標準溶液，分別確認感測器均可正常讀取到量測值，即可將此標準溶液最小值至最大值之區間，視為最大量測範圍，量測範圍之規格，應介於最大量測範圍之間。
- (3) 判定要求：量測範圍應包含 0 ~ 14。

1.2 線性範圍測試

- (1) 名詞定義：量測值具有良好線性關係之最小值至最大值之區間。
- (2) 測試方法：使用至少三種不同條件之標準溶液，確認量測值之線性相關係數(r 值)應大於或等於 0.995，即可將此標準溶液最小值至最大值之區間，視為最大線性範圍，線性範圍之規格，應介於最大線性範圍之間。一般來說，線性範圍應介於量測範圍之間。
- (3) 判定要求：線性範圍應包含 2 ~ 12。

1.3 解析度測試

- (1) 名詞定義：量測值可讀取到之最小刻度。
- (2) 測試方法：使用最小值與最大值之標準溶液，分別確認量測值可讀取到之最小刻度，若二個量測值之最小刻度一致，此最小刻度即可視為解析度之規格，若二個量測值之最小刻度不一致，則需將量測範圍分段標示不同解析度之規格，必要時應使用其他條件之標準溶液，確認量測範圍之分段點。
- (3) 判定要求：解析度應優於 0.1。

1.4 精密度測試

- (1) 名詞定義：狹義的精密度指的是重複性(repeatability)，即組內精密度(within-run precision)，為一組相同量測條件之重複性測試中，各量測值間接近之程度；廣義的精密度指的是再現性(reproducibility)，包含組間精密度(run-to-run precision)、日內精密度(within-day precision)、日間精密度(day-to-day precision)、實驗室內精密度(within-lab precision)與實驗室間精密度(lab-to-lab precision)，為一組不同量測條件之再現性測試中，各量測值間接近之程度。本測試項目之精密度，指的是狹義的重複性。
- (2) 測試方法：使用至少二種不同條件之標準溶液，每個條件交叉量測各三次，

分別計算每個條件三次量測值之標準差(Standard Deviation ; SD)或是相對標準差(Relative Standard Deviation ; RSD)，即可視為精密度，必要時亦可改用全距(Range ; R)或全距百分比(Relative Range ; RR)來表示。精密度之規格，應大於或等於每個條件各別之精密度。

- (3) 判定要求：精密度應小於標準差 0.5。

1.5 準確度測試

- (1) 名詞定義：狹義的準確度指的是真實度(trueness)，即系統性誤差(systematic error)，為一組量測值之平均值，與真值(或標準值)偏差之程度；廣義的準確度指的是真實度與精密度之總和，包含系統性誤差與隨機性誤差(random error)，為一筆量測值與真值(或標準值)偏差之程度。本測試項目之準確度，指的是狹義的真實度。
- (2) 測試方法：使用至少二種不同條件之標準溶液，每個條件交叉量測各三次，分別計算每個條件三次量測值之平均值(mean value)，與標準值之差值或相對差值，即可視為準確度。準確度之規格，應大於或等於每個條件各別之準確度。
- (3) 判定要求：準確度應介於 ± 0.5 。

1.6 應答時間測試

- (1) 名詞定義：狹義的應答時間，為量測值開始發生突然變化之瞬間，至量測值初次達到最終穩定應答量指定百分比之讀值，所需之時間間隔；廣義的應答時間，還包含測試條件變化之瞬間，至量測值開始發生突然變化所需之時間間隔。本測試項目之應答時間，指的是狹義的應答時間。
- (2) 測試方法：使用二種不同條件之標準溶液，由某一條件改變至另一條件，其量測值開始發生突然變化，至量測值初次達到 90 %最終穩定應答量之讀值，所需之時間間隔，即可視為應答時間，以 t_{90} 表示。重複上述測試方法三次， t_{90} 之規格，應大於或等於每次測試各別之 t_{90} 。

- (3) 判定要求：應答時間 t_{90} 應小於 30 秒鐘。

4. 參考資料

- (1) 行政院環境保護署，水之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法—電極法，NIEA W424.52A，2008 年。
- (2) 行政院環境保護署，水之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法—自動監測設施法，NIEA W425.50C，2014 年。
- (3) 中國大陸環境保護部，水質—pH 值的測定—玻璃電極法，GB 13195-1991，1991 年。
- (4) 中國大陸環境保護部，pH 水質自動分析儀技術要求，HJ/T 96-2003，2003 年。
- (5) ISO, Water quality—Determination of pH, ISO 10523:2008 (2008).
- (6) 行政院環境保護署，水質檢測方法總則，NIEA W102.51C，2005 年。
- (7) 行政院環境保護署，環境檢驗品質管制指引通則，NIEA-PA101，2004 年。
- (8) ISO, Water quality—On-line sensors/analysing equipment for water—Specifications and performance tests, ISO 15839:2003 (2003).

微型導電度感測器測試與驗證標準作業程序(草案)

1. 前言

本標準作業程序適用於對直讀式微型導電度感測器所做之測試與驗證，以確保微型導電度感測器之產品品質與後續維護使用之可靠度。

本標準作業程序適用於在實驗室中所做之測試與驗證，以及在客戶指定場所中所做之現場測試與驗證。

2. 準備事項

- (1) 檢查實驗室或客戶指定場所之環境溫度與相對濕度，是否在微型導電度感測器的工作範圍內，並記錄此溫度與相對濕度。
- (2) 檢查微型導電度感測器是否可正常啟動，暖機後讀值是否可正常顯示。
- (3) 準備微型導電度感測器測試與驗證所需之儀器設備與標準品。

3. 標準作業程序

本標準作業程序包含量測範圍測試、線性範圍測試、解析度測試、精密度測試、準確度測試與應答時間測試共 6 項，各測試項目之名詞定義、測試方法與判定要求，分別敘述如下：

6.1 量測範圍測試

- (1) 名詞定義：感測器可正常量測之最小值至最大值之區間。
- (2) 測試方法：使用最小值與最大值之標準溶液，分別確認感測器均可正常讀取到量測值，即可將此標準溶液最小值至最大值之區間，視為最大量測範圍，量測範圍之規格，應介於最大量測範圍之間。
- (3) 判定要求：量測範圍應包含 $0 \sim 5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。

6.2 線性範圍測試

- (1) 名詞定義：量測值具有良好線性關係之最小值至最大值之區間。
- (2) 測試方法：使用至少三種不同條件之標準溶液，確認量測值之線性相關係數(r 值)應大於或等於 0.995，即可將此標準溶液最小值至最大值之區間，視為最大線性範圍，線性範圍之規格，應介於最大線性範圍之間。一般來說，線性範圍應介於量測範圍之間。
- (3) 判定要求：線性範圍應包含 150 ~ 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

6.3 解析度測試

- (1) 名詞定義：量測值可讀取到之最小刻度。
- (2) 測試方法：使用最小值與最大值之標準溶液，分別確認量測值可讀取到之最小刻度，若二個量測值之最小刻度一致，此最小刻度即可視為解析度之規格，若二個量測值之最小刻度不一致，則需將量測範圍分段標示不同解析度之規格，必要時應使用其他條件之標準溶液，確認量測範圍之分段點。
- (3) 判定要求：解析度應優於 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

6.4 精密度測試

- (1) 名詞定義：狹義的精密度指的是重複性(repeatability)，即組內精密度(within-run precision)，為一組相同量測條件之重複性測試中，各量測值間接近之程度；廣義的精密度指的是再現性(reproducibility)，包含組間精密度(run-to-run precision)、日內精密度(within-day precision)、日間精密度(day-to-day precision)、實驗室內精密度(within-lab precision)與實驗室間精密度(lab-to-lab precision)，為一組不同量測條件之再現性測試中，各量測值間接近之程度。本測試項目之精密度，指的是狹義的重複性。
- (2) 測試方法：使用至少二種不同條件之標準溶液，每個條件交叉量測各三次，

分別計算每個條件三次量測值之標準差(Standard Deviation; SD)或是相對標準差(Relative Standard Deviation; RSD)，即可視為精密度，必要時亦可改用全距(Range; R)或全距百分比(Relative Range; RR)來表示。精密度之規格，應大於或等於每個條件各別之精密度。

- (3) 判定要求：精密度應小於相對標準差 5 %。

6.5 準確度測試

- (1) 名詞定義：狹義的準確度指的是真實度(trueness)，即系統性誤差(systematic error)，為一組量測值之平均值，與真值(或標準值)偏差之程度；廣義的準確度指的是真實度與精密度之總和，包含系統性誤差與隨機性誤差(random error)，為一筆量測值與真值(或標準值)偏差之程度。本測試項目之準確度，指的是狹義的真實度。

- (2) 測試方法：使用至少二種不同條件之標準溶液，每個條件交叉量測各三次，分別計算每個條件三次量測值之平均值(mean value)，與標準值之差值或相對差值，即可視為準確度。準確度之規格，應大於或等於每個條件各別之準確度。

- (3) 判定要求：準確度應介於 $\pm 20 \mu\text{S/cm}$ 或讀值之 $\pm 5 \%$ 中較大者。

6.6 應答時間測試

- (1) 名詞定義：狹義的應答時間，為量測值開始發生突然變化之瞬間，至量測值初次達到最終穩定應答量指定百分比之讀值，所需之時間間隔；廣義的應答時間，還包含測試條件變化之瞬間，至量測值開始發生突然變化所需之時間間隔。本測試項目之應答時間，指的是狹義的應答時間。

- (2) 測試方法：使用二種不同條件之標準溶液，由某一條件改變至另一條件，其量測值開始發生突然變化，至量測值初次達到 90 %最終穩定應答量之讀值，所需之時間間隔，即可視為應答時間，以 t_{90} 表示。重複上述測試方法三次， t_{90} 之規格，應大於或等於每次測試各別之 t_{90} 。

(3) 判定要求：應答時間 t_{90} 應小於 30 秒鐘。

1. 參考資料

- (1) 行政院環境保護署，水中導電度測定方法—導電度計法，NIEA W203.51B，2000 年。
- (2) 行政院環境保護署，水中導電度測定方法—自動監測設施法，NIEA W204.50C，2014 年。
- (3) 中國大陸環境保護部，電導率水質自動分析儀技術要求，HJ/T 97-2003，2003 年。
- (4) ISO, Water quality—Determination of electrical conductivity, ISO 7888:1985 (1985).
- (5) 行政院環境保護署，水質檢測方法總則，NIEA W102.51C，2005 年。
- (6) 行政院環境保護署，環境檢驗品質管制指引通則，NIEA-PA101，2004 年。
- (7) ISO, Water quality—On-line sensors/analysing equipment for water—Specifications and performance tests, ISO 15839:2003 (2003)

微型化學需氧量感測器測試與驗證標準作業程序(草案)

1. 前言

本標準作業程序適用於對直讀式微型化學需氧量感測器所做之測試與驗證，以確保微型化學需氧量感測器之產品品質與後續維護使用之可靠度。

本標準作業程序適用於在實驗室中所做之測試與驗證，以及在客戶指定場所中所做之現場測試與驗證。

2. 準備事項

- (1) 檢查實驗室或客戶指定場所之環境溫度與相對濕度，是否在微型化學需氧量感測器的工作範圍內，並記錄此溫度與相對濕度。
- (2) 檢查微型化學需氧量感測器是否可正常啟動，暖機後讀值是否可正常顯示。
- (3) 準備微型化學需氧量感測器測試與驗證所需之儀器設備與標準品。

3. 標準作業程序

本標準作業程序包含量測範圍測試、線性範圍測試、解析度測試、精密度測試、準確度測試與應答時間測試共 6 項，各測試項目之名詞定義、測試方法與判定要求，分別敘述如下：

3.1 量測範圍測試

- (1) 名詞定義：感測器可正常量測之最小值至最大值之區間。
- (2) 測試方法：使用最小值與最大值之標準溶液，分別確認感測器均可正常讀取到量測值，即可將此標準溶液最小值至最大值之區間，視為最大量測範圍，量測範圍之規格，應介於最大量測範圍之間。

- (3) 判定要求：量測範圍應包含 0 ~ 250 mg/l。

3.2 線性範圍測試

- (1) 名詞定義：量測值具有良好線性關係之最小值至最大值之區間。
- (2) 測試方法：使用至少三種不同條件之標準溶液，確認量測值之線性相關係數(r 值)應大於或等於 0.995，即可將此標準溶液最小值至最大值之區間，視為最大線性範圍，線性範圍之規格，應介於最大線性範圍之間。一般來說，線性範圍應介於量測範圍之間。
- (3) 判定要求：線性範圍應包含 0 ~ 200 mg/l。

3.3 解析度測試

- (1) 名詞定義：量測值可讀取到之最小刻度。
- (2) 測試方法：使用最小值與最大值之標準溶液，分別確認量測值可讀取到之最小刻度，若二個量測值之最小刻度一致，此最小刻度即可視為解析度之規格，若二個量測值之最小刻度不一致，則需將量測範圍分段標示不同解析度之規格，必要時應使用其他條件之標準溶液，確認量測範圍之分段點。
- (3) 判定要求：解析度應優於 1 mg/l。

3.4 精密度測試

- (1) 名詞定義：狹義的精密度指的是重複性(repeatability)，即組內精密度(within-run precision)，為一組相同量測條件之重複性測試中，各量測值間接近之程度；廣義的精密度指的是再現性(reproducibility)，包含組間精密度(run-to-run precision)、日內精密度(within-day precision)、日間精密度(day-to-day precision)、實驗室內精密度(within-lab precision)與實驗室間精密度(lab-to-lab precision)，為一組不同量測條件之再現性測試中，各量測值間接近之程度。本測試項目之精密度，指的是狹義的重複性。

- (2) 測試方法：使用至少二種不同條件之標準溶液，每個條件交叉量測各三次，分別計算每個條件三次量測值之標準差(Standard Deviation；SD)或是相對標準差(Relative Standard Deviation；RSD)，即可視為精密度，必要時亦可改用全距(Range；R)或全距百分比(Relative Range；RR)來表示。精密度之規格，應大於或等於每個條件各別之精密度。
- (3) 判定要求：精密度應小於相對標準差 5 %。

3.5 準確度測試

- (1) 名詞定義：狹義的準確度指的是真實度(trueness)，即系統性誤差(systematic error)，為一組量測值之平均值，與真值(或標準值)偏差之程度；廣義的準確度指的是真實度與精密度之總和，包含系統性誤差與隨機性誤差(random error)，為一筆量測值與真值(或標準值)偏差之程度。本測試項目之準確度，指的是狹義的真實度。
- (2) 測試方法：使用至少二種不同條件之標準溶液，每個條件交叉量測各三次，分別計算每個條件三次量測值之平均值(mean value)，與標準值之差值或相對差值，即可視為準確度。準確度之規格，應大於或等於每個條件各別之準確度。
- (3) 判定要求：準確度應介於 ± 12 mg/l 或讀值之 ± 20 %中較大者。

3.6 應答時間測試

- (1) 名詞定義：狹義的應答時間，為量測值開始發生突然變化之瞬間，至量測值初次達到最終穩定應答量指定百分比之讀值，所需之時間間隔；廣義的應答時間，還包含測試條件變化之瞬間，至量測值開始發生突然變化所需之時間間隔。本測試項目之應答時間，指的是狹義的應答時間。
- (2) 測試方法：使用二種不同條件之標準溶液，由某一條件改變至另一條件，其量測值開始發生突然變化，至量測值初次達到 90 %最終穩定應答量之讀值，所需之時間間隔，即可視為應答時間，以 t_{90} 表示。重複上述測試方

法三次， t_{90} 之規格，應大於或等於每次測試各別之 t_{90} 。

(3) 判定要求：應答時間 t_{90} 應小於 30 秒鐘。

4. 參考資料

- (1) 行政院環境保護署，水中化學需氧量檢測方法—密閉式重鉻酸鉀迴流法，NIEA W517.52B，2009 年。
- (2) 行政院環境保護署，水中化學需氧量檢測方法—重鉻酸鉀迴流法，NIEA W515.54A，2007 年。
- (3) 行政院環境保護署，水中化學需氧量檢測方法—自動監測設施法，NIEA W518.50C，2014 年。
- (4) 中國大陸環境保護部，水質—化學需氧量的測定—重鉻酸鹽法，HJ 828-2017，2017 年。
- (5) 中國大陸環境保護部，水質—化學需氧量的測定—快速消解分光光度法，HJ/T 399-2007，2007 年。
- (6) 中國大陸環境保護部，環境保護產品技術要求—化學需氧量(CODCr)水質線上自動監測儀，HJ/T 377-2007，2007 年。
- (7) 中國大陸國家品質監督檢驗檢疫總局，化學需氧量(COD)測定儀檢定規程，JJG 975-2002，2002 年。
- (8) 中國大陸國家品質監督檢驗檢疫總局，化學需氧量(COD)線上自動監測儀檢定規程，JJG 1012-2006，2006 年。
- (9) ISO, Water quality—Determination of the chemical oxygen demand, ISO 6060:1989 (1989).

- (10) ISO, Water quality—Determination of the chemical oxygen demand index (ST-COD)—Small-scale sealed-tube method, ISO 15705:2002 (2002).
- (11) 行政院環境保護署，水質檢測方法總則，NIEA W102.51C，2005 年。
- (12) 行政院環境保護署，環境檢驗品質管制指引通則，NIEA-PA101，2004 年。
- (13) ISO, Water quality—On-line sensors/analysing equipment for water—Specifications and performance tests, ISO 15839:2003 (2003).

微型銅離子感測器測試與驗證標準作業程序(草案)

1. 前言

本標準作業程序適用於對直讀式微型銅離子感測器所做之測試與驗證，以確保微型銅離子感測器之產品品質與後續維護使用之可靠度。

本標準作業程序適用於在實驗室中所做之測試與驗證，以及在客戶指定場所中所做之現場測試與驗證。

2. 準備事項

- (1) 檢查實驗室或客戶指定場所之環境溫度與相對濕度，是否在微型銅離子感測器的工作範圍內，並記錄此溫度與相對濕度。
- (2) 檢查微型銅離子感測器是否可正常啟動，暖機後讀值是否可正常顯示。
- (3) 準備微型銅離子感測器測試與驗證所需之儀器設備與標準品。

3. 標準作業程序

本標準作業程序包含量測範圍測試、線性範圍測試、解析度測試、精密度測試、準確度測試與應答時間測試共 6 項，各測試項目之名詞定義、測試方法與判定要求，分別敘述如下：

3.1. 量測範圍測試

- (1) 名詞定義：感測器可正常量測之最小值至最大值之區間。
- (2) 測試方法：使用最小值與最大值之標準溶液，分別確認感測器均可正常讀取到量測值，即可將此標準溶液最小值至最大值之區間，視為最大量測範圍，量測範圍之規格，應介於最大量測範圍之間。

- (3) 判定要求：量測範圍應包含 2 ~ 10 mg/l。

3.2. 線性範圍測試

- (1) 名詞定義：量測值具有良好線性關係之最小值至最大值之區間。
- (2) 測試方法：使用至少三種不同條件之標準溶液，確認量測值之線性相關係數(r 值)應大於或等於 0.995，即可將此標準溶液最小值至最大值之區間，視為最大線性範圍，線性範圍之規格，應介於最大線性範圍之間。一般來說，線性範圍應介於量測範圍之間。
- (3) 判定要求：線性範圍應包含 2 ~ 5 mg/l。

3.3. 解析度測試

- (1) 名詞定義：量測值可讀取到之最小刻度。
- (2) 測試方法：使用最小值與最大值之標準溶液，分別確認量測值可讀取到之最小刻度，若二個量測值之最小刻度一致，此最小刻度即可視為解析度之規格，若二個量測值之最小刻度不一致，則需將量測範圍分段標示不同解析度之規格，必要時應使用其他條件之標準溶液，確認量測範圍之分段點。
- (3) 判定要求：解析度應優於 0.1 mg/l。

3.4. 精密度測試

- (1) 名詞定義：狹義的精密度指的是重複性(repeatability)，即組內精密度(within-run precision)，為一組相同量測條件之重複性測試中，各量測值間接近之程度；廣義的精密度指的是再現性(reproducibility)，包含組間精密度(run-to-run precision)、日內精密度(within-day precision)、日間精密度(day-to-day precision)、實驗室內精密度(within-lab precision)與實驗室間精密度(lab-to-lab precision)，為一組不同量測條件之再現性測試中，各量測值間接近之程度。本測試項目之精密度，指的是狹義的重複性。

- (2) 測試方法：使用至少二種不同條件之標準溶液，每個條件交叉量測各三次，分別計算每個條件三次量測值之標準差(Standard Deviation；SD)或是相對標準差(Relative Standard Deviation；RSD)，即可視為精密度，必要時亦可改用全距(Range；R)或全距百分比(Relative Range；RR)來表示。精密度之規格，應大於或等於每個條件各別之精密度。
- (3) 判定要求：精密度應小於相對標準差 5 %。

3.5. 準確度測試

- (1) 名詞定義：狹義的準確度指的是真實度(trueness)，即系統性誤差(systematic error)，為一組量測值之平均值，與真值(或標準值)偏差之程度；廣義的準確度指的是真實度與精密度之總和，包含系統性誤差與隨機性誤差(random error)，為一筆量測值與真值(或標準值)偏差之程度。本測試項目之準確度，指的是狹義的真實度。
- (2) 測試方法：使用至少二種不同條件之標準溶液，每個條件交叉量測各三次，分別計算每個條件三次量測值之平均值(mean value)，與標準值之差值或相對差值，即可視為準確度。準確度之規格，應大於或等於每個條件各別之準確度。
- (3) 判定要求：準確度應介於 ± 0.1 mg/l 或讀值之 ± 5 %中較大者。

3.6. 應答時間測試

- (1) 名詞定義：狹義的應答時間，為量測值開始發生突然變化之瞬間，至量測值初次達到最終穩定應答量指定百分比之讀值，所需之時間間隔；廣義的應答時間，還包含測試條件變化之瞬間，至量測值開始發生突然變化所需之時間間隔。本測試項目之應答時間，指的是狹義的應答時間。
- (2) 測試方法：使用二種不同條件之標準溶液，由某一條件改變至另一條件，其量測值開始發生突然變化，至量測值初次達到 90 %最終穩定應答量之讀值，所需之時間間隔，即可視為應答時間，以 t_{90} 表示。重複上述測試方

法三次， t_{90} 之規格，應大於或等於每次測試各別之 t_{90} 。

- (3) 判定要求：應答時間 t_{90} 應小於 5 分鐘。

4. 參考資料

- (1) 中國大陸環境保護部，水質—銅的測定—二乙基二硫代氨基甲酸鈉分光光度法，HJ 485-2009，2009 年。
- (2) 中國大陸環境保護部，水質—銅的測定—2,9-二甲基-1,10-菲囉啉分光光度法，HJ 486-2009，2009 年。
- (3) 中國大陸環境保護部，鉛水質自動線上監測儀技術要求及檢測方法，GB/T 13896-1992，1992 年。
- (4) 行政院環境保護署，水質檢測方法總則，NIEA W102.51C，2005 年。
- (5) 行政院環境保護署，環境檢驗品質管制指引通則，NIEA-PA101，2004 年。
- (6) ISO, Water quality—On-line sensors/analysing equipment for water—Specifications and performance tests, ISO 15839:2003 (2003).

微型鋅離子感測器測試與驗證標準作業程序(草案)

1. 前言

本標準作業程序適用於對直讀式微型鋅離子感測器所做之測試與驗證，以確保微型鋅離子感測器之產品品質與後續維護使用之可靠度。

本標準作業程序適用於在實驗室中所做之測試與驗證，以及在客戶指定場所中所做之現場測試與驗證。

2. 準備事項

- (1) 檢查實驗室或客戶指定場所之環境溫度與相對濕度，是否在微型鋅離子感測器的工作範圍內，並記錄此溫度與相對濕度。
- (2) 檢查微型鋅離子感測器是否可正常啟動，暖機後讀值是否可正常顯示。
- (3) 準備微型鋅離子感測器測試與驗證所需之儀器設備與標準品。

3. 標準作業程序

本標準作業程序包含量測範圍測試、線性範圍測試、解析度測試、精密度測試、準確度測試與應答時間測試共 6 項，各測試項目之名詞定義、測試方法與判定要求，分別敘述如下：

3.1. 量測範圍測試

- (1) 名詞定義：感測器可正常量測之最小值至最大值之區間。
- (2) 測試方法：使用最小值與最大值之標準溶液，分別確認感測器均可正常讀取到量測值，即可將此標準溶液最小值至最大值之區間，視為最大量測範圍，量測範圍之規格，應介於最大量測範圍之間。
- (3) 判定要求：量測範圍應包含 4 ~ 15 mg/l。

3.2. 線性範圍測試

- (1) 名詞定義：量測值具有良好線性關係之最小值至最大值之區間。
- (2) 測試方法：使用至少三種不同條件之標準溶液，確認量測值之線性相關係

數(r 值)應大於或等於 0.995，即可將此標準溶液最小值至最大值之區間，視為最大線性範圍，線性範圍之規格，應介於最大線性範圍之間。一般來說，線性範圍應介於量測範圍之間。

- (3) 判定要求：線性範圍應包含 4 ~ 10 mg/l。

3.3. 解析度測試

- (1) 名詞定義：量測值可讀取到之最小刻度。
- (2) 測試方法：使用最小值與最大值之標準溶液，分別確認量測值可讀取到之最小刻度，若二個量測值之最小刻度一致，此最小刻度即可視為解析度之規格，若二個量測值之最小刻度不一致，則需將量測範圍分段標示不同解析度之規格，必要時應使用其他條件之標準溶液，確認量測範圍之分段點。
- (3) 判定要求：解析度應優於 0.1 mg/l。

3.4. 精密度測試

- (1) 名詞定義：狹義的精密度指的是重複性(repeatability)，即組內精密度(within-run precision)，為一組相同量測條件之重複性測試中，各量測值間接近之程度；廣義的精密度指的是再現性(reproducibility)，包含組間精密度(run-to-run precision)、日內精密度(within-day precision)、日間精密度(day-to-day precision)、實驗室內精密度(within-lab precision)與實驗室間精密度(lab-to-lab precision)，為一組不同量測條件之再現性測試中，各量測值間接近之程度。本測試項目之精密度，指的是狹義的重複性。
- (2) 測試方法：使用至少二種不同條件之標準溶液，每個條件交叉量測各三次，分別計算每個條件三次量測值之標準差(Standard Deviation；SD)或是相對標準差(Relative Standard Deviation；RSD)，即可視為精密度，必要時亦可改用全距(Range；R)或全距百分比(Relative Range；RR)來表示。精密度之規格，應大於或等於每個條件各別之精密度。
- (3) 判定要求：精密度應小於相對標準差 5 %。

3.5. 準確度測試

- (1) 名詞定義：狹義的準確度指的是真實度(trueness)，即系統性誤差

(systematic error)，為一組量測值之平均值，與真值(或標準值)偏差之程度；廣義的準確度指的是真實度與精密度之總和，包含系統性誤差與隨機性誤差(random error)，為一筆量測值與真值(或標準值)偏差之程度。本測試項目之準確度，指的是狹義的真實度。

- (2) 測試方法：使用至少二種不同條件之標準溶液，每個條件交叉量測各三次，分別計算每個條件三次量測值之平均值(mean value)，與標準值之差值或相對差值，即可視為準確度。準確度之規格，應大於或等於每個條件各別之準確度。
- (3) 判定要求：準確度應介於 $\pm 0.2 \text{ mg/l}$ 或讀值之 $\pm 5 \%$ 中較大者。

3.6. 應答時間測試

- (1) 名詞定義：狹義的應答時間，為量測值開始發生突然變化之瞬間，至量測值初次達到最終穩定應答量指定百分比之讀值，所需之時間間隔；廣義的應答時間，還包含測試條件變化之瞬間，至量測值開始發生突然變化所需之時間間隔。本測試項目之應答時間，指的是狹義的應答時間。
- (2) 測試方法：使用二種不同條件之標準溶液，由某一條件改變至另一條件，其量測值開始發生突然變化，至量測值初次達到 90 %最終穩定應答量之讀值，所需之時間間隔，即可視為應答時間，以 t_{90} 表示。重複上述測試方法三次， t_{90} 之規格，應大於或等於每次測試各別之 t_{90} 。
- (3) 判定要求：應答時間 t_{90} 應小於 5 分鐘。

4. 參考資料

- (1) 中國大陸環境保護部，水質—鋅的測定—雙硫脲分光光度法，GB 7472-1987，1987 年。
- (2) 中國大陸環境保護部，鉛水質自動線上監測儀技術要求及檢測方法，GB/T 13896-1992，1992 年。
- (3) 行政院環境保護署，水質檢測方法總則，NIEA W102.51C，2005 年。
- (4) 行政院環境保護署，環境檢驗品質管制指引通則，NIEA-PA101，2004 年。
- (5) ISO, Water quality—On-line sensors/analysing equipment for water—Specifications and performance tests, ISO 15839:2003 (2003).

附件十一、水科技物聯網平台_水質自動連續 監測預警分析模組

工業技術研究院

水科技物聯網應用平台

進度報告

專案名稱 (Project Name)：	水科技物聯網應用平台
文件編號 (ID)：	PROG-201703001
版本 (Version)：	1.0
發佈日期 (Release Date)：	2017/03/30

根據計畫工作內容(一) 建立水質自動連續監測預警分析模組之需求，以下說明 3 月底已完成設計的靜態頁面，各項工作說明如下：

一、水質監測預警管制法則程式化

(一) 對應工作項目：「A.水質監測預警管制法則程式化，自動依一定期間歷史水質監測數據產生預警界限。」

(二) 目前進度

功能設計靜態畫面如圖 1 所示，選定測站後，可以設定特定監測項目的統計分析規則，可自動依一定期間歷史水質監測數據產生預警界限。

水質自動連續監測預警分析模組

水質監測數據分析統計(SPC)預警設定修改作業

測站: 桃園測站1

資料採樣方式: ☒ 自動周期區間 ☐ 特定日期區間

選擇計算時間區間:

監測數據:

採樣時間:

計算

計算結果			
是否為常態分配		M(平均值)	σ (標準差)
LCL		UCL	全距
CP		CPK	

規則	內容	處理
☐	連續 ☐ 點在管制界限之外視為異常	修改

Top

圖 1. 水質監測預警管制法則程式化

二、定期根據預警界限判斷

(一) 對應工作項目：「B.根據測站回傳的數據，定期根據預警界限判斷，該測站的監測項目是否該預警。」

(二) 目前進度

功能畫面如圖 2 所示，完成設定後，系統會提供總表讓管理人員查看，並有定期排程的程式根據這些規則運算，當發現違反設定的管質界線值時，則會記錄預警的規則與監測時間點。

水質自動連續監測預警分析模組

水質監測數據分析統計(SPC)預警設定修改作業

測站名稱: 桃園測站1

查詢

測站ID	監測數據	取樣時間	常態分配	M	σ	LCL	UCL	全距	CP	CPK	法規下 限	法規上 限	Rule1	Rule2	Rule3	Rule4	Rule5	Rule6	Rule7	Rule8	功能
T001	導電度	2017/05/1- 2017/05/30	是	1253.91	74.00	1031.91	1475.91	165.00	1.00	1.00	--	--	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	編輯 刪除

Top

圖 2. 測站的監測項目法則總表

三、顯示的燈號警報

(一) 對應工作項目：「C.根據測站回傳的數據，預警應顯示的燈號警報建立。」

(二) 目前進度：

功能畫面如圖 3 所示，根據測站回傳的數值與該站該測項的預警管制規則，展示於 Web GIS 時，會呈現不同的燈號。



圖 3. 預警的燈號警報

四、調整預警管制法則

(一) 對應工作項目：「D.提供系統功能讓主管機關可調整預警管制法則，並同步提供調整法則後之歷史數據試算結果。」

(二) 目前進度

根據目前規劃的管制法則，包括以下 8 項：

1. 連續 N 點在管制界限(A 區)之外視為異常
2. 連續 N 點中有 M 點落在 A 區或 A 區之外視為異常
3. 連續 N 點中有 M 點落在 B 區或 B 區之外視為異常
4. 連續 N 點上升視為異常
5. 連續 N 點下降視為異常
6. 連續 N 點的全距值小於 M 視為異常
7. 連續 N 點的全距值大於 M 視為異常
8. N 點超過行政院環境保護署訂定之 pH 放流水標準(6.0~9.0) 視為異常

8 項管制規則已經設計在系統中，功能畫面如圖 4 所示，系統並有試算的功能，提供管理人員可先以歷史數據進行分析，以了解歷史數據預警的情形。

水質自動連續監測預警分析模組

登出

水質監測數據分析統計(SPC)預警設定修改作業

測站

桃園測站1

資料採樣方式

☒自動周期區間 ☐特定日期區間

選擇計算時間區間

監測數據

採樣時間

計算

計算結果

Top

圖 4. 管理與調整預警管制法則

五、透過 GIS 或其他視覺化呈現

- (一) 對應工作項目：「E.前端頁面提供各測站管制法則燈號及數據展示查詢功能，透過 GIS 或其他視覺化呈現方式。」
- (二) 目前進度：
- 功能畫面如圖 5 所示，以 WebGIS 呈現測站點位與基本資料。

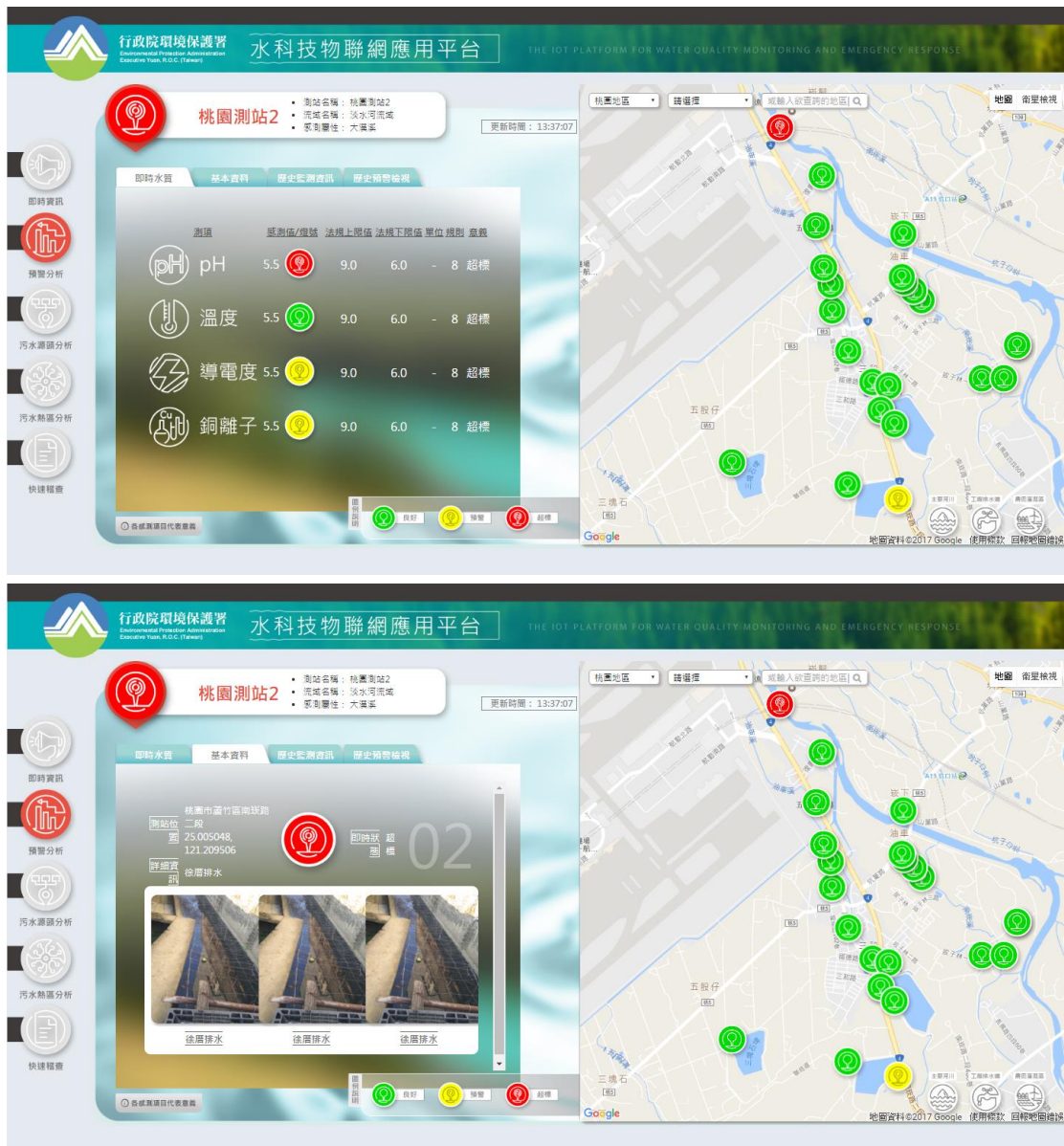


圖 5. 以 Web GIS 與視覺化呈現
以圖像方式呈現預警規則，功能畫面如圖 6、圖 7 所式。



圖 6. 以視覺化呈現預警規則-歷史監測資訊

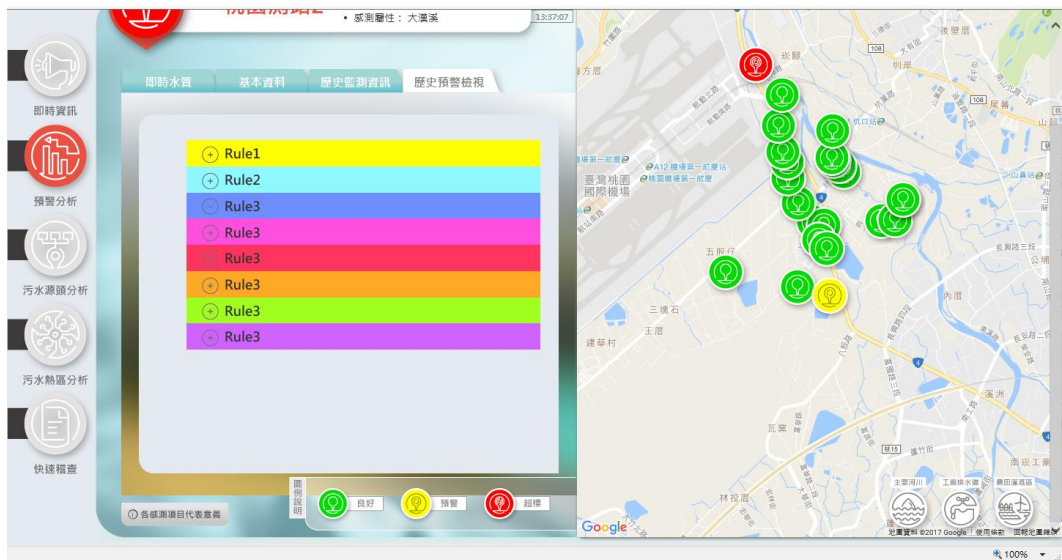


圖 7. 以視覺化呈現預警規則-歷史預警檢視

六、配合時程提供靜態頁面。

(一) 對應工作項目：「F 需配合署內第一次工作進度報告，於 3 月底前先提供水質自動連續監測預警分析模組靜態頁面。」

(二) 目前進度：

目前靜態頁面網址：

1. 展示端：<http://iot.pstcom.com.tw/>
2. 管理端：
 - (1) http://iot.pstcom.com.tw/MIS/Spc_Data_Select.aspx
 - (2) http://iot.pstcom.com.tw/MIS/Spc_Data_Set.aspx

附件十二、規劃污染農地物聯網整合系統報告



行政院環境保護署

規劃污染農地物聯網整合系統報告

中華民國 106 年 11 月

一、緣起

我國由於地狹人稠，工業區及工廠鄰近農地，導致農地因取水灌溉之需求，加上工業區及部分不肖業者污水灌排不分，常常發生工業污水污染農地的環境事件。民國 71 年，桃園市觀音區（原桃園縣觀音鄉）大潭村發生第一起鎘米事件，由於當地高銀化工廠排出含高濃度鎘的工業廢水，且未經妥善處理即排入農田旁灌溉渠道，造成農地遭受污染而種出含有「鎘」的稻米。相隔兩年後（民國 73 年），桃園市蘆竹區（原桃園縣蘆竹鄉）也爆發鎘米事件，污染源指向基力化工廠，污染起因亦為違規排放未經妥善處理的高濃度鎘及鉛工業廢水，導致位於中福村、新興村及新庄村等三個村莊間的農地遭受污染。桃園市鎘米事件爆發後，彰化縣、臺中市、雲林縣等地區陸續發生污染事件，自此，農地污染問題引起大眾關注，政府環保與農政機關（單位）隨即加強執行土壤重金屬調查，確保農糧生產安全，並掌握臺灣地區農地污染分布情形。

有鑑於此，針對國內高風險農地污染潛勢區域進行完整的監測物聯網布建規劃，將是刻不容緩的議題，透過 24 小時不間斷的監測網絡，對可能流入高風險農地進行污染預警及應變行動，將有效遏阻不肖業者偷排及提升農地整治改善進度。本報告擬規劃水質感測器應用於監控污染潛勢農地之布建標準流程指引及大數據智慧應用分析規劃，包括布點選址規劃、維運規劃、架設注意事項、與現地相關單位溝通及實際布建需注意事項、數據加值及物聯網應用情境規劃等，作為未來應用水質感測器布建至農地污染潛勢場域之參考。

二、目標

本報告所規劃之污染農地物聯網整合系統規劃，主要分為布建標準流程指引及大數據智慧應用分析規劃，期當未來不同單位需透過水質感測器監控污染農地潛勢區時，強化布建規劃及數據應用方式之一致性，以整體監控農地為考量，妥善獲取並應用污染資訊進行管理，主要目標分述如下。

（一）水質感測器布建標準化

考量未來大量應用水質感測器布建時，需能瞭解現地需求、場域流系分布及有效監控污染農地，同步取得中央、地方及現地居民協助，本報告依據過去布建及溝通經驗，撰寫布建標準流程指引，協助未來有布建需求之單位於整體水質感測器布建標準化。

（二）智慧物聯數據應用系統性

當以水質感測器自動監控整體農地，配合物聯網資通訊技術可達到資料自動傳輸、加值及應用管理，本報告提供如何以系統性方式結合動靜態資訊，達到監控污染、熱區追蹤、污染溯源及物聯網其他情境相關應用，作為未來智慧物聯監控農地之參考。

三、工作方法及成果

(一) 污染農地水質感測器布建規劃指引

本節依據過去水質物聯網感測器布建經驗提供布建規劃指引，從前期的布建選址規劃、中期溝通協調到後期感測器架設，以及後續數據傳輸期間之運作維護及保養校正規劃，期作為未來應用水質感測器擴充布建至其他場域之參考，架構如圖 1。

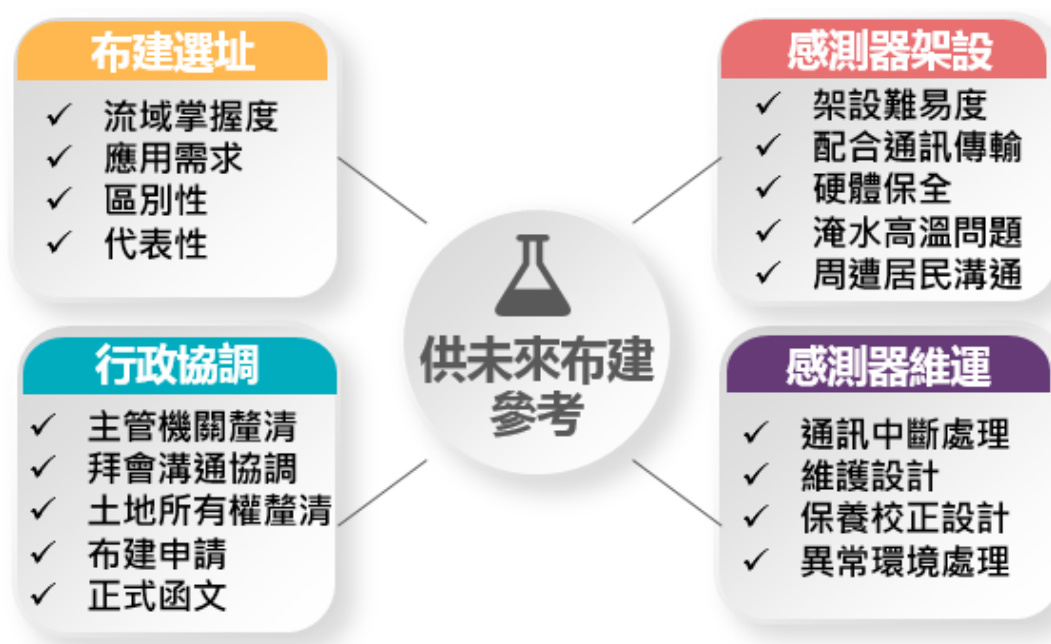


圖 1 污染農地水質感測器布建規劃指引架構

1. 布建選址規劃

為有效利用投入資源，選址應以能解決實際迫切面臨之環境問題為優先，如重點污染潛勢區、民眾經常檢舉區域及環境污染事件頻發區域。透過上述環境問題思考選址規劃，以污染溯源取締不法廠商為主、或作為下游使用水源之居民及農民定期監測，再依各監測場域特性分配布建點數及位置。布建選址規劃重點整理如下：

- (1) 各監測點需有區別性，在監測水流範圍需有不同來源之進流或出流。盡量在支流分支上一些的位置，以確保掌握每條區灌排水質變化。

- (2) 選址應考量監測代表性，至少需涵蓋實際需解決環境問題之關鍵點。常見布建位置如排水道、農田取水口及農田渠道等。
- (3) 對於流域掌握度應完整，盡量涵蓋上中下游整體場域概念作為布建規劃，以利後續資訊加值利用。
- (4) 由於布建位置經常涉及不同主管機關管轄範圍，其通常最瞭解當地實際問題，選址應能盡量配合當地主管機關需求調整，通常可請教地方環保局或地方農田水利會瞭解環境問題嚴重地區。
- (5) 規劃後需輔以現勘瞭解現地實際狀況，該地水文流向的實際狀況、周遭環境遮蔽情形及是否有敏感工廠等，皆須納入考量。

2. 感測器架設注意事項

前項所述為選址原則，實際布設位置仍應考量現場環境可行性，並以不影響當地主管機關及居民之現地設備、水路及其他業務用途為原則。架設注意重點事項如下：

- (1) 施工應考量固定感測器位置與實際抽水位置高度，過高將影響抽水難度，而架設延伸架將可能增加感測器受風面積。建議應盡量以靠近水面固定點為優先，若為農田渠道則以路邊為主，若需架設延伸架，應盡量緊貼牆壁，避免懸空垂降。
- (2) 架設位置鄰近抽水處之水體需具有一定深度，避免抽不到水之情形，且抽水位置應盡量靠近水道中段，或導引中段水源至抽水處，以確保採樣代表性。
- (3) 應事先訪談當地主管機關或附近居民現地環境狀況，瞭解該區是否經常淹水、淹水深度及異常環境條件，通常在枯水期可能因河面乾枯造成感測器暴露高溫而損壞，在暴雨期也可能因大水沖刷造成感測器被沖毀，視情況需設計全防水或部分防水裝置、通風設計等。
- (4) 建議透過現地溝通，可尋求里長協助，降低周遭居民戒心，甚至可共同巡

察照顧機器，減少機器遭破壞可能性，並可於機器表面貼上「錄影中」等字樣，並於機台外箱上鎖，預防設備遭破壞或盜竊。

- (5) 應避免金屬及混凝土遮蔽區域，如工場鐵皮屋附近、或垂降過深之架設處，以避免干擾通訊傳輸，若輔以 LoRa 作為通訊模組，基地台應盡量設置能涵蓋最大量感測器位置，並架設於高處。
- (6) 機台架設後需校正，並同時測試現場數據及經由通訊模組傳輸數據差異性，以同時確保感測器數據準確性、通訊可行性及後端數據轉換正確性。

3. 感測器維運規劃

由於水質監測設備所處環境較為惡劣，訊號、電源線及設備本身常受天候及人為因為影響，需定期保養與校正機台，以及突發狀況應變維運，確保維持感測器持續運作及數據準確度，以下分別說明：

- (1) 定期保養與校正機台是指固定時間對水質監測設備之檢查及維護保養，時間長短需視現場水質狀況而異，一般而言每台設備一個月至少需巡檢維運一次，維運規劃項目包括：
 - A. 水質感測器檢視及處理：是否受到淤積、漂流物影響，是否有障礙物以及雜物需清理，抽水處水量是否充足，機台溫度是否異常。
 - B. 水質感測器校正：由設備供應商至現場驗證感應器具之準確度，並備料以即時更換故障之感測元件。
 - C. 通訊設備檢查：以適當方式檢測資料傳輸是否正常，採用 LoRa 模組者需檢查設備本身外，尚須確認基地台之通風及溫度情形，避免異常環境造成斷訊。
 - D. 電源檢查：若未採用外接電源者，需確認行動電源電力是否足夠，不足者直接更換。
 - E. 整體檢查：檢查水質監測與監控器具是否發生異位、接頭鬆動等現象，需依檢查項目逐一測試各功能並紀錄結果。必要之設備需透過適當之儀

器取得數據，或應相關儀器進行清理、介接等動作，以確保設備正常運作。

- (2) 突發狀況應變維運是指感測器遭環境或人為造成無法持續運作或數據不準確，通常可藉由數據傳輸之前端平臺即時呈現數據中斷或異常瞭解，人員至現場處理項目包括：

A. 通訊中斷處理：需確認機台是否遭人為或環境破壞、確認行動電源電力是否足夠、機台是否有持續抽水檢測、是否有障礙物或雜物堵塞，以及機箱內通訊模組是否正常運作，採以 LoRa 通訊模組者，尚須確認基地台是否因異常環境導致當機。

B. 數據異常處理：先觀察並排除周遭環境異常情形，再逐項檢測機台各設備，由設備供應商至現場驗證感應器具之準確度，並備料以即時更換故障之感測元件。

4. 行政配合事項

由於水質物聯網監測設備可應用場域較廣，布建規劃常涵蓋排水道及農田渠道，將涉及多個地方主管機關，在布建前應通知地方主管機關並取得同意，有關行政配合注意事項說明如下：

- (1) 選址前應先與地方環保局溝通，以瞭解當地環境問題並獲得有關資訊，再釐清相關場域主管機關，通常農田渠道為農田水利會管轄；河溪及排水道為市政府水務局管轄；部分水路為地方區公所管轄。實際管轄範圍劃分仍應直接向相關單位瞭解。
- (2) 為利於布建推動，建議拜會各主管機關，說明布建原委及可提供的效益，盡可能減少其額外負擔業務為原則，此外，亦需瞭解主管機關的需求及配合事項，盡力配合，建立良好溝通管道有助於減少繁冗之行政程序。
- (3) 申請布建實際位置宜以公有土地為主，然此部分不易釐清，建議向主管機關洽詢是否有相關資源可以查詢，如桃園地區即可利用「桃園住宅及不動產資訊桃寶網」查詢，通常地段地號屬於公有土地皆可以申請，部分

私有土地有可能仍是屬於農田水利會，需逐一確認。

- (4) 各主管機關對於布建申請程序不一，原則上若水質感測器體積不大，且不影響原有水路排水、供水、現有設備正常運作或污染水質情形下，盡量爭取從簡處理，必要時需陪同現勘。
- (5) 必要時可尋求原布建計畫業務單位協助，以公文、Email 或電話方式協請當地主管機關配合。

(二) 污染農地物聯網整合分析系統規劃

水質感測器布建後，如何妥善運用監測數據是一重要議題。為有效運用水質物聯網監測資訊，確實達到改善環境品質，本節提供以物聯網情境應用規劃及數據加值分析兩部分，介紹如何以系統性方式結合動靜態資訊，達到監控污染、熱區追蹤、污染溯源及物聯網其他情境相關應用，作為未來智慧物聯監控農地之參考，規劃概念如圖 2。



圖 2 農地物聯網整合系統規劃概念

1. 整合分析系統規劃

過去農地陳情事件或污染事件發生時，大多使用人工判別可能影響之範圍，無自動化預警機制提供政府單位相關資訊，在資訊延遲且紛亂情況下，既費時

且可能發生誤判。因此如何有效運用水質測站監測數據，規劃高風險污染潛勢農地監控網絡，結合縣市地理資訊系統(GIS)及農田水利會灌溉渠道系統，以物聯概念啟動後續之應變決策及物件將是本節重點。為了達到此目的，建議整合分析系統架構如下圖 3：

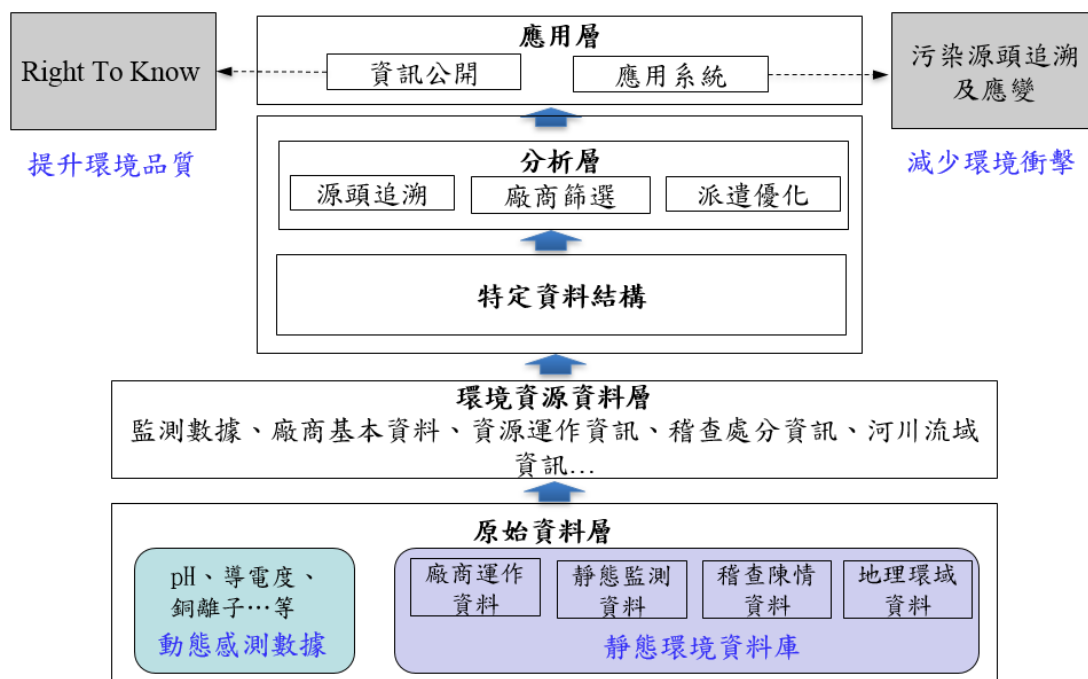


圖 3 整合分析系統架構

(1) 原始資料層

先定義系統使用目的，並依據該目的分析所需資料以介接內外部原始資料。以污染農地水質感測器監測而言，即時介接動態資訊即為各布建水質感測器的 pH、導電度、溫度、銅離子數據，其可透過通訊模組直接回傳至系統，可藉此瞭解農地網絡污染情形；若以源頭排放追溯及事故應作為加值分析，可進一步介接：（一）廠商原料使用、產業別及廢棄物排放情形；（二）水量水質每月監測數據；（三）民眾稽查陳情資訊；（四）河川及排水道上下游流域資訊等。作為後續分析層資料應用。

上述資訊，可於公開之「環境資源資料庫」⁶及需申請帳號之「環境資源資料交換平台（CDX）」⁷取得，若透過 CDX 取得資料可設定後續隨該平台同步更新，大部分資料可自由訂閱，少部分如廠商運作資訊，由於牽涉到個資，需再與該資料提供主管機關洽談介接方式及用途。由於此類資料多為統計及申報資料，更新頻率較長，多為 1 天或 1 個月。而跨域資訊往往涉及多個主管機關，建議若需達到自動化介接更新，需召開跨部會會議，以利同時取得各主管機關同意及固定聯絡窗口。

(2) 環境資源資料層

為利於後續分析應用，原始資料需依主題分類，整理成環境資源資料。依過去歸類經驗，可粗分為：（一）水質監測數據；（二）地理環域資訊；（三）廠商基本資訊；（四）資源運作資訊；（五）稽查處分資訊。上述資訊即依源頭追溯及污染熱區預測需求設計。

(3) 分析層

分析系統多採用關聯式資料庫存放資料，其格式與一般 Open Data 下載 Excel 表不同，其是以列（屬性 Attribute）和行（值組 Tuple）的形式組織起來的資料的集合，一個資料庫包括一個或多個表（關聯 Relation），需將環境資源資料層轉換為特定資料結構。前述資料庫架構建立後，即可設計分析層概念模式，需將模式程式化，後端可配合關聯資料語言（SQL）串連資料庫，亦可應用地理資訊系統（GIS）達到圖層套疊及分析功能。在分析模式可發展方向如下：

- A. 平時大數據的管理與背景分析：運用高風險污染潛勢農地環境感測物聯網所生產的大量及即時的數據資料。這些資料蒐集後必須經過驗證法則檢核後，可匯入本項工作之資料倉儲進行大數據分析，深入發掘有意義的資料價值，進而轉換成可加值運用的資訊，提供該區域背景資料分析、進行預

⁶ 參考網址：<https://erdb.epa.gov.tw/>

⁷ 參考網址：<https://cdx.epa.gov.tw/CDX/main.aspx>

測或採行決策等加值運用於解決環境課題。因此強化大數據分析技術將關係著未來環境感測物聯網能否產生深度的布建效益。

- B. 時間與空間概念的熱區分析：目前某些縣市雖有流域周遭疑似污染源位置資訊，但未整合視覺化地理圖資系統，無法結合時空分析難以判別熱區。熱區分析模組藉列管污染源資訊系統(EMS)資料，提供流域運作場廠位置分布，結合其基本與申報資料，分析該區域歷史稽查紀錄，以利判別污染來源，達到污染控制與責任釐清。
- C. 異常趨勢的先期預警：為發揮高風險污染潛勢農地即時線上水質監測網絡之系統功能，擬建立水質監測數據分析統計(SPC)預警平臺、農地流域污染流布與源頭污染量分析平臺。因各監測農地有不同的污染背景濃度，除與法規管制值進行比對與警報發佈外，平時可利用背景污染濃度即時監測數據，未達法規管制值前，針對農地污染低濃度或超低濃度的監測數據，可利用統計管制理論偵測短期較大變化或異常情況，發揮監測農地平時之特性管制及預警管理。
- D. 事件發生後的應變決策：考量目前水系流域及農地污染的環保犯罪模式已朝向跨轄區化及非預期化之污染方式發展，以致環保單位查察與應變處理工作困難，而可查察資料如業者申報資料及人員稽查登錄系統資料散落在各系統間，尚無單一系統可就建檔資料進行相互勾稽比對查核，找出可疑不法線索。可將前述環境感測物聯網系統，結合環保署各種申報系統及公害陳情系統等資料匯出整理，透過大數據分析方式，來檢核各樣申報資料可疑事證，查察整個可疑案件不法的重複出現地點或頻率時間，可事先進行環境污染事件預防及稽查。另外也可以結合農地污染附近之緊急應變物件進行啟動及處理。

(4) 應用層

應用層是以資料層及模式層為基礎，透過前端設計，於系統平台提供應用服務以解決實際問題，一般可分為資訊公開及應用系統服務。以污染農地水質感測器監測而言，資訊公開即為提供主管機關或居民水質監測資訊，達到污染

資訊透明化及民眾有感，有分析需求的單位亦可下載後進一步資訊加值；應用系統則是透過各種模式分析及預測，結合跨域資訊，作為決策支援資訊提供。在前端應用功能可設計功能如下：

- A. 可連結資料倉儲，顯現相關廠商資料或污染農地之情形，並在不干擾畫面解讀的前提之下，依照類型不同使用不同顏色或圖示進行區別。
- B. 可透過地理資訊系統(GIS)呈現高風險污染潛勢農地水質監控網絡，並提供相關資料的圖層套疊功能，包括附近流域、工廠及重要設施位置，須建立介面進行勾選欲顯示或取消之目標物。重要設施如灌溉用幹線、支線及分線圖層，池塘位置，緊急遮斷(關閉)閘門位置，取水口及水井位置等，概念如圖 4。
- C. 可根據污染點(水質測站警報或民眾陳情)，劃分以污染點位為中心之影響範圍。該影響範圍半徑可讓使用者於操作介面上自行設定。可根據影響範圍，進一步篩選出重要工廠或設施，其餘不在影響範圍半徑內的不顯示於畫面中。
- D. 可輔以污染溯源分析及熱區預測分析功能，配合地理資訊系統(GIS)呈現高風險區域。
- E. 規劃結合污染農地之取水泵浦及緊急遮斷閘門設備，利用物聯概念將預警資訊與應變設施連動，發揮即時預警與應變效益。
- F. 可結合 E 化派遣，提供手持設備查詢結果。

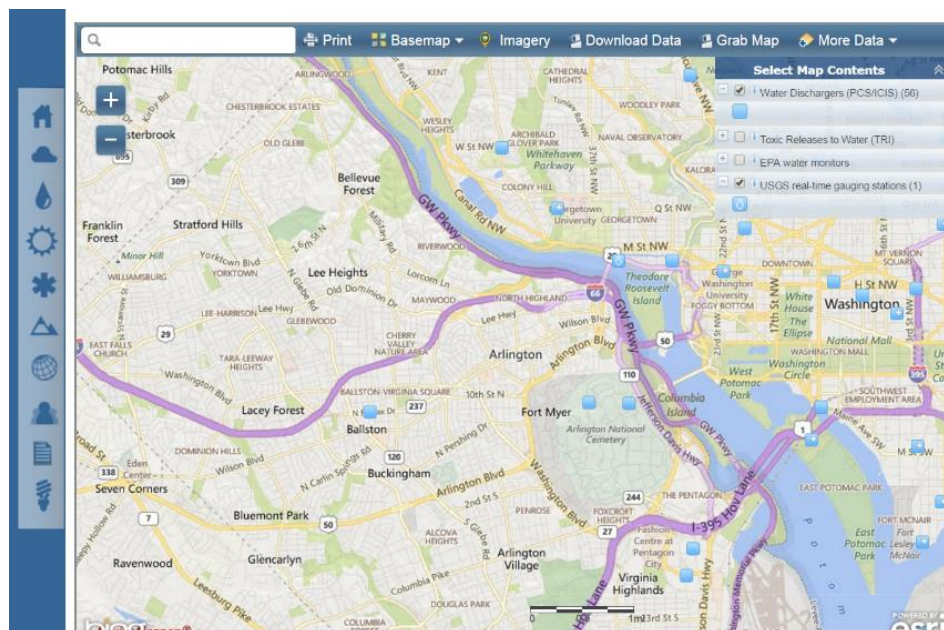


圖 4 結合地理資訊系統之物聯網概念圖

2. 物聯網情境應用規劃

透過物聯網的概念，以物對物快速準確傳遞並處理訊息，將可有效提升環境問題發生的應變處理。對於水質事件理論之系統化定義，必須確認其因果條件，以污染農地物聯網整合分析而言，也就是其上位系統之污染源頭追溯及下位系統之污染熱區分析。此外，亦可將感測元件搭載至浮動式載體，以移動式監測方式，持續檢測水團的污染物進出情形，作為物聯網情境加值應用，以下說明各模組建置規劃。

(1) 污染源頭追溯

污染溯源模組目的為迅速篩選疑似污染排放源，以啟動物聯應變稽查。前端平台應符合實際應用需求，以突發污染事件之新聞或民眾舉報應用情境為例，主管機關需立即調查該污染事件疑似排放源，透過系統以 GIS 查詢距離該污染事件最近之感測點，並逐步以河段、工廠位置、工廠特性至數據比對，篩選疑似污染源，可立即啟動 E 化派遣，或配合歷史監測數據分析挑選敏感時段，派遣人力至現場採樣及稽查。

系統又可分為上游固定污染源系統、上游監測資料系統、附近環域資訊系

統及歷史陳情與稽查系統。需透過資料庫及圖台功能建立以實現上述功能，資料庫部分，常見的介接資料包括：運作場廠基本資料、稽查告發裁處、製程資料、原物料資料、污染關聯表、水列管_基本資料、水列管_定期申報項目_共通水質項目、河川流域資料、農田渠道資料、地形高程_數值高度模型（DEM）等。圖台需有流程化的概念，依序篩選「感測器」、「流域」、「場廠」後，進行所選定之可疑場廠進行污染物的「時序」分析，最後可匯出篩選分析的資訊，作為後續決策及連結現場指揮調度之快速稽查 E 化派遣用。

(2) 污染熱區分析

污染熱區模組目的為評估污染發生時的影響，以利即時展開應變行動，一般需分析四個問題，方能達到快速評估預警水污染防治工作：(一)污染到達下游敏感地區的時間；(二)最大污染濃度是多少；(三)將造成多大的污染區域；(四)污染濃度將會持續或超過安全現值的時間。為解決上述問題，可採用傳統環工水質擴散模式，模擬河川與取水口的水質狀況，目前國內較為常見的模式如 QUAL2K、WASP、SWMM，適用範圍如下表。

國內使用於河川水質模擬模式適用範圍⁴

模式名稱	承受水體	可模擬之污染物
QUAL2K	屬於為甲類、乙類及丙類水體 河川	有機物 (BOD)、營養鹽 (NH ₃ -N,TP)
WASP	屬於為甲類、乙類及丙類水體 河川	有機物 (BOD)、營養鹽 (NH ₃ -N,TP)
SWMM	不拘，工廠或工業區地表逕流	沉積物(SS)、有機物(BOD)、營養鹽(NH ₃ -N,TP)

此類模式在建置時，需蒐集流域水文及水理參數作為水床建模，真實數據需投入大量資源對真實環境進行測量及整理，而採用預設參數則與我國實際情形有落差。若在資源有限的前提下，亦可運用機器學習，透過類神經網路法，以過去各工廠排水道及節點水質歷史監測數據，再配合如流量流速、周遭定期水質監測數據，用以訓練模式，預測未來下游污染熱區。最後，再以 GIS 呈現於圖台輔助決策。

⁴ 行政院環境保護署環境影響評估河川水質評估模式技術規範，中華民國 100 年 11 月 29 日訂定。

附件十三、2017 廢水處理技術研討會論文_電 化學感測器於水體重金屬離子檢測之研發與應 用

電化學感測器於水體重金屬離子檢測之研發與應用

張婷婷，工業技術研究院 材料化工研究所副研究員
王儀婷，工業技術研究院 材料化工研究所副研究員
朱振華，工業技術研究院 材料化工研究所研究員
張冠甫，工業技術研究院 材料化工研究所資深研究員
邱聖壹，工業技術研究院 材料化工研究所研究員
彭淑惠，工業技術研究院 材料化工研究所副研究員

計畫編號：EPA-106-U1L1-02-A011

一、前言

我國地狹人稠，各緊鄰民宅之工廠或工業區廢污水未妥善處理而排放之陳情案件層出不窮。根據調查結果，近幾年遭受引灌重金屬污染水源之農地甚為嚴重，故針對現地即時水中重金屬感測技術已成為勢在必行的發展趨勢。在眾多感測技術中，又以電化學感測技術具有體積小、靈敏度高、裝置便利等諸多優點(Nagles et al., 2012; Güell et al., 2008)，已成為感測領域中重要技術之一，故本研究以電化學法做為水體重金屬離子的感測方法。

二、材料與方法

本研究以電化學感測平台進行水中銅離子的分析(如下圖 1 所示)，利用網版電極作為分析量測電極，以微分脈衝陽極剝除法作為量測分析方法。本試驗之測試樣本為銅離子標準品和 0.1 M 醋酸/醋酸鈉緩衝溶液(pH 4.6)，以 1:1 比例配製而成的標準測試水樣，分別針對不同沉積電位、不同沉積時間、不同銅離子濃度電流變化、修飾電極對於銅離子偵測影響、修飾電極再現性進行測試。

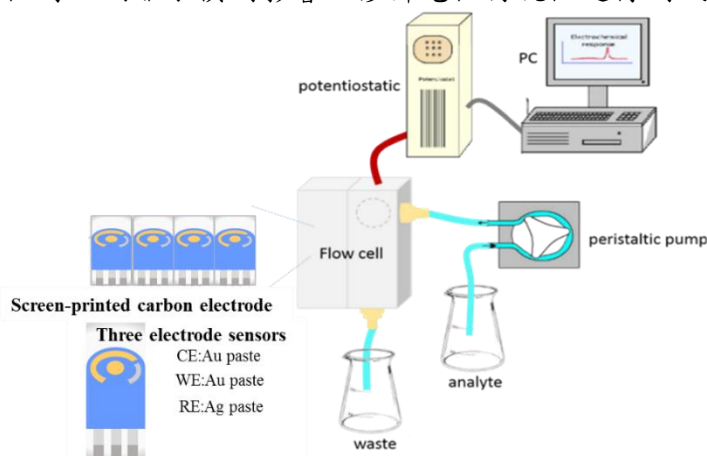


圖 1 電化學感測平台

三、結果與討論

1. 沉積電位選定

本試驗分別針對不同沉積電位-0.5 V、-0.6 V、-0.7 V 與-0.8 V 進行電化學沉積

測試，此試驗之沉積時間為 180 秒，反應平衡時間為 30 秒。從伏安圖譜中觀察到在電位為-0.15 V 處產生明顯的 Cu(II) 氧化波峰電流訊號(如圖 2 所示)，隨著沉積電位不同其剝除電流峰值亦有所變化。由伏安圖譜中發現剝除電流峰值最高的沉積電位為-0.7 V，代表在此沉積電位下，能以電化學反應沉積最多銅離子於工作電極表面，故-0.7 V 為最適化沉積電位。

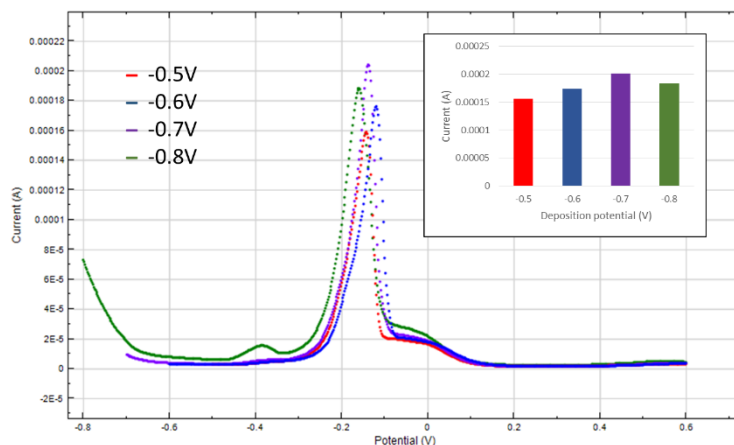


圖 2 不同沉積電位之剝除伏安圖

2. 沉積時間選定

本試驗分別針對不同沉積時間 30、60、90、120、150、180、270 與 300 秒，進行電化學沉積測試，此試驗之沉積電位為-0.7 V，反應平衡時間為 30 秒。於伏安圖譜中觀察到在電位為-0.15 V 附近產生明顯之波峰電流訊號(如圖 3 所示)，隨著沉積時間不同可其剝除電流峰值之變化。由伏安圖譜中發現，沉積時間增加，剝除電流訊號亦顯著增加，但當沉積時間增加為 120 秒，電流訊號可維持穩定，考量電極偵測時間有限與電流訊號穩定，本研究以 120 秒做為最適化沉積時間。

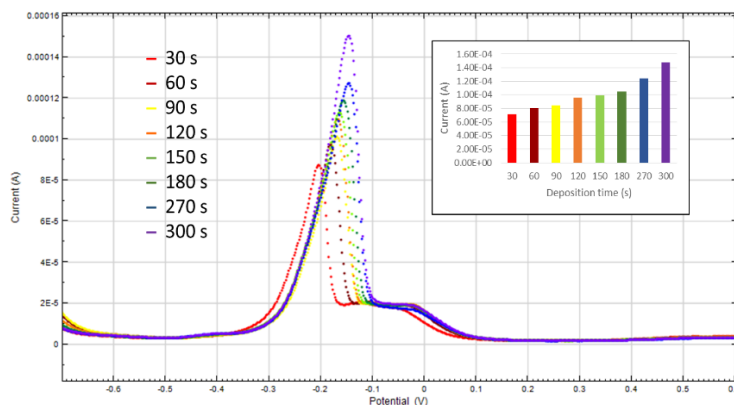


圖 3 不同沉積時間之剝除伏安圖

3. 不同銅離子濃度電流變化

本研究目的以農地污染潛勢水體為主要的目標水體，故本試驗以農委會公告灌溉用水標準(0.2 ppm)作為重金屬銅濃度試驗設計目標，其測試銅離子濃度為 0.14-0.5 ppm。此試驗之沉積電位為-0.7 V，沉積時間為 120 秒。由伏安圖譜(圖 4)觀察到電位於-0.05 V 產生明顯之 Cu(II) 氧化波峰電流訊號，且於 0.14 ppm (140 ppb) 開始出現明顯峰電流變化。由銅離子濃度與電流峰值變化圖(圖 4 插圖)顯示目前分析方法的 R^2 值為 0.9803，顯示於 0.14-0.5 ppm 的銅離子濃度區間，峰電流值與濃度具有線性相關趨勢。

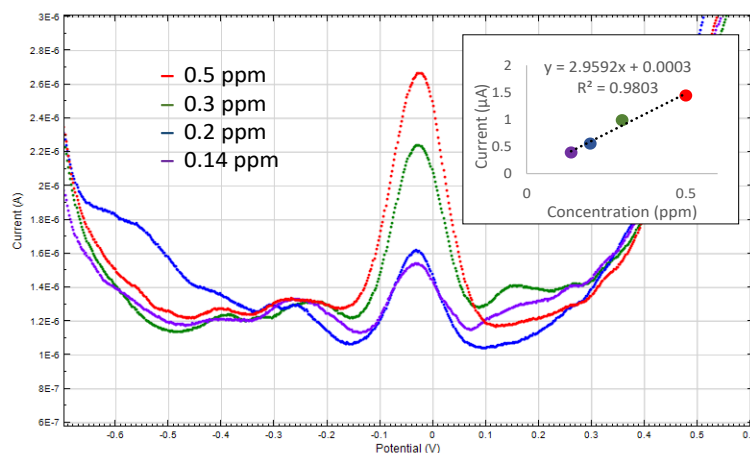


圖 4 不同銅離子濃度之剝除伏安圖

4. 修飾電極對於銅離子偵測之影響

由於農地污染潛勢水體為低濃度銅離子樣本，在分析上其電流峰值訊號較小，雖已可達 0.2 ppm 檢測分析目標，但為能進一步了解水體濃度變化分析目的，故需經過適當的電極表面修飾程序，增強電流峰值訊號，以達到農地水源監控之目的。故本試驗利用電沉積法修飾電極，以 100 μM 金標準品，以適當的沉積電位與時間進行沉積，可提升工作電極表面電子轉移效率。經表面修飾的電極，以 0.06-0.5 ppm 等不同銅離子濃度進行測試。於伏安圖譜(圖 5)中觀察到在電位為於 -0.75 V 產生明顯之波峰電流訊號。由銅離子濃度與電流峰值變化圖(圖 5 插圖)顯示，於 0.06-0.5 ppm 的銅離子濃度區間，具有線性相關趨勢；此外，電極經表面修飾後，可增強剝除電流峰值訊號 2.5 倍以上，故可於低濃度銅離子(0.06 ppm)發現明顯峰電流值。

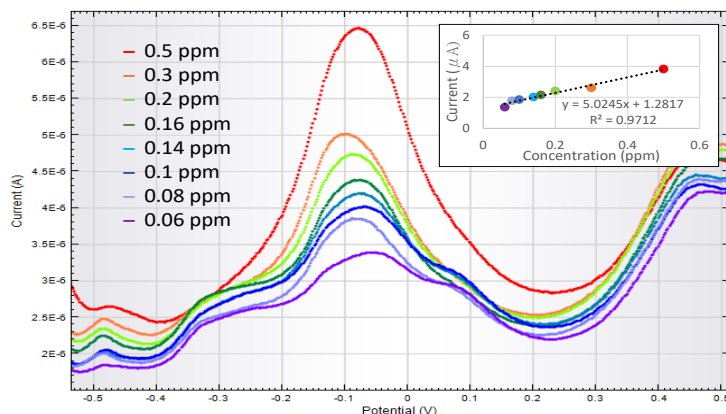


圖 5 修飾電極表面偵測不同銅離子濃度之剝除伏安圖

5. 修飾電極再現性測試

為了進一步探討不同改質電極之間差異度，本試驗以相同方法針對不同電極進行測試，探討其差異度並計算其相對標準偏差 (Relative Standard Deviation, RSD)，結果如圖 6 所示，不同改質電極 RSD 值為 7.05%，藉由此數據得知本試驗針對不同片修飾電極間差異程度不大且具有再現性，因此利用此改質方法所得到的電極偵測結果數據具可信度，提升修飾電極之價值與應用性。

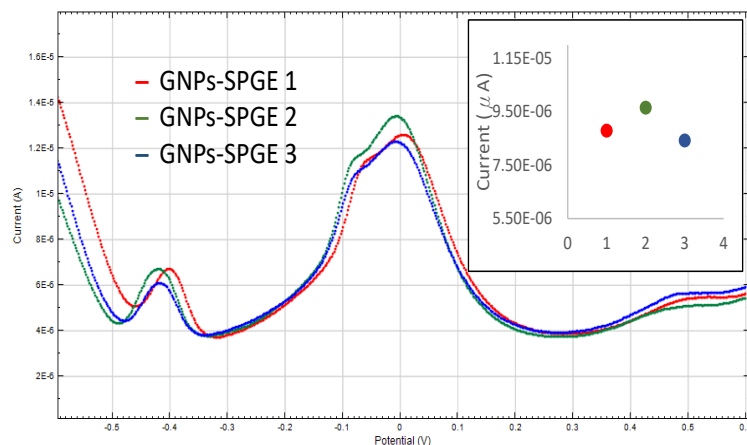


圖 6 修飾電極再現性測試結果

四、 結論與建議

1. 本研究以剝除法做為檢測水體中銅離子的電化學方法，此方法之最適化沉積電位為-0.7 V，沉積時間為 120 秒，藉由此最適化參數調整，可得到較大的電流峰值訊號。
2. 透過本研究電極表面修飾可大幅增強電流峰值訊號，擴大可偵測的範圍。此外，本試驗修飾電極具有再現性，代表利用此修飾方法所得到的電極偵測結果數據具可信度，提升修飾電極實際應用性。

參考文獻

1. E. Nagles, V. Arancibia, C. Rojas, R. Segura, "Nafionemercury coated film electrode for the adsorptive stripping voltammetric determination of lead and cadmium in the presence of pyrogallol red," *Talanta*, Vol. 99, No. 15, pp. 119-124 (2012).
2. R. Güell, G. Aragay, C. Fontas, E. Antico, A. Merkoçi, "Sensitive and stable monitoring of lead and cadmium in seawater using screen-printed electrode and electrochemical stripping analysis," *Anal. Chim. Acta*, Vol. 627, No. 2, pp. 219-224 (2008).

附件十四、工業污染防治季刊_以環境感測物 聯網分析應變模式應用於水質連續自動監測及 管理

環境規劃管理類

以環境感測物聯網分析應變模式應用於水質連續自動監測及管理

楊博傑*、彭書憶*、陳范倫**、王嶽斌***、程凱麟****

摘 要

本研究將以 24 小時不間斷之水質監測數據監測區域之特性分析與背景濃度建立為基礎，設計水質「自動連續監測預警分析模組」及「疑似污染源頭分析模組」，於感測器失效或水體偵測項目發生異常情形前提前預警，早期發現水質監測數據異常的時段及濃度，源頭分析模組則於污染發生時，結合動靜態資訊迅速追源至上游，以透過物聯技術發出警訊及啟動應變決策；建立「污染熱區分析模組」評估未來數小時內污染物的影響範圍，即時展開應變行動，達到快速評估預警水污染防治工作。期透過在於環境物聯網分析應變模式建立，結合跨域資訊加值分析，落實應用於水質監測及管理，確實改善環境品質。

【關鍵字】物聯網、水質監測、污染熱區、污染源頭追蹤、環境管理

-
- * 財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所 副研究員
** 財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所 資深工程師
*** 行政院環境保護署環境監測及資訊處 副處長
****行政院環境保護署環境監測及資訊處 技士

一、前言

由於我國地狹人稠，工廠與工業區部分鄰近民宅，導致各工廠或工業區廢污水未妥善處理而排放之陳情案件層出不窮，而部分工廠位於排水道上游，沿途匯流民生生活污水，作為下游灌溉農田用水，導致我國農田污染問題嚴重，也使民眾產生健康上之疑慮；此外，過去以人工採樣監測方式費時費力，而不法廠商利用大雨及傍晚時段偷排廢污水亦防不勝防，由於環保稽查人力有限，無法隨時因應全國各地可能有排放疑慮之處進行稽查，突顯國內對於水體自動監測預警、各事業單位放流水自動監控之相關技術與管理措施需要加速開發與研擬，在環境品質逐漸受到重視下，如何確實掌握我國水質，達到即時監控及保護的功效，為一刻不容緩的議題。

有鑒於此，基於近年來線上水質分析及採樣技術日益精進，且資料分析、大數據處理與無線傳輸技術的進步，呈此趨勢，本研究期配合水質微型感測設備及物聯網技術，建立一套環境感測物聯網分析應變模式，應用於水質自動連續監測及管理，達到預測預警、污染溯源及熱區分析功能，從環境資訊揭露落實到環境治理，除可降低各縣市環保局稽查人力需求外，也可以有效保障民眾生命財產安全並提高人民生活品質，同時對於自然水體之保護與永續發展有重要貢獻。

二、水質物聯網監測概念

環境污染議題包羅萬象，從過去基礎環境管理的污染控制及廢棄物處置，主要採行管末處理，然而隨環保觀念的提升，逐漸轉型為以清潔生產、工業生態及循環經濟等進階環境管理策略。未來在物聯網百花齊放的世代，運用大數據治理環境，自動監控環境品質，針對異常情形預警及應變，提供高效的解決方案，勢必成為下一階段在智慧城市的環境管理趨勢(蔡振球等, 2016)。

相較其他領域，環境監控在物聯網應用中算是領先發展群，隨著環保意識的持續抬頭，未來此領域對物聯網的建置需求將會日漸加深，成為環境監控的主流系統，而目前在世界各國已有透過環境物聯網實時監控並改善環境品質的先期案例。西班牙以森林火災預防、河川預測及洪水預防、環境控制為目標，共設置 34 個環境感測器於拉加羅查（La Garrotxa），透過 Wi-Fi 通訊模組，配備太陽能板及充電電池，可供當地管理局實時讀取訊息，採取應變措施。應用於森林火災預防方面，布置 11 個感測器，主要監測環境的溫

度、濕度、CO₂ 及 CO 濃度，作為火災發生的提前預警之用；此外，其布置 16 個感測器監測河川的流量及深度，作為洪水預防之用；在環境控制方面，共布置 7 個感測器，監控空氣污染及工業溶劑相關排放。其以感測器取代監測站的數據蒐集方式，可大量布點提升蒐集資訊，且整體目標明確，決策者能有效應用多面向的環境監測數據，如下圖 1(Libelium, 2015)。



圖 1 西班牙-環境品質及災害預防應用

美國佛羅里達海洋研究組織建設了一個簡稱為 **MARVIN** 的傳感平台，目標主要是根據有害藻類富營養化相關水質變化提供即時的水質信息，監測項目包括 pH 值、溶氧量、水溫、導電度、葉綠素濃度、濁度、硝酸鹽及磷酸鹽、水位、水流速與方向、水中光合輻射光能以及全光等。水質監測設備安裝在一個浮舟之中，並搭載了一個氣象塔，主要監測項目包括風速、風向、氣溫、相對濕度、氣壓及降雨量等項目。**MARVIN** 的信息傳輸方式是利用傳感器收集監測數據信息後，通過天線傳送訊號至衛星及手機等介面，提供遠程信息的獲取。**MARVIN** 平台通常每小時取樣兩次，然後每小時或每三小時通過衛星將數據回傳。該平台需要每兩周進行一次人工維護，維護人員會採用傳統的採樣和分析方法收集數據，用於校正在後處理過程中的 **MARVIN** 平台數據。此外，**MARVIN** 數據還可以幫助建模人員觀察水流循環和克盧薩哈奇河生物系統、幫助船長及應急管理人員及時了解實時水質情況、幫助預測赤潮是否會出現、幫助搜救隊了解水流能見度、幫助學生學習生物圈的有關知識等 (壹讀, 2016)。

上述二案例主要以環境物聯網感測器，即時監控並回傳現地環境品質情形，作為預防及預警之用，而中國在此功能基礎上，更結合了大數據應用，深度加值了環境物聯網感測資訊。其以江蘇省無錫市作為環境物聯網監控中

心示範，示範工程數據採集點包括 23 個空氣站、79 個水站、18 個浮標站、4 個噪聲自動站、170 個攝像頭、348 個污染源、650 個放射源、3,163 家固廢單位，每天感知傳輸的環境數據量達 300G。其中水質方面，其建立地表水水質自動監測站於梁塘河，內部共有 8 台分析儀器，檢測項目包括總磷、總氮、生物耗氧量、氨氮、酸鹼度、溶解氧、葉綠素 a 等。檢測的數值傳輸到數據採集儀器內，再經無錫高科制定、擴展的 HJ-212 環境質量傳輸協議送到數據中心。目前，在無錫高科生產環境物聯網監控中心，已匯集了水利、工商、環保等部門相關數據建立模型，所有河流流向、污染源資料、水質監測等，可達到環境品質監控後的污染源頭追溯。環保部門可查看企業所有環保相關資料和數據，包括所屬行業、機構代碼、生產地址、環評單位、設備數量、用水用電、原料使用量等。無錫高科還利用數據挖掘及大數據等先進智能化技術，實現「資源智慧化」。目前，無錫環境監控物聯網應用示範工程已經支撐「智能化業務視圖」與「智慧化決策視圖」兩大智慧應用。其中，「智能化業務視圖」實現「多維度，可拖拽」的統計操作方式，讓環境決策者可立體審視數據的變化規律，識別數據的異常；「智慧化決策視圖」通過數據建模技術，建立符合環保應用的數據模型，結合 GIS 平台形象、直觀的展示模型的輸出結果 (孫寅, 2016)。

綜合上述，以廣布型環境感測設備掌握環境品質，並結合其他環境資料交叉分析，是物聯網資訊加值的核心理，根據國際性會計審計專業服務網路公司德勤 Deloitte 指出，若只單純將數據保存在本地，無法創造新穎且有趣的想法，而物聯網即提供了促進連接的潛力，當生成訊息與其他地方訊息連結後，往往較為有用且具有革命性 (Deloitte, 2014)。本研究擬參考中國無錫環境監控物聯網概念，透過水質即時感測資訊，結合其他跨域資訊及模式應用加值，達到預測預警、污染溯源及熱區分析，提供後續環境執法參考以改善環境品質，落實公開全國水質安全資訊，降低稽查人力，提供偷排預警，確保全國水體永續環境利用之目的。

三、水質物聯網平台

水質物聯網操作平台，擬利用 24 小時不間斷之水質監測數據進行監測區域之特性分析與背景濃度建立，可完成監測區域之污染總量分析及源頭管制策略，同時透過水質自動連續監測預警分析模組，早期發現水質監測數據異

常的時段及濃度；以及使用物聯技術發出警訊，追蹤可疑廠場以啟動稽查應變決策，並且模擬未來三小時可能受污染之熱域，結合地理資訊系統呈現熱區污染警訊燈號，有效提升緊急應變時效並節省人力，與民眾對於政府環境水質監控之信心。

3.1 水質自動連續監測預警分析模組

水質自動連續監測預警分析模組，參考統計製程管制(Statistical Process Control, SPC)相關理論，運用統計分析的方法，對生產過程做即時的監控，當發現流程不穩定時可以及時找出異常原因，必要時採取適當之矯正行動以排除異常，降低流程之變異並使製程恢復穩定狀態；然而，河川自然水體環境品質變異性較大，影響因子多為無法控制且複雜，包括水質優氧化、暴雨、土石沖刷、溫濕度變化及不法廠商偷排等，因此，本模組除了參考 SPC 之預警概念及方法學，進而調整相關預警規則為適用於河川自然水體品質管理之用。

3.1.1 管制理論

以管制圖為預警核心基礎，其根據歷史統計資訊，將點位繪製為中心線(center line, CL)、管制上限(upper control limit, UCL)及管制下限(lower control limit, LCL)，如圖 2。

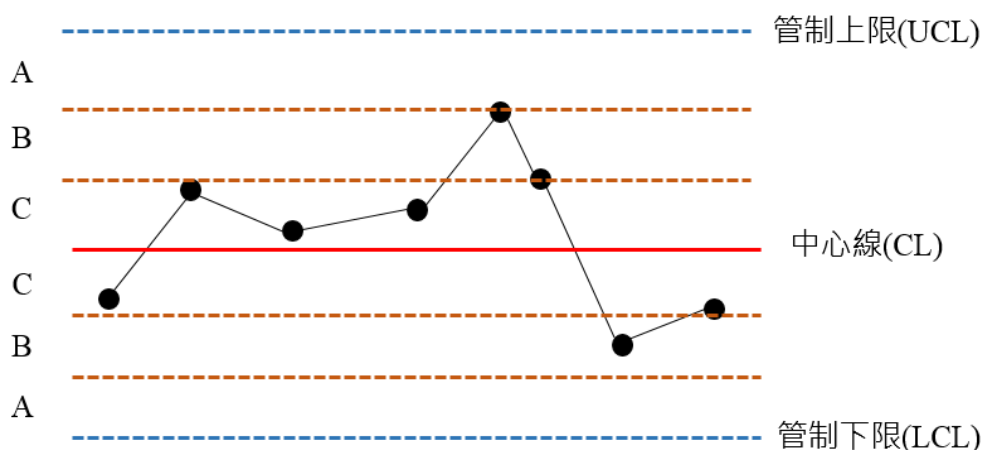


圖 2 管制圖

若所有點都落在 UCL 和 LCL 之間且是隨機分佈，則此製程是穩定的；相反地，如果有點落在 UCL 和 LCL 之外或者非隨機分佈，表示製程受可歸屬原

因影響，此製程為失控。西方電氣公司(1958)提出區域檢定(zone tests)法則來辨別非隨機分佈，其將管制圖上下兩邊再等分成三等分，離上下限最近稱為 A 區，靠近中心線稱 C 區，中間為 B 區。區域檢定法則如下，若符合上述則表示製程失控，須立即改善：

1. 一點落在 A 區以外
2. 連續三點中有兩點落在 A 區或 A 區之外
3. 連續五點中有四點落在 B 區或 B 區之外
4. 連續八點在中心線之同一側

若測量數據為常態分佈，則 CL = 平均值(μ)，UCL 及 LCL 為 $\mu \pm 3$ 標準差(σ)，A 區為 $\mu \pm 2\sigma$ 至 $\mu \pm 3\sigma$ ，B 區為 $\mu \pm 1\sigma$ 至 $\mu \pm 2\sigma$ ，C 區為 CL 至 $\mu \pm 1\sigma$ ，如圖 3。

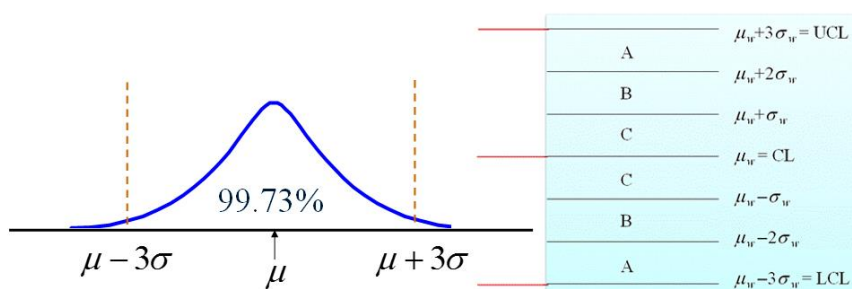


圖 3 常態分佈及上下限訂定

3.1.2 預警管制規則

呈上述所描述的 SPC 基本原理，規劃調整為適用於河川自然水體之預警規則，考量歷史數據分佈情形及偵測水質項目的數據變動敏感性，針對偵測水質項目超標訂定不同預警規則，在其超標前發出預警。然若所抽取的樣本，全距很小且皆靠近中心線，在環境水質監測上也有可能是感測頭老化造成數據未有變動，此時若僅用此管制圖規則將無法偵測此類異常情形，因此，本模組加入全距概念，依據經驗、測站及水質特性設定參考全距值，分析監測數據連續小於及大於此全距值次數，判斷異常情形，以作為感測器老化之判斷依據。

因不同的監測水體有不同的污染背景濃度，除了與法規管制值進行比對與警報發佈外，平時可利用其背景污染濃度即時監測數據進行水體之特性分析及預警管制，也就是在未達法規管制值前，針對水體污染低濃度或超低濃度的監測數據，定義其數據平均值(μ)及標準差(σ)，偵測出短期內較大的變化或異常情況，可發揮監測水體平時之特性管制及預警管理，河川自然水體預警概念步驟如圖 4 所示。分析模組說明如下：

1.蒐集水質數據

蒐集某河川自然水體水質監測數據項目，做為其背景污染濃度即時監測數據進行水體之特性分析及預警管制。

2.檢測數據分佈情形

利用分析水質監測資料根據目前監測站的歷史資料，進行常態分佈之檢測，判斷監測站數據的管制上下界計算方式，與判斷感測頭老化的全距界線值。

3.訂定管制區間

利用不同測站之背景數據特性，定義其數據平均值(μ)及標準差(σ)，其 UCL 與 CL 及 LCL 為 $\mu \pm 1\sigma \sim 3\sigma$ ，其中 μ 值建議以水質監測數據項目一穩定時間之平均值，並可隨著水質背景特性及其他預警需求進行動態修正。

- (1) 如果資料屬於常態分配，則使用平均值(μ)及標準差(σ)，其 UCL 與 CL 及 LCL 為 $\mu \pm 1\sigma \sim 3\sigma$ 。
- (2) 如果歷史數據不屬於常態分配，為了判斷 10%與 50%及 90%，採用百分位數計算上下界限。

4.訂定預警規則

可隨著水質背景特性及其他預警需求，傳送不同時間頻率之水質檢測數據進行即時計算。並根據以下步驟，建立一筆某檢測站某監測值的管制界限設定。

Rule 1：連續 N1 點在管制界限(A 區)之外視為異常。

Rule 2：連續 N2 點中有 N3 點落在 A 區或 A 區之外視為異常。

Rule 3：連續 N4 點中有 N5 點落在 B 區或 B 區之外視為異常。

Rule 4：連續 N6 點上升視為異常。

Rule 5：連續 N7 點下降視為異常。

Rule 6：連續 N8 點的全距值小於 X1 視為異常。

Rule 7：連續 N9 點的全距值大於 X2 視為異常。

Rule 8：1 點超過行政院環境保護署訂定之放流水標準視為異常。

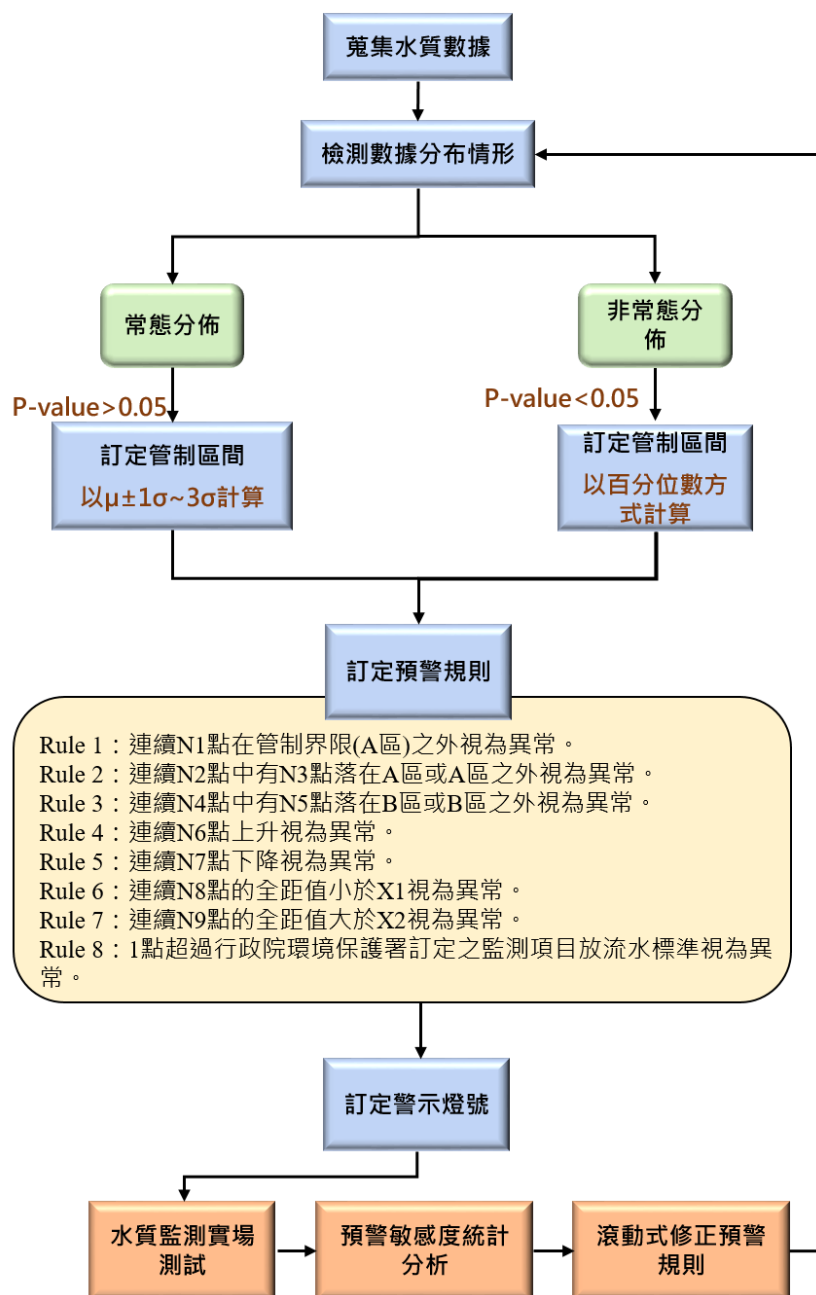


圖 4 水質自動連續監測預警分析模組-預警規則訂定流程圖

3.1.3 警示燈號規則

針對每個測站之監測項目，需定義其不同的預警燈號，可參考表

1：

- 1.水質異常變化(黃燈)-參考 Rule 1、Rule 2、Rule 3。
- 2.水質異常變化(橘燈)-參考 Rule 4。
- 3.水質異常變化(粉紅燈)-參考 Rule 5。

4.感測頭老化(藍燈)-參考 Rule 6。

5.水質不穩定(紫燈)-參考 Rule 7。

6.水質超過法規標準(紅燈)

上述燈號必須結合三個測站點位，以電子地圖模擬呈現，亦可搭配不同聲音之設計以供識別。

表 1 水質監測靜態模擬預警模組燈號與警報

狀況	規則	燈號	預警判斷	聲音代號
單一測站 單一監測值	Rule 1：連續 N1 點在管制界限(A 區)之外視為異常	黃	水質異常變化	Y：生理監視器心跳監測聲
	Rule 2：連續 N2 點中有 N3 點落在 A 區或 A 區之外視為異常			
	Rule 3：連續 N4 點中有 N5 點落在 B 區或 B 區之外視為異常			
	Rule 4：連續 N6 點上升視為異常	橘	水質異常變化	Y：生理監視器心跳監測聲
	Rule 5：連續 N7 點下降視為異常	粉紅	水質異常變化	Y：生理監視器心跳監測聲
	Rule 6：連續 N8 點的全距值小於 X1 視為異常	藍	感測頭老化	B：Windows 登出提示聲
	Rule 7：連續 N9 點的全距值大於 X2 視為異常	紫	水質不穩定	P：風鈴聲

狀況	規則	燈號	預警判斷	聲音代號
	水質超過法規標準	紅		A1：警報器聲
超過一個測站或一個監測值異常				P:主機板警示聲

3.2 疑似污染源頭分析模組

本模組可透過水質自動連續監測預警分析模組可即時監控水質，於感測項目超標或超標前做預警，而預警後的作為，可分為上游之污染源頭追溯及下游之污染熱區分析。

疑似污染源頭分析法為，當污染事實發生時，可快速透過地形高低差，追溯上游，並結合動態水質自動連續監測數據及靜態運作場廠基本資料、申報資料、環域資訊及稽查處分資料，快速產生可疑之污染源頭資料；概念模式可分為：(一)資料庫架構及資料內容；(二)污染源頭分析流程。以下分別說明。

3.2.1 資料庫架構及資料內容

環境資料庫系統包含以即時感測為主的動態資訊，及其他環境資料庫建置之靜態資訊。靜態環境資料庫，區分為四個資料倉儲方向，各為廠商運作資料、靜態監測資料、稽查陳情資料及地理環域資料等。

整體環境資料庫結構設計如下圖 5，動靜態資料之介接，在整體資料庫模組中為原始資料層，其結構依各資料源有所不同，並無特定之格式限定；而靜態資料進入資料庫後，需依據資料用途之不同主題分類，如監測濃度資訊、廠商歷史運作資訊、河川上下游段資訊等，建構為環境資源資料層。為利於資料分析應用，需依分析層處理需求，將資料進行前處理，轉為特定資料結構。最後，透過關聯動靜態資料，當污染情形發生時，迅速以源頭追溯、廠商篩選及派遣優化分析功能，達到篩選可能污染源及即時稽查派遣需求。

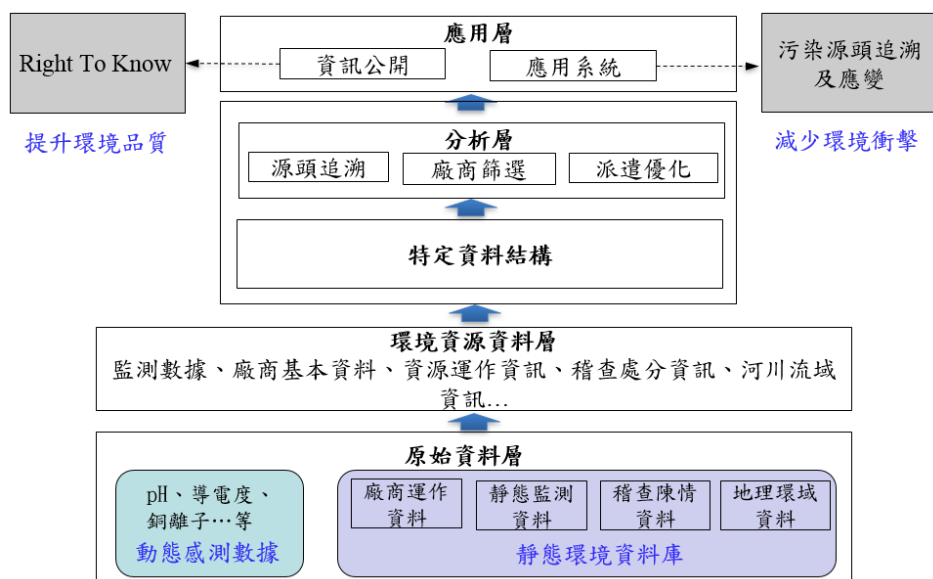


圖 5 污染源頭分析模組資料庫規劃設計

3.2.2 污染源頭分析流程

要判斷某一個污染行為的上游區域，首先要知道兩個訊息，第一，該污染行為所在流域；第二，流域中該污染行為的上游區域，基於此兩種概念，本模組設計規劃方法如下(圖 6):

1.即時監測水質

以水質物聯網感測器蒐集某河川自然水體水質監測數據項目，即時監測環境水體各監測項目是否符合標準。

2.配合地理環境資料分析上游河段路徑

當感測數據超過水質標準，即啟動污染源頭分析機制，配合河川流域、水位及斷面圖等資訊，篩選上游所有河段路徑。

3.配合上游感測數據篩選污染河段

依據前述篩選之河段路徑，分析此河段上所有感測數據，以感測濃度高低差異判斷污染物擴散情形，進一步限縮污染排放源之所在上游段。

4.匹配污染河段廠商：

透過靜態資料庫之廠商點位資料，匹配出上游河段所有運作廠商。

5.篩選可疑污染源廠商：

承上所篩選出可疑污染排放運作廠商，進一步以下三種規則，交叉比對靜態資料庫，限縮調查範圍，以增加稽查有效性及時效性。

Rule 1：比對各廠商製程、排放廢棄物、污染物、化學品使用及廢棄量等申報資料，篩選與超標污染物有關之可能廠商。

Rule 2：比對土壤及地下水及其他監測資料，作為輔助參考資訊。

Rule 3：比對水污稽查處分資料、公害陳情網路受理系統及環保署稽查處分廠商資料，作為輔助參考資訊。

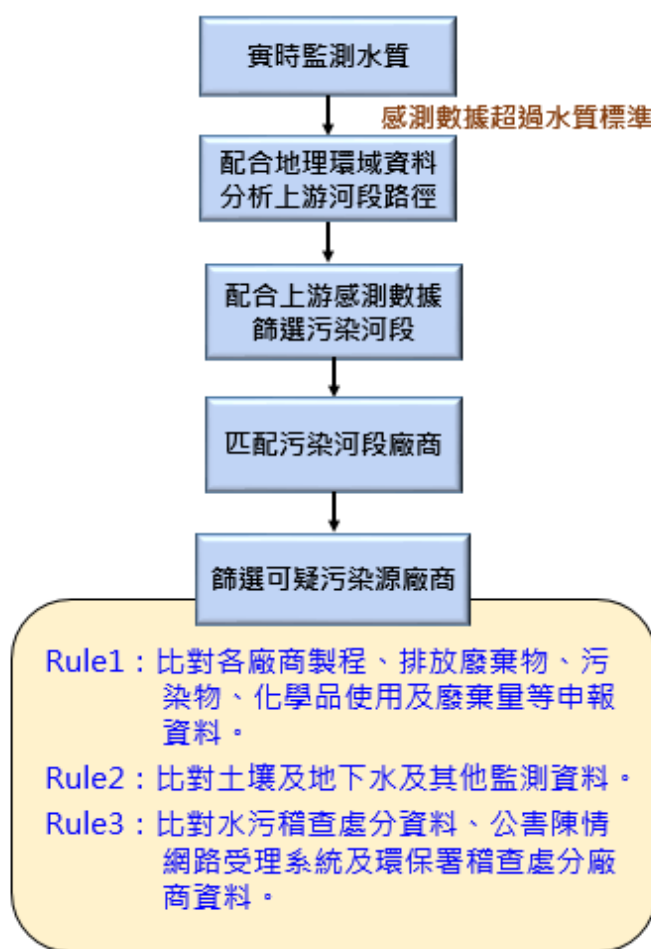


圖 6 污染源頭分析流程

3.3 污染熱區分析模組

為了評估污染物的影響及即時展開應變行動，需透過污染熱區模式模擬快速分析四個問題，方能達到快速評估預警水污染防治工作：

- 1.污染到達下游敏感地區的時間。
- 2.最大污染濃度是多少。
- 3.將造成多大的污染區域。
- 4.污染濃度將會持續或超過安全現值的時間。

考量能夠大量布建的模式擴充性以及準確掌握污染熱區之範圍，以確保後續分析應用之可靠度，因此以神經網路叢集分析功能分析各觀測節點之群聚特性再進一步定義污染熱區為目前最佳之方法學，並且結合神經網路之分類功能，可自動分析新增之觀測節點是否屬於污染熱區。

使用神經網路方法學可進行多種的資料探勘工作，包含數據預處理、機器學習分類器、迴歸分析、群集分析、關聯性分析、特徵選擇、特徵可視化工具等。而適當模型之建立取決於正確之數值與參數輸入之設定，因此，決定污染熱區之量測節點，並設定為建立預測模型之輸入參數，是獲得準確預測結果之關鍵步驟。以下將具體描述決定污染熱區之流程(圖 7)。

1.工業區觀測節點分析

於鄰近工業區之渠道，有較高機率可量測到較高濃度之污染物含量。統計該區各節點污染物觀測濃度各時段於不同時間解析度下之分布狀況。可進一步定義出觀測濃度之門檻值、濃度超標持續時間以及濃度超標次數，即可判定該觀測節點是否為污染熱區。

2.觀測節點群聚特性分析

群聚分析主要是將一群資料，具有相似特性即歸類為同一類別。計劃中將每個節點觀測資料之分佈特性之描述參數，如常態分佈模型之平均值與標準差等參數，以神經網路進行群聚特性分析。再進一步找出何種類別觀測節點屬於定義之污染熱區節點。

3.觀測節點統計特性

分析觀測節點量測資料之分佈特性，並統計其濃度超標持續時間以及濃度超標次數，若其超標次數與持續時間符合污染熱區之定義，即將該觀測節點之觀測區預定義為污染熱區。以及統計特性進一步驗證神經網路群聚特性分析結果。

4.觀測節點分類模型

根據統計特性分析結果，將已知觀測節點進行分類，並建立神經網路分類模型。當觀測節點擴充後即可由短期記錄資料快速判斷該節點觀測區域是否屬於污染熱區。

5.預測模型建立

將污染熱區觀測節點之量測資料設定為神經網路模型中之輸入層；將灌溉區域觀測節點之量測資料設定為神經網路模型中之輸出層，建立到傳遞神經網路模型。輸入層連接隱藏層與隱藏層連接輸出層之權重係數可以梯度法求得。決定出各層權重係數後，及可獲得適用於水質預測之神經網路模型。

6.灌溉渠道閘門開關決策

將污染熱區即時觀測資料輸入至神經網路水質預測模型中，即可預測下一時間單位之水質狀況。預測之時間單位取決於建置神經網路預測模型時，用以建構輸出層之時間稽延(time lag)長度。當一小時內預測結果達警戒程度即控制閘門關閉，待監測水質低於警戒標準，且三小時內預報結果低於警戒程度，則重新開啟渠道閘門。

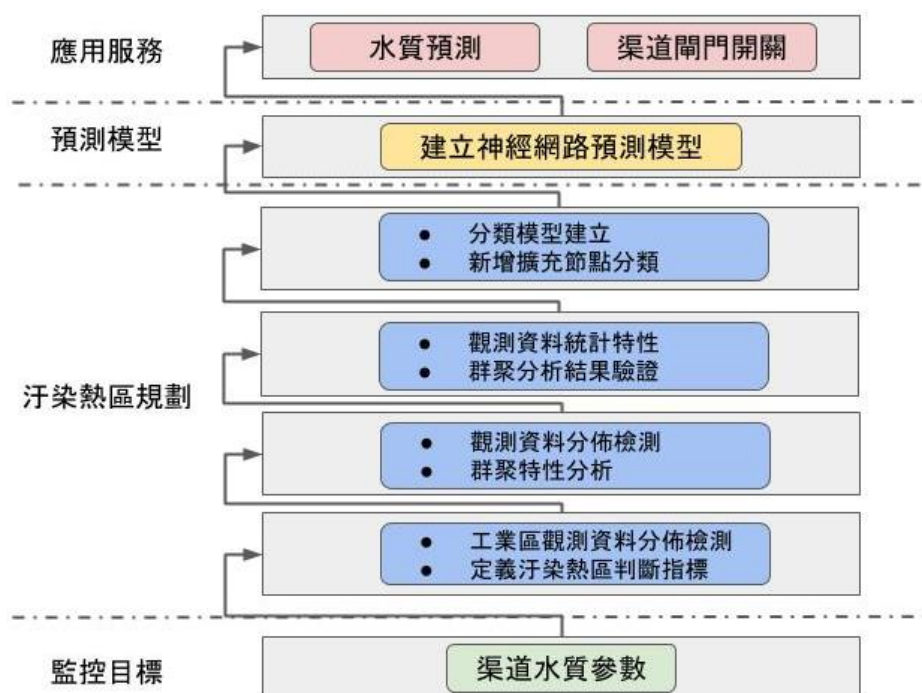


圖 7 神經網路叢集分析汙染熱區排程架構

四、結論

本研究主旨在於建立環境物聯網分析應變模式，運用不間斷之水質物聯設備感測數據，結合跨域資訊加值分析，應用於水質監測及管理。主要設計共三大模組，「自動連續監測預警分析模組」主要參考統計製程管制(SPC)概念，提供水質污染發生時，預先透過管制界限發現與反應早期預警功能，同時偵測出短期內較大的變化或異常情況，於水質超標或感測器老化前預先作出反應；「疑似污染源頭分析模組」，除以水質監測數據為基礎，尚結合靜態運作場廠基本資料、申報資料、環域資訊及稽查處分等資料，達到跨域加值之功效，當下游水質發生異常時，可快速追溯上游，並篩選疑似污染排放源，提供啟動緊急應變，利於快速協助調派稽查人員抵達現場；而對於下游污染預防，本研究亦設計「污染熱區分析模組」，以上游工廠排水道及下游農田渠道節點量測資料，透過神經網路分析環境建置及設定，完成污染熱區評估指標之定義與標註，可作為快速預測並警告下游區域啟動相關物聯應變，能夠盡快防範與預警，避免人類及生態環境重大危害。未來建議可進一步結合氣象資訊及其他物聯網監測數據，輔以大數據分析及相關模式建立，或可找到新的管理模式，此外，可透過場域驗證以確認本模式準確度及穩定性，並將其經驗模式亦可複製於空氣監測領域，共同改善環境品質。

五、參考文獻

環保署 (2016), 水污染感測器與物聯網資訊展示先期研究計畫

孫寅 (2016), 「環境監控物聯網應用工程」:示範構建全方位、全天候、智能化環保監測網, <https://kknews.cc/zh-tw/tech/6xkma3.html>

壹讀 (2016), 「國外智慧環保有哪些具體應用案例?」, <https://read01.com/zh-tw/xd5N55.html#.WZJFU1Gg-70>

蔡振球、陳范倫、楊博傑、陳志洋(2016), IEKTopics 2016 | 解問題智慧創新樂活城市 - IEK 產業情報網: 如何提升用智能感知生態環境動態? p.30

Deloitte (2014), The Internet of Things Ecosystem: Unlocking the Business Value of Connected Devices

Libelium (2015), Urban Resilience in the Smart City: River Flood and Forest Fire Early Detection, <http://www.libelium.com/smart-city-urban-resilience-smart-environment/>