



行政院環境保護署

108 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證 期末報告（定稿）

主辦單位：  行政院環境保護署
專案執行單位： 國立中央大學／應用地質研究所
專案主持人： 倪春發 教授
專案執行期間： 108 年 01 月 04 日起至
108 年 11 月 30 日止

中 華 民 國 108 年 12 月 印製





行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐申請計畫書 ☐期中報告

☐修正計畫書 ☒期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	108 年度	計畫類型	☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☐ 整治 ☒ 調查 ☐ 其它	主持人：倪春發 NO：A5	
計畫名稱	地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一 1. 請補述說明灌注過程，地下水 TS 升高，即顯示藥劑已達場址指定區域？是否還需其他分析項目佐證？ 2. 由台南實場 9 組設備可反應作為污染源釋放佐證？還是可能方向可做評估以利參考？ 3. 建議將本技術可精進目前實場灌注或使用限制。		1. 感謝委員針對本研究驗證議題的意見，本計畫目前僅可以透過地下水水位的升高，以及基礎水質的變化，如 pH 值、氧化還原電位、硝酸根、氨氮與導電度等數據。由於本計畫僅取得一段短時間的儀器架設，未來若有可能則可延長監測時間。對於整治成效佐證的部份，則需要透過未來地下水與污染傳輸數值模擬共同分析，可利用地下水水位監測數據作為水位控制點，並且是隨著時間變化的。但是污染物濃度並無法透過本計畫感測器獲得，因此僅可藉由其他感測物質的濃度改變，藉此假設此數值作為溶質傳輸的控制點，藉此說明整治團隊灌注的科學基礎。 2. 感謝委員的建議，本團隊由於目前並無合作的現場整治團隊，感謝貴會承辦人員聯繫此次架設即時量測設備，未來若有機會，則會希望能與整治團隊溝通，了解灌藥歷程前後，重要的基礎水質關鍵變化。目前正與其他團隊建立溝通管道，希望透過本監測系統，可以提供團隊不同灌藥歷程，掌握地下水化學環境，作為下次藥劑準備時程規劃。 3. 感謝委員建議，本計畫將技術精進與使用限制增加於 5.7 節。	



委員二 1. 本計畫架設數據遠端傳輸系統以供無線傳輸即時參數結果，並以試覺化呈現一處地下水污染案例。針對其餘量測參數，是否也可以用相同方式呈現結果？ 2. 資訊傳輸的正確性如何確認？	1. 感謝委員意見，本計畫可提供量測參數完全受限於感測器，因此本計畫所使用之感測器無法量測重金屬與有機溶劑，於本報告中所提供參數，為本計畫購買感測器全部量測參數。 2. 本計畫所使用的不同量測設備，皆有特定的校正方式，例如：水位計而言，本計畫事先有利用壓克力管柱測試水位計水壓變化；至於基礎水質則透過廠商提供校正液，於監測前完成數據校正。
委員三 1. 計畫實際進度符合整體預定進度。 2. 完成污染場址設置 8 組水位計與 1 組水質感測器，獲得灌藥造成水壓變化影響資料。 3. 後續有待加強傳輸品質測試與校正，以確保資料正確性。	1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員肯定。 3. 感謝委員建議，遠距離傳輸技術，傳輸品質一直以來都是此領域發展重點，因此將持續開發 LoRaWAN 節點，提昇資料傳輸效能。
委員四 1. 建議補充說明導電度、溫度、pH、TDS、氧化還原電位等相關監測器的種類及精準度。 2. 本案監測設備所監測 pH、TDS 及 ORP 對於地下水基礎水質即時資料有其貢獻。特別是氨氮或硝酸鹽氮的相關即時監測數據對於未來的監測有正面意義。 3. 建議補充說明如何將監測器的參數轉換成污染源的追蹤。	1. 感謝委員建議，已增加各基礎水質參數於 4.3 節。 2. 感謝委員肯定。 3. 感謝委員建議，已增加於本報告 5.7 節。
委員五 1. 本計畫中、英文摘要未顯現研究成果，宜修正。 2. 本計畫並未呈現於中央大學地下水井場測試之試驗結果(5.4 章節)，如何延伸運用至臺南(5.5 章節)及運用於空間插植(5.6 章節)之成效，請增補修正。 3. 本案執行目的、即時空間分析及展示模組開發，現地驗證及 IoT 應用評估，	1. 感謝委員建議，已增加研究成果於中、英文摘要。 2. 感謝委員建議，由於 5.4 節僅透過本校測試水位計量測數據，並且可以傳輸約 1 公里研究成果，在此可展示本計畫具有遠距離傳輸技術，因此可將即時遠距離傳輸技術，應用於台南場址(5.5 節)，並且將地下水空間插植結果補充於 5.5 節。



及動態資訊展示平台均未見呈現，請增補。

3. 本計畫本年度執行工作項目四動態資料展示平台開發，主要在於設計網路平台具有即時展示相同範圍，不同時序分析結果圖層，可類似動畫方式呈現功能。另外對於 IoT 設備開發與現場驗證的部份，並未規劃於本年度完成兩技術的介接。



108 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗申請計畫書

一、專案基本資料表

申請編號：

專案性質	☐ 實驗性質 ☒ 非實驗性質	專案類別(單選)	☒ 研究型 ☐ 模場型	
研究主題	☐ 整治 ☒ 調查 ☐ 其他			
申請機構系所	國立中央大學應用地質研究所			
機構地址	32001 桃園市中壢區中大路 300 號			
專案主持人	倪春發	職等/職稱	教授	
協同主持人	李奕賢	職等/職稱	助理研究員	
專案名稱	中文	地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證		
	英文	Platform development and site verification for real-time monitoring and data analysis of groundwater quality		
	關鍵字	土壤地下水、智慧管理、網頁平台開發、模場驗證		
執行期程	自 民國 108 年 01 月 04 日起 至 民國 108 年 11 月 30 日止			
專案主持人	姓名：倪春發	E-mail：nichuenfa@geo.ncu.edu.tw	專線：034227151#65874 手機：0989483898	
專任助理	姓名：	E-mail：	專線： 手機：	
經費分析總表	專案預估總經費	第一年申請金額	第二年申請金額	編列說明
	1. 人事費用	330,000		(1~5 項相加之 50%為限)
	2. 貴重儀器使用含維護費	-		(與計畫實驗相關)
	3. 消耗性器材與主要費用	362,500		(與計畫主體相關)
	4. 其它研究相關費用	-		(含差旅與租賃費用)
	5. 雜項費用	35,500		(1~6 項相加之 5%為限)
	6. 行政管理費	72,000		(1~5 項相加之 10%為限)
	7. 自籌款	-		(申請單位自行籌備款項)
	申請補助金額(1~6 項)	800,000		總金額：800,000
計畫總金額(1~7 項)	800,000		總金額：800,000	

說明：

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

專案主持人：

(簽名及蓋章)

日期：

(請蓋上申請單位大小章)



行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會 土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

108 年度專案成果績效自評表

一、專案基本資料

填表日期：108 年 10 月 24 日

專案性質	☐ 實驗性質 ☒ 非實驗性質	專案類別	☒ 研究專案 ☐ 模場試驗
研究主題	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他		
申請機構系所	國立中央大學應用地質研究所	計畫主持人	倪春發
專案名稱	地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證		
專案執行期程	☐ 申請階段 ☐ 期中 ☒ 期末		

二、成果績效自評

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

(一) 學術面

項目		目標達成程度	申請 預估 數	工作進度 達成數	期中 達成數	期末 達成數	結案 達成率	備註 (說明未達成 原因或學術產 出發表名稱)
A 學術 產 出 及 活 動	1.國內投稿 (篇數)	(1) 論文	0	0	0	0	100%	
		(2) 研討會論文	5	5	5	5	100%	
	2.國外投稿 (篇數)	(1) 期刊論文	1	1	0	1	100%	
		(2) 研討會論文	2	0	0	2	200%	
	3.報告 (篇數)	(1) 技術報告	0	0	0	0	-	
		(2) 研究報告	2	2	1	2	100%	
	4.專著 (本數)							
	5.辦理學術 會議(場數)	(1) 研討/說明會	0	0	0	0	-	
		(2) 成果發表會	0	0	0	0	-	
		(3) 論壇	0	0	0	0	-	
B 人 才 培	6.研發改良 技術(項數)	(1) 已開發技術	1	1	1	1	100%	
		(2) 技術平台	1	1	1	1	100%	
	7.研發人員 (人數)	(1) 碩士	3	3	3	3	100%	
		(2) 博士	1	1	1	1	100%	
	8.研究團隊 (個數)	(1) 跨領域團隊	0	0	0	0	-	



項目\目標達成程度			申請 預估 數	工作進度 達成數	期中 達成數	期末 達成數	結案 達成率	備註 (說明未達成 原因或學術產 出發表名稱)
育		(2) 跨機構團 隊	0	0	0	0	-	
		(3) 形成研究 中心	0	0	0	0	-	
		(4) 形成實驗 室	0	0	0	0	-	
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)						

(二) 產業面

目標達成程度				申請 預 估 數	工作 進 度 達 成 數	期 中 達 成 數	期 末 達 成 數	結 案 達 成 率	備註 (說明未達成原因或專 利、技術轉移相關詳細資 料)
A 智 慧 財 產 權	1.專利 (件數)	已 核 准	發明	0	0	0	0	-	
			新型/設計	0	0	0	0	-	
			合計	0	0	0	0	-	
		申 請 中	發明	0	0	0	0	-	
			新型/設計	0	0	0	0	-	
			合計	0	0	0	0	-	
		B 研 發 技 術 轉 移	2.先期技術 成果移轉	件數	0	0	0	0	-
授權金(仟元)	0			0	0	0	-		
衍生利益金(仟元)	0			0	0	0	-		
3.技術移轉 (專利)	件數		0	0	0	0	-		
	授權金(仟元)		0	0	0	0	-		
	衍生利益金 (仟元)		0	0	0	0	-		
4.技術移轉 (應用技 術)	件數		0	0	0	0	-		
	授權金(仟元)		0	0	0	0	-		
	衍生利益金(仟元)		0	0	0	0	-		
5.可移轉 產業技術	(1)技術(件數)		1	1	1	1	100%		
	(2)品種/系(件數)		0	0	0	0	-		
C	6.促成合作	件數	2	2	2	2	100%		



項目			目標達成程度	申請 預 估 數	工作 進 度 達 成 數	期 中 達 成 數	期 末 達 成 數	結 案 達 成 率	備 註 (說明未達成原因或專 利、技術轉移相關詳細資 料)
產 學 研 合 作	研究	金額 (仟元)	0	0	0	0	-		
	7.促成投資	件數	0	0	0	0	-		
		投資金額 (仟元)	0	0	0	0	-		
	8.促成取得 業界科專	件數	0	0	0	0	-		
		業界投資金額 (仟元)	0	0	0	0	-		
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)							

(三) 政策面

目標達成程度			申請 預估 數	工作 進度 達成 數	期中 達成 數	期末 達成 數	結案 達成 率	備註 (說明未達成原因或 其他詳細資料)
項目								
A 服 務 便 民	1.技術服務	次數	1	1	0	1	100%	
		收入 (仟元)	0	0	0	0	-	
	2.諮詢服務	次數	1	1	0	1	100%	
		收入 (仟元)	0	0	0	0	-	
B 支 援 合 作	3.協助政府制 定 (件數)	(1) 政策	0	0	0	0	-	
		(2) 法規	0	0	0	0	-	
		(3) 規範	0	0	0	0	-	
		(4) 標準	0	0	0	0	-	
D 社 會 效 益	4.獲得認證 (件數)		0	0	0	0	-	
	5.獲得獎項 (件數)		0	0	0	0	-	
	6.提升能源效率 (%)		0	0	0	0	-	
	7.節能減碳效率 (%)		0	0	0	0	-	
8.其他指標 (請自行命名)		(請自填)						



三、請依學術成就、技術創新、經濟效益、社會影響等方面，評估研究成果對現況或本署之學術或應用價值。

目前國內外土壤地下水相關領域的資料展示與平台應用，主要著重於資料呈現。進階者，雖然可呈現物理模式分析結果，作法仍以先設定好的多種條件，先離線分析可能的所有條件，再將所有分析結果以圖片形式儲存於資料庫，使用者端只能在限制的設定條件下，由資料庫抽出分析成果，依坐標貼回地圖，達到線上分析目的。針對土壤地下水污染或傳輸問題，因發生位置、時間與區域水文地質條件複雜，無法再以先設定好的所有條件，預先執行可能情境的模式分析結果，等著使用者挑選適用條件。使用線上即時分析的方式，是必要而且最能彈性因應不同事件。本研究建置以物理模式為基礎的線上分析平台為一新的創舉，此線上分析平台，結合環保署與外部單位開放資料，達到與使用者互動、即時與快速分析觀測資料空間分布與污染團遷移的目的。透過資料即時展示、空間統計、流動傳輸模擬與預測，相關領域調查及研究人員，能藉由地圖資訊做為條件門檻，查詢分析與調查區位既有資料，有效率地結合既有土壤地下水管理系統與其他相關部門與機構開放資料，協助土壤地下水領域產、官、學、研相關工作推動與執行。未來在即時監測資料可獲得的條件下，平台更可發揮即時資料呈現、分析與模擬。透過專業管理人員調控門檻值，可達到智慧災害通報與警示的附加功能。



摘要

目前政府致力於發展智慧地下水資源即時監測硬體，但這些即時監測資料仍須配合相關專業分析平台才能發揮最大效用。目前常見之管理平台，大多僅有歷史資料展示功能，並未對監測資料進一步加值分析。為了解決此問題，本工作主要發展目的為：(1) 即時傳輸與即時動態分析平台介接技術開發；(2) 建構即時動態資料庫系統與分析平台動態展示模組；(3) 既有物聯網傳輸技術於地下水質監測系統上之應用評析；(4) 傳輸技術與分析平台於現地場址的測試與評估。本研究選定中央大學井場，以既有五口地下水井作為測試場址；測試期間搭配手持式水質儀和自記式水壓計與無線即時傳輸之監測資料進行驗證。本研究應用遠距離監測技術於台南實際場址，並可即時監測地下水水位與單井基礎水質時序變化。驗證後之無線傳輸技術，結合本研究過去已開發之圖層資訊展示與時序資料分析平台，建置空間參數分佈結構與其之特性分析，進而最大化即時監測資料之運用價值。

關鍵詞：土壤地下水、即時監測、智慧管理、網頁平台開發、模場驗證



Abstract

With broad investment of smart and real-time monitoring networks for groundwater resources and water quality protection, the collected data need to be integrated with a professional platform to enhance the analysis efficiency and contribute to practical applications. Available platforms mainly focus on the display of historical data. Less value-added implementations were performed based on the monitored real-time data. The objectives of the study are: (1) to develop an efficient interface to bridge real-time monitoring data and dynamic platform; (2) to build, test, and validate the display platform for dynamic database; (3) to assess different IoT technologies on groundwater quality monitoring; (4) to examine the performance of different IoT technologies for field-scale cases. The selected experiment site is located in National Central University. There are five groundwater wells in the test site. During the verification, the real-time monitoring data will be received by wireless devices and validate with the results from direct measurements of water quality. The other test site in Tainan also performed the real-time monitoring to observe the water quality, and the time series data of groundwater levels for wells and the water quality for select single well were to verify the IoT technologies in this project. The validated real-time monitoring data can be integrated with the dynamic platform to perform real-time spatial analysis and display.

Key words: soil and groundwater, real-time monitoring, platform, site verification



目次

摘要	i
Abstract	ii
（一） 前言	1
（二） 研究目的	4
（三） 文獻探討	7
（四） 研究方法與過程	10
4.1 無線傳輸技術	10
4.2 觀測井場介紹	16
4.3 自記式基礎水質儀器介紹	21
4.4 時序資料庫展示平台	25
4.5 平台參數資訊計算引擎模組開發- 克利金法(Kriging)	28
（五） 結果與討論	29
5.1 遠距離傳輸系統架構	29
5.2 儀器輸出訊號解析	33
5.3 建構無線傳輸即時參數動態資料庫	38
5.4 中央大學地下水井場測試	39
5.5 台南地下水污染場址測試	41
5.6 空間插值	45
5.7 結論與建議	48
5.8 後續執行工作項目說明	49
（六） 參考文獻	50
附件、前次審查意見回覆對照表	56



圖次

圖 1	不同無線傳輸技術特性、傳輸距離與功耗分析圖	10
圖 2	物聯網上下游產業鏈示意圖	11
圖 3	Sigfox 傳輸網路架構示意圖	12
圖 4	LoRa 星狀傳輸網路示意圖	13
圖 5	LoRa 傳輸技術優勢	14
圖 6	低功耗廣域網路應用範疇	14
圖 7	中壢台地衛星影像；紅圈處為井場位置	16
圖 8	試驗井場設備及相對位置示意圖	16
圖 9	中壢台地區域地質圖	17
圖 10	中壢圖幅地層表(擷取自經濟部中央地質調查所，民國九十年五萬分之一台灣地質圖說明說圖幅第七號中壢第二版)	18
圖 11	觀測井場地質鑽探資料	19
圖 12	試驗場址地質鑽探 0~4.0 公尺岩心段	20
圖 13	試驗場址地質鑽探 5.0~8.0 公尺岩心段	20
圖 14	AQUATroll-200 水質水位監測設備	21
圖 15	模組化 LoRa 無線傳輸裝置	22
圖 16	電流轉換電壓模塊	22
圖 17	水位計訊號資料	22
圖 18	InfluxDB TSM 儲存引擎	25
圖 19	Grafana 面板種類	26
圖 20	水利署地下水觀測網水位時序資料	26
圖 21	花蓮 2012 年地下水水位插值	27
圖 22	平台動畫展示控制介面	27
圖 23	半變異函數範例與其參數(Vennapusa et al., 2010)	28
圖 24	MQTT Broker 控制架構	30
圖 25	MQTT 訊息傳遞架構	30



圖 26	MQTT 工業電腦	31
圖 27	遠距離傳輸系統網路層架構圖	31
圖 28	Modbus 指令發送	34
圖 29	Modbus 接受資料	35
圖 30	開啟接收指令	35
圖 31	傳送訊號至儀器指令	35
圖 32	儀器訊號正常回傳狀態	36
圖 33	LoRaWan 節點或儀器訊號缺失回傳狀態	37
圖 34	儀器訊號無法回傳 LoRaWan 節點狀態	37
圖 35	自動化監控 Modbus 指令況狀與資料庫儲存	38
圖 36	中央大學井場空拍影像	39
圖 37	中央大學井場設置遠距離監控地下水水位設備	39
圖 38	中央大學井場 3D 影像	40
圖 39	水位計量測訊號展示介面	40
圖 40	台南場址測試地面纜線與傳輸設備	41
圖 41	台南場址灌藥試驗前後地下水水位監測結果	42
圖 42	台南場址灌藥試驗監測結果	43
圖 43	台南場址灌藥試驗基礎水質計監測結果	44
圖 44	克利金測試案例觀測點位置與數值分佈。	45
圖 45	測試案例觀測點 Variogram 模式參數反推估	46
圖 46	克利金測試案例插值模擬結果	46
圖 47	網路平台測試現地水力傳導係數克利金插值	47



表次

表 1	工作執行甘特圖.....	6
表 2	低功耗廣域無線傳輸技術比較表	11
表 3	中壠台地地層年代對比(整理自台灣地質圖說明，塗明寬，2011).....	17
表 4	AQUATroll-200 規格	23
表 5	AQUATroll-500 規格	24



(一) 前言

(一) 前言

地下水為台灣重要的水資源之一，根據行政院(2017)資料指出，農委會已建置 2000 口以上水井供農業灌溉使用，自來水公司亦有約 400 口水井供自來水源使用。由於近年的極端氣候特性，地下水已被視為地面水之外的重要備援用水。因此，確保地下水質與水量安全無虞，地下水環境的保護工作是水資源應用及管理上非常重要的一環。為了能制定有效管理台灣地下水質量的對策，並能針對緊急事件發生時快速研擬正確的應變策略，台灣各地及各單位之即時觀測地下水位與水質空間分佈狀況便成為決策應變者重要的參考依據。截至 108 年 05 月份止，水利署已投入大量資源建置共 923 口於不同分層之觀測井進行長期性的觀測；環保署亦於全台各地污染控制場址設置共有 460 口場址性監測井與 1916 口污染調查監測井，至今已累積超過 40 萬筆地下水質檢測數據(行政院環保署，2018)。上述多項地下水(或水文地質)資訊蒐集皆致力於結合物聯網與地下水資源觀測，但現有之自計式水質及水位感測器所蒐集之資訊大多數仍需仰賴人力進行現場蒐集，並需消耗許多人時進行相關參數分析，無法及時反映現實環境變異。因此，當積極投入地下水環境監測工作時，無線資料傳輸技術的質與量在此領域的應用與評估，以及即時傳輸與即時資料分析與應用平台介接技術的開發，變成為須完備的重要工作。

空間分析與潛勢預測功能係為環境保護工作者於即時決策應變與後續整治規劃時之重要依據，依據目前的發布成果呈現，這些已建置的資料展示平台僅止於即時資料蒐集後的單點時序或空間圖層資訊呈現，然而後端分析與決策管理平台並未有效介接即時監測資訊，少有即時空間分析與潛勢預測功能；縱然有良好的即時監測資料，仍須配合具有有效進行即時參數資料配合空間分析模組之管理平台，使資料進行加值分析達至最大運用效果。即時資料蒐集與具有即時空間分析與潛勢預測功能的平台介接開發，是需要積極投入的重要工作項目之一，因此，本計畫提出以基礎水質監測進行空間變異與污染物特性關係之分析，協助管理者進行污染風險預警以及整治場址污染物即時監測。

本專案計畫執行內容為延續前期計畫研究成果並持續拓展與精進，前期計畫包含為：

- 105 年度，地下水污染溯源環域與風險評估線上模擬平台開發。
- 106 年度，土壤地下水地圖網頁線上資料分析及互動式模擬平台開發。
- 107 年度，土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證。

105 至 107 年度計畫工作成果已完成資料點數值內插分析、地下水流場數值



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

模式設定與模擬、污染物物理傳輸行為、質點正向與反向追蹤、水井捕集區及風險評估區域推估、增加資料庫即時儲存與資料傳輸效能、建構非關聯式資料庫，提升資料儲存多樣性以及調閱之效率呈度，並開發具有高度擴充之性地下水流場與溶質傳輸數值模式，可快速將已開放之圖層資訊展示，提供使用者調閱及檢視其圖層內部屬性與資訊，並結合實際場址監測數據作為本研究平台驗證基礎，重點發展功能如下列簡述：

(1) 瀏覽器前端地理圖資展示：

本研究使用較新穎瀏覽器展示技術(WebGL)，此技術可以運用使用者顯示卡核心平行運算，突破過去透過 CPU 計算，當資料圖層較複雜且資訊量較多時，常無法使用完整呈現於瀏覽器，造成電腦短暫失效。未來將引進更有效能壓縮資料技術，將資料從伺服器端傳送至使用者，更可延續過去成果，突破網頁平台地理資訊展示技術。

(2) GeoJSON 資料格式：

由於開發網頁平台式資料展示，往往需要即時完成使用者與伺服器端的資料傳輸，為與國際公認現行資料格式接軌，本研究採用 GeoJSON 公開資料格式作為資料庫傳輸格式。現今我國行政院已有許多開放資料也都採用此資料格式，未來在於資料庫擴充則可立即完成銜接。

(3) Mapbox 圖形展示：

為讓使用者能輕易瞭解平台功能，圖形化展示介面勢必成為主流。本研究可以提供使用者經由 Mapbox 提供的繪圖函式，藉由平台開發介面，執行點、線、面多種圖層展示相關設定。未來將修改平台操作方式，提供使用者更有善執行介面。

(4) 時序參數展示模式：

本研究彙整政府開放資料，水利署地下水觀測網水位站與時序水位資料，過去需要使用者自行比對含水層資料，再予以銜接不同含水層資訊，目前本研究已改善不同含水層水井資訊與時序圖展示介面。

(5) 任意多邊形空間插值模式

本研究已完成任意多邊形空間插值模式，利用本平台開發非結構化網格生成模式與空間插值技術，可以銜接資料庫伺服器內任意資料庫，非文字類參數，透過後端伺服器計算特定空間插值，最後可以藉由使用者瀏覽器呈現等值面與等值線插值結果。

(6) 地下水流場與傳輸數值模式：



(一) 前言

本研究目前已完成穩態流場與溶質傳輸模式，可以提供使用者設定模擬區域內重要水文地質參數，藉由此模式可以計算該場址穩態地下水流場與溶質傳輸模擬。將結合政府單位水位監測數據，地質材料紀錄，作為研究區域模擬基本參數使用。如此可以將過去與即時監測資料，執行污染物傳輸路徑模擬，作為緊急應變機制。更可以逆推污染溯源，配合署內追查機制，作為污染源釋放佐證。



(二) 研究目的

由於地下水水質監測所需標的參數較多，但現有之傳輸水質監測器所能監測項目卻有限，另資料量亦比起單純地下水位資料大，故更需發展完整的測試與分析流程。為了解決以上問題，本研究主要研究目的為：

- (1) 即時傳輸與即時動態分析平台介接技術開發；
- (2) 建構即時動態資料庫系統與分析平台動態展示模組；
- (3) 既有物聯網傳輸技術於地下水質監測系統上之應用評析；
- (4) 傳輸技術與分析平台於現地場址的測試與評估。

本研究選定中央大學井場，以既有五口地下水井作為測試場址；測試期間將搭配手持式水質儀和自記式水壓計與無線即時傳輸之監測資料進行驗證。經驗證的介接技術，將結合本研究 105-107(環保署，2016-2018)年期間已開發之圖層資訊展示與時序資料分析平台，建置空間參數分佈結構與其之特性分析，進而最大化即時監測資料之運用價值。

基於研究目的，本計畫包含四大工項如下所列，工作執行期程規劃則如表 1 所示：

- (1) 基礎水質監測與物聯網無線傳輸介接資訊轉換技術開發
 1. 儀器輸出訊號解析
 2. 儀器與傳輸模組介接
 3. 輸出與訊號校正
- (2) 即時空間分析與展示模組開發
 1. 資料展示模組開發與測試
 2. 克利金插值模組開發與測試
 3. 即時空間插值模組開發與測試
- (3) 模場現地驗證與物聯網無線傳輸技術應用評析
 1. 傳輸距離測試並校正
 2. 傳輸品質測試並校正
 3. 資料遺失率測試並校正
 4. 資料正確性測試並校正



(二) 研究目的

(4) 動態資訊展示平台開發

1. 建構無線傳輸即時參數動態資料庫
2. 建構動態資訊展示平台
3. 建構動態資訊空間分析模組

表 1 工作執行甘特圖

工作項目	108 年月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
一、基礎水質監測與物聯網無線傳輸介接資訊轉換技術開發									※			※
(1) 儀器輸出訊號解析									※			※
(2) 儀器與傳輸模組介接									※			※
(3) 輸出訊號校正									※			※
二、即時空間分析與展示模組開發									※			※
(1) 資料展示模組開發與測試									※			※
(2) 克利金法插值模組開發與測試									※			※
(3) 即時空間插值模組開發與測試									※			※
三、模場現地驗證與物聯網無線傳輸技術應用評析									※			※
(1) 傳輸距離測試並校正									※			※
(2) 傳輸品質測試並校正									※			※
(3) 資料遺失率測試並校正									※			※
(4) 資料正確性測試並校正									※			※
四、動態資訊展示平台開發									※			※
(1) 建構無線傳輸即時參數動態資料庫									※			※
(2) 建構動態資訊展示平台									※			※
(3) 建構動態資訊空間分析模組									※			※
五、報告撰寫；成果彙整投稿期刊									※			※
工作進度估計百分比（累積數）		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%
預定查核點	期中	※完成資訊展示平台、線上模擬平台參數設定、完成期中成果報告。										
	期末	※完成 NOSQL 資料庫建置、線上地下水水流與傳輸模擬平台、彙整研究成果投稿國際期刊、完成期末成果報告。										



(三) 文獻探討

台灣在傳統的環境保護上已經逐漸日趨完善，包括人民對污染意識的抬頭、水資源保護、法律法規制定，以及污染整治及調查技術之提升等。然而傳統環境保護仍舊存在著某些問題，針對已受污染之控制或列管場址，依照目前調查方法仍是以季水位及水質量測做為主要量測頻率，將採集樣品進行檢測各樣指標，除花費時間較長外，如果地下水或土壤相關樣品中存在揮發成分，則檢測將造成較大之誤差；除外，地下水位會因季節性或人為擾動產生大尺度或小尺度之變異，相對而言污染物之濃度分佈及遷移宿命將隨之影響，故如能進行隨分或隨時監測，則可有效隨時觀測污染物之分佈及傳輸情形。目前行政院環境保護署物聯網平臺(<https://iot.epa.gov.tw/iot/>)，致力提供智慧環境感測資訊網加值服務，連結都市建設等公共設施網絡，利用感測資料之收集、處理、儲存、供應及管理，建構高可用性、高可靠性、高處理量且符合資訊安全標準的智慧環境感測資料中心；而透過物聯網技術收納各項裝置資訊以進行監測，彌補以往資訊缺口的困境，期許能透過平台解決如下之環境污染議題：(1)空氣品質、(2)水質、(3)噪音與其他類，然針對地下水環境復育與保護則尚未啟動相關作業。目前由環保署制定之監地下水水質監測井設置作業原則(環署土字第 1020112290 號令)提出，需有監測井設置說明(包含設置目的、設置單位、設置規劃人員、設置施工單位等)、環境背景資料(預定井址周圍水文地質資料等)、井址資料(包含設置位置、地籍謄本或地籍圖)、井址勘查資料(地下埋設物調查等)、監測井設計資料(包含預定井深、井徑、井篩區間及監測井型式等)、設置方法及材料(包含設置流程、設置工法、施工機具及設備、土壤採樣與分析成果、井管及井篩材質、濾料規格等)，以及預訂工程進度等。然而針對自計式水位水質計則並無規定與要求相關規格及傳輸通訊模式，而多以現場採樣及後場分析為主要作業方式，物聯網概念之引用將可有效改善資訊蒐集密度，強化即時應變與控管之能力(Pradeep, 2017)。

根據統計數據顯示，中國 58%的地區和美國和歐洲的 12 個國家都有自動收集水位數據(Meng et al., 2014)，但只有美國實現了自動採集水質數據，其中自動監控包含離線和在線模式。離線模式微地下水系統數據存儲在傳感器中，人們使用 PDA 或其他通過數據線或無線通信連接傳感器並下載數據的設備到設備。在線模式意味著數據直接發送到監控中心指定的時間間隔。由於許多監測點分佈在野外地區，GSM 被廣泛用作數據傳輸網絡 實際上，早期的信息系統主要關注數字化查詢和統計的記錄(Zhou et al.2012)。

目前水利署針對地下水領域已著手逐步建構地下水用水即時自動監控管理系統，以避免過度抽取地下水造成環境災害，並供未來地表地下水聯合運用工作



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

規劃參考(經濟部, 2017)。高雄市政府也於 2017 年進行地下水智慧水表裝置埋設並開發相關展示平台, 達成量化監控、遠距傳輸以及智慧管控之目標(逸奇資訊, 2017)。

非洲國家肯亞, SweetSense 與 IBM Research 合作, 在美國國際開發署(USAID)的支持下建立了一個系統, 使用物聯網傳感器, 用以監測地下水的使用和需求, 將其與降雨地表水可用性相關聯, 然後此外最重要的是, 使用這些數據來識別抽水系統何時發生故障, 以便人民可以外出並將其固定, 並確保人們可以全年獲得水; 此技術同時應用於加州, 利用區塊鏈技術通過傳感器遠程監控地下水的使用, 幫助改善和維持民眾、農民和牲畜的可持續供水(Rachel, 2019)。

中國所發展之水質監測系統可應用於水資源循環利用的各個環節, 實現對飲用水及生產、生活污水水質的實時連續監測。該系統在及時掌握水源地水質狀況、預警重大或突發性水質污染事故、保障飲水安全、控制污水達標排放等方面發揮了重要作用, 目前已廣泛應用於江蘇太湖水質監測、河北企業排污水質監測、北京水廠水質監測、吉林小區加壓泵站水質監測, 以及北京供水管網水質監測等。

中國陝西省各市陸續啟動了國家級地下水監測工程的項目建設, 新建國控地下水觀測井並配置水位計和遠程監測設備, 實現了全省範圍內地下水狀況的遠程在線監測, 該省地下水監測中心具備可上外網的固定 IP, 系統採用 GPRS+INTERNET 的公網專線組網模式, 遠程監測設備按照陝西省統一的通信協議上報地下水監測軟件平台。

中國河北省水資源嚴重短缺, 面臨著地下水嚴重超抽與水環境不斷惡化等諸多問題。2015 年初, 河北省率先開展了「地下水超採綜合治理」試點項目, 對超採嚴重縣、市的地下水展開全面監測。河北省水利廳建設了專用的地下水監測中心和地下水監測軟件平台, 多個廠商的監測設備通過統一的通信協議上報至該平台。地下水觀測井分佈分散、普遍位於野外、現場無電源, 因此現場監測設備選用了自供電、IP68 防水的地下水遙測終端機 DATA-6218。地下水監測中心具備可上外網的固定 IP, 因此系統採用 GPRS+INTERNET 的公網專線組網模式, 按照項目需求, 水位計選用了水位、水溫雙參數的投入式水位計。

中國湖南省為加強地質災害防治和水環境變化監測, 湖南省地質礦產勘查開發局於 2014 年為婁底市的多個地下水觀測井安裝了遠程監測設備, 實現了地下水水位的遠程監測。地下水觀測井分佈在全市範圍內, 多數位於野外, 遠程監測設備選用了地下水遙測終端機 DATA-6216, 水位監測設備選用投入式水位計。監測中心不具備可上外網的固定 IP, 系統採用了 GPRS-VPN 的專網組網模式。

美國內布拉斯加州從 58 個自動觀測井網絡中收集地下水位信息, 這些井可以



(三) 文獻探討

深入讀取地下水資訊並將信息上傳到互聯網(<https://reurl.cc/D14EvO>), 並按小時繪製水位變化圖。由信息數據庫含有地下水硝酸鹽和農藥數據, 這些數據來自聯邦、州和地方機構以及內布拉斯加大學; 數據整理與展示包括篩選基本數據元素以及使用既定標準評估; 並指定了一個質量標誌, 每個質量評估等級都有評估井位、井特徵、取樣程序樣品保存。

美國科羅拉多州建立了地下水自動與數位觀測水表(Colorado Water Watch, CWW)系統, 除地下水水位及水量之自動監測外, 另包括 pH、EC、DO 等相關水質參數之數據蒐集, 並強化汽油類及天然氣逸入地下水之監測(Li et al., 2017)。

美國阿拉巴馬州地下水評估計劃(GSAGAP)地質調查實時地下水監測計劃, 目前由 24 口井和 2 口湧泉組成, 在半封閉和封閉含水層的不同深度的戰略位置建造。這些井配備有自動數質記錄設備和遙測接口系統, 該系統通過蜂窩信號直接將數據傳輸到 GAP 辦公室, 並以圖形方式每天上傳到 GAP 網站。監測井的長期水位圖提供了水位波動的指標, 可能受到地下水取水、土地利用和氣候變化的影響。GSA 持續監測的部分井的記錄時間超過 60 年, 提供了出色的數據趨勢分析。地下水位對氣象乾旱的回饋通常比其他乾旱指標(如土壤濕度和河流流量)慢, 並且可以提供與乾旱強度和持續時間相關的信息。一些實時水文圖中包含百分位數, 以便將最近的水位與記錄期間收集的水位進行比較。

印度 Maharashtra 建立地下水即時監測系統開發計畫(Shan, 2017), 該計畫的主要目標是為所有人提供安全可靠的飲用水供應, 內容包括設計和構建協議和設備, 以接收從資料庫傳輸字串數據; 在資料庫中開發系統架構, 以實現快速響應和分析; 在存儲庫中開發數據庫設計和實現, 以滿足各利益相關方的報告要求; 評估 GSDA 的遺留數據並將其與降雨等其他數據相關聯, 並開發數學模型分析工具。



(四) 研究方法與過程

4.1 無線傳輸技術

無線通訊是利用電磁波訊號在空間中傳播的特性，不使用任何導線或傳輸電纜連接，進行資訊交換的一種通訊方式。無線通訊技術在於優勢在於成本較低，不必建立物理線路。常見的無線通訊傳輸方式及技術分為兩種：「近距離無線通訊技術」和「遠距離無線傳輸技術」，依據傳輸距離及數據流量將各家技術彙整如圖 1，其中近年在環境監測需求中，最受關注技術之一即為低功耗廣域網路 (Low-Power Wide-Area Network: LPWAN)，LPWAN 由於不要求複雜的影音、大資料傳輸、即時訊息等，是物聯網談論多年之後，最具體的物聯網實現。物聯網的概念是由麻省理工學院提出來，其最初的含義是指把所有物品，通過射頻辨識等訊息傳感設備，與網際網路連接起來，實現智慧化辨識和管理。隨著聯網設備增多、設備的類型及應用場景更加豐富，越來越多的設備需要較廣範圍、較遠距離的連接，如遠程控制、物流追蹤等，應用低功耗低成本廣域聯網技術(LPWAN)的趨勢順勢而生，目前整體物聯網產業鍊如圖 2。

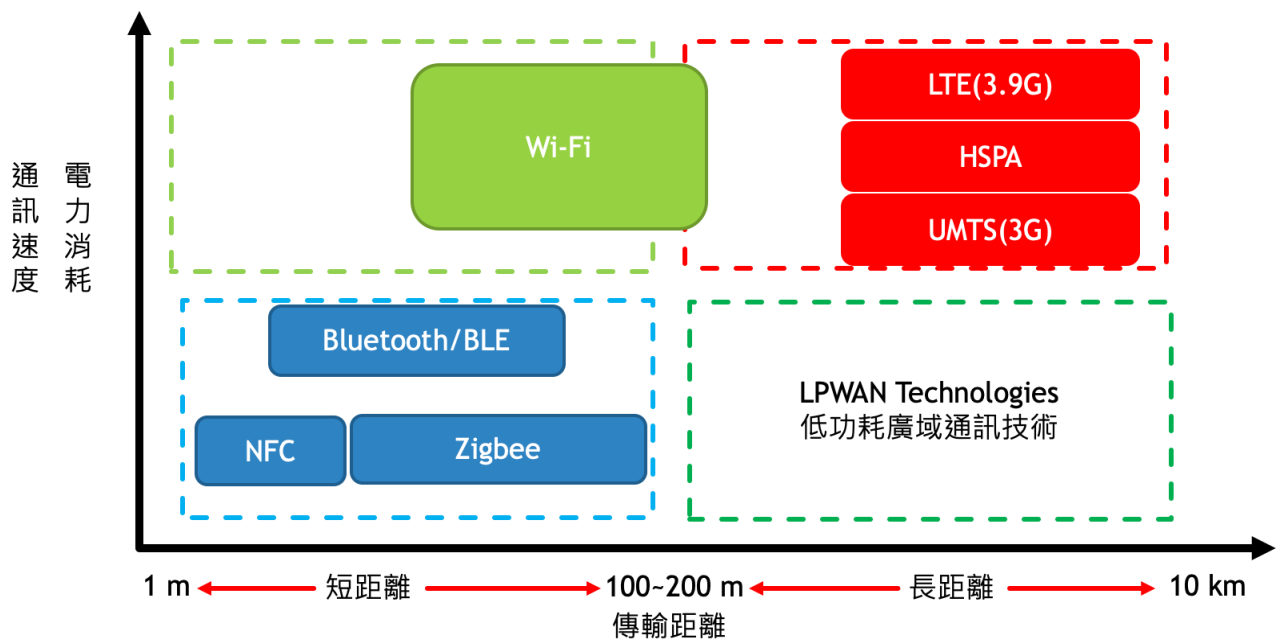


圖 1 不同無線傳輸技術特性、傳輸距離與功耗分析圖



(四) 研究方法與過程

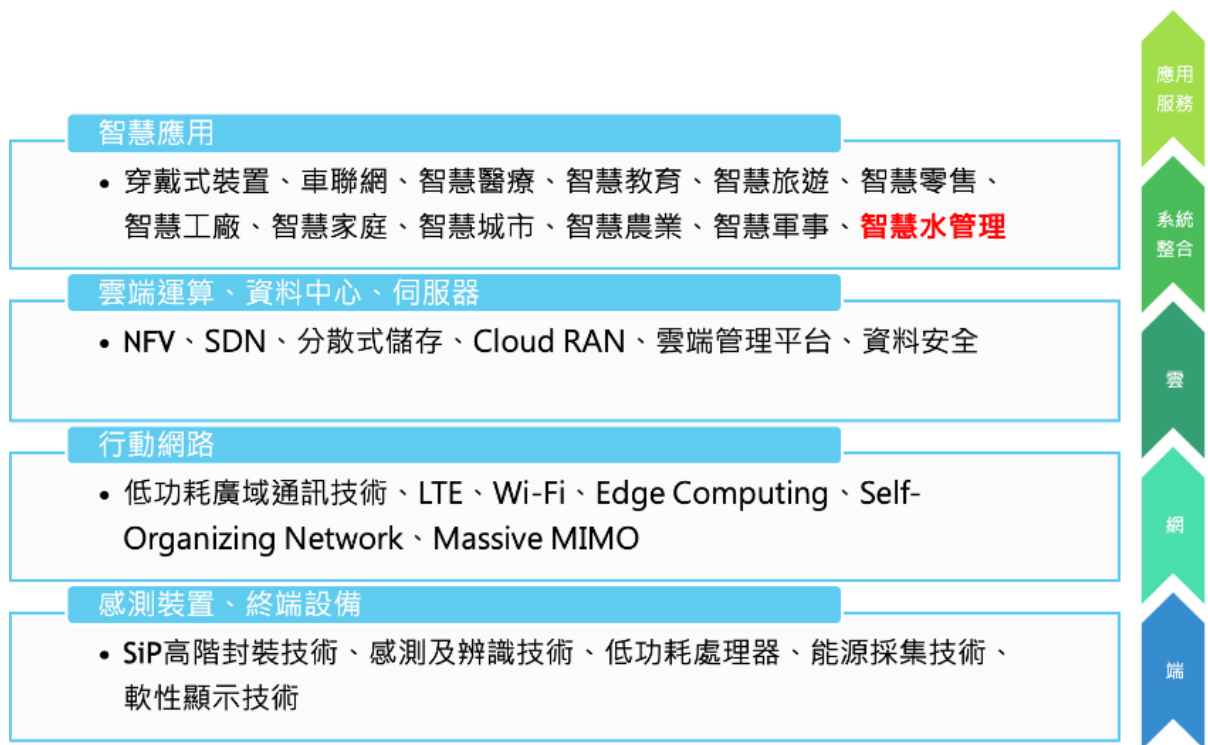


圖 2 物聯網上下游產業鏈示意圖

低功耗廣域網路技術中，以 sigfox、LoRa 以及 NB-IoT 技術為市場上主要技術，各項技術之特性如下

表 2 所示。

表 2 低功耗廣域無線傳輸技術比較表

	sigfox	LoRa	NB-IoT
授權頻段	非授權頻段	非授權頻段	授權頻段
使用頻段	ISM Band Sub-1GHz	ISM Band Sub-1GHz	In-Band LTE/ LTE Guard Bands/ Standlone(700~900MHz)
基地台連接數量	100 萬	25 萬	10 萬
頻寬	100Hz	125~500kHz	180kHz
傳輸距離	市區:10km 郊區:50km	市區:3~5km 郊區:15km	15km
傳輸速度	100bps	300bps~50kbps	~50kbps



限制與費用	無須許可證及費用	無須許可證及費用	須許可證及費用
-------	----------	----------	---------

4.1.1 Sigfox

來自法國的 Sigfox 無線通訊技術，雖然採用非授權頻譜蜂巢式網路通訊硬體架構(如圖 3 所示)，但和 NB-IoT 一樣需要透過廠商搭建的基地台提供通訊服務，Sigfox 在目前的 LPWAN 技術中，具傳輸速率低、傳輸範圍廣泛的特點，適合用在大範圍的環境監控，但該技術每天資料傳輸量有上限，所以以基礎訊息為主，不能傳輸太大量複雜的資訊，譬如智慧讀表(Smart Meter)就是很適合 Sigfox 的應用之一，但近年來由於節能減碳議題升溫，在歐美等地都實施尖離峰差別電價，所以智慧電表需要約 15 分鐘密集回報用電量，這樣的傳輸頻率 Sigfox 就無法負擔。

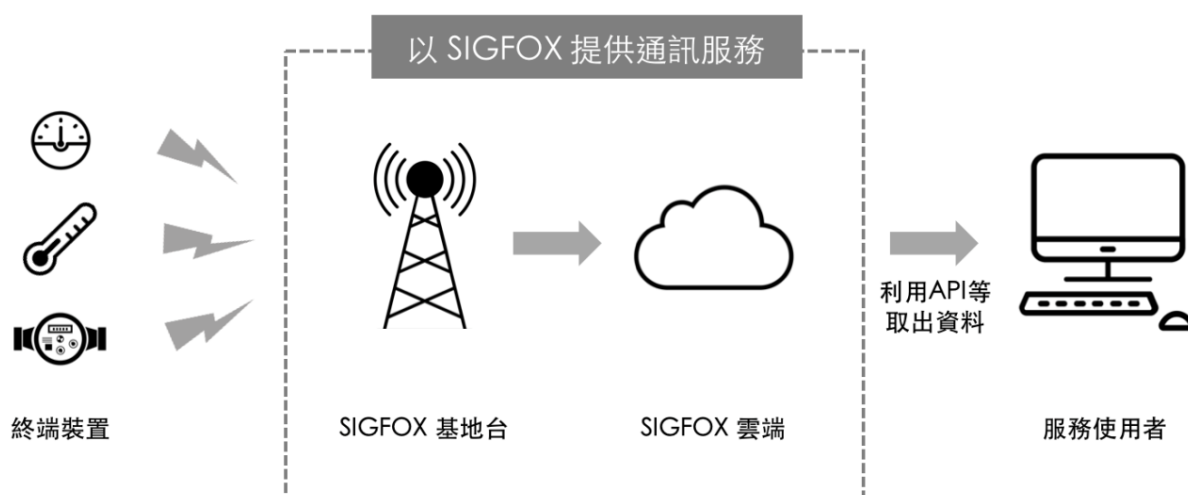


圖 3 Sigfox 傳輸網路架構示意圖

4.1.2 NB-IoT

NB-IoT 的全名為 NarrowBand IoT，顧名思義，就是為物聯網裝置設計的窄頻無線電通訊技術，以目前手機使用的行動通訊技術為基礎，讓透過電池提供電力運作的物聯網裝置，能夠具有長距離通訊的能力，以及保持長續航力的特色。NB-IoT 採用電信級的網路，服務品質有保障，適合高價貨物的追蹤，與消費者直接有關的大規模應用較為適合；另外，如家中成員的健康照護也適合採用 NB-IoT，而且這類服務使用者願意付費。但工業控制、智慧製造、智慧農業等就不太適合。

4.1.3 LoRa

LoRa 為 Long Range 的字首縮寫，是專為依賴電池提供電力的無線設備所設



(四) 研究方法與過程

計，其目標在於滿足物聯網系統所需的長距離雙向通訊，並簡化裝置的安裝程序，讓使用者、開發者以及商業應用能掌握更高的自主性。LoRa 採用星狀拓撲如圖 4 所示，讓所有節點直接連接到閘道，閘道再網後連接至中央主機整合，若需要與其他節點溝通，也是經由閘道傳輸。

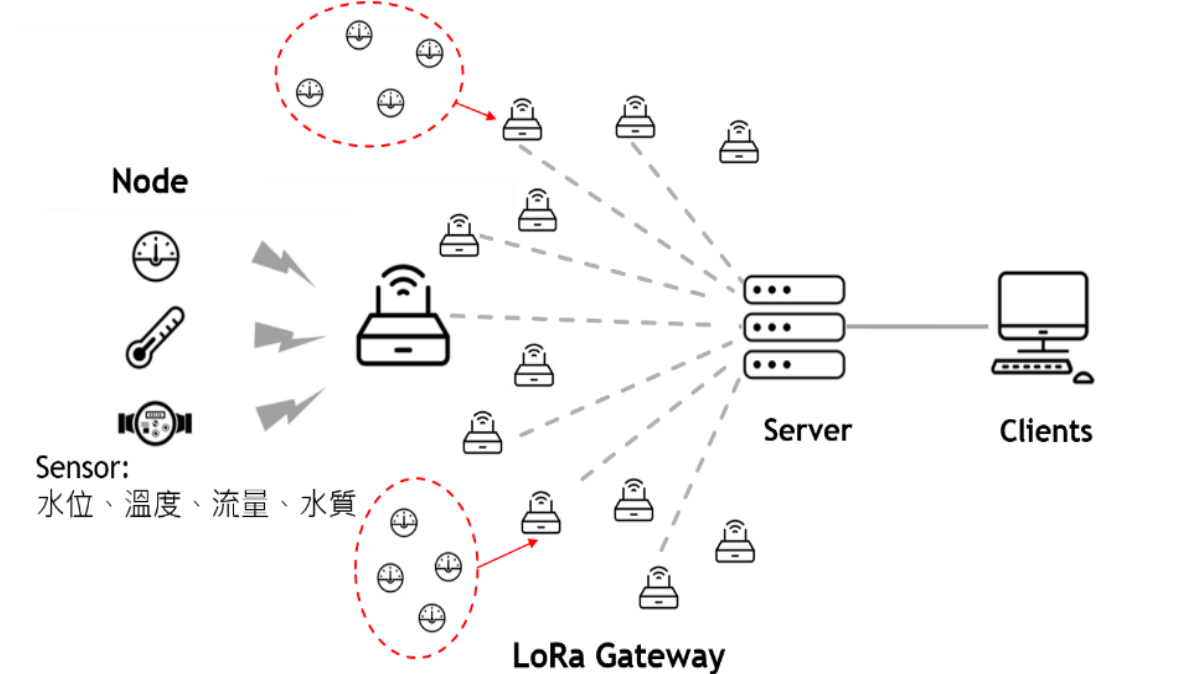


圖 4 LoRa 星狀傳輸網絡示意圖

閘道設備在定點設置後，可以連接電源與一般的有線網路系統，不需特別考慮耗電量與資料傳輸問題。如此一來，節點就可以將消耗電力較高的工作，交由閘道與中央主機負責，將傳輸量最小化以提高續航力，整體 LoRa 傳輸技術優勢如圖 5。

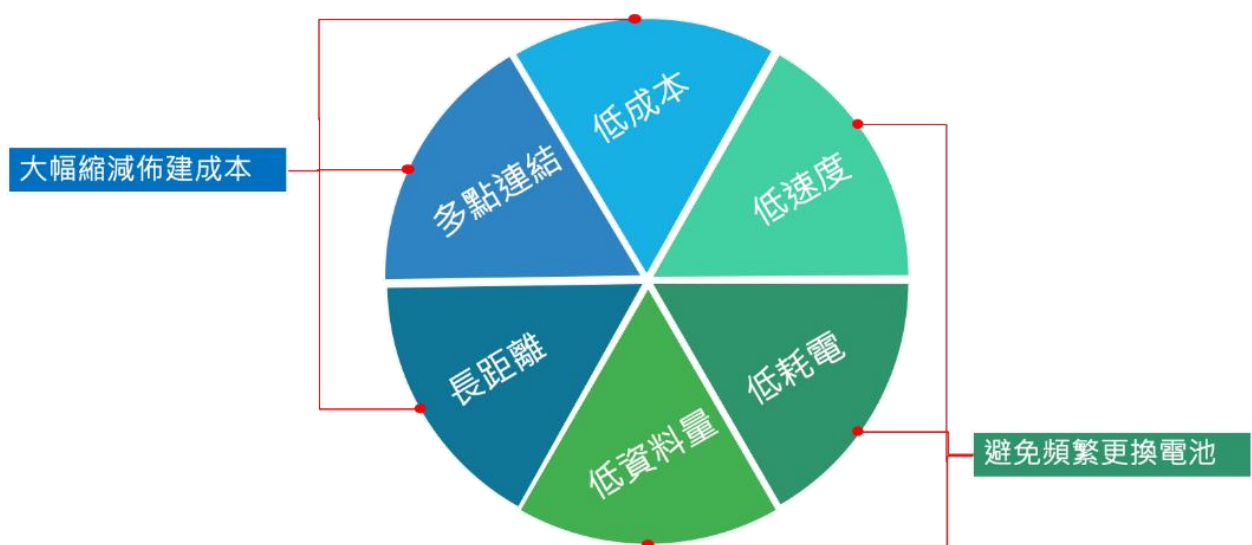




圖 5 LoRa 傳輸技術優勢

應用低功耗廣域無線網域技術，能透過其長距離低功耗特性，實現物聯網建構的需求，實際應用範疇如圖 6 所示。目前已有大量應用 LoRa 技術於智慧城市管理、防災及照護等案例，如應用無線傳輸技術控管城市設施，如中國電信先後於南京江北 新區研創園區、上海浦東 軟體園區測試智慧路燈，依據季節、區域、時段進行路燈等光控制，以及遠端故障示警及監測，或是德國電信於波昂運用無線網路及手機應用程式，透過相關感測元件監測車位使用情況，提供車位搜尋服務，更進一步進行家戶瓦斯、用水以及用電之監測，以達到智慧城市目標的實現。



圖 6 低功耗廣域網路應用範疇

本研究初步擬定的無線傳輸與平台介接部分中，其中井內儀器會連接至無線傳輸點(node) (例如：LoRa node、NB-IOT、或 4G)上，接著各組 node 以無線傳輸方式將資料傳輸至各 LoRa Gateway 或基地台上，最後所有資料便會整合至伺服器的動態時序資料庫中，動態時序資料庫須具備即時資料檢核功能，最後於平台上呈現時序資料結果與即時空間分析圖層。

在此架構中，各 node 需解析水位儀器所傳回之電位訊號，將其轉換為可辨識之水位或水質訊號才進行傳輸，因此，本工作將進行不同水位水質計多組輸出訊號之解析，並利用實驗室儀器及標準溶液進行校正，使其能傳輸正確資料訊號



(四) 研究方法與過程

至各 node 的發送點。

本團隊於中央大學井場(配置如圖 7)進行水位儀器與傳輸模組之現地測試，測試項目包括資料傳輸距離、傳輸品質、資料遺失率與正確性等因素。其中測試方式與要點如下列：

1. 資料傳輸距離：本研究預計將無線傳輸 node 放置於井場內，移動監測資料接收狀況，最後將得到不同距離下的資料接收狀況變化。
2. 資料傳輸品質：除傳輸距離外，將另外測試中間障礙物(如人造建物或樹木)與地形高低對資料傳輸的影響。
3. 資料遺失率：除了障礙物與地形外，無線傳輸訊號亦容易受到天氣狀況或其他訊號源影響而造成資料的遺失。本工作將另外測試無線傳輸模組在不同天候下的運作狀況，以確保無線傳輸模組的可靠性。
4. 資料正確性：由於水位計傳回資料為電流訊號，此資料經發射器轉換為數位訊號並經接收器接收，中間經過的數個轉換過程可能造成接收資料與觀測資料的不一致。因此本研究將在井內設置手持式水質計與自計式水壓計，並與無線傳輸後的結果值進行比對，以驗證無線傳輸後資料的正確性。
5. 平台動態資料庫建置與展示技術測試分析：經由直接量測與無線傳輸動態資料結果比對，可確認資料傳輸品質與穩定性。
6. 動態資料庫資料檢核與補遺技術建立：本項工作將對遺失資料的補遺與訊號反饋進行測試，配合現地直接量測資料，擬定適合的遺失資料補遺方法。



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

4.2 觀測井場介紹

本研究觀測井場位於桃園市中壢區國立中央大學校區內西北方氣象觀測站旁(如圖 7)，觀測場址內共有七口井深為 15m 的觀測井，井內設有水位計及光纖溫度量測纜線，各井間相對距離如圖 8 中所示，近地表未飽和層土壤在 1.5m 內每 0.5m 設有土壤濕度計。



圖 7 中壢台地衛星影像；紅圈處為井場位置

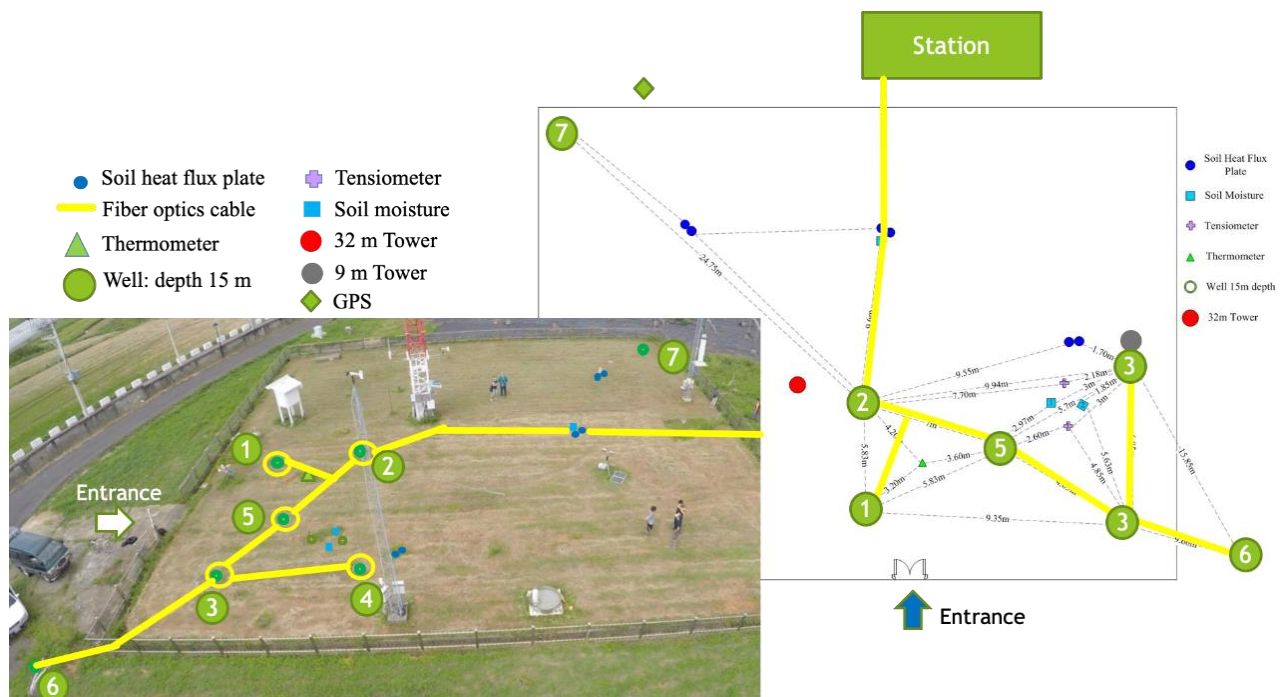


圖 8 試驗井場設備及相對位置示意圖

本研究井場場址坐落在中壢台地上，桃園市最明顯的地表特徵為一連串高度不等，略呈階梯狀排列的台地，包含有桃園、中壢、平鎮、伯公崗、湖口等台地。這些台地地形早期都是各大河川在流出山地時堆積成的廣大沖積扇，經過了古大漢溪被襲奪且蓬萊造山運動持續影響，地殼慢慢抬升而形成現今的地形，厚層的紅土及礫石層即是桃園地區台地為以前河流所堆積而成之證明。圖 9 為經濟部中



(四) 研究方法與過程

央地質調查所 2001 年公布的 1:50000 地質圖(塗明寬、邵屏華，2011)，圖中顯示中壢台地出露更新世的店子湖層。



圖 9 中壢台地區域地質圖

此區域內出露的岩層主要為第四紀更新世之未固結沉積物(如圖 10)，這些沉積物分布在不同高度的台地上，沉積物主要來自東側受造山運動作用抬昇之較老岩層，這些沉積物在何春蓀(何春蓀，1975)繪製台灣二十五萬分之一地質圖時統稱為紅土台地堆積層，牧山鶴彥(牧山鶴彥，濱本勝己，1935)依沉積物所處之不同高度台地分成不同單位。店子湖層岩性主要由下部的礫石層和上部的紅土層組成，全層厚度約為 10 至 20 公尺，其中紅土層之厚度在 1 至 2 公尺間，礫石直徑通常在 10 至 30 公分之間，亦有公尺級以上者。礫石層與上覆之紅土層間大致為逐漸轉化關係，此關係為下部未受紅土化作用之礫石層，往上轉為礫石表面稍受分解，再上則變為黃棕色黏土，並含夾小岩塊，最上部則移化為紅土(塗明寬、邵屏華，2011)。店子湖層與下伏岩層大茅埔礫岩或楊梅層呈不整合接觸。表 3 為中壢台地地層年代對比，大茅埔礫岩主要由礫岩組成，偶含砂岩透鏡體，地層年代為更新世，可和頭嵙山層火炎山礫岩段作對比；楊梅層分為兩段，上段為照門段，下段為照鏡段，照鏡段主要由厚層砂岩和砂岩及泥岩互層所組成，照門段主要由礫岩、砂岩及泥岩之互層組成，可與頭嵙山香山砂岩段相比。

表 3 中壢台地地層年代對比(整理自台灣地質圖說明，塗明寬，2011)

更新世	何春蓀(1986)	塗明寬(1990)	
	紅土台地堆積層	桃園層	
		中壢層	
		店子湖層	
	頭嵙山層	大茅埔礫岩層	
		楊梅段	照門段、照鏡段



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證



圖 10 中壢圖幅地層表(擷取自經濟部中央地質調查所，民國九十年五萬分之一台灣地質圖說明說圖幅第七號中壢第二版)



(四) 研究方法與過程

圖 11 為觀測井場 2016 年地質鑽探資料，鑽探時地下水位面位於地表下 6 公尺處。在深度 0~9.3 公尺呈現一漸變關係，底部 2.36~9.30 公尺為礫石層，且礫石粒徑由下而上遞減，到了淺部 0~2.35 公尺礫石受紅土化作用分解為粉土質黏土且顏色由黃棕色轉變為紅棕色，從圖 12 與圖 13 之岩心段可清楚判斷出顏色及礫石粒徑的變化，合理推測此段屬於更新世之店子湖層。9.3 公尺以下分別出現了細砂層、礫石層以及泥岩層，從岩性來看，有可能為店子湖層或楊梅層照門段，但從 9.3~15.3 公尺的細砂層來看，6 公尺厚度較不可能為砂透鏡體，因此推測此層應為更新世之楊梅層照門段。

深度	岩性	柱狀圖	地質描述
1.3	CL	1	0.00-1.30m 黃棕間帶紅棕色之粉土質粘土，散含礫石
2.35		2	1.30-2.35m 黃褐色粉土質粘土
3.9	SM	3	2.36-9.30m 礫石層
		4	礫石原岩多屬堅硬之石英岩及石英砂岩，充填之基質以粉土質砂為主
		5	2.35-3.90m 礫石粒徑以15公分以內中細礫為主
		6	3.90-8.00m 礫石粒徑以10公分以內中粗礫為主
8.00	SM	7	8.00-9.30m 礫石粒徑以20公分以內粗礫為主，礫石含量比高
9.3		8	
		9	
		10	9.30-15.30m
	SM	11	黃褐色細砂，往深部變為黃棕色砂，拇指重壓才碎裂，屬緊密砂層
		12	
		13	
		14	
15.3	SM	15	
	ML	16	15.30-24.35m
		17	礫石層，礫石多屬風化之砂岩礫，充填基質為粉土或砂，
		18	礫石粒徑多係6公分以內中細礫
		19	
		20	
		21	
		22	
		23	
		24	
24.35		25	24.35-25.95m 黃棕間帶棕灰色之砂岩，膠結程度差
25.95	CL	26	
27.0	CL	27	25.95-27m 棕灰往深部漸變為灰色之新鮮泥岩
		28	
		29	
		30	
		31	分別取1.8~2.0m、6.48~6.70m、11.80~12.00m、15.80~16.00m、18.00~18.20m、25.00~26.20m、26.80~27.00m作土壤輻射分析

SW: 級配良好之砂土 SM: 泥質砂土 CL: 低至中塑性粘土
produced by ESlog ESdat.net on 25 Apr 2017

圖 11 觀測井場地質鑽探資料



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證



圖 12 試驗場址地質鑽探 0~4.0 公尺岩心段



圖 13 試驗場址地質鑽探 5.0~8.0 公尺岩心段



4.3 自記式基礎水質儀器介紹

本場址預計設置無線傳輸設備於井 1、井 2、井 3，以利後續進行空間差值分析，監測設備係以 AQUATroll-200 系列做為測試用水質水位計如圖 14 所示。



圖 14 AQUATroll-200 水質水位監測設備

Aqua TROLL-200 數據記錄儀可測量和記錄水位、壓力、電導率和溫度，規格述如表 4。獨特的電池設計可在狹窄直徑儀器中實現寬廣及精確的測量範圍。鈦結構可抵抗腐蝕，是沿海，修復和地下監測項目的理想選擇。本儀器可提供高達 351 公尺的通風配置壓力和 341 公尺的非通風配置。

本儀器特徵如下：

1. 飽和或非飽和壓力測量；
2. 直徑小於 1 英吋；
3. 鈦電極外殼；
4. 全域導電率，最佳精度(-5~100,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$)；
5. 動態密度補償，用於精確的壓力測量；
6. 靈活的通訊協定：(4-20 mA，SDI-12，RS-485)；
7. NIST 校準報告保證準確性

由於目前市面水位計有提供 RS-485 與電流訊號兩大類，其中關於 RS-485 訊號已屬於國際通用電子通訊協定，是一種具備多種電路層(electrical-layer)選項的工業網路標準，它增加多項要求以提高資料傳輸效能。本研究所採用 LoRa 傳輸設備，透過 LoRa 無線傳輸技術做為遠距離傳輸技術實行，如圖 15 為本研究採用傳輸與訊號接收設備。JIMOO(圖 15)已有安設具有 RS485 插槽，可直接連接水位計，並且提供 12V 或 5V 電源。另外關於以電流變化為主的水位計，本研究則需增加電流轉電壓訊號模塊，ASC301-1.0V，如圖 16。如此，可以經由地下水水位變化，影響水位計內部薄膜壓力差，產生訊號。藉此，透過 JIMOO 可以擷取水位計訊號，將訊號經由校正曲線公式，調整為地下水水壓數值。在圖 17 可以看到透過 JIMOO 收集到兩組水位計訊號，"deveui"代表 JIMOO 上 LoRa 晶片編



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

號；"data"代表水位計紀錄水位資料，資料為 16 進位，單位為公尺。



圖 15 模組化 LoRa 無線傳輸裝置

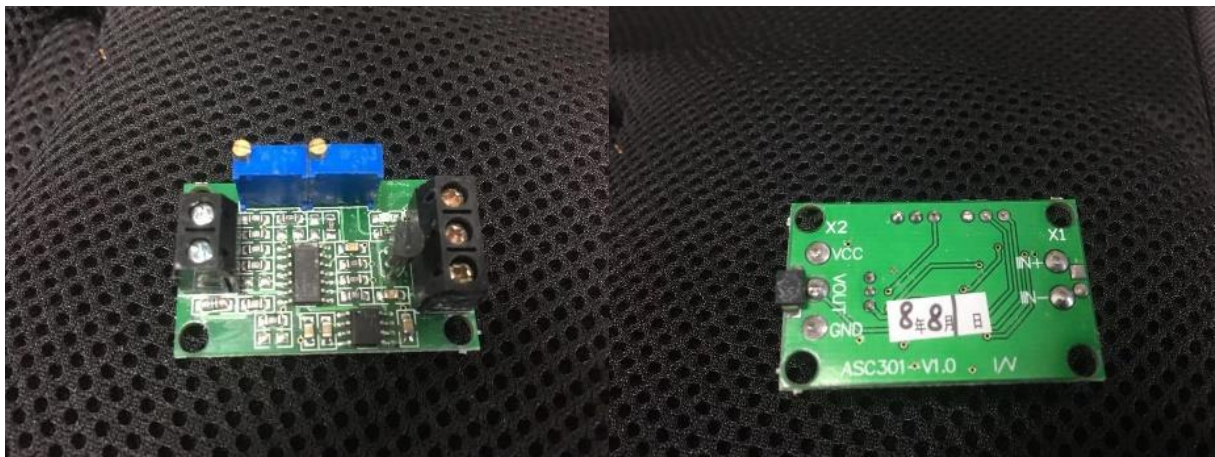


圖 16 電流轉換電壓模塊

```
{
  "applicationID": "3",
  "applicationName": "JCINN-JiiMoo",
  "time": null,
  "devaddr": "0848a70b",
  "deveui": "9c65f9fffe375025",
  "devname": "JCINN-JiiMoo25",
  "gatewayeui": "c61802fffe00013b",
  "rssi": -100,
  "lsnr": 7.8,
  "size": 10,
  "data": "001a04f9000010101000",
  "b64_data": "ABoE+QAEBQAQAA==",
  "freq": 922.8,
  "datr": "SF7BW125",
  "port": 1,
  "uplink_count": 1513,
  "gateway_list": "c61802fffe00013b"
}

{
  "applicationID": "3",
  "applicationName": "JCINN-JiiMoo",
  "time": null,
  "devaddr": "08136b3e",
  "deveui": "9c65f9fffe375027",
  "devname": "JCINN-JiiMoo27",
  "gatewayeui": "c61802fffe00013b",
  "rssi": -57,
  "lsnr": 9.5,
  "size": 10,
  "data": "001902d3000010101000",
  "b64_data": "ABkC0wAAEBQAQAA==",
  "freq": 923,
  "datr": "SF7BW125",
  "port": 1,
  "uplink_count": 10266,
  "gateway_list": "c61802fffe00013b"
}
```

圖 17 水位計訊號資料



(四) 研究方法與過程

表 4 AQUATroll-200 規格

基本規格	
Temperature ranges	Operational: -20 to 65°C Storage: -40 to 65°C Calibrated: -5 to 50°C
Diameter	1.83 cm
Length	31.5 cm
Weight	500 g
Materials	Titanium body; Delrin® nose cone
Environmental rating	IP68 with cable attached IP67 without cable attached
Output option	Modbus/RS485, SDI-12, 4 to 20 mA
Battery type & Life	3.6V lithium; 5 years or 200,000 readings
External power	8-36 VDC; Measurement current: 15 mA; Sleep current: 40 µA
Memory	4.0 MB
Data records	190,000
Data logs	50 logs
Fastest logging rate	1 per second
Fastest output rate	Modbus: 2 per second SDI-12 & 4 to 20 mA: 1 per second
Log types	Linear, Fast Linear, and Event
Software	Windows®: Win-Situ 5
水壓／水位量測	
Range	Absolute (non-vented) 30 psia: 11 m (35 ft) 100 psia: 60 m (197 ft) 300 psia: 200 m (658 ft) 500 psia: 341 m (1,120 ft)
Burst pressure	Max. 2x range; burst > 3x range
Accuracy	±0.05% FS from -5 to 50° C
Long term stability	<0.1% FS
Units of measure	Pressure: psi, kPa, bar, mbar, mmHg, inHg, cmH ₂ O, inH ₂ O Level: in., ft, mm, cm, m
溫度量測	
METHOD	EPA Method 170.1
Accuracy	±0.1°C
Resolution	0.01°C or better
Units of measure	°C, °F
WARRANTY	2 years. Up to 5-year (total) extended warranties available



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

表 5 AQUATroll-500 規格

基本規格	
Temperature ranges	-5 to 50°C (23 to 122°F) ISE: Ammonium and Nitrate 0 - 40°C, Chloride 0 - 50°C
STORAGE TEMP.	Components Without Fluid -40°C to + 65°C (Non Freezing Water) pH/ORP Sensors -5°C to +65°C Ammonium/Nitrate: 0 - 40°C Chloride: 0 - 50°C
Diameter	4.7 cm (1.860")
Length	Length: 46 cm (18.145") (includes connector). With bail: 59 cm (23.25")
Weight	0.978 kg / 2.15 lbs. (includes instrument, sensors, restrictor and bumpers)
Materials	PC, PC alloy, Delrin, Santoprene, Inconel, Viton, Titanium, Platinum, Ceramic, Nylon, PVC, Graphite
SENSOR HEX SCREW DRIVER	0.050, 1.3 mm
Environmental rating	IP68 with cable attached IP67 without cable attached
MAX PRESSURE RATING	Up to 150 PSI Ammonium/Nitrate up to 30PSI
Output option	Modbus/RS485, SDI-12, Bluetooth
EXTERNAL POWER VOLTAGE EXTERNAL POWER CURRENT	8-36 VDC; Required for normal operation Sleep: < 0.2 mA typical; Measurement: 40 mA typical, 75 mA Max
INTERNAL MEMORY AND DATA LOGGING	Use external datalogger or telemetry
READING RATES	1 reading every 2 seconds
COMMUNICATION DEVICE	Wireless TROLL Com
CABLE OPTIONS	Vented or non-vented polyurethane or vented Tefzel®
LCD DISPLAY	Integrated display shows status of sonde, sensor ports, power voltage and connectivity, enable/disable BT.
Software	Android™: VuSitu through Google Play and Amazon® App Store iOS: VuSitu through Apple® App Store, Windows: Win-Situ 5 Data Services: HydroVu
INTERFACE	Android, and iOS through VuSitu. PC through Win-Situ 5. Requires BlueTooth 2.0.
CERTIFICATIONS	CE, FCC, WEEE, RoHS Compliant
pH	Accuracy: ± 0.1 pH unit or better; Range: 0-14pH; Resolution: 0.01 pH
Conductivity	Accuracy: $\pm 0.5\%$ of reading plus 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ from 0 to 100,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; $\pm 1.0\%$ of reading from 100,000 to 200,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; $\pm 2.0\%$ of reading from 200,000 to 350,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Range: 0 to 350,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Resolution: 0.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Ammonium	Accuracy: $\pm 10\%$ or $\pm 2\text{mg}/\text{L}$, w.i.g.; Range: 0-10,000 mg/L as N; Resolution; 0.01mg/L
Nitrate	Accuracy: $\pm 10\%$ or $\pm 2\text{mg}/\text{L}$, w.i.g.; Range: 0-40,000 mg/L as N; Resolution; 0.01mg/L



4.4 時序資料庫展示平台

本研究在本年度主要工作項目在於連接實驗場址監測數據，因此對於現場資料的儲存與讀取效能，必然成為本研究主要工作之一。為提昇數據能即時紀錄於遠端倉儲伺服器中，必定需採用具有平行化的非結構化資料庫結構。在此本研究採用開放軟體，InfluxDB 時間串列數據庫，可用於處理巨量資料寫入與負載查詢，其主要目的在於具有時間標記的任何數據，包括物聯網傳感器數據與即時分析後端儲存，故此架構非常適合應用於環境場址監測。

InfluxDB 具有以下特點，兼具高效能時間標記數據儲存與讀取功能，TSM 引擎具有高效能寫入與數據壓縮。TSM 存儲引擎主要由几个部分组成：cache、wal、tsm file、compactor，如圖 18。提供簡單、高性能的寫入、查詢 http API 功能。插件支持其它數據寫入協議，例如 graphite、collectd、OpenTSDB。支持類 SQL 查詢指令語法。

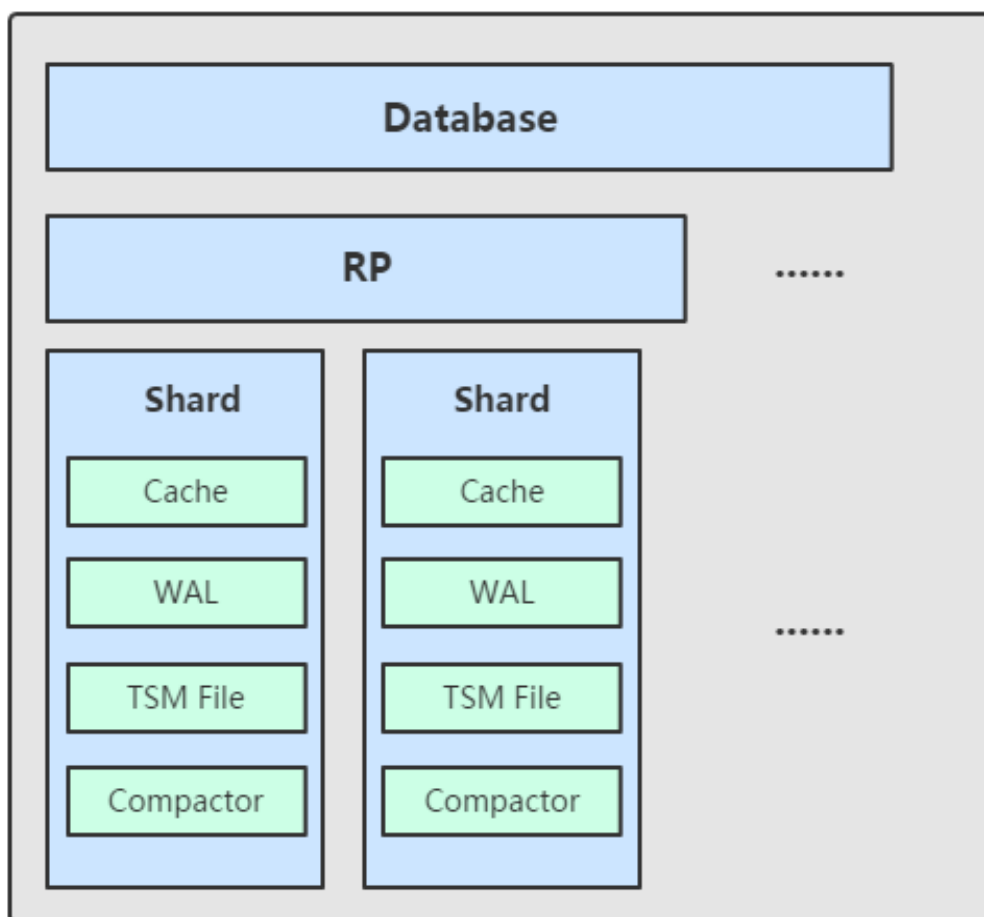


圖 18 InfluxDB TSM 儲存引擎

既然已有高效能儲存實驗場址觀測數據的數據庫，必然需要將監測結果即時展示。關於本年度的工作，將新增與整合目前國際著名的時序資料庫展示平台，



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

Grafana。目前這個領域屬於新興技術，大多應用於個人或小型研究社群使用，並未有詳細開源的 API。

Grafana 時序數據監控平台，這是一套開源的時序數據監控、分析與展示平台，可支援多種不同資料來源，包含 CloudWatch、Elasticsearch、Graphite、InfluxDB 到 OpenStack 的 Gnocchi 或 Google Calendar。管理者不會受限於不同資料來源而使用不同展示平台。Grafana 為了支援多種資料同時展現，並完成比較。具有使用單一個組織，每個組織可以有一個或多個資料來源，所有樣板可以沿用至任何同類型資料。展示於監控平台，必須設定面板(Panel)，因為面板為 Grafana 最基本的展示單位，如圖 19。每個面板提供編輯功能，可利用編輯展示圖像方式。面板提供數種樣式和格式選項，而且支援拖拽來在儀錶盤上重排，並且可以調整大小。面板可以利用多種方式輕鬆共用，既可以通過連結分享，也可以匯出 JSON 等文字檔。

本年度將延續與優化去年度的研究成果，圖 20 為單一口水利署地下水觀測網時序資料，這些資料並非即時儲存於本機倉儲伺服器之中，未來將執行具有即時量測與儲存功能的時序資料。如此可以透過本年度開發克利金空間插值方法，非結構化網格生成，進行空間時序資料展示，如圖 21。本研究平台提供使用者可以藉由 GIS 圖台介面，控制平面時序動畫展示介面，可利用按鈕全部播放，更可利用滑鼠控制播放特定時序圖層，操作介面如圖 22。

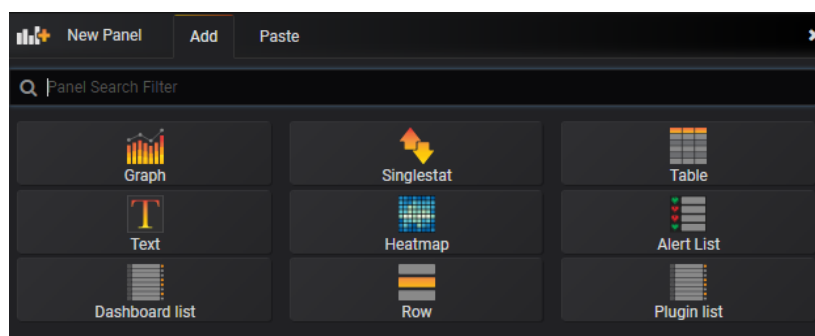


圖 19 Grafana 面板種類



圖 20 水利署地下水觀測網水位時序資料



(四) 研究方法與過程

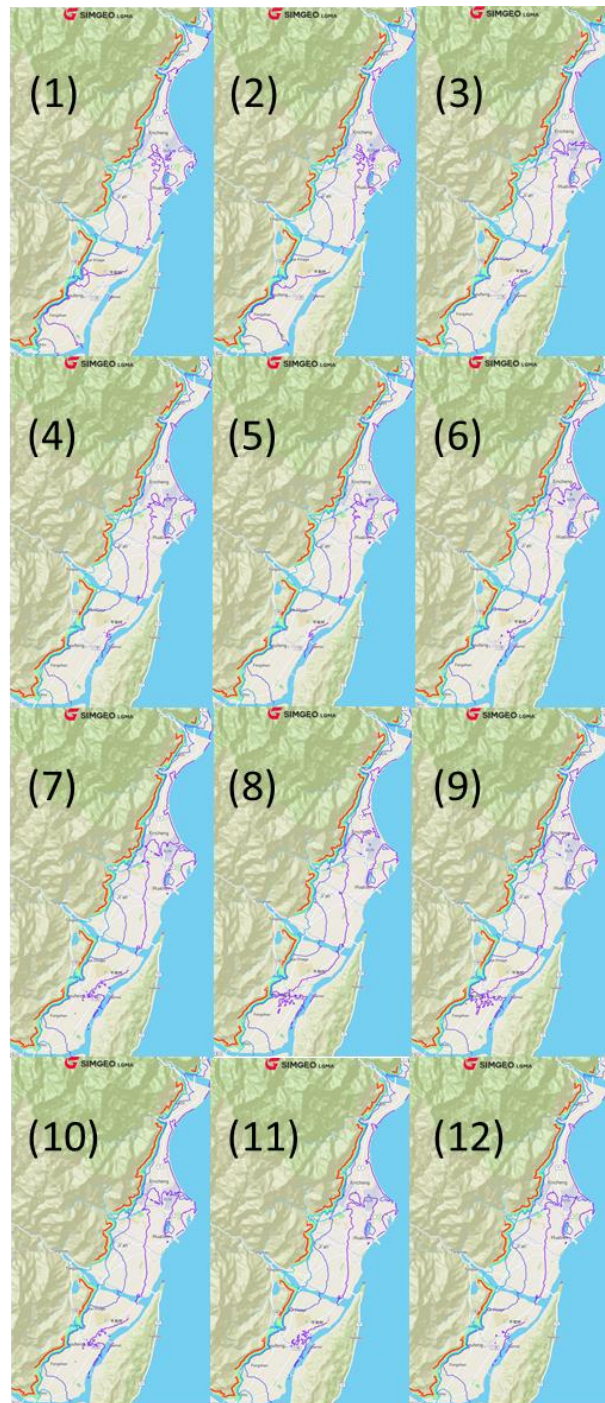


圖 21 花蓮 2012 年地下水水位插值

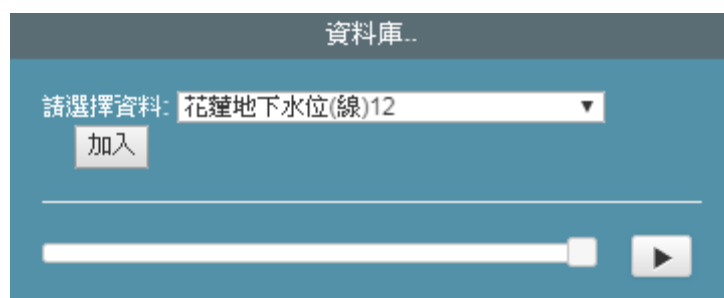


圖 22 平台動畫展示控制介面



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

4.5 平台參數資訊計算引擎模組開發- 克利金法(Kriging)

本工作將於平台上開發資料即時展示與克利金法(Kriging)空間分析模組，其中空間分析模組將可對即時資料進行即時空間插值。克利金法假設各資料點間的距離或方向與空間變化的相關性有關。克利金法的基本公式如式(1)：

$$z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (1)$$

其中 z 為資料， x_0 為未知點， n 為已知點個數， λ_i 為權重矩陣而 x_i 為已知點。

權重矩陣如式(2)所示，為不同資料點距離下的相關性分布。

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad (2)$$

當距離與相關性模式決定後，可使用半變異(Semi-variogram)函數進行擬合，擬合結果如圖 23 所示。最後再將求出函數代回式(2)即可得參數之空間分布。

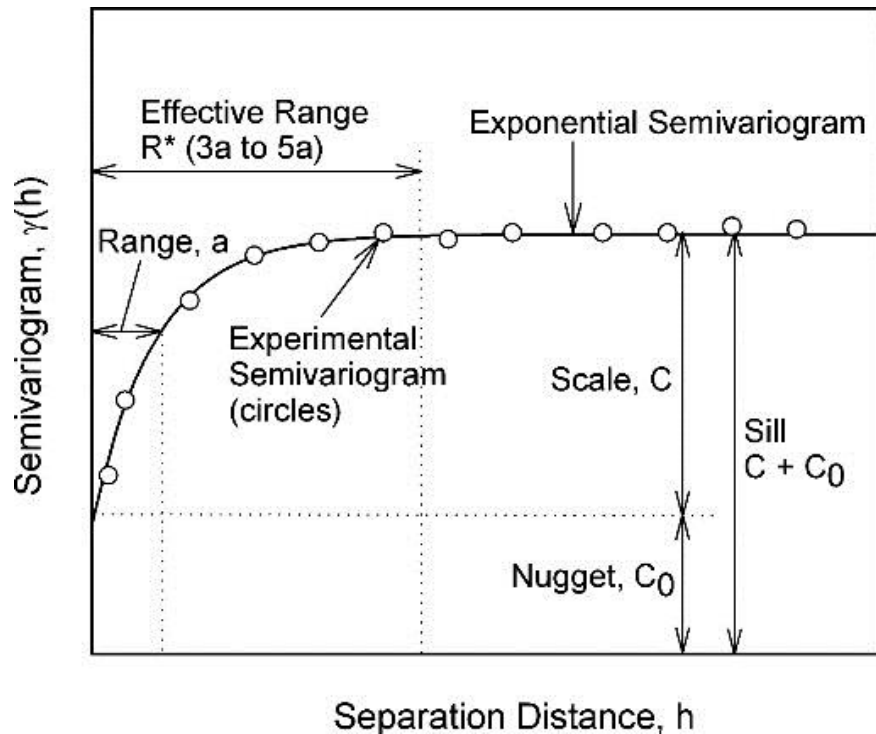


圖 23 半變異函數範例與其參數(Vennapusa et al., 2010)



(五) 結果與討論

5.1 遠距離傳輸系統架構

量測地下水水位與污染物濃度空間分佈，對於污染場址整治計畫規劃、現場工程整治處置，以及後續監測設計等重要行程，皆可透過科學學理進行即時評估與未來預測，更可提供緊急應變與決策處理。本研究設計從現場架設水位與基礎水質檢測計，藉由電子訊號擷取與轉換，經由 RS485 資料傳輸格式，與本研究協同廠商共同開發遠距離傳輸裝置，採用 Modbus 格式將地下水水位或基礎水質訊號，讀取至裝置內，並且經由 LoRaWan 晶片執行電子訊號遠距離傳輸。

本研究首先藉由其他相關研究方法與步驟，完成上述現場場址重要參數（地下水水位、pH 值、電導度、氧化還原電位與氨氮濃度等）之即時量測儀器裝設。於電子資訊傳輸方面，則是透過 LoRaWan 節點裝置與即時儀器連接，將訊號傳送至 LoRa Gateway，LoRa Gateway 則會將訊息透過網際網路傳送至資料儲存伺服器，使用者則可以透過界面平台讀取資訊，藉由時序資訊展示平台呈現。在此本研究完成此歷程需要藉由撰寫自動擷取資訊程式，依據本研究設定劇本，控制 LoRa Gateway、LoRaWan 節點與量測儀器，最後確認將資訊紀錄於資料庫。以下將詳細介紹本研究執行細節與成果。

目前儀器設備採用 Modbus 架構進行資料解讀，由於本研究建構場址儀器為可控制量測劇本，首要須建構良好溝通之物聯網架構。目前較為成熟技術為 MQTT broker，MQTT 的全名為 Message Queuing Telemetry Transport，為 IBM 和 Eurotech 共同製定出來的協定，MQTT 是為了物聯網設計的協定，透過 Publish/Subscribe 的方式來做訊息傳送。Publish/Subscribe 有三種主要的組成元件，分別為 Publisher、Subscriber 以及 Topic。Mosquitto 為 Eclipse 所開發的開源 MQTT broker 和給用戶端使用 C 語言的 API 介面。

物聯網為目前國家重要研發政策之一，對於物聯網應用中，有許多的感測器會經由物理或化學方式監測，產生電子訊號與資訊，這些資料通常無法存於感測器中，須即時紀錄於資料庫，經由伺服器將資訊傳輸至後端完成數據加值運算，藉由專家領域運算與評估，將有用加值訊息傳遞至使用者。因此物聯網中的各種設備也需要接收來自於使用者或自動控制程式指令的指令，進行各種智慧化的動作，要讓整個物聯網環境具備互相溝通的能力，就需要有一個資訊傳遞的機制。

MQTT 是一種 machine-to-machine (M2M) 的極低數據通訊協定，可以讓各種設備互相溝通，首要優點在於完成物聯所需要的運算與傳輸資訊頻寬極少，非常適合用於物聯網中的各種應用。



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

在 MQTT 的通訊架構之下，會有一台設備專門負責所有訊息的派送工作，這個角色就稱為 broker，所有的訊息在傳遞時都會經過 broker，由 broker 來負責處理每一則訊息該如何遞送，如圖 24。

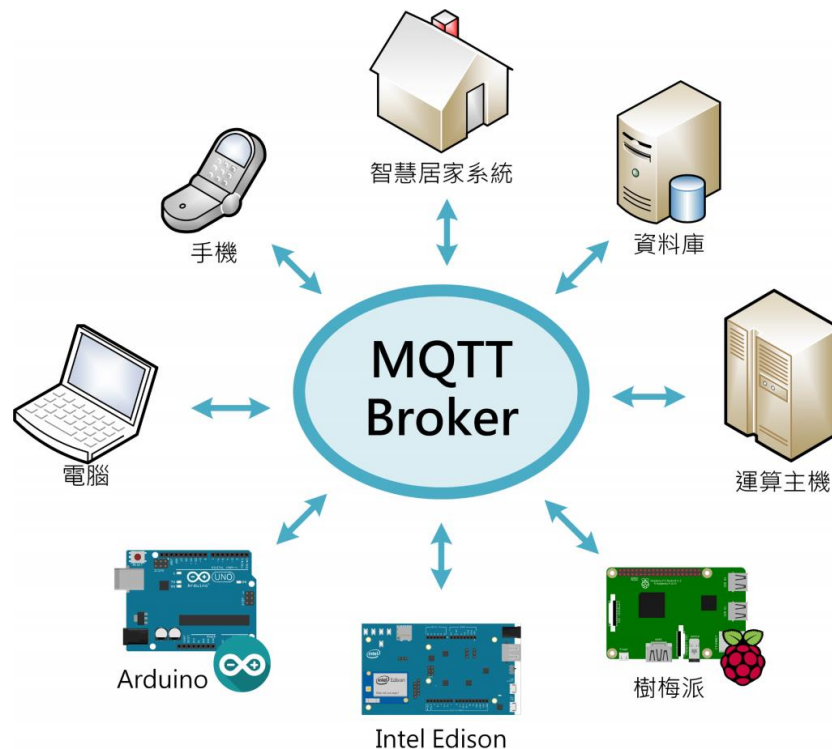


圖 24 MQTT Broker 控制架構

在 MQTT 的架構中，設備可分為三種：Publisher：發送訊息者。Subscriber：接收訊息者。Broker：轉送訊息者。而不同的訊息可能會需要傳遞給不同的接收者，所以訊息在發送的時候，發送者(publisher)必須標示這則訊息的主題(topic)，而轉送訊息者(broker)則會依照這則訊息的主題，將訊息傳遞給有訂閱該主題的接收者(subscriber)，這就是 MQTT 基本的訊息傳遞架構，如圖 25。

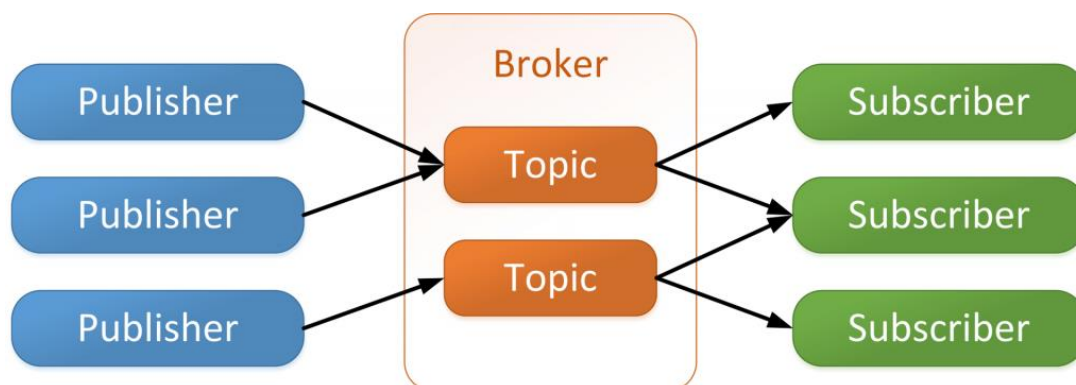


圖 25 MQTT 訊息傳遞架構

藉由以上的架構，本研究設計一問一答的方式完成儀器數據傳輸與紀錄。本



(五) 結果與討論

研究架設一台 MQTT 主機，如圖 26。其主機為工業電腦，運算與計算等級較低，對於外在較艱困環境具有較高適應能力，可以將電腦放至於烈陽場址，依舊可以正常運行。



圖 26 MQTT 工業電腦

以下將介紹物聯網之網路層架構與通訊協定的串接，為求串接概念能夠清楚呈現，繪製通訊協定與硬體串接之概念圖，以下為本次計劃網路層之架構圖，如圖 27。

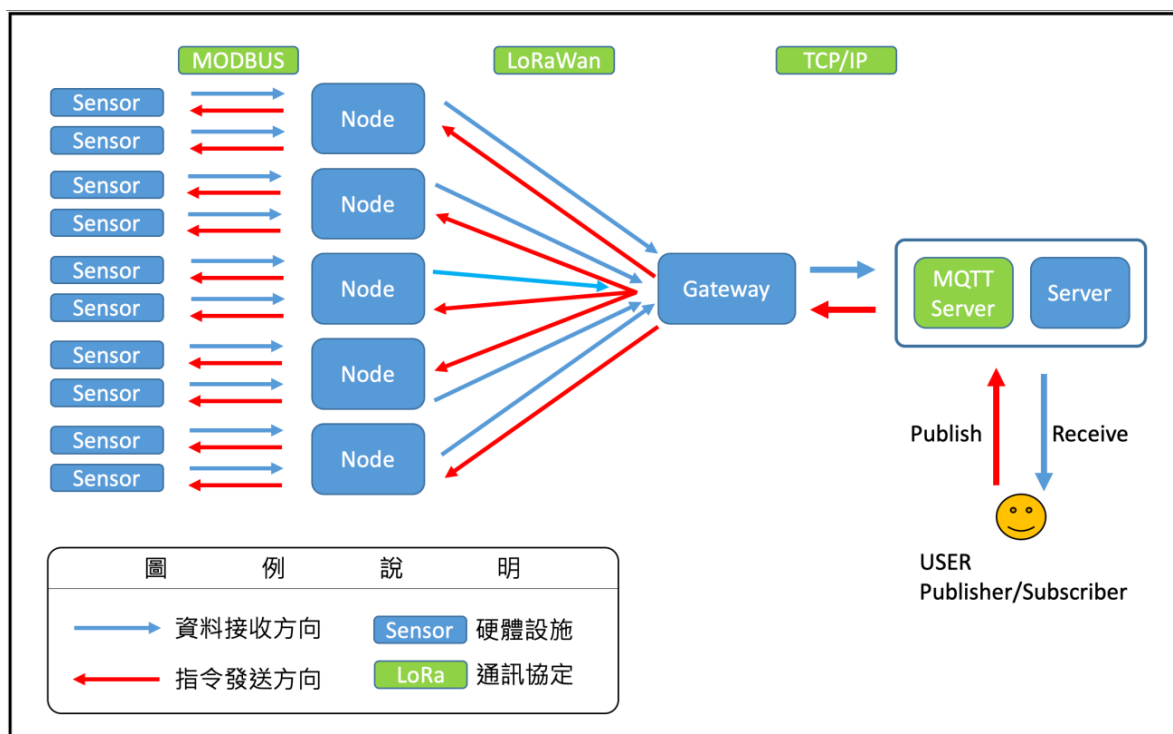


圖 27 遠距離傳輸系統網路層架構圖

圖 27 左側至右側即為現場場址儀器段至監控伺服器，Sensor 代表著每個現



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

場監控儀器目標項目，例如地下水水位。Node 代表 LoRaWan 節點，可以傳送控制儀器訊號與接收儀器監測數位資訊，在此進行的資料網路傳輸形式並非為傳統網際網路，而是透過 2 條電線執行通用 Modbus 格式執行通訊，如此益處在於可以提供設計者靈活更換與串接不同儀器訊號。LoRaWan 傳輸系統，則是藉由 LoRaWan 晶片與 LoRa gateway 經由交換唯一的 Key 執行資料傳輸與指令傳輸，本研究已完成 LoRaWan 傳輸距離測試，可以執行約 1 公里訊號不衰減的情形下，獲得儀器訊息。最後一端則是 MQTT 主機與使用者或計算伺服器之間的溝通，至於 MQTT 架構則在上述說明。



5.2 儀器輸出訊號解析

Modbus 是一種提供不同或相同儀器訊號串行的通訊協定，此協定為 Modicon 公司於 1979 年使用可編寫簡易程式控制通訊而發表，如今 Modbus 已經成為工業領域通訊協定的業界標準，並且現在是工業電子裝置之間常用的連接方式。本研究採用的為 MODBUS 架構下的 RS485 協定，以下將詳述此協定。RS485 是隸屬於 OSI 模型實體層的電氣特性規定為 2 線、半雙工、平衡傳輸線多點通訊的標準。是由電信行業協會(TIA)及電子工業聯盟(EIA)聯合發布的標準。實現此標準的數位通訊網可以在有電子雜訊的環境下進行長距離有效率的通訊。在線性多點匯流排的組態下，可以在一個網路上有多個接收器。因此適用在工業環境中。

而在 MODBUS 架構下，節點與感測器恪守主從關係(Master-Slave)，節點為主端，而感測器端則為從端，主端發送訊號後，從端辨識該對應的功能碼(Function Code)，進而回傳相對應的數值，而每一家所設計之感測器 RS485 所記錄數值之位置不盡相同，以下會使用水位計作為範例，以水位資料來作為一個資料解讀、分析作為一個介紹。

而在 MODBUS 通訊協議下，通訊格式會分成四個部分：

a. 感測器 ID(2 byte)：

為每一個感測器專屬辨識欄位，在同一個節點(Node)之下，每一個感測器的 ID 不可以重複，否則會造成數值回傳錯誤或是無法辨識等問題。

b. 功能碼(2 byte)：

為辨識主端傳送過來指令所對應之檢查碼，如本計畫中所用之儀器 03 即為讀取資料的代號，通常在使用 MODBUS - RS485 之用戶，僅需要使用唯獨數值的庫碼即可，避免整個感測器使用錯誤的函式碼，造成整個感測器功能崩壞之問題。其功能碼需參照廠商所給予之文件作對應，通訊上雖有一定規範，為求保險，在使用前務必參照文件，以免造成感測器功能失常、毀損等問題。

c. 資料登錄位置(Register Address) (4 byte)：

此為各家廠商登錄其該感測器資料所寫入的記憶體位置，各家廠商有不同的設計，若要獲取相對應數值，則必須參照廠商所給予之產品技術文件，否則無法獲取相對應知數值。

d. 獲取資料位元(4 byte)：

此為每個數值所對應的數值長度，此定義值也是需要參照廠商所給予文件，避免讀出之數值不合現實之觀測數據，例如有一感測器具有感測溫度濕度壓力等



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

數值，其數值登錄位置從 0000 開始，每個數值長度為 4 byte，若溫度登錄位置為 0000，使用者想要數值回傳為 8 byte，則會造成後面回傳多出 4 byte 之數值，多出來之數值不一定是觀測數值，可能是廠商做校正之檢查碼，也可能是其他觀測數值的登錄位置，所以在使用前必須先參照廠商提供之文件去做儀器。

e. 範例說明

以下藉由輸入 “01 03 00 00 00 01”作為測試碼藉由 Modbus 測試軟體執行，電腦將會轉換以上明碼資訊藉由 Modbus 通訊協定至儀器。指令說明：“01”為裝置ID；“03”為功能碼 (function code)；“00 00”為資料登錄位置；“00 01”為擷取資料長度，圖 28 為測試軟體畫面。



圖 28 Modbus 指令發送

執行指令傳送後，若是儀器確實獲得指令，則會開啟監測現場環境參數，並且轉換物理或化學訊號為電子訊號，再將電子訊號返回經由 Modbus 通訊協定傳送至 LoRaWan 晶片。本研究經由圖 28 指令發送歷程，儀器將訊息傳回，狀態如圖 29。



(五) 結果與討論



圖 29 Modbus 接受資料

其中：“01”為裝置 ID；“03”為功能碼 (function code)；“00 00”為資料登錄位置；“00 00 B8 44”：為擷取出來的資料(16 進位格式)，此擷取資訊中，“00 00”代表儀器量測數值，此 4 個字串是由 16 進位組成。例如 0101 之 16 進位資料等於 257 之 10 進位數值。

圖 30 與圖 31 分別為本研究設計 MQTT 指令，傳送至 LoRaWan 節點至儀器。其中“140.115.124.122”為 MQTT 主機網路 IP；“9c65f9fffe375049”為 LoRaWan 節點 ID，此 ID 是採用 LoRaWAN 架構，屬於世界唯一的一組號碼。

```
mosquitto_sub -h 140.115.124.112 -p 1883 -t "application/1/device/9c65f9fffe375049/rx" -d -v
```

圖 30 開啟接收指令

```
mosquitto_pub -h 140.115.124.112 -p 1883 -t "application/1/device/9c65f9fffe375049/tx" -m '{"confirmed":true,"fPort":10,"data":{"oAEDAAAAQ=="}}'
```

圖 31 傳送訊號至儀器指令

經由開啟接收與傳送指令之後，若 LoRa Gateway 已完成連接網路，MQTT 主機必定會收到訊息，因此需要藉由程式判斷是否接收正確訊息。



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

圖 30 與圖 31 其中指令內容：“-h”：為傳送指令到 MQTT 的指定 IP；“-p”：通訊埠 1883；“-t”：傳送指令；“application/1/device/9c65f9fffe375049”：此為要詢問資料之節點(Node)；“data”：為傳送 MODBUS-RS485 的指令；“oAEDAAAAQ==”：是 a001030000001 經過 base64 轉碼後之數值，以供加密，a0 為韌體上辨識 MQTT 傳送之指令，以供節點能夠順利辨識 MQTT 所對應之指令。

當 MQTT 主機若能正確獲得訊息，則可以接收正確回傳數值關鍵字，如圖 32，在於圖中“data”：“a0”的部份，設定為本研究開發裝置制定為當儀器訊號成功傳送至 MQTT 主機所反應的關鍵字。之後的訊息解讀方式與圖 29 的方式相同，在此由於並沒有將水位計放置在水下，因此紀錄數最後 8 碼“000002a8”中為“0000”，意義為儀器監測水下 0 公尺狀態。

```
application/1/device/9c65f9fffe375049/rx{"applicationID":"1","applicationName":"NCU-PlanA","time":"2019-03-20T19:18:39.2606675Z","devaddr":"009bc62f","deveui":"9c65f9fffe375049","devname":"jii moo-049","gatewayeui":"c61802fffe00013b","rssi":-75,"lsnr":7.8,"size":8,"data":"a0010302000002a8","b64_data":"oAEDAgAAAQg=","freq":923.4,"dutr":"SF7BW125","adr":true,"rxInfo":{"gatewayID":"c61802fffe00013b","name":"GW9310","rssi":-75,"loRaSNR":7.8,"location":{"latitude":0,"longitude":0,"altitude":0}},"txInfo":{"frequency":923400000,"dr":5,"port":1,"uplink_count":51260,"gateway_list":["c61802fffe00013b"]}}
```

圖 32 儀器訊號正常回傳狀態

正常執行物聯網串連儀器與 LoRaWan 節點之後，正常情形下 LoRaWan 節點傳送訊息啟動儀器量測訊號，接收訊號後傳送至 LoRa gateway。但可能在場址現場發生無法避免狀態，導致訊號無法傳至 LoRa gateway，更無法讓 MQTT 主機獲取正確回傳狀態。因此，本研究設計當 LoRaWan 節點若有與 LoRa gateway 正常聯接，但並無儀器訊號，則 LoRaWan 節點可以將無儀器訊息回傳，回傳完整訊息如圖 33。



(五) 結果與討論

```
application/1/device/9c65f9ffe375049/rx{"applicationID":"1","applicationName":"NCU-PlanA","time":"2019-03-20T19:08:54.150815616Z","devaddr":"009bc62f","deveui":"9c65f9ffe375049","devname":"jiimoo-049","gatewayeui":"c61802fffe00013b","rssi":-77,"lsnr":10.2,"size":10,"data":"001d0ff9000000000000","b64_data":"AB0P+QAAAAAAAAA==","freq":923.2,"dtr":"SF7BW125","adr":true,"rxInfo":{"gatewayID":"c61802fffe00013b","name":"GW9310","rssi":-77,"loRaSNR":10.2,"location":{"latitude":0,"longitude":0,"altitude":0}},"txInfo":{"frequency":923200000,"dr":5,"port":1,"uplink_count":51201,"gateway_list":["c61802fffe00013b"]}}
Client mosqsub/2143-cuda received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'application/1/device/9c65f9ffe375049/rx', ... (572 bytes))
```

圖 33 LoRaWan 節點或儀器訊號缺失回傳狀態

最後一種狀況為當 LoRaWan 節點成功將訊息回傳，但節點無法偵測到儀器訊號，則在 MQTT 主機則會獲得卻少儀器訊號關鍵字，為"data":"a00155aa00"，如圖 34。

```
application/1/device/9c65f9ffe375060/rx{"applicationID":"1","applicationName":"NCU-PlanA","time":"2019-03-20T20:01:52.329183186Z","devaddr":"01761ac6","deveui":"9c65f9ffe375060","devname":"jiimoo-060","gatewayeui":"c61802fffe00013b","rssi":-81,"lsnr":7.8,"size":5,"data":"a00155aa00","b64_data":"oAFVqgA=","freq":923.4,"dtr":"SF7BW125","adr":true,"rxInfo":{"gatewayID":"c61802fffe00013b","name":"GW9310","rssi":-81,"loRaSNR":7.8,"location":{"latitude":0,"longitude":0,"altitude":0}},"txInfo":{"frequency":923400000,"dr":5,"port":1,"uplink_count":7193,"gateway_list":["c61802fffe00013b"]}}
Client mosqsub/3035-cuda received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'application/1/device/9c65f9ffe375060/rx', ... (574 bytes))
```

圖 34 儀器訊號無法回傳 LoRaWan 節點狀態



5.3 建構無線傳輸即時參數動態資料庫

Modbus 通訊協定架構具有高度靈活度，程式編輯者可以設計自動化程式，執行發送指令與接收指令劇本，本研究設計程式邏輯流程圖如圖 35。

圖 35 上半部為監控狀態程式，可以掌握伺服器執行程式的狀態，可以將狀態分成「正發布指令」、「已發布指令」與「等待接收指令」共計 3 大類狀態，若遲遲無法進入「等待接收指令」則會將狀態轉換為「缺失訊息」。若是可以接收訊息，則會將狀態轉換為「接受訊息」與「已接收訊息」。

所有訊息皆是經由 MQTT 主機傳送與接收，因此伺服器會因為不同狀態了解劇本執行情形，執行發送指令與接收訊息。圖 35 下半部則是 MQTT 主機接收訊息後，判斷目前狀態的關鍵字“tx”代表發送指令內容；“rx”代表接收訊息內容；“ask”代表詢問訊息詳細狀況，並且完成一次詢問歷程。

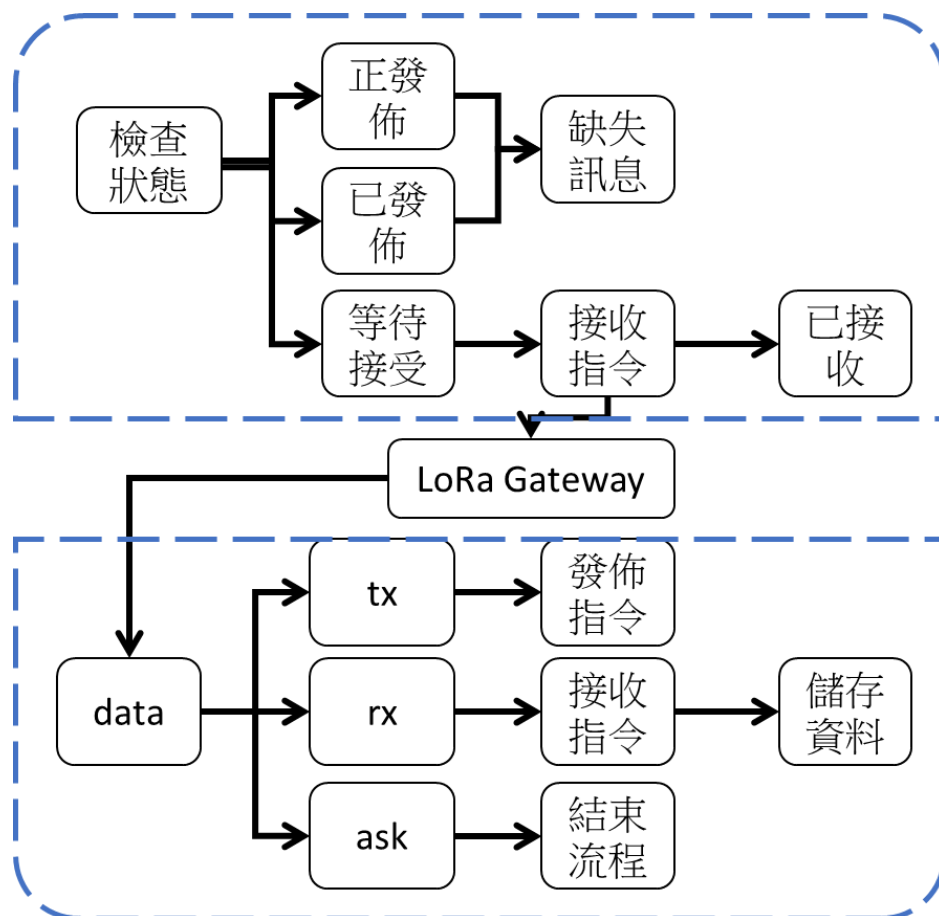


圖 35 自動化監控 Modbus 指令況狀與資料庫儲存



5.4 中央大學地下水井場測試

本研究已完成於 2019 年 04 月 22 日於中央大學氣象坪地下水井場，規劃放置 2 組 LoRaWan 節點與地下水水位計，並於該場址建立 LoRa gateway 並連接網路，放置現場位置如圖 36。圖 37 為現場擺設水位計與節點至地下水水井，完成設備裝設。本研究目前已完成平台展示 3D 研究成果，經由井場鑽井紀錄，建置 3D 展示井場平台，如圖 38。

本研究目前採用的資料庫為非結構化時序資料庫，當伺服器狀態為「接受訊息」，則會將訊息自動紀錄於時序資料庫。本研究目前已完成可以透過時序資料庫展示介面，將紀錄成果即時呈現於網頁，如圖 39。



圖 36 中央大學井場空拍影像



圖 37 中央大學井場設置遠距離監控地下水水位設備



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

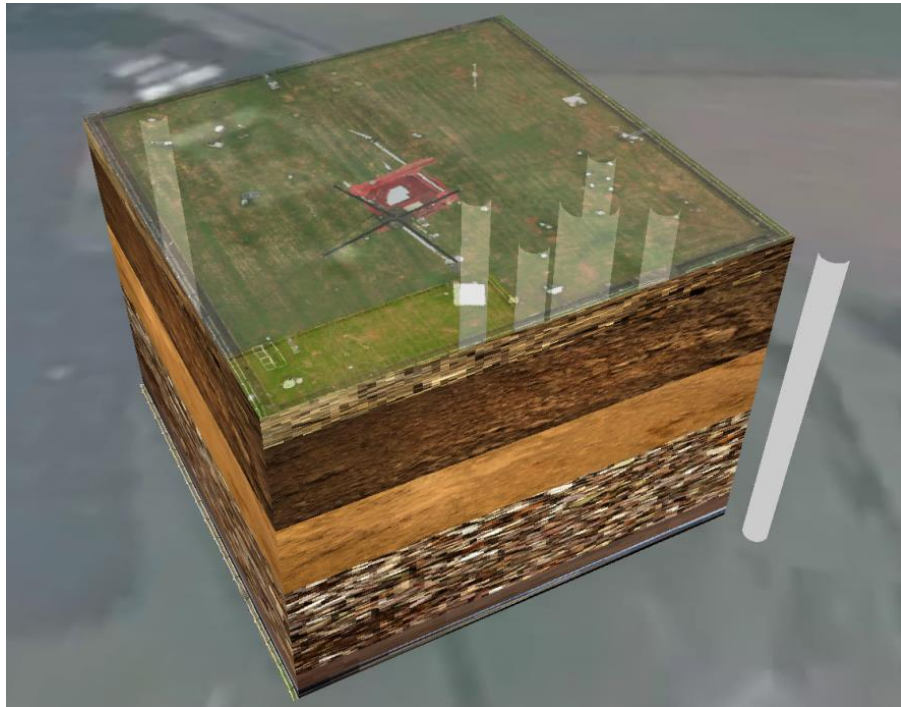


圖 38 中央大學井場 3D 影像



圖 39 水位計量測訊號展示介面

圖 39 紀錄的訊息包含正確紀錄訊息與缺失資料，本研究設計缺失資料時，紀錄(-50)為缺失資料。本次試驗為每 10 秒紀錄一次資料，可以從圖 39 得知約 1 分鐘至少可以獲得 1 筆數據。



5.5 台南地下水污染場址測試

本計畫感謝主辦機關協調，促使本團隊於 2019 年 07 月 30 日，搭配該污染場址整治團隊灌藥歷程，造成地下水流場變化。本次監測主要目的，設定為利用當地地下水整治工程，設置設備較輕便，每口水井僅需要 LoRaWAN 節點、鋰電池與地下水水位計或基礎水質水位計。本團隊當天於台南設置 9 組設備，其中 8 組僅可以量測地下水水位，外一組可量測水位以外，也可以同時量測基礎水質，圖 40 為現場設備擺置，纜線須投放於地下水水井，LoRaWAN 傳輸設備加裝防水盒，但由於傳輸設備目前尚未改良可裝至於水井內空間，未來若可以將所有設備放至於水井內空間，則地面可以提供整治團隊或是地主靈活使用，不會因為纜線佈滿整個試驗場址而受到影響。



圖 40 台南場址測試地面纜線與傳輸設備

由於該場址之整治團隊希望本次執行試驗成果將場址所有可識別資訊去除，因此本成果報告中所有圖片與文字皆去除地名、路名與相關店家名稱等。本團隊依據 LoRaWAN 晶片 ID 設定為設備名稱，例如場址左上角編號為 NCU_61。本次監測灌注試驗時間為早上 9 點至下午 1 點。圖中右下角橘色點，為整治團隊灌注藥劑位置，這些水井管壁都使用膨潤土填充，管壁膨潤土周圍鑿小孔，提供高壓灌藥，平時這些灌注井井內地下水不會進入，固本次監測地下水測試並無法監測灌注井內水壓。本次主要目的在於測試利用傳統地下水水位計與基礎水質監測儀器，搭配整治團隊灌藥試驗，注水造成穩定水壓上升，量測地下水水位與水質



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

空間與時間數值變化，灌藥前後水位變化情形如圖 41。

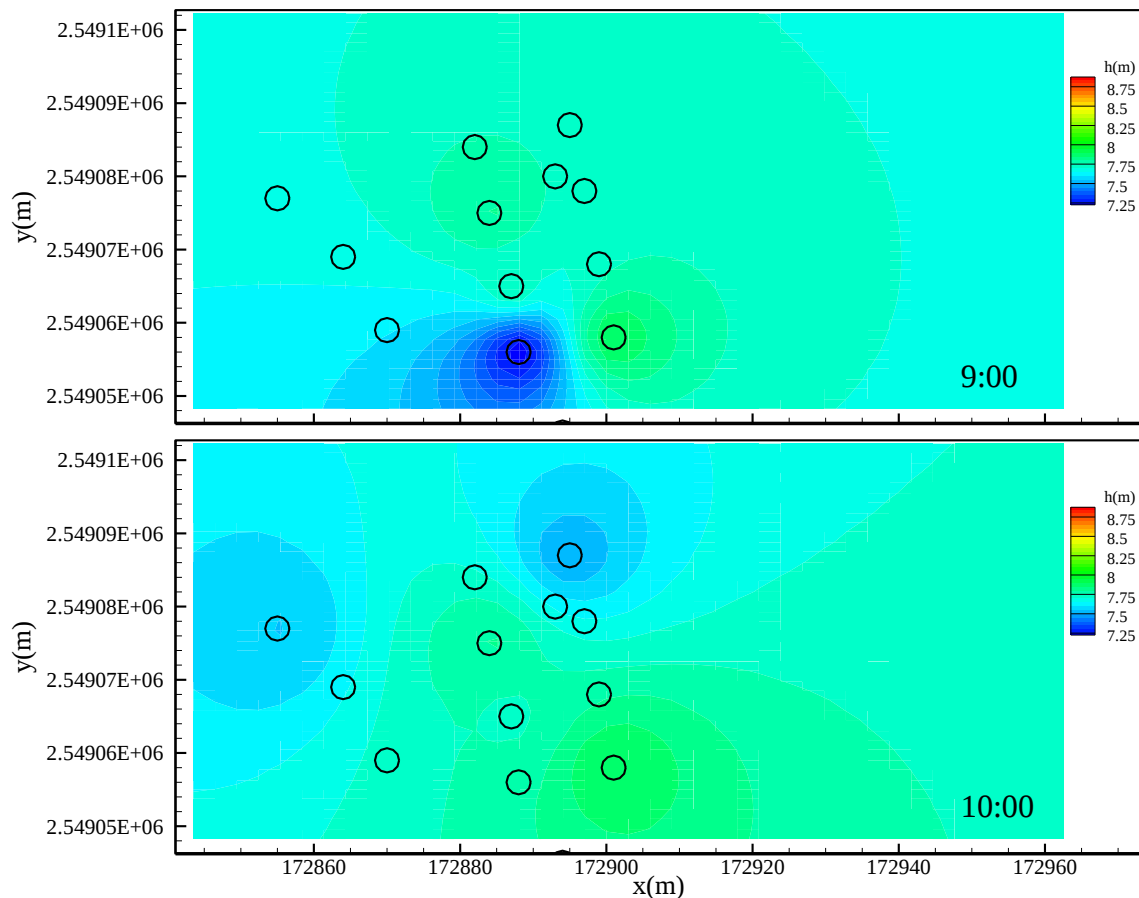


圖 41 台南場址灌藥試驗前後地下水水位監測結果

經由圖 42 可以獲得場區內水井的水壓變化，鄰近橘色灌注點較近的水井，水壓變化較大，因此可以看到左上角 NCU_61 的水壓變化相較灌注區中心點 NCU_75 水位變化較緩慢。另外對於相同水井，監測地下水水壓與基礎水質變化，例如總溶解固體(TDS)數值變化則相較水壓變化緩慢。可以藉由此監測數據的變化推得，因為灌藥注水的過程，可以即時得知於總溶解固體數值上升，說明藥劑已傳達場址北方。圖 43 為利用基礎水質計量測場址於整治灌藥期間的反應，測試可以獲得溫度、水壓、氣壓、水密度、總溶解固體、鹽度、總氮、pH、硝酸鹽與電阻等數據監測結果。本計畫目前僅可以透過地下水水位的升高，以及基礎水質的變化，如 pH 值、氧化還原電位、硝酸根、氮氮與導電度等數據。由於本計畫僅取得一段短時間的儀器架設，未來若有可能則可延長監測時間。對於整治成效佐證的部份，則需要透過未來地下水與污染傳輸數值模擬共同分析，可利用地下水水位監測數據作為水位控制點，並且是隨著時間變化的。但是污染物濃度並無法透過本計畫感測器獲得，因此僅可藉由其他感測物質的濃度改變，藉此假設此數值作為溶質傳輸的控制點，藉此說明整治團隊灌注的科學基礎。

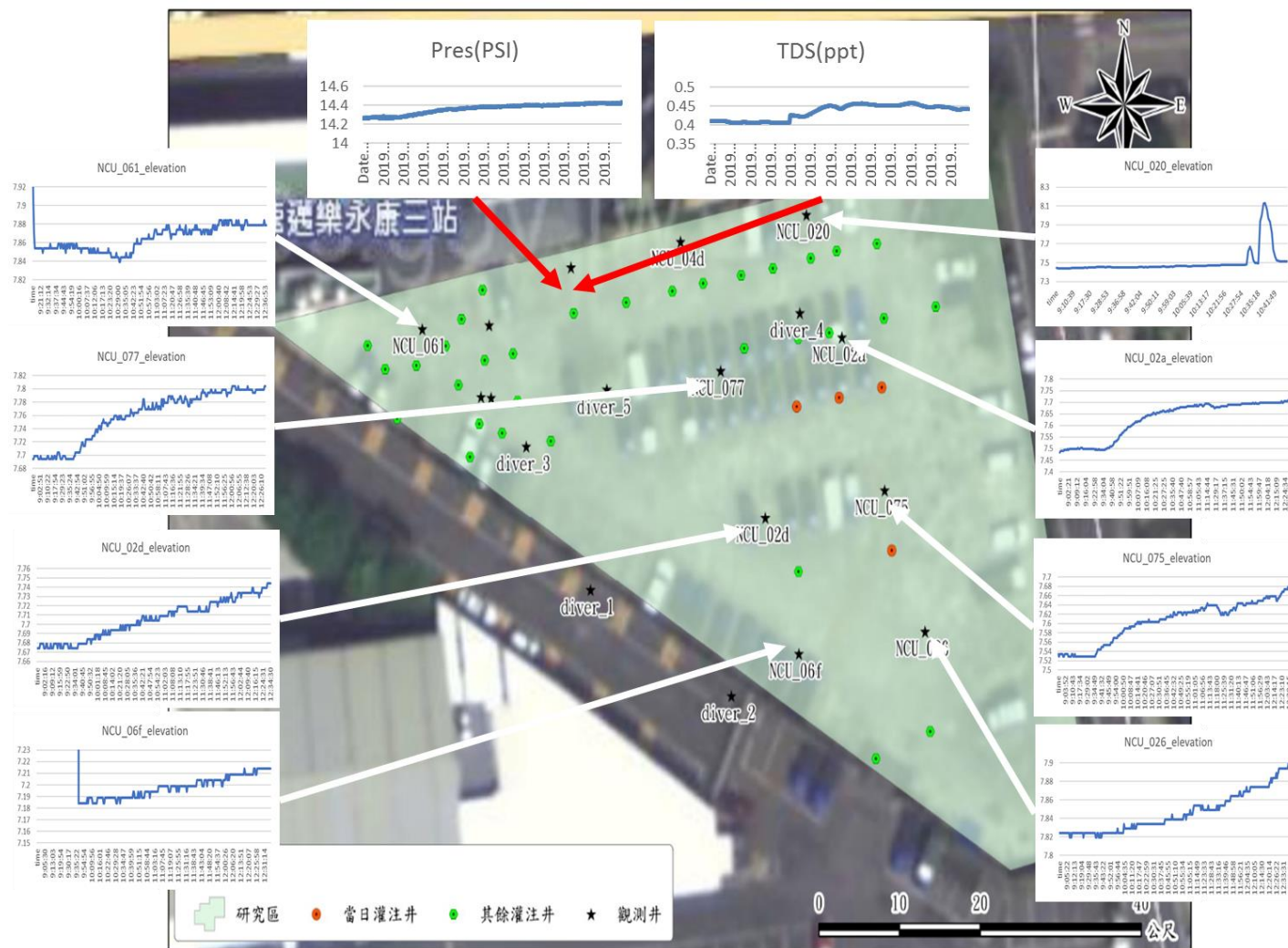


圖 42 台南場址灌藥試驗監測結果

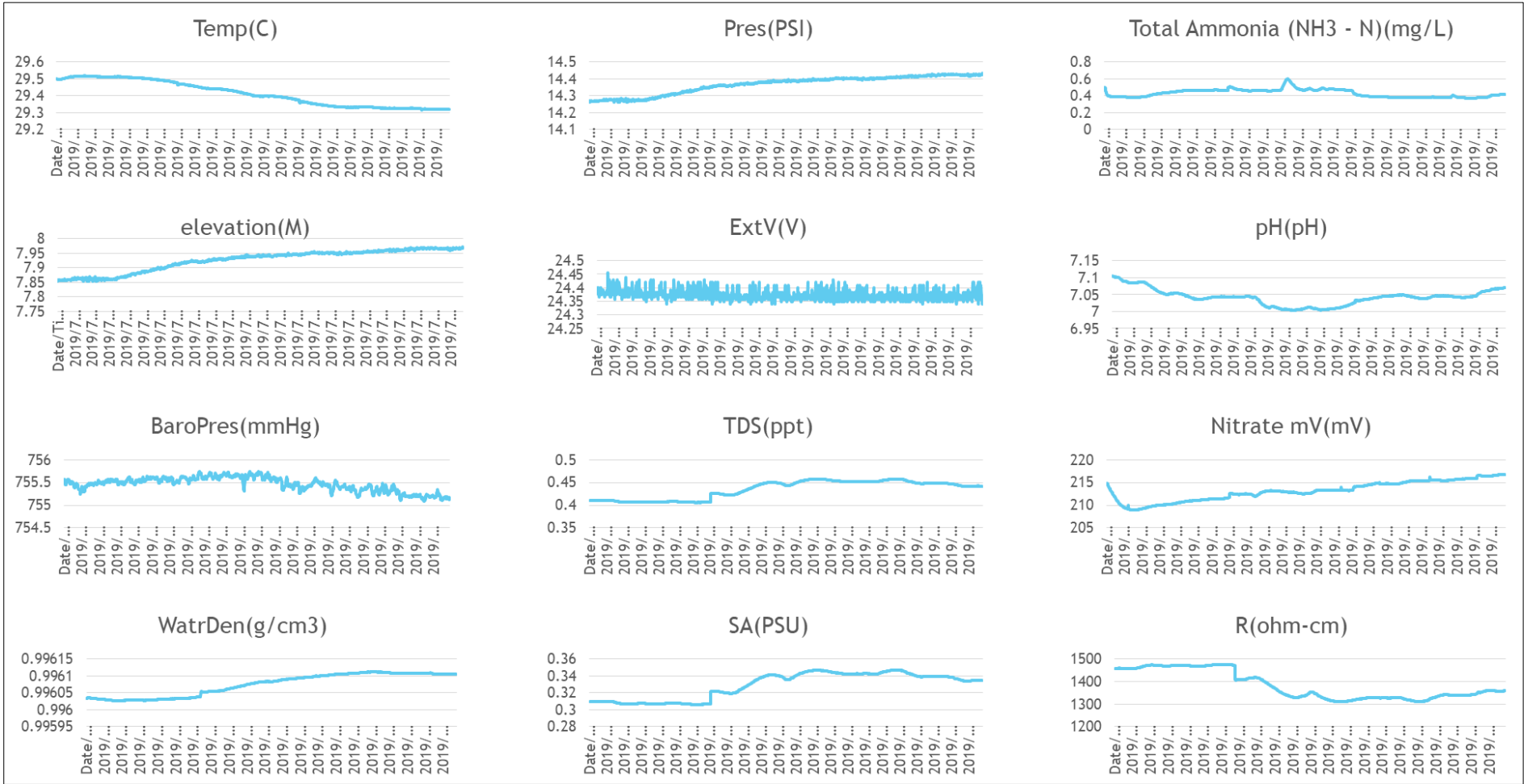


圖 43 台南場址灌藥試驗基礎水質計監測結果



5.6 空間插值

目前假定於空間插值模擬範圍內設定共計 11 個觀測點，克利金插值模擬區域與觀測點空間位置如圖 44。本研究設計一個測試案例，經由 11 個觀測點量測地下水水位，利用克利金空間插值模擬模組，計算模擬區域內所有網格地下水水位。執行空間插值主要目的可以在於缺乏觀測數據位置獲得合理觀測數據。並且經由此數據可以運用於地下水流場與溶質傳輸模擬。

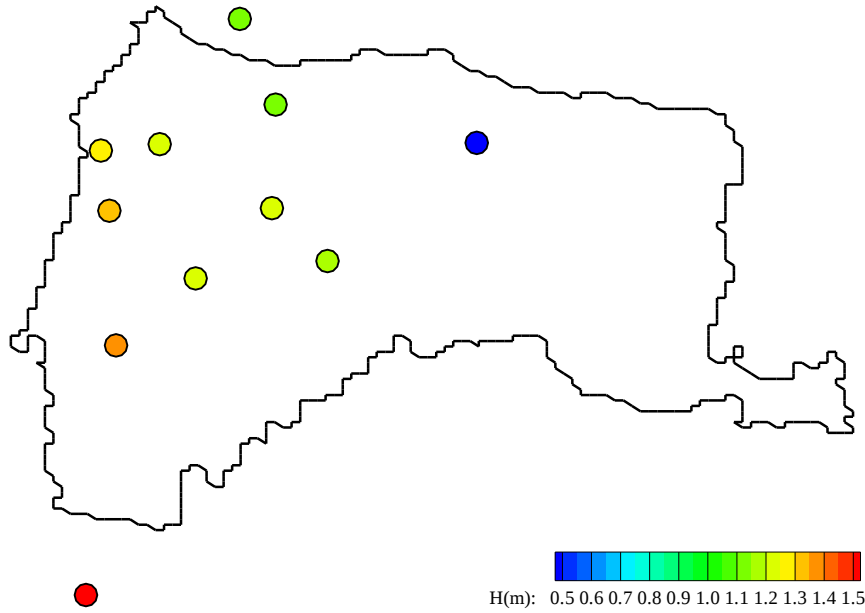


圖 44 克利金測試案例觀測點位置與數值分佈。

本研究於此測試案例計算 variogram 之 spherical 模式參數擬合，spherical 模式公式如(3)。

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C_0 + C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{1h^3}{2a^3} \right), & 0 < h \leq a \\ C_0 + C, & h > a \end{cases} \quad (3)$$

其中 $\gamma(h)$ 代表目標參數 Variogram， h 代表距離(m)， C_0 代表 Nugget effect， C 代表 Sill。圖 45 為本研究利用 11 個觀測點空間位置與地下水位數值，擬合 spherical 模式參數。

$$z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (4)$$



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

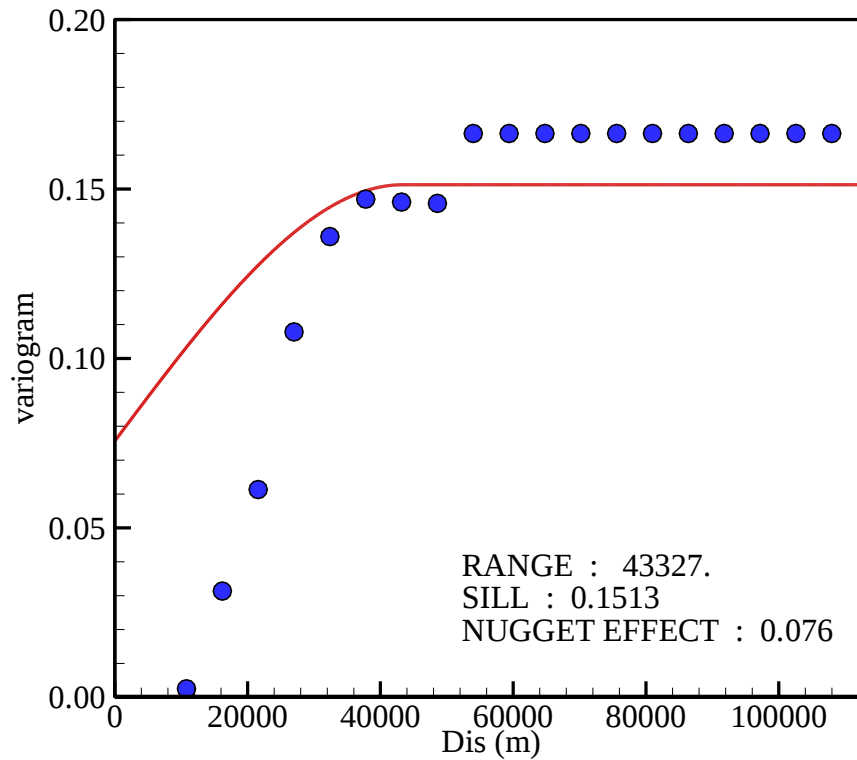


圖 45 測試案例觀測點 Variogram 模式參數反推估

圖 46 為本研究利用 spherical 模式參數，計算此模擬區域內網格的地下水水位插值。

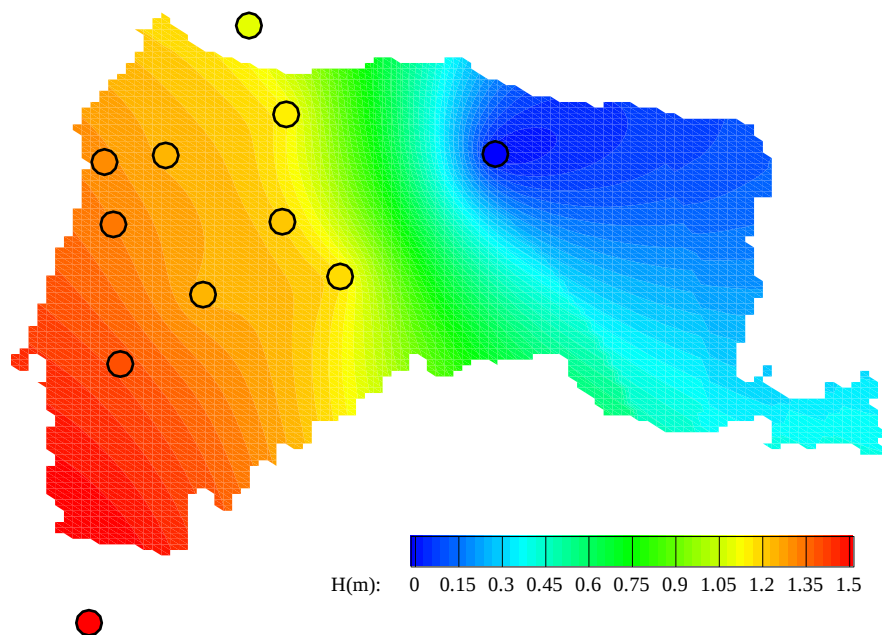


圖 46 克利金測試案例插值模擬結果



(五) 結果與討論

目前本平台已可以利用觀測點空間位置與數值(水力傳導係數)，自動計算 Variogram 模式所需參數。圖 47 為本計畫利用網路平台測試現地環保署設置監測井，本系統讀取每口水井設置時所紀錄水力傳導係數資料，作為計算克利金插值的觀測資料。

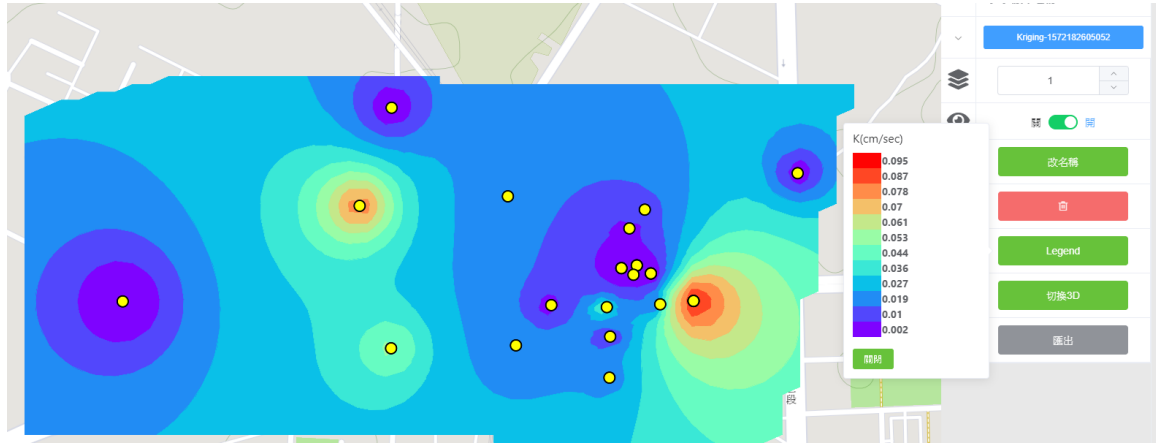


圖 47 網路平台測試現地水力傳導係數克利金插值



5.7 結論與建議

本計畫於期末執行工作符合本計畫整體預定進度，並已有初步研究成果之結論與建議，如下所述：

- (1) 本研究於期中階段已初步完成設計從現場架設水位與基礎水質檢測計，藉由電子訊號擷取與轉換，經由 RS485 資料傳輸格式，與本研究協同廠商共同開發遠距離傳輸裝置，採用 Modbus 格式將地下水水位或基礎水質訊號，讀取至裝置內，並且經由 LoRaWan 晶片執行電子訊號遠距離傳輸。
- (2) 本計畫已初步完成在 MODBUS 架構下，節點與感測器恪守主從關係 (Master-Slave)，節點為主端，而感測器端則為從端，主端發送訊號後，從端辨識該對應的功能碼 (Function Code)，進而回傳相對應的數值，並使用水位計作為範例，以水位資料來作為資料解讀與分析範例。
- (3) 本研究已完成於 2019 年 04 月 22 日於中央大學氣象坪地下水井場，規劃放置 2 組 LoRaWan 節點與地下水水位計，並於該場址建立 LoRa gateway 並連接網路。
- (4) 本研究透過土基會協調與安排，已完成於 2019 年 07 月 30 日於台南污染場址，規劃放置 9 組 LoRaWan 節點，設置 8 組地下水水位計與 1 組基礎水質感測器，可以經由現地灌藥試驗所造成地下水水位變化，獲得灌藥造成水壓變化。更可以經由基礎水質數據變化，獲得藥劑化學物質影響範圍。
- (5) 本計畫測試經由 11 個觀測點量測地下水水位，利用克利金空間插值模擬模組，計算模擬區域內所有網格地下水水位。
- (6) 本計畫未來精進方向，將朝向與現場整治團隊合作，透過與設計藥劑的化學團隊溝通，了解各種藥劑的灌注歷程，所需要關注的基礎水質參數。搭配本團隊溶質傳輸模擬，可以了解灌注後，所需等等待的化學反應時間，並推估所需監測時間，最後可以獲得該水質特性的改變，作為污染整治科學實證。
- (7) 污染整治工程本屬於一門跨領域的事業，並非僅有實驗室設計合適藥劑即可或的全面性場址整治成效，必定需要搭配地下水物理與化學特性傳輸行為，總結本計畫主要受限於無法僅透過本團隊獲得即時監測水質，直接提供作為整治成效基礎，勢必要與現場整治團隊合作，討論合適監測設備投放與量測頻率，並將其數據提供整治團隊。最後仍需要透過現



場取水樣，檢驗特定污染物濃度，作為確認整治成效。

5.8 後續執行工作項目說明

- (1) 本計畫將持續進行動態資訊展示平台開發，包括建構無線傳輸即時參數動態資料庫、建構動態資訊展示平台，以及建構動態資訊空間分析模組。
- (2) 本計畫將強化與驗證物聯網於示範場址之無線傳輸技術應用評析，內容包括傳輸距離測試與校正、傳輸品質測試與校正、資料遺失率測試與校正、資料正確性測試與校正。
- (3) 為讓本研究開發平台介面可以更為人性化，提昇使用者操作意願。因此本研究已協同專業環境整治工作人員，實際操作本平台介面，並給予回饋，作為修正平台操作建議。
- (4) 國際 SCI 期刊撰寫與投稿：本計劃團隊為將工作內容及成果展示增加可見度與知名度，除研討會文章外，另將撰寫國內期刊以及國際相關領域之 SCI 期刊發表。



(六) 參考文獻

- [1] ArcGIS (2012) 10.1 Help.
- [2] Bachu S, Adams JJ (2003) Sequestration of CO₂ in geological media in response to climate change: capacity of deep saline aquifers to sequester CO₂ in solution. *Energy Conversion and Management* 44: 3151-3175.
- [3] Bair ES (1991) Delineation of travel time-related capture areas of wells using analytical flow models and particle-tracking analysis. *Ground Water* 29, no. 3: 387-397
- [4] Bakr MI and Bulter AP (2004) Worth of head data in well capture zone design: deterministic and stochastic analysis. *Journal of Hydrology* 290 202-216.
- [5] Bakr MI and Bulter AP (2005) Nonstationary stochastic analysis in well capture zone design using first-order Taylor's series approximation. *Water Resource Research*. Vol.41, W01004.
- [6] Bear J and Jacobs M (1965) On the movement of water bodies injected into aquifer. *Journal of Hydrology* 3 NO.1: 37-57.
- [7] Barry DA, Prommer H, Miller CT, Engesgaard P., Brun A., and Zheng C. (2002) Modelling the fate of oxidisable organic contaminants in groundwater. *Advances in Water Resources* 25: 945-983.
- [8] Bonton A, Bouchard C, Rouleau A, driguez M J, and Therrien R. (2012) Calibration and validation of an integrated nitrate transport model within a well capture zone. *Journal of Contaminant Hydrology* 128: 1-18.
- [9] Council, N.R. (1995) On the Full and Open Exchange of Scientific Data, National Research Council, Committee on Geophysical and Environmental Data.
- [10] Dickinson JE, James SC, Mehl S, Hill MC, Leake SA, Zyvoloski GA, Faunt CC, Eddebbarh A-A (2007) A new ghost-node method for linking different models and initial investigations of heterogeneity and nonmatching grids. *Advances in Water Resources* 30: 1722-1736.
- [11] Franz T and Guiguer N (1990) , FLOWPATH, two-dimensional horizontal aquifer simulation model. *Waterloo Hydrogeologic Software*, Waterloo.
- [12] Fadlelmawla AA, Dawoud MA (2006) An approach for delineating drinking



(六) 參考文獻

- water wellhead protection areas at the Nile Delta, Egypt. *Journal of Environmental Management* 79: 140-149.
- [13] Farajzadeh R, Barati A, Delil HA, Bruining J, Zitha PLJ (2007) Mass Transfer of CO₂ Into Water and Surfactant Solutions. *Petroleum Science and Technology* 25: 1493-1511.
- [14] Fenech C, Nolan K, Rock L, Morrissey A (2013) An SPE LC–MS/MS method for the analysis of human and veterinary chemical markers within surface waters: An environmental forensics application. *Environmental Pollution* 181: 250-256.
- [15] Ferrante M, Mazzetti E, Fiori A, Burini M, Fioriti B, Mazzoni A, Schirò G, Vacca G, Brunone B, Meniconi S, Capponi C (2015) Delineation of Wellhead Protection Areas in the Umbria Region. 1. A simplified Procedure. *Procedia Environmental Sciences* 25: 90-95.
- [16] Ferrante M, Mazzetti E, Fiori A, Burini M, Fioriti B, Mazzoni A, Schirò G, Vacca G, Brunone B, Meniconi S, Capponi C (2015) Delineation of Wellhead Protection Areas in the Umbria region. 2. Validation of the Proposed Procedure. *Procedia Environmental Sciences* 25: 96-103.
- [17] Franzetti S and Guadagnini A (1996) . Probabilistic estimation of well catchments on heterogeneous aquifers. *Journal of Hydrology* 174: 149-171.
- [18] Great Britain. Committee of Enquiry into the Handling of Geographic, I. (1987) Handling geographic information : report to the Secretary of State for the Environment of the Committee of Enquiry into the Handling of Geographic Information / chairman, Lord Chorley, H.M.S.O, London.
- [19] Guadagnini A and Franzetti S (1999) . Time-related capture zones contaminants in randomly heterogeneous formations. *Ground Water* 97 (2) :253-260.
- [20] Guadagnini A. et al, (2003) . Mean travel time of conservative solutes in randomly heterogeneous unbounded domains under mean uniform flow. *Water Resource Research*. 39, 1050, doi: 10.1029/2002WR00181
- [21] Haitjema H., et al. (1994) . “WHAEM: Program documentation for the wellhead analytic element model”, EPA/600/R-94/210. Washington, DC: U.S. EPA, Office of Research and Development.
- [22] Harman WA, Allan CJ, Forsythe RD (2001) Assessment of potential groundwater contamination sources in a wellhead protection area. *Journal of*



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

Environmental Management 62: 271-282.

- [23] Ian, H. (2010) *An introduction to geographical information systems*, Pearson Education India.
- [24] Lathrop, D. and Ruma, L. (2010) *Open Government: Collaboration, Transparency, and Participation in Practice*, O'Reilly Media.
- [25] Javandel I and Tsang CF (1987) Capture-zone type curves: a tool for aquifer cleanup. *Ground Water*, 24 (5) : 616-625.
- [26] Kinzelbach W et al. (1992) . Determination of groundwater catchment areas in two and three spatial dimensions”, *Journal of Hydrology*. 134, 221-246.
- [27] Klammler H, Hatfield K, Mohamed MM, Perminova IV, Perlmutter M (2014) Capture and release zones of permeable reactive barriers under the influence of advective–dispersive transport in the aquifer. *Advances in Water Resources* 69: 79-94.
- [28] Kompani-Zare M, Zhan H, Samani N (2005) Analytical study of capture zone of a horizontal well in a confined aquifer. *Journal of Hydrology* 307: 48-59.
- [29] Kunsrmann H. and Kinelbach M. (2000) . Computation of stochastic wellhead protection zones by combining the first-order second-moment and Kolmogorov backward equation analysis. *Journal of Hydrology*. 297 (3-4) :127-146.
- [30] Kunstmann H, Kastens M (2006) Determination of stochastic wellhead protection zones by direct propagation of uncertainties of particle tracks. *Journal of Hydrology*, Vol. 323, 215-229
- [31] Li, S., Dragicevic, S. and Veenendaal, B. (2011) *Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications*, CRC Press.
- [32] Li S-G, McLaughlin D (1991) A nonstationary spectral method for solving stochastic groundwater problems: Unconditional analysis. *Water Resour Res* 27: 1589-1605.
- [33] Li SG, McLaughlin D (1995) Using the nonstationary spectral method to analyze flow through heterogeneous trending media. *Water Resources Research* 31: 541-551.
- [34] Li SG, et al. (2004) . Stochastic modeling of complex nonstationary groundwater systems. *Advances in Water Resources*.



(六) 參考文獻

- [35] Longley, P. (2005) *Geographic Information Systems and Science*, Wiley.
- [36] Lu Z and Zhang D (2003). On stochastic study of well capture zones in bounded, randomly heterogeneous media. *Water Resources Research*, Vol. 39, NO.4, 1100.
- [37] McDonald MG and Harbaugh AW. (1998) . *A modular three dimensional finite-difference ground-water flow model*. USGS Techniques of Water Resources Investigations Book 6, Ch. A1, 586p.3
- [38] Mao X, Prommer H, Barry DA, Langevin CD, Panteleit B, Li L (2006) Three-dimensional model for multi-component reactive transport with variable density groundwater flow. *Environmental Modelling & Software* 21: 615-628.
- [39] Mehl S, Hill MC (2002) Development and evaluation of a local grid refinement method for block-centered finite-difference groundwater models using shared nodes. *Advances in Water Resources* 25: 497-511.
- [40] Mehl S, Hill MC (2004) Three-dimensional local grid refinement for block-centered finite-difference groundwater models using iteratively coupled shared nodes: a new method of interpolation and analysis of errors. *Advances in Water Resources* 27: 899-912.
- [41] Miralles-Marco A, Harrad S (2015) Perfluorooctane sulfonate: A review of human exposure, biomonitoring and the environmental forensics utility of its chirality and isomer distribution. *Environment International* 77: 148-159.
- [42] Molson JW, Frind EO (2012) On the use of mean groundwater age, life expectancy and capture probability for defining aquifer vulnerability and time-of-travel zones for source water protection. *Journal of Contaminant Hydrology* 127: 76-87.
- [43] Ni C.F. and Li S.G. (2005) . Simple closed form formulas for predicting groundwater flow model uncertainty in complex, heterogeneous trending media. *Water Resources Research*. 41 (11) , W11503.
- [44] Ni C.F. and Li S.G. (2006) . Modeling groundwater velocity uncertainty in nonstationary composite porous media. *Advances in Water Resources* 29 (12) , 1866-1875.
- [45] Ni C.F., Li S.G. (2008) . Efficient conceptual framework to quantify flow uncertainty in large-scale, Highly nonstationary groundwater systems. *Journal of Hydrologic Engineering*.



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

- [46] Olyazadeh, R., Sudmeier-Rieux, K., Jaboyedoff, M., Derron, M.H. and Devkota, S. (2017) An offline-online Web-GIS Android application for fast data acquisition of landslide hazard and risk. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 17 (4) , 549-561.
- [47] Paradis D. et al. (2007) Comparative study of methods for WHPA delineation. *Ground Water*, Vol 45, No.2, 158-167.
- [48] Prommer H, Barry DA, Davis GB (2002) Modelling of physical and reactive processes during biodegradation of a hydrocarbon plume under transient groundwater flow conditions. *Journal of Contaminant Hydrology* 59: 113-131.
- [49] Pruess K (2005) *ECO2N: A TOUGH2 fluid property module for mixtures of water, NaCl, and CO2* Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley
- [50] Pollock DW (1998) . Documentation of computer programs to compute and display pathlines using results from the U.S. Geological Survey modular three dimensional finite-difference ground-water flow model. *USGS Open-File Report* 89-381. Reston, Virginia: Office of Ground Water.
- [51] Riva M. et al. (2006) . Assessment of uncertainty associated with the estimation of well catchments by moment equations. *Advances in Water Resources* 29: 679-691.
- [52] Rock G and Hans K (2002) . Numerical delineation of transient capture zones. *Journal of Hydrology* 269: 134-149.
- [53] Rowan JS, Black S, Franks SW (2012) Sediment fingerprinting as an environmental forensics tool explaining cyanobacteria blooms in lakes. *Applied Geography* 32: 832-843.
- [54] Samani N, Zarei-Doudeji S (2015) *A General Analytical Capture Zone model: A Tool for Groundwater Remediation*. IFAC-PapersOnLine 48: 234-239.
- [55] Schafer DC (1996). "Determining 3D capture zone in homogeneous, an isotropic aquifer" *Ground Water* 34 (4) :628-369.
- [56] Shafer J M (1990) . *GWPATH. Version 4.0* Champaign, Illinois State Water Survet Division.
- [57] Shan C (1999) . "An analytical solution for the capture zone of two arbitrarily located wells". *Journal of Hydrology* 222: 123-128.



(六) 參考文獻

- [58] Simmons CT, Narayan KA (1997) Mixed convection processes below a saline disposal basin. *Journal of Hydrology* 194: 263-285.
- [59] Stauffer F, Guadagnini A, Butler A., Franssen, HJ H., Van De Wiel, N, Bakr, M, Guadagnini L (2005) . Delineation of source protection zones using statistical methods. *Water Resources Management* 19, 163-185.
- [60] Stauffer F (2005) . Delineation of source protection zones using statistical methods. *Water Resources Management*, 19 (2) , 163-185.
- [61] Stichler W, Maloszewski P, Bertleff B, Watzel R (2008) Use of environmental isotopes to define the capture zone of a drinking water supply situated near a dredge lake. *Journal of Hydrology* 362: 220-233.
- [62] Todd DK (1980) *Groundwater Hydrology*, 2nd ed. New York: John Wiley.
- [63] U.S. EPA. (1991) . *WHPA A modular semi-analytical model for the delineation of wellhead protection zones*. Office of Groundwater Protection, Washington, DC.
- [64] U.S. EPA. (1994) *Ground water and wellhead protection handbook*. EPA-625/R-94-001. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of water.
- [65] Van Leeuwen, M, Chris BM, Bulter AP., and Jacob AT, (1999) . Stochastic Determination of the Wierden (Netherlands) Capture zones. *Ground Water* 37, 8-17.
- [66] Vieux BE, Mubarak MA, Brown D (1998) Wellhead protection area delineation using a coupled GIS and groundwater model. *Journal of Environmental Management* 54: 205-214.
- [67] Xu X, Chen S, Zhang D (2006) Convective stability analysis of the long-term storage of carbon dioxide in deep saline aquifers. *Advances in Water Resources* 29: 397-407.
- [68] Yeo, I.-A. and Yee, J.-J. (2016) Development of an automated modeler of environment and energy geographic information (E-GIS) for ecofriendly city planning. *Automation in Construction* 71, Part 2, 398-413.
- [69] Zarei-Doudeji S, Samani N (2014) Capture zone of a multi-well system in bounded peninsula-shaped aquifers. *Journal of Contaminant Hydrology* 164: 114-124.



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

- [70] Zhang C and Bennett GD (2002) . *Applied Contaminant Transport Modeling*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [71] Zhang D and Lu Z (2004) . Stochastic delineation of well capture zones. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 18 (1) : 39-46.
- [72] Zhan H (1998) Analytical and numerical modeling of a double well capture zone” *Journal of Mathematical Geology*, 31 (2) : 175-193.
- [73] Zhan H (1999) Analytical study of capture zone to horizontal well. *Journal of Hydrology* 217: 46-54.



附件、 前次審查意見回覆對照表



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會
108 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

構想書審查意見表

專案類型	☒ 研究型 ☐ 模場型	申請經費	1,405,600	NO : 12
專案主持人	倪春發 教授	專案主題	☐ 整治 ☒ 調查 ☐ 其它	
服務單位	國立中央大學 應用地質研究所			
專案名稱	地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證			
委員一： 1. 本計畫與歷年計畫之關聯性請說明。 2. 目前及時水質監測之項目很少，是否能對動態資料達到警示，決策發揮功能請說明。		意見回覆： 1. 感謝委員意見，相關說明已納入專案申請書 3.2 節。 2. 感謝委員意見，本計畫所提出之即時監測項目係為基礎水質，目的首重為以自記式監測儀器配合無線傳輸功能至即時資料庫並將資料以網路平台呈現，並且以自行開發之計算引擎推估參數即時時序及空間分布，此研究流程為未來環保署需注重之觀測與網路演算結構，提升動態資料之應用性並達到應變與決策之功效。未來將可視監測儀器之規格與能力進一步達至標的污染物濃度傳輸行為之監控。本計畫預計完成過去環保署場址監測污染物濃度數據與基礎水質參數關係，進一步推估關鍵污染物濃度趨勢。		
委員二： 1. 建議補充說明本案所提之即時水質擬監控之污染物種類。 2. 建議補充說明相關監測器的種類。 3. 建議補充如何將監測器的參數轉換成電流的具體作法。		意見回覆： 1. 感謝委員建議，本案所提出之水質監控係為基礎水質資訊如導電度、溫度、pH、TDS、氧化還原電位等，而並非針對某種標的污染物進行監測。 2. 感謝委員建議，相關說明已補充於專案申請書 4.2.3 節。 3. 感謝委員建議，相關說明已補充於專案申請書 4.2.3 節。		



附件、前次審查意見回覆對照表

委員三： 1. 過去相關研究是否已與實際模場合作。即時只針對 pH、Fe、鹽度是否對地下水整治有必要性？ 2. 目前無線傳輸(EC、鹽度、IDS)是否與標準方法作校正、驗證？另相關即時性監測項目宜與地下水整治評估水質項目作結合。	意見回覆 1. 感謝委員建議，本計畫主要為研究與制定儀器－無線傳輸－網路平台三向結合之演算結構，未來將取重點污染物作為監測項目。 2. 儀器校正與驗證將按照儀器開發商之校正標準程序進行，並輔以其他分析方法比對。
委員四： 1. 本計畫屬延續性計畫。 2. 計畫書中說明：“...本計畫提出以基礎水質監測進行空間變異與污染物特性關係之分析，協助管理者進行污染風險預警以及整治場址污染物即時監測...”，其中即時系統呈現部分，主持人已執行類似計畫(土污基金)，建議說明本計畫與已完成(或執行中)計畫的精進之處。 3. 計畫書中說明：“...本研究主要研究目的為：(1)即時傳輸與即時動態分析平台介接技術開發；(2)建構即時動態資料庫系統與分析平台動態展示模組；(3)既有物聯網傳輸技術於地下水質監測系統上之應用評析；(4)傳輸技術與分析平台於現地場址的測試與評估...”，其中與”平台”相關的部分與既有成果有何差異(主持人的研究成果)建議說明。 4. 計畫成果如何應用？建議說明。	意見回覆 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議。本部分於專案申請書 3.2 節說明。 3. 感謝委員建議。本部分於專案申請書 3.2 節說明。 4. 感謝委員建。本部分於專案申請書 3.2 節說明。
委員五： 請補充說明與 107 年計畫與之差異性？	回覆說明： 感謝委員建議，本部分於專案申請書 3.2 節說明。



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會
108 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

計畫書審查意見表

專案類型	☒ 研究型 ☐ 模場型		申請經費	1,405,600	NO : 9
專案主持人	倪春發 教授	專案主題	☐ 整治 ☒ 調查 ☐ 其它		
服務單位	國立中央大學 應用地質研究所				
專案名稱	地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證				
委員一： 1. 建議未來之傳輸監測結果，要有驗證的方式。 2. 污染物之監測，仍有待儀器商之開發，始能擴大功效。		執行單位回覆： 1. 感謝委員建議，傳輸監測為專業儀器進行測量，可提供所蒐集之參數驗證使用。 2. 感謝委員建議，本執行團隊與儀器商不斷進行溝通與建議，提供廠商嘗試多參數蒐集儀器開發。			
委員二： 1. 建議補充說明相關監測器的種類。如導電度、溫度、pH、TDS、氧化還原電位等。 2. 計劃書規劃之監測設備 AQUATroll -200 是否可以監測 pH、TDS 及 ORP。 3. 建議補充說明如何將監測器的參數轉換成污染源的追蹤。 4. 建議補充說明監測點的布置。		執行單位回覆： 1. 感謝委員建議，本計畫所使用之監測器以現有設備為主，相關監測器總類繁多故不一一列舉與比較。 2. 感謝委員建議，相關資料補充於表 3.AQUATroll -200 規格中。 3. 感謝委員建議，監測器所蒐集僅為參數值，污染源追蹤須仰賴本平台所開發之污染傳輸與溯源追蹤模式。 4. 感謝委員建議，相關資訊補充於 4.2.2 節。			



附件、前次審查意見回覆對照表

委員三： 1. 建議說明水質即時監測對那些工法或整治時機及場址樣態較具適用性。 2. 耗材與人事費用偏高。	執行單位回覆： 1. 感謝委員建議，即時監測為以風險預防、應變警示及後續整治追蹤應用為具最大功效之處，提供參數背景變化值資訊，而並非針對工法及場址樣態進行相關評測。 2. 感謝委員建議，將依實際核發預算進行修正。
委員四： 1. 主持人的學術研究能力與土水污染技術發展能力均佳，其專業能力足以勝任本計畫。主持人近五年研究與土水污染技術發展績效亦佳。 2. 本計畫執行團隊的學術研究能力與土水污染技術發展能力佳，其研發能力足以勝任本研究計畫。本計畫執行團隊近五年執行與土水污染相關計畫的執行績效佳。 3. 本計畫的執行對國內未來土壤及地下水污染調查及整治工作推動有其貢獻，但工程實務應用的可行性仍待進一步評估。本專案的屬性為”補助研究與模場試驗專案”，本計畫屬於延續性計畫，前期成果頗佳，但實務應用性仍待進一步說明。前期研究成果是否具實場實務應用價值？建議說明。	執行單位回覆： 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員肯定。 3. 感謝委員建議，相關說明補充於計畫書 3.2 節。 4. 感謝委員肯定。 5. 感謝委員肯定，本計畫為建立一即時傳輸-資料蒐集-模式演算-平台展示之整合系統，信其於未來可協助環保署於水質監測、災害預防及環境整治之工作。 6. 感謝委員肯定。 7. 感謝委員肯定。 8. 感謝委員肯定。 9. 感謝委員肯定。



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

4. 依申請計畫書內所提出的成果績效自評表，可推估本專案所預估的執行成果對國內土水污染的技術研發有其貢獻。 5. 本計畫書撰寫具體，計畫書中對研究方法的說明具可行性。但計畫執行成果對未來土水污染的實場實務應用性仍待評估。 6. 本計畫書中對相關文獻蒐集尚完整。計畫主持人對國內外本研究領域現況了解。 7. 本計畫書所規畫之執行期限合理，本計畫書對預期成果已有適當的說明。 8. 本計畫屬於延續性計畫，主持人已將所執行過計畫的研發成果彙整，並已有相關的論文發表。 9. 本計畫書已將原初審意見加以說明(或修正)。	
本署意見： 無	



附件、前次審查意見回覆對照表

行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐申請計畫書 ☒期中報告☐修正計畫書 ☐期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	108 年度	計畫類型	☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☐ 整治 ☒ 調查 ☐ 其它	主持人：	倪春發 NO：A5
計畫名稱	地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一 1. 108 年度專案成果績效自評表成果豐碩，值得欽佩。 2. 本期中報告已完成基礎水質監測與物聯網無線傳輸介接資訊轉換技術開發，以及即時空間分析與展示模組開發，進度符合。 3. 目前獲致之 4 項成果，尤其已初步設計一個測試案例，經由 11 個觀測點量測地下水位，利用克利金空間插值模擬組，計算區域內所有網格地下水位，可作為實際運用之參考。		感謝委員肯定，本執行團隊將持續完成本計畫後續進度。	
委員二 1. 績效自評表填表日期請更正，研討會論文期刊論文名稱請填於備註欄。 2. 已完成資訊展示平台。 3. 後續監測資料驗證後，能展現於土壤及地下水污染運用，並請於期末報告說明。 4. P.27 內文對照圖文錯誤，請修正。		1. 感謝委員建議，秉照辦理。 2. 感謝委員肯定。 3. 感謝委員建議，期末報告將說明工作執行項目對土壤及地下水污染之運用。 4. 感謝委員指正，將於修正稿中訂正。	
委員三 1. P. 25 第二段，部分文字出現「錯誤，找不到參照來源」，請修正。 2. 圖 42，距離單位為(m)，擬合的距離 20 公里-100 公里，請說明其合理性。 3. 建議補充說明本案所提之即時水質擬監控之污染物種類。 4. P. 28，本研究擬完成現場場址重要參數(地下水位、pH 值、電導度、ORP		1. 感謝委員指正，將於修正稿中訂正。 2. 感謝委員指正，本測試案例為雲林空氣測站，圖 42 的 Dis 為兩測站間的距離，經查證兩測站間最長距離約為 40 公里，120 公里為程式設定值，與圖 42 相符，故結果合理。 3. 感謝委員建議，本工作於服務建議書即提出以基礎水質作為監測種類，包括 15 種參數：水位、溫度、壓力、深	



地下水基礎水質即時資料傳輸與空間分析技術研發及模場驗證

與氨氮濃度)之即時量測儀器裝設，請補充說明目前完成狀況。	度、鹽度、導電度、總溶解濃度、酸鹼值、氧化還原電位、硝酸鹽、總阿摩尼亞、電阻率、水體密度、大氣壓與電壓。 4. 感謝委員建議，將補充於修正稿中。
委員四 1. 專案執行進度符合期程及工作內容。 2. 建議宜強化基礎水位即時傳輸與可能風險連結宜補充論述之。 3. 建議宜以目前實際評估結果，對其他場址是否具相同可應用性宜由由後續試驗強化論述。 4. 相關技術是否能達新型專利申請宜評估之。	1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議，將補充於修正稿中。 3. 感謝委員建議，將於修正稿中補充論述。 4. 感謝委員建議，本技術之應用將考量申請新型專利。
委員五 1. 請說明如何利用既有數據，或需使用現場額外分析量測的水質資料，來驗證開發計算引擎模組的正確性。 2. P.25 倒數四行內容參照錯誤。 3. 請說明圖 42 的點、線定義及內容說明。	1. 感謝委員建議，本工作將會使用將部分觀測資料遮蔽，並與模擬結果互相比對的方式對模組正確性進行驗證。 2. 感謝委員指正，將於修正稿中訂正。 3. 感謝委員指正，將補充說明於修正稿中。
委員六 1. 本計畫初步完成現場架設水位計透過遠距離傳輸後紀錄之水位，相關測值與傳統水位計量測資料如何進行比對或校正？傳輸過程後之資料可否與內建紀錄資訊進行比對？ 2. 建議能於期末概估使用之水質監測及傳輸設備之建置及維運成本，供作評估建置之參考。 3. 報告 P.25 頁編排內容部分文字闕漏。	1. 感謝委員建議，本工作將會於同一口井內，將校正後之傳統與傳輸水位計放置於同深度內，並比較兩者之間差異。 2. 感謝委員建議，期末將說明本計畫所使用之設備建置及維運成本，提供後續評估建置之參考 3. 感謝委員指正，將於修正稿中訂正。
專案主持人：  (簽名及蓋章)	