

出國報告（出國類別：開會）

參加全球變遷下之水資源議題 研討會報告

服務機關：台灣自來水股份有限公司

姓名職稱：何亮旻 處長

蔡文玲 組長

派赴國家：新加坡

出國期間：114 年 2 月 16 日至 114 年 2 月 21 日

報告日期：114 年 5 月 13 日

摘要

2025 年 2 月 16 日至 2 月 21 日，台灣自來水公司核派王總工程師傅政率領企劃處處長何亮旻、供水處組長王興舜及營業處組長蔡文玲等 4 人前往新加坡，參與由新加坡國家水務局（PUB）、新加坡水協會（SWA）及睿克科技公司（ZWEEC）共同邀請之水務交流研討會。本次交流旨在汲取新加坡從水政策到水部門的技術與創新經驗，包括水資源管理、技術創新、數位水務轉型、氣候適應、安全水流程管理、商業合作模式及 ESG 永續實踐力等面向，以全方位開拓本公司對水務產業之新視野，並建構未來合作模式。

本次參訪行程包括新加坡國家水務局（PUB）、吉寶濱海東海水淡化廠、蔡厝港淨水廠（CCKWW）、濱海灣花園、碧山-宏茂橋公園、Ripple2Wave 睿克科技（ZWEEC）等 4 家新創公司水務技術交流會、濱海堤壩與永續發展館等單位。透過實地參訪與交流，深入了解新加坡在水資源管理及技術應用之先進經驗，期能作為本公司未來發展之參考。

參訪過程中了解新加坡在水資源多樣化、水質安全管理、供水管網監測、客服中心運作與氣候變遷應對方面的成功經驗。包括：透過數位孿生技術（Digital Twin）、智慧感測工具、AI 漏水預測分析及智慧水表（SWM）進行即時監測與數據分析，確保水質安全、降低管網配水損失及客訴案件，提高水資源管理效率。同時，透過水庫（雨水收集）、海水淡化（Desalination）、新生水（NEWater）與進口水確保供水穩定，減少對單一水源的依賴。台灣可借鑒新加坡經驗，持續推動智慧水務技術、發展海水淡化、導入新興的數位孿生供水管網監測及水處理技術，與 AI 客服案件處理技術（語音轉文字），並建構生態水利工程與低衝擊開發策略，以應對氣候變遷的各項挑戰，強化水資源的永續發展。

目錄

壹、目的	5
貳、過程與內容	6
一、行程表.....	6
二、過程與內容.....	7
(一)2025 年 2 月 16 日 (第 1 天) 啟程	7
(二)2025 年 2 月 17 日 (第 2 天)	7
1、Water-Exchange 交流會.....	7
2、參訪 PUB 水質實驗室.....	9
3、參訪濱海灣花園(Gardens by the Bay).....	10
(三)2025 年 2 月 18 日 (第 3 天)	11
1、參訪吉寶濱海東海水淡化廠 (KMEDP)	11
2、PUB 的供水(管網)部門及客服中心進行技術討論會	12
(四)2025 年 2 月 19 日 (第 4 天)	17
1、參訪蔡厝港淨水廠 (Choa Chu Kang Waterworks, CCKWW) ...	17
2、參訪碧山-宏茂橋公園 (Bishan-Ang Mo Kio Park)	20
(五)2025 年 2 月 20 日 (第 5 天)	21
1、Ripple2Wave 新創公司技術交流會	21
2、參訪濱海堤壩與永續新加坡展覽館.....	24
(六)2025 年 2 月 21 日 (第 6 天) 賦歸	25
參、心得與建議	27
肆、參考文獻	28

圖目錄

圖 2.1 WATER-EXCHANGE 交流會	8
圖 2.2 AQUAPRO™ 警報系統	8
圖 2.3 ALGAPRO™建立浮游生物數據資料庫的工作流程	9
圖 2.4 新加坡國家水務局(PUB)水質實驗室	10
圖 2.5 濱海灣花園的超級樹(SUPERTREES)	10
圖 3.1 吉寶濱海東海水淡化廠的雨水回收管理系統簡介	11
圖 3.2 吉寶濱海東海水淡化廠的地面造景設計	12
圖 3.3 代表團與 PUB 供水技術部門合影留念	15
圖 3.4 PUBONE 客戶服務中心	16
圖 4.1 陶瓷膜元件規格	17
圖 4.2 蔡厝港淨水廠工程師介紹淨水處理設備功能	18
圖 4.3 蔡厝港淨水廠廠區設備空間規劃寬敞方便維修	19
圖 4.4 蔡厝港淨水廠辦公大樓的工安宣導立牌	19
圖 4.5 代表團與蔡厝港淨水廠廠長及工程師技術交流拍照留念	20
圖 4.6 碧山-宏茂橋公園河道自然生態設計	20
圖 4.7 碧山-宏茂橋公園人工湖	21
圖 4.8 碧山-宏茂橋公園宣導紅魚出沒警示牌	21
圖 5.1 代表團與睿克科技公司高級顧問技術交流會	22
圖 5.2 代表團與新創公司探討低碳技術合影留念	22
圖 5.3 新創公司介紹水壓管理系統發展趨勢	23
圖 5.4 代表團與新創公司交流漏水檢測技術合影留念	23
圖 5.5 新創公司代表分享創新的水處理過濾薄膜技術	24
圖 5.6 濱海堤壩兼具防洪與蓄水功能	25
圖 5.7 代表團抵達濱海堤壩的永續新加坡展覽館參觀	26
圖 5.8 代表團於永續新加坡展覽館 2 樓綠地前拍照留念	26

壹、目的

新加坡因地小人稠、天然資源不豐，為全球極度缺水國之一，遂長年投入水流程優化及水管理策略，其兩年一次的「新加坡水週」吸引了全球的水產業，擁有先進的思維。台灣雖水資源豐沛，但天災頻仍、旱澇不均，淨水處理狀況較新加坡複雜許多，雙方均有足堪借鏡之處。

本次交流由新加坡國家水務局（PUB）高級顧問廖國榮先生促成，希望與台灣自來水公司就水管理議題進行各面向之多元交流，並經由睿克科技公司（ZWEEC）及新加坡水協會（SWA）致文邀請。本次計畫前往新加坡，針對以下面向進行研討：

- 數位水務轉型服務：透過與新加坡國家水務局（PUB）供水管網部門及客戶服務中心，分享導入 AI 數位服務經驗，找出可供參考的數位化服務發展模式。
- 氣候適應和水資源抵禦能力：就水安全與氣候變遷，尋求實用及可迅速調適未來挑戰的解決方案。
- 安全水流程管理：透過參觀新加坡國家水務局（PUB）淨水廠、海水淡化廠、濱海堤壩（Marina Barrage），瞭解新加坡安全水管理與供應方面的知識與經驗，以促進雙方共同進步與提升。
- 創新者與合作夥伴之商業合作形式：尋找在技術開發方面共同解決區域挑戰的合作項目與機會。
- ESG 永續實踐力：探索永續水管理的合作策略，確保區域水資源可持續性的共同方法。

目標在汲取新加坡從水政策到水部門的技術與創新經驗，全方位開拓本公司對水務產業之新視野，並建構日後合作之方式。

貳、過程與內容

一、行程表

日期	行程
114 年 2 月 16 日 (第 1 天)	啟程前往新加坡
114 年 2 月 17 日 (第 2 天)	1、Water-Exchange 交流會 2、參訪 PUB 水質實驗室 3、參訪水資源循環利用示範區-濱海灣花園
114 年 2 月 18 日 (第 3 天)	1、參訪吉寶濱海東海水淡化廠 (KMEDP) 2、PUB 進行技術討論會
114 年 2 月 19 日 (第 4 天)	1、參訪蔡厝港淨水廠 (CCKWW)及技術討論會 2、參訪新加坡 ABC 水計畫之一碧山-宏茂橋公園
114 年 2 月 20 日 (第 5 天)	1、Ripple2Wave 新創公司技術交流會 2、參訪濱海堤壩與永續新加坡展覽館
114 年 2 月 21 日 (第 6 天)	賦歸返抵台灣

二、過程與內容

本次出國參訪活動於 2025 年 2 月 16 日至 2 月 21 日進行，行程涵蓋新加坡各重要水資源管理單位，包含水處理規劃與設施、技術研討會及政府機構，目的在於深入了解新加坡的國家水政策與水部門的技術與創新經驗，包括水資源管理、技術創新、數位水務轉型、氣候適應、安全水流程管理、商業合作模式及 ESG 永續實踐力等，以作為本公司未來發展與合作之參考。

(一)2025 年 2 月 16 日（第 1 天）啟程

出發前往新加坡，抵達時間：18:55（新加坡當地時間）

(二)2025 年 2 月 17 日（第 2 天）

1、Water-Exchange 交流會

2025 年 2 月 17 日上午 9 時 30 分，本公司代表團參加由新加坡國家水務局（PUB）與睿克科技公司（ZWEEC）共同舉辦的 Water-Exchange 交流會。本次會議的目的是加強雙方在水資源永續發展方面的技術交流，會中介紹了新加坡在水資源所面臨的挑戰(包括水量及水質)與永續發展策略。新加坡因天然水資源缺乏，早期大多仰賴由馬來西亞進口水，為降低對單一水源的依賴度，提供國家足夠的水資源，PUB 積極開發多樣化的水源並提升水資源的安全，以確保新加坡供水的穩定及水資源的永續發展。

新加坡的水源主要來自水庫、海水淡化、新生水及由馬來西亞進口水，為因應氣候變遷及社會經濟發展與進步帶來的各項挑戰，PUB 透過長期規劃、不斷創新以及對新技術的投資等策略來滿足國家的供水需求。在供水管理策略：(1)興建水庫儲存雨季的過剩水量，提供旱季穩定的供水。(2)增建淨水廠及利用廢水再生與海水淡化技術，增加水資源供給。(3)埋設管材品質較佳的輸(送)水管線，減少輸(送)水過程中的流失，提高供水效率。在水質管理策略：建立完善的水安全計畫，並應用水質監測及人工智能技術，例如：數位孿生技術模擬水處理流程，結合 AI 監測數據分析，提高水質監測的即時性與精確度，確保從原水、淨水廠處理及供水管網等供應端到用戶端的水質安全。

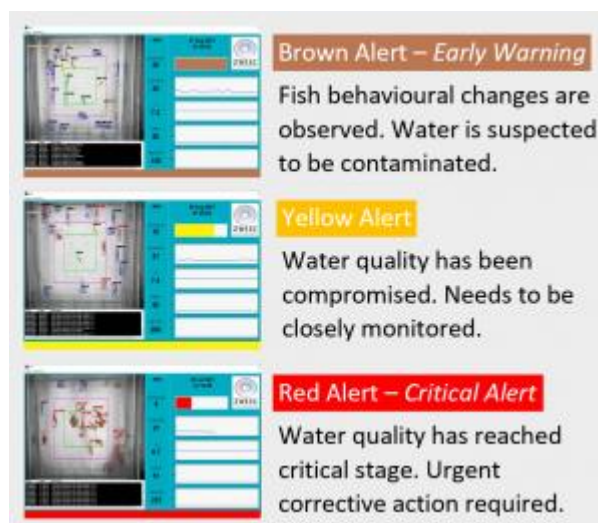


圖 2.1 Water-Exchange 交流會

此外，睿克科技公司(ZWEEC)團隊也展示其開發的 Aquapro AI 魚類行為監測系統及 Algapro™ AI 浮游生物(藻類)辨識監測系統，其功能如下：

(1) Aquapro™ 智慧生物監測技術

透過魚類行為異常檢測水中污染物，當偵測到魚的行為和水質異常時，系統會自動觸發警報(分 3 級褐色、黃色、紅色警示)通知機關。這項技術已廣泛應用於新加坡水庫與取水口的水。



褐色警報-早期預警，觀察到魚類行為變化，懷疑水被污染了。

黃色警報-水質已受污染，需要密切監控。

紅色警報-水質已嚴重受損，需要採取緊急糾正措施。

圖 2.2 Aquapro™ 警報系統

(2)Algapro™ AI 浮游生物辨識監測系統

透過深度學習和先進的演算法自動檢測不同的浮游生物，診斷水質和水生生態系統的健康狀況、防止有害藻華（HAB）大量增生，以確保飲用水安全。這項技術已被新加坡國家水務局 PUB 採用。

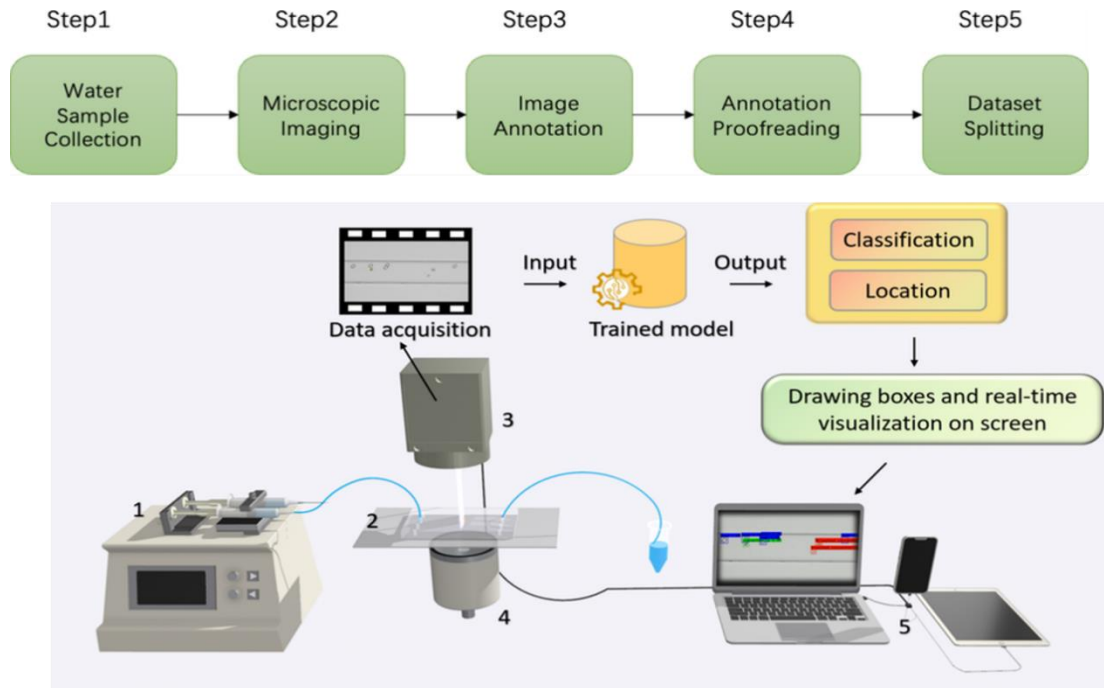


圖 2.3 Algapro™建立浮游生物數據資料庫的工作流程

2、參訪 PUB 水質實驗室

Water-Exchange 交流會後，本公司代表團參訪 PUB 的水質實驗室，包括：細菌與寄生蟲實驗室、水生生物實驗室、有機化學實驗室、無機化學與放射性物質實驗室…等，了解新加坡在水質監測技術的發展。實驗室內部設有多項先進設備，包括高精度光譜分析儀、即時生物監測儀及自動取樣系統，這些技術可用於檢測各類水污染物，如重金屬、農藥殘留及微生物污染。我們也觀摩了 AI 水質分析系統的實際運作，該系統透過大數據與機器學習技術，能夠預測水質變化趨勢，進一步優化新加坡的水處理決策。PUB 水質部門的員工在導覽時也提到為把關水質安全，PUB 在提升水質檢測及監測方面投入很多心血技術研發及導入 AI 技術及設備，不僅提高水質檢(監)測的速度與精準度，同時精簡人力，整層水質實驗室的機器設備比人多，台灣可借鏡參考學習。



圖 2.4 新加坡國家水務局(PUB)水質實驗室

3、參訪濱海灣花園(Gardens by the Bay)

下午本公司代表團前往新加坡著名的濱海灣花園，該園區不僅是觀光勝地，亦是城市水資源管理的重要示範點。濱海灣花園內設有雨水回收系統，能夠收集與過濾雨水後再利用於園區澆灌與景觀水體補充。此外，園區的超級樹(Supertrees)也具備雨水儲存及太陽能發電功能，這些措施展現了新加坡在水資源循環利用與永續城市發展上的創新思維，並融入城市美學，創造多元效益。



圖 2.5 濱海灣花園的超級樹(Supertrees)

(三)2025 年 2 月 18 日 (第 3 天)

1、參訪吉寶濱海東海水淡化廠 (KMEDP)

2025 年 2 月 18 日上午，本公司代表團前往吉寶濱海東海水淡化廠 (Keppel Marina East Desalination Plant, KMEDP) 進行參訪。KMEDP 是新加坡首座**雙模式 (Dual-Mode)** 水處理廠，能夠依據降雨情況與水資源需求，靈活處理來自濱海水庫的淡水或海水，以確保新加坡的供水穩定。該廠運用先進的水處理技術，包括**超濾 (UF) + 逆滲透 (RO) 雙層過濾**、**紫外線消毒**、**數位孿生技術**等，優化水資源利用並降低能源消耗。

在技術簡報中，介紹了 KMEDP 如何透過智慧水管理系統提升運營效率，並強調其地下設計使地面可作為綠地公園，與城市景觀融合。很可惜當日地下層的水處理廠未開放參觀，無法實地觀摩該廠的水處理流程。不過，該廠將綠色基礎建設與公共空間整合，提升水處理設施的社會價值，台灣可借鏡引入水資源管理系統，促進永續發展。



圖 3.1 吉寶濱海東海水淡化廠的雨水回收管理系統簡介



圖 3.2 吉寶濱海東海水淡化廠的地面造景設計

2、PUB 的供水(管網)部門及客服中心進行技術討論會

隨後，與新加坡國家水務局（PUB）專家團隊進行了技術研討，會中本公司代表團先說明了此次交流的目的，主要是台灣受極端氣候影響，地震、颱風、乾旱等天災頻傳，致水資源供應的不穩定性相對提高。並以 2024 年 4 月 3 日台灣發生的花蓮地震為例，說明因地震土石鬆動，加上強降雨導致土石流，造成原水濁度急劇上升，無法正常供水，突發性停水事件加劇用戶焦慮與不滿，致客服中心進線量瞬間激增。為強化面對突發性的原水濁度升高、管線受損搶修、供水不穩定及客服應變運作等問題的處理效能。特地前來 PUB 就數位水務轉型服務向供水(管網)技術部門及客服中心請益這方面的經驗，以提升本公司在水務管理的應變能力。PUB 在技術研討會，介紹了新加坡的供水管網與供水損失管理及客戶服務中心運作。

(1)供水管網與配水損失（DL）管理

新加坡的水源主要來自水庫、海水淡化、新生水(NEWater)及進口水(Johor Water)。目前全國擁有 5 座海水淡化廠、6 座本地水廠及 1 座在馬來西亞柔佛水廠，確保水資源供應的穩定性與多樣化。供水系統採用環狀主幹管系統（Ring Main System），提供備援的供水路線，確保即使部分管線維修或突發狀況，也能透過其他路線維持正常供水，提升系統的彈性與應變能力。

新加坡 PUB 的飲用水配水管網總長度約 6,000 公里，平均管齡 28 年，使用年限 70 年。每 100 公里幹管漏水平均約 4.5 個，透過完善的輸配水管網（Distribution Network）將水資源穩定地供應至一般家庭、商業及工業用戶。目前用戶數約 170 萬戶，透過**精準計量、主動漏水偵測、管網汰換與維修及法規**等多管齊下的管理策略，使配水損失(DL)率從 2018 年 8.3%至 2024 年降至 7.2%（減少 1.1%）。

(A)精確計量 (Accurate Metering)：

- 定期校對與汰換逾齡水表(小表 15 年、大表 10 年)，減少計費誤差。
- 推動智慧水表（SWM），提高用水數據精度。
 - ✧ 2021-2024 年完成 30 萬只智慧水表安裝。
 - ✧ 2024-2039 年由 SPS 負責營運與維護。
 - ✧ 推動對象包括一般家庭、商業與工業用戶，用戶免付費。
 - ✧ 自動記錄用水數據，每日傳送 4 次，每 6 小時回傳一次，減少人工抄表。
 - ✧ 即時提供用戶用水數據，提早發現用水量異常(突增)及調整用水習慣(節水)。

(B)主動漏水偵測 (Proactive Leak Detection)：應用智慧化漏水偵測技術

- 移動與固定式噪音記錄器（Mobile & Permanent Noise Loggers）：透過聲音技術檢測管道內的異常聲波，精準定位潛在漏水點。
- 固定式感測器（Permanent Leak Detection Sensors）：在輸水管網關鍵區域安裝長期監測設備，即時偵測水壓與流量異常。目前佈設現場感測器數量約 1,500 個；監測輸水管網總長度約 700 公里。
- SmartBall 智慧球檢測技術：使用內部流體探測設備，深入管線內部，透過高精度聲音感測，檢測微小漏水點。
- GIS 數據整合與 AI 預測分析：透過地理資訊系統（GIS）標示

高風險管線區域，以及應用 AI 與歷史數據分析，預測可能發生漏水的區域，提升維修效率。

(C)管網汰換與維修 (Pipeline Renewal & Maintenance)：

- 良好的管網規劃、設計與施工 (Planning, Design & Construction)
 - ✧ 確保管徑、閥門位置與備援管線等設計合理，便於供水調度與維修，提高供水穩定性。
 - ✧ 更新及使用較好的管材(如聚氨酯塗層球墨鑄鐵 PU-Coating DI 或鋼管 ST Pipe)與防腐技術，延長管線使用年限。
 - ✧ 嚴格監督與施工品質管控：確保管線鋪設符合標準，提升整體耐用性。
- 管線汰換計畫 (Pipeline Renewal Strategy)
 - ✧ 預測性維護 (Predictive-Based)：透過數據分析與管線狀況評估決定汰換計畫。
 - ✧ 基本維修 (Corrective-Based)：當管線出現 2 次或以上漏水，即主動汰換。

(D)立法與施工監管 (Legislation & Compliance)

- 自來水管線基礎設施保護法規 (Protection of Water Pipes Infrastructure Regulations)：所有在水管周圍的工程須經過 PUB 核准，確保施工不影響供水安全。
- 施工現場監控與巡檢：應用監視攝影機監控輸水幹管工地或 GPS 追蹤高風險施工機具。
- 施工符合 PUB 規定檢查 (Compliance Verification)：標記與劃定水管與水閥位置，避免誤挖，以及建立地理圍欄與 GPS 監控機具移動，確保施工安全。

PUB 透過多樣化的水源供應、精準計量、智慧水網、管線汰換及立法等管理策略，確保供水系統的穩定性與持續性。目前配水損失率 7.2%，顯示智慧供水管網管理與主動漏水偵測的成效。



圖 3.3 代表團與 PUB 供水技術部門合影留念

(2) PUBOne 客服中心運作

在技術交流過程中，我們進一步了解新加坡 **PUBOne** 客戶服務中心的運作模式與技術應用。**PUBOne** 是新加坡國家水務局(PUB)於 2002 年成立 24 小時客戶服務中心，負責處理新加坡民眾有關供水、污水處理、排水系統等問題的報修、查詢與回饋。

PUBOne 設置 16 人(白天班 14 人、晚班 2 人)分 3 班 24 小時輪流值機，平均每月進線量 4,800 通，民眾反映的問題以水壓低無水及水質等問題較多，其中水壓低無水問題以臨時破管搶修因素居多，甚少因局部管線搶修或計劃性工程施工造成大停水，導致用戶大量集中進線客戶服務中心。主要是 PUB 的供水系統擁有完善的備援供水管線，供水穩定性高。有鑑於此，PUB 目前暫無於官網建置 AI 智能客服之需求與規劃。

此外，**PUBOne** 辦公室緊鄰供水操作及管網維修中心，若客戶服務中心值機員無法於線上立即解決的問題或發生用戶突大量集中進線需要協助，供水操作及管網維修中心會立即支援接聽電話或協助派工處理，不僅提升 PUB 水務管理的應變效率，也強化了民眾對於政府水資源管理的信賴。

(A)智慧化客服處理流程

PUBOne 透過客戶關係管理系統 (Customer Relationship Management System, CRMS) 整合不同回饋管道，包括：電話通報、數位通報 (如 MyENV、LifeSG、OneService 等 APP)、政府機構轉介案件及其他管道 (傳真、書信、社群媒體回報)。並導入 AI 語音辨識技術 (Speech-to-Text Technology)，當用戶進線客服中心，能夠將通話內容即時由語音轉換為文字，減少人工輸入時間，並透過 AI 分析客戶的問題模式。根據關鍵字辨識、地理位置、案件類型進行分類，自動轉派至相關單位處理 (如水表或管線維修部門、污水處理部門或管網檢測部門)。透過自動化案件分流機制確保案件能夠即時分派至適當單位處理，減少人為誤派的情況。

(B)高效案件處理與滿意度提升

PUBOne 透過數據分析、智能案件分類、處理與派工機制，大大提升了案件處理效率。以 2023 年客服案件的處理時效為例：有 92% 的案件能在 3 個工作天內結案 (目標為 85%)。其次，PUB 也會針對處理完成案件進行事後的滿意度調查，讓用戶對服務進行評分 (1~5 顆星)，90% 的受訪用戶給予 4 顆星以上的評價，顯示民眾對於 PUBOne 的運作表現持高度的肯定。

PUBOne 透過數位化轉型與 AI 技術應用，成功提升客戶服務品質，可參考學習，為智慧水務管理未來發展奠定良好的基礎。



圖 3.4 PUBOne 客戶服務中心

(四)2025 年 2 月 19 日 (第 4 天)

1、參訪蔡厝港淨水廠 (Choa Chu Kang Waterworks, CCKWW)

上午，本公司代表團參訪了蔡厝港淨水廠 (CCKWW)，這是新加坡最先進的水處理設施之一，負責供應西部地區的大部分飲用水。該廠最初於 1976 年啟用，並於 1981 年進行第二期擴建，在過去幾十年間歷經數次升級改造，第一階段升級--2008 年採用聚合物膜技術(已於後續升級中停用)，第二階段升級--2019 年改用陶瓷膜過濾技術 (2024 年全面更新)，並規劃於 2027 年改造為全自動化的智慧水廠。確保其能夠應對新加坡日益增長的用水需求與水質挑戰。目前，蔡厝港淨水廠的核心技術包括：

(1)陶瓷膜過濾技術 (Ceramic Membrane Filtration)

該廠於 2019 年進行升級，將原有的砂濾技術改為世界領先的陶瓷膜過濾系統，目前安裝 12 組 C90 陶瓷膜模組，每組包含 90 支陶瓷膜。每日可處理 40MGD (約 182MLD) 的水量，是全球最大的陶瓷膜水處理廠之一。

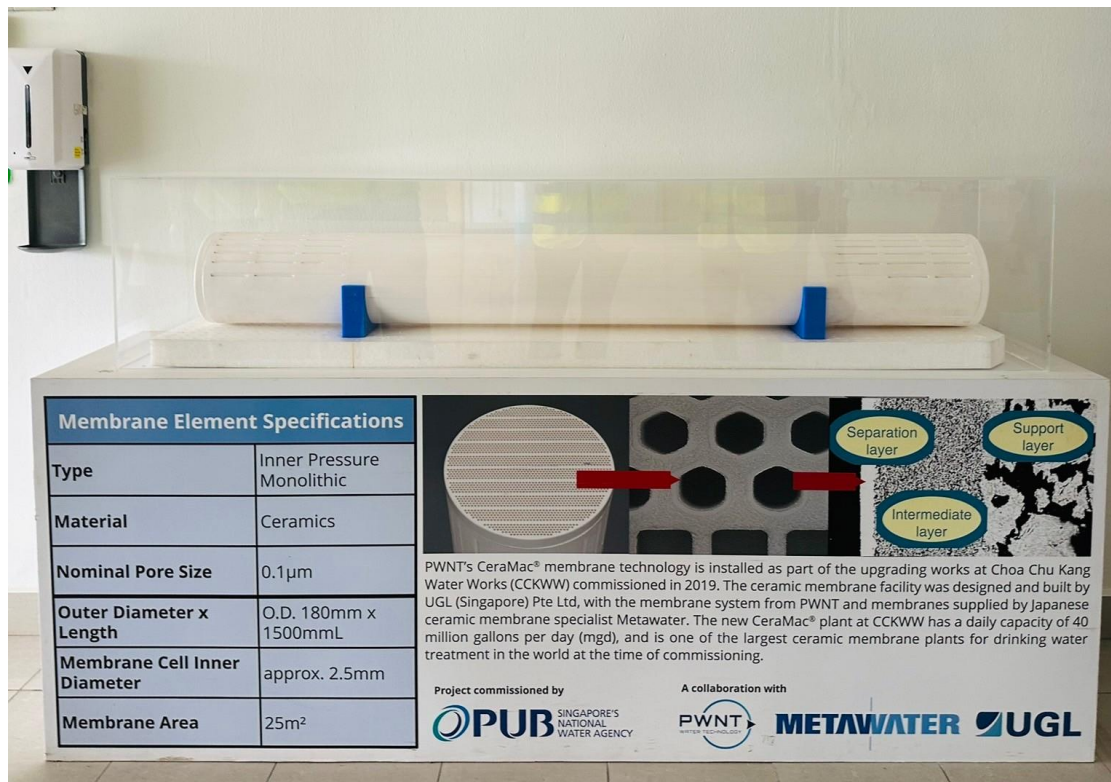


圖 4.1 陶瓷膜元件規格

(2) 臭氧氧化處理 (Ozonation)

新加坡水資源管理的一大挑戰是**天然有機物污染**（如 MIB 與 Geosmin），這些物質會影響水的味道。升級後的 CCKWW 導入**高效臭氧氧化技術**，大幅提高去除效果，並減少對傳統氯消毒的依賴。

(3) 生物活性碳 (BAC) 處理

廠內設置 **14 座 BAC 濾池**，可有效吸附水中殘留的有機污染物，進一步提升水質穩定性，確保符合新加坡嚴格的飲用水標準。

在參訪過程中觀摩淨水技術的實際運作，並與技術人員討論水處理過程的監測與控制策略。他們特別強調，陶瓷膜系統的優勢在於**耐用性高**（使用年限約 20 年，視水質狀況至少有 15 年）、**過濾精度高**（孔徑僅 0.1 微米，可去除 99.9% 以上的病原體與懸浮物），且相比傳統砂濾技術（每小時反洗一次），陶瓷膜每 3 小時反洗一次能夠**降低耗能**，對於節能與永續水資源管理極具優勢。



圖 4.2 蔡厝港淨水廠工程師介紹淨水處理設備功能



圖 4.3 蔡厝港淨水廠廠區設備空間規劃寬敞方便維修



圖 4.4 蔡厝港淨水廠辦公大樓的工安宣導立牌



圖 4.5 代表團與蔡厝港淨水廠廠長及工程師技術交流拍照留念

2、參訪碧山-宏茂橋公園（Bishan-Ang Mo Kio Park）

下午，代表團參訪碧山-宏茂橋公園，該公園為新加坡 ABC 水計劃（Active, Beautiful, Clean Waters Programme）之一，透過自然生態設計，將城市水資源管理與休閒空間相結合。

(1)河道自然化與滯洪池設計

原本位於該區域的排水渠道是典型的**混凝土箱涵**，僅具有導水功能，無法發揮生態效益。然而，PUB 在 2011 年將其改造為**自然化河道**，並設計多個**滯洪池**，在暴雨期間能夠儲存 **40%以上的洪水量**，減少市區淹水風險。



圖 4.6 碧山-宏茂橋公園河道自然生態設計



圖 4.7 碧山-宏茂橋公園人工湖

(2)水資源回收與再利用

公園內部設有雨水收集系統，透過植被過濾與生態池沉澱，回收的水可用於園區灌溉與人工湖補水，展現了水循環利用的永續發展理念。



圖 4.8 碧山-宏茂橋公園宣導魟魚出沒警示牌

(3)生態多樣性與都市景觀

河道改造後，公園內的生物多樣性顯著增加，目前已記載 50 多種魚類、100 多種鳥類，成為都市中重要的生態棲地。我們也觀察到，這樣的水利設計不僅提升了防洪能力，也為市民提供了休憩與教育的空間。

(五)2025 年 2 月 20 日（第 5 天）

1、Ripple2Wave 新創公司技術交流會

2025 年 2 月 20 日上午，本公司代表團在 PUB 與 4 家新加坡的新創公司就氣候變遷對水資源管理的影響、AI 及大數據在水務管理中的應用、非傳統水資源開發（如海水淡化、回收水）、智慧管網建置等重要議題，探討如何透過創新技術提升水資源管理效率，確保供水安全，並促進亞洲區域內水管理產業的技術交流與國際合作。

在會議中，我們特別關注智慧水管理（Smart Water Management）及低碳技術的發展趨勢，包括：

- (1)**數位孿生技術 (Digital Twin)**：利用數字孿生技術，在水處理設備中，透過即時監測、數據分析與智能控制，了解水質變化，提前預警污染，保障飲水安全。



圖 5.1 代表團與睿克科技公司高級顧問技術交流會

- (2)**碳煙灰回收技術**：將工業碳廢棄物(燃煤電廠、鋼鐵與石化業排放的碳煙灰)透過專利技術提取高純度碳黑與五氧化二釩，轉化為高價值能源存儲材料(如導電碳、橡膠增強劑與鈑電池材料)再利用，減少碳排放與環境污染。

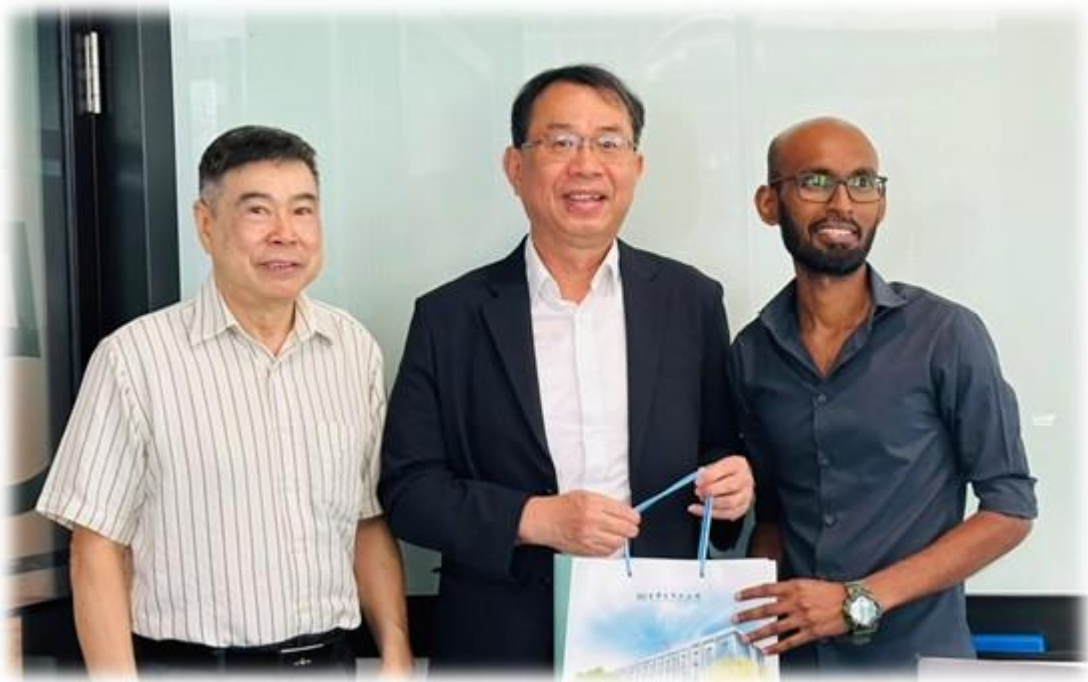


圖 5.2 代表團與新創公司探討低碳技術合影留念

(3)AI 智能水管理系統：透過智慧水務(IoT 監測平台、AI 漏水檢測技術及 GIS 數據整合)的視覺化管理及數位孿生技術(模擬水處理與管網運行狀況，預測供水風險，產生最佳化資源配置)，提供決策參考，以提高水資源利用率，降低 NRW。



圖 5.3 新創公司介紹水壓管理系統發展趨勢



圖 5.4 代表團與新創公司交流漏水檢測技術合影留念

(4)中空纖維納濾膜 (HF-NF)：具有抗氧化、耐高溫 (80°C)、耐溶劑與抗污染特性，可應用於污水回收、飲用水淨化、材料分離與海水淡化。相較傳統捲式濾膜，能降低能耗、減少濾膜污染與提高水回收率。

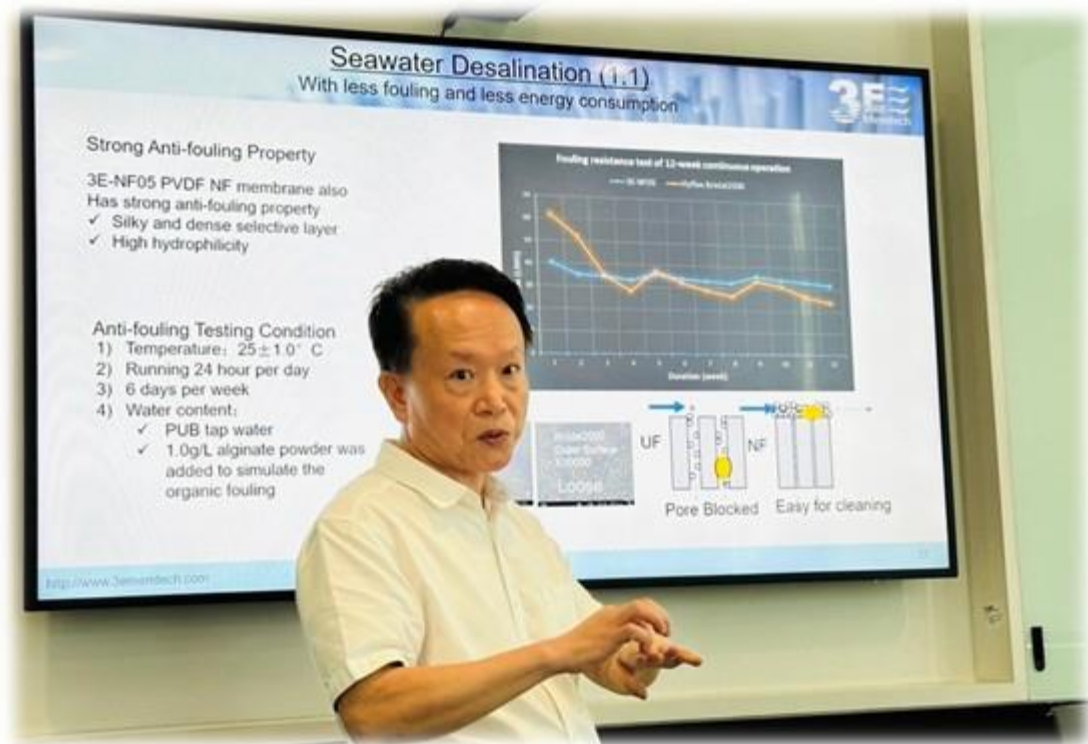


圖 5.5 新創公司代表分享創新的水處理過濾薄膜技術

會後，本公司代表團也與這些新創公司代表交流，了解區域內水管理產業的合作機會，特別是在水質安全管理、管網管理及 AI 應用等領域，探索未來 ESG 永續水管理可能的技術合作與聯合研發的機會。

2、參訪濱海堤壩與永續新加坡展覽館

下午，本公司代表團前往濱海堤壩（Marina Barrage）與永續新加坡展覽館參訪，這座堤壩是新加坡水資源管理的重要基礎設施之一，也是因應氣候變遷與水資源短缺而建設的關鍵防洪與水儲存系統。濱海堤壩於 2008 年啟用，其核心功能包括：

- (1) 防洪調節：該堤壩能夠調控濱海灣的水位，防止因強降雨或潮汐變化造成的城市內澇問題。
- (2) 水資源儲存：堤壩的建立使濱海灣轉變為新加坡第 15 座水庫，能夠收集雨水，提供 10% 的新加坡民生用水，提高水資源自主能力。
- (3) 生態與都市景觀整合：濱海堤壩不僅是一座水利工程，也是一個寓教於樂的開放式休憩空間，設有太陽能發電設施及永續新加坡展覽館。



圖 5.6 濱海堤壩兼具防洪與蓄水功能

在永續發展展覽館，介紹了新加坡因應極端氣候變遷的策略，包括：

- (A)提升防洪基礎設施，加強城市滯洪與水利工程的整合運作。
- (B)推動新生水技術，確保新加坡能在降雨不足時，維持穩定供水。
- (C)發展綠能水管理，如何在污水處理過程中回收能源，提高整體水管理系統的永續性。

這次參訪讓我們深刻理解濱海堤壩如何兼具水資源管理、防洪、可再生能源利用與都市發展功能，這種多功能整合模式值得台灣在未來水管理規劃中參考應用。

(六)2025 年 2 月 21 日（第 6 天）賦歸

回程返抵台灣。



圖 5.7 代表團抵達濱海堤壩的永續新加坡展覽館參觀



圖 5.8 代表團於永續新加坡展覽館 2 樓綠地前拍照留念

參、心得與建議

一、推動智慧水安全管理，引進 AI 數位孿生技術監測分析應用

本次參訪中，我們深刻體會到新加坡在智慧水安全管理方面的投入及努力。透過建立完善的水安全計畫、導入數位孿生技術(Digital Twin)模擬水處理流程並結合 AI 監測數據分析等策略，提高水質監測的即時性與精確度。這些技術的應用不僅確保水資源從供應端到用戶端的水質安全，還能提供有效解決方案，提高處理水質污染事件的效率。本公司目前使用中的水質預警系統(ADTS)及持續推動中的水安全計畫，未來可積極參考新加坡的技術發展方向，或與國際水管理技術公司合作，引進新加坡的成功經驗，縮短智慧水安全管理發展的時程。

二、發展水資源多樣化策略，強化水處理技術，確保供水穩定

新加坡由於天然水資源有限，透過水庫(雨水收集)、海水淡化(Desalination)、新生水(NEWater)及進口水等四大水源戰略(Four National Taps)，有效確保供水穩定性，並降低對單一水源的依賴。相較之下，台灣雖然水資源豐富，但在極端氣候影響下仍有旱澇不均的問題。新加坡成功建立的水資源多樣化策略，對台灣有很大的借鑒價值，尤其是新生水與海水淡化技術的發展，可作為未來提升供水韌性的重要方向，減少對水庫與地下水的依賴，確保水資源永續供應。

三、導入主動式智慧漏水監測工具與管網管理系統，降低漏水率

新加坡的供水管網維護策略展現了高度精準與科技導向的管理模式。PUB 透過 1,500 個固定式感測器(Permanent Leak Detection Sensors)、智慧球(SmartBall)技術、AI 預測分析，主動偵測並預防管線滲漏，使管網配水損失(DL)在 7 年內減少 1.1%(2018 年 8.3%至 2024 年降至 7.2%)。台灣因地形高低起伏大，配送水至偏遠地區需耗費較大的管路與動力成本，相較新加坡地勢低平，台灣各地水資源的調度運用較複雜且困難。目前本公司是藉由「水壓管理」、「修漏之速度及品質」、「主動防治漏水」及「管線及資產管理」等 4 大降漏策略，以及與工研院合作開發 AI 智慧漏水辨識模型，強化本公司的管網管理，未來亦可參考新加坡的經驗，導入新興的漏水監測技術或智慧水壓管理系統，降低管網配水損失，提高供水效率。

四、強化客服中心的智能化與數據應用

PUBOne 24 小時客服中心的運作模式，使我們認識到智能客服與大數據分析在提升服務效率上的重要性。PUBOne 透過 AI 即時語音辨識轉文字 (Speech-to-Text)、案件自動分類後送權責單位，以及客戶服務中心與供水操作及管網維修中心一條龍處理客服案件的運作模式，有效提高案件的管理效能，提升用戶滿意度。本公司客服系統亦採用客戶關係管理系統 (Customer Relationship Management System, CRMS) 管理客戶案件，並規劃導入 AI 智能文字客服，以提供用戶多元便捷快速的服務管道，未來可參照新加坡 PUBOne 的運作模式，以提升客服中心的應變能力與精準度。

五、增強應對氣候變遷的水資源管理策略

透過參訪濱海堤壩 (Marina Barrage)、濱海灣花園 (Gardens by the Bay)、碧山-宏茂橋公園 (Bishan-Ang Mo Kio Park) 及永續新加坡展覽館，我們看到新加坡如何將防洪、供水與都市景觀結合，創造兼具水利效益與生態價值的設施，並透過從小學、中學到高中的環境教育課程，培養民眾節水習慣並珍惜水資源，這些設計有助於提升國家對極端氣候的適應能力。台灣近年來受颱風、乾旱、暴雨影響較大，未來可參考新加坡的作法，推動滯洪池、生態河道、都市海綿體系等低衝擊開發策略，以及透過環境教育場域及課程，讓國人從根本了解水資源的重要，進而改變用水習慣與態度，提升國家對極端氣候的適應能力，減少水災與旱災對整體環境的衝擊，確保水資源永續發展。

肆、參考文獻

1. 台灣自來水公司五十週年專輯及內部資料
2. 經濟部水利署全球資訊網
3. 新加坡國家水務局 (PUB) 資訊網及會議資料
4. 新加坡濱海灣花園 (Gardens by the Bay)、碧山-宏茂橋公園 (Bishan-Ang Mo Kio Park)、濱海堤壩 (Marina Barrage) 與永續新加坡展覽館等資訊網
5. 吉寶濱海東海水淡化廠 (KMEDP) 簡介
6. 蔡厝港淨水廠 (CCKWW) 會議資料
7. Ripple2Wave 新創公司會議資料