

行政院所屬各機關因公出國報告

(出國類別：開會)

出席「新加坡國際水周」

(Singapore International Water
Week)

服務機關：台灣自來水股份有限公司

姓名職稱：陳文祥處長、鐘錦珍組長

派赴國家：新加坡

出國期間：113 年 6 月 17 日至 6 月 22 日

報告日期：113 年 8 月

系統識別號：

公務出國報告提要

頁數：74 含附件：有

報告名稱：113 年度經濟部台灣自來水公司「新加坡國際水週會議、新加坡 PUB 水質

部門及科技公司交流水質業務」出國報告

主辦機關：經濟部台灣自來水公司

聯絡人/電話：鐘錦珍 / 04-22244191 分機 528

出國人員：陳文祥、鐘錦珍

台灣自來水公司

出國類別：開會

出國地區：新加坡

出國期間：113 年 6 月 17 日至 113 年 6 月 22 日

報告日期：113 年 8 月 29 日

分類(主題/施政)：環境保護/飲用水

關鍵詞：水質管理、水質監測技術、水質安全、PFAS

摘要

2024 年新加坡國際水週(Singapore International Water Week ; 簡稱 SIWW) , 於今(113)年 6 月 17 日至 22 日在新加坡金沙會展中心舉行。作為全球領先的聚焦城市水務創新和解決方案的全球水務盛會 , 匯聚來自來水水務公司、機構、政府、城市、工業界和學術界的全球領導者、專家和從業者 , 分享並共同創造創新成果。

此次出席主要參與 2024 年 6 月 19 日由新加坡國家水務機構 PUB 和國際水協會聯合主辦新加坡國際水週 (SIWW) 與新加坡清潔環境高峰會 (CleanEnviro Summit Singapore;CESG) , 將全球水務領袖齊聚一堂 , 討論城市水務從業者面臨的緊迫問題和挑戰 , 例如確保可持續生產和供應安全清潔的飲用水、有效和高效的收集用水和處理 , 城市對氣候變遷、洪水和海平面上升的彈性和適應性 , 水質和健康 , 以及水務部門的資源效率和循環經濟。另 PUB 亦協助安排 6 月 20 日免費技術參訪新加坡第四座 Keppel 濱海東部海水淡化廠 (Keppel Marina East Desalination Plant) 及濱海堤壩(Marina Barrage)。

除參與水大會開幕全體會議與技術參訪外 , 本次亦與 PUB 水質部門與水樣採集、水質監測科技公司進行會談 , 包括 6 月 18 日睿克及 NM³ 科技公司樣品採集技術及水質異常監測、6 月 21 日新加坡公用事業局 PUB 研討新興污染物 PFAS 及檢測能力提升、睿科科技公司生物線上監測等 , 掌握國際水質管理及處理技術趨勢與經驗 , 並推展國際事務聯繫及技術交流。

目錄

摘要.....	i
目錄.....	ii
表目錄.....	iii
圖目錄.....	iv
第一章 任務與行程	1
1.1 目的.....	1
1.2 行程	3
第二章 參與新加坡國際水周會議.....	5
2.1 新加坡國際水周(SIWW)會議活動介紹	5
2.2 參加新加坡國際水週 (SIWW)2024 年 6 月 19 日開會	13
2.2.1 新加坡國際水週 (SIWW) 和新加坡清潔環境高峰會 (CESG)聯合開幕.....	13
2.1.2 水大會開幕全體會議(Water Convention Opening Plenary)	19
2.1.3 海報論文展示.....	22
2.1.4 水務博覽會 (Water Expo)	23
2.2 2024 年 6 月 20 日現場技術參訪.....	26
2.2.1 The Keppel Marina East Desalination Plant 海淡廠參訪	26
2.2.2 Marina Barrage 濱海堤壩參訪	29
第三章 新加坡新創技術公司、PUB 水質部門參訪	33

3.1 113 年 6 月 18 日新加坡新創技術 Nm3 Tech 公司參訪及交流	33
3.2 113 年 6 月 21 日拜訪新加坡 PUB 水質部門會談	38
3.3 113 年 6 月 21 日睿克 ZWEEC 科技公司技術交流	59
3.3.1 與 PUB 前水質署署長林文豪(Lin Mong Hoo)會談	61
3.3.2 ZWEEC 睿科公司生物及藻類監測系統	66
第四章 結論與建議	70
致 謝	74

圖 目 錄

圖 1 新加坡國際水週 (SIWW)會場	13
圖 2 聯合開幕儀式會議	17
圖 3 部長級全體會議現場	19
圖 4 壁報論文現場	23
圖 5 水務博覽會	25
圖 6 Keppel Marina East Desalination Plant 海淡廠參訪	29
圖 7 新加坡在地水源 (local catchment water) 17 個水庫分佈	30
圖 8 Marina Barrage 濱海堤壩參訪現場	33
圖 9 新加坡新創技術 Nm3 Tech 公司參訪及交流	38
圖 10 PUB Singapore' s National Water Agency 組織架構	39
圖 11 PUB 關閉水循環之完整管理模式-讓每一滴水都有意義	51
圖 12 PUB 水質部門組織架構	53

圖 13 PUB 全面性水質監測.....	54
圖 14 PUB 水質實驗室六大分析主軸.....	57
圖 15 PUB 水質實驗室自動化.....	57
圖 16 PUB 移動實驗室.....	58
圖 17 113 年 6 月 21 日與 PUB 會談 合影.....	59
圖 18 新加坡新 PUB 前水質署署長林文豪會談與交流.....	66
圖 19 智慧生物監測系統	67
圖 20 浮游生物監測系統	69
圖 21 新加坡新睿科 ZWEEC 公司參訪及交流合影	69

表目錄

表 1 行程表.....	3
表 2 水週日程表.....	11

第一章 任務與行程

1.1 目的

新加坡面積約 710 平方公里，是全球極度缺水國之一，將近 6 百萬居民生活和產業用水主要來自雨水的收集和向馬來西亞購水，完全是“看天吃飯、看別人臉色”，新加坡前總理李光耀曾說過：「在活命水面前，任何政策都得屈服。」，無淡水的新加坡，將面臨國家用水安全之威脅。過去 60 年來新加坡的國家水務機構 (Singapore' s national water agency, PUB) 利用各種創新手法來解決水資源不足的問題，為讓新加坡的用水能自給自足，推出「四個水龍頭」的水資源政策，包括在地水源 (local catchment water)、高度淨化回收水 (high-grade reclaimed water, 即 NEWater)、淡化水 (desalinated water) 以及輸入水 (imported water)，並創新科技如去除汙染與過濾膜技術的突破，將任何一滴水變成生產、生活、生態所需要的水，逐漸降低對馬來西亞買水的依賴，實現新加坡水資源能夠自給自、循環及可持續利用。

新加坡政府為提升國家水務業之水準，並扶持國內中小型水務公司走向國際，自 2008 年起由新加坡公用事業局 PUB 開辦新加坡國際水周 (Singapore International Water Week, SIWW)，兩年一屆，齊聚世界上各水務業者，透過舉辦一系列專業活動，創造切磋及交流機會，匯集了水資源相關單位與機構，包括政府、公用事業、學術界和工業界的思想領袖、專家和從業者，分享、共同創造創新的解決方案，展示創新技術，也透過商業合作形式，加速新的水技術從實驗室到市場之商業化，將創新者與合作夥伴、買家和投資者聯繫起來，使全球水資源領袖和專家聚在一起，分享解決、創新和政策方案或措施，共同解決全球迫切水資源挑戰及議題。水周係由新加坡公用事業局 (Public Utility Board, PUB) 主辦，並由新加坡環境與水資源部、國際水協會 (IWA)、國際海水淡化學會 (IDA)、李光耀公共政策學院等共同協辦，2024 主要活動包括聯合

開幕暨部長級全體會議(Joint Opening & Ministerial Plenary)、水務大會 (Water Convention) 與水務博覽會 (Water Expo2024) 等，已成為各國官員、業界和水資源專家交換意見之重要平台。

本公司由水質處陳文祥處長及鐘錦珍中出席參與會議，主要參與 6 月 19 日新加坡國際水週 (SIWW) 與新加坡清潔環境高峰會 (CESG) 聯合開幕及聯合開幕部長級全體會議、水大會開幕全體會議、水務博覽會及水大會海報展示，以了解並掌握國際水資源、水質管理趨勢及水務科技之發展。此外，台灣地區受到全球氣候變遷及異常氣候的影響與衝擊，水資源環境日趨嚴峻，也直接影響水源水質惡化，造成淨水場處理負荷。而近年來頻傳水異常事件，如石門淨水場石門大圳藻類衍生臭味事件，暖暖淨水場基隆河藻類引起色度事件、關西淨水場水源遭廢溶劑汙染之臭味事件等。如何在採集樣品技術、監測儀器技術精進、突破或創新，達到可及時偵測到，發揮預警作用及採取即時應變作為，拜訪專於創新新技術解決方案之三立方 NM^3 科技、睿克科技 ZWEEC 公司，以進一步尋求遇水質異常或污染事件之及時監測及預警之技術。

同時，因國際間新興污染物全氟化物 PFAS 議題持續發酵，美國環保署於 113 年 4 月 10 日公告全氟化物飲用水管制標準，而我國環境部於 113 年 5 月 24 日頒定我國全氟化物之飲用水指引值:PFOA 與 PFOS 合計為 50 ng/L；PFOS 與 PFHxS 合計為 70 ng/L。惟國內除面臨目前市面無申請全氟化物 PFAS 檢測認證之環境檢測機構，且各單位檢測結果存在很大的差異性，故本公司亟待建立全氟化物自檢能力及尋求可行之處理技術，於赴新加坡水周期間，參訪新加坡公用事業局 PUB 水質部門(Water Quality Department)，以探討檢驗技術、如何突破微量偵測極限並請益新加坡淨水場對全氟化物採取處理技術、措施或行動方案，掌握新加坡檢測技術發展與推動經驗，作為本公司因應全氟化物 PFAS 之參考。

1.2 行程

表 1 行程表

日期	內容
113 年 6 月 17 日 (第一天)	去程 (台灣台中→桃園機場→新加坡樟宜機場)
113 年 6 月 18 日 (第二天)	<ul style="list-style-type: none"> ● PUB 合作之 NM³ 科技公司會談及交流 ● 睿科 ZWEEC 公司研討水質之生物監測(魚類或藻類)
113 年 6 月 19 日 (第三天)	<ul style="list-style-type: none"> ● 0900-1100 新加坡國際水週 (SIWW) 與新加坡清潔環境高峰會 (CESG)聯合開幕及聯合開幕部長級全體會議 ● 1130 – 1300 水大會開幕全體會議 ● 1000– 1800 水務博覽會 ● 1600 – 1800 水大會海報展示
113 年 6 月 20 日 (第四天)	技術參訪 <ul style="list-style-type: none"> ● 上午 Keppel Marina East Distillation Plant Keppel 濱海東部海水淡化廠 ● 下午 Marina Barrage 濱海堤壩
113 年 6 月 21 日 (第五天)	參訪 <ul style="list-style-type: none"> ● 上午與 PUB 水質部門討論及參觀 ● 下午 睿科 ZWEEC 科技公司會談及交流(監測與水質異常應變)
113 年 6 月 22 日 (第六天)	回程 (新加坡樟宜機場→台灣桃園機場→台中)

本次主要報名參加國際水周(SIWW)113 年 6 月 19 日之行程(Delegate Day Pass)包括聯合開幕及聯合開幕部長級全體會議、水大會開幕全體會議、水務博

覽會及 水大會海報展示活動，另於由 PUB 特別安排 6 月 20 日免費現地技術參訪，分別為上午 Keppel 吉寶濱海東部海水淡化廠 (Keppel Marina East Desalination Plant) 及下午濱海堤壩(Marina Barrage)。

除參加國際水周會議外，本次亦安排與新加坡公用事業局 PUB 水質部門及相關科技公司會談，包括 6 月 18 日 NM³ 科技公司 (採樣及監測事宜)、新加坡公用事業局 PUB 水質署(6 月 21 日上午，水質管理、新興污染物檢測及水處理技術)、睿克 ZWEEC 科技公司交流 (6 月 21 日下午，水質監測與水質異常應變)等。

第二章 參加新加坡國際水周會議

2.1 新加坡國際水周(SIWW)會議活動介紹

第十屆新加坡國際水週於 2024 年 6 月 18 日至 22 日在新加坡金沙會展中心舉行。本次主題延續 2023 年 11 月 30 日至 12 月 12 日杜拜舉行第 28 屆聯合國氣候大會 COP28 UAE (聯合國氣候變遷) 上評估《巴黎協定》的進展，2024 SIWW 在水務領域上緊密配合加速氣候行動中提出解決方案。關鍵主題聚焦於氣候適應力 (climateresilience)、海岸保護 (coastalprotection)、數位化 (digitalization)和和永續性(sustainability)。匯聚來自世界各地水務公司、機構、政府、城市、工業界和學術界的全球領導者、專家和從業者，聚焦城市水務創新和解決方案，分享並共同創造創新成果與商機。

水大會(Water Convention)包括一場開幕全體會議、4 場主題演講、一場特別主題演講、6 場熱點問題研討會(包括數位水務轉型、水務部門的溫室氣體排放、在生活與工業廢水處理中實現碳循環、城市的氣候適應和水資源抵禦能力、替代來源建立水資源抵禦能力及安全及 PFAS-實現對複雜持久性污染物的一致性和實證管理)、44 場口頭技術會議和一場有 250 張海報的牆報會議等，邀集專家和從業者圍繞城市水循環的六個主題，分享最新的創新、技術、最佳實踐和案例研究。相關研討內容反映了城市水務從業者面臨的緊迫問題和挑戰，例如確保安全清潔飲用水的可持續生產和供應、廢水的有效和高效收集和處理、城市對氣候變遷、洪水的彈性和適應性海平面上升以及水務部門的資源效率和循環經濟。其主要六主題為:

1. Delivering Water from Source to Tap (Network)

水從水源輸送到自來水 (管網)

數位轉型使水務公司能夠利用先進技術和從多個感測器收集的數據來改善其網路規劃和設計。這使得自來水公司能夠實現高效且有彈性的網路。豐富的網路資訊支援業者主動維護其資產、洩漏檢測、狀態評估、閘門操作和總管沖洗。這種明智的方法可確保供水順暢且不間斷。數位孿生和智慧水錶的普及也加深了我們對網路行為的理解，並實現更有效的節水策略。但需要注意的是，數位轉型應以人為本，數位化解決方案應與營運商和客戶雙方相關並接受。此主題歡迎有關供水網路管理的最新創新、技術、最佳實踐和案例研究的摘要

2. Delivering Water from Source to Tap (Treatment)將水從水源輸送到水龍頭（處理）

世界各地的城市都面臨淡水供應有限的挑戰，促使它們實現水源多樣化，以提高抵禦能力。隨著處理技術的不斷進步，人們越來越關注如何透過減少能源需求、探索鹽水的有益再利用以及從廢物流中獲取能量等使處理過程更加永續。此外，這些技術必須適應氣候變遷的未來影響，例如設計能夠應對不斷變化的水質的處理過程。雖然確保充足且可持續的供水至關重要，但確保所供應的水俱有盡可能高的品質也同樣重要。為此，自來水公司正在應用先進技術，可以有效地處理和去除新出現的污染物以及對傳統製程有抵抗力的特定污染物群。水務公司也在探索使用創新感測器和數位解決方案來支援他們的工廠運作、維護和優化。

3A. Effective and Efficient Wastewater Management (Treatment)

有效且有效率的廢水管理（處理）

在追求永續發展的未來的過程中，廢水的觀念已經從無用的東西變成了有益的資源。這種轉變促使人們渴望從廢水中提取盡可能多的水、能源和有價值的材料。越來越多的技術被開發出來以增強廢水處理過程中的能源產生。同時，為了緩解氣候變化，人們嘗試減少廢水管理的整體碳足跡，包括一氧化二氮和甲烷排放。從廢物流中回收和再利用物質資源呈上升趨勢。對於剩餘的廢水流出

物，目標是高品質的再利用，可能部分透過使用薄膜技術和製程來實現。除了研究新的創新之外，我們還努力提高現有流程的效率，以增強永續性。

3B.Effective and Efficient Wastewater Management (Conveyance)

有效且有效率的廢水管理（輸送）

下水道對於將廢水衛生地輸送至處理設施至關重要。為了確保下水道能夠良好地發揮其功能，需要正確的操作和維護。借助數位化和智慧技術，公用事業公司正在這些領域採取更積極主動的方法。在下水道運作中，分析和管理工具與即時感測器和儀表一起使用，用於檢測和預測堵塞、流入和滲透。檢查排入下水道的廢水品質同樣重要，因為它會影響下游處理過程。在維護方面，部署先進的檢測設備進行下水道檢查、清潔和修復。隨著大型下水道在日益城市化的城市中鋪設得更深，對尖端技術的必要性變得更加明顯。這種深隧道污水系統需要創新的解決方案來監測隧道的結構完整性和輸送狀況。

4. Cities of the Future and Coastal & Flood Resilience 未來城市以及沿海和防洪能力城鎮是經濟強國。

它們佔全球國內生產毛額 (GDP) 的 70% 以上。到 2050 年，預計它們將容納全球 70% 的人口。城市是複雜的調適系統，多個相互關聯的要素匯聚、集中並加劇了許多氣候變遷的影響。在過去的十年中，SIWW 為促進跨社會技術領域的綜合城市水資源管理提供了一個平台。

2024 SIWW 的未來城市主題將重點放在沿海城市和小島嶼國家。儘管全球所有城市都不同程度地面臨著與氣候變遷有關的水資源短缺、洪水、環境污染和自然資本損失等挑戰，但沿海城市特別容易受到氣候變遷對洪水的多方面影響，即海洋、水位上升和風暴潮、許多沿海城市位於大河流域內的河流洪水以及許多沿海城市地勢相對低窪和平坦而導致的洪澇災害。許多小島嶼國家也依賴脆

弱的地下水資源作為其主要飲用水源。沿海污染（例如塑膠和更普遍的廢棄物管理（固體或液體）也正成為沿海城市面臨的關鍵挑戰，以確保當地水質成為宜居性和公民參與水相關問題的資產，同時也有助於促進永續發展更廣泛的永續發展目標。

因此，我們對沿海城市和小島嶼國家的關注是在氣候變遷抵禦能力和適應能力以及沿海污染管理的背景下進行的。重點放在創新的沿海和防洪措施上，這些措施需要多功能（由於小島嶼國家土地稀缺）和靈活（以管理風暴潮和海平面上升的不確定性）。

5. Water Quality & One Health 水質與健康

全球氣候變遷導致人們越來越關注水質及其對人類、動物和生態系統健康的影響。基因組學應用的最新進展為水質監測和管理開闢了新的可能性。基於廢水的流行病學監測（Wastewater-based epidemiological surveillance : WES）作為 SARS-CoV-2 的即時監測方法，在疫情期間引起了全世界的關注；它具有巨大的潛力，可用於監測新病毒變種、抗菌素抗藥性 (antimicrobial resistance :AMR) 和整體病原體的出現，以及社區中的藥物和藥物使用。用於檢測飲用水中的污染物的創新感測器變得更加靈敏和具體，如果危害之濃度標準是因檢測技術分辨率不斷提高（從萬億分之一轉變為千萬億分之一）所致，而不是基於經過驗證的健康風險，這會引起人們的擔憂。如目前關於 PFAS 的爭論凸顯了世界各地標準之間日益擴大的分歧。在醫療保健方面，水質也變得越來越重要；娛樂用水的品質是另一個令人關注的問題。部門之間和社區之間的有效溝通對於成功推廣「同水/同健康(One-Water/One-Health)」至關重要，但仍然是一個挑戰。

6. Nexus and Circularity 連結與循環

水務部門在採用循環經濟原則方面取得了重大進展，特別是在透過應用深度處理製程來閉合水循環領域。現在人們越來越重視關閉水系統內外的資源和碳循環。為了實現這一目標，必須採用系統思維方法，不僅考慮技術面，還考慮政策和規劃、利害關係人參與、應用、市場性和潛在的融資解決方案。同樣重要的是採用一種連結方法，使系統能夠與其他部門整合和協作，以充分利用循環解決方案的優勢

此外，在 113 年 6 月 18 舉辦六場熱門議題研討會，討論主題包括：

研討會 1：SIWW-SWAN APAC 研討會：數位水務轉型的新漣漪

研討會 2：水務部門溫室氣體排放

研討會 3：生活與工業廢水處理中的碳循環

研討會 4：城市的氣候調適與水彈性

研討會 5：透過替代來源建立水資源抵禦能力與安全

研討會 6：PFAS – 實現對複雜持久性污染物的一致性和實證管理

其中研討會 6：有關 PFAS 議題，於近期國際間議題沸揚，飲用水源中的 PFAS 污染以及 PFAS 濃度的規範引起了廣泛關注，因為全球正在出台更嚴格的規範。監管機構需要公眾健康影響的科學證據，以制定可實現的標準，讓各國能夠遵守。然而 PFAS (永久性有機污染物) 污染水源和飲用水的問題存在大量爭議和對立，且爭論往往缺乏充分的證據支持。因此，對於設立標準存在猶豫不決的情況。一些利益相關者希望採取零容忍的立場，而另一些則希望在處理迅速增長的污染問題之前，等待更多有力的證據。

一些國家已經提出了標準建議。例如，加拿大公共衛生部建議飲用水中總 PFAS 的最大值為 30 ng/L。2024 年 4 月，美國環保署 (USEPA) 公布了六種 PFAS 的最終國家飲用水標準 (NPDWR)。荷蘭國家公共衛生與環境研究所自

2023 年 3 月以來建議對 PFAS “混合物” (“cocktail” of PFAS)設置標準，超短鏈 PFAS 三氟乙酸 (TFA) 的最大允許濃度為每升水 2.2 微克。部分荷蘭毒理學界人士認為，應根據每種 PFAS 的特定毒性設定個別標準，而不是採用 “混合物” 方法。

幾種 PFAS 已被納入《斯德哥爾摩公約》——這是一項針對持久性有機污染物 (POPs) 的法律約束性工具，用於減少和消除 POPs。歐洲化學品管理局 (Helsinki, Finland)在 2024 年初的多次委員會會議中討論了 PFAS 的風險，提出了對 PFAS 的限制建議，以及該建議對滑雪蠟、化妝品和其他消費品混合物的潛在影響。事實是，PFAS 化合物可能存在於各種產品和生產過程的殘留物中，包括廚具、防水纖維、滅火泡沫以及飲用水行業自身使用的設備和材料中。

鑑於人們對這一主題的高度關注，本次研討會的目的是提供有關 PFAS 和飲用水的全面更新，並討論基於證據的 PFAS 飲用水規範選擇，考慮到 PFAS 在食品和環境中的整體貢獻，同時提醒 PFAS 限制或禁令對水務業者 (基礎設施、材料、工藝) 可能帶來的影響。

隨著全球興趣的不斷增長和監管的日益嚴格，我們探討了圍繞 PFAS 標準的複雜性和爭議，加深了我們對 PFAS 污染及其健康影響的理解。重點在討論了環境中的 PFAS、其在食物鏈中的存在以及 PFAS 法規對水產業的影響。研討圍繞著探索基於證據的監管方法，同時考慮到更廣泛的環境和行業影響。

表 2 水週日程表

DATE	AM			PM		EVENING
18 June (Tue)	Technical Site Visits			Coastal and Flood Resilience Cities Roundtable (by-invitation)		Lee Kuan Yew Water Prize 2024 Award Ceremony & Banquet (Ticketed separately)
	SWA Golf @ SIWW2024 (Ticketed separately)			Emerging Utility Leaders Summit (by-invitation)		
	TechXchange					
	Water Convention Hot Issues Workshops					
19 June (Wed)	Joint Opening	Joint Opening Ministerial Plenary	VIP Expo Tour	Lee Kuan Yew Water Prize Lecture	Titans of Industry	Happy Hour
			Water Convention Opening Plenary		Water Convention Poster Session	
Water Expo						
20 June (Thu)	Coastal and Flood Resilience Leaders Summit			Utilities CEO Roundtable (by-invitation)		
	Thematic Forums					Industry Night @ Water Expo
	Water Convention Technical Sessions					
	Water Expo					
Water Expo						
21 June (Fri)	Water Leaders Summit					
	Industrial Water Solutions Forum					
	Water Convention Technical Sessions					
	Water Expo					
22 June (Sat)	Technical Site Visits					

	AM	PM
18 June	Workshop 1: SIWW-SWAN APAC Workshop: New Ripples in Digital Water Transformation	
	Workshop 2: GHG Emissions about Water Sector	Workshop 3: Towards Carbon Circularity in Domestic and Industrial Wastewater Treatment
	Workshop 4: Climate Adaptation and Water Resilience in Cities	Workshop 5: Building Water Resilience and Security through Alternative Sources
		Workshop 6: PFAS - Towards Consistent and Evidence-Based Management of a Complex Persistent Pollutant
19 June	Water Convention Opening Plenary	Poster Session

20 June	1.1 Planning your Water Supply Network	1.2 Asset Management of Water Distribution Systems	Special Keynote	1.3 Next Generation of Water Network Operation	1.4 Developing a Business Case for Water Loss Reduction
	2.1 Advanced Water Treatment Process	2.2 Advances in Membrane Technology		2.3 Innovations in Low Energy Desalination	2.4 Brine Concentration and Mining
	3.1 Advanced Nitrogen Removal	3.2 MABR		3.3 Tertiary Treatment for Reuse	3.4 Anaerobic Digestion Enhancement
	3.8 Pipes Underground	3.9 Water Quality Monitoring (Conveyance)		3.10 Emerging Contaminants	4.2 Reforming Governance for Climate Resilience
				4.1 Planning Climate-Resilient Cities	4.6 Building Resilience for Small Island Developing States
	5.1 Global Climate Change, Water Quality & One Health	5.2 Water Quality related to Agriculture and Food Safety		5.3 Wastewater-based Epidemiological Surveillance Part 1	5.4 Wastewater-based Epidemiological Surveillance Part 2
	6.1 Resource Circulation and Valorization	6.2 Cross-Sectoral Collaboration in the Circular Water Economy		6.3 System of Systems for a Circular Economy	6.4 Policy & Planning
21 June	1.5 The Water Utility Smart Metering Journey	1.6 The Good, Bad and Ugly of Smart Water		Closing Plenary	
	2.5 Innovation in Water Reuse	2.6 AI for Water Treatment	2.7 Emerging Water Technologies		
	3.5 Digital Twin for Used Water Systems	3.6 Industrial Wastewater Treatment – Singapore Stories	3.7 Monitoring and Management of Process Emissions (Part 2)		
	4.3A Automation and AI for Urban Water Management	4.3B High Resolution Modelling And Forecasting in Singapore	4.5 Coastal Resilience through Hybrid Infrastructure: Singapore Experience		
		4.4 Coastal Resilience through Hybrid Infrastructure: Global Experience			
	5.5 Emerging Approaches for Water Quality Monitoring and Management	5.6 Communication between Sectors and to Affected Communities	5.7 Antimicrobial Resistance (AMR)		
	6.5 Monitoring and Management of Process Emissions (Part 1)	6.6 Carbon Accounting	6.7 Water and Hydrogen Economy		

2.2 參加新加坡國際水週 (SIWW)2024 年 6 月 19 日開會

2.2.1 新加坡國際水週 (SIWW) 和新加坡清潔環境高峰會 (CESG)聯合開幕



圖 1 新加坡國際水週 (SIWW)會場

2024 年 6 月 19 日舉行新加坡國際水週 (SIWW) 和新加坡清潔環境高峰會 (CESG) 聯合開幕。由新加坡永續發展與環境部長傅海燕 Grace Fu 女士致歡迎詞，隨後即舉行聯合開幕部長級全體會議。

傅部長致歡迎詞並從氣候變遷的現實、資源約束下建構綠色未來、邁向永續和清潔的環境、適應氣候變遷的影響及創新合作共創美好未來進行發表，指出四月破紀錄的降雨導致杜拜大面積洪水、印度的一些地區正在經歷灼熱的熱浪等等氣候事件，這些極端天氣事件是向住地球的人們發出應大規模減少溫室氣體排放的呼籲，是應對氣候變遷採取果斷行動來保護我們免受其影響。必須繼續採取氣候行動，以實現 1.5 度目標，新加坡將盡我們的一份心力。

2021 年新加坡啟動新加坡綠色計劃(Singapore Green Plan 2030)，制定未來 10 年的具體目標，使能夠在 2050 年之前實現長期淨零排放。而能源消耗是新加坡碳排放的主要來源。目標是改變我們使用能源的方式並採用清潔能源來減少排放。以最大限度地在屋頂和水庫等開放空間部署太陽能。2021 年 PUB 在水庫完成了第一個大型浮動太陽能光漂浮計畫。其中容量為 60 兆瓦。並啟動班丹水庫的第二個大型浮動太陽能系統容量為 55 兆瓦，將於 2028 年竣工，產生的太陽能足以為 16,000 個政府組屋(Housing Development Board Flats :HDB Flats)供電。於企業提供能源效率補助，轉向更節能的設備進一步加速淨零轉型，並號召企業創新，以補助金來試驗和部署碳節約解決方案，永續技術的開發將有助於減少整個產業的碳足跡。

新加坡為打造成可持續發展且富有彈性的城市國家，也必須降低資源足跡。追求資源循環及更好的資源回收。成功閉合水循環即將用過的水經過處理和淨化成為新生水是個典型例子。為「零廢棄物國家」的願景。於 2019 年推出了零廢棄物總體規劃。以「減少」和「再利用」使過去十年中人均生活垃圾產生量下降了 15% 以上，而同期每美元 GDP 產生的非生活垃圾下降了 30%。

在食物廢棄物方面，我們正在完成大士樞紐食物廢棄物處理設施的開發。對於包括塑膠在內的包裝廢棄物，也正在實施飲料容器回收計畫，並研究如何將生產者延伸責任方法擴展到其他類型的包裝。也積極尋找從廢棄物中提取更多價值的方法。如今，新加坡廢棄物處理的主要方式是大規模焚燒。我們正在探索新技術，可以從混合的城市固體廢物中產生更高價值的產品，同時減少碳排放。發布替代處置技術的資訊，這些技術將涉及將混合城市固體廢物作為原料進行處理，並對其進行加工，以產生具有可持續承運需求的更高價值的產品。國家能源局將評估收集到的有關行業利益和技術商業可行性的信息，並在適當的情況下進行試點試驗，以評估擴展到全尺寸處置設施的潛力。

為邁向永續和清潔的環境也必須持續保持日常環境清潔。公共衛生是清潔綠色環境的基石，新加坡亦將 2024 年指定為公共衛生年。而環境服務業是我們促進公共衛生的重要夥伴。面對勞動力的減少和服務要求的提高，我們必須繼續利用技術來提高保持環境清潔的標準。國家環境局(National Environment Agency ; NEA)協助清潔服務公司 800 Super 和技術供應商 Weston Robot 試用自主清潔機器人，以清除水道上的漂浮物。部署在雙溪實裡達 Sungei Seletar 的全太陽能自動駕駛船將生產力提高了 80%。

在對適應氣候變遷的影響方面，除了改變我們的做法和習慣來保護環境之外，我們提前規劃以適應氣候變遷的影響也很重要。新加坡經第三次國家氣候變遷研究 預測將出現更多的乾濕極端天氣，並加速平均海平面的上升。為了保護我們的生命和生計，我們付出了巨大努力來增強洪水和沿海地區的抵禦能力。需投入大量資金建設運河、排水溝和水庫，以有效管理雨水徑流。在可能的情況下，我們將它們融入我們的城市環境中，以便它們可以兼作功能和娛樂用途的空間。未來阿爾卡夫湖(the Alkaff Lake)竣工。有兩個用途:在強降雨期間，它會成為防洪的雨水滯留池，降低周圍居民區發生山洪的風險。在陽光充足的條件下，它變成了一個休閒空間，擁有梯田濕地和瀑布小溪等供居民享用。而附近的 Bidadari

Underground Service Reservoir 地下配水庫將是新加坡第一個建在低地的水庫，並將與 Bidadari 公園融為一體，以優化土地利用。它將有助於加強供水，以滿足當前和未來比達達里居民的用水需求。作為一個容易受到海平面上升影響的低窪島嶼，保護我們的海岸線也是當務之急。

創新合作，才能共創美好未來，人類的聰明才智使我們能夠應對歷史上的全球挑戰，如最近的 COVID-19 大流行，我希望人類的聰明才智將成為我們應對氣候變遷和資源稀缺迫在眉睫的挑戰的關鍵。創新推動了新技術的發展，這些技術通常具有廣泛擴展的潛力，使解決方案能夠涵蓋並影響全球大量人口，在某些情況下甚至可以拯救生命。今天，我要向荷蘭 KWR 水資源研究所的 Gertjan Medema 教授表示敬意，感謝他在廢水流行病學 (WBE) 領域的重大貢獻。他的創新使得在 COVID-19 大流行期間能夠使用廢水監測，這在許多國家對抗病毒的傳播方面發揮了關鍵作用。其中包括新加坡，我們最近擴大了廢水監測的使用範圍，以偵測 Zika 病毒的存在。Medema 教授也是今年李光耀水獎的得主。

而創新與協作結合才能發揮最大力量，今天很高興宣布成立新加坡水務中心 (Singapore Water Center)，這是新加坡與世界銀行(the World Bank)的合作計畫。該中心設立在世界銀行集團新加坡辦事處內，將作為新加坡水管理經驗的知識中心，涵蓋從水政策到水部門的技術和創新實踐。希望該中心也將成為新加坡及其他地區城市水管理方面領先思維的寶貴來源。新加坡水中心體現了我們在 SIWW 和 CESG 上要實現的目標精神，即建立夥伴關係並提供合作平台，以推進全球議程。SIWW 和 CESG 等國際活動對於將來自政府、學術界和工業界的思想領袖、專家和從業者聚集在一起交流想法和共同創建解決方案至關重要。



圖 2 聯合開幕儀式會議

部長級全體會議由主持人 Benjamin Cashore 教授致開幕詞，成員(以下照片從左至右)為新加坡國立大學李光耀公共政策學院環境與永續發展研究所所長 Benjamin Cashore 教授； YB Tuan Haji Akmal Nasrullah bin Mohd Nasir，馬來西亞能源轉型和水轉型 (PETRA) 副部長； Anna Bjerde 女士，世界銀行營運部總經理； Ms GraceFu 女士，新加坡永續發展與環境部長、貿易關係主管部長； Dato Seri Setia Awang Haji Muhammad Juanda Bin Haji Abdul Rashid，汶萊達魯薩蘭國發展部長；中華人民共和國生態環境部副部長郭芳女士；和菲律賓環境與自然資源部副部長 Atty. Annaliza Rebuelta-Teh，共同分享了他們在 COP28 後在各自州和行業實施脫碳和可持續發展政策的見解。

會議大致內容:以實現 2005 年巴黎協定的氣候目標。這清楚地提醒我們，目前人類的努力還不足以將全球氣溫上升限制在比工業化前水準高出 1.5 度的範圍內。也認識到氣候不是沉默，而是與水、森林生物多樣性和生計融為一體，需國家政策和監管的明確性，也涉及到激勵措施和監管，為什麼呢？因為我們知道氣候改變是一個關乎生存的問題威脅。為了採取我們需要的行動，我們需要公共部門和私營部門齊心協力。為此，我們需要明確監管，而這實際上是公共部門在制定政策時制定監管制度的作用。當私部門簽訂的各式合約，涉及定

價及成本，因為解決緩解和適應問題的大部分資金都來自私營部門，包括起始之創新、技術和研發。新加坡就是一個很好的典範，今天在這裡看到如此多的私營部門代表，因為我們需要齊心協力，除在政府政策和法規上更加明確外，需更多資金挹注。氣候行動在解決緩解和調適問題時將需要數兆美元。用於針對性和有意義的社會安全網，將更多的資金能夠投資於氣候變遷，世界銀行在過去十年中做了很多工作。經將氣候融資從每年約 100 億美元左右增加到近 400 億美元，明年的目標更將把 50% 的資金用於減緩氣候變遷和適應氣候變化，也在幫助世界各地的許多客戶考慮綠色債券和碳定價等問題，提供幫助分析，並發布了一份名為《國家氣候與發展報告》的報告，該報告著眼於經濟成長和氣候行動。最後一點其實是非常重要的，那就是全球合作，才將真正紮根於確保所有的承諾，確保各國之間分享知識。部署我們擁有的技術，並在世界各地的許多國家建立能力，特別是在世界銀行所合作的國家中，需要其他國家從應對氣候變遷中獲得的能力和知識，真正展現這個新加坡水中心的重要性。水中心也將能夠向世界其他地方分享新加坡的知識和經驗。

會議成員分享各國致力氣候變遷及提高適應力等包括氣候和能源、水資源方面的一系列政策行動、領導立即承諾，有效的能源管理、垃圾轉化能源、植樹、永續發展綠色基礎設施、限制碳排、脫碳、捕碳、尋求技術解決方案、再生能源、綠色轉型、改變公民和消費者的生活方式如選擇脫碳產品和主題的好處、解決水安全和氣候問題、能源轉型和水轉型、推動綠色工業如節能加工設備和製造流程、海底電纜之能源合作等，透過公部門及私部門合作，甚至國際間合作方式，經由相互學習，採取有效方案及實施，以適合自己的方式，並在世界銀行或綠色債券的幫助下，有各種各樣的選擇，充分利用機會，共同朝著 2050 年淨零排放的目標邁進。



部長級全體會議成員

圖 3 部長級全體會議現場

2.1.2 水大會開幕全體會議(Water Convention Opening Plenary)

由新加坡國家水務局 PUB 助理首席執行官 Bernard Koh 及國際水協會主席 Tom Mollenkop 致歡詞並引言，由 Wongulla Waters 董事兼首席顧問及水大會聯合主席 Darryl Day 擔任主持人，研討城市水務從業者面臨的緊迫問題和挑戰，例如確保可持續生產和供應安全清潔的飲用水、有效和高效的收集用水和處理，城市對氣候變遷、洪水和海平面上升的彈性和適應性，水質和健康，以及水務部門的資源效率和循環經濟，分別由下列 4 位主講者演說：



1. 第一位主講者為雪梨科技大學永續未來研究所 Juliet Willetts 教授

主題: 困難時期的變革性適應：保護地球、生態系統和人類健康(Transformative Adaptation in Troubled Times: Securing Planetary, Ecosystem and Human Health):

2023 年是自 1880 年以來有記錄以來最熱的一年。生物多樣性、土地系統變化以及氮磷流量也已超出量化界限，與水部門密切相關。毫不奇怪，隨著我們從 COP28 轉向 COP29，相關討論已漸轉向如何強化對氣候變遷具變革性的適應力。在亞太地區在獲得安全飲水和衛生服務方面仍然存在很大差距，損害人類和環境健康，該地區與水有關的災害發生率最高，並對供水和廢水基礎設施和服務產生相關影響，而且該地區也對水和廢水基礎設施和服務也造成了極大影響溫室氣體排放量，包括水和廢水部門，根據 IPCC 第六次評估報告，變革性適應需要社會、經濟體系和生態系統間之互動，深度系統性風險管理與重新配置，採取適應方法如水務整合、水資源管理、雨水管理、下水道維護、供水系統管理等等。在亞太地區水務領域的背景下，我們有集體責任制定、重新思考方法、制定實際步驟並加強綜合行動，以確保地球、生態系統和人類健康。

2. 第二位主講者為荷蘭土木工程師協會和 ARCADIS 公司主席 Anusha Shah 博士

主題: 為自然和人類積極的世界建立聯繫(Making Connections for a Nature- and People-Positive World)

工程師和基礎設施之專業人員將為其子孫後代留下什麼樣的遺產？ Anusha Shah 教授將對自然、社會公平和永續發展的終身熱情置於她對基礎設施產業願景的最前沿。多年來，人類一直從大自然中索取。但我們不能繼續這樣做而不受懲罰。從全球面臨狀況來看，我們似乎仍偏離了實現 2030 年聯合國永續發展目標。儘管已經發出了數十年的警告，但未來十年全球暖化可能仍會超過攝氏 1.5 度。地球正在以前所未有的速度失去生物多樣性。問題越來越嚴重，我們的時間不多了。氣候與自然、生態系統與人類社會的相互依存關係。不論今日和未來的工程師和基礎設施專業人員不要只專注於建設資產，而是應專注相互聯繫，領導一場

協作、跨學科、基於道德的運動，進行全系統干預，為人類提供減少碳排放、增強氣候適應能力的多重好處、改善健康和福祉、恢復和恢復自然活力。探討應對氣候和自然危機的真正障礙，並就如何打破在整個價值鏈（包括投資者群體）中推動傳統和非常規合作夥伴關係，從而使城市具有可持續性、彈性和包容性。

3. 第三位主講者為新加坡科學與環境中心 (CSE) 主任 Sunita Narain 博士

主題: 為什麼公平是阻止氣候變遷的關鍵? (Why Equity is Key to Stopping Climate Change)

氣候變遷是我們面臨的生存威脅。同樣明顯的是，氣候變遷涉及共享一個共同的大氣空間，這需要一個合作框架。南方國家的發展權必須受到保障，即使它們的發展方式不同，也不至於先污染後治理。顯然，成長的承受能力對於永續發展至關重要。

沒有公平和氣候正義，我們就無法應對氣候變遷。這絕對是關鍵。隨著世界面臨日益嚴峻的氣候變遷現實，這個問題變得更加迫切。我們正在世界上看到極端天氣事件。氣候變遷導致降雨事件更加多變、極端降雨以及反季節降雨。這反過來又會影響水的供應並導致洪水和乾旱。正是出於這個原因，我們不僅需要面對氣候變遷的現實，因為它需要合作和公平，而且還迫使我們尋找新的管理範式，包括改造我們的供水和衛生系統，以實現氣候風險世界之永續發展。

4. 第四位主講者為國際水協會 YWP (Young Water Professionals) 菲律賓聯合創辦人 Yang Villa

主題: 青年行動：今天就爭取未來的水安全 (Youth Action: Claiming Future Water Security Today)

30 歲以下的青年約佔世界人口的一半。在水務領域，一波年齡在 35 歲及以下的年輕水務專業人士 (YWP) 開始佔據領導地位和影響力。面對未來的巨大不確定性，今天的年輕人正在利用並為前所未有的資訊、技術和網路財富做出貢獻。強調青年行動對於確保未來水安全至關重要的三個領域：(1) 技術

社會創新，(2) 系統轉型，以及 (3) 公正轉型。最後，我將呼籲採取行動，介紹青年參與金字塔，作為水部門組織成為有意義的青年參與推動者的指南。

2.1.3 海報論文展示

以本次會議六大主題共展出超過 250 張海報論文，其中主題五:水質與健康主題約 21 篇，包括一種新型自動化系統(Novel Automation System)，用於透過標準方法測試水中的大腸桿菌及總大腸桿菌群、應用成像流式細胞儀(Imaging FlowCytobot ;IFCB)監測新加坡海水中的海洋浮游植物、以自動計數工具用於監測水庫 Chironomid Larvae 搖蚊幼蟲(俗稱紅蟲)、水中動物帶狀病毒(Zoonotic Viruses)的健康監測、開發能夠測量濁度和細菌濃度的即時感測器、水中氚(Tritium)測試方法的開發、一氯胺對間歇性供水系統中大量水微生物群落的影響中試研究、增強水樣中腸病毒的檢測優化、使用紫外線-AOP 處理甜味劑可降低生態風險、新加坡水中的人類腸道病毒 Crassphage 監測、孟加拉的證據顯示大腸桿菌可作為醫療保健安全用水的指標等等，由於 2019 年底的 COVID-19 全球大流行迄今 3 年多，看出此次水大會本主題及海報研究論文，較偏重於水中微生物議題。



水大會海報展示現場



水大會海報展示-相見歡
(陳文祥處長與美商傑明 Paul Chuo 副總合影)

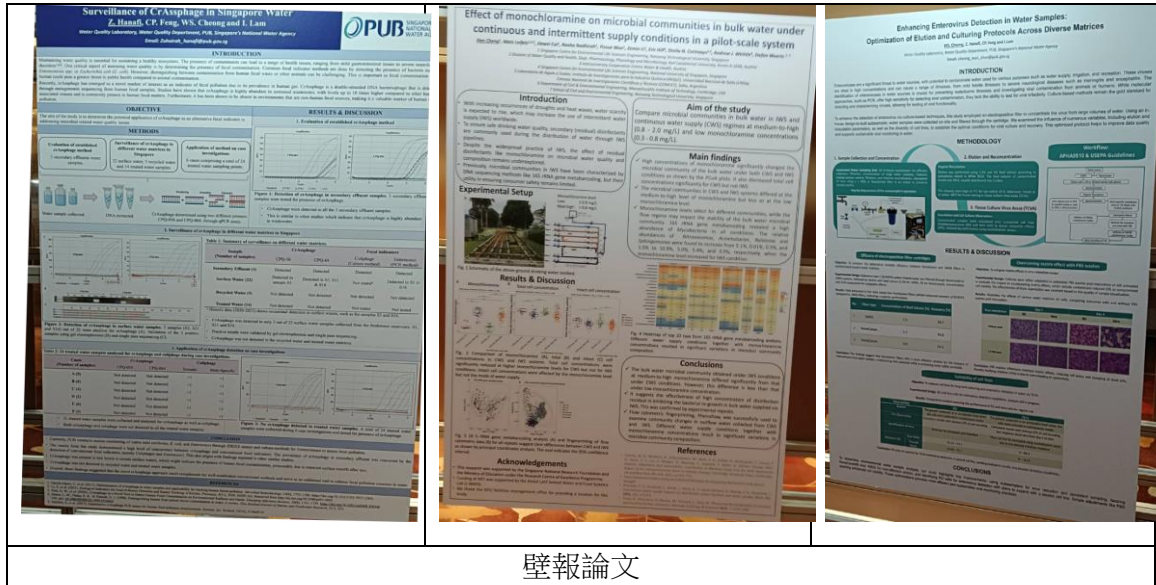


圖 4 壁報論文現場

2.1.4 水務博覽會 (Water Expo)

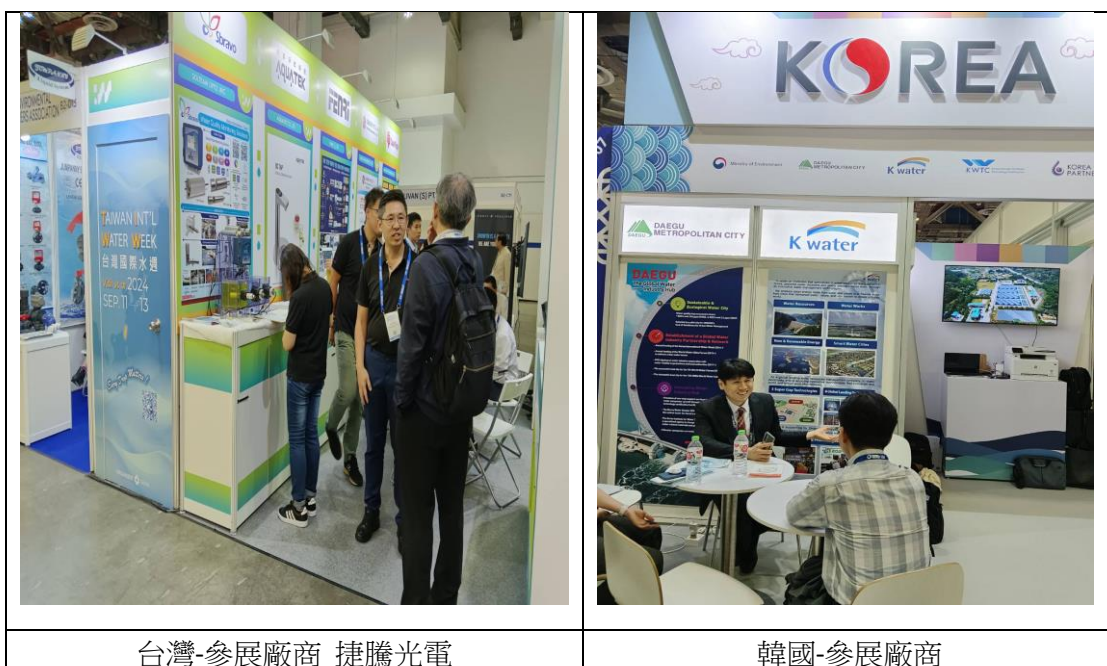
國際水週 (SIWW) 水務博覽會係由新加坡國際水週私人有限公司 Singapore International Water Week Pte Ltd 與慕尼黑 Messe München 展覽公司建立長期合作關係，共同舉辦新加坡國際水週 (SIWW) 水博覽，這是全球頂級水務活動。作為 SIWW 的基石，水博覽會是為東南亞市政和工業用水用戶提供最新城市水技術、創新和解決方案的卓越市場。

本次水務博覽會 (Water Expo) 來自 100 多個國家和地區的贊助商、合作夥伴、參展商以及專業觀，達 500 家企業和團體參展，內容十分豐富，橫跨水利產業的各個面向。知名公司包括 Jacobs、Keppel、Nijhuis Saur Industries、Ramboll、RSK、Sembcorp、Suez、Toray Industries、Xylem、EcoLab、Hach、Innotics、Meiden、Sand Technologies 等。來自世界各地的參展商和與會者將展示和探索與水務產業相關的最新技術和創新，包括智慧水務技術、智慧水錶、機器人、數位孿生技術等。吸引了 20,000 以上參訪者，500 個以上水務領袖，促成水領域的跨國合作及備忘錄簽署。

此次展覽會，了解水質監測及水處理設備，特別了解 PFAS 處理技術，SUNRESIN 廠商之 SEPLITE® LSI106G 強鹼性陰離子交換樹脂是一種特殊的凝膠型強鹼陰離子樹脂，專為去除 PFAS (包括 PFOA 和 PFOS) 和高氯酸鹽 (尤其是

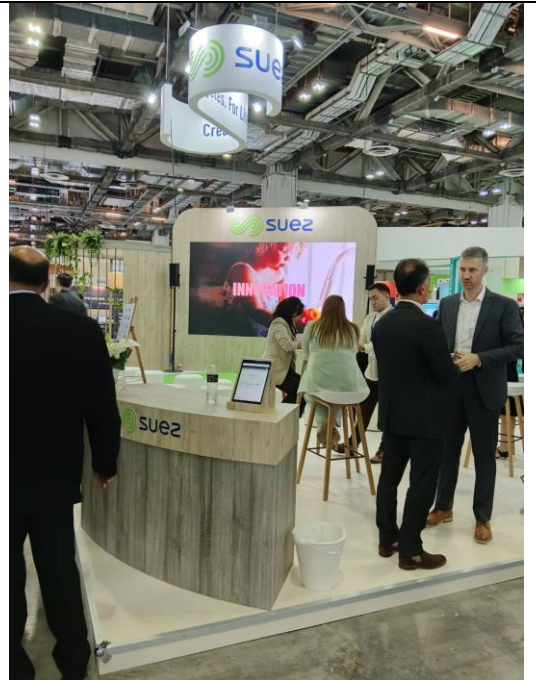
飲用水中的高氯酸鹽) 而開發。它以凝膠形式提供，特殊的基質及其三丁胺官能基使其對飲用水中的污染物具有高度選擇性。LSI106G 確保了更高的總容量和機械穩定性，從而保證了其更好的耐壓性能，並在高線速度運行下達到 PFAS 的無檢出水平，惟 PFAS 實驗室試驗濃度為數十 ppb，國際關注濃度是 ppt，未來實場運用，不同水源所含有機物 ppm 濃度，是否造成影響，成效如何仍需實場試驗及驗證。

台灣參展廠商-捷騰光電專於光感測及光通訊，也著力於為客戶提供水質感測方案，其『Sbravo』品牌，提供多樣化的光學水質感測方案。利用多光譜技術與水質產品設計經驗，製造出可靠、穩定的水質感測器。可適用於：環境監測、飲用水監測、污廢水處理及智慧製程管理。

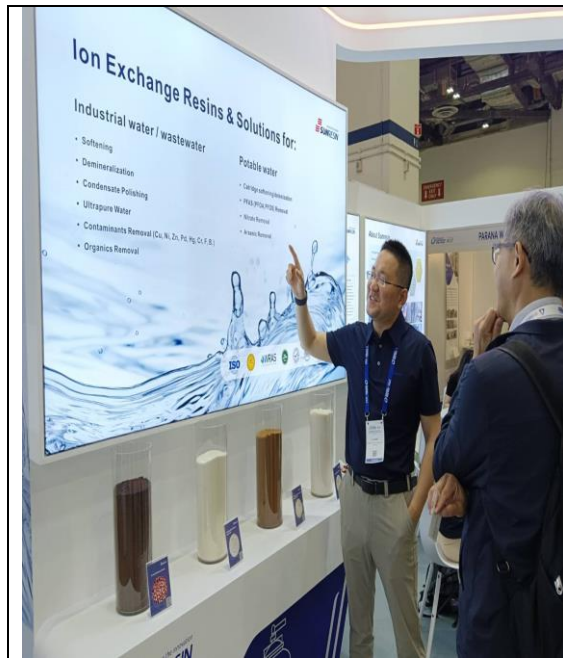




新加坡-參展廠商



法國-參展廠商



中國-參展廠商



水務商業論壇-合作夥伴、策略網絡、產品發布和有價值的知識交流

圖 5 水務博覽會

2.2 2024 年 6 月 20 日現場技術參訪

2.2.1 The Keppel Marina East Desalination Plant 海淡廠參訪

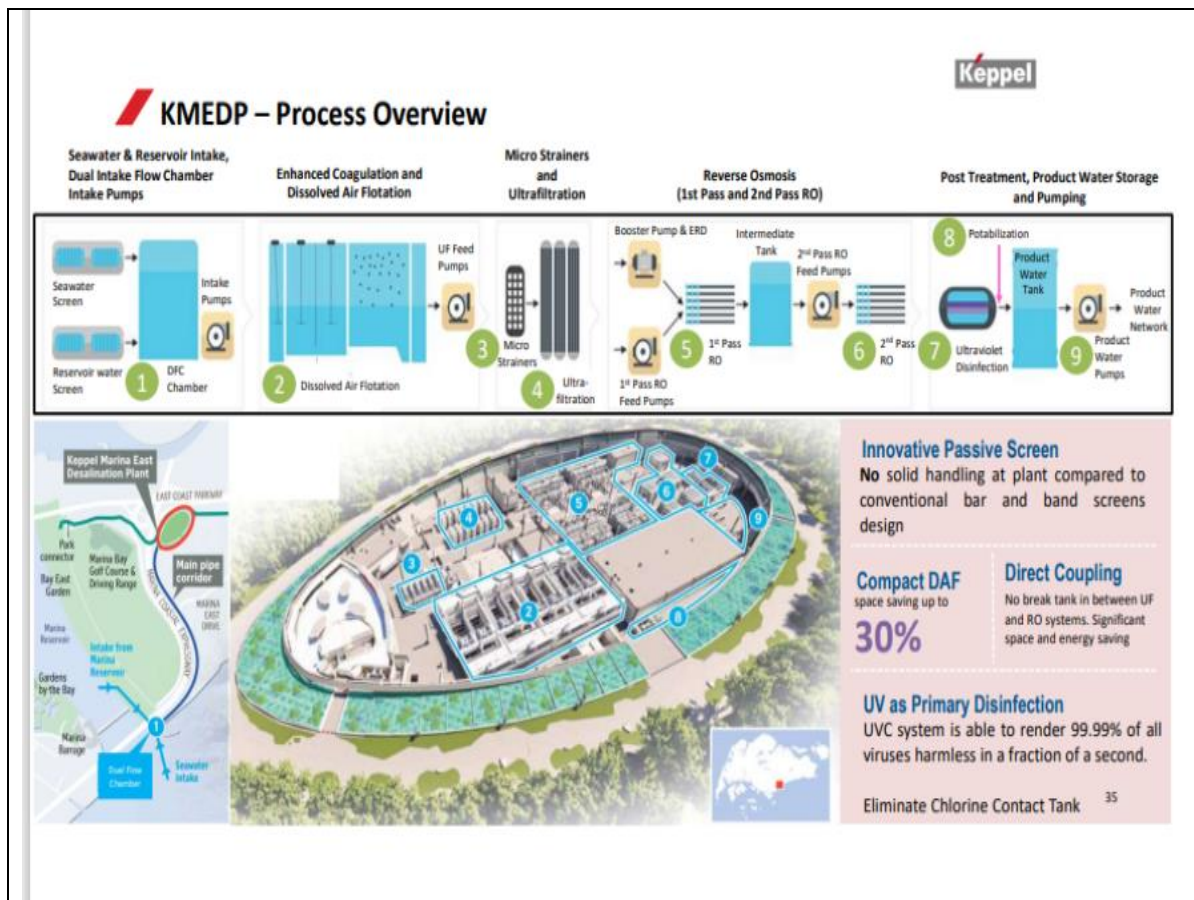
吉寶濱海東部海水淡化廠(The Keppel Marina East Desalination Plant)為新加坡第四座海水淡化廠，位濱海東，於 2017 年 6 月動工，2020 年加入營運。從設計、建築、持有和營運(Design, Build, Own and Operate, DBOO)均由吉寶基礎設施控股公司(Keppel Infrastructure Holdings Pte Ltd, Kepinfra)負責，為期 25 年，可生產約 30 mgd (約 13.7 萬 CMD)的飲用水。最初設計時係考量能源效率問題，因處理淡水的能耗遠低於海水淡化，所以水庫水位高時，會優先處理水庫淡水，此海水淡化廠為第一個大規模取用不同雙水源，可同時處理水庫淡水和海水。在潮濕或乾燥的天氣條件下，能夠在乾燥天氣處理海水，或在下雨天處理從濱海水庫 Marina Reservoir 抽取的淡水。

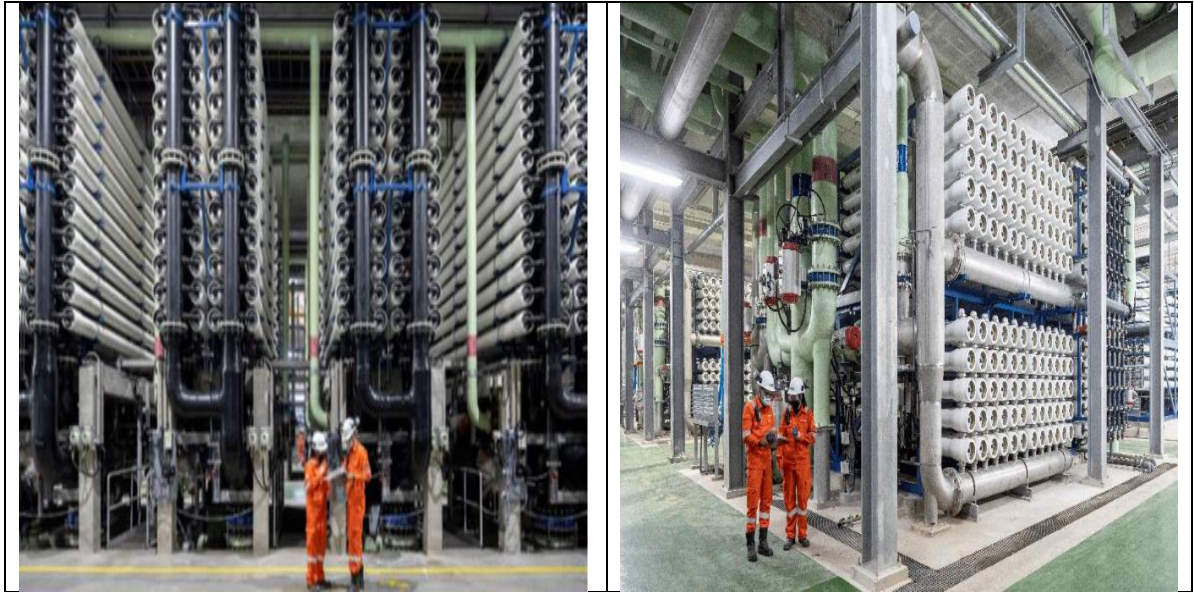
The Keppel Marina East Desalination Plant 設計概念為永續性環境，理念為基礎建設應該為人設計，所設計之綠色環保屋頂毫不費力地融入鄰近建築物、公園環境景點，也融合了環保景觀中的友善元素設計，例如雨水管理策略和集水系統保留雨水並循環利用於灌溉和其他用途的水。KMEDP 讓人們了解水的重要性及人類生活中重要的自然資源。該廠也實現了土地的多重利用，將處理設施位地下化，建設綠色屋頂與社區休閒公共開放空間融為一體。吉寶濱海東部海水淡化廠也是第一個擁有可使用的綠色空間用於公共休閒。海淡廠之水處理設備建於位於地下，其頂部有一個綠色屋頂當於近 3 個足球場的大小。該廠建於三公頃的土地上也與東海岸公園融為一體，連接東海岸公園和濱海灣東花園。

在處理程序上，海水(SINGAPORE STRAIT)與水庫水(Marina Reservoir)兩股分別經濾篩及進流，經匯集室，進水後先經加強混凝(Enhanced Coagulation)及 8 台溶解空氣浮除 (dissolved air flotation)預處理單元，再進入微型過濾 (Micro Strainers)、超過濾 (Ultrafiltration)；再進入兩段式逆滲透系統 (SWRO+ BWRO)、紫外光消毒系統 (Ultraviolet Disinfection)及添加石灰穩定系統，UV 消

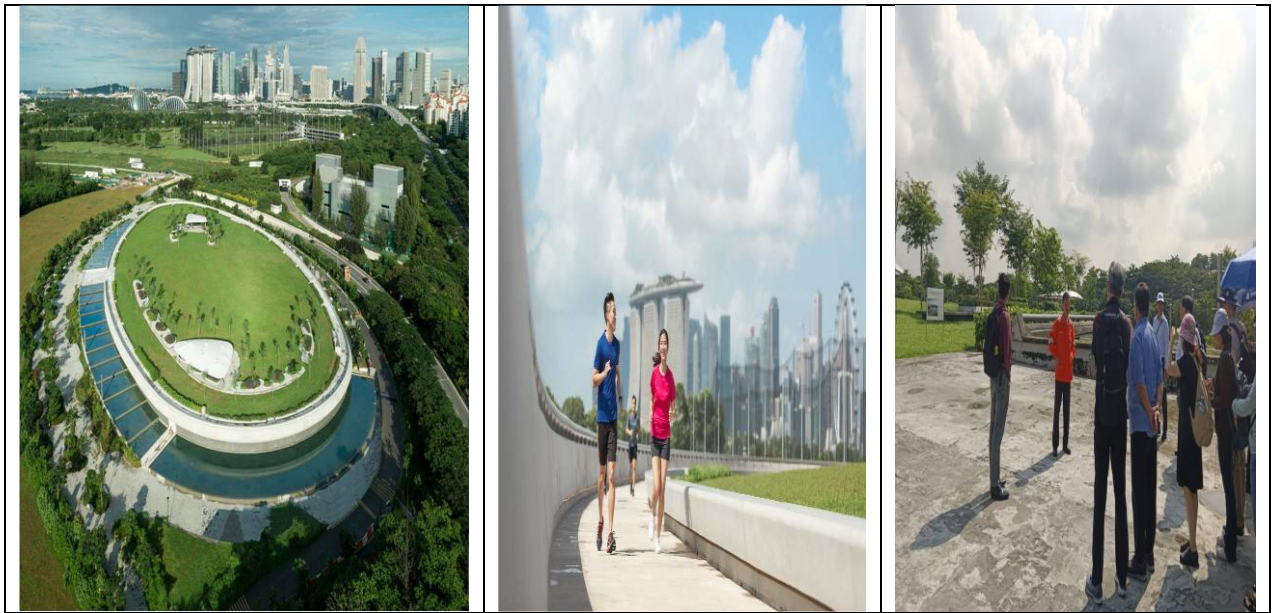
毒能夠在不到一秒的時間消除 99.99% 的病毒，石灰穩定可調整 pH 及改善飲用水口感，整體產水回收率最高可達七成。對於高能耗的逆滲透系統，使用增壓幫浦配置能源回收系統 (ERD; Energy Recovery Device) 以節省電力。此外，處理設施直接耦合之設計，包括超濾和逆滲透系統之間沒有斷流槽(break tank)，可達到節省空間和能源，另此設計也為兩種取水模式電湧保護編寫的獨特控制程式和邏輯系統，為操作和模式切換時的操作知識

吉寶濱海東部海水淡化廠操作程式中也內建了模擬器，讓操作員在實施操作前，可以模擬模式運行不同的情況，並將模擬的結果及最佳化作為操作經驗及學習，亦強化操作人員培訓，在測試及運行 T&C(Testing and Commissioning) 之前的模擬可減少了淡化廠之調試的時間，廠內實施高水準數位化，完全自動化操作，維持各種平台和軟體間之溝通順暢。





The Keppel Marina East Desalination Plant 處理程序概述



The Keppel Marina East Desalination Plant -社區融合公共開放空間



圖 6 Keppel Marina East Desalination Plant 海淡廠參訪

2.2.2 Marina Barrage 濱海堤壩參訪

新加坡四大供水來源為向馬來西亞購買、雨水收集、新生水以及海水淡化。2030 年新加坡新生水與淡化海水總產量可滿足約八成用水需求，另至 2060 年新加坡與馬來西亞柔佛供水合約結束時，85%新加坡水源供給將來自新生水和海淡水。在地水源 (local catchment water) 是新加坡第一國家水龍頭，也是新加坡永續用水的支柱。PUB 以任何方式在 710 平方公里有限的國土內收集落在新加坡的每一滴水，推動大規模雨水回收計畫，利用各種排水溝、運河、河流綜合網絡進行收集，集水面積已從新加坡陸地面積的一半增加到三分之二，收集雨水被輸送到 17 個水庫儲存，再將這些水淨化處理成飲用水。

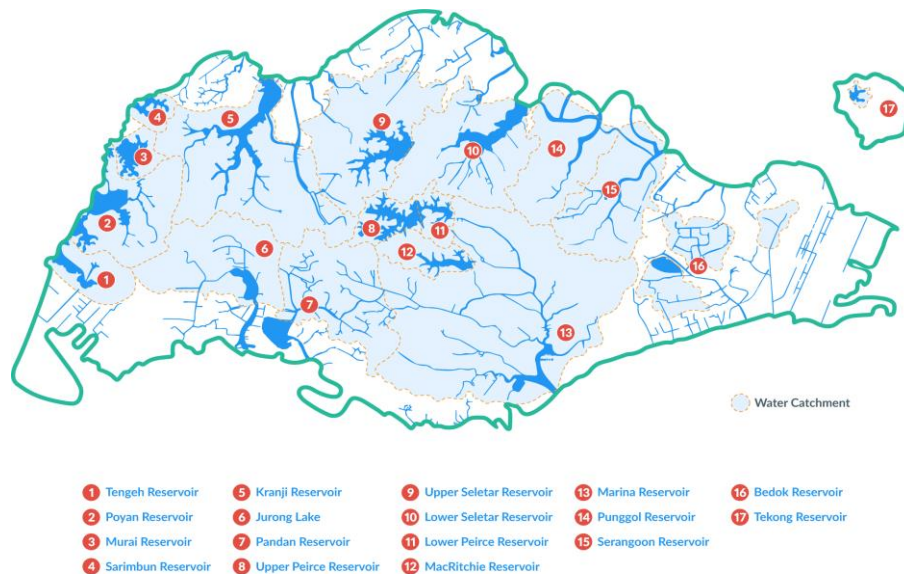


圖 7 新加坡在地水源 (local catchment water) 17 個水庫分佈

濱海堤壩 Marina Barrage 的構想，源自 1987 年時任新加坡總理的內閣資政李光耀，於南部填土地帶外的濱海灣 (Marina Bay) 灣口建構大壩，形成河口堰，海堤壩是一座橫跨 350 公尺寬濱海海峽的水壩，可隔絕海水，並於河口形成一座淡水湖，儲備淡水。濱海堤壩自 2002 年正式啟動，2004 年動工，2007 年完工，

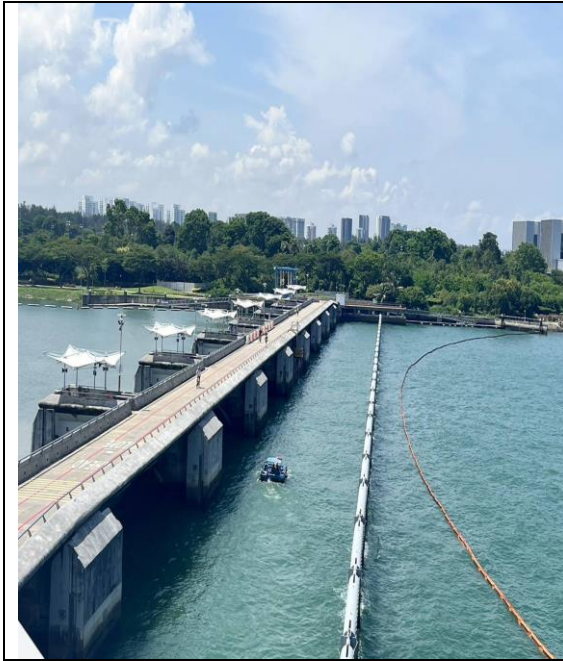
2008 年 10 月 31 日正式開放，花費 2.5 億元新加坡幣，流域面積達 10,000 公頃，蓄水量 1,000 萬 m³，形成的集水區占新加坡 1/6 國土面積，是新加坡在市區的第一個集水區，同時也是最城市化及最大的集水區，2009 年 4 月開始透過雨水自然替代進行淡化。2010 年 11 月 20 日濱海水庫成為淡水水庫。

濱海堤壩帶來三個好處：水源、防洪和作為生活方式吸引力場所，水源來自流經新加坡市中心的五條河，在大雨期間，大壩上的九道閘門-波峰門(Crest Gate)會在退潮時啟動，將多餘的雨水排入大海。在漲潮的情況下，巨型水泵可以將多餘的雨水排入大海。不受潮汐影響，濱海水庫水位常年維持恆定。這裡常舉辦水上活動如划船、划艇和龍舟等各種娛樂活動。以此建立人與水的關係，人們會更珍惜水資源並成為水的守護者。而濱海堤壩的綠色屋頂，也是綠意盎然的開放式寬闊空間，開放讓人們放風箏、擁抱藍天，休閒時光。

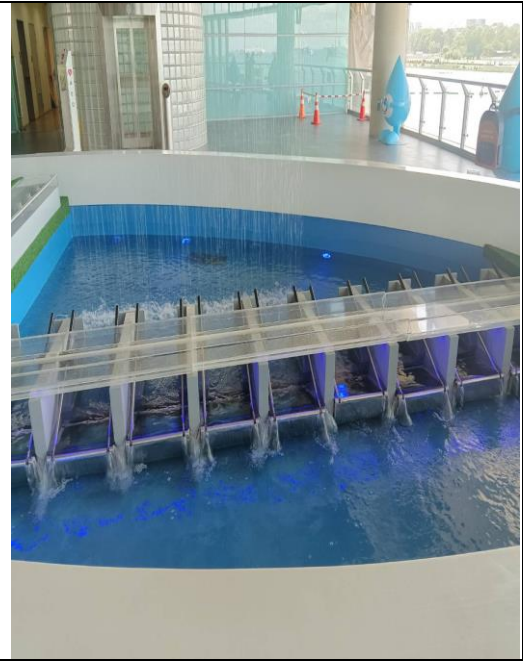
濱海堤壩另一個重要功能：防洪，減少新加坡低窪地帶的淹水。每降暴雨，濱海堤壩的九道稱為「波峰門」(Crest Gate)的壩頂鐵閘會開閘洩洪，在退潮時將蓄水池內高漲的積水排入海中。遇暴雨時，7 個巨型排水幫浦將啟動，將多餘的雨水排放入海，排水泵操作速度為每分鐘能排空一個奧林匹克泳池的水量(250 萬公升)，將多餘的雨水排放入海，緩解新加坡低窪地帶的淹水。

此外，新加坡致力於打造綠色國家，在濱海堤壩也展示了新加坡致力於打造綠色國家的決心。太陽能公園 (Solar Park)，這是全新加坡規模最大的太陽能板集中區之一，共裝置了 405 片的太陽能板，所產生的電力足可用於濱海堤壩全天室內照明。

濱海堤壩堤防一樓為新加坡資源永續展覽館。館內展示關於新加坡走向永續水源及環境的故事。訪客透過互動式多媒體顯示器、展品及遊戲，對環境與水源議題有更深的了解與體會；也可從中了解如何善用現有資源。



濱海堤壩(左側淡水;右側海水)



濱海堤壩模擬器(永續展覽館)



新加坡資源永續展覽館(一樓)



濱海堤壩-導覽



新加坡水故事-導覽

廢棄物減量-導覽

濱海堤壩的綠色屋頂-開放遊憩空間

圖 8 Marina Barrage 濱海堤壩參訪現場

第三章 新加坡新創技術公司、PUB 水質部門參訪

3.1 113 年 6 月 18 日新加坡新創技術 Nm3 Tech 公司參訪及交流

水是人類生存所必需的稀缺資源，需要滿足家庭使用、農業、工業和市政用途的日常需求。由於廢水污染、過度抽取和密集開採，流域盆地和地下水容易受到污染和枯竭，各行業迫切需要可靠的水質監測，包括水務、生態環境、水產養殖和漁業、石油和天然氣等，Nm3 Tech 公司即以創新、全面的環境感測和監測，提供顧客客製化解決方案領先，幫助政府組織和社區共同保護所生活的地

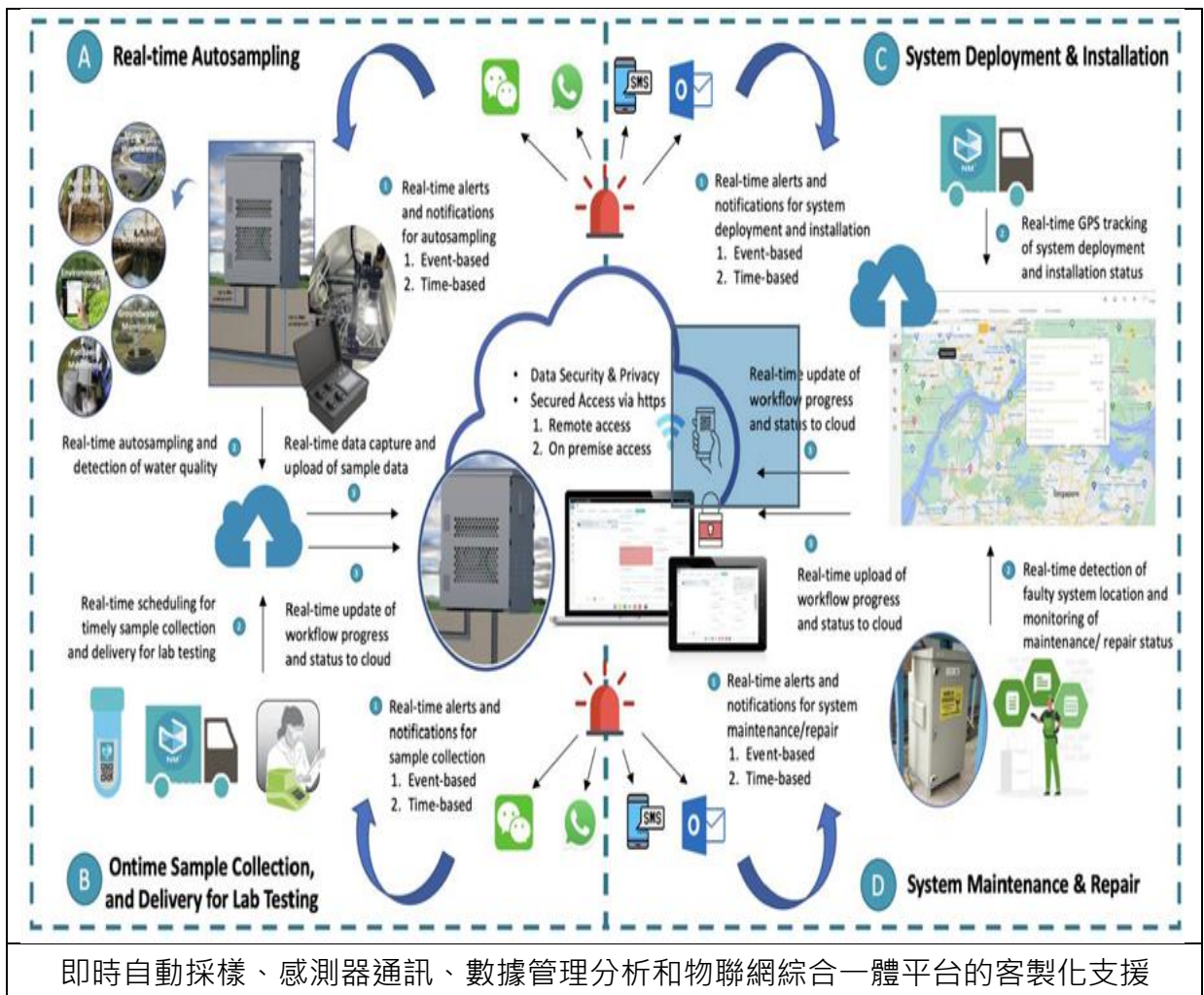
球。該公司專業於物聯網(IOT NETWORK)和大數據分析方面知識，涵蓋水、空氣和土壤品質監測的先進可靠的系統，提供利害關係人能夠做出明智的決策並採取有效的行動，以實現環境的可持續性和對子孫後代負責任的資源管理。

該公司主要專業技術包括全自動採樣器；水中微小無脊椎浮游生物及藻類之人工智慧(AI)自動監測；環境、食物及製藥之微生物快速檢測技術；攜帶型細菌檢測儀(檢測時間 6-8 小時)；水中移動式多重感測器；現地處理-水及土壤修復之微生物快速處理(如石油化學污染 TPH、COD 降解)、掩埋場滲出液高含量 COD 及氨氮電化學反應去除等。依顧客需求提供現地即時客製化之解決方案，整合了領先技術提供者的先進技術，以增強利益相關者的營運彈性、生產力、安全性和資料安全，應對用水需求不斷增加、營運成本上升、人力限制和氣候變遷等新挑戰的情況。此外，當組織部門有任何問題，Nm3 Tech 公司協助部門共同解決，與新加坡公用事業局 PUB 依據 US EPA 600/4-84/013 共同開發自動病毒採樣器。於新加坡部署了 200 多台水採樣和檢測設備，實現了物理、有機、無機、放射性和微生物參數的智慧自動水質測試、分析和數據管理。其中自動採樣器涵蓋不同運用，採樣可達 30 米深度、並能即時警報、通知之遠端控制，包括：即時自動採樣、感測器通訊、數據管理分析和物聯網平台的客製化支援。

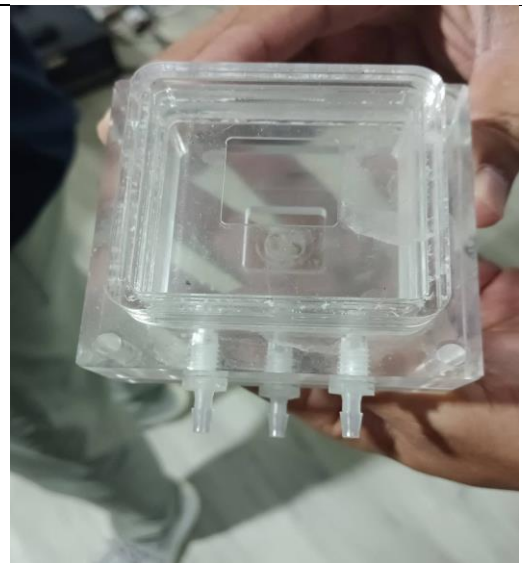
以人工智慧(AI)的創新自動偵測器，已大規模運用於定期監測水處理廠和分配系統中的搖蚊(微型無脊椎動物)，這對於及早發現搖蚊幼蟲感染非常必要且重要，而搖蚊幼蟲感染是水質不良的重要指標，確保每個人的安全用水。自動化微型無脊椎動物水質監測系統由二個子系統組成：一個濃縮器和一個光學檢測器，能夠在 1 小時內以準連續檢測模式檢測 1000 公升處理水中的搖蚊幼蟲(最多 24 個樣本/天)，並且可以以最少的維護要求實現高通量濃度(高達 50 公升/分鐘)。檢測準確度大於 80%；測試時間<2 小時；系統的穩定性和可靠性已通過 1,400 多個水樣的驗證，Nm3 Tech 公司表示目前已建立 6 種微型無脊椎動物資料庫，此也

可運用於梨形鞭毛蟲 *Giardia* 及隱孢子蟲 *Cryptosporidium* 檢測，檢測回收率達 60~70%，較人工檢測回收率約 20~30% 來的高，可大大縮減檢測時間。

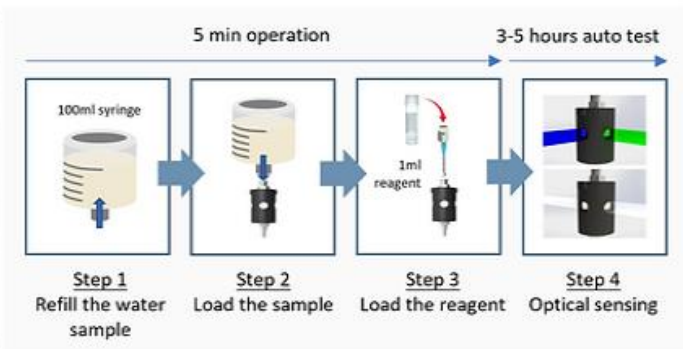
而簡便攜帶式微生物生物檢測器，可防止水傳播疾病爆發並確保社區用水安全。簡單於現場快速檢測水生細菌，檢測高靈敏度的特定細菌螢光物種，可以輕鬆用於細菌識別，並且可以整合到物聯網網路中，從而實現智慧水務、智慧城市和智慧家庭的應用。



即時自動採樣、感測器通訊、數據管理分析和物聯網綜合一體平台的客製化支援



微小無脊椎浮游生物及藻類之人工智慧(AI)自動監測



簡便攜帶式微生物生物檢測器



自動採樣器廣泛運用於新加坡達 250 處



陳處長文祥致贈伴手禮、台水公關品及宣導品，並宣揚台水 50 周年



左起鐘錦珍、吉偉、鄭偉鵬總經理、睿科執行長 Terence Cheong、陳文祥處長、Nm3 Tech 執行長 Lei Lei 合影

圖 9 新加坡新創技術 Nm3 Tech 公司參訪及交流

3.2 113 年 6 月 21 日拜訪新加坡 PUB 水質部門會談

公用事業委員會(Public Utilities Board 簡稱 PUB) 於 1963 年 5 月 1 日成立，原隸屬於貿易和工業部(the Ministry of Trade and Industry)之法定委員會，負責促進新加坡的電力、水和天然氣供應，於 2001 年 4 月 1 日重組為國家水務局，僅負責供水，原所負責電力和天然氣的管理和控制移交給能源市場管理局(the Energy Market Authority,EMA);現為新加坡政府永續發展與環境部(the Ministry of Sustainability and the Environment)下屬的法定委員會，負責取得、生產、分配和回收水，以確保新加坡可持續和高效的供水，故也被稱為新加坡國家水務局(Singapore' s National Water Agency)。

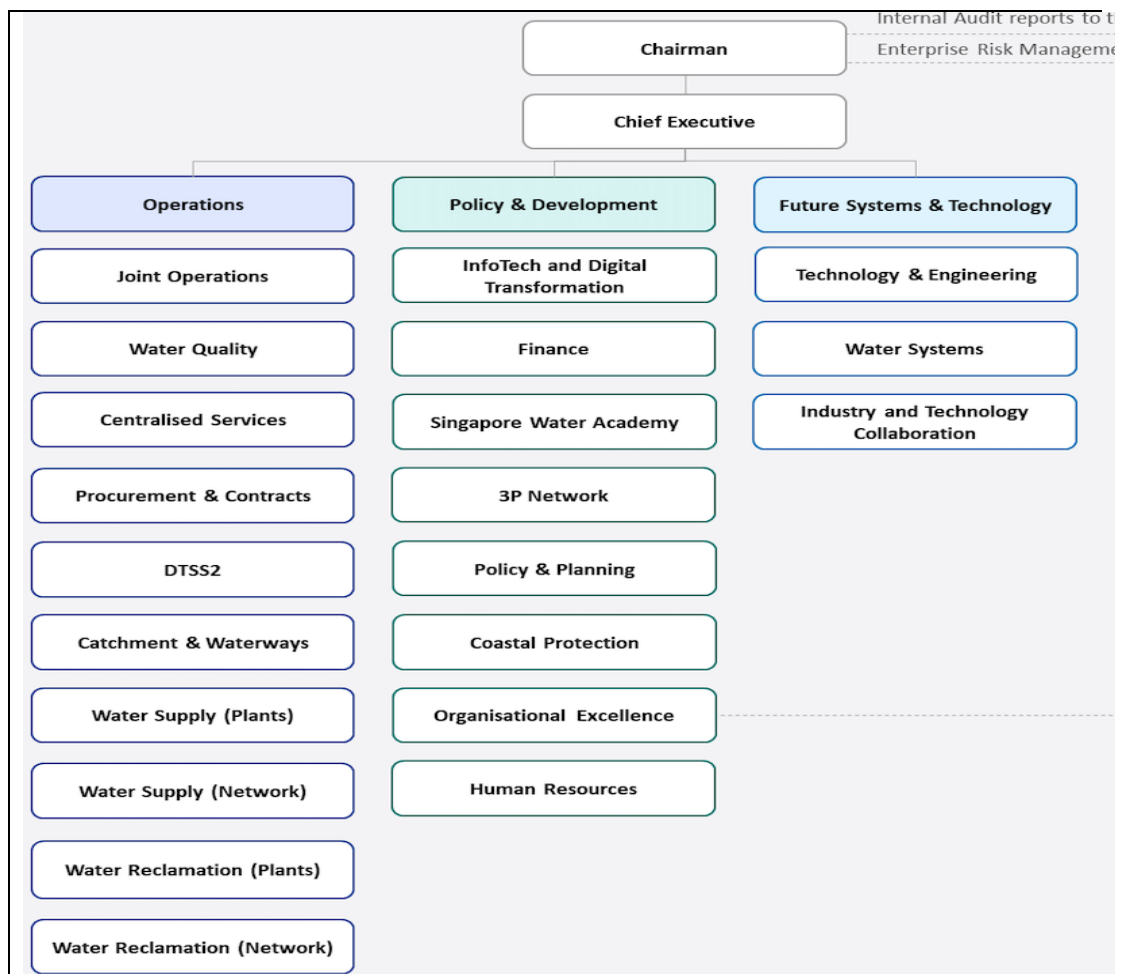


圖 10 PUB Singapore' s National Water Agency 組織架構

Joint Operations (聯合運營) 部門主要業務:

1. 水資源管理：聯合運營部門協調不同水務機構的合作，確保水源、供水系統和污水處理設施的高效運作和管理。
 2. 應急應變：在水災或其他突發事件中，聯合運營部門會與其他機構合作，迅速做出反應，保障水務系統的穩定性和安全性。
 3. 設施維護：聯合運營涉及定期檢查和維護供水及排水設施，確保其正常運行，並進行
 4. 跨部門協作：與其他公共和私人部門合作，實施創新技術和最佳實踐，以提高水資源的使用效率和可持續性。
- 這些業務內容有助於確保新加坡的水資源得到有效管理，並滿足城市的需求。

Water Quality 部門主要業務：

1. 水質監測與檢測：進行日常水質監測，包括取樣和實驗室分析，以確保供水和污水處理過程中的水質符合國家標準和健康要求。
2. 水質保障：監控和分析水源（如河流、湖泊和地下水）以及處理過程中的水質，確保水質保持在安全範圍內，並實施必要的措施來應對水質問題。
3. 問題診斷與應對：識別水質異常或污染源，並實施糾正和預防措施，以維護水質的穩定性。
4. 研究與創新：進行水質相關的研究，開發新技術和方法以提高水質管理和處理的效率。
5. 公眾教育與信息傳遞：提供水質信息和教育資源，增強公眾對水質保護和安全的認識。

以確保了新加坡的水資源安全、健康，並支持可持續的水管理。

Centralised Services (中央服務) 部門主要業務：

1. 行政支援：提供各部門所需的行政和後勤支援，包括人力資源管理、財務處理和文書工作等。
2. 資訊技術服務：管理和維護 PUB 的資訊技術基礎設施，確保系統的穩定運行和數據安全，支持數據分析和技術創新。
3. 設施管理：負責維護和管理 PUB 的辦公場所和其他設施，確保其正常運行和有效利用。
4. 內部流程優化：設計和實施內部流程和標準化程序，以提高運營效率和服務質量。
5. 業務支持：協調和支持部門間的合作，提供業務運營所需的各類資源和服務。
6. 合規與風險管理：確保所有部門的運作符合相關法律法規和內部政策，並進行風險評估和管理。

確保 PUN 運營高效、有序，並支持其水資源管理和供應業務的順利進行。

Procurement & Contracts (採購與合同) 部門主要業務：

1. 採購管理：負責採購所有與 PUB 業務相關的物資、設備和服務，包括制定採購策略、選擇供應商、進行競標及合約談判等。

2. 合同管理：制定、審核和管理與供應商和承包商簽訂的合同，確保合同條款的履行和合規。
 3. 供應商管理：評估和選擇供應商，建立和維護良好的供應商關係，監控其表現並解決任何合同或供應問題。
 4. 成本控制：確保採購活動符合預算，通過談判和優化採購流程來降低成本，提升採購效率。
 5. 合規性：確保所有採購和合同活動遵守內部政策、法律法規及相關標準，以避免法律和財務風險。
 6. 市場分析：進行市場調查和分析，了解市場趨勢，支持制定採購策略和決策。
- 確保 PUB 在物資和服務的獲取過程中實現效率和合規性，支持其水務和基礎設施運營的順利進行。

DTSS2 (Deep Tunnel Sewerage System Phase 2) 部門主要業務：

1. 工程設計與建設：負責 DTSS2 工程的設計和建設，包括地下深隧和污水處理設施的規劃、設計、施工和驗收。
2. 系統集成：確保 DTSS2 的各個部分（如污水收集、輸送和處理設施）之間的有效集成，以實現系統的整體功能。
3. 項目管理：監督和管理 DTSS2 項目的進度、預算和質量，確保工程按計劃完成並符合技術標準。
4. 維護與運營：負責 DTSS2 系統的日常運營和維護，確保系統運行高效、可靠，並解決運營過程中出現的問題。
5. 創新技術應用：採用先進技術和最佳實踐來提升 DTSS2 系統的運作效率和環境可持續性。
6. 環境和公共安全：確保工程和系統運營過程中符合環保標準，並關注公共安全和健康，減少對周圍環境和社區的影響。

DTSS2 是新加坡的重大基礎設施項目，旨在提升污水處理能力，支持城市的長期可持續發展。

Catchment & Contracts (集水區與合同) 部門主要業務：

1. 集水區管理：負責新加坡集水區的規劃、建設和管理，以最大化雨水的收集和利用。這包括集水區的土地使用規劃、雨水收集系統的設計與維護，以及相關的環境管理。
2. 水源保護：確保集水區內的水源不受污染，通過執行水質保護措施和監控水源質量，保護水資源的可持續性。
3. 合同管理：制定、管理和監督與集水區相關的合同，確保合同條款的履行，包括服務合同和建設合同等。
4. 項目協調：協調集水區開發和改善項目的實施，包括與其他部門和機構的合作，確保項目按計劃推進。
5. 公共參與：促進公眾對集水區保護和管理的了解與參與，進行相關的宣傳和教育活動。
6. 政策和規範制定：制定和更新集水區管理和保護的政策和規範，以符合最新的法規和最佳實踐。

確保了新加坡集水區的有效管理和保護，支持城市水資源的可持續利用和發展。

Water Supply (Plants) 部門主要業務：

1. 水處理設施管理：運營和維護新加坡的水處理廠，包括取水、淨水處理和儲存設施，確保供水系統的高效運行。
2. 水質控制：監控和管理水處理過程中的水質，確保處理後的水符合健康標準和規範。
3. 設施維護與升級：定期檢查和維護水處理設施，進行必要的升級和改造，以提升設施的效率和可靠性。
4. 能效管理：提高水處理設施的能效，通過技術創新和最佳實踐來降低運營成本和環境影響。
5. 應急管理：處理水處理設施中的突發事件，制定應急預案，確保在異常情況下的穩定供水。
6. 數據管理與報告：收集和分析水處理設施的運行數據，生成報告並提供給相關部門，支持決策和持續改進。

確保了新加坡水供應系統的穩定性和水質安全，支持城市的日常用水需求。

Water Supply (Network) 部門主要業務：

1. 供水網絡管理：負責新加坡供水管網的運營和維護，包括管道的安裝、檢查和修理，確保供水系統的正常運行。
2. 水壓和流量控制：監控和調節供水網絡中的水壓和流量，保證各區域的穩定供水。
3. 漏水檢測與修復：識別和修復供水管網中的漏水問題，降低水損失並提高系統效率。
4. 網絡擴展與升級：規劃和實施供水網絡的擴展和升級工程，以應對城市增長和需求變化。
5. 維護計劃與管理：制定和執行預防性和糾正性維護計劃，確保供水網絡的可靠性和長期可用性。
6. 應急響應：在供水系統出現故障或突發事件時，快速反應和處理，最小化對供水服務的影響。
7. 數據管理與報告：收集和分析供水網絡的運行數據，生成報告，支持決策和持續改進。

這些業務確保了新加坡供水網絡的穩定運作和高效服務，滿足城市的日常用水需求。

Water Reclamation (Plants) 部門主要業務：

1. 污水處理設施運營：管理和運營污水處理廠，確保污水從收集到處理的過程中符合設計標準和環境法規。
2. 處理過程監控：監控污水處理過程中的各項指標，包括化學需氧量 (COD)、懸浮固體 (SS) 等，確保處理效果達到規範要求。
3. 水質保障：進行水質測試和分析，確保處理後的再生水符合安全和環保標準，並能夠回用或排放。
4. 設施維護和升級：定期檢查和維護處理設施，進行必要的修理和技術升級，以保持設施的高效運作。

5. 能效和資源管理：提升處理設施的能效，降低運營成本，並有效管理資源，包括再生水的回用和污泥處理。

6. 應急管理：處理處理設施中的突發問題，如設備故障或處理異常，確保即時應對，維持系統的穩定性和安全性。

7. 數據分析和報告：收集和分析處理設施的運行數據，生成報告，並用於改進操作和支持決策。

確保新加坡污水處理系統的高效運作，支持城市水資源的可持續管理。

Water Reclamation (Network) 部門主要業務：

1. 污水管網管理：負責運營和維護城市的污水收集和輸送系統，包括污水管道的安裝、檢查、維修和升級。

2. 污水流量和壓力控制：監控和調節污水管網中的流量和壓力，確保污水有效且安全地輸送到處理設施。

3. 管網檢測和清理：定期進行管網檢測，檢查是否有堵塞、漏水或其他問題，並進行必要的清理和修理工作。

4. 污染源控制：監控污水管網中的污染源，確保排放符合環境標準，減少對處理系統的負擔。

5. 系統升級與擴展：規劃和實施污水管網的升級和擴展，以應對城市發展和需求變化。

6. 應急響應：處理污水管網中的突發問題，如管道破裂或堵塞，並迅速採取行動以最小化對公共衛生和環境的影響。

7. 數據管理和分析：收集和分析污水管網的運行數據，生成報告，並用於優化系統性能和支持決策。

以確保污水收集和處理系統的高效運作，有助於保護公共健康和環境。

InfoTech and Digital Transformation 部門主要業務：

負責推動數位化及資訊科技的應用，以提升水務系統的效率 and 效能。包括：

1. 數位轉型策略：制定和實施數位轉型計劃，利用先進的技術改進業務流程和服務。

2. 資訊系統管理：管理和優化 PUB 的資訊系統，包括數據庫、網絡安全和應用程式。
3. 智慧水務解決方案：發展和應用智慧水務技術，例如智慧水表、數據分析和預測維護系統。
4. 創新技術應用：探索和實施新興技術，如物聯網 (IoT)、人工智能 (AI) 和大數據分析，以提高水資源管理的效率。
5. 數據分析與報告：利用數據分析提供洞察，協助決策並改進運營。
6. 用戶數位服務：提升公眾及客戶的數位服務體驗，包括線上申請和服務平台的開發。

有助於確保新加坡的水資源管理系統高效運行，並支持可持續發展。

Finance 部門主要業務:

負責管理和監督機構的財務運作。包括：

1. 財務規劃與預算管理：制定和執行財務預算，進行財務規劃，以確保資源有效配置。
2. 財務報告：準備和分析財務報表，提供透明的財務信息，支持決策過程。
3. 資金管理：管理現金流和投資，確保資金充足並達到最佳運用。
4. 成本控制：監控和分析成本，確保各項支出符合預算並尋求成本節約機會。
5. 財務合規：確保財務操作遵循相關法律和規範，並進行內部控制和審計。
6. 財務分析：提供財務分析和建議，協助高層管理者制定策略和做出決策。

這些業務確保了 PUB 的財務穩健運作，支持其提供優質的水務服務。

Singapore Water Academy 部門主要業務:

專注於水務領域的專業培訓和知識分享。包括：

1. 專業培訓：為水務領域的專業人士提供專業技能和知識的培訓課程，包括水處理、環境管理和工程技術等方面。
2. 知識分享：舉辦研討會、工作坊和講座，促進水務行業內部和國際間的經驗分享和交流。

3. 研究和發展：支持水務技術的研究與創新，與學術機構和業界合作推進新技術的應用和發展。
4. 資格認證：提供行業相關的資格認證，幫助專業人士提升其專業資格和能力。
5. 國際合作：與國際水務機構合作，分享最佳實踐，提升全球水務管理的標準和效能。

旨在提升水務行業的專業水平，促進持續的技術創新和知識傳播。

3P Network 部門主要業務:

負責建立和管理「公私合營」(Public-Private Partnership，簡稱 3P) 的合作關係，包括：

1. 公私合營計劃：策劃和推動各種公私合營項目，尋求與私營部門合作以提升水務基礎設施和服務。
2. 合作夥伴管理：選擇和管理與私營企業的合作夥伴，確保合作關係符合雙方的需求和目標。
3. 合約管理：制定和監控公私合營合約，確保各方履行協議條款並達成預期的合作成果。
4. 項目實施：協調和支持公私合營項目的實施，從規劃、設計到施工和運營。
5. 績效評估：評估和監控公私合營項目的績效，確保達到預期的效益和目標。以促進創新和資源的有效利用，提升 PUB 在水務管理上的效率和服務質量。

Policy & Planning 部門主要業務:

負責制定和實施水務管理的政策和規劃。包括：

1. 政策制定：研究和制定水務管理相關的政策，包括水資源管理、供水安全和環境保護等方面。
2. 戰略規劃：制定長期和短期的水務發展計劃，確保水資源的可持續利用和水務基礎設施的有效運營。
3. 法律與規範：監察和建議有關水務的法律、規範和標準的改進，確保水務管理符合相關法律要求。
4. 市場研究：分析行業趨勢和市場需求，提供政策建議以適應新興挑戰和機遇。

5. 跨部門協調：與其他政府部門、行業機構和社會各界協作，確保政策和規劃的協調一致。

這些業務支持和推動新加坡水務管理的長期可持續發展和政策創新。

Coastal Protection 部門主要業務:

專注於保護沿海地區免受海平面上升和其他海洋相關風險的影響。包括：

1. 沿海防護規劃：制定和實施沿海防護策略和計劃，以保護沿海社區和基礎設施免受洪水和侵蝕的影響。
2. 風險評估：進行沿海風險和脆弱性評估，識別高風險區域，並提出相應的保護措施。
3. 工程設計與建設：設計和建設沿海防護設施，例如海堤、堤防和防波堤，以減少海洋侵害。
4. 監測與維護：監控沿海防護設施的狀況，確保其有效性，並進行必要的維護和升級。
5. 社區參與與宣導：與社區合作，提升公眾對沿海防護措施的認識和支持。

加強新加坡沿海地區的韌性，應對全球氣候變遷帶來的挑戰。

Organisational Excellence 部門主要業務:

負責確保機構內部的運營效率和質量管理。包括：

1. 品質管理：確保所有內部流程符合最高的品質標準，並定期進行審查和改進。
2. 效率提升：尋求和推動流程改進，以提高整體運營效率。
3. 創新管理：促進內部創新，支持新技術和新方法的實施。
4. 卓越運營：制定和執行策略，以達到卓越運營的目標。
5. 績效評估：監控和評估機構各部門的績效，確保達到既定的目標。

提升 PUB 的整體運營表現，確保提供高效且可靠的公共服務。

Human Resource (人力資源) 部門主要業務：

1. 人才招募與選拔：負責招聘新員工，從篩選簡歷、面試到最終錄用，確保組織獲得合適的人才。

2. 員工培訓與發展：制定和實施各種培訓計劃，幫助員工提升技能和知識，支持他們的職業發展。

3. 績效管理：評估和監控員工的工作表現，提供反饋並制定改善計劃，以確保員工達到工作目標。

4. 薪酬與福利管理：設計和管理薪酬結構和福利計劃，確保員工得到公平和有競爭力的待遇。

5. 員工關係管理：處理員工問題，促進良好的工作環境，並確保遵守相關法律和政策。

6. 組織發展：協助制定組織結構和策略，以支持業務目標的實現。

7. 合規與風險管理：確保人力資源相關的法律法規和內部政策得到遵守，並管理可能出現的風險。

支持和發展組織的人力資本，確保 PUB 擁有一支高效、動力充沛的團隊。

Technology & Engineering 部門主要業務：

1. 技術研發與創新：開發和採用先進的技術和工程解決方案，以提高水資源管理的效率和可持續性，包括水處理、儲存和配送系統。

2. 工程設計與建設：設計、規劃和建設與水資源相關的基礎設施項目，如水廠、污水處理廠、供水管道和防洪設施等，確保這些基礎設施符合最高的安全和質量標準。

3. 系統維護與運營：負責維護和運營現有的水利基礎設施和技術系統，確保它們在高效、可靠的狀態下運行，以提供穩定的水供應。

4. 技術標準與合規：制定和監控技術標準，確保所有工程項目和技術操作符合國家和國際標準以及法規要求。

5. 環境與可持續發展：推動環保技術的應用，確保水資源的可持續利用，並減少對環境的影響。

6. 數字化轉型：推動和實施數字化技術，包括物聯網 (IoT)、大數據分析和人工智能，以優化水資源管理和工程操作。

通過先進的技術和工程能力，確保新加坡的水資源管理能夠滿足未來的需求，並應對各種挑戰。

Water System 部門主要業務:

負責整個國家水系統的管理和運營。包括：

1. 水資源管理：負責確保新加坡的水資源供應，包括來自當地水庫、新生水 (NEWater)、海水淡化和進口水的管理。確保水資源的穩定性和可持續性。
2. 供水系統運營與維護：管理和維護新加坡的供水基礎設施，包括輸水管道、泵站和儲水設施，確保乾淨飲用水的穩定供應。
3. 水質監測與控制：負責監測水質，確保符合國際標準和公共健康要求，並在必要時進行處理以保持水質的安全和清潔。
4. 應急管理與應變：制定和執行應急計劃，應對各類可能影響供水的緊急情況，如自然災害或系統故障，確保水供應的連續性。
5. 系統升級與優化：不斷優化和升級水系統，通過引入新技術和改進基礎設施來提高系統的效率和可靠性。
6. 用戶服務管理：處理與供水相關的用戶服務，如水表安裝、檢查和維護，並解決用戶關於水供應的問題和投訴。

這個部門的主要目標是確保新加坡擁有一個穩定、高效且可持續的水系統，以支持城市的發展和居民的需求。

Industry and Technology Collaboration 部門主要業務:

負責推動與產業界和技術領域的合作，以促進創新和技術進步，從而提高水資源管理的效率和可持續性。包括：

1. 技術合作：與國內外的技術公司、研究機構和大學合作，開發和測試新技術，並將其應用於水資源管理和水處理系統中。
2. 產業聯繫：與水務相關的行業企業建立夥伴關係，促進技術轉讓和商業化，推動新技術在市場中的應用。
3. 創新促進：支持和推動創新項目，包括創業公司和中小企業參與到水資源管理的創新解決方案中，通過資金支持和技術指導來加速創新產品的開發和部署。

4. 國際合作：與其他國家的水管理機構和國際組織合作，分享技術和經驗，並參與全球水資源管理的技術研發項目。
5. 技術評估與實施：評估新技術的可行性，並在符合需求的情況下，將這些技術引入和整合到現有的系統中，以提高效率和效能。
6. 知識轉移與培訓：通過舉辦研討會、工作坊和培訓課程，促進技術知識的轉移，並提升內部員工及合作夥伴的技術能力。
7. 政策與標準制定：參與制定與新技術應用相關的政策和標準，確保這些技術能夠安全、有效地應用於實際運營中。

這個部門的目標是通過跨界合作，將最新的技術和創新引入到新加坡的水資源管理中，從而提升整體運營的效率和可持續性。

新加坡目前每天消耗約 167 萬噸的用水。隨著人口和經濟的持續成長，預計到 2065 年，新加坡總用水量將增加一倍，氣候變遷的影響也將為有限的水資源帶來壓力，保護水資源以確保長期供水的彈性非常重要，PUB 採行完整關閉水循環之管理模式，從水來源、收集、淨化和供應，到廢水和廢水的處理後轉化為新生水，貫徹讓每一滴水都有意義 (MAKE EVERY DROP COUNT)。



圖 11 PUB 關閉水循環之完整管理模式-讓每一滴水都有意義

本次會談由 PUB 新加坡國家水務局(Singapore's National Water Agency) 安排於 6 月 21 日上午 9:00 與水質部門(Water Quality Department)進行雙方交流。PUB 代表包括水質署彭志明署長 (PANG CHEE MENG · Director)、水處理及配水系統郭佩芬首席專家 (QUEK Puay Hoon · Chief Specialist Treatment and Distribution Systems)、化學實驗室張力鳳首席專家 (ZHANG Lifeng · Chief Specialist, Chemical Laboratory)、以及供水部門高級助理總監局楚彭偉 (CHUE Phen Wei · Senior Assistant Director · Water Distribution)。

會中雙方就水質檢驗、新興污染 PFAS 檢測及水處理進行經驗交流及交換意見。由水處理及配水系統首席專家郭佩芬 Elaine 進行 PUB 水質實驗室及業務簡報，台水公司陳處長文祥也就台水公司因應新興污染物規畫進行簡報說明。另國際上 PFAS 處理採 RO、活性炭及離子交換等方式，此行因 SIWW 會議，因經費有限僅報名 113 年 6 月 19 日之會議(Delegate Day Pass)，對於 113 年 6 月 18 日 PFAS 熱門議題討論中是否提出經濟技術較可行 PFAS 處理技術，PUB 水質專家 Elaine 表示該研討會議並無提出具體有效 PFAS 處理技術，而新加坡水源檢出率低，7 廠傳統淨水場及海淡廠經檢測無 PFAS 風險，目前實驗室檢驗技術也朝向能定量檢測至 1ppt 突破。

此次會談甚歡，時間過得很快，惟隨後 PUB 水質部門需接待汶萊達魯薩蘭國發展部長 Dato Seri Setia Awang Haji Muhammad Juanda Bin Haji Abdul Rashid 的到訪，致無時間參訪實驗室，實為此行一遺憾。

為了確保供水清潔和安全，PUB 由操作、監管及全面性考量，建立了全面且強大的採樣和監測計劃，以確保從水源到用戶水龍頭的自來水水質。由 17 處水庫、7 處自來水廠、5 處海水淡化廠和分配系統中採集水樣，並於 PUB 的水質實驗室進行測試。每年對物理、有機、無機、放射學和微生物約 346 項目，進行超過 50 萬次測試。此外，對水質事件發生進行快速分析，以確保水安全，也包括

新興關注污染物的全面監測：藥物和個人護理產品 (PPCP) /內分泌干擾物 (EDC)、NDMA、消毒副產物 (DBP)、PFOA/PFOS 等。除了實驗室人工檢測外，線上感測器能即時監測處理過程和配水庫各階段的水質。PUB 水質部門包括原水系統、水處理及管網系統、化學實驗室、微生物實驗室、品質保證查證系統 (如下)

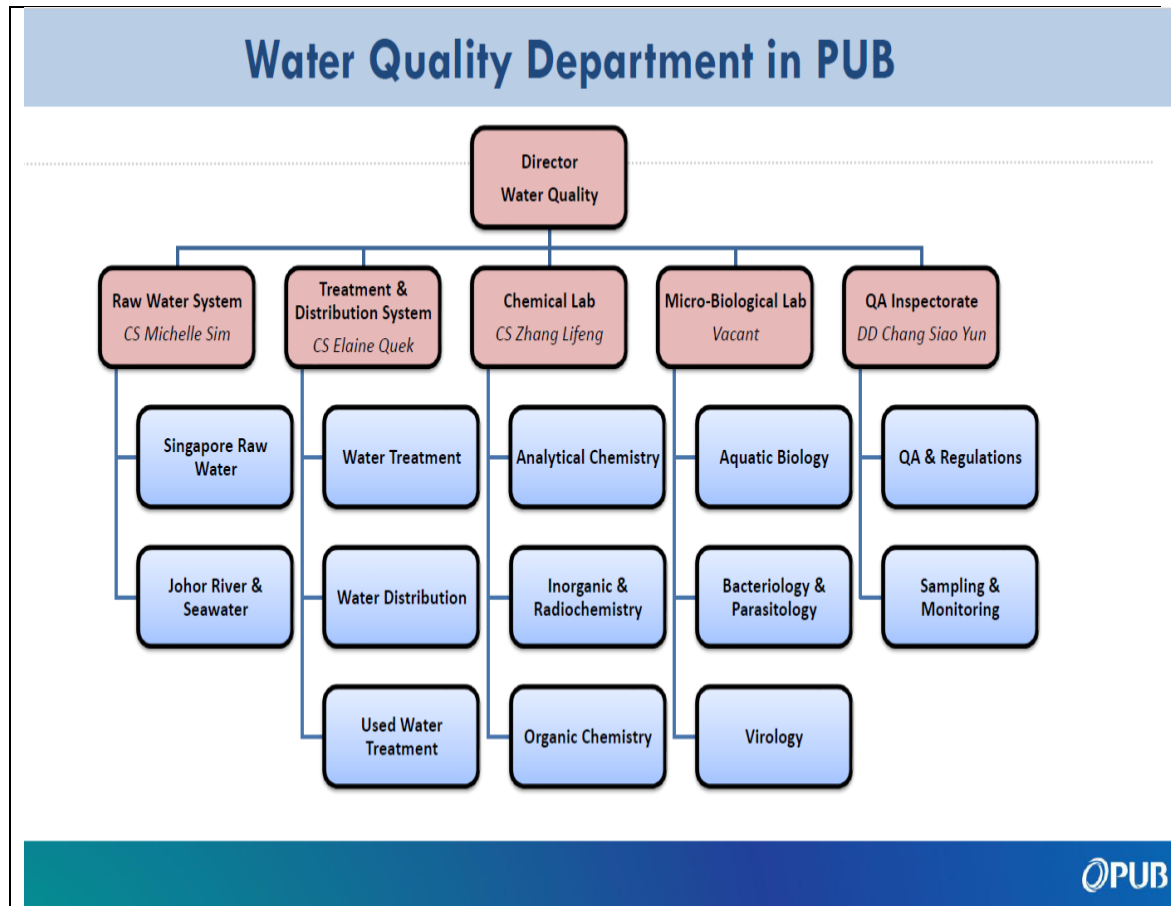


圖 12 PUB 水質部門組織架構

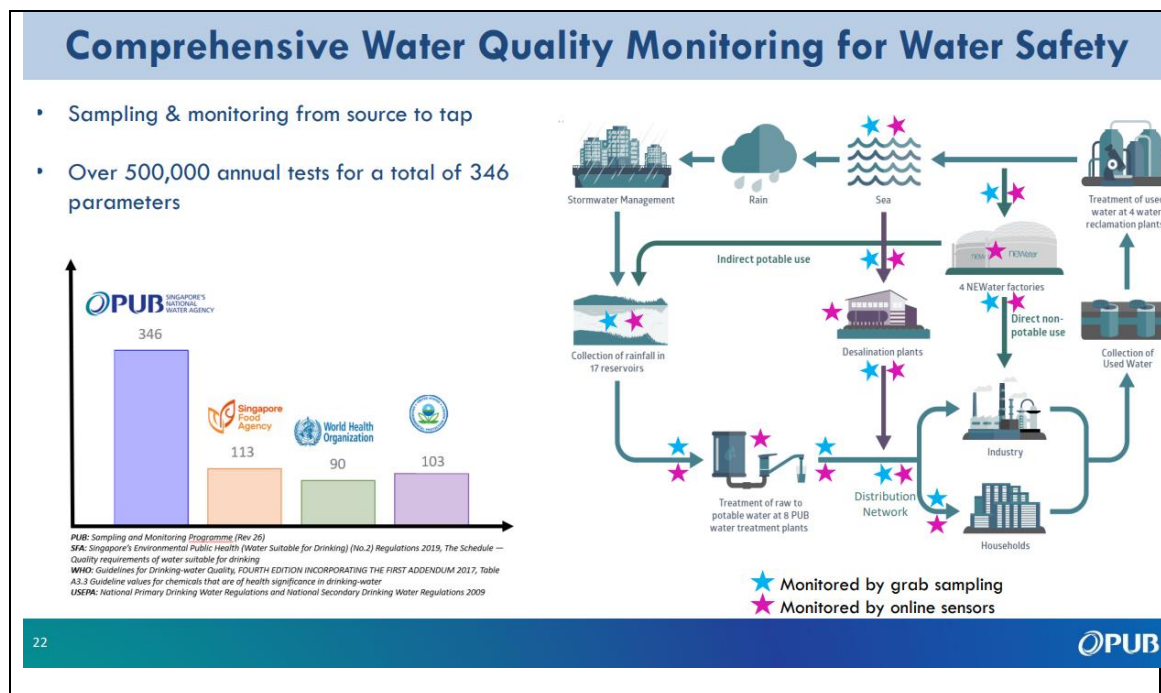


圖 13 PUB 全面性水質監測

水質實驗室須確保水樣能及時且準確的分析、評估水質檢測結果並在檢測結果異常情況時發出警報、執行水質調查並為水質分析提供科學和技術專業知識、此外亦進行新興水質問題之研發及開發其分析技術。

PUB 擁有價值 2 仟萬新幣(約 4 億 8 千萬台幣)先進微量分析儀器的水質實驗室，每年營運成本為 1 千萬新幣(約 2 億 4 千萬台幣)，水質實驗室是成員約 46 名，其中 26 名博士，實驗室使用國際標準方法和最新技術進行水質分析，並取得 ISO 標準 (ISO17025:2017 和 ISO 45001:2018) 認證，也獲得新加坡認證委員會新加坡實驗室認證計劃 (SAC-SINGLAS) ISO/IEC 17025 的許可。定期參加實驗室間能力驗證。

同時實驗室也兼具水質研究計畫的研發，並積極推動自動化檢驗系統，2016 年起以客製化機器人系統進行常規項目 pH、電導度、色度、濁度、氟化氫自動分析，從取樣、測量、並將結果直接傳送至實驗室資訊管理系統，此系統能負擔 10% 的實驗室年度檢驗量，不但提高效率，也提高檢測安全性。此外，因

應水質事件發生，設置移動實驗室，能於現場快速檢測並回應及釐清水質問題。

PUB 水質實驗室依分析項目分為六大實驗室：

1.分析化學實驗室 Analytical Chemistry Lab

負責每天樣品接收和登記外，執行物理性（例如 pH、電導率、濁度、固體相關參數等）、有機指標（如總有機碳、生化需氧量、化學需氧量、UV-254 等）、消毒劑如總餘氯、一氯胺、游離氯等、無機物如氯化物、氟化物、氨、氰化物等分析。

2.無機及輻射實驗室 Inorganic & Radiochemistry Lab

負責整個水循環和處理水之重金屬、礦物質、總磷和溶解磷的分析；無機陰離子分析如營養物、無機消毒副產物（如溴酸鹽、氯酸鹽、亞氯酸鹽）、高氯酸鹽、六價鉻等；其他如總有機鹵代化合物 TOX、草甘膦-AMPA、金屬性奈米粒子、微塑料等；放射性分析-總阿爾法、總貝塔和氫氣、氬、銥-90、銇-137、銇-134、碘-131 等分析。

3.有機實驗室 Organic Chemistry Lab

以氣相層析 (GC) 和液相層析 (LC) 等先進設備對水樣本中的微量有機化合物（超過 200 種）進行分析。執行新興污染物項目之分析研究，以強化實驗室及解決潛在水質問題之能力，包括全氟烷基物質(PFAS)、藥品和個人護理產品 (PPCPs)、內分泌干擾化學物質 (EDC) 和激素、抗生素 Antibiotics 等新興污染物。此外，也對新出現的水質問題或非特定分析物之水質污染案件，能即時進行調查及提供數據之說明。

4.水生生物實驗室 Aquatic Biology Lab

透過生物分析進行水質監測：對不同水體基質中的浮游植物和浮游動物進行形態學鑑定和計數（>100 種淡水和海藻參數；接近 20 組浮游動物），監測多樣性和潛在有害或造成滋擾的藻類；藻類指標（葉綠素-a）和代謝物（藍藻毒素、海洋藻毒素）的測量；定期監測搖蚊(chironomids)各個生命階段的情況，以便相應調整緩解措施；使用環境 DNA (eDNA) 元條碼對水庫水質進行生物評估；進行急性魚類毒性測試運用支持水質事故調查。

5.細菌及寄生蟲實驗室

除常規之總菌落數、總大腸桿菌群、大腸桿菌、腸球菌、兩蟲-隱孢子蟲 (Cryptosporidium)和賈第蟲(Giardia)、細菌病原體、沙門氏菌、志賀氏菌、弧菌及軍團菌等水質微生物檢測。於發生微生物之緊急事件，能以 ATP test、qPCR 和多重 PCR 病原體檢測及流式細胞儀分析，進行污染檢測、問題調查及排除。並透過研發項目開發新的微生物分析方法以供未來應用之需求。

6.病毒實驗室 Virology Lab

除負責水傳播病毒之監測，細胞培養法檢測腸病毒、大腸桿菌噬菌體的監測可以腸病毒的替代參數等，並以分子方法進行快速篩選污染物-運用如以 DNA 噬菌體-CrAssphage 標記基因用於廢水研究日益受到關注，無法培養的病毒如 Norovirus 諾羅病毒、新興的微生物污染物。也採用基於生物效應基礎之生物測定法如 Dioxin-like chemicals (AhR) assay、Estrogen receptor (ER)。

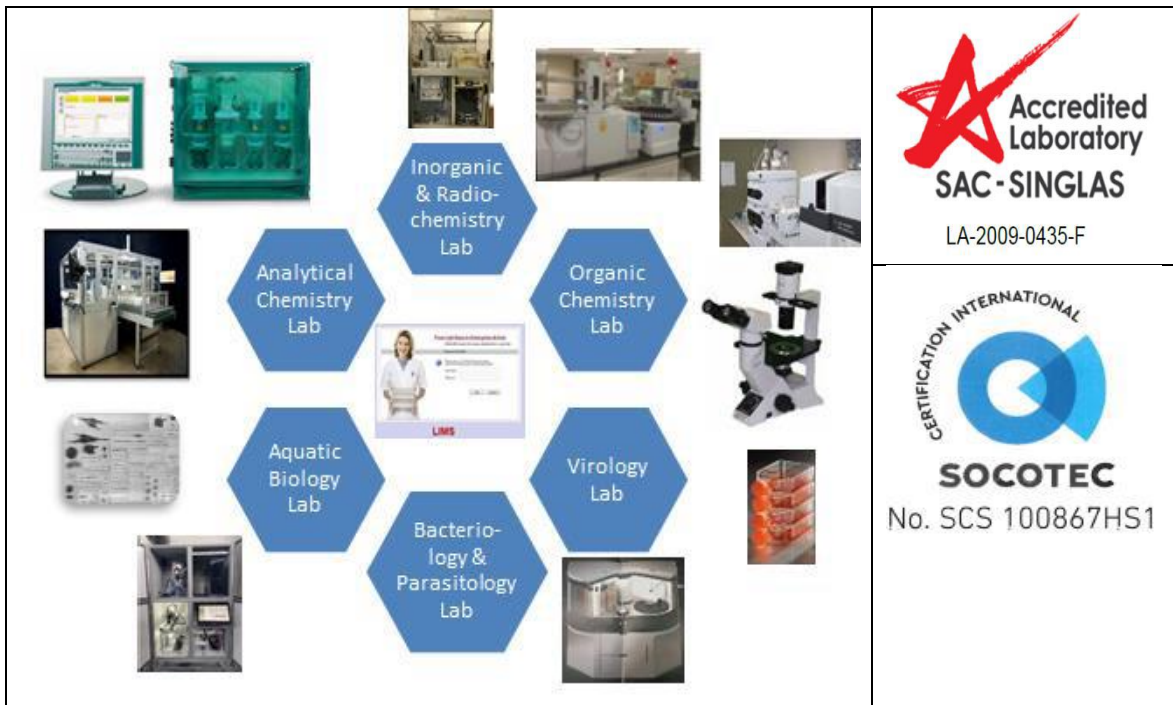


圖 14 PUB 水質實驗室六大分析主軸

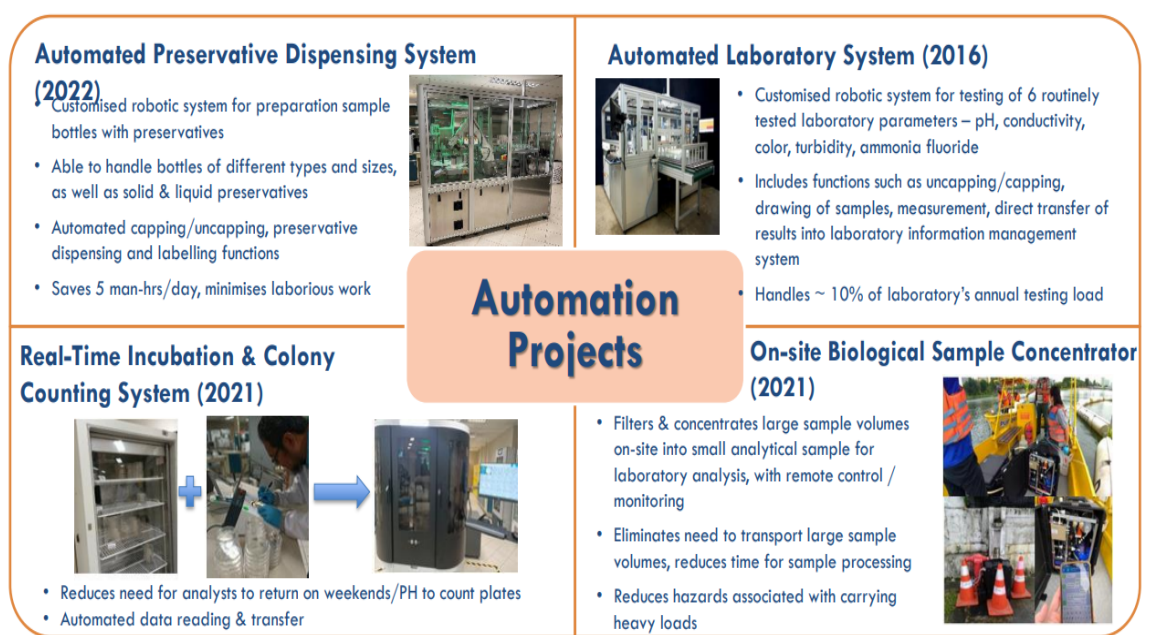



圖 15 PUB 水質實驗室自動化

Mobile Laboratory

On-site Testing for Rapid Response to water quality incidents

Potable Water Mobile Lab



Allows for on-site testing of:

- TRC, pH, Conductivity, Turbidity, Ammonia
- Odour test including screening for volatile organic compounds
- Total Coliform & *Escherichia coli*
- Metals such as copper and iron
- Rapid acute toxicity test

Raw Water Mobile Lab



Allows for on-site testing of:

- General parameters, e.g. pH, conductivity, ammonia, total organic carbon
- Chemical parameters, e.g. volatile organic compounds, metals
- Biological parameters, e.g. chlorophyll-a, detection of algal toxins
- Rapid acute toxicity test


28


圖 16 PUB 移動實驗室

	
會議交流	陳處長文祥贈公關品及伴手禮



圖 17 113 年 6 月 21 日與 PUB 會談 合影

3.3 113 年 6 月 21 日睿克 ZWEEC 科技公司技術交流

ZWEEC 是一家總部位於新加坡的科技公司，自 2011 年成立，專注於創新的水技術解決方案。從事廣泛的技術研究，開發尖端的解決方案，幫助政府部門及客戶解決水質和環境領域具挑戰性問題。以智慧監測利用先進的軟體和自動化技術，對綜合水質參數進行高效、穩健的監測，提供全面保護水質的技術，徹底改變傳統的監測方法，減少周轉時間並提高過程效率，包括使用計算機視覺、人工智慧和自動化系統進行原水和處理水監測的智慧生物監測。以擁有擴展的先進水安全技術組合，採 AI 人工智慧的自動浮遊植物識別和計數系統，使用光譜法，人工智慧深度學習識別，用於淡水和海水監測，也使用先進光譜技術進行原

水和處理水監測的微生物檢測系統等。如用於早期預警監測飲用水污染的智慧生物監測系統、防止有害藻華的全自動浮游植物識別和計數系統及用於水基礎設施的全自動水下魚道監測系統等。以領先的水技術解決方案已在新加坡、美國、中國、台灣和中東實施，並獲得許多獎項。更為水資源可持續管理提供尖端、創新和關鍵性之解決方案。

本次拜訪目的，除了解生物性毒物預警系統，也期望針對水源發生臭味時，能否於線上即能監測到而達到提早預警功能。一般導致臭味怨限值相當低，以高精密分析儀器方能檢出，然此時須進行樣品採樣、處理、分析及數據判讀等，耗費時間及人力而無法達到馬上預警，易衍生持續供水相關問題。水源的臭味問題於國內外皆存在已久，在台灣水源也常見，引起臭味物質在傳統水處理是無法去除。自來水第十條「自來水事業所供應之自來水水質，應以清澈、無色、無臭、無味、酸鹼度適當，不含有超過容許量之化合物、微生物、礦物質及放射性物質為準；其水質標準，由中央主管機關會商中央環境保護及衛生主管機關定之。」其中清澈、無色、無臭、無味是顧及人類眼、鼻、口、舌等感官之感受是更直觀。長久以來民眾往往也會根據自己主觀的感受判斷飲用水是否良好，自來水中臭味物質的存在，雖然不一定影響人體健康，但往往民眾會主觀認為飲用水遭到污染或水質不良，引起民眾對於飲用水不安全的擔心與抱怨，造成民眾及新聞輿情事件。根據研究，因季節及氣溫變化引起台灣水庫、引水圳路藻類滋長(如放線菌 actinomycetes、藍綠藻 cyabobacteria 等)或淨水場加氯消毒所產生味道，常見土臭味、魚腥味及氯味。此外，自來水中的臭味物質也可能為人類污染所產生，例如二甲苯、氯乙烯等有機化合物。此都是無預警的任意傾倒或排放廢油或廢有機溶劑，這類化學物質大部分對人體健康有嚴重的影響，如何能於第一時間測得臭味物質，並能及時阻斷。

本次會談透過新加坡 PUB 高級顧問廖國榮先生安排於 6 月 21 日下午與水睿科 ZWEEC 科技公司進行雙方交流，睿科科技公司代表包括執行長 Terence

Cheong、副執行長 Yeo Chai Meng、副總 Lui Sikai、以及睿科高級顧問林文豪 Lin Mong Hoo (PUB 前水質署署長)。會中雙方就水質污染及生物監測進行經驗交流及交換意見。由睿科高級顧問林文豪先生進行簡報說明，並副執行長 Yeo Chai Meng 睿科專業業務簡報說明。其中主要探討生物及藻類監測系統之運用。

3.3.1 與 PUB 前水質署署長林文豪(Lin Mong Hoo)會談

會中由林先生「綜合水質管理與新技術應用」簡報分享新加坡水質管理經驗，強調水質管理重要性，並以 2014 年美國西弗吉尼亞化學物泄漏導致 30 萬居民飲水安全，當時化學品為 MCHM (4-Methylcyclohexanemethanol)，雖無這化學品的毒性評估數據，為確保人體健康不受影響，政府呼籲居民避免飲用自來水；2014 俄亥俄州托 Toledo 市自來水水質含微囊藻毒素，因取自伊利湖水源，大量滋長藻類所致，影響 40 萬人用水安全；2019 年 10 月 18 日越南河內自來水公司 Viwasupco 自來水遭受苯乙烯(styrene)汙染嚴重影響 25 萬人用水安全等案例。台水陳文祥處長也分享本公司員山淨水場於 104 年瑞芳員山油污事件導致鉅額賠償及 112 年新竹鳳山溪廢有機溶劑汙染致關西、新埔淨水場停水事件，國際間水汙染層出不窮，非單一零星事件，以美國 2013 一年內就有 3885 起化學泄漏事件，故面對全球氣候變遷及城市、工業高度發展，水質管理將所面對更多挑戰，如下：

- 經濟發展和都市化趨勢增加了水污染的幾率
- 全球氣候變遷影響原水水質的安全性
- 持續確保水質安全的需要
- 日益嚴格的標準與法規
- 面對新興污染物的發現
- 民眾對自來水安全的要求日益提高

所以，水污染事件是隨時隨地都可能發生，無論污染事件時間的長短，它都會對人們的心理意識和社會經濟造成重大的影響。而每個污染事件都會減少民眾對水質安全的信心。水質部門需全面的綜合水質管理才足以應對目前的、隨時的和新興的水質問題，除探測水污染也提供預警，讓供水單位有足夠的時間，採取應變措施，確保用戶用水安全及健康，進而提高民眾對自來水安全有高度信心、提高環境資產的品質及推動社經發展。

綜合水質管理的理念:在全程的供水環節裡，從水源到水喉，應用多層屏障、危害分析及關鍵控制點預防管理系統(HACCP)，來全面的實行水安全計畫，包括全流程之處理、水質檢測策略、實驗室及線上監測檢測數據採集、分析與回饋操作，預警及採取措施等，方能達到全面確保水安全。

陳文祥處長亦分享台水公司水質管理經驗，為提升出水安全，達成從集水區到消費者 (from catchment to 之通盤檢討以降低風險，建立水質確保技術，配合污染源管制，俾達全時確保水安全目標。自 107 年頒訂「台灣自來水股份有限公司水安全計畫施行要點」，經執行數年後滾動，檢討辦理成效，為精進本要點，經專諮會議各外聘專家學者及各區處回饋意見，於 112 年辦理第三次要點修訂，經再簡化行政作業，不疊床架屋，讓有限的人力、物力資源做更有效發揮，水質危害風險、水質預警及客訴處理三者功能目標區分更加明確，相輔相成俾共同維護用戶飲用水用水安全。明確定義正面表列危害及危害事件篩選原則，精進且聚

焦在與人體健康相關之水質危害風險加以鑑別評估。正面表列危害及危害事件篩選原則：

危害優先以>

- 1.飲用水水質標準所列之影響健康物質
- 2.飲用水水質標準所列之可能影響健康物質

- 3.由有機物所引起的臭味(藻臭、腐臭味及汽柴油味)
- 4.微生物項目(如總菌落數、大腸桿菌群、大腸桿菌、糞便型大腸桿菌群、微囊藻毒、梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲)
- 5.環保署執行飲用水新興污染物研究與水質管理計畫之新興污染物候選清單物質。

危害事件優先以>

- 1.前述之危害所引發或曾經產生之水質異常事件
- 2.因發生將前述之危害帶入後無法將其去除之意外事件、新聞事件或環境受罰案件。



水安全计划

供水系统的水质管理

1. 采用危害分析关键控制点 HACCP 的水质管理体系
2. 完全封闭的储水和配水系统
3. 水器具的提供商/经销商遵守行业规范
4. 全面的水质监测
5. 维持充足的水压和余氯
6. 恰当的维护程序



水安全计划

水质监测策略

- 1) 在线监测 (pH 酸碱度、电导率、余氯、总有机碳, 浊度, 氨氮、蓝绿藻)

蓄水池, 原水, 水厂, 清水池的进出口, 主干管的策略部位

- 2) 日常监测

主要微生物指标, 整体代表性的物化参数 (pH 酸碱度、电导率, 浊度, 碱度、余氯等)

- 3) 周、月、年度

生物化学参数、杀虫剂, 新兴污染物

- 4) 在线生物监测

使用鱼类来监测水中毒性

- 5) 输水管网日常的在线和采样监测

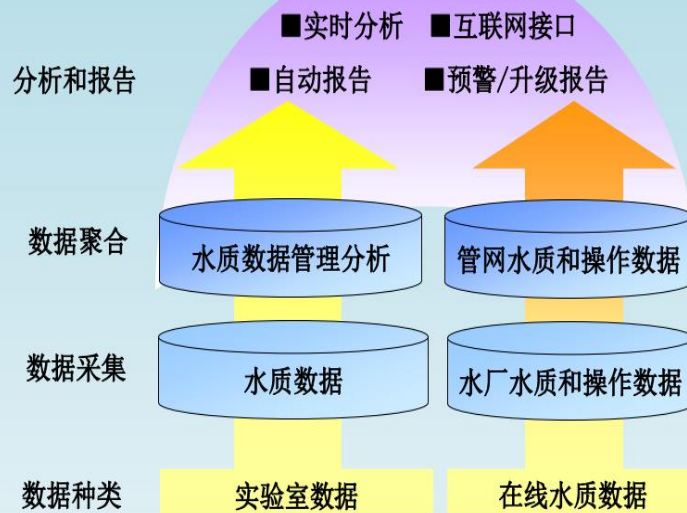


鱼生物传感器

水安全计划

智能数据系统

水质管理智能系统



水质科研

水质安全生物毒性综合预警

应用场合

- 河流水库
- 取水评估
- 化学分析
- 水道分析与评估
- 水厂取水口
- 排水系统
- 饮用水监测
- 毒物学评估
- 教学与科研

水质安全预警仪是一款高灵敏度的多功能在线水质毒性检测设备，以我们熟知的鱼类作为生物传感器，利用显微拍摄技术、图像识别跟踪技术、自动化控制技术及计算机软件技术实时监测水质对生物活动的影响，通过分析鱼类的运动学行为变化情况确定水质综合毒性大小。

水质安全预警仪能够快速检测重金属、杀虫剂、除草剂及有毒有机物等大部分有毒有害物质。仪器操作简单易行，运行成本低、全程不需要加入化学物质，绿色环保。





圖 18 新加坡新 PUB 前水質署署長林文豪會談與交流

3.3.2 ZWEEC 睿科公司生物及藻類監測系統

1. 生物監測系統

研究魚群行為 SHOALING (沒有規律的魚群，群聚一起，可是會朝不同方向游去和 SCHOOLING(有相同方向的魚群群聚在一起)，ZWEEC 智慧生物監測系統以研究魚群對毒物之行爲(SHOALING)，透過深度學習和機器學習之人工智能監測，具三個個主要不同級別的警報系統。它可以針對水中存在的多種有機和無機有毒污染物提供第一線快速警報，並透過電子郵件或簡訊發送用戶，以便在情況變得危急之前立即採取響應行動，從而節省時間和下游成本。透過遠端監控功能，可以連續即時監控水質。

可直接在高濁度水（高達 150 NTU）中運行，並具有人工智慧(AI) 和可視化增強功能，可對未經處理（原水）和經過處理的水環境進行有效、準確的水質監測。具自動反洗系統，防止沉積物的積累，除避免沉積物的積累可能會影響系統的可視化，也可減少維護頻率。

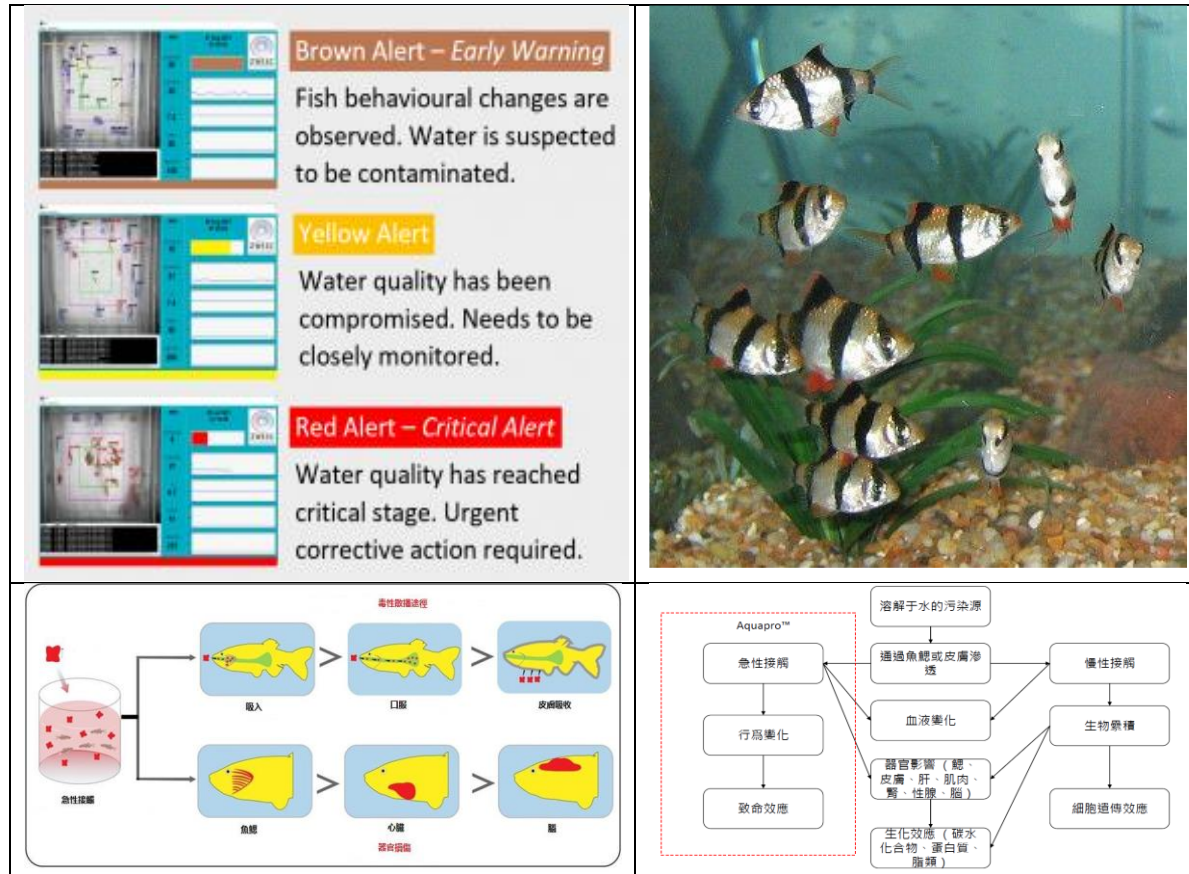


圖 19 智慧生物監測系統


2 浮游生物監測系統

不同於傳統的浮游植物監測方法，經由整合深度學習和最先進的演算法來自動檢測不同的浮游植物。運用於定期監測浮游植物，以診斷水質和水生生態系統的狀況，可以提早防止有害藻類大量繁殖 (Harmful Algal Blooms)，確保安全用水。具專有的浮游植物檢測技術可實現大規模、高頻度的浮游植物監測，打破專業勞動密集的手動顯微鏡檢查之人力資源限制，減輕工作量，達到 6 小時內採集 15 個單位的水樣之高處理速度和容量，對於浮游植物屬辨識準確率超過 80%之

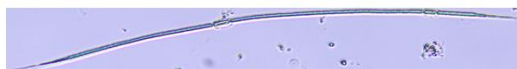
高精度，能提供多種參數的準確分析，例如藻類類型、比例、數量和密度，簡化樣品製備和上樣過程之全自動系統。全自動浮游植物辨識和計數技術已被新加坡國家水務局、PUB 和長江管理局（長江監測科研中心）採用。113 年將與台灣國家環境研究院合作計劃，為期 3 年，進行人工智能藻類偵測軟件及流式/分批式線上偵測系統之開發。

在睿科公司分享過程，發現其生物監測系統進行透過深度學習和機器學習之人工智能監測的魚種是“斑馬魚”，此魚種在台灣環境不容易存活，亦不容易購買，建議可以台灣廣泛使用“朱文錦”魚種，進行此魚種之數據積極及分析，將來現地使用時較符合客戶需求並能廣泛運用。

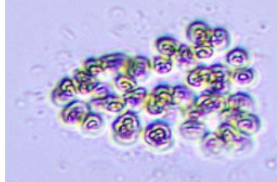
加強和修飾過的照片作為AI用途



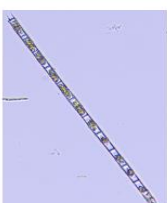
Cylindrospermopsis
拟柱孢藻屬



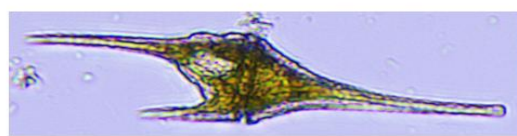
Aphanizomenon
束絲藻屬



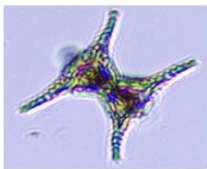
Microcystis
微囊藻屬



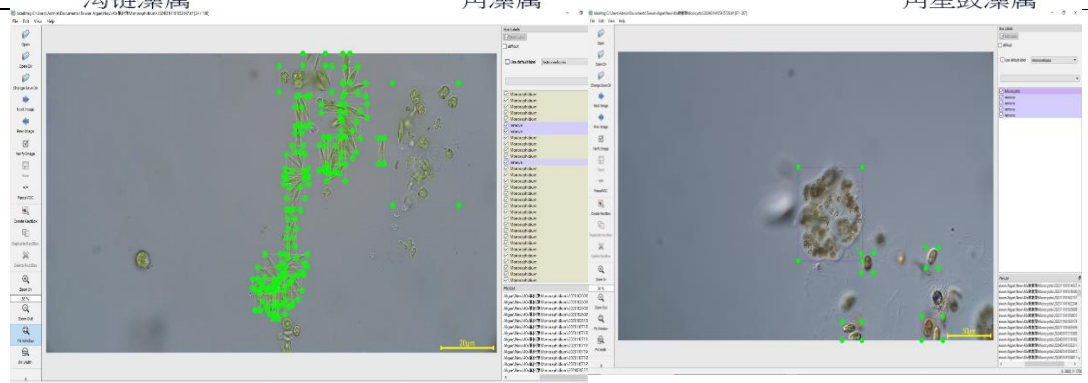
Aulacoseira
沟链藻屬



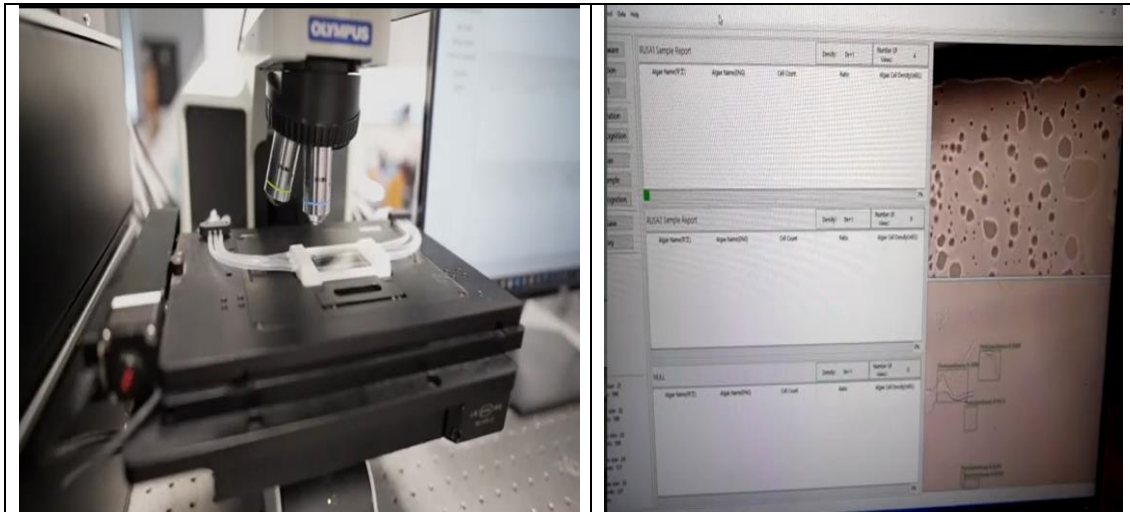
Ceratium
角藻屬



Staurastrum
角星鼓藻屬



全自動浮游植物辨識和計數技術



全自動浮游植物辨識系統

圖 20 浮游生物監測系統



左起:吉偉鄭偉鵬總經理.鐘錦珍.林文豪顧問.陳文祥處長. 睿科執行長 Terence Cheong、副執行長 Yeo Chai Meng、工程師、副總 Lui Sikai

圖 21 新加坡新睿科 ZWEEC 公司參訪及交流合影

第四章 結論與建議

全球正面臨氣候變遷、經濟成長、社會平權、貧富差距大等種種挑戰，為能永續發展 (Sustainable development，即可持續發展)，聯合國於 2015 年宣布 17 項「2030 永續發展目標」(Sustainable Development Goals, SDGs) 核心目標，仰賴全球共同努力，在保護地球環境、滿足人類的需求下，達成-終結貧窮、消除飢餓、健康與福祉、優質教育、性別平權、淨水及衛生、可負擔的潔淨能源、合適的工作及經濟成長、工業化、創新及基礎建設、減少不平等、永續城鄉、責任消費及生產、氣候行動、保育海洋生態、保育陸域生態、和平、正義及健全制度、多元夥伴關係等 17 項目標，邁向地球及人類之永續生存及發展。

本次新加坡水週 SIWW 研究探討主題也延續 2023 年第 28 屆聯合國氣候大會 COP28 UAE (聯合國氣候變遷) 相關協定的推進，尋求於在水務領域上緊密配合加速氣候行動中提出解決方案。包括氣候適應力(climateresilience)、海岸保護(coastalprotection)、數位化(digitalization)和和永續性(sustainability)。氣候變遷導致水資源分布不均、水質變動與惡化，讓全球水務業面臨嚴峻挑戰，本次參訪心得與建議為下列幾點：

1. 新加坡在面臨 3 天不雨即乾旱，最長 27 天，在國土面積小集水及貯水量不足，且水源頭受限馬來西亞困境，為達成 2060 年與馬來西亞的水協議到期前，能夠水資源的獨立自主，採取封閉水循環模式，收集落在新加坡國土的每一滴水，在城市中設置水庫，也讓每一滴水都有意義 (MAKE EVERY DROP COUNT)。反觀台灣平均降雨量為世界平均降雨量 2.6 倍，但因豐枯雨量分配不均，呈現水太多、太少兩極現象，氣候變遷致降雨更呈極端。因而也遭逢 109 年底至 110 年百年大旱挑戰，而辦理大小鑿井、取用建築用

井及開鑿伏流水等以搶用救命水之窘境。水資源政策以採有管理、節流、備援、調度、開源等策略，近年為防洪各都會也廣造各種大大小小的溢洪池，何不借鏡新加坡「保水及儲水」思維，如地下水挹注、建置城市水庫或濱海堤壩之河口堰，將水儲存於台灣本島。

2. 新加坡缺乏水資源，於用水管理 PUB 採取了多項措施，包括高水價政策、宣導節約用水、推廣節水設施、節水教育、禁止高耗水產業、建築物用水效率認證、等，認為其中之高水價政策，才是帶動各項用水管理措施之得以順利運行，民眾及企業配合度高，積極參與政府各項解決措施及方案，使節水成效展現，因「合理定價、以價制量」才是王道，供水單位也能有穩定合理的收益，穩定財務、永續經營。

3. 在新加坡之水周活動足見新加坡在水務上軟、硬實力，嚴重水資源短缺下，政府之水資源理政策與行動，舉國朝著與馬來西亞的供水協議到期之前，讓新加坡水資源的獨立自主之方向努力，鼓勵公共與民間私人機構共同參與、通過科研開發水源、水質檢測及水處理技術，推行了在地水源、回收 NEWater、海淡水及進口水四個「國家水龍頭」計畫，使得新加坡的水務業迅速發展，將缺水的危機轉為優勢，成為擁有全球先進水務技術的國家，並能將水務技術輸出世界各國，這是「政府出題·新創解題」實例，達到共創雙贏成效，政府政策的貫徹並能充分運用民間新創科技技術，所產生力量及實力真讓人敬佩。

4. 此外，新加坡政府與世界銀行合作成立新加坡水務中心 (Singapore Water Center)，將新加坡水資源管理經驗以商業模式輸出海外，協助全球其他國家妥善管理水資源，並透過實際的培訓和實習，與公部門和民營企業分享構想，進行設備開發及使用、科技系統整合、水質管理等各種技術的累積，進行協同研究與新技術試驗，強化中心的能力及優化國內技術力量，成為全球水資源管理的思想

中心，成就全球水資源長遠永續。此與我國推動「南向政策」促進區域發展與交流，創造互利共贏的合作，達成經濟共同體之思維一致。

5. 新加坡水周上在展現政府及民間企業協作「政府出題·新創解題」豐碩成果，而我國內環境在採購法規限制下，相關研發及技術開發，常因經費、試驗期程等，致規模不足、數據不足、技術未成熟、無廣泛運用及無實場運行等實績，可否借鏡新加坡經驗，解決供水產業面臨問題。

6. 此行參訪 NM3 科技及睿科 ZWEEC 公司，除了解生物性毒物預警系統，也因我國水源有遭受廢液惡意傾倒或藻類滋生發生臭味事件，臭味恕限值相當低，須以高精密分析儀器方能檢出，從樣品採樣、處理、分析等耗時久，而無法馬上預警，是否能透過科技公司新創及開法技術，尋求線上臭味即時監測技術，而達到提早預警功能。惟形成臭味物質種類太多，如能因地制宜，以我國本土常見水源汙染物苯乙烯(Styrene)、甲苯 (Toluene)、2-MIB 及 geosmin 進行即時監測技術，也許較為可行。

7. PUB 水質實驗室相當先進，投入充足經費完備檢驗設備及人力，嚴密及全面性自主性水質監測達 346 項，已不再侷限於新加坡法規 113 項管制項目，積極超前佈署各類新興物染物，且以過去曾檢出、國際熱門關注及國內外文獻指出汙染物之優先順序，提前建立檢測技術及調查、評估水質風險，以及時發出警報，提供淨水場進行改善，如 7 處傳統淨水場面臨水庫水質藻臭及有機物高問題，2019 年將淨水流程全面改善增加後臭氧及 GAC 程序，這樣積極作為，實讓人望塵莫及，本公司亦朝布局新興汙染物努力，辦理「因應新興物染物先期計畫」，期望能依該計畫規劃期程，順利逐步推展讓本公司檢驗技術更上一層。

8. 對於 PFAS 檢驗，PUB 水質實驗室早於 2016 年建立相關檢測能力並將列入常規檢項，曾於水庫水源檢出 PFAS 約 80~90ng/L，清水及供水系統未檢出，

顯然其水源較無受 PFAS 污染，而台灣風險較高地區已明顯指出水源遭受機場消防泡沫汙染所致，正本清源應從能源頭管理及阻截，避免水資源持續惡化，方能確保飲用水源安全。

9. 水質檢驗係為淨水操作效能把關，於水源水質、水資源保護、飲用水安全等都具有相當重要性，而在民眾眼中檢驗更為水質第一防線，任何對水質疑慮，民眾第一時間都想知道水質含量、是否合規與安全，故檢驗是保障飲水安全、人民健康及合乎標準之基本手段。台水為供水單位，產水品質自主掌控，除符合國內水質標準，對與日俱增之新興污染物(環境部初蒐清單 447 種)及國際各國入法推進，建立自主檢驗及水處理技術研發實刻不容緩。

10. PFAS 議題持續發酵，我國環境部也於 113 年 5 月 24 日下達 PFOA 與 PFOS 合計為 50 ng/L；PFOS 與 PFHxS 合計為 70 ng/L，並於 113 年 8 月 21 公告立法草案(116 年 7 月 1 日施行)，短短三年施行，反觀美國 EPA 於 2024 年 4 月 10 日公佈，維持三年持續監測(至 2027 年)及五年處理技術(至 2029 年)，此次新加坡國際水週仍圍繞 PFAS 標準的複雜性和爭議，也考慮到 PFAS 在食品和環境中的整體貢獻，在我國本土處理技術效能上尚未明確化、檢驗結果差異大，如此入法過於草率，未來執法，是否欠缺公義。

致 謝

本次參加新加坡水週開會及參訪收穫良多，目睹全球水務盛會，深感，地球人類活動與高度經濟發展，危害地球永續發展，氣候變異、水資源匱乏、洪水及水質惡化，讓每位水務從業人員都無法置身事外，將面臨更多挑戰，須地球村的大家共同協作及努力。此行能順利及圓滿達成，感謝在此行程中各位長官及朋友的支持與協助，謝謝水公司李嘉榮董事長、李丁來總經理、吳振榮副總經理、本公司會計處、人力資源處、行政處長官及同仁，新加坡 PUB 高級顧問廖國榮先生、水質署彭志明署長 (PANG CHEE MENG)、水處理及配水系統郭佩芬首席專家 (QUEK Puay Hoon)、化學實驗室張力鳳首席專家 (ZHANG Lifeng) 以及供水部門高級助理總監局楚彭偉、吉偉鄭偉鵬總經理、睿科顧問 林文豪(PUB 前水質署署長) 執行長 Terence Cheong、副執行長 Yeo Chai Meng、副總 Lui Sikai 及 Nm3 Tech 執行長 Lei Lei

謝謝您們。