

行政院及所屬各機關出國報告（出國類別：業務洽談）

112年度赴新加坡洽談水資源利用與 管理及智慧園區推動心得報告

服務機關：國家科學及技術委員會中部科學園區管理局

姓名職稱：中科管理局營建組 組長 謝東進

中科管理局營建組 專員 趙庭佑

中科管理局環安組 技士 李文智

派赴國家/地區：新加坡

出國期間：112年 11 月 26 日至 12 月 2 日

報告日期：113 年 1 月

摘要

科學園區之用水穩定議題受到各界高度重視，除受環評限制之新設園區須使用再生水外，諸多既有園區進駐廠商亦希望能提供多元供水以穩定產業生產與永續發展，而近期因應節水節能等政策要求，有關智慧水管網之節流控管及再生水科技造水之能耗議題尚須蒐集更多資料，爰辦理此次赴新加坡洽談。

本次洽談主要對象為新加坡公用事業局(PUB)，及其配合之營運商、供應商，以及新加坡南洋理工大學(NTU)土木及環境工程學院，了解新加坡再生水(新生水)之節能生產技術運用及智慧管網之偵漏技術發展，與新加坡在膜領域運用於水回收技術之發展現況，以及水處理技術在節能技術之發展應用與能源資源整合型新世代水資源回收廠規劃情形。並實地赴新加坡烏魯班丹新生水廠(Ulu Pandan WRP)，了解新生水廠之處理程序及整廠回收效率，另參訪 PUB 基於水資源管理所開發建設之濱海堤壩、ABC Waters 示範點及新生水遊客中心(樟宜新生水廠 CWRP)等公共設施。

此次藉由參訪先進國家之機會，與國外專家面對面進行技術交流及經驗分享，以作為科學園區轉型為智慧園區在節水節能推動、再生水利用管理及管網智慧管理等方面建設之參考，以提升園區整體服務品質。

目次

摘要.....	1
壹、目的.....	3
貳、過程.....	4
一、行程概述.....	4
二、行程說明.....	4
三、洽談內容.....	6
(一) 新加坡公用事業局 PUB.....	6
(二) 新加坡水務協會 SWA.....	10
(三) Keppel 吉寶公司 (Keppel Seghers Ulu Pandan NEWater Plant).....	11
(四) Sembcorp Industries 勝科工業公司.....	12
(五) 南洋理工大學.....	14
(六) Wilo 威樂公司.....	18
(七) NTi memtech 公司.....	19
(八) 公共設施參訪.....	22
1. 新生水遊客中心.....	22
2. 濱海堤壩(Marina Barrage).....	25
3. ABC Waters.....	27
參、心得及建議.....	28
肆、附件.....	33

壹、目的

近年受全球氣候變遷影響，天然降雨之旱澇不均情形愈趨極端，且為避免溫室氣體排放加劇暖化，對於減碳要求也愈趨提高，科學園區半導體或光電製程因需大量用水，在此條件下，園區用水穩定議題受到各界高度重視，目前各科學園區除環評限制使用再生水外，諸多園區廠商亦希望園區能提供多元供水以穩定產業生產與永續性要求，另中科二林園區環評書已承諾園區採取全回收再利用，而近期因應節水節能等政策要求，智慧水管網之節流控管及再生水科技造水之能耗議題亦應加以重視，故科學園區有必要參考其他國家再生水及智慧用水開發經驗及技術，作為後續園區推動相關工程建設及營運之參考依據。

新加坡受限於國土狹小，集水區不足且人口密度高，致使天然水資源稀缺，水資源佔有量居世界倒數第二位，該國除使用集水區淡水及馬來西亞進口天然水外，新加坡公用事業局 PUB (Public Utilities Board) 自1980年代起即有再生水(稱 NEWater，新生水)及脫鹽水(海水淡化)供水之規劃，以支撐工商業及人口發展，近年在整合污水處理及新生水廠之規劃並有能資整合之設計，輸配水管網並導入滲漏監控技術，以符合科技造水兼顧節能、能資源整合之永續性要求。新加坡水處理技術現著重膜處理技術應用，其技術廣泛應用於污水處理及新生水產製，且相關技術位居國際領先地位，均足為未來園區水資源供應及管理之借鏡參考。

本次透過與新加坡水務界產、官、學界之拜訪交流，進行經驗分享及政策瞭解，及與當地工程顧問、系統商及設備商等瞭解當地相關政策或工程推動之運作模式，除可作為技術交流外，更可將該國推動模式作為後續科學園區於再生水利用及智慧水管理方面之規劃設計參考。



貳、過程

一、行程概述

本次出國洽談之代表團由國家科學及技術委員會中科管理局營建組謝東進組長、趙庭佑專員及環安組李文智技士參加，並邀參與工程設計監造單位中興工程顧問、台灣世曦公司等技術人員共同參加，洽談日期自民國112年11月26日至12月2日止，共計7日。

本次行程安排透過與新加坡公用事業局 PUB、中華民國對外貿易發展協會 (TAITRA)新加坡台灣貿易中心等單位接洽後，洽談地點包括：PUB、SWA、南洋理工大學(NTU)、Keppel、Semcorp、Wilo、Nti memtech 等公私機構，包含產官學(研)各界，涵蓋範圍完整

二、行程說明

表1. 112年度赴新加坡洽談水資源利用與管理及智慧園區推動洽談行程表

新加坡洽談行程表(2023)	
日期	行程安排
2023/11/26 (日)	啟程
2023/11/27 (一)	拜訪 wilo Singapore Pte Ltd/ 參訪濱海堤壩水庫 Marina Barrage (Sustainable Singapore Gallery)
2023/11/28 (二)	拜訪 Keppel Industries (Keppel Seghers Ulu Pandan NEWater Plant)/ Sembcorp Industries Ltd
2023/11/29 (三)	拜訪新加坡/新加坡水務協會(SWA)/新加坡公用事業局(PUB)、水務交流中心(SgWX)

	<p>SgWX Address: 84 Toh Guan Rd E, Singapore 608501</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Time</th> <th>Program</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.30pm-2pm</td> <td>Tour of SgWX's site</td> </tr> <tr> <td>2pm-3pm</td> <td>Business meeting with companies in the space of water technology <ul style="list-style-type: none"> CTSP background sharing and requirements for water recycling centres establishments. Introductory sharing by 3E Memtech About Us - 3E Memtech Pte Ltd Introductory sharing by Teredo Teredo Analytics Enhanced Asset Reliability using AI </td> </tr> <tr> <td>3pm-4pm</td> <td>Sharing by PUB on PUB's experience in water recycling</td> </tr> </tbody> </table>	Time	Program	1.30pm-2pm	Tour of SgWX's site	2pm-3pm	Business meeting with companies in the space of water technology <ul style="list-style-type: none"> CTSP background sharing and requirements for water recycling centres establishments. Introductory sharing by 3E Memtech About Us - 3E Memtech Pte Ltd Introductory sharing by Teredo Teredo Analytics Enhanced Asset Reliability using AI 	3pm-4pm	Sharing by PUB on PUB's experience in water recycling
Time	Program								
1.30pm-2pm	Tour of SgWX's site								
2pm-3pm	Business meeting with companies in the space of water technology <ul style="list-style-type: none"> CTSP background sharing and requirements for water recycling centres establishments. Introductory sharing by 3E Memtech About Us - 3E Memtech Pte Ltd Introductory sharing by Teredo Teredo Analytics Enhanced Asset Reliability using AI 								
3pm-4pm	Sharing by PUB on PUB's experience in water recycling								
2023/11/30 (四)	拜訪南洋理工大學(NTU)-土木與環境工程學院(CEE)/ 參訪 Nti 膜科技公司 (NTi Memtech) /NEWater Visitor Centre (NVC)								
2023/12/1 (五)	參訪 ABC Waters Attractions (Bishan-Ang Mo Kio Park)/ 氣候變遷防汛調適措施								
2023/12/2 (六)	返程								



圖 1 本次洽談設施位置示意圖

三、洽談內容

(一) 新加坡公用事業局 PUB

新加坡公用事業局(Public Utilities Board, PUB)為新加坡政府法定機構，隸屬於新加坡永續發展與環境部(Ministry of Sustainability and the Environment, MSE)，負責監管和監督新加坡水資源系統，業務包括雨水收集管網與設施、水資源開發、排水工程規劃及土地資源規劃管理等，並確保水資源開發不受生活污水、工業廢水以及其他污染影響，並自2020年4月起，PUB 也作為國家海岸保護機構，承擔保護新加坡海岸線免受海平面上升影響的責任。

在新加坡廣為人知的四個國家水龍頭（當地集水區水、進口水、新生水、海水淡化水）為 PUB 首要任務，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淡化海水。PUB 下設有營運 (Operations)、政策與發展 (Policy & Development)、未來系統與技術 (Future System & Technology) 等三大業務部門，可確保水資源匱乏的新加坡擁有多元化和可持續性的供水。

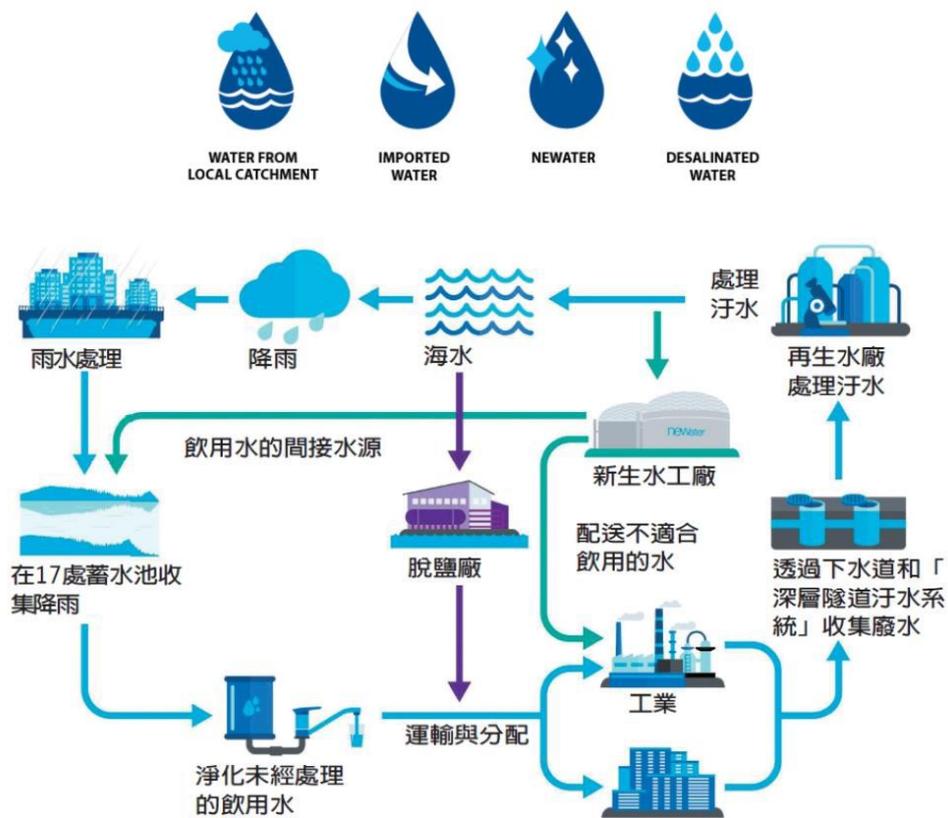


圖 2 新加坡水資源利用示意圖

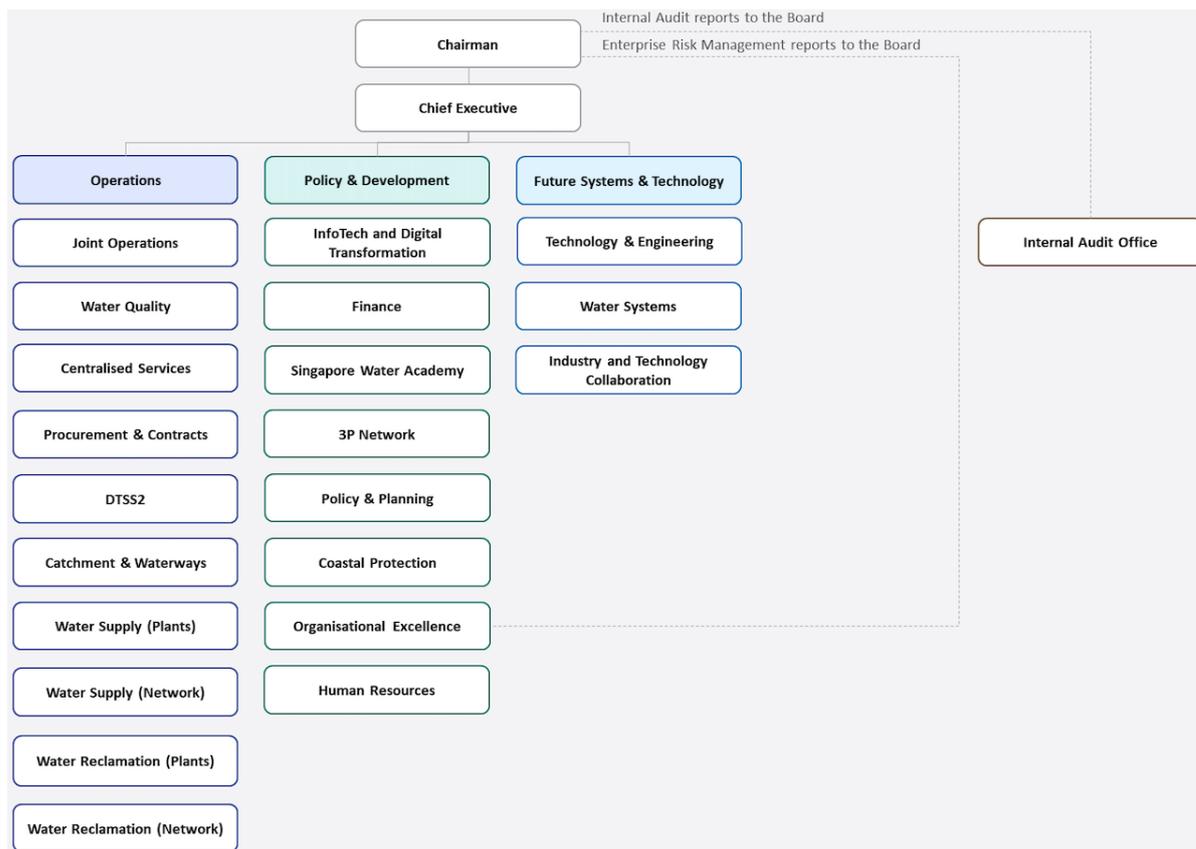


圖 3 公用事業局 PUB 組織架構

本次洽談窗口為 PUB 未來系統及技術組所屬之工業及技術合作處（Industry & Technology Collaboration），代表團於 PUB 期間，領隊謝組長與工程與其上級單位「未來系統及技術」部門之首席技術執行官彭志明總監進行簡短晤談。

彭總監表示 PUB 目前仍著重在國內民生含 B1類工業廢水之處理與回收，目前 PUB 在處理技術方面的進展包括，成功應用厭氧氨氧化 MABR 處理污泥處理系統濾液，優點包括：更節能、更省地、減少溫室氣體 N₂O 的產生。有這個成功經驗，目前正在發展應用在主流程的 MABR，優點包括：減少空間需求同時強化處理、無氣泡式的供氧可減少能源需求，並且減少污泥量、減少溫室氣體 N₂O 的產生等，應可提供代表團相關參考資訊。

另在節水政策部份，為了提高非國內部門的供水彈性和環境永續性，PUB 從2024年1月1日起強制要求用水密集型產業，包含晶圓製造、電子和生物醫學行業的新項目進行水回收再利用。而彭總監對於台灣高科技廠商之廠內用水回收率可達90%之成就，亦表示高度讚賞。



圖4 代表團參訪 PUB 新加坡水務學院

圖5 首席工程與技術執行官彭志明與代表團謝組長合影

在表定行程部分，PUB 安排了一場技術交流會議，PUB 方面由回用水處理首席專家陶桂和博士與會，中科先就目前二林園區環評承諾之水再生利用規劃及二林園區水資源回收中心建置情形進行簡報，陶博士對於目前中科二林園區環評承諾之水再生利用方式提出了相關意見，表示其後續營運水質數據可提供參考。

陶博士首先分享加坡在水資源回收及節能應用之技術與佈局，講述 PUB 早期在膜處理尚未成主流技術之時，即與民間廠商、學術界辦理相關試驗、技術驗證、模廠(Pilot plant)建置、決定政策及招標執行，故新加坡水處理技術之佈局，時程通常須提前15-20年規劃。

陶博士會中提到新加坡面臨的挑戰包括：用地有限、需要自給自足的能源及污泥處理處置的問題。在增加可用土地部分，目前施作的 DTSS (Deep Tunnel Sewerage System) 計畫可釋放出兩個污水處理廠及中間抽水站的用地。過去新加坡水處理廠的設計採傳統初級及二級處理後，再經由膜處理(UF/RO)，經過UV消毒成為新生水。但在 DTSS 第二期計畫中，初級處理改採傾斜板沉澱池、將生物處理/二沉池與 UF 結合，採用 MBR 系統。此外有效進行污泥厭氧處理，進行沼氣發電，並且在鄰近用地設置併同 WTEF(Waste-To-Energy Facility)及 FWTF(Food Waste Treatment Facility)進行沼氣及廢熱發電，上述所產生的電力，維持水處理及廢棄物處理設施用電，降低整體碳排放。

技術交流會議另安排新創公司 Teredo Analytics 進行技術交流，分享該公司以聲學應用於偵測管道滲漏技術之產品，有助於提升智慧供水管網之可靠性及即時偵測泵房及管線異常，另一主題安排新加坡3E memtech 公司由 Shieh Jyh Jeng 博士分享中低操作壓力之中空纖維納濾膜應用於水處理技術的創新與實際

運用，該低壓產品具有高過濾效率及低能耗之優點。

代表團也參訪 PUB 水務交流中心(Singapore Water Exchange, SgWX)，PUB 係於 2018 年成立了 SgWX，作為放眼全球之水務公司合作和共同創新基地。SgWX 生態系統包括顧問、技術供應商、工程承包商、協會、孵化器和加速器，是來自 16 個國家的 38 家水務公司的所在地，前述參與技術交流之 Teredo Analytics 及 3E memtech 等2家即為 SgWX 之進駐公司。



圖6 PUB 人員介紹新式中空纖維膜



圖7 代表團於 SgWX 與 PUB 方面進行技術交流會議



圖8 PUB 回用水處理首席專家陶桂和博士講述新加坡經驗



圖9 代表團與陶桂和博士合影



圖10 Teredo Analytics 定間隔監聽器



圖11 3E memtech 低壓納濾中空纖維膜

(二) 新加坡水務協會 SWA

代表團並於 PUB 水務學院與新加坡水務協會(Singapore Water Association, SWA)成員進行意見交流，SWA 是一個民間組織，主要促成協會會員所有水務業務和技術交流。協會成立於2004年2月，目前擁有260名會員，包括公司和個人，涵蓋系統整合商、諮詢和工程服務、測試和分析服務、設備供應、水處理化學品和薄膜製造商，以及活躍於相關領域的律師事務所和學術機構。

SWA 主要目標為建立成員之間的聯繫並且交換新商機與新技術的訊息，強化新加坡公司在全球市場的影響力。交流過程由領隊謝組長進行中科現況簡報，SWA 成員對於台灣高科技業之水處理技術及水務市場行銷方面，多希望有更進一步的了解，並建議能有相關的商務平台能直接與台灣科技廠商做水處理市場的行銷，並期許後續能有持續性之交流。



圖12 代表團領隊謝東進組長於 SWA 進行中科簡介



圖13 與新加坡水協會 SWA 成員進行意見交流

(三) Keppel 吉寶公司 (Keppel Seghers Ulu Pandan NEWater Plant)

吉寶公司為新加坡重要之公用事業服務廠商，業務重心包括能源轉型、環境服務以及配電和儲存三個核心領域。此次參訪該公司烏魯班丹新生水廠(Ulu Pandan Water Reclamation Plant)，該廠是新加坡第二大、第四座新生水廠。於 2005 年，在公用事業局 PUB 的公私合作倡議下獲得了設計、建造、擁有和運營(促參 DBOO)契約，供應新加坡西部和中部地區用水需求。該新生水廠於 2007 年 3 月開始商業運營，是當時新加坡最大的新生水廠。該廠每天可生產 148,000 m³ 新生水，於嚴峻缺水時，透過三級回收之全廠最大回收率可達 90%，該廠水處理系統採用模組化設計、節省空間與達到節能，進而降低了營運成本。該水廠的屋頂設有太陽能光電系統，有助於降低水廠的碳足跡，該水廠每年產生近 1.2GWh 的再生能源，相當於約 250 個四房家庭每年的能源消耗總量。



圖 14 代表團於烏魯班丹與 Keppel 公司進行技術交流會議

圖 15 烏魯班丹新生水廠操作中心暨展示廳

吉寶工業吳總經理(Goh Eng Kwang)並介紹了該公司最新之海水淡化廠－吉寶濱海東海淡廠 Keppel Marina East Desalination Plant (KMEDP)，該廠為新加坡第一個雙模式海水淡化廠，同一水廠可兼處理水庫淡水及海水，由 PUB 以促參 DBOO 方式建造，於 2020 年中商業運營，每日產水量 137,000 m³，但占地僅 2.4 公頃。該廠水處理系統特點為直接耦合設計，直接連結超濾和反滲透單元，省略一個抽水過程可節省 15% 的加壓循環所使用的能量，KMEDP 並使用壓力交換器，可捕捉高壓 RO 鹽水流中的水力能量，然後將其轉移到低壓海水流，使能源得以重複利用，提高能源效率，並將 RO 過程中的能耗減少高達 60%。

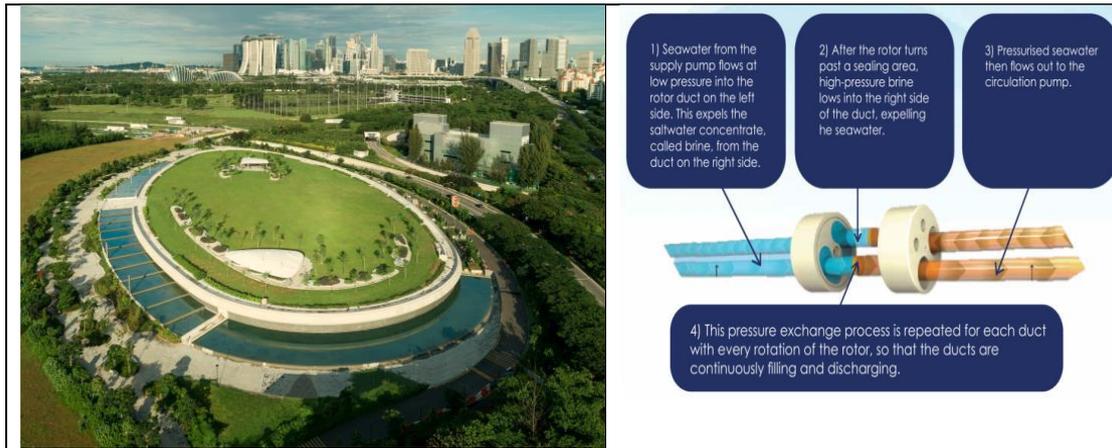


圖 16 KMEDP 外觀採全地下化設置

圖 17 KMEDP 使用壓力交換器設計概念

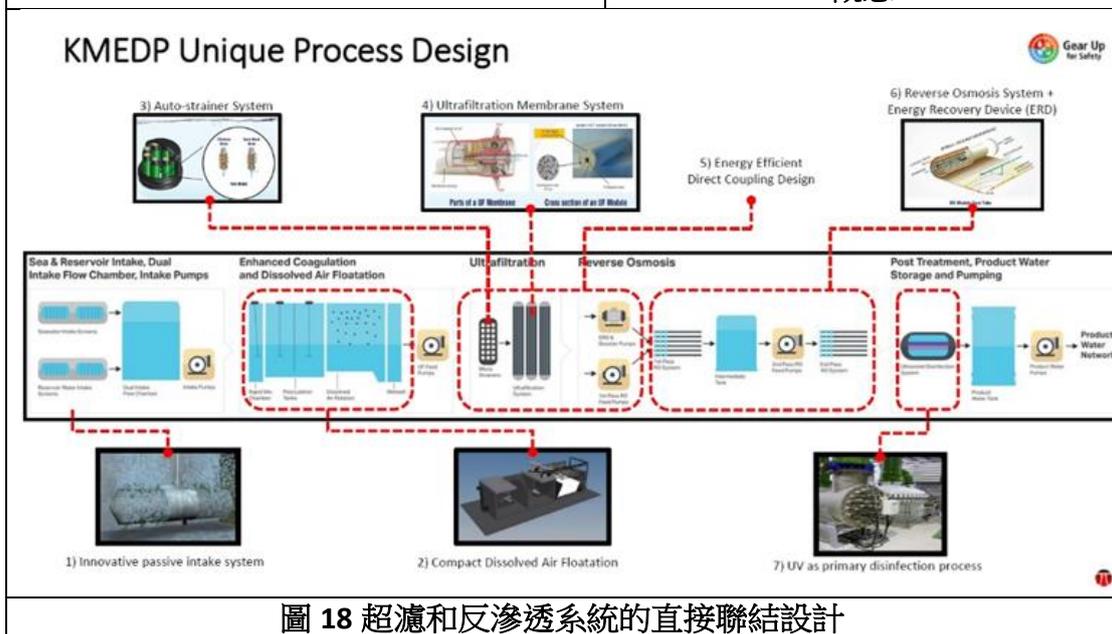


圖 18 超濾和反滲透系統的直接聯結設計

(四) Sembcorp Industries 勝科工業公司

勝科 Sembcorp 為新加坡另一家重要之公用事業服務廠商，員工人數達 5,000 人，服務範圍包含再生能源、綜合城市解決方案、天然氣及相關服務，此次拜訪勝科公司總部，由水務科技總監丁洪波博士帶領水務團隊與代表團進行技術交流會議，勝科目前與 PUB 採 DBOO 方式設計營運之新加坡最大的新生水廠－勝科樟宜新生水廠(Sembcorp Changi WRP)，是世界上少數的位於污水廠頂部的大型水回收廠之一，每日產水量 22.8 萬 m³。

勝科公司另於工業用水回收部分著有實績，在山西省長治市王橋工業園完

成之綜合污水處理廠，為污水處理、中水回用及供水整合一體之閉環型水處理，每日可回收38,400 m³之污水，達成園區之水零排放；另於新加坡裕廊島工業區，設置污水處理容量5,520CMD，為高 COD 廢水(COD>18000 mg/L)，採 EGSB(expanded granular sludge bed)膨脹顆粒污泥床處理後，再採活性污泥 MBR，並回收中水供應裕廊島工業區。

勝科公司並專注於水務技術研發，名為微全智水(Virtual Brain Water, VBW)為一種資產合規、資產優化和資產設計的智慧數位平台，它結合了不同的技術例如大數據分析及 AI 模型等，為污水處理廠提供了完整的智慧工廠解決方案。此平台的功能包括利用統計模型提前5天預測污水排放質量，同時提供製程故障排除和最佳化建議。平台於2018年起進開發，2022年改名為 WaterOS，主要為控制曝氣量最佳化操作來降低用電量，可降低75%人力成本。此外對於薄膜也開發 IMPAC 模預測及自適應控制系統，可有效調控過濾與反沖洗週期，其成效為降低10%成本，提高10%產水量。

另有低碳智慧水處理解決方案 (Bio-Beatz，一種基於生物處理系統的低碳智慧水處理)，及勝科自主研發之新型催化劑 (有效提高難氧化的 COD 物質分解，催化效率據稱是現有市場主流產品之2-4倍)，此外勝科目前也針對有機膜與碳化矽陶瓷膜進行相關研究與產品開發。



圖 19 代表團於勝科總部與水處理技術團隊進行技術交流會議

圖 20 代表團與勝科水處理團隊合影

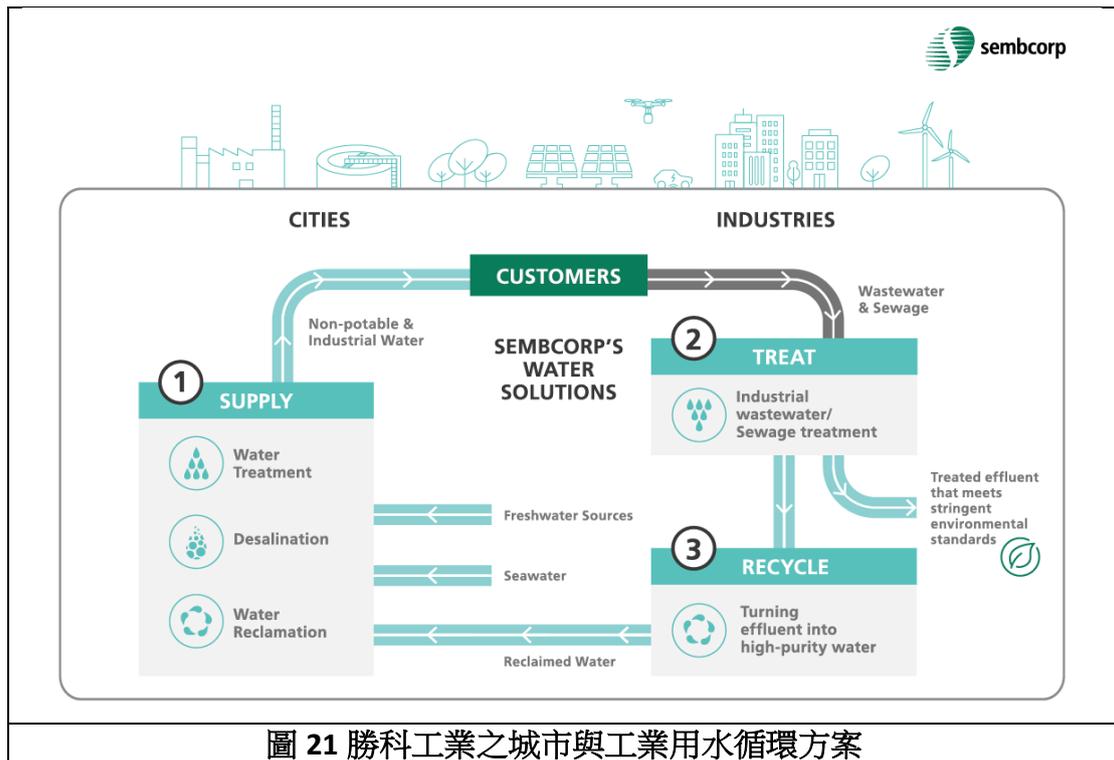


圖 21 勝科工業之城市與工業用水循環方案

(五) 南洋理工大學

新加坡南洋理工大學是全球科技大學聯盟成員和創始校，為國際知名大學之一，本次洽談於南洋理工大學土木與環境工程學院(CEE)，與 Emeritus Prof. Ng Wun Jern 伍文禎榮譽教授、Prof. Wang Rong 王蓉教授、Prof. Zhou Yan 教授及該校 Separation Technologies Applied Research and Translation (START) Centre 常務董事 Adil M. Dhalla 博士進行技術交流會議。

伍文禎教授曾獲選 Top 100 Scientists in Asia，2006年曾借調到當時的新加坡環境部，之後創立了南洋環境與水研究所 (Nanyang Environment & Water Research Institute, NEWRI)，2012年獲選新加坡工程院院士，且擔任環境與水資源部和新加坡政府的科學顧問。伍教授為代表團介紹新加坡水政策、水處理科技及材料技術的前沿發展，從早期氣相分離膜研究，到水處理薄膜乃至於食物分離膜等，他們所關心的，除了技術外，還更重視實用性以及是否可以商用化。

王蓉教授是新加坡南洋理工大學土木與環境工程學院的正教授兼院長，新加坡工程院院士，擔任南洋理工大學 NEWRI 新加坡膜技術中心 (SMTC) 主任、新加坡膜協會 (MEMSIS) 創始主席、東協膜協會(AMS)的主席。王教授在膜領域有

非常先端的研究，簡介了包含以水通道蛋白為基礎(Aquaporin Based)之仿生平板／中空纖維 RO 膜、節能逆滲透膜 Energy-efficient reverse osmosis (EERO)、新型膜生物反應器，含 FO-MBR 正滲透、MD-MBR 膜蒸餾、Ex-MBR 萃取式、AnF-MBR 厭氧流床式等不同用途之 MBR 膜材料。王蓉教授表示新加坡未來到2060年時需水量將增加為現今需水量的2倍，屆時水處理能耗將增加4倍之多，所以需要致力研究低能耗的膜。例如 SMTC 在發展用於 RO 的 Bio-mimetic Membrane 仿生膜，第一階段發展水通道蛋白膜，就像是腎過濾水所組成的孔道，控制水在細胞的進出，但這種膜的成本高，而後進一步發展出 Bio programmable Membrane (BPM)生物調控的薄膜，並且發展8吋商用模組。而後在烏魯班丹新生水廠進行模廠試驗，膜壓僅需4 bar 左右，而整體能耗比其他生用膜節省50%。

Zhou Yan 教授曾獲 IES 著名工程成就獎，本次以「膜生物處理在廢水管理、水再生和資源回收中的應用」之主題進行介紹，其中對於整合式厭氧 MBR、主流厭氧銨氧化菌和 RO 程序，以及利用 Quorum Quenching (QQ) 控制 AnMBR 的膜表面結垢，QQ 的方式是降低細菌之間使用可擴散訊號分子（稱為自誘導劑）的通訊，以降低結垢污堵的形成，在 SMTC 的實驗研究發現，使用於厭氧 MBR 的薄膜進行 QQ 後，進行膜污堵控制實驗，可將原來第6天就污堵需反洗的膜，延長至第59天才需進行反洗，可節省反洗能耗。

Adil M. Dhalla 博士，自 2015 年 8 月起擔任 START 中心常務董事，並擔任 NEWRI 副主任，且為新加坡膜聯盟 Singapore Membrane Consortium (SG MEM) 指導委員會主席。START 中心為研發及技轉組織，SG MEM 則是為了對外展示新加坡獨特的膜技術生態系統，並利用該生態系統與工業合作夥伴發展互利合作關係。

南洋理工大學三位頂尖教授分享他們在水領域的經驗與最新研究成果，Adil M. Dhalla 博士則展示了膜技術從學術至商業化的具體成就，相關膜技術發展及產業合作模式，使代表團收穫良多，未來可納為建置智慧園區的重要參考。



圖22 代表團與新加坡理工大學4位專家學者進行技術交流會議

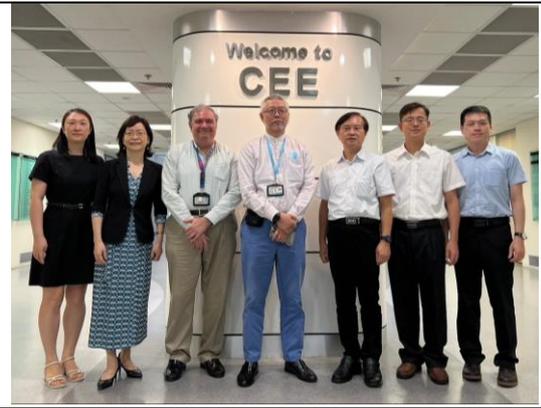


圖23 代表團與新加坡理工大學學者於CEE合影(左起：Zhou Yan 教授、王蓉教授、Dhalla 董事、伍文禎教授)



圖24 aeMSBR 廢水處理與生質能回收整合

Translation and Piloting: Pressure Retarded Osmosis





Key Deliverables

- ❑ Translation of PRO technology from TRL level 3 to TRL level ≥ 7
- ❑ Continuous Field level validation of 200 m³/day integrated PRO+SWRO system for at least 12 months
- ❑ Harvesting of Salinity gradient energy using SWRO brine and waste water retentate





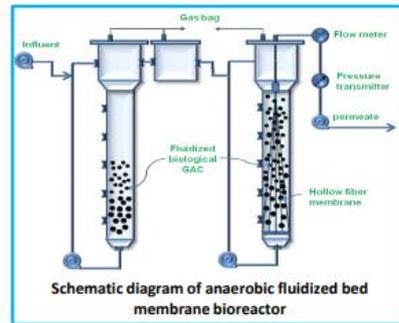


圖25 Pressure Retarded Osmosis 壓力延遲逆滲透技術

Anaerobic Fluidized Bed MBR (AnF-MBR)

Two-Stage AnF-MBR for Energy Positive Sewage Treatment

- ❑ Maximize energy production through enhancing the biodegradability of refractory organics
- ❑ Minimize total energy consumption through effectively controlling membrane fouling by granular activated carbon scouring

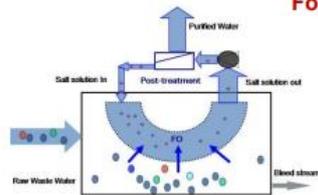


Pilot-plant AnF-MBR is located at PUB's Ulu Pandan Water Reclamation Plant

圖26 在烏魯班丹新生水廠模廠進行驗證之二階段 AnF-MBR

Forward Osmosis MBR (FO-MBR)

For High TOC Removals



Integration of FO and MBR

- ❑ Very high TOC removals
- ❑ Overall TOC removal > 99% (Draw solute < 1 ppm)



圖27 正滲透 MBR 處理高 TOC 廢水

(六) Wilo 威樂公司

Wilo 威樂公司為全球知名泵浦製造商，全球總部位在德國，該公司供應全球在建築服務、水管理和工業領域泵浦和泵浦系統。本次參訪 Wilo-singapore 公司，為東南亞地區總部。

經該公司國家經理 Guay Hui Leng 簡介得知，目前在新加坡部分之供應以城市供用設施解決方案為主，包含 PUB 部分，該公司發展之智慧互聯解決方案可以為城市發展為永續智慧城市地區做出重要貢獻，該公司能為客戶提供具有高系統效率和最大程度節能的客製化解決方案和服務。

由於新加坡辦公室主要銷售抽水機為主，故經驗交流過程中針對超大型抽水機(400Hp 以上)之軸封型式進行意見交換。由於我國目前針對公共污水處理廠所使用的乾井污水抽水機，其軸封採雙機械軸封為主，但有部分大型抽水機廠商說明其制式產品為僅為單機械軸封，就此點向 Wilo 請教其看法及建議，Wilo 表示需要使用到雙機械軸封，通常是非常特殊如高酸鹼或化學品的流體泵，避免液體滲漏而影響設備運轉，但污水在他們看來並不如這些特殊物質，可僅採用單機械軸封即可，若當初我國採雙機械軸封為是避免污水中顆粒物質磨損軸承，他們認為效果有限。

因應智慧園區建置，應考量氣候變遷、高效供水技術、供水系統彈性的評估及應對更換和緊急供水的挑戰。本次並感謝 Wilo-singapore 協助與 PUB 當局在當地的溝通協調促成本次洽談行程。



圖28 代表團]與 Guay 經理留影

圖29 代表團]於 wilo 進行技術交流



(七) NTi memtech 公司

NTi memtech 為新加坡之膜製造公司，隸屬新加坡上市利德環保公司，本次代表團拜訪該公司位於新加坡西部 Taus 工業區之生產工廠，該工廠主要生產之奈米鈦晶複合膜(NanoTi-PVDF)對於膜污染 及膜性能持續性，有高性能之表現，特點包含：

(1)高強度

- A.機械強度極高、不斷絲、不脫皮、易清洗、耐污染。
- B.適用於市政污水 MBR 工藝。

(2)高精度

- A.孔徑小、孔徑分佈優、過濾精度高（0.02微米）。
- B.表面光滑、污染物不易附著。
- C.適用於地表水淨化、自來水處理、海水淡化預處理、中水回收。

(3)高效能

- A.極好的化學穩定性與抗氧化性。
- B.可誘導自由基產生自清潔。
- C.適用於工業污水處理及高品質膜處理系統。

經利德環保公司劉建林博士介紹，奈米鈦晶複合膜為無支撐層之中空纖維膜，同時兼有機聚合物和無機奈米鈦晶的特性，並具有永久親水性(接觸角-45°)，NIPS 膜較傳統製程達2倍機械強度，因模組裝載密度更高，可使用於現有污水廠改建提升，並具減少曝氣等之節能效益，劉博士並提供污水廠相關操作實務經驗分享，讓代表團收穫良多。

因應永續之智慧園區建置，有關污水廠改建為水資中心議題，應考量現有基地面積之限制及高效率低能耗要求，園區應多方探索新的膜科技應用，以克服相關挑戰。本次謹感謝 NTi memtech 公司協助與 PUB 及南洋理工大學的行程規劃安排，協調促成本次洽談。



圖31 浸沒式(簾式)及壓力式(管式)中空纖維膜組件

圖32 代表團於 SgWX 與 PUB 方面進行技術交流會議

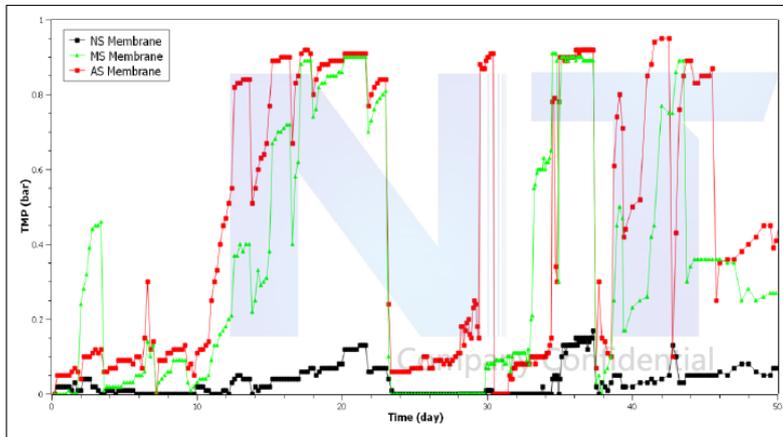


圖33 奈米鈦晶 PVDF 膜為鈦晶於 PVDF 載體之原位長晶技術



技术优势

纳晶膜运行稳定，能耗低



MBR长期运行平行测试数据统计

- 黑色线为纳晶膜，红色与绿色膜产品与纳晶膜产品在相同M条件下平行运行对比数据。
- 纳晶膜运行更平稳（约20天清洗周期并迅速缩短），造成跨陡升。
- 同类膜清洗后通量恢复明显较短间隔时间也较短

圖34恢復膜通量之清洗週期明顯低於市場產品

(八) 公共設施參訪

1. 新生水遊客中心

新生水遊客中心 Newater Visitor Centre (NVC) 為一教育場館，位於新加坡東部鄰近樟宜機場，成立宗旨為促進新加坡的水可持續發展並分享新生水的生產方式，增加民眾科普知識，經過預約可提供多元互動之導覽服務，該導覽從 Deep Tunnel Sewerage System (DTSS 深隧道陰溝系統) 集中收集家戶之污水直到新生水廠之一系列處理流程，該場館其實附屬於舊樟宜新生水廠 (Changi WRP, CWRP) 內，導覽廊道動線係經過 CWRP 之部分廠區，透過玻璃可觀看包含 UF、RO 及 UV 等設備配置運轉情形，前開3道程序即為新加坡較早期之新生水之處理程序，其中 UV 殺菌程序則為世界再生水所獨創。

館內有一段 DTSS 初始段 $\varnothing 3,000\text{mm}$ 之 1:1 實體比例模型，DTSS 是 PUB 所開發的大型綜合項目，隧道深度在 50 公尺以上，目前已完成第一期建設（將現有重力下水道的水流引導至東部的樟宜水處理廠和北部的克蘭芝水處理廠），現正辦理第二期工程（把隧道系統延伸至新加坡西部，包括一條 30 公里長的南隧道、70 公里的下水道連接管、Tuas WRP 等）。

上開所述之大士新生水廠 (Tuas WRP) 可以從兩個獨立的深隧道接收生活和工業廢水進行處理，初始處理能力達到 800,000 CMD，Tuas WRP 還將能夠將工業用水處理至較高的工業用水標準，係屬新加坡首次嘗試。除了採用先進的物理、生物和化學處理工藝外，Tuas WRP 還將擁有世界上最大的膜生物反應器設施—這將使工廠比現有的水處理廠更加節能，同時佔用更少的空間，並減少海放管長度。

Tuas WRP 項目中，將再結合國家環境局的綜合廢棄物管理設施 (IWMMF) 形成眾所矚目之 Tuas Nexus，Tuas Nexus 為結合焚化爐之能資源整合再生水廠，透過 WRP 與 IWMMF 之間複雜的協同作用 (詳表 2) 達成能資源整合，預計每年可減少超過 20 萬噸 CO₂ 排放，相當於新加坡道路上減少 42,500 輛汽車。



圖35 樟宜新生水廠特殊之16吋 RO 模組



圖36 樟宜新生水廠之 UV 消毒設備

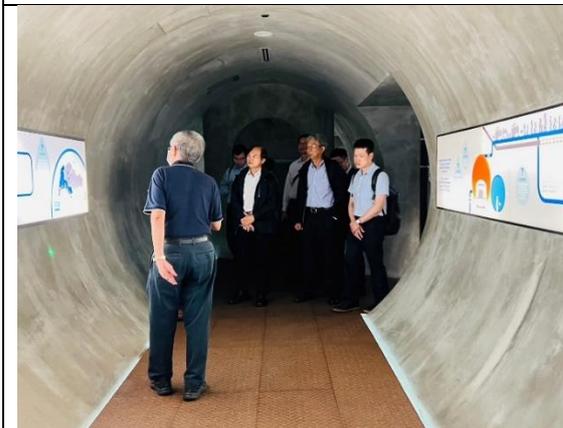


圖37. DTSS 初始段隧道模型



圖38 代表團於新生水遊客中心入口留影

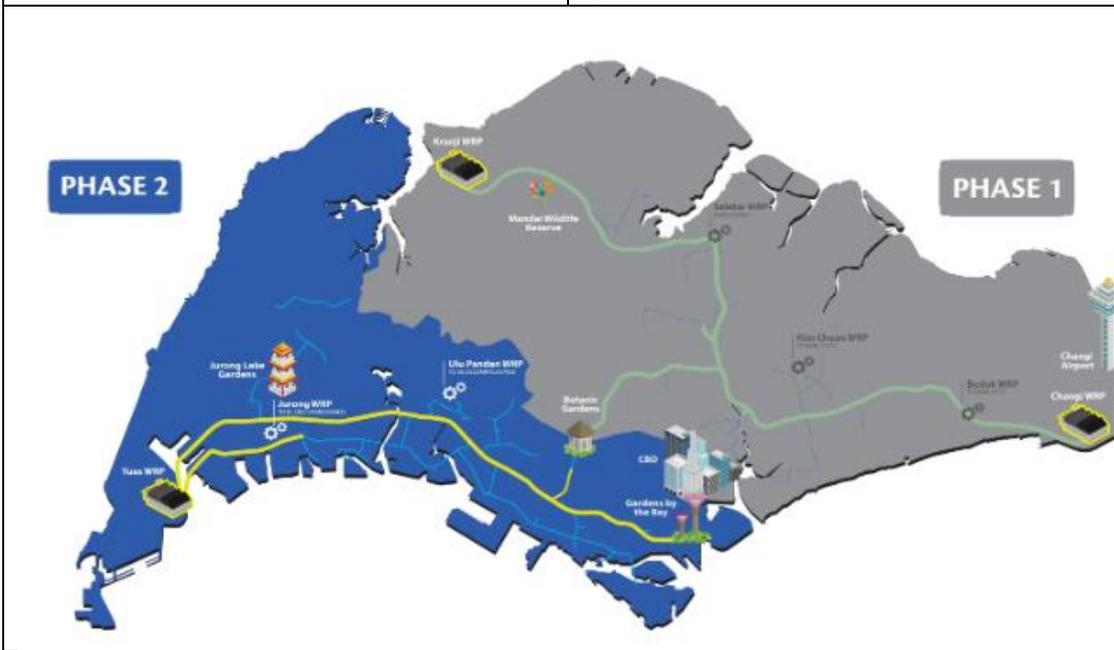


圖39. DTSS 分區建設圖，NVC 即為東側樟宜新生水廠之一部分

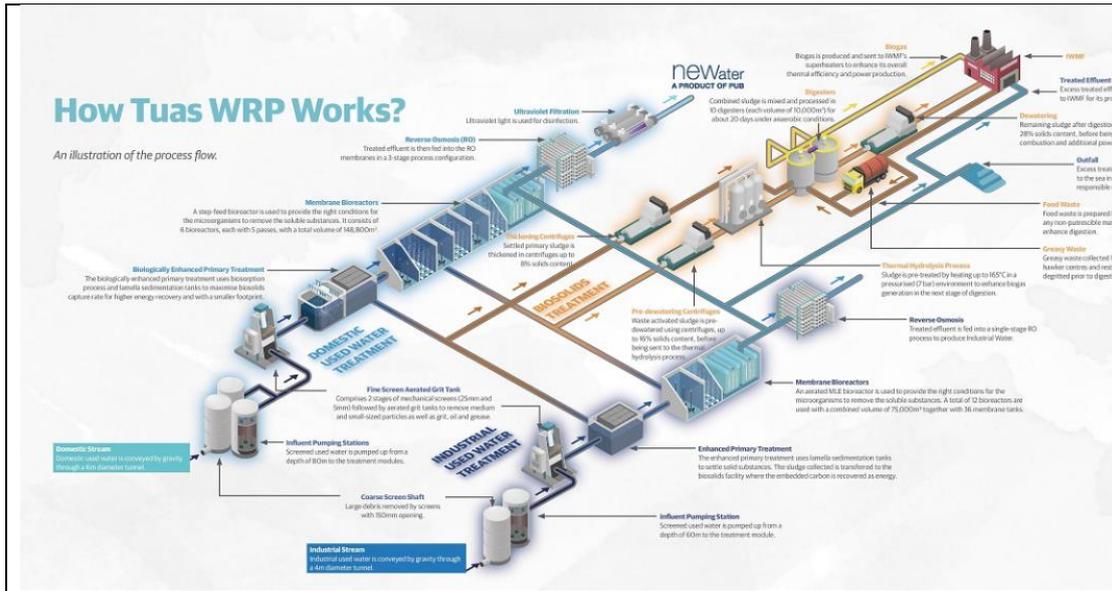


圖40. Tuas WRP 大士新生水廠計畫整合焚化爐之能資整合設計(Tuas Nexus 計畫)

表2 Tuas Nexus 偕同作用列表

物料搬運協同效應	
協同作用1	源頭分類的食物 廢棄物 在 IW MF 加工成生物漿，與 Tuas WRP 的廢水污泥共同消化，產生沼氣。(沼氣產量增加 40%)
協同作用2	脫水污泥 在 IW MF 進行處置，用於焚燒和能源回收。無需將脫水污泥運送至另一個地點處置，並減少了碳足跡。
協同作用3	來自 Tuas WRP 的砂粒和篩分 被送往 IW MF 進行熱處理。無需將砂粒用卡車運送到另一個地點處理。
能源協同效應	
協同作用4	垃圾發電過程產生的電力 將用於為 IW MF 和 Tuas WRP 的運作提供動力，多餘的電力將輸出到電網。
協同作用5	IW MF 產生的蒸汽 將用於 Tuas WRP 的熱水解工藝，以預處理污泥，並用於產生熱水以處理含油廢物。
協同作用6	來自 Tuas WRP 的沼氣 在 IW MF 的外部過熱器中燃燒，以增強 IW MF 的發電量。
水協同效應	
協同作用7	大士污水處理廠處理後的污水 被送往 IW MF 以滿足其製程需求。
協同作用8	IW MF 污泥乾燥過程產生的冷凝物 被送到 Tuas WRP 進行廢水處理。
協同作用9	IW MF 的冷凍水 被送往 Tuas WRP 的行政大樓進行冷卻。

2. 濱海堤壩(Marina Barrage)

新加坡有4個水龍頭，其中一個是雨水收集及儲留。2005年開始新加坡公用事業局(PUB)開始興建的濱海堤壩(Marina Barrage)，將濱海西與濱海東連接起來，形成一個集水區面積達10,000公頃的濱海水庫，集水區有五條河流，是新加坡的第15座水庫，也是城市中心的第一座水庫，蓄水量可供給全國 10%水源。

濱海堤壩總長350m 包括9個30公尺長的液壓操作的弧形鋼製閘門和一個大型抽水站站，在正常情況下，閘門保持關閉狀態，將水庫與海隔離。當集水區下雨使河水位上升且潮水較低時，閘門會開啟釋放多餘的淡水到海中。而漲潮時遇大雨使河水位上升時，因為無法重力將水排至海中，抽水站會開始運轉，流量最大可達280 CMS。除上述設施外，還包括一座13兆瓦的發電站及設有70千瓦太陽能發電系統的綠色屋頂，提供遊客中心、控制室和公共區域的照明電力。整個建築物屋頂由草坪覆蓋，可降低室內溫度並提通民眾休憩場所。

2008年10月30日防潮閘門完工後，透過暴雨的稀釋及排放出海的自然淡化過程，總溶解固體量(TDS)從 35,000mg/L 逐漸下降至 100mg/L，水體由鹹水逐漸轉變為淡水，透過管線輸送至上皮爾斯水庫(Upper Peirce Reservoir)或是提供吉寶濱海東海淡廠(KMEDP)使用，為重要水資源設施。

此外，堤壩旁建有新加坡資源永續展覽館，介紹新加坡水資源及環境永續的發展，館內有靜態展示，亦有互動式數位模擬。導覽人員介紹了新加坡目前逐步汰換建置之智慧型水表，目前新加坡公用事業局(PUB)已展開第一階段的智能水錶安裝工作，至2023年底總計將安裝30萬9,000個智能水錶，PUB 亦推出測試版的智能水錶線上平臺 MySmartWaterMeter，已安裝智能水錶的家庭可登錄帳號，查詢自己每日以及每小時的用水量。若民眾家中出現疑似漏水的情況，也會自動接獲通知。

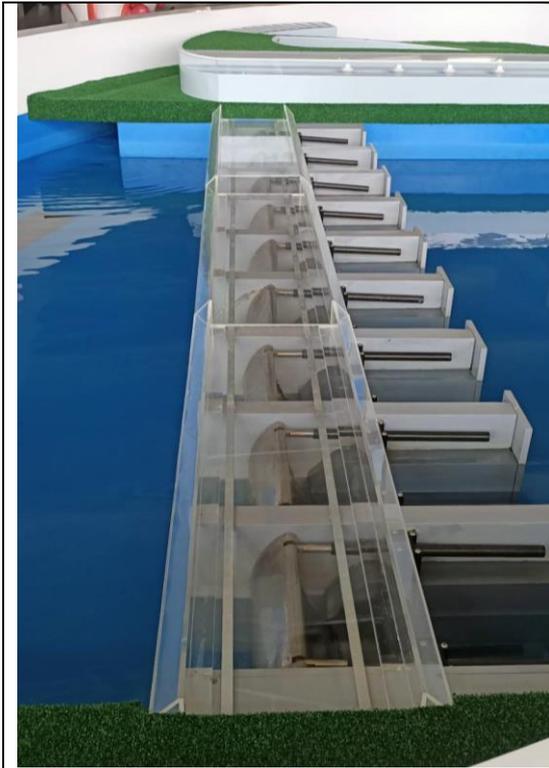


圖41 濱海堤壩模型並可模擬操作

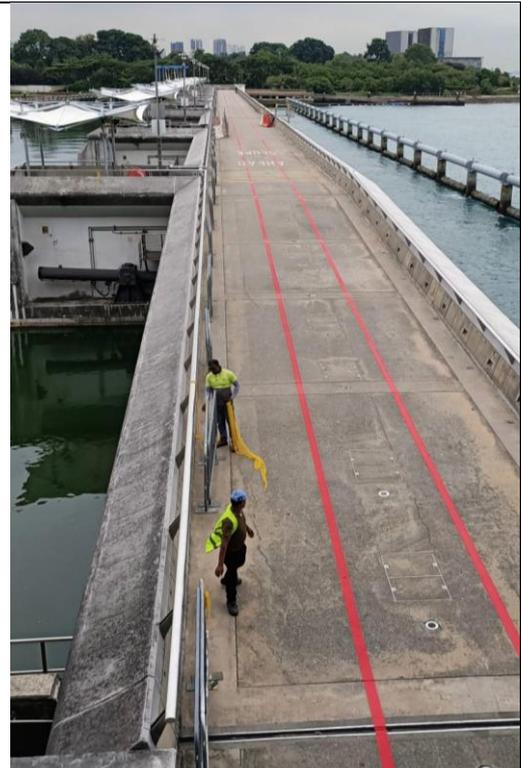


圖42 濱海堤壩壩頂及閘門液壓裝置



圖43 新加坡水錶演進為智慧型水錶



圖44 濱海堤壩抽水機房之屋頂為一綠化草皮可提供民眾遊憩場所。

3. ABC Waters

PUB 於2006 年啟動了「Active 活躍、Beautiful 美麗、Clean 乾淨的水(ABC Waters) 計畫」，透過將排水溝、運河和水庫與周圍環境進行整體整合，以創造美麗潔淨的溪流、河流和湖泊，為社區聯繫和休閒提供新的空間。它促進了新型水敏感型城市設計方法（在新加坡稱為 ABC Waters 設計特點）的應用，可持續性的管理雨水逕流，增加土地涵容能力，增加國土整體淡水資源並減少水患的發生。

本次參訪團參觀了 ABC 水域計畫的旗艦項目，位於 Kallang River 加冷河之碧山-宏茂橋公園（Bishan- Ang Mo Kio Park）， 占地62公頃，該計畫係將舊公園進行重大整修，公園邊緣的加冷河混凝土河道也進行升級改造，以適應城市化導致流域雨水逕流的增加，該公園設計並首次考量植物物種對土壤生物工程的適用性。

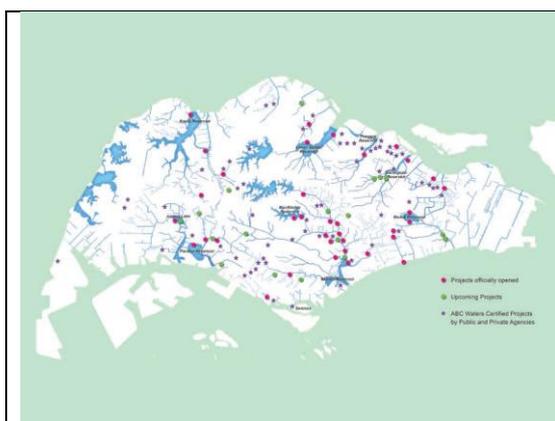


圖45 新加坡已開發(紅點)及將開發(綠點)之 ABC Waters 區位

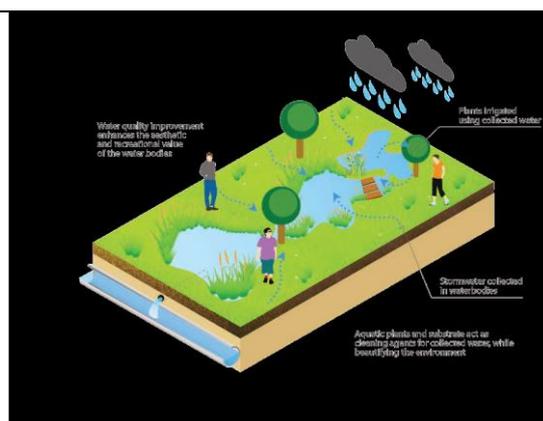


圖46 ABC Waters 設計融入海綿城市概念

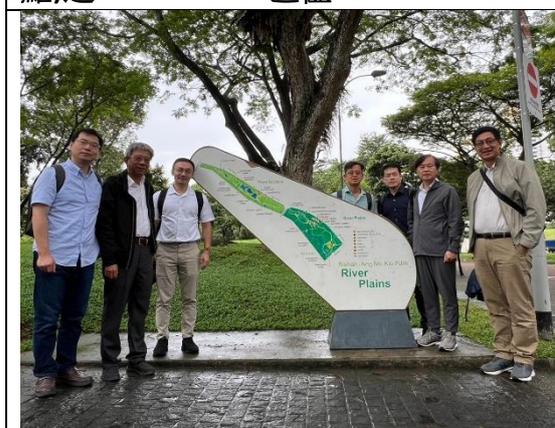


圖47代表團於碧山宏茂橋公園入口留影



圖48. ABC Waters 提供民眾親水休憩場所

參、心得及建議

本次赴新加坡為期7天的業務洽談，洽談對象涵蓋產、官、學各界，洽談之綜合心得及建議盧列如下：

一、新加坡精準技術選用政策

新加坡早期係採用傳統活性污泥法+二沉池處理後，再由 UF 及 RO 流程產製新生水，後來進行水廠功能提升時一併思考節省用地方案，採用 MBR 處理程序。惟近年配合國家永續政策，開始研究低能耗或低排碳的處理技術，如厭氧 MABR、厭氧 MBR(AnMBR)，而除了低排碳外，藉由投加載體提升微生物濃度的生物膜處理法，可以一併降低用地需求，所釋放出來的用地挪作其他用途，解決新加坡用地稀少的問題。

新加坡樟宜新生水廠主流程目前採用5段 AO-MBR，在進入生物處理前，設置具有加強型的初沉單元，主要強化顆粒 SS 去除及碳源提取，除降低後段 MBR 薄膜被顆粒堵塞的機率外，此初沉污泥可提高厭氧消化槽的甲烷產氣率。另外生物處理單元的迴流污泥率僅採1Q、MBR 槽的溶氧控制僅維持攪拌所需(約0.5 mg/L)，惟這些操作方式都需要再進一步研究在園區的污水處理廠是否可行。

新加坡2015年與以色列公司 ROTEC 合作，試用「反向滲透迴流」(Flow Reversal) 技術改善薄膜性能，將水流改為雙向，從而防止薄膜結垢，處理的水量可增加兩成，回收過程中產生的廢鹽水量也減少六成，除了降低營運成本，還能減少對環境的影響，這項技術可將新生水回收率從目前的75%提高至90%，預計2025年及2026年分別在兩座新的樟宜、大士新生水廠採用。此項薄膜技術目前國內尚無相關實績，未來若在再生水廠用地有限又需增加產水量的情形下，可進行初步研究，或許是可行方案。

另為盡量避免政策失誤，新加坡公用事業局(PUB)在採用新處理技術或薄膜產品時，均會先進行模廠(Pilot plant)試驗，並蒐集大約1年的操作數據進行分析後來選擇最適化的流程與產品，水處理及再生水廠建設多為鉅額投資，新加坡採取嚴謹的方式選用流程及產品，避免處理功能未達預期而

有浪費公帑之虞。

二、新加坡水務技術發展架構綿密嚴謹

新加坡因極度缺乏天然水資源，故將水資源視為戰略物資，並期盼四個水龍頭的外購水源比例可以降低，對於每一滴水都希望可以重複利用2次以上，故在水處理領域之科技發展一直能保持領先地位，且應對不同產業領域及應用場景可開發新式材料或技術，透過政府機關、學術界及產業界之緊密結合，從 PUB 確定需求形成政策，進而精準資助學術界開發技術，及透過技術移轉機構移轉協助產業生產，另如 PUB 成立之水務交流中心(SgWX)，PUB 與南洋理工大學共同成立之新加坡膜技術中心(SMTC)等，再如民間自行成立新加坡水務協會(SWA)及新加坡膜聯盟(SG MEM)等，對於相關技術合作、交流、創新及商機合作等各方面，形成一股無論在軟體或硬體均綿密且強大之鏈結。

在水處理主流之膜技術發展，本次拜訪新加坡南洋理工大學膜技術中心(SMTC)，該中心自主開發高通量、低能耗、低藥洗需求的 RO 膜，並且發展商用模組，目的即國家級的研究中心掌握最關鍵的核心，不只依賴國際大廠的薄膜，更有自主研發與應用於實廠的能力。

三、既有科學園區污水廠功能提升之用地解決方向

既有科學園區污水處理廠，隨設備汰舊或功能提升等，未來若逐步規畫改建為水資源回收中心，可能面臨園區公共設施用地可能不足及污水管網配置無法更動等條件，勢必在既有污水廠內進行升級，借重膜生物反應器(MBR)相關處理技術的運用，無需設置沉澱及過濾單元，可大幅節省所需用地面積，且較傳統污水處理程序產生較少量污泥，可減少污泥處理設施容量、用地及終端處理費用，且亦可於 MBR 系統後端直接銜接 RO 程序產出製程用之工業再生水，另外可仿效新加坡新生水廠採行立體化之膜組配置，可大幅節省用地面積，且本次洽談之新式之無支撐層中空纖維膜，其較高強度亦可增加單一膜絲長度，進一步增加單位模組面積之處理容量。

四、科學園區污水處理場及水回收中心智慧化操作

科學園區污水處理廠因處理程序及設施眾多且複雜，目前操作營運即透過各設備運轉狀態及相關水質偵測參數進行操作；而本次會談對象之一 Semcorp 公司即成立獨立部門研發所謂微全智水 VBW (Virtual Brain Water) / WaterOS 平台可以協助用戶端建置污水處理廠水質監視、監控等資料收集及透過智慧平台雲端計算後提供即時水質預測及操作參數供現場操作人員依該參數進行操作，目前已於幾個實廠驗證除可更智慧應對水質變動之操作，減少操作人事成本。此部分可作為園區污水廠未來建設之參考。

五、科學園區建置園區智慧水表及智慧管網技術應用

水資源在國內屬珍貴資源，尤其再生水無論 RO 處理之能源消耗或因水廠地處低窪之泵送回用動力等，均需消耗大量電力，爰再生水輸配水管網之智慧化管理及漏水偵測等應為建置智慧園區之重要一環，本次 PUB 安排洽談之新創公司所分享之聲學偵漏技術，具有高精度、低成本及可靠性，除可即時偵測漏水外，並可應用於無人泵室機房，自動監聽機械運轉是否正常，應有相關應用價值，且配合大數據及 AI 訓練，有機會做到泵機械部件損壞前之預判。惟在管線部分，因再生水之藍氏飽和指數(LSI)偏低，國內多使用高密度聚乙烯(HDPE)之塑膠管材，其聲音傳導距離較金屬管材短，故需較高密度之布設或輔助搭配節點壓力計及流量計布設。

六、科學園區再生水等科技造水降低能耗

近年受地球暖化影響，關於水資源議題越來越受國人關注，尤其科學園區做為我國產業發展主力，在智慧用水及再生水利用方面受到外界以更高規格的要求與檢視，並有部分園區被要求全園區用水零排放及自建工業再生水廠等，且為因應減碳淨零等要求，再生水處理所需之水處理如 RO 或電透析程序等能耗之減少，亦屬重要議題。爰如何兼顧穩定供水及低能耗，將為未來智慧園區規劃之重點。透過本次洽談，可借鏡新加坡推動再生水工程經驗、後續操作營運模式以及當地系統設備商先進技術，包含系統耦合降低壓力損耗、管網及污水操作 AI 智能化管理、能資源整合利用設計、MBR 厭氧程序串接及結垢控制等技術，來作為園區推動再生水利用建設之規畫參考及應用評估。

七、能資整合水回收廠趨勢

PUB 建設中之 Tuas Nexus 計畫透過整合廢水和固體廢棄物處理流程來利用水-能源-廢棄物(國家環境局的綜合廢棄物管理設施 IWMF)關係的潛在協同效應，例如，IWMF 的廚餘處理設施將把源頭分離的廚餘轉化為廚餘泥漿，與大士水處理廠的廢水污泥共同消化，產生的沼氣將在 IWMF 燃燒，並回收燃燒熱能，以提高工廠整體熱效率並提高發電量，污水處理單元的脫水污泥，並在其污泥焚燒設施進行焚燒，IWMF 產生的電力將用於維持 Tuas Nexus 的運營等。

該集合民生污水、工業廢水、再生水、固體廢棄物處理及能源回收等處理設施於一身的綠色處理廠，可以最大限度地提高能源效率、發電量以及資源回收率，同時保持較小的佔地面積，或許國內可借鏡該廠的設計理念以將資源做最有效利用，值得國內相關主管機關及技術服務單位進一步深入探討。

八、招標策略—促參 DBOO 之多贏策略

PUB 是新加坡公部門中最重要公私合作(Public-Private-Partnership, PPP) 促參案之業主，PUB 現已經完成了多個 PPP 契約，涉及5座海水淡化廠和3座 NEWater 水回收廠。PUB 的 PPP 項目的主要特點，包括採用設計、建造、擁有和運營 (DBOO) 之架構及25年之特許期。

PPP 主要好處包括物有所值、引入新技術和知識轉移、擴大新加坡私營水業的規模，以及將新加坡打造成水務中心，及培植如吉寶 keppel 或勝科 sembcorp 等高技術與高市場價值之民間公用事業公司。而且，雖然由民間部門參與運營水廠，PUB 還是認為自己的官員必須獲取這些公司的專業知識，以便評估它們是否在技術上勝任，並在發生違約事件時能介入管理契約。且為了進一步減輕對新加坡水源的風險，PUB 還定期進行運營審計，並定期與工廠的高級管理層進行溝通。

PUB 採行 PPP 模式成功地供應安全穩定的水源，同時也獲得該模式帶來的益處，並確保了新加坡的民間水務部門得到良好的發展環境，我國在

促參相關契約的設計上，可參考新加坡之公權力適當介入但確保最大營運彈性之作法，達成技術上的相互激勵成長。

肆、附件



Acknowledgments

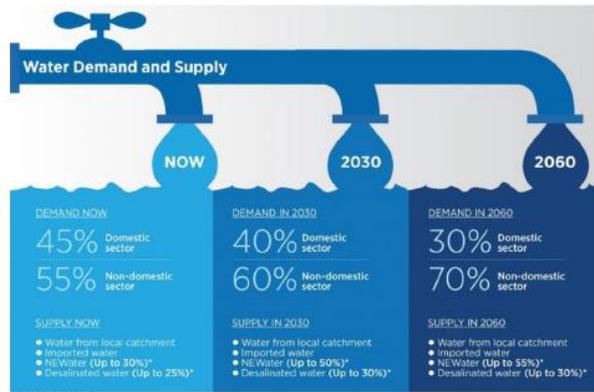
- Funding from National Research Foundation, Singapore
- Implementation Agencies: PUB (START) and A*STAR (SG MEM)
- Ms. Li May Goh and Mr. Paul Li, Senior Engineering Managers, START
- Ms. Carine Tan, Program Manager, SG MEM
- All current and past members of START and SG MEM

Water story in Singapore



World's Top Water-Stressed Countries in 2040

RANK	NAME	ALL SECTORS
1	Bahrain	5.00
1	Kuwait	5.00
1	Qatar	5.00
1	San Marino	5.00
1	Singapore	5.00
1	United Arab Emirates	5.00
1	Palestine	5.00
8	Israel	5.00
9	Saudi Arabia	4.99
10	Oman	4.97
11	Lebanon	4.97
12	Kyrgyzstan	4.93
13	Iran	4.91
14	Jordan	4.86
15	Libya	4.77
16	Yemen	4.74
17	Macedonia	4.70



- Singapore's current water demand is about **430 million gallons a day**, equivalent to 782 Olympic-sized swimming pools.
- Singapore's water demand is forecasted to **double** by 2065.
- High water-stress results in consumers' high dependency on limited amounts of water which exposes their vulnerability to the slightest change in water supply.

Sources: <https://ikysp.nus.edu.sg/jia/article/singapore-s-water-success-and-lessons-for-the-region>
<https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040>

Singapore Water Diversification: The Four National "Taps"



WATER FROM LOCAL CATCHMENT



IMPORTED WATER



NEWATER

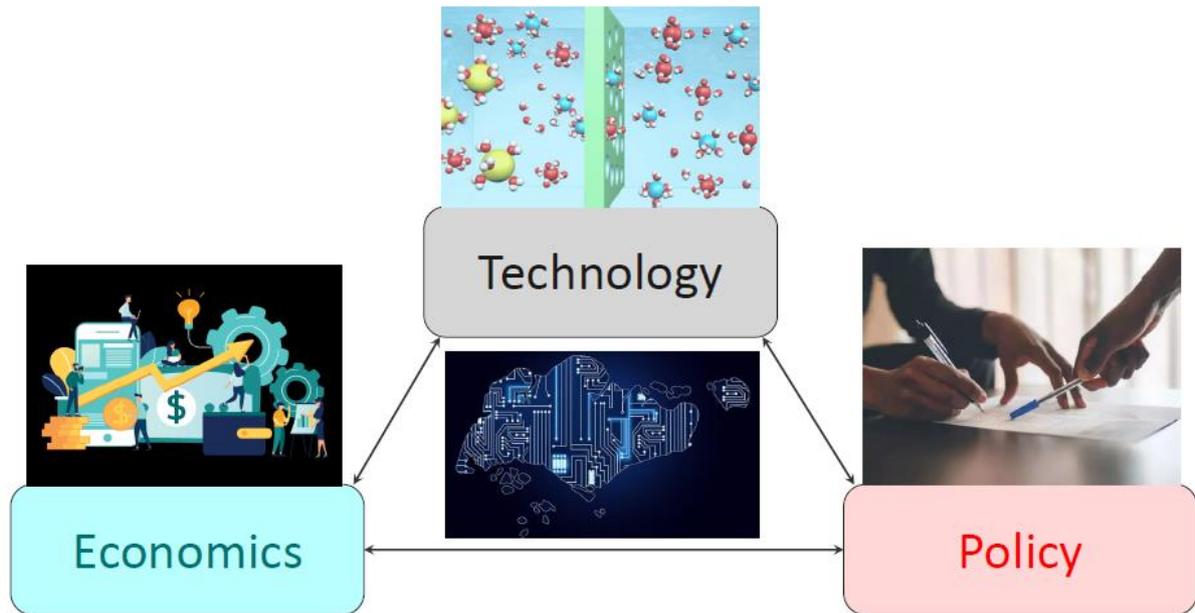


DESALINATED WATER

Ensuring supply reliability

Source: <https://www.pub.gov.sg>

Driving Product/Process Innovation



Separation Technologies Applied Research and Translation Centre



FLATSHEET MEMBRANES

Phase Inversion



0.01 – 10 micron

- Micro, Ultrafiltration
- Membrane Distillation

Thin Film Composite



0.0001 to 0.01 micron

- Nanofiltration
- Reverse Osmosis

- 1 meter width Industrial-scale Flat-Sheet fabrication lines
- Design and build modules up to 8-inch diameter
- Testing, design, and pilot operations



Commercial Scale Elements Fabrication



1.8-inch to 8.0-inch
Spiral wound modules
(SWM)

Performance Evaluation



Coupon to
8.0-inch SWM



HOLLOW FIBRE MEMBRANES

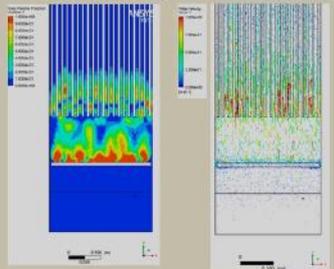


- Industrial scale Hollow Fibre fabrication line
- Design and build modules up to 8-inch diameter
- Testing, design, and pilot operations

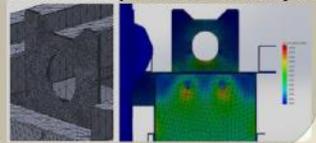


SYSTEM DESIGN

Single and multi-phase CFD systems



Static and dynamic stress analysis



Softwares



- 3D computer-aided design (CAD) modelling
- Finite Element Analysis (FEA)
- Computational Fluid Dynamics (CFD)

- Process development
- Module optimization
- System simulation and design



Translation and Piloting: Pressure Retarded Osmosis



Key Deliverables

- ❑ Translation of PRO technology from TRL level 3 to TRL level ≥ 7
- ❑ Continuous Field level validation of 200 m³/day integrated PRO+SWRO system for at least 12 months
- ❑ Harvesting of Salinity gradient energy using SWRO brine and waste water retentate



Singapore Membrane Technology Centre
Harvesting Environment and Water Research Institute



Hydraulic Pressure Driven: Reverse Osmosis

End-to-End: Scale-up the Fabrication of High-performance Aquaporin based Biomimetic (ABM) Flat-sheet Membrane for SWRO



Singapore Membrane Technology Centre
Harvesting Environment and Water Research Institute

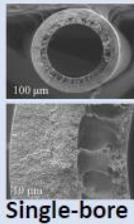
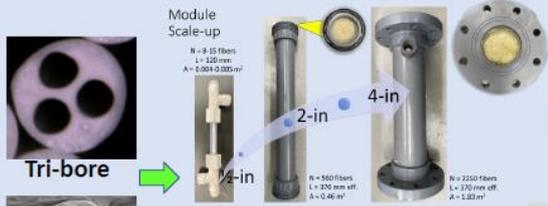
Main PI: Prof. Wang Rong (NTU/NEWRI-SMTC)

10



Thermal Energy Driven: Membrane Distillation

Multi-bore and Single-bore Hollow Fibre Membranes for Membrane Distillation Application



START's Invention to overcome wetting issue in MD process

Non-drafted Singapore Patent Application No. 10202260152Y
MD Water Trap And System Designs For The Same



Flat sheet Novel Superhydrophobic and Self-Cleaning DCMD Membranes for Wastewater Treatment



Line Modification to Scale-up of SANIPS* process



Module fabrication

*SANIPS - Spray-assisted nonsolvent induced phase separation



Main PI: Prof. Neal Chung (formerly at NUS)



Osmotic Pressure Driven: Forward Osmosis

Scale-up of forward osmosis membranes for recovery & recycle of wastewater streams

Substrate Development and Optimization



Evaluation license of START's patented Reinforced Membrane (RM)



RM has significantly lower internal ICP

Scale-up of substrate



Scale-up of active layer coating



Spiral Wound Module Fabrication (2.5 to 8.0 inch)



Collaborators: Mark E. Perry & Assoc. Prof. Zuo Jian



Innovations via Customization

Development of Novel Smart Sensor for Reverse Osmosis Fouling Detection

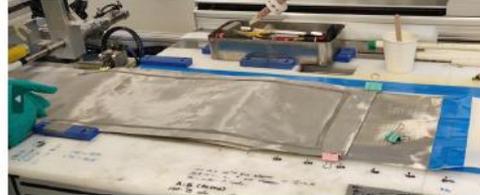
Main PI: Assoc. Prof. Chong Tzyy Haur (NEWRI/SMTC)



Customized spiral wound module fabrication to embed smart sensor allowing in-situ and real-time fouling monitoring of the reverse osmosis (RO) process.

Fabrication of electrochemical spiral wound membrane module

Main PI: Asst. Prof. She Qian Hong (NEWRI/SMTC)



Customized spiral wound module fabrication replacing the spacers with electrodes in an electrochemical membrane system to achieve in-situ low-energy and chemical-free regulation of solution pH.



Singapore Membrane Technology Centre
Watering Environment and Water Research Institute

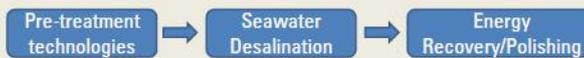
13



INTEGRATED VALIDATION PLANT (1 MGD)

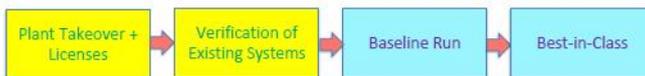
- Integrated Validation Program Activities:
 - Design and Operationalize an Integrated Validated Platform
 - One-stop Plug & Play field validation of promising desalination technologies

INTEGRATED VALIDATION PLANT



- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Low-pressure NF Ceramic membranes Ceramic-polymer hybrid membranes Mixed matrix membranes | <ul style="list-style-type: none"> Bio-mimetic RO membranes Re-inforced RO membranes PRO/RED (for energy offset) | <ul style="list-style-type: none"> Electrodialysis reversal Energy Recovery Devices Capacitive deionization |
|--|---|--|

- Objectives: To identify and validate technologies that lead to overall
 - Desalination energy savings (lower operational cost)
 - Higher recovery/efficiency



Upcoming Technologies (RFP)

Co-Developed Technologies

Future Technologies



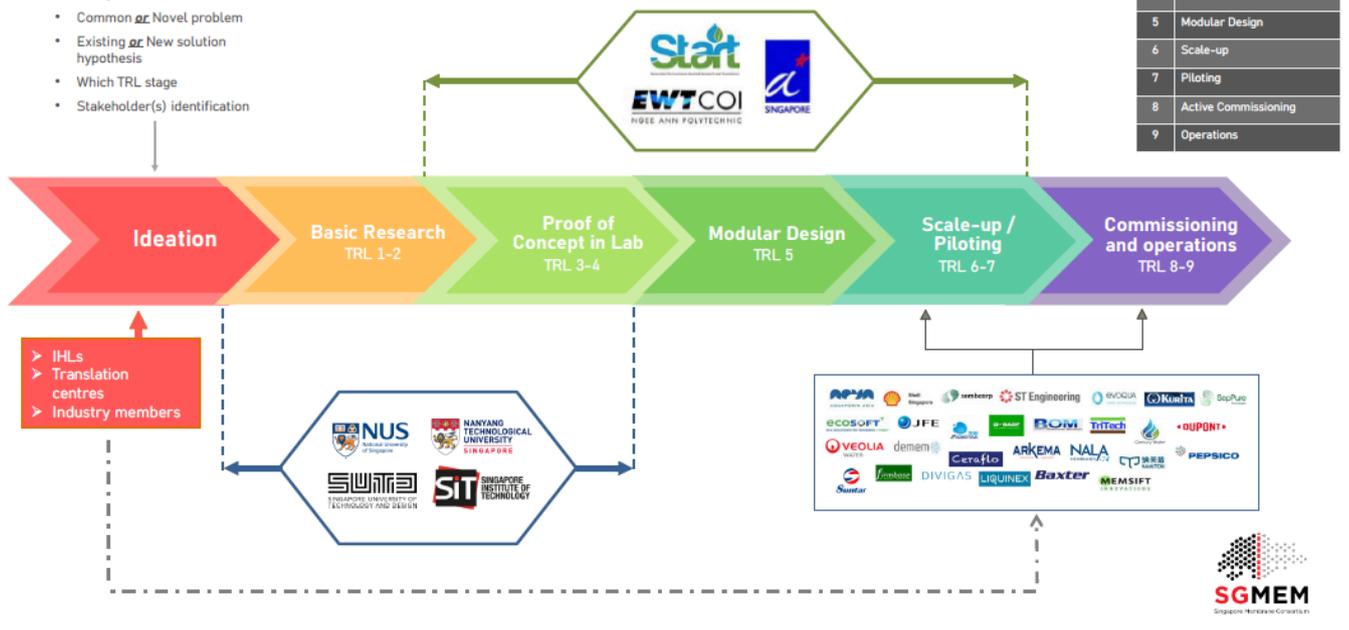


Singapore Membrane Consortium

Engagement Model

All enquiries start here:

- Common or Novel problem
- Existing or New solution hypothesis
- Which TRL stage
- Stakeholder(s) identification





Our *growth* model



Refining and Petrochemicals
Water and Gas based separations



Water



Environment & CO2

- Carbon Capture and Utilisation
- Air filtration and quality
- Atmospheric monitoring



PEPSICO

Food and Beverage
Clarifying, Concentrating, and Purifying Food Components And Process Streams



Baxter
Biomedical

- Controlled Drug-Delivery
- Systems Medical devices

Industrial Separation Processes

- Concentration and Purification
- Resource Recovery From Waste Streams



Technology

- Wafer fabs
- Component manufacturers

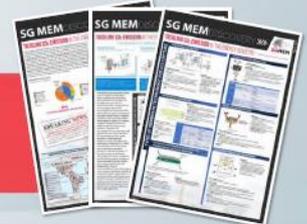


Hydrogen – The key to a global energy transition?

Tackling CO₂ emissions in the energy industry

Harvesting oxygen from ambient air to increase combustion efficiency in Waste-to-Energy plants

Water and Wastewater treatment in Recirculating Aquaculture Systems (RAS)



EXPLORE NEW DOMAINS FOR MEMBRANE-DRIVEN SOLUTIONS

The **SG MEM Discovery Series** was conceptualized to support Singapore's national agenda on sustainable development covering sustainable living, energy reset, the green economy and resilient future themes. Through this curated series, new membrane application will be explored in emerging and atypical domains. The intent of this initiative is to intensify interdisciplinary research, collaborations and new product development that addresses pressing national needs.





Broadening our capabilities globally



University of Kentucky, US

- Advanced Functionalized Membranes
- Responsive and Adsorptive Membranes
- Catalytic-Nanoparticles, Bioinspired, GO-GQD.



UC Louvain, Belgium

- CO2 capture
- Process intensification
- Applied thermodynamics



Universität Duisburg-Essen, Germany

- Bio-separation
- Protein purification
- Antifouling coating
- Catalytic nanocomposite.



ARC-EESep (Monash), Australia

- Al-MOF membranes for desalination,
- Porous membranes for carbon capture
- Hierarchical porous membranes for biotech processing



KU Leuven, Belgium

- Process intensification for low-emission and energy efficient separation systems utilizing smart responsive materials
- Mining & energy, bioprocessing and chemical sensing



ITM-CNR, Italy

- Bio-polymeric membrane
- Green solvents
- Membrane emulsification & characterization,
- Pervaporation



Ben-Gurion University of the Negev, Israel

- Energy optimization of water treatments
- Nanoscale tools
- Ceramic & polymeric membranes



Kobe University, Japan

- Water purification
- CO2 Separation
- Computational simulation for membrane structure
- Fouling mechanism



Thanks for your time and attention.

We would love to hear from you!

Adil Dhalla

adil.dhalla@ntu.edu.sg