

出國報告(出國類別：考察)

考察澳大利亞 污水處理及再生水推動現況

服務機關： 行政院 內政部營建署
姓名職稱： 張世傑諮議 蔡淑芬正工程司兼隊長
何寬宏副工程司兼分隊長
吳漢儒副工程司兼主任
派赴國家： 澳大利亞
出國期間： 108年10月22日至108年11月2日
報告日期： 108年12月10日

摘要

本次考察澳大利亞國際環保和資源綜合利用展覽，主要針對污水處理技術、低碳與節能措施、再生能源等國際趨勢進行研習，觀摩墨爾本愛丁堡雨水花園、雪梨水公司自來水園區Tumbalong Park及雪梨Ballast Point Park，了解澳洲於雨水收集利用、能源再生、減廢設計及水回收等公共設施概念；另參訪EVOQUA公司薄膜製造與R&D中心、雪梨水公司Sydney Water Camelia UF處理廠、Sydney Water in North Head MBR 處理廠、LuggagePoint高級水處理廠及墨爾本河河川整治及親水環境再造，實地研習澳洲於解決缺水問題、污染削減、再生水技術及設備節能延壽等多方面經驗交流；期望能透過本次行程，與澳洲及國際間進一步交流水再生利用、污水處理廠節能及設備延壽措施等經驗。由於我國缺水風險高、污水處理廠設備面臨劣老化問題及能源議題等，澳洲方面亦面臨相似問題，本參訪透過與澳洲當地進行經驗交流並參加國際性展覽，瞭解澳洲與國際實際執行狀況與趨勢，並蒐集整理相關數據與規劃構想，希望能對於我國污水處理技術、低碳節能及設備延壽有所助益，以提升公共建設品質及未來相關計畫推動參考。

考察澳大利亞污水處理及再生水推動現況

出國報告書(出國類別：考察)

目次

壹、	考察目的	1
貳、	考察成員及行程	2
參、	考察過程	3
	3.1 澳大利亞國際環保和資源綜合利用展覽	3
	3.2 考察墨爾本 Edinburgh Rain garden (愛丁堡雨水花園)	10
	3.3 參訪雪梨 Tumbalong Park(雪梨水公司自來水園區)	15
	3.4 參訪雪梨 Ballast Point Park(雪梨岬角公園)	17
	3.5 參訪 EVOQUA 薄膜製造與 R&D 中心	19
	3.6 參訪 Sydney Water in North Head MBR Plant	23
	3.7 參訪 Sydney Water Camelia Submerged UF Water Plant	28
	3.8 參訪 St Marys Advance Water Recycling Plant	36
	3.9 參訪布里斯本河川整治及民眾親水環境再造成果	48
	3.10 參訪布里斯本 Luggage Point Advanced Water Treatment Plant	50
	3.11 拜會我國駐布里斯本台北經濟文化辦事處	53
肆、	考察心得及建議	55
	4-1 考察心得	55
	4.2 建議	58

壹、 考察目的

澳大利亞(以下稱澳洲)面臨與我國有相似問題，諸如高缺水風險、能源議題、水再生利用及污水處理廠設備老化問題等，相關領域起步早已有許多重要成果，值得為我國借鏡。為進一步與澳洲方面交流水再生利用現況、污水處理廠節能及設備延壽措施等經驗，以瞭解相關執行狀況與趨勢，遂於 108 年 10 月 22 日至 11 月 2 日赴澳洲參加國際環保和資源綜合利用展覽，包括 Waste Expo、Energy Efficiency Expo 及 All-Energy Expo 三個聯合展覽，主要針對廢水處理、能源管理、低碳與節能措施、再生能源等國際趨勢進行研習；觀摩墨爾本愛丁堡雨水花園、雪梨 Tumbalong Park(雪梨水公司自來水園區)及雪梨 Ballast Point Park(雪梨岬角公園)，瞭解澳洲於雨水收集利用、能源再生、減廢設計及水回收之公共設施概念；另於雪梨參訪 EVOQUA 公司之薄膜製造與 R&D 中心、雪梨水公司 Sydney Water Camelia UF 處理廠、雪梨水公司 North Head MBR 處理廠、布里斯本 Luggage Point 高級水處理廠、布里斯本河川整治及民眾親水環境再造，考察澳洲在水回收技術應用、污水處理設備節能延壽及水環境再生的作法；希望藉由參訪成果，有助於提升公共建設品質及未來相關政策計畫推動參考。

貳、 考察成員及行程

本次考察人員名冊詳表 2-1，考察行程及地點則如表 2-2。

表2-1考察澳大利亞污水處理及再生水推動現況名冊

項次	所屬單位	職稱	姓名
1.	行政院	諮議	張世傑
2.	內政部營建署下水道工程處	正工程司兼隊長	蔡淑芬
3.	內政部營建署下水道工程處	副工程司兼分隊長	何寬宏
4.	內政部營建署下水道工程處	副工程司兼主任	吳漢儒

表2-2 考察澳大利亞污水處理及再生水推動現況行程

日期	地點	行程	任務
10/22(二) 10/23(三)	桃園－墨爾本	1.搭機前往墨爾本 2.澳大利亞國際環保和資源綜合利用展覽(第1日)	
10/24(四)	墨爾本	澳大利亞國際環保和資源綜合利用展覽(第2日)	
10/25(五)	墨爾本	參訪墨爾本愛丁堡雨水花園	
10/26(六)	墨爾本－雪梨	參訪雪梨 Tumbalong Park(雪梨水公司自來水園區)	
10/27(日)	雪梨	參訪雪梨 Ballast Point Park(雪梨岬角公園)	
10/28(一)	雪梨	參訪 EVOQUA 薄膜製造與 R&D 中心	
10/29(二)	雪梨	1.參訪 Sydney Water in North Head MBR Plant 2.參訪 St Marys Advance Water Recycling Plant	
10/30(三)	雪梨－布里斯本	參訪雪梨水公司 Sydney Water Camelia Submerged UF Water Plant	
10/31(四)	布里斯本	參訪布里斯本河川整治及民眾親水環境再造成果	
11/01(五) 11/02(六)	布里斯本－桃園	1.參訪 Luggage Point Advanced Water Treatment Plant 2.回程返國	

參、 考察過程

3.1 澳大利亞國際環保和資源綜合利用展覽

澳大利亞國際環保和資源綜合利用展覽主要由 Waste Expo、Energy Efficiency Expo 及 All-Energy Expo 三個展覽聯合舉辦，以下敘述本考察重點。

(1)Waste Expo 展覽會場

本次 Waste Expo 展覽主要分六大主題，分別為廢水、資源回收、土地掩埋及垃圾轉運站、收集、興建及拆除、商業及工業廢棄物，如圖 3.1-1 所示。



圖 3.1-1 Waste Expo 展覽六大主題

於展覽會場參觀廢棄物收集、處理及回收相關機具設備後至廢水高峰會 (Wastewater SummitConference) 場聽取雪梨水公司 (Sydney Water)Brendan Galway 先生之簡報，題目為「Sydney Water, Energy, Food Waste and the Circular Economy」，主要講述水、物質及能源間之循環經濟，說明雪梨水公司相關作法及對未來之展望。彙整簡報相關重點如下：

1. **重點一**：雪梨水公司相關基本資料。

說明：雪梨水公司為澳洲雪梨地區，給水、污(廢)水、再生水及雨水等水務相關之最大服務機關。在自來水方面，管理 11 座水壩、247 座配水池及 151 座加壓站，供水幹管總長 2 萬 2,822 公里，每年供應用戶約 5 億 9,607 萬噸(平均每日約 163 萬噸)自來水。而自來水源有 80% 來自 Burragorang 水庫(由 Warragamba 壩取水)。

在污(廢)水方面，共有 16 座污水處理廠、污水收集管線總長 2 萬 5,863 公里，每年處理約 4 億 6,319 萬噸(平均每日約 127 萬噸)之家庭污水及事業廢水。

2. **重點二：**雪梨水公司對於循環經濟三大原則、展望及未來目標。

說明：雪梨水公司對於循環經濟有下列三大原則，分別為恢復及重建自然系統(Restore and Regenerate Natural System)、保持資源最高利用效益、以循環概念進行相關設計。對於循環經濟之展望，雪梨水公司以水－物質－能源作為循環主體，致力於反思(Rethink)與創造(Create)更多強化循環經濟之作法及更高的利用效益。

另外有關未來的目標，雪梨水公司預計於 2030 年，以沼氣(Biogas)發電方式，增加 8.5 百萬瓦之額外電量為目標，其中 4.5 百萬瓦沼氣發電將利用下水污泥，另 4.0 百萬瓦則利用廚餘發電；在循環經濟概念下，將物質有效轉換為能源，強化經濟循環環節。

雪梨水公司說明主要為了減少能源市場波動對電費影響、提高能源自給率、廢棄物資源化及對新南威爾州政府對於二氧化碳減量政策作出貢獻。

3. **重點三：**雪梨水公司循環經濟相關作法。

說明：雪梨水公司說明於循環經濟三大原則下，以污水處理廠、水再生廠及雪梨水資源再生廠(Sydney Water Resource Recovery Plant)為主軸，提出相關作法(架構如圖 3.1-2)，另敘述如下：

- A. 提高家庭污水及事業廢水收集率，並有效輸送污水處理廠進行處理，減少對自然環境污染。
- B. 污水處理廠放流水補助河川流量及進行水再生廠處理，產出之再生水再供應用戶使用，提高水回收再利用效益。
- C. 廚餘及下水污泥，送至雪梨水資源再生廠之污泥厭氧消化槽 (Anaerobic Digester)處理，產生之沼氣作為燃料、發電及發熱利用，達到物質轉換能源有效利用化。
- D. 經消化後廚餘及下水污泥，則可製成生物塑膠(Bioplastic)、有機肥料、土壤改良劑及工業酶等用途。



圖 3.1-2 雪梨水公司循環經濟相關作法架構圖

接續於廢水高峰會中，聽取西城水務(City West Water)Ben Fraser 先生之簡報，題目為「Viability of Sewer Network Heat Recovery」，主要講述澳洲墨爾本以 SHR(Sewer Heat Recovery，污水熱回收)系統，概念如圖 1.1-3，係以污水作為熱交換(Heat Exchange)媒介，以取代商辦或住宅建築物室冬天暖氣空調部分熱源需求，並評估對二氧化碳減量效益及財政可行性等多面向探討，彙整簡報相關重點如下：

1. 重點一：西城水務相關基本資料。

說明：西城水務為澳洲維多利亞政府轄下水務相關服務機構，服務範圍為墨爾本中央商業區及都會區等地，從事自來水、污水、商業廢棄物及再生水服務。於墨爾本地區，每年供應用戶約 1 億噸(平均每日約 27 萬噸)自來水，供水幹管總長約 4,500 公里，污水幹管總長約 4,000 多公里，每年收集及處理約 9,000 萬噸(平均每日約 24 萬噸)之家庭污水及事業廢水。

2. 重點二：西城水務對於污水下水道系統熱回收評估內容。

說明：西城水務將建築物依照類型區分商辦大樓(Office Building)及住宅大樓(Residential Building)，再依規模區分小型(Small)、小中型(Small/Medium)、中型(Medium)、中大型(Medium/Large)及大型(Large)。至於 SHR 系統，主要將溫度較高之污水抽至建築物熱交換系統使空氣加溫，再輸送至建築物室內以調整空氣溫度，以取代傳統燃氣鍋爐(Gas-fired Boiler)。

西城水務挑選 10 個可能作為 SHR 系統之住宅大樓作為評估對象，並依照 NatHERS Rating^{註 1} 將建築物分類，評估結果顯示住宅大樓之 NatHERS Rating 越小及規模越大，則二氧化碳減量效益越高，如以 NatHERS Rating 為 4.5、規模為大型(Large)者，每年約可減少 278 噸之二氧化碳；至於在財政可行性部分，以規模為小型(Small)者確認最為不可行。

註 1:NatHERS(Rating:Nationwide House Energy Rating Scheme)為澳洲國家房屋能源率計畫指標，係依照房屋每平方米之樓面積下，每年平均用於冷熱空調能源使用進行分級，共分 10 級，如 68MJ/m² 分類為第 7 級)

(2)Energy Efficiency Expo 及 All-Energy Expo 展覽會場

本屆 Energy Efficiency Expo 及 All-Energy Expo 展場，有超過 100 多家廠商或學術單位設攤展出，涵蓋包括能源監控、能源顧問、智慧測量、

智慧電網、照明、生質能源、汽電共生及冷凍空調等專業，其中就以能源監控、智慧測量相關展出佔最大宗，考察同仁與展出攤位單位人員交流，提出目前國際上趨勢，以 DIUS 公司為例，其工作人員向我們介紹產品 Powersensor，只要包覆用電設備電線上即可偵測用電量，原理主要是利用電磁效應，另外可回傳訊號至智慧型手機，以儀表板(Dashboard)呈現用電情形；另以 SIDCO 公司為例，其產品主要提供智慧電力平台，適用於一般家庭住戶，可以分析歷史用電數據及能源使用效率，並藉由監測、分析及通知步驟，進行數據調查，相關資料以視覺化(Visualization)儀表板呈現。整體而言，本次於展覽會場觀察到國際當前趨勢著重於能源監控及智慧化應用管理，參訪展覽相關圖片如圖 3.1-3~圖 3.1-6。

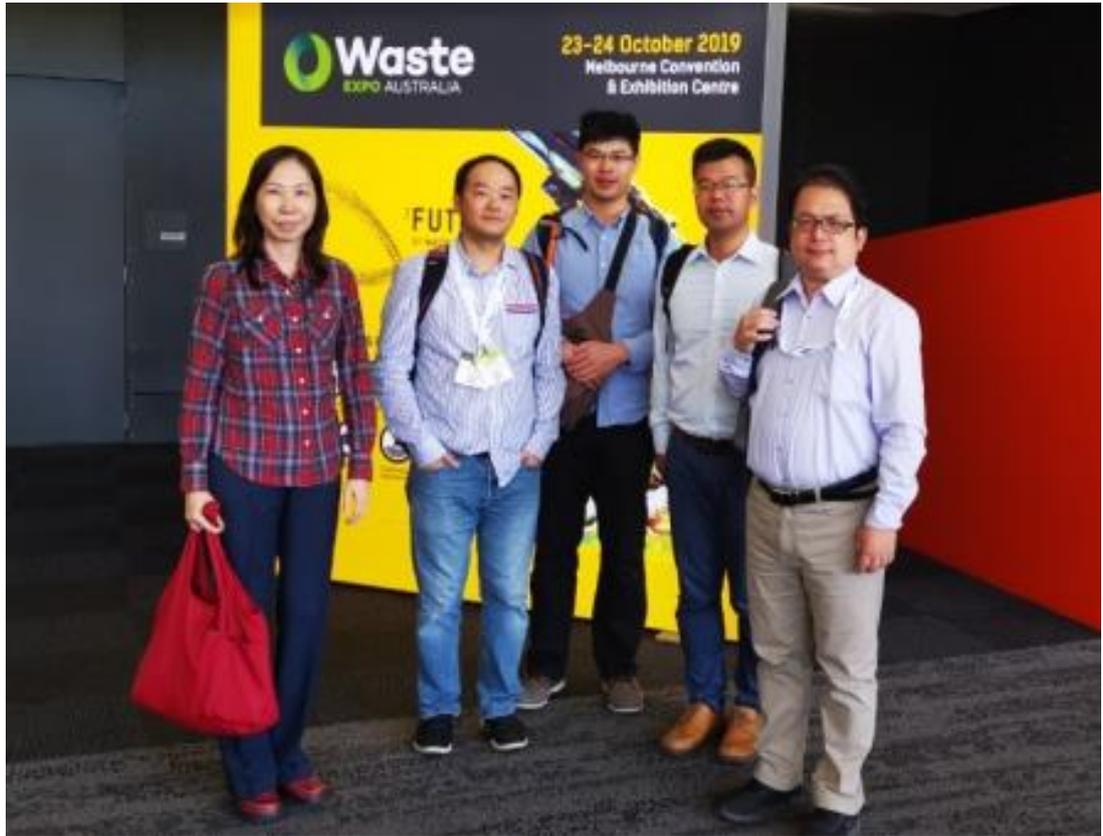


圖 3.1-3 考察同仁於會場合影



圖 3.1-4 聽取簡報



圖 3.1-5 展場攤位參觀

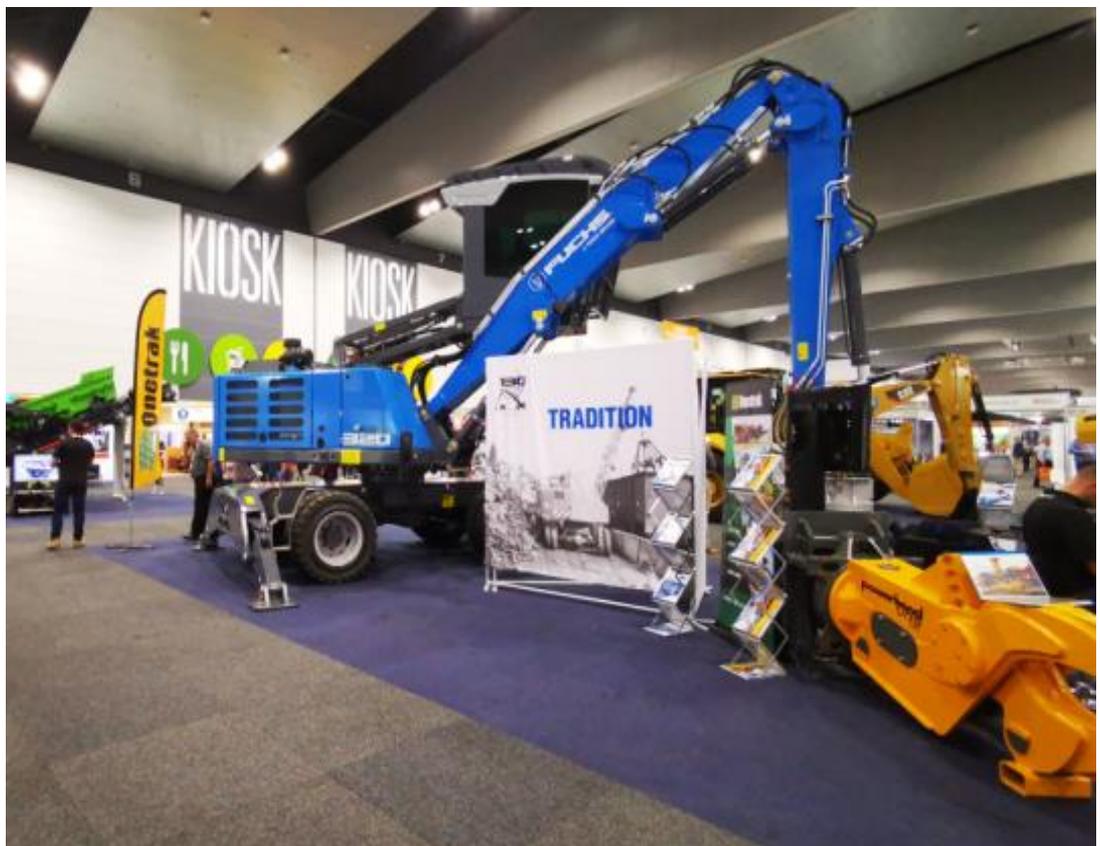


圖 3.1-6 展場現場設備展示

3.2 考察墨爾本 Edinburgh Raingarden (愛丁堡雨水花園)

為減緩乾旱缺水問題，2011 年墨爾本雅拉市議會(Yarra Council)與墨爾本水務局(Melbourne Water)合作，以水資源敏感都市設計 (Water-Sensitive-Urban-Design, 簡稱 WSUD)的概念，於愛丁堡公園邊設置雨水花園(包括雨水導流、植生梯田區、污物攔除裝置及地下儲水槽)，佔地面積約700m²，目的為將鄰近斐茲洛伊區域雨水收集作為公園澆灌使用，降低節省對自來水使用需求。

本次考察實際至現場觀摩，瞭解愛丁堡雨水花園設置具洩水坡度雨水導水道，將道路雨水逕流引導至園內植生梯田區，這樣的方式可利用植生梯田區透水性及蓄水容積，分擔地表逕流具有滯洪效果，類似海綿城市概念。另一方面，可藉由植物去除水中部份營養鹽(如氮、磷)，以削減污染物，接著雨水經過污物攔除裝置，將水中所挾帶雜物、落葉及廢棄物移除後，再導流至地下儲水槽以泵浦抽水澆灌愛丁堡公園內花草樹木，不僅能有效利用雨水，對於公共景觀美化、區域滯洪調節亦有相當的助益。

另雨水花園尚有維護管理簡單、提供昆蟲與鳥類提供良好的棲地等優點，對於我國高降雨但缺水的環境，雨水花園或可作為推廣參考，愛丁堡雨水花園考察觀摩如圖 3.2-1~圖 3.2-3。

另外在愛丁堡雨水花園附近住宅區，我們發現許多居民家門前設有「Rainwater in use(使用回收雨水)」標示，如圖 2.2-1。經詢問當地居民，瞭解墨爾本水務局(Melbourne Water)正在推廣用戶收集雨水回收使用，其方式為由屋頂將雨水收集至雨水收集槽(Rainwater Tank)，可作為沖廁、洗衣、洗車及花園澆灌等用途，並節約自來水使用及減少對排水系統負荷，住戶只要符合相關規定，即可在居民家門前掛上標示，如圖 3.2-4。



圖 3.2-1 考察同仁實地觀摩愛丁堡雨水花園



圖 3.2-2 現場解說牌



圖 3.2-3 植生梯田區

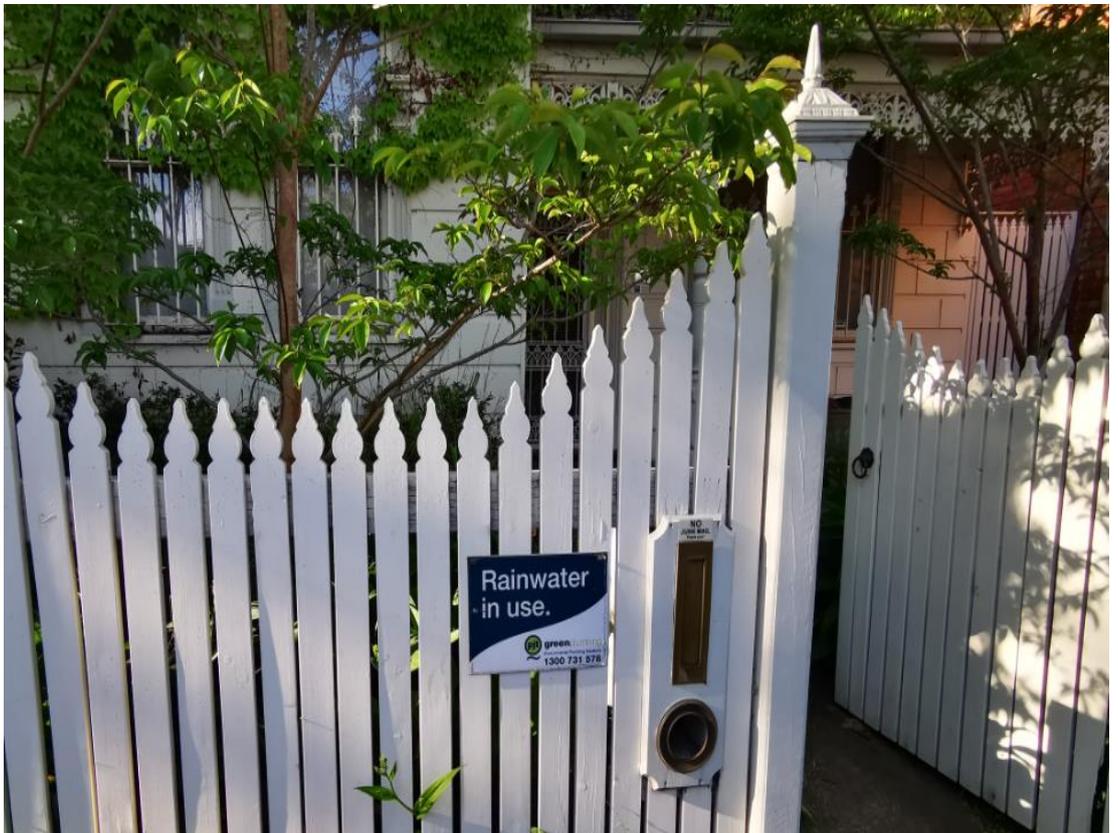


圖 3.2-4 墨爾本住戶使用回收雨水標示

墨爾本自來水價部分，經徵求協助接送的當地司機同意，我們收集墨爾本自來水費單做為參考，如圖 3.2-5；墨爾本自來水價格會依照用水時段有不同收費費率，如 5~6 月份每度自來水價格為 2.4904 澳幣(折合新台幣約 53 元)，7~8 月份則為 2.6883 澳幣(折合新台幣約 57 元)，推測收費費率變動應與季節性區域用水量多寡有關。

其次，污水處理費(Sewage Disposal)也隨自來水費單徵收，收費費率每噸污水收費介於 0.8348 至 0.8459 澳幣(折合新台幣約 17.8 至 18 元)，大約為自來水費率的三分之一，污水量則約為自來水量的 88~90%；除此之外，自來水費單還納入自來水管網(Water Network)及污水收集管網(Sewerage Network)之使用費、排水系統及公園環境管理等費用。

Details of charges - Residential

Previous Bill						
Previous bill						\$140.84
Payments Received						
12/06/2019						-\$140.84
BALANCE FORWARD						\$0.00
Usage Charges						
Meter number	Bill days	Previous Reading	Current Reading	Consumption in kilolitres	Rate \$	Total \$
MAF541326	87	00875	00904	29.00 (meter read date: 23/08/2019)		
Total Water Consumed						
Usage Step 1 (29/05/2019 to 30/06/2019)				11.00	2.4904	\$27.39
Usage Step 1 (01/07/2019 to 23/08/2019)				18.00	2.6883	\$48.39
Total				29.00		\$75.78
Sewage Disposal						
29/05/2019 to 30/06/2019				9.73	0.8348	\$8.12
01/07/2019 to 23/08/2019				16.20	0.8459	\$13.70
Total						\$21.82
TOTAL USAGE CHARGES						\$97.60
Network Charges						
			Charge Period			Charge \$
Water Network Charge			(01/07/2019 to 30/09/2019)			\$57.86
Sewerage Network Charge			(01/07/2019 to 30/09/2019)			\$63.58
TOTAL NETWORK CHARGES						\$121.44
Other Charges						
		Net annual value (NAV)[^]	Rate in NAV \$	Minimum		Charge \$
Waterways & Drainage Charge (01/07/2019 to 30/09/2019)						\$25.52
Annual Parks Charge [^] (for the year ending June next)		\$6,562	0.004710	\$79.02		\$79.02
<small>[^]The NAV is based on 1990 dollar equivalents</small>						
TOTAL OTHER AUTHORITIES' CHARGES						\$104.54
Adjustments						
Pensioner Concession						-\$82.22
TOTAL ADJUSTMENTS						-\$82.22
FINAL TOTAL, PLEASE PAY THIS AMOUNT						\$241.36

圖 3.2-5 墨爾本自來水費單(來源:當地居民)

另外墨爾本自來水費單上，會提供用戶用水分析資料，如近一年內水量使

用情形，如圖 2.2-7。

**Your average daily water cost
for this bill is \$0.87**

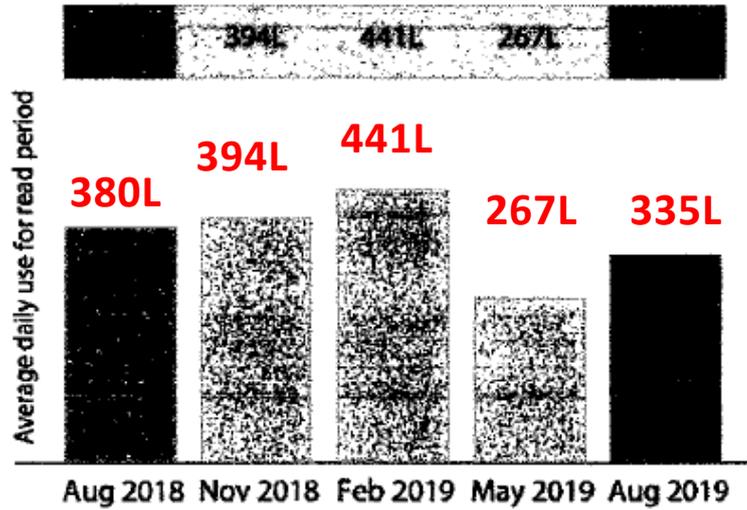


圖 3.2-6 墨爾本自來水費歷史單用水量分析資料(來源:當地居民)

3.3 參訪雪梨 Tumbalong Park(雪梨水公司自來水園區)

Tumbalong Park 位於雪梨市中心、鄰近達令港(Darling Harbour)，為當地具有指標性的綠美化公園、雪梨市中心最大戶外公共休憩場所；Tumbalong Park 包含水上遊戲區、沙坑滑梯區及冒險遊戲區等區域，其中水上遊戲區有溪流、瀑布、噴泉及雨林等模擬設計，還有一系列的小型水利器材等遊具，可以供小朋友實際操作，富有寓教於樂概念，類似我國台北自來水園區之「水鄉庭園」，現場設置許多仿自來水相關公共設施。

考察同仁實地觀摩 Tumbalong Park，觀察到小朋友在家長陪同之下，可以親手操作閘門、螺旋抽水機、汲水手壓泵浦、水道設施等，相關照片如圖 3.3-1~圖 3.3-2；另外我們也在注意 Tumbalong Park 設有簡易地下水質處理循環設施，將公園水池收集、進行簡易過濾及消毒後，循環至公園內，同時補充額外自來水進入公園內，顯示即使是免費的公共設施，也要考慮公共衛生。

整體而言，Tumbalong Park 除提供小朋友親身體驗外，又能寓教於樂、提供市民休憩地方且適合親子團體活動，或可作為我國推廣水處理知識教育參考。



圖 3.3-1 小朋友親手操作小型閘門



圖 3.3-2 考察同仁在 Tumbalong Park 實地觀摩

3.4 參訪雪梨 Ballast Point Park(雪梨岬角公園)

Ballast Point Park(簡稱Ballast 公園)為廢棄工業潤滑油的生產基地，在居民請願下保留為社區公園，當地政府於 2004 年著手將受到污染的土地轉型為具有減廢設計、永續規劃及創新概念的公園，並屢獲國際與澳洲多項獎項肯定。Ballast 公園廣泛使用當地的廢棄材料回收並加以利用實踐減廢理念，另設置 8 組風力渦輪機，產出的電力可供應園區使用，與墨爾本愛丁堡雨水花園相同，也採水資源敏感都市設計 (Water-Sensitive-Urban-Design, 簡稱 WSUD) 的概念，將公園鄰近地區地表逕流引入園區內生態池、生態草溝和雨水花園等淨化過濾後，確保經過清潔處理後才排入港口，如圖 3.4-1，同時建構公園完整自然景觀，也提供當地動物棲息場所；公園內諸多擋土牆由營建廢棄物回收利用，具環保及教育概念，如圖 3.4-2；Ballast 公園是由污染轉變為減廢、低碳永續及環境生態保護的典型公共設施，可作為許多國家制定相關政策參考及長期規劃之反思。



圖 3.4-1 Ballast Point Park 生態草溝



圖 3.4-2 使用基地營建廢棄材料構成之牆體

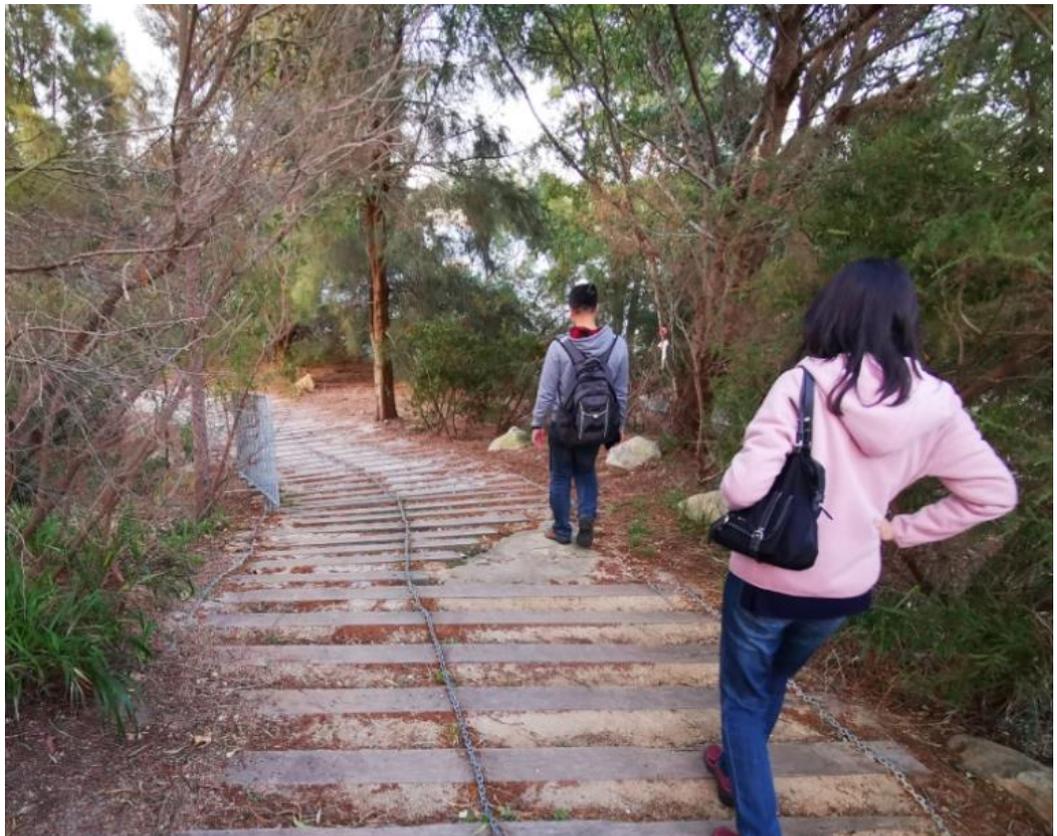


圖 3.4-3 考察同仁實地走訪

3.5 參訪 EVOQUA 薄膜製造與 R&D 中心

EVOQUA Water Technologies為全球頂尖水處理設備供應商，主要服務包括協助水源供應及污水處理、淨化水質，以符合當地法規及標準，服務據點遍及澳洲、加拿大、德國、義大利、新加坡、英國及美國等，全球擁有170多個辦事處及工廠，其中MEMCOR系列薄膜廣為全球水處理廠所採用。

本次考察參訪位於澳洲新南威爾斯州之溫莎(Winsor)地區之EVOQUA薄膜製造與R&D中心，由於EVOQUA公司工作人員要求中心內任何參訪過程皆不得拍照，因此本段僅以文字及相關資料進行敘述；首先進入參訪前，工作人員要求我們填寫個人資料並解說參觀薄膜產品生產線應注意事項，為確保個人身安全，一律依照規定穿著長袖衣物、安全鞋、護目鏡及安全背心，並需遵守地面上所標示及參觀動線行走移動，且各個部門進出皆嚴格管控並設有安全護欄或安全門，顯示廠方對於安全方面相當重視。

本次考查項目主要有薄膜製造過程、實驗室樣品檢測、產品包裝及品保與品管等，EVOQUA公司於各個環節逐項說明，且以中空纖維UF薄膜(Hollow-Fiber Ultrafiltration Membrane)為例，每一批次產品必需抽樣進行相關檢測，諸如溶出試驗、以掃描電子顯微鏡對樣品進行細部檢視、薄膜通量測試及強度測試等，於抽樣檢測通過標準後，才能進行包裝。

包裝過程則依照所制定標準操作程序(Standard Operation Procedure，SOP)，產品堆放也有嚴格規定，例如堆放區設置劃分、堆放高度及間距等限制；另觀察到薄膜製程除嚴格執行SOP外，操作空間淨空、光線明亮、管線標示明確且動線清楚，相關安全設施如緊急洗眼沖淋設備亦確實設置。

現場參訪後，旋即與EVOQUA公司專業工程師Bruce Biltoft先生、Gerin James先生等人就污水處理程序進行相關討論，以下節錄討論重點：

1. **重點一：**現今污水處理廠中，薄膜生物反應器(Membrane Bioreactor，簡稱 MBR)因用地面積小及處理水質佳等特點，已是現行水回收再利用重要技術，但 MBR 能源消耗所佔比例較高，想請教在節能方面有甚麼

建議或做法？

說明：簡單而言，MBR 為於活性污泥法曝氣池內或曝氣池後，置入薄膜（常見為 UF 膜）進行固液分離，能源消耗主要來源為鼓風機曝氣供給微生物去除有機物需氧量，及薄膜表面沖洗所需空氣；EVOQUA 公司建議降低鼓風機曝氣量為節能重點，並向我們介紹 MBR 系統節能的做法，如其產品 MemPulse® MBR 系統（脈衝式氣泡反沖洗系統），利用特殊裝置於池中生成脈衝式（Plug flow）之大氣泡提供足夠剪力（Shear），加強薄膜表面污泥餅沖刷（Scouring）能力，搭配均質性（Homogeneous）中空纖維薄膜模組提高單位面積產水量，且薄膜維持鬆弛度使沖刷時能產生晃動提高污泥脫附效果、延緩透膜壓差（TMP）上升；以在澳洲的經驗，EVOQUA 公司說明相較傳統細氣泡方式，MemPulse® MBR 系統可減少約 50% 用電量、產水量提高 30%。

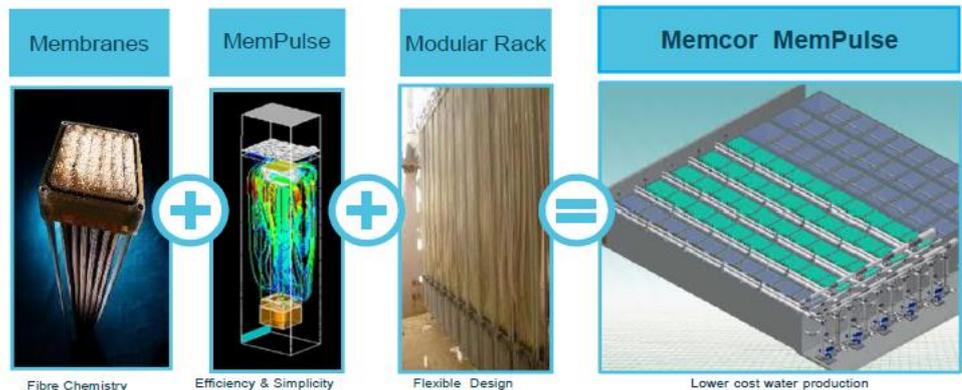


圖 3.5-1 MemPulse® MBR 系統(來源:EVOQUA 公司)

2. **重點二：**為維持設備機能及延長有效使用壽命，以 MBR 系統而言有甚麼建議或做法？

說明：為維持設備機能，不外乎確實依照設備原廠手冊進行操作與維護，另對於 MBR 系統中空纖維薄膜而言，水中長纖維（如毛髮、棉絮、不織布碎片等）有纏繞薄膜膜絲的問題，進而影響處理效果、操作穩定性，甚至造成膜絲斷裂，因此在 MBR 系統前處理程序相當重要，尤其是進流水中長纖維的去除。

考察同仁進一步與 EVOQUA 公司進行討論，EVOQUA 公司說明 MBR 系統進流水，建議先需經過細篩(Fine Screen)及微篩(Micro Screen)處理，柵條淨距或過濾孔徑需符合參考範圍，如細篩為 3.0~6.0 mm，微篩則為 1.0~1.5mm；選擇細篩柵條型式時，應以孔板式(Perforated plate)為優先考量，其次分別為篩網式(Mesh)及楔形條(Wedge wire)。另於設計及操作方面，應注意溢流(Overflow)以免部分進流水未過篩進入 MBR 系統、避免研磨粒狀物(Grinds，如來自工廠排入)磨損薄膜且不建議使用需以毛刷(Brush)清洗設備等，整理討論重點如表 3.5-1。

綜合上述薄膜製程參觀及討論過程，我們獲得了相當多有益的資訊，於參訪後，由蔡淑芬隊長向 EVOQUA 公司贈禮致謝，並合照留念如圖 3.5-2。

表3.5-1MBR系統前處理討論重點(本次考察整理)

項次	說明
一、	進流水先需經過細篩(Fine Screen)及微篩(Micro Screen)
二、	柵條淨距或過濾孔徑 1. 細篩(Fine Screen)參考範圍3.0~6.0 mm 2. 微篩(Micro Screen)參考範圍1.0~1.5 mm
三、	細篩選型考量優先順序 1. 孔板式(Perforated Plate) 2. 篩網式(Mesh) 3. 楔形條(Wedge Wire)
四、	設計及操作注意事項 1. 應注意溢流(Overflow)進入MBR系統 2. 避免研磨粒狀物(Grinds)磨損薄膜 3. 建議不要使用需以毛刷(Brush)清洗之設備等



圖 3.5-2 考察同仁與 EVOQUA 工作人員合影

3.6 參訪 Sydney Water in North Head MBR Plant

North Head Wastewater Treatment Plant(簡稱North Head廠)，North Head廠是雪梨水公司(Sydney Water)管轄下一座初級(Primary)處理之污水處理廠，主要處理程序包括轉鼓式攔污機、曝氣沉砂池、初步沉澱池等，每日污水處理量為33.6萬噸、污泥產量1萬2,000噸，North Head廠放流水主要透過海洋放流管，於距離海岸線約3.6km、平均深度約60m海床進行放流，並在長720m擴散區均勻佈水，藉由海岸流沖刷、海水稀釋、日照，使水中有機物自然分解。North Head廠的污泥來自初步沉澱池，其處理方式為濃縮後，再進行厭氧消化及脫水處理；North Head廠處理流程如圖3.6-1，在整體功能處理方面上，North Head廠類似我國八里污水處理廠。

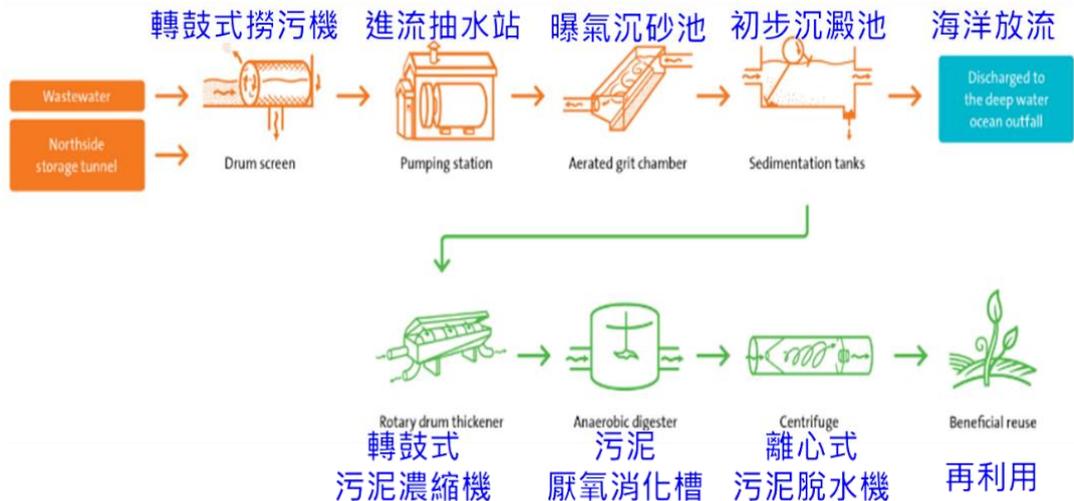


圖 3.6-1 North Head 廠處理流程圖(來源:Sydney Water)

由於澳洲境內缺水問題嚴重，澳洲政府一向重視水再生利用並制定一系列相關法規；有鑒於此，雪梨水公司為解決North Head廠自來水用水問題，積極尋求替代用水來源，考量除需遵守再生水相關法規外，又North Head廠位於國家公園內，有必要降低對周遭環境影響，最後雪梨水公司決定採用具有佔地面積(Footprint)小、處理水質水量又能符合法規要求且穩定出水方案。

因此，North Head廠於2005開始，在廠區內啟用水再生設施，其程序係將部分初級處理後放流水，藉由新設MBR系統處理後回收再使用，現在每日再生

水產水量約2,000噸，主要用於廠內設備冷卻用水等用途，可替代自來水使用量，主要歸功於MBR系統具有佔地面積小、出水穩定且水質佳等特點，又符合雪梨水公司需求，圖3.6-2為North Head廠維護人員至水再生設施進行現場紀錄。



圖 2.6-2North Head 廠維護人員現場紀錄

有關North Head廠再生水設施，其MBR系統結合了MLE生物處理程序，主要流程為缺氧段(脫硝)、好氧段(硝化)、中空纖維薄膜固液分離及加氯消毒，再將處理水回收使用。MLE生物處理程序具有除氮功能，原理為將水中氨氮經好氧段硝化作用(自營性，以氧氣為電子接受者)形成硝酸鹽類，再迴流至缺氧段經脫硝作用(異營性，以水中有機物(BOD5)作為電子供給者)形成氮氣去除。由於硝酸鹽迴流液溶氧較高，為確保缺氧段溶氧限制要求，迴流液需預先經過脫氣(De-Aerating)槽停留後，再迴流至缺氧段，經詢問廠方工作人員，他們表示再生水法規對於氨氮濃度有要求，因此採用具有除氮功能之處理程序，North Head廠之MBR處理系統配置，如圖3.6-3。

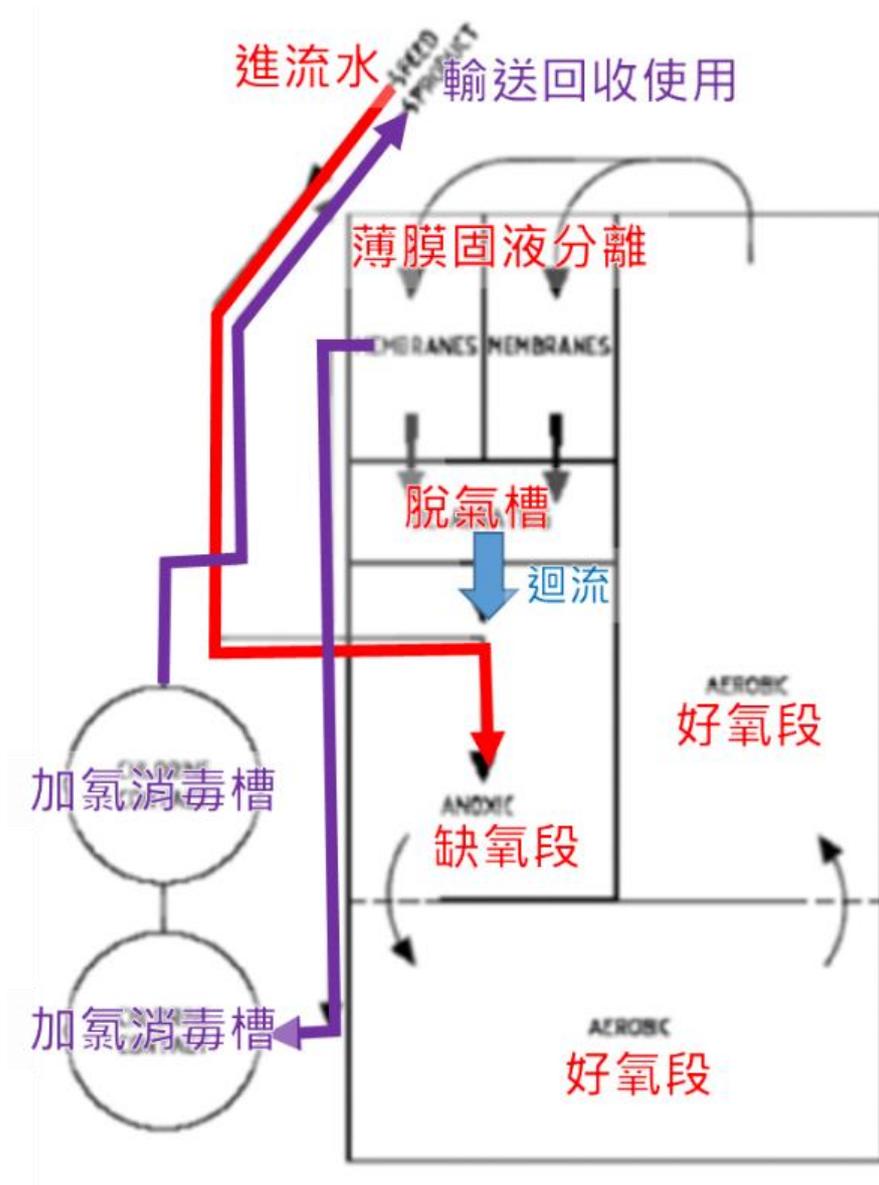


圖 3.6-3 North Head 廠之 MBR 系統配置(來源:Sydney Water)

本次考察彙整North Head廠參訪重點如下：

1. **重點一：**North Head 廠對於再生水質標準如何？現況水質如何？

說明： North Head 廠再生水值標準及現況如整理如下表。

表3.6-1 North Head廠再生水值標準及實際數據

水質項目	限值標準	操作實際數據
氨氮	≤1.0 mg-N/L	0.1 mg-N/L
pH	6.5-8.5	7.4
鐵離子	0.5 mg/L	0.1 mg/L

水質項目	限值標準	操作實際數據
耐熱大腸菌群 (Thermotolerant coliforms)	<10CFU/100mL	1CFU/100mL
濁度	平均: <2 NTU 最大瞬時:< 5 NTU	平均: < 0.1 NTU 最大瞬時:<0.4NTU
餘氯量	加氯30分鐘後 餘氯量至少1.0 mg/LCl ₂	1.9 mg/LCl ₂
鹼度	> 40 mg/L as CaCO ₃	75.6 mg/L as CaCO ₃
BOD ₅	無特別規定 依其他需求進行監測	2.5 mg/L

2. **重點二**：基於設備延壽為考量，North Head 廠對於設備維護重點為何，或有甚麼作法？

說明：North Head 廠基本上在設備維護方面，依照設備特性及其原廠手冊建議進行維護，North Head 廠維護主要分三種型式，分別為預防性(Preventative)、計畫性(Planned)及反應性(Reactive)，說明如表 3.6-2。

表3.6-2 North Head廠維護型式及說明

維護型式	說明	範例
預防性 (Preventative)	依照原廠手冊建議，執行相關定期性維護項目，以預防設備故障並延長設備有效使用壽命	如定期進行設備之軸承潤滑油脂補充
計畫性(Planned)	設備或零件將達到有效使用壽命，於未發生故障前進行更換。	如更換老舊電動機
反應性 (Reactive)	當設備發生非預期之故障時，立即搶修	如抽水機故障時，進行搶修

反觀國內，本署於107年所發佈「污水處理廠標準維護程序書(SMP)範本」(簡稱 SMP 範本)所述維護型式，包括一般保養、預防保養、預測保養、校正保養、電氣設備預防保養、自行維修、委外維修、歲修作業、健全度評價及庫存管理等，主要維修型式說明如表 3.6-3。

與 North Head 廠維護型式比較，我國 SMP 範本內容細分更詳盡，在執行方面，澳洲嚴格要求確實執行維護項目，若國內能確實依照本署 SMP 範本內容執行設備維護，對於公共污水處理廠設備延壽應有相當的效益。

表3.6-3本署SMP範本主要維護型式分類

維護型式	簡述
一般保養	為延長設備壽命，每日應妥善進行清潔保養工作，以避免污物進入設備而產生損耗及故障。
預防保養	依據設備原廠操作維護手冊規定或建議，定期或依據操作時數或次數，執行設備調整、檢查、校正、設定，及零件、潤滑油、備品、消耗材料之更換工作。
預測保養	利用檢測儀器在避免影響設備正常運作下，以非破壞性方式檢測並診斷設備的潛在故障因素。
校正保養	確保線上偵測儀錶均能夠正常的運轉並發揮至最大的效能，以達到最佳操作品質。
自行維修	當設備發生異常現象時利用廠內現有技術人力及備品零件回復設備正常運轉。
委外維修	設備異常時廠內技術人力無法修復，需藉由設備原廠或廠外技術人力回復設備正常運轉。

3. 重點三：North Head 廠操作能耗如何？在節能方面有甚麼做法？

說明：以 North Head 廠之再生水處理設施(包括 MBR 系統及其進流抽水機，不包括原初級處理程序及單元)，每產 1 噸再生水，平均用電量約為 0.66 kWh。

在節能方面，North Head 廠利用水力發電(Hydroelectricity)以及汽電共生(Cogeneration)，產生電力提供廠內部分設備使用；以水力發電而言，係利用初級處理後放流水流入海洋放流管過程中高程差所產生驅動水力發電機，作為發電的方式。在汽電共生部分，主要以污泥厭氧消化槽所產生甲烷氣體作為燃料，進行收集、燃燒發電，以替代部分電力。

3.7 參訪 Sydney Water Camelia Submerged UF Water Plant

Sydney Water Camelia Submerged UF Water Plant，係 EVOQUA 公司為介紹本次考察其 UF(Ultrafiltration，超濾)薄膜應用，所使用之稱呼，實際名稱為 Fairfield Recycled Water Plant(Fairfield 再生水廠，簡稱 Fairfield 廠)。

Fairfield 廠是澳洲新南威爾斯州政府 Rosehill-Camelia Recycled Water Scheme(Rosehill-Camelia 再生水計畫)的一環，主要提供再生水給位於 Smithfield 及 Camelia 地區之工業區使用，供應對象包括造紙業(如 Visy Paper)、化工業(如 LyondellBasell)、電力業(如 Marubeni Power)及石油業(Shell Refinery)等，主要用途有製程、冷卻、消防及澆灌。

Fairfield 廠於 2011 年正式營運，處理來自 Glenfield Water Recycling Plant(簡稱 Glenfield 廠)及 Liverpool Water Recycling Plant(簡稱 Liverpool 廠)兩廠之二級放流水，透過 Liverpool to Ashfield Pipeline(簡稱 LAP 管線)輸送至 Fairfield 廠進行處理後，再加壓輸送至用戶端。至於 Fairfield 廠處理程序，主要為 UF 薄膜過濾及 RO 逆滲透，設計每日再生水產水量為 27.6 MLD，約為 27,600 CMD。

另外於參觀廠內設施前，Fairfield 廠工作人員向我們簡介 Rosehill-Camelia 回收水計畫之處理程序及配水基本架構，如圖 3.7-1 所示。至於再生水配水系統的部分，工作人員說明主要係由總長約 20km 配水管線、2 座再生水配水池及 2 座加壓站組成，基本管線示意如圖 3.7-2 所示。

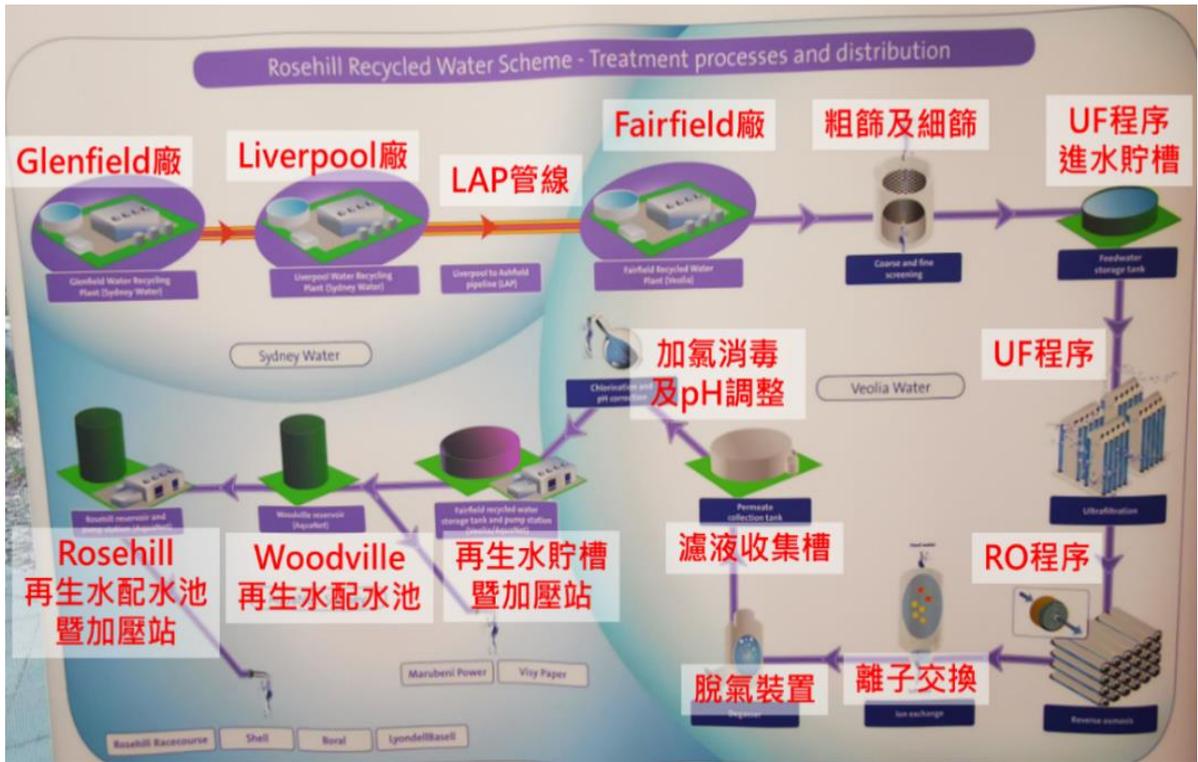


圖 3.7-1 Rosehill-Camelia 再生水計畫處理程序及配水架構



圖 3.7-2 Rosehill-Camelia 再生水計畫再生水配水系統

對於 Fairfield 廠有基本瞭解後，由 Veolia 公司 Hannah 小姐進行導覽解說，於開始廠內設施參觀前為我們準備安全背心、安全及護目鏡，並說明應注意安全事項，如圖 3.7-3；導覽動線依序由進流設施、UF 薄膜過濾單元、RO 逆滲透處理單元、加藥系統等進行參觀，於參訪過程中，我們發現廠區內於建物旁設有雨水收集裝置，由屋頂集水至設有溢流管雨水貯槽，如圖 3.7-4 所示，經詢問後，工作人員表示會利用雨水沖洗道路及澆灌廠區植物等用途，以減少廠區自來水用量。



圖 3.7-3 Fairfield 廠內設施參觀前講解說明



圖 3.7-4 Fairfield 廠內建物旁雨水收集裝置

在參觀進流設施部分，廠方為確保長纖維不進入後續 UF 薄膜過濾單元，在各段進流管線上裝設過濾器(Strainer)作為前處理，且具有吊昇機具及操作平台，可便於濾網更換清理，如圖 3.7-5，另我們向廠方工作人員詢問濾網更換時機為何？工作人員表示，過濾器前後管段各設一處壓力計，當兩處壓力差值達特定數值時，即進行更換清理，或依照設備原廠手冊建議頻率定期進行檢視；另外進流水實際上經過 2 道過濾器，第一道過濾孔徑 5 mm、第二道則為 0.3 mm，由此顯示廠方相當重視 UF 薄膜過濾前進流水之前處理，以確保 UF 薄膜效能及壽命。

接續參訪加藥機房，設有 Fairfield 廠相關處理程序需要加藥桶槽及加藥機等設施，現場藥劑種類包括如 RO 逆滲透 CIP(Clean-In-Place, 現地清洗)藥劑、pH 調整用之酸鹼藥劑、次氯酸鈉及氯化銨等各類藥劑，於加藥機房內各個加藥桶槽位置，皆設置防溢堤及緊急淋浴沖眼器，如圖 3.7-6；至於 UF 薄膜過濾單元，採用沉水式中空纖維膜，作為 RO 逆滲透前處理(Pre-treatment)，如圖 3.7-7；根據廠方實際經驗，UF 薄膜濾液(Filtrate)濁度可達到 0.5NTU 以下、SDI 值(Silt Density Index, 污泥密度指數)則小於 2 以下，符合 RO 逆滲透進流水需求，可確保操作系統處理效能及壽命。另外我們向廠方請教薄膜表面抑制生物膜生長方法，廠方說明他們在 UF 薄膜過濾前，於進流水中加入氯氨(Chloramine)，可有效抑制生物膜生長；至於 RO 逆滲透方面，共有 8 個 Train，參訪當日有 2 個 Train 操作，RO 逆滲透處理單元如圖 3.7-8。

另於操作方面，Fairfield 廠同意讓我們參觀實驗室及中控室，並表示他們係採用 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)系統進行全廠監控，並於現場直接向我們展示操控介面，最後我們參觀離子交換單元、脫氣裝置、濾液收集槽、加氯及 pH 調整設施等。



圖 3.7-5 Fairfield 廠進流泵浦及管線設施裝設過濾器



圖 3.7-6 Fairfield 廠加藥機房

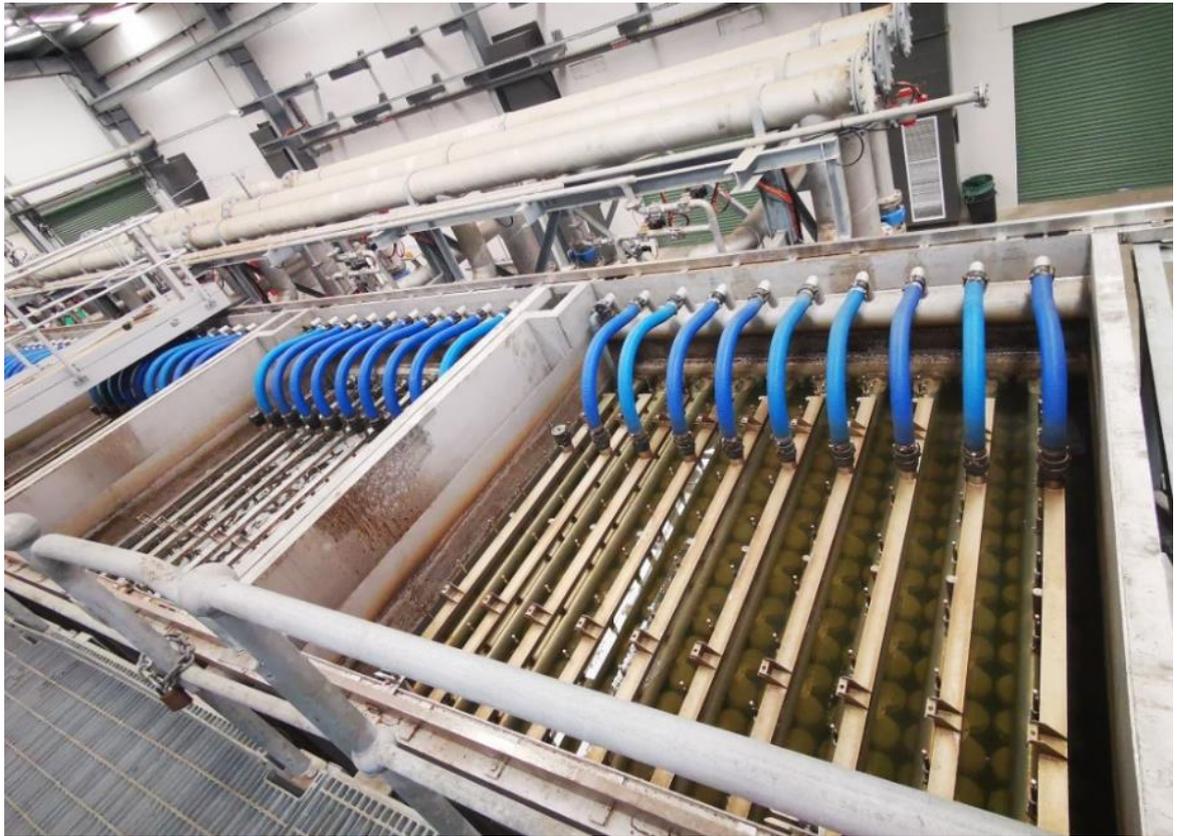


圖 3.7-7 Fairfield 廠沉水式 UF 薄膜過濾單元



圖 3.7-8 Fairfield 廠 RO 逆滲透單元

於參觀廠內設施結束後，考察同仁與Fairfield廠工作人員進行綜合討論，以下列出討論重點：

1. **重點一：**Rosehill-Camelia 再生水計畫的營運模式為何？各項權責如何分配？

說明：Rosehill-Camelia 再生水計畫為雪梨水公與私人企業 AquaNet Sydney Pty Ltd (AquaNet)合作項目，兩方簽訂 20 年的 BOO(Build-Operation-Own) 合約，AquaNet 擁有並營運再生水配水系統及 Fairfield 廠(由 Veolia 公司負責)。該計畫是依新南威爾斯州政府制定之「Water Industry Competition Act (2006)」法案所提出的，主要由雪梨水公司向 AquaNet 購買合約所規定的最低再生水量，其餘再生水則以較合理價格售給用戶端，計畫架構如圖 3.7-9。

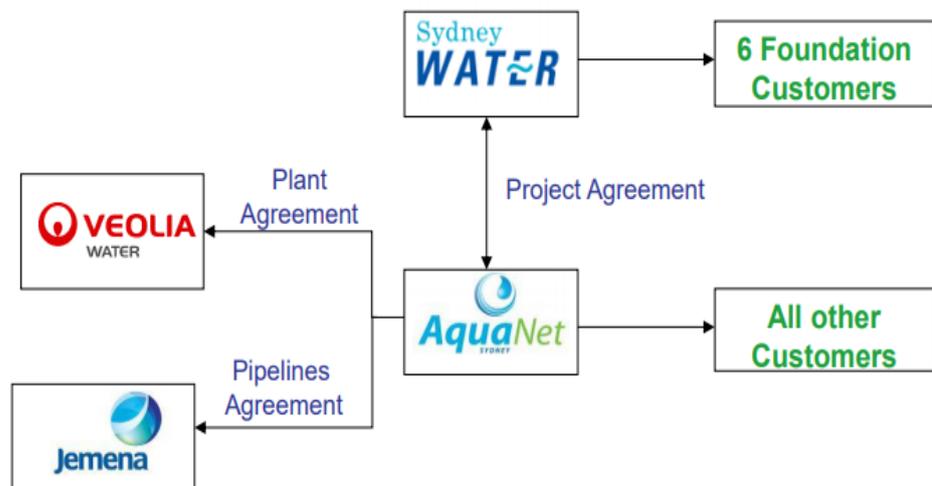


圖 3.7-9 Rosehill-Camelia 再生水計畫商業架構

2. **重點二：**澳洲再生水管線是使用何種材質？管線顏色規定為何？

說明：以 Fairfield 廠再生水為 RO 逆滲透產水，藍氏飽和指數 LSI 值較低可能具有腐蝕性，因此原則上再生水配水管線採用 HDPE(高密度聚乙烯)管，管線顏色規定為紫色；另外，污水管線在澳洲則規定為黑色。

3. **重點三：**Fairfield 廠供應工業區使用之再生水費用為多少？

說明：再生水價平均約自來水價 95%（澳洲自來水價每度約為新台幣 53~57 元左右，依照地區、用水時間略有不同）。

4. **重點四：**對於 Fairfield 廠 RO 逆滲透單元所產生濃排液(Concentrate) 處理方式為何？

說明：有關 RO 逆滲透單元所產生濃排液，Fairfield 廠係將其排入雪梨地區污水下水道系統，最終輸送至位於雪梨曼利議會(Manly)地區之 North Head Wastewater Treatment Plant。

5. **重點五：**當 Fairfield 廠所產出再生水進入配水系統後，是否有遠端水質訊號回傳至廠內？

說明：基本上廠內再生水水質合格符合標準後，才輸送至配水系統，由於管理權責單位不同，配水系統水質訊號並無回傳；但 Fairfield 廠進流水部分則有水質訊號，參訪當日相關水質數據 TOC 濃度 13.7 mg/L、氨氮 3.6 mg/L-N 及濁度 1.8 NTU。



圖 3.7-10 考察同仁與 Fairfield 廠方合影留念

3.8 參訪 St Marys Advance Water Recycling Plant

St Marys Water Recycling Plant(以下簡稱 St Marys 廠)及 St Marys Advance Water Recycling Plant(以下簡稱 St Marys 高級廠)兩廠相鄰，地理位置位於雪梨西部，其中 St Marys 廠是一座三級處理之再生水廠，St Marys 高級廠則是更進一步處理三級放流水，產出水質更佳；本次考察由 SUEZ 公司導覽，除簡單交流會談外，主要至 St Marys 高級廠進行廠內設施參觀，有關對 St Marys 高級廠敘述如下說明。

如同於墨爾本參加展覽時，所聽取雪梨水公司(Sydney Water)簡報介紹，整個雪梨地區自來水水源有 80%來自 Burragorang 水庫(由 Warragamba 壩取水處理)；由於 2000 至 2006 年期間，嚴重的乾旱造成水庫蓄水量急速下降，除雪梨地區用水吃緊外，也大幅減少 Warragamba 壩下游 Hawkesbury-Nepean River 河川流量。

澳洲新南威爾斯政府考量乾旱造成水庫蓄水量不足、河川天然流量偏低，又為避免污染物過多進入河川造成水質惡化，如營養物質(如氮、磷等)造成河川下藻類過量生長、有機物過多造成河川環境惡化等，於是進行一系列評估，遂制定「Metropolitan Water Plan」，其中的子項目「Replacement Flows Project」主要目標為削減污染物排入河川，改採用較佳水質補助河川流量，並可取代 Warragamba 壩釋出至下游水量，作為維持水庫蓄水量、保護河川環境之對策，St Marys 高級廠即以此為依據設立。

St Marys 高級廠為澳洲最大水再生廠之一，主要處理來自三座水再生廠部分之三級(Tertiary)處理放流水，包括 Penrith Water Recycling Plant(簡稱 Penrith 廠)、Quakers Hill Water Recycling Plant(簡稱 Quakers Hill 廠)及 St Marys Water Recycling Plant(簡稱 St Marys 廠)。St Marys 高級廠設計每日處理水量約 6 萬噸，主要處理流程為進水平衡池(Feed Water Balance Tank)、過濾器(Strainer)前處理、UF(Ultrafiltration)薄膜過濾、RO 逆滲透、二氧化碳脫除器(Decarbonators)、pH 調整及消毒，最後放流至

Hawkesbury-Nepean River，以補助河川流量，如圖 3.8-1 所示，。

參訪當日，我們向廠方介紹臺灣再生水推動情形，並交流會談，隨後廠方 Rafay 先生亦向我們介紹澳洲政府「Replacement Flows Project」的架構(如圖 3.8-2)，Rafay 先生說明 Penrith 廠、Quakers Hill 廠及 St Marys 廠三級處理放流水，部分排入 Hawkesbury-Nepean River 河川，其餘則是輸送至 St Marys 高級廠再進一步處理以提升水質後，再排放至 Hawkesbury-Nepean River。採用此方式係經過評估(如河川水質模擬)所執行，如此不僅維持河川系統環境，還可減少水庫蓄水消耗。

我們亦問及 St Marys 高級廠 RO 逆滲透處理程序所產生濃排液，如何處置？Rafay 先生表示，RO 逆滲透濃排液排入雪梨地區污水下水道系統，最終輸送至位於雪梨曼利議會(Manly)地區之 North Head Wastewater Treatment Plant 處理，由此得知，與 Fairfield 廠做法相同。另外 UF 薄膜過濾反洗(Backwash)廢水則輸送至 St Marys 廠處理。

於交流會談後，我們隨即進行廠內設施參觀，並依照處理流程先後進行，圖 3.8-3 及圖 3.8-4 為交流會議照片。

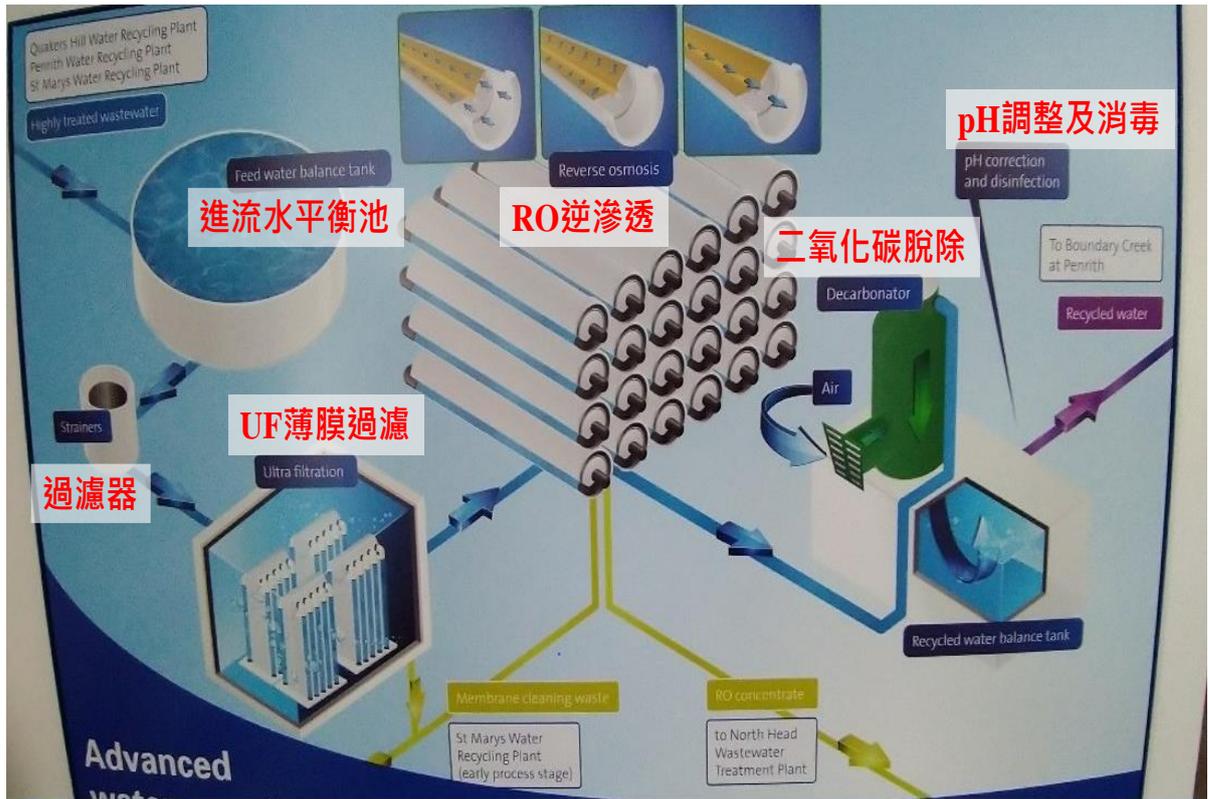


圖 3.8-1 St Marys 高級廠處理流程圖



圖 3.8-2 「Replacement Flows Project」的架構圖

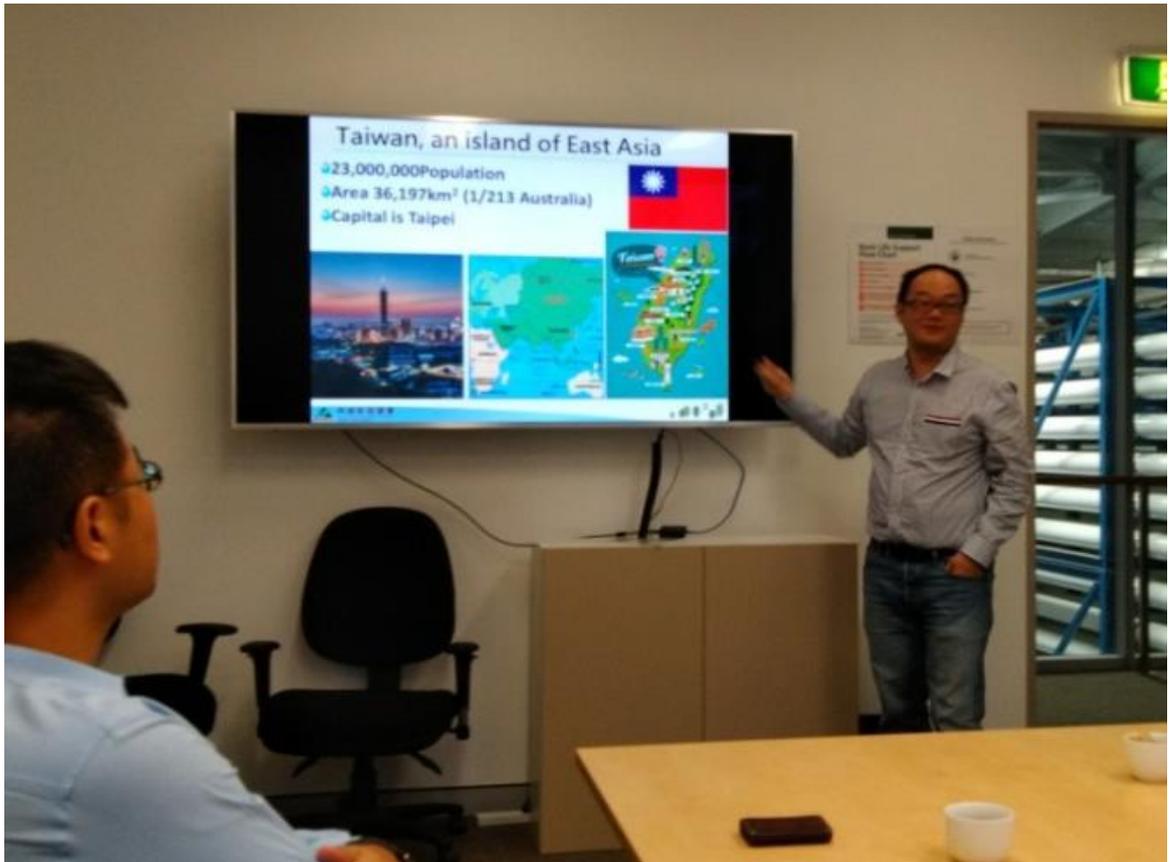


圖 3.8-3 交流會談中介紹我國再生水推動情形



圖 3.8-4 廠方 Rafay 先生向我們簡介解說

首先廠內設施參觀的部分，我們來到 St Marys 高級廠進流水平衡池(如圖 3.8-5)，主要功能是將來自 Penrith 廠、Quakers Hill 廠及 St Marys 廠之三級處理水收集、儲存及調節，確保能穩定供應 UF 薄膜過濾單元之進流水。

進流水平衡池為一座圓形槽體，高約 7m，直徑約 30m，蓄水量約 5,000m³，頂部無加蓋，為避免水中藻類及細菌滋長，廠方會添加氯氨(Chloramine)，另一方面可抑制後續 UF 薄膜表面生物膜生長，相較於次氯酸鈉，氯氨消毒力雖低但仍可達到效果、減少消毒副產物生成。

於現場觀察到進流水平衡池進流管線皆設有管中加藥設施(如圖 3.8-6)，廠方說明該設施即為氯氨添加位置，藥劑添加後隨管線中紊流(Turbulence)混合，再進入進流水平衡池中，廠方另表示 St Marys 高級廠內大部分需添加藥劑單元，主要採用管中加藥方式。



圖 3.8-5 St Marys 高級廠之進流水平衡池



圖 3.8-6 St Marys 高級廠進流管中加藥設施

於參訪 UF 薄膜過濾單元部分，St Marys 高級廠係採用沉水式中空纖維膜，為避免 UF 薄膜受長纖維纏繞影響壽命及效能，於進流管線中設置過篩器 (Strainer) 濾除污物後，再進入 UF 薄膜過濾單元，廠方現場向我們說明裝設於管線中過篩器，其篩網型式為孔板式 (Perforated Plate)，形狀為空心圓柱體，水流方向由內向外，通過濾網以攔除污物，如圖 3.8-7，另外廠方說明過篩器過濾孔徑約為 0.5mm，在實際操作上效果不錯。

在 UF 薄膜過濾單元時，恰好遇到正在進行反沖洗，我們詢問有關反沖洗的操作模式，廠方表示該單元設有 6 組 UF 薄膜過濾膜池，採用間歇性產水模式，每組膜池操作 20 至 25 分鐘，即進行一次約 3 分鐘之反沖洗，為持續供水至後續 RO 逆滲透處理，採用輪替方式，如 1 組反沖洗時，則其餘 5 組進行操作。

接著我們參訪 RO 逆滲透處理單元，廠方表示為取得更高的再生水回收率 (Recovery)，St Marys 高級廠採用 3 段 (3-Stage) 式 RO 逆滲透，廠方說明每一段回收率 ($\text{Recovery} = \frac{\text{濾液量}}{\text{進流量}} * 100\%$) 及去除率 ($\text{Rejection} = \frac{\text{濃排液}}{\text{進流量}} * 100\%$) 分別約為 62% 及 38%；當在符合 RO 逆滲透進流條件下，多段方式可提高產水，如第一段進流水為 100 單位，濃排液則為 38 單位，再將這濃

排液進行下一段 RO 逆滲透，可獲得更多濾液；以 St Marys 高級廠而言，RO 逆滲透處理單元進流水為 53 MLD(來自 UF 濾液)，產出 RO 濾液為 50 MLD，總回收率約為 94.3%，圖 3.8-8 為本次考察所整理 St Marys 高級廠 3 段式 RO 概念圖。

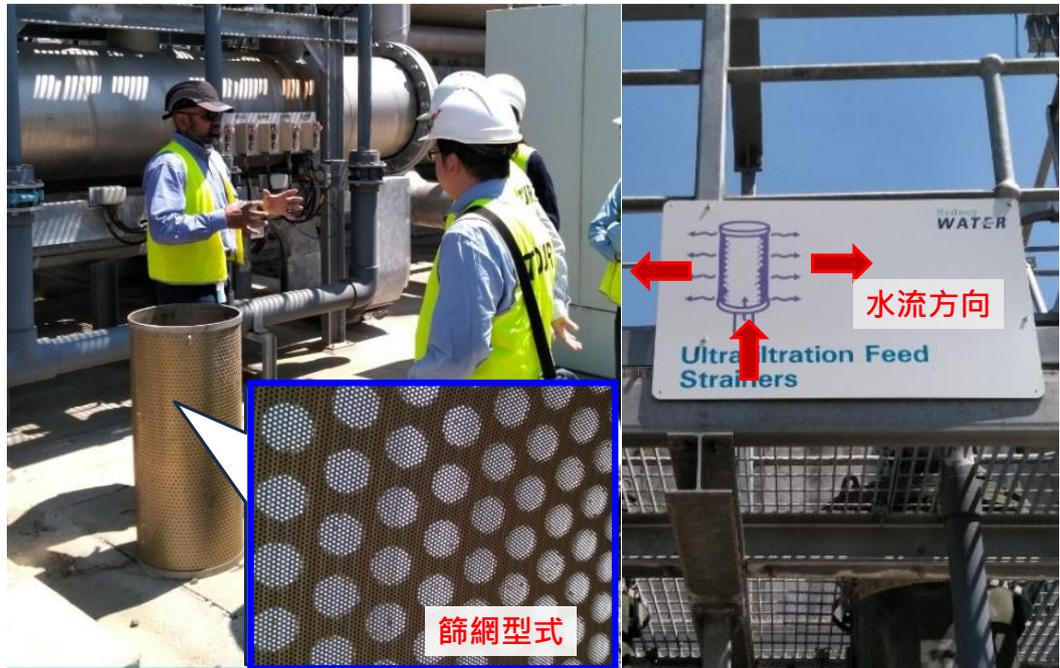


圖 3.8-7 廠方展示作為 UF 薄膜過濾前處理之過篩器(Strainer)

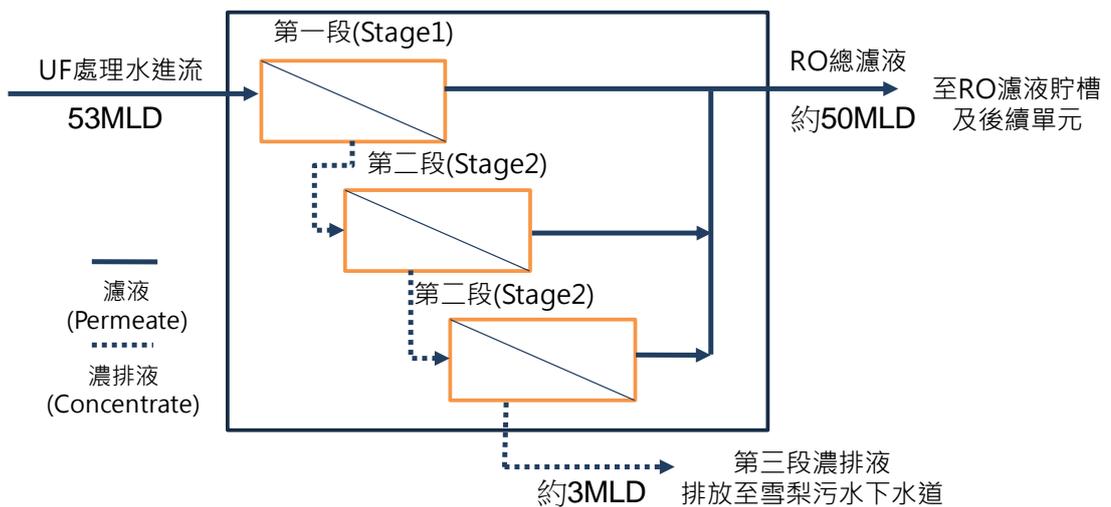


圖 3.8-8 St Marys 高級廠 3 段 RO 處理概念圖(本次考察整理)

最後，我們參訪二氧化碳脫除器、實驗室、中控室及環境教育中心；其中二氧化碳脫除器主要以氣提方式，去除 RO 濾液中二氧化碳，廠方表示將二氧

化碳脫除後，可減少後續 pH 調整時所需加藥量；在中控室部分，係採用 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)系統進行全廠監控；至於環境教育中心，現場擺設 St Marys 高級廠所採用 UF 薄膜、RO 逆滲透薄膜及相關介紹外，還可透過玻璃帷幕看到 RO 逆滲透處理單元，相關照片如圖 3.8-9 及圖 3.8-10。



圖 3.8-9 環境教育中心擺設 UF 薄膜及 RO 逆滲透薄膜



圖 3.8-10 環境教育中心可直接觀察 RO 逆滲透處理單元

1. 重點一：Penrith 廠、Quakers Hill 廠及 St Marys 廠所謂之三級處理放流水，其處理流程為何？

說明：以 St Marys Water Recycling Plant(St Marys 廠)三級處理流程為例，主要流程有屬初級處理之撈污機、沉砂池、初步沉澱池，屬二級處理之生物處理池、二次沉澱池，屬於三級處理之化學混凝池(化學除磷)、三次沉澱池、雙層濾料濾床、加氯消毒池。St Marys 廠流程如圖 3.8-11。

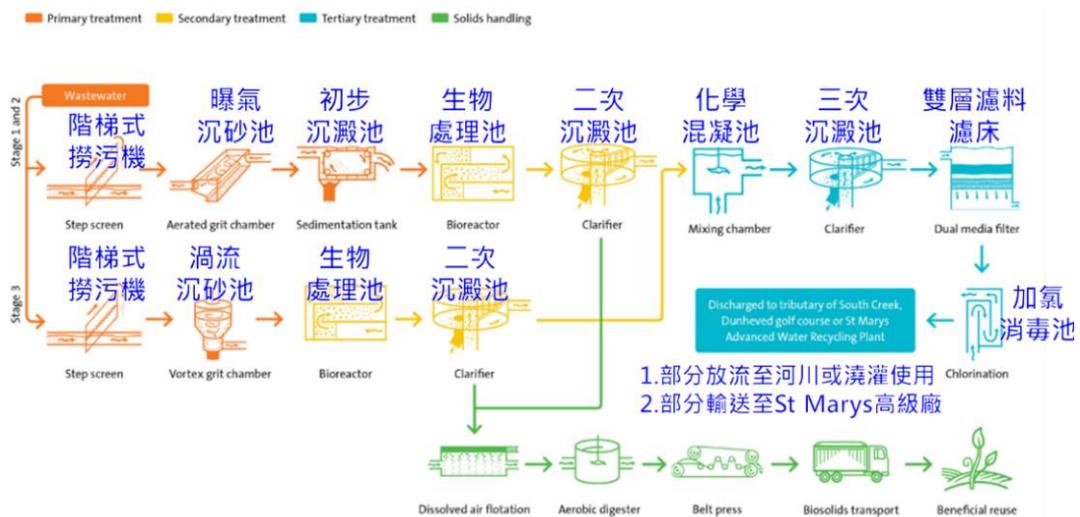


圖 3.8-11 St Marys 廠三級處理流程圖(來源：Sydney Water)

2. 重點二：有關延長設備使用壽命，請問 St Marys 高級廠於設備保養維修方面有甚麼相關作法？假若設備因損壞而汰換，費用如何負擔？

說明：St Marys 高級廠對於設備維護方式，包括每週至少 1 次所有設備進行一般巡檢，包括手背觸碰設備是否異常振動、異常高溫、以聽覺判斷是否有異音、以目視判斷是否冒煙、以嗅覺判斷是否有異味等，並採用簡單工具進行測量；此外，依照設備原廠維護手冊，如每 2 個月或 3 個月進行設備潤滑、防鏽處理等，每年則針對全廠重要轉動設備執行振動分析再依診斷結果判斷是否軸承損壞或偏心，若診斷結果顯示有潛在異常現象，則再進行對心測試做進一步確認，廠內確實有遇到這樣狀況，而更換及調整抽水泵聯軸器(Coupling)，使抽水泵保持良好機能。至於設備汰換費用，廠方表示根據與政府簽訂之 10 年契約規定，80%由代操作商支出，其餘 20%由政府負擔。

3. **重點三：**對於產出 RO 再生水水質標準為何？現況水質為何？

說明：首先說明 St Marys 高級廠 RO 再生水，其水質標準主要依據核定概念設計(Concept Criteria)報告資料，分別有 90%及 50%百分位數值^{註1}之基準，本廠就以實際操作 90%百分位數值進行比較，如表 3.8-1，實際水質都符合標準。

註 1:百分位數值係將 1 組測量數據從小到大排序，並計算相應的累計百分位下之數據。如濁度之一整年量測資料，由小到大排序，在 90%累計百分位點為 5.0NTU，則此值即為濁度之 90%百分位數值。

表 3.8-1 St Marys 高級廠 RO 再生水值標準及實際數據

水質項目	單位	概念設計報告標準		實際操作數據
		90% ile	50% ile	90% ile
氨氮	mg-N/L	<0.05	-	<0.06
pH	-	7-8.5	-	7.3-8.0
濁度	NTU	<0.1	-	<0.1
總溶解性固體	mg/L	<100	-	<20
總氮	mg-N/L	<1.5	<1.5	<0.4
總磷	mg-P/L	<0.02	<0.015	<0.005
E.Coli (大腸桿菌)	MPN/100 mL	<1	-	<1
總大腸桿菌群	CFU/100 mL	<10	-	<1
寄生蟲	個數/50 L	<2	-	<1 (梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲)

4. **重點四：**St Marys 高級廠進流水平衡池(Feed Water Balance Tank)

頂部無加蓋，即使有使用氯胺消毒，是否仍需要定期清洗？另外由於池槽體容積大，使否有局部死水問題影響 UF 進流水水質？

說明：進流水平衡池即使有進行氯胺消毒，仍需要定期清洗，對於整個廠而言，最擔心進流水質對 UF 薄膜過濾造成影響，清洗頻率為每年 2

次。另外，槽體為圓形且進流位置設計時均有考量，可利用進流管出水餘壓產生擾動，使池槽內水體均勻混合，應沒有局部死水造成水質劣化問題。

在參訪的尾聲，我們向廠方表達於此行受益良多，並贈禮致謝，考察同仁與廠方人員討論及最後合照留念，如圖 3.8-12~3.8-14。



圖 3.8-12 考察同仁與廠方操作維護人員經驗交流(一)



圖 3.8-13 考察同仁與廠方操作維護人員經驗交流(二)



圖 3.8-14 考察同仁與廠方工作人員合影留念

3.9 參訪布里斯本河川整治及民眾親水環境再造成果

布里斯本河川原受當地民生及工業污染，經過當地政府多年整治有成，並於河川沿岸營造多處親水亮點，包含 City Hopper 渡輪及南岸公園等；City Hopper 渡輪共有八個站點，市民及旅客可以免費搭乘，是澳洲政府一項鼓勵使用公共交通工具及發展觀光政策。我們搭乘 City Hopper 渡輪，觀察布里斯本河幾乎沒有污染情形，顯示布里斯本下水道用戶接管普及率及污水處理率應非常高；另外，南岸公園包括花園、水道、草坪、廣場、親水遊樂池、沙灘、餐廳及商店等，整體規劃動線順暢且方便，較讓人深刻的是河邊的沙灘，許多澳洲民眾在沙灘上休憩；當然，我們認為能夠享受如此的成果，必先經過許多努力，期望國內在河川污染整治能夠更好，使生活環境改善，本次考察實地觀摩如圖 3.10-1 及圖 3.10-2。



圖 3.10-1 City Hopper 渡輪



圖 3.10-2 考察同仁實地觀摩南岸公園

3.10 參訪布里斯本 Luggage Point Advanced Water Treatment Plant

Luggage Point Advanced Water Treatment Plant(簡稱 Luggage Point 高級廠)，位於澳洲布里斯本市東側、鄰近布里斯本國際機場旁，於 2008 年開始啟用營運，主要提升毗鄰之 Luggage Point Wastewater Treatment Plant(簡稱 LuggagePoint 廠)之二級處理放流水水質，並作為再生水使用，以減緩布里斯本缺水問題。

Luggage Point 高級廠屬於「Western Corridor Recycled Water project(澳洲西部廊道再生水計畫，簡稱 WCRW 計畫)」中所規劃 3 座大型再生水廠之一，該計畫工程規模及花費為澳洲最大、世界第三大之再生水計畫。WCRW 計畫除包括 3 座再生水廠外，尚包括超過 200 公里再生水輸配水管線、9 座配水池及 12 座加壓站等。

WCRW 計畫主要是澳洲政府為因應 2006 年國內嚴重旱災所制訂之一系列計畫，主要目的為提供再生水給當地發電廠、工業用水、農業灌溉及補注水庫蓄水量等用途。且於 2008 年開始，澳洲政府規定 Wivenhoe 水庫(由 Wivenhoe 壩取水)蓄水量低於水庫容量之 40%時，方可輸送再生水至水庫進行補注。WCRW 計畫再生水輸送架構如圖 3.10-1。

Luggage Point 高級廠設計再生水產水量為 70 MLD，約為 70,000CMD，主要流程有快混、膠凝、沉澱、過濾器(Strainer)、MF 薄膜過濾、3 段 RO 逆滲透、高級氧化程序(過氧化氫+UV)、二氧化碳及碳酸鈣添加及加氯消毒，最後加壓輸送至用水端，Luggage Point 高級廠流程如圖 3.10-2 所示。

Luggage Point 高級廠方人員向我們說明各項處理單元功能，如 LuggagePoint 廠二級處理放流水水質總磷濃度高(因無除磷單元)，對於後續 MF 薄膜過濾及 RO 逆滲透影響甚高，因此採用化學除磷方式降低總磷濃度，於水中添加混凝劑(採用氯化鐵 $FeCl_3$)進行快混(Coagulation)，與磷酸鹽生成不溶性固體物，並於膠凝(Flocculation)過程形成較大顆粒後，再藉由沉澱去除。

如同本次參訪之 Fairfield 廠及 St Marys 高級廠一樣，在 MF 薄膜過濾之前，LuggagePoint 高級廠設置過篩器(Strainer)以濾除污物，避免影響 MF 薄膜效能，廠方表示過篩器過濾孔徑採用 0.3mm；LuggagePoint 高級廠 MF 薄膜係採用管式(Tubular)膜，實際操作平均通量可達到 65 LMH(liter/m²膜面積/hr)，產水濁度可小於 0.1NTU。

至於 RO 逆滲透處理單元部分，主要包括 RO 進水儲槽、RO 進水泵、RO 加壓泵、RO 匣式(Cartridge)過濾器、水質監測器及抑垢劑加藥系統；對於 MF 薄膜及 RO 逆滲透處膜，為抑制生物膜生長造成薄膜阻塞，於 MF 薄膜過濾單元進流水前加入氯胺消毒，並且可減少消毒副產物生成。

高級氧化程序(過氧化氫+UV)，主要目的去除 RO 濾液可能殘留之細菌、病毒、消毒副產物、殺蟲劑、內分泌干擾物(EDCs)、藥物及個人保健用品(PPCPs)等，利用過氧化氫(H₂O₂)經 UV 照射下光分解產生氫氧自由基，藉由其強氧化力破壞分解前述污染物。另由於 RO 濾液之碳酸鈣沉澱潛勢(Calcium Carbonate Precipitation Potential, CAPP)或藍氏飽和指數 LSI 值(台灣常用的水質指標)偏低而可能具有腐蝕性，LuggagePoint 高級廠利用添加二氧化碳及碳酸鈣方式將水質穩定化。

考察同仁向廠方人員請教相關問題，以下列出討論重點：

1. **重點一**：對於 Luggage Point 高級廠 RO 再生水水質標準，有何特別規定？

說明：Luggage Point 高級廠為符合用水端需求，尤其針對營養鹽之總氮(< 0.8 - 1.2 mg/L)及總磷(< 0.13 mg/L)，廠內依照水質標準對總氮及總磷去除率約 86.5%及 98.5%。

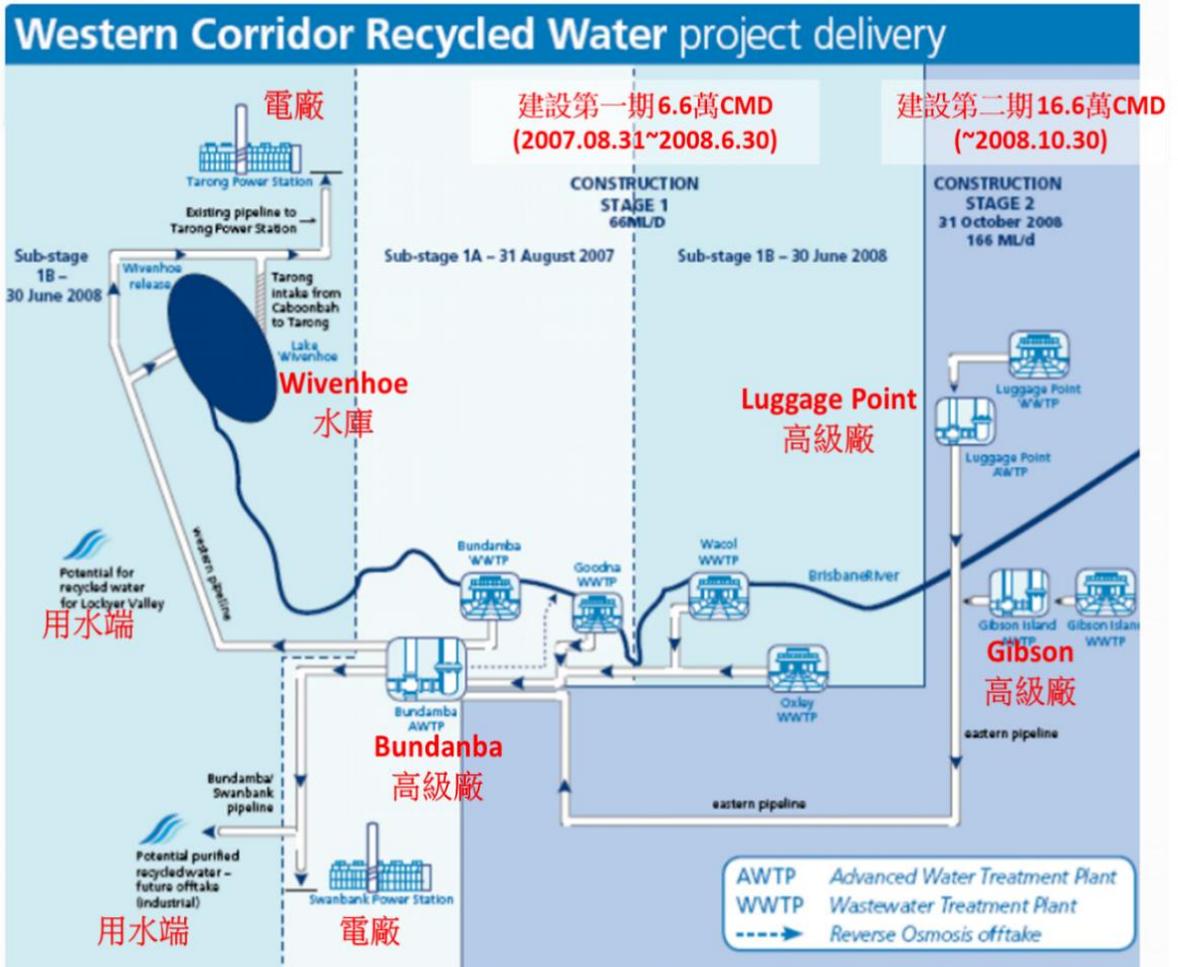


圖 3.10-1 WCRW 計畫再生水輸送架構圖(來源:澳洲昆士蘭政府)

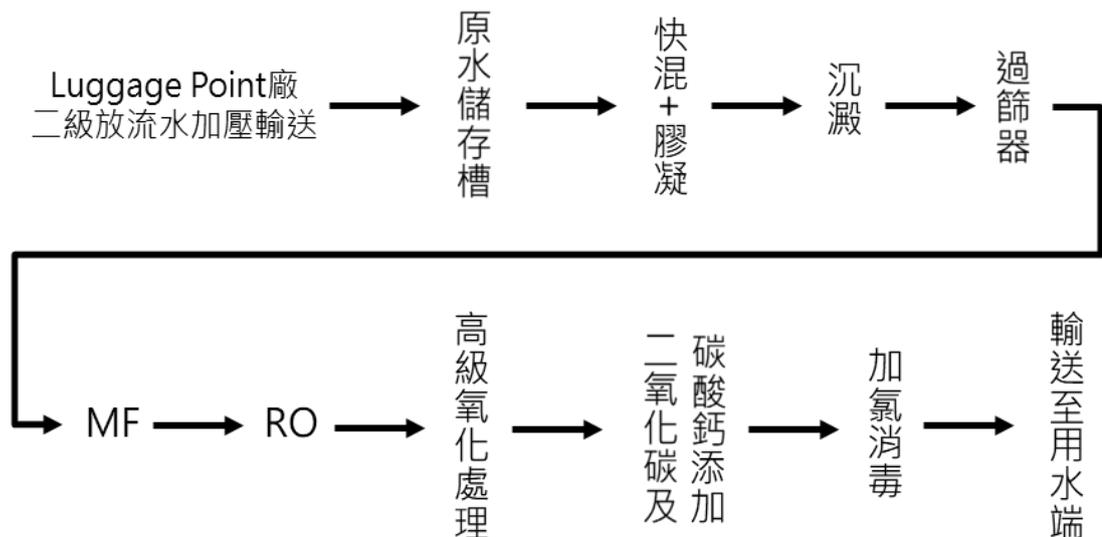


圖 3.10-2 Luggage Point 高級廠主要處理流程圖(本次考察整理)

3.11 拜會我國駐布里斯本台北經濟文化辦事處

本考察受我國駐布里斯本台北經濟文化辦事處(簡稱布里斯本辦事處)之邀，特地前往拜會並進行交流會談，如圖 3.11-1；本次拜會由布里斯本辦事處洪振榮處長及胡家甄秘書熱情接待，洪處長向我們說明在政府努力下，台灣與澳洲現在處於多方面合作、來往頻繁及互動融洽的最佳時機，就如布里斯本與我國高雄市為締結姊妹及友好城市，兩市深化港灣與水岸合作，並在產業、觀光、教育領域交流熱絡；洪處長也表示澳洲工程方面進步且嚴謹，許多我國可以學習之處，希望在這方面可以強化交流，會後我們向洪處長贈禮致謝，如圖 3.11-2。



圖 3.11-1 考察同仁拜會布里斯本辦事處

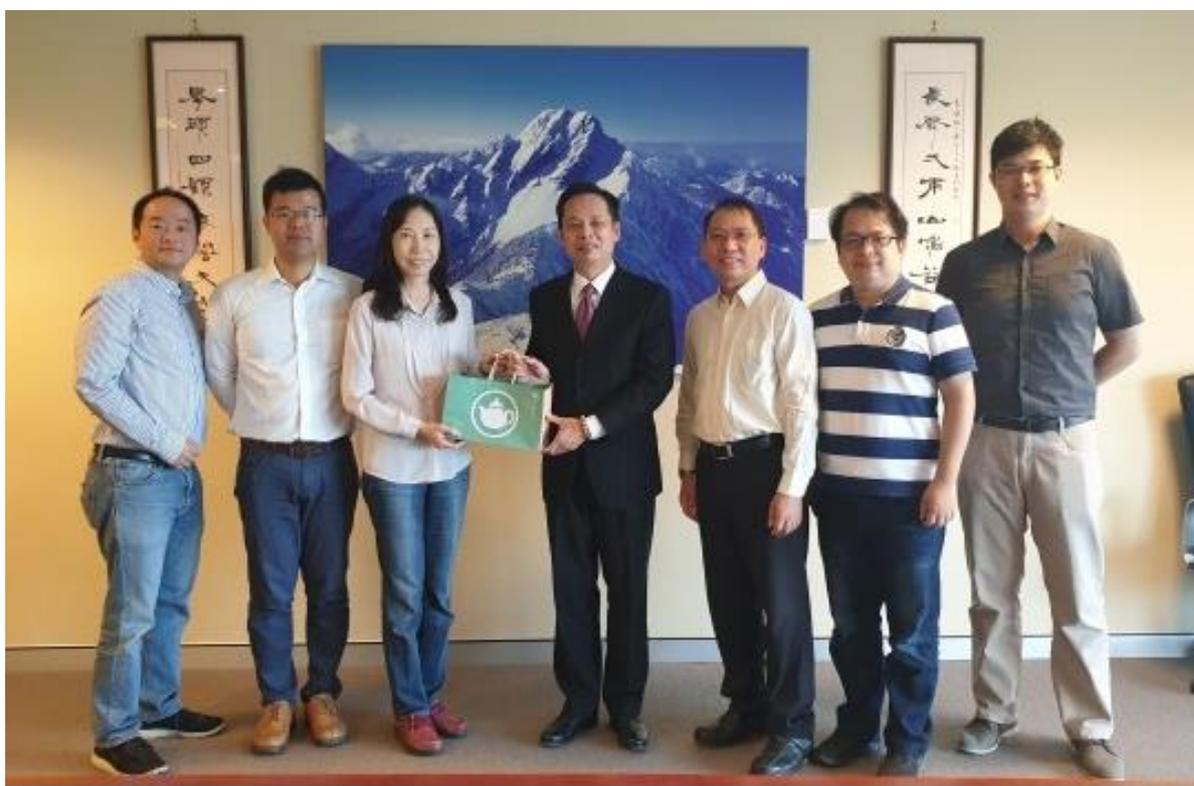


圖 3.11-2 考察同仁與洪處長合影

肆、 考察心得及建議

茲就本考察行程內容，分為兩大主題提出心得及建議。

4-1 考察心得

水資源利用

澳洲用水主要依賴水庫，而水庫蓄水主要來自雨水，因此對澳洲而言，氣候因素影響非常重大，在此次澳洲參訪中，如墨爾本愛丁堡雨水花園、居民設置雨水收集裝置，甚至水再生廠內也設有雨水收集槽，就不難看出澳洲政府在雨水利用的努力。

至於「澳洲西部廊道再生水計畫」，澳洲政府投入大量資金，將許多既有污水處理廠(二級處理)放流水收集處理，以提供再生水給當地發電廠、工業用水、農業灌溉及補注水庫。由於再生水為非直接飲用(Indirect Potable Reuse, IPR)，因此在這方面有嚴格規定，如再生水需要與天然水源(補注水庫)以一定比例混合再經處理後才能供應給居民，及水庫蓄水量小於水庫容量之 40%，才可輸送再生水至水庫進行補注，換言之非不得已不可供應含有再生水水源之自來水。另有關水再生技術，薄膜技術已然是國際趨勢，如我們本次參訪之水再生廠大多實際應用(表 4.1-1)。

表4.1-1 本次考察之再生水廠或污水處理廠簡表

水再生廠或污水處理廠 名稱	處理水源 性質	重要 程序	薄膜過濾 前處理	備註
North Head Wastewater Treatment Plant	初級 放流水	MBR	轉鼓式 撈污機	具有除氮功能 (MLE程序)

Fairfield Recycled Water Plant	三級 放流水	UF+RO	過篩器	含離子交換單元
St Marys Water Recycling Plant	三級 放流水	UF+RO	過篩器	有環境教育中心
Luggage Point Advanced Water Treatment Plant	二級 放流水	MF+RO	過篩器	含化學除磷單元

設備維護與能源議題

經與澳洲污水處理廠及再生水廠現場操作維護人員討論，他們說明設備機能狀態會間接影響設備用電量、處理效果及相關成本，並強調延長設備使用壽命不外乎確實執行必要的維護項目。澳洲方面主要著重於「預防勝於治療」，就以 St Marys 高級廠來說，除。對其代操作商(與政府簽訂 10 年契約)而言，比起設備故障造成供水問題及設備汰換等所需付出之成本(如汰換設備代操作商需負擔 80%費用)，確實執行設備維護所需費用相對來得實惠。這也是國內公共污水處理廠目前所推動的部分，建議督導地方政府逐步加強執行定期檢查，以維持設備機能及延長使用壽命，減輕財政負擔。

另前述有關澳洲 North Head 廠的設備維護型式，若依照維護項目「性質」與本署「污水處理廠標準維護程序書(SMP)範本」比對，如 SMP 範本中的一般保養、預防保養、校正保養…等應接近 North Head 廠預防性維護性質，整理如表 4.2-1，整體上，本署 SMP 範本細分項目較多。另外在設備維護執行方面，澳洲相對比較嚴謹，這是我們可以效法之處。

表4.2-1 澳洲North Head廠及本署SMP範本維護性質比較表

項目	澳洲 North Head 廠	本署 SMP 範本
維護型式	預防性(Preventative)	一般保養 預防保養 校正保養

		電氣設備預防保養
	計畫性(Planned)	預測保養 歲修作業 健全度評價
	反應性(Reactive)	自行/委外維修

薄膜技術為現代水處理工程中重要的技術，在這趟澳洲參訪行程中，各個水再生廠都強調進入薄膜過濾單元前，進流水都需經過篩器前處理，並說明長纖維等雜物若未先有效攔除，可能纏繞薄膜(中空纖維)，進而影響處理效果、操作穩定性，甚至造成膜絲斷裂等問題。就以 MBR 系統而言，進流水建議需經過細篩及微篩，柵條淨距或過濾孔徑需符合參考範圍，設計與操作也有相關建議，如表 3.2-2。

在能源消耗的部分，如在參加展覽時，瞭解澳洲對於再生能源相當重視，如沼氣發電、廚餘發電等。在污水處理廠方面，如 North Head 廠利用水力發電(Hydroelectricity)以及汽電共生(Cogeneration)，產生電力提供廠內部分設備使用。以水力發電而言，係利用初級處理後的水流入海洋放流管過程中，高程差異所產生之重力流驅動水力發電機，作為發電的方式。在汽電共生部分，主要以污泥厭氧消化槽所產生之甲烷氣體作為燃料，並進行收集及燃燒發電，以替代部分用電量。

另外，我們也觀察到國際當前趨勢著重於能源監控及智慧化應用管理，包括儀表板(Dashboard)呈現用電情形，可透過智慧型手機即時監控，並可進一步分析歷史用電數據及能源使用效率。

在污水處理設備節能方面，用於生物處理單元或 MBR 系統曝氣用之鼓風機，常是污水處理廠能源消耗佔比最多之設備，也是節能最主要的對象。如本次參訪之脈衝式氣泡反沖洗，對於 MBR 系統可加強薄膜表面污泥餅沖刷能力、

延緩透膜壓差上升及減少鼓風機曝氣量，進而達到節能效益，亦是針對鼓風機進行節能之策略，不過，該脈衝式氣泡反沖洗涉及專利，國內政府採購案無法指定使用。

4.2 建議

4.2.1. 雨水回收再利用，再生水廠、雨水花園等公共設施廣設雨水儲留系統，並鼓勵民眾家戶設置：

如為減緩乾旱缺水問題，墨爾本水務局以水資源敏感都市設計的概念，於愛丁堡公園邊設置雨水花園，目的為將鄰近斐茲洛伊區域雨水收集作為公園澆灌使用，降低節省對自來水使用需求。另外在愛丁堡雨水花園附近住宅區，墨爾本水務局推廣用戶收集雨水回收使用，其方式為由屋頂將雨水收集至雨水收集槽，可作為沖廁、洗衣、洗車及花園澆灌等用途，不僅可降低雨水逕流對河川的負擔，並可節約自來水使用。

4.2.2. 污水回收再利用，訂定合理的再生水價及完善政策，提高民間投入意願：

澳洲政府為因應 2006 年國內嚴重旱災所制訂一系列計畫之一「Western Corridor Recycled Water project(澳洲西部廊道再生水計畫，簡稱 WCRW 計畫)」中所規劃 3 座大型再生水廠，該計畫工程規模及花費為澳洲最大、世界第三大之再生水計畫。WCRW 計畫除包括 3 座再生水廠外，尚包括超過 200 公里再生水輸配水管線、9 座配水池及 12 座加壓站等。WCRW 計畫主要目的為提供再生水給當地發電廠、工業用水、農業灌溉及補注水庫蓄水量等用途。

4.2.3. 定期巡檢及維護既有設備，做好機械完善保養，維持設備運作效能，預防勝於治療：

St Marys 高級廠對於設備維護方式，包括每週至少 1 次所有設備進行一般巡檢，包括手背觸碰設備是否異常振動、異常高溫、以聽覺判斷是否有異音、以目視判斷是否冒煙、以嗅覺判斷是否有異味等，並採用簡單工具進行測量；此外，依照設備原廠維護手冊，如每 2 個月或 3 個月進行設備潤滑、防鏽處理等，每年則針對全廠重要轉動設備執行振動分析再依診斷結果判斷是否軸承損壞或偏心，若診斷結果顯示有潛在異常現象，則再進行對心測試做進一

步確認，廠內確實有遇到這樣狀況，而更換及調整抽水機聯軸器(Coupling)，使抽水機保持良好機能。除一般巡檢及定期維護外，落實每年定期的非破壞性檢測分析（振動分析、對心測試等），藉由設備的「健康檢查」診斷潛在劣化或故障因素，有利於及早提出解決對策。

4.2.4. 藉由開發再生能源，如利用水力及甲烷發電，增加水資源再利用及強化供能效力：

可參考 North Head 廠利用初級處理後的放流水流入海洋放流管過程所產生的高程差驅動水力發電機，以及利用污泥厭氧消化槽所產生甲烷作為燃料收集後燃燒發電。