



澎湖馬公第二海水淡化廠

第一期工程經驗分享

劉炅憲*／國統國際股份有限公司 經理

洪修棟／國統國際股份有限公司 課長

歐琇英／國統國際股份有限公司 廠長

澎湖水資源條件嚴峻，海水淡化已占供水八成以上，成為維持民生與觀光的重要基載水源。馬公第二海淡廠第一期工程以「低碳、環境友善、高韌性」為核心，前處理採用活化玻璃砂與袋濾單元，核心 RO 系統搭配專利能量回收器抑制結垢，達成全製程無添加化學藥劑及免 CIP 化學藥洗的突破。此外，善用放流鹵水進行砂濾反洗，年省 22.2 萬噸過濾水並減碳 53 公噸，產水 TDS 遠優於標準，成功兼顧離島供水韌性與海洋生態保育。

前言

澎湖群島位於臺灣海峽中央，地理環境特殊，天然水資源條件極為嚴峻。其地質主要由玄武岩方山台地構成，地形起伏平緩，缺乏常年穩定發源之主要河流，降雨後所形成之地表逕流大多迅速順勢入海，極難有效蓄存為可長期利用之穩定水源。此外，澎湖年平均降雨量僅約 1,000 mm 左右，遠低於臺灣本島多數地區（年平均約 2,500 mm），且蒸發量常年大於降雨量，呈現極為顯著的乾旱型氣候特徵。這種天然降雨有限、蒸發旺盛且地形留水不易的環境，使澎湖地區的水資源供應長期面臨結構性的先天限制。

過去澎湖地區的供水主要仰賴地表水庫蓄水以及深井地下水之抽取。然而，受限於降雨季節極度不穩定、集水區面積狹小且蓄水條件不足，加上乾旱枯水期水庫蓄水量常急劇下降，傳統水源早已難以充分支應日益增加的民生與經濟用水需求。另一方面，地下

水若長期處於過度抽取狀態，將極易引發含水層鹽化、海水入侵及地下水文環境永久劣化等嚴峻問題，進一步加劇離島地區水資源系統的脆弱性。隨著近年澎湖觀光產業蓬勃發展、季節性旅遊人口大幅成長，尖峰用水壓力呈現爆發性增加，如何建立穩定、獨立且可持續的自主水源，已成為澎湖維持民生品質、推動在地產業發展及保障公共服務正常運作的首要課題。

然而，離島地區的基礎建設發展不僅面臨水資源匱乏的挑戰，更同時受到電力供應、土地資源及生態承載量有限等多重限制。澎湖周邊海域擁有一流的水質與豐富的海洋生態，屬極具敏感性的生態環境。海水淡化技術雖然能打破傳統降雨時空限制，有效提升離島水資源之自主性，降低對降雨與地下水之過度依賴，但傳統海淡技術若未經妥善規劃，其高昂的能源消耗、高濃度鹵水排放以及化學藥劑添加使用等議題，亦極可能對周邊海洋生態環境造成二次負擔與衝擊。因此，澎湖海水淡化工程的規劃與推動，不應僅止於解決「缺水」問題，更必須朝向「低碳化、環境友善化及高韌性」的現代綠色工程方向推進。

* 通訊作者，paul.liu@kti.com.tw

基於此一發展背景，國統國際股份有限公司（以下簡稱國統公司）於澎湖興建第一座海水淡化廠至今已 22 年，為最了解澎湖水資源與在地需求的專業團隊。國統公司所承攬之「馬公第二海水淡化廠第一期工程」如圖 1，其設置核心目的在於全面補強澎湖既有供水體系之不足，顯著提升枯水期及觀光尖峰期間之供水韌性與穩定度。對此，在規劃設計與實際營運上，特別強調並落實「低碳、環境友善、高韌性」的技術理念，期能在確保水資源穩定供應的同時，最大化降低能源消耗與環境負荷，減少對周邊海洋生態之潛在衝擊，建立離島綠色海淡廠之新基準。

澎湖自來水供水現況與多元水源結構

根據自來水公司統計，澎湖地區平日自來水每日總需求量約為 30,000 餘噸。然而，澎湖供水系統面臨顯著的季節性壓力，每年進入觀光旺季及花火節等大型活動，大量觀光客湧入帶動單日用水需求急遽激增 10% 以上，日總需求量迅速攀升至 33,000 餘噸。而在離島土地與水庫蓄水容量受限的情況下，地表水庫常因夏季乾旱而告急，過度抽取地下水又面臨含水層鹹化風險。

因此，目前澎湖本島已建立高度仰賴海水淡化的多元供水體系。經過多年的海淡廠建置與系統擴建，澎湖整體自來水供水量中，海水淡化水已占高達 80% 的絕對主導地位，成為維持民生基本生活與觀光發展的基載主力水源。傳統水庫地表水與深井地下水則調降為季節性調節與緊急備援水源。水利署統計顯示，

位於澎湖縣的海水淡化廠年總造水量占全台灣離島海淡總產水量之八成左右，凸顯海淡廠對澎湖地區的高度重要性。

環境衝擊與友善平衡的挑戰

澎湖周邊海域因水質優良、生態資源豐富，經主管機關依法劃設為「甲類海域」。在此類高標準的海域環境中，海水淡化廠不論是在「取水工程」或「鹵水排放工程」的規劃設計上，皆面臨極高的環境保護標準與技術課題。

在逆滲透（Reverse Osmosis, RO）海水淡化系統中，為防止海水中高濃度的鈣、鎂、矽等礦物質在薄膜表面結垢結晶，通常需要持續添加化學抑垢劑（Antiscalants）。此外，為了恢復薄膜因有機物或微生物污染而下降的通量，系統必須定期進行線上化學清洗作業（Clean-in-Place, CIP）。若海淡廠採用超濾膜（Ultra Filtration, UF）作為前處理系統，同樣需要頻繁進行 CIP 化學藥清洗以維護薄膜效能。這些傳統操作流程最終產生的排放水與廢液中，雖經有效處理並符合排放標準，但不可避免地會含有微量或低濃度的化學藥劑與殘留物，對敏感海域生態構成潛在威脅。

國統公司為降低海淡廠開發做造成的環境衝擊，於馬公第二海水淡化廠第一期工程規劃設計全製程處理流程皆不使用化學藥劑，徹底降低化學品隨排放水流入澎湖海域之環境風險。

在此創新設計下，前處理系統全面採用「玻璃砂多介質過濾」搭配「袋濾單元」。其中，砂濾系統特別



圖 1 馬公第二海水淡化廠第一期工程砂濾單元



活化玻璃砂

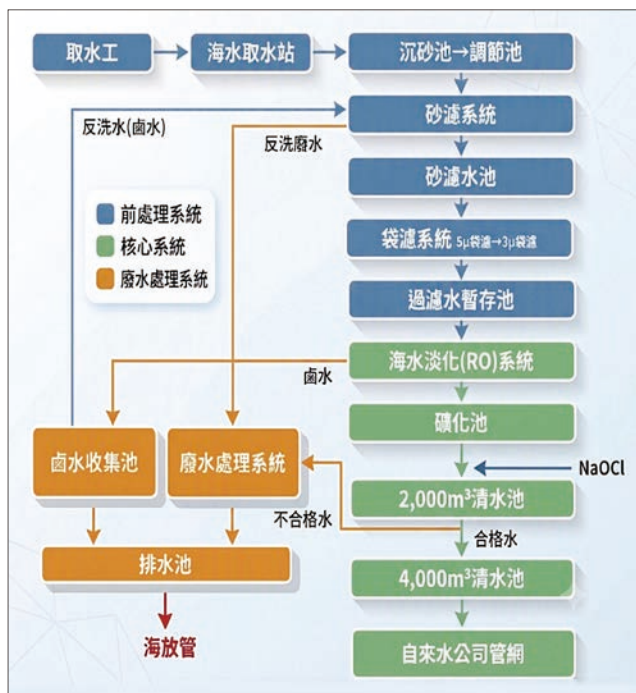


圖 2 馬公第二海水淡化廠第一期處理流程

選用具備表面活性與介孔結構的活化玻璃砂濾料。利用玻璃砂表面顯著的負電荷（Zeta 電位）與靜電吸附機制，即使在完全不添加任何混凝劑（Coagulant）或助凝劑（Flocculent）的條件下，系統仍能高效捕捉並去除海水中微米級的懸浮顆粒與膠體物質；同時，其特殊的表面物理特性更能有效抑制細菌附著，防止生物膜（Biofilm）的形成與滋生。整套前處理單元在常態運作與維護過程中，實現了全程無需添加任何化學藥劑或化學清洗劑的目標。此外，後續搭配的袋濾單元採用可拆卸清洗、重複使用的過濾袋，不僅從源頭徹底杜絕了化學藥劑隨排水進入海洋的風險，亦大幅降低離島地區高昂的廢棄物處置負擔與產生量，展現極佳的綠色循環效益如圖 2。

一般使用 UF 膜（ultra filtration）反洗需要消耗大量寶貴且已完成過濾的淨水，造成水資源的二次浪費。因此，在砂濾系統的反洗（Back wash）機制設計上，直接利用 RO 系統預計放流的鹵水進行砂濾反洗，使整個反洗過程完全無須消耗任何寶貴的過濾水。每年可為廠內節省過濾水高達 22.2 萬噸，相當於每年直接減少約 53 公噸 CO₂e 的碳排放量，充分實現了廠內水資源的高效循環利用與低碳營運雙重目標。

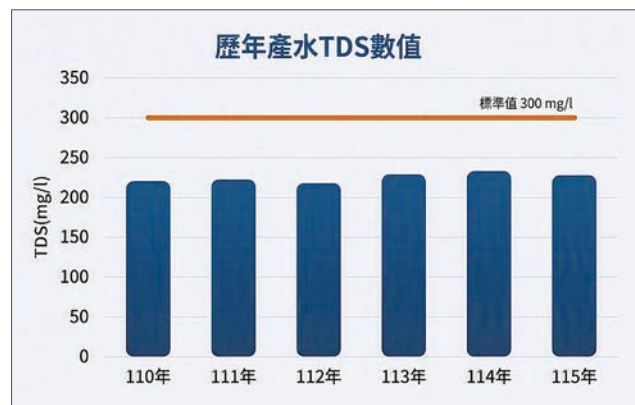


圖 3 歷年產水 TDS 值

對於 RO 核心系統而言，傳統海淡廠每年通常需要對 RO 膜進行 2 至 4 次繁複的 CIP 化學藥洗，藥洗後產生的酸鹼廢液亦須另行處理後排放。國統公司憑藉其擁有之「自有專利能量回收器」的獨特作動模式產生脈衝水流，有效抑制了 RO 薄膜表面的結垢與沉積問題。在完全不添加抑垢劑且實現無 CIP 作業的突破性條件下，歷年產水總溶解固體量（TDS）均穩定保持在 217 至 233 mg/l 之間如圖 3，遠低於 300 mg/l 的產水標準，不僅能維持 RO 膜的高效運作週期與優異水質，更徹底免除了排放水中殘留化學品對澎湖海洋環境的潛在威脅，樹立了環境友善型海淡廠的典範。

結語

台灣自來水公司每季皆嚴謹針對計畫區域周圍進行全方位環境監測。依據資料顯示，周邊海域水質持續穩定符合「甲類海域水質」標準，且海域生物多樣性與物種豐富度表現優異，充分印證了開發與保育能夠並行。

由馬公第二海水淡化廠第一期工程的成功經驗顯示，面對氣候變遷帶來的嚴峻水資源挑戰，離島地區的水資源解方不應僅止於「造水」。透過國統公司深耕澎湖 22 年的在地工程經驗、技術上的突破創新、綠色營運思維、環境教育的落實以及與在地環境的和諧共生，海水淡化廠不僅能轉化為一座提供源源不絕乾淨水資源的「穩定造水設施」，更可躍升為國內離島地區「低碳、永續與生態友善」的典範，為臺灣未來的永續水資源規劃提供寶貴且具體的可行經驗。