



澎湖赤崁地下水庫 半鹹水淡化處理及水源運用

吳軒蘋*／黎明工程顧問股份有限公司土木一部 工程師

林家煌／台灣自來水公司第七區管理處 處長

黃聖然／台灣自來水公司第七區管理處水質課 課長

澎湖縣因天然地表蓄水條件不足，長期仰賴地下水作為主要供水來源。然而，受海水入侵及地下水鹽化影響，地下水氯鹽濃度逐漸升高，促使半鹹水淡化技術成為維持離島供水穩定之重要措施。赤崁地下水庫為國內唯一利用地下截水牆攔蓄地下水之水庫，其抽取之半鹹地下水經白沙鹽井水淡化廠採用半鹹水逆滲透（Brackish Water Reverse Osmosis, BWRO）技術處理後，納入白沙供水系統，形成地下水資源與半鹹水淡化整合應用之供水模式。本文介紹赤崁地下水庫及半鹹地下水特性，說明白沙鹽井水淡化廠之處理流程、逆滲透原理及設備運轉概況，並整理白沙供水系統之水源運用及供水策略演變。歷年供水資料顯示，白沙供水系統已由早期以地下水為主之供水模式，逐步發展為地下水、半鹹水淡化及跨區供水共同調度之多元水源架構，赤崁地下水庫之功能定位亦由主要供水水源逐步轉變為兼具地下水涵養及備援供水等多元功能。本文可作為離島地區半鹹水淡化、多元水源整合及供水系統規劃之工程案例參考。

關鍵詞：赤崁地下水庫、白沙鹽井水淡化廠、半鹹水淡化、白沙供水系統

前言

澎湖縣因缺乏高山、河川及天然湖泊等地表蓄水條件，且年蒸發量長期高於降雨量，致使天然水資源蓄存能力有限，長期面臨供水穩定性不足之問題。為尋求穩定水源，澎湖縣政府於民國 56 年間委託臺灣省政府水利局辦理全面性水源調查與規劃^[1]。

白沙鄉北端之赤崁盆地為一深厚珊瑚砂層，具良好透水性及含水性，為地下水蓄存之天然條件。故於此規劃興建赤崁地下水庫（圖 1 及圖 2），並於民國 75 年完工啟用。其主要利用地下截水牆攔蓄地下水，再利用抽水設施取用地下水^[1-4]，成為臺灣首座且唯一之地下水庫。

赤崁地下水庫除作為地下水蓄存設施外，其地下水亦透過半鹹水淡化處理供應白沙地區民生用水，形成地下水資源與逆滲透淡化技術整合運用之供水模式。本文將以赤崁地下水庫及白沙鹽井水淡化廠為例，探討半鹹水淡化處理流程、供水運作及水源運用策略。

赤崁地下水庫及半鹹地下水特性

赤崁地下水庫位於澎湖縣白沙鄉北側沿海地區，為國內唯一採地下截水牆攔蓄地下水之地下水庫，於民國 75 年完工啟用，主要目的為攔蓄地下水並提供白沙地區民生用水水源。地下水庫利用地下截水牆攔蓄地下水，並透過抽水井取用地下水，再輸送至白沙淨水場進行後續處理，其主要設施及基本資料如表 1 所示。

* 通訊作者，whp1024@li-mi.com.tw



圖 1 赤崁地下水庫地理位置圖



圖 2 赤崁地下水庫空拍影像

赤崁地下水庫啟用初期，地下水水質尚佳，可直接作為白沙地區民生用水水源。然而，由於地下水庫鄰近海岸，長期受到海水入侵及地下水鹽化影響，原水鹽度逐漸升高，導致部分抽水井因水質鹽度過高，無法供給白沙地區使用。

為改善地下水鹽化問題，於民國 92 年完工啟用白沙鹽井水淡化廠，由鹽化之地下水庫水源輸送至白沙淨水場後，再經由白沙鹽井水淡化廠進行淡化處理，後續供應白沙地區使用。

地下水受鹽化影響後，其總溶解固體（Total Dissolved Solids, TDS）及氯鹽濃度均逐漸增加，使地下水形成介於淡水與海水之間之半鹹水（Brackish Water）。相較於海水，半鹹水鹽度較低，因此逆滲透（Reverse Osmosis, RO）淡化所需操作壓力及能耗相對較低，目前多採用逆滲透技術進行淡化處理。

目前赤崁地下水庫抽取之半鹹地下水均輸送至白沙淨水場，經淡化處理後，再與白沙淨水場處理之深井清水共同調配混合，供應白沙地區民生用水。

表 1 赤崁地下水庫基本資料表

項 目	概 述
施工年月	民國 74 年 7 月 26 日～民國 75 年 8 月 31 日
管理機關	台灣自來水公司第七區管理處
水庫位置	澎湖縣白沙鄉
主要標的	增加地下水儲存量
集水區面積	214 公頃
最高蓄水位	EL.3.00 m
總蓄水量	6,590,000 m ³ (設計值)
有效蓄水量	1,278,000 m ³ (設計值)
地下截水牆型式	皂土連續壁
地下截水牆尺寸	寬度 0.55 m、長度 820 m、最大深度 25 m
抽水井	共 18 口井，目前 5 口維持運轉（#5、#7、#11、#12、#18）
取水方式	抽水井取水後送至白沙淨水場，依水質狀況經白沙鹽井水淡化廠處理

半鹹水淡化處理與白沙鹽井水淡化廠

半鹹水淡化處理流程

白沙鹽井水淡化廠原水取自赤崁地下水庫抽取之半鹹地下水。由於原水受海水入侵影響，總溶解固體（Total Dissolved Solids, TDS）及氯鹽濃度較高，無法直接供作民生用水，因此須經淡化處理後方可納入供水系統。白沙淨水場依原水水質特性設置半鹹水淡化處理設備，主要處理流程包括前處理、微過濾（Microfiltration, MF）及半鹹水逆滲透（Brackish Water Reverse Osmosis, BWRO）等設備，最後將淡化後之清水送入清水池，並與深井處理後之清水共同調配，供應白沙地區民生用水，其處理流程如圖 3 所示。

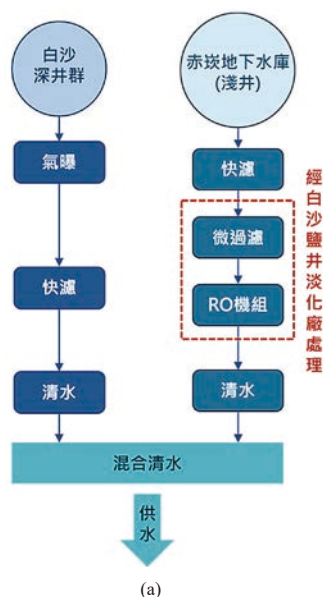
半鹹水淡化處理原理

半鹹地下水淡化處理主要係利用物理過濾及薄膜分離技術，逐步去除原水中之懸浮固體、膠體、微生物及溶解性鹽類。白沙鹽井水淡化廠之處理流程包括快濾、微過濾（Microfiltration, MF）及半鹹水逆滲透（Brackish Water Reverse Osmosis, BWRO）等主要單元，各處理程序之功能^[5]如下。

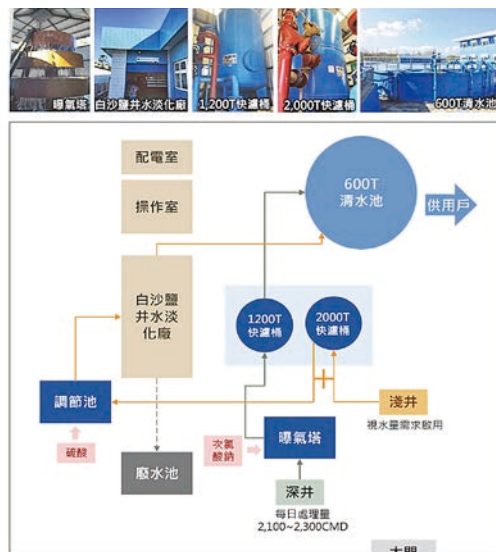
赤崁地下水庫抽取之半鹹地下水先進入 2,000 噸快濾桶（壓力式快濾池）進行前處理。主要利用濾料層對水中顆粒物質之附著作用與物理篩除作用，去除原水中較大粒徑之懸浮固體及部分膠體，降低原水濁度，以減輕後續薄膜處理單元之負荷^[5]。

經快濾處理後，原水流入調節池並投加硫酸鋁等混凝劑，以促使原水中細小懸浮物及膠體凝聚成較大顆粒，改善微過濾對顆粒物質之過濾效能。經混凝及微過濾處理後，可有效降低原水之淤泥密度指數（Silt Density Index, SDI），使後續進入逆滲透系統之原水符合 SDI 小於 3 之操作要求，亦降低逆滲透膜污染及阻塞風險，提升系統運轉穩定性，並延長逆滲透膜之使用壽命^[5]。

經上述前處理後，原水由高壓泵浦加壓送入半鹹水逆滲透（BWRO）機組。逆滲透（圖 4）係利用半透膜具有允許水分子通過而阻隔溶解性鹽類之特性，當施加高於原水滲透壓之操作壓力時，水分子通過半透膜形成淡化水，而鹽類及其他溶解性物質則被截留於濃縮液



(a)



(b)

圖 3 白沙淨水場原水處理流程圖

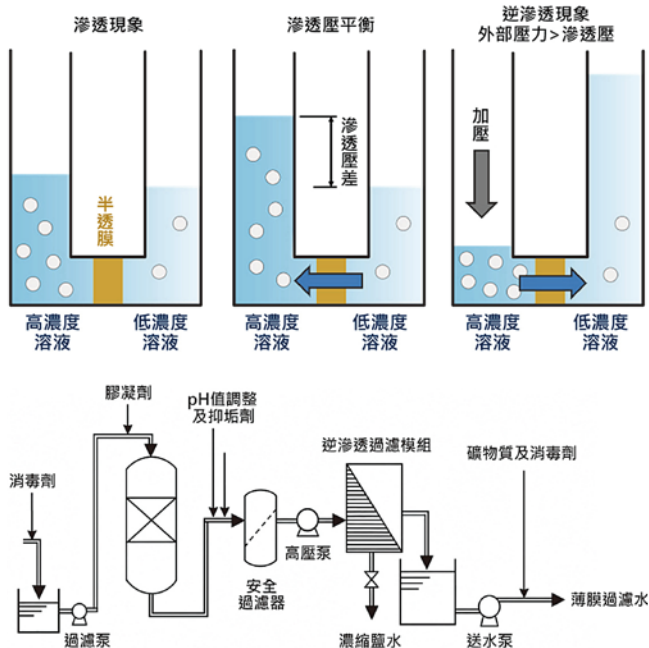


圖 4 逆滲透原理示意圖

圖片來源：改繪自台灣自來水公司「台灣自來水設備維護手冊（2023）」

中，以達成脫鹽目的。依原水鹽度不同，逆滲透系統可分為海水逆滲透（Seawater Reverse Osmosis, SWRO）及半鹹水逆滲透（Brackish Water Reverse Osmosis, BWRO）兩類。由於赤崁地下水庫原水屬半鹹地下水，因此白沙鹽井水淡化廠採用 BWRO 機組進行淡化處理，可於較低操作壓力下達成脫鹽需求。

白沙鹽井水淡化廠設備及運轉概況

白沙鹽井水淡化廠設置於白沙淨水場內，主要處理赤崁地下水庫抽取之半鹹地下水，相關設備詳表 2。目前設置 3 組半鹹水逆滲透（BWRO）淡化機組，各機組設計產水量均為每日 600 CMD，總設計產水能力為每日 1,800 CMD，主要設備及運轉概況如表 2 所示。各機組均配置 1 部高壓泵浦，馬達額定功率為 30 馬力（HP），提供逆滲透系統運轉所需之高壓進水壓力^[3,4,6]。

表 2 白沙鹽井水淡化廠基本資料表

項目	概述
淡化機組	3 組半鹹水逆滲透（BWRO）機組
設計產水量	單組 600 CMD，總設計產水量 1,800 CMD
高壓泵浦	30 HP/ 組
現況進水量	單組 650 CMD
現況產水量	單組 500 CMD
濃鹽水排放量	單組 150 CMD
產水回收率	76.9%

現行機組每日進水量約為 650 CMD，每日產水量約為 500 CMD，濃鹽水排放量約為 150 CMD，平均產水回收率約為 76.9%^[6]。目前實際操作依白沙地區供水需求及設備運轉狀況調配機組運轉，以維持系統穩定供水。

白沙供水系統之水源運用

澎湖地區供水系統可分為馬公、白沙、西嶼、望安、七美及吉貝等六大供水系統。其中，白沙供水系統平均日供水量約 2,300 CMD，每年 4 月至 9 月觀光旺季期間，尖峰日供水量可達 2,400 CMD 以上，主要供應白沙鄉 14 個村落，民生用水人口約 8,323 人^[6,7]。白沙供水系統主要由白沙淨水場及白沙鹽井水淡化廠共同運作，其原水主要來自深井地下水及赤崁地下水庫抽取之半鹹水兩種水源。

其中，深井地下水取自白沙地區深井群，採用傳統淨水處理程序，設計處理量為 1,200 CMD，平時維持 6 口深井運轉，另配置 3 口深井作為備援。深井原水抽取後先經氣曝塔進行氣曝處理，使原水與空氣接觸，提升溶氧量，氧化原水中之鐵、錳，同時去除水中臭氣物質及游離碳酸。其後再送入 1,200 噸快濾桶去除懸浮固體，處理完成之清水送入清水池儲存^[5,6]。

另一供水來源為赤崁地下水庫抽取之半鹹地下水，經第三節所述之半鹹水淡化處理程序後，淡化水送入白沙淨水場清水池，再與深井地下水處理後之清水共同調配混合，供應白沙地區民生用水。

供水策略演變與未來展望

圖 5 為民國 107 年至 114 年間白沙供水系統之供水統計結果。赤崁地下水庫出水量約佔白沙供水系統總供水量之 19%～46%，其中民國 108 年達到最高峰 46%，顯示地下水庫於 110 年以前仍為白沙地區重要供水水源之一。然而，自 112 年起，地下水庫區水質因海水入侵而鹽化情形逐漸加劇（圖 6），導致地下水庫可抽用水量減少，供水佔比降至 19%。113 年至 114 年間，白沙鹽井水淡化廠因淡化設備機組停機及可供取用之原水不足而暫停產水，地下水庫自此由主要水源逐漸調整為備援供水。

然而，近年為了改善白沙地區地下水鹽化及供水品質問題，主管機關現已推動「成功淨水場至白沙淨水場清水管及監控工程」（圖 7），預計於民國 115 年完工^[8]。工程完成後，可將成功淨水場之清水輸送至白沙

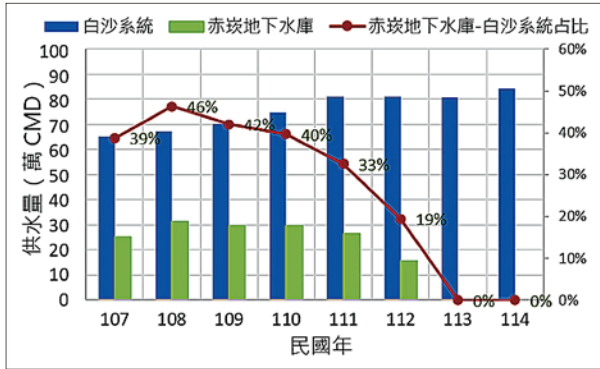


圖 5 107 年至 114 年供水概況

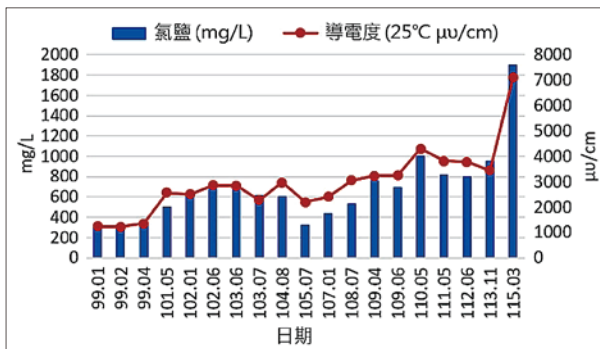


圖 6 地下水庫歷年鹽化情況

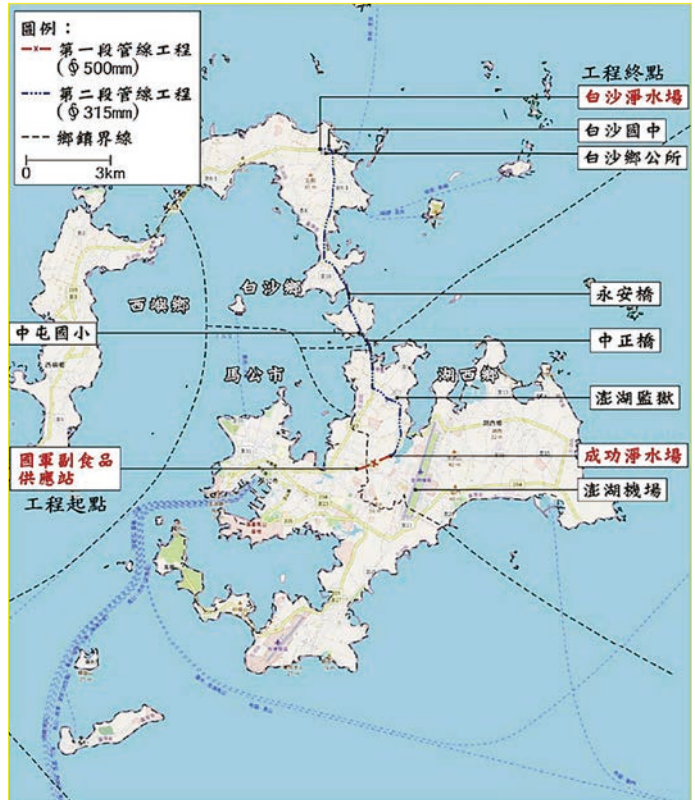


圖 7 成功－白沙清水專管路線圖

圖片來源：台灣自來水公司第七區管理處「成功淨水場至白沙淨水場清水管及監控工程施工計畫（第二版）（2024）」

供水系統，不僅可提升供水穩定性，亦可改善白沙地區之水質。

隨著成功－白沙清水專管完工並穩定運轉後，白沙供水系統將由原有地下水供水模式，逐步轉變為跨區供水與地下水共同調度之多元供水架構。赤崁地下水庫之功能定位亦將逐步轉變為兼具地下水涵養、水源復育及備援供水等多元功能，可於管線歲修、設備故障或災害事件發生時提供備援水源，提升白沙供水系統之調度彈性與韌性，亦展現半鹹水淡化、跨區供水及地下水資源整合運用之多元供水策略。

結語

赤崁地下水庫為國內地下水開發結合半鹹水淡化技術之代表性工程案例，利用地下截水牆攔蓄地下水，再結合半鹹水淡化處理技術，形成地下水資源開發與淡化技術整合應用之供水模式，展現離島地區因應水資源限制之工程特色。

白沙供水系統之發展歷程顯示，白沙地區供水策略由早期地下水開發，逐步演變為半鹹水淡化及跨區

供水共同調度之多元模式，赤崁地下水庫之功能定位亦由主要供水水源，逐步轉變為兼具地下水涵養、水源復育及備援供水功能，反映白沙供水系統已由單一地下水供水模式，朝向多元水源整合發展。

未來白沙供水系統仍可依據供水需求及水源條件，持續整合地下水、半鹹水淡化及跨區供水等多元供水方式，以提升供水穩定性及系統韌性。

參考文獻

1. 台灣省水利局（1986），「赤崁地下水庫工程施工報告」。
2. 台灣自來水公司（2013），「赤崁地下水庫集水區保育實施計畫」。
3. 台灣自來水公司第七區管理處（2014），「成功、興仁、東衛、小池、赤崁水庫安全評估」。
4. 台灣自來水公司第七區管理處（2023），「澎湖 8 座水庫第三次定期安全評估－赤崁地下水庫」。
5. 台灣自來水公司（2023），「台灣自來水設備維護手冊」。
6. 台灣自來水公司第七區管理處澎湖營運所，「102 年～114 年澎湖供水概況表」。
7. 經濟部水利署南區水資源分署 <https://www.wra.gov.tw/wrasb/cp.aspx?n=31376>，「水源調度供需圖歷史資料」。
8. 台灣自來水公司第七區管理處（2024），「成功淨水場至白沙淨水場清水管及監控工程施工計畫（第二版）」。