

南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程

碩士論文

Master Program of Green Technology for Sustainability

College of Science and Technology


Nanhua University

Master Thesis

馬祖地區海水淡化廠系統適性之評估

Evaluation of System Suitability for Seawater Desalination

Plant in Mazu Area



李繼源

Chi-Yuan Li

指導教授：洪耀明 博士

Advisor: Yao-Ming Hong, Ph.D.

中華民國 108 年 6 月

June 2019

南華大學  
永續綠色科技碩士學位學程  
碩士學位論文

論文中文題目：馬祖地區海水淡化廠系統適性之評估

論文英文題目：Evaluation of System Suitability for Seawater  
Desalination Plant in Mazu Area

研究生：李繼源

經考試合格特此證明

口試委員：林裕益  
陳柏青  
洪耀明

指導教授：洪耀明

系主任(所長)：洪耀明

口試日期：中華民國 108 年 6 月 22 日

## 誌謝

在職場工作近 40 年，於年近花甲之際，在一次與朋友不經意地聊天之中，這個”永續綠色科技”名詞興起我進入南華大學就讀的念頭，經歷與教授、學長、同學們的相處及學習，終於圓了我所欲完成的學業。2 年期間地學習，讓我了解到生命永續發展地範圍包羅萬象，如何在有限的地球資源裡，讓人類能永續生存於此綠色星球，是每個世代人皆須努力地目標。

學程期間，感謝指導教授洪耀明主任，陳柏青院長、陳世雄校長、林裕益局長、吳輝龍局長、陳明德董事長等各行業菁英者的傾囊相授及諄諄教誨，學習期間也認識來自不同行業職場的同學，讓我吸收了不同領域的知識精華而有所成長，課後聯誼或校外教學，更讓生活充滿趣味及充實。於論文寫作的過程中，習得如何思考、如何架構文章、如何找尋參考資料及電腦文書技術的精進，在學長、學姊及辦公室同仁霆晏的熱心幫忙下，完成論文，總而言之這 2 年的學習，讓我獲益良多，受益匪淺。

學業的結束，不代表學習的中止，不斷的學習，是讓我常保心境年輕的要素，要感謝的人很多，謹銘記在心，也謝謝家人的支持及體諒，謝謝生命中學習路上遇見的有緣人。

## 摘要

馬祖地區湖庫水因蒸發量大、呈現優養化或鹽化，水質普遍不佳，自 2010 年底南竿日產 950 噸海水淡化廠加入營運，迄 2018 年，海淡水供應量為 70%，湖庫水降低為 30%。本研究以效益評估方法提出馬祖地區海水淡化系統建議配置，成本包括設置成本及操作成本，效益則為產水量乘以單價。設置成本以海水淡化前處理設備為主，操作成本包括 2017 及 2018 年之濾材耗損、維修費及電費，並導入季節差異因子；配置上收集兩種不同海水淡化系統之成本數據，一為超微濾(Ultra Filter, UF)前處理搭配柱塞式高壓泵 RO 系統，一為砂濾(Sand Filter, SF)前處理搭配離心式高壓泵 RO 系統。分析發現，採用 UF 搭配柱塞式高壓泵 RO 系統，產水單價成本為每公噸 22.16 元，較 SF 搭配離心式高壓泵 RO 系統之產水單價成本每公噸 29.19 元為佳。

**關鍵字:**海水淡化、逆滲透、超微濾

## ABSTRACT

Water quality in the reservoir of Mazu area is poor due to the large evaporation, favorable nutrition and salinization. From the end of 2010, the desalination plant in Nanxun started operation to produce water 950 ton per day. In 2018, fresh water supplied by desalination plant is 70%, and lake 30%, respectively. This study adopted the cost-benefit method to evaluate the proposed seawater desalination system in Mazu area. The cost includes installation cost and operation cost. The installation cost is mainly based on seawater desalination pretreatment equipment. The benefit is the multiplication of production water volume and unit price. The operation cost includes the filter material consumption, maintenance fee and electricity fee in 2017 and 2018. Seasonal difference factor is also discussed. Data of two different seawater desalination systems were collected. One is the combination of ultrafiltration (UF) pretreatment and the plunger high pressure pump (PHP) Reverse Osmosis (RO) system. Another one is the combination of sand filter (SF) pretreatment and centrifugal high pressure pump (CHP) RO system. After analyzing the construction and operation costs, production unit price of UF&PHP is NTD. 22.16 per ton, and SF&CHP = NTD. 29.19, respectively. UF&PHP is better than SF&CHP in performance.

**Keywords: Seawater desalination, Reverse Osmosis(RO), Ultra filter(UF)**

# 目錄

誌謝.....	I
摘要.....	II
ABSTRACT .....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VII
圖目錄.....	VIII
第一章 前言.....	1
1.1 研究動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	3
1.3 研究架構 .....	4
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 馬祖地理氣候人口 .....	6
2.2 海水淡化之過去現在未來 .....	7
2.3 海水淡化技術 .....	9
2.3.1 熱蒸發 .....	9
2.3.2 膜分離 .....	9
2.4 海水淡化前處理 .....	11
2.5 薄膜 .....	15
2.5.1 薄膜種類 .....	15
2.5.2 薄膜清洗 .....	19
2.6 台灣海水淡化現況 .....	20
第三章 馬祖地區海水淡化廠現況 .....	22
3.1 馬祖各海淡廠簡介 .....	22

3.1.1 南竿三期海淡廠 .....	22
3.1.2 南竿二期海淡廠 .....	23
3.1.3 北竿海淡廠 .....	24
3.1.4 東引海淡廠 .....	25
3.1.5 西莒海淡廠 .....	26
3.2 海水取水設施現況 .....	27
3.2.1 南竿三期海淡廠 .....	27
3.2.2 南竿二期海淡廠 .....	28
3.2.3 北竿海淡廠 .....	29
3.2.4 東引海淡廠 .....	30
3.2.5 西莒海淡廠 .....	31
3.3 取水設施現況問題分析 .....	32
3.3.1 取水設施現況 .....	32
3.3.2 現況問題 .....	32
3.4 海水淡化處理程序與設備單元現況分析 .....	34
3.4.1 海淡廠共通性之現況 .....	36
3.4.2 現況問題與挑戰 .....	40
3.5 淡化水質檢驗標準 .....	43
第四章 海淡廠設置評估及成本效益分析 .....	46
4.1 海水淡化廠取、排水選址評估 .....	46
4.1.1 取水設施設計考量條件 .....	46
4.1.2 排放管線之設計 .....	47
4.2 前處理系統 .....	48
4.3 能源回收系統 .....	48
4.4 取水泵 .....	51

4.5 外島運補 .....	52
4.6 海淡廠設置對海域環境可能產生之影響 .....	53
4.7 成本效益分析 .....	55
4.7.1 產水量 .....	55
4.7.2 前處理系統建置成本 .....	55
4.7.3 匣式過濾器濾材使用數量 .....	56
4.7.4 每噸產水 RO 膜費用 .....	57
4.7.5 單位產水之電費 .....	58
4.7.6 維修費用比較 .....	59
4.7.7 海淡廠操作成本分析及結果 .....	60
第五章 結論與建議 .....	61
5.1 結論 .....	61
5.2 建議 .....	61
參考文獻 .....	63
附錄 A 南竿二期海淡廠 107 年度淡化水委外檢驗結果一覽表 ..	65
附錄 B 馬祖地區海水淡化廠水域水質檢驗報告 .....	69
附錄 C 馬祖地區海水淡化廠海域沉積物檢驗報告 .....	70
附錄 D 南竿海水淡化廠放流水質檢驗報告 .....	71
附錄 E 海域生態浮游植物調查結果統計表 .....	72
附錄 F 海域生態浮游動物調查結果統計表 .....	73



## 表目錄

表 2.1 薄膜分類表 .....	16
表 2.2 臺灣現有海水淡化廠概況 .....	20
表 3.1 各海淡廠取水設施現況與問題 .....	34
表 3.2 馬祖地區海淡廠契約購水量 .....	36
表 3.3 馬祖地區委託代操作海淡廠 2018 年濾材使用數量 .....	42
表 3.4 南竿二、三期海淡廠 2018 年濾材消耗數量表 .....	43
表 3.5 南竿二期、北竿、東引、西莒海淡廠處理水質標準 .....	44
表 3.6 南竿三期海淡廠處理水質標準 .....	44
表 3.7 南竿三期海淡廠淡化水水質保證項目 .....	45
表 4.1 南竿三期海淡廠環境保護功能保證項目 .....	54
表 4.2 馬祖地區海水淡化廠 2017~2018 年供水量 .....	55
表 4.3 馬祖地區海水淡化廠砂濾桶與 UF 系統建置成本 .....	56
表 4.4 馬祖地區海水淡化廠 2018 年匣式過濾器濾材使用數量表 .....	57
表 4.5 馬祖地區海水淡化廠每噸產水 RO 膜費用 .....	58
表 4.6 馬祖地區海水淡化廠 2017~2018 年單位產水之電費 .....	59
表 4.7 馬祖地區海水淡化廠 2017~2018 年維修費用比較 .....	59
表 4.8 南竿二期及南竿三期海淡廠單位產水費用成本比較 .....	60

## 圖目錄

圖 1.1 馬祖地區歷年降雨量趨勢圖 .....	2
圖 1.2 馬祖地區歷年湖庫水與海淡水供水量趨勢圖 .....	2
圖 1.3 馬祖觀光人數成長趨勢圖 .....	3
圖 1.4 研究架構圖 .....	4
圖 2.1 全球海水淡化技術安裝容量 .....	10
圖 2.2 典型海水淡化處理程序 .....	14
圖 2.3 南竿三期海淡廠處理程序流程圖 .....	15
圖 2.4 不同形式之匣式過濾器 .....	18
圖 3.1 南竿三期海淡廠 .....	23
圖 3.2 南竿二期海淡廠 .....	24
圖 3.3 北竿海淡廠 .....	25
圖 3.4 東引海淡廠 .....	25
圖 3.5 西莒海淡廠 .....	26
圖 3.6 南竿三期海淡廠取水井 .....	28
圖 3.7 南竿二、三期海淡廠廠址與取水設施關係位置圖 .....	28
圖 3.8 北竿海淡廠廠址與取水設施關係位置圖 .....	29
圖 3.9 東引海淡廠廠址與取水設施關係位置圖 .....	30
圖 3.10 西莒海淡廠廠址與取水設施關係位置圖 .....	31
圖 3.11 附掛於取水井外之臨時取水設施 .....	32
圖 3.12 馬祖南竿二期等海淡廠處理程序流程圖 .....	35
圖 3.13 砂濾桶.....	37
圖 3.14 馬祖南竿二期、北竿、東引、西莒海淡廠之 濾芯、濾袋及百褶過濾單元 .....	38

圖 3.15 南竿三期海淡廠過濾系統 .....	39
圖 3.16 南竿海淡廠海水濁度變化趨勢圖 .....	41
圖 4.1 多點擴散孔型式 .....	48
圖 4.2 高壓泵/增壓泵 .....	49
圖 4.3 能源回收裝置運作模式 .....	50
圖 4.4 ERI 能源回收器 .....	51
圖 4.5 南竿三期海淡廠 SWRO 機組.....	51
圖 4.6 取水泵.....	52



# 第一章 前言

## 1.1 研究動機

開發和利用海水淡化技術，係世界各國未來解決水資源缺乏的重要方向，台灣自 1990 年代開始陸續建成海水淡化廠，以供核能電廠及離島地區使用。馬祖地區受先天水文及地質條件影響，地下水之蘊藏量並不高，主要水源幾乎全仰賴降雨，自 1970 年起陸續在各島興建小型水庫，以蓄積雨水及地表逕流水。馬祖地區年降雨量僅約 1,060 毫米，年平均蒸發量約 1015 毫米，加上降雨豐枯分明，枯水期間雨量稀少，每年梅雨季節一般小雨不足以浥注水庫，而颱風豪雨之大量地表逕流卻因花崗岩地質無法有效蓄留，故水資源極為缺乏，逢秋、冬兩季，水資源常呈不足，於夏季時因觀光客陡增，致用水需求量大增，造成用水吃緊。

現階段馬祖海淡水與湖庫水之供需比南竿地區為 7:3，北竿地區為 6:4，東引地區為 7:3，西莒地區為 8:2，東莒地區水源完全來自地下水。依據中央氣象局資料顯示，馬祖地區年降雨量受全球氣候變遷影響，極為不穩定如圖 1.1。受限於天然地形條件，馬祖地區湖庫庫容量普遍較小，供水量小且調蓄能力較差，復因蒸發量大呈現優養化或鹽化，水質普遍不佳，已無法滿足用水需求，自 2010 年底南竿三期(950 噸/日)海淡廠加入營運後，馬祖地區海淡水供水比例大幅提升，迄 2018 年，湖庫水與海淡水供需比為 3:7，經統計 2006~2018 年馬祖地區湖庫水與海淡水之供需比趨勢如圖 1.2。歷年觀光人數由 2008 年約 80,000 人，至 2017 年約 133,000 人如圖 1.3，依行政院主計總處 107 年國情統計通報(第 093 號) 106 年國人每日自來水生活用水量為 278 公升，以馬祖地區人口(13,000 人)加上觀光客(平均 360 人/日)，每日需水量約 3,700

噸(13,360 人\*0.278 噸/日)，以海淡水供需比重佔 7 成計，則每日海淡水約需供應 2,590 噸。顯見海水淡化廠之有效運作，對馬祖地區穩定之水源供應，佔極重要地位。

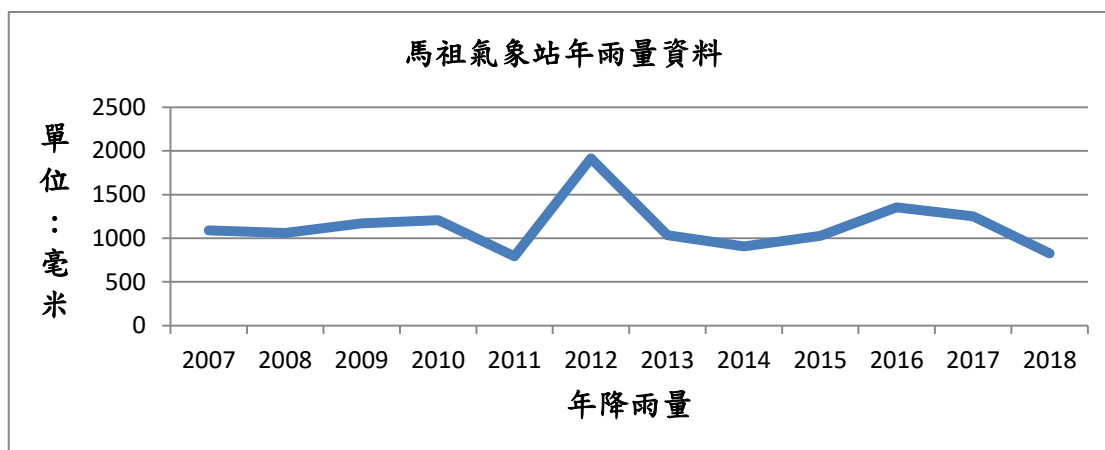


圖 1.1 馬祖地區歷年降雨量趨勢圖

資料來源：中央氣象局

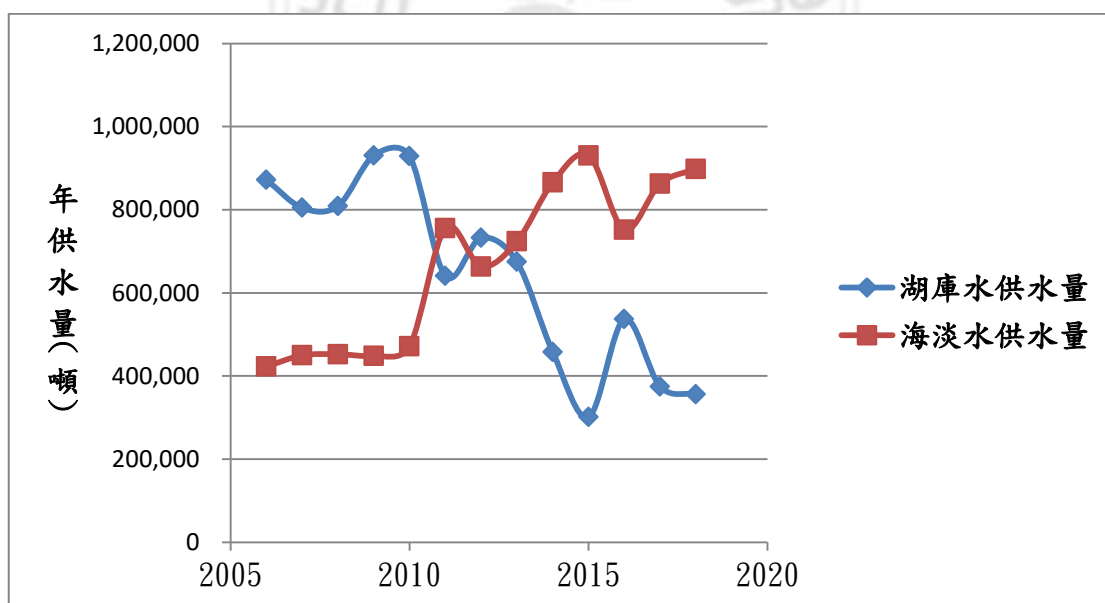
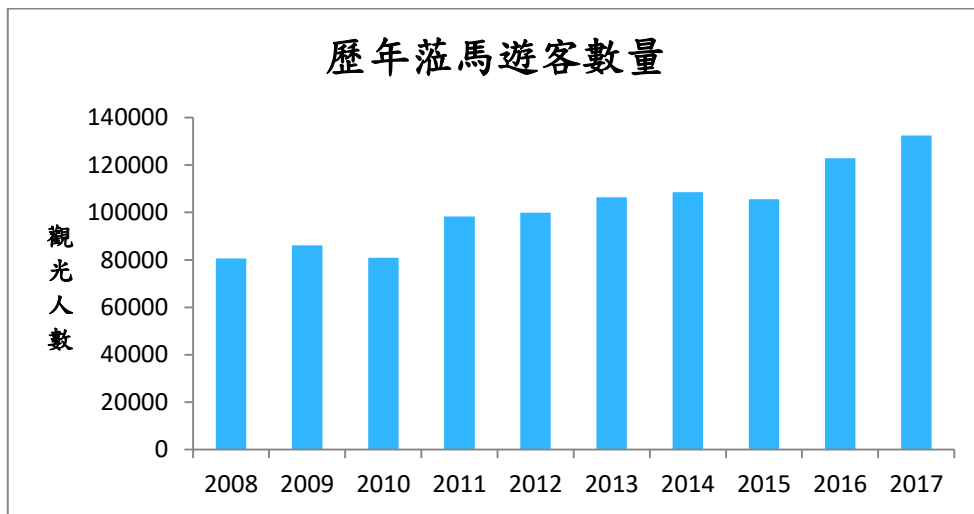


圖 1.2 馬祖地區歷年湖庫水與海淡水供水量趨勢圖

資料來源：連江縣自來水廠



**圖 1.3 馬祖觀光人數成長趨勢圖**

資料來源：交通部觀光局馬祖國家風景區管理處

鑒於馬祖地區海淡廠有 BTO 及委託代操作營運兩種方式，其取水井、前處理設施、逆滲透(Reverse Osmosis, RO)機組設備及操作方式不盡相同，本研究將就兩種不同前處理系統之海淡廠操作營運方式，作一分析比較，以評估最適宜之海水淡化系統配置，以為後續改善或增設海淡廠參考之用。

## 1.2 研究目的

本研究以馬祖地區海水淡化廠為例，透過兩種不同之海水淡化設備之操作營運評估，求得最具效益之海水淡化廠設備組成；海水淡化效益評估包括了設置成本及營運成本，首先分析兩種海水淡化製程設備、取水工設施，產水效率、維護保養等營運成本；透過 2017 年至 2018 年之營運數據分析，求得最佳之海水淡化設備組成及營運操作模式。

### 1.3 研究架構

本研究架構如圖 1.4，一是說明馬祖地區海水淡化廠設置之緣由及目的，二是進行相關海水淡化之文獻回顧，三是分析馬祖地區各海水淡化廠之現況、海水淡化處理程序與設備單元現況，四是就南竿二期及南竿三期海淡廠設置評估、成本效益做一統計分析，以求得最適宜之系統配置，最後五為本研究結論與建議。

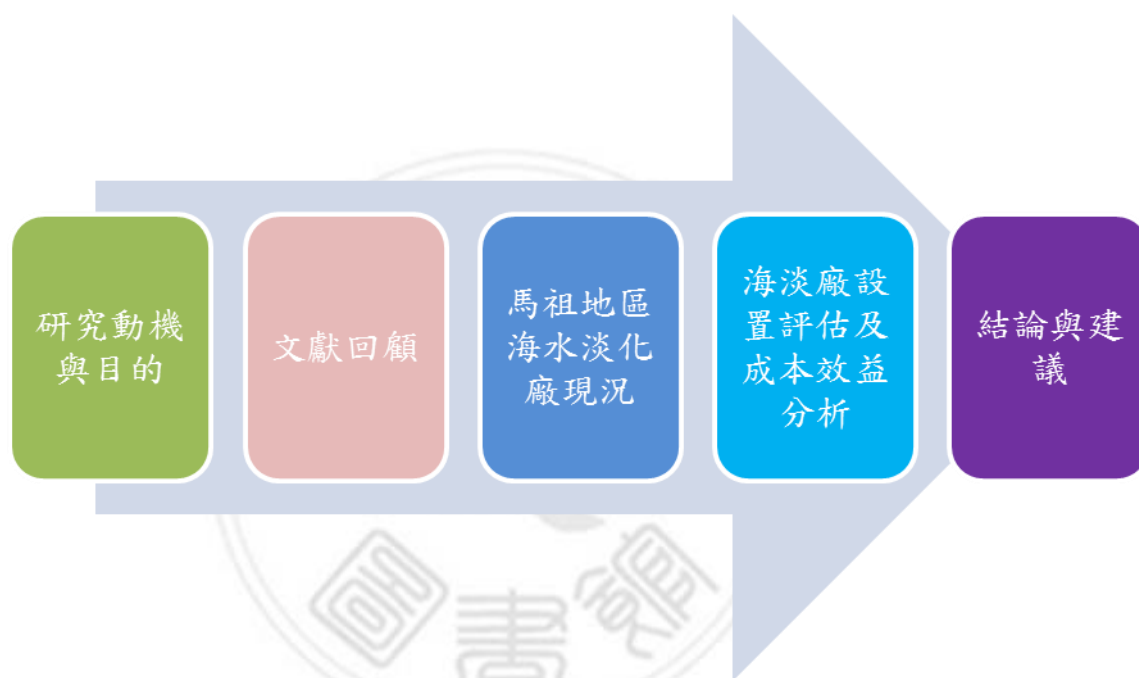


圖 1.4 研究架構圖

依此研究重點將本文分成五章，各章內容簡述如下。

第一章為前言，說明研究動機、研究目的，並概述論文架構。

第二章為文獻回顧，內容包括馬祖地理氣候人口，海水淡化之演變，海水淡化技術，薄膜種類介紹說明及台灣海水淡化現況介紹。

第三章為馬祖海淡廠現況與挑戰，首先介紹馬祖各海淡廠建廠緣起及其產水量，再者介紹各海淡廠海水取水設施現況並就現況做一調查與問題分析，再來就海水淡化處理程序與設備單元現況做一介紹及分析。

海淡廠共通性之現況為多未設置海水原水貯池及混凝、膠凝單元設備損壞且以不加藥進行操作。目前南竿二期、北竿、東引、西莒四座海淡廠，係以雙層濾料（石英砂、無煙煤濾料）砂濾桶為主要之前處理單元，並串聯多道過濾程序，包括濾芯（ $1\mu\text{m}$ ）、濾袋（ $0.5$  及  $5\mu\text{m}$ ）、百褶過濾（ $5\mu\text{m}$ ）單元，以保護 SWRO 逆滲透膜。而南竿三期海淡廠之前處理設施，設有自清式過濾器及超微過濾器(UF)之設置，可以過濾海水中大部分之雜質，故能有效保護 SWRO 逆滲透膜。海水淡化廠因海水取水水質欠佳等原因，造成前處理單元過濾設備負荷過大，使前處理單元產水水質無法達到 RO 系統進流水水質要求，造成 RO 系統容易形成污堵，產水回收率無法提升，RO 薄膜更換頻率過高等問題。故亟需改善前處理單元、增加備援 RO 機組、新設及改善取水設施。

第四章為海淡廠設置評估，包括取水、排水的選址、前處理系統、能源回收系統、取水泵、外島運補、產水水質標準、生態環境監測、海淡廠設置對海域環境之可能影響、成本效益評估等作一分析。

第五章為結論與建議，主要將上述各章之結果綜合歸納，並提出未來改善或新建海淡廠的選擇方向，另將持續對兩種不同系統設備之海淡廠進行數據收集及分析，以得到更為客觀公正之評估結果。



## 第二章 文獻回顧

### 2.1 馬祖地理氣候人口

馬祖列島北起東引鄉北岸；南到莒光鄉林坵嶼南岸；極東東引鄉世尾山東岸；極西為南竿鄉津沙村西岸。距離臺灣島 114 海里、與閩江口相距約 15 公里，列島的陸域面積為 29.6 平方公里，全縣各島海岸線總長為 138 公里，地質條件上為花崗岩錐狀島嶼，地勢起伏大且陡峭。

馬祖地區屬亞熱帶海洋性氣候，四季分明，冬冷潮濕，春夏交際多霧，秋天氣候平均較為穩定。馬祖的緯度略高於台灣北部（約一度），惟因靠近中國大陸屬大陸型氣候，氣溫比台北低，年平均溫度為攝氏 18.6 度，日夜溫差亦大，每年氣溫 12 月至 2 月間最低，3 月份以後慢慢上升；7、8 月氣溫最高，月平均溫度在 29 度左右，此後逐漸下降，2 月份月均溫最低，僅 10 度左右。

風速在 10 月至翌年 3 月間，大陸冷氣團南下，有強烈東北季風吹襲，故風速最大；尤其是 3 至 5 月間，開始吹南風形成多雲霧的天氣，即為平流霧。每年春天，南風從台灣海峽帶來暖濕空氣，和氣溫較低的馬祖地面、水域接觸，便形成濃霧。平流霧的厚度可達七、八百公尺以上，天氣好時的日間太陽輻射最多只能消除雲層頂部一部分，因此；如果平流霧歷久不散，能見度驟降，造成馬祖地區的航班常常於此季節飛飛停停的原因。

馬祖地區全年降雨量多集中於 4 至 5 月，颱風則多發生於 7、8 月，年平均雨量約 1060 公釐，不到台灣雨量的一半，雨季集中在 4 至 9 月的梅雨季及颱風季(維基百科，2019)。

馬祖地區人口現在約有 13,000 多人，南竿鄉約 7,600 人，北竿鄉約

2500 人，莒光鄉約 1,600 人，東引鄉約 1,300 人。

## 2.2 海水淡化之過去現在未來

隨著全球氣候變遷，人口持續上升，水資源缺乏危機日益高昇，海水淡化作為飲用水的可行來源，愈來愈為趨勢。海水淡化過去被視為一種能源密集型方式，用於將鹽與水分離，在船上用作供應淡水的唯一選擇，或者用於缺乏自然水源地區，如中東地區。因為天然淡水供應愈漸匱乏，以及新的技術降低了海水淡化的能源需求和對環境的衝擊影響，海水淡化漸漸成為全球人們關注的焦點。

簡單地說，海水淡化就是去除海水中的鹽和其他礦物質，以創造民生用水、工業及農業用水。海水淡化適用於淡水供應短缺但海水充足的地方，隨著地下水供應減少，河流和湖泊的水源供應亦已達到極限，人們可以選擇的水資源越來越少，海水淡化不啻為一種更具吸引力的選擇。

世界上的海洋含有超過 97.2% 的地球水資源，但由於海水的高鹽度以及海水淡化需耗費相當大的成本，世界上大部分的供水，還是來自淡水資源、地下水含水層、河流和湖泊。然而，因為氣候變遷、人口增長壓力以及淡水供應漸漸缺乏，全世界正在尋求海水來獲取淡水。世界上超過 50% 的人口居住在與海洋接壤的城市中，世界上許多乾旱地區，如中東、澳大利亞、北非和南加州沿海地區的人口集中度超過 75%，為了可以長期持續無間斷的供水，以解決自然水資源的缺乏，海水淡化成為了最佳的解決方案。

目前，世界上海水淡化技術較成熟者主要為美國、中東、日本等地區，在全球運營的 13,000 多個海水淡化廠中，60% 位於中東。於中東地區之沙烏地阿拉伯、以色列等國家，其 70% 的淡水資源來自海水淡

化，而沙烏地阿拉伯的海水淡化產能，約佔全球海水淡化產能的 20%。近來美國、日本、西班牙等國家為保護本國的淡水資源，也競相發展海水淡化產業。

以亞洲為例，目前新加坡每天需要從馬來西亞的林桂水庫抽取 2.5 億加侖（約合 95 萬噸）淡水，約佔新加坡目前淡水用量的 60%。新加坡雖然就在海邊，而且降雨豐富，但依然嚴重缺乏淡水資源，1965 年新加坡與馬來西亞分家後，新加坡就一直擔憂著水資源不足，開始投入大量人力財力來研究淡水的自給自足。新加坡從 1998 年開始實施「向海水要淡水」計劃，2013 年 9 月落成啟用日產量達 7000 萬加侖，是亞洲最大的使用逆滲透技術的海水淡化廠，到 2020 年新加坡將有 5 座海水淡化廠，每天將能提供 1.9 億加侖的淡水，佔新加坡每日近一半的淡水用量（南洋視界，2019）。

根據國際海水淡化協會（International Desalination Association, IDA）第 31 次海水淡化清查統計（涵蓋 2017 年 7 月至 2018 年 6 月），全球海水淡化總量為 9740 萬立方米/日。截至 2018 年 6 月 30 日，全球已有超過 20,000 個海水淡化廠在運作及簽約(IDA Water Security Handbook 2018 – 2019, 2019)。

## 2.3 海水淡化技術

### 2.3.1 熱蒸發

在已經開發的多種海水淡化技術中，目前最具競爭力的技術有蒸餾法及逆滲透法。蒸餾法又稱為熱法，是最早的海水淡化方法，蒸餾法就是將海水變成蒸汽，蒸汽冷卻而得到高純度淡水。

根據蒸發冷卻的方式不同，蒸餾法又分成多級閃蒸、多效蒸餾、蒸氣再壓縮法等多種方法。加熱法需要大量的熱能，因此常與火力發電廠共構，以電廠汽輪機排放的低壓蒸氣做為廉價的熱源(吳，2016)。

熱蒸發海水淡化技術，已經在中東地區大規模的進行了超過 60 多年的運作，雖然其能耗和成本通常高於膜分離處理，但因容易獲得低成本燃料和傳統使用共同產生電力和水的設施，使得熱蒸發海水淡化仍為中東地區主要採用的技術(張，2009)。

### 2.3.2 膜分離

海水淡化(desalination)係一種水處理技術，其原理乃是利用能源將鹽水(saline water)分離成兩部分，一部分為含鹽量極低的淡水(fresh water)，另一部分則為含高鹽量之鹵水(brine)，以達成淡化之目的。

薄膜淡化技術以逆滲透法為主，是海水淡化技術的新主流，目前全球約有 6 成的海水淡化廠採用，詳圖 2.2，且比重逐年提高，使用海水逆滲透膜 (Sea Water Reverse Osmosis, SWRO) 進行海水淡化，已成為中東以外地區海水淡化市場的趨勢(吳，2016)。

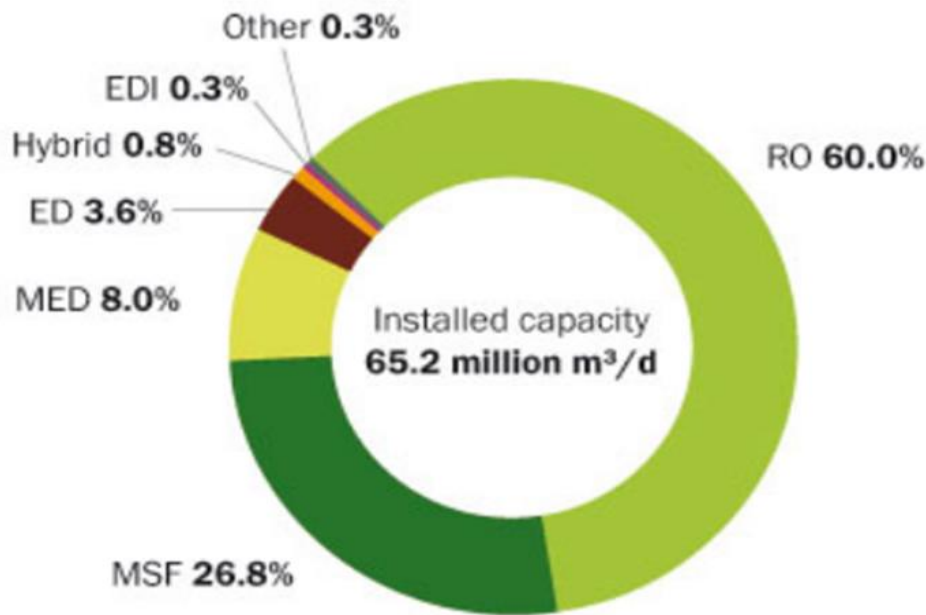


圖 2.1 全球海水淡化技術安裝容量

資料來源: Global Water Intelligence, 2015

RO 逆滲透的由來係於 1950 年美國科學家 DR.S.Sourirajan 有一回無意發現海鷗在海上飛行時從海面啜起一大口海水，隔了幾秒後，吐出一小口的海水，而產生疑問，因為陸地上由肺呼吸的動物是絕對無法飲用高鹽份的海水的。經過解剖發現海鷗體內有一層薄膜，該薄膜非常精密，海水經由海鷗吸入體內後加壓，再經由壓力作用將水分子貫穿滲透過薄膜轉化為淡水，而含有雜質及高濃縮鹽份的海水則吐出嘴外，此即為爾後逆滲透法的基本理論架構(華人百科，反滲透技術)。

逆滲透法又稱為膜法，它使用的薄膜叫「半透膜」，其特性為只讓淡水通過，不讓鹽分通過。如果不施加壓力，用這種膜隔開鹹水和淡水，淡水就自動地往鹹水那邊滲透。通過使用高壓泵，對海水施加壓力，海水中的淡水就透過膜滲到淡水那邊去了，因此叫做逆滲透。

由於海水含鹽量高，因此海水逆滲透膜必須具有高脫鹽率，耐腐蝕、耐高壓、抗污染等特點，經過逆滲透膜處理後的海水，其含鹽量大大降

低，溶解性總固體( Total dissolved solids, TDS) 含量從 36000 毫克/升降至 200 毫克/升左右(吳，2016)。

逆滲透法最大的優點是節能，其能耗和投資均比蒸餾法低。因此，自 1970 年以來，世界上大部分的國家已將海水淡化的研究方向轉向了膜法。SWRO 海水淡化技術的發展，加上海水淡化廠有愈蓋愈大之趨勢，與發電廠發電的共址，以及自建-運營-轉讓 (Build Operate Transfer, BOT) 營運操作模式的加劇，促使海水淡化成本大幅下降。(南洋視界，2019)

造成海水淡化成本降低的關鍵因素之一即是 SWRO 膜技術的進步。更多的膜表面積和更密集的膜填充，進而產生更多的淡水。另外，逆滲透法盛行的主要原因在於建廠快速、能源消耗較少、操作容易，大型逆滲透海水淡化廠的興建費用與產水成本，已經低於其他海水淡化製程。

## 2.4 海水淡化前處理

海水淡化前處理系統，係用來保護 RO 逆滲透膜，避免膜的污染。前處理系統通常有兩種類型，顆粒過濾(砂濾)及膜過濾。國內現有提供民生用水之各海水淡化處理廠，其淡化處理技術採逆滲透為主，RO 前處理方式則多採砂濾及匣式過濾(cartridge filter)，匣式過濾亦即採微過濾 MF，多採用 1  $\mu\text{m}$  及 5  $\mu\text{m}$  濾芯。早年海淡廠大多未添加任何化學藥劑以進行混凝沉澱，後續新建完成之海淡廠，已陸續採用超濾(Ultra Filtration,UF)作為前處理，例南竿三期海淡廠即採用 UF 作為前處理。

傳統上，除去海水中的污垢做法為通過一系列的原水調節過程，採混凝、絮凝、pH 值調整，其次是顆粒介質(砂和無煙煤)過濾。前處理可採用  $\text{FeCl}_3$  混凝沉澱方式或 MF、UF 過濾方式，兩者各有優缺點，惟

採用 MF、UF 作為前處理過濾方式有愈來愈多的趨勢(林，2012)。

海水淡化廠之給水預處理作為，是保證逆滲透膜能長期穩定運行的關鍵，在制定海水預處理方案時，應充分考慮海水中存在大量的微生物、細菌和藻類。海水中細菌、藻類的繁殖和微生物的生長，不僅會給取水設施帶來許多麻煩，而且會直接影響海水淡化設備及管道的正常運轉。周期性漲潮、退潮及季節性地風向，會使海水中夾帶大量泥沙，造成海水濁度變化較大，容易造成海水預處理系統運轉不穩定。

逆滲透海水淡化經常面臨一個嚴重的挑戰，即 RO 膜堵塞導致產水量下降。造成堵塞的原因，一是鈣離子與鎂離子形成碳酸鹽或硫酸鹽(水垢)沉澱，堵住 RO 膜的微細孔；二是海水中的微生物大量繁殖，最終在 RO 膜表面形成一層無法清除的生物膜，最終導致 RO 膜孔隙堵塞以致汰換。故海水的前處理措施，包括物理性的過濾淨化及化學性的阻垢、抑菌、抗蝕處理，以往的處理方式為採取消滅微生物及藻類、沉澱、砂濾、微過濾、酸鹼調節的流程，處理的流程為先注入氯氣或次氯酸鹽之類的強氧化劑，以消滅水中的微生物；接著加入氯化鐵、聚氯化鋁之類的絮凝劑或混凝劑，以提升後續濾除懸浮固體、淤泥的效果。為了防止碳酸鹽或硫酸鹽沉澱在 RO 膜的表面，必須添加硫酸以調節海水的酸鹼值。經過重重過濾淨化的海水在進入 RO 膜之前，還要通過一道微過濾，以確保它的品質合乎 RO 膜的進水要求(吳，2016)。

過濾是為了除去水中的懸浮物質與膠體，避免堵塞 RO 膜。但是，不適當的處理方法不但無法保護 RO 膜，過度使用化學藥劑也會加速金屬的腐蝕。再者，殘留的化學品與衍生的鐵銹最終會隨著鹵水排放入海，可能危害當地海域的生態環境。有鑒於此，業界開始使用超濾 UF 膜以取代傳統的多介質過濾，利用 UF 膜的超微細孔徑濾掉微生物。

學者指出傳統的多介質過濾仍是可靠有效的方法，只要設計得宜，

配合微過濾(Micro filter, MF)就能達到 RO 膜對於水質的要求，此以澎湖馬公的烏坎海水淡化機組為例，它的前處理系統運行十餘年來，並未添加任何化學藥劑，RO 膜很少發生結垢或汙堵，RO 膜的更換頻率遠低於台灣其他的逆滲透海水淡化機組(吳，2016)。

但是前處理系統之配置，實仍須依據當地海域水質而定，比較台灣離島澎湖、金門、馬祖三地區之海域水質，以澎湖海域水質為最佳。以馬祖地區海淡廠為例，南竿二期、北竿、東引、西莒等四個海淡廠係採用砂濾作為前處理系統，南竿三期海淡廠則採用 UF 作為前處理系統，依據歷年 RO 膜更換頻率顯示，採用 UF 系統之 RO 膜的使用壽命，確實比採用砂濾系統之 RO 膜有較長之使用壽命。

前處理系統的設計必須考量原海水的水質特性，諸如微生物多寡、懸浮固體含量高低、酸鹼值、淤泥指數大小等，不能一概而論。從環境保育的觀點而言，非有必要絕不要添加化學藥劑，即使無法避免時，也應儘量降低添加量並選用低毒性的化學品，以降低對周遭海域生態的可能衝擊。

早期設計之海水淡化廠，處理程序如圖 2.2 所示，原水經介質過濾後，再經匣式濾心過濾後便進入 RO 系統。



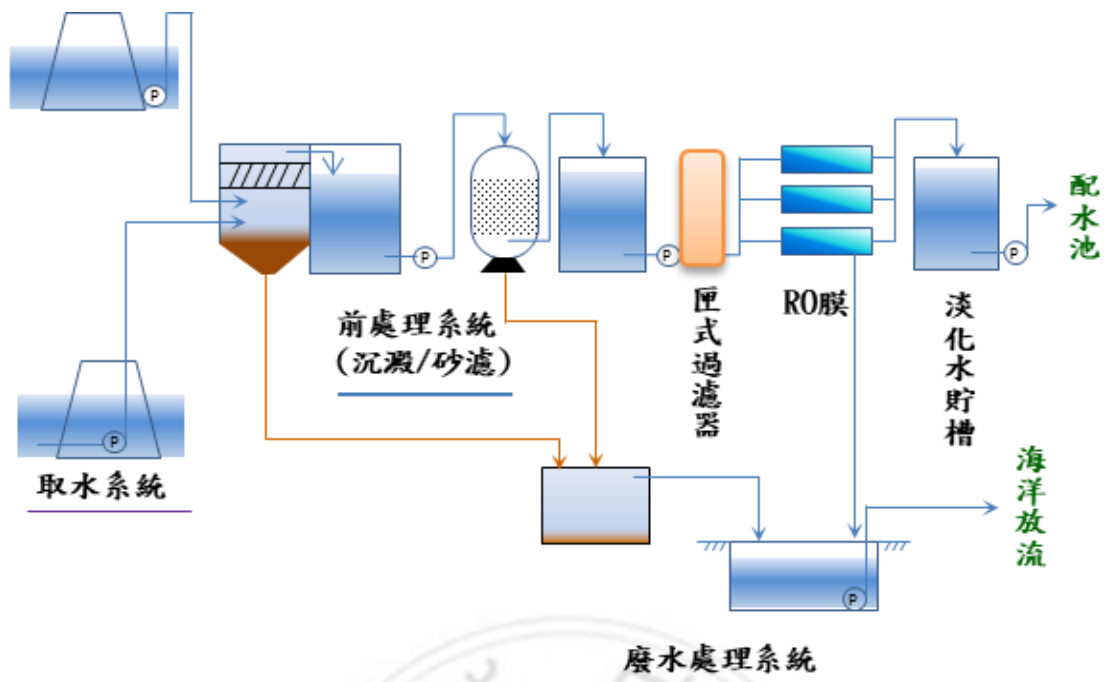


圖 2.2 典型海水淡化處理程序

學者認為近年鑒於海水淡化前處理之重要性，於新設或改善之海水淡化廠皆改變前處理方式，如澎湖烏崁海水淡化廠一廠與望安海淡廠之改善工程及馬公 5500 立方米/每天 (Cubic Meter per Day, CMD) 之新建海淡廠，皆將前處理改為以預沉澱及 UF 為前處理之程序。而馬祖南竿三期海淡廠，處理程序則更強化前處理單元(如圖 2.3)，包含混凝/膠凝及 UF 前處理，並於 SWRO 後，配置第二階段的 BWRO (Brackish Water Reverse Osmosis, BWRO)，可視需要將 SWRO 後產水再一次經由 BWRO 進行處理，以提升產水水質(吳，2016)。

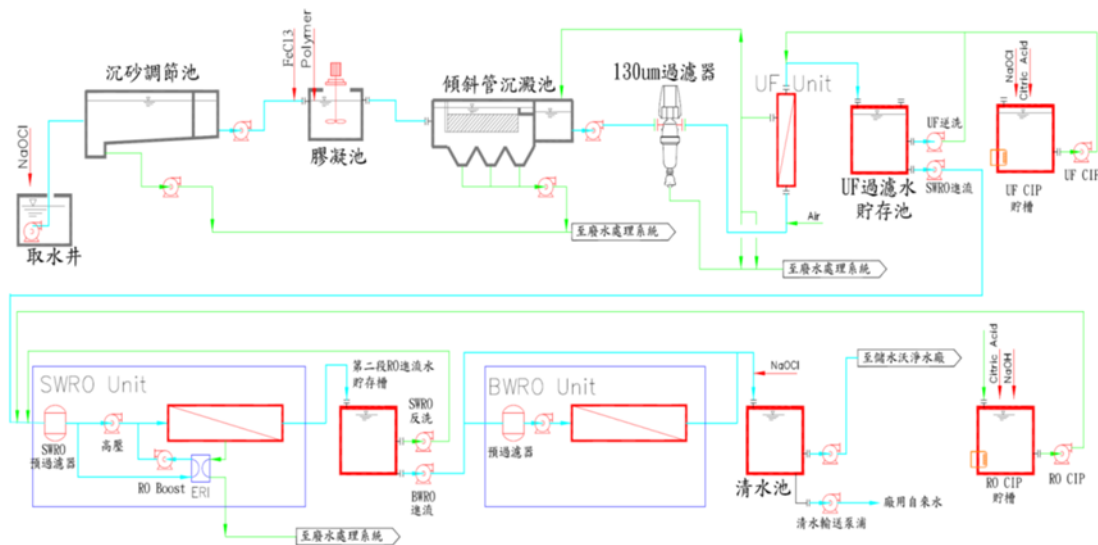


圖 2.3 南竿三期海淡廠處理程序流程圖

資料來源：(王等，2011)

## 2.5 薄膜

薄膜程序是利用不同的材料及孔徑大小，以篩濾、滲透等方式來達到溶質分離的效果，可取代傳統的水處理程序。膜的材質分別有聚丙烯、中空纖維、聚矽、陶瓷膜、聚酰胺、聚丙烯酰胺等(林建榮，2012)。

### 2.5.1 薄膜種類

#### 1、薄膜種類

- (1)微濾(MF)：過濾精度一般在 0.1-1 微米，常見的各種 PP 濾芯，活性炭濾芯，陶瓷濾芯等都屬於微濾範疇，用於簡單的粗過濾，過濾水中的泥沙、鐵鏽等大顆粒雜質，但不能去除水中的細菌等有害物質。濾芯通常不能清洗，為一次性過濾材料，需要經常更換。
- (2)超濾(UF)：過濾精度在 0.005-0.1 微米，是一種利用壓差的膜法分離技術，可濾除水中的鐵鏽、泥沙、懸浮物、膠體、細菌、大分子有機物等有害物質，並能保留對人體有益的一些礦物質元素。水的

回收率高達 95% 以上，並且可方便的進行沖洗與反沖洗，不易堵塞，使用壽命相對較長。超濾不需要加電加壓，僅依靠自來水壓力就可進行過濾，流量大，使用成本低廉。

(3) 奈米過濾：(Nanofiltration, NF) 奈米過濾膜的膜孔範圍介於超濾膜和逆滲透濾膜之間，因此可用來阻擋分子量小於 20,000，甚至小到 100 的分子。利用奈米過濾，可去除河水、井水及雨水中的鎂、鈣等重金屬離子和有機分子，提昇水質使之直接成為飲用水。NF 膜的應用範圍很廣，常見的應用包括海水淡化、水軟化、廢水回收等。

(4) 逆滲透膜(RO 膜)：RO 膜的孔徑是頭髮絲的一百萬分之五(0.001 微米)，一般肉眼無法看到，細菌、病毒是它的 5000 倍，因此，只有水分子及部分有益人體的礦物離子能夠通過，其它雜質及重金屬均由廢水管排出(環保愛好者，2019)。

有關薄膜種類、孔徑、操作壓力、主要過濾物質如表 2.1

表 2.1 薄膜分類表

薄膜種類	孔徑(μm)	操作壓力(psi)	主要過濾物質
MF(微過濾) (Micro filtration)	0.1~1	10~100	細菌，懸浮固體物
UF(超過濾) (Ultra filtration)	0.1~0.005	5~150	細菌，懸浮固體物，高分子有機物，膠體物質。
NF(奈米過濾) (Nano filtration)	0.1~0.001	50~450	細菌，懸浮固體物，高分子有機物，部分無機離子
RO(逆滲透) (Reverse osmosis)	<0.001	80~1200	細菌，有機物，離子

資料來源：(Weber, 1999)

## 2、馬祖海淡廠濾材

應用於馬祖地區海水淡化廠前處理之濾材：

- (1) 砂濾(砂和無煙煤)：無煙煤層高度約 0.6M，過濾粒徑 0.4~0.6mm，砂層高度約 0.5M，採用石英砂，過濾粒徑 0.4~0.8mm，具反沖洗功能，可設定自動反洗時間，定期將雜質清洗出來，維持過濾功能。濾砂需定期補充，使用一段時間後須更換砂濾材質，以維持正常過濾功能。
- (2) 微濾(MF)：

匣式濾心型式有纏繞式濾芯、PP 濾芯及濾袋等形式如圖 2.4 所示，常用之孔徑則為 0.5  $\mu\text{m}$  及 5  $\mu\text{m}$ 。然而，此類過濾濾材屬拋棄式濾材，在正常水質狀況下約 7~10 天更換一次，而於冬季時期則必須 2~3 天更換一次，因濾材無法重複使用，往往產生大量廢棄濾芯、濾袋。









	
<p>PP 濾芯機(南竿二期海淡廠)</p>	<p>袋濾機(南竿二期海淡廠)</p>
	
<p>百褶濾芯機(南竿二期海淡廠)</p>	<p>PP 濾芯機(南竿三期海淡廠)</p>
	
<p>使用過後之百褶濾芯</p>	<p>使用過後之 PP 濾芯</p>
	
<p>使用過後之濾袋</p>	<p>PP 濾芯</p>

圖 2.4 不同形式之匣式過濾器

(3) UF：對於海水和半鹹水脫鹽而言，超濾為有效的預處理技術，可脫除大腸桿菌和細菌，膜組件多為中空纖維結構，膜材料為聚丙烯、聚醚砜等。與傳統預處理相較，有設計易標準化、操作易於自動化、無需連續投入化學試劑、節省能耗和人力等優點。

根據研究指出大於  $1\mu\text{m}$  的顆粒物質引起大部分 RO 的污染。當使用膜過濾時(MF 或 UF)，RO 結垢顯著的減少，這兩種膜，其間之通量下降並沒有顯著差異。(Kumar et al., 2006)

## 2.5.2 薄膜清洗

針對膜污染產生的原因，採用合適的清洗劑和合理的清洗方法可以很有效的清除膜污染，恢復膜通量。常用的方法有物理方法和化學方法兩類。物理方法一般是指用高流速水沖洗和反洗等。化學方法通常是用化學清洗劑，如稀鹼、稀酸等，對膜進行沖洗(林，2012)。

海洋中含有無機鹽、海洋性微生物、少量細菌微生物等，故對膜產生污染的主要是有機物和無機鹽類，形成的膜垢，含有有機物和無機鹽類相互覆蓋。因此，薄膜在耐酸鹼、化學性能穩定等優勢的條件上，可以採用化學方法來進行清洗，清洗劑選用強酸(檸檬酸)和強鹼(NaOH)。強酸主要在溶解膜表面和薄膜孔徑內累積的無機鹽，強鹼的作用則是清洗造成膜污染的有機物。(Teng et al., 2003, Teuler et al., 1999, Brehant et al., 2002.)

根據研究針對 UF 之反洗，指出較適之反洗週期為 30~90 min，反洗時常添加次氯酸鈉進行消毒，使用之自由氯濃度約為 5~20 mg/L，然而加氯可能導致 pH 增加而造成碳酸鹽結垢，此結垢可藉低 pH (pH 2)及二天一次之反洗加以去除，其餘 UF 阻塞物之去除可藉由每月一次之 NaOH 及檸檬酸之浸泡與沖洗加以去除。(Glueckstern et al., 2002)

## 2.6 台灣海水淡化現況

目前國內所有提供民生用水之海水淡化廠計分布於澎湖、金門、馬祖三個地形為島嶼型態之行政區，由於屬於小型島嶼地理型態，導致雨水及河川之匱乏，飲用水水源僅能依賴少數小型水庫及有限的地下水與海水，因此澎湖縣目前各鄉市皆以海水淡化廠或鹹井水淡化廠為主要的供水來源，金門與馬祖也相繼興建多處海水淡化廠，以提供不足之水源，國內現有海淡廠概況如表 2.2。

表 2.2 臺灣現有海水淡化廠概況

廠名	產水量 (M <sup>3</sup> /日)	用水標的	營運管理單位
核三發電廠(一號機)	1,130	工業用水	台灣電力股份有限公司
核三發電廠(二號機)	1,130	工業用水	台灣電力股份有限公司
尖山發電廠	600	工業用水	台灣電力股份有限公司
塔山發電廠	480	工業用水	台灣電力股份有限公司
馬公第一海水淡化廠 10000CMD	10,000	民生用水	台灣自來水股份有限公司
馬公第一海水淡化廠 3000CMD	3,000	民生用水	台灣自來水股份有限公司
望安海水淡化廠	400	民生用水	台灣自來水股份有限公司
西嶼鹽井淡化廠	1,200	民生用水	台灣自來水股份有限公司
七美鹽井淡化廠	1,000	民生用水	台灣自來水股份有限公司
白沙鹽井淡化廠	1,200	民生用水	台灣自來水股份有限公司
成功鹽井淡化廠	4,000	民生用水	台灣自來水股份有限公司

廠名	產水量 (M <sup>3</sup> /日)	用水標的	營運管理單位
將軍鹽井淡化廠	180	民生用水	台灣自來水股份有限公司
西嶼海水淡化廠	750	民生用水	台灣自來水股份有限公司
桶盤海水淡化廠	100	民生用水	澎湖縣政府
虎井海水淡化廠	100	民生用水	澎湖縣政府
金門海水淡化廠	2,000	民生用水	金門縣自來水廠
南竿(一、二期)海水淡化廠	500	民生用水	連江縣自來水廠
東引海水淡化廠	500	民生用水	連江縣自來水廠
北竿海水淡化廠	500	民生用水	連江縣自來水廠
西莒海水化廠	500	民生用水	連江縣自來水廠
南竿(三期)海水淡化廠	950	民生用水	連江縣政府

資料來源:經濟部水利署,2018年

國內之海水淡化廠處理程序大致歸類如下：

- 1.原水井 → 砂濾 → 微過濾 (濾心式 or 袋濾式) → RO → 消毒 → 供水，以澎湖西嶼海淡廠為代表。
- 2.原水井 → 快混 → 慢混 → 沉澱 → 砂濾 → 微過濾(濾心式 or 袋濾式) → RO → 消毒 → 供水，以馬祖南竿二期、東引、北竿、西莒地區海淡廠為代表。
- 3.原水井 → 快混 → 慢混 → 沉澱 → 超過濾(UF) → RO → 消毒 → 供水，以馬祖南竿三期海淡廠為代表。
- 4.原水井 → 粗濾(100 or 200 μm) → 超過濾(UF) → RO → 消毒 → 供水，以澎湖烏坎海淡廠一廠為代表(林，2012)。



## 第三章 馬祖地區海水淡化廠現況

### 3.1 馬祖各海淡廠簡介

馬祖地區目前有五座海水淡化廠，計有南竿三期海水淡化廠、南竿二期海水淡化廠、北竿海水淡化廠、東引海水淡化廠、西莒海水淡化廠。除南竿三期海水淡化廠係採促參方式辦理外(Build Transfer Operate, BTO)，其餘四座海水淡化廠皆由連江縣政府委託代操作廠商辦理操作及營運維護。

#### 3.1.1 南竿三期海淡廠

南竿三期海淡廠如圖 3.1，位於馬祖村之后沃水庫旁，係為了穩定馬祖南竿地區未來用水所需而興建，依「促參法」第八條第一項第三款，採用「興建-移轉-營運」(Built-Transfer-Operate, BTO)之方式執行，於 2010 年 11 月順利完成所有權移轉，營運期至 2030 年 11 月止，合計 20 年，採逆滲透製程技術。本廠面積約 6,127 平方公尺，廠區內包括各功能性池體(細攔污柵、沉砂、調節、混凝、沉澱)、UF 機房、RO 機房及管理中心等設施，本廠依據南竿當地水質特性及水量需求進行最適化之設計，主要由取水井單元、前處理單元、UF 系統、RO 系統、清水池單元、廢水處理單元及加藥單元等七個單元所構成，目前產水規模為 950CMD。



圖 3.1 南竿三期海淡廠

資料來源：(王等，2011)

### 3.1.2 南竿二期海淡廠

南竿二期海淡廠如圖 3.2，位於南竿鄉馬祖村(后沃)，採逆滲透製程技術，其產出的淡化水送至儲水沃淨水場之配水池後，供應軍民用水。南竿第一期海淡廠設計產水量 500 CMD，於 1997 年開工歷經 3 年於 2000 年方完成整體試車，惟後續因海水水質超越原設計基準、一直無法順利運轉、以及取水設施遭遇颱風破壞等因素，直至民國 2004 年 6 月方完成驗收，目前南竿一、二期合併產水。

南竿一、二期海淡廠設施因長期缺乏操作維護，多項設備皆已達使用年限且不堪使用，連江縣政府雖已於 2011 年進行部分設備之重置作業，後續也分別於民國 2013 年 6 月及 2014 年 5 月完成財產報廢減損，並於 2016 年開始進行設備重置整體而言，南竿一期海淡廠之各項機械設施普遍呈現不堪使用之狀態，南竿二期海淡廠部分設備重新購置，前期代操作廠商甚至採自行裝設淡化套裝機組的方式操作產水，新接任的代操作廠商已經完成交接，也改用重置的淡化設備。迄今南竿一期廠設

備幾乎已經損壞報廢，僅南竿二期廠負起供水任務，目前設計產水規模為 500CMD，可視需要提高產水至 600 CMD。



圖 3.2 南竿二期海淡廠

### 3.1.3 北竿海淡廠

2001 年連江縣政府於北竿坂里水庫附近，發包興建乙座設計產水規模 900 CMD，第一階段先興建 500 CMD 之北竿海淡廠。民國 2003 年 3 月完工產水，直接送至北竿淨水場配水池，供應軍民用水。

北竿海淡廠如圖 3.3，同樣採逆滲透製程技術，北竿海淡廠較特殊之處在於其海水取水的設計係採乾式取水井的方式。多年操作以後，縣府於 2013 年與南竿二期海淡廠同期進行財產報廢減損，同樣於 2016 年完成重置作業，目前產水規模修訂為 250 CMD。



圖 3.3 北竿海淡廠

### 3.1.4 東引海淡廠

東引海淡廠如圖 3.4，位於西引島北側海岸，原規劃產水 900 CMD，第一階段先興建 500 CMD 之設備，整體工程於 2000 年完成，後於 2012 年增設 250 CMD 海淡機組，產製的淡化水直接送至淨水場配水池，同樣經過 2016 年整修重置等作業，目前產水規模修訂為 500CMD。



圖 3.4 東引海淡廠

### 3.1.5 西莒海淡廠

西莒海淡廠如圖 3.5，於 2000 年完工，原設計產水量為 500 CMD。西莒海淡廠同樣採逆滲透法，原海水經由混凝沉澱、砂濾過濾後，透過高壓泵送至滲透薄膜處理，淡化水泵送至西坵配水池。

西莒海淡廠部份設備由於已達使用年限，連江縣政府於 2013 年即曾就許多設備完成財產減損報廢，於 2016 年亦有部分設備重置，近年來由於軍民人數較少，目前產水規模已下調至 180 CMD。



圖 3.5 西莒海淡廠

## 3.2 海水取水設施現況

海水取水設施為海淡廠原水來源，攸關海淡廠之操作與營運。一般海水取水設施包括取水頭（口）、取水管及取水井（含取水泵浦）等設施。

### 3.2.1 南竿三期海淡廠

南竿三期海淡廠取水井位於廠址東北側之山腳下，緊鄰崖壁而設以提供海水淡化廠穩定的水量、水質，其設計條件如下：

設計最大取水量：4,500 CMD

計畫取水量：3,213 CMD

計畫產水量：950 CMD(RO 機組設計 500T\*三台，採二用一備運作)

取水管徑：315 mm

取水管長度：50 m

取水管材：耐海水腐蝕之管材之 HDPE 管

南竿三期海淡廠取水井屬自然流入之取水方式，亦即重力式取水方式，一般俗稱此類取水井為濕式取水井。取水井之長度約 6 公尺、寬度約 3.7 公尺、高度約 10 公尺，井內設有 15 馬力（簡稱 HP）之取水泵浦\*3，輸水管為 4”銜接 12”之高密度聚乙烯管(High Density Polyethylene，HDPE，高密度聚乙烯)，取水井現況操作正常，如圖 3.6。

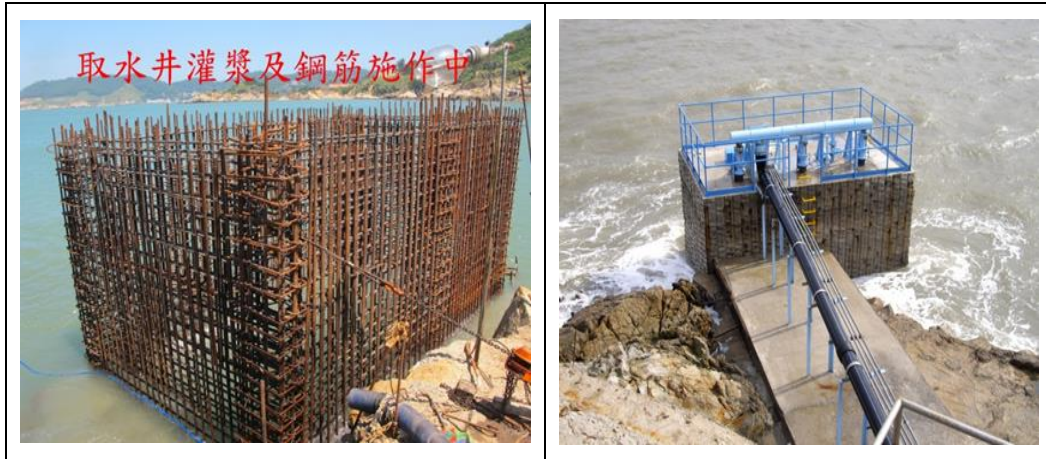


圖 3.6 南竿三期海淡廠取水井

### 3.2.2 南竿二期海淡廠

南竿二期海淡廠位於南竿島北部西側之后澳海岸，廠址毗鄰南竿三期海淡廠之東北側及后澳水庫北側，取水井位於廠址東北側之山腳下，緊鄰崖壁而設，並有聯絡通道與廠址連接，位置如圖 3.7 所示。



圖 3.7 南竿二、三期海淡廠廠址與取水設施關係位置圖

資料來源：馬祖海水淡化廠設備更新改善總顧問委託技術服務案期末報告書(2019 年)

南竿二、三期海淡廠取水井屬自然流入之取水方式，亦即重力式取水方式，一般俗稱此類取水井為濕式取水井。南竿二期取水井之長度約

4.1 公尺、寬度約 2.6 公尺、高度約 7.0 公尺，井內設有 6 馬力（簡稱 HP）之取水泵浦，輸水管為 4”銜接 6”之 PVC 管，並安裝 1 部 10 HP 之中繼泵浦。現況取水井之操作正常，惟於低潮時有取不到水之問題。除既有取水井取水外，於南竿三期海淡廠取水井之西側井壁外側，暫時安裝 1 部 10 HP 沉水式泵浦與管線於井底附近直接汲水，以輔助取水及供應水源。

### 3.2.3 北竿海淡廠

北竿海淡廠位於北竿島中部北側之坂里海岸，廠址毗鄰坂里水庫北側，取水井位於廠址西北側海岸，並有聯絡通道（近取水井段部分為階梯步道）與廠址連接，位置如圖 3.8 所示。



圖 3.8 北竿海淡廠廠址與取水設施關係位置圖

資料來源：馬祖海水淡化廠設備更新改善總顧問委託技術服務案期末報告書(2019 年)

北竿海淡廠取水井屬泵浦揚水之取水方式，亦即機械式取水方式，一般俗稱此類取水井為乾式取水井。取水井之長度 3.2 公尺、寬度 3.2 公尺、高度 6.6 公尺，井內安裝 1 部 10 HP 之取水泵浦，輸水管為 6”之高密度聚乙烯管（簡稱 HDPE 管），輸水管亦是 6”之 HDPE 管。取水



井原有 40 餘公尺長取水管，因管線中段損壞，平日操作遇低潮位時有取不到水問題，因此暫時於取水井之西側井壁外礁岩處安裝 1 部 10HP 沉水式泵浦與管線於井底附近直接汲水，抽水量約 50~60CMH。

### 3.2.4 東引海淡廠

東引海淡廠位於西引島東側之中柳海岸，廠址毗鄰東西引聯絡道路之西側，取水井位於廠址北側海岸，設有寬約 4.0 公尺之聯絡通道與廠址連接，位置如圖 3.9 所示。



圖 3.9 東引海淡廠廠址與取水設施關係位置圖

資料來源：馬祖海水淡化廠設備更新改善總顧問委託技術服務案期末報告書(2019 年)

東引海淡廠取水井亦屬自然流入之重力取水方式，即一般俗稱之濕式取水井，由於北側取水井所在位置之水深較深，未設有取水管、取水頭等設施，井內直接與海水連通。取水井之長度約 3.27 公尺、寬度約 3.86 公尺、高度 7.5 公尺（含底版 0.5m），井內設有 2 部 25 馬力之取水泵浦，每部抽水量約 100 CMH，輸水管為 4 吋之 ABS 管(Acrylonitrile

Butadiene Styrene)。由於冬季東北季風海浪較大，影響抽水井之抽水作業與效率，另於海淡廠大門前(即廠區南側)之護岸消波塊前緣設置簡易取水平台，吊掛 1 部 25 馬力之取水泵浦，以輔助北側取水井於浪大時之取水。

### 3.2.5 西莒海淡廠

西莒海淡廠位於西莒島西側之青帆海岸，取水井位於廠址南側之礫石灘上，海岸地形較南竿三期、北竿海淡廠等為緩和，並有鋪設混凝土道路可供小型車行駛與廠址連接，位置如圖 3.10 所示。



圖 3.10 西莒海淡廠廠址與取水設施關係位置圖

資料來源：馬祖海水淡化廠設備更新改善總顧問委託技術服務案期末報告書(2019 年)

西莒海淡廠取水井亦屬自然流入之重力取水方式，即一般俗稱之濕式取水井。取水井之長度 3.7 公尺、寬度約 2.4 公尺、高度 8.81 公尺，井內設有 1 部 15 HP 之沉水式泵浦，取水管為 8”不鏽鋼管 (SUS 316) 長度 85 公尺。現況取水井之操作正常，低潮時仍可順利取水。

### 3.3 取水設施現況問題分析

依據前述馬祖海淡廠之取水設施現況，歸納出各海淡廠取水設施問題如下。

#### 3.3.1 取水設施現況

##### (1)取水井汲水方式

所設置取水井設施可分為重力式取水井（俗稱濕式取水井）、機械式取水井（俗稱乾式取水井），利用重力式取水井汲水者分別有南竿二、三期、西莒及東引海淡廠等，以機械式取水井汲水者為北竿海淡廠。

##### (2)泵浦直接汲水方式

利用沉水式泵浦直接於岩床低處汲水，以輔助取水者，分別有南竿二期、北竿及東引海淡廠等如圖 3.11。



圖 3.11 附掛於取水井外之臨時取水設施

#### 3.3.2 現況問題

馬祖南竿二期、北竿、東引、西莒海淡廠現有取水設施在操作、維護及使用上之問題如下：

#### (1) 取水井設施老舊及損壞

馬祖南竿二期等四個海淡廠之取水井設施興建約 10 餘年，建造時間雖不是很久，惟處在嚴峻之海岸環境下，受日照、鹽分、潮汐、波浪及海流等作用下，取水井設施大多有老舊及損壞狀況，亟需修復或更新。

#### (2) 取水井於低潮時無法汲水

部分取水井設施於低潮時無法汲水，影響取水功能，例如南竿二期、北竿海淡廠等，其中南竿二期海淡廠因為取水頭之取水深度及取水井之進水口高程高於低潮位，造成於低潮位時無法汲水。北竿海淡廠則因為取水管自中段斷管，致取水深度不足，亦造成於低潮位時無法汲水。

#### (3) 泵浦直接汲水設施可能遭受破壞之風險

南竿二期、北竿及東引海淡廠等除利用既有取水井設施外，均有加設沉水式泵浦直接於岩床低處汲水以輔助取水，其泵浦與輸水管線直接曝露於海洋環境中，雖有礁岩地形、取水井或保護措施等蔽護，惟面對颱風、波浪、海流等海象作用之威脅，缺乏足夠的保護設施，於颱風侵襲時仍有可能遭受破壞之風險，在維護上較為不易。

#### (4) 取水設施之聯絡通道狹窄、陡峻不利維護作業

南竿二期、北竿及東引海淡廠之取水設施聯絡通道為階梯步道，且南竿二期海淡廠之階梯步道陡峻，北竿及東引海淡廠之聯絡通道狹窄，因此日常維護作業之設備、機具，無法全程以手推車協助載運，端賴人力搬運，甚為不便。



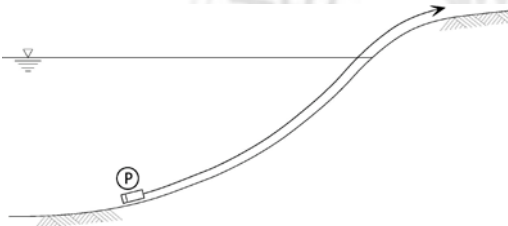
#### (5) 缺乏海水原水貯池儲備及調配取水量

東引、南竿二期海淡廠已陸續增設海水原水貯池設施，提供初期沉澱、儲備海水用量等功能。北竿、西莒海淡廠尚無海水原水貯池設施，因此亟需增設海水原水貯池，俾利取水操作上更具彈性、增加備用容

量。

各海淡廠取水設施現況與問題如表 3.1 所示。

表 3.1 各海淡廠取水設施現況與問題

取水設施現況與問題		南竿二期 海淡廠	北竿 海淡廠	西莒 海淡廠	東引 海淡廠
取水設施現況	重力式取水井汲水 A 	1座	-	1座	1座
	機械式取水井汲水 	-	1座	-	-
	泵浦直接汲水 	1部	1部	-	1部
現況問題	取水井設施老舊及損壞	●	●	●	●
	取水井於低潮時無法汲水	●	●	-	-
	泵浦直接汲水設施可能遭受破壞風險	●	●	-	●
	取水設施聯絡通道狹窄陡峻不利維護	●	●	-	●
	缺乏海水原水貯池儲備及調配取水量	-	●	●	-

資料來源：馬祖海水淡化廠設備更新改善總顧問委託技術服務案期末報告書(2019)

### 3.4 海水淡化處理程序與設備單元現況分析

馬祖地區現有海淡廠均採 RO 製程，產出的淡化水均直接導入鄰近自來水淨水場之配水池，經充分混合後再經由供水系統配送至用戶。馬

祖南竿二期、北竿、東引、西莒海淡廠之處理程序如圖 3.12 表示，南竿三期海淡廠之處理程序，請參考圖 2.4。

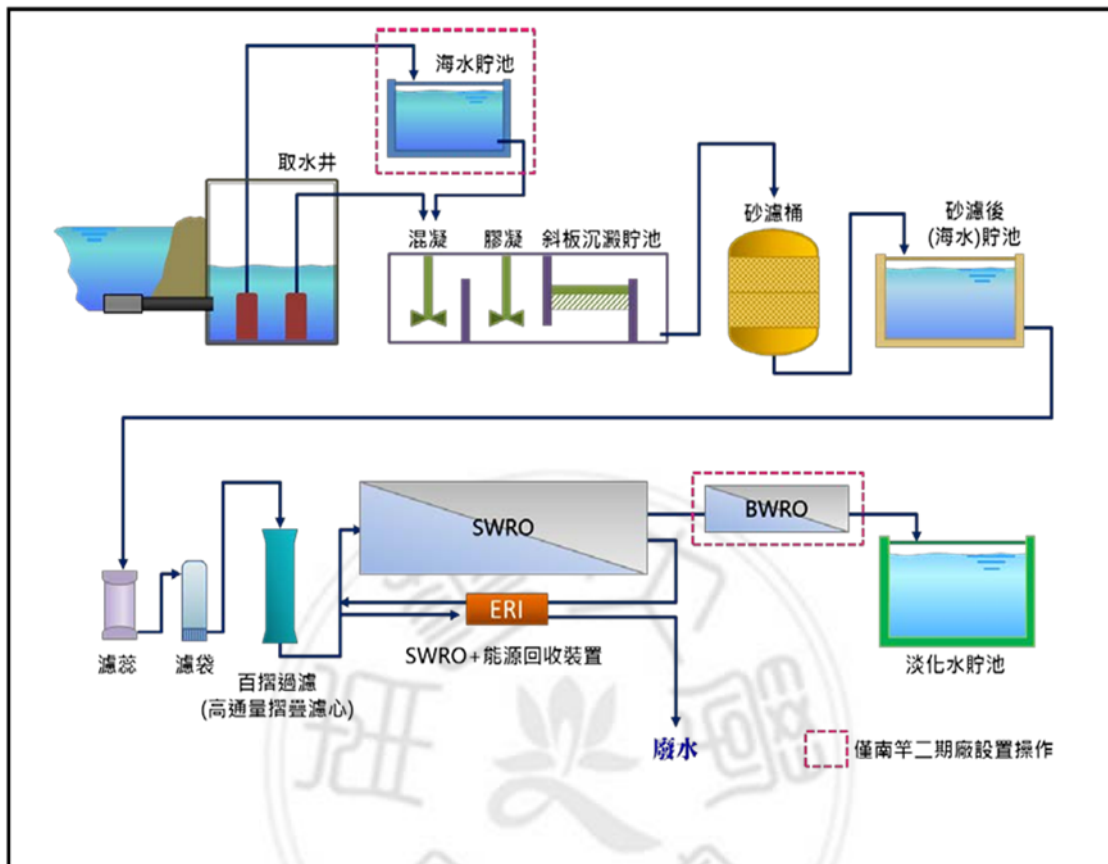


圖 3.12 馬祖南竿二期等海淡廠處理程序流程圖

資料來源：馬祖海水淡化廠設備更新改善總顧問委託技術服務案期末報告書(2019 年)

馬祖南竿二期、北竿、東引、西莒海淡廠建置已逾 10 數年，期間歷經不同的公司代為操作營運，目前有些設備老舊或效能低落、甚或有些已不堪使用，或已達使用年限必須報廢更新。本期代操作廠商乃於接手操作營運之初（2016 年 4 月）提出設備重置計畫之申請並已執行重置完畢。

現階段海淡廠供水係以彈性購水方式執行如表 3.2，於彈性購水量範圍內供應淡化水量，均符合契約之要求。另外於海水水質總溶解固體物濃度（TDS）超過 41,000 mg/L、海水水溫高於 30°C 或低於 8°C、海水原水異常污染時，廠商得暫停運轉作業，並立即通知連江縣自來水廠

因應，以保護海水淡化設備。

表 3.2 馬祖地區海淡廠契約購水量

海淡廠名稱	契約購水量 (CMD)	彈性購水量(CMD)
南竿三期海水淡化廠	950	902.5~997.5
南竿二期海水淡化廠	500	490~510
北竿海水淡化廠	250	245~255
東引海水淡化廠	500	490~510
西莒海水淡化廠	180	140~184

資料來源：1.馬祖地區海水淡化廠委託代操作(2016 年至 2020 年)營運契約書  
2.民間參與馬祖南竿海水淡化廠興建及營運計畫投資契約(2010 年)

### 3.4.1 海淡廠共通性之現況

#### (1)多未設置海水原水貯池

馬祖地區海淡廠原規劃係以取水井泵浦直接將海水泵送進入混凝膠凝池，目前僅南竿二期海淡廠，於 2017 年增設了海水原水貯池，設計容量 1,000 m<sup>3</sup>，估算停留時間  $RT \approx 6.8$  小時。東引海淡廠雖於廠區北側加設了海水原水貯池（約 300 m<sup>3</sup>），目前並未操作使用，至於北竿、西莒海淡廠，目前均未設置海水原水貯池，致原水無足夠停留時間進行沉澱作用，造成後端前處理系統之負荷，也影響 RO 膜壽命。

#### (2)混凝、膠凝單元設備損壞且不操作加藥

南竿二期、北竿、東引、西莒等四座海淡廠之混凝、膠凝單元之攪拌機均已損壞拆除，目前於操作流程中未添加任何混凝藥劑，惟經淡化處理後所產淡化水水質仍可以符合契約要求。目前係以雙層濾料（石英砂、無煙煤濾料）砂濾桶為主要之前處理單元如圖 3.13。

惟為了加強水質淨化、保護 SWRO 逆滲透膜，每個海淡廠均增設串聯多道過濾程序，包括濾芯（1 $\mu$ m）、濾袋（0.5 及 5 $\mu$ m）、百褶濾心（5 $\mu$ m）單元如圖 3.14，因此使得濾芯、濾袋之更換頻率很高，

於冬季海水水質較差時尤其顯著。



圖 3.13 砂濾桶

南竿三期海淡廠之前處理設施流程為：細攔污柵、沉砂、調節、混凝、沉澱、自清式過濾器、超微過濾器(UF) 及 PP 濾心等。因有自清式過濾器及超微過濾器(UF)之設置如圖 3.15，能更有效地過濾海水中大部分之雜質，故能確實保護 SWRO 逆滲透膜。





圖 3.14 馬祖南竿二期、北竿、東引、西莒海淡廠之  
濾芯、濾袋及百褶過濾單元

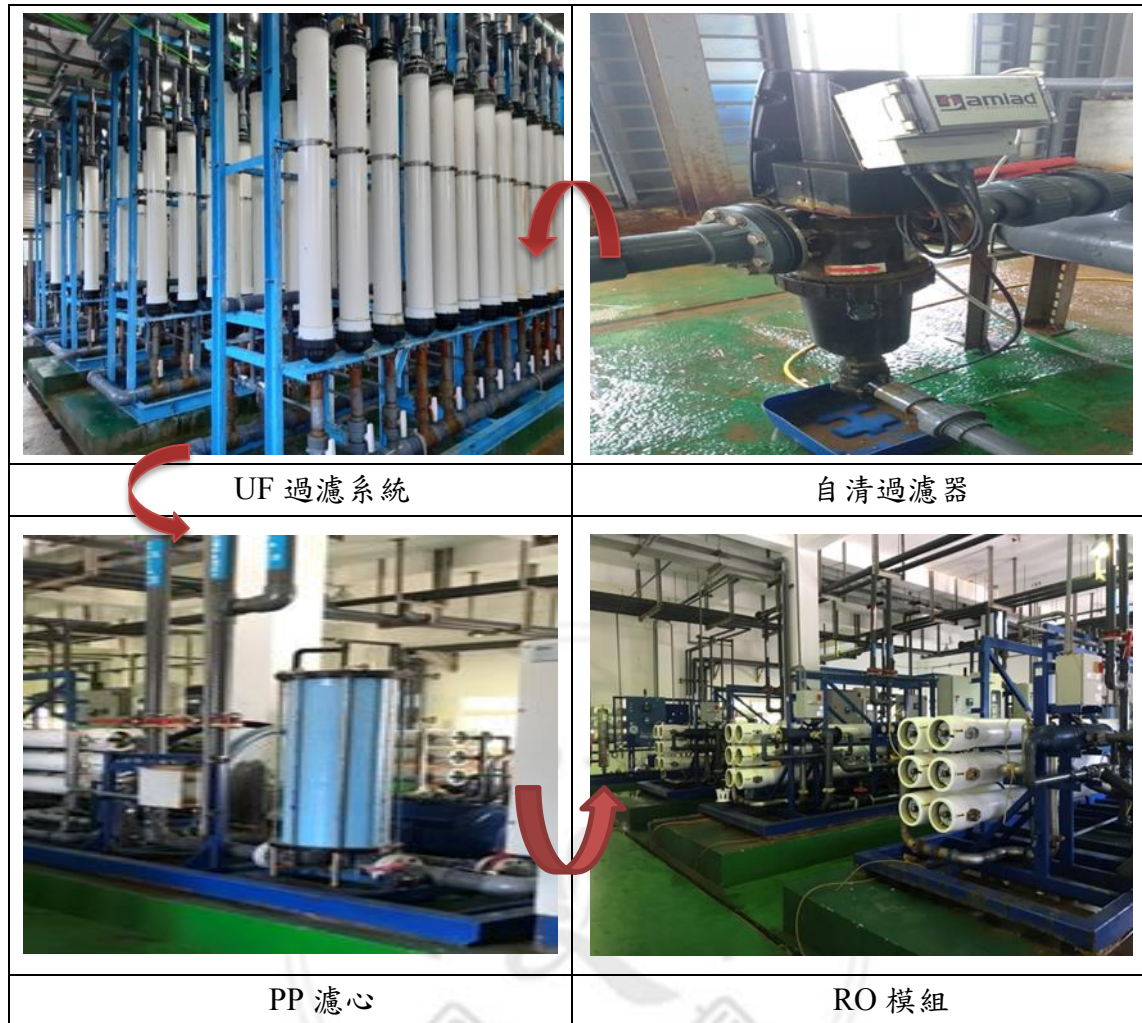


圖 3.15 南竿三期海淡廠過濾系統

(3) 未採用 UF 單元等較高等級前處理設備

南竿二期等四座海淡廠產水率介於 30~35%，低於市場普遍認知之產水率(40%產水率)，分析其可能原因包括所汲取海水水質不佳（因海水水質受季節性影響致濁度驟增）、前處理單元效能不佳(包括混凝膠凝單元因攪拌器損壞而未施作加藥)、沉澱池傾斜管失其功效、傳統砂濾系統無法有效過濾雜質、早期設計未採用 UF 單元等較高等級前處理設備等。

(4) 普遍未設置二階逆滲透（ Brackish Water Reverse Osmosis, BWRO，鹹淡水逆滲透）膜組

目前僅有南竿二、三期廠設置有二級逆滲透（BWRO）膜組，若

原水經 SWRO 處理後水質無法符合要求時，將再經由 BWRO 處理，可以快速有效地改善淡化水質。但北竿、西莒、東引等海淡廠皆未設置二級逆滲透 (BWRO) 膜組，若 SWRO 處理後水質無法符合要求時，則需將該水導入砂濾後貯槽，經 SWRO 再處理一次，依此循環運作直至水質符合標準再導入淡水貯槽，如此將極為耗費時間及電能。

### 3.4.2 現況問題與挑戰

目前馬祖南竿二期、北竿、東引、西莒海淡廠均面臨所汲取海水水質欠佳，造成前處理單元過濾設備負荷過大，前處理單元處理後之水質無法達到 RO 系統進流水水質要求，造成 RO 系統容易污堵，產水率無法提升，RO 膜更換頻率過高等問題。

#### 1. 海水水質

依據「馬祖地區海水淡化廠委託代操作營運」南竿二期海淡廠操作月報告統計，於 2018 年 1 月至 12 月運轉期間海水原水濁度介於 7.6~63 (平均值 11.56~37)NTU 之間，經砂濾系統處理後濁度介於 1~29.1(平均值 1.31~9.82)NTU 之間，濁度變化趨勢圖如圖 3.16，此原因在於馬祖地區緊鄰福建省閩江出海口，受沖刷作用及季風影響，海水濁度變化較大。

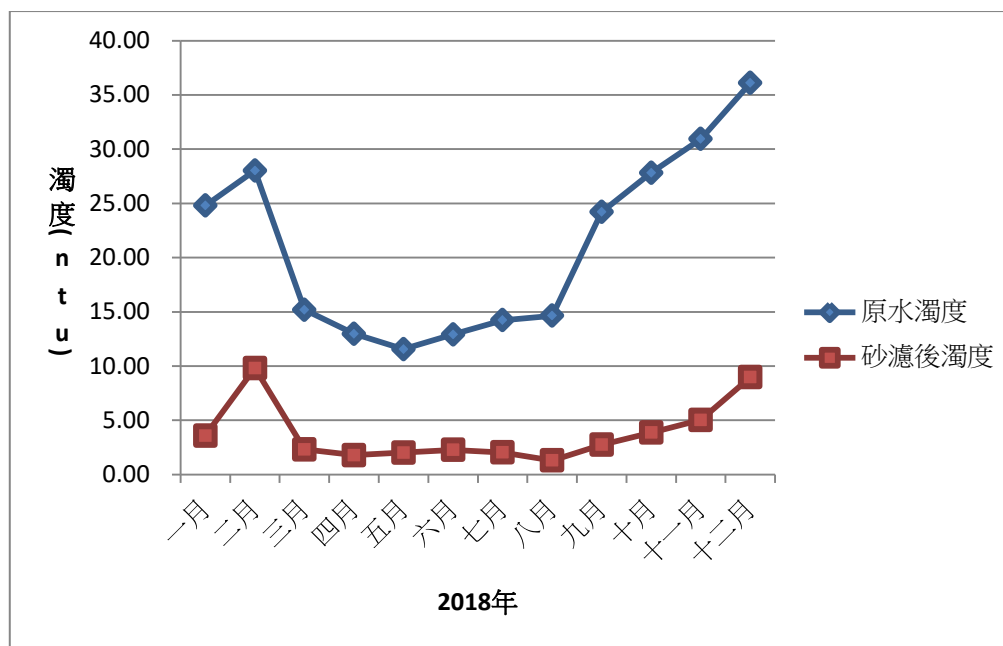


圖 3.16 南竿海淡廠海水濁度變化趨勢圖

## 2. 前處理單元

馬祖地區海淡廠(南竿三期海淡廠除外)既有前處理單元係以雙層濾料過濾設施為主，於其前端並無加藥設施，懸浮固體或膠體無法形成較大顆粒，故僅能去除較大粒徑之懸浮固體。經雙層濾料過濾後之產水水質，雖經後續匣式過濾器過濾，惟於每年十月起迄翌年三月，因海水濁度提高，經前處理單元處理後之水質，無法達到 RO 進流水水質 SDI<5(Silt Density Index, SDI, 淤泥密度指數)的要求。因前處理設施設置時的安全係數過小，無法因應原水水質變化，導致前處理功效不足，影響 RO 膜的使用壽命。

經統計 2018 年馬祖地區委託代操作海淡廠及南竿三期 BTO 海淡廠之濾材消耗數量如表 3.3 及 3.4。由各月份之濾材消耗數量，對比圖 3.16 南竿海淡廠海水濁度變化趨勢圖，可驗證於每年十月起迄翌年三月，因海水濁度提高，砂濾系統無法有效過濾雜質，導致匣式過濾器(濾袋、PP 濾心、百摺濾心)更換頻繁。

後續改善應慎選前處理單元，以確保經前處理單元處理後之水質可以符合 RO 進流水水質的要求 (SDI<5)，以減輕後端 RO 系統之負荷。

表 3.3 馬祖地區委託代操作海淡廠 2018 年濾材使用數量

濾材	廠別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
PP 濾心 (1 μm)	南竿二期	108	135	81	27	54	54	54	27	27	54	27	81	729
	北竿	72	108	40	36	36	36	18	18	26	36	36	90	552
	西莒	36	36	36	18	18	0	18	0	18	18	18	18	234
	東引	27	27	27	27	54	81	54	18	54	27	54	27	477
	合計	243	306	184	108	162	171	144	63	125	135	135	216	1,992
濾袋 (5 μm)	南竿二期	48	64	24	24	24	16	16	16	24	16	34	96	402
	北竿	20	35	15	10	15	15	15	15	15	15	15	45	230
	西莒	15	15	5	15	15	10	10	5	15	5	5	10	125
	東引	12	12	14	4	8	0	4	4	8	4	8	10	88
	合計	95	126	58	53	62	41	45	40	62	40	62	161	845
濾袋 (0.5 μm)	南竿二期	48	64	24	24	24	16	16	16	24	16	34	96	402
	北竿	25	35	15	10	15	15	15	15	15	15	15	45	235
	西莒	15	15	5	15	15	10	10	5	15	5	5	5	120
	東引	10	20	0	10	20	30	20	10	20	10	20	0	170
	合計	98	134	44	59	74	71	61	46	74	46	74	146	927
百摺濾心 (5 μm)	南竿二期	16	20	4	4	4	0	4	0	8	0	12	28	100
	北竿	10	10	2	2	2	2	0	2	2	2	0	8	42
	西莒	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	東引	0	4	0	0	4	0	0	0	4	2	2	2	18
	合計	26	34	6	6	10	2	4	2	14	4	14	38	160

表 3.4 南竿二、三期海淡廠 2018 年濾材消耗數量表

廠 別	品 名	合計
南竿二期海淡廠	PP 濾心(1 $\mu\text{m}$ )	729
	濾袋(5 $\mu\text{m}$ )	402
	濾袋(0.5 $\mu\text{m}$ )	402
	百摺濾心(5 $\mu\text{m}$ )	100
南竿三期海淡廠	PP 濾心(1 $\mu\text{m}$ )	528

### 3. RO 機組

目前南竿二期、北竿、東引、西莒等四個海淡廠均未設置高壓逆滲透 (SWRO) 之備援機組，而係單一機組全天候運作，操作壓力極大，曾有因機組故障待料，造成數天無法供水窘境，故於後續改善將優先增設備援機組，避免供水中斷情事發生。

### 4. 取水單元

南竿二期海淡廠既有重力式取水井汲水設施於低潮時無法取水問題，亟需新設取水設施。北竿海淡廠機械式取水井汲水設施於低潮時無法取水問題，亦亟需改善既有取水管線。

## 3.5 淡化水質檢驗標準

依據「馬祖地區海水淡化廠委託代操作營運(105 年至 109 年)」契約書規定，淡化水處理水質要求標準如表 3.5。

「民間參與馬祖南竿海水淡化廠興建及營運計畫」(BTO) 之淡化水處理水質要求標準如表 3.6，淡化水水質保證項目如表 3.7。表 3.7 亦

適用於南竿二期等四座海淡廠，其中除了氯鹽要求 $\leq 200$ 、總溶解固體量 $\leq 400$ 之外，其餘要求標準皆相同。

檢附南竿二期海淡廠 107 年度淡化水委外檢驗結果一覽表如附錄 A，每季執行淡化水質檢測結果，均符合合約規定。

**表 3.5 南竿二期、北竿、東引、西莒海淡廠處理水質標準**

項 目	最大限制質	單 位
濁度	$\leq 2$	NTU
氯鹽(以Cl <sup>-</sup> 計) (Chloride)	$\leq 200$	毫克/公升
總溶解固體量	$\leq 400$	毫克/公升
自由有效餘氯 (Free Residual Chlorine)	0.2~1.0	毫克/公升
pH值	6.0~8.5	無單位

**表 3.6 南竿三期海淡廠處理水質標準**

項 目	最大限制質	單 位
濁度	$\leq 2$	NTU
氯鹽(以 Cl <sup>-</sup> 計) (Chloride)	$\leq 250$	毫克/公升
總溶解固體量	$\leq 500$	毫克/公升
自由有效餘氯 (Free Residual Chlorine)	0.2~1.0	毫克/公升
pH 值	6.0~8.5	無單位

表 3.7 南竿三期海淡廠淡化水水質保證項目

功能敘述	單位	設計數據 (功能保證)	飲用水 水質標準
淡化水水質保證項目			
溫度範圍	°C	8~30	
酸鹼值 (pH 值)	—	6.0~8.5	6.0~8.5
色度	鉑鈷單位	≤5	≤5
臭度	初臭數	≤3	≤3
濁度	NTU	≤2	≤2
單一水樣總菌落數	CFU/ml	≤100	≤100
大腸桿菌群			
多管發酵法	MPN/100ml	--	≤6
濾膜法	CFU/100ml	≤6	≤6
硝酸鹽氮 (以氮計)	mg/L	≤10	≤10
亞硝酸鹽氮 (以氮計)	mg/L	≤0.1	≤0.1
氨氮 (以氮計)	mg/L	≤0.1	≤0.1
鐵	mg/L	≤0.3	≤0.3
錳	mg/L	≤0.05	≤0.05
氟鹽	mg/L	≤0.8	≤0.8
氯鹽	mg/L	≤250	≤250
氫鹽	mg/L	≤0.05	≤0.05
(硫酸鹽 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 計)	mg/L	≤250	≤250
總溶解固體量	mg/L	≤500	≤500
總硬度	mg/L	≤300	≤300
蘭氏飽和指數 (LSI)	—		
自由有效餘氯	mg/L	0.2~1.0	0.2~1.0
總三鹵甲烷	mg/L	≤0.1	≤0.1
四氯化碳	mg/L	≤0.005	≤0.005
鉛	mg/L	≤0.05	≤0.05
鉻 (總鉻)	mg/L	≤0.05	≤0.05
鎘	mg/L	≤0.005	≤0.005



## 第四章 海淡廠設置評估及成本效益分析

### 4.1 海水淡化廠取、排水選址評估

海水淡化廠主要設施包含海水取水設施、排水設施、前處理系統、RO 系統、廢水處理系統及淡化水輸水系統等設施，其中海水取、排水設施係指取水工、取水管、取水口、取水泵及廢(鹵)水排放管等設備。在取水口方面有淺層直接取水、離岸埋管式取水、海床滲透取水等各種因地制宜之設施。而在排放口方面有單點排放、埋管多點排放及架高多點排放等型式。取水井的選址及取水設施完善與否，與後續海淡廠能否正常產水關係極為密切，在取水設施的規劃設計上，必須依據預定廠址的海域地形與地質條件及配合當地海域水質、擴散條件等因素，參考當地潮位資料，包括高高潮位、低低潮位、平均潮位等數據，以提供海水淡化廠穩定的水量、水質及可接受的成本為主要目標。

#### 4.1.1 取水設施設計考量條件

以南竿三期海淡廠為例，考量條件包括

##### (1) 設計要求

包括水量：設計最大取水量及計畫取水量、計畫產水量。

##### (2) 取水設施

包括管徑、取水管長度及取水管材。取水井內部設有制水閘門、進流濕井、抽水機等主要設施。取水泵設置三台，採二用一備三台交替運轉之控制模式，以避免停機過久未運轉而產生鹽類結晶現象。取水泵單台流量為 95CMH，二台運轉時足以供應廠內產水所需，採用雙相不銹鋼(Duplex stainless steel)之抗海水鹽蝕材質。

海水取水管在海岸邊潮間帶部份埋設於管溝內，並以「二型混凝土」完整包覆保護，避免受海浪影響造成取水管移動、上浮或斷裂，離開潮間帶位置時，採沿海床底部方式佈設，可避免取水管線受海潮或海浪等沖擊而斷裂。

### (3)取水井位置

選址須考量邊坡穩定度、地質特性、預計開挖深度、施工作業空間、施工難易度等因素。為確保取水水量終年無虞，參考「馬祖地區新增海水淡化廠海域環境監測調查」報告(經濟部水利署水利規劃試驗所，2007)後得知，馬祖海域最低潮位(LLWL)位於-0.33 m，因此本廠取水工之頂部至少需小於-1.50 m；據此，在進行海事調查後，於距離取水井約 50 m 外位置處，可達到此項要求。

為確保取水管線行經路徑能夠位於平緩、軟性地質及足夠深度等條件，乃進行取水點附近海域海床深度及地質之調查，調查結果發現在軟質的沉積層下，明顯看到一個堅硬的火成岩，它的基盤和南竿的火成岩基盤相同。如從近岸鋪設一條取水管放置在海床上，應甚為安全。此外取水管沿線並沒有看到明顯的斷層，海床上也都是細軟的沉積物，而沉積物上也沒有明顯的波痕。

## 4.1.2 排放管線之設計

### (1) 設計要求

包括排放量：設計最大排放量及計畫排放量。

### (2) 排放管線設施

包括管徑、長度、排放口高程(需位於低潮位線-3 米處)。排水泵設置二台，採一用一備交替運轉之控制模式，排水管材質採用耐海水腐蝕之 HDPE 管材。

(3) 排放口的設置位置，除須考量鹵水濃度稀釋外，另需要與取水口保持一定距離，以避免鹵水被回抽到海水淡化廠，以南竿三期海淡廠為例，排放口與取水口位置約有 450 公尺距離之遠。排放口型式採用多點擴散方式如圖 4.1，其排放面積較大，需要流速較小，可採重力方式排放。

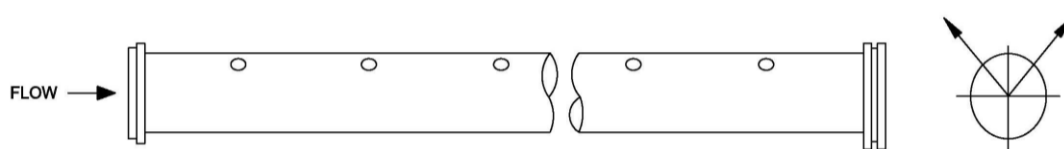


圖 4.1 多點擴散孔型式

本鹵水排放管依海床地形鋪設，並使用抗硫水泥之鋼筋混凝土固定塊固定，固定塊每 2 公尺設置一個，固定塊重量至少大於 80 公斤。為避免影響環境生態，鹵水排放管設置位於最低潮位線下水深 3 公尺處。

## 4.2 前處理系統

馬祖地區除南竿二期及東引海淡廠已設置海水原水貯池外，其餘海淡廠未設置海水原水貯池，另海淡廠既有混凝、膠凝單元設備皆已損壞且不加藥操作，以砂濾桶為主要之前處理單元，造成濾心、濾袋、RO 膜等消耗甚鉅。採用 UF 作為前處理系統已成為全球海水淡化操作之趨勢，後續海淡廠之功能提升改善，將以增設海水原水貯池、新設加藥設備以提升原水雜質沉澱效率、增加 UF 系統等，將能更有效地去除過濾海水中大部分之雜質，以確實保護 SWRO 逆滲透膜，提升產水效率。

## 4.3 能源回收系統

海水淡化發展的最重要目標是降低產水成本，在諸多的成本要素中，

能耗所占的比重約達 4 成以上，因此減少能耗是降低成本最有效的手段。

逆滲透海水淡化是依靠壓力差達到鹽水分離的目的，高壓海水泵係提升海水達到操作壓力的主要設備，也是逆滲透海水淡化機組的主要耗能設備。高壓海水泵有多級離心式及柱塞式兩類。馬祖南竿三期海淡廠係採用柱塞式高壓泵搭配增壓泵運作，其餘南竿二期等四個海淡廠係採用離心式高壓泵搭配增壓泵運作如圖 4.2。

離心式泵的優點是單機的流量可以很大，流量及壓力的波動很小；缺點是效率比較低，尤其是當運轉的狀況偏離最佳操作點時，泵的效率會大幅地降低。柱塞式泵的情形正好相反，效率很高且效率曲線平穩，流量的改變對效率的影響不明顯；但是單機的流量偏小，所以，大型的海水淡化機組需要多台柱塞式泵並聯運行(吳，2016)。



圖 4.2 高壓泵/增壓泵

能源回收裝置的作用是回收再利用高壓鹵水的壓力能，從而降低逆滲透淡化的能耗和產水成本，能源回收裝置運作模式如圖 4.3，馬祖地區各海淡廠 RO 機組均配備有能源回收裝置如圖 4.4，南竿三期海淡廠 SWRO 機組配置如圖 4.5。

學者指出節能設備、高壓泵與 RO 膜是逆滲透海水淡化系統中的三大關鍵技術，逆滲透淡化所消耗電力的多寡，主要取決於原海水的鹽濃度、RO 膜的操作壓力與滲透通量。隨著 RO 膜性能的提升及節能技術的進步，逆滲透海水淡化的單位耗電量已經顯著下降，目前大型逆滲透海水淡化廠每公噸淡化水所消耗的電力，已由早年的 8~9 kW 降至目前 3 kW 的水準(吳，2016)。

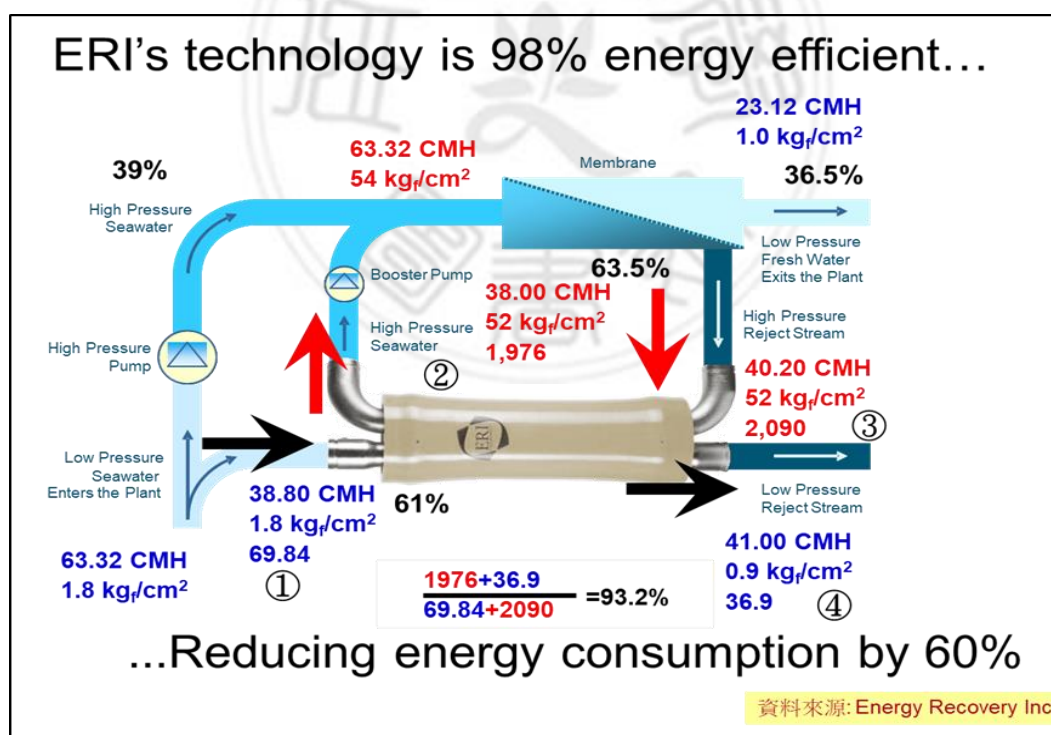


圖 4.3 能源回收裝置運作模式

# SWRO Series 60 Hz

Seawater Desalination Machines

35,000 ppm NaCl 100-300 gpm (22.7-68.1 m<sup>3</sup>/hr)



圖 4.4 ERI 能源回收器

圖 4.5 南竿三期海淡廠 SWRO 機組

## 4.4 取水泵

馬祖各海淡廠取水泵之型式，原規劃配置分別有水陸兩用泵浦加中繼泵及沉水式泵浦兩種，如圖 4.6。因水陸兩用泵浦馬力及揚程有限，

故需於管路中段加設中繼泵，經歷年使用更換紀錄及經驗顯示，水陸兩用泵之使用壽命及更換便利性，均較沉水式泵浦為優，故後續將陸續配合需要，將沉水式泵浦更換為水陸兩用式泵浦。



IC-410 水陸兩用泵浦



AS142-3 沉水式泵浦

圖 4.6 取水泵

## 4.5 外島運補

海淡廠大宗物質之運補，仰賴由基隆開往馬祖南竿、北竿、西莒、東引之貨輪為之，船班一週一班~兩班次，若遇天候不佳亦會停航，故大宗物料常需提前運補，且需掌握各海淡廠之庫存量，原則以一個月之安全用量為庫存基準，另因設備零組件多樣且繁雜，若遭遇未備存之料件損壞，常須由台灣空運至南竿或北竿或再轉由船運至東引、西莒。現階段南竿、北竿、東引、西莒海淡廠 RO 機組之高壓泵、增壓泵、能源回收器等核心機組皆係海外產品，並無整組備份件，若遇故障缺件時，自國外訂貨到交貨，採空運方式其時間約需三週以上，將嚴重影響產水，

故海淡機組關鍵零組件之備料及增設備援機組，實屬重要及迫切。

## 4.6 海淡廠設置對海域環境可能產生之影響

### (1) 對水質之影響

海水淡化廠營運期間，因淡化機組運轉時會持續排放鹵水至鄰近海域，對排放口附近之水質將有影響。依淡化製程之不同，排放鹵水之物理、化學性質亦有所不同，茲針對逆透法之排放鹵水加以說明。

逆滲透法排放鹵水最主要的特性為鹽份濃度較高、溫度稍有提高、含有微量化學藥品及由管線剝離之金屬離子(銅、鎳、鉛等)。以回收率40%計算，排放鹵水的鹽份濃度約為原來海水鹽份濃度的1.67倍。故若原海水鹽度為35psu時，排放鹵水鹽度則約為58psu，為了避免鹵水沉積在海底(因其比重較大)，必須妥善規劃排放口，使鹵水射流能與週圍海水迅速擴散混合。

### (2) 對生態環境之影響

為了降低排放鹵水對海域生態的影響，排水的設計規劃必須配合地形，使其能迅速擴散、混合及稀釋，儘量減少受影響的範圍。南竿三期海淡廠於設廠之初即訂有環境保護功能保證項目詳表4.1，每月均委託檢測公司依表列項目進行檢測。

每一季，連江縣政府亦會委託顧問公司對馬祖地區各海淡廠附近海域水質、海域沉積物、放流水等進行取樣檢測，並對海域生態浮游動、植物進行調查，迄今未有影響生態環境情事發生，檢附檢驗報告及調查結果統計表如附錄B~F。



表 4.1 南竿三期海淡廠環境保護功能保證項目

功能敘述	單位	設計數據 (功能保證)	飲用水 水質標準
<b>環境保護功能保證項目</b>			
鹵水排放於海洋			
鹵水產生量	m <sup>3</sup> /day(max)	1,637	
鹵水總溶解固體物濃度	mg/L(max)	65,940	
鹵水是否直接排放		排放至廢水池收集系統	
鹵水稀釋比例(原鹵水生產量:稀釋海水用量)		1:0~1:0.3(視擴散需求而定)	
稀釋後鹵水組成說明		趨近於原海水濃度	
鹵水是否再利用		否	
廢水產生最大量	m <sup>3</sup> /day	391	
廢水主要組成及濃度說明		(1)主要廢水 387.7 CMD, 為反洗水, 濃度較原海水增加 40%。 (2)苦鹼水: 3.3 CMD 內含約 1%的除垢及抑菌藥劑。	
廢水處置方式說明		混合稀釋及沉砂處理	
音管制(沿馬祖南竿海水淡化廠周界量測)			
夜間	dBA	≤50	≤50
廠房控制室及操作室內	dBA	≤50	≤50
廠房牆壁外 1 公尺	dBA	≤75	≤75

## 4.7 成本效益分析

馬祖地區海水淡化廠現有委託代操作營運及 BTO 兩種模式，因其建置期程不同，所採用的前處理系統亦不同，故操作營運成本亦有所差異。本研究以南竿二期及南竿三期海淡廠前處理系統之建置成本、匣式濾材消耗、RO 膜消耗、電費、維修費等做一統計分析，以求得最適宜之系統配置。

### 4.7.1 產水量

統計南竿二期及南竿三期海淡廠 2017~2018 年度產水量詳表 4.2。

表 4.2 馬祖地區海水淡化廠 2017~2018 年供水量

廠別	2017 年	2018 年	合計總產水量
	產水量	產水量	
南竿二期 海淡廠	192,999	208,528	401,527
南竿三期 海淡廠	329,452	344,351	673,803

### 4.7.2 前處理系統建置成本

海水淡化前處理系統之良窳，攸關處理後之水質是否適合進入 RO 系統，若有完善的前處理過濾系統，則經前處理過濾後之水質  $SDI < 5$ ，將符合 RO 進流水水質的要求，如此將能延長 RO 膜地使用期限。茲就南竿二期海淡廠的前處理(砂濾系統)與南竿三期海淡廠的前處理(UF 系統)之建置成本，設備使用年限以十年計算，與十年之產水量作一分析，即建置成本/十年之產水量=每噸產水之建置成本(元)，求得南竿二期海淡廠每噸產水之建置成本為  $2,200,000/2,190,000=1$  元，南竿三期海淡廠

每噸產水之建置成本為  $8,568,000/3,467,500=2.47$  元，詳表 4.3。

**表 4.3 馬祖地區海水淡化廠砂濾桶與 UF 系統建置成本**

南竿二期海淡廠 (砂濾桶)		設計供水量 (噸/日)	以 10 年計算之總 產水量	每噸產水之建置 成本(元)
建置成本	2,200,000 元	600	2,190,000 噸	1.00
南竿三期海淡廠 (UF 系統)		設計供水量 (噸/日)	以 10 年計算之總 產水量	每噸產水之建置 成本(元)
建置成本	8,568,000 元	950	3,467,500 噸	2.47

※設備使用年限 10 年

#### 4.7.3 匣式過濾器濾材使用數量

因海水淡化前處理系統之不同，影響其後匣式過濾器濾材之消耗量，茲就南竿二期及南竿三期海淡廠 2018 年之濾材消耗作一分析比較，求得南竿二期海淡廠每噸產水之濾材消耗費用為 2.2 元 ( $453,255/208,528=2.2$ )，南竿三期海淡廠每噸產水之濾材消耗費用為 0.2 元 ( $71,280/344,351=0.2$ )，詳表 4.4。

表 4.4 馬祖地區海水淡化廠 2018 年匣式過濾器濾材使用數量表

廠 別	品 名	年使用數量(個)	單價(元)	複價(元)	2018 年產水量(噸)	每噸產水濾材費用(元)
南竿二期 海淡廠	PP 濾心 (1 μm)	729	115	83,835		
	濾袋(5μm)	402	120	48,240		
	濾袋 (0.5μm)	402	90	36,180		
	百摺濾心 (5 μm)	100	2,850	285,000		
			合計	453,255	208,528	<b>2.2</b>
南竿三期 海淡廠	PP 濾心 (1 μm)	528	135	71,280	344,351	<b>0.2</b>

#### 4.7.4 每噸產水 RO 膜費用

前處理過濾效果的優劣，影響 RO 膜的使用壽命甚鉅，茲就南竿二、三期海淡廠之 RO 膜更換頻率，分析得出南竿二期海淡廠每噸產水 RO 膜的費用為 3.2 元(平均每月 RO 膜費用成本/每月契約產水量  $48,000/15,000=3.2$ )，南竿三期海淡廠每噸產水之 RO 膜的費用為 1.7 元 ( $47,250/28,500=1.7$ )，詳表 4.5。

表 4.5 馬祖地區海水淡化廠每噸產水 RO 膜費用

南竿二期 海淡廠	RO 膜平均 使用年限 (月)	合計 RO 膜 使用支數	更換 RO 膜 費用(元)	平均每月 RO 膜費用成本 (864,000/18=48,000)	每月契 約產水 量(噸)	每噸產水 RO 膜費 用
SWRO#1	18	48	864,000	48,000	15,000	3.2
南竿三期 海淡廠	RO 膜平均 使用年限 (月)	合計 RO 膜 使用支數	更換 RO 膜 費用(元)	平均每月 RO 膜費用成本	每月契 約產水 量(噸)	每噸產水 RO 膜費 用 (47250/28 500=1.66)
SWRO#1	48	42	756,000	15,750	28,500	1.7
SWRO#2	48	42	756,000	15,750		
SWRO#3	48	42	756,000	15,750		
合計		126	2,268,000	47,250		

#### 4.7.5 單位產水之電費

海水淡化運作最主要的目標就是如何降低產水成本，而能源消耗約佔海淡成本約 4 成左右之比重，因此如何降低能耗將是節省成本最有效的手段。

茲以南竿二期海淡廠 RO 機組採用離心式高壓泵與南竿三期海淡廠 RO 機組採用柱塞式高壓泵，分析比較兩者 2017~2018 年單位產水耗電量，求得南竿二期海淡廠平均單位產水之用電量(度/噸)為 5.23 度電，每噸產水電費為 12.34 元；南竿三期海淡廠平均單位產水之用電量(度/噸)為 4.78 度電，每噸產水電費為 11.27 元，詳表 4.6。

表 4.6 馬祖地區海水淡化廠 2017~2018 年單位產水之電費

廠 別	2017 年		2018 年		平均單位產水 之用電量(度/ 噸)	平均單位產水 之電費 (元/噸)
	產水量 (噸)	用電(度)	產水量(噸)	用電(度)		
南竿二期 海淡廠	192,456	1,091,640	208,528	1,004,220	5.23	12.34
南竿三期 海淡廠	329,452	1,543,680	344,351	1,674,480	4.78	11.27

※每度電費為 2.36 元。

$(1,091,640+1,004,220)/(192,456+208,528)=5.23$  度

\*2.36 元/度=12.34 元

#### 4.7.6 維修費用比較

南竿三期海淡廠於 2010 年 11 月啟用，南竿二期海淡廠於 2016 年 5 月進行設備重置，兩者設備新舊基準不一，惟為進行比較，仍取用兩者 2017~2018 年維修費用進行分析，求得南竿二期海淡廠單位產水之維修費用為 10.45 元/噸，南竿三期海淡廠單位產水之維修費用為 6.22 元/噸，詳表 4.7。

表 4.7 馬祖地區海水淡化廠 2017~2018 年維修費用比較

年別	廠 別	實際產水量(噸)	水價 (元/噸)	收入(元)	年度維修 費(元)	維修費 比例	單位產水之維 修費用(元/噸)
2017	南竿 二期	192,999	53.97	10,416,156	2,270,273	21.80%	
2018	南竿 二期	208,528	53.97	11,254,256	1,926,434	17.12%	
合計		401,527		21,670,412	4,196,707	19.37%	10.45
2017	南竿 三期	329,452	53.97	17,780,524	1,758,966	9.89%	
2018	南竿 三期	344,351	53.97	18,584,623	2,429,272	13.07%	
合計		673,803		36,365,148	4,188,238	11.52%	6.22

#### 4.7.7 海淡廠操作成本分析及結果

依據前述各項費用之分析結果，作成整體操作成本比較，得出南竿二期海淡廠單位產水操作成本為 29.19 元/噸，南竿三期海淡廠單位產水操作成本為 22.16 元/噸，詳表 4.8。

表 4.8 南竿二期及南竿三期海淡廠單位產水費用成本比較

廠別	單位產水之 建置成本 (元/噸)	單位產水濾 材費用(元/ 噸)	單位產水 RO 膜費用(元/ 噸)	單位產水電 費(元/噸)	單位產水之 維修費用 (元/噸)	單位產水 費用(元/ 噸)
南竿 二期	1	2.2	3.2	12.34	10.45	29.19
南竿 三期	2.47	0.2	2	11.27	6.22	22.16

南竿三期海淡廠係採用 UF 作為前處理系統，雖然初期建置成本較高，但因經 UF 過濾後的水質較佳，除減少濾材的消耗亦延長了 RO 膜的使用壽命，更節省人力維修時間，另柱塞式高壓泵較多段離心式高壓泵更為節能，亦由此獲得驗證。

## 第五章 結論與建議

經本第三至四章之海淡廠現況檢討、設置評估及操作成本效益分析探討後，可以得到下列結論：

### 5.1 結論

1. 依據操作成本數據分析比較結果，以採用 UF 作為前處理系統搭配柱塞式高壓泵系統配置之南竿三期海淡廠，其單位產水之建置成本 2.47 元/噸、單位產水濾材費用 0.2 元/噸、單位產水 RO 膜費用 2 元/噸、單位產水電費用 11.27 元/噸、單位產水維修費用 6.22 元/噸，總計單位產水所需費用為 22.16 元/噸，較南竿二期海淡廠總計單位產水所需費用 29.19 元/噸為優。
2. 後續馬祖地區海淡廠之改善或新設，將以增設 UF 前處理系統及柱塞式高壓泵為首選，俾節省操作成本，提升產水效能。

### 5.2 建議

1. 後續於新建或改善既有海淡廠之功能時，以採用 UF 前處理系統及柱塞式高壓泵為宜。
2. 積極增設 RO 備援機組，以降低單機組故障造成長時間停止產水之機率。
3. 於規劃新設海水取水設施時，需充分收集當地海域相關資訊，審慎選址，以確保取水井能 24 小時汲取海水，以供應 RO 產水之用。
4. 外島運補不易且交通常受天候影響，宜將不易快速取得之備份零件及消耗性材料，預先儲備於現場，俾能及時進行搶修，縮短停產時間，惟過量及過早儲存備品將造成資金的壓滯，故有效的管控備品



為努力目標。

5. 依據定期海域水質監測報告顯示，馬祖地區現有海淡廠之排放水，並未對生態及環境造成影響，故環境影響評估係保護生態環境之必要措施，後續若擴增海淡廠，其規模達到應實施環境影響評估時，應依相關規定辦理，以永續保育生態環境利用海洋資源，確保永續發展。
6. 馬祖海淡廠各廠建置時間及設備使用年限不同，設備維修頻率不一，現階段僅能就 2017~2018 年之收集數據進行分析，未來宜持續長期進行數據收集及分析，以得到更為客觀公正之評估結果。



## 參考文獻

- 林建榮(2012)，薄膜運用在海水淡化前處理之最佳清洗操作，嘉南藥理科技大學碩士論文。
- 吳雪舫(2016)，向大海要水喝—逆滲透海水淡化，科學發展，第 517 期，第 50 - 58 頁。
- 陳美金(2012)，馬祖地區水資源挑戰與對策，水資源管理會刊，第 2 期，第 43-51 頁。
- 郭明成、李子林、張文欽(2000)，海水淡化技術之探討，中興工程期刊，第 67 期，第 49-65 頁。
- 張淵斯、曹知行(2009)，海水淡化的發展，科學發展，第 438 期，第 32-39 頁。
- 劉東方、陳璐、紀濤(2002)，納濾膜處理高濃度廢液分離規律研究，城市環境與城市生態。
- 水利署電子報(2016)，第 0171 期。
- 馬祖地區海水淡化廠委託代操作(2016 年至 2020 年)營運契約書。
- 連江縣(2014)，離島綜合建設實施方案第四期(104-107 年)。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所(2007)，馬祖地區新增海水淡化廠海域環境監測調查報告。
- 江明郎(2019)，政府推動海淡廠之現況與面臨之課題，簡報資料，網址：  
[http://www.sinotech.org.tw/eerc-ctr/news/w/01/1050701\\_3.pdf](http://www.sinotech.org.tw/eerc-ctr/news/w/01/1050701_3.pdf)。
- 王文山(2011)，南竿三期海淡廠 BTO 案之興建及營運綜合研析，簡報資料。
- Brehant, A., Bonnelye, V. and Perez(2002), M. Comparison of MF/UFpretreatment with conventional filtration prior to RO membranes for surface seawater desalination, Desalination, Vol. 144,

pp. 353–360.

Glueckstern, P., Priel, M., & Wilf, M. (2002) ,Field evaluation of capillary UF technology as a pretreatment for large seawater RO systems. *Desalination*, Vol.147, pp. 55–62, 2002.

Global Water Intelligence(2015), <https://www.desaldata.com> IDA Water Security Handbook Points to Robust Increase in Desalination and Water Reuse for 2019.

Kumar, M., Adham, S. S., & Pearce, W. R. (2006) ,Investigation of seawater reverse osmosis fouling and its relationship to pretreatment type. *Environmental science & technology*, Vol. 40, pp. 2037–2044.

Teng, C.K., Hawlader, M.N.A and Malek(2003), A. An experiment with different pretreatment methods, *Desalination*, Vol. 156, pp. 51–58.

Teuler, A., Glucina, K. and Laine, J.M(2003). Assessment of UF pretreatment prior RO membranes for seawater desalination, *Desalination*, Vol. 125, pp. 89–96.

Weber Jr, W.J.and LeBoeu, E.J. (1999) ,Processes for advanced treatment of water, *Water Science and Technology*., Vol. 40, pp.11-19.

# 附錄 A 南竿二期海淡廠 107 年度淡化水委外檢驗結果

## 一覽表

檢測項目	單位	標準值	檢測值				方法偵測 極限 (MDL)	結果
			第一季	第二季	第三季	第四季		
			2月13日	4月17日	7月10日	11月6日		
總菌落數	CFU/mL	100	<1	<1	7	<1	-	■合格 □不合格
大腸桿菌	CFU/100mL	6	<1	<1	<1	<1	<1	■合格 □不合格
色度	鉑鈷單位	5	<1	<1	<1	<1	<1	■合格 □不合格
導電度	μ mho/cm	—	2	2	2	2	—	■合格 □不合格
臭度	初嗅數	3	476	379	579	412	—	■合格 □不合格
總硬度	CaCO <sub>3</sub> ,mg/L	300	19.1	5.6	8.8	8.9	—	■合格 □不合格
TDS	mg/L	400	285	280	296	412	—	■合格 □不合格
濁度	NTU	2	0.15	0.2	0.15	0.2	—	■合格 □不合格
銀	mg/L	0.05	ND	ND	ND	ND	—	■合格 □不合格
鎘	mg/L	0.005	ND	ND	ND	ND	0.0017	■合格 □不合格
總鉻	mg/L	0.05	ND	ND	ND	ND	0.0035	■合格 □不合格
銅	mg/L	1.0	ND	ND	ND	0.007	0.0025	■合格 □不合格
鐵	mg/L	0.3	0.014	0.016	0.051	0.056	0.0132	■合格 □不合格
錳	mg/L	0.05	ND	ND	ND	ND	0.0015	■合格 □不合格
鎳	mg/L	0.1	ND	ND	ND	0.003	0.0031	■合格 □不合格
鉛	mg/L	0.01	ND	ND	ND	ND	0.0026	■合格 □不合格

檢測項目	單位	標準值	檢測值				方法偵測 極限 (MDL)	結果
			第一季	第二季	第三季	第四季		
			2月13日	4月17日	7月10日	11月6日		
鋅	mg/L	5	0.005	0.046	0.019	0.028	—	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
銀	mg/L	2	ND	<0.00500	0.0018	0.00146	0.00126	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
銻	mg/L	0.01	ND	ND	ND	ND	—	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
汞	mg/L	0.002	ND	ND	ND	ND	0.00036	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
硒	mg/L	0.01	ND	ND	ND	ND	0.00041	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
氯鹽	mg/L	200	137	180	168	113	—	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
自由有效 餘氯	mg/L	0.2~1.0	0.42	0.45	0.64	0.67	—	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
氟鹽	mg/L	0.8	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
氫離子濃度 指數	—	6.0~8.5	6.8 (23.3°C)	7.1 (28.1°C)	6.1 (27.2°C)	6.5 (28.8°C)	—	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
硫酸鹽	mg/L	250	7.4	4.7	ND	2.4	—	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
砷	mg/L	0.01	ND	ND	ND	ND	0.00041	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
硝酸鹽氮	mg/L	10.0	0.02	0.02	0.03	0.02	—	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
亞硝酸鹽氮	mg/L	0.1	ND	ND	ND	ND	0.003	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
氨氮	mg/L	0.1	ND	ND	ND	0.02	—	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
氰鹽	mg/L	0.05	ND	ND	0.01	ND	0.001	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
酚類	mg/L	0.001	ND	ND	ND	ND	0.0008	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
陰離子界面 活性劑	mg/L	0.500	ND	0.04	0.03	ND	—	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
安殺番	mg/L	0.003	ND	ND	ND	ND	見備註	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格

檢測項目	單位	標準值	檢測值				方法偵測 極限 (MDL)	結果
			第一季	第二季	第三季	第四季		
			2月13日	4月17日	7月10日	11月6日		
靈丹	mg/L	0.0002	ND	ND	ND	ND	0.000002	■合格 □不合格
大利松	mg/L	0.005	ND	ND	ND	ND	0.000450	■合格 □不合格
巴拉松	mg/L	0.02	ND	ND	ND	ND	0.000578	■合格 □不合格
一品松	mg/L	0.005	ND	ND	ND	ND	0.000595	■合格 □不合格
亞素靈	mg/L	0.003	ND	ND	ND	ND	0.000991	■合格 □不合格
達馬松	mg/L	0.02	ND	ND	ND	ND	0.000413	■合格 □不合格
滅必蟲	mg/L	0.02	ND	ND	ND	ND	0.00040	■合格 □不合格
加保扶	mg/L	0.02	ND	ND	ND	ND	0.00049	■合格 □不合格
納乃得	mg/L	0.01	ND	ND	ND	ND	0.00044	■合格 □不合格
巴拉刈	mg/L	0.01	ND	ND	ND	ND	0.00023	■合格 □不合格
二、四-地	mg/L	0.07	ND	ND	ND	ND	0.000011	■合格 □不合格
丁基拉草	mg/L	0.02	ND	ND	ND	ND	0.000061	■合格 □不合格
氯乙烯	mg/L	0.002	ND	ND	ND	ND	0.00059	■合格 □不合格
1,1-二氯 乙烯	mg/L	0.007	ND	ND	ND	ND	0.00055	■合格 □不合格
1,1,1-三氯乙 烷	mg/L	0.2	ND	ND	ND	ND	0.00050	■合格 □不合格
四氯化碳	mg/L	0.005	ND	ND	ND	ND	0.00056	■合格 □不合格
苯	mg/L	0.005	ND	ND	ND	ND	0.00057	■合格 □不合格
1,2-二氯乙 烷	mg/L	0.005	ND	ND	ND	ND	0.00060	■合格 □不合格
三氯乙烯	mg/L	0.005	ND	ND	ND	ND	0.00052	■合格 □不合格

檢測項目	單位	標準值	檢測值				方法偵測 極限 (MDL)	結果
			第一季 2月13日	第二季 4月17日	第三季 7月10日	第四季 11月6日		
對-二氯苯	mg/L	0.075	ND	ND	ND	ND	0.00060	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格
總三鹵甲烷	mg/L	0.080	0.00721	0.0106	0.00605	0.00248	—	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格



# 附錄 B 馬祖地區海水淡化廠水域水質檢驗報告

## 瑩諮科技股份有限公司

行政院環境保護署許可證字號：環署環檢字第012A號  
地址：台北市內湖區瑞光路2號5樓 電話：(02) 2794-8833

### 水質水量樣品檢驗報告(行程編號：ELWA181017Z00)

計畫名稱：馬祖地區海水淡化廠107年度環境監測  
委託單位：台禾工程顧問股份有限公司  
樣品別：海域水質  
採樣單位：瑩諮科技股份有限公司  
採樣地點：馬祖地區海水淡化廠海域水質

報告編號：EL07B0724  
採樣日期：107年10月17日  
收樣日期：107年10月17日(19:18)  
報告日期：107年11月07日  
聯絡人：賴海源

是否 經 認可	檢測項目	單位	樣品編號						檢驗方法	備註欄
			0724B04	0724B08	0724B12	0724B16	0724B20	0724B24		
			南竿ST1表 中底混合水 樣	南竿ST2表 中底混合水 樣	北竿NT1表 中底混合水 樣	北竿NT2表 中底混合水 樣	西宮WT1表 中底混合水 樣	西宮WT2表 中底混合水 樣		
			07:20	07:57	08:49	09:41	13:22	14:04		
檢測值										
○	生化需氧量 <sub>28.8</sub>	mg/L	0.9	0.7	1.0	0.8	0.8	0.9	NIEA W510.55B	—
○	硝酸鹽氮	mg/L	0.32	0.29	0.30	0.30	0.25	0.25	NIEA W436.52C	0.015
○	亞硝酸鹽氮	mg/L	N.D.	0.01	0.01	N.D.	N.D.	N.D.		0.016
○	懸浮固體	mg/L	19.0	21.2	18.2	18.5	12.0	10.5	NIEA W210.58A	1.0
○	沉降固體量	mg/L	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	沉降法	—
○	總磷	mg/L	0.064	0.074	0.063	0.072	0.045	0.047	NIEA W427.52B	0.007
○	硼 <sub>12.7</sub>	mg/L	3.17	3.16	3.31	3.45	3.64	3.28	NIEA W311.53C	—
○	矽鹽	mg/L	0.757	0.793	0.971	0.793	0.900	0.543	NIEA W450.50B	0.100
○	海水化學需氧量	mg/L	3.9	2.9	3.6	3.4	3.5	3.7	NIEA W514.21B	2.00
○	總有機碳	mg/L	1.3	1.4	1.5	1.5	1.3	1.4	NIEA W530.51C	0.068
○	凱氏氮	mg/L	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	NIEA W451.51A	0.014
○	總氮	mg/L	0.36	0.34	0.35	0.34	0.28	0.28	NIEA W436.51C	—
○	酚類	mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	NIEA W521.52A	0.0032
○	汞	mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	NIEA W330.52A	0.00032
○	砷	mg/L	0.0019	0.0019	0.0019	0.0017	0.0018	0.0018	NIEA W434.54B	0.00009
○	鎘	mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	NIEA W308.22B/ NIEA W311.53C	0.00056
○	鎘 <sub>12.5</sub>	mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.000125
○	銅	mg/L	0.0007	N.D.	N.D.	N.D.	0.0007	0.0007		0.00061
○	鉛	mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00102
○	鋅	mg/L	0.0093	0.0136	0.0182	0.0167	0.0138	0.0102		0.00101
○	鈣 <sub>12.5</sub>	mg/L	240	184	279	294	213	233		0.00025
○	鈉 <sub>12.5</sub>	mg/L	73.1	94.0	114	89.8	104	93.5		0.00050
○	鉀 <sub>12.5</sub>	mg/L	26.9	31.0	28.5	28.4	25.8	22.2		0.00250
○	鎂 <sub>12.5</sub>	mg/L	1040	1110	861	951	1090	1090		0.00500
○	葉綠素a	mg/L	0.600	0.553	0.626	0.548	0.561	0.454		NIEA E507.03B
○	油脂	mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	NIEA W505.52C	1.0
○	總溶解固體	mg/L	42600	46300	36900	40200	35500	37100	NIEA W210.58A	2.5
○	pH	—	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	NIEA W424.52A	—
○	溫度	℃	23.2	23.3	23.5	23.0	22.6	22.4	NIEA W217.51A	—
○	溶氧	mg/L	6.2	6.3	6.3	6.2	6.3	6.2	NIEA W455.52C	—
○	鹽度	psu	34.1	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	NIEA W447.20C	—
○	殘餘氯量	mg/L	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.12	NIEA W408.51C	0.028

#### 備註：

- 1、本報告已由核可報告簽署人審核無誤，簽署人：范玉璋 (ELI-03)。
- 2、本報告共 1 頁，不得作為法律訴訟用，報告內容不得隨意複製或作為商業廣告之用。
- 3、檢測項目有標示“○”者，係指該檢測項目經環保署許可，並依公告檢測方法分析。
- 4、低於方法偵測極限之測定值以“N.D.”表示，並於備註欄註明其方法偵測極限(MDL)。
- 5、備註欄為QDL。
- 6、pH值與水溫為採樣現場同時量測之測值。
- 7、硼(B)委託亞太環境科技股份有限公司分析，報告編號為EC10720713-WA001。
- 8、生化需氧量樣品經培養5天後，溶氧消耗量<2mg/L。

#### 聲明書：

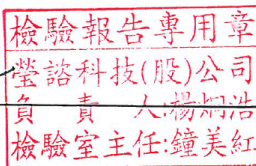
- (一)茲保證本報告內容完全依照行政院環境保護署及有關機關之標準方法及品保品管等相關規定，秉持公正、誠實進行採樣、檢測。絕無虛偽不實，如有違反，就政府機關所受損失願負連帶賠償責任之外，並接受主管機關依法令所為之行政處分及刑事處罰。
- (二)吾人瞭解如自身受政府機關委任從事公務，亦屬於刑法上之公務員，並瞭解刑法上圖利罪、公務員登載不實偽造公文書及貪污治罪條例之相關規定，如有違反，亦為刑法及貪污治罪條例之適用對象，願受最嚴厲之法律制裁。

公司名稱：瑩諮科技股份有限公司

負責人(簽章)：楊炯浩

檢驗室主任(簽名蓋章)：

瑩諮科技股份有限公司台北檢驗室



QR-BA-112



# 附錄 C 馬祖地區海水淡化廠海域沉積物檢驗報告

## 瑩諮科技股份有限公司

地址：台北市內湖區瑞光路2號5樓 電話：(02) 2794-8833

### 底質樣品檢驗報告

計畫名稱：馬祖地區海水淡化廠107年度環境監測

委託單位：台禾工程顧問股份有限公司

樣品別：海域底質

採樣單位：瑩諮科技股份有限公司

採樣地點：馬祖地區海水淡化廠海域沉積物

報告編號：EL07SE0016

採樣日期：107年10月17日

收樣日期：107年10月17日

報告日期：107年11月19日

聯絡人：賴海源

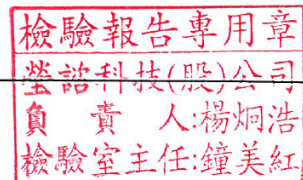
是否 經 認可	檢測項目	單位	樣品編號						檢驗方法	備註欄 (MDL)
			0016SE01	0016SE02	0016SE03	0016SE04	0016SE05	0016SE06		
			南竿ST1	南竿ST2	北竿NT1	北竿NT2	西莒WT1	西莒WT2		
檢驗值										
	TOC	g/kg	3.17	2.82	3.13	2.52	2.66	2.90	參考Walkey-Black濕 氧化法	-
	汞	mg/kg	0.018	0.026	0.025	0.025	0.026	0.023	參考NIEA M318.01C	0.004
	砷	mg/kg	29.4	29.1	29.8	29.7	29.5	28.5	參考NIEA S310.64C	0.0791
	銅	mg/kg	6.47	5.82	9.0	6.63	7.36	8.06	參考NIEA M353.01C	1.90
	鉛	mg/kg	10.7	11.0	16.2	8.29	10.8	15.9	參考NIEA M353.01C	4.30
	鋅	mg/kg	43.8	34.7	36.2	41.5	37.7	49.0	參考NIEA M353.01C	0.80
	鎘	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	參考NIEA M353.01C	0.55
	鎳	mg/kg	23.2	22.4	20.8	23.8	22.1	19.0	參考NIEA M353.01C	3.60
	鉻	mg/kg	154	167	154	170	138	154	參考NIEA M353.01C	5.20

備註：

- 1、本報告共1頁，不得作為法律訴訟用，報告內容不得隨意複製或作為商業廣告之用。
- 2、檢測項目有標示"○"者，係指該檢測項目經環保署許可，並依公告檢測方法分析。
- 3、低於方法偵測極限之測定值以"N.D."表示，並於備註欄註明其方法偵測極限(MDL)。

公司名稱：瑩諮科技股份有限公司

負責人(簽章)：楊炯浩



瑩諮科技股份有限公司台北檢驗室

QR-CA-22

# 附錄 D 南竿海水淡化廠放流水質檢驗報告



台灣檢驗科技股份有限公司

行政院環保署許可證字號：環署環檢字第 035 號

## 水質樣品檢驗報告

行程代碼：FIWA181206A03

委託單位：連江縣自來水廠

受驗單位：南竿海水淡水廠

樣品基質：放流水

樣品編號：PWC013203

採樣單位：台灣檢驗科技股份有限公司

採樣地點：連江縣南竿鄉馬祖村 123 號(D01)

專案編號：\*

採樣時間：107 年 12 月 06 日 08 時 17 分

收樣時間：107 年 12 月 07 日 08 時 30 分

報告日期：107 年 12 月 18 日

報告編號：PW/2018/C013203

聯絡人：蘇美鳳

是否經認可	檢驗項目	檢驗值 (單位)	檢驗方法	備註
*	pH	8.1(19.8°C)	NIEA W424.52A	
*	水溫	19.8 (°C)	NIEA W217.51A	
*	總餘氯	0.06 (mg/L)	NIEA W408.51A	
*	含高鹵離子化學需氧量	3.0 (mg/L)	NIEA W516.55A	
*	懸浮固體	9.8 (mg/L)	NIEA W210.58A	
	以下空白			

備註：1.本報告已由核可報告簽署人審核無誤，並簽署於內部報告文件，簽署人如下：

無機檢測類：廖方瑜(FII-09)。

2.本報告共 1 頁。

3.檢測項目有標示“\*”者，係指該檢測項目經環保署許可，並依公告檢測方法分析。

4.低於方法偵測極限之測定值以“ND”表示，並註明其方法偵測極限(MDL)；若高於 MDL 但低於檢量線最低點濃度時，以“<檢測報告最低位數單位值”表示，並括號註明其實測值。

5.本報告僅對該樣品負責，不得隨意複製及作為宣傳廣告之用。

6.採樣單位取得事業放流水採樣(不含自動混樣採水設備)(NIEA W109.51B)之許可。

### 聲明書

(一) 茲保證本機構檢驗室分析之樣品，自本檢驗室收樣至報告發出之過程，係在委託人/申報人指示下，以本公司人員最佳之專業知能，完全依照行政院環境保護署及有關機關之標準方法及品保品管等相關規定，秉持公正、誠實進行採樣、檢測。絕無虛偽不實，如有違反，就政府機關所受損失願負連帶賠償責任之外，並接受主管機關依法令所為之行政處分及刑事處罰。

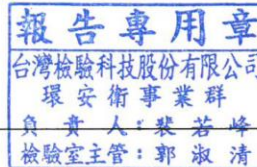
(二) 吾人瞭解如自身受政府機關委任從事公務，亦屬於刑法上之公務員，並瞭解刑法上圖利罪、公務員登載不實偽造文書及貪污治罪條例之相關規定，如有違反，亦為刑法及貪污治罪條例之適用對象，願受最嚴厲之法律制裁。

公司名稱：台灣檢驗科技股份有限公司

負責人：裴若峰

檢驗室主管：

*(Handwritten signature)*



頁次(1/1)

# 附錄 E 海域生態浮游植物調查結果統計表

表 I 本計畫海域生態浮游植物調查結果統計表

調查日期：107.10.20-22

物種	中文	北竿(NT1)			南竿(ST1)			西宮(WT1)			東引(ET1)			總計	平均值	百分比
		表層	中層	下層	表層	中層	下層	表層	中層	下層	表層	中層	下層			
<b>BACILLARIOPHYCEAE 矽藻門</b>																
<i>Amphora costata</i>	中肋雙眉藻		240	480				480	240				1440	120	1.11%	
<i>Amphora laevis</i>	平滑雙眉藻	480	480	960			480				240		3840	320	2.97%	
<i>Amphora</i> spp.	雙眉藻				240	240		480	480		240	720	1920	160	1.48%	
<i>Asterionella japonica</i>	日本星桿藻	480			480	480	960	480			240		3600	300	2.78%	
<i>Biddulphia granulata</i>	顆粒盒形藻	960	480	960	720			240	480	720			4560	380	3.53%	
<i>Biddulphia mobiliensis</i>	活動盒形藻			240	720	1680	2400						5040	420	3.90%	
<i>Biddulphia rhombus</i>	菱形盒形藻	240				480					240	720	1680	140	1.30%	
<i>Biddulphia</i> spp.	盒形藻	480	240		720	720	480		960	720		480	5280	440	4.08%	
<i>Chaetoceros atlantium</i>	安特角刺藻					1440	1200	480			480	240	4080	340	3.15%	
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	旋鏈角刺藻	240	1440	960	480			720	960			480	5280	440	4.08%	
<i>Chaetoceros lorenzianum</i>	洛氏角刺藻	240	240		480	480	1200				1440	720	4800	400	3.71%	
<i>Chaetoceros</i> spp.	角刺藻							240	240		240	240	960	80	0.74%	
<i>Coscinodiscus granii</i>	格氏圓篩藻	720	1440	1440	1440	2400	2400				480	240	10560	880	8.16%	
<i>Coscinodiscus lineatus</i>	線形圓篩藻	240	960	480	960	480	960					240	4320	360	3.34%	
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	寬邊圓篩藻	1200			1440		240	720			480		4080	340	3.15%	
<i>Coscinodiscus</i> spp.	圓篩藻				240			480				720	720	60	0.56%	
<i>Lauderia annulatus</i>	環形婁氏藻	480	480		240	240	720	720	480				3360	280	2.60%	
<i>Licmophora</i> sp.	梨形藻							240					240	20	0.19%	
<i>Navicula</i> spp.	舟形藻	720	480	480				480	480	1200			3840	320	2.97%	
<i>Nitzschia longissima</i>	長菱形藻	2400	3120	4080	720	2400	1920			1200			15840	1320	12.24%	
<i>Pleurosigma angulanum</i>	寬角斜紋藻										720	2880	960	4560	380	3.53%
<i>Pleurosigma</i> spp.	斜紋藻	480				2880						240	3600	300	2.78%	
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	尖刺擬菱形藻	480	240					240	960				1920	160	1.48%	
<i>Thalassiosira hyalina</i>	透明海鏈藻							960	480	1920	480	1440	720	6000	500	4.64%
<i>Thalassiosira</i> spp.	海鏈藻		480			960		720	720	2400	480	240	720	6720	560	5.19%
<i>Thalassiothrix</i> sp.	海毛藻									480			480	40	0.37%	
<b>CHRISOPHYTA 金黃藻門</b>																
<i>Dictyocha</i> spp.	網骨藻	1440	2640		3120	2400		1440	720		240	240	12240	1020	9.46%	
<i>Distephanus</i> sp.	刺砂觀藻		480										480	40	0.37%	
<b>DINOPHYCEAE 渦鞭毛藻門</b>																
<i>Ceratium</i> spp.	角藻	240		960			480						1680	140	1.30%	
<i>Gonyaulax</i> spp.	膝溝藻			480		240	240						960	80	0.74%	
<i>Gymnodinium</i> spp.	環溝藻	960	1440		240	240		480			240	720	4320	360	3.34%	
<i>Prorocentrum</i> spp.	多甲藻	480											480	40	0.37%	
<i>Prorocentrum</i> spp.	原甲藻							480					480	40	0.37%	
Total		10,560	13,440	15,360	9,120	17,520	17,040	6,960	9,120	11,040	5,040	6,960	7,200	129,360	10,780	100.0%
平均值			13,120			14,560			9,040			6,400			10,780	
C(優勢度)		0.10	0.11	0.13	0.10	0.12	0.10	0.09	0.09	0.12	0.15	0.24	0.08	33		
D(豐度)		1.62	1.47	1.45	1.43	1.43	1.44	1.47	1.43	1.18	1.06	0.90	1.58			
J(均勻度)		0.91	0.89	0.87	0.94	0.86	0.92	0.96	0.96	0.92	0.92	0.80	0.95			
H(歧異度)		2.52	2.41	2.35	2.47	2.34	2.49	2.53	2.54	2.28	2.11	1.76	2.58			
種類數		16	15	15	14	15	15	14	14	12	10	9	15			

## 附錄 F 海域生態浮游動物調查結果統計表

學名	中文名	北竿(NE1)	南竿(SE1)	西莒(WE1)	東引(EE1)	總計	平均值	百分比
<b>Arthropoda</b>		<b>節肢動物門</b>						
<b>Family Tetracitidae</b>	<b>笠藤壺科</b>							
<i>Tetracita squamosa</i>	鱗笠藤壺	28	33	23	31	115	14.4	21.14%
<b>Family Scalpellidae</b>	<b>鐘茗荷科</b>							
<i>Mitella mitella</i>	龜爪藤壺	21	25	12	17	75	9.4	13.79%
<b>Family Ligiidae</b>	<b>海蟑螂科</b>							
<i>Ligia exotica</i>	海蟑螂		5			5	0.6	0.92%
<b>Mollusca</b>		<b>軟體動物門</b>						
<b>Family Patellidae</b>	<b>笠螺科</b>							
<i>Cellana toreuma</i>	花笠螺	13	8	11		32	4.0	5.88%
<b>Family Chitonidae</b>	<b>石鱉科</b>							
<i>Liolophura japonica</i>	大駝石鱉	9	12	5	9	35	4.4	6.43%
<b>Family Littorinidae</b>	<b>玉黍螺科</b>							
<i>Granulilittorina millegrana</i>	臺灣玉黍螺	8	15		18	41	5.1	7.54%
<i>Nodilittorina pyramidalis</i>	顆粒玉黍螺		10		15			
<b>Family Muricidae</b>	<b>骨螺科</b>							
<i>Tenguella granulata</i>	結螺	11	21	10	12	54	6.8	9.93%
<b>Family Mytilidae</b>	<b>殼菜蛤科</b>							
<i>Mytilus edulis</i>	紫殼菜蛤	36	38	28	35	137	17.1	25.18%
<b>Family Neritidae</b>	<b>蟹螺科</b>							
<i>Nerita albicilla</i>	漁舟蟹螺			2		2	0.3	0.37%
<b>Family Trochidae</b>	<b>鐘螺科</b>							
<i>Monodonta labio</i>	草蓆鐘螺	11	25	10		46	5.8	8.46%
<i>Omphalius nigerrima</i>	臍孔黑鐘螺		2			2	0.3	0.37%
個體數		137	194	101	137	544	142.3	100.00%
C(優勢度)		0.16	0.13	0.18	0.17			
D(豐度)		1.42	1.90	1.52	1.22			
J(均勻度)		0.93	0.91	0.90	0.95			
H'(歧異度)		1.94	2.19	1.87	1.85			
種類數		8	11	8	7	11		

註1：“-”表示種類數僅有一種或無記錄，依照均勻度公式無法計算。