

中華民國自來水協會 109 年度研究計畫

澎湖馬公地區海淡廠藍氏飽和指數(LSI)影響 配水水質之研究

委託單位：中華民國自來水協會

研究單位：台灣自來水公司總管理處

計畫主持人：洪世政

協同主持人：吳振榮

研究人員：李蘊理、楊昭端、吳美慧、賴明芬、
王秀燕、林彥宏、呂昌森

執行期間：109 年 3 月至 109 年 11 月

中華民國 109 年 11 月

目 錄

目 錄.....	I
表 目 錄.....	IV
圖 目 錄.....	VI
摘 要.....	1
第一章 前 言	6
1.1 計畫緣起	6
1.2 計畫目標	6
1.3 預期成果	6
1.4 計畫進度	7
第二章 文獻回顧	8
2.1 澎湖地區供水情形概述.....	8
2.2 現有管種使用現況	20
2.3 腐蝕原理及種類	23
2.4 國、內外有關配水管線侵蝕性及腐蝕性之控制策略.....	30
2.5 管線腐蝕評估方法	36
2.6 腐蝕指標	37

2.7 各國飲用水水質對 LSI 之規範	45
第三章 研究內容與方法	46
3.1 研究流程	46
3.2 研究內容	47
3.3 清、配水檢測採樣點及頻率	47
3.4 電化學金屬腐蝕程度測試方法	50
3.5 水質檢測方法	54
3.6 套用不同侵蝕性及腐蝕性指標	60
第四章 結果與討論	62
4.1 LSI 及 PH 水質檢測結果探討	62
4.2 套用不同侵蝕性及腐蝕指標結果	75
4.3 電化學金屬腐蝕程度測試結果探討	85
4.4 不同侵蝕性及腐蝕性指標適用性探討	90
4.5 LARSON (LR)水質檢測結果探討	92
4.6 配水點之水質趨勢	99
4.7 馬公本島配水管網侵蝕及腐蝕控制策略探討	102
第五章 結論與建議	105
5.1 結論	105

5.2 建議.....	106
第六章 參考文獻	107
第七章 附錄.....	111

表 目 錄

表 2-1 馬公第一海淡廠(1 場)淡化水每天檢驗項目及限值表	12
表 2-2 馬公第一海淡廠(1 場)淡化水每月檢驗項目及限值表	12
表 2-3 澎湖馬公第一海淡廠(2 場)淡化水每天檢驗項目及限值表	14
表 2-4 澎湖馬公第二海淡廠淡化水每天檢驗項目及限值表	15
表 2-5 澎湖馬公第二海淡廠淡化水每月檢驗項目及限值表	16
表 2-6 澎湖馬公第二海淡廠每季檢驗項目及限值表	17
表 2-7 馬公海淡廠出水水質契約限值	19
表 2-8 台水公司各管種長度	21
表 2-9 澎湖地區各管種長度	22
表 2-10 自來水管線選用策略表	31
表 2-11 LSI 指標計算參數	38
表 2-12 侵腐蝕指標判斷標準	44
表 2-13 各國 LSI 規範	45
表 3-1 傳統淨水場及海淡廠各淨水場清水採樣點	48
表 3-2 本計畫配水採樣點	48
表 3-3 馬公第一、第二海淡廠配水點(環保署).....	50
表 4-1 成功淨水場混合清水之腐蝕指標	75
表 4-2 馬公市中華路 239 號之腐蝕指標	76
表 4-3 馬公市西衛里 140 號之腐蝕指標	77
表 4-4 馬公第一海淡廠清水之腐蝕指標	78
表 4-5 湖西鄉菓葉村 111 號之腐蝕指標	79
表 4-6 湖西鄉北寮村 49 之 3 號之腐蝕指標	80

表 4-7 馬公第二海淡廠清水之腐蝕指標	81
表 4-8 馬公市石泉里 21 號之腐蝕指標	82
表 4-9 馬公市前寮里 3 之 2 號之腐蝕指標	84
表 4-10 淨水場及各配水點電化學分析之水質參數:.....	86
表 4-11 淨水場及各配水點電化學分析結果	87
表 4-12 不同處理方式淨水場之 LR 值	94
表 4-13 成功淨水場及其配水點之 LR 值	95
表 4-14 馬公第一海淡廠及其配水點之 LR 值	96
表 4-15 馬公第二海淡廠及其混合馬公第一海淡水之配水點 LR 值	97
表 4-16 馬公地區各配水點 LR	101

圖 目 錄

圖 2-1 澎湖地區主要供水系統	8
圖 2-2 各水源之年供水趨勢	9
圖 2-3 澎湖地區各海淡廠分佈圖	10
圖 2-4 馬公地區供水現況圖	11
圖 2-5 104~108 年度各管種長度分佈	22
圖 2-6 108 年度各管種長度及比例	23
圖 2-7 延性鑄鐵管之腐蝕模式	25
圖 2-8 常見之點蝕型態	28
圖 2-9 鋼鐵與環境作用型態之分佈	34
圖 2-10 Caldwell & Lawrence diagram	43
圖 3-1 研究架構流程圖	46
圖 3-2 各採樣點相對位置	49
圖 3-3 澎南地區配水點相對位置圖	50
圖 4-1 不同處理方式淨水場之 LSI 值	63
圖 4-2 不同處理方式淨水場之 pH 值	64
圖 4-3 成功淨水場 LSI 及 pH 比較	65
圖 4-4 成功淨水場及其配水點 LSI 值比較	66
圖 4-5 成功淨水場及其配水點 pH 值比較	67
圖 4-6 馬公第一海淡廠 LSI 及 pH 比較	68
圖 4-7 馬公第一海淡廠及其配水點 LSI 值比較	69
圖 4-8 馬公第一海淡廠及其配水點 pH 值比較	70
圖 4-9 馬公第二海淡廠 LSI 及 pH 值比較	71
圖 4-10 馬公第二海淡廠及其混合馬公第一海淡水之配水點 LSI 值比較	72
圖 4-11 馬公第二海淡廠及其混合馬公第一海淡水之配水點 pH 值比較	73

圖 4- 12 108 年 12 月之後澎南地區配水點 pH 趨勢圖	74
圖 4- 13 電化學實驗裝置	85
圖 4- 14 Tafel 極化曲線圖	86
圖 4- 15 淨水場及各配水點腐蝕速率之比較(未浸泡)	88
圖 4- 16 試片在未浸泡、浸泡 41 天及浸泡 80 天的腐蝕速率圖	89
圖 4- 17 不同處理方式淨水場之 LR 值比較	94
圖 4- 18 成功淨水場及其配水點之 LR 值比較	95
圖 4- 19 馬公第一海淡廠及其配水點之 LR 值比較	96
圖 4- 20 馬公第二海淡廠及其混合馬公第一海淡水之配水點 LR 值比較 ..	98
圖 4- 21 馬公地區配水點 LSI 及 pH 趨勢	100
圖 4- 22 馬公地區各配水點 LR 趨勢	101

摘 要

澎湖地區因用水量逐年提高，台灣自來水公司興建海水淡化廠增加供水量，海淡廠出水水質之水中鈣、鎂離子、鹼度等濃度偏低，致水質藍氏飽和指數(LSI)呈現負值。此出水水質特性對於配水管線內面造成不同程度的侵蝕腐蝕影響，產生 pH 偏高、積砂、濁度、紅水及異味等侵蝕腐蝕現象，影響水質安全。為解決上述問題，本研究針對澎湖馬公地區各海淡廠及淨水場清水水質進行了解，同時探討各廠(場)配水管網水質變化情形，並提出控制策略如下。

馬公第一海淡廠 LSI 偏-1.0 操作，清水水質 pH 偶有超標，又鹼度過低未規範，氯鹽、硫酸鹽雖有規範但都偏高，致 LR 平均可達 10.21，造成配水系統 pH 屢有超標及紅水事件。馬公第二海淡廠 LSI 偏 0 操作，清水水質 pH 雖未超標惟仍偏高，但因鹼度略大於馬公第一海淡廠，氯鹽、硫酸鹽小於馬公第一海淡廠，致 LR 平均為 3.36，配水系統 pH 仍偶有超標及紅水事件。成功場混合成功水庫傳統處理、地下鹽井淡化、馬公第一海淡廠，傳統處理因原水 TOC 過高，添加硫酸，不利侵蝕、腐蝕性控制，而鹽淡廠未規範 LSI，造成混合清水 LSI 為-1.96~-0.9，因成功場過濾水鹼度高，致混合清水 LR 平均為 3.17，尚無 pH 超標及紅水事件。

海水淡化廠腐蝕控制策略應以源頭處理為最佳方式，即採優化礦化法。因 LSI、RSI 及 PSI 是評估水泥內襯管是否結垢或侵蝕的指標，國際上較常用為 LSI，AI 是評估石綿水泥管是否結垢或侵蝕之指標，另 LR 是無內襯鐵管是否腐蝕指標，而澎湖海淡廠現況水質規範僅訂 LSI 未能充份反應水泥之侵蝕及金屬腐蝕，衡之澎湖地區金屬腐蝕現況，除參考國外修訂 $LSI \geq 0$ ，並增訂 $LR < 0.5$ ，方能同時兼顧水泥內襯侵蝕及金屬腐蝕。

澎湖鹽淡廠均未規範侵蝕、腐蝕性參數，建議新設鹽淡廠比照海淡廠訂定 $LSI \geq 0$ ， $LR < 0.5$ ，另既有廠應研議改善。澎湖地區水庫有優養化問題，致 TOC 偏高，須加酸處理，以降低總三鹵甲烷生成潛勢，惟加酸不利配水

系統侵蝕、腐蝕控制，期冀主管機關能推行水庫 MS� 除磷及除碳實場工程。

關鍵字：藍氏飽和指數(LSI)、拉森比率(LR)、侵蝕性、腐蝕性、淡化廠、礦化塔。

Abstract

Due to the increasing water consumption in the Penghu area, Taiwan Water Corporation built seawater desalination plants to increase the water supply. The concentration of calcium, magnesium ions, and alkalinity in the effluent from the desalination plants were low, causing the Langelier Saturation Index (LSI) value negative. This water quality has different degrees of erosion and corrosion effects on the inner surface of the water distribution pipelines, resulting in high pH, turbidity, red water and odor problems, which affect the safety of water quality. In order to solve the above problems, this research initially aims at understanding and discussing water quality changes from the effluent to the distribution network of various desalination plants and water purification plants in the Magong area of Penghu, and finally proposes the following control strategies.

The LSI of Magong No. 1 Seawater Desalination Plant was usually operated at -1.0, and the pH of the clean water was occasionally exceeded the standard, and the alkalinity was too low and not regulated. Although the chloride and sulfate were regulated, but they were both high, resulting in an average LR of 10.21, consequently there were frequent occurrences of excessive pH and red water in distribution system. The LSI of Magong No. 2 Seawater Desalination Plant was usually operated at 0. Although the pH of the clean water was not exceeded the standard, it was still high, but because the alkalinity was slightly higher than that of Magong No. 1 Seawater Desalination Plant, and the chloride and sulfate were lower than those of the Magong No. 1 Seawater Desalination Plant, causing an average LR of 3.36, and the pH of distribution system was still occasionally exceeded the standard and red water events were happened. The Cheng Kung water purification plant effluent was the mixture from the effluent

of traditional treatment of the reservoirs, groundwater desalination, and the Magong No. 1 Seawater Desalination Plant. Due to high TOC of the reservoirs, traditional treatment should add sulfuric acid to control THMs, which was unfavorable for erosion and corrosion control, and the effluent of groundwater desalination plant was not regulated LSI, resulting in the mixed effluent LSI being -1.96~-0.9. However due to the high alkalinity of the effluent of traditional treatment, the average LR of the mixed effluent was 3.17, therefore there were no events of excessive pH and red water.

Erosion and corrosion control for seawater desalination plants should be based on source treatment as the best method, that is to optimize mineralization. Because LSI, RSI and PSI are indicators for cement lined pipes to evaluate scaling or erosion, LSI is more commonly used internationally, AI is an indicator for asbestos cement pipes to evaluate scaling or corrosion, and LR is an indicator for unlined iron pipes to evaluate corrosion, but the current water quality specifications of the Penghu seawater desalination plants only regulate LSI, which cannot fully reflect the erosion of cement and metal corrosion, and according to corrosion condition of metal pipes In Penghu area, except for reference to the foreign nations to revise of $LSI \geq 0$, and the addition of $LR < 0.5$, therefore it will take into consideration both cement lining erosion control and metal corrosion control.

The groundwater desalination plants in Penghu area have not been regulated the erosion and corrosion indicators. It is recommended for a new plants to regulate $LSI \geq 0$ and $LR < 0.5$ the same as seawater desalination plants. In addition, the existing plants should be discussed and improved. Reservoirs in the Penghu area have problems with eutrophication, resulting in high TOC. Acid

treatment is required to reduce the potential of total trihalomethane formation. However, addition acid is not good for the erosion and corrosion control of the water distribution system. It is hoped that the responsible authorities can implement MSL(Multi-Soil-Layer) engineering project to remove phosphorus and carbon.

Key words: LSI, LR, aggressive, corrosive, desalination plant, mineralization tower.

第一章 前言

1.1 計畫緣起

澎湖地區因水庫及及下水源缺乏，加上觀光及商業發展，用水量逐年提高，故台水公司興建海水淡化廠增加供水量。

海淡廠出水質雖符合飲用水質標準，惟水中鈣、鎂離子、鹼度等濃度偏低，致水質藍氏飽和指數(LSI)呈現負值。此供水質特性對於配水管網線內面、用戶分水鞍造成不同程度的腐蝕影響，造成積砂、濁度、紅水及異味等腐蝕副產物問題，影響水質安全，並導致民怨，傷害自來水公司形象。此外，管線腐蝕所造成漏水問題除了造成供水水壓不足亦會降低自來水事業售水率並提高供水成本，進一步導致修補及抽換管線的經濟損失。為解決並改善上述供水腐蝕性問題，對澎湖地區海淡廠營運現況及各處理單元出水水質進行了解，建立基本資料，同時探討各段配水管網水質變化情形，並提出改善對策，以提供自來水事業相關單位參考應用。

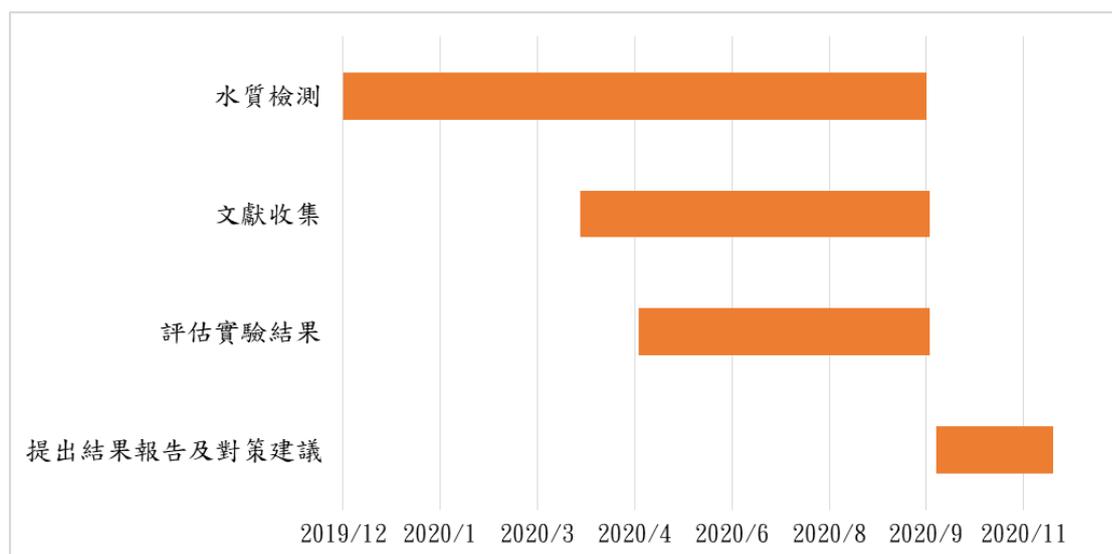
1.2 計畫目標

蒐集並整理國內外文獻有關管線腐蝕，配合實驗現況提出澎湖地區海淡廠最適化出水水質之限值範圍，以提供自來水事業相關單位參考應用。

1.3 預期成果

建立海淡廠最適化出水水質之限值範圍，降低海淡廠出水水質腐蝕性，提升供水品質，減少民怨。

1.4 計畫進度



澎湖地區供水管線腐蝕狀況圖

第二章 文獻回顧

2.1 澎湖地區供水情形概述

2.1.1 供水概述

澎湖縣由 90 座島嶼組成，面積 126.864 平方公里。年平均降雨量約 1,000mm，遠低於蒸發量(1,500mm)，地面水源可靠度低。早期地下深井水長期超抽，水位急劇下降，水質亦有鹹化現象，故海淡水源已由「補充水源」轉為「主要水源」。

澎湖地區之自來水系統分為馬公白沙、西嶼、望安、七美及吉貝等 5 大系統，由台灣自來水公司（以下簡稱台水公司）負責營運，地理位置為位處台灣海峽之一系列離島，水源包括海淡水、湖庫及地下水源等，各供水系統分佈如圖 2- 1(行政院「離島地區供水改善計畫第二期」，108)。



圖 2- 1 澎湖地區主要供水系統

因湖庫規模小且降雨量不穩定，地下水井因有鹽化趨勢須持續減抽，使得水資源的蓄存相當困難，又因觀光人口增加使得用水量大增，因此近年來海水淡化廠逐漸成為穩定供水的主要設施，至 106 年止海淡廠之供水已約占總供水量 50%(圖 2- 2) (行政院「離島地區供水改善計畫第二期」，108)，其供水地位與日俱增。

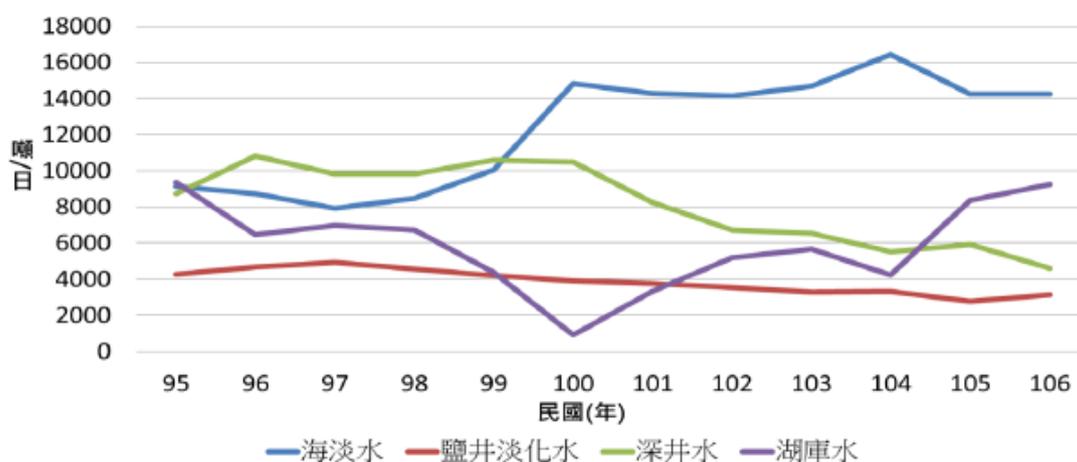


圖 2-2 各水源之年供水趨勢

目前澎湖地區總供水人口數 97,651 人，供水普及率為 93.46 %，其中馬公系統供水人口數 71,991 人，供水區域包含馬公 23 里、湖西 22 村、澎南 6 里，總供水量 25,740CMD，其中海淡水 61.8%；鹽井淡化水 8.9%；深井水 18.2%；水庫水 11.1%，詳如圖 2-3 澎湖地區各海淡廠分布圖



圖 2-3 澎湖地區各海淡廠分佈圖

目前澎湖本島主要由兩個淨水場供水：成功淨水場、馬公海淡廠，馬公海淡又分馬公第一(再分 1 場及 2 場)及第二海淡廠，如圖 2-4 馬公地區供水現況圖。

馬公第一海淡廠，下設 1 場(10,000CMD 千附)及 2 場(3,000CMD 國統)於 5,000 噸烏崁清水池混合，供往湖西地區，途經林投淨水場，該場內有 300 噸及 1,000 噸清水池，300 噸清水池於不足量時偶抽地下水補充，供林投鄰近地區，1,000 噸清水池則來源全為海淡水。另馬公第二海淡廠(4,000CMD 國統)與烏崁清水池出水幹管混合後再分送澎南地區、馬公配水管網(石泉里及前寮里等)。其中澎南地區另有地下水補注。

成功淨水場由三股不同處理方式之清水混合之後再送至馬公配水系統。參考圖 2-4 第一股是專管由烏崁 5,000 噸清水池支援補注入成功淨水場清水池，第二股是成功水庫傳統處理後的清水、第三股則是鹽井淡化處理後的清水，三股清水混合後再送馬公配水系統。

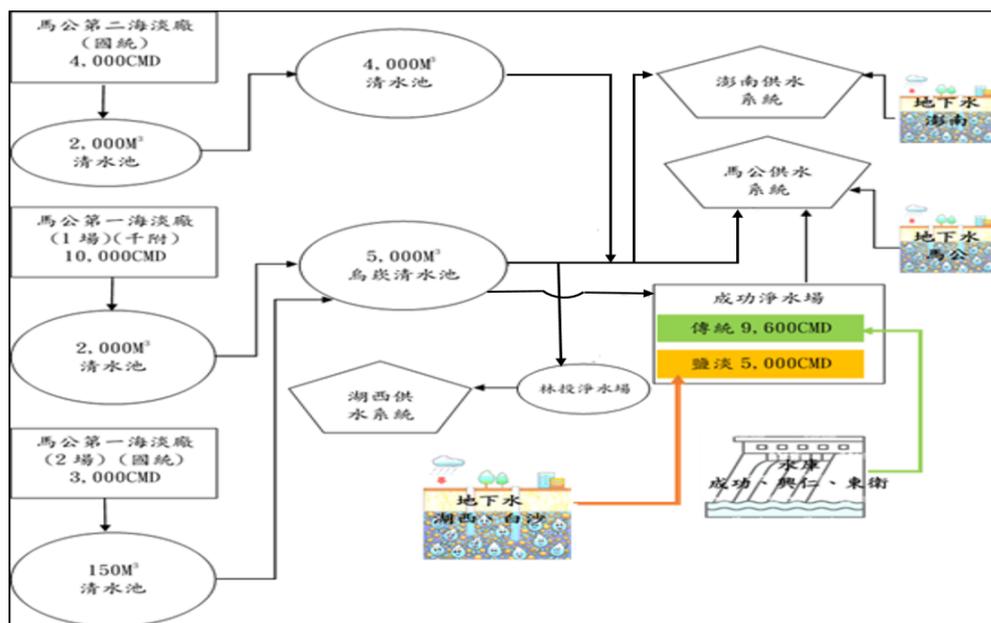


圖 2-4 馬公地區供水現況圖

2.1.2 馬公海淡廠之合約概述

1. 澎湖馬公第一海淡廠 1 場

A. 承攬商：由台水公司與千附實業股份有限公司議定「民間參與增建馬公 5,500 噸海水淡化廠興建及營運案投資契約」

B. 工作範圍

(1)澎湖馬公新建 5,500 CMD 海水淡化廠之新建與營運

(2)既設馬公 7,000 CMD 海水淡化廠之整建與營運

(3)既設望安 400CMD 海水淡化廠之整建與營運。

C. 許可年限：自雙方簽訂本契約之翌日起算，共計 21 年(自 96 年 6 月 8 日至 121 年 6 月 8 日)，包括「興建期間」及「營運期間」。但依契約之規定提前終止或展延者，許可年限隨之提前或展延。

D. 保證營運量：除契約另有約定者外，台水公司承諾依契約之決標單價每日向承攬商購買新建馬公 5,500CMD 海水淡化廠及既有馬公 7,000CMD 海水淡化廠計 10,000 ($\pm 2\%$) 立方公尺、既

有望安 400CMD 海水淡化廠 400(±2.5%) 立方公尺之淡化水，即台水公司承諾購買淡化水總量為 10,400CMD。

- E. 淡化處理後水質：在海水水溫 10°C ~ 30°C 間，總溶解固體量 (T.D.S) 在 41,000 mg/L 以下時，淡化後之水質須符合表 2- 1 及表 2- 2 水質限值。

表 2- 1 馬公第一海淡廠(1 場)淡化水每天檢驗項目及限值表

項 目	單 位	限 值
大腸桿菌群 (單一水樣) (Coliform Ggroup)	MPN/100mL(多管發酵法)	≤1
	CFu/100mL(濾膜法)	≤1
總菌落數、單一水樣	CFU/mL	≤10
濁度	NTU	≤0.5
色度	鉑鈷單位	<5
臭度	初臭數	<3
pH 值	無	7.0 ~ 8.5
氯鹽	mg/L	≤200
總溶解固體量	mg/L	≤400
自由有效餘氯	mg/L	0.5~1.0
蘭氏飽和指數(LSI)	(依計算)	±1

表 2- 2 馬公第一海淡廠(1 場)淡化水每月檢驗項目及限值表

項 目	單 位	限 值
硝酸鹽氮(以氮計)	mg/L	≤10.0
亞硝酸鹽氮(以氮計)	mg/L	≤0.05
氨氮(以氮計)	mg/L	≤0.05
鐵	mg/L	≤0.05
錳	mg/L	≤0.02
銅	mg/L	≤1.0
鋅	mg/L	≤5.0
總硬度(以 CaCO ₃ 計)	mg/L	≤150
氟鹽(以 CN 計)	mg/L	≤0.05
氟鹽(以 F 計)	mg/L	≤0.8
硫酸鹽 (以 SO ₄ ⁻² 計)	mg/L	≤250
鉛	mg/L	≤0.05
鉻(總鉻)	mg/L	≤0.05
鎘	mg/L	≤0.005

項	目	單	位	限	值
	銀	mg/L		≤ 0.05	
	汞	mg/L		≤ 0.002	
	砷	mg/L		≤ 0.01	
	硒 (elenium)	mg/L		≤ 0.01	
	鋇 (Barium)	mg/L		≤ 2.0	
	銻 (Antimony)	mg/L		≤ 0.01	
	鎳 (Nickel)	mg/L		≤ 0.1	
	硼 (Boron)	mg/L		≤ 1	
	總三鹵甲烷	mg/L		≤ 0.03	
	三氯乙烯	mg/L		≤ 0.005	
	四氯化碳	mg/L		≤ 0.005	
	1,1,1-三氯乙烷	mg/L		≤ 0.20	
	1,2-二氯乙烷	mg/L		≤ 0.005	
	氯乙烯	mg/L		≤ 0.002	
	苯	mg/L		≤ 0.005	
	對-二氯苯	mg/L		≤ 0.075	
	1,1-二氯乙烯	mg/L		≤ 0.007	
	酚類	mg/L		≤ 0.001	
	陰離子界面活性劑 (MBAS)	mg/L		≤ 0.5	
	安殺番	mg/L		≤ 0.003	
	大利松	mg/L		≤ 0.005	
	巴拉松	mg/L		≤ 0.02	
	一品松	mg/L		≤ 0.005	
	亞素靈	mg/L		≤ 0.003	
	溴酸鹽 (Bromate)	mg/L		≤ 0.01	
	丁基拉草	mg/L		≤ 0.02	
	2,4-地 (2,4-D)	mg/L		≤ 0.07	
	巴拉刈 (Paraquat)	mg/L		≤ 0.01	
	納乃得 (Methomyl)	mg/L		≤ 0.01	
	加保扶 (Carbofuran)	mg/L		≤ 0.02	
	滅必蝨 (Isoprocarb)	mg/L		≤ 0.02	

項	目	單	位	限	值
	達馬松 (Methamidophos)		mg/L		≤0.02

2.澎湖馬公第一海淡廠 2 場

- A. 承攬商：由台水公司與國統實業股份有限公司議定「澎湖增設三千噸套裝海淡機組廠淡化水採購契約」
- B. 工作範圍：由廠商自行全額投資，於台水公司澎湖馬公第一海水淡化廠旁之既有土地上興建 3,000 噸/日海淡機組廠，完工後並負責 4 年內所有之操作、運轉、維修等工作，使本廠每日產製合格淡化水 3,000 立方公尺 (M³) 且需有 1,500CMD 之備載水量，以敷緊急用水時期。
- C. 許可年限：本契約有效期限(108 年 8 月 20 日至 112 年 8 月 20 日)為台水公司會同認定出水合格後書面通知開始購水日起 4 年，時因馬公第二海淡 4,000 噸已進入試營運階段，後又有 6,000 噸將增設，屆時已無此廠存在必要，故簽定年限較短。
- D. 保證營運量：每日產製合格淡化水 3,000 立方公尺 (M³) 且需有 1,500CMD 之備載水量，以敷緊急用水時期。
- E. 淡化處理後水質：原海水經過淡化後，應符合表 2-3 水質要求。

表 2-3 澎湖馬公第一海淡廠(2 場)淡化水每天檢驗項目及限值表

項	目	單	位	最大限值
大腸桿菌群 (Coliform group) 單一水樣	NPN/100mL (多管發酵法)			1
	CFU/100mL (濾膜法)			1
總菌落數 單一水樣	CFU/mL			10
濁度	NTU			0.5
色度	鉑鈷單位			<5
臭度	初臭數			<3
pH 值	無			6.0~8.5
硝酸鹽氮(以氮計)	毫克/公升 mg/L(ppm)			10.0

項 目	單 位	最大限值
亞硝酸鹽氮 (以氮計)	mg/L	0.05
氨氮(以氮計)	mg/L	0.05
鐵	mg/L	0.05
錳	mg/L	0.02
氯鹽	mg/L	200
總溶解固體量 (以環保署認可方式測 定)	mg/L	400
蘭氏飽和指數 (LSI)		-1 至+1
總硬度 (以 CaCO ₃ 計)	mg/L	150

3.澎湖馬公第二海淡廠

- A. 承攬商：由台水公司與國統實業股份有限公司簽定「馬公增建 4,000 噸海水淡化廠(馬公第二海水淡化廠第一期)新建工程暨委託代操作維護」。
- B. 工作範圍：應一次完成全期設計取水量 46,000CMD 之取、排水管及取水站土木結構之興建，其餘處理設備及機電設施等僅興建至一期預定取水量至少 15,000CMD 所需。
- C. 許可年限：自雙方簽訂本契約之翌日起算，共計 15 年(自 104 年 12 月 31 日至 122 年 12 月 31 日)，包括「興建期間」及「代操作期間」。
- D. 保證營運量：15 年代操作維護期間，除甲方允許及非歸責於乙方之原因，每日實際產水量不得低於 4,000m³
- E. 淡化處理後水質：15 年代操作維護期間，淡化後之水質應符合表 2-4、表 2-5 與表 2-6 之水質標準。

表 2-4 澎湖馬公第二海淡廠淡化水每天檢驗項目及限值表

項目	單位	限值
大腸桿菌群(單一水樣)	MPN/100mL(多管發酵法)	≤1.0

項目	單位	限值
(Coliform Group)	CFU/100mL (濾膜法)	≤1.0
總菌落數、單一水樣	CFU/mL	≤10
濁度	NTU	≤0.4
色度	鉑鈷單位	<4.0
臭度	初嗅數	<2.4
pH 值	無	6.0 ~ 8.5
氯鹽 (以 Cl ⁻ 計)	mg/L	≤200
總溶解固體量	mg/L	≤300
自由有效餘氯	mg/L	0.3~0.9
總硬度 (以 CaCO ₃ 計)	mg/L	≤150
蘭氏飽和指數 (LSI)	無	±0.5

表 2- 5 澎湖馬公第二海淡廠淡化水每月檢驗項目及限值表

項目	單位	限值
硝酸鹽氮 (以氮計)	mg/L	≤8.0
亞硝酸鹽氮 (以氮計)	mg/L	≤0.05
氨氮 (以氮計)	mg/L	≤0.05
鐵	mg/L	≤0.05
錳	mg/L	≤0.02
銅	mg/L	≤0.8
鋅	mg/L	≤4.0
總硬度 (以 CaCO ₃ 計)	mg/L	≤150
氰鹽 (以 CN ⁻ 計)	mg/L	≤0.04
氟鹽 (以 F ⁻ 計)	mg/L	≤0.64
硫酸鹽 (以 SO ₄ ²⁻ 計)	mg/L	≤200
鉛	mg/L	≤0.008
鉻 (總鉻)	mg/L	≤0.04
鎘	mg/L	≤0.004
銀	mg/L	≤0.04
汞	mg/L	≤0.0016
砷	mg/L	≤0.008
硒 (elenium)	mg/L	≤0.008
鋇 (Barium)	mg/L	≤1.6
銻 (Antimony)	mg/L	≤0.008
鎳 (Nickel)	mg/L	≤0.08
硼 (Boron)	mg/L	≤1
總三鹵甲烷	mg/L	≤0.064

項目	單位	限值
三氯乙烯	mg/L	≤0.004
四氯化碳	mg/L	≤0.004
1,1,1-三氯乙烷	mg/L	≤0.16
1,2-二氯乙烷	mg/L	≤0.004
氯乙烯	mg/L	≤0.0016
苯	mg/L	≤0.004
對-二氯苯	mg/L	≤0.006
1,1-二氯乙烯	mg/L	≤0.0056
酚類	mg/L	≤0.0008
陰離子界面活性劑 (MBAS)	mg/L	≤0.4
安殺番	mg/L	≤0.0024
大利松	mg/L	≤0.004
巴拉松	mg/L	≤0.016
一品松	mg/L	≤0.004
亞素靈	mg/L	≤0.0024
溴酸鹽 (Bromate)	mg/L	≤0.008
丁基拉草	mg/L	≤0.016
2,4-地 (2,4-D)	mg/L	≤0.056
巴拉刈 (Paraquat)	mg/L	≤0.008
納乃得 (Methomyl)	mg/L	≤0.008
加保扶 (Carbofuran)	mg/L	≤0.016
滅必蟲 (Isoprocarb)	mg/L	≤0.016
達馬松 (Methamidophos)	mg/L	≤0.016

表 2-6 澎湖馬公第二海淡廠每季檢驗項目及限值表

項目		單位	最大限值
消毒副產物	鹵乙酸類 (Haloacetic acids) (本管制項目濃度係以檢測一氯乙酸 (Monochloroacetic acid, MCAA)、二氯乙酸 (Dichloroacetic acid, DCAA)、三氯乙酸 (Trichloroacetic acid, TCAA)、一溴乙酸 (Monobromoacetic acid, MBAA)、二溴乙酸 (Dibromoacetic acid, DBAA) 等共 5 項化合物 (HAA ₅) 所得濃度之總和計算之。)	mg/L	0.06
	亞氯酸鹽 (Chlorite) (僅限添加氣態二氧化氯消毒之 供水系統)	mg/L	1.0
發揮	二氯甲烷 (Dichloromethane)	mg/L	0.02

項目		單位	最大限值
	鄰-二氯苯 (1,2-Dichlorobenzene)	mg/L	0.6
	甲苯 (Toluene)	mg/L	1.0
	二甲苯 (Xylenes) (本管制項目濃度係以檢測鄰-二甲苯 (1,2-Xylene)、間-二甲苯 (1,3-Xylene)、對-二甲苯 (1,4-Xylene) 等共 3 項同分異構物所得濃度之總和計算之。)	mg/L	10
	順-1,2-二氯乙烯 (cis-1,2-Dichloroethene)	mg/L	0.07
	反-1,2-二氯乙烯 (trans-1,2-Dichloroethene)	mg/L	0.1
	四氯乙烯 (Tetrachloroethene)	mg/L	0.005
農藥	靈丹 (Lindane)	mg/L	0.0002
戴奧辛 (Dioxin) 本管制項目濃度係以檢測 2,3,7,8-四氯戴奧辛 (2,3,7,8-Tetrachlorinated dibenzo-p-dioxin -2,3,7,8-TeCDD), 2,3,7,8-四氯呋喃 (2,3,7,8-Tetra chlorinated dibenzofuran, 2,3,7,8-TeCDF) 及 2,3,7,8-氯化之五氯 (Penta-), 六氯 (Hexa-), 七氯 (Hepta-) 與八氯 (Octa-) 戴奧辛及呋喃等共十七項化合物所得濃度, 乘以世界衛生組織所訂戴奧辛毒性當量因子 (WHO-TEFs) 之總和計算之, 並以總毒性當量 (TEQ) 表示。(淨水場周邊 5 公里範圍內有大型污染源者應每年監測乙次, 如連續兩年檢測值未超過最大限值, 自次年起檢驗頻率得改為兩年一次。)		皮克-世界衛生組織-總毒性當量/公升 (pg-WHO-TEQL)	3.0
鉬 (Molybdenum) (淨水場取水口上游周邊 5 公里範圍內有半導體製造業、光電材料及元件製造業等污染源者, 應每季檢驗一次, 如連續兩年檢測值未超過最大限值, 自次年起檢驗頻率得改為每年檢驗一次。)		mg/L	0.07
銦 (Indium) (淨水場取水口上游周邊 5 公里範圍內有半導體製造業、光電材料及元件製造業等污染源者, 應每季檢驗一次, 如連續兩年檢測值未超過最大限值, 自次年起檢驗頻率得改為每年檢驗一次。)		mg/L	0.07

項目	單位	最大限值
鋁 (Aluminium) (本管制項目濃度係以檢測總鋁形式之濃度) (本項目依台水公司管控標準為準)	mg/L	0.16 陸上颱風 警報期間 水源濁度 超過 500NTU 時，及警 報解除後 三日內水 源濁度超 過 1000NTU 時，鋁標 準不適 用。

2.1.3 馬公海淡廠水質契約限值

馬公各海淡廠水質之契約限值因簽約當下的時空背景，內容各有不同，彙整如表 2- 7。承攬商之操作模式亦各有不同，對於 LSI 之調整，國統公司採礦物塔方式，千附公司則採加藥方式。

表 2- 7 馬公海淡廠出水水質契約限值

承攬商		千附	國統	國統
出水量		10, 000CMD	3, 000CMD	4, 000CMD
項目	合約限值 單位	場站 馬公第一海 淡廠(1 場)	馬公第一海 淡廠(2 場)	馬公第二海 淡廠
大腸桿菌群	MPN/100mL	1.0	1.0	1.0
總菌落數	CFU/1mL	10	10	10
濁度	NTU	0.5	0.5	0.4
色度	鉑鈷單位	5	5	4.0
臭度	初嗅數	3	3	2.4
pH 值	-	7.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5
氯鹽	mg/L (as Cl)	200	200	200
總溶解固體量	mg/L	400	400	300
自由有效餘氯	mg/L	0.5~1.0	-	0.3~0.9
總硬度	mg/L(as CaCO3)	-	150	150

藍氏飽和指數 (LSI)	-	-1~+1	-1~+1	-0.5~+0.5
硝酸鹽氮	mg/L(as N)	-	10.0	-
亞硝酸鹽氮	mg/L(as N)	-	0.05	-
氨氮	mg/L(as N)	-	0.05	-
鐵	mg/L	-	0.05	-
錳	mg/L	-	0.02	-
合約期限		96.6.8~ 121.6.8	108.8.20~ 112.8.20	104.12.31~ 122.12.31 (107.12.31 試營運)

2.2 現有管種使用現況

自來水水管的使用最早可追溯至西元前 500 年羅馬人使用鉛管建置輸水管道系統，之後西元 1300 年左右，英國開始使用鐵管輸送飲用水，至西元 1800 年左右，美國開始在各大城市使用鑄鐵管。

台灣於 1899 年日治時代由日人在淡水鎮興建自來水設施，開始台灣第一個城市自來水供給，而後自來水管材質隨著時代的演進而有不同歷程，時至今日台灣地區所使用的管材種類繁多，台水公司現使用之管種有塑膠管(PVCP)、耐衝擊塑膠管(HIWP)、高密度聚乙烯管(HDPEP)、鑄鐵管(CIP)、延性鑄鐵管(DIP)、預力混凝土管(PSCP)、鋼襯預力混凝土管(PCCP)、鋼管(SP)、丙烯晴-丁二烯-苯乙烯塑膠管(ABS)和不銹鋼管(SSP)等。

DIP 具有高強度、高延展性、耐衝擊及可塑性，逐漸取代原本使用之鑄鐵管(CIP)；PVCP 及 HIWP 同為塑膠管類，均有重量輕、抗電蝕性

性、耐腐蝕性及接頭具伸縮可撓性等優點，相較之下 HIWP 又有更好耐衝擊性能；另 ABSP 亦有好的耐衝擊強度及耐酸、鹼腐蝕性。

台水公司至今所埋設之各管種管線長度為 6 萬 3,484 公里，其中塑膠管(PVCP)因價廉質輕，廣泛用於口徑小於 200mm 之導送配水及大部分用戶接水管，佔總管線長度的 50.65%，佔比最高，但其強度較金屬管種低、較易破裂，所以近年由延性鑄鐵管(DIP)或耐衝擊硬質塑膠管(HIWP)取代，使用比例有逐年降低的趨勢，如表 2-8、圖 2-5 及圖 2-6 所示。DIP 至 108 年底埋設長度為 2 萬 7,281 公里，佔總長度 42.97% 僅次於塑膠管，是 100mm 口徑以上幹管之主要使用管材，而為解決管線腐蝕及因水質劣化所帶來的各種問題，DIP 亦發展於管材內面塗裝各種保護塗層以減緩鐵管腐蝕的影響，至今為止，台水公司所使用的 DIP 主要水泥砂漿為內襯保護。

如表 2-9 為 108 年澎湖地區各管種長度，其中塑膠管(PVCP)佔總管線長度的 60.41%，比例最高，延性鑄鐵管(DIP)雖僅占比 13.21%，但已有逐年增加趨勢(103 年 57,343 公尺占 9.5%)，耐衝擊硬質塑膠管(HIWP) 占比 17.30%(103 年 65,604 公尺 10.90%)亦逐年增加，其他管種如玻璃纖維管、白鐵、ABSP 合計約佔 8.76%。

表 2-8 台水公司各管種長度

年度	塑膠管	延性鑄鐵管	鑄鐵管	混凝土管	耐衝擊硬質塑膠管	鋼管	其他	小計
104	34,414	21,535	1,141	1,289	765	568	261	59,972
105	33,781	22,741	1,134	1,260	797	566	259	60,539
106	33,304	24,133	1,130	1,253	818	561	260	61,458
107	32,727	25,605	1,131	1,245	832	569	259	62,369
108	32,154	27,281	1,123	1,242	857	569	258	63,484
108 年比例	50.65%	42.97%	1.77%	1.96%	1.35%	0.90%	0.41%	100%

註：1. 計算單位為公里
 2. 塑膠管包含 PVCP、HDPEP 等塑膠管總合
 3. 其他包含玻璃纖維管、白鐵等

表 2-9 澎湖地區各管種長度

年度	塑膠管	延性鑄鐵管	鑄鐵管	混凝土管	耐衝擊硬質塑膠管	鋼管	其它	小計
108	360,105	78,719	138	1,293	103,095	514	52,193	596,057
108 年比例	60.41%	<u>13.21%</u>	0.02%	0.22%	<u>17.30%</u>	0.09%	8.76%	100%

註：1. 計算單位為公尺

2. 塑膠管包含 PVC/P、HDPEP、PVC/P/PE 等塑膠管總合

3. 其他包含玻璃纖維管、白鐵、ABSP 等

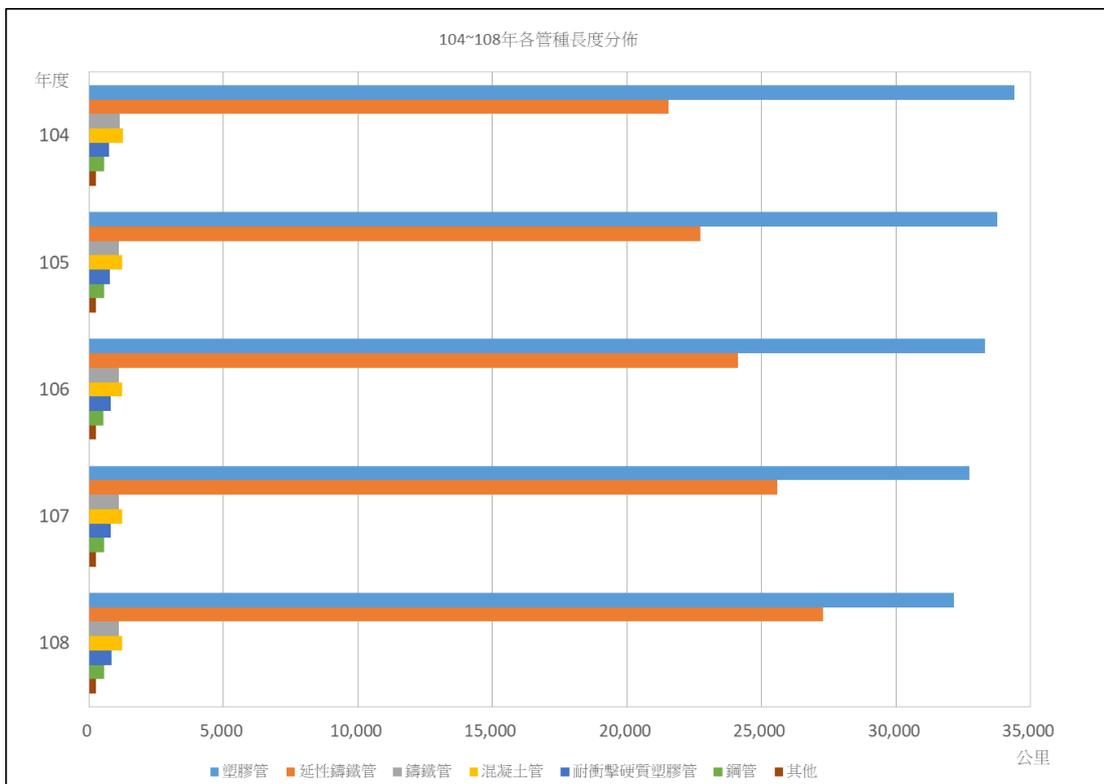


圖 2- 5 104~108 年度各管種長度分佈

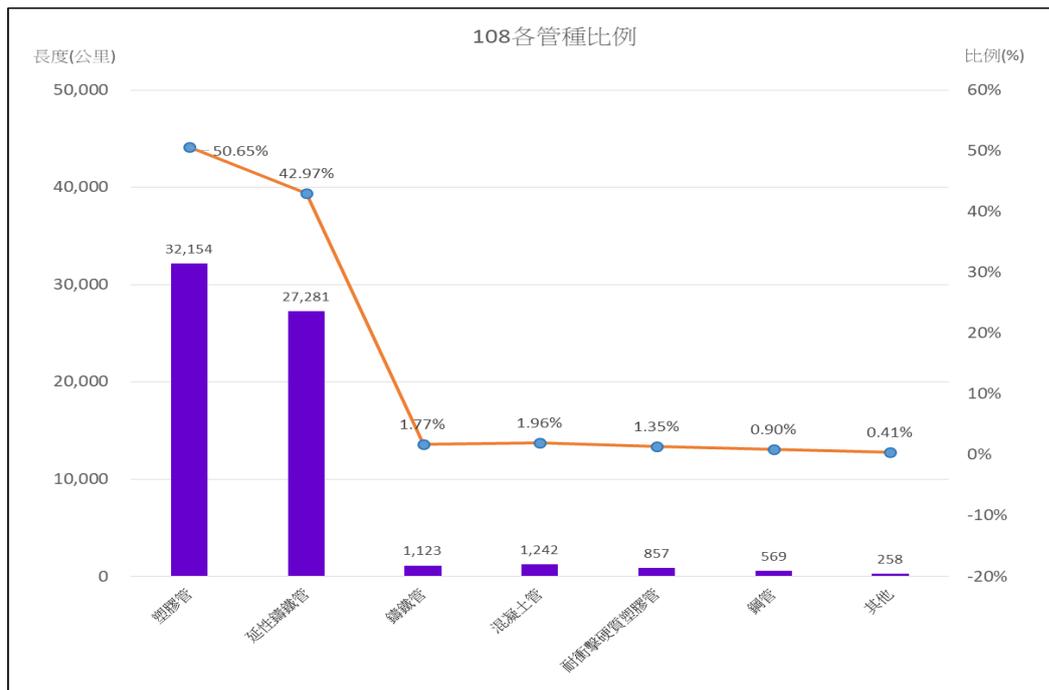


圖 2- 6 108 年度各管種長度及比例

2.3 腐蝕原理及種類

侵蝕性(aggressiveness)是指水的化學特性與水泥基質中的某些礦物發生化學反應，形成導致基質物理破壞的產物，從而破壞材料的完整性，供水管為水泥材料。腐蝕性(corrosiveness)是指水和供水管線中金屬成分之間的電化學反應可能導致金屬溶解和金屬鹽沉澱，從而導致點蝕，結瘤，紅水等。

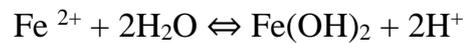
2.3.1 腐蝕原理

腐蝕(corrosion)可定義為由於與環境發生反應而造成的材料損失，其依反應機構可分類為化學性腐蝕(Chemical corrosion)及電化學性腐蝕(Electro chemical corrosion)(P.S., Syed., 2008)。惟若腐蝕是由物理性原因所造成之損壞，如擦傷(galling)、磨損(wear)、沖蝕(erosion)或化學性腐蝕拌隨著物理性損傷，如腐蝕-沖蝕

(corrosion-erosion)、腐蝕-擦傷(corrosion-galling)等現象則不屬於腐蝕(Uhlig, 1991; 康世芳等人, 2003)。

一般使用於飲用水管線材質有塑料，混凝土或金屬材質等（例如鋼，鍍鋅鋼，球墨鑄鐵等）製成。塑料和混凝土管傾向於耐腐蝕。金屬管線腐蝕則是金屬離子因電化學作用從金屬釋放到水中的一連串電化學變化的過程。在某些環境條件下，金屬管材會因管的特性、管周圍的土壤、水質影響和雜散電流而發生腐蝕。這是由於金屬之間的電位差不同，溶液中離子影響，或 pH 引起的電化學電子交換的結果(CDC 網頁，2020)。

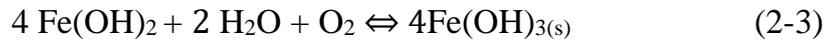
自來水輸配水管因上述原因於管材內發生溶解或化學物沈澱成為內面腐蝕，這些溶解或沈澱之化學物質稱為腐蝕副產物。台水公司所使用之送水管線以 DIP(延性鑄鐵管水泥內襯)為主，所發生電化學反應如式(2-1)及式(2-2)(AWWA, 1986)所示：



在含溶氧的清水系統中，鑄鐵管發生腐蝕之機構模式如圖 2- 7 所示(AWWA, 1986)，氫離子在陰極接受電子而被還原成氫分子，與水中溶氧反應形成水，使陰極無法形成極化保護現象而加速腐蝕作用，故水中若缺乏溶氧、餘氯、硝酸根離子等強氧化劑，則腐蝕速率將降低。

另一方面陽極鑄鐵表面發生氧化反應釋放出電子，形成亞鐵離子(Fe^{2+})，而後再與水中溶氧反應進一步氧化形成正 3 價氫氧化鐵 $\text{Fe}(\text{OH})_3$

沈澱物，如式(2-3)，其顏色為橙色或橘褐色，即常見之鐵銹(康世芳等人，2003)。



沈積在陽極之鐵銹若因水流速太大而被沖出管線，即自來水發生“紅水”之原因。

此外，pH 亦是影響鑄鐵管腐蝕之重要原因之一，研究指出，在 pH<4.0 時，氫離子是腐蝕速率之主要控制因素，pH 愈低腐蝕速率愈快，但當 pH>6.0 時，溶氧則成為主要控制因素(Rich, 1963)。

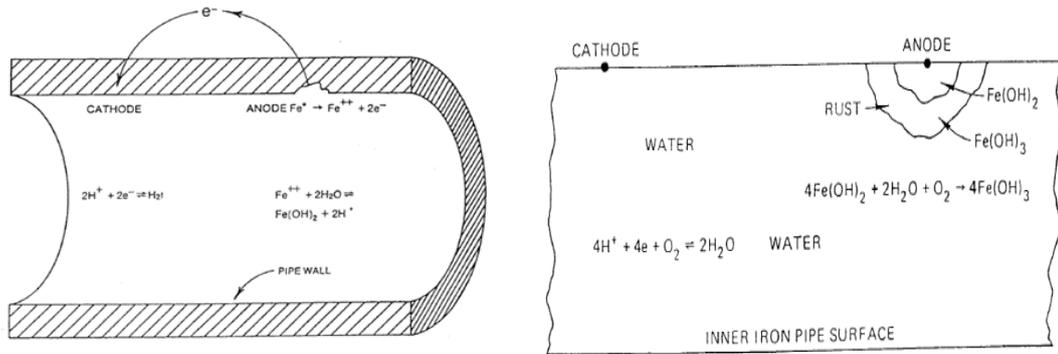


圖 2-7 延性鑄鐵管之腐蝕模式

2.3.2 防蝕目的

管內腐蝕之發生主要決定於管材種類與管內自來水水質特性，腐蝕發生時將衍生衛生、健康及經濟等三方面問題(AWWA, 1989)。而腐蝕影響供水之物化性質及生物穩定性，更直接與飲用水之安全性有關(Kirmeyer, et al., 1999)，因此必須有適當之管內防蝕，以使水安全損害能降至最低，茲將管內防蝕目的分述如下(康世芳等人，2003)：

(1) 衛生考量

金屬管線因發生腐蝕而有金屬溶出及腐蝕副產物產生，使自來水產生鐵銹味或紅水色度等問題，不僅使自來水用戶因紅水造成洗滌衣

物或自常生活的困擾，更讓用戶對飲用水安全產生疑慮，而改喝包裝水或礦泉水，實有衛生不佳之觀感。

(2)健康考量

金屬管材如銅管、鉛管、鍍鋅管、鑄鐵管等，因腐蝕金屬溶出而使水質金屬離子含量超過飲用水水質標準而危害人體健康。鉛含量過高時，易造成嬰幼兒聽力、視力及學習力降低；銅含量過高時，則容易引起胃、腸疾病或肝、腎的損傷等等。

(3)經濟考量

管材腐蝕會縮短使用壽命、增加漏水率、減少輸水能力，據學者研究指出，美國 100 個大城市每年因腐蝕造成之經濟損失約 3.75 億美元，但若確實施行防腐措施則可控制費用僅需 0.27 億美元(Hudson,1976)。波士頓市以 NaOH 調整 pH 以控制鉛銅溶出，平均每人每年所需之費用 0.59 美元(Karalks, 1983)，由上述案例可知控制好管材腐蝕實可節省可觀之管線維護更換費用。

2.3.3 腐蝕種類

金屬管材發生腐蝕原因一般可分為電化學性腐蝕及化學性腐蝕，電化學性腐蝕乃因電流、電位差之影響，如水管附近之設備漏電，而在自來水管上形成電流流動，或因兩種不同材質的管材之電位差不同而造成管材腐蝕(張伯鴻，2004)。

化學性腐蝕則因管材所埋設周圍的土壤環境，而於水管外面所引起的腐蝕，或因水質的差異，所引起的內面腐蝕。腐蝕的種類大致可分為八類(Uhlig, 1991)，即(1)均勻腐蝕(uniform corrosion)、(2)電位差腐蝕(galvanic corrosion)、(3)縫隙腐蝕(crevice corrosion)、(4)點蝕(pitting corrosion)、(5)晶粒間腐蝕(intergrane corrosion)、(6)選擇性腐蝕(selective corrosion)、(7)沖蝕腐蝕

(erosion corrosion)及(8)應力腐蝕(stress corrosion)。瞭解腐蝕的種類及特性，以減少或控制腐蝕之發生。而自來水輸送管線上常見的腐蝕以下列六種為主(Shock, 1999)：(1)均勻腐蝕、(2)電位差腐蝕、(3)點蝕、(4)縫隙腐蝕、(5)沖蝕腐蝕及(6)生物腐蝕。各種腐蝕特性概述如下：

(1) 均勻腐蝕(uniform corrosion)：

均勻腐蝕為腐蝕中最常見的一種類型，其特徵就是在整個金屬相當大的表面積上，很均勻地進行化學或電化學反應。金屬層因反應愈來愈薄，一直到完全腐蝕損壞。例如將一片鋼片或鋅片浸入稀硫酸中，整個金屬表面會以均勻的速率溶入酸中，均勻腐蝕是對金屬最快速及大量的腐蝕。

(2) 電位差腐蝕(galvanic corrosion)：

電位差腐蝕是因兩種不同之金屬接合而成之水管(如鍍鋅鐵管)，當將此水管置於導電性溶液中，金屬間因活性不同產生電位差而發生的腐蝕。活性大的金屬(鋅)容易放出電子為陽極，而活性小的金屬(鐵)接受電子，是為陰極。將兩種金屬放在一起，因電流流動之腐蝕即為電位差腐蝕。

(3) 點蝕(pitting corrosion)：

點蝕為不均勻腐蝕，通常在管材表面形成點或小孔，由有缺陷的表面、缺洞或沉積處開始形成。點蝕常在高濃度腐蝕性離子如氯離子及溶氧存在下加速腐蝕。此種腐蝕常發生在貯存槽，當有水及空氣存在下腐蝕沿水平面往下成長。但在銅管，點蝕則不易被發現。圖 2-8 為 ASTM G46 所定義之常見之點蝕型態。

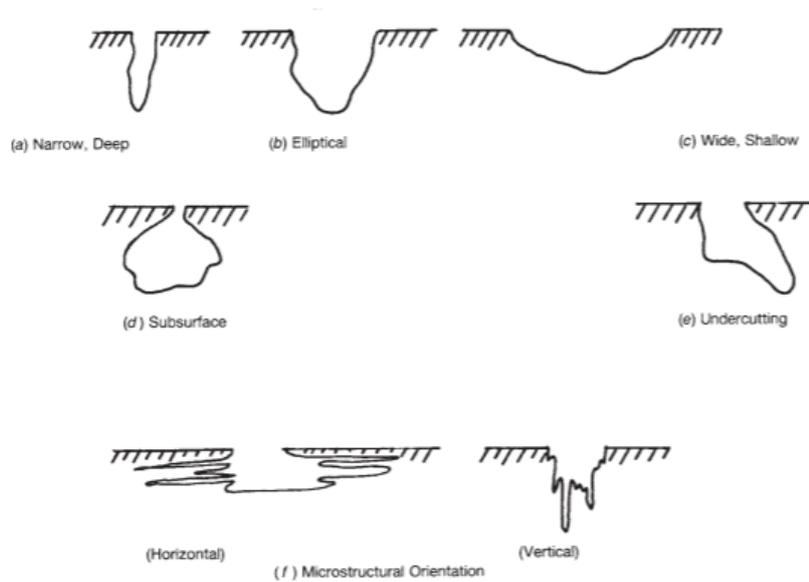


圖 2-8 常見之點蝕型態

(4) 縫隙腐蝕(crevice corrosion)：

縫隙腐蝕發生的原因大都因酸度、氧氣及溶解離子的改變及缺少腐蝕抑制物質而造成。這種腐蝕發生的位置常出現在裂縫接頭、墊圈等焊接處及表面沉積物上，因在縫隙留有少量溶液而導致之腐蝕，故又稱墊圈腐蝕。

(5) 沖蝕腐蝕(erosion corrosion)：

沖蝕腐蝕主要是因管線水流流速過快而沖走管內金屬氧化物和碳酸鈣等的保護膜，有時也會刮除金屬之管壁。此種沖蝕是由於水流高速流動、擾動、流動方向突然改變及流體中懸浮物質和管壁的摩擦作用，而導致管材表面凹陷或穿孔，彎度較大的彎管更容易發生沖蝕。

(6) 生物腐蝕(microbial corrosion)：

生物腐蝕是由於管材和流體中有機體(如細菌、藻類和黴菌等)反應所形成，它常造成管材的破壞及味道問題，此類生物一般存在於有機體縫隙中或在腐蝕堆積物中，形成保護區，不易清除。細菌能存在腐蝕瘤

狀物中，氯和氧都無法摧毀他們，必須以機械方式清除，最好的預防的方法是避免系統中有死角和停滯不動的水。

2.3.4 影響管線腐蝕之重要因素

影響管線腐蝕之因子可分為(1)物理因素、(2)化學因素、(3)生物因素等，其間交互作用影響，茲說明如下(Singley, J. E., et al, 1985；薛少俊, 1987；江弘斌等人, 2005)：

(1) 物理因素：

- 1.流速：流速有著矛盾的效應。腐蝕抑制劑可藉由高流速傳送到管材各部形成保護膜，但流速過高卻也容易引起沖蝕腐蝕而將保護膜沖除或因高流速增加溶氧而造成管材腐蝕，而流速過低又常因水流停留而造成點蝕等效應，因此適當地水力設計控制水流速度可防止或降低腐蝕現象。
- 2.溫度：溫度亦是複雜影響因子，有些系統因加熱除氧而減少腐蝕，也能增加 CaCO_3 沈澱形成保護膜，但也有可能過多的 CaCO_3 沈積造成水管阻塞。

(2) 化學因素：

- 1.pH 值：pH 為影響腐蝕的重要因子，當 $\text{pH} < 5$ 時，鐵和銅快速均勻腐蝕，當 $\text{pH} > 9$ 時，鐵和銅則被保護不被腐蝕，當 pH 介於 5~9 之間時，若無保護膜則發生點蝕。
- 2.鹼度：鹼度為中和酸或鹼之能力，其中檢項為 $[\text{HCO}_3^-]$ 、 $[\text{CO}_3^{2-}]$ 、 $[\text{OH}^-]$ 等，鹼度和 pH 改變及緩衝能力有關，是影響水質穩定的重要因素。
- 3.溶氧：氧在腐蝕反應中是主要電子接受者，能使金屬鐵被腐蝕為 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 而造成紅水，理論上溶氧應愈少愈好，但實務上不易達到，再者，在無氧環境中，亦有硫酸鹽還原菌將硫酸鹽還

原為硫化物而引起腐蝕之效應。

- 4.餘氯：餘氯與水反應產生鹽酸及次氯酸，降低 pH 值而加速腐蝕，但若缺乏餘氯亦有可能於管線末端因微生物滋生而造成生物腐蝕。
- 5.總溶解固體量(TDS)：較高的 TDS 可增加電導度而加快氧化還原反應、因而增快腐蝕反應，但 TDS 亦能增加防蝕保護膜形成的機會。
- 6.硬度：硬度是由水中鈣、鎂離子所引起，一般而言硬度較高的清水較容易於管材表面形成保護膜不被腐蝕。
- 7.氯鹽及硫酸鹽：此兩種離子增加會加速管材點蝕的速度，降低氯鹽及硫酸鹽能降低腐蝕速度。
- 8.硫化氫：硫化氫腐蝕金屬後產生無保護性之金屬硫化物，會與鐵、銅管等造成“黑水”。
- 9.矽酸鹽和磷酸鹽：此兩種物質可形成保護膜，藉提供水與管材表面間之障礙物而降低或抑制腐蝕，這些化學物質常依使用性加於水中。

(3) 生物因素：

好氧和厭氧細菌皆可導致腐蝕，水處理系統中最常見的腐蝕菌即是鐵氧化菌及硫酸鹽還原菌，微生物和鐵離子形成銹蝕瘤並藏在瘤狀物中，無法輕易去除，尤其在管材死角或低流速區域最容易發生生物腐蝕。

2.4 國、內外有關配水管線侵蝕性及腐蝕性之控制策略

在一般情況下，完全消除腐蝕是困難的，但可藉由各種防蝕技術減緩腐蝕的速率，主要以 3 個面向考量防蝕方法：(1)調整水質以減少管

材腐蝕；(2)在水管內面塗裝保護層；(3)選用適當之管材及工程設計使系統不受腐蝕影響(薛少俊，1987)。

最常用的腐蝕控制技術有適當的管材選擇與系統設計、調整水質、使用腐蝕抑制劑、陰極防蝕及塗裝保護層等 5 種方式(Singley，1985，薛少俊，1987)。

2.4.1 適當的管材選擇與系統設計

腐蝕可因適當的管材及良好的工程設計減緩，通常材料和環境的反應愈低，其腐蝕性愈低。重要的工程設計考慮因素包括：A、避免管線死角、銳利轉角和水流滯留區域；B、適時排水；C、控制水管流速；D、減化機械應力；E、避免凹凸不平的熱分配；F、提供適當的絕緣；G、管線應設計易於偵測、維修及抽換；H、消除埋在地下之系統電路。

中華民國自來水協會於 107 年「自來水配水管材選用策略之研究—以北水處供水管網為例」之研究指出配水管材選用對策如下表 2- 10(陳明州等人，2018)：

表 2- 10 自來水管線選用策略表

供水環境	風險情形	配水管材選用對策
水質：以 DIP 水泥內襯管作為探討風險情形之對象		
用戶較少之高地區	若採用 DIP 水泥內襯管，因管徑小，單位水體內襯面積較大，長期易造成 pH 值超標。	採用 DIP 粉體內襯管
新開發之重劃區	若採用 DIP 水泥內襯管，開發時間長，易造成自來水滯留使 pH 值超標	採用 DIP 粉體內襯管
管網系統管末區	若採用 DIP 水泥內襯管，流速低且流量小，易造成 pH 值超標	採用 DIP 粉體內襯管
防蝕：以 DIP 水泥內襯管作為探討風險情形之對象		
水質藍氏指數偏低區	若採用 DIP 水泥內襯管，易腐蝕 DIP 水泥內襯	採用 DIP 粉體內襯管

溫泉或海邊鹽化區	溫泉或海鹽造成 DIP 外部腐蝕	考量採用 DIP 包覆 PE 套膜或 HDPE 管
----------	------------------	---------------------------

2.4.2 調整水質

水管腐蝕受水質特性影響甚大，配水管線工程實施後，其管材和工程設計已成定案，實務上不易經常開挖改善腐蝕狀況，因此，利用淨水場操作調整水質，是較經濟可行之防蝕技術(李嘉榮等人，2015)。

台灣地區目前尚未訂定 LSI 國家標準，而台水公司轄區部份水質 LSI 值偏低，是否調整水質管控以達成 LSI 之標準值，仍有討論之空間。

調整水質之重要檢項如下：

- (1) 調整 pH 值：配水系統中，調整 pH 值是降低腐蝕最普遍的方式，氫離子在化學反應中是電子接受者，易造成水質酸化，而酸性水因高濃度 H^+ 造成腐蝕，pH 值在 6.5 以下通常屬均勻腐蝕，介於 6.5 及 8.0 之間則屬孔蝕。另，對於水泥砂漿內襯之管材，在低 pH 值易有碳酸鈣溶出現象，但當增加 pH 值到臨界值時，則可增加碳酸根離子濃度，使鐵管產生非溶解性的碳酸鹽沈澱，進而保護鐵管不受侵蝕。
- (2) 鹼度控制：影響碳酸鈣的溶解度參數有 pH、鹼度、硬度、 CO_2 及 TDS 等水質因素，藉由控制鹼度可使碳酸鈣沈澱形成水管保護膜，有時 pH 無法完全控制腐蝕性水質，因此需要增加化學藥劑如消石灰($Ca(OH)_2$)、苛性鈉($NaOH$)、蘇打(Na_2CO_3)或碳酸氫鈉($NaHCO_3$)等，除可調整 pH 值亦提供鹼度以促進碳酸鈣保護膜的形成。
- (3) 溶氧控制：溶氧在水質腐蝕中佔有三個重要因素：A、溶氧是化學反應中電子接受者，促使腐蝕反應持續進行；B、氧氣在陰極中與氫氣(H_2)反應使其去極化，因而加速腐蝕反應；C、氧氣和鐵離子

反應形成氫氧化鐵造成金屬孔蝕。因此去除溶氧可減少腐蝕發生，但考量經濟效應，一般若水源為地下水，因其水質特性溶氧較低，且水質較佳故添加之消毒氯劑也少，故可考慮控制溶氧以防蝕。一般宜將溶氧控制在 0.5~2.0 mg/L，以降低腐蝕速度(張伯鴻，2004)。

(4) 海水淡化廠的出水須考量水質腐蝕問題，一般應用上以「碳酸鈣穩定法」為主，依操作方式不同主要分為:1.「礦物塔」，將 RO 出水通過開放式石灰石(碳酸鈣)濾床，利用水中溶解性二氧化碳，將碳酸鈣反應為碳酸氫鈣、2.「石灰-二氧化碳」，於 RO 出水添加氫氧化鈣溶液，利用水中溶解性二氧化碳，將氫氧化鈣反應為碳酸氫鈣。國外例如科威特的 Doha 海淡廠(Al-Awadi & Abdel-Jawad, 1987)以薄膜逆滲透進行海水淡化，同時比較三種後處理方法，分別為 1.礦物塔(鹼性濾床)、2.石灰-二氧化碳法、以及(3)氫氧化鈉中和法等三種方法，得到礦物塔及石灰-二氧化碳法對於鹼度提升明顯優於氫氧化鈉中和法，但就成本而言，石灰-二氧化碳法及氫氧化鈉添加劑量亦是必須考量之重點。(張伯鴻，2004)

(5) 民國 93 年之張伯鴻、葉宣顯等人所做研究「海水淡化廠出水最佳防蝕方式研究」針對澎湖烏坎海淡廠出水經不同化學調理方式，得到之結果重點摘錄如下：

- 1.烏坎海淡廠出水因 TDS、鹼度、鈣離子含量低，故為腐蝕性水質，可加入適當之鹼劑及鈣以恢復水質化學穩定性。
- 2.調理後水質之 LSI 指標 >0.2 、RSI <8 及 CCPP >0 時，腐蝕速率可得到適當之抑制。
- 3.該研究所得石灰-二氧化碳法為有效之調理方式，在石灰約 60mg/L 濃度下，加入足量 CO_2 ，pH 控制在 8.0 左右，使 LSI 約達 0.2 左右，可有良好之防蝕效果。

- 4.經礦物塔調理之出水可得到與石灰-二氧化碳法相似之水質，因而有相似之防蝕效果，但礦物塔內大理石填充料之粒徑大小對調理效果有相當大的影響。

2.4.3 使用腐蝕抑制劑

腐蝕可藉添加化學品在水管表面形成保護膜以減緩之，所添加化學品稱之為腐蝕抑制劑(Inhibitor)，最廣泛使用之腐蝕抑制劑有 2 種，一為物理性抑制劑：此種抑制劑是藉由吸附作用，其對固體表面有強烈親合性(affinity)，如胺類含氮化合物、含硫或氫氧基等官能基的有機物質，如氨基乙酸衍生物、脂肪族磺化物等等。另一種是化學性抑制劑：這種抑制劑通常是磷酸鹽或矽酸鹽，其會在金屬表面形成薄膜，間接對陽極和陰極產生干涉作用進而抑制腐蝕(薛少俊，1987)。

2.4.4 陰極防蝕

陰極防蝕的原理就是降低欲保護的金屬電位，使腐蝕不會發生，如圖 2-9，在鋼鐵與環境的作用型態可分為腐蝕區、鈍化區及免疫區，將腐蝕區鐵的電位降低至免疫區內，便不會發生鋼鐵的腐蝕(羅俊雄等人，2006)。

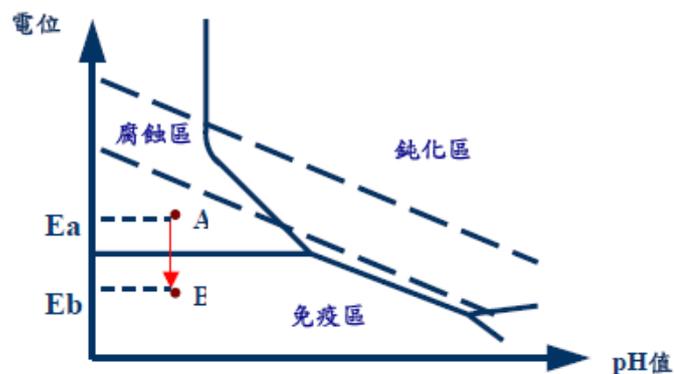


圖 2-9 鋼鐵與環境作用型態之分佈

陰極防蝕有二種方法，一為犧牲陽極(鋅)法、一為外加電流法。前者是利活性較大、電位較低的金屬為陽極，活性小、電位高的鐵管便為陰極，則鐵管便不會因電位差被腐蝕，一般鍍鋅鐵管便是利用此種原理保護鐵(陰極)不被腐蝕，是為犧牲陽極(鋅)法。後者則是以外部電源提供陰極與陽極之間的電位差，使其電位趨於平衡，則陽極不再因為電位低而產生腐蝕，是為外加電流法。

2.4.5 塗裝保護層

台水公司於 104 年辦理「澎湖地區送配水管管種最適化探討」(李嘉榮等人, 2015)指出此種防蝕技術則是在管材內壁以機械方式塗裝一層保護膜，常見的塗裝物質有焦煤漆(coal-tar enamels)、環氧漆(epoxy paint)、水泥砂漿(cement mortar)、聚乙烯(polyethylene)等。其中鑄鐵管內襯水泥砂漿保護層是目前台灣地區自來水公司應用最廣之管材。

該研究針對水泥內襯 DIP 及環氧樹脂粉體塗裝 DIP 等兩種管材指出下列結論及建議：

- (1)在無密封塗層保護時使用水泥襯裡之 DIP，容易發生水質異常情形。因此，自來水於供水管網內停留時間過久，尤其是管線末端地區，將造成 pH 值飆高，進而影響供水水質及管線使用之耐久性。
- (2)「環氧樹脂粉體塗裝 DIP」因無水泥襯裡故水質不受影響，即使使用海淡水於浸泡時間長達 1 個月，水質仍然相當穩定，其鑄鐵管抗壓強度大、抗震能力佳、使用年限長達 40 年以上等優點，惟國內製作技術及管材檢驗方法需再進一步研討，目前尚無法實施採用。
- (3)在「環氧樹脂粉體塗裝 DIP」製作技術發展成熟前，建議澎湖地區目前仍以選用 HIWP 較為適宜。

(4)「環氧樹脂漆密封塗層 DIP」於安裝分水鞍以銜接用戶給水外線時會發生密封塗層剝落而影響管中水流，甚至造成阻塞用戶進水設備之情形。因此，建議該種管線不使用於 ϕ 300mm 以下且需銜接用戶給水外線之配水管。

2.5 管線腐蝕評估方法

輸水管線的腐蝕程度評估方法，包含直接式及間接式兩種(中興工程顧問社，2004)。直接式則包含重量損失法、目測法、電阻探針法、電化學偵測法、電位及 pH 量測法、厚度量測法等 6 種，間接式包含腐蝕指標法、化學分析法及用戶訊息法 3 種(Singley, 1984; Reiber, 1988; Ferguson, 1990)。

2.5.1 直接式評估方法

「重量損失法」是將試驗管材切片後浸置於特定水質內，一段時間後再量測浸置前後管材試片之重量變化，以了解腐蝕狀況並計算腐蝕速率。「目測法」採用光學或電子顯微鏡觀測管材試片表面以判斷腐蝕程度及種類。「電位及 pH 量測法」則是藉由量測電位及 pH 推估腐蝕發生之可能性。「厚度量測法」以紫外線設備量測管材厚度，以了解腐蝕過程之變化。以上四者，雖可了解腐蝕狀況，但皆無法精準計算腐蝕速率。

「電阻探針法」需經過一段時間後以探針偵測管線水中電阻之變化以估算腐蝕速率。「電化學偵測法」則需仰賴昂貴之偵測儀器推估腐蝕情形(中興工程顧問社，2004)。

2.5.2 間接式評估方法

「化學分析法」是以腐蝕副產物為評估對象，據此訂定水質監測項目並定期檢測水質，由水質狀況推估腐蝕情形，常見之檢項有鹼度、TDS、

pH 及溫度等。「用戶訊息法」則是依據自來水用戶之問卷調查或投訴資料，進行統計分析，以判斷腐蝕現況。而一般實務上最常用之間接評估方法則為「腐蝕指標」。

2.6 腐蝕指標

腐蝕指標是依據數項水質參數，並經函數計算所得之指標值，不同研究者使用腐蝕指標時，因所考量之計算水質項目、管材種類與管材內襯等項目之不同，故水質指標多達約 10 種(Singley, 1981)，各類指標各有其發展背景及不同適用性，以下則列出幾種常用之指標加以說明：

2.6.1 藍氏飽和指標(Langelier Saturation Index, LSI)

LSI 於 1936 年由 Langelier 所提出，是目前最廣泛應用於管材的腐蝕指標，此指標是以 CaCO_3 飽和度作為是否會產生結垢或腐蝕的判斷依據。自來水公司現常用延性鑄鐵管作為輸水管材，並以含氧化鈣之水泥砂漿內襯作為管線內部保護材質(李嘉榮等人, 2015)，與 LSI 公式中所提水中之 CaCO_3 濃度關聯極大，故而發展為應用最廣之腐蝕指標。LSI 係依式(2-4)~(2-6)之反應式，考量 CaCO_3 在水中之沈澱或溶解程度，即 pH 與鹼度對 CaCO_3 溶解度之影響而計算所得。若 CaCO_3 溶解則代表水泥內襯保護膜變薄，增加金屬受腐蝕機會；相反，若 CaCO_3 沉澱則表示水中硬度與鹼度夠高而形成 CaCO_3 (s)沉澱保護膜，但過量沉澱物亦減少水管輸水斷面面積，使送水量減少，亦增加送水操作之困擾。



參考美國公共衛生協會(APHA)及美國水道協會(AWWA)合編之 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 第 20 版 (Standard Methods, 20thed., 1998)中所列之 2330 B. 飽和指標計算法 (Saturation Index by Calculation), LSI 指標值之計算函數如式(2-7)所示:

$$LSI = pH - pHs \quad (2-7)$$

式中 pH 是水管中水質實測之 pH 值, pHs 則代表 $CaCO_3$ 達飽和時系統相對之 pH 值。pHs 計算如式(2-8)所示:

$$pHs = pK_2 - pK_s + p[Ca^{2+}] + p[HCO_3^-] + 5p_{fm} \quad (2-8)$$

K_2 = 碳酸在某特定水溫下的第二解離常數

K_s = 碳酸鈣在某特定水溫下的溶解度積常數

$[Ca^{2+}]$ = 鈣離子濃度(g-moles/L)

$[HCO_3^-]$ = 碳酸氫根離子濃度(g-moles/L)

fm = 單價離子在某特定水溫下之活性係數

pK_2 、 pK_s 、與 p_{fm} 計算所需參數可由表 2- 11 求得。

LSI 值所代表之意義為(1)LSI 值 > 0 時, 表示 $CaCO_3$ 呈現過飽和狀態, 會有結垢現象, 水管內壁易形成保護膜以避免腐蝕發生; (2)若 LSI 值 < 0 , 則表示 $CaCO_{3(s)}$ 處於未飽和的狀態, 會有 $CaCO_{3(s)}$ 溶出, 有腐蝕傾向; (3)若 LSI 值 = 0, 則代表 $CaCO_{3(s)}$ 為飽和的狀態, 水質穩定, 管內將不會腐蝕也不會有沉澱結垢(張伯鴻, 2004)。

表 2- 11 LSI 指標計算參數

方程式	溫度範圍
所有成分分析充足時:	
$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^i [X_i] Z_i^2$	—
僅有導電度時:	
$I = 1.6 \times 10^{-5} C$	—
僅有總溶解固體時:	
$I = \text{TDS}/40000$	—
$p f_m = A \left[\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0.3I \right]$ (僅適用 $I < 0.5$)	—
$A = 1.82 \times 10^6 (ET)^{-1.5}$	—
$E = \frac{60954}{T + 116} - 68.937$	—
$pK_2 = 107.8871 + 0.03252849T - 5151.79/T - 38.92561 \log_{10} T + 563713.9/T^2$	273~373
$pK_s = 171.9065 + 0.077993T - 2839.319/T - 71.595 \log_{10} T$	273~363

I = 離子強度

[X_i] = 物種 i 的濃度，g-moles/L Z_i = 物種 i 的電荷數

C = 導電度，μmhos/cm

TDS = 總溶解固體物，mg/L

pY = -log₁₀ of the value of any factor Y

f_m = 單價離子的活性係數

E = dielectric constant

T = 絕對溫度，K(°C + 273.2)

K₂ = 碳酸在某特定水溫下的第二解離常數

K_s = 碳酸鈣在某特定水溫下的溶解度積常數

2.6.2 Ryznar 穩定指標(Ryznar Stability Index, RSI)

LSI 是由 Langelier 於 1936 年由理論學理推導所得，經實際應用後，Ryznar 於 1944 年加入實際運作經驗而將計算方式修改成為 RSI，為半經驗公式。其計算公式如式(2-9)所示

$$RSI = 2pH_s - pH \quad (2-9)$$

RSI 值所代表意義可分為：(1)RSI 值 < 7.0 時，CaCO_{3(s)} 會產生沉澱結垢，管內不會腐蝕。(2)RSI 值 > 7.0 時，管內則會腐蝕。RSI 數值

通常大於 0，數值越大表示腐蝕性越強，其詳細數值判斷則如表 2- 12 所示。

2.6.3 Puckorius 結垢指標(Puckorius Scaling Index,PSI)

LSI 或 RSI 計算式中皆以水中實測之 pH 作為因子計算，但有時經驗上由 RSI 判斷為微結垢型或微腐蝕性的水，實際上卻可能是腐蝕性很強的水(胡洪營等人，2015)，Puckorius 認為 pH 無法反應總鹼度的緩衝影響，故於 1979 年提出以總鹼度修正之平衡 pH 值(pH_{eq})取代原本 pH 值的公式，其公式定義如式(2-10)及(2-11)：

$$PSI = 2pH_s - pH_{eq} \quad (2-10)$$

$$pH_{eq} = 1.456 \log[AlK] + 4.54 \quad (2-11)$$

$$[AlK] = \text{水中總鹼度 } mg-CaCO_3 / L$$

PSI 修正了 pH 值，屬於純經驗指標，在實際判斷中更準確，但也受條件限制，若鹼度在 1~10 $mg-CaCO_3 / L$ 時，PSI 的計算結果與 RSI 無顯著差別，但對於其他水體，則需視情況分析。

2.6.4 侵蝕指標(Aggressive Index, AI)

AI 侵蝕指標是以鹼度及鈣離子濃度之關係計算所得之腐蝕指數，其公式如式(2-12)所示，AI 僅適用於石綿水泥管材，不適用於金屬管材(張伯鴻，2004)。

$$AI = pH + \log ([AlK] [Ca^{2+}]) \quad (2-12)$$

$$[AlK]、[Ca^{2+}] \text{單位皆為 } mg-CaCO_3 / L$$

AI 指數所代表意義如下：(1)AI 值 > 12 時，表示輸水管內會產生碳酸鈣結垢，不會腐蝕。(2)AI 值 = 10~12 時，表示輸水管線不會結垢也不會腐蝕。(3)AI 值 < 10 時，表示輸水管內將被腐蝕。

2.6.5 碳酸鈣沈澱潛勢指標(Calcium Carbonate Precipitation Potential, CCPP)

CCPP 相較上述指標是能對碳酸鈣沈澱趨勢給予更明確的量化指標，直接衡量碳酸鈣沈澱或溶解的傾向。但 CCPP 的計算相當複雜及乏味耗時，故使用性不高。AWWA 於 1996 時曾基於 Rothberg、Tamburini and Winsor Model 發展出以電腦為基礎的計算程式；而另一種方法則是透過 Caldwell & Lawrence(1953)發明的圖解法估算 CCPP。

本文參考 Peter Gebbie(Peter, 2000)所發表的方法計算並藉由 Caldwell & Lawrence diagram(圖 2-10)比對出水體中 CCPP 數值，首先了解 CCPP 之計算如下式(2-13)，其中 $[Ca^{2+}]_{sat}$ 需藉由 C-L diagram 交叉比對得出：

$$CCPP = ([Ca^{2+}] - [Ca^{2+}]_{sat}) \quad (2-13)$$

$[Ca]$ = 水中鈣離子濃度，單位 mg- CaCO₃ / L

$[Ca^{2+}]_{sat}$ = 水體中鈣離子飽和濃度(mg- CaCO₃ / L)，由 C-L diagram 比對得出

在 C-L diagram 中縱軸為酸度(Acidity)，計算方式如式(2-14)，橫軸為鹼度及鈣離子濃度之差值，以代號 C2 表示，公式如式(2-15)

$$Acidity = [Alk] \times (1 + 4.245 \times 10^6 \times 10^{-pH}) \quad (2-14)$$

$$C2 = [Alk] - [Ca^{2+}] \quad (2-15)$$

$[Alk]$ 、 $[Ca^{2+}]$ 單位皆為 mg- CaCO₃ / L

利用式(2-14)及式(2-15)算出 C2 及 Acidity，再參考圖 2-10 Caldwell & Lawrence diagram 找出 $[Ca^{2+}]_{sat}$ 即可利用式(2-13)得到 CCPP，以下舉例說明計算方法：

假設有一水體其 $[Ca^{2+}] = 19.7$ 、鹼度為 15，其單位皆為 mg- CaCO₃ / L，pH 為 7.6 則求得 CCPP 步驟如下：

$$C2 = 15 - 19.7 = -4.7 \text{ mg- CaCO}_3 / \text{L}$$

$$\text{Acidity} = 15 \times (1 + 4.245 \times 10^6 \times 10^{-7.6}) = 16.6 \text{ mg- CaCO}_3 / \text{L}$$

則縱軸為 16.7，橫軸為 -4.7，在交叉點(pointA) 參考圖 2-10 比對出 $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{sat}}$ 為 25.0 mg/L，則由式(2-13)計算可得 CCPP 值，再由表 2-12 可判斷水質穩定狀況，以本例計算結果，代表水質在中度腐蝕狀態：

$$\text{CCPP} = ([\text{Ca}^{2+}] - [\text{Ca}^{2+}]_{\text{sat}}) = 19.7 - 25.0 = -5.3 \text{ mg/L}$$

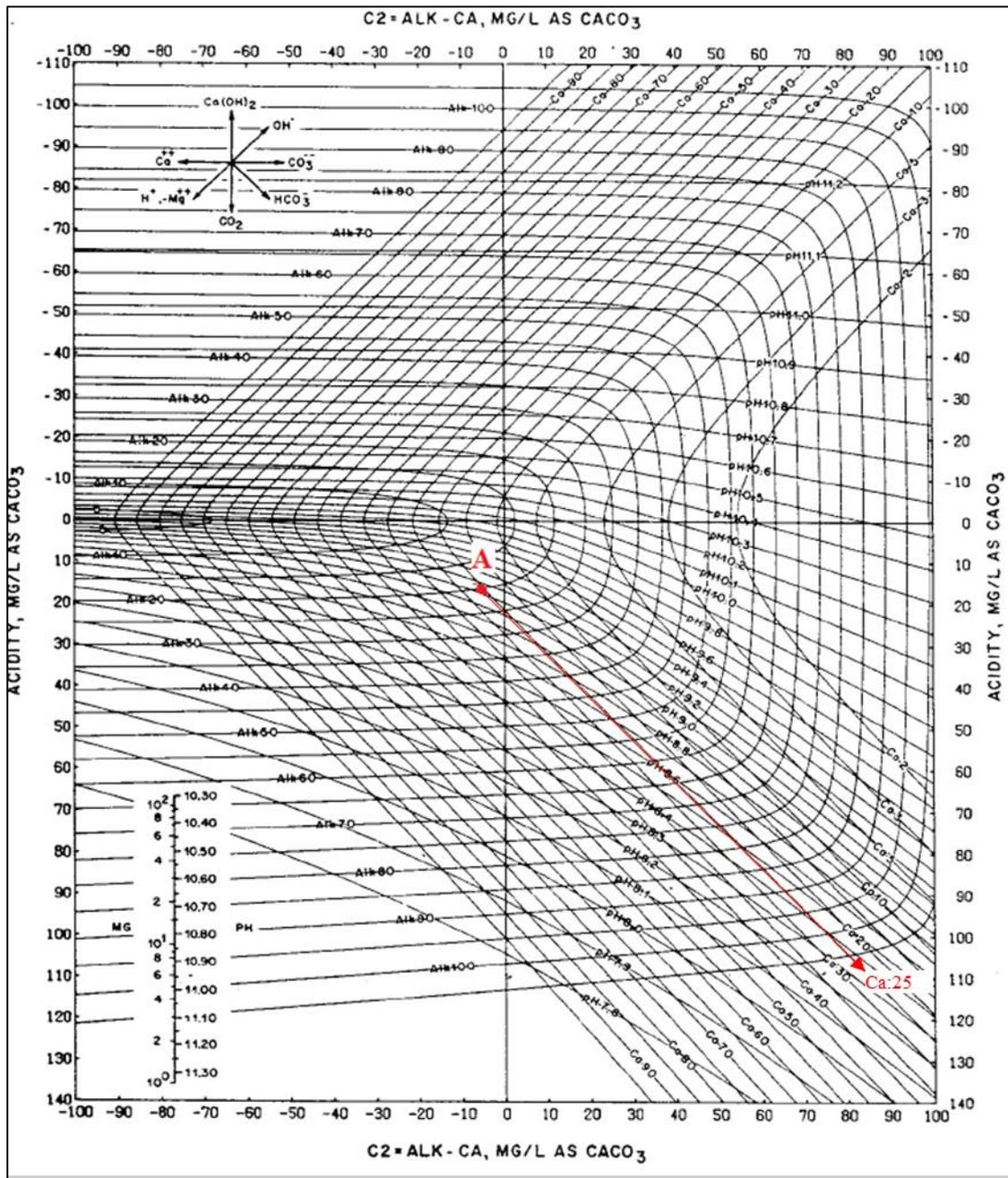


圖 2- 10Caldwell & Lawrence diagram

2.6.6 Larson 比率(LR)

上述 5 種指標皆是基於碳酸鈣的化學平衡而推演的腐蝕指數，與金屬管材的腐蝕並無直接關聯，即上開指標較適用於水泥砂漿、石棉水泥、混凝土等含有鈣離子材質內襯的管材腐蝕狀況推估，在 1957 年 Larson 及 Skold 發現水體中含有氯離子及硫酸根濃度愈高，鐵管的腐

蝕速度就愈高，但水中碳酸氫根反而會緩解鐵管的腐蝕狀況，由此現象 Larson 發展出鐵管的腐蝕指標如式(2-16)(胡洪營等人，2015，陳明州等人，2018)：

$$LR = \frac{[Cl^-] + 2[SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-]} \quad (2-16)$$

三個計算因子濃度單位皆是 mol / L

LR 也是經驗指標，非理論推導公式，LR 愈高腐蝕性愈高，但只要低於 0.5 則水質就可接受，若低於 0.2 則歸類為低腐蝕性水。

2.6.7 侵腐蝕指標綜整

各腐蝕指標有不同代表意義，其數值高低所顯示之水質狀況亦不相同，彙整如表 2- 12，其中 LSI 是目前廣為世界使用判別水質狀態的指標，日本甚至於 2012 年公佈的供水設施標準中，將 LSI 列入管控項目之一，其值應在-1.0~0.0 之間(Japan water works Association，2012)。

表 2- 12 侵腐蝕指標判斷標準

侵腐蝕指標	公式	指數標準	水質狀態
藍氏飽和指標	LSI = pH - p _{Hs}	<0	腐蝕
		=0	穩定
		>0	結垢
Ryznar 穩定指標	RSI = 2p _{Hs} - pH	4~5	嚴重結垢
		5~6	輕微結垢
		6~7	基本穩定
		7~7.5	輕微腐蝕
		7.5~9	嚴重腐蝕
		>9.0	劇烈腐蝕
Puckorius 結垢指標	PSI = 2p _{Hs} - p _{Heq}	<6	結垢
		=6	穩定
		>6	腐蝕
侵蝕指標 AI	AI = pH + log ([Alk] [Ca ²⁺])	<10	腐蝕
		10~12	穩定
		>12	結垢

侵蝕指標	公式	指數標準	水質狀態
碳酸鈣沈澱潛勢 指標	CCPP = $([Ca^{2+}] - [Ca^{2+}]_{sat})$	>0	結垢
		-5~0	穩定
		-10~-5	輕度腐蝕
		<-10	嚴重腐蝕
Larson 比率	$LR = \frac{[Cl^-] + 2[SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-]}$	<0.2 <0.5	低腐蝕性水 可接受水質

2.7 各國飲用水水質對 LSI 之規範

收集本國及國外各國飲用水水質對 LSI 之規範彙整如下表 2-13：

表 2-13 各國 LSI 規範

國家	LSI
阿拉伯	0.0~0.5
荷蘭	-0.2~0.3
以色列	≥ 0
日本	≥ -1 , 最好接近 0
馬公第一海淡廠 (1場)	-1~+1
馬公第一海淡廠 (2場)	-1~+1
馬公第二海淡廠	-0.5~+0.5

由上表可觀察出各國之 LSI 規範除我國及日本(Japan water works Association, 2012)規定大於 -1 外,其他如阿拉伯、荷蘭(KIWA, 1988)、以色列(蔡博淵等人, 2020)等國之 LSI 規定皆偏向最好為大於 0 之正值(KIWA, 1988)。

第三章 研究內容與方法

3.1 研究流程

本計畫研究流程如下：

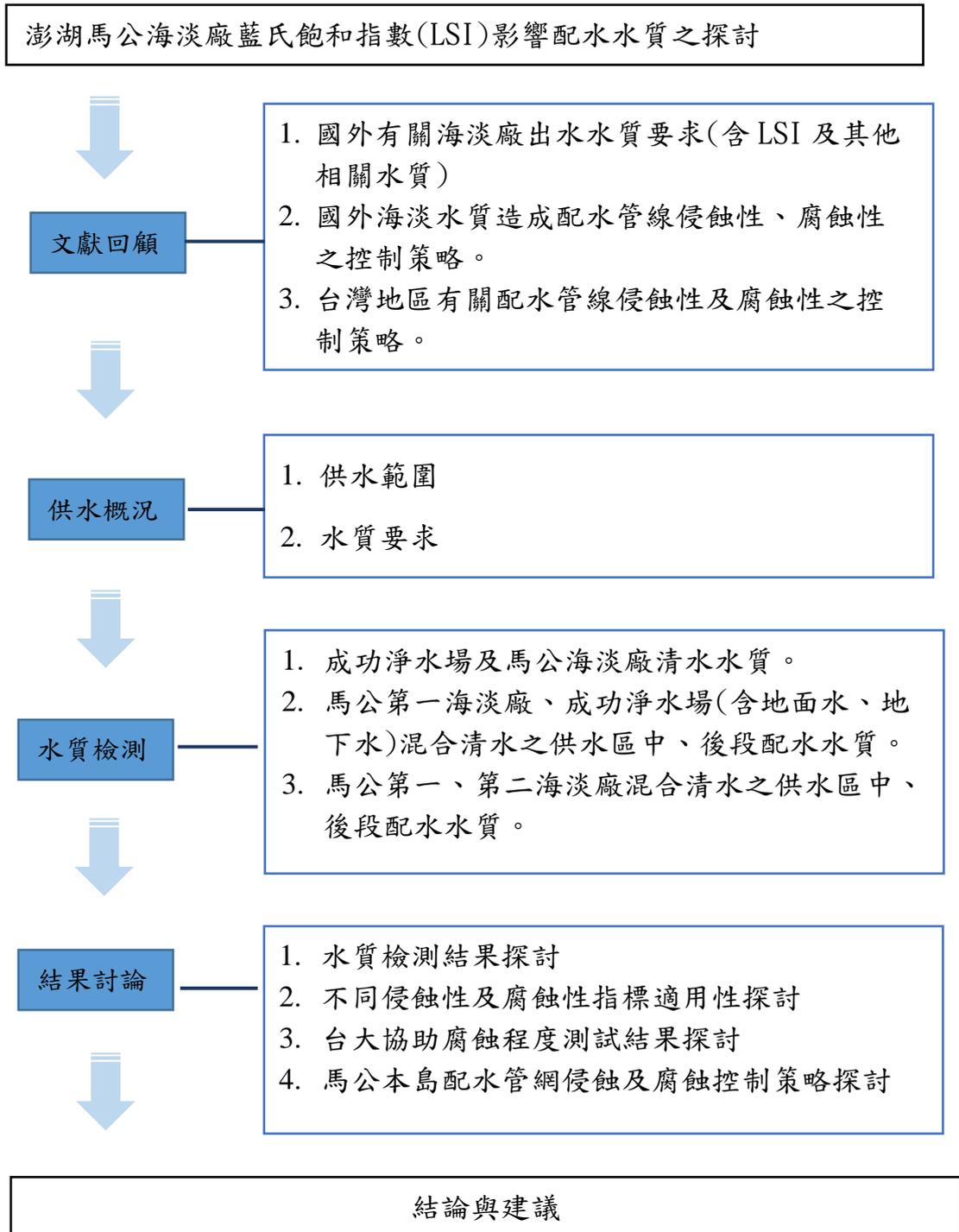


圖 3-1 研究架構流程圖

3.2 研究內容

3.2.1 澎湖馬公海淡廠營運概述：本計畫蒐集澎湖馬公各海淡廠之合約，說明各合約內容、供水範圍及水質要求等等資料。如圖 3-1 研究架構流程圖。

3.2.2 水質檢測及數據分析與整理

(1)每半月對成功淨水場、馬公海淡廠出水水質及其中段、末端各二處配水管網水質進行檢驗分析(檢驗項目包含 LSI 計算項目)建立基本資料。

(2)匯集馬公第二海淡廠 LSI 標準限縮至 ± 0.5 前後之相關水質歷史數據，檢討其成效差異。

3.2.3 套用不同侵蝕性指標(AI)及腐蝕性指標(如 LSI、RSI、PSI 等)計算其差異，分析探討適用澎湖馬公地區水質參數範圍。

3.2.4 提出澎湖馬公海淡廠出水水質造成配水管線侵蝕性及腐蝕性之控制策略，以提供台水公司相關單位參考應用。

3.3 清、配水檢測採樣點及頻率

3.3.1 傳統淨水場及海淡廠出水水質檢測

為了解成功淨水場及馬公第一、第二海淡廠之出水水質及所屬供水系統之配水水質，定期對各淨水場清水及配水點採樣及檢測分析，檢驗項目包含 LSI 計算項目，建立基本資料藉以計算 LSI 值並分析其趨勢關係。各採樣點如表 3-1、表 3-2 及圖 3-2 所示。

表 3-1 傳統淨水場及海淡廠各淨水場清水採樣點

採樣點	水樣別	採樣頻率	說明
成功傳統處理廠	快濾水	每半月	成功水庫傳統處理後之清水
成功鹽井淡化廠	淡化水	每半月	地下水井(含鹽分)處理後之清水
成功淨水場	混合清水	每半月	成功傳統處理廠快濾水、鹽井淡化水及馬公第一海淡廠
馬公第一海淡廠(1,2場)	清水	每半月	馬公第一海淡廠(1+2場)，烏坎清水池
馬公第二海淡廠	清水	每半月	馬公第二海淡廠清水池

表 3-2 本計畫配水採樣點

採樣點	系統(地區)	清水來源	配水點位	管種	流達時間
馬公市中華路 239 號	馬公系統	成功淨水場混合清水池	管中	送水管：DIP 配水管：	約 2 小時
馬公市西衛里 140 號	馬公系統	成功淨水場混合清水池	管末	中華路：ABSP 西衛里：HIWP	2~2.5 小時
湖西鄉果葉村 111 號	湖西地區	馬公第一海淡廠(1+2場)，烏坎清水池	管中	送水管：DIP、PVC、DIP	約 3.5 小時
湖西鄉北寮村 49 之 3 號	湖西地區	馬公第一海淡廠(1+2場)，烏坎清水池	管末	配水管：果葉村：HIWP 北寮村：PVC	約 4 小時
馬公市石泉里 21 號	馬公系統	馬公第一海淡廠及第二海淡廠混合清水	管中	送水管：DIP、ABSP 配水管：	約 1.5 小時
馬公市前寮里 3 之 2 號	馬公系統	馬公第一海淡廠	管末	石泉里：PVC 前寮里：HIWP	約 1.5~2 小時

		及第二海淡廠 混合清水		
--	--	----------------	--	--



圖 3-2 各採樣點相對位置

3.3.2 LSI 限縮至 ± 0.5 前後不同時間點之出水水質比較

目前馬公地區之海水淡化廠主要有馬公第一海淡廠(1場)、馬公第一海淡廠(2場)及馬公第二海淡廠等3場，分別由千附及國統2家公司承攬營運。馬公第一海淡廠(1,2場)及馬公第二海淡廠之LSI合約管控值分別為 ± 1 和 ± 0.5 ，而馬公第二海淡廠自107年12月31日開始試營運，即自即日起馬公供水系統開始有LSI= ± 0.5 之海淡水補注入用戶配水使用，因無法取得單獨馬公第二海淡廠供水之配水點，又為了解不同LSI限値之海淡水在供水系統中之水質差異，特蒐集馬公及澎南地區4個用戶配水點之pH水質數據(引用環保署環境資料庫資料)，比

較馬公第二海淡廠營運前及營運後之 pH 變化趨勢。各採樣點如表 3- 3 及圖 3- 3 所示。

表 3- 3 馬公第一、第二海淡廠配水點(環保署)

採樣點	供水系統
馬公市石泉里 21 號	馬公系統
馬公市蒔裡里 44 號	馬公系統-澎湖
馬公市鎖港里 182 號	馬公系統-澎湖
馬公市鐵線里 38-3 號	馬公系統-澎湖

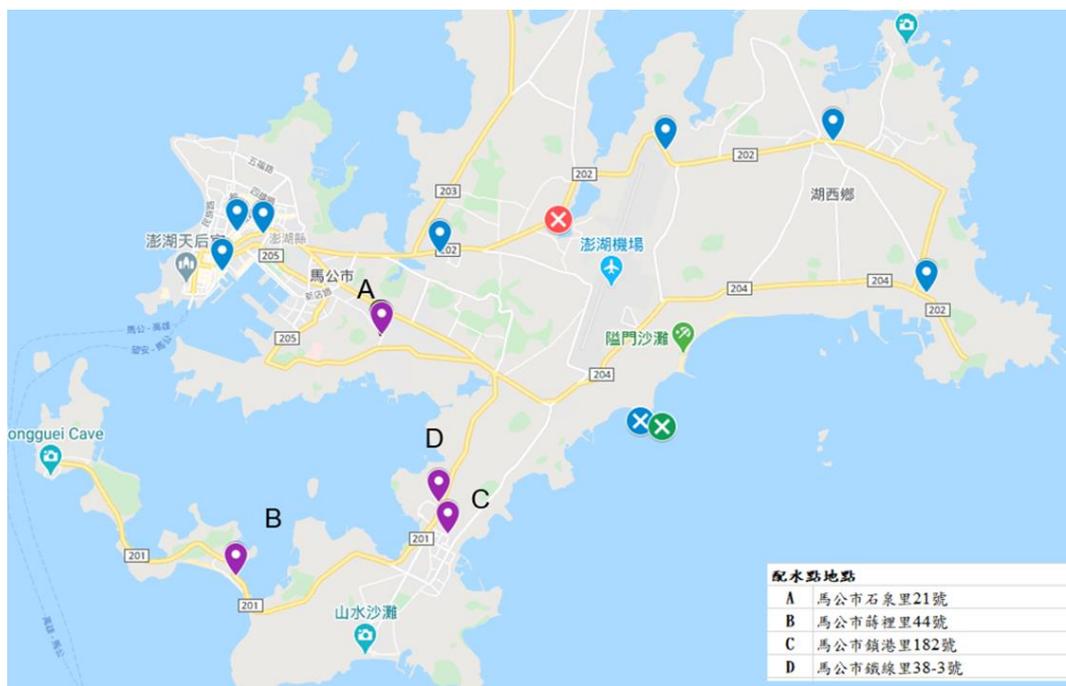


圖 3- 3 澎南地區配水點相對位置圖

3.4 電化學金屬腐蝕程度測試方法

用傳統電化學量測方法搭配新型軟體 Autolab 電化學分析儀計算水樣於 DIP 延性鑄鐵管之鐵片腐蝕速率，測試方法如下：

時間	實驗內容	試片狀態
第 1 次- 6 月中旬	以儀器測試 11 點水樣對試片之腐蝕速率： <ul style="list-style-type: none"> ◆ 5 點清水(成功場過濾水、成功場鹽淡水、成功場清水、馬公第一海淡廠清水、馬公第二海淡場清水) ◆ 6 點配水(馬公市中華路 239 號、馬公市西衛里 140 號、湖西鄉菓葉村 111 號、湖西鄉北寮村 49 之 3 號、馬公市石泉里 21 號、馬公市前寮里 3 之 2 號) 	未浸泡過之鐵片
第 2 次 -7 月下旬	以儀器測試 5 點清水(成功場過濾水、成功場鹽淡水、成功場清水、馬公第一海淡廠清水、馬公第二海淡場清水)對浸泡過鐵片之“腐蝕度”(浸泡清水後之鐵片對應該清水做電化學測試)	浸泡約 41 天之鐵片
第 3 次- 9 月中旬	方法同上	浸泡約 80 天之鐵片

3.4.1 操作儀器

(1)參考電極：Ag-AgCl 電極，提供固定的電位，以測量工作電極之電位。

(2)工作電極：在此為延性鑄鐵管之鐵片，分析物在此反應，測量工作電極與參考電極間的電位。

(3)輔助電極：Pt 電極，另一半化學反應在此發生。

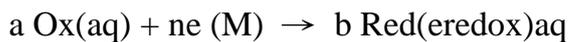
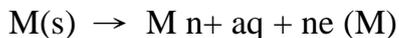
(4)恆電位儀：控制工作電極與參考電極間電位差之儀器。

(5)Autolab 電化學分析儀

3.4.2 實驗原理

金屬材料在水溶液中的腐蝕程序，本質是電化學反應，腐蝕反應涉及帶電離子通過金屬 - 電解質溶液之間界面的電子轉移反應。

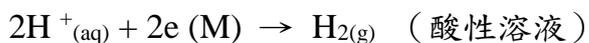
金屬氧化和水溶液中特定物種的還原，可同時在金屬表面的不同位置進行，只要這些位置是反應所須活化能最低的場所即可。在腐蝕過程中，金屬先被氧化成為帶正電的離子進入水溶液，成為金屬鹽而留在金屬表面，此為陽極反應過程；至於金屬所失去的電子，則通過金屬而流向金屬表面的另一位置，由水溶液中的還原物種所吸收，此為陰極反應過程。由此可知金屬的腐蝕乃是金屬的陽極氧化，及環境中氧化劑在陰極還原的偶合電化學反應的結果。

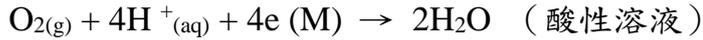


M(s)：金屬固體；Mⁿ⁺(aq)：水溶液中水合狀態的金屬離子；e⁻(M)：在金屬中的電子；Ox：氧化劑；Red：還原劑；e⁻(redox)：還原劑中的氧化還原電子。

這些電荷轉移反應，其進行有賴於金屬和溶液界面之電位差的存在。

在一般的金屬腐蝕中，陰極程序為由水溶液中氫離子的還原，或水溶液中氧分子的還原所構成，即





這些反應皆是屬於電子轉移程序，發生在金屬 - 水溶液界面。

雖然金屬溶解的陽極氧化反應的平衡電位和氧化劑在陰極的還原反應的平衡電位有所不同，但凡是由於金屬之良好的導電性能，在水溶液中之金屬自然腐蝕時，整個金屬乃是處在相同的電位，此即腐蝕電位，其值介於陰極平衡電位和陽極平衡電位間。又在腐蝕電位下，金屬溶解之陽極氧化電流乃等於氧化劑還原之陰極還原電流，此即腐蝕電流。

本實驗即是經由所測得之腐蝕電流以軟體 Autolab 電化學分析儀推算出鐵片之腐蝕程度，再利用浸置水樣時間不同之鐵片計算其腐蝕率。

3.4.3 實驗流程

分為兩個主要步驟以測得腐蝕電流

- (1) 利用 Open Circuit Potential (OCP) 模式，求得在未施加額外電壓的情況下待測(工作)電極的平衡電位，選定為下一步進行施加電壓的參考中心。
- (2) 利用 Linear Sweep Voltammetry (LSV) 模式，以上一步選定的平衡電位為掃描中心，在正負一定區間內(至少大於 50 mV)，以固定速率的方式施加額外電壓，以得到電壓與電流的關係圖

3.4.4 數據計算

- (1) 塔弗外插法 (Tafel extrapolation)：將實驗流程步驟 2 所得的結果，以零電流之電位為中心，取正負大約 0.1 mV 電位及對應電流(以 log 表示)畫出 Tafel plot。
- (2) 使用塔弗外插法由下式計算腐蝕電流，其中 K 介於 0.02~0.05V

$$I_{\text{corr}} = \left(\frac{b_a b_c}{2.30(b_a + b_c)} \right) \left(\frac{\eta}{I} \right)^{-1} = K R_p^{-1} = \frac{K}{R_p}$$

I_{corr} ：腐蝕電流， b_a ：陽極曲線塔弗斜率， b_c ：陰極曲線塔弗斜率

η ：過電壓， R_p ：極化電阻

3.5 水質檢測方法

配水檢測項目包含 pH、鹼度、鐵、錳、導電度、總溶解固體量、總硬度、鈣(Ca)、LSI 值等檢項，使用方法如下：

3.5.1 pH

使用電極法(NIEA W424.53A)，利用玻璃電極及參考電極測定樣品之電位，可得知氫離子活性，而以氫離子濃度指數（pH 值）表示，其步驟如下：

(1)pH 測定儀校正

- 1.依使用之 pH 測定儀型式及所設定之校正模式選用正確緩衝溶液。
- 2.檢查電極狀況是否良好，必要時打開鹽橋封口，再依 pH 測定儀和附屬設備使用手冊規定進行校正。
- 3.調整電極在架上的位置，使玻璃電極和參考電極皆浸在樣品中；使用組合式電極時，將玻璃圓頭部分及參考電極之液接介面浸入樣品中，以建立良好的電導接觸。
- 4.pH 測定儀至少進行二點校正，通常先以 7.0 ± 0.5 之中性緩衝溶液進行零點校正，再以相差 2 至 4 個 pH 單位之酸性或鹼性緩衝溶液進行斜率校正，此二校正點宜涵蓋欲測樣品之 pH 值，若樣品 pH 值無法在校正範圍時，可採以下方式處理：

- 如 pH 測定儀可進行第三點校正且能涵蓋樣品 pH 值時，則進行三點校正。
- 如 pH 測定儀只能進行二點校正或可進行三點校正，但無法涵蓋樣品 pH 值時，應使用另一能涵蓋欲測範圍之標準緩衝溶液查核，其測定值與參考值之差應在 0.05 pH 單位以內。
- 5.依 pH 測定儀使用之校正參數，記錄：
 - 零點電位 (mV) 或零電位 pH 值。
 - 斜率 (-mV/pH) 或 % 靈敏度。
- 6.市售 pH 測定儀，依其功能可分為自動溫度補償及手動溫度補償，其進行步驟如下：
 - 溫度補償：pH 測定儀具自動溫度補償功能時，可直接測定溫度後，自動補償至該溫度下緩衝溶液之 pH 值；溫度探棒須每 3 個月進行校正（同工作溫度計之校正方式），誤差不得大於 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，並記錄之。採用手動溫度補償時，則以經校正之溫度計先測定溫度，於設定 pH 測定儀之溫度補償鈕至該溫度後，分別調整零點電位及斜率調整鈕至該溫度下緩衝溶液之 pH 值。
 - 確認：選擇 pH 值在校正範圍內之緩衝溶液進行確認，測值與緩衝溶液在該溫度下之 pH 差值不得大於 ± 0.05 pH 單位。

(2)pH 值測定

- 1.檢測每個樣品前，電極必須完全沖洗乾淨。
- 2.將電極拭乾後置入樣品中，以攪拌器均勻緩慢攪拌，注意不應產生氣泡，俟穩定後讀取 pH 值並記錄溫度（註 2）。

3.5.2 鹼度

使用滴定法(NIEA W449.00B)，水之鹼度是其對酸緩衝能力(Buffer capacity)的一種度量。將水樣以校正過之適當 pH 計或自動操作之滴

定裝置，並使用特定之 pH 顏色指示劑，在室溫下以標準酸滴定樣品到某特定的 pH 終點時，所需要標準酸之當量數即為鹼度，其步驟如下：

(1) 樣品檢驗

- 1. 使用一吸管將 50.0 (100.0 或其他適量) mL 的樣品吸取至三角錐瓶 (吸管尖端靠近瓶底再排出樣品)。
- 2. 加數滴溴甲苯酚綠指示劑溶液 (Bromocresol green indicator solution) 後，以標準酸滴定溶液及測量 pH 值，直至 pH 4.5 以下，顏色明顯變化之特定終點，紀錄 pH 值 4.5 之標準酸滴定量，A (mL)

(2) 結果處理

$$\text{鹼度 (mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{A \times t \times 1,000}{V}$$

A：使用標準酸的體積 (mL)

N：標準酸的當量濃度

t：標準酸滴定濃度 (mg CaCO₃/L)

V：樣品體積 (mL)

3.5.3 鐵

使用 HACH/2800 多功能水質測定器，項目：Iron, Total，方法：FerroVer® Method (Method 8008)

3.5.4 錳

使用 HACH/2800 多功能水質測定器，項目：Manganese，方法：1-(2-Pyridylazo)-2-Naphthol PAN Method (Method 8149)

3.5.5 總硬度

使用 EDTA 滴定法(NIEA W208.51A)，在含有鈣和鎂離子且 pH 值維持在 10.0 ± 0.1 的水溶液中，加入少量指示劑（如 Eriochrome Black T 或 Calmagite）後，水溶液即呈酒紅色。若以乙烯二胺四乙酸（Ethylenediaminetetraacetic acid，簡稱 EDTA）之二鈉鹽溶液滴定水溶液，至所有的鈣和鎂都被螯合時，溶液由酒紅色轉為藍色，即為滴定終點，由於水溶液中必須有微量鎂離子存在，指示劑才能在達到滴定終點時清楚且明顯的變色，因此為確保水溶液中含有足量鎂離子，必須先在緩衝溶液中添加微量 EDTA 之鎂鹽，再以樣品空白分析扣除此添加量，其步驟如下：

(1)一般水樣測定

- 1.取 25 mL 或適當體積水樣（EDTA 滴定溶液之用量不超過 15 mL 為宜）置於三角燒瓶或其他適當容器內，以試劑水稀釋至 50 mL。
- 2.加入 1 至 2 mL 緩衝溶液，使溶液之 pH 為 10.0 ± 0.1 ，並於 5 分鐘內依下述步驟完成滴定。
- 3.加入 2 滴 Eriochrome Black T 指示劑溶液或 1 mL Calmagite 指示劑溶液或適量乾燥粉末狀指示劑。
- 4.慢慢加入 EDTA 滴定溶液，並同時攪拌之，直至淡紅色消失。當加入最後幾滴時，每滴的間隔時間約為 3 至 5 秒，正常的情況下，滴定終點時溶液呈藍色。
- 5.滴定時如無法得到明顯之滴定終點顏色變化，即表示溶液中有干擾物質或者指示劑已變質，此時需加入適當之抑制劑或重新配製指示劑。
- 6.最好在日光或日光燈下滴定，因普通燈泡之燈光會使藍色滴

定終點帶點紅色。

(2)結果處理

$$\text{總硬度(以碳酸鈣表示,mg/L)} = \frac{A \times B \times 1000}{V}$$

A：水樣滴定时所用 EDTA 溶液體積扣除空白分析所用 EDTA 溶液體積 (mL)。

B：100 mL EDTA 滴定溶液所對應之碳酸鈣毫克數(mg)=
$$\frac{\text{碳酸鈣標準溶液濃度 (mg/L)} \times \text{被滴之碳酸鈣標準溶液取量體積 (mL)}}{\text{滴定碳酸鈣標準溶液所使用之EDTA溶液體積 (mL)} \times 1000}$$

V：水樣體積 (mL)

3.5.6 總溶解固體量

使用 103~105°C 乾燥法(NIEA W210.58A)，將攪拌均勻之水樣置於已知重量之蒸發皿中，移入 103~105°C 之烘箱蒸乾至恆重，所增加之重量即為總固體重。另將攪拌均勻之水樣以一已知重量之玻璃纖維濾片過濾，濾片移入 103~105°C 烘箱中乾燥至恆重，其所增加之重量即為懸浮固體重。將總固體重減去懸浮固體重或將水樣先經玻璃纖維濾片過濾後，其濾液再依總固體檢測步驟進行，即得總溶解固體重，其步驟如下：

(1)水樣過濾：將水樣先經玻璃纖維濾片過濾。

(2)蒸發皿之準備：將洗淨之蒸發皿置於 103~105°C 烘箱中 1 小時，再將之取出移入乾燥器中冷卻，待其恆重後加以稱重。重複上述烘乾、冷卻、乾燥、稱重之步驟，直至前後兩次之重量差在 0.5 mg 範圍內。將蒸發皿保存於乾燥器內備用。

(3)先將樣品充分混合後，以移液管或量筒（註 2）移取固體含量約在 2.5~200 mg 間之水樣量於已稱重之蒸發皿中（註 3），並在水浴槽或烘箱中蒸乾，蒸乾過程須調溫低於沸點 2°C 以避免水樣突沸。樣

品移取過程中須以磁石攪勻。如有必要可在樣品乾燥後續加入定量之水樣以避免固體含量過少而影響結果。將蒸發皿移入 103~105 °C 烘箱內 1 小時後，再將之移入乾燥器內，冷卻後稱重。重複上述烘乾、冷卻、乾燥及稱重步驟直到恆重為止（前後兩次之重量差在 0.5 mg 範圍內）。在稱重乾燥樣品時，小心因空氣暴露及樣品分解所導致之重量改變。

3.5.7 鈣(Ca)

使用 EDTA 滴定法，當 EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid 或其鹽類)加入含有鈣與鎂之水樣後，先與鈣化合。將水樣之 pH 值充分提高，使鎂大部份成氫氧化鎂而沉澱，同時用一種指示劑只與鈣起作用，EDTA 便可用來測定鈣之量，其步驟如下：

- (1)取 50.0mL 水樣，或適當量水樣稀釋至 50mL，其含鈣量約 5-10mg，鹼度高於 300mg/L CaCO₃ 之硬水，其終點常有困難，此時可取較小量之水樣，以蒸溜水稀釋至 50mL，或用酸中和鹼度，煮沸 1 分鐘，冷卻，再滴定，因為在此法中之 pH 極高，所以水樣加鹼後須立即滴定。
- (2)加 2.0mL NaOH 溶液，或者產生 PH12 - 13 之量，攪拌加 0.1-0.2 克指示劑混合物(或 1-2 滴指示劑溶液)。慢慢滴加 EDTA 滿定液，不斷攪動至適切之終點。如用 murexide 時，可多加 1 或 2 滴滴定液以確認顏色不再加深。

(3)計算

$$\text{mg/L Ca} = \frac{A \times B \times 400.8}{\text{mL 水樣}}$$

3.6 套用不同侵蝕性及腐蝕性指標

本研究將於各海淡廠及成功淨水場之清水及其配水系統中末端計算套用不同侵蝕性及腐蝕性指標如下：

3.6.1 藍氏飽和指標(Langelier Saturation Index, LSI)

$$LSI = pH - pH_s$$

式中 pH 是水管中水質實測之 pH 值，pH_s 則代表 CaCO₃ 達飽和時系統相對之 pH 值。pH_s 計算如式如下：

$$pH_s = pK_2 - pK_s + p[Ca^{2+}] + p[HCO_3^-] + 5p_{fm}$$

K₂ = 碳酸在某特定水溫下的第二解離常數

K_s = 碳酸鈣在某特定水溫下的溶解度積常數

[Ca²⁺] = 鈣離子濃度(g-moles/L)

[HCO³⁻] = 碳酸氫根離子濃度(g-moles/L)

fm = 單價離子在某特定水溫下之活性係數

pK₂、pK_s、與 p_{fm} 計算所需參數可由表 2-11 求得。

3.6.2 Ryznar 穩定指標(Ryznar Stability Index, RSI)

$$RSI = 2pH_s - pH$$

3.6.3 Puckorius 結垢指標(Puckorius Scaling Index, PSI)

$$PSI = 2pH_s - pHeq$$

$$pHeq = 1.456 \log[AlK] + 4.54$$

[AlK] = 水中總鹼度 mg- CaCO₃ / L

3.6.4 侵蝕指標(Aggressive Index, AI)

$$AI = \text{pH} + \log ([\text{Alk}] [\text{Ca}^{2+}])$$

[Alk]、[Ca²⁺]單位皆為 mg- CaCO₃ / L

第四章 結果與討論

4.1 LSI 及 pH 水質檢測結果探討

澎湖離島之成功水庫規模小、降雨量不穩定、且地下水含鹽分高，故成功淨水場使用 3 種不同水源處理方式，包含傳統水庫水處理、地下水鹽井淡化處理及馬公第一海淡廠處理等，此 3 種清水於清水池混合之後再送至馬公配水系統。另澎湖地區除了成功淨水場外，尚有馬公第一海淡廠(1, 2 場)、馬公第二海淡廠等海水淡化處理供水。

為了解上述各不同水源及不同處理方式之清水水質與 LSI 之關係，定期對成功淨水場傳統處理、地下水鹽井淡化處理及馬公第一、第二海淡廠採樣及檢測分析，並計算 LSI 值，相關數據彙集如附錄一並分別交叉分析說明如下：

4.1.1 傳統處理及海水淡化處理之比較

本計畫蒐集了傳統水庫水、地下水鹽井淡化及馬公海淡廠等不同水源及不同處理方式之清水水質，其採樣點如表 3- 1 所示，統計自 108 年 12 月至 109 年 10 月止之 LSI 變化趨勢，結果如圖 4- 1，其中馬公第二海淡廠的 LSI 數據約控制在 $-0.2 \sim 0.1$ 之間，幾乎以 0 操作出水，符合契約限值；馬公第一海淡廠 LSI 數值大部分約在 $-1.2 \sim 0.0$ 之間，幾乎偏 -1.0 操作出水，但其中有 2 點超出契約限值 -1.0 的規定，數值落在 -1.02 和 -1.14 。成功淨水場則有地下鹽井淡化水、傳統處理快濾水及混合清水等 3 種水質 LSI 比較，觀察圖 4- 1 可得知鹽井淡化水的 LSI 明顯偏低，是所有清水類種中 LSI 最低的，數值約落在 $-3.0 \sim -1.7$ 之間，成功場快濾水約在 $-1.5 \sim -0.7$ 之間，而混合清水雖有馬公第一海淡水和鹽井淡化水、快濾水混合而成，但其 LSI 值仍舊偏低，介於鹽井淡化水和快濾水之間，約在 $-2.0 \sim -0.9$ 之間。海淡廠

的 LSI 明顯較成功淨水場高，依據文獻研究， $LSI < 0$ 則容易發生管材腐蝕，因此除了馬公第二海淡廠的 LSI 較符合文獻 LSI 建議值外，其餘馬公第一海淡廠及成功淨水場清水的 LSI 值皆偏低，尤以成功淨水場為最低，若以 LSI 判定發生管材腐蝕的潛勢最高。

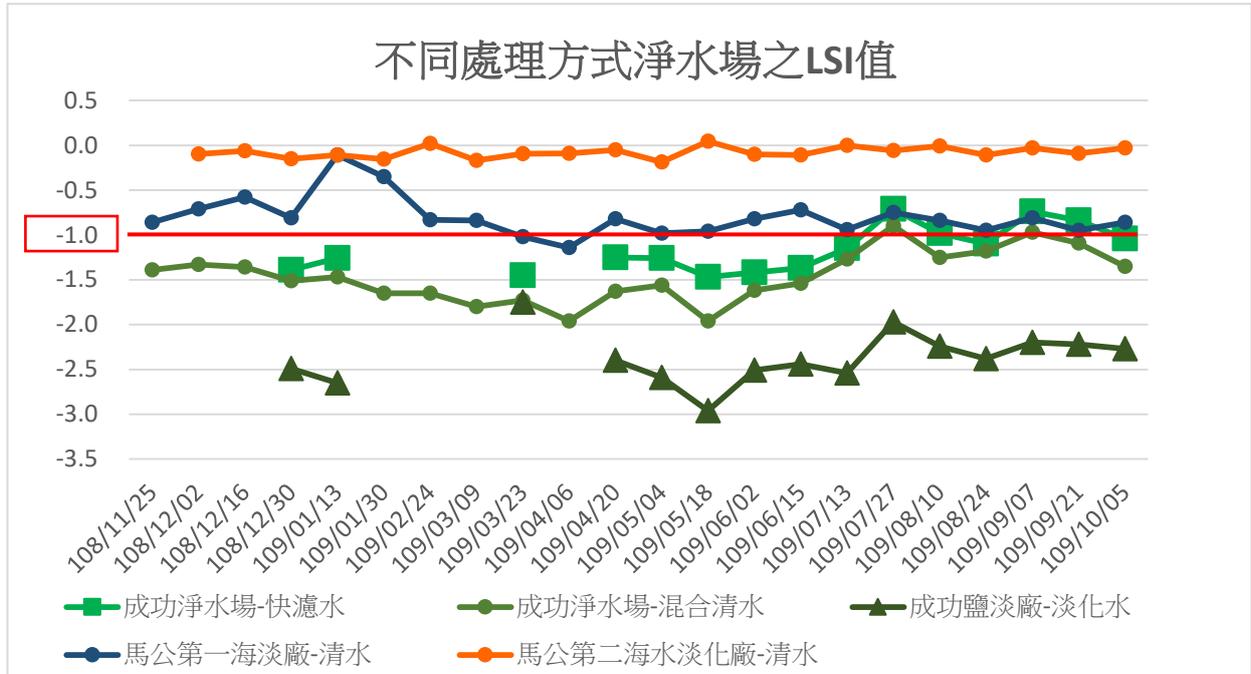


圖 4-1 不同處理方式淨水場之 LSI 值

另同樣彙集不同水源及處理方式之清水 pH 值，其比較趨勢如圖 4-2 所示，可觀察馬公第二海淡廠的 pH 值約在 8.3 ~ 8.5 之間，穩定而變化不大；而馬公第一海淡廠的 pH 值則落在 8.0 ~ 9.0 之間，其中有 2 點超出飲用水水質規定，落在 8.9 及 8.6。成功淨水場的 3 種清水，鹽井淡化水及快濾水 pH 值皆在 6.5 ~ 7.0 左右，混合清水則約在 6.5 ~ 7.2 左右。相較之下成功淨水場的 pH 較符合飲用水水質標準，馬公海淡廠的水質則偏鹼，已屆水質標準臨界值，甚有超出標準之情形發生。

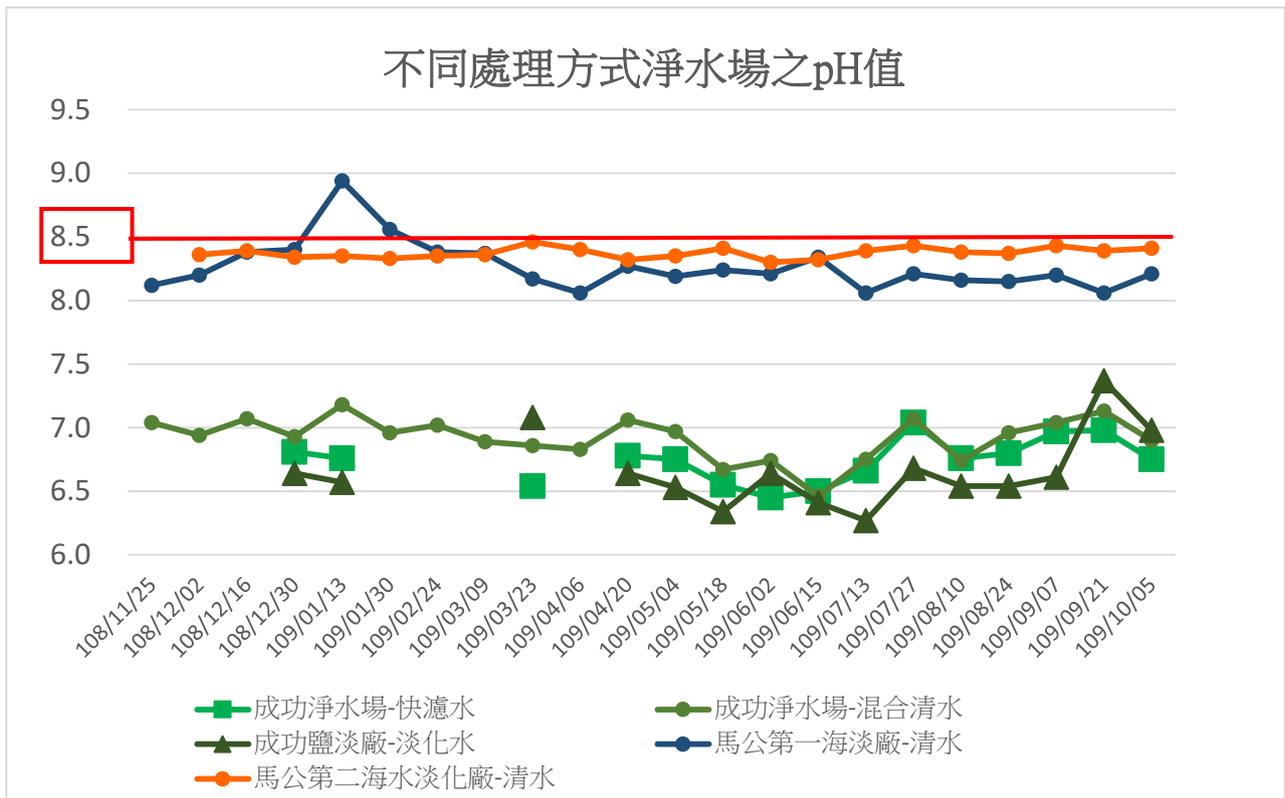


圖 4-2 不同處理方式淨水場之 pH 值

4.1.2 成功淨水場之水質趨勢

成功淨水場混合了成功水庫傳統處理、地下鹽井淡化及馬公第一海淡廠等，於清水池混合後再送至馬公地區供水系統，此節針對成功清水池及其配水點之水質分析其 LSI 和 pH 趨勢。如圖 4- 3、圖 4- 4 與圖 4- 5 所示。

由圖 4- 3 可得知成功淨水場清水池的 pH 值的跳動雖比 LSI 略為不穩定，但其 pH 和 LSI 值約略成正相關，即 pH 越高、LSI 值亦越高，成功淨水場清水池的 pH 雖有符合飲用水水質標準約在 6.5 ~ 7.2 之間，但其 LSI 值普遍偏低，數據約在 -2.0 ~ -0.9 之間。這與成功場鹽井淡化水的 LSI 值過低有關，即使清水混合馬公第一海淡廠出水和傳統處理水，其 LSI 值仍舊偏低。

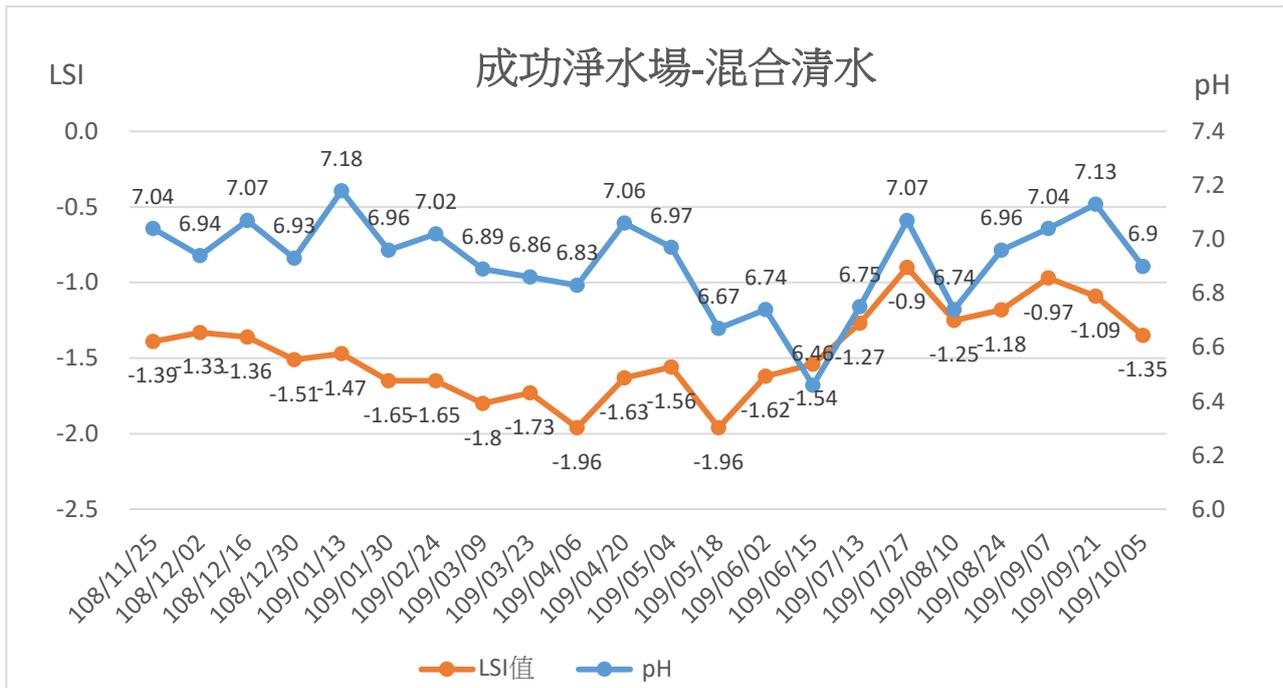


圖 4-3 成功淨水場 LSI 及 pH 比較

表 3-2 可知成功淨水場清水池混合馬公第一海淡水、傳統處理水庫和鹽井淡化水後再供水至馬公地區，本計畫蒐集了此一供水管中及管末 2 個配水點，觀察其 LSI 和 pH 值之趨勢。

如圖 4-4 成功淨水場及其配水點 LSI 值比較所示，管中配水點(馬公市中華路 239 號)和管末配水點(馬公市西衛里 140 號)的 LSI 值趨勢約和成功淨水場混合清水一致，但配水點的 LSI 值普遍大於淨水場出水水質，管中配水點的數值約在 -1.9 ~ -0.6 之間，管末配水點數值亦約在 -1.7 ~ -0.8 之間，若比較相同採樣時間之 LSI 值，則可觀察管中配水點數值皆略大於管末。

另由圖 4-5 成功淨水場及其配水點 pH 值比較可觀察到和圖 4-4 相似的趨勢，管中和管末配水點的 pH 趨勢亦約和成功淨水場混合清水一致，管中配水點的 pH 值約在 6.5 ~ 7.4 之間，管末配水點之 pH 值約

在 6.4 ~ 7.2 之間，同樣比較相同採樣時間之 pH 值，管中配水點之 pH 亦大於管末，但不管是淨水場清水或配水點，其 pH 值皆符合飲用水水質標準。

經了解管中與管末配水點係分別採用 ABSP 與 HIWP 管線，但因前端幹管為 DIP，於輸配水時水泥內襯之鹼性物質析出，致管中 pH 值仍略大於管末，故 LSI 計算結果亦是管中略大於管末。

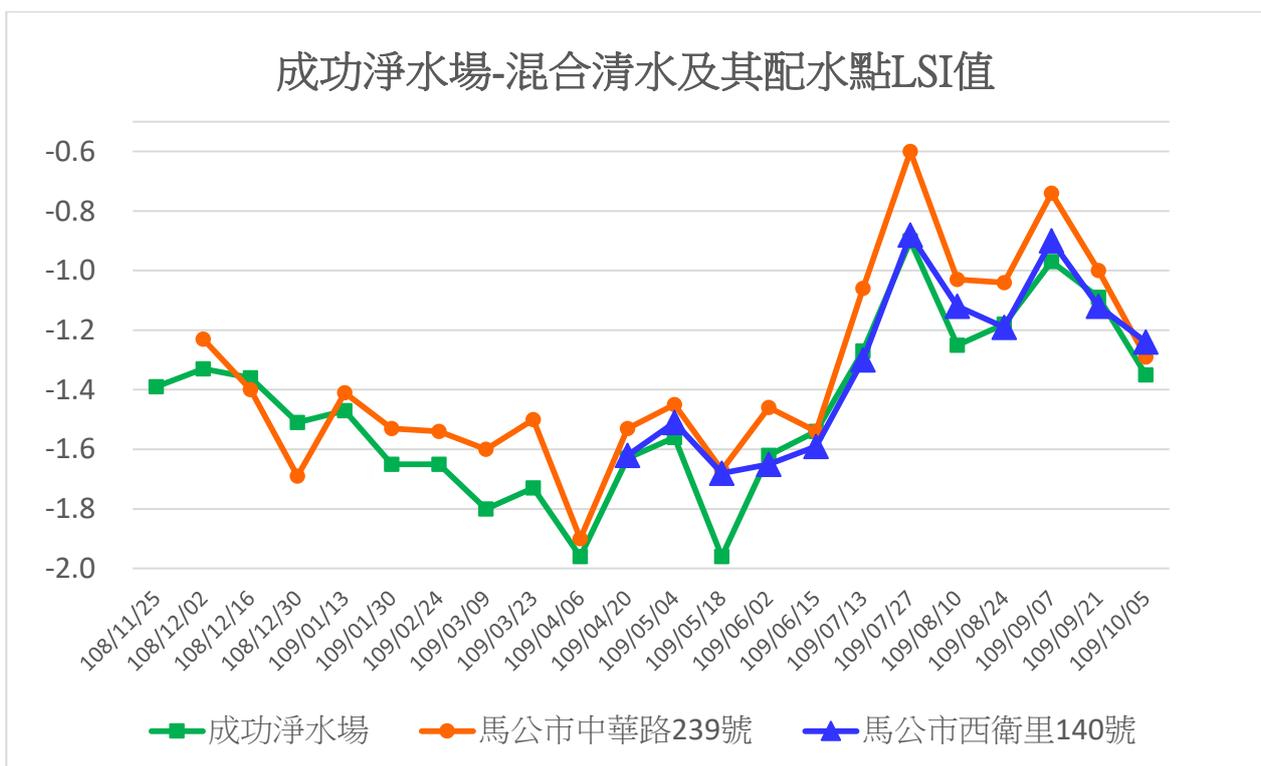


圖 4- 4 成功淨水場及其配水點 LSI 值比較

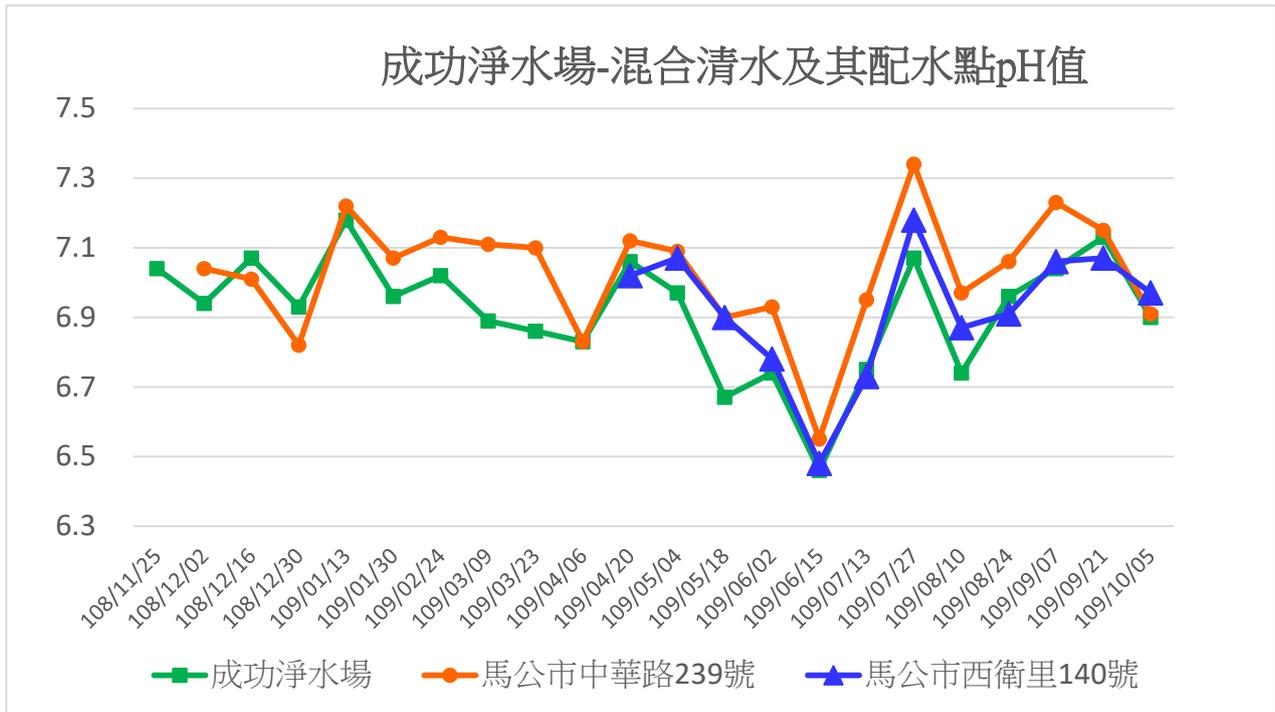


圖 4- 5 成功淨水場及其配水點 pH 值比較

4.1.3 馬公第一海淡廠之水質趨勢

馬公第一海淡廠下設有 1 場(10,000CMD 千附)及 2 場(3,000CMD 國統)等 2 個海水淡化處理廠，並於 5,000 噸烏崁清水池混合後再供水至成功淨水場及湖西地區。本節同樣蒐集了烏崁清水池之清水水質及其管中、管末 2 個配水點之水質數據，藉以分析其 LSI 和 pH 值趨勢。

如圖 4- 6 所示，馬公第一海淡廠的 LSI 和 pH 同樣呈正相關，但馬公第一海淡廠的 LSI 有偏向 -1 趨勢，數值皆在 0 以下，甚至有 2 點超出 -1，達到 -1.02 及 -1.14，而 pH 則在 8.0 和 9.0 之間，水質偏鹼，亦有 2 點超出飲用水水質標準，來到 8.94 和 8.56。雖然 pH 提高可相對提高 LSI，但卻不符合飲用水水質標準。

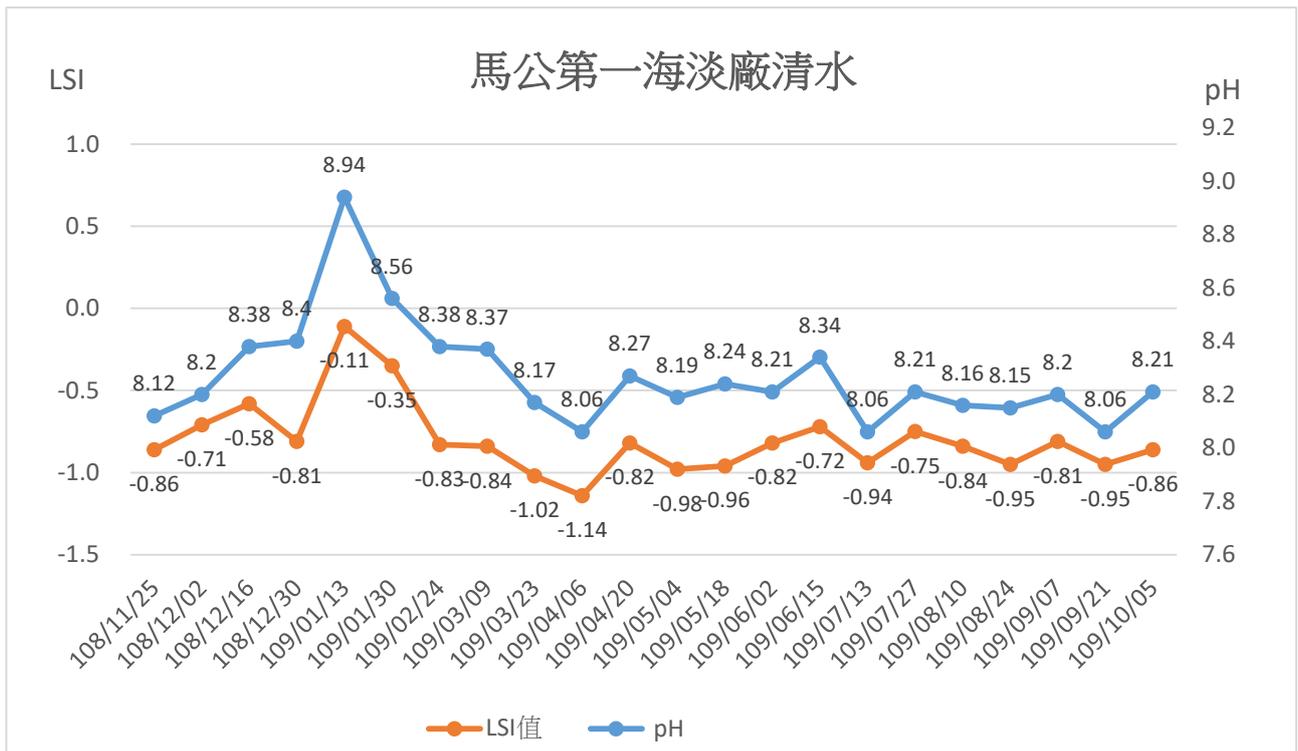


圖 4-6 馬公第一海淡廠 LSI 及 pH 比較

由圖 4-7 馬公第一海淡廠及其配水點 LSI 值比較觀察馬公第一海淡廠清水和其管中配水點(湖西鄉菓葉村 111 號)和管末配水點(湖西鄉北寮村 49 之 3 號)之趨勢，同樣發現海淡廠的 LSI 趨勢大致和配水點一致，但管中配水點和管末配水點的 LSI 皆大於海淡廠清水，又管中配水點的 LSI 可維持 0 上下，約在 $-0.09 \sim 0.33$ 之間，較符合理論 LSI 不受腐蝕之數值，而管末配水點 LSI 則約在 $-0.9 \sim -0.2$ 之間，比管中配水點為小。

再觀察圖 4-8 馬公第一海淡廠及其配水點 pH 值比較，所得結果和圖 4-7 類似，管中及管末配水點的趨勢皆和馬公第一海淡廠 pH 值有正相關，由圖 4-8 發現管末配水點的 pH 值落在 $8.2 \sim 8.7$ 之間，11 次檢測數據中，有 6 次超過飲用水水質標準，其餘雖未超出標準亦瀕臨

標準值。而管中配水點的 pH 值雖然穩定變化性小，但其數值卻相對偏高，約在 8.8 ~ 9.1 之間，已超出飲用水水質標準 6.0 ~ 8.5 的規定。

馬公第一海淡廠及其配水點之 LSI 或 pH 值，皆是管中配水點數值大於管末配水點。探討管中配水點 LSI 值與 pH 值大於管末配水點，因送水幹管使用球狀石墨鑄鐵管(DIP)，內襯之水泥砂漿容易析出鹼性物質，溶於水中形成強鹼性，鹼度亦會提高。且再經了解管中配水點(菓葉村 111 號)屬封閉型管路，自來水滯留時間長，相較管末配水點(北寮村 49 之 3 號)位於觀光區，用水量較大，水齡短。故綜上原因管中配水點 pH 值較高，鹼度亦較高，LSI 經計算後，亦得到管中配水點大於管末配水點。

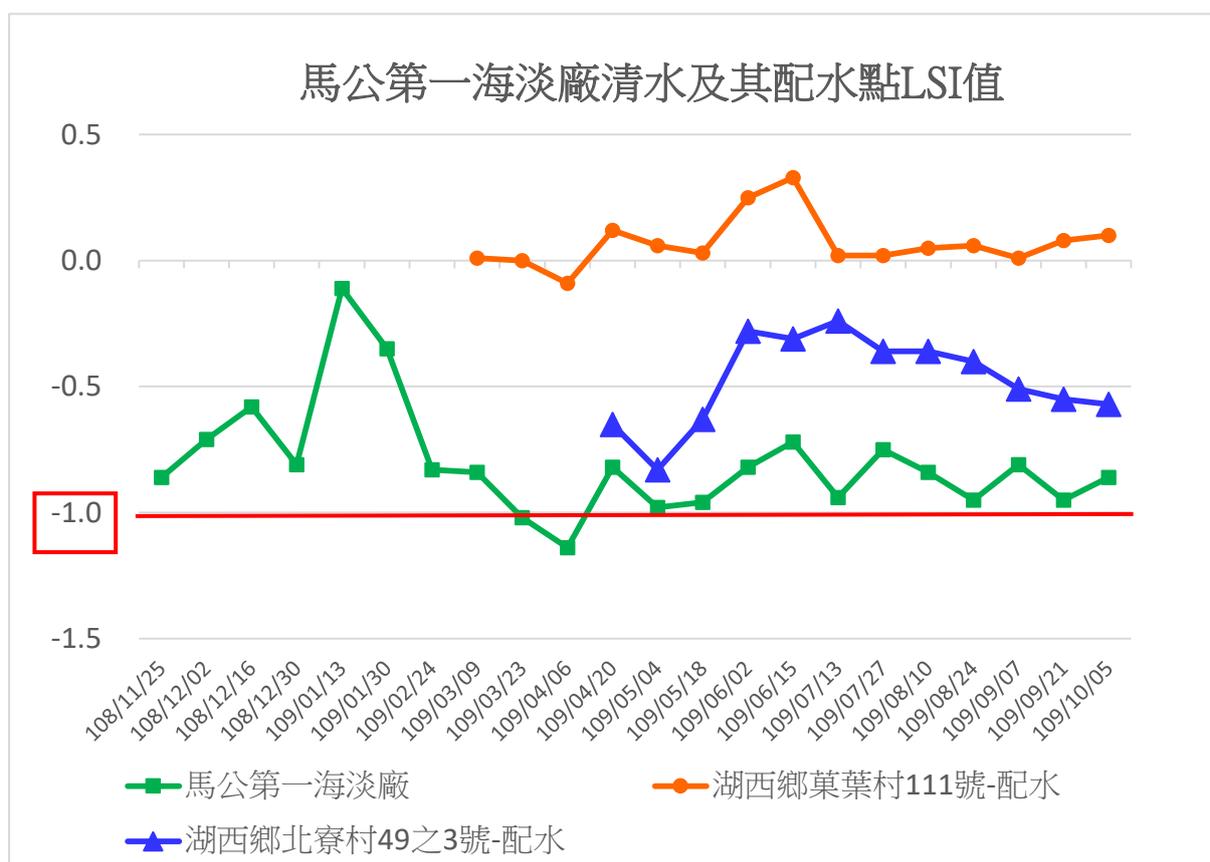


圖 4-7 馬公第一海淡廠及其配水點 LSI 值比較

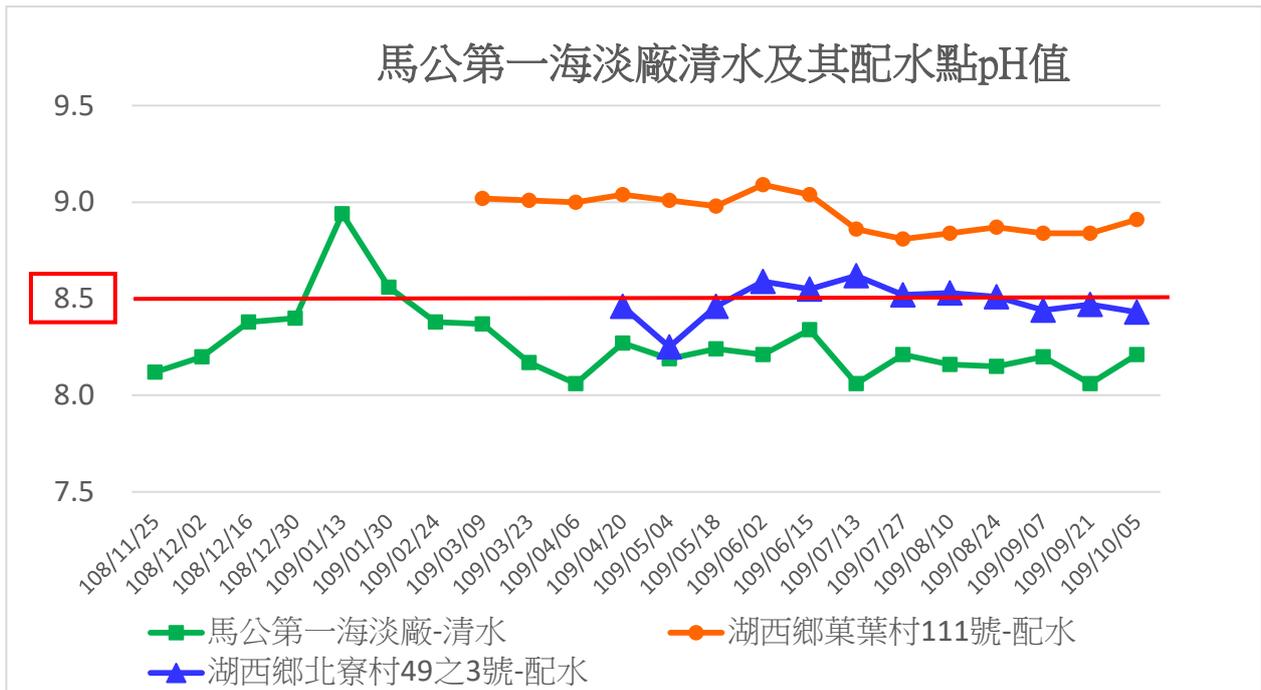


圖 4- 8 馬公第一海淡廠及其配水點 pH 值比較

4.1.4 馬公第二海淡廠之水質趨勢

馬公第二海淡廠由國統公司承攬操作營運，第一期4,000CMD於107年12月開始試營運出水，其供水如圖4-9所示，馬公第二海淡廠之4000m³清水池之清水是直接加壓經縣道204線轉澎21線後，再於縣道202線與馬公第一海淡廠之清水於既設500mm DIP幹管中混合，再供給澎湖馬公(石泉里及前寮里一帶)及澎南等地區。

因供水管線繁雜，難以尋得單一馬公第二海淡廠供水的配水點，故本計畫嘗試找到2個管中及管末配水點，混合了馬公第一及馬公第二海淡廠之供水，比較其LSI和pH值，觀察其趨勢，希能找到馬公第二海淡廠開始供水後和配水點之關係。

觀察圖4-9馬公第二海廠之LSI與pH值約略成正相關，LSI值約能維持在-0.2~0.1之間，但pH則在8.3~8.5之間，雖符合飲用水水質標準及契約限值，但水質明顯偏鹼。

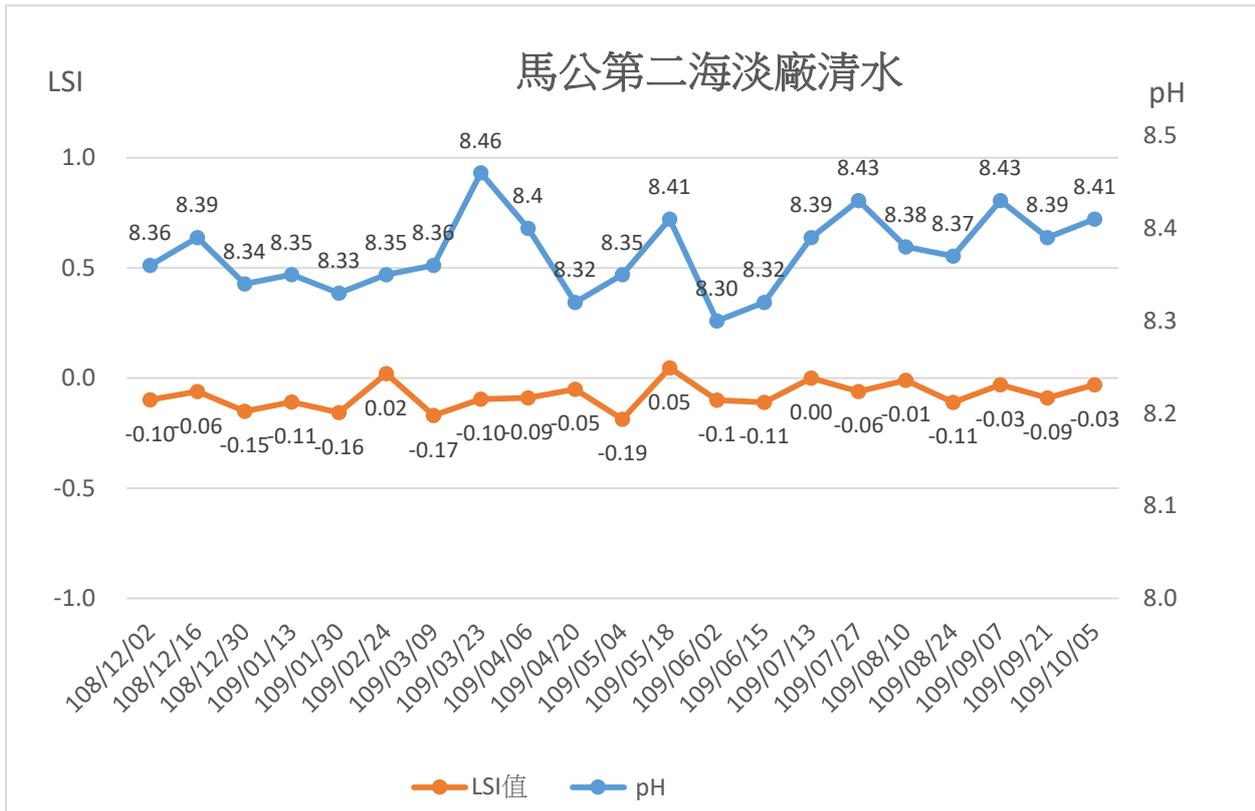


圖 4-9 馬公第二海淡廠 LSI 及 pH 值比較

由圖 4- 10 馬公第二海淡廠及其配水點 LSI 值比較，觀察馬公第二海淡廠和其管中配水點(馬公市石泉里 21 號)和管末配水點(馬公市前寮里 3 之 2 號)之關係，得知馬公第二海淡廠之 LSI 值約在-0.2~0.1 之間，管中配水點約在-0.5 ~ 0.2 之間，管末配水點則在-0.6 ~ -0.1 之間，馬公第二海淡廠和其配水點之間無明顯之相關性。

再觀察圖 4- 11 馬公第二海淡廠及其配水點 pH 值比較中配水點和馬公第二海淡廠之 pH 值關係，可得海淡廠的 pH 變化較穩定，數值在 8.3 ~ 8.5 之間，管中配水點較海淡廠跳動大，約在 8.1 ~ 8.6 之間，其中有 2 點超出飲用水水質標準，達到 8.55 和 8.60，管末配水點的 pH 則落在 8.0 ~ 8.5 之間。配水點 pH 趨勢和馬公第二海淡廠之間亦無明顯之相關性。

因配水點是混合了馬公第一及馬公第二海淡廠的清水，由圖 4- 11 中管中配水點(馬公市石泉里 21 號)109/01/13 和 109/01/30 這 2 個採樣時間的配水點 pH 值偏高，再從圖 4- 8 中相同採樣時間馬公第一海淡廠的 pH 亦偏高可驗證，故 LSI 和 pH 應受 2 個海淡廠之間供水調配的水量大小而影響數值，較難與馬公第二海淡廠有直接關聯性。

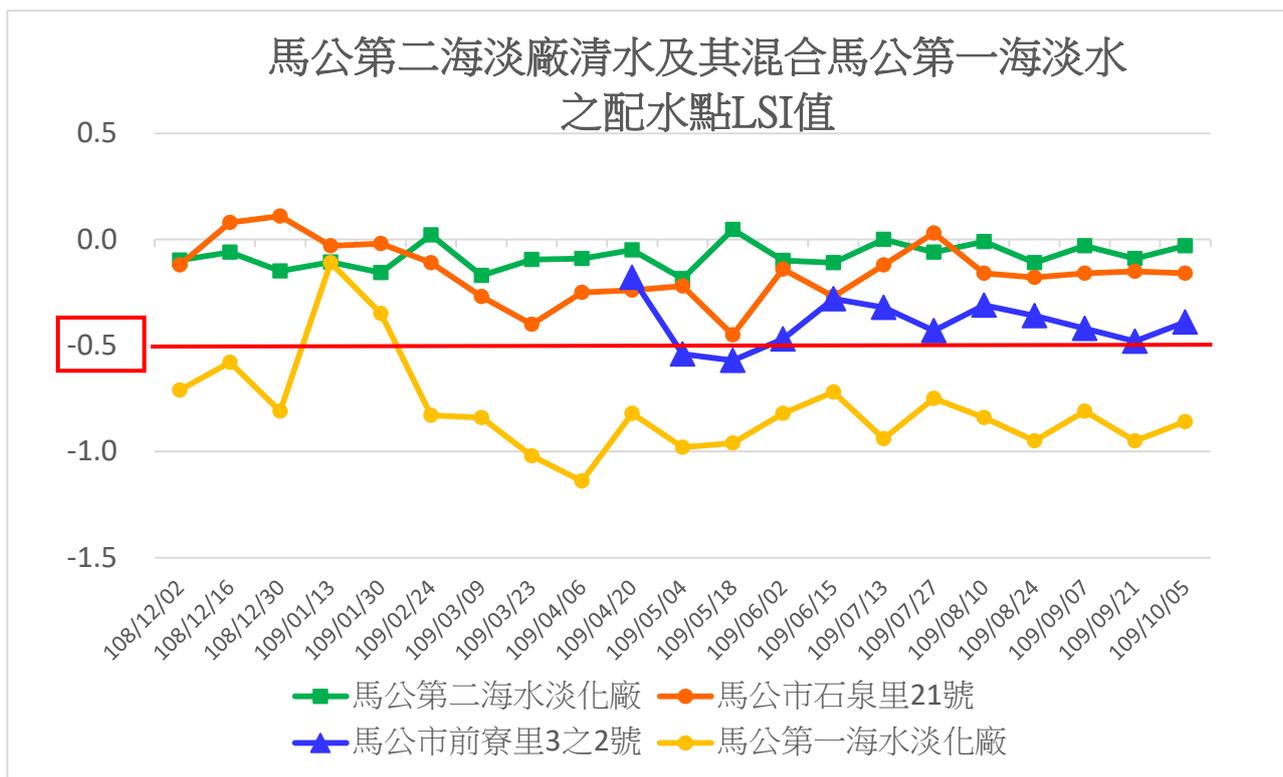


圖 4- 10 馬公第二海淡廠及其混合馬公第一海淡水之配水點 LSI 值比較

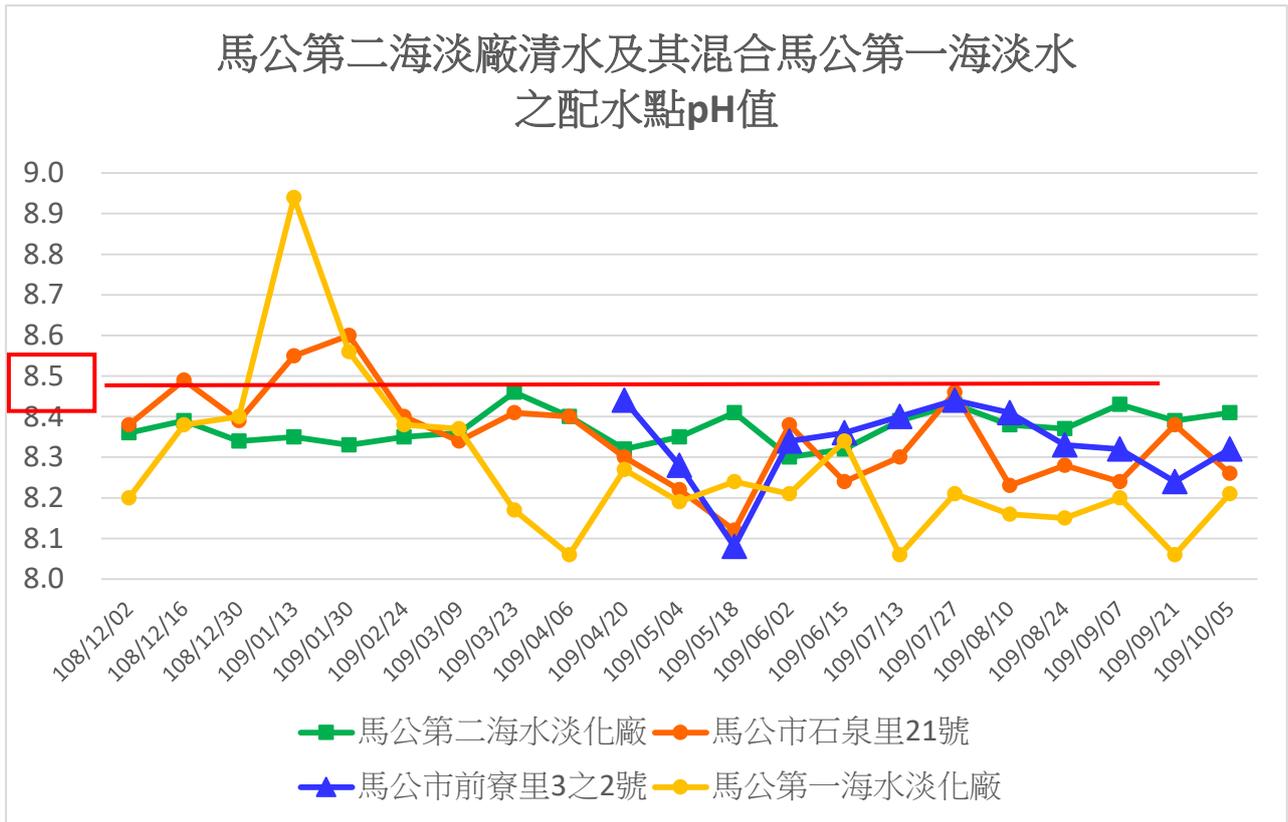


圖 4- 11 馬公第二海淡廠及其混合馬公第一海淡水之配水點 pH 值
比較

4.1.5 馬公第二海淡廠配水點不同時間點之水質比較

澎南地區原由馬公第一海淡廠供水，其 LSI 限值為 ± 1.0 ，而馬公第二海淡廠自 107 年 12 月 31 日開始試營運，自此日起馬公及澎南供水系統開始有 LSI = ± 0.5 之海淡水補注入用戶配水使用，因無法取得單獨馬公第二海淡廠供水之配水點，又為了解不同 LSI 限值之海淡水在供水系統中之水質差異，僅能蒐集混合了馬公第一海淡廠及馬公第二海淡廠之澎南地區配水點之清水數據(引用環保署環境資料庫資料)，藉以比較馬公第二海淡廠營運前、後之 pH 變化趨勢，其 4 個用戶配水點地址如表 3- 3 所示。

由圖 4- 12 可觀察得知在 108 年 01 月之後 pH 值有略呈下降的趨勢。

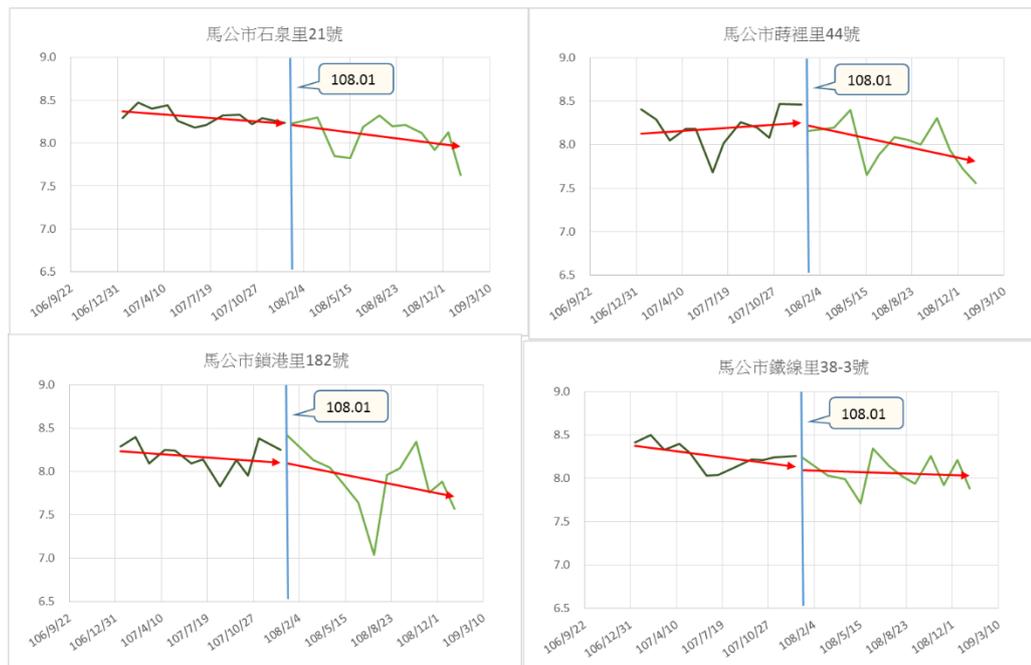


圖 4- 12 108 年 12 月之後澎南地區配水點 pH 趨勢圖

4.2 套用不同侵蝕性及腐蝕指標結果

表 4-1 成功淨水場混合清水之腐蝕指標

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
108/11/25	7.04	-1.39	腐蝕	9.82	劇烈腐蝕	9.66	腐蝕	10.41	穩定
108/12/02	6.94	-1.33	腐蝕	9.60	劇烈腐蝕	9.16	腐蝕	10.50	穩定
108/12/16	7.07	-1.36	腐蝕	9.79	劇烈腐蝕	9.67	腐蝕	10.46	穩定
108/12/30	6.93	-1.51	腐蝕	9.95	劇烈腐蝕	9.77	腐蝕	10.32	穩定
109/01/13	7.18	-1.47	腐蝕	10.12	劇烈腐蝕	10.26	腐蝕	10.36	穩定
109/01/30	6.96	-1.65	腐蝕	10.26	劇烈腐蝕	10.13	腐蝕	10.21	穩定
109/03/09	6.89	-1.80	腐蝕	10.49	劇烈腐蝕	10.39	腐蝕	10.17	穩定
109/03/23	6.86	-1.73	腐蝕	10.32	劇烈腐蝕	10.13	腐蝕	9.99	腐蝕
109/03/23	6.86	-1.73	腐蝕	10.32	劇烈腐蝕	10.13	腐蝕	10.05	穩定
109/04/06	6.83	-1.96	腐蝕	10.75	劇烈腐蝕	10.63	腐蝕	9.87	腐蝕
109/04/20	7.06	-1.63	腐蝕	10.32	劇烈腐蝕	10.43	腐蝕	10.15	穩定
109/05/04	6.97	-1.56	腐蝕	10.09	劇烈腐蝕	9.98	腐蝕	10.18	穩定
109/05/18	6.67	-1.96	腐蝕	10.59	劇烈腐蝕	10.19	腐蝕	9.77	腐蝕
109/06/02	6.74	-1.62	腐蝕	9.98	劇烈腐蝕	9.61	腐蝕	10.12	穩定
109/06/15	6.46	-1.54	腐蝕	9.54	劇烈腐蝕	8.69	腐蝕	10.20	穩定
109/07/13	6.75	-1.27	腐蝕	9.29	劇烈腐蝕	8.51	腐蝕	10.44	穩定
109/07/27	7.07	-0.90	腐蝕	8.87	嚴重腐蝕	8.30	腐蝕	10.81	穩定

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
109/08/10	6.74	-1.25	腐蝕	9.24	劇烈腐蝕	8.47	腐蝕	10.47	穩定
109/08/24	6.96	-1.18	腐蝕	9.32	劇烈腐蝕	8.77	腐蝕	10.52	穩定
109/09/07	7.04	-0.97	腐蝕	8.98	嚴重腐蝕	8.48	腐蝕	10.77	穩定
109/09/21	7.13	-1.09	腐蝕	9.30	劇烈腐蝕	9.05	腐蝕	10.64	穩定
109/10/05	6.90	-1.35	腐蝕	9.60	劇烈腐蝕	9.18	腐蝕	10.41	穩定

表 4-2 馬公市中華路 239 號之腐蝕指標

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
108/12/02	7.04	-1.23	腐蝕	9.50	劇烈腐蝕	9.17	腐蝕	10.62	穩定
108/12/16	7.01	-1.40	腐蝕	9.81	劇烈腐蝕	9.61	腐蝕	10.44	穩定
108/12/30	6.82	-1.69	腐蝕	10.20	劇烈腐蝕	9.89	腐蝕	10.13	穩定
109/01/13	7.22	-1.41	腐蝕	10.04	劇烈腐蝕	10.22	腐蝕	10.42	穩定
109/01/30	7.07	-1.53	腐蝕	10.13	劇烈腐蝕	10.10	腐蝕	10.32	穩定
109/02/24	7.13	-1.54	腐蝕	10.21	劇烈腐蝕	10.31	腐蝕	10.28	穩定
109/03/09	7.11	-1.60	腐蝕	10.31	劇烈腐蝕	10.40	腐蝕	10.20	穩定
109/03/23	7.10	-1.50	腐蝕	10.10	劇烈腐蝕	10.25	腐蝕	10.30	穩定
109/04/06	6.83	-1.90	腐蝕	10.63	劇烈腐蝕	10.46	腐蝕	9.93	腐蝕
109/04/20	7.12	-1.53	腐蝕	10.18	劇烈腐蝕	10.31	腐蝕	10.24	穩定
109/05/04	7.09	-1.45	腐蝕	9.99	劇烈腐蝕	9.97	腐蝕	10.31	穩定
109/05/18	6.90	-1.67	腐蝕	10.24	劇烈腐蝕	10.06	腐蝕	10.08	穩定

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
109/06/02	6.93	-1.46	腐蝕	9.85	劇烈腐蝕	9.70	腐蝕	10.29	穩定
109/06/15	6.55	-1.54	腐蝕	9.63	劇烈腐蝕	8.88	腐蝕	10.20	穩定
109/07/13	6.95	-1.06	腐蝕	9.07	劇烈腐蝕	8.50	腐蝕	10.65	穩定
109/07/27	7.34	-0.60	腐蝕	8.54	嚴重腐蝕	8.21	腐蝕	11.10	穩定
109/08/10	6.97	-1.03	腐蝕	9.03	劇烈腐蝕	8.49	腐蝕	10.69	穩定
109/08/24	7.06	-1.04	腐蝕	9.14	劇烈腐蝕	8.68	腐蝕	10.67	穩定
109/09/07	7.23	-0.74	腐蝕	8.71	嚴重腐蝕	8.38	腐蝕	10.98	穩定
109/09/21	7.15	-1.00	腐蝕	9.15	劇烈腐蝕	8.92	腐蝕	10.70	穩定
109/10/05	6.91	-1.29	腐蝕	9.49	劇烈腐蝕	9.06	腐蝕	10.45	穩定

表 4-3 馬公市西衛里 140 號之腐蝕指標

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
109/04/20	7.02	-1.62	腐蝕	10.26	劇烈腐蝕	10.29	腐蝕	10.14	穩定
109/05/04	7.07	-1.51	腐蝕	10.09	劇烈腐蝕	10.08	腐蝕	10.23	穩定
109/05/18	6.90	-1.68	腐蝕	10.26	劇烈腐蝕	10.08	腐蝕	10.06	穩定
109/06/02	6.78	-1.65	腐蝕	10.08	劇烈腐蝕	9.81	腐蝕	10.09	穩定
109/06/15	6.48	-1.59	腐蝕	9.66	劇烈腐蝕	8.83	腐蝕	10.14	穩定
109/07/13	6.73	-1.30	腐蝕	9.33	劇烈腐蝕	8.54	腐蝕	10.41	穩定
109/07/27	7.18	-0.88	腐蝕	8.94	嚴重腐蝕	8.63	腐蝕	10.82	穩定

109/08/10	6.87	-1.12	腐蝕	9.11	劇烈腐蝕	8.46	腐蝕	10.60	穩定
109/08/24	6.91	-1.94	腐蝕	10.79	劇烈腐蝕	10.18	腐蝕	10.51	穩定
109/09/07	7.06	-0.90	腐蝕	8.86	嚴重腐蝕	8.34	腐蝕	10.82	穩定
109/09/21	7.07	-1.12	腐蝕	9.31	劇烈腐蝕	9.00	腐蝕	10.58	穩定
109/10/05	6.97	-1.24	腐蝕	9.45	劇烈腐蝕	9.08	腐蝕	10.50	穩定

表 4-4 馬公第一海淡廠清水之腐蝕指標

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
108/11/25	8.12	-0.86	腐蝕	9.84	劇烈腐蝕	11.40	腐蝕	10.90	穩定
108/12/02	8.20	-0.71	腐蝕	9.62	劇烈腐蝕	11.23	腐蝕	11.06	穩定
108/12/16	8.38	-0.58	腐蝕	9.54	劇烈腐蝕	11.36	腐蝕	11.21	穩定
108/12/30	8.40	-0.81	腐蝕	10.02	劇烈腐蝕	11.81	腐蝕	10.99	穩定
109/01/13	8.94	-0.11	腐蝕	9.16	劇烈腐蝕	11.44	腐蝕	11.69	穩定
109/01/30	8.56	-0.35	腐蝕	9.26	劇烈腐蝕	11.23	腐蝕	11.48	穩定
109/03/09	8.38	-0.83	腐蝕	10.04	劇烈腐蝕	11.91	腐蝕	10.98	穩定
109/03/23	8.37	-0.84	腐蝕	10.05	劇烈腐蝕	11.89	腐蝕	10.94	穩定
109/03/23	8.17	-1.02	腐蝕	10.21	劇烈腐蝕	11.85	腐蝕	10.74	穩定
109/04/06	8.06	-1.14	腐蝕	10.34	劇烈腐蝕	11.89	腐蝕	10.66	穩定
109/04/20	8.27	-0.82	腐蝕	9.91	劇烈腐蝕	11.62	腐蝕	10.93	穩定

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
		LSI	腐蝕	RSI	劇烈腐蝕	PSI	腐蝕	AI	穩定
109/05/04	8.19	-0.98	腐蝕	10.15	劇烈腐蝕	11.81	腐蝕	10.73	穩定
109/05/18	8.24	-0.96	腐蝕	10.16	劇烈腐蝕	11.87	腐蝕	10.78	穩定
109/06/02	8.21	-0.82	腐蝕	9.85	劇烈腐蝕	11.40	腐蝕	10.91	穩定
109/06/15	8.34	-0.72	腐蝕	9.78	劇烈腐蝕	11.53	腐蝕	10.99	穩定
109/07/13	8.06	-0.94	腐蝕	9.94	劇烈腐蝕	11.39	腐蝕	10.75	穩定
109/07/27	8.21	-0.75	腐蝕	9.71	劇烈腐蝕	11.26	腐蝕	10.94	穩定
109/08/10	8.16	-0.84	腐蝕	9.84	劇烈腐蝕	11.41	腐蝕	10.86	穩定
109/08/24	8.15	-0.95	腐蝕	10.05	劇烈腐蝕	11.56	腐蝕	10.76	穩定
109/09/07	8.20	-0.81	腐蝕	9.82	劇烈腐蝕	11.41	腐蝕	10.89	穩定
109/09/21	8.06	-0.95	腐蝕	9.96	劇烈腐蝕	11.41	腐蝕	10.75	穩定
109/10/05	8.21	-0.86	腐蝕	9.93	劇烈腐蝕	11.58	腐蝕	10.87	穩定

表 4-5 湖西鄉菓葉村 111 號之腐蝕指標

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
		LSI	結垢	RSI	劇烈腐蝕	PSI	腐蝕	AI	穩定
109/03/09	9.02	0.01	結垢	9.00	劇烈腐蝕	11.41	腐蝕	11.80	穩定
109/03/23	9.01	0.00	穩定	9.01	劇烈腐蝕	11.41	腐蝕	11.79	穩定
109/04/06	9.00	-0.09	腐蝕	9.18	劇烈腐蝕	11.62	腐蝕	11.70	穩定
109/04/20	9.04	0.12	結垢	8.80	嚴重腐蝕	11.16	腐蝕	11.88	穩定

109/05/04	9.01	0.06	結垢	8.89	嚴重腐蝕	11.26	腐蝕	11.78	穩定
109/05/18	8.98	0.03	結垢	8.92	嚴重腐蝕	11.26	腐蝕	11.73	穩定
109/06/02	9.09	0.25	結垢	8.59	嚴重腐蝕	11.02	腐蝕	11.97	穩定
109/06/15	9.04	0.33	結垢	8.38	嚴重腐蝕	10.70	腐蝕	12.01	結垢
109/07/13	8.86	0.02	結垢	8.82	嚴重腐蝕	11.02	腐蝕	11.67	穩定
109/07/27	8.81	0.02	結垢	8.77	嚴重腐蝕	10.83	腐蝕	11.68	穩定
109/08/10	8.84	0.05	結垢	8.74	嚴重腐蝕	10.88	腐蝕	11.72	穩定
109/08/24	8.87	0.06	結垢	8.75	嚴重腐蝕	10.94	腐蝕	11.71	穩定
109/09/07	8.84	0.01	結垢	8.83	嚴重腐蝕	10.96	腐蝕	11.66	穩定
109/09/21	8.84	0.08	結垢	8.68	嚴重腐蝕	10.74	腐蝕	11.73	穩定
109/10/05	8.91	0.10	結垢	8.71	嚴重腐蝕	10.90	腐蝕	11.73	穩定

表 4-6 湖西鄉北寮村 49 之 3 號之腐蝕指標

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
109/04/20	8.46	-0.65	腐蝕	9.76	劇烈腐蝕	11.71	腐蝕	11.10	穩定
109/05/04	8.25	-0.83	腐蝕	9.91	劇烈腐蝕	11.60	腐蝕	10.91	穩定
109/05/18	8.46	-0.63	腐蝕	9.72	劇烈腐蝕	11.67	腐蝕	11.08	穩定
109/06/02	8.59	-0.28	腐蝕	9.15	劇烈腐蝕	11.08	腐蝕	11.44	穩定
109/06/15	8.55	-0.31	腐蝕	9.17	劇烈腐蝕	11.08	腐蝕	11.38	穩定

109/07/13	8.62	-0.24	腐蝕	9.10	劇烈腐蝕	11.06	腐蝕	11.41	穩定
109/07/27	8.52	-0.36	腐蝕	9.24	劇烈腐蝕	11.06	腐蝕	11.30	穩定
109/08/10	8.53	-0.36	腐蝕	9.25	劇烈腐蝕	11.12	腐蝕	11.30	穩定
109/08/24	8.51	-0.40	腐蝕	9.31	劇烈腐蝕	11.18	腐蝕	11.26	穩定
109/09/07	8.44	-0.51	腐蝕	9.46	劇烈腐蝕	11.29	腐蝕	11.16	穩定
109/09/21	8.47	-0.55	腐蝕	9.57	劇烈腐蝕	11.45	腐蝕	11.12	穩定
109/10/05	8.43	-0.57	腐蝕	9.57	劇烈腐蝕	11.44	腐蝕	11.11	穩定

表 4-7 馬公第二海淡廠清水之腐蝕指標

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
108/12/02	8.36	-0.10	腐蝕	8.56	嚴重腐蝕	9.97	腐蝕	11.65	穩定
108/12/16	8.39	-0.06	腐蝕	8.51	嚴重腐蝕	9.93	腐蝕	11.71	穩定
108/12/30	8.34	-0.15	腐蝕	8.64	嚴重腐蝕	10.03	腐蝕	11.61	穩定
109/01/13	8.35	-0.11	腐蝕	8.57	嚴重腐蝕	9.97	腐蝕	11.66	穩定
109/01/30	8.33	-0.16	腐蝕	8.64	嚴重腐蝕	10.01	腐蝕	11.63	穩定
109/2/24	8.35	0.02	結垢	8.31	嚴重腐蝕	9.68	腐蝕	11.78	穩定
109/03/09	8.36	-0.17	腐蝕	8.70	嚴重腐蝕	10.21	腐蝕	11.56	穩定
109/03/23	8.46	-0.10	腐蝕	8.65	嚴重腐蝕	10.21	腐蝕	11.62	穩定
109/04/06	8.40	-0.09	腐蝕	8.58	嚴重腐蝕	10.00	腐蝕	11.69	穩定
109/04/20	8.32	-0.05	腐蝕	8.42	嚴重腐蝕	9.75	腐蝕	11.65	穩定

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
109/05/04	8.35	-0.19	腐蝕	8.72	嚴重腐蝕	10.18	腐蝕	11.50	穩定
109/05/18	8.41	0.05	結垢	8.32	嚴重腐蝕	9.75	腐蝕	11.74	穩定
109/06/02	8.30	-0.10	腐蝕	8.50	嚴重腐蝕	9.85	腐蝕	11.58	穩定
109/06/15	8.32	-0.11	腐蝕	8.54	嚴重腐蝕	9.88	腐蝕	11.56	穩定
109/07/13	8.39	0.00	穩定	8.39	嚴重腐蝕	9.85	腐蝕	11.67	穩定
109/07/27	8.43	-0.06	腐蝕	8.55	嚴重腐蝕	10.06	腐蝕	11.58	穩定
109/08/10	8.38	-0.01	腐蝕	8.40	嚴重腐蝕	9.86	腐蝕	11.65	穩定
109/08/24	8.37	-0.11	腐蝕	8.59	嚴重腐蝕	10.11	腐蝕	11.55	穩定
109/09/07	8.43	-0.03	腐蝕	8.49	嚴重腐蝕	10.02	腐蝕	11.62	穩定
109/09/21	8.39	-0.09	腐蝕	8.57	嚴重腐蝕	10.18	腐蝕	11.56	穩定
109/10/05	8.41	-0.03	腐蝕	8.47	嚴重腐蝕	9.98	腐蝕	11.65	穩定

表 4-8 馬公市石泉里 21 號之腐蝕指標

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
108/12/02	8.38	-0.12	腐蝕	8.62	嚴重腐蝕	9.91	腐蝕	11.64	穩定
108/12/16	8.49	0.08	結垢	8.33	嚴重腐蝕	9.72	腐蝕	11.82	穩定
108/12/30	8.39	0.11	結垢	8.17	嚴重腐蝕	9.45	腐蝕	11.89	穩定
109/01/13	8.55	-0.03	腐蝕	8.61	嚴重腐蝕	10.07	腐蝕	11.75	穩定

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
109/01/30	8.60	-0.02	腐蝕	8.64	嚴重腐蝕	10.22	腐蝕	11.78	穩定
109/02/24	8.40	-0.11	腐蝕	8.62	嚴重腐蝕	9.92	腐蝕	11.65	穩定
109/03/09	8.34	-0.27	腐蝕	8.88	嚴重腐蝕	10.15	腐蝕	11.50	穩定
109/03/23	8.41	-0.40	腐蝕	9.21	劇烈腐蝕	10.60	腐蝕	11.36	穩定
109/04/06	8.40	-0.25	腐蝕	8.90	嚴重腐蝕	10.28	腐蝕	11.55	穩定
109/04/20	8.30	-0.24	腐蝕	8.78	嚴重腐蝕	10.04	腐蝕	11.50	穩定
109/05/04	8.22	-0.22	腐蝕	8.66	嚴重腐蝕	9.85	腐蝕	11.49	穩定
109/05/18	8.12	-0.45	腐蝕	9.02	劇烈腐蝕	10.11	腐蝕	11.27	穩定
109/06/02	8.38	-0.14	腐蝕	8.66	嚴重腐蝕	9.97	腐蝕	11.57	穩定
109/06/15	8.24	-0.27	腐蝕	8.78	嚴重腐蝕	10.00	腐蝕	11.42	穩定
109/07/13	8.30	-0.12	腐蝕	8.54	嚴重腐蝕	9.75	腐蝕	11.53	穩定
109/07/27	8.46	0.03	結垢	8.40	嚴重腐蝕	9.78	腐蝕	11.68	穩定
109/08/10	8.23	-0.16	腐蝕	8.55	嚴重腐蝕	9.66	腐蝕	11.50	穩定
109/08/24	8.28	-0.18	腐蝕	8.64	嚴重腐蝕	9.85	腐蝕	11.47	穩定
109/09/07	8.24	-0.16	腐蝕	8.56	嚴重腐蝕	9.70	腐蝕	11.51	穩定
109/09/21	8.38	-0.15	腐蝕	8.69	嚴重腐蝕	9.94	腐蝕	11.62	穩定
109/10/05	8.26	-0.16	腐蝕	8.58	嚴重腐蝕	9.74	腐蝕	11.53	穩定

表 4-9 馬公市前寮里 3 之 2 號之腐蝕指標

採樣日期	pH	LSI		RSI		PSI		AI	
109/04/20	8.44	-0.18	腐蝕	8.80	嚴重腐蝕	10.42	腐蝕	11.55	穩定
109/05/04	8.28	-0.54	腐蝕	9.36	劇烈腐蝕	10.84	腐蝕	11.17	穩定
109/05/18	8.08	-0.57	腐蝕	9.22	劇烈腐蝕	10.43	腐蝕	11.13	穩定
109/06/02	8.34	-0.47	腐蝕	9.28	劇烈腐蝕	10.92	腐蝕	11.25	穩定
109/06/15	8.36	-0.28	腐蝕	8.92	嚴重腐蝕	10.46	腐蝕	11.41	穩定
109/07/13	8.40	-0.32	腐蝕	9.04	劇烈腐蝕	10.68	腐蝕	11.33	穩定
109/07/27	8.44	-0.43	腐蝕	9.30	劇烈腐蝕	11.10	腐蝕	11.23	穩定
109/08/10	8.41	-0.31	腐蝕	9.03	劇烈腐蝕	10.62	腐蝕	11.35	穩定
109/08/24	8.33	-0.36	腐蝕	9.05	劇烈腐蝕	10.62	腐蝕	11.28	穩定
109/09/07	8.32	-0.42	腐蝕	9.16	劇烈腐蝕	10.72	腐蝕	11.25	穩定
109/09/21	8.24	-0.48	腐蝕	9.20	劇烈腐蝕	10.64	腐蝕	11.20	穩定
109/10/05	8.32	-0.39	腐蝕	9.10	劇烈腐蝕	10.64	腐蝕	11.30	穩定

4.3 電化學金屬腐蝕程度測試結果探討

目的:由 LSI 結果得知，雖馬公第一海淡廠出水偏向-1 趨勢，但其配水點(菓葉村 111 號)大致可維持 0 以上，依文獻 $LSI > 0$ 時，水管內壁易形成保護膜避免腐蝕發生，為驗證各水樣對金屬試片沒有水泥襯裡情況下是否有腐蝕傾向，我們以電化學方式進行實驗。

方法:採集各點水樣，並分別將 DIP 試片浸泡於各水樣中(如表 4-10)，使用塔弗外插法(Tafel extrapolation)方法，利用電化學儀器(如圖 4-13)，在平衡電位下，以一定速率施加過電壓(overvoltage)，偵測並觀察相對應時間點的電流變化情形，繪製 Tafel 極化曲線圖 (E vs. log I,如

圖 4-14)，依 Tafel 斜率(β_a, β_c)求得腐蝕電流，經計算後求得腐蝕速率，評估延性鑄鐵管材在不同水樣下的腐蝕情形。

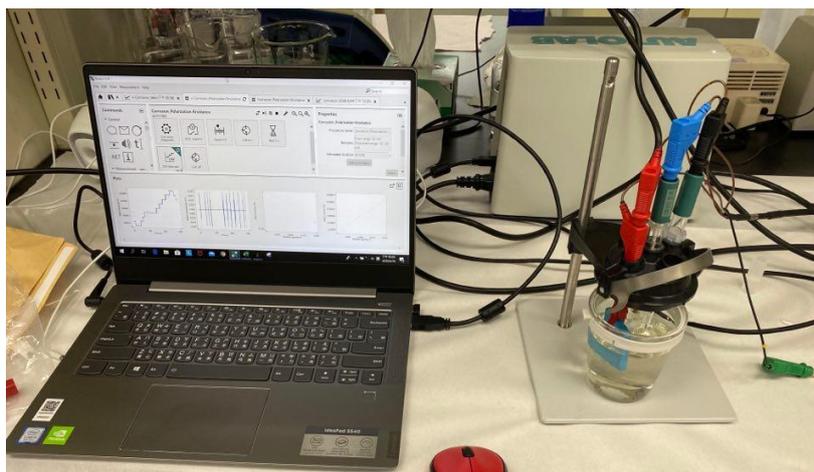


圖 4-13 電化學實驗裝置

(參考電極：AgCl 電極，對向電極：白金電極)

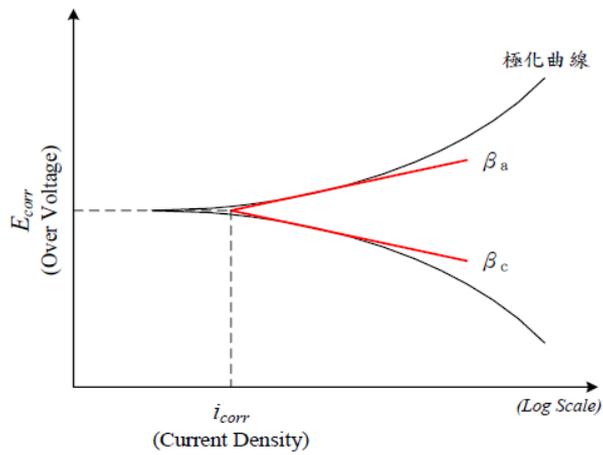


圖 4- 14 Tafel 極化曲線圖

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{0.00327 I_{\text{corr}} (\text{E.W.})}{d}$$

I_{corr} = 腐蝕電流密度 (corrosion current density, $\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

E.W. = 試片平衡重量 (equivalent weight, g)

d = 試片密度 (density, g/cm^3)

表 4- 10 淨水場及各配水點電化學分析之水質參數:

採樣點	水樣分別	pH	水溫($^{\circ}\text{C}$)
馬公市中華路 239 號	配水(1)	6.80	30.5
		6.80	30.5
馬公市西衛里 140 號	配水(2)	6.83	30.6

		6.83	30.6
湖西鄉菓葉村 111 號	配水(3)	8.81	30.6
		8.81	30.6
湖西鄉北寮村 49-3 號	配水(4)	8.46	30.5
		8.46	30.5
馬公市石泉里 21 號	配水(5)	8.28	30.7
		8.28	30.7
馬公市前寮里 3 之 2 號	配水(6)	8.22	30.6
		8.22	30.6
成功淨水場-過濾水	清水(1)	6.83	30.2
		6.81	30.2
成功淨水場-鹽淡水	清水(2)	6.47	30.5
		6.47	30.5
成功淨水場-清水	清水(3)	6.55	30.3
		6.55	30.3
馬公第一海淡廠(5000T)	清水(4)	8.28	30.3
		8.28	30.3
馬公第二海淡廠清水	清水(5)	8.39	29.4
		8.39	29.4

備註:

1. 樣品於 109 年 6 月 18 日由澎湖採樣後寄送至分析。
2. 樣品體積為 500 mL，盛裝容器為棕色塑膠瓶，採樣後無添加試劑。

表 4- 11 淨水場及各配水點電化學分析結果

水樣	實驗條件	Tafel extrapolation
----	------	---------------------

試片 編號		溫度 (°C)	pH	浸泡面積 (cm ²)	βa	βc	腐蝕電流 (μA)	腐蝕速率 (mm/yr)
1	配水(1)	22.4	6.98	5.6	0.090	0.224	77.1	0.187
2	配水(2)	20.2	6.83	8.6	0.147	0.163	58.2	0.091
3	配水(3)	23.4	9.04	7.1	0.13	0.229	57.6	0.109
4	配水(4)	22.9	8.19	7.1	0.145	0.215	95.1	0.182
5	配水(5)	22.4	8.24	6.0	0.109	0.229	75.5	0.168
6	配水(6)	22.7	8.52	3.9	0.08	0.169	38.1	0.131
7	清水(1)	22.7	6.84	6.7	0.09	0.161	73.5	0.148
8	清水(2)	23.4	6.76	4.4	0.123	0.153	42.3	0.131
9	清水(3)	23.1	6.82	5.2	0.111	0.213	65.6	0.169
10	清水(4)	23.8	8.15	6.6	0.121	0.205	91.8	0.189
11	清水(5)	24.2	8.21	5.1	0.135	0.149	43.2	0.114

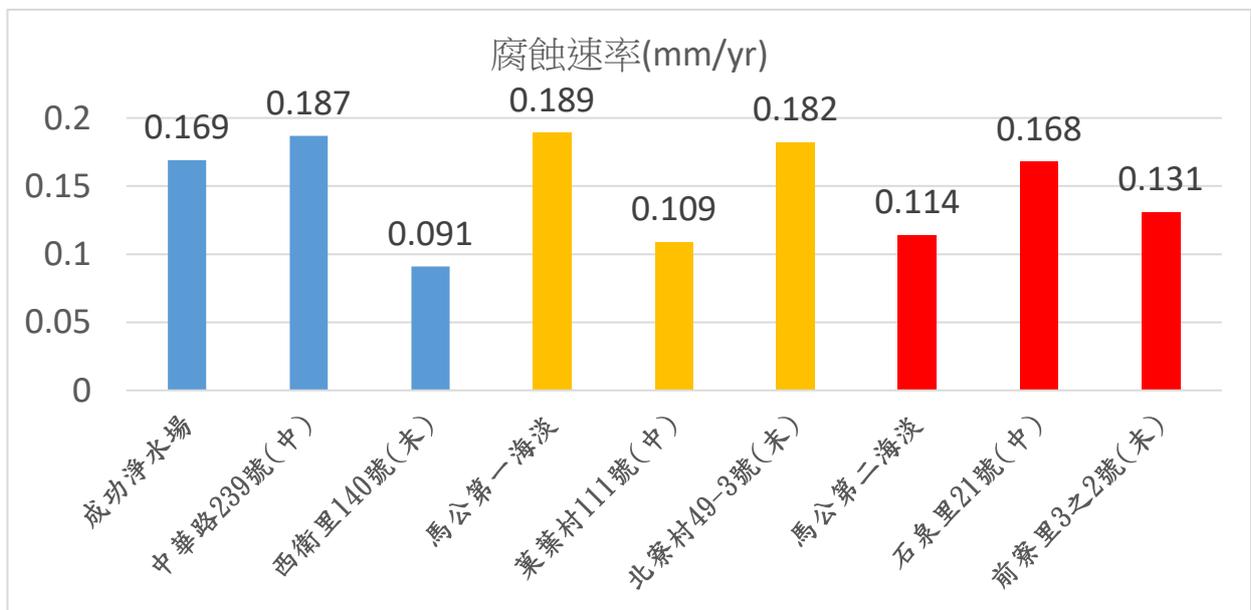


圖 4-15 淨水場及各配水點腐蝕速率之比較(未浸泡)

由表 4- 11 及圖 4- 15 為取 DIP 試片，分別於各淨水場及配水點水樣下進行電化學腐蝕速率測試，可得知各點腐蝕速率不一，但結果都具有腐蝕性，以馬公第一海淡廠及其配水點為例，其管中配水點腐蝕速率為 0.109 mm/yr 最小，管末點次高，馬公第一海淡廠 0.189 mm/yr 最高。圖 4- 16 為試片於各淨水場浸泡不同天數，分別為未浸泡、浸泡 41 天與浸泡 80 天後進行電化學腐蝕速率測試，可觀察於浸泡 80 天後，測得腐蝕速率仍以馬公第一海淡廠 0.257 mm/yr 最高。

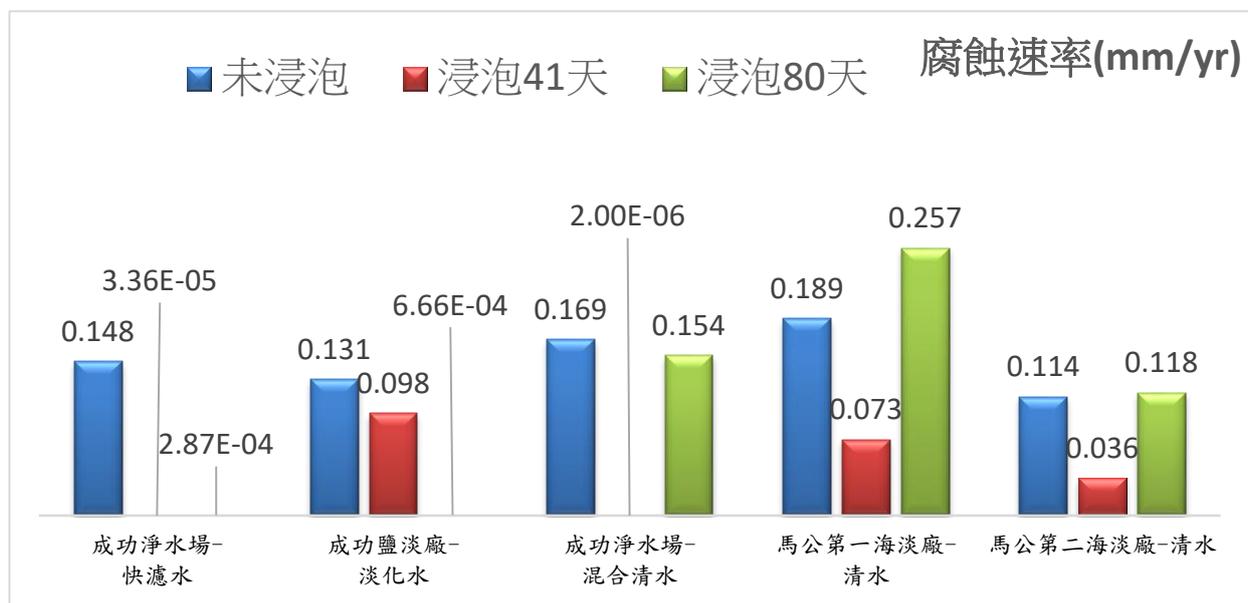


圖 4- 16 試片在未浸泡、浸泡 41 天及浸泡 80 天的腐蝕速率圖

4.4 不同侵蝕性及腐蝕性指標適用性探討

比較成功淨水場、馬公第一及馬公第二淨水場及配水點套用不同侵蝕性及腐蝕性指標之數值差異，結果如**錯誤！找不到參照來源。**~表 4-9 多數 LSI 判讀腐蝕的情況下，RSI、PSI 亦判讀為腐蝕或劇烈腐蝕，但可發現有些採樣點在不同腐蝕指標計算之下，有不同的判讀結果，如湖西鄉菓葉村 111 號 LSI 判讀為結垢，RSI、PSI 卻判讀為劇烈腐蝕、腐蝕。然 AI 的判讀是和上述 3 種指標差異最大的一種，計算所得數據幾乎都大於 10，也就是“穩定”的狀態，各指標之適用性探討如下：

- (1)由第二章可知 LSI、RSI、PSI 及 AI 是基於碳酸鈣的化學平衡而推演的腐蝕指數，與金屬管材的腐蝕並無直接關聯，即上開指標較適用於水泥砂漿、石棉水泥、混凝土等含有鈣離子材質內襯的管材腐蝕狀況推估，而 AI 僅適用於石綿水泥管。
- (2)從 4.4 章節馬公地區電化學金屬腐蝕程度測試結果得知，馬公地區之清配水幾乎全呈現金屬腐蝕現況，故可研判 AI 不適於本研究採用為適用性指標。
- (3)美國自來水協會研究基金會 AWWA 經過廣泛研究後，在 1996 年建議不要再使用 LSI 判斷水質是否腐蝕鐵管²⁰，也就是 LSI<0 的「腐蝕」，只對水泥砂漿、石綿水泥、混凝土等具有鈣材質的內襯具有侵蝕性，故 LSI 較適合用來評估水泥內襯是否結垢或侵蝕的指標。由 2.6 章節可知，RSI、PSI 均由 LSI 改良，其公式中均使用 CaCO_3 含量達到飽和狀態時的 pH 值(pH_s)，即是以鈣離子、鹼度、總溶解固體為水質參數帶入計算，同屬於碳酸鈣綜合指標，仍較適合用來評估水泥內襯是否結垢或侵蝕的指標，而現今國際上大多以 LSI 規範飲用水水質，如表 2-13，故本研究仍延續採用為 DIP 水泥內襯侵蝕與否的指標。

(4)考量馬公地區海淡廠之清配水 DIP 水泥內襯之侵蝕及腐蝕現況，我們仍須引用其他金屬腐蝕指標與 LSI 作搭配比較，爰 4.5 章節我們導入以氯鹽、硫酸鹽與碳酸氫鹽為參數之 LR 值，以該值來探討各淨水場與配水點金屬管之腐蝕特性。

4.5 Larson (LR)水質檢測結果探討

由 4.3 章節電化學實驗得知，各水樣對於金屬均具有腐蝕性，即使菓葉村 111 號水質 LSI 長期大都為 0 以上，但對於金屬仍具有腐蝕性，故我們認為 LSI 較適用於評估含有鈣離子之水泥砂漿或混凝土管材之腐蝕情況，與金屬管材腐蝕較無直接關聯。

爰此，我們亦納入 Larson 比率(LR)指標作比較：

$$LR = \frac{[Cl^-] + 2[SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-]}$$

三個計算因子濃度單位皆是 mol / L

本指標是以氯鹽、硫酸鹽與碳酸氫鹽為參數評估金屬腐蝕程度，如水中氯鹽、硫酸鹽濃度高，易發生腐蝕，相對如碳酸氫鹽濃度高，則較不易有腐蝕發生，詳說明如 2.6.6 節，自 109 年 8 月起加測不同處理方式淨水場及各配水點(如表 3-1

表 3-2)之氯鹽、硫酸鹽與碳酸氫根。

4.5.1 傳統處理及海水淡化處理之比較

表 4-12、圖 4-17 可發現不同處理方式淨水場 LR 值均高於 0.5，顯示水質均呈現腐蝕狀態，且數值越大，腐蝕性越高。其中成功場過濾水落在 1.7~2.7 之間，平均 2.14 為最低，而馬公第一海淡廠約在 8.0~13.2 之間，平均 10.21 最高，主因為馬公第一海淡廠氯鹽高(48.2~69.7 mole/L*10000)、碳酸氫鹽(5.5~6.2 mole/L*10000)過低有關。

比較成功場快濾水、混合清水、鹽井淡化水之 LR 值，以淡化水數值最高，快濾水數值最低，雖然淡化水氯鹽最低，但主因為其碳酸氫鹽過低，造成 LR 值偏高。(參閱第七章附錄二)

表 4- 12 不同處理方式淨水場之 LR 值

日期	成功淨水場-快濾水	成功淨水場-混合清水	成功鹽淡廠-淡化水	馬公第一海淡廠-清水	馬公第二海淡廠-清水
109/08/24	2.07	2.72	5.08	8.33	3.01
109/09/07	1.79	2.65	5.48	9.58	3.31
109/09/21	2.01	3.34	1.84	13.15	3.82
109/10/05	2.68	3.96	13.33	9.80	3.32
平均	2.14	3.17	6.43	10.21	3.36

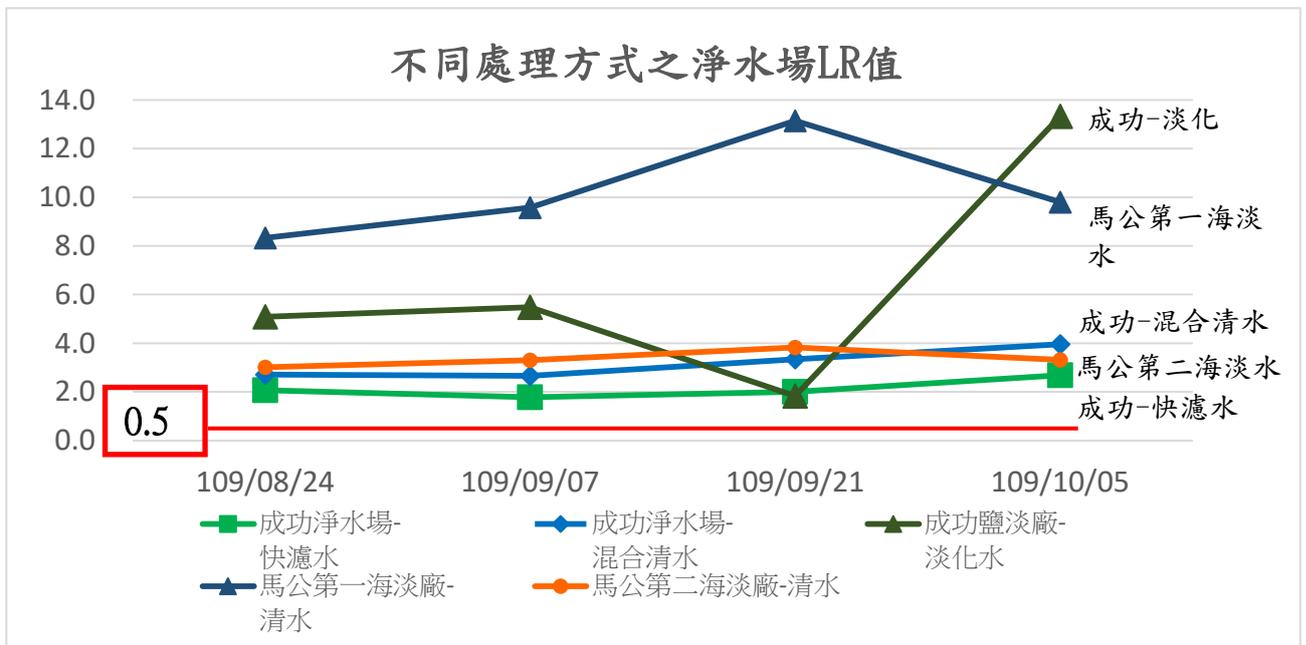


圖 4- 17 不同處理方式淨水場之 LR 值比較

4.5.2 成功淨水場之水質趨勢

如表 4- 13、圖 4- 18 所示，成功場管中配水點(馬公市中華路 239 號)和管末配水點(馬公市西衛里 140 號)的 LR 值差異不大且和成功淨水場混合清水趨勢一致，經了解此 2 處配水點位於市區，用水量大，且距離成功場不遠，故氯鹽、硫酸鹽與碳酸氫鹽數值均變化不大。(參閱第七章附錄二)

表 4- 13 成功淨水場及其配水點之 LR 值

日期	成功淨水場 混合清水	馬公市中華路 239 號	馬公市西衛里 140 號
109/08/24	2.72	2.46	2.42
109/09/07	2.65	2.78	2.95
109/09/21	3.34	3.25	3.23
109/10/05	3.96	3.88	4.04
平均	3.17	3.09	3.16

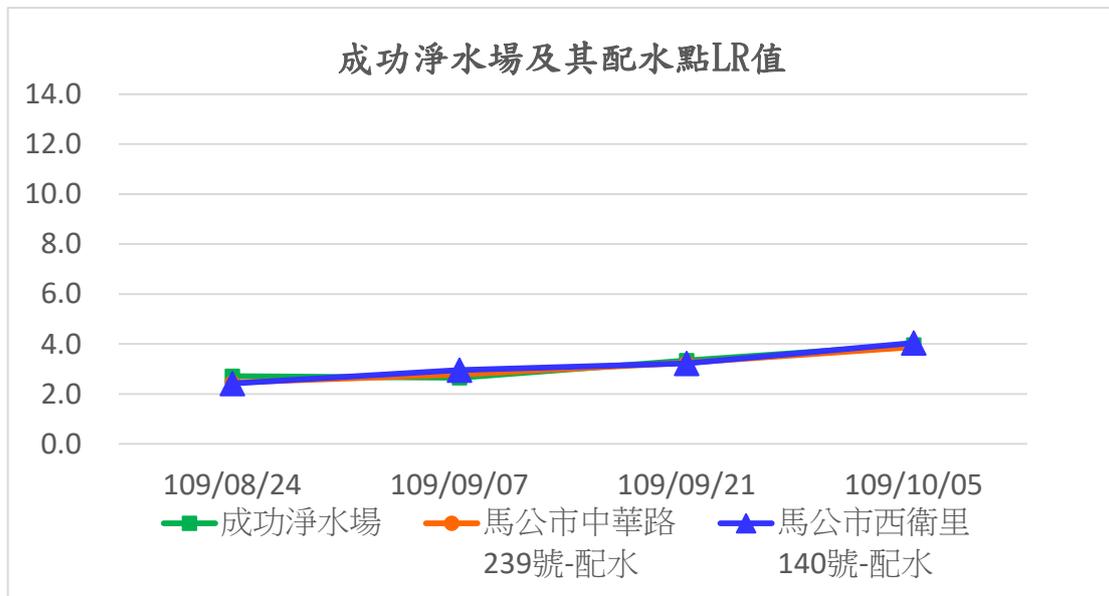


圖 4- 18 成功淨水場及其配水點之 LR 值比較

4.5.3 馬公第一海淡廠及其配水點 LR 值之比較

表 4- 14、圖 4- 19 所示，馬公第一海淡廠管中配水點(湖西鄉菓葉村 111 號)和管末配水點(湖西鄉北寮村 49 之 3 號)的 LR 值和馬公第一海淡廠清水趨勢大致一致，管末配水點 LR 值平均 8.72，略高於管中的平均值 7.88。此兩點之氯鹽、硫酸鹽差異不大(參閱第七章附錄二)，但送水幹管為 DIP，內襯之水泥砂漿容易析出鹼性物質，提高鹼度，故碳酸氫鹽略高，造成 LR 較低。

表 4- 14 馬公第一海淡廠及其配水點之 LR 值

日期	馬公第一海淡廠	湖西鄉菓葉村 111 號-配水	湖西鄉北寮村 49 之 3 號-配水
109/08/24	8.33	6.72	7.31
109/09/07	9.58	7.75	8.77
109/09/21	13.15	8.40	9.14
109/10/05	9.80	8.63	9.65
平均	10.21	7.88	8.72

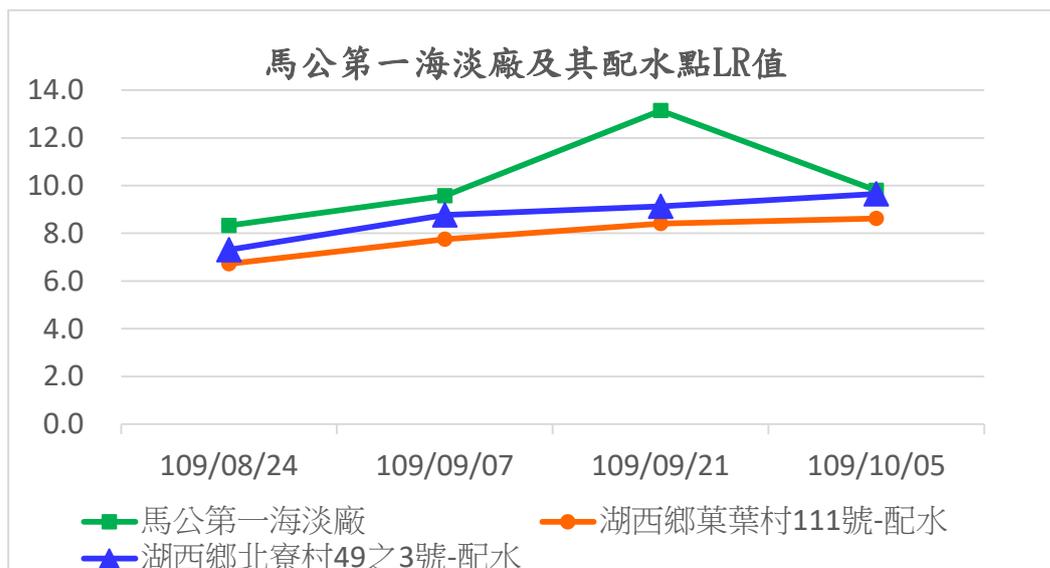


圖 4- 19 馬公第一海淡廠及其配水點之 LR 值比較

4.5.4 馬公第二海淡廠及其混合馬公第一海淡水之配水點 LR 值之比較

如表 4-15、圖 4-20 所示，管中配水點(馬公市石泉里 21 號)與管末配水點(馬公市前寮里 3 之 2 號)均與馬公第二海淡廠之間無明顯之相關性。因

表 3-2 說明了管中和管末配水點混合了馬公第一海淡廠與馬公第二海淡廠清水，此兩處配水點氯鹽、硫酸鹽無明顯差異，但管中配水點碳酸氫根較高(參閱第七章附錄二)，此應因送水幹管為 DIP，內襯之水泥砂漿容易析出鹼性物質，提高鹼度，故碳酸氫鹽較高，造成 LR 則較低。

表 4-15 馬公第二海淡廠及其混合馬公第一海淡水之配水點 LR 值

日期	馬公第二海淡廠	馬公市石泉里 21 號-配水	馬公市前寮里 3 之 2 號-配水
109/08/24	3.01	3.66	8.86
109/09/07	3.31	3.58	7.01
109/09/21	3.82	3.67	5.62
109/10/05	3.32	3.47	6.74
平均	3.36	3.59	7.06

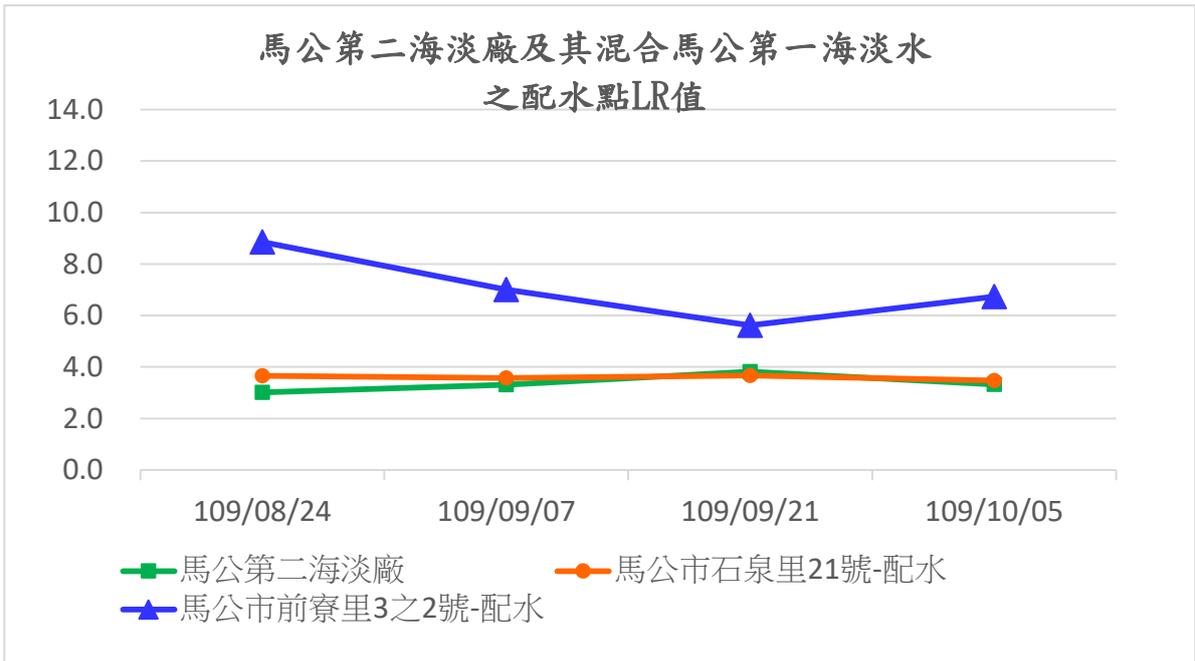


圖 4- 20 馬公第二海淡廠及其混合馬公第一海淡水之配水點 LR 值比較

4.6 配水點之水質趨勢

4.6.1 傳統處理廠和海淡廠之配水點水質比較

表 3-2 本計畫配水採樣點說明本計畫所選 6 個配水點之採樣地址及其所屬淨水場供水來源，分析其 LSI 及 pH 如圖 4-21。

成功淨水場所屬配水點 LSI 值介於-1.9~-0.6 之間，趨勢雖然一致，但與海淡廠所屬配水點相較，明顯偏低許多，依文獻指示易造成管線腐蝕，而海淡廠配水點 LSI 皆可維持在-1.0 以上，其中以馬公第一海淡廠單獨供水的管中配水點(湖西鄉果葉村 111 號)皆在 0 上下，最符合文獻建議值，其次為馬公第一及馬公第二海淡廠混合供水之管中配水點(馬公市石泉里 21 號)，可維持在-0.5~0.2 之間，其各別管末配水點 LSI 值皆相較略低。

但相對 pH 值，成功淨水場供水之配水點 pH 值約 7.0 上下，最符合飲用水水質標準，反之，海淡廠的 pH 值皆偏高，尤其是馬公第一海淡廠單獨供水的管中配水點(湖西鄉果葉村 111 號)pH 值皆在 9.0 上下，已超出飲用水水質標準 8.5 的上限值，另管末配水點(湖西鄉北寮村 49 之 3 號)pH 值亦有超過 8.5 之情形，其他海淡廠配水點亦在水質標準之上限臨界值。

圖 4-22 表 4-16 可得知各配水點 LR 值皆高於 0.5，依文獻指示均有腐蝕性，且數值越高，水質腐蝕性越強，但馬公第一海淡廠所屬配水點的 LR 值平均各為 7.88 及 8.72 為最高，成功淨水場所屬配水點的 LR 值平均各為 3.09 及 3.16 為最低，此主因為馬公第一海淡廠所屬配水點碳酸氫鹽(介於 6.0~7.9 mole/L*10000 之間)遠低於成功場所屬配水點(介於 17~28 mole/L*10000 之間)。(參閱第七章附錄二)

另由圖 4-21 與圖 4-22 可知 LSI 值均為管中大於管末，LR 值均為管末大於管中，此應與管中配水點鹼度較高，故碳酸氫鹽較高有關。

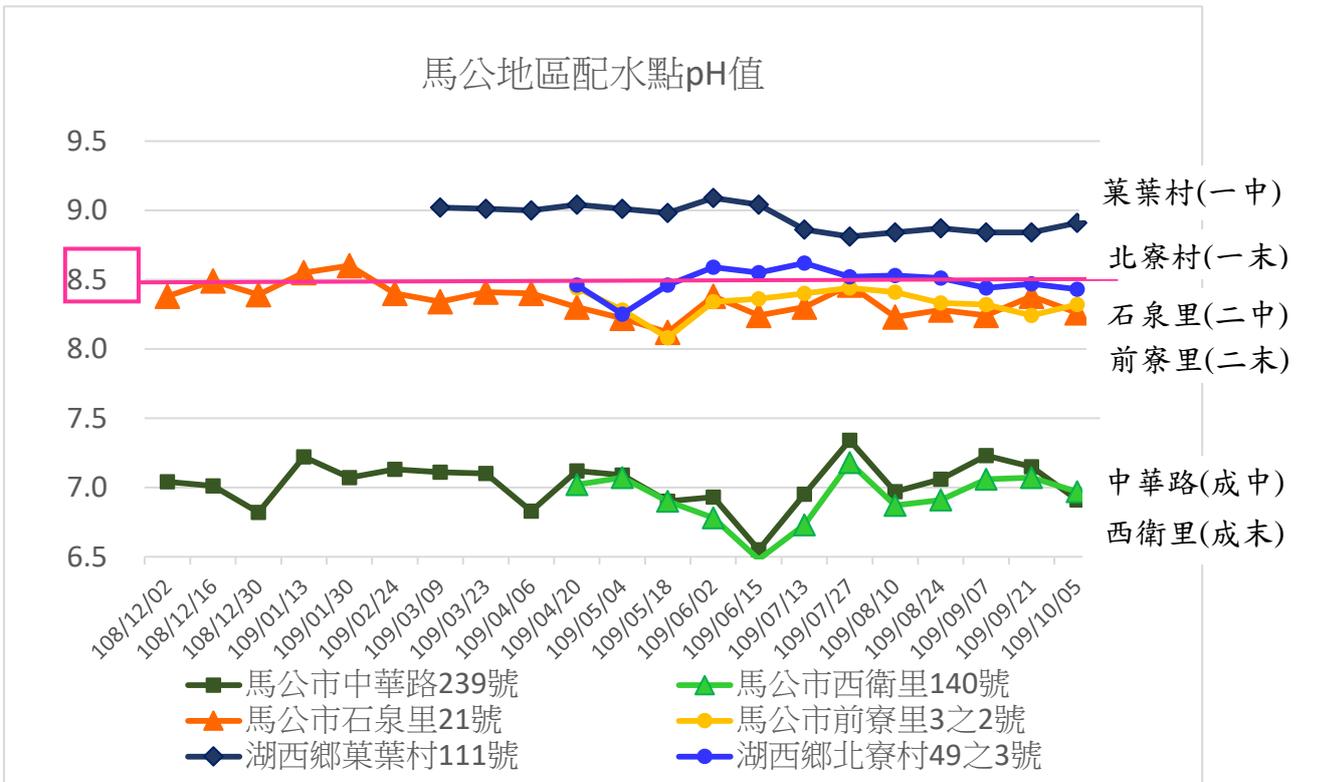
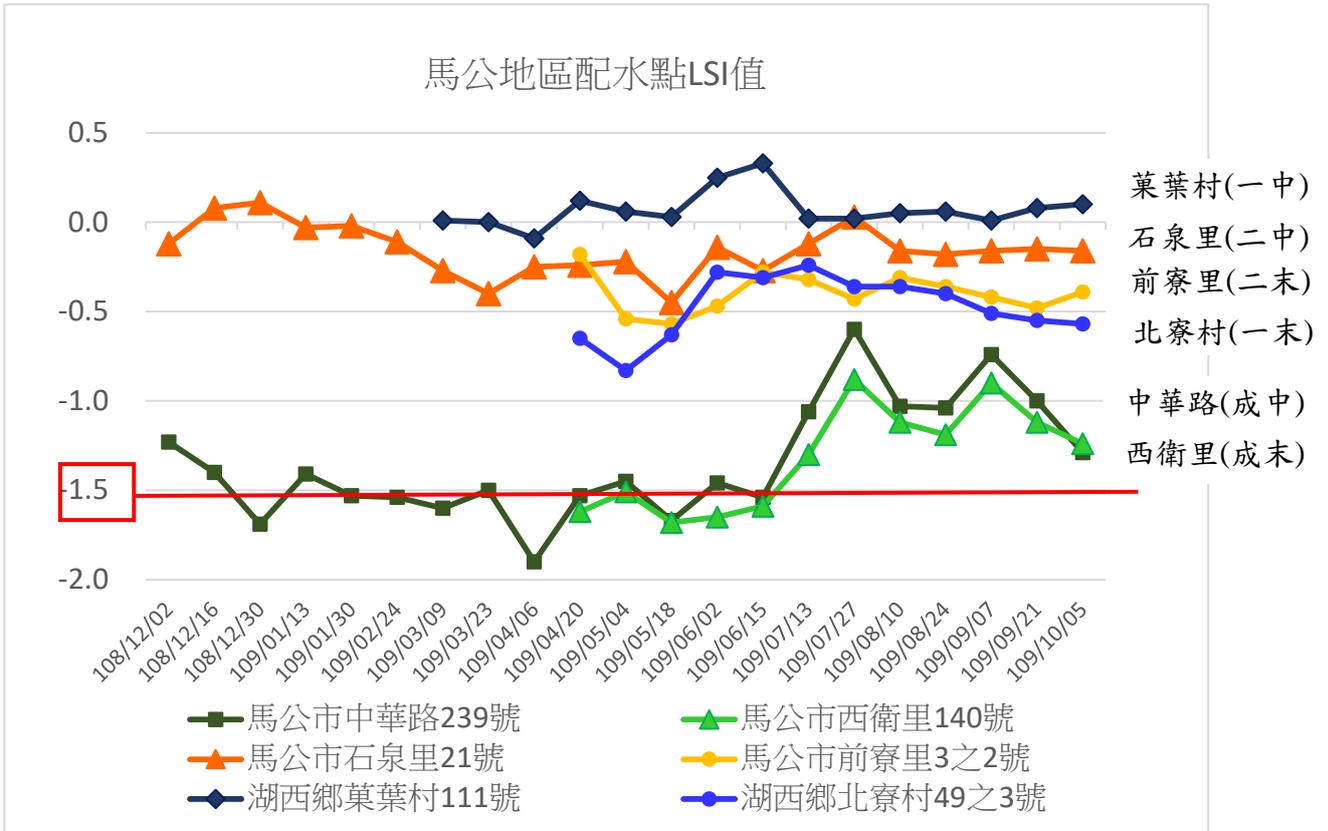


圖 4- 21 馬公地區配水點 LSI 及 pH 趨勢

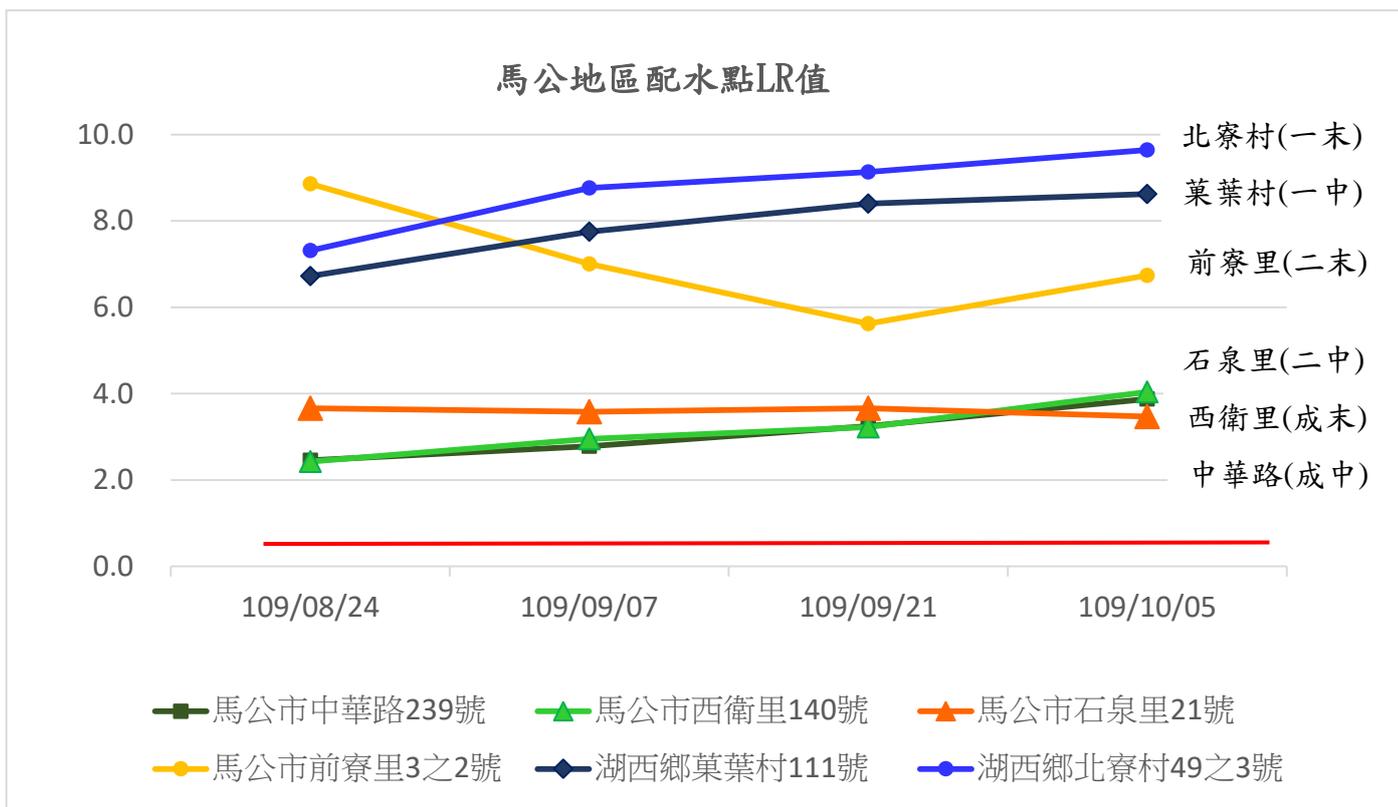


圖 4- 22 馬公地區各配水點 LR 趨勢

表 4- 16 馬公地區各配水點 LR

日期	馬公市中華路 239 號	馬公市西衛里 140 號	湖西鄉菓葉村 111 號	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	馬公市石泉里 21 號	馬公市前寮里 3 之 2 號
109/08/24	2.46	2.42	6.72	7.31	3.66	8.86
109/09/07	2.78	2.95	7.75	8.77	3.58	7.01
109/09/21	3.25	3.23	8.40	9.14	3.67	5.62
109/10/05	3.88	4.04	8.63	9.65	3.47	6.74
平均	3.09	3.16	7.88	8.72	3.59	7.06

4.7 馬公本島配水管網侵蝕及腐蝕控制策略探討

4.7.1 控制策略評析

綜析上述數據分析，除馬公第二海淡廠淨水場之 LSI 較穩定，可在 $-0.2\sim 0.1$ 之間，馬公第一海淡廠及成功淨水場出水之 LSI 皆偏低，大多 $-1.0\sim 0$ 之間，偏腐蝕性水質，雖然其配水點菓葉村 111 號 LSI 可於 0 以上，但由 DIP 試片浸泡腐蝕實驗驗證，其水質仍具有腐蝕性，顯示 LSI 應較適用於評估含有鈣離子之水泥砂漿或混凝土管材之腐蝕情況，對於金屬腐蝕，需以其他腐蝕指標輔助，例如 LR 值，而成功場、馬公第一與馬公第二海淡廠 LR 值皆高於 0.5，尤其以馬公第一海淡廠平均達 10.21 為最高，因應本計畫所得結果，及所蒐集之文獻研究，提出下列 3 種控制策略評析：

(1)採用 DIP 環氧樹脂粉體塗裝

- 可免除 LSI 偏低而造成水泥襯管 DIP 易腐蝕的現象。
- 惟無法免除雙酚 A 及環氧氣丙烷溶出水質安全疑慮。
- 造價昂貴，全部抽換既有 DIP 所費不貲，成本效益不如海淡水礦化。
- 無法免除用戶端金屬管件之腐蝕風險。

(2)海淡水添加抗腐蝕劑

- 添加化學品在水管表面形成保護膜以減緩腐蝕，常用之化學性抑制劑通常是磷酸鹽或矽酸鹽。
- 目前環保署公告的飲用水水質處理藥劑，皆為磷酸鹽化合物，易造成水庫優養影響水質安全。
- 標準檢驗局尚未公告自來水用管線抗腐蝕劑 CNS 規範供遵行。

(3)海淡水礦化

- 依葉宣顯及張伯鴻在「海水淡化廠出水最佳防蝕方式研究」指

出在諸多礦化法中以二氧化碳併用熟石灰及大理石礦物塔較具成本效益。

- 以二氧化碳併用熟石灰法，環保署尚未公告允許使用二氧化碳；大理石礦物塔之粒徑大小及接觸時間適當設計，對優化礦化水質影響大。



➤ SWOT 分析	Strengths 優勢	Weaknesses 弱勢	Opportunities 機會	Threats 威脅
採用 DIP 環氧樹脂粉體塗裝	免除 LSI 偏低而造成水泥襯管的腐蝕	造價昂貴	北水採用此方法，可借鏡	無法免除 BPA 及其他化合物溶出
海淡水添加抗腐蝕劑	化學品在水管表面形成保護膜減緩腐蝕	標準局尚未有公告之管線腐蝕劑規範供遵行	方法尚未成熟須研究，但藥劑成本相對較低	磷酸鹽化合物易造成水質優養，影響水質安全
海淡水礦化	較具成本效益	尚未公告可使用 CO2	已有部分海淡廠使用礦化塔，技術較為成熟	礦物塔粒徑及接觸時間影響水質礦化

4.7.2 建議控制策略

綜上判斷，海水淡化廠腐蝕控制應以源頭處理為最佳方式，即採優化礦化法，敘明如下：

- 第二海淡廠出水水質 LSI 要求雖已較一廠限縮，但考量目前澎湖地區 DIP 之侵蝕腐蝕及水質現況仍有限縮 LSI 之需求，宜參考國外，訂定 $LSI \geq 0$ 。目前海淡水礦化後之鹼度偏低，但 pH、氯鹽偏高，恐係造成侵蝕、腐蝕及 pH 超標之主因，依據 LR 探討結果，配水系統仍有腐蝕趨勢，尤其海淡廠直接供水地區，仍偶有發生紅水事件，恐招致用戶抱怨，建議增加 LR 限值為 < 0.5 。目前馬公第二海淡廠已進入試營運階段，現供水 2,000 噸，將再提升至 4000 噸，後續又有 6,000 噸將增設，建議持續收集數據，觀察其供水成效，再據以供自來水事業單位遵循。

第五章 結論與建議

5.1 結論

- (1)馬公第一海淡廠 LSI 偏-1.0 操作，清水水質 pH 偶有超標，又鹼度過低未規範，氯鹽、硫酸鹽雖有規範但都偏高，致 LR 平均可達 10.21，造成配水系統 pH 屢有超標及紅水事件。
- (2)馬公第二海淡廠 LSI 偏 0 操作，清水水質 pH 雖未超標惟仍偏高，但因鹼度略大於馬公第一海淡廠，氯鹽、硫酸鹽小於馬公第一海淡廠，致 LR 平均可達 3.36，而造成配水系統 pH 偶有超標及紅水事件。
- (3)成功場混合成功水庫傳統處理、地下鹽井淡化、馬公第一海淡廠，傳統處理因原水 TOC 過高，添加硫酸，不利侵蝕、腐蝕性控制。又鹽淡廠未規範 LSI，造成混合清水 LSI 為-1.96~-0.9。但因成功場過濾水鹼度高，致混合清水 LR 平均為 3.17 尚無 pH 超標及紅水事件。
- (4)澎湖地區出紅水時有所聞，由用戶分水鞍腐蝕及電化學金屬腐蝕程度測試結果可為驗證。

5.2 建議

- (1)海水淡化廠腐蝕控制策略應以源頭處理為最佳方式，即採優化礦化法最佳。
- (2)因 LSI、RSI 及 PSI 是評估水泥內襯管是否結垢或侵蝕的指標，國際上較常用為 LSI，AI 是評估石綿水泥管是否結垢或侵蝕之指標，另 LR 是無內襯鐵管是否腐蝕指標，而澎湖海淡廠現況水質規範僅訂 LSI 未能充份反應水泥之侵蝕及金屬腐蝕，衡之澎湖地區金屬腐蝕現況，除參考國外修訂 $LSI \geq 0$ ，並增訂 $LR < 0.5$ ，方能同時兼顧水泥內襯侵蝕及金屬腐蝕。目前馬公第二海淡廠已進入試營運階段，現供水 2,000 噸，將再提升至 4000 噸，後續又有 6,000 噸將增設，建議持續收集數據，觀察其供水成效，再據以供自來水事業單位遵循。
- (3)澎湖鹽淡廠均未規範侵蝕、腐蝕性參數，建議新設鹽淡廠比照海淡廠訂定 $LSI \geq 0$ ， $LR < 0.5$ ，另既有廠應研議改善。
- (4)澎湖地區水庫有優養化問題，致 TOC 偏高，須加酸處理，以降低總三鹵甲烷生成潛勢，惟加酸不利配水系統侵蝕、腐蝕控制，期冀主管機關能推行水庫 MSL 除磷及除碳實場工程。

第六章 參考文獻

一、中文部分

1. 行政院，2019，離島地區供水改善計畫第二期。
2. 康世芳、黃文鑑、王根樹，2003，自來水管線腐蝕之檢討與防蝕策略，中華民國自來水協會研究報告。
3. 張伯鴻，2004，海水淡化廠出水最佳防蝕方式研究，成功大學環境工程學系碩士論文。
4. 江弘斌、吳美炷，2005，水公司各地淨水場清水腐蝕指數調查，經濟部研究發展專題。
5. 薛少俊，1987，水處理系統之腐蝕防治，防蝕工程期刊。
6. 財團法人中興工程顧問社，2004，澎湖烏坎海淡廠出水最佳經濟防蝕方式暨符合第三階段飲用水水質標準之研究，台灣自來水公司委託研究報告。
7. 李嘉榮、胡南澤、籃炳樟、李春銓、張煥獎、謝榮哲、曾合意，2015，澎湖地區送配水管管種最適化探討，中華民國自來水協會研究報告。
8. 胡洪營、黃晶晶、孫艷、吳乾元，2015，水質研究方法。科學出版社，北京。
9. 陳明州等人，2018，自來水配水管材選用策略之研究-以北水處供水管網為例，中華民國自來水協會研究報告。
10. 羅俊雄、饒正，公共工程腐蝕及陰極防蝕現況探討，2006，公共工程之陰極防蝕應用研討會論文集，p.1-1~1-45。
11. 蔡博淵、謝榮哲、陳威豪，參加 2019 以色列水科技博覽會 WATEC-水科技及環境控制(含考察)報告，2020，台灣自來水公司。

二、英文部分

1. APHA, AWWA, & WEF, (1998), “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20th Ed
2. ASTM G 46-94,(2013), “Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion”
3. AWWA, (1989), “Economics of Internal Corrosion Control”, AWWA Research Foundation, Denver, CO.
4. AWWA, (1986), “Corrosion Control for Operators”, AWWA Research Foundation, Denver, CO
5. F.W. Pontious, (1990), “Water Quality and Treatment”, Chapter 17, 4th Edition, McGraw-Hill, Inc., New York,
6. Ferguson, J.F., M. M. Benjamin, and S. Reibe, (1990), “The Develop of a Corrosion Assessment Methodology”, Corrosion and Corrosion Control in Drinking Water Systems, Process from a Corrosion Workshop and Seminar in Oslo, No. 3, pp.17
7. Hudson, D. E. Jr., and F. W. Gilcreas, (1976), “Health and Economic Aspects of Water Hardness and Corrosiveness”, Vol. 77, No. 4, pp. 201~203.
8. Japan water works Association, (2012), “*Water Treatment facilities*”, Chapter 5, The design criteria for water supply facilities.
9. Kirmeyer, G.J. (1999), “Maintaining and Operating Finished Water Storage Facilities to Prevent Water quality Deterioration”, AWWA Research Foundation, Denver, CO.
10. Langelier, W.F., (1936), “The Analytical Control of Anticorrosion Water Treatment”, Jour. AWWA, 28:1500

11. Peter Gebbie, (2000), "WATER STABILITY - WHAT DOES IT MEAN AND HOW DO YOU MEASURE IT ?", 63rd Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference Civic Centre – Warrnambool 6 and 7 September,
12. Reiber, S. H., Ferguson, J. F. and Benjamin, M. M., (1988) "An Improved Method for Corrosion-rate Measurement by Weight Loss", Jour. AWWA, Vol. 80, No. 11.
13. Ryznar, J. W., (1944), "A New Index for Determining Amount of Calcium Carbonate Scale Formed by Water" , Jour. AWWA, 36:472
14. Singley, J.E., Beaudet, B. A., Markey, P.H., Derry, D.W., Kiclwell, J.R. Malish, D.A., (1985), "Corrosion Prevntion and Control in Water treatment and supply systems" Naves Publications, Park Ridge, New Jersey, USA.
15. Singley, J. E., (1981), "The Search for a Corrosion Index", Jour. AWWA, Vol. 73, No. 11, pp. 579~582
16. Singley, J.E., and Lee, T.Y., (1984), "Pipe Loop Augments Corrosion Studies", Jour. AWWA, Vol. 76, No. 8, pp.76~82
17. Syed Shabudeen P.S., (2008), "Corrosion and Corrosion Control"
18. Uhlig, H. H. and Revie, R.W., (1991), "Corrosion and Corrosion Control - An Introduction to Corrosion Science and Engineering", John Wiley & Sons, New York.
19. Zabihollah Y., Farzad ., Reza Ali .(2016), "Assessment of scale formation and corrosion of drinking water supplies in Ilam city (Iran)" *Environmental Health Engineering and Management Journal*.
20. Palazzo. (2015). The accuracy of calcium-carbonate-based saturation indices in predicting the corrosivity of hot brackish water towards mild steel. *Journal*

of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. vol.115 n.12

Johannesburg December, 2015.

三、網站資料

1. CDC(centers for disease control and prevention)網站

<https://www.cdc.gov/fluoridation/engineering/corrosion.htm>

2. 行政院環保署環境資源資料庫 <https://erdb.epa.gov.tw/>

第七章 附錄

附錄一：馬公地區淨水場及本計畫採樣點之水質數據

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫 (°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣 (Ca)	硬度	LSI 值
108/11/25	-	成功淨水場	混合清水	24.5	7.04	65	-	0.018	474	36	-	-1.39
108/11/25	-	馬公第一海淡廠	清水	26.0	8.12	24	-	0.005	386	25	-	-0.86
108/12/02	14:31	馬公第一海淡廠	清水	23.5	8.20	25	0.42	0.000	314	29	38	-0.71
108/12/02	14:37	成功淨水場	混合清水	22.8	6.94	87	0.01	0.018	515	42	137	-1.33
108/12/02	11:05	馬公市石泉里 21 號	配水	25.3	8.38	55	0.02	0.025	340	33	34	-0.12
108/12/02	15:25	馬公市中華路 239 號	配水	22.0	7.04	86	0.01	0.024	519	44	28	-1.23
108/12/16	11:20	馬公第一海淡廠	清水	23.0	8.38	24	0.37	0.001	358	28	44	-0.58
108/12/16	11:26	成功淨水場	混合清水	23.0	7.07	64	0.04	0.037	470	38	118	-1.36
108/12/16	15:30	馬公市石泉里 21 號	配水	24.0	8.49	56	0.02	0.018	327	38	19	0.08
108/12/16	15:22	馬公市中華路 239 號	配水	22.5	7.01	66	0.02	0.006	457	41	30	-1.40
108/12/30	13:08	成功淨水場	快濾水	19.0	6.81	124	0.01	0.035	721	54	232	-1.39
108/12/30	13:17	成功鹽井淡化廠	淡化水	25.4	6.64	33	0.00	0.002	157	11	11	-2.49
108/12/30	13:20	馬公第一海淡廠	清水	22.0	8.40	26	0.07	<0.001	335	15	34	-0.81
108/12/30	13:25	成功淨水場	混合清水	21.5	6.93	57	0.01	0.010	433	43	101	-1.51
108/12/30	14:18	馬公市石泉里 21 號	配水	22.8	8.39	57	0.02	0.006	291	55	31	0.11
108/12/30	16:08	馬公市中華路 239 號	配水	22.0	6.82	59	0.02	<0.001	415	35	30	-1.69
109/01/13	10:46	成功淨水場	快濾水	19.0	6.76	120	0.01	0.048	759	67	226	-1.26
109/01/13	11:02	成功鹽井淡化廠	淡化水	25.2	6.57	27	0.00	0.010	164	11	11	-2.65
109/01/13	11:05	馬公第一海淡廠	清水	22.0	8.94	28	0.09	0.014	339	20	28	-0.11
109/01/13	11:14	成功淨水場	混合清水	22.0	7.18	51	0.02	0.022	461	30	61	-1.47

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
109/01/13	14:15	馬公市石泉里 21 號	配水	22.8	8.55	55	0.02	0.018	345	29	-	-0.03
109/01/13	14:08	馬公市中華路 239 號	配水	22.0	7.22	51	0.02	0.025	460	31	-	-1.41
109/01/30	10:47	馬公第一海淡廠	清水	20.8	8.56	25	0.22	0.004	355	33	-	-0.35
109/01/30	10:54	成功淨水場	混合清水	20.0	6.96	55	0.00	0.009	447	32	85	-1.65
109/01/30	13:38	馬公市石泉里 21 號	配水	22.0	8.60	49	0.02	0.044	344	31	-	-0.02
109/01/30	13:24	馬公市中華路 239 號	配水	20.0	7.07	56	0.02	0.018	444	32	-	-1.53
109/02/24	10:17	馬公第一海淡廠	清水	23.2	8.38	22	0.10	<0.001	417	18	30	-0.83
109/02/24	10:28	成功淨水場	混合清水	23.0	7.02	47	0.02	0.015	464	30	76	-1.65
109/02/24	13:48	馬公市石泉里 21 號	配水	24.8	8.40	56	0.02	0.015	356	32	-	-0.11
109/02/24	13:25	馬公市中華路 239 號	配水	23.0	7.13	50	0.02	0.002	468	28	-	-1.54
109/03/09	10:00	馬公第一海淡廠	清水	24.6	8.37	23	0.05	0.000	369	16	19	-0.84
109/03/09	10:10	成功淨水場	混合清水	24.5	6.89	47	0.01	0.014	451	27	90	-1.80
109/03/09	11:54	馬公市石泉里 21 號	配水	24.5	8.34	53	0.03	0.009	329	27	-	-0.27
109/03/09	13:25	馬公市中華路 239 號	配水	24.5	7.11	49	0.02	0.014	452	25	-	-1.60
109/03/09	11:15	湖西鄉菓葉村 111 號	配水	23.6	9.02	26	0.03	<0.001	368	23	-	0.01
109/03/23	11:15	成功淨水場	快濾水	23.0	6.54	122	0.01	0.029	797	63	239	-1.45
109/03/23	11:25	成功鹽井淡化廠	淡化水	26.7	7.08	46	0.06	0.006	221	16	16	-1.75
109/03/23	13:58	馬公第一海淡廠	清水	25.5	8.17	23	0.25	0.006	372	16	30	-1.02
109/03/23	11:30	成功淨水場	混合清水	25.5	6.86	52	0.02	0.020	484	30	85	-1.73
109/03/23	10:33	馬公市石泉里 21 號	配水	25.8	8.41	49	0.04	0.009	356	18	-	-0.40
109/03/23	13:12	馬公市中華路 239 號	配水	24.0	7.10	44	0.00	0.009	458	36	-	-1.50

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫 (°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣 (Ca)	硬度	LSI 值
109/03/23	13:30	湖西鄉菓葉村 111 號	配水	24.5	9.01	26	0.03	<0.001	400	23	-	0.00
108/07/01	11:50	三千噸海淡	淡化水	30.3	8.48	24	<0.01	<0.001	176	21	-	-0.45
108/07/02	10:55	三千噸海淡	淡化水	29.9	8.34	24	0.02	0.002	245	20	-	-0.64
108/07/03	14:55	三千噸海淡	淡化水	28.8	8.42	24	<0.01	<0.001	131	20	-	-0.53
108/07/04	10:50	三千噸海淡	淡化水	28.4	8.43	24	<0.01	<0.001	212	22	-	-0.52
108/07/05	10:45	三千噸海淡	淡化水	29.2	8.42	24	<0.01	0.001	216	20	-	-0.56
108/07/06	08:10	三千噸海淡	淡化水	29.3	8.41	26	0.01	0.003	241	22	-	-0.50
108/07/07	10:25	三千噸海淡	淡化水	29.3	8.34	24	0.02	0.003	247	22	-	-0.61
108/07/08	11:03	三千噸海淡	淡化水	31.1	8.34	24	<0.01	0.002	234	20	-	-0.57
108/07/09	11:10	三千噸海淡	淡化水	29.9	8.34	24	0.02	0.002	242	21	-	-0.62
108/07/10	15:21	三千噸海淡	淡化水	28.5	8.46	26	0.01	0.003	240	22	-	-0.46
108/07/11	11:04	三千噸海淡	淡化水	30.1	8.41	25	0.02	0.003	244	22	-	-0.51
108/07/12	10:46	三千噸海淡	淡化水	29.6	8.34	25	0.02	0.003	240	20	-	-0.63
108/07/13	15:20	三千噸海淡	淡化水	32.2	8.42	24	0.03	0.005	296	22	-	-0.51
108/07/14	08:15	三千噸海淡	淡化水	30.1	8.31	24	<0.01	0.002	242	21	-	-0.65
108/07/15	10:48	三千噸海淡	淡化水	20.2	8.31	24	<0.01	<0.001	116	20	-	-0.62
108/07/16	10:45	三千噸海淡	淡化水	29.5	8.50	26	0.03	0.005	271	22	-	-0.42
108/07/17	09:30	三千噸海淡	淡化水	29.3	8.44	25	0.01	0.003	227	22	-	-0.49
108/07/18	09:38	三千噸海淡	淡化水	28.9	8.34	24	0.02	0.004	246	22	-	-0.61
108/07/19	11:10	三千噸海淡	淡化水	29.1	8.40	26	0.03	0.006	277	22	-	-0.53
108/07/20	10:02	三千噸海淡	淡化水	28.3	8.46	25	<0.01	0.003	235	22	-	-0.48
108/07/21	15:00	三千噸海淡	淡化水	27.8	8.38	24	<0.01	0.002	219	21	-	-0.60
108/08/20	15:42	三千噸海淡	淡化水	27.8	8.36	26	0.03	0.005	328	22	-	-0.60

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
108/08/21	15:35	三千噸海淡	淡化水	27.6	8.34	24	<0.01	0.002	257	22	-	-0.59
108/08/22	14:05	三千噸海淡	淡化水	29.3	8.31	24	0.01	0.003	269	22	-	-0.65
108/08/23	16:16	三千噸海淡	淡化水	29.0	8.37	24	0.02	0.003	266	22	-	-0.59
108/08/24	10:55	三千噸海淡	淡化水	28.3	8.34	26	0.03	0.004	283	21	-	-0.62
108/08/25	11:05	三千噸海淡	淡化水	27.5	8.38	26	0.02	0.002	256	22	-	-0.56
108/08/26	11:20	三千噸海淡	淡化水	28.2	8.36	24	0.02	0.003	265	21	-	-0.63
108/08/27	10:08	三千噸海淡	淡化水	28.6	8.38	25	0.03	0.005	319	22	-	-0.58
108/08/28	10:30	三千噸海淡	淡化水	28.7	8.43	24	<0.01	<0.001	243	22	-	-0.53
108/08/29	10:30	三千噸海淡	淡化水	28.9	8.36	26	0.04	0.006	319	22	-	-0.58
108/08/30	10:02	三千噸海淡	淡化水	29.1	8.40	26	0.03	0.006	314	23	-	-0.52
108/08/31	09:22	三千噸海淡	淡化水	28.6	8.50	26	0.02	0.003	274	22	-	-0.43
108/09/01	15:40	三千噸海淡	淡化水	29.4	8.37	25	0.03	0.006	340	22	-	-0.59
108/09/02	13:30	三千噸海淡	淡化水	29.1	8.34	26	0.03	0.006	345	22	-	-0.61
108/09/03	10:25	三千噸海淡	淡化水	28.6	8.35	24	0.01	0.003	268	21	-	-0.64
108/09/04	16:10	三千噸海淡	淡化水	29.0	8.33	24	<0.01	<0.001	208	20	-	-0.65
108/09/05	11:20	三千噸海淡	淡化水	28.3	8.41	25	0.02	0.003	267	20	-	-0.58
108/09/06	11:10	三千噸海淡	淡化水	29.1	8.37	24	<0.01	0.002	216	20	-	-0.61
108/09/07	08:25	三千噸海淡	淡化水	29.2	8.36	24	<0.01	<0.001	215	20	-	-0.62
108/09/08	08:45	三千噸海淡	淡化水	28.9	8.34	24	0.02	0.004	257	22	-	-0.62
108/09/09	14:28	三千噸海淡	淡化水	30.1	8.32	24	<0.01	0.002	237	22	-	-0.62
108/09/10	15:28	三千噸海淡	淡化水	29.6	8.44	24	<0.01	<0.001	212	21	-	-0.54
108/09/11	15:20	三千噸海淡	淡化水	30.3	8.35	25	0.03	0.005	323	22	-	-0.59
108/09/12	14:47	三千噸海淡	淡化水	31.3	8.42	24	0.02	0.004	287	22	-	-0.52
108/09/13	16:15	三千噸海淡	淡化水	30.8	8.41	24	0.03	0.005	290	20	-	-0.57

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
108/09/14	14:42	三千噸海淡	淡化水	29.7	8.41	26	0.04	0.006	341	22	-	-0.53
108/09/15	09:24	三千噸海淡	淡化水	29.1	8.39	25	0.03	0.006	334	20	-	-0.61
108/09/16	09:50	三千噸海淡	淡化水	28.9	8.38	26	0.03	0.005	302	22	-	-0.56
108/09/17	09:55	三千噸海淡	淡化水	28.4	8.31	24	0.03	0.006	297	21	-	-0.69
108/09/18	10:50	三千噸海淡	淡化水	28.5	8.36	26	0.03	0.006	294	22	-	-0.58
108/09/19	10:30	三千噸海淡	淡化水	27.1	8.42	27	0.02	0.004	283	22	-	-0.52
108/09/20	10:05	三千噸海淡	淡化水	26.3	8.38	26	0.03	0.004	276	20	-	-0.63
108/09/21	15:30	三千噸海淡	淡化水	27.4	8.39	27	0.04	0.007	295	22	-	-0.55
108/09/22	08:35	三千噸海淡	淡化水	26.7	8.39	30	0.04	0.006	304	23	-	-0.50
108/09/23	10:35	三千噸海淡	淡化水	27.3	8.42	26	0.03	0.005	278	22	-	-0.53
108/09/24	11:30	三千噸海淡	淡化水	26.8	8.44	26	0.04	0.006	291	22	-	-0.62
108/09/25	14:35	三千噸海淡	淡化水	27.3	8.49	26	0.03	0.005	315	22	-	-0.55
108/09/26	11:10	三千噸海淡	淡化水	26.5	8.49	26	0.02	0.006	308	22	-	-0.48
108/09/27	11:40	三千噸海淡	淡化水	26.5	8.49	27	0.02	0.006	300	22	-	-0.46
108/09/28	08:30	三千噸海淡	淡化水	27.0	8.43	25	0.04	0.007	320	22	-	-0.56
108/09/29	15:35	三千噸海淡	淡化水	27.5	8.38	26	0.04	0.007	346	22	-	-0.59
108/09/30	10:28	三千噸海淡	淡化水	27.8	8.42	26	0.04	0.007	320	22	-	-0.54
108/10/01	09:42	三千噸海淡	淡化水	26.8	8.43	26	0.05	0.008	348	23	-	-0.53
108/10/02	11:16	三千噸海淡	淡化水	28.4	8.35	24	0.04	0.007	376	22	-	-0.65
108/10/03	14:26	三千噸海淡	淡化水	30.0	8.32	26	<0.01	<0.001	213	22	-	-0.57
108/10/04	10:36	三千噸海淡	淡化水	28.9	8.33	25	0.03	0.005	344	22	-	-0.64
108/10/05	14:40	三千噸海淡	淡化水	29.7	8.35	24	<0.01	0.002	227	22	-	-0.59
108/10/06	15:00	三千噸海淡	淡化水	28.9	8.47	27	0.05	0.006	363	23	-	-0.45
108/10/07	09:58	三千噸海淡	淡化水	28.9	8.31	25	<0.01	<0.001	181	22	-	-0.60

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
108/10/08	13:17	三千噸海淡	淡化水	28.8	8.43	26	0.05	0.006	348	23	-	-0.50
108/10/09	10:32	三千噸海淡	淡化水	28.0	8.39	26	0.04	0.007	357	22	-	-0.58
108/10/10	15:20	三千噸海淡	淡化水	28.6	8.47	25	0.05	0.008	357	22	-	-0.50
108/10/11	10:15	三千噸海淡	淡化水	27.1	8.46	26	0.03	0.006	318	21	-	-0.53
108/10/12	06:33	三千噸海淡	淡化水	26.3	8.46	27	0.03	0.005	306	22	-	-0.50
108/10/13	15:45	三千噸海淡	淡化水	28.3	8.45	26	0.05	0.008	368	21	-	-0.53
108/10/14	11:40	三千噸海淡	淡化水	25.9	8.40	28	0.04	0.006	312	22	-	-0.55
108/10/15	11:00	三千噸海淡	淡化水	25.1	8.32	25	0.03	0.005	304	21	-	-0.71
108/10/16	10:50	三千噸海淡	淡化水	25.4	8.38	26	0.03	0.007	329	22	-	-0.61
108/10/17	10:55	三千噸海淡	淡化水	25.7	8.40	27	0.03	0.007	312	22	-	-0.57
108/10/18	11:00	三千噸海淡	淡化水	25.4	8.41	28	0.03	0.007	320	23	-	-0.53
108/10/19	09:00	三千噸海淡	淡化水	24.3	8.38	27	0.03	0.005	306	22	-	-0.61
108/10/20	07:58	三千噸海淡	淡化水	24.3	8.31	27	0.04	0.006	313	23	-	-0.66
108/10/21	14:35	三千噸海淡	淡化水	26.1	8.32	26	<0.01	0.001	233	23	-	-0.62
108/10/22	09:56	三千噸海淡	淡化水	25.3	8.39	28	<0.01	<0.001	221	22	-	-0.54
108/10/23	14:30	三千噸海淡	淡化水	27.3	8.42	26	0.04	0.007	358	22	-	-0.56
108/10/24	14:38	三千噸海淡	淡化水	26.1	8.41	26	0.03	0.006	331	22	-	-0.57
108/10/25	09:51	三千噸海淡	淡化水	25.6	8.36	26	0.03	0.005	307	21	-	-0.64
108/10/26	15:50	三千噸海淡	淡化水	27.1	8.47	28	0.05	0.009	370	23	-	-0.46
108/10/27	08:30	三千噸海淡	淡化水	25.8	8.32	26	0.02	0.005	297	23	-	-0.64
108/10/28	10:50	三千噸海淡	淡化水	24.5	8.30	25	0.03	0.004	266	22	-	-0.70
108/10/29	11:40	三千噸海淡	淡化水	25.5	8.73	28	0.05	0.008	367	23	-	-0.52
108/10/30	11:05	三千噸海淡	淡化水	25.4	8.46	28	0.05	0.007	358	22	-	-0.51
108/10/31	14:40	三千噸海淡	淡化水	25.5	8.46	28	0.05	0.008	359	23	-	-0.49

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
108/11/01	11:00	三千噸海淡	淡化水	25.4	8.34	26	0.02	0.003	281	22	-	-0.64
108/11/02	09:38	三千噸海淡	淡化水	24.9	8.42	27	0.02	0.003	256	22	-	-0.54
108/11/03	15:30	三千噸海淡	淡化水	25.5	8.43	28	0.04	0.007	305	22	-	-0.52
108/11/04	10:35	三千噸海淡	淡化水	23.5	8.38	26	0.03	0.005	268	21	-	-0.64
108/11/05	09:25	三千噸海淡	淡化水	24.3	8.30	26	0.04	0.006	299	22	-	-0.70
108/11/06	10:35	三千噸海淡	淡化水	24.1	8.41	28	0.03	0.006	297	23	-	-0.54
108/11/07	10:57	三千噸海淡	淡化水	24.2	8.30	26	0.04	0.007	299	22	-	-0.70
108/11/08	10:56	三千噸海淡	淡化水	23.9	8.42	26	0.02	0.004	284	22	-	-0.58
108/11/09	08:25	三千噸海淡	淡化水	23.7	8.33	25	0.02	0.003	260	22	-	-0.68
108/11/10	07:15	三千噸海淡	淡化水	22.8	8.30	26	0.03	0.005	312	22	-	-0.74
108/11/11	15:57	三千噸海淡	淡化水	25.4	8.35	26	0.05	0.007	346	22	-	-0.65
108/11/12	10:09	三千噸海淡	淡化水	25.0	8.35	26	0.05	0.007	357	21	-	-0.67
108/11/13	10:48	三千噸海淡	淡化水	25.0	8.37	26	0.05	0.008	353	22	-	-0.64
108/11/14	09:42	三千噸海淡	淡化水	23.7	8.41	27	0.04	0.006	319	22	-	-0.59
108/11/15	09:16	三千噸海淡	淡化水	23.6	8.47	28	0.03	0.004	284	23	-	-0.48
108/11/16	15:40	三千噸海淡	淡化水	25.6	8.47	26	0.04	0.006	313	22	-	-0.52
108/11/17	13:10	三千噸海淡	淡化水	26.5	8.47	28	0.05	0.009	379	22	-	-0.49
108/11/18	10:00	三千噸海淡	淡化水	28.5	8.39	27	0.04	0.006	332	22	-	-0.55
108/11/19	10:02	三千噸海淡	淡化水	22.8	8.34	26	0.02	0.005	292	23	-	-0.66
108/11/20	10:42	三千噸海淡	淡化水	22.1	8.37	29	0.03	0.006	306	26	-	-0.54
108/11/21	08:42	三千噸海淡	淡化水	22.3	8.37	30	0.04	0.007	328	28	-	-0.50
108/11/22	13:30	三千噸海淡	淡化水	23.0	8.44	30	0.03	0.006	330	27	-	-0.44
108/11/23	08:00	三千噸海淡	淡化水	23.5	8.15	28	0.04	0.007	337	25	-	-0.78
108/11/24	15:30	三千噸海淡	淡化水	25.2	8.45	32	0.05	0.010	377	28	-	-0.36

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
108/11/25	11:20	三千噸海淡	淡化水	24.1	8.27	30	0.05	0.008	349	26	-	-0.61
108/11/26	11:30	三千噸海淡	淡化水	24.0	8.41	30	0.04	0.007	325	26	-	-0.47
108/11/27	11:40	三千噸海淡	淡化水	23.5	8.34	30	0.04	0.006	303	26	-	-0.54
108/11/28	14:40	三千噸海淡	淡化水	22.6	8.25	30	0.02	0.004	275	25	-	-0.65
108/11/29	11:00	三千噸海淡	淡化水	21.7	8.35	30	0.03	0.005	312	26	-	-0.56
108/11/30	09:20	三千噸海淡	淡化水	22.2	8.20	29	0.02	0.002	263	24	-	-0.73
108/12/01	07:20	三千噸海淡	淡化水	22.8	8.26	28	0.02	0.003	273	25	-	-0.67
108/12/02	15:27	三千噸海淡	淡化水	21.9	8.35	28	<0.01	<0.001	214	24	-	-0.59
108/12/03	14:47	三千噸海淡	淡化水	20.9	8.33	28	0.04	0.006	305	23	-	-0.67
108/12/04	09:56	三千噸海淡	淡化水	19.5	8.34	28	0.03	0.005	281	24	-	-0.65
108/12/05	16:03	三千噸海淡	淡化水	19.1	8.34	28	<0.01	0.002	216	24	-	-0.64
108/12/06	10:36	三千噸海淡	淡化水	18.9	8.45	30	0.03	0.005	286	25	-	-0.51
108/12/07	15:30	三千噸海淡	淡化水	18.3	8.47	29	0.02	0.004	250	25	-	-0.50
108/12/08	10:17	三千噸海淡	淡化水	18.5	8.31	28	0.01	0.003	226	23	-	-0.70
108/12/09	10:20	三千噸海淡	淡化水	20.6	8.45	28	<0.01	<0.001	208	24	-	-0.50
108/12/10	09:37	三千噸海淡	淡化水	20.6	8.45	29	<0.01	0.002	219	24	-	-0.49
108/12/11	11:26	三千噸海淡	淡化水	20.9	8.04	28	0.05	0.007	320	25	-	-0.93
108/12/12	09:38	三千噸海淡	淡化水	20.5	8.43	29	0.04	0.006	298	25	-	-0.54
108/12/13	09:28	三千噸海淡	淡化水	20.3	8.35	28	0.04	0.008	302	24	-	-0.64
108/12/14	07:33	三千噸海淡	淡化水	20.9	8.33	28	0.04	0.006	294	24	-	-0.65
108/12/15	10:20	三千噸海淡	淡化水	21.8	8.45	30	0.04	0.007	306	25	-	-0.47
108/12/16	11:00	三千噸海淡	淡化水	22.6	8.41	28	0.03	0.006	300	24	-	-0.55
108/12/17	11:00	三千噸海淡	淡化水	23.3	8.39	29	0.04	0.007	337	24	-	-0.55
108/12/18	10:50	三千噸海淡	淡化水	23.5	8.37	28	0.04	0.006	309	25	-	-0.56

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
108/12/19	10:50	三千噸海淡	淡化水	22.7	8.35	27	0.03	0.005	279	24	-	-0.61
108/12/20	10:55	三千噸海淡	淡化水	21.2	8.45	29	0.03	0.004	258	25	-	-0.48
108/12/21	15:10	三千噸海淡	淡化水	21.6	8.38	28	0.03	0.004	284	24	-	-0.58
108/12/22	10:36	三千噸海淡	淡化水	21.7	8.32	29	0.05	0.008	361	24	-	-0.65
108/12/23	09:48	三千噸海淡	淡化水	22.2	8.34	28	0.02	0.003	240	24	-	-0.60
108/12/24	09:37	三千噸海淡	淡化水	21.4	8.33	28	0.02	0.003	249	24	-	-0.63
108/12/25	15:02	三千噸海淡	淡化水	22.0	8.46	30	0.04	0.006	287	24	-	-0.47
108/12/26	11:15	三千噸海淡	淡化水	22.3	8.33	27	<0.01	0.002	231	23	-	-0.64
108/12/27	10:10	三千噸海淡	淡化水	20.3	8.47	30	0.05	0.008	314	24	-	-0.49
108/12/28	15:00	三千噸海淡	淡化水	20.9	8.48	30	0.04	0.007	316	25	-	-0.46
108/12/29	10:05	三千噸海淡	淡化水	19.8	8.37	28	0.03	0.006	283	24	-	-0.62
108/12/30	10:25	三千噸海淡	淡化水	21.5	8.41	28	0.04	0.006	302	24	-	-0.56
108/12/31	13:28	三千噸海淡	淡化水	20.0	8.39	28	0.03	0.004	261	23	-	-0.63
109/01/01	15:35	三千噸海淡	淡化水	19.4	8.47	28	<0.01	0.003	234	25	-	-0.49
109/01/02	10:20	三千噸海淡	淡化水	20.7	8.45	30	0.02	0.004	242	26	-	-0.45
109/01/03	13:22	三千噸海淡	淡化水	20.3	8.37	28	0.02	0.004	268	24	-	-0.61
109/01/04	10:20	三千噸海淡	淡化水	20.7	8.29	28	0.03	0.004	244	28	-	-0.68
109/01/05	15:30	三千噸海淡	淡化水	20.3	8.23	27	<0.01	<0.001	206	22	-	-0.78
109/01/06	11:10	三千噸海淡	淡化水	21.1	8.45	30	0.04	0.007	304	26	-	-0.46
109/01/07	10:20	三千噸海淡	淡化水	21.1	8.41	28	0.03	0.005	260	25	-	-0.54
109/01/08	15:50	三千噸海淡	淡化水	21.8	8.35	28	0.05	0.008	326	24	-	-0.62
109/01/09	11:00	三千噸海淡	淡化水	21.3	8.35	28	0.04	0.006	287	24	-	-0.62
109/01/10	11:00	三千噸海淡	淡化水	22.8	8.35	27	0.04	0.006	299	22	-	-0.66
109/01/11	09:38	三千噸海淡	淡化水	21.6	8.35	28	0.04	0.005	280	24	-	-0.62

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
109/01/12	10:10	三千噸海淡	淡化水	21.6	8.43	30	0.05	0.007	324	26	-	-0.48
109/01/13	15:37	三千噸海淡	淡化水	21.2	8.33	28	0.04	0.006	306	28	-	-0.67
109/01/14	10:48	三千噸海淡	淡化水	20.9	8.33	27	0.02	0.003	251	22	-	-0.69
109/01/15	15:31	三千噸海淡	淡化水	21.8	8.41	28	0.05	0.007	333	24	-	-0.57
109/01/16	10:47	三千噸海淡	淡化水	21.3	8.32	27	0.04	0.006	288	22	-	-0.70
109/01/17	09:44	三千噸海淡	淡化水	21.1	8.37	28	0.04	0.006	322	23	-	-0.63
109/01/18	10:00	三千噸海淡	淡化水	20.5	8.41	28	0.03	0.005	301	24	-	-0.58
109/01/19	10:48	三千噸海淡	淡化水	21.2	8.37	29	0.05	0.007	355	24	-	-0.61
109/01/20	10:50	三千噸海淡	淡化水	21.1	8.35	28	0.05	0.009	372	24	-	-0.65
109/01/21	10:10	三千噸海淡	淡化水	19.9	8.38	27	0.05	0.007	326	23	-	-0.66
109/01/22	09:54	三千噸海淡	淡化水	21.9	8.32	28	0.05	0.008	354	22	-	-0.70
109/01/23	15:20	三千噸海淡	淡化水	22.6	8.42	30	0.05	0.009	354	24	-	-0.52
109/01/24	15:40	三千噸海淡	淡化水	23.0	8.36	27	0.05	0.006	306	22	-	-0.64
109/01/25	09:05	三千噸海淡	淡化水	21.6	8.20	28	0.04	0.006	299	24	-	-0.77
109/01/26	15:30	三千噸海淡	淡化水	21.5	8.41	29	0.05	0.007	314	24	-	-0.55
109/01/27	15:55	三千噸海淡	淡化水	21.6	8.37	28	0.04	0.005	280	24	-	-0.59
109/01/28	09:18	三千噸海淡	淡化水	20.2	8.31	27	0.03	0.004	252	22	-	-0.72
109/01/29	15:50	三千噸海淡	淡化水	20.0	8.40	28	0.03	0.005	270	23	-	-0.60
109/01/30	14:20	三千噸海淡	淡化水	21.0	8.36	28	0.03	0.005	272	24	-	-0.61
109/01/31	10:45	三千噸海淡	淡化水	18.7	8.43	29	0.05	0.010	371	24	-	-0.59
109/02/01	09:30	三千噸海淡	淡化水	19.1	8.42	28	0.03	0.004	273	23	-	-0.60
109/02/02	10:45	三千噸海淡	淡化水	19.7	8.47	28	0.03	0.006	316	24	-	-0.53
109/02/03	15:34	三千噸海淡	淡化水	21.3	8.42	28	0.03	0.006	308	23	-	-0.57
109/02/04	10:02	三千噸海淡	淡化水	19.9	8.32	28	0.02	0.004	273	24	-	-0.67

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
109/02/05	10:20	三千噸海淡	淡化水	20.1	8.33	27	<0.01	0.002	260	22	-	-0.70
109/02/06	15:44	三千噸海淡	淡化水	20.7	8.37	28	0.04	0.007	327	24	-	-0.62
109/02/07	14:16	三千噸海淡	淡化水	21.2	8.31	27	0.03	0.006	288	24	-	-0.68
109/02/08	10:20	三千噸海淡	淡化水	21.0	8.37	28	0.02	0.003	265	24	-	-0.60
109/02/09	17:00	三千噸海淡	淡化水	20.0	8.36	28	0.03	0.006	306	24	-	-0.63
109/02/10	10:26	三千噸海淡	淡化水	21.7	8.35	28	0.02	0.005	282	23	-	-0.63
109/02/11	10:28	三千噸海淡	淡化水	20.9	8.37	27	<0.01	0.002	245	23	-	-0.63
109/02/12	11:00	三千噸海淡	淡化水	21.7	8.43	28	0.01	0.002	265	22	-	-0.57
109/02/13	09:30	三千噸海淡	淡化水	22.1	8.35	28	0.02	0.003	271	22	-	-0.64
109/02/14	10:23	三千噸海淡	淡化水	22.8	8.42	28	<0.01	0.002	236	22	-	-0.55
109/02/15	11:20	三千噸海淡	淡化水	24.0	8.45	28	0.03	0.005	307	23	-	-0.51
109/02/16	10:30	三千噸海淡	淡化水	23.1	8.30	26	0.02	0.003	255	21	-	-0.72
109/02/17	11:00	三千噸海淡	淡化水	20.8	8.33	28	<0.01	0.002	235	22	-	-0.67
109/02/18	10:50	三千噸海淡	淡化水	19.1	8.32	27	<0.01	<0.001	236	22	-	-0.72
109/02/19	14:00	三千噸海淡	淡化水	23.7	8.34	28	<0.01	0.003	278	24	-	-0.59
109/02/20	10:50	三千噸海淡	淡化水	21.5	8.33	28	<0.01	0.002	247	24	-	-0.62
109/02/21	10:35	三千噸海淡	淡化水	22.0	8.45	28	0.02	0.005	297	24	-	-0.51
109/02/22	10:41	三千噸海淡	淡化水	22.5	8.09	29	0.03	0.005	315	24	-	-0.46
109/02/23	10:21	三千噸海淡	淡化水	22.4	8.36	27	<0.01	<0.001	239	22	-	-0.63
109/02/24	14:37	三千噸海淡	淡化水	23.8	8.41	28	0.04	0.007	359	24	-	-0.54
109/02/25	10:47	三千噸海淡	淡化水	23.5	8.45	28	0.02	0.005	353	23	-	-0.53
109/02/26	14:20	三千噸海淡	淡化水	24.5	8.41	29	0.02	0.005	310	22	-	-0.54
109/02/27	11:05	三千噸海淡	淡化水	22.7	8.38	28	0.03	0.006	311	24	-	-0.58
109/02/28	10:35	三千噸海淡	淡化水	23.0	8.37	27	<0.01	0.003	248	24	-	-0.58

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
109/02/29	10:30	三千噸海淡	淡化水	21.7	8.33	28	0.02	0.004	284	22	-	-0.67
109/03/01	10:30	三千噸海淡	淡化水	23.8	8.35	27	0.02	0.004	271	22	-	-0.63
109/03/02	10:58	三千噸海淡	淡化水	21.8	8.39	28	<0.01	0.002	267	24	-	-0.57
109/03/03	09:55	三千噸海淡	淡化水	22.2	8.45	30	<0.01	<0.001	237	24	-	-0.46
109/03/04	09:45	三千噸海淡	淡化水	23.7	8.36	28	<0.01	0.002	257	24	-	-0.57
109/03/05	11:14	三千噸海淡	淡化水	23.0	8.43	28	<0.01	<0.001	244	25	-	-0.48
109/03/06	13:32	三千噸海淡	淡化水	22.6	8.40	30	0.02	0.004	280	25	-	-0.50
109/03/07	10:47	三千噸海淡	淡化水	21.7	8.45	29	<0.01	0.003	276	24	-	-0.50
109/03/08	10:30	三千噸海淡	淡化水	24.4	8.38	27	0.02	0.004	279	24	-	-0.56
109/03/09	10:45	三千噸海淡	淡化水	25.3	8.38	28	<0.01	0.003	261	24	-	-0.52
109/03/10	10:40	三千噸海淡	淡化水	24.5	8.36	28	0.01	0.004	283	24	-	-0.56
109/03/11	16:10	三千噸海淡	淡化水	23.3	8.42	27	<0.01	0.002	254	24	-	-0.53
109/03/12	10:50	三千噸海淡	淡化水	23.3	8.35	27	0.01	0.004	284	24	-	-0.61
109/03/13	11:15	三千噸海淡	淡化水	24.6	8.44	30	0.03	0.006	315	25	-	-0.44
109/03/14	10:30	三千噸海淡	淡化水	22.6	8.39	28	0.02	0.004	277	28	-	-0.59
109/03/15	13:34	三千噸海淡	淡化水	21.4	8.41	29	0.02	0.004	266	24	-	-0.54
109/03/16	14:47	三千噸海淡	淡化水	24.5	8.40	28	0.03	0.006	307	23	-	-0.55
109/03/17	11:45	三千噸海淡	淡化水	24.0	8.36	28	0.03	0.005	286	24	-	-0.58
109/03/18	11:26	三千噸海淡	淡化水	24.2	8.37	28	0.02	0.004	278	28	-	-0.54
109/03/19	09:52	三千噸海淡	淡化水	24.3	8.40	27	0.04	0.007	345	24	-	-0.56
109/03/20	11:10	三千噸海淡	淡化水	24.4	8.35	28	<0.01	<0.001	241	24	-	-0.56
109/03/21	10:40	三千噸海淡	淡化水	24.1	8.41	28	0.03	0.006	324	23	-	-0.55
109/03/22	10:35	三千噸海淡	淡化水	24.5	8.46	29	0.02	0.005	302	24	-	-0.45
109/03/23	09:58	三千噸海淡	淡化水	25.1	8.37	28	<0.01	0.003	277	28	-	-0.54

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
109/03/24	11:00	三千噸海淡	淡化水	23.9	8.38	28	<0.01	<0.001	245	25	-	-0.52
109/03/25	10:32	三千噸海淡	淡化水	23.7	8.40	28	0.01	0.003	265	24	-	-0.53
109/03/26	13:25	三千噸海淡	淡化水	25.4	8.45	28	0.02	0.005	272	25	-	-0.44
109/03/27	09:45	三千噸海淡	淡化水	25.2	8.45	29	0.03	0.006	308	25	-	-0.44
109/03/28	10:48	三千噸海淡	淡化水	23.5	8.34	27	0.02	0.005	284	24	-	-0.61
109/03/29	15:40	三千噸海淡	淡化水	22.0	8.33	28	<0.01	0.004	262	24	-	-0.62
109/03/30	10:45	三千噸海淡	淡化水	24.0	8.38	28	0.02	0.004	262	24	-	-0.54
109/03/31	11:30	三千噸海淡	淡化水	24.1	8.35	28	<0.01	0.003	256	23	-	-0.59
109/04/06	14:17	馬公第一海淡廠	清水	22.6	8.06	22	0.10	0.003	359	18	32	-1.14
109/04/06	14:32	成功淨水場	混合清水	21.9	6.83	44	0.01	0.016	431	25	73	-1.96
109/04/06	10:52	馬公市石泉里 21 號	配水	22.8	8.40	49	0.03	0.017	371	29	-	-0.25
109/04/06	13:18	馬公市中華路 239 號	配水	23.0	6.83	48	0.03	0.012	478	26	-	-1.90
109/04/06	11:15	湖西鄉菓葉村 111 號	配水	23.0	9.00	24	0.04	0.012	371	21	-	-0.09
109/04/20	09:50	成功淨水場	快濾水	23.5	6.78	113	0.01	0.044	784	59	229	-1.25
109/04/20	10:18	成功鹽井淡化廠	淡化水	26.6	6.64	32	0.02	0.015	202	14	16	-2.40
109/04/20	10:14	馬公第一海淡廠	清水	26.5	8.27	24	0.09	0.011	391	19	31	-0.82
109/04/20	10:25	成功淨水場	混合清水	25.7	7.06	44	0.03	0.021	482	28	74	-1.63
109/04/20	14:45	馬公市石泉里 21 號	配水	26.9	8.30	51	0.03	0.016	359	31	-	-0.24
109/04/20	14:37	馬公市前寮里 3 之 2 號	配水	26.3	8.44	36	0.05	0.008	327	36	-	-0.18
109/04/20	14:25	馬公市中華路 239 號	配水	26.1	7.12	47	0.02	0.013	455	28	-	-1.53
109/04/20	14:20	馬公市西衛里 140 號	配水	27.6	7.02	47	0.03	0.005	490	28	-	-1.62

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
109/04/20	11:00	湖西鄉菓葉村 111 號	配水	25.9	9.04	29	0.04	<0.001	396	24	-	0.12
109/04/20	11:18	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	配水	26.2	8.46	22	0.04	<0.001	382	20	-	-0.65
109/05/04	14:30	成功淨水場	快濾水	27.4	6.75	130	0.01	0.036	801	49	239	-1.26
109/05/04	14:50	成功鹽井淡化廠	淡化水	29.2	6.53	30	0.00	0.007	147	11	11	-2.59
109/05/04	14:46	馬公第一海淡廠	清水	27.6	8.19	23	0.24	0.002	304	15	31	-0.98
109/05/04	14:57	成功淨水場	混合清水	28.4	6.97	54	0.04	0.020	446	30	96	-1.56
109/05/04	14:08	馬公市石泉里 21 號	配水	27.9	8.22	50	0.04	0.014	303	37	-	-0.22
109/05/04	14:02	馬公市前寮里 3 之 2 號	配水	27.8	8.28	35	0.08	0.007	287	22	-	-0.54
109/05/04	13:48	馬公市中華路 239 號	配水	27.6	7.09	57	0.02	0.005	470	29	-	-1.45
109/05/04	13:33	馬公市西衛里 140 號	配水	28.0	7.07	54	0.03	0.015	457	27	-	-1.51
109/05/04	15:25	湖西鄉菓葉村 111 號	配水	27.8	9.01	27	0.03	0.006	368	22	-	0.06
109/05/04	15:40	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	配水	27.7	8.25	24	0.20	0.004	403	19	-	-0.83
109/05/18	11:05	成功淨水場	快濾水	29.4	6.55	119	0.03	0.060	836	50	224	-1.47
109/05/18	10:57	成功鹽井淡化廠	淡化水	30.4	6.34	26	0.03	0.004	147	8	8	-2.96
109/05/18	10:47	馬公第一海淡廠	清水	27.5	8.24	23	0.18	0.015	372	15	30	-0.96
109/05/18	11:00	成功淨水場	混合清水	29.1	6.67	53	0.03	0.026	453	24	85	-1.96
109/05/18	14:02	馬公市石泉里 21 號	配水	29.0	8.12	50	0.04	0.017	366	28	-	-0.45
109/05/18	13:55	馬公市前寮里 3 之 2 號	配水	28.4	8.08	39	0.03	0.014	319	29	-	-0.57
109/05/18	13:45	馬公市中華路 239 號	配水	28.8	6.90	54	0.03	0.020	503	28	-	-1.67

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
109/05/18	13:37	馬公市西衛里 140 號	配水	29.0	6.90	54	0.03	0.013	510	27	-	-1.68
109/05/18	14:42	湖西鄉菓葉村 111 號	配水	30.0	8.98	27	0.07	0.006	401	21	-	0.03
109/05/18	14:52	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	配水	29.5	8.46	22	0.07	0.006	393	19	-	-0.63
109/06/02	16:04	成功淨水場	快濾水	29.0	6.45	107	0.01	0.037	631	74	209	-1.42
109/06/02	16:19	成功鹽淡水廠	淡化水	29.8	6.64	35	0.01	<0.001	198	9	17	-2.51
109/06/02	16:14	馬公第一海淡廠	清水	27.6	8.21	28	0.19	0.005	368	18	30	-0.82
109/06/02	16:22	成功淨水場	混合清水	29.3	6.74	57	0.01	0.015	484	42	105	-1.62
109/06/02	09:45	馬公市石泉里 21 號	配水	29.0	8.38	53	0.05	0.007	351	29	45	-0.14
109/06/02	09:35	馬公市前寮里 3 之 2 號	配水	28.5	8.34	30	0.10	<0.001	365	27	33	-0.47
109/06/02	09:25	馬公市中華路 239 號	配水	28.7	6.93	54	0.02	0.007	500	42	99	-1.46
109/06/02	09:10	馬公市西衛里 140 號	配水	28.9	6.78	52	0.05	0.009	484	39	96	-1.65
109/06/02	10:25	湖西鄉菓葉村 111 號	配水	29.7	9.09	28	0.08	0.000	433	27	37	0.25
109/06/02	10:40	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	配水	29.2	8.59	28	0.04	<0.001	388	25	35	-0.28
109/06/15	10:36	成功淨水場	快濾水	29.5	6.50	110	0.02	0.080	670	72	217	-1.37
109/06/15	10:53	成功鹽淡水廠	淡化水	30.5	6.41	27	0.13	0.002	322	25	25	-2.44
109/06/15	10:46	馬公第一海淡廠	清水	29.1	8.34	25	0.34	0.046	373	18	32	-0.72
109/06/15	10:57	成功淨水場	混合清水	30.2	6.46	78	0.02	0.047	586	71	158	-1.54
109/06/15	13:48	馬公市石泉里 21 號	配水	30.2	8.24	49	0.06	0.011	356	31	44	-0.27
109/06/15	13:40	馬公市前寮里 3 之 2 號	配水	29.9	8.36	36	0.05	0.002	327	31	39	-0.28

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
109/06/15	13:26	馬公市中華路 239 號	配水	30.0	6.55	77	0.02	0.029	558	58	152	-1.54
109/06/15	13:18	馬公市西衛里 140 號	配水	31.0	6.48	78	0.03	0.033	571	58	154	-1.59
109/06/15	15:10	湖西鄉菓葉村 111 號	配水	31.0	9.04	31	0.04	0.003	357	30	36	0.33
109/06/15	15:16	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	配水	30.5	8.55	27	0.07	<0.001	376	25	33	-0.31
109/07/13	10:05	成功淨水場	快濾水	32.1	6.66	155	0.02	0.030	716	55	221	-1.15
109/07/13	10:36	成功鹽淡水廠	淡化水	31.7	6.27	27	0.03	0.015	306	26	44	-2.54
109/07/13	10:20	馬公第一海淡廠	清水	30.3	8.06	26	0.39	0.019	366	19	30	-0.94
109/07/13	10:43	成功淨水場	混合清水	32.2	6.75	110	0.02	0.029	553	45	151	-1.27
109/07/13	13:28	馬公市中華路 239 號	配水 1	32.2	6.95	109	0.02	0.031	565	46	153	-1.06
109/07/13	13:18	馬公市西衛里 140 號	配水 2	32.8	6.73	109	0.04	0.024	572	44	153	-1.30
109/07/13	14:45	湖西鄉菓葉村 111 號	配水 3	33.2	8.86	28	0.04	0.011	333	23	33	0.02
109/07/13	14:52	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	配水 4	32.6	8.62	28	0.04	0.007	329	22	30	-0.24
109/07/13	13:45	馬公市石泉里 21 號	配水 5	31.8	8.30	55	0.03	0.014	307	31	45	-0.12
109/07/13	16:00	馬公市前寮里 3 之 2 號	配水 6	31.8	8.40	33	0.04	0.010	293	26	35	-0.32
109/07/27	13:51	成功淨水場	快濾水	32.6	7.04	178	0.02	0.053	692	54	219	-0.71
109/07/27	14:15	成功鹽淡水廠	淡化水	32.3	6.68	37	0.02	0.006	310	27	47	-1.97
109/07/27	14:07	馬公第一海淡廠	清水	30.3	8.21	28	0.26	0.001	327	19	25	-0.75
109/07/27	14:25	成功淨水場	混合清水	32.8	7.07	130	0.00	0.023	562	42	149	-0.90

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
109/07/27	13:15	馬公市中華路 239 號	配水 1	32.7	7.34	137	0.03	0.017	561	42	141	-0.60
109/07/27	13:22	馬公市西衛里 140 號	配水 2	33.2	7.18	103	0.05	0.021	574	42	144	-0.88
109/07/27	10:17	湖西鄉菓葉村 111 號	配水 3	33.0	8.81	32	0.03	0.007	360	23	28	0.02
109/07/27	10:28	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	配水 4	32.8	8.52	30	0.05	0.004	365	20	26	-0.36
109/07/27	11:28	馬公市石泉里 21 號	配水 5	32.5	8.46	54	0.02	0.011	331	31	44	0.03
109/07/27	11:23	馬公市前寮里 3 之 2 號	配水 6	32.0	8.44	27	0.05	0.002	339	23	27	-0.43
109/08/10	14:56	成功淨水場	快濾水	31.1	6.76	157	0.00	0.074	667	65	221	-0.98
109/08/10	15:20	成功鹽淡廠	淡化水	31.2	6.54	25	0.01	0.017	271	30	45	-2.24
109/08/10	15:16	馬公第一海淡廠	清水	30.0	8.16	25	0.23	0.010	354	20	29	-0.84
109/08/10	15:26	成功淨水場	混合清水	31.5	6.74	107	0.02	0.062	570	50	151	-1.25
109/08/10	13:21	馬公市中華路 239 號	配水 1	31.7	6.97	107	0.02	0.049	572	49	150	-1.03
109/08/10	13:30	馬公市西衛里 140 號	配水 2	32.0	6.87	109	0.04	0.052	575	49	152	-1.12
109/08/10	14:11	湖西鄉菓葉村 111 號	配水 3	32.7	8.84	30	0.05	0.021	369	25	23	0.05
109/08/10	14:19	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	配水 4	32.6	8.53	28	0.03	0.009	353	21	29	-0.36
109/08/10	10:55	馬公市石泉里 21 號	配水 5	31.8	8.23	58	0.02	0.011	318	32	48	-0.16
109/08/10	10:46	馬公市前寮里 3 之 2 號	配水 6	31.6	8.41	36	0.16	0.007	297	24	23	-0.31
109/08/24	10:34	成功淨水場	快濾水	31.7	6.80	153	0.01	0.045	666	45	203	-1.10
109/08/24	10:54	成功鹽淡廠	淡化水	31.2	6.54	25	0.02	0.027	285	22	42	-2.38

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
109/08/24	10:45	馬公第一海淡廠	清水	29.5	8.15	27	0.47	0.018	364	15	29	-0.95
109/08/24	10:56	成功淨水場	混合清水	32.6	6.96	107	0.02	0.038	537	34	134	-1.18
109/08/24	13:27	馬公市中華路 239 號	配水 1	31.9	7.06	108	0.02	0.035	558	38	135	-1.04
109/08/24	13:35	馬公市西衛里 140 號	配水 2	32.4	6.91	108	0.03	0.034	544	37	133	-1.94
109/08/24	14:33	湖西鄉菓葉村 111 號	配水 3	33.1	8.87	29	0.06	0.018	360	24	32	0.06
109/08/24	14:43	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	配水 4	32.5	8.51	27	0.03	0.014	351	21	28	-0.40
109/08/24	13:53	馬公市石泉里 21 號	配水 5	32.5	8.28	53	0.16	0.028	320	29	45	-0.18
109/08/24	13:47	馬公市前寮里 3 之 2 號	配水 6	32.6	8.33	33	0.15	0.020	296	27	36	-0.36
109/09/07	15:17	成功淨水場	快濾水	30.2	6.97	171	0.01	0.047	672	66	213	-0.74
109/09/07	15:38	成功鹽淡廠	淡化水	30.9	6.61	31	0.02	<0.001	278	23	40	-2.20
109/09/07	15:28	馬公第一海淡廠	清水	29.0	8.20	26	0.27	0.001	355	19	30	-0.81
109/09/07	15:42	成功淨水場	混合清水	29.7	7.04	112	0.03	0.035	543	48	140	-0.97
109/09/07	13:19	馬公市中華路 239 號	配水 1	30.9	7.23	115	0.02	0.029	525	49	145	-0.74
109/09/07	13:28	馬公市西衛里 140 號	配水 2	31.2	7.06	118	0.03	0.009	524	49	142	-0.90
109/09/07	14:19	湖西鄉菓葉村 111 號	配水 3	33.1	8.84	30	0.06	0.009	356	22	37	0.01
109/09/07	14:30	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	配水 4	32.4	8.44	26	0.03	0.004	357	20	30	-0.51
109/09/07	10:57	馬公市石泉里 21 號	配水 5	30.8	8.24	56	0.23	0.017	291	33	45	-0.16
109/09/07	10:50	馬公市前寮里 3 之 2 號	配水 6	30.4	8.32	33	0.08	0.009	297	26	27	-0.42
109/09/21	11:40	成功淨水場	快濾水	30.7	6.98	144	0.01	0.055	666	59	183	-0.84

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫(°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣(Ca)	硬度	LSI 值
109/09/21	14:42	成功鹽淡廠	淡化水	31.1	7.37	35	0.04	0.004	142	3	9	-2.22
109/09/21	14:38	馬公第一海淡廠	清水	29.4	8.06	26	0.10	0.004	371	19	29	-0.95
109/09/21	14:50	成功淨水場	混合清水	30.0	7.13	87	0.02	0.040	472	37	102	-1.09
109/09/21	13:12	馬公市中華路 239 號	配水 1	31.5	7.15	87	0.01	0.027	476	41	110	-1.00
109/09/21	13:20	馬公市西衛里 140 號	配水 2	31.5	7.07	86	0.02	0.023	478	38	108	-1.12
109/09/21	13:47	湖西鄉菓葉村 111 號	配水 3	33.2	8.84	34	0.06	0.009	364	23	32	0.08
109/09/21	13:54	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	配水 4	32.3	8.47	25	0.04	0.002	386	18	33	-0.55
109/09/21	10:53	馬公市石泉里 21 號	配水 5	31.4	8.38	58	0.02	0.006	352	30	47	-0.15
109/09/21	10:45	馬公市前寮里 3 之 2 號	配水 6	30.7	8.24	35	0.17	0.008	329	26	36	-0.48
109/10/05	10:46	成功淨水場	快濾水	28.1	6.75	144	0.01	0.034	711	71	222	-1.04
109/10/05	11:04	成功鹽淡廠	淡化水	29.8	6.98	12	0.02	0.007	270	22	39	-2.27
109/10/05	10:57	馬公第一海淡廠	清水	28.5	8.21	24	0.19	<0.001	398	19	29	-0.86
109/10/05	11:08	成功淨水場	混合清水	28.4	6.90	79	0.03	0.025	537	41	120	-1.35
109/10/05	13:32	馬公市中華路 239 號	配水 1	30.0	6.91	81	0.02	0.013	550	43	123	-1.29
109/10/05	13:41	馬公市西衛里 140 號	配水 2	29.5	6.97	81	0.03	0.007	548	42	120	-1.24
109/10/05	14:38	湖西鄉菓葉村 111 號	配水 3	32.0	8.91	31	0.05	<0.001	391	24	34	0.10
109/10/05	14:48	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	配水 4	31.4	8.43	24	0.03	<0.001	393	20	29	-0.57
109/10/05	13:58	馬公市石泉里 21 號	配水 5	30.3	8.26	56	0.02	<0.001	341	33	43	-0.16
109/10/05	13:53	馬公市前寮里 3 之 2 號	配水 6	30.1	8.32	34	0.02	<0.001	324	28	35	-0.39

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫 (°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣 (Ca)	硬度	LSI 值
108/12/02	-	馬公第二海水淡化廠	清水	23.5	8.36	44	-	-	226	44	52	-0.10
108/12/16	-	馬公第二海水淡化廠	清水	21.8	8.39	46	-	-	217	45	52	-0.06
108/12/30	-	馬公第二海水淡化廠	清水	21.2	8.34	44	-	-	167	42	49	-0.15
109/01/13	-	馬公第二海水淡化廠	清水	21.8	8.35	44	-	-	209	46	48	-0.11
109/01/30	-	馬公第二海水淡化廠	清水	20.4	8.33	45	-	-	205	44	52	-0.16
109/02/24	-	馬公第二海水淡化廠	清水	22.4	8.35	46	-	-	209	58	62	0.02
109/03/09	-	馬公第二海水淡化廠	清水	24.5	8.36	38	-	-	230	42	50	-0.17
109/03/23	-	馬公第二海水淡化廠	清水	25.1	8.46	41	-	-	197	35	41	-0.10
109/04/06	-	馬公第二海水淡化廠	清水	22.1	8.40	46	-	-	247	42	54	-0.09
109/04/20	-	馬公第二海水淡化廠	清水	26.5	8.32	47	-	-	237	46	54	-0.05
109/05/04	-	馬公第二海水淡化廠	清水	27.7	8.35	40	-	-	213	35	42	-0.19
109/05/18	-	馬公第二海水淡化廠	清水	27.6	8.41	46	-	-	230	46	50	0.05
109/06/02	-	馬公第二海水淡化廠	清水	28.4	8.30	44	-	-	216	43	50	-0.1
109/06/15	-	馬公第二海水淡化廠	清水	29.0	8.32	46	-	-	243	38	45	-0.11
109/07/13	-	馬公第二海水淡化廠	清水	29.3	8.39	43	-	-	233	44	51	0.00
109/07/27	-	馬公第二海水淡化廠	清水	30.5	8.43	42	-	-	228	34	41	-0.06

採樣日期	採樣時間	地點	水樣別	水溫 (°C)	pH	鹼度	鐵	錳	總溶解固體量	鈣 (Ca)	硬度	LSI 值
109/08/10	-	馬公第二海水淡化廠	清水	30.1	8.38	42	-	-	237	44	52	-0.01
109/08/24	-	馬公第二海水淡化廠	清水	29.5	8.37	38	-	-	239	40	47	-0.11
109/09/07	-	馬公第二海水淡化廠	清水	29.4	8.43	41	-	-	198	38	44	-0.03
109/09/21	-	馬公第二海水淡化廠	清水	29.9	8.39	34	-	-	233	44	56	-0.09
109/10/05	-	馬公第二海水淡化廠	清水	28.5	8.41	41	-	-	236	42	50	-0.03

附錄二、各淨水場及其配水點 LR 值各項水質參數

採樣地點	日期	pH	氯鹽(Cl ⁻) mole/L*10000	硫酸鹽(SO ₄ ²⁻) mole/L*10000	碳酸氫鹽(HCO ₃ ⁻) mole/L*10000	Larson 比率 (LR 值)
成功淨水場 過濾水	109.08.26	7.02	53.9	11.5	37.2	2.07
	109.09.07	6.97	52.7	9.7	40.4	1.79
	109.09.21	6.98	54.2	9.0	36.0	2.01
	109.10.05	6.75	56.4	13.3	31.0	2.68
成功鹽淡水場 RO 水	109.08.26	6.62	40.6	0.5	8.2	5.08
	109.09.07	6.61	40.9	0.5	7.7	5.48
	109.09.21	7.37	14.3	0.3	8.1	1.84
	109.10.05	6.98	36.1	0.3	2.8	13.33
成功淨水場 清水	109.08.26	7.01	51.9	7.2	24.4	2.72
	109.09.07	7.04	51.9	6.9	24.8	2.65
	109.09.21	7.13	49.9	4.8	17.8	3.34
	109.10.05	6.90	55.6	7.6	17.8	3.96
馬公第一 海淡廠 清水	109.08.26	8.14	48.2	1.5	6.2	8.33
	109.09.07	8.33	53.9	1.6	6.0	9.58
	109.09.21	8.14	69.7	1.4	5.5	13.15
	109.10.05	8.13	53.0	1.6	5.7	9.80
馬公第二 海淡廠 清水	109.08.26	8.40	30.7	0.3	10.4	3.01
	109.09.07	8.43	28.2	0.3	8.7	3.31
	109.09.21	8.38	31.9	0.3	8.5	3.82
	109.10.05	8.40	33.3	0.3	10.2	3.32

採樣地點	日期	pH	氯鹽(Cl ⁻) mole/L*10000	硫酸鹽(SO ₄ ²⁻) ⁻ mole/L*10000	碳酸氫鹽(HCO ₃ ⁻) mole/L*10000	Larson 比率 (LR 值)
成功(1) 配水 馬公市 中華路 239 號	109.08.26	7.19	50.8	8.0	27.2	2.46
	109.09.07	7.23	55.8	6.8	25.0	2.78
	109.09.21	7.15	51.1	5.2	18.9	3.25
	109.10.05	6.91	55.6	7.6	18.3	3.88
成功(2) 配水 馬公市 西衛里 140 號	109.08.26	7.02	50.8	7.8	27.4	2.42
	109.09.07	7.06	53.0	6.8	22.6	2.95
	109.09.21	7.07	48.8	5.1	18.3	3.23
	109.10.05	6.97	55.3	7.5	17.4	4.04
馬一海淡(1) 配水 湖西鄉 菓葉村 111 號	109.08.26	8.72	49.6	1.6	7.9	6.72
	109.09.07	8.84	49.1	1.8	6.8	7.75
	109.09.21	8.84	52.5	1.4	6.6	8.40
	109.10.05	8.91	51.9	1.5	6.4	8.63
馬一海淡(2) 配水 湖西鄉 北寮村 49-3 號	109.08.26	8.40	48.2	1.5	7.0	7.31
	109.09.07	8.44	50.8	1.6	6.2	8.77
	109.09.21	8.47	51.6	1.4	6.0	9.14
	109.10.05	8.43	56.4	1.5	6.2	9.65
海淡混合(1) 配水 馬公市 石泉里 21 號	109.08.26	8.15	42.0	1.2	12.1	3.66
	109.09.07	8.24	40.1	1.2	11.9	3.58
	109.09.21	8.28	43.7	1.1	12.5	3.67
	109.10.05	8.26	42.0	1.1	12.7	3.47
	109.08.26	8.23	49.6	1.5	5.9	8.86

採樣地點	日期	pH	氯鹽(Cl ⁻) mole/L*10000	硫酸鹽(SO ₄ ²⁻) ⁻ mole/L*10000	碳酸氫鹽(HCO ₃ ⁻) mole/L*10000	Larson 比率 (LR 值)
海淡混合(2)	109.09.07	8.32	45.4	1.1	6.8	7.01
配水	109.09.21	8.24	42.3	0.9	7.9	5.62
馬公市 前寮里 3-2 號	109.10.05	8.32	45.4	0.9	7.0	6.74

附錄三、成功場 3 種水源出水摻配量統計表

日期	水庫水 (CMD)	鹽淡水 (CMD)	馬公第一 (CMD)	合計(CMD)	LSI	pH
108/11/25	2870	220	9170	12260	-1.39	7.04
108/12/02	2930	290	9240	12460	-1.33	6.94
108/12/16	2360	400	9220	11980	-1.36	7.07
108/12/30	2260	380	9200	11840	-1.51	6.93
109/01/13	2000	410	8900	11310	-1.47	7.18
109/01/30	2160	350	9220	11730	-1.65	6.96
109/02/24	970	320	9090	10380	-1.65	7.02
109/03/09	1000	330	9190	10520	-1.8	6.89
109/03/23	1310	340	9120	10770	-1.73	6.86
109/04/06	2400	310	9220	11930	-1.96	6.83
109/04/20	2160	150	9200	11510	-1.63	7.06
109/05/04	1800	180	9190	11170	-1.56	6.97
109/05/18	3160	270	9050	12480	-1.96	6.67
109/06/02	3550	220	8330	12100	-1.62	6.74
109/06/15	7520	190	6020	13730	-1.54	6.46
109/07/13	7910	140	5870	13920	-1.27	6.75

日期	水庫水 (CMD)	鹽淡水 (CMD)	馬公第一 (CMD)	合計(CMD)	LSI	pH
109/07/27	7060	140	6590	13790	-0.9	7.07
109/08/10	7110	70	6650	13830	-1.25	6.74
109/08/24	7870	90	6310	14270	-1.18	6.96
109/09/07	6760	140	6480	13380	-0.97	7.04
109/09/21	6220	80	6040	12340	-1.09	7.13
109/10/05	5230	140	7670	13040	-1.35	6.9

附錄四：109 年度技術專題研究計畫申請審查意見回應表(109.3.5)

委員	審查意見	辦理情形
林逸彬	研究計畫對配水水質管線安全有重要的影響	是，感謝。
	以水泥侵蝕性而言，可參考下水道腐蝕之化學，其中 SO_4^{2-} 會和水泥產生鈣礬石沉澱膨脹，導致水泥破裂，系統中加硫酸須加以考慮	已將委員意見納入，於 2.3.4 章節檢討。
	LSI 受鹼度影響大，契約中無鹼度限值	納入出水水質參數檢討。
范煥英	解決管線侵蝕性及腐蝕性問題，其控制方式可由降低 LSI 數值及採用抗腐蝕管材著手，如 DIP 管改用環氧樹脂內襯，可予以比較兩方案之經濟性安全性。目前台水公司正進行管線汰換工作，建議可檢討其使用管材	就各種腐蝕侵蝕控制策略提出優劣比較。
王傳政	本計畫除收集水質資料作為分析外，如何建立在不同 LSI 所造成配水管的腐蝕度量測標準，以利建置兩者相關性	已將委員意見納入，於 2.4 章節敘明，感謝林委員協助試片研究。
張添晉	文獻回顧階段，說明海淡廠出水對澎湖各種主要管線可能影響之資料收集	已納入報告中。
	提供管線侵蝕及腐蝕控制策略可一併考慮，成本效益及衍生副作用之減少	同范委員意見。
駱尚廉	請依委員所提意見，納入研究內容或予以參考	已納入報告中。
	康世芳教授曾經有做過一份北水的分析報告，請收集參考	已納入報告中。

附錄五：109 年度技術專題研究計畫期中報告審查意見回應表(109.7.24)

委員	審查意見	辦理情形
駱主任委員尚廉	1. 研究單位與研究人員，建議以原服務單位為名，不必掛上技術委員會的資料。	已改善。
	2. 期末報告是否可歸納出哪一種指標最合適使用於澎湖海淡廠？	已補充於第五章結論與建議。
	3. 請參考各委員的意見，納入後半段研究與期末報告中。	是，感謝。
陳委員曼莉	1. 問題分析建議再強化，前言中所提及之各種面臨的問題，在後文中並未再有說明，建議再對實際上客訴或水質檢測結果再予說明。	已補充於 pl 1.1 章節。
	2. 管材統計上報告中係列出台水公司全公司之資料，建議針對澎湖，尤其是馬公地區之管種、長度、管齡等加以分析。	已納入 2.2 章節中。
	3. 採樣點之設計，建議進一步說明管網狀況，包括流達、滯留時間…	已補充於表 3-1、表 3-2。
	4. 各種腐蝕指數建議強化國內外實際應用之狀況，如要進一步探討指數在澎湖之適用性，建議再加強相關水質數據之分析。	國內外腐蝕指數已納入 2.7 章節，已加強水質數據分析。
	5. 委託台大進行腐蝕分析部分，建議再說明管材種類及水質…相關資料。	使用鐵片，水質詳如表 4-10、表 4-11

	6. 策略分析及建議部分，可考慮加強 SWOT 分析。	已補充於 4.7.1 章節。
李委員嘉榮	1. P.5 表 2-1 顯示台水公司各管線長度，DIP 及 HIWP 逐年增加取代 PVC，惟本案研究區域在澎湖離島，依台水公司過去管線設計採用管材塑膠類偏多，致建議本研究可調查澎湖地區之管種長度及比例，較能呈現該區域之管種使用現況。	已納入 2.2 章節中。
	2. P.10 調查文獻說明金屬管材之腐蝕種類有電化學及化學性腐蝕，自來水輸送管線常見有六種，包括：均勻、電位差、點蝕、縫隙、沖蝕及生物腐蝕，而本研究主題之計畫目標係要提出海淡廠最適出水水質之限值，尤其之 LSI 及 pH 項目，建議補充說明本研究與該六種腐蝕種類之關連性。	六種腐蝕都會發生，以均勻、電位差腐蝕較為普遍。
	3. P.19 文獻說明管線蝕評估方法有直接(6種)與間接式(3種)兩種，本研究以量測 LSI 及 pH 判別管網之腐蝕情形，後續之實驗或研究能否就該兩項水質項目經腐蝕程度測試實際結果評估，如 LSI 值應控制在多少才不會使管材發生腐蝕，俾能提供予自來水事業參考。	已納入 4.7 章節中優化礦化法，修訂 $LSI \geq 0$ ， $LR < 0.5$ 。
	4. P.55 水質檢測結果成功場之鹽井淡化水，水庫水處理後 LSI 均較海淡水更低，腐蝕性更嚴重，故計畫目標反而係要提出成功場之水質控制策略而非海淡廠；另 6 個配水水質量測，中配水點數值大於管末，其推測是否末端係採用 PVC 或以井水注入，宜請持續探討。	末端係採用 PVC 和 HIWP，未有井水注入。
	5. P.62 圖 4-10 馬公一場供水之配水點量測，湖西鄉菓葉村 111 號之 pH 均超過 9.0，宜請進一步探討及提出因應對策。	已在第 4.1.3 章探討。

	6. 本期中報告圖表限於黑白印刷，故圖內線條及符號之顯較難區分，如圖 2-2、圖 4-3、圖 4-4 等，建請研究單位再酌予檢討或以彩色印刷。	已依委員意見期末報告彩色影印。
范委員煥英	1. P. 15 台北自來水協會請修正為中華民國自來水協會。	已修正。
	2. 管中之 LSI 及 pH 大於管末之原因，推論可能是管末端採用 PVCP，請再檢討其成因及可能性。	已納入 4.1.2 ~4.1.3 章節中。
丘委員宗仁	摘要 (1). 第二列…海淡廠出水質之水中鈣、鎂離子…建議修正為：海淡廠出水水質… (2). 第三列…此供水質特性對於配水管網線內面造成不同程度的腐蝕影響，造成積砂…建議修正為：此出水水質特性對於配水管線內面造成不同程度的腐蝕影響，產生積砂… (3). 第五列…管線腐蝕所造成漏水問題除了造成供水水壓不足…建議修正為：管線腐蝕所產生漏水問題除了造成供水水壓不足… (4). 第七列…為解決並改善上述供水腐蝕性問題…建議修正為：為解決並改善上述供水管線腐蝕性問題… (5). 第十列…而所屬之配水點其管中及管末 LSI…建議修正為：而所屬之配水點其管中段及管末段 LSI…第十四列亦同。	已重新整理。
	2. 第一章同摘要部份建議一併修正。	已納入報告中。
	3. 第二章第 4 頁鋼筋預力混凝土管 (PSCP)…請修正為：預力混凝土管 (PSCP)。	已修正。
	4. 錯字：P. 46 承覽 → 承攬； P. 15…不易輕常 → 經常。	已修正。

王委員傳政	1. LSI 及 pH 值在管末段多為 PVC 或 HIWP 的管種下，依報告推估會造成兩項指標與管中（多為 DIP）比較結果有降低的趨勢，其原因或原理為何？亦或是水井水加入為主要原因？	已納入 4.1.2~4.1.3 章節中。
	2. 利用 LSI、RSI 及 PSI 分析馬公地區配水水質多呈現有腐蝕趨勢，但其中 pH 值均多達到法規上限值 8.5，如何在避免腐蝕又符合法規值的條件下，建議下一階段研究，以符合實需。	已納入 4.7 章節中 優化礦化法，修訂 $LSI \geq 0$ ， $LR < 0.5$ 。

附錄六：109 年度技術專題研究計畫期末報告審查意見回應表(109.11.26)

委員	審查意見	辦理情形
駱主任委員尚廉	1. 新設塩淡廠比照海淡廠訂定 $LSI \geq 0$ ， $LR < 0.5$ ；但既有廠若改善水質符合此兩標準，處理成本會增加多少？	感謝委員意見，將請相關廠商提供資訊，後續納入評估探討。
	2. 請參考各委員的意見，作一答覆或納入期末報告的修正。	是，感謝。
陳委員曼莉	1. 研究結果建議：新設塩淡廠應比照海淡廠訂定 $LSI \geq 0$ ， $LR \leq 0.5$ 之規範，建議對成本可能增加之幅度，以利決策參考。	感謝委員意見，將請相關廠商提供資訊，後續納入評估探討。
	2. 如前述，對現有廠應研議改善，惟現行契約之期限皆還有相當時日，過渡時期之處理方式是否可提出建議？	1. 於契約執行期間加強水質檢測及配水管中、末排水。 2. 台水公司內部已函頒澎湖地區管種選用 HIWP 或 HDPE 或環氧樹脂粉體塗裝 DIP+PE 套膜。

康委員世芳	海淡廠 LSI 影響配水水質之研究成果，對今後 LSI 值提出水質要求，惟水質改善涉及工程、成本與既有海淡廠合約規定，水質處可提出重要議題，供台水公司進一步檢討，以兼顧工程實務與水質改善。	感謝委員意見，納入辦理。
張委員添晉	1. P. 6，有關現有管種使用現況，除說明各管種之使用長度及比例，建議宜說明各管種之特性及適用之範圍，如材質、耐腐蝕性、耐衝擊性及應用等，以利瞭解各管種之特性及使用情形。	已補充於 2.2 章節中。
	2. 呈上述，本計畫配水採樣點之管種包括 DIP、ABSP、HIWP 及 PVCP，而文獻回顧中未提及 ABSP 之介紹及使用現況，建議宜補充說明之，以提升報告書之完整性。	已補充於 2.2 章節中。
	3. P. 84，有關圖 4-17 淨水場及各配水點腐蝕速率之比較(未浸泡)，由電化學腐蝕速率測試結果顯示，各點腐蝕速率不一，其各點管中及管末腐蝕速率是否因不同管種材質而有所差異，建議宜說明之。另可說明腐蝕速率高之原因，以利瞭解各淨水廠及配水點之水質現況及腐蝕情形。	本電化學腐蝕速率均使用 DI 鐵片，三次試驗已說明各配水點均有腐蝕性，將請教林逸彬教授指導後續辦理模式。
	4. P. 100，有關建議控制策略，提及海水淡化廠腐蝕控制採優化礦化法為最佳方式，以符合 LSI 之限值及改善 pH 值超標之問題，建議宜詳述優化礦化法之原理、國內外應用之經驗及其效益與衍生之副作用，以作為海淡廠控制腐蝕性及 pH 值之參考依據。	已補充於 2.4.2 章節中。
范委員煥英	5.2 章節建議腐蝕控制策略應以源頭處理為最佳方式，確為成本考量下最	感謝委員意見，台水公司內部已函頒

	<p>快最省成本的方法，因台水公司目前正積極推動管線汰換工作，可就海淡廠供水區域，建議適用管材以供汰換管線選用參考。</p>	<p>澎湖地區管種選用 HIWP 或 HDPE 或環氧樹脂粉體塗裝 DIP+PE 套膜。</p>
李委員嘉榮	<p>1.P5.2-1 澎湖地區供水情形概述與 P47.4-1 澎湖地區供水概況建請整合,P47.第四章結果與討論應勿需再論述供水概況；另由圖 2-2 表示各水源之年供水趨勢，似乎無法看各水源之年月出水量及佔比，建議能再詳細整理，俾能了解豐枯水期海淡、鹽淡、湖庫及地下水井之出水情形。</p>	<p>章節 2-1 與章節 4-1 已重新整合。圖 2-2 係引用水利署資料，說明近年海淡廠供水量比例上升。</p>
	<p>2. P60.成功淨水場混合傳統處理水庫水、地下鹽井水及馬公第一海淡廠之清水，於場內水池混合再送馬公供水系統。因成功水庫蓄水量不佳，在取樣檢驗期間 108/11/25~109/10/05 水庫取水量受水利署管制，最大 7000 CMD 以上，最低於僅 2000 CMD。故成功場清水池三股水源之摻配量係變動的。研究單位於取樣時有否一併搜集取樣日之摻配比例。如有請能彙整呈現，俾提醒操作單位就 pH、LSI 值在最佳組合模式之三股水源摻配量為多少能有所參考。</p>	<p>已補充於第七章附錄三。</p>
	<p>3. P61.成功場供水至馬公市區，本計畫蒐集 2 個配水點。管中及管末 LSI 值趨勢與成功場一致，但配水點 LSI 值普遍大於出水水質，管中又大於管末，惟由圖 4-6.109/8/24 管末之 LSI 值特別偏低至-2.0，遠低於淨水廠出水及管中配水點，其原因為何？能否補充說明。</p>	<p>感謝委員指正，管末配水點 LSI 數據誤植，已修正。</p>

	<p>4. 另 P61.探討兩個配水點之 pH 值，管中配水點 pH 值大於管末，經了解管中及管末均採用 ABSP、HIWP，因前端幹管為 DIP，DIP 水泥內襯鹼性析出，致管中會大於管末，惟依概念與邏輯，管末端會累積較多之鹼性物質，pH 應較高才對。故依 P62 之探討建請能再檢討原因確認此現象。</p>	<p>因前端幹管為 DIP，水泥內襯之鹼性物質析出，致 pH 升高，經了解管中及管末兩點均位於市區且相距短，實驗結果管中 pH 略大於管末，LSI 亦是管中略大於管末。</p>
--	---	--