



中華民國自來水協會 104 年度研究計畫

提升慢濾池處理效能之研究 及實例探討

委託單位： 中華民國自來水協會

研究單位： 中華民國自來水協會技術研究委員會

計畫主持人： 洪世政

研究人員： 陳文祥 吳美炷 黃聖然

執行期間： 民國 104 年 6 月 至 民國 105 年 5 月

中華民國 105 年 5 月

摘要

一般而言慢濾池相對於快濾系統就處理相同水量而言所需的土地面積略大，近年來因用地取得困難已逐步被汰除，然台灣自來水公司仍有約 50 處的淨水場使用慢濾池，但因使用率相對偏低，致使工程單位忽略設計要領，而操作營運單位則未能傳承有效且正確地運作，衍生一些水質問題。

慢濾池之操作因淨水設備設計互異，以致操作營運經驗無法完全適用於台灣自來水公司所屬慢濾池淨水場，為有效提升慢濾池之操作，利用綜合效能評估技術來評估慢濾池中水質處理不良的原因，透過綜合水質分析及其他相關水質參數為分析基礎，濾池的濾率、有效粒徑、池深、刮補砂方式及相關控制因子進行操作模式探討。並判斷是否將原有之慢濾池設備，加以妥善利用，以期達到最佳的處理效能，並對慢濾池之設計、管理、操作及維護進行完整檢視及分析，期透過慢濾池之最適化設計，以提升慢濾池之操作營運效能。

慢濾用於淨水處理是簡單的技術，無須於程序中添加化學藥劑，透過生物處理來達到去除的效果，生物的活性影響水中污染物的去除。因此，在新的慢濾池開始營運前或刮砂後必須進行濾池熟成的程序，而這也是經現場評估中發現營運中慢濾池淨水場最常忽略的操作程序。

本研究採三階段進行，首先透過現營運中慢濾淨水場(綠島淨水場)所遭遇之水質問題(總三鹵甲烷超標)作為改善實例，進行實場採樣分析，針對該場提出效能提升改善策略。再者，利用台灣自來水公司資料庫—水質檢驗系統(LIMS)及水質預警資訊系統(ADTS)篩選營運中慢濾池淨水場具參考意義之歷史數據，分析評估現階段慢濾池處理成效。最後，透過慢濾池淨水場現場評估成果，逐場歸納出目前設計、操作、營運及管理之實場問題，經綜合分析討論提出一套慢濾池最適設計、操作、營運及管理準則，由營運中慢濾池淨水場水質分析結果及現場評估成果，生物性指標均可完全去除，總有機物、氨氮、鐵及錳於慢濾操作正常狀況下亦大部分可去除，清水水質符合飲用水水質標準，後續欲提升運行中之慢濾池淨水場之營運效益，可參考本研究就慢濾池設計、操作、營運及管理之建議準則及評估表進行評估與調整。

關鍵詞：慢濾池、淨水處理技術、生物處理、營運效能

Abstract

Slow sand filters have been used in water treatment since the early nineteenth century. They have been proven to be effective under various conditions as long as the filters are properly designed and applied to appropriate situations. The filtration rate of slow sand filters is 50 to 100 times slower than that of ordinary rapid sand filters. Consequently, a considerably larger area filter bed is necessary to produce the same amount of water. In recent years, the application of slow sand filtration has gradually been eliminating addition due to difficulties on obtaining land. Till now, there are 50 TWC's (Taiwan Water Corporation, TWC) water purification plants equipped the slow filter. However, the utilization rate of slow sand filter is unable to operate effectively and properly functioning heritage, resulting in the TWC engineering design department ignore the basic design essentials. Furthermore, the operating result of the slow filter varies with water purification equipment design. The slow filter operation can't be fully integrated operating experience applicable to TWC.

Slow filtration is simple water treatment process, no need to add chemicals, through biological activity treatment to removal the contaminants from water. To effectively enhance the slow sand filter operation, in this study, the CPE(Comprehensive Performance Evaluation, CPE) was adopt to assess the reasons for the slow sand filter in poor water treatment. In order to achieve the best performance efficiency, we analyzed the related water qualities (such as pH, Turbidity, temperature, DOC and UV254...), filtration rate, media effective size, pool depth and scraping of the filter surface sand to determine properly utilized slow filter. We also found the most common ignore procedures of filter ripe operating after filter sand scraping would induce poor slow sand filtration operation.

There are three performance stages in this study. First, a real field water sample from slow sand filter of Green Island Water Treatment Plant (namely GIWTP) was analyzed. Improve performance was proposed to solve exceeded total trihalomethanes for GIWTP. Furthermore, we used the data base from Taiwan Water Supply Corporation Library - Quality Inspection System (LIMS) and Water Quality Warning Information System (ADTS) to screen slow filter operation data. The historic significance reference data was analysis to evaluate slow filter performance. Finally, we concluded the

real plant problem of operation and management from field assessment results. After CPE and discussion, we presented optimal design, operation, operation and management guideline for the slow sand filter. The guideline can help the operator to removal biological indicators, DOC, Ammonium Nitrogen, iron and manganese from raw water with slow sand filter, and meet drinking water quality regulations. Even so, the slow sand filter design, operation and management guidelines still need to be minor adjusted for each different water treatment plant if we want to improve the overall plant operation efficiency.

目 錄

摘 要.....	I
目 錄.....	V
圖目錄.....	IX
表目錄.....	XIX
第一章 前言.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 計畫目標.....	1
1.3 預期成果.....	2
1.4 計畫進度.....	2
第二章 文獻回顧	3
2.1 慢濾池緣由	3
2.2 慢濾池的特徵.....	4
2.2-1 慢濾池之基本組成與設計諸元.....	4
2.2-2 慢濾池之規定	5
2.2-3 慢濾控制技術.....	7

2.2-4 慢濾處理技術.....	8
2.2-5 慢濾池之操作週期.....	9
2.3 慢濾池之運用	10
2.3-1 偏鄉地區之應用	11
2.3-2 微生物去除	11
2.3-3 總三鹵甲烷去除	12
2.3-4 藻類去除	13
2.3-5 微囊藻、隱孢子蟲及梨形鞭毛蟲去除.....	13
2.3-6 薄膜前處理.....	14
第三章 研究方法及實驗規劃	15
3.1 研究架構.....	15
3.2 實例探討.....	17
3.2-1 採樣規劃.....	18
3.2-2 實驗方法.....	18
3.2-3 檢測及分析	21
3.3 運營中慢濾池淨水場水質分析	25
3.4 慢濾池淨水場評估及應用	25

第四章 結果與討論	27
4.1 實場試驗--綠島淨水場.....	27
4.1-1 實場水質分析.....	29
4.1-2 綠島淨水場活化效益.....	52
4.1-3 綠島淨水場改善策略及成果探討.....	55
4.2 運營中慢濾池淨水場水質分析結果探討	62
4.2-1 汐止營運所白雲淨水場.....	62
4.2-2 東港營運所林邊淨水場.....	65
4.2-3 澎湖營運所吉貝淨水場.....	67
4.2-4 澎湖營運所西嶼淨水場.....	70
4.3 慢濾池設計、操作、營運及管理之準則探討	73
4.3-1 慢濾池之設計.....	74
4.3-2 慢濾池之操作與維護.....	83
4.4 慢濾池淨水場現場評估成果	89
4.4-1 汐止營運所白雲淨水場.....	89
4.4-2 文山營運所平溪淨水場.....	96
4.4-3 西螺服務所西螺淨水場.....	103

4.4-4 虎尾營運所虎尾淨水場.....	113
4.4-5 澎湖營運所吉貝淨水場.....	121
4.4-6 澎湖營運所西嶼淨水場.....	129
4.4-7 太麻里營運所大溪淨水場.....	137
4.4-8 太麻里營運所愛國埔淨水場.....	145
4.4-9 池上營運所永安淨水場.....	151
4.4-10 成功營運所泰源淨水場.....	159
4.4-11 台東營運所綠島淨水場.....	169
4.5 慢濾池設計及操作營運建議準則	176
第五章 結論與建議	181
5.1 結論	181
5.2 建議	183
參考文獻.....	185
附錄一 期中報告審查委員意見回覆	193
附錄二 期末報告審查委員意見回覆	207
附錄三 評估查核表樣張	217
附錄四 採樣計畫書樣張	227

圖目錄

圖 3.1-1 研究架構流程圖	16
圖 3.2-1 實場效益分析對照組採樣流程	17
圖 3.2-2 實場效益分析實驗組採樣流程	18
圖 3.2-3 杯瓶試驗採樣流程	20
圖 3.2-4 總三鹵甲烷生成潛能試驗採樣流程	21
圖 3.2-5 螢光激發-散射光譜區域波長劃分邊界示意圖	23
圖 4.1-1 綠島淨水場配置圖	28
圖 4.1-2 綠島淨水場淨水處理流程圖	28
圖 4.1-3 實場試驗鹼度值	29
圖 4.1-4 實場試驗 pH 值	30
圖 4.1-5 實場試驗鐵含量	31
圖 4.1-6 實場試驗錳含量	31
圖 4.1-7 實場試驗氨氮含量	32
圖 4.1-8 實場試驗硝酸鹽氮含量	33
圖 4.1-9 實場試驗濁度	34
圖 4.1-10 實場試驗 TOC 含量	34
圖 4.1-11 實場試驗 NPDOC 含量	35

圖 4.1-12	鹵乙酸類含量變化及變化率趨勢圖(104/6/23)	.....36
圖 4.1-13	鹵乙酸類含量變化及變化率趨勢圖(104/6/24)	.....36
圖 4.1-14	鹵乙酸類含量變化及變化率趨勢圖(104/6/25)	.....37
圖 4.1-15	鹵乙酸類含量變化及變化率趨勢圖(104/7/28)	.....37
圖 4.1-16	SUVA 值分析(104/05/26)	.....39
圖 4.1-17	SUVA 值分析(104/06/23)	.....39
圖 4.1-18	SUVA 值分析(104/06/24)	.....39
圖 4.1-19	SUVA 值分析(104/06/25)	.....40
圖 4.1-20	SUVA 值分析(104/07/28)	.....40
圖 4.1-21	實場試驗淨水流程殘餘鋁趨勢圖	.....41
圖 4.1-22	實場試驗淨水流程濁度趨勢圖	.....42
圖 4.1-23	杯瓶試驗上澄液 TOC 及 NPDOC 含量	.....43
圖 4.1-24	生成潛勢實驗總三鹵甲烷含量	.....44
圖 4.1-25	生成潛勢實驗餘氯量	.....44
圖 4.1-26	供水系統之總三鹵甲烷變化趨勢	.....45
圖 4.1-27	供水系統之總三鹵甲烷變化趨勢	.....45
圖 4.1-28	溶氧、氧化還原電位含量變化趨勢圖(104/05/26)	46
圖 4.1-29	溶氧、氧化還原電位含量變化趨勢圖(104/06/23)	47
圖 4.1-30	溶氧、氧化還原電位含量變化趨勢圖(104/06/24)	47
圖 4.1-31	溶氧、氧化還原電位含量變化趨勢圖(104/06/25)	47

圖 4.1-32 溶氧、氧化還原電位含量變化趨勢圖(104/07/28)	48
圖 4.1-33 原水螢光光譜分析結果(104/9/20)	49
圖 4.1-34 3 號過濾池螢光光譜分析結果(104/9/20)	49
圖 4.1-35 4 號過濾池螢光光譜分析結果(104/9/20)	50
圖 4.1-36 清水池螢光光譜分析結果(104/9/20)	50
圖 4.1-37 配水管網螢光光譜分析結果(104/9/20)	51
圖 4.1-38 歷史數據濁度含量變化及去除率趨勢分析	52
圖 4.1-39 實場試驗濁度含量變化及去除率趨勢分析	52
圖 4.1-40 清水總三鹵甲烷近三年(101~104)歷史數據趨勢圖	53
圖 4.1-41 清水總三鹵甲烷實場實驗趨勢圖	53
圖 4.1-42 原水總有機碳近三(101~104)年歷史數據趨勢圖 ..	54
圖 4.1-43 原水總有機碳實場實驗趨勢圖	54
圖 4.1-44 改善前(水位位於砂層下方)	55
圖 4.1-45 改善後(水位常保持於砂層上方 20 cm)	55
圖 4.1-46 加聚氯化鋁累積在濾砂表層(生物膜在表層不明顯)	56
圖 4.1-47 未前加聚氯化鋁之濾砂表層(生物膜在砂層表層 5 公分顏色較深)	56
圖 4.1-48 改善前加氯點(遠拍).....	57
圖 4.1-49 改善前加氯點(近照).....	57

圖 4.1-50 改善後加氣點(遠拍).....	58
圖 4.1-51 改善後加氣點(近照).....	58
圖 4.1-52 刮砂前濾砂表層	59
圖 4.1-53 刮砂後濾砂表層	59
圖 4.1-54 濾水閘門及轉軸	60
圖 4.1-55 濾水閘門開關	60
圖 4.2-1 白雲淨水場濁度含量變化	62
圖 4.2-2 白雲淨水場氨氮含量變化	62
圖 4.2-3 白雲淨水場硝酸鹽氮含量變化	63
圖 4.2-4 白雲淨水場鐵含量變化	63
圖 4.2-5 白雲淨水場錳含量變化	63
圖 4.2-6 白雲淨水場大腸桿菌群含量變化	64
圖 4.2-7 白雲淨水場總菌落數含量變化	64
圖 4.2-8 林邊淨水場濁度含量變化	65
圖 4.2-9 林邊淨水場氨氮含量變化	65
圖 4.2-10 林邊淨水場硝酸鹽氮含量變化	66
圖 4.2-11 林邊淨水場鐵含量變化	66
圖 4.2-12 林邊淨水場錳含量變化	66
圖 4.2-13 吉貝淨水場濁度含量變化	67
圖 4.2-14 吉貝淨水場氨氮含量變化	67

圖 4.2-15 吉貝淨水場硝酸鹽氮含量變化	68
圖 4.2-16 吉貝淨水場鐵含量變化	68
圖 4.2-17 吉貝淨水場錳含量變化	68
圖 4.2-18 吉貝淨水場大腸桿菌群含量變化	69
圖 4.2-19 吉貝淨水場總菌落數含量變化	69
圖 4.2-20 吉貝淨水場清水溴酸鹽趨勢圖	69
圖 4.2-21 西嶼淨水場濁度含量變化	70
圖 4.2-22 西嶼淨水場氨氮含量變化	70
圖 4.2-23 西嶼淨水場硝酸鹽氮含量變化	71
圖 4.2-24 西嶼淨水場鐵含量變化	71
圖 4.2-25 西嶼淨水場錳含量變化	71
圖 4.2-26 西嶼淨水場總有機碳含量變化	72
圖 4.2-27 西嶼淨水場大腸桿菌群含量變化	72
圖 4.2-28 西嶼淨水場總菌落數含量變化	72
圖 4.3-1 濾砂的鋪設示意圖	76
圖 4.3-2 慢濾池管線設計圖說	77
圖 4.3-3 補砂程序參考圖	87
圖 4.4-1 白雲淨水場平面配置圖	89
圖 4.4-2 白雲淨水場淨水流程圖	89
圖 4.4-3 白雲場原水螢光光譜分析結果	92

圖 4.4-4 白雲場濾水 1 螢光光譜分析結果	93
圖 4.4-5 白雲場濾水 2 螢光光譜分析結果	93
圖 4.4-6 白雲場清水螢光光譜分析結果	94
圖 4.4-7 白雲場配水螢光光譜分析結果	94
圖 4.4-8 白雲場濾水溢流堰照片	95
圖 4.4-9 白雲場慢濾池輪替操作現場照片	95
圖 4.4-10 平溪淨水場平面配置圖	97
圖 4.4-11 平溪淨水場淨水流程圖	97
圖 4.4-12 平溪場原水螢光光譜分析結果	100
圖 4.4-13 平溪場過濾前螢光光譜分析結果	101
圖 4.4-14 平溪場濾水 1 螢光光譜分析結果	101
圖 4.4-15 平溪場濾水 2 螢光光譜分析結果	102
圖 4.4-16 平溪場清水螢光光譜分析結果	102
圖 4.4-17 西螺淨水場慢濾池操作示意圖	103
圖 4.4-18 西螺淨水場平面配置圖	104
圖 4.4-19 西螺淨水場淨水流程圖	104
圖 4.4-20 西螺場原水螢光光譜分析結果	107
圖 4.4-21 西螺場慢濾池 1 螢光光譜分析結果	108
圖 4.4-22 西螺場慢濾池 8 螢光光譜分析結果	108
圖 4.4-23 西螺場清水螢光光譜分析結果	109

圖 4.4-24	西螺場配水螢光光譜分析結果	109
圖 4.4-25	西螺場濾水溢流堰照片	111
圖 4.4-26	西螺場濾池刮砂圖	111
圖 4.4-27	西螺場刮砂後濾砂剖面圖	111
圖 4.4-28	開挖濾池濾層剖面圖(挖掘深度 1m).....	112
圖 4.4-29	西螺場濾池開挖結塊情形	112
圖 4.4-30	西螺場結塊濾砂	112
圖 4.4-31	虎尾淨水場平面配置圖	113
圖 4.4-32	虎尾淨水場淨水流程圖	113
圖 4.4-33	虎尾場原水螢光光譜分析結果	116
圖 4.4-34	虎尾場慢濾池 2 螢光光譜分析結果	117
圖 4.4-35	虎尾場慢濾池 4 螢光光譜分析結果	117
圖 4.4-36	虎尾場清水螢光光譜分析結果	118
圖 4.4-37	虎尾場配水螢光光譜分析結果	118
圖 4.4-38	虎尾場濾水溢流堰照片	120
圖 4.4-39	虎尾場濾池刮砂圖	120
圖 4.4-40	虎尾場 2 號慢濾池	120
圖 4.4-41	吉貝淨水場平面配置簡圖	121
圖 4.4-42	吉貝淨水場淨水流程圖	121
圖 4.4-43	吉貝場原水螢光光譜分析結果	124

圖 4.4-44	吉貝場濾後水螢光光譜分析結果	125
圖 4.4-45	吉貝場清水螢光光譜分析結果	125
圖 4.4-46	吉貝場配水螢光光譜分析結果	126
圖 4.4-47	吉貝場濾水溢流堰照片	128
圖 4.4-48	吉貝場濾水控制閥老舊	128
圖 4.4-49	吉貝場慢濾池老舊生物膜(完整生態系)	129
圖 4.4-50	吉貝場慢濾池輪替操作現場照片	129
圖 4.4-51	西嶼淨水場慢濾池現場圖	129
圖 4.4-52	西嶼淨水場平面配置圖	130
圖 4.4-53	西嶼淨水場淨水流程圖	130
圖 4.4-54	西嶼場原水螢光光譜分析結果	133
圖 4.4-55	西嶼場沉澱後水螢光光譜分析結果	134
圖 4.4-56	西嶼場慢濾前混合水螢光光譜分析結果	134
圖 4.4-57	西嶼場濾後水螢光光譜分析結果	135
圖 4.4-58	西嶼場清水螢光光譜分析結果	135
圖 4.4-59	西嶼場濾水溢流堰照片	137
圖 4.4-60	西嶼場慢濾池輪替操作現場照片	137
圖 4.4-61	大溪淨水場慢濾池現場圖	138
圖 4.4-62	大溪淨水場平面配置簡圖	138
圖 4.4-63	大溪淨水場淨水流程圖	138

圖 4.4-64	大溪場原水螢光光譜分析結果	141
圖 4.4-65	大溪場濾後水螢光光譜分析結果	142
圖 4.4-66	大溪場清水螢光光譜分析結果	142
圖 4.4-67	大溪場濾水溢流堰照片	144
圖 4.4-68	大溪場空氣閉塞現象	144
圖 4.4-69	大溪場慢濾池輪替操作現場照片	144
圖 4.4-70	愛國埔淨水場平面配置簡圖	145
圖 4.4-71	愛國埔淨水場淨水流程圖	145
圖 4.4-72	愛國埔淨水場慢濾池現場圖	146
圖 4.4-73	愛國埔場原水螢光光譜分析結果	148
圖 4.4-74	愛國埔場濾後水螢光光譜分析結果	149
圖 4.4-75	愛國埔場清水螢光光譜分析結果	149
圖 4.4-76	愛國埔場濾水溢流堰照片	151
圖 4.4-77	愛國埔場慢濾池輪替操作現場照片	151
圖 4.4-78	永安淨水場慢濾池現場圖	151
圖 4.4-79	永安淨水場平面配置簡圖	152
圖 4.4-80	永安淨水場淨水流程圖	152
圖 4.4-81	永安場原水螢光光譜分析結果	155
圖 4.4-82	永安場慢濾池 1 螢光光譜分析結果	156
圖 4.4-83	永安場慢濾池 2 螢光光譜分析結果	156

圖 4.4-84 永安場清水螢光光譜分析結果	157
圖 4.4-85 永安場配水螢光光譜分析結果	157
圖 4.4-86 永安場濾水溢流堰照片	159
圖 4.4-87 泰源淨水場慢濾池現場圖	159
圖 4.4-88 泰源淨水場平面配置簡圖	160
圖 4.4-89 泰源淨水場淨水流程圖	160
圖 4.4-90 泰源場原水螢光光譜分析結果	163
圖 4.4-91 泰源場濾後水螢光光譜分析結果	164
圖 4.4-92 泰源場清水 1 螢光光譜分析結果	164
圖 4.4-93 泰源場清水 2 螢光光譜分析結果	165
圖 4.4-94 泰源場濾水溢流堰照片	167
圖 4.4-95 泰源場濾水控制閥老舊照片	167
圖 4.4-96 泰源場慢濾池 3 號濾砂鋪設情形	168
圖 4.4-97 泰源場慢濾池濾砂剖面圖	168
圖 4.4-98 泰源場沉澱池現場圖(一)	168
圖 4.4-99 泰源場沉澱池現場圖(二)	169
圖 4.4-100 泰源場沉澱池氯化鐵加藥點	169
圖 4.4-101 綠島淨水場平面配置圖	170
圖 4.4-102 綠島淨水場淨水流程圖	170

表目錄

表 1.4-1 計畫期程甘梯圖	2
表 2.2-1 慢濾池的設計諸元	5
表 2.2-2 水中各類型污染物在慢濾池中被去除的效率	8
表 3.2-1 檢項分析方法詳細表	23
表 4.1-1 SUVA 值與有機物性質分佈及混凝去除效果之關係	38
表 4.3-1 出水量及濾池數的建議配搭組合	75
表 4.3-2 濾砂的參考設計準則	75
表 4.3-3 監測儀器操控參考控制條件	82
表 4.3-4 操作人力配置表	83
表 4.3-5 慢濾池例行維護作業建議項目	86
表 4.3-6 常見慢濾池操作問題彙整表	87
表 4.4-1 白雲淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)	91
表 4.4-2 白雲淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)	92
表 4.4-3 平溪淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)	99
表 4.4-4 平溪淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)	100
表 4.4-5 西螺淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)	106
表 4.4-6 西螺淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)	107

表 4.4-7	虎尾淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)	.....115
表 4.4-8	虎尾淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)	.....116
表 4.4-9	吉貝淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)	.....123
表 4.4-10	吉貝淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)	.....124
表 4.4-11	西嶼淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)	.....132
表 4.4-12	西嶼淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)	.....133
表 4.4-13	大溪淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)	.....140
表 4.4-14	大溪淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)	.....141
表 4.4-15	愛國埔淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)	..147
表 4.4-16	愛國埔淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)	..148
表 4.4-17	永安淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)	.....154
表 4.4-18	永安淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)	.....155
表 4.4-19	泰源淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)	.....162
表 4.4-20	泰源淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)	.....163
表 4.4-21	綠島淨水場現場採樣水質檢驗分析數據	.....172

第一章 前言

1.1 計畫緣起

早期(十九世紀)之淨水工程，主要靠水流過緻密之砂層(所謂慢濾砂床)來達到去除細菌及濁度的目的，慢砂濾對病原菌去除之功能，史有明載。

慢濾作用包括沉澱吸附作用和生物化學作用兩個部分：砂面上層水中顆粒物沉降、吸附、截流及綜合性生物分解等作用；濾料表層微生物黏膜中微生態環境對污染物的複合生物作用；濾床隨深度增加對污染物進一步分解轉化，以及對顆粒物的進一步過濾攔截。微生物在污染物去除中發揮了主要作用，慢濾池生物黏膜中含有豐富的微生物種群，包括細菌、藻類、原生動物以及各種微生物的分泌物，這些微生物形成了發展良好食物鏈，生物黏膜的緻密結構對水中污染物形成了很好的物理截留和吸附作用，此與慢濾池之處理效能息息相關。

原是簡單的慢濾池操作，但經實例觀察，澎湖吉貝地區使用地下水源因受海水入侵鹽化現象，造成地下水中溴鹽含量偏高，而其操作係以添加次氯酸鈉於慢濾池前致產生溴酸鹽，對於吉貝淨水場所採取的慢濾池前加氯藉以氧化鐵、錳及氨氮的做法是不正確的，經試驗觀察僅採以單純慢濾池的操作即可達到處理的需求，慢濾池前添加次氯酸鈉，將增加加藥量、因而增加溴鹽氧化生成溴酸鹽的機會。

本研究係對慢濾池設施進行處理效能之探討及改善，使得淨水場舊有的設備可發揮最大的處理能力並達到最佳的處理狀況，避免投注大量的經費添購或修正原有的設備，以加強淨水場之處理能力，以符合未來日趨嚴格的飲用水水質標準。

1.2 計畫目標

- 一、加強慢濾池淨水處理之能力，以符合標準並提供優質之供水。
- 二、將原有之慢濾池設備，加以妥善利用，發揮應有之效能。
- 三、檢視與分析慢濾池的設計、操作與管理，以期達到慢濾池最佳化

第二章 文獻回顧

2.1 慢濾池緣由

水源及飲用水一直都是人類聚落位置選定的重要條件從中國的黃河、埃及尼羅河、中亞的兩河流域及印度恆河等古文明皆始自於水源相對豐沛的環境，但因公共衛生及免疫學知識的不完整，除了宗教戒規或法律禁令等因素，傳染病亦多次伴隨聚落發展興衰。

慢濾處理技術始於 1829 年蘇格蘭地區，由英國學者 John Gibbs 提出，然因占地較廣，漸漸由 1897 年誕生的快濾法所取代，19 世紀後期，德國學者 Robert Koch 透過研究同樣使用 Elbe 河為水源的 Hamburg 及 Altona 兩座城市淨水設備發現，採用慢濾程序處理公共給水的 Altona 市，在霍亂流行期間，致病率明顯低於 Hamburg 市，透過水流流過緻密之砂層(所謂慢濾砂床)可達到去除細菌及濁度的目的 (Barrett *et al.* 1991; Kohne & Logsdon, 2001; Guchi, 2015)。淨水理論至 20 世紀越顯完備，以 Huisman 在 1974 年所提出的 Slow Sand Filtration 中對慢濾池的淨水機制提出系統性的說明，其機制大約分為五大項：

1. 透過水體停留使水中藻類利用鹽類並產生氧氣，協助其他微生物代謝。
2. 水中微生物及濾砂表面的生物膜經代謝分解水中有機物及部分造成懸浮固體及色度的物質。
3. 濾砂的表面特性可藉由電性吸附及化學鍵結吸附水中的污染物質，伴隨不同條件的濾砂選用，比表面積可達 15000 平方公尺/立方公尺，因此流線在經過濾料的流向改變，重力及離心力有助於吸附機制分離水中污染物。
4. 濾料間的孔隙率可達 40%，污染物流入這些狹小空間時因流速的變化使之沉澱於這些空間內。
5. 濾料表面的生物膜造成電性變化，可提升濾砂的吸附能力並加速微生物的分解效能，而此一機制的有效範圍可深達濾砂面以下 40 公分。

淨水流程中的慢濾系統 (Slow Sand Filter, SSF)，其處理機制包括吸附、過濾及生物降解 (Biodegradation)，由於大部分水源中的無機污染物可藉由吸附及過濾予以去除，而傳統淨水程序中不易去除的

NOMs 具有生物分解性，因此可藉由慢濾系統中的生物降解機制來降低部份的天然有機質或是微量的有機污染物，不僅處理效率增加，並較符合經濟效益 (Eighmy, 1992, 1993)。

綜合上述因素，一般有機物質及鹽類可深入濾砂 40~60 公分，因此提出理想的慢濾池應具備以下條件，1.慢濾池建議深度 2.5~4 公尺，2.慢濾砂砂層厚度應介於 0.6~1.2 公尺，3.慢濾池濾砂以上水深建議為 1~1.5 公尺，4.水體在慢濾單元停留時間建議為 3~12 小時 (Huisman & Wood, 1974)。

直至近年隨著開發中國家興起，慢濾處理低維護成本及操作技術需求的特色受到許多偏遠地區地方的青睞，以亞洲地方的實場經驗，以預製混凝土設備及磚砌硬體，配合粒徑 0.15~0.5 公厘間的濾料，並依據操作維護方式設置 40 公分~1 公尺的濾料初設厚度，往往就能達到良好的淨水效益(楊等人，2009)。

另也有案例採用濾料粒徑 0.4~20 公厘的多級慢濾床，濾速大幅提升至 0.4~0.65 公尺/日，仍能達到大腸菌群、糞便性大腸菌及大腸桿菌零檢出、濁度 0.1NTU 以下、硝酸鹽 10 毫克/公升以下、亞硝酸鹽 0.7 毫克/公升以下、苯酚 0.002 毫克/公升以下的標準。(Campos *et al.*, 2002)

2.2 慢濾池的特徵

2.2-1 慢濾池之基本組成與設計諸元

慢濾池的基本組成包括：表水層、濾砂層(粗砂及細砂)、礫石層及排出管，表水層位於砂層上方提供水往下流動的驅動力穿過濾砂層，可延遲停留在砂層上方數小時之久，砂因耐久性佳且效果不錯，通常做為濾層的材料，其有效粒徑通常在 0.1~0.4 公厘，礫石層其作用在於支撐砂層並避免砂子流出阻塞在濾水管中，水緩緩的由濾砂層的孔隙間濾出，而顆粒、有機物、微生物甚至是病毒或梨形鞭毛蟲、隱孢子蟲等皆被移除，以物理性截流或生物性降解的方式在濾砂層內反應，大部分的作用發生在濾砂的上層，在那裡顆粒沉積、藻類生長、生物相非常活躍而形成明顯的生物膜，但特定的反應行為也會發生在濾砂下層(Cleasby *et al.*, 1984)，一般慢濾池的設計諸元如下(詳如表 2.2-1)：

表 2.2-1 慢濾池的設計諸元

建議值			
設計準則	美國(1987)	Huisman(1974)	Visscher(1987)
濾砂厚度(m)	0.8	1.2	0.9
有效粒徑(mm)	0.3-0.45	0.15-0.35	0.15-0.3
濾率(m/h)	0.08-0.24	0.1-0.4	0.1-0.2
支撐層厚度(m)	0.4-0.6	(無資料)	0.3-0.5
表層水高度(m)	0.9	1-1.5	1

資料來源：Galvis et al.,2002

慢濾池的濾料自上而下由細到粗，最上層一般為厚度 0.5 公尺左右、粒徑 0.1~0.3 公厘的石英砂或河砂，下層依次為粗砂，小石、中石，厚度一般為 30 公分，有研究根據慢濾池設計的參數，包括濾砂的有效粒徑(0.17~0.52 公厘)、濾砂層上的水頭高度(10~30 公分)進行研究，發現最佳的操作條件是以細砂、10 公分高的水頭、原水進流速度 0.01–0.03 公尺/小時，平均可達到 1.82 log 即 98.5% 的微生物去除率(Jenkins *et al.*, 2011)。

2.2-2 慢濾池之規定

目前在台灣地區對於慢濾池之規定，主管機關水利署公告「自來水工程設施標準(2003)」第 74 條 慢濾池之規定如下：

一、使用為地面水者，其原水之濁度經常低於二十濁度單位，最高以不超過五十濁度單位為原則。使用地下水者，其鐵錳含量應在每公升三毫克以下。

二、地面水有較高濁度、污染現象或色度高時，應採用初步處理。

三、應有適當之備用池，池數應在二池以上，使用進行刮砂及補砂等工作時，其他各濾池均能維持在正常濾速下操作。

台灣自來水公司施工說明書總則(2015)，說明有關慢濾池全部濾石濾砂及濾煤等濾料之供應敷設及相關規定，包括：

一、濾石：濾石係敷裝於濾床上，為支持濾砂之用。須從下而上，由粗而細分四層敷裝，其厚度共為 40 公分，其應符合下列規定。

第一層濾石直徑由 30.0 ± 3.0 至 60.0 ± 6.0 公厘，厚度 12.0 公分。

第二層濾石直徑由 20.0 ± 2.0 至 30.0 ± 3.0 公厘，厚度 12.0 公分。

第三層濾石直徑由 10.0 ± 1.0 至 20.0 ± 2.0 公厘，厚度 8.0 公分。

第四層濾石直徑由 3.0 ± 0.2 至 4.0 ± 0.5 公厘，厚度 8.0 公分。

二、濾砂：濾砂厚度為____公分，濾砂敷裝於濾石上，且均需符合下列規格：

有效粒徑為____ ± 0.05 公厘。

均勻係數為 2.5 以下

須以堅硬石英粒砂為主，二氧化矽(SiO_2)含量不得少於 99%。

不得含扁平脆弱顆粒，以及土質及灰塵等不潔物。

洗淨濁度在 30 度以下。

比重 2.55~2.65。

砂礫大於 2.0 公厘及小於 0.1 公厘部分均勻不得大於 2% (重量比)。

臺北市自來水事業工程設施標準(1976)第 136 條 濾池設計原則如下：

一、使用為地面水者，其原水之濁度經常低於每公升二十毫克，最高以不超過每公升五十毫克為原則。使用地下水者，其鐵錳含量應在每公升二毫克以下。

二、地面水偶有較高濁度，應採用初步處理。

三、原水有相當之污染現象或色度高時，不宜使用慢濾池。

- 四、濾速應不超過每日五公尺為準，但原水水質特別良好，或有特別之濾前處理時，得提高至每日八公尺。
- 五、慢濾池應有一公尺上之操作水頭。
- 六、慢濾池應有適當之備用池，池總數應在二池以上，使在進行割砂補砂等工作時，其他各濾池均能維持在正常濾速下操作。
- 七、濾池之池數配置、總面積以及各池之長寬比，應比照第一百三十五條規定做經濟比較後決定。

2.2-3 慢濾控制技術

在慢濾控制技術上有幾個重要的參數必須注意，一是過濾之濾率，濾率的快慢會影響污染物去除的效益，特別是微生物，通常濾率越大去除效果會降低，也可能導致微生物貫穿，因此，有效的取得出水量與濾率之平衡關係非常重要，另一個重要的因素是濾砂層厚度，最少應有 0.6 公尺以上，Bellamy 發現，當濾砂層由 0.97 公尺降至 0.48 公尺時，大腸桿菌的去除率由 97% 降至 95%。(Bellamy *et al.*, 1985)

通常過濾的行為包括物理性(轉移)、化學性(連結)及生物降解，其中在慢濾行為，以生物行為最重要。物理性移轉機制包括抓取及濾除兩部分，而當顆粒粒徑大於濾砂層之孔隙時即被移除，而顆粒的累積及微生物生長會造成濾砂層之孔隙減小，而對於小於濾砂層之孔隙之顆粒，抓取成了去除的重要機制。細菌、病毒及膠體粒子大小約 0.01 微公尺~1 微公尺，在較深層的砂濾層中會藉由沉降、截流及擴散作用將其濾除，凡德瓦爾力、顆粒帶電、表層的藻類、微生物胞外物質也提供了重要的去除效益(Muhammad *et al.*, 1996; Bai *et al.*, 2010)。

水中的生物性污染物，如微生物、病毒、梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲等原生動物，在慢濾系統中被去除的機會甚高，特別是在生物環境旺盛的砂層的表層，而當砂層上的水越高時，因延長了水力停留時間，大腸桿菌及總菌被去除的機率也越高(Huisman, 1974)，而當砂層表面的原生動物增加時，大腸桿菌被去除的效率也會增加(Collins *et al.*, 1989)。根據文獻資料，各類型的污染物在慢濾池中被去除的機率如表 2.2-2。

2.2-4 慢濾處理技術

慢濾水處理技術是使水流緩慢通過粒徑 0.1~0.3 公厘厚度大於 50 公分的濾料，濾料表面中所吸附和截留的有機物及礦物質為微生物的生長繁殖提供了營養，在太陽光合作用下，微生物的生長、繁殖，在慢濾池中細砂表面生長，隨著時間的推移，在慢濾池濾料表面形成穩定成熟的生物粘膜，通過微生物之間的捕捉、吞食和新陳代謝，使水體中的細菌總數控制在飲用水的標準值內，通過細砂和生物膜的過濾、膠凝和生物化學反應，使水體的濁度、鐵錳含量、溶解性總固體個數、細菌總數、總大腸菌群等指標符合國家規定標準，從而達成飲水水質安全。(Leland, 1991; Marcantoni & Cotto, 1998; Calvo-Bado *et al.*, 2003)

表 2.2-2 水中各類型污染物在慢濾池中被去除的效率

水中污染物	去除效率
濁度	<1 NTU
大腸桿菌	>99%
微生物	90-99.9%
梨形鞭毛蟲、隱孢子蟲	90-99.9%
真色色度	25-40%
總有機碳(TOC)	<15-25%
溶解性有機碳(DOC)	5-40%
生物可利用有機碳(AOC)	14-40%
UV ₂₅₄	5-35%
三鹵甲烷(THM)	<25%
鐵及錳	30-90%

資料來源：Galvis *et al.*, 2002

為保證慢濾池正常工作，濾層上面應保持一定的作用水頭，一般在 0.1~0.5 米之間。慢濾池水流速度慢，在濾料（最上層一般為厚度 0.5 公尺左右、粒徑 0.1~0.3 公釐的石英砂或河砂）表面存在著各種類型的微生物群。微生物群固著在慢濾池中細砂表面生長，在陽光的光合作用下，隨著時間的推移，在慢濾池濾料表面形成穩定成熟的生物

粘膜。由於這種生物粘膜的存在，使濾料的間隙減小，通過生物粘膜吸附、膠凝和生物化學反應（微生物之間的捕捉、吞食、新陳代謝），使水質達到國家飲用水的標準(Leland, 1991; Le Crow, 1996)。

一般情況下，按供水人口計算，每 100 人取 1~1.5 平方公尺，最少不低於 1 平方公尺，可用供水人數乘以 0.01~0.015 的係數。也可以利用公式直接計算出設計慢濾面積 F，即：

$$F = Q N / 24 V$$

Q：供水量，取 100 公升/日·人；

N：供水人數；

V：濾速，取 0.2~0.3 公尺/小時。

當供水量較大時（每日超過 150 立方公尺），可在適宜的地形條件下建 2~3 個慢濾池並聯操作。為培養慢濾池表層生物膜，須有陽光直接照射到慢濾池水面，所以慢濾池不加頂蓋。在日常的操作中，慢濾池表面至少應有 20 公分的水深。(劉來勝, 2013)。

2.2-5 慢濾池之操作週期

慢濾池的操作週期較長，一般在幾個月或一年以上。當濾料堵塞需要清洗時，採用人工方法進行，一般清洗週期為 7 個月至 1 年，根據慢濾池出水量的大小而定。清洗方法是將池內水位控制在砂層以下，用鏟將表層 25~30 公厘厚度的濾層鏟出清洗。為防止濾料表面生物濾膜死亡和濾料污染，清洗時間越短越好，一般不宜超過一天 (Visscher *et al.*, 1991)。回填方法有兩種，一種是將清洗後的濾料重新回填到濾池中，即可正式通水，待水質化驗合格再供用戶使用。由於濾料在清洗過程中會有損耗，濾池內濾料厚度會不斷減小，應注意不要使濾層厚度小於 60~65 公分。另一種方法是，將鏟出的濾料集中存放在無污染處，待濾池內濾料厚度達 60~65 公分時，再集中清洗回填。出水需要排放或迴流進入慢濾池進行再處理，直至出水水質經化驗合格。慢濾池採用長 1.5~2 公尺預製涵管，從上至下依次為：粒徑 0.15~0.5 公厘細砂 40 公分（細砂表面以上須有 20~40 公分深的水面，確保生物粘膜的生長），承托層(10~15 公厘的小石子)20 公分，隔

板 5 公分，儲水池高 65 公分。承托層及不同粒徑濾料之間隔開，防止細濾料的流失承托層(Slezak & Sims, 1984; Seelaus *et al.*, 1986)。

為培養慢濾池細料表面生物膜，須有陽光直接照射到慢濾池水面，所以慢濾池不加頂蓋。為防止生物膜乾化死亡，細砂表面應保持 20~30 公分的水深。濾料粒徑越小，形成生物膜速度就越快。粒徑為 0.15~0.5 公厘的濾料形成生物膜約 15 天。經過檢測濁度、色度、臭味、有機物、氨氮、重金屬、總菌落數等項目，形成生物膜的慢濾池出水可不經消毒即能達到生活飲用水標準，在慢濾池進水口末端安裝浮球閥，自動控制慢濾池的進水，便於管理，而浮球閥安裝位置應保證慢濾池表面水深不低於 30 公分。(劉來勝,2013)

2.3 慢濾池之運用

慢濾系統提供了一個去除水中顆粒、微生物很好的環境，但是去除率提升關鍵在於濾池的設計與操作，包括濾砂粒徑、濾砂層厚度、濾率、生物作用及砂層上層的刮砂(Becker & Lee, 1987)。一般而言濾砂粒徑愈大、濾速愈快、濾砂層厚度愈薄及生物活性低，都將導致去除效率降低，而濾砂的粒徑分布及原水水中之顆粒更重要(Berg & AWWA, 1991)，而 Bellamy 研究顯示，當增加濾砂層砂粒有效粒徑時可能不會直接表現在去除率的降低，當有效粒徑由 0.128 公厘增加至 0.615 公厘時，微生物去除率由 99.4% 降至 96%(Bellamy, 1985)。

刮砂的時間在濾池達最高水位時，用以回復慢濾池的功能，通常刮砂間距約 30-60 天，但有些案例卻指出可以達 100 天以上(AWWA, 1991)，傳統的刮砂方式是將水位降至砂層表面下，並刮除 1-2 公分的生物濾膜，這些生物濾膜包含著大量的生物，是慢濾作用最旺盛的方物反應區域，然而，在濾砂刮除後致病菌被去除，必須等到濾砂表層的生物膜完全發展完成才能有較佳的去除效率，甚至有些研究指出刮除濾砂可能無助於微生物去除效率，不過一般而言，在控制良好的濾砂刮除後還是能擁有不錯的去除效果。有研究指出，刮砂前後之大腸桿菌去除效率可由 99% 降至 94%(Burman, 1962)，Bellamy 研究顯示，刮砂後致病菌的去除能力大約減少 10%。

基本上來說，頻繁的濾砂層表面刮砂，將導致生物膜無法完全發展成熟，對於污染物及致病菌去除而言是非常不利，以梨形鞭毛蟲的

去除率來說，一般可達 98% 的去除率，但若是在熟成的濾砂表層生物膜，其去除率可提升至 3-4log (Cullen & Letterman, 1985)，因此，延長濾砂刮除時間可提升生物膜的污染去除功能。

Eighmy 的研究曾建議利用耙子將濾砂表層耙鬆，其深度大約 30 公分，將土塊敲成碎片，而碎片利用水將其帶離開砂層(Eighmy, 1992)，但是以耙鬆的方式卻需要更頻繁的作業，好處是僅需長時間後再進行補砂。刮砂作業僅將部份的生物膜移除，且不會造成生物往濾砂深層移動，事實上刮砂可提供更多的生物接觸，且可提升有機污染物的去除(Visscher, 1990)。

2.3-1 偏鄉地區之應用

慢濾與其他水處理處理技術相比，可在不用機械動力(原水提升泵除外)和化學藥劑條件下正常工作。具有管理簡單，操作穩定可靠，製水成本低的特點。經慢濾處理後的水幾乎不含有機物和各種有害微生物，其濁度近乎於零。該處理技術因水力負荷低(與快濾池相比)而占地面積大，適用於水源主要為泉水、山溝水、地表水，大腸桿菌超標的地表水和微污染水和具有廉價土地可利用，技術經濟和管理水準相對較低的偏遠地區。生物慢濾對污染物的去除有非常好的效果(El-Masry *et al.*, 1995)，特別是利用在農村地區無現代化自來水供應的簡易供水方式(劉等人, 2004；李等人, 2012；劉來勝, 2013)小型供水系統也同樣具有其效益及經濟性(Selcky *et al.*, 2003)，有研究以昆明地區慢濾池淨水場對有機物、氨氮等經過慢濾池的處理後，對 COD 的去除率可以達到 56%；對氨氮的去除率可以達到 95%；對濁度的去除率可以達到 94% 以上，甚至可以完全去除；對色度的去除率可以達到 80%(董, 2008)

2.3-2 微生物去除

慢濾技術對污染物的去除是物理吸附過程和生物化學過程共同作用的結果，在慢濾上層的濾料表面形成了一層含有多種微生物的生物粘膜，生物粘膜中含有各種細菌(球菌、桿菌等)、藻類。生物粘膜

的物理吸附、截留作用和良性生物化學作用，對確保水質有重要意義(中本信忠,2010；劉, 2003)。

雖然慢濾對大腸桿菌的去除率可達到 95%以上，有的可以達到偏遠地區實施生活飲用水衛生準則的要求，但很難達到不得檢出的效果，在腸道傳染病高發季節仍須經過後續簡易的消毒處理。慢濾水處理技術改善了偏遠地區飲水處理技術的理論和實踐研究(Riesenberg *et al.*, 1995; Rooklidge *et al.*, 2005)，有的偏遠地區沒有自來水、有的偏遠地區缺乏必要的淨水設施、有的偏遠地區的飲水水源受到不同程度的工業和生活污染等等。該技術能有效的解決以上問題，避免購置昂貴的淨化設備，並繼承和發展了傳統水處理處理技術。慢濾水處理技術和慢濾工程配套處理技術是解決偏遠地區安全飲水問題的重要開端，對保障偏遠地區居民的身體健康具有重要的意義，在偏遠地區具有應用前景(Fox *et al.*, 1984; Sharpe *et al.*, 1991; Ellis & Aydin, 1993)。

2.3-3 總三鹵甲烷去除

隨著檢測技術進步，自來水質除基本的濁度、色度、生菌數等基本測項，也衍生出了新興污染物的控制以及防治問題，其中亦包含淨水處理中生成消毒副產物的問題。消毒副產物如其名稱，是水中物質在淨水處理的消毒階段與消毒用藥直接或間接產生，加氯消毒是淨水場主要之消毒方式，而含氯消毒劑會與水中天然背景有機物反應，而產生消毒副產物 (Disinfection By-Products, DBPs)，其中三鹵甲烷 (Trihalomethanes, THMs) 為主要副產物，其次則為含鹵乙酸 (Haloacetic Acids, HAAs)，包含一氯乙酸、二氯乙酸、三氯乙酸、一溴乙酸、一溴乙酸等，在早期淨水技術中可做為氧化劑以降低污染物含量的的消毒劑在使用時機控制條件也增多，其中亦包含進入消毒單元前將消毒副產物的前驅物質去除，利用慢濾池之物理吸附及生物作用可以有效的去除水中污染物(McMeen & Benjamin, 1997)，瞭解 HAAs 於慢濾池中被移除之現象及所扮演之角色(Fenstermacher *et al.*, 1998; Wobma *et al.*, 2000; 賴, 2006; Moncayo-Lasso *et al.*, 2008; Bayless & Andrews, 2008)，或透過觀察及比較不同的進流水對慢濾池微生物膜生成情形與含鹵乙酸的去除之影響，並且討論不同濾砂深度之影響

(黃,2008)，加氯消毒副產物亞硝基二甲胺 (N-Nitrosodimethylamine；NDMA)於慢濾池濾砂生物膜中純化出具有降低水中亞硝基二甲胺能力的微生物，鑑定結果為甲基桿菌屬(*Methylobacterium* sp.) 的物種。此菌種並非以亞硝基二甲胺作為生長營養物質，而是經由共代謝的形式將其分解(張,2010)。

2.3-4 藻類去除

另有研究指出，若以藻類代謝物 Geosmin 與 β -cyclocitral 於淨水場慢濾程序中濃度大幅度降低，顯示慢濾池中的生物膜對臭味物質的分解效果良好，但對於 2-MIB 卻沒有顯著之效果(林財富, 2011)，而移除 Geosmin 之原因可能來自為維持好氧狀態所導致，Geosmin 與 2-MIB 之濃度皆呈現下降趨勢，經 168 小時之接觸時間後，Geosmin 可去除 77% 以上，2-MIB 則可去除 30% 以上(謝,2011)。

2.3-5 微囊藻、隱孢子蟲及梨形鞭毛蟲去除

微囊藻廣泛分布於淡水水域，由於具產毒特性，可能危及民眾飲水安全，水庫藻類過量繁殖生長，經常引起供水問題，微囊藻毒甚至危及飲水安全，研究指出，以德國柏林地區湖泊水進行慢濾程序，其微囊藻毒大於 95% 以上的去除率(Grützmacher *et al.*, 2002)

慢濾技術曾因快濾技術崛起而被人們擱置了一段時間，但快濾技術不能有效去除隱孢子蟲(*Cryptosporidium*)和梨形鞭毛蟲(*Giardia*)，而慢濾技術對其卻有較好的去除效果(Bryck *et al.*, 1987; Schuler & Ghosh, 1993)，因此，該技術又重新獲得自來水業界的認可。隱孢子蟲和梨形鞭毛蟲為單細胞原生動物，屬於兩種嚴重危害水質安全的致病性原蟲，人體感染後臨床表現為噁心、厭食、上腹及全身不適，突發性惡臭水樣便，低熱甚至死亡。梨形鞭毛蟲致病劑量為 1~100 個孢囊，隱孢子蟲致病劑量為 1~10 個卵囊，均具有極強的抗氯性，一般加氯消毒無法滅活，一般淨水處理的膜過濾技術也不能對其完全去除。目前，隱孢子蟲和梨形鞭毛蟲致病機制尚不清楚，絕大多數抗生素對其無效，主要依靠人體自身抵抗力恢復，鑒於其危害性和潛伏性，世

界衛生組織建議自來水中不得檢出，根據實場以慢濾進行原水處理，隱孢子蟲和梨形鞭毛蟲之去除效果非常好，去除率可達 99.997% 以上 (Hendricks, 1991; Timms *et al.*, 1994)。

2.3-6 薄膜前處理

為提升慢濾之效益，亦有研究討論利用粗過濾及前臭氧方式搭配慢濾技術，以改善慢濾對於部分不易分解有機物之去除效率(Logsdon *et al.*, 2002; Linlin *et al.*, 2011)。同樣是用來去除水中微生物，相較於紫外線(UV)，慢濾具有更便宜、選擇性高、維護容易等優勢(Garibaldi *et al.*, 2003)。而以慢濾作為超過濾技術(UF)的前處理程序，對於原水生物代謝物質的去除有很好的表現，可有效減少生物代謝物質在 UF 膜上所造成的生物污堵(fouling)，延長超過濾的使用期間(Zheng *et al.*, 2009; Zhenga & Jekel, 2010)。

第三章 研究方法及實驗規劃

3.1 研究架構

慢濾法係以砂層與砂層表面之微生物群截留水中雜質並進行氧化分解作用之淨水方法。適用比較良好的原水，因此只要不妨礙其生物之功能，慢濾池不但可去除水中之懸浮物質與細菌，尚可去除少量之氨氮、臭味、鐵、錳、合成清潔劑及酚等。其優點在於不須高級處理技術即能獲得穩定而可靠之高度淨化功能。經查台灣自來水公司截至今年最新統計資料全台共 455 座淨水場，其中仍有 50 處慢濾系統之淨水場約占整體九分之一，且這些淨水場多屬偏鄉地區，大多為委外巡迴操作場站，相較於快濾系統因其技術需求低(毋須於程序中添加混凝劑及濾池設備毋須經常反洗)，僅需定期刮砂、補砂，若此系統適當操作，將能有效發揮其優點，提供更經濟、良好且穩定的出水品質，惟上述淨水場因建置年代久遠，早期的設計互異，以致操作營運經驗無法完全適用於台灣自來水公司所屬慢濾池淨水場，另外當時設計之處理標的已漸漸不符合現行的水文水質條件，加上多數閥件經年累月年久失修，造成操作人員操作困難，爰此，本計畫蒐集相關資料及文獻，規劃主要分為三階段進行(詳如圖 3.1-1)：

- (一) 實例探討-綠島淨水場慢濾系統活化及改善。
- (二) 運營中慢濾池淨水場進行水質報告分析。
- (三) 慢濾池淨水場評估，綜合分析討論後，提出操作、設計建議準則，作為水公司推動偏遠、離島或其他適當地區採用慢濾池運作的參考。

三階段計畫規劃執行內容將於下段細述，分節說明：

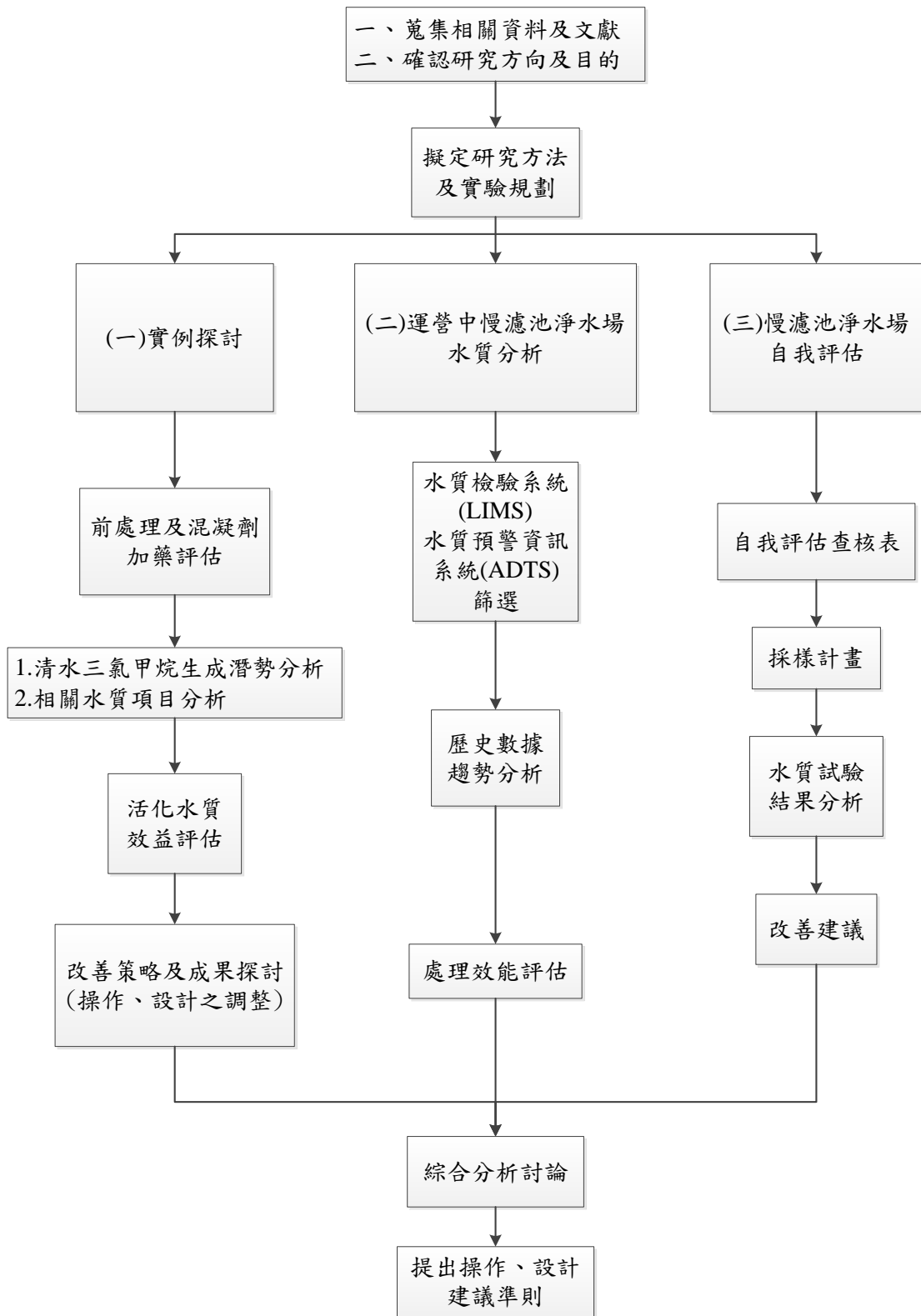


圖 3.1-1 研究架構流程圖

3.2 實例探討

以綠島淨水場為進行實場測試之標的淨水場，於 104 年 5 月 26 日、104 年 6 月 23 至 25 日、104 年 7 月 13 日、104 年 7 月 28 日、104 年 8 月 11 日進行採樣，歷次採樣的目的係根據前次的水質分析結果及現場條件調整而進行，因此，在相關水質檢驗參數及數據代表性上略有差異。

試驗水質檢驗項目為水溫、濁度、pH、導電度、溶氧、氧化還原電位、總鐵、總錳、氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽、總有機碳、UV₂₅₄、腐植質、螢光激發/發散陣列光譜儀 (Excitation/Emission Matrix Spectrofluorometer，以下簡稱 FEEMs)、大腸桿菌群、大腸桿菌、總菌，藉以水質數據分析結果評估該場慢濾池處理效能，期能將結果提供給相關操作人員作為淨水處理操作之參考與後續本研究專案計畫實例探討之依據(詳如圖 3.2-1 及圖 3.2-2)。

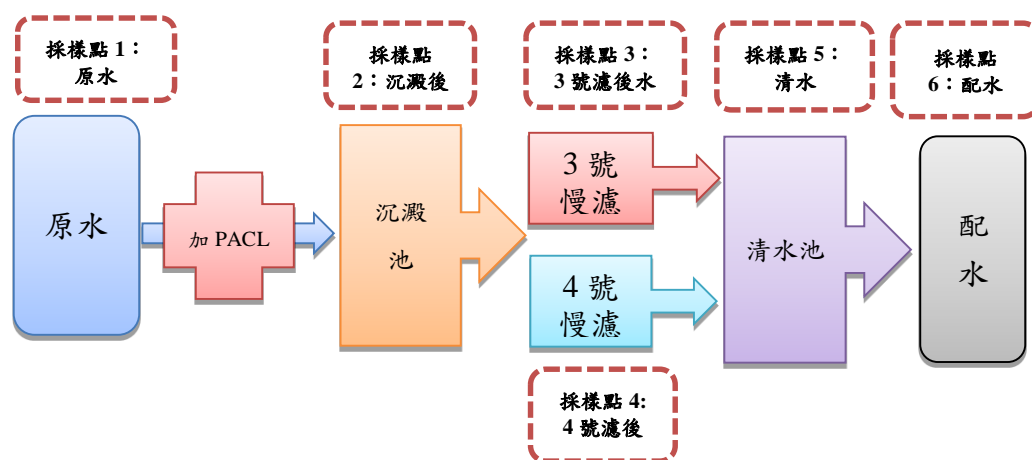


圖 3.2-1 實場效益分析對照組採樣流程

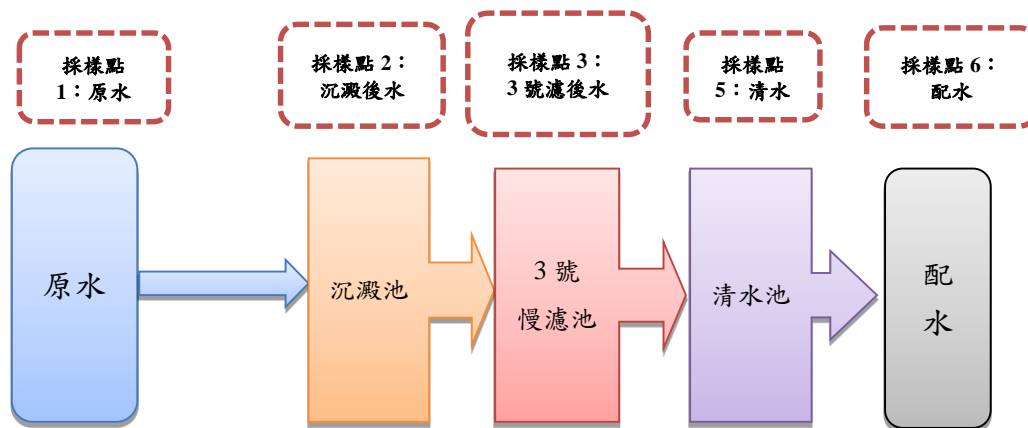


圖 3.2-2 實場效益分析實驗組採樣流程

3.2-1 採樣規劃

本計畫目的為觀測慢濾池對原水水質處理之效益，觀察的項目除一般淨水處理注重的濁度、總有機碳(TOC)、氨氮、菌數等常規測項外，為了解水庫水質對消毒副產物的影響，就有機物質、腐植質，因氧化生成總三鹵甲烷、鹵乙酸等進行檢驗。

實驗分為實場試驗及模擬試驗兩大部分，實場實驗目的為實場效益分析，設備以綠島淨水場第二期設備為對象，分別檢測原水、慢濾池出流水、清水池以及配水端之水質。又因水場內本身設有快混單元，部分採樣規劃會加入沉澱池出水水質的檢測。模擬試驗部分，其一採用杯瓶試驗(Jar test)測試最適加藥量對於原水有機物質去除效果，試驗後之取上澄水樣進行分析，以分析加藥混凝程序對有機物去除的影響；其二為總三鹵甲烷生成潛能試驗，利用次氯酸鈉過量加藥(原則上保持自由餘氯於實驗終期仍有 0.5 mg/L 以上)及長時間靜置(以供水系統內可能的滯留時間為參考期間)等有利於消毒副產物生成的環境，檢測原水及慢濾池出水水質可能產生總三鹵甲烷的可能最大值。

3.2-2 實驗方法

➤ 慢濾池微生物馴養

本計畫為提升慢濾池微生物處理效能，因此微生物馴養即為重要

之課題。抽取原水不加聚氯化鋁(PACl)進入沉澱池後再導入慢濾池，並控制水位在慢濾池上約 50~100 公分，靜置 1~3 天以上，之後再進行慢濾，並依照既定試程對慢濾前後水質採樣檢測，以了解慢濾池對 TOC 等水中污染物之去除效能。經馴養的慢濾池以濾速 3.5 公尺/日左右持續運作，經過 1~2 個禮拜後再次進行採樣，過程中發生濾速降低或溢流等情形，則將慢濾池中的水放至濾砂表層以下，並進行刮砂作業，同時以前述方式對另外一池(3 或 4 號濾池)進行馴養等操作。

➤ 實場試驗

本計畫為測試慢濾池微生物處理對消毒副產物生成的影響，將目標定為降低消毒副產物生成所需的前驅物質-有機物，期間同時比較舊有的加藥混凝-慢濾程序系統，與未加藥僅用慢濾程序處理原水之差異，觀察相關水質測項在各處理程序間的差異。舊有的加藥混凝-慢濾程序系統採樣前，並無其他前置準備，仍依現場原有之流程進行操作。

未加藥僅用慢濾程序系統採樣的閒置設備，則著重於慢濾池生物相的培養，培養方式為抽取原水不加混凝劑即引入沉澱池後再導入慢濾池，並控制水位在慢濾池上約 50~100 公分，靜置 1 天以上，之後再進行慢濾，並依照既定試程對慢濾前後水質採樣檢測，以分析慢濾池對 TOC 等之去除效能。經馴養的慢濾池以濾速 3.5 公尺/日左右持續運作，經過 1~2 個禮拜後再次進行採樣，而當操作過程中發生濾速降低至一定值以下或發生溢流等情形，則將慢濾池中的水放至濾砂表層以下，以後續的進行刮砂作業。

➤ 杯瓶試驗 (最適加藥量分析)

由於原水不同加藥條件下，除影響出水水質濁度外，另假設對有機物去除效率亦有不同影響。故以模場試驗比對加藥與否以及加藥量於 TOC 以及 NPDOC 去除率之影響。實驗方法為取 2 公升原水水樣置於方形杯瓶，分別加入 20、40、60、80 mg/L PACl，置於杯瓶試驗機上以 120 rpm 快混 2 分鐘後，再以 20 rpm 慢混 20 分鐘，靜置 20 分鐘後取上澄液，就其 TOC 及有機物種類進行分析(詳如圖 3.2-3)。

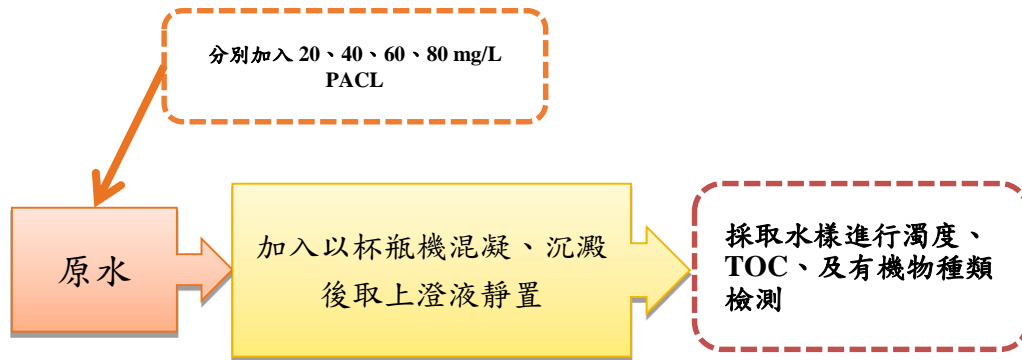


圖 3.2-3 杯瓶試驗採樣流程

➤ 總三鹵甲烷生成潛能試驗

由於綠島淨水場並未採用前加氯，理論上消毒副產物的主要生成階段為濾後水進入清水池加氯後開始，並於清水池內停留、進入配水管網、直至到達用戶配水端為止的接觸時間內反應生成。因此總三鹵甲烷生成潛能試驗進行方式為在水體中加入過量之餘氯後靜置一段時間，模擬水體從場內送至用戶端的時間內，水中餘氯持續與 TOC 反應，並於特定時間點採樣分析總三鹵甲烷，藉由此實驗判斷水中 TOC 造成總三鹵甲烷之最大可能生成量及濃度變化，為反應實場現場條件，本試驗溫度不另行控制。另外為了解不同淨水階段水質對生成潛勢的影響，分別於 104 年 6 月 24 日採用原水及清水，104 年 7 月 13 日為過濾水，並於 104 年 7 月 28 日以過濾水及清水為實驗對象。

實驗方法為取多個 600ml 水樣於 600ml 棕色塑膠瓶內，加入過量之餘氯後先以餘氯計紀錄初始餘氯值，後密封保存，於 2、4、6、8、24、36 小時後分別開啟瓶蓋，逐一採樣分析總三鹵甲烷，同時以餘氯計分析殘餘之自由餘氯值並記錄之(詳如圖 3.2-4)。

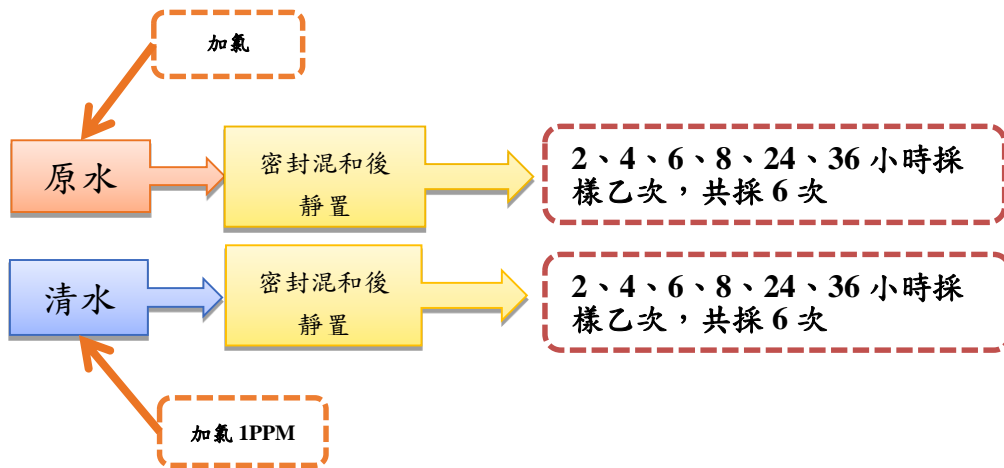


圖 3.2-4 總三鹵甲烷生成潛能試驗採樣流程

3.2-3 檢測及分析

➤ 揮發性有機物分析

本計畫中揮發性有機物分析對象主要為總三鹵甲烷及鹵乙酸，檢測方式分別採用公告方法 NIEA W784.52C 及 NIEA W538.51B 檢測。儀器採用氣相層析儀(Gas chromatography GC)，型號為 Agilent 7890A。

總三鹵甲烷檢測樣品以 40 ml 棕色玻璃瓶採集後加入抗壞血酸以及 1+1 鹽酸將 pH 調整至 2 以下並密封至無頂空，置於 4C。冰箱內冷藏保存，並於有效期限內配合環檢所公告方法 NIEA W784.52C 吹氣捕捉毛細管柱氣相層析法/串聯式光離子化偵測器及電解導電感應偵測器檢測法進行分析。

部分樣品以公告方法 NIEA W785.55B 檢測水中揮發性有機化合物配合吹氣捕捉/氣相層析質譜儀法分析。鹵乙酸檢測樣品以 40 毫升樣本瓶採集，添加氯化銨並密封至無頂空後，保存於 4C°，並於期限內以公告方法 NIEA W538.51B 進行水中鹵乙酸與得拉本(Dalapon) 檢測，並以液相-液相微萃取/氣相層析儀/電子捕捉偵測器法分析。

➤ 總有機碳分析

水中總有機碳分析採用公告方法 NIEA W532.52C，使用儀器為 O.I.Analytical/1030W。樣品以 100 毫升棕色玻璃瓶採集後加入硫酸調

整至 pH<2，並於期限內以過氧焦硫酸鹽加熱氧化/紅外線測定法進行分析。

➤ 金屬鋁分析

重金屬鋁檢測採用公告方法 NIEA W311.53C 進行分析。水樣以 500 毫升棕色塑膠瓶採集後加入硝酸保存，檢測儀器為感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP)，型號為 PE Optima DV2100。

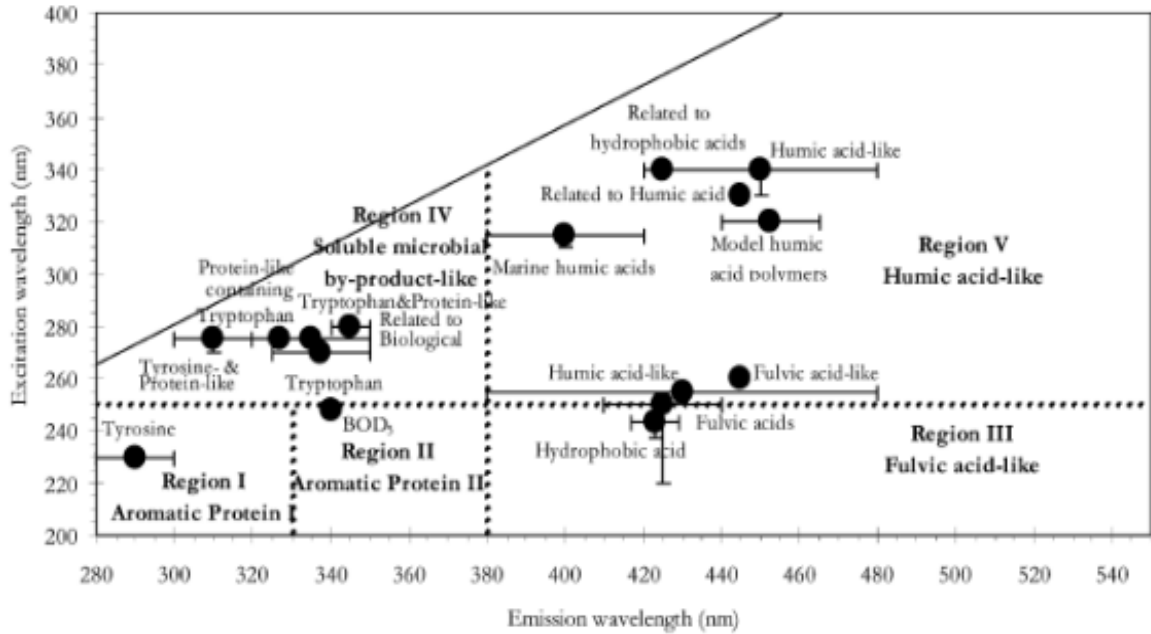
➤ 硝酸鹽及亞硝酸鹽分析

硝酸鹽氮以及亞硝酸鹽氮樣品分別以公告方法 NIEA W418.52C 及 NIEA W419.51A 分析。

樣品以 500 毫升樣本瓶採集後，保存於 4°C，並於期限內以桌上型分光光度計分析，儀器型號為 Lambda UV-25。

➤ 螢光區域積分法(林，2012)

螢光強度的分析採用 Chen 等人(2003)的方法，對於每一個 FEEM 使用一致的激發與放射波長邊界，將激發與放射波長邊界以水平與垂直線將 FEEM 劃分為 5 個區域，如圖 3.2-5 (Chen *et al.*, 2003)所示。FEEM 波峰與下列有機化合物有關連：類腐植酸、類酪胺酸、類色胺酸或類苯酚化合物。一般較短激發波長(<250 nm)及短放射波長(<350 nm)與簡單的芳香族蛋白質有關例如酪胺酸(區域 I 及 II)。中間的激發波長波峰在波長(250~280 nm)及較短放射波長(<380 nm)與溶解性微生物副產物有關的物質(區域 IV)。較長的激發波峰在波長(>280 nm)及較長放射波長(>380 nm)與腐植酸相似的有機物有關的物質(區域 V)。對於黃酸，FEEM 波峰具有最短的激發波長，代表 FEEM 波峰的肩部位於較短的激發波長(<250 nm)與較長的放射波長(>350 nm)與黃酸相似的物質有關(區域 III)。



資料來源：Chen et al., 2003

圖 3.2-5 螢光激發-散射光譜區域波長劃分邊界示意圖

➤ 其他現場分析儀器及方法

實場試驗中亦進行多項水質參數分析，如濁度、鹼度、pH、餘氯、溶氧、鐵、錳、氨氮……等，詳細儀器型號及檢驗方法如表 3.2-1 所示。

表 3.2-1 檢項分析方法詳細表

檢驗資料 分析項目	儀器型號	檢驗方法
濁度(NTU)	HACH 2100Q Myron L ULTRAMETER	水中濁度檢測方法-濁度計法 (NIEA W219.52C)
導電度(μmho/cm)	IITM 4P TDS/pH/RES 多功能檢驗儀	-
鹼度(mg/L as CaCO ₃)	-	NIEA W449.00B 水中鹼度檢 測方法—滴定法
大腸桿菌 (CFU/100ml(MPN))	-	NIEA E237.53B 水中大腸桿 菌群及大腸桿菌檢測方法—

檢驗資料 分析項目	儀器型號	檢驗方法
大腸桿菌群 (CFU/100ml(MPN))	-	酵素呈色濾膜法 NIEA E230.55B 飲用水中大腸桿菌群檢測方法－濾膜法
鋁 (mg/L)	感應耦合電漿 原子發射光譜 儀 PE Optima DV2100	NIEA W311.53C 感應耦合電 漿原子發射光譜法
餘氯(mg/L)	HACH 58700	NIEA W408.51A 水中餘氯檢 測方法－分光光度計法
pH	WTW 3110	NIEA W424.52A 水之氫離子 濃度指數 (pH 值) 測定方法 －電極法
溶氧(mg/L)	PORTABLE METER 9250	-
鐵(mg/L)	HACH DR2800	-
錳(mg/L)	HACH DR2800	-
氨氮(mg/L-N)	HACH DR2800	-
硝酸鹽氮(mg/L-N)	HACH DR2800	-
亞硝酸鹽氮(mg/L-N)	HACH DR2800	-
TOC(mg/L)	O.I.Analytical/1	NIEA W532.52C 過氧焦硫酸 鹽加熱氧化/紅外線測定法
NPDOC(mg/L)	030W	W940.51C 自然水體中腐植 物質螢光強度檢測方法
腐植質(10-9MQE)	螢光光譜儀 (LS55)	NIEA W784.52C 吹氣捕捉毛 細管柱氣相層析法/串聯式光 離子化偵測器及電解導電感 應偵測器檢測法
總三鹵甲烷(mg/L)	Agilent 6890N- 質譜儀 Agilent5973N	W785.55B 水中揮發性有機 化合物檢測方法－吹氣捕捉 ／氣相層析質譜儀法
鹵乙酸(mg/L)	Agilent7890A	W538.51B 水中鹵乙酸與得 拉本(Dalapon)檢測方法－液 相-液相微萃取／氣相層析儀 ／電子捕捉偵測器法

3.3 運營中慢濾池淨水場水質分析

透過台灣自來水公司已建置之水質檢驗資訊管理系統(Laboratory information management system, LIMS)及水質預警資訊系統(Alarm Data Transfer System, ADTS)搜尋篩選，以原水水源類別及已面臨相關處理問題等較具代表性之運營中慢濾池淨水場，例如：汐止營運所白雲淨水場(河川水)、東港營運所林邊淨水場(地下水，含砷)、澎湖營運所西嶼淨水場(水庫水)、澎湖營運所吉貝淨水場(地下水，有溴酸鹽問題)、台東營運所綠島淨水場(水庫水，有三鹵甲烷問題)近三年(101~104年)歷史水質檢驗數據整理交叉比對分析，做進一步探討，其中綠島淨水場透過歷史數據與實場試驗之數據比對，了解其改善成效。數據分析除一般性基本物化項目外，另主要選取之重點討論參數與代表意義分述如下：

1. 濁度，初步判別顆粒性物質之去除成效。
2. 氮循環指標(如氨氮、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮)，判斷慢濾系統間硝化、脫硝作用相互轉換關係。
3. 生物性指標(如大腸桿菌群、總菌落數)，判斷慢濾系統微生物處理效能及狀態，並間接可推斷是否受到其他污染源污染。
4. 鐵、錳、溶氧、氧化還原電位，判別其慢濾系統處於氧化或是還原狀態亦或為好氧、兼氧或厭氧狀態。
5. 總有機物，判別慢濾系統處理溶解性有機物質之成效。

3.4 慢濾池淨水場評估及應用

- 一、 建立慢濾池淨水場之評估方法
設計評估查核表(check list)，其指標項目包含設計、操作及水質三方面。
- 二、 以評估方法項目或指標，進行普查，並彙整成果
以前述建置之評估查核表(check list)，到分類整理出具重要代表意義之慢濾池淨水場進行普查，並彙整成果檢討。

三、 提出適當慢濾池之建議設計準則

由上述所得資訊，提出適當之慢濾池設計建議準則。

四、 依據慢濾池之操作特性，提出操作營運及管理之建議規範

綜整期中報告結論結合綠島淨水場實例與上述普查結果所提出操作營運及管理之建議規範，期能使台灣自來水公司淨水場舊有設備可發揮最大的處理能力並達到最佳的處理狀況，避免投注大量的經費添購或修正原有的設備以加強淨水場之處理能力，以符合未來日趨嚴格的飲用水水質標準。

第四章 結果與討論

4.1 實場試驗--綠島淨水場

台灣自來水公司第十區管理處台東營運所綠島淨水場(詳圖 4.1-1)該淨水場慢濾池前設計有快混、慢混及沉澱等設備，因離島操作人力不足，使得膠羽沉積於慢濾池內，遂有一個星期就必須刮沙的問題，加上於慢濾池前加氯可增加鐵、錳氧化效率的錯誤認知，致使清水總三鹵甲烷飆升，因此，選取該場作為實場試驗標的。

綠島鄉位於台東縣東南方外海，屬離島地區，區內供水仰賴酬勤水庫之地面水及綠島深井抽取之地下水為主要水源，經綠島淨水場處理調節後進入供水系統綠島淨水場位於綠島鄉東北方，以臨近之酬勤水庫地面水為主要供水水源，另於酬勤水庫下方有地下井一口，合計每日產水約 1 千餘噸，供應綠島鄉全境用水。

由於酬勤水庫水質濁度多低於 10NTU，惟暴雨期間水庫濁度會飆升至 100 NTU 以上，因此，原設計淨水流程(詳圖 4.1-2)有加藥、混凝及沉澱設備，用以去除濁度，嗣後再以慢濾處理進一步降低水中污染物以達飲用水標準，而於出場前添加次氯酸鈉以確保供水安全。

然綠島地區物資運送不易，現行處理方式之用藥運送採購及污泥處理對於成本控制及管理皆為一大問題，又操作人員對於前處理程序控制不當，常造成慢濾池砂層上殘餘含鋁膠羽而造成慢濾池阻塞，對慢濾池操作造成極大不便，刮砂的頻率甚至達每星期一次，又綠島地區人工聘僱不易，高頻率的人工刮砂亦造成操作效率降低；就清水水質而言，因慢濾池未能發揮生物處理的效果，水中 TOC 未能有效去除，當與次氯酸鈉接觸後，總三鹵甲烷隨著時間而增加，甚至超過飲用水水質標準。

本研究針對該場操作模式進行了解並參考相關法令及文獻提出改善方法，期望僅以慢濾池為主要淨水單元，測試不經膠凝沉澱過程是否仍能確保出水品質，以期降低操作所需之人工、用藥成本，並能提升操作效能，符合飲用水水質標準之目的。

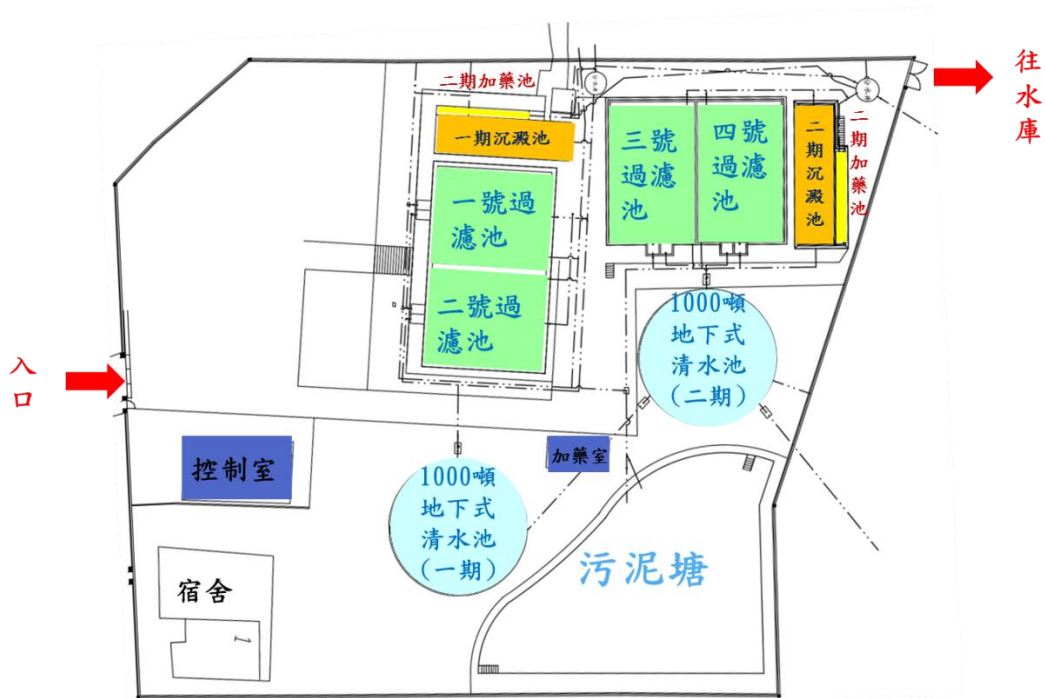


圖 4.1-1 綠島淨水場配置圖

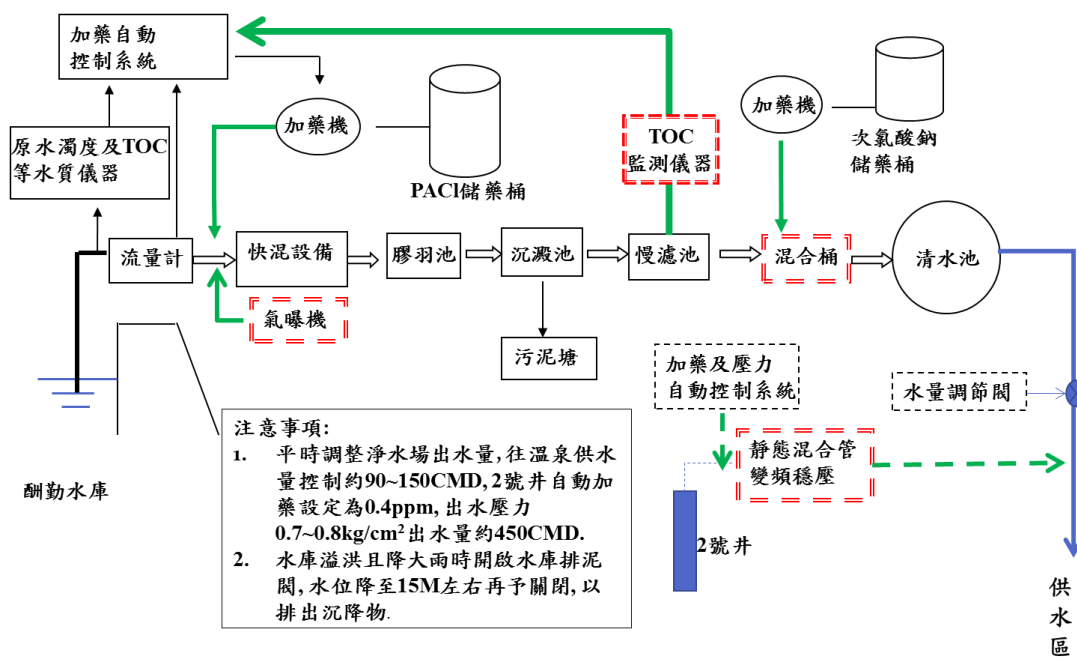


圖 4.1-2 綠島淨水場淨水處理流程圖

4.1-1 實場水質分析

➤ 鹼度及 pH

實場試驗部分(詳如圖 4.1-3 及圖 4.1-4)，鹼度檢測結果(詳如圖 4.1-3)分為 2 種趨勢，其一是 5/26、6/23 及 6/24 的原水鹼度在進入水場沉澱單元明顯有下降 10~12mg/L、並在往後單元緩慢回升的趨勢，推測是 5/26 及 6/23 係依照水場原操作程序加入 PACl 所導致，6/24 雖已停用 PACl，但該場 PACl 加藥量介於 60~100 mg/L 間，依據鹼度在膠凝單元的下降量推測該加藥量應無法完全反應，其殘餘沉澱之藥劑至隔日持續消耗水中鹼度。

其二是 6/25、7/13 及 7/28，原水進入水場沉澱單元後並無降低，而是進入慢濾池後微幅變動的趨勢，伴隨慢濾馴養程序越見成熟，水中鹼度亦有微增之趨勢，推測是消耗鹼度因子(加入 PACl)消失，且慢濾池內微生物活性增加造成。

至於 4 號過濾池在馴養後目測微生物生長情形不若 3 號過濾池，7/13 鹼度降低推測是慢濾系統內微生物作用不活躍現象。

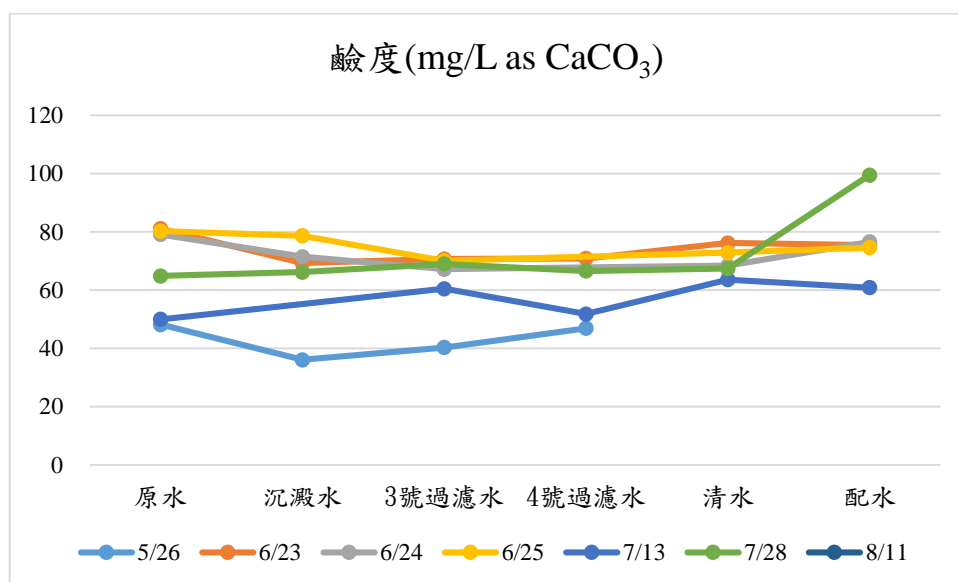


圖 4.1-3 實場試驗鹼度值

pH 值部分(詳如圖 4.1-4)，以 5/26 及 6/23 數值推測，混凝沉澱單元 PACl 的加入除影響鹼度外，亦會造成 pH 值的降低，而過濾單元對 pH 值的影響不盡相同，但伴隨馴養程序完備，除 7/28 的 4 號過濾池外，pH 值的降低量有減少趨勢。

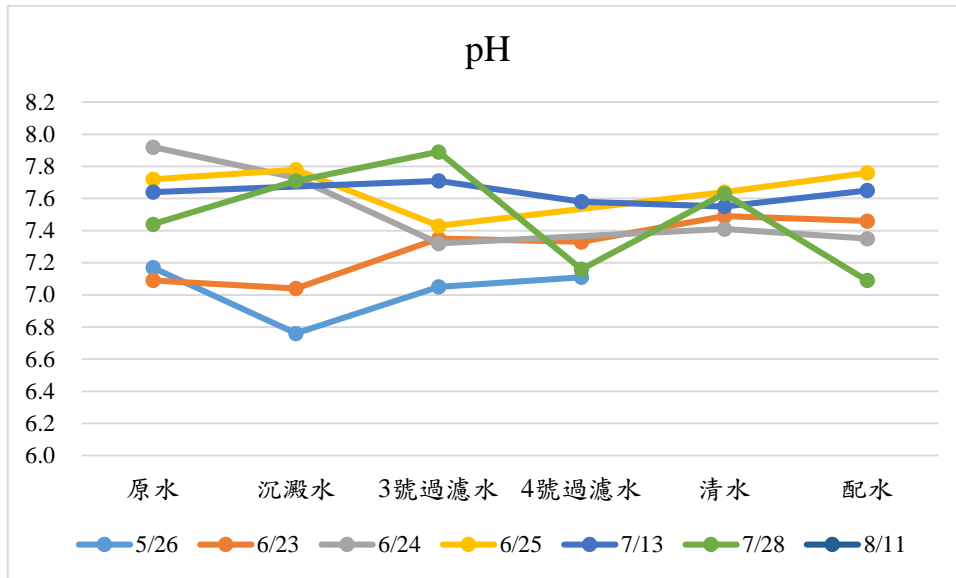


圖 4.1-4 實場試驗 pH 值

➤ 鐵、錳

鐵含量部分，從 5/26 及 6/23 檢測結果，明顯混凝沉澱為主要去除單元，而停止添加 PACl 後慢濾單元則為主要去除單元，然而 7/13、7/28 及 8/11 的檢測結果，在進入清水池甚至用戶配水端時反而有微幅增加的趨勢，推測是檢測前 1~2 天，為提升蓄水量而啟動第一期設備所致，整體去除率部分受到原水鐵濃度影響較大，進入清水端都能符合飲用水水質標準(詳如圖 4.1-5)。

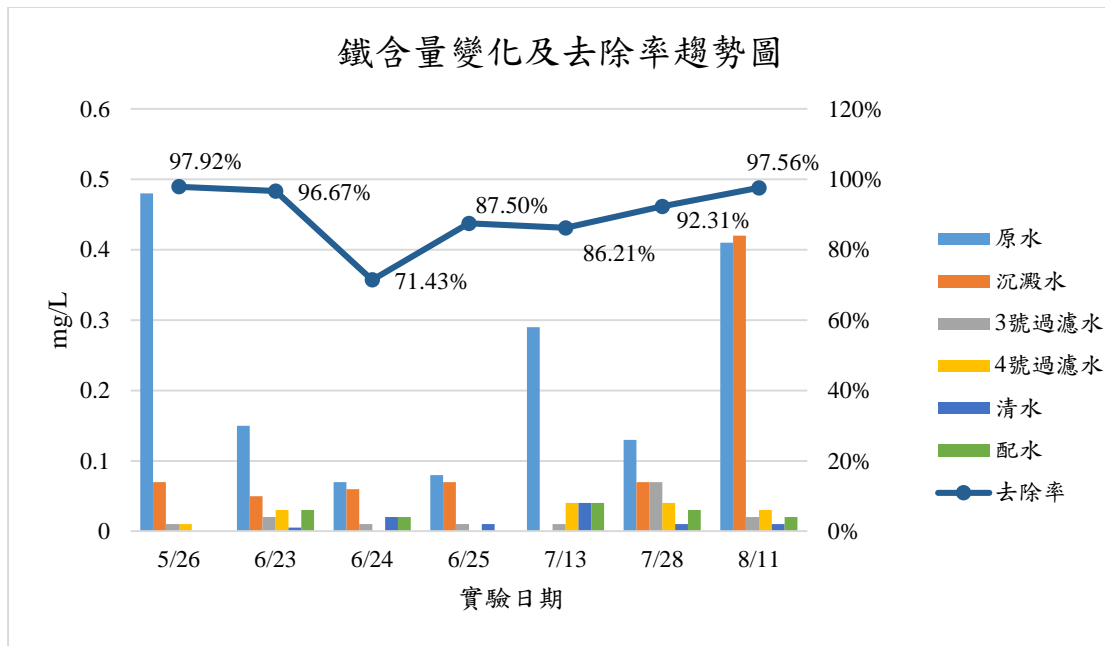


圖 4.1-5 實場試驗鐵含量

含錳量部分在混凝沉澱單元與有無添加 PACI 並無明確關聯，但在停止添加 PACI 後，沉澱後水卻反而出現含錳量增加的情形，推測是停止加藥後沉澱池內沉積物再溶出造成。而濾後水進入過濾階段後，除 8/11 日外都明顯降低至內控範圍。而 7/13、7/28 及 8/11 在清水池及用戶配水端和鐵一樣有微幅增加的趨勢，推測同為檢測前 1~2 天，因用水量增加，臨時啟動第一期設備所致(詳如圖 4.1-6)。

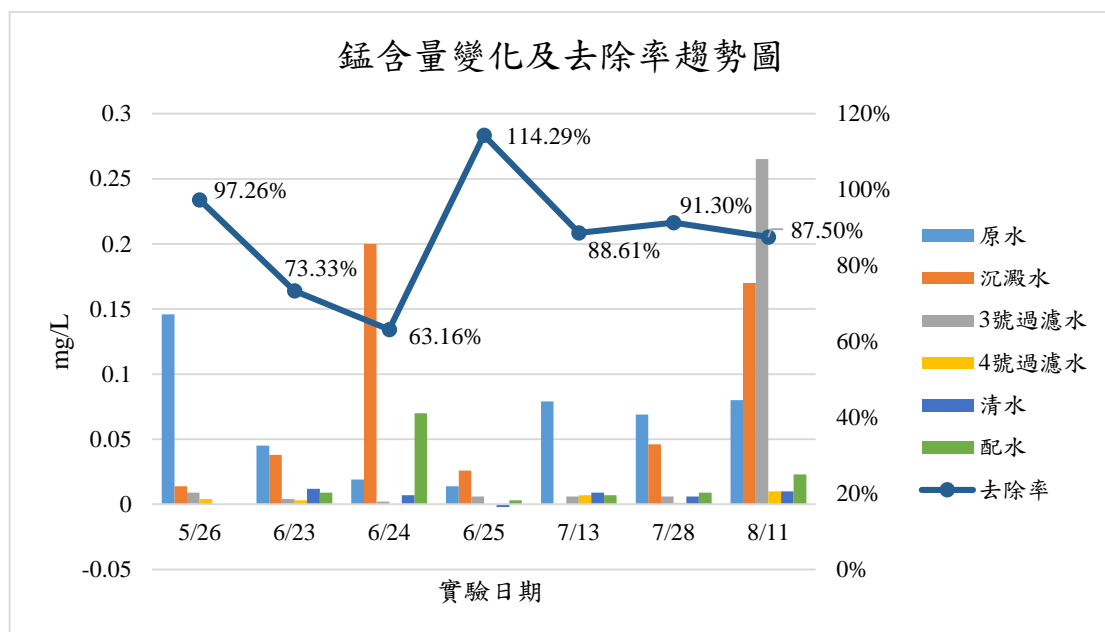


圖 4.1-6 實場試驗錳含量

➤ 氨氮去除率

氨氮在依原程序添加 PACl 時，去除率均達 100%，停止添加 PACl 後，慢濾床仍能降低水中氨氮至內控範圍，然受限於 4 號過濾池馴養效果較差，7/13 的檢測結果中，氨氮的去除功能略遜於 3 號過濾池(詳如圖 4.1-7)。

硝酸鹽氮部分，無論有添加 PACl 階段，在混凝沉澱及慢濾程序對檢測的增減並無明確關係，但停止添加 PACl 後，去除率落在 40~55% 間，且慢濾單元皆顯示為主要

的硝酸鹽氮去除單元，但 7/28 3 號過濾池經現場人員反應已有堵塞情形，其硝酸鹽氮則大幅增加(詳如圖 4.1-8)。

理論上，硝酸鹽氮為氮系物質最終氧化態，倘若氨氮的去除係因化學氧化或生物氧化，便會導致硝酸鹽氮增加。但若慢濾池設計得宜，硝酸鹽氮在濾料底層(缺氧態)可透過厭氧脫氮而從水體中移除。

綜上(詳如圖 4.1-7 及圖 4.1-8)，氨氮的去除機制在有添加 PACl 實無法斷定為化學吸附沉降或氧化造成，但停止添加 PACl 後，其去除機制明確為生物反應，且堵塞失能的慢濾池雖保有氨氮降解的能力，但會造成硝酸鹽氮增加。

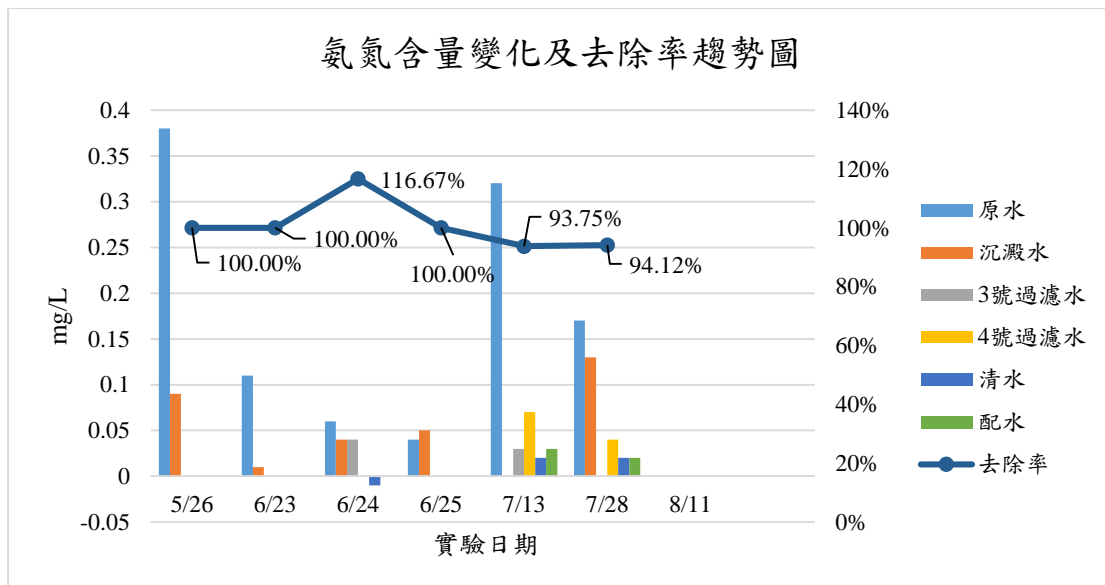


圖 4.1-7 實場試驗氨氮含量

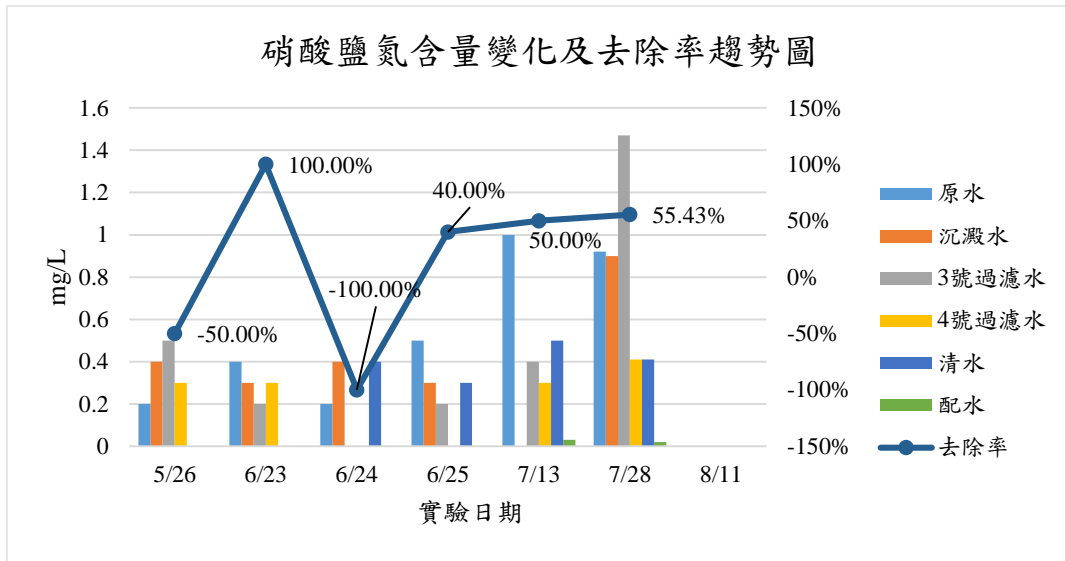


圖 4.1-8 實場試驗硝酸鹽氮含量

➤ 濁度與有機物

傳統淨水程序的設計，以濁度去除為主要參數(詳如圖 4.1-9)，因此在 5/26、6/23 依原操作程序添加 PACl 的操作模式下，濁度去除的主要單元皆為混凝沉澱。停用 PACl 後，慢濾池則成為主要的濁度去除單元，然而沉澱池出水陸續出現濁度較原水高的情形，推測原因其一為沉澱池內既有污泥隨時間分解而釋出懸浮，其二為綠島淨水場各單元皆無加蓋，盛夏時期溫度偏高且光合作用旺盛，使微生物在沉澱池內停留繁衍所致。

TOC 檢測結果整體上趨勢與濁度類似(詳如圖 4.1-10 及圖 4.1-11)，但去除效果明顯不如濁度。理論上混凝沉澱單元對 TOC 的去除機制為吸附沉澱，而慢濾池則為生物性吸收分解。在 7/13、7/28、8/11 刮砂重新馴養慢濾床後，去除效果明顯比直接停用 PACl 的 6/24、6/25 好，推測沉澱池中仍然殘留有些許鋁，其混凝效果在 7/24 影響去除效率，但 7/25 起 TOC 去除效率降至最低點，此時幾乎已完全沒有混凝沉澱作用影響，純粹靠慢濾池表面之生物膜作用以及篩除截留作用控制 TOC，因此可以判斷濾砂表面生物膜經過 2 天左右的馴養，可能還未達理想的效果。

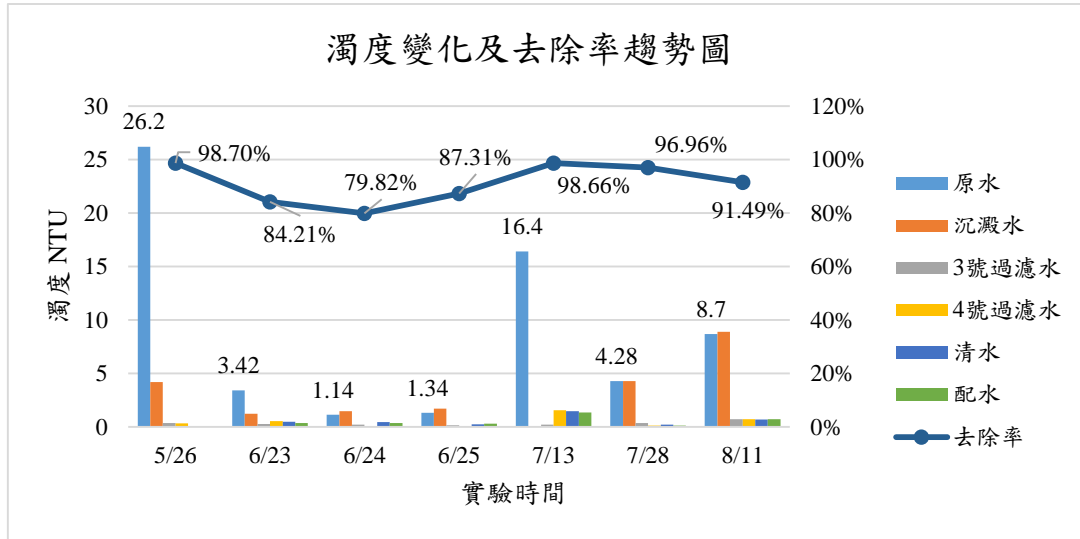


圖 4.1-9 實場試驗濁度

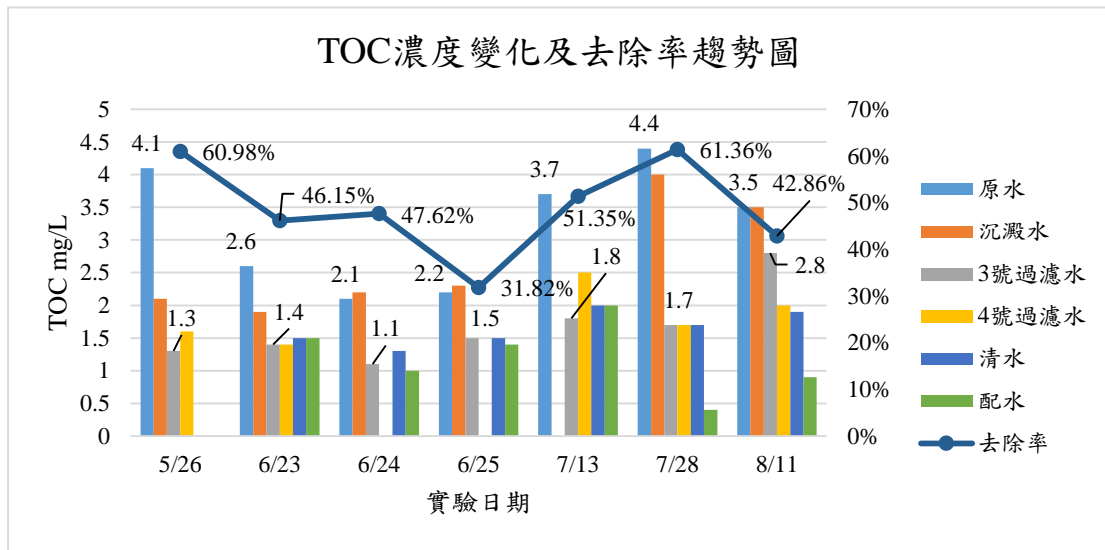


圖 4.1-10 實場試驗 TOC 含量

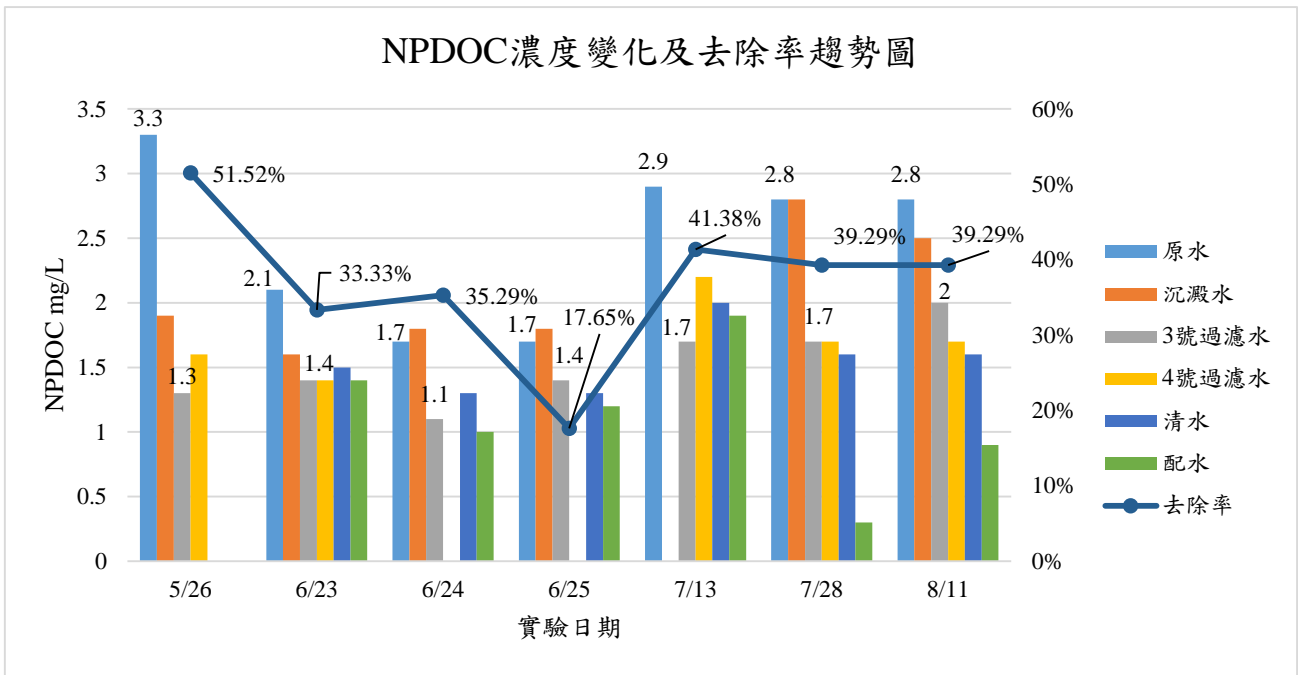


圖 4.1-11 實場試驗 NPDOC 含量

➤ 鹵乙酸類

由圖 4.1-12~圖 4.1-15 顯示，除 6/23 配水鹵乙酸類含量有增加高於清水外，其餘 6/24、6/25、7/28 大部分鹵乙酸類配水檢測值均低於清水檢測值，推測可能原因為 6/23 有加混凝劑 PACl，經慢濾系統停留時間較 6/24、6/25、7/28 短，至由清水輸送至配水管網時混凝劑貢獻或管網中有機質因消毒加氯後與餘氯反應又再度生成鹵乙酸，導致配水檢測值稍高於清水值之現象發生。

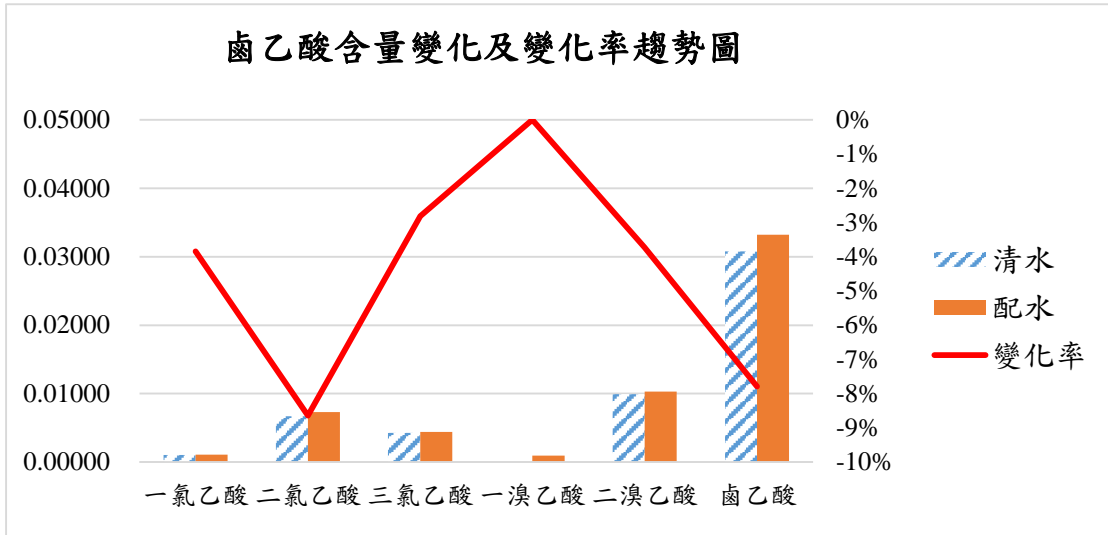


圖 4.1-12 鹵乙酸類含量變化及變化率趨勢圖(104/6/23)

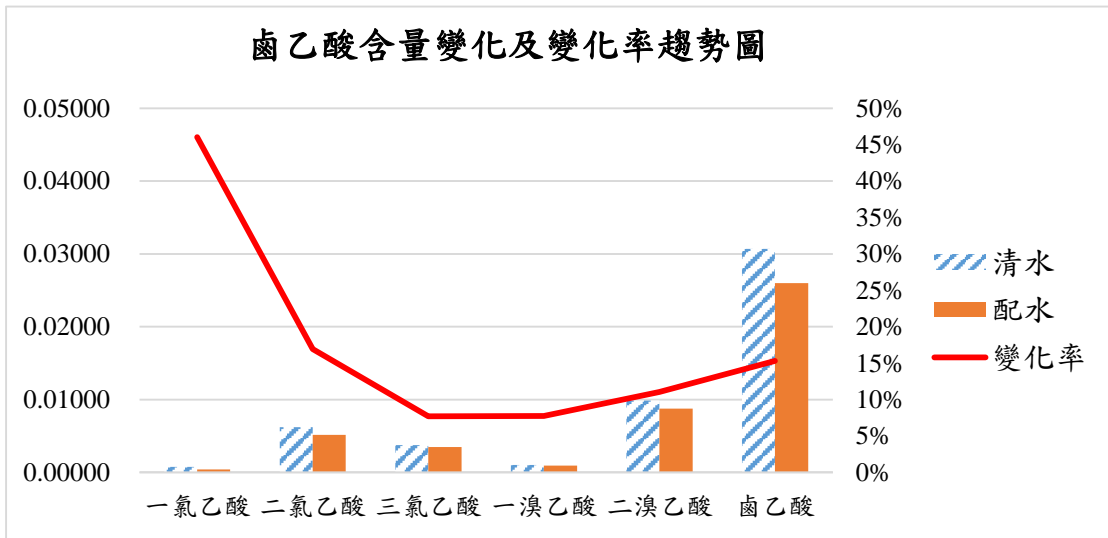


圖 4.1-13 鹵乙酸類含量變化及變化率趨勢圖(104/6/24)

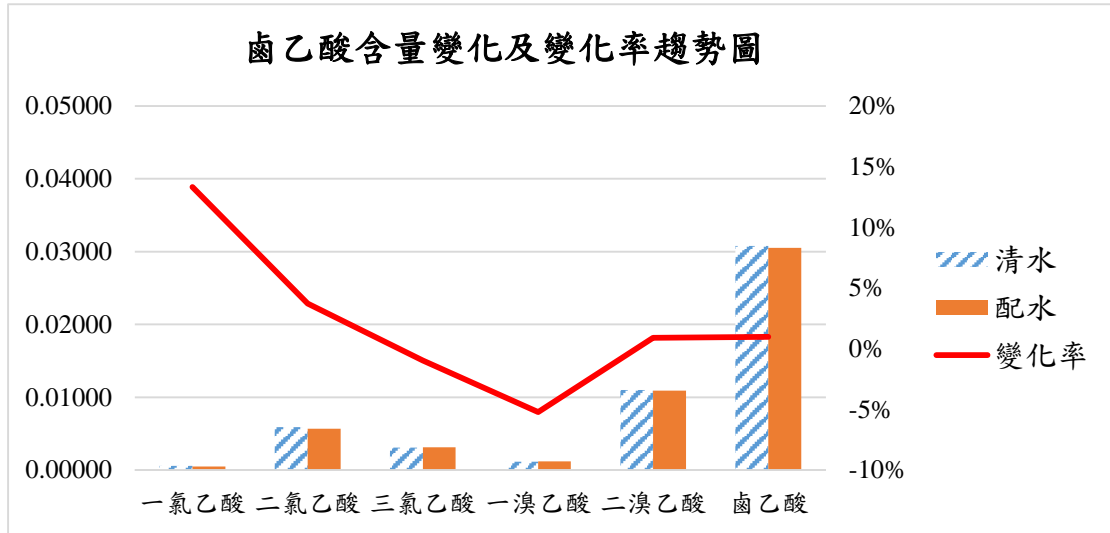


圖 4.1-14 鹵乙酸類含量變化及變化率趨勢圖(104/6/25)

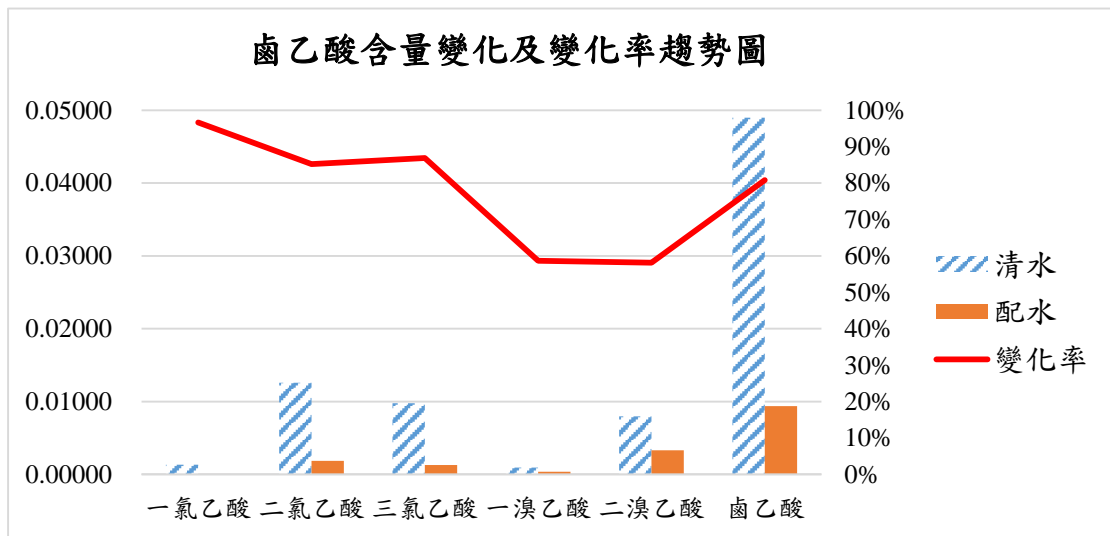


圖 4.1-15 鹵乙酸類含量變化及變化率趨勢圖(104/7/28)

➤ 腐植質與 SUVA 值分析

天然有機物(NOMs)因組成結構複雜，無法直接測定，因此利用總有機碳 (TOC) 及 UV_{254} 被廣泛作為量測有機物之替代方法 (Krasner *et al.*, 1996)。TOC 其中又含有溶解性有機碳(DOC)，DOC 為經 $0.45\mu\text{m}$ 孔徑之濾紙過濾後再進行 TOC 分析所得之結果，而 UV_{254} 主要是利用環狀鍵結及共價雙鍵有機物波長 254nm 下吸收紫外線的特性進行

量測，而無論是 TOC、DOC 或 UV_{254} 都僅屬於 NOMs 中的一部分，然而可運用 UV_{254} 與 DOC 比值又稱為 SUVA 值，去了解水中有機物質之特性，一般而言 SUVA 值越高表示水中疏水性有機物含量越多，因疏水性有機物含有較多之環狀結構，而環狀結構對於 UV_{254} 具有較高之吸光值，故疏水性有機物有較高之 SUVA 值。根據文獻(AWWA, 1999)低腐植質含量原水之 SUVA 值一般低於 2 L/mg-m，而高腐植質含量者，SUVA 可達 3~5 L/mg-m。Edzwald & Tobiason, 針對不同 SUVA 值之原水進行研究，歸納出有機物組成及混凝之去除效果之關係，如表 4.1-1 所示 (Edzwald & Tobiason,1999)。

表 4.1-1 SUVA 值與有機物性質分佈及混凝去除效果之關係

SUVA(L/mg-m)	有機物組成	混凝效率
>4	大多為水溶性腐植質，以疏水性大分子量為主	去除效果良好
2~4	疏水性與親水性混合為主	去除效果中等
<2	以非腐植質親水性小分子量為主	去除效果不佳

資料來源：Edzwald & Tobiason,1999

由圖 4.1-16~圖 4.1-20 可知，原水天然有機物(NOMs)經過慢濾系統處理後，基本上皆可透過微生物作用將其轉化為有機物組成以疏水性與親水性混合為主，除 6/25、7/28 兩天外，其餘腐植質與 SUVA 值均呈現正相關性，另亦可發現綠島原水水質所含有機物主要組成大多為水溶性腐植質，以疏水性大分子量為主，混凝去除效果介於中等至良好。

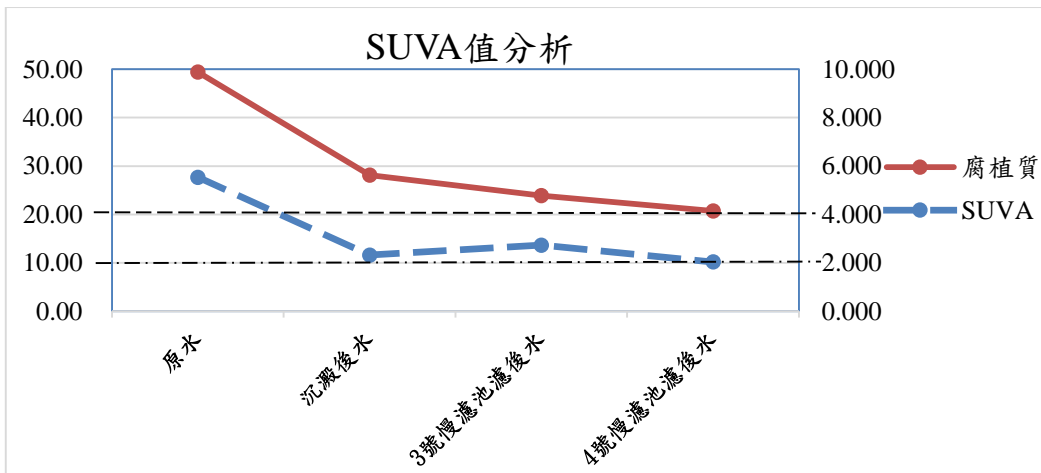


圖 4.1-16 SUVA 值分析(104/05/26)

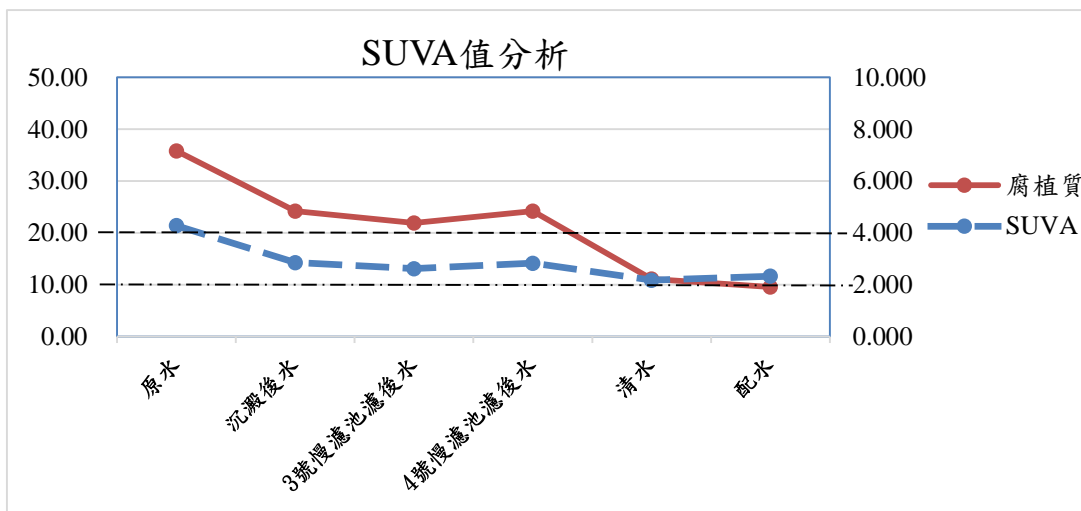


圖 4.1-17 SUVA 值分析(104/06/23)

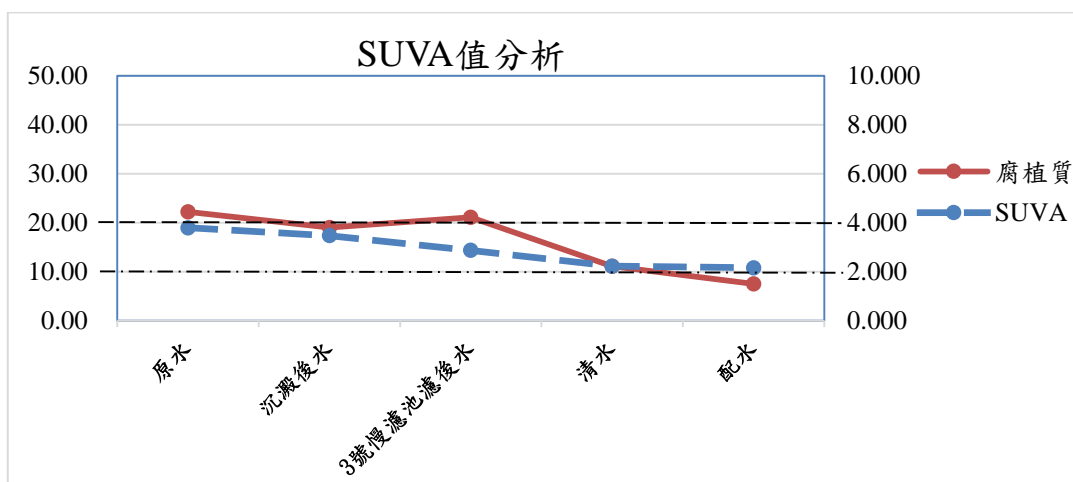


圖 4.1-18 SUVA 值分析(104/06/24)

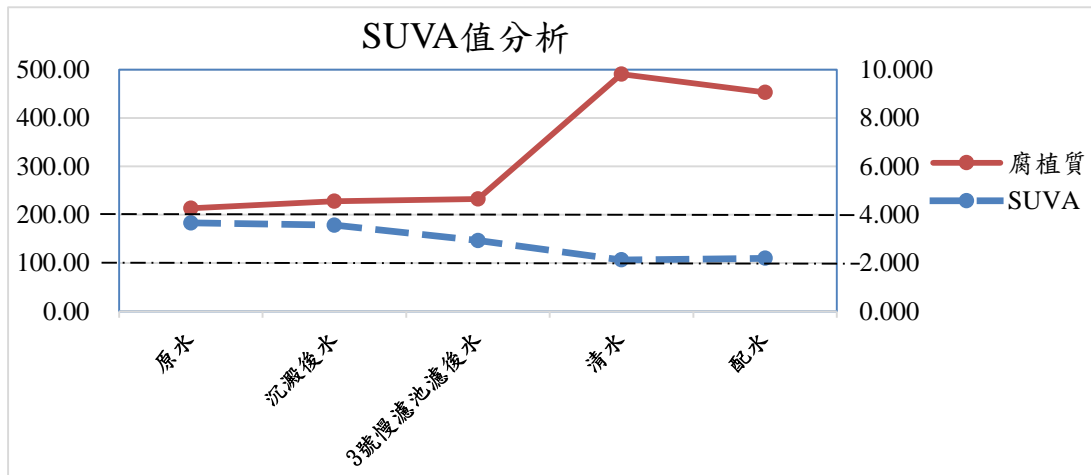


圖 4.1-19 SUVA 值分析(104/06/25)

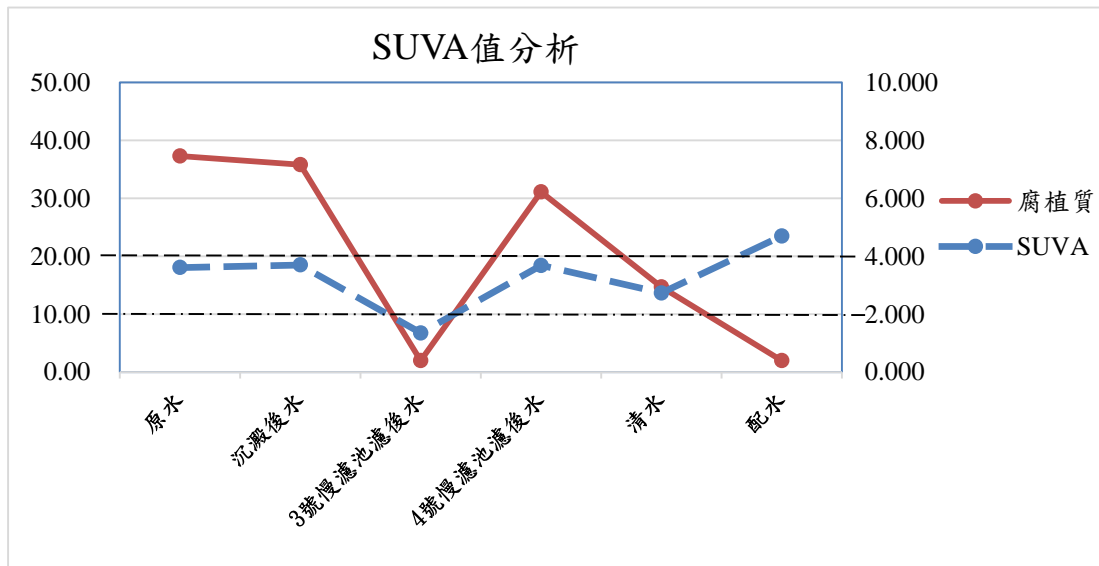


圖 4.1-20 SUVA 值分析(104/07/28)

➤ 鋁

6/23 因原水加 PACI，利用氣曝方式進行快混後，再進入沉澱池，爰造成沉澱池後水殘餘鋁有明顯上升趨勢，6/24 操作條件則是原水不加 PACI，於 6/23 下午將水導入慢濾池後靜置 24 小時並於 6/24 下午再將經過沉澱池後進入 3 號慢濾池進行慢濾，4 號慢濾池未操作，6/25 操作條件同 6/24，惟差異處在 3 號慢濾池連續過濾已持續兩天，藉以比較在慢濾池停留一天後殘餘鋁變化，結果由圖 4.1-21 顯示變化不大，7/28 再度進行確效試驗，本次試驗因 3 號慢濾池刮砂中，因此使用 4 號慢濾池進行實場確效實驗，由圖 4.1-21 及圖 4.1-22 整體結果顯示，綠島淨水場水源為酬勤水庫及地下井水調配比例操作使用，濁度均低於 5 NTU，在不加藥(PACI)情況下，經慢濾系統處理後之清水與送至家戶之配水均能達成符合飲用水水質標準(濁度低於 2 NTU、清水殘餘鋁低於 0.2 mg/L)。

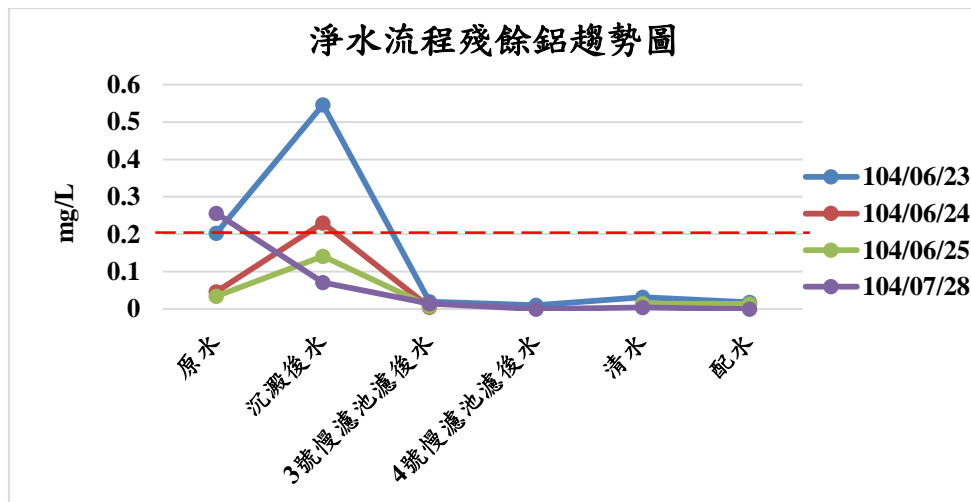


圖 4.1-21 實場試驗淨水流程殘餘鋁趨勢圖

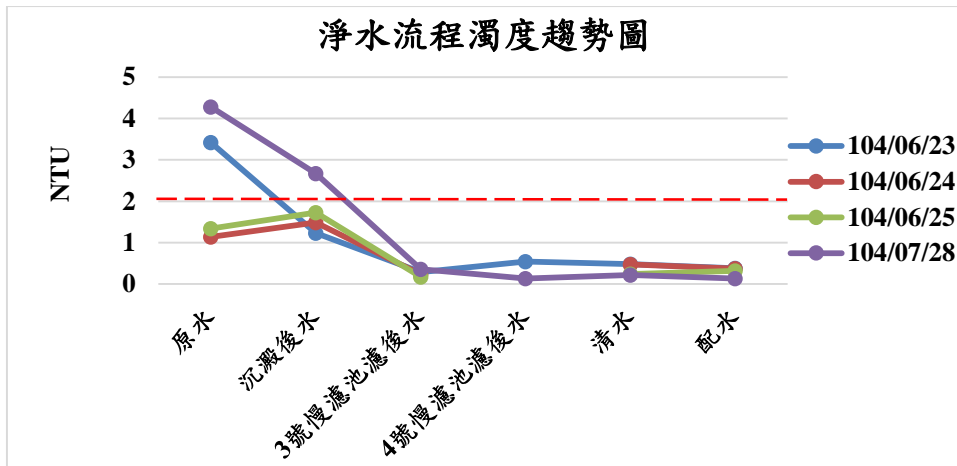


圖 4.1-22 實場試驗淨水流程濁度趨勢圖

➤ 杯瓶試驗

由於水中濁度經常伴隨固體污染物、膠體物質、致病菌等，且會影響淨水成效及消毒效果，故傳統最適加藥量分析的主要參數皆以濁度為主要觀察對象，但淨水處理後仍會有消毒副產物生成，即意味前趨物質並非傳統淨水程序所能去除，故本次試驗改以杯瓶試驗上澄液之 TOC 及 NPDOC 為檢測對象。

取綠島淨水場原水添加 20、40、60、80 ppm 的 PACL 進行標準杯瓶試驗後，其濁度及膠羽生成效果以 40 ppm 最佳、60 ppm 次之、再次為 80 ppm，然而上澄液的檢測結果確出現 TOC、NPDOC 去除效果與加藥量成正相關的趨勢，推測係因膠羽量增加提高了吸附有機物的面積，亦或是提升加藥量改變水中鹼度、電性等條件所造成，然從 40 ppm 提升至 80 ppm 對 TOC 的去除率增加近倍，但混凝沉澱效率的下降，恐對接續處理的慢濾池造成負荷，故是否適用於實場操作仍待驗證(詳如圖 4.1-23)。(根據實廠現況條件 pH 不另行控制)

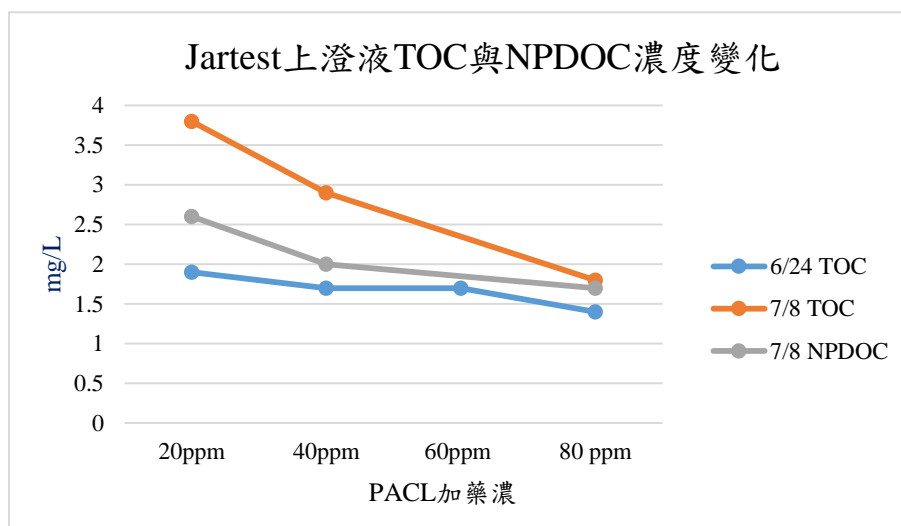


圖 4.1-23 杯瓶試驗上澄液 TOC 及 NPDOC 含量

➤ 清水三氯甲烷生成潛勢(THMFP)

於 6/24 日採用原水及清水水樣的實驗中，參考餘氯計添加內控值 3ppm，在原水中添加過量次氯酸鈉至 5ppm 以上，清水則不加氯，原水部分預期能得到前驅物完全未人工去除時的最大生成可能，清水則模擬用戶端水質的生成結果。於 0 小時採樣結果顯示，由於清水水樣已經加氯程序處理並反應，擁有較高的 THMs 含量 0.0478ppm，但從第 2 小時採樣開始，原水水樣的 THMs 生成量便大幅增加到 0.0772ppm，於 8 小時內快速生成，24 小時到達最大值 0.1587ppm，36 小時則呈現降低(降解)趨勢。而清水部分上升不明顯，6 小時到達最大值 0.0585ppm，往後亦呈現降低趨勢(詳如圖 4.1-24 及圖 4.1-25)。

因綠島淨水場清水池加氯點為在清水池入口，而採樣點開口位於清水池出口，為排除這段停留時間(反應時間)對生成潛勢的影響，7/13 日改以濾後水為試驗對象，採樣後添加次氯酸鈉確保餘氯超過 1ppm，第 4 小時 THMs 已上升到 0.0837ppm，並在 16 小時到達最大值 0.0989ppm，其間上升幅度不明顯，顯示生成速度已減緩。雖然本次試驗濾後水的生成潛勢較前次清水增加近 6 成，但考量兩次採樣非屬同梯水樣，水質中有機物成分不盡相同，故於 7/28 進行第 3 次生成潛勢試驗(詳如圖 4.1-24 及圖 4.1-25)。

7/28 同時以濾後水及清水添加餘氯進行生成潛勢的實驗結果，兩者皆從 2 小時後微幅增加，在 12 小時到達最大值 0.0794 及 0.0884

ppm，然濾後水整體的 THMs 生成量皆小於清水，推測係現場因應儲水需求，於實驗前 1~2 日啟動第一期淨水設備補注清水量造成之誤差 (詳如圖 4.1-24 及圖 4.1-25)。

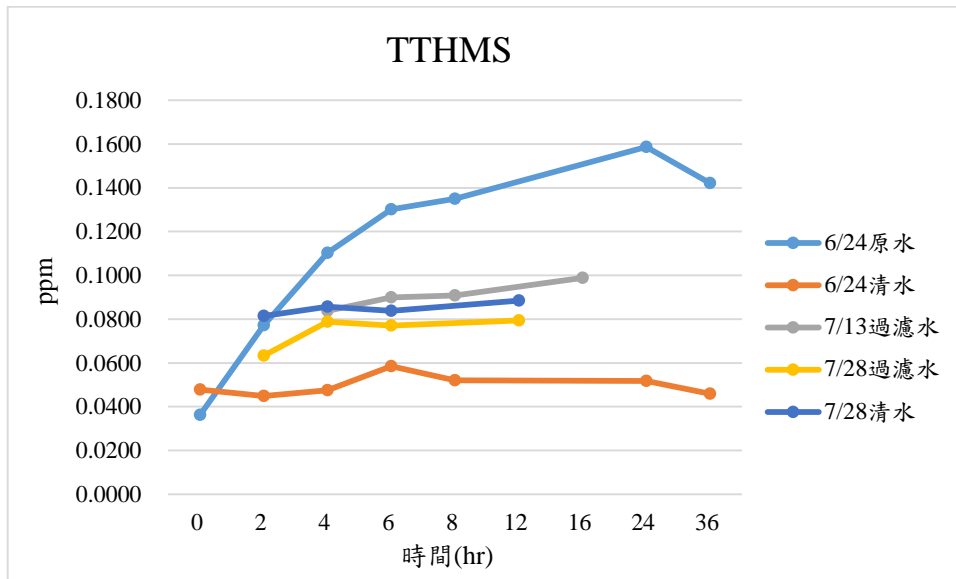


圖 4.1-24 生成潛勢實驗總三鹵甲烷含量

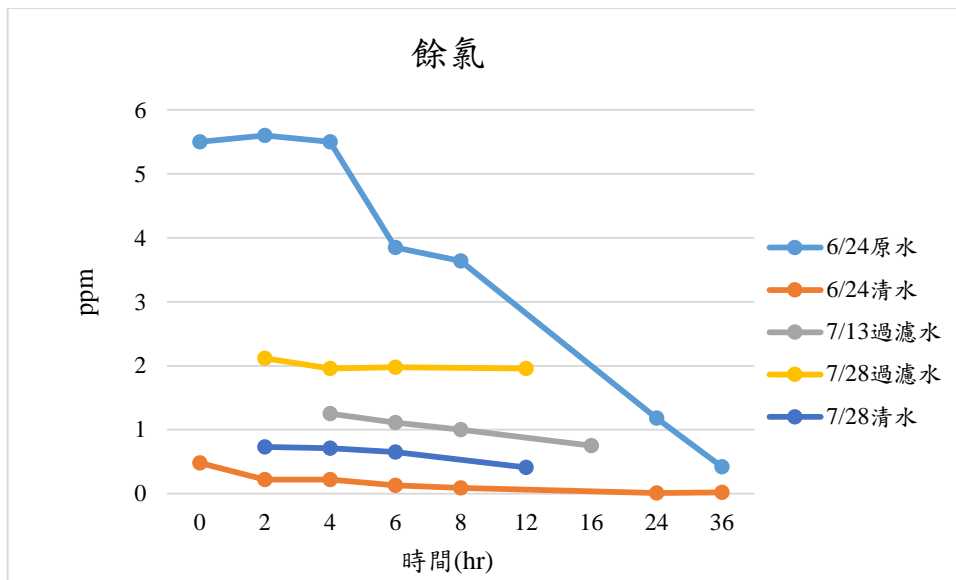


圖 4.1-25 生成潛勢實驗餘氯量

➤ 供水系統之總三鹵甲烷

由圖 4.1-26 觀察除 7/13 之外，其餘實場試驗總三鹵甲烷在供水系統中較不易再生成，總三鹵甲烷比例減少 3~87%，由圖 4.1-26 及圖 4.1-27 對應推測 7/13 原水總有機物偏高，又慢濾處理後清水與配水所測得之總有機物相同，並無減少，再經後加氯後於配水管網中可能再次反應生成總三鹵甲烷，造成配水之總三鹵甲烷值高於清水，甚至超過飲用水水質標準，爰建議現場操作人員注意並調整後加氯之加氯量，避免相同情形再度發生，之後 7/28、8/11 就無上述情形再現。

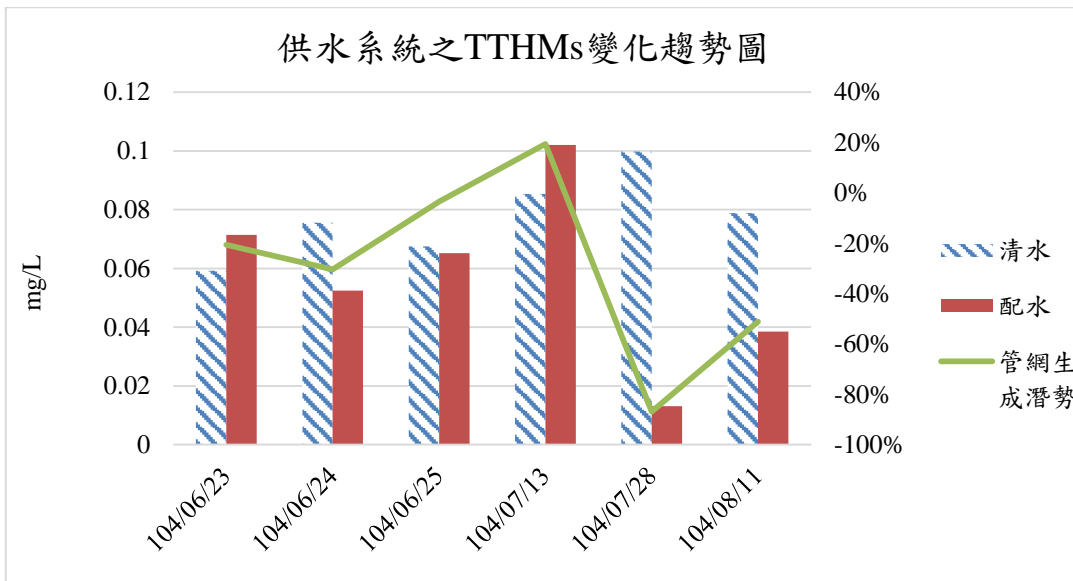


圖 4.1-26 供水系統之總三鹵甲烷變化趨勢

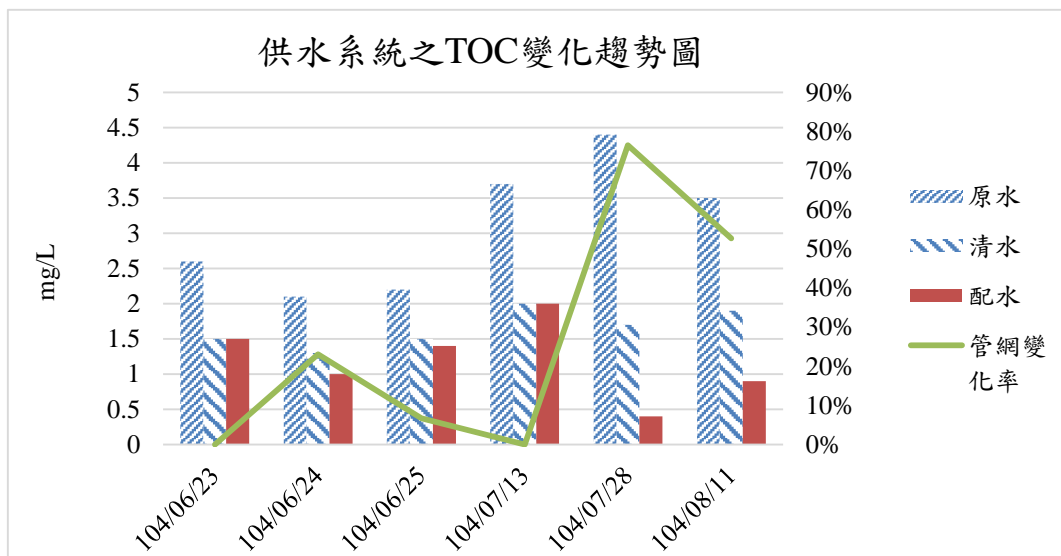


圖 4.1-27 供水系統之總三鹵甲烷變化趨勢

➤ 溶氧與氧化還原電位

5/26 氧化還原電位(ORP)變化不大(詳圖 4.1-28)，因加 PACL 是透過氣曝方式進行快混，爰造成溶氧(DO)變化於沉澱後上升，接著進入慢濾池進行微生物作用需消耗氧氣爰 DO 下降，並持續保持好氧狀態。6/23~25、7/28 經慢濾系統處理在微生物作用的狀態下 ORP 均有上升的趨勢(圖 4.1-29~圖 4.1-32)，顯示系統呈現好氧狀態，慢濾處理屬氧化態，6/23~25 DO 亦同步有些微上升趨勢，顯示操作處理穩定，發揮慢濾功能，另 7/28(詳圖 4.1-32)僅經 4 號慢濾池濾後水 ORP 與 DO 有下降，推測可能濾池內微生物菌相產生變化，致呈現耗氧還原態情形，爰建議操作人員可先藉由以上兩種指標初步判斷慢濾系統微生物生長狀況，俾利適時回饋至現場操作面，做為調整之參考。

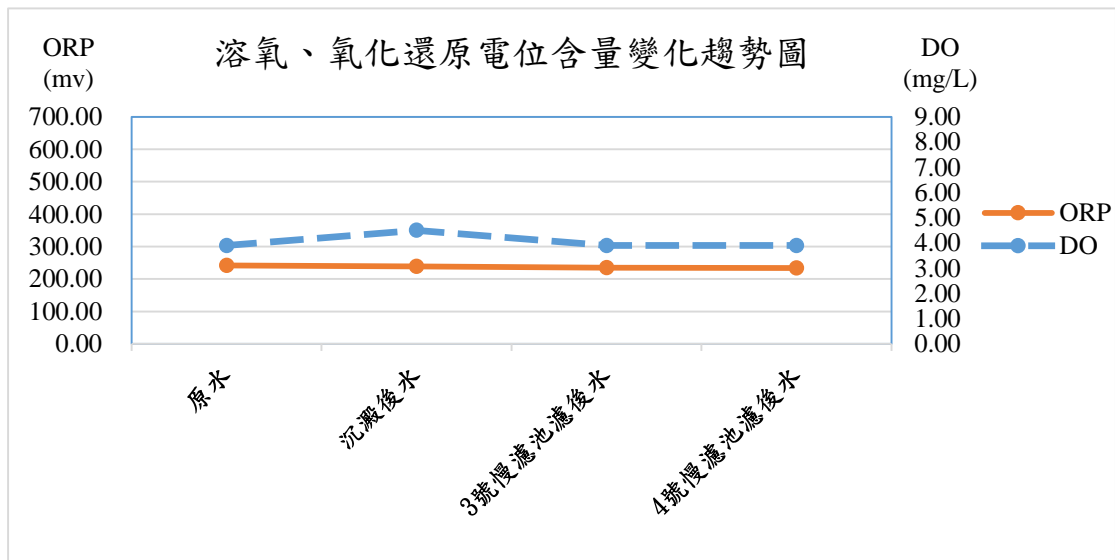


圖 4.1-28 溶氧、氧化還原電位含量變化趨勢圖(104/05/26)

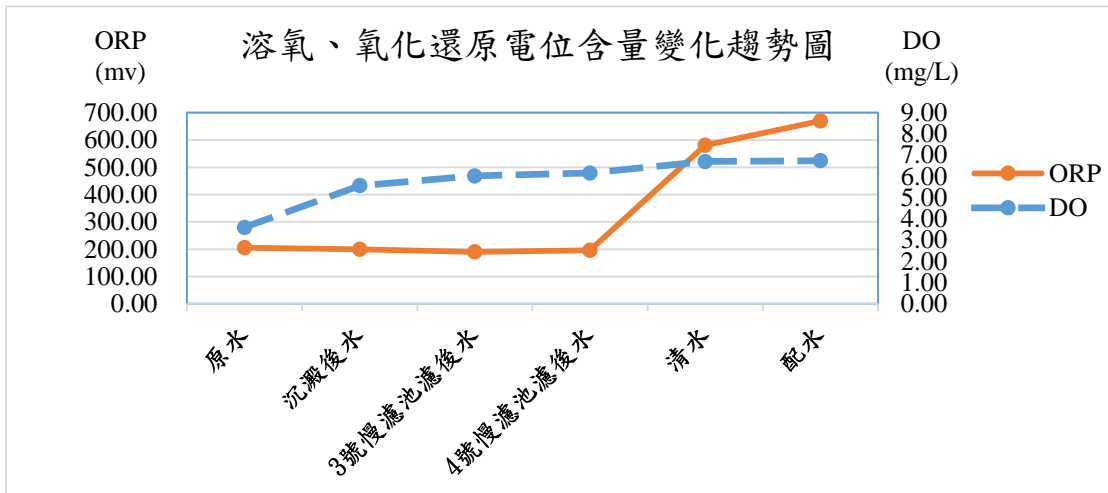


圖 4.1-29 溶氧、氧化還原電位含量變化趨勢圖(104/06/23)

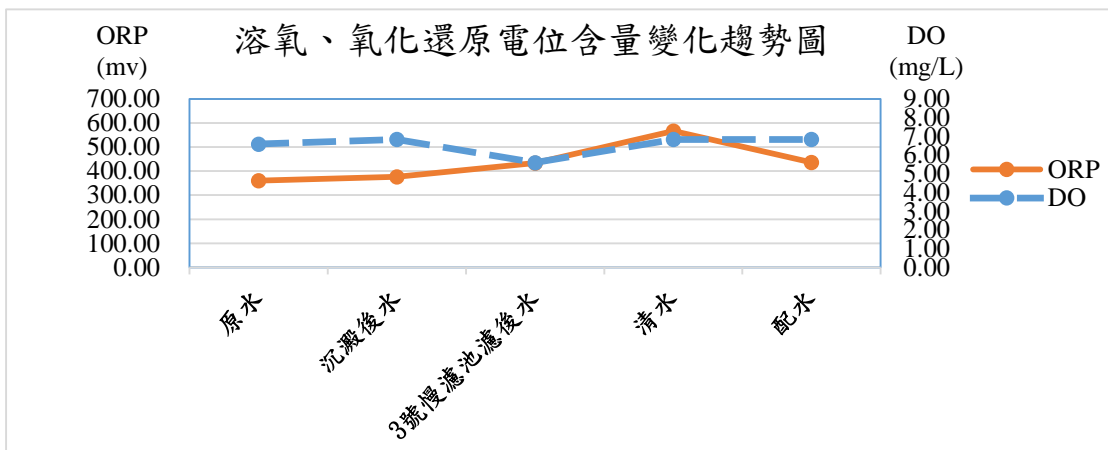


圖 4.1-30 溶氧、氧化還原電位含量變化趨勢圖(104/06/24)

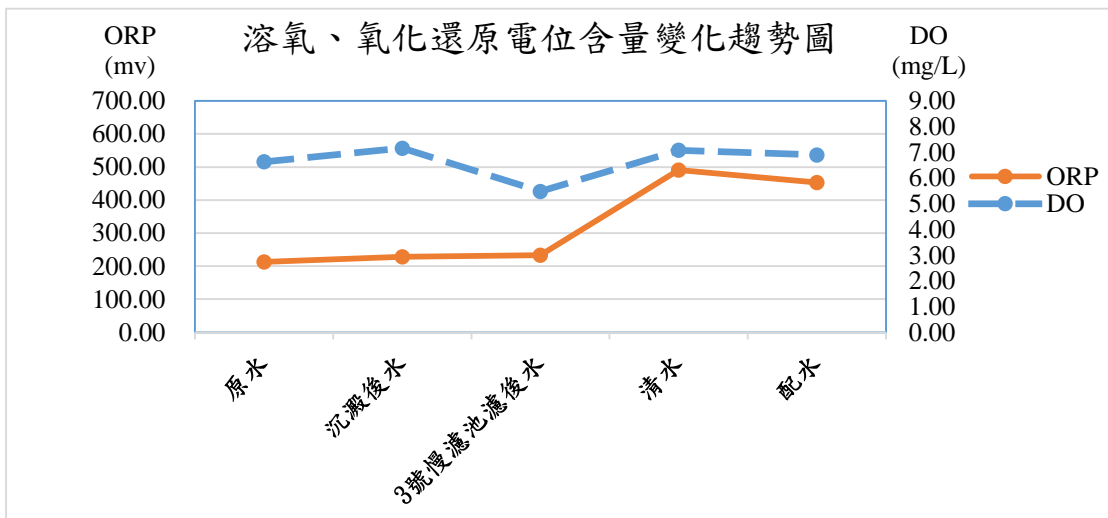


圖 4.1-31 溶氧、氧化還原電位含量變化趨勢圖(104/06/25)

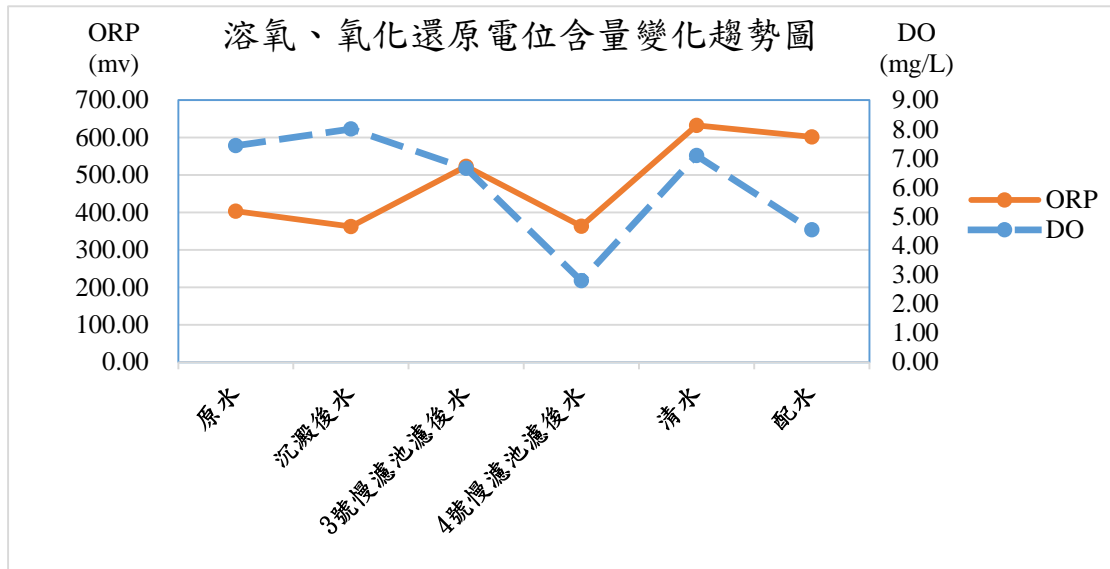


圖 4.1-32 溶氧、氧化還原電位含量變化趨勢圖(104/07/28)

➤ 螢光區域積分法光譜分析

圖 4.1-33~圖 4.1-37 為 9/20 綠島淨水場在進行調整操作改善後所採集之各淨水單元水樣進行螢光區域積分法光譜分析結果，原水可判斷其所含之有機物包含黃酸(下方紫色區塊)、腐植酸(藍綠色區塊)、溶解性微生物副產物有關的物質(偏左下土黃、橘、黃色區塊)(詳圖 4.1-33)，接著經由慢濾系統處理後之 3、4 號過濾池疏水性腐植酸濃度逐漸降低，黃酸濃度稍微下降但仍為主要成分，溶解性微生物副產物有關的物質僅些微減少仍存在，到清水池後腐植酸幾乎分解去除，剩下主要為黃酸與溶解性微生物副產物有關的物質，最後進入配水管網剩黃酸為有機物最主要成分，顯示黃酸於整個慢濾系統淨水程序中是較難有效去除的有機物，而在清水池中之黃酸與溶解性微生物副產物有關的物質經加氯消毒後將會再次進行氧化作用，若加氯量控制不當或於清水池因停留時間過長導致前述物質與氯反應完全，則易導致三鹵甲烷再度生成，在配水系統中殘留黃酸，將增加總三鹵甲烷超出飲用水水質標準風險，因此，降低濾後水與次氯酸鈉接觸時間，是控制總三鹵甲烷生成的重要關鍵因子。

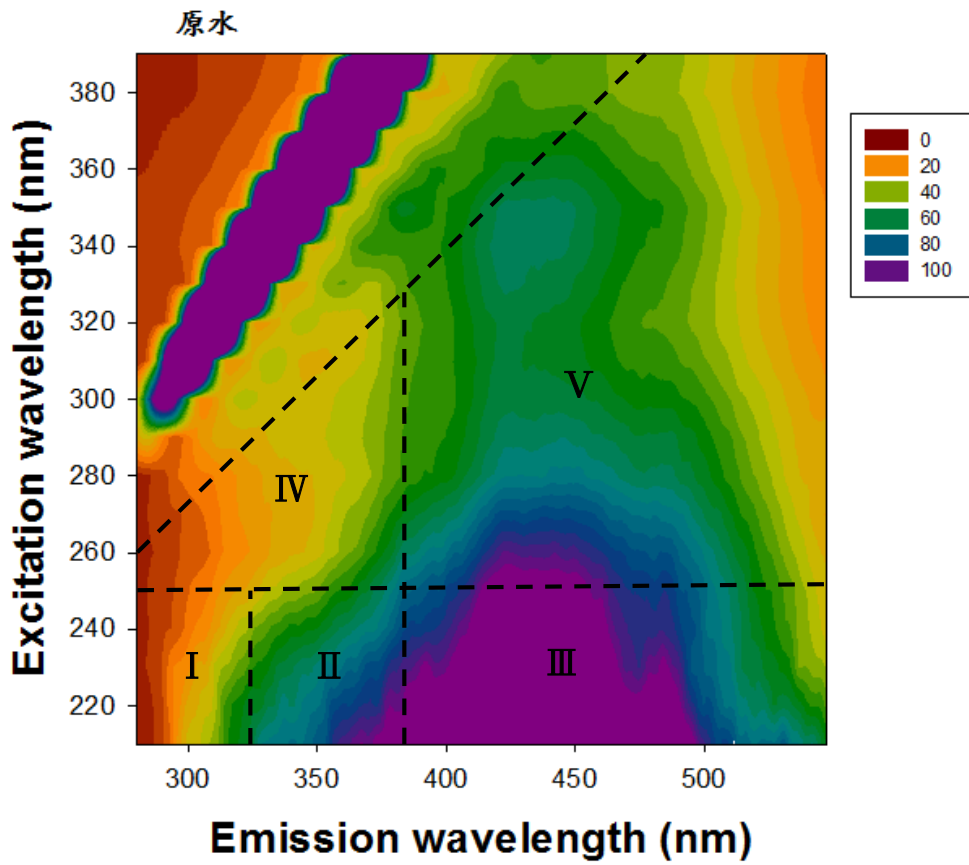


圖 4.1-33 原水螢光光譜分析結果(104/9/20)

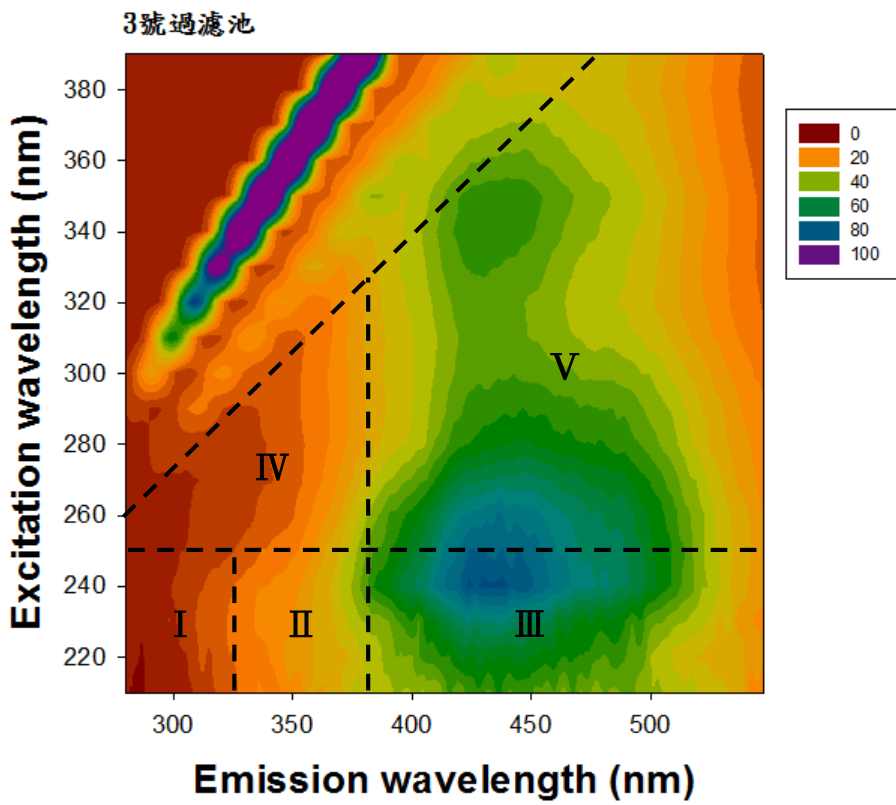


圖 4.1-34 3號過濾池螢光光譜分析結果(104/9/20)

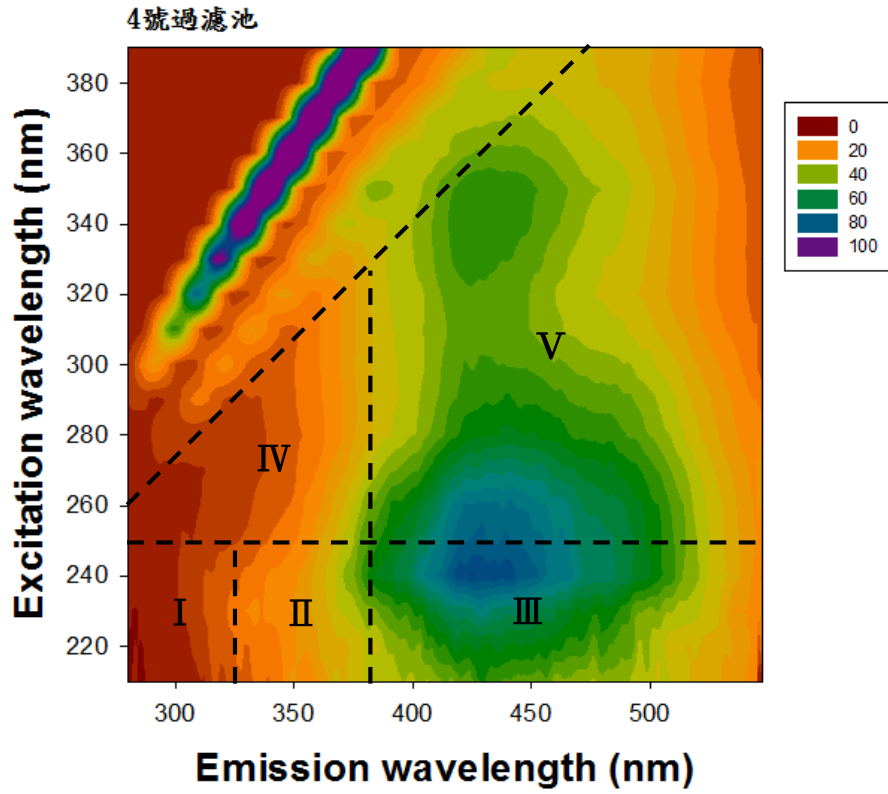


圖 4.1-35 4 號過濾池螢光光譜分析結果(104/9/20)

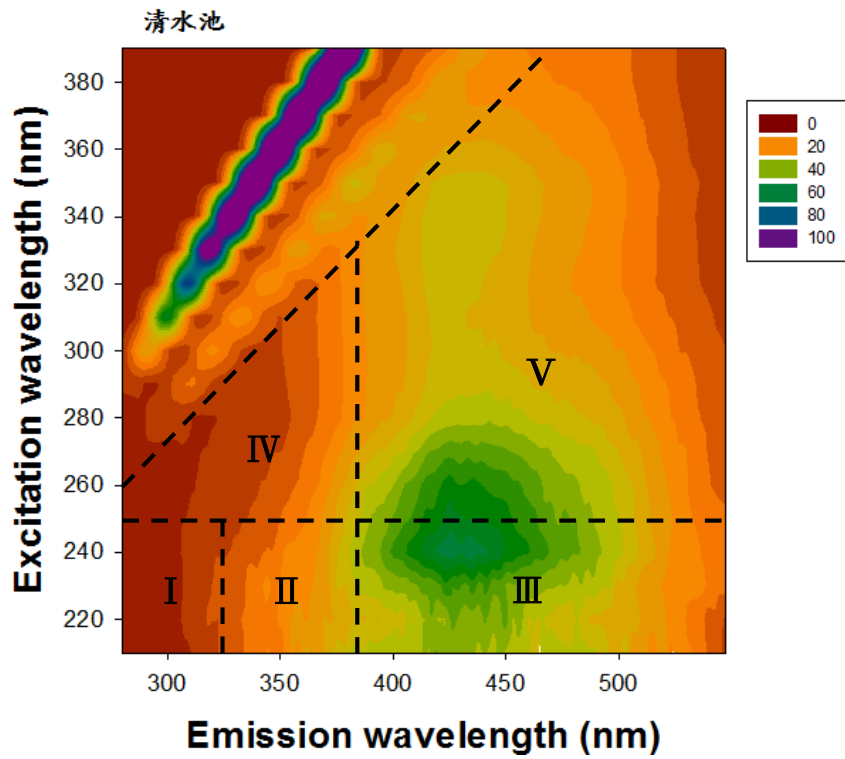


圖 4.1-36 清水池螢光光譜分析結果(104/9/20)

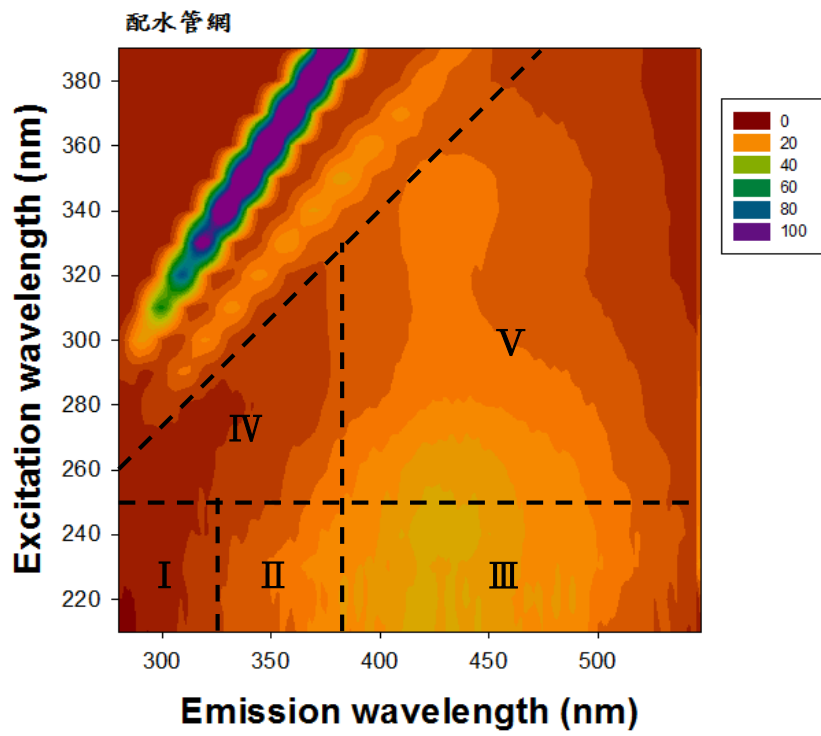


圖 4.1-37 配水管網螢光光譜分析結果(104/9/20)

4.1-2 綠島淨水場活化效益

本場取近 3 年歷史數據(LIMS 資料庫)分析，經慢濾系統處理後濁度去除率介於 72~100%(詳圖 4.1-38)平均去除率 94%，實場濁度去除率介於 59~95%(詳圖 4.1-39)，平均去除率 84%，歷史數據清水平均濁度為 0.39NTU 與實場清水平均濁度為 0.60NTU 均低於 1NTU 與文獻相符(詳表 2.2-2) (Galvis *et al.*,2002)。清水總三鹵甲烷歷史數據(詳圖 4.1-40)超出飲用水法規標準佔 18%，超出台灣自來水公司內控標準佔 23%，與實場試驗(詳圖 4.1-41)結果比較差異不大，再經由總有機碳歷史數據(詳圖 4.1-42)與實場試驗(詳圖 4.1-43)發現其 TOC 並沒有明顯增加，爰推測可能加氯量控制不當與慢濾系統處理過程中產生之部分未完全分解之溶解性有機物又再度釋出至後端經加氯消毒後產生。

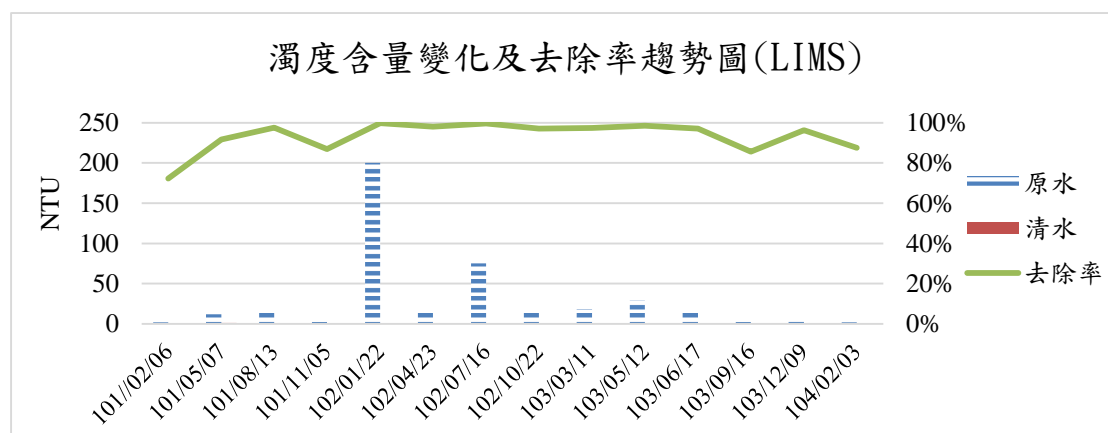


圖 4.1-38 歷史數據濁度含量變化及去除率趨勢分析

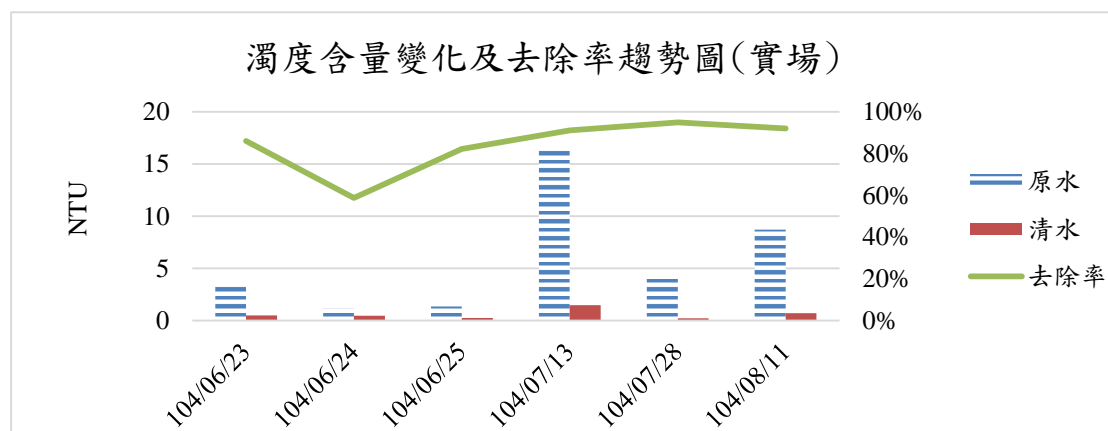


圖 4.1-39 實場試驗濁度含量變化及去除率趨勢分析

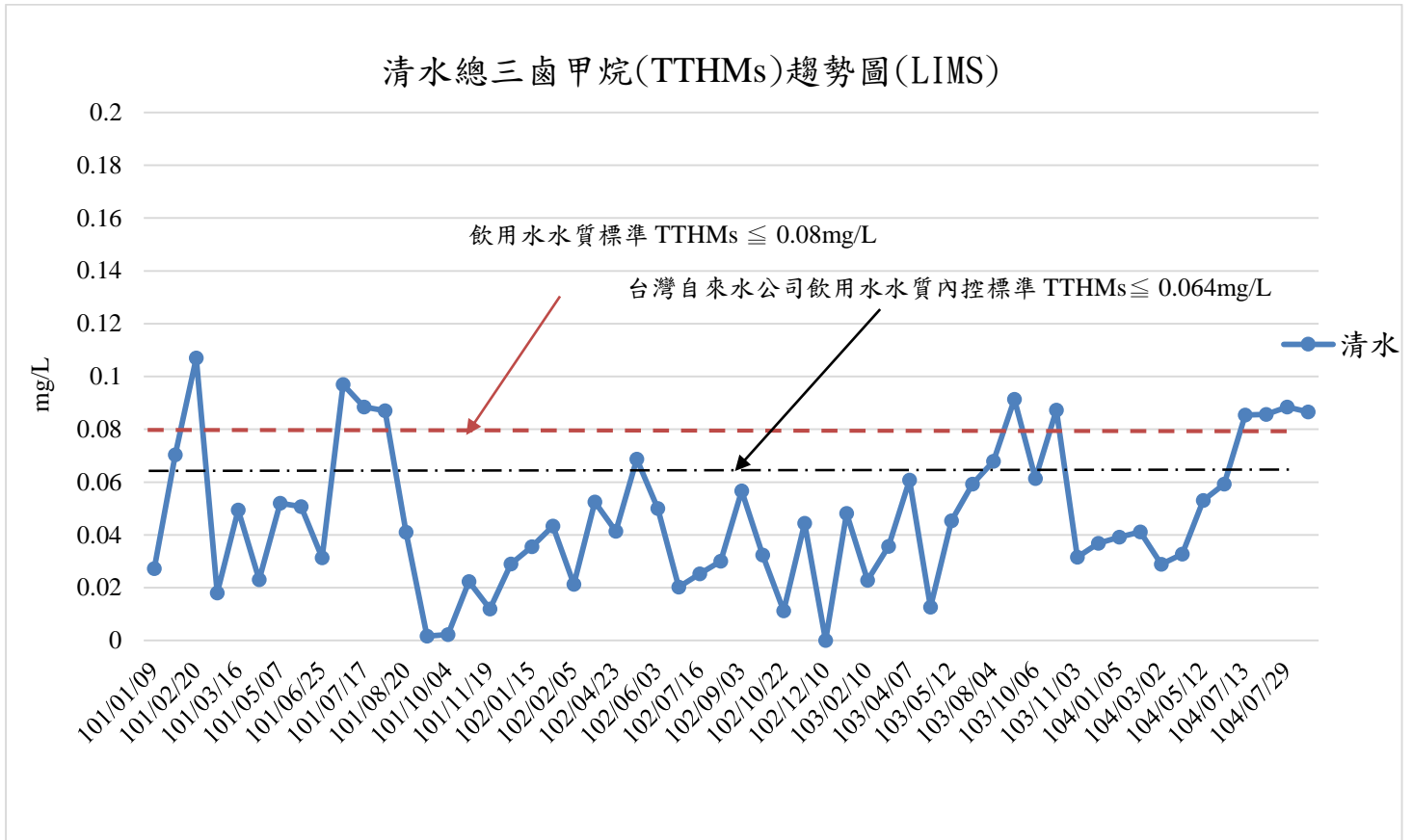


圖 4.1-40 清水總三鹵甲烷近三年(101~104)歷史數據趨勢圖

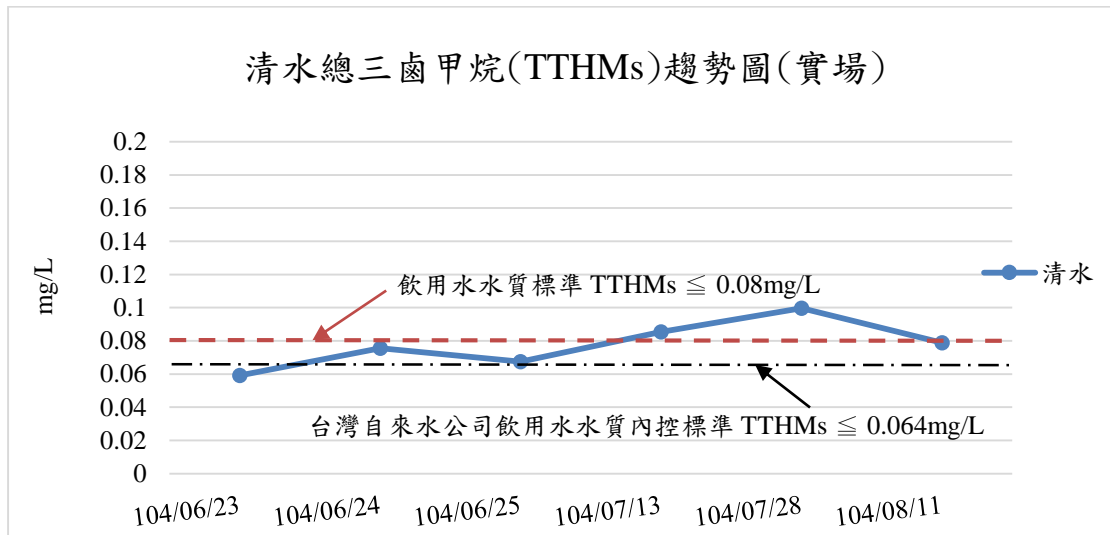


圖 4.1-41 清水總三鹵甲烷實場實驗趨勢圖

原水總有機碳趨勢圖(LIMS)

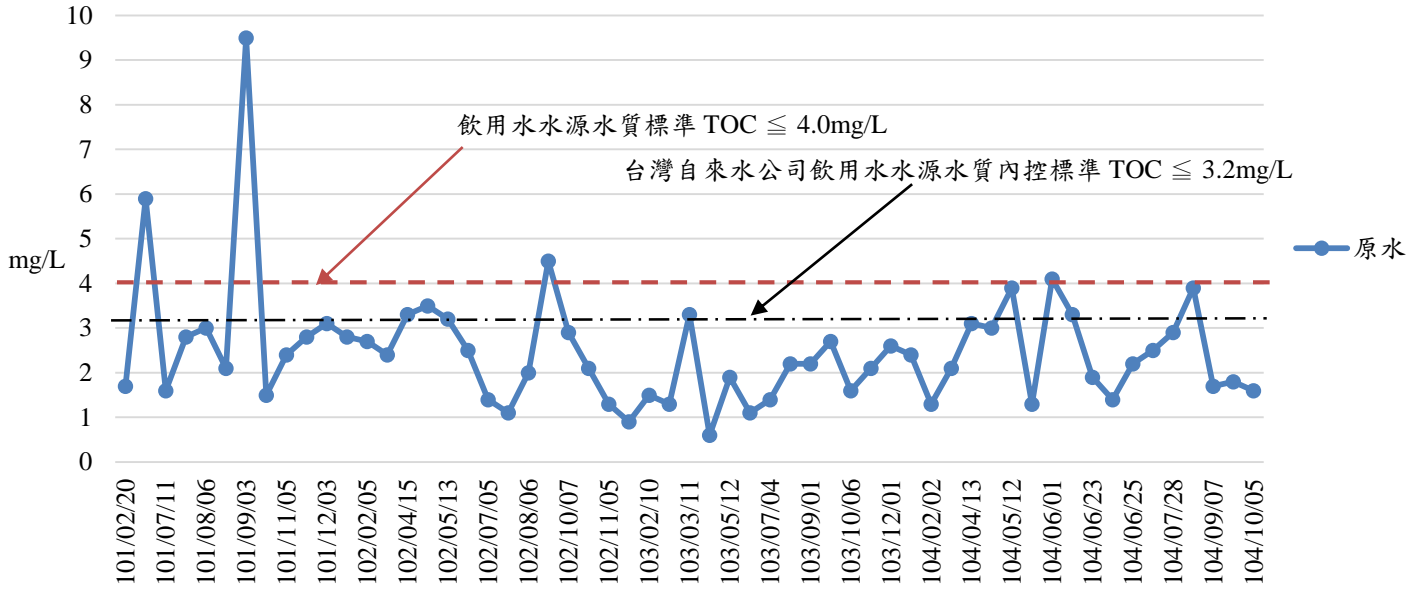


圖 4.1-42 原水總有機碳近三(101~104)年歷史數據趨勢圖

原水總有機碳趨勢圖(實場)

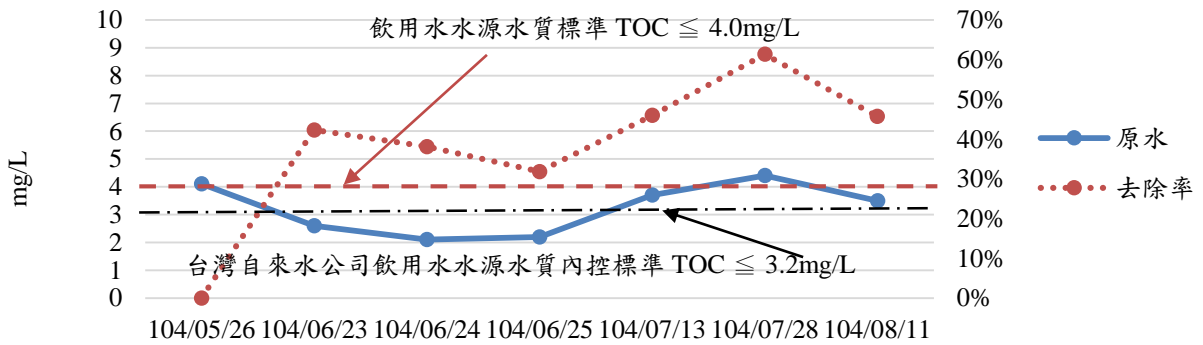


圖 4.1-43 原水總有機碳實場實驗趨勢圖

4.1-3 綠島淨水場改善策略及成果探討

➤ 清水堰板增高

為保證慢濾池正常工作，濾層上面應保持一定的作用水頭，一般在 0.1~0.5 米之間，原濾池操作並未考量這個因素，原因在於清水堰的高程低於濾砂之砂面高程(詳如圖 4.1-44)，當出水閘門控制不當時，濾砂表層的微生物相將無法浸潤在水中，微生物(含藻類)曝曬於日光下，造成生物死亡或活性下降，而當水位再度蓄昇後，需要較長時間逐步恢復活性，以致會造成水中污染物(如 TOC)之去除效率降低，基於上述原因，本研究就清水堰高度進行調整，其位置在慢濾砂層上層水位高於 20 公分(詳如圖 4.1-45)，雖會略微降低率速，但是確保生物相生長的环境，經觀察，出水水質也可在較短時間內穩定。



圖 4.1-44 改善前(水位位於砂層下方)



圖 4.1-45 改善後(水位常保持於砂層上方 20 cm)

➤ 停止前加混凝劑(聚氯化鋁)

綠島淨水場原水來自酬勤水庫，該水庫其濁度大多維持在 5 NTU 以下，但於非暴雨期間，濁度會飆升至 100 NTU 以上，會造成慢濾池的阻塞，原設計即在慢濾池前端加設快混、混凝及沉澱設備藉以去除高濁度，但因位處離島，操作人力嚴重不足，致使在聚氯化鋁加藥控制上無法即時反應濁度變化，且海島設備亦受高鹽分侵蝕故障頻率相對較高，因此，前加混凝劑的效果不佳，且該原水鹼度平均約為 50 mg/L(as CaCO₃)，在操作上因膠羽生成不易而造成加藥過量，當沉澱池無法將過量聚氯化鋁移除時，膠羽便會累積於慢濾砂表層(詳如圖圖 4.1-46)，也因此造成砂層表面污泥聚積，最短曾發生 3~4 天便須進行刮砂，而通常也在 7 天左右便須進行刮砂，如此，生物膜無法充分發展，嚴重影響污染物的去除。

本研究經分析歷年水質資料，暫先設定水庫水在 15 NTU 以下時不進行混凝劑的投加，生物膜進行熟成後，即開始進行淨水處理，在圖 4.1-47 在砂層表面 5cm，可發現其顏色比下層濾砂較深，是含生物物質發展完全之明顯證據，而由需刮砂間距來看，可延長至 30 天左右，大大提升處理效率，且整體水質也優於未改善前。



圖 4.1-46 加聚氯化鋁累積在濾砂表層(生物膜在表層不明顯)



圖 4.1-47 未前加聚氯化鋁之濾砂表層(生物膜在砂層表層 5 公分顏色較深)

➤ 加氯點之改變

經總三氯甲烷生成潛勢(TTHMFP)的實驗及水質分析結果發現，決定綠島淨水場清水三氯甲烷生成量的關鍵因子是接觸時間，在夏天，供水系統每日需水量約 1000 立方公尺，而本場清水池(目前只操作一池)的容積也是 1000 立方公尺，說明了以目前的淨水流程，當過濾水進入清水池前即加入次氯酸鈉，反應的時間(停留時間)為 24 小時，其總三氯甲烷生成量以非常接近(或超過)法規標準(0.08 mg/L)，這種操作模式水質超標風險甚高，因此，本研究決定暫時調整加入次濾酸鈉的位置，讓過濾水與氯的接觸時間控制在 6 小時內即可進入供水系統(間離峰時間略有不同)，將會降低 TTHM 產生量，數據顯示可控制在 0.08 mg/L 以下，相關改善之照片如下(詳如圖 4.1-48~圖 4.1-51)。



圖 4.1-48 改善前加氯點(遠拍)



圖 4.1-49 改善前加氯點(近照)



圖 4.1-50 改善後加氣點(遠拍)



圖 4.1-51 改善後加氣點(近照)

➤ 刮砂厚度之增加(1 公分→5 公分)有效去除表層生物膜

在研究前，因混凝劑加藥控制不當，造成濾砂表層膠羽累積，需頻繁進行刮砂作業，但離島地區僱工不易，囿於人力不足限制且可供刮砂作業時間有限，而造成刮砂不確實，僅將表層 1-2cm 的表層污泥刮除，未能有效進行生物膜層的刮除(約 5cm)，如此，惡性循環造成污染物去除率降低且刮砂作業又密集成本增加。

經修正慢濾整體操作模式後，回歸適當的刮砂程序，不僅節省人力及成本，整體效能也提升了。刮砂前後比較(詳圖 4.1-52 及圖 4.1-53)。



圖 4.1-52 刮砂前濾砂表層



圖 4.1-53 刮砂後濾砂表層

➤ 標準操作程序建置

改善前的慢濾操作，在完成刮砂後即開始進水，並未進行生物膜熟成的動作，且濾水閥門保持常開，如此將導致初期過濾水直接進入清水池中，污染物去除效益不佳，改善操作模式後，先進行生物膜熟成，再逐步增加開啟濾水閥門開度，控制水位高度保持在 30cm 以上，而當水位高於 50cm 時則加開門開度，一直到閥門開度最大、砂面水位達溢流口位置，即關閉進水且準備進行刮砂，當水位下降至清水堰板高度後，開啟排水閥門使水位降至砂面下 20cm，原則經 2-5 天的日曬後，即可進行刮砂。濾水閥門及開關如下圖(詳圖 4.1-54 及圖 4.1-55)。



圖 4.1-54 濾水閘門及轉軸



圖 4.1-55 濾水閘門開關

➤ 整場問題解決剖析

問題：

- (一) 濾水溢流堰高度不夠，無法有效蓄水至砂面高度，操作彈性空間受限，出水量無法提升。
- (二) 濾水溢流堰高度不夠無法讓慢濾池蓄升至滿池(淹過砂面)，加上無反向進水設計，致無法有效將濾砂層中空氣趕出，又因隨過濾時間增加，摩擦損失水頭逐漸增加，當損失水頭大於砂面之水深時，水往下拉產生部分真空，形成負水頭(Negative Head)。若負水頭超出某一限度時，水中溶解之氣體游離而聚積於砂層中導致空氣閉塞(Air binding)，若無及時將濾層中空氣趕出，則易降低過濾效率，影響出水量。
- (三) 刮砂深度不足，老舊生物膜累積在表面導致濾水效率降低。
- (四) 慢濾池輪替操作時，缺少將池水蓄滿淹過砂面停留 5~7 天之“養池”程序，使其建立起完整良好的微生物生態系(藻類、細菌、原生動物…等)，導致經由微生物處理分解作用

無法有效發揮，甚為可惜。

- (五) 1 號慢濾池調整井出砂，因貼磚有孔隙已暫時用小礫石阻隔調整井出砂。
- (六) 1、2 號慢濾池調整井制水閥已使用 33 年，設備失靈，軸心不能操作啓閉慢濾池出水以形成生物膜活化，需改善。
- (七) 1、2 期清水池因 1 期出水老舊 PVCP 管破管找不到漏水點，致無法交替使用，須俟汰換出水管線後，方可恢復交互操作；另為避免因加氯後停留時間過長產生總三鹵甲烷消毒副產物超標，已改善加藥點位置。
- (八) 2 期沉澱池排泥閥不能啓閉，影響清洗沉澱池淤泥清理作業，需改善。

解決方式：

- (一) 增加濾水溢流堰高度，俾利使水位保持在濾砂面以上。
- (二) 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計)：
 - 1. 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。
 - 2. 亦可於出水幹管上設制水閥，利用其他濾池之過濾水返送。
- (三) 調節井之高程應在砂面以上，以免產生負水頭。
- (四) 刮砂厚度之增加(1 公分→5 公分)有效去除表層生物膜。
- (五) 慢濾池操作建議降低濾速以延長需刮砂時間(儘量控制於運轉 30 日後再刮砂)，降雨濁度升高再考量添加 PACl，以減省用藥成本，提升處理效率，加藥須考量鹼度變化並將鹼度納為關鍵操作參數。
- (六) 研議是否搭配十年管線汰換經費，汰換出水漏水管線，並考量設置為 2 條出水管線，俾增加供水調度操作彈性。
- (七) 在改善後加氯點位置應增設護堤避免雨水或污水污染池內清水。
- (八) 於配水管網建置自動化監測、監控設備並能將數據資料(如水壓、濁度、餘氯、TOC 等)傳送至中控室或操作人員手機，俾利即時掌握水質資訊。

4.2 運營中慢濾池淨水場水質分析結果探討

4.2-1 汐止營運所白雲淨水場

根據本場歷史數據(LIMS)經慢濾系統處理後濁度去除率 61~94%(詳圖 4.2-1)，氨氮去除率達 100%(詳圖 4.2-2)，硝酸鹽氮去除率 1~10%(詳圖 4.2-3)，氨氮經微生物硝化作用全數轉換成硝酸鹽氮，鐵去除率 44~71%(詳圖 4.2-4)，錳去除率 29~100%(詳圖 4.2-5)，大腸桿菌群及總菌落數去除率皆達 100%(詳圖 4.2-6 及圖 4.2-7)，系統正常發揮處理效能，處理後清水水質均能符合飲用水水質標準。

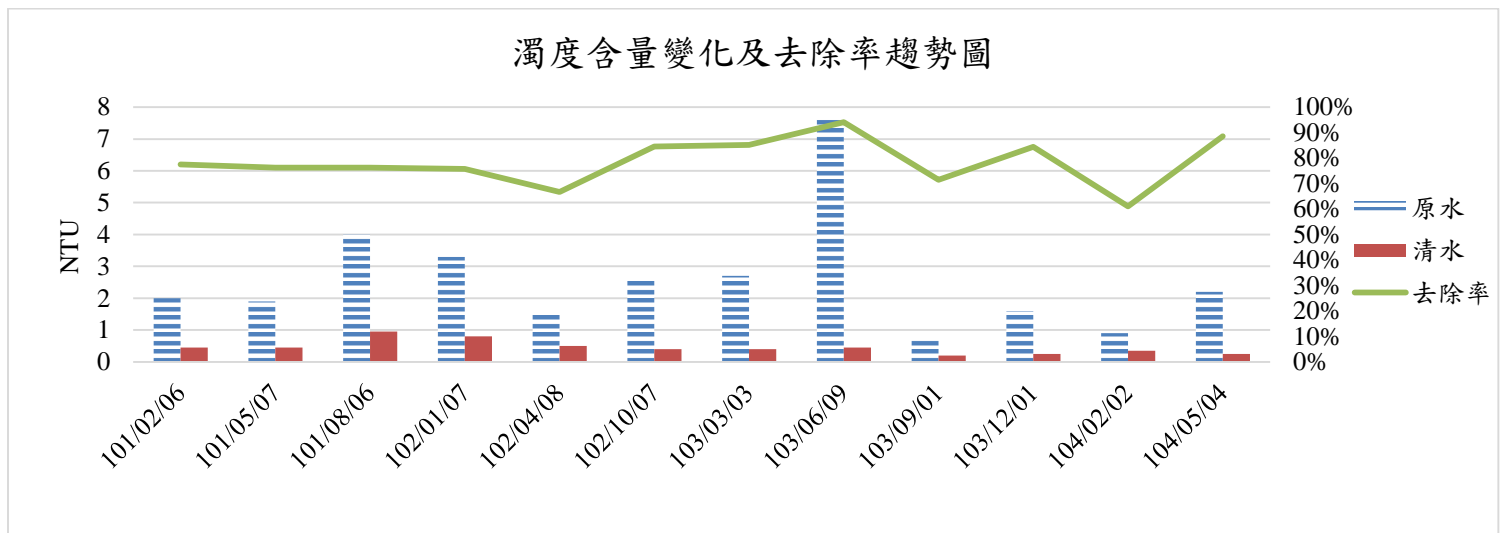


圖 4.2-1 白雲淨水場濁度含量變化

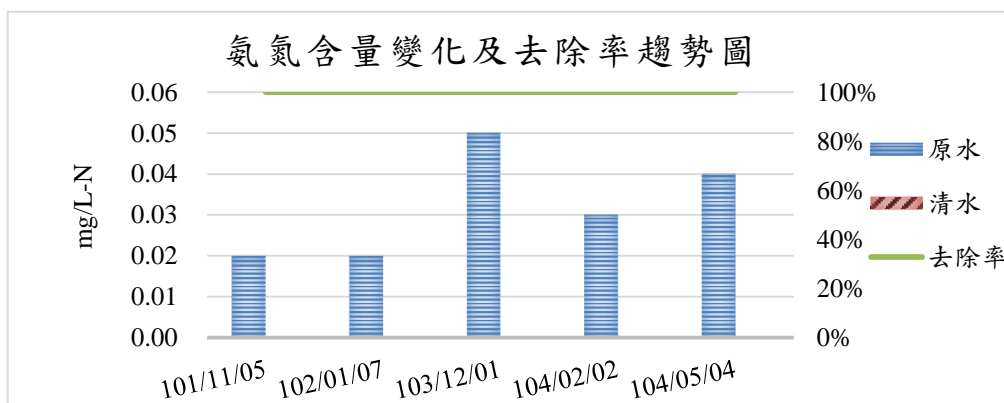


圖 4.2-2 白雲淨水場氨氮含量變化

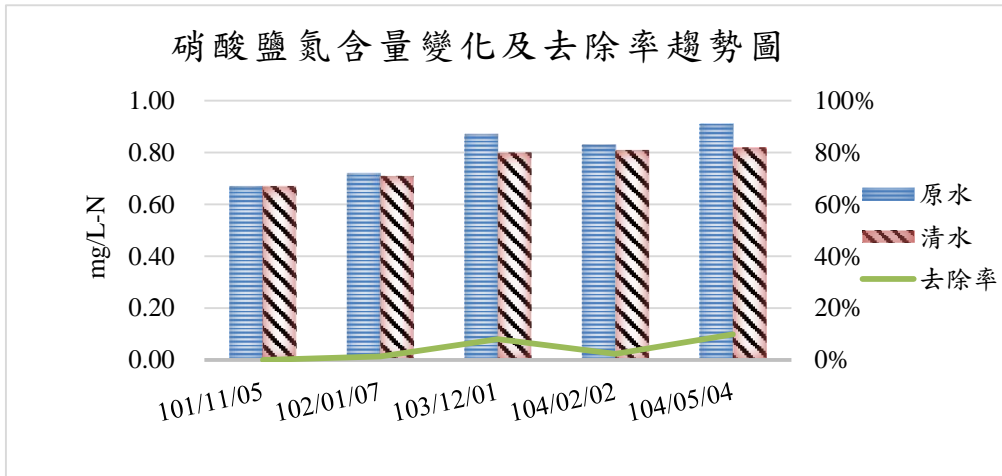


圖 4.2-3 白雲淨水場硝酸鹽氮含量變化

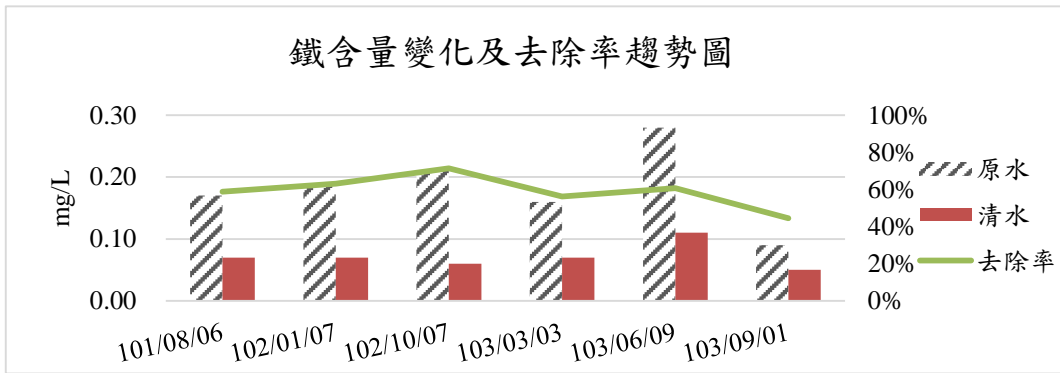


圖 4.2-4 白雲淨水場鐵含量變化

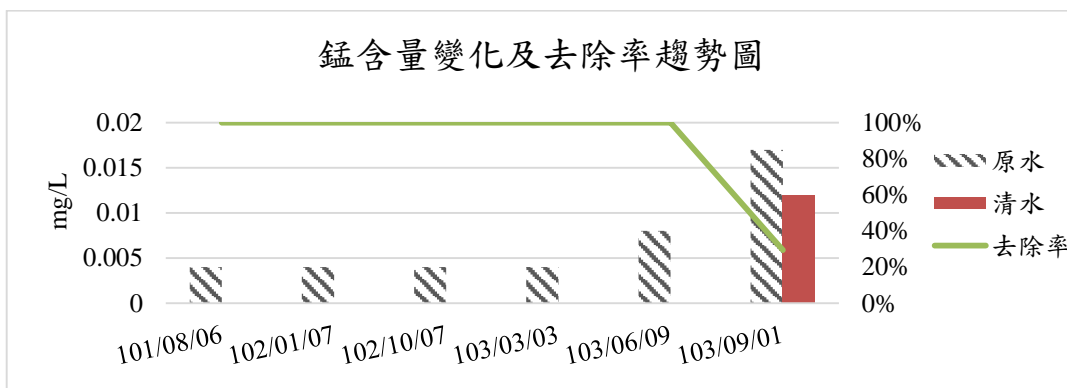


圖 4.2-5 白雲淨水場錳含量變化

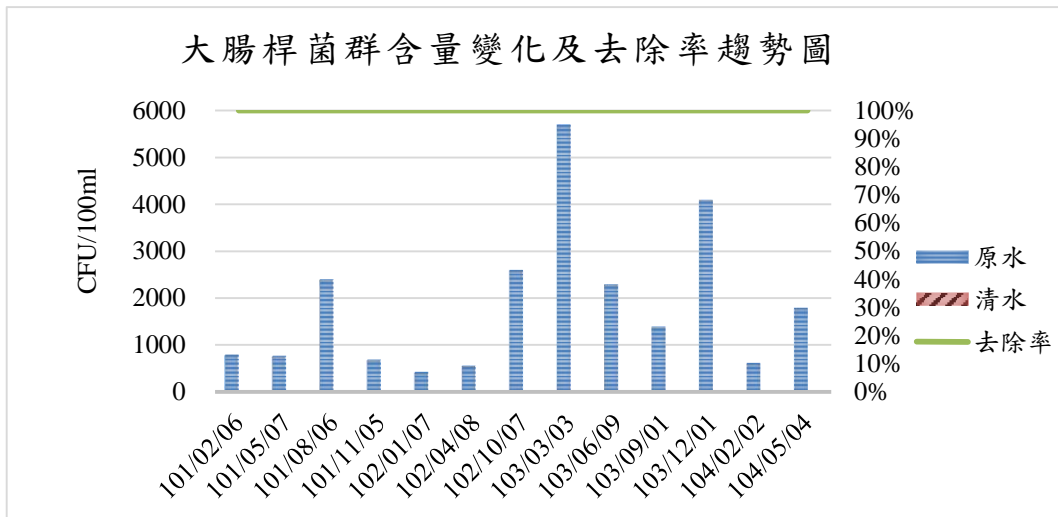


圖 4.2-6 白雲淨水場大腸桿菌群含量變化

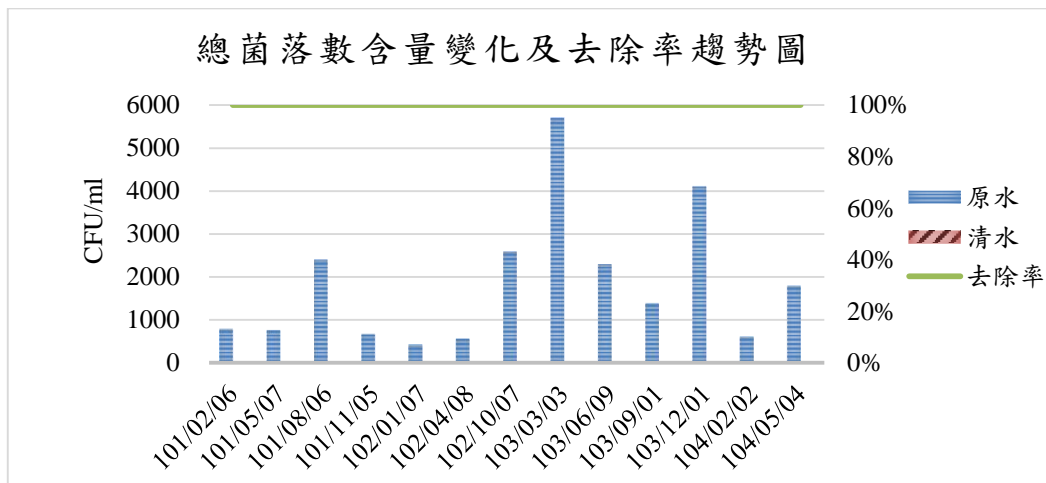


圖 4.2-7 白雲淨水場總菌落數含量變化

4.2-2 東港營運所林邊淨水場

根據本場歷史數據(LIMS)經慢濾系統處理後濁度去除率93~99%(詳圖 4.2-8)，氨氮去除率達91~95%(詳圖 4.2-9)，硝酸鹽氮增加率12~57%(詳圖 4.2-10)，氨氮經微生物硝化作用大多轉換成硝酸鹽氮，鐵去除率97~100%(詳圖 4.2-11)，錳去除率100%(詳圖 4.2-12)，系統正常發揮處理效能，處理後清水水質均能符合飲用水水質標準。

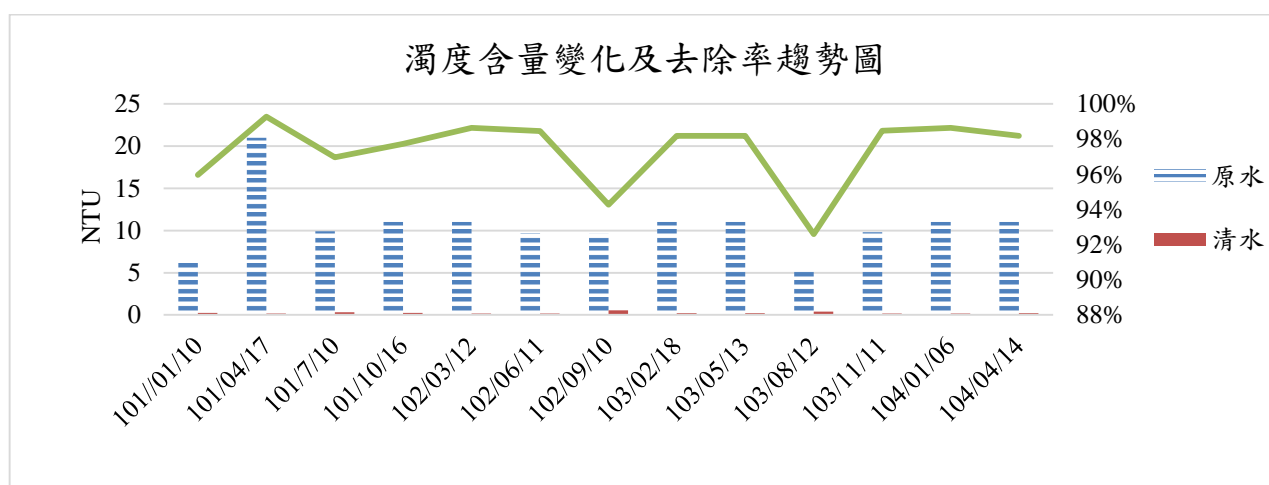


圖 4.2-8 林邊淨水場濁度含量變化

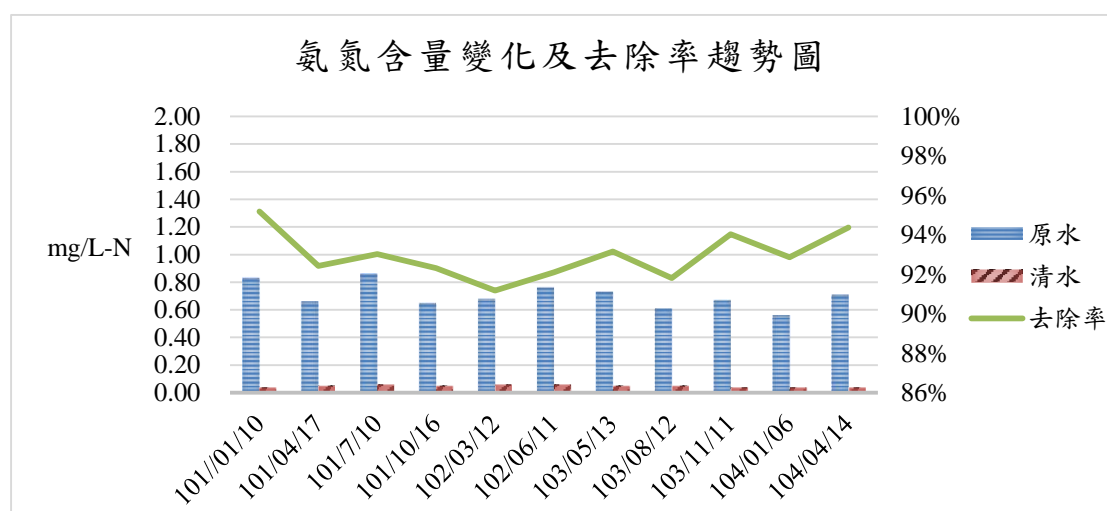


圖 4.2-9 林邊淨水場氨氮含量變化

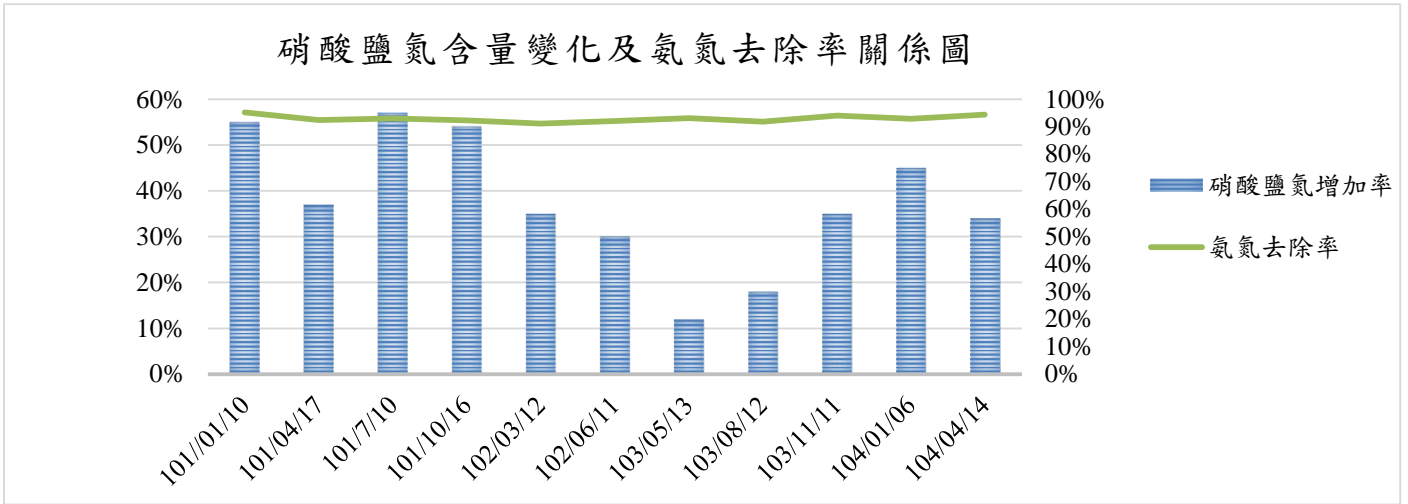


圖 4.2-10 林邊淨水場硝酸鹽氮含量變化

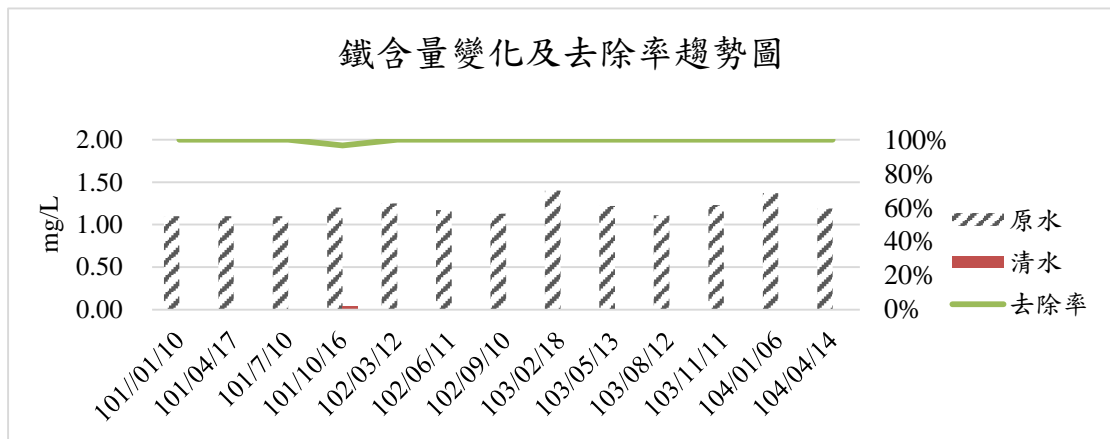


圖 4.2-11 林邊淨水場鐵含量變化

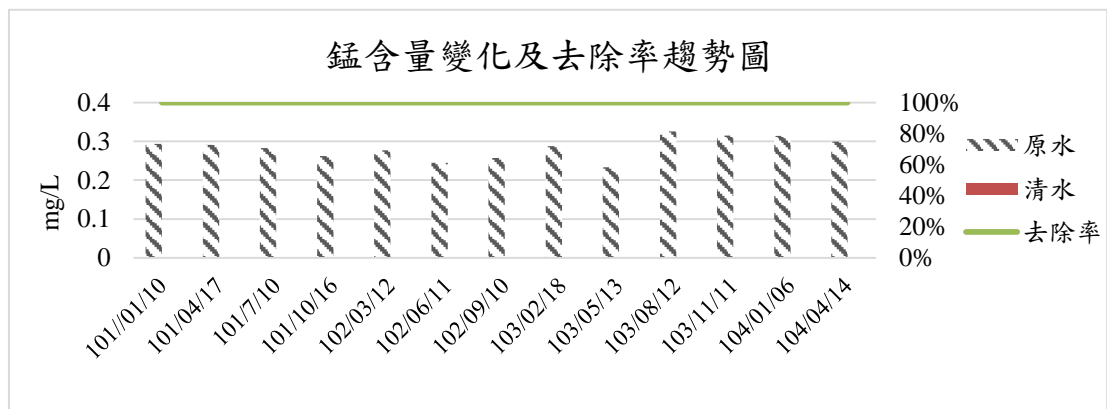


圖 4.2-12 林邊淨水場錳含量變化

4.2-3 澎湖營運所吉貝淨水場

根據本場歷史數據(LIMS)經慢濾系統處理後濁度去除率17~64%(詳圖 4.2-13)，氨氮去除率達17~85%(詳圖 4.2-14)，硝酸鹽氮增加率-63~317%(詳圖 4.2-15)，氨氮經微生物硝化作用大部分轉換成硝酸鹽氮，鐵去除率-67~100%(詳圖 4.2-16)，錳除 104/3/2 外，去除率皆 100%(詳圖 4.2-17)，104/03/02 硝酸鹽氮增加率-63%，鐵去除率-67%，錳在清水測得 0.01mg/L，推測當日系統處於兼氧偏厭氧態，將系統中鐵、錳又被還原出來，另大腸桿菌群及總菌落數去除率皆達100%(詳圖 4.2-18 及圖 4.2-19)，整體來說，系統大多正常發揮處理效能，處理後清水水質大多能符合飲用水水質標準，惟溴酸鹽無法藉由慢濾系統去除(詳圖 4.2-20)。

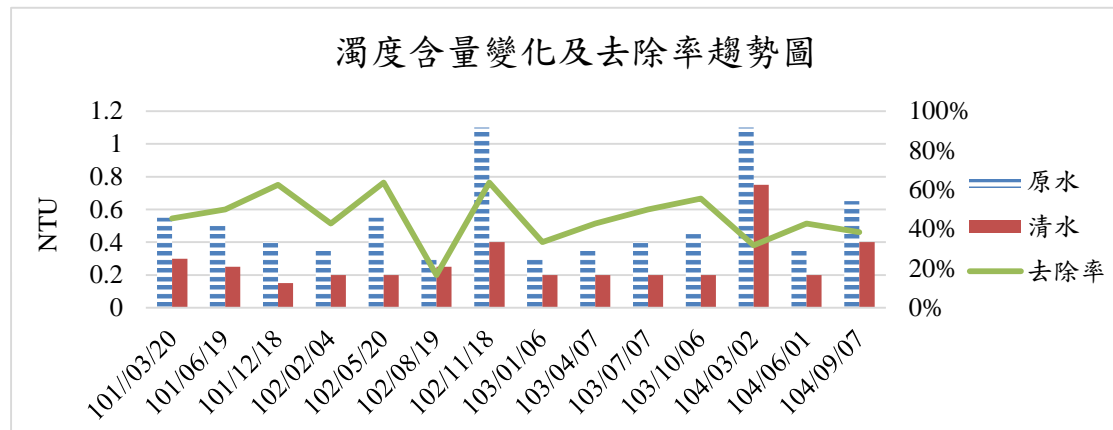


圖 4.2-13 吉貝淨水場濁度含量變化

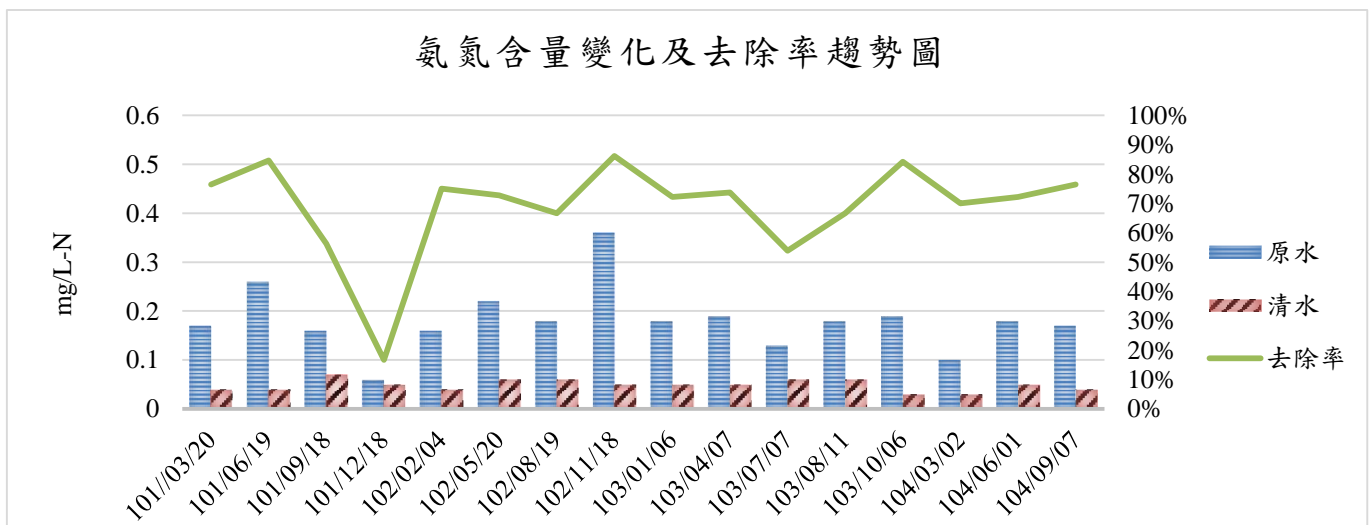


圖 4.2-14 吉貝淨水場氨氮含量變化

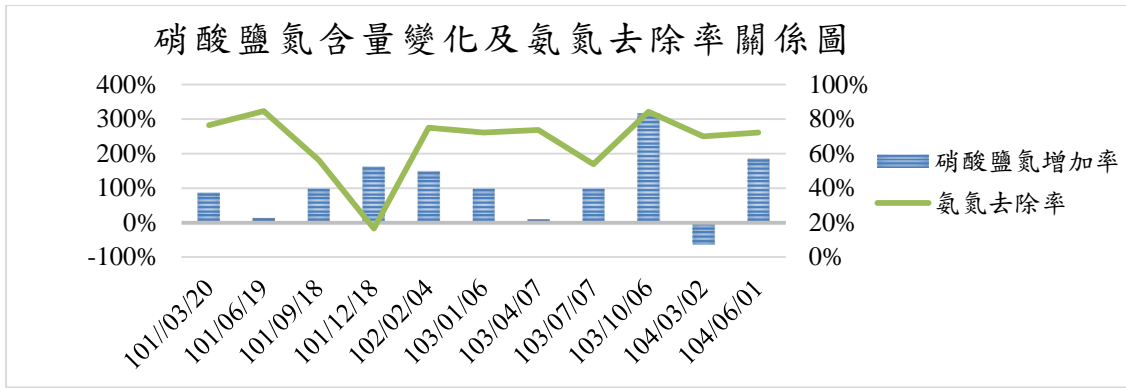


圖 4.2-15 吉貝淨水場硝酸鹽氮含量變化

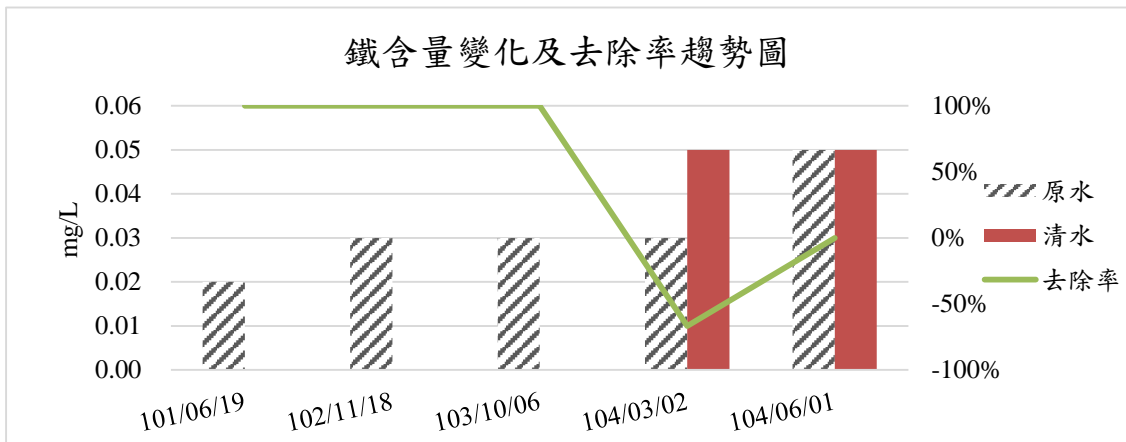


圖 4.2-16 吉貝淨水場鐵含量變化

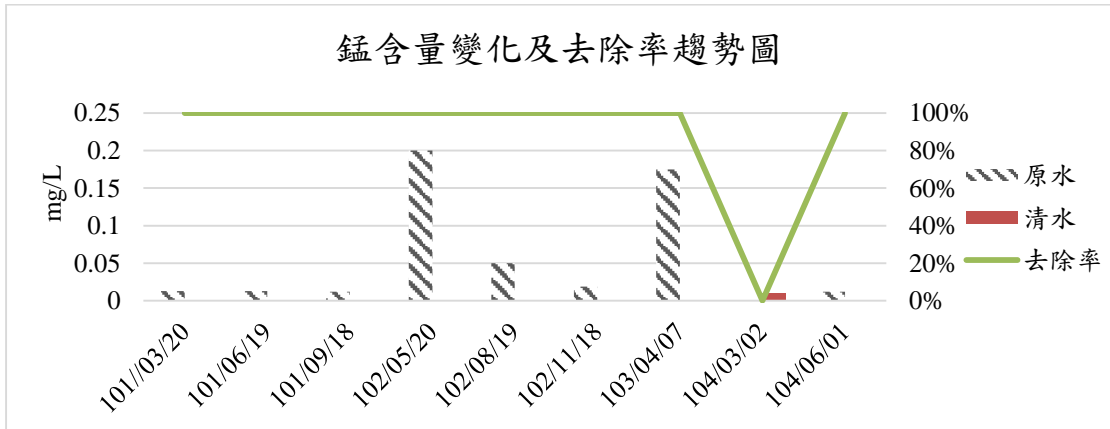


圖 4.2-17 吉貝淨水場錳含量變化

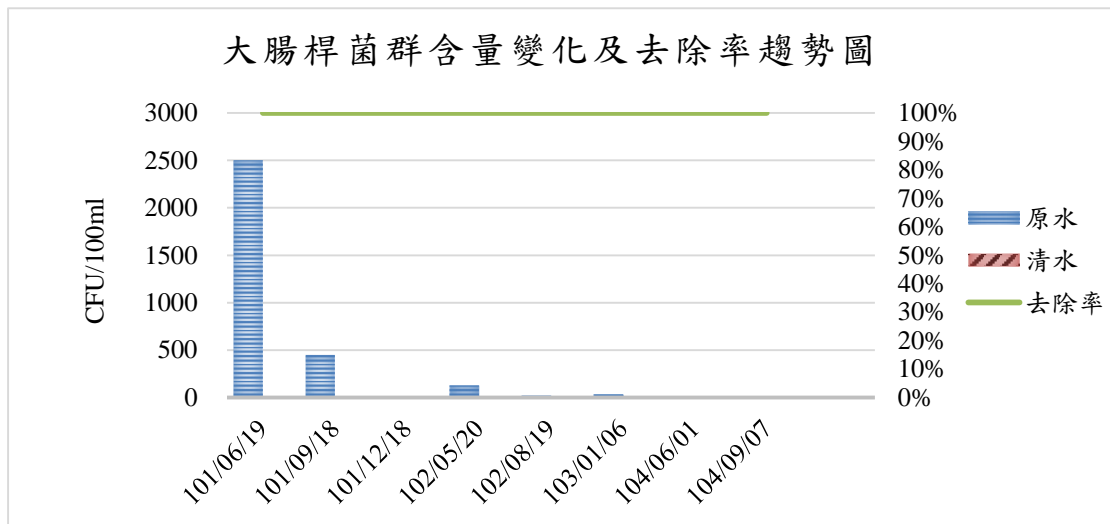


圖 4.2-18 吉貝淨水場大腸桿菌群含量變化

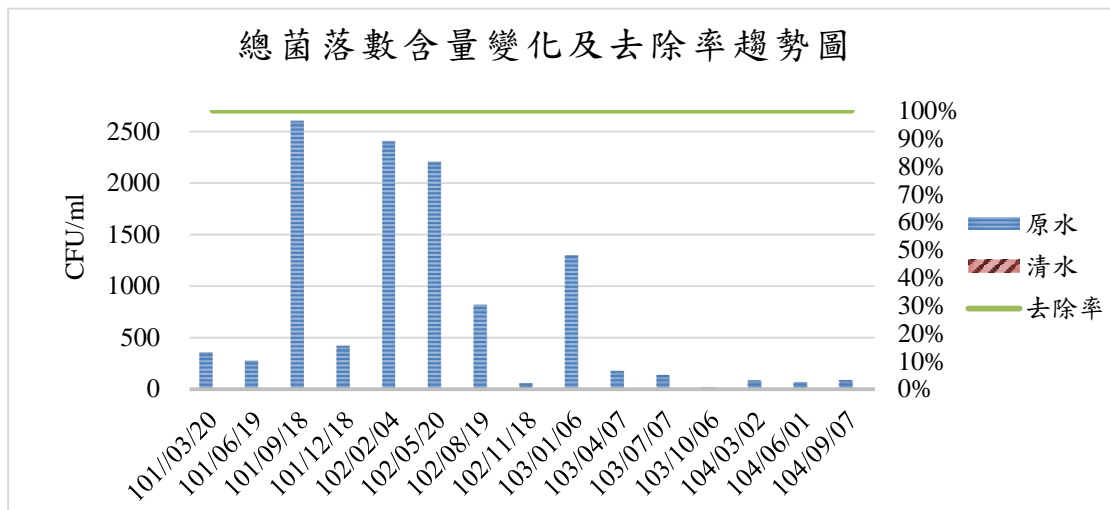


圖 4.2-19 吉貝淨水場總菌落數含量變化

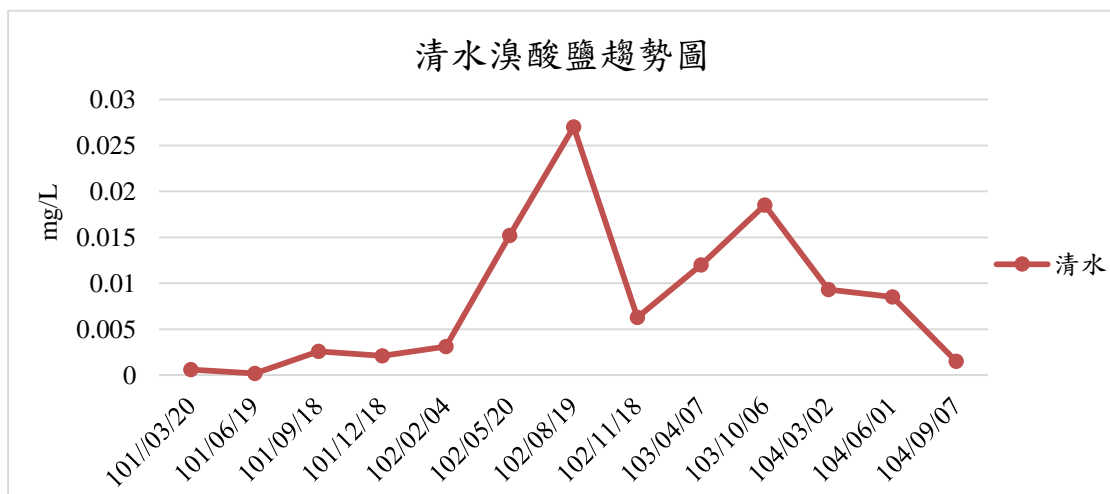


圖 4.2-20 吉貝淨水場清水溴酸鹽趨勢圖

4.2-4 澎湖營運所西嶼淨水場

根據本場歷史數據(LIMS)經慢濾系統處理後濁度去除率 25~99%(詳圖 4.2-21)，氨氮去除率達 13~96%(詳圖 4.2-22)，硝酸鹽氮增加率-79~150%(詳圖 4.2-23)，氨氮經微生物硝化作用大部分轉換成硝酸鹽氮，惟仍有數日(102/12/18、102/05/13、102/08/12、102/11/11、103/01/03)硝酸鹽氮增加率呈現負值，初步推測當時系統處於兼氧偏厭氧態，惟尚須累積更多長期數據，再由趨勢分析方可驗證。另鐵去除率 60~100%(詳圖 4.2-24)，錳去除率 100%(詳圖 4.2-25)，總有機碳去除率 17~100%(詳圖 4.2-26)大腸桿菌群及總菌落數去除率皆達 100%(詳圖 4.2-27 及圖 4.2-28)，整體來說，系統大多正常發揮處理效能，處理後清水水質大多能符合飲用水水質標準。

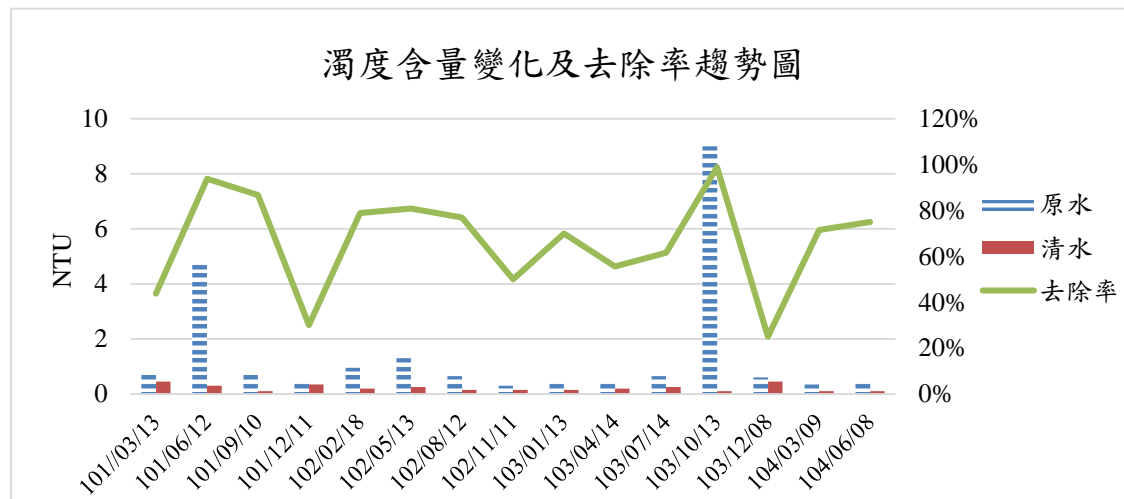


圖 4.2-21 西嶼淨水場濁度含量變化

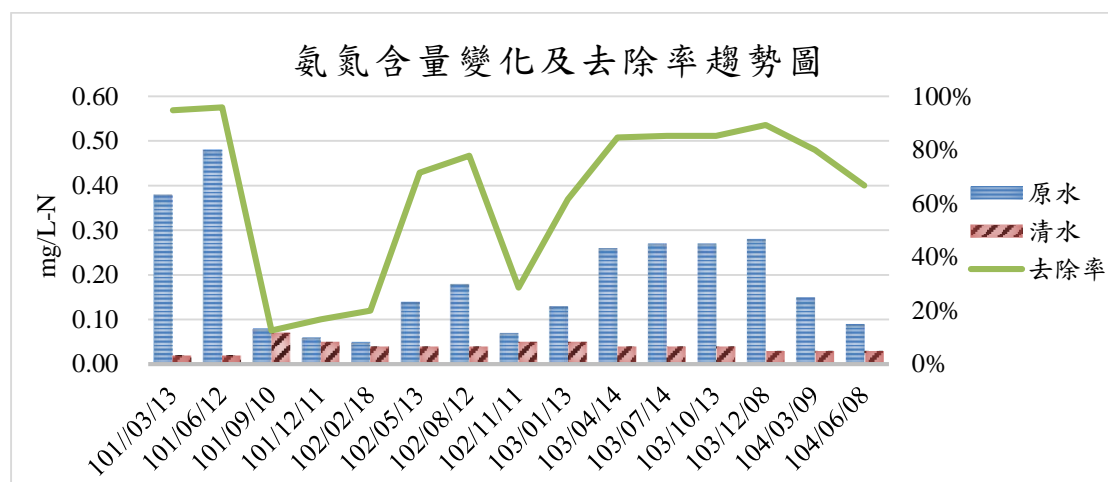


圖 4.2-22 西嶼淨水場氨氮含量變化

硝酸鹽氮含量變化及氮氣去除率關係圖

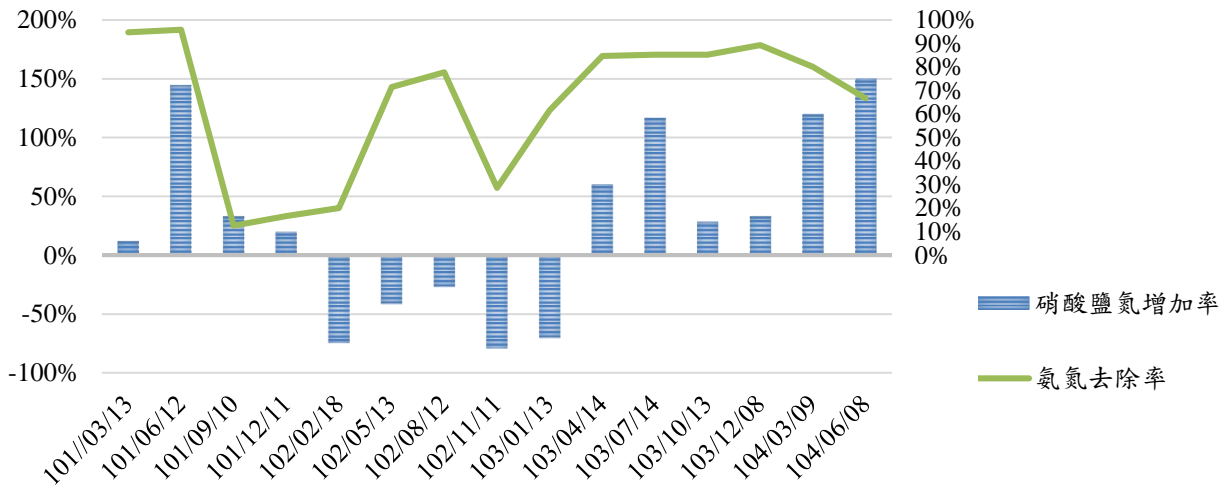


圖 4.2-23 西嶼淨水場硝酸鹽氮含量變化

鐵含量變化及去除率趨勢圖

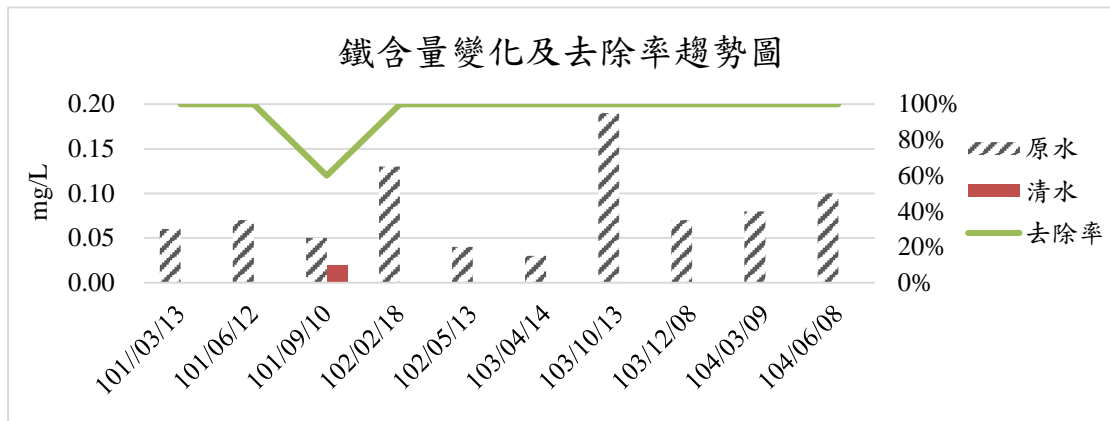


圖 4.2-24 西嶼淨水場鐵含量變化

錳含量變化及去除率趨勢圖



圖 4.2-25 西嶼淨水場錳含量變化

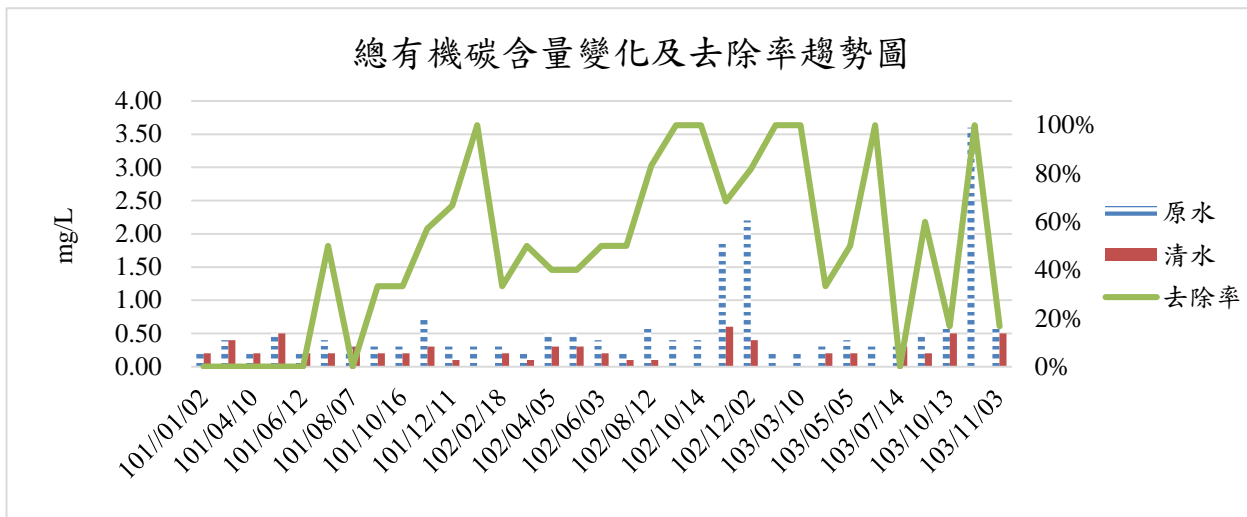


圖 4.2-26 西嶼淨水場總有機碳含量變化

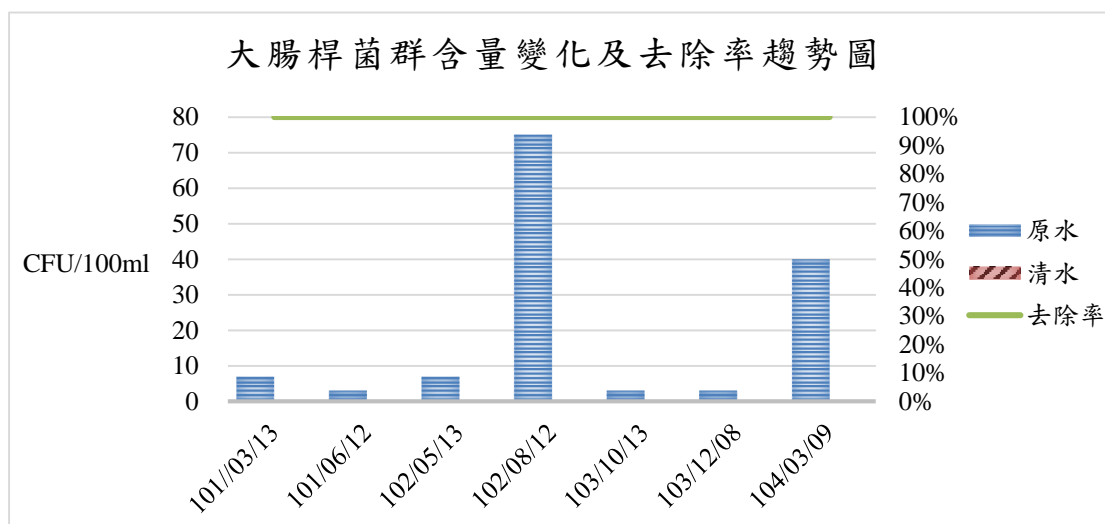


圖 4.2-27 西嶼淨水場大腸桿菌群含量變化

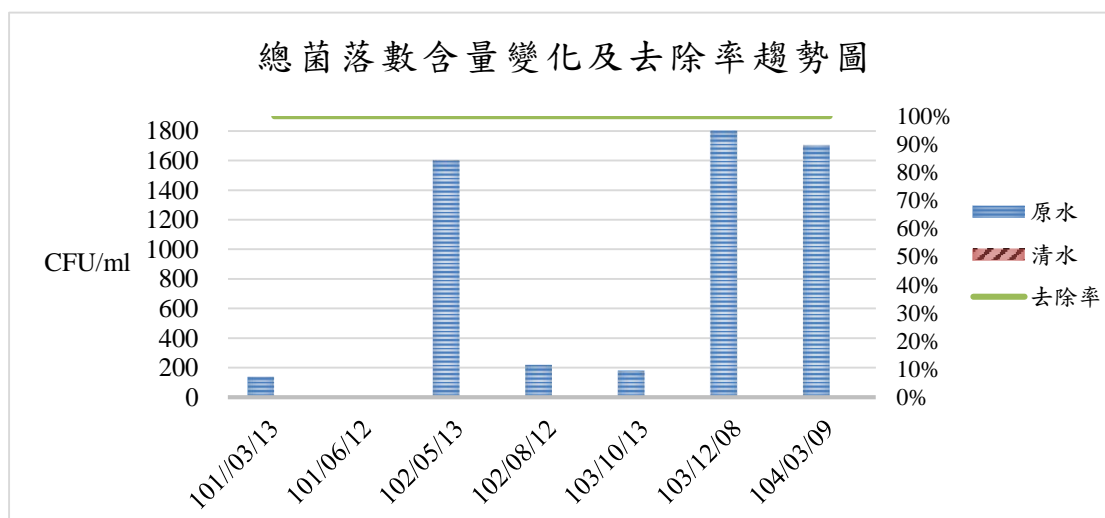


圖 4.2-28 西嶼淨水場總菌落數含量變化

4.3 慢濾池設計、操作、營運及管理之準則探討

慢濾池作為飲用水處理的技術已有數百年的歷史了，特別是對於小系統、鄉村地區不需要較高的操作技術的淨水來說是非常有用，如同這項技術的命名，它的過濾速度非常緩慢，大概是 2~10 m/day，只有快濾池濾速的五分之一，也因為慢濾池的濾速慢，在設置上需要較大的土地面積，但在偏鄉地區土地不是問題，反而是操作技術需求低，適合於偏鄉供水淨化使用。

慢濾用於淨水處理是簡單的技術，無須於程序中添加化學藥劑，透過生物處理來達到去除的效果，顆粒、有機物、鐵、錳、氨氮及大腸桿菌群等都有不錯的去除效率。生物主要聚集在濾砂的表層，相關的研究指出，生物的活性影響水中污染物的去除，因此，在新的慢濾池開始營運前或刮砂後必須進行濾池熟成的程序，也就是經數星期的時間進行濾池生物培養，以確保處理的效果。

慢濾不像快濾須進行反洗但在表層水頭損失大於 90-120 公分時，濾砂須進行刮砂或刨鬆的作業，根據清水水質，一般來說大約 1~12 個月需進行上述的刮砂或刨鬆的作業，若原水水質更好時間還可以往後延長，刮砂是將濾砂表層約 2-5 公分的濾砂加以移除，而被移除的濾砂須在適當的時間進行補充，某些淨水場採用的是將上層濾砂刨鬆以降低水頭損失，而濾砂並未被移除只是刨鬆，但是表層有機物層已破壞且飄散在表面，不管濾砂是經過刮砂或刨鬆，皆需要有 1-7 天的熟成期以重建表層生物聚落。

一般來說在慢濾池的設計及操作管理是以梨形鞭毛蟲、隱孢子蟲及病毒去除率 2 個 log 為處理目標，若是慢濾池原水有較高的濁度時，可規劃簡易的粗濾以作為前處理，而有表層藻類增生現象時，可考慮在濾池頂加蓋。在慢濾池設計前必須先進行模場試驗，試驗的目的希望了解設計的相關參數，包括：

- 一、了解以慢濾的方式是否能達到處理原水符合清水水質的目標。
- 二、了解透過慢濾的方式對於原水中污染物的去除效率。
- 三、了解最適當的操作濾率。
- 四、了解最適當的濾砂型態。
- 五、提供未來設計的相關參數並評估所需的費用。

在慢濾的操作程序中，前處理不可以加氯進行污染物的氧化，因為這麼做會導致濾砂生物活性降低甚至死亡，將嚴重影響去除效能，但於濾後加入氯進行消毒，則必須在清水及配水階段進行消毒副產物的監測與追蹤，以確保用水安全。

4.3-1 慢濾池之設計

根據供水目標的需求，慢濾池的設計必須根據這個需求來加以規劃及設計，套裝式的慢濾系統組裝已有商品套件但使用並不普及，還是要根據原水特性來加以評估及考量。

一、濾率

慢濾池第一階段設計需考量的是濾率，濾率設計通常介於 2~10 m/d，但在某些特殊的狀況(如其他進行濾池刮砂或熟成)，短時間也能提升到 15 m/d 過濾水還能符合水質標準，慢濾濾速對於濾池刮砂的間距影響非常大，低的慢濾濾速其濾池刮砂的間距較長，適當的濾速必須由模場試驗了解原水處理的結果取得，而確定設計濾速後，再計算原水處理量便可得出所需的濾池面積。

二、濾池數

考量慢濾池需進行濾砂刮除及濾池熟成需耗費時日，所以，濾池設計的個數必須考量這個因素，甚至是濾池維修所需的時間也須考量在內，每個慢濾的濾池必須能獨立操作及控制，因此在計算慢濾濾池數時必須同時考量平均流量及變動流量、最佳的濾池刮砂間距、清配水池的容積等因素，大部分的傳統設計以最大日的需求水量以及一池停止出水進行維護(或其他因素停止出水)為設計準則，下表為出水量及濾池數的建議配搭組合(詳如表 4.3-1)。

表 4.3-1 出水量及濾池數的建議配搭組合

設計出水量	建議的慢濾池池數
小於 2500 CMD	2
2500 CMD ~ 5000 CMD	3
5000 CMD ~ 7500 CMD	4
7500 CMD ~ 10000 CMD	5

(資料來源：Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems. Page 23)

三、濾砂

慢濾池的濾料包括濾石及濾砂，濾石的作用在於支撐濾砂，並將過濾水平均分配於收集設備，而濾砂的選擇對於處理的效果有很大的影響，濾砂篩分析常用於濾砂的特性判斷，太粗的濾砂粒徑對於濁度去除不佳且無法提供足夠的生物生長表面積，太細則會提高水頭損失降低濾速減少出水量。大部分的濾石及濾砂含有淤泥，假如濾砂含太多的淤泥將會使過濾水增加濁度影響濾水品質，而這個影響可能會有數年之久，因此，當濾石及濾砂進行填料時必須進行適當的清洗及結果試驗，以確保濾水品質，當濾砂須進行添補時，也必須進行同樣的濾砂測試，濾砂的參考設計準則如表 4.3-2，濾砂的鋪設示意如圖 4.3-1。

表 4.3-2 濾砂的參考設計準則

設計參數	建議數值
有效粒徑(D ₁₀)	0.15-0.3 mm
均勻係數(D ₆₀ /D ₁₀)	<2.0
未清洗濾砂通過 200 號篩	<3%
已清洗濾砂通過 200 號篩	<0.1%

(資料來源：Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems. Page 24)

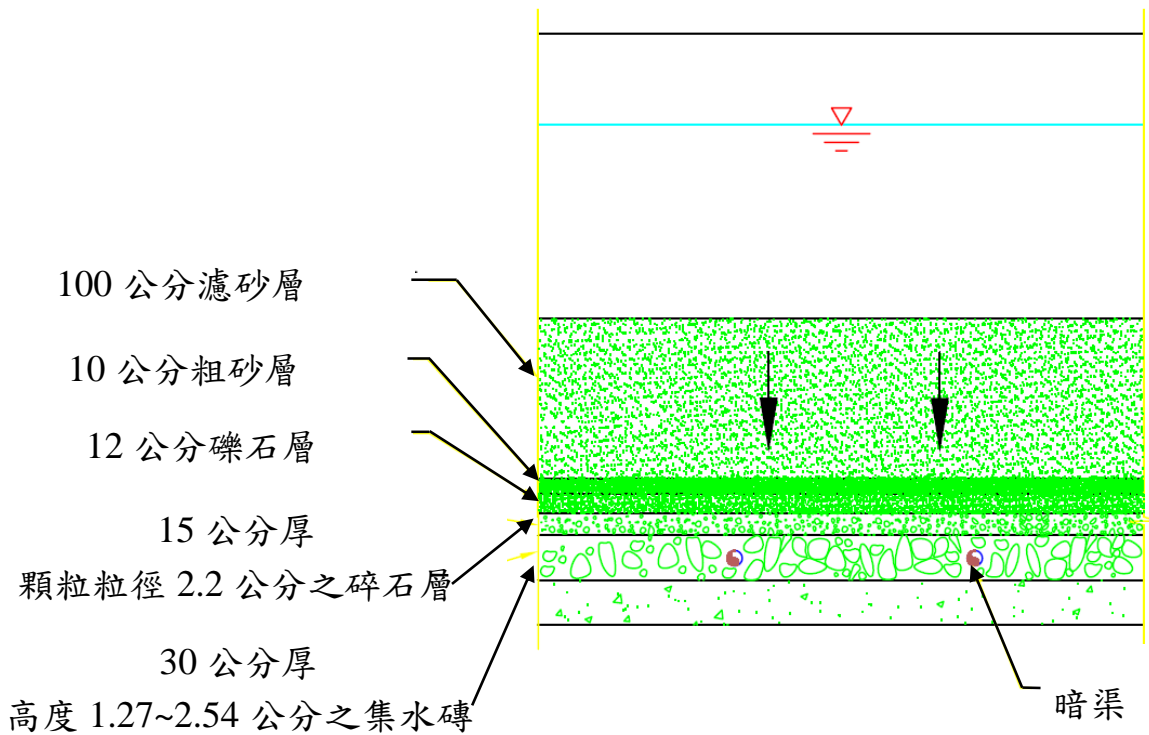


圖 4.3-1 濾砂的鋪設示意圖

(資料來源：Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems. Page 25)

四、慢濾池管線設計

在慢濾池設計時須考慮水進出的安排，有幾個設計考量應行注意，相關設計圖說如圖 4.3-2，包括：

- 初期過濾水排放管
- 溢流管
- 上層浮渣排除管
- 底部排放管
- 反向進水設計
- 過濾水分配及過濾水收集

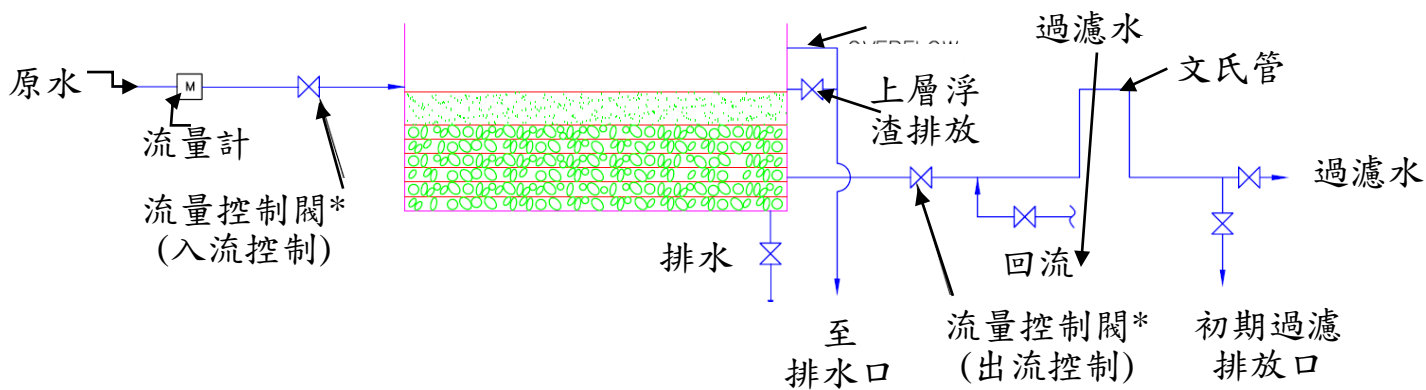


圖 4.3-2 慢濾池管線設計圖說

(資料來源：Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems. Page 21)

(一) 初期過濾水排放管

因為慢濾是生物處理程序，所以在濾砂刮除後或是濾砂重新鋪設後，必須要有足夠的時間進行生物熟成，讓濾砂層的生物相能發展完全，才能發揮去除污染物的效益，在生物熟成期間原水進入濾砂層後不可以立即納入供水系統，因為生物環境還沒發展完成，去除效率較差，所以必須將初期過濾水排除(可導回原水儲槽中)，而設計時必須考量個別濾池可以獨立將初期過濾水排除，並避免錯接導致未符合水質標準之過濾水排入清水池。

(二) 溢流管

當慢濾池再過濾的累積損失水頭，水位會持續上升至進水端，若水位持續上升，水將溢流出濾池，將會造成廠區淹水，為了避免這個情形，必須在適當位置設置溢流管，讓當水位持續上升時之緊急排放口，而這個排放口也可以作為排出濾砂表層水浮渣的出口。

(三) 上層浮渣排除管

適當的管線及閥門設計有助於濾砂的刮除或移除，上層浮渣排除管的設計就是為了能快速將還沒達到須刮砂程度時，讓累積於濾砂表層的浮渣加以去除，以延長刮砂的時間，上層浮渣排除管設置的位置

在砂層的最高點，假如是以刨鬆的方式進行濾砂再生，其管線的大小必須滿足反向進水時排污的水量。

(四)底部排放管

在每一個慢濾池最底層必須設置一處排放管，以便在濾砂進行刮除前將濾池內的水完全排乾。

(五)反向進水設計

慢濾池每一座濾池的出水管線需與鄰近的濾池出水管線連結，以便讓鄰池的濾後水能流入須進行反向進水的慢濾池內，慢濾池反向進水的概念與快濾池不同，慢濾池反向進水是透過由下而上的緩慢進水方式，將濾池內的空氣排出降低空氣閉鎖的問題，而且可以將刮砂或刨鬆完畢的慢濾池其中的生物殘渣透過上層浮渣排除管予以排除，如此，可延長慢濾池使用時間。要注意的是不可將加過次氯酸鈉含有自由餘氯的水導入慢濾池內，因為這樣將會使得慢濾池內的生物死亡或降低活性而減少污染物的去除能力。

(六)原水分配裝置

原水進入慢濾池需設計穩定的水力分配，以避免不當的流入造成慢濾砂層的擾動或破壞，原水流入慢濾池可以採用分散的孔口或是其他有效的導水方式讓原水穩定流入濾池。

(七)濾池底部收集系統

經過慢砂濾後，過濾水必須妥善的加以收集，濾池底部的集水設備要能確保每一處水頭損失能平均分布，不會因為設計失當造成處理效能降低。

五、慢濾池砂面上水位控制

(一)進流控制

利用進流設備的調整，來控制進入慢濾池的水量。

1. 定濾率控制

操作人員利用進流的流量控制設備進行入流量之管控，而水頭損失會隨著時間而逐步累積上昇，這樣操作的好處是操作人員非常容易的進行操作管理，而且可藉由水位不斷上昇達到有效控制的目的。

2. 遞減濾率控制

利用水位控制閘來回饋進水流量，如此砂面上的水位可以控制在一定的高度上，但是進水流量會隨著時間而遞減，利用壓力控制來了解水頭損失，以達到定水位的目的。

(二)出流控制

出水設備藉由堰、閘、流量計及壓力計的搭配組合，達到控制出水量的目的，而利用出水控制的一項好處是可以調整及控制慢濾池砂面上的水位高度，一來可以避免空氣進入濾砂層造成閉鎖，二來可以讓濾砂層內的生物能浸潤在水中，確保生物活性。

1. 出水堰

可以採用堰或閘門控制，堰的高度可以決定濾砂層上水位的最小高度，確保生物不會因不當控制或停機造成水位低於砂層的現象，一般控制的砂層上水位的高度 15~30 公分，而堰也可以設計為活動式，可以提供慢濾處理後期的出水量，但如此也可能造成水面低於砂面下的風險。

2. 管件構造

利用出水管件的設計讓水位保持在濾砂上方約 15~30 公

分，利用方法須搭配吸排氣閥及真空幫浦，以確保操作的靈活。

3. 出口控制閥

利用控制閥來讓水位保持在濾砂上方約 30 公分，但是單獨藉由閥的控制無法有效確保水位高度，可能有水位低於砂面下的風險。

六、水位監視器

在慢濾池內的水頭損失可利用水壓計加以監視，或可在慢濾池邊裝置透明 PVC 水管，用以了解各池的水頭損失現況，並在管上加註尺規，很容易就能掌握各池的水位情形，讓操作人員容易判讀應執行的作業。

七、濾砂的刮除或刨鬆

大約 1-12 月間，砂層上的水頭損失已經累積到控制水位(約 120~150 公分)，此時濾砂表層約 5 公分佈滿了生物，該層必須移除以降低水頭損失；若以操作面來看，水位已達溢流管高度，或是出水量已低於設定水量。

大部分的小型慢濾池採人工的方式進行刮砂，因此，在設計上必須考量到刮砂的動線及進出濾池的人員及廢砂的上下設備，若慢濾池上方設有遮頂蓋，其高度需在 210 公分以上，以方便人員作業。若使用機具進行刮砂，則另須考慮機具的移動及操作空間，若慢濾池上方未加遮頂蓋，則需預留梯子的擺放位置，操作人員及設計人員需時常討論，以取得較佳的設計考量。

在某些慢濾池淨水場，濾砂刨鬆的方式取代了傳統的刮砂，那甚麼是刨鬆呢?是利用耙子將濾砂層上方的生物層及濾砂扒鬆，其深度大約 15 公分，刨鬆後由濾池下方將濾後的清水導入，而原存在濾砂層的生物膜及碎片會隨著水位上昇，而由上層浮渣排除管流出，利用刨鬆的方式回復慢濾池的功能，能降低人力的使用，但是在一定的時間後，還是需要將上層的濾砂刮除，以確保

慢濾池運作正常。

八、藻類控制

在慢濾上方未設有遮頂蓋時可能會導致藻類的大量增生，可能導致臭味及適飲性的問題，因此，根據水質狀況，適度的加蓋遮光有其減少藻類增生的效果。濾池上方設置遮頂蓋可分為移動式及固定式，但不論是哪一種形式，都必須考慮在操作維護時所需的空間及動線，一般而言，遮頂蓋距離砂面至少要有 210 公分，而移動式遮頂蓋須注意裝置的材質，應避免材質脆裂或崩落而影響水質。

九、慢濾池整體設計

為了讓慢濾操作更為穩定、效能更佳，須根據水質、操作環境及供水需求進行相關配套設計。

(一)前處理設備

在某些慢濾池原水其濁度較高，須輔以前處理設備以去除水中懸浮固體物，通常採用較大濾砂進行粗濾，如此，可避免慢濾池因濁度因素影響到正常的生物污染物處理效果，且濾砂也會因此而快速被堵塞，利用粗過濾將原水濁度降至 10NTU 以下，可延長濾程並確保其濾率。預沉澱的處理也是一項可行的方法，某些處理場甚至加入臭氧，以加強有機物、臭味、色度等之去除效益。

(二)抽水機及水池

1. 原水抽水機及原水調節池

慢濾操作需要穩定的操作狀態才能發揮最好的效益，因此，控制進流水量的穩定非常重要，太頻繁的啟動與關閉都會破壞生物層的活性，因此，原水抽水機會搭配進水閥、原水調節池及清水堰來加以調配。

2. 清水抽水機及清水池

清水抽水機及清水池的搭配，可調節進入供水系統的需求，也可以穩定慢濾池的操作，如同原水抽水機太頻繁的啟動與關閉，也會增加用電量並容易造成設備損壞，利用長時間的系統用水紀錄，再決定供水操作的條件或模式。

十、監測儀器及監控設備

為確保慢濾效果，慢濾池的操作需配合相關儀器進行操作監控，一般而言，原水及各池流量計、原水濁度計、各池濁度計及混合池濁度計等，會安裝於現場並將相關資訊回傳監控，在控制條件上，通常設定濾後水超過 1 NTU 會自動將操作系統關閉，在設計上應考量操作的彈性，且配合處理流程的程序，讓穩定的操作作為設計的重要考量。

當原水有高濁度或瞬間濁度上昇的狀態，應從監控儀器上進行控制，除了可控制進水以外，更可調整進入粗濾系統，以降低高濁度進入慢濾池後的濾池阻塞風險，以延長慢濾池之使用壽命。參考控制條件，包括(詳如表 4.3-3)：

表 4.3-3 監測儀器操控參考控制條件

控制項目	設定值
最高原水濁度	5.0 NTU
最高個別濾池濾後水濁度	1.0 NTU
最高混合濾池濾後水濁度	1.0 NTU
高水位警報	依設計值
電力控制警報	依控制設計
低自由餘氯警報	<0.2 mg/L

(資料來源：Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems. Page 39)

十一、遠端監控系統

在某些偏遠地區操作人員因故無法常駐，遠端監控系統的設

置相形重要，透過電話系統或網路系統來達到監控的目的，但以通訊費用來說，電話系統的費用較高，無線電傳輸系統可以考慮進行搭配使用。透過這些系統的設定，讓操作人員更能充分掌握慢濾池之狀態，也可以降低操作安全的風險。

4.3-2 慢濾池之操作與維護

許多的慢濾池操作條件取決於原始的設計條件，而更細微的操作是透過淨水目標的訂定，包括水質、水量等及維護工作，則取決於慢濾池操作時，由各濾池表現出來的狀態。

一、 操作人員的認證

操作人員的專業訓練及認證非常重要，目前根據水利署自來水事業技術人員考驗辦法，相關人員必須符合考驗之規定，才能在專業認證下進行自來水的操作及營運管理。

二、 人員配置

為確保操作品質，慢濾池的操作營運及維護必須有充分的人力進行，根據 AWWA 的建議，操作人力配置(詳如表 4.3-4)

表 4.3-4 操作人力配置表

項次	處理水量 CMD	操作維護人力 小時/天	刮砂所需人力 人. 時
1	250	20 分鐘	10
2	500	20 分鐘	18
3	1000	1 小時	24
4	1500	1.5 小時	36
5	2000	2 小時	48
6	7000	4 小時	100

三、 例行操作維護工作

慢濾池操作主要工作包括，濾池熟成、過濾程序控制及濾砂刮除。

(一)濾池熟成

當新濾池開始運作或是刮砂後之重行啟動運作，皆須藉由完整的生物生長才能達到污染物去除的效果，濾池的熟成的程序為：

1. 打開反向進水閘門，藉由濾水反向的方式將水導入濾池內。
2. 當水位高於濾砂層表面約 30 公分後，關閉反向進水閘門。
3. 打開濾池底部廢水排水閘。
4. 將原水導入慢濾池內。
5. 濾後水予以排除直到濾後水濁度達到設定之操作值，或者是以總菌的去除率或是氨氮的去除率作為停止的設定條件，濾後排出的水可以導入原水內重新進入慢濾池。
6. 關閉濾池底部廢水排水閘，重新開始慢濾池操作。
7. 一般而言，濾池熟成時間約 3~7 天。

(二)濾池程序控制

當慢濾池開始進行過濾，操作人員須根據出水需求進行慢濾池系統操作，根據自動控制的裝置及條件的設定來進行，例行工作包括：

1. 確認濾池濾率，並進行必要之監控及閘類之調整。
2. 確認水頭損失。
3. 確認原水及濾後水的濁度。
4. 檢視濾池設施及相關管線。
5. 檢查抽水機系統。
6. 完成每日必要檢點作業及報表填寫。

(三)濾砂刮除作業

當慢濾池水位達到設定的終點的位置高度後，濾池必須進行刮砂作業，根據水質及溫度，一般刮砂間距時間大約在 1~12 個月，水頭損失的累積是逐步的，所以當評估需進行刮砂作業時必須完成相關的刮砂作業的安排，不同池的操作條件略有不同，因此，須就各別池體的特性來進行相關作業，操作人員也會根據經驗來調整刮砂作業，刮砂作業的安排必須考慮整場的操作，當有其他慢濾池進行濾池熟成作業時，濾池刮砂作業必須適當的排開，以確保出水不因此而受到限制，一般的刮砂程序包括：

1. 關閉原水進水及過濾水閘門。
2. 打開上層浮渣排除管閘門，將過濾池上方的水位降低。
3. 打開過濾池底部廢水閘，將水位降至濾砂層下約 30 公分。
4. 適度的曝曬，讓濾砂層上方的生物活躍層硬化。
5. 使用扒除設備將上方濾砂刮除，其深度為能將生物活躍層加以去除(一般約 5 公分)，刮除後將廢棄的濾砂運出。
6. 在開始進水前，進行濾池熟成。

四、 每日須進行的作業

每日操作人員必須藉由監控儀器的歷史紀錄加以判斷目前的水質狀態及相關操作參數，就水質濁度而言，每日的過濾水濁度必須確保在 1NTU 以下，另，用於濾後水消毒的自由餘氯的 CT，也是必須進行確認的重點。

五、 例行的維護作業

慢濾池例行的維護作業，建議項目(詳如表 4.3-5)。

表 4.3-5 慢濾池例行維護作業建議項目

項目	執行作業	頻率
慢濾池	刮砂	1-12 個月
監控設備	校正	每 1 個月
抽水機設備	補填潤滑油	每 1 年
	軸封檢視	每 1 年
	軸封更換	每 5 年
警報設備	動作測試	每 1 星期

(資料來源：Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems. Page 43)

六、 定期維護

就慢濾池來說，定期維護就是補新砂，當每次刮砂後變會損失一些濾砂，一段時間後濾砂的厚度就會明顯的降低，通常而言，濾砂最少厚度須保持在 50 公分以上，重補濾砂其特性必須與原設計相同，可以補充新濾砂或將舊的濾砂加以清洗後使用，補砂的程序如圖 4.3-3，並不是將新砂置放在舊砂上，而是將新砂放置於下層，而舊砂移置上層。

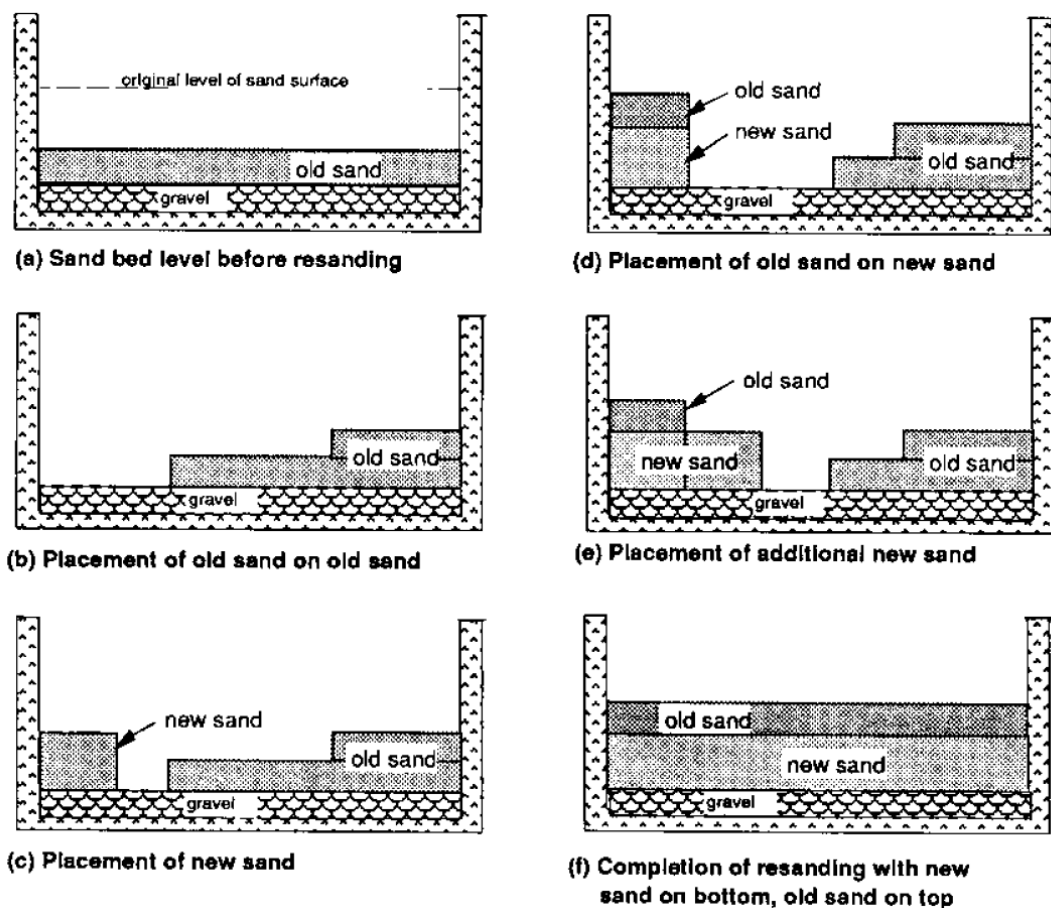


圖 4.3-3 補砂程序參考圖

(資料來源：Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems. Page 44 AWWA, 1991)

慢濾池在淨水技術用以去除有害的污染物來說是相對安全且穩定的，可能造成的風險或傷害通常發生在刮砂及補砂的程序，通常會發生的問題及對應的解決方法(詳如表 4.3-6)：

表 4.3-6 常見慢濾池操作問題彙整表

問題	解決方法
原水濁度不穩定忽高忽低，影響過濾水質及濾砂刮除的間距。	在當濁度其間停止進水，但其前提須有足夠的貯水池，或可利用初過濾設備及初沉池進行濁度前處理，以延長濾砂刮除的間距。
藻類大量生長在濾砂表面縮短濾砂刮除的間距，且產生臭味。	在濾池上方加蓋。
濾池管件發生腐蝕現象	使用 PVC 或 HDPE 管件，或採

問題	解決方法
進出慢濾池困難	用不鏽鋼、鋁製材質。 增設適當的上下設備，確保人員安全及作業便利性
監視儀器、控制設備、遠端監控須要花費操作人員大量時間	採用自動監控設備並落實相關保養及維護工作

(資料來源：Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems. Page 45)

4.4 慢濾池淨水場現場評估成果

4.4-1 汐止營運所白雲淨水場

➤ 基本資料

本場配置圖及淨水流程圖(詳圖 4.4-1 及圖 4.4-2)，於民國 17 年開始啟用，設計出水量 4,500 CMD，水源取自河川水(康誥坑溪)，目前出水量 1,200~3,000 CMD，3 池慢濾池輪流操作。

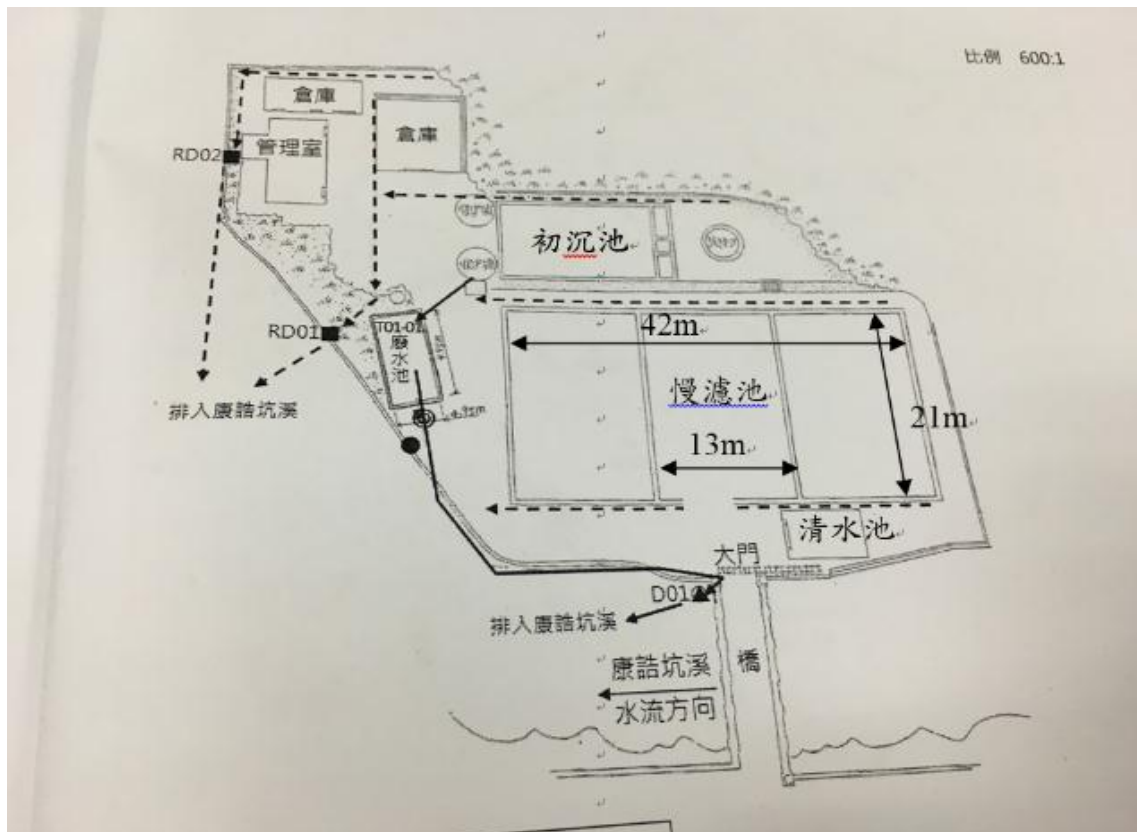


圖 4.4-1 白雲淨水場平面配置圖

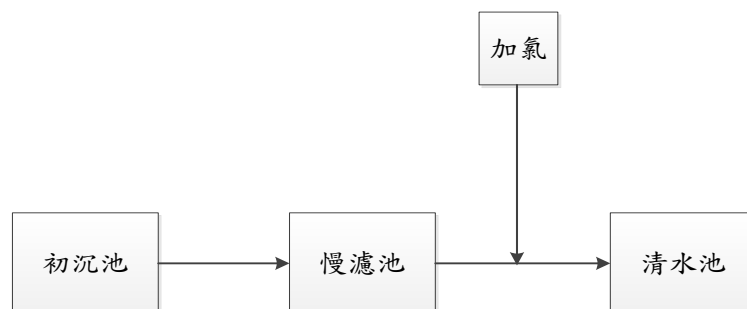


圖 4.4-2 白雲淨水場淨水流程圖

➤ 水質檢驗結果

由表 4.4-1 所示，原水經慢濾系統處理後，其濁度、總鐵、大腸桿菌群、UV₂₅₄ 均明顯下降，氧化還原電位從 211 mV 升至 561 mV，顯示水中呈現好氧狀態微生物作用良好，氨氮也幾乎轉化為硝酸鹽氮。若以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源(terrestrial sources)及微生物源(microbial sources)的來源指標(index = int(Ex/Em) : int(Ex/Em) = int(370/450 nm) : int(370/500 nm))，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水中的微生物源貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，藉由指標的差異可了解環境中天然有機質(NOM)的來源。原水與濾水 1 之陸源/微生物源指標分別為 1.63、1.38 接近 1.4 代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，濾水 2、清水與配水該指標分別為 1.83、2.07、2.0 接近 1.9，代表水中的微生物源貢獻較大，顯示環境中天然有機質經微生物作用後有些微變化，另 SUVA 值均小於 2，有機物組成以非腐植質親水性小分子量為主。

表 4.4-2 所示，總三鹵甲烷清水未檢出、配水 0.00104 mg/L 均符合飲用水水質標準(0.08 mg/L)，因後加氯後於配水管網中有機物反應生成總三鹵甲烷。

圖 4.4-3~圖 4.4-7 螢光光譜分析結果，白雲場原水訊號強多集中於 II、III 區，有機物組成偏屬簡易芳香族蛋白質(II 區)與較疏水性之類黃酸物質(III 區)，經慢濾系統處理後，簡易芳香族蛋白質(II 區)訊號降低，清水及配水又恢復，其中微生物轉化降解簡易芳香族蛋白質。

表 4.4-1 白雲淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)

採樣日期	採樣點	水溫 ℃	pH	濁度 NTU	餘氯 mg/L	氧化還原電位 mV	溶氧 mg/L (%)	色度 鉑鈷單位	鹼度 mg/L as CaCO ₃	硝酸鹽氮 mg/L	亞硝酸鹽氮 mg/L	氨氮 mg/L	總鐵 mg/L	總錳 mg/L	大腸桿菌群 CFU/100ml	UV ₂₅₄ cm ⁻¹	陸源微生物源指標	NPDOC mg/L	SUVA L/mg-m
105.02.24	原水	14.3	7.10	3.6	-	211	10.4	9	18.9	1.28	ND	ND	0.218	ND	3700	0.0102	1.63	1.0	1.020
105.02.24	濾水 1 (慢濾池 1)	14.2	7.39	0.20	-	217	10.2	<5	19.9	1.03	ND	ND	0.0251	ND	57	0.0071	1.38	1.7	0.418
105.02.24	濾水 2 (慢濾池 3)	14.2	7.46	0.15	-	214	10.1	<5	19.9	1.15	ND	0.02	0.0093	ND	30	0.0081	1.83	1.1	0.736
105.02.24	清水	14.2	7.53	0.20	0.36	561	10.3	<5	19.9	1.13	ND	ND	0.0056	ND	<1	0.0092	2.07	0.6	1.533
105.02.24	配水	14.4	7.38	0.25	0.36	541.0	11.1	<5	18.9	1.17	ND	ND	0.0214	ND	<1	0.0061	2.00	0.9	0.678

【註】：ND 表示“未檢出”，“-”表示“無檢測數據”

表 4.4-2 白雲淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)

採樣日期	採樣點	總三鹵甲烷 mg/L
105.02.24	清水	ND
105.02.24	配水	0.00104

【註】：ND 表示“未檢出”，“-”表示“無檢測數據”

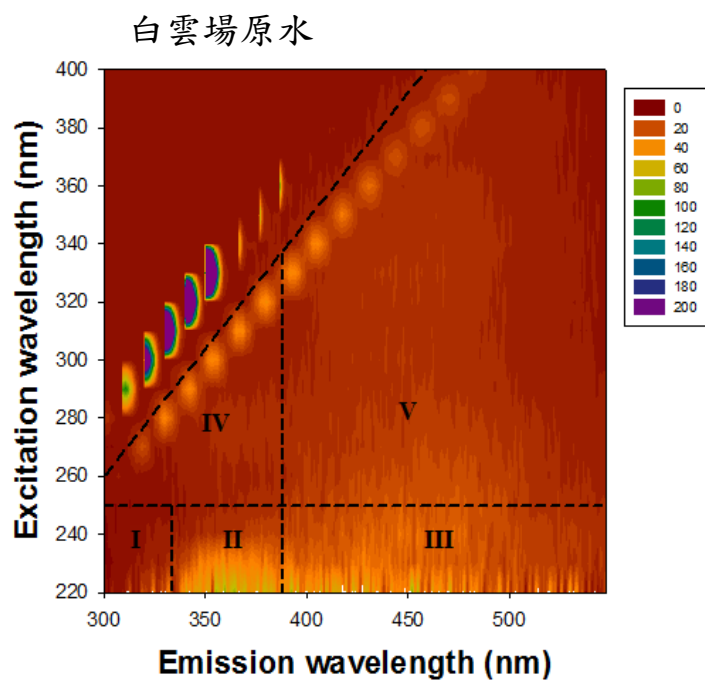


圖 4.4-3 白雲場原水螢光光譜分析結果

白雲場濾水 1

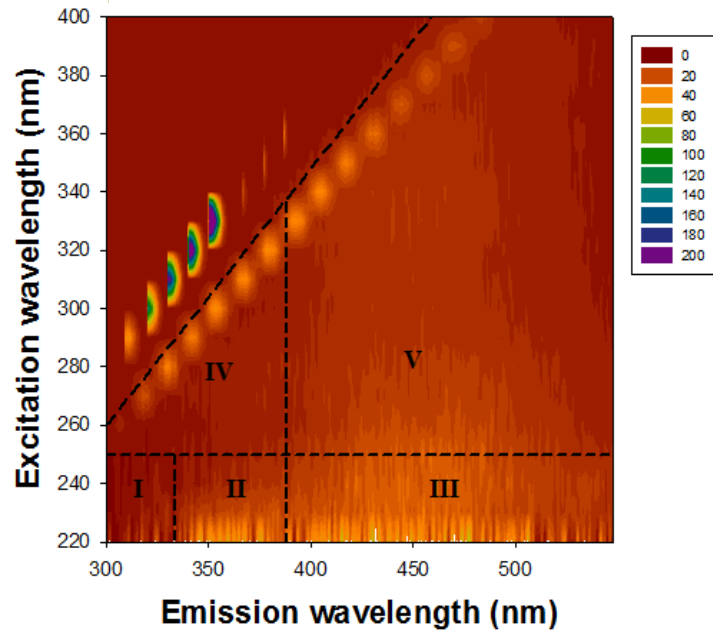


圖 4.4-4 白雲場濾水 1 螢光光譜分析結果

白雲場濾水 2

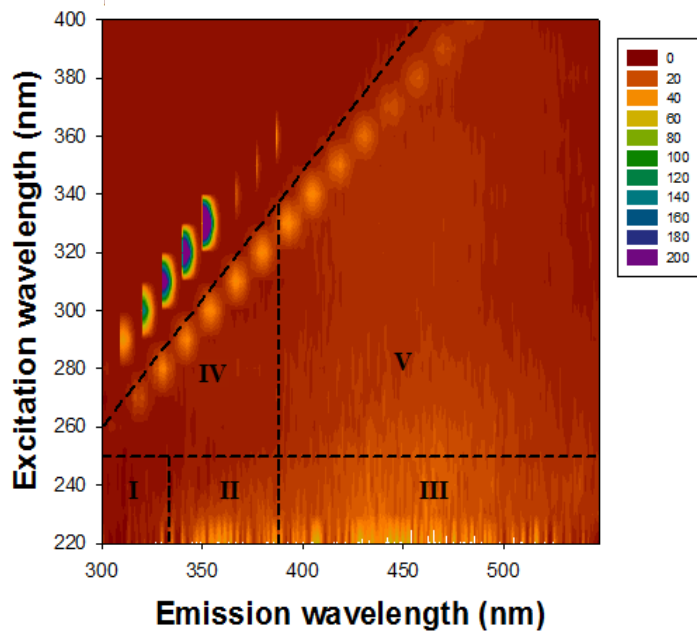


圖 4.4-5 白雲場濾水 2 螢光光譜分析結果

白雲場清水

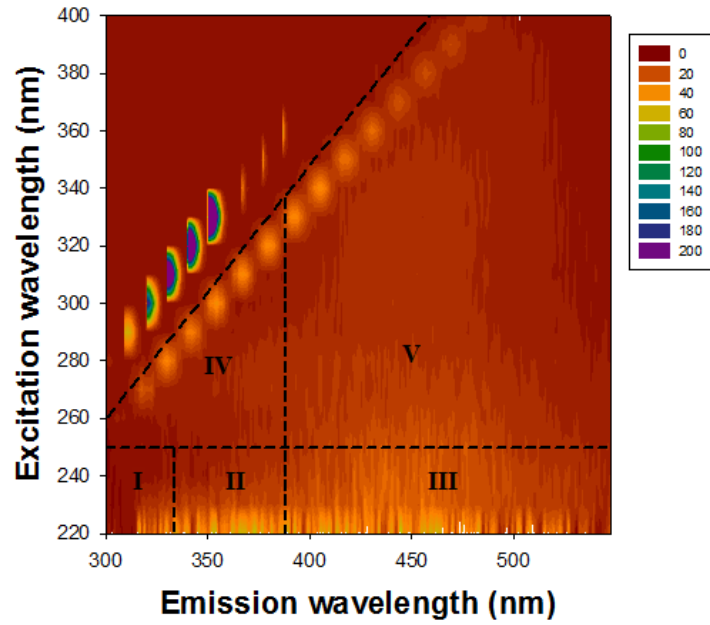


圖 4.4-6 白雲場清水螢光光譜分析結果

白雲場配水

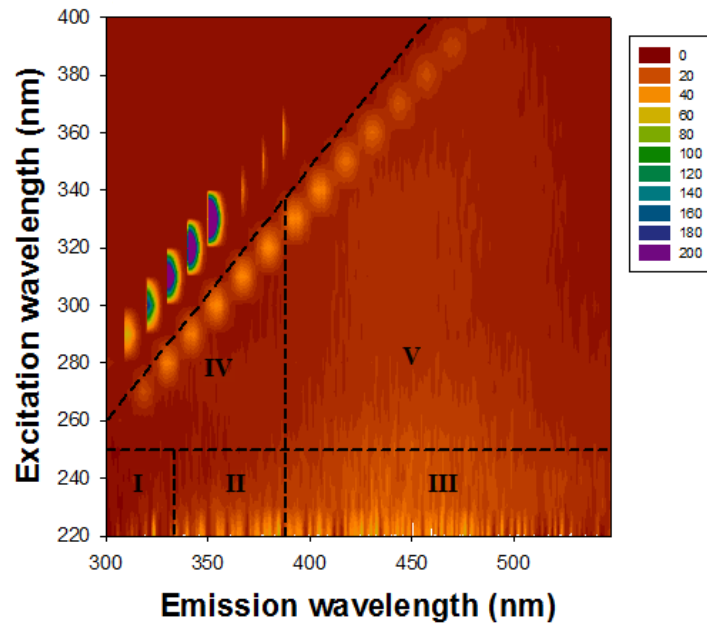


圖 4.4-7 白雲場配水螢光光譜分析結果

➤ 問題及討論

(一) 操作面臨問題

1. 濾水溢流堰(詳圖 4.4-8)高度不夠無法讓慢濾池維持蓄升至滿池(淹過砂面)，加上無反向進水設計，致無法有效將濾砂層中空氣趕出，又因隨過濾時間增加，摩擦損失水頭逐漸增加，當損失水頭大於砂面之水深時，水往下拉產生部分真空，形成負水頭(Negative Head)。若負水頭超出某一限度時，水中溶解之氣體游離而聚積於砂層中導致空氣閉塞(Air binding)，若無及時將濾層中空氣趕出，則易降低過濾效率，影響出水量。
2. 慢濾池輪替操作(詳圖 4.4-9)時，缺少將池水蓄滿淹過砂面停留 5~7 天之“養池”程序，使其建立起完整良好的微生物生態系(藻類、細菌、原生動物…等)，導致經由微生物處理分解作用無法有效發揮，甚為可惜。



圖 4.4-8 白雲場濾水溢流堰照片



圖 4.4-9 白雲場慢濾池輪替操作現場照片

(二)改善建議

1. 因該場本身已運作多年皆無換砂，僅補砂，惟砂層中含泥量太多影響操作及出水量，建議應換砂重新更新以提升處理效能。
2. 增加濾水溢流堰高度，俾利使水位保持在濾砂面以上。
3. 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計)：
 - (1) 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。
 - (2) 亦可於出水幹管上設制水閘，利用其他濾池之過濾水返送。
4. 調節井之高程應在砂面以上，以免產生負水頭。
5. 刮砂深度應加深，要能有效刮除累積在表面上之老舊生物膜，俾使恢復其濾率，提升濾水成效，另刮砂後應需“養池” 5~7 天，讓新的生物膜生長形成完整的生態系，以有效發揮生物處理效能。

4.4-2 文山營運所平溪淨水場

➤ 基本資料

本場配置圖及淨水流程圖(詳圖 4.4-10 及圖 4.4-11)，於民國 76 年開始啟用，設計出水量 3,200 CMD，水源取自河川水(東勢格溪)，目前出水量 236 CMD，1 池慢濾池與 1 座快濾筒混合操作。

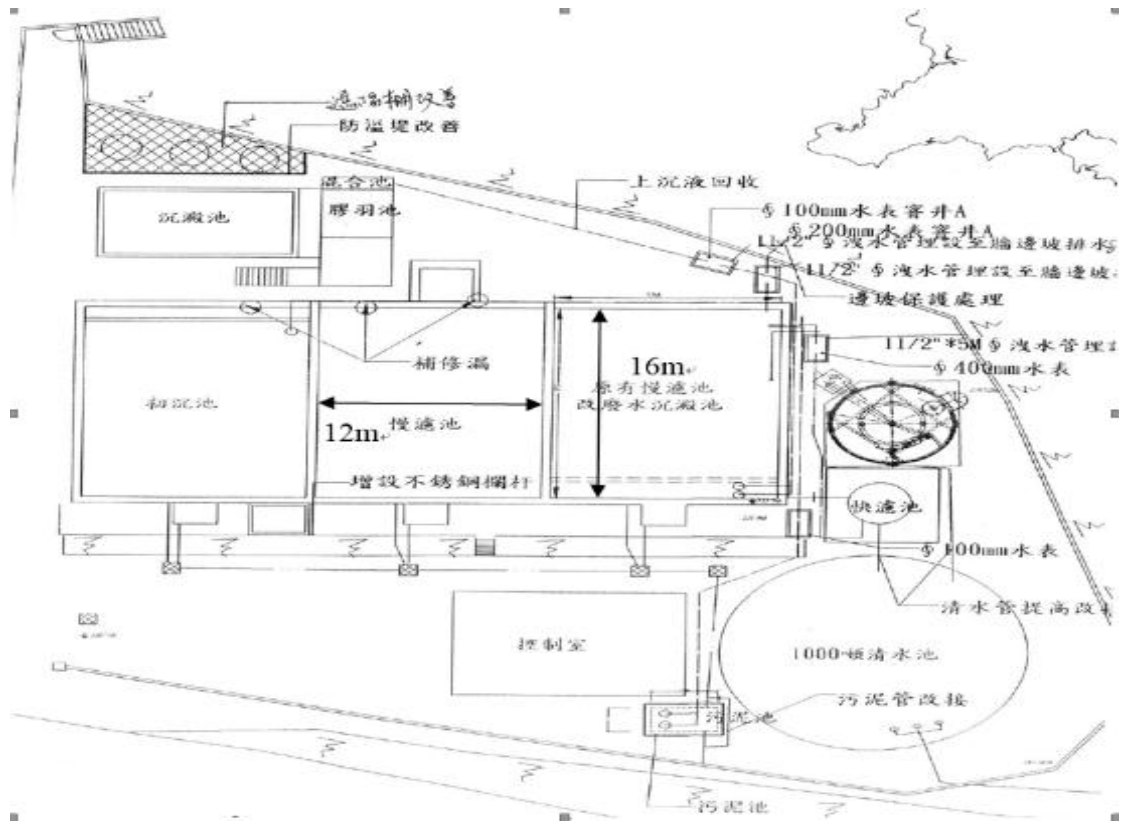


圖 4.4-10 平溪淨水場平面配置圖

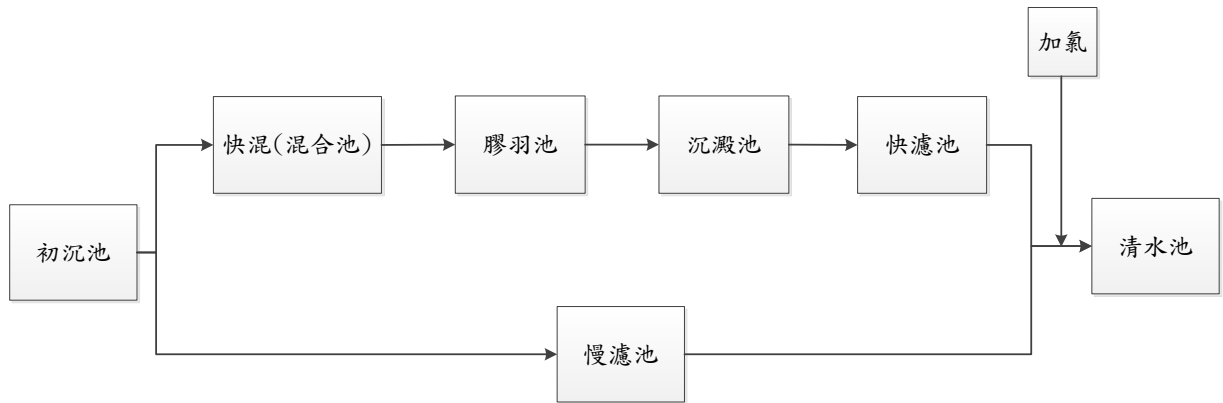


圖 4.4-11 平溪淨水場淨水流程圖

➤ 水質檢驗結果

由表 4.4-3 所示，原水經慢濾系統處理後，其濁度、總鐵、大腸桿菌群、UV₂₅₄ 均明顯下降，氧化還原電位從 211 mV 升至 578 mV，顯示水中呈現好氧狀態微生物作用良好，氨氮也幾乎轉化為硝酸鹽氮。比較慢濾(濾水 1)與快濾(濾水 2)處理後水質，慢濾水質優於快濾，其濁度、色度、氨氮經快濾筒處理後均有上升趨勢。若以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源(terrestrial sources)及微生物源(microbial sources)的來源指標(index = int(Ex/Em) : int(Ex/Em) = int(370/450 nm) : int(370/500 nm))，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水中的微生物源貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，藉由指標的差異可了解環境中天然有機質(NOM)的來源。原水、濾水 1、濾水 2 之陸源/微生物源指標分別為 1.46、1.23、1.27 接近 1.4 代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，過濾前(前加氯)、清水該指標分別為 1.82、1.78 接近 1.9，代表水中的微生物源貢獻較大，顯示環境中天然有機質經微生物作用後有些微變化，另 SUVA 值均小於 2，有機物組成以非腐植質親水性小分子量為主。

表 4.4-4 所示，總三鹵甲烷過濾前水(前加氯)0.00554 mg/L、濾水 1(慢濾池濾後水)0.0221 mg/L、濾水 2(快濾桶濾後水)0.00834 mg/L、清水 0.0113 mg/L 均符合飲用水水質標準(0.08 mg/L)，惟本場採前加氯前處理導致經慢濾微生物作用之有機物與氯作用檢測值上升，快濾桶則因濾率較快與氯接觸時間短，數值僅微幅上升，清水池因後加氯再反應，數值又再增加。

圖 4.4-12~圖 4.4-16 螢光光譜分析結果，平溪場原水訊號強多集中於 II、III 區，有機物組成偏屬簡易芳香族蛋白質(II 區)與較疏水性之類黃酸物質(III 區)，經慢濾系統處理後，類黃酸物質(III 區)訊號降低，微生物轉化降解類黃酸物質(III 區)，其餘濾前水、濾水 2(快濾桶濾後水)、清水訊號相似，有機物組成變化不大。

表 4.4-3 平溪淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)

採樣日期	採樣點	水溫 °C	pH	濁度 NTU	餘氯 mg/L	氧化還原電位 mV	溶氧 mg/L (%)	色度 鉑鈷 單位	鹼度 mg/L as CaCO ₃	硝酸鹽氮 mg/L	亞硝酸鹽氮 mg/L	氨氮 mg/L	總鐵 mg/L	總錳 mg/L	大腸桿菌群 CFU/ 100ml	UV ₂₅₄ cm ⁻¹	陸源微生物源指標	NPDOC mg/L	SUVA L/mg-m
105.02.25	原水	13.9	7.43	1.8	-	274	10.46 (102.2%)	8	22.0	0.65	0.01	0.02	0.123	ND	4200	0.0096	1.46	0.8	1.200
105.02.25	過濾前 (前加氯)	13.7	7.48	0.65	1.36	663	10.37 (101.3%)	<5	22.0	0.74	ND	ND	0.0153	ND	<1	<0.001	1.82	0.5	<0.2
105.02.25	濾水 1 (慢濾池濾後水)	14.1	7.36	0.15	0.10	578.0	10.25 (100.7%)	<5	23.1	0.60	ND	ND	0.0077	ND	<1	<0.001	1.23	0.6	<0.167
105.02.25	濾水 2 (快濾桶濾後水)	13.7	7.54	4.2	0.68	708	10.38 (101.8%)	9	9.4	0.71	ND	0.08	0.0580	ND	<1	0.0018	1.27	1.0	0.180
105.02.25	清水	14.0	7.63	0.20	0.74	720.1	10.38 (101.8%)	<5	23.1	0.63	ND	ND	0.0181	ND	<1	0.0016	1.78	0.5	0.320

【註】：ND 表示“未檢出”，“-”表示“無檢測數據”

表 4.4-4 平溪淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)

採樣日期	採樣點	總三鹵甲烷 mg/L
105.02.25	過濾前 (前加氯)	0.00554
105.02.25	濾水 1 (慢濾池濾後水)	0.0221
105.02.25	濾水 2 (快濾桶濾後水)	0.00834
105.02.25	清水	0.0113

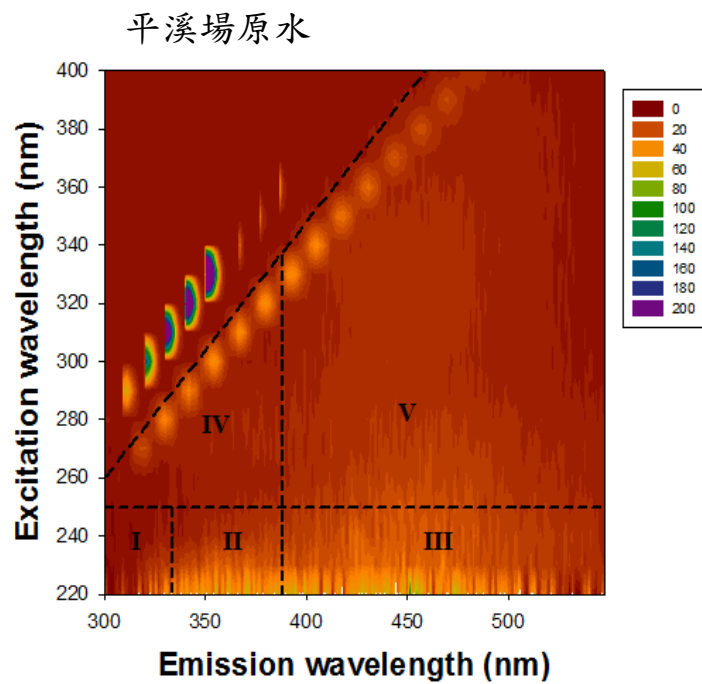


圖 4.4-12 平溪場原水螢光光譜分析結果

平溪場過濾前

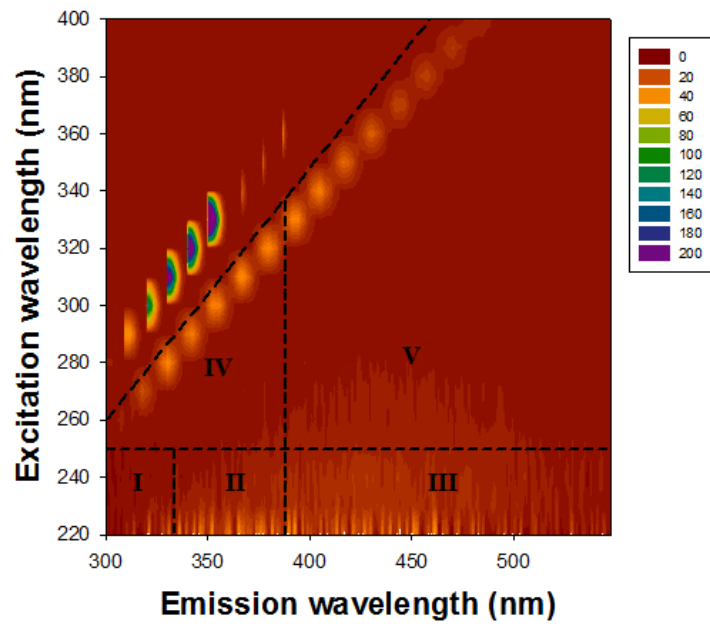


圖 4.4-13 平溪場過濾前螢光光譜分析結果

平溪場濾水 1

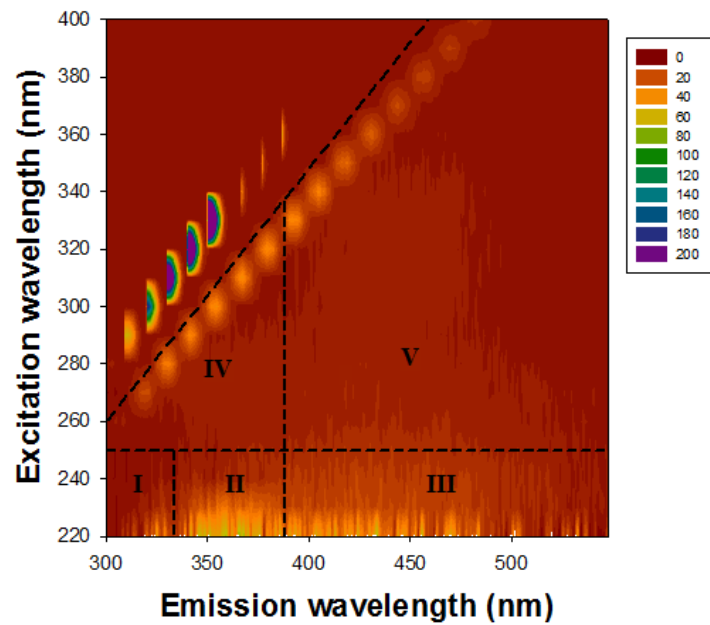


圖 4.4-14 平溪場濾水 1 螢光光譜分析結果

平溪場濾水 2

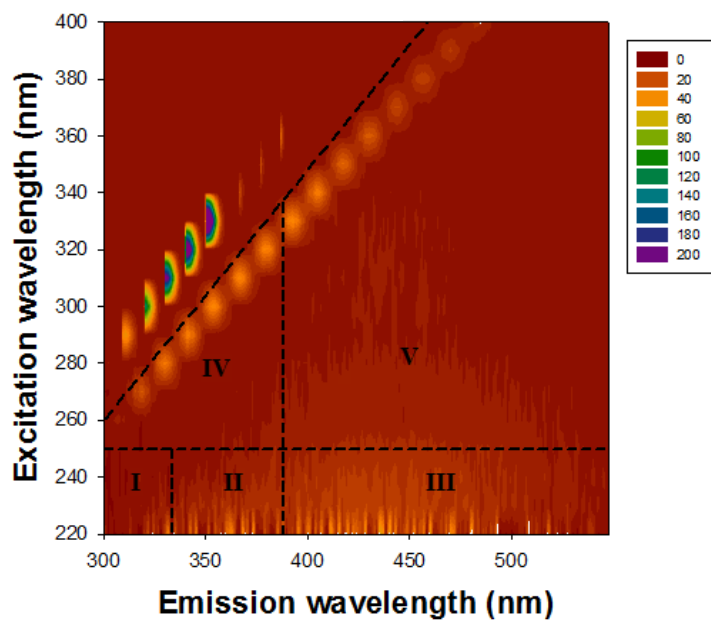


圖 4.4-15 平溪場濾水 2 螢光光譜分析結果

平溪場清水

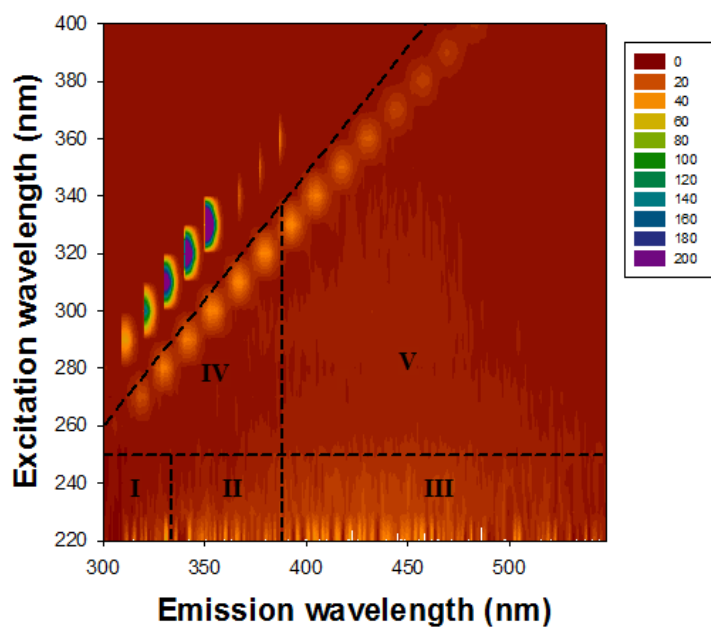


圖 4.4-16 平溪場清水螢光光譜分析結果

➤ 問題及討論

(一)操作面臨問題

為提高出水量，將原先一池慢濾池改為快濾桶操作。

(二)改善建議

1. 本場為慢濾池系統，主要藉由微生物作用達到淨水功效，前加氯恐破壞微生物完整生態系生長，故不宜進行前加氯加藥處理。
2. 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計)：
 - (1) 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。
 - (2) 亦可於出水幹管上設制水閥，利用其他濾池之過濾水返送。
3. 由現場採樣水質檢驗分析數據顯示(詳表 4.4-3)，經快濾後水質反而較慢濾處理差，濁度、色度、氨氮均有上升的趨勢，建議應將快濾桶恢復原慢濾池操作，前處理不宜前加氯，讓微生物生長完整，利用濾砂上之生物膜透過微生物分解作用處理溶解性有機物，淨化水質。

4.4-3 西螺服務所西螺淨水場

➤ 基本資料

本場配置圖及淨水流程圖(詳圖 4.4-18 及圖 4.4-19)，於民國 83 年開始啟用，設計出水量 27,000 CMD，水源取自深井地下水，目前出水量 11,000~12,000 CMD，8 池慢濾池輪替操作(詳圖 4.4-17)。

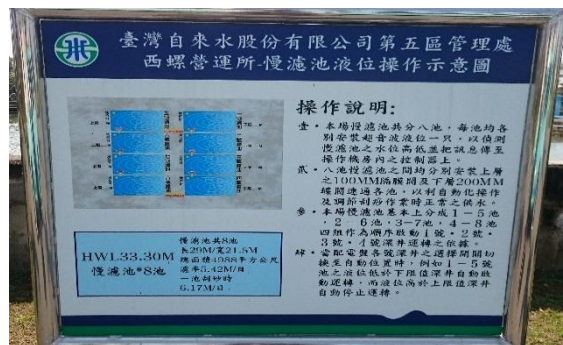


圖 4.4-17 西螺淨水場慢濾池操作示意圖

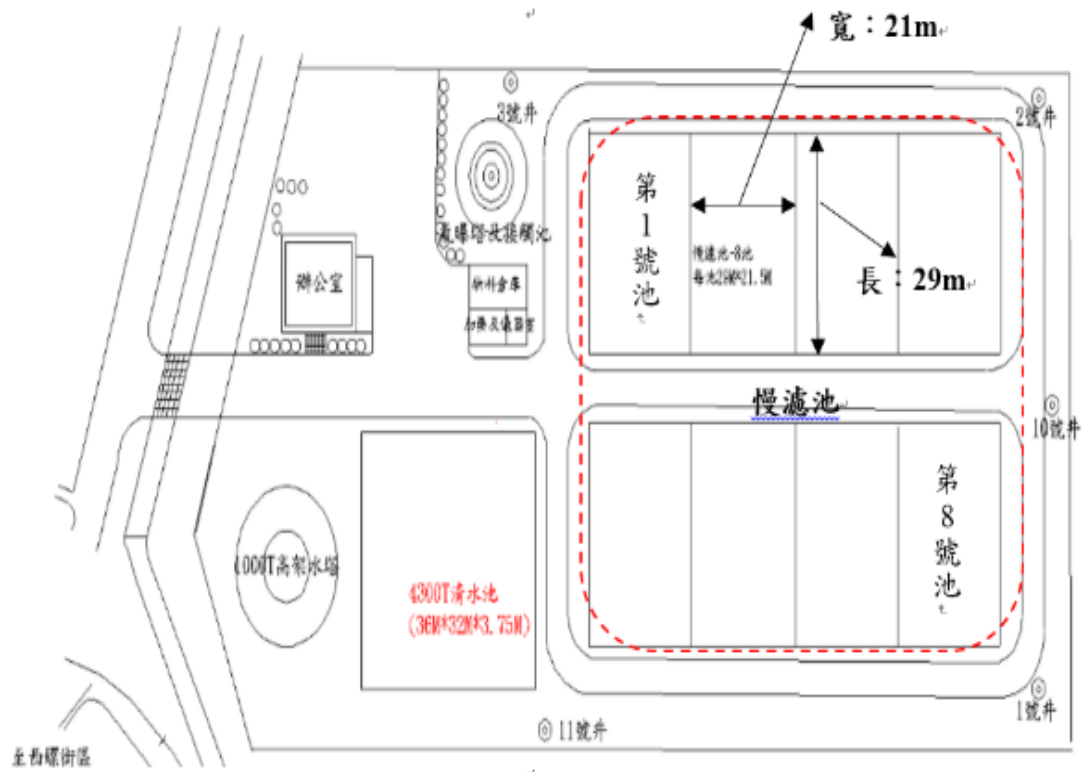


圖 4.4-18 西螺淨水場平面配置圖

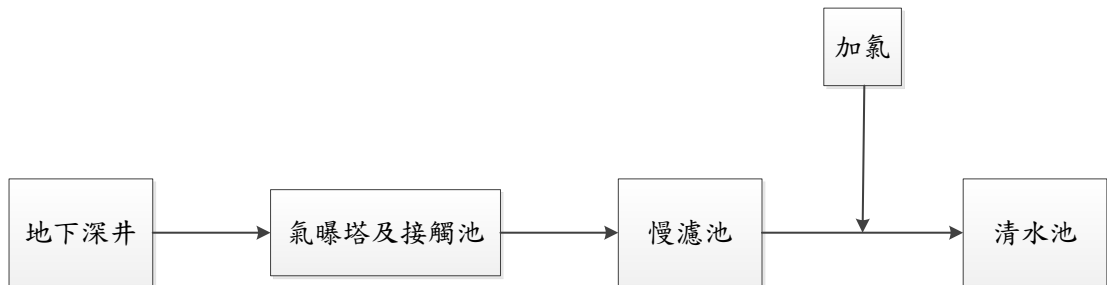


圖 4.4-19 西螺淨水場淨水流程圖

➤ 水質檢驗結果

由表 4.4-5 所示，原水經慢濾系統處理後，其濁度、總鐵、總錳均明顯下降，氧化還原電位從 -33 mV 升至 558 mV，顯示原水從地下深井抽取上來時呈還原態(氧化還原電位為負值)，鐵、錳均偏高，然後經由慢濾池中微生物好氧分解作用，ORP 值逐漸升高，溶氧比例從 10% 上升至 98~100%，鐵、錳值下降(有效被氧化)，處理後水質均符合飲用水水於標準。若以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源(terrestrial sources)及微生物源(microbial sources)的來源指標(index = $\text{int}(\text{Ex}/\text{Em}) : \text{int}(\text{Ex}/\text{Em}) = \text{int}(370/450 \text{ nm}) : \text{int}(370/500 \text{ nm})$)，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水中的微生物源貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，藉由指標的差異可了解環境中天然有機質(NOM)的來源。原水、慢濾池 1 與慢濾池 8 之陸源/微生物源指標分別為 1.26、0.94、1.18 接近 1.4 代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，清水該指標為 1.97 接近 1.9，代表水中的微生物源貢獻較大，顯示環境中天然有機質經微生物作用後有些微變化，另 SUVA 值均小於 2，有機物組成以非腐植質親水性小分子量為主。

表 4.4-6 所示，總三鹵甲烷清水 0.00108 mg/L、配水 0.00112 mg/L 均符合飲用水水質標準(0.08 mg/L)，清水、配水差異並不大，於配水管網再生成總三鹵甲烷並不多。

圖 4.4-20~圖 4.4-24 螢光光譜分析結果，西螺場原水訊號強多集中於 II、III 區，有機物組成偏屬簡易芳香族蛋白質(II 區)與較疏水性之類黃酸物質(III 區)，經慢濾系統處理後，簡易芳香族蛋白質(II 區)與類黃酸物質(III 區)訊號均降低，慢濾池 1 處理效果慢濾池 8 較佳，清水簡易芳香族蛋白質(II 區)訊號稍高，配水與濾後水訊號差異不大，另可知慢濾系統藉由微生物轉化降解使其有機物組成改變。

表 4.4-5 西螺淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)

採樣日期	採樣點	水溫 °C	pH	濁度 NTU	餘氯 mg/L	氧化還原電位 mV	溶氧 mg/L (%)	色度 鉑鈷單位	鹼度 mg/L as CaCO ₃	硝酸鹽氮 mg/L	亞硝酸鹽氮 mg/L	氨氮 mg/L	總鐵 mg/L	總錳 mg/L	大腸桿菌群 CFU/100ml	UV ₂₅₄ cm ⁻¹	陸源微生物源指標	NPDOC mg/L	SUVA L/mg-m
105.03.03	原水	22.4	7.33	0.49	-	-33.0	0.84 (10.0%)	<5	202	0.11	<0.01	ND	1.05	0.168	<1	<0.001	1.26	0.3	<0.333
105.03.03	慢濾池 1 濾後水	21.7	7.54	0.37	-	228	8.52 (98.7%)	<5	203	0.15	ND	ND	0.04	ND	<1	<0.001	0.94	0.3	<0.333
105.03.03	慢濾池 8 濾後水	21.7	7.61	0.41	-	237.4	8.68 (100.1%)	<5	207	0.13	ND	ND	0.06	ND	<1	<0.001	1.18	0.4	<0.250
105.03.03	清水	22.4	7.68	0.41	0.67	558	8.57 (100.2%)	<5	186	0.13	ND	ND	0.03	ND	<1	<0.001	1.97	0.4	<0.250
105.03.03	配水	21.4	7.57	0.33	0.63	623.7	8.49 (98.0%)	<5	184	0.18	ND	ND	0.03	ND	<1	<0.001	0.97	0.3	<0.333

【註】：ND 表示“未檢出”，“-”表示“無檢測數據”

表 4.4-6 西螺淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)

採樣日期	採樣點	總三鹵甲烷 mg/L
105.03.03	清水	0.00108
105.03.03	配水	0.00112

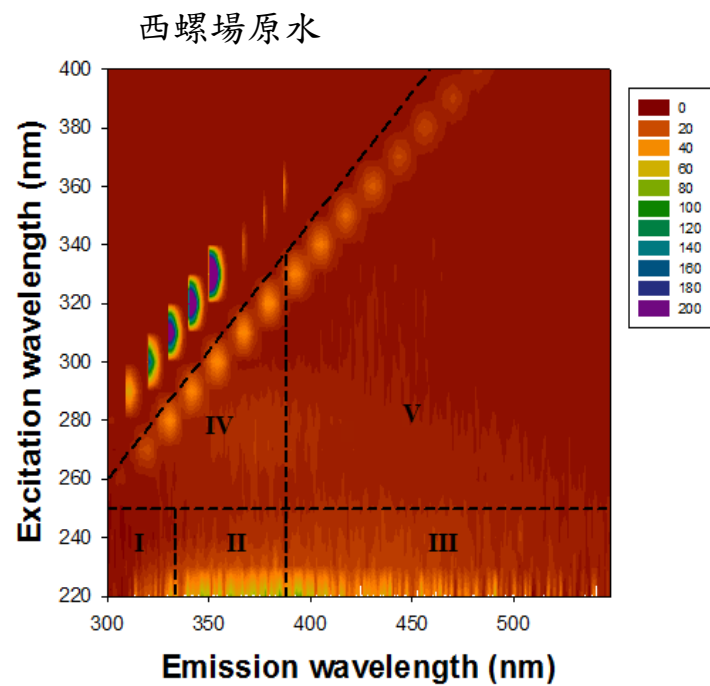


圖 4.4-20 西螺場原水螢光光譜分析結果

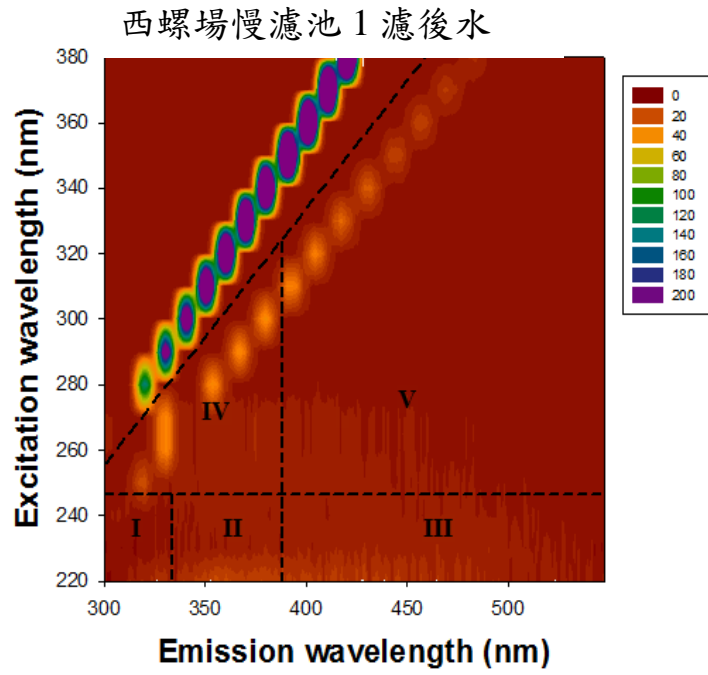


圖 4.4-21 西螺場慢濾池 1 螢光光譜分析結果

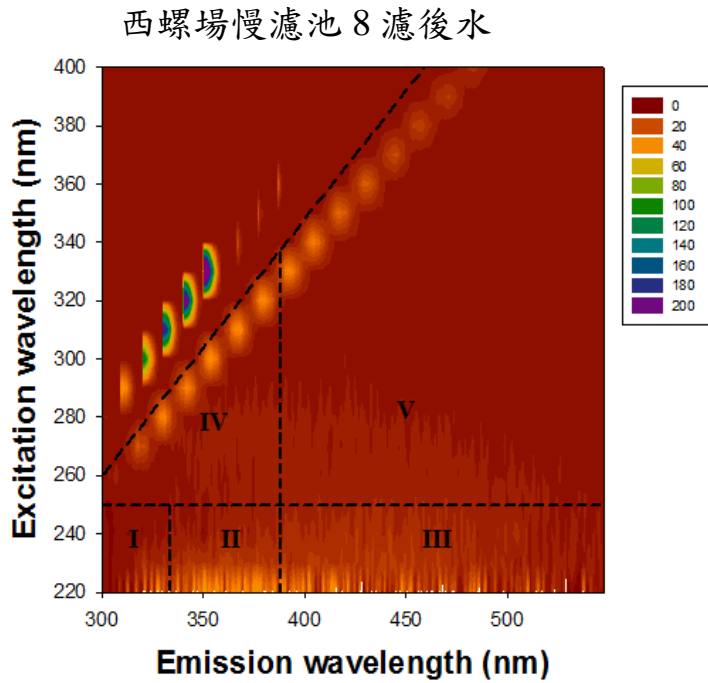


圖 4.4-22 西螺場慢濾池 8 螢光光譜分析結果

西螺場清水

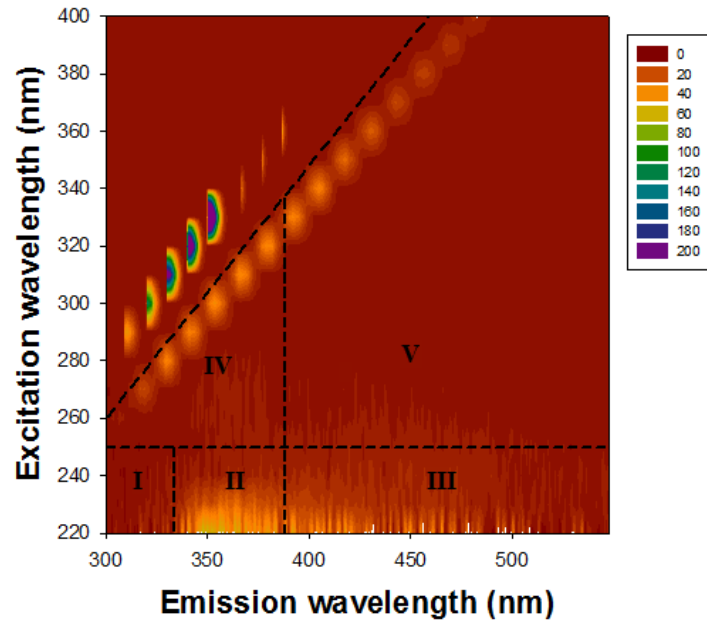


圖 4.4-23 西螺場清水螢光光譜分析結果

西螺場配水

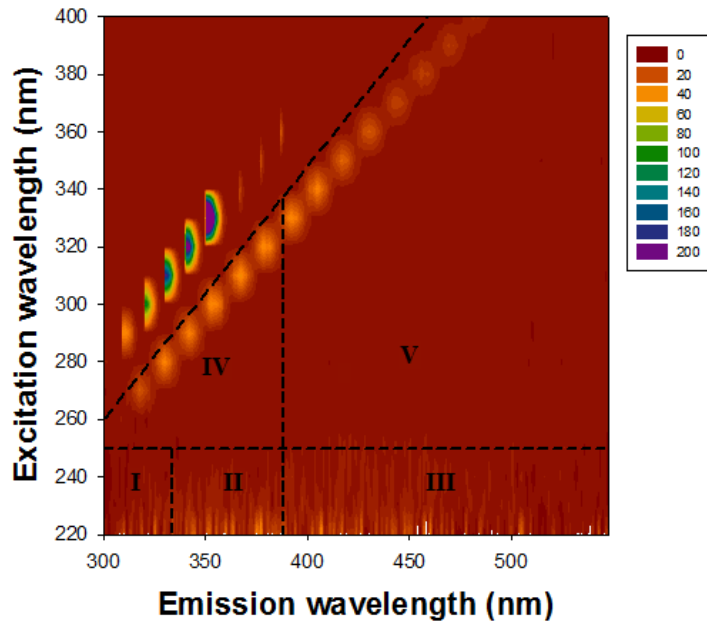


圖 4.4-24 西螺場配水螢光光譜分析結果

➤ 問題及討論

(一)設計問題

1. 濾水溢流堰高度不夠(詳圖 4.4-25)，無法有效蓄水至砂面高度，操作彈性空間受限，出水量無法提升。
2. 濾水溢流堰高度不夠無法讓慢濾池蓄升至滿池(淹過砂面)，加上無反向進水設計，致無法有效將濾砂層中空氣趕出，又因隨過濾時間增加，摩擦損失水頭逐漸增加，當損失水頭大於砂面之水深時，水往下拉產生部分真空，形成負水頭(Negative Head)。若負水頭超出某一限度時，水中溶解之氣體游離而聚積於砂層中導致空氣閉塞(Air binding)，若無及時將濾層中空氣趕出，則易降低過濾效率，影響出水量。

(二)操作面臨問題

1. 慢濾池輪替操作時，缺少將池水蓄滿淹過砂面停留 5~7 天之“養池”程序，使其建立起完整良好的微生物生態系(藻類、細菌、原生動物…等)，導致經由微生物處理分解作用無法有效發揮(詳圖 4.4-26)。
2. 刮砂深度不足(詳圖 4.4-27)，老舊生物膜累積在表面導致濾水效率降低。
3. 因建廠後濾床濾砂無定期汰換，僅補砂而已，無法確認底部濾砂層是否已結塊間接影響濾率及處理效果。

(三)改善建議

1. 增加濾水溢流堰高度，俾利使水位保持在濾砂面以上。
2. 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計)：
 - (1) 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。
 - (2) 亦可於出水幹管上設制水閥，利用其他濾池之過濾水返送。
3. 調節井之高程應在砂面以上，以免產生負水頭。
4. 濾床濾砂開挖重新檢視是否有濾砂結塊情形？若有，重新換補更新整池濾砂(詳圖 4.4-28、圖 4.4-29 及圖 4.4-30)。



圖 4.4-25 西螺場濾水溢流堰照片



圖 4.4-26 西螺場濾池刮砂圖



圖 4.4-27 西螺場刮砂後濾砂剖面圖



圖 4.4-28 開挖濾池濾層剖面圖(挖掘深度 1m)



圖 4.4-29 西螺場濾池開挖結塊情形



圖 4.4-30 西螺場結塊濾砂

4.4-4 虎尾營運所虎尾淨水場

➤ 基本資料

本場配置圖及淨水流程圖(詳圖 4.4-31 及圖 4.4-32)，於民國 20 年開始啟用，設計出水量 5,500 CMD，水源取自深井地下水，目前出水量 1,100 CMD，4 池慢濾池輪替操作。



圖 4.4-31 虎尾淨水場平面配置圖

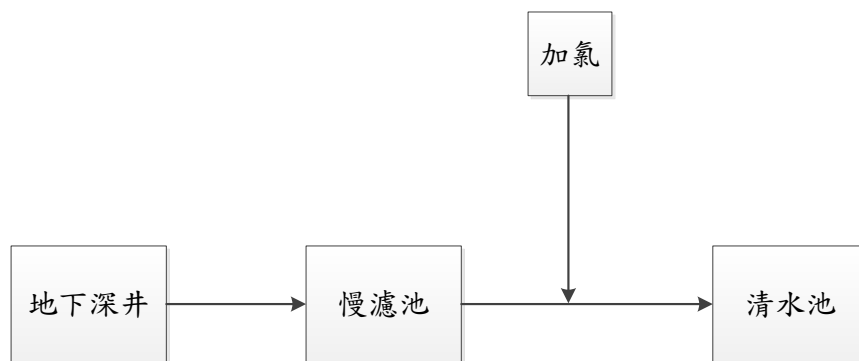


圖 4.4-32 虎尾淨水場淨水流程圖

➤ 水質檢驗結果

由表 4.4-7 所示，原水經慢濾系統處理後，其濁度、氨氮、總鐵、總錳均明顯下降，然後經由慢濾池中微生物好氧分解作用，溶氧比例約從 53% 上升至 85%，鐵、錳、氨氮有效被氧化，處理後水質均符合飲用水水於標準。若以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源 (terrestrial sources) 及微生物源 (microbial sources) 的來源指標 ($\text{index} = \text{int}(\text{Ex}/\text{Em}) : \text{int}(\text{Ex}/\text{Em}) = \text{int}(370/450 \text{ nm}) : \text{int}(370/500 \text{ nm})$)，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水中的微生物源貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，藉由指標的差異可了解環境中天然有機質 (NOM) 的來源。清水陸源/微生物源指標為 1.5 接近 1.4 代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，原水、慢濾池 2 及慢濾池 4 該指標分別為 2.14、1.95 及 2.01 接近 1.9，代表水中的微生物源貢獻較大，顯示環境中天然有機質經微生物作用後有些微變化，另 SUVA 值均小於 2，有機物組成以非腐植質親水性小分子量為主。

表 4.4-8 所示，總三鹵甲烷清水 0.00330 mg/L、配水 0.00391 mg/L 均符合飲用水水質標準 (0.08 mg/L)，清水、配水差異並不大，於配水管網再生成總三鹵甲烷並不多。

圖 4.4-33~圖 4.4-37 螢光光譜分析結果，虎尾場原水訊號與慢濾池 4、清水及配水差異不大，顯示本場經慢濾處理後水中有機物組成變化不大，反而是慢濾池 4 藉由微生物轉化降解使其有機物組成偏向簡易芳香族蛋白質 (II 區) 訊號明顯，推測是濾砂層中所累積之有機物與微生物作用所造成。

表 4.4-7 虎尾淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)

採樣日期	採樣點	水溫 ℃	pH	濁度 NTU	餘氯 mg/L	氧化還原電位 mV	溶氧 mg/L (%)	色度 鉑鈷 單位	鹼度 mg/L as CaCO ₃	硝酸鹽氮 mg/L	亞硝酸鹽氮 mg/L	氨氮 mg/L	總鐵 mg/L	總錳 mg/L	大腸桿菌群 CFU/ 100ml	UV ₂₅₄ cm ⁻¹	陸源微生物源指標	NPDOC mg/L	SUVA L/mg-m
105.03.03	原水	24.5	7.37	2.43	-	319.7	4.41 (53.1%)	<5	150	ND	ND	0.09	0.37	0.272	<1	<0.001	2.14	0.6	<0.167
105.03.03	慢濾池 2 濾後水	22.5	7.88	0.14	-	317	7.22 (85.4%)	<5	191	0.28	ND	ND	0.04	ND	1	<0.001	1.95	0.5	<0.200
105.03.03	慢濾池 4 濾後水	22.2	7.81	0.09	-	323.8	7.21 (84.6%)	<5	190	0.15	ND	ND	0.03	ND	6	<0.001	2.01	0.3	<0.333
105.03.03	清水	20.2	8.00	0.28	0.60	547.0	8.87 (100.9%)	<5	150	0.33	ND	ND	0.04	ND	<1	<0.001	1.50	0.6	<0.167
105.03.03	配水(林內 混合供水)	19.9	8.10	0.16	0.50	601.1	9.41 (105.8%)	<5	142	0.37	ND	ND	ND	ND	<1	<0.001	2.47	0.7	<0.143

【註】：ND 表示“未檢出”，“-”表示“無檢測數據”

表 4.4-8 虎尾淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)

採樣日期	採樣點	總三鹵甲烷 mg/L
105.03.03	清水	0.00330
105.03.03	配水	0.00391

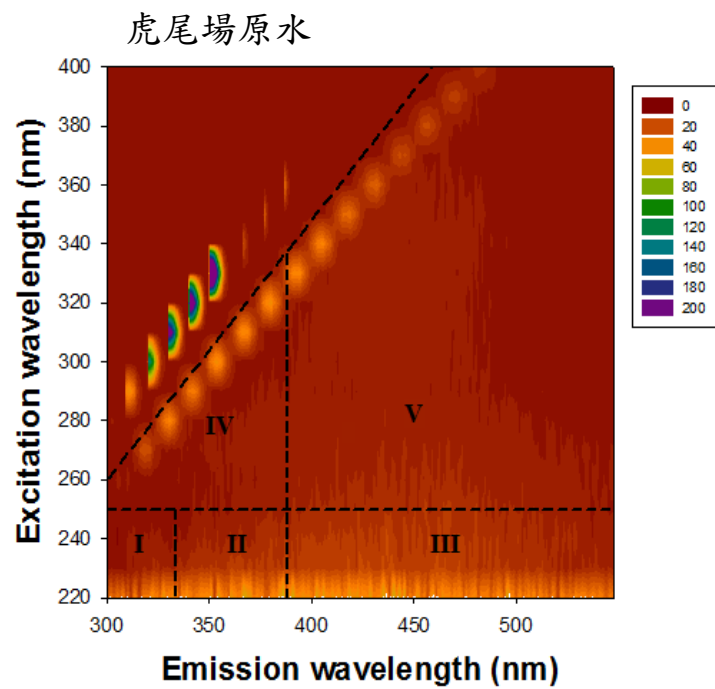


圖 4.4-33 虎尾場原水螢光光譜分析結果

虎尾場慢濾池 2 濾後水

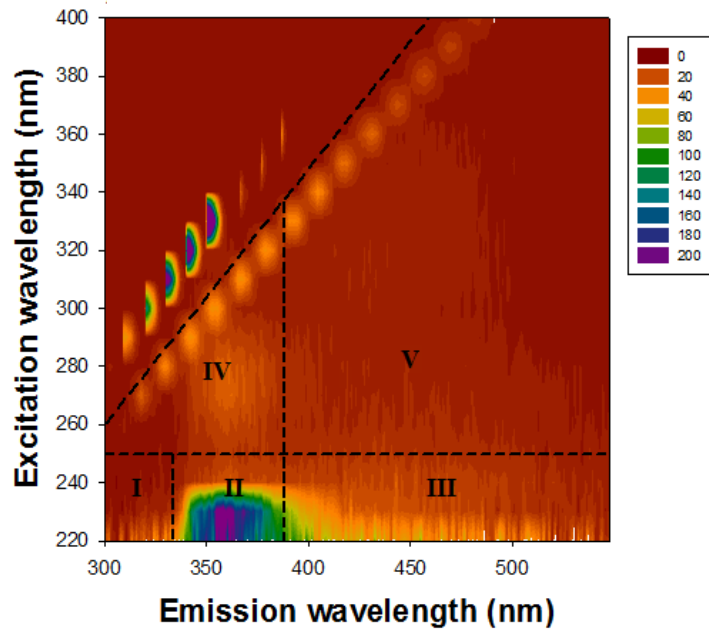


圖 4.4-34 虎尾場慢濾池 2 螢光光譜分析結果

虎尾場慢濾池 4 濾後水

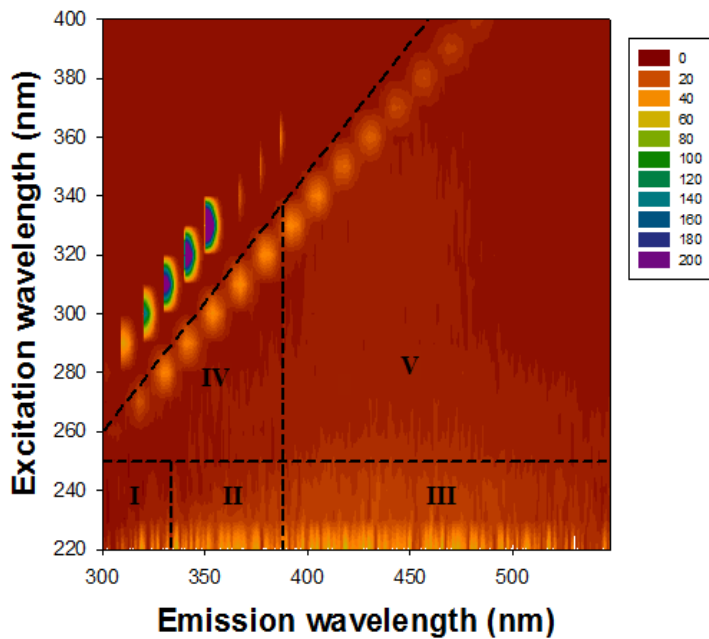


圖 4.4-35 虎尾場慢濾池 4 螢光光譜分析結果

虎尾場清水

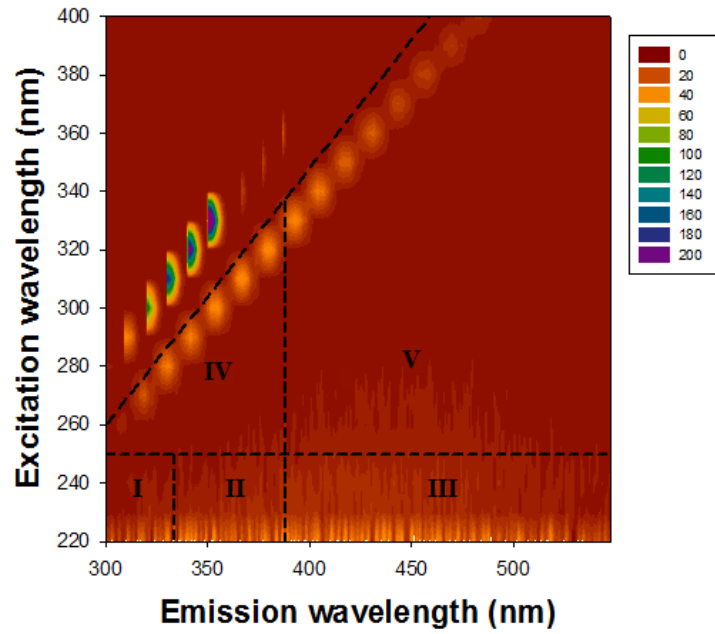


圖 4.4-36 虎尾場清水螢光光譜分析結果

虎尾場配水

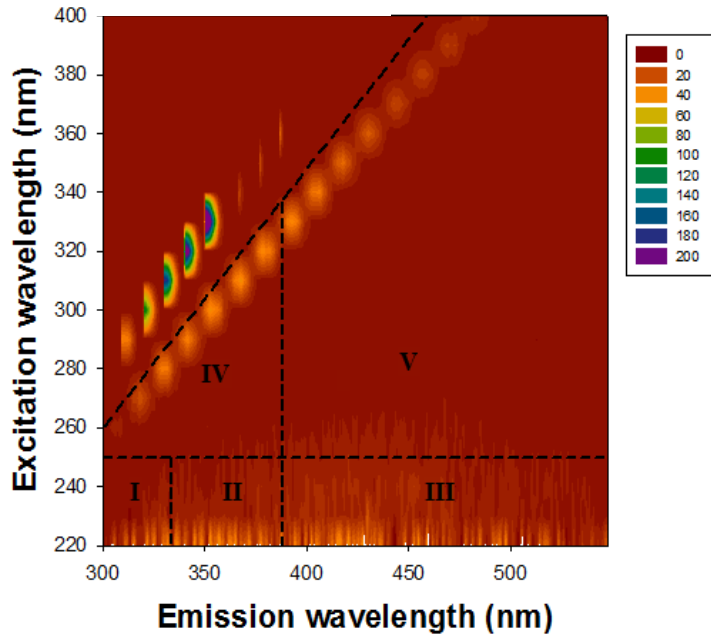


圖 4.4-37 虎尾場配水螢光光譜分析結果

➤ 問題及討論

(一)設計問題

1. 濾水溢流堰高度不夠(詳圖 4.4-38)，無法有效蓄水至砂面高度，操作彈性空間受限，出水量無法提升。
2. 濾水溢流堰高度不夠無法讓慢濾池蓄升至滿池(淹過砂面)，加上無反向進水設計，致無法有效將濾砂層中空氣趕出，又因隨過濾時間增加，摩擦損失水頭逐漸增加，當損失水頭大於砂面之水深時，水往下拉產生部分真空，形成負水頭(Negative Head)。若負水頭超出某一限度時，水中溶解之氣體游離而聚積於砂層中導致空氣閉塞(Air binding)，若無及時將濾層中空氣趕出，則易降低過濾效率，影響出水量。

(二)操作面臨問題

1. 刮砂深度不足(詳圖 4.4-39)，老舊生物膜累積在表面導致濾水效率降低。
2. 慢濾池輪替操作時(詳圖 4.4-40)，缺少將池水蓄滿淹過砂面停留 5~7 天之“養池”程序，使其建立起完整良好的微生物生態系(藻類、細菌、原生動物…等)，導致經由微生物處理分解作用無法有效發揮，甚為可惜。
3. 刮砂工程無廠商承攬。
4. 廢砂無法棄置(目前送雲林場初沉池再利用)。

(三)改善建議

1. 增加濾水溢流堰高度，俾利使水位保持在濾砂面以上。
2. 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計)：
 - (1) 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。
 - (2) 亦可於出水幹管上設制水閘，利用其他濾池之過濾水返送。
3. 調節井之高程應在砂面以上，以免產生負水頭。



圖 4.4-38 虎尾場濾水溢流堰照片



圖 4.4-39 虎尾場濾池刮砂圖



圖 4.4-40 虎尾場 2 號慢濾池

4.4-5 澎湖營運所吉貝淨水場

➤ 基本資料

本場配置圖及淨水流程圖(詳圖 4.4-41 及圖 4.4-42)，於民國 77 年由簡易自來水接管開始啟用，設計出水量 1,000 CMD，水源取自深井地下水，目前出水量 230~500 CMD，2 池慢濾池輪替操作。

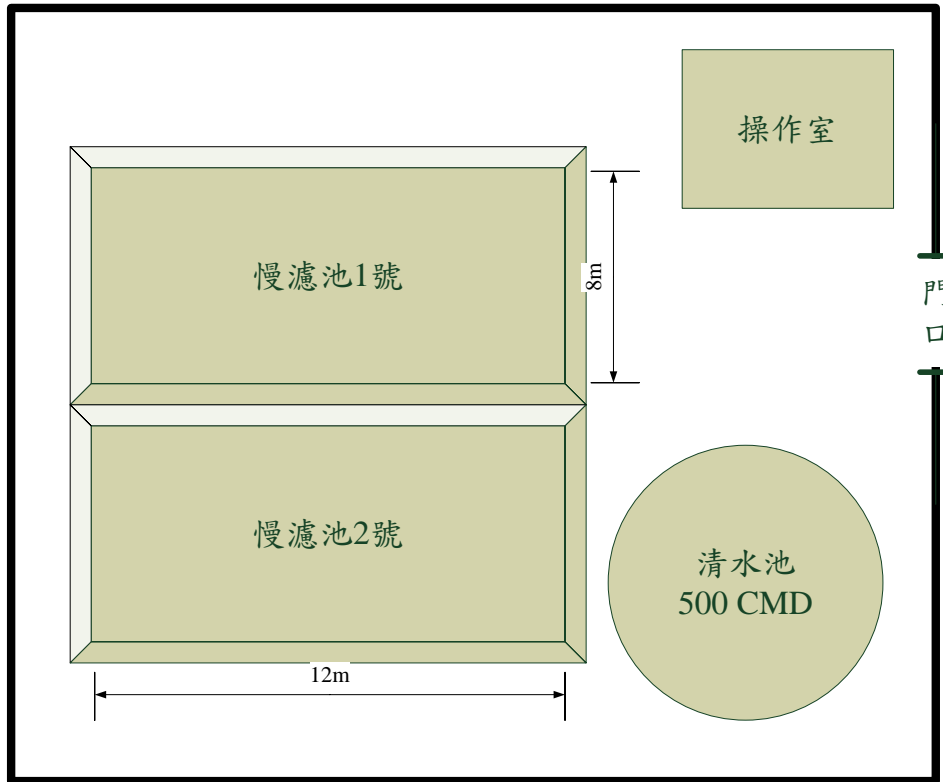


圖 4.4-41 吉貝淨水場平面配置簡圖

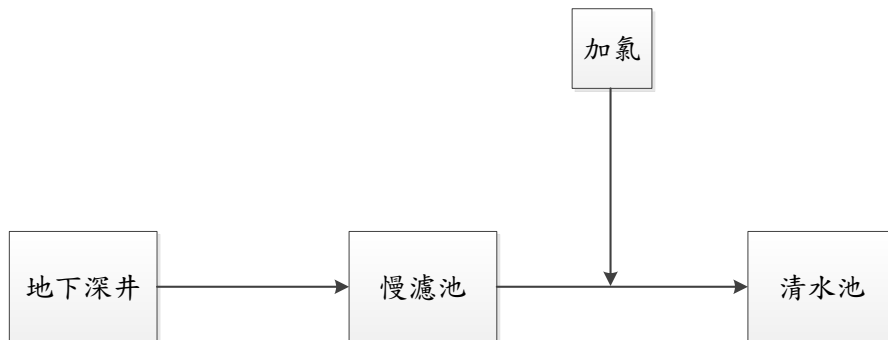


圖 4.4-42 吉貝淨水場淨水流程圖

➤ 水質檢驗結果

由表 4.4-9 所示，原水經慢濾系統處理後，其濁度、總鐵、總錳反而增加，推測可能原因為濾池進流水為批次操作，處理水無整池蓄滿致生物膜生長不均勻，僅部分區域生成，造成一些累積在濾砂層中之濁度顆粒、鐵、錳貫穿，另外，氧化還原電位值原水與濾後水亦無明顯變化，顯示生物好氧分解效率不彰。由清水與配水之濁度、餘氯及氧化還原電位等數據比較，濁度些微上升，餘氯由 0.27 mg/L 消耗至 0 mg/L，氧化還原電位亦從 501 mV 降至 266 mV，顯示配水管網中還有部分耗氯物質。若以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源(terrestrial sources)及微生物源(microbial sources)的來源指標(index = $\text{int}(\text{Ex}/\text{Em}) : \text{int}(\text{Ex}/\text{Em}) = \text{int}(370/450 \text{ nm}) : \text{int}(370/500 \text{ nm})$)，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水中的微生物源貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，藉由指標的差異可了解環境中天然有機質(NOM)的來源。清水陸源/微生物源指標為 1.27 接近 1.4 代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，原水、濾後水及配水該指標分別為 2.15、1.71 及 2.32 接近 1.9，代表水中的微生物源貢獻較大，顯示環境中天然有機質經微生物作用後有些微變化，另 SUVA 值均小於 2，有機物組成以非腐植質親水性小分子量為主。

表 4.4-10 所示，總三鹵甲烷清水 0.00709 mg/L、配水 0.00767 mg/L 均符合飲用水水質標準(0.08 mg/L)，清水、配水差異並不大，於配水管網再生成總三鹵甲烷並不多。

圖 4.4-43~圖 4.4-46 螢光光譜分析結果，吉貝場原水訊號強多集中於 II、III、V 區，有機物組成偏屬簡易芳香族蛋白質(II 區)、類黃酸物質(III 區)與類腐植酸物質(V 區)，經慢濾處理後訊號均明顯減弱，濾後水、清水及配水差異不大，顯示本場經慢濾處理微生物已有效將有機物轉化降解，其後加氯消毒進入清水池及配水管網中再反應及轉化之有機物不多。

表 4.4-9 吉貝淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)

採樣日期	採樣點	水溫 ℃	pH	濁度 NTU	餘氯 mg/L	氧化還原電位 mV	溶氧 mg/L (%)	色度 鉑鈷單位	鹼度 mg/L as CaCO ₃	硝酸鹽氮 mg/L	亞硝酸鹽氮 mg/L	氨氮 mg/L	總鐵 mg/L	總錳 mg/L	大腸桿菌群 CFU/100ml	UV ₂₅₄ cm ⁻¹	陸源微生物源指標	NPDOC mg/L	SUVA L/mg-m
105.03.17	原水	28.4	7.14	0.32	-	271.6	4.47 (55.9%)	<5	173.0	0.10	ND	0.51	0.06	ND	<1	0.0030	2.15	0.4	0.750
105.03.17	慢濾池 濾後水	20.7	7.07	0.32	-	291	7.38 (85.2%)	<5	298	0.67	ND	ND	0.10	0.173	<1	0.0046	1.71	1.0	0.460
105.03.17	清水	23.3	8.32	0.54	0.27	501	8.48 (100.2%)	<5	161	0.33	ND	ND	0.02	ND	<1	0.0018	1.27	0.4	0.450
105.03.17	配水	22.6	8.28	0.59	0.00	266	8.63 (96.7%)	<5	165	0.26	ND	ND	ND	ND	<1	0.0026	2.32	0.4	0.650

【註】：ND 表示“未檢出”，“-”表示“無檢測數據”

表 4.4-10 吉貝淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)

採樣日期	採樣點	總三鹵甲烷 mg/L
105.03.17	清水	0.00709
105.03.17	配水	0.00767

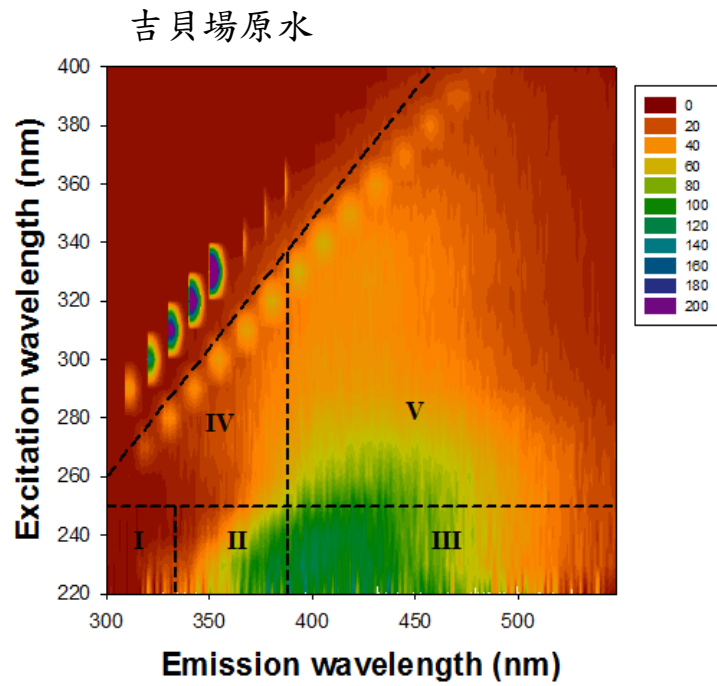


圖 4.4-43 吉貝場原水螢光光譜分析結果

吉貝場慢濾池濾後水

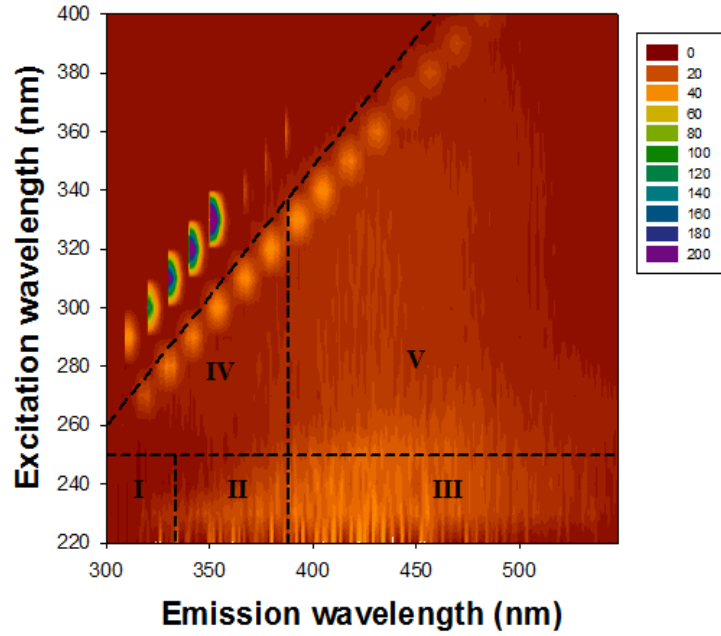


圖 4.4-44 吉貝場濾後水螢光光譜分析結果

吉貝場清水

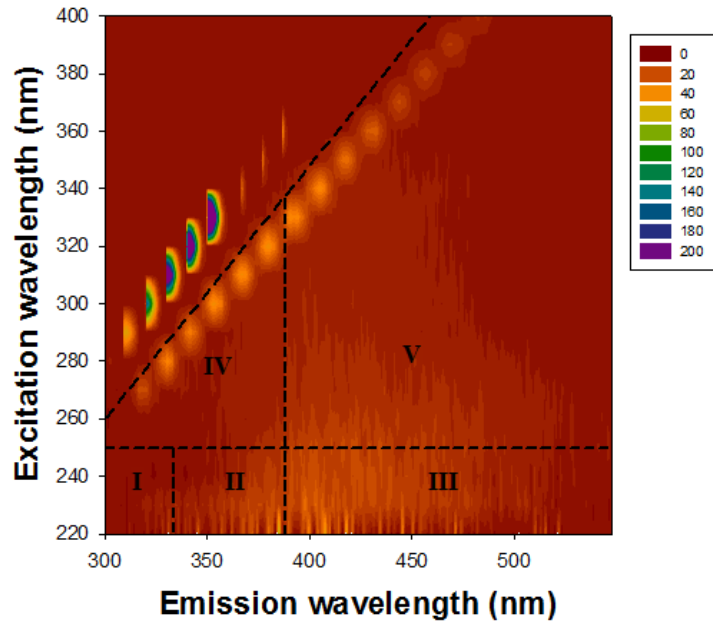


圖 4.4-45 吉貝場清水螢光光譜分析結果

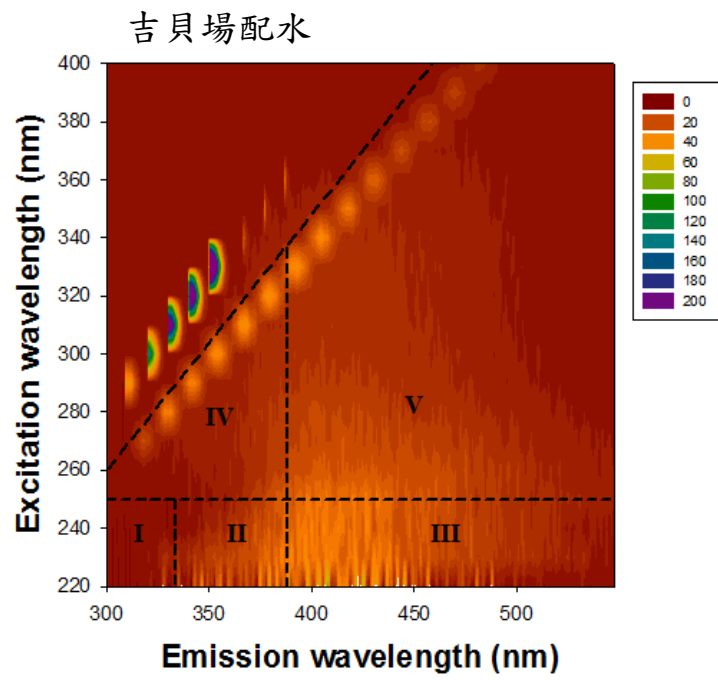


圖 4.4-46 吉貝場配水螢光光譜分析結果

➤ 問題及討論

(一)設計問題

1. 濾水溢流堰高度不夠(詳圖 4.4-47)，無法有效蓄水至砂面高度，操作彈性空間受限，出水量無法提升。
2. 濾水溢流堰高度不夠無法讓慢濾池蓄升至滿池(淹過砂面)，加上無反向進水設計，致無法有效將濾砂層中空氣趕出，又因隨過濾時間增加，摩擦損失水頭逐漸增加，當損失水頭大於砂面之水深時，水往下拉產生部分真空，形成負水頭(Negative Head)。若負水頭超出某一限度時，水中溶解之氣體游離而聚積於砂層中導致空氣閉塞(Air binding)，若無及時將濾層中空氣趕出，則易降低過濾效率，影響出水量。

(二)操作面臨問題

1. 濾水控制閥老舊，又因場所臨海閥件腐蝕嚴重，目前操作控制不便(詳圖 4.4-48)。
2. 刮砂深度不足(詳圖 4.4-49)，老舊生物膜累積在表面導致濾水效率降低。
3. 慢濾池輪替操作時(詳圖 4.4-50)，缺少將池水蓄滿淹過砂面停留 5~7 天之“養池”程序，使其建立起完整良好的微生物生態系(藻類、細菌、原生動物…等)，導致經由微生物處理分解作用無法有效發揮，甚為可惜。
4. 濾水程序為批次操作，出水量大時液位常常低於砂面(僅部分區塊水位有浸潤至砂面上)，微生物生態系無法均勻生長形成完整生物膜，將會影響生物處理成效(詳圖 4.4-50)。

(三)改善建議

1. 濾水控制閥老舊，又因場所臨海腐蝕嚴重，目前操作控制不便，建議更換成“T”字連桿便於操作人員操作控制。
2. 增加濾水溢流堰高度，俾利使水位保持在濾砂面以上。
3. 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計)：
 - (1) 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。
 - (2) 亦可於出水幹管上設制水閥，利用其他濾池之過濾水返送。

4. 調節井之高程應在砂面以上，以免產生負水頭。
5. 刮砂深度應加深，要能有效刮除累積在表面上之老舊生物膜，俾使恢復其濾率，提升濾水成效，另刮砂後應需“養池” 5~7 天，讓新的生物膜生長形成完整的生態系，以有效發揮生物處理效能。



圖 4.4-47 吉貝場濾水溢流堰照片



圖 4.4-48 吉貝場濾水控制閥老舊



圖 4.4-49 吉貝場慢濾池老舊生物膜(完整生態系)



圖 4.4-50 吉貝場慢濾池輪替操作現場照片

4.4-6 澎湖營運所西嶼淨水場

➤ 基本資料

本場配置圖及淨水流程圖(詳圖 4.4-52 及圖 4.4-53)，於民國 84 年開始啟用，設計出水量 2,200 CMD，水源取自地下水(西嶼深井)及水庫水(小池水庫)，目前出水量 800 CMD，2 池慢濾池輪替操作(詳圖 4.4-51)。



圖 4.4-51 西嶼淨水場慢濾池現場圖

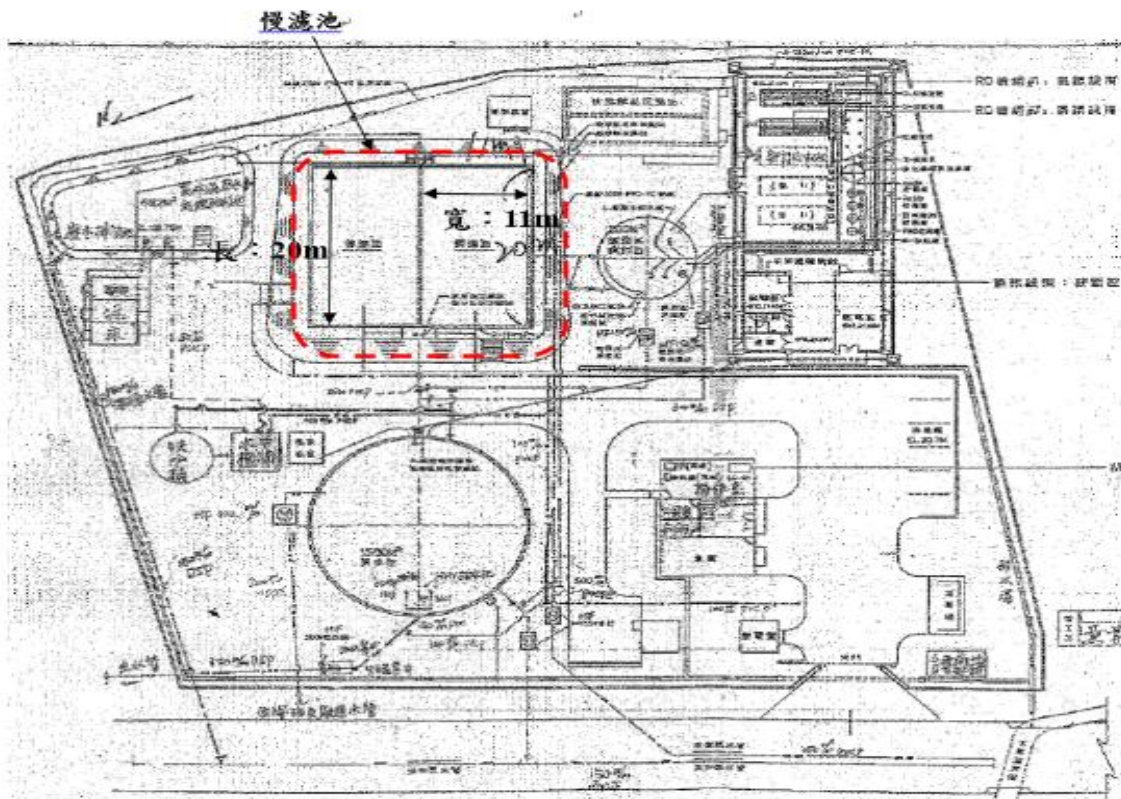


圖 4.4-52 西嶼淨水場平面配置圖

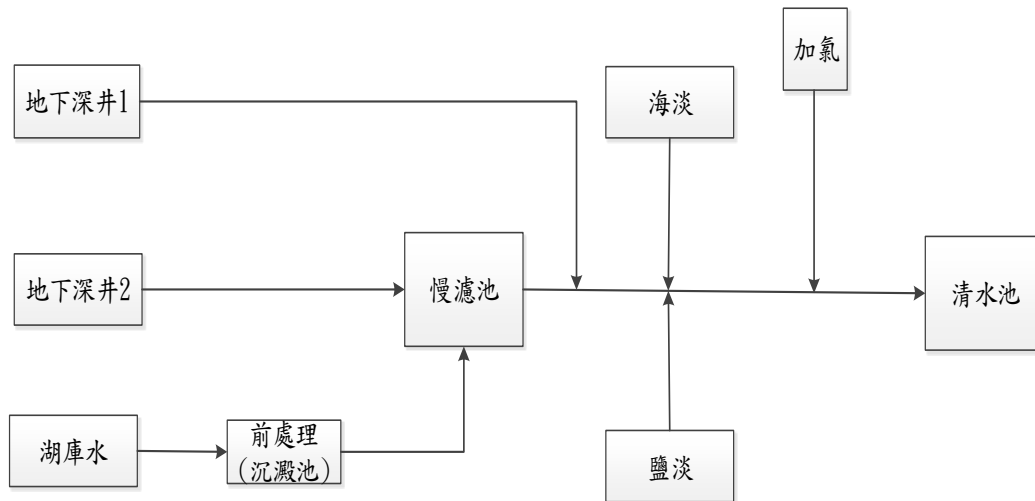


圖 4.4-53 西嶼淨水場淨水流程圖

➤ 水質檢驗結果

由表 4.4-11 所示，原水經慢濾系統處理後，其濁度、色度、總鐵、總錳均明顯下降，因原水(湖庫水)有先經過加藥(硫酸鋁)前處理，消耗鹼度(由 261.4 mg/L as CaCO₃ 降至 197.6 mg/L as CaCO₃)，去除色度、鐵及錳，因先將地下深井水與湖庫水兩股水源混合後才進慢濾池，故其氧化還原電位由 210 mV 降至 170 mV，溶氧比例由 98.0% 降至 77.8%，總錳上升，濾後水水質均符合飲用水水於標準。若以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源(terrestrial sources)及微生物源(microbial sources)的來源指標(index = int(Ex/Em) : int(Ex/Em) = int(370/450 nm) : int(370/500 nm))，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水中的微生物源貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，藉由指標的差異可了解環境中天然有機質(NOM)的來源。原水、沉澱後水、慢濾前混合水、慢濾池濾後水與清水之陸源/微生物源指標分別為 2.05、2.03、1.72、2.09 與 1.95 均接近 1.9，代表水中的微生物源貢獻較大。另 SUVA 值原水大於 2，有機物以疏水性與親水性混合為主，餘均小於 2，有機物組成以非腐植質親水性小分子量為主，代表環境中天然有機質經微生物作用後有些微變化。

表 4.4-12 所示，總三鹵甲烷清水 0.00709 mg/L 符合飲用水水質標準(0.08 mg/L)。

圖 4.4-54~圖 4.4-58 螢光光譜分析結果，西嶼場原水訊號強多集中於 II、III、V 區，其中又以疏水性之類黃酸物質(III 區)訊號最強，有機物組成偏屬簡易芳香族蛋白質(II 區)、類黃酸物質(III 區)與類腐植酸物質(V 區)，沉澱後水之類黃酸物質(III 區)訊號明顯下降，慢濾前混合水與濾後水差異不大，主要集中在 II、III 區，但訊號亦已減弱，清水則幾乎降解完畢，顯示本場之有機物經慢濾處理能透過微生物將其轉化降解。

表 4.4-11 西嶼淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)

採樣日期	採樣點	水溫 ℃	pH	濁度 NTU	餘氯 mg/L	氧化還原電位 mV	溶氧 mg/L (%)	色度 鉑鈷 單位	鹼度 mg/L as CaCO ₃	硝酸鹽氮 mg/L	亞硝酸鹽氮 mg/L	氨氮 mg/L	總鐵 mg/L	總錳 mg/L	大腸桿菌群 CFU/ 100ml	UV ₂₅₄ cm ⁻¹	陸源微生物源指標	NPDOC mg/L	SUVA L/mg-m
105.03.17	原水 地面水	19.1	8.17	10.9	-	205.3	8.80 (93.2%)	35	261.4	0.25	ND	0.13	0.37	0.055	<1	0.088	2.05	4.0	2.198
105.03.17	沉澱後水	18.6	7.43	0.89	-	210	9.33 (98.0%)	<5	197.6	0.26	ND	0.05	0.05	ND	<1	0.048	2.03	2.9	1.659
105.03.17	慢濾前 混合水	23.4	7.87	0.70	-	174.0	6.95 (77.8%)	<5	189.3	0.26	ND	0.15	0.06	0.032	<1	0.024	1.72	1.9	1.284
105.03.17	慢濾池 濾後水 (未加氯)	21.7	7.83	0.81	-	210	7.97 (88.6%)	<5	197.6	0.26	ND	0.08	0.06	0.013	<1	0.028	2.09	1.7	1.659
105.03.17	清水	23.7	7.24	0.22	0.42	593	8.19 (94.7%)	<5	88.5	0.25	ND	ND	ND	ND	<1	0.012	1.95	2.2	0.532

【註】：ND 表示“未檢出”，“-”表示“無檢測數據”

表 4.4-12 西嶼淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)

採樣日期	採樣點	總三鹵甲烷 mg/L
105.03.17	清水	0.00709

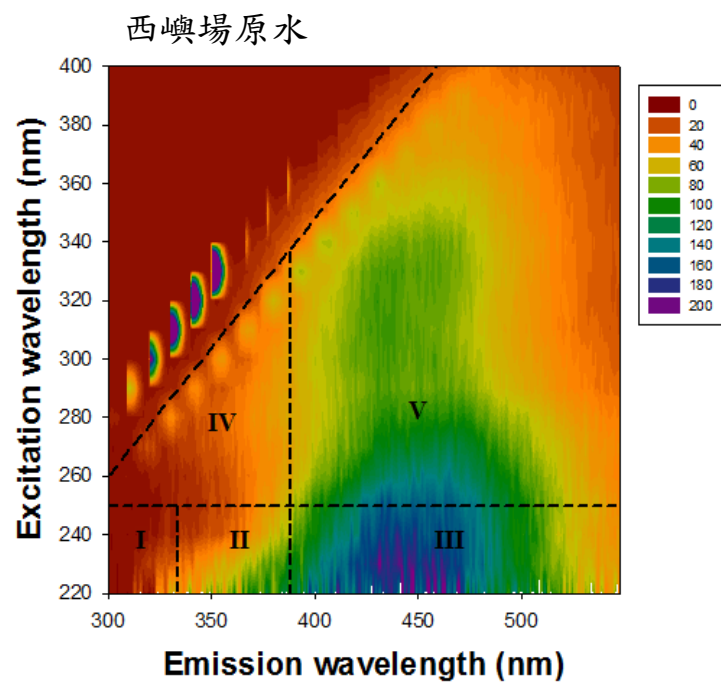


圖 4.4-54 西嶼場原水螢光光譜分析結果

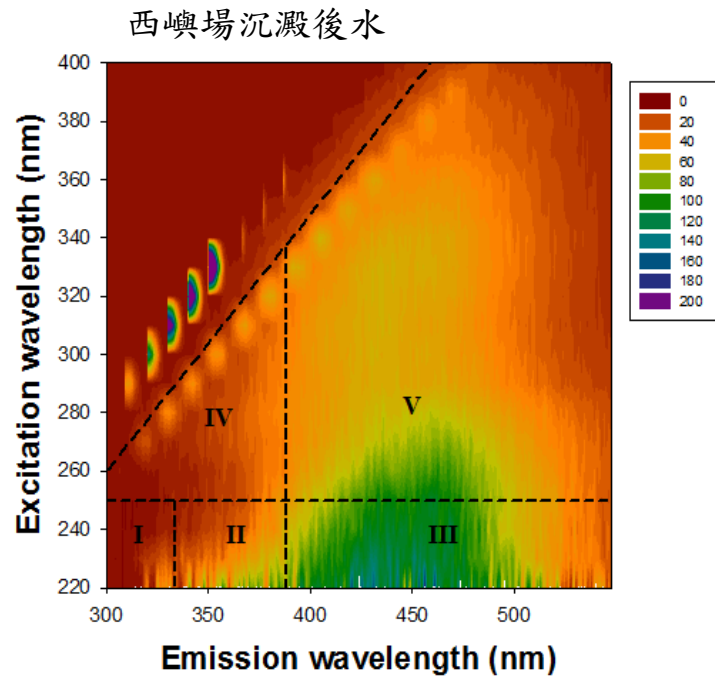


圖 4.4-55 西嶼場沉澱後水螢光光譜分析結果

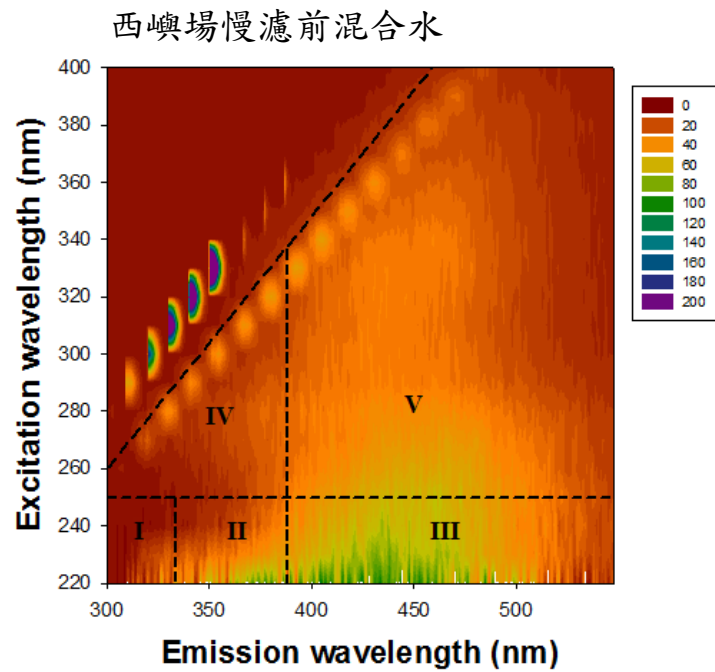


圖 4.4-56 西嶼場慢濾前混合水螢光光譜分析結果

西嶼場慢濾池濾後水

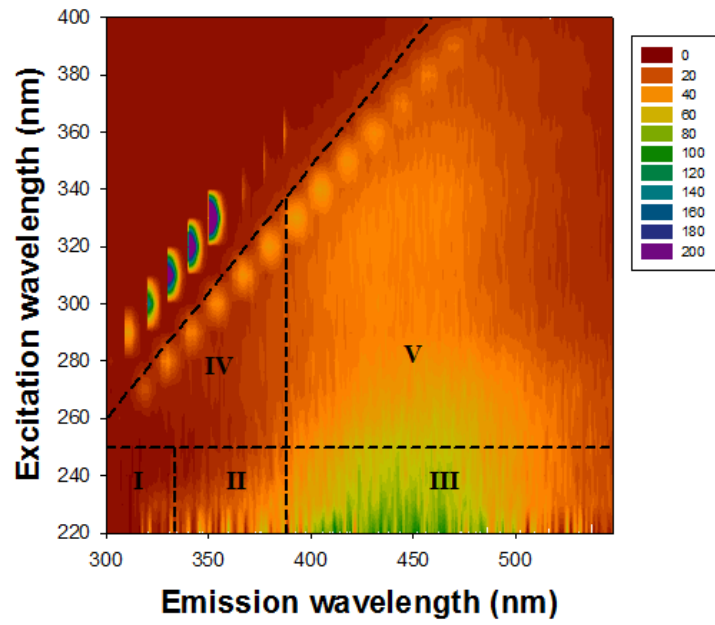


圖 4.4-57 西嶼場濾後水螢光光譜分析結果

西嶼場清水

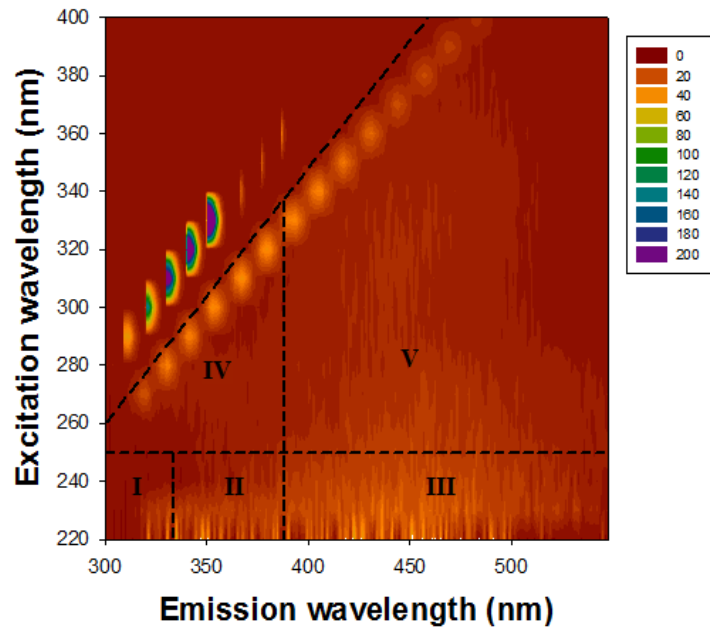


圖 4.4-58 西嶼場清水螢光光譜分析結果

➤ 問題及討論

(一)設計問題

1. 濾水溢流堰高度不夠(詳圖 4.4-59)，無法有效蓄水至砂面高度，操作彈性空間受限，出水量無法提升。
2. 濾水溢流堰高度不夠無法讓慢濾池蓄升至滿池(淹過砂面)，加上無反向進水設計，致無法有效將濾砂層中空氣趕出，又因隨過濾時間增加，摩擦損失水頭逐漸增加，當損失水頭大於砂面之水深時，水往下拉產生部分真空，形成負水頭(Negative Head)。若負水頭超出某一限度時，水中溶解之氣體游離而聚積於砂層中導致空氣閉塞(Air binding)，若無及時將濾層中空氣趕出，則易降低過濾效率，影響出水量。
3. 無設置濾水控制閥，無法有效控制砂面液位及過濾之時程。

(二)操作面臨問題

1. 刮砂深度不足，老舊生物膜累積在表面導致濾水效率降低。
2. 慢濾池輪替操作時(詳圖 4.4-60)，缺少將池水蓄滿淹過砂面停留 5~7 天之“養池”程序，使其建立起完整良好的微生物生態系(藻類、細菌、原生動物…等)，導致經由微生物處理分解作用無法有效發揮，甚為可惜。
3. 無設置濾水控制閥，無法有效控制砂面液位及過濾之時程，濾水程序為批次操作，出水量大時液位常常低於砂面，微生物生態系無法有效生長形成完整生物膜，導致濾水時生物處理效能成效不彰(詳圖 4.4-60)。

(三)改善建議

1. 因原水濁度年平均 ≤ 2 NTU，最高濁度僅 9NTU，若混凝劑加藥控制不當，易導致濾層凝集(結塊)降低透水性，爰建議毋須添加混凝劑(硫酸鋁)。
2. 本場為慢濾池系統，主要藉由微生物作用達到淨水功效，前加氯恐破壞微生物完整生態系生長，故不宜進行前加氯加藥處理。
3. 增加濾水溢流堰高度，俾利使水位保持在濾砂面以上。
4. 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計)：
 - (1) 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過

濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。

(2) 亦可於出水幹管上設制水閥，利用其他濾池之過濾水返送。

5. 調節井之高程應在砂面以上，以免產生負水頭。
6. 刮砂深度應加深，要能有效刮除累積在表面上之老舊生物膜，俾使恢復其濾率，提升濾水成效，另刮砂後應需“養池” 5~7 天，讓新的生物膜生長形成完整的生態系，以有效發揮生物處理效能。



圖 4.4-59 西嶼場濾水溢流堰照片



圖 4.4-60 西嶼場慢濾池輪替操作現場照片

4.4-7 太麻里營運所大溪淨水場

➤ 基本資料

本場配置圖及淨水流程圖(詳圖 4.4-62 及圖 4.4-63)，於民國 77 年由簡易自來水接管開始啟用，設計出水量 380 CMD，水源取自河川水(大竹高溪支流)，目前出水量 208~250 CMD，2 池慢濾池輪替操作(詳圖 4.4-61)。



圖 4.4-61 大溪淨水場慢濾池現場圖

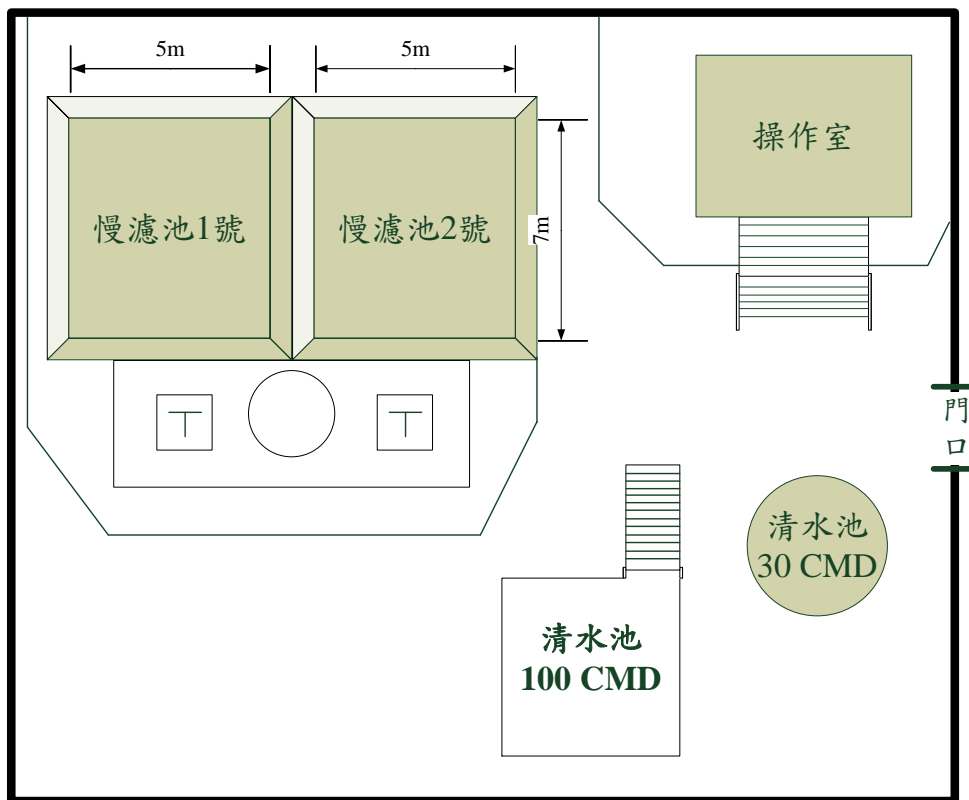


圖 4.4-62 大溪淨水場平面配置簡圖

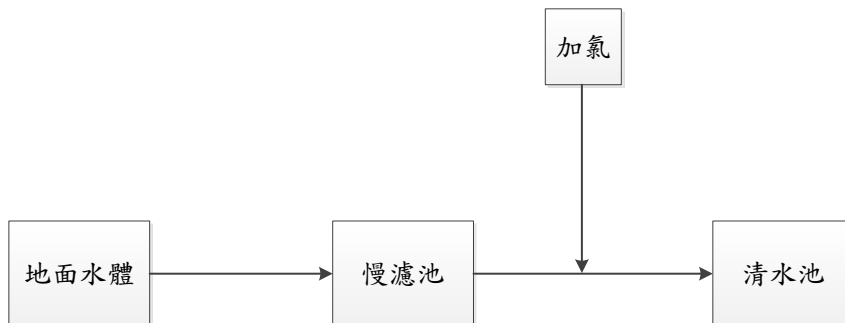


圖 4.4-63 大溪淨水場淨水流程圖

➤ 水質檢驗結果

由表 4.4-13 所示，原水經慢濾系統處理後，其濁度、大腸桿菌群均明顯下降，溶氧及氧化還原電位微幅上升，氨氮及硝酸鹽氮變化不大，顯示水中呈現好氧狀態微生物作用普通。若以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源(terrestrial sources)及微生物源(microbial sources)的來源指標(index = $\text{int}(\text{Ex}/\text{Em}) : \text{int}(\text{Ex}/\text{Em}) = \text{int}(370/450 \text{ nm}) : \text{int}(370/500 \text{ nm})$)，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水中的微生物源貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，藉由指標的差異可了解環境中天然有機質(NOM)的來源。清水陸源/微生物源指標為 1.58 接近 1.4 代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，濾後水、原水該指標分別為 1.75、1.76 接近 1.9，代表水中的微生物源貢獻較大，顯示環境中天然有機質經微生物作用後有些微變化，另 SUVA 值均小於 2，有機物組成以非腐植質親水性小分子量為主。

表 4.4-14 所示，總三鹵甲烷清水 0.00784 mg/L 符合飲用水水質標準(0.08 mg/L)。

圖 4.4-64~圖 4.4-66 螢光光譜分析結果，大溪場原水訊號值本來就不明顯，顯示水中有機質含量少，其濾後水及清水變化差異不大，慢濾處理發揮效用不明顯。

表 4.4-13 大溪淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)

採樣日期	採樣點	水溫 ℃	pH	濁度 NTU	餘氯 mg/L	氧化還原電位 mV	溶氧 mg/L (%)	色度 鉑鈷單位	鹼度 mg/L as CaCO ₃	硝酸鹽氮 mg/L	亞硝酸鹽氮 mg/L	氨氮 mg/L	總鐵 mg/L	總錳 mg/L	大腸桿菌群 CFU/100ml	UV ₂₅₄ cm ⁻¹	陸源微生物源指標	NPDOC mg/L	SUVA L/mg-m
105.03.08	原水	21.1	8.27	0.86	-	205.6	9.37 (106.1%)	<5	120	0.42	ND	0.02	ND	ND	5500	0.007	1.76	1.0	0.660
105.03.08	濾後水	21.0	8.25	0.37	-	230	9.64 (109.2%)	<5	119	0.38	ND	0.03	ND	ND	21	0.006	1.75	0.5	1.100
105.03.08	清水	21.2	8.30	0.32	0.52	540	9.44 (107.0%)	<5	124	0.41	ND	ND	ND	ND	<1	0.006	1.58	0.5	1.200

【註】：ND 表示“未檢出”，“-”表示“無檢測數據”

表 4.4-14 大溪淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)

採樣日期	採樣點	總三鹵甲烷 mg/L
105.03.08	清水	0.00784

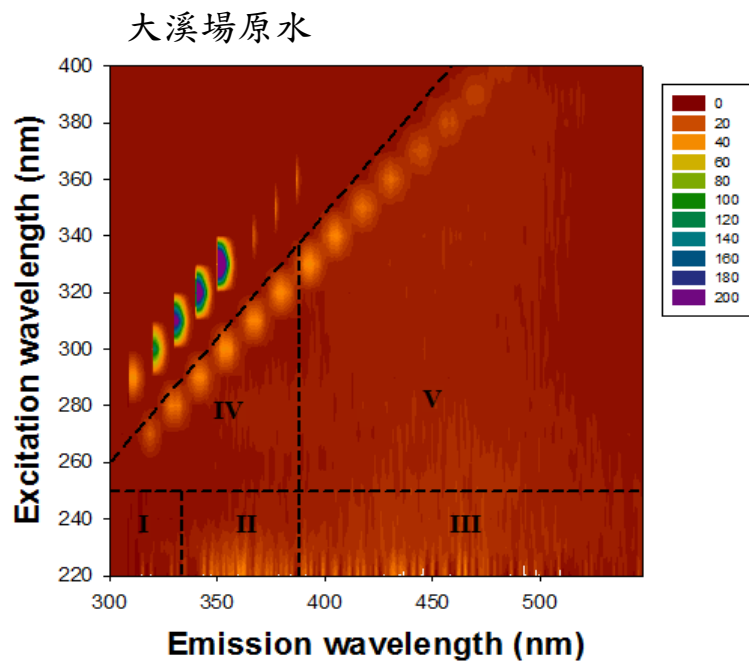


圖 4.4-64 大溪場原水螢光光譜分析結果

大溪場濾後水

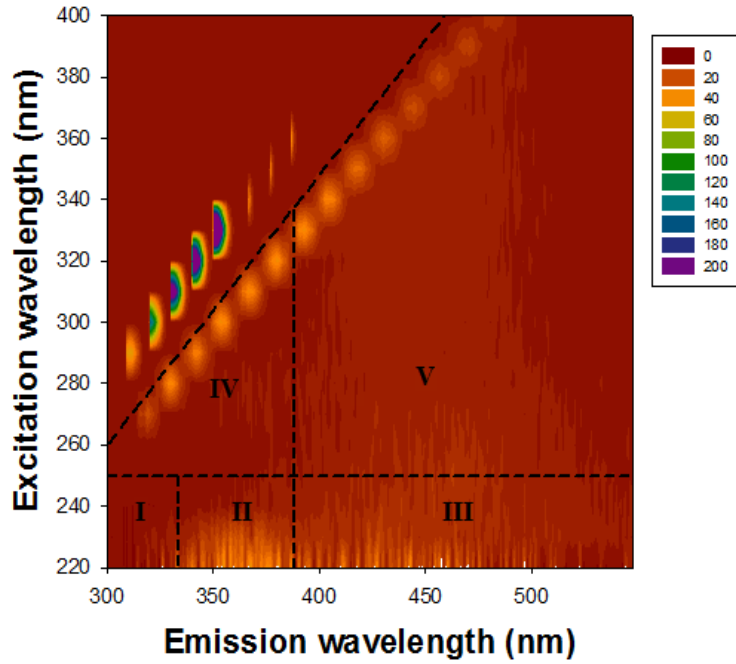


圖 4.4-65 大溪場濾後水螢光光譜分析結果

大溪場清水

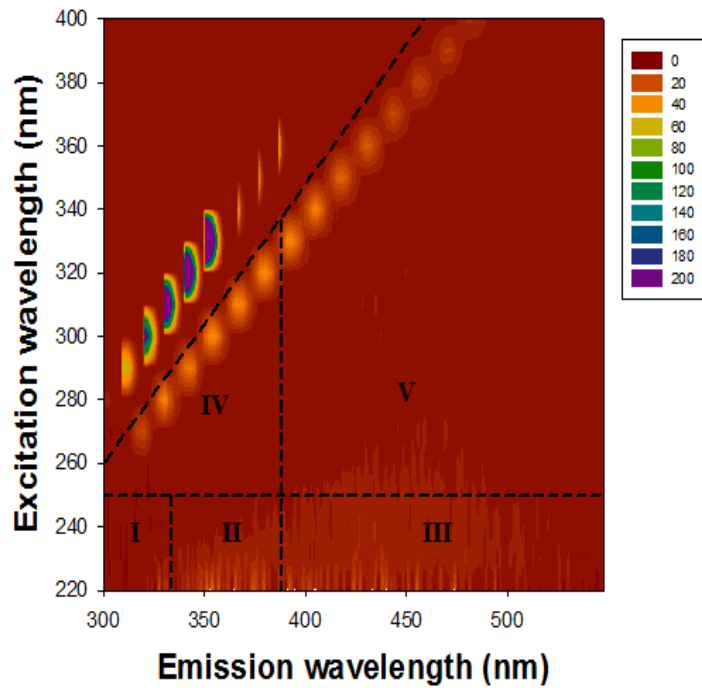


圖 4.4-66 大溪場清水螢光光譜分析結果

➤ 問題及討論

(一)設計問題

1. 濾水溢流堰高度不夠(詳圖 4.4-67)，無法有效蓄水至砂面高度，操作彈性空間受限，出水量無法提升。
2. 濾水溢流堰高度不夠無法讓慢濾池蓄升至滿池(淹過砂面)，加上無反向進水設計，致無法有效將濾砂層中空氣趕出，又因隨過濾時間增加，摩擦損失水頭逐漸增加，當損失水頭大於砂面之水深時，水往下拉產生部分真空，形成負水頭(Negative Head)。若負水頭超出某一限度時，水中溶解之氣體游離而聚積於砂層中導致空氣閉塞(Air binding)，若無及時將濾層中空氣趕出，則易降低過濾效率，影響出水量(詳圖 4.4-68)。

(二)操作面臨問題

1. 刮砂深度不足，老舊生物膜累積在表面導致濾水效率降低。
2. 慢濾池輪替操作時(詳圖 4.4-69)，缺少將池水蓄滿淹過砂面停留 5~7 天之“養池”程序，使其建立起完整良好的微生物生態系(藻類、細菌、原生動物…等)，導致經由微生物處理分解作用無法有效發揮，甚為可惜。
3. 濾水程序為批次操作，出水量大時液位常常低於砂面，微生物生態系無法有效生長形成完整生物膜，導致濾水時生物處理效能成效不彰(詳圖 4.4-69)。

(三)改善建議

1. 增加濾水溢流堰高度，俾利使水位保持在濾砂面以上。
2. 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計)：
 - (1) 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。
 - (2) 亦可於出水幹管上設制水閘，利用其他濾池之過濾水返送。
3. 調節井之高程應在砂面以上，以免產生負水頭。
4. 刮砂深度應加深，要能有效刮除累積在表面上之老舊生物膜，俾使恢復其濾率，提升濾水成效，另刮砂後應需“養

池” 5~7 天，讓新的生物膜生長形成完整的生態系，以有效發揮生物處理效能。



圖 4.4-67 大溪場濾水溢流堰照片



圖 4.4-68 大溪場空氣閉塞現象



圖 4.4-69 大溪場慢濾池輪替操作現場照片

4.4-8 太麻里營運所愛國埔淨水場

➤ 基本資料

本場配置圖及淨水流程圖(詳圖 4.4-70 及圖 4.4-71)，於民國 77 年由簡易自來水接管開始啟用，設計出水量 240 CMD，水源取自河川水(大竹高溪支流愛國埔取水口)，目前出水量 60~72 CMD，2 池慢濾池輪替操作(詳圖 4.4-72)。

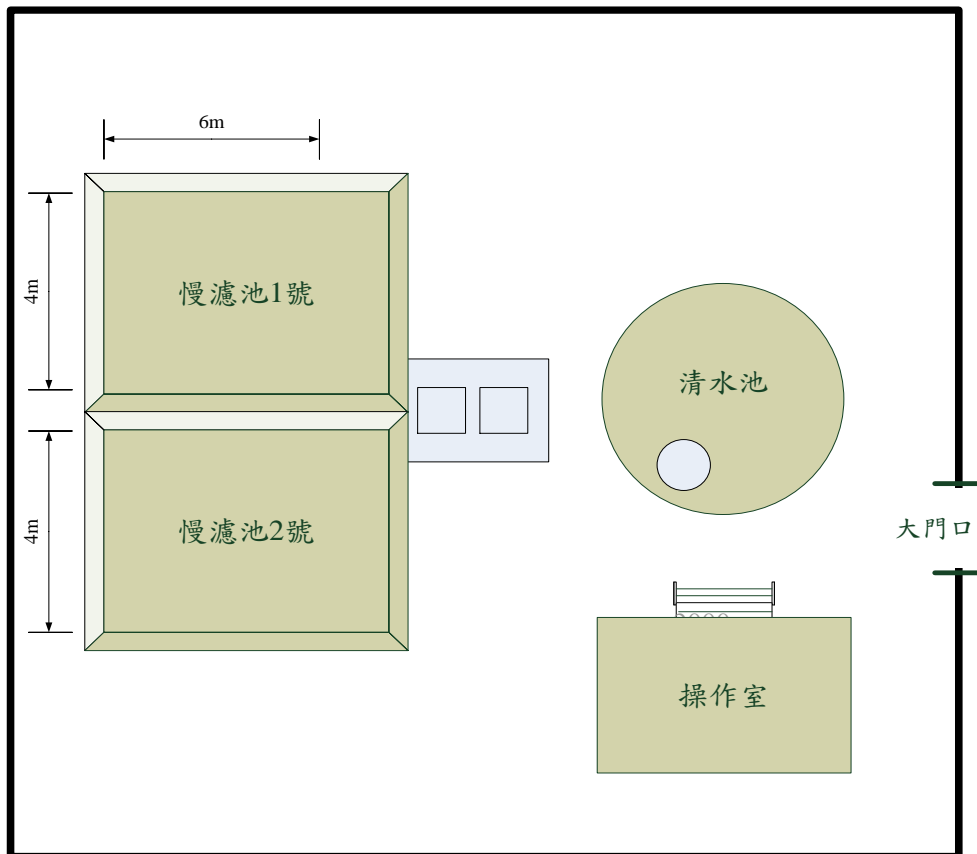


圖 4.4-70 愛國埔淨水場平面配置簡圖

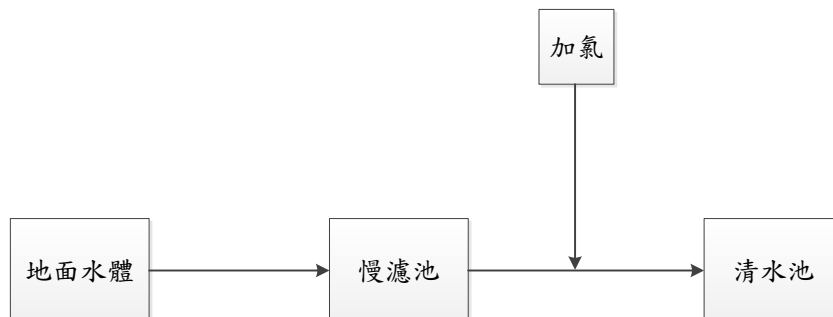


圖 4.4-71 愛國埔淨水場淨水流程圖



圖 4.4-72 愛國埔淨水場慢濾池現場圖

➤ 水質檢驗結果

由表 4.4-15 所示，原水經慢濾系統處理後，其濁度、氧化還原電位、氨氮、亞硝酸鹽氮、大腸桿菌群均無明顯變化，顯示水中無發揮微生物處理效能，由圖 O 及圖 O 判斷，因該場進水為斷斷續續批次操作，水位經常低於砂面致生物膜生長不完全，僅藉由濾砂發揮過濾顆粒性物質的功能，而溶解性有機物及微生物則無法有效去除或減少。若以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源(terrestrial sources)及微生物源(microbial sources)的來源指標(index = int(Ex/Em) : int(Ex/Em) = int(370/450 nm) : int(370/500 nm)，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水中的微生物源貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，藉由指標的差異可了解環境中天然有機質(NOM)的來源。原水、濾後水、清水之陸源/微生物源指標分別為 2.09、1.75、2.74 接近 1.9，代表水中的微生物源貢獻較大，另 SUVA 值均小於 2，有機物組成以非腐植質親水性小分子量為主。

表 4.4-16 所示，總三鹵甲烷清水 0.00119 mg/L 符合飲用水水質標準(0.08 mg/L)。

圖 4.4-73~圖 4.4-75 螢光光譜分析結果，愛國埔場原水訊號值本來就不明顯，顯示水中有機質含量少，其濾後水及清水變化差異不大，慢濾處理發揮效用不明顯，清水訊號於 II 區微增，有機物組成偏屬簡易芳香族蛋白質(II 區)，推測可能原因為加氯後部分有機物(如氨氮)被再次氧化降解所造成。

表 4.4-15 愛國埔淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)

採樣日期	採樣點	水溫 ℃	pH	濁度 NTU	餘氯 mg/L	氧化還原電位 mV	溶氧 mg/L (%)	色度 鉑鈷 單位	鹼度 mg/L as CaCO ₃	硝酸鹽氮 mg/L	亞硝酸鹽氮 mg/L	氨氮 mg/L	總鐵 mg/L	總錳 mg/L	大腸桿菌群 CFU/ 100ml	UV ₂₅₄ cm ⁻¹	陸源微生物源指標	NPDOC mg/L	SUVA L/mg-m
105.03.08	原水	22.8	7.43	0.26	-	363.0	6.32 (75.2%)	<5	147	0.44	ND	0.04	ND	ND	14	0.0025	2.09	0.6	0.417
105.03.08	濾後水	22.4	7.72	0.22	-	355	8.69 (102.0%)	<5	145	0.45	ND	0.02	ND	ND	49	0.0038	1.75	0.4	0.950
105.03.08	清水	22.8	7.85	0.37	0.49	574	8.75 (102.9%)	<5	148	0.45	ND	ND	ND	ND	<1	0.0057	2.74	0.6	0.950

【註】：ND 表示“未檢出”，“-”表示“無檢測數據”

表 4.4-16 愛國埔淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)

採樣日期	採樣點	總三鹵甲烷 mg/L
105.03.08	清水	0.00119

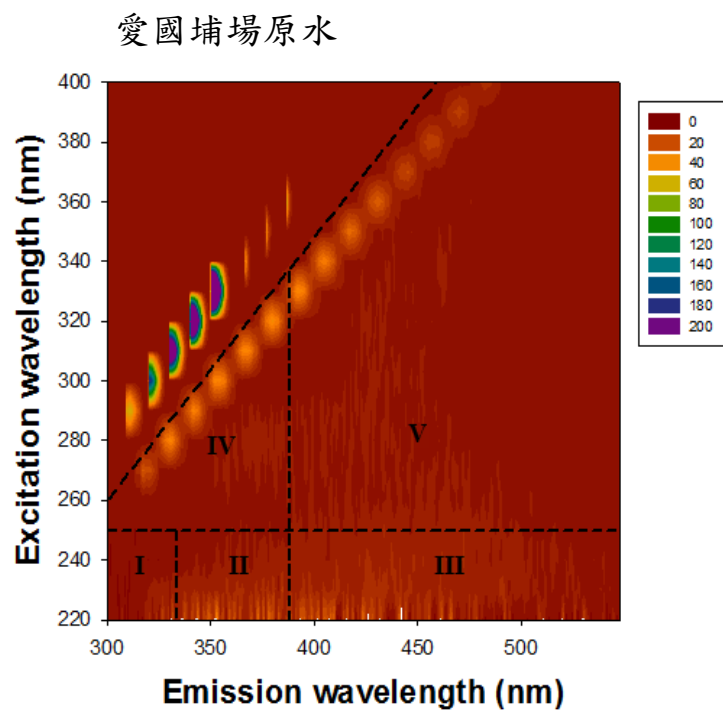


圖 4.4-73 愛國埔場原水螢光光譜分析結果

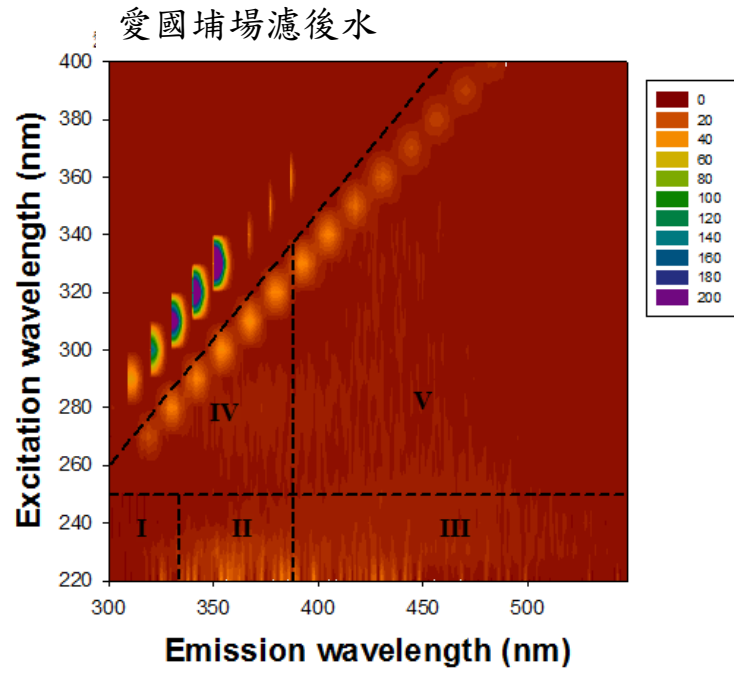


圖 4.4-74 愛國埔場濾後水螢光光譜分析結果

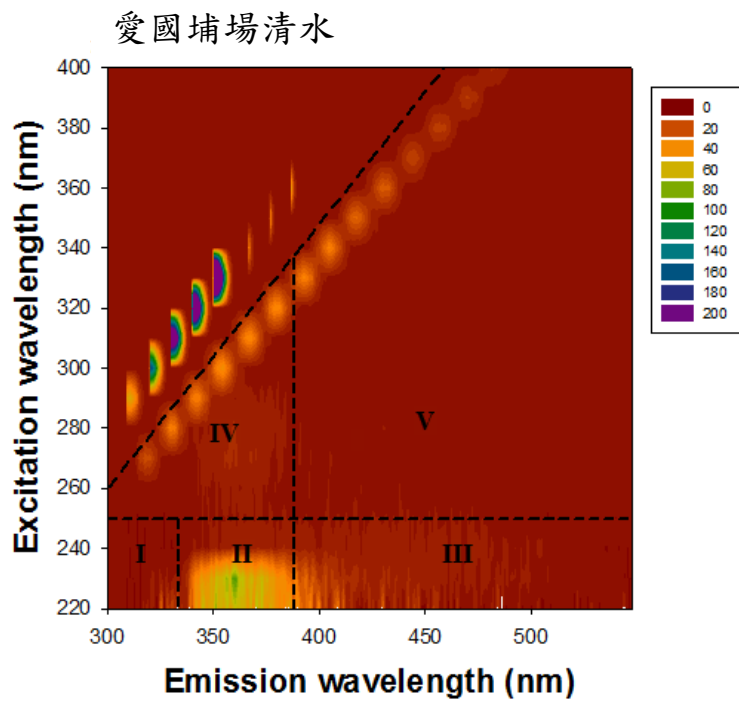


圖 4.4-75 愛國埔場清水螢光光譜分析結果

➤ 問題及討論

(一)設計問題

1. 濾水溢流堰高度不夠(詳圖 4.4-76)，無法有效蓄水至砂面高度，操作彈性空間受限，出水量無法提升。
2. 濾水溢流堰高度不夠無法讓慢濾池蓄升至滿池(淹過砂面)，加上無反向進水設計，致無法有效將濾砂層中空氣趕出，又因隨過濾時間增加，摩擦損失水頭逐漸增加，當損失水頭大於砂面之水深時，水往下拉產生部分真空，形成負水頭(Negative Head)。若負水頭超出某一限度時，水中溶解之氣體游離而聚積於砂層中導致空氣閉塞(Air binding)，若無及時將濾層中空氣趕出，則易降低過濾效率，影響出水量。

(二)操作面臨問題

1. 慢濾池輪替操作時(詳圖 4.4-77)，缺少將池水蓄滿淹過砂面停留 5~7 天之“養池”程序，使其建立起完整良好的微生物生態系(藻類、細菌、原生動物…等)，導致經由微生物處理分解作用無法有效發揮，甚為可惜。
2. 濾水程序為批次操作，出水量大時液位常常低於砂面(僅部分區塊水位有浸潤至砂面上)，微生物生態系無法均勻生長形成完整生物膜，將會影響生物處理成效(詳圖 4.4-77)。

(三)改善建議

1. 增加濾水溢流堰高度，俾利使水位保持在濾砂面以上。
2. 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計)：
 - (1) 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。
 - (2) 亦可於出水幹管上設制水閥，利用其他濾池之過濾水返送。
3. 調節井之高程應在砂面以上，以免產生負水頭。



圖 4.4-76 愛國埔場濾水溢流堰照片



圖 4.4-77 愛國埔場慢濾池輪替操作現場照片

4.4-9 池上營運所永安淨水場

➤ 基本資料

本場配置圖及淨水流程圖(詳圖 4.4-79 及圖 4.4-80)，於民國 77 年由簡易自來水接管開始啟用，設計出水量 2,300 CMD，水源取自河川水(永安溪)，目前出水量 1,700~1,900 CMD，2 池慢濾池輪替操作(詳圖 4.4-78)。



圖 4.4-78 永安淨水場慢濾池現場圖

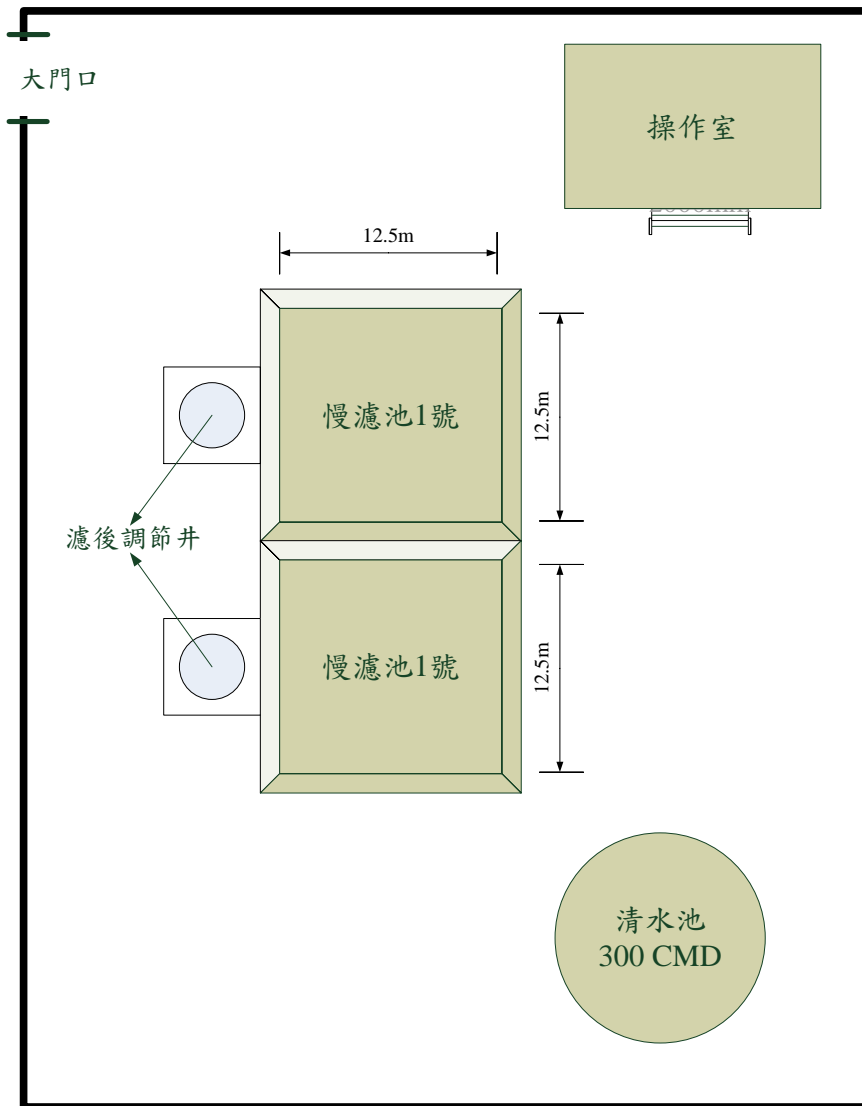


圖 4.4-79 永安淨水場平面配置簡圖

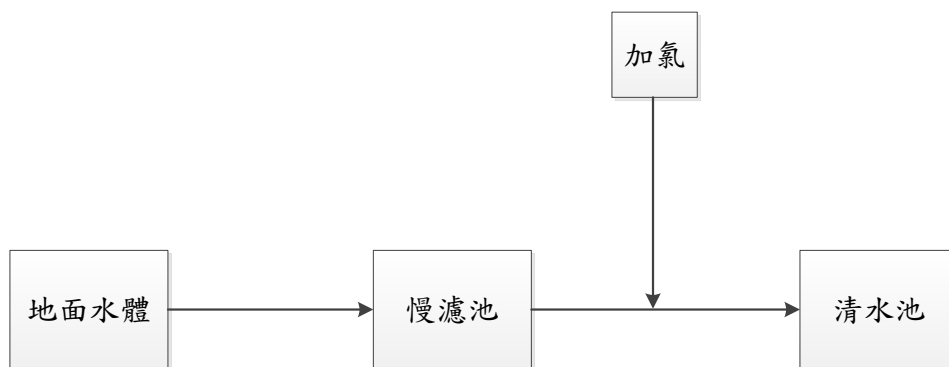


圖 4.4-80 永安淨水場淨水流程圖

➤ 水質檢驗結果

由表 4.4-17 所示，原水經慢濾系統處理後，僅濁度降低，氧化還原電位、氨氮、亞硝酸鹽氮均無明顯變化，慢濾池 1 大腸桿菌群降低，慢濾池 2 大腸桿菌群增加，顯示水中無有效發揮微生物處理效能，因該場進水為斷斷續續批次操作，水位經常低於砂面致生物膜生長不完全，僅藉由濾砂發揮過濾顆粒性物質的功能，而溶解性有機物及微生物則無法有效去除或減少。若以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源(terrestrial sources)及微生物源(microbial sources)的來源指標 ($\text{index} = \text{int}(\text{Ex}/\text{Em}) : \text{int}(\text{Ex}/\text{Em}) = \text{int}(370/450 \text{ nm}) : \text{int}(370/500 \text{ nm})$)，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水中的微生物源貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，藉由指標的差異可了解環境中天然有機質(NOM)的來源。原水、慢濾池 1 濾後水、慢濾池 2 濾後水、清水、配水之陸源/微生物源指標分別為 1.85、2.14、2.15、1.98、2.42 均接近 1.9，代表水中的微生物源貢獻較大，另 SUVA 值慢濾池 1 濾後水、慢濾池 2 濾後水、清水介於 2~4 之間有機物組成以疏水性與親水性混合為主，原水及清水該值小於 2，有機物組成以非腐植質親水性小分子量為主。

表 4.4-18 所示，總三鹵甲烷清水 0.00118 mg/L、配水 0.00133 mg/L 均符合飲用水水質標準(0.08 mg/L)，清水、配水差異並不大，於配水管網再生成總三鹵甲烷並不多。

圖 4.4-81~圖 4.4-85 螢光光譜分析結果，永安場原水訊號值本來就不明顯，顯示水中有機質含量少，慢濾池 1、慢濾池 2、清水及配水 II 區訊號均有增加趨勢，尤其配水更為明顯，有機物組成偏屬簡易芳香族蛋白質(II 區)，推測可能原因為濾砂層所累積的有機物經過加氯後部分有機物(如氨氮)被再次氧化降解所造成。

表 4.4-17 永安淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)

採樣日期	採樣點	水溫 °C	pH	濁度 NTU	餘氯 mg/L	氧化還原電位 mV	溶氧 mg/L (%)	色度 鉑鈷單位	鹼度 mg/L as CaCO ₃	硝酸鹽氮 mg/L	亞硝酸鹽氮 mg/L	氨氮 mg/L	總鐵 mg/L	總錳 mg/L	大腸桿菌群 CFU/100ml	UV ₂₅₄ cm ⁻¹	陸源微生物源指標	NPDOC mg/L	SUVA L/mg-m
105.03.09	原水	19.2	8.26	0.90	-	209.8	8.82 (102.2%)	<5	146	0.31	ND	0.05	ND	ND	220	0.0070	1.85	0.5	1.400
105.03.09	慢濾池 1 濾後水	18.5	8.24	0.29	-	222	9.01 (101.7%)	<5	141	0.32	ND	0.03	ND	ND	3	0.0195	2.14	0.7	2.786
105.03.09	慢濾池 2 濾後水	18.5	8.23	0.21	-	234.0	11.09 (124.8%)	<5	143	0.29	ND	0.04	ND	ND	570	0.0124	2.15	0.4	3.100
105.03.09	清水	18.6	8.22	0.28	0.40	516	9.48 (107.0%)	<5	148	0.27	ND	ND	ND	ND	<1	0.0094	1.98	0.4	2.350
105.03.09	配水	18.6	8.21	0.19	0.23	537	9.39 (106.1%)	<5	149	0.29	ND	ND	ND	ND	<1	0.0056	2.42	0.5	1.120

【註】：ND 表示“未檢出”，“-”表示“無檢測數據”

表 4.4-18 永安淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)

採樣日期	採樣點	總三鹵甲烷 mg/L
105.03.09	清水	0.00118
105.03.09	配水	0.00133

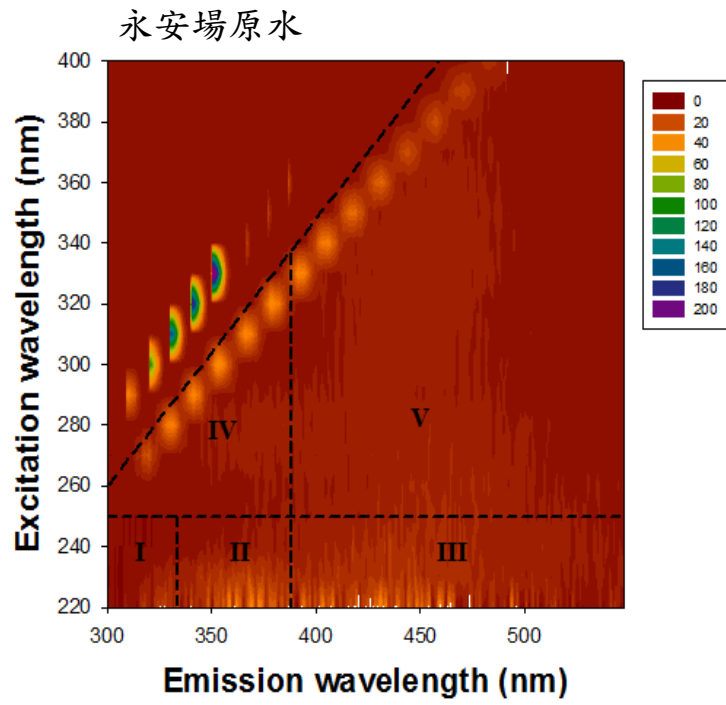


圖 4.4-81 永安場原水螢光光譜分析結果

永安場慢濾池 1 濾後水

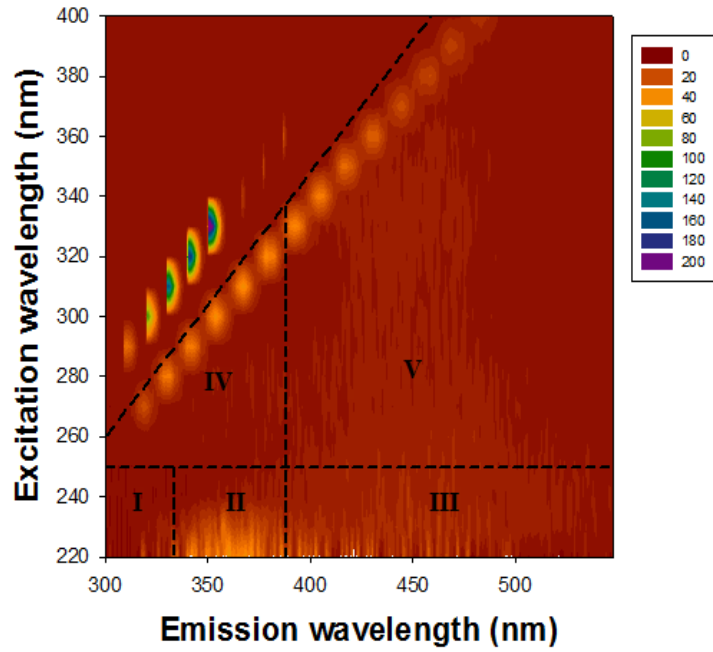


圖 4.4-82 永安場慢濾池 1 螢光光譜分析結果

永安場慢濾池 2 濾後水

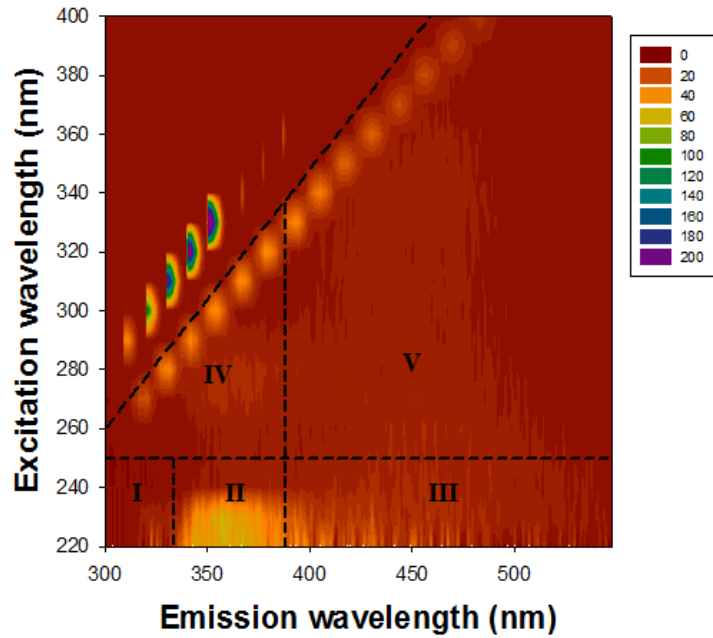


圖 4.4-83 永安場慢濾池 2 螢光光譜分析結果

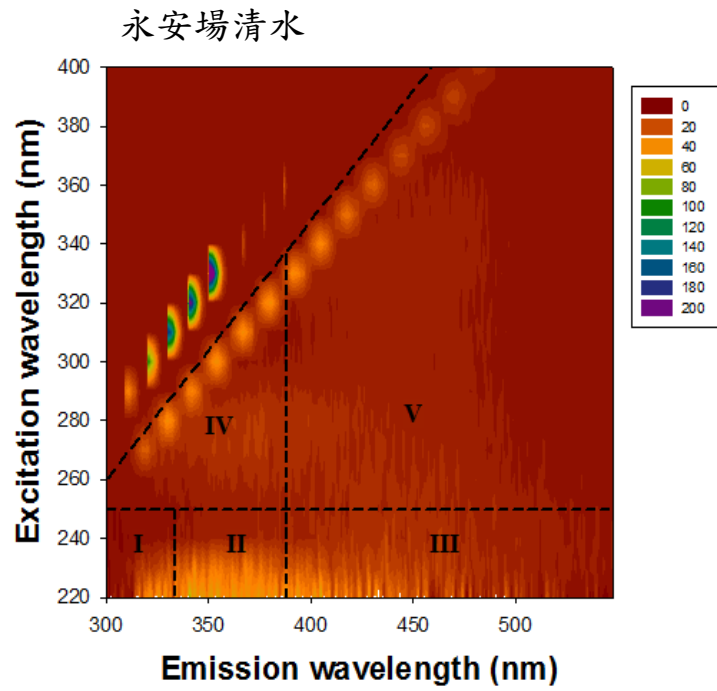


圖 4.4-84 永安場清水螢光光譜分析結果

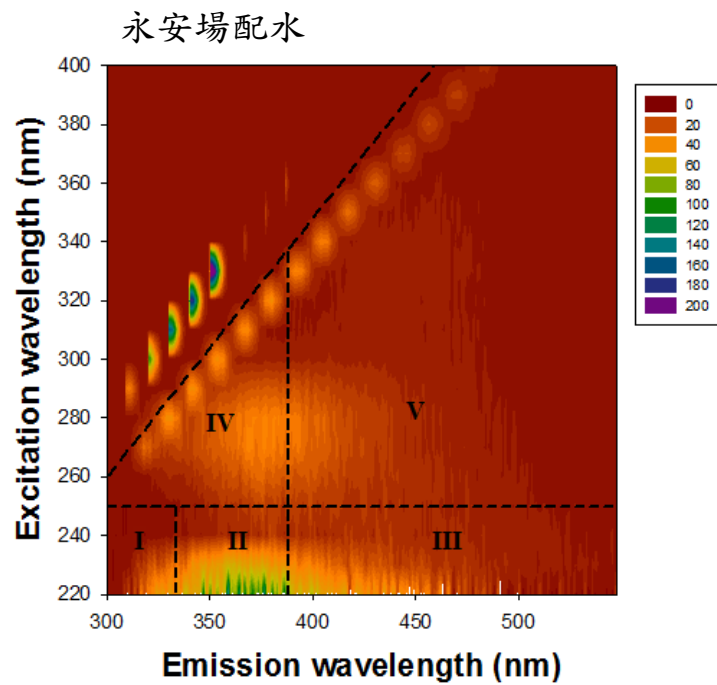


圖 4.4-85 永安場配水螢光光譜分析結果

➤ 問題及討論

(一)設計問題

1. 濾水溢流堰高度不夠(詳圖 4.4-86)，無法有效蓄水至砂面高度，操作彈性空間受限，出水量無法提升。
2. 濾水溢流堰高度不夠無法讓慢濾池蓄升至滿池(淹過砂面)，加上無反向進水設計，致無法有效將濾砂層中空氣趕出，又因隨過濾時間增加，摩擦損失水頭逐漸增加，當損失水頭大於砂面之水深時，水往下拉產生部分真空，形成負水頭(Negative Head)。若負水頭超出某一限度時，水中溶解之氣體游離而聚積於砂層中導致空氣閉塞(Air binding)，若無及時將濾層中空氣趕出，則易降低過濾效率，影響出水量。

(二)操作面臨問題

1. 慢濾池輪替操作時，缺少將池水蓄滿淹過砂面停留 5~7 天之“養池”程序，使其建立起完整良好的微生物生態系(藻類、細菌、原生動物…等)，導致經由微生物處理分解作用無法有效發揮，甚為可惜。
2. 無設置濾水控制閥，無法有效控制砂面液位及過濾之時程，濾水程序為批次操作，出水量大時液位常常低於砂面，微生物生態系無法有效生長形成完整生物膜，導致濾水時生物處理效能成效不彰。

(三)改善建議

1. 增加濾水溢流堰高度，俾利使水位保持在濾砂面以上。
2. 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計)：
 - (1) 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。
 - (2) 亦可於出水幹管上設制水閥，利用其他濾池之過濾水返送。
3. 調節井之高程應在砂面以上，以免產生負水頭。
4. 刮砂深度應加深，要能有效刮除累積在表面上之老舊生物膜，俾使恢復其濾率，提升濾水成效，另刮砂後應需“養池” 5~7 天，讓新的生物膜生長形成完整的生態系，以有效發揮生物處理效能。



圖 4.4-86 永安場濾水溢流堰照片

4.4-10 成功營運所泰源淨水場

➤ 基本資料

本場配置圖及淨水流程圖(詳圖 4.4-88 及圖 4.4-89),於民國 77 年由簡易自來水接管開始啟用,設計出水量 780 CMD,水源取自河川水(馬武窖溪中游),目前出水量 290~351 CMD,3 池慢濾池,目前僅 2 池輪替操作(詳圖 4.4-87)。



圖 4.4-87 泰源淨水場慢濾池現場圖

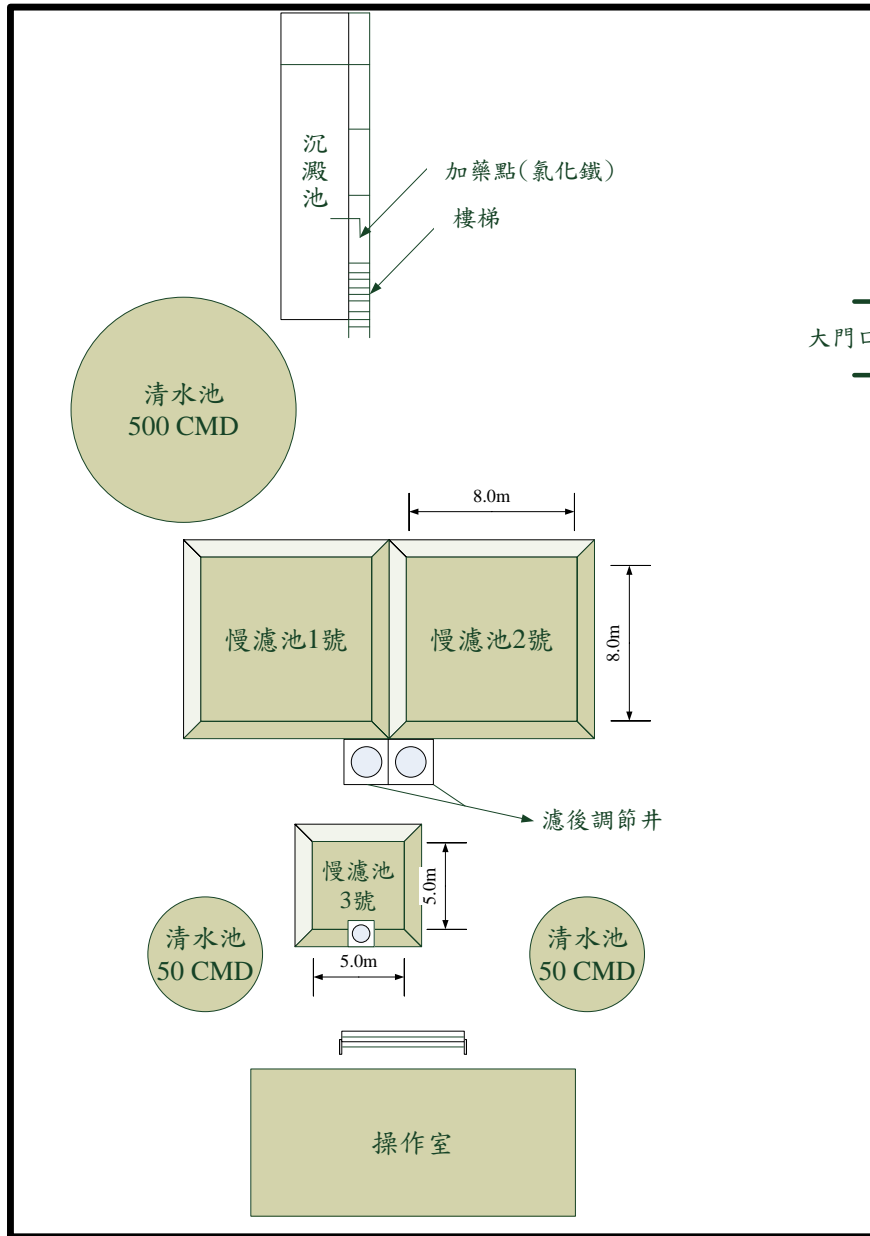


圖 4.4-88 泰源淨水場平面配置簡圖

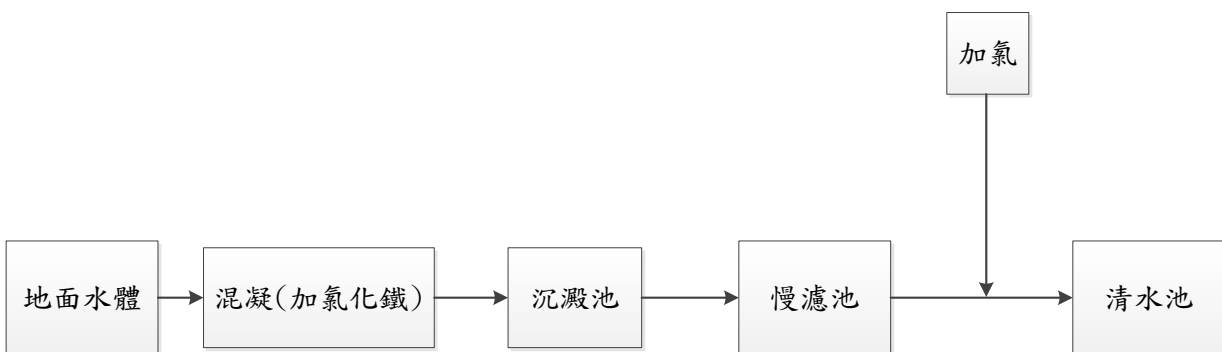


圖 4.4-89 泰源淨水場淨水流程圖

➤ 水質檢驗結果

由表 4.4-19 所示，原水經慢濾系統處理後，其濁度、總鐵、大腸桿菌群均明顯下降，溶氧及氧化還原電位微幅上升，氨氮及硝酸鹽氮變化不大，顯示水中呈現好氧狀態微生物作用普通。若以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源(terrestrial sources)及微生物源(microbial sources)的來源指標(index = int(Ex/Em) : int(Ex/Em) = int(370/450 nm) : int(370/500 nm))，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水中的微生物源貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，藉由指標的差異可了解環境中天然有機質(NOM)的來源。原水、清水 1、清水 2 陸源/微生物源指標為 1.5、1.4、1.2 接近 1.4 代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，濾後水該指標為 1.8 接近 1.9，代表水中的微生物源貢獻較大，顯示環境中天然有機質經微生物作用後有些微變化，另 SUVA 值原水與清水 2 介於 2~4 之間有機物組成以疏水性與親水性混合為主，濾後水及清水 1 該值小於 2，有機物組成以非腐植質親水性小分子量為主。

表 4.4-20 所示，總三鹵甲烷清水 1 為 0.00169 mg/L、清水 2 為 0.0292 mg/L 均符合飲用水水質標準(0.08 mg/L)，清水 1 與清水 2 之差異為清水 2 是由清水 1 加氯後抽回貯存於 500 CMD 之清水池內，與氯反應接觸時間比較長，而清水 1 是直接於 50 CMD 之清水池加氯後即直接供水，所以再生成總三鹵甲烷並不多。

圖 4.4-90~圖 4.4-93 螢光光譜分析結果，泰源場原水訊號強多集中於 II、III 區，有機物組成偏屬簡易芳香族蛋白質(II 區)與較疏水性之類黃酸物質(III 區)，經慢濾系統處理後，簡易芳香族蛋白質(II 區)增加，類黃酸物質(III 區)訊號降低，因經過混凝加藥(氯化鐵)前處理，再沉澱，去除些微類黃酸物質，再藉由微生物轉化降解成小分子簡易芳香族蛋白質，另外清水 1 與清水 2 訊號差異不大，加氯消毒後有機物組成改變不大。

表 4.4-19 泰源淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(一)

採樣日期	採樣點	水溫 °C	pH	濁度 NTU	餘氯 mg/L	氧化還原電位 mV	溶氧 mg/L (%)	色度 鉑鈷單位	鹼度 mg/L as CaCO ₃	硝酸鹽氮 mg/L	亞硝酸鹽氮 mg/L	氨氮 mg/L	總鐵 mg/L	總錳 mg/L	大腸桿菌群 CFU/100ml	UV ₂₅₄ cm ⁻¹	陸源微生物源指標	NPDOC mg/L	SUVA L/mg-m
105.03.10	原水	21.5	8.26	4.85	-	182.1	8.05 (91.8%)	<5	204	0.46	<0.01	0.06	0.22	ND	520	0.0331	1.73	1.5	2.207
105.03.10	慢濾池 1 濾後水	22.7	8.42	0.33	-	200	8.72 (101.3%)	<5	200	0.31	ND	0.02	ND	ND	<1	0.0320	1.95	1.8	1.778
105.03.10	清水 1 (一般供水)	22.9	8.38	0.36	0.52	519	8.53 (99.7%)	<5	208	0.25	ND	ND	ND	ND	<1	0.0256	1.88	1.4	1.829
105.03.10	清水 2	22.7	8.33	0.45	ND	455	8.44 (98.9%)	<5	199	0.28	ND	ND	ND	ND	<1	0.0262	1.96	1.2	2.183

【註】：ND 表示“未檢出”，“-”表示“無檢測數據”

表 4.4-20 泰源淨水場現場採樣水質檢驗分析數據(二)

採樣日期	採樣點	總三鹵甲烷 mg/L
105.03.10	清水 1 (一般供水)	0.00169
105.03.10	清水 2	0.0292

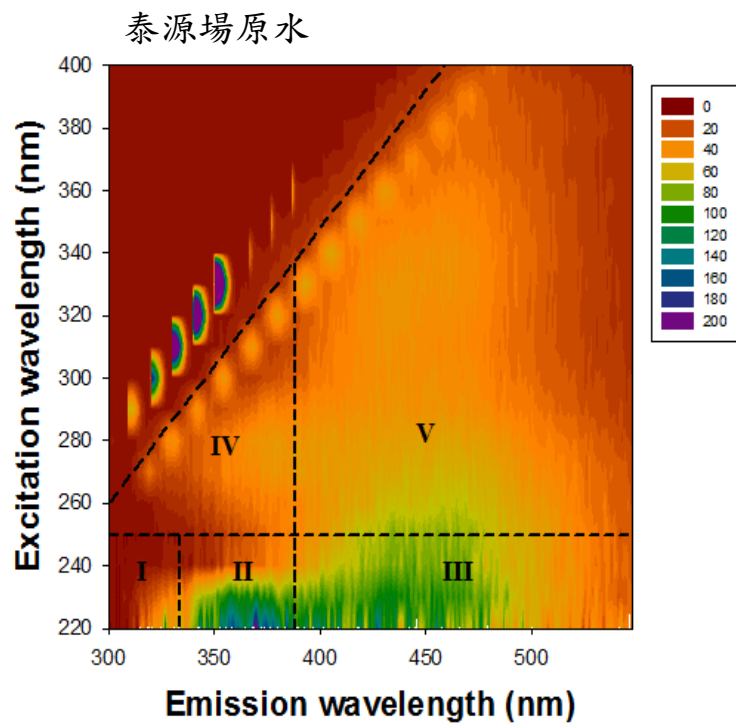


圖 4.4-90 泰源場原水螢光光譜分析結果

泰源場慢濾池 1 濾後水

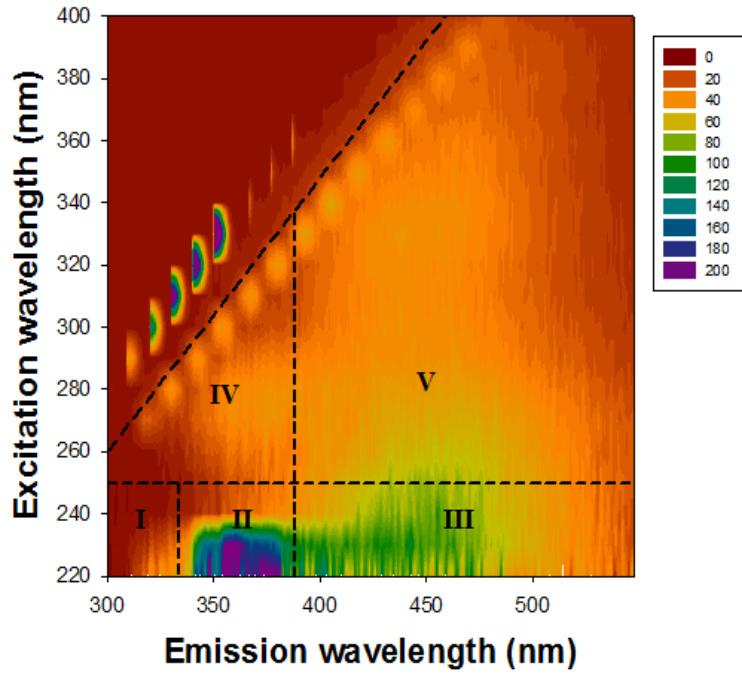


圖 4.4-91 泰源場濾後水螢光光譜分析結果

泰源場清水 1(一般供水)

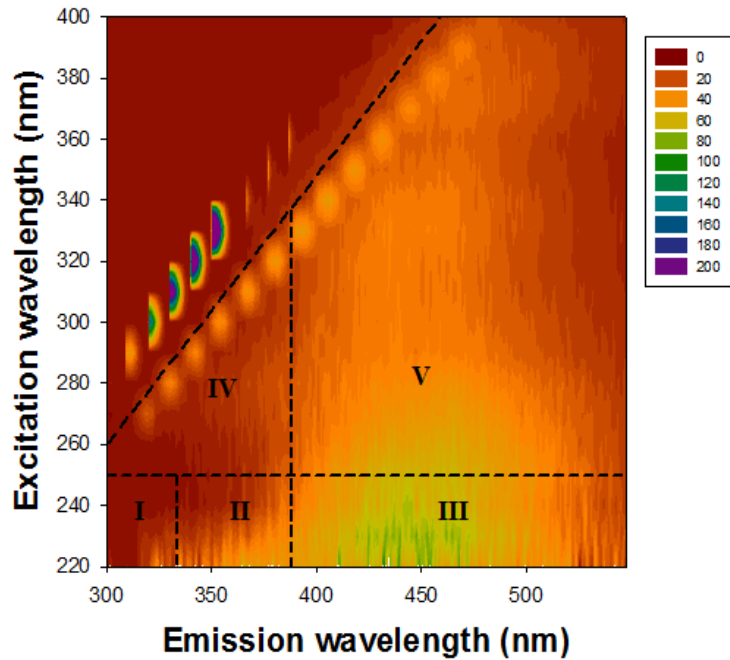


圖 4.4-92 泰源場清水 1 螢光光譜分析結果

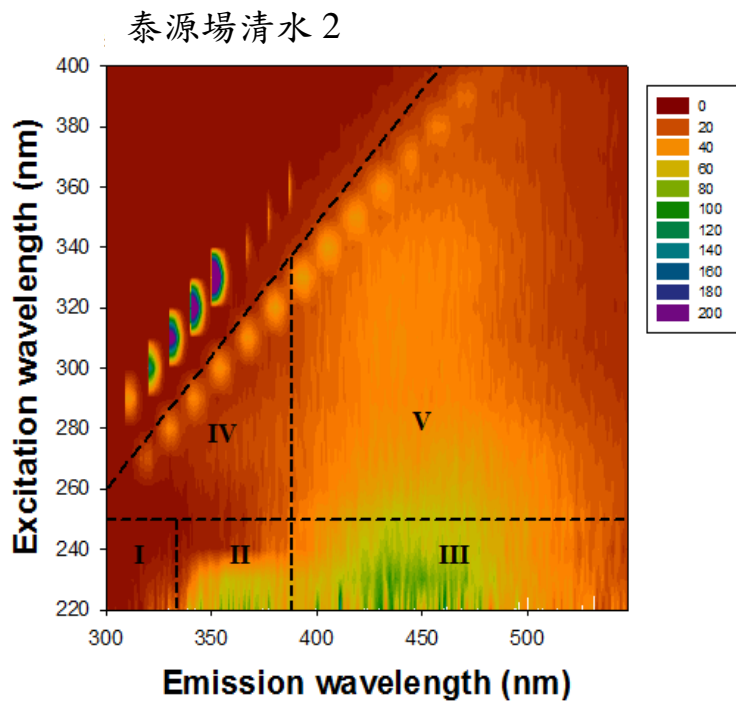


圖 4.4-93 泰源場清水 2 螢光光譜分析結果

➤ 問題及討論

(一)設計問題

1. 濾水溢流堰高度不夠(詳圖 4.4-94)，無法有效蓄水至砂面高度，操作彈性空間受限，出水量無法提升。
2. 濾水溢流堰高度不夠無法讓慢濾池蓄升至滿池(淹過砂面)，加上無反向進水設計，致無法有效將濾砂層中空氣趕出，又因隨過濾時間增加，摩擦損失水頭逐漸增加，當損失水頭大於砂面之水深時，水往下拉產生部分真空，形成負水頭(Negative Head)。若負水頭超出某一限度時，水中溶解之氣體游離而聚積於砂層中導致空氣閉塞(Air binding)，若無及時將濾層中空氣趕出，則易降低過濾效率，影響出水量。

(二)操作面臨問題

1. 濾水控制閥老舊(底部常卡死)，又因場所目前閥件鏽蝕嚴重，目前操作控制不便，不易調整(詳圖 4.4-95)。
2. 濾砂厚度太深達 1.3m，正常僅需 0.7~0.9m 即可，多鋪設並無經濟效益(詳圖 4.4-96)。
3. 慢濾池輪替操作時，缺少將池水蓄滿淹過砂面停留 5~7 天之“養池”程序，使其建立起完整良好的微生物生態系(藻類、細菌、原生動物…等)，導致經由微生物處理分解作用無法有效發揮，甚為可惜。
4. 濾水程序為批次操作，出水量大時液位常常低於砂面(僅部分區塊水位有浸潤至砂面上)，微生物生態系無法均勻生長形成完整生物膜，將會影響生物處理成效(詳圖 4.4-97)。

(三)改善建議

1. 因原水濁度年平均 0.3NTU，最高濁度僅 4.85NTU，若混凝劑加藥控制不當，易導致膠羽穿透濾層出紅水，爰建議毋須添加混凝劑(氯化鐵)(詳圖 4.4-98、圖 4.4-99 及圖 4.4-100)。
2. 增加濾水溢流堰高度，俾利使水位保持在濾砂面以上。
3. 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計)：
 - (1) 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。

- (2) 亦可於出水幹管上設制水閘，利用其他濾池之過濾水返送。
4. 調節井之高程應在砂面以上，以免產生負水頭。
 5. 刮砂深度應加深，要能有效刮除累積在表面上之老舊生物膜，俾使恢復其濾率，提升濾水成效，另刮砂後應需“養池”5~7天，讓新的生物膜生長形成完整的生態系，以有效發揮生物處理效能。
 6. 濾水控制閘老舊，又因場所目前閘件鏽蝕嚴重，目前操作控制不便，不易調整，建議更換成“T”字連桿便於操作人員操作控制(詳圖 4.4-95)。



圖 4.4-94 泰源場濾水溢流堰照片



圖 4.4-95 泰源場濾水控制閘老舊照片

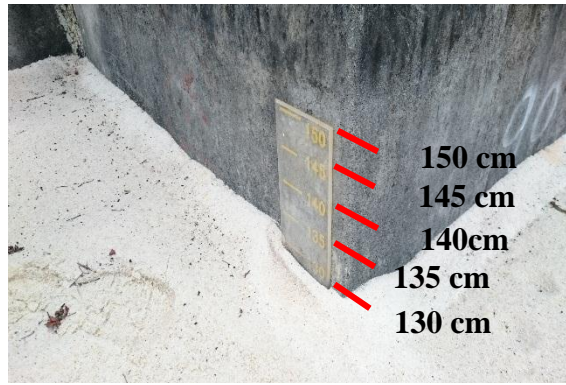


圖 4.4-96 泰源場慢濾池 3 號濾砂鋪設情形



圖 4.4-97 泰源場慢濾池濾砂剖面圖



圖 4.4-98 泰源場沉澱池現場圖(一)



圖 4.4-99 泰源場沉澱池現場圖(二)



圖 4.4-100 泰源場沉澱池氯化鐵加藥點

4.4-11 台東營運所綠島淨水場

➤ 基本資料

本場配置圖及淨水流程圖(詳圖 4.4-101 及圖 4.4-102),於民國 77 年由簡易自來水接管開始啟用,設計出水量 3,840 CMD,水源取自水庫水(酬勤水庫),目前出水量 600~1,000 CMD,4 池慢濾池,目前僅 2 池輪替操作。

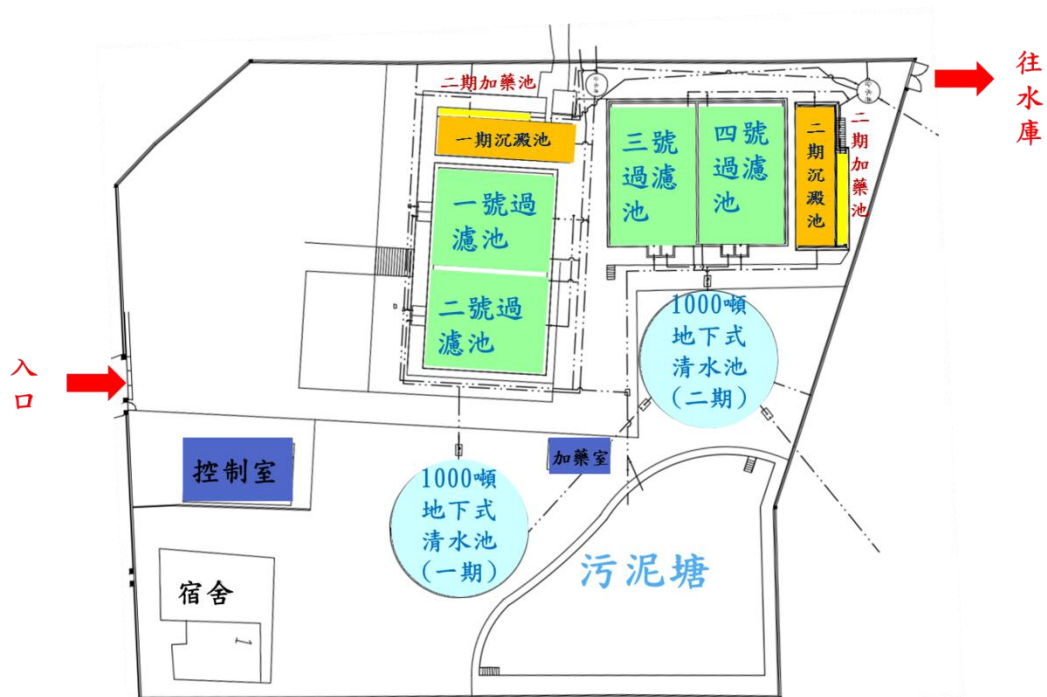


圖 4.4-101 綠島淨水場平面配置圖

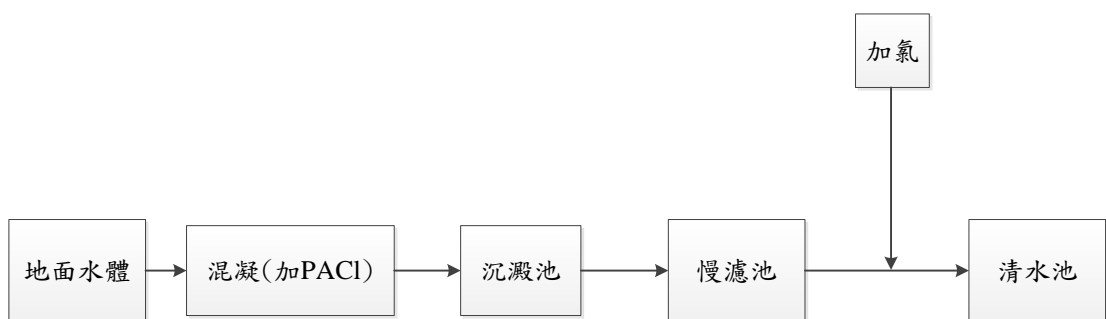


圖 4.4-102 綠島淨水場淨水流程圖

➤ 水質檢驗結果

由表 4.4-21 所示，原水經慢濾系統處理後，其濁度、總鐵、總錳、氨氮、腐植質、總有機碳均下降，溶氧變化不大，顯示水中呈現好氧狀態微生物作用尚佳。若以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源(terrestrial sources)及微生物源(microbial sources)的來源指標(index = int(Ex/Em) : int(Ex/Em) = int(370/450 nm) : int(370/500 nm)，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水中的微生物源貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，藉由指標的差異可了解環境中天然有機質(NOM)的來源。104.05.26 及 104.06.23 之原水陸源/微生物源指標為 1.5、1.67 接近 1.4 代表水體中陸地的腐植質貢獻較大，104.06.24 及 104.06.25 該指標為 1.707、1.762 接近 1.9，代表水中的微生物源貢獻較大，又可觀察出當日原水該指標若屬較接近 1.4，其經淨水處理流程後，指標值會逐漸接近 1.9，顯示環境中天然有機質經微生物作用後有些微變化，另 SUVA 值僅 104.5.26、104.06.23 之原水超過 4 有機物組成大多為水溶性腐植質，以疏水性大分子量為主，其餘不同日期之其他流程水樣均介於 2~4 之間有機物組成以疏水性與親水性混合為主。

表 4.4-21 綠島淨水場現場採樣水質檢驗分析數據

採樣日期	採樣點	水溫 °C	濁度 NTU	pH	導電度 µmho/cm	硝酸鹽氮 mg/L	亞硝酸鹽氮 mg/L	氨氮 mg/L	總鐵 mg/L	總錳 mg/L	溶氧 mg/L	氧化還原電位 mV	鹼度 mg/L as CaCO ₃	總鋁 攜帶型 mg/L	UV ₂₅₄ cm ⁻¹	腐植質 10 ⁻⁹ MQE	陸源微生物源指標	總有機碳 mg/L	NPDOC SUVA	
																			mg/L	mg/L	L/mg-m
104.05.26	原水	25.6	26.2	7.17	250	0.2	ND	0.38	0.48	0.15	3.9	242	48.2	0.04	0.183	49.4	1.5	4.1	3.3	5.536
104.05.26	沉澱後水	25.7	4.19	6.76	272	0.4	0.003	0.09	0.07	0.01	4.5	238.4	36.1	0.13	0.044	28.1	1.9	2.1	1.9	2.321
104.05.26	3號慢濾池 濾後水	25.5	0.37	7.05	278	0.5	0.004	ND	0.01	0.01	3.9	234.5	40.3	0.01	0.036	23.9	1.8	1.3	1.3	2.731
104.05.26	4號慢濾池 濾後水	25.5	0.34	7.11	289	0.3	0.002	ND	0.01	0	3.9	234.1	46.9	0.01	0.033	20.7	2.0	1.6	1.6	2.038
104.06.23	原水	32.1	3.42	7.09	189	0.4	0.001	0.11	0.15	0.045	3.60	205.1	81.1	-	0.0900	35.8	1.674	2.6	2.1	4.286
104.06.23	沉澱後水	31.7	1.23	7.04	182	0.3	0.001	0.01	0.05	0.038	5.56	199.8	69.3	-	0.0457	24.2	1.621	1.9	1.6	2.856
104.06.23	3號慢濾池 濾後水	33	0.29	7.35	204	0.2	0.002	0.00	0.02	0.004	6.02	190.0	70.7	-	0.0367	21.9	1.847	1.4	1.4	2.621
104.06.23	4號慢濾池 濾後水	31.4	0.54	7.33	176	0.3	0.001	0.01	0.03	0.003	6.16	196.3	70.9	-	0.0397	24.2	1.776	1.4	1.4	2.836

104.06.23	清水	31.8	0.48	7.49	202	0.4	0.002	0.00	0.05	0.012	6.70	581.0	76.2	-	0.0327	11.1	2.110	1.5	1.5	2.180
104.06.23	配水	31.3	0.38	7.46	203	0.4	0.001	ND	0.03	0.009	6.74	669.4	75.5	-	0.0327	9.6	1.8	1.5	1.4	2.336
104.06.24	原水	32.2	1.14	7.92	188	0.2	0.002	0.06	0.07	0.019	6.59	360.2	79.1	-	0.0645	22.2	1.707	2.1	1.7	3.794
104.06.24	沉澱後水	31.4	1.49	7.72	176	0.4	0.003	0.04	0.06	0.020	6.84	376.2	71.5	-	0.0626	19.0	1.737	2.2	1.8	3.478
104.06.24	3號慢濾池 濾後水	30.4	0.23	7.32	174	ND	0.001	0.04	0.01	0.002	5.60	433.7	67.2	-	0.0316	21.1	1.851	1.1	1.1	2.873
104.06.24	清水	31.1	0.47	7.41	190	0.4	0.003	ND	0.02	0.007	6.84	567.5	68.4	-	0.0289	11.1	1.840	1.3	1.3	2.223
104.06.24	配水	31.8	0.37	7.36	228	ND	0.003	0.00	0.02	0.007	6.84	437.1	76.6	-	0.0216	7.5	2.008	1	1	2.160
104.06.25	原水	32.1	1.34	7.72	267	0.5	0.003	0.04	0.08	0.014	6.63	213.1	80.3	-	0.0623	18.9	1.762	2.2	1.7	3.665
104.06.25	沉澱後水	31.3	1.73	7.87	245	0.3	0.003	0.05	0.07	0.026	7.16	228.3	78.7	-	0.0643	20.6	1.763	2.3	1.8	3.572
104.06.25	3號慢濾池 濾後水	31.5	0.17	7.43	234	0.2	0.002	0.00	0.01	0.006	5.48	232.8	70.1	-	0.0411	21.9	1.930	1.5	1.4	2.936
104.06.25	清水	31	0.24	7.64	240	0.3	0.002	0.00	0.01	ND	7.08	490.9	72.9	-	0.0277	9.6	1.801	1.5	1.3	2.131
104.06.25	配水	31.7	0.32	7.76	247	0.8	0.003	0.00	0	0.003	6.90	453.5	74.6	-	0.0264	9.4	1.7610	1.4	1.2	2.200

【註】：ND 表示“未檢出”，“-”表示“無檢測數據”

➤ 問題及討論

(一)設計問題

1. 濾水溢流堰高度不夠，無法有效蓄水至砂面高度，操作彈性空間受限，出水量無法提升。
2. 濾水溢流堰高度不夠無法讓慢濾池蓄升至滿池(淹過砂面)，加上無反向進水設計，致無法有效將濾砂層中空氣趕出，又因隨過濾時間增加，摩擦損失水頭逐漸增加，當損失水頭大於砂面之水深時，水往下拉產生部分真空，形成負水頭(Negative Head)。若負水頭超出某一限度時，水中溶解之氣體游離而聚積於砂層中導致空氣閉塞(Air binding)，若無及時將濾層中空氣趕出，則易降低過濾效率，影響出水量。

(二)操作面臨問題

1. 1 號慢濾池調整井出砂，因貼磚有孔隙已暫時用小礫石阻隔調整井出砂。
2. 1、2 號慢濾池調整井制水閥已使用 33 年，設備失靈，軸心不能操作啓閉慢濾池出水以形成生物膜活化，需改善。
3. 1、2 期清水池因 1 期出水老舊 PVC 管破管找不到漏水點，致無法交替使用，須俟汰換出水管線後，方可恢復交互操作；另為避免因加氯後停留時間過長產生總三鹵甲烷消毒副產物超標，已改善加藥點位置。
4. 2 期沉澱池排泥閥不能啓閉，影響清洗沉澱池淤泥清理作業，需改善。
5. 刮砂深度不足，老舊生物膜累積在表面導致濾水效率降低。
6. 慢濾池輪替操作時，缺少將池水蓄滿淹過砂面停留 5~7 天之“養池”程序，使其建立起完整良好的微生物生態系(藻類、細菌、原生動物…等)，導致經由微生物處理分解作用無法有效發揮，甚為可惜。

(三)改善建議

1. 慢濾池操作建議降低濾速以延長需刮砂時間(儘量控制於運轉 30 日後再刮砂)，降雨濁度升高再考量添加 PACl，以減省用藥成本，提升處理效率，加藥須考量鹼度變化並將鹼度納為關鍵操作參數。

2. 所需改善之相關閘類、勞安設施、自動化監測(監控)設施等設備，請十區處先研擬改善設備計畫及編列預算進行改善，專業工程部分，先洽南工處協助辦理，若有困難或預算不足再報總處增配協助。
3. 增加濾水溢流堰高度，俾利使水位保持在濾砂面以上。
4. 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計):
 - (1) 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。
 - (2) 亦可於出水幹管上設制水閘，利用其他濾池之過濾水返送。
5. 調節井之高程應在砂面以上，以免產生負水頭。

4.5 慢濾池設計及操作營運建議準則

一般來說在慢濾池的設計及操作管理是以梨形鞭毛蟲、隱孢子蟲及病毒去除率2個log為處理目標，若是慢濾池原水有較高的濁度時，可規劃簡易的粗濾以作為前處理，而有表層藻類增生現象時，可考慮在濾池頂加蓋。在慢濾池設計前必須先進行模場試驗，試驗的目的希望了解設計的相關參數，包括：

- 一、了解以慢濾的方式是否能達到處理原水符合清水水質的目標。
- 二、了解透過慢濾的方式對於原水中污染物的去除效率。
- 三、了解最適當的操作濾率。
- 四、了解最適當的濾砂型態。
- 五、提供未來設計的相關參數並評估所需的費用。

在慢濾的操作程序中，前處理不可以加氯進行污染物的氧化，因為這麼做會導致濾砂生物活性降低甚至死亡，將嚴重影響去除效能，但於濾後加入氯進行消毒，則必須在清水及配水階段進行消毒副產物的監測與追蹤，以確保用水安全。

慢濾池之操作因淨水設備設計互異，以致操作營運經驗無法完全適用於所有慢濾池淨水場，為有效提升慢濾池之操作，透過綜合水質分析及相關水質參數為分析基礎，濾池的濾率、有效粒徑、池深、刮補砂方式及相關控制因子進行操作模式探討，並判斷是否將原有之慢濾池設備，加以妥善利用，以期達到最佳的處理效率及效能，並對慢濾池之設計、管理、操作及維護進行完整檢視及分析，以達慢濾池之最佳化操作，以提升慢濾池之操作營運效能。

綜合本研究所觀察現有營運中的慢濾池淨水場的優缺點，參考相關文獻資料所提出之操作、設計、營運及管理準則，搭配水質採樣檢測分析，以下提出本研究建議之設計及操作管理準則：

一、慢濾池設計建議準則

項次	建議準則	說明
一	濾率設計介於 2~10 公尺/天，但在，短時間也能提升到 15 公	慢濾濾速對於濾池刮砂的間距影響非常大，低的慢濾

項次	建議準則	說明
	尺/天過濾水還能符合水質標準。	濾速其濾池刮砂的間距較長，適當的濾速必須由模場試驗了解原水處理的結果取得，而確定設計濾速後，再計算原水處理量便可得出所需的濾池面積。
二	濾池數最少為 2 池，每一池處理量以 2500 CMD 為原則，每超過 2500 CMD 則增加一池。	考量慢濾池需進行濾砂刮除及濾池熟成需耗費時日，所以，濾池設計的個數必須考量這個因素，甚至是濾池維修所需的時間也須考量在內，每個慢濾的濾池必須能獨立操作及控制。
三	濾砂設計數值 (一)有效粒徑(D_{10})0.15-0.3 公厘 (二)均勻係數(D_{60}/D_{10}) <2.0 (三)未清洗濾砂通過 200 號篩 <3% (四)已清洗濾砂通過 200 號篩 <0.1%	慢濾池的濾料包括濾石及濾砂，濾石的作用在於支撐濾砂，並將過濾水平均分配於收集設備，而濾砂的選擇對於處理的效果有很大的影響，濾砂篩分析常用於濾砂的特性判斷，太粗的濾砂粒徑對於濁度去除不佳且無法提供足夠的生物生長表面積，太細則會提高水頭損失降低濾速減少出水量。相關設計如圖 4.3-1
四	慢濾池管線設計應包括： (一)初期過濾水排放管 (二)溢流管 (三)上層浮渣排除管 (四)底部排放管 (五)反向進水設計 (六)過濾水分配及過濾水收集 (七)濾池底部收集系統	在慢濾池設計時須考慮水進出的安排，有幾個設計考量應行注意，相關設計圖說如圖 4.3-2

項次	建議準則	說明
五	以進流設備的調整，控制進入慢濾池的水量。	操作人員可利用進流的流量控制設備進行入流量之管控，達到有效控制水位的目的。
六	出水設備藉由堰、閘、流量計及壓力計的搭配組合，以控制出水量。	利用出水控制的一項好處是可以調整及控制慢濾池砂面上的水位高度，一來可以避免空氣進入濾砂層造成閉鎖，二來可以讓濾砂層內的生物能浸潤在水中，確保生物活性。
七	利用水壓計或在慢濾池邊裝置透明 PVC 水管，以了解各池的水頭損失。	裝置壓力計，或在管上加註尺規，很容易就能掌握各池的水位情形，讓操作人員容易判讀應執行的作業。
八	慢濾池整體設計 (一)前處理設備 (二)抽水機及水池 (三)監測儀器及監控設備 (四)遠端監控系統	為了讓慢濾操作更為穩定、效能更佳，須根據水質、操作環境及供水需求進行相關配套設計。

二、慢濾池操作營運建議準則

許多的慢濾池操作條件取決於原始的設計條件，而更細微的操作是透過淨水目標的訂定，包括水質、水量等及維護工作，則取決於慢濾池操作時，由各濾池表現出來的狀態。

項次	建議準則	說明
一	操作人員須有專業訓練及認證。	相關人員必須符合考驗之規定，才能在專業認證下進行自來水的操作及營運管理
二	慢濾池的操作營運及維護必須有充分的人力進行。	為確保操作品質，操作人力須完整配置。
三	當新濾池開始運作或是刮砂	完整的生物生長才能達到

項次	建議準則	說明
	後之重行啟動運作，皆須有完整的生物生長即熟成作用。	污染物去除的效果。
四	當慢濾池水位達到設定的終點的位置高度後，濾池必須進行刮砂或刨鬆作業。	砂層上的水頭損失已經累積到控制水位(約 120~150 公分),此時濾砂表層約 5 公分佈滿了生物,該層必須刮除或刨鬆以降低水頭損失。
五	每日操作人員必須藉由監控紀錄判斷目前的水質狀態及相關操作參數	
六	慢濾池需定期維護補充新砂。	就慢濾池來說,定期維護就是補新砂,當每次刮砂後變會損失一些濾砂,一段時間後濾砂的厚度就會明顯的降低,通常而言,濾砂最少厚度須保持在 50 公分以上,重補濾砂其特性必須與原設計相同,可以補充新濾砂或將舊的濾砂加以清洗後使用。

第五章 結論與建議

5.1 結論

一、綠島淨水場實場驗證成果綜整如下：

- (一) 綠島淨水場原水水質所含有機物主要組成大多為水溶性腐植質，以疏水性大分子量為主，混凝去除效果介於中等至良好，惟透過螢光光譜分析結果，得知若加氯消毒加氯量控制不佳或於清水池停留時間過長易導致其後端有機物質-親水性之黃酸再度與氯反應生成三鹵甲烷，造成增加超出飲用水水質標準風險，爰建議須注意加氯量調控及減少清水添加次氯酸鈉後在供水系統內的停留時間。
- (二) 由螢光光譜分析結果顯示有機物透過慢濾池中微生物氧化作用其訊號值均能降低，降解為疏水性之類黃酸物質與小分子簡易芳香族蛋白質。
- (三) 由運營中慢濾池淨水場水質分析結果及現場評估成果，生物性指標(大腸桿菌群、總菌落數)均可完全去除，總有機物、氨氮、鐵及錳於慢濾操作正常狀況下亦大部分可去除，清水水質符合飲用水水質標準。
- (四) 由實場試驗結果得知，在生物馴養良好的慢濾池，其鐵、錳、氨氮、硝酸鹽氮去除效率與傳統混凝沉澱-慢濾方式差異並不明顯，且皆能將出水水質控制在飲用水水質標準內，其 TOC、濁度及 NPTOC 則是在原水含量較高的環境能得到較高的去除率。以本次實驗結果發現，不添加 PACl、僅採用慢濾池之淨水程序，能有效降低水中 TOC 及 NPTOC 濃度，搭配良好的生物馴養才能發揮功用，又因綠島地區夏日溫度偏高、日照強烈，生物膜生長對操作、淨水速率以及濾程的影響較大，實場操作需進行有效生物層熟成的作業。

二、透過 11 座運營中慢濾池淨水場評估成果，設計主要問題歸納如下：

- (一) 濾水溢流堰高度低於砂層高，無法有效確保蓄水高度，造成砂層表面生態環境變異，可能產生砂面上層水時有時無、水位高度變化大、僅局部砂層進行處理，甚至生物膜被曬乾等，將嚴重影響生物活性，致使污染物去除能力降低或

無效果。

- (二) 慢濾池缺反向進水設計，致無法有效將濾砂層中空氣趕出，又因隨過濾時間增加，摩擦損失水頭逐漸增加，當損失水頭大於砂面之水深時，水往下拉產生部分真空，形成負水頭(Negative Head)，若負水頭超出某一限度時，水中溶解之氣體游離而聚積於砂層中導致空氣閉塞(Air binding)，若無法將濾層中空氣趕出，將降低過濾效率減少出水量，也會影響生物的生長。
- (三) 無設置濾水控制閥，無法有效控制砂面液位及過濾之濾程，導致濾水程序變成批次操作，出水量大時液位常常低於砂面，微生物生態系無法有效生長形成完整生物膜，導致濾水時生物處理效能成效不彰。

三、透過 11 座運營中慢濾池淨水場評估成果，操作主要問題歸納如下：

- (一) 刮砂深度不足，老舊 生物膜累積在表面導致濾水效率降低。
- (二) 慢濾池輪替操作時，缺少將池水蓄滿淹過砂面停留 5~7 天之“熟成”程序，使其建立起完整良好的微生物生態系(藻類、細菌、原生動物…等)，導致經由微生物處理分解作用無法有效發揮。
- (三) 濾砂僅刮砂補砂，無定期整池更新換砂，部分淨水場濾池濾砂有結塊情形發生，致無法有效發揮淨水功能。
- (四) 原操作程序在慢濾池前端加入次氯酸鈉的操作方式，對於生物有極大的危害，無法讓生物保有適當的活性，影響污染物的去除效率且會造成鐵錳沉澱於濾砂形成硬塊。

四、慢濾池的設計必須根據供水目標的需求、原水特性、環境特性，根據這個條件來加以規劃及設計，設計時更須考量未來操作營運的動線安排及系統的穩定。

五、慢濾池操作條件取決於原始的設計，而更細微的操作及維護工作，則取決於慢濾池操作時，由各濾池表現出來的狀態，透過淨水目標的訂定，包括水質、水量等，慢濾池操作主要工作包括，濾池熟成、過濾程序控制及濾砂刮除。

5.2 建議

- 一、針對現行運營中之 40 座慢濾池淨水場(扣除本次普查之淨水場 11 座)，利用附錄二、附錄三樣張進行全面性評估，並依其結果逐步進行改善，提升慢濾系統處理效能。
- 二、本案研究發現生物行為對於慢濾池之處理效益影響極大，惟囿於時間因素，並未就生物相之相互關係進行深入之探討，後續的研究若能解析藻類、微生物、原蟲及其生態圈之關係，對於慢濾池的研究將有更具體的發現。

參考文獻

American Water Works Association (1991). *Manual of design for slow sand filtration*. AWWA.

American Water Works Association (1999). *Water Quality and Treatment*, McGraw-Hill, New York, p.6.4.

Bai, X., Wu, F., Zhou, B., & Zhi, X. (2010). Biofilm bacterial communities and abundance in a full-scale drinking water distribution system in Shanghai. *Journal of water and health*, 8(3), 593-600.

Barrett, J. M., Bryck, J., Collins, M. R., Janonis, B. A., & Logsdon, G. S. (1991). *Manual of design for slow sand filtration*. AWWA Research Foundation and American Water Works Association.

Bayless, W., & Andrews, R. C. (2008). Biodegradation of six haloacetic acids in drinking water. *Journal of water and health*, 6(1), 15-22.

Becker, W. C., & Lee, R. G. (1987). Evaluation of In-Line Direct and Slow Sand Filtration for Turbidity and Giardia Removal. *1987 Annual Conference Proceedings; American Water Works Association; Our Water Makes the Difference*.

Bellamy, W. D., Hendricks, D. W., & Logsdon, G. S. (1985). Slow sand filtration: influences of selected process variables. *Journal-American Water Works Association*, 77(12), 62-66.

Bers, P. A., & American Water Works Association. (1991). Construction costs for slow sand filter plants. In *Slow sand filtration workshop* (pp. 1-10). AWWA.

Burman, N.P. (1962). Biological control of Slow Sand Filtration. *Effluent water treatment Journal*.2: 674.

Bryck, J., Walker, B., & Mills, G. (1987). Giardia removal by slow sand filtration-pilot to full scale. In *Proceedings AWWA Seminar on Coagulation and Filtration: Pilot to Full Scale* (pp. 49-58).

Calvo-Bado, L. A., Pettitt, T. R., Parsons, N., Petch, G. M., Morgan, J. A. W., & Whipps, J. M. (2003). Spatial and temporal analysis of the microbial community in slow sand filters used for treating horticultural irrigation water. *Applied and environmental microbiology*, **69**(4), 2116-2125.

Campos, L. C., Su, M. F. J., Graham, N. J. D., & Smith, S. R. (2002). Biomass development in slow sand filters. *Water research*, **36**(18), 4543-4551.

Chen, W., Westerhoff, P., Leenheer, J. A., & Booksh, K. (2003). Fluorescence excitation-emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter. *Environmental science & technology*, **37**(24), 5701-5710.

Cleasby, J. L., Hilmoe, D. J., & Dimitracopoulos, C. J. (1984). Slow sand and direct in-line filtration of a surface water. *Journal (American Water Works Association)*, 44-55.

Collins, M. R., Eighmy, T. T., & Malley, J. P. Jr. (1989). *Modifications to Enhance the Performance of Conventional Slow Sand Filtration*. Proceedings AWWA Seminar on Emerging Technologies in Practice.

Cullen, T. R., & Letterman, R. D. (1985). The effect of slow sand filter maintenance on water quality. *Journal (American Water Works Association)*, 48-55.

Edzwald, J. K., & Tobiasson, J. E. (1999). Enhanced coagulation: US requirements and a broader view. *Water Science and Technology*, **40**(9), 63-70.

Edzwald, J. K. (2011). *Water Quality and Treatment: A handbook on drinking water*. New York: McGraw-Hill.

Eighmy, T. T., Collins, M. R., Spanos, S. K., & Fenstermacher, J. (1992). Microbial populations, activities and carbon metabolism in slow sand filters. *Water Research*, **26**(10), 1319-1328.

Eighmy, T. T., Collins, M. R., Malley, J. P. Jr., Royce, J., & Morgan, D. (1993). *Biologically Enhanced Slow Sand Filtration for Removal of Natural Organic Matter*. AWWA Research Foundation and American Water Works Association.

El-Masry, M. H., Hassouna, M. S., El-Rakshy, N., & Mousa, I. E. S. (1995). Bacterial populations in the biofilm and non-biofilm components of a sand filter used in water treatment. *FEMS microbiology letters*, **131**(3), 263-269.

Ellis, K. V., & Aydin, M. E. (1993). A study of three slow sand filters at various flow rates with constant temperature. *Aqua AQUAAA*, **42**(2).

Fenstermacher, J. M. Jr., Spanos, S. K., Collins, M. R., & Eighmy, T. T. (1988). Characterization of Trihalomethane Precursor Removal in Municipal Slow Sand Filters. *1988 Annual Conference Proceedings; American Water Works Association; the Wonderful World of Water*.

Fox, K. R., Miltner, R. J., Logsdon, G. S., Dicks, D. L., & Drolet, L. F. (1984). Pilot-plant studies of slow-rate filtration. *Journal (American Water Works Association)*, 62-68.

Galvis, G., Latorre, J., & Galvis A. (2002). Mutli-Statge Filtration Technology. In *small community Water supplies*. IRC Technical Paper Series 40. IRC International Water and Sanitation Center, 121-345.

Garibaldi, A., Minuto, A., Grasso, V., & Gullino, M. L. (2003). Application of selected antagonistic strains against *Phytophthora cryptogea* on gerbera in closed soilless systems with disinfection by slow sand filtration. *Crop Protection*, **22**(8), 1053-1061.

Guchi, E. (2015). Review on Slow Sand Filtration in Removing Microbial Contamination and Particles from Drinking Water. *American Journal of Food and Nutrition*, **3**(2), 47-55.

- Grützmacher, G., Böttcher, G., Chorus, I., & Bartel, H. (2002). Removal of microcystins by slow sand filtration. *Environmental Toxicology*, *17*(4), 386-394.
- Hendricks, D. W. (1991). Giardia Cyst Removal by Slow Sand. In *International Slow Sand Filtration Workshop* (Vol. 27, p. 30).
- Huisman, L., & Wood, W. E. (1974). *Slow sand filtration* (Vol. 16). Geneva: World Health Organization.
- Jenkins, M. W., Tiwari, S. K., & Darby, J. (2011). Bacterial, viral and turbidity removal by intermittent slow sand filtration for household use in developing countries: Experimental investigation and modeling. *Water research*, *45*(18), 6227-6239.
- Krasner, S. W., Croué, J. P., Buffle, J., & Perdue, E. M. (1996). Three approaches for characterizing NOM. *American Water Works Association. Journal*, *88*(6), 66-79.
- Kohne, R. W., & Logsdon, G. S. (2001). Slow sand filtration. In *Bridging the Gap@ sMeeting the World's Water and Environmental Resources Challenges* (pp. 1-3). ASCE.
- Le Craw, R. A. (1996). Introduction to a Multi-Stage Slow Sand Filtration Plant for Small Systems. *1996 Annual Conference Proceedings; American Water Works Association; Engineering and Operations*.
- Leland, D. E. (1991). Slow Sand Filtration – Piloting Requirements. *Slow Sand Filtration Workshop: Timeless Technology for Modern Applications*.
- Linlin, W., Xuan, Z., & Meng, Z. (2011). Removal of dissolved organic matter in municipal effluent with ozonation, slow sand filtration and nanofiltration as high quality pre-treatment option for artificial groundwater recharge. *Chemosphere*, *83*(5), 693-699.
- Logsdon, G. S., Kohne, R., Abel, S., & LaBonde, S. (2002). Slow sand filtration for small water systems. *Journal of Environmental Engineering and Science*, *1*(5), 339-348.

- Marcantoni, C., & Cotto, M. C. (1998). Growth of Microbial Population in the Schmutzdecke of a Slow Sand Filter and Its Relationship with Treated Water. *Annual Conference Proceedings; American Water Works Association; Volume C: Water Research*.
- Seelaus, T. J., Hendricks, D. W., & Janonis, B. A. (1986). Design and operation of a slow sand filter. *Journal of the American Water Works Association*, *78*(12), 35-41.
- McMeen, C. R., & Benjamin, M. M. (1997). NOM removal by slow sand filtration through iron oxide-coated olivine. *American Water Works Association. Journal*, *89*(2), 57.
- Moncayo-Lasso, A., Pulgarin, C., & Benítez, N. (2008). Degradation of DBPs' precursors in river water before and after slow sand filtration by photo-Fenton process at pH 5 in a solar CPC reactor. *Water research*, *42*(15), 4125-4132.
- Muhammad, N., Ellis, K., Parr, J., & Smith, M. D. (1996). Optimization of slow sand filtration. *WEDC, LOUGHBOROUGH UNIVERSITY, LEICESTERSHIRE LE 11 3 TU(UK).*, 283-285.
- Riesenberg, F., Walters, B. B., Steele, A., Ryder, R. A. (1995). Slow Sand Filters for a Small Water System. *Journal American Water Works Association*. *87*(11): 48-56.
- Rooklidge, S. J., Burns, E. R., & Bolte, J. P. (2005). Modeling antimicrobial contaminant removal in slow sand filtration. *Water research*, *39*(2), 331-339.
- Schuler, P. F., & Ghosh, M. M. (1991). Slow Sand Filtration of Cysts and Other Particulates. In *American Water Works Association. Proceedings, AWWA Annual Conference* (pp. 235-252).
- Selcky, M., White, B., & Grunenfelder, G. (2003). *Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems*. Washington State Department of Health: Environmental Health Program Division of Drinking Water.

Sharpe, A. J., Quern, P. A., Currier, R. A. (1991). Slow Sand Filtration: A Consultant's Point of View. *Slow Sand filtration Workshop: Timeless Technology for Modern Applications*.

Slezak, L. A., & Sims, R. C. (1984). The application and effectiveness of slow sand filtration in the United States. *Journal American Water Works Association*, **76**.

Timms, S., Slade, J. S., & Fricker, C. R. (1995). Removal of Cryptosporidium by slow sand filtration. *Water Science and Technology*, **31**(5), 81-84.

Visscher, J. T., Paramasiram, R., Raman, A., & Heijnen, H. A. (1987). *Slow Sand Filtration for Community Water Supply: planning, design, construction, operation, and maintenance* (Vol. 24). IRC.

Visscher, J. T., Galvis Castaño, G., Smet, J., & American Water Works Association. (1991). Slow sand filter design and construction learning from experience. In *Slow sand filtration workshop* (p.1). AWWA.

Visscher, J. T. (1990). Slow sand filtration: design, operation, and maintenance. *Journal (American Water Works Association)*, 67-71.

Wobma, P., Pernitsky, D., Bellamy, B., Kjartanson, K., & Sears, K. (2000). Biological filtration for ozone and chlorine DBP removal. *Ozone: science & engineering*, **22**(4), 393-413.

Zheng, X., Mehrez, R., Jekel, M., & Ernst, M. (2009). Effect of slow sand filtration of treated wastewater as pre-treatment to UF. *Desalination*, **249**(2), 591-595.

Zheng, X., Ernst, M., & Jekel, M. (2010). Pilot-scale investigation on the removal of organic foulants in secondary effluent by slow sand filtration prior to ultrafiltration. *Water research*, **44**(10), 3203-3213.

中本信忠 (著)、金聖哲及徐雲 (譯) (2010)。安全飲用水-生物淨化法指南。科學出版社。

台灣自來水公司 (2015)。慢濾池濾料規格及敷裝。施工說明書總則及有關規定。

經濟部水利署 (2003)。自來水工程設施標準。

林財富、曾怡禎 (2008)。特殊水質處理技術之綜合評估--子計畫: 淨水場藻類毒素流佈及處理之研究。國科會研究報告。

李麗、王琳、李文露、豆潔 (2012)。生物慢濾對污染物的去除效果研究。化學與生物工程, 29 (1), 76-78。

楊香東、向清炳、徐平 (2009)。宜昌薄壁涵管式生物慢濾池設計與施工工藝淺析。中國水利, (11), 29-30。

黃永定 (2008)。慢砂濾池生物膜生物總量與含鹵乙酸降解之關係。臺灣大學環境衛生研究所碩士學位論文。

張景瑜 (2010)。慢濾池降低水中亞硝基二甲胺濃度之研究。臺灣大學環境衛生研究所碩士學位論文。

董軍 (2008)。慢濾池去除原水中微量有機物及氨氮的應用研究。

昆明理工大學碩士學位論文。

臺北市自來水事業處 (1976)。臺北市自來水事業工程設施標準。

賴士鵬 (2006)。含鹵乙酸於慢濾處理流程降解特性之探討。臺灣大學環境衛生研究所碩士學位論文。

劉來勝 (2013)。生物慢濾技術研究及其在集雨水飲用安全保障中的應用。中國水利水電科學研究院博士學位論文。

謝淑婷 (2011)。慢濾池中異臭味物質及鹵化乙酸降解特性之研究。臺灣大學環境衛生研究所碩士學位論文。

張庭瑋 (2011)。模擬高級與傳統淨水場中污染物之變化。中山大學環境工程研究所博士學位論文。

劉玲花、周懷東、王衛紅、李文奇 (2004)。生物慢濾技術用於農村飲水處理的研究。安全與環境學報，4 (1)，12-17。

劉輝 (2003)。全流程生物氧化技術處理為污染原水。化學工業出版社。

林明賢 (2012)。產業放流水溶解性有機質光學特性。國立屏東科技大學環境工程與科學系碩士學位論文。

附錄一 期中報告審查委員意見回覆

委員審查意見	意見回覆
李嘉榮委員	
<p>1. 綠島淨水場其處理設備是有混凝沉澱再經慢濾，又從本研究案之描述，原濾池操作並未考量濾層上面應保持一定之作用水頭，似乎在操作上並未依標準作業程序，須增設清水堰調整水頭，請教研究單位，本案有取水樣檢測多項之水質，能否說明所取之清水水樣是否為設備改善後，如否，有無在檢測改善後之水質做比對。</p>	<p>1.有關本研究計畫第一階段實廠試驗-綠島淨水場之試驗計畫，分為兩大部分，一是，在設備改善前後進行水質比對，另一是，運行中的兩個濾池進行相關操作參數改變之比對，以了解相關參數對於水質之影響。</p> <p>2.利用蒐集的水質資料分析其差異並探討原因，經參考相關文獻資料後，研擬慢濾池評估作業及試驗計畫，作為後續其他的慢濾池淨水場之研究的方向。</p>
<p>2. 本研究預期成果，提出依台北水公司需求且適當之慢濾池設計建議準則，依北水工程設施標準及自來水設施標準（p.5）均已擬定慢濾池之設計原則，依目前試驗成果提出之問題在於濾池操作水頭未保持及加氯點改變，以減少加氯之反應時間，似乎對</p>	<p>1.目前自來水事業主管機關水利局已訂定「自來水設備工程設施標準」，中華民國自來水協會根據上開法令規定另請專家學者撰寫解說，此為最上位也是重要的設計、操作準則，台灣自來水公司及台北自來水事業處也各自訂有相關工程設施標準。惟因慢濾池設備之操作因諸多因素已非淨水</p>

委員審查意見	意見回覆
<p>慢濾設計原則尚無特別須改正之處，如有，能否能於期末報告或結論再予詳細表述。</p>	<p>技術主流，相關的設計及操作漸生疏，且有許多關鍵但難以書面質化的內隱知識，本研究將以實場的評估及試驗，協助慢濾池淨水場在不大幅改變現有設備的前提下，提升現有設備的效能及操作技術。</p> <p>2.本研究慢濾池設計、操作、營運及管理之準則探討詳如 4.3 節。</p>
<p>3. 圖 10、11 及 13 鐵、錳及硝酸鹽氮含量變化及去除率趨勢圖，有異常之部分如 8/11 鐵含量沉澱水高於原水，8/11 錳含量過濾水高於原水，及 7/28 硝酸鹽氮過濾水高於原水，又 6/23 硝酸鹽去除率 100%，6/24 去除率-100%，其合理性能予說明。</p>	<p>關於審查意見所指示的相關圖說為實場測試之實際結果，其中包括不同階段的測試條件，相關的測試條件參數及狀態已補充說明，原表達方式欠佳已修正，謝謝委員提醒。</p>
<p>4. 報告內提及東港林邊場、澎湖吉貝場、西嶼場及汐止白雲場，水質分析探討，因水源條件不同，如地面水、鹽井水或深井水均經慢濾處理，幾個水質項目之分析均合格，能否再補充水源特性或處理流程之描述，俾本報告更週</p>	<p>期中報告中有關東港林邊淨水場、澎湖吉貝淨水場、西嶼淨水場及汐止白雲淨水場其水質數據，係取自台水公司 LIMS(水質數據)系統，該水質檢驗採樣頻率為每三個月一次，取其數據分析係希望透過長期的數據來了解其水質變化趨勢及操作成效。在期</p>

委員審查意見	意見回覆
全完整。	中報告過後，本研究團隊已親赴現場進行相關評估及試驗，其結果請參閱 4.4 節慢濾池淨水場現場評估成果。
李丁來委員	
1. p.3~4 第二章宜增列慢濾池標準斷面圖及平面圖，簡介各項諸元。	謝謝委員指導，已補充於 4.3 節。
2. p.5~11 本報告許多字句用法不一，例如「砂」或「沙」，「m」、「公尺」、「米」、「mm」、「公厘」...等字句筆誤，請詳報告批註。	謝謝委員指導，已遵照意見修正。
3. p.8~10 報告中，引用大陸研究文獻部分，字句請酌修。	謝謝委員指導，已遵照意見修正。
4. p.11 藻類對混凝土之影響，可添加「鈣離子」的方式調整，此為何意？	此部分為筆誤，謝謝委員指導，已予以修正。
5. p.12 「陸源/微生物源指標」- 「FEEMs」其英文原意？	螢光激發/發散陣列光譜儀 (Excitation/Emission Matrix Spectrofluorometer，簡稱 FEEMs)，分析溶解性有機物 (Dissolved Organic Matter, DOM) 之特性及來源，藉由激發與發射波長之全波長掃描勾勒出螢光示

委員審查意見	意見回覆
	<p>意圖，具有不同官能基的物種依其存在的濃度，在圖譜上的特定位置顯示其波峰，濃度越高具有越高之峰值。</p> <p>螢光分析技術在水領域方面有許多相關的運用，國外學者以匯集前不同源頭之螢光圖譜為依據，追蹤匯集後河水中有機質的來源。國外學者以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源 (terrestrial sources) 及微生物源 (microbial sources) 的來源指標 (index = int(Ex/Em) : int(Ex/Em) = int(370/450 nm) : int(370/500 nm))，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水體中微生物源有機質貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸源有機質貢獻較大，藉由指標的差異了解環境中有機質的來源。</p>
<p>6. p.14 TTHMs 之試驗，宜註明儲存及溫度？因溫度會影響其生成。</p>	<p>根據 IWA 進行 TTHMFP 的試驗時係以溫度恆溫攝氏 25 度進行連續 7 天的試驗，為本研究期望以現場的實際條件來了解慢濾水進入管網後 24 小時內可能發生之最大 TTHMs 的產生量，以了</p>

委員審查意見	意見回覆
	解對於 TTHMs 的生成控制的條件，因此，對於溫度未加以控制且時間也以供水系統最長時間來模擬。
7. p.17 §3.3-6 宜與§3.3-5 更換位置。	謝謝委員指導，已遵照意見調整，詳 3.2-3 節。
8. p.23 氮氮去除原理為「吸附沈降」，其推論？	此部分為筆誤，謝謝委員指導，已予以修正。
9. p.31 「確校試驗」為何？	此部分為「確效試驗」之筆誤，實驗設計係用以觀察，當慢濾池前處理採傳統加聚氯化鋁之混凝沉澱時，不同的混凝劑加藥量產生殘餘鋁及濁度變化的效果，經實驗觀察，慢濾池對於鋁及濁度的濾除效果非常好，皆能遠低於法規標準，惟聚氯化鋁的添加對於慢濾池的操作有極大的害處，會造成濾程縮短，也影響濾砂表面生態系統的發展。
10. p.32 pH 之控制為何會影響混凝成效？	綠島淨水場因受限於人力及技術，對於混凝劑的添加並未能充分了解，在以濁度為標的的條件下，聚氯化鋁的添加層高達 100 mg/L(濁度約 10 NTU)，超量的混凝劑添加造成 pH 下降，惟也促成了較明顯的膠羽(pH 趨近於

委員審查意見	意見回覆
	7.4)；經本研究顯示不添加聚氯化鋁的操作的條件下，仍有很好的污染務去除效果，現況實場已不添加混凝劑。
11. p.33TTHMs 之溫度控制為何？	其理由同第 6 點的說明，謝謝委員指正。
12. p.59「設計」宜修正為「功能設計」。	謝謝委員指導，已調整至相關章節 4.3 節修正。
吳振榮委員	
1. 文中對於慢濾池蒐集甚多相關文獻（如：p.3~5），惟本文中的論述似乎又與文獻不一致，或有其實務上之差異但並未見說明，如：p.12（慢濾池微生物馴養至 1~2 星期即因濾速降低而進行刮砂作業）、p.43（調整清水堰高度在慢濾砂層上層水位高於 20 公分）等等，建議再做整理。	因慢濾池的功能係以微生物、藻類、原生動物等之生態系統息息相關，因此相關的文獻及實場之設計、操作條件、原水水質等有不同的結果，但基本上，如何促成生態系統有效發展，是慢濾池成功的重要觀察指標，本研究於現勘 12 個慢濾池淨水場時，也發現其個別的差異而影響到出水水質，相關設計及操作建議事項已納入 4.3、4.4 節補充說明，謝謝委員指導。
2. 針對慢濾池進水原水水質有提供至少前 3 年的濁度及鐵	謝謝委員指導，已於 4.4 節水質資料納入色度檢驗。

委員審查意見	意見回覆
<p>錳等水質資料，但欠缺「色度」資料，建議再做檢視。</p>	
<p>3. p.45 「調整加入次氯酸鈉的位置，讓過濾水與氯的接觸時間控制在 6 小時內即可進入供水系統，將會降低 TTHM 產生量」，此對場站實際操作非常有用，但文中未見如何調整，建議再做補充。</p>	<p>綠島淨水場最大的水質問題是總三氯甲烷(TTHM)，因此，最作為實場案例的探討時即以此為處理目標，以三氯甲烷生成潛勢(TTHMFP)試驗結果發現接觸時間是重要因子，根據現場設備及條件，研究團隊嘗試以將加氯點調整為出水口前端 3 公尺處，並以流量計為輔助控制加氯，經測試結果可穩定出水餘氯量並能有效控制 TTHM 的生成。</p>
<p>4. p.60 建議「利用地下水井混合清水操作降低總三鹵甲烷」，然文中未有實驗資料佐證或理論敘述，建議再補充評估。</p>	<p>目前綠島地區的供水主要以綠島淨水場(原水來自酬勤水庫)及酬勤水庫下方的地下水井供應(輔助供水)，該地下井位於水庫下方，其水源應是水庫地下滲流水，水質 TOC 低，經加氯後總三鹵甲烷生成不高，當地下水納併入供水系統後，供水總三鹵甲烷會降低。</p>
<p>5. p.61 建議「修繕制水閥」及「提早汰換 1 期出水老舊 PVC 管」等涉及即時性，建</p>	<p>謝謝委員指導，已遵照意見修正。</p>

委員審查意見	意見回覆
議應即循台水公司行政程序辦理。	
<p>6. 敘述錯誤部分，請修訂：</p> <p>(1) p.41 圖 45~46 總三鹵甲烷為飲用水水質標準，非飲用水水源水質標準。</p> <p>(2) p.42 圖 47 飲用水水源水質標準箭頭(紅色)標錯→應標為 4。</p> <p>(3) p.46 刮砂「厚」度。</p>	<p>謝謝委員指導，已遵照意見修正。</p>
陳曼莉委員	
<p>1. 台水公司現存 51 座慢濾場，目前整體之處理效能、時代背景、水質特性...建議作一整體分析，對效能佳與較差之慢濾場之原因進行探討。</p>	<p>謝謝委員指導，慢濾池淨水場現場現勘及評估已補充於 4.4 節，為囿於時間尚無法全面查訪，後續台水公司將持續進行慢濾池活化及改善工作。</p>
<p>2. 效能不佳之原因，建議進一步釐清係屬設計、操作或原水水質變化等問題，若係原水水質（如濁度、TOC...）已有相當變化，建議對前處理方式提出更適當之作法。</p>	<p>謝謝委員指導，詳細資料已補充於 4.3、4.4 節說明，請指正。</p>
<p>3. 慢濾場有其優點，如非特殊時空變化，建議回歸慢濾池應有之功能。</p>	<p>謝謝委員指導，於偏鄉及離島地區，作為供水淨化方式有其優勢，本研究也希望研究成果能提供這</p>

委員審查意見	意見回覆
	些淨水的物資、設施及技術較為缺乏的地區參考及應用。
林財富委員	
1. 針對營運中慢濾池水質分析部分，建議能加入水場特性（例如慢濾前處理方式）、水源特性（如河水、湖水、地下水）、濾速等，分門別類作比較及分析。	研究計畫後半段已針對營運中慢濾池的水質、設計、操作及營運進行現場評估，其中並就其水源特性及相關操作方式進行探討並個別提出問題改善建議，並根據這些實場的問題及觀察研擬慢濾池設計、操作、營運及管理之準則探討，詳如 4.3 節。
2. 圖 31 管網中的 THMs 比清水高，似乎與一般認知比較不同，理論上在管線中會生成，請說明其可能原因。	管網中的水因 TOC 與餘氯持續反應，其 THMs 會較出場清水略高，且會因時間的延長而增加直到反應平衡。
3. 部分結論立論基礎，建請與本文中相呼應。	謝謝委員指導，已遵照意見修正於期末報告結論中。
陳立儒委員	
1. 建議統一「沙」或「砂」的用法。	謝謝委員指導，已遵照意見修正。
2. p.22「併無明確」併字有誤，p.23「去除機至」至字有誤。	謝謝委員指導，已遵照意見修正。
3. 4.4 章白雲場用硝酸鹽氮及去除率繪圖，林邊場用硝酸	林邊場用硝酸鹽氮及氨氮去除率繪圖主要是想了解硝酸鹽氮與氨

委員審查意見	意見回覆
鹽氮及氨氮去除率繪圖，是否要統一對照項目。	氮之間消長關係，爰將此兩項特別作圖比較。
4. 加氯消毒（綠島）是否有其他消毒構想降低三鹵甲烷生成。	受限於地理位置偏遠，考量經濟性與操作便利，仍採現行操作模式，維持使用加氯消毒，惟藉由降低接觸時間與改善加氯點位置即可降低三鹵甲烷生成。
5. 圖 13.實場試驗硝酸鹽氮去除率清水與配水之數據差距甚大，是否有原因？	關於審查意見所指示的相關圖說為實場測試之實際結果，其中包括不同階段的測試條件，相關的測試條件參數及狀態已補充說明，原表達方式欠佳已修正，謝謝委員提醒。
6. 結論五有溴酸鹽無法藉由慢濾系統去除，請問是否在本文內加上相關分析章節。	吉貝淨水場水質溴酸鹽問題在於，原水中含有溴鹽，而源操作於慢濾池前端加入次氯酸鈉提高氧化能力而造成溴酸鹽的生成，本計畫的先期研究已觀察到這個現象，遂為進行推動慢濾池活夾改驗之研究。
史午康委員	
1. 台水公司擁有一些慢濾場，本研究發揮跨單位之團隊力量，也將利用資料庫的水質數據及現場資料作綜整分	謝謝委員鼓勵與指導，期許本研究案結果能替國內水處理產業貢獻一些棉薄之力。

委員審查意見	意見回覆
<p>析，係屬於 review 級的研究報告，且參考文獻相當完整豐富，其中也有不少 review，令人充滿期待！</p>	
<p>2. 在報告整體結構上建請考量增列「研究架構」(或「研究方法」)。</p>	<p>謝謝委員指導，已補充於 3.1 節。</p>
<p>3. 請在期末報告時，考量將這些慢濾場基本資料彙整成表，期許從比對異同中，挖掘出更多前所未有的新發現，尤其造成與一般理論差異較大情況(如刮砂天數等)之真正原因，及加藥(混凝劑及加氯)之時機與原則等。</p>	<p>謝謝委員指導，將寶貴意見納為修正內容，並於 4.3、4.4 節敘述說明。</p>
<p>4. p.30 之圖 24 如何解釋？其縱坐標是否有誤？</p>	<p>關於審查意見所指示的圖說為實場測試之實際結果，其中包括不同階段的測試條件，相關的測試條件參數及狀態已補充說明，原表達方式欠佳已修正，謝謝委員提醒。</p>
<p>5. p.54 圖 75、p.57 圖 83 如何解釋？其縱坐標是否有誤？</p>	<p>關於審查意見所指示的圖說為實場測試之實際結果，其中包括不同階段的測試條件，相關的測試條件參數及狀態已補充說明，原</p>

委員審查意見	意見回覆
	表達方式欠佳已修正，謝謝委員提醒。
6. p.60 結論一之後半段不是十分清楚。	謝謝委員指導，已遵照進行修正。
7. 錯別字期末報告時請修正（提供折角頁供參）。	謝謝委員指導，已遵照意見修正。
8. p.12 「陸源 / 微生物源 (FEEMs)」？	<p>螢光激發 / 發散陣列光譜儀 (Excitation/Emission Matrix Spectrofluorometer，簡稱 FEEMs)，分析溶解性有機物 (Dissolved Organic Matter, DOM) 之特性及來源，藉由激發與發射波長之全波長掃描勾勒出螢光示意圖，具有不同官能基的物種依其存在的濃度，在圖譜上的特定位置顯示其波峰，濃度越高具有越高之峰值。</p> <p>螢光分析技術在水領域方面有許多相關的運用，國外學者以匯集前不同源頭之螢光圖譜為依據，追蹤匯集後河水中有機質的來源。國外學者以河水及湖水在螢光表現上的差異，作為陸源 (terrestrial sources) 及微生物源 (microbial sources) 的來源指標 (index = int(Ex/Em) : int(Ex/Em) =</p>

委員審查意見	意見回覆
	<p>int(370/450 nm) :int(370/500 nm))，經研究顯示，若該指標接近 1.9 時，代表水體中微生物源有機質貢獻較大，此外，若該指標接近 1.4 時，則代表水體中陸源有機質貢獻較大，藉由指標的差異了解環境中有機質的來源。</p>
<p>9. 期許藉此研究促成台水相關團隊之建立，包括永續運作機制、資訊共享、網路群組，以利團隊共創、即時互助等。</p>	<p>謝謝委員鼓勵與指導，期許本研究案結果能替國內水處理產業貢獻一些棉薄之力。</p>
<p>駱尚廉委員</p>	
<p>1. 綠島淨水場清水之三鹵甲烷仍然偏高(接近 100bbp)，且變動範圍大，應再改善。</p>	<p>謝謝委員指導，經過調整加氯加藥點位置之後，總三鹵甲烷已改善並符合飲用水水質標準，詳 4.1-3 節。</p>
<p>2. 有些濃度圖，若改為 log 座標，會更清楚些！</p>	<p>謝謝委員指導，往後章節已針對內容實際需求做座標調整。</p>
<p>3. 建議比較改善前後的水質狀況，以為提升效能之評估參考。</p>	<p>謝謝委員指導，相關內容已補充於 4.4 節。</p>

附錄二 期末報告審查委員意見回覆

委員審查意見	意見回覆
李嘉榮委員	
<p>1. p.42、43.提到三鹵甲烷生成潛勢探討及7/13以後變更加氯點在清水池出口，濾後水及清水添加 3ppm 以上，惟由圖 4.1-25，7/13 過濾水及7/28 過濾水及清水之餘氯量均在 2 ppm 以下，原因為何？又由圖 4.1-24，7/13 及7/28 之 TTHMs 量反較 6/24 清水還高，其合理性為何？建議圖 4.1-24 及圖 4.1-25 兩者之間關係再予補充說明。</p>	<p>謝謝委員指導，歷次採樣的目的係根據前次的水質分析結果及現場條件調整而進行，因此，在相關水質檢驗參數及數據代表性上略有差異，相關內容已修正並補充於 4.1-1 節。</p>
<p>2. p.56 加氯點改變以減少氯在清水池因反應時間過久而致三氯甲烷之增加，惟加氯點改在清水池之出口端，直接流入配水管，是否未經充分混合而影響管網餘氯量之安穩穩定。</p>	<p>謝謝委員指導，加氯點改在清水池之出口端，氯經過清水池中之整流牆反應，接觸時間可控制在 6 小時內充分混合後，再進入供水系統，清水的自由餘氯經多次測試以可穩定。</p>
<p>3. p.60 或 p.176 結論均提到慢濾池加設反洗設備(反向進水)，其用詞能否再斟酌。另 p.76 所列圖 4.3.2 慢濾池管</p>	<p>謝謝委員指導與肯定，已將本研究中所有“反洗設備”等用詞，統一修正為“反向進水”。</p>

委員審查意見	意見回覆
<p>線設計圖應考量之管路配置值得肯定並加以推廣。</p>	
<p>4. p.84 慢濾池一般刮砂間距時間約 1~12 個月，濾程 12 個月是否過久？能否再查明。</p>	<p>1.謝謝委員指導，經查表 4.3-5 係參採文獻 “Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems. Page 43”，所建議慢濾池刮砂作業頻率為 1~12 個月。</p> <p>2.另根據金門太湖淨水場目前之操作經驗，其慢濾池之使用以可達八個月毋須進行刮砂，以可正常操作。</p>
<p>5. 由本研究之 p.67 之圖 4.2-15 吉貝場硝酸鹽氮含量變化及 p.70 之圖 4.2-23 西嶼場之變化，兩者均在離島水源條件相當，惟硝酸鹽氮增加率部分為負值，雖在 p.69 有說明係推測當時系統處於兼氧偏厭氧態，能否再查證。</p>	<p>謝謝委員指導，囿於時間、人力因素，目前尚無法長期密集進行實場採樣試驗，後續台水公司將持續進行離島兩座淨水場，氨氮、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮等水質項目檢測，俟累積一定數量長期數據，再依趨勢判斷，原表達方式欠佳已酌修，謝謝委員提醒。</p>
<p>6. 本研究結論慢濾池有多場之問題及改善建議，由操作及設備改善，並非需長久時間，執行亦無困難，建議可提供淨水場操作管理單位儘速辦理，並追蹤改善結果，俾研</p>	<p>1.謝謝委員指導，本研究結果將提供自來水事業淨水場操作管理單位參考，進行設備改善及操作調整，期許本研究案結果能替國內水處理產業貢獻一些棉薄之力。刻正請台水公司淨水場操作</p>

委員審查意見	意見回覆
<p>究結果能給自來水事業參酌採用，以提升水廠效能。</p>	<p>管理單位研議辦理相關改善事宜，另定期召開會議追蹤執行進度，以提升水廠效能。</p> <p>2.相關研究成果已彙整於 4.5 節慢濾池設計及操作營運建議準則內。</p>
吳振榮委員	
<p>1. 所蒐集文獻與實場採樣分析結果，具差異性者建議應有補充說明。如：(1)p.8 表 2.2-2 總有機碳 TOC 去除效率 <15-25%，而 p.71 西嶼淨水場 TOC 去除率卻可高達 100%。(2) p.8 表 2.2-2 濁度去除率 <1NTU、p.11 濁度去除率達 94% 以上，然 p.66 圖 4.2-13 吉貝淨水場僅 17~64%。</p>	<p>就文獻與實場採樣分析結果具差異性部分，因慢濾池係生物作用行為，不同池的原水條件、設計、操作等略有不同，因此須就各別池體的特性來進行分析，本研究所觀察確實也發現當季節改變時，同一慢濾池也會產生去除率的差異。</p>
<p>2. p.9「經過檢測，形成生物膜的慢濾池出水可不經消毒即能達到生活飲用水標準...」，建議應補充原文獻內是那些水質項目，俾利參考引用。</p>	<p>謝謝委員指導，已遵照進行修正。</p>
<p>3. p.35~36 圖 4.1-12~15 綠島淨水場鹵乙酸含量變化及變化</p>	<p>謝謝委員指導，已遵照進行修正。</p>

委員審查意見	意見回覆
<p>率趨勢圖，因一溴一氯乙酸非屬 HAA₅，請再行確認。</p>	
<p>4. p.60 既為「整場問題解決剖析」之「解決方式」；(五) 慢濾池操作建議降低濾速...：降低濾速到多少建議應有說明。</p>	<p>根據文獻及實廠操作觀察發現，濾速是決定污染物去除的效果的重要因子，當降低時因生物接觸及作用時間增加，確實能達到較好的去除效果，通常的濾速控制在 2~10 公尺/天。</p>
<p>5. p.67 吉貝淨水場鐵含量變化及去除趨勢圖，104/03/02 及 104/06/01 清水鐵含量經慢濾池不減反增現象，並未針對慢濾池由好氧狀態轉變為厭氧狀態時可能釋出更多污染物質提因應對策，建議補充。</p>	<p>1.吉貝淨水場慢濾池之原水來自深井水，無該地區深井大都受到海水入侵鹽化，且因井體設計欠佳造成地表水滲入的污染。 2.該地區夏季遊客大增致供水量增加，當大量取用地下水時慢濾池出水可能由好氧狀態轉變為厭氧狀態，若慢濾池保持完整之生態圈時，藻類可以提供氧氣，讓出水厭氧狀態降低，若情況無法改善，於慢濾池進水端進行氣曝，亦可提供改善。</p>
<p>6. p.175 之 5.1 結論，因一~四屬綠島淨水場實場驗證成果，建議獨立為一標題，其餘次序順修。</p>	<p>謝謝委員指導，已遵照進行修正。</p>
<p>7. p.176 本次普查 11 座淨水場能否擇其中一、二，將附錄</p>	<p>謝謝委員指導，已遵照進行修正。 已擇其台水公司文山營運所平溪</p>

委員審查意見	意見回覆
<p>二、三表格實際填列做為範例，以供水公司其他慢濾池淨水場參考辦理。</p>	<p>淨水場為實際填列範例納入附錄供參。</p>
<p>8. 敘述錯誤及待補充部分，建議再行確認：</p> <p>(1) p.12 第 8~9 行鹵乙酸...包含三鹵甲烷，鹵乙酸，鹵乙腈等...之敘述，應屬誤繕。</p> <p>(2) p.52 圖 4.1-40~41 TOC 應修正為 TTHM_s。</p>	<p>此部分為筆誤，謝謝委員指導，已予以修正。</p>
<p>駱尚廉委員</p>	
<p>1. 預期成果為「提出適當之慢濾池設計建議準則」與「提出操作營運及管理之建議規範」，但結論仍為「還須就慢濾池設計、操作及營運之準則，進行評估與調整」？</p>	<p>慢濾池之操作因淨水設備設計互異，以致操作營運經驗無法完全適用於所有慢濾池淨水場，經檢討，已將相關研究成果已彙整於 4.5 節慢濾池設計及操作營運建議準則內。</p>
<p>2. 綠島淨水場實場試驗，為何 8/11 沉澱池出水之鐵、錳含量會突增，甚至高過原水三倍？</p>	<p>1.歷次採樣的目的是根據前次的水質分析結果及現場條件調整而進行，因此，在相關水質檢驗參數及數據代表性上略有差異。</p> <p>2.本次試驗期間為綠島地區之旺季，遊客人數大增，需水恐急，現場臨時增加出水造成系統之不穩定所致，嗣後調整操作模式(納</p>

委員審查意見	意見回覆
	入備用清水池調節), 已可滿足用水需求。
3. 同上, 7/28 硝酸鹽氮高達 1.5 mg/L, 但原水氨氮為 0.17 mg/L, 硝酸鹽氮 0.9 mg/L, 總氮無法平衡?	謝謝委員指導, 其理由如上述。
4. 圖 4.1-11、圖 4.1-23 等圖為 NPDOC 或 NPTOC?	此部分為筆誤, 謝謝委員指導, 已予以修正, 統一用詞為“NPDOC”。
5. p.34 鹵乙酸類之說明與圖 4.1-12~圖 4.1-15, 請再明確說明及討論。	謝謝委員指導, 已遵照進行修正。
6. 參考文獻之證明方式與排列格式, 請依照標準格式修正。	謝謝委員指導, 已遵照進行修正。
黃文鑑委員	
1. 本研究成果所獲得慢濾池操作實例, 呈現之處理條件及水質均有良好成效。	謝謝委員嘉勉, 本研究結果將提供自來水事業淨水場操作管理單位參考, 進行設備改善及操作調整, 期許本研究案結果能替國內水處理產業貢獻一些棉薄之力。
2. 建議將本研究成果提供簡易自來水操作過濾地之指標。	謝謝委員肯定, 本研究結果將提供自來水事業淨水場操作管理單位參考, 進行設備改善及操作調整, 期許本研究案結果能替國內水處理產業貢獻一些棉薄之力。

委員審查意見	意見回覆
3. 慢濾池內各階段濾料繁殖之微生物菌相，建議在後續研究予以鑑別。	謝謝委員指導，將寶貴意見納為未來後續研究之重點項目、研究標的。
林財富委員	
1. 建議可製作一彙整表，證明對所研究的慢濾池，依水源特性、操作、設計等面向，說明所面對的問題及建議解決方案。	謝謝委員指導，將寶貴意見納採，研擬製作一彙整表供自來水事業依循參採。
2. FEEM 分析若能配合 HPLC-SEC 去解析有機物，可更清楚解析有機物去除情形。建議後續研究可採此方案進行。	謝謝委員指導，將寶貴意見納為未來後續研究之重點項目及精進研究之標的。
3. 報告中，比較少與國內外文獻比較，建議後續可考慮進行補強。	謝謝委員指導，將寶貴意見納為未來研究補強精進之要項。
4. 藻類對慢濾去除多數情況下有助益，但部分情況下，例如長有害藻類，則對污染物反而是一個孳生源，此部分建議納入建議考量。	謝謝委員指導，將寶貴意見納為未來研究權衡考量因素之一。
5. 本研究中未探討生物相及生物相關機制，建議後續研究中可納入考量。	謝謝委員指導，將寶貴意見納為未來後續研究之重點項目、研究標的。

委員審查意見	意見回覆
6. p.13. 2.3-5 節標題與內容不完全一致，建議修正。	謝謝委員指導，已遵照進行修正。
7. 參考文獻格式建議統一。	謝謝委員指導，已遵照進行修正。
8. 期末報告定稿封面、內文間距、字體及參考文獻格式，建議依協會格式編排及印製。	謝謝委員指導，已遵照進行修正。
陳曼莉委員	
1. 台水公司目前仍有 51 座慢濾池，且多位處較偏遠地方，操作維護人力有限，建議訂定操作維護規範時，應以清楚、資料收集可行性為原則。	謝謝委員指導，將寶貴意見納為未來台水公司訂定操作維護規範時規劃之研訂原則。
2. 總處可訂定慢濾池操作成效之指標，對現場實際運作方向有實質之導引作用，建議妥善訂定。	謝謝委員指導，將寶貴意見納採，研擬製作一彙整表供自來水事業依循參採。
3. 相關資料若能提供其他簡易自來水廠參考，非常有意義，惟仍建議，應以現場人員易懂為原則。	謝謝委員肯定，本研究結果將提供自來水事業淨水場操作管理單位參考，進行設備改善及操作調整，期許本研究案結果能替國內水處理產業貢獻一些棉薄之力。
史午康委員	
1. 文字修正、補充部分會後另提供。	謝謝委員指導，已遵照進行修正。

委員審查意見	意見回覆
2. p.4. 2.2 節可考量分小標題。	謝謝委員指導，已遵照進行修正。
3. p.13.隱孢子蟲、梨形鞭毛蟲慢濾「不能」有效去除？建議本研究將敘述更完整些以免混淆。	謝謝委員指導，已遵照進行修正。
4. 建請對「代表性慢濾場」之篩選原則或用意與應用進一步釐清。	以原水水源類別及已面臨相關處理問題等較具代表性之運營中慢濾池淨水場，例如：汐止營運所白雲淨水場(河川水)、東港營運所林邊淨水場(地下水，含砷)、澎湖營運所西嶼淨水場(水庫水)、澎湖營運所吉貝淨水場(地下水，有溴酸鹽問題)、台東營運所綠島淨水場(水庫水，有三鹵甲烷問題)相關歷史水質檢驗數據整理交叉比對分析，做進一步探討。
5. 建請將各場勘驗成果作一彙整表，將關鍵項目列出以凸顯本研究之效果。	謝謝委員指導，將寶貴意見納採，研擬製作一彙整表供自來水事業依循參採。
6. 建請未來考量在貴公司辦理講習，操作及設計人員可以參與互動，達成集思廣益與共識。	謝謝委員指導，未來將舉辦台水公司慢濾系統操作及設計人員教育訓練講習，以提升水廠淨水處理效能。
7. 慢濾操作人員日常操作維護之 check list 可以精簡列出，以利確實落實執行無誤。	謝謝委員指導，將研擬製作一淺顯易懂之 check list，供操作人員

委員審查意見	意見回覆
	依循參採，逐項比對確認，俾利正確執行工作無誤。

附錄三 評估查核表樣張

慢濾池淨水場基本資料調查表

填表人：_____

日期：____年__月__日

1. 淨水場聯繫資料				2. 淨水場基本資料	
名稱	_____淨水場			水源別	地下水/河川水/水庫水
所屬廠所	營運所 給水廠			水源名稱	
所屬區處	第_____區管理處			設計 出水量	CMD
地址				出水啟始年	
電話	()			擴建年 設計出水量	年/ CMD
場站 負責人				已運轉期間	年
3. 水質資料					
原	濁度	年平均	_____ NTU	區間	_____ ~ _____ NTU
	氨氮	年平均	_____ mg/L	區間	_____ ~ _____ mg/L
	鐵	年平均	_____ mg/L	區間	_____ ~ _____ mg/L
	錳	年平均	_____ mg/L	區間	_____ ~ _____ mg/L
	TOC	年平均	_____ mg/L	區間	_____ ~ _____ mg/L
水	大腸桿 菌群	年平均	_____ CFU/100mL	區間	_____ ~ _____ CFU/100mL
	濁度	年平均	_____ NTU	區間	_____ ~ _____ NTU

清	氨氮	年平均	_____ mg/L	區間	_____ ~ _____ mg/L
	鐵	年平均	_____ mg/L	區間	_____ ~ _____ mg/L
	錳	年平均	_____ mg/L	區間	_____ ~ _____ mg/L
	TOC	年平均	_____ mg/L	區間	_____ ~ _____ mg/L
水	大腸桿菌群	年平均	_____ CFU/100mL	區間	_____ ~ _____ CFU/100mL

4. 設計資料

前處理設備	無/有：_____	浮渣排水閥 supernatant	
總濾池數	_____ 池	反向進水 設計	
每池面積	_____ m ²	溢流水位高	_____ m, 口徑 _____ mm
濾池總面積	_____ m ²	溢流管至 池頂高 Free board	_____ m
設計濾率	_____ m/day	濾池加蓋	否 / 是, 材質 _____
濾砂材質	石英砂/溪砂/其他	濾水控制閥 口徑	無/有, _____ 閥 _____ mm
濾砂有效粒徑	_____ mm	砂面水位 控制堰	無 / 有, 砂上 _____ cm
濾砂均勻係數		設計 刮砂時間	_____ 天
濾砂厚度	_____ m	砂重複使用 或棄置	重複使用/棄置
集水設計 方式	鋪磚/集水管/集水渠/其他	洗砂設備	無/有： _____
初期過濾水 排除設計	無/有, 口徑 _____ mm	廢水設備	無/有： _____

設計問題			
5. 操作資料			
操作人數	人	濾水控制閥 控制方式	手動/自動 定水位/變水位
目前出水量	CMD	刮砂後濾砂 熟成程序	無/有, _____天
操作池數	池	初期過濾水 排除時間	無/有, _____分鐘
總操作濾池 面積	m ²	每次 刮砂池數	池
平均濾率	m/day	通常 刮砂間距	天 (_____)
最高濾率	m/day	最長 刮砂間距	天 (_____)
最低濾率	m/day	最短 刮砂間距	天 (_____)
操作最終 水頭損失	m	刮砂作業 所需時間	天
操作最終 水質濁度	NTU	刮砂方式	挖除 / 刨鬆
濾砂厚度 最高	m	刮砂深度	cm
濾砂厚度 最低	m	刮砂人力	人日

操作 面臨問題	
------------	--

6. 維護資料	
整體濾砂 汰換時間	月
補砂時間距	月
上次補砂時間 及所需費用	
維護 特別需求	
7. 成本資料	
建造費用	元
年操作成本	元

<p>8. 其他 建議事項</p>	
-----------------------	--

<p>9. 平面配置圖</p>

慢濾池淨水場基本資料調查表

填表人：張明哲

日期：105 年 2 月 17 日

1. 淨水場聯繫資料				2. 淨水場基本資料			
名稱	平溪淨水場			水源別	河川水		
所屬廠所	文山 營運所 給水廠			水源名稱	東勢格溪		
所屬區處	第 一 區管理處			設計 出水量	3200CMD		
地址	新北市平溪區竿蓁林路 44 號			出水啟始年	76 年		
電話	(02)2495-1581			擴建年 設計出水量	年/ CMD		
場站 負責人	張明哲			已運轉期間	28 年		
3. 水質資料							
原	濁度	年平均	2.23 NTU	區間	0.77 ~ 6.14 NTU		
	氨氮	年平均	0.016 mg/L	區間	0.010 ~ 0.023 mg/L		
	鐵	年平均	0.212 mg/L	區間	0.088 ~ 0.483 mg/L		
	錳	年平均	0.007 mg/L	區間	ND ~ 0.020 mg/L		
	TOC	年平均	0.908 mg/L	區間	0.141 ~ 2.554 mg/L		
水	大腸桿 菌群	年平均	3025 CFU/100mL	區間	410 ~ 7400 CFU/100mL		
清	濁度	年平均	0.36 NTU	區間	0.11 ~ 0.61 NTU		
	氨氮	年平均	0.010 mg/L	區間	0.002 ~ 0.016 mg/L		

水	鐵	年平均	<u>0.054</u> mg/L	區間	<u>ND</u> ~ <u>0.095</u> mg/L
	錳	年平均	<u>0.003</u> mg/L	區間	<u>ND</u> ~ <u>0.016</u> mg/L
	TOC	年平均	_____ mg/L	區間	_____ ~ _____ mg/L
	大腸桿菌群	年平均	<u>0</u> CFU/100mL	區間	<u><1</u> ~ <u><1</u> CFU/100mL

4. 設計資料

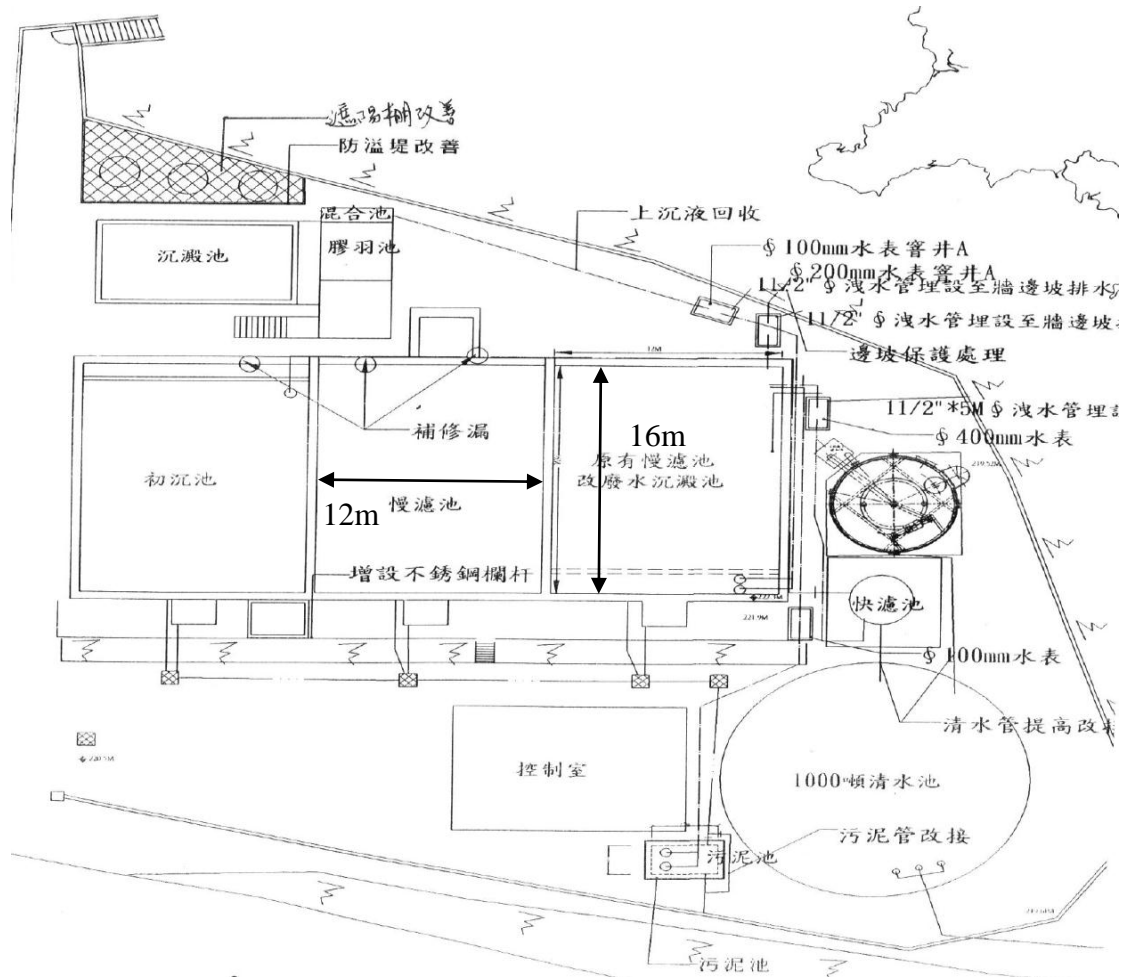
前處理設備	無	浮渣排水閥 supernatant	無
總濾池數	1 池	反向進水 設計	無
每池面積	192 m ²	溢流水位高	<u>222.0</u> m, 口徑 <u>200</u> mm
濾池總面積	192 m ²	溢流管至 池頂高 Free board	0.3 m
設計濾率	5.55 m/day	濾池加蓋	否_
濾砂材質	石英砂	濾水控制閥 口徑	有, 節流 閥 <u>200</u> mm
濾砂 有效粒徑	0.47 mm	砂面水位 控制堰	無
濾砂 均勻係數	1.43	設計 刮砂時間	180 天
濾砂厚度	80 mm	砂重複使用 或棄置	棄置
集水設計 方式	鋪磚	洗砂設備	無: _____
初期過濾水 排除設計	有, 口徑 <u>300</u> mm	廢水設備	有: _____
設計問題			

5. 操作資料

操作人數	1 人	濾水控制閥 控制方式	手動 變水位
目前出水量	230 CMD	刮砂後濾砂 熟成程序	有, _____ 2 _____ 天
操作池數	1 池	初期過濾水 排除時間	無
總操作濾池 面積	192 m ²	每次 刮砂池數	1 池
平均濾率	1.197 m/day	通常 刮砂間距	180 天 (_____)
最高濾率	5.72m/day	最長 刮砂間距	270 天 (_____)
最低濾率	m/day	最短 刮砂間距	120 天 (_____)
操作最終 水頭損失	m	刮砂作業 所需時間	1 天
操作最終 水質濁度	(無獨立過濾水取樣點) NTU	刮砂方式	挖除
濾砂厚度 最高	0.8m	刮砂深度	3 cm
濾砂厚度 最低	m	刮砂人力	3 人/日
操作 面臨問題	為提高出水量，將原先一池慢濾池改為快濾桶操作。		

6. 維護資料	
整體濾砂汰換時間	(無汰換過)月
補砂時間距	240 月
上次補砂時間及所需費用	96/11/25 614,786 元
維護特別需求	
7. 成本資料	
建造費用	1,837,000 元
年操作成本	681,952 (人事費 581,952)元
8. 其他建議事項	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本場為慢濾池系統，主要藉由微生物作用達到淨水功效，前加氯恐破壞微生物完整生態系生長，故不宜進行前加氯加藥處理。 2. 設計建置濾水倒灌設備(反向進水設計)： <ol style="list-style-type: none"> (1) 當濾池表面刮砂完畢，在導入原水前，應先將調節井之過濾水返送回濾池，以去除濾砂層中的滯留氣體，俟水面達砂面上 10 cm 始可停止返送，再進原水。 (2) 亦可於出水幹管上設制水閥，利用其他濾池之過濾水返送。

9. 平面配置圖



附錄四 採樣計畫書樣張

慢濾池淨水場採樣計畫書

【When】 採樣時間	105 年 月 日至 月 日	
【Where】 採樣地點	淨水場	
【Who】 採樣人員	水質處及淨水場人員	
【Why】 採樣原因	為了解淨水場慢濾池處理功能及探討改善其供水品質之可行方案。	
【What】 檢驗項目及分工		
1. 水溫、pH、濁度、溶氧、ORP、餘氯（計 4~5 支）	現場水質檢驗	
2. 總鐵、總錳、氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽、色度、鹼度、大腸桿菌群（計 4~5 支）	區處水質課	
3. NPDOC（計 4~5 支）	區處水質課(分工)	
4. UV254、EEMs（計 4~5 支）	水質處生物組	
5. 揮發性有機物（計 2 支）	水質處化學組	
【How】 採樣進行方法		
採樣裝備	可採取水樣之採樣器等裝備	
採樣方法	依各檢項之採樣規範辦理	

水樣共 4~5 個點採樣點：

1.原水 2.濾水(視濾池池數而定)3.清水 4.配水

採樣點：4~5 個 採樣頻率：1 次 合計 4~5 個樣品

詳閱採樣說明(如附)

採樣項目	樣品容器及保存	採樣地點	樣品瓶數及檢測單位
水溫、pH、濁度、溶氧、ORP、餘氯	1.棕色塑膠瓶 2.不添加	淨水場	1.預定 4~5 個採樣點(原、濾、清、配) 2 各採樣點採 1 瓶 1 公升水樣

			3.現場檢測
總鐵、總錳	1.棕色塑膠瓶 2.每公升添加 2mL HNO ₃	淨水場	1.預定 4~5 個採樣點(原、濾、清、配) 2 各採樣點採 1 瓶 1 公升水樣 3.區處水質課檢測
氨氮	1.棕色塑膠瓶 2.清水及配水加 8 滴 3% 硫代硫酸 酸鈉(去氯) 3.每公升添加 1mL H ₂ SO ₄	淨水場	1.預定 4~5 個採樣點(原、濾、清、配) 2 各採樣點採 1 瓶 2 公升水樣 3.區處水質課檢測
硝酸鹽、亞硝酸鹽、色 度、鹼度	1.棕色塑膠瓶 2.不添加	淨水場	1.預定 4~5 個採樣點(原、濾、清、配) 2 各採樣點採 1 瓶 2 公升水樣 3.區處水質課檢測
大腸桿菌群 (需冷藏)	1.無菌瓶 2.清水及配水加 2 滴 3% 硫代硫酸 酸鈉(去氯)	淨水場	1.預定 4~5 個採樣點(原、濾、清、配) 2.區處水質課檢測
NPDOC(需冷藏)	1.40mL 棕色玻 璃瓶 2.不添加	淨水場	1.預定 4~5 個採樣點(原、濾、清、配) 2.第七區處水質課檢測
UV254、EEMs(需冷藏)	1.50mL 棕色玻 璃瓶 2.不添加	淨水場	1.預定 4~5 個採樣點(原、濾、清、配) 2.水質處生物組檢測
揮發性有機物(需冷藏)	1.40mL 棕色玻 璃瓶 2.添加 25mg 抗 壞血酸 3.添加 2 滴 1:1 鹽酸	淨水場	1.2 個採樣點(清、配) 2.水質處化學組檢測
預估樣品數	本次採取水樣 4~5 個樣品。		
樣品保存	生物相檢測樣品低溫保存，寄送區處樣品低溫		
【If】 預期採樣成果	評估淨水場慢濾池處理效能，期能將結果提供給相關操作人員作為淨水處理操作之參考。		

慢濾池淨水場採樣計畫書

【When】 採樣時間	105 年 02 月 24 日至 02 月 25 日	
【Where】 採樣地點	文山營運所平溪淨水場	
【Who】 採樣人員	水質處及淨水場人員	
【Why】 採樣原因	為了解淨水場慢濾池處理功能及探討改善其供水品質之可行方案。	
【What】 檢驗項目及分工		
1. 水溫、pH、濁度、溶氧、ORP、餘氯（計 5 支）	現場水質檢驗	
2. 總鐵、總錳、氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽、色度、鹼度、大腸桿菌群（計 5 支）	區處水質課	
3. NPDOC（計 5 支）	區處水質課(分工)	
4. UV254、EEMs（計 5 支）	水質處生物組	
5. 揮發性有機物（計 2 支）	水質處化學組	
【How】 採樣進行方法		
採樣裝備	可採取水樣之採樣器等裝備	
採樣方法	依各檢項之採樣規範辦理	

水樣共 5 個點採樣點：			
1.原水 2.濾水(視濾池池數而定)3.清水 4.配水			
採樣點：5 個 採樣頻率：1 次 合計 5 個樣品			
詳閱採樣說明(如附)			
採樣項目	樣品容器及保存	採樣地點	樣品瓶數及檢測單位
水溫、pH、濁度、溶氧、ORP、餘氯	1.棕色塑膠瓶 2.不添加	淨水場	1.預定 5 個採樣點(原、濾、清、配) 2 各採樣點採 1 瓶 1 公升水樣

			3.現場檢測
總鐵、總錳	1.棕色塑膠瓶 2.每公升添加 2mL HNO ₃	淨水場	1.預定 5 個採樣點(原、濾、清、配) 2.各採樣點採 1 瓶 1 公升水樣 3.區處水質課檢測
氨氮	1.棕色塑膠瓶 2.清水及配水加 8 滴 3% 硫代硫酸鈉 (去氯) 3.每公升添加 1mL H ₂ SO ₄	淨水場	1.預定 5 個採樣點(原、濾、清、配) 2.各採樣點採 1 瓶 2 公升水樣 3.區處水質課檢測
硝酸鹽、亞硝酸鹽、色度、鹼度	1.棕色塑膠瓶 2.不添加	淨水場	1.預定 5 個採樣點(原、濾、清、配) 2.各採樣點採 1 瓶 2 公升水樣 3.區處水質課檢測
大腸桿菌群 (需冷藏)	1.無菌瓶 2.清水及配水加 2 滴 3% 硫代硫酸鈉 (去氯)	淨水場	1.預定 5 個採樣點(原、濾、清、配) 2.區處水質課檢測
NPDOC(需冷藏)	1.40mL 棕色玻璃瓶 2.不添加	淨水場	1.預定 5 個採樣點(原、濾、清、配) 2.第七區處水質課檢測
UV254、EEMs(需冷藏)	1.50mL 棕色玻璃瓶 2.不添加	淨水場	1.預定 5 個採樣點(原、濾、清、配) 2.水質處生物組檢測
揮發性有機物(需冷藏)	1.40mL 棕色玻璃瓶 2.添加 25mg 抗壞血酸 3.添加 2 滴 1:1 鹽酸	淨水場	1.2 個採樣點(清、配) 2.水質處化學組檢測
預估樣品數	本次採取水樣 5 個樣品。		
樣品保存	生物相檢測樣品低溫保存，寄送區處樣品低溫		
【If】 預期採樣成果	評估淨水場慢濾池處理效能，期能將結果提供給相關操作人員作為淨水處理操作之參考。		

