



RRPG92020451 (178.P)



台灣省自來水股份有限公司

提升傳統淨水處理程序效能之研究

鳳山場內模型廠試驗研究-第二年

計畫標案號：91MOEATWC204



國立交通大學環境工程研究所

中華民國九十三年二月十五日

提升傳統淨水處理程序效能之研究

鳳山場內模型廠試驗研究-第二年

計畫標案號：91MOEATWC204

主持人：黃志彬

協同主持人：吳志超、吳俊哲、黃文鑑、游惠宋、鄭文伯

研究助理：烏春梅、王韻嬋、陳建銘、陳姝樺、李榕菁、
林世豪、許振銘、陳玫蓉、洪嘉蔚

執行單位：國立交通大學環境工程研究所

委託單位：台灣省自來水股份有限公司

中華民國九十三年二月十五日

摘要

本研究主要是藉由模廠試驗研究以提昇鳳山水庫淨水場傳統處理程序之處理效能，以降低其出水中消毒副產物之生成。本計畫為兩年之研究工作，第一年之主要工作內容分為：一、進行替代氧化劑、活性碳吸附等實驗室級試驗；二、模廠生物濾床之設置及操作；三、鳳山淨水場現場功能評估。第二年則為：一、延續第一年生物濾床之操作，並探討不同 EBCT 之影響；二、GAC 及石英砂不同濾床組合之效能；三、模廠長期連續操作及最佳程序與成本分析之研究；四、辦理現場試飲。

歷經二年之試驗研究，獲致下述具體成果：

淨水廠現場功能評估：

一期脈動式膠羽沉澱池出水中因含較多微小顆粒故導致其濁度較二期平底式高，因而常態混凝時出水 DOC 值反而增加，但在高劑量混凝時則不復嚴重。一、二期沈澱池對 A₂₅₄ 及膠體有機物均有去除效率。原水中原佔大多數之大分子經污泥氈沉澱池後其顆粒組成大部分呈現為以小分子為主，因此能降低三鹵甲烷前驅物質。調整混凝劑與 pH 值對濁度去除率無顯著影響，但降低 pH 至 6.2 確實可提升 10~30% 之 TOC 去除。

實驗室試驗：

添加前氧化劑二氧化氯對生物濾床出流水中較高比例之親水性有機物礦化作用不明顯，且易生成無機性消毒副產物，較不適合作為生物濾床的前氧化劑。比較四種不同混凝劑[Al₂(SO₄)₃、PACl、FeCl₃、PFS]發現仍以實場使用之硫酸鋁對濁度及 DOC 去除為佳。另進行 PAC 吸附鳳山原水，其試驗結果顯示，添加 50 mg/L PAC 並控制吸附時間在 2 小時，其對 DOC 及 A₂₅₄ 均有良好去除效果，但增加劑量所提高之去除率則較有限，而相同條件下 PAC 對 THM 前驅物之吸附效率較差，僅約 15% 之去除效果。

生物濾床試驗：

生物濾床 EBCT 控制為 5 分鐘，氨氮去除率即可達 90 % 以上，且出流水平均氨氮值亦低於 1 mg/L，不同 EBCT(5、10、15、20、25、30 分鐘)對濁度去除率均可維持在 40 %~50 % 間。在有機物去除方面，延長生物濾床 EBCT 時間，可增加 DOC 之去除功能(最高達 23 %)，但對提昇 DOC 之去除功能則不顯著，此外，生物濾床出流水大都能符合 COD 管制值 25 mg/L 標準。經生物濾床處理之出流水，其臭味 (TON 值) 均可降至 2 以下，顯示生物濾床亦具有除臭功能。

GAC 與石英砂組合效能：

模廠過濾單元(混沈之後續處理程序)操作試驗項目包含：一、砂濾床(60 cm)串聯 GAC 濾床(60 cm)(簡稱 Sand-GAC)；二、砂濾床上層 30cm 改填 GAC 之雙層濾料(簡稱 Sand/GAC)；三、傳統砂濾床(60 cm)等三種濾床。混凝沈澱單元出流水之 DOC 值約 1.5~2.1 mg/L，經傳統砂濾單元其出流水 DOC 介於 1.0~1.3 mg/L 間，對 DOC 並無顯著去除效果，而 Sand-GAC 及 GAC/Sand 濾床出流水之 DOC 均可降至 0.8 mg/L 以下。沉澱出流水之 A_{254} 值約為 0.033 cm^{-1} ，去除效率較顯著者為 Sand-GAC 濾床及 GAC/砂濾床，其 A_{254} 值均低於 0.006 cm^{-1} ，傳統砂濾床出流水 A_{254} 值仍偏高，平均值約 0.018 cm^{-1} 。另在 AOC 方面，藉由分析水樣中培養 P17 及 NOX 菌之生長曲線探討濾床對 AOC 去除情形，結果顯示原水中有機質組成可能屬生物可利用者或是含有抑制培養 P17 及 NOX 菌之物質，導致 AOC 值偏低，僅約 $60 \mu\text{g acetate-C/L}$ ，經生物濾床後出流水之 AOC 可降至 $35 \mu\text{g acetate-C/L}$ ，再經混沉處理其 AOC 則降低至 $25 \mu\text{g acetate-C/L}$ 。

模廠試驗：

混凝前添加 0.47 ppm 高錳酸鉀或 1.0 ppm 二氧化氯均可提供較佳之 DOC 去除率（由原來 10 % 提升至 17.4 %、16 %），但在濁度去除上則均無明顯助益。不論在混前或混後加入二氧化氯對 A₂₅₄ 之去除效果約達 30 %，均較高錳酸鉀為佳。此外，以高錳酸鉀為氧化劑並無臭味（TON）問題產生，但必須控制二氧化氯的添加劑量，當劑量達 1.0 ppm 以上仍會產生二氧化氯本身的臭味。模廠最佳程序之清水 DOC 與 A₂₅₄ 皆明顯低於同期之實廠一、二期清水，且模廠 THM₃ 與大腸桿菌均在水質安全標準內。

模廠最佳處理程序之成本分析：

模廠最佳處理程序建議如下：原水/生物濾床（EBCT 10 分鐘）/前二氧化氯 1.0 ppm /混凝沈澱/石英砂 60 cm + GAC 60 cm。以生物濾床取代預氯程序，每年約可節省 1700 萬元之加氯成本，故具有經濟效益。另以 1.0 ppm 二氧化氯作為前氧化程序處理一噸水，其單純藥劑成本為 9.6 元，或是採用 0.47 ppm 之高錳酸鉀其藥劑成本為 0.22 元。

現場試飲：

由 20 位委員試飲評估結果顯示，模廠最佳程序操作下之清水在口感上明顯優於實廠一、二期清水，另在味覺判定上模廠清水則較無味道之反應，相對實廠清水則反應出多種不適飲味道（氯味、土霉味）。

目 錄

目錄.....	I-1
表目錄.....	II-1
圖目錄.....	III-1
第一章 前言.....	1-1
1.1 緣起.....	1-1
1.2 現況分析.....	1-1
1.3 第一年執行計畫.....	1-3
1.4 本計畫之目的.....	1-4
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 生物前處理去除氨氮與有機物.....	2-1
2.2 使用替代消毒/氧化劑.....	2-3
2.2.1 二氧化氯.....	2-3
2.2.2 二氧化氯之基本性質.....	2-6
2.2.3 二氧化氯之化學特性.....	2-8
2.2.4 二氧化氯的製造.....	2-8
2.2.5 二氧化氯在水中的氧化反應.....	2-10
2.2.6 二氧化氯消毒對病原體的抑制.....	2-14
2.2.7 替代消毒劑對臭味之去除.....	2-16
2.3 活性碳吸附/過濾.....	2-18
2.4 混凝.....	2-22
2.4.1 消毒副產物之控制.....	2-23
2.4.2 加強混凝.....	2-25
第三章 研究方法及步驟.....	3-1
3.1 整體研究方法.....	3-1
3.2 實廠污泥氈沈澱單元操作效能評估.....	3-1

3.3 模廠長期試驗.....	3-1
3.3.1 生物處理系統模廠試驗.....	3-2
3.3.2 替代氧化及消毒劑之長期穩定試驗.....	3-3
3.3.3 活性碳/石英砂濾床試驗.....	3-4
3.3.4 模場各單元尺寸大小與操作參數.....	3-7
3.4 實驗設備.....	3-9
3.5 分析方法.....	3-9
3.5.1 一般水質分析.....	3-9
3.5.2 分子量分佈及 AOC 分析.....	3-11
3.5.3 濾紙 TOC 影響分析.....	3-12
第四章 結果與討論.....	4-1
4.1 鳳山水庫原水水質分析.....	4-1
4.2 生物濾床長期穩定性及設置點之評估.....	4-5
4.2.1 生物濾床對氨氮之去除性能評估.....	4-7
4.2.2 生物濾床對濁度之去除性能評估.....	4-11
4.2.3 生物濾床對有機物之去除性能評估.....	4-13
4.2.4 生物濾床設置點之評析.....	4-17
4.3 吸附過濾.....	4-18
4.3.1 粉狀活性碳(PAC)吸附試驗.....	4-18
4.3.2 模廠砂濾、GAC 濾床單元操作結果.....	4-22
4.4 模廠試程試驗結果.....	4-37
4.4.1 模廠長期穩定試驗結果.....	4-37
4.4.2 替代氧化劑試程結果.....	4-42
4.4.3 後消毒試程.....	4-49
4.4.4 模廠最佳處理程序成本概算與試程可行之組合.....	4-52
4.5 現場污泥氈沉澱單元加強混凝操作評估.....	4-57
4.6 試飲試驗.....	4-63

第五章 結論	5-1
參考文獻	IV-1
附錄一 評選簡報意見及回覆	V-1
附錄二 期初簡報審查意見及回覆	VI-1
附錄三 期中報告審查意見及回覆	VII-1
附錄四 期末報告審查意見及回覆	VIII-1
附錄五 鳳山自來水廠功能評估現堪記錄	IX-1
附錄六 模廠操作現況分析數據	X-1
附錄七 實廠操作現況分析數據	XI-1

表 目 錄

表 2.2-1	近 20 年美國淨水系統應用二氧化氯的法規發展	2-5
表 2.2-2	二氧化氯的物理及熱力學性質	2-7
表 2.2-3	二氧化氯產製型態一覽表	2-9
表 2.2-4	不同消毒劑對原水之殺菌力、穩定度及 pH 值之敏感度比較	2-14
表 2.2-5	不同消毒劑對抑制不同微生物所需用之 CT 值之比較	2-15
表 2.2-6	不同消毒劑對抑制 Giardia 及 Cryptosporidium 所需用之 CT 值之比較	2-15
表 2.4-1	兩階段管制消毒副產物之最大污染濃度	2-24
表 2.4-2	水中鹼度及 TOC 值對『加強混凝』去除 TOC 去除率之要求	2-26
表 2.4-3	瓶杯試驗時不同混凝劑所需單位增加量	2-27
表 2.4-4	不同鹼度範圍之原水之 pH 操作條件	2-28
表 3.3-1	各組濾床操作控制條件	3-5
表 3.3-2	模廠單元規格及操作參數	3-7
表 3.4-1	分析儀器設備	3-9
表 3.5-1	基本水質檢驗方法	3-10
表 3.5-2	實驗室純水經不同材質濾紙過濾後之 TOC 溶出值	3-13
表 4.1-1	鳳山淨水廠原水水質概況(91.9~92.11)	4-2
表 4.1-2	原水臭味分析結果	4-4
表 4.2-1	生物濾床出流水中 DO 濃度之變化(92 年)	4-5
表 4.2-2	生物濾床進出流水中大腸菌數量之變化情形	4-6
表 4.2-3	生物濾床進出流水中各種重金屬濃度之變化情形(92 年)	4-6
表 4.2-4	生物濾床進出流水中臭度之變化情形(92 年)	4-7
表 4.4-1	氧化試程日程表	4-42
表 4.4-2	各氧化試程 DOC 分子量分佈情形	4-44
表 4.4-3	鳳山實廠與模廠清水之比較	4-50
表 4.4-4	模廠各處理程序臭味(TON)之比較	4-51
表 4.4-5	生物濾床前處理工程在不同 EBCT 下初設成本概算	4-53
表 4.4-6	模廠最佳處理程序成本概算	4-55

表 4.4-7	模廠最佳處理程序清水與飲用水水質標準之比較	4-56
表 4.5-1	鳳山水廠污泥氈沉澱池平均水質 (硫酸鋁濃度 60 ppm)	4-62
表 4.5-2	鳳山水廠污泥氈沉澱池平均水質 (硫酸鋁濃度 40 ppm)	4-62
表 4.6-1	試飲水樣淨水程序	4-64
表 4.4-6	試飲水樣評分記錄表(有效評分 14 位).....	4-65
表 4.4-6	試飲水樣綜合評分結果.....	4-66

圖 目 錄

圖 2.2-1	鐵還原劑加藥量對二氧化氯無機性消毒副產物的影響.....	2-11
圖 3.3-1	生物處理系統之組裝設備.....	3-3
圖 3.3-2	模廠流程圖.....	3-4
圖 3.3-3	模廠增設三組石英砂/GAC 濾床之現場照片.....	3-6
圖 3.3-4	現有模廠流程調整後配置圖.....	3-8
圖 4.1-1	計畫期間原水濁度、氨氮及 DOC 變化情形.....	4-3
圖 4.1-2	鳳山水庫水位與蓄水量變化歷線圖(92 年).....	4-4
圖 4.2-1	鳳山水庫原水主要水質參數之變化情形.....	4-8
圖 4.2-2	枯水期生物濾床在不同 EBCT 下氨氮之殘餘濃度變化.....	4-9
圖 4.2-3	枯水期生物濾床在不同 EBCT 下氨氮去除率之變化.....	4-9
圖 4.2-4	豐水期生物濾床在不同 EBCT 下氨氮之殘餘濃度.....	4-10
圖 4.2-5	豐水期生物濾床在不同 EBCT 下對氨氮去除率之變化.....	4-11
圖 4.2-6	生物濾床在不同 EBCT 下之殘餘濁度變化.....	4-12
圖 4.2-7	生物濾床在不同 EBCT 下濁度去除率之變化.....	4-13
圖 4.2-8	生物濾床在不同 EBCT 下殘餘 DOC 之變化.....	4-15
圖 4.2-9	生物濾床在不同 EBCT 下 DOC 去除率之變化.....	4-16
圖 4.2-10	生物濾床進出流水 COD 之變化情形.....	4-17
圖 4.3-1	以 PAC 吸附鳳山水庫原水 DOC 之動力曲線.....	4-19
圖 4.3-2	以 PAC 吸附鳳山水庫原水 A ₂₅₄ 之動力曲線.....	4-19
圖 4.3-3	PAC 加藥與原水殘餘 DOC 之關係.....	4-20
圖 4.3-4	PAC 加藥與原水殘餘 A ₂₅₄ 之關係.....	4-20
圖 4.3-5	PAC 加藥與原水殘餘 THMFP 之關係.....	4-21
圖 4.3-6	PAC 加藥與原水殘餘臭味之關係.....	4-21
圖 4.3-7	模廠三組濾床出流水濁度之變化情形(92 年).....	4-25
圖 4.3-8	模廠三組濾床出流水平均濁度之統計結果.....	4-26
圖 4.3-9	模廠三組濾床出流水 A ₂₅₄ 之變化情形(92 年).....	4-27
圖 4.3-10	模廠三組濾床出流水平均 A ₂₅₄ 之統計結果.....	4-28
圖 4.3-11	模廠三組濾床出流水 DOC 之變化情形(92 年).....	4-29

圖 4.3-12	模廠三組濾床出流水平均 DOC 之統計結果	4-30
圖 4.3-13	比較三組濾床出流水中有機物分子量分佈情形.....	4-31
圖 4.3-14	模廠三組濾床出流水平均 THMFP 之統計結果	4-32
圖 4.3-15	比較三組濾床出流水中各類不同分子量有機物生成之 THMFP	4-33
圖 4.3-16	AOC 分析過程 P17 菌之生長曲線.....	4-34
圖 4.3-17	AOC 分析過程 NOX 菌之生長曲線.....	4-35
圖 4.3-18	比較模廠各單元出流水之生物穩定性參數 AOC 值	4-36
圖 4.4-1	模廠各單元操作濁度變化情形(92 年).....	4-38
圖 4.4-2	模廠各單元操作平均濁度之統計結果.....	4-38
圖 4.4-3	模廠各程序 DOC 之變化情形(92 年).....	4-39
圖 4.4-4	模廠各程序 DOC 之平均去除率	4-39
圖 4.4-5	模廠各程序 A ₂₅₄ 之變化情形(92 年).....	4-40
圖 4.4-6	模廠各程序 A ₂₅₄ 之平均去除率	4-40
圖 4.4-7	模廠各程序消毒副產物生成潛能平均值.....	4-41
圖 4.4-8	模廠各程序消毒副產物生成潛能平均去除率.....	4-41
圖 4.4-9	各氧化試程 DOC 變化情形	4-46
圖 4.4-10	各氧化試程 DOC 去除率	4-46
圖 4.4-11	各氧化試程 A ₂₅₄ 變化情形.....	4-47
圖 4.4-12	各氧化試程 A ₂₅₄ 去除率.....	4-47
圖 4.4-13	各氧化試程 THMFP 變化情形	4-48
圖 4.4-14	各氧化試程 THMFP 去除率.....	4-48
圖 4.5-1	模場東側污泥氈沉澱池 pH 變化與 TOC 去除率長期觀察.....	4-59
圖 4.5-2	模場東側污泥氈沉澱池模 pH 變化與 NTU、A ₂₅₄ 去除率長期觀察..	4-60
圖 4.5-3	鳳山水廠西側污泥氈沉澱池 pH 變化與 NTU 去除率長期觀察	4-60
圖 4.5-4	鳳山水廠西側污泥氈沉澱池 pH 變化與 TOC、A ₂₅₄ 去除率長期觀察..	4-61

第一章 前言

1.1 緣起

根據鳳山水庫淨水廠之現有傳統淨水處理程序其對原水中之氨氮與臭味去除幾乎全仰賴濾前加氯以氧化去除之，但此程序在原水富含有機物下卻又易帶來清水中含三鹵甲烷等消毒副產物之疑慮。且常發現有氨氮去除不完全及臭味猶存的現象。鑑此，諸多先前之研究顯示，增設高級處理程序可有效控制消毒副產物之產出，然此等程序之設備投資及相關維護將所費不貲，對自來水公司現有財務將構成嚴重挑戰。因此搭配生物濾床等前處理，及改變消毒、氧化、膠凝及砂濾等程序操作，應可有效降低加氯消毒副產物形成前質，並提供一較經濟且技術可行之投資改善方案。因此本研究計畫之主要目的為：提升淨水場現有傳統淨水程序之處理效能，搭配生物濾床及改變原有的消毒、氧化、膠凝及砂濾，以降低出水濁度、減少水中溶解有機物含量、增加臭味與氨氮之去除效果，並減低加氯消毒副產物之生成及提高水質之安全性。

1.2 現況分析

鳳山給水廠目前日供水量約五十萬噸，淨水處理方式是沿用傳統前加氯、混凝、沉澱、快砂濾及後加氯消毒等物化程序，現階段處理後自來水水質尚能符合飲用水水質標準。

目前給水廠用以應付水質惡劣原水之方法，主要是利用預氯法，亦即在淨水之始，利用氯來氧化水中之氮化物、有機物、臭味物質及其他還原性污染物，此舉雖對某些污染物具去除功效，然而，在實施預氯處理時，氯亦可與水中之有機物，包括天然有機物(如腐植質)及來自家庭污水、事業廢水者，相互作用，而生成三鹵甲烷、鹵化醋酸等致癌性氯化有機物。此現象，在水廠遭逢枯水期，水中氮化物或還原性污染物濃度增高，必須提高預氯量因應時，問題將更加突顯。此外，某些臭味物質(例如 MIB)仍無法完全藉由氯氧化去除，甚至在原水中存在之氮化物

(例如 amino acids)將因氯之氧化作用而衍生成具臭味之醛類物質。因此預氯法對處理鳳山原水，雖可氧化氨氮及還原性物質，減輕後續淨水程序之負荷，但在有機物尚未去除時，即施加超量加氯，對處理水質仍存有安全疑慮。

預氯後之混凝、沉澱單元，水廠使用鋁鹽對濁度顆粒之去除有良好功效，但對有機物之去除，則受限於混凝劑水化機制及原水中有機物之特性，如分子量大小、極性等，而未能有明顯功效，根據葉氏等(民國80~85年)對鳳山淨水廠原水中有機物之分析研究報告，顯示屬大分子疏水性之腐植酸及黃酸類有機物合佔比例約僅20%，其他大部份是屬混凝不易去除之親水性小分子有機物，且原水先經預氯作用，後者所佔比例將隨加氯量增加而增加，其中有部份有機物亦是生物可利用之有機質，如後續程序未能有效去除，在供配水管網內可能產生微生物之再生長作用，對後消毒之微生物控制，勢必造成相當困擾。鑑此，水廠操作之混凝、沉澱單元，除了考量有效控制濁度外，在提升有機物之去除效能方面，仍值得做進一步探討。

近年來，水廠對去除臭味及有機物方面的改善，已在原水取水口增添粉狀活性碳(PAC)，冀利用原水在抽送至淨水廠加氯前，藉導水管混入PAC，達到去除有機前質、減少消毒副產物生成之功效，然因活性碳本身亦屬還原劑，在預氯過程將消耗部份餘氯，使前加氯量增加，甚至因活性碳吸附有機物之濃縮作用，可能導致產生更複雜之加氯副產物，因此粉狀活性碳之施加方法或適當時機，仍須配合未來改善方案併入評估。

針對鳳山原水水質特性，目前水廠使用之傳統處理程序，未來可能無法完全因應日益要求之供水品質，現今實有必要就已有淨水程序進行功能評估，並根據國內、外研究經驗，尋求可行之解決方案，在技術及成本考量層面，利用改善現有淨水程序或增設新單元，如改用替代消毒劑、加強混凝功效、增設生物硝化槽或活性碳濾床等單元，藉此減少消毒副產物生成，去除臭味，降低後消毒耗氯量，達到水質的生物穩定性標準，同時對突發的人為排放污染物亦兼具因應功能。

1.3 第一年執行成果

第一年之研究主要是分別於實驗室進行鳳山原水水質特性對程序操作之影響試驗及模廠增設生物濾床以取代前加氯去除氨氮，並試驗替代氧化劑(ClO_2 、 KMnO_4)對清水之 THMs 及 HAAs 等消毒副產品控制之可行性探討。試驗之同時亦對鳳山實廠之混凝沉澱與過濾等單元進行功能評估以了解實廠之處理現況。經由一年之研究探討獲致下列之重要結果：

一、現場功能評估：

透過現場操作與瓶杯試驗的殘餘濁度比較，發現現場前加氯的動作可以提升濁度的去除效果。一期脈動式膠羽沉澱池出水濁度較二期平底式高乃因一期沉澱池及濾池出水中較多之微小顆粒。常態混凝時污泥氈沉澱池出水 DOC 反增，提高混凝劑量時則不復嚴重，但對 A254 之大分子及膠體有機物均有去除效率。

二、生物濾床：

EBCT 10 分鐘時氨氮已達 93 % 之去除率，EBCT 20 時 DOC 達最佳 30 % 去除率。主要乃移除疏水性腐植質與大分子親水性有機物，相對亦減少 THMFP、HAAFP/DOC 之形成。

三、替代氧化劑：

使用二氧化氯為前氧化劑，對生物濾床出流水中較高比例之親水性有機物礦化不明顯，且易生成無機性消毒副產物，較不適合作為生物濾床的前氧化劑。

四、活性炭吸附：

由吸附試驗發現，F-400 活性炭有較佳效果，且模廠 GAC/濾砂對有機物去除則較傳統砂濾床有明顯的提升作用。

五、混凝試驗：

實驗室中比較四種不同混凝劑發現仍以實廠使用之硫酸鋁對有機物去除最佳。 ClO_2 配合較高混凝劑量可增加硫酸鋁對 DOC 之去除；而 KMnO_4 則對 FeCl_3 的混凝有增進的效果。

六、模廠試驗：

經由短期之初步試驗，混前氧化或濾前氧化加入 ClO_2 及 KMnO_4 會促進混沉（或砂濾）DOC 的去除，但在濁度上則無助益，以 FeCl_3 代替實廠使用之液態硫酸鋁，可改善污泥氈沉澱池出水濁度，但沉澱池則效果不佳，去除 DOC 未有改善。模廠清水消毒試程在不添加氧化劑操作下，砂濾出水 DOC 值僅約為實廠操作值之 50%，THMFP 亦有顯著之控制。

模廠生物濾床對臭味具有良好之去除成效，再經混沉後出水即可將 TON 值降至 1 以下。

1.4 本計畫之目的

針對上述之計畫主要目的，本團隊提出兩年之研究工作，第一年已順利完成預定之計畫內容。本年度(第二年)之計畫主要根據第一年之實驗室與模廠之初步試驗結果，提擬最佳的處理單元搭配方式，進行模廠長期穩定操作。模廠試驗以外亦對鳳山實廠污泥氈沉澱池，以加強混凝方式評估其有機物去除效率。

第二章 文獻回顧

2.1 生物前處理去除氨氮與有機物

根據Chien *et al.* (1997) 之研究報告指出，亞洲地區許多國家水源受到人為污染，原水中氨氮濃度高達1~5 mg/L。原水污染之來源通常是人類活動造成，受污染水源其水質特性常含有氨氮、分子量較小之有機物等，在傳統自來水處理程序中，為克服氨氮所造成之困擾，通常以預氯方式處理，將氨氮氧化成氯胺；但預氯方式容易衍生更多的DBPs。

對受污染水源而言，生物處理單元，均設置於混凝沉澱之前，其主要功能在於取代前加氯單元去除氨氮、中、低分子量之有機物，以降低DBPs之產生量 (Yeh and Chen, 1988; Chien *et al.*, 1997)。Yeh *et al.* (1995) 使用生物濾床進行受污染水源之處理研究時發現，生物濾床前處理可大幅降低加氯所需之成本。許多文獻研究顯示，利用生物濾床進行受污染水源前處理，可降低後續混凝單元混凝劑之添加量 (Yeh and Chen, 1988; Chien *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 1997; 黃, 2000)。生物前處理雖然可同時去除氨氮與有機物，但是其功能深受槽中累積之生物質量所調控，黃(2000)之研究指出，生物濾床對有機物之去除功能與槽中生物質量成正比；但對氨氮之去除功能卻與槽中生物質量成反比。

目前已廠化運用之自來水生物前處理技術包括：浸水濾床、旋轉生物圓盤法(Matsumoto *et al.*, 1992; Koki, 1993; Xu *et al.*, 1997; Sakimura *et al.*, 1997; 鄭, 1997)。上述之生物前處理法是利用高分子材料 (如PVC、PP、PE) 或濾砂當填充材，做為微生物附著生長之擔體，利用微生物進行污染物之淨化作用。

Matsumoto *et al.* (1992) 報導唐戶淨水廠 (19,700 m³/day) 利用旋轉生物圓盤法 (RBC) 進行自來水生物前處理以去除氨氮，其結果顯示在平均水力負荷0.216 m³/m²-day、水力停留時間為40分鐘之操作條件下，高水溫期 (15~23°C)，原水之氨氮平均濃度0.11~0.86 mg/L時，氨氮平均去除率為70%；低水溫期 (7.7~17°C) 原水之氨氮平均濃度0.38~2.61

mg/L時，氨氮平均去除率為74 %。日本沖繩縣北谷淨水廠每日出水量為194,000 m³/day，但因原水受人為污染影響，因此增設生物接觸氧化槽，以取代既有預氣單元，並在砂濾床之後設置後臭氧氧化與生物活性碳單元。生物接觸氧化槽分為四個系統（8列3段24槽），每一系統出水量為48,500 m³/day，填充載體為孔洞13 mm之蜂巢管，接觸時間為1.5小時，曝氣量為處理水量之4倍，實廠運轉結果顯示最終處理水THMFP去除率達75 %，可惜該報告未列出其他污染物之去除成效（Koki, 1993）。

自來水採用生物處理時，原水中所含之污染物濃度低，故經生物氧化後所轉化成之生物質量亦低，因此維持自來水生物處理系統中足夠的微生物量，是發揮生物處理功能之主要因素。在生物處理系統中，微生物量之累積取決於系統中微生物之增殖、死亡與流失，前兩項屬微生物之本質，不易受人力所控制，但在實驗設計上卻可藉由適當方法，使微生物流失量降至最低；而選擇適當生物載體，是確保生物處理功能的關鍵。

Marquet *et al.* (1999) 以熔鐵爐渣為載體之滴濾床，藉由出流水中顆粒分佈探討其出流水特性，實驗結果發現，水中顆粒經滴濾床後會凝聚成大顆粒，顆粒之平均粒徑由44.5 μm成長為117.4 μm。Sakimura (1997) 的報告指出截至1997年止，在日本已有180個利用繩索狀濾材，裝置於河川內直接進行河川水質淨化作用，根據廣島縣福山市之處理結果，在滯留時間10~40分鐘（隨河川流量而異）時，BOD去除率為11~46 %、總氮去除率4~54 %、總磷去除率達3~35 %。Nohara *et al.*於1995年，利用水泥球（過濾速度58 m/day）與塑膠濾材（滯留時間為1.5小時）組成之生物處理程序，來淨化河川水質，然後再將經淨化後之處理水排放回河川中。該模場實驗結果顯示，此系統之SS截留率91.2 %、BOD去除率69 %、氨氮去除率72.6 %。Fujii *et al.* (1997) 於泰國曼谷利用礫石床做成渠道式生物過濾床，進行受污染河川之現地處理試驗，水力滯留時間在9小時條件下，SS截留率達75 %、BOD去除率為50~60 %、氨氮進流濃度5mg/L，其去除率達52 %，此礫石床之主要反應機制為沈澱及生物分解。Lim 和 Shin (1997) 利用纖維材質、比表面積為421 m²/m³之

濾材所填充成的濾床進行模場試驗，探討生物前處理對 DOC、藻類及臭味功能，模型廠操作結果發現，當水力停留時間超過 60 分鐘，DOC 之去除率可趨於穩定（約 23%）；藻類之去除效率，若以葉綠素 a 來表示，可達 33~40%，臭味之去除率亦可達 40~50%（以 geosmin 為指標）。Sasa *et al.* (1995) 則以聚酯纖維製成直徑 5~7 mm 之球型載體，填充於直徑 30 公分、高 400 公分之模廠，載體填充高度為 200 公分，接觸時間為 12 分鐘，研究結果發現濁度與氨氮均有很高之去除率，當水溫高於 10°C 以上，氨氮之載體負荷 300~400 g NH₃-N / m³-support-day，氨氮之平均去除率達 90%，低溫時（5°C）氨氮去除率亦可達 80%。鄒（1999）利用泡綿為載體，於港西淨水廠進行模廠試驗，在 EBCT 於 15 分鐘下，可有效去除氨氮。黃（2000）以急水溪原水進行兩年泡綿生物濾床現地試驗，研究結果顯示泡綿生物濾床可快速去除氨氮，使生物濾床出流水之氨氮濃度達到水源水質管制標準。

網狀泡綿具有多孔性網狀結構，此網狀結構除可提供廣大表面積讓微生物附著生長外，其開放型孔洞直徑 0.1 mm~3 mm，孔隙率高達 97%，遠高於一般之塑膠濾材，且其孔洞直徑較均勻，較不會阻塞而影響質量傳送效率，為一非常理想之生物載體。

2.2 使用替代消毒/氧化劑

2.2.1 二氧化氯

早在 1944 年紐約市的 Niagara Falls 淨水廠便嘗試應用二氧化氯於淨水處理 (Symons, 1979)，而在 1992 年即使用二氧化氯來取代氯進行預氧化 (Preoxidation)，藉以解決過多消毒副產物生成的情形 (Dietrich *et al.*, 1992)。由於 ClO₂ 不會與水中的腐植質反應形成三鹵甲烷 (THMs)，也不會與氨反應形成氯胺，除此之外，其操作成本亦不高，而操作方式則近似於加氯消毒系統，而且操作過程中二氧化氯的殘存量容易被檢測

及控制，pH之適用範圍也更寬廣 (Gordon *et al.*, 1999)。因此 ClO_2 被公認為抑制 TTHMs 生成的一種替代性氧化消毒劑。然而二氧化氯在實際應用上還是會有一些難以避免的問題，首先是臭味問題，當二氧化氯應用於預氧化時會產生令人討厭的煤油味或貓尿味，可能造成附近居民的抗議 (Hoehn *et al.*, 1990)；另外配水系統中氯與亞氯酸鹽若反應而再形成二氧化氯時，當消費者打開水龍頭時所逸出二氧化氯將可能與空氣中來自地毯的有機性漂塵反應產生臭味，除非有效移除配水系統中形成的亞氯酸鹽或以氯胺取代氯消毒，否則二氧化氯的應用仍存在有許多的限制 (Bruce *et al.*, 1999)。另外，無機性消毒副產物對人體健康的影響也是未來使用二氧化氯受到限制的關鍵所在，而二氧化氯在水中主要衍生的無機性消毒副產物則包括氯酸根與亞氯酸根 (Craun *et al.*, 1994)。根據研究報告顯示氯酸根與亞氯酸根會影響紅血球的解毒功能及血紅素的攜氧能力，也會造成甲狀腺機能退化及 DNA 合成能力減弱 (Robert, 1989) 的負面影響；若二氧化氯用量不足，非但無法有效達到氧化消毒效果而且易使氯酸鹽產生還原反應形成亞氯酸鹽。有鑑於此，美國環保署與相關單位開始研究對氯酸鹽與亞氯酸鹽的安全殘留量及二氧化氯安全使用量，表 2.2-1 即是整理近二十年美國淨水系統中應用二氧化氯的發展與規範；除了基於人體健康的考量外，二氧化氯之潛在神經毒性與其他未知的毒性問題皆為近年來研究的發展趨勢 (Don, 1999)。

表 2.2-1 近 20 年美國淨水系統應用二氧化氯的法規發展

時間 (西元)	建議、規範單位	容許標準的調整與 意義上的改變
1979	美國環保署對 THM 的規範中提到	總氧化劑量約 0.5 mg/L
1983	美國環保署之建議方針	從水龍頭採樣，總氧化劑量 (ClO_2 、 ClO_2^- 、 ClO_3^-) 不能超過 1.0 mg/L
1983	俄亥俄州之環保署 ⁽¹⁾ 規範	ClO_2 加藥量限制在 1.0 mg/時，同時允許小於 0.5 mg/L 的 ClO_2^- 殘留量
1985	國家科學學會(National Academy of Science)建議	ClO_2 、 ClO_2^- 、 ClO_3^- 的殘留量不得超過 0.013~0.018 mg/L
1990	加州校訂檢定標準 ⁽¹⁾	ClO_2 、 ClO_2^- 殘留濃度需 < 0.05 mg/L。 ClO_3^- 殘留濃度需 < 0.2 mg/L。
1992	化學製造協會 ⁽²⁾ 提供關於 90 天中鼠血氧化的研究給 FIFRA 與環保署地下水與飲用水辦公室	資料顯示當 ClO_2^- 達 7.8 mg/kg/d 尚不致發生可觀察的負面影響 ⁽³⁾ 或最大容許目標值為 2.2 mg/L
1994, 7 月	美國環保署地下水與飲用水辦公室提出消毒與消毒副產物的限制規範 Fed.Reg.59:145:38668 (6/94)	ClO_2^- 的最大容許濃度 ⁽⁴⁾ 為 1.0 mg/L，而最大容許目標濃度為 0.08 mg/L。 ClO_2 的最大殘留消毒濃度 ⁽⁴⁾ 為 0.8 mg/L，而最大殘留消毒目標濃度為 0.3 mg/L。
1996, 7 月	加州健康服務部門允許使用 ClO_2 於任何都市淨水處理系統 ⁽¹⁾ 中並須符合 ICR 的檢測要求	無論 ClO_2 之用量多寡皆須根據 ICR 規定並且公佈透析(Dialysis)的臨床報告和醫院的試驗結果
1998, 2 月	美國環保署接受關於 NaClO_2 的第二代研究結果	DBP Mini- NODA 建議修正 ClO_2^- 的最大容許目標濃度為 0.8 mg/L; ClO_2^- 的最大容許濃度為 1.0 mg/L，而 ClO_2 最大殘留消毒濃度為 0.8 mg/L
1998, 12 月	美國環保署公佈 DBP Stage 1 Rule ⁽⁵⁾	1. 訂立最終最大殘留消毒目標濃度、最大殘留消毒濃度、最大容許目標濃度、最大容許濃度 2. 每日需檢測 ClO_2 、 ClO_2^- 3. 每月需檢測 ClO_2^-

(1) 於 Gates, 1998a, Appendix A, pp.137-138.

(2) 化學製造協會, CMA, Chemical Manufacturers Association, Arlington, VA.

(3) 不能藉由觀察之負面影響程度, NOAEL, No Observed Adverse Effect Level, as mg/kg/day.

(4) 最大容許濃度 (最大容許目標濃度), MCL (MCLG), Maximum Contaminant Level (Goal); 最大殘留消毒濃度 (最大殘留消毒目標濃度), (MRDLMRDLG), Maximum Residual Disinfectant Level (Goal)

(5) DBP Stage 1 Rule, Final : Fed. Reg., Vol. 63, No. 241, pp.69390-69476, pp.69403, and pp.69422-23.

2.2.2 二氧化氯之基本性質

二氧化氯(ClO_2)是一種黃綠色的氣體，具有刺激性的臭味；液態的二氧化氯成深黃色，而且當溫度大於 -40°C 時具有爆炸性。二氧化氯的物理及熱力學特性整理如表 2.2-2。

二氧化氯的原子量為 67.46，是自然界中少數幾乎完全是以自由基單體存在的化合物，其中的 $\text{Cl}-\text{O}$ 鍵是以雙鍵形式存在， $\text{O}-\text{Cl}-\text{O}$ 鍵角約為 117.5° ，且鍵長為 0.147nm (Nielson *et al.*, 1952)。二氧化氯在水中的紫外線吸收光譜其吸收帶很廣，最大值為波長 360 nm ，每莫耳消耗係數 (molar extinction coefficient) 為 $1150\text{ (M.cm)}^{-1} \sim 1250\text{ (M.cm)}^{-1}$ 之間 (Kirk-Othmer, 1985)，而且無論是在水中或是在有機溶液中，其吸收光譜都與氯相吸收光譜相同 (Buser and Hanisch, 1952)。一般紫外線吸收光譜常用以分析二氧化氯的組成，是單獨存在或是與其他型態之化合物 (oxochlorine compounds) 混合存在，除紫外線吸收光譜之外，安培電流法、比色法及其他分析方法也可用來分析。

二氧化氯氣體的溶解度極大，對水的溶解度大約是氯氣的 5 倍，在水中易溶解而形成黃綠色的二氧化氯溶液，特別是在低溫的環境下更易於溶解。相較於氯氣在水中水解的情形，二氧化氯在水中不易水解，大部份以分子型態存在於水中，因此，只要將少量空氣吹入水溶液中，便可以將二氧化氯自水中趕出。由於二氧化氯在低溫環境下能維持相當的穩定性，通常存在於 -4°C 之低溫下。

氣態之二氧化氯在外觀及臭味上都與氯氣十分相似，易揮發且當溫度上升或長時間暴露在光照下可能會引發爆炸，因此二氧化氯通常在現場製備，故為了避免二氧化氯受紫外光影響產生光分解效應，一般製備後需以棕色瓶儲存，並妥善密封於低溫且不透光的冰箱中。

表 2.2-2 二氧化氮的物理及熱力學性質 (Kirk-Othmer, 1985)

性質	數值
分子量	67.452
臨界溫度(K)	465
臨界壓力(kPa ^a)	8621.6
熔點(K)	213.55
三相點溫度 triple point temperature(K)	213.55
三相點壓力 triple point pressure(kPa ^a)	1.2544
沸點 101.3 kPa ^a (K)	284.05
液體密度(g/mL)	
-55 °C	1.773
0 °C	1.640
10 °C	1.614
理想氣體生成熱(kJ/mol ^b)	102.5
理想氣體生成能(kJ/mol ^b)	120.5
標準淨燃燒熱(kJ/mol ^b)	-102.5
偶極距 dipole moment(C.m ^c)	5.9500×10^{-30}
旋迴半徑 radius of gyration(m)	2.8030×10^{-1}

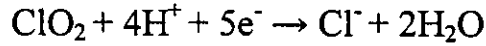
a : kPa 乘上 7.501 轉換成 mmHg

b : 焦耳(J) 除以 4.184 轉換成卡(cal)

c : C.m 除以 3.336×10^{-30} 轉換成 debyes

2.2.3 二氧化氯之化學特性

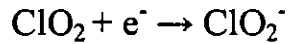
二氧化氯氣體是很強的氧化劑，其標準還原電位由化學反應作用所決定。氣態的二氧化氯在水溶液中會反應形成氯離子，反應如下：



$$E = -1.511 + 0.0473 \text{ pH} - 0.0118 \log\{(\text{P}_{\text{ClO}_2})/[\text{Cl}^-]\}$$

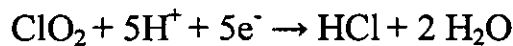
此反應中氯離子的標準還原電位(E°)為-1.511V，總電位值由 pH 及 Cl^- 濃度所決定 (Pourbaix, 1966)。

在 ClO_2^- 的形成反應中， ClO_2^- 的標準還原電位(E°)為-1.160V，反應方程及總電位值如下：



$$E = -1.160 - 0.0591 \log\{(\text{P}_{\text{ClO}_2})/[\text{ClO}_2^-]\}$$

在氣體反應系統中，HCl 氣體是反應的生成物，其標準還原電位(E°)為-1.436 V，反應方程及總電位值如下：



$$E = -1.436 + 0.0591 \text{ pH} - 0.0118 \log\{(\text{P}_{\text{ClO}_2})/[\text{HCl}]\}$$

2.2.4 二氧化氯的製造

雖然二氧化氯不會與有機物反應形成三鹵甲烷等鹵化消毒副產物，但若生成物之二氧化氯純度不足並有餘氯的存在，將於淨水處理時產生低濃度的三鹵甲烷 (Bruce *et al.*, 1999)。由於二氧化氯的純度控制會影響後續淨水處理的結果，因此產製二氧化氯過程的產量、產率、及純度之控制皆是應用二氧化氯於淨水處理必須了解之課題。美國環保署最終的目標便是希望二氧化氯的產率達到 95%，而二氧化氯成品之餘氯量小於 5%。目前所提出產製二氧化氯的方法經整理如表 2.2-3：

表 2.2-3 二氧化氯產製型態一覽表

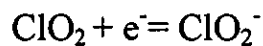
主要反應物	產製型態	反應式
亞氯酸鹽	酸化 Chlorite	$5 \text{ClO}_2^- + 4 \text{H}^+ \rightarrow 4 \text{ClO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}^-$
	以 Chlorine 氧化 Chlorite	$2 \text{NaClO}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{NaCl} + 2 \text{ClO}_2$
	以 Persulfate 氧化 Chlorite	$2 \text{NaClO}_2 + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 \rightarrow 2 \text{ClO}_2 + 2 \text{Na}_2\text{SO}_4$
	由 Acetic Anhydride 與 Chlorite 反應	$4\text{NaClO}_2 + (\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ClO}_2 + \text{NaClO}_3 + \text{NaCl} + 2 \text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$
	由 Sodium Hypochlorite 與 Sodium Chlorite 反應	$\text{NaOCl} + 2 \text{NaClO}_2 + 2 \text{HCl} \rightarrow 2 \text{ClO}_2 + 3 \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
	Chlorite 之電化學氧化反應	$\text{ClO}_2^- \rightarrow \text{ClO}_2 + \text{e}^-$
氯酸鹽	固態 chlorine 與 chlorite 之反應 (實驗室技術)	$\text{NaClO}_2 + 1/2 \text{Cl}_2 \rightarrow \text{ClO}_2 + \text{NaCl (solid)}$
	以 Oxalic Acid 酸化 Chlorates	$2 \text{HClO}_3 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow 2 \text{ClO}_2 + 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
	以 Sulfur dioxide 還原 Chlorates (Mathieson Process)	$2 \text{NaClO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2 \rightarrow 2 \text{ClO}_2 + 2 \text{NaHSO}_4$
	程序 ERCO R-2®與 ERCO R-3®	$\text{NaClO}_3 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ClO}_2 + 1/2 \text{Cl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
	程序 ERCO R-5®	$\text{NaClO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{ClO}_2 + 1/2 \text{Cl}_2 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
	程序 ERCO R-8®與 ERCO R-10®	$3 \text{NaClO}_3 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 + 0.85 \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3 \text{ClO}_2 + \text{Na}_3\text{H}(\text{SO}_4)_2 + \text{H}_2\text{O} + 0.05 \text{CH}_3\text{OH} + 0.6 \text{CHOOH} + 0.2 \text{CO}_2$
	程序 ERCO R-11®	$\text{NaClO}_3 + 1/2 \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ClO}_2 + \text{NaHSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + 1/2 \text{O}_2$

2.2.5 二氧化氯在水中的氧化反應

由於傳統加氯消毒會與水中有機物反應形成危害人體健康的消毒副產物，而美國環保署又提出二氧化氯作為取代液氯的替代消毒劑，所以有愈來愈多有關於二氧化氯的相關研究報告，應用二氧化氯於淨水處理所可能衍生的消毒副產物也是未來研究的重點。

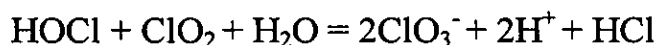
一、無機性消毒副產物

二氧化氯能以分子的形態存在於水中，只有少部分會與水分子發生化學反應與水解效應。在光化學反應中，二氧化氯受到波長 $>300 \sim 436$ nm 的光波照射後將反應生成 ClO_3^- (Gordon, 2001)。而其他研究報告也顯示二氧化氯受光照後會轉變為 ClO_2^- (AWWARF, 1992)。所以光線對二氧化氯的穩定性有很大的影響；為了避免二氧化氯分解，應使其包存於低溫陰暗處。二氧化氯在鹼性環境中會解離出 ClO_2^- ，反應式如下：



此外在不同的反應條件與濃度下，不同的含氯物種交互反應所產生的生成物種也就有所不同 (Aietta *et al.*, 1986)。若水體中同時有二氧化氯、氯的存在，則可能發生的反應有：

(一) Chlorine 與 ClO_2 的反應：



此反應之反應速率小，所以 ClO_3^- 生成緩慢，除非在很大的淨水處理系統中，否則這個反應是可以忽略的 (Gordon *et al.*, 1972)。

(二) Chlorine 與 ClO_2^- 的反應：

在這反應中通常 ClO_3^- 的形成非常緩慢，惟有在酸性的環境中 (pH 5)， ClO_2^- 與過量的 HOCl 反應才會形成 ClO_3^- (Emmenegger, 1967)。

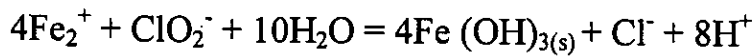
(三) HOCl 與 OCl^- 的反應：

此反應發生於 pH 5.8 ~ 6.5，室溫下氯酸根的生成反應速率緩慢 (Aietta, 1985)，但日照時會致使反應加速 (Buxton, 1972)。

由以上各反應可知，只要 pH 調整適當、使之不受光照，便可抑制無機性消毒副產物的產生。此外，氯酸根在水體中相當穩定，目前為止並無適當的移除方法，只能從預防產生來著手，而且其生成量亦不若亞氯酸根多，所以為達氧化效果且對人體不造成危害，如何移除亞氯酸根來提高二氧化氯的加藥量便成為重要的研究課題，以下便就常用的技術加以介紹：

1. 鐵還原劑

加入亞鐵離子後，溶液中的亞氯酸根將被還原成氯離子，反應式為：



反應速度在 pH 5~7 可最高，而且不到 15 秒便可移除 1 mg/L 的亞氯酸根；在加藥比例上，鐵還原劑消耗量與亞氯酸根移除量的比值為 3.31。如圖 2.2-1 所示，亞氯酸根將隨鐵還原劑加藥量的增加而被移除的趨勢，但此法明顯對氯酸鹽的移除沒有任何效果：

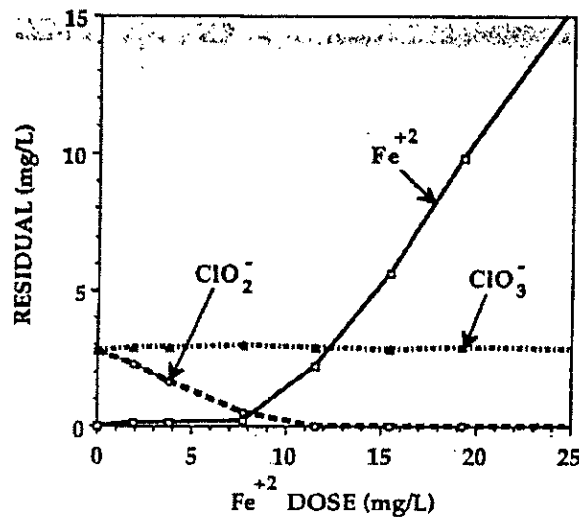


圖 2.2-1 鐵還原劑加藥量對二氧化氯無機性消毒副產物的影響

而文獻亦提及，鐵還原劑的應用除可做移除亞氯酸根用，其反應所形成之 $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$ 亦可作為助凝劑使用，減少混凝劑之加藥量。(Katz *et al*, 2000)

2. 硫還原劑

於 pH 5 ~ 6.5 的環境下，亞硫酸根將有效地還原亞氯酸根形成氯離子，反應式為： $2\text{SO}_3^{2-} + \text{ClO}_2^- = 2\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$

反應式顯示在酸性的條件下有利於亞氯酸根的移除，而此反應之亞氯酸根移除率可達 95 %。Gordon *et al.* (1990) 的研究顯示酸性環境有利於亞氯酸根的移除，且硫還原劑之加量越大，亞氯酸根的移除效果便越佳。

3. 活性碳吸附

根據文獻記載 (Roger *et al.*, 1996)，當粒狀活性碳 (GAC) 表面有自由基存在時，其將降解 ClO_2 與 ClO_2^- 形成初級副產物 ($\text{Cl}\cdot$ 及 $\text{ClO}\cdot$)，之後一部份形成最終產物 (Cl^- 及 ClO_3^-)，其餘則形成二級產物 (ClO_2^- , ClO_2 , Cl_2O_2 , Cl_2O_3 , HOCl) 並繼續反應形成最終產物。所以活性碳除了可以吸附經二氧化氯氧化後之小分子溶解性有機物，降低對二氧化氯的需求量 (demand) 外 (Schmid *et al.*, 2000)；另外還可以移除危害人體健康的亞氯酸根，增加二氧化氯實場應用上的操作空間。Karpel (1992) 人等針對不同濃度的亞氯酸根溶液進行活性碳處理，結果顯示最終產物 $\text{ClO}_3^-/\text{Cl}^-$ 比例將隨著亞氯酸根溶液濃度的增加而增加，但亞氯酸根溶液於低濃度操作條件下 ($< 5 \text{ mg-ClO}_2^-/\text{L}$) 最終產物則以 Cl^- 為主 ($> 0.9 \text{ mol-Cl}^-/\text{mol-ClO}_2^- \text{ removal}$)。故活性碳操作上需注意不能處理濃度過高的亞氯酸根溶液，否則最終產物將以氯酸根為主，反而產生另一種安全上的顧慮。Swietlik (2001) 人等將經過 $0.2 \text{ mg-ClO}_2/\text{L}$ 氧化的水樣連續進流至活性碳濾床中，結果經過 11,000 濾床體積 (Bed volumes) 後仍不發生貫穿，而且氯酸根濃度從未超過 $0.05 \text{ mg-ClO}_3^-/\text{L}$ ，證實 GAC 濾床可處理大量的低濃度亞氯酸根溶液且最終產物以 Cl^- 為主。

二、有機性消毒副產物

天然有機質是一種具有非常複雜結構本體之有機物所構成，由腐植質 (Humic substances) 及非腐植質 (Nonhumic substances) 所構成，其中腐植質部份較非腐植質部份具疏水特性 (Manahan, 1991; Liao *et al.*, 1982;

Schnitzer and Kahn, 1972)。非腐植質部份則包含了一些親水性的酸類、蛋白質、氨基酸、及碳水化合物等(Manahan, 1991)。Bablon *et al.* (1991a)認為非腐植質在飲用水水質處理上較無後續副產物的問題。基本上，腐植質在自來水中之主要物化特性為：(一)與鹵素(halogens)有很大的反應性；(二)容易與金屬離子形成複合作用(complexation)；(三)與有機微細污染物之結合等。Trussell 和 Umphres 在 1978 年提出水中腐植質和鹵素分子之反應路徑須經過水解及鹵化兩步驟方得以形成消毒副產物。而控制三鹵甲烷形成之主要因子為：(一)總有機碳濃度；(二)水之無機化學組成，如 pH 及溴離子濃度；(三)氯及天然有機質之接觸時間；(四)氯及總有機碳之劑量比值。

早期大多數的文獻均表示二氧化氯與黃酸、腐植酸反應不會形成三鹵甲烷 (Symons, 1981; Colclough, 1983; Noack, 1978; Mallevialle, 1978)，而近期的文獻則顯示二氧化氯可能會與水中的有機物進行反應而形成 THMs 及 HAAs 等氯化有機性消毒副產物 (Lindgren and Nilsson, 1973; Kolar and Lindgren, 1982; Ozawa and Kwan, 1984; Rav-Acha and Choshen, 1987)。當二氧化氯在水中形成無機性消毒副產物後，這些無機性消毒副產物將可能與有機物進行反應生成含氯有機性消毒副產物；另一種關於有機性消毒副產物的生成機制是：二氧化氯與有機物反應後生成 ROCIO，而 ROCIO 再與水中有機物反應生成含氯的有機性消毒副產物 (Goel *et al.*, 1995)；而最近的文獻也顯示若二氧化氯的純度不佳，二氧化氯溶液中所含的餘氯將與有機物反應形成鹵化消毒副產物 (Don, 1999)。與傳統加氯消毒來比較的話，利用二氧化氯取代氯進行預氧化反應可使三鹵甲烷生成量較原來加氯處理減少達一半以上 (Miltne, 1976)。

2.2.6 二氧化氯消毒對病原體的抑制

二氧化氯極易溶解於水中，而且水解作用極緩慢不易形成陰離子；在水中不但不可游離而且為高度活躍的分子。由於二氧化氯水解能力遠比氯差而且不與氨反應、與有機物反應緩慢，所以其在水中存在的時間比氯久，而可以適用的 pH 值範圍又較氯廣泛，故其在水中的消毒能力比氯更強 (Gordon, 1993)。Huang (1997)便針對二氧化氯之消毒效能與液氯做一評比，發現二氧化氯不但消毒效能優於傳統加氯消毒而且適用的 pH 範圍更廣泛。美國環保署針對 *Giardia* 與腸病毒進行消毒效能測試，發現劑量濃度與接觸時間皆顯示二氧化氯在 pH 6 ~ 9 時有最佳消毒效能而且用量只有加氯消毒的一半 (Bruce, 1999)。Hoff (1980)針對臭氧、二氧化氯、氯、氯胺四種不同消毒劑對原水之殺菌力、穩定度及 pH 值範圍變動敏感度進行比較，結果如下表所示：

表 2.2-4 不同消毒劑對原水之殺菌力、穩定度及 pH 值之敏感度比較

消毒劑	殺菌力	穩定度	pH 值範圍變動敏感度
臭氧	1	4	影響甚微
二氧化氯	2	2	隨著 pH 值上升而輕微提高消毒效率
氯	3	3	隨著 pH 值上升而大量減少消毒效率
氯胺	4	1	影響甚微

(層級 1-4 所代表意義分別為：1 是最高、4 是最低)

Hoff(1986)亦針對氯、氯胺、二氧化氯、及臭氧四種不同消毒劑對抑制不同微生物所需用之接觸濃度與時間乘積(CT)進行比較：

表 2.2-5 不同消毒劑對抑制不同微生物所需用之 CT 值之比較

微生物物種	氯 (pH 6-7)	氯胺 (pH 8-9)	二氧化氯 (pH 6-7)	臭氧 (pH 6-7)
E. Coli	0.034-0.05	95~180	0.4-0.75	0.02
Polio 1	1.1~2.5	768~3740	0.2~6.7	0.1~0.2
Rotavirus	0.01~0.05	3806~6476	0.2~2.1	0.006~0.06
Phage f ₂	0.08~0.18	nd	nd	nd
Cysts of <i>G. Lamblia</i>	47~150	2200*	26*	0.5~0.6
Cysts of <i>G. muris</i>	30~630	1400	7.2~18.5	1.8~2.01

(*：在 25°C 下，當 pH= 6~9 有 99.99 % 的抑制效果、當 pH= 7 有 90 % 的抑制效果。nd：沒有資料)

若是使用氯胺、氯、二氧化氯、及臭氧等四種不同消毒劑來抑制 *Giardia* 及 *Cryptosporidium* 的話，相關接觸濃度與時間乘積(CT)的比較如下表 (Lykins, 1986 ; Regli, 1993)：

表 2.2-6 不同消毒劑對抑制 *Giardia* 及 *Cryptosporidium* 所需用之 CT 值之比較

	氯胺	氯	二氧化氯	臭氧
<i>Giardia</i>	365	16-47	4.3	0.3
(pH 6~9, 5°C)	0.5 log inactivation	0.5 log inactivation	0.5 log inactivation	0.5 log inactivation
<i>Cryptosporidium</i>	7200	7200	78	5-10
(pH 7, 25°C)	2 log inactivation	1 log inactivation	1 log inactivation	2 log inactivation

2.2.7 替代消毒劑對臭味之去除

根據文獻顯示(汪與林, 2000), 鳳山淨水廠原水之臭味特性在冬季時以魚腥味為主, 夏季則為土霉味, Geosmin (GSM)與 2-Methylisoborneol (2-MIB)被認為是為自來水原水中常見導致土霉味之化合物(汪俊育, 2000)且經常被作為研究調查之對象, 而在台灣地區之本土藻類亦被證實會在水源原水中產生此二物質(吳俊宗, 1993; Hu and Chiang, 1996)。GSM 與 2-MIB 之產生原因歷年來均有許多探討, 國內汪(2000)與林(2001)均作過相當完整詳細的回顧, 總而言之, 不同的水體與環境特性, 均有其生成可能。

Kim 等(1997)發現原水(GSM: 15.6 ppt; 2-MIB: 82 ppt)經混凝-沈澱-快砂濾後 GSM 與 2-MIB 之去除率分別為 11.5 %與 20.7 %, 殘餘濃度仍有 13.8 與 65 ppt, 皆大於臭味恕限值。汪氏(2000)亦曾分析鳳山淨水廠之傳統處理程序(混凝-沈澱-砂濾)之 2-MIB 去除效率, 結果顯示經過處理之原水, 其主要臭味物質 2-MIB 濃度雖達約 45 %之去除率, 但仍殘餘相當濃度的 2-MIB (47 ng/L), 且若將濃度換算成 FPA 臭味強度, 其去對臭味強度之去除更是有限(處理前後皆維持在強度 6 級上下), 再者此殘餘臭味會被加氯所掩蓋, 一旦餘氯在配水管線中被消耗, 其臭味將再度顯現出來。由此等之文獻顯示, 傳統淨水程序對臭味之去除並未有顯著之成效, 仍需仰賴其他單元之輔助。

使用氧化劑除氧化有機物外, 亦可同時將臭味物質去除, 不過不管使用何種氧化劑, 處理過的水都可能因氧化產生的生成物或殘餘氧化劑本身的味道而導致出水存在與原水不同形式的臭味, 如 O_3 產生的水果味(汪俊育, 2000); 二氧化氯產生煤油或貓尿味(Dietrich *et al.*, 1992; Hoehn *et al.*, 1990)。加氯法可去除藻類所引起的臭味, 但過量將會與有機物產生氯的衍生物, 而導致臭味, 若不足則中間含氯化合物亦會加強臭味(Froese *et al.*, 1999), 且一般加氯對於魚腥味之去除較為有效, 對土霉味與青草臭較難去除(Erdei, 1963); 此外餘氯對臭味存在著遮蔽效應, 導致淨水廠出水並無察覺土霉等臭味存在, 但當餘氯於輸送管線中被消耗, 則臭味將再度呈現(汪俊育, 2000)。臭氧已漸被廣泛運用於臭味的控制, Kim 等(1997)

曾進行以臭氧搭配活性碳吸附之模型場研究，經混凝-沈澱-快砂濾後，再經臭氧，GSM 與 2-MIB 之去除率分別由原來之 11.5 % 與 20.7 % 提高為 33.3 % 與 28.1 %，建議經後臭氧程序比無後臭氧而直接進入活性碳濾床之程序更能提供有效的臭味控制。

高錳酸鉀亦常被認為可以去除臭味之氧化劑，但 Lalezary 等(1986)曾以 KMnO_4 對五種配製之含土臭味溶液(IPMP、IBMP、MIB、TCA、Geosmin)進行研究，結果顯示不管針對何種臭味物質， KMnO_4 所得之效果最差，去除率皆小於 20 %，Glaze 等(1990)使用 3 mg/L 之劑量、接觸時間 2 hr，發現對 Geosmin 與 MIB 之去除效果不佳，此外，Suffet 等(1995)之研究亦比較氯、臭氧、高錳酸鉀對臭味之去除，發現高錳酸鉀對土味、腥味等臭味之控制效果並不理想。國內則亦曾試驗於澄清湖原水，結果亦發現高錳酸鉀對魚腥味去除較有效，但對土臭味則無顯著成效(李俊德等，1985)。

二氧化氯應用於淨水程序其主要目的乃為了減少消毒副產物的生成，然其對於臭味物質亦有氧化分解之效果，根據 Lalezary 等(1986)之研究，以不同氧化劑處理人工配置的含臭水樣，其對 GSM 與 2-MIB 之處理效果分別為 $\text{ClO}_2 > \text{O}_3 > \text{MnO}_{2(s)} > \text{Cl}_2 > \text{KMnO}_4$ 與 $\text{ClO}_2 > \text{O}_3 > \text{Cl}_2 > \text{MnO}_{2(s)} > \text{KMnO}_4$ ， ClO_2 之有效劑量為 4 mg as Cl_2 /L 反應時間 2 hr，此時 GSM 與 2-MIB 之濃度分別由 200 ng/L 降至 80 ng/L 與 150 ng/L 左右，大於此劑量則去除率便無明顯增加，相較於其他氧化劑，二氧化氯則較能有效降低水中臭味。然 Glaze 等(1990)在其研究卻指出二氧化氯並無法有效氧化控制臭味物質，其以 3 mg/L 之劑量反應 120 min，對於 2-MIB 與 Geosmin 之去除率僅 2 % 與 17 %，此與 Lalezary 等(1986)之研究結果似有衝突，其推測可能導因於原水中可能存在促進臭氧產生高氧化力自由基所導致。故由此兩研究結果顯示原水水質差異可能為氧化劑對臭味物質去除效果之重要影響因子，然此恐非一、二個水廠試驗即可有定論。楊氏(2002)亦發現於 25 °C、pH 為 6.8 之環境下，1 mg/L 之二氧化氯，可將 100 ng/L 之 GSM 或 2-MIB 於 5 min 內快速達約 45 ~ 50 % 之降解量，而

10~20 min 後並未再有顯著之降解量。而且二氧化氯去除 GSM 與 2-MIB 乃受原水水質中親水性與疏水性物質所佔比例不同而有所差異，當水中之疏水性有機質占多數，其較易與臭味物質產生競爭氧化劑作用而影響二氧化氯對 GSM 或 2-MIB 之氧化去除效果，而當親水性之有機質較多，此競爭情形較不明顯。

本計畫第一年亦進行鳳山原水臭味試驗，模廠生物濾床對原水臭味具有良好之去除成效，如再經混沉後其出水 TON 值已降至 1 以下，但如於混凝前添加高於 0.5 mg/L 以上之 ClO_2 氧化劑則反而有臭味出現，但如以 KMnO_4 為氧化劑則無此問題產生。

2.3 活性炭吸附/過濾

活性炭在淨水工程上之應用，首先是針對水中臭味之去除，隨著人工合成有機物之多樣化及環境污染日益嚴重，目前已被使用於去除水中多樣之有機物。

一般用來製造活性炭之原料包括有木炭(wood char)、褐煤(lignite)、煙煤(coal)及椰子殼(coconut shells)等，由於不同的原料有不同結構，所以製造生產之 PAC 孔徑分佈、比表面積(specific surface area)、視密度(apparent density)及其表面化學特性也有顯著不同(JMM Consulting Engineers, 1985)，其中比表面積及孔徑分佈是影響 PAC 吸附性之較重要因素。比表面積可用 BET 量測，該法係由量測覆蓋表面形成單層(monolayer)之氮氣分子體積來推算表面，理論上，以相同原料製成之活性炭，其比表面積愈大，應具有愈大之吸附容量(adsorption capacity)。另對一已知之被吸附物而言，可有效利用之表面積，決定於被吸附物分子所能貫入之最小孔徑，故 PAC 之孔徑分佈對吸附而言，相當重要。一般大分子有機物被 PAC 吸附之效率不高或吸附時間較長，主要是此類有機性不易擴散進入 PAC 孔隙內部，特別是孔徑偏小者。過去有關活性炭內

部孔徑大小之分類法雖有多種，但目前為 IUPAC 所接受之分法為(Gregg & Sing, 1982)：一、小孔(Micropores)– r_p (孔半徑) $< 1 \text{ nm}$ ；二、中孔(Mesopores)– $1 \text{ nm} < r_p < 25 \text{ nm}$ ；三、大孔(Macropores)– $25 \text{ nm} < r_p$ 。

各種原料所製成活性碳之孔徑組成皆不相同，如利用椰子殼製成之活性碳，其小孔所佔之量較多，而利用煤製成者，中孔及大孔所佔比例較高，故前者適用於氣體之淨化，而後者則適用於水中雜質之去除。至於孔徑分佈之量測，大孔及中孔可用壓汞法(Mercury porosimetry)，該法係利用汞靠外壓貫入活性碳孔隙內，並記錄不同壓力下所用之汞體積，藉此以求出不同孔徑之孔隙所佔有的體積。另外中孔及小孔之體積，亦可利用氮氣等溫吸附線及苯等溫吸附線求出(Sontheimer, 1989)。

除了原料外，影響活性碳性質的另一重要因素為其製造過程。製造活性碳前，先將選定之原料依其大小區分，然後在數百度之溫度下進行碳化(Carbonization)，碳化的過程中會把存在於原料表面之揮發性物質釋放出，如此使活性碳之孔隙結構逐漸形成；在隨後的活化(Activation)過程中，則是利用更高之溫度與活化氣體將原料中一些被有機物封閉之孔隙打開，並使其多孔隙結構更形擴大，而經此一步驟後，活性碳之表面積大幅增加，而內部亦充滿大小不同之各種孔隙(Sontheimer, 1988；Bansal, 1988)。

由於活性碳表面與被吸附物間之特定作用，活性碳之表面化學會影響吸附量及吸附效率。活性碳表面所存在之官能基可強烈影響與被吸附物間之化學親和力，這些官能基包括羰基(Carbonyl)及過氧基(Peroxide)。再者，活性碳表面含氧之官能基(Oxide functional groups)可表現酸或鹼之特性。當在高溫下，以 CO_2 活化，而在室溫下與氧接觸，則生成鹼性表面官能基，稱為 H 型活性碳。如在低溫下，以氧行活化作用，則生成酸性表面官能基，稱為 L 型活性碳。若活性碳具有較多之酸性表面氧化物，則活性碳對 Benzene、Nitro-benzene、Phenol、Chloroform、Oxalic acid 等之吸附性降低(Coughlin & Ezra, 1968；Snoeyink, 1974；Puri, 1980)，而對 Aniline 及 Methylaniline 之吸附則會增強(Puri, 1983)。

另外，亦有數個參數來表示活性碳之吸附容量(adsorption capacity)，如碘數(Iodine number)係量測在某一控制之實驗條件下，活性碳所能吸附碘之數量，通常碘數與活性碳可供小分子吸附質吸附之表面積有良好之相關。根據美國自來水協會(AWWA)定出之標準，粉狀活性碳之碘數需高於 500。其他如甲基藍值(methylene blue number)、酚值(phenol adsorption number)等均表活性碳對某一特性有機物之吸附容量(AWWA, 1990)。

由於活性碳表面與被吸附物間之特定作用，活性碳之表面化學性質會影響吸附量及吸附方式。活性碳表面所存在之官能基可強烈影響與被吸附物間之化學親和力，此些官能基包括羰基(carbonyl)及過氧基(peroxide)。再者，活性碳表面之疏水性(hydrophobicity)會隨鍵結官能基中之氧含量或金屬物增加而降低，進而減低對水中疏水性有機物之吸附能力，文獻中已有諸多實例(Coughlin and Ezra, 1968; Ishizaki and Cookson, 1974; Snocyink *et al.*, 1974; McGuire, 1977; Dittl *et al.*, 1978; Mahaian *et al.*, 1980; Puri, 1980)指出 benzene、nitrobenzene、p-hydroxy-benzaldehyde、sodium benzene sulfonate、phenol、p-nitrophenol...等化合物之吸附效率將隨著活性碳表面酸性官能基增加而降低。然而對 aniline、methylaniline 則有增加吸附性之正面功效(Puri, 1983)。

另一方面，在考慮活性碳內部孔洞對吸附質擴散之影響，文獻上曾嘗試找出活性碳之孔隙體積分佈與吸附容量之關係，發現對一特定被吸附質，活性碳孔徑在超過某一數值時，其孔隙體積分佈與吸附容量有良好相關性存在(Chudyk *et al.*, 1979; Lee *et al.*, 1981; Suidan *et al.*, 1978)。此外對吸附腐植物質亦發現在某一孔徑(r_A)範圍，活性碳之孔隙體積分佈與不同分子量分率之腐植物質存在良好相關性，其中屬低分子量者主要是吸附在小/中孔(micropore-mesopore)區域範圍，高分子量者則是吸附在大孔(macropore)區域。再者，亦有學者以活性碳之比表面積或孔隙體積分佈對表面或孔隙擴散係數(surface and pore diffusion coefficient)做相關性比較，發現在孔徑大於某一範圍內，其間有良好相關性存在。(Lec *et al.* 1981)

在同時考慮活性碳表面化學性質及內部孔隙結構對吸附質吸附容量之影響，以往有文獻(Graharn, 1955；Oda *et al.*, 1981)指出陽離子性染料(cationic dye)被活性碳吸附之限制因子主要是孔隙大小，相對地陰離子染性(anionic dye)則是表面酸性官能基多寡。而對 benzoic acid 的吸附，活性碳比表面積是限制因子，對 phenol 的吸附則是表面酸性官能基含量。另 Summers (1986)針對腐植物質在活性碳吸附過程之孔隙大小與表面化學性質影響之研究中，指出活性碳對腐植物質發生吸附之孔徑(r_p)需大於腐植物質分子半徑(hydrodynamic Stokes-Einstein radius, r_{SE})之 1.5 倍。另對於活性碳表面帶鹼性官能基者，對腐植物質之吸附性愈好，原因是與帶陰電性之腐植物質有較強之鍵結力。

影響活性碳吸附之因素眾多，除前述之活性碳基本性質外，被吸附質與溶劑所表現之特性亦會影響活性碳之吸附效果。就被吸附質而言，可將影響被吸附之因素，歸納成三點，其分別為分子之大小、溶解性及分子本身所具有之官能基與極性等。一般被吸附質分子大小影響其被吸附能力甚鉅，當分子太大時，會受限於吸附劑之微小孔徑分佈，使可擴散至吸附劑內微小孔隙之被吸附質分子減少，進而降低被吸附之量。腐植酸較難被活性碳吸附，即是分子過大之緣故。另外，溶解度高之有機分子較不適合使用活性碳吸附，因其與溶劑間之親和力甚強，使有機分子之被吸附能力降低。至於有機分子本身所具有之極性、官能基亦會影響被吸附效率。若有機分子具較強極性之官能基如：氫氧基(-OH)；磺酸基(-SO₃)或是胺基(-NH₂)，則會降低被吸附能力。反之，若有機物含有苯環取代基，如硝基(NO₂)則會提升被吸附能力。另外具有鹵化基(-X)、羰基(-C=O)及雙鍵結構之有機物，當須視其結構與分子量才能判定其吸附如何(Faust & Aly, 1987)。

其次，水溶液系統中溶劑影響吸附現象之因子有：pH 值、溫度及是否存在其他有機物。一般而言，在低 pH 值下。有機物種之離子化現象較少，因此也較容易被吸附(McCreary & Snoeyink, 1980)。溫度之效應會影響吸附之效率，這是由於物理吸附放熱反應，故溫度上升時其吸附容量

有降低之趨勢。根據文獻之資料，在溫度為 8、20 及 29 °C 下活性碳對酚 (phenol) 吸附之三條恆溫曲線，顯示溫度愈高時吸附容量愈低，但此現象僅侷限在酚濃度低於 200 $\mu\text{mole/L}$ 下，溫度之效應才較明顯 (Faust & Aly, 1987)。此外，溶液中若同時存在許多種有機質，則在有限的吸附位置競爭下，將促使某些有機物之吸附容量降低。Frick *et al.* (1980) 曾經比較以萊茵河為溶劑之 1 mg/L PNP (paranitrophenol) 溶液與純水配製之 PNP 溶液分別進行活性碳吸附試驗，得知 PNP 受萊茵河水其他有機質之影響後，其被吸附之容量有降低之趨勢。

2.4 混凝

傳統淨水程序對天然有機物的去除主要是藉由混凝沈澱過程，過程中混凝劑與有機物所發生電性價中和 - 沈降 (Charge Neutralization-Precipitation)、共沈降 (Coprecipitation) 以及吸附 (Adsorption) 等機構並將有機物自水中移除。在其他研究顯示天然有機物之去除與混凝劑之間存在一最適化學劑量關係；八十年代有許多學者以腐植酸模擬天然有機物，利用傳統混凝程序去除有機物，其結果均顯示依不同的混凝劑種類、混凝劑量、pH 值、攪拌、化學劑的添加順序等因子以及不同的水質狀況而有不同差異的去除效果。有學者表示化學混凝可以去除消毒副產物之前驅物質，並降低水中已形成之消毒副產物本身的濃度 (Najm *et al.*, 1994)。Amy 和 Owen 的研究發現，混凝雖對原水中高色度之腐植酸或黃酸等大分子有機物有良好的去除效果，但相較於小分子或親水性強之有機物去除效果則較差 (Amy *et al.*, 1992; Owen *et al.*, 1995)。

鋁鹽為最常見之混凝劑，亦經常用來探討混凝程序中對於有機物質 (包括消毒副產物前驅物質) 的去除效率，Singer (1999) 研究發現以 50 mg/L 的鋁鹽混凝劑量將可以降低 70 % 的三鹵甲烷形成潛能 (THMFP)。Hundt 和 O'Melia 以硫酸鋁當混凝劑，探討混凝程序對於 3.5 mg TOC/L 黃酸溶液

的去除效率，結果得到硫酸鋁的最佳處理效率約在pH 5.0 ~ 5.5之間，且隨著pH的漸增去除效率呈現遞減的情形。而Vrijenhoek (1998)等學者亦發現當以鋁鹽為混凝劑在pH 5.5 時，因形成了Aluminum-Humus 的不溶性錯化合物，並與鋁之氫氧化物產生吸附造成共沈降作用，以達到去除天然有機物的效果，且對消毒副產物的前驅物質較佳的去除率。另有學者以瓶杯試驗評估硫酸鋁對腐植酸和黃酸之去除效果，結果發現以1 mg-Al/L的硫酸鋁劑量下探討pH對黃酸混凝的影響，顯示黃酸混凝之過濾移除最佳pH為5.5；但若提升硫酸鋁加藥量至2 mg-Al/L，則黃酸於pH 4 ~ 8均有過濾移除效率，其中pH 5 ~ 6之去除效率更可高達70 %。但在腐植酸的結果發現不論是在沈澱移除或者在過濾移除之結果上，當系統中之硫酸鋁劑量已達足夠量後，其硫酸鋁混凝去除腐植酸之最佳pH均為5；而當提升系統之至pH >6時，溶液中腐植酸仍會處於穩定態而難以藉由硫酸鋁混凝去除，故得知當系統處於偏酸性的條件下時，對於腐植酸的去除較為有利，而該結果亦與先前國外相關研究結果類似。所以對於鋁 (III) 鹽而言，去除有機物之最佳pH操作條件約為pH 5 ~ 5.5 (徐,1995)。

另外在Hundt 和O'Melia 研究中更採用PACl為混凝劑處理相同之黃酸溶液，其得到黃酸的最佳處除效率相較於硫酸鋁之最佳處理效率(pH 5.0 ~ 5.5)低，約在pH 3.75，且在較低劑量就可以達到80 %的去除率，作用的pH範圍亦較硫酸鋁寬，有效去除區域也大於硫酸鋁。唯一缺點僅有在高污染濃度時，PACl相對於硫酸鋁的優越性會降地(Dempsey, 1985)。

2.4.1 消毒副產物之控制

近年來美國環保署基於"安全飲用水法案"(Safe Drinking Water Act)1996 年修正案之架構下，擬定之消毒劑與消毒副產物管制法(D/DBP Rule)，而為消除飲用水中致癌性消毒副產物之疑慮，各國政府也加強對此類物質之管制；在 D/DBP Rule 中將分為兩階段來管制消毒副產物之最大污染濃度(Maximum Contaminant Level, MCL)，管制數值如表 2.4-1 所示。

表 2.4-1 兩階段管制消毒副產物之最大污染濃度

污染物	第一階段 (mg/L)	第二階段 (mg/L)
Bromate	0.01	
Chlorite	1	
HAA5	0.06	0.03
TTHM	0.08	0.04

表 2.4-1 中所見之 HAA5 為五種鹵化醋酸物種，其管制總濃度不得超過 0.06 mg/L，而此五種 HAA 物種，分別為一氯乙酸 (monochloroacetic acid)、二氯乙酸(dichloroacetic acid)、三氯乙酸(tricchloroacetic acid)、一溴乙酸(monobromoacetic acid)及二溴乙酸(dibromoacetic acid)。在第一階段中對於總三鹵甲烷之 MCL 為 0.08 mg/L，另外對於溴酸根離子 (bromate)及亞氯酸根離子(chlorite)之管制則為有效控制臭氧及二氧化氯之消毒副產物的生成；而第二階段管制值則基於生物性危害與化學性危害間平衡之考量下預設為 THM = 0.04 mg/L, HAA5 = 0.03 mg/L(Pontius, 1993)。而基於對民眾飲用水健康之考量，行政院環保署亦於 87 年 2 月 4 日發布新訂之飲用水水質標準，訂定總三鹵甲烷(包括氯仿、二氯-溴甲烷、二溴-氯甲烷、溴仿等四項)之全國性統一標準為 0.1 mg/L。

為使消費者免於添加消毒劑產生之危害，去除 TTHM 及 HAA 之最好方式為在淨水程序加氯前，先去除其前質(precursor)。去除前質之方法，包括混凝沈澱、軟化、活性碳吸附及薄膜等。而美國環保署更針對以氯為消毒劑之淨水廠，建議利用增強混凝及粒狀活性碳(GAC)吸附為「最佳可利用技術」(Best Available Technology, BAT)，以降低水中有機物或消毒副產物(DBPs)前質。而國內淨水廠目前仍保留傳統之混凝、沉澱、砂濾之淨水程序，如能加強現有之混凝程序，而減少消毒副產物之生成，應該是經濟且便捷之方法。

2.4.2 加強混凝(Enhanced coagulation)

傳統淨水程序中之混凝本來主要用於去除引起濁度之膠體物(colloid)，如欲去除水中之溶解性有機物，通常需在較低之 pH 值及較高之混凝劑加藥量下進行。所謂加強混凝為一種水處理策略，其於飲用水系統中藉由修正傳統混凝程序。以達到較大之有機物去除效果，進而控制消毒副產物(DBP)的形成。

一般而言，水中 NOM 之去除正比於混凝劑的添加量，但隨混凝劑加量之增高，單位混凝劑重所去除 NOM 量卻因而降低。美國之調查結果顯示，在傳統處理程序的淨水廠中，平均明礬加量 11 mg/L 及 pH 值 7.2 之下，而 TOC 之去除率約在 26 % 左右，但在較高混凝加量(即加強混凝)及較低 pH 值下，混凝去除 TOC 可達 50 % ~ 60 % 之去除率(USEPA, 1993)。

再者許多研究證實有機物之混凝去除亦受到其本身性質之影響，如疏水性之有機物質較親水性有機物質易被混凝去除(Collins *et al*, 1986; Semmens and Ayer, 1985)。然而 White (1997) 研究發現，在低明礬劑量(18 mg/L)下，疏水性有機物質之去除較親水性者為佳，但在高明礬劑量 134 mg/L 下，親水性有機物質之去除，卻反較疏水性者為佳。而其以原水進行瓶杯試驗時，也證實有機物含量愈高去除水中濁度及 TOC 所需之混凝劑量也會隨之增加。

而利用增強混凝評估有機物去除效率，除需考慮原水鹼度及有機物濃度外，又取決於混凝劑的種類、混凝劑量多寡，混凝 pH 值溫度與有機物成分或性質亦需一併加以考量，以 pH 值為例，明礬對有機物之混凝去除，其最佳 pH 值在 5 ~ 6 之間。而鹼度則會影響混凝之平衡 pH 值。高鹼度之原水，在同一混凝劑加量下，pH 值不易降至上述之最佳 pH 值範圍，故有機物之去除在低鹼度之原水中可能較高。

美國環境保護署在 D-DBP Rule 建議案下，規定以表面水或受表面水影響之地下水為水源且採混凝、沉澱、砂濾傳統處理程序之淨水廠，應實行加強混凝以增加消毒副產物前質之去除，但若該水廠具以下任一情形者即可以例外。

一、當使用氯作為消毒劑時，TTHM 和 HAA5 的濃度分別達到 40 µg/L 及 30 µg/L 之標準。

二、出流水之 TOC 濃度少於 2 mg/L。

三、TTHM/HAA5 符合 40/30 µg/L 的標準；且當鹼度大於 60 µg/L 時，TOC 濃度小於 4 mg/L。

四、於規定有效日期前，明確訂定一財務承諾，以符合 40/30 µg/L 的 TTHM/HAA5 標準。

五、實行軟化法並且移除鎂硬度至少 10 mg/L as CaCO₃(使用離子交換系統除外)。

1997 年微生物/消毒副產物(M/DBP)諮詢委員會則建議再增加一項，即原水之 SUVA 小於 2 L/mg-m 者，亦得豁免(Pontius, 1997)。

而一傳統處理程序淨水廠如能在連續消毒前，使原水與出流水間之 TOC 去除率在不同 TOC 值與鹼度下，達到下表 2.4-2 所列之值，則算符合加強混凝之要求。

表 2.4-2 水中鹼度及 TOC 值對『加強混凝』去除 TOC 去除率之要求

原水 TOC mg/L	原水鹼度(mg/L as CaCO ₃)		
	0-60	>60-120	>120
>2.0-4.0	40.0(35.0)*	30.0(25.0)*	20.0(15.0)*
>4.0-8.0	45.0	35.0	25.0
>8.0	50.0	40.0	30.0

*之值為 1997 M/DBP 諮詢委員會建議修正值

*不適用於 SUVA 值小於 2.0 L/mg-m 的原水

*此欄中，實行沉澱軟化法之水廠必須達到 TOC 的移除要求

表 2.4-2 中準則之選定，乃考量大部分使用傳統處理程序之淨水廠，在進行加強混凝操作時，可符合表列之 TOC 去除效率，並且不會為了達到 TOC 之去除效率，而不合理地使用大量混凝劑。上表(表 2.4-2)中也顯

示，當鹼度增加，而 TOC 值下降時，TOC 之去除更趨困難；高鹼度之原水，單獨使用混凝劑難以將 pH 值調降至最佳之 TOC 去除範圍(pH 5 ~ 6)。

若一淨水系統無論如何改變混凝條件，水處理系統皆不能符合表 2.4-2 內的要求，則需於進而考量第二步之加強強混凝。第二步之加強混凝主要是針對那些需實施加強混凝，但卻無法滿足表中規定要求之淨水場，因部分水廠進流原水水質所含有機物性質較特殊，不易混凝去除，而為避免部分水廠因為了微幅增加 TOC 之去除率，進而過量添加混凝劑，美國環保署乃訂定第二步之加強混凝。其做法是利用實驗室瓶杯試驗，進行非傳統式 TOC 移除效能基準(alternative TOC performance criteria)，以每增加 10 mg/L 之明礬($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$)劑量(或相當劑量之其他混凝劑)，觀察所對應 TOC 之降低情形。如下表 2.4-3 所示，依據使用的混凝劑不同，增加不同單位之劑量，並以每增加 10 mg/L 明礬加藥增加 3 mg/L TOC 去除所對應之混凝劑加量為基準(the point of diminishing returns for the addition of coagulant for TOC removal)，或是當沈澱水之 SUVA 值小於 2 時。

表 2.4-3 瓶杯試驗時不同混凝劑所需單位增加量

混凝劑	Alum	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
劑量 (mg/L)	10	9.1	9.5

同時以該基準混凝劑加量所對應之 TOC 去除率，替代表 2.4-2 之加強混凝法規要求值。另外，為了避免因原水鹼度不同而造成過高之混凝劑加量，美國環保署亦針對原水之鹼度而訂定最高之操作之 pH 值，表 2.4-4 中所見該 pH 值隨鹼度之增加而升高，此 pH 值最高量係用以規範混凝試驗時之最高凝劑加量。當混凝劑加量已使 pH 降至該最高值時，則不必再試驗更高之混凝劑加量。

表 2.4-4 不同鹼度範圍之原水之 pH 操作條件

原水鹼度 (mg/L as CaCO ₃)	<60	60 ~ 120	120 ~ 240	>120
最高操作 pH	5.5	6.3	7.0	7.5

雖然加強混凝立意良好，但實際推行仍面臨許多爭議及操作上的缺點。首先，步驟二不適用於以多元氯化鋁(PACls)混凝或使用有機陽離子聚合物的雙重混凝。由於步驟二需要根據表 2.4-4，於特定 pH 下進行鋁鹽或鐵鹽混凝試驗，而多元氯化鋁或雙重混凝在中性 pH 下即有效，於低 pH 下進行混凝實非必要。

第二，瓶杯試驗需測量沉降後水中 TOC 濃度以決定混凝劑量。對實場原水而言，以 TOC 濃度作為評估加強混凝之決定參數雖適當，然而對於以瓶杯試驗移除溶解性 NOM 情形卻非如此。James and John 兩位學者建議於步驟二中測量 DOC 濃度，再以濁度輔以 TOC 測量作沉降評估。因測瓶杯試驗之樣品 TOC 濃度十分困難且易發生偏差，且通常 DOC 佔 TOC 的 90 ~ 99 %，而和顆粒性碳相較下，DOC 才是主要控制混凝的決定因子，再者 DOC 是以化學反應去除，其化學反應與採用之瓶杯大小無關，所以瓶杯試驗適用於決定 DOC 之化學混凝反應；而相對的，TOC 濃度之測量則必須考慮顆粒的沉降或物理性，其二者又會受瓶杯試驗的規模與大小的影響。所以若以 TOC 做為選擇加藥量的基礎，可能會導致過量加藥進而改善瓶杯試驗中顆粒碳的沉降；然而設有過濾設施之水廠並非在瓶杯試驗中去除顆粒碳，倘若在程序中過量加藥，則反而會導致經濟效益降低且又產生過多的化學污泥。至於其他相關缺點如，當鋁鹽混凝的水鹼度少於 60 mg/L as CaCO₃，步驟二需在 pH 小於 5.5 下混凝，而在此情況下，濁度顆粒的固液分離較差，且亦會產生殘餘鋁的問題。(James and John, 1999)

第三章 研究方法與步驟

3.1 整體研究方法

本年主要分別於實廠及模廠進行各項主題之試驗與評估，並對現有模廠再進行修改以配合各項主題。詳細之試驗內容及方法則分述如後。

3.2 實廠污泥氈沉澱單元操作效能評估

實廠操作效能評估工作主要進行的對象為污泥氈沉澱池，而此項工作主要為延續第一年之現場評估工作，在之前評估結果顯示，因加酸及提高混凝劑量操作所產生污泥氈沉澱池有機物去除時有不降反增之問題，故進一步提昇污泥氈沉澱池操作效能，以促使有機物或三鹵甲烷前驅物質之有效去除。

鳳山水廠舊廠（第一期）之水源已於去年底改取自高屏溪，並以提供民生用水為主；新廠（第二期）之水源仍維持鳳山水庫（即東港溪水源），因東港溪長期受到污染而導致原水水質不佳，並影響出水之水質，基於此自來水公司乃將其出水全數移作工業用水供水，但為因應不斷成長之民生用水量，故仍有將現有多餘之出水量移作民生用水之可能。故雖然二期水廠以供應工業用水為主，但對於污泥氈沉澱池去除有機物能力之提昇策略，實有必要作長期觀察及研究。

現場實施增加混凝劑量及降低操作 pH 值之操作時進行評估，評估因子包括有機物（TOC、THM 及 THMFP）、 A_{254} 、濁度。

3.3 模場長期試驗

模廠長期穩定試驗主要包括以下三項：生物處理系統模廠試驗、替代氧化及消毒劑之長期穩定試驗、活性炭/石英砂濾床試驗，並針對各試驗結果提擬最佳操作程序並分析其處理成本。

3.3.1 生物處理系統模廠試驗

生物處理系統模廠設備總體積為 120 公升，直徑 25 公分，高度為 2.5 公尺，生物固定床之有效體積為 100 公升。生物固定床以聚醚系列 (polyether base) 之網狀泡綿為載體，此泡綿具開放型孔洞，孔隙率高達 97 %，泡綿填充率以 70 % 計算，反應槽中總孔隙率接近 98 % ($97 \% \times 70 \% + 30 \%$)。原水由泵浦抽送，由生物固定床之底部進入由頂部流出，為防止固體顆粒物大量截留於生物處理槽中，造成阻塞而影響生物處理功能，於是在生物固定床之氣體管線上，裝設一組由電磁閥與定時器組成之自動控制反沖洗系統，生物處理系統之主要處理對象為氨氮及有機物，本研究探討之水質指標為氨氮、DOC、COD、大腸菌落數、臭味及重金屬等項目，並檢討是否能符合飲用水水源水質標準。生物處理系統之進流量為每小時 180 L，曝氣量為 250 mL/min，反沖洗操作策略為每週一、三、五各一次，每次三分鐘，反沖洗氣體量為 1000 mL/min。

第一年生物反應槽設有三個採樣口，各採樣口之空床停留時間 (EBCT) 分別為 10、20 與 30 分鐘，第一年研究結果顯示，當 EBCT 大於 10 分鐘以上，生物固定床對氨氮去除率與 EBCT 無關，且氨氮去除率達 93 %；而 DOC 去除率隨 EBCT 增加而增加，但 EBCT 為 30 分鐘時，DOC 去除率反而下降，推測與生物固定床中蓄積之有機顆粒溶出有關；為探討 EBCT 對氨氮去除效率之影響，及提升生物固定床對 DOC 之去除效率，第二年之生物固定床則增設三個採樣口，其 EBCT 分別為 5、15 與 25 分鐘，並將反沖洗操作策略更改為每天反沖洗一次，每次三分鐘，反沖洗氣體量仍維持為 1000 mL/min。生物處理系統之組裝設備如圖 3.3-1 所示。

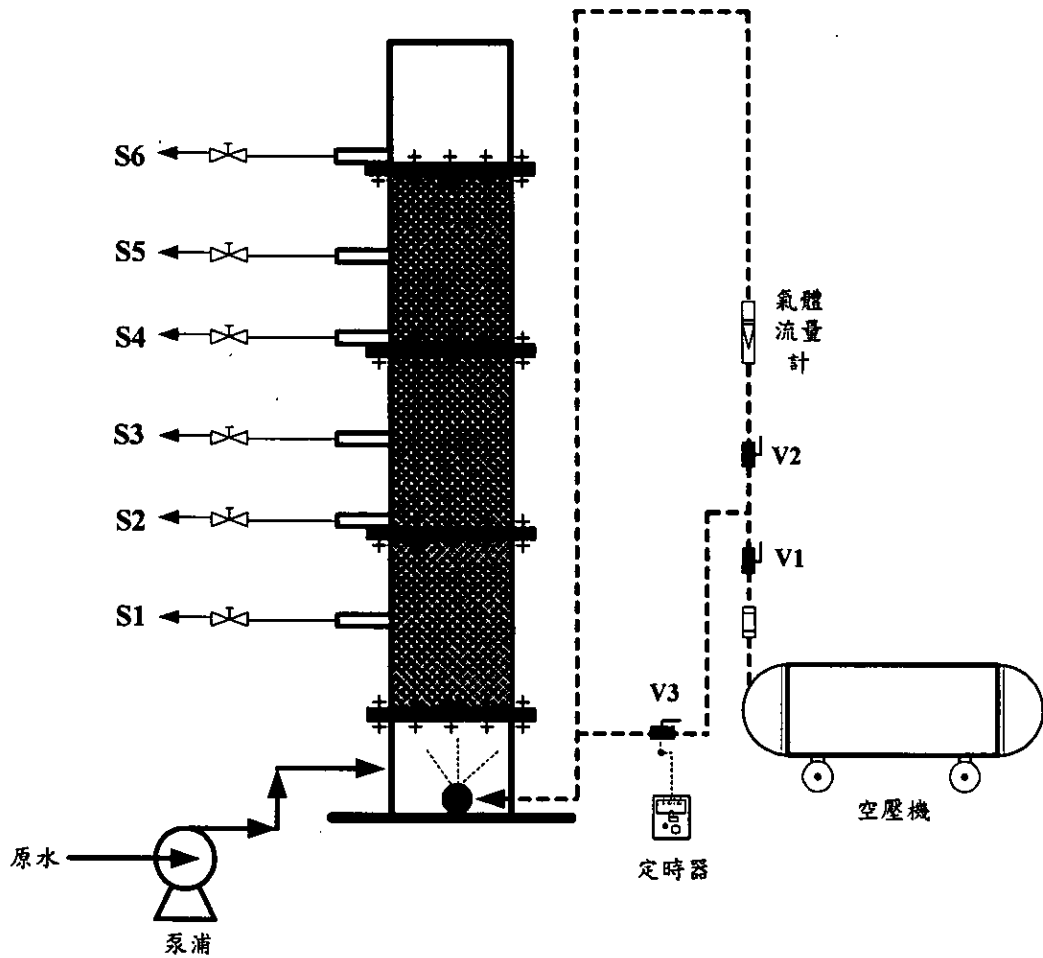


圖 3.3-1 生物處理系統之組裝設備

3.3.2 替代氧化及消毒劑之長期穩定試驗

經由第一年之模型廠初步試驗後，本年度乃實施以下處理流程進行全試程之長期試驗操作。

試驗之試程主要為：

一、混前氧化：模廠氧化反應槽改以靜態混合裝置 (Static Mixer) 以提高效率，並以高錳酸鉀或二氧化氯進行混凝前氧化，減少混沉出水之有機物含量 (DOC) 或改變有機物特性 (A₂₅₄)，藉此降低 THMs、HAAs 等消毒副產物之生成潛勢，並觀察對後續混沉操作的影響。

二、混後氧化：將氧化劑之加入點改變為沉澱及過濾單元之間，觀察對水中有機物（DOC）的改變及消毒副產物 THMFP、HAAFP、Chlorite、Chlorate 的濃度變化。

三、選擇一、二試程中較顯著成效之試程實施後消毒試驗，並將針對清水餘氯量(或耗氯量)、消毒副產物生成量及臭味的分析結果，與鳳山實廠水質進行同步比較，藉以研判本計畫改善淨水程序之優劣。

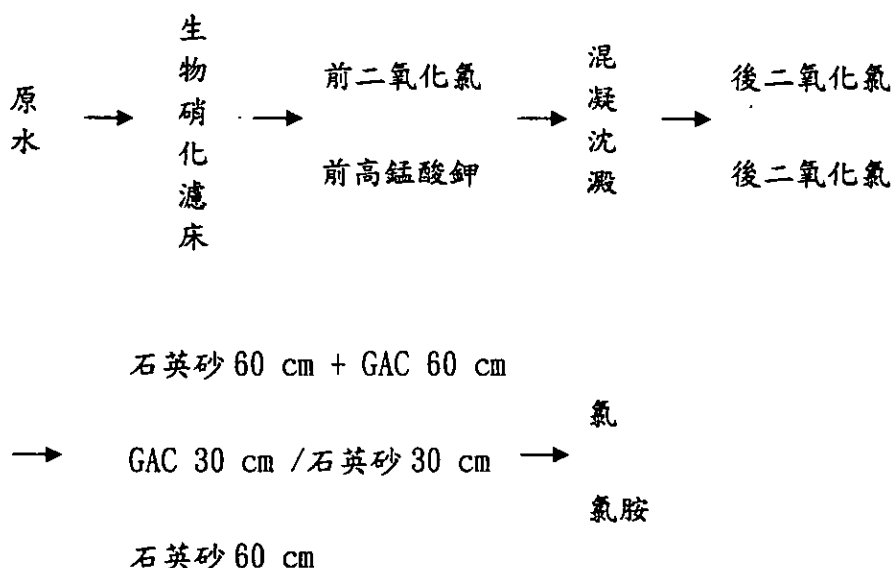


圖 3.3-2 模廠流程圖

3.3.3 活性碳/石英砂濾床試驗

根據第一年操作之初步結果，進行修改及長期穩定測試。同時將配合原水前處理單元之操作，探討各種濾床填料方式對濁度、有機污染物之去除能力。本年度試驗的項目包括：

- 一、實驗室試驗鳳山原水經粉狀活性碳接觸後水質變化（臭味、DOC、DBP 前質等）。

二、快砂濾床對去除進流水濁度、有機物之功效。

三、持續第一年試驗（將快砂濾床上層石英砂改填 GAC 濾料），長期觀察操作的穩定性。

四、增設第三組濾床(如圖 3.3-3)，使用粒狀活性碳濾料填充並與第一組石英砂濾床串聯，以觀察濾後水再進行活性碳過濾之操作效能。

上述三組濾床之操作將採並聯進流方式（第一組及第三組串聯後與第二組並聯），藉由相同進流水質比較各濾床對濁度、有機物之去除功效，同時觀察長期操作期間，對處理水質變動之穩定性，關於各濾床操作參數包含如下，控制條件則如表 3.3-1 所示：

一、濾床濾速：濾速控制是以濁度、有機物去除為標的，根據模廠混凝沉澱出水水質及參考國內外濾床操作經驗，擇取適合之濾速，在 GAC/石英砂之濾速控制，將特別著重在較利有機物去除之試驗條件。

二、空床接觸時間(EBCT)：在 GAC/石英砂濾床控制，以 EBCT=10 ~ 15 分鐘為操作條件，觀察對有機物去除情形。

各組濾床進、出流水分析參數包括；濁度、溶解性有機碳(DOC)、三鹵甲烷生成潛能(THMFP)、有機物分子篩分析等，此外，為瞭解各濾床處理水質之生物穩定性，將於試驗穩定期間擇取部份水樣，進行生物可利用有機碳(AOC)之分析。

表 3.3-1 各組濾床操作控制條件

操作參數	石英砂濾床	GAC/石英砂濾床	活性碳濾床
濾速 (m/day)	100~150	50~100	100~150
濾料深度 (cm)	60	30/30	60
空床接觸時間 (min)	5~12	10~15	10~15

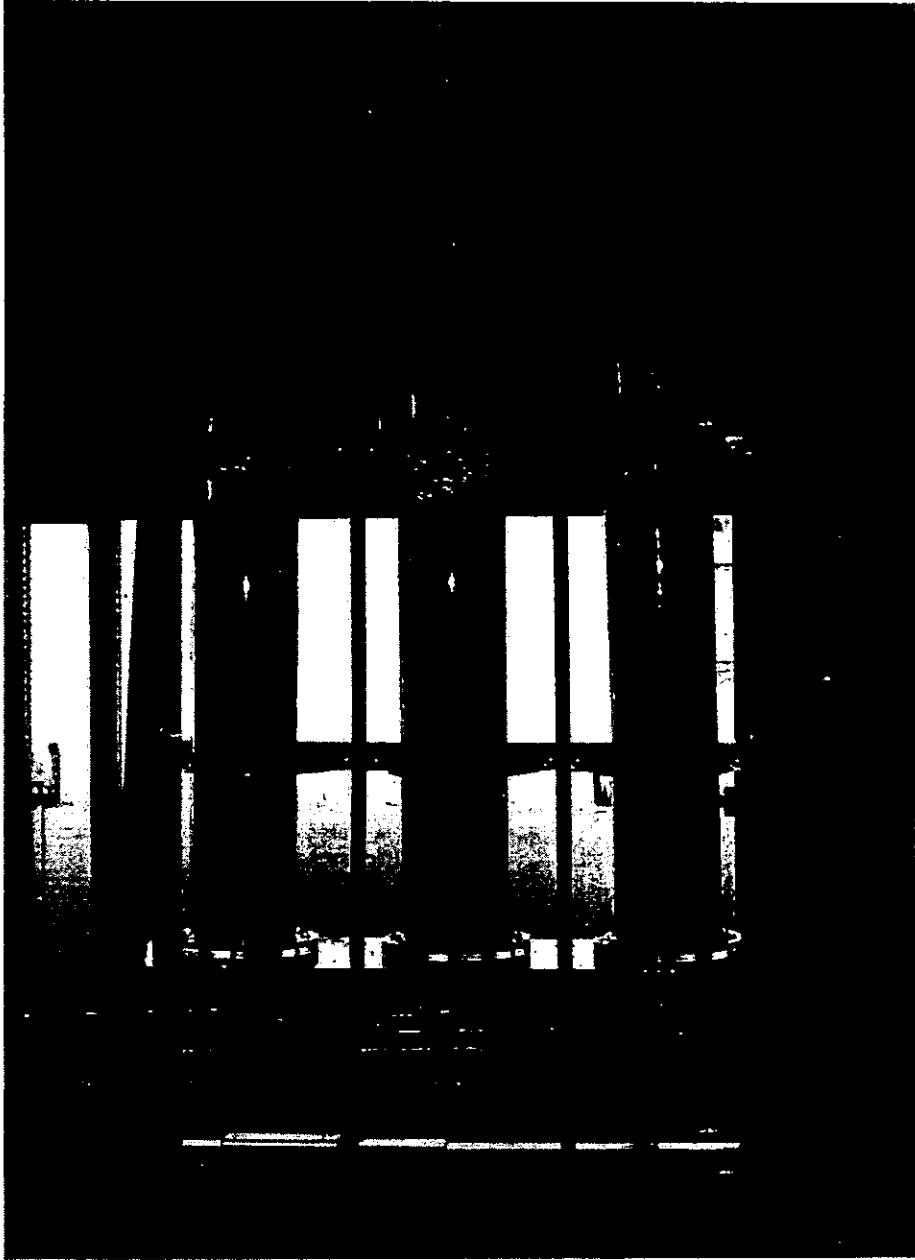


圖 3.3-3 模廠增設三組石英砂/GAC 濾床之現場照片

3.3.4 模場各單元尺寸大小與操作參數

本研究所使用之模廠各單元尺寸大小與操作參數列於表 3.3-2：

表 3.3-2 模廠單元規格及操作參數

單元設備 名稱	尺寸大小/規格 (單位為 mm)	操作參數	備註
生物濾床	Ø250×H2500 有效體積 100 公升	流量 3 L/min EBCT：5~30 分鐘 氣體流量 250 mL Air/min	
pH 調整槽	Ø660×H1500 sus316 不鏽鋼		含 ABBTBI pH 電極
膠凝槽	L100×W200×H650×1 sus316 不鏽鋼	停留時間 35 min 攪拌機轉速 30 rpm G 值 20.5 sec-1	含攪拌機及槳板
沉澱槽	L700×W600×H500 sus316 不鏽鋼	G·t 值 4.3 ×104 停留時間 2.3 小時 溢流率 6.86 m/day 表面負荷 6.86 m/day	
砂濾槽	Ø208×H890 FRP 製	濾速 100~150 m/day 濾料填充高度 53 cm 填充容積 25 L	石英砂比重：2.55 均勻係數：1.43 有效粒徑：0.5 mm
石英砂濾床	Ø150×H2000	空床接觸時間 30 min 濾料填充高度 30cm 填充容積 14 L	
GAC/石英砂 濾床	Ø150×H2000	空床接觸時間 30 min 濾料填充高度 30/30cm 填充容積 7/7 L	
GAC 濾床	Ø150×H2000	空床接觸時間 30 min 濾料填充高度 60cm 填充容積 14 L	GAC 比重：1.45 均勻係數：2.1 有效粒徑：0.9 mm 廠牌：F-400, Calgon Carbon CO.
二氧化氯機	L1125×W900×H220	每小時加藥量 1.65l/hr 進流水流量 120l/hr	

為配合第二年計畫試驗規劃，模廠部分單元操作進行修改，修改後之流程配置如圖 3.3-4 所示，主要修改部分為增設三組濾床及靜態混合裝置 (Static Mixer)。此外，經蘇經理建議以不稀釋加藥方式，更增進混凝沈澱效果，故本團隊於 4 月間添購精密加藥機(Master flex,u-77120-30)，並在 5 月後皆採用精密加藥機加入混凝劑之方式，而對於混沈出水之濁度去除亦有立竿見影功效(未設置精密加藥機之前濁度約 1.2 NTU，增設後則降至 1.0 NTU)。

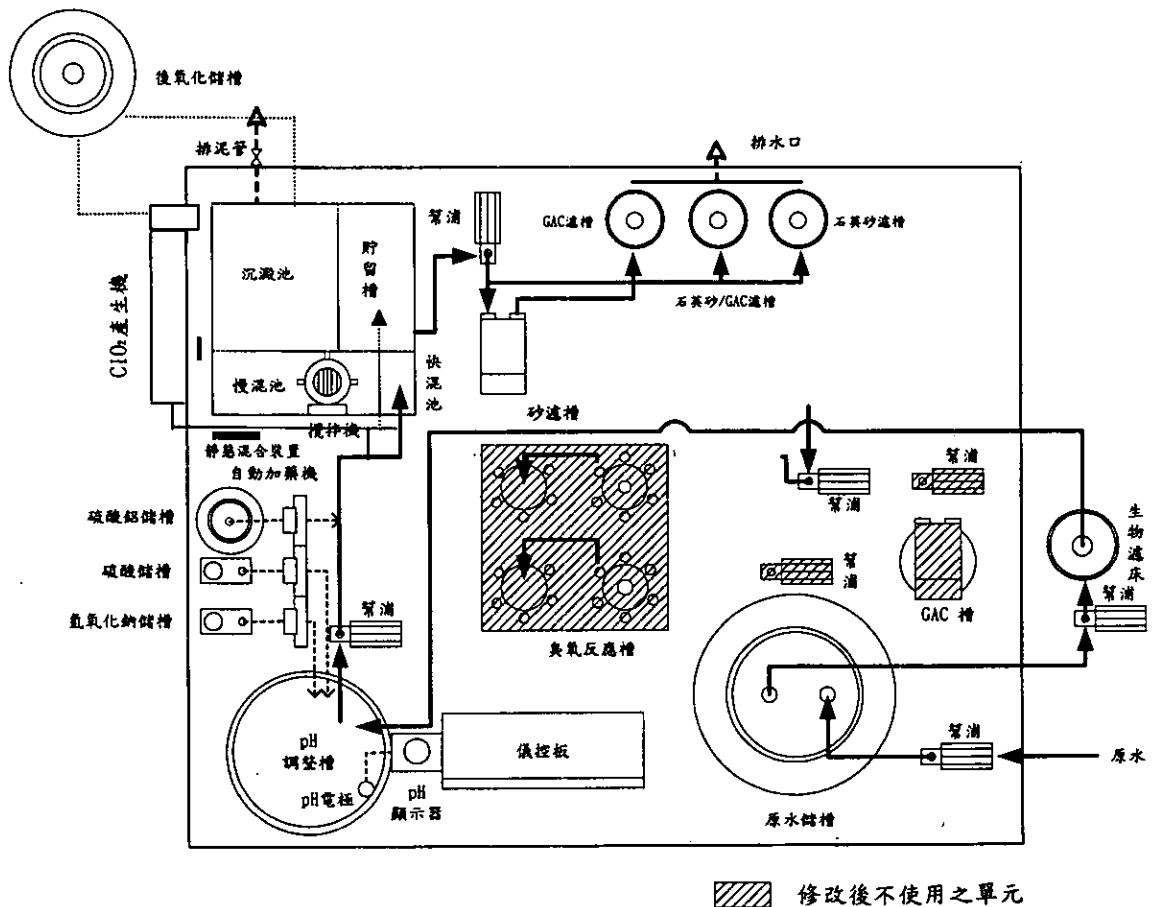


圖 3.3-4 現有模廠流程調整後配置圖

3.4 實驗設備

實驗室及模廠所進行之各項試驗、分析使用之各項儀器設備詳如表 3.4-1 所列。

表 3.4-1 分析儀器設備

設備名稱	廠牌	型號
六孔式攪拌機	Fargo	HMS-212
pH meter	SUNTEX	SP-2200
分光光度計	SPECTRONIC	GENESYS5
TOC 分析儀	SHIMADZU	TOC-5000A
Gas-Chromatography	SHIMADZU	GC-17A
Purge and Trap	TEKMAR	Tekmar-3000
Direct reading specterophotometer	HACH	DR-2000
粒徑分析儀	Malvern	Mastersizer 2000
濁度計	WYW	ZBK TURB 550
Ion Chromatography	DIONEX	DX-120
UV/VIS	HITACHI	U3210

3.5 分析方法

3.5.1 一般水質分析

本研究中各項水質參數主要是依照行政院環保署環境檢驗所頒定或美國水及廢水標準檢驗方法 (Standard Method) 第 20 版之水質檢驗方法進行，各項所採用分析方法及來源如表 3.5-1 所示，另分析時所採用之相關儀器則詳如表 3.4-1 所示。

表 3.5-1 基本水質檢驗方法

項目	檢驗方法
pH	NIEA W424.50A
濁度	NIEA W219.50T
TOC	NIEA W530.51C
SS	NIEA W210.55A
TS	Standard Method 2540E
TVS	Standard Method 2540E
二氧化氯	Standard Method-ClO ₂ 二烯對苯二胺亞鐵滴定法 (DPD Ferrous Titrimetric Method)
餘氯	Standard Method-Cl ₂ 二烯對苯二胺亞鐵滴定法 (DPD Ferrous Titrimetric Method)
亞氯酸根	Standard Method 4500 離子層析法 (Ion Chromatographic Method)
氯酸根	Standard Method 4500 離子層析法 (Ion Chromatographic Method)
COD	NIEA W517.50B
大腸桿菌群	NIEA E202.51B
鉻、鎘、鉛	NIEA W306.50A
硒	NIEA W340.50A
砷	NIEA W435.51B
汞	NIEA W330.51A
氨氮	DR-2000 分析法
硝酸鹽氮	DR-2000 分析法
亞硝酸鹽氮	DR-2000 分析法
2 MIB、Giosmin	US EPA Method 524.4 Solid Phase Microextraction GC-MSD
初溴數	NIEA W206.50T
A ₂₅₄	Standard Method 5910A Ultraviolet Absorption Method
鹵化醋酸 (HAAs)	Standard Method 6251
鹵化醋酸生成潛能(HAAFP)	Standard Method 5710D
Chlorite、Chlorate、BrO ₃ ⁻	Ion Chromatographic Method
三鹵甲烷 (THMs)	Standard Method 6232D
三鹵甲烷生成潛能 (THMFP)	Purge and Trap Gas-Chromatographic Method
AOC	Standard Method 5710B van der kooij Method (1982)

3.5.2 分子量分佈及 AOC 分析

【分子量分析】

本團隊乃以 UF 薄膜的分離裝置 (Model 8400 Stirred Cell, Millipore, American) 分離水樣之分子量，並將其分成分子量大於 10000、介於 10000 ~ 1000 之間以及小於 1000 daltons 等三個區間，再進行有機前質 (A₂₅₄ 及 NPDOC) 及消毒副產物生成潛能的測試，藉以觀察有機物在分子量範圍間的分佈與組成。

【AOC 分析】

AOC (Assimilable Organic Carbon) 分析方法乃採 van der kooij Method (1982) 所提出之方法，方法詳述如下：

一、實驗所使用之菌種為：*Pseudomonas fluorescens strain P17* 及 *Sporillum species strain NOX* 二種菌種。

二、分析步驟：

(一) 水樣滅菌及植菌

將水樣瓶口置一鎳鉻絲後，放入 90 °C 之恆溫水槽至瓶內溫度達 60 °C 時，再將水樣瓶移至 60 °C 之恆溫箱 30 分鐘滅菌，取出，待冷卻後，同時植入 P17 及 NOX 預先培養之純菌菌液，使水樣起始菌數落於 100 ~ 500 CFU/mL 之間。

(二) 菌生長曲線觀測

植菌後之水樣立即採樣塗抹於 LLA agar 上，以分析菌數，並將水樣培養於 15 °C 下，每隔 1、2 天採樣分析菌數。塗抹後之培養皿於 25 °C 培養，3 天後數菌。並繪其生長曲線，直到 P17 及 NOX 之生長達最大菌落數 (N_{max}) 為止。

(三) AOC 的計算

將重覆分析水樣所得 P17 及 NOX 生長之最大菌落數 (N_{max}) 的平均值，乘以 1000 並除上各菌種之產率 (Yield value)，可分別求得 AOC-P17 和 AOC-NOX 值，再相加得 AOC-Total ($\mu\text{g acetate-C/L}$)。

$$\text{AOC} \text{ (}\mu\text{g acetate-C/L)} = \frac{N_{\text{max}} \text{ (CFU/mL)} \times 1000 \text{ (mL/L)}}{\text{Yield (CFU/}\mu\text{g acetate-C)}}$$

其中 AOC-Total = AOC-P17 + AOC-NOX

3.5.3 濾紙 TOC 影響分析

本研究群分析 TOC 時，發現過濾時所使用之濾紙其材質對分析結果有不同程度之影響，因此特別對不同濾紙所造成之 TOC 影響進行比較試驗其結果如表 3.5-2。

表 3.5-2 中該數據為逢甲及交大兩校獨立分析比對之結果。原本研究群及現場之各實驗室所使用之濾紙廠牌與材質分別為：弘光技術學院—MFS，硝酸纖維；逢甲大學—MFS，醋酸纖維；交通大學—Gelman，polysulfone；鳳山水廠化驗室—MFS，硝酸醋酸混合纖維。為確使各實驗室之分析數據其濾紙所造成之 TOC 誤差背景能一致，並統一前處理步驟，以去除此項誤差所造成之影響，故逢甲及交大兩校便獨立分析比對各實驗室純水經不同材質濾紙過濾後之 TOC 溶出值。首先，測出純水之背景 TOC 值，然後將一張濾紙每次以 50 ml 純水過濾，共過濾 3 次，並分別取此 3 次之濾液分析 TOC。結果發現，Gelman 廠牌 polysulfone 材質(濾紙編號為 P/N 60173)之濾紙溶出 TOC 較微量，其 3 次過濾濾液之 TOC 溶出值均在 1 mg/L 以下，而其餘 3 種濾紙均須在過濾第 2~3 次時其濾液 TOC 溶出值才能達到 1 mg/L 以下，故本研究群決定各實驗室統一使用 Gelman 廠牌 polysulfone 材質濾紙過濾樣品，並在濾紙使用前先經前處理後再使用，以降低濾紙溶出 TOC 所造成之誤差。前處理步驟如下，另在實驗時亦應分析濾紙空白實驗：

- 一、濾紙以 DI 水浸泡 2 小時以上、取出使用時以 DI 水再次沖洗濾紙表面。
- 二、先以 100 ~ 200 ml 之 DI 水過濾濾紙，以去除濾紙本身 TOC 後再過濾樣品。

表 3.5-2 實驗室純水經不同材質濾紙過濾後之 TOC 溶出值 (mg/L)

濾紙使用地點	廠牌	材質	逢甲實驗室分析			交大實驗室分析		
			同一濾紙過濾次數			同一濾紙過濾次數		
			1	2	3	1	2	3
弘光實驗室	MFS	硝酸纖維	1.38	1.37	0.69	1.67	1.21	0.54
逢甲實驗室	MFS	醋酸纖維	1.1	0.21	0.04	—	—	—
鳳山水廠化驗室	MFS	硝酸醋酸混合纖維	—	—	—	1.34	0.98	0.45
交大實驗室	Gelman	polysulfone	0.46	0.55	0.67	0.44	0.38	0.23

*每次過濾純水體積：50 mL、*TOC 溶出值已扣除純水背景 TOC 值

*純水背景 TOC 值：0.02 ~ 0.1 mg/L (逢甲)、0.2 mg/L (交大)

*MFS：1100 ~ 1200 元/盒、Gelman：2400 元/盒、Nelon/Telfon：3000 元/盒

第四章 結果與討論

4.1 鳳山水庫原水水質分析

本計畫所使用之原水均採自鳳山淨水廠之進水泵站，原水之主要水質特性(pH、濁度、氨氮、DOC與SUVA)其分析結果則如表4.1-1及圖4.1-1所示，其中pH、濁度、氨氮等乃由現場每日實地取樣於鳳山廠之水質實驗室分析，DOC則每週取樣2~3次冷藏快遞至逢甲環工系實驗室進行分析。由去年9月至今年10月間取樣之分析顯示，在pH項大致均維持於7.5左右變化甚小；濁度亦因先有水庫沉澱之故大多低於10 NTU，在去年以前維持在2~4 NTU間，12~7月間濁度值明顯增高，達到5 NTU，8月以後因颱風導致濁度遽增，高於10 NTU。進水氨氮值偏高一直是鳳山水廠之主要問題，在91年12月以前氨氮平均值均維持在2.0 mg/L以下，92年起則提高至4.0 mg/L以上，最高值甚至出現7.8 mg/L，6月以後則降於2 mg/L以下；相同地，DOC自去年12月起其濃度亦有逐漸增加的趨勢，平均值在5月間達到最高約3.11 mg/L，主要可能因枯水期來臨其水中污染物濃度增高所致，6月豐水期以後DOC均低於2.0 mg/L。

另外，在九月間對原水進行臭味(2-MIB、Geosmin)分析，其結果如表4.1-2所示，不論在2-MIB或Geosmin其測值皆低於偵測極限，此可能因豐水期致使2-MIB及Geosmin濃度偏低。

鳳山水庫水位及蓄水量變化如圖4.1-2所示(資料來源為鳳山淨水廠提供)，水庫水源乃由東港溪抽取而來，待水庫水位達42 m處即停止抽取，然因今年4~8月間東港溪水源充足，因此水庫水位幾乎均在40公尺水位線以上，未有明顯之枯、豐水期水位出現。

表 4.1-1 鳳山淨水廠原水水質概況(91.9~92.11)

日期	91年9月			10月			11月		
原水	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave
pH	7.7	7.7	7.7	7.7	7.6	7.7	7.6	7.5	7.5
濁度	3.9	1.9	3.1	3.3	2.7	3	3.4	2.3	2.9
氨氮	1.9	0.9	1.3	1.9	1.4	1.7	2.7	1.6	2
DOC	3.73	1.23	2.03	2.67	1.54	1.87	-	-	-
SUVA	3.41	1.07	2.24	2.60	1.58	2.25	-	-	-
日期	12月			92年1月			2月		
原水	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave
pH	7.6	7.5	7.5	7.6	7.5	7.5	7.6	7.5	7.5
濁度	3.2	2.4	3	5	3	4.1	5	4.2	4.7
氨氮	2.7	1.2	1.9	5.1	2.7	4	5.9	4.3	5.3
DOC	1.88	1.65	1.75	2.33	1.70	2.10	2.78	2.41	2.55
SUVA	2.12	1.92	2.04	2.60	1.89	2.16	2.29	1.94	2.17
日期	3月			4月			5月		
原水	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave
pH	7.7	7.5	7.6	7.9	7.7	7.7	7.8	7.6	7.7
濁度	5.1	3.5	4.5	5.9	4.4	5	4.9	3.6	4.2
氨氮	7.8	5.9	6.7	7.7	4.8	6.5	7.8	4.1	5.2
DOC	3.09	2.30	2.49	2.86	2.49	2.61	3.31	2.97	3.11
SUVA	2.29	1.85	2.12	2.34	2.03	2.23	2.28	1.66	1.91
日期	6月			7月			8月		
原水	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave
pH	7.7	7.3	7.5	7.4	7.4	7.4	7.7	7.3	7.4
濁度	6.0	3.5	4.8	5.0	3.0	4.4	15.4	3.3	7.5
氨氮	5.0	0.2	2.6	2.0	0.2	0.9	4.3	0.2	0.8
DOC	3.21	1.68	2.58	2.02	1.34	1.69	1.95	1.56	1.71
SUVA	2.86	1.68	2.12	2.61	1.74	2.11	2.60	2.16	2.38
日期	9月			10月			11月		
原水	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave
pH	7.8	7.1	7.4	7.6	7.1	7.5	7.6	7.3	7.4
濁度	48.5	4.2	17.1	29.6	3.0	6.4	7.0	2.7	4.8
氨氮	2.3	0.1	0.5	0.8	ND	0.3	1.4	0.6	1.0
DOC	1.63	1.44	1.54	1.83	1.80	1.81	1.47	1.47	1.48
SUVA	2.70	2.45	2.58	1.96	1.89	1.94	2.44	2.39	2.42

單位：濁度(NTU)、氨氮(mg/L)、DOC(mg/L)、SUVA(L/mg-m)

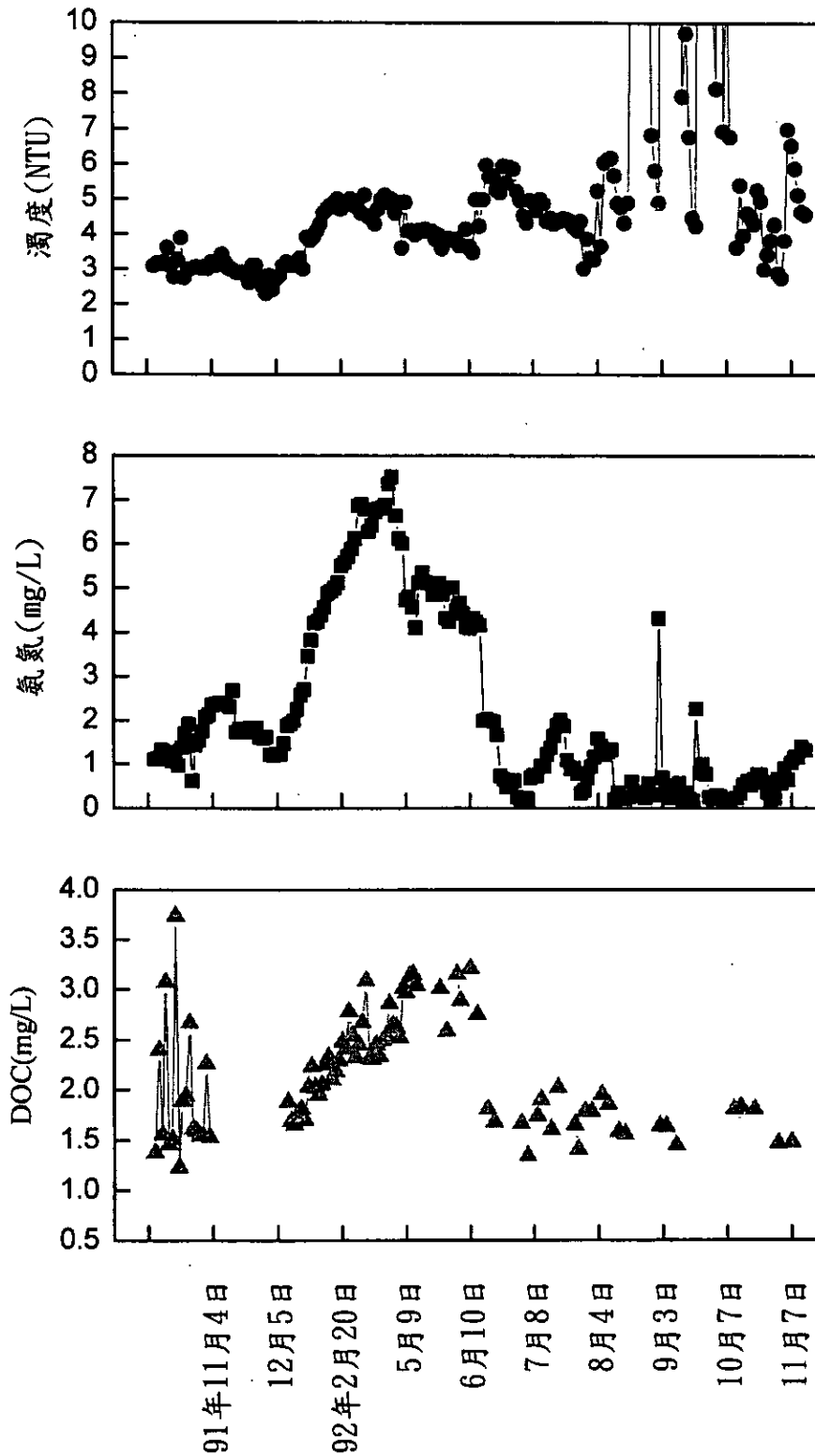


圖 4.1-1 計畫期間原水濁度、氨氮及 DOC 變化情形

表 4.1-2 原水臭味分析結果

日期	取樣點	2-MIB	Geosmin
92年9月26日	原水	ND	ND

方法偵測極限：MIB-6 (ng/L)、Geosmin-8.2 (ng/L)

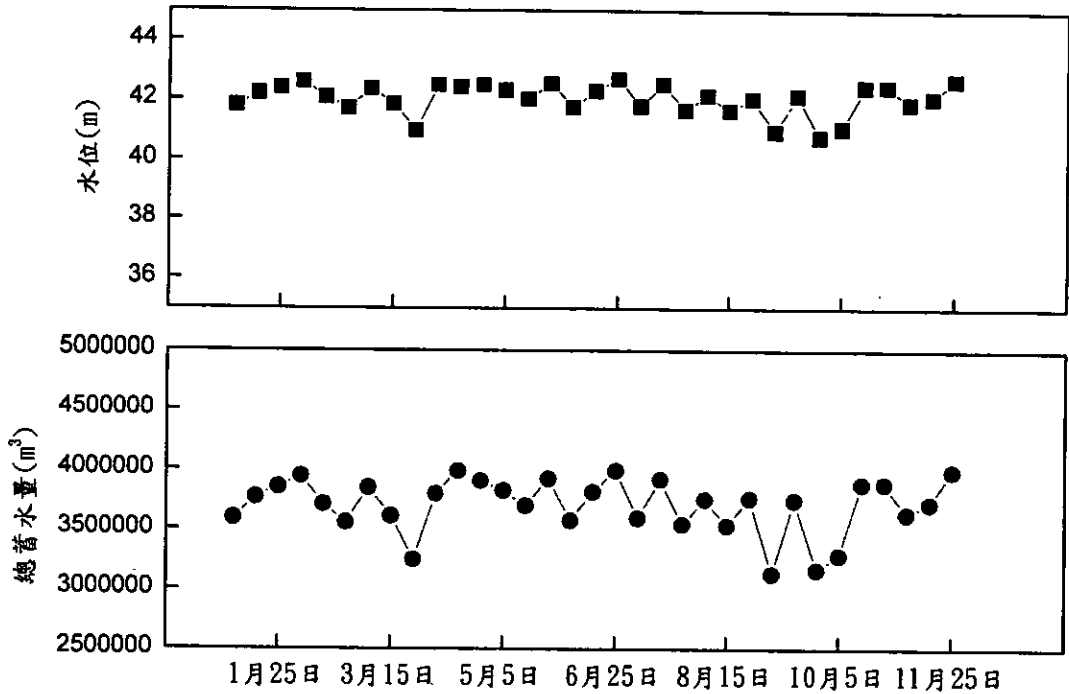


圖 4.1-2 鳳山水庫水位與蓄水量變化歷線圖(92年)

4.2 生物濾床長期穩定性及設置點之評估

第一年計畫生物反應槽設有三個採樣口，各採樣口之空床停留時間(EBCT)分別為 10、20 與 30 分鐘，第一年研究結果顯示，當 EBCT 大於 10 分鐘以上，生物濾床對氨氮去除率與 EBCT 無關，且氨氮去除率達 93%；為探討 EBCT 對氨氮去除效率之影響，及提升生物濾床對 DOC 之去除效率，第二年之生物濾床將增設三個採樣口，其 EBCT 分別為 5、15 與 25 分鐘，並將反沖洗操作策略更改為每天反沖洗一次，每次三分鐘，反沖洗氣體量仍維持為 1000 mL/min，生物濾床之曝氣量為 250 mL/min，有關生物濾床對 DO、大腸菌、重金屬、臭味、濁度、氨氮與有機物之去除功能分別敘述如後。

生物濾床操作過程，出流水之 DO 變化如表 4.2-1 所示，在歷次 DO 測定中發現生物濾床出流水(EBCT: 30 min)之 DO 濃度介於 2.1 ~ 4.2mg/L 之間，可以滿足生物代謝之需求。生物濾床本身具有吸附、截留顆粒膠體之功能，表 4.2-2 為生物濾床進、出流水中大腸菌數量之變化情形，由檢測結果發現，鳳山水庫原水中，大腸菌之數量介於 1200 ~ 2100 cfu/100mL 之間，經生物濾床處理後，水中之大腸菌數下降至 60 cfu/100 mL 以下，低於飲用水水源水質標準(20000 cfu/100 ml)，亦證明生物濾床可有效截留大腸菌。

表 4.2-1 生物濾床出流水中 DO 濃度之變化 (92 年)

日期	DO (mg/L)	日期	DO (mg/L)	日期	DO (mg/L)
8/22	2.1	10/22	4.2	10/28	3.7
8/28	2.1	10/23	3.6	10/29	3.9
10/20	2.8	10/24	3.3	10/30	3.0
10/21	3.5	10/27	3.9	10/31	4.0

表 4.2-2 生物濾床進出流水中大腸菌數量之變化情形

日期	樣品	大腸菌 (cfu/100mL)
92 年 10 月 8 日上午	原水	1500
		1200
	生物濾床出流水	50
		57
92 年 10 月 8 日下午	原水	1900
		2100
	生物濾床出流水	39
		42
92 年 10 月 20 日	原水	1400
	生物濾床出流水	50

表 4.2-3 為生物濾床進、出流水中各種重金屬濃度之變化情形，分析之重金屬包括鉛 (Pb)、硒 (Se)、砷 (As)、鉻 (Cr)、鎘 (Cd) 等 5 種，其水源水質法規標準分別為 0.05、0.05、0.05、0.05、0.01 mg/L，由表中此五種重金屬之濃度均符合法規標準，又從分析數據發現生物濾床對這些重金屬之吸附去除功能並不明顯。另外，表 4.2-4 為生物濾床進出流水中臭度之變化情形，鳳山水庫原水臭度之初嗅數介於 4~14 之間，經生物濾床處理後，出流水之臭度之初嗅數可降至 2 以下，顯示生物濾床具有除臭味之功能。

表 4.2-3 生物濾床進出流水中各種重金屬濃度之變化情形 (92 年)

項目(mg/L)		Pb	Se	As	Cr	Cd
7/15	原水	ND	0.0014	0.0028	0.0012	ND
	生物濾床出流水	0.002	0.0014	0.0033	0.0012	ND
8/25	原水	ND	0.0014	0.0028	0.0009	ND
	生物濾床出流水	ND	0.0014	0.0028	0.0007	ND
9/17	原水	0.003	0.0016	0.0025	0.0009	ND
	生物濾床出流水	ND	0.0015	0.0022	0.0006	ND
10/6	原水	ND	0.0016	0.0017	0.0013	ND
	生物濾床出流水	ND	0.0015	0.0019	0.0011	ND

方法偵測極限：Pb-0.002 (mg/L)、Cd-0.00034 (mg/L)

表 4.2-4 生物濾床進出流水中臭度之變化情形 (92 年)

日期	樣品	臭度 (初嗅數)
7/9	原水	4
	生物濾床出流水	2
7/30	原水	8
	生物濾床出流水	2
8/13	原水	8
	生物濾床出流水	2
10/20	原水	14
	生物濾床出流水	2

4.2.1 生物濾床對氨氮之去除性能評估

本計畫於今年試驗期間，鳳山水庫原水之主要水質參數（濁度、氨氮、COD 與 DOC）變化如圖 4.2-1 所示，由圖 4.2-1 中氨氮濃度之變化，可明顯看出原水中氨氮濃度於 6 月中旬開始下降，此乃時序進入豐水期所致；在 6 月中旬之前，氨氮之濃度介於 4~7.5mg/L 之間，進入豐水期後，氨氮濃度大都下降至 1 mg/L 以下，偶有高於 1 mg/L，甚至高於 2 mg/L 發生。受污染水源之生物濾床前處理最重要之功能在於去除氨氮，因鳳山水庫原水在枯水期與豐水期時氨氮濃度差異很大，因此將生物濾床對氨氮之去除性能評估，針對枯水期與豐水期分開討論；枯水期期間生物濾床在不同 EBCT 下氨氮之殘餘濃度與去除效率如圖 4.2-2 與圖 4.2-3 所示。

枯水期期間鳳山水庫原水在 EBCT 於 5、10、15、20、25、30 分鐘操作下，生物濾床出流水中氨氮之平均濃度由原水的 5.21 mg/L，依序降低為 0.22、0.19、0.12、0.12、0.10、0.10 mg/L，以平均值而言，生物濾床 EBCT 超過 5 分鐘，其出流水之平均氨氮即可小於 1 mg/L (如圖 4.2-2 所示) 在 EBCT5 分鐘與 EBCT30 分鐘下，氨氮之去除效率介於 95.19%~97.90% 之間，如圖 4.2-3 所示，故在枯水期氨氮濃度高時，生物濾床之 EBCT 在 5 分鐘以上時，生物濾床對氨氮之去除性能及不受 EBCT 之影響。

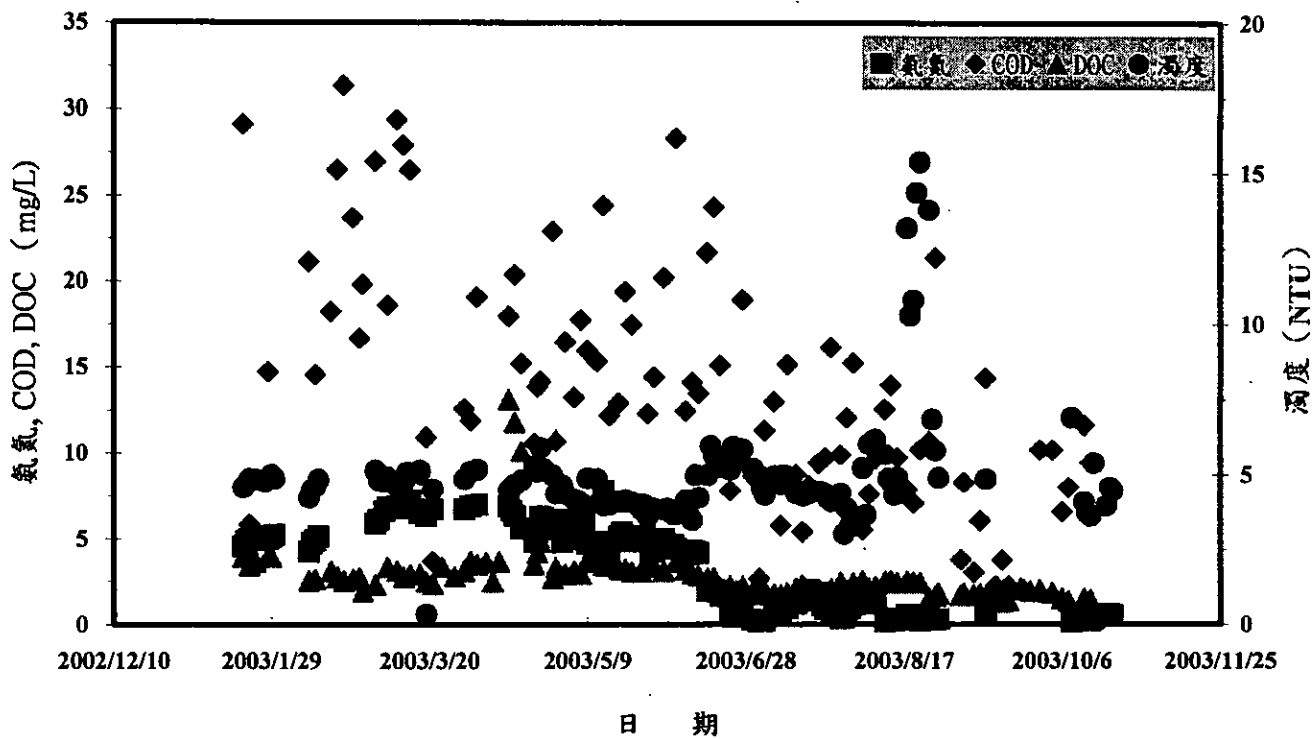


圖 4.2-1 鳳山水庫原水主要水質參數之變化情形

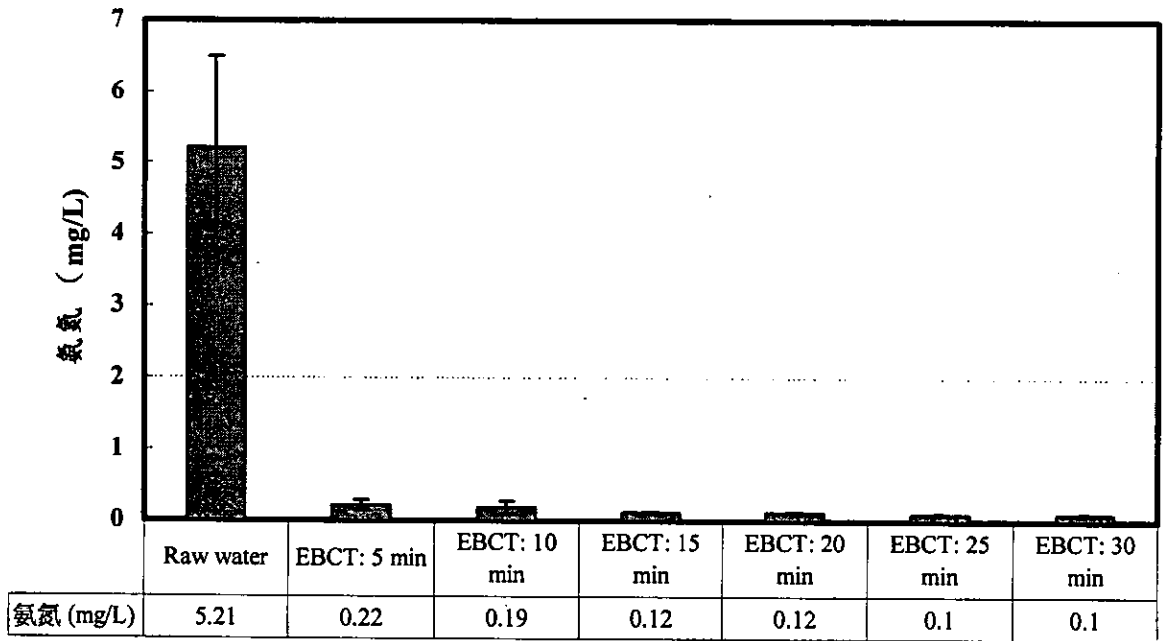


圖 4.2-2 枯水期生物濾床在不同 EBCT 下氨氮之殘餘濃度變化
(樣品數：41 ~ 73 個)

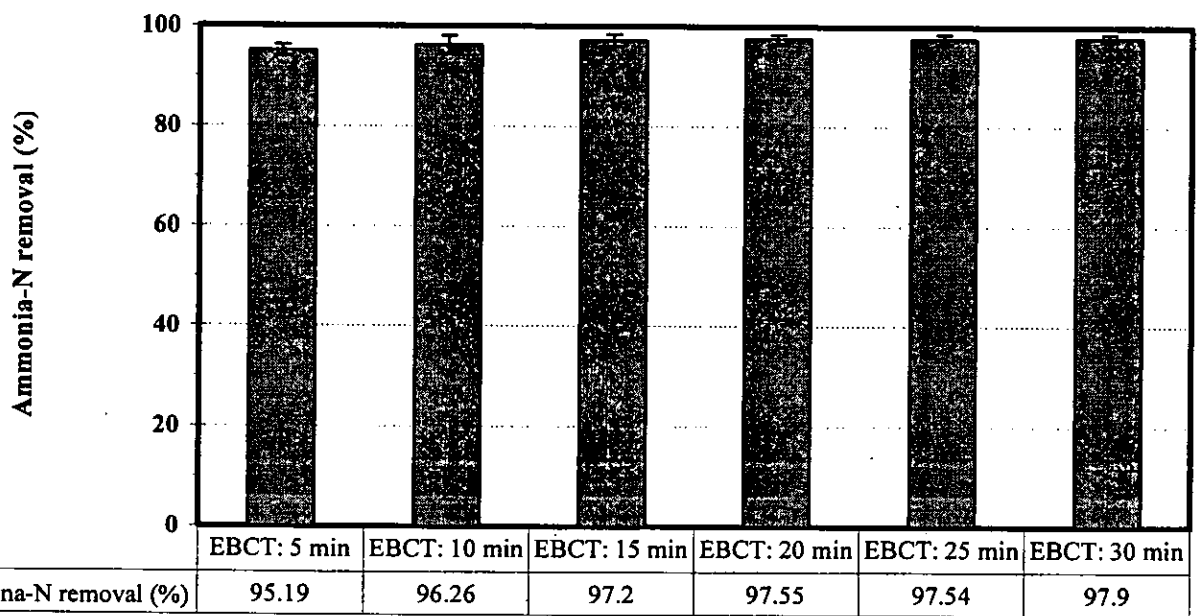


圖 4.2-3 枯水期生物濾床在不同 EBCT 下氨氮去除率之變化
(樣品數：41 ~ 73 個)

豐水期期間生物濾床在不同 EBCT 下氨氮之殘餘濃度與去除性能如圖 4.2-4 與圖 4.2-5 所示。豐水期期間鳳山水庫原水，氨氮之平均濃度僅為 0.69 mg/L，生物濾床在 EBCT 於 5、10、15、20、25、30 分鐘操作下，生物濾床出流水中氨氮之平均濃度，依序降低為 0.10、0.09、0.09、0.08、0.08、0.07 mg/L(如圖 4.2-4 所示)，在 EBCT5 分鐘與 EBCT30 分鐘下，氨氮之去除效率介於 76.13 %-84.88 %-之間，如圖 4.2-5 所示，豐水期期間生物濾床對氨氮之去除率遠低於枯水期，此乃因原水濃度降低所致。雖然豐水期氨氮之平均濃度小於 1 mg/L，但偶而氨氮之濃度仍會超過 1 mg/L，故生物濾床在豐水期仍須操作，但氧氣供應量可大幅降低。在枯水期與豐水期期間，生物濾床之 EBCT 在 5 分鐘以上，出流水中氨氮即遠小於 1 mg/L，此結果顯示，生物濾床之 EBCT 在 5 分鐘以上，生物濾床對氨氮之去除效率即不受 EBCT 的影響。

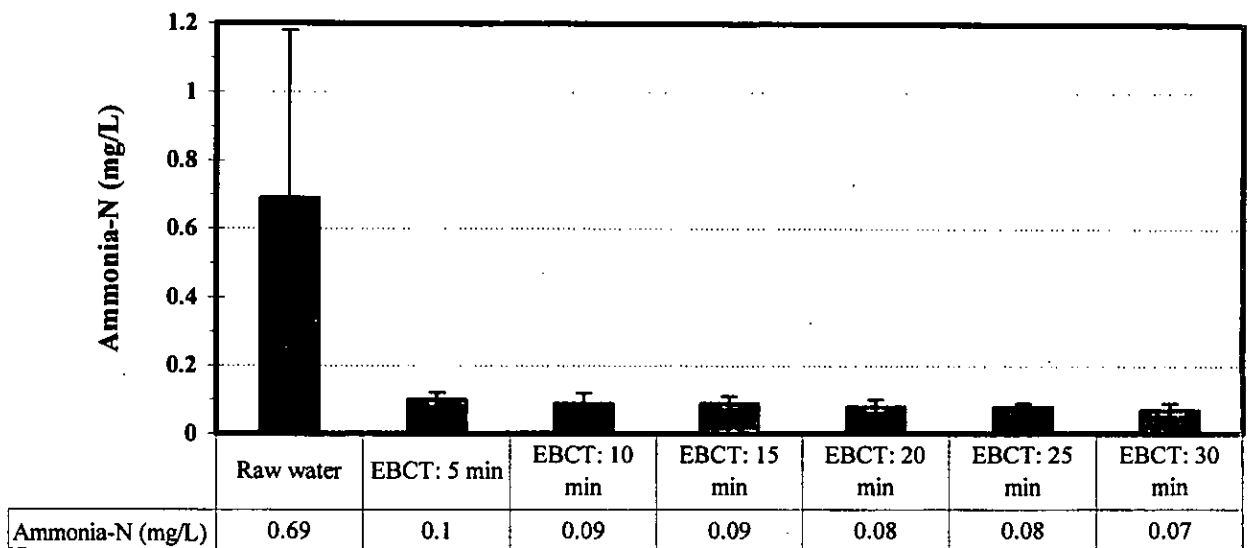


圖 4.2-4 豐水期生物濾床在不同 EBCT 下氨氮之殘餘濃度
(樣品數：56 個)

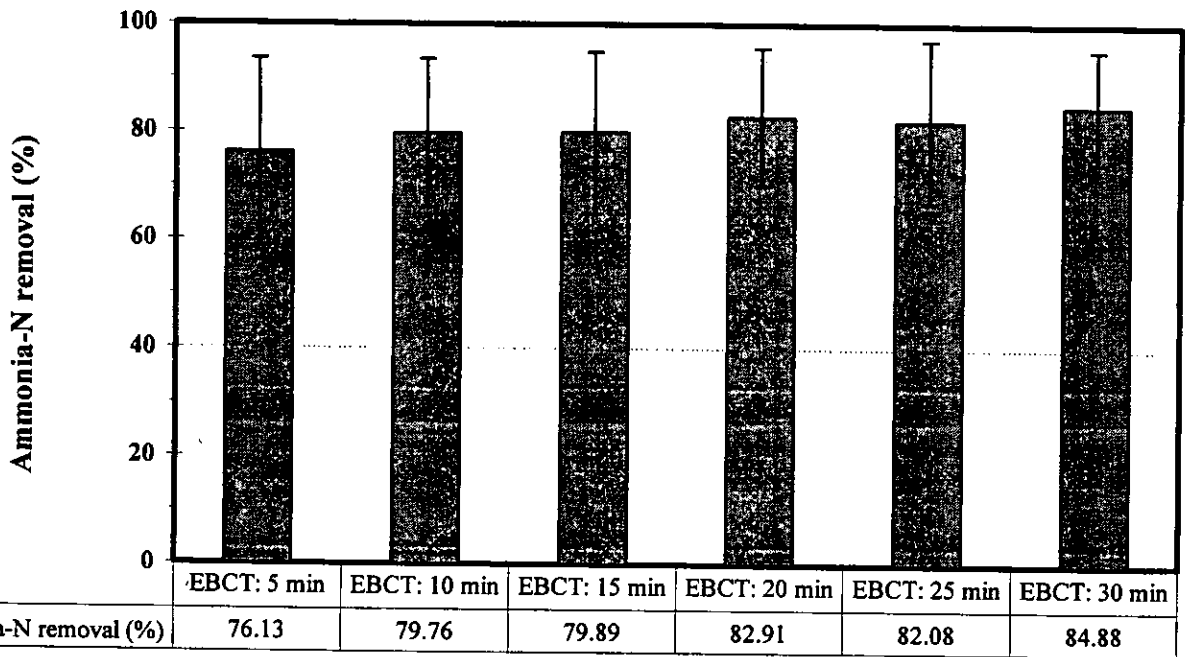


圖 4.2-5 豐水期生物濾床在不同 EBCT 下對氨氮去除率之變化
(樣品數：56 個)

4.2.2 生物濾床對濁度之去除性能評估

本計畫於試驗期間，鳳山水庫原水濁度之變化如圖 4.2-1 所示，鳳山水庫原水濁度之變化與氨氮變化一致，均受豐、枯水期影響，只是濁度在 6 月中旬前枯水期期間，原水於水庫中經過沈澱，故濁度較低約為 5 NTU 左右，6 月中旬以後進入豐水期雨水較多，因雨水沖刷之故原水濁度升高，濁度最高時達 15 NTU。

鳳山水庫原水在不同 EBCT 下經生物濾床處理後，生物濾床出流水之平均殘餘濁度與濁度去除效率列於附表 4.2-2 中，將其結果分別整理成圖 4.2-6 與 4.2-7，原水之平均濁度為 5.37 NTU，生物濾床在 EBCT 為 5、10、15、20、25、30 分鐘操作下，生物濾床出流水之平均殘餘濁度如圖 4.2-6 所示，分別為 3.01、2.70、2.87、2.73、2.91、2.72 NTU，顯示生物濾床出流水濁度可穩定維持在 3.0 NTU 以下，在不同 EBCT

下，平均濁度去除效率可穩定維持 40 %-50 %之間（圖 4.2-7），證明生物濾床有穩定濁度之功能，且當生物濾床 EBCT 高於 5 分鐘，生物濾床對濁度之去除效果即不受 EBCT 的影響。

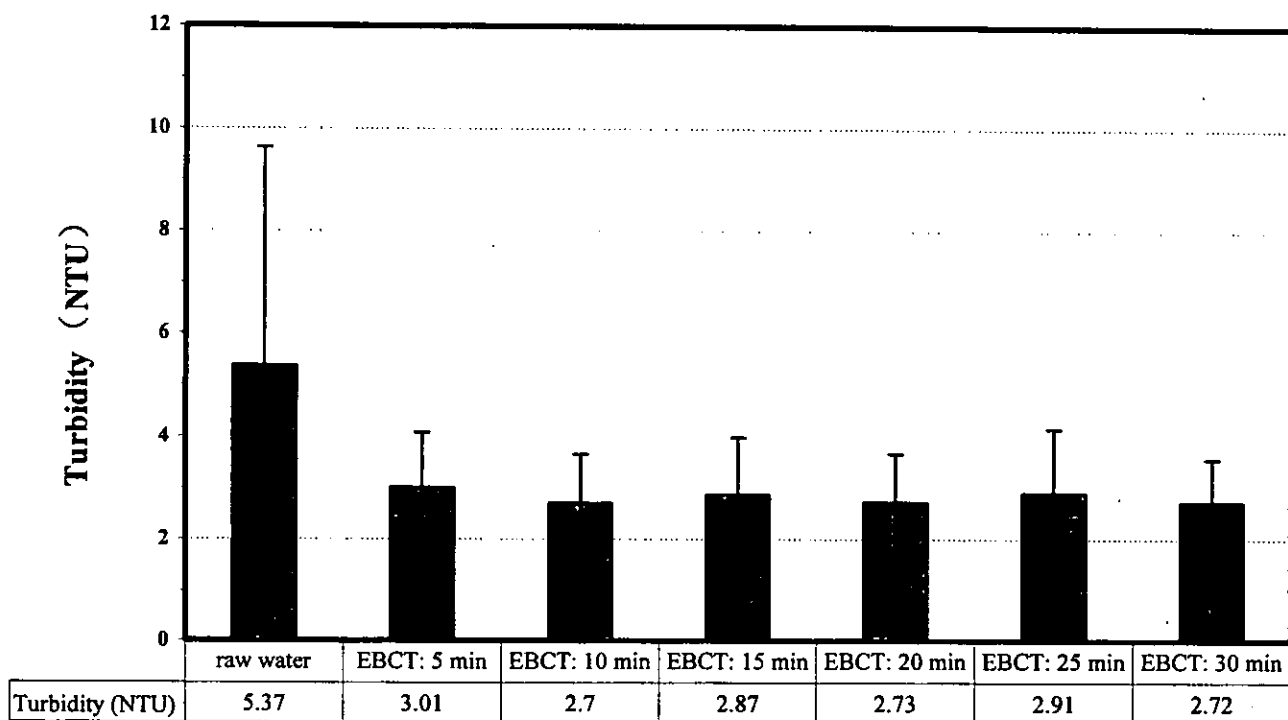


圖 4.2-6 生物濾床在不同 EBCT 下之殘餘濁度變化
（樣品數：66 ~ 130 個）

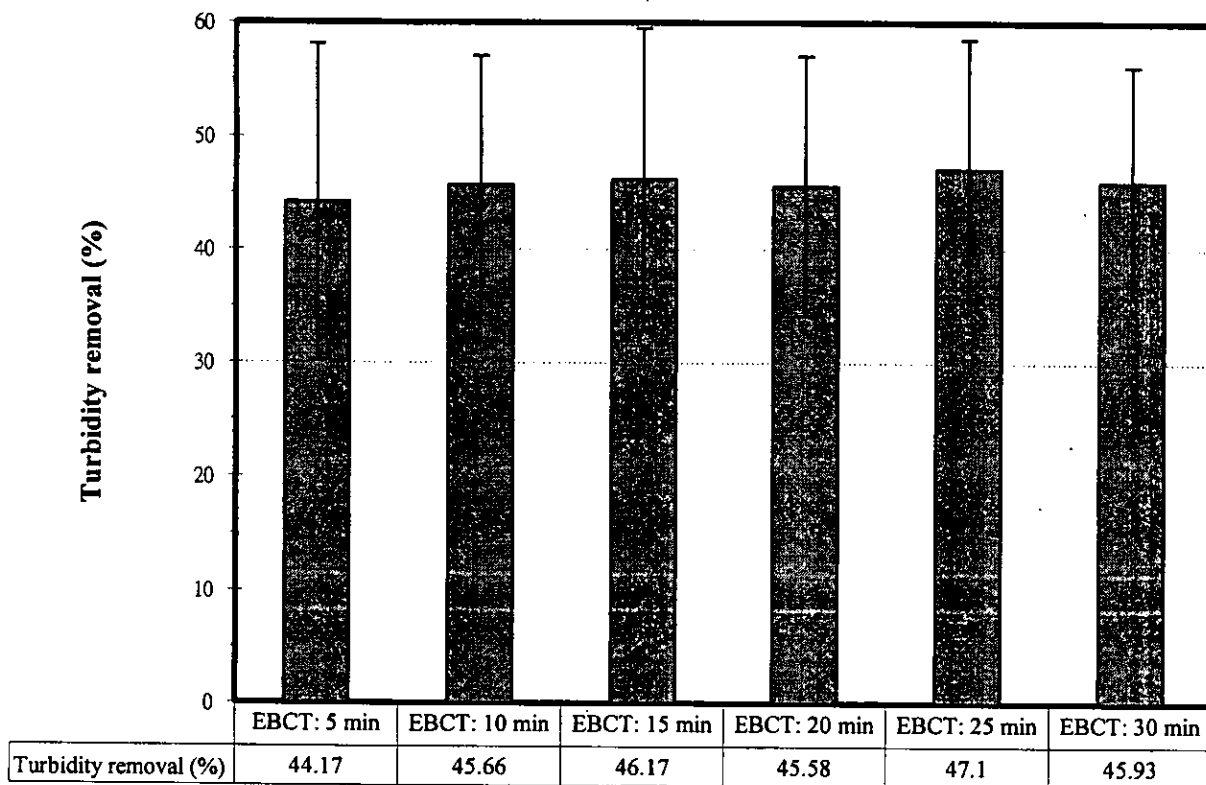


圖 4.2-7 生物濾床在不同 EBCT 下濁度去除率之變化
(樣品數：66 ~ 130 個)

4.2.3 生物濾床對有機物之去除性能評估

由於生物濾床中生物膜脫附、生物膠凝作用，使生物濾床之出流水中，常含有顆粒物，而這些顆粒物在混凝沈澱中，藉助本身重量即可沈澱，不會影響後續混凝程序之加藥量，因此本計畫評估生物濾床對有機物之去除效率時，分別測定代表總有機物濃度之 COD 分析；與將顆粒狀之有機物排除，代表溶解性有機物之溶解性有機碳 (DOC) 分析。本計畫於試驗期間，鳳山水庫原水 COD 與 DOC 濃度之變化如圖 4.2-1 所示，COD 與 DOC 濃度之變化亦受豐、枯水期之影響，但兩者相較，COD 所受之影響較顯著，由圖 4.2-1 顯示，鳳山水庫原水 COD 在枯水期可高達 30 mg/L，此可能與藻類增生有關，因在此期間氨氮濃度偏高；而在豐水期可降至 5 mg/L 以下。

生物濾床在不同 EBCT 下對 DOC 之去除結果如附表 4.2-3，將生物濾床對 DOC 之去除性能彙整成圖 4.2-8 與圖 4.2-9，由圖 4.2-8 顯示，鳳山水庫原水在 92 年 1~10 月間，其 DOC 濃度介於 1.37~4.85 mg/L 之間，平均值為 2.59 mg/L 與去年鳳山水庫原水之 DOC 平均濃度 (3 mg/L) 相較略微降低。為探討生物濾床在不同 EBCT 對 DOC 之去除效率之影響，於 92 年 2 月 21 日開始，增加生物濾床 EBCT 於 5、15、25 分鐘採樣；鳳山水庫原水在 EBCT 於 5、10、15、20、25、30 分鐘操作下，生物濾床出流水中 DOC 之平均濃度由原水的 2.59 mg/L，依序降低為 2.11、2.18、2.01、2.06、1.95、1.99 mg/L，隨生物濾床 EBCT 之增加而緩慢降低 (如圖 4.2-8)，生物濾床在不同 EBCT 操作下，出流水中 DOC 去除率之關係如圖 4.2-9 所示；以平均去除率而言，生物濾床之 EBCT 為 5~10 分鐘時，DOC 之平均去除率約為 17%，當 EBCT 延長 10 分鐘至 20 分鐘時，DOC 之去除率提昇為 21~22%，當 EBCT 再延長 20 分鐘至 30 分鐘時，DOC 之去除率為 23~4%。生物濾床 EBCT 在 30 分鐘時對 DOC 之去除效率與去年之試驗結果 23.77% 相近。因此延長生物濾床 EBCT 時間，可增加 DOC 之去除功能，但對提昇 DOC 之去除功能並不顯著。

從本計畫去年之研究得知，生物濾床對有機物之去除效率受 EBCT 之影響較少，又因在生物濾床槽體中直接採樣會影響生物膜之脫附，而影響 COD 分析，故 COD 項目只採 EBCT 30 分鐘之樣品進行分析，生物濾床對 COD 之去除性能整理成圖 4.2-10，因生物濾床屬於一種動態平衡，生物濾床出流水中含有不定時脫附下來之有機顆粒，故相對而言，生物濾床出流水之 COD 濃度較不穩定，甚至會出現生物濾床出流水之 COD 高於原水的現象。飲用水水源水質標準中，COD 之管制值為 25 mg/L，鳳山水庫原水在枯水期期間，原水之 COD 會超過管制值，生物濾床處理後大都能符合 COD 管制值 25 mg/L 的標準。

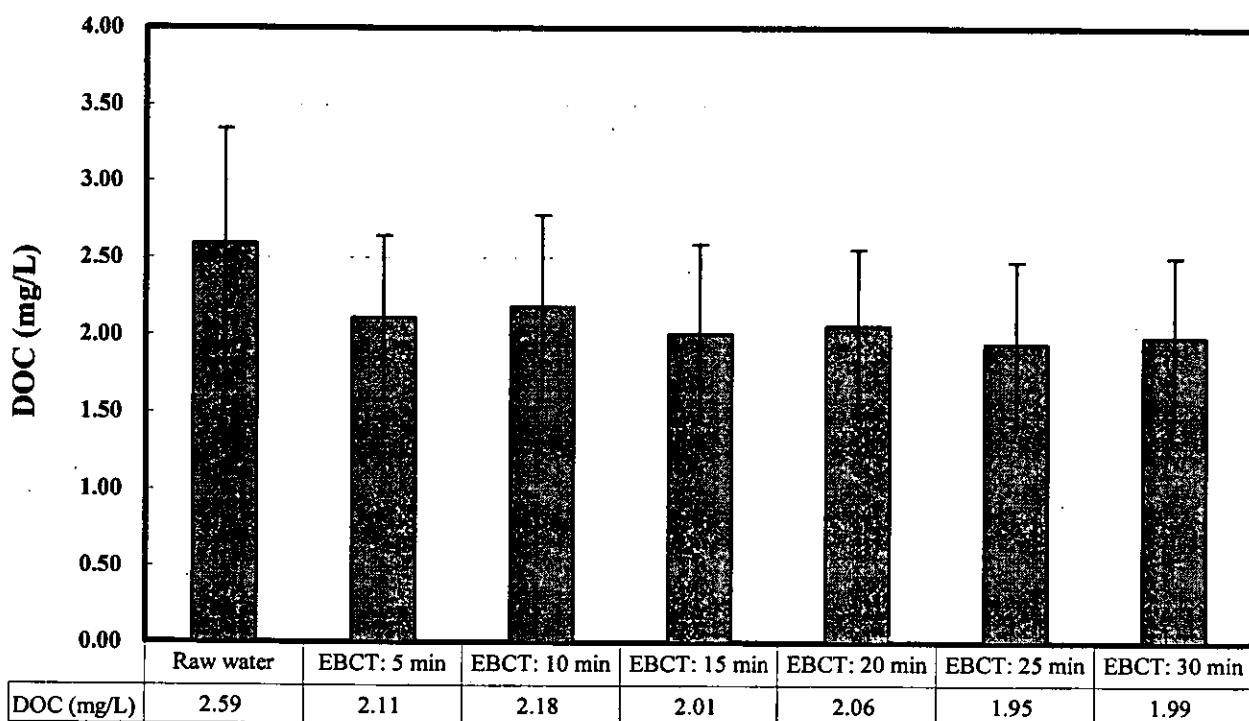


圖 4.2-8 生物濾床在不同 EBCT 下殘餘 DOC 之變化
(樣品數：34 ~ 103 個)

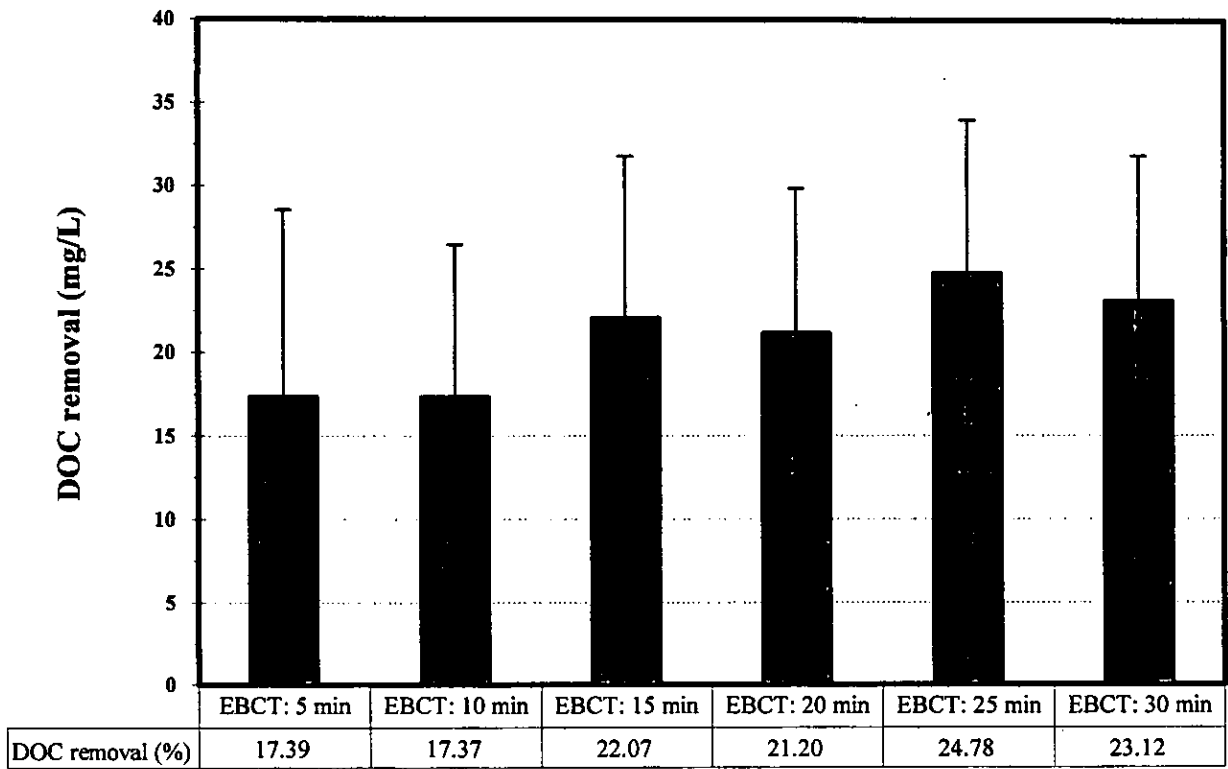


圖 4.2-9 生物濾床在不同 EBCT 下 DOC 去除率之變化
(樣品數：34 ~ 103 個)

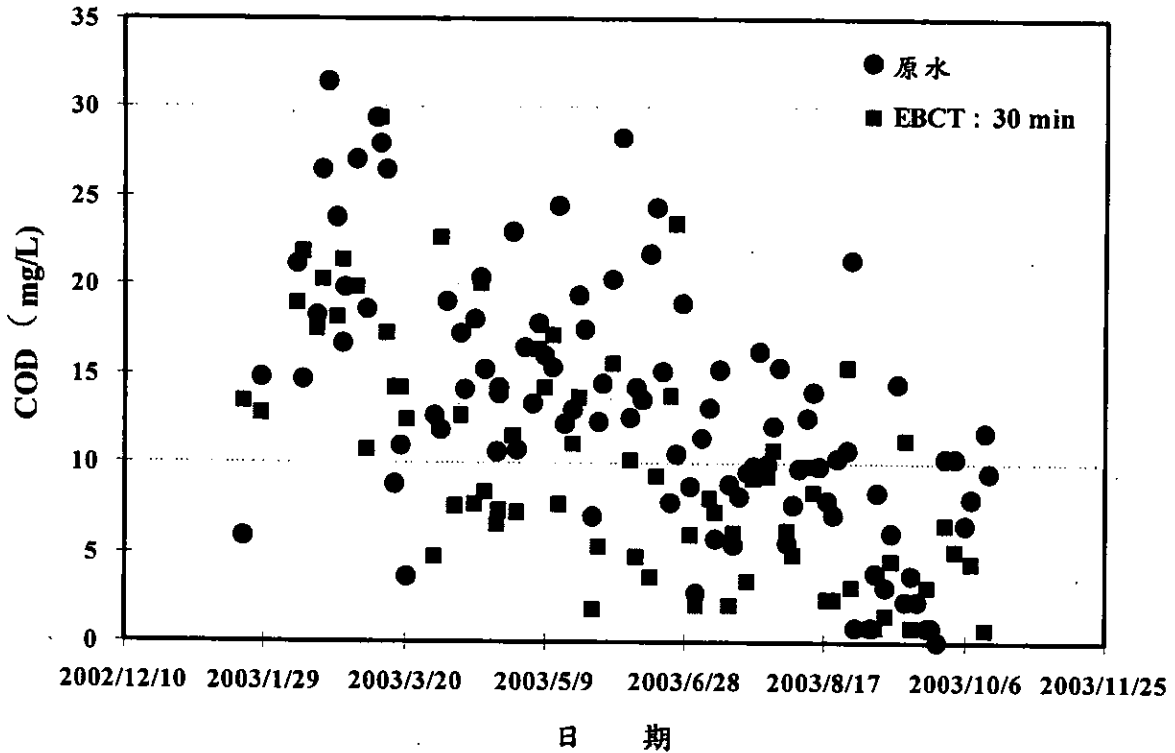


圖 4.2-10 生物濾床進出流水 COD 之變化情形 (EBCT: 30 min)

4.2.4 生物濾床設置點之評析

鳳山水庫為一個離槽水庫，生物濾床以去除氮氮為主，去除濁度與有機物為輔，因此生物濾床設置於鳳山水庫之前與後各有其優缺點，分述如後：

一、生物濾床設置於鳳山水庫之前：

(1) 優點：先去除氮氮等造成鳳山水庫優養化之物質，因此可減緩鳳山水庫藻類增生，可預防水質之藻臭味，並可降低水質之 COD 濃度，應無藻類過度增生問題，不會造成水中缺氧現象，不需進行曝氣動作。

(2) 缺點：暴雨時濁度陡升無緩衝功能。

二、生物濾床設置於鳳山水庫之後：

(1) 優點：物濾床設置於鳳山水庫之後，因此暴雨時進水庫之原水，經水庫 4 天以上之沈澱，無濁度陡升問題。

(2) 缺點：東港溪原水富含氮氮物質，易造朝鳳山水庫藻類增生，造成藻臭味，與水中缺氧現象，需曝氣使水質呈氧化狀態。

4.3 吸附過濾

4.3.1 粉狀活性碳(PAC)吸附試驗

本項目主要是以粉狀活性碳(PAC)針對鳳山原水進行動力及恆溫吸附，藉此評估 PAC 單元對原水中有機物之吸附效率，實驗之 PAC 是由鳳山淨水廠提供。PAC 動力吸附是取 100 mg 之 PAC 加入 1 升鳳山原水中，利用瓶杯試驗機進行持續 10 小時之吸附試驗。圖 4.3-1 是鳳山原水動力吸附結果，顯示吸附進行約 30 分鐘後，原水中有機物有明顯降低，而約在 2 小時達到吸附平衡，此時 DOC 約有 43 % 去除率。圖 4.3-2 是針對 A₂₅₄ 分析結果，顯示 PAC 吸附原水之 A₂₅₄ 值約在 3 小時達到平衡，吸附時間略較 DOC 長，推測可能是原水中具共軛雙鍵之苯環類或大分子有機物，擴散吸附至 PAC 表面之時間較長所致。再者，針對 PAC 之恆溫吸附結果，圖 4.3-3 顯示 PAC 加量約在 50 mg/L 吸附時間控制在 2 小時，對 DOC 即有 40 % 之去除效果，增加劑量，所提高之去除率有限，另吸附後殘餘 A₂₅₄ 值亦顯示 PAC 加量在 50 mg/L 附近對鳳山原水之 A₂₅₄ 值去除較可行(圖 4.3-4)。

針對原水中 THMFP 之去除效果，圖 4.3-5 顯示在 2 小時之吸附時間，PAC 加量在 50 mg/L，去除率僅約 15 %，PAC 加量增加至 80 mg/L 條件下，原水 THMFP 約有 32 % 去除，顯示原水中之 THM 前驅物不容易被 PAC 吸附，推測是因 THM 前驅物一般多為大分子或含苯環結構具共軛雙鍵之有機物，如腐植酸或黃酸等天然有機物，PAC 因吸附孔徑較小，大分子吸附質通常不易擴散進入，因此需較長時間之接觸時間，本實驗為模擬淨水廠之加藥程序，控制兩小時吸附時間，對原水中主要 THM 前驅物的吸附效率不高。再者，對於原水臭味的改善，本實驗以分別添加 10、50、80、100 mg/L 之 PAC 至原水，進行兩小時吸附之批式實驗，結果顯示原水臭味初嗅數(TON)為 8，經不同劑量 PAC 吸附後均有下降，其中 PAC 加量 80 及 100 mg/L 之處理水 TON 值則可降至 2(圖 4.3-6)。【PAC 相關資料：(一)實驗室分析 BET 表面積(BET-surface area)：855 m²/g-PAC。(二)篩分析粒徑資料：Passing 100 mesh - 99.5 %；Passing 200 mesh - 98 %；Passing 325 mesh - 96. %】

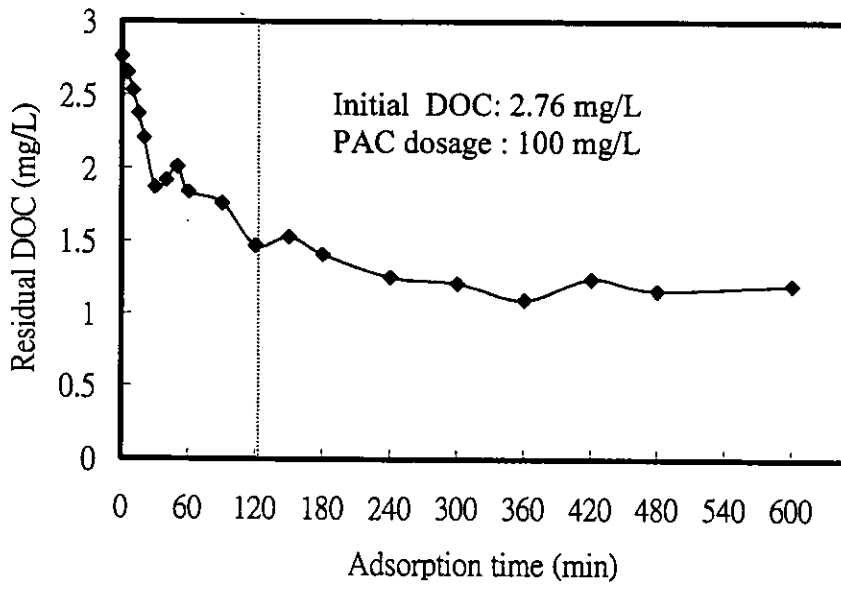


圖 4.3-1 以 PAC 吸附鳳山水庫原水 DOC 之動力曲線

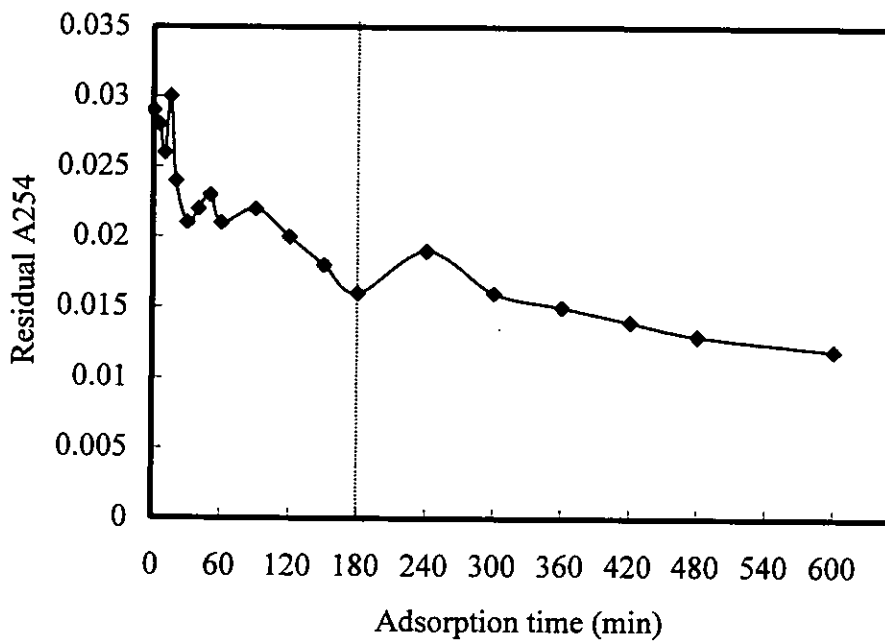


圖 4.3-2 以 PAC 吸附鳳山水庫原水 A254 之動力曲線

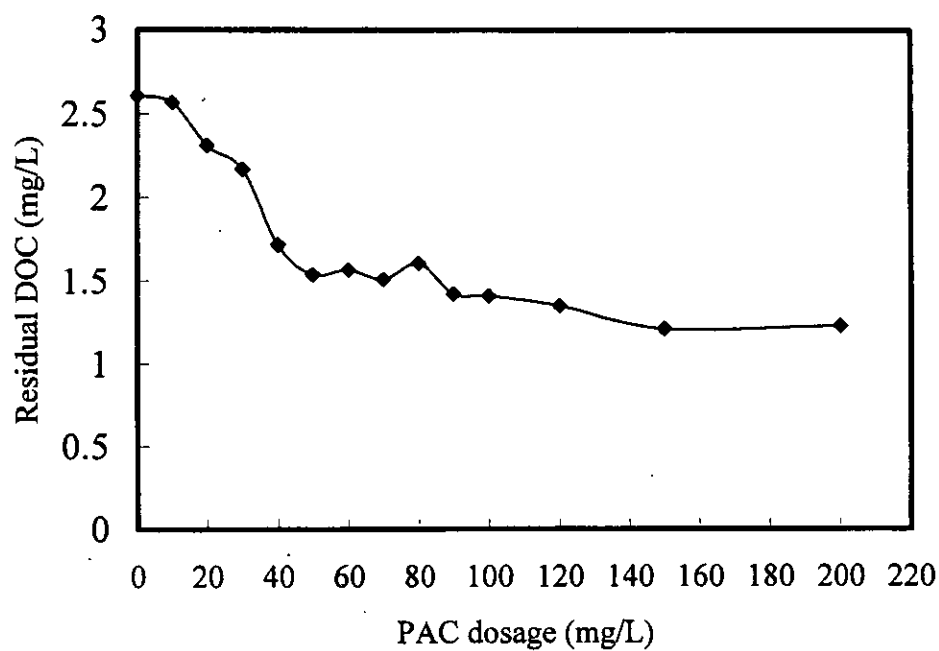


圖 4.3-3 PAC 加藥與原水殘餘 DOC 之關係

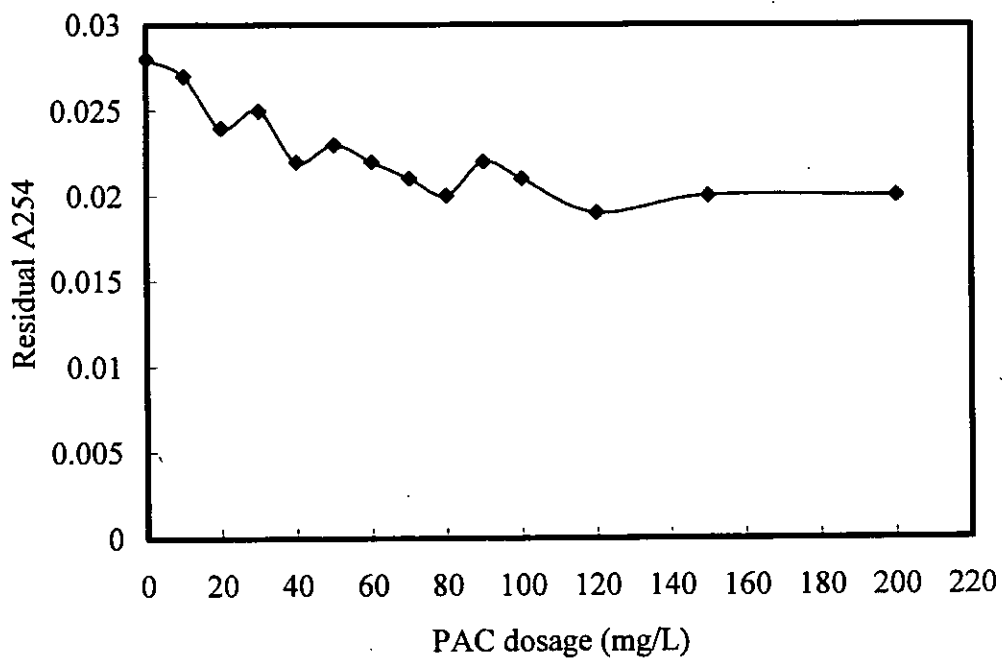


圖 4.3-4 PAC 加藥與原水殘餘 A254 之關係

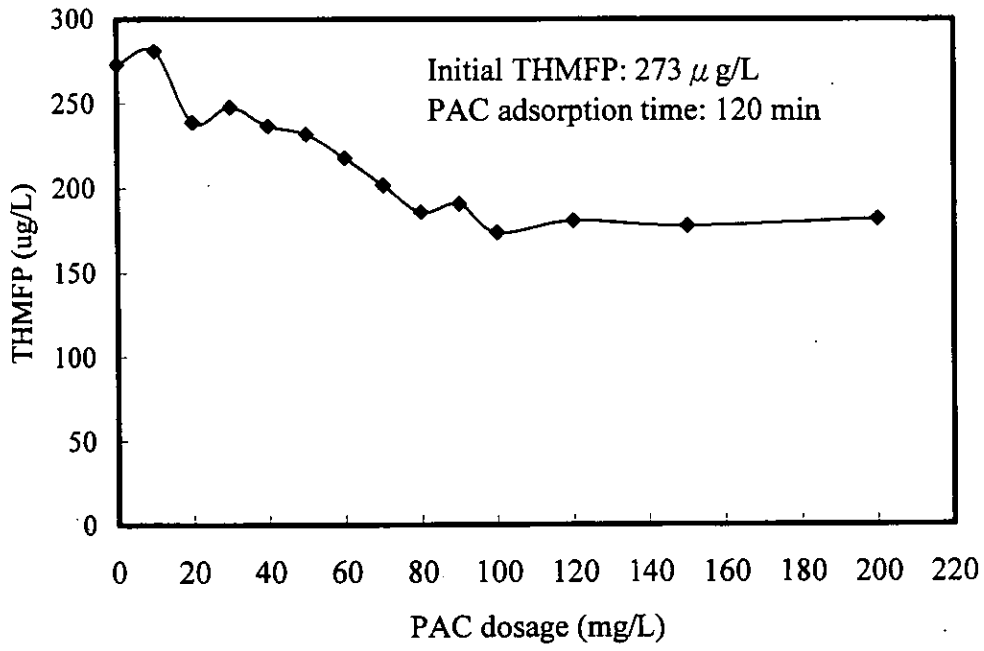


圖 4.3-5 PAC 加藥與原水殘餘 THMFP 之關係

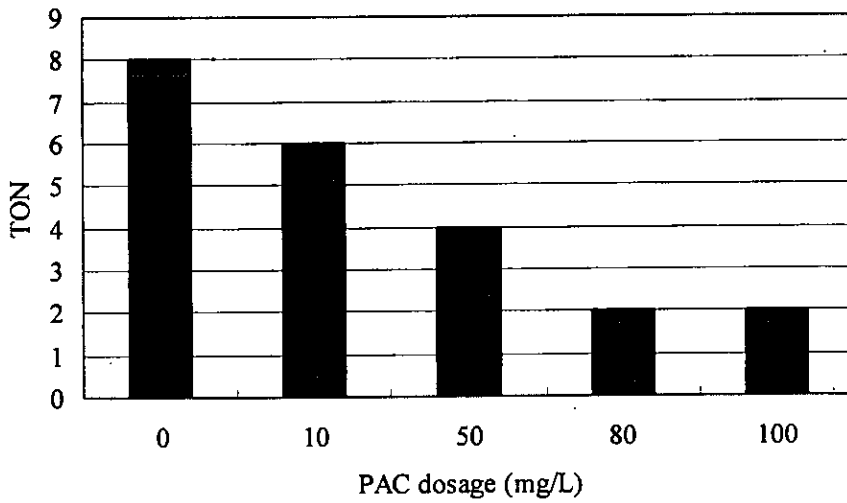


圖 4.3-6 PAC 加藥與原水殘餘臭味之關係

4.3.2 模廠砂濾、GAC 濾床單元操作結果

模廠過濾單元操作試驗項目，主要是比較：一、砂濾床(60 cm)串聯 GAC 濾床(60 cm)(簡稱 Sand-GAC)、二、砂濾床上層 30 cm 改填 GAC 之雙層濾料(簡稱 Sand/GAC)、三、傳統砂濾床(60 cm)等三種濾床對濁度及有機物之去除能力。圖 4.3-7、圖 4.3-8 為四月底至十月間沉澱出流水分別經石英砂、Sand-GAC、Sand/GAC 三組濾床後濁度變動之比較，其中圖 4.3-8 為三組濾床平均濁度之統計結果，整體來看三組濾床出流水之濁度以 Sand-GAC 濾床最低，約在 0.21 ~ 0.32 NTU 範圍內（平均值：0.27 NTU），此處理效率可符合美國環保署(USEPA)「加強表面水處理規則」，濾床出流水濁度低於 0.3 NTU 之要求。再者，Sand/GAC 濾床操作期間出流水約在 0.29 ~ 0.38 NTU 範圍（平均值：0.35 NTU），傳統砂濾床對濁度去除功效較差，約在 0.34 ~ 0.45 NTU（平均值：0.39 NTU）。此外，操作期間濾床進流水（沉澱池出水）在四月至六月中旬濁度較高，約 1.1 ~ 1.4 NTU，七月後則降至 0.8 ~ 1.1 NTU，然進流水濁度的變動對三組濾床出流水之濁度變化影響不大，顯示三組濾床對進流水之濁度負荷良好。

針對濾床對有機物之去除結果，首先，圖 4.3-9、圖 4.3-10 為沉澱出流水分別經三組濾床過濾後 A_{254} 之變化情形，沉澱出流水之 A_{254} 值約為 0.033 cm^{-1} ，經濾床過濾後 A_{254} 值均有明顯的降低，去除效率較顯著者為 Sand-GAC 濾床及 GAC/砂濾床，傳統砂濾床出流水 A_{254} 值仍偏高且在操作期間變動較大，其中在枯水期（4 ~ 5 月）間之測值較高，6 月起可能因豐水期之來臨水中有機污染濃度降低， A_{254} 值有略為降低。圖 4.3-11、圖 4.3-12 為三組濾床出水之 DOC 及平均濃度統計結果，圖中砂濾床出流水 DOC 濃度偏高且變動較明顯，其中在 4 ~ 5 月枯水期間進流水 DOC 值（約 1.5 ~ 2.1 mg/L）較高條件下，砂濾對 DOC 幾無去除，相較下 Sand-GAC 及 GAC/Sand 濾床出流水之 DOC 值則較穩定，對 DOC 之去除效果明顯高於傳統之砂濾床，平均 DOC 去除率分別達 65 %、55 %，另由分子篩分析結果（圖 4.3-13）可見三組濾床出水中殘餘之有機

物均以分子量 (M.W.) 高於 1000 者佔多數，其中以 Sand 及 Sand-GAC 兩濾床出水較顯著。再者，針對各組濾床出流水分析之 THMFP (圖 4.3-14)，顯示傳統之砂濾床 THMFP 平均值為 110 $\mu\text{g/L}$ ，較其他兩組濾床高 (Sand-GAC = 53 $\mu\text{g/L}$ 、GAC/Sand = 81 $\mu\text{g/L}$)，此結果與 DOC、 A_{254} 變化情形有相似之處，另由分子篩分析結果 (圖 4.3-15) 顯示 GAC/Sand 出水中之 THMFP 主要由低分子量 (M.W. <1000) 者所貢獻，而另兩組濾床出水之 THMFP 則主要來自於 M.W. >1000 者，尤其是 10,000 > M.W. >1000 範圍之有機物，此結果配合圖 4.3-13 之 DOC 分子量分佈來看，GAC/Sand 出水中屬低分子量之有機物雖不多，但卻具有較高之 THM 生成潛能。

針對各組濾床對生物穩定性參數 AOC 值之去除情形，首先針對各分析水樣中培養 P17 及 NOX 菌之生長曲線 (圖 4.3-16、圖 4.3-17)，顯示在培養期間內 (9 天) 各水樣幾乎均可達到最大增殖菌落數，由各水樣培養所獲之最大菌落數，利用 P17 及 NOX 菌種之醋酸鈉標準生長曲線圖及最大菌落數-醋酸鈉濃度檢量線，可轉換成水樣中之 AOC 濃度，其中可分別求得 AOC-P17 和 AOC-NOX 值，再相加得 AOC-Total ($\mu\text{g acetate-C/L}$)。圖 4.3-18 為模廠操作 6 個月各單元出水水質達穩定後，所分析之 AOC 值，首先原水之 AOC-Total 約 60 $\mu\text{g acetate-C/L}$ ，其中 AOC-P17 及 AOC-NOX 約各佔 50%，此結果與一般遭受人為污染水源之 AOC 測值相比 (例如受生活污水放流污染之河水：75 ~ 731 $\mu\text{g acetate-C/L}$ ，受石化工業污染之地下水：471 ~ 681 $\mu\text{g acetate-C/L}$)，顯然目前鳳山原水 AOC 值有偏低現象，此原因推測是原水中有機質組成份，屬生物可利用者，例如 amino acids、carboxylic acid、aldehydes 等含量低，或原水中可能含有抑制培養 P17 及 NOX 菌之物質，間接造成 AOC 測值降低。原水經生物濾床處理，AOC-Total 降至 35 $\mu\text{g acetate-C/L}$ ，約有 40% 去除率，顯示生物濾床除對原水中之氮氮有良好去除功效外，對生物可利用之有機物亦有部份去除效果。再者，經混凝、沉澱處理，AOC-Total 降至 25 $\mu\text{g acetate-C/L}$ ，其中 AOC-P17 幾乎被去除，

但 AOC-NOX 則反而增加，此現象目前尚無明確原因，推測是混凝、沉澱槽中可能有部份屬 AOC-NOX 可利用之有機物自沉降之污泥區中釋出。針對比較三組濾床出水之 AOC 值，顯示 Sand-GAC 濾床出水測值最低，約 20 $\mu\text{g acetate-C/L}$ ，且幾乎屬 AOC-NOX，而 GAC/Sand 濾床出水之 AOC-Total 反高於沉澱槽，其中增加的部份以 AOC-P17 為主，此現象可能是 GAC/Sand 混合濾床內釋出部份屬 P17 菌可分解利用之有機質所致。

整體而言，沉澱出水經砂濾串聯 GAC 濾床對濁度及有機物之去除均優於傳統之砂濾床，值得一提的是 GAC/Sand 混合濾床功效雖未如 Sand 串聯 GAC 高，但明顯優於傳統快濾，其中在 GAC、Sand 混合濾料的配比或水力操作條件上應可再深入探討。

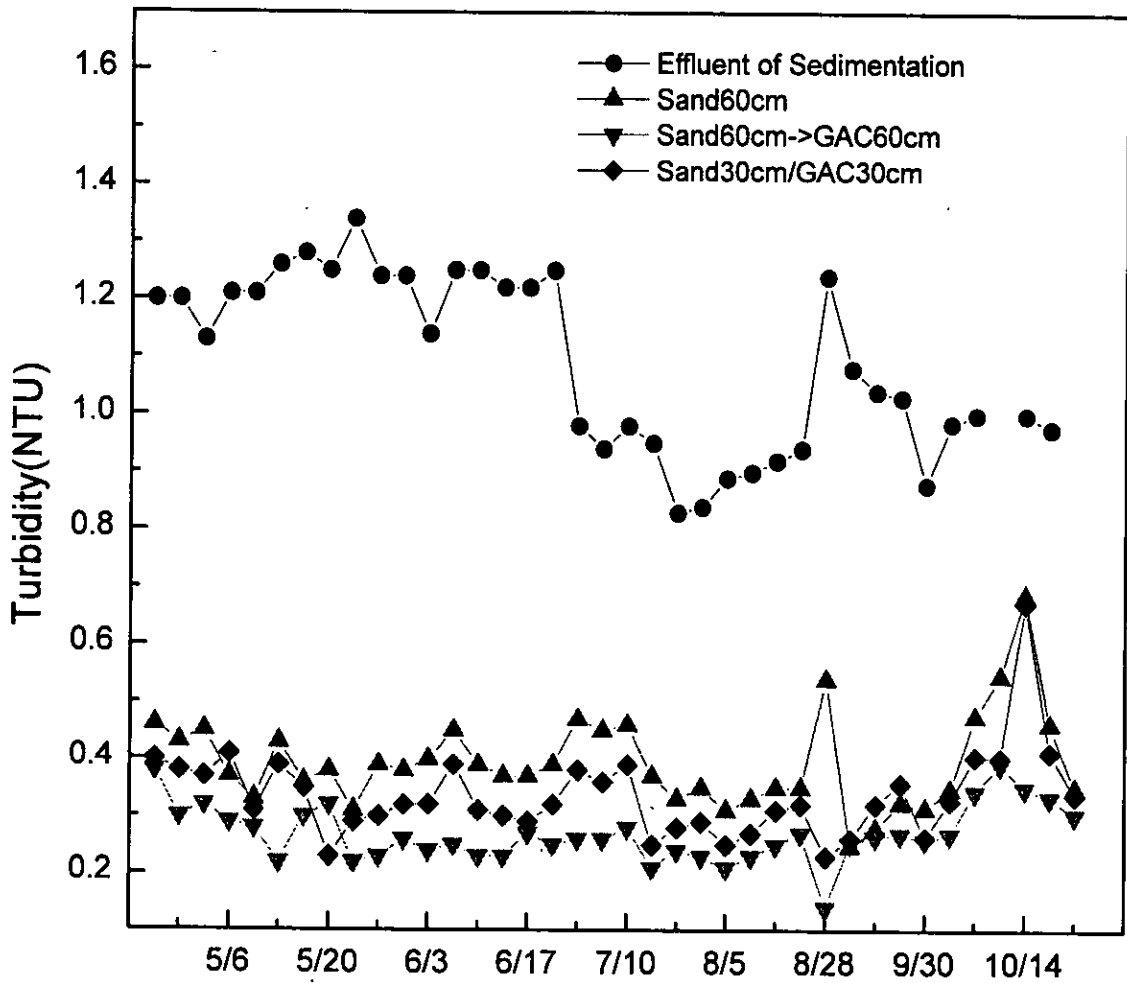


圖 4.3-7 模廠三組濾床出流水濁度之變化情形 (92 年)

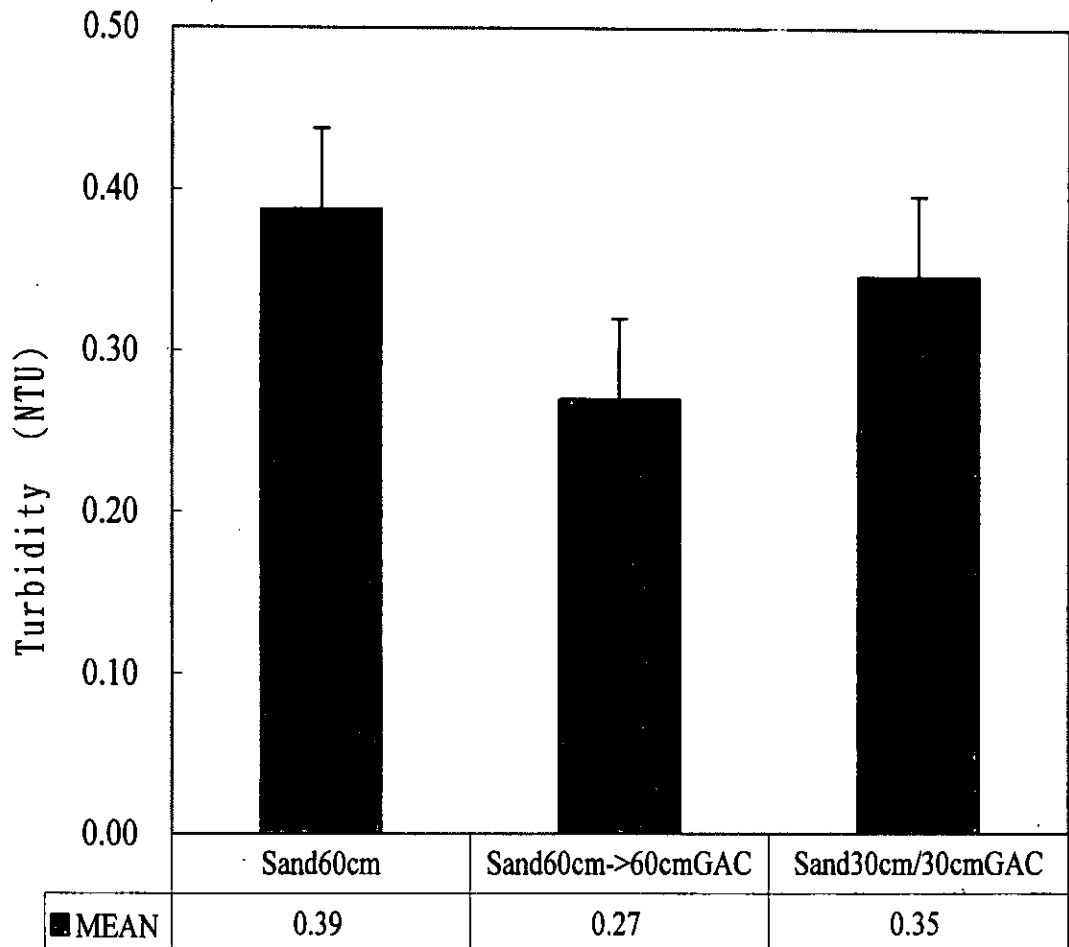


圖 4.3-8 模廠三組濾床出流水平均濁度之統計結果

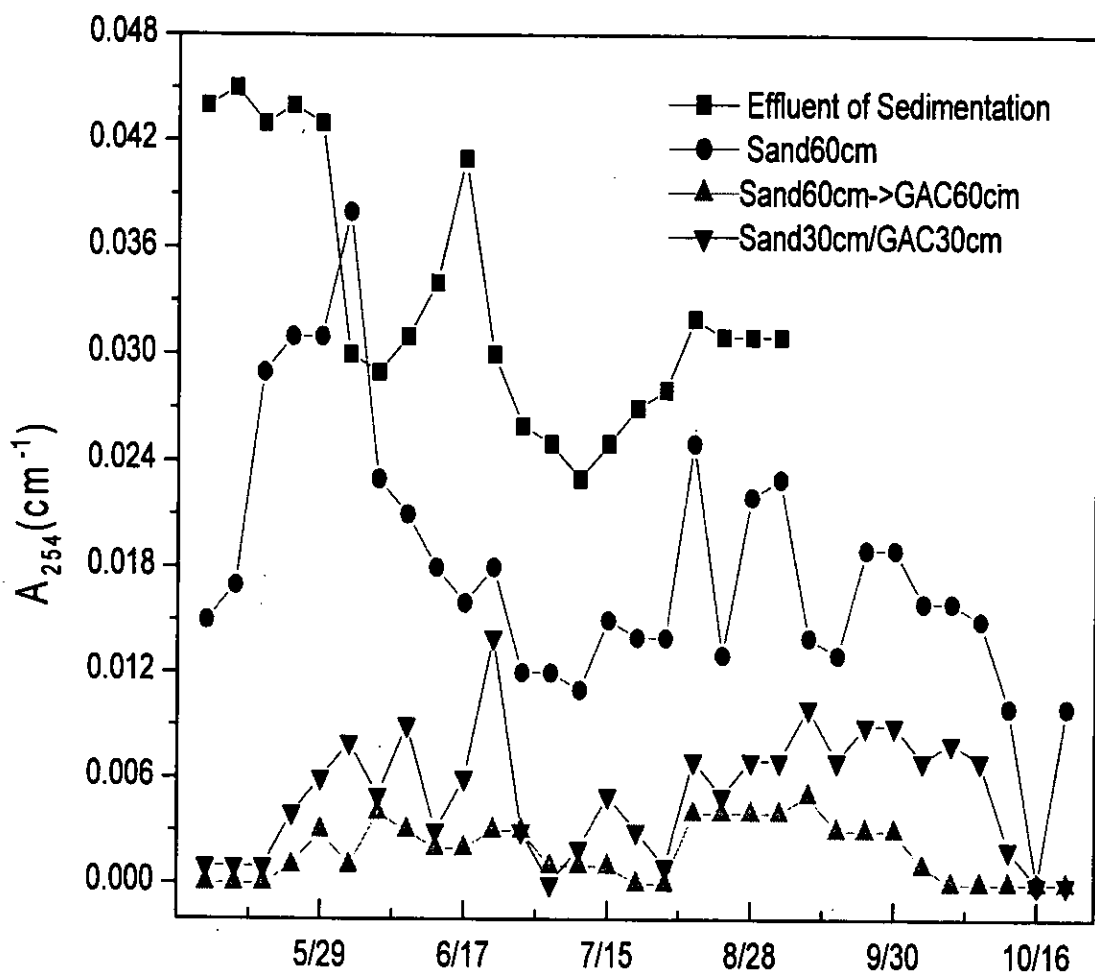


圖 4.3-9 模廠三組濾床出流水 A_{254} 之變化情形 (92 年)

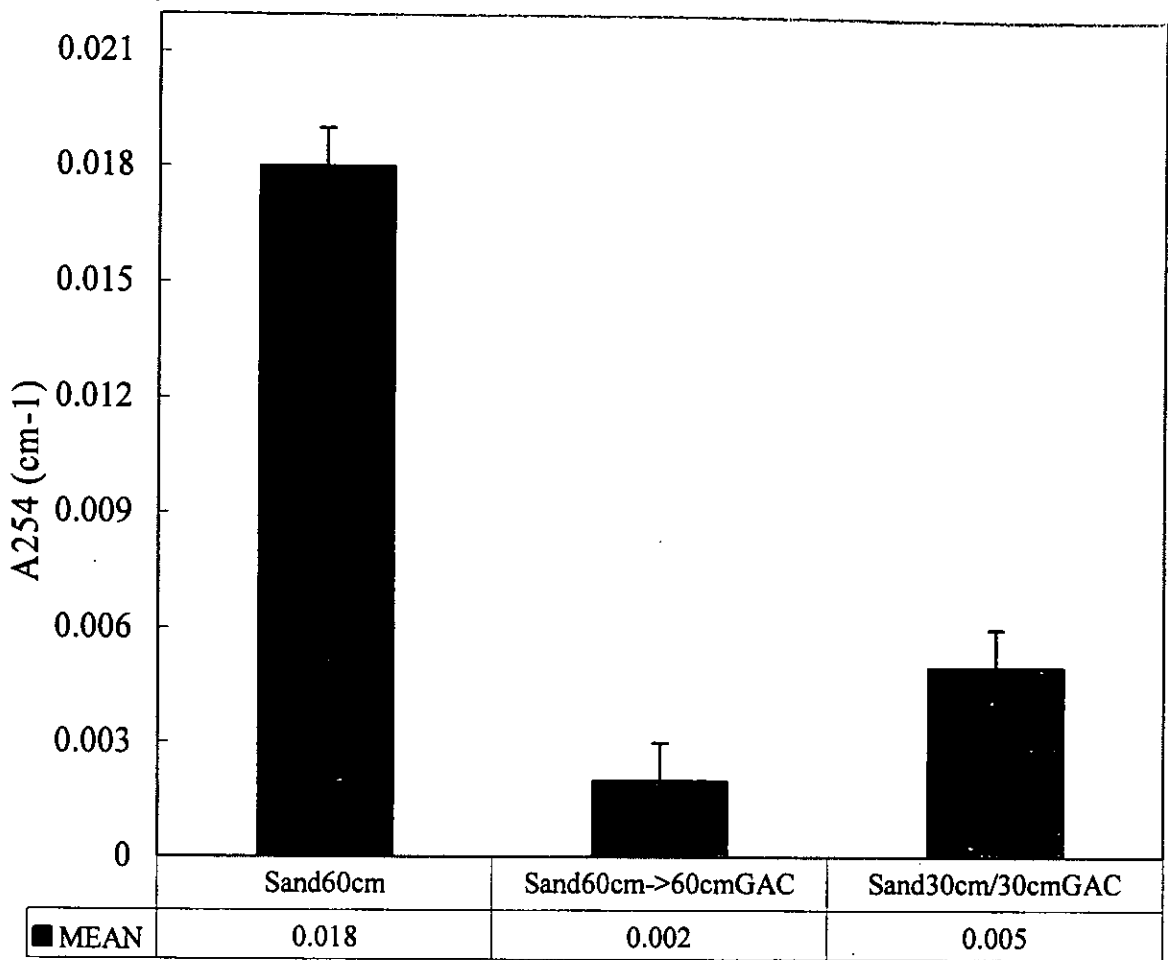


圖 4.3-10 模廠三組濾床出流水平均 A₂₅₄ 之統計結果

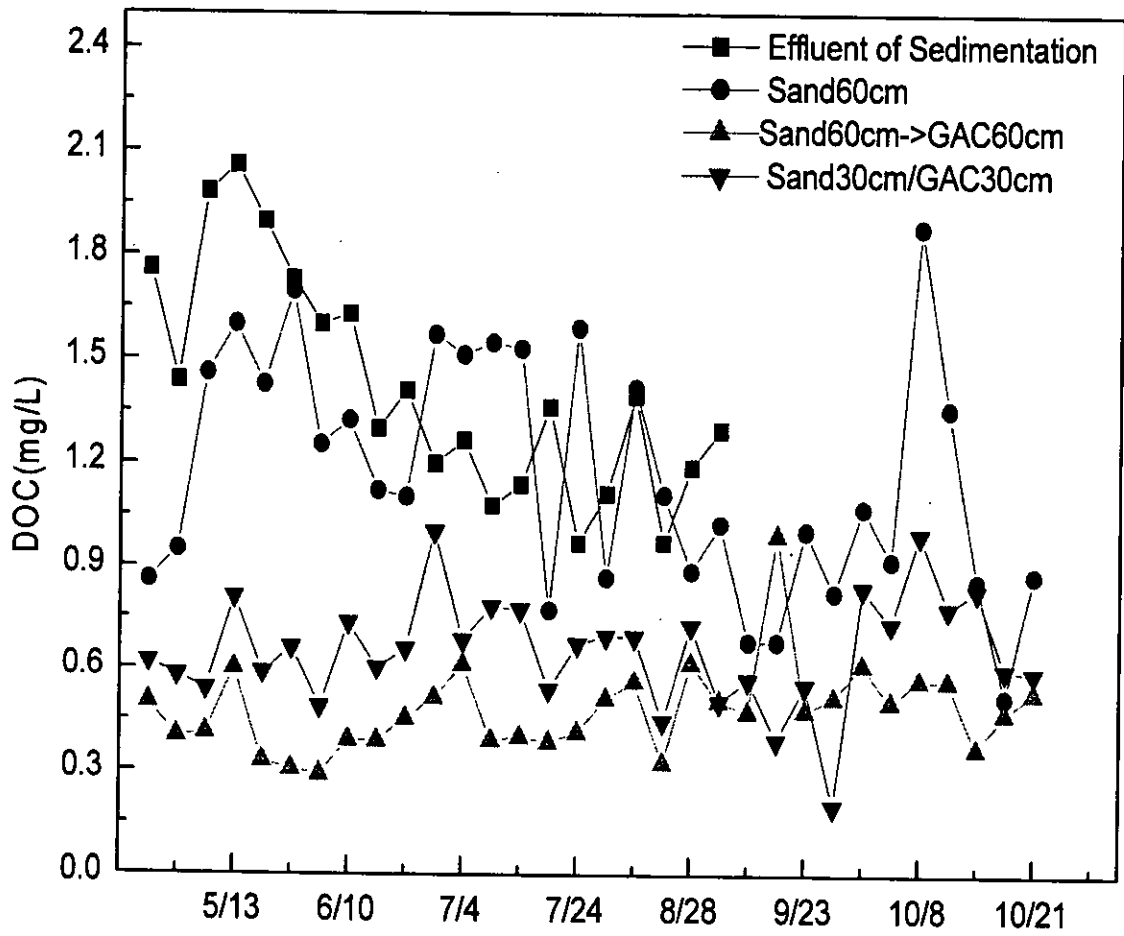


圖 4.3-11 模廠三組濾床出流水 DOC 之變化情形 (92 年)

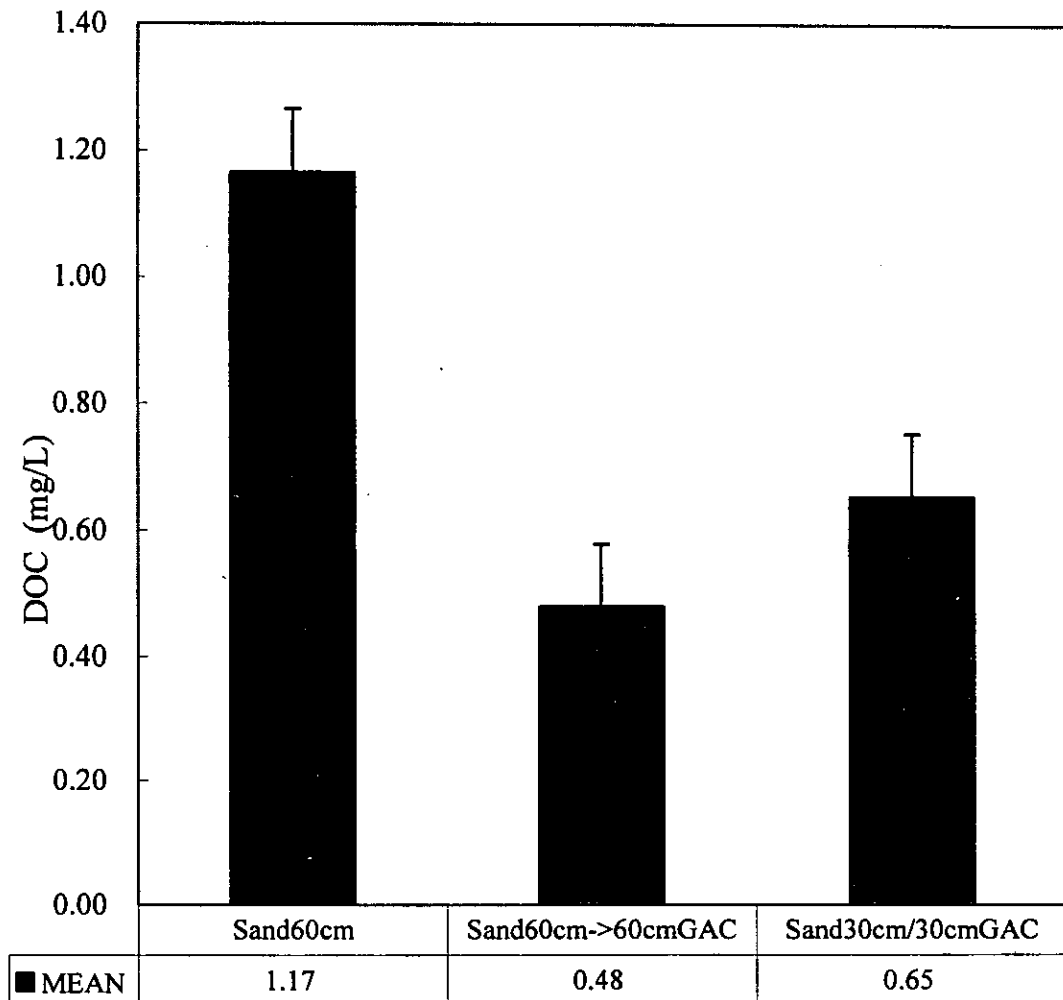


圖 4.3-12 模廠三組濾床出流水平均 DOC 之統計結果

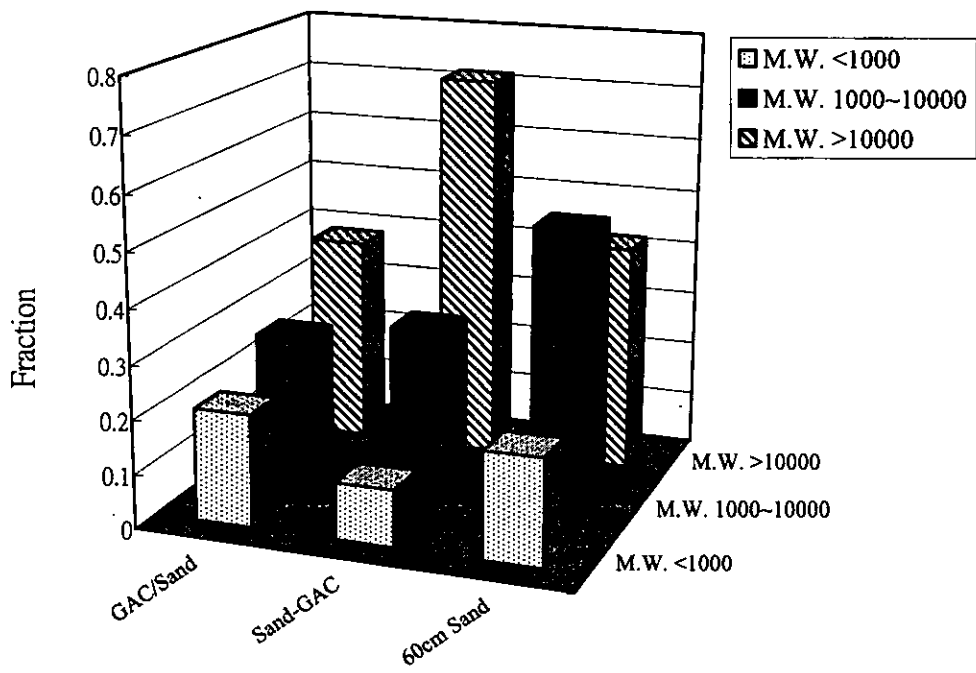


圖 4.3-13 比較三組濾床出流水中有機物分子量分佈情形(以 DOC 定量)

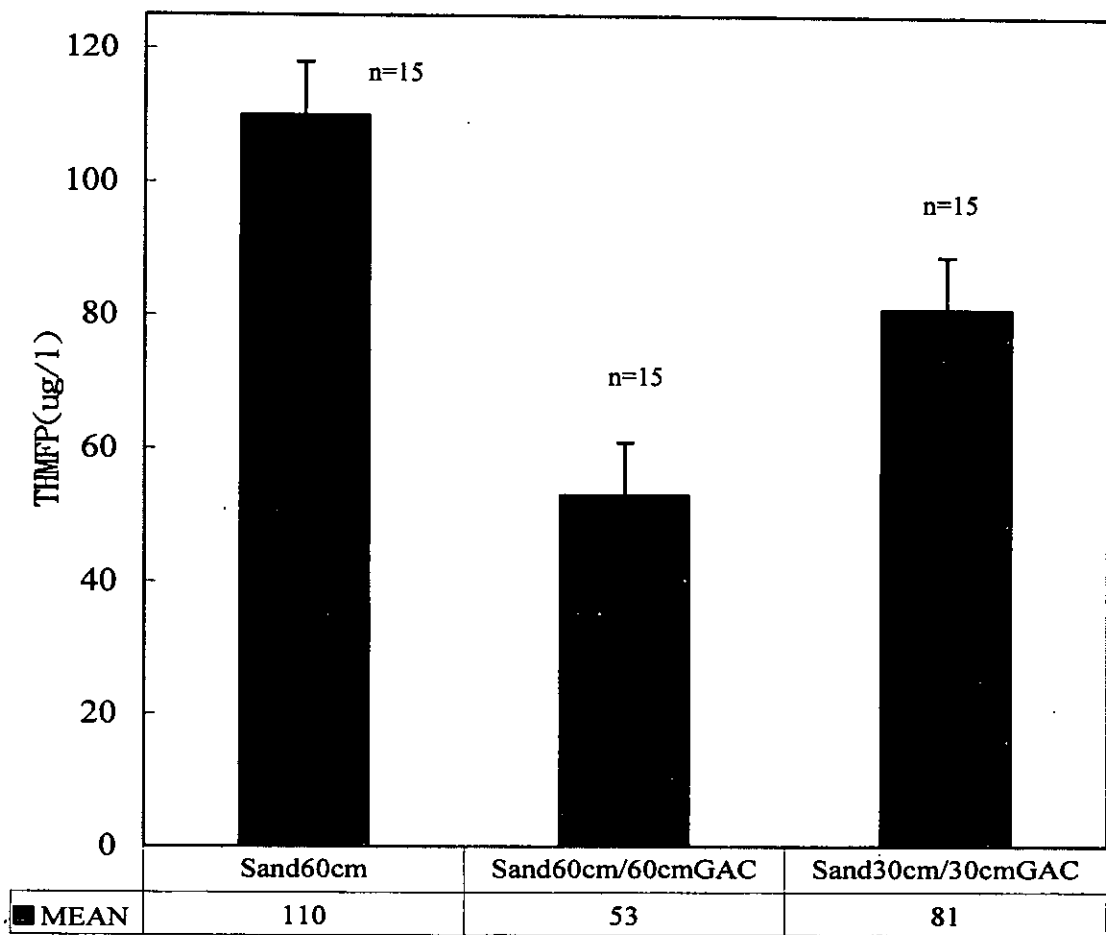


圖 4.3-14 模廠三組濾床出流水平均 THMFP 之統計結果

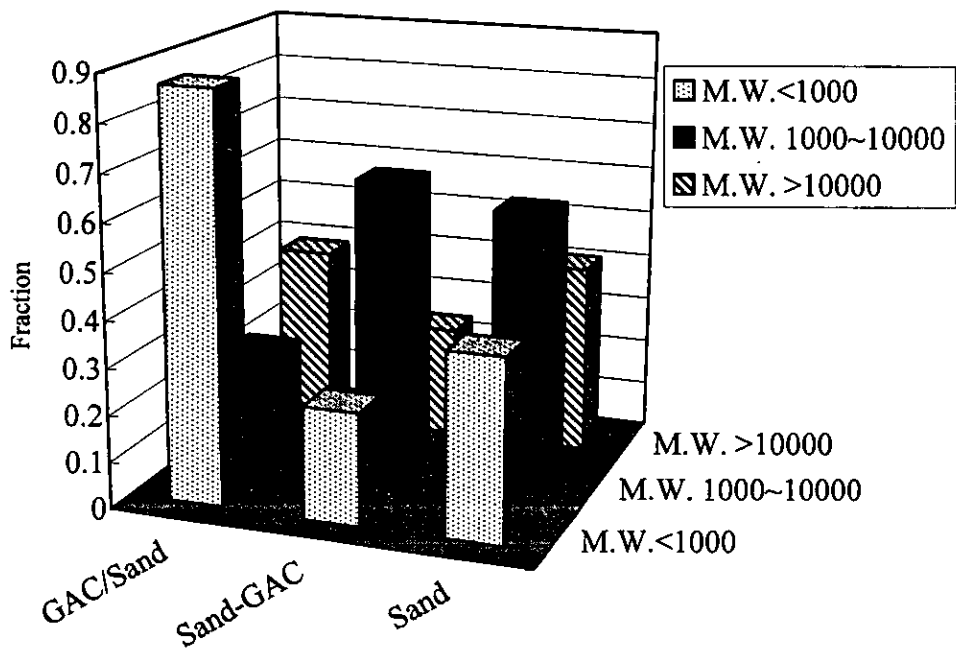


圖 4.3-15 比較三組濾床出流水中各類不同分子量有機物生成之 THMFP

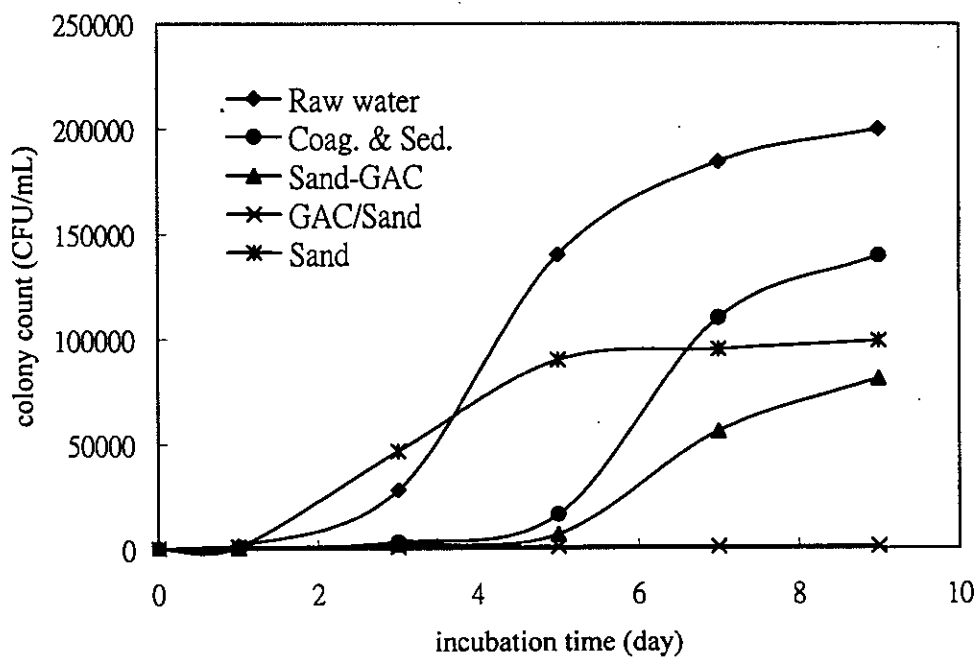


圖 4.3-16 AOC 分析過程 P17 菌之生長曲線

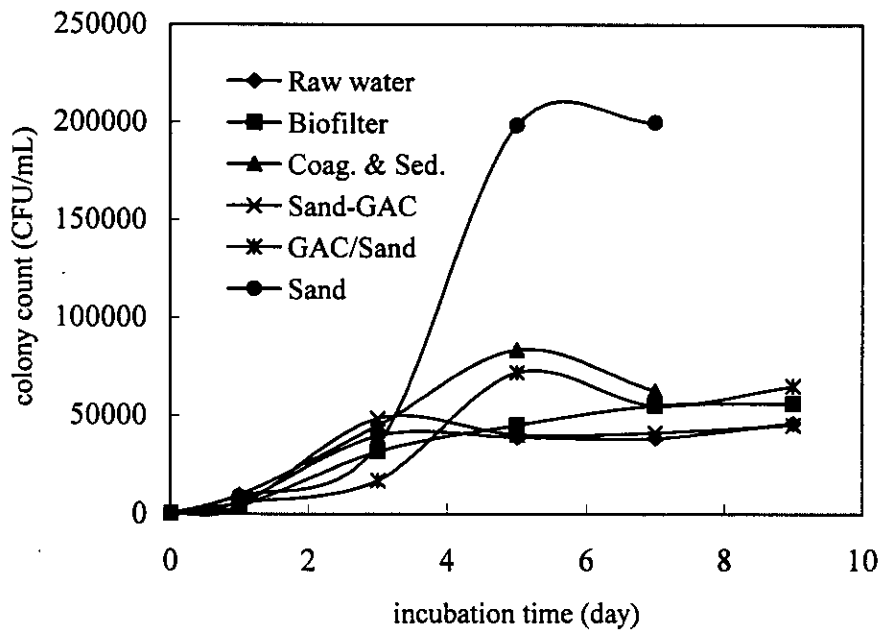


圖 4.3-17 AOC 分析過程 NOX 菌之生長曲線

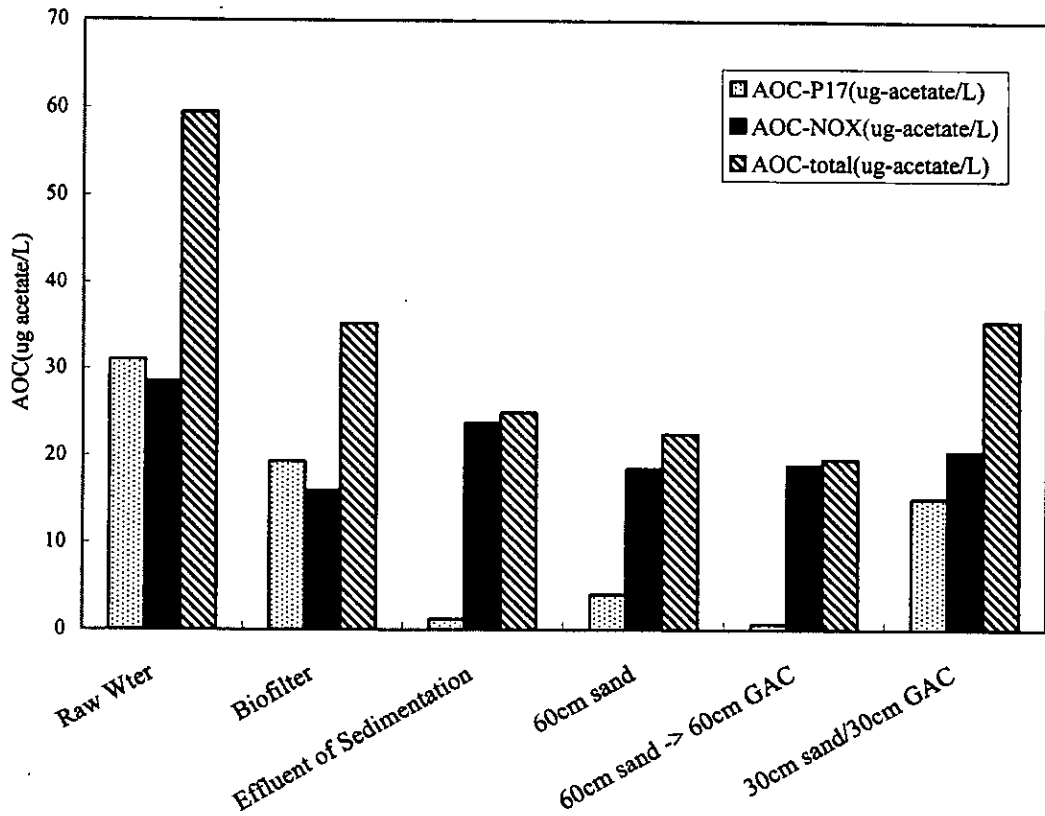


圖 4.3-18 比較模廠各單元出流水之生物穩定性參數 AOC 值

4.4 模廠試程試驗結果

4.4.1 模廠長期穩定試驗結果

模廠試驗之基本處理程序為原水/生物濾床/快混/慢混/沈澱，所有試程快混之進水則一律引自生物濾床 EBCT 30 分鐘之出流水。圖 4.4-1 為鳳山模廠 91 年 12 月至 93 年 10 月間各單元操作之濁度變化情形。另圖 4.4-2 為各單元操作平均濁度之統計結果。圖中顯示在 8~10 月間因雨季來臨濁度值有較大跳動情形，其餘則可維持在 6 NTU 以下之進水，原水濁度平均值約 6.8 NTU，經生物濾床後降至 3.1 NTU，最後混沈出水為 1.1 NTU。

圖 4.4-3 為模廠各程序 DOC 變化情形，1~6 月中旬間，原水 DOC 濃度約介於 2.0~3.2 mg/L 間，這期間因偶爾發生雨水稀釋作用導致 DOC 濃度變化。6 月中旬以後則因豐水期導致 DOC 普遍降低，約為 1.3~2.0 mg/L。原水經生物濾床處理後平均去除率約 28% (圖 4.4-4 所示)，而在混沈單元之平均去除率約 9%。

圖 4.4-5 為模廠各程序 A₂₅₄ 變化情形，原水 A₂₅₄ 值約介於 0.03~0.06 cm⁻¹ 間，而在 4~6 月間 A₂₅₄ 值偏高，致使後續處理單元之 A₂₅₄ 值亦偏高，6 月中旬後則明顯低於 0.045 cm⁻¹。圖 4.4-6 為各單元對 A₂₅₄ 值之去除率比較，生物濾後水平均去除率約 10%，在混凝沈澱單元則有較佳去除效果，約 15% 之去除率，此亦符合混凝對於含苯環或共軛雙鍵類疏水性有機物有較好去除效果。

整體而言，原水至沈澱出水共可去除 A₂₅₄ 約 25%，且去除效果隨著原水 A₂₅₄ 值升高而提高。

消毒副產物生成潛勢變化情形如圖 4.4-7、圖 4.4-8 所示，從 5 月起取樣分析，原水之 THMFP 約介於 100~300 ppb 間，平均為 239 ppb，經生物濾床程序其出流水 THMFP 平均為 201 ppb，去除率達 16%，而混凝沈澱後則再提供 28% 去除率，明顯可看出 THMFP 主要在混沈程序有較佳去除效果。另外，原水、生物濾後水、沈澱出水之平均 HAAFP 分別約 120、86、76 ppb，生物濾床及混凝沈澱對 HAAFP 之去除率分別為 28%、12%，顯然在混沈階段對 HAAFP 之去除並未有如 THMFP 般顯著之貢獻。

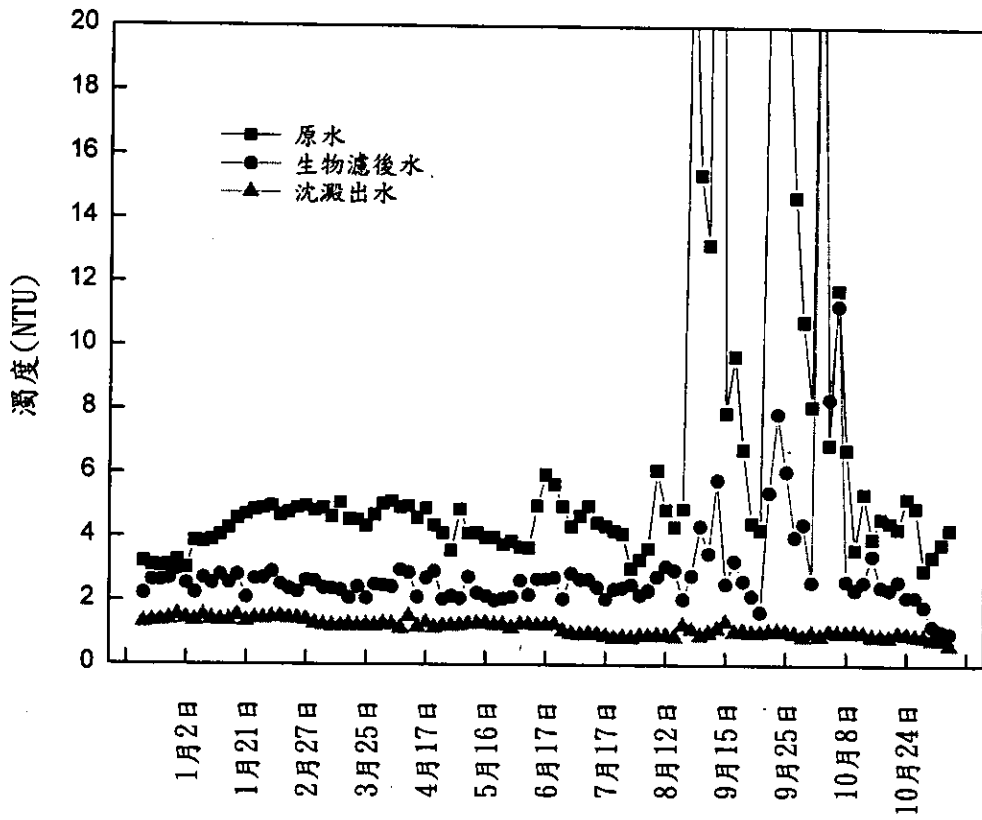


圖 4.4-1 模廠各單元操作濁度變化情形 (92 年)

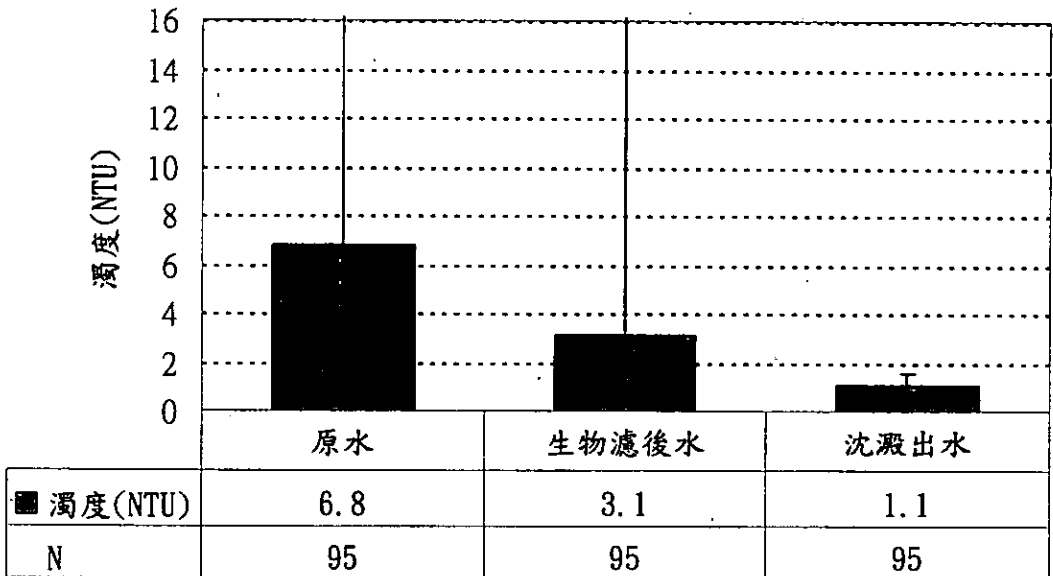


圖 4.4-2 模廠各單元操作平均濁度之統計結果

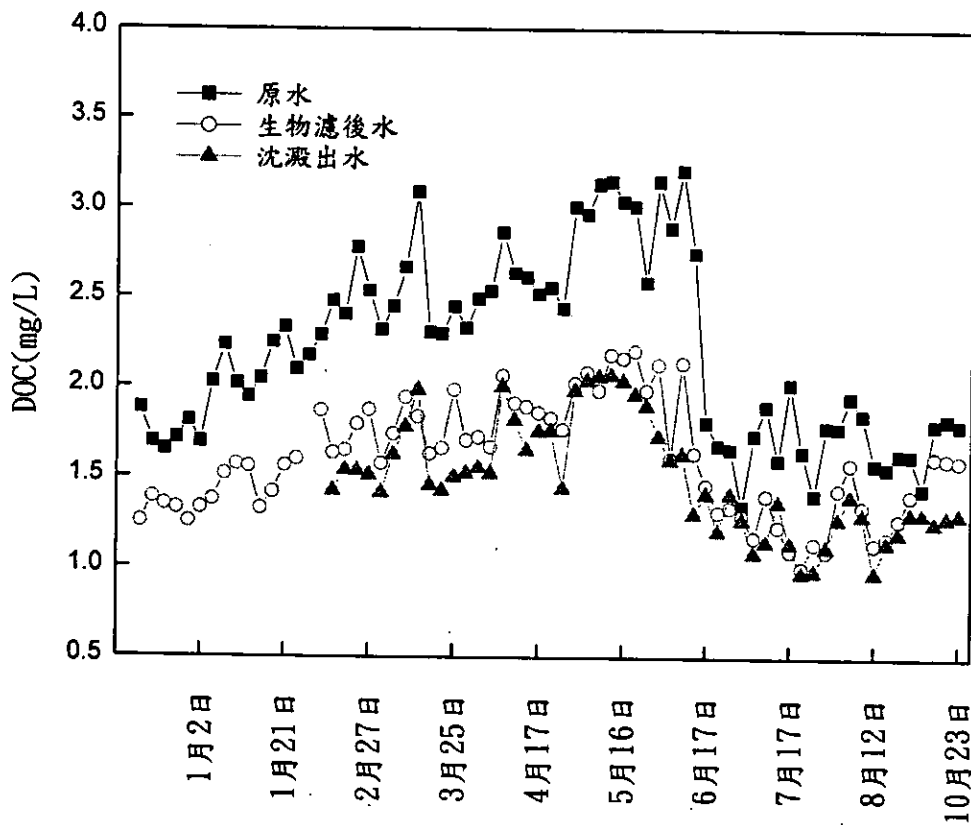


圖 4.4-3 模廠各程序 DOC 之變化情形 (92 年)

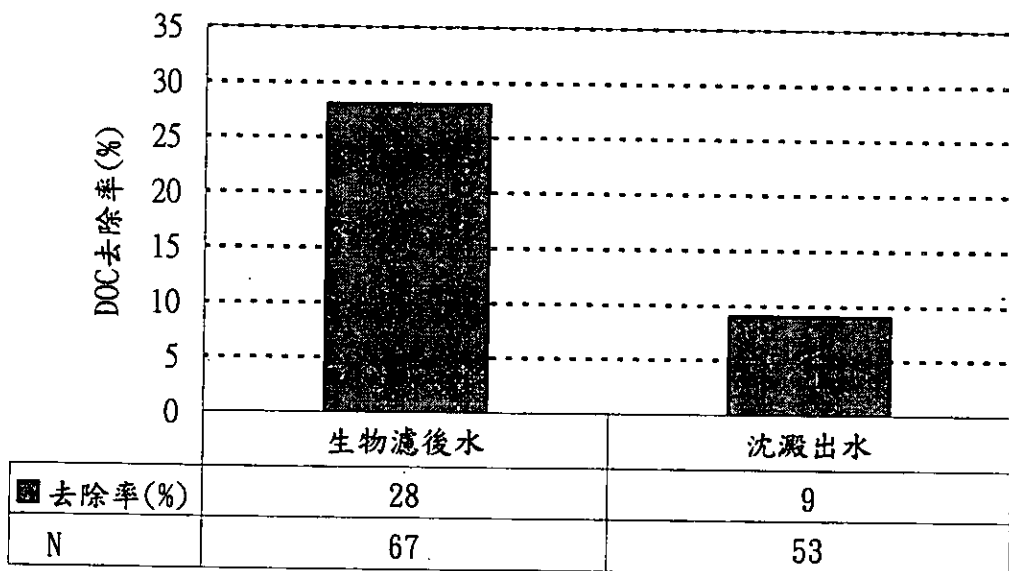


圖 4.4-4 模廠各程序 DOC 之平均去除率

註：生物濾床去除率定義： $(\text{原水 DOC} - \text{生物濾後水 DOC}) / \text{原水 DOC}$ ，混沈單元之去除率： $(\text{生物濾後水 DOC} - \text{沈澱出水 DOC}) / \text{生物濾後水 DOC}$

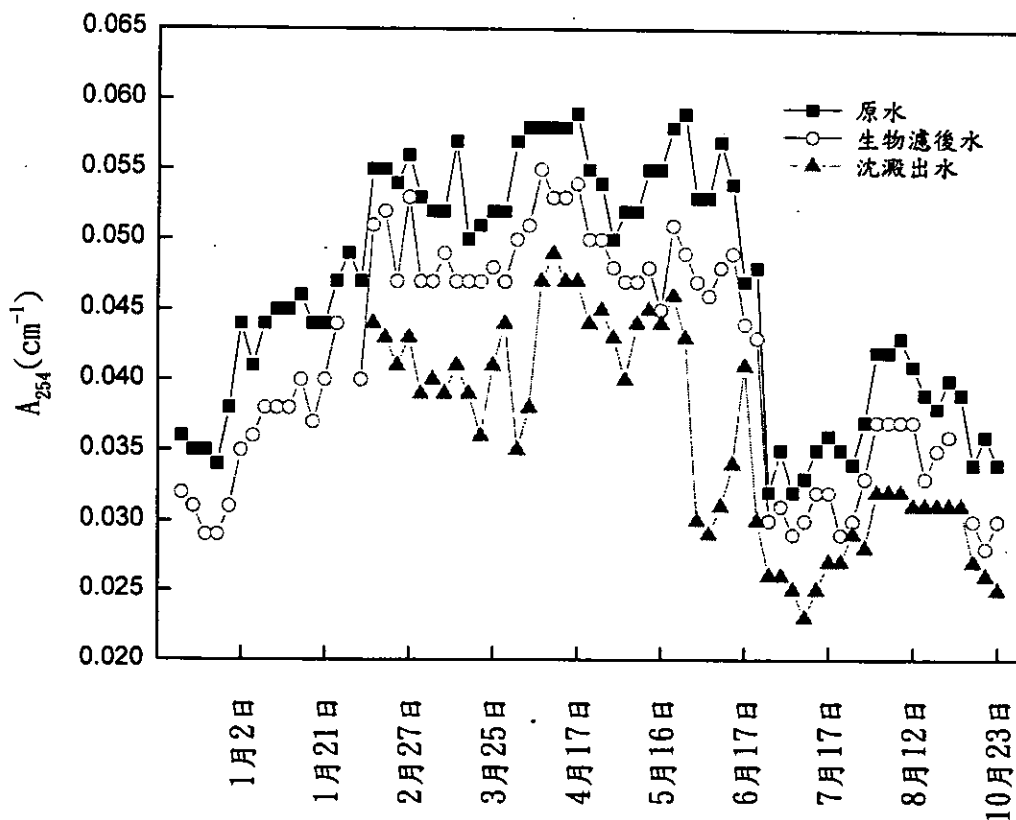


圖 4.4-5 模廠各程序 A₂₅₄ 之變化情形 (92 年)

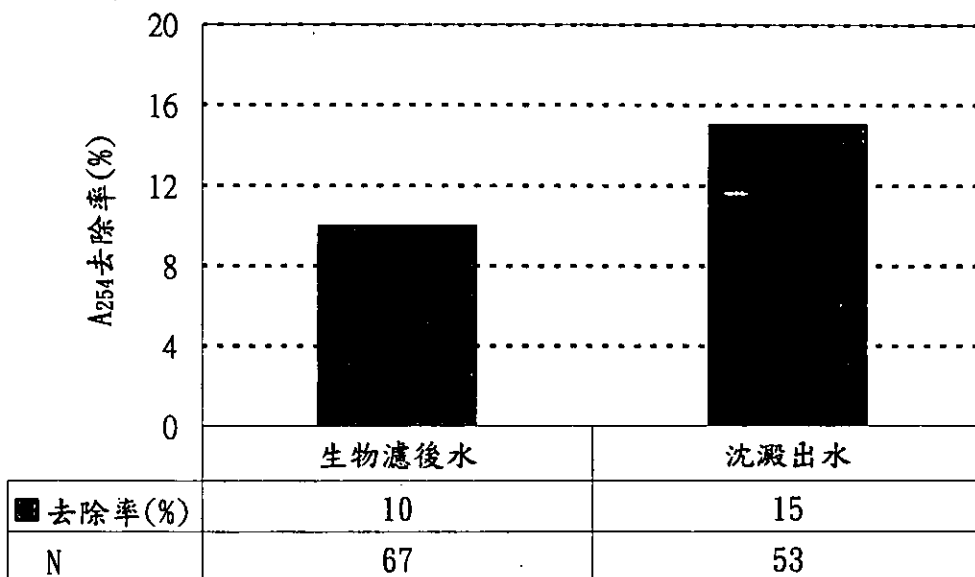


圖 4.4-6 模廠各程序 A₂₅₄ 之平均去除率

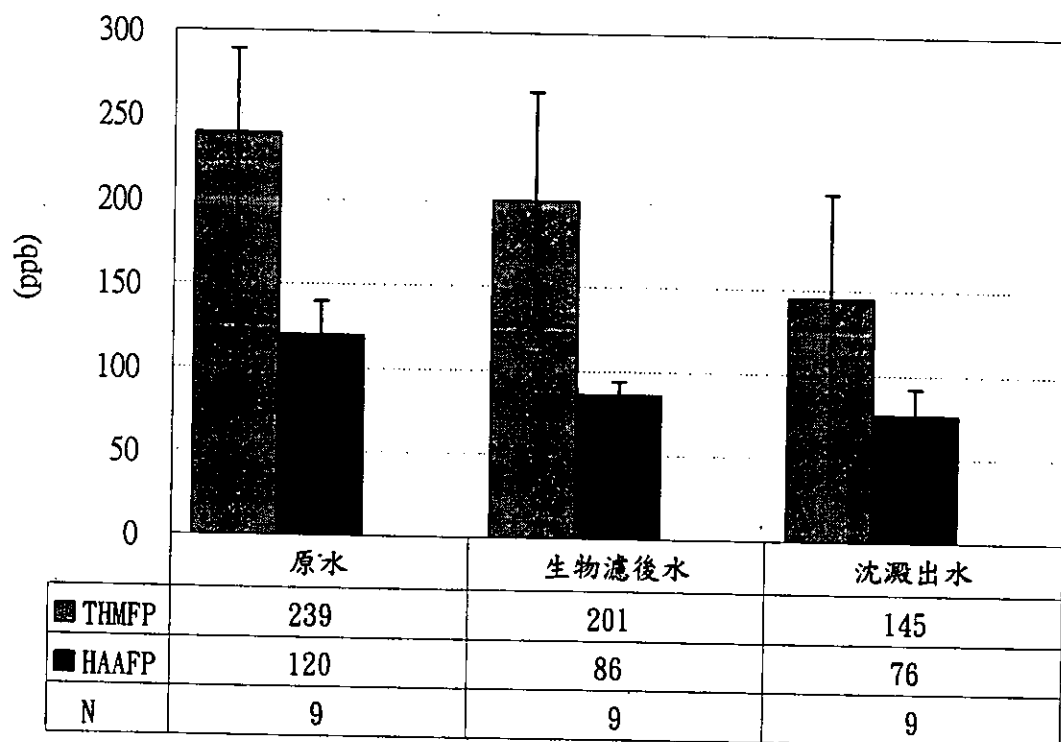


圖 4.4-7 模廠各程序消毒副產物生成潛能平均值

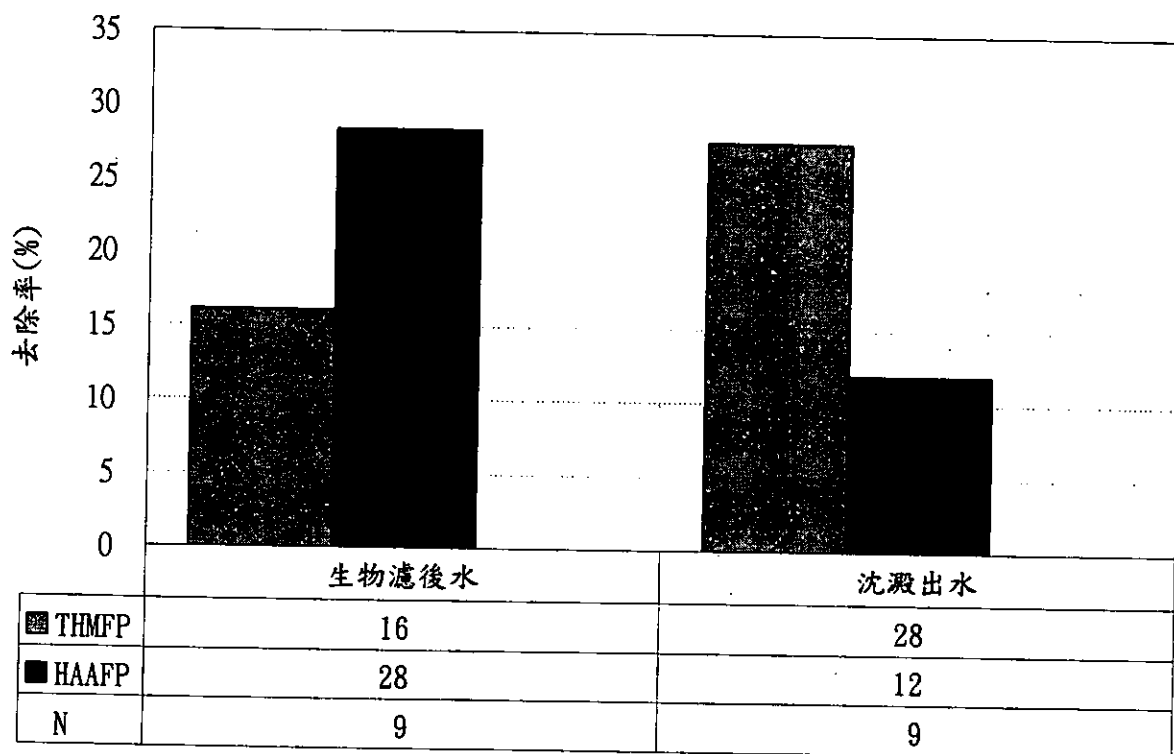


圖 4.4-8 模廠各程序消毒副產物生成潛能平均去除率

4.4.2 替代氧化劑試程結果

替代氧化劑之試驗主要進行二項試程，試程 A 為高錳酸鉀試程，試程 B 為二氧化氯試程，其試程時間如表 4.4-1 所示，5 月以前因二氧化氯產生機故障，故在此期間試程 A 為主要試程，5 月至 9 月間進行試程 B，9 月以後則實施不加氧化劑之傳統淨水程序。

試程 A-1：生物濾床/前高錳酸鉀氧化/混凝/沈澱

試程 A-2：生物濾床/混凝/沈澱/後高錳酸鉀氧化

試程 B-1：生物濾床/前二氧化氯氧化/混凝/沈澱

試程 B-2：生物濾床/混凝/沈澱/後二氧化氯氧化

表 4.4-1 氧化試程日程表

流程	日期 (92 年)
前高錳酸鉀 0.47 ppm	2 月 20 日~27 日、4 月 17 日~18 日
後高錳酸鉀 0.47 ppm	3 月 4 日~13 日、4 月 15 日~16 日
前高錳酸鉀 1.0 ppm	3 月 20 日~4 月 7 日、4 月 28 日~29 日
後高錳酸鉀 1.0 ppm	4 月 8 日~14 日、5 月 6 日~7 日
前二氧化氯 1.0 ppm	5 月 26 日~30 日、6 月 9 日~20 日、8 月 4 日~8 日 8 月 18 日~28 日、9 月 15 日~25 日
後二氧化氯 1.0 ppm	5 月 12 日~23 日、6 月 2 日~6 日、8 月 11 日~15 日
前二氧化氯 1.5 ppm	7 月 9 日~18 日
後二氧化氯 1.5 ppm	7 月 21 日~8 月 1 日

圖 4.4-9、4.4-10 為前述各試程中添加氧化劑後混沈出水 DOC 之變化情形及去除率。各項去除率之計算如下定義：

- 一、背景值之去除率： $[\text{生物濾後水 DOC} - \text{沈澱出水 DOC}] / \text{生物濾後水 DOC}$ 。
- 二、前氧化之去除率： $[\text{生物濾後水 DOC} - (\text{前氧化/沈澱出水})\text{之 DOC}] / \text{生物濾後水 DOC}$ 。

三、後氧化之去除率： $[生物濾後水 DOC - (沈澱/後氧化出水)之 DOC] / 生物濾後水 DOC$ 。

圖 4.4-9 中未添加氧化劑之混沈出水 DOC 約介於 0.9 ~ 2.1 mg/L 間，各試程混沈出水之 DOC 值均隨著其背景值而稍有變化。

在高錳酸鉀試程期間，不論是混前或混後加入高錳酸鉀均可降低 DOC，其平均去除率均高於 11 %。前氧化試程間，劑量為 0.47 ppm 平均去除率為 17.4 %，較劑量為 1.0 ppm 去除率稍高出 1 %，顯見提高劑量達 1.0 ppm 時，對 DOC 並無漸次升高之去除效果，可能因高錳酸鉀加藥劑量過高造成效果不彰，陳氏(1999)以高錳酸鉀氧化鳳山原水發現添加較高高錳酸鉀劑量時則會導致有機物表面官能基改變，反而不利於混凝沈澱去除。此外，比較混前及混後之 DOC 去除率可發現，混後加入 0.47 ppm 高錳酸鉀其 DOC 平均去除率為 15.8 %，略低於混前加入同劑量氧化劑之 DOC 去除率(平均約低 1.6 %)，混前有較佳之去除效果應是添加高錳酸鉀後會生成之二氧化錳膠羽，可促進後續混凝沈澱效果所致，然前後氧化去除率雖皆達 10 % 以上，但如就 DOC 值本身差異，則僅只 0.1 mg/L 左右之程度，並非一顯著差異，比較前後氧化之差異恐亦無太大意義。

另在二氧化氯試程期間，添加二氧化氯前氧化劑後之混沈出水 DOC 均較未添加時之背景值為低，去除率亦由原來之 9.5 % (1.0 ppm)、7.7 % (1.5 ppm) 分別提升至 16 % (1.0 ppm) 與 12.8 % (1.5 ppm)，顯然添加二氧化氯確可增加水中 DOC 之去除，但如比較 1.0 ppm 及 1.5 ppm 之去除率結果，卻發現添加較高劑量並未提供較高之去除率。理論上氧化劑增加應會有利於反應量之增加，針對此點，本研究群推測可能是 DOC 值偏低所致，尤其在進行 1.5 ppm 劑量時其生物濾床出水 DOC 更低於 1.0 ppm 時，其所能參與反應之可能對象更少。另外，混前與混後 DOC 之比較上，在前氧化劑劑量為 1.0 ppm 時比同劑量後氧化具較佳去除效果，推測此乃生物濾後水經二氧化氯氧化後，部分大分子行礦化作用，且氧化後 DOC 分子量大部份介於 1000 ~ 10000 或超過 10000 區間(如表

4.4-2 所示)，最後則可再運用混凝沈澱程序去除，故添加前氧化劑二氧化氯可再增加整體沈澱出水對 DOC 之去除率；然在混沈後加入二氧化氯其去除率分別降至 6.9 % (1.0 ppm)、4.8 % (1.5 ppm)，去除效率不甚理想，甚至出現反效果，推測此應是混沈出流水經二氧化氯氧化後破壞有機碳結構或是藻類崩解釋出有機碳，在礦化作用不明顯狀況下，導致溶解性有機物質增加，並且隨著氧化劑劑量漸次提高，影響其 DOC 去除效果，另由表 4.4-2 分子量分佈結果顯示，混沈後加入二氧化氯其 DOC 則較多分佈在分子量小於 1000 之區間。

整體而言，氧化試程中前高錳酸鉀 0.47 ppm、前二氧化氯 1.0 ppm 此二試程 DOC 去除率分別為 17.6 %、16 %，具較佳之 DOC 去除效果。

表 4.4-2 各氧化試程 DOC 分子量分佈情形

試程	取樣點	分子量範圍		
		<1000	1000-10000	>10000
	原水	0.50	0.91	1.01
	生物濾後水	0.24	0.41	0.68
前二氧化氯 1.0 ppm	生物濾後水+混前氧化劑	0.29	0.75	0.9
	沈澱水	0.31	0.26	0.79
	混前氧化劑+沈澱水	0.26	0.50	0.27
後二氧化氯 1.0 ppm	沈澱水	0.24	0.25	0.28
	沈澱水+混後氧化劑	0.51	0.22	0.28

註：DOC 單位為 mg/L

氧化試程之 A₂₅₄ 變化情形如圖 4.4-11、4.4-12 所示，混沈出水之 A₂₅₄ 約介於 0.02~0.05 cm⁻¹ 間，加入氧化劑均可降低 A₂₅₄ 值。添加前氧化劑高錳酸鉀 1.0 ppm 其 A₂₅₄ 去除率為 21.3 %，增加劑量達 1.0 ppm 則無預期增加之效果，反而比前述結果稍低 1.3 %，推測其原因仍是較高錳酸鉀劑量時改變有機物表面官能基，降低混凝沈澱去除效率。此外，高錳酸鉀後氧化試程中，添加劑量為 0.47 ppm、1.0 ppm 其 A₂₅₄ 去除率為 20.5 %、19.6 %，增加劑量去除效果並不顯見，此應是高錳酸鉀劑量 1.0 ppm 時會有高錳酸鉀顏色殘留，產生分光光度計分析之背景干擾，導致其去除效果不佳。二氧化氯試程 A₂₅₄ 去除率則比高錳酸鉀試程效果較為明顯，皆超過 24 %，此應是二氧化氯主要是進行有機碳結構上的破壞，導致 A₂₅₄ 降低幅度較大，其中不論是前或後氧化在劑量為 1.0 ppm 狀況下有最佳之去除率，約達 35 %。

THMFP 變化情形則如圖 4.4-13 所示，在未有二氧化氯之添加前，原混沈水之 THMFP 最大、最小值分別為 205、32 ppb，一經二氧化氯添加後(不論是混前或混後添加)則可分別降至 100、20 ppb 以下，顯見添加氧化劑對 THMFP 有良好控制功效，此應是加入氧化劑後混沈出水 DOC 或 A₂₅₄ 值降低之故。氧化劑劑量為 1.0 ppm 約有 50 % (去除 91 ppb) 之去除效果，而劑量提升為 1.5 ppm 時去除率雖達 89 % (去除 25 ppb)，但此可能因其背景值較低，故添加氧化劑後在些許去除效果時，其反應在去除率上則大幅增加。

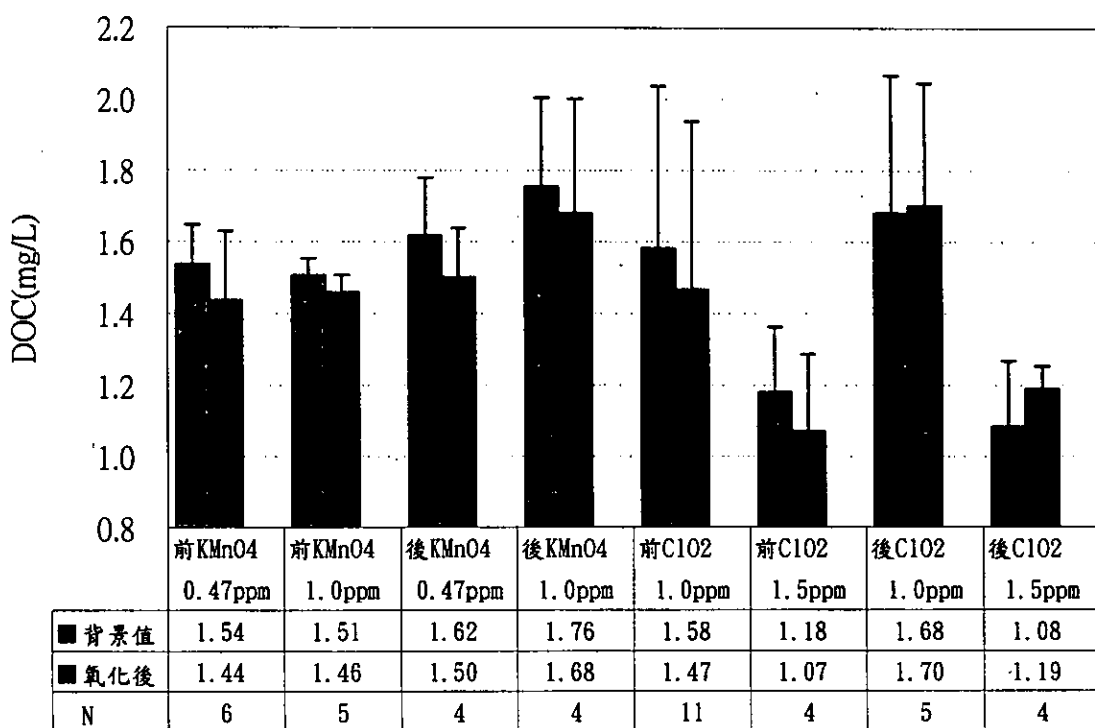


圖 4.4-9 各氧化試程 DOC 變化情形

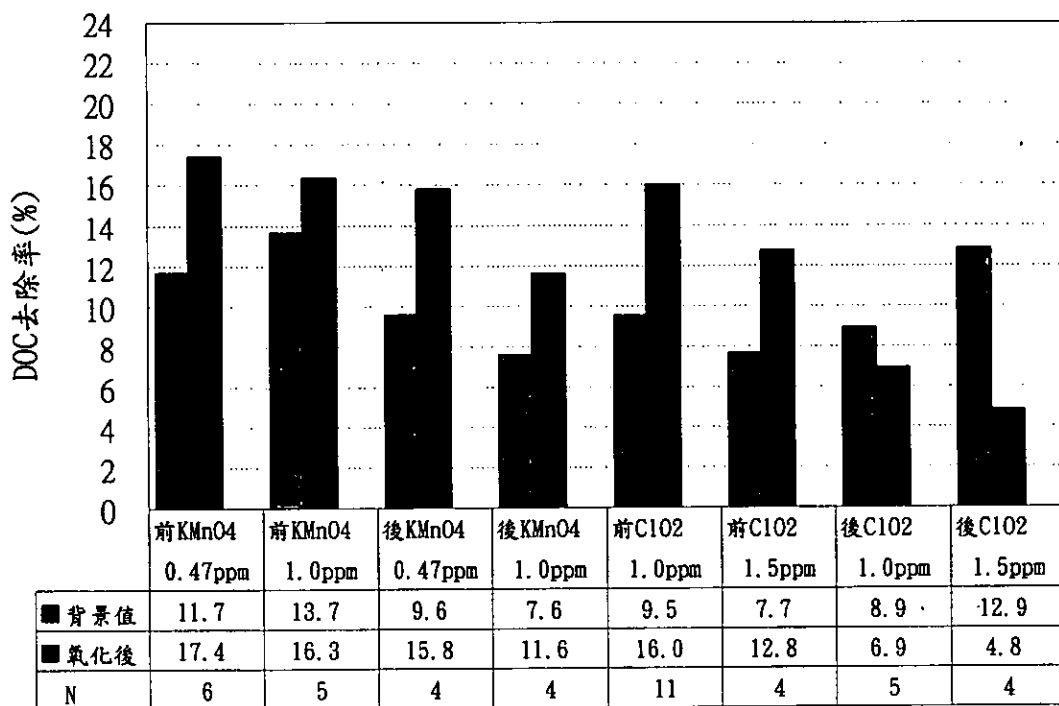


圖 4.4-10 各氧化試程 DOC 去除率

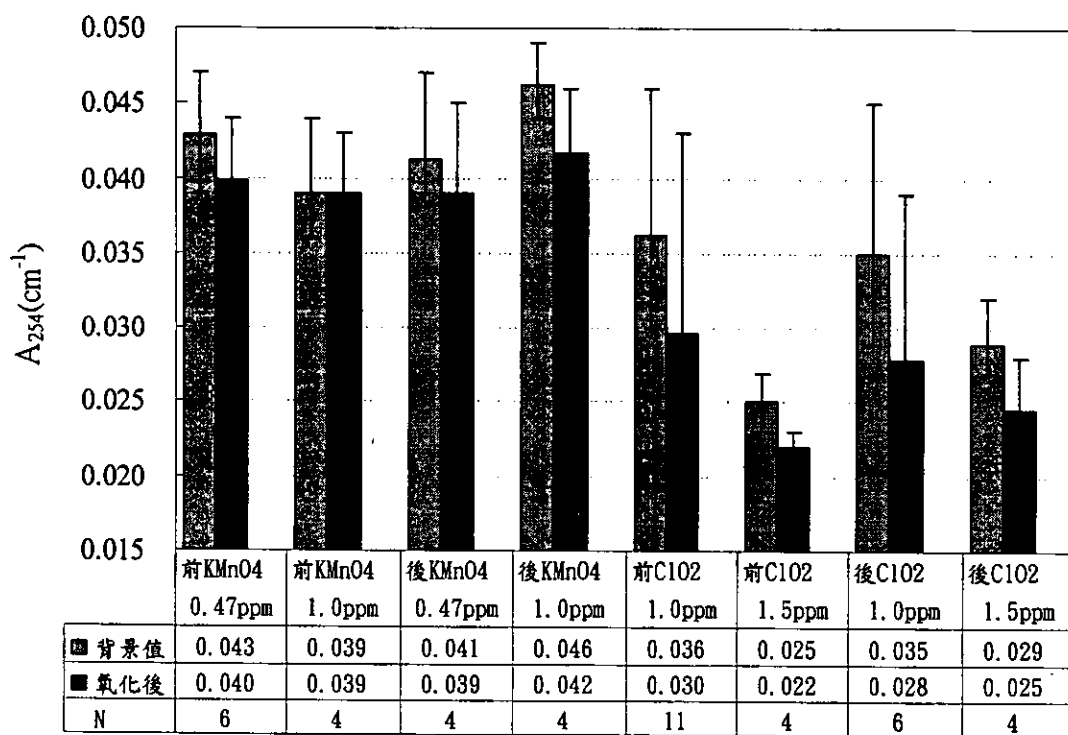


圖 4.4-11 各氧化試程 A₂₅₄ 變化情形

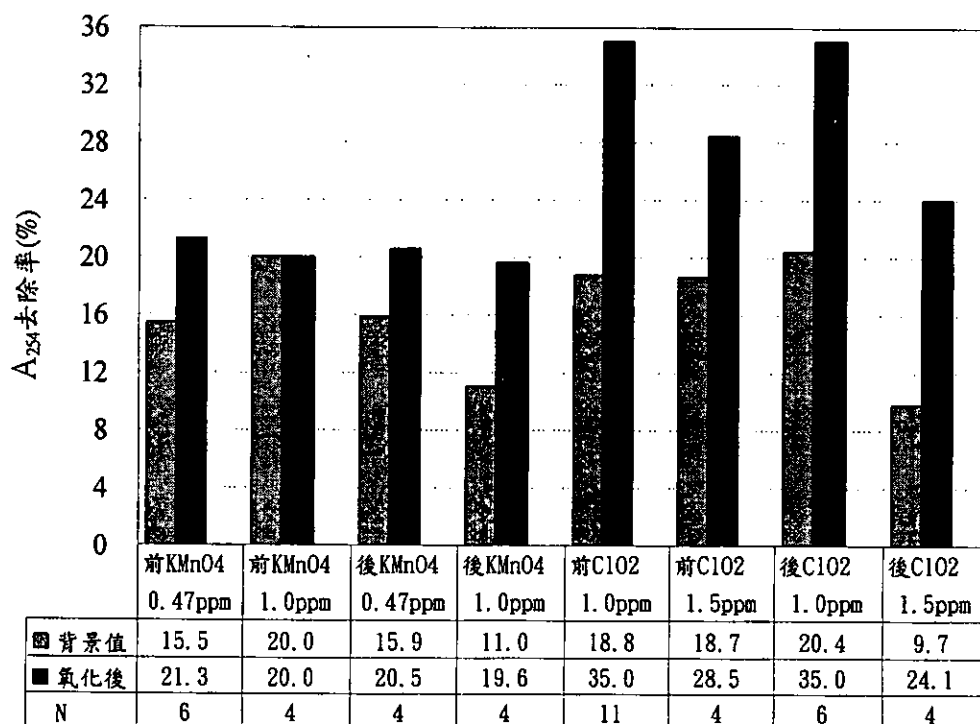


圖 4.4-12 各氧化試程 A₂₅₄ 去除率

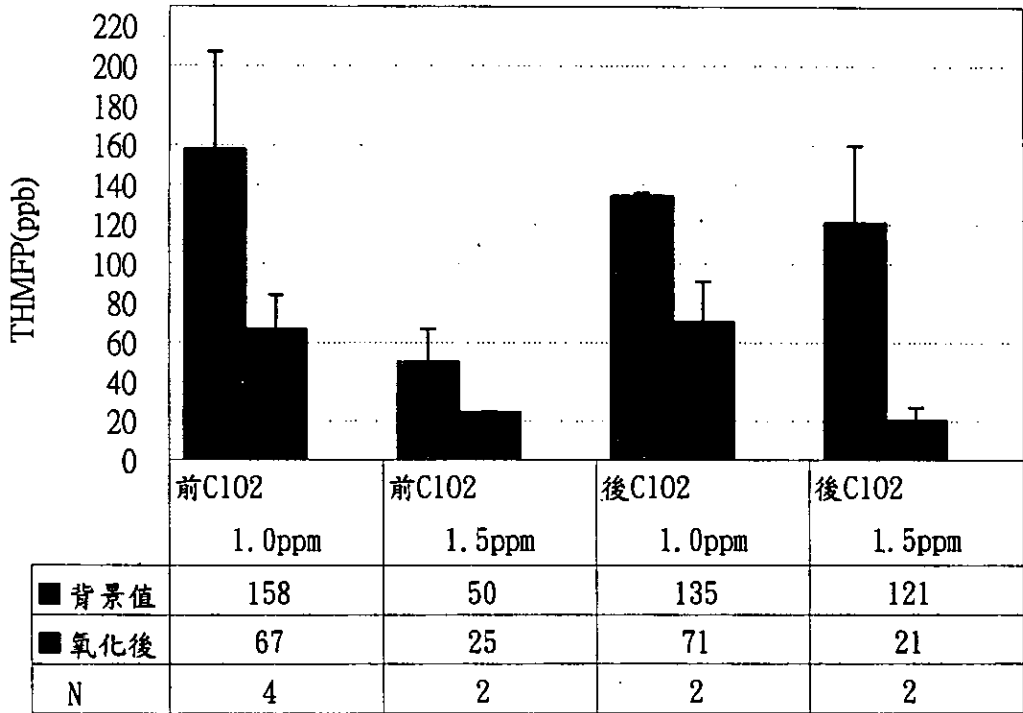


圖 4.4-13 各氧化試程 THMFPP 變化情形

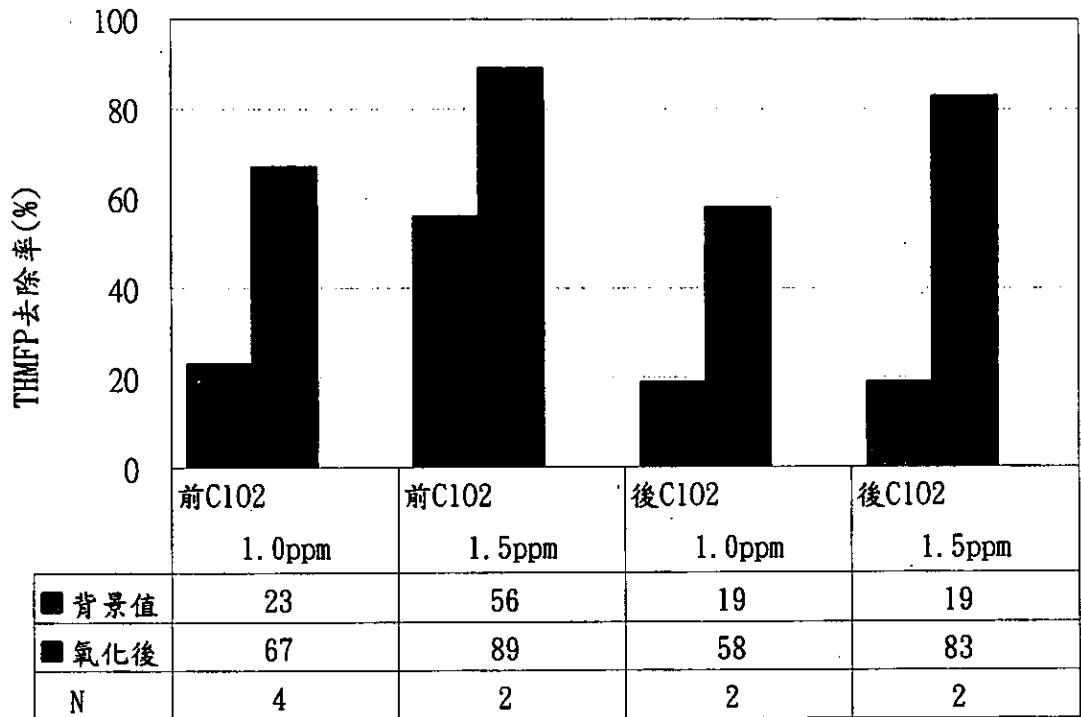


圖 4.4-14 各氧化試程 THMFPP 去除率

4.4.3 後消毒試程

本試程乃依據前節中氧化試程較顯著之流程及劑量實施後消毒試驗，試驗程序依序如下：原水/生物濾後水/前氧化(二氧化氯 1.0 ppm)/混凝沈澱/三組濾床/後消毒(氯或氯胺)，其試驗結果如表 4.4-3 所示。原水經上述淨水程序處理後，其出流水之 DOC、A₂₅₄ 皆低於 1 mg/L、0.02 cm⁻¹，GAC 出水部分更是低於 0.5 mg/L、0.011 cm⁻¹，此外，在後消毒添加氯或氯胺對 DOC 及 A₂₅₄ 之降低均無明顯效果。實廠則同步取當日二期東、西側清水作為比較，實廠出流水之 DOC、A₂₅₄ 值約 1.9 mg/L、0.024 cm⁻¹，DOC 較模廠出流水明顯高出約 1 mg/L 以上。另外，不論是模廠或實廠其大腸桿菌在消毒後皆約無法測出。消毒副產物方面，模廠出流水在現場加入適量次氯酸鈉，並於室溫狀況下將水樣送回逢甲實驗室檢測(從採集到實驗室分析共三天時程)，其 THM₃ 皆無法測出(THM₀ 表示於採樣時加入抑制劑以防止瓶中餘氯繼續反應生成 THM，THM₃ 則為採集後三天方添加抑制劑)；此外，亦同時採集實廠清水，所測得 THM₃ 約 130~160 ppb(因現場無添加抑制劑，故 THM₃ 較鳳山廠測值高)。

模廠操作期間亦在現場分析臭味(TON)，其結果如表 4.4-4 所示，原水之臭味 TON 測值約 4 或 6，最高則在 8 月間達到 8，此亦反應出鳳山水庫夏季時臭味較為顯著(去年亦有此情形發生)。經生物濾床後皆降至 2，接近人體嗅覺閾值，再經混凝沈澱後 TON 值均低於 1 以下。此外，以高錳酸鉀為氧化劑，不論混前或混後氧化均無臭味問題產生。而添加二氧化氯後混前氧化試程 TON 均低於 2 以下，但混後氧化試程則皆高於 2，且其 TON 值隨著二氧化氯劑量漸次提高，較人體容易察覺，推測此因二氧化氯本身在濃度較高時會產生一股貓尿味，而混前氧化時二氧化氯經混沈程序後，可能溢散於大氣中，致使 TON 值降低，但混後氧化則直接取樣於氧化後取水口，故濃度高其臭味則較易察覺，綜而言之，就二氧化氯去除 DOC 及 A₂₅₄ 之有效劑量使用下，不論是採混前添加或混後，其反而不利臭味值之控制。

表 4.4-3 鳳山實廠與模廠清水之比較

			DOC (mg/L)	A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	餘氯 (mg/L)	大腸桿菌群 (CFU/100mL)	THM ₃ (ppb)
模廠	石英砂濾 60cm +GAC60cm	消毒前	0.36	0.003	—	ND	ND
		消毒後 (加氯胺 1.49ppm)	0.54	0.010	1.38	ND	ND
		消毒後 (加氯 1.72ppm)	0.42	0.006	1.57	ND	ND
	GAC30cm/ 石英砂濾 30cm	消毒前	0.49	0.006	—	1	ND
		消毒後 (加氯胺 1.24ppm)	0.42	0.011	1.39	ND	ND
		消毒後 (加氯 1.49ppm)	0.50	0.006	1.72	ND	ND
	石英砂濾 60cm	消毒前	1.00	0.019	—	1	ND
		消毒後 (加氯胺 1.21ppm)	1.08	0.015	1.53	ND	ND
		消毒後 (加氯 1.41ppm)	0.99	0.014	1.61	ND	ND
實廠 二期	西側	消毒後 (於混凝前加氯 7.41ppm)	1.96	0.024	0.8	ND	160

表 4.4-4 模廠各處理程序臭味(TON)之比較

日期 (92 年)	原水	生物濾 後水	沈澱出水	混凝前氧化沈澱出水	
7月9日	4	2	<1	ClO ₂	1.5 ppm 2
7月18日	4	2	<1		1.5 ppm 2
5月14日	4	2	<1		1.0 ppm 2
8月4日	4	2	<1		1.0 ppm 2
8月12日(91年)	6	2	<1		0.5 ppm <1
8月13日(91年)	8	2	<1		0.5 ppm <1
4月1日	4	2	<1	KMnO ₄	1.0 ppm <1
4月3日	4	2	<1		1.0 ppm <1
4月16日	4	2	<1		0.47 ppm <1
4月18日	4	2	<1		0.47 ppm <1
				混凝後氧化沈澱出水	
7月21日	6	2	<1	ClO ₂	1.5 ppm 6
7月30日	8	2	<1		1.5 ppm 8
8月13日	8	2	<1		1.0 ppm 2
8月15日	8	2	<1		1.0 ppm 2
8月22日(91年)	6	2	<1		0.5 ppm 2
5月7日	4	2	<1	KMnO ₄	1.0 ppm <1
4月10日	4	2	<1		1.0 ppm <1
3月13日	4	2	<1		0.47 ppm <1
4月15日	4	2	<1		0.47 ppm <1

4.4.4 模廠最佳處理程序成本概算與試程可行之組合

一、生物濾床前處理經濟效益概算

鳳山水庫原水之氨氮在枯水期平均濃度為 5.21 mg/L，生物濾床前處理之氨氮去除率 95%，氨氮之去除量為 5.0 mg/L，一般折點加氯之加氯量以氨氮濃度之 10 倍計算，鳳山水庫原水經生物濾床前處理，至少可節省 50 mg/L 之加氯量（因未計入 DOC 去除所減少之加氯量）。鳳山水庫以每日供應 20 萬噸原水計算，每天可節省 10,000 Kg 之加氯量（ $200,000 \text{ m}^3/\text{day} \times 50 \text{ g/m}^3$ ），自來水公司每公斤氯之購入價格約為 7.5 元，則每噸水得以減少 0.41 元之預氯操作成本，每天可節省 82,500 元（每年可節省約 1700 萬元，枯水期以 7 個月計算）之加藥成本。

為計算生物前處理之初設成本，假設鳳山水庫以每日供應 20 萬噸原水計算，若生物濾床前處理之 EBCT 訂為 5、10、20、30 分鐘，則生物濾床之有效體積分別為 694、1,389、2,778、4,167 m^3 ，總體積以有效體積之 1.2 倍計算，生物濾床之體積分別為 833、1,667、3,333、5,000 m^3 ，以下分別以土木工程、機械工程、生物載體及試車工程四部分粗估工程初設成本如表 4.4-5 所示，各個 EBCT 下，生物濾床概估之初設成本各為 1,272、2,083、3,707、5,330 萬元。

由前面各節之實驗結果顯示，生物濾床前處理對濁度、DOC 與氨氮均具有不同程度之去除效果；以濁度而言，生物濾床之 EBCT 高於 5 分鐘時，其平均濁度去除效率為 40-50%，但延長生物濾床之 EBCT，並無提昇濁度之去除功能；生物濾床前處理對 DOC 之去除效率，則隨 EBCT 之延長而緩慢提昇，當 EBCT 為 10、20、30 分鐘時，DOC 之去除率分別為 17、22、24%；而生物濾床前處理對氨氮之去除功能，亦隨 EBCT 之增加而增加，當枯水期時，生物濾床 EBCT 為 5 分鐘時，氨氮之去除率達到 95% 以上，但再延長生物濾床之 EBCT，對提昇生物濾床之氨氮去除功能並不顯著。由以上之結果分析，在考慮工程施工難易度，與將來水質之變動性，鳳山水庫原水若採用生物濾床前處理，EBCT 宜設計為 10 分鐘，其概估之初設成本為 2083 萬元，若工程概估容許之誤差為 30

%，則 EBCT 為 10 分鐘，出水量為 200,000 CMD 之生物濾床前處理工程，其初設成本約為 2,700 萬元，生物載體每年之補充量以 10 % 估算，每年需 55 萬元，根據前述之估算，以生物濾床前處理取代預氣程序，每年約可節省 1700 萬元之加氣成本，故應用生物濾床前處理以去除鳳山水庫原水之氨氮，取代既有之預氣系統，應具有經濟效益，此工程概算不含抽水系統。

表 4.4-5 生物濾床前處理工程在不同 EBCT 下初設成本概算

項目	反應槽體積 (m ³)	土木工程 (萬元)	機械工程 (萬元)	生物載體 (萬元)	試車工程 (萬元)	初設成本 (萬元)
EBCT：5 分鐘	833	426	517	275	54	1,272
EBCT：10 分鐘	1,667	796	683	550	54	2,083
EBCT：20 分鐘	3,333	1,536	1,017	1,100	54	3,707
EBCT：30 分鐘	5,000	2,276	1,350	1,650	54	5,330

說明：1.土木工程：槽高度以 6 m、牆厚以 0.6 m 計算，每立方米鋼筋水泥以 10,000 元計算

2.機械工程：包括鼓風機與支撐系統（不含 pumping 系統），鼓風機 350 萬元 (235 KO₂/hr)，支撐系統每立方米空槽體積以 0.2 萬元計算

3.生物載體：每立方米空槽體積以 0.33 萬元計算

4.試車工程：包含動力費與人事成本計 54 萬元

動力費用 = 1 KwH/Kg O₂ × 2.0 元/ KwH × 5654 Kg O₂/day × 30 day = 34 萬元

人事成本 = 4 人 × 5 萬元/人 = 20 萬元

二、氧化程序成本

由 4.4.2 節氧化程序試驗結果可發現前二氧化氯(1.0 ppm)或高錳酸鉀(0.47 ppm)為較佳之程序，因此氧化試程之處理成本估算即以此條件為基礎。就模廠操作而言，其成本估計理應由現場之二氧化氯產生機所消耗之藥品及用電量等操作紀錄即可求得，但因本案試程變化較多，每次變化試程，二氧化氯即需重新調校，實際之耗藥量及用電量並無法確實反應真正操作情形，因此僅以理論反應進行推估。二氧化氯之產製乃根據表 4.4-6 之反應式進行(由線上即時產製)，經該反應式可知，理想狀態下產製之二氧化氯需 1.676 g 之 NaClO_2 與 0.54 g HCl 。依製造商建議現場乃使用 7.5 % 與 9 % 之工業級產品，換算後分別為 22.35 g NaClO_2 及 6.0 g HCl ，如再考慮反應完全性及藥劑純度下，預估分別需要約 30 g NaClO_2 及 10 g HCl 之劑量。根據供應商之報價，7.5 % NaClO_2 工業級與 9 % HCl 工業級之成本均為 240 元/Kg，因此，合理生產 1 g ClO_2 之藥劑成本為 9.6 元，在此單價下推估每處理一噸原水之成本則應為 9.6 元。至於高錳酸鉀在 0.47 ppm 加藥量下，其每噸水約需 0.7 g (1.5 倍安全係數)僅約需 0.22 元(工業級 KMnO_4 ：33 元/Kg)

另在硬體方面，假設僅採用一台二氧化氯機(型號：CDKa 8A02211E11、電源供應：220V/60Hz/3.5A、二氧化氯產製量：10000 g/h)，在處理水量為 200,000 CMD 情況之下，其初設成本約為 180 萬元(設機器折舊後約可回收成本 10%)，每日耗用電費約 55.44 元(以 1 度電費 3 元計算)，故每月動力及藥劑成本分別約需 1633 元及 57,600,000 元(不包含相關所需管線及 pump)。本計畫主要為試驗二氧化氯是否適用於鳳山水庫之水質特性及可能之操作條件，故高錳酸鉀之硬體設備經濟效益則無深入評估。

表 4.4-6 模廠最佳處理程序成本概算

	ClO ₂ (1.0 ppm)	KMnO ₄ (0.47 ppm)
藥劑	9.6(元)	0.22(元)
用電量	0.0002772(元)	—
機器設備(每 m ³)	9(元)	—
每 m ³ 成本	18.6002772(元)	0.22(元)

註 1：二氧化氯產製方程式： $5 \text{NaClO}_2 + 4 \text{HCl} \rightarrow 4 \text{ClO}_2 + 5 \text{NaCl} + 2 \text{H}_2\text{O}$

註 2：上表僅列出藥劑、用電及設備成本，且未計算 KMnO₄ 試程之用電及設備成本。

三、模廠整體試程可行之組合

表 4.4-7 為模廠最佳處理程序[原水/生物濾後水/前氧化(二氧化氯 1.0 ppm)/混凝沈澱/三組濾床/後消毒]之清水與飲用水水質標準之比較，然本計畫目的為提升鳳山淨水廠之傳統淨水程序效能，故無特別分析飲用水水質標準之要求項目，在此僅表列計畫期程內模廠清水與飲用水水質標準相同之分析項目，模廠最佳處理程序之清水均符合下表中所列飲用水水質標準之項目。

由上述生物濾床實驗結果、施工難易度及經濟效益評估，EBCT 宜設計為 10 分鐘，又模廠氧化試驗結果中，以前氧化(二氧化氯 1.0 ppm、高錳酸鉀 0.47 ppm)有較佳之去除效果，故建議二種較為可行之整體試程，分述如下：

一、原水/生物濾後水 (EBCT 10 min)/前氧化(二氧化氯 1.0 ppm)/混凝沈澱/石英砂 60 cm + GAC 60 cm。

二、原水/生物濾後水 (EBCT 10 min)/前氧化(高錳酸鉀 0.47 ppm)/混凝沈澱/石英砂 60 cm + GAC 60 cm。

表 4.4-7 模廠最佳處理程序清水與飲用水水質標準之比較

	飲用水 水質標準	60cmGAC+60cm 石英砂 (加氯胺 1.49ppm)	30cmGAC/30cm 石英砂 (加氯胺 1.24ppm)	60cm 石英砂 (加氯胺 1.21ppm)
Ecoli CFU/100ml	6	ND	ND	ND
初嗅數	3	<1	<1	<1
濁度 NTU	2	0.3	0.3	0.4
鉛 mg/L	0.05	ND	ND	ND
硒 mg/L	0.01	0.0002	ND	0.0002
砷 mg/L	0.01	0.0016	0.0017	0.0019
鉻 mg/L	0.05	0.005	0.0015	0.0018
鎘 mg/L	0.005	ND	ND	ND
汞 mg/L	0.002	0.00014	0.00030	0.00030
THMs ppb	100	ND	ND	ND

註：僅列出計畫期程內與飲用水水質標準相同之分析項目

4.5 現場污泥氈沉澱單元加強混凝操作評估

由於一期程序之水源改由高屏溪供應，因此本年度計畫執行之初，僅將仍使用鳳山水庫為水源之二期程序之現場污泥氈沉澱單元，作為研究加強混凝操作之評估對象，並兼顧二期程序東西兩側之處理效能。

圖 4.5-1、4.5-2、4.5-3、4.5-4 為 12/9/2002~9/18/2003 鳳山水廠污泥氈沉澱池操作之數據，圖中包括 TOC 去除率、濁度去除率及 A_{254} 去除率之變化，除了現場污泥氈沉澱單元除評估二期程序東西兩側之操作效能，更分別對兩不同硫酸鋁濃度下之污泥氈操作影響作延續性之分析。

在上年度計畫報告中，我們提出「污泥氈沉澱池出流水 DOC 值反較原水質之 DOC 值高，乃因污泥氈上吸附或阻留之有機物，在承受上升流速之剪力下隨被淘浙之污泥沖刷出來」之論點，本年度亦為在此論點下做進一步之觀察，由本年度結果顯示，則仍與上年度計畫結果相似，由污泥氈沉澱池出流之 A_{254} 值小於進流原水之 A_{254} 值看來，污泥氈沉澱池仍對大分子及膠體有機物較有實質之去除效率。

自上年度計畫混凝劑加藥量控制在 60 ppm，而 pH 值維持至 6.2 後，延續上年度之操作參數作長期觀察，期間二期東西側之出流水水質不論是在 TOC 去除率、濁度去除率及 A_{254} 去除率之變化，均與上年度計畫類似(見圖 4.5-1、4.5-2、4.5-3、4.5-4)，TOC 去除率仍呈現偏低(<20%)，而濁度則有 50% 以上的移除效果， A_{254} 減少率則平均有 39% 去除效果；在 6/24/2003 之後，混凝劑加藥量則降低至 40 ppm，而 pH 值提高至 6.8，隨著混凝劑量之降低，出流水之濁度並無明顯影響，故 pH 值升降研判對濁度去除率並無太大影響。

在 TOC 去除率方面，12/9/2002 至 9/18/2003 期間分別採用三種加藥控制策略，分別為 60 ppm 之混凝劑及 pH 6.4、60 ppm 混凝劑及 pH 6.2、40 ppm 混凝劑及 pH 6.8，以其探討混凝劑和 pH 對 TOC 去除率的影響，觀察初期(12/9/2002~2/27/2003)在 60 ppm 之混凝劑及 pH

6.4 時，東側(圖 4.5-1)或西側(圖 4.5-3)之 TOC 去除率並不高而維持在 20 % 以下，在中期(2/27/2003~6/19/2003)以後再添加硫酸藉以降低至 pH 6.2，雖然 pH 僅由 pH 6.4 小降至 6.2，但 TOC 去除率稍逐漸上升可達 10 % ~ 30 % (如圖 4.5-1、4.5-3)，而在觀察後期(6/19/2003 以後)，pH 不再調整而令其自然維持在 pH 6.8，會使得原先去除率已經不高的 TOC 之去除率則大幅度地下降甚至無去除率，顯示 pH 值降低確實對於 TOC 去除有實質效果。至於加藥控制策略對 A₂₅₄ 去除率影響方面，A₂₅₄ 去除率除了隨加藥控制策略發生小幅度波動以外，並沒有成顯明顯的變化趨勢，且仍能持續維持在 40 % 以上。

本次計畫觀察鳳山水質變化期間，水質監測末期(8/1/2003 後) TOC 移除效率驟然下降，除原先因 pH 值調升至 6.8 使 TOC 去除率效果降低外，而長期有機物進流而未有效提供適量的混凝劑以去除有機物，以及原先污泥氈藉由阻留及吸附作用移除原水中 TOC 達到吸附飽和，而逐漸釋出過多的有機物，以致於 TOC 之移除效率會呈現如此大幅度衰減，此現象同時發生在東西側污泥氈沉澱池之出流水水質中；期間鳳山水庫原水濁度介於 3.57 ~ 5.92 NTU，平均濁度為 4.68 NTU，而八月初~中旬期間大高雄地區每每下起午後雷陣雨，使得鳳山水庫原水濁度上升(10 ~ 30 NTU)，但由圖中趨勢顯示污泥氈對於濁度去除效果並不受較高濁度進流原水之影響，仍能提供 60 % 以上之去除效率，且濁度去除率反而逐步上升，此點可見污泥氈在穩定操作條件下，對突發性原水濁度上升的處理效能有較高的耐受能力。隨著較高濁度原水的進流，污泥氈高度短時間會急劇上升，適度排除老化(吸附飽和)且比重過重之沉積泥可使得污泥氈因而復性，相較於平時低濁度原水所呈現出之濁度去除率(60 %)，較高濁度之原水更能突顯出污泥氈對濁度的去除效率(90 %)，而原水中部分吸附在無機顆粒(濁度的產生者)上之有機物，則亦隨濁度顆粒的去除而促使 TOC 的移除率逐漸上升。

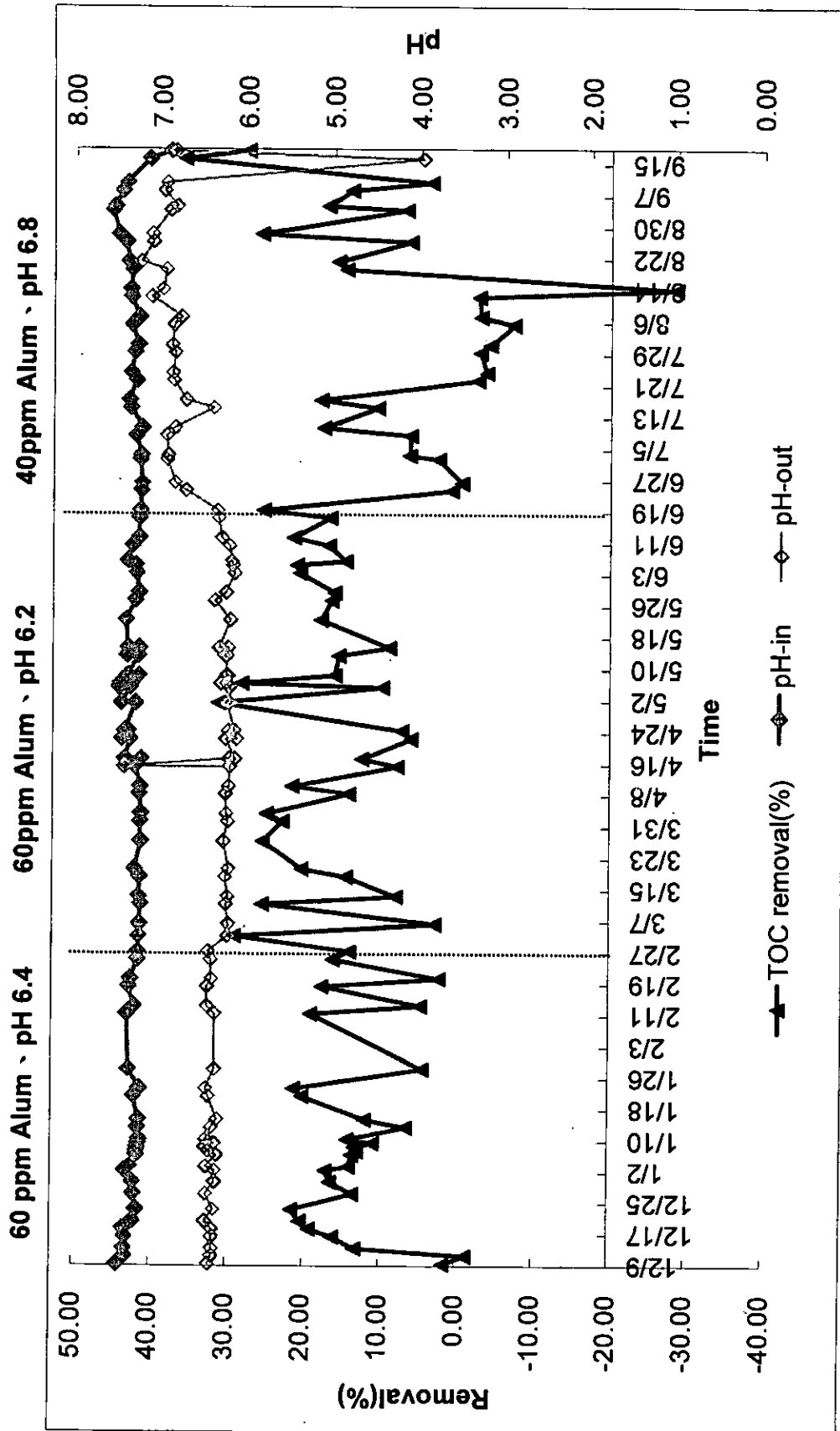


圖 4.5-1 模場東側污泥氈沉澱池 pH 變化與 TOC 去除率長期觀察

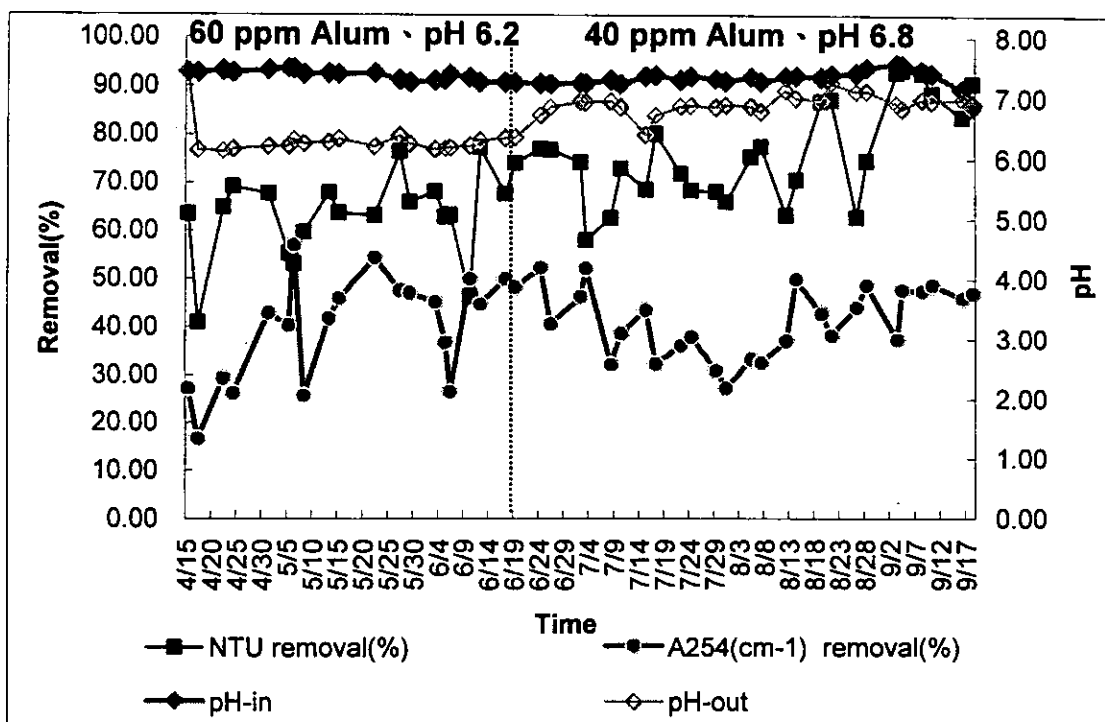


圖 4.5-2 模場東側污泥氈沉澱池模 pH 變化與 NTU、A₂₅₄ 去除率長期觀察

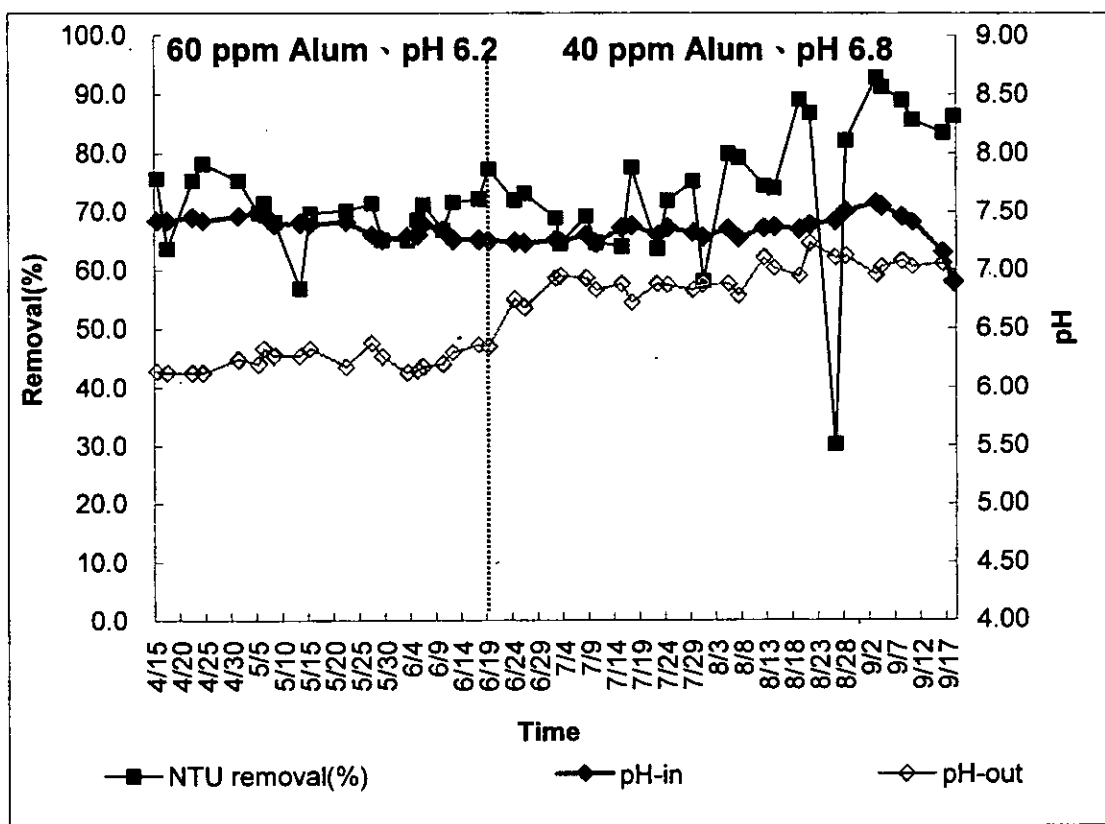
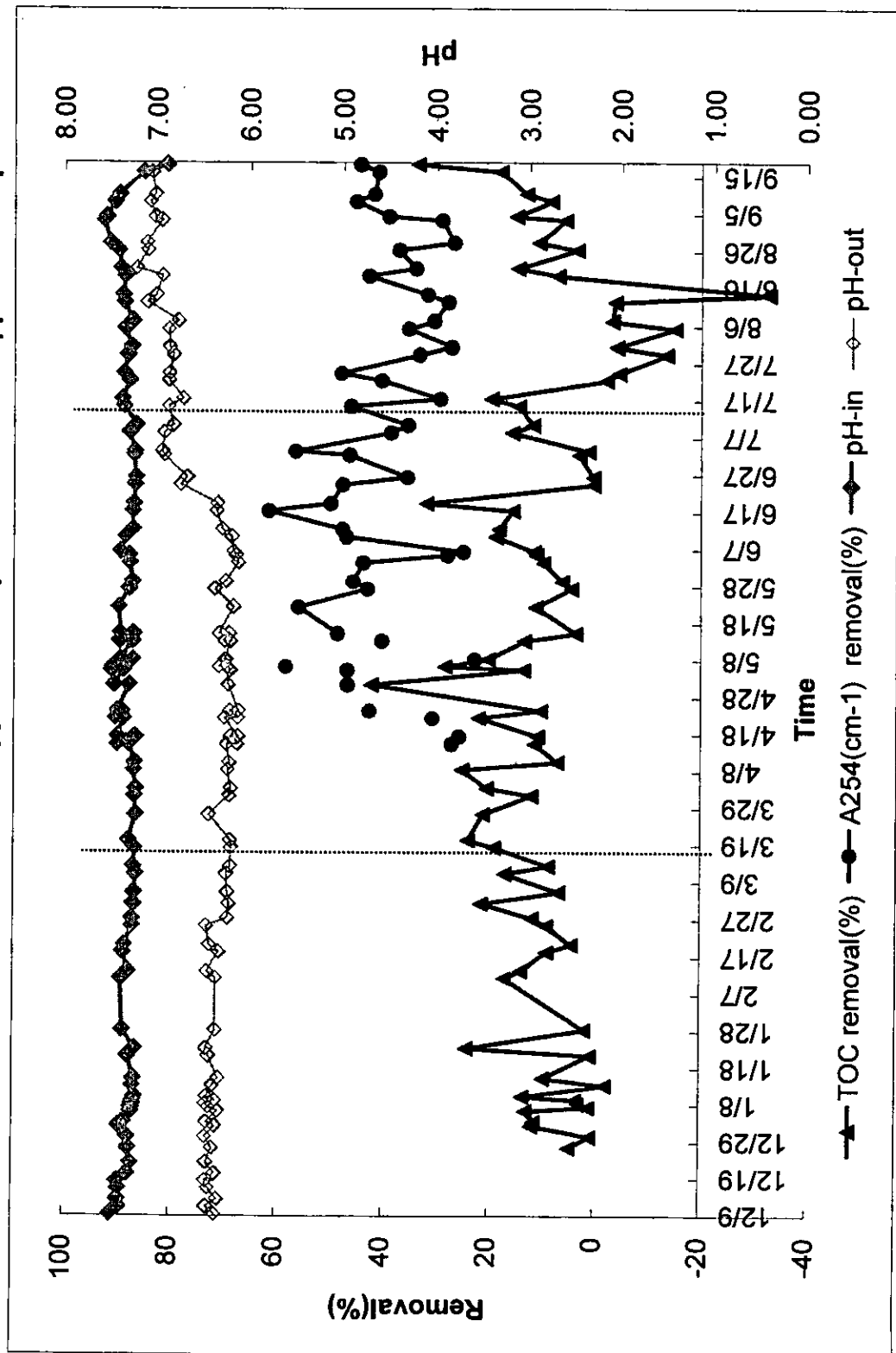


圖 4.5-3 鳳山水廠西側污泥氈沉澱池 pH 變化與 NTU 去除率長期觀察

60 ppm Alum、pH 6.4 60 ppm Alum、pH 6.2 40 ppm Alum、pH 6.8



6.4

圖 4.5-4 鳳山水廠西側污泥氈沉澱池 pH 變化與 TOC、A₂₅₄ 去除率長期觀察

將本年度計畫自 4/15/2003 開始至 9/18/2003 期間之現場污泥氈沉澱單元水質之監測數據予以統計，並區分為混凝劑加藥量 60 ppm 與 40 ppm 前後，分別製成表 4.5-1 及表 4.5-2。經四個月操作，自 06/19/2003 之後，廠方再將混凝劑加藥量降低至 40 ppm，結果顯示當混凝劑加藥量減少而 pH 維持 6.85 狀況下，會降低東西兩側的平均 TOC 去除率，但 A₂₅₄ 減少率並無顯著之影響，雖東西側之濁度去除率有些微差異，但是並無規則增加或遞減之趨勢，研判混凝劑與 pH 值對濁度去除率並無太大影響。

表 4.5-1 鳳山水廠污泥氈沉澱池平均水質（硫酸鋁濃度 60 ppm）

各項參數	第二期程序	
	東側	西側
硫酸鋁加藥量(ppm)	60	60
水樣數(2003/4/15~6/19)	19	19
平均進流水 pH 值	7.36	7.36
平均出流水 pH 值	6.24	6.24
平均 TOC 去除率(%)	17.30	16.32
平均濁度去除率(%)	64.84	70.26
平均 A ₂₅₄ 減少率(%)	42.21	43.60
平均進流水 SUVA 值	1.68	1.68
平均出流水 SUVA 值	1.09	1.05

表 4.5-2 鳳山水廠污泥氈沉澱池平均水質（硫酸鋁濃度 40 ppm）

各項參數	第二期程序	
	東側	西側
硫酸鋁加藥量(ppm)	40	40
水樣數(2003/6/19~8/14)	16	16
平均進流水 pH 值	7.30	7.30
平均出流水 pH 值	6.85	6.87
平均 TOC 去除率(%)	0.55	-0.69
平均濁度去除率(%)	70.79	70.67
平均 A ₂₅₄ 減少率(%)	39.01	38.17
平均進流水 SUVA 值	1.75	1.75
平均出流水 SUVA 值	1.04	1.06

而長期觀察下來顯示東西兩側之 A_{254} 減少率均達 40 % 左右，但相較於 TOC 去除率最高僅達 17 %，即使在混凝劑減量下 A_{254} 減少率仍達 40 %，反觀 TOC 去除率卻下降至零，經觀察評估，原水在經過污泥氈後，因高濃度懸浮態污泥可以提供類似向上流式過濾作用，使得使得大分子有機物較小分子有機物易被阻留或吸附於污泥氈中，而後水流剪力或污泥氈淘浙作用，部份原先吸附或阻留在污泥氈上之小分子優先被沖刷出來，亦或此小分子乃污泥氈中生物分解大分子有機物所提供，進而出流水之 TOC 值一直居高不下，而造成 TOC 去除率成效不高，但分子大小的改變卻可由 A_{254} 的減少率上明顯看出。

4.6 試飲試驗

本試驗於計畫期末審查當日在鳳山水廠同步實行(2003/11/26)，執行方法乃取模廠最佳處理程序(原水/生物濾後水/前二氧化氯 1.0 ppm/混凝沈澱/二組濾床)之清水進行後消毒，清水餘氯控制在 0.2 ~ 1.0 ppm，再與同時期實廠一、二期西側清水分別煮沸 10 分鐘後，以代號表示(如 A、B...等)，提供出席及列席人員(合計 20 名)進行評比。試飲水樣之淨水程序如表 4.6-1 所示，水樣 A、B、E 皆為模廠清水，而水樣 D、C 則分別取自實廠一、二期西側清水。此外，為驗證試飲委員之口感再現性，特設計水樣 B 與 E 均是相同處理程序之模廠清水，以了解口感再現性，評分結果中水樣 B、E 之口感得分級別相差 2 以上者，該評分結果則不列入總評比結果中。

表 4.6-2 為 20 位試飲委員之原始評分結果，表 4.6-3 則為 14 位有效委員綜合評分結果。口感評比方面，試飲水樣得分優劣順序分別為 A(51 分)、E(46 分)、B(43 分)、D(30 分)、C(18 分)。由水樣 B、E 為相同試程水樣其得分級別僅差距 3，可判知就 14 位有效評分結果，其合理之口感誤差為 3 級分，如兩樣本相差達 3 級分以上，樣本間應有顯著差異。模廠清水樣本(A、E、B)得分均比實廠清水(C、D)至少高出 13 分以上，顯示模廠處理程序清水在口感上明確優於實廠。又模廠清水經 GAC 單元

之水樣 B、E 總得分約低於同試程但不含 GAC 單元之水樣 A 約 5 ~ 8 分，顯見設置 GAC 單元在口感上並無明顯助益。另外，水樣 D 為實廠之民生供水，相較於水樣 C 之工業供水其口感總分高出 12 級別，此乃因其水源不同所致(水樣 D、C 之水源分別為高屏溪、東港溪)。

味道評比方面，模廠水樣 A、B、E 僅出現 0 ~ 2 次土霉味及 1 ~ 4 次未知味道，其餘皆無味道，相較之下實廠水樣 C、D 在氣、油、土霉、魚腥等味道共計高達 5 ~ 8 次，顯示模廠水樣有較多味道反應。再者，比較模廠水樣則可發現水樣 B、E 多出土霉及未知味道，故由此可推測模廠單元添加 GAC 在味道控制方面並無特別之移除效果。水樣 D (實廠一期清水)則計有 5 次無味道、5 次其他味道，較優於僅 1 次無味道之水樣 C (實廠二期清水)，水樣 C 包含魚腥及油味，此可能為東港溪污染所致。

綜合上述評比，本試飲試驗模廠清水在口感上遠比同水源水質之實廠二期清水來的好，且亦優於水源水質較佳之實廠一期清水。另未經 GAC 處理之清水口感較經 GAC 單元(水樣 B、E)為佳。在味道評比方面，模廠清水主要為無味道，而實廠清水則包含較多不適飲味道。

表 4.6-1 試飲水樣淨水程序

試飲水樣代號	淨水程序			
A	原水、生物濾後水、前二氧化	+石英砂濾 60cm		後消毒
B	氯氧化(1.0ppm)、混凝沈澱	+石英砂濾 60cm+GAC60cm		
C	實廠二期西側清水			
D	實廠一期西側清水			
E	原水、生物濾後水、前二氧化 氯氧化(1.0ppm)、混凝沈澱	+石英砂濾 60cm+GAC60cm		後消毒

表 4.6-2 試飲水樣評分記錄表(有效評分 14 位)

試飲人員	A		B		C		D		E	
	味道	口感	味道	口感	味道	口感	味道	口感	味道	口感
委員 1	無味道	4	土霉味	2	氣味	1	無味道	3	無味道	3
委員 2	無味道	4	無味道	4	氣味	1	氣味	2	未知	3
委員 3	未知	2	未知	2	氣味	1	未知	3	無味道	4
委員 4	無味道	4	土霉味	2	氣味	1	無味道	2	無味道	3
委員 5	無味道	4	無味道	3	氣味	3	無味道	3	無味道	4
委員 6		3		2		1		1		4
委員 7	無味道	1	無味道	3	氣味	2	無味道	4	未知	3
委員 8	無味道	4	土霉味	2	氣味	1	魚腥味	2	無味道	4
委員 9		3		3		2		2		4
委員 10	無味道	4	無味道	3	魚腥味	1	土霉味	1	未知	2
委員 11	未知	4	未知	4	魚腥味	1	土霉味	2	未知	3
委員 12		4		4	土霉味	2		4	魚腥味	1
委員 13		4		3		1		2		3
委員 14	氣味	1	氣味	2	氣味	2	未知	3	無味道	4
委員 15	氣味	3	油味	2	氣味	2	油味	3	氣味	4
委員 16		4		4	油味	1		3		4
委員 17	無味道	4	未知	3	無味道	1	無味道	2	無味道	4
委員 18	無味道	4	油味	2	氣味	1	未知	3	無味道	4
委員 19	無味道	4	無味道	4	氣味	1	土霉味	2	無味道	3
委員 20	無味道	4	無味道	3	油味	1	氣味	1	無味道	3
總評分		69		57		27		48		67
總有效分		51		43		18		30		46
口感排名 優劣順序	A、E、B、D、C									

註 1：總評分口感得分越高者表示該試飲水樣口感越佳。

註 2：委員 3、8、12、14、15、18 之結果因 B、E 樣品再現性差，故不列入總有效分及表 4.6-3 評分

表 4.6-3 試飲水樣綜合評分結果

味道種類\水樣	A	B	C	D	E
土霉味		2		3	
魚腥味			2		
油味			2		
氣味			6	2	
未知	1	2			4
無味道	9	6	1	5	6
口感評比	51	43	18	30	46

註1：味道種類得分為試飲委員對該味道打ノ之次數總和。

註2：口感評比得分越高表口感越佳(各委員對單一水樣給予1~4得分)

第五章 結論

- 一、採用生物濾床前處理以去除鳳山水庫原水之氨氮，取代既有之預氣系統，應具有經濟效益。
- 二、生物濾床之 EBCT 高於 5 分鐘時，其平均濁度去除效率為 40 ~ 50 %，延長生物濾床之 EBCT，並無提昇濁度之去除功能。
- 三、生物濾床前處理對 DOC 之去除效率，隨 EBCT 之延長而緩慢提昇，當 EBCT 為 30 分鐘時，DOC 之去除率為 22 %，其功能與去年研究結果相近。
- 四、生物濾床前處理對氨氮之去除功能，隨 EBCT 之增加而增加，當枯水期時，生物濾床 EBCT 為 5 分鐘以上，氨氮之去除率達到 95 % 以上，再延長生物濾床之 EBCT，對提昇生物濾床之氨氮去除功能並不顯著。
- 五、鳳山原水直接進行 PAC 吸附結果，顯示 PAC 吸附平恆時間控制在 2 小時，PAC 加量 50 mg/L 對原水中之 DOC 及臭味有較佳去除率，約 40 %，但相同條件下 THMFP 則僅約 15 % 去除，顯示 PAC 對 THM 前驅物之吸附效率較差。
- 六、模廠過濾單元試驗之三組濾床，出流水之濁度及 DOC、THMFP、AOC 等有機參數測值，以砂濾串聯 GAC 濾床最低，傳統砂濾床最高，砂濾/GAC 雙層濾料對濁度及 DOC 亦有良好去除功效，唯以目前 GAC 及石英砂的填充濾料配比及操作條件，處理水水質仍較砂濾串聯 GAC 者差。
- 七、整體氧化試程中採混前高錳酸鉀 0.47 ppm 或混前二氧化氯 1.0 ppm 添加程序可提供較佳之 DOC 去除率(17.6 %、16 %)。在 A₂₅₄ 去除則不論是以混前或混後添加 1.0 ppm 之二氧化氯具有最佳去除率(約 35 %)。另外，混前或混後加入二氧化氯 1.0 ppm，其 THMFP 去除率皆約 50 %，且去除效果隨著氧化劑量漸次提高。

- 八、以高錳酸鉀為氧化劑，不論混前或混後均無臭味(TON)問題產生。
但就二氧化氯去除 DOC 及 A254 之有效劑量使用下，不論是採混前添加或混後，其反而不利臭味值之控制。
- 九、模廠最佳程序(原水/生物濾後水/前氧化(二氧化氯 1.0 ppm)/混凝沈澱/三組濾床)搭配後消毒後其清水 DOC、A254 皆明顯低於同期之實廠二期值，模廠 THM₃ 與大腸桿菌則達未檢出之安全水質。
- 十、試飲試驗結果顯示模廠清水在口感上明顯優於實廠清水，在味道方面模廠清水主要為無味道，而實廠清水則包含較多不適飲味道。
- 十一、鳳山原水經污泥氈沉澱池後，水中之分子量分布由大分子轉變為小分子居多的情形，因而能降低三鹵甲烷前驅物質；混凝劑與 pH 值的變動對濁度去除率無太大影響，但 pH 值降低確實對於 TOC 去除有實質效果。

参 考 文 献

- Aieta, E. M. and Berg, J. D. (1986) A Review of Chlorine Dioxide in Drinking Water Treatment. *Journal AWWA Research & Technology*, pp.62-72.
- Aieta, E.M. and Roberts, P.V. (1986) Application of Mass Transfer Theory to the Kinetics of a Fast Gas-Liquid Reaction: Chlorine Hydrolysis. *Envir. Sci. & Technol.*, **20**:1:44.
- Aieta, E.M. and Roberts, P.V. (1985) The Chemistry of Oxo-Chlorine Compounds Relevant to Chlorine Dioxide Generation. *Water Chlorination: Environmental Impact and Healthy Effects*, Vol. 5 (R.L. Jolley et al, eds) . Ann Arbor Sci. publ., Ann Arbor, Mich.
- Amy, G. L., Sierka, R. A., Bedessem, J., Price, D., and Tan, L. (1992) Molecular Size Distributions of Dissolved Organic Matter, *Jour. AWWA.*, **84**(6), pp. 67-75.
- Ando A., Miwa M., Kajino M. and Tastsumi S. (1992) Removal of Mustyodororous Compounds in Water and Retained in Algal Cells Trough Water Purification Process, *Wat. Sci. Tech.*, **25**:2:299.
- APHA, AWWA and WPCF, (1995) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th edition
- AWWA Research Foundation (1992) *Use of Alternative Disinfectants, Chlorination By-Products: Production and Control*. pp.174-188
- AWWA (1990) *Water Quality and Treatment*, McGraw-Hill.
- Mahajan, O, P., Moreno-Castilla, C.a, nd Walker, Jr.P. L., (1980) Surface-Treated Activated Carbon for Removal of Phenol from Water *Separation Sci. and Technol.* **15**:10:1733.
- Ahmedna, M.,Marshall, W.E. and Rao, R.M. (2000) Production of Granular Activated Carbons from Select Agricultural By-products and Evaluation Physical, Chemical and Adsorption Properties, *Bioresource Technology*, **71**:2:113.
- Bablon, G. et al. (1991a) Fundamental Aspects. *In ozone in Water Treatment : Application and Engineering*. (B.Langlas, D. A. Reckhow and D. R. Brink. eds.) Lewis Publisher, Inc., Chelsea. pp.11-132.
- Bruce W.Long, Robert A. Hulsey and Robert C. Hoehn (1999) Complementary Uses of Chlorine Dioxide and Ozone for Drinking Water Treatment. *Ozone Science & Engineering*. **21**: 465-476.
- Burke, M., Hoq, M.F. and Ernst, W.R. (1995) Rate of Reaction of Chlorine Dioxide and Hydrogen Peroxide. *The Chemical Engineering Journal*, **60**:101-104.
- Buxton, G.V. and Subhani, M.S. (1972) Radiation Chemistry and Photo-Chemistry of Aqueous Solution of Hypochlorite Ion. *Jour. Chem. Soc. Faraday II*, 958.
- Bouwer, E. J. and Crowe, P. B. (1988) Biological Processes in Drinking Water Treatment. *Jour. AWWA*, **80**:9:82.
- Chien, T. Y. C., Chen, J. W. J. and Pitts, W. E. (1997) Pilot Plant Demonstrates Biological Filtration for Ammonia Removal in Water Treatment. *Proc. AWWA WQTC*, (CD-Rom).

- Colclough, C.A. (1983) Organic Reaction Products of Chlorine Dioxide and Natural Aquatic Fulvic Acids. In *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects*, Vol. 4. (R.L. Jolley et al, eds) Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Mich.
- Collins, M.R. Amy, G.L., and Steelink, C. (1986) Molecular Weight Distribution, Carboxylic Acidity, and Humic Substances Content of Aquatic Organic Matter: Implications for Removal during Water Treatment, *Environ. Sci. Technol.*, 20(10), pp. 1028-1032.
- Committee Report (1979) Organics Removal by Coagulation: A Review and Research Needs, *Jour. AWWA.*, 71(10), pp. 588-603.
- Craun, G.F., R.J. Bull, R.M. Clark, J. Doull, W. Grabow, G.M. Marsh, D.A. Okun, S. Regli, M.D. Sobsey and J.M. Symons (1994) Balancing Chemical and microbial Risks of Drinking Water Disinfection, Part I Benefits and Potential Risks. *J. Water SRT-Aqua.* 43:192-199.
- Dempsey, B. A., Sheu, H., Tanzeer Ahmed, T. M. and Mentink, J., (1985) Poly-aluminum Chloride and Alum Coagulation of Clay-Fulvic Acid Suspensions, *Jour. AWWA.*, 77, pp. 74-80.
- Dietrich, A.M., Prr, M.P., Gallagher, D.L. and Hoehn, R.C. (1992) Tastes and Odors Associated With Chlorine Dioxide. *Jour. AWWA*, 92:6: 82.
- Ditl, R., Cougholn, R. L. and Jere, E. H. (1978) Mass Transfer Kinetics of Adsorption on Suspended Solid Particles, *J. Colloid and Interface Sci.*, 63:3:410.
- Don, G. (1999) Practical Suggestions for Meeting USEPA Compliance Monitoring Requirements and In-plant Operational Control of Chlorine Dioxide in Drinking Water. *Ozone Science & Engineering*, 21:433-445.
- Emmenegger, F. and Gordon, G. (1967) The Rapid Interaction Between Sodium Chlorite and Dissolved Chlorine. *Inorg. Chem.*, 6:3:633
- Frick, B., Bartz, R., Sontheimer, H. and DiGiano, F.A. (1980) Prediction Competitive Adsorption Effect in Granular Activated Carbon Filter, Chapter 11 In *Activated Carbon Adsorption of Organics*, Ann Arbor-Science Publishers, Ann Arbor, MI.
- Goel, S.H., M. Raymond and Edward, J.B. (1995) Evaluating Oxidants for the Removal of Model Taste and Odor Compounds from a Municipal Water Supply. *J. AWWA*, 85:1:90.
- Gordon G. and Bubnis, B. (1999) Ozone and Chlorine Dioxide: Similar Chemistry and Measurement Issues. *Ozone Science & Engineering*, Vol. 21, pp.433-445.
- Gordon G. (2001) Is All Chlorine Dioxide Created Equal?, *Jour. AWWA*, pp. 163-174.
- Gordon G., Sloommaekers B., Tachiyashiki, S. and Wood D.W. (1990) Minimizing Chlorite Ion and Chlorate Ion in Water Treated With Chlorine Dioxide. *Journal AWWA*, pp. 160-165
- Gordon, G. (1993) Water Chemistry of the Oxy-Chlorine Species. Chlorine Dioxide: Drinking Water Issues, pp. 12-25. Second International Symposium, May 7-8, 1992, Houston, Tex. (Denver, Colorado, AWWA)
- Gordon, G., Kieffer, R.C. and Rosenblatt, D.H. (1972) *The Chemistry of Chlorine Dioxide*. *Progress in Organic Chemistry*, Vol. 15 (S.J. Lippaer, ed.) Wiley Interscience, New York.

- Gregg, S.T. and Sing, K.S. W. (1982) *Adsorption, Surface Area and Porosity*, Academic Press, London.
- Hoehn, R.C., Dietrich, A.M.; Farmer, W.S., Orr, M.P., Lee, R.C., Aieta, E.M., Wood, D.W. III and Gordon, G. (1990) Household Odors Associated with the Use of Chlorine Dioxide. *Jour. AWWA*, 82:4:166.
- Hoff, J.C. (1986) Inactivation of Microbial Agents by Chemical Disinfectants, U.S. EPA 600/286/067
- Hoff, J.C. and Geldreich, E.E. (1980) Comparison of the Biocidal Efficiency of Alternative Disinfectants, in Proceedings AWWA seminar, *Atlanta, Georgia*, June 15.
- Huang J., Wang. L., Ren, N., Ma, F. and Ma, J. (1997) Disinfect Ion Effect of Chlorine Dioxide on Bacteria in Water. *Wat. Res.*, 31:3:607.
- Huck, P. M., Zhang, S. and Price, M. L. (1994) BOM Removal During Biological Treatment: A First-Order Model. *Jour. AWWA*, 86:6:61.
- Hundt T. R. and O'Melia C. R. (1998) Aluminum-Fulvic Acid Interaction: Mechanisms and Application, *Jour. AWWA.*, 80, pp. 176-186.
- Ishizaki, C. and Coolson, J.T. (1974) Influence of Surface Oxides on Adsorption and Catalysis with Activated Carbon, *Chemistry of Water Supply Treatment and Distribution*, A.J. Rubin ed., Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI.
- Jacangela, J. G., DeMarco, J., Owen, D. M. and Randtke, S.J. (1995) "Selected Processes for Removing NOM: An Overview", *Jour. AWWA.*, 87, pp. 64-77.
- James K. Edzwald and John E. Tobiason (1999) "Enhanced coagulation: us requirements and a broader view", *Wat. Sci. Tech.* Vol. 40, No. 9, pp. 63-70
- Jordon, R.W., Kosinsky, A.J. and Baker, R.J. (1980) Improved Method Generates More Chlorine Dioxide. *Water & Sewage Works*, 10:44
- Kolar, J.J. and Lindgren, B.C. (1982) Oxidation of Styrene by Chlorine Dioxide and by Chlorite in Aqueous Solutions. *Acta Chem. Scand.* B36:599-605
- Knappe, D.R. It.al. (1997) The Effect of Preloading on Rapid Small-scale Column Test Predictions of Atrazine Removal by GAC Absorbers, *Environment International*, 22:3:343.
- Kim, W. H., Nishijima, W., Shoto, E. and Okada, M. (1997) Evaluation of Biofiltration Processes as Pretreatment of Rapid Filtration for Drinking Water. *Jour. Water and Waste*, 39:5:392 (in Japanese).
- Koki, M. (1993) The Existing State of the Advanced Water Purification Technology at CHATAN Water Purification Plant. *Jour. Japan Society on Water Environ*, 16:12:854 (in Japanese).
- Liao, W. et al. (1982) Structural Characterization of Aquatic Humic Material. *Envir. Sci. Technol.*, 16:7:403.
- Lindgren, B.O. and Nillson, T. (1973) Preparation of Carboxylic Acids from Aldehydes (including Hydroxylated Benzaldehydes) by Oxidation with Chlorite. *Acta Chem. Scand.* 27:888-890

- Lykins, B.W. and Griese, H.G. (1986) Using Chlorine Dioxide for Trihalomethane Control, *Jour. AWWA*, 71:6:88.
- Lim, K. H. and Shin, H. S. (1997) Operating Characteristics of Aerated Submerged Biofilm Reactors for Drinking Water Treatment. *Water Sci. Technol.*, 36:12:101
- Logan, B.E. and Hunt, J.R. (1988) Bioflocculation as a Microbial Response to Substrate Limitations. *Biotechnol. and Bioeng.*, 31:91.
- Mallevalle, J. et al. (1978) Degradation of Humic substances in Water by Various Oxidation Agents: Ozone, Chlorine, Chlorine Dioxide. Ozone and Chlorine Dioxide Oxidation Products of Organic Materials. (R.G.Rice and J.A. Cotruvo, eds) . Ozone Press Intl., Cleveland.
- Masschelein, W.J. (1984) Experience With Chlorine Dioxide in Brussels: Generation of Chlorine Dioxide. *Jour. AWWA*, 76:1:70
- Masschelein, W.J. (1984) Experience With Chlorine Dioxide in Brussels: Generation of Chlorine Dioxide. *Jour. AWWA*, pp.70-76.
- McGuire, M.J. and Suffet, I. H. (1984) Aqueous Chlorine/Activated Carbon Interactions, *Jour. Environ. Eng. ASCE*, 110:3:629.
- Miltne, R. (1976) *The Effect of Chlorine Dioxide on Trihalomethanes in Drinking Water*. Master's Thesis, Univ. of Cincinnati, Ohio
- Najm, I. N., Patania, N. L., Jacangelo, J. G., and Krasner, S. W. (1994) Evaluating Surrogates for Disinfection By-Products, *Jour. AWWA.*, 86(6), pp. 98-106.
- Noack, M.G. and Doerr, R.I. (1978) Reactions of Chlorine, Chlorine Dioxide and Mixtures Thereof with Humic Acid: An Interim Report. In *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects*, Vol. 2. (R.L. Jolley et al, eds) Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Mich.
- Owen, D. M., Amy, G. L., Chowdhury, Z. K., Paode, R., McCoy, G., and Viscosil, K. (1995) NOM Characterization and Tractability, *Jour. AWWA.*, 87(1), pp. 46-63.
- Ozawa, T. and Kwan, T. (1984) Electron Spin Resonance Studies on the Reactive Character of Chlorine Dioxide Radical in Aqueous Solution. *Chem Pharm Bull*, 32:1587-1589.
- Pfaff, J., Brockhoff, C. and O'dell, J. (1991) *The Determination of Inorganic Anions in Water in Water by Ion Chromatography-Method 300.0 Revised*. USEPA, Cincinnati, OH.
- Peterson, P. E. (1983) Physiological Toxicity, Cell Membrane Damage and the Release of Dissolved Organic Carbon and Geosmin by Aphanizomenon Flocs-aqua after Exposure to Water Treatment Chemicals, *Wat. Res.*, 29:6:1515.
- Pontius, F.W. (1993) D-DBP Rule to Set Tight Standards, *Jour. AWWA.*, 85 (11), pp. 22-30.
- Pontius, F. W. (1997) Expedited Microbial/Disinfection By-product Rules Defined, *Jour. AWWA.*, 89(10), pp. 20-24.

- Puri, B.R. (1980) Carbon Adsorption of Pure Compounds and Mixtures from Solution Phase, In *Activated Carbon Adsorption of Organic from the Aqueous Phase*, Vol.1, (I.H. Suffet and M. j. McGuire eds.), Ann Arbor Science, Ann, Arbor, MI.
- Rav-Acha, C. and Choshen, E. (1987) Aqueous Reactions of Chlorine Dioxide with Hydrocarbons. *Environ. Sci. Technol.* **21**:1069-1074.
- Regli, S. (1992) Chlorine Dioxide; Drinking Water Issues, 2nd International Symposium, Houston, TX, AWWA Research Foundation.
- Robert, G.T. (1989) Chlorine Dioxide in Drinking Water: a Current Perspective. Ph. D., ATS health sciences EA Engineering, Science & Technology, Inc. Silver Spring, MD.
- Renner R. C, Hegg, B. A., Bender, J. H. and Bissonette, E. M., (1991) *Optimizing Water Treatment Plant Performance Using the Composite Correction Program*, EPA Handbook (EPA/625/6-91/027).
- Rittmann, B.E. (1990) Analyzing Biofilm Processes Used in Biological Filtration. *Jour. AWWA*, **82**:12:62.
- Symons, J.M. et al. (1979) Ozone, Chlorine Dioxide and Chloramines as Alternatives to Chlorine for Disinfection of Drinking Water. In *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects*, Vol.2 (R.L.Jolley et al, eds) Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Mich.
- Symons, J.M. et al. (1981) *Treatment Techniques for Controlling Trihalomethanes in Drinking Water*. EPA-600/2-81-156. MERL, USEPA, Cincinnati, Ohio
- Snoeyink, V.L., Lai, H. T., and Young, J.F. (1974) Activated Carbon: Dechlorination and the Adsorption of Organic Compounds. In *Chemistry of Water Supply Treatment and Distribution*, (A. Rubin ed.), Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI.
- Sontheimer H., Crittendan J. C.and Summers R.S. (1989) Activated Carbon for Water Treatment, 2nd., DVGW-Forschungsstelle, Karlsruhe.
- McGuire, M. J. (1977) *The Optimization of Water Treatment Unit Processes for Removal of Trace Organic Compound with an Emphasis on the Adsorption Mechanism*, Ph.D.Thesis, Drexel University, PA.
- Steynberg, M. C., Guglielmi, M. M., Geldenhuys, J. C. and Pieterse, J. H (1996a) Chlorine and Chlorine Dioxide: Pre-oxidants Used as Algocide in Potable Water Plants, *J Water SRT-Aqua*, **45**:4:162.
- Sakimura, S. (1997) Direct River Purification Method by the BioCord the Contact Material Cord. *Jour. Water and Waste*, **39**:3:241 (in Japanese).
- Sasa, T., Tsukiyama, T., Matoba, H. and Sugisawa, S. (1995) Developing Biological Contact Filtration by Fibrous Microorganisms Support Water Treatment. *IWSA Specilized Conference on Advanced Treatment and Integrated System Management Into the 21st Century*, Osaka, Japan.
- Semmens, M.J. and Ayers, K. (1985) Removal by Coagulation of Trace Organics from Mississippi River Water, *Jour. AWWA.*, **77**(5), pp. 79-84.
- Singer P. C. (1999) Humic Substances as Precursors for Potentially Harmful Disinfection By-Products, *Wat. Sci. Tech.* Vol. 40, No. 9, pp. 25-30.

- Sukenik, A., Teltch, B., Wachs, A. W., Shelef, G., Nir, I. and Levanon, D. (1987) Effect of Oxidants on Microalgal Flocculation, *Wat. Res.*, **21**:5:533.
- Takasaki, M., Kim, H., Sato, A., Okada, M. and Sudo, R. (1990) The Submerged Biofilm Process as a Pre-treatment for Polluted Raw Water for Tap Water Supply. *Wat Sci Tech.*, **22**:1-2:137.
- Takasaki, M., Sudo, R., Nishimura, O. and Kim, H. Y. (1992) Simultaneous Removal of Nitrogen and THM Precursor by Developed Submerged Biofilm Process for Drinking Water. *Wat Sci Tech.*, **26**:2021.
- USEPA (1993) Guidance Manual for enhanced coagulation and enhanced precipitative softening, chapter 3 in D/DBP precursor removal processes.
- USEPA.(1998) National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectants and Disinfection Byproducts : Final Rule. 40 CFR Parts 9, 141 and 142. Fed Reg.63 No. 241, pp. 69390-69476.
- Vahala,R., Langvik, V,A. and Laukkanen, R. (1999) Controlling Adsorbable Organic Halogens (AOX) and Trihalomethanes(THM) Formation by Ozone and Two-Step Granular Activated Carbon(GAC) Filtration, *Wat Sci Tech*, **40**:9:249.
- Vrijenhoek, E. M., Childress, A. E., Eilmelech, M., Tanaka, T. S., and Beuhler, M. D.(1998) "Removing Particles and THM Precursors by Enhance Coagulation", *Jour. AWWA.*, **90**(4), pp. 139-150.
- White, M. C., Thompson, J.D., Harrington, G.W. and Singer, P.C.(1997) Evaluating Criteria for Enhanced Coagulation Compliance, *Jour. AWWA.*, **89**, pp. 64-77.
- Wiesner, M. R. and Klute R. (1998) Properties and Measurements of Particulate Contaminants in Water. Treatment Process Selection for Particle Removal. Edited by Mcewen, J. B., *AWWA Research Foundation Press: Denver*, Chapter 4.
- Xu, K.Q., Tsukura, H. and Sudo, R. (1997) Purification of Raw Water by Biofilm Processes for Water Supply. *Jour. Water and Waste* **39**:8:66 (in Japanese).
- Yeh, H. H. and Chen, S. K. (1988) Packed Bed Filters for Ammonia-Nitrogen Removal from Raw Waters. *Water Supply*, **6**:3:219.
- Yeh, H. H. and Kao, H. H. (1993) Testing a Coke Biofilter for the Pretreatment of Polluted Surface Water in Taiwan. *Jour. AWWA.*, **85**:5:96.
- 徐惠伶(1995),「從混凝行為探討硫酸鋁與有機物反應機制之研究」, 碩士論文, 國立交通大學。
- 黃志彬(2000),「受污染水源之最佳可行處理技術研究(第二年)」, 期末報告, 國立交通大學環境工程研究所研究報告。
- 黃志彬, 袁如馨,「自來水廠最佳化之自我評鑑技術手冊」, 中華民國自來水協會, 民國八十九年六月。
- 陳怡萱(2000),「高錳酸鉀對混凝程序中去除有機物及鐵、錳之影響」, 碩士論文, 國立成功大學。

張禎祐(2000),「以二氧化氯為替代消毒劑之副產物生成與控制研究」,博士論文,中興大學環境工程研究所。

鄭幸雄(1997),「台灣南部給水源污染特性及生物處理程序功能之探討」,自來水會刊,16:1:30。

鄭幸雄、王文革、吳靜如(1998),「澄清湖及港西淨水場水質特性研究」,第十五屆自來水研究發表會論文集,301-314。

劉彭譽(2002),「臭氧結合傳統淨水程序控制鳳山水庫原水消毒副產物生成之研究」,碩士論文,逢甲大學環境工程與科學系。

賴文亮(2001),「各種淨水程序對生物可分解有機質及消毒副產物之控制」,博士論文,國立成功大學環境工程研究所。

附錄一

評選簡報意見及回覆

評選簡報意見及回覆

評選意見	回覆及辦理情形
諸評選委員於廠商簡報後針對簡報及服務建議書內容所提建議或看法如後所列，請廠商參考納入於修正之研究計畫服務建議書中，於簽約後執行之。	
生物濾床反沖洗操作策略為視實際之操作狀況與結果而調整。	生物濾床之反充洗策略以調整為每日一次，每次三分鐘
第十頁三組濾床之組合（第一組及第三組串聯後與第二組並聯），先延續第一年之研究方式再依其結果予以調整。	本項目砂濾/GAC 濾床部份，初期將延續第一年之研究方式進行，唯為配合試驗水質之一致性，計畫中仍需有三組濾床同時進行操作之比較數據。
探討鳳山場實廠加氣點改變至膠凝沉澱後或快濾後之可行性。	已於 2/25 至鳳山場現場會勘討論詳見會議記錄
第七頁生物處理後水質增列兩次重金屬檢驗。	依建議辦理
二氧化氯搭配氯胺進行清水消毒部份，請增列二氧化氯搭配傳統加氯消毒之試驗。	依建議辦理
模廠出水試飲計畫列入計畫案內執行。	依建議辦理

附錄二

期初簡報審查意見及回覆

期初簡報審查意見及回覆

審查委員	審查意見	回覆及辦理情形
自來水公司 蘇金龍經理	請探討污泥毯之 TOC 變化情形，與其濃度、厚度之控制	
供水處	各組濾床操作控制條件中石英砂、GAC/石英砂、活性炭等濾床之濾速請再予以討論釐清。	謝謝指教，計畫中之三組濾床操作濾速，其中石英砂、活性炭濾床分別控制在 100-150 m/day，而 GAC/石英砂雙層濾料濾床部份，係在石英砂上層填充 30 cm GAC，為提供足夠 GAC 之空床接觸吸附時間(EBCT)，以利於與第三組活性炭濾床相比較，故將本濾床之濾速控制在 50-100 m/day。
	DO 是生物硝化濾床之限制因子之一，將納入檢測項目。	以生物濾床之曝氣量而言，足可供應硝化所需之氧量，下半年將進行 DO 測試
南工處	本研究生物濾床去除氨氮及加氣量等相關資料，請估算成本，以供鳳山場（二期）未來規劃生物前處理之參考。	已將相關資料撰寫於第四章 4.2 節中
水質處 江弘斌組長	活性炭/石英砂雙層濾料在操作時易流失活性炭，如何防止請列入探討。 鳳山場應加強檢驗硫酸鋁及硫酸之成分，尤其是 TOC 項目。	活性炭/石英砂雙層濾料之模廠設計，是底層填充 30 cm 石英砂、上層填充 30 cm GAC，在反充洗操作時，如控制不當有可能導致兩層濾料部份混雜或流失，此部份在操作時將找出較佳之反洗條件。
水質處 洪世政組長	請鳳山場配合協助研究單位，以利研究計畫之進行。 請探討鳳山廠將加氣點延後，降低加氣量之可行性，請該場先準備 CT 值，再配合研究團隊時間現場會勘討論。	已於 2/25 至鳳山場現場會勘討論 詳見會議記錄

附錄三

期中報告審查意見及回覆

期中報告審查意見及回覆

審查委員	審查意見	回覆及辦理情形
	3-7 頁表 3.3-2 使用 GAC 及石英砂請補充其規格 (有效粒徑、均勻係數、比重)。	本計畫所使用之 GAC 型號為 Calgon F-400，有效粒徑：0.9 mm、均勻係數：2.1、比重：1.45 (wetting density)。石英砂是由自來水公司提供，其規格；有效粒徑：0.5 mm、均勻係數：1.43、比重：2.55。
	生物濾床之硝化效果及其具經濟效果可行前處理之研究成果正確，值得應用於實務。但高濁度 (颱風) 發生時該如何因應？	颱風豪雨時水量暴增，氨氮濃度降低，應可 by-pass 生物濾床單元。
台北翡翠水庫 管理局 康世芳局長	4-3 節以 Bed volume 表示操作時間與水質相關性，不易顯示時，實際濾程水頭損失如何？	目前模廠三組濾床約已操作三個月，流況及對濁度、有機物去除已逐漸趨於穩定，未來將以操作時間取代目前過濾水量 (Bed volume) 與水質相關性。
	圖 4.3-1 三個組合之濾速、濾層總厚度不同，可否判斷 Sand/GAC 可取出砂濾串聯 GAC，請再確認。	模廠砂濾/GAC 單元試驗目的主要是評估目前在砂濾後增設 GAC 濾床對有機物及 THMFP 去除效率，同時考慮是否可利用現有砂濾床上層部份以 GAC 取代 (Sand/GAC)，因此兩濾床在操作參數上並未相同。
	4-22 頁 Sand/GAC 之濾層構造何種濾料在上層？ (一般 GAC 在上層)，反沖洗後發生濾料混層，建議檢討濾料規格。	謝謝指教，Sand/GAC 濾床上層是 GAC、下層 Sand，目前反沖洗後發生之濾料混層現象，將針對反洗之空氣量 (空壓機) 及濾料規格改善。

審查委員	審查意見	回覆及辦理情形
	<p>二氧化錳膠羽是否增加污泥發 生量？混前氧化與混後氧化何 者為佳仍待後續實驗確認，且兩 者程序對 DOC 分子量分佈差異 之比較，值得探討。</p>	<p>由現場沉澱污泥顏色之觀測顯示 有少量之二氧化錳膠羽出現但並 未有顯著之污泥量變化。混前氧 化與混後氧化比較仍將持續實驗 確認，待完成較高劑量二氧化氣 (2.5 mg/L) 試程並確認最佳試 程後即將進行其分子量分佈之分 析以確認其主要作用對象。</p>
	<p>截至其期中報告所進行之研究 內容，皆符合原訂之計畫目標與 執行進度，初步結果亦有相當完 整之數據分析與討論。</p>	
	<p>頁 4-22 過濾及吸附單元部分，對 砂濾床 (60 cm) 串聯 GAC 濾床 (60 cm) 與雙層濾料 (sand 與 GAC 各 30 cm) 之比較方面，因 兩者之停留時間並不一樣 (前者 為後者的兩倍)，因此對不同之 比較基準宜特別加以說明。</p>	<p>砂濾床串聯 GAC 濾床與雙層濾 料目的在於測試模廠操作條件， 做為未來實場之考量。</p>
<p>中興大學 謝永旭教授</p>	<p>頁 3-7 沈澱槽欄位之 GT 值應移 至膠凝槽，石英濾砂床之濾料填 充高度應為 60 cm。</p>	<p>GT 值、石英砂濾床之濾料填充 高度於期末報告修正。</p>
	<p>頁 3-2 生物處理系統模廠試驗中 是否會分析 COD、大腸菌落數、 重金屬等項目？若不予分析則 刪除這些項目的敘述 (至期中報 告止似乎未進行這些項目的測 定)，若日後會納入分析則在頁 3-10 之分析方法中應增列。</p>	<p>COD、大腸菌落數、重金屬等檢 項列入分析。</p>
	<p>頁 4-23 圖 4.3-2 中宜列入沈澱池 出流水之 DOC 值，以供比對。頁 4-24 圖 4.3-4 中漏列*符號之說明。</p>	<p>沈澱池出流水之 DOC 值、*符號 之說明於期末報告補充列入。</p>

審查委員	審查意見	回覆及辦理情形
<p>經濟部水利署 第九河川局 陳殿寶副局長</p>	<p>簡報資料有部分未列入期中報告內，請補充列入。</p> <p>生物濾床做經濟效益分析，其他單元是否亦會做？</p> <p>取樣時間、數量請列入，以為參考。</p> <p>處理程序可否能整合做為改善依據，請詳細說明。</p>	<p>簡報資料未列入部分於期末報告列入。</p> <p>生物濾床第一年研究結果效益好，故朝此方向進行，其他單元仍在測試中，若效果好時，再考慮做經濟效益分析。</p> <p>取樣時間、數量於期末報告補充列入。</p> <p>決定最佳操作狀態後，操作參數應用於模廠程序組合，期末時會有整合性效益。</p>
<p>南區工程處 曾永年副處長</p>	<p>本計畫是否可依原水水質不同，做通案性考量。</p> <p>一般是以初設費與操作成本做概估，生物處理經濟概估可否補充其生物載體使用年限及動力費（原水 puping）之概估？</p>	<p>本研究針對全省可適用之通案性考量。</p> <p>生物載體每年添加約為 5 %，原水 puping 費用後續再補充列入。</p>
<p>工務處 李丁來工程師</p>	<p>鳳山場一期為脈動式，二期為平底式。</p> <p>本公司將辦理之「增設高級淨水處理設備特殊水質檢項委託訓練」可與受委託單位聯繫配合模廠水質之檢驗。</p>	<p>於期末報告訂正。</p> <p>配合採樣，將模廠水樣送該單位檢驗。</p>
<p>供水處 曾盛一工程師</p>	<p>生物濾床 DO 測試，請補充。</p> <p>反沖洗是否有廢水產生？</p>	<p>生物濾床 DO 測試後續補充。</p> <p>反沖洗水接到後面操作單元，無廢水操作單元。</p>
<p>水質處 洪世政組長</p>	<p>建議生物濾床所產生污泥量之推估及處理費用之評估。</p>	<p>生物濾床所產生污泥量與加混凝劑者相比小很多。</p>
<p>水質處 江弘斌組長</p>	<p>頁 2-23 第 17 行降地應是降低。</p> <p>頁 3-2 中氨氮、DOC、COD、大腸菌落數、臭味及重金屬等檢項</p>	<p>筆誤之處將於期末報告訂正。</p> <p>有部分檢測結果部分未列入期中報告中；未檢測部分，一併於期</p>

審查委員	審查意見	回覆及辦理情形
	請檢測，並檢討是否能符合飲用水水源水質標準（尤其是生物處理後）。	末報告補充列入。
	頁 4-14 4.2.3 生物濾床對氨氮之去除性能評估中以後請加測 DO 值。	遵照辦理。
	頁 4-14 粉狀活性碳特性、廠牌資料請列入期末報告中。	粉狀活性碳資料將於期末報告中列入。
	頁 4-28 SUVA 值之單位請更正。	筆誤之處將於期末報告訂正。
	頁 5-1 第四點建議加入出流水氨氮可以降至飲用水水源水質標準上限 1 ppm 以下。	
	合約書頁 6 有機物及濁度去除效率之評估，有部分檢項未檢測請再補充列入。	未檢測部分，一併於期末報告補充列入。
	合約書頁 10 有機物分子篩分析及 AOC 請下半年列入。	一併於期末報告補充列入。
	替代氧化劑二氧化氯之消毒副產物相關濃度之變化，請於下半年補入。	未檢測部分，一併於期末報告補充列入。
主席	後續模廠出水試飲計畫之辦理，請提供模廠水質資料作比較。	水質資料將做成附錄；建議期末報告會議時移至鳳山場開會，並辦理試飲性調查部分。

附錄四

期末報告審查意見及回覆

期末報告審查意見及回覆

審查委員	審查意見	回覆及辦理情形
台北翡翠水庫 管理局 康世芳局長	本研究生物濾床之實驗評估結果極具實用性，宜應用於受污染原水之前處理。	謝謝。
	頁 4-30 及 4-32 圖中 M.W. 之所估 Ratio(%) 請再補述其差異，以更好地了解評估內容及結果。	謝謝指正，圖誤部份 Ratio(%) 已更正為 Fraction。
	降低 pH 至 6.2 之加強混凝，須再調整 pH 之費用宜考慮。	謝謝指教，降低 pH 本意是為利用增強混凝提升有機物之去除率，所以便無考量到實際成本，若水場採用此策略，雖會有加藥成本上的顧慮，但卻可降低對於後段砂濾以及 GAC 程序之有機物負荷。
	KMnO ₄ 及 ClO ₂ 之除有機效果與成本分析之比較，是否可建議採用 KMnO ₄ 並後續研究再深入評估為何？	本計畫之主要目的為試驗 ClO ₂ 是否適用於鳳山水庫之水質特性及可能之操作條件，KMnO ₄ 並非主要試程對象，因此試程中並未特別設定”比較”之試驗環境與條件。然本團隊亦贊同委員之看法，建請水質處宜再對 KMnO ₄ 進行更進一步之研究。
	原水水質受豐枯水期影響甚鉅，建議圖示實驗採樣期間鳳山水庫水位與蓄水量變化歷線圖，以了解水質與水量、水位相關。	商請鳳山淨水廠提供計畫期程內相關資料整理後詳見 4-1 節(p 4-1)。
本研究計畫之主要長期試驗項目有三：(一)生物處理系統模廠試驗；(二)替代氧化及消毒劑之長期穩定試驗；(三)活性碳/石英砂濾床試驗，並針對各試驗結果提	謝謝指教，報告定稿將針對模廠三項試驗單元之較佳操作參數及組合程序，加強敘述。	

審查委員	審查意見	回覆及辦理情形
經濟部水利署 第九河川局 陳殿寶副局長	擬最佳操作程序並分析其處理成本。因此第四章結果與討論應是針對前述三項試驗逐一敘述其結果並加以討論，故第四章建議酌予修正各節之標題及內容。	遵照辦理，詳見 p 4-56。
	各項試驗成果所得到的出流水水質皆顯示有部分項目已大幅改善，然其改善程序是否已符合飲用水水質標準無法比較得知，因此建議於第四章適當位置將飲用水水質標準表列出來，以利核對。	
	本試驗方法最佳處理程序似乎為原水—生物濾後水—前氧化 1.0 ppm—混凝沉澱—三組濾床並進行後消毒，唯結論中並未提及，且結論中亦未提及如此處理所需增加成本為何？	報告定稿時將補充列入。
	定稿時建議請補充"摘要"。	報告定稿時將補充列入。
	去除率之表達部份(p4-41)請做必要的補正(分母部份)。	報告定稿時將修正補充列入。
中興大學 謝永旭教授	連續單元(例如 p4-38 ~ p4-39)之去除率宜有明確的界定(去除率是以原水水質為分母，抑或以前一個單元之出水水質為分母)。	謝謝委員指正，定義詳見 p4-42。
	頁4-21:GAC/Sand 抑或 Sand/GAC 宜依濾料順序來界定，並在報告中統一化；Sand-GAC 為兩層濾料每層 60 cm，在比較與石英砂(60 cm)、Sand/GAC(合計 60 cm)之效益時，其濾料層總厚度不同，宜	濾料層總厚度不同，將以文字敘述說明。報告定稿時將修正補充列入。

審查委員	審查意見	回覆及辦理情形
	特別加以說明；頁 4-21 第八行與第十一行之濁度數據有誤，請加以修正。	
	定稿時建議請在結論章節補充建議；ClO ₂ 與KMnO ₄ 添加量為兩組藥量之測試結果，在結論上若以其中一組添加量做為最佳條件之建議，宜在敘述上特別考量。	謝謝委員指正。
	頁 3-10 請補列 COD、大腸菌類密度、重金屬等項目。	報告定稿時予以補正。
	頁 4-48 表 4.4-1 與表 4.4-2 應改為表 4.4-3 與表 4.4-4 (文字敘述部份)。	報告定稿時將修正之。
	pH 之調整對 TOC 之去除有其效果，是否建議自來水公司在操作時實際進行 pH 調整？	考量整體處理程序之 TOC 去除效果不佳的情形下，建議採用降低 pH 提升 TOC 去除效率。
	建議定稿本增加流程圖。	報告定稿時將補充列入。
中山大學 高志明教授	是否以KMnO ₄ 取代其他之氧化方式？	本計畫重點在於試驗 ClO ₂ 取代 Cl ₂ 之可能性，KMnO ₄ 能否取代宜進一步驗證。以目前之試驗結果不適作此建議。
	生物濾床在暴雨時可能會 by pass，如此是否會影響各水質項目之去除效果？是否有應變方案？	生物濾床於高濁度或反洗或濾材更換時並不影響各水質項目之去除效果。
水質處 江弘斌組長	頁 3-7 GAC 之廠牌資料及頁 4-17 PAC 之相關資料列表請補入。	有關 GAC 資料定稿時補充列入。另外 PAC 因提供廠商目前尚無相關物化分析資料，因此本計畫報告中僅能列入實驗室分析之 BET 表面積(BET-surface area)及篩分析粒徑資料。

審查委員	審查意見	回覆及辦理情形
	頁 4-48 中 THM ₃ 請加以說明。	報告定稿時將補充列入。
	簡報資料新增部份(例如後消毒試程、模廠試程之最佳處理程序)及試飲之水質資料請於完整報告中補充列入。	報告定稿時將補充列入。
	建議加入活性碳床初設成本粗估。	活性碳濾床初設成本之預估,因目前之模廠試驗結果僅累積一年,對於 GAC 之吸附當量及再生頻率尚未能正確估算,因此在成本估算上可能有相當誤差。
	有關 KMnO ₄ 與 ClO ₂ 之比較宜就實際操作及成本強化說明。	報告定稿時將補充列入,但計畫重點不在於比較此二者。
	有關合約書部份:本期末報告已符合契約書內容,請參照本會議紀錄提出完整修正研究報告。	遵照辦理。
	生物濾床設置之位置水庫前或水庫後何者較佳,請於報告內補述。	報告定稿時將補充列入。
水質處 洪世政工程師	生物濾床使用 PU 介質載體是否有有毒單體溶出請說明。	PU 是一種材料,PU 泡綿是其中一種產品,它是一種高分子聚合物,PU 材料是人造器官的主要材料之一,目前未找到有關有毒單體溶出相關報導。
	請研究團隊就模廠整體試程提供可行之組合,並請詳述說明,包括建造及操作成本以利鳳山廠研參。	報告定稿時特予以補充。
供水處 陳文祥工程員	就生物濾床之規劃條件及操作因子,請提供鳳山廠實場建置。	依目前研究結果,EBCT 訂為 10 分鐘,水量為 200000CMD,反應槽體積 1660m ³ ,有關生物反應槽細部設計問題,因牽涉複雜,宜另案討論。
主席 蘇金龍經理	模廠設備於本計畫完成後移交本公司管理,並由本(水質)處及鳳山場各派一人,學習模廠操作;並請交通大學提供模場之 SOP。	遵照辦理。

附錄五

鳳山自來水廠功能評估 現勘記錄

鳳山自來水廠功能評估現勘記錄

一、時間：2003年2月25日 上午8:30

二、地點：鳳山淨水場簡報室

三、出席人員：水質處：蘇金龍經理

鳳山淨水場：翁燕生廠長、機電股-張簡股長、淨水股-黃猛喜股長、黃福祿先生、林淑女小姐、孫靜虎先生

計畫研究群：黃志彬教授、吳志超教授、吳俊哲教授、黃文鑑教授、林世豪研究生、王韻嬋助理

三、目的：（一）解決因較高之加氯量所生成之三鹵甲烷問題。

（二）各處理單元之操作改善。

（三）會勘模型廠。

四、報告：（一）各種濾紙 TOC 溶出試驗（略）

（二）鳳山水廠加強混凝實廠操作結果（略）

五、討論議題：如何降低鳳山水庫日益增加之加氯量？

黃志彬：將加氯點移至沉澱池後，於混凝沉澱去除有機物，減少前加氯量，並由後加氯補充。

吳志超：減少前加氯量，於沉澱後再行補充，以減少三鹵甲烷之生成。

黃文鑑：（一）因水庫曝氣效果差，原水之溶氧低，導致沉澱池溶氧不夠；原水之曝氣台應繼續使用，溶氧維持可改善厭氣現象；改善溶氧的曝氣量維護曝氣盤之功能。

（二）污泥沉澱池上澄液不應回收至分水井，因會迴流有機物）致提高加氯量。

吳俊哲：濾後之餘氯量控制，注意自由餘氯、結合餘氯數值。

黃志彬：加強混凝應可再降低pH值至6.2左右，以提高有機物之去除效率。

黃文鑑：加氯點應於水躍後添加，以減少氯之揮發。

蘇經理：（一）曝氣塔使用，曝氣盤維護，增加容氧量，減少用氯量。

（二）氨氮、有機物問題，折點加氯處理，規劃加藥點往後移動。

（三）清水池停留時間計算，加要點至清水池之加藥量，加藥應時間要足夠。

（四）加強混凝降低 pH 值，以提生有機物去除率，若擔心 pH 過低，可增加加鹼設備。

張簡股長：（一）現有三套(15台加氯機)，可轉移一台或二台餘氯後添加，避免加氯中斷，或另設一套餘氯後添加。

（二）將於分水井(取水口)加酸。

附錄六

模廠操作現況分析數據

鳳山水庫原水與不同 EBCT 下生物濾床出流水氨氮濃度之變化(單位氨氮：mg/L，去除率：%)

日期	原水氨氮	EBCT : 5 min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
		氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率
2003年													
1/20	4.56			0.24	94.74					0.12	97.37		0.10
1/21	4.88			0.26	94.67					0.12	97.54		0.11
1/22	4.96			0.24	95.16					0.12	97.58		0.10
1/23	4.92			0.24	95.12					0.12	97.56		0.09
1/24	4.98			0.24	95.18					0.10	97.99		0.09
1/27	5.06			0.24	95.26					0.12	97.63		0.10
1/28	5.00			0.22	95.60					0.12	97.60		0.09
1/29	5.12			0.24	95.31					0.12	97.66		0.10
1/30	5.24			0.24	95.42					0.12	97.71		0.09
2/10	4.26			0.63	85.21					0.16	96.24		0.12
2/11	4.74			0.35	92.62					0.12	97.47		0.10
2/12	4.90			0.39	92.04					0.12	97.55		0.10
2/13	5.12			0.24	95.31					0.12	97.66		0.10
3/3	5.90			0.24	95.93					0.13	97.80		0.11
3/4	6.12			0.24	96.08					0.12	98.04		0.11
3/6	6.60			0.28	95.76					0.14	97.88		0.13
3/7	6.86			0.30	95.63					0.14	97.96		0.12
3/10	6.88			0.34	95.06					0.15	97.82		0.12
3/11	6.90			0.34	95.07					0.15	97.83		0.12
3/12	7.08			0.36	94.92					0.15	97.88		0.13
3/13	6.78			0.24	96.46					0.13	98.08		0.11
3/14	7.26			0.24	96.69					0.14	98.07		0.12

日期	EBCT : 5 min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率
2003年	原水氨氮											
3/17	6.48		0.24	96.30			0.13	97.99			0.12	98.15
3/19	6.36		0.26	95.91			0.13	97.96			0.12	98.11
3/21	6.72		0.25	96.28			0.13	98.07			0.11	98.36
3/31	6.72		0.23	96.58			0.13	98.07			0.12	98.21
4/2	6.90		0.24	96.52			0.12	98.26			0.11	98.41
4/4	6.96		0.25	96.41			0.12	98.28			0.13	98.13
4/14	6.88	0.50	0.21	96.95	0.13	98.11	0.12	98.26	0.12	98.26	0.11	98.40
4/15	6.64		0.21	96.84			0.12	98.19			0.11	98.34
4/16	6.32	0.36	0.20	96.84	0.13	97.94	0.13	97.94	0.12	98.10	0.12	98.10
4/18	5.60		0.11	98.04			0.09	98.39			0.08	98.57
4/22	4.84		0.17	96.49			0.11	97.73			0.10	97.93
4/23	5.40	0.40	0.14	97.41	0.12	97.78	0.12	97.78	0.12	97.78	0.11	97.96
4/24	6.28		0.12	98.09			0.12	98.09			0.10	98.41
4/25	6.20	0.22	0.13	97.90	0.12	98.06	0.11	98.23	0.11	98.23	0.10	98.39
4/28	5.56	0.18	0.13	97.66	0.12	97.84	0.12	97.84	0.10	98.20	0.09	98.38
4/29	5.60	0.22	0.13	97.68	0.11	98.04	0.11	98.04	0.10	98.21	0.09	98.39
5/1	4.80	0.21	0.12	97.50	0.12	97.50	0.11	97.71	0.10	97.92	0.10	97.92
5/2	6.12	0.23	0.14	97.71	0.12	98.04	0.12	98.04	0.10	98.37	0.10	98.37
5/5	5.80	0.24	0.13	97.76	0.12	97.93	0.12	97.93	0.12	97.93	0.11	98.10
5/6	5.40	0.20	0.12	97.78	0.11	97.96	0.11	97.96	0.09	98.33	0.09	98.33
5/7	4.96	0.18	0.13	97.38	0.12	97.58	0.12	97.58	0.11	97.78	0.10	97.98
5/8	6.00	0.24	0.14	97.67	0.13	97.80	0.12	98.00	0.11	98.17	10.00	-66.67
5/9	4.72	0.18	0.13	97.25	0.12	97.46	0.11	97.67	0.10	97.88	0.10	97.88
5/12	4.54	0.26	0.13	97.14	0.12	97.36	0.12	97.36	0.11	97.58	0.10	97.80

日期	原水氨氮	EBCT : 5 min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
		氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率
2003年													
5/13	4.80	0.22	95.42	0.13	97.29	0.12	97.50	0.11	97.71	0.11	97.71	0.10	97.92
5/14	7.78	0.24	96.92	0.12	98.46	0.12	98.46	0.11	98.59	0.10	98.71	0.09	98.84
5/15	4.56	0.20	95.61	0.13	97.15	0.11	97.59	0.11	97.59	0.10	97.81	0.10	97.81
5/16	4.10	0.20	95.12	0.12	97.07	0.11	97.32	0.10	97.56	0.10	97.56	0.09	97.80
5/19	5.12	0.24	95.31	0.12	97.66	0.12	97.66	0.11	97.85	0.10	98.05	0.10	98.05
5/20	5.36	0.21	96.08	0.13	97.57	0.12	97.76	0.12	97.76	0.11	97.95	0.10	98.13
5/21	5.12	0.23	95.51	0.13	97.46	0.12	97.66	0.10	98.05	0.10	98.05	0.09	98.24
5/22	5.10	0.22	95.69	0.12	97.65	0.12	97.65	0.11	97.84	0.11	97.84	0.10	98.04
5/23	4.85	0.22	95.46	0.13	97.32	0.12	97.53	0.12	97.53	0.11	97.73	0.11	97.73
5/26	5.02	0.24	95.22	0.13	97.41	0.12	97.61	0.11	97.81	0.11	97.81	0.10	98.01
5/27	5.10	0.23	95.49	0.12	97.65	0.12	97.65	0.11	97.84	0.10	98.04	0.10	98.04
5/28	4.86	0.22	95.47	0.12	97.53	0.11	97.74	0.11	97.74	0.10	97.94	0.08	98.35
5/29	4.32	0.22	94.91	0.12	97.22	0.11	97.45	0.11	97.45	0.10	97.69	0.10	97.69
5/30	4.24	0.22	94.81	0.13	96.93	0.12	97.17	0.11	97.41	0.10	97.64	0.10	97.64
6/2	5.00	0.24	95.20	0.12	97.60	0.12	97.60	0.11	97.80	0.10	98.00	0.09	98.20
6/3	4.50	0.20	95.56	0.13	97.11	0.12	97.33	0.11	97.56	0.10	97.78	0.10	97.78
6/5	4.66	0.20	95.71	0.13	97.21	0.12	97.42	0.12	97.42	0.11	97.64	0.10	97.85
6/6	4.42	0.20	95.48	0.13	97.06	0.12	97.29	0.11	97.51	0.10	97.74	0.10	97.74
6/9	4.12	0.20	95.15	0.13	96.84	0.12	97.09	0.12	97.09	0.11	97.33	0.10	97.57
6/10	4.08	0.18	95.59	0.12	97.06	0.11	97.30	0.11	97.30	0.10	97.55	0.09	97.79
6/11	4.32	0.22	94.91	0.13	96.99	0.12	97.22	0.11	97.45	0.10	97.69	0.10	97.69
6/12	4.22	0.20	95.26	0.12	97.16	0.12	97.16	0.11	97.39	0.10	97.63	0.10	97.63
6/13	4.16	0.20	95.19	0.12	97.12	0.11	97.36	0.11	97.36	0.10	97.60	0.09	97.84
6/16	1.98	0.13	93.43	0.12	93.94	0.12	93.94	0.11	94.44	0.10	94.95	0.09	95.45

日期	原水氨氮	EBCT : 5 min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
		氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率
2003年													
6/17	2.02	0.13	93.56	0.12	94.06	0.11	94.55	0.11	94.55	0.10	95.05	0.09	95.54
6/18	1.98	0.13	93.43	0.11	94.44	0.11	94.44	0.10	94.95	0.10	94.95	0.08	95.96
6/19	1.96	0.12	93.88	0.12	93.88	0.11	94.39	0.10	94.90	0.10	94.90	0.09	95.41
6/20	1.66	0.12	92.77	0.11	93.37	0.11	93.37	0.10	93.98	0.09	94.58	0.08	95.18
6/23	0.73	0.14	80.82	0.13	82.19	0.11	84.93	0.10	86.30	0.09	87.67	0.08	89.04
6/24	0.64	0.12	81.25	0.12	81.25	0.11	82.81	0.10	84.38	0.09	85.94	0.09	85.94
6/25	0.46	0.14	69.57	0.12	73.91	0.11	76.09	0.11	76.09	0.10	78.26	0.09	80.43
6/26	0.46	0.12	73.91	0.11	76.09	0.10	78.26	0.10	78.26	0.09	80.43	0.08	82.61
6/27	0.62	0.15	75.81	0.12	80.65	0.11	82.26	0.10	83.87	0.09	85.48	0.09	85.48
6/30	0.24	0.10	58.33	0.09	62.50	0.09	62.50	0.08	66.67	0.07	70.83	0.07	70.83
7/2	0.20	0.10	50.00	0.10	50.00	0.09	55.00	0.08	60.00	0.08	60.00	0.07	65.00
7/3	0.20	0.11	45.00	0.10	50.00	0.10	50.00	0.09	55.00	0.08	60.00	0.08	60.00
7/4	0.21	0.10	52.38	0.10	52.38	0.09	57.14	0.08	61.90	0.08	61.90	0.07	66.67
7/7	0.68	0.10	85.29	0.08	88.24	0.08	88.24	0.07	89.71	0.07	89.71	0.07	89.71
7/8	0.74	0.09	87.84	0.09	87.84	0.08	89.19	0.07	90.54	0.07	90.54	0.07	90.54
7/9	0.73	0.10	86.30	0.09	87.67	0.09	87.67	0.08	89.04	0.07	90.41	0.07	90.41
7/10	0.95	0.12	87.37	0.11	88.42	0.10	89.47	0.09	90.53	0.08	91.58	0.08	91.58
7/11	0.94	0.09	90.43	0.08	91.49	0.08	91.49	0.07	92.55	0.07	92.55	0.06	93.62
7/14	1.21	0.12	90.08	0.11	90.91	0.11	90.91	0.10	91.74	0.10	91.74	0.09	92.56
7/15	1.36	0.10	92.65	0.09	93.38	0.09	93.38	0.08	94.12	0.07	94.85	0.07	94.85
7/16	1.64	0.10	93.90	0.09	94.51	0.08	95.12	0.08	95.12	0.07	95.73	0.06	96.34
7/17	1.88	0.11	94.15	0.10	94.68	0.10	94.68	0.09	95.21	0.08	95.74	0.07	96.28
7/18	2.00	0.11	94.50	0.10	95.00	0.10	95.00	0.09	95.50	0.08	96.00	0.07	96.50
7/21	1.86	0.12	93.55	0.11	94.09	0.11	94.09	0.1	94.62	0.09	95.16	0.08	95.70

日期	原水氨氮	EBCT : 5 min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
		氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率
2003 年													
7/22	1.08	0.09	91.67	0.08	92.59	0.08	92.59	0.07	93.52	0.07	93.52	0.06	94.44
7/23	0.88	0.12	86.36	0.11	87.50	0.1	88.64	0.1	88.64	0.09	89.77	0.08	90.91
7/24	0.90	0.11	87.78	0.11	87.78	0.1	88.89	0.09	90.00	0.09	90.00	0.08	91.11
7/25	0.78	0.11	85.90	0.1	87.18	0.1	87.18	0.09	88.46	0.08	89.74	0.07	91.03
7/28	0.33	0.09	72.73	0.08	75.76	0.08	75.76	0.07	78.79	0.07	78.79	0.06	81.82
7/29	0.4	0.08	80.00	0.08	80.00	0.07	82.50	0.07	82.50	0.07	82.50	0.06	85.00
7/30	0.68	0.1	85.29	0.08	88.24	0.08	88.24	0.07	89.71	0.07	89.71	0.06	91.18
7/31	0.93	0.1	89.25	0.09	90.32	0.09	90.32	0.08	91.40	0.07	92.47	0.07	92.47
8/1	1.15	0.09	92.17	0.09	92.17	0.08	93.04	0.08	93.04	0.07	93.91	0.06	94.78
8/4	1.57	0.1	93.63	0.09	94.27	0.08	94.90	0.08	94.90	0.07	95.54	0.07	95.54
8/5	1.4	0.1	92.86	0.09	93.57	0.09	93.57	0.08	94.29	0.07	95.00	0.07	95.00
8/6	1.21	0.09	92.56	0.09	92.56	0.08	93.39	0.08	93.39	0.07	94.21	0.07	94.21
8/7	1.27	0.1	92.13	0.09	92.91	0.09	92.91	0.08	93.70	0.07	94.49	0.07	94.49
8/8	1.32	0.11	91.67	0.1	92.42	0.09	93.18	0.08	93.94	0.08	93.94	0.07	94.70
8/11	0.18	0.1	44.44	0.09	50.00	0.09	50.00	0.08	55.56	0.07	61.11	0.07	61.11
8/12	0.35	0.09	74.29	0.09	74.29	0.08	77.14	0.08	77.14	0.07	80.00	0.06	82.86
8/13	0.23	0.09	60.87	0.09	60.87	0.08	65.22	0.08	65.22	0.07	69.57	0.07	69.57
8/14	0.21	0.09	57.14	0.08	61.90	0.08	61.90	0.07	66.67	0.07	66.67	0.06	71.43
8/15	0.25	0.09	64.00	0.08	68.00	0.08	68.00	0.07	72.00	0.07	72.00	0.06	76.00
8/18	0.59	0.11	81.36	0.11	81.36	0.1	83.05	0.1	83.05	0.09	84.75	0.08	86.44
8/19	0.35	0.09	74.29	0.09	74.29	0.08	77.14	0.07	80.00	0.07	80.00	0.06	82.86
8/20	0.29	0.09	68.97	0.09	68.97	0.08	72.41	0.07	75.86	0.07	75.86	0.07	75.86
8/21	0.27	0.1	62.96	0.09	66.67	0.08	70.37	0.08	70.37	0.07	74.07	0.06	77.78
8/22	0.23	0.1	56.52	0.09	60.87	0.08	65.22	0.08	65.22	0.07	69.57	0.07	69.57

日期	原水氨氮	EBCT : 5 min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
		氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率	氨氮	去除率
2003 年													
8/25	0.56	0.11	80.36	0.1	82.14	0.1	82.14	0.09	83.93	0.08	85.71	0.08	85.71
8/26	0.3	0.1	66.67	0.1	66.67	0.09	70.00	0.08	73.33	0.07	76.67	0.06	80.00
8/27	0.28	0.11	60.71	0.1	64.29	0.1	64.29	0.09	67.86	0.08	71.43	0.07	75.00
8/28	0.32	0.22	31.25	0.12	62.50	0.11	65.63	0.11	65.63	0.10	68.75	0.1	68.75
9/12	0.56		100.00	0.22	60.71		100.00	0.05	91.07		100.00	0.07	87.50
10/9	0.14	0.11	21.43	0.05	64.29	0.11	21.43	0.07	50.00	0.13	7.14	0.05	64.29
10/13	0.28	0.09	67.86	0.02	92.86	0.07	75.00	0.02	92.86	0.06	78.57	0.04	85.71
10/14	0.24	0.1	58.33	0.06	75.00	0.06	75.00	0.06	75.00	0.08	66.67	0.06	75.00
10/15	0.22	0.09	59.09	0.01	95.45	0.06	72.73	0	100.00	0.07	68.18	0.02	90.91
10/16	0.34	0.11	67.65	0.02	94.12	0.1	70.59	0.02	94.12	0.06	82.35	0.03	91.18
10/20	0.52	0.06	88.46	0.07	86.54	0.05	90.38	0.02	96.15	0.03	94.23	0.05	90.38
10/21	0.61	0.09	85.25	0.1	83.61	0.06	90.16	0.04	93.44	0.07	88.52	0.03	95.08
10/22	0.52	0.05	90.38	0.06	88.46	0.04	92.31	0.03	94.23	0.06	88.46	0.03	94.23
mean	3.24	0.15	84.22	0.15	89.08	0.10	87.23	0.10	91.18	0.09	88.64	0.16	90.97
Std	2.47	0.07	16.23	0.08	12.28	0.02	14.25	0.03	11.09	0.02	13.69	0.87	16.76
n	131	98	98	131	131	98	98	131	131	98	98	131	131

鳳山水庫原水與不同EBCT下生物濾床出流水濁度之變化（單位：NTU，去除率：%）

日期	原水 濁度	EBCT : 5min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
		濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率
2003年													
1/20	4.57			2.50	45.30			2.63	42.5			2.81	38.5
1/21	4.70			2.63	44.04			2.27	51.7			2.10	55.3
1/22	4.86			2.12	56.38			2.63	45.9			2.75	43.4
1/23	4.84			2.37	51.03			2.69	44.4			2.68	44.6
1/24	4.84			2.56	47.11			2.37	51.0			2.56	47.1
1/27	4.77			2.35	50.73			2.52	47.2			2.73	42.8
1/28	4.89			2.34	52.15			2.26	53.8			2.70	44.8
1/29	4.97			2.33	53.12			2.45	50.7			2.90	41.6
1/30	4.87			2.62	46.20			2.75	43.5			2.34	52.0
2/10	4.23			2.75	34.99			2.13	49.6			2.44	42.3
2/11	4.51			2.22	50.78			2.85	36.8			2.62	41.9
2/12	4.60			2.93	36.30			2.21	52.0			2.81	38.9
2/13	4.83			2.68	44.51			2.71	43.9			2.55	47.2
3/3	5.13			2.39	53.41			2.76	46.2			2.52	50.9
3/4	4.82			2.77	42.53			2.34	51.5			2.61	45.9
3/6	4.77			2.46	48.43			2.29	52.0			2.7	43.4
3/7	4.90			2.35	52.04			2.86	41.6			2.39	51.2
3/10	4.62			2.57	44.37			2.79	39.6			2.38	48.5
3/11	4.62			2.57	44.37			2.79	39.6			2.38	48.5
3/12	4.79			2.35	50.94			2.27	52.6			2.29	52.2
3/13	5.07			2.46	51.48			2.96	41.6			2.33	54.0
3/14	5.03			2.78	44.73			2.53	49.7			2.9	42.3

日期	原水 濁度	EBCT : 5min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
		濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率
2003年													
3/17	5.13			2.63	48.73			2.81	45.2			2.96	42.3
3/19	5.35			2.13	60.19			2.52	52.9			2.68	49.9
3/21	4.51			2.63	41.69			2.41	46.6			2.06	54.3
3/31	4.86			2.63	45.88			2.48	49.0			2.19	54.9
4/2	5.10			2.60	49.02			2.32	54.5			2.85	44.1
4/4	5.17			2.53	51.06			2.87	44.5			2.91	43.7
4/14	4.48			2.31	48.44			2.77	38.2			2.36	47.3
4/15	4.59			2.76	39.87			2.31	49.7			2.11	54.0
4/16	4.67			2.3	50.75			1.95	58.2			2.45	47.5
4/18	4.81			2.64	45.11			2.16	55.1			1.96	59.3
4/22	5.28			2.76	47.73			2.05	61.2			2.87	45.6
4/23	5.12			2.11	58.79			2.52	50.8			2.64	48.4
4/24	5.92			2.74	53.72			2.13	64.0			2.35	60.3
4/25	5.21			2.36	54.70			2.22	57.4			2.31	55.7
4/28	4.97			2.6	47.69			2.07	58.4			2.81	43.5
4/29	4.36			2.39	45.18			3.14	28.0			2.33	46.6
5/1	4.66			2.13	54.29			2.57	44.8			2.91	37.6
5/2	4.36			2.33	46.56			2.17	50.2			2.92	33.0
5/5	4.17			2.60	37.65			2.03	51.3			2.35	43.6
5/6	4.12			2.13	48.30			2.69	34.7			2.05	50.2
5/7	4.05			1.87	53.83			2.60	35.8			2.37	41.5
5/8	3.57			2.77	22.41			2.83	20.7			2.15	39.8
5/9	4.87			2.51	48.46			2.32	52.4			2.07	57.5
5/12	4.86			2.52	48.15			2.67	45.1			2.11	56.6

日期	原水 濁度	EBCT : 5min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
		濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率
2003年													
5/13	4.11			2.64	35.77				1.97	52.1		2.75	33.1
5/14	3.97			2.37	40.30				2.16	45.6		2.38	40.1
5/15	4.12			2.38	42.23				1.87	54.6		2.25	45.4
5/16	3.98			2.38	40.20				2.57	35.4		2.15	46.0
5/19	4.11			2.59	36.98				2.72	33.8		2.83	31.1
5/20	4.07			2.88	29.24				2.43	40.3		2.01	50.6
5/21	4.14			2.75	33.57				2.15	48.1		2.67	35.5
5/22	4.08			2.32	43.14				2.59	36.5		2.11	48.3
5/23	4.08			2.06	49.51				2.38	41.7		2.59	36.5
5/26	3.85			2.38	38.18				2.07	46.2		2.45	36.4
5/27	3.98			2.6	34.67				2.39	39.9		2.01	49.5
5/28	3.59			2.13	40.67				2.72	24.2		1.99	44.6
5/29	3.75			2.39	36.27				1.87	50.1		2.06	45.1
5/30	3.87			2.75	28.94				2.31	40.3		2.56	33.9
6/2	3.83			2.36	38.38				2.00	47.8		2.78	27.4
6/3	3.86			2.71	29.79				2.35	39.1		2.12	45.1
6/5	3.67			2.2	40.05				2.39	34.9		2.64	28.1
6/6	3.67			2.15	41.42				2.33	36.5		2.21	39.8
6/9	4.14	2.31	44.20	2.24	45.89	1.89	54.35		2.50	39.6	2.0	2.26	45.4
6/10	3.65	2.62	28.22	2.12	41.92	2.01	44.93		2.37	35.1	2.7	2.19	40.0
6/11	3.48	2.30	33.91	2.21	36.49	2.68	22.99		2.03	41.7	2.0	2.48	28.7
6/12	4.98	2.35	52.81	2.41	51.61	2.82	43.37		2.67	46.4	2.7	2.68	46.2
6/13	4.23	2.03	52.01	2.64	37.59	2.73	35.46		2.10	50.4	2.0	2.31	45.4
6/16	4.98	2.31	53.61	2.37	52.41	2.60	47.79		2.43	51.2	2.3	2.78	44.2

日期	原水 濁度	EBCT : 5min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
		濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率
2003年													
6/17	5.97	2.98	50.08	2.31	61.31	2.25	62.31	2.64	55.8	2.1	64.8	2.68	55.1
6/18	5.64	2.36	58.16	2.67	52.66	2.13	62.23	2.67	52.7	2.6	53.2	2.26	59.9
6/19	5.65	2.13	62.30	2.67	52.74	2.55	54.87	2.64	53.3	2.2	61.4	2.73	51.7
6/20	5.26	2.34	55.51	2.11	59.89	2.67	49.24	2.64	49.8	2.6	51.3	2.97	43.5
6/23	5.17	2.63	49.13	2.12	58.99	2.67	48.36	2.63	49.1	2.8	45.5	2.31	55.3
6/24	5.94	2.34	60.61	2.56	56.90	2.57	56.73	2.49	58.1	2.2	62.6	2.56	56.9
6/25	5.47	2.31	57.77	2.73	50.09	2.96	45.89	1.89	65.4	2.6	51.7	2.75	49.7
6/26	5.89	2.33	60.44	2.64	55.18	2.16	63.33	2.86	51.4	2.5	58.4	2.75	53.3
6/27	5.86	2.73	53.41	2.6	55.63	2.52	57.00	2.67	54.4	2.3	60.1	2.50	57.3
6/30	5.21	2.78	46.64	2.36	54.70	2.09	59.88	2.34	55.1	2.7	48.6	1.92	63.1
7/2	4.96	2.36	52.42	2.75	44.56	2.11	57.46	2.72	45.2	2.6	46.8	2.06	58.5
7/3	4.52	2.68	40.71	2.35	48.01	2.12	53.10	2.51	44.5	2.3	48.5	2.84	37.2
7/4	4.33	2.65	38.80	2.21	48.96	2.67	38.34	2.43	43.9	2.3	47.3	2.86	33.9
7/7	4.95	2.89	41.62	2.75	44.44	2.65	46.46	2.34	52.7	3.0	40.0	2.66	46.3
7/8	4.92	2.66	45.93	2.49	49.39	2.37	51.83	2.82	42.7	2.1	57.3	2.67	45.7
7/9	4.67	2.96	36.62	2.67	42.83	2.50	46.47	2.60	44.3	2.9	38.5	2.67	42.8
7/10	4.98	2.35	52.81	2.11	57.63	2.67	46.39	2.26	54.6	2.4	51.4	2.67	46.4
7/11	4.86	2.78	42.80	2.23	54.12	2.16	55.56	2.59	46.7	2.3	51.9	2.77	43.0
7/14	4.37	2.64	39.59	2.58	40.96	2.34	46.45	2.85	34.8	2.4	45.5	2.1	51.9
7/15	4.45	2.83	36.40	2.61	41.35	2.25	49.44	2.37	46.7	2.1	52.6	2.43	45.4
7/16	4.29	2.51	41.49	2.37	44.76	2.79	34.97	2.77	35.4	2.4	45.0	2.65	38.2
7/17	4.35	2.68	38.39	2.36	45.75	2.13	51.03	2.11	51.5	2.7	38.6	2.06	52.6
7/18	4.38	2.62	40.18	2.79	36.30	2.63	39.95	2.35	46.3	2.6	41.3	2.4	45.2
7/21	4.44	2.32	47.75	2.57	42.12	2.66	40.09	2.6	40.5	2.3	48.2	2.52	43.2

日期	原水 濁度	EBCT : 5min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
		濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率
2003 年													
7/22	4.41	2.64	40.14	2.33	47.17	2.10	52.38	2.67	39.5	2.68	39.2	2.26	48.8
7/23	4.35	2.36	45.75	2.67	38.62	2.13	51.03	2.82	35.2	2.18	49.9	2.64	39.3
7/24	4.2	2.34	44.29	2.67	36.43	2.24	46.67	2.81	33.1	2.06	51.0	2.37	43.6
7/25	4.11	2.33	43.31	2.51	38.93	2.67	35.04	2.18	47.0	2.67	35.0	2.42	41.1
7/28	4.37	2.81	35.70	2.67	38.90	2.38	45.54	2.16	50.6	2.3	47.4	1.98	54.7
7/29	3.02	2.64	12.58	2.55	15.56	2.13	29.47	2.84	6.0	2.6	13.9	2.52	16.6
7/30	3.86	2.64	31.61	2.16	44.04	2.69	30.31	2.2	43.0	1.98	48.7	2.73	29.3
7/31	3.3	2.79	15.45	2.31	30.00	2.65	19.70	2.77	16.1	2.45	25.8	2.19	33.6
8/1	3.27	2.83	13.46	2.85	12.84	2.17	33.64	2.67	18.3	2.46	24.8	2.23	31.8
8/4	5.23	2.78	46.85	2.63	49.71	2.11	59.66	2.57	50.9	2.94	43.8	2.44	53.3
8/5	3.65	2.62	28.22	2.12	41.92	2.01	44.93	2.37	35.1	2.55	30.1	2.34	35.9
8/6	6.03	2.55	57.71	2.19	63.68	2.67	55.72	2.61	56.7	2.81	53.4	2.62	56.6
8/7	6.12	2.61	57.35	2.13	65.20	2.57	58.01	2.67	56.4	2.25	63.2	2.77	54.7
8/8	6.17	2.78	54.94	2.36	61.75	2.59	58.02	2.41	60.9	2.3	62.7	2.59	58.0
8/11	5.67	2.64	53.44	2.73	51.85	2.11	62.79	2.15	62.1	2.52	55.6	2.38	58.0
8/12	4.87	2.65	45.59	2.34	51.95	2.78	42.92	2.49	48.9	2.67	45.2	3.09	36.6
8/13	4.77	2.78	41.72	2.36	50.52	2.11	55.77	2.67	44.0	2.46	48.4	2.86	40.0
8/14	4.32	2.17	49.77	2.33	46.06	2.75	36.34	2.61	39.6	2.5	42.1	2.97	31.3
8/15	4.89	2.88	41.10	2.67	45.40	2.89	40.90	2.96	39.5	2.77	43.4	2.82	42.3
8/18	13.2	4.96	62.42	5.12	61.21	4.88	63.03	4.67	64.6	5.24	60.3	4.32	67.3
8/19	10.29	4.36	57.63	4.55	55.78	5.37	47.81	5.12	50.2	4.17	59.5	4.89	52.5
8/20	10.81	4.98	53.93	5.82	46.16	5.71	47.18	5.59	48.3	5.95	45.0	5.34	50.6
8/21	14.38	4.63	67.80	4.24	70.51	4.38	69.54	5.13	64.3	5.64	60.8	5.48	61.9
8/22	15.4	4.62	70.00	4.77	69.03	5.25	65.91	4.68	69.6	5.37	65.1	4.36	71.7

日期	原水 濁度	EBCT : 5min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
		濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率	濁度	去除率
2003年													
8/25	13.8	5.42	60.72	4.94	64.20	4.67	66.16	5.11	63.0	4.77	65.4	5.37	61.1
8/26	6.83	4.38	35.87	3.97	41.87	4.66	31.77	5.09	25.5	4.5	34.1	4.86	28.8
8/27	5.81	3.98	31.50	3.26	43.89	4.12	29.09	3.51	39.6	3.92	32.5	4.02	30.8
8/28	4.89	2.59	47.03	2.39	51.12	3.03	38.04	2.67	45.4	2.45	49.9	2.06	57.9
9/12	48.5			11.1	77.11			8.22	83.1			5.82	88.0
10/9	6.9	7.68		4.49	34.93	8.11		8.3		9.55		7.73	
10/13	4.1	2.94	28.29	3.03	26.10	2.58	37.07	2.94	28.3	3.15	23.2	2.53	38.3
10/14	3.72	6.95		3.57	4.03	3.67	1.34	3.49	6.2	5.26		5.23	
10/15	3.62	3.75	-3.59	2.98	17.68	2.4	33.70	3.01	16.9	2.53	30.1	2.37	34.5
10/16	5.4	3.18	41.11	2.62	51.48	2.99	44.63	2.85	47.2	2.76	48.9	2.61	51.7
10/20	3.97	2.72	31.49	2.44	38.54	2.4	39.55	1.92	51.6	2.89	27.2	3.44	13.4
10/21	4.59	3.83	16.56	4.4	4.14	4.29	6.54	2.92	36.4	2.55	44.4	2.46	46.4
10/22	4.48	2.11	52.90	2.02	54.91	2.03	54.69	2.71	39.5	1.85	58.7	2.38	46.9
mean	5.37	3.01	44.17	2.70	45.66	2.87	46.17	2.73	45.58	2.91	47.10	2.72	45.93
Std	4.26	1.08	13.96	0.97	11.39	1.10	13.35	0.95	11.45	1.25	11.45	0.86	10.20
n	130	66	66	130	130	66	66	130	130	66	66	130	130

鳳山水庫原水與不同EBCT下生物濾床出流水DOC濃度之變化(單位:mg/L, 去除率:%)

日期	DOC試驗		EBCT: 5 min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min	
	原水	DOC	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率
2003年														
1/24	3.94		3.11	21.13					3.06	22.27			3.42	13.24
1/22	3.44		2.87	16.76					2.78	19.12			2.66	22.75
1/24	3.67		3.64	0.87					3.37	8.28			2.88	21.68
1/28	3.98		4.00						3.32	16.73			3.44	13.56
1/29	3.93		3.93	0.15					3.47	11.70			3.45	12.20
2/10	2.54		2.30	9.43					2.06	18.93			2.04	19.49
2/12	2.65		2.54	4.00					2.14	19.25			2.09	21.25
2/14	2.93		2.16	26.36					2.12	27.86			2.11	28.18
2/17	3.10		2.41	22.13					2.20	28.88			1.98	36.18
2/19	2.74		2.31	16.00					2.25	17.86			2.25	17.86
2/21	2.53	2.43		3.83			2.13	15.76			1.74	31.33		
2/24	2.64		2.29	13.24					2.20	16.62			2.01	23.87
2/26	2.72		2.16	20.56					1.85	32.11			2.01	26.19
2/27	1.95	1.92		1.64			1.92	1.89			2.08			
3/3	2.32		2.03	12.62					1.82	21.63			2.00	13.92
3/7	3.35		2.21	34.16					2.32	30.91			2.25	33.00
3/10	3.14	2.56		18.34			2.97	5.38			2.28	27.42		
3/12	2.76		2.40	13.06					2.34	15.17			2.57	6.82
3/14	2.92		2.78	4.82					2.36	19.23			2.21	24.53
3/17	2.91		2.53	12.83					2.02	30.55			2.22	23.53
3/19	2.49	2.59					2.00	19.70			2.35	5.86		

日期	DOC 試驗		EBCT : 5 min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min		
	原水	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率
2003年															
3/21	2.34			2.77					2.30	2.05			2.18	7.08	
3/24	3.35			2.75	17.93				2.50	25.46			2.22	33.90	
3/28	2.80	2.62	6.44			2.25	19.67				2.08	25.46			
3/31	3.11	2.87	7.93			2.42	22.32				2.33	25.08			
4/2	3.69			2.61	29.28				2.40	34.97			2.46	33.40	
4/4	3.49	2.61	25.29			2.57	26.38				3.16	9.46			
4/7	3.61			2.67	26.02				2.54	29.82			2.45	32.12	
4/9	2.49			2.49					2.49				2.73		
4/11	3.67	3.10	15.40			3.07	16.30				2.45	33.31			
4/12	3.50			3.09	11.71				2.03	42.00			2.09	40.29	
4/23	4.17			2.37	43.17				2.78	33.33			2.26	45.80	
4/24	4.85	1.94	60.00			3.25	32.99				2.61	46.19			
4/28	2.70			2.64	2.07				2.30	14.71			2.29	15.30	
4/29	3.33			2.63	21.00				2.20	34.07			2.05	38.39	
5/2	2.92	2.31	20.89			2.29	21.64				2.16	26.16			
5/5	3.09	2.50	18.89			2.34	24.24				2.49	19.48			
5/7	2.93			2.31	21.15				2.49	15.11			2.29	22.04	
5/9	3.75	2.59	30.89			1.80	52.09				2.26	39.61			
5/12	3.62			2.41	33.49				2.15	40.54			2.54	29.70	
5/14	3.43			2.34	31.68				2.37	30.78			2.39	30.25	
5/16	3.42	2.76	19.49			2.33	31.96				2.06	39.70			
5/19	3.22			2.57	19.96				2.40	25.40			2.13	33.92	
5/21	3.20			2.36	26.23				2.45	23.57			2.40	25.07	

日期	DOC 試驗		EBCT : 5 min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min		
	原水	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率
2003 年															
5/23	3.06	2.50	18.17			2.35	23.04					2.14	29.89		
5/26	3.05			2.50	18.21				2.56	16.14				2.11	30.91
5/28	3.50			2.35	32.88				2.39	31.76				2.40	31.53
5/30	3.34	2.82	15.72			2.41	27.84					2.42	27.51		
6/2	3.10			2.70	13.02				2.29	26.10				2.39	22.87
6/6	3.63	2.58	28.98			2.43	33.05					2.56	29.53		
6/9	3.20			2.38	25.73				2.30	28.24				2.28	28.58
6/11	2.94			2.45	16.81				2.17	26.23				2.11	28.27
6/13	2.83	2.34	17.23			2.42	14.47					2.21	21.80		
6/16	2.70			2.41	10.43				2.24	17.03				2.19	18.59
6/18	2.69			1.96	27.35				2.10	21.92				1.91	29.17
6/20	2.15	1.92	11.10			1.90	11.84					1.76	18.11		
6/23	2.23			1.92	14.16				1.82	18.46				1.73	22.45
6/25	1.96			1.85	5.65				1.69	13.77				1.52	22.52
6/27	2.23	1.87	15.78			1.60	27.91					1.51	32.00		
6/30	1.908			1.354	29.04				1.869	2.04				1.585	16.93
7/2	1.768			1.353	23.47				1.362	22.96				1.351	23.59
7/4	1.91	1.648	13.72			1.605	15.97					1.495	21.73		
7/7	1.769			1.448	18.15				1.774					1.447	18.20
7/9	1.694			1.52	10.27				1.484	12.40				1.245	26.51
7/11	1.827	1.423	22.11			1.415	22.55					1.422	22.17		
7/14	2.12			1.65	22.03				1.63	23.30				1.66	21.70
7/16	2.29			1.93	15.69				1.56	32.21				1.31	43.03

日期	DOC 試驗		EBCT : 5 min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min		
	原水	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率
2003年															
7/18	1.96	1.57	20.09			1.37	29.98				1.37	29.98			
7/21	1.98			1.46	26.44					1.46	26.39			1.41	28.61
7/23	1.75			1.46	16.88					1.54	12.31			1.59	9.52
7/25	2.07	1.552	24.92			1.34	35.17				1.34	35.17			
7/28	2.43			2.03	16.60					1.87	23.38			1.71	29.79
7/30	1.98			1.82	8.32					1.68	15.30			1.61	18.72
8/1	2.42	1.75	27.81			1.63	32.71				1.63	32.71			
8/4	2.53			2.05	19.23					2.04	19.55			1.74	31.24
8/6	2.07			1.88	9.20					1.80	12.88			1.66	19.70
8/8	2.19	2.06	6.06			3.07					3.07				
8/11	2.51			1.96	21.76					1.90	24.11			2.11	15.69
8/13	2.53			1.85	27.11					1.72	32.24			1.83	27.82
8/15	2.43	2.674				2.02	16.74				2.02	16.74			
8/18	2.52			2.11	16.28					2.00	20.41			1.95	22.52
8/20	2.45			2.57						2.12	13.30			1.93	21.12
8/22	2.43	1.83	24.86			1.85	23.70				1.85	23.70			
8/25	1.57			1.62						1.53	2.11			1.72	
8/27	1.63			1.79						1.48	9.44			1.41	13.73
8/28	1.78	1.86				1.38	22.42				1.38	22.42			
9/3	1.70			1.51	11.23					1.61				1.53	9.82
9/4	1.70			1.68	1.47					2.31				1.55	8.87
9/5	1.81	1.67	7.62			1.47	18.94				1.47	18.94			
9/8	1.70			1.47	13.50					1.38	18.81			1.40	17.39

日期	DOC 試驗		EBCT : 5 min		EBCT: 10 min		EBCT: 15 min		EBCT: 20 min		EBCT: 25 min		EBCT: 30 min		
	原水	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率	DOC	去除率
2003年															
9/10	1.76			1.43	18.96					1.35	23.21			1.31	25.48
9/12	1.55	1.41	8.73				1.43	7.76			1.43	7.76			
9/15	1.68			1.28	23.88					1.21	27.76			1.10	34.15
9/17	1.32			1.26	4.48					1.17	11.02			1.07	18.62
9/19	1.38	1.20	13.44				1.19	14.23				1.19	14.23		
9/23	2.09			2.29						1.84	12.04			1.82	12.85
9/24	2.05			1.80	12.39					1.65	19.76			1.65	19.46
9/26	1.97	1.90	3.26				1.68	14.71				1.68	14.71		
9/29	2.01			1.92	4.53					1.62	19.49			1.63	18.95
10/3	1.85			1.59	13.91					1.45	21.32			1.64	11.31
10/6	1.52	1.22	19.75				1.19	21.46				1.19	21.46		
10/8	1.37			1.19	13.56					1.19	13.27			1.16	15.38
10/13	1.52			1.22	19.85					1.22	19.59			1.35	11.21
10/15	1.45	1.30	10.67				1.11	23.33				1.11	23.33		
mean	2.59	2.11	17.39	2.18	17.37		2.01	22.07		2.05	21.20			1.99	23.12
Std	0.75	0.53	11.16	0.60	9.11		0.58	9.70		0.51	8.63			0.52	8.79
n	103	34	31	63	63		34	33		70	69			70	70

附錄七

實場操作現況分析數據

實場操作現況分析數據

日期	12/9			12/11			12/13		
	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	/	60	60	/	60	60	/
pH	7.13	6.38	/	7.21	6.38	/	7.17	6.41	/
濁度(NTU)	2.76	0.96	/	2.82	1.10	/	2.63	0.96	/
TOC(ppm)	2.48	2.44	/	2.40	2.43	/	2.43	2.11	/
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.021	0.004	/	0.018	0.003	/	0.022	0.002	/

日期	12/16			12/18			12/20		
	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	/	60	60	/	60	60	/
pH	7.33	6.42	/	7.20	6.51	/	7.21	6.43	/
濁度(NTU)	2.88	1.23	/	3.13	0.92	/	3.22	0.68	/
TOC(ppm)	2.62	2.20	/	3.50	2.83	/	3.39	2.70	/
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.019	0.005	/	0.037	0.014	/	0.022	0.015	/

日期	12/23			12/27			12/30		
	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	/	60	60	60	60	60	60
pH	7.18	6.52	/	7.32	6.28	6.28	7.36	6.31	6.33
濁度(NTU)	3.11	0.67	/	3.51	1.62	4.66	2.89	0.69	2.73
TOC(ppm)	3.44	2.70	/	2.96	2.56	2.82	2.80	2.34	2.78
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.024	0.013	/	0.023	0.017	0.020	0.027	0.003	0.006

日期	1/2			1/3			1/6		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.35	6.40	6.42	7.33	6.48	6.48	7.3	6.43	6.41
濁度(NTU)	2.83	1.80	2.11	3.112	1.32	2.98	2.83	1.20	1.24
TOC(ppm)	2.88	2.39	2.54	3.00	2.58	2.66	2.94	2.54	2.56
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.028	0.002	0.005	0.028	0.006	0.012	0.029	0.006	0.008

日期	1/7			1/8			1/9		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.3	6.45	6.45	7.32	6.48	6.50	7.32	6.40	6.40
濁度(NTU)	2.83	0.98	2.32	3.00	0.91	2.58	3.32	1.92	4.95
TOC(ppm)	2.94	2.56	2.91	3.01	2.61	2.92	3.12	2.78	3.01
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.029	0.004	0.009	0.031	0.005	0.009	0.026	0.006	0.011

日期	1/10			1/13			1/15		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.35	6.43	6.41	7.35	6.43	6.41	7.33	6.39	6.41
濁度(NTU)	3.85	1.20	1.24	2.87	1.54	3.10	2.91	1.00	1.54
TOC(ppm)	2.96	2.54	2.56	3.34	3.12	3.41	4.02	3.54	3.63
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.024	0.006	0.006	0.069	0.033	0.032	0.050	0.032	0.031

日期	1/21			1/23			1/28		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.35	6.39	6.38	7.32	6.41	6.40	7.36	6.40	6.43
濁度(NTU)	2.75	0.81	1.58	2.77	0.87	1.59	2.72	1.30	1.59
TOC(ppm)	3.67	2.93	3.64	4.27	3.36	3.24	4.40	4.20	4.32
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.053	0.028	0.034	0.054	0.028	0.040	0.056	0.033	0.034

日期	2/10			2/11			2/13		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.30	6.43	6.41	7.31	6.45	6.47	7.30	6.41	6.40
濁度(NTU)	5.88	4.15	5.81	4.97	4.02	4.12	5.02	4.78	4.32
TOC(ppm)	3.88	1.30	2.29	3.10	0.85	0.83	4.11	2.93	1.38
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.052	0.039	0.035	0.051	0.040	0.037	0.049	0.033	0.032

日期	2/18			2/20			2/25		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.36	6.38	6.40	7.32	6.40	6.38	7.35	6.35	6.36
濁度(NTU)	4.08	3.36	3.71	3.85	3.76	3.68	4.27	3.58	3.88
TOC(ppm)	4.58	0.96	1.52	4.69	1.37	0.96	4.87	1.98	1.23
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.065	0.043	0.040	0.064	0.043	0.046	0.066	0.043	0.047

日期	2/27			3/3			3/6		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.42	6.40	6.41	7.32	6.25	6.26	7.40	6.34	6.32
濁度(NTU)	4.12	3.54	3.63	4.92	3.49	3.86	3.07	2.98	2.86
TOC(ppm)	4.93	1.43	1.04	5.10	2.05	1.45	4.93	0.98	0.74
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.060	0.037	0.043	0.073	0.043	0.045	0.063	0.041	0.038

日期	3/11			3/13			3/18		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.37	6.22	6.22	7.42	6.23	6.21	7.35	6.23	6.25
濁度(NTU)	4.16	3.10	3.45	3.72	3.42	3.39	4.60	3.93	3.72
TOC(ppm)	4.02	0.80	0.88	4.76	0.98	1.00	4.65	2.81	1.62
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.061	0.032	0.036	0.065	0.037	0.035	0.068	0.046	0.041

日期	3/20			3/27			4/1		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.37	6.30	6.32	7.37	6.27	6.27	7.37	6.27	6.27
濁度(NTU)	5.06	2.17	1.74	4.23	1.82	1.17	4.87	1.49	1.27
TOC(ppm)	4.37	3.48	3.32	4.48	3.34	3.53	4.63	3.57	4.07
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.074	0.044	0.042	0.043	0.023	0.019	0.044	0.023	0.024

日期	4/3			4/8			4/10		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.47	6.17	6.11	7.53	6.15	6.13	7.50	6.14	6.17
濁度(NTU)	5.13	1.57	1.23	4.77	1.53	1.21	4.25	2.13	0.94
TOC(ppm)	4.53	3.40	3.60	4.50	3.86	3.37	4.61	3.61	4.28
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.045	0.024	0.024	0.066	0.027	0.025	0.056	0.049	0.039

日期	4/15			4/17			4/22		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.42	6.13	6.14	7.42	6.14	6.13	7.45	6.12	6.13
濁度(NTU)	5.23	1.91	1.27	4.86	2.87	1.77	4.98	1.75	1.23
TOC(ppm)	3.67	3.38	3.25	3.67	3.21	3.27	3.58	3.36	2.79
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.070	0.051	0.051	0.066	0.055	0.049	0.065	0.046	0.045

日期	4/24			5/1			5/5		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.42	6.15	6.13	7.46	6.20	6.24	7.49	6.21	6.20
濁度(NTU)	5.67	1.75	1.23	4.59	1.48	1.13	3.96	1.77	1.20
TOC(ppm)	3.00	2.78	2.69	4.51	3.10	2.60	3.96	3.57	3.42
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.061	0.045	0.035	0.077	0.044	0.041	0.062	0.037	0.033

日期	5/6			5/8			5/13		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.48	6.31	6.33	7.39	6.25	6.27	7.40	6.27	6.27
濁度(NTU)	3.69	1.73	1.05	3.87	1.56	1.23	3.68	1.18	1.59
TOC(ppm)	4.01	2.88	2.87	3.60	3.02	2.87	3.65	3.08	3.16
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.072	0.031	0.030	0.070	0.052	0.054	0.067	0.039	0.040

日期	5/15			5/22			5/27		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.39	6.33	6.33	7.41	6.20	6.18	7.30	6.38	6.38
濁度(NTU)	4.16	1.51	1.26	4.16	1.53	1.24	3.95	0.93	1.13
TOC(ppm)	3.55	3.23	3.42	4.24	3.48	3.76	3.99	3.33	3.81
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.074	0.040	0.038	0.068	0.031	0.030	0.065	0.034	0.037

日期	5/29			6/3			6/5		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.26	6.25	6.26	7.29	6.15	6.13	7.30	6.17	6.15
濁度(NTU)	3.59	1.22	1.25	3.96	1.26	1.38	3.85	1.43	1.21
TOC(ppm)	4.46	3.74	4.18	4.05	3.21	3.65	4.50	3.55	4.00
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.070	0.037	0.038	0.073	0.040	0.041	0.068	0.043	0.049

日期	6/6			6/10			6/12		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
pH	7.39	6.18	6.18	7.34	6.21	6.20	7.26	6.30	6.30
濁度(NTU)	3.68	1.35	1.06	3.64	1.95	1.21	4.83	1.09	1.37
TOC(ppm)	4.14	3.53	3.66	4.13	3.43	3.35	3.99	3.13	3.26
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.068	0.050	0.051	0.066	0.033	0.035	0.067	0.037	0.035

日期	6/17			6/19			6/24		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	40	40	40
pH	7.26	6.34	6.36	7.25	6.35	6.35	7.24	6.72	6.75
濁度(NTU)	5.94	1.92	1.65	5.87	1.52	1.33	5.67	1.30	1.59
TOC(ppm)	3.70	3.08	3.12	3.97	2.96	2.70	3.18	3.15	3.17
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.052	0.026	0.020	0.060	0.031	0.030	0.065	0.031	0.034

日期	6/26			7/2			7/3		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	40	40	40	40	40	40	40	40	40
pH	7.23	6.85	6.68	7.25	6.94	6.93	7.24	6.93	6.95
濁度(NTU)	5.82	1.35	1.56	4.86	1.25	1.51	4.59	1.92	1.63
TOC(ppm)	2.70	2.71	2.69	2.60	2.53	2.52	2.32	2.17	2.29
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.059	0.035	0.038	0.056	0.030	0.030	0.046	0.022	0.020

日期	7/8			7/10			7/15		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	40	40	40	40	40	40	40	40	40
pH	7.30	6.95	6.93	7.23	6.85	6.83	7.36	6.40	6.88
濁度(NTU)	4.32	1.61	1.33	4.93	1.33	1.74	4.53	1.42	1.63
TOC(ppm)	2.52	2.36	2.12	2.78	2.29	2.45	2.54	2.27	2.17
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.031	0.021	0.019	0.031	0.019	0.020	0.039	0.022	0.021

日期	7/17			7/22			7/24		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	40	40	40	40	40	40	40	40	40
pH	7.38	6.72	6.72	7.30	6.87	6.88	7.36	6.88	6.87
濁度(NTU)	4.34	0.86	0.97	4.32	1.21	1.57	4.38	1.38	1.23
TOC(ppm)	2.72	2.23	2.18	2.47	2.53	2.52	2.50	2.59	2.61
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.034	0.023	0.024	0.047	0.030	0.028	0.050	0.031	0.026

日期	7/29			7/31			8/5		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	40	40	40	40	40	40	40	40	40
pH	7.32	6.85	6.83	7.28	6.89	6.87	7.35	6.87	6.88
濁度(NTU)	4.12	1.31	1.02	3.86	1.31	1.62	5.58	1.37	1.12
TOC(ppm)	2.62	2.69	2.97	2.24	2.33	2.33	2.53	2.71	2.91
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.042	0.029	0.028	0.044	0.032	0.032	0.048	0.032	0.031

日期	8/7			8/12			8/14		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	40	40	40	40	40	40	40	40	40
pH	7.27	6.78	6.78	7.36	7.13	7.11	7.37	7.00	7.02
濁度(NTU)	5.93	1.33	1.23	4.12	1.51	1.05	4.32	1.27	1.12
DOC(ppm)	2.88	2.96	2.97	2.76	2.83	2.86	2.39	3.05	3.17
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.049	0.033	0.034	0.043	0.027	0.031	0.044	0.022	0.030

日期	8/19			8/21			8/26		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	60	60	60	60	60	60	50	50	50
pH	7.35	6.96	6.95	7.39	7.25	7.23	7.42	7.11	7.11
濁度(NTU)	10.3	1.35	1.12	14.3	1.83	1.88	2.32	0.86	1.62
DOC(ppm)	2.78	2.37	2.58	2.97	2.50	2.53	2.51	2.35	2.42
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.049	0.028	0.028	0.047	0.029	0.031	0.043	0.024	0.027

日期	8/28			9/3			9/4		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	50	50	50	50	50	50	65	65	65
pH	7.51	7.12	7.12	7.58	6.91	6.96	7.55	6.83	7.03
濁度(NTU)	5.21	1.32	0.93	29.4	2.1	2.1	25.1	1.7	2.2
DOC(ppm)	2.48	1.84	2.21	2.61	2.43	2.46	2.51	2.08	2.13
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.041	0.021	0.030	0.048	0.030	0.034	0.046	0.024	0.028

日期	9/8			9/10			9/16		
水樣	混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流		混凝進流	混凝放流	
		東側	西側		東側	西側		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	55	55	55	45	45	45	40	40	40
pH	7.46	6.98	7.08	7.41	6.95	7.03	7.15	3.98	7.06
濁度(NTU)	19.1	1.4	2.1	13.9	1.6	2	10.2	1.67	1.68
TOC(ppm)	2.49	2.14	2.28	2.43	2.34	2.11	3.10	1.99	2.54
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.042	0.022	0.023	0.043	0.022	0.025	0.039	0.021	0.023

日期	9/18		
水樣	混凝進流	混凝放流	
		東側	西側
硫酸鋁加藥 濃度(ppm)	50	50	50
pH	6.9	6.84	6.88
濁度(NTU)	19.4	1.82	2.66
TOC(ppm)	2.91	2.11	1.93
A ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.036	0.019	0.020