

崑山科技大學環境工程系
專題研究報告

淨水場製程偏離對供水操作影響 之探討

指導老師：許蕙琳

班 級：四環四 A

學 生：李淑莉、 廖依亭

中華民國九十五年四月

目 錄.

摘要	1
第一章 前言	2
第二章 文獻回顧	3
2.1 淨水處理	3
2.2 濁度變化	3
2.3 混凝、膠凝	4
2.4 過濾	5
2.5 綜合效能評估(CPE)	6
2.6 供水計畫	6
第三章 研究方法	8
3.1 製程風險	8
3.1.1 原水	8
3.1.2 淨水	9
3.1.3 送(配)水	11
第四章 研究內容	12
4.1 以台灣省自來水公司第六區管理處南化淨水場為例	12
4.2 單顆粒沉降 (Stokes' law)	12
4.3 單元貢獻 (去除分率)	13
第五章 結果與討論	14
5.1 導水管的製程偏離-沉降作用	14
5.2 調節池的製程偏離-再揚起	17
5.3 貢獻度 (contribution)	19
第六章 結論	28
第七章 參考文獻	29

圖目錄

圖 1.南化淨水場原水導水管之單顆粒沉降粒徑	15
圖 2.南化淨水場原水導水管之濁度去除率	16
圖 3.南化淨水場調節池之濁度去除率	18
圖 4.南化淨水場導水管之不同原（取）水濁度與濁度去除分率之關係	24
圖 5.南化淨水場調節池之不同原（取）水濁度與濁度去除分率之關係	25
圖 6.南化淨水場混沉池之不同原（取）水濁度與濁度去除分率之關係	26
圖 7.南化淨水場快濾池之不同原（取）水濁度與濁度去除分率之關係	27

表目錄

表 1.南化淨水場操作監測資料（年平均値）之一階線性迴歸 R^2 值 ...	21
表 2.南化淨水場不同去除率情況與各淨水單元之貢獻度	22
表 3.南化淨水場不同季節的管中耗氣與濁度等變化	23

摘要

國內常以新設 (new site)、擴建 (development)、或場內改善 (enhance) 等方式常用來提升淨水場的淨水效能 (treatment efficiency)。然而不論是新設、擴建或場內改善等方式，事實上，淨水場的操作是具有風險的，因為功能設計不等於操作結果，所以製程偏離可能導致過濾負荷突增，淨水效率驟降，甚至產生不安全或不合標準水質之供水風險等。因此針對國內淨水場之製程偏離 (deviation)，應如何建立風險管理指標以加強供水的安全性，是值得探討。本文以台灣省自來水公司 (台水) 第六區管理處南化淨水場 (Taiwan Water Corporation Sixth-Branch Nan-Hua Water Treatment Plant) 為對象。由淨水場供水操作之監測資料得知，淨水單元之操作有製程偏離之情況 (也就是濁度去除率 <0)，以一階線性迴歸其相關性 (R^2 值) 並不明顯，但是原水濁度、供水濁度與配水管中餘氯衰減量之月平均變化卻有明顯之關係，因此淨水單元對淨水效能之貢獻度 (contribution) 須加以分析。其結果顯示淨水單元有 71.48% 累積頻率的貢獻度 <0 ，尤其是調節池有 39.08% 累積頻率 (也就是 143 天/年) 的貢獻度 <0 ，而混凝沉澱池也有 24.98% 累積頻率 (也就是 91 天/年) 的貢獻度 <0 ，這是不利於淨水處理的，因為調節池的單元濁度去除率低 (也就是底泥再揚起)，會使得配水系統之管中耗氯量較高，而混凝沉澱池的單元濁度去除率低，亦會使得快濾池成為主要的去除單元。此外，調節池與混凝沉澱池之間存在著互補 (complementary) 作用，雖然混凝沉澱池與快濾池之間貢獻率不具顯著關係，但是快濾池的貢獻度是隨原水濁度的減少而增加，這對低濁度的淨水處理是很重要的。

關鍵字：淨水場、製程偏離、濁度、貢獻度

第一章 前言

由於淨水場的處理效率攸關飲用水水質，雖然國內淨水場的處理操作與供水須符合「飲用水水源水質標準」⁽¹⁾、「飲用水水質標準」⁽²⁾、或是「飲用水設備維護管理辦法」⁽³⁾等，但是淨水處理的製程偏離可能導致過濾負荷突增、淨水效率驟降、或是發生管中沉積、腐蝕等現象，甚至產生不安全或不合標準水質之供水風險等。在國內曾對淨水場的處理效率進行「綜合效能評估」(Comprehensive Performance Evaluation; CPE)，並且針對各水場提出建議與改善，但是由於CPE是針對處理單元進行功能檢視評估，以及對於功能限制因子提出改善方法，對於整體淨水場的處理流程，包括原水取水、淨水加藥與消毒等，仍無法明瞭較脆弱或較具風險的環節，尤其是當雨季過後或是原水水質惡化等情況發生時，淨水場可能仍面臨著停止供水的風險威脅，所以這對淨水場的操作管理與大眾的飲水需求是很沒有保障的。早在石化業就針對製程偏離所可能發生的事件加以探討，且在美國EPA亦制定量化風險管理計畫(Risk Management Program, RMP)等，以檢討失誤與改善之管理效益⁽⁴⁾。但由於淨水場的淨水處理過程複雜且範圍廣泛，其中包括原水取水與輸水、淨水加藥與過濾、清水消毒與送配水等，皆有可能因製程偏離而發生例如空氣污染(氯氣外洩)、飲用水污染(水質不符飲用水標準)等事故，因此為確保淨水場的處理效率，並提供質優量足的自來水，針對國內淨水場之製程偏離對於淨水操作之影響，以及應如何建立風險管理指標以加強供水的安全性，是值得探討。本文以台灣省自來水公司第六區管理處南化淨水場為對象。

第二章 文獻回顧

2.1 淨水處理

天然水中濁度組成複雜，依特性包括有機物與無機物，例如蛋白質、黏土礦物、有機色質、藻、菌等物質，因在水中使光線產生反射或散射（tyndall effect）而形成濁度⁽⁵⁾，並因來源環境的不同而不同，進而影響淨水效率。以水庫水源為例，原水濁度的來源包括水域、陸域及少量來自空氣（沉降、下雨）。

2.2 濁度變化

1. 季節性—例如夏冬季的溫度成層，春秋季的對流水力擾動等。一般而言非雨季的有機性濁度，因膠體特性需加藥混凝沉澱。
2. 降雨作用—例如直接落雨、降雨強度、集流沖刷等。一般而言豪大雨沖刷的懸浮物（SS）、因多係無機性顆粒可靜置沉降。
3. 沉降底泥—釋出營養鹽，例如氮、磷、鐵、錳等，影響水中生物作用。根據國內南化水庫優勢藻種調查結果，在雨季的藻種較多⁽⁶⁾。

對於淨水場的供水而言，淨水處理之流程（processes）係依原水水源或是水質而不同，而天然原水之變化與不同操作單元之處理過程，是製程偏離的風險來源之一，例如表面原水（surface water）之快砂過濾（rapid sand filtration）、石灰蘇打灰軟化（lime-soda soften）等、地下原水（ground water）則是氣提加氯（gas stripping and chlorination）等，其中常見的淨水單元（units）有攔污（screen）、沉砂（sand sedimentation）、前加氯（pre-chlorination）等預處理，以及混凝（coagulation）、膠凝（flocculation）、沉澱（sedimentation）、砂濾（sand filtration）、

後(清水)加氯(post-chlorination)等處理單元,或活性碳(active carbon)、薄膜(membrane)、結晶軟化(pellet softening)等高級(advance)處理單元等,再加上國內飲用水源水質日趨惡化,河川普遍受到污染,甚至曾經發生嚴重的水源污染事件(例如89年7月高屏溪長興化工的昇利二甲苯事件),致使淨水處理日漸困難,尤其是水中的溶解性有機物以一般傳統淨水程序不易去除,而使用有機性的高分子混/助凝劑又易造成沉澱池或過濾池中微生物的生長等⁽⁷⁾。故為保障安全的飲用水質,美國國家安全飲用水組織(National Safe Drinking Water Act)早在1974年制定飲用水標的以保障飲水安全,國內則是行政院環保署(EPA)在民國87年制定的飲用水質為標準,並且明訂飲用水質標準限值,其中以硬度(hardness) < 150mg/L,總溶解固體(TDS) < 250mg/L最為嚴格。

2.3 混凝、膠凝

在淨水過程中對於水體濁度常藉由混凝、膠凝及沉澱等單元來達到去除之目的,而其主要原理係利用膠體的負電性,藉由添加正電荷的金屬鹽類來達到壓縮電雙層、電價中和、吸附、架橋、沉澱及共沉澱掃曳之目的,使水中膠體、顆粒或溶解性等物質形成膠羽化合物而沉降去除⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。所以混凝、膠凝效果將影響沉澱、過濾效果,以及供水飲用的水質,其中混凝劑種類、加藥量、pH值、溫度、攪拌強度及方式、快混加藥方式、水流狀況等都會影響混凝、膠凝的效果⁽¹³⁾。又水體中的有機性污染物質(如氮、磷)其較複雜,例如磷的去除與混凝劑加量及混和速度有關、Alum先去除綠藻(chlorophyta)及矽藻(diatoms),然後才去除藍綠藻(cyanophyta)等⁽¹⁴⁾。一般而言,水中大分子有機物(如humic acid),主要是以電價中和-沉降或吸附機制去

除，而小分子則是以吸附或共沉型與膠羽作用。PAC 是國內淨水場日趨普遍使用的混凝劑，其具有相當高的表面積體積比，所以能有效以電中和方式吸附帶負電的顆粒上。PAC 顆粒表面雖由負電性因吸附轉為正電性，但顆粒表面仍有許多可供多核鋁錯合物吸附的吸附基 (site)，可使顆粒得以繼續成長至吸附飽和為止，因此過多的 PAC 加量不會使得濁度有增高的現象⁽¹⁵⁾。而且 PAC 有很大的表面積體積比，就高濁度原水而言，PAC 主要的混凝機制是電性中和，所以 pH 值變化可維持在 0.3 個單位內⁽¹⁶⁾。

2.4 過濾

過(快)濾主要是將沉澱池中未沉降的懸浮微粒再加以濾除之，過濾機制包括傳送機制、吸著機制⁽¹⁷⁾，即顆粒與濾料或濾料上之吸附及沉澱物之真正結合或附著，可去除 100 μ m 以上的微粒。一般認為快濾池的生物作用確實存在，但常會因淨水程序實施預氣，和較高的反沖洗頻率，而使的生物活性降低。文獻亦認為水力負荷會產生較高的剪力，而使硝化菌體無法附著濾料表面。因此水力負荷、濾料選擇、反沖洗、污泥排除等情況都會影響沉澱過濾效率⁽¹³⁾⁽¹⁸⁾。此外由於混膠凝效果將影響沉澱、過(快)濾效果，因此高 PAC 加量時的濁度去除率高，但已有可能殘餘濁度仍偏高，反而不利或增加快濾池負荷。而且快濾法因過濾時砂面形成膠羽被壓密形成的濾膜(稱人工濾膜)，藉由人工濾膜的阻留作用及全層濾料的機械阻留來達到去除濁度之效果。所以濾後濁度去除率與膠沉後濁度之關係不顯著時，其可能濾床不穩定(如 air binding、截留膠羽造成貫穿、反沖洗頻率)，或是膠沉後濁度太低不利濾除(無法形成人工濾膜)⁽¹⁷⁾。

2.5 綜合效能評估 (CPE)

USEPA 於 1988 年公佈整體性改善計畫 (Composite Correction Program ; CCP) , 內容包括綜合效能評估 (Comprehensive Performance Evaluation ; CPE) 以及綜合性技術支援 (Comprehensive Technical Assistance ; CTA) , 作為淨水場在操作上考量如何加強處理效率之參考。其中 CPE 之計畫內容有功能檢視、操作單元功能評估、功能限制因子等三要項。以國內南化淨水場為例, 對於防止微生物污染之準則⁽¹⁹⁾ :

1. 監測要求：每日原水濁度，每座沉澱池每 4 時之出水濁度，每座濾池連續線上監測，濾池每月反沖洗資料等。
2. 沉澱池最佳化操作目標：原水平均濁度 $< 10\text{NTU}$ 則沉澱出水 $95\% < 1\text{NTU}$ ，原水平均濁度 $> 10\text{NTU}$ 則沉澱出水 $95\% < 2\text{NTU}$ 。
3. 過濾池最佳化操作目標：每 4 時為最大基準之濾出水 $95\% < 0.1\text{NTU}$ ，最大濾出水濁度 $< 0.3\text{NTU}$ ，反沖洗後濾出水濁度 $< 0.3\text{NTU}$ ，反沖洗後恢復期 15 分鐘(即 15 分鐘後 $< 0.1\text{NTU}$)等。
4. 消毒最佳化操作目標：最佳 CT (concentration - time) 值，以減少致病菌對人體危害與消毒副產物之生成。

2.6 供水計畫

目前國內對於供水計畫之因應方式主要有⁽²⁰⁾ :

1. 新設 (site) : 常見有增闢水源、淨水場、輸水管線等方式，但是因民眾意識高漲，或是投資報酬率偏低、耗費時日而不易執行。
2. 擴建 (development) : 淨水場設立若於規劃時有預留用地，則設備擴建較易執行，但是卻也可能發生各期擴建的處理設備其

規格不同、效率不一的情況。而國內卻仍有較多數的水場，多是因無預留用地致無法擴建設備，影響供水量與水質提昇。

3. 場內改善 (enhance): 常見的方式例如有綜合效能評估 (CPE) 之最佳化處理操作⁽¹⁹⁾、增設臭氧 (ozone)、活性碳 (active carbon)、薄膜 (membrane) 等高級處理單元 (advance treatment unit) 等⁽²¹⁾。

但是台灣地區由於供水壓力大、水源水質惡化、水源保護區縮編、淨水設備老化等，皆是國內淨水場所面臨的困難。雖然國內淨水場 (台水) 已針對淨水設備研訂中長程改善計畫，予以逐年更新改善，甚至全面執行淨水場綜合效能評估 (CPE) 的功能改善。但是對於二十四小時連續供水的淨水操作，卻有可能因原水水質的急遽惡化 (如降雨、污染等) 而影響供水量與供水水質。所以如何在操作改善與設備增設得到最佳的供水管理，是淨水場必須考量的。

第三章 研究方法

3.1 製程風險

對於淨水場製程偏離所產生的不佳的飲用水質，其原因分別是原水太差、淨水不佳、送（配）水污染。因此針對淨水場操作處理單元之功能說明，與其製程風險之潛在危害，如下說明。

3.1.1 原水

以地表水為水源的淨水設備，去除濁度是一重要的設計參數⁽²²⁾，雖然淨水場對於濁度的去除是有許多影響因子已被加以確認⁽¹³⁾⁽²³⁾。但是有機物與高分子聚合物是不易在淨水過程被去除的，很容易產生微生物的生長⁽⁷⁾。尤其是優養化水質產生的藻類會釋出毒物，且依藻種不同。所以水庫除藻時需考慮是否會造成毒物釋出，以及釋出的毒物量，通常加入除藻劑後，藻類約 1-3 天內被破壞而釋出毒物⁽²⁴⁾。由於台灣是位在熱帶與亞熱帶，河川的光合成產率約有 2-3%，所以藻類種類與藻類釋出的毒性物質，會造成優養化會形成一種飲用水安全的危害⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾。例如使管線腐蝕（corrosion）而發生微生物生長⁽²⁶⁾。所以供水 pH 的變化與原水中生物作用之影響有關，即配水管網的耗氯量與藻類代謝產物，以及部份會貫穿濾床之藻種有關。國內曾在南化淨水場原水調查中發現會貫穿濾床的 *Oscillatoria*（5 月）、*Lyngbya*（8、2 月）、*Chlamydomonas*（2 月），以及會產生臭、味、毒性物質的 *Synedra*（5、10 月）、*Synedra*（5、10、2 月）、*Microcystis*（四季）等藻類⁽⁶⁾。

1. 水庫：可調節雨季與枯水期的供水量，並可依不同取水高程取用不同水質，但是由於水庫蓄水量大故也存在著藻類滋生的問

題，所以取水高度需經常調整。

2. 河渠：隨著雨季與枯水期而影響抽水量，因為雨季時濁度較高而必須降低取水量、枯水期時水量少為避免水床擾動而必須減少抽水量，所以濁度是最大的問題所在，這對於抽取原水而言就必須常調整抽水機運轉數量以及每部抽水機的出水量等。
3. 取水：不論是水庫的取水閘門或是河渠的抽水設備，皆是由現場人員依水質現況而去改變取（抽）水方式，而且多是經驗傳承的方式，因此可能影響淨水處理效率。
4. 導水：通常是重力式導水，但是由於管徑大，管壁的沖刷與管中沉澱物的再揚起，可能使的水質在導水管發生改變，所以流況與流量是影響因素。

3.1.2 淨水

混凝沉澱並不能去除有些藻類，如 *Scenedemus quadricauda*，因為在細胞上有尖刺可能會阻止架橋作用之發生，但是過濾卻可除這些體積較大之藻類。而 *Chlorella* 直徑約 $3\mu\text{m}$ ，可被有效混沉去除，但是若未被去除時，快濾池並無法加以濾除該類藻類。矽藻 *Stephanodiscus hantzschii* 因具有 $40\mu\text{m}$ 鋼毛（bristle）會阻止鄰近細胞之接觸，因此混凝去除該藻類時則需較高的混凝劑量，故會產生大量的膠羽來填滿細胞間的空隙，進而沉澱拌除加以去除。若在淨水處理的過程中，添加高分子混凝劑或助凝劑，因此類高分子係屬有機物，其易促成沉澱池或過濾池中微生物的生長，造成出流水有機物反而比原水高的異常現象⁽⁷⁾。此外添加混凝劑 Alum 會先去除綠藻（chlorophyta）及矽藻（diatoms），然後才去除藍綠藻（cyanophyta）。而帶陰電性的腐植質以共價鍵結合在膠羽表面，而繼續與水中小分子有機物進行吸附作用⁽¹¹⁾。因為證實引起色度的黃酸類有機物會與高價金屬形成錯合物之現象。

1. 調節池（初沉池）：由於淨水場之處理水量須依供水現況作即時調整，而且原水水質亦隨每日而變化，故在淨水處理之前須設調節池，除了可調勻原水水質水量、緩和導水管流速外，亦可初步沉澱砂粒以確保後續的處理單元效率。
2. 快混池：添加混凝劑（南化淨水場並無添加助凝劑）藉由機械攪拌或水力混合，以達到膠體（colloid）去穩定作用而使膠羽（floc）形成。所以混凝劑的添加攸關著淨水處理成效的首要關鍵，而且理論上混凝劑有最適添加量，也就是濁度高低與添加量係非完全線性關係，但是在淨水場的處理可能較無法即時改變混凝劑加量，所以對於處理後的水質存在著不穩定的風險。
3. 慢混池：將快混形成的微小膠羽（floc）經由降低攪拌能量（ G ；gradient velocity）使膠羽凝集增重、增大，通常只要有較適當的混合 Gt 值，膠羽凝集的效果皆不錯，故慢混對於淨水處理的敏感度是較低的。
4. 沉澱池：將增重的膠羽藉由沉降去除，其中水力停留時間（hydraulic retention time；HRT）與溢流率（overflow rate； S ）是決定沉澱效率的主因，但是由於 HRT 與 S 皆是設計規範，故沉澱池在淨水處理是必須經常調整每池的處理水量，以免 HRT 太長而 bulking、或是 S 太大而 short-flow。
5. 過濾池：將增重且未在沉澱池沉降的懸浮性膠羽去除，是淨水處理流程最重要的防線，尤其是濁度低、混凝劑添加量不足時，過濾池成為濁度去除的主要單元。但是對於溶解性則幾乎不具去除效果，而且附著性藻類（如濾料、池壁）、濾程太長或太短都是影響因素。
6. 清水池：將處理的水質添加消毒劑（CT value），以破壞水中氬氣、與病菌，保持送配水過程餘氯量。目前國內常見的消毒劑有 Cl_2 與 $NaOCl$ ，所以加氯設備的失誤，除了因「氯」（chlorine）

是屬於「毒性化學物質」對週遭居民的影響之外，不穩定供應水質的風險才是最需要重視的。

3.1.3 送（配）水

腐蝕與生物膜（biofilm）在送配水管中是經常被發現的，而且腐蝕的發生又是經常是與消毒劑的作用，故阻礙了生物膜與有機物的破壞⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。有研究發現生物膜在非鐵管中的抗氯性較大，再加氯（re-chlorine）的餘氯衰減較加氯後的衰減低，而且氯胺破壞生物膜的效過較自由餘氯（free chlorine）佳⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾。一般而言，配水系統的餘氯變化其主要影響因子有：餘氯梯度，供水流量，管材與管徑⁽²⁷⁾⁽³¹⁾，有機質、氮（NH₃-N）、溶氧（dissolved oxygen）、鹼度（alkalinity）及 biomass⁽³²⁾、pH、溫度及水力流況⁽³³⁾⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾等。而氯造成細胞（cell）破裂增加 DOC 及釋出代謝物 geosmin 及 toxin。配水管網的餘氯 1-2mg/L 時，當 AOC>50μg/L 仍有可能有微生物之生長⁽²⁷⁾。

1. 送水管：不論是重力式或是加壓式的送水方式，皆有可能因管中流況與流量而影響水質。另外加壓式的送水方式尤其需防止設備所造成的水質污染。
2. 配水池：由於供水區域的用水量，依日平均用水量、最大日用水量、最大時用水量與最小時用水量的變化太大，所以在適當高程或管線距離需設置以調節水量、或再加氯保持配水管餘氯的配水池，其多為無人式監控管理，因此對於加氯系統發生事故的風險需加以重視。
3. 配水管：用戶直接取用或是流經用戶儲水塔，其管線汰換的頻率與管線修漏等直接影響區域性（local）的供水水質。

第四章 研究內容

4.1 以台灣省自來水公司第六區管理處南化淨水場為例

南化水庫係集取後堀溪流域集水區及高雄縣甲仙鄉旗山溪攔河堰越域引水，二者分屬曾文溪水源水質水量保護區域及飲用水管理條例之飲用水水源水質保護區。水庫集水區內水系長達 35 公里，集水面積 108 平方公里，沿河道平均坡降 1/100，地質多屬砂頁岩或泥灰岩。土壤主要是石質岩、暗色崩積土、淡色崩積土、沖積土等，水庫大壩標高 187.5 公尺，有效蓄水量 1.3455 億立方公尺。目前由台灣省自來水公司第六區管理處營運管理，屬公共用水單一目標水庫。而南化淨水場係為配合南化水庫上游計劃與水資源開發，於八十二年十一月一日成立，供水量每日 80 萬噸（CMD），常年供水量約二億九仟萬噸，主要供應大台南地區及高雄縣市部份地區之民生與工業用水，供水區域包括有台南縣南化鄉、左鎮鄉、山上鄉、新化鎮、永康市、仁德鄉、歸仁鄉、關廟鄉、台南市以及高雄縣市部份地區、送配水管線總長度超過一百公里。

4.2 單顆粒沉降（Stokes' law）

$$v = (\rho_s - \rho) / 18\mu \times dp^2 \times g ; \text{ laminar flow}$$

$$v = (6.06 \times \gamma \times (\rho_s / \rho_l - 1) \times g)^{0.5} ; \text{ transfer flow}$$

$$v = (1.96 \times dp \times (\rho_s / \rho_l) \times g)^{0.5} , v ; \text{ turbulent flow}$$

4.3 單元貢獻（去除分率）

以迴歸方式（ R^2 值）建立各單元相互之關係，是最常見的方式。但是迴歸的階數（order）與線性與否等將會影響其關係值（ R^2 值）。以南化淨水場為例，將淨水場監測之濁度與去除率，以一階線性迴歸關係（ R^2 值）之結果，並無法得知各單元處理效率與處理後水質之相互影響，所以這對於淨水場的操作是很危險的，因為當淨水的製程偏離（deviation）時（如再揚起），將會對後續單元產生影響，增加淨水操作的風險，因此各淨水單元對於處理系統濁度去除之貢獻，需加以分析。由各單元濁度去除所佔整場處理流程去除之百分比，是有助於淨水場之風險管理，因為各單元之貢獻已知，是有助於現場操作調配。

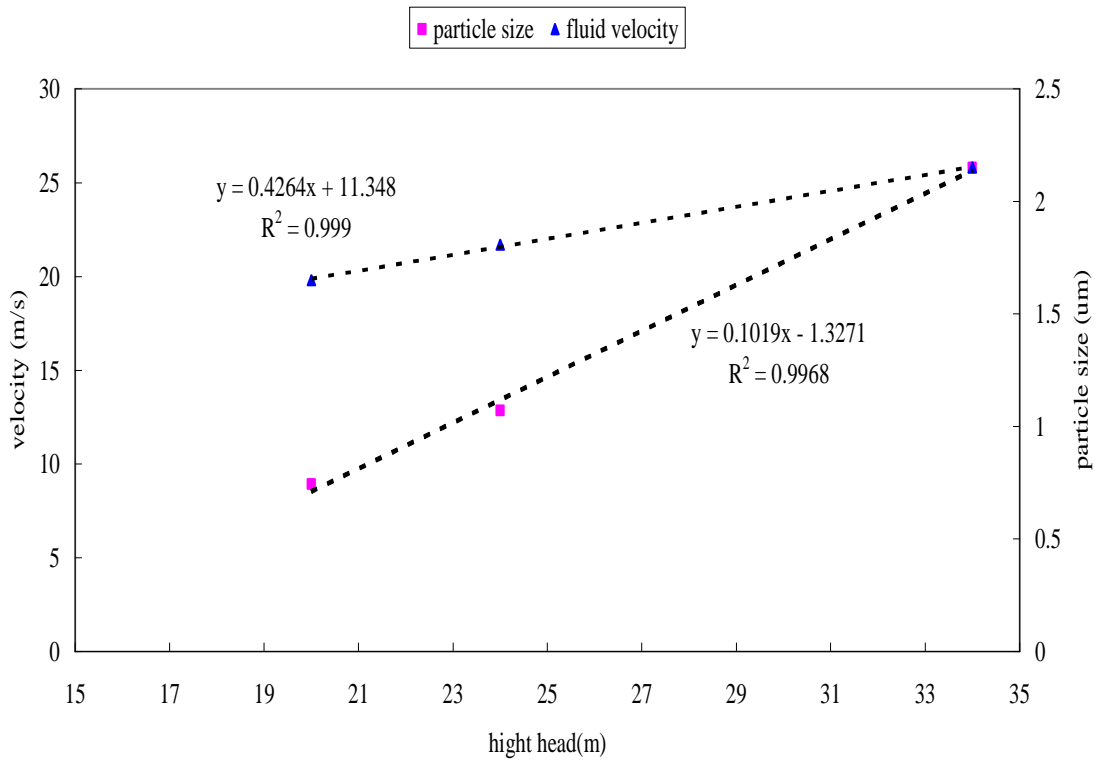
1. 單元的濁度去除率 = (進流水濁度 - 出流水濁度) / 出流水濁度
2. 整場的濁度去除率 = (原水濁度 - 清水濁度) / 原水濁度
3. 單元的濁度去除分率 (unit treatment contribution) = (進流水濁度 - 出流水濁度) / (原水濁度 - 清水濁度) = 單元的濁度去除率 × 進流水濁度 / 整場的濁度去除率 × 原水濁度

在不同原水變化時，將各淨水單元對於濁度去除之貢獻度（去除分率）加以分析其發生之頻率，是有助於確定原水在高濁度或是低濁度時，淨水處理操作之主要貢獻單元。

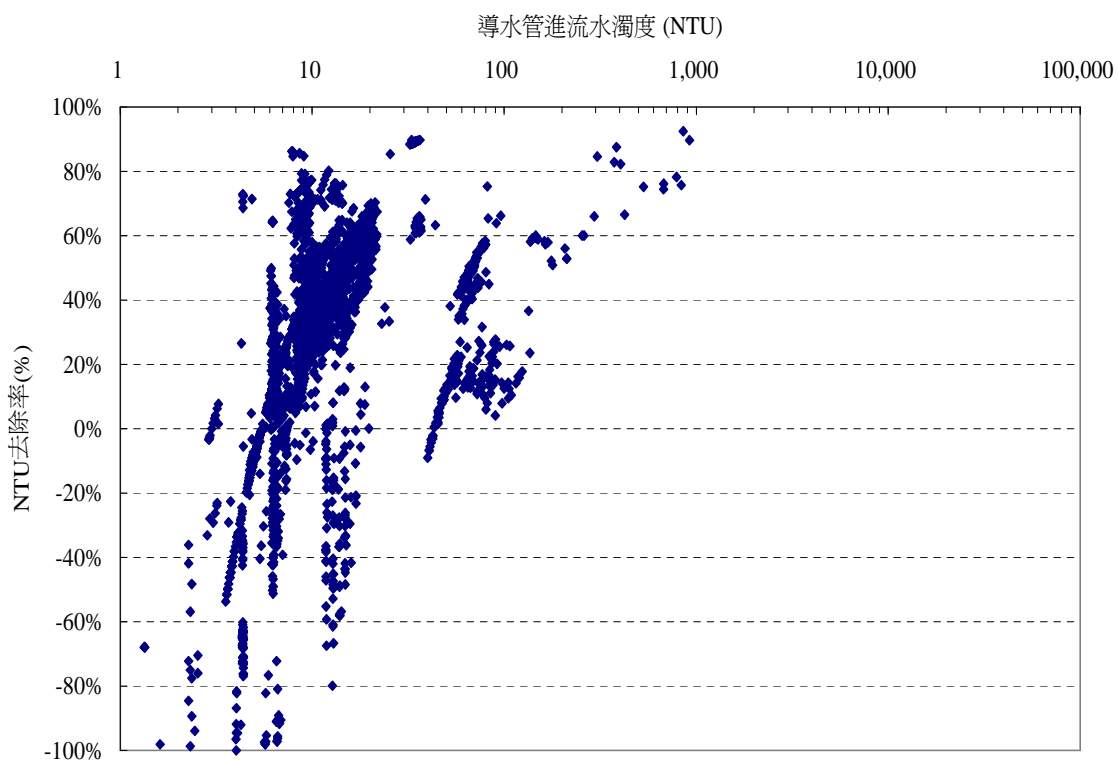
第五章 結果與討論

5.1 導水管的製程偏離-沉降作用

導水管係以導送原水為目的。因南化淨水場上游水庫常因蓄水量（水位）、水質濁度等影響而變化取水口的高程，進而影響導水管中流速及沖刷作用。所以由高程變化可得知導水管在不同的高程對顆粒大小之去除關係（圖 1），其中高程愈高，水流速度愈大，沉降去除的粒徑亦愈大，因此在操作上就必須常排泥，否則就會發生再揚起（resuspension）之作用，而使得導水管出水口濁度高於進水口之情況。而由實場之操作變化（圖 2）發現，進流水濁度愈高則去除率亦愈高，但是低濁度時，濁度去除率有時發生 <0 的情況，其原因是因現場操作有時為降低原水濁度及減少加藥量而變化取水高程，故影響導水流況及流速，使得沉降之泥砂易被再揚起。



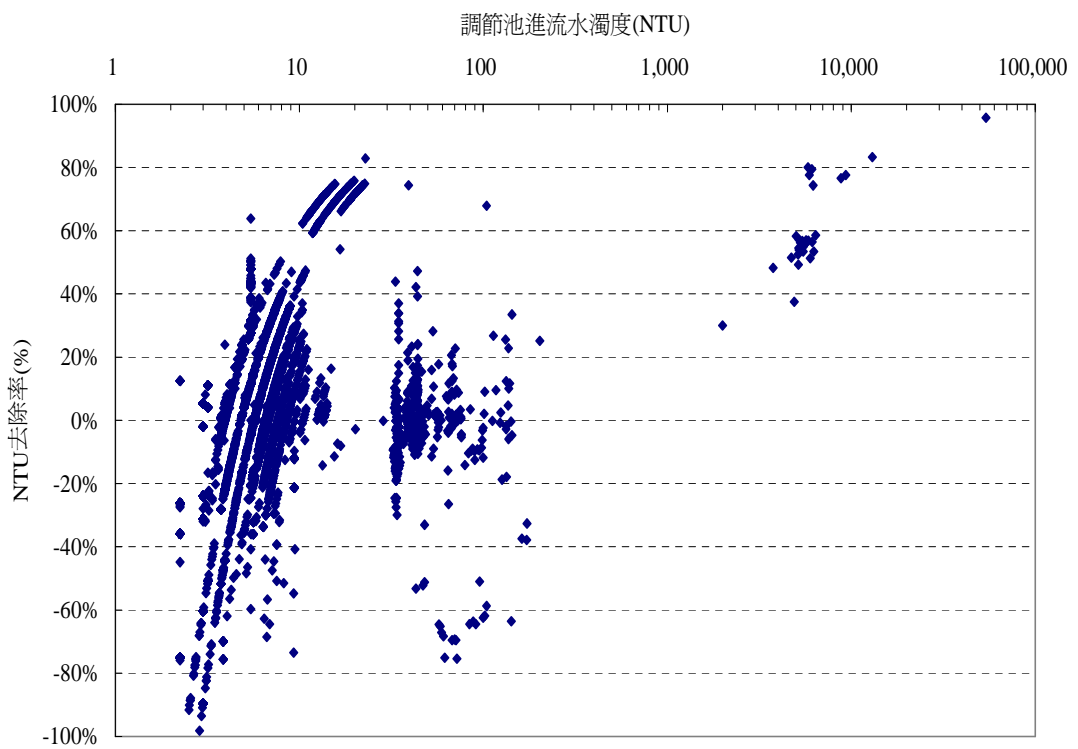
圖一 南化淨水場原水導水管之單顆粒沉降粒徑



圖二 南化淨水場原水導水管之濁度去除率

5.2 調節池的製程偏離-再揚起

因調節池係以調勻水質及初沉之作用，所以會有濁度去除效果 ($R > 0$)。依現場設備之操作水頭 (1m) 可知，單顆粒沉降僅能去除 $13.8\mu\text{m}$ 以上之顆粒，遠較導水管去除之顆粒 ($2.15\mu\text{m}$) 大，顯然調節池的功能並無法增加大顆粒濁度的去除，尤其是愈小粒徑 ($13.8\mu\text{m}$ 以下)。根據現場調節池操作結果 (圖 3) 得知，有 50% 累積頻率的濁度去除率是 < 0 (導水管僅 20%)，而且年平均濁度去除率為 -5% (導水管係 23%)，其原因除了現場操作可能有待調整之外 (如低濁度時則減少水力停留時間)，季節性的水質變化亦可能會影響去除效果，因為水力停留時間過長 (約 2 小時)，可能使得底泥再揚起 (resuspension)，N、P 釋出、滋生藻類等。而通常雨季時濁度較高，可沉降濁度顆粒可能較多，無機性比重大，去除率亦較高。



圖三 南化淨水場調節池之濁度去除率

5.3 貢獻度 (contribution)

由於南化淨水場供水操作之監測資料，以一階線性迴歸結果其關係 (R^2 值) 並不明顯 (表 1)，所以僅引用濁度或去除率無法真正發現處理潛在的危險與因應。由於初沉可提高混凝沉澱對濁度的去除率，減少季節性藻類對淨水處理之影響⁽²⁶⁾，因此當去除率小於 0 時可能會增加供水安全的風險。由前述得知，原水濁度變化與季節性變化對於淨水處理風險的影響不同，雖然由南化淨水場的操作監測資料得知，供水濁度 (NTU) 與管中餘氯值 (mg/L) 皆符標準，而且淨水場的混凝與沉澱可有助於去除濁度與季節性藻類的影響，提高飲用水質，但是由於淨水過程有去除率 <0 (製程偏離) 之情形發生，其對淨水處理之影響不可忽視，因此淨水單元的”貢獻度”就必需加以確認，以提升供水的安全性。由圖 4 可知原水濁度愈高，導水管的貢獻度愈高。圖 5 可知原水濁度愈高，調勻池的貢獻度愈趨於 0，而且濁度愈低其貢獻度變化愈大。圖 6 可知原水濁度與混凝沉澱池的貢獻度關係並不明顯。圖 7 可知原水濁度愈高，快濾池的貢獻度愈低，也就是低濁度原水時之主要去除單元，負荷也較大。

表 2 是南化淨水場之淨水過程，不同去除率情況與各淨水單元之貢獻度，其中 $R1 > 0$ & $R2 > 0$ & $R3 > 0$ & $R4 > 0$ 之累積頻率 28.52%，這是有利於淨水處理的，換言之有 71.48% 的累積頻率是有單元貢獻度 (R) < 0 之情形發生，尤其是 $R1 < 0$ & $R2 < 0$ & $R3 < 0$ (累積頻率 $0.19\% \times 365 = 0.7$ 天/年) 則是不利於淨水處理的，在此情況下，淨水處理將會發生完全依賴快濾池去除功能的危險情形，尤其是調節池的貢獻度有 39.08% 累積頻率 (也就是 $0.19\% + 2.23\% + 3.3\% + 33.36\% = 39.08\%$; $\times 365 = 143$ 天/年) 是 < 0 ，是需要注意的。而混凝沉澱池的貢獻度亦有 24.98% 累積頻率 (也就是 $24.98\% \times 365 = 91$ 天/年) 是 < 0 的，然而貢獻度 < 0 可能導致過

濾負荷突增，淨水效率驟降，甚至產生不安全或不合標準的供水水質。所以再揚起使貢獻度 <0 需注意，以南化淨水場而言，每年可能有 0.7 天停場之風險，因為 $R1<0$ & $R2<0$ & $R3<0$ 是存在的，因此在淨水單元之貢獻度關係是需要加以了解的，以降低風險、加強操作管理。

已知會產生臭味的藻類（synedra、oscillatoriathe）、會產生毒性代謝產物的藻類（microcystis）以及會貫穿快濾床的藻類（lyngbyain）等已在南化水庫的原水中發現⁽⁶⁾。由於藻類種類與藻類釋出的毒性物質，造成飲用水安全的危害⁽²⁴⁾，所以（優勢）藻類及其代謝產物、降雨及其逕流等影響因子具有季節性變化之特性，因此對淨水處理之季節性變化須加以分析，例如耗氯量、濁度等。表 3 係依季節的餘氯變化與濁度等關係，其中春季之管中餘氯衰減之變化與冬季是低於夏季與秋季，秋季因高濁度原水（平均 40.39NTU）與再揚起使得快濾池去除率較低（平均 83.06%），所以快濾池的出流水濁度（平均 0.76NTU）與變化（變異數 48%）皆較高，也就是負荷大，貢獻度為 75.76%，但是夏季則是快濾池有較低的出流水濁度 0.42NTU 與變異數 3%，所以負荷小，貢獻度為 34.29%，雖然秋季時調節池對濁度去除的貢獻度 -431.5% 係遠小於夏季的貢獻度 11.05%，而且快濾池的濁度去除最低（平均 83.06%），但是貢獻度 75.76% 卻是最高，這是由於調勻池的再揚起使得貢獻度降低，導致增加快濾池負荷，因此調勻池須對於水力停留時間需加以控制，以減少再揚起與藻類生長，而且混凝沉澱池濁度去除的貢獻度增加，將可減少快濾池的負荷，以及減少管中餘氯的衰減，尤其是調節池濁度去除的貢獻度小於 0 時。所以雨季（夏季）所增加的营养鹽與濁度在淨水過程雖然被沉澱，但亦會因再揚起或污泥回流之影響使處理水之濃度增加，以致於快濾池去除率降低與管中餘氯衰減增加，春冬時餘氯衰減少，因原水 NTU 低，但混凝沉澱池貢獻度與單元濁度去除率較低是危險的。

表一 南化淨水場操作監測資料（年平均值）之一階線性迴歸 R² 值

		降雨	水位	pH		NTU				NTU residual ratio			加氣	PAC 加量	
				井	濾	庫	調	井	沉	濾	調	沉			濾
水位		0.02													
pH	井	0.03	0.00												
	濾	0.03	0.02	0.65											
NTU	庫	0.04	0.00	0.12	0.13										
	調	0.00	0.04	0.02	0.04	0.70									
	井	0.05	0.01	0.03	0.06	0.84	0.93								
	沉	0.01	0.11	0.06	0.15	0.17	0.08	0.18							
	濾	0.02	0.16	0.05	0.03	0.08	0.00	0.02	0.11						
NTU residual ratio	調	0.01	0.00	0.02	0.04	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01					
	沉	0.01	0.01	0.29	0.32	0.34	0.02	0.09	0.03	0.23	0.02				
	濾	0.01	0.24	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.06	0.78	0.03	0.18			
加氣		0.03	0.01	0.19	0.12	0.01	0.27	0.03	0.07	0.06	0.04	0.08	0.00		
PAC	加量	0.04	0.02	0.28	0.43	0.49	0.72	0.38	0.51	0.35	0.05	0.73	0.05	0.05	
	單位 去除	0.01	0.00	0.15	0.20	0.73	0.91	0.88	0.72	0.34	0.02	0.69	0.00	0.04	0.55
	單位 去除	0.01	0.00	0.15	0.20	0.73	0.91	0.88	0.72	0.34	0.02	0.69	0.00	0.04	0.55

註：井-分水井進流水，濾-快濾池出流水，庫-水庫原水，調-調節池進流水

表二 南化淨水場不同去除率情況與各淨水單元之貢獻度

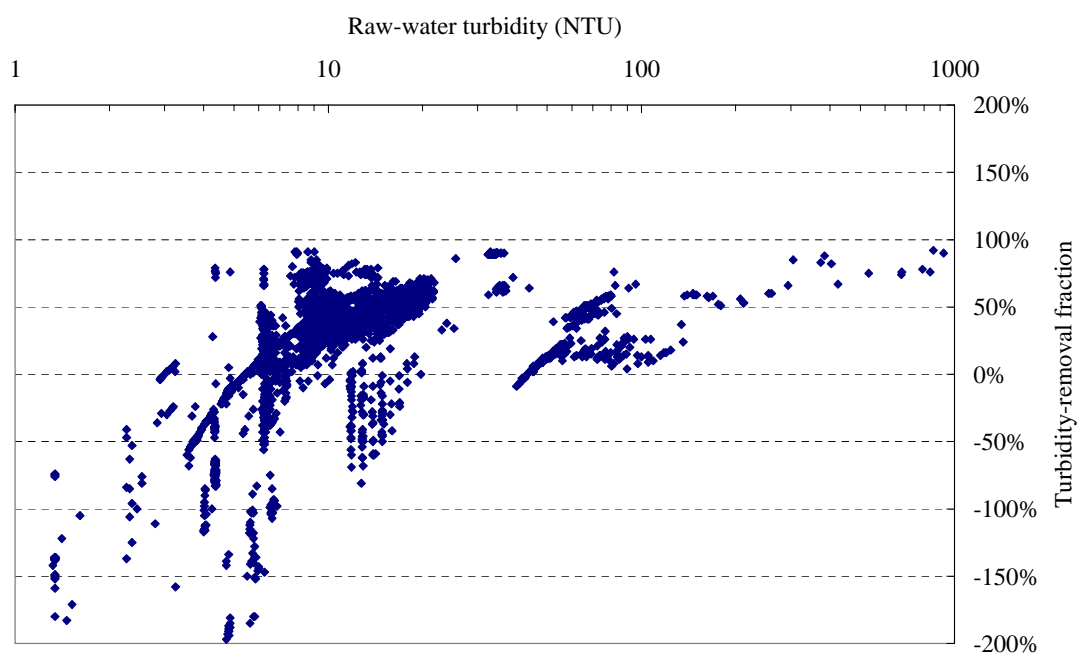
Turbidity removal fraction and cumulative frequency per year ^a							
1	f	2	f	3	f	4	Sum
R1<0	22%	R2<0	11%	R3<0	8%	R4>0	0.19%
				R3>0	92%	R4>0	2.23%
		R2>0	89%	R3<0	44%	R4>0	8.64%
				R3>0	56%	R4>0	10.96%
R1>0	78%	R2<0	47%	R3<0	9%	R4>0	3.30%
				R3>0	91%	R4>0	33.36%
		R2>0	53%	R3<0	31%	R4>0	12.82%
				R3>0	69%	R4>0	28.52%
						Total	100%

^a1-導水管，2-調節池，3-混凝沉澱池，4-快濾池
R-單元的濁度去除率，f-accumulative frequency

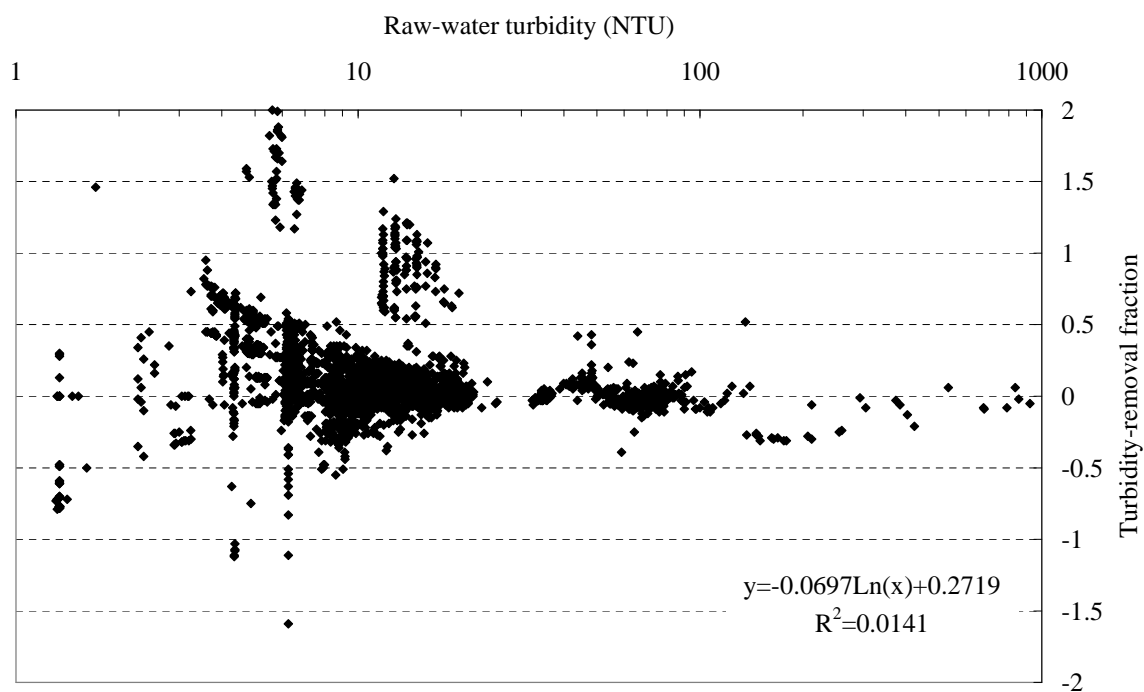
表三 南化淨水場不同季節的管中耗氯與濁度等變化^a

		春	夏	秋	冬
Chlorine decay	Avg. (mg/l)	0.06	0.07	0.10	0.04
平均濁度 ^b (Variance)	原水	12.71 (2450%)	31.55 (418395%)	40.39 (190173%)	9.28 (2792%)
	調節池	5.68	59.29	26.78	4.60
	快濾池	0.23 (1%)	0.42 (3%)	0.76 (48%)	0.28 (4%)
濁度去除率	調節池	-4.23%	-2.98%	-1086%	-2.49%
	快濾池	95.73%	92.27%	83.06%	91.19%
濁度去除分率	調節池	7.70%	11.05%	-431.50%	20.41%
	混凝沉澱池	4.33%	23.80%	384.42%	10.87%
	快濾池	58.18%	34.29%	75.76%	53.65%

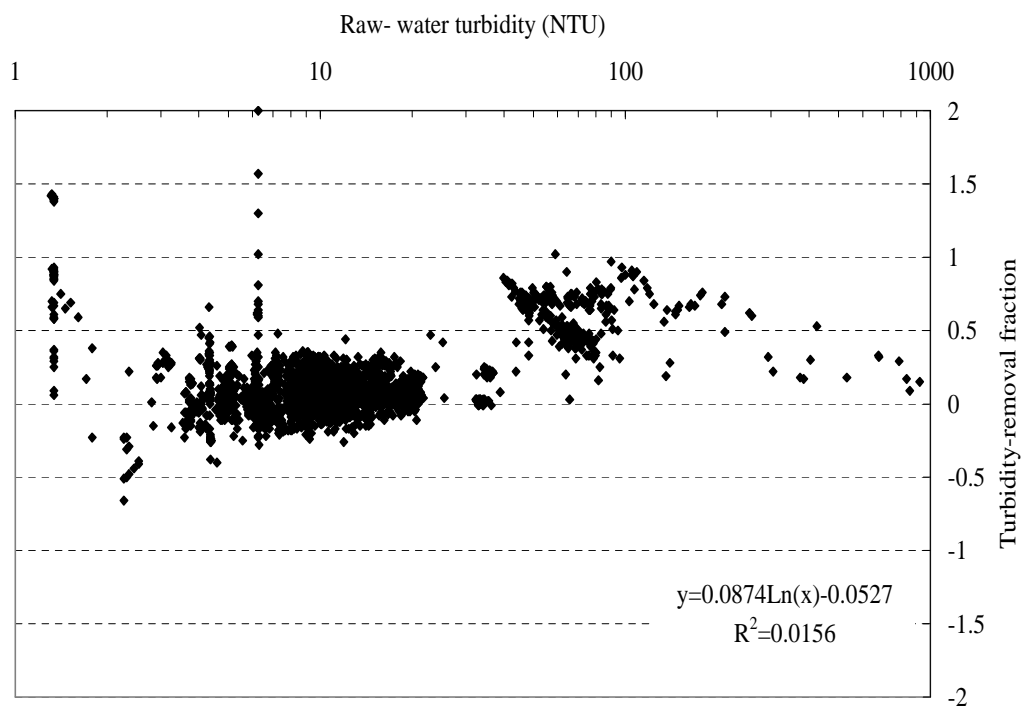
^a Chlorine decay：管中耗氯量，春：2-4月，夏：5-7月，秋：8-10月，冬：12-1月，^b單位：NTU



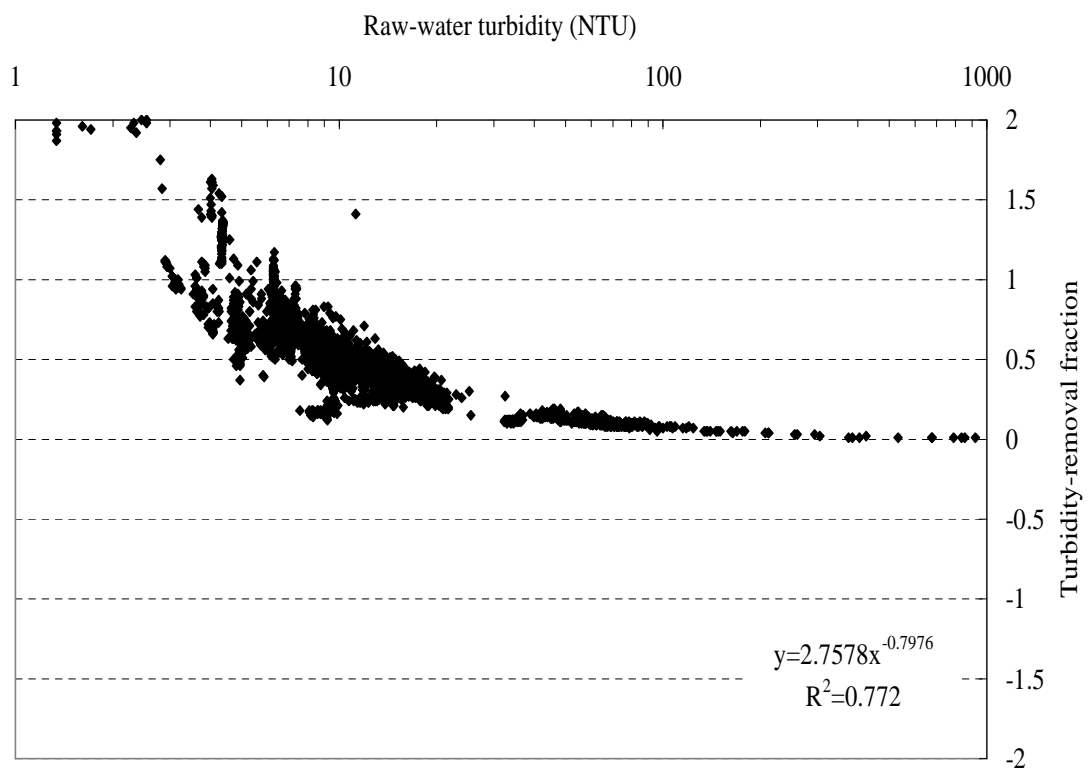
圖四 南化淨水場導水管之不同原(取)水濁度與濁度去除率之關係



圖五 南化淨水場調節池之不同原（取）水濁度與濁度去除分率之關係



圖六 南化淨水場混沉池之不同原(取)水濁度與濁度去除分率之關係



圖七 南化淨水場快濾池之不同原(取)水濁度與濁度去除分率之關係

第六章 結論

1. 原水經由導水管、調節池之過程，可能會發生凝集、沉澱或再揚起之製程偏離現象，故在操作過程較無法控制，例如調節池的單顆粒沉降僅能去除 $13.8\mu\text{m}$ 以上之顆粒，遠較導水管去除之顆粒 $2.15\mu\text{m}$ 大，顯然其功能並無法增加大顆粒濁度的去除，尤其是愈小粒徑 ($13.8\mu\text{m}$ 以下)，所以有 50% 濁度去除率是 <0 (導水管僅 20%)，年平均濁度去除率為 -5% (導水管為 23%)。
2. 淨水場各操作單元對於整場濁度去除之貢獻而言，有 39.08% 出現頻率是因調節池的濁度去除率 <0 ，有 24.98% 出現頻率是因混凝沉澱池的濁度去除率 <0 ，以及有 0.19% 出現頻率是因導水管、調節池與混凝沉澱池的濁度去除率皆 <0 ，因此如何增加混凝沉澱池的去除率以減少快濾池的負荷是須考量的。
3. 原水水質太差、淨水效率不佳、供水過程受到污染，是國內飲用水安全之問題所在，由於國內年降雨分佈並不平均，淨水處理因雨季與枯水期之特性差異會影響供用水質之變化，所以季節性對淨水場操作之影響，以及淨水場因供水需求之操作所潛在風險之不確定性，應加以重視。

第七章 參考文獻

- 1.環保署，飲用水水源水質標準，民國 86 年
- 2.環保署，飲用水水質標準，民國 94 年
- 3.環保署，飲用水設備維護管理辦法，民國 87 年
- 4.Vandenberg J.J., 1995, "Risk assessment and research: an essential link", Toxicology Letters, 79
- 5.孫嘉福，1996，環境化學，高立圖書有限公司（LEWIS）
- 6.環保署，八十九年台灣地區主要水庫水質監測計劃，民國 90 年，EPA-89-G103-03-1329
- 7.Randtke, S. J., 1988, "Organic Contaminant Removal by Coagulation and Related Process Combination", Jour. AWWA, 80:5:40-50
- 8.楊萬發，水及廢水處理化學，茂昌圖書有限公司，1989
- 9.黃政賢，水處理工程，曉園出版社，1989
- 10.DeHek, H., "Hydrolysis-precipitation studies of aluminum (III) solution 3. The role of the sulfate ion", J. Colloid & Interface Sci., 64, 1, 1978
- 11.Tambo N. and Watanabe Y., 1979, "Physical Characteristics of Floccs-I. The Flocc Density Function and Aluminium Flocc", Water Res., 13
- 12.Semmens M.J. and Field T.K., 1980, "Coagulation: Experiences in Organics Removal", J. Am. Wat. Wks. Ass., 72, 8
- 13.Kawamura, S., 1996, "Optimization of basic water-treatment processes design and operation : coagulation and flocculation", J. Water SRT-AQUA, 1, 35-47
- 14.Slib S., 1990, Sludge, American Water Works Association Research Foundation (AWWA), KIWA Ltd.
- 15.Alaerts. G. and Haute. A. V., 1982, "Stability of colloid types and optimal dosing in water flocculation," in Phsicochemical Methods for

Water and Wastewater Treatment, Pawlowski. L. ed.

- 16.黃志彬，”自來水處理慢混操作對水中微粒凝集動力與形成膠羽特性之影響”， 國科會工程科技通訊，2002
- 17.高肇藩，給水工程，1987，台南成功大學環境工程系
- 18.Zhu, H., Smith, D.W., Zhou, H. and Stanley, S.J., “improving removal of turbidity causing materials by using polymers as filter aid”, Water Res., 30, 1996
- 19.蔣本基，1999，建立國內淨水場綜合效能評估（CPE）制度研究，台灣省自來水公司，中華民國自來水協會，國立台灣大學環境工程研究所
- 20.許蕙琳，”淨水場混凝劑以二階段式加藥對濁度去除率之探討”，自來水研討會，民國 93 年
- 21.葉宣顯，澄清湖高級淨水處理模型廠試驗研究（第一年），台灣省自來水公司，國立成功大學環境工程研究所，1999
- 22.Hatukai S., Ben T.Y. and Rebhun M., 1997, “Particle counts and size distribution in system design for removal of turbidity by granular deep bed filtration”, Wat. Sci. Tech., 36, 4
- 23.Masschelein, W. J., 1992, “Unit processes in drinking water treatment”, Marcel Dekker, NY
- 24.Angeline K., Lam Y., Perpas E.E., Spink D. and Hrudey S.E., 1995, “Chemical Control of Hepatotoxic Phytoplankton Blooms: Implications for Human Health”, Wat. Res., 29, 8
- 25.Thornton J. A., 1985, “Nutrients in Africa lake ecosystem : Do we know all?”, J. Limnol. Soc. S. Afr, 12, 6, 21
- 26.Holden B., Greetham M., Croll B.T., Scutt J., 1995, “The effect of changing inter process and final disinfection reagents on corrosion and biofilm growth in disinfection pipes”, Wat. Sci. Tech., 32, 8
- 27.LeChevallier, M. W., Lowry, C. and Lee, R. D., 1990, “Disinfecting

- biofilms in a model distribution system”, *J. AWWA.* 82, 7
28. Turrell, M. B. 1991, “A study of corrosion and pick up in cast iron water supply pipes”, PhD Thesis. Hatfield Polytechnic/Anglian Water.
29. Chungsyng L., 1995, “Simultaneous transport of substrates, disinfectants and microorganisms in water pipe”, *Wat. Res.*, 29, 3
30. Van der W. E. and Vharacklis W. G., 1990, Biolims in potable water distribution systems. In *Drinking water Microbiology*, ed. A. G. McFeters, pp249-268. Springer-Verlag Chap. 12
31. Heraud J., Kiéné L., Dtay M. and Levi Y., 1997, “Optimised modeling of chlorine residuals in a drinking water distribution system with a combination of on-line sensors”, *J. Water SRT-Aqua* 46, 2
32. Terashima Y, Ozaki H. and Hashim M. A., 1987, Simultaneous removal of organic carbon and nitrogen compounds by intermittent aeration in oxidation ditch process. *Proc. Int. Symp. on Envir. Management, Istanbul*
33. Biswas P., Lu C. and Clark R. M., 1993, “Chlorine concentration decay in pipes”, *Water Res.* 27, 12
34. Rossman L. A., Clark R. M. and Grayman W. M., 1994, “Modeling chlorine residuals in drinking-water distribution systems”, *J. Env. Eng.* 120(4), 803-820
35. Kiéné L., Lu W. and Levi Y., 1996, Relative importance of phenomena responsible for the chlorine consumption in drinking water distribution systems. *Proc. AWWA WQTC Boston*