

# 「淨水場供水操作之不確定因素分析」

\*許蕙琳，\*\*吳景明，\*\*\*陳偉仁

\*副教授，\*\*工程員，\*\*\*碩士班研究生

＊，\*\*\*崑山科技大學環境工程系

\*\*台灣省自來水股份有限公司第六區管理處

## 摘要

淨水場原水水質太差、淨水效率不佳、供水過程受到污染，是國內飲用水安全之風險所在。台灣地區由於年降雨量分佈不均，使得污染物（Fe、Mn）、營養鹽（氮、磷）由於受到汛季的降雨集流沖刷而進入水庫，增加原水中的含量，污染水源，造成淨水場因季節差異性而須有不同的操作管理方式，因此對於影響淨水場供水操作之不確定因素，應加以瞭解。本研究是以台灣省自來水公司第六區管理處南化淨水場為對象，針對影響淨水場供水操作之不確定因素加以分析，希望可提高國內淨水場的淨水效率與供水安全。由本研究得知，由於季節變化的不確定性，使得淨水場原水濁度變化的不確定性，出現「降低期」與「穩定期」之現象，其中「降低期」約 1-2 日濁度可從數百以上降至一般處理範圍（100NTU 以下）。而「穩定期」則需較長的時間（約 40-50 日），濁度才能降低至經濟處理範圍（10NTU 以下）。而原水中的藻類，則因季節性之特性，數量已增加 10 倍，其未來對淨水場淨水操作與供水水質的影響需加以注意。此外淨水場的原水流經導水管與調節池的過程，因為凝集沉降或再揚起作用，使得導水管有 20%年出現頻率的濁度去除率 $<0$ （年平均濁度去除率為 23%），調節池有 50%年出現頻率的濁度去除率 $<0$ （年平均濁度去除率為 -5%），而且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小顆粒濁度的去除，因此導水管與調節池的不確定性，亦可能使淨水場的操作管理與供水安全風險增加。故為降低淨水場調節池不確定因素之影響，低濁度原水可不經調節池初沉而直接混凝沉澱過濾，惟必須注意原水的不確定性，其污染物與營養鹽（如氨氮與有機氮）對後續供水安全的影響。

聯絡人：

(Tel.) 0921-708-921 許蕙琳 副教授

(E-mail) sheu@mail.ksu.edu.tw

(地址) 台南縣永康市大灣路 949 號 崑山科技大學環境工程系

## 前言

由於淨水處理 (water treatment) 的方式攸關飲用水水質，雖然國內淨水場 (water treatment plant) 的處理操作與供水水質須符合「飲用水水源水質標準」<sup>(1)</sup>、「飲用水水質標準」<sup>(2)</sup>、以及「飲用水設備維護管理辦法」<sup>(3)</sup> 等，但是因季節性變化的不確定性，使得淨水場可能發生不安全或不合標準的供水水質<sup>(4)</sup>。尤其是當雨季過後或是原水水質惡化時，淨水場需面臨著減量供水，甚至無法供水的壓力。所以淨水場原水水質的變化，以及淨水過程的不確定性，包括原水取水與導水、淨水加藥與過濾、清水消毒與送配水等，皆有可能影響淨水場的供水安全，因此針對淨水場原水水質的變化，與淨水場前處理設備（取水、導水與調節）的不確定性，其對淨水供水操作的影響是值得探討。本研究係以台灣省自來水公司第六區管理處南化淨水場 (Taiwan Water Corporation Sixth-Branch Nan-Hua water treatment plant) 為對象。

## 淨水處理

淨水場主要係將自然界循環不息的天然水 (natural water) 經過處理，以提供安全的飲用水質供人類長期使用為目的。而淨水處理之流程 (processes) 一般依原水水源或是不同水質而不同，例如地表原水 (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。常見的淨水單元 (units) 有攔污 (screen)、沉砂 (sand sedimentation)、前加氯 (pre-chlorination) 等預 (前) 處理，混凝 (coagulation)、膠凝 (flocculation)、沉澱 (sedimentation)、砂濾 (sand filtration)、後 (清水) 加氯 (post-chlorination) 等 2 級處理單元，以及活性炭 (active carbon)、薄膜 (membrane)、結晶軟化 (pellet softening) 等高級處理單元等，所以對於淨水場的而言，原水需經由前處理、2 級處理，甚至高級處理的方式，才可達

到符合飲用水標準的供水目的。但是季節性變化、原水水質特性、以及不同淨水單元的操作管理等，其不確定性使得淨水場安全供水的風險仍然存在，例如已知汛期使原水濁度驟升、優氧化水質會釋出藻毒，以及水中的溶解性有機物以一般傳統淨水程序不易去除，甚至使用有機性的高分子混/助凝劑還會造成沉澱池或過濾池中微生物的生長等<sup>(5)</sup>。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 年制定的三階段飲用水質標準限值，其中的硬度（hardness）<150mg/l，總溶解固體（TDS）<250mg/l 最為嚴格。

### **製程不確定性**

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<sup>(5)(6)(7)(8)(9)(10)</sup>。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<sup>(11)</sup>。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<sup>(12)</sup>。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。而且由於混凝沉澱並不能去除有些藻類，而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<sup>(5)</sup>。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<sup>(9)</sup>。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。雖然因此去除濁度是以地表水為水源的淨水設備一項很重要的設計參數<sup>(13)</sup>，而且淨水場對於濁度的去除是有許多影響因子已被加以確認<sup>(11)</sup><sup>(14)</sup>。但是優養化水質的藻類所釋出的毒物，會增加淨水處理的不確定性。尤其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，可能會形成一種飲用水安全的危害<sup>(15)</sup><sup>(16)</sup>，例如使管線腐蝕 (corrosion) 而發生微生物生長等<sup>(17)</sup>。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<sup>(18)</sup>。此外，由於國內年降雨分佈並不平均而有汛期與枯水期之分，因此國內淨水場的操作處理就有雨季與枯水期之差異特性，例如不同取水高程、原水濁度變化、加藥量等。因為降雨對 (水庫) 水體表層的擾動，以及集水區的逕流 (run-off) 與沖刷等，皆會影響淨水場取 (原) 水水質的變化。淨水處理之前常以初沉方式來提高後續 2 級處理效率，但是由於初沉作用會因水中顆粒大小、比重、流況、流速等而有不同的濁度去除率，故原水經由淨水場導水管輸水、調節池調勻皆會發生沉降或再揚起作用<sup>(4)</sup>。而且由於初沉過程大多都未添加混凝劑，因此季節性變化、原水濁度特性與淨水場前處理單元的不確定性，其對淨水場後續單元的處理，與操作管理的影響是須重視的。而對於淨水場淨水操作前原水水質、取水、導水與調節池等之不定確性，其如下說明。

- (1) 水庫原水：可調節降雨期與枯水期的供水量，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，因此增加其不確定性。
- (2) 河渠原水：隨著汛期與枯水期而影響抽水量，因為汛期時水量豐沛，且濁度較高，故有時必須降低取水量，而枯水期時水量少，為避免水床擾動而

必須減少抽水量，所以原水濁度是取水的最大問題所在，因此必須經常調整抽水機運轉台數，以及每部抽水機的抽水量等。

- (3) 取水：不論是水庫的取水閘門或是河渠的抽水機等設備，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，這對於穩定取用低濁度的水質而言，是困難的。
- (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，可能使的濁度在導水管發生改變，所以流況與流量是影響導水不確定性之主要原因。
- (5) 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，故在淨水處理之常設有調節池，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。

## 供水計畫

台灣位居熱帶與亞熱帶（東經 119-123，北緯 21-25），由於受到颱風的影響，其年平均降雨量高達 2,500 mm，屬於降雨量豐富的地區之一，若換算成水量每年約有 905 億立方公尺，是世界平均值的 2.6 倍<sup>(19)</sup>。但是台灣本島由於地狹人稠，河川短急，有 80%降雨多集中在 5-9 月豐水期，其餘 10 月至翌年 4 月則多為旱季（枯水期）<sup>(20)</sup>，因此受到降雨時間與空間上的限制，台灣地區可利用的水量不及總降雨量的 15 %，再加上人口密度高（629 人/平方公里），居全世界第 5 高<sup>(21)</sup>，使得每年每人平均分配到的水量僅約 4,500 立方公尺，是世界平均值的六分之一，可供利用之水源相當有限，在全球排名為第 18 位的缺水國家，屬水資源利用潛能不高的地區之一。而近年來台灣地區由於水源水質污染日趨嚴重，全島 20 座主要水庫有 7 座水質已優養化，使得台灣在水資源有限，污染日益嚴重的

情況下，而且民眾用水需求與水質標準更趨嚴格<sup>(22)</sup>，在用水需求增加的情形下，使得需二十四小時連續供水操作的國內淨水場，有可能因原水水質與淨水處理等不確定因素而影響供水安全。目前國內對於供水計畫之因應方式主要有<sup>(18)</sup>：

(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<sup>(23)</sup>、增設臭氧 (ozone)、活性碳 (active carbon)、薄膜 (membrane) 等高級處理單元 (advance treatment unit) 等<sup>(24)</sup>。

## 研究對象

本研究係以台灣省自來水公司第六區管理處南化淨水場為對象，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營運，日供水量約 80 萬噸 (CMD)，最大出水量可達 120 萬 CMD，常年供水量約 2 億 9,000 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。而南化淨水場原水係來自南化水庫，該水庫大壩標高 187.5 公尺，有效蓄水量 1.4 億立方公尺，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<sup>(25)</sup>。由於南化水庫位於台南縣南化鄉境內，在曾文水庫正南方大約 15 公里的地方，因此水庫水源除了汲取曾文溪重要支流（後堀溪流域）的水量外，為了增加蓄水量，並在高雄甲仙

設置攔河堰，將旗山溪豐水期的餘水引送到南化水庫，水庫原水經由抽水站的抽取後流經導水管送到南化淨水場處理，而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。南化水庫目前是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，其最大功能就在於提供飲用原水，而本研究的資料來源主要是淨水場內部的調查報告以及實場的監測數據。

## 結果與討論

### 原水變化的不確定性

由於南化水庫之降雨集中在 5 月至 9 月 (圖 1)，因此降雨對水庫水體的直接擾動以及集水區的逕流沖刷等，皆會影響取(原)水濁度，由圖 1 可知南化水庫在汛期會發生原水濁度驟增後再降低的情況，尤其是汛期初期的低降雨強度亦會造成濁度驟增。

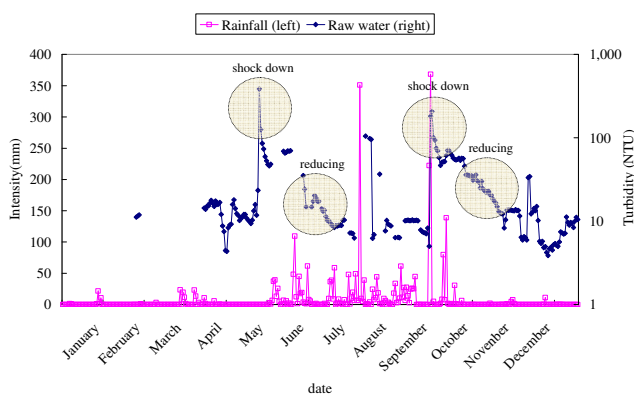


圖 1 南化水庫降雨強度與原(取)水濁度之每日變化

由於南化水庫之集水區年降雨量分佈不平均，因此本研究將集水區的年降雨強度與淨水場取(原)水濁度之變化，以 1 階線性的方式加以迴歸 (regression)，但結果是其關係值 ( $R^2=0.0438$ ) 並不明顯 (圖 2)。顯然淨水場因水源水庫容量高達 1 億 4,000 萬立方公尺 (滿水位 187.5M)，具有緩衝與調節作用，換言之，

雖然降雨強度會影響水庫濁度變化，但降雨強度與原水濁度的關係並非成正比，有時可能低降雨強度所增加的濁度反而會較高，反之。所以水庫（原水）濁度應是與水庫水位有關。

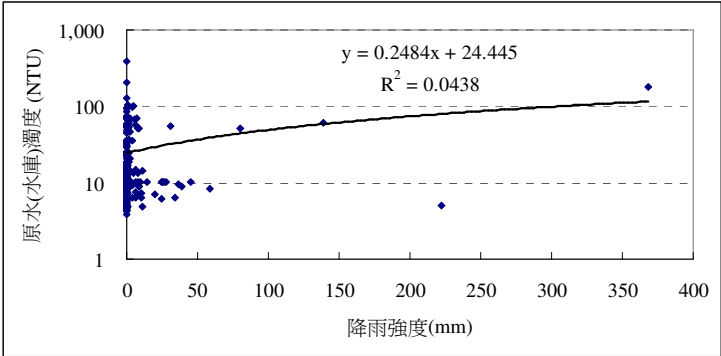


圖 2 南化水庫原（取）水濁度與降雨強度之關係

由圖 3 知在水庫水位較低時(如 150M),初期降雨(如 5 月降雨強度;I = 87mm)使得原（取）水濁度驟增至 386NTU（瞬間最大濁度 922 NTU），當水庫水位較高時(如 180M)，即使出現大雨 (I > 100mm)、豪雨 (I > 150mm) 之情況，對原（取）水濁度變化之影響不大，例如颱風過境時，7 月 31 日原（取）水濁度 105NTU，以及 9 月 15 日原（取）水濁度 206NTU（瞬間最大濁度 437 NTU）等，所以水庫蓄水量較少，水位較低時，降雨強度會對水庫原水濁度產生瞬間突增負荷（shock loading）之影響。

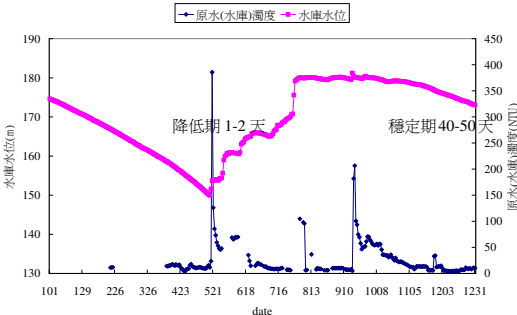


圖 3 南化水庫水位與原（取）水濁度之每日變化

由上述可知，南化水庫的降雨多集中在 5 月至 9 月汛期（也就是豐水期），

所以 10 月至隔年 4 月降雨較少（也就是枯水期），而且由於水庫水位與降雨強度會影響原（取）水的濁度，因此水庫濁度的變化，出現「降低期」（shock down）與「穩定期」（reducing）之現象（如圖 1 示），其中「降低期」是因水庫水位最低（如圖 3 示），降雨與逕流沖刷使得原水濁度驟增，但也因水庫水位上升而加速濁度沉澱，所以約 1-2 日濁度可降至 100NT 以下。而「穩定期」則是因為水庫蓄水量已漸趨飽和，調節池使得降雨所增加的濁度較小，但是因水庫水位穩定，所以約需 40-50 日濁度才降低至 <10NTU 以下，這對淨水場在不同季節特性的操作供水是很重要的，因為可了解水庫水質較不穩定之水位。

此外，根據南化水庫內部的調查報告得知，水庫原水與淨水處理後的清水，其污染物 Fe、Mn 亦是在汛期時較枯水期高，而且枯水期時清水的濁度與 Fe、Mn 變化有相同的趨勢（圖 4），由於污染物 Fe、Mn 是國內飲用水質標準管制指標<sup>(22)</sup>，所以水庫的集水區在汛期時有污染物被沖刷進入水庫，或是水庫內伏流水使水層擾動而造成底泥揚起與釋出，以及枯水期底泥厭氧而釋出 Fe、Mn 等作用，使得水庫（原水）的 Fe、Mn 含量會較高。所幸的是，不論是汛期或枯水期，原水中大部分的 Fe、Mn 皆可在淨水處理的過程中去除，減少淨水場供水安全的風險。

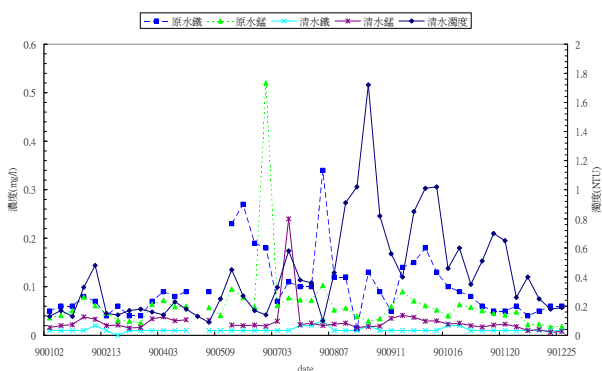


圖 4 南化水庫原水與清水之 Fe、Mn 濃度與濁度之每日變化

而營養鹽  $\text{NH}_3\text{-N}$  (ammonia) 亦是汛期時較枯水期高，其是否有逐年增加的趨勢，則有待進一步探討（圖 5）。營養鹽 TP (total phosphate) 在水庫中則是均勻分佈，並無集中在取水大壩附近或是水庫湖心的現象，但是累積作用使得濃度有逐漸增加的趨勢（圖 6），而且與 EC 值的變化趨勢相同（圖 7），透明度的變化

趨勢則相反 (圖 8)，顯然藻類的生長數量有增加的趨勢，日後將增加淨水場淨水處理的困難度。因為台灣本島屬熱帶及亞熱帶 (tropical subtropical)，湖泊的生產力 (光合作用效率為 2-3%) 較溫帶湖泊 (光合作用效率為 1%) 高<sup>(16)</sup>。所以湖泊中藻類生長是全年性的，因此淨水場可能因藻類而會阻塞濾床，使得過濾水質的濁度增加<sup>(26)</sup>。

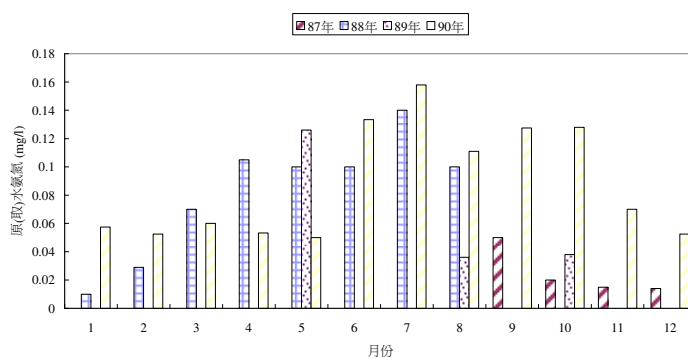


圖 5 南化水庫氨氮 (NH<sub>3</sub>-N) 濃度之變化

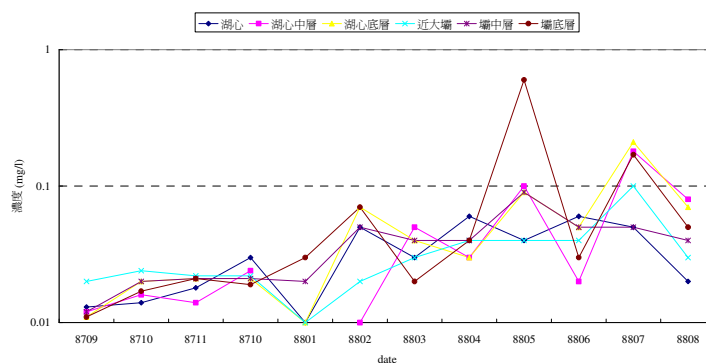


圖 6 南化水庫總磷 (TP) 濃度之變化

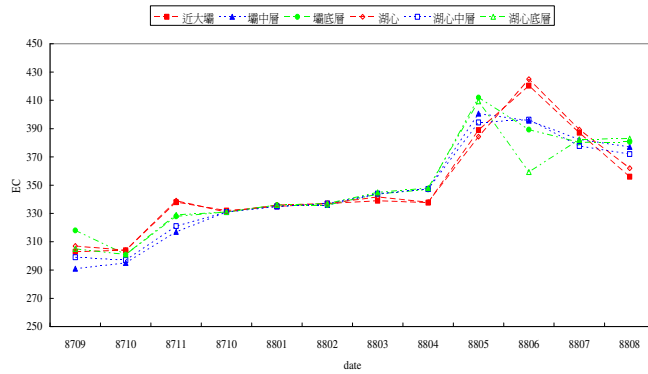


圖 7 南化水庫 EC 值之變化

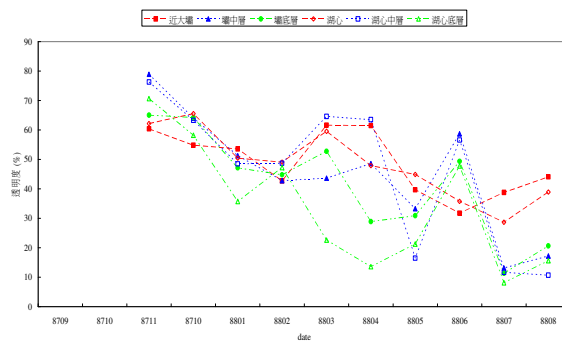


圖 8 南化水庫透明度之變化

由於水中的營養鹽與污染物等，可能會影響藻類的生長，例如矽藻對磷的競爭較強，但對氮的競爭較弱，故低磷鹽時有利優勢生長。又如某些藍綠藻較綠藻易吸收磷，小型藻類對營養鹽攝取較大型藻類佳等，所以水體優氧限制比一般為  $N:P=16:1$ （原子比）或  $7.2:1$ （重量比）。而台灣地區水庫優氧化，全年應是以磷為限制因子，但部分水庫一年中可能部分月份以氮為限制因子，故水庫對於污染物（Fe, Mn）、營養鹽（氮、磷）需加以注意，尤其是藻類的變化，根據南化淨水場的內部調查發現，水庫在 83-84 與 89-90 年之間，藻類總數量已增加 10 倍。其中在 83-84 年水庫中的綠藻、矽藻、藍綠藻及其他藻類變化，並無一定的消長趨勢，但是綠藻有逐漸減少的趨勢（圖 9），而且葉綠素 a 亦明顯減少（圖 10）。所以南化水庫中的綠藻數量應是已逐年減少，其他藻類數量則是逐年增加，且增加 10 倍以上，但與汛期則無關係，故淨水場反而應是注意枯水期的淨水效率與供水安全，因為淨水場在枯水期的加藥量（混凝劑），通常是較少的。

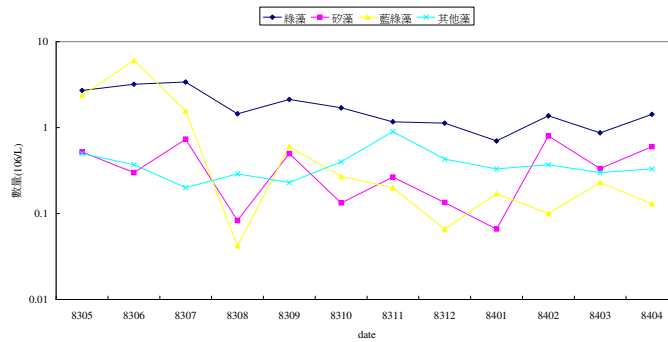


圖 9 南化水庫各種藻類之數量變化

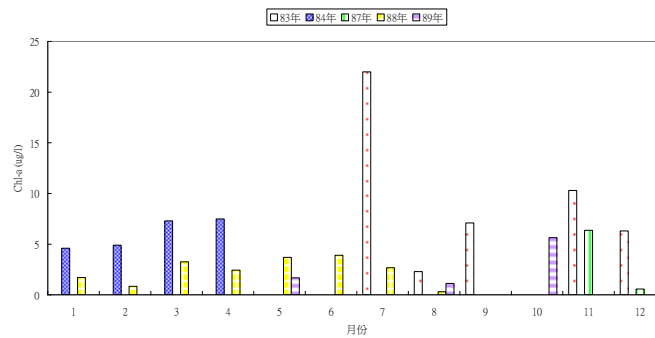


圖 10 南化水庫葉綠素 a 濃度之變化

綜合上述可知，降雨的陸域逕流沖刷使得水域的營養鹽增加，藻種數量逐年增加，所以水庫取水時須特別注意藻類對淨水處理的影響。因為依據南化水庫內部優勢藻種調查結果<sup>(27)</sup>，在雨季的水中藻種較多，若以葉綠素為判定指標，南化水庫淹沒區含有大量營養鹽-磷，應屬中養水體<sup>(25)(28)</sup>，而在降雨後水質則係介於中養至優氧化之間<sup>(29)</sup>，日後可能會形成優養化的水質。所以在 5-9 月的汛期，除了會降雨而沖刷大量營養鹽，增加原水中的氮、磷外，亦可能包括重金屬、農藥、有機體（如細菌、病毒）等<sup>(30)</sup>，增加原水水質不確定性對淨水場供水操作之影響。

由於季節性的原水水質變化會影響淨水場的處理方式，例如汛期時原水濁度通常較高，可沉降濁度顆粒較多，無機性比重大，而枯水期因為水體中的疏水性粒子可藉由表面吸附一層親水性物質，形成柵籬穩定化 (Steric Stabilization) 以保護粒子免於聚集去除。但是由於膠體 (colloid) 在水中的表面特性如吸附、官能基、配位基、電荷等，皆會影響穩定分佈，故當水中加入金屬鹽類、高分子

凝聚劑等化學性變化，或攪拌等改變水力分佈之物理性變化時，皆會使得膠體顆粒的穩定改變，發生沉降。因此本研究考量現場調節池既有的操作調配，並以攪拌的  $Gt$  值來模擬現場水力變化之擾動，探討不同  $Gt$  值（如水流速度、水頭損失等）對濁度去除之影響<sup>(18)</sup>。根據靜置實驗的結果（圖 11），天然水（未添加混凝劑）經過不同  $Gt$  值（ $G$ ；速度坡降，grade velocity）的攪拌，會使得初始濁度增加，而且經過不同靜置時間沉降，濁度去除率皆較無攪拌（ $Gt=0$ ）為佳。所以攪拌可提高濁度去除效果，因此當降雨強度造成濁度增加時，須先靜置沉降以減少濁度，因為加藥（如 polymer）混凝可能會一併去除可沉降性濁度顆粒，反不利經濟效益。而在枯水期，雖然原水濁度較低，但因顆粒穩定，靜置並無法有效降低濁度，延長靜置時間可能發生再揚起之現象，反而不利後續的加藥經濟效益，須加以注意。

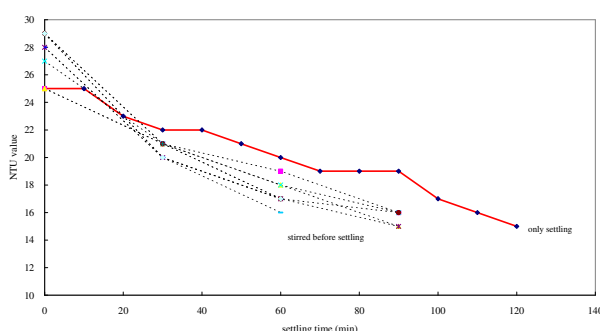


圖 11 原水經過不同  $Gt$  值攪拌後的濁度去除率

### 淨水單元的不確定性

導水管係以導送原水為目的，因為南化淨水場上游水庫常因蓄水量（水位）、水質濁度、淨水效率與供水水質等影響而變化取水口的高程，因此取水高成會影響輸水管中流速及沖刷作用。圖 12 係淨水場導水管在不同的高程對顆粒大小之去除關係，由圖可知，高程（head）愈高，沉降去除的粒徑亦愈大，因此在操作上就必須常排泥，否則底泥就會發生再揚起（resuspension）之作用，使得出現導水管出水口濁度高於進水口之情況。而由實場的監測結果（圖 13）可知，導水

管的進流水濁度愈高，則酌度去除率亦愈高，但是進流水濁度較低時，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等，故影響導水流況及流速，使得沉降之底泥被再揚起，故實場操作之取水高程變化宜採漸進式。

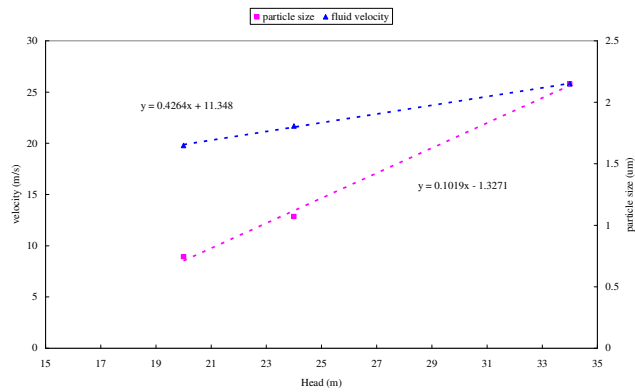


圖 12 南化淨水場導水管在不同揚程時去除顆粒徑之關係

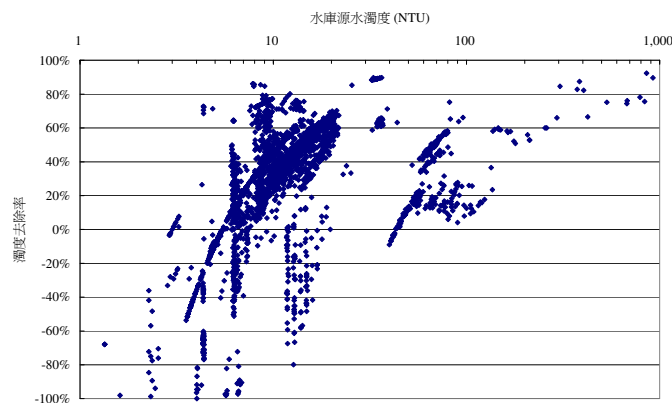


圖 13 南化淨水場導水管在不同原（取）水濁度之濁度去除率

雖然淨水場調節池主要係以調勻水質水量及初沉之作用，但本研究由現場操作(水頭約 1M)的結果發現，調節池之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小顆粒濁度的去除，尤其是小粒徑  $13.8 \mu\text{m}$  以下。而且由圖 14 調節池濁度去除率之變化可知，有 50%濁度去除率是 $<0$ （導水管僅 20%，如圖 13 示），而且年平均濁度去除率為 -5%（導水管為 23%），其不確定性較導水管高。所以現場的操作須有待調整之外，例如低濁度時則減少水力停留時間等，而且水力混凝作用對於濁度去除與則有待

加強。

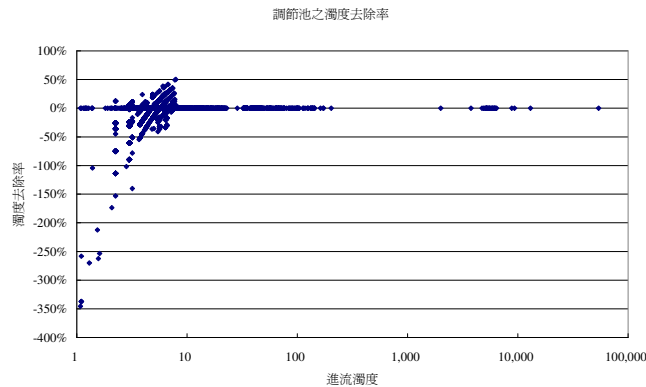


圖 14 南化淨水場調節池在不同進流水濁度之濁度去除率

由於導水管與調節池等前處理單元於實場操作有濁度去除率 $<0$  之情形，其原因除了季節性的水質變化可能會影響去除效果之外，淨水場現場操作亦有待調整，如低濁度時則減少水力停留時間等，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。已知會產生臭味的藻類（*Synedra*、*Oscillatoria*）、會產生毒性代謝產物的藻類（*Microcystis*）以及會貫穿快濾床的藻類（*Lyngbya*）等已在南化水庫的原水中發現。而且藻類種類與藻類釋出的毒性物質，會造成飲用水安全的危害<sup>(15)</sup>，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，例如耗氯量、濁度等。表 1 係依季節不同配水管中的餘氯變化與濁度等關係，其中春季與冬季之配水管中餘氯衰減之變化是低於夏、秋季。秋季因高濁度原水（平均 40.39NTU）與再揚起使得快濾池的濁度去除率較低（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，春季則因低濁度原水（平均 12.71NTU）與再揚起使得快濾池的濁度去除率較高（平均 95.73%），所以快濾池的出流水濁度（平均 0.23NTU）與變化（變異數 1%）皆較低。所以汛期所增加的營養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，以致於快濾池的去除率降低，以及管中餘氯衰減增加（如夏、秋、冬季），而春冬季時的餘氯衰減較少，則是因原水濁度低。

表 1 南化淨水場不同季節的管中耗氯與濁度等變化<sup>a</sup>

		春	夏	秋	冬
Chlorine decay <sup>b</sup>	Avg. (mg/l)	0.06	0.07	0.10	0.04
平均濁度 <sup>c</sup>	原水	12.71	31.55	40.39	9.28
(Variance)		(2450%)	(418395%)	(190173%)	(2792%)
	調節池	5.68	59.29	26.78	4.60
	快濾池	0.23	0.42	0.76	0.28
		(1%)	(3%)	(48%)	(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%

<sup>a</sup>春：2-4月，夏：5-7月，秋：8-10月，冬：12-1月；<sup>b</sup>配水管中耗氯量，Chlorine decay；<sup>c</sup>單位，NTU

## 結論

在 6 月至 9 月的汛期，由於水庫水位與降雨強度會影響原（取）水濁度得不確地性，使得水庫濁度的變化出現「降低期」與「穩定期」之現象，其中「降低期」約 1-2 日濁度可降至 100NT 以下。而「穩定期」則約需 40-50 日濁度才降低至 <10NTU 以下，這對淨水場在不同季節特性的操作供水是很重要的。而且降雨的陸域逕流沖刷使得水域的營養鹽增加，藻種數量逐年增加，所以水庫取水時須特別注意藻類對淨水處理的影響，尤其暴雨會沖刷大量營養鹽，除了增加原水中的氮、磷外，亦可能包括重金屬、農藥、有機體（如細菌、病毒）等<sup>(28)</sup>，使得淨水

場供水安全的風險增加。此外導水管與調節池的不確定性，使淨水場供水操作的風險增加，為減少其不確定性之影響，淨水場的實場操作是有待加強的。

### 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.許蕙琳，2005，” 淨水場製程偏離對供水操作影響之探討”，自來水研討會
- 5.Randtke, S. J., 1988, “Organic Contaminant Removal by Coagulation and Related Process Combination”, Jour. AWWA, 80:5:40-50
- 6.楊萬發，水及廢水處理化學，茂昌圖書有限公司，1989
- 7.黃政賢，水處理工程，曉圓出版社，1989
- 8.DeHek, H., “Hydrolysis-precipitation studies of aluminum ( III ) solution 3. The role of the sulfate ion”, J. Colloid & Interface Sci., 64, 1, 1978
- 9.Tambo N. and Watanabe Y., 1979, “Physical Characteristics of Floccs-I. The Floc Density Function and Aluminium Floc”, Water Res., 13
- 10.Semmens M.J. and Field T.K., 1980, “Coagulation: Experiences in Organics Removal”, J. Am. Wat. Wks. Ass., 72, 8
- 11.Kawamura, S., 1996, “Optimization of basic water-treatment processes design and operation : coagulation and flocculation”, J. Water SRT-AQUA, 1, 35-47
- 12.Slib S., 1990, Sludge, American Water Works Association Research

Foundation (AWWA) , KIWA Ltd.

13. 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
14. Masschelein, W. J., 1992, "Unit processes in drinking water treatment" , Marcel Dekker, NY
15. Angeline K., Lam Y., Perpas E.E., Spink D. and Hruday S.E., 1995, "Chemical Control of Hepatotoxic Phytoplankton Blooms: Implications for Human Health" , Wat. Res., 29, 8
16. Thornton J. A., 1985, "Nutrients in Africa lake ecosystem : Do we know all?" , J. Limnol. Soc. S. Afr, 12, 6, 21
17. 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
18. 許蕙琳，2004，"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
19. <http://www.initiate.com.tw>
20. <http://www.cwb.gov.tw>
21. <http://www.ris.gov.tw>
22. [http:// www.epa.gov.tw](http://www.epa.gov.tw)，行政院環境保護署
23. 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
24. 葉宣顯，1999，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

25. 台灣省自來水公司，1995，南化水庫污染防治規劃研究

26. Twort A.C., 1995, Water Supply, 5<sup>th</sup> edition, , AIWA

27. 環保署，2001，八十九年台灣地區主要水庫水質監測計劃，  
EPA-89-G103-03-1329

28. Parker, D. S., Kanufman, W. J. and Fenkins, D., 1971, “Physical conditioning of activated sludge floc” , J. Awt. Pollut. Contro Fed., 43, 1817-1833

29. 台灣省自來水公司，1999，南化水庫防淤清淤方案之研究

30. Clasen J., 1998. Efficiency control of particle removal by rapid sand filters in treatment plants fed with reservoir water: a survey of different methods. Wat. Sci. Tech., 37, 2