

# 自來水淨水場綜合效能評估制度研究

陳文祥

工程師

台灣省自來水公司總管理處供水處

## 摘要

對於自來水供應者而言，其主要目的乃是加強淨水場之處理能力，以符合法規標準並提供優質且穩定之供水。為有效提昇台灣省水公司淨水場之操作，利用綜合效能評估技術來鑑定淨水場中水質處理不良的原因，並判斷是否將原有之淨水場設備，加以妥善利用，以期達到最佳的處理效率及效能，並對淨水場之設計、管理、操作及維護之完整檢視及分析，以達淨水場之最佳化操作。美國環保署「自來水廠最佳化之自我評鑑技術手冊（Self-Assessment Guide For Surface Water Treatment Plant Optimization）」，自 2003 年起，於水公司各區處進行淨水場綜合效能評估，惟國情、水質標準不同及淨水設備互異，以致相關評估參數及方法、流程等無法完全適用於水公司所屬淨水場，故淨水場綜合效能評估技術有進行本土化探討之必要，以符合所需。藉由淨水場綜合效能評估制度的建立與落實，可對淨水場設計、操作、管理及維護進行整體性的評估與提出改善建議，對淨水單元處理功能與淨水場整體績效的提升，扮演著關鍵的

地位。本研究將對水公司所屬之淨水設施進行處理效能之探討及改善，使得淨水場舊有的設備可發揮最大的處理能力並達到最佳的處理狀況，避免投注大量的經費添購或修正原有的設備。並以加強淨水場之處理能力，以符合未來日趨嚴格的飲用水水質標準為首要目標。

**關鍵字：**淨水場綜合效能評估、淨水操作、飲用水水質、淨水知識平台

## 前言

有鑑於美國環保署公告之 Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule (IESWTR)中所建立之飲用水處理單元之規定，欲達成更嚴苛的水質標準，需有一系統性的安排，對濁度項目的要求更是嚴格。依照台灣省自來水公司（以下簡稱水公司）1998 年完成之「台灣省飲用水水源水質改善計畫」，編列的龐大改善工程費用中，大部分屬現有傳統設備之改善，其中以符合 2 NTU 之濁度標準所作之改善佔大部分。因此，現有設備單元對去除濁度之功能提升，是目前各淨水場需審慎評估並立即進行改善的重點項目之一。但根據水公司各單位所提送之水質改善工程計畫書或設計報告，普遍缺乏各單元濁度去除功能之調查與分析，也無詳細的功能探討，因此，在未釐清去除濁度效能不彰原因的情形下，即擬定增建或擴建淨水設備，不僅未能使現有設備之功能充分發揮，容易造成不必要的投資浪費。

## 淨水場綜合效能評估制度之發展

為提升民生用水的質與量，1989 年美國環境保護署公告了「表面水處理規則」(Surface Water Treatment Rule, SWTR)，對於所有使用表面水或地下水受表面水影響之公共給水系統，提出更嚴格之處理要求，針對日漸嚴格之飲用水法規，美國有部份自來水廠在環境保護署之資助下於 1991 年開始，採用原先用於提昇污水處理廠處理效能之綜合性改善計劃(Composite Correction Program, CCP)，來對淨水場之操作功能作一基本性之調查與評估，此 CCP 計畫包括綜合效能評估(Comprehensive Performance Evaluation, CPE)及整合性技術協助(Comprehensive Technical Assistance, CTA)，其目的在對淨水場進行整體性與系統性之操作效能評估，以確認淨水場處理效能不彰之根本原因。其後，美國環保署更依據眾多自來水廠執行 CCP 所累積之經驗，出版 CCP 使用手冊，提供給自來水相關者參考，並於 1998 年更新再版(Rener and Hegg, 1991; Hegg, 1998)。

至於台灣之淨水場綜合效能評估制度之發展，首由交通大學環境工程研究所黃志彬教授於 1997 年仿效美國 CPE 評估方法，以豐原及板新淨水場兩廠為對象，進行資料收集、操作功能評估、主要單元程序評估等工作(甘，1997)。1999 年水公司也與交大黃志彬教授的研究團隊合作，於新竹

第一淨水場引進綜合效能評估，以評鑑淨水場去除濁度之效能，藉由實例演練之方式，建立供淨水場改善工程參考之模式(李，1999)。2000年自來水協會則在美國自來水協會授權下委託黃志彬教授將「表面水處理廠最佳化之自我評鑑指南」英文版翻譯成中文技術手冊「自來水廠最佳化之自我評鑑技術手冊」(黃，2000)，期使此一手冊可供自來水相關單位與淨水場的操作人員參考使用。2001年蔣本基教授等人曾在南化水庫淨水場進行功能評鑑之工作。水公司根據『自來水廠最佳化之自我評鑑技術手冊』，於2003年度分別由各區處在區域內選擇一座主要給水廠，進行功能評估並提出綜合效能評估報告，之後再由水公司總管理處組成CPE評估小組，並依此進行現場評估工作，但由於初次執行，所以並無一個適合國情之制度可遵循，故仍僅停留在trouble shooting的階段。

2003年起，水公司積極推動操作營運整體效能評估工作，概分為四個階段，包括：

- (一) 第一階段：參考美國環保署「自來水廠最佳化之自我評鑑技術手冊 (Self-Assessment Guide For Surface Water Treatment Plant Optimization)」於所屬各區管理處進行淨水場綜合效能評估。
- (二) 第二階段：由總管理處組成八人淨水場綜合效能評估小組，由劉副總工程師率隊親赴各區處選定試辦效能評估淨水場，進行現場討

論，並就相關問題及解決方式溝通意見。

(三) 第三階段：開設淨水場綜合效能評估訓練班二個班次，調訓各區處給水廠廠長、淨水股長及相關操作人員，進行為期一週的密集訓練與教育，以提供更完整、更有效率的淨水場效能評估知能。

(四) 第四階段：進行整體計畫執行評估，並進行相關計畫執行。

因國情、水質標準不同及淨水設備互異，以致相關評估參數及方法、流程等無法完全適用，故進行淨水場綜合效能評估技術本土化之探討，以符合所需，因此在第四階段水公司修正計畫目標如下：

1. 加強淨水場處理能力，以符合標準並提供質優化之供水。
2. 將原有之淨水場設備，加以妥善利用。
3. 檢視與分析淨水場的設計、操作與管理，以期達到淨水場最佳化操作。
4. 系統化管理綜合效能評估推動成果，作為水公司推動知識管理的基礎。

### **綜合效能評估制度**

淨水場綜合效能評估之整體架構主要可分為八個步驟，其中每項步驟分述如下：

#### **步驟一 效能評鑑**

決定是否現有效能達到預期之效能目標，以及是否效能需要被改善，如果效能評鑑結果顯示水場操作已達最佳化，則水場得自行決定是否需完成綜合效能評估之其餘步驟。水場在決定不繼續完成其餘步驟之前，相關人員必須確定水場達到最佳效能操作之原因不是因擁有一個穩定及高品質之原水，且此種原水之水場通常比較缺乏處理技術及應變經驗，且常會有自滿的現象。另外，水場可將綜合效能評估程序當作水質改善工作之一部分。

## 步驟二 主要單元程序評估

決定是否主要單元程序，即膠凝、沉澱、過濾及消毒，限制處理效能，此評估幫助水場了解是否其主要單元程序的硬體大小為效能不佳之原因，如果主要單元程序硬體大小為適當的，則其他如設計、操作或管理將可能為效能不佳之原因。

## 步驟三 設計

決定是否單元程序存在有硬體大小之外之效能限制因子，本設計項目將評估不需重大改善工程即可將缺點改正之可行性，舉例來說，兩個平行使用的沉澱槽雖大小適當，卻可能因水流不均勻分配而影響沉澱效能。設計項目可分為下列五項：

快混/混凝

膠凝

沉澱

過濾

消毒

#### 步驟四 操作

決定是否操作能力為效能限制因子，操作篇主要評估程序控制計劃及操作人員判斷原水水質變化及採取應變措施之能力，此應變措施包括改變混凝劑之劑量以達效能目標。

#### 步驟五 管理

決定水場管理是否有效支援水場效能之最佳化，此管理篇內容包括評估管理政策、人員素質、及經費。

#### 步驟六 總合效能限制因子並排序及確定行動方案

從第一步驟至第五步驟乃鑑定可能之效能限制因子，可對效能限制因子總結並排序及確定行動方案。對於效能限制因子之排序及視水場資源狀況有效用在優先因子是非常重要的，理論上效能限制原因通常必須被同時提出，因為各別因子是同時存在並造成水場效能不佳。

#### 步驟七 執行改善方案

執行第六步驟所提出之改善方案。

## 步驟八 評估效能改善成果

決定是否以第七步驟所進行之改善工作確實提昇效能，如果效能目標仍未達到，則必須對改善工作進行再一次的評鑑，並提出執行方案以進一步改善效能，如果效能限制原因較嚴重(需要時間去改變之管理政策或必須經由長時間之訓練來改善之操作限制因素)，則最佳化程序可能需要花費數年時間完成。

## 研究方法及步驟

本研究的最終目標為調查水公司淨水場淨水流程及設施(含廢水處理)，進行標準化、實用化及簡單化之準則研究，建立符合水公司淨水場特性之本土化綜合效能評估及系統化管理制度及適合水公司淨水場綜合效能評估之專家系統，輔助水公司淨水場進行綜合效能評估及系統化管理，並透過與國內外相關淨水場之綜合效能評估經驗交流，協助水公司達到質量並重之經營目標。

### (一)水公司淨水場處理資料收集

本年度先設計水公司水廠設備及操作效能評估資料表，然後以問卷方式調查水公司所屬之 570 個淨水場，藉此收集水公司淨水場之詳細資料。同時，挑選先前已執行過淨水廠綜合效能評估的 18 座淨水場並安排訪查人員進行現場訪查工作，經由資料統計分析後擬定適當的評估

表格及依據準則草案，然後再挑選對象淨水場進行綜合效能評估之試行，最後修正綜合效能評估的準則流程。同時，依據問卷資料建構專家系統資訊平台，並以知識管理的方式提升淨水場處理效能。

## (二)淨水場綜合效能評估之試行

為建立符合水公司淨水場特性之綜合效能評估制度，本研究將組成淨水場綜合效能評估試行小組，小組成員包括水公司水廠綜合效能評估操作相關人員 5~6 名及國內自來水處理相關的專家學者 2~3 人分組進行水廠試行評估。首先進行行前會議，此時小組成員應先針對試行的淨水場進行資料的審視，資料應包含管理文件、設計資料、操作資料、維護資料與效能資料，而透過資料的分析與小組討論，並根據水源水質、處理設施及出流水水質現況訂定合理處理效能目標與主要單元的評估標準。第二階段於淨水場現場進行綜合效能評估，將依水場的規模調整評估小組人數，至現場後先進行收集資料的確認與現場勘查，接下來與現場參與綜合效能評估相關人員進行面談，並確認影響因子優先順序與評估綜合性技術協助(CTA)執行的必要性，離開現場前應給予淨水場初步的結論，最後小組進行堪後會議並完成淨水場的綜合效能評估報告。最後，依照試行淨水場綜合效能評估之結果召開研商會訂定標準化、實用化及簡易化之綜合效能評估準則。

### (三)專家系統資訊平台建置

專家系統建置協助水公司導入綜合效能評估相關的流程規劃、內容管理、行為發展、社群經營輔導等相關工作。以協助綜合效能評估技術本土化與最佳化相關的知識管理範疇目標。本專家系統預計於兩年內完成，主要分成二大階段，第一階段係以指定先導淨水廠為專案推動焦點組織，據以建立全公司各淨水廠適用之知識型管理系統，如適用各淨水廠之目標評估程序，知識物件分類架構，淨水操作標準化流程及支援之資訊系統架構等等，此階段規劃三個月的時間建置，系統上線完成後進行三個月的試行與增修，再以九個月的時間輔助其他淨水廠融入於本系統，透過各區處操作實務分享與標準流程協同修訂，訂立本土化綜合效能評估之最佳化標準淨水流程，務使系統架構成為淨水廠員工日常工作之一環，無形中展現出綜合效能評估與知識分享之行為習慣，快速解決淨水問題，促動經驗傳承。

### **初步工作成果**

#### (一)現場訪查流程建置

為了推動水公司淨水場綜合效能評估制度建立及試行，須先對過去水公司內部有自我執行水廠綜合效能評估之淨水場進行現場訪查以建立符合水公司淨水場之綜合效能評估制度。過去水公司所執行的淨水場

綜合效能評估屬於水廠內部工作，而現場訪查工作屬於外部的淨水場綜合效能評估，須先將水廠內部工作做好，現場訪查工作執行才有成效。

因此，針對過去執行之淨水場進行現場訪查過程首先需要了解先前淨水場執行的成果及改善狀況，然後進行訪查委員及水廠工作人員對目前水廠操作效能及所遭的遇問題交換意見，接著訪查委員隨水廠工作人員檢視現場操作狀況，最後訪查委員再與水廠人員進行建立內部評估制度的座談會議。因此，對於每個訪查淨水場之流程可分為四個部分，(1)聽取水廠自我執行綜合效能評估初步成果報告及改善現況、(2)訪查委員對水廠內部之綜合效能評估提出建議、(3)訪查委員檢視現場操作狀況及(4)訪查委員與水廠人員交換意見並整合水廠建立未來內部評估制度之建議及想法。經由上述之訪查流程後，整理各個訪查淨水場之訪查結果，作為未來選定淨水場綜合效能評估試行場之參考依據。

## (二)建立水公司淨水場綜合效能評估制度及試行之研擬

因水公司所屬之淨水場達 570 個之多，且各水廠原水水質、設備規模及供水量大不相同，水公司各區處之淨水場出水量分類如表 3 所示。

為有效推動未來水公司淨水場綜合效能評估，本研究將對所有給水廠

分類，主要以各區處給水廠所轄之最大淨水場之設計出水量大小及其原水水質濁度為依據分成四類，各類廠所綜合效能評估執行時均需要評估小組、會同評估人員及受評人員，以進行所轄之淨水場進行有效的自我評鑑。

## **實例研究**

### **一、豐原淨水場操作效能評估**

為使評估人員對淨水廠有更深入的了解，需事先收集淨水場現有的詳細資料，包含硬體設備規模與水質資料，而關於豐原淨水場的設備尺寸、原水水質及濁度資料，過去已有學者作過詳細的資料收集。有詳細的資料收集後方可繼續進行操作功能評估與主要單元評估等工作。

豐原淨水場的原水取自大甲溪，原水與清水的 pH 值在 7~8.2 的範圍內，原水濁度大都在 0~10 NTU 的範圍內，平均每年有 298 天都處於低濁度狀態，而濁度大於 300 NTU 的天數極少，都在颱風季節或梅雨期間發生，而清水濁度皆能維持在 2 NTU 以下。

在此案例中以同一時段進流的原水為實驗水樣，從 1996/7/20 至 1997/1/10 共 50 組抽樣調查，以濁度計量測同一時間進流的水樣的濁度，採取的水樣有原水、一廠的一期、二期、三期沈澱池放流水及過濾池放流水，二廠的沈澱池放流水及過濾池放流水。統計在不同濁度下各處理單元

的濁度去除效率，結果顯示豐原淨水廠內原水濁度的去除，大半是利用過濾池的操作，混凝沈澱處理單元的濁度去除率( 40 % ~ 60 % )明顯地比理想的濁度去除率( 80 % ~ 90 % )低，因此會帶給後序流程過濾池的負擔，造成反沖洗次數的頻繁以及反沖洗廢水量的增加。由原水濁度資料來看，引起豐原淨水廠膠凝沈澱效果不佳的原因可能是因為原水進流濁度太低，原水中缺少作為微細膠體粒子聚集的凝結核，可考慮將反沖洗水回流至原水中，以增加水中的凝結核數目，稱為 seeding effect，可提高混凝沈澱單元的濁度去除效能；但是需注意反沖洗水中 Cryptosporidium 或 Giardia 等致病原動物的存在。

對豐原淨水場之主要單元評估工作，以淨水一廠第一期水處理工程進行主要單元評估。參考一般淨水工程設計值計算出各個硬體設備的理論處理量，再與淨水廠的設計流量 100,000 CMD 及尖峰流量 110,000 CMD 作一比較，整理編製成一運轉能力評估圖，以相關資料之取得判定各個單元的運轉狀況，可得到豐原淨水廠一廠一期的慢混單元的合理處理容量應為 82,944 CMD，與 100,000 CMD 及 110,000 CMD 作比較，皆在 90 % 以下，因此皆歸類為不良的狀況。沈澱單元的合理處理容量應為 95,880 CMD，與 100,000 CMD 比較可得約 96 %，因此歸類為普通狀況，但對於 110,000 CMD，其比值小於 90 %，因此歸類呈不良的狀況。過濾單元的合理處理容量

應為 141,120 CMD，與淨水廠的設計流量及尖峰流量作比較，皆有 100 % 以上的比值，因此都可歸類為良好的狀況。對於豐原淨水廠其他各期單元亦以相同的方式進行主要單元的評估。

## 二、新竹第一淨水場操作效能評估

新竹第一淨水場引進自我評鑑方法，以釐清淨水場出水濁度良窳之原因，並提高淨水場去除濁度之能力，工作包含主要淨水單元去除濁度功能的評估、淨水場設計限制因素的程度鑑定(包括快混、膠凝、沉澱及過濾)、操作與處理效能改善的可行性建議，以供為淨水場操作、維護與改善工程設計之參考，期使現有淨水設備可充分發揮其最大處理效能。

1. 評估新竹第一淨水場淨水處理單元操作勢能，可知快濾池為本場處理容量受限之主要因子，水躍快混池、慢混池與沉澱池，則容量已足夠，因此如欲增加出水量至 100,000 CMD，應當優先予以增建 30,000~50,000 CMD 之快濾池。
2. 由濁度資料顯示，累積發生機率 95% 下，原水濁度在 400 NTU 以下，經過傾斜板沉澱設備後，沉澱水與過濾水濁度大致能分別控制在 5 NTU 及 1 NTU 以內，可供實務設計及操作之參考。
3. 淨水場沉澱水出水濁度應實施連續監控，以利適時調整加藥量，且人工加藥方式不易配合原水水量、水質變動而機動調整加藥量，應

考慮增設自動加藥系統。

4. 實施前加氯有促進混凝及降低濁度功能，為是否可因前加氯而減少混凝劑用量，有待進一步探討。
5. 不同加藥方式，影響膠羽的形成，採多點加藥較單點加藥，有利後續慢混程序膠羽的生成。

### **初步結論**

1. 為符合現況，美國淨水場 CPE 制度引入國內前須做適度調整，如將限制因子改為影響效能問題及將限制因子的排序改為依照解決操作效能問題之急迫性及可行性分為近程、中程及長程。
2. 經過 18 座淨水場現場訪查及計畫執行工作會議討論後選定表面水水源試行場為板新給水廠；地下水水源試行場為彰化第三淨水場；薄膜試行場為西嶼淨水場。
3. 水公司之給水廠或營運所分類依據廠所最大出水量之淨水場及其原水濁度分兩大基準區分為四類，同時廠所執行淨水場綜合效能評估人員共分為三組，分別為評估小組人員、會同評估人員及受評人員。
4. 知識平台已初步建立並轉化所收集之淨水場基本操作設備資料為平台所用之格式，同時已架構資料分析系統，未來可進一步分析所有淨水場之操作設備資料。

## 誌謝

本研究計畫承蒙國立交通大學黃志彬教授帶領的研究團隊及智磊知識服務公司之協助，提供了寶貴的淨水效能評估知能、技術、知識管理平台規劃建置及進行實際的調查訪問工作，拓展的本計畫的視野並厚實計畫內涵，對於水公司日後淨水操作將有莫大助益。

## 參考文獻

1. Bob. A. Hegg "Optimizing Water Treatment Plant Performance Using the Composite Correction Program," EPA/625/6-91/0271, Revised August 1998.
2. Bob. A. Hegg "Retrofitting Publicly-Owned Treatment Works for Compliance," William Andrew Pub, 1990.
3. R. C. Renner and Bob. A. Hegg "Optimizing Water Treatment Plant Performance Using the Composite Correction Program," EPA/625/6-91/027, February, 1991.
4. R. C. Renner and Bob. A. Hegg "Self-Assessment Guide for Surface Water Treatment Plant Optimization," Amer Water Works Assn, 1997.
5. EPA Guidance Manual, "Comprehensive Performance Evaluation in

- Guidance Manual for Compliance with the Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule: Turbidity Provisions (Chap 6) ", April 1999
6. G. M. Tillman, "Water Treatment: Troubleshooting and Problem Solving," Lewis Pub., 1996.
  7. Partnership for Safe Water, AWWA., 1999.
  8. E. G. Wagner and R. G. Pinheiro "Upgrading Water Treatment Plants," Spon Press Pub., 2001.
  9. 甘其銓、黃志彬、張怡怡、蔣本基 「淨水效能評鑑之方法及實例」，自來水會刊，16(4)，pp31-50，民國八十六年九月。
  10. 甘其銓，「淨水場濁度去除效能評估及混凝監測之研究-以豐原淨水場為例」，交通大學碩士論文，民國八十六年六月。
  11. 「台灣省飲用水水源水質改善計畫」，台灣省自來水公司，民國八十六年。
  12. 李丁來、甘其銓、黃志彬、劉廷政、李乾華、林慶春 「淨水場去除濁度功能自我評鑑之初步研究」，第十六屆自來水研究發表會，台北，民國八十八年十一月。

陳文祥

台灣省自來水股份有限公司總管理處工程師

台中市北區雙十路 2 段 2-1 號

[tchen@mail.water.gov.tw](mailto:tchen@mail.water.gov.tw)

Tel : 04-22244191 轉 355

Fax : 04-22232932