

自來水會刊第 32 卷第 3 期目錄



實務研究

- 電磁式C級流量計與用戶水表串接之相對誤差及用水行為模式探討……楊境維、黃欽稜…… 1
救火栓延時方案研析……陳韋嘉…… 9

每期專題

供水操作與管理

- 自來水長期滯留改善實務探討……江清蓮、李明翰、邱舜稜…… 22
淨水場處理超高濁度原水實務之探討……黃永富、姚寶蓮、胡慧玲…… 31
漏水管理的精進作為—中區計量作業……許志浩…… 40
受污染原水供緊急備用民生用水水源之前處理技術應用……
……李丁來、陳郁仁、吳怡儒、張智華、黃良銘、葉宣顯、林財富…… 47
以Microsoft ASP.NET擷取監控系統資料初步實現供水資訊Web化……張錫堅…… 59

一般論述

- 高架水塔結構設計之研討……曾浩雄…… 67
自來水供水水質生物穩定性簡易評估方法……
……薛志宏、張勝輝、王珊莉、張玉玲、張美鳳、陳富鈴…… 77
建置水質檢驗資訊系統效益探討……楊昭端…… 89

協會與你

- 歡迎投稿 102年「每期專題」…… 8
中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…… 39
勘誤聲明…… 21

封面照片：公館淨水場太陽能設施(臺北自來水事業處提供，曾坤慧攝影)

自來水會刊雜誌稿約

- 一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水會刊，每年二、五、八、十一月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。
- 二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、業務報導、專家講座、他山之石、法規櫥窗、協會與您、會員動態、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地等文稿。
- 三、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得（包括技術與管理），前述二類文稿請儘量附英文題目及不超過 150 字之中英文摘要，本刊將委請專家審查。「每期專題」由本刊針對特定主題，邀請專家學者負責籌集此方面論文予以並列，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與您」則報導本會會務。
- 四、惠稿每篇以三千至壹萬字為宜，特約文稿及專門論著不在此限，**本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明**；無法刊出之稿件將儘速通知。
- 五、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版名：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。
- 六、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。
- 七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 cllin@mail.water.gov.tw，並請註明真實姓名、通訊地址（含電話及電子郵件地址）、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。
- 八、稿費標準為專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、專家講座、法規櫥窗、他山之石、特載等文稿 900 元/千字，「業務報導」為 500 元/千字，其餘為 400 元/千字，文稿中之「圖」、「表」如原稿為新製者 400 元/版面、如原稿為影印複製者，不予計費。
- 九、本刊係屬贈閱，如擬索閱，敬請來信告知收件人會員編號、姓名、地址、工作單位及職稱，或傳真(02)25042350 會務組。本刊將納入下期寄贈名單。
- 十、本會刊內容已刊載於本協會全球資訊網站（www.ctwwa.org.tw）歡迎各界會員參閱。
- 十一、本刊中之「專門論著」、「實務研究」、「一般論述」、「每期專題」及「專家講座」，業經行政院公共工程委員會 92 年 3 月 26 日工程企字第 09200118440 號函增列為技師執業執照換發辦法第五條第一項第四款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程科」。

自來水會刊雜誌

發行單位：中華民國自來水協會

發行人：陳福田

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電話：(02)25073832

傳真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

吳美惠

委員

駱尚廉、葉宣顯、陳曼莉、陳錦祥、蘇金龍

張怡怡、林財富、周珊珊、蕭宏民、李丁來(兼秘書)

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總編輯：吳美惠

執行主編：李丁來

編審委員

鄭錦澤、黃建源、陳孝行、陳志銘、簡俊傑

洪世政

執行編輯：林正隆

電話：(04)22244191 轉 824

行政助理：古藜苓

印刷：松耀印刷企業有限公司

地址：台中市北區自強街 50 號

電話：(04)23607717

電磁式 C 級流量計與用戶水表串接之相對誤差及 用水行為模式探討

文/楊境維、黃欽稜

一、前言

經統計臺北自來水事業處（以下簡稱為北水處）口徑 75mm 以上大表用戶數雖然僅佔整體 0.2%，然其計費水量卻佔整體售水量 32%，故大表計量準確性及其誤差有進一步探討之必要。

本研究係挑選 30 只口徑 75mm 以上用戶表，透過串接 Class C 等級之電磁式流量計（尚未通過國內相關形式認證），由記錄器紀錄每分鐘流量歷時資料後，分析兩者間相對誤差以及研討大表用戶用水行為模式。

二、樣本資料分析

本研究所串接 30 只用戶表，包括口徑 75mm 25 只、口徑 100mm 3 只及口徑 150mm 2 只，現場安裝施工圖詳如圖 1。

所串接之表種分為四類：豎軸電子式水表、橫軸電子式水表（C 級）、豎軸機械式水表及橫軸機械式水表，各表種數量分詳如圖 2。表齡方面有 90% 超過 5 年以上，其平均表齡為 5.9 年，表齡分析詳如圖 3。

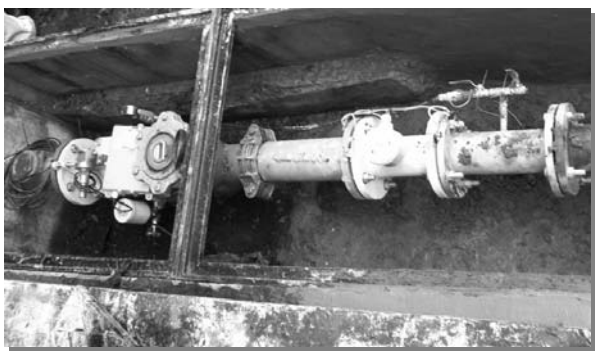


圖 1 現場安裝示意圖

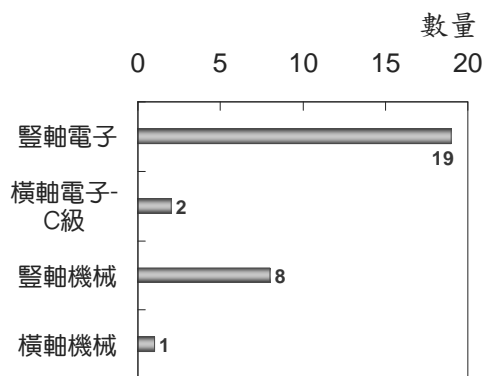


圖 2 表種分析

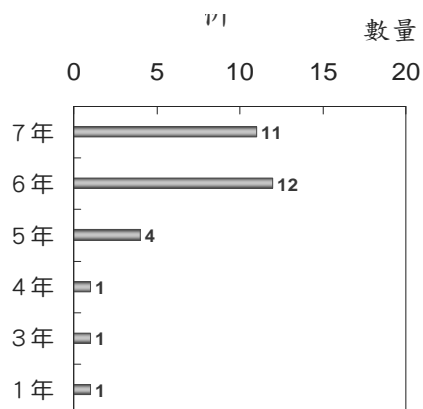


圖 3 表齡分析

三、分析結果

本研究透過電磁式流量計與用戶表之串接，分析每分鐘流量歷時資料，並由兩者間相對誤差以及大表用戶用水行為模式進行討論。

(一)相對誤差

1.相對誤差之定義

任何水表無論精密與否皆有其器差，由於用戶實際用水量之「真值」無法得知，故本研究引用相對誤差，來比較電磁式 C 級流量計與用戶水表間精準度之差異性。用戶表

與C級流量計間之相對誤差可由以下公式計算而得。本研究相對誤差之定義：

$$R = \frac{N_m - N_M}{N_M} \times 100\%$$

其中：

R……相對誤差

N_m ……用戶水表計量值

N_M ……C 級流量計計量值

2.相對誤差分析結果

比較相對誤差計算結果，所有用戶水表與C級流量計之相對誤差皆落於±4%之範圍內，而正誤差（平均值 1.62%：19 只）多餘負誤差（平均值 1.26%：11 只），分析結果詳圖 4 所示。

3.以流量進行相對誤差分析

依據 CNS 14866-1 由水量計誤差曲線之各項標稱流量定義如下：

- (1)最小流量 Q_1 (minimum flowrate)：水量計在最大許可誤差內運轉之最低流量。
- (2)分界流量 Q_2 (transitional flowrate)：在常設流量 Q_3 與最小流量 Q_1 之 1 個流量值，其將流量分成「上區」及「下區」兩區，每區各有特定之最大許可誤差。
- (3)常設流量 Q_3 (permanent flowrate)：水量計在額定運轉條件下，以滿意之方式運轉且在最大許可誤差內之最大流量。
- (4)超載流量 Q_4 (overload flowrate)：水量計在其最大許可誤差內進行短時間運轉之最大流量。且隨後水量計在額定運轉條件下，仍能保持其計量性能。

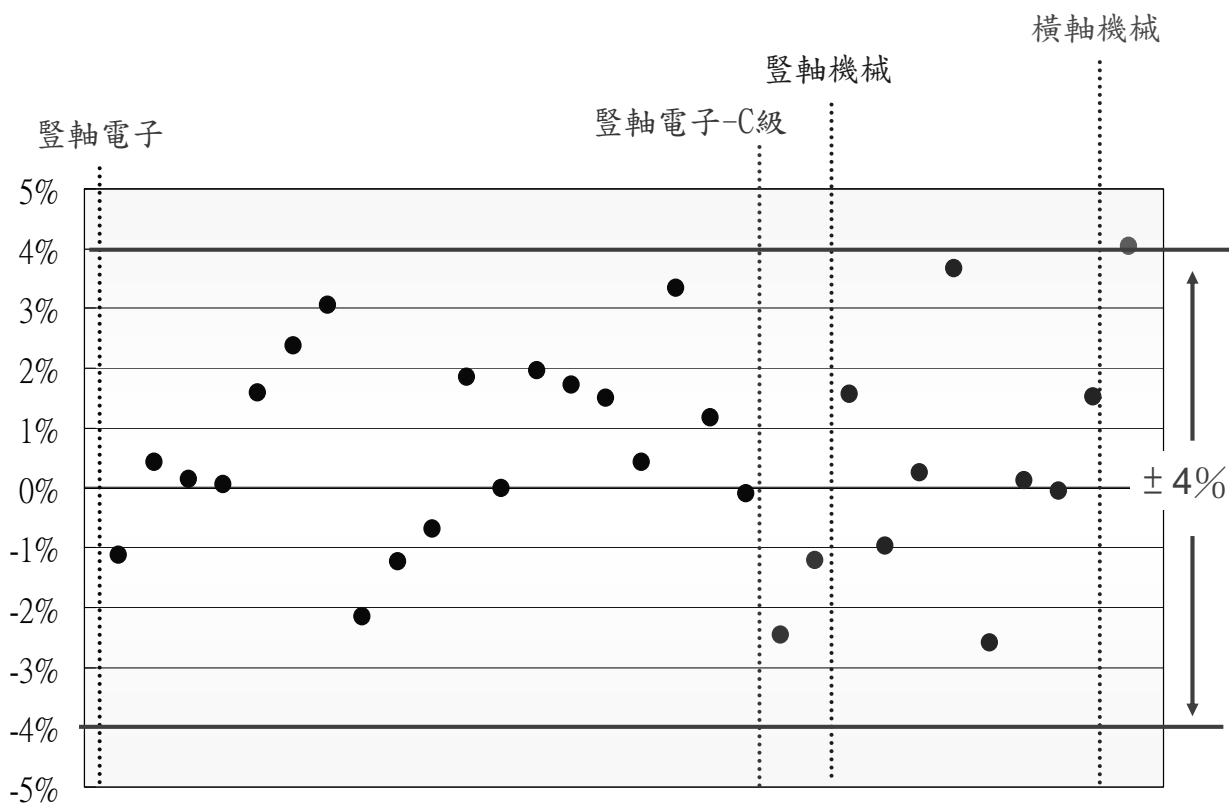


圖 4 本研究串接結果相對誤差分析

本研究逐一檢視 30 只水表進水譜（定義另詳三、(二).3），並判定最高機率進水量落於最小流量（ Q_1 ）、分界流量（ Q_2 ）、常設流量（ Q_3 ）及超載流量（ Q_4 ）何種區間。分析結果統計如下：最高機率進水量小於 Q_1 有 1 只、介於 Q_1 至 Q_2 有 2 只、介於 Q_2 至 Q_3 有 15 只、介於 Q_3 至 Q_4 有 12 只，若排除最高機率進水量小於最小流量（ Q_1 ）之特殊用戶水表不看，其相對誤差分析結果一如預期，最高機率進水量大於常設流量（ Q_3 ），其相對誤差最小，僅 1.33%，其次最高機率進水量介於分界流量（ Q_2 ）至常設流量（ Q_3 ）者為 1.53%，最高機率進水量介於最小流量（ Q_1 ）至分界流量（ Q_2 ）相對誤差最大，為 2.26%（分析結果詳如圖 5 所示）。

(二)用戶用水行為模式

1.用戶用水行為之討論

不同用戶有不同型態之用水模式，就像每個人面貌及個性皆有所不同。本研究發現，就算同一社區有相同之外線形式與進水壓力，則因內線型式不同而進水模式亦有不

同。以 U 工業區為例，進水皆由同一支配水管線進水，進水壓力亦相同，除 E 棟為口徑 100mm 水表外，其餘皆是口徑 75mm 水表。然而，卻因內線型式（內線管線長度、定水位閥設定等）不同，進水模式迥異（詳如圖 6 所示）。

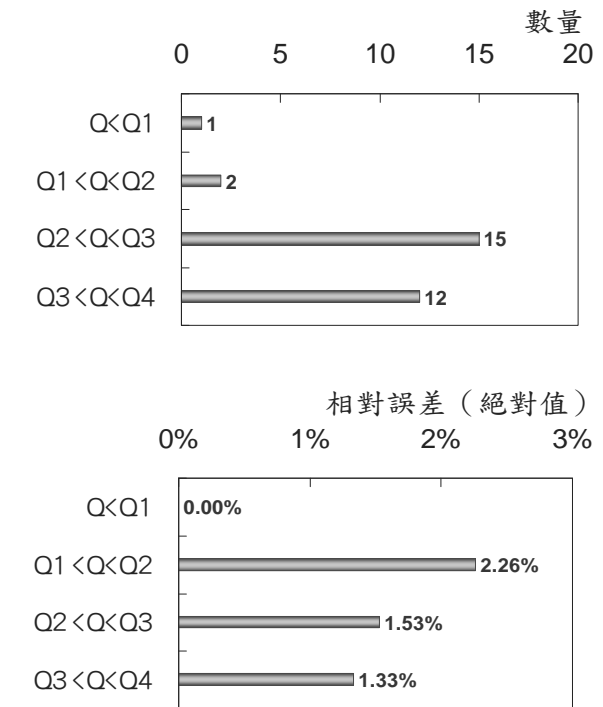


圖 5 流量區間相對誤差分析

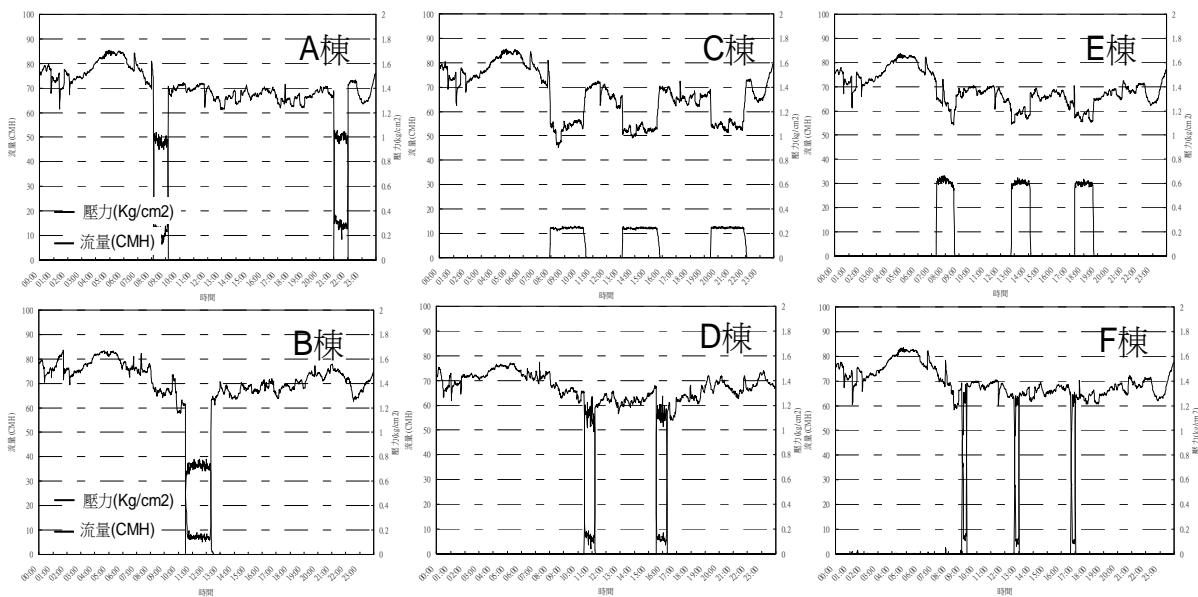


圖 6 U 工業區 6 只水表進水量與表後壓力比較圖

2. 用戶用水行為模式分析

本研究所裝設之 30 只用戶，經下載並分析用水資料後，初步可分為 3 類：

- (1) 間歇進水：本類型用戶進水時，於短時間內迅速將水池補滿，具有急速進水之特性。常見於地下水池位於較深樓層之大樓社區（詳如圖 7 所示）。
- (2) 連續進水：有些用戶或因用水需求量大，或因用戶自行引接直接用水設備，導致水表產生連續進水行為。常見於機關或學校等用水量較大之用戶（詳如圖 8 所示）。
- (3) 「密集」間歇進水：此類行用戶雖屬於間歇進水類型，然而，因為進水時間較長，或因水池及蓄水設備太小，尤其目前大臺北地區因車位一位難求，許多建商紛紛縮減地下室蓄水池以增加車位銷售，導致當中產生「密集」間歇進水情形（詳圖 9 所示）。

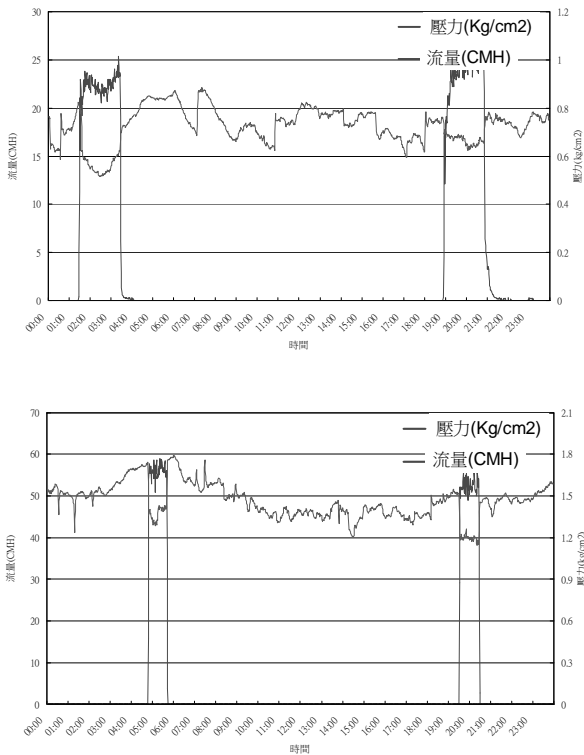


圖 7 間歇進水流量歷時曲線

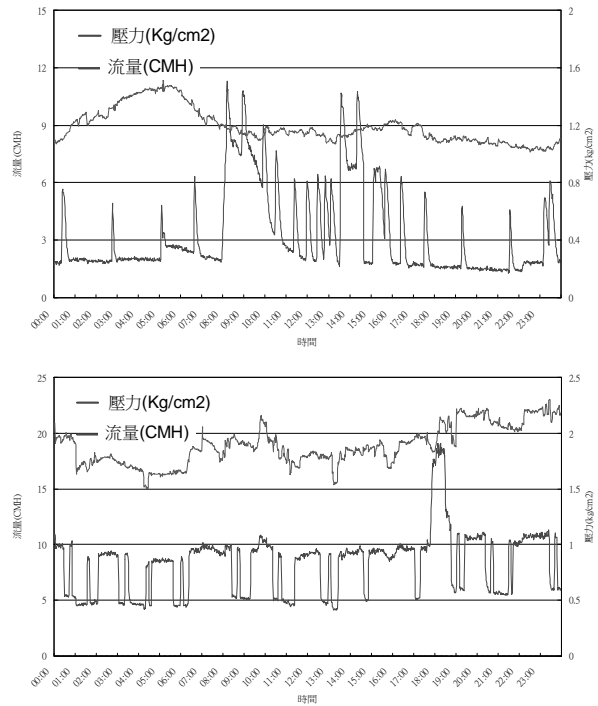


圖 8 連續進水流量歷時曲線

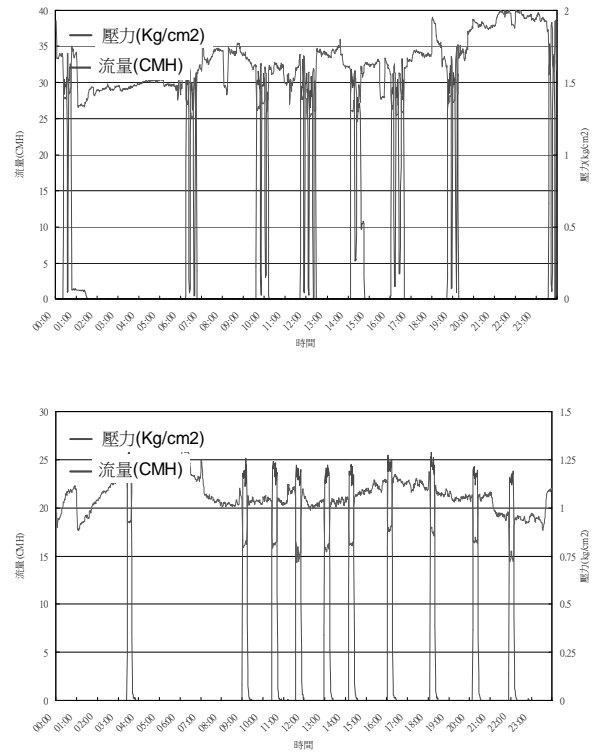


圖 9 「密集」間歇進水流量歷時曲線

3. 進水譜

為研討大表用戶用水行為模式，本研究以用戶「進水譜」來描述用戶各別用水行為。

所謂進水譜定義是水表於不同進水流量時所發生之次數（機率）。當水流經水表時產生計量誤差，而流經水表的量就是該只水表之進水譜。

若用戶進水行為不同，即使用了相同的水表（水表特性相同），則產生的計量誤差也將不同。故「水表進水行為（進水譜）」

與「水表特性（器差曲線）」共同決定了「水表計量誤差」（如圖 10 所示）。所以，用戶的用水習性決定了水表的進水行為，如果欲降低計量誤差，必須選用適當口徑的水表，以搭配不同的用水習性，避免產生「用地磅秤羽毛」這類不符合度量衡原則的情形產生。

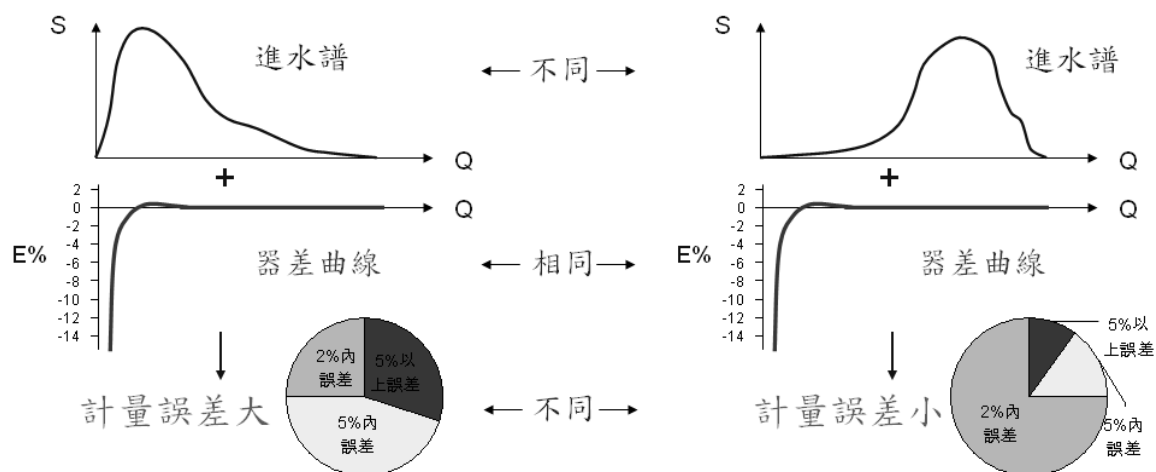


圖 10 水表進水譜與器差曲線及計量誤差之關係

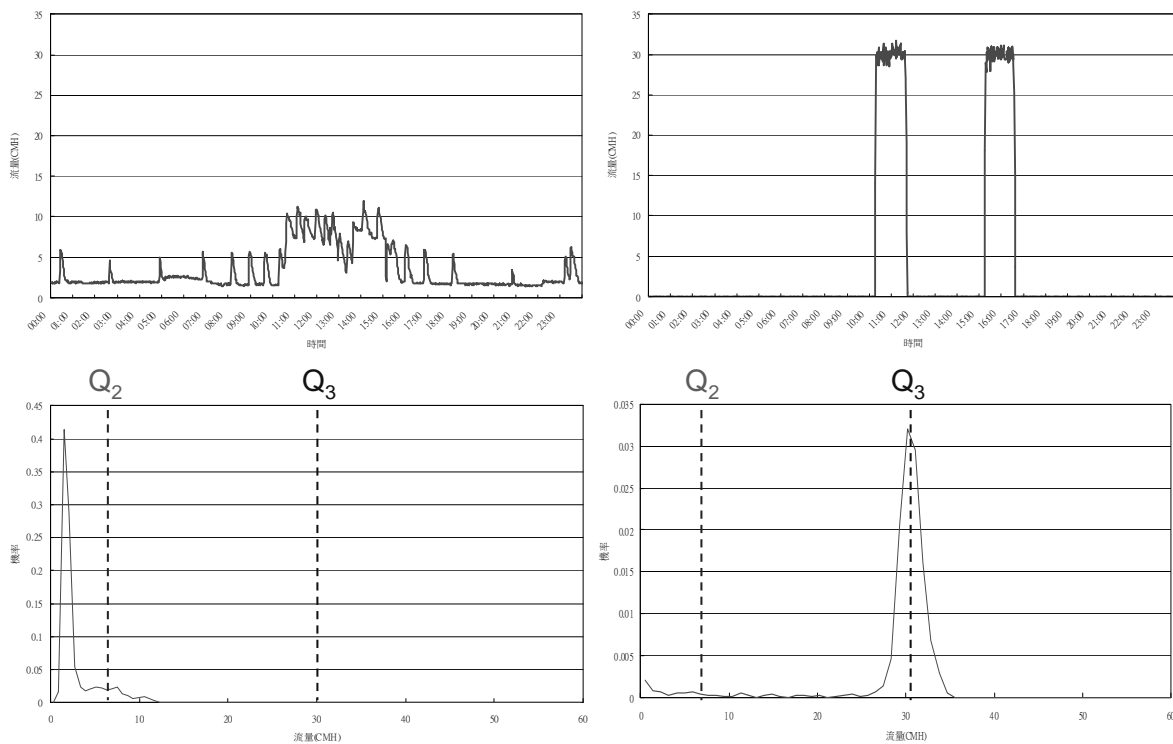


圖 11 日平均流量相同而瞬間流量不同之進水譜比較

進一步說明，若以口徑 75mm 水表為例，如圖 11 所示，用水量同樣為 85CMD 之用戶水表，因為用水行為模式不同，左邊水表為直接且連續進水，右邊則為間歇進水（水池設備），將導致進水譜完全不同。若由進水譜來看，右邊用戶水表進水最大機率流量發生在常設流量 Q_3 附近，水表口徑選擇適宜。然而左邊用戶水表進水最大機率流量卻連分界流量 Q_2 都達不到，應該立即進行口徑縮減之檢討。

4. 由進水譜選擇最適水表口徑

在用戶申請新設用水設備之前，用水行為模式為未知數，故僅能依規定審核並判定口徑，然而本研究透過記錄器下載用戶用水量歷時資料發現，部分僅由規範研判之水表口徑似乎不符合實際用水模式，進而產生帳面減損問題。

由本試驗所下載之用戶用水量資料繪製進水譜後，可判別該用戶水表是否為最適口徑，舉例說明如下：

(1) 選擇水表口徑過大：由 C 國小水表記錄器所下載之用戶進水模式所繪製之進水譜研判，此用戶進水量偏小流，最高機率流量為 4.5CMH，遠小於 75mm 口徑水表之常設流量（ Q_3 ：30CMH），甚至低於分界流量（ Q_2 ：6CMH）。若能縮小該用戶水表口徑，改為 50mm 水表（ Q_2 ：1.2CMH； Q_3 ：15CMH）應較為適宜（詳如圖 12），並能減低帳面損失。在 T 機關亦有相同之情形，繪製進水譜後其最高機率流量僅為 9CMH，建議應該也改為 50mm 口徑之水表以符合實際用戶進水模式（詳如圖 13 所示）。

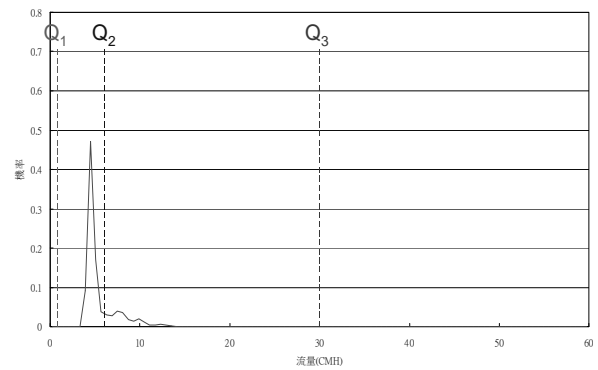
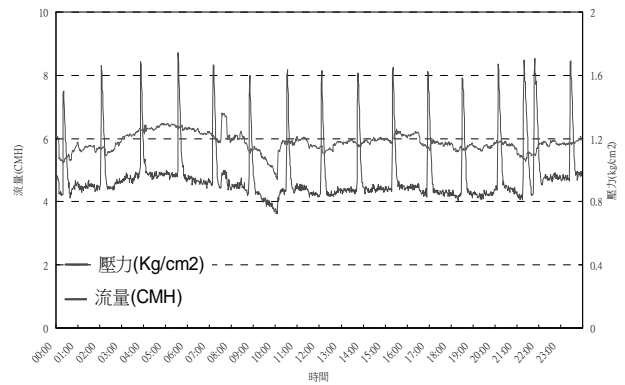


圖 12 表口徑過大-C 國小之進水模式

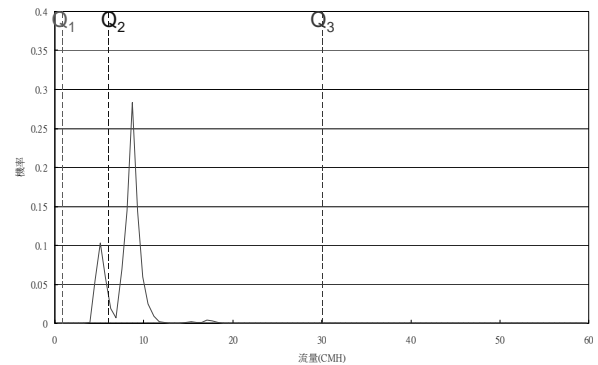
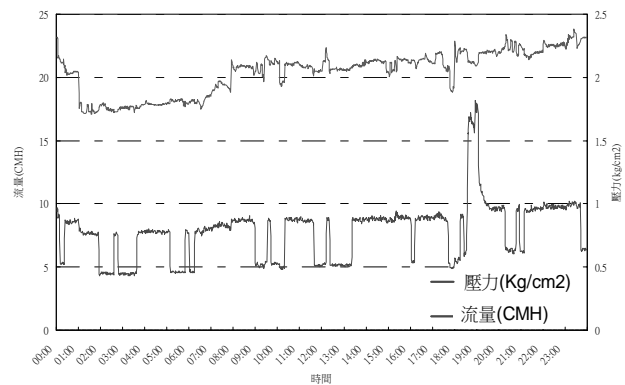


圖 13 表口徑過大-T 機關進水模式



2.選擇水表口徑適宜：由 S 大樓與 F 社區進水譜來看，最高機率流量分別為 24CMH 與 22.5CMH，落於 75mm 口徑水表常設流量 (Q_3 : 30CMH) 附近，口徑較為適宜 (詳如圖 14 及圖 15)。然而，另有一高機率流量小於最小流量 Q_1 。經分析因該用戶表後水池浮球閥老舊問題，造成滿水位時無法一下子完全關閉，產生進水量小於 Q_1 情形，如此亦將造成帳面損失。建議解決方式為加設小流阻斷設備 UFR (Unmeasured Flow Reducer)，當水量太小 (水位將滿而浮球閥無法完全止水) 此設備將自動阻斷進水，俟累計至一定量或正常進水時再開啟。

3.選擇水表口徑偏小：另由 C 工業區 F 棟最高機率流量 70CMH 來看 (詳如圖 16)，顯

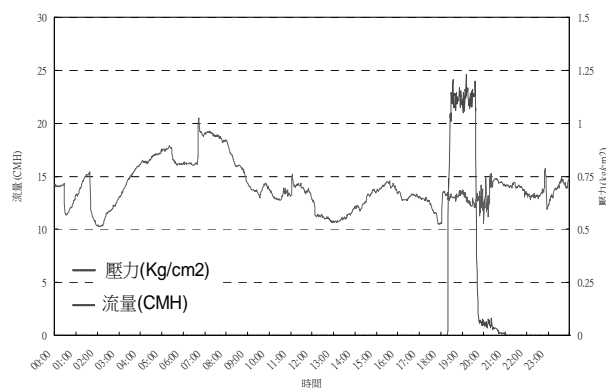


圖 15 表口徑適宜-F 社區進水模式

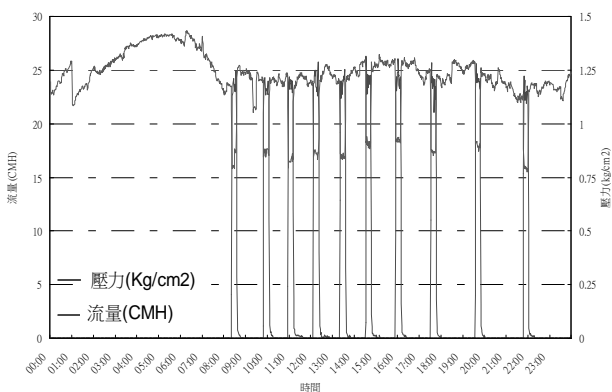


圖 14 表口徑適宜-S 大樓進水模式

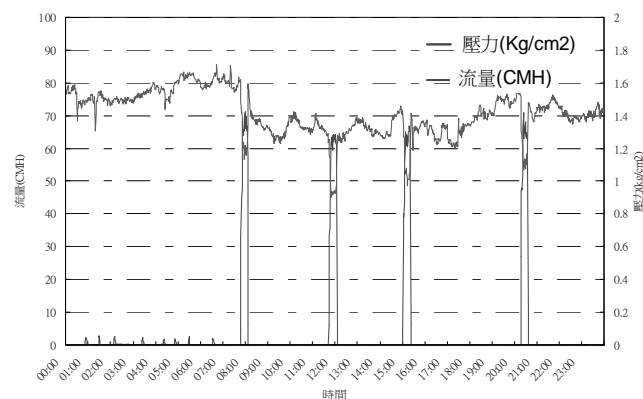


圖 16 表口徑過小-U 工業區 F 棟進水模式

然已經超過 75mm 口徑水表超載流量 ($Q_4: 60\text{CMH}$)，表示該用戶表選用口徑過小。其解決方式則為加設較小口徑孔口片或調高表後持壓閥設定壓力，以控制進水流量。

四、結論

- (一)本次所有水表與 C 級流量計串接結果，其相對誤差皆落於 $\pm 4\%$ 之合理計量誤差範圍內。
- (二)目前現行用戶水表口徑選擇方式，仍是於設計階段由申請戶數推估未來用水量，缺乏接水後再行檢視原設計口徑是否符合實際需求之機制。且又因為每一用戶用水習性迥異，對於水表口徑之適用性，未來應加入以瞬間流量作為考量，而非沿襲採用「日平均」計算之觀念。
- (三)北水處將針對目前口徑 3,000 餘只口徑 75mm 以上的大表，全面逐只檢視其用水模式及檢討設計口徑是否合宜，並建立流量與用戶進水譜資料庫。

參考文獻

1. Francisco Arregui, Enrique Cabrera Fr. & Ricardo Cobacho, "Integrated Water Meter Management", IWA Publishing, 2010.
2. P. Chattopadhyay, "Flowmeters & Flow Measurement", Asian Books Private Limited, 2006.

作者簡介

楊境維先生

現職：臺北自來水事業處供水科副工程司
專長：自來水管線設計施工、漏水防制與管理。

黃欽稜先生

現職：臺北自來水事業處供水科副工程司
專長：漏水防制與管理、數值分析。

本刊 102 年「每期專題」

期別	專題主題名稱	副主題項目	時程
31 卷第 4 期	永續利用	綠色水廠、水源保護、環境教育與管理、氣候變遷、水回收再利用	11 月

~ 歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優 ~

救火栓延時方案研析

文/陳韋嘉

摘要

救火栓的設置關係著人民生命財產與公共安全重責大任，容不下災害發生時無法使用的窘境，因此，本研究針對北水處現有之救火栓損壞原因進行分析與探討，並對救火栓之資產管理提出相關延時因應方向，冀以得到更有效率、安全穩定及高經濟效益的解決方案，供自來水事業單位作為決策參考；另一方面，救火栓主要材料為延性鑄鐵，鑄鐵類製品需耗費大量資源，每噸鑄鐵精製的背後是 600~800 公斤的煤、1.6 噸以上原礦、3.8 噸水、1.7 噸二氧化碳與大量汙染物，因此，以資產管理方式降低損壞率與實施延時方案，除可增加經濟效益與提升企業形象，更可促成鑄鐵減量，達到環保節能減碳之目的。

一、前言

北水處使用之各式自來水相關材料零件隨著時代演進，不斷嘗試引進各種優質材料零件，目前，除著手研修相關採購之物料規範外，更積極與各生產廠商合作進行相關研發，而管材不斷更新進化的同時，救火栓漏水與操作失靈顯得格外突兀，況且救火栓的健全與民眾的生命安全息息相關，身為救火栓的設置與維護單位，對於救火栓的品質與管理愈形重要，因此如何降低損壞率、便利操作與如何快速進行維修成為目前救火栓研究之重點課題；另一方面，由於現行救

火栓本體及主要構件材質為延性鑄鐵，以降低損壞汰換率及採行延時方案來減少新鑄成品的製造，對於環境與減碳有極大助益，因此，本報告除進行損壞原因之分析探討與提供維護管理方向外，另提供資產管理延時的相關方案，作為單位後續有效採行對策。

二、傳統救火栓構造說明及損壞探討

為了解現行救火栓損壞之各原因，本研究針對救火栓之各構造進行說明，並對已損壞之救火栓，在拆解後分析探討其產生之損壞各項成因及提出相關防制對策：

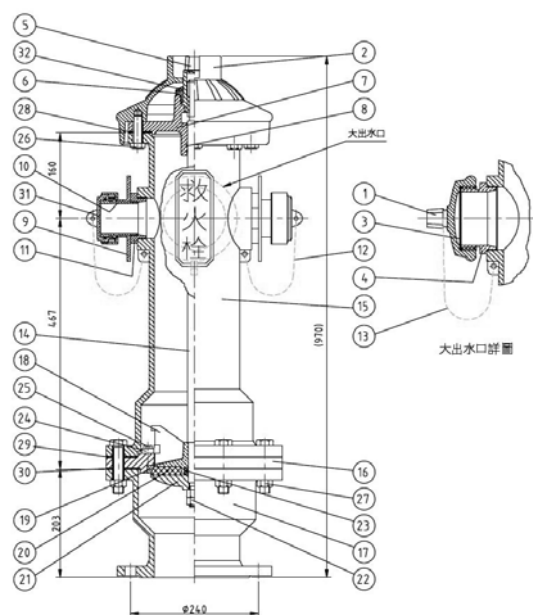
(一)結構介紹

1.基本構造：地上式及地下式救火栓之基本組成構件如圖 1 及圖 2 所示。

2.作動原理

(1)地上式：打開時，將開關螺帽逆時針旋轉，閥桿帶動閥桿尾端之閥圓盤、止水橡膠及固定盤組向下移動，當止水橡膠與閥座嵌環分離，水自閥座流出；關閉時，將開關螺帽順時針旋轉，閥桿帶動止水橡膠向上移動與閥座嵌環緊密接合，完成關閉動作。

(2)地下式：打開時，將閥桿帽逆時針旋轉，帶動閥桿末端止水機構上昇，此機構由閥圓盤、橡膠及固定盤組成，當此機構上昇時，止水橡膠與座環分離，水自閥座流出；關閉時，將閥桿帽順時針旋轉，帶動止水橡膠下降與座環貼緊，完成關閉動作。

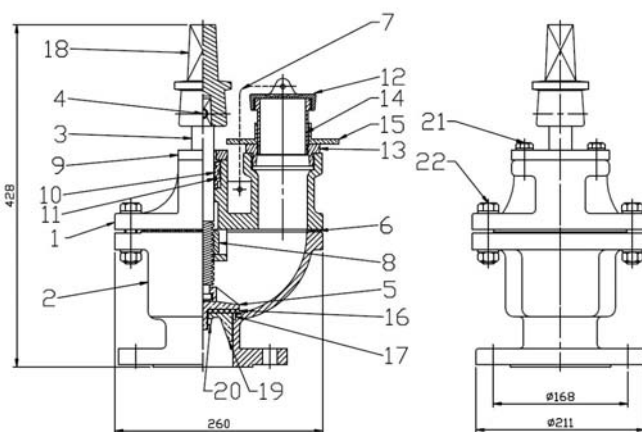


圖面編號	零件名稱	材質	圖面編號	零件名稱	材質
1	保護蓋	FCD400	17	閘筒	FCD400
2	消防栓帽	FCD400	18	閘圓盤	BC6
3	墊片	合成橡膠	19	閘座嵌環	BC6
4	大出水口	BC6	20	開關壓環	合成橡膠
5	開關螺帽	BC6	21	固定盤	FCD400
6	固定螺帽	BC6	22	螺帽	BC6
7	填料函	FCD400	23	填料	合成橡膠
8	防漏水封	合成橡膠	24	導槽板	BC6
9	推卸環	BC6	25	螺栓	SUS304
10	小出水口	BC6	26	螺栓及螺	SUS304
11	接頭座	FCD400	27	螺栓及螺	SUS304
12	鏈條	SUS304	28	墊片	合成橡膠
13	鏈條	SUS304	29	墊片	合成橡膠
14	閘桿	SUS304	30	墊片	合成橡膠
15	本體	FCD400	31	快速型管	FCD400
16	閘座盤	FCD400	32	防塵膠圈	合成橡膠

圖 1 地上式救火栓組立圖

(二)現況分析

1.本研究彙整 2011 年北水處因漏水等損壞原因而汰換之救火栓數量及拆裝概估成本如表 1，估計 2011 年因救火栓漏水等原因損壞而進行拆裝維修之花費約 1,425 萬元，所費不貲，且相關成本尚未包括備料、管理及人事成本與企業形象的損失等，若加計因救火栓損壞漏水產生的社會風險，則成本難以估計；近年來北水處積極推動管



圖面編號	零件名稱	材質	圖面編號	零件名稱	材質
1	填料函	FCD400	12	出水口蓋	FCD400
2	本體	FCD400	13	套管接頭	FCD400
3	閘桿	SUS304	14	出水口接	BC6
4	固定螺栓	SUS304	15	推卸環	BC6
5	閘圓盤	BC6	16	止水墊片	橡膠
6	墊片	合成橡膠	17	座環	BC6
7	鏈條	SUS304	18	閘桿帽	FCD400
8	傳動螺母	BC6	19	固定盤	BC6
9	填料蓋	FCD400	20	螺帽	BC3
10	襯套	依絲龍	21	螺絲	SUS304
11	襯套內外	橡膠	22	螺絲	SUS304

圖 2 地下式救火栓組立圖

網改善相關工程，在汰換舊有管線同時舊有救火栓亦一併進行更新，單獨聚焦於管網改善汰換成效的觀點來分析，完成汰換管線比例越高的區域，救火栓因漏水等損壞原因須汰換之數量越低，惟此一數據僅能代表汰換初期救火栓能正常運作無損壞及漏水現象，尚無法證實歷經時間考驗後，所有救火栓仍能完好的提供周全的防災需求。

2.北水處曾進行救火栓損壞調查統計，經拆解分析後，六成以上損壞主要原因皆為閘門部位構件設計不良所致^[1]。相關損壞原因經統計後分析如表 2、3。

表1 北水處(2011年)汰換救火栓數量及拆裝成本概估表

型式	汰換數量(只)	概估拆裝成本(萬元)	
		包工費	材料費
地上式救火栓	302	包工費	215
		材料費	601
地下式救火栓	376	包工費	387
		材料費	222
小計			1425

表2 地上式救火栓損壞原因統計分析^[1]

損壞原因	比例	造成損壞主因
橡膠外緣破損卡住止水面	42.86%	止水橡膠設計不良。
橡膠破損及盤底生銹	37.14%	老式救火栓內部無粉體塗裝。
橡膠止水面卡礫石破裂	14.29%	內部礫石。
閥盤導向片斷裂，心軸脫出	5.71%	操作不良，開啟扭矩過大。
合計	100.00%	

表3 地下式救火栓損壞原因統計分析^[1]

損壞原因	比例	造成損壞主因
止水橡膠破裂	49.12%	止水機構各組件配合不良及操作不當
閥圓盤破裂	14.04%	操作不當，關閉扭矩過大。
內部礫石	14.04%	施工污染及救火栓積水，礫石自內、外部侵入栓體。
軸變形卡死	8.77%	操作不當
內部嚴重生銹	8.77%	舊式救火栓內部未粉體塗裝。
異物造成閥圓盤變形	3.51%	施工污染
導槽腳斷裂	1.75%	操作不當
合計	100.00%	

(三)損壞原因分析

救火栓六成以上損壞原因為閥門部位，而橡膠的損壞又為其主要原因，因此，改良閥門構件並針對橡膠產生之問題予以解決，才是有效避免救火栓的損壞重點；以下針對統計分析表中各項損壞原因進行說明：

1.地上式救火栓

拆解地上式救火栓後發現，除因早期地上式救火栓本體機構以鑄鐵製造未進行粉體塗裝，產生嚴重鏽蝕外，其他損壞原因皆與閥門部位有關，詳細損壞主因分述如下：

- (1)橡膠外緣破損卡住止水面：此情形佔地上式救火栓漏水比例最多，原因為梯型橡膠設計太厚，當關閉時，梯型橡膠受擠壓入閥座嵌環，經過多次擠壓後，因橡膠變質彈塑性降低及變形，受閥座嵌環邊緣之剪力作用而斷裂，當斷裂面不完整使被切割之橡膠尚接合於梯型橡膠時，經水流將之帶至閥座嵌環與梯型橡膠接合面，使得梯型橡膠無法緊密貼合於閥座嵌環上，造成漏水現況。
- (2)橡膠破損及盤底生銹：橡膠破損原因同上項，另地上式救火栓早期本體機構材料除以鑄鐵組成外，並未加粉體塗裝，因此內部均有嚴重生銹情形。
- (3)橡膠止水面卡石頭破裂：救火栓於關閉時，因細碎石子卡在閥座嵌環與梯型橡膠間，經鎖緊後，小石子擠入梯型橡膠內，破壞止水功能。
- (4)閥盤導向片斷裂，心軸脫出：閥圓盤上有

三個固定方向的導向片，當開啟時，閥桿向下將閥門推出，開度最大時導向片上緣會勾住閥座環，當開度達最大時若再施加過大的推力，導向片上緣應力超出材料限度時，導向片因而斷裂，甚至使整個閥圓盤能通過閥座環，造成閥桿頂端螺紋與五角型開關螺帽脫離。

2.地下式救火栓

- (1)止水橡膠破損：地下式救火栓之止水橡膠為平板狀，當關閉扭力過大，橡膠質變或座環邊緣以垂直角度壓入止水橡膠之變形量超過容許值時，因剪力作用使止水橡膠破損。
- (2)閥圓盤變形、破裂或分離：本項損壞之主要原因係人為操作不當所致，如救火栓進行關閉操作時，當止水墊片與座環緊密接合後仍以超過操作扭力之應力進行關閉動作，進而使閥桿擠壓閥圓盤造成而變形，當閥圓盤產生些微變形或止水墊片與座環間卡入異物(含石頭)時，因無法達到完全止水效果，操作人員為關閉止水愈用力鎖的結果，造成整個止水機構破壞。另早期救火栓，閥圓盤由鋼製螺栓鎖緊組成，當鋼製螺栓因腐蝕破損時，閥圓盤相關機構因而解體分散。
- (3)內部砂石：地下式救火栓因出水口只使用簡單的蓋子保護，容易脫掉，當施工污染或其他因素致使礫石等雜物於救火栓開啟瞬間，進入栓體內部，影響操作或關閉時卡在止水墊片與座環間，造成救火栓無法緊閉，此時加諸不當操作，易造成止水機構損壞。

- (4)軸變形卡死：閥桿與傳動螺母間發生鎖死，造成進退不得現象，此現象發生在早期的救火栓上，因早期救火栓傳動螺母厚度較小，相對與閥桿接觸之牙數少，較易受力變形卡死，而現行一般救火栓軸變形卡死部分，則明顯為受外力撞擊而變型。
- (5)內部嚴重生鏽：早期本體機構材料除以鑄鐵組成外，並未加粉體塗裝，因此內部生鏽嚴重，影響結構強度及止水效果。
- (6)內有異物：研判為管線施工不當或管線破損後，異物侵入管線中，當救火栓開啟時，異物隨水流流向救火栓，當異物卡在止水墊片與座環間形成空隙，造成救火栓無法緊閉；此外如異物為堅硬材質，不當操作以容易使止水機構損壞。
- (7)導槽腳斷裂：研判為救火栓出水口入侵之礫石或異物，因救火栓開啟，移動至本體、座環與導槽腳間，次因關閉扭力大於導槽腳容許應力而斷裂。

(四)因應對策

現行使用之傳統救火栓，本體由延性鑄鐵鑄造而成，施以環氧樹脂粉體塗裝，因此本體損壞並不常見；救火栓組成構件方面，損壞主要在於止水機構，而最主要的構件問題又在於止水橡膠及閥圓盤，綜合統計分析表中各項損壞原因，地下式救火栓之止水橡膠與座環接合設計上明顯有改善空間，如關閉時止水橡膠與座環呈線的接觸，不當的操作或異物嵌入時，剪應力易造成止水橡膠損壞(圖 3~8)，此外座環旁水平空間易形成碎石等異物堆積處所，當異物停留在座環水平面端，閥圓盤向下帶動，當異物大於止水橡膠

所能覆蓋極限，除造成關閉仍持續出水外，閥圓盤可能會因此而變形無法止水(圖 7~8)。

於本分析資料中，僅救火栓組成構件的設計問題並不會直接造成損壞，而是各項因素攙合不當的人為操作所致，現行救火栓並無法有效防止不當人為操作，因此操作人員的教育訓練與採行能有效防止不當人為操作的救火栓，為改良救火栓的重點。

針對現行使用傳統救火栓之常見損壞，本研究提出以下相關對策供作參考：

- 1.改進救火栓止水機構：增加救火栓閥圓盤及平板橡膠厚度，並變更斷面形狀。
- 2.地下式救火栓出水口蓋，改為塑膠防塵套蓋(圖 9~10)，預防施工污染或其他因素致使礫石等雜物，於救火栓開啟瞬間，進入栓體內部。
- 3.對於救火栓啟閉應有相關教育訓練，避免操作人員因用力過度損壞內部機構，或於救火栓內部機構增設相關防呆裝置避免過度應力造成損壞。

三、資產管理延時方案規劃

為了解與活化事業單位本身資產，近年來事業單位關注在資產管理計畫的執行有增無減，而就資產管理計畫而言，建立計畫的首要程序就是建置資產的使用年限，其次為盤存及訂定汰換或修復資產之優先順序；如何訂定優先順序？一般而言以整體設備運轉上關鍵重要資產為優先，雖然救火栓並非運轉上的關鍵，但涉及民眾生命安全，因此仍為汰換或修復重點；國際間一般將救火栓之使用年限訂於 40~60 年，資產折舊亦



圖 3 地上式救火栓拆解^[1]



圖 4 地下式救火栓拆解^[1]



圖 5 地上式救火栓拆解後



圖 6 地上式救火栓拆解後



圖 7 地下式救火栓拆解後



圖 8 地下式救火栓拆解後



圖 9 塑膠防塵套蓋



圖 10 塑膠防塵套蓋

依此計算；目前(2013 年)北水處救火栓總數約 30,000 只，以使用年限 50 年來計算，每年需汰換量約為 600 只，對比目前年度實際維修汰數量 1,000 餘只，明顯不符，因此使用年限需往下調整且資產價值須進行重估，但實際上，救火栓可利用資產管理延時方案來延長實際使用年限，本報告規劃出下列二種方案：

(一)維修方案

如何利用延時方案有效提升救火栓資產價值？由於目前北水處所採行之救火栓存在著前節所述的各項損壞因子，因此使用年限內難免部份會面臨損壞的命運，因而減損價值，目前北水處對於損壞及汰換之救火栓係採報廢方式處理，資料顯示，大部分拆回之救火栓經維修汰換部分零件後仍可繼續使用，因此採行維修方式可直接有效的展延救火栓資產之實際使用年限，另一方面，相關資料顯示，大量的二氧化碳排放為地球暖化的元兇，目前全球各國正積極進行減碳作為，由於救火栓本體為延性鑄鐵，過程需要高溫進行熱熔鑄造，因此重新鑄造本體所排放的碳量甚為驚人，如減少救火栓本體之鑄造，相對可

減少二氧化碳排放量，因此，採行維修方案除節省新購成本更可節能減碳。

1.維修流程

為提供救火栓維修確切可行之方案，本研究依北水處實際需求及現行作業方式，擬定相關作業流程(圖 11)。

2.採行分析

本體維修費用約占採購新品金額之 45%~50%，以目前本體材料以鑄鐵組成外，並於內部施以環氧樹脂粉體塗裝，產生鏽蝕之情形並不多見，且對於本體進行維修尚須考量其他組件之損壞情形與後續堪用程度，因此在考量長期管理及成本效益條件下，本體未納入維修選項內。

本報告經尋訪國內相關救火栓製造廠商討論維修案之可執行性、執行細節及維修單價，由於救火栓之損壞主要在於止水橡膠及止水橡膠及閥圓盤，地上式及地下式救火栓維修閥圓盤組〈閥圓盤、閥座坎環、開關壓環……等全面更新〉所需費用僅約採購新品費用之 14~15%，因此，採行維修方案除節能減碳更可節省採購成本，增加盈餘，達到雙贏之效果；本維修規劃目前北水處正辦理發包前置作業中。

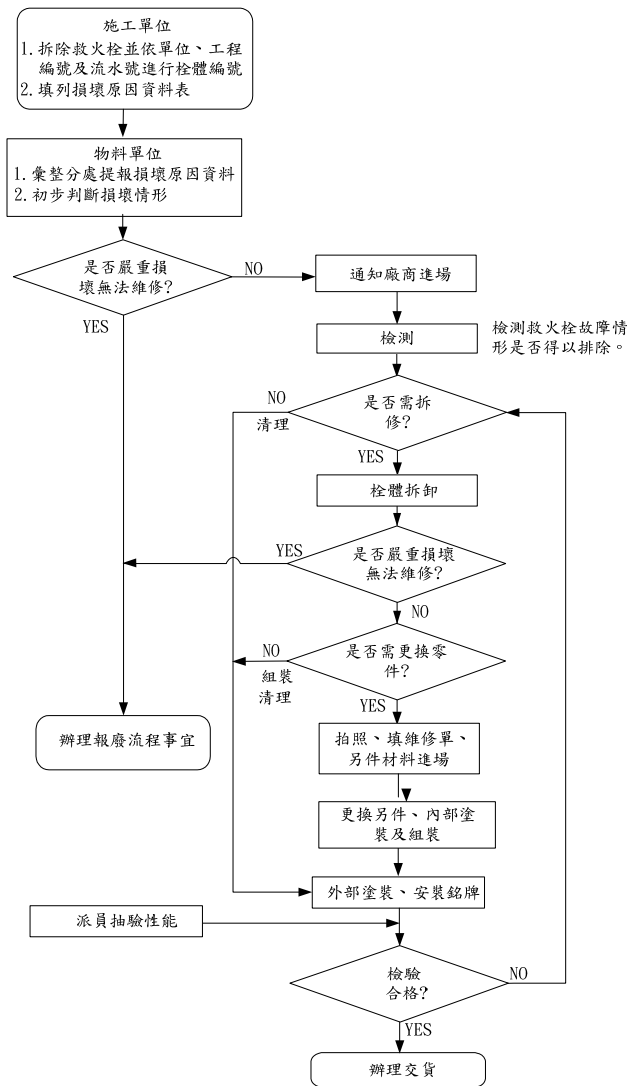


圖 11 救火栓維修流程

(二)替代方案

維修方案為提供現行救火栓損壞後汰換更新的另一種選擇，但改善既有缺點，降低損壞率才是治本之道，北水處積極尋求低損壞率的新產品，冀望以新產品的低損壞率直接提升救火栓的實際使用年限，達到最佳的延時方案規劃；由於救火栓六成以上損壞原因為閥門部位，而橡膠的損壞又為其主要原因，如何防止不當的人為操作及改善前述缺失為新產品的重點，爰改良原有救火栓涉及各組件之開發與測

試，除曠日費時外，亦須相當經費挹注，國外已有針對相關缺使改善之產品，圖 12 為日本於 2008 年 9 月 25 日發表之發明，另圖 13 為 AVK Group 之相關產品，另國內早已有廠商針對相關缺失開發出新式軟密封救火栓(圖 14~15)，以下將針對此進行相關介紹及分析。

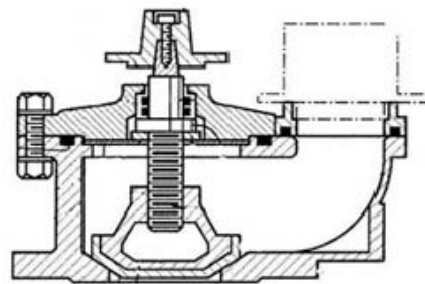


圖 12 日本密封式救火栓^[2]

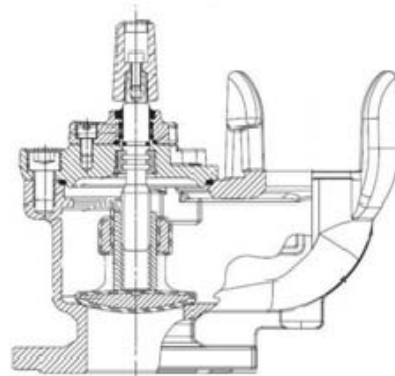


圖 13 AVK Group 之相關產品^[2]

- 1.構造介紹：相關構件如圖 14 及圖 15。
- 2.作動原理：

打開時，將開關螺帽逆時針旋轉，帶動閥桿使閥軸之螺紋帶動螺母及閥圓盤向上移動，當閥圓盤與閥座分離水自閥座下方流出；關閉時，將五角型開關螺帽順時針旋轉，帶動螺母及閥圓盤向下移動，當鎖緊時，閥圓盤與閥座緊密接合，達到止水目地。

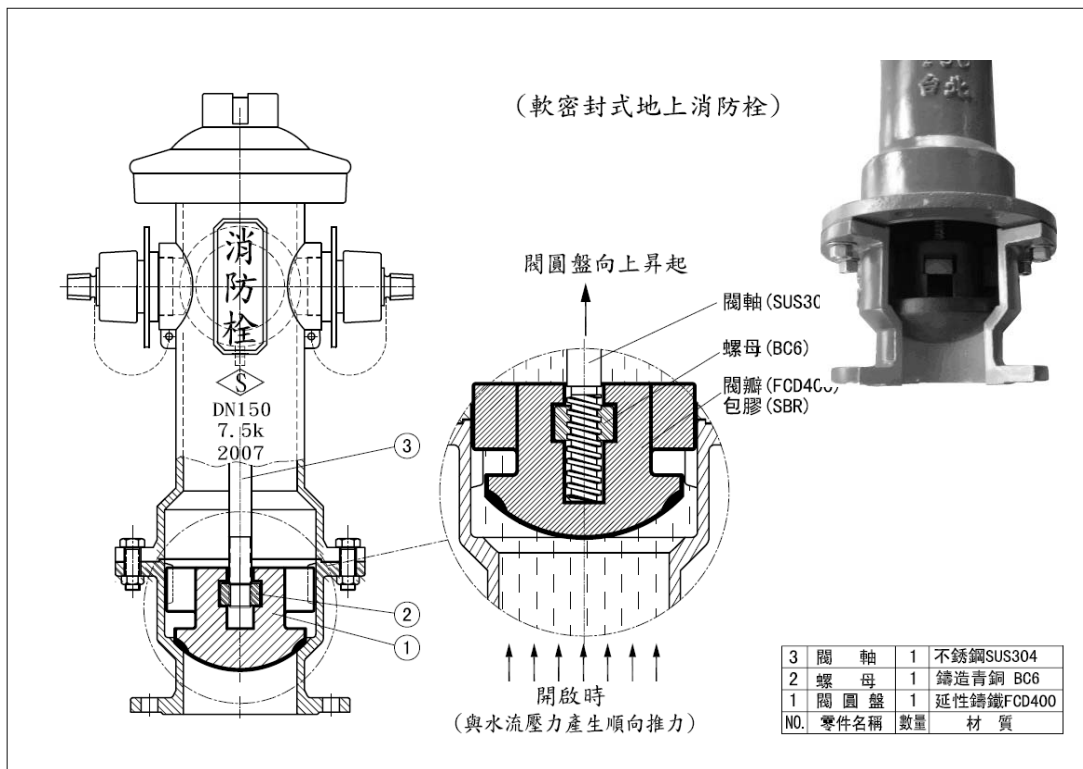


圖 14 地上式軟密封救火栓^[4]

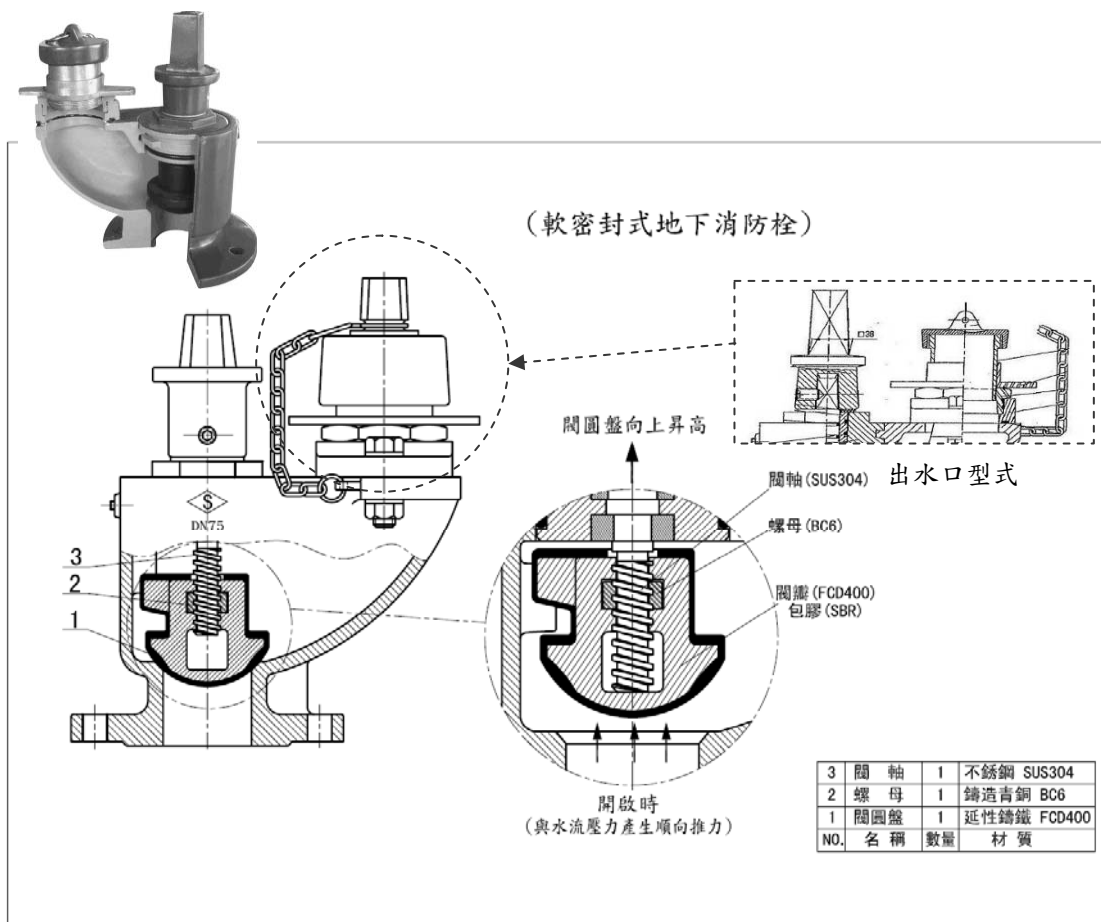


圖 15 地下式軟密封救火栓^[4]

3.品質探討：

比較現行使用之傳統救火栓與新式的軟密封式救火栓，外觀差異並不大，但實際上，零組件僅有 2 成相似；以本體而言，鑄造材料皆為延性鑄鐵，防蝕塗層塗裝方式亦與傳統救火栓相同，因此本質上並無太大變化，其主要差異在於軟密封式地下救火栓摒除了傳統救火栓以填料函與本體組成主要外部結構的方式，採用整體式的本體，改良了填料函作為上蓋的做法，利用整體式的本體與鎖緊螺帽及接頭壓蓋進行直接接合，將組合高度由原本的 428mm 大幅縮短為 330mm，對於市區地下管線錯綜複雜無法依規定深度埋設管件的施工環境，節省大量因覓尋埋設空間所需虛耗的工時及作業，使管線施工更具彈性空間，而鎖緊螺帽及接頭壓蓋的直接接合方式，使內部零組件更新替換更為容易簡便，除可提升維修速率，更利於救火栓損壞後現場即時維修的作業模式；另一方面，軟密封式救火栓針對傳統救火栓止水橡膠破裂及閥圓盤變形的缺點進行改善，並將內部零組件予以簡化，因軟密封式之閥圓盤採圓弧形設計，除可增加止水接觸面以外，更避免止水橡膠的破裂及閥圓盤的變形，相對的減少管內異物卡住情況的產生及減少關閉時閥圓盤對管內水流之壓力所產生之相對阻力，在緊急事故時容易開啟，另外因為內部零件簡化，有利於現場維修更換及拆除組立。

四、替代方案採行分析與探討

為了解新式救火栓與一般救火栓之差異，本研究針對功能、零組件、操作扭力、維護成本及採購成本進行分析探討。

(一)功能分析

本研究針對軟密封式救火栓及一般式救火栓之功能及特性做分析比較(表 4)，由表中可發現軟密封式救火栓的優勢在於簡化相關零組件、閥圓盤形狀的改良及閥圓盤開啟方向的改變，而相關優點正是一般式救火栓長久以來無法降低損壞率的問題點所在。

(二)零組件分析

軟密封式救火栓的主要優點，在於內部零件大幅簡化，可有效降低零件故障機率，縮短維修更新所需時間，另精簡後之地下式救火栓的高度，較一般地下式救火栓多出 98mm 空間，可供地下管線複雜無法依規定深度埋設管件之道路彈性應用。表 5 為一般地下式救火栓與軟密封式救火栓之零件表較表(以閥圓盤構造作比較)。

(三)操作扭力

表 6 為自來水管線壓力 7.5 kgf/cm^2 情形下，以扭矩扳手施以檢測之資料^[3]。

(四)維護成本

由於軟密封式救火栓簡化相關零件，有助於現場拆除栓體維修及縮短維修時間，加諸簡化零件可有效降低備料成本，因此採用新式救火栓可有效降低後續維修之人力與成本。

(五)採購成本

軟密封式救火栓係屬新式，雖尚未大量採用，但內部零件簡化、構造單純化的特色，有助於降低製造成本。案經聯繫廠商表示相關採購成本不會高於一般救火栓(傳統)，參採北水處推廣使用不銹鋼管材時之經驗，未來大量推廣使用，經由市場競爭機制，應可大幅降低採購成本。

表 4 救火栓功能比較表

		軟密封式救火栓	一般式救火栓
地上式	優點	<ol style="list-style-type: none"> 1.開啟時管內水流壓力對開啟之閥圓盤產生順向推力，提高操作功效。 2.零件簡化避免構件複雜造成之鬆脫損壞。 3.閥圓盤與本體採圓弧外型密合設計，除增加止水面積更避免管內異物卡住情況的產生，並減少關閉時水流壓力所產生之相對阻力。 4.零件簡化，便於維修及更換零件。 	<p>相關產品採用已久，相關零件取得容易。</p>
	缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 產品尚未量產，目前採購成本高於傳統救火栓。 2. 閥圓盤開啟方向與管內水流方向相同，未設置防撞設施前提下，遭遇撞損有大量漏水之虞。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.組成構造複雜，維修不易。 2.閥圓盤開啟方向與管內水流方向相反，高水壓地區開啟操作較不容易。 3.組件複雜易造成零件鬆脫及不利現場維修。 4.閥圓盤之梯型橡膠容易因彈塑性降低於經過閥座嵌環邊緣時，遭剪力作用切斷，造成梯型橡膠無法緊密貼合於閥座嵌環上，形成漏水。 5.閥圓盤之構造複雜，上部有三夾爪狀之導向片容易因異物、樹枝、石塊等阻礙關閉或斷裂。 6.導向片易因不當操作致使上緣勾住閥座環甚至造上緣因此斷裂，另閥圓盤整體通過閥座環時，閥螺桿與開關螺帽易脫離產生空轉情形。 7.閥座嵌環為青銅鑄件，不當操作條件下容易因異物造成表面凹陷變型，影響止水效果。
地下式	優點	<ol style="list-style-type: none"> 1.閥圓盤開啟方向與水流一致，緊急使用時容易開啟，節省開啟時間，提高救火栓的功能效益。 2.閥圓盤以球墨鑄鐵一體成型製造並外覆橡膠；除了避免鑄件氧化銹蝕外，橡膠的密合性在關閉操作時可以達到完全止水，增加使用壽命。 3.閥圓盤採圓弧外型，可避免異物阻塞及減少關閉時水流壓力所產生之相對阻力。 4.內部零件簡化，更換閥圓盤等零件不需拆除本體，易於現場維修更換及組立。 5.高度為 330mm 較一般式少 98mm，提供施工現場更加彈性運用之空間。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.相關產品採用已久，採購及相關零件取得容易。 2.開啟方向與水流方向一致，緊急使用時容易開啟，節省開啟時間，提高救火栓的功能效益。
	缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1.產品尚未量產，目前採購成本高於傳統救火栓。 2.相關零件已請有專利權，初期採購需避免壟斷。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.三夾爪狀之導向片，用以引導開關時閥圓盤之位置，容易因異物阻礙造成無法關閉或斷裂。 2.止水橡膠為平板狀，當關閉扭力過大時，易使止水橡膠破損。 3.關閉操作扭力過大時，閥桿推擠壓閥圓盤易造成變形，而無法完全達到止水效果，甚或造成整個止水機構破壞。 4.閥圓盤由鋼製螺栓鎖緊組成，當鋼製螺栓因腐蝕破損時，易造成閥圓盤相關機構解體。 5.零件複雜，維修更換困難，浪費時間及人力，增加維修保養成本。

表 5 零件比較表

型式	軟密封式救火栓	一般式救火栓(地上式)	一般式救火栓(地下式)
地上式	閥圓盤 - FCD 球墨鑄鐵 EPDM 合成橡膠 螺 母 - BC6 青銅 閥 軸 - SUS304 不銹鋼 (地上式及地下式相同)	閥 軸 - SUS304 不銹鋼 閥座板 - FCD 球墨鑄鐵 閥盤墊圈 - NBR 天然橡膠 閥座嵌環 - BC6 青銅 閥圓盤 - BC6 青銅 開關螺帽 - BC6 青銅 固定盤 - FCD 球墨鑄鐵 螺 帽 - SUS316 不銹鋼 閥 螺 桿 - SUS304 不銹鋼 螺栓帽座 - FCD 球墨鑄鐵 鎖緊螺帽 - BC6 青銅 傳動接頭 - FCD 球墨鑄鐵 插 拔 銷 - SUS304 不銹鋼 填料 - SBR 合成橡膠	閥 軸 - BC6 青銅 閥圓盤 - BC6 青銅 傳動螺母 - BC6 青銅 止水墊片 - NBR 天然橡膠 座 環 - BC6 青銅 固定盤 - BC6 青銅 螺 帽 - BC6 青銅

表 6 操作扭力比較表

規格 口徑	軟密封式救火栓		一般式救火栓	
	開 (kg-m)	關 (kg-m)	開 (kg-m)	關 (kg-m)
φ 100(地上式)	3	6	16	13
φ 150(地上式)	3	6	22	16
φ 75 (地下式)	2	3	10	13
φ 100(地下式)	3	5.5	12	16

五、結論

北水處目前主要以報廢的方式來處理汰換、損壞及無法止漏的救火栓，年度報廢數量約 1,000 餘只，由於本研究之分析資料中，救火栓之損壞主要在於止水橡膠及止水橡膠及閥圓盤，其他構件仍可使用，經分析，地上式及地下式救火栓維修修復閥圓盤組〈閥圓盤、閥座嵌環、開關壓環……等全面更新〉所需費用僅約採購新品費用之 14~15%，就資產及成本觀點而言，維修案之執行確實有極大立基點，因此，北水處經評

估後，正辦理救火栓維修案發包前置作業中，採行維修方案除節能減碳更可節省採購成本，增加盈餘，達到雙贏之效果。

現行救火栓高損壞率及漏水問題的癥結點在於機構複雜、閥圓盤及介面設計不良與人為操作不當，因此如何將構件設計上的問題及人為因素排除成為改良救火栓的重點，而採用軟密封式救火栓在分析上可克服上述主要損壞因子，國內軟密封式地下救火栓於民國 96 年 5 月至 6 月間於北水處轄區內辦理試辦設置，經設置後〈96 年〉及長時間使用後〈100 年及 101 年〉進行相關測試，

並於 101 年委請相關消防單位提供試辦設置之軟密封式地下救火栓實際操作紀錄資料，經彙整各項資料，相關操作均正常且迄今無漏水及損壞紀錄，由於軟密封式救火栓不論操作性、維修便利性及損壞率等均較原來使用之傳統救火栓優異，因此北水處將納入地下式救火栓採購中以逐步取代現行地下式救火栓型式，由於本研究僅針對地下式軟密封救火栓進行設置檢測，因此仍有地上式軟密封救火栓須待後續研究者評估。

參考文獻

1.孫文益，消防栓損壞調查統計，2003。

2.astamuse (アスタミューゼ)，すべての発明・研究・創作活動のために，
<http://patent.astamuse.com/ja/published/JP/No/2008223368/>。
 3.AVK Group ， <http://www.avkvalves.com.au/resources/29088.pdf>
 4.興南鑄造廠股份有限公司，軟密封式消防栓之研究與開發效益

作者簡介

陳章嘉先生

現職：臺北自來水事業處技術科幫工程司

專長：自來水工程規劃、施工及工程單價分析

32 卷第 2 期（實體書）勘誤聲明：
 「台水公司外在環境剖析」乙文，p10，圖 8 修正如下

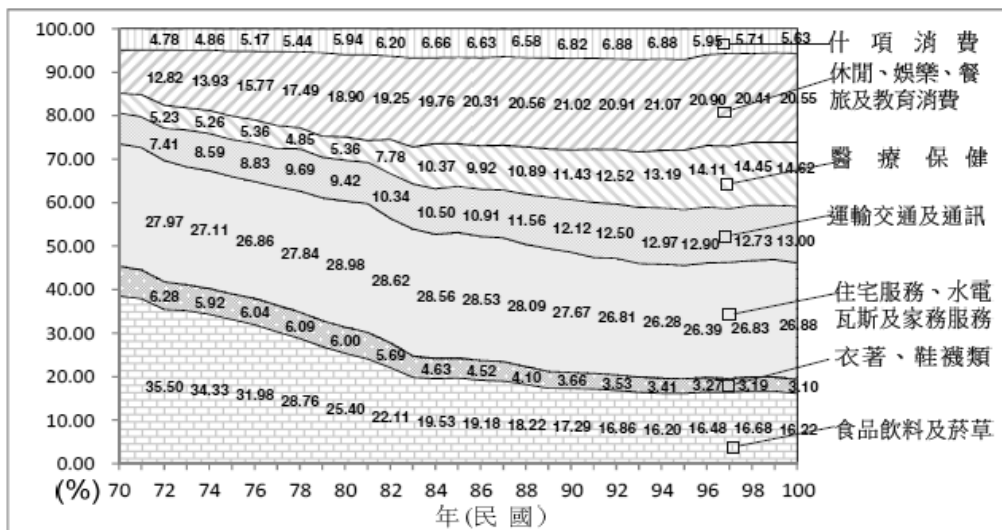


圖 8 台灣地區家庭消費支出結構

資料來源：行政院主計總處，台灣地區家庭消費支出結構，中華民國統計資訊網(<http://www.stat.gov.tw>)，民國 102 年 6 月上網資料。

自來水長期滯留改善實務探討

文/江清蓮、李明翰、邱舜稜

摘要

我國「自來水用戶用水設備標準」第 6 條規定水池水塔容量合計應為 0.4~2.0 日用水量，係指常態下自來水的生命週期為 2 日左右。以安全飲用水的觀點，自來水中還有適量的餘氯維持自來水的微生物品質，就是飲用水的安全保存期。我國飲用水水質標準要求龍頭水餘氯 $>0.2\text{mg/L}$ ，除可避免微生物在貯留過程再生，此外，倘龍頭水無法檢出餘氯，用戶自主檢測水質將欠缺水質安全指標。

本文描述臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）的鄰居—臺大環研大樓，成為台北好水標章場所的滯留改善過程。那是一棟屋齡約 2 年具有雨水回收系統的新建大樓，初次會勘後才發現龍頭水的滯留期竟長達 2 週以上，是法定標準的 7 倍！龍頭水無法檢出餘氯！屬於高難度的滯留改善案例。

臺大環研大樓完成改善項目包括：1. 龍頭水與中水系統由並聯改為串聯，增加飲用水水池及水塔流通量，成功的將龍頭水滯留期減半至 10~16 天；2. 降低中水系統雨水貯留池水位，空間作為貯留雨水，平日中水水塔由飲用水水塔供水，其間設置雙重逆止閥，另為避免逆止閥故障而發生中水逆流污染，乃控制中水水塔水位避免高於飲用水水塔水位，俾於雨水回收期間亦能確保飲用水安全；3. 蓄水池幫浦啟動前，才進水至鄰近揚水幫浦區，水塔亦採底部進水，使龍頭水餘氯大多維持在 0.2mg/L 以上。前述設備改

善經費約 3 萬元，新建物設置成本則可減半。近幾個月來追蹤確認滯留水的改善成果，同時紀錄總表進水度數並協助評估雨水回收系統之效益，藉著一再嚐試突破技術瓶頸而終於達成改善水質的任務，使臺大環研大樓順利獲頒台北好水標章，此滯留改善成果亦可供學校活動中心及中(雨)水回收系統設計之參考。

關鍵詞：用水設備，滯留，中水系統，雨水回收，錯接，生物膜，餘氯，台北好水

一、前言

我國自來水法第 50 條第二項規定「…用水設備標準…，由中央主管機關定之」，96 年 2 月 13 日經濟部水利署修正之「自來水用戶用水設備標準」^[2]第 6 條規定「……蓄水池容量……；其與水塔容量合計應為設計用水量十分之四以上至二日用水量以下」。惟部分如學校活動中心大樓或新建物具中(雨)回收系統等，因水池水塔長期滯留導致餘氯耗盡，給水管線內壁在長期無餘氯情況下將孳生生物膜，無法維持自來水的微生物品質安全完好。

歷年來大台北地區 70 餘所學校水質檢測異常案件中^[3]，以水池水塔滯留導致餘氯消失及總菌數過高(共 61 件)居多，多數建議水塔移作消防專用，另建較小容量之水塔供水。

本處自 101 年起推動「台北好水服務」^[4]，主動提供專業的用水設備健檢及水質檢驗服務，並協助建立用戶用水設備自主維護管



理制度，倘用戶用水設備有缺失，則主動協助改善。當服務處所的用水設備已達完善、水質合格且能配合實施自主維護管理，本處將核發「台北好水標章」，以宣示取得「台北好水標章」處所用水設備完善並肯定維護管理之用心，這是一項榮譽也是共同維護水質之責任。

以 101 年本處輔導「台北好水標章」場所—臺灣科技大學為例，其新建研揚大樓在改善前，飲用水蓄水池→龍頭水之滯留期約 14 日，水塔水未檢測出餘氯。經採行 1.於揚水幫浦啟動前先於蓄水池揚水幫浦區進水；2.中水水塔改自飲用水塔補水；3.調降蓄水池水位至維持抽水機所須最低水位 50 公分。改善費用總計約 3 萬元，成功使龍頭水餘氯維持 0.2 mg/L 以上。

二、臺大環研大樓用水設備

(一)用水設備基本資料

飲用水系統日用水量約 2~3 噸 (水池容

量約 40 噸、屋頂水塔容量約 10 噸)

中水系統日用水量約 2~3 噸 (雨水貯留池約 20 噸、屋頂中水水塔約 6 噸)

消防專用水槽(消防水池容量約 20 噸、屋頂消防水塔容量約 2 噸)

(二)改善前用水設備 (詳如圖 1)

自來水經進水總表及排氣閥並聯供應飲用水水池、補充雨水貯留池及消防水池，分別由幫浦揚水至屋頂水塔，其中消防水塔與中水水塔可連通，飲用水無負壓及錯接污染之虞。

由於龍頭水與中水系統以並聯供給，改善前龍頭水滯留期達 2 週以上，是法定標準的 7 倍！管線內壁孳生生物膜，龍頭水無法檢出餘氯，屬於高難度的滯留改善案例！若採調降水池水塔水位方式，除因表層水餘氯揮發效應不利於餘氯保存，倘於大樓辦理大型活動(教學)期間遭遇水公司停水，則有缺水之虞。

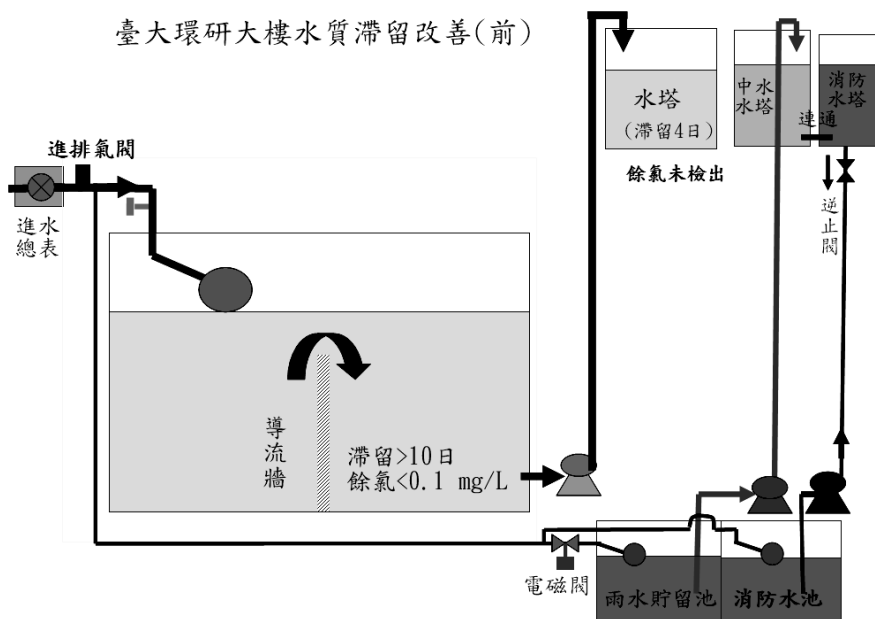


圖 1 臺大環研大樓用水設備示意圖(改善前)

(三)改善後用水設備 (詳如圖 2)

改善對策包括:1.龍頭水與中水系統由並聯改為串聯,成功的將龍頭水滯留期減半降為 10~16 天;2.中水系統雨水貯留池保持低水位,作為貯留雨水,平日中水水塔由飲用水水塔供水,其間設置雙重逆止閥並控制中水水塔避免高於飲用水水塔水位,有效防止中水逆流污染;3.飲用水水塔改於底部補水,揚水前先自蓄水池鄰近抽水機處進水。環安衛中心對水處所提出的改善方案頗有共識,我們以「使命必達」的決心協助改善,成功的使大部分時間龍頭水餘氯維持 0.2 mg/L 以上。

(四)臺大環研大樓用水設備改善施工及經費

1.蓄水池改善項目包括:定時器控制電磁閥

先進水 30 分鐘;2 段式浮球開關(避免蓄水池溢流);水池進水延伸管(詳如圖 3)。

2.水塔改善項目包括:

(1)自底層進水可減少餘氯揮發,飲用水水塔之進水管上方鑽透氣孔,係為避免水塔水被虹吸逆流至蓄水池。

(2)飲用水水塔→中水水塔增設連通管,飲用水水塔內設逆止閥,中水水塔內則有浮球閥(詳如圖 4)。另為避免逆止閥故障而發生中水逆流污染,乃控制中水水塔水位避免高於飲用水水塔水位,俾於雨水回收期間亦能確保飲用水安全。

3.施工經費共約 3 萬元,倘於新建物設置費經費至少可減半。

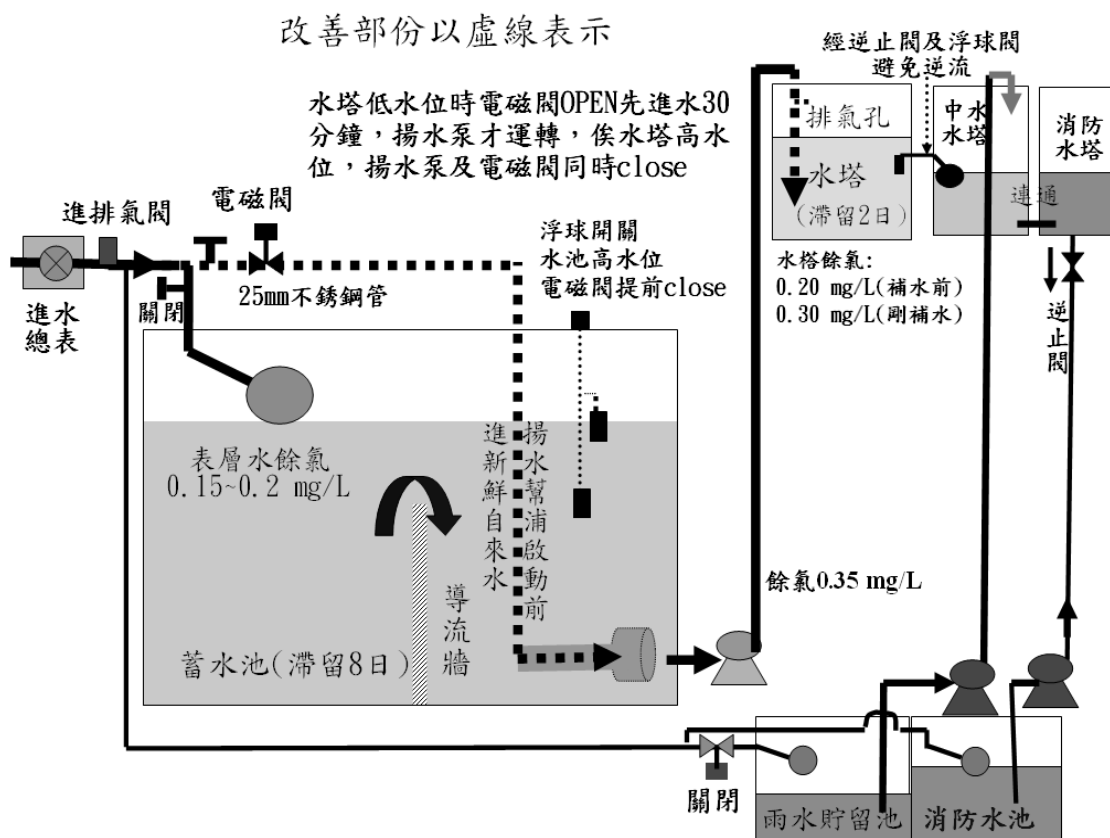


圖 2 臺大環研大樓用水設備示意圖(改善後)

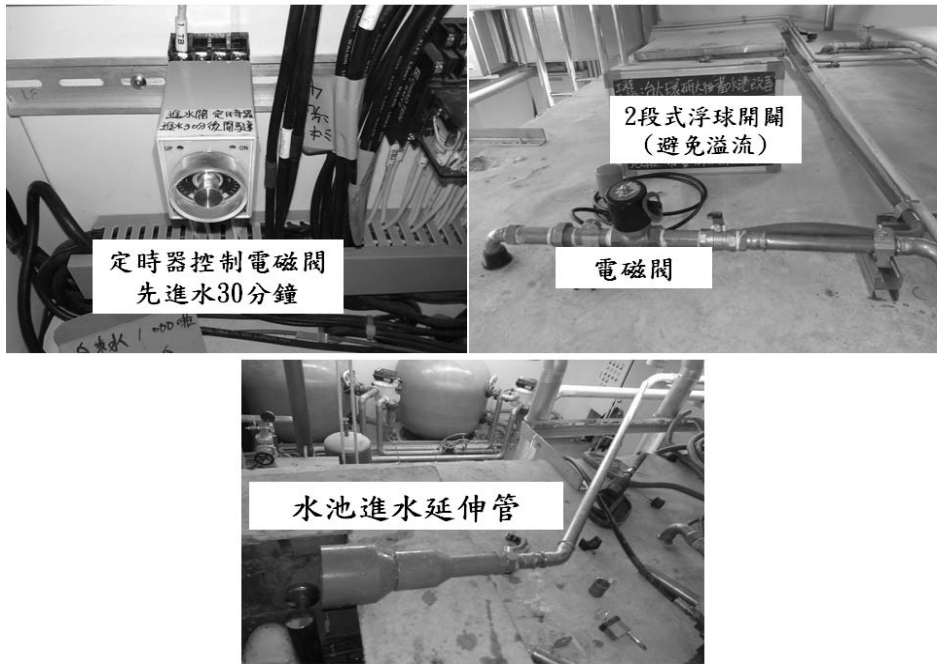


圖3 臺大環研大樓飲用水水池水質滯留改善



圖4 臺大環研大樓飲用水水塔水質滯留改善

三、結果與討論

(一)改善前水質嚴重滯留

101年7月台北好水服務團會同臺大營

繕組勘查設備及檢驗水質，結果環安衛中心水塔餘氯低於我國飲用水水質標準，惟並未檢出大腸桿菌群(詳如表1)。

表 1 臺北自來水事業處水質科水質檢驗報告

場所：國立臺灣大學環境保護暨職業安全衛生中心			編號:42	住址:臺北市大安區芳蘭路 71 號				
項目	採樣日期	採樣時間	自由有效餘氯	pH 值	總溶解固體量	濁度	大腸桿菌群	備註
飲用水水質標準限值	-	-	0.2 ~ 1.0 mg/L	6.0 ~ 8.5	<500 mg/L	<2 NTU	<6 CFU/100ml	
1 樓男廁所	1010725	15:30	0.00	7.1	66	2.0	陰性	
說明及建議事項								
1.由本處水質科會同營繕組勘查設備後採樣檢驗。								
2.環研大樓水塔餘氯低於我國飲用水水質標準限值。								
			檢驗者:沈明宗			聯絡電話:87335683		

報表編號:1012 台北好水-42

(二)用戶內線管壁是否孳生生物膜，如何進行觀測？

- 以自家 v.s.臺科大研揚大樓及臺大環研大樓
 - 水池水塔無滯留:自家水塔水餘氯維持 0.2 mg/L 以上，早上排放龍頭水即可檢出餘氯。顯示管線內壁無生物膜效應。
 - 臺科大研揚大樓及臺大環研大樓水池水塔長期滯留：水塔餘氯長期<0.1 mg/L)；改善後水塔水餘氯維持 0.2 mg/L 以上，惟龍頭水充分排放後始檢出餘氯。顯示管線內壁殘留生物膜效應。
- 以平日裝冷開水之塑膠水瓶，裝滿自來水檢測餘氯：
 - 水瓶經充份沖洗，裝滿自來水，靜置 3 hr 後餘氯驟降 0.45→0.10 mg/L。
 - 前述水瓶經刷洗內壁再裝自來水，靜置 3

hr 後餘氯緩降 0.54→0.45 mg/L。

(三)【水池容積÷日用水量】>10 日，清洗後重新進水，餘氯緩降的原因？

以臺大環研大樓為例：水池儲水量約 35 噸，日用水量約 2.5 噸。

水池理論滯留期(V/Q)=儲水量/日用水量=35 噸/(2.5 噸/日)=14 日。

水池實際滯留期(混合均勻)=【(日用水量×1 日)+(儲水量-日用水量)×(前 1 日水池滯留期+1 日)】/儲水量

水池清洗後重新進水，初期實際滯留期由 1 日開始緩升，迄第 9 天實際滯留期為 6.8 日(如圖 5)。當時在滯留改善前，檢測龍頭水餘氯為 0.14 mg/L。因此可見，滯留期較長之水池水塔，重新進水初期仍可檢測出餘氯，並不表示已無滯留現象。

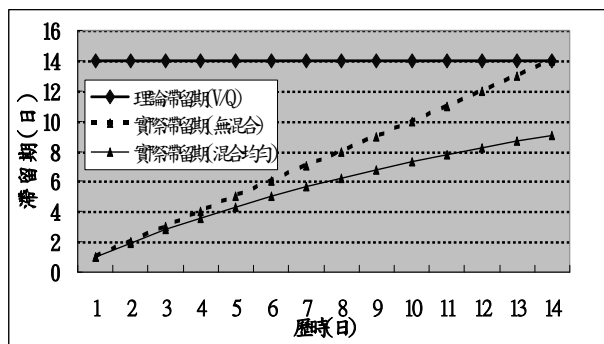


圖 5 水池重新進水實際滯留期 v.s.理論滯留期

(四)以電磁閥及定時器控制進水，如何避免蓄水池溢出及水位過低？

本研究參考本處於 98 年協助臺北市位於坡地之政大一街社區用戶，利用壓力開關及電磁閥持壓進水，達避免水質污染風險之成功經驗^[5]，利用定時器及電磁閥控制蓄水池底層進水，而減少餘氯自表層揮發。

由於蓄水池底層進水方式無法利用浮球閥控制水位，需另增設 2 段式浮球之水位接點串聯控制電磁閥啟閉。倘幫浦延時啟動時間設定太久，每次進水量>幫浦揚水量，導致蓄水池水位達最高水位，電磁閥即自動關閉；若幫浦延時啟動時間設定太短，每次

進水量<幫浦揚水量，使蓄水池水位達最低水位，揚水幫浦暫停運轉，迄水池回升至安全水位後幫浦才恢復運轉，控制邏輯如圖 6。

此外，為避免電磁閥啟閉過程所產生太大水錘，將前後手動閥半開緩慢進水方式因應，由於水池有足夠容量儲水，將不影響用戶用水需求，亦可穩定管網水壓。

(五)餘氯改善成效追蹤

環研大樓於 102 年 3 月完成改善滯留，4~5 月日平均進水量 3 噸，水池水塔滯留期 10~16 天。圖 7 係環研大樓用水量及餘氯追蹤檢測結果，日進水量>3 噸餘氯維持 0.2 mg/L 以上；反之，餘氯約 0.1 mg/L。圖 8 係總表進水至水塔歷時 10 天的情況下，改善前後餘氯提升對照圖。自下水池底層進水之自來水餘氯 0.5 mg/L，進水後立即送至水塔底層，水塔進水餘氯由改善前 0.1 mg/L 提升至 0.35 mg (詳如圖 8 點 A)；即使水塔 12 小時未進水，餘氯仍可維持 0.2 mg/L (詳如圖 8 點 B)。表 2 係 102 年 4 月採樣檢驗結果均符合飲用水水質標準。

表 2 臺北自來水事業處水質科水質檢驗報告

場所：國立臺灣大學環境保護暨職業安全衛生中心 編號:42 之 1 住址:臺北市大安區芳蘭路 71 號							
項目	採樣日期	採樣時間	自由有效餘氯	pH 值	總溶解固體量	濁度	備註
飲用水水質標準限值	-	-	0.2 ~ 1.0 mg/L	6.0 ~ 8.5	<500 mg/L	<2 NTU	102 年 3 月完成改善滯留，週一檢測水質合格
3 樓廁所	1020415	11:30	0.26	7.4	71	0.74	
1 樓廁所	1020416	10:00	0.22	7.2	70	0.67	
1 樓廁所	1020418	08:00	0.23	7.3	68	0.59	
說明及建議事項							
1.由本處水質科會同貴校邱小姐採樣檢驗。							
2.環研大樓於 102 年 3 月完成改善滯留後，水質檢驗結果均符合飲用水水質標準。							
檢驗者:沈明宗/江清蓮					聯絡電話:87335683		

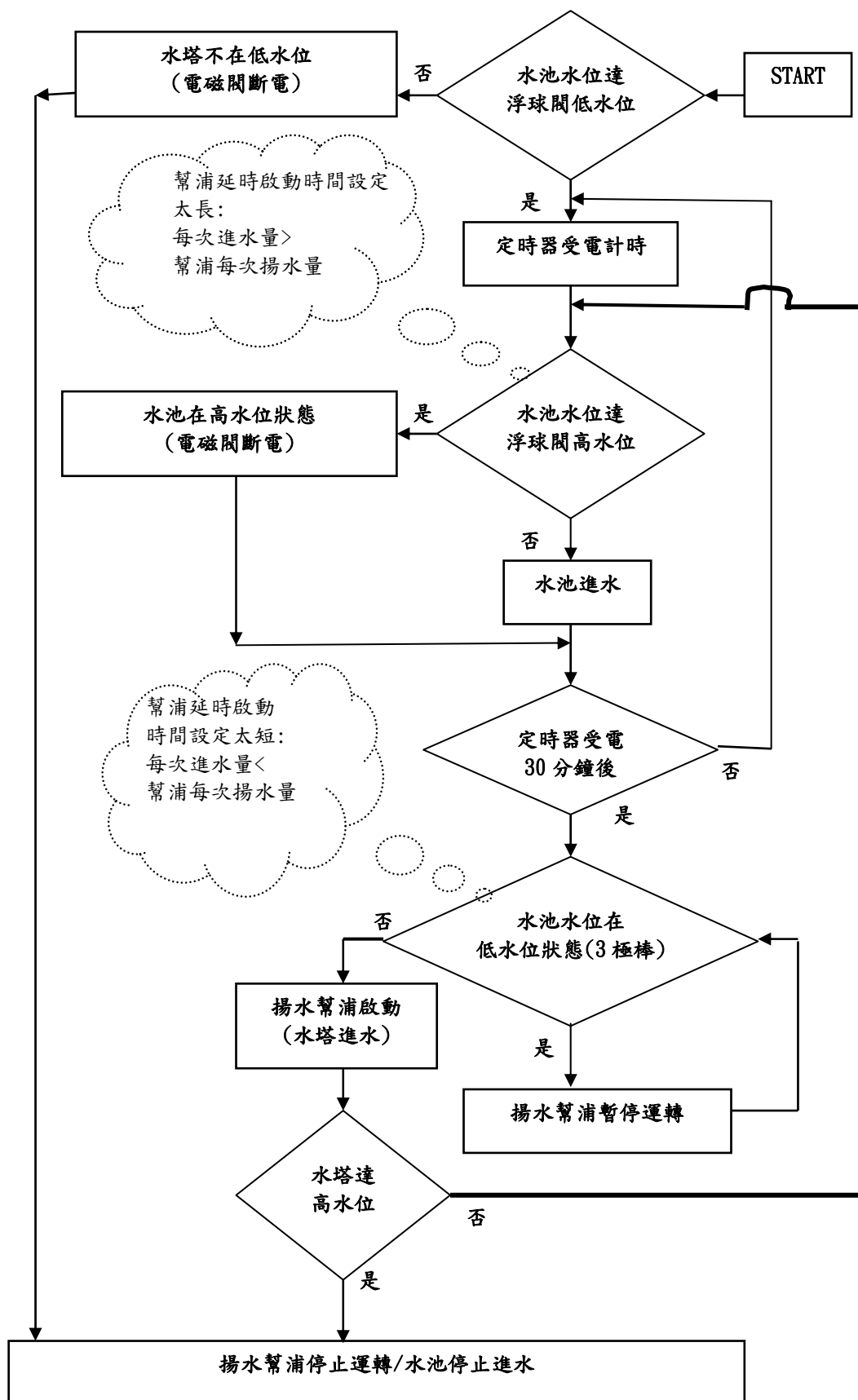


圖 6 電磁閥及定時器之控制進水邏輯

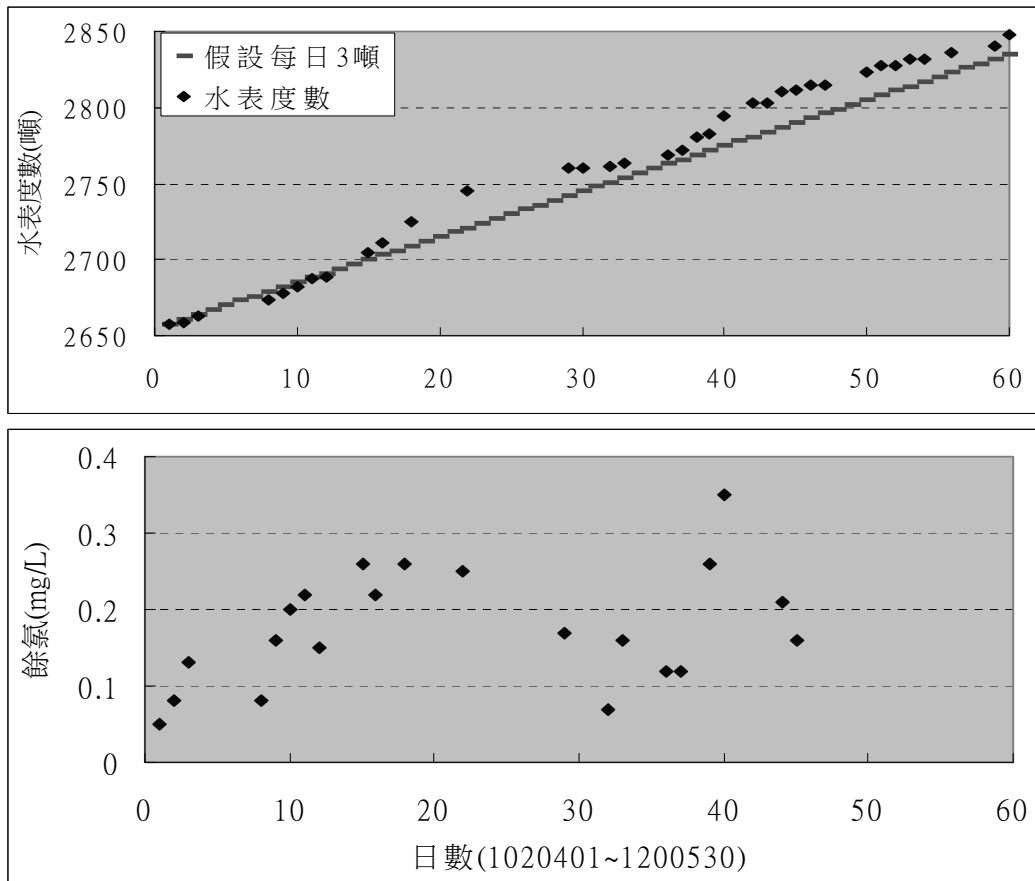


圖 7 環研大樓用水量及餘氯追蹤檢測結果

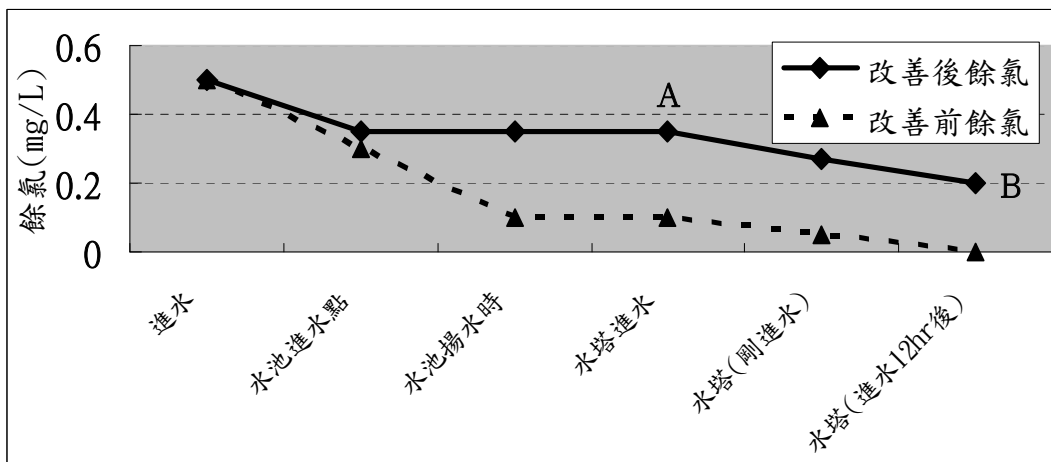


圖 8 進水方式改善前後餘氯提升對照圖

四、結論與建議

(一)臺大環研大樓龍頭水與中水系統由並聯改為串聯，成功的將龍頭水滯留期減半降為 10~16 天，滯留期<10 天之情況，餘氯仍可維持 0.2 mg/L 以上。

(二)學校活動中心之日用水量常隨舉辦活動而異，若採調降水池水塔水位方式，不僅受表層水之餘氯揮發效應而不利於餘氯保存，倘於辦理大型活動期間遭遇停水，則有缺水之虞。

(三)中水水塔平時由飲用水水塔經 2 道逆止閘補水，並控制中水水塔水位避免高於飲用水水塔水位，於雨水回收期間亦能確保飲用水安全。中水(雨水)回收系統設置費用不低，建議對雨水回收效益進行評估，以回饋設計單位參考。

(四)本研究之滯留改善方案，即使遇到雨水回收或水公司停水期間，龍頭水餘氯緩降仍可維持 0.1~0.2 mg/L，可供學校活動中心及中(雨)水回收系統設計之參考。

參考文獻

- 1.教育部臺灣地區中等以下學校校園用水情形調查網站。
- 2.經濟部水利署頒「自來水用戶用水設備標準」，中華民國96年2月13日。
- 3.臺北自來水事業處水質科，「99年度學校安全用水專案報告」。
- 4.江清蓮等，「龍頭水安全飲用之探討—以學校龍頭水為例」，臺北市政府101年度員工平時自行研究報告，臺北自來水事業處，101年。
- 5.史午康等，「坡地供水水質及用戶水質安全屏障之探討—以鹿角坑供水系統為例」，台北市政府99年度員工平時自行研究報告，臺北自來水事業處，99年。

作者簡介

江清蓮先生

現職：臺北自來水事業處水質科監測股股長

專長：淨水處理、水質監控及用戶水質改善

李明翰先生

現職：勁貿科技有限公司負責人

專長：供水及水質監控系統維護

邱舜稜小姐

現職：臺灣大學環境保護暨職業安全衛生中心生物污

染防護組幹事

專長：生物安全管理

淨水場處理超高濁度原水實務之探討

文/黃永富、姚寶蓮、胡慧玲

摘要

本研究以板新給水廠為案例，針對 102 年蘇力(SOULIK)颱風及石門水庫防洪排砂作業，衍生超高濁度 (10,000NTU 以上) 原水，探討對淨水處理及供水之影響。由統計資料得知，三峽河原水濁度隨上游降雨強度及累積雨量增加而升高，鳶山堰原水濁度主要受石門水庫排洪及排砂影響；上游強降雨及石門水庫防洪排砂，衍生超高濁度原水。

試驗結果顯示，鳶山堰超高濁度原水，屬沉降不力之水庫底泥，經瓶杯試驗及實場驗證，以一般傳統 PACl 混凝劑搭配 Polymer 凝聚劑處理效果不佳。經改變加藥方式以二段式 Polymer 搭配 PACl 雙藥劑處理，有助於水中膠體顆粒之快速凝聚與沉降，混凝沉澱濁度去除率達 99.9% 以上，且殘餘濁度控制在 5 NTU 以下，降低快濾池負荷及水質不佳風險。

探討結果亦顯示，集水區妥善規劃與整治，有助於降低超高濁度原水發生機率；沉澱污泥迅速有效排除及維持淨水處理設備高妥善率，避免運轉設備負荷過大，為處理超高濁度重要因子之一。石門水庫防洪排砂配套措施中庄調整池工程，以原水專管供應板新給水廠，於颱風及水庫排砂期間，可提供穩定水源及水質；板新廠擴建清水池容量及供水轄區增設配水池，以提升供水穩定度；推動板新二期工程，增加台北市自來水事業處支援量，促使翡翠水庫水資源有效利用，降低板新轄區原水高濁度期間之供水缺

口，避免影響民生及工業正常供水及經濟發展。

關鍵字：超高濁度原水、濁度單位、瓶杯試驗、沉澱污泥

一、前言

自來水淨水處理場之水源，大多仰賴地表水，因降雨集中於夏季，每遇豪雨及颱風期間極易造成地表沖刷。921 大地震後，因地表土質鬆動，再加上近年來因氣候變遷，降雨強度有增無減，每逢颱風暴雨即造成原水濁度劇升，往往高達數萬濁度單位 (NTU)，且持續時間日漸拉長；導致淨水場無法負荷，需減量出水或暫停供水，而影響民生及工業用水，造成生活不便及經濟上損失。但降低水源高濁度之治本方法，因自來水之供應須持續無法間斷，非短時間能解決^[1]。

石門水庫為台灣北部重要水源之一，其完工蓄水至今，已累積數千萬立方公尺淤泥，依石門水庫集水區治理計畫，必須藉由泥砂浚漂與水利排砂維持現有庫容。然而石門水庫每年平均約有數百萬立方公尺淤積量，每年清淤量僅數十萬立方公尺^[2]，故利用石門水庫下游水利排砂是長期性工作，在排砂配套中庄調整池工程未完工前(預計 104 年底完工，105 年汛期啟用)，位於水庫下游，以鳶山堰為水源之板新給水廠(以下簡稱板新廠)，須面對高濁度原水之問題。

由於各淨水場水源特性不盡相同，板新廠有水庫水及河川水雙水源，又肩負全台近十分之一人口之民生及工業用水的重責大

任；故以板新廠為案例，探討 102 年蘇力 (SOULIK) 颱風豪雨期間及石門水庫防洪排砂作業，衍生超高濁度 (10,000NTU 以上) 原水，對淨水處理及供水之影響。

二、蘇力颱風之影響

(一)板新給水廠概述

1.水源水質特性

板新廠原水來源有二，一為石門水庫配放大漢溪核配水量及大漢溪下游兩側未控流量，於新北市三峽區鳶山地區設攔河堰取水。鳶山堰主要功能在於提高大漢溪水位，以利抽取及攔蓄石門水庫下游河道未控制流量，於民國 72 年正式營運，其原設計蓄水容量為 126 萬立方公尺，目前因自然冲刷及人為開發已增加至 490 萬立方公尺，含桃園縣之大溪、龍潭、八德及新北市之三峽、鶯歌等行政區。其近三年 (2010-2012 年) 原水平均每日可取水量約為 39.0 萬立方公尺，其水量較為穩定，取水量佔板新廠總出水量約 56%。原水濁度在非汛期 (11 月至 4 月) 約為數十 NTU，汛期 (5 月至 10 月) 時依上游降雨量與強度及石門水庫排砂量影響，原水濁度高達數萬 NTU^[3]。

另一原水來源為三峽河水源，主要來自於上游五寮溪及大豹溪河流，集水區範圍約 150 平方公里，且多屬高山峽谷，遇豪雨瞬間逕流量大，常態流量小。為補充板新廠水源不足，選定於灣潭上游約 500 公尺處建造 RC 低壩攔水，目的在於提高水位方便抽水，一側設置排砂道、閘門設備不定期開閘，沖洩堰前淤砂，維持取水口前水流暢通。民國 88 年 4 月正式運轉，取水量隨集水區降雨情

形變化甚大，豐枯水期差異性頗大，最大取水量達 53 萬 CMD，最小取水量約 3 萬 CMD，其近三年 (2010-2012 年) 平均每日可取水量約為 30.6 萬立方公尺，取水量佔板新廠總出水量約 44%。非汛期 (11 月至 4 月) 原水濁度較佳，約在 10 NTU 以下，在汛期 (5 月至 10 月) 時受上游降雨量及強度影響，原水濁度不理想，甚至高達 1 萬 NTU 以上^[4]。

2.淨水處理概述

板新廠分年設有一、二、三期淨水場，一、二期各設計出水量 30 萬 CMD，三期設計出水量 60 萬 CMD，合計 120 萬 CMD 設計出水量。由前述得知，大漢溪鳶山堰原水濁度數十 NTU 發生機率較高；三峽河原水濁度 10 NTU 以下發生機率較高。然而板新廠一、二期工程皆為傳統水平流式沉澱池，雖然溢流率較低、水力停留時間較長、處理效果較佳，但因缺乏沉澱底泥刮除設備，無法長時間處理較高之原水濁度。故一、二期淨水場優先引進三峽河較低濁度原水處理，在三峽河原水量減少時，再取鳶山堰原水，以滿足供水量之需求。

板新廠三期工程為固體接觸式膠沉池，由過去操作紀錄顯示，濁度去除成果，在低濁度時，因目前膠沉池未設污泥濃度監測儀，無法判定池底污泥濃度，難以發揮固體接觸作用。固體接觸式膠沉池操作技術與矩形沉澱池不同，排泥過多與不及，均非適宜。固體接觸泥漿濃度必需維持適當濃度 (夏季 3~5%、冬季 7~10%)，始能發揮凝聚、沉降分離等操作功能^[5]。又因板新廠三期工程設有自動刮泥設備，膠沉池能有效排泥達到理想污泥濃度，故三期淨水場優先處理鳶山堰較高濁度之原水。

3.供水概況

板新廠供水區域遼闊包括新北市之板橋、新莊、蘆洲、五股、泰山、八里、樹林、土城、三峽、鶯歌等十個行政區及中和、三重部份地區，至 102 年 6 月止，供水人口數達 207 萬人，普及率 99.05 %^[6]，目前轄區需水量約 82 萬 CMD，配合北水南引之政策，尚需支援桃園地區約 11 萬 CMD 之用水。

(二)蘇力颱風對原水濁度之影響

1.三峽河原水濁度之影響

中央氣象局 102 年 7 月 11 日 20 時 30 分發布蘇力(SOULIK)颱風陸上警報，7 月 13 日 23 時 30 分解除警報^[7]，依據三峽河上游雨量站(大豹、熊空山)統計，7 月 12、13 日 24 小時累積雨量，大豹站為 66 mm 及 129 mm，熊空山站為 66 mm 及 162 mm，平均降雨強度最大為每小時 28 毫米^[8]，兩天平均雨量分別達到大雨及豪雨定義。取水口原水濁度最高達 10,000 NTU；隨著雨量減少，濁度遞減至 1,000 NTU 以下，歷經 10 小時，原水濁度變化趨勢，如圖 1 所示。

去(101)年蘇拉颱風來襲，根據統計資料，8 月 1、2 日 24 小時累積雨量，大豹站為 224 mm 及 351 mm，熊空山站為 297 mm 及 416 mm^[8]，兩天平均雨量分別達到大豪雨及超大豪雨定義。取水口原水濁度最高達 14,000 NTU，濁度遞減至 1,000 NTU 以下，時間長達 24 小時。主要原因為累積雨量及強度皆大(最大時雨量達 65 毫米)，造成上游多處土石崩塌、原水濁度驟升。所幸，去年土石崩塌之處，經反應權責機關已修復完成，蘇力颱風過後，經勘查上游集水區去年崩塌復育之處亦無毀損，原水高濁度來源，

主要位於大豹溪較上游深山處。

2.鳶山堰原水濁度之影響

鳶山堰上游集水區豪雨所衍生原水高濁度，除石門水庫攔蓄於水庫外，下游側流水經鳶山堰蓄水量 490 萬立方公尺庫容緩衝及自淨作用，不致產生高濁度原水，故石門水庫排砂作業為目前鳶山堰原水超高濁度主因。蘇力颱風為石門水庫集水區帶來短延時之強降雨，主要介於 7 月 12 日 13 時至 7 月 13 日 13 時，24 小時累積雨量高達 398 毫米^[2]；石門水庫依運用要點規定進行防洪排砂操作，包括永久河道放水口(PRO)、石門電廠壓力鋼管及石門大圳退水路進行排砂，以排洪隧道及溢洪道進行調節性放水，並依入流情形調整洩洪量(最大為每秒 4,200 立方公尺)，期間於 7 月 13 日 8 時 30 分啟用新完工排砂隧道(300 CMS)進行共 8.5 小時第一次排砂作業。鳶山堰取水口原水濁度隨排洪量遞減逐漸升高，最高達 39,000 NTU，原水濁度變化趨勢，如圖 1 所示。

石門水庫入流量隨雨歇遞減，7 月 16 日 15 時電廠放水濁度高達 13 萬 NTU(最大濁度 7 月 14 日 15 時 346,500 NTU)^[9]，水利署水規所推估庫區渾水層厚度高達 18 公尺，高濁度情形將持續最少 3 天。利用三峽河水量豐沛及北水處全力支援條件下，經專家學者參與討論，在影響供水範圍最小時機，進行第二次全開操作排砂隧道 7 小時，全閉後再以排洪隧道 600 CMS 放 6 小時，再調降為 200 CMS 放 3 小時，鳶山堰取水口原水濁度由最高 20 萬 NTU 降至 5,000 NTU 以下，板新廠配合石門水庫排砂作業期間，依原水濁度變化趨勢減量或暫停取水，如圖 2 所示。

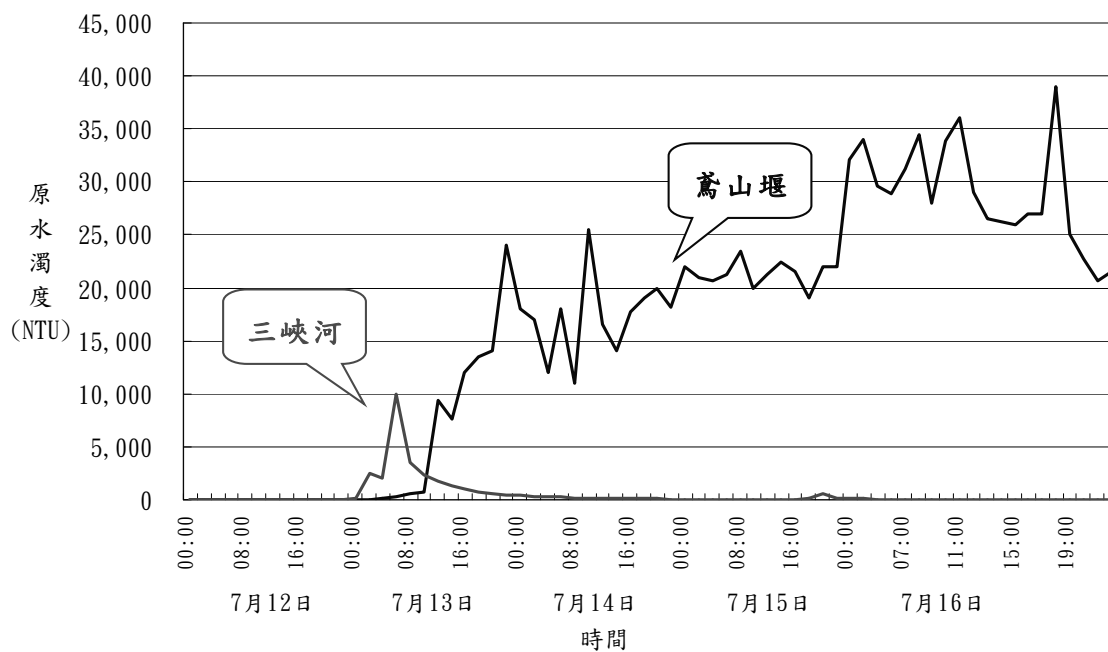


圖 1 三峽河與鳶山堰原水濁度變化趨勢圖

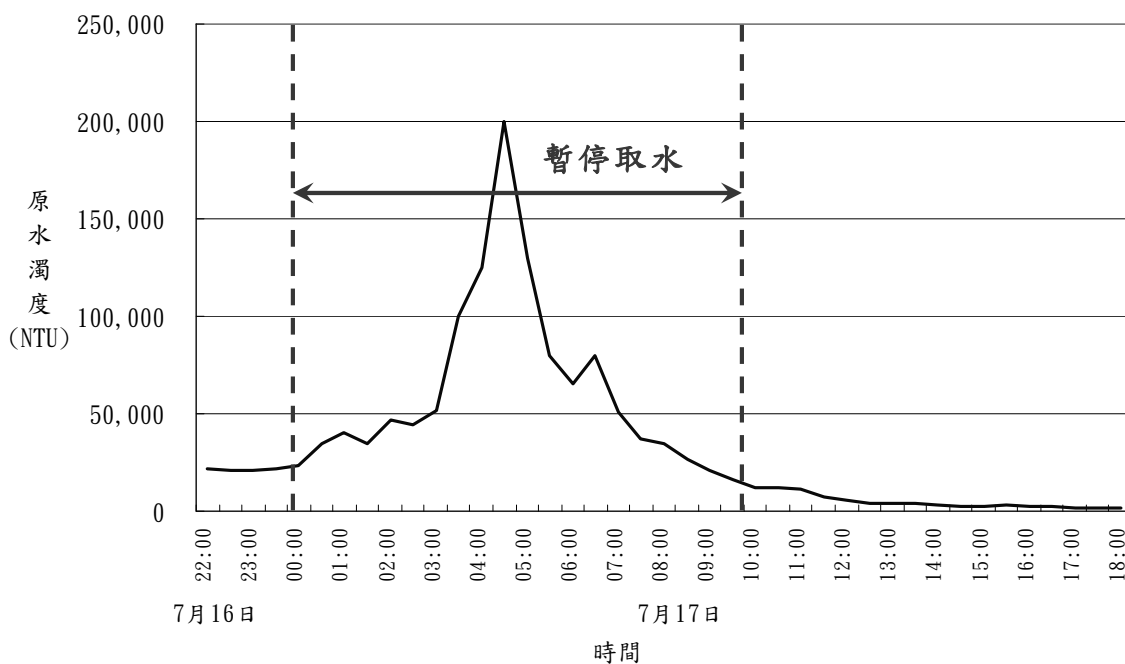


圖 2 石門水庫排砂鳶山堰取水口原水濁度變化趨勢圖

(三)蘇力颱風對淨水處理之影響

一般淨水場大多以原水濁度數百 NTU 為設計基準，故處理高濁度原水，必須在原

水導入淨水場之前降低原水濁度，使不致超過淨水處理負荷。板新廠目前缺乏前處理(初沉池)設施，導入淨水場之原水濁度，隨不同

水源水質而改變，由颱風暴雨或石門水庫防洪排砂，造成原水濁度變動趨勢加大，嚴重影響淨水處理之操控。

蘇力颱風帶來北部地區瞬間達 12 級陣風及豪雨，造成板新廠多次停電及高濁度原水，緊急應變小組人員忙於電力中斷復歸及高濁度淨水處理。高濁度原水的處理常用技術為預沉澱、混合、膠凝、沉澱、過濾、消毒等步驟；各淨水場水源高濁度水質特性不同，板新廠淨水處理無預沉池設施，高濁度原水導入淨水場，必須藉由加藥混凝沉澱去除原水中高濃度懸浮物質，故沉澱污泥有效排放，為超高濁度原水重要處理單元之一。

三峽河取水口原水濁度最高達 10,000 NTU，利用板新廠雙水源特性擇優取水，實際導入一、二期淨水場處理三峽河原水濁度最高約 1,700 NTU^[10]。三期淨水場處理鳶山堰超高濁度原水，本次石門水庫排放庫泥，水利署北水局經委託台灣大學研究團隊分析，屬沉降不力之底泥，亦經實驗室沉降試驗結果證實。

瓶杯試驗及現場操作結果顯示，以板新廠目前用藥 Polymer(聚氯化己二烯二甲基胺 20%)及 PACl 雙藥劑搭配處理，濁度去除成效不理想；經瓶杯試驗改變 Polymer 以二階段加藥方式，即 Polymer 與 PACl 搭配處理後，再次添加 Polymer 作為助凝劑，可獲得較佳濁度去除效果。三期淨水場根據試驗結果，緊急架設 Polymer 第二階段加藥設備，所形成膠羽顆粒較大，可加速顆粒沉降，在短時間內，沉澱污泥累積體積亦相對較小，有效改善膠沉池處理成效，降低快濾池負荷。由於原水濁度高且變動趨勢大，難以掌控較佳淨水操作模式，增加處理高濁度原水

水質不佳風險性。所幸，石門水庫執行「排渾蓄清」策略，縮短鳶山堰原水高濁度時間，降低淨水場處理負荷。

(四)蘇力颱風對轄區供水之影響

板新廠供水轄區需水量平均約 82 萬 CMD，因轄區內無配水池調節、廠內清水池容量不足(有效容量約 4 萬立方公尺)，僅為需水量(93 萬 CMD) 4.3%，必須依尖離峰需水量增減淨水處理量及北水處支援量，尖峰需水量(含支援二區 11 萬 CMD)瞬間大於 120 萬 CMD，超過板新廠設計出水量，又轄區內部分供水瓶頸尚未改善完成，仍須仰賴北水處清水量支援，以滿足供水轄區需水量。

蘇力颱風及石門水庫防洪排砂衍生超高濁度原水長達 81 小時，超過淨水場處理負荷，必須減量處理降低出水水質風險，除三峽河較低濁度原水滿載取水處理，不足量請北水處全力配合支援；在板新廠減量或暫停鳶山堰取水時，目前尖峰用水時段，轄區仍有樹林部分地勢較高直接供水戶水壓不足及缺水現象。又颱風期間因強風豪雨，發生尖山加壓站、新五路加壓站跳電及板新廠多次瞬間停電，經緊急派員故障排除復電，僅造成部分地區短暫停水。

三、超高濁度原水之處理

超高濁度原水之處理，首先藉由沉降試驗了解原水中懸浮物質特性，並以瓶杯試驗求得不同濁度之建議最佳加藥量；原水經檢驗三峽河為高濁度、低鹼度(20 mg/L)，鳶山堰為高濁度不易沉降懸浮顆粒、鹼度(110 mg/L)，一般傳統以 NaOH 調整最適 pH 範圍，並以 Polymer 搭配混凝劑(PACl)雙藥劑處理^[11]，若在水源水質特性不同時，改變加藥

方式或藥劑，進一步求得較佳之加藥混凝模式，以提供現場處理之參考。

(一)試驗部分

蘇力颱風造成石門水庫排砂衍生超高濁度原水，經沉降試驗得知，經過數十小時持續觀察，仍無明顯顆粒沉降，原水中濁度屬沉降不力懸浮顆粒，又經瓶杯試驗，由表 1 得知，原水濁度 10,000 NTU 以下，以板新廠目前加藥方式 Polymer 搭配 PACl 處理，殘餘濁度可達內控標準值 5 NTU 以下。處理超高濁度（10,000 NTU 以上）原水，在控制最適 pH 值範圍下，以二段式 Polymer 及 PACl 加藥處理，原水中懸浮顆粒可有效凝聚並排除沉澱。原水濁度大於 30,000 NTU，處理後殘餘濁度難以達到內控標準值 5 NTU 以下，

增加快濾單元負荷及水質不佳風險。由圖 3 所示，以二段式 Polymer 搭配 PACl 雙藥劑較一般傳統處理，可獲得較低殘餘濁度。處理超高濁度原水，仍須精確控制最適 pH 值及最佳加藥量，始能獲得較佳濁度去除率。

(二)實務經驗

蘇力颱風期間，利用板新廠雙水源特性，三峽河原水濁度因短時間強降雨後上游雨量遞減，最高濁度達 10,000 NTU，大多時間維持在數百 NTU。一、二期淨水場處理最高濁度約為 1,700 NTU 之三峽河原水，以現場加藥設備 Polymer 搭配 PACl 雙藥劑，操作上保持適當有效排泥，混凝沉澱殘餘濁度平均約 3 NTU^[10]，濁度去除率達 99.8% 以上，獲得理想處理成效。

表 1 瓶杯試驗最佳加藥組合統計表

原水		Polymer 加藥量 (ppm)		PACl 加藥量 (ppm)	上層液水質		
濁度 (NTU)	pH 控制值	前	後	加藥量 (ppm)	濁度 (NTU)	pH	鹼度 (mg/l)
1,300	8.0	1	0	70	2.68	7.55	63.8
4,500	8.5	2	0	100	3.00	7.09	59.0
		1	1		2.95		
12,000	9.0	4	0	200	5.95	7.06	50.5
		2	2		4.23		
20,000	9.2	4	0	280	10.0	7.00	52.0
		2	2		4.60		
24,000	9.3	0	4	300	12.6	6.95	54.6
		2	2		4.89		
30,000	9.3	5	0	320	14.2	6.85	49.8
		2.5	2.5		7.72		
34,000	9.5	0	5	340	14.8	7.21	54.0
		2.5	2.5		6.80		
44,000	9.5	5	3	400	12.9	7.02	50.0
50,000	9.5	5	3	600	8.94	6.59	48.0
58,000	9.5	5	5	700	10.5	6.47	43.0
73,000	9.5	5	5	800	11.0	6.40	42.0

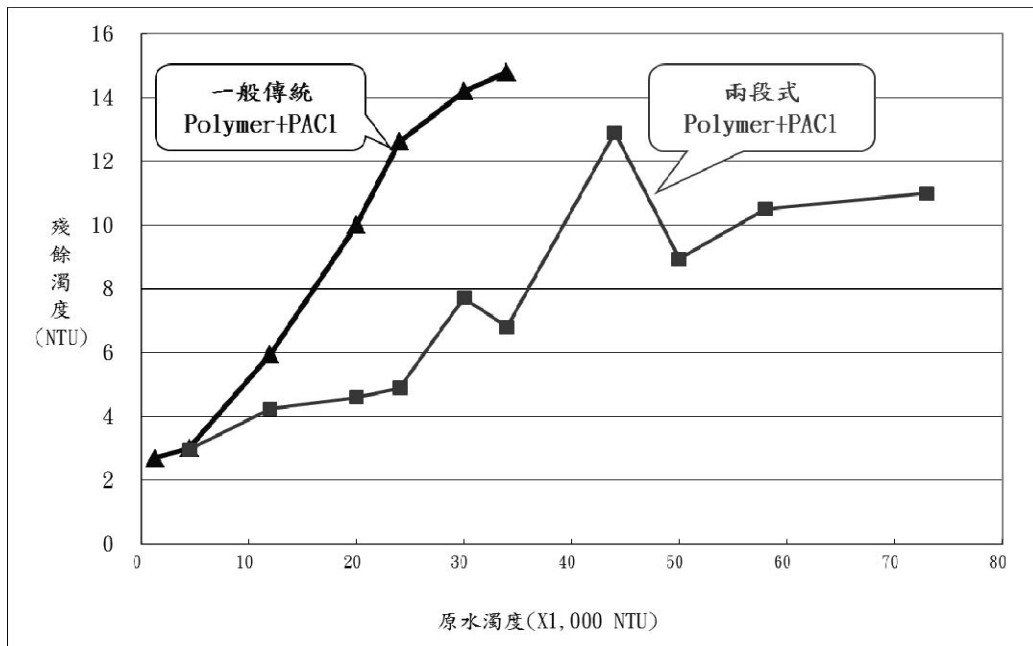


圖 3 高濁度原水瓶杯試驗處理成效比較趨勢圖

三期淨水場取用鳶山堰原水，因石門水庫防洪排砂作業，導致自 7 月 13 日 16 時至 7 月 17 日 1 時止，長達 81 小時處理超高濁度原水，又因水庫排砂屬沉降不力底泥，以目前現場加藥方式處理，混凝沉澱殘餘濁度平均高達 20 NTU^[10]，濁度去除成效不佳，徒增快濾池過濾負荷，增加出水水質不佳風險。依據瓶杯試驗結果，本次鳶山堰原水水質以二段式 Polymer 搭配 PACl 雙藥劑，有較佳處理效果；隨即於 7 月 13 日 22 時緊急架設第二階段 Polymer 加藥設備，經現場操作結果顯示，混凝沉澱殘餘濁度控制在 5 NTU 以下^[10]，濁度去除率高達 99.9% 以上，獲得較佳處理成效。惟處理超高濁度產生大量沉澱污泥必須有效排除，三期淨水場雖設有自動排泥設施，仍須考慮最大排泥量處理效能。另淨水處理設備妥善率高，避免運轉設備負荷過大，亦為處理超高濁度重要因子之一。

四、結果與風險處理建議

(一)結果：

1. 三峽河原水濁度隨上游降雨強度及累積雨量增加而升高，鳶山堰原水濁度主要受石門水庫排洪及排砂影響，颱風暴雨及石門水庫防洪排砂期間，妥善運用板新廠雙水源特性，擇優濁度較低原水導入淨水場，降低淨水場處理負荷。
2. 蘇力颱風石門水庫排砂，經沉降試驗屬較不易沉降之懸浮細微顆粒，以一般傳統 PACl 混凝劑搭配 Polymer 凝聚劑處理效果不佳，經改變加藥方式以二段式 Polymer 搭配 PACl 雙藥劑處理，有助於水中膠體顆粒之快速凝聚與沉降，混凝沉澱濁度去除率達 99.9% 以上；且殘餘濁度控制在 5 NTU 以下，降低快濾池負荷及水質不佳風險。颱風豪雨帶來原水高濁度水質不盡相同，仍需以瓶杯試驗求得最適加藥方式及添加量。

- 3.目前板新一、二期淨水場為傳統式沉澱池，並無設置刮(吸)泥設備，因沉降污泥不能有效排除，無法處理含泥量高之超高濁度原水。三期淨水場為固體接觸式膠沉池，設有自動排泥設備，沉澱污泥可迅速有效排除，惟需考慮最大排泥量，避免影響膠沉池處理功效。另維持淨水處理設備高妥善率，避免運轉設備負荷過大，亦為處理超高濁度重要因子之一。
- 4.颱風期間因強風豪雨，發生尖山加壓站、新五路加壓站跳電及板新廠多次瞬間停電，經緊急派員故障排除復電，僅造成部分地區短暫停水。鳶山堰配合石門水庫防洪排砂作業，原水濁度超過淨水場處理負荷，造成減量或暫停取水，除三峽河較低濁度原水滿載取水處理，轄區不足量請北水處全力配合支援；尖峰用水時段，轄區仍有樹林部分地勢較高之直接供水戶水壓不足短暫缺水現象。

(二)風險處理建議：

- 1.大漢溪及三峽河為易受災區域，在水源保育工作部分，建請集水區劃入特定水土保持區，避免不當開發造成土石崩塌污染源；另因氣候變遷暴雨造成水源上游土石崩塌，建請權責機關落實穩定水源與保護水質之相關措施，降低豪雨沖刷造成原水高濁度，以確保板新廠供水安全。
- 2.石門水庫防洪排砂為長期性工作，配套措施之中庄調整池工程，以原水專管穩定供應板新廠，建請積極推動完成，避免水庫活化永續經營之排砂作業，影響下游板新廠鳶山堰水源水質，增加淨水場處理負荷及供水風險。

- 3.因應颱風衍生原水高濁度及電力中斷，淨水場備妥不同加藥處理方式、沉澱池排泥設施、較大容量發電機供抽水機送水及擴建清水池、配水池等備援系統，以因應緊急之需，減少影響正常供水及復水時間。
- 4.板新廠淨水設備以原水濁度 200 NTU 為設計基準，目前處理超高濁度原水，存在出水水質不佳風險；原水高濁度期間，為維持基本維生用水，放寬飲用水水質標準，建請加強送配水管末排水及用戶宣導，以利迅速恢復供水品質及減少民怨。
- 5.鑒於石門水庫每年約 4.5 倍庫容量用水需求，經核定已延至 106 年底完工之板新二期工程，建請相關單位儘速推動施工完成，增加翡翠水庫水資源有效利用，降低板新轄區原水高濁度期間之供水缺口，避免影響民生及工業正常供水及經濟發展。

參考文獻

- 1.黃永富、曾迪華、胡慧玲，「淨水場水源特性與原水濁度關係及其對淨水處理影響之探討」，自來水會刊第三十卷第一期(2011)。
- 2.經濟部水利署北區水資源局網站 (<http://www.wranb.gov.tw>)。
- 3.板新給水廠鳶山堰原水站操作日報表(2013年7月)
- 4.板新給水廠三峽河抽水站操作日報表(2013年7月)
- 5.中華民國自來水協會，「自來水設施維護管理指南」(2008)。
- 6.台灣自來水公司重要營運統計速報102年上半年(2013年8月)
- 7.中央氣象局全球資訊網 (<http://www.cwb.gov.tw>)網站。
- 8.經濟部水利署第十河川局網站

(<http://www.wra10.gov.tw>)。

9. 經濟部水利署北區水資源局「石門水庫蘇力颱風防洪排砂操作對下游濁度及整體供水影響」簡報(102年7月25日黃志雄立法委員於新北市三峽區召開說明會)
10. 板新給水廠淨水處理場操作日報表(2013年7月)
11. 黃永富、曾迪華,「高分子凝聚劑處理淨水場高濁度原水成效之研究」(2010)

作者簡介

黃永富先生

現職：自來水公司第 12 區管理處板新給水廠 廠長
專長：自來水工程處理技術

姚寶蓮小姐

現職：自來水公司第 12 區管理處檢驗室 主任
專長：水質檢驗、水質分析

胡慧玲副教授

現職：桃園創新技術學院 副教授
專長：水處理技術、無機材料、分析化學

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

98 年 2 月 10 日第十六屆理監事會第十次聯席會議審議通過(99 年 5 月部分修正)

一、目的

為鼓勵本會會員踴躍發表自來水學術研究及應用論文,以提升本會會刊研究水準,特設置本項獎勵辦法。

二、獎勵對象

就本會出版之一年四期「自來水」會刊論文中評定給獎論文,最多三篇,每篇頒發獎狀及獎金各一份,獎狀得視作者人數增頒之。

三、獎勵金額

論文獎每篇頒發獎金新臺幣貳萬元整,金額得視本會財務狀況予調整之。

上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

四、評獎辦法

(一)凡自上年度第二期以後至該年度第二期在本會「自來水」會刊登載之「每期專題」、「專門論著」、「實務研究」及「一般論述」論文,由編譯出版委員會於每年六月底前,推薦 6-9 篇候選論文,再將該候選論文送請專家學者審查 (peer-review),每篇論文審查人以兩人為原則。

(二)本會編譯出版委員會主任委員於每年七月底前召集專家學者 5~7 人組成評獎委員會,就專家審查意見進行複評,選出給獎論文,報經本會理監事會議遴選核定後公佈。

五、頒獎日期

於每年自來水節慶祝大會時頒發。

六、本辦法經由本會理監事會審議通過後實施,修訂時亦同。

漏水管理的精進作為-中區計量作業

文/許志浩

一、前言

小區計量工作從劃設供水分區、裝表計量、管線汰換到長期管理等，在北水處已推行逾十個年頭。實施「小區計量」專案，原希望能成為掌握每個區域實施漏水改善手段的漏水管理，及為了滿足供水區域的漏水管控，而進行一種有效、具科學性的管理方式，也是改善漏水的終極目標。經實施的成效而言，小區計量的確成為檢視管線汰換成效的一種利器。

「分區計量新思維-中區計量」，所謂的中區計量，係以輸水幹管之分歧管作為特定供水區域之進水管，並達到供水區域長時間的封閉及滿足區域內穩壓之用戶用水需求。中區計量相較於小區計量，區域較廣，管線更複雜，用戶更多；從劃設供水區域，如何滿足區域供水需求、落實區域封閉，利用水理分析評估進水點等，皆是現階段最重要的作業，後續尚有漏水改善及水壓監控等作業。

二、劃設供水分區

北水五期計畫中，為因應大台北區域供水調配及緊急支援供水之需，重新研擬供水型態及劃分供水分區，並配合設置各項供水設備，以使配水系統維持充足之水壓及提高供水安全性與系統操作彈性。

北水五期計畫係經由各區需水量之推估、水源與配水量之調配、設備容量之評估、行政業務之考量及管網之水力分析等，研擬以松江路、新生南路及市民大道為分區

界線，共劃設 11 個供水分區，包括將臺北市中心區劃分為東、南、西、北及南港等供水分區，臺北市郊區外圍區域則劃分為 6 個獨立供水分區，即新店、安康、中和永和、三重、內湖及士林北投，使每一個供水分區皆由 1~3 座加壓站供水，平時將連絡於各供水分區間之連絡管線予以關閉，緊急情況發生時再予開啟以供臨時調節供水之用。

為落實管理完成管線汰換及改善漏水之供水區域，依街廓、河川溝渠、排水箱涵、制水閘等作為劃設供水分區的原則，以輸水幹管之分歧管作為特定供水區域之進水管，並達到供水分區長時間的封閉及滿足區域內穩壓之用戶用水需求，謂之中區計量。

三、劃設作業步驟

(一)蒐集供水區域之輸水管線、附掛橋樑管線及加壓站等規劃資料

依台北區自來水第五期建設給水工程計畫第一階段執行效益檢討報告，大台北供水範圍共劃設 11 個供水分區，其中中和永和供水分區供水範圍，包括中和及永和地區，利用原有之中和加壓站中和線抽水機再加裝抽水機合併供水，由原有之中和配水池擴增容量負責水壓控制及水量調節（如圖 1）。依據上述供水分區規劃，為維持供水區之壓力需求，配水設備主要包括配水管、配水池、加壓站及其他附屬設施等亦應擴建或更新。因此北水五期計畫第一階段中規劃新建或擴建之水源加壓站包括民生加壓站、公館淨水場加壓站、大同加壓站市區線、中和



加壓站新店線、木柵加壓站、安康加壓站、直潭淨水場加壓站(即思源加壓站)、中和加壓站中和線、三重二號加壓站、松山加壓站及大同加壓站大直線等。

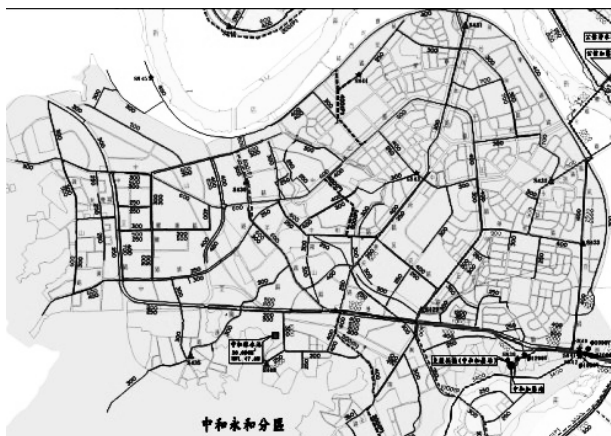


圖 1 中和永和供水分區

(二)確認區域內輸水管數量、位置、壓力分佈及供水範圍

經統計，中和永和供水分區管線口徑 400mm 以上共 169,768 公尺（如表 1）。

以 101 年，區域壓力在 0.89kg/cm^2 至 2.42kg/cm^2 之間，平均壓力約 1.35kg/cm^2 （如圖 2）。

供水範圍包括，環繞新店溪（環河東、西路）、員山路等所圍區域（如圖 3），統計至 101 年為止，供水人口數約 42.5 萬人。

表 1 中和永和供水分區管線長度統計表

口徑 (mm)	長度 (m)
400	48,480
500	19,635
600	19,119
700	12,052
800	13,134
900	7,179
1000	7,970
1200	3,596
1350	674
1400	921
1500	5,634
1650	5,115
1800	124
2000	7,895
2200	721
2400	2,113
2500	4,526
2600	148
3400	8,188
3600	100
3800	1,855
4000	589
總計	169,768



圖 2 壓力分佈圖



圖 3 供水範圍

(三)清查各輸水管之分歧管位置

中區計量，係以輸水幹管之分歧管作為特定供水區域之進水管，因此在劃區前，須蒐集統計區域內各輸水幹管之分歧管位置（如表 2），以便進行初步分析各中區進水位置之可行性。

表 2 分歧管位置一覽表

中區編號	口徑	位置
Y01	500X300	永和路 363 巷與立德街
Y02	600X100	員山路與中山路 2 段
Y03	600X300	建一路與中山路 2 段
Y04	600X400	橋和路與中山路 2 段
Y05	600X300	中山路 2 段 3 巷與中山路 2 段
Y06	600X350	中和路與中山路 2 段
Y07	600X300	中山路 2 段 2 巷與中山路 2 段
Y08	700X400	中山路 1 段與永和路 2 段
Y09	900X300	景安路 79 巷與景安路
Y10	700X250	中正路與永和路 2 段
Y11	700X400	竹林路 179 巷與竹林路
Y12	900X400	永元路與得和路
Y13	600X400	連城路 374 巷與連城路
Y14	800X400	景安路與景平路
Y15	1000X400	興南路一段與景平路

(四)依街廓、河川溝渠、排水箱涵、制水閘等原則，劃設分區

首先將中永和地區的配水幹管，標示在圖面上後，呈現略微橢圓形，接著將配水幹管的所有分歧管標示在圖上（如紅色箭頭），再依幹管位置，地形，街廓等，劃分每個供水區域（如綠色虛線）（如圖 4），再進行劃設供水分區，依劃設原則共劃成 15 個中區（如圖 5）：



圖 4 分歧管佈設圖



圖 5 供水分區圖

四、中區計量

以輸水幹管之分歧管作為供水分區之進水管，總共劃設成 15 個中區，以編號 Y14 中區為例，係規劃從景平路 ϕ 800mm 管線分歧管 ϕ 400mm 為進水點，範圍包含 4 個已完成改善的小區（如圖 6），及為形成中區的一個供水區塊（如圖 7），人口數 15,286 人，中區詳細資料（如表 3）。



圖 6 形成中區前



圖 7 形成中區後

表 3 Y14 中區

編號	範圍	售水率(%)		進場改善年/月
		改善前	目前	
W07004	中興路 180 巷、中興路、中正路、中興路 180 巷 56 弄(中和 3)	39.53	100.00	96.09
W07005	復興路 49 巷、南山路、復興路山坡地(中和 7)	74.92	92.41	96.11
W07007	中興路復興路 233 巷、復興 249 巷、中興公園(中和 6)	79.22	95.72	97.9.
W07008	中興路、復興路、板南路、景安路所圍區域	36.76	90.41	99.1.
W10002	中興街以東、景安路及南山路以西、中正路以南、板南路及復興路以北			

(一)區域封閉

首先進行供水區域的封閉測試，依照管線圖面資料，先予標註欲關閉之制水閥（如表 4），再至現場進行操作制水閥，並以量測區內、外消防栓，在關閉制水閥前後之壓力變化值，評估中區長時封閉後，由進水點所提供的水量是否滿足區域內用戶用水需求。

表 4 制水閥操作一覽表

1/500 圖號	地址	管徑
3735D	中和區南山路 399 巷與捷運路交口	200
3735D	中和區南山路 399 巷與捷運路交口	200
3736C	中和區和平街 107 號	100
3636B	中和區中興街與中正路口	300
3636B	中和區中正路 9 號	300
3636B	中和區景平路與南山路口	200
3636B	中和區景平路與南山路口	300
3736C	中和區景平路 347 號	400
3636B	中和區中正路 65 巷口	75
3735B	中和區南山路與興南路二段口	400

中區在進行斷水確認作業前，應先記錄中區內及外消防栓水壓值，以了解中區封閉前水壓狀況，並作為後續規劃進水點參考。上述各點水壓量測期間應予記錄資料，以利後續與中區進出水點作業資料進行比對分析。

於完成中區封閉前壓力分析作業，始進行斷水確認作業，以驗證中區可獨立操作，當關閉中區進水點制水閥，且量測中區內消防栓水壓為零時，該中區始通過斷水確認作業。

在所劃設之中區，以封閉後區域內及外區域平均水壓不得低於封閉前同一時間原有值百分之七十為原則，測試進水點可滿足供水需求。另開啟規劃之進水點，量測記錄上述區域內、外各點（須與「中區封閉前壓力分析作業」所選定各點一致）水壓變化，且至少每分鐘記錄 1 筆資料。以確認進水點

可滿足區域用戶用水需求。

(二)安裝評估表

中區評估表原規劃裝設於中和市景平路與和平街口 $\phi 400\text{mm}$ 管線，經現場開挖管線遭排水箱涵所覆蓋（如圖 8、9），惟為滿足中區供水需求，勢必需裝設在 $\phi 400\text{mm}$ 之管線，因此另外擇定在交通繁忙之景平路上 $\phi 400\text{mm}$ 之管線裝設評估表（如圖 10、11、12、13）。

(三)管線汰換

編號 Y14 中區，已包含 4 個已完成改善的小區，分別為編號 W07004、96 年 9 月完成、售水率 100%；編號 W07005、96 年 11 月完成、售水率 92.41%；編號 W07007、97 年 9 月完成、售水率 95.72%；編號 W07008、99 年 1 月完成、售水率 90.41%，因此形成中區後，唯一尚未進行漏水改善的區域（如圖 14），已著手進行設計及管線汰換。



圖 9 管線遭排水箱涵覆蓋



圖 8 評估表埋設位置路面開挖



圖 10 開挖路面



圖 11 安裝評估表



圖 12 埋設評估表



圖 13 安裝窰井



圖 14 管線汰換小區

(四)長時封閉、即時監測

中區在完成封閉後，在進水點裝設窰井及評估表，並在評估表裝設紀錄器(如圖 15)及無線傳輸系統(如圖 16)，以取得中區即時配水量、壓力狀況，由兩者變化趨勢得知漏水是否逐漸增加或突發爆管，平時可掌握該區域之售水率變化狀況，遇及管線損壞或爆管之水壓突降情事，亦可及時應變進行漏水搶修，以維公共安全及縮短用戶停水之不便，降低二次災害之發生。同時亦納入管網固定監視點，監視點係為供水管網中較為重要位置之水壓、水量等即時資訊傳達至監控中心，以作為供水系統調配之依據。

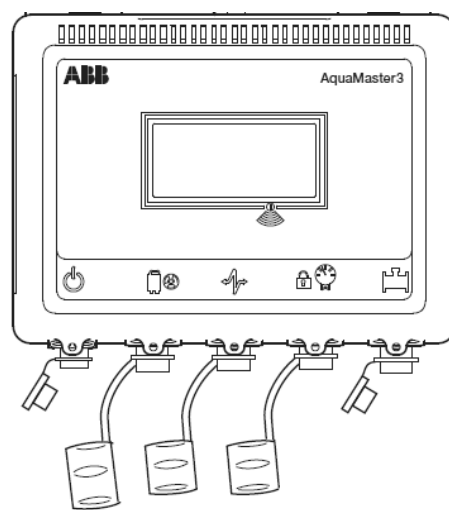


圖 15 電子記錄器

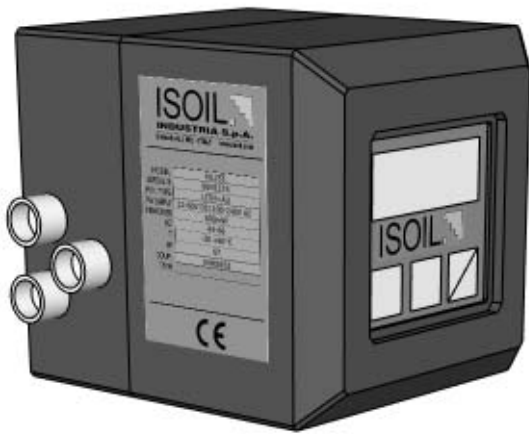


圖 16 無線傳輸傳訊器

五、結論與建議

- (一)自來水供水的長期管理，必須在管線設計即妥為考量，將日後影響長期管理的因子納入考量，包括漏水巡檢、水壓管控、即時監控等。完善的管線設計，對於長期管理將是一大助益。
- (二)中區計量相較於小區計量，區域較廣，管線更複雜，用戶更多；從劃設供水區，如何滿足區域供水需求、落實區域封閉，利用水理分析評估進水點等，皆是現階段最重要的作業，後續尚有漏水改善及水壓監控等作業。
- (三)中區計量係規劃從幹管分歧管進水，建議以水理分析評估進水點之進水量是否滿足中區用戶最大需求水量。在管線複雜的市區裝設評估表之窰井時，可能面臨現地裝設空間的困擾，建議可朝局部改管來解決此類問題，另外亦可研擬改從另一個進水點進水的可能性，但需評估面臨大規模停水連絡作業以及增加評估表數量。
- (四)落實閥栓維護工作，有助於供水分區區

封閉作業及測試封閉前後之水壓力變化，避免因供水分區封閉後造成局部地區供水壓力不足，影響用戶用水，造成民怨。同時又能落實供水分區的長期管理工作。

- (五)水資源開發隨人口成長、區域發展及環境保護等因素而面臨困難，如何使處理過的水作最有效之運用，除了重視既有供水設施之維護管理外，降低漏水為迫切需解決的課題。人人珍惜水資源，才能免受無水之苦。

參考文獻

- 1.許志浩，「自來水設施維護管理之研究」，國立臺北科技大學土木與防災研究所，2004年6月。
- 2.臺北自來水事業處，「臺北自來水事業處統計年報」，2012年5月。
- 3.黃欽稜，「中區計量執行策略」，臺北自來水事業處NRW研討會，2013年5月。
- 4.許志浩，「精進管線設計作業-繪製管線設計規劃圖」，臺北自來水事業處102年第1次員工提案，2013年5月。
- 5.許志浩，「中永和地區供水劃設作業」，臺北自來水事業處NRW研討會，2013年5月。

作者簡介

許志浩先生

現職：臺北自來水事業處西區營業分處給水股股長
專長：自來水工程設計、施工；設施維護管理；分區計量

受污染原水供緊急備用民生用水水源之前處理技術應用

文/李丁來、陳郁仁、吳怡儒、張智華、黃良銘、葉宣顯、林財富

摘要

東港溪為高雄地區重要工業用水來源，地面水流量穩定，原水濁度較低，於港西抽水站設堰抽取後，導水至鳳山水庫蓄存，其水中氨氮、有機物、化學需氧量及大腸桿菌群等污染物，有超過水源水質標準之虞，台灣自來水公司為探討鳳山水庫前端增設原水前處理設備，將處理後原水導入鳳山水庫貯存，經水庫自淨作用，再經鳳山淨水場現有一期淨水設備流程（含高級淨水設備工程）處理後，作為民生用水備用水源之可行性，辦理模型廠試驗研究。

經模廠測試及水庫水質模擬結果顯示，東港溪原水經生物前處理後，水質可以符合飲用水水源水質標準，經注入鳳山水庫後，可以進一步使水質更加符合水源水質標準。依模廠實驗結果顯示僅原水生物前處理配合高級淨水流程，出水水質已優於飲用水水質標準之要求，若於實廠操作時再加入水庫自淨作用則預期可獲得更佳之水質。

關鍵詞：飲用水水源水質標準、生物前處理、模型廠試驗研究、高級淨水

一、緣起

高雄地區目前需水量約 157 萬 CMD，包括民生用水 126 萬 CMD、工業用水 31 萬 CMD，其中高屏溪攔河堰供水量約佔 105 萬 CMD，供給包括鳳山、澄清湖、坪頂及拷潭淨水場原水，其供水量約佔該地區用水量之

70%，目前每逢暴雨高屏溪攔河堰原水濁度急速升高，只要超過 3,000NTU，下游淨水場就需減量出水因應，約須經 1 個月以上原水濁度才會逐漸回復正常；民國 98 年莫拉克颱風侵襲後，高屏溪河床布滿土石，暴雨形成之高濁度問題，更是顯著。而南部地區枯水季節為十一月至翌年五月，在汛期未來臨前發生水源不足之機率逐年升高，高屏溪流量低於 12 立方公尺/秒，高雄地區將面臨缺水問題，以民國 102 年為例，大高雄地區早在 3 月下旬開始即面臨限水問題。因此，考量高雄地區於高濁度及枯水期間之供水穩定，有必要除現有南化水庫、高屏溪深井及伏流水等備用水源外，另覓可行水源納入備援系統，以確保供水安全。

東港溪水源受暴雨及季節影響小，水量及水質相對穩定，實是一個可考慮之備用水源。然因東港溪水中氨氮及總有機碳，分別有超過飲用水水源水質標準最大限值 1 mg/L 及 4 mg/L 之虞，即使溪水於抽入鳳山水庫蓄存自淨後，氨氮仍有不符合「飲用水水源水質標準」之虞。如果要使用鳳山水庫及東港溪，作為高屏溪枯水季水量不足或濁度過高時之民生備用水源，須經適度前處理，本研究擬利用生物前處理技術淨化東港溪原水，再導入鳳山水庫蓄存，經水庫自淨作用，再抽送至鳳山淨水場高級淨水設備處理，以保障大高雄地區飲用水水質及供水穩定。

二、原水來源及水質概況

(一)東港溪

2007-2011 年東港溪原水之氨氮、總有機碳、化學需氧量、大腸桿菌群概況，詳如圖 1-4 所示。歷年東港溪原水氨氮平均濃度為 4.39 mg-N/L，僅在每年的 9-11 月，低於飲用水水源水質標準限值 1mg-N/L，顯示東港溪水中氨氮確實有超過現行飲用水水源標準之虞，必須予以有效去除。而東港溪原水總有機碳濃度平均為 3.76 mg/L，與歷年氨氮濃度變化類似，總有機碳同樣在每年 3-5 月期間有最高濃度，其濃度範圍約為 6-7 mg/L，略高於飲用水水源水質標準所限值 4 mg/L；

每年 7-12 月之總有機碳濃度約在 2-4 mg/L 之間，2010 年後總有機碳平均濃度為 3.86 mg/L，略低於飲用水水源水質標準限值。

歷年東港溪原水化學需氧量可發現，每年 4-7 月化學需氧量濃度略高於其他月份。化學需氧量最大值可達 70 mg/L 左右，最低則小於 10 mg/L，自 2007 年至 2012 年的化學需氧量平均濃度為 23.8 mg/L，略低於飲用水水源水質標準限值 25 mg/L。歷年大腸桿菌群平均值約為 1.59×10^5 CFU/100mL 左右，高於飲用水水質標準限值 2×10^4 CFU/100mL 甚多，2010-2012 年的平均大腸桿菌群雖降低至 3.95×10^4 CFU/100mL，但仍不符飲用水水源水

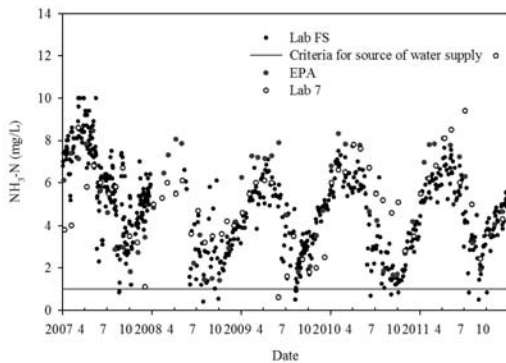


圖 1 東港溪原水歷年氨氮濃度變化

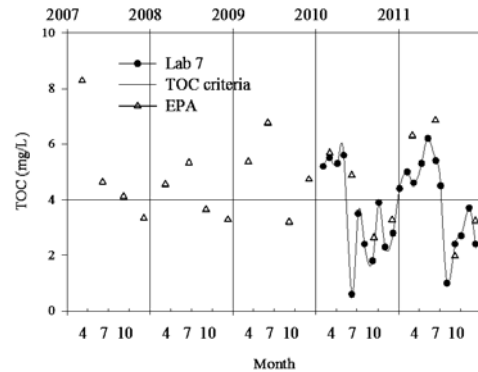


圖 2 東港溪原水歷年總有機碳濃度變化

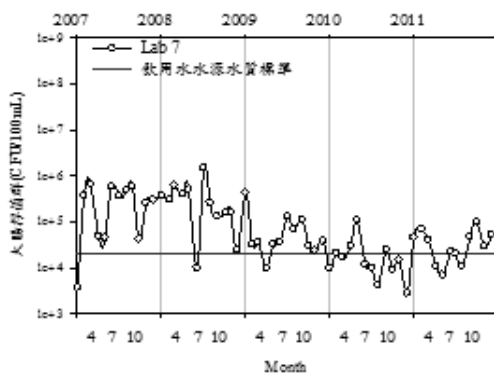


圖 3 東港溪原水歷年化學需氧量濃度變化

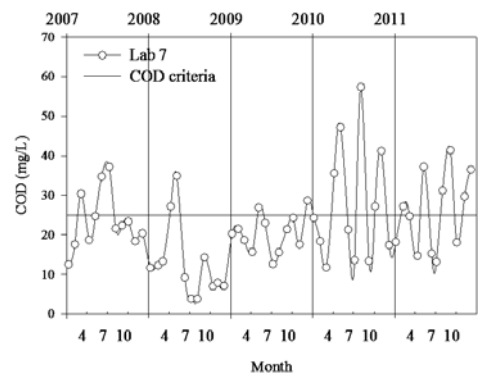


圖 4 東港溪原水歷年大腸桿菌群濃度變化



質標準限值要求。

歷年六種重金屬(砷、鉛、硒、鎳、鎘、汞)濃度監測數據詳如表 1 所示，皆符合飲用水水質標準所規範的限值要求。

(二)鳳山水庫

鳳山水庫為離槽水庫，水庫集水面積僅約 3 km²，水庫水源主要來自東港溪及部分高屏溪伏流水，由於東港溪水質不佳，致鳳山水庫長期呈現優養化現象，近年來於高屏溪水量較充沛時，部分高屏溪原水也會導送至鳳山水庫增加蓄水量，成為鳳山水庫水源之一，目前蓄存之原水僅供工業用水，經鳳山淨水場二期淨水設備處理後，專供臨海及林園工業區使用。

鳳山淨水場之民生用水淨水設備，含傳統及高級淨水設備(含結晶軟化、臭氧及活性炭)，目前水源係高屏溪攔河堰地面水，民生用水系統設計出水量為 30 萬 CMD，目前出水量約 15-20 萬 CMD，專供民生用水使用，供水範圍以南高雄為主，其淨水處理流程如圖 5 所示。

根據 2006-2011 年操作報表，鳳山水庫水量來源包括：1.東港溪；2.昭明加壓站之高屏溪伏流量；3.集水面積之降雨逕流量；4.高屏溪原水繞流(by-pass)量，其進水量之百



圖 5 鳳山場一期淨水設備處理流程

分組成如圖 6 所示，顯示水庫進水主要來自東港溪與高屏溪，兩股水源約各佔 67%與 31%。高屏溪原水繞流(by-pass)量在 2006 年最高，幾乎與東港溪進流量相當，2008-2011 年的高屏溪原水量比率則減少到 25%，高屏溪原水繞流量從 6 月到隔年 1 月比重明顯較高，平均佔 36%，在枯水期 2 月到 5 月間僅有 22%，而鳳山水庫集水區降雨逕流量約僅佔 2~6%之間，相較而言，東港溪進水比重穩定維持在 65-80%。

鳳山水庫歷年氨氮、總有機碳、化學需氧量、大腸桿菌群水質濃度變化詳如圖 7-10 所示，可見鳳山水庫原水氨氮變動趨勢與東港溪原水氨氮變動趨勢相近，顯示水庫水質受東港溪水質變動影響明顯，而高屏溪原水繞流量從每年 6 月到隔年 1 月比重較高，同期間水庫氨氮較低，亦是符合飲用水水源水質氨氮限值機率最高期間，此為高屏溪原水繞流量稀釋所致，而水庫總有機碳的變動趨勢亦與氨氮變動趨勢相同，鳳山水庫之大腸桿菌群與化學需氧量濃度較為穩定且低於飲用水水源水質標準限值，綜言之，除氨氮以外，鳳山水庫之總有機碳、化學需氧量、大腸桿菌群皆符合飲用水水源標準。

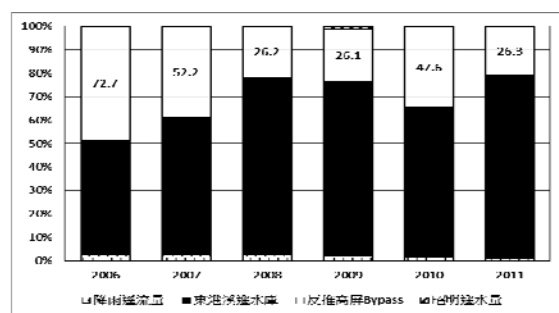


圖 6 鳳山水庫 2006-2011 年進水來源比率

表 1 東港溪原水(港西抽水站)歷年之六項重金屬濃度變化

項目 日期 (西元/月份)	砷 (mg/L)	鉛 (mg/L)	硒 (mg/L)	鉻 (mg/L)	鎳 (mg/L)	汞 (mg/L)
2007/3	0.0035	0.007	<0.001	<0.003	<0.001	<0.0003
2007/6	0.0047	<0.005	<0.001	<0.003	<0.001	<0.0003
2007/9	0.0035	<0.005	<0.001	<0.003	<0.001	<0.0003
2007/12	0.0023	<0.005	<0.001	<0.003	<0.001	<0.0003
2008/3	0.0034	<0.003	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2008/6	0.0039	<0.003	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2008/9	0.0026	<0.003	<0.001	<0.002	<0.001	0.0005
2008/12	0.0024	0.003	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2009/3	0.0035	<0.003	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2009/6	0.0040	<0.003	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2009/9	0.0027	<0.003	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2009/12	0.0027	<0.003	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2010/3	0.0030	<0.003	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2010/6	0.0040	<0.003	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2010/9	0.0037	0.005	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2010/12	0.0024	0.004	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2011/3	0.0045	<0.003	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2011/6	0.0049	<0.003	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2011/9	0.0025	<0.003	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
2011/12	0.0025	0.004	<0.001	<0.002	<0.001	<0.0003
飲用水水源 水質標準	0.050	0.05	0.05	0.05	0.01	0.002

資料來源：歷年環保署全國環境水質監測資訊網(港西抽水站)。

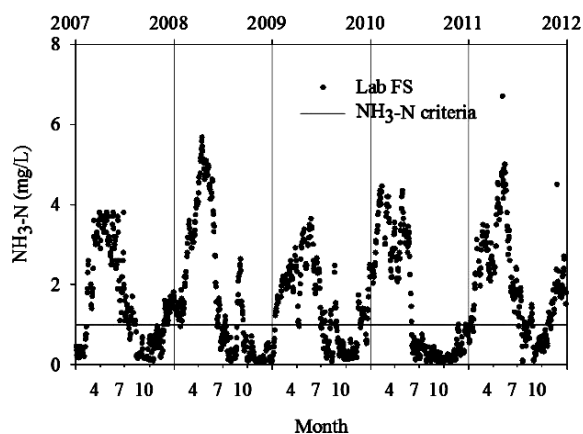


圖 7 鳳山水庫原水歷年氨氮濃度變化

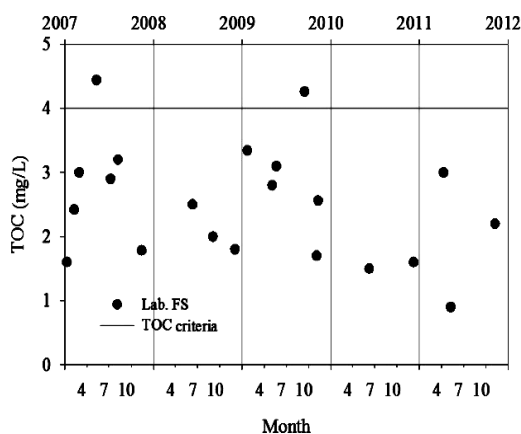


圖 8 東港溪原水歷年總有機碳濃度變化

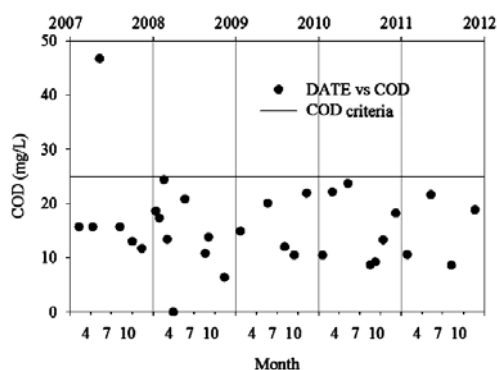


圖 9 東港溪原水歷年化學需氧量濃度變化

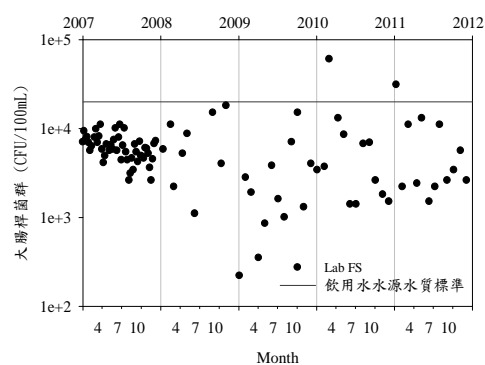


圖 10 東港溪原水歷年大腸桿菌群濃度變化

三、受污染民生備用水源生物前處理技術

(一)緊急民生備用水源

如前述目前東港溪原水氨氮及大腸桿菌群數值超過水源水質標準，總有機碳及化學需氧量濃度則略低且符合水源水質標準，經鳳山水庫自淨作用後，僅剩氨氮會超過水源水質標準，發生期間在每年 2-5 月間，因此氨氮為緊急民生備用水源前處理技術主要考量去除之標的。

(二)緊急民生備用水源生物前處理技術

針對受污染水源，各國採行的生物前處理技術，可分為 1. 於河川邊現地(on site)處理後排放回河川中(Nnohara et al., 1995; Fujii et al., 1997)，2. 於河川中增設生物載體處理(Sakimura, 1997)，3. 於淨水程序中處理(Matsumoto et al., 1992; Koki, 1993; Kawai et al., 1995)。而本項緊急民生備用水源所應用之前處理技術，係於混凝沉澱前增設生物處理單元，主要目的為取代前加氯去除氨氮、有機物，以減少消毒副產物前驅物之產生量，並可降低後續混凝單元之藥劑添加量(Yeh and Chen, 1988; Chien et al., 1997)。

東港溪及鳳山水庫原水氨氮處理技術

研究，最早是成大葉宣顯教授在 1989 年受台水公司委託，於東港溪抽水站旁之港西淨水場，進行單獨填充式生物濾床與臭氧預先處理串聯填充式生物濾床之處理研究，其研究發現單獨生物濾床即可達 90 %以上之氨氮去除率(葉氏, 1989、Yeh and Kao, 1993)。在鳳山淨水場內也發現生物濾床對氨氮具有高效率的去除效果；另葉氏(1994)受行政院環保署委託，針對鳳山淨水場之受污染原水進行高級處理程序之模場試驗，將填充式生物濾床作為前處理設施，發現生物濾床對氨氮有 90%以上之去除效果，同時可大幅降低原水之需氧量。

工研院於 98-99 年間亦與台水公司合作，於港西抽水站利用圖 11 所示之 BioNET 多孔性泡棉擔體評估去除氨氮及有機物的能力(張氏 1998, 鄒氏 1999)，發現該系統對氨氮有 90%以上之去除效果。葉氏(2006)受鳳山淨水場代操作廠商－東昕水務公司委託，進行原水生物濾床法前處理之模場試驗，使用無煙煤、多孔陶瓷和不同塑膠濾料進行實驗，發現無煙煤和多孔陶瓷在單位濾料體積曝氣量 222NL/min · m³下，氨氮體積負荷在 3 Kg NH₄⁺-N/m³ · day 以下，氨氮去除

率都可達 90% 以上；塑膠濾料單位濾料體積曝氣量 $444 \text{ NL/min} \cdot \text{m}^3$ ，其氨氮容積負荷在 $2.5 \text{ Kg NH}_4^+ \text{-N/m}^3 \cdot \text{day}$ 以下，去除率可在 90% 左右，因此以東港溪原水進行生物前處理，就技術之成熟性而言，應屬可行。

交大黃志彬教授等人於 2004 年受台水公司委託，在鳳山場內以 BioNET 技術，進行提升傳統淨水處理程序效能之研究(黃氏, 2004)，發現 BioNET 反應槽採用浮動床方式，可簡化系統操作，亦可提昇有機物去除效果，此 BioNET 多孔性生物擔體材質具有多孔性網狀結構，可提供巨大表面積讓微生物附著生長，加上該載體孔洞直徑較均勻，不易阻塞，是非常理想之生物載體，具高效率、高穩定性及操作簡易等特點，尤其適合低負荷，高流量之操作處理需求; BioNET 反應槽亦可採取固定床方式操作，除可有效去除有機性污染物外，亦可以攔截無機性固體物，但是進流水濃度不能過高，否則可能影響有機物處理效果。

鳳山淨水場之民生用水於增設生物處理設備後之預計淨水處理流程如圖 12 所示。

四、受污染民生備用水源生物前處理

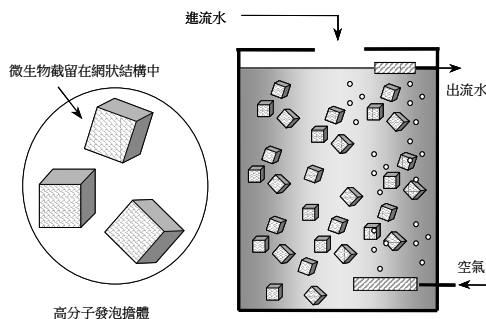


圖 11 Bionet 生物前處理技術示意

技術之成效評估

(一)測試評估作業

為更準確預估生物前處理對於水質改善成效，於鳳山水庫進行生物前處理及鳳山淨水場高級淨水處理程序模場測試，生物前處理設備設計參數如表 2 所示，其餘後續處理單元均與鳳山水場民生用水處理系統相同，包括傳統程序(混凝、膠凝、沉澱)、結晶軟化、快濾、臭氧、生物活性碳、及後加氯，各單元設計參數亦參照鳳山淨水場民生用水處理系統設計參數;並辦理鳳山水庫水質自淨改善模擬評估，包括 Vollenweider 零維動態水質模式及 CE-QUAL-W2 水質模式，以模擬水庫水質受原水生物前處理改善成效之影響狀況。

(二)模場試驗

1.生物前處理模場試驗成果

從 101 年 10 月迄 102 年 4 月生物前處理單元共進行三個試程測試，對於氨系污染物、溶解性有機物(NPDOC)、大腸桿菌群、化學需氧量去除之測試結果，如圖 13-16 所示，整體而言，經 6 個月操作結果，氨氮體積負荷量為 $0.08 \text{ kg NH}_3 \text{-N/m}^3 \text{/day}$ 下，即使在

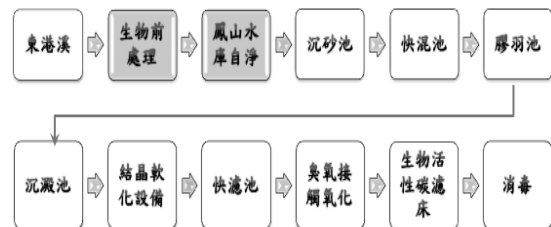


圖 12 鳳山場一期淨水設備增設生物前處理單

元後之處理流程

表 2 鳳山水庫原水生物前處理設備設計參數

參數	工程設計值
流量(CMD)	目標 20，最大 100
流量停留時間(min)	目標<30，144 (馴養期)
處理槽有效體積(m ³)	2 m ³
設計槽數	1
槽內尺寸(D×H, m)	φ 1×2.6
建材	SUS-304
擔體填充量(m ³)	1.4
迴流量(CMD)	同進流量

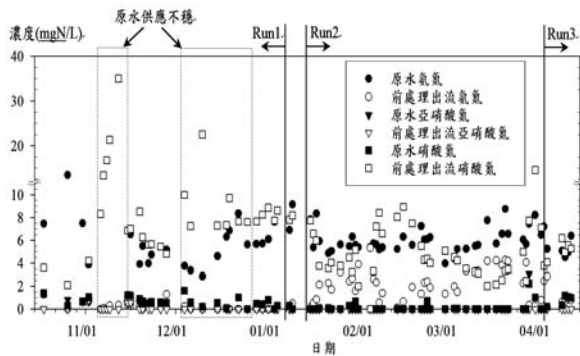


圖 13 原水生物前處理-氮系污染物濃度變化

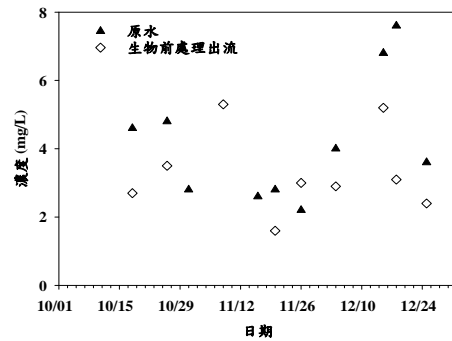


圖 14 原水生物前處理-NPDOC 濃度變化

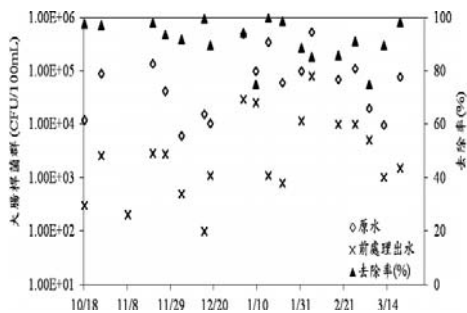


圖 15 原水生物前處理-大腸桿菌群與去除率變化

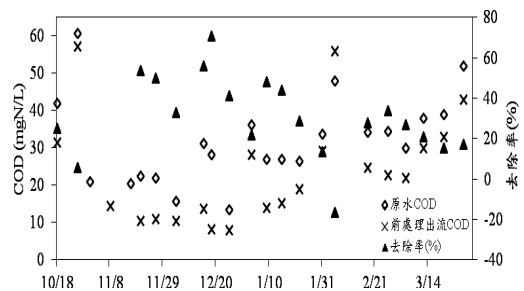


圖 16 原水生物前處理-COD 與去除率變化

冬天時，所採用之生物處理單元可有效去除氨氮，降至< 0.23 mg-N/L；當氨氮體積負荷量提升為 0.17-0.25 kg NH₃-N/m³/day，在溶氧 4 mg/L 下，生物處理單元仍可有效去除氨氮，即使操作 HRT 為 0.5 小時狀況下，出流

水氨氮仍可符合飲用水水源水質標準 1 mg-N/L 要求；而生物前處理單元對溶解性有機物(NPDOC)約有 20~60 %之去除率，對於大腸桿菌群去除率介於 75-99.7%，對於化學需氧量去除率介於 20-70%。

對於特殊污染物(鄰苯二甲酸、壬基酚、雙酚 A、氯四環黴素、經四環黴素、四環黴素、微囊藻毒素等)之去除而言，原水中除了鄰苯二甲酸偵測結果低於定量極限之外，其餘皆被檢測出，經過生物前處理單元後，各污染物之濃度皆大幅下降，顯示 BioNET 上的微生物具有分解這些污染物之能力，詳如表 3 所示。

2.高級淨水處理模場測試成果

圖 17 為鳳山高級淨水處理模場全處理流程氨氮、亞硝酸氮及硝酸氮之濃度變化，雖然生物前處理程序無法將氨氮完全去除，約有 45%的氨氮會流至後續單元；但是在經過快濾池處理後，多數氨氮濃度均低於 0.5 mg/L，由於模場無前加氯，因此淨水設備內會有生物作用，持續降低氨氮。到了生物活性碳單元後，多數時間氨氮於清水中濃度皆低於偵測極限，顯示淨水程序中快濾與生物活性碳單元均有進一步氧化氨氮的功能。試程二後期(虛線後)前處理單元溶氧提

高後，前處理單元出水的氨氮已小於 1 mg/L，後續快濾出水及清水中均未檢出氨氮。而在硝酸氮部分，從圖中可看出清水中之硝酸氮濃度略大於原水氨氮的濃度，應是原水中有機氮裂解、硝化產生。試程二中期快濾出水及清水中發現有微量亞硝酸鹽，推測為快濾與生物活性碳單元部分硝化造成亞硝酸鹽累積，試程二後期(虛線後)前處理單元溶氧提高後即未再檢出亞硝酸鹽氮。

圖 18 為有機物水質參數在鳳山高級淨水處理模場流程中之變動情形，可見 NPDOC 值隨著流程之進行持續降低，生物前處理約可以移除 16%NPDOC，到清水時則平均去除率(相對於原水)可達 61 %。

圖 19 為鳳山高級淨水處理模場流程中大腸桿菌群之變動情形，原水中大腸桿菌群約 6×10^3 - 5.53×10^5 CFU/100mL，經過生物前處理後大腸桿菌群減少為 1×10^2 - 8×10^4 CFU/100mL，去除率介於 75-99.7%。快濾池出水之大腸桿菌群可進一步降低至 1.99×10^4

表 3 鳳山水庫原水生物前處理技術之特殊污染物去除成效

	原水	前處理出水	單位	LOQ	LOD
DEHP 鄰苯二甲酸	NQ(1.1)	NQ(1.1)	ppb	5	-
NP (Nonyl Phenol)壬基酚	328.5	76.5	ppt	100	-
BPA(Bisphenol A)雙酚 A	913.5	181.1	ppt	5	-
CTC (chlortetracycline)氯四環黴素	84.8	21.6	ppt	64.6	19.4
OTC (Oxytetracycline) 經四環黴素	51.0	12.8	ppt	20.6	11.2
TC (Tetracycline) 四環黴素	9.0	ND	ppt	6.8	2.0
Microcystin (total) 微囊藻毒素	0.15	ND	ppb	0.15	-

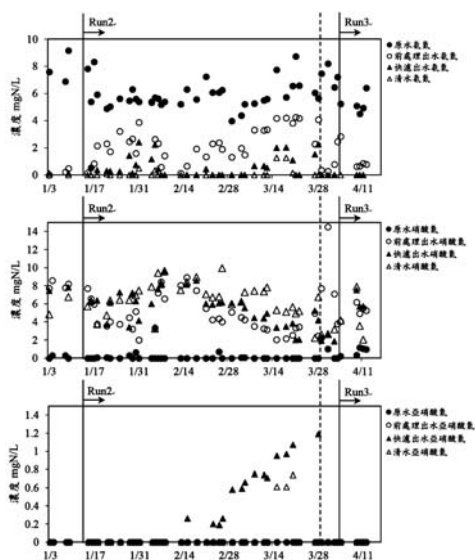


圖 17 鳳山高級淨水處理模場全流程氮系污染物濃度變化

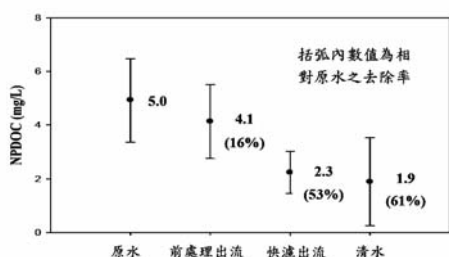


圖 18 鳳山高級淨水處理模場全流程 NPDOC 濃度變化

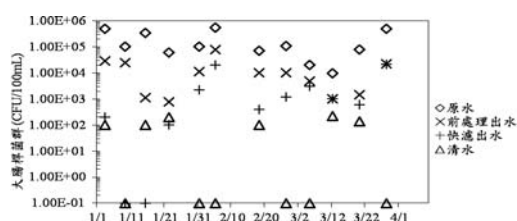


圖 19 鳳山高級淨水處理模場全流程大腸桿菌群濃度變化

CFU/100mL 以下，清水中之大腸桿菌群未加氯部份則小於 2×10^2 CFU/100mL，於開始加氯一週後則已偵測不到，然而清水中有時仍會測得約 10^2 CFU/100mL，乃是因為加氯作業未連續操作所致，經調校修正後，清水中即未檢出。

另，在特殊污染物部份，分析農藥、揮發性有機物、氰鹽、硫酸鹽、溴酸鹽、酚類、陰離子界面活性劑、鄰苯二甲酸、壬基酚、雙酚 A、氯四環黴素、經四環黴素、四環黴素等，發現在清水中全數符合飲用水水質標準，僅壬基酚仍有 151 ng/L，其他污染物濃度已經低於偵測/定量極限，壬基酚為國內水廠常見之污染物，台大蔣本基教授受水利署委託調查顯示，15 處淨水場中有 8 處的清水中壬基酚濃度中位值，超過 100 ng/L，5 處超過 150 ng/L，並指出其風險危害商數小於 0.01，對人體健康之負面影響可以忽略(蔣氏，2010)。

水中藻類毒素濃度，在原水中微囊藻毒素原為 0.15 ppb，低於世界衛生組織 WHO 飲用水建議值 1 ppb；經由前處理程序處理後，可將水中微囊藻毒素降於偵測極限以下，在清水中亦無測出。至於水中臭味物質分析結果，原水中 2-MIB 濃度 9.7 ng/L，高於人體嗅覺閾值(2-MIB：5 ppt)，原水經過濾處理後，2-MIB 及 β -cyclocitral 濃度皆低於偵測極限，geosmin 則僅剩微量(0.4 ng/L)。

(三)東港溪原水經生物前處理後導入鳳山水庫進行自淨作用改善成效模擬評估

以常用之 Vollenweider 零維動態水質模式及 CE-QUAL-W2 水質模式，進行水庫水質經原水前處理後之成效模擬評估，兩模式均經適度率定與驗證。依 Vollenweider 模式結果顯示，無高屏溪水的稀釋下，鳳山水庫平均氨氮濃度經自淨作用，可使氨氮在 9 天的停留時間內下降 2.5 mg/L，假設東港溪原水經前處理後，氨氮以 1 mg/L 放流至水庫，若有高屏溪補充水進入水庫，則水庫氨氮可降

低到 0.2 mg/L；若水庫進水量 35 萬 CMD 全部來自經生物前處理後的東港溪原水，水庫氨氮可降低到 0.25 mg/L，兩者均亦可符合飲用水水源水質標準。

CE-QUAL-W2 水質模式模擬結果顯示，原水前處理改善氨氮至 1 mg/L，在無高屏溪水注入的情況下，水庫氨氮濃度平均可降低至 0.5 mg/L，可符合飲用水水源水質標準要求，東港溪原水經前處理後，化學需氧量及總有機碳可降低 18.6%及 16%，其符合水源水質標準要求的比率可分別達 99%及 95%。根據模式率定之一階硝化作用速率 0.14 d-1，以現有水庫停留時間為 9 天推估，生物前處理出流水濃度低於 2 mg/L，經水庫自淨作用，水中氨氮即可符合飲用水水源水質標準 1 mg/L 之要求。

五、結論

高雄地區經「921」地震及「莫拉克」颱風重創後，每逢豪雨高屏溪原水濁度即急速飆高，各沿岸淨水場須減量出水因應；而枯水期，高屏溪流量低於 12 CMS 就有缺水危機，須開發現有伏流水、深井水及南化水庫以外之適當備用水源，以為因應。

現階段東港溪水源未能符合飲用水水源水質標準，但經過生物前處理淨化、導入鳳山水庫蓄存自淨，再送經鳳山場高級淨水設備處理後，預期其清水水質將可符合各項嚴格水質標準之要求，故於汛期高屏溪原水高濁度及枯水期發生缺水危機時，可啟用東港溪水源，作為緊急民生用水備用水源，以大幅提升高雄地區供水調度及備援能力，確保工商發展及民眾用水之穩定。

參考文獻

- 1.葉宣顯，“臭氧預先處理對填充式生物濾床去除氨氮及有機物之影響”台灣省自來水公司委託研究計畫報告書(1989)。
- 2.葉宣顯等，“台灣南部地區受嚴重污染自來水原水處理程序改善之研究”環保署委託研究計畫報告(EPA-83-E3J1-09-03)(1994)。
- 3.王文華，「生物濾床處理澄清湖優養化給水源之研究」，碩士論文，國立成功大學環境工程研究所，台南 (1999)。
- 4.鄒文源、張王冠、洪仁陽、吳漢松、莊順興，“以BioNET生物程序進行自來水原水前處理之可行性評估”，第十六屆自來水研究發表會，11月17日，(1999)。
- 5.黃志彬、吳志超、吳俊哲、黃文鑑、游惠宋、鄭文伯，「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」，國立交通大學環境工程研究所，台灣省自來水股份有限公司委辦專案研究計畫報告 (2004)。
- 6.葉宣顯等，“鳳山淨水場二期原水生物濾床法前處理之研究”東昕水務公司委託研究計畫報告書(2006)。
- 7.曾靖樺、范竣程、郭姿妤、洪瑋濃、林財富，“水中藍綠藻之亞硝基二甲胺生成潛能初步研究”，第二十八屆自來水研究發表會，11月17日，(2011)。
- 8.Acharya, S., Pattarkine, V.M. and Knud-Hansen, C.F. (2010) Lake and Reservoir Management. Water Environment Research 82(10), 1767-1836.
- 9.Bouwer, E. J. and Crowe, P. B. (1988) “Biological Process in Drinking Water Treatment,” Jour. AWWA, 80(9), p82.
- 10.Boynton, W.R., F.M. Rohland, R.M. Stankelis, J.M. Lawrence, B. Bean and H. Pine. (2003) Monitoring of sediment oxygen and nutrient exchanges in the Chester River Estuary in support of total maximum daily load (TMDL)

- development. University of Maryland Center for Environmental Science, Chesapeake Biological Laboratory (CBL), University of Maryland Center for Environmental Science, Solomons, MD 20688-0038. Technical Report Series No TS-400-03-CBL
11. Boynton, W.R., R.M. Stankelis, F.M. Rohland and J.M. Frank. (1999) Monitoring of sediment oxygen and nutrient exchanges in the Pocomoke River and Sound, Manokin and Big Annemessex Rivers, Somerset County in support of total maximum daily load (TMDL) development. University of Maryland Center for Environmental Science, Chesapeake Biological Laboratory (CBL), University of Maryland Center for Environmental Science, Solomons, MD 20688-0038. Technical Report Series No TS-213-99-CBL.
12. Cowan, J. L.W., J. R. Pennock and W. R. Boynton. (1996) Seasonal and interannual patterns of sediment-water nutrient and oxygen fluxes in Mobile Bay, Alabama (USA): regulating factors and ecological significance. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 141:229-245.
13. Cowan, J.M. and W.R. Boynton. (1996) Sediment-water oxygen and nutrient exchanges along the longitudinal axis of Chesapeake Bay: seasonal patterns, controlling factors and ecological significance. *Estuaries* 19(3):562-580.
14. Hamilton, D.P. and Schladow, S.G. (1997) Prediction of water quality in lakes and reservoirs .1. Model description. *Ecological Modelling* 96(1-3), 91-110.
15. Huysman, P., Meenen, P.V., Assche, P.V. and Verstraete, W. (1983) Factors Affecting the Colonization of Non Porous and Porous Packing Materials in Model Upflow Methane Reactors. *Biotechnol. Lett.* 5(9), p643.
16. Lee, T.L., Huang, C.P., You, H.S., Pan, J.R. (2007) Operation of Fixed-bed Bioreactor for Polluted Surface Water Treatment, *Sep. Sci. Technol.*, 42, 3307 - 3320.
17. Pedro A. Segura, P.A., François, M., Gagnon, C., Sauvé, S., (2009) Review of the Occurrence of Anti-infectives in Contaminated Wastewaters and Natural and Drinking Waters, *Environ. Health Perspectives*, 117(5), p675.
18. Schladow, S.G. and Hamilton, D.P. (1997) Prediction of water quality in lakes and reservoirs .2. Model calibration, sensitivity analysis and application. *Ecological Modelling* 96(1-3), 111-123.
19. Schladow, S.G. and Hamilton, D.P. (1997) Prediction of water quality in lakes and reservoirs .2. Model calibration, sensitivity analysis and application. *Ecological Modelling* 96(1-3), 111-123.
20. Sutula, M., K. Kamer, J. Cable, H. Collis, W. Berelson, J. Mendez. (2006) Sediments as an internal source of nutrients to upper Newport Bay, California. Southern California Coastal Water Research Project, Technical Report 482.
21. Sutula, M., K. Kamer, J. Cable. (2004) Sediments as a non-point source of nutrients to Malibu Lagoon, California (USA). Southern California Coastal Water Research Project, Technical Report 441.
22. Trolle, D., Skovgaard, H. and Jeppesen, E. (2008) The Water Framework Directive: Setting the phosphorus loading target for a deep lake in Denmark using the 1D lake ecosystem model DYRESM-CAEDYM. *Ecological Modelling* 219(1-2), 138-152.

23. Trolle, D., Skovgaard, H. and Jeppesen, E. (2008) The Water Framework Directive: Setting the phosphorus loading target for a deep lake in Denmark using the 1D lake ecosystem model DYRESM-CAEDYM. Ecological Modelling 219(1-2), 138-152.
24. Tung, S.C., Lin, T.F., Yang, F.C., and Liu, C.L. (2008) Seasonal change of 2-MIB and correlation with environmental parameters in Feng-Shen Reservoir, Taiwan, Env. Mon. Ass., 145(1-3), p407.
25. Yeh, H.H. and Kao, H. C. (1993) "Testing a Coke Biofilter for the Pretreatment of Polluted Surface Water in Taiwan." Jour. AWWA, 85(5), p96.

作者簡介

李丁來先生

現職：台灣自來水公司供水處處長

專長：自來水工程設備規設、供水營運管理、淨水處理

陳郁仁先生

現職：台灣自來水公司供水處工程員

專長：淨水場操作維護管理

吳怡儒小姐

現職：國立成功大學 國際水質研究中心博士後研究員

專長：生物除氮程序、廢水生物處理、分子生物技術、多變量統計分析

張智華先生

現職：國立成功大學 環境工程系助理教授

專長：非點源污染、水質模式、水質管理、水環境遙測技術、內陸與近岸水體光學性質分析

黃良銘先生

現職：國立成功大學 環境工程系教授

專長：環境生物與分子生物技術、生物系統數學模式模擬、廢水生物處理、再生生質能源、環境微生物生態

葉宣顯先生

現職：國立成功大學 環境工程系教授

專長：飲用水高級處理程序研究、薄膜程序用於水處理之研究、高科技產業用水處理技術之研究

林財富先生

現職：國立成功大學 環境工程系特聘教授

專長：水源中藻類代謝物分析鑑定與處理、污染場址整治技術、吸附技術

以 Microsoft ASP.NET 擷取監控系統資料初步實現 供水資訊 Web 化

文/張錫堅

摘要

本研究之目的乃在探討台灣自來水公司第五區管理處（以下簡稱五區處）圖形監控系統（iFIX）之運作原理、架構及功能、iHistorian Server 及 iHistorian Proficy Portal 運作，並利用 Microsoft ASP.NET 及 iHistorian Proficy Portal 實作五區處西螺營運所、斗六營運所、虎尾營運所及台西營運所之清水流量計瞬間流量、餘氯、水壓、PH 值及清水池水位顯示功能，藉以突破 iHistorian Proficy Portal 之限制，並且使用 Intellution iFIX v3.0 Demo 版之 Dynamics WorkSpace 為工具，設計台西營運所新興淨水場有關清水池水位、水壓、瞬間流量及餘氯之顯示用圖控畫面及實作台西營運所新興淨水場有關清水池水位、水壓、瞬間流量及餘氯的簡單圖控畫面，為五區處將來提高供水品質、掌握供水調配、各水源能互相支援運用及適時適量適壓達到用戶用水所需建立基本技術。未來將進一步由監控系統收集之資料逐步建立整合資訊供相關人員參考、分析及運用，以期逐步完成五區處量足質優之目標。

一、前言

過去淨水廠（場）及加壓站之操作以人工操作為主，其操作憑藉熟捻之技巧及對系統流程的瞭解，近年來隨著公司因自動化之需求日益增加，以圖控軟體操作淨水廠（場）及加壓站逐漸成為常態。圖控軟體操作乃是

架構於可程式邏輯控制器(PLC-Programmable Logic Controller)及 SCADA server 之操作模式，此種操作方式之基本技術本公司相關人員尚未能完全了解，本研究將實作一個簡單圖控畫面提供建置圖控操作之參考。

iHistorian Server 收集監控系統各式的運作及顯示數值，但目前 iHistorian Proficy Portal 所提供之網頁資訊僅有固定種類及固定顯示模式，無法藉由該網頁伺服器獲取網頁上不提供之訊息，也無法整合運用網頁伺服器所顯示之資訊，另外，iHistorian Server 資料庫之格式為特別形式，運用上也較為不便，本研究報告將以較常用 Microsoft ASP.NET 實現西螺營運所、斗六營運所、虎尾營運所及台西營運所之清水流量計瞬間流量顯示功能，以期望未來逐步將 iHistorian Proficy Portal 顯示之資訊用 Microsoft ASP.NET 實現，並於網際網路上提供查詢服務及整合資訊供分析及決策之用。

二、簡介

(一)五區處監控系統背景資料：

- 1.五區處之監控系統基本架構，如圖 1。
- 2.五區處監控系統由嘉義區監控主機、雲林區監控主機、終端機伺服器主機、iHistorian 伺服器、水質監控主機、廠所監控主機、場站 PLC、OPC 伺服器、網路傳輸設備及圖控軟體所組成，區處嘉義區監控主機、雲林區監控主機分別監控嘉義區及雲林區

各廠所之產水供水運作狀況；嘉義區監控主機、雲林區監控主機、終端機伺服器主機、iHistorian 伺服器、水質監控主機、廠所監控主機皆透過圖控軟體運作；OPC 伺服器透過 OPC(OLE for Process Control)提供服務；iHistorian 伺服器是透過 Data Collector 收集伺服器或電腦之資料，而 Data Collector 則是透過 EDA (Easy Database Access) 或 OPC1.0 或 OPC 2.0 收集製程硬體之資料。

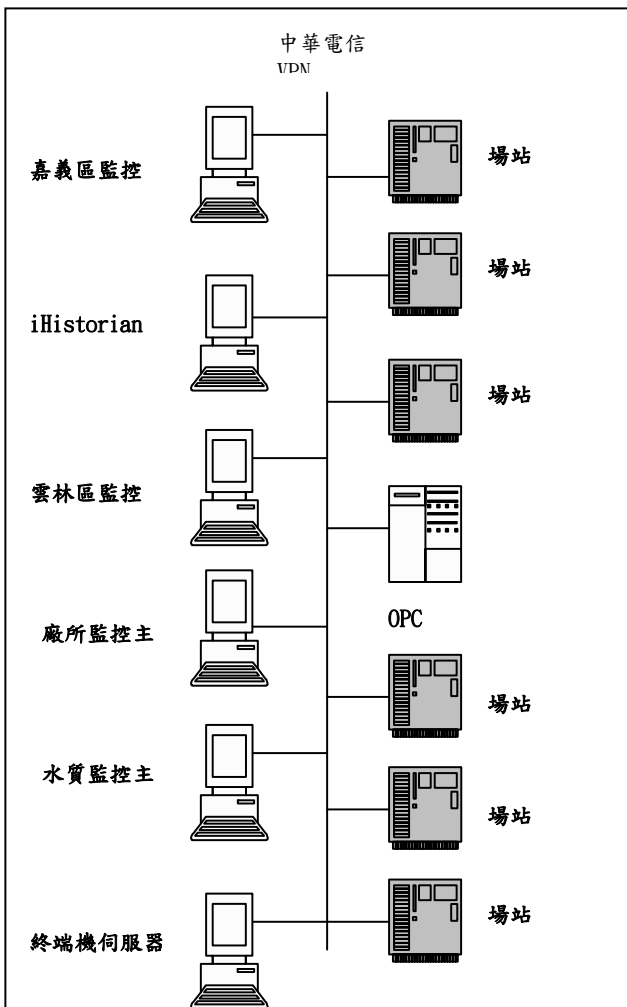


圖 1 第五區管理處監控系統基本架構

3. 可程式邏輯控制器 PLC (Programmable Logic Controller)

(1) 五區處 PLC 廠牌共有 GE Fanuc、FAMA、

西門子、KOYO 及 Delta V 等品牌。

(2) PLC 是一種由電子零件所組成之運算系統，專門為工業環境應用而設計，早期是用於工廠（場）設備循序自動化開機與停機之用，後來隨著微處理器運算速度加快，逐漸提昇控制功能，應用範圍逐漸擴增至工業製程上。PLC 採用記憶體儲存程式，藉由程式設計可執行計數、定時順序控制、邏輯運算及控制、算術操作…等功能，其對外取得訊息的方式乃透過數位及類比式輸入獲得各類設備及產製過程之輸出資料，利用數位及類比輸出可控制設備運作。

(3) 可程式邏輯控制器的主要功能為①、順序控制。②、邏輯運算及控制。③、算術運算。④、計數與定時。⑤、PID 控制。⑥、類比輸入輸出及數位輸入輸出。⑦、通信及網路。

(4) PLC 程式編輯軟體種類：國際電工電子協會所訂定有可程式邏輯控制器的程式語言標準，共訂定有五種共通的可程式邏輯控制語言^[5]，分別為：①、Instruction List (IL) ②、Structured Text (ST) ③、Function Block Diagram (FBD) ④、Sequential Function Chart (SFC) ⑤、Ladder Diagram (LD)。其中 Instruction List (IL) 及 Structured Text (ST) 為結構化程式語言，Function Block Diagram (FBD)、Ladder Diagram (LD) 及 Sequential Function Chart (SFC) 為圖形語言，Ladder Diagram (LD) 是普遍使用於 PLC 之程式邏輯設計語言。

4. 圖控軟體

五區處之圖控軟體為 iFIX，共分為 v2.5、v2.6 及 v3.0 等版本。概述如下：(1) 提供與

處理單元聯繫之窗口，以及提供即時資料給使用者與應用軟體。(2)基本功能為資料擷取及資料管理，資料擷取乃是直接與設備的 I/O 裝置進行交談，以及透過 I/O 驅動程式提供對硬體裝置的存取介面；資料管理包括監控處理單元（圖形顯示）、監督性控制、警報系統、製作報表及資料建檔保存。

5.五區處監控項目為清水之瞬間流量、累計流量、餘氯、PH 值、壓力、水位及濁度；原水之瞬間流量、累計流量、餘氯、PH 值、壓力、水位及濁度；電力之電壓、電流、頻率、功率因數、有效電力、無效電力；電機機械之開、關及轉速；加藥用設備之瞬間流量、累計流量…等。

6.SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) Server

SCADA Server 負責對硬體處理單元收集資料，一般亦將圖控軟體安裝於伺服器上以利操作現場設備及接收 PLC 之數位及類比資料。由於 SCADA Server 必須與 PLC 及資料庫等設備通訊，所以必須具備與 PLC 及資料庫通訊之介面，俾利與不同廠牌之 PLC 及資料庫交換資料，另外尚須(1)支援 OPC(OLE 製程控制，OLE for Process Control 之縮寫)以提供 OPC Client 存取介面。(2)提供多種 PLC 廠牌之驅動程式。(3)提供 TCP/IP 模組傳遞資料^[6]。

7.OPC(OLE for Process Control) Server

OLE 是一種架構於 Microsoft COM-based 介面的集合，OLE for Process Control(OPC)是由一些程序控制的公司和 Microsoft 合作建立的通信標準。這個標準允許在微軟作業系統下在 PC 用戶端之間交換即時的自

動化資料，對於硬體開發者，它意味著對所有 HMI/SCADA 建立一個驅動程式，而不是對每個套裝軟體建議一種驅動程式。建立統一的驅動程式節省了大量開發的時間和金錢。它也為硬體提供了更大的市場，因為更多的套裝軟體可以運用在硬體上，對於最終用戶，它意味著你可以得到互換性，因為 OPC 增加了驅動程式的適用性^[9]。也就是說，OPC 為一種應用 OLE 於製程控制的標準資料交換介面，提供製程控制軟硬體廠商遵循之共同標準，不同軟硬體間資料交換之標準格式，以利不同軟硬體之結合，OPC Server 則是透過 OPC 標準提供製程硬體資料之伺服器，伺服器本身可透過 I/O Polling Component 處理製程硬體資料。

8.虛擬私有網路 VPN (Virtual Private Network) ^[7]

(1)指在公眾網路架構上所建立的企業網路，且此企業網路擁有與私有網路相同的安全、管理及效能。VPN 乃是原有專線式企業私有廣域網路的替代方案，VPN 並不是改變原有廣域網路的一些特性，諸如多重協定的支援、高可靠性及高擴充性，而是使用更為符合成本效益的方式來達成這些特性。

(2)是在公共 Internet 上使用密道及加密方式建立一個私有且安全的網路。所使用的加密技術是標準的 IPSec (IP Security) 方式，IPSec 結合了加密 (Encryption)、認證 (Authentication)、密鑰管理 (Key Management)、數位檢定 (Digital Certification) 等安全標準，具有高度的保護能力^[8]。

(二)名詞定義^[1]：

- 1.節點 (Node)：執行 iFIX 軟體的單機電腦
 - 2.SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) Server：負責對硬體處理單元收集資料之節點 (node)。
 - 3.iClient：不執行 SCADA 功能的節點，也稱為 HMI (Human/Machine Interface)(人機介面)
 - 4.HMI Pack：同時具有 SCADA 及 iClient 的功能節點。
 - 5.獨立節點 (Stand Alone Node)：在網路中不與其他任何節點進行溝通的節點。
 - 6.本地節點 (Local Node)：使用中節點。
 - 7.遠端節點 (Remote Node)：在一個分散式系統中 (Distributed System)，除本地節點以外的所有節點。
 - 8.唯讀型節點 (Read-Only Node)：不允許修改顯示畫面或製程資料庫；不允許修改製程設定與確認警報。
 - 9.執行時期節點 (Run-Time Node)：不允許修改顯示畫面或製程資料庫；事先設定的檔案裝置在此類節點。
 - 10.發展節點 (Development Note)：不是設定為執行時期節點。
 - 11.通道 (Channel)：SCADA 節點與製程硬體之間地傳輸路徑，一台 SCADA 節點可有多個通道以收集製程硬體之資料。
 - 12.裝置 (Device)：個別的製程硬體 (PLC、DCS 等)。
 - 13.製程資料：感應器與控制項傳送至硬體裝置暫存器之資料，硬體裝置通常為程式邏輯控制器 (PLC-Programmable Logic Controller)、分散式控制系統 (DCS-Distributed Control System) 及單純的 I/O 硬體裝置
 - 14.I/O Driver (I/O 驅動程式)：在 iFIX (圖控軟體)與 PLC 之間的介面，會以輪詢記錄 (poll record) 的形式收集資料。
 - 15.I/O Control：用於監督及控制 I/O Driver。
 - 16.Driver Image Table (DIT)：為 I/O 驅動程式於 SCADA server 記憶體中儲存輪詢記錄的區域，更新的時間間隔稱之為輪詢間隔 (poll time)。
 - 17.SAC (掃描、警報與控制)：從 DIT 中擷取資料，並將資料轉移至製程資料庫 (PDB-Process DataBase)
 - 18.製程資料庫 (PDB-Process DataBase)：由標記 (Tags；也稱為 block) 所組成，標記為指令表示方法及指令單元。
 - 19.繪圖物件 (Graphic Object)：用來顯示製程資料庫中的數值。
 - 20.輪詢記錄的定義(Poll Record Definition)：定義一裝置中某資料區塊的特定參數，包括起始位址及資料類型。
 - 21.資料來源 (Data Sources)：提供了辨識資料庫資訊的標準方法。
 - 22.資料標記 (Database Tags)：標記可接收、檢查、操作及輸出製程上的數值，可分為主標記(Primary Tags)及次標記(Secondary Tags)兩種，主標記之特點為大多是從 DIT 接收資料、具有掃描時間及和 I/O 硬體有關；次標記之特點為通常透過 upstream 標記進行傳送接收、可對輸入資料執行特定功能、可對資料執行運算或儲存輸入資料及在流程圖中不得為第一標記。
- (三)資料來源 (Data Sources) 的表示語法為**
SERVER.NODE.TAG.FIELD
- 1.SERVER：OPC Data 伺服器名稱
 - 2.NODE：SCADA 製程資料庫所常駐之節點

名稱

3.TAG：在此製程資料庫中之標記名稱

4.FIELD：標記內所指定之參數欄位，共分為數值資料、文字資料及繪圖資料，數值資料以 F 為開頭的參數欄位（F 代表浮點數）；文字資料以 A 為開頭的參數欄位（A 代表 ASCII）；繪圖資料，繪圖資料以 T 為開頭的參數欄位（T 代表趨勢 Trend）

例如：Fix32.SEELUO.SEEP_M_FLOW1.F_CV 為西螺營運所之清水流量計瞬間流量，其中 Fix32 為 OPC Data 伺服器名稱；SEELUO 為西螺營運所之節點；SEEP_M_FLOW1 為清水流量計瞬間流量之 Tag 名稱；F_CV 表示此值代表浮點數之數值。

(四)iFIX 圖控之運作原理

- 1.以圖片（Picture）為基礎建構圖面完成底圖，將 PDB 資料以鍵結的方式與繪圖物件聯結，達到即時顯示的目的，另亦可藉由資料與資料的數學運算達到資料的統合應用。
- 2.iFIX 圖片以 GRF 為副檔名，並由物件（Objects）所組成，物件包括繪圖物件、Bitmap、Datalink、Button、Text...等。
- 3.圖控軟體最有吸引之處在於能動態顯示資料，要達成此效果就必須加入動畫（Animations），動畫會根據各種資料來源動態地變更物件的屬性，這些資料源包括 iFIX 資料庫 tag、圖片或物件之屬性值、OPC 伺服器、來自 I/O 位址的及時資料、全域變數(Global variable)、VBA 事件(VBA event)、事先定義的運算式（predefined expression）。動畫也是一種物件，當物件被

製成動畫時，一個動畫物件便會加到原始物件的屬性中，變成原始物件的屬性，使用者將看到該原始物件執行一項可見及功能性的動作。

- 4.圖控資料流程：分為 3 個步驟：(1)I/O Driver 向製程硬體（PLC 等）進行輪詢，將讀取硬體暫存器之資料，並將資料轉移至 DIT。(2)SAC 掃描 DIT 讀取資料並將資料轉移至 PDB。(3)iFIX 之 Intelltion WorkSpace 對 PDB 要求取得資料。亦可反向將資料寫入製程硬體（PLC、DCS 及單純的 I/O 硬體裝置等）以完成指派動作。
- 5.圖控資料反向流程：資料亦可藉由圖控軟體反寫至製程硬體中，其步驟為：(1)資料由圖控軟體之繪圖顯示傳送至 PDB，再由 PDB 傳送至 DIT。(2)I/O 驅動程式會從 DIT 取得資料，並寫入製程硬體。其 Distributed Architecture 如圖 2 所示。

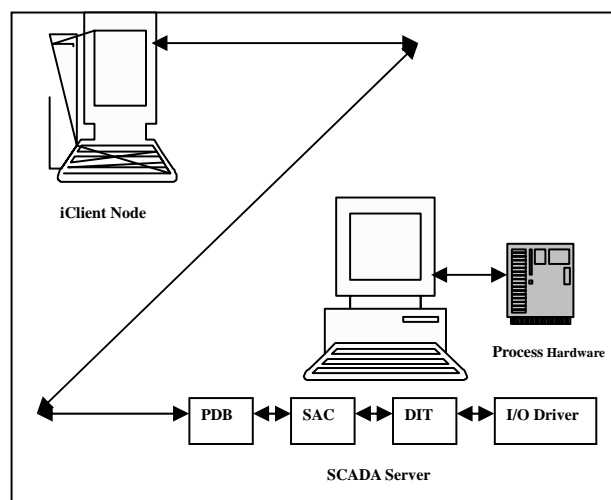


圖 2 圖控資料反向流程

(五)I/O 驅動程式運作原理(如圖 3)

提供不同之介面供 SAC、iFIX Data System OPC Client、Any OPC COM Client、Configuration File (Disk)、Any OLE Client、I/O

Driver Power Tool 及 VBA Scription 存取 PLC 硬體資料。

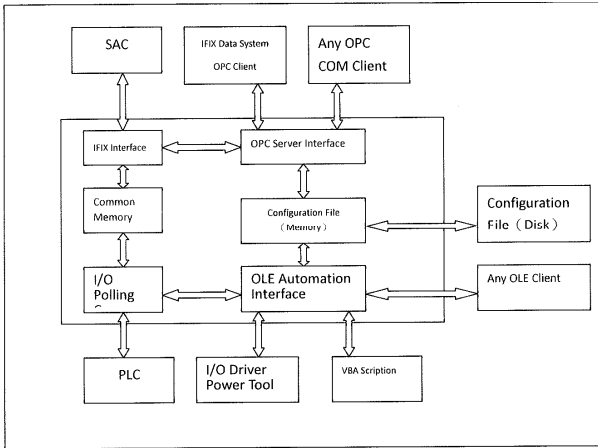


圖 3 I/O 驅動程式運作原理

(六)iHistorian Server 及 iHistorian Proficy Portal 運作原理

- 1.五區處 iHistorian Server 係向西螺所監控主機、區處雲林區及嘉義區監控主機擷取標籤資料並儲存於 Archives 檔之中。
- 2.首先，需設定西螺所監控主機、區處雲林區及嘉義區監控主機為 iHistorian 的 Collector，並將其資料透過網路傳送至 iHistorian Server。
- 3.iHistorian Server 將收集的資料分門別類，透過切割儲存於資料庫中適當的資料表中。
- 4.iHistorian Proficy Portal 連結至西螺所監控主機、區處雲林區及嘉義區監控主機擷取資料，並以網頁方式呈現。

三、研究工具及方法

(一)利用 Intellution iFIX v3.0 Demo 版實作台西營運所新興淨水場有關清水池水位、水壓、瞬間流量及餘氯的簡單圖控畫面部分是以 Intellution iFIX v3.0 Demo 版之

Dynamics WorkSpace 為工具，將 Dynamics WorkSpace 切換至 configure 模式，設計台西營運所新興淨水場有關清水池水位、水壓、瞬間流量及餘氯之顯示用圖控畫面，於圖片中使用 Bitmap、FIX2DText、FIX2DGroup、FIX2DRectangle、Datalink、Current Date 及 Current Time 物件，其中 FIX2DRectangle、Datalink、Current Date 及 Current Time 具有動畫 (Animations) 功能，以 FIX2DRectangle 連結配水池水位標籤動態顯示配水池水位；以 Datalink 分別連結水壓、瞬間流量及餘氯標籤動態顯示出水之水壓、瞬間流量及餘氯；以 Current Date 及 Current Time 連結目前日期及時間動態顯示日期及時間。

(二)利用 Microsoft ASP.NET 實現 iHistorian Proficy Portal 顯示功能是以 Microsoft .NET Framework 1.1 所提供之 ASP.NET 物件，篩選資料來源 (Data Sources) 數值，並設計網頁伺服器以顯示 iHistorian 收集之數值，用以突破 Policy 之限制，並用 Microsoft ASP.NET 所設計之程式於網頁上顯示本處西螺營運所、斗六營運所、虎尾營運所及台西營運所之清水流量計瞬間流量、餘氯、水壓、PH 值及清水池水位。

四、研究成果

(一)實作簡單圖控畫面以台西營運所新興淨水場配水至用戶管線之瞬間流量、水壓、餘氯、清水池水位之顯示資訊，如圖 4：

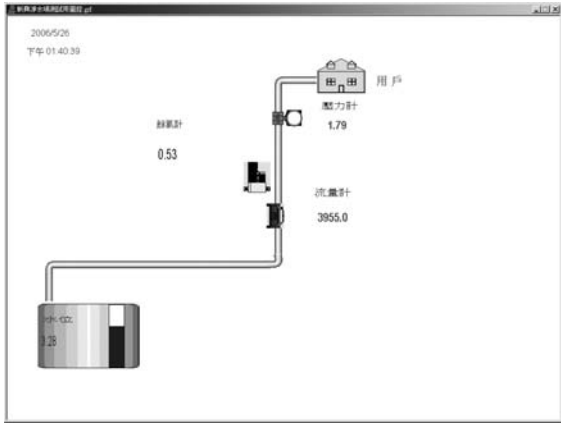


圖 4 配水至用戶管線基本水質、水量參數邊控畫面

原有之台西營運所新興淨水場配水至用戶管線顯示如圖 5。

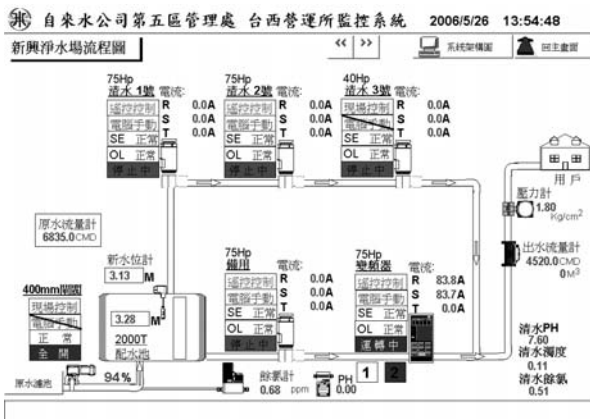


圖 5 台西營運所監控系統圖示

(二)以上兩者顯示之資料幾乎相同 (因擷取之時間稍有差異), 已初步完成將顯示資訊放置於不同之圖控圖片中。

(三)Microsoft ASP.NET 實作台西營運所四湖淨水場之清水流量計瞬間流量、餘氯、水壓、PH 值及清水池水位顯示數值如表 1。

(四)原有之五區處 iHistorian Proficy Portal 顯示台西營運所四湖淨水場之清水流量計瞬間流量、餘氯、水壓數值如圖 6。

以上兩者顯示之資料幾乎相同, 此乃因擷取之時間稍有差異造成在數值變動之情

況下取樣所得的數值稍有不同, 其中清水餘氯 iHistorian Proficy Portal 顯示值為 0 應是錯誤數值, 由公司之餘氯要求標準及監控系統之畫面 (如圖 7) 顯示餘氯 0.76mg/l 可得到佐證。

表 1 台西營運所四淨淨水場流量控值

第五區管理處台西營運所目前流量監控值

場所	標籤描述	標籤分類	標籤名稱	目前數值	時數
四湖淨水場	清水流量 (CMD)	瞬間流量	z5s1.SZHUO_OP_FLOW.F_CV	1451.854858398	2006/5/29 上午 08:56:26
四湖淨水場	清水流量 (M3)	累計流量	z5s1.SZHUO_OP_FL_TOTAL.F_CV	4469752	2006/5/29 上午 08:56:27
四湖淨水場	清水餘氯 (ppm)	餘氯值	z5s1.SZHUO_CLEAN_CLF.CV	0.757000029087	2006/5/29 上午 08:56:27
四湖淨水場	清水壓力 (kg/cm2)	水壓	z5s1.SZHUO_OP_P.F_CV	1.972499966621	2006/5/29 上午 08:56:27
四湖淨水場	清水濁度 (NTU)	濁度 (NTU)	z5s1.SZHUO_CLEAN_NTU.F_CV	0.181250005960	2006/5/29 上午 08:56:27
四湖淨水場	1000T 清水配水池水位	水位	z5s1.SZHUO_CLEAN_POOL_LTF.CV	4.235000133514	2006/5/29 上午 08:56:27



圖 6

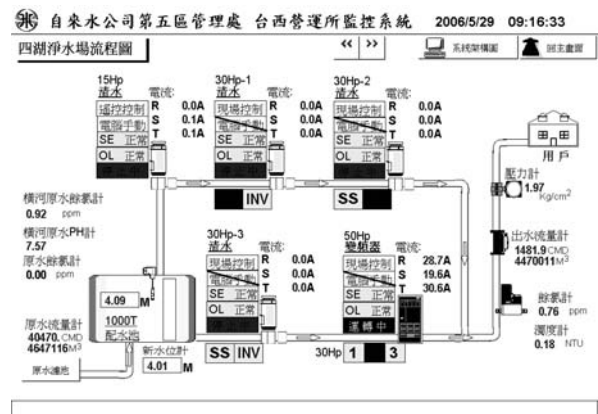


圖 7 台西營運所監控系統年 5 月 29 日圖示

五、結論

- (一)實作台西營運所新興淨水場簡單圖控畫面部分，重新設計之簡化圖控畫面已可獲取原有監控畫面之相同資料，為本處建立圖控基礎技術提供實作之驗證。
- (二)突破 iHistorian Proficy Portal 限制部分，重新設計之網頁伺服器已可提供 iHistorian Proficy Portal 所提供之訊息，僅擷取時間落後 60 秒，因此所顯示之訊息稍有差異，差異值為千分之四以下。未來將藉由重新設計之網頁伺服器逐步整合 iHistorian Proficy Portal 所收集的資訊，並且進一步突破 iHistorian Proficy Portal 之限制，顯示 iHistorian Proficy Portal 未提供之訊息（如四湖淨水場清水濁度、1000T 清水配水池水位…等），未來將透過 Microsoft ASP.NET 網頁伺服器於網頁上查詢 iHistorian server 收集之訊息，供相關人員參考。

參考文獻

1. iFIX 教育訓練手冊 V2.5。
2. 桂思強著 ASP.NET 資料庫開發聖經 學貫行銷股份有限公司出版。
3. 陳惠貞、陳俊榮著 ASP.NET 程式設計第二版 學貫行銷股份有限公司出版。
4. iH 使用手冊。
5. "WIZPLC", PC Soft International Ltd, Isara.
6. 南樺電機有限公司 <http://www.nahua.com.tw/software/indusoft/>
7. <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1206052413812>
8. <http://www.cc.nccu.edu.tw/network/vpn>
9. <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/0655D1CF7D8628C286256F960026141E>

作者簡介

張錫堅先生

現職：台灣自來水股份有限公司第十一區管理處工程師

專長：機電工程、水壓管理、供水管理

高架水塔結構設計之研討

文/曾浩雄

一、茵積式高架水塔

(一)茵積式水池

一般的蓄水池若其直徑較小(約在 5m 範圍內)，其池頂尚可採用平版式；直徑較大者之頂部或其底部無土壤予以支撐者，大多都採用圓拱式。以這種方式築成之蓄水池稱之為茵積(Intze)式水池。而高架水塔通常多是由茵積(Intze)式水池及支柱/牆所組成。至於水塔底部之支撐方式亦與水池直徑之大小有關：直徑較小者(約在 16m 內)，原則上可單獨採用支柱或支撐牆(如圖 1)；直徑較大者(16m 以上)，則須採用支柱與支撐牆組合而成之支撐體。

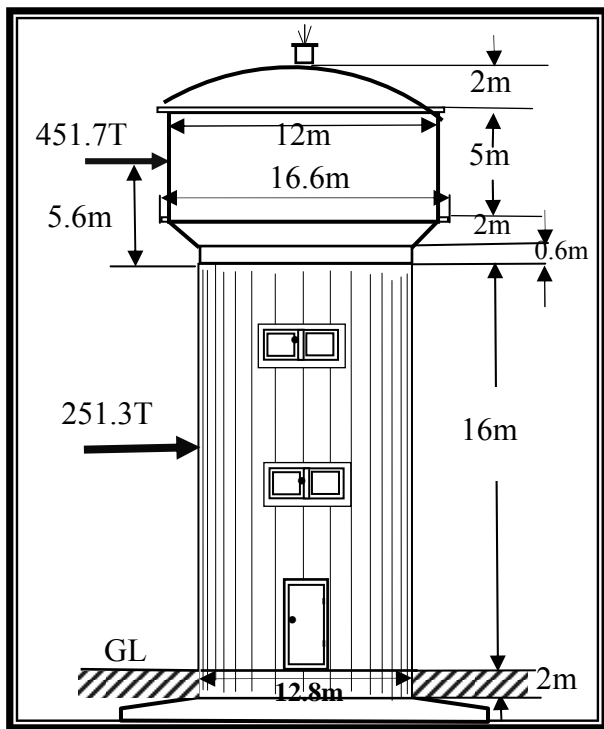


圖 1 高架水塔外觀及承受地震力示意圖

(二)茵積式水池應力分析之原則

依「REINFORCED CONCRETE STRUCTURES」^[1](以下簡稱為書 1)所述，茵積式水池各構件之應力分析，應分為兩階段：1.視所有構件均各自獨立，然後依薄殼分析法(Membrane Analysis)求各構件所發生之應力。2.依整體效應(Effect of Continuity)之觀念，亦即在每節點(Joint)之構件其水平變形(Deformation)與角度之變位(Displacement)應相等之原則下，再求其所發生之應力，兩階段所求得之應力和即為其最終應力。

二、材料應力

(一)混凝土

- 1.依照台水公司之規定：用於水工結構之混凝土，其抗壓強度 f_c' 至少為 245 kgf/cm^2 。在此強度下，其最外受壓層之容許抗壓應力 $f_c = 245 * 0.45 = 110 \text{ kgf/m}^2$ ；全面受荷重時之容許抗壓應力 $f_c = 245 * 0.25 = 61 \text{ kgf/m}^2$ ，容許抗張應力 $f_c = 245 * 0.1 = 24.5 \text{ kgf/m}^2$ ，有腰筋時容許抗剪應力 $\tau_{vc} = 22.5 \text{ kgf/m}^2$ ；無腰筋時 $\tau_{vc}' = 4.9 \text{ kgf/m}^2$ 。
- 2.用於非水工結構之混凝土，其抗壓強度至少為 210 kgf/cm^2 。最外受壓層容許壓應力 $f_c = 94.5 \text{ kgf/m}^2$ ，其他各項容許應力比照上述原則計算之。

(二)鋼筋

採用 SD28 鋼筋，其 $f_s'(f_y) = 2,800 \text{ kgf/m}^2$ ；容許抗張應力 f_s 及容許抗剪應力 $f_{st} = 1,400 \text{ kgf/m}^2$ ；容許抗環張應力 $f_t = 1,000 \text{ kgf/m}^2$ 。

(三)鋼筋混凝土應力係數

- $E_c = \omega^{1.5} \cdot 4270 \cdot \sqrt{fc'}$ ，一般採用 $15,000 \cdot \sqrt{fc'}$ 。 $n = E_s / E_c$ ， $k = 1 / (1 + f_s / n f_c)$ ， $j = 1 - k / 3$ ， $= f_c / 2 \cdot k \cdot j$ ， $a = f_s \cdot j / 100,000$ ----- (1)
- 當 $fc' = 245 \text{ kgf/cm}^2$ 時， $E_s = 2.1 \cdot 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ ， $E_c = 15,000 \cdot \sqrt{245} = 234,877.1 \text{ kgf/cm}^2$ ； $n = 2.1 \cdot 10^6 / 234,877.18 = 8.94$ 。 $k = 1 / [(1 + 1,400 / (8.94 \cdot 110))] = 0.413$ ， $j = 1 - 0.413 / 3 = 0.862$ ， $K = 110 / 2 \cdot 0.413 \cdot 0.862 = 19.58$ ， $a = 1,400 \cdot 10^{-5} \cdot 0.862 = 0.01207$ 。當抗壓強度採用 210 kgf/cm^2 時， $n = 9.661$ ， $k = 0.3947$ ， $j = 0.8684$ ， $K = 16.195$ ， $a = 0.01216$ 。

三、高架水塔設計範例

(一)水塔之基本資料

茲設計一座菌積式高架水塔(RC 造)，其水池之直(內)徑=16 m，頂拱拱高=2m，池高=5m(含其下部之椎形拱)，有效水深為 4.7 m，底拱之直(內)徑=12m，頂拱拱高=1.8m。水塔由直(內)徑為 12m 之圓筒形支撐牆(平均厚度為 35cm)支撐之，高 18m (不含牆上部之弧形環梁 B₃ 之高度，其中 2m 伸入地下)。菌積式水池由支撐牆支撐之高架水塔，其結構示意圖詳如圖 2 所示。

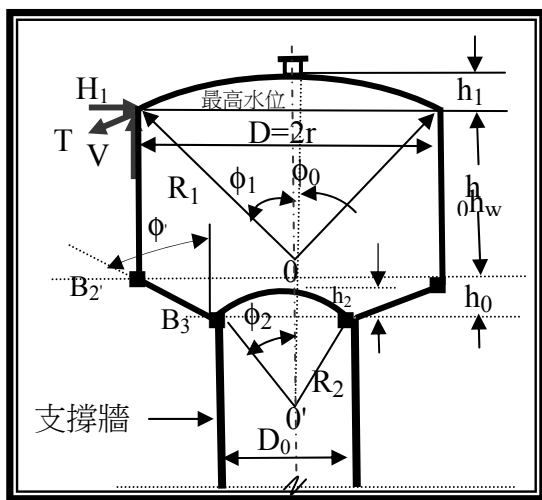


圖 1 菌積式高架水塔結構示意圖

(二)水池相關尺寸

- 拱之曲率半徑 $r^2 = (2R - h_a) \cdot h_a$ ----- (2)
頂拱： $8^2 = (2R_1 - 2) \cdot 2$ ， $R_1 = 17.0 \text{ m}$ ；底拱： $6^2 = (2R_2 - 1.8) \cdot 1.8$ ， $R_2 = 10.9 \text{ m}$ 。
- 水池有效(滿池)容量 $V = \pi \cdot [(D^2 - D_0^2) / 4] \cdot [(h - h_0 / 2) + (D_0^2 / 4 \cdot h - h_2^2 / 3 \cdot (3 \cdot R_2 - h_2))] - \dots$ ----- (3)
 $V = 3.14 \cdot [(16^2 - 12^2) / 4] \cdot (4.7 - 2 / 2) + 12^2 \cdot 4.7 / 4 - 1.9^2 / 3 \cdot (3 \cdot 10.9 - 1.9) \doteq 740 \text{ m}^3$ 。
- 頂拱之 $\phi_1 = \sin^{-1}(8 / 17) = 28.07^\circ$ ， $\cos 28.07^\circ = 0.88$ 。
- 若頂拱版中心無開孔， $\phi_0 = 0$ ， $\cos \phi_0 = 1$ ，其表面積 $A = 2\pi R^2 \cdot (1 - \cos \phi_1)$ ----- (4)
- 頂拱版中心開孔(1.0m ϕ)，其表面積為 A，則 $A = 2\pi R^2 \cdot (\cos \phi_0 - \cos \phi_1)$ ----- (5)
 $= 2 \cdot 3.14 \cdot 17^2 \cdot (\cos 1.68^\circ - \cos 28.07^\circ) \doteq 216 \text{ m}^2$ 。
- 頂拱之 $\phi_0 = \sin^{-1}(0.5 / 17) = 1.685^\circ$ ， $\cos 1.685^\circ = 0.999$ 。設頂拱之厚度 $t = 12 \text{ cm}$ 。頂拱自重 $= 0.12 \cdot 2,400 = 288 \text{ kg/m}^2$ 。頂拱靜載重 $= 0.288 \cdot 216 = 62.21 \text{ T}$ 。其頂部之活荷重以 150 kg/m^2 計，頂拱總活載重 $= 0.150 \cdot 216 = 32.4 \text{ T}$ 。頂拱單位靜及活載重 $\omega = 288 + 150 = 423 \text{ kg/m}^2$ 。

(三)水塔之重量

- 水池靜荷重：頂拱 62.21 + 上環梁 $9.1 (25 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm})$ + 池牆 $82.66 (25 \text{ cm} \cdot 2.7 \text{ m})$ + 中環梁 $9.18 (25 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm})$ + 椎形牆： $74.59 (25 \text{ cm} \cdot 2 \cdot \sqrt{2} \text{ m})$ + 下弧形環梁 $17.09 (30 \text{ cm} \cdot 60 \text{ cm})$ + 底拱 59.14 (厚 20cm)，合計 315.31 T 。
- 水池靜重及活荷重 $= 315.31 + 32.4 \doteq 347.71 \text{ T}$ 。水池靜荷重 + 滿水重 $= 315.31 + 1 \cdot 740 \doteq 1,055.31 \text{ T}$ 。水池靜及活荷重 + 滿水重 $= 32.4 + 1,055.31 = 1,087.71 \text{ T}$ 。
- 地面以上支撐牆之重 $= 2.4 \cdot 3.14 / 4 \cdot [(12.6^2 - 12^2) + (12.8^2 - 12^2)] / 2 \cdot (18 - 2) \doteq$

522T。

4. 支撐牆全重 $=2.4*3.14/4*[(12.6^2-12^2)+(12.8^2-12^2)]/2*18 \doteq 587T$ 。

四、短期作用力

(一)風力

1. 依我國內政部營建署於 100 年 6 月 21 日公佈之「建築技術規則 03 建築構造篇」有關風力之規定及「STRUCTURAL DESIGN & DRAWING」^[2](以下簡稱為書 2)所述：構造物承受風力速度 $V_z = V_b * k_1 * k_2 * k_3$ ----- (6)
 V_b 為風力速度，一般約為 55m/sec， k_1 為構造物之耐用年限(25 年者取 0.9)， k_2 為構造物所在地區(例如在高雄地區採用 1)， k_3 為構造物之重要性(自來水設施採用 1)。則 $V_z = 55 * 0.9 * 1 * 1 \doteq 50m/sec$ ，風力強度 $p_z = 0.06 * V_z^2 = 0.06 * 50^2 = 150 \text{ kg/m}^2 \doteq 0.15 \text{ T/m}^2$ ，圓形構造物之形狀係數 C 採用 0.7。
2. 頂拱、水池及弧形環梁等水塔上部結構體承受之風力 $= 0.15 * 0.7 * (16.1 * 2^2/3 + 16.5 * 5 + 0.6 * 12.6) = 11.71T$ ；支撐牆承受之風力 $= 0.15 * 0.7 * 12.7 * 16 = 21.34T$ 。水塔承受之總風力 $= 11.71 + 21.34 = 33.05T$ 。

(二)地震力

1. 依我國內政部營建署 100 年 1 月 19 日公佈之「建築物耐震設計規範及解說第二章」^[3]，最小設計總橫力 V，
 $V = I / (1.4 * \alpha_y) * (S_{aD} / F_u) * W$ ----- (7)
 式中 S_{aD} 為工址設計水平譜加速度係數 (coefficient of Spectral displacement)，I 為用途係數，與自來水直接有關之建築物屬於第一類建築物，其值取 1.5。W 為建築物靜載重(水池等容器，應計入水池內容物之重量)。 α_y 為起始降伏地震力放大倍數，鋼筋混凝土構造之地震力載重因子取 1.0

者， α_y 值取 1， F_u 為結構系統地震力折減係數。一般 S_{aD} / F_u 在 0.3~0.8 之間，在高雄地區地質條件較佳者採用 0.4，其最小總橫力 $V = 1.5 / (1.4 * 1.0) * 0.4 * W = 0.428 * W$ 。其所受之地震總橫力 $V = 0.428 * (1,152.1 + 587) \doteq 755.74 \gg 33.05T$ 。由於兩者同時發生之機率相當小，依「鋼筋混凝土建築結構實用計算法」^[4](以下簡稱為書 4)所述，此時可只考慮地震時所發生之總橫力。水塔承受地震力之情形同繪於圖 1。

五、各構件之設計

本範例係參照書 1 及「薄殼應力分析學」^[5](以下簡稱為書 5)所列之公式與書 1 所述之設計方法與步驟並參考書 2 之範例，逐步設計如下：

(一)頂拱之設計

1. 拱底經向推力(向下) $T_1 = \omega * R_1 / (1 + \cos\theta)$ --- (8)
 當 $\theta = \phi_1 = 28.07^\circ$ ， $T_{1max} = 0.438 * 17 / (1 + 0.88) = 3.96T/m$ ，其壓應力 $= 3.96 / 12 / 100 * 1000 = 3.3 \text{ kgf/cm}^2$ (非常小) $< 110 \text{ kgf/cm}^2$ ，OK。
6. 但拱體經向及環向仍須配置 0.3% 之溫度鋼筋， $A_s = 0.3\% * 100 * 12 / 2 = 1.8 \text{ cm}^2$ ，上下兩層各採用 10mm $\phi @ 15\text{cm}$ ，實際之 $A_s = 3.92 \text{ cm}^2 / m$ 。
7. 另因頂部球心環向之寬度 $= 0$ ，故其鋼筋量可由底部向上逐漸減少，直至環向寬度小於 15 cm 之處時，經向及環向鋼筋均改為 10 mm $\phi @ 12.5 \text{ cm}$ 十字交叉之鋼筋網。
8. 最大環向壓應力 $T_1 = \omega * R_1 / 2t_1$ ----- (9)
 $= 0.438 * 17 / (2 * 0.12) = 3.10T/m^2$ (非常小) $< 110 \text{ kg/cm}^2$ ，OK (註： $1.0T/m^2 = 0.1 \text{ kg/cm}^2$)。

(二)上環梁(B₁)之設計

1. 上環梁承受最大環向力 $H_1 = T_1 * \cos 28.07^\circ = 3.10 * 0.88 = 2.73T$ 。

- 上環梁之張力 $=H_1 * D/2=2.73*16/2=21.84T$ 。
 其所需之環向鋼筋量 $=21.84/1=21.84cm^2$ ，
 採用 6 支 22mm ϕ ，實際之 $A_{sh}=23.22cm^2$ ，
 另採用 10 mm ϕ 之鋼箍@20cm。
- 其相當之合成斷面積 $=A+(n-1)*A_{sh}$ -----(10)
 其容許抗張應力 $=24.5 \text{ kgf/cm}^2=21.84*1000$
 $/[(A+(8.94-1)*23.22)]=706.7cm^2$ 。採用 25
 $cm*30cm=750cm^2>706.7cm^2$ ，OK。
- 頂拱應力分析示意圖詳如圖2(參照書5繪
 製)。

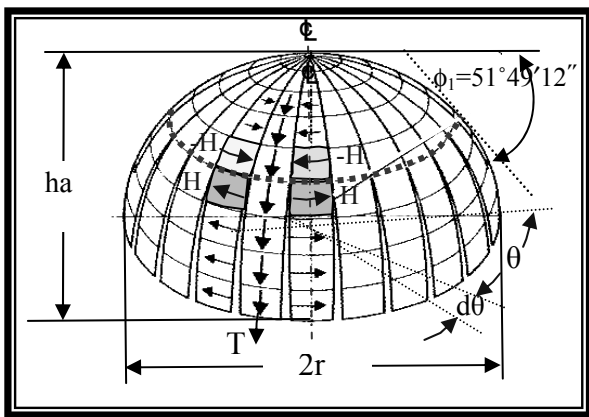


圖 2 頂拱應力分析示意圖

(三)圓筒式池牆之設計

- 依薄殼分析法，首先假設池牆頂部及底部
 均為自由端。其最大環向應力發生在其底
 部。最高水位距牆底 $H'=4.7m$ ，環向應力 $P=$
 $1*4.7*16/2=37.6T/m^2$ ，其所需之鋼筋量 $=$
 $37.6/1=37.6cm^2/m$ ，採用 22mm ϕ 兩排@
 20cm。實際之 $A_{sh}=3.871*100/20*2=38.71$
 cm^2/m 。
- 設牆厚度為 t_0 ，其相當之合成斷面積 $24.5=$
 $37.28*1,000/[(100*t_0+(8.94-1)*3.871]$ ， $t_0=$
 14.63 cm 。但池牆最小厚度 $t=3H+5=3*5$
 $+5=20cm$ ，故採用漸變斷面：底部30 cm；
 頂部20 cm。
- 池牆垂直方向所需配置之鋼筋量 A_s

$$=0.3-(t_0-10)/(45-10)*0.1\%-----(11)$$

$$=0.3-(25-10)/(45-10)*0.1\%=0.257\%$$

- $A_s=0.257\%*25*100=6.425cm^2$ ，內外側各
 需 $6.425/2=3.22cm^2$ ，採用 10 mm ϕ ，其間
 距 $=100*0.7133/3.22=22.15$ ，採用 22cm。外
 側垂直鋼筋須伸入頂拱以防止頂拱與池牆
 之間，因整體效應而產生之變形與變位。
- 由於池牆所受之水壓與其水深成正比，水
 位越淺其水壓也越小，因此上述經向鋼筋
 量可依水深減少之比率而減少。

(四)中環梁(B₂)之設計

- 中環梁上部單位長度之載重=頂拱重+上
 環梁+池牆重+中環梁自重(0.3m*0.6m)，
 $W=62.21/(3.14*16)+2.4*(0.25*0.3+0.25*3$
 $+0.3*0.6)*1=3.65T/m$ 。
- 中環梁及椎形拱之尺寸與其受力情形詳如
 圖3所示。

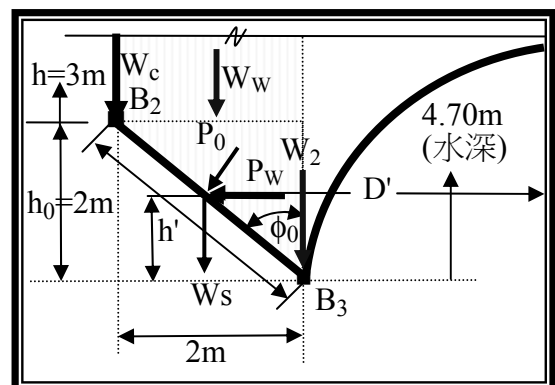


圖 3 椎形拱之尺寸及應力示意圖

- 中環梁連接池牆與椎形拱，故其上部之荷
 重會經由椎形拱之經向推力傳至中環梁
 (B₂)。其水平分力 $=3.65*\tan 45^\circ=3.65T/m$ 。
- 中環梁所受之水壓 $=1T/m^3*(4.7-2-0.15)m$
 $*0.3m=0.765 \text{ T/m}$ 。其總張力 $=3.65+0.765=$
 $4.42T/m$ ；環張力 $=4.42*16/2=35.36T$ 。所需
 鋼筋量 $A_s=35.36/1=35.36cm^2$ ，採用 9 支 22

mm ϕ ，實際 $A_s=34.84\text{cm}^2$ 。

5. 混凝土承受之張應力 $\sigma_{ct}=35.36*1000 / [(30*60+(8.94-1)*34.84)]=17.03\text{kg/cm}^2 < 24.5 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。

(五) 椎形拱之設計

1. 椎形拱上部之水重 $W=1*3.14/4*[(16^2-12^2)*(2.7+2/2)]=325.3\text{T}$ 。
2. 設椎形拱體之厚度 $t_2=30 \text{ cm}$ ，則其自重 $W_s=2.4*\pi*(D+D_0)/2*\ell*t_2$ ------(12)
 $W_s=2.4*3.14*(16+12)/2*2.83*0.3=89.51\text{T}$ 。
3. 椎形拱池牆所承受之垂直壓力 $W_2=(3.65*3.14*16+89.51+325.3)/(3.14*12)=16.74\text{T/m}$
4. 椎形拱所承受之經向推力 $T_0=W_2/\cos\phi_0=16.74/0.707=23.68\text{T/m}$ 。經向壓應力 $=23.68/(0.3*1.0)=7.89\text{kg/cm}^2$ (非常小) $< 110\text{kg/cm}^2$ ，OK。
5. 設自椎形拱底起任何一點之高度為 h' ，其直徑 $D'=12+(16-12)/2*h'=12+2h'$ ，該點之水壓 $p=(4.7-h')*1=(4.7-h') \text{ T/m}^2$ 。椎形拱體之自重 $q=2.4*0.3=0.72 \text{ T/m}^2$ 。h'點之環向張力 $P_0'=(p/\cos\phi_0+q\tan\phi_0)*D'/2$ ------(13)
 $=(4.7-h')*\sqrt{2}+0.72*1)*(6+h')$ 。即 $P_0'=44.2-1.12h'-1.414h'^2$ 。當 $h'=0$ ， $P_0'=44.2$ ； $h'=1$ ， $P_0'=41.66\text{T}$ 。d $P_0'/dh'=0$ 時， P_0' 為最大，即 $-1.12-2*1.414h'=0$ ，求得 $h'=-0.4\text{m}$ ，不合理，因此採用 $h=0$ ， $P_0'_{\max}=44.2\text{T}$ 。
6. 椎形拱所需之環向鋼筋量 $A_s=44.2/1.0=44.2\text{cm}^2$ 。內外兩側採用 $22 \text{ mm } \phi @17 \text{ cm}$ 。其上部可比照池牆之方式，將鋼筋量減為 1/2，但上下兩端須分別伸入上下梁，以防止各節點因整體效應而發生變形或移位。
7. 椎形拱體實際 $A_s=3.871*100/17*2=45.54 \text{ cm}^2$ 。混凝土所承受之張應力 $=44.2*1000 / [(30*100)+(8.94-1)*45.54]=13.15 \text{ kg/cm}^2 <$

24.5kg/cm^2 ，OK。

8. 椎形拱環向須配置鋼筋 $A_s=0.3-(40-10)/(45-10)*0.1\% \doteq 0.3\%$ 。 $A_s=0.3\%*40*100=12 \text{ cm}^2$ 。採用 $13 \text{ mm } \phi @10\text{cm}$ 。

(六) 底拱之設計

1. 底拱之 $\phi_2=\sin^{-1}(6/10.9)=33.4^\circ$ ， $\cos 33.4^\circ=0.835$ ， $\sin 33.4^\circ=0.55$ 。
 2. 設拱厚 $=20\text{cm}$ ，則其自重 $=\gamma_c*2\pi*R_2*h_2*t_2=2.4*2*3.14*10.9*1.8*0.2=59.14\text{T}$ 。
 3. 底拱上部水重 $W_0=\pi*[D_0^2/4*h-h_2^2/3*(3*D_0-h_2)]*1$ ------(14)
 $=3.14*[12^2/4*4.7-1.9^2/3*(3*12-1.9)]*1=414.9\text{T}$ 。底拱上部之總重 $W_T=59.14+414.9=474.04\text{T}$ 。
 4. 經向推力 $T_2=474.04/(3.14*12*\cos 33.4^\circ)=15.07\text{T}$ 。經向壓應力 $=15.07/(0.2*1)=7.54 \text{ kg/cm}^2$ (非常小) $< 110\text{kg/cm}^2$ ，OK。
 5. 單位面積之荷重 $p_2=474.04/(2*3.14*10.9*1.9)=3.64\text{T/m}^2$ 。在底拱中心之最大環壓力 $s_2=p_2*R_2/2t_2$ ------(15)
 $=3.64*10.9/(2*0.3)=6.61 \text{ kg/cm}^2$ (非常小) $< 110\text{kg/cm}^2$ ，OK。
 6. 底拱經向及環向仍須配置鋼筋 $A_s=0.3-(30-10)/(45-10)*0.1\% \doteq 0.3\%$ 。 $A_s=0.3\%*20*100=6\text{cm}^2$ 。採用 $10 \text{ mm } \phi$ 上下兩排 $@20\text{cm}$ 。頂部球心附近比照頂拱排筋方式，經向及環向鋼筋均改為 $10\text{mm } \phi @15\text{cm}$ 交叉之鋼筋網。
- (七) 拱底梁(B₃)之設計**
1. 由椎形拱經向推力 $T_0=24.31\text{T/m}$ ；另由底拱經向推力 $T_2'=15.07*\cos 33.4^\circ=12.58\text{T/m}$ 。
 2. 拱底梁承受之淨推力 $=24.31-12.58=11.73 \text{ T/m}$ 。環壓力 $=11.73*12/2=70.4\text{T}$ 。
 3. 設拱底梁為 $0.6\text{m}*1.0\text{m}$ ，其環壓應力 $=70.4$

$/(0.6*1.0)=11.73\text{kg}/\text{cm}^2$ (仍不大) $<110\text{kg}/\text{cm}^2$, OK。

(八)支撐牆之設計

1.設頂拱之重心距其底線=e,

$$e=R[1-4\sin^3\alpha/(6\alpha-3\sin 2\alpha)]\text{-----}(16)$$

$$e=17*[1-4*\sin 28.7^\circ^3/(6*28.07/180*3.14-3*\sin(2*28.07^\circ))]=1.19\text{m}。$$

2.底拱之重心距其底線可比照上式求得,水池之重心可由 $\Sigma(W*h)/\Sigma W$ 求得距拱底=5.6m(計算式恕不詳述)。

3.一般支撐牆下端都會開一道 1.0 m 寬之進出門,以利維修人員進出。故會因而影響支撐牆底之斷面積,進而減少其 I 值及 Z 值。其精算法須先計算支撐牆開口後之重心(必向非開口之另一端偏移),再計算其 Z 值,但過程略嫌煩瑣。為簡便計,依「建築結構設計法」^[6]所述,可採用略算法,先算出支撐牆開口後之斷面積,再反求其相當之牆厚(扣除進出門後牆之厚度)。

$$t=(\sqrt{4A/3.14+D^2}-D)/2\text{-----}(17)$$

式中之 D 為支撐牆之內徑, A 為支撐牆扣除開口後之斷面積,並以求得之 t 值計算 Z 值。

4.支撐牆之內徑 $D=12\text{m}$, 假設支撐牆頂部之厚度為 30cm; 增至基礎處為 40cm, 此處之斷面積 $A'=3.14*(12.8^2-12^2)/4-1*0.40=15.17$, 設 t 為其相當之牆厚, $t=[(4*15.17/3.14+12^2)^{0.5}-12]/2=0.39\text{cm}$ 。

5.地震力對基礎面之力矩= $0.428*[(1,055.31*(5.6+16)+522*(16/2)]=13,247.76\text{T}\cdot\text{m}$ 。

6.求空心圓筒形斷面柱之配筋量,一般以圖解法最為方便,只要求得 $P/(D*t)=(1055.31+522)/(12*0.4)=34.9\text{kg}/\text{cm}^2$ 及 $M/(D^2*t)=13,247.76/(12^2*0.4)=23\text{kg}/\text{cm}^2$, 由書 4

之圖 9-19, 可查得其所需之鋼筋與斷面比。但該圖係以短期應力 SS39, $C=210$, $n=15$, $f_t=2400\text{kg}/\text{cm}^2$; $f_c=140\text{kg}/\text{cm}^2$, $t=0.075D$)所繪製,與本範例所使用之鋼筋混凝土強度不符,故逕行採用其上 $\text{限}=0.4\%$

。 $A_s=0.4\%*3.14*1200*40=602.88\text{cm}^2$, 採用 16 mm ϕ 內外兩排 @16cm, 實際 $A_s=1,286*2*3.14*1,240/16=625.9\text{cm}^2$ 。

7.混凝土相當面積= $3.14/4*(12.80^2-12^2)+(8.94-1)*0.06259=16.07\text{cm}^2$; 其相當之

$$I=3.14/64*d^4+(n-1)*A_{se}*d^2/8\text{-----}(18)$$

$I=3.14/64*(12.80^4-12.00^4)+(8.94-1)*0.06259*12.40^2/8=309.2\text{m}^4$ 。支撐牆之一次壓應力= $1,087.71/15.17=7.17\text{kg}/\text{cm}^2<61\text{kg}/\text{cm}^2$, OK。二次壓應力= $13,247.76/309.2*12.8/2=27.42<24.5*1.33=32.58$

kg/cm^2 , OK。但為安全計,依土木工程師學會,土木 401-59 公式(8.14)^[7]: $s_c'/f_c+s_{cm}/f_{cs} \geq 1$, 其核算結果= $(7.17/61+27.42/24.5)/(1+1/3)=0.93<1$, OK。

8.一般高架水塔採用支撐牆者,為便於工作人員登上池頂,其內部都會分成數層(高度約 4m)設置平台及輕便式樓梯(鍍鋅鐵或不銹鋼)。依照力學原理支撐牆頂部之一次及二次應力均比其底部小。因此支撐牆之厚度應依其內部設施之重量分層計算(原則上以其平台之頂部為一層)。

(八)筏式基礎之設計

1.水池靜及活載重 347.71T, 支撐牆重 =522T, 水塔重 =347.71+587=934.71T(不計水重)。則支撐牆底部對基礎所產生之壓應力= $934.71/15.17=6.16\text{kg}/\text{cm}^2$, 因地震力所產生之垂直壓應力= $(7.17+27.42)/1.33=26.01>6.51\text{kg}/\text{cm}^2$ 。故基礎之設計需考慮因

地震力所產生之短期荷重。

- 暫設筏式基礎之自重=水塔總重(1,087.71+587)之15% \div 215T，假設工址之土壤承载力15 T/m²，則基礎所需之面積=(1,087.71+215)/15=86.85m²。支撐牆之周長=3.14*12.4=38.94m，其所需之寬度=86.85/38.94 \div 2.23m。因此其內徑為12.40-2.23=10.17m；外徑為12.4+2.23=14.63m，其面積=(14.63²-10.17²)*3.14/4 \div 86.85m²。

六、工址土壤之被動土壓力

(一)被動土壓力

- 為增加水塔對基礎底外端之抵抗傾倒力矩，可計入工址土壤之被動土壓力。假設工址為砂與粘土混合土壤，密度 $\gamma=1.96\text{T/m}^3$ ， $C=0$ ， $\phi=30^\circ$ 依「基礎工程題解」^[8]，所述之 Rankine 側向土壓力理論：地下物承受被動土壓力係數 $K_p=\tan^2(45^\circ+30^\circ/2)$ ----(19)
- 地下構物所承受之被動土壓力 $P=\gamma*K_p*h^2/2$ ------(20)
 $K_p=\tan^2(45^\circ+30^\circ/2)=1.732$ ， $P=\gamma*K_p*h^2/2*L$
 $=1.96*1.732*(2+0.4)^2/2*[14.63-2*(14.63-12.7)]=105.3\text{ T}$ 。

(二)被動土壓力產生之抵抗力矩

- 基礎之 $A=3.14/64*(14.63^2-10.17^2) \div 86.85\text{m}^2$ 。I值=3.14/64*(14.63⁴-10.17⁴) \div 1,722.79m⁴。基礎上方之土壤重量==3.14*1.96*(14.63²-10.17²)/4*2-3.14/4*0.5²*2*8)=164.02T。
- 支撐牆因被動土壓及土壤重量所產生之抵抗力矩 $M=155.20*(2+0.5)/3+164.02*14.63/2=2,618.72\text{T-m}$ 。
- 地震橫力對基礎頂之力矩，(1)滿池時=0.428*[(1,055.31*(5.6+18)+587*18/2)] \div

12,920.6T-m。(2)空滿池時=0.428*[(315.31*(5.6+18)+587*18/2)] \div 5,446.01T-m
 4.基礎外緣土壤所受之壓應力，(1)滿池時=(1,055.31+587)/86.85 \pm (12,902.6-1,234.82)/1,722.79/14.63*2=19.84或17.98T/m²；(2)空池時=(315.31+587)/86.85 \pm (5,446.01-1,234.82)/1722.79/14.63*2=10.72或10.06滿池時最大壓應力=19.84<15*1.33 =19.95 T/m²，OK。

七、核算安全性

(一)阻止滑動之安全係數

- 假設混凝土在土壤上之摩擦係數為 μ ，水平震度為 k ，水塔總重量為 W ，則阻止滑動之安全係數 $S.F.=\mu*W/k*W$ 。依水土保持技術規範(擋土牆安定條件)第 261 條：混凝土與基礎土壤之摩擦係數如表 1。

表 1 混凝土與基礎土壤之摩擦係數表

土壤性質	摩擦係數
堅固岩盤	0.70
卵及粗砂	0.55 至 0.60
乾砂	0.45 至 0.55
被圍濕細砂	0.3 至 0.4
砂與粘土混合物	0.4 至 0.5
粘土	0.3

- 由於工址土壤性質為砂與粘土混合物，故依表 1 所示，其混凝土與基礎土壤之摩擦係數採用 0.5(實際數據應依工址土壤試驗結果而定)。
- 基礎重=2.4*0.50*214.93 \div 215T。(1)滿水時 $S.F.=0.5*(1,087.71+587+215)/[0.428*(587+1,087.71+258)]=1.168>1.0$ ，OK。(2)空池時 $SF=0.5*(465.81+587+258)/$

$$[0.43 * (587 + 465.81 + 258)] = 1.168 > 1.0, \text{OK}$$

(二) 阻止傾倒安全係數

1. 水池因地震力對基礎底端 o 點產生之力矩：
 (1) 滿池時 $M_o = 0.428 * [(1,055.31 * (5.6 + 18 + 0.4/2) + 587 * (18/2 + 0.4) + 104.2 * 0.4)] = 13,129.27 \text{T-m}$ ；
 (2) 空池時之 $M_o' = 0.428 * [(315.31 * (5.6 + 18 + 0.4/2) + 587 * (18/2 + 2) + 104.2 * 0.4)] = 5,993.31 \text{T-m}$ 。

2. 整座水塔對基礎底外端之抵抗傾倒力矩，
 (1) 滿水時， $M_r = (1,055.31 + 587 + 104.2) * 14.63/2 + 1,234.82 = 14,010.5 \text{T-m}$ ；
 (2) 空池時， $M_r' = (315.31 + 587 + 104.2) * 14.63/2 + 1,234.82 = 8,780.06 \text{T-m}$ 。

3. 整座水塔對基礎底外端阻止傾倒之安全係數：
 (1) 水池滿水時 $S.F. = 14,010.5 / 13,129 = 1.06 < 1.25$ ，不 OK。
 (2) 水塔空池時 $S.F. = 8,597.44 / 5,993.31 = 1.43 > 1.25$ ，OK。

4. 阻止滑動之安全係數 $1.168 > 1.0$ ，OK；但水池滿水時抵抗傾倒安全係數 $S.F. = 14,010.5 / 13,129 = 1.06 < 1.25$ ，不 OK。故須重新計算水池滿水時抵抗傾倒安全係數。

5. 支撐牆因被動土壓及土壤重量所產生之抵抗力矩 $M = 83.69 * (2 + 0.4)/3 + 162.31 * 17.14/2 = 1455.63 \text{T-m}$ 。

6. 基礎外緣土壤所受之壓應力：滿池時 = $(1,055.31 + 587) / 172.88 \pm (12920.6 - 1455.63) / 3748.67 / 17.14 * 2 = 7.32$ 或 6.75T/m^2 ；
 (2) 空池時 = $(315.31 + 587) / 172.88 \pm (5,446.01 - 1455.63) / 4065.50 / 17.14 * 2 = 5.33$ 或 5.10T/m^2 ；
 滿池時最大壓應力(土壤承载力) = $7.32 < 15 * 1.33 = 19.95 \text{T/m}^2$ ，OK。

7. 筏式基礎平面詳如圖4所示。

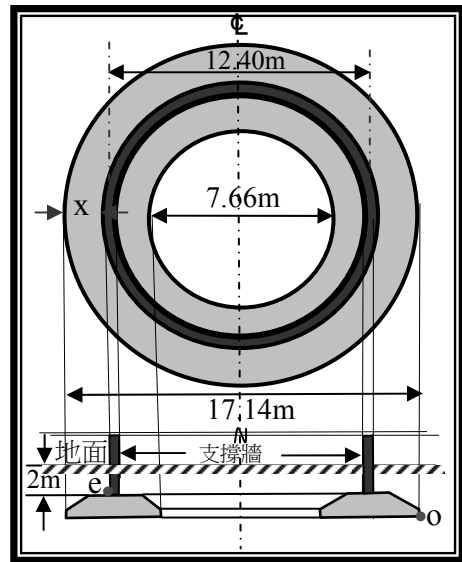


圖 4 筏式基礎平面示意圖

八、重新計算安全係數

(一) 擴大基礎面積

- 將基礎之外徑增為 17.14m；內徑減為 $10.17 - (17.14 - 14.63) = 7.66 \text{m}$ 。
- 基礎面積為 $3.14 * (17.14^2 - 7.66^2) / 4 = 172.88 \text{m}^2$ 。I 值 = $3.14 / 64 * (17.14^4 - 7.66^4) = 4065.50 \text{m}^4$ 。
- 基礎上方之土壤重量增為 $= 1.96 * 3.14 / 4 * (17.14^2 - 12.7^2) * 2 = 162.31 \text{T}$ 。
- $P = [1.96 * 1.73 * (2 + 0.4)^2 / 2 * (17.14 - 2 * (17.14 - 12.7))] = 80.76 \text{T}$ 。

(二) 抵抗傾倒安全係數

- 整座水塔對基礎底外端之抵抗傾倒力矩，
 (1) 滿水時， $M_r = (1,055.31 + 587 + 104.2) * 17.14/2 + 1455.63 = 16,423.22 \text{T-m}$ ；
 (2) 空池時， $M_r' = (315.31 + 587 + 104.2) * 17.14/2 + 1455.63 = 10,081.42 \text{T-m}$ 。
- 阻止傾倒之安全係數：
 (1) 水池滿水時 $S.F. = 16,423.22 / 13,129.27 = 1.251 < 1.25$ ，OK。
 (2) 水塔空池時 $S.F. = 10,081.42 / 5,993.31 = 1.68 > 1.25$ ，OK。

(三)剪斷力之核算

- 1.水池滿水時，支撐牆承受之剪應力 $=0.428*(1,055.31+587)/15.17=4.63\text{kg/cm} < 22.5\text{kg/cm}^2$ ，OK。
- 2.空池時 $=0.428*(315.31+587)/15.17=2.55\text{kg/cm}^2 < 22.5\text{kg/cm}^2$ ，OK。

九、核算基礎厚度及配筋

- 1.基礎下土壤之反力 $= (1,087.71+587)/172.88 = 9.68\text{T/m}^2 < 15\text{T/m}^2$ ，OK。
- 2.基礎突出支撐牆外緣之長度 $x = [(17.14-7.66) - 0.4*2]/4 = 2.17\text{m}$ ，其剪應力 $= 9.68*1.0 * 2.17*(0.4*1.0) = 0.84\text{kg/cm}^2 < 22.5\text{kg/cm}^2$ ，OK²
- 3.對e點之力矩 $= 9.68*2.17^2/2 = 22.79\text{T-m}$ ，
 $d = \sqrt{22.79*1000/19.58} = 34.12\text{m}$ ，厚度採用 40cm。
 $A_s = 22.79/0.01207/(40-5) = 53.95\text{cm}^2$ ，弦向下層採用 29mm $\phi @ 11\text{cm}$ 。
 上層採用溫度鋼筋 $= 0.2\%*100*50 = 10\text{cm}^2$ ，採用 13 mm ϕ 間距 $= 100*1.267/10 = 12.67\text{cm}$ ，取 12 cm。環向上下層各採用溫度鋼筋 $= 0.2\%*100*50/2 = 5\text{cm}^2$ ，採用 13 mm ϕ 間距 $= 100*1.267/5 = 25.34\text{cm}$ ，取 25cm。
- 5.基礎外緣之力矩與剪力均等於 0，故其厚度可減為 30cm，溫度鋼筋之間距可增為 20 cm。

十、結論與建議

(一)拱底之應力

- 1.拱所受之經向及環向推力與其曲率半徑及上部荷重有關，曲率半徑越大其底部兩端之夾角 $(2\phi_1)$ 越小，經向推力 T_1 也越小；但環向推力 (H_1) 則越大。至於其大小須按公式 $T_1 = \omega*R_1/(1+\cos\theta)$ 計算，不可由拱之總重量直接乘上 $\cos(90-\phi_1)$ 或 $\sin(90-\phi_1)$ 求

其垂直或水平分力。

- 2.拱所受之經向及環向壓應力均約在混凝土最外受壓層容許抗壓應力 110kgf/cm^2 之內，拱底梁之環壓應力也只有 110kgf/cm^2 之 10%左右，因此頂拱、椎形拱或底拱以及拱底梁之厚度均可酌予減小，但須注意不得造成拱底梁之環張應力超出其容許範圍外。

(二)拱之夾角

由書 5 所列半球形拱之環向應力公式 $S_h = 1/(1+\cos\phi_1) - \cos\phi_1 = 0$ ------(21)
 ，當 $\phi_1 = 0$ 時則 $\cos^2\phi_1 - \cos\phi_1 - 1 = 0$ 。解得 $\cos\phi_1 = 0.618$ ， $\phi_1 = 51^\circ 49' 47'' \approx 52^\circ$ ，圖 2 中之虛線為應力中立線， ϕ_1 大於 52° 以上時，角度較大之部分(中立線以下)拱體會承受環向張力；小於 52° 則拱體只承受環向壓力。亦即在均佈荷重下半球狀拱頂經緯線之受力均為壓力，且經線頂部較為穩定；但底部較易挫曲，此乃拱頂受力之特性。由圖 2 可知 $\cos\phi_1 = (R-h_1)/R$ ，亦即 $0.618 = 1-h_1/R$ ，因此建議設計時 h_1/R 之比值不要大於 0.382 R，俾使拱面承受之應力全為壓應力(可節省鋼筋之使用量)。至於底拱之 ϕ_2 在經濟觀點上，宜設在 50° 至 55° 之間。

(三)椎形拱之環張力

由上述五之(五)所列之公式(13)可知：椎形拱環張力之大小與拱體厚度及水池有效水深(h)成正比。其發生最大環張力之處(h'點)一般都在其底端之附近。本文所舉之範例，若有效水深 h 大於 5.5 m，h'點才會大於 0。雖然越上端其所需之鋼筋越少，但無論 h'點發生在何處，因為椎體之長度不大(只約 2m 左右)，故其鋼筋原則上不予減少，且其上下兩端均須伸入上下環梁，以免上下節點

產生變形或變移位。

(四)基礎埋入地下之深度

- 1.基礎埋入地下之深度會增加基礎下方土壤之承載力，因此埋入越深對土壤之負擔越大。但對阻止滑動及抵抗傾倒力矩上，其所發生之被動土壓則有正面之功效。因此埋入地下之深度，宜就上述各種情況及工址之土壤性質(物理條件)加以考量。
- 2.當然增加整座水塔之傾倒力矩最方便的方法是增加基礎寬度(可加大其力臂但須兩側同時加大，以免其上部重量之重心偏離基礎中心，致基礎發生偏心力矩)，但若限於用地，無法擴大基礎寬度，只好於基礎底下加築防傾楔(伸入地下)，靠防傾楔增加抵抗傾倒力矩，甚至在基礎下打入基樁，藉由其摩擦力、樁底反力及樁壁所產生之被動土壓力增加抵抗傾倒力矩。

(五)基礎之內外徑

依臺北市自來水事業處之工程設施標準規定：計算地震力時，材料之容許應力得增加三分之一；基礎之容許承載力得增加二分之一。則上述滿池時之最大壓應力可提高至容許承載力 $=15*(1+1/2)=22.5T/m^2$ 。在此情況下，上述之基礎之外徑可自17.92m縮為17.20m；內徑自6.88增為6.80m)。基礎面積自 $214.93m^2$ 減為 $198.57m^2$ (減少 $16.36m^2$)，土壤承受之最大承載力 $=22.47T/m^2 < 22.5T/m^2$ 。

(六)基礎下方加築止滑楔/樁

- 1.阻止滑動安全係數 $S.F.=\mu*W/k*W=\mu/k$ 。可見阻止滑動安全係數與水塔之總重量無關，但當地震時 μ/k 須大於或等於 1。當工址之 $\mu < k$ 時， μ/k 必然 <1 。此時基礎下方須加築止滑楔/樁，藉由其發生之被動土壓力，以增加阻止滑動之水平力。

參考文獻

- 1.REINFORCED CONCRETE STRUCTURES
：B.C. PUNMIA，ASHOK K. JAIN & ARUN
K. JAIN，LAXMI 出版社 2003 年 8 月，
 - 2.STRUCTURAL DESIGN & DRAWING：
N. Krishna Raju，2004 April。
 - 3.建築物耐震設計規範及解說：營建署全球資訊
網 (<http://www.cpami.gov.tw/Chinese/filesys/file/chinese/publication/law/law2/0990810250-2-1.pdf>)，第二章。
 - 4.鋼筋混凝土建築結構實用計算法：鄭茂川編
著，1968 年 9 月，台隆書局出版。
 - 5.薄殼應力分析學；Wilhelm Flügge 原著，宏耀
棠譯著，1973 年 3 月，復漢出版社出版。
 - 6.建築結構設計法：鄭茂川，1968 年 7 月，台隆
書局出版，第 234 頁。
 - 7.鋼筋混凝土設計手冊：中國土木水利工程學
會，混凝土工程研究會報告(四)，P50。
 - 8.基礎工程題解：施國欽編著，2006 年 9 月，文
笙書局出版，第 1-4 頁至 1-36 頁。
- 附註：其他支撐方式(支撐牆或支撐柱結合支撐
牆、各接點之整體效應及地震之影響等，
容俟日後再續。

作者簡介

曾浩雄先生

曾任：台水公司第七區管理處經理及南區工程處處長
現職：尚潔環境工程公司技師
專長：自來水工程規劃、設計及施工

自來水供水水質生物穩定性簡易評估方法

文/薛志宏、張勝輝、王珊莉、張玉玲、張美鳳、陳富鈴

摘要

利用 Servias BDOC 測定方法及批次培養結合腺核苷三磷酸(ATP)測定之細菌再生潛勢評估方法，對臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）淨水程序及管網水質進行評估，發現混凝沉澱單元可去除大部份 BDOC，淨水場清水及管網供水水質生物穩定性 (Biostability) 極佳，但離淨水場較遠的管網水經長時間培養發生細菌復原現象，且施工排水、盲管滯留及配水池蓄水，確實造成生物穩定性之負面影響。本研究所採用之評估方法，具有簡易、快速、一般水質檢驗室人員均可操作等優點，可用以作為自來水從業人員例行評估管網供水微生物性水質劣化之可能性，確保民眾飲用水安全。

關鍵詞：細菌再生潛勢 (Bacteria Regrowth Potential, BRP)、系列批次培養、腺核苷三磷酸、生物穩定性 (Biostability)

一、前言

經淨水場處理符合飲用水水質標準之自來水，若含有高濃度之有機碳營養源，或由於管網系統操作及維護不當，外部污染源進入管網系統中，遇輸送過程滯留(水齡過高)現象，易產生水質劣化現象，甚至於管壁產生生物膜及發生微生物再生 (Regrowth) 現象，造成水中殘餘消毒劑量消耗、大腸桿菌群滋生及水色水臭等問題，致民眾飲用到水質不良的自來水。

飲用水水質標準雖訂定細菌性標準加以規範，且自來水事業通常會在管網代表點

採樣檢驗進行水質品管，但檢驗數據僅為最終的水質結果判定，若能定期對淨水處理微生物可分解營養源之去除及供水的細菌再生潛勢加以測試評估，可瞭解在特定管網條件下，水質本身對可能產生的細菌再生現象及管壁生物膜生成之影響，事先加以防範及調整。

細菌再生潛勢評估，通常需由具有特殊微生物檢驗分析專業技術的人員進行實驗，且相當耗費時間及人力，無法快速反應即時狀況，若能建立一個簡單、快速、一般檢驗室人員均可操作之評估方式，供自來水從業人員使用，可強化管網系統供水生物穩定性的維持，降低供水水質劣化的可能性，確保民眾飲用水安全。

本研究透過實驗瞭解現有傳統淨水程序及單元，對生物可分解有機碳(BDOC)的去除效率，再以一建立之簡易評估方法，對北水處各淨水場清水、供水管網代表性水樣、用戶間接用水及包括管末消防栓排水、施工排水、配水池底層水等極端狀況水樣進行測試，有助於從微生物觀點，瞭解水質生物穩定性現況及各項管網操作因素與水中消毒劑對其影響。

二、文獻探討

自來水中若存在過多的有機物質，會提供細菌生長的能量及碳源，導致細菌滋生，微生物滋生主要發生在管壁表面或沉積物¹，當有機物於管壁表面累積，因淨水及消

毒程序而受傷的細菌附著於可掩避處(如粗糙管壁)後開始逐漸繁殖,最後發展成具多醣細胞間質(Polysaccharide Matrix)之黏滑狀生物膜(Biofilm),生物膜中除存在伺機病原菌(Opportunistic Pathogens)外,一些原發性病原菌(Primary Pathogens)如大腸桿菌也有可能因受其保護而殘存,使消毒劑失效。當供水管線因滯流等水力條件產生生物膜,又因水中含有高濃度有機營養源,提供生物膜中微生物作為食物,可使微生物代謝繁殖產生再生(Regrowth)現象,發生包括異營菌(Heterotrophic Plate Count,HPC)或大腸桿菌群增高、水色、水臭及釋出無脊椎動物(Invertebrates)等嫌惡生物(Nuisance Organisms)等水質劣化問題。

微生物再生導因於其利用水中生物可分解營養源的作用,因此評估方法,分為測定水中微生物可利用營養源及測定既存生物量(Biomass)兩大類,前者以測定水中溶解性有機碳(DOC)營養源為主,主要參數有生物可同化性有機碳(Assimilable Organic Carbon, AOC)及生物可分解有機碳(Biodegradable Organic Carbon, BDOC),D.van der Kooij(1992)研究荷蘭 20 個淨水場,發現 AOC 濃度 $<10 \mu\text{gC/L}$ 可維持 HPC 於 100cfu/ml 以下。Volk(2000)等人研究發現高溫($>15^\circ\text{C}$)、高有機物濃度(AOC $>100 \mu\text{gC/L}$)及管線死端自由餘氯 $<0.5 \text{mg/L}$,大腸菌再生發生之機率增加;後者為測定水中細胞量(Biomass),使用方法有異營菌板計數法(HPC)、總直接計數法(Total Direct Count)、腺核苷三磷酸(ATP),其它尚有使用分子生物聚合酶鏈反應法(PCR)等。

測定水中 AOC 及 BDOC 需透過特殊菌種 P17 及 NOX 培養 28 天,計算消耗的溶解性有機碳,總直接計數法則將水樣過濾染色以顯微鏡直接計數,均需相當的微生物專業分析技術並耗費時日,所得結果又可能發生誤判;異營菌板計數法耗時且僅能培養出特定培養基特定培養溫度下之部份細菌,ATP 則可直接測定水中總活菌,測定 1 水樣僅約需 5 分鐘,具有快速、靈敏及直接反應之功能。

文獻中有許多透過培養瞭解細菌生長趨勢之評估方式,可免除因使用特定菌種培養、水中具有抑制細菌生長成份或細菌生長受限特定成份^[9],致誤判其發生可能性。

在進行微生物再生潛勢評估時,需要以一簡易一般人均可操作之方法測定水中存在總活菌量,由前人之研究經驗觀之,ATP 與測定真實存在水中活菌之結果相關性極佳,但與國際上各國水質標準所採用之異營菌平板計數 HPC 測定值之相關性,則呈現因個案而異之狀況,可能原因除因 HPC 方法所採用的培養基、培養溫度、培養時間等有所不同,且 HPC 並非能完全培養出水中存在所有的活菌外,亦可能與不同水源中微生物分佈狀況不同有關。

美國環保署彙整相關研究文獻資料指出,飲用水中總有機碳包括氨基酸、腐植酸、黃酸、聚合醣類、蛋白質及羧酸等有機化合物,可分成生物可分解有機碳(BDOC)及非生物可分解有機碳(Refractory DOC, RDOC)2 大類。AOC 屬 BDOC 之 1 小部份。相較於 AOC,非 AOC 部份 BDOC 由較複雜及具高分子量之化合物組成。大部份有機碳

為植物死亡及衰減自然形成，存在地面水中，受季節、水源保護狀況等影響而變化。Servais Pierre(1989)等人研究以原水中原生菌(Autochthonous)進行植種，於 20°C 培養 28 天，分別於第 1 天及第 28 天量測 DOC 值，DOC 之減少量即為 BDOC 量，實驗發現此方法具有簡單、線性及精密度佳等優點，最低偵測濃度可達 0.2 mg/L，可適用於污染較低之原水、淨水單元水及管網清水 BDOC 檢測用。

淨水程序去除總有機碳以降低消毒副產物生成之研究極多，但降低消毒副產物前驅物不見得等同於降低微生物再生營養源，美國 EPA 綜合相關研究發現，傳統淨水程序之混凝作用可去除 BDOC，去除率會隨最適混凝操作及混凝劑之選擇而異，BDOC 的去除與 RDOC 與 BDOC 的比例、BDOC 的分子量及鍵結腐植物質的百分比比例有關。而過濾可藉由過濾介質之微生物消耗作用去除 AOC，以細砂及無煙煤為濾料之濾床可降低鍵結營養源，但溶解營養源則否。氧化劑(氯或臭氧)可裂解大分子量之 RDOC 成微生物可分解的小分子量化合物，使 BDOC 及 AOC 增加。

三、程序與方法

採取北水處長興及直潭兩淨水場之原水、沉澱水、單一快濾池之過濾水及清水等單元水樣，進行植種培養及 BDOC 測定，以瞭解 BDOC 於傳統淨水程序各單元之變化及去除率。另採取各種實際水樣，進行批次培養，以瞭解可能之微生物生長潛勢。

(一)淨水程序細菌營養源去除實驗

1.實驗器材

棕色 250 ml 具螺旋瓶蓋鐵弗龍墊片玻璃培養

樣品瓶，先以清潔劑清洗後，以純水潤洗 3 次，再以 550°C 鍛燒 2 小時，以去除有機碳。棕色 100ml 具螺旋瓶蓋鐵弗龍墊片玻璃植種原水樣品瓶，先以清潔劑清洗後，以純水潤洗 3 次，103~105°C 烘乾 1 小時。

2.樣品採取

以培養樣品瓶分別於平常原水濁度及颱風暴雨高濁度原水期，採取兩淨水場之各單元水樣，另以原水植種樣品瓶採取植種用原水水樣。

3.實驗程序

依照 Servais(1989 年)的 BDOC 決定方法，各單元水樣先以 0.2 μ m 濾膜過濾滅菌，再添加硫代硫酸鈉去除自由餘氯後，以經 2 μ m 濾紙過濾後(以去除大型固體粒子及原生動物於長期培養之干擾)之原水植種 2 ml，均勻混合後先以 TOC 分析儀測定 DOC(DOC_i)及以 Biotrace Uni-lite XCEL 冷光計測定細胞內 ATP，置入 20±1°C 恆溫培養箱培養，每 7 天測定 DOC 及細胞內 ATP，第 28 天測定之 DOC 為 DOC_f，DOC_i-DOC_f 即為 BDOC。實驗程序如圖 1 所示。

(二)細菌再生潛勢(Bacteria Regrowth Potential, BRP)實驗

1.實驗器材

棕色 300 ml 培養樣品瓶及棕色 100ml 植種原水樣品瓶，清洗處理方式，同(一)1.所述。

2.樣品採集與處理

採取淨水場出水及該場於供水管網中、後段地點及用戶水塔水樣；以瞭解自淨水場出水至管網中微生物再生潛勢變化，另採取消防栓排水前後、管網施工排水前段與排水終止及配水池底層等水樣，以瞭解管網



圖 1 淨水單元細菌有機碳營養源去除實驗程序

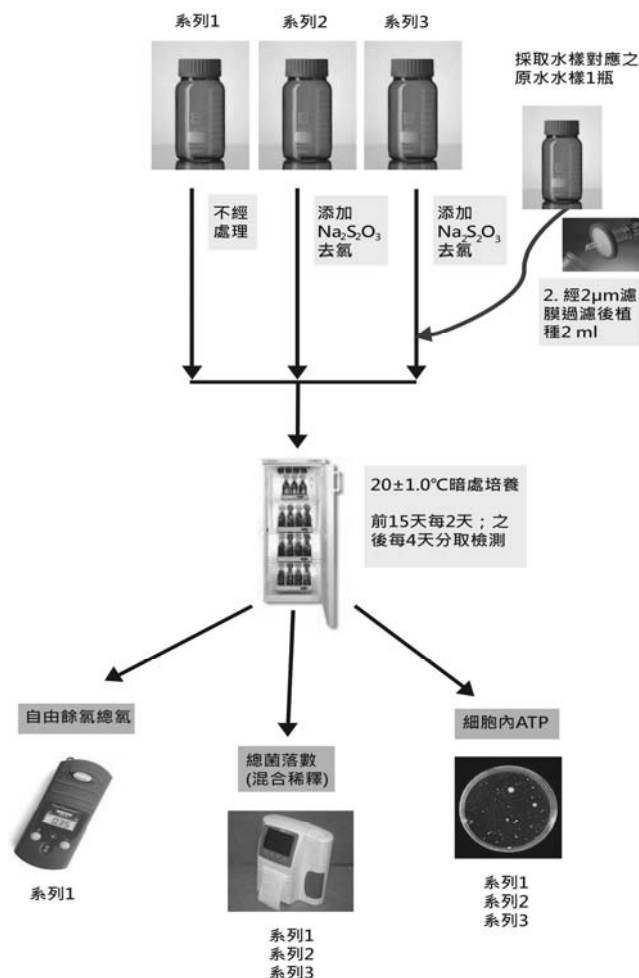


圖 2 細菌再生潛勢實驗程序

極端狀況潛在之微生物影響。採取來源相對應之淨水場原水，以作為植種之用。

每一地點同時採 3 個相同水樣，1 號(系列 1)水樣不去氯；2 號(系列 2)水樣添加去氯試劑 150 µL 硫代硫酸鈉去氯；3 號(系列 3)水樣去氯後，以經 2 µm 濾紙過濾後之原水植種 2 ml，均勻混合。3 水樣均先測定總菌落數及 Cellular ATP，1 號水樣測定餘氯及總氯，並均放置 20±1°C 恆溫培養箱培養，前 15 天每隔 2 天測定前述所有項目，15 天後每隔 4 天測定 1 次，至 47 天為止。實驗程序如圖 2 所示。

3. 微生物及化學分析

總菌落數使用我國環保署公告之 NIEA 204.54B 混合稀釋法，Cellular ATP 以 BioThema Microbial ATP KIT HS 先降解細胞外 ATP，再以萃取劑萃取出細胞內 ATP，最後加反應劑並以 Biotrace Uni-lite XCEL 冷光計測定螢光，可測得細胞內 ATP，以 RLU 及 pmol 表示。

自由餘氯及結合餘氯檢測使用我國環保署公告之 NIEA 408.51A 「水中餘氯檢測方法-分光光度計法」。

四、結果與討論

(一) 淨水處理與水質現況

淨水場採用前氯、多元氯化鋁混凝、沉澱、快濾及後氯消毒等傳統淨水程序，清水濁度控制於約 0.1 NTU 以下，清水餘氯控制 0.4~0.6 mg/L；原水及清水水質如表 1。

(二)淨水處理對供水生物穩定性之影響

北水處淨水場於平常低原水濁度及高濁度狀況下各淨水單元 BDOC 及去除率變化如圖 3 及圖 4 所示。

於平常低濁度原水狀況下，長興及直潭兩傳統淨水處理淨水場，原水總有機碳分別為 1.4 及 1.1mg/L，BDOC 為 0.84 及 0.70 mg/L，占原水 TOC 比率為 61.95%及 63.29%，位於上游之直潭原水明顯較下游之青潭原水所含的微生物可利用溶解性有機碳為低，生物穩定性較佳；二場混凝沉澱單元均可去除部份 BDOC，混凝沉澱去除率長興場 49.6%、直潭場 71.1%，直潭場混沉去除率明顯較佳，除因原水特性略有不同外，沉澱效能直潭場優於長興場(直潭場沉澱池滯留時間 120 分鐘；長興場 85 分鐘，長興池深 3m，表面負荷率 $SOR=2.11m/h$ ；直潭場池深 4.5m, $SOR=2.69m/h$)亦為主因；長興場快濾單元無煙煤及石英砂構成之雙層濾料表面生

物膜作用具去除 BDOC 效果，直潭單層濾料則可能因反洗方式、濾床未臻成熟或生物膜效應不明顯，反而釋出 DOC；二場均採前氯，惟長興場較直潭場維持至沉澱單元較高自由餘氯(0.15mg/L；0.03 mg/L)，淨水程序一路氧化，最後補充後氯增加細菌 AOC 營養源之效果，較直潭場輕微，惟二者因後加氯產生生物穩定性之影響均低。整體 BDOC 去除率直潭 82.7%優於長興 76.2%。

高原水濁度(長興 660NTU;直潭 930NTU)狀況，同平常低濁度原水狀況，原水 BDOC 因暴雨大量雨水逕流稀釋而略降(平時長興 0.84 mg/L，直潭 0.70 mg/L；高濁度長興 0.59 mg/L，直潭 0.61 mg/L)，但上游直潭場原水之分子量分佈較廣，混凝沉澱單元配合高分子助凝劑之添加，兩場均仍有極佳的生物可分解有機碳(BDOC)去除率(平時長興 49.6%，直潭 71.1%；高濁度長興 49.24%，直潭 98.37%)，直潭場又優於長興場，但快濾單元去除率均不佳，長興有些許去除率且明顯較平時降低，直潭場則甚至反而大量釋出 BDOC，清水加氯則有明顯去除效果。出水水質水中 BDOC 濃度兩場均為 ND。

表 1 淨水場原水及清水平均水質

項目	單位	直潭場		長興場	
		原水	清水	原水	清水
濁度	NTU	26	0.05	45	0.02
自由餘氯	mg/L	-	0.60	-	0.60
pH 值	-	7.4	7.1	7.4	7.2
總菌落數	cfu/ml	1.6×10^3	<1	2.3×10^3	1
大腸桿菌群	cfu/100ml	4.7×10^3	<1	6.5×10^3	<1
氨氮	mg/L	0.02	ND	0.02	ND
總有機碳	mg/L	0.4	0.3	0.6	0.3

程序單元水樣除進行 BDOC 培養測定外，同時進行三鹵甲烷生成潛勢測定，2 淨水場表現不盡相同，對微生物可分解有機碳 BDOC 及三鹵甲烷前驅物之去除亦有所不同，大致而言，混凝沉澱單元約有 50%~80% 之去除率，直潭場對 BDOC 之去除率極優於長興場 BDOC 之去除率；而長興場 THMFPP 之去除率則優於直潭場；快濾單元兩場在 BDOC 及 THMFPP 之去除率均不佳，且有增長之現象，清水後加氯兩場對 BDOC 均有極佳去除率；整體 THMFPP 之去除率直潭場與長興場約略相同。

(三)系列批次培養試驗結果

系列批次培養實驗的目的在於瞭解個

別水樣在控制的培養條件下，對管網細菌再生現象之貢獻，例如水中細菌可分解營養源若濃度過高、水溫適宜，原於淨水及消毒程序被去活化、受傷或蟄伏(dormancy)的細菌即可能復原(recover)，若遇管內環境得以遮避，即可能繁殖而發生細菌再生(regrowth)現象。系列 1 水樣實驗希望瞭解管網水中存在殘餘消毒劑量對細菌再生之抑制效果；系列 2 水樣實驗希望瞭解水樣去氯後細菌是否有可能在培養環境中利用水中既有營養源進行修復及復原；系列 3 水樣實驗則希望瞭解加入原生菌及些許營養源後細菌之生長速率及程度。

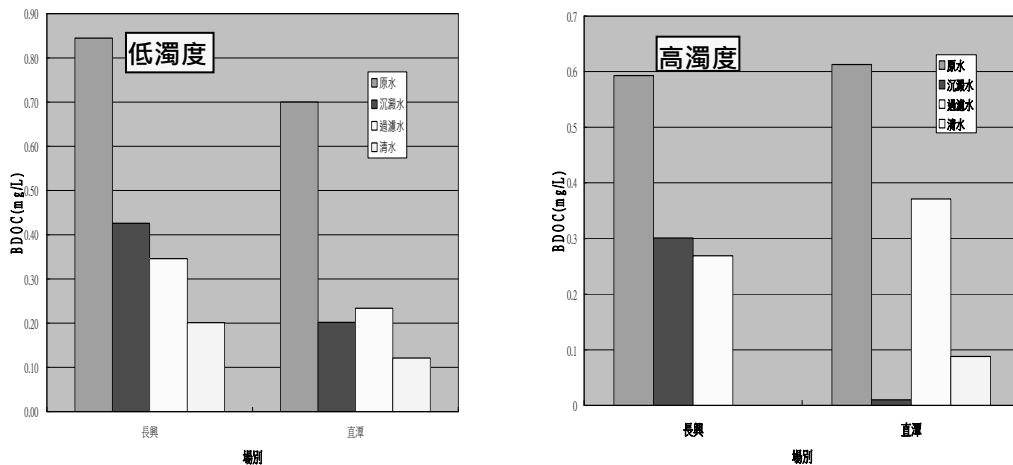


圖 3 淨水場不同原水濁度程序單元 BDOC 變化

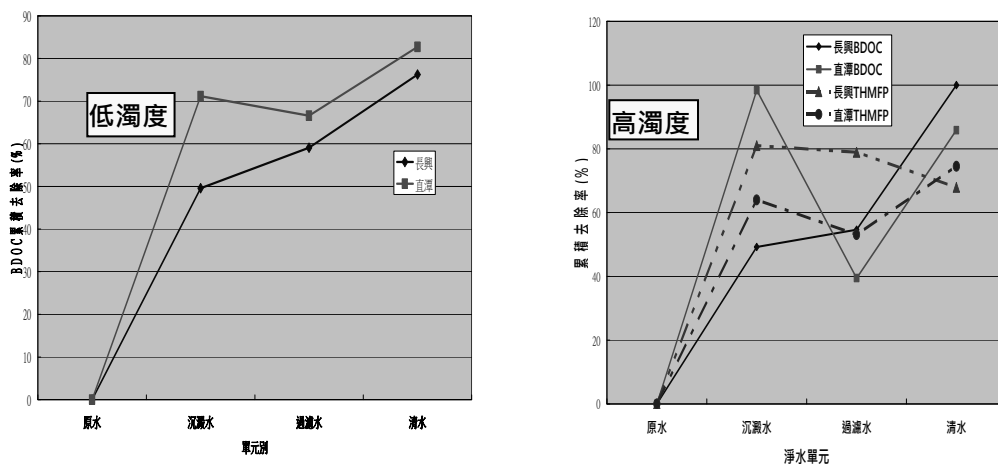


圖 4 不同淨水場不同原水濁度各單元 BDOC 累積去除率

各水樣典型實驗結果如圖 5，系列 1 水樣因有自由餘氯存在，於餘氯存在期間及餘氯衰減至 ND 後約 2 週，ATP 無增加現象，HPC 測值均為 <1 ；系列 2 水樣則於培養約 3 週起出現 ATP 增加現象，惟 HPC 測值均仍為 <1 ；系列 3 水樣則於約 1 週起出現 ATP 增加現象，惟 HPC 測值於去氯植種後已出現個位數菌落，約於 1 週時由約 $10^1/\text{mL}$ 攀增至 $10^5/\text{mL}$ ，於約 3 週時開始衰減至約 $10^{3.5}/\text{mL}$ ，然後維持穩定。此結果發現 ATP 與 HPC 之測值並不吻合，可能原因為對於經加氯消毒及淨水處理去除營養源後之低營養源管網清水，會使得浮游水中細菌呈現 Cervantes P.(1997 年) 所稱之 VBNC(Viable but non-culturable)狀態所致，造成 HPC 方法之可培養性(Culturability) 極低。系列 3 水樣則因植種加入含有原水原生菌及營養源之植種液，使 VBNC 態細菌修復及再生，恢復其可培養性；ATP 測定則可真正顯示水中之活菌量。

(四)ATP 與 HPC 之相關性

將系列實驗中所有具 HPC 測值之結果與 ATP 測值取自然對數後進行迴歸分析，結果相關係數 r 值為 0.854(圖 6)，相關性極高，顯示 ATP 可取代 HPC 方法作為快速測定水中活菌的工具，用以評估管網水細菌再生潛勢，彌補培養時間長及受培養基等條件可培養性及其他抑制培養因素影響等缺點。

(五)管網條件對生物穩定性之影響

分別採取淨水場清水及所屬供水管網中、後段水及用戶水塔水，進行細菌再生潛勢培養試驗，系列 1 結果結果如圖 7，長興場清水及管網中段清水於存在自由餘氯狀

況及餘氯衰減後約 3 週(培養時間終止)期間 ATP 均無增加現象，但管網後段清水，則於餘氯衰減至約 ND 狀況，ATP 開始增加，再經約 3 週後，ATP 量開始衰減。此現象顯示，長興場清水中之微生物營養源極低，水質生物穩定性佳，不會發生微生物經淨水處理加氯去活化後再生現象，管網中段水質亦同，但至管網後段，水質生物穩定性略變差，自由餘氯量不足極易滋生微生物，後再因營養源不足而下降。另供水區用戶水塔水餘氯量較低，但在仍有餘氯量存在狀況，ATP 不會增加，一旦餘氯消失，ATP 開始逐漸增加，且最大量約 0.006 pmol ，約為後段管網清水 ATP 最大值的 2 倍，顯示淨水場清水經由管網至用戶的水池水塔，會逐漸增加水中的細菌營養源，若餘氯消失，環境適當，即可能發生細菌再生現象，如傳統觀念一樣，控制水中餘氯量是確保民眾用水安全的一項重要條件。

直潭場清水自由餘氯消滅較長興慢，且淨水場清水、管網中段及後段水不會隨自由餘氯遞減而發生細菌繁殖現象，水質生物穩定性較長興場佳(實驗數據本文未列出)。

若以相同水樣去氯後培養(系列 2)後，發現長興約 2.5 至 3 週後即開始滋生細菌(圖 8)；直潭約 3 至 4 週起開始發生細菌繁殖現象，此可能係因消毒去活化之細菌利用既有營養源復原再生所致，此亦可看出直潭供水區的水質生物穩定性優於長興。

系列 3 以原水植種後之狀況如圖 9，可以發現在培養約 1 週起，細菌量開始爬升，約 2 至 3 週為最高點，此時含總菌含量約 $10^5/\text{mL}$ (總菌落數)，之後開始下降或持續上

升，與純水為對照組比較，顯示長興淨水場出水與純水水質生物穩定性狀況大致相同，但管網中段及後段生物穩定性略降，後段較中段為差；直潭場淨水場出水及管網水質則與純水相當(與圖 7 結果相呼應)。

(六)管網極端條件對供水生物穩定性之影響

採取管線汰換工程施工(口徑 200mm)後

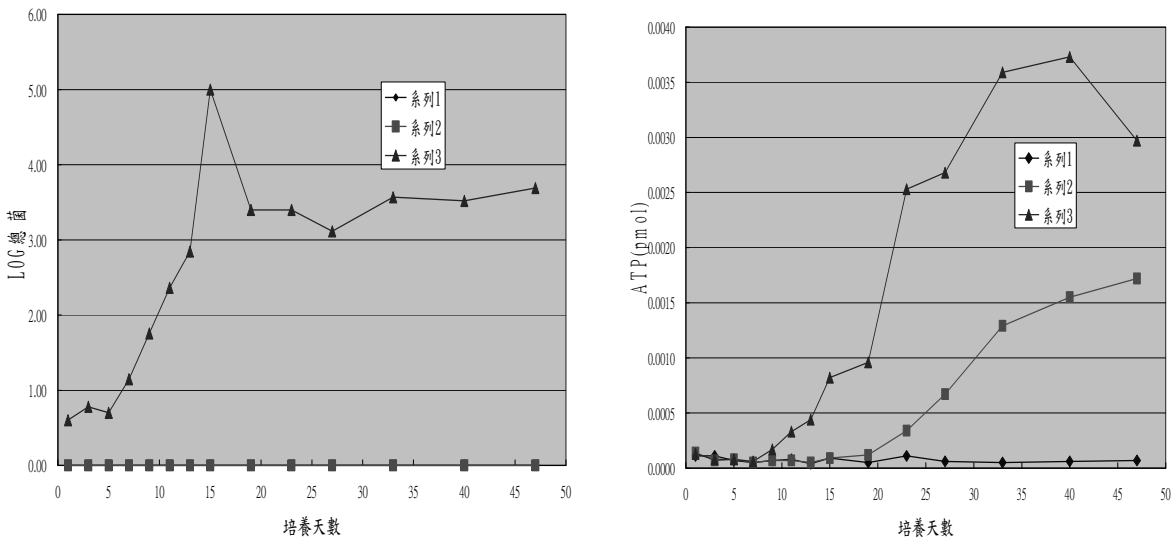


圖 5 長興清水系列培養總菌落數及 ATP 變化

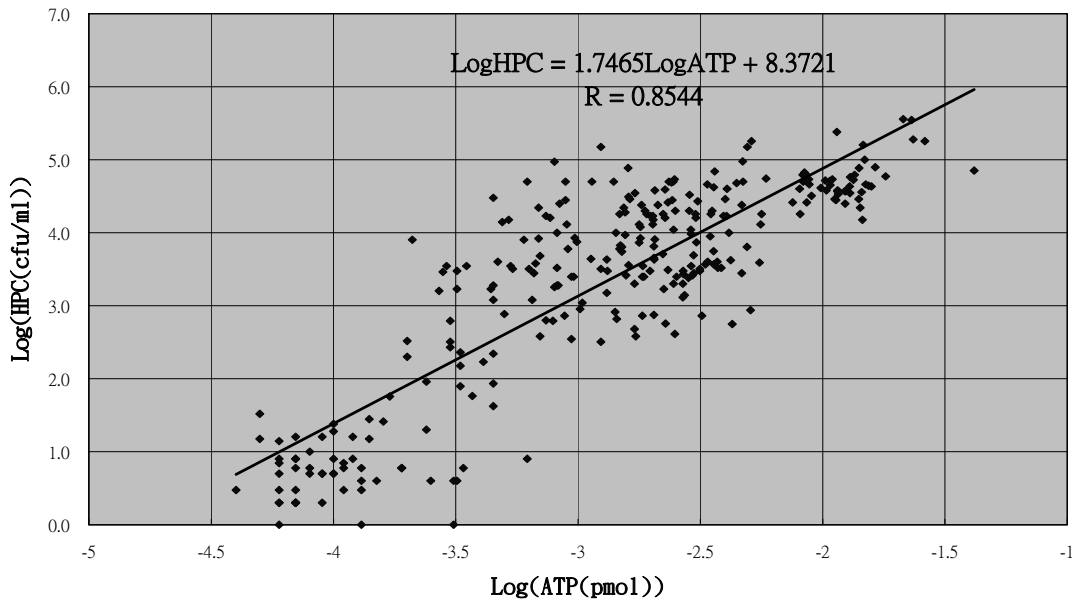


圖 6 新店溪水系清水 ATP 與 HPC 之相關性

排水前段及排水至目視清澈後水樣、管末消防栓排水前及排水後水樣(口徑:150mm)與配水池清洗前底層水水樣進行試驗，各水樣基本水質及管網設備例行維護狀況如表 2。

管線施工完工後初排水外觀灰黑，濁度高達 950 NTU，經批次培養後結果如圖 10，可發現自培養初始日起，ATP 即開始爬升，

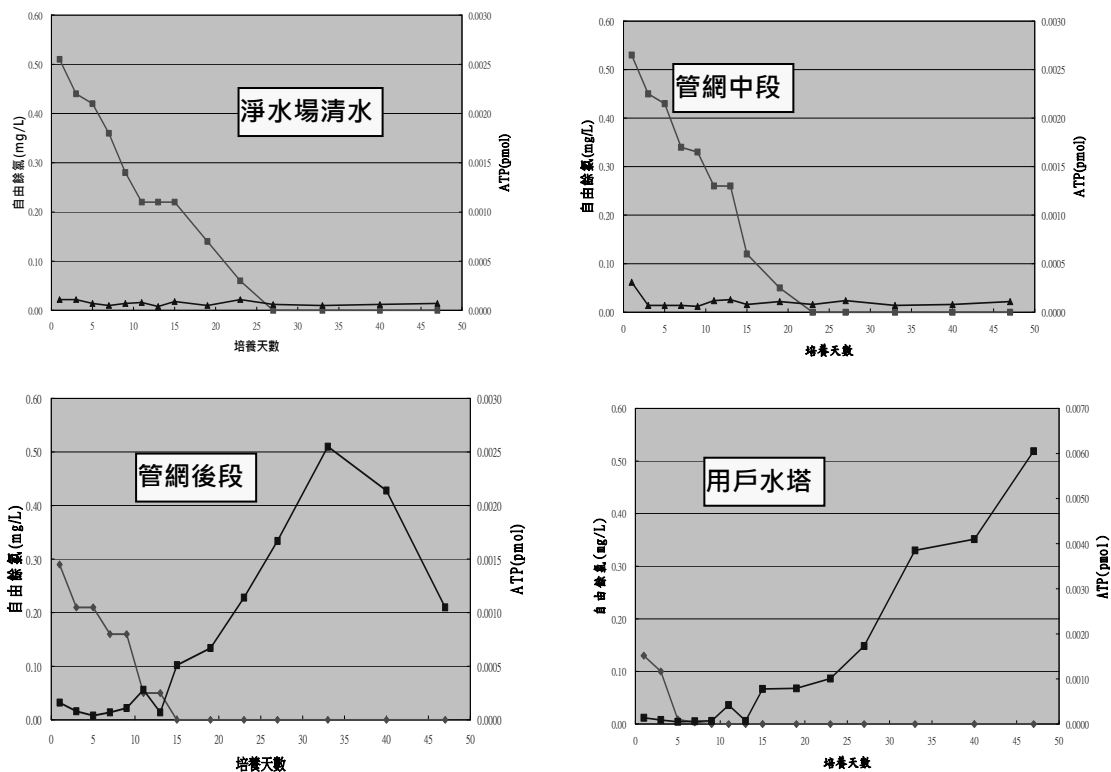


圖 7 長興場清水經管網至用戶 ATP 對自由餘氯變化(系列 1)

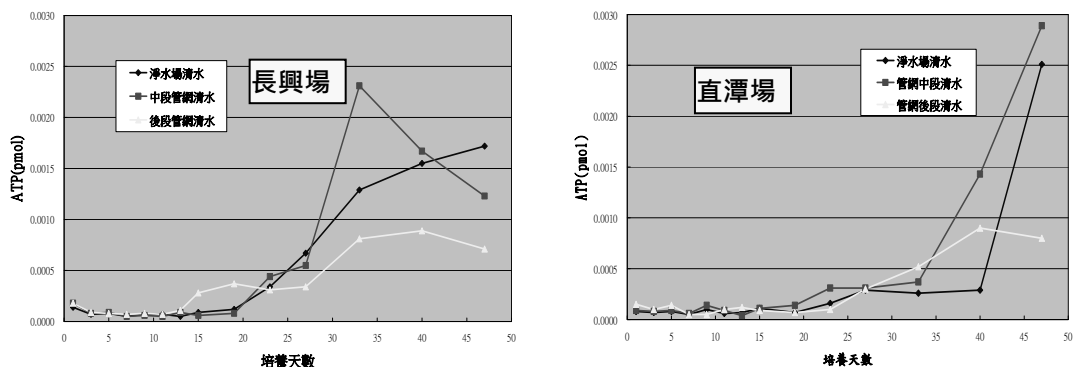


圖 8 淨水場不同管網清水 ATP 變化(系列 2)

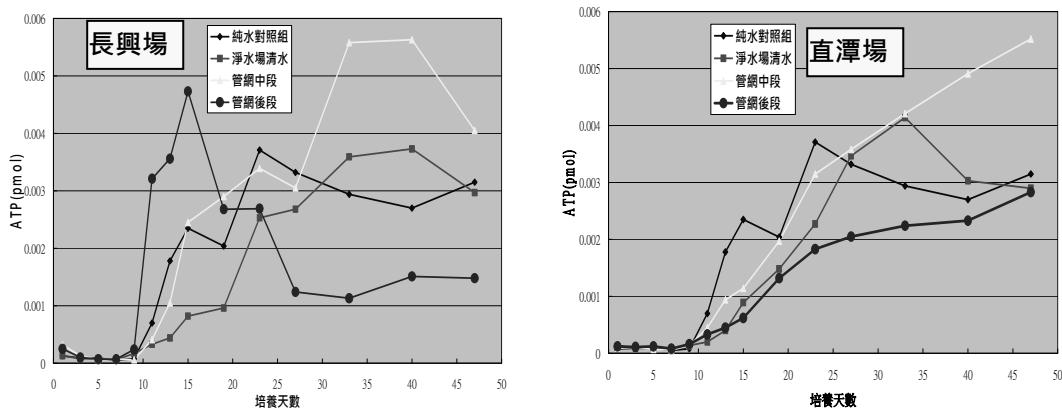


圖 9 淨水場不同管網清水 ATP 變化(系列 3)

表 2 管網極端水樣基本水質與維護狀況

水樣名稱	基本水質					採樣現場及例行維護狀況
	水溫 (°C)	自由餘氯 (mg/L)	pH 值	濁度 (NTU)	總溶解固體量 (mg/L)	
施工排水前	25.6	ND	6.9	950	53	1.管溝以沉水式抽水機抽除排水 2.施工後排水至目視清澈
施工排水後	25.5	0.53	7.2	1.8	52	
消防栓排水前	25.8	0.43	7.4	64	49	每季排水 1 次, 每次排放至濁度<2NTU, 餘氯>0.2 mg/L
消防栓排水後	25.6	0.35	7.2	1.3	49	
配水池底層水	27.3	0.41	6.9	0.65	50	每年清洗 1 次

最高至約 0.0160pmol，約為長興管網後段水波峰(圖 7 下左)的 6 倍，至約 2 週後開始有下降趨勢(此可能為滋生大量細菌競爭營養源後死亡所致)，3 週後趨於穩定，此顯示施工後管內富含微生物營養源，可助長細菌大量生長，若不排除，對管內水質生物穩定性不利；但經大量排放後，情況可獲得改善。管末消防栓滯留水及經排放後水樣，經系列培養結果如圖 11，可發現消防栓排水後較排水前水質生物穩定性略有改善，且去氯後(系列 2)明顯較未去氯者(系列 1)有較快速的微生物生長，顯示水中具有一定的微生物營養源，自由餘氯存在時可抑制微生物滋生，一旦自由餘氯消失，則易滋生細菌，故自由餘氯仍為管末端抑制微生物生長之 1 項最重要因素。

配水池底層水之培養狀況如圖 12，系列 1 結果顯示培養約 2 至 3 週會發生明顯微生物再生現象，最高量約與長興場管網後段最高量相當，去氯後(系列 2)細菌滋生量明顯較未去氯(系列 1)為高，顯示水中原已含豐富營養源，一旦去氯立即會滋生細菌，與淨水場清水中營養源極低，即便去氯仍維持很長一段時間不會滋生細菌狀況不同。

將不同水樣系列 1 之培養結果與純水對照組加以比較，生物穩定性最差者為施工排水前，其次為配水池底層水及長興管網後段，再其次為消防排水前後，其他水樣幾與純水對照組狀況相當。此可反映出目前管網系統水質維護工作之優先順序。

五、結論與建議

(一)結論

1. 新店溪水源淨水場採取前加氯、混凝、沉澱、快濾及後加氯等淨水程序之在淨化過程中，除具有去除原水中固體物質之功能外，對水中細菌營養源亦具有下列機制：前加氯氧化作用，有將水中將較難分解大分子溶解性有機碳分解成較小分子者；混凝掃除及沉澱作用不論原水平常低濁度及高濁度狀況，可將大部分微生物較易分解溶解性有機碳去除，為主要去除 BDOC 的單元；快濾池成熟雙層濾料間微生物作用，可去除殘餘較易分解之小分子溶解性有機碳，但處理高濁度原水時時會因吸附過飽和造成溶解性有機碳釋出；後氯則將仍存在少量的溶解性有機碳氧化成生物較易分解有機碳，但影響不大。

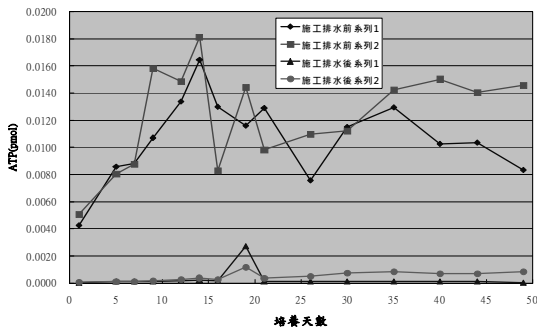


圖 10 施工排水前後系列培養 ATP 變化

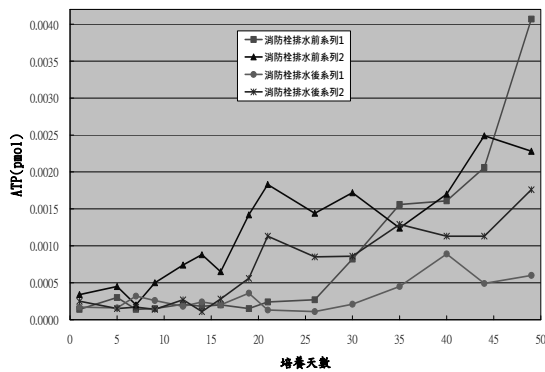


圖 11 管末消防栓排水前後系列培養 ATP 變化

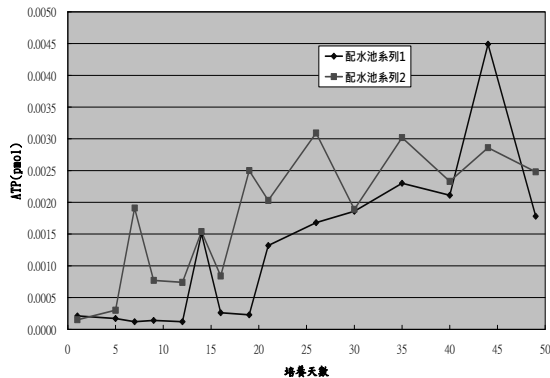


圖 12 配水池底層水系列培養 ATP 變化

2.北水處現有新店溪水系淨水場，原水中天然有機物(NOM)含量，青潭及直潭生物可分解溶解性有機碳(BDOC)分別為 0.84 及 0.70 mg/L，占原水 TOC 比率為 61.95%及 63.29%，較文獻中所述 9-30%(Joret et al,1991)為高，此可能為地面水之特性，透過淨水程序可分別去除 76.2%及 82.7% BDOC，清水中生物可分解溶解性有機碳僅 0.20 及 0.12 mg/L，高濁度原水狀況淨水場出水如

同低濁度狀況一樣，BDOC 均在 0.2mg/L 以下，依 Servaise 等人(1992)及 Dukan(1996)等人提出之判斷標準(BDOC 低於 0.2 mg/L)屬於高度生物穩定性的水，並不會對管網生物膜之生成有加成貢獻。

3.以淨水場清水或管網水樣進行批次培養，可評估在特定控制條件下，供水水質對已形成生物膜或可能形成生物膜之增進貢獻，瞭解在特定培養環境條件下，水中殘餘消毒劑量對細菌再生之抑制效果、殘餘消毒劑消耗後已去活化或蟄伏細菌之可能復原狀況及原生菌添加後之細菌生長狀況。具有不需繁覆地測定水中營養源濃度，且能可靠瞭解真正可能細菌繁殖狀況之優點，若能輔以腺核苷三磷酸(ATP)決定真正存在水中的活(Viable)菌量的測定方法，可不受異營菌平板計數(HPC)法可培養度(Culturability)之影響，成為一快速、簡易、一般非微生物專業人員均可上手的水質生物穩定性例行測試評估方法，能用以例行評估淨水成效及監測供水管網水質，有助於瞭解供水水質現況及變化趨勢。

4.北水處供應的自來水經實驗水質生物穩定性佳，水中細菌營養源含量極低，由淨水場出水經管網至用戶端，生物穩定性略降，顯示仍多少受到施工及配水池蓄水等作業影響，但若維持自由餘氯量，可避免細菌之再生及滋生。

5.管線施工後排水富含微生物營養源，滯存管中將導致微生物快速滋生，進行充份排水並維持管線周遭的潔淨，確實有助於維持供水水質生物穩定性。

6.盲管及配水池底富含沉積物，為微生物營養源，定期消防栓排水及清洗配水池，有助於提升供水系統供水生物穩定性，而自

由餘氯為控制水質生物穩定性的一項最重要因素。

(二)建議

為確保北水處供水生物穩定性，針對淨水及管網操作維護，提出以下建議：

- 1.北水處新店溪水源現採用傳統淨水程序淨水場，混凝沉澱可兼收濁度、BDOC 及三鹵甲烷前趨物去除之效，應持續提升該單元之效能。
- 2.供水管網水質會隨管線施工及操作發生變化，應持續落實施工後排水、盲管管末消防栓定期排水及配水池定期清洗作業，以避免水質發生劣化現象。

六、參考文獻

- 1.D.van der Kooij Managing regrowth in drinking water distribution systems.WWW.who.int/water sanitation health/dwq/HPC11.pdf
- 2.Huck peter M.Measurement of biodegradable organic matter and bacterial growth potential in drinking water.J.AWWA,p.78-86 ,July.1990.
- 3.Muyima NYO and F Ngcakani.Indicator bacteria and regrowth potential of the drinking water in Alice,Eastern Cape.ISSN 0378-4738=Water SA Vol24 No.1,Jan.1998.
- 4.Lu Wei and Xiao-jian Zhang Factors affecting bacterial growth in drinking water distribution system.J.Biomedical and environment sciences 18,p.137-140,2005.
- 5.Wadhawan Tanush ET AL.A ATP based method to determine bacterial regrowth potential in drinking water.IWA Specialty conference on natural organic matter,Costa Mesa,CA,USA,July,2011.
- 6.Siebel E. ET AL.Correlations between total Cell concentration,total adenosine tri-phosphate concentration and heterotrophic plat counts during microbial monitoring of drinking water.Drinking water engineering and science discussions

1,71-86,2008.

- 7.Ochromowicz Katarzyna and Eddo J.Hoekstra.ATP as an indicator of microbiological activity in tap water.EUR 22157 EN,ISSN 1018-5593,2005.
- 8.Cervantes P.ET AL. , Persistence of viable but non-cultrable bacteria during the production and distribution of drinking water , Freshwater Biological Association 1997 , ISBN 0-900386-57-6
- 9.Effect of treatment on nutrient availability , office of water , Total coliform rule issue paper , USEPA , 2007
- 10.Servias Pierre,Adriana anzil and Claire Ventresque,Simple method for determination of biodegradable dissolved organic carbon in water,J.Applied and environment microbiology .p.2732-2734,Oct.1989.

作者簡介

薛志宏先生

現職：台北自來水事業處水質科科長
專長：水質管理、淨水處理、水質檢驗

張勝輝先生

現職：台北自來水事業處水質科股長
專長：水質管理、水質檢驗

王珊莉小姐

現職：台北自來水事業處水質科工程員
專長：水質管理、水質檢驗

張玉玲小姐

現職：台北自來水事業處水質科副工程司
專長：水質管理、水質檢驗

張美鳳小姐

現職：台北自來水事業處水質科幫工程司
專長：水質管理、水質檢驗

陳富鈴小姐

現職：台北自來水事業處水質科工程員
專長：水質管理、水質檢驗

建置水質檢驗資訊系統效益探討

文/楊昭端

摘要

台灣自來水股份有限公司（以下簡稱本公司）水質檢驗資訊管理系統自 92 年起上線至今運作良好，目前已經開發完成了八大類子系統、235 種表單（含報表），並且持續維護擴充中。

本系統目前運作於十二個區處檢驗室與水質處，將檢驗流程資訊化管理，提高檢驗工作及數據處理效率，自動產生各種表報，並透過網路完成各區處分工檢驗作業，彙整了各區處水質資料，了解全省所有淨水場原水、清水、配水、廢水水質狀況，提供相關資訊至本公司水質平均網頁，便於大眾查詢水質資料，落實檢驗數據公正性，提昇民眾對水質檢驗品質之信心。

未來水質中心成立後將改以雲端架構（cloud infrastructure）設計，連結相關主管機關資訊，將水質數據由單純文字記載提升為點、線及面的空間視野，期望透過多元資料之整合，以全方位水質資訊，提供民眾安全、信任之飲水信息。

一、LIMS發展歷程

LIMS 即“實驗室資訊管理系統 Laboratory Information Management Systems”的縮寫，為實驗室現代化管理的需要。是一種通過先進的電腦網路技術、資料存儲技術、快速和強大的資料處理技術來對實驗室進行全面的管理的軟硬體系統。通過實驗室資訊管理系統的應用，不僅可以完成實驗過程的資訊化，更重要的是可以對實驗

過程中的品質活動進行控制和管理。

隨著科技研究的不斷發展，人們對分析測試的要求無論在樣品數量、分析週期、分析專案和資料準確性等方面都提出了更高的要求，而原來的人工管理模式在這種形式下已顯得不太適應。為此，國際上相關實驗室均已開始朝網路化管理的方向發展。實驗室資訊管理系統(LIMS)就是在這一背景下產生的集現代化管理思想與電腦技術為一體，用於各行業實驗室管理和控制的一項應用技術。

80 年代 LIMS 逐漸在實驗室得到推廣應用。大多數早期的系統是建立在小型機和分級、獨立的資料結構。它的缺點是價格昂貴、使用困難、介面不友善，同時也不便與 LIMS 系統外部進行資料交換。80 年代中期有人開始引入基於 PC(Personal Computer)的 LIMS。

90 年代隨著電腦技術水準的迅速發展，個人電腦(PC)的處理能力得到了極大地提高。同時 Microsoft Windows 系列作業系統也得到了迅速的普及。C/S (Client/Server) 構架的管理模式為主流，普遍採用網路型資料庫，大大提高了資料處理能力。在 90 年代後期，採用 Web-Based 架構與技術的 LIMS 開始出現，統一的瀏覽器介面和以 Web 伺服器為中心的設計架構代表 N-Tiers (多層式設計) 時代來臨。元件化 (Component Object Model) 技術普及後，N-Tiers 架構的 LIMS 與企業內部其它系統整合的設計陸續出現，企業開發系統不再以單一系統作為設計

考量，因此 ERP 孕育而生，各系統之間（包含 LIMS）強調元件標準化以利於未來的整合。

2000 年在國內，以 SISC LIMS 為代表，強調以管理為中心的新一代實驗室資訊管理系統開始出現。在這之前，LIMS 主要強調對資料的管理（存儲、查詢等等），主要精力集中於資料管理的電腦實現上。SISC LIMS 突破此一限制，在實現資料管理的基礎上更加強調對實驗室整體管理的實現，使得 LIMS 不再僅僅具有資料管理功能，還可以全方位地對整個實驗室的運行實施管理。

本公司水質檢驗資訊系統至今已運轉九年，希望能藉由對此專案的研究提供給想建立類似聯合實驗網的實驗室一些屬於系統開發過程上的經驗，除可省去許多不必要的步驟，同時為聯合實驗網建立起一個良好發展模型。

二、系統架構設計

(一)公司檢驗系統運作概況

為有效運用人力、財物資源，本公司各實驗室執行檢驗工作採自行檢驗及責任分工兩種方式。

1. 檢驗成本低、保存期限短之項目各區處實驗室自行檢驗。
2. 檢驗成本高、保存期限長之項目由總處指派責任單位分工檢驗，由各轄區實驗室採樣送責任區檢驗，檢驗後將報告送總處並副知採樣單位，例：全公司十二個區處各自採集樣品送九區檢驗巴拉刈、酚；送十二區檢驗有機氯；送四區驗胺基甲酸鹽；一、二、十二區重金屬由一區檢驗；三、四、十一區重金屬由三區檢驗等等。

(二)認證實驗室檢驗品質標準規範

1. 採集樣品時，應填製採樣現場監管紀錄文件。
2. 樣品採集過程，應儘可能降低接觸樣品之人數。
3. 樣品採集後，除應進行現場檢測及必要之樣品保存處理外，應立即貼上標籤與封條，現場採樣人員並應於封條上簽名。
4. 樣品採集後，應儘速送至檢測單位執行檢測工作。
5. 樣品送交檢測單位得由採樣人員親自運送、委託他人或貨運業運送或郵寄方式為之，運送期間樣品之保存均應符合環保法規、環保署公告採樣或檢測方法及品質管制指引之相關規定。
6. 收樣人員或其代理人接到環境樣品後，應針對樣品標示、樣品數量、密封度、容器、保存方式、保存期限檢查，並記錄之。
7. 樣品經檢測單位依前目規定檢查不符規定者，應予退件；有執行檢測必要者，得不予退件繼續執行檢測，但應於環境樣品移送（監管鏈）單或送驗（委託檢測）申請單加註不合規定之事項；出具該樣品之檢測報告時，亦應在檢測報告上註明。
8. 檢測單位應有檢測區人員管制、將樣品保存（冰）箱上鎖、以加封條方式管理或其他足以保全樣品之規定或措施。
9. 檢測人員取用樣品執行檢測時，應記錄取用日期、時間及取用量，並由取用人員簽章。
10. 檢測人員執行環境樣品檢測時，應填寫實驗室工作日誌。
11. 檢測數據、計算過程及檢測結果，於檢測數據表或其他紀錄簿（本、表、單）中已

有明確記載並可追溯之部分，工作日誌得省略之。

12. 檢測單位應有至少包括檢測數據檢查、數據品質確認及檢測報告之核發等審核流程。
13. 檢測數據檢查事項包括使用之檢測方法、原始數據紀錄、使用之計算公式、計算過程、數據單位表示及數據轉載是否正確等。
14. 數據品質確認事項包括樣品檢測所需之品管操作是否按規定執行、經執行後是否在容許範圍內、數據品質是否符合需求及是否有其他異常現象等。
15. 檢測數據檢查與數據品質確認之執行，應由檢測單位非執行該檢測工作之一人為之。
16. 檢測單位出具之檢測報告，應包括對檢測結果必要之註解與編號識別。
17. 檢測單位除核發檢測報告外，應保存乙份出具之檢測報告副本及其相關之採樣與檢測數據與紀錄。
18. 一般性檢測報告副本及其相關之採樣與檢測數據與紀錄保存年限至少五年；經認定為重大案件者，保存年限至少十年。但其他法令另有規定者，依其規定。
19. 檢測單位廢棄完成檢測之剩餘樣品時，應記錄樣品編號、廢棄日期及廢棄處理方式，並由辦理樣品廢棄處理作業之人員簽名。

(三)水質檢驗資訊系統架構：

採用 N-Tiers 架構（多層式設計）由四個獨立系統組成：1. 實驗室資訊管理系統（LIMS），2. 自動化儀器連結系統（ICS），3. 資料傳輸與轉換系統（DTCS），4. 各區檢驗

室資料同步系統（LSynS）如圖 1，分別說明如下：

1. 實驗室資訊管理系統（LIMS）

- 系統管理模組：針對此系統（LIMS）做基本資料建立，包含建立個人使用帳號、密碼、基本資料及可使用權限、代理人等記錄；樣品編號的編碼原則、檢驗方法建立、各檢項的基本資料（例如檢項的有效位數、MDL 等）、品質管制圖等基本資料建立。
- 數據管理模組：包含數據登錄，登錄分析數據時以整批方式登錄（以計算表方式登錄，類似 excel 內含有公式，目前使用約六十種以上），依據檢量線或標定自動運算濃度，並提供數據修改功能，可對檢驗數據作審核流程確認並輸出報表，若有誤則退回，要求檢驗員再確認，系統會記錄每批表單異動狀態，並提供表單執行流程的查詢。
- 樣品管理模組：包含樣品收樣與分派至樣品取用到樣品處置，完整管理樣品的生命週期，另外利用樣品追蹤功能，查詢樣品下各檢項的執行狀態。
- 報表管理模組：提供舊有數據登錄表單查詢，將歷史數據完整保存下來；依客戶提供之報表格式產生數據，數據可回溯查詢歷史數據，立即追蹤至該輸入表單；並提供空白報表格式，由使用者自行設計報表；提供歷史數據查詢且提供多檢項趨勢圖繪圖功能，藉此分析比對各檢項間的關係。
- 儀器與器皿管理模組：提供實驗室管理儀器與器皿的功能，儀器設備管理、器皿數據統計、儀器與器皿校正功能使用。

- 藥品及試劑管理模組：檢驗室管理檢驗室藥品與試劑的管理功能，使為藥品進出及存貨統計與成本上的控管，檢驗人員藥品取用等功能。
 - 人員管理模組：提供人員輸入及查詢基本資料，並提供管理受訓紀錄，以利將來人力管理之用。
 - 文件管理模組：提供管理檢驗室管理手冊及 SOP 各類文件的操作介面，本次系統擴增為由檢驗室自行編修並上傳、紀錄版次等功能。
2. 自動化儀器連結系統 (ICS, 包含各儀器 Driver) :
- 系統管理模組：設定連結各儀器 (GC、IC、AA、LC、TOC 等) 通訊參數，以及相關各別資料設定 (掃描頻率、解讀頻率等)。
 - 元件連接介面模組：提供 COM(Component Object Model)、DCOM (Distribute Component Object Model) 介面，供外部程式操控使用。
 - 檔案傳輸模組：將各儀器資料經過處理後，以檔案型態傳送至主機中，傳送方式支援 TCP/IP、RS-232 等，並提供 FTP Service。
 - Driver 控制模組：動態載入或釋放各儀器相關使用的 Driver。
 - 資料解讀模組：以多執行緒方式同時解讀儀器數據，解讀格式依據不同儀器而有不同方法。
 - 資料庫存取模組：資料經過解讀 (Parse) 後，儲存至資料庫中。
 - Driver 程式庫：各式 Driver 的彙整，支援動態載入。
3. 資料傳輸與轉換系統 (DTCS) :
- 系統管理模組：設定網路相關資訊，包含
- 有檢驗室編號、IP Address、TCP/IP 通訊埠、FTP 通訊埠、檔案傳輸路徑等。
- 元件連接介面模組：提供 COM(Component Object Model)、DCOM (Distribute Component Object Model) 介面，供外部程式操控使用。
 - 檔案傳輸模組：提供 TCP/IP 或 FTP Service，將各式檔案 (計算表、報表等) 傳送至相關的區處檢驗室以及總處。
 - 資料傳輸模組：提供 TCP/IP Service，採用安全管制下的通訊埠，完成 13 個獨立檢驗室資間的資料傳輸工作，包含有分工樣品採收樣數據、分工樣品分工檢驗數據等。
 - 外部資料轉換模組：提供對外單位的資料轉換，轉換出來的格式支援 XML、Excel 等，視外單位資料格式需求而定。
 - 資料庫存取模組：提供存取資料庫功能。
4. 區檢驗室資料同步系統 (LSynS) :
- 系統管理模組：提供轉換規則設定功能，包含有：各區處廠所原水水源、供水系統、廢水水源、清水處理單元、廢水處理單元等。
 - 資訊處資料同步模組：接收與同步 13 個獨立區處檢驗室資料至資訊處的伺服主機中，包含有資料庫以及紀錄表和報表等。水質環保處可以直接連線至資訊處就可以查詢彙整後的相關數資料。
 - 水質資訊網站轉換模組：每月定期將各區處檢驗室的實驗室資訊管理系統(LIMS)中的檢測數據轉入至水質資訊網站中，轉入的數據資料包含有：各淨水場原水相關檢項、混合後原水檢項、混合後清水檢項、供水系統檢項、廢水水源檢項、混合後廢

水檢項、廢水處理單元檢項、回收廢水檢項、放流廢水檢項等相關資料。

- 檔案傳輸模組：提供 FTP Service，將各式檔案（計算表、報表等）傳送至資訊處。
 - 資料庫管理模組：提供資料庫的存取功能。
- 4.各區處檢驗室與水質處皆有獨立的水質檢驗資訊管理系統，並與資訊處伺服器連線，採用分層式設計，各區處皆可以獨立運作（獨立完整的單一檢驗室），並且也可以完成區處間的分工檢驗作業，轉存至至

資訊處的伺服主機中，間接完成各區處檢驗室資料異地備份的需求，將 13 個獨立區處檢驗室資料，轉換至水質資訊網站中，如圖 2。

- 5.各區處除了包含 LIMS 主機外，還包含有各種自動化檢驗儀器（GC、UV、AA、ICP、IC、TOC、ICPMS 等）以及該區處檢驗員的 PC。儀器檢驗數據資料會即時的傳送到區處的 LIMS 主機，同時也會傳送相關資料與表單到資訊處的伺服器，如圖 3。

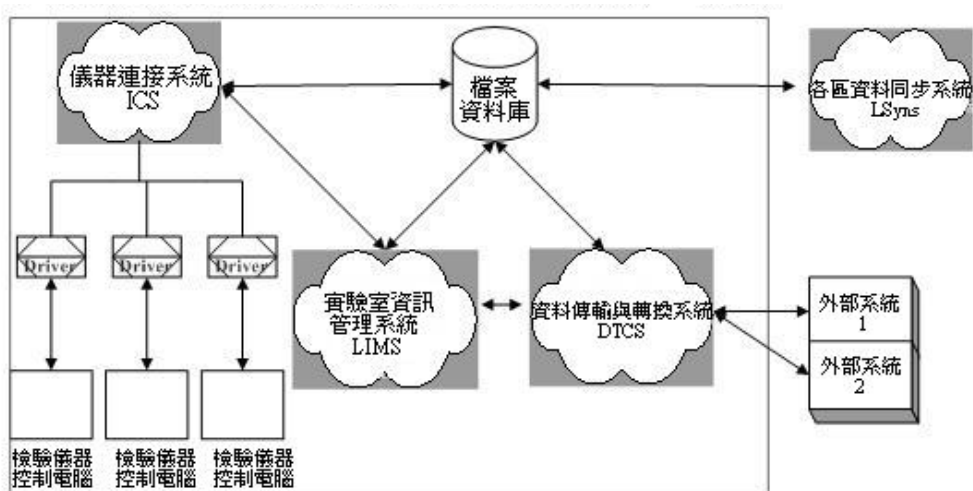


圖 1 水質檢驗資訊管理系統 系統運作架構圖-軟體架構(單一檢驗室)

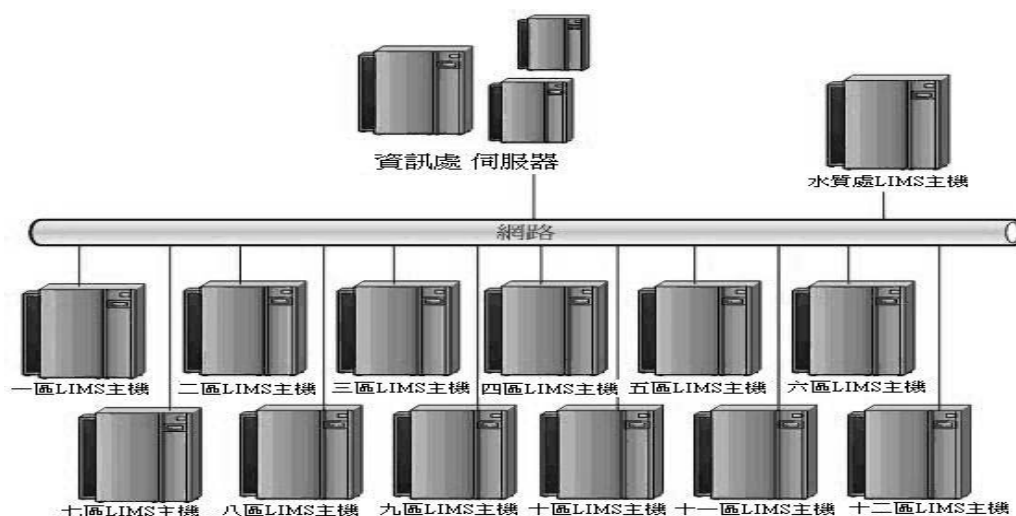


圖 2 水質檢驗資訊管理系統 系統運作架構圖

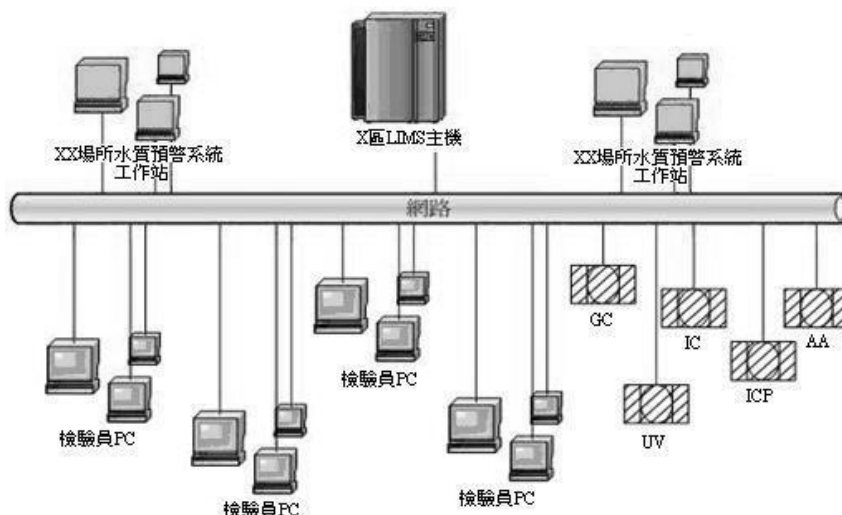


圖 3 水質檢驗資訊管理系統 系統運作架構圖-硬體架構(單一檢驗室)

三、結果與分析

(一)系統設計結果運作程序

- 1.年度計畫排定：依照水質檢驗規範擬定年度採樣計畫。
- 2.採樣：系統將該月份計劃採樣明細套印至採樣單及各分瓶之樣品標籤，採樣人員將標籤貼妥，依照採樣單之地點前往採集、寄送樣品。
- 3.收樣：收樣員收到樣品清點檢查後，掃描樣品標籤上之條碼辨識樣品來源，登入現場檢測資料，分派給檢測人員或檢測區處，檢測區處收到樣品，掃描條碼帶入樣品資訊，核對無誤後分派給檢測人員，年度排定之樣品如未於此時登入收樣，系統會告知漏採樣品之採樣點，請採樣單位輸入原因或及時補採。
- 4.取樣：檢測員上 LIMS 系統閱覽樣品確定數量到齊，取用樣品同時於系統登錄取用時間及取用量。
- 5.檢驗：檢測員執行樣品檢驗，儀器原始資料即時傳送至 LIMS 系統，檢測完成後，檢驗員於 LIMS 系統計算表可帶入儀器原始數據，或經由手動輸入，計算樣品檢測

結果。

- 6.驗算：檢測員數據整理完成送驗算員檢查驗算，查對轉載無誤後送審核。
- 7.審核：審核人員確認品管符合規定後送主管許可。
- 8.許可：主管或簽署人再次確認全部數據無誤，予以許可，送報告製作。

(二)系統運作產生之效益

- 1.節省人力：可用以去除人工文書作業；改善檢驗報告正確性，避免檢驗結果配對產生張冠李戴的情形及手工謄寫錯誤，提升效率。
- 2.作業程序標準化：將繁雜的數據計算交由電腦處理，除可以節省人力外亦促使實驗室內部各項作業流程標準化及制度化。此外，LIMS 所提供的 QA/QC 相關功能，如品質資料建立及管制圖表建立，有助於提升本局實驗室數據準確性及公信力。
- 3.改善數據管理能力：資訊化追蹤檢驗現況、稽核樣品的檢驗完成時間、可計算和監控資源利用情形等提供各種管理統計報表；為檢驗部門重要的品質指標，並提供檢驗單位檢討改善之依據。

- 4.降低營運成本：利用資訊科技及組織現有資源做最有效的應用以最精簡的人力完成檢驗工作，降低人工、物料及管理成本。
- 5.改善生產力：藉由提升作業自動化、電腦化、資訊化，並整合工作流程等，使流程合理化，甚至流程重新改造，大幅提高生產力。
- 6.資源共享：改善總處、區處間之通訊，減少電話人工查詢的工作，本公司內部人員可透過資源共享隨時方便、容易取得檢驗資料，供作決策參考，數據管理更加即時完整。

(三)系統運作未見績效之處

- 1.生物類檢驗尚有其不便性：生物類檢驗仰賴手工操作多，物種類型繁雜、規則變化快、檢驗時間長、檢驗方法複雜、環節多、人為因素多，本公司目前之檢驗資訊管理系統無法涵蓋全部生物類檢驗。
- 2.服務費用：本公司為十三個獨立檢驗室，系統各自獨立運作外，也必需有分工檢驗的設計，所以設備建置維護成本與系統需求皆較一般檢驗室高與複雜，所以維護成本較一般單一檢驗室高，日後水質中心成立後即可降低維護成本。
- 3.出報告速度之管控：系統之運用雖可縮短報告產出之時間，但因本公司檢驗業務狀況與民間檢測機構不同，定期定點的檢測工作，報告較無急迫性，造送的時間有寬鬆規定，目前尚未看出其縮短效益。

四、結論與展望

一個環境分析實驗室為了確保檢驗數據品質，必定要有一套完整的品質管制系統。LIMS 系統包含人事、儀器、藥品與整個樣品生命週期之管理，其目的除了縮短內

部業務整合時間及提高檢驗工作效能、檢驗數據及品保品管水準，還提升檢驗室對所屬裝置、設備、人員、方法、實施、紀錄、控制、標準操作方法、最終報告、歸檔及化學試藥、廢棄樣品等管理。自動化系統的作用不僅可以提昇檢驗文書（包括原始數據及運算處理的結果）多年儲存及查證的能力，縮短新進人員培訓時間，減輕繁瑣文書作業、縮短報告產生時間，還可提供儀器連線，減少人工輸入之可能錯誤，提供嚴謹的數據管理，以符合環境分析實驗室品質管理手冊之品質政策。

因應水質標準日增，水公司必須擴大自檢量能，日後水質中心成立，水質採集中檢驗方式，各區處檢驗室不再擔負分工檢驗之任務，所以各區處（含廠所）檢驗系統的需求簡單化，只需要基本功能，此種情形即是使用人數雖多，但系統功能要求不同的現象，非常適合雲端架構（cloud infrastructure）設計的檢驗系統 SaaS（Software as a Service），因為它降低維護、安裝和設置成本，使用者可以透過各種設備及精簡型用戶介面（例如 Browser）來存取使用系統，並且可以結合物流（樣品運送）、金流（水質代驗）、地理資訊系統（GIS）等其他服務，完成系統的擴充卻不需要負擔開發成本，並且連結相關主管機關資訊，將水質數據由單純文字記載提升為點、線及面的空間視野，期望透過多元資料之整合，以全方位水質資訊，提供民眾安全、信任之飲水信息。

作者簡介

楊昭端小姐

現職：台灣自來水公司水質處工程師

專長：化學