Water Works Association
of the Republic of
China (Taiwan)

自來水

159

WATER SUPPLY QUARTERLY

Volume 40 NO.3 AUG 2021

第40卷 第3期
2021年8月

中華民國自來水協會會刊

本期專題：水質處理

澎湖馬公地區海淡廠藍氏飽和指數(LSI)影響配水水質之探討

含微囊藻原水混凝去除藻細胞及藻毒研究

飲用水水質處理混凝劑其CNS標準修訂之研析-以聚氯化鋁爲例

小型供水系統水安全計畫-以桑園淨水場爲例

自來水會刊第 40 卷第 3 期(159)目錄

實務研究

本期專題　水質處理

一般論述

協會與你

封面照片：台灣自來水公司提供

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、每期專題、專家講座、一般論述、業務報導、他山之石、法規櫥窗、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地、自來水工作現場、自來水廠(所)的一天、會員動態、協會與您等文稿。

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），前述二類文稿請檢附摘要。「每期專題」由本刊針對特定主題，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。「自來水工作現場」供自來水從業人員，針對工作現場發表感想。「自來水廠(所)的一天」為提供自來水基層廠(所)的工作現況，增進社會各界對自來水服務層面的認識。「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、惠稿每篇以不超過十頁為宜，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。機關出版品：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。投稿一經接受刊登，版權即歸本協會所有。

七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 thomas7735tw@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、本會刊於 110 年開始發行電子會刊，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、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：郭俊銘
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
葉陳蕚

委 員
陳明州、李嘉榮、康世芳、王傳政、武經文、駱尚廉、范煥英、洪世政、李丁來

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：李丁來

執行主編：林正隆

編審委員
甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、梁德明

執行編輯：曾彥中
電　　話：(04)22244191 轉 376

行政助理：黃香蘭

協力廠商：松耀印刷企業有限公司
地　　址：台中市北區國豐街 129 號
電　　話：(04)22386769

臺北智慧水網示範區(木柵二期)建置與分析應用

文/時佳麟、黃欽稜、盧雪卿、呂慶元、連文成

摘要

為推動水資源智慧管理，佈建自來水智慧型水網，以及加強推廣節水技術等，提升水資源管理技術及使用效率，並即時取得相關資訊作為決策依據。北水處總共有約 160 萬只水表，其中約 30 萬只與管網直接相連，約 130 萬只分表則位於建物內，所產出的資訊不盡相同且複雜。

我們先挑選一個小區域進行試辦，規劃一處約 2,000 多戶的智慧型水網示範區，將區內用戶水表更換為智慧表，將水表數據及輸配水監控數據回傳，進行統合性分析與加值運用，以釐清用戶端的取用水情況，透過資通訊技術、大數據分析等科技方式，了解區域內水網、用戶類型、設備選用匹配、現場安裝、數值回傳，以利進行各種分析與應用。

本文主要分析與應用包含：(1)水量計智慧功能分析應用。(2)日/週/年用水模式與藏水於民進水模型。(3)智慧函數型數據漏水預測模型。(4)水理模型建置與應用。(5)AMR 與通訊強度偵測的應用。(6)IoT 雲端串流管理等 6 大領域，作詳儘的技術分析與應用，可做為未來後續推廣計畫之參考案例，亦可促進相關技術之精進，帶動水務智慧產業的發展。

一、前言

本智慧水網示範區位於臺北市政治大學東側丘陵地，屬於高地供水孤立封閉區塊，由 3 個加壓站分段加壓泵送供水分為 A、B 區及萬興里 3 個區域，日配水量約 2000 CMD，全區為高低起伏丘陵地，最低高程 25M，最高為 186M。供水管網約 10 公里長，其中給水管約 3.1 公里、配水管約 6.9 公里。用戶 2583 戶，限於經費，總共建置總表直接表 539 只、分表 1738 只。本區域為木柵編號第二的重劃區，自 1990 年代開發迄今，陸續有新建物落成，用戶逐漸成長，是一個封閉且具有代表性的建置應用分析區域，如圖 1、2。

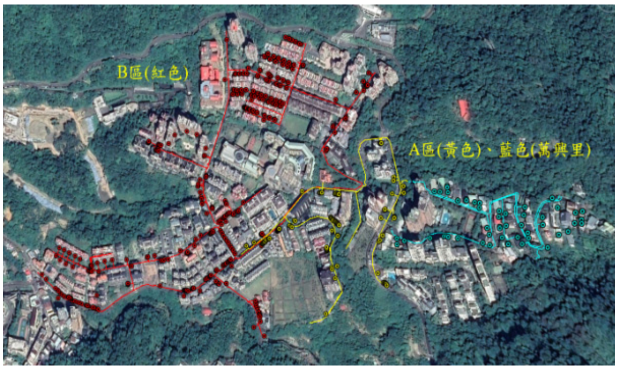


圖 1　木柵二期場域範圍空照圖

圖 2　木柵二期場域範圍等高線圖

二、執行過程

透過資通訊技術、大數據分析等科技方式，先從了解區域內水網、用戶類型、設備選用匹配、現場安裝、數值回傳、到應用分析，主要工作項目說明如下：

(一)展開各項調查與檢討：

調查示範區內用戶類型，規劃水表型式、種類及回傳方式，檢討供水管網設置相關偵測設備之監控規劃設計。

(二)規劃設計智慧水表、通訊模組等設備：

依用戶水表所在環境及用水模式，考量直接用水與間接用水，並依水表類型作為區分，逐一調查分類與統計，而各種用水戶的用水特性不同，數據傳輸的需求也不同，須分別規劃不同的傳輸設備來匹配。為了解確保水質，裝設水質儀器，併同現有水質偵測設備，可了解水齡變化，若有異常時，能即時應變；區內加壓站以出口壓控制變頻器以控制抽水機運轉頻率，為掌控更多供水壓力變化作為管網調控，亦規劃選定壓力監視點及傳輸設備。

(三)設備安裝作業：

辦理智慧水表、自動讀表設備、時序資料庫、伺服器、水質儀器與壓力偵測等設備安裝，在更換智慧水表前先與當地里長溝通，使後續安裝順利進行，當現場硬體完成後，必須確認回傳數據是否正常，以利後續系統建置分析。

(四)數據資料回傳整合與管理：

利用智慧型水表本身具有漏水偵測及逆流監測等功能與資訊回傳，並連結北水處既有平台，包括智慧水管家、計費平台、業務分析系統平台、供水監測即時管理等系統。

(五)數據應用與加值：

水表數據連同輸配水監控數據，包含流量、水壓、水質等參數全數回傳，並即時回傳所有訊息，搭配加壓站內既有監控系統，透過資通訊技術、大數據分析等技術，先從了解區域內水網、用戶類型、設備選用匹配、現場安裝、數值回傳、到應用分析。

三、主要成果：

(一)水表智慧功能分析應用：

本案選用之智慧水表內建微電腦功能，擁有多種紀錄功能與異常狀況警示功能，有助提升用戶水資源管理品質，更可搭配傳訊設備進行遠端讀表，有助於整合與處理水資源管理，其智慧功能包含：漏水偵測功能、逆流監測功能、防竊水功能、定時記錄等功能，並進行分析與應用：

1.用戶用水模式分析

依個別用戶記錄區間的流量累積值差異，推算每段區間之瞬間流量，以橫座標為時間、縱座標為瞬間流量，可繪製瞬間流量曲線圖。用戶用水模式概可分為三種類型：

(1)週期性：用水量隨著時間，呈現規律性的起伏變化，如圖 3。

(2)間歇性：用水量隨著時間，呈現時而用水時而停水之斷續性用水行為，如圖 4。

(3)持續性：用水量隨著時間，呈現不間斷的連續性曲線，如圖 5。

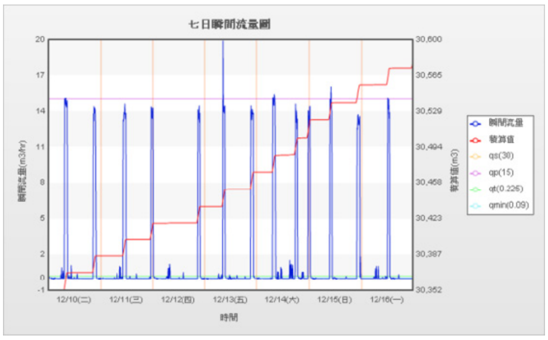


圖 3　週期性用水模式圖

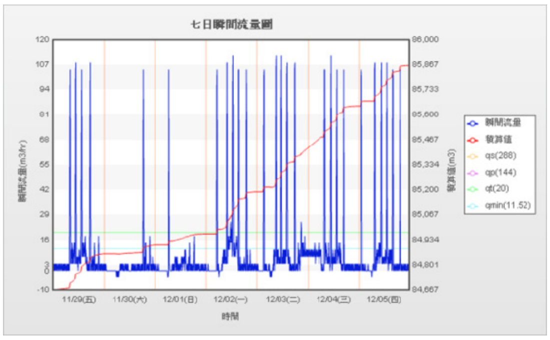


圖 4　間歇性用水模式圖

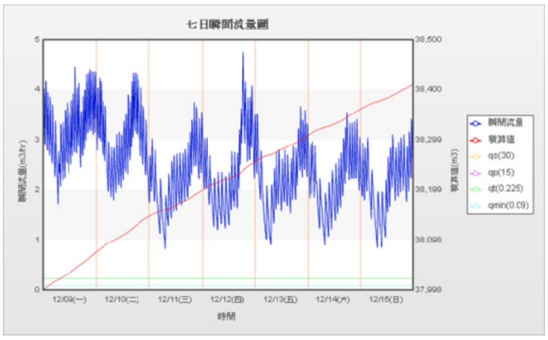


圖 5　持續性用水模式圖

2.流量譜分析

流量譜是將瞬間流量進行落點分布分析，呈現形式可分為進水譜與水量貢獻譜兩種形式：

(1)進水譜分析

進水譜為不同流量下通過水表的發生機率比例，橫軸為流量，縱軸為發生機率%，製作方式係將「發生機率」對橫軸流量描繪方式繪製。依進水譜分析用戶用水量發生機率，判斷水表口徑是否恰當，提供修正水表口徑之建議，以達到最佳計量範圍，如圖 6 所示。

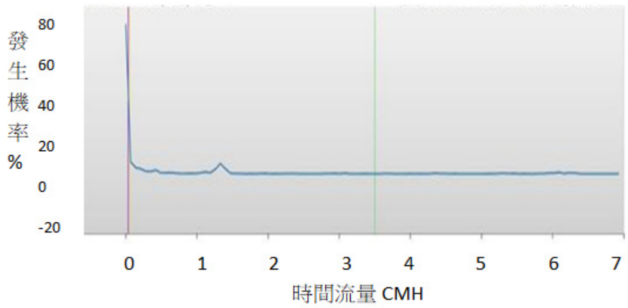


圖 6　進水譜示意圖

(2)水量貢獻譜

「水量貢獻譜」為不同流量下流過水表的體積比例，橫軸為流量，縱軸為發生機率，製作方式係將「進水譜」對橫軸流量取 1 次矩所得，以柱狀圖方式繪製，並將總柱狀面積正規化為 1。

為定量判定水表與用水量之匹配性，水量貢獻譜需分割 3 個區間，分別為不靈敏區間、最佳工作區間以及過載區間。不靈敏區間定義為 0~Qp/3 之水量比例(Qp 為常設流量)；最佳工作區間為 Qp/3~1.9 Qp 之水量比例；過載區間為 1.9 Qp 以上之水量比例，如圖 7 所示。

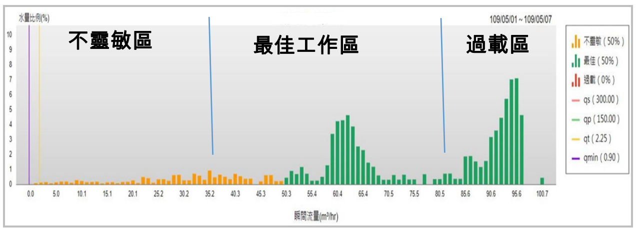


圖 7　水量貢獻譜示意圖

本案所採用的智慧水表內建漏水偵測的智慧功能，可監測夜間最小流流量是否超出平常值來推估漏水情形。因此將漏水定義基準為水流日夜連續流動達 24 小時，將自

動記錄漏水天數與自動回傳業務分析系統平台。

漏水戶於系統上如圖 8，某一用戶為例，系統顯示該用戶每小時瞬間流量持續保持 2 噸以上，表示該用戶已出現連續漏水現象；而漏水用戶中過半的家庭用戶出現持續微量進水的現象如圖 9，推估應為馬桶漏水造成。許多家庭其家內馬桶止水蓋會有硬化或變形的現象，導致止水不完全而持續微量漏水，每天連續 24 小時且為數眾多之家庭用戶皆有此現象，漏水量仍相當可觀。

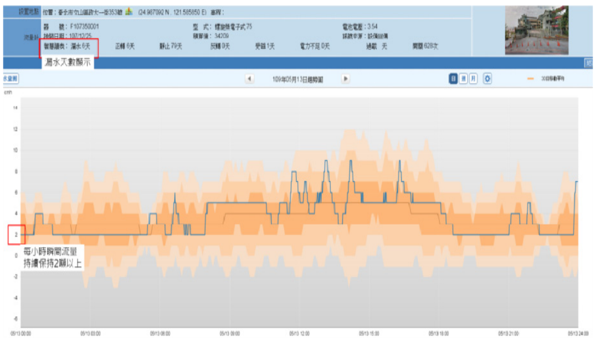


圖 8　系統顯示用戶漏水示意圖

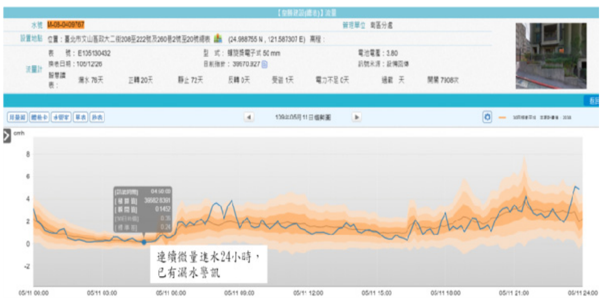


圖 9　家庭用戶微量漏水示意圖

(二)日/週/年用水模式與藏水於民進水智慧模型建立：

一般用水戶諸如家庭用戶，用水分析除了可找出異常用水，更可告訴用戶如何節省水資源。單從智慧水表自身的漏水偵測功能便可提供用戶漏水警訊，使用戶進行自我管控。透過智慧水表大數據用水量分析，可顯示出各個時段的耗水量，呈現用水時序圖。發現用水浪費通常發生在何種生活行為上，並進行改善，如圖 10。

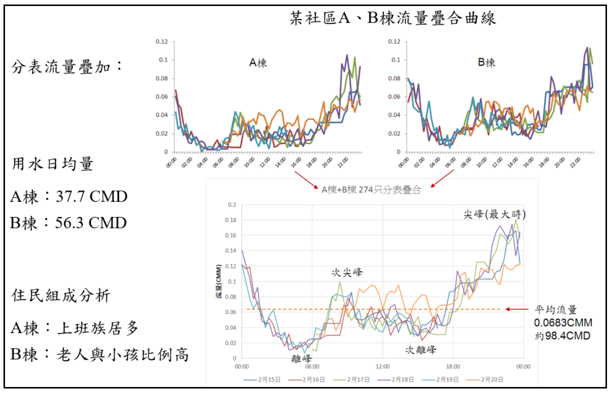


圖 10　住民用水模型分析

另外，供應給用戶的自來水是先流進蓄水池後，再經由抽水機抽送至屋頂的水塔儲存，再流進各用戶家裡，水塔內水位降低到某位置時抽水機才會起動送水。精準的儲水容量估算可確保停水期間用水的調整機制，藏水於民好處甚多，除可增加蓄水，減少水管漏水機率，以減少對水庫依賴。依據用水曲線可透過數據分析模組得到最佳化的水塔尺寸建議。

一般水塔或蓄水池的容量可以透過水塔或蓄水池進水量來估算，假設蓄水池的浮球閥設定在 90%滿水位的設定點，以水塔或蓄水池之 50~60%為進水位設定點，整個水塔或蓄水池的總進水量約 30~40%的水塔或蓄水池容量，因此可以估算水塔或蓄水池總蓄水容量約等於水塔或蓄水池進水量除以 0.3~ 0.4 蓄水池容量=蓄水池進水量/(0.3~0.4) 水塔或蓄水池進水量可以依據水塔或蓄水池總表的進水量量測取得。每個水塔或蓄水池進水位設定點不盡相同，因此蓄水容量估算也會有差異，水塔結構及水位控制如圖 11。

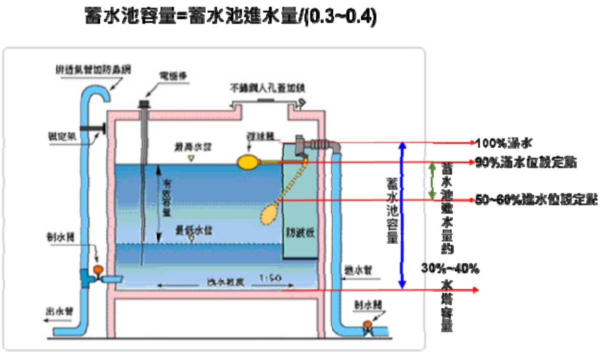


圖 11　水塔結構及水位控制

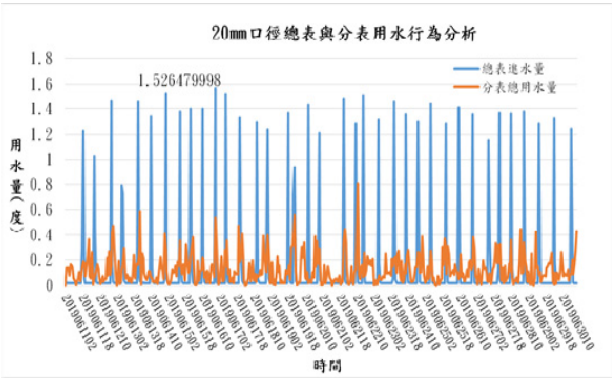


圖 12　口徑 20mm 總表與分表用水行為分析

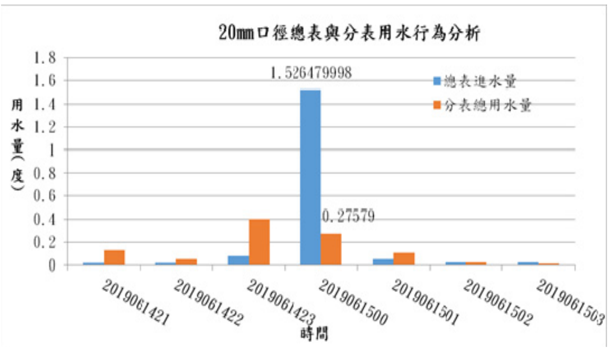


圖 13　口徑 20mm 總表與分表用水量分析

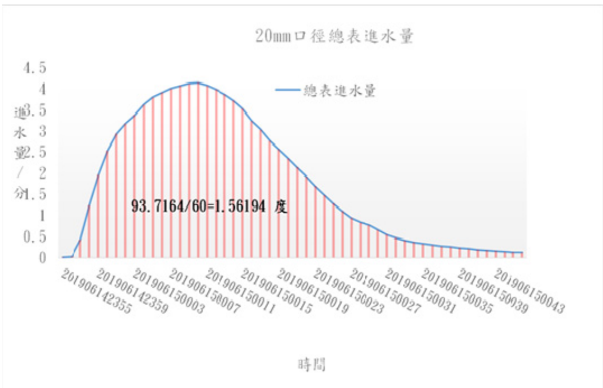


圖 14　口徑 20mm 總表進水量分析

圖 12 為口徑 20mm 總表與分表用水行為分析，由圖可得知總表與分表在 2019061100 ~2019063023 時間區間用水量的變化。圖 13 是總表與分表在 2019061421 ~2019061503 時間區間用水量的變化，可以看出在 2019061500 時，總表進水量為 1.526479998 度，分表總用水量是 0.27579 度。圖 14 是總表在 201906142355~ 201906150043 時間區間總表總累積進水量為 1.56194 度，換算蓄水池容量約 1.56194/0.3=5.2 噸~ 1.56194/0.4=3.9 噸。

(三)智慧函數型數據漏水預測模型

水管滲漏檢測及修復的效益決定於測漏的準確性及漏水位置認定的精準性，以往的檢測方法及漏水位置的認定是以聽音方式進行，這種方式高度依賴有經驗的聽音技師的能力，聽音技師能力的養成不易，且可能人為誤差的困擾。

本函數型資料分析(Functional Data Analysis)進行統計分析，函數型資料(Functional data)，是將資料視為隨機函數，每一條樣本皆表現該條樣本的趨勢。可以互為佐證每日與每時的監測結果，更可知道發生異常現象的時點，提高監測效率，減少水資源的漏水率及提高使用效率，以不同顏色顯示每小時的狀況，如圖 15。

圖 15　日及時函數資料之監測模組

未來若將檢測結果與 GIS 地理圖資相結合，透過地圖呈現的方式，管理端可更直觀性辨別異常區域，詳圖 16 所示。

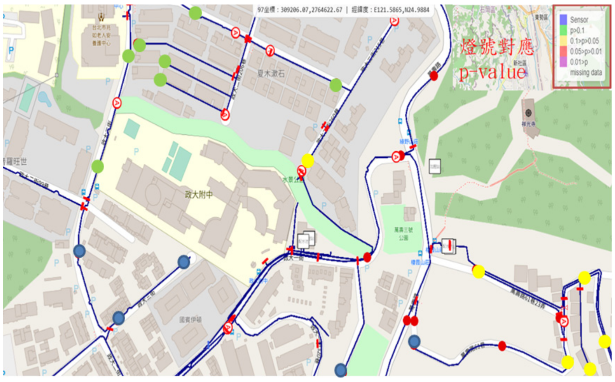


圖 16　函數型漏水預測模型未來套疊 GIS 呈現

(四)水理模型建置與智慧應用

EPANET 是由美國環境保護局的供水和水資源部門開發的公共領域給水系統建模軟體。針對加壓管網內的水力和水質進行水理模擬分析，可了解自來水配水系統中的各種流動現象。

我們針對木柵二期進行水理分析應用，包含：加壓站的水壓、流量分析、水齡分析、管網特徵辨識等。部分延伸性應用，為通用性工具，可套用到其他模型，如圖 17~19

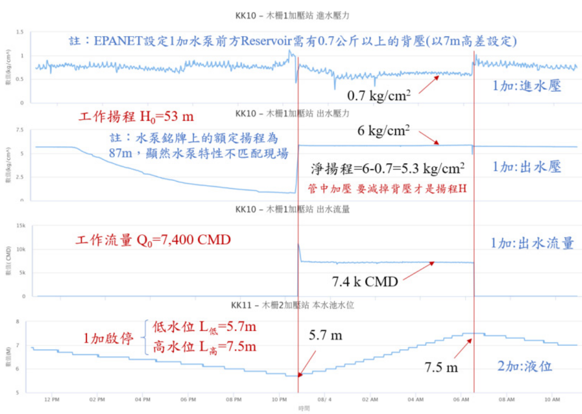


圖 17　設定第一加壓站的水泵曲線及控制

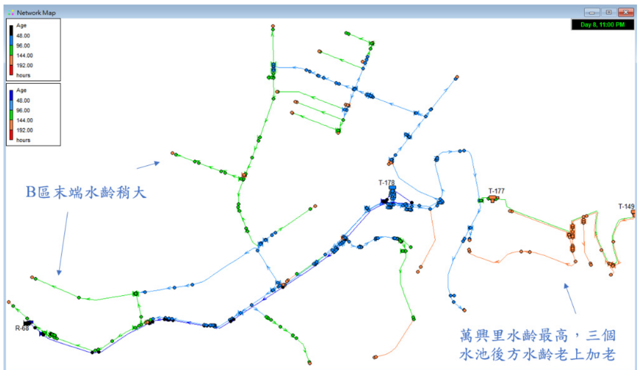


圖 18　水齡分布圖

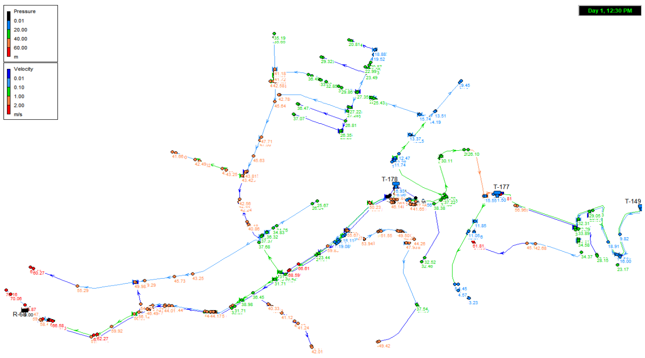


圖 19　管網特徵模型

(五)智慧調整自動讀表與通訊強度偵測與傳輸技術的應用

電信量測訊號強度 RSRP (Reference Symbol Received Power) 是一個負的指數 dBm，表示射頻信號的數值。數值越大，信號愈強，連線品質愈好，本案佈建場域，RSRP 值約 -100dBm ~ -120dBm 間。

若採用相對 4G 有較佳訊號穿透力之 NB-IoT 通訊技術，戶外路面經比對會有萬壽路、政大一街及三街一帶其訊號強度會介於 -105dBm ~ -115dBm 間，其餘路段訊號均有較優訊號環境。故以本案場通訊環境進行佈建評估，仍需透過加強通訊子機之傳輸靈敏度、調整裝設位置及另接取終端延伸天線之設計，以增益水表通訊穩定性，如圖 20、21。

圖 20　4G 訊號涵蓋圖

圖 21　NB-IoT 訊號涵蓋圖

圖 22　點位傳訊狀態畫面

(六)引入 IoT(Internet of Things)雲端串流管理自動讀表妥善率

導入智慧傳訊狀況監測系統為有效瞭解及掌握智慧水表自動讀表妥善率，傳訊狀況監測系統可協助管理者主動分析訊號品質，包含低電壓、 訊號強度、高延遲、通訊次數、通訊時間、成功失敗次數等項目進行預防性處理。可綜覽管理場域內全部點位的傳訊狀態，也可監測各點位數據傳輸狀況是否異常，當傳訊狀況發生異常時，系統將自動發送警示信件或簡訊提示管理者進行修復，如圖 22。

傳訊狀況監測系統會蒐集記錄水表的介面編號、回傳時間、資料記錄時間、訊號強度、總累積流量、正/反向累積流量、漏水天數、逆流天數及設備開關機次數等。

除此之外，異常提醒功能設定設計自由化，可以針對訊號強度、傳訊器低電壓值、低電壓次數、傳訊失敗比例、接收時間、斷訊持續時間以及斷訊次數等數值逐一設定警示值，管理者可因應不同場域特性設定合適的數值，作最有效率的監測與管理，可以透過這些數據掌握傳訊設備的現況、傳訊品質是否異常，且可更進一步掌握用戶用水動態是否異常。

四、重大克服改善項目

智慧型水網示範區若位於高低起伏丘陵地，通信訊號容易受到阻隔，部分水表建置環境易積水、或雨天易遭泥沙堆積掩埋、或水表箱蓋或窨井受到車輛、景觀石板遮蔽、設備線材偶遭動物咬損等，綜上因素導致訊號通信不穩定，皆為需要克服與解決的挑戰，重大克服改善項目為：

(一)水表箱蓋與天線之改良：鑄鐵材質的水表箱，容易遮蔽信號傳輸，為能確保信號通信正常，經過多次改良測試，開發出扁平外拉型天線及新型水表箱蓋，以維持通訊品質亦不破壞市容美觀與影響市民用路安全性，且水表箱取得專利。

(二)利用傳輸串流分析找出最佳回傳時段：RSRP 值若在-60dBm 到-80dBm 間，屬收

訊良好地區，透過回傳串流訊號分析可以得知各傳訊點、各時段訊號強度，針對各別的智慧水表設置點找出訊號較強時間點進行數據回傳。

(三)不增設基地台的解決訊號弱區方式：為解決通訊不良問題，電信業者初期以調整天線角度方式因應，惟仍無法克服部分死角通訊問題，在不增設基地台的原則下，另以改善傳輸模組或其他通訊方式因應。

(四)強化傳輸模組效能：因地形地勢影響，部分基地台發射信號受阻，又無法增設基地台的情況下，若採用一般訊號傳輸模組，發送之強度無法順利連結會有斷訊等問題，因此改採用較高階的模組達到目的。

五、成果效益分析

本案藉由裝設智慧水表，對家庭用戶進行用水動態分析，利用智慧水表之內建智慧功能，例如漏水偵測、逆流警示、防竊水管理以及定期記錄等功能，可於表計端立即處理複雜的用水資訊，減少後端系統運算負荷。除智慧水表內建之智慧功能外，本案運用供水監測資訊平台進行數據閱覽與分析，供水監測資訊平台協助進行供水管網的水資源動態監測，其功能包含即時監測，管網水量水壓數據變化、漏損管理、數據分析，如異常用量/點位查詢或流量壓力對照趨勢圖、異常警示、進水譜流量區間等管理功能。

智慧水表與通訊設備結合，建置遠端水資源監測管理中心，作為供水調配依據，並即時確認水壓與水量關係；配合分區計量作業的進行，短時間迅速回傳資訊，即時掌握漏水區域，並能提早獲知爆管警訊。

建立用戶用水分析，可應用在大型用水用戶管理，降低漏水造成的資源浪費，而小型用戶亦能了解家中是否漏水及用水模式，以達節約用水之目的；配合智慧城市的建置，從社區住宅開始，民眾用水資訊隨時可掌握，更貼近民眾生活。

六、結論與展望

為使珍貴的水資源有效利用，大幅採用智慧水表，建置智慧水網，從管理經營面能更有效益與快速的管理水資源。智慧水表的普及，有利於全國智慧水網建置。

透過智慧水表，除減少人工抄表成本，還可運用在自來水的節流管理上，因其具備高敏感度的計量與多功能智慧管理功能，有效偵測管線漏水，降低漏水率與無收益水費，增加抄見率與售水率，改善營運管理，做為提供老舊管線汰換的評估。

另北水處更把自動讀表 AMR 數據導入供水監控系統內，發現應用價值很高，因為大用戶表與管網相連，每個表都可當作管網的監視點，未來於供水調度、管網漏水控制、降低水泵耗能各方面有很大應用性。

參考文獻

1.陳曼莉、時佳麟、曾喜彩、黃欽稜、梅英昌、宋奕穎(2016)。智慧水表之建置與應用發展，中華民國自來水協會104年度研究計畫。

2.陳曼莉、吳能鴻、林珈汶、蘇啟祥、葉蘇蓉、楊翠華、陳信雄、李鴻利(2018)。強化用戶內線服務以提升用水管理效能之研究，中華民國自來水協會107年度研究計畫。

3.黃欽稜、蔡裕國、曹俊傑、施俊宏(2018)。總

表口徑縮小之效益分析，自來水會刊第37卷第2期。
4.蘇政賢、楊崇明、黃敏惠(2015)。智慧電子水表在智慧水網的應用探討，自來水協會研討會論文。
5.連停48小時是適當的停水措施嗎(2015)。自http://mypaper.pchome.com.tw/changlc3455/post/1337473727(Jun.17,2020)。
6.林進其(2010)。最適化水量計更壞之研究，第六區管理處新猷營運所。
7.林彥呈(2019)。台灣每人平均一天用掉280公升自來水，水價逾20年不動。自https://www.taiwanintlwaterweek.com/zh-tw/news/ADAD2EB9564EA58C/info.html?lt=data&cr=28&cid=industry(May.22,2020)。
8.楊崇明、蘇政賢、黃敏惠(2015)。智慧型電子式水表在自來水管理之探究，自來水協會研討會論文。
9.楊崇明、蘇政賢、李宗蔚、黃敏惠(2016)。智慧水網的創新服務—談水保全與水文創的應用，自來水協會研討會論文。
10.徐大勝(2019)。自來水用戶裝設蓄水塔好處多。自http://etenews.net/?p=22415(May.22,2020)。
11.住家常見的自來水二次汙染。自https://www1.water.gov.tw/ch/05know/kno_b02_main.asp?bull_id=505(Jun.16,2020)。
12.Jae Chan Ahn, Su Won Lee, Kevin Y. Choi, Ja Yong Koo. “Application of EPANET for the Determination of Chlorine Dose and Prediction of THMs in Water Distribution System.” Sustain. Environ. Res. 22(1), 31-38 (2012).
13.Grayman, W., S. Kshirsagar, M. Rivera-Sustache and M. Ginsberg. (2012). “An Improved Water Distribution System Chlorine Decay Model Using EPANET MSX.” Journal of Water Management Modeling R245-21.
14.P. Ingeduld. (2007). “Real-Time Forecasting with EPANET.” DHI Water & Environment. World Environmental and Water Resources Congress 2007: Restoring Our Natural Habitat.
15.Oscar Tomas Vegas Niño, Fernando Martínez Alzamora, Joan Carles Alonso Campos, Velitchko G. Tzatchkov. (2018). “Using the Epanet toolkit v2.00.12 with different programming environments.” Mexican Institute of Water Technology.
16.Andrei-Mugur Georgescu. et al. (2015) “EPANET simulation of control methods for centrifugal pumps operating under variable system demand.” 13th Computer Control for Water Industry Conference, CCWI 2015.

作者簡介

時佳麟先生

現職：臺北自來水事業處副總工程司

專長：技術研發應用、地理資訊系統、工程考核管理、內線審圖檢驗

黃欽稜先生

現職：臺北自來水事業處技術科一級工程師

專長：管網改善、漏水控制、數值分析

盧雪卿女士

現職：臺北自來水事業處東區營業分處二級工程師兼股長

專長：自來水工程材料研發、管線施工管理

呂慶元先生

現職：臺北自來水事業處供水科二級工程師

專長：監控系統、自動讀表、水量計量測、計量技術

連文成先生

現職：臺北自來水事業處技術科二級工程師

專長：自來水機電工程設計施工

自來水事業推動信用評等與融資績效之研究

文/吳晉明、蕭淑貞、蔡明聰

摘要

近年來，全球氣候變遷異常，旱澇迅速交替，為因應國內經濟成長及社會民眾對自來水迫切需求，台水公司每年需投入鉅額工程經費，並配合政府政策，續以推動各項自來水公共建設現代化，降低漏水率，並積極提升供水服務品質，然台水公司營運上雖有穩定之給水收入，惟因水價長期無法合理反應成本，入不敷出，給水投資報酬率已呈現負報酬，自有資金嚴重不足，產生各項工程建設經費均須仰賴對外舉借債務支應，致未來債務規模將逐年成長，增加利息負擔及籌資之財務風險。

台水公司透過辦理信用評等機制，經由取得信用評等(twAAA)於票券市場籌資，發行免保證融資性商業本票取得低利資金成本，並創新融資循環發行 FRCP，以短期利率之資金成本取得中長期融資，避免融資過度集中於銀行借款，透過此增闢融資多元管道，達到降低資金成本，提升營運經營效能。

經實證結果台水公司發行免保證融資性商業本票，籌措短期或中長期資金，均較傳統銀行借款的融資成本相對為低，除節省債務利息支出外，並有助於持續推動現代化自來水建設所需資金之穩定來源。

關鍵字：給水投資報酬率、信用評等、循環發行 FRCP

一、前言

由於極端氣候災害發生的頻率不斷上升，全球各地區旱澇災情不斷發生，且日益嚴重，對於國家基礎建設如水庫、道路或橋梁等設施的影響重大，面對乾季變長，水庫蓄不到水影響供水與發電，或是豪雨加劇密集，致使基礎設施損壞率變高，政府必須不斷擴大公共投資，增加基礎建設資本支出，對原物料需求增加，引發通貨膨脹壓力，進而影響市場利率走向，面對極端氣候、旱澇不均、缺水危機及水資源管理受到重視，對於高資本投入的自來水事業將面臨籌措資金壓力及財務風險，並影響自來水事業現代化的永續經營與發展。

台水公司為國營自來水事業且非公開發行，過去主要融資管道係廣邀金融機構透過公開標借取得資金，以銀行借款及財政部地方建設基金借款為主，惟近年受國內外經濟環境變遷，台水公司面臨財務融資挑戰：

(一)受中美貿易戰影響，資金排擠效果。

因中美貿易戰台商回台投資，加上政府政策引導銀行提供資金供應台商投資土地、廠房及營運所需，銀行將部分資金由公部門移動到私部門，造成資金排擠效果，不利公司借款標借之資金提供。

(二)國際景氣變化快，利率動向難測

國際經濟變化瞬息莫測，景氣循環期間縮短，美國聯準會利率政策牽動國內資金市場，長期利率走勢更難預測，影響銀行長期利率報價意願，導致資金市場發生利率倒掛現象，影響公司長期資金取得。

(三)市場資金轉向高報酬貸放

早期銀行為降低逾放比率，減少呆帳發生，常爭取公營事業鉅額融資貸放為目標，近年來因銀行逾放比降低，市場氛圍轉向以追求資金高報酬，如以民營企業貸放、不動產市場貸放等利差高為對象，漸漸縮減公營事業利率競標之市場。

(四)過度集中銀行借款，財務融資風險高

因近年參與台水公司借款標借往來銀行漸減，尤其民營銀行基於資金成本較高，標借較無競爭性，紛紛退出標借市場，而公營銀行資金雄厚且資金成本較低，利率報價較具競爭力，常以單一鉅額低利率標借，致借款大多集中於單一銀行，未來一旦銀行政策反轉，將造成公司資金籌措風險提高。

(五)非公開發行公司，融資管道受限

因台水公司為非公開發行公司，無法公開發行公司債取得長期資金，且無信用評等，無法發行免保證商業本票籌措短期資金，僅能全部仰賴銀行借款，一旦銀行緊縮銀根，因缺乏其他融資管道，將面臨財務融資風險快速升高。

為此，台水公司重新調整財務融資政策，透過辦理信用評等方式至票券市場籌資，發行免經金融機構保證之融資性商業本票取得多元資金來源，並循環發行 FRCP 融資方式，以短期利率之資金成本取得中長期融資，經實證相較銀行借款融資成本為低，並降低資金成本，節省債務利息支出，增闢多元融資管道

二、台水盈虧現況及財務結構

(一)氣候變遷增加供水風險，財務負擔加重

由於極端氣候引起國內 104、109、110 年發生重大乾旱災害事件，政府及自來水事業紛紛投入辦理停灌休耕補償及救助金經費，總計投入經費 94.7 億元（104 年 25.6 億元、109 年 15.4 億元、110 年 53.7 億元），其中台水公司分攤經費 24.2 億元，占比 26%，此尚未包括增購原清水費及增加營管費用等，除影響當年度財務盈餘外，更要謀籌融資管道及資金成本。為因應氣候變遷造成缺水風險，台水為加強水資源調配及穩定各類用水，以開源、節流、調度及備援等四大規劃及分項執行計畫推動相關自來水建設，對於自來水事業的財務負擔更加沉重（表 1）。

表 1　近年國內乾旱重大事件與投入經費表

年度	乾旱事件	經費來源(億元)
104	實施 「大漢溪流域 桃園灌區」、「頭前溪、鳳山溪部分灌區」、「中港溪流域灌區」、「後龍溪流域 明德水庫灌區」、「大安溪流域北岸灌區」、「曾文溪嘉義地區及白水溪灌區」停灌。	農委會 11.9 科技部 2.7 水利署 5.9 台水公司 5.1
		合　計 25.6
109	桃園、新竹、苗栗地區二期停灌	科技部 1.6 水利署 6.9 台水公司 6.9
		合　計 15.4
110	桃竹、苗栗、臺中、嘉義及台南地區一期稻作停灌補償及救助費	農委會 24.3 科技部 3.8 水利署 13.4 台水公司 12.2
		合　計 53.7

(資料來源：本研究整理)

而現行水價已 27 年未調整，近 10 年(100 至 109 年)給水投資報酬率平均為-0.32%，明

顯偏低且為負報酬，致無法累積營運資金辦理各項自來水工程建設所須經費，資金缺口嚴重，均需仰賴舉借長期債務支應，以債養債結果，債務規模不斷地成長，造成台水公司負債比率逐年增加，109 年負債比率上升至 41.5%，借款佔總資產比率上升至 24.3%，台水公司財務結構逐漸惡化，信用風險增加。

圖 1　近 10 年(100-109 年)台水公司給水報酬率

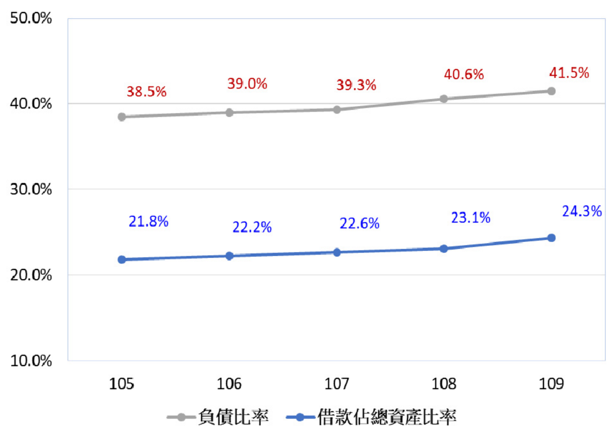


圖 2　台水公司負債指標

(二)以債養債，未來債務規模將持續成長

為穩定及改善供水設施，以確保供水品質，每年須投入龐大之固定資產建設專案計畫建設經費，近 5 年(105 至 109 年)固定資產投資專案計畫決算金額高達 640 億元，除增資 138 億元，台水公司須另自籌 502 億元巨額資金，平均每年需自籌經費高達 100 億元辦理各項供水工程建設，以提升供水品質，龐大資金需求及長期水價偏低結果，資金缺口僅能仰賴舉借長期債務支應。而長期舉債結果，並以債養債方式以償付舊有負債，致舉債規模持續攀高，由近 10 年(100-109 年)舉借累計 2,318 億元，其中主要用於償還債務計 1,959 億元，舉借新債用途於償還舊債之比重高達 85%，預期 111 年債務規模將達到 916 億元。

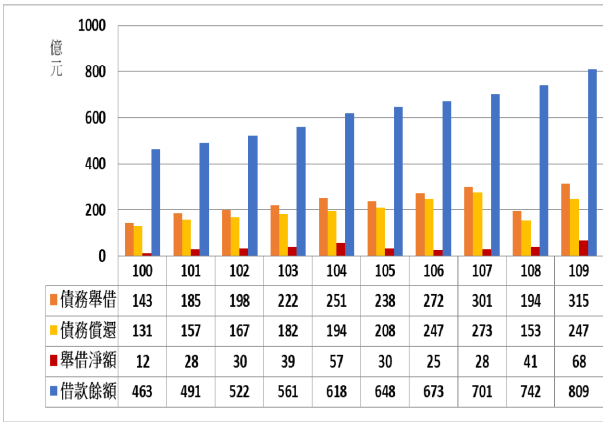


圖 3　台水公司近 10 年(100-109 年)債務規模

三、自來水事業融資風險與地位

(一)台水公司融資風險分析

融資風險指標係指企業因本身財務狀況惡化或其他因素，無法履行債務契約所約定的義務而構成違約，導致企業債信不良無法再向金融市場或金融機構再籌資，使企業受到損害之財務風險。因此，運用財務資料之 EBITDA 利息保障倍數、借款與 EBITDA 比作為衡量預測自來水事業之融資風險指

標。

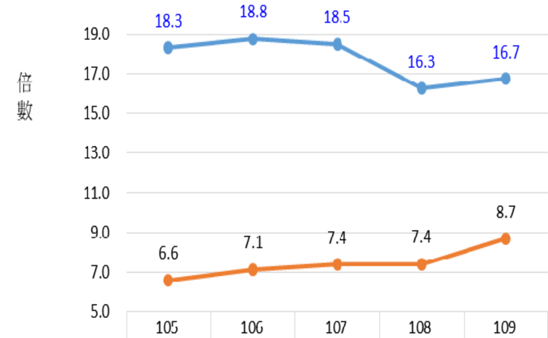
1.EBITDA 利息保障倍數

係衡量產生稅前淨利能否支付當期利息的指標，由於折舊及攤銷費用非屬現金支出項目，且對於自來水事業而言，因龐大的資本支出投入產生鉅額的折舊及攤銷費用，即產生營業活動現金流量，以稅前息前折舊攤銷前淨利(EBITDA)對利息費用之倍數為指標。

2.借款與 EBITDA 比

為衡量企業的財務槓桿與債務清償能力，同時，亦是信用評等機構衡量企業信用風險指標。

台水公司近 5 年（105-109 年）EBITDA 利息保障倍數由 18.3 降低至 16.7，代表稅、利息、折舊攤銷前的淨利支付利息能力降低;(借款/EBITDA)倍數則由 6.6 增加至 8.7，代表償債能力逐漸薄弱，融資風險升高。台水公司具有獨占地位的自來水供應，對於社會經濟運作所需及民生用水方面扮演關鍵的角色，政府會繼續支持財務投資台水公司，降低發生財務風險的機會。



	105	106	107	108	109
EDITDA/利息	18.3	18.8	18.5	16.3	16.7
借款/EBIDTA	6.6	7.1	7.4	7.4	8.7

圖 4　台水公司融資風險指標

(二)與國外自來水事業融資風險比較

蒐集國外自來水事業如美國水務公司（AWK）、韓國水資源公司（K-Water）財務數據，AWK 與 K-Water 二家借款規模較大，但台水公司 EBITDA 利息保障倍數相較於 AWK、K-Water 為佳，代表台水公司因取得資金成本較低，利息支出控管得宜，利息未隨著借款規模成長而大幅增加支出。惟隨著台水公司因執行供水政策增加資本支出、持續低水價及政府部分投資不足以抵銷營運現金流量缺口，影響公司營業獲利能力及現金流量，仰賴舉債結果，導致借款槓桿比逐漸升高。

（借款/EBITDA）倍數台水公司 8.7 相較 AWK 5.7 為高，代表債務到期無法立即清償的風險性提高，因此，同屬公營事業台水公司與 K-Water 均面臨較低水價訂定機制及借款規模增加，影響財務槓桿能力，再融資風險亦相對提高（表 2）。

表 2　與國外同業融資風險比較

單位：百萬美元

公司名稱	台水	AWK	K-Water
會計年度	2020/12/31	2020/12/31	2019/12/31
財務數據 營收 EBITDA 利息 借款 資產	1,105 328 20 2,839 11,571	3,777 1,923 395 10,940 24,766	2,574 824 354 10,006 19,548
融資風險指標 EBITDA/利息 借款/EBITDA	 16.7 8.7	 4.9 5.7	 2.3 12.1

(資料來源:American Water Reports 2020 Results、中華信評及本研究整理)

四、信用評等與財務融資策略

有鑑於國內資金市場變化，以往各銀行爭取借款已不復見，資金有漸趨轉向追求高報酬之私部門貸放，產生資金排擠效果，致台水公司借款往來銀行有趨於漸減且過度集中少數銀行，對台水公司融資風險將日益增加。經評估重新調整財務融資策略，辦理信用評等發行免保證商業本票籌資，以銀行借款與發行商業本票之財務融資組合，降低資金成本，以提高多元融資績效。

(一)信用評等機制概述

信用評等(credit rating)乃指信用狀況或償債能力之評等，係運用統計的方法擬定評等或評分的標準，將受評等對象的各項信用屬性予以量化，再計算其評分與等級所得之評比，依評等等級判斷其信用品質之良窳，提供予發行人、投資人與相關對象之用。國際上有三大信評機構：標準普爾（Standard & Poor's）、穆迪（Moody's）與惠譽（Fitch）評等公司；而國內目前有中華信用評等公司和惠譽國際信用評等公司台灣分公司等二家機構。

表3　發行免保證商業本票之信用評等等級門檻

信評公司	長期信用評等
標準普爾(S&P)	BBB-等級以上
穆迪(Moody's)	Baa3 等級以上
惠譽(Fitch)	BBB-等級以上
中華信評	twBBB-等級以上
惠譽國際台灣分公司	BBB-(twn)等級以上

「票據金融管理法」第五條之規定，票券商不得簽證、承銷、經紀或買賣發行人未經信用評等機構評等之短期票券。據此，融資性商業本票之發行人應經信用評等機構之評等，且根據「中華民國票券金融商業同業公會會員辦理免保證商業本票業務自律規範」中發行人之長期信用評等等級的規定，應達到相當等級（表 3）。

(二)信用評等流程

1.評等程序：

從評等申請、準備評等問卷資料、訪談上級主管機關經濟部、舉行公司管理階層及參訪淨水場、信評公司內部評等委員會議到評等結果公布等，整個評等過程約需耗費 3 至 4 個月時間，且評等結果出來之後，信評公司亦會持續予以監視追蹤公司營運狀況（表 4）。

表 4　台水公司辦理信用評等流程表

信評流程及步驟		辦理說明
1	申請評等	依委託服務類別與信評公司簽約。
2	準備評等資料	台水公司針對信評公司問卷(questionnaire)內容進行資料準備，於管理階層會談(management meeting)前一週提供提供答覆書予信評公司。
3	訪談經濟部	信評公司主辦分析師拜會台水公司主管機關經濟部，與首長進行訪談。
4	進行高階管理階層會談	由信評公司評等分析師小組與台水高階管理階層，就公司過去營運績效、營運現況、未來發展趨勢、企業願景、管理哲學及競爭策略等重點，進行提問與回答。主辦分析師並簡介評等準則。
	參訪淨水廠	安排信評公司評等分析師小組參訪公司淨水廠，瞭解自來水供水作業。
5	信評公司舉行評等委員會決定信評等級	由信評公司召開評等委員會，成員包括國內外分析師開會投票決議出評等等級。
6	通知台水公司評等結果	通知評等結果，如有意見，可針對評等理由函文補件申覆一次。
7	定期評等監視	評等結果產生後，持續年度監視台水公司營運狀況。

2.評等結果：

中華信評公司依評等準則，連續 2 年（109、110 年）授予台水公司國家等級長期發行體信用評等為「twAAA」，短期發行體信用評等為「twA-1+」，展望「穩定」，其支持理由如下：

(1)台水獲得及時政府財務支持的可能性幾乎可以確定。

(2)台水的供水服務對台灣經濟與生活水準的維持至關重要。

(3)政府不太可能會將台水民營化，而且應會繼續對該公司進行嚴格的控管與監督。

(4)獨占地位不太可能改變，效率應會持續提高。

(三)發行免保證商業本票融資降低資金成本

透過辦理信用評等發行免保證商業本票籌措資金，可依本身資金需求狀況、利率結構，自由決定發行期間長短，靈活調度資金，所負擔之成本，較向銀行短期借款融資為低，而且於票券市場籌資，可提高公司知名度，並增闢融資管道，降低資金成本。台水公司藉由取得最佳等級信用評等「twAAA」，即於票券市場發行免保證商業本票籌措資金，經由上網公開發行票券，市場反應熱烈，簽訂票券往來金融機構累計達 20 家。自 109 年 7 月起至 110 年 6 月止發行免保證融資性商業本票共計 10 次，累計發行金額為 492 億元，發行利率區間 0.238%~0.393%(圖 5)。

(四)循環發行 FRCP 籌措中長期資金

1.約定利率商業本票（FRCP）

所謂約定利率商業本票(FRCP)為票券約定利率到期續發方式循環發行商業本票。約定利率有採固定利率(fixed rate)與釘住雙方約定之指標利率(fixed to index rate)之浮動利率兩大基本形式，約定一定期間為一年以上，最長不得超過五年。

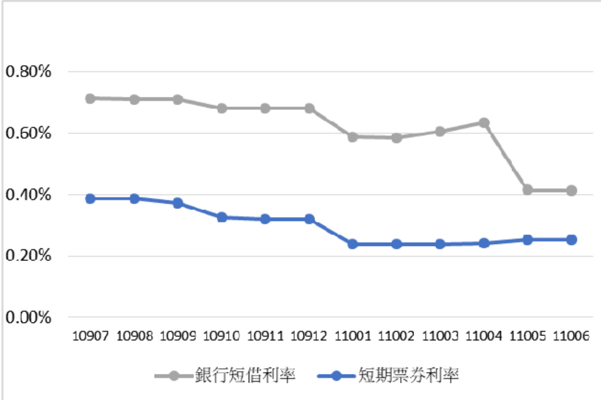


圖 5　台水公司發行免保證商業本票利率

(1)臺灣短期票券報價利率指標（TAIBIR）：係為使金融市場連結之短期票券報價利率指標具公信力、代表性及不易被操縱特性，票券公會於 2009 年 10 月制訂臺灣短期票券報價利率指標（Taiwan Bills Index Rate，簡稱 TAIBIR）之規範及管理機制，經主管機關及中央銀行核備後，委託臺灣集中保管結算所股份有限公司（簡稱集保結算所）辦理指標編製作業。

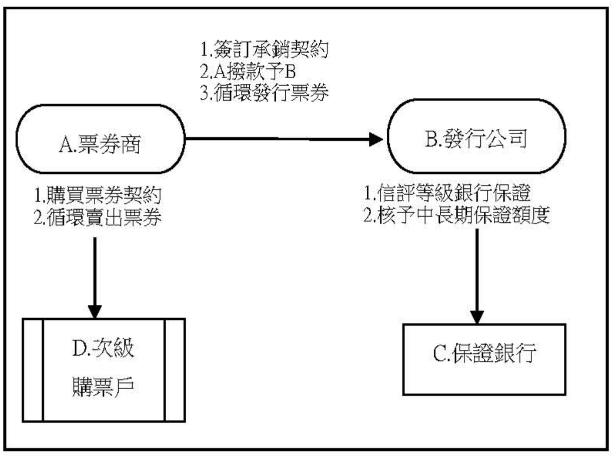
(2)TAIBIR 報價內容：目前臺灣短期票券報價利率指標（TAIBIR）報價內容為各天期短期票券之初、次級市場報價利率，有 10 天、20 天、30 天、60 天、90 天、120 天、150 天、180 天及 365 天，共 9 種天期。TAIBIR 於 2010 年 12 月通過國際交換暨衍生性商品協會(ISDA)認證，正式納入 ISDA「利率及貨幣衍生性金融商品契約」名詞

定義，符合資訊公開透明、公正客觀及不易被操縱特性，可作為各種新臺幣利率金融商品定價及評價之參考依據。

2.FRCP 發行與交易流程

FRCP 自發行到交易流程如圖 6 所示，由發行公司與票券商簽訂一年以上，最長五年的發行協議書或承銷契約，於期限內循環發行，發行利率可約定採固定或浮動利率計息，票券商於票券發行日將票款匯入發行公司帳戶，同時將該票券於市場出售予投資人，收取資金完成交易。倘發行公司取得信用評等則免經金融機構保證即可辦理發行，免除支付保證費，則發行總成本為貼現票面利率、承銷費用及集保交割服務費等成本(All-in-cost)。

目前台水公司發行商業本票作業，係使用臺灣集中保管結算所股份有限公司短期票券登錄系統(BRS)，採取無實體電子登錄發行作業方式，透過發行作業平台以電子方式傳送，提升發行作業之便利及效率（圖 7）。



(資料來源:黃介琳 貨幣觀測與信用評等 2013 年 11 月)

圖 6　FRCP 發行與交易流程

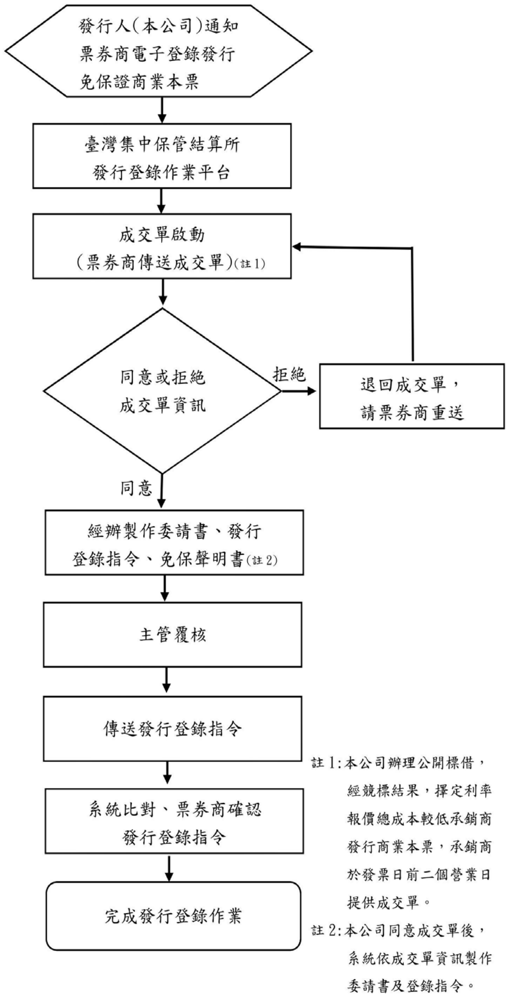


圖 7　台水公司發行免保證商業本票流程圖

五、台水公司融資實例分析

本研究以台水公司 109 年度固定資產建設改良擴充計畫及週轉所需中長期融資，探討採用循環發行免保證商業本票(FRCP)200 億元之創新融資，取得以短期利率之資金成本取得中長期融資，運用銀行借款及 FRCP 二者之財務融資組合，達到降低資金成本最佳化。

(一)約定循環發行協議書

與各金融機構辦理 FRCP 須訂定發行協議書（或契約），有關循環發行內容及協議書主要攸關條款說明如下：

1.發行額度：全額發行，與簽訂發行協議書之金融機構，訂定同意於約定期限內，完成首次全額發行商業本票，不得間斷，直到發行期限屆滿時還本。

2.發行天期：每次發行天期應由雙方議定，其最後到期日為協議書所訂有效期間之終止日。

3.發行成本(利率報價)：以每次發行日前二個營業日之臺灣集中保管結算所公告30天期TAIBIR 02 歷史次級買賣利率報價定盤利率加(減)%為發行總成本（含貼現票面利率、承銷費用及集保交割服務費等一切成本）。

(二)循環發行交易模式

在完成徵選及簽訂協議書後，台水公司於 109 年 12 月 29 日全額發行 200 億元FRCP，首次發行日起以每 30 天循環發行(不得超過 30 天)排定發行日程表(如表 5)，承銷發行金融機構依每次發行日前二個營業日之臺灣集中保管結算所公告 30 天期 TAIBIR 02 歷史次級買賣利率報價定盤利率加(減)碼為發行總成本。

(三)融資效益分析

台水公司融資以循環發行 FRCP 取代部分銀行中長期借款，透過每 30 天內發行一次票券，3 年期間（109-112 年）累計共發行 40 次，以發行平均利率為 0.5046%，相較同期銀行中長期借款報價利率 0.6283%，利差為 0.1237%，發行金額 200 億元，每年預估可節省利息效益達 2,476 萬元（如表 6）。

表 5　台水公司循環發行 FRCP 日程表

次數	展期日期	循環天數	次數	展期日期	循環天數
第1次	109.12.29		第21次	111.07.15	28天
第2次	110.01.28	30天	第22次	111.08.12	28天
第3次	110.02.26	29天	第23次	111.09.08	27天
第4次	110.03.26	28天	第24次	111.10.07	29天
第5次	110.04.23	28天	第25次	111.11.04	28天
第6次	110.05.21	28天	第26次	111.12.02	28天
第7次	110.06.18	28天	第27次	111.12.30	28天
第8次	110.07.16	28天	第28次	112.01.27	28天
第9次	110.08.13	28天	第29次	112.02.24	28天
第10次	110.09.11	29天	第30次	112.03.24	28天
第11次	110.10.08	27天	第31次	112.04.21	28天
第12次	110.11.05	28天	第32次	112.05.19	28天
第13次	110.12.03	28天	第33次	112.06.16	28天
第14次	110.12.30	27天	第34次	112.07.14	28天
第15次	111.01.28	29天	第35次	112.08.11	28天
第16次	111.02.25	28天	第36次	112.09.08	28天
第17次	111.03.25	28天	第37次	112.10.06	28天
第18次	111.04.22	28天	第38次	112.11.03	28天
第19次	111.05.20	28天	第39次	112.12.01	28天
第20次	111.06.17	28天	第40次	112.12.28	27天

註:如遇天災或不抗力因素致表列日期變動，實際日期將另行於該發行日前三天通知。

表 6　FRCP 取代銀行借款效益　　單位:萬元

發行金額	FRCP 利率 (A)		銀行長借利率 (B)		利差 (B)-(A) (%)	節省利息 (年)
	加減碼(%)	利率 (%)	加減碼(%)	利率 (%)		
200,000	-0.075	0.44	0.1133	0.6283	0.1883	377
300,000	-0.08	0.435	0.1133	0.6283	0.1933	580
200,000	-0.05	0.465	0.1133	0.6283	0.1633	326
200,000	-0.03	0.485	0.1133	0.6283	0.1433	287
300,000	0	0.515	0.1133	0.6283	0.1133	340
200,000	0.038	0.553	0.1133	0.6283	0.0753	150
300,000	0.038	0.553	0.1133	0.6283	0.0753	226
300,000	0.050	0.565	0.1133	0.6283	0.0633	190
2,000,000		0.5046		0.6283	0.1237	2,476

截至 110 年 6 月台水公司共已完成循環發行 7 次，發行利率區間為 0.5150%～

0.5073%，相較與銀行中長借利率利差區間為 0.1237%～0.1316%，已實現節省利息為 1,399 萬元，發行 3 年期 FRCP 可節省利息融資績效達 7,428 萬元。另平日資金調度發行短天期商業本票自 109 年 7 月起至 110 年 6 月止共發行 10 次，累計發行金額達 492 億元，票券發行平均利率 0.30%，相較銀行短期借款利率 0.574%，已實現節省利息效益達 3 千萬元，綜上，台水公司辦理信用評等發行免保證商業本票整體融資績效總計 10,428 萬元（表 7）。

表 7　台水公司創新融資績效　　單位:萬元

發行內容	節省利息效益		
	已實現效益 109.7~110.6	未實現效益 110.7~112.12	總效益
長期 FRCP	1,399	6,029	7,428
短期 CP	3,000	-	3,000
總計	4,399	6,029	10,428

六、結論與建議

長期以來自來水事業為穩定供水需要，不斷持續地投入龐大的資本支出，以加速自來水建設的現代化，因投資回收期較長，倘全部融資均倚賴銀行借款，一旦市場資金緊俏或利率反轉，則容易發生籌資風險，為力求多元穩定的資金來源以分散籌資風險，台水公司調整財務融資政策，透過辦理信用評等，於票券市場發行免保證商業本票取得多元資金來源，經實證產生效益可歸納：

(一)透過信用評等機制過程，對公司本身的營運地位與財務體質進行總體檢，有助於提升公司治理及知名度。

(二)增闢多元融資管道，靈活資金調度，分散財務風險。

(三)循環發行 FPCP，以短期資金成本取得中長期融資，取代無法發行公司債之不足。

(四)大幅降低資金成本，節省利息支出，提升經營績效。

目前台水公司融資是採取發行免保證商業本票與銀行借款二種之融資組合，在面臨未來持續增加之龐大債務規模，除繼續加強資金管理及開源節流財務措施外，並持續關注金融市場利率的變化，調整最適財務融資組合比重，並善用循環發行固定利率或浮動利率 FRCP 籌資中長期資金，以期降低資金成本及利率風險，俾利持續推動自來水建設現代化所需資金之穩定來源。

參考文獻

1.American Water Reports, 2020 Results, https://ir.amwater.com/news-and-events/financial-releases/financial-release-details/2021/American-Water-Reports-2020-Results/default.aspx

2.Korea Water Resources Corporation Separate Financial Statements. December 31 2019 And 2018. https://www.kwater.or.kr/eng/inve/annuPage.do?s_mid=1203

3.黃介琳，固定利率商業本票(FRCP)簡介與評價探討，貨幣觀測與信用評等，2013。

4..德勤財務顧問股份有限公司，台灣自來水股公司發行公司債及融資決策之研究，2017。

5.王張財，信用評等可協助企業發行免保證商業本票取得多元資金來源，2018。

6.中華信用評等公司，台灣自來水公司信用評等報告，2021。

7. 臺灣集中保管結算所網站資料，https://www.tdcc.com.tw/portal/zh/investor/bonds

作者簡介

吳晉明先生

現職：台灣自來水公司財務處組長

專長：財務金融、資金管理

蕭淑貞女士

現職：台灣自來水公司財務處處長

專長：事業經營、財務管理

蔡明聰先生

現職：台灣自來水公司財務處組員

專長：財務規劃、現金預算

本刊 110、111 年「每期專題」

期別	主　題	子　　　題	時程
40 卷第 4 期	抗旱應變及供水服務	1.提昇服務品質、2.資訊管理與應用、3.自動讀表技術應用、4.物聯網及 ICT 技術、5.節約用水及效率措施、6.可持續的水價、7.進階抄表管理系統．8.氣候變遷、9.抗旱期間供水服務與經驗。	110 年 11 月
41 卷第 1 期	工程技術	1.工程規設、施工及計劃管理、2.智慧供水技術、3.管線免開挖更生技術、4.環境友善及先進水處理技術、5.創新水源開發技術、6.薄膜技術、7.新興污染物處理技術、8.新興技術。	111 年 2 月
41 卷第 2 期	營運管理	1.供水設施營運操作、2.供水系統維護管理 3.管線失效故障分析、4.管線狀況評估、5.降低無收益水量、6.集水區保育治理、7.緊急應變及危機管理、8.管網建模及應用。	111 年 5 月

～歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優～

以智慧化方式規劃小區（DMA）動態計量

文/黃嘉昌、張世勳

摘要

隨著國際間流量計自動讀表、無線回傳技術的發展，為提升小區（DMA）管網改善與維護管理之效率，北水處於民國 107 年 2 月開始在小區的進水點，利用窨井安裝智慧型流量計 DSM（District Smart Metering），藉由無線傳訊方式將小區的即時流量與壓力資訊回傳至水資源平台進行售水率計量，目前 DSM 流量計安裝後已開始對小區進行即時售水率追蹤、評估施工成效、供水監控等應用。

統計 107 年至 109 年北水處已採購並安裝共 262 只 DSM 流量計，另將於 110 年至 112 年再安裝 300 只 DSM 流量計，預計至 112 年將約有 500 個小區已開始使用 DSM 流量計進行流量與壓力計量，已佔全部小區(831 區)之 5/8，使小區開始能進行智慧管理運用。另外，北水處自民國 106 年起建置「WEBGIS」，執行期間配合小區各項應用，特別建置小區管理模組，提供小區內相關管線、閥栓、用戶水費、施工資訊、舊有管線圖層等資料並將其數位化後，已能快速取得並統計小區內各項資訊，作為建立小區智慧化各項應用的基礎。

一般售水率的量測需要操作制水閥封閉外，另外需要大量人工方式進行小區流量計與區域內所有用戶總表、直接表的 2 次抄表，本文盼藉由新設備 DSM 流量計與新平台 WEBGIS 的互相使用搭配，以更有效率地手法進行售水率計量，以降低售水率計量所需的人工及其費用並提升計量區塊數量。

一、前言

為使各小區能更有效率的管理與應用，北水處於民國 107 年開始於部分小區進水點安裝具自動讀表、無線回傳功能之流量計，口徑 200mm 及 300mm(如圖 1)，並統稱為 DSM(District Smart Metering)流量計，藉由 4G LTE 網路傳訊顯示管線內自來水之瞬間流量及累積流量值，另外於流量計窨井內安裝壓力計，一併回傳管網水壓。至 109 年止共已完成安裝 262 只 DSM 流量計於 228 個小區中，並預計於 112 年可再完成安裝 500 只以上之 DSM 流量計。

圖 1　DSM 流量計

為使經由 DSM 流量計回傳之小區流量、壓力資料可藉由數據處理得到有效的應用，北水處已建立水資源網站平台，平台架構(如圖 2)，每只 DSM 會將每分鐘的感測數據包含時間、流量計編號、壓力、瞬時流量、

累積流量、4G 信號強度及電池電量等資訊，透過 4G LTE 傳送至中繼伺服器後寫入紀錄檔案，再以 HTTP 協定拋轉至後端平台進行解析作業，包含感測資料重複、遺漏、補償及連線異常等處理，且能同時接收數十個(含)以上的連線處理，以及當傳輸異常或斷線後，發送端須備存資料於一定的時間範圍(至少 1 週)內，當網路連線正常能在 60 秒內具備自動連線機制，以確保裝置端和平台端傳輸的所有資料不會遺失。

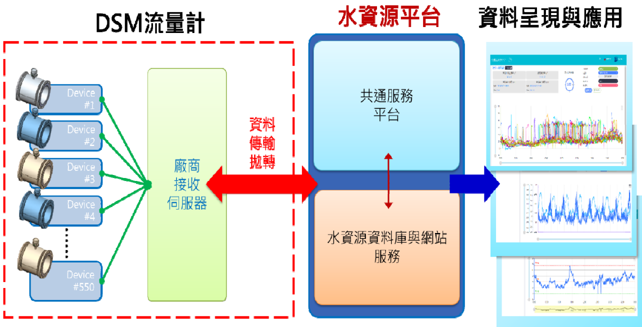


圖 2　水資源網站平台架構

水資源網站平台針對 DSM 感測資料進行基本運算、顯示多種趨勢線圖及提供裝置相關管理介面，簡單介紹如下。

1.呈現數據趨勢圖與統計分析運算

綜合性壓力、流量和電量區間數值趨勢，並可依據選擇的時間範圍，分析出平均日流量、累積總流量、單點最大最小值流量的時間與詳細數據，並計算出該區間最小流售水率，如圖 3。

2.資料管理介面

提供水表或窨井裝置資訊，包含小區群組分類、行政區、安裝與設置時間、ISP 電信商信號、地址、經緯度座標以及管徑基本資料管理，如圖 4。

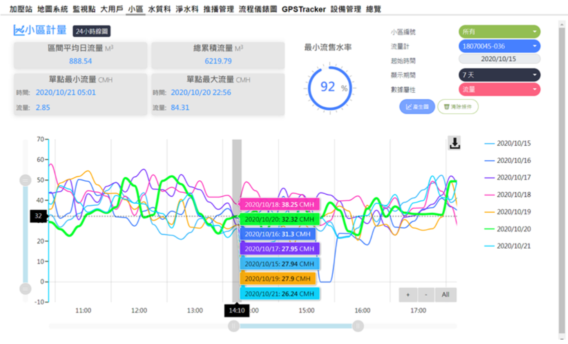


圖 3　水資源網站平台呈現內容

圖 4　水資源網站平台管理介面

WEBGIS 系統將北水處的管線設備予以數位化，系統中有關小區應用功能包含：小區總覽、小區資訊查詢、小區範圍編修、小區初複評編修、小區斷水追蹤及各種施工與小區履歷等重大功能，在小區資訊查詢功能中，可以透過圖台上查詢小區空間範圍，框選小區範圍內的水表，即時介接用戶用水量資料庫，除可呈現小區之基本資料外，並可呈現小區 DIP 化及 SSP 化比例、售水率、用戶用水量、窨井、消防栓、邊界制水閥、初複評記錄、小區履歷事件填報數量等資料。

一般只要知道小區在進水點的日平均進水量，再搭配小區用戶日平均用水量，就

可以輕易的推估漏水量，所以對於小區內用戶日平均用水量的統計非常重要，WEBGIS 系統將北水處業務單位的水費系統納入，只要框選到所需要的小區或特定範圍，如圖 5，都能即時統計這個區域內近 6 期，由分處業務單位抄表員所抄得計算之水費資料，即可予以換算後成為日平均用水量，相較以往，突破需透過各種報表累加之繁雜程序，才能統計用戶用水量資料，且予以數位化後便於各種運算分析。

圖 5　用戶日用水量查詢功能

二、以用戶平常抄計算售水率

小區關閉週邊制水閥保留單一或特定進水點，確定可獨立後，於進水點找尋適當位置，埋設窨井安裝流量計量測進水量並評估售水率，而評估方式在 106 年以前，北水處一般採下列 2 種執行方式：

1.實際計量(直接法)

實際派員抄用戶表，一般採 14 日，以量測分區窨井內流量計累積流量作為分母，小區內用戶用水度數作為分子，即可得知該分區之售水率。

2.夜間最小流量測(間接法)

於該區主幹管安裝流量計，主要利用夜間用戶用水較少之特性，經由長時間紀錄流量資料推估漏水量，因無需動員人力抄讀用戶水表度數，作業上較直接法相關簡易，但半夜如有用戶持續進水，利用本法所得最小流量常包含夜間用戶用水，造成漏水量估算準確度較實際量測為差。

目前水資源平台已具備推測小區售水率的功能，其推測方式以判斷最小流的方式，找出 DSM 流量計在單位時間(1 日、3 日、5 日、7 日、14 日、30 日等)內所發生最小流量，並視為漏水量再與單位時間之總進水量相比得到推測售水率，如圖 6。然而當用戶持續用水也發生在最小流量內時，將被一併計入視為漏水量，導致所推估出來的售水率較實際偏低，一般低估量約在 10-30%之間。

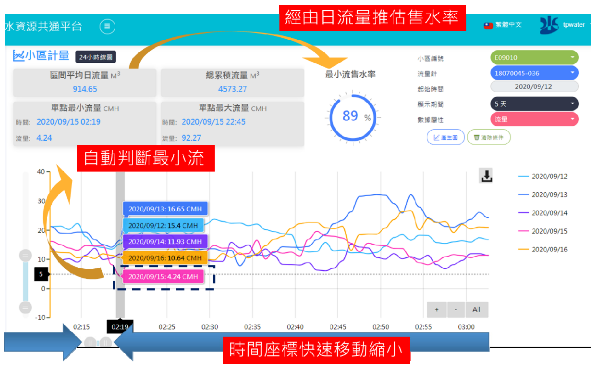


圖 6　水資源平台以最小流推算售水率

自 107 年起由於 WEBGIS 系統將北水處業務單位的水費系統納入，可以方便得到小區內所有用戶的近期日平均用水量，透過小區封閉後，流量計所記錄之日進水量，可以與用戶近期的日平均用水相除，即可得小區內之售水率，此法可稱之為售水率平均法，如圖 7 所示。

圖 7　以平均法計算小區售水率

透過平均法以用戶平常抄所計算之售水率之方式，目前，北水處在初評及自評計量時以多採用此售水率量測方式，惟此法用戶所測得的日平均用水量為該區域內前半年內所抄得之日平均量，故與實際售水率也會有偏差，然因北水處轄區多位於都市內，用戶組成較為固定，除了重劃區以外，用戶平均用水量穩定，經北水處於 109 年實際採用 16 個改善完成小區進行統計比較，16 個小區中實際進行 14 日全區進行實抄之平均售水率為 95.21%，而若採平均法方式推測，此 16 個小區採用平均法之平均售水率為 99.24%，顯示平均法之誤差僅有 4.03%，故若以用戶平常抄方式推估其售水率相當快速省力且有一定之準確度，非常適合以平均法作為長期售水率變化趨勢的分析與判斷基準。

三、動態計量構想

北水處轄區多屬於類似棋盤格網狀，必須以邊界閥進行封閉區隔才能形成小區，因小區與小區間管線環環相扣，為使管網都能連通以輸送穩定壓力與水質之自來水，除非大幅提高供水水壓，並不建議將轄區內之小區進行多數長期封閉。但不封閉在現階段對於小區來說，就無法計量求得售水率，在小區無法長期封閉的前提下，DSM 流量計如果廣泛的安裝於小區中，除了獨立之小型加壓系統或郊區邊緣地帶的小區，可透過天然唯一進水點長期以 DSM 流量計監控其是否發生漏水外，無法長期封閉的小區，希望能透過動態封閉的方式進行監控。

動態封閉小區就是利用北水處目前對於小區所使用的分級維護的觀念，透過統計每個小區的 DIP、SSP 化比例、平均管齡及漏水頻率等相關主題，以平均管齡大的、經常漏水的、DIP 或 SSP 化比例較低的，將各項因子賦予權重，例如 SSP(栓)化百分比之影響，經統計其對於售水率下降的影響最大，漏水復發情形以 SSP 栓比例越低者越嚴重，所以在所有因子中，SSP(栓)化給予最高之權重，計算各項因子權重後，將各項分數疊合，算出每個小區所得的總分高低並予以排名，為建立長期維護分級制度，依照漏水復發風險將每個小區進行漏水風險評分，依照評分高低進行分級，風險高的優先進行檢查。

有計畫性地依照律定的小區維護名單，在不會因為關閉制水閥而互相影響的前題下，建立每年要進行封閉計量的小區名單與時間點後，依順序進行封閉，在完成所需要計量的時間後，如 7 日或 14 日等，就將小區邊界閥開啟，以此方式循環進行，在封閉的時間，因為未來各小區已幾乎都完成裝設 DSM 流量計，其封閉期間小區累積流量與最小流等資料，都會自動回傳至北水處水資源平台，再透過 WEBGIS 統計小區內近期用戶用水量，將這些計算程序律定於系統中，再

由系統自動產出售水率，簡單的說，如圖 8，只要依照計畫逐小區進行封閉與開啟，不需要派員抄表與計算，就可以透過系統逐小區自動產生售水率，並可搭配設定警報值，若小區量測到售水率過低或與前次比較有明顯降低，可透過系統設定的方式，經由自動判斷後發出警訊(如圖 9)；或著更進一步可以透過系統全盤掌握所有單位時間內所測得的小區售水率量測值後，透過預算與小區管線組成比例長度等因子，由系統分析後告知北水處那些小區必須進場檢測或進行管線汰換。以此動態封閉小區的方式，持續監控

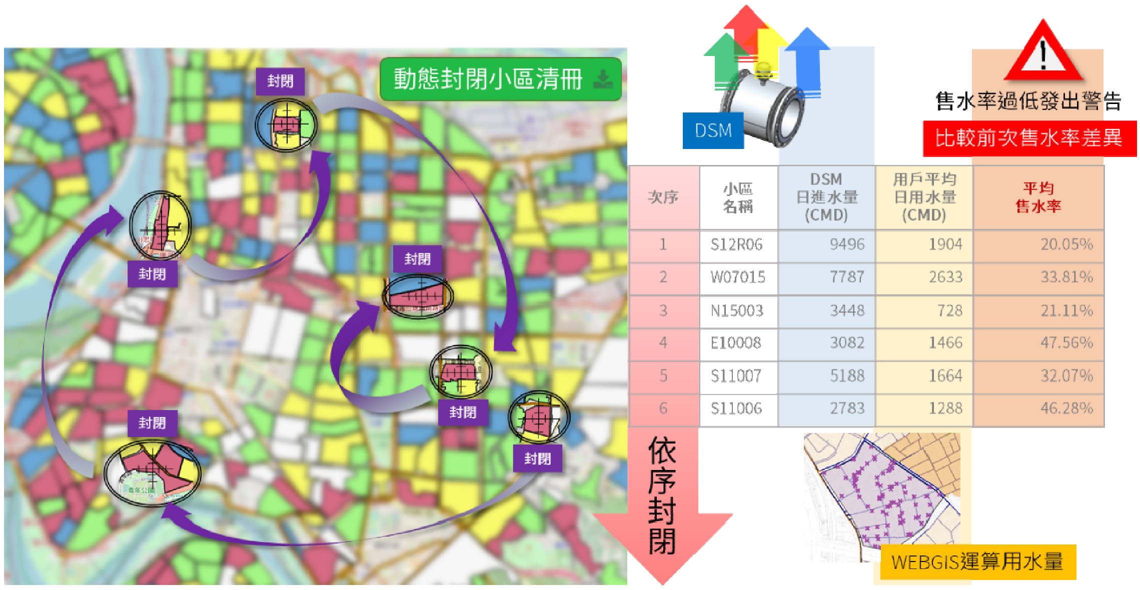


圖 8　智慧化動態小區計量執行方式

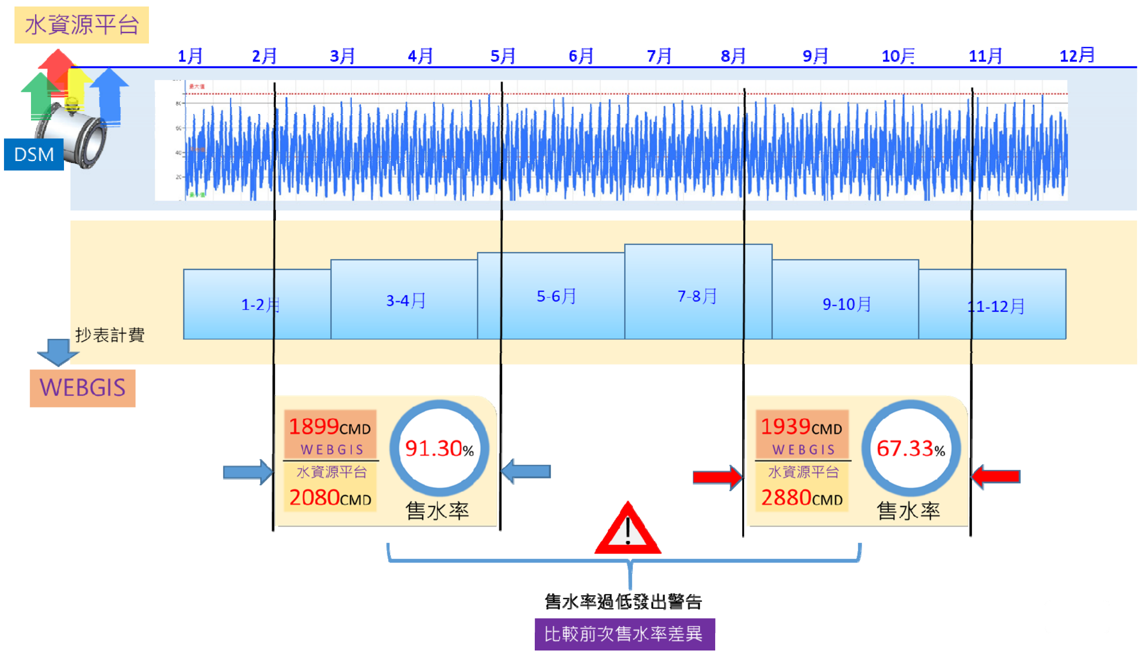


圖 9　動態小區系統售水率比較方式示意

小區售水率，發現售水率下降即進場檢測或改善，由於小區間管網環環相扣，只要每年執行的小區數量足夠，將可以逐步剔除轄區漏水癥結點，以管網相連形成更穩固的供水脈絡。

四、結論與建議

自來水管網改善後並非從此高枕無憂，隨著管線老化，漏水與改善是反覆循環的關係，因此完成改善之後續長期維護與管理，對於維持整體售水率顯得相當重要。統計至 109 年底共劃設 831 個小區,其中有 377 小區完成改善(售水率 90%以上)，如何維持這些小區保持良好售水率為長期維護管理工作重點。

109 年起對改善完成小區，統計管線組成材料比例、管齡、漏水件數等資料，進行分級維護，依照漏水復發風險將每個小區進行評分，以分數高低進行分級，類似健康檢查概念，風險高的小區以噪音收集器優先進行健檢，並預計於每年重新檢討後進行輪動分級管理。北水處於民國 106 年至 109 年於轄區完成第 1 階段 262 只 DSM 流量計裝設,使轄區漏水率自民國 106 年之 14.18%下降至 109 年之 12%以下，功不可沒，且預計於 112 年將累積安裝達 500 只以上，對於小區計量與漏水評估方式，已進入多元化發展，利用本文結合 WEBGIS 與水費系統等，只要有系統的建立小區邊界制水閥封閉與開啟順序與時間，不再需要派員抄表就可以計算售水率。

後續對於小區的長期維護管理，建議依照小區過去的操作經驗與未來需要，以結合噪音收集器與 DSM 流量計等各種設備，提升維護管理效率及可行性為目標進行探討，找出最適合的維護方式，並嘗試將其規則定義於相關平台內，以創新方式推動未來發展，期待智慧小區能再以提升管網改善與管理效率為目標，創新引領未來。

參考文獻

1.Successful NRW Reduction Experience in China - Iwa-waterloss.org，2015

2.Julian Thornton，Water Loss Control Manual，2008。

3.F. Arregui、Enrique Cabrera Jr、R. Cobacho，Integrated Water Meter Management，IWA，2007。

4.臺北自來水事業處，供水管網改善及管理計畫-第四階段計畫，2019。

5.黃裕泰、黃嘉昌，分區計量長期管理結合智慧水網應用模式探討，中華民國自來水協會第35屆自來水研究發表會，2018。

6.黃嘉昌，應用AMR流量計等設備進行全階段小區計量精緻化，中華民國自來水協會第36屆自來水研究發表會，2019。

7.王銘樽、黃裕泰、張世勳、廖芳麟、黃嘉昌、鍾育霖、張國峰，臺北供水區小區智慧化應用與發展探討，中華民國自來水協會109年度研究計畫，2020。

作者簡介

黃嘉昌先生

現職：臺北自來水事業處陽明營業分處二級工程師

專長：小區計量、管網改善

張世勳先生

現職：臺北自來水事業處供水科　股長

專長：小區計量、漏水控制

澎湖馬公地區海淡廠藍氏飽和指數(LSI)影響配水水質之探討

文/李典益、呂昌森、李蘊理、洪世政、吳振榮

摘要

澎湖地區因用水量逐年提高，台灣自來水公司興建海水淡化廠增加供水量[1]，海淡廠出水水質之水中鈣、鎂離子、鹼度等濃度偏低，致水質藍氏飽和指數(LSI)呈現負值[2-5]。此出水水質特性對於配水管線內面造成不同程度的侵蝕腐蝕影響，產生 pH 偏高、積砂、濁度、紅水及異味等侵蝕腐蝕現象，影響水質安全。本研究針對澎湖馬公地區各海淡廠及淨水場清水水質進行了解，同時探討各廠(場)配水管網水質變化情形。

馬公第一海淡廠 LSI 偏-1.0 操作，清水水質 pH 偶有偏高，又鹼度過低未規範，氯鹽、硫酸鹽雖有規範但都偏高，致 LR 平均可達 10.21，如此持續可能造成配水系統 pH 過高及管線腐蝕現象發生。馬公第二海淡廠 LSI 偏 0 操作，清水水質 pH 仍偏高，但因鹼度略大於馬公第一海淡廠，氯鹽、硫酸鹽小於馬公第一海淡廠，致 LR 平均為 3.36，如此持續可能造成配水系統 pH 過高及管線腐蝕現象發生。成功場混合成功水庫傳統處理、地下鹽井淡化、馬公第一海淡廠，傳統處理因原水 TOC 過高，添加硫酸，不利侵蝕、腐蝕性控制，而鹽淡廠未規範 LSI，造成混合清水 LSI 為-1.96~-0.9，因成功場過濾水鹼度高，致混合清水 LR 平均為 3.17，尚無 pH 超標及紅水事件。

海水淡化廠腐蝕控制策略應以源頭處理為最佳方式，即採優化礦化法。因 LSI、RSI 及 PSI 是評估水泥內襯管是否結垢或侵蝕的指標，國際上較常用為 LSI，AI 是評估石綿水泥管是否結垢或侵蝕之指標，另 LR 是無內襯鐵管是否腐蝕指標，而澎湖海淡廠現況水質規範僅訂 LSI 未能充份反應水泥之侵蝕及金屬腐蝕，衡之澎湖地區金屬腐蝕現況，除參考國外修訂 LSI≥0，並增訂 LR<0.5，方能同時兼顧水泥內襯侵蝕及金屬腐蝕。

澎湖鹽淡廠均未規範侵蝕、腐蝕性參數，建議新設鹽淡廠比照海淡廠訂定 LSI≥0，LR<0.5，另既有廠宜研議改善。

關鍵字：藍氏飽和指數(LSI)、拉森比率(LR)、侵蝕性、腐蝕性、淡化廠、礦化塔

一、前言

澎湖地區因水庫及及下水源缺乏，加上觀光及商業發展，用水量逐年提高，故台水公司興建海水淡化廠增加供水量。

海淡廠出水質雖符合飲用水質標準，惟水中鈣、鎂離子、鹼度等濃度偏低，致水質藍氏飽和指數(LSI)呈現負值。此供水質特性對於配水管網線內面、用戶分水鞍造成不同程度的腐蝕影響，造成積砂、濁度、紅水及異味等腐蝕副產物問題，影響水質安全，並導致民怨，傷害自來水公司形象。此外，管線腐蝕所造成漏水問題除了造成供水水壓

不足亦會降低自來水事業售水率並提高供水成本，進一步導致修補及抽換管線的經濟損失。為解決並改善上述供水腐蝕性問題，對澎湖地區海淡廠營運現況及各處理單元出水水質進行了解，建立基本資料，同時探討各段配水管網水質變化情形，並提出改善對策，以提供自來水事業相關單位參考應用[6,7]。

二、研究方法

(一) 研究內容

本研究為了解成功淨水場及馬公第一、第二海淡廠之出水水質及所屬供水系統之配水水質，每半個月對各淨水場清水及配水點採樣及檢測分析，如表 1 及表 2，檢測項目包含 pH、鹼度、總溶解固體量、總硬度及鈣(Ca)等，計算 LSI 值。

(二)不同侵蝕性及腐蝕性指標適用性探討

各腐蝕指標有不同代表意義，然 LSI、RSI、PSI、AI 及 CCPP 皆是基於碳酸鈣的化學平衡而推演的腐蝕指數，較適用於水泥砂漿、石棉水泥、混凝土等含有鈣離子材質內襯的管材腐蝕狀況推估[8]，在 1957 年 Larson 及 Skold 發現水體中含有氯離子及硫酸根濃度與鐵管的腐蝕速度有關，發展出鐵管的腐蝕指標 LR，雖為經驗指標，但可做為評估金屬的腐蝕程度[9-12]。本研究亦檢測氯鹽、硫酸鹽、及碳酸氫鹽，計算 LR 值，以比較腐蝕之關聯性。

表 1　淨水場及海淡廠各淨水場清水採樣點

採樣點	水樣別	採樣頻率	說明
成功傳統處理廠	快濾水	每半月	成功水庫傳統處理後之清水
成功鹽井淡化廠	淡化水	每半月	地下水井(含鹽分)處理後之清水
成功淨水場	混合清水	每半月	成功傳統處理廠快濾水、鹽井淡化水及馬公第一海淡廠
馬公第一海淡廠(1,2 場)	清水	每半月	馬公第一海淡廠(1+2 場)，烏崁清水池
馬公第二海淡廠	清水	每半月	馬公第二海淡廠清水池

表 2　本研究配水採樣點

採樣點	系統(地區)	清水來源	配水點位	管種	流達時間
馬公市中華路 239 號	馬公系統	成功淨水場混合清水池	管中	送水管：DIP 配水管： 中華路：ABSP 西衛里：HIWP	約 2 小時
馬公市西衛里 140 號	馬公系統	成功淨水場混合清水池	管末		2~2.5 小時
湖西鄉果葉村 111 號	湖西地區	馬公第一海淡廠(1+2 場)，烏崁清水池	管中	送水管： DIP、PVCP、DIP 配水管： 果葉村：HIWP 北寮村：PVCP	約 3.5 小時
湖西鄉北寮村 49 之 3 號	湖西地區	馬公第一海淡廠(1+2 場)，烏崁清水池	管末		約 4 小時
馬公市石泉里 21 號	馬公系統	馬公第一海淡廠及第二海淡廠混合清水	管中	送水管： DIP、ABSP 配水管： 石泉里：PVCP 前寮里：HIWP	約 1.5 小時
馬公市前寮里 3 之 2 號	馬公系統	馬公第一海淡廠及第二海淡廠混合清水	管末		約 1.5~2 小時

三、結果與討論

(一)傳統處理及海水淡化處理之比較

本研究蒐集了傳統水庫水、地下水鹽井淡化及馬公海淡廠等不同水源及不同處理方式之清水水質，統計自 108 年 12 月至 109 年 10 月止之 LSI 變化趨勢，結果如圖 1，其中馬公第二海淡廠的 LSI 數據約控制在 -0.2

~ 0.1 之間，幾乎以 0 操作出水；馬公第一海淡廠 LSI 數值大部分約在-1.2 ~ 0.0 之間，幾乎偏-1.0 操作出水，但其中有 2 點超出-1.0，數值落在-1.02 與 -1.14。成功淨水場則有地下鹽井淡化水、傳統處理快濾水及混合清水等 3 種水質 LSI 比較，觀察圖可得知鹽井淡化水的 LSI 明顯偏低，是所有清水類種中 LSI 最低的，數值約落在 -3.0 ~ -1.7 之間，成功場快濾水約在 -1.5 ~ -0.7 之間，而混合清水雖有馬公第一海淡水和鹽井淡化水、快濾水混合而成，但其 LSI 值仍舊偏低，介於鹽井淡化水和快濾水之間，約在 -2.0 ~ -0.9 之間。海淡廠的 LSI 明顯較成功淨水場高，依據文獻研究，LSI < 0 則容易發生管材腐蝕，因此除了馬公第二海淡廠的 LSI 較符合文獻 LSI 建議值外，其餘馬公第一海淡廠及成功淨水場清水的 LSI 值皆偏低，尤以成功淨水場為最低，若以 LSI 判定發生管材腐蝕的潛勢最高。

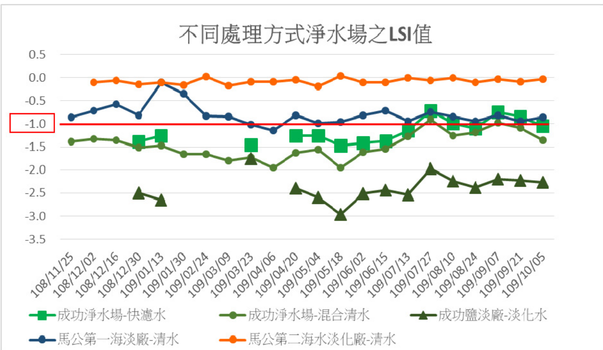


圖 1　不同處理方式淨水場之 LSI 值

另不同水源及處理方式之清水 pH 值，其比較趨勢如圖 2 所示，可觀察馬公第二海淡廠的 pH 值約在 8.3 ~ 8.5 之間，穩定而變化不大；而馬公第一海淡廠的 pH 值則落在 8.0 ~ 9.0 之間，其中有 2 點落在 8.9 及 8.6。成功淨水場的 3 種清水，鹽井淡化水及快濾水 pH 值皆在 6.5 ~ 7.0 左右，混合清水則約在 6.5 ~ 7.2 左右。相較之下成功淨水場的 pH 較符合飲用水水質標準，馬公海淡廠的水質則偏鹼，已屆水質標準臨界值。

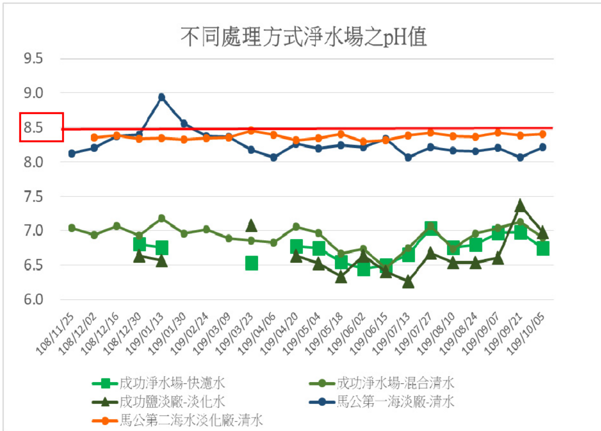


圖 2　不同處理方式淨水場之 pH 值

(二)成功淨水場之水質趨勢

成功淨水場混合了成功水庫傳統處理、地下鹽井淡化及馬公第一海淡廠等，於清水池混合後再送至馬公地區供水系統，針對成功清水池及其配水點作 LSI 和 pH 趨勢作分析。

由圖 3 可得知成功淨水場清水池的 pH 值的跳動雖比 LSI 略為不穩定，但其 pH 和 LSI 值約略成正相關，即 pH 越高、LSI 值亦越高，成功淨水場清水池的 pH 雖有符合飲用水水質標準約在 6.5 ~ 7.2 之間，但其 LSI 值普遍偏低，數據約在-2.0 ~ -0.9 之間。這與成功場鹽井淡化水的 LSI 值過低有關，即使清水混合馬公第一海淡廠出水和傳統處理水，其 LSI 值仍舊偏低。

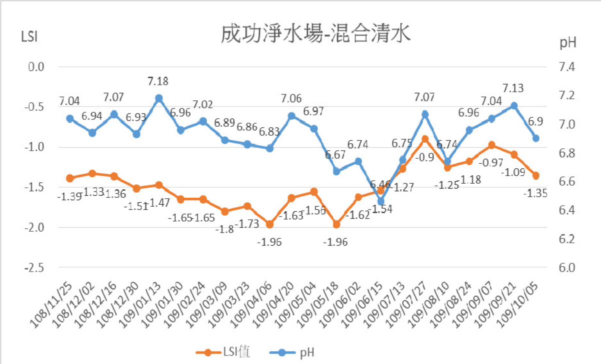


圖 3　成功淨水場 LSI 及 pH 比較

如圖 4 成功淨水場及其配水點 LSI 值比較所示，管中配水點(馬公市中華路 239 號)和管末配水點(馬公市西衛里 140 號)的 LSI 值趨勢約和成功淨水場混合清水一致，但配水點的 LSI 值普遍大於淨水場出水水質，管中配水點的數值約在-1.9 ~ -0.6 之間，管末配水點數值亦約在-1.7 ~ -0.8 之間，若比較相同採樣時間之 LSI 值，則可觀察管中配水點數值皆略大於管末。

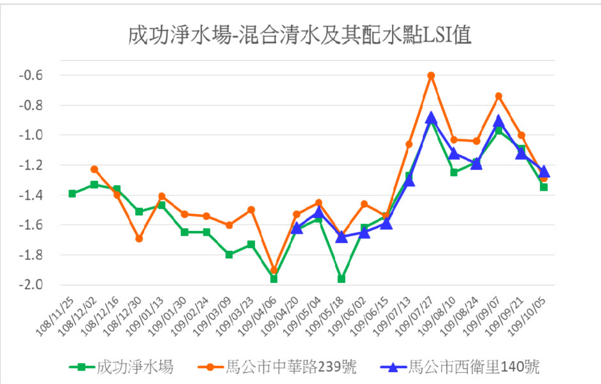


圖 4　成功淨水場及其配水點 LSI 值比較

另由圖 5 成功淨水場及其配水點 pH 值比較可觀察到和圖 4 相似的趨勢，管中和管末配水點的 pH 趨勢亦約和成功淨水場混合清水一致，管中配水點的 pH 值約在 6.5 ~ 7.4 之間，管末配水點之 pH 值約在 6.4 ~ 7.2 之間，同樣比較相同採樣時間之 pH 值，管中配水點之 pH 亦大於管末，但不管是淨水場清水或配水點，其 pH 值皆符合飲用水水質標準。

經了解管中與管末配水點係分別採用 ABSP 與 HIWP 管線，但因前端幹管為 DIP，於輸配水時水泥內襯之鹼性物質析出，致管中 pH 值仍略大於管末，故 LSI 計算結果亦是管中略大於管末。

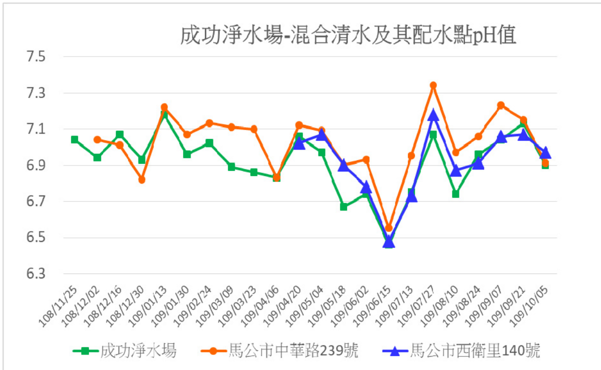


圖 5　成功淨水場及其配水點 pH 值比較

(三)馬公第一海淡廠之水質趨勢

如圖 6 所示，馬公第一海淡廠的 LSI 和 pH 同樣呈正相關，但馬公第一海淡廠的 LSI 有偏向 -1 趨勢，數值皆在 0 以下，甚至有 2 點超出-1，達到-1.02 及-1.14，而 pH 則在 8.0 和 9.0 之間，水質偏鹼，亦有 2 點偏高，來到 8.94 和 8.56，然 pH 提高可相對提高 LSI。

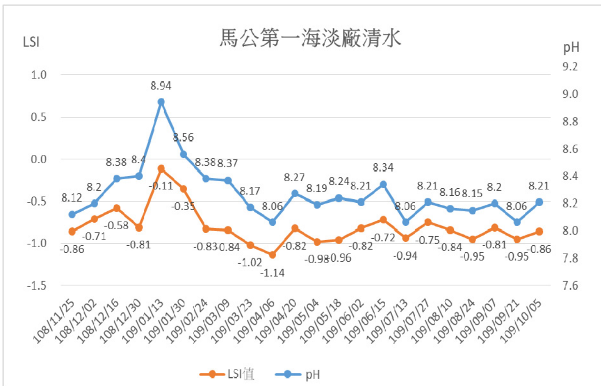


圖 6　馬公第一海淡廠 LSI 及 pH 比較

由圖 7 馬公第一海淡廠及其配水點 LSI 值比較觀察馬公第一海淡廠清水和其管中配水點(湖西鄉菓葉村 111 號)和管末配水點(湖西鄉北寮村 49 之 3 號)之趨勢，同樣發現海淡廠的 LSI 趨勢大致和配水點一致，但管中配水點和管末配水點的 LSI 皆大於海淡廠清水，又管中配水點的 LSI 可維持 0 上下，約在 -0.09 ~ 0.33 之間，此數值較符合 LSI 理論為不受腐蝕，而管末配水點 LSI 則約在 -0.9 ~ -0.2 之間，比管中配水點為小。

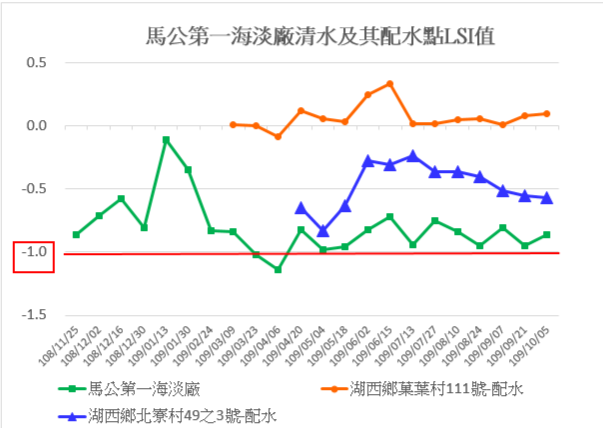


圖 7　馬公第一海淡廠及其配水點 LSI 值比較

再觀察圖 8 馬公第一海淡廠及其配水點 pH 值比較，所得結果和圖 7 類似，管中及管末配水點的趨勢皆和馬公第一海淡廠 pH 值有正相關，由圖 8 發現管末配水點的 pH 值落在 8.2 ~ 8.7 之間，11 次檢測數據中，有 6 次超過飲用水水質標準，其餘雖未超出標準亦瀕臨標準值。而管中配水點的 pH 值雖然穩定變化性小，但其數值卻相對偏高，約在 8.8 ~ 9.1 之間，已超出飲用水水質標準。

馬公第一海淡廠及其配水點之 LSI 或 pH 值，皆是管中配水點數值大於管末配水點。探討管中配水點 LSI 值與 pH 值大於管末配水點，因送水幹管使用球狀石墨鑄鐵管(DIP)，內襯之水泥砂漿容易析出鹼性物質，溶於水中形成強鹼性，鹼度亦會提高。且再經了解管中配水點(果葉村 111 號)屬封閉型管路，自來水滯留時間長，相較管末配水點(北寮村 49 之 3 號)位於觀光區，用水量較大，水齡短。故綜上原因管中配水點 pH 值較高，鹼度亦較高，LSI 經計算後，亦得到管中配水點大於管末配水點。

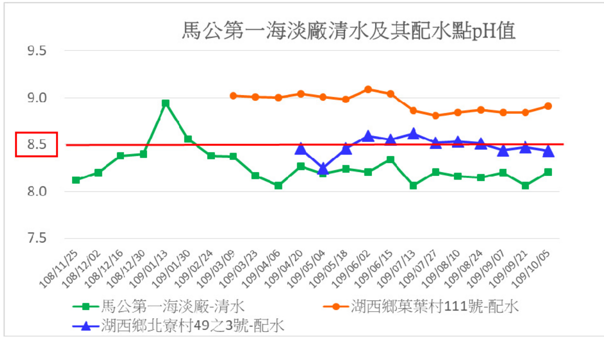


圖 8　馬公第一海淡廠及其配水點 pH 值比較

(四)馬公第二海淡廠之水質趨勢

馬公第二海淡廠之 4000m3 清水池之清水是直接加壓經縣道 204 線轉澎 21 線後，再於縣道 202 線與馬公第一海淡廠之清水於既設 500mm DIP 幹管中混合，再供給澎湖馬公(石泉里及前寮里一帶)及澎南等地區。

因供水管線繁雜，難以尋得單一馬公第二海淡廠供水的配水點，故本計畫嘗試找到 2 個管中及管末配水點，混合了馬公第一及馬公第二海淡廠之供水，比較其 LSI 和 pH 值，觀察其趨勢，希能找到馬公第二海淡廠開始供水後和配水點之關係。

觀察圖 9 馬公第二海廠之 LSI 與 pH 值約略成正相關，LSI 值約能維持在-0.2 ~ 0.1 之間，但 pH 則在 8.3 ~ 8.5 之間，雖符合飲

用水水質標準，但水質明顯偏鹼。

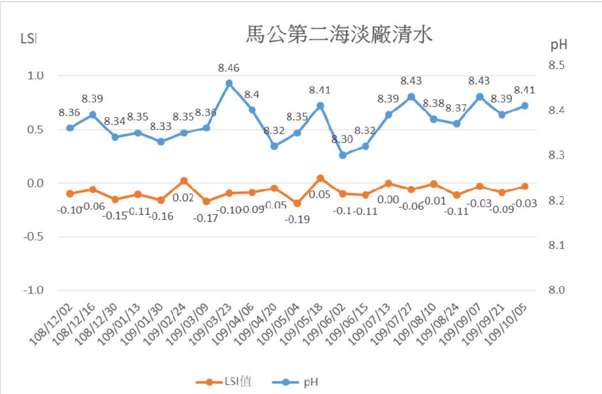


圖 9　馬公第二海淡廠 LSI 及 pH 值比較

由圖 10 馬公第二海淡廠及其配水點 LSI 值比較，觀察馬公第二海淡廠和其管中配水點(馬公市石泉里 21 號)和管末配水點(馬公市前寮里 3 之 2 號)之關係，得知馬公第二海淡廠之 LSI 值約在-0.2~0.1 之間，管中配水點約在-0.5 ~ 0.2 之間，管末配水點則在-0.6 ~ -0.1 之間，馬公第二海淡廠和其配水點之間無明顯之相關性。

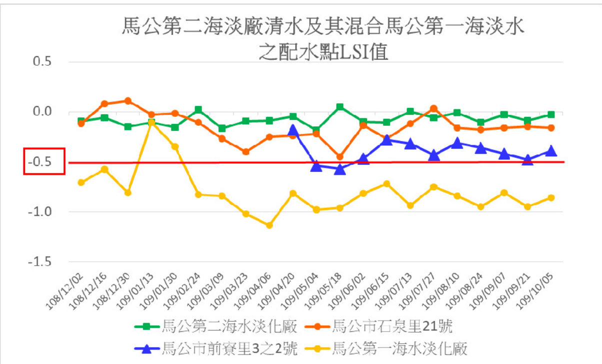


圖 10　馬公第二海淡廠及其混合馬公第一海淡水之配水點 LSI 值比較

再觀察圖 11 馬公第二海淡廠及其配水點 pH 值比較中配水點和馬公第二海淡廠之 pH 值關係，可得海淡廠的 pH 變化較穩定，數值在 8.3 ~ 8.5 之間，管中配水點較海淡廠跳動大，約在 8.1 ~ 8.6 之間，其中有 2 點超出飲用水水質標準，達到 8.55 和 8.60，管末配水點的 pH 則落在 8.0 ~ 8.5 之間。配水點 pH 趨勢和馬公第二海淡廠之間亦無明顯之相關性。

因配水點是混合了馬公第一及馬公第二海淡廠的清水，由圖 11 中管中配水點(馬公市石泉里 21 號)109/01/13 和 109/01/30 這 2 個採樣時間的配水點 pH 值偏高，再從圖 8 中相同採樣時間馬公第一海淡廠的 pH 亦偏高可驗證，故 LSI 和 pH 應受 2 個海淡廠之間供水調配的水量大小而影響數值，較難與馬公第二海淡廠有直接關聯性。

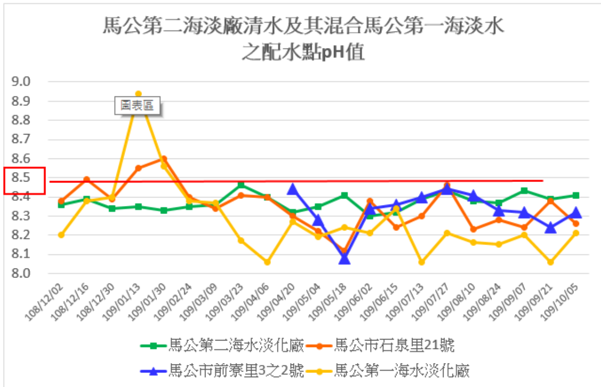


圖 11　馬公第二海淡廠及其混合馬公第一海淡水之配水點 pH 值比較

針對 6 個配水點之採樣地址及其所屬淨水場供水來源，分析其 LSI 及 pH 如圖 12 及圖 13。

成功淨水場所屬配水點 LSI 值介於-1.9~-0.6 之間，趨勢雖然一致，但與海淡廠所屬配水點相較，明顯偏低許多，依文獻指示易造成管線腐蝕，而海淡廠配水點 LSI 皆可維持在-1.0 以上，其中以馬公第一海淡廠單獨供水的管中配水點(湖西鄉果葉村 111 號)皆在 0 上下，最符合文獻建議值，其次為

馬公第一及馬公第二海淡廠混合供水之管中配水點(馬公市石泉里 21 號)，可維持在-0.5~0.2 之間，其各別管末配水點 LSI 值皆相較略低。

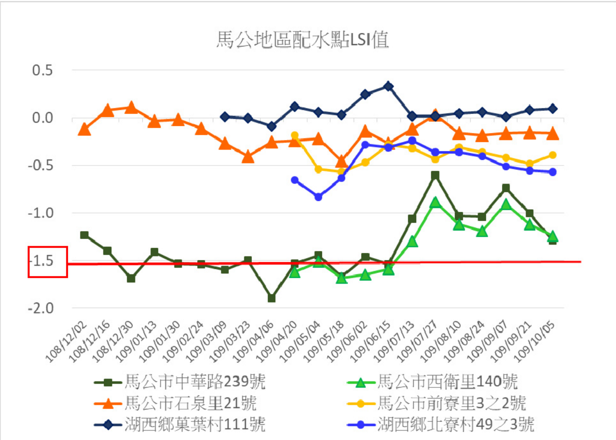


圖 12　馬公地區配水點 LSI 趨勢

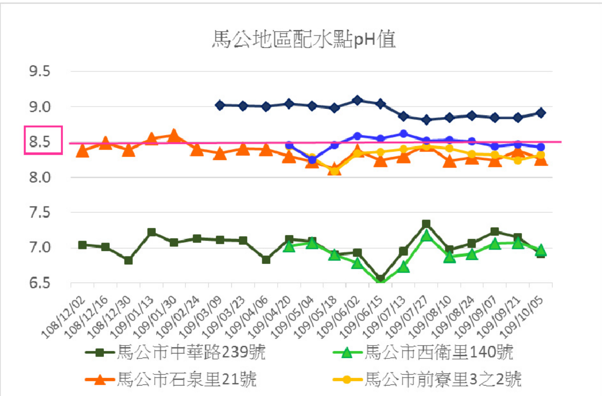


圖 13　馬公地區配水點 pH 趨勢

但相對 pH 值，成功淨水場供水之配水點 pH 值約 7.0 上下，最符合飲用水水質標準，反之，海淡廠的 pH 值皆偏高，尤其是馬公第一海淡廠單獨供水的管中配水點(湖西鄉果葉村 111 號) pH 值皆在 9.0 上下，已超出飲用水水質標準 8.5 的上限值，另管末配水點(湖西鄉北寮村 49 之 3 號)pH 值亦有超過 8.5 之情形，其他海淡廠配水點亦在水質標準之上限臨界值。

(五) Larson (LR)水質檢測結果探討

即使馬公第一海淡廠管中配水點(菓葉村 111 號)水質 LSI 長期大都為 0 以上，但對於金屬仍具有腐蝕性，故我們認為 LSI 較適用於評估含有鈣離子之水泥砂漿或混凝土管材之腐蝕情況，與金屬管材腐蝕較無直接關聯。爰此，我們亦納入 Larson 比率(LR)指標作比較。

圖 14 及可得知各配水點 LR 值皆高於 0.5，依文獻指示均有腐蝕性，且數值越高，水質腐蝕性越強，但馬公第一海淡廠所屬配水點的 LR 值平均各為 7.88 及 8.72 為最高，成功淨水場所屬配水點的 LR 值平均各為 3.09 及 3.16 為最低，此主因為馬公第一海淡廠所屬配水點碳酸氫鹽(介於 6.0~7.9 mole/L*10000 之間)遠低於成功場所屬配水點(介於 17~28 mole/L*10000 之間)。

另由圖 12、圖 13 與圖 14 可知 LSI 值均為管中大於管末，LR 值均為管末大於管中，此應與管中配水點鹼度較高，故碳酸氫鹽較高有關。

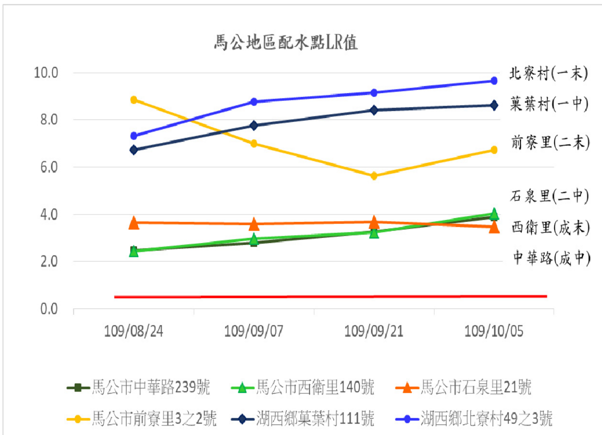


圖 14　馬公地區各配水點 LR 趨勢

表 3　馬公地區各廠(場)LR

採樣地點	日期	pH	Larson 比率 (LR 值)
成功淨水場清水	109.08.26	7.01	2.72
	109.09.07	7.04	2.65
	109.09.21	7.13	3.34
	109.10.05	6.90	3.96
馬公第一海淡廠清水	109.08.26	8.14	8.33
	109.09.07	8.33	9.58
	109.09.21	8.14	13.15
	109.10.05	8.13	9.80
馬公第二海淡廠清水	109.08.26	8.40	3.01
	109.09.07	8.43	3.31
	109.09.21	8.38	3.82
	109.10.05	8.40	3.32

表 4　馬公地區各配水點 LR

日期	馬公市中華路 239 號	馬公市西衛里 140 號	湖西鄉菓葉村 111 號	湖西鄉北寮村 49 之 3 號	馬公市石泉里 21 號	馬公市前寮里 3 之 2 號
109/08/24	2.46	2.42	6.72	7.31	3.66	8.86
109/09/07	2.78	2.95	7.75	8.77	3.58	7.01
109/09/21	3.25	3.23	8.40	9.14	3.67	5.62
109/10/05	3.88	4.04	8.63	9.65	3.47	6.74
平均	3.09	3.16	7.88	8.72	3.59	7.06

四、結論與建議

(一)馬公第一海淡廠 LSI 偏-1.0 操作，清水水質 pH 偶有偏高，又鹼度過低未規範，氯鹽、硫酸鹽雖有規範但都偏高，致 LR 平均可達 10.21，如此持續可能造成配水系統 pH 過高及管線腐蝕現象發生。

(二)馬公第二海淡廠 LSI 偏 0 操作，清水水質 pH 仍偏高，但因鹼度略大於馬公第一海淡廠，氯鹽、硫酸鹽小於馬公第一海淡廠，致 LR 平均可達 3.36，如此持續亦可能造成配水系統 pH 過高及管線腐蝕現象發生。

(三)成功場混合成功水庫傳統處理、地下鹽井淡化、馬公第一海淡廠，傳統處理因原水 TOC 過高，添加硫酸，不利侵蝕、腐蝕性控制。又鹽淡廠未規範 LSI，造成混合清水 LSI 為-1.96~-0.9。但因成功場過濾水鹼度高，致混合清水 LR 平均為 3.17 尚無 pH 超標及紅水事件。

(四)海水淡化廠腐蝕控制策略應以源頭處理為最佳方式，即採優化礦化法最佳。

(五)因 LSI、RSI 及 PSI 是評估水泥內襯管是否結垢或侵蝕的指標，國際上較常用為 LSI，另 LR 是無內襯鐵管是否腐蝕指標，而澎湖海淡廠現況水質規範僅訂 LSI 未能充份反應水泥之侵蝕及金屬腐蝕，衡之澎湖地區金屬腐蝕現況，除參考國外修訂 LSI≥0，並增訂 LR<0.5，方能同時兼顧水泥內襯侵蝕及金屬腐蝕。

(六)澎湖鹽淡廠均未規範侵蝕、腐蝕性參數，建議新設鹽淡廠比照海淡廠訂定 LSI≥0，LR<0.5，另既有廠宜研議改善。

參考文獻

1.行政院，2019，離島地區供水改善計畫第二期。

2.康世芳、黃文鑑、王根樹，2003，自來水管線腐蝕之檢討與防蝕策略，中華民國自來水協會研究報告。

3.張伯鴻，2004，海水淡化廠出水最佳防蝕方式研究，成功大學環境工程學系碩士論文。

4.江弘斌、吳美炷，2005，水公司各地淨水場清水腐蝕指數調查，經濟部研究發展專題。

5.薛少俊，1987，水處理系統之腐蝕防治，防蝕工程期刊。

6.財團法人中興工程顧問社，2004，澎湖烏崁海淡廠出水最佳經濟防蝕方式暨符合第三階段飲用水水質標準之研究，台灣自來水公司委託研究報告。

7.李嘉榮、胡南澤、籃炳樟、李春銈、張煥奬、謝榮哲、曾合意，2015，澎湖地區送配水管管種最適化探討，中華民國自來水協會研究報告。

8.陳明州等人，2018，自來水配水管材選用策略之研究-以北水處供水管網為例，中華民國自來水協會研究報告。

9.Syed Shabudeen P.S., (2008), “Corrosion and Corrosion Control”

10.Uhlig, H. H. and Revie, R.W., (1991), “Corrosion and Corrosion Control -An Introduction to Corrosion Science and Engineering”, John Wiley &Sons, New York.

11.Zabihollah Y., Farzad ., Reza Ali .(2016), “Assessment of scale formation and corrosion of drinking water supplies in Ilam city (Iran)” Environmental Health Engineering and Management Journal.

12.Palazzo.(2015).The accuracy of calcium- carbonate -based saturation indices in predicting the corrosivity of hot brackish water towards mild steel. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. vol.115 n.12 Johannesburg December, 2015.

作者簡介

李典益先生

現職：自來水公司總管理處水質處工程師

專長：水質檢驗管理

呂昌森先生

現職：自來水公司第七區管理處澎湖所技術士

專長：水質檢驗、供水調配

李蘊理女士

現職：自來水公司總管理處水質處組長

專長：水質異常研究改善、供配水工程

洪世政先生

現職：自來水公司總管理處副總工程師

專長：水質管理

吳振榮先生

現職：自來水公司總管理處副總經理

專長：自來水經營與管理、土木工程

含微囊藻原水混凝去除藻細胞及藻毒研究

文/薛志宏、王姍莉、張凱迪

摘要

以人工培養銅綠微囊藻，配製試驗原水，進行不同程序 PACl 混凝杯瓶試驗，結果顯示，以沉澱水濁度為指標，較最適混凝劑加注濃度略高，可提高藻細胞去除率，但沉澱水藻細胞密度仍高，有賴過濾程序進一步去除。前氯會氧化藻細胞壁，釋出藻毒，而不利混凝；淨水程序取水端添加木質活性碳，具掃清作用，有助混凝，但也會提高混凝負荷。單細胞態微囊藻，混凝過程會釋出藻毒，群體態則否。

關鍵字：銅綠微囊藻、藻毒、前氯、最適混凝、木質粉狀活性碳

一、前言

隨著全球氣候變遷之影響，澇旱加劇，氣溫升高，使用地面水作為水源之自來水淨水場，原水水質受到影響，首要面對的是優養導致的藻類滋生及藻毒處理的問題。

近期發生的藻毒事件，包括 1996 年巴西因藻毒污染飲用水，導致 50 人死於血液透析，及 2014 年 8 月，美國俄亥俄州托利多市(Toledo)，發生因飲用水中藻毒超標，緊急通知停止飲用自來水之事件，50 萬居民飲用水受到影響等。

藻毒對人體之影響包括肝、神經系統及腸內道系統。有研究顯示喝了含微囊藻毒的水，會導致肝癌及腸癌。WHO 已証明微囊藻毒可促進腫瘤生長，國際癌症研究署(IARC)並將之分類成「極可能致癌物」(2B)。世界衛生組織訂定 Microcystin-LR 飲用水準則值為 1 μg/L，加拿大衛生部訂 1.5 μg/L，澳洲訂定國家標準為 1.3 μg/L，美國則尚未訂定國家標準，僅訂定非強制性之健康忠告值(Health Advisories)。

微囊藻藻華原水中，含大量的微囊藻細胞及藻細胞死亡腐化降解釋出的溶解性微囊藻毒，傳統淨水程序常用的處理策略為運用原有混凝功能，將含細胞內毒的完整藻細胞去除，及利用加氯與添加粉狀活性碳，將溶於水中的微囊藻毒予以氧化及吸附去除，以竟全功。

含藻細胞原水之混凝，有多重任務，添加之混凝劑除應負責原水中的濁度物質去除外，更須將藻細胞一併混凝去除，若有粉狀活性碳之添加，活性碳顆粒亦為混凝的另一項負荷。另前加氯有助混凝效果，於處理含藻細胞原水時，前加氯對混凝的影響將更形複雜。以上如何達到最適效果，為本研究欲探討的重點。

二、文獻探討

藍綠藻導致的自來水場問題有，臭味問題(通常產生土霉味)、干擾淨水操作，影響效能、消毒副產物增加及產生藻毒。藍綠藻毒於淨水程序的去除要分細胞外毒及細胞內毒(藻細胞)兩部分來討論，細胞內毒去除指將整個完整的藻細胞去除，同步將細胞內有毒素的細胞質去除；而細胞外毒指透過處理方法，將藻細胞分泌、死亡腐化或細胞壁破裂後，已溶入水中之細胞質毒素予以去

除。

細胞內毒之各種去除方法，以混凝沉澱過濾最有效。沉澱單元去除之藻細胞，累積於沉澱池底污泥，或快濾池反洗廢水中，仍可能因細胞死亡腐化或細胞壁破裂，而釋出藻毒，形成細胞外毒，需特別注意，提高清除頻率。另若使用預氧化處理，如前加氯或前臭氧，由於氧化劑將先使細胞裂解(Lysis)，使藻毒釋出，而使處理更加困難。

細胞外毒的去除，傳統混凝沉澱過濾完全無效，細胞外毒可以既有加氯氧化去除，或以添加活性碳，吸附處理作為二重屏障。微囊藻毒在粉狀活性碳之吸附效能，主要受總孔徑表面積影響，由於其分子直徑，估算約 1~2 nm，故對其吸附效果最佳粉狀活性碳性質為具孔徑大於 1 nm 孔洞佔較大體積者，中孔符合此條件，微孔則過小。木質 PAC 大部分產生較大體積之中孔洞，故吸附效果較產生較多微孔之椰殼 PAC 為佳。

美國環保署 2015 年出版之「公共給水系統微囊藻毒管理建議」中，對一旦原水中測出微囊藻毒，提出幾項處理策略:(1)優先考量去除完整藻細胞，例如使用傳統混凝沉澱程序。(2)降低原水預氧化量，避免藻細胞裂解，釋出藻毒。(3)添加粉末活性碳。(4)增加後氯氧化。澳洲水質研究中心 2010 出版「藍綠藻管理策略-公共用水事業指引」表示，含藻原水混凝沉澱受不同藻種形狀、尺寸及藻細胞壁性質等影響，其中細胞壁強度與完整度、電荷及組成均會影響處理成效。以正常濁度參數決定最適混凝劑加藥量，通常可去除藻細胞及連帶的細胞內毒。但 Newcombe(2009)認為為達到最適混凝所需添加的較高量混凝劑，需高強度的攪拌混合能量，存在藻細胞裂解的風險。美國水研究基金會 2015 年以 Myponga 水庫水進行硫酸鋁混凝杯瓶試驗(pH=6.3)，發現在低濁度及中等藻細胞密度(10^4~10^5)藻細胞對濁度有貢獻，濁度去除與藻細胞去除對混凝加藥量，有相同之去除率趨勢與最適加注藥量，但藻細胞去除率高於濁度。最適藻細胞去除，可以濁度為替代指標，看法與澳洲水質研究中心相同。美國自來水協會及水研究基金會 2016 年表示因每一次藻華發生狀況均不同，故無特殊混凝加藥準則，還是要靠杯瓶試驗決定最適加藥量。Ghernaout 等於 2010 年進行文獻回顧，原水中藻類於傳統淨水程序之去除，因其低密度、移動性、外型特性及帶負電荷，而較無機顆粒困難，文獻中主要混凝機制，在於藻細胞與帶正電之初形成之金屬氫氧化物核間之電荷中和。很多例子顯示，增加混凝劑量使形成掃除(Sweep)混凝無法增加藻細胞之去除率，還是要靠電荷中和。美國俄亥俄州環保署 2016 年表示混凝效能會被藻細胞及較差水質影響，應實施杯瓶試驗，機械或水力亂流會影響藻細胞及膠羽的完整度，若可能應降低亂流、維持平均流速及降低流速。美國環保署 2015 年探討進行混凝杯瓶試驗時，若高濁度原水(>10NTU)，沉澱水濁度可作為藻細胞去除之替代指標，但原水濁度<10NTU，則濁度去除與藻細胞去除之相關性不佳。

三、研究方法

為瞭解真實藻細胞的混凝表現，以培養銅綠微囊藻細胞添加於原水，實驗探討於淨

水程序前氯、混凝與不同地點加注粉狀活性碳對藻細胞、微囊藻毒及濁度去除之影響。

(一)銅綠微囊藻之培養

以市售之 UTEX LB 2386 銅綠微囊藻株冷凍管，進行藻株活化後，於震盪器中，以 78 RPM 持續搖晃，維持 20~24℃，1%CO_2 ，12:12(光/暗循環)方式培養。提供光合作用的光源為白色螢光燈，光強度為 2408lux~3200lux。初始生長期 1~2 週內，將培養瓶中的含藻株培養液，以離心方式更換新培養基，進行繼代培養，其後由小體積培養瓶轉置於含大體積培養液之已滅菌培養瓶中，繼續培養，生長 4~12 週達穩定期後(如圖 1)，即可用以配製杯瓶試驗試驗原水。

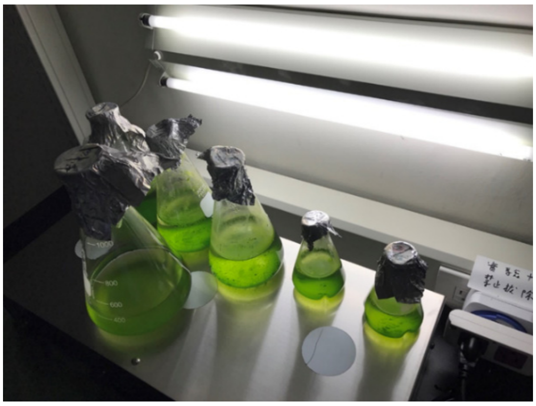


圖 1　銅綠微囊藻之培養

(二)含藻細胞原水 PACl 混凝最適加藥濃度試驗

1.長興淨水場原水以 PACl 為混凝劑，不加前氯，以濁度為指標，進行杯瓶試驗。添加 6 種不同 PACl 加注濃度(包含 1 控制組)，並依 PACl 加注濃度添加適量 NaOH，以調整混凝 pH 值，經快混(120rpm 3min)、慢混(30rpm 8min)、沉澱(10min)，於每 1 杯沉澱水上澄液取樣後，測沉澱水濁度，求得最適沉澱水濁度時之 PACl 加藥濃度。

2.同 1 原水，添加培養之微囊藻，使成約 1×10^5 cells/mL 藻細胞密度之測試原水。

3.測試原水以(1)所得最適 PACl 加藥濃度及 1.5 倍、2.0 倍、2.5 倍、3.0 倍加藥濃度等共 5 種加藥濃度及 1 控制組(未添加混凝劑)，進行同 1 混凝條件杯瓶試驗，每 1 杯沉澱水上澄液取樣後，測濁度、藻細胞密度、細胞內毒、細胞外毒、pH 及 TOC。

(三)含藻細胞原水，模擬取水口添加木質 PAC 及淨水場內添加 PACl 混凝劑，最適 PACl 混凝加藥濃度試驗

1.取長興淨水場原水，模擬取水口添加 50mg/L 木質粉狀活性碳，以 PACl 為混凝劑，不加前氯，進行杯瓶試驗，以 120 rpm 攪拌 120min(模擬原水取水經原水管流至長興場)後，添加 6 種不同 PACl 加注濃度，進行杯瓶試驗，求得最適沉澱水濁度時之 PACl 加藥濃度。

2.以添加培養微囊藻之測試原水，添加不同混凝劑量，分別為(1)之最適 PACl 加藥濃度及依序為最適 PACl 加藥濃度增加 10 、20 、30 及 40 mg/L 等共 5 種加藥濃度及 1 控制組(未添加混凝劑)，進行杯瓶試驗後，測濁度、藻細胞密度、細胞內毒、細胞外毒、pH 及 TOC。

(四)含藻原水 PACl 混凝與前加氯去除藻細胞及藻毒試驗

1.以測試原水進行杯瓶試驗。藻需氯量以 Fan(2012)之研究結果，微囊藻需氯量為 5.6 pg/cell 計算，需氯量相當 0.56ppm)，1.3 倍多元氯化鋁混凝劑加注量則以水研究基金會(2015)之硫酸鋁混凝研究結果估算，6 杯杯瓶試驗程序如下：a.控制組，原水不加

藥。b.添加長興場前氯濃度及混凝劑量。c.添加長興場現場前氯濃度加微囊藻需氯量 0.56ppm 及現場混凝劑量。d.添加長興場現場前氯濃度及現場混凝劑量 1.3 倍多元氯化鋁。e.無前氯僅添加同現場混凝劑量。f.無前氯僅添加 1.3 倍現場混凝劑量。

2.杯瓶試驗程序完成後，每 1 杯沉澱水上澄液均取樣後，先測定濁度、自由餘氯等化學參數，另取樣添加硫代硫酸鈉當量去氯，檢測藻細胞密度、細胞內毒及溶解性細胞外毒。

(五)不同活性碳加注位置去除藻細胞及藻毒試驗

1.測試原水進行如下 6 種程序杯瓶試驗：

(1)模擬取水口先添加 20mg/L 木質粉狀活性碳，再經快混、慢混、沉澱，不添加前氯及混凝劑。

(2)模擬取水口添加粉狀活性碳及淨水場前端添加現場前氯及混凝劑。

(3)模擬取水口添加粉狀活性碳及淨水場添加前氯(現場加氯量加藻細胞需氯量)及混凝劑。

(4)模擬取水口前氯加藻需氯量、淨水場前端添加粉狀活性碳及現場混凝劑。

(5)模擬淨水場前端添加粉狀活性碳及添加現場混凝劑量。

(6)模擬淨水場前端添加粉狀活性碳及現場前氯及現場混凝劑量。

2.先測定濁度、自由餘氯等化學參數，另取樣添加硫代硫酸鈉當量去氯，檢測藻細胞密度及細胞內毒及溶解性細胞外毒。

(六)藻細胞密度(Cell Density)與藻毒測定

1.藻細胞密度測定

(1)水樣以 25 rpm 速度攪拌 2 分鐘，使之完全混合。

(2)取 10 μL 加入 Petroff-Hausser 細菌計數器中。

(3)置計數器於顯微鏡下，測定藻細胞密度(cells/mL)

2.藻毒測定

(1)取 5mL 水樣上澄液置於 50mL 離心瓶中，2330g 離心 10 分鐘。

(2)分離上澄液與藻體，上清液以 0.45 μm 玻璃纖維濾紙過濾於 1.5mL 小型離心管中冷凍儲存。

(3)過濾後上澄液以 ELISA kit 方法測定，即為「細胞外毒」。

(4)取(2)只含藻體之 50mL 離心瓶放入冷凍庫(-20℃)冷凍(freeze)24 小時後，取出放入 60℃超音波水浴槽內振盪 30 分鐘解凍(thaw)使藻細胞裂解。

(5)再重複冷凍解凍程序 2 次，使細胞完全裂解。

(6)以 0.45 μm 玻璃纖維濾紙，過濾均勻混合之裂解樣品，濾液置於 1.5mL 小型離心管中冷凍儲存。

(7)以 ELISA kit 方法測定即為「細胞內毒」。

四、結果與討論

(一)含藻原水之最適混凝

原水中含有藻細胞，會造成濁度之增高，本試驗原水原濁度 3.0NTU，添加約 10^5 Cells/ml 微囊藻細胞，濁度達 5.6 NTU，增逾 80%。

將試驗驗水以 PACl 混凝杯瓶試驗，結果如圖 2 所示，以濁度去除觀之，多元氯化

鋁加注濃度 40 mg/L 時，再增高混凝劑加注濃度，去除率略降，顯示混凝劑加注過量，40 mg/L 已達濁度去除最適混凝加藥濃度；藻細胞去除率大致成相同趨勢，去除率略高於濁度，於濁度去除最適多元氯化鋁加注濃度時，沉澱水藻細胞密度去除率可達 95%，但藻細胞密度仍有 1.0×10^4 Cells/ml，為極高含藻量，再增加混凝劑加注濃度，仍有去除效果，並未有去除率下降現象。

藻毒結果部分，不同 PACl 混凝劑濃度混凝下，細胞外毒含量均為檢測不出，顯示 PACl 混凝劑混凝含微囊藻細胞原水時，於混凝沉澱過程，並不會破壞藻細胞而釋出藻毒。沉澱水總微囊藻毒檢測數據亦印證藻細胞去除率漸升趨勢，但由於以 Petroff-Hausser 細菌計數器檢測藻細胞密度有其限制，低於 1.0×10^4 Cells/ml 則無法測讀，及沉澱水上澄液取樣時，由於藻細胞混凝膠羽較輕，易漂浮於水中，致樣品中含有較多被混凝劑凝結之含藻細胞膠羽，致圖 2 中總微囊藻毒去除率較藻細胞去除率為低。

由此結果可瞭解含藻原水於以 PACl 混凝劑進行混凝時，以沉澱水濁度為去除效能指標，存在藻細胞去除限制，略高於最適濁度去除加注濃度，對藻細胞去除有助益。在最適濁度去除加藥濃度下，沉澱水仍有大量的藻細胞需透過後續過濾程序予以去除。

模擬取水口添加 50mg/L 木質粉狀活性碳，以 4 種不同濃度 PACl 混凝劑濃度，進行杯瓶試驗，以沉澱水濁度為混凝效能指標，結果如圖 3。結果顯示，未添加混凝劑之控制組，所添加之木質粉狀活性碳即具有凝結藻細胞，形成凝結顆粒的功效。PACl 混凝添加粉狀活性碳但不含藻細胞之原水，最適 PACl 混凝劑加藥濃度約為 60 mg/L，含藻細胞原水濁度去除率達約 90%，但藻細胞去除率則從 70%逐漸提升至 98%，後混凝劑加注濃度越高，藻細胞之去除效果越好。總藻毒去除效果亦呈現相同趨勢，但去除率偏低，原因同前所述，沉澱後水中懸浮藻仍須靠後續過濾單元予以濾除。

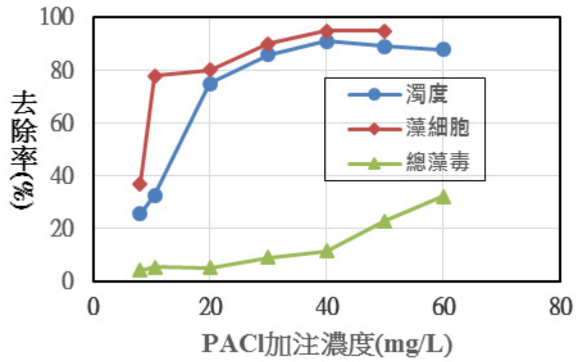


圖 2　不同 PACl 混凝劑加注濃度濁度及微囊藻細胞去除狀況

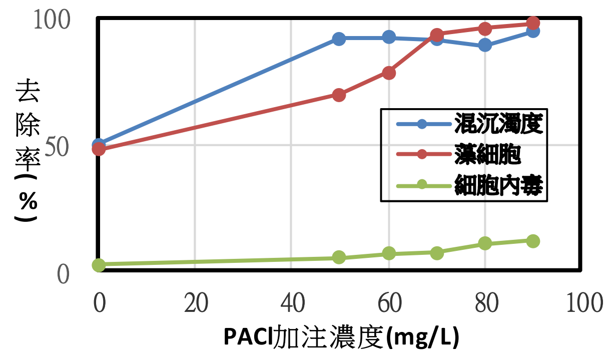


圖 3　含藻細胞原水取水口添加粉狀活性碳 PACl 混凝去除效果

(二)混凝與前氯組合藻細胞及藻毒之去除

試驗原水經 5 種不同前氯與混凝組合程序杯瓶試驗，試驗結果如下

1.濁度去除效果

如圖 4，不同混凝程序藻細胞與混沉濁度去除率結果顯示，含微囊藻細胞原水，於

僅添加淨水場現場多元氯化鋁(PACl)混凝劑加藥量狀況下，混凝沉澱濁度去除率達 24.71%，若參考 WRF(2015)之硫酸鋁藻細胞去除研究結果，增加至 1.3 倍現場混凝劑加藥量，濁度去除率可達 32.47%，均低於現場濁度去除率 86.9%；但淨水場現場多元氯化鋁(PACl)混凝劑量，加了前氯 1.0mg/L 後，濁度去除率明顯變差，僅達 4.0%，前氯加到 1.56 mg/L 後，沉澱水濁度反而較原水濁度為高，但 1.3 倍現場混凝劑加藥量下，即使添加前氯 1.0mg/L，濁度去除率仍可達 32.47%。

2.藻細胞去除效果

圖 4 各種混凝程序之藻細胞去除率，僅添加淨水場現場多元氯化鋁(PACl)混凝劑加藥量狀況下，藻細胞去除率可達 36.8%，若增加至 1.3 倍混凝劑加藥量，藻細胞去除率可達 77.9%，但現場混凝劑量加了現場前氯量 1.0mg/L 後，藻細胞去除率亦明顯降為 23.7%，顯示所添加混凝劑 PACl 分擔了因前氯破壞藻細胞形成之細胞碎片及所溶出細胞質之混凝作用，導致混凝去除藻細胞之能力下降。調高混凝劑量則藻細胞去除可改善，而不受低劑量前氯(1.0 mg/L)影響。而添加現場混凝劑加藥量及前氯 1.56 mg/L 下，藻細胞被充分破壞，去除率達 84.2%，但所添加混凝劑 PACl 已不足以去除細胞碎片與釋出之細胞質，更遑論濁度去除，故二者之去除率結果相違。

觀察顯微鏡下的沉澱水中藻細胞呈現型態，原培養微囊藻細胞為單一圓形顆粒且明亮飽滿狀態，經杯瓶試驗快混及慢混攪拌後，會呈現顆粒細胞凝結型態；若僅加 PACl 混凝劑則低劑量時會將部分藻細胞予以凝結，加高劑量則有較全面性凝結。若多加低劑量前氯(1.0mg/L)，則部分細胞細胞壁呈現模糊或變形狀態，應為細胞壁為氯氧化破碎所致；其餘完整的藻細胞仍會被混凝劑凝結。加高劑量前氯(1.56mg/L)，則細胞壁破碎、變形或細胞空殼化得更嚴重，混凝劑已無法使之凝結。此即圖 4 高劑量前氯(1.56mg/L)反而不利濁度去除，卻顯示出高藻細胞去除率的原因。

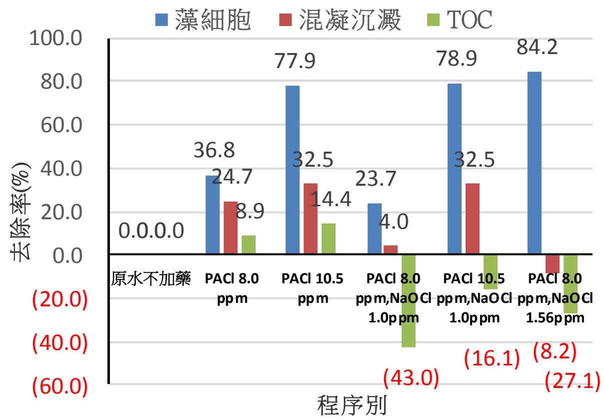


圖 4　不同前氯混凝程序藻細胞與混沉濁度去除率

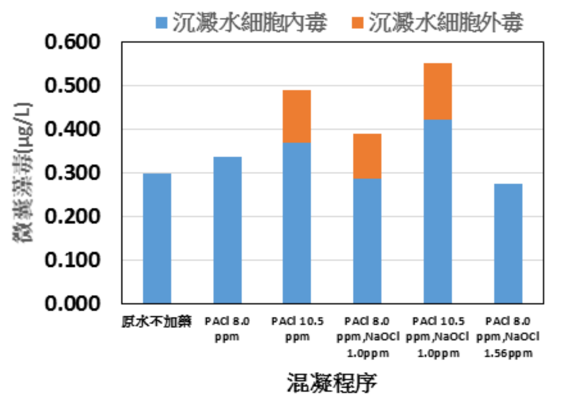


圖 5　不同前氯混凝程序沉澱水中微囊藻毒狀況

3.藻毒釋出狀況

不同程序之藻毒釋出狀況，如圖 5，可

以看出原水不加藥狀況，混凝攪拌能量並不會使微囊藻細胞裂解而釋出藻毒，低劑量 PACl 亦同，但加高混凝劑劑量則會釋出溶解性藻毒，此可能為 PACl 之混凝架橋作用形成之膠羽結構造成藻細胞擠壓破裂，致細胞內藻毒釋出所致。加前氯亦會導致釋出溶解性藻毒，依 Fan(2012)之研究，藻細胞裂解與氯氧化釋出之溶解性藻毒幾乎速率相同，故前氯僅加 1.0 mg/L 不足以氧化因 PACl 混凝及前氯作用釋出的藻毒，故仍殘存細胞外溶解性藻毒；但前氯加至 1.56ppm，則混凝沉澱過程中可完全氧化因混凝及前氯釋出溶解性細胞外毒，餘氯數據顯示，此係因後者 CT 值可明顯達 2 倍以上。

各程序沉澱水總有機碳數據亦顯示，前氯會使含藻原水中藻細胞壁氧化並釋出細胞質，而增加沉澱水中總有機碳濃度，與藻毒釋出分析結果相符。

(三)粉狀活性碳加注對藻細胞及藻毒去除之影響

模擬於長興淨水場取水口及於場內淨水處理前端加注 20mg/L 木質粉狀活性碳，6 種試驗程序杯瓶試驗，結果如下：

1.濁度與藻細胞去除效果

如圖 6，取水口單獨加 PAC 對去除藻細胞完全無效，且經混凝沉澱後濁度反而因添加粉狀活性碳而增高，對濁度之去除亦無幫助，但 PAC 可吸附水中總有機碳，去除率約 10%；若取水口加 PAC，場內加 10 mg/L PACl 混凝劑及淨水場加注前氯 1.0mg/L 或 1.56 mg/L，可去除 66.7%至 76.7%藻細胞，濁度則可去除 17.4%至 29.4%，濁度去除效果不佳，遠低於現場 91.9%之濁度去除率，此係因 PACl 混凝劑分擔於凝結處理未裂解之藻細胞及 PAC 顆粒，致用於濁度去除效果有限所致。場內加高前氯(1.56mg/L)，增加藻細胞需氯量之加注，不論濁度或藻細胞去除效果，均優於場內加氯量(1.0mg/L)之狀況，應為較高淨水場前氯使藻細胞破碎較為嚴重，而破碎之藻細胞或釋出之細胞質為 PAC 吸附，使混凝劑免去用於凝結藻細胞、破碎之藻細胞或釋出之細胞質之混凝負荷，而增加混凝劑去除濁度之效果。由 TOC 去除率亦可看出場內前氯加注量之區別。

若以較高前氯(1.56mg/L)於取水口加注，則藻細胞去除率可提升為 86.7%，但濁度去除率僅 4.5%，混凝去除濁度效果不佳，由沉澱水餘氯為 ND 判斷，取水口前氯有較長的接觸氧化反應時間，全部用於氧化水中藻細胞、釋出之細胞質代謝物及低濃度天然有機物，取水口前氯將藻細胞較全面性破碎，釋出細胞內代謝物，致藻細胞去除率極高，而場內添加 PAC 吸附釋出之細胞質接觸時間不足，TOC 去除效果不佳，致影響混凝效果，此狀況要提升混凝效果，應提高 PAC 加注濃度。

場內程序前端不論加前氯與否，藻細胞與濁度去除率約略相當，應為所加前氯僅 1.0mg/L 僅能氧化極小部分藻細胞，且自由餘氯迅速與 PAC 反應消耗(此可從沉澱水餘氯為 ND 證明)之結果，但有加前氯者，仍有氧化藻細胞壁細胞質釋出，致 TOC 增加現象。

而取水口添加 PAC 與淨水場前端添加 PAC 之差別在於，於取水口添加 PAC 具有先將水中溶解性 NOM 等物質有較完全(掃除)

吸附(Scavenger)作用，故會略為增加混凝沉澱濁度去除效果之功能，另進場後再與前氯反應，PAC 與原水中 NOM 及前氯反應，皆使 PAC 剩餘吸附址降低，由前者沉澱水餘氯仍有 0.12mg/L，即顯示 PAC 吸附址已遭用盡，不會再與氯反應。該吸附飽和 PAC 顆粒再與混凝劑作用，反而不利藻細胞之混凝去除；相較場內加注 PAC，較新鮮之 PAC 顆粒、藻細胞顆粒與混凝劑形成之膠羽，則對藻細胞有較多的黏著包覆效應，因而有較佳的藻細胞去除率。

此批試驗程序中，由於有加氯氧化、加粉狀活性碳吸附及 PACl 混凝等作用交互影響，較為複雜。大致作用歸納為(1)加氯會裂解藻細胞，裂解程度隨加氯量多寡有別。(2)粉狀活性碳若有足夠接觸時間，會吸附水中天然有機物、經氯氧化完全破碎之細胞壁及釋出的細胞質。(3) PACl 混凝劑混凝去除濁度之效果，會受添加粉狀活性碳、存在較多完整藻細胞及低前氯輕微氧化裂解藻細胞致釋出細胞質，呈現負面影響。

2.藻毒釋出結果

藻毒分析方面，如圖 7，取水口僅加注 PAC，藻細胞為完整的，藻毒全存在藻細胞內；場內 PACl 混凝及前氯可能釋出細胞外毒，但易為取水口添加持續存在水中的 PAC 及餘氯所吸附及氧化(沉澱水尚存餘氯 0.12 及 0.29mg/L，未為 PAC 反應消耗即可證明)；取水口高前氯將藻細胞內毒大量釋出，隨即為氯氧化及場加注之 PAC 吸附(沉澱水餘氯 ND 可證明)。場內前氯及混凝均可能使藻細胞釋出細胞內毒，但隨即為所加 PAC 吸附及餘氯氧化去除(但釋出細胞質造成沉澱水 TOC 增高為 0.44mg/L)，但無前氯時，僅 PACl 混凝造成藻毒釋出，僅靠 PAC 吸附接觸時間可能不足，無法完全吸附因混凝作用釋出的藻毒，故存在很小量的溶解性藻毒。

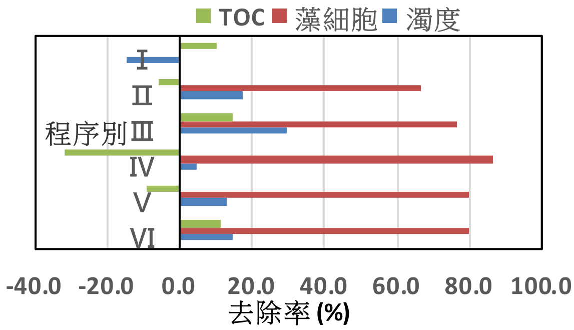


圖 6　不同粉狀活性碳加注程序濁度、藻細胞與 TOC 去除率(程序 I 取水口 PAC20ppm；程序 II 取水口 PAC 20ppm+場內[PACl 10ppm+NaOCl 1ppm]；程序 III 取水口 PAC20ppm+場內[PACl 0ppm+NaOCl 1.56 ppm]；程序 IV 取水口 NaOCl 1.56ppm+場內[PACl10ppm+PAC 20ppm]；程序 V 場內[PAC20ppm+PACl 10ppm+NaOCl 1ppm]；程序 VI 場內[PACl 10ppm+PAC 20ppm])

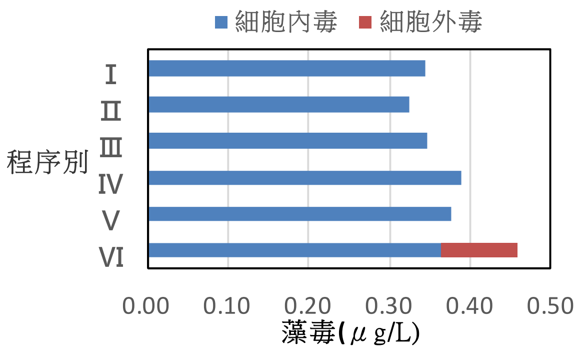


圖 7　不同粉狀活性碳加注程序藻毒釋出狀況(程序同圖 6)

(四)PACl 混凝時藻細胞不同內毒釋出現象原因探討

(二)、(三)與(一)混凝實驗微囊藻細胞釋出藻毒狀況不同，經文獻探討分析發現，(二)、(三)實驗使用者為無菌培養初期(如圖 8 左)，胞細胞在水中呈單細胞形態，均勻分佈水中，(一)使用者則為多代培微囊藻(如圖 8 右)，如同於夏秋發生藻華，產生群體形態藻細胞，文獻研究結果顯示，混凝不會破壞藻華原水藻細胞而釋出藻毒，實為發現藻華期藻細胞已形成群體(Colony)形態，藻細胞外產生大量細胞外多醣體(EPS)保護了微囊藻細胞所致。但單細胞態藻細胞壁則較脆弱，易於混凝程序時釋出藻毒。

圖 8　不同培養期銅綠微囊藻目視及顯微鏡下型態

五、結論與建議

處理含藻毒銅綠微囊藻細胞原水時，傳統淨水處理程序混凝操作，與前加氯及粉狀活性碳加注 3 者間會交互影響，機制相當複，由前述實驗結果，歸納結論如下：

1.混凝攪拌能量不會破壞群體態銅綠微囊藻細藻細胞壁，而使細胞內藻毒釋出。

2.混凝劑 PACl 之混凝作用，在去除水中濁度物質同時，可使水中藻細胞凝聚去除，但應考慮同時去除水中藻細胞及所添加之粉狀活性碳顆粒時，需增加之混凝劑加注濃度，最適加注濃度應模擬不同加注點，以杯瓶試驗決定之。

3.在不加前氯之狀況下，以沉澱水濁度為混凝效能指標，濁度去除與藻細胞去除，隨混凝劑加注濃度之增加，二者具有相同之去除率增加趨勢；但在不影響濁度去除狀況下，混凝劑加注濃度較最適濁度去除混凝劑加注濃度略增，可提升藻細胞之去除率。惟於此混凝狀況下，沉澱水中藻細胞密度仍高，應特別注意後端快濾單元操作。

4.取水口添加足量木質粉狀活性碳，在不加前氯之狀況下，以沉澱水濁度為混凝效能指標，達最適濁度去除，所需之混凝劑加注濃度，再略增，亦可提升藻細胞之去除率。

5.為兼顧濁度去除，所採取之較高劑量 PACl 混凝劑混凝作用產生之膠羽，使包覆其中之微囊藻細胞釋出藻毒現象，僅限於實驗室培養初期或自然界早春產生之單細胞銅綠微囊藻，若藻已產生群體(Colony)態，則混凝過程不會釋出藻毒。

6.單獨添加混凝劑產生之混凝作用，對藻細胞有去除效果；但加低量前氯(如 1.0mg/L)會使藻細胞壁部分遭到破壞釋出藻毒等細胞質，反而不利於混凝劑混凝凝結作用，降低濁度之去除效果。加較高前氯(考量增加藻細胞需氯量)，會使藻細胞壁遭到更全面破壞，更不利於混凝濁度去除作用，應加高混凝劑量以為因應，但能利用較高 CT 值氧化因加前氯及混凝作用釋出之藻毒。

7.取水口單獨加木質 PAC 於約 2 小時輸送之亂流攪拌對藻細胞(細胞內毒)無去除效果，亦不會釋出藻毒，但於杯瓶試驗及顯微鏡下觀察到 PAC 顆粒黏結藻細胞的現象。

8.取水口加注 PAC 的好處為接觸時間足夠，可一路吸附原水中天然有機物 NOM 及因淨水場混凝劑或前氯氧化作用藻細胞釋出之藻毒等代謝物，產生掃清(Scavenger)作用，使混凝劑去除濁度之功能提升，但所需最適 PAC 之加注濃度，會因而增加。

9.若於取水口加足量的氯，使藻細胞及水中天然有機物充分氧化，釋出細胞質，則反而不利混凝濁度去除。

10.取水口加注 PAC，淨水場加前氯，PACl 混凝劑混凝去除濁度之效果，會受添加粉狀活性碳濃度、存在完整藻細胞多寡及因前氯加注多寡，氧化裂解藻細胞致釋出細胞質程度，呈現負面影響。

11.含藻原水與單獨濁度去除在淨水現場操作觀念上有所不同，建議傳統淨水程序處理含微囊藻(毒)原水，應注意以下事項：

(1)含藻原水處理應優先混凝沉澱去除完整藻細胞為原則，儘量減少或免除前氯加注，使釋出藻毒；即使不得已添加，亦應避免沉澱水存在餘氯，氧化裂解快濾池濾除之有毒藻細胞，而釋出藻毒；殘餘水中溶解性藻毒，再以添加活性碳吸附及(或)加氯氧化去除之。。

(2)原水中濁度物質、藻細胞及添加之粉狀活性碳顆粒，均應被混凝劑混凝去除，故混凝劑加注濃度會較單獨去除濁度增加，有前氯添加狀況所需混凝劑加注濃度會更高，均應以杯瓶試驗決定之。

參考文獻

1.American Water Works Association and Water Research Foundation., "A Water Utility Manager’s Guide to Cyanotoxins," AWWA & WRF, 2015.

2.Cartnick k."A water utility manager's guide to cyanotoxins," American Water Works Association, 2015.

3.Gayle N. , International Guidance Manual for the Management of Toxic Cyanobacteria, Global Water Research Coalition, 2009.

4.Recommendations for Public Water Systems to Manage Cyanotoxins in Drinking Water, USEPA.,2015.

5.Amanda C. , Determining the Effects of the Coagulant, Aluminum Sulfate, on the Adsorption of Microcystin-LR on Powdered Activated Carbon, The Ohio State University, 2016.

6. Thomas W. and D. Alison , Water Treatment Optimization for Cyanotoxins Version 1.0, USEPA, 2016.

7.Qianqian, Z. Wei , L. Ming and T. Xiao, "Morphological changes of Microcystis aeruginosa colonies in culture," Journal of Limnology, vol. 75, no. 1, pp. 14-23, 2016.

8.Robert D. I., H. Lionel and B. D. Justin , "Effect of Chlorination on Microcystis aruginosa Cell Integrity and Subsequent Microcystin Release and Degradation," Journal of Environmental Science & Technology, vol. 41, no. 12, pp. 4447-4453, 2007.

9.Badiaa G., G. Djamel and S. Ali , "Algae and cyanotoxins removal by coagulation/ Flocculation: A review," Desalination and Water Treatment, vol. 20, pp. 133-143, 2010.

10.Mary D., C. W. Christopher, H. Jenny and B. D. Michael, "Using coagulation, flocculation, and settling to remove toxic cyanobacteria," Journal of American Water Works Association, 2001.

11.Harmful Algal Bloom (HAB) and Cyanotoxin:

Treatment and Management for Public Water Systems, 2014.

12.Cliff R., V. S. Lory and P. Valerie, "Toxin release in response to oxidative stress and programmed cell death in the cyanobacterium Microcystis aeruginosa," Aquatic Toxicology, vol. 78, no. 1, pp. 66-73, 2006.

13.L. G. W. Z. L. L. Ming Li, "Changes in extracellular polysaccharide content and morphology of Microcystis aeruginosa at different specific growth rates," Journal of Applied Phycology, 2013.

14.Lin S. D., R. L. Evans and D. B. Beuscher, Algal Removal by Alum Coagulation, Illinois State Water Survey, 1971.

15.Generalized Cyanotoxin Treatment Optimization Recommendations, Ohio EPA,2016.

16.Y. Fan, "Chlorination of Toxic Cyanobacterial Cells and their Associated Toxins," 2012.

17.D. I. Robert , H. Lionel and B. D. Justin , "Effect of Chlorination on Microcystis aeruginosa Cell Integrity and Subsequent Microcystin Release and Degradation," Journal of Environmental Science & Technology, vol. 41, no. 12, pp. 4447- 4453, 2007.

作者簡介

薛志宏先生

現職:臺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

王姍莉小姐

現職:臺北自來水事業處三級工程師

專長:水質管理、水質檢驗

張凱迪先生

現職:臺北自來水事業處三級工程師

專長:淨水處理、水質檢驗

飲用水水質處理混凝劑其 CNS 標準修訂之研析—以聚氯化鋁為例

文/甘其銓、林秀雄、蔡利局、林志麟、楊惠玲、林欣慧

一、前言

我國對於飲用水水質處理藥劑之品質管制，除由環保署針對藥劑不純物訂定其種類與含量限值外，另有中華民國國家標準(CNS)對於藥劑主成份與不純物的種類與含量所訂之規範，而後者亦為自來水公司採購飲用水水質處理藥劑時主成份規格之主要依據。然 CNS 對於飲用水水質處理藥劑中之混凝劑，其已制定標準者僅有聚氯化鋁與硫酸鋁，且由表 1 可知，聚氯化鋁之 CNS 標準修訂時間為時已久，恐有與現實脫節之虞。

表 1　聚氯化鋁 CNS 標準公布/修訂日期表[1]

CNS 標準名稱	CNS 標準編號	公布日期	修訂日期
自來水用聚氯化鋁	12537/K1278	78/06/22	94/05/13

自來水公司其轄下各淨水場使用之飲用水水質處理藥劑，係依據各種不同水質情況採用經環保署公告之飲用水水質處理藥劑進行加藥處理，惟藥劑主成份環保署未加以規範外，針對重金屬不純物部分，環保署雖訂有品質管制項目及標準，然自來水公司為考量水質安全及實際作業需求，依據環保署或 CNS 規範訂定較嚴謹之內控標準及增訂其他管制項目，以期淨水藥劑的使用能確保處理成效及飲用水之安全。鑑此，為能與時俱進，提升飲用水水質與國人健康之保障，實有修訂自來水用藥劑 CNS 標準之需要。

基於以上緣由，自來水公司於 109 至 110 年度針對硫酸鋁、聚氯化鋁、氯化鐵、次氯酸鈉、液氯、臭氧、硫酸及氫氧化鈉共 8 種於淨水操作實務中常用之淨水用藥進行相關的研究計畫。本文內僅以「聚氯化鋁」做為討論範例，本研究旨在蒐集與彙整國內外飲用水水質處理混凝劑之品質標準與驗收檢驗方法等相關規範，參酌此規範並考量各淨水廠藥劑之最大/平均操作量狀況、藥劑供貨商之品質水準、分析實驗室檢測水準及飲用水水質標準對應之 RMIC(Recommended Maximum Impurity Content)值等，以作為 CNS 標準修訂之參考依據，期使修訂之藥劑規範能作為自來水公司內部藥劑管理之依據，有效管理藥劑品質以維持飲用水水質安全。

二、研究方法

參酌國內外規範資料與調查現行所使用飲用水水質藥劑之水準，並同步與藥劑廠商進行協商討論後，可據以擬訂各淨水藥劑所屬自來水用 CNS 品質標準及檢驗方法之草案，本研究之工作執行架構如圖 1 所示。

(一)資料蒐集

1.國內外藥劑規範彙整

本研究蒐集與彙整國內外飲用水水質處理藥劑中聚氯化鋁之主成份及不純物相關規範與檢測方法，供作修訂 CNS 標準之佐參資料。

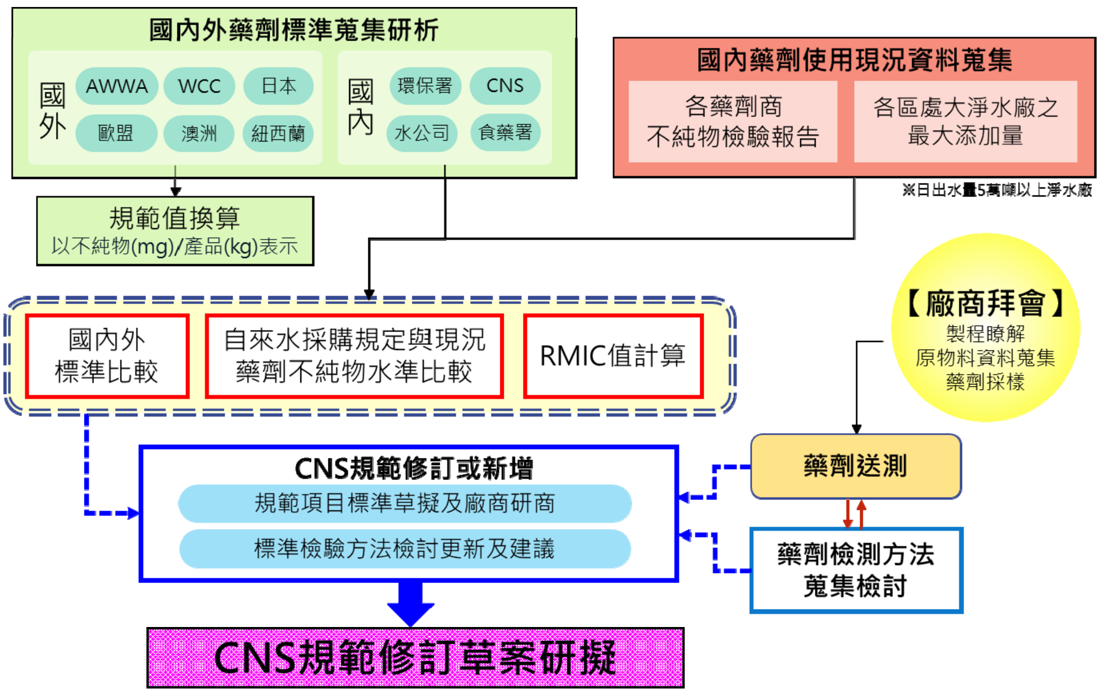


圖 1　CNS 標準草案修訂工作架構

前述國內資料乃指 EPA 與原 CNS 之標準，國外部分則包括美國的 AWWA、歐洲體制的 BS EN 及日本的 JWWA 與 JIS 等規範；國內外規範參考來源如表 2 所示。

2.國內藥劑廠商不純物品質現況調查

各廠商所供應淨水藥劑之不純物含量除須符合環保署規範外，自來水公司於得標廠商進料後，還須依飲用水水質處理藥劑採購及收料之標準流程進行檢測，檢測結果除主成份含量須合格外，不純物含量亦須符合自來水公司之採購規定(環保署公告限值之 0.8 倍)。由於淨水藥劑之環保署規範與 CNS 標準息息相關，因此增/修訂 CNS 標準時亦須考量相關藥劑製造廠商之供貨品質現況，務求藥劑之價格合理性與供貨穩定性。

表 2　自來水用聚氯化鋁之國內外規範法源

藥劑名稱 / 規範來源	聚氯化鋁
環保署 EPA	飲用水水質處理藥劑一覽表
CNS(自來水用)	CNS 12537/K1278
美國 AWWA	AWWA B408-10:2018
日本(水道用)	JIS K1475/JWWA K154
歐盟 BS EN	BS EN 883:2004

3.淨水場藥劑使用現況調查

隨著自來水水源之水質變化，不同淨水場或不同季節(旱澇)之藥劑添加量亦有所差異；於既有飲用水水質標準規範下，藥劑添加量愈高，則藥劑中不純物之含量須愈低。職是之故，應了解淨水廠藥劑之最大使用量，作為評估不純物標準時之核算依據；本研究所蒐集者為 106~108 年間自來水公司各區處中，日出水量超過 5 萬噸淨水場之藥劑最大添加劑量。

(二)藥劑不純物 RMIC 值計算

本研究對於飲用水處理藥劑中不純物含量 CNS 標準之增/修訂，除援引歐美日等

國標準外，RMIC 值亦為比較指標之一。此 RMIC 值之計算依據為 Water Chemical Codex 所列之 RMIC 值計算公式[2]，如下式所示：

$$RMIC = (MCL \times 10^6) / (MD \times SF)$$

RMIC=藥劑中不純物含量最大限值(mg/kg)

MCL=飲用水水質標準最大限值(mg/L) (Maximum Contaminant Level)

MD=最大操作量(Maximum Dosage)(mg/L)

SF =安全因子(Safety Factor)

藉由國內公告之飲用水水質標準(MCL)，加上各種重金屬不純物之安全因子(SF)設定值，並搭配藥劑最大操作量(MD)，即可求得 RMIC 值。並利用此 RMIC 值判斷所擬訂之 CNS 規範修訂值之合理性。

三、結果與討論

(一)國內外藥劑規範彙整

聚氯化鋁國內外主成份及不純物規範之彙整如表 3 所示，該表為將不純物項目之單位統一為 mg/kg of product 所得之結果。

主成份之部分，環保署並未訂定功能性之主成份之標準，主要乃針對影響消費者健康之不純物項目進行規範，因主成份屬功能取向，因此各國間之主成份要求有所不同，並無寬鬆或嚴謹之分。

重金屬不純物部分，各國間針對不純物之管制不同，以 CNS 規範為基準，相較於環保署公告標準，除砷(As)標準較嚴格外，CNS 另有規範不溶物、氨態氮、銅(Cu)及硫酸根等項目。與其他國家相較，JIS、BS EN Type 1(汞除外)、BS EN 之砷(As)項目及澳洲(銅除外)之不純物標準較 CNS 規範嚴格，其他皆較寬鬆。此外，硒、鎳、銻此三項 CNS 並未規範，建議可納入新增規範項目之評估。

(二)國內藥劑廠商不純物品質現況調查

表 4 為國內標準及目前供貨自來水公司之各聚氯化鋁藥劑商不純物之水準比較，除原環保署所規範之七種重金屬項目外，本研究同步採樣各家藥劑供應商之聚氯化鋁藥劑樣品，委託 NIEA 認證檢驗機構分析藥劑中銅、硒、鎳及銻之含量，檢驗結果如表 4 所示。

檢測結果顯示，自來水公司所定之不純物內規均可符合 CNS 所規範飲用水使用藥劑安全上的要求，而各廠家聚氯化鋁藥劑之不純物含量亦皆符合自來水公司採購標準，甚至遠低於環保署公告限值，多項不純物含量更低於方法偵測極限(<MDL，表中顯示為 N.D.)，做為飲用水處理藥劑殆無疑義。

(三)淨水場藥劑使用現況調查

自來水各區處之淨水場添加量不一，統計 106~108 年間自來水公司各區處中，日出水量超過 5 萬噸淨水場之聚氯化鋁藥劑最大添加劑量，彙整結果如表 5 所示，調查結果顯示，各區處因藥劑品質以及(或)原水水質不同，聚氯化鋁之最大添加劑量亦有頗大差異，而考量原水濁度 250 NTU 以下之正常原水，各淨水場聚氯化鋁加藥量操作曲線約落於 2~40 ppm 之範圍，而於異常的原水水質情況下，聚氯化鋁加藥量則高至 145 ppm。

表 3　聚氯化鋁之國內外藥劑規範一覽表(本研究整理)

聚氯化鋁		各國標準與規範							
		EPA公告	CNS 12537	AWWA Standards	BS EN			JIS	JWWA
主成份	型態	-	液體	液體	液體			液體	液體
	比重		>1.19	1.1~1.4	-			>1.19	>1.19
	pH值		3.5~5.0	-	-			3.5~5	3.5~5.0
	單位	-	% of product	% of product	% of product			% of product	% of product
	氧化鋁		10.0~11.0	5~25	-			10~11	10~11
	鋁		-	2.5~13	4.2~12.4			-	-
	鹼度		45~65	10~83	-			45~65	45~75
	濁度		-	<50 NTU	-			-	-
	不溶物		<1.0	-	-			-	-
	氨態氮(N)		<100 ppm	-	-			<100 ppm	-
	SO_4^{2-}		<3.5	-	-			<3.5	<3.5
不純物		-	-	-	Type 1	Type 2	Type 3	-	-
	單位	mg/kg of product (ppm)	mg/kg of product (mass ppm)	-	mg/kg of product			mg/kg of product (wt ppm)	-
	砷(As)	<5	<3.0	-	≦0.74	≦2.12	≦5.29	<1.0	-
	鐵(Fe)	<100	<100	-	-	-	-	<100	-
	錳(Mn)	<25	<25	-	-	-	-	<15	-
	鎘(Cd)	<2	<2.0	-	≦0.16	≦2.65	≦5.29	<1.0	-
	鉛(Pb)	<10	<10	-	≦2.12	≦10.59	≦42.35	<5	-
	汞(Hg)	<0.2	<0.2	-	≦0.21	≦0.53	≦1.06	<0.1	-
	鉻(Cr)	<10	<10	-	≦1.59	≦37.06	≦52.94	<5	-
	硒(Se)	-	-	-	≦1.06	≦2.12	≦6.35	-	-
	鎳(Ni)	-	-	-	≦1.06	≦37.06	≦52.94	-	-
	銻(Sb)	-	-	-	≦1.06	≦2.12	≦6.35	-	-
	銅(Cu)	-	<10	-	-	-	-	-	-

表 4　聚氯化鋁藥劑商不純物含量與國內標準比較一覽表(單位:ppm)

項目	國內標準			聚氯化鋁藥劑廠商						MDL /QDL
	EPA 公告	CNS 規範	自來水採購規定	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	
砷(As)	<5	<3	<3	N.D.	0.06	0.04	0.05	0.05	0.06	0.0076
鉛(Pb)	<10	<10	<8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.7
鎘(Cd)	<2	<2	<1.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.32
鉻(Cr)	<10	<10	<8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.8
汞(Hg)	<0.2	<0.2	<0.16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	N.D.	0.0082
錳(Mn)	<25	<25	<20	N.D.	9.9	0.91	2.23	5.0	N.D.	0.85
鐵(Fe)	<100	<100	<80	9.55	31.7	10.7	37.6	20.0	16.8	1.6
銅(Cu)	-	<10	-	<QDL	<QDL	<QDL	1.555	<QDL	<QDL	1.25
硒(Se)	未規範	未規範	未規範	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	0.05
鎳(Ni)				<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	1.25
銻(Sb)				<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	1.25

*本研究彙整

(四)藥劑不純物 RMIC 值計算

表 5 顯示近年來各區處使用聚氯化鋁之操作狀況，平均使用量為 2~40 ppm，考量目前平均添加劑量、原水及藥劑品質之變化，乃取 40 ppm 約二倍之數值為擬訂建議值，建議以 80 mg/L 為聚氯化鋁最大操作允許量(MD)。

RMIC 之計算值如表 6 所示。砷因我國地下水原水中含量高，鉛因自來水供水管路材質有釋出疑慮，安全因子(SF)均設定為 20，其餘水中重金屬不純物之安全因子則採用 10[3]。 以砷為例，其飲用水標準為 0.01 mg/L，最大操作劑量為 80 mg/L，安全因子設定為 20，據此則依下式可求得砷之 RMIC 值：

$$RMIC(As)=(0.01\times10^6)/(80\times20)=6.25\ mg/kg$$

(五)CNS 主成份及不純物含量標準之判定

擬修訂 CNS 品質項目中各項標準值，乃是經由比較現行各廠商所供應藥劑中不純物含量之最大值、現行 CNS 標準值、歐美日國外標準及重金屬不純物對應之 RMIC 值，再依如下原則訂定 CNS 標準項目相關數值：

表 5　106~108 年各區處聚氯化鋁添加量調查

平均加藥量*(ppm)	106~108 年最大添加量(ppm)						
	一區	二區	三區	四區	七區	九區	十二區
2~40	69.4	145**	61.7	37.32	73.7	2.27	116.2**

*原水濁度 250 NTU 以下、**異常水質狀況(>500 NTU)

表 6　聚氯化鋁重金屬不純物 RMIC 值計算結果

項目	飲用水標準 (MCL, mg/L)	最大操作允許量 (MD, mg/L)	SF	不純物最高含量限值 (RMIC, mg/kg)
砷(As)	0.01	80	20	6.25
鐵(Fe)	0.3		10	375.0
錳(Mn)	0.05		10	62.50
鎘(Cd)	0.005		10	6.25
鉛(Pb)	0.01		20	6.25
汞(Hg)	0.001		10	1.25
鉻(Cr)	0.05		10	62.50
銅(Cu)	1.0		10	1250
硒(Se)	0.01		10	12.50
鎳(Ni)	0.02		10	25.0
銻(Sb)	0.01		10	12.50

1.主成份因屬功能性取向，各國間要求有所不同，無寬鬆或嚴謹之分。針對 CNS 標準主成份之修訂，以目前國內之藥劑水準及水公司藥劑之使用需求作為主要修訂依據考量。

2.我國與日本使用之混凝劑以聚氯化鋁為主，且二國藥劑原料來源相近，因此在國外標準之參酌上，以日本 JIS 標準為比較基準進行修訂，訂定原則如下：

(1)若日本 JIS 規範較 CNS 現行標準嚴格，則以 JIS 為建議值。

(2)若 CNS 現行標準較日本 JIS 嚴格，則維持 CNS 現行標準，不予修改。

(3)若無國外標準者，則維持 CNS 現行標準。

(六)CNS 草案修訂研擬

1.規範值修訂

表 7 為擬修訂品質規定之各項標準值，將原標準中「鹼度」一詞更改為「鹽基比」，以更符合其原義(basicity)，並避免與水質標準中之鹼度(alkalinity)混淆。另，鹼度範圍由 45~65%修正為 45~75%，增加製造之彈性，且不致降低藥劑之效能。

表 7　聚氯化鋁 CNS 品質項目修訂內容比較表

項目	原規範值		建議修訂內容		修訂說明
	單位	內容	單位		
外觀	-	無色～稍帶黃之淡褐色透明液體	-	—	
比重（20℃）	-	1.19 以上	-	—	
氧化鋁(Al_2O_3)	mass %	10.0～11.0	%	—	單位修正
鹼度	mass %	45～65	%	鹽基比 45~75	1.項目標題及單位修正 2.參考日本 JWWA 規範
pH 值(10 g/L 溶液)	-	3.5～5.0	-	—	
硫酸根離子(SO_4^{2-})	mass %	3.5 以下	%	—	單位修正
水不溶物	mass %	1.0 以下	%	—	
氨態氮(N)	mass ppm	100 以下	ppm	—	
砷(As)	mass ppm	3.0 以下	ppm	1.0 以下	參考日本 JIS 規範
鐵(Fe)	mass ppm	100 以下	ppm	—	單位修正
錳(Mn)	mass ppm	25 以下	ppm	15 以下	1.單位修正 2.參考日本 JIS 規範
鎘(Cd)	mass ppm	2.0 以下	ppm	1.0 以下	
鉛(Pb)	mass ppm	10 以下	ppm	5.0 以下	
汞(Hg)	mass ppm	0.2 以下	ppm	0.1 以下	
鉻(Cr)	mass ppm	10 以下	ppm	5.0 以下	
銅(Cu)	mass ppm	10 以下	ppm	—	
硒(Se)	未規範		ppm	2.12 以下	1.單位變更 2.新增項目(參考歐盟 Type 2 規範)
鎳(Ni)	未規範		ppm	37.06 以下	
銻(Sb)	未規範		ppm	2.12 以下	

“—”：不予修訂

表 8　聚氯化鋁 CNS 檢測方法建議修正對照表

項目	現行方法	分析檢測方法之修訂內容及建議引用[7]
比重	液體比重計測定	不予修訂
氧化鋁	滴定法/ICP 發光分析法	不予修訂
鹽基比	氫氧化鈉滴定法	不予修訂
pH	玻璃電極法測定	不予修訂
水不溶物	過濾秤重法	參考 NIEA W210.58A 規範修訂
氨態氮	吸收光度分析法	不予修訂
硫酸離子	離子層析法/滴定法	離子層析法內容修訂參考 NIEA W415.54B 之規範
砷(As)	原子吸收光譜分析法/吸收光度分析法	NIEA D433.11B/NIEA M104.02C/NIEA M105.01B (樣品製備依據 NIEA D417.44B)
		NIEA W303.51A
鐵(Fe)	吸收光度分析法	不予修訂
	電熱式原子吸收光譜分析法/ ICP 發光分析法	NIEA D431.13B/NIEA M104.02C/NIEA M105.01B (樣品製備依據 NIEA D417.44B)
		NIEA W303.51A
錳(Mn)	電熱式原子吸收光譜分析法/ 火焰原子吸收光譜分析法/ ICP 發光分析法/吸收光度分析法	NIEA D431.13B/NIEA M104.02C/NIEA M105.01B (樣品製備依據 NIEA D417.44B)
		NIEA W303.51A
鎘(Cd)	電熱式原子吸收光譜分析法/ 火焰原子吸收光譜分析法/ ICP 發光分析法	NIEA D431.13B/NIEA M104.02C/NIEA M105.01B (樣品製備依據 NIEA D417.44B)
		NIEA W303.51A
鉛(Pb)	電熱式原子吸收光譜分析法/ 火焰原子吸收光譜分析法/ ICP 發光分析法	NIEA D431.13B/NIEA M104.02C/NIEA M105.01B (樣品製備依據 NIEA D417.44B)
		NIEA W303.51A
汞(Hg)	原子吸收光譜分析法	NIEA D434.11B/NIEA M104.02C/NIEA M105.01B (樣品製備依據 NIEA D417.44B)
鉻(Cr)	電熱式原子吸收光譜分析法/ ICP 發光分析法	NIEA D431.13B/NIEA M104.02C/NIEA M105.01B (樣品製備依據 NIEA D417.44B)
		NIEA W303.51A
銅(Cu)	火焰式原子吸收光譜法 (NIEA D431.12B)	NIEA D431.13B/NIEA M104.02C/NIEA M105.01B (樣品製備依據 NIEA D417.44B)
		NIEA W303.51A
硒(Se)	未制定	NIEA D432.11B/NIEA M104.02C/NIEA M105.01B (樣品製備依據 NIEA D417.44B)
		NIEA W303.51A
鎳(Ni)	未制定	NIEA D431.13B (波長 Ni-232.0 nm)/ NIEA M104.02C/NIEA M105.01B (樣品製備依據 NIEA D417.44B)
		NIEA W303.51A
銻(Sb)	未制定	NIEA D431.13B (波長 Se-217.6nm)/ NIEA M104.02C/NIEA M105.01B (樣品製備依據 NIEA D417.44B)
		NIEA W303.51A

依(五)、3 所述重金屬不純物標準之判定原則，除鐵(Fe)及銅(Cu)因 CNS 規範較嚴於國外規範外，其他項目皆參考日本 JIS 規範修訂；硒、鎳、銻於原 CNS 標準中均未規範，而歐盟 EN 有規範此三個項目，本研究委託認證檢驗機構分析藥劑中硒、鎳、銻之含量，確認目前藥劑品質水準及國內檢測能力可及之程度，因此三種不純物項目建議參考歐盟 EN Type 2 規範擬增訂於 CNS 規範中。

2.檢驗方法

主成份除「水不溶物」參考 NIEA W210 之方法進行修訂外，其他項目維持原 CNS 規範，不予修正。不純物部分，本研究擬以 NIEA 方法加入或替代原 CNS 方法。表 8 為聚氯化鋁其主成份及不純物試驗方法之修正對照表。

3.檢測報告數字之位數及品管範圍

於 CNS 標準中擬加入檢測報告數據呈現及品管相關規範，以作為統一自來水公司及外部認證檢測公司有關藥劑品管報告之遵循。其依據則分別為「行政院環境保護署環檢所，檢測報告位數表示規定」[5]及「台灣自來水公司飲用水水質處理藥劑驗收及檢驗規範」[6]。表 9 及表 10 則分別為各檢驗方法相應之品管與數字呈現規範。

表 9　聚氯化鋁主成份品管與數字呈現規範

項目	標準	品管範圍						檢測報告數字表示		
		檢測方法	重複	查核	空白	添加	參考來源	有效位數	最小表示位數	參考來源
比重(20℃)	1.19以上	比重計法	*註	-	-		自來水公司	3	小數點以下2位	自來水公司
氧化鋁	10.0~11.0%	滴定法	10%	-	-		自來水公司	3	小數點以下1位	自來水公司
		ICP法	20%	75~125%	< 2MDL		NIEA M105			
鹽基比	45~75%	滴定法	10%	-	-		自來水公司	3	小數點以下1位	自來水公司
pH值(10 g/L溶液)	3.5~5.0	玻璃電極法	<±0.05	-	-		自來水公司	2	小數點以下1位	自來水公司
硫酸離子(SO_4^{2-})	3.5%以下	滴定法	20%	80~120%			自來水公司	2	小數點以下2位	自來水公司
		IC法	20%	85~115%	< 2MDL	80~120%	NIEA W415			
水不溶物	1.0%以下	秤重法	20%	-	<5%管制值	-	NIEA W210	2	小數點以下3位	自來水公司
氨態氮(N)	100 ppm以下	UV法	10%	80~120%	<5%管制值	-	自來水公司	3	小數點以下1位	自來水公司

*註：重複測定之平均值與各別測定值，須在 1 分度(0.001/0.002)所示之值以內。

表 10　聚氯化鋁不純物品管與數字呈現規範

檢測項目	NIEA 方法編號	檢測報告數字之位數*		品管範圍					
		最多有效位數	最小表示位數	檢量線		空白	重複	查核	添加
				製作	查核				
錳、鎘、鉛、銅、鐵、鉻、鎳	D431	3	小數點以下 2 位	r≧0.995 ±10%	±10%	<2MDL	20%	80~120%	75~125%
硒	D432	3	小數點以下 2 位	r≧0.995 ±20%	±20%	<2MDL	20%	80~120%	80~120%
砷、銻	D433	3	小數點以下 2 位	r≧0.995 ±20%	±20%	<2MDL	20%	80~120%	75~125%
汞	D434	3	小數點以下 2 位	r≧0.995 ±20%	±20%	<2MDL	20%	80~120%	75~125%
砷、銻、錳、銅、鐵、鎘、鉛、鉻、鎳、硒	W303	3	小數點以下 4 位	r≧0.995	-	<2MDL	-	-	-
砷、銻、錳、銅、鐵、鎘、鉛、汞、鉻、鎳、硒	M104	3	小數點以下 2 位	r≧0.995 ±10%	±10%	<2MDL	20%	75~125%	75~125%
砷、銻、錳、銅、鐵、鎘、鉛、汞、鉻、鎳、硒	M105	3	小數點以下 3 位	r≧0.995 ±10%	±10%	<2MDL	20%	75~125%	75~125%

*資料來源：行政院環境保護署環檢所，檢測報告位數表示規定[5]。

四、結論與建議

(一)藉由國內規範及國外相關藥劑標準之蒐集與比較，了解現行國內飲用水水質處理混凝劑其 CNS 標準之內容是否合宜。再者，針對目前國內各區處淨水場所使用藥劑之最大操作量與各家藥劑商之藥劑品質水準進行調查，除了解目前之藥劑操作現況外，並與擬修訂規範標準進行比對，俾利藥劑 CNS 規範草案之修訂。

(二)研究中核算聚氯化鋁中各項不純物之 RMIC 值，作為修訂 CNS 規範草案時不純物標準之比對參考。

(三)依據自來水公司及環保署環檢所相關規定，擬定修訂 CNS 規範草案中各項成分分析檢測之品管及數字呈現規範。

(四)本研究之成果可供國內自來水事業，研提聚氯化鋁修訂之 CNS 規範草案，俾使藥劑管理能與時俱進，提供更優質飲用水。

參考文獻

1.CNS 12537/K1278：自來水用聚氯化鋁。

2.Water Chemical Codex，ISBN: 0-309-59874-5，1982.

3.Supply of Aluminum Sulphate for Use in Water Treatment, Water New Zealand，Third Edition，2016.

4.羅靜雪、邱怡菁、姚寶蓮。飲用水處理藥劑-聚氯化鋁中錳成分之分析探討。台灣自來水公司，2007。

5.行政院環境保護署環檢所。檢測報告位數表示規定，99年2月3日公布。

6.台灣自來水公司。台灣自來水公司飲用水水質處理藥劑驗收及檢驗規範，104年5月13日修訂。

作者簡介

甘其銓先生

現職：嘉南藥理大學觀光事業管理系教授

專長：飲用水處理藥劑、水處理技術、水質異常改善

林秀雄先生

現職：嘉南藥理大學環境工程與科學系兼任教授

專長：飲用水處理藥劑、廢水高級處理

蔡利局先生

現職：嘉南藥理大學環境工程與科學系副教授

專長：飲用水處理藥劑、水質異常改善研究、

林志麟先生

現職：中原大學環境工程學系副教授

專長：水質異常改善研究、水處理混凝及過濾技術

楊惠玲小姐

現職：逢甲大學環境科技與智慧研究中心副主任

專長：飲用水處理藥劑、水處理及薄膜技術

林欣慧小姐

現職：嘉南藥理大學台灣溫泉研究發展中心副研究員

專長：飲用水處理藥劑

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

中華民國 105 年 8 月 26 日第十八屆第八次理監事聯席會議審議通過

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」會刊論文中分「工程技術」、「營運管理」、「水質及其他」等類別，分別評定給獎論文，每類別以 2 篇為原則，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壹萬元整，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，每類別推薦 3-4 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：

1.評獎委員以無記名投票，每類別論文勾選至多 2 篇推薦文章，每篇以 1 分計算，取累計分數較高之論文，至多 2 篇，為該類給獎論文。

2.同一類別如有多篇文章同分無法選取時，以同分中專家審查總分數高低排序，分數再相同，則由評獎委員以無記名投票方式決定。

(三)選出給獎論文，報經本會理監事會議通過後公佈。

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。

小型供水系統水安全計畫-以桑園淨水場為例

文/陳乃菁、何承嶧、游育晟

一、前言

台水公司所管轄淨水場數量多且規模差異極大，位於都會地區之淨水場，如負責台中地區供水之豐原給水廠日出水量高達 80 萬 CMD；而位於偏遠地區之淨水場，如澎湖離島地區吉貝淨水場日出水量僅需 450 CMD、偏遠地區宜蘭南山淨水場日出水量僅 220 CMD。因小型供水系統所遭遇之困難及風險管理，如水源及供水調配、淨水處理設備、對外部單位之聯繫與溝通等，相對大淨水場單純許多，但此類淨水場常位於偏遠且相對封閉之地方，導致經常面臨資源、經費不足及管理不易之問題，為管控小型供水系統之水質風險問題，研議導入精簡且有效的確保水安全作業流程益發顯得重要。

世界衛生組織(WHO)於 2012 年發布小型供水系統水安全計畫(Water Safety Plan for Small Community Water Supplies)執行方法，以六大工作重點(6 Tasks)逐步進行風險管控，確保民眾取得安全可靠飲用水，所發展具彈性且適合小型供水系統之水安全計畫，值得台水公司導入使用及推廣。

二、小型供水系統水安全計畫-以桑園淨水場為例

桑園淨水場位於偏遠山區，在 109 年 8 月以前水質色度危害風險多有發生，因屬委外代操作淨水場，設計出水量雖僅 1,000 CMD，但危害事件背後所隱藏的風險始終未受重視，因此，擇定桑園淨水場做為小型供水系統水安全計畫試辦場站具有指標性意義，除淨水場不分大小均需一視同仁的落實水安全計畫精神，供應符規飲用水；而透過 WSP 六大工作重點架構(圖 1)，進行危害風險及控制系統評估，在省時及快速確效等指標上，表現確實令人刮目相看。

圖 1　小型供水系統水安全計畫六大工作重點

(一)Task 1：成立水安全計畫團隊

透過總管理處與區管理處共同合作模式，前者提供技術、法規及行政聯繫支援，後者則負責實質改善和滾動檢討。本計畫由台水公司水質處與第七區管理處共同組成水安全計畫團隊，成員包含水質處 WSP 推動小組成員、七區副處長、各主要相關單位(包括水質課、操作課、漏水防治課、業務課及工務課)課長及各廠(場)所(牡丹給水廠、恆春營運所)廠長及主任為當然成員，水質課為區處行政及聯繫業務負責單位。

(二)Task 2：描述小型供水系統

有關桑園淨水場從水源到消費者，分別就水源端、淨水流程、配水系統及用戶端予

以完整描述，以掌握所有可能發生的風險。

1.水源

桑園淨水場具有雙水源，主要使用牡丹溪中上游河段作為水源，如遇豪大雨導致原水濁度飆升，則取用替代水源牡丹溪支流(俗稱野溪)。牡丹溪常年有水，野溪受限於豐枯水期，並非常年有水。依據水利署 101 年觀測水上草原(牡丹溪上游)及牡丹六號橋(牡丹溪中游)監測點之歷史數據顯示，水質污染程度皆屬於未(稍)受污染狀態。因四重溪流域屬人煙稀少，較無人為擾動污染源區域，故河床沿岸並無設置水源水質保護區。其空間型態皆為自然山區，參雜民宅及農田，土地利用屬於鄉野型。

2.淨水端

該場民國 90 年建場，設計出水量 1,000 CMD，淨水處理流程為牡丹溪橋下設取水設施包含水平式集水管，設計為牡丹溪集水區設有一攔截牆，牆內依序分為三層礫石層，礫石由上而下依大小分為鋪設 3-15 mm、15-50 mm、50-100 mm 等三層，下方埋設 200 mm ABS 集水管，集水井高度為 239 m，引水入場內慢濾池。

原水經慢濾池處理後，於慢濾池後匯流井添加次氯酸鈉，再送入清水池(1,000 m^3)，淨水場出水經管中加壓設備抽送至上牡丹新設 200 m^3 配水池，再分送至各供水區，淨水處理流程如圖 2 所示。

慢濾池分為兩池，相關硬體設施符合規範要求，底層平舖濾石深約 50 cm，由上而下分為 3-10 mm、10-20 mm、20-30 mm、30-60 mm 等四層；而上層再均勻鋪設濾砂，深度約為 75 cm，有效粒徑為 0.3-0.4 mm 間，均勻係數為 2.5 以下。主要利用濾池中的濾砂層及其上附著之微生物將水中雜質攔截及進行氧化分解，因其作用機制主要分為三類，吸附雜質，擴散、沉降及生物代謝等，故無法處理瞬間高濁度問題。

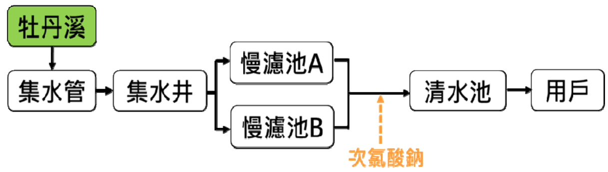


圖 2　桑園淨水場淨水流程圖

然而該場原水水質除豐水期偶有高濁現象，全年整體狀況大致良好，當慢濾池依規操作及良善維護，能有效去除水中較難分解之有機物質及微生物(如：生化需氧量、硝酸鹽、寄生蟲幼蟲、梨形鞭毛蟲胞囊、隱孢子蟲、腸細菌及腸病毒等)，去除率能達到 70%以上，甚至 100%。

3.配水及用戶端

桑園淨水場屬於東源供水系統，管網為單一流向，近年管材陸續抽換為 DIP。破管漏水維修時久缺其他供水系統調配機制，僅能以牡丹淨水場出水車支援供水。該主要供應範圍包括屏東縣(牡丹鄉)東源村、旭海村及牡丹村等，供水人口約 710 人，供水量約 480~500 CMD。未來有繼續往下游送至屏東縣獅子鄉的規劃刻正進行。

(三)Task 3：風險評估及危害鑑定、評估現有控制系統

有效風險管理需先鑑定供水系統內可能的危害及其危害事件，並評估其風險之嚴重程度，經鑑定風險評估與危害事件後，再依全流程水源端、淨水端、配水端及用戶端，分別討論現有控制措施及可否有效控制風險。

1.水源端

依據近 5 年原水濁度資料(圖 3)，經水平式集水管抽取原水後，原水濁度最高達 374 NTU，5 年超出慢濾池 50 NTU 處理上限次數為 14 次，平均 1 年不超過 3 次。雖集水管設備具有一定濁度去除能力，但遇高濁原水容易阻塞，取水能力受限，且設置近 20 年之集水管設備已老舊，因此，規劃新增控制措施有其必要性，例如更新集水管設備、尋找新水源可增加調配彈性。

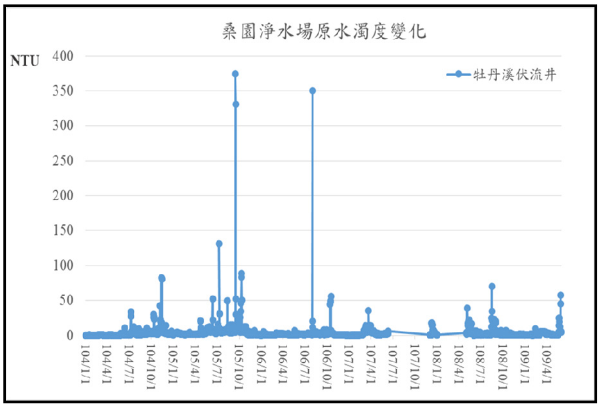


圖 3　近 5 年桑園淨水場原水濁度趨勢圖

牡丹溪河川汙染程度依據 RPI 河川污染指數分類，屬於未(稍)受污染，水體分類為甲類水體，依台水公司定期水質檢測數據顯示，其中與農業活動有關之硝酸鹽氮、氨氮及農藥等水質檢項，近 5 年皆無超出台水公司內控值，另外 10 項飲用水水源水質標準水質項目同樣符合法規要求。因此，本場水源歸屬低風險條件，經評估可以現有控制措施為基礎，如進行水源巡查及定期水質檢測即足以因應現況水源水質，至於詳細桑園淨水場水源端現有控制措施整理如表 1 所示。

2.淨水端

(1)慢濾池、清水池設備及維護操作：

該場慢濾池自 105 年辦理換、補砂後，迄 109 年止已四年未更換，實作改善建議日後視慢濾池功能是否發揮再評估辦理換補砂作業。該場委外人員日班代操作，對慢濾池處理機制及濾池熟成作業不熟悉，導致過濾時濾速過快、未定期或依水頭損失辦理刮砂、熟成階段過濾水未回收等，需加強委外人員正確操作慢濾池觀念及定期維護檢視操作效能，以確保慢濾池發揮成效。

表 1　桑園淨水場水源端現有控制措施

危害	危害事件	現有控制措施
濁度	豪大雨時，濁度太高超出慢濾池負荷。	水平式集水管。 定期檢驗原、清水濁度、色度、鐵。
色度	牡丹溪因大雨沖刷，造成水中色度太高。	
鐵	牡丹溪因大雨沖刷，造成水中鐵超出慢濾池負荷。	
氨氮	畜牧業或動物的排泄物污染。	水源巡查。 定期檢測原、清水氨氮。
農藥	施作經濟作物添加之農藥。	定期檢測原、清水氨氮。
硝酸鹽氮	施作經濟作物添加之氮肥。	定期檢測原、清水氨氮。

清水池內部長期未清洗，可能導致清水池底部有生物性沉積物質，增加清水池耗氯情形及消毒副產物生成風險；另因該場於慢濾池後進入匯流井始添加次氯酸鈉，次氯酸鈉氧化溶解態鐵(Fe^{2+})形成鐵氧化物沉澱，累積於清水池底，導致清水顯色及使用者觀感不佳，故辦理清水池清洗作業有其急迫性。

(2)消毒設備及操作

桑園淨水場採用次氯酸鈉作為消毒藥劑，依圖 2 流程圖可知後加氯方式乃為確保用戶端之清水有足夠自由有效餘氯用以抑制微生物生長，近 5 年均符合台水公司內控標準限值範圍(0.3~0.9 mg/L)。該場次氯酸鈉

加藥量與原水抽水量連動，未考慮清水池滯留時間，加藥量不足導致經常性餘氯量偏低；又現有控制措施由委外人員於慢濾池後匯流井手動加藥，藥劑添加量靠經驗操作，常造成清水自由有效餘氯值呈現不穩定現象，影響出水品質。

綜上，該場淨水端現有危害、危害事件及其控制措施整理詳如表 2 所示。

3.配水及用戶端

該配水系統用戶用水量少，易造成配水停留時間較長，導致管網末端 pH 值偏高及自由有效餘氯偏低等現象，為確保用戶水質安全，彙整該場配水及用戶端現有控制措施如表 3 以銜接後續研討因應方案。

表 2　桑園淨水場淨水端現有控制措施

危害	危害事件	現有控制措施
濁度	慢濾池濾砂久未更換，濾池未能發揮效能。	105 年更換濾砂，迄 109 年止已四年未更換。
	委外承攬人員對慢濾池操作不熟悉，導致慢濾池濾速過快。	由委外人員代操作
	慢濾池濾砂久未刮砂，濾池未能發揮效能。	未定期辦理刮砂作業
	慢濾池未進行熟成作業，致刮砂或換砂後，水質較差。	熟成階段濾後水未收集返送回慢濾池
	無水質監測儀器及每日水質檢驗僅原水及清水，無法確實掌握該場各淨水單元水質情形。	委外人員每日僅檢測原、清水。
色度	鄰近慢濾池周界常有樹枝、落葉掉入慢濾池，長時間浸泡可能導致色度問題。	無對應策略
鐵	清水池久未清洗，池壁恐有顆粒鐵附著，造成清水鐵偏高。	無對應策略
自由有效餘氯	次氯酸鈉加藥量與原水抽水量連動，未考慮清水池滯留時間等問題，加藥量不足導致經常性餘氯量偏低。	委外人員採手動人工加藥，造成清水自由有效餘氯不穩定。
	清水池久未清洗，沉積物質持續耗氯，導致清水餘氯偏低。	無對應策略
pH 值	慢濾池生物作用旺盛，pH 值有上升趨勢。	委外人員每日檢測原、清水 pH 值 ，近 5 年清水 pH 值皆小於 8.0，未超出台水公司內控值。

表 3　桑園淨水場配水及用戶端現有控制措施

危害	危害事件	現有控制措施
濁度	配水流速慢，停留時間長，管件可能產生積結垢現象，導致濁度問題。	視用戶用水情況進行排水作業
自由有效餘氯	偏遠山區用水量較少，停留時間久，氯量易自然衰減，餘氯值偏低。	
pH 值	偏遠山區用戶少、用水量較少，配水管網 pH 值偏高。	

(四)Task 4：研擬並實施新增之改善計畫

在運用有限資源條件下，列出優先順序，訂定新增控制措施及短、中、長期計畫，期能以最有效且具有彈性的方式降低及管控小型供水系統之水質風險。

1.水源端

水源端新增控制措施彙整如表 4，依危

害風險優先順序進行討論，分述如下。

(1)增設牡丹溪伏流水不銹鋼集水管工程

考量桑園淨水場水平式集水管較老舊，雖具一定處理能力，然於高濁時仍可能超過慢濾池負荷，規劃於牡丹溪河床增設 16 公尺、野溪設置 4 公尺繞線式不銹鋼水平集水管並更換周邊濾料。

表 4　桑園淨水場水源端新增控制措施

危害	危害事件	新增控制措施
濁度	豪大雨時，濁度太高超出慢濾池負荷。	1.增設牡丹溪伏流水不銹鋼集水管工程、臨時取水站設施與牡丹溪支流備援取水口工程。 2.機動調整取用較優質野溪原水，設置臨時取水設備。 3.增設牡丹淨水場連接桑園淨水場管線工程。 4.探勘低含鐵水井。
色度	牡丹溪因大雨沖刷，造成水中色度增高。	
鐵	牡丹溪因大雨沖刷，造成水中鐵超出慢濾池負荷。	

(2)機動調整取用較優質野溪原水

機動調整牡丹溪或野溪原水，設置野溪原水取水設備。因設置野溪備援原水取水口所需期程較長，目前暫以臨時取水設備機動調整取用野溪原水。

(3)增設牡丹淨水場連接東源供水管線工程

考量牡丹溪水源易受豐枯水期影響川流量，可能無法穩定供應桑園淨水場以慢濾池處理之水量及水質，研議評估增設牡丹淨水場連接東源供水管線工程，以增加另一股牡丹淨水場清水供應可能性。

(4)探勘低含鐵水井

評估增加地下水水源可能性，惟探勘低含鐵水井受限山區鑿井地點評估期程較長，先列為長期計畫備案。

2..淨水端

關於淨水端新增控制措施彙整詳如表 5，依危害風險優先順序進行個別討論，分述如下。

表 5　桑園淨水場淨水端新增控制措施

危害	危害事件	新增控制措施
濁度	慢濾池濾砂久未更換，濾池未能發揮效能。	辦理慢濾池濾砂更換
	委外承攬人員對慢濾池操作不熟悉，導致慢濾池濾速較快。	建議兩池同時使用，濾速維持每日 2-3 米。
		水位需保持 0.9-1.2 公尺以上水深。
		原水抽水機原以清水池水位進行控制，請改以慢濾池水位控制。
	慢濾池濾砂久未刮砂，濾池未能發揮效能。	慢濾池定期刮砂並記錄濾砂及水位高度。
		輔導委外人員依規建立檢視、維護紀錄及刮砂標準作業程序 (Standard Operating Procedure, SOP)。
		池壁應有標尺刻度，了解濾砂厚度及水位。
	慢濾池未進行熟成作業，致刮砂或換砂後，水質較差。	慢濾池需經 5-7 天熟成作業(應由濾後渠道收集後返送回分水井，而非逕送至清水池) 。
	無水質監測儀器及每日水質檢驗僅原水及清水，無法確實掌握該場各淨水單元水質情形。	設置原、清水 pH 值、濁度、餘氯監測以即時掌握水質狀況。
		建議每日檢驗各淨水單元水質，俾利分析水質變化。
色度	鄰近慢濾池樹枝、落葉掉入慢濾池，長時間浸泡可能導致色度問題。	增設鐵絲圍網阻絕樹枝、落葉掉入慢濾池。
鐵	清水池久未清洗，池壁有顆粒鐵附著，造成清水鐵偏高。	建議編列預算進行清水池清洗作業，並依相關規定要求確實進行檢視及清洗作業。
自由有效餘氯	次氯酸鈉加藥量與原水抽水量連動，常造成加藥量不足，委外人員須人工加藥。	改可程式化邏輯控制器(Programmable Logic Controller, PLC)加藥，並以清水自由有效餘氯濃度反饋。
	清水池久未清洗，沉積物質持續耗氯，導致清水餘氯偏低。	建議編列預算進行清水池清洗作業，並依相關規定要求確實進行檢視及清洗作業。

(1)慢濾池濾砂更換

109 年 9 月桑園淨水場慢濾池進行換、補砂(圖 4)，慢濾池濾料包含濾石及濾砂，濾石的作用為支撐濾砂，濾砂粒徑則影響淨水處理效果，濾砂太粗濁度去除效率差且無法提供足夠的生物生長表面積，濾砂太細則容易造成水頭損失，使濾速降低影響出水量。

圖 4　桑園淨水場慢濾池進行抽洗砂作業

該場依規鋪設支撐層濾石高度 50 cm，濾砂鋪設高度 75 cm，距慢濾池牆面頂部約 155cm，符合台水公司土建工程施工說明書規範濾砂厚度 70-90 cm 規定(圖 5)。

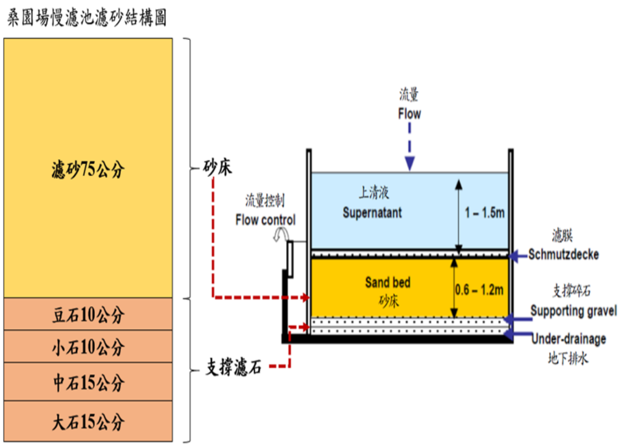


圖 5　桑園淨水場慢濾池濾砂結構圖

為確認濾砂有效粒徑，經委託成功大學檢測，有效粒徑 0.40 mm 介於 0.3~0.45 mm，均勻係數 1.49 小於 2 及其他相關檢驗項目皆符合台水公司土建工程施工說明書規範。

為確認濾砂有效粒徑，經委託成功大學檢測，有效粒徑 0.40 mm 介於 0.3~0.45 mm，均勻係數 1.49 小於 2 及其他相關檢驗項目皆符合台水公司土建工程施工說明書規範。

(2)輔導委外人員控制慢濾池水位及濾速

經現勘桑園淨水場發現該場委外人員對慢濾池操作不熟悉，發現濾池水位經常性過低及濾砂裸露等現象(圖 6)，容易造成慢濾池效能不佳；且該場更換濾砂後，未經熟成作業，導致濾層表面微生物膜未能形成，無法有效降解天然有機物及過濾攔截功能。因此建議該場進行慢濾池操作改善事項如下：

- 慢濾池需經 5-7 天熟成作業，初濾水應由濾後渠道收集後返送回分水井，而非逕送至清水池。
- 兩池同時使用可增加操作彈性，調整慢濾池閥件以維持濾速每日 2-3 米。
- 慢濾池水位需保持 0.9-1.2 公尺以上水深。

圖 6　桑園淨水場慢濾池濾砂裸露

(3)慢濾池定期刮砂並記錄濾砂及水位高度

視慢濾池水頭損失進行刮砂，當水頭損失達到一定高度，濾砂表面已佈滿微生物，需將表層刮除，因為每次刮砂皆會損失一些濾砂，惟濾砂厚度最少需保持在 50 cm 以

上，維持基本過濾功能。

(4)慢濾池定期刮砂並記錄濾砂及水位高度

視慢濾池水頭損失進行刮砂，當水頭損失達到一定高度，濾砂表面已佈滿微生物，需將表層刮除，因為每次刮砂皆會損失一些濾砂，惟濾砂厚度最少需保持在 50 cm 以上，維持基本過濾功能。

(5)慢濾池經過數天熟成作業再進行過濾

該場刮砂後將濾後水由濾後渠道收集後，應以抽水馬達抽取後返送回慢濾池，有助於進行慢濾池熟成作業，以確保慢濾池表面微生物膜加速完整生長。

(6)增設鐵絲圍網防止樹枝、落葉掉入慢濾池

經現勘發現鄰近慢濾池周界之樹木生長延伸至慢濾池上方，導致樹枝、落葉掉入慢濾池，長時間浸泡可能導致色度問題(圖 7)。因此，建議應先行裁剪樹枝，並增設鐵絲圍網防止樹枝及樹葉掉入慢濾池表面。經完成修剪樹枝，已驗證可減少貢獻水中色度，另恆春營運所亦已積極籌編預算辦理圍籬補強作業。

圖 7　桑園淨水場慢濾池樹枝、落葉掉落現象

(7)清洗清水池

清水池水樣經顯微鏡檢發現部分無機物顆粒，初步推測為清水池久未清洗，造成池壁附著顆粒鐵，導致清水總鐵含量較過濾水為低之異常現象。經查該場清水池自設場以來未曾清洗，因此儘速進行清洗作業，應可減少清水總鐵及色度超過法規標準的可能性。

(8)調整次氯酸鈉加藥模式

因次氯酸鈉加藥量與原水抽水量連動，常造成加藥量不足，委外人員需於慢濾池匯流井以人工手動方式加藥，導致自由有效餘氯呈現不穩定現象。故調整改以可程式化邏輯控制器(Programmable Logic Controller, PLC)進行加藥，並以清水自由有效餘氯含量反饋加藥端，以達智慧化管理。此外，桑園淨水場日供水量小於 1,000 CMD，一般加藥設備恐有過量加藥情形，因此，需檢討及評估加藥機大小及加藥模式，必要時增設調整桶進行次氯酸鈉稀釋作業，以有效加藥。

(9)加強水質監測及檢驗

經查桑園淨水場未設置水質監測儀器，無法確實掌握該場即時水質資訊。因此增設原、清水水質監測設備，並將訊號傳回恆春營運所，此舉可即時掌握水質變化情形。另要求委外操作人員須依台水公司水質檢驗規範確實辦理每日檢驗工作，俾利管控水質變化。

桑園淨水場研討確認相關必要新增措施後，於 2 個月內旋即迅速設置完成清水 pH 值、濁度及餘氯監測儀器，並已連線至恆春營運所，未來將陸續增設原水濁度及 pH 監測儀器，以監控原水水質變化，如遇高濁度原水時，可藉由調整原水水量方式，避免原水超出慢濾池進水之濁度限制。

3.配水及用戶端

桑園淨水場配水端及用戶端新增控制措施詳參表 6，依危害風險嚴重程度及發生機率進行排序。

表 6　桑園淨水場配水及用戶端新增控制措施

危害	危害事件	新增控制措施
濁度	配水流速慢，停留時間長，管件可能產生積結垢現象，導致濁度問題。	評估使用其他管種(如 HDPE)。
自由有效餘氯	偏遠山區用水量較少，停留時間久，氯量易自然衰減，餘氯值偏低。	供水系統管網末端應建立定期排水紀錄 SOP。
pH 值	偏遠山區用戶少、用水量較少，配水管網 pH 值偏高。	建立供水系統管網末端定期排水 SOP，包括紀錄排水制水閥開度、水質(pH 值、濁度、餘氯)及排水時間等重要資訊。

由本計畫執行首月檢測配水及用戶端所得相關水質數據可知(表 7)，清水 pH 值 8.49 偏高，而自由有效餘氯 0.21 mg/L 偏低，推論可能為偏遠山區用戶分散且用水量較少所致。因此桑園淨水場應建立配水系統管網末端制水閥定期排水 SOP，根據實際操作結果，每週排水 1 次，每次排水 30 分鐘，可使 pH 值、濁度及自由有效餘氯達到內控值要求，爾後仍應持續紀錄，以適時修正排水頻率及每次排水時間。

表 7　計畫執行首月桑園淨水場水質檢測數據

採樣地點	pH 值	濁度 (NTU)	餘氯 (mg/L)	色度 (鉑鈷單位)
配水 1(中)	8.31	1.45	0.34	<5
配水 2(後)	8.49	1.33	0.21	<5

(五)Task 5：監控控制措施、確認水安全計畫有效性

1.監控控制措施

監控控制措施主要包含 3 部分，由淨水場委外承攬人員負責執行，恆春營運所人員負責第一線督導，以確保提供安全飲用水。

(1)掌控及確認水質數值符規性：區分線上監控儀器及手動檢測，主要水質項目為桑園淨水場原水端濁度、淨水端濾後水濁度及色度、清水濁度及自由有效餘氯與配水及用戶端濁度、pH 值及自由有效餘氯。

(2)訂定稽核計畫：依循工程查核三級品管精神，區管理處至少 1 季/次，總管理處至少 1 年/次，需赴現場參與討論與檢討各項監控控制措施是如實進行。

(3)確認用戶對水質滿意度：運用問卷調查、網路官方網站、社群平台回饋及 1910 客服系統追踪水質客訴案件，將四面向(水源、淨水、配水及用戶)水質危害進行盤點改善，並將改善成果回饋用戶並與感受交叉比對驗證。

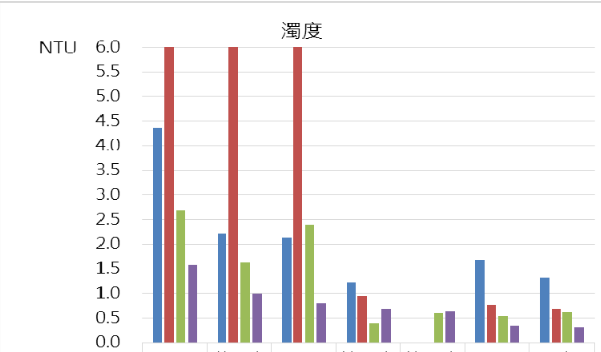
2.確認水安全計畫有效性

本計畫自 109 年 9 月起開始執行，後續由水安全計畫團隊分別於 109 年 10~12 月分 3 次至現場討論、稽核與確認各項改善成果，以下分別將其水質危害改善成果進行簡要說明：

(1)濁度、總鐵、總錳及色度

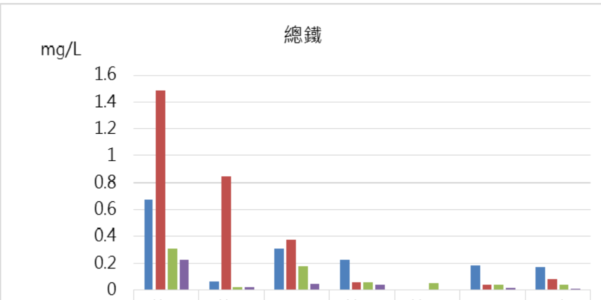
桑園淨水場慢濾池(二池，面向清水池方向右側設定為 A，左側為 B)經前述檢討熟成操作要領後，濾池 A 及 B 濾後水之濁度均小於 1 NTU，符合 2012 年 AWWA “Water

Treatment Plant Design, Fifth Edition”「Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems」不超過 1 NTU 建議值，該濁度去除率 74.69%，清水濁度降為 0.35 NTU(圖 8)。濾後水 A 及 B 之總鐵含量為 0.04 mg/L 及 ND，總鐵去除率分別達 81.9%及 100%(圖 9)，總錳含量為 ND，去除率達 100%，色度皆小於 5 鉑鈷單位，顯示慢濾池 A 及 B 在運用 WSP 檢討及實質改善後，可使濁度、總鐵、總錳及色度等水質項目達到穩定且持續符合法規限值以下的要求。



	牡丹溪	替代水源	桑園原水	濾後水A	濾後水B	清水	配水3(後)
2020/9/22	4.37	2.22	2.14	1.23	0	1.68	1.33
2020/10/21	131	42.9	15.6	0.95	0	0.77	0.7
2020/11/26	2.69	1.64	2.41	0.41	0.61	0.54	0.63
2020/12/24	1.59	1.00	0.80	0.69	0.65	0.35	0.32

圖 8　桑園淨水場各淨水流程濁度變化圖



	牡丹溪	替代水源	桑園原水	濾後水A	濾後水B	清水	配水3(後)
2020/9/22	0.671	0.064	0.306	0.228	0	0.184	0.171
2020/10/21	1.48	0.846	0.376	0.061	0	0.041	0.083
2020/11/26	0.308	0.024	0.174	0.061	0.053	0.040	0.038
2020/12/24	0.226	0.024	0.046	0.04	0.00	0.016	0.013

圖 9　桑園淨水場各淨水流程總鐵變化圖

(2)pH 值、自由有效餘氯及總三鹵甲烷

桑園淨水場所轄配水管網主要控制水質之因子為管材及管壓，近年為提供偏遠山區居民可享用優質自來水，普遍埋有新管，目前管網末端 pH 值偏高問題以定期排水方式因應；而自由有效餘氯先建立淨水端穩定加藥策略並配搭配水端定期排水機制後，已可回升至 0.35~0.53 mg/L 水準，符合台水公司內控標準(0.3~0.9 mg/L)。另為驗證改善成效，檢測消毒副產物總三鹵甲烷含量介於 0.0405~0.0499 mg/L，符合本公司內控標準 0.064 mg/L 之要求。

(六)Task 6：文件化、回顧檢視水安全計畫

1.彙整水安全計畫之資料文件化並建立檔案

水安全計畫每一步驟應有相關文件記錄留存，首先應建立文件編碼原則及文件清單，進行文件建檔保存，水安全計畫是滾動檢討持續作業，建檔工作可作未來查找歷史資料的重要依據。文件編碼原則建議如下：

(1)WSP○○-□□-△-民國年-月(全)-◇◇

(2)○○：區處別

(3)□□：屬性，01 手冊、02 法規、要點、03 程序書(SOP)、04 紀錄、數據、05 訓練、06 會議紀錄、報告(例如：查核結果、預防及矯正措施)、07 通訊(通訊協議、人員清冊含聯絡方式)、08 其他。

(4)△：全(四面相)，原(水源端)、淨(淨水端)、配(配水端)、用(用戶端)。

(5)◇◇：序號(流水號，依據屬性順編)

2.建立正常或緊急狀況下的管理程序

建立管理程序在小型供水系統中是十分重要的一環，以桑園淨水場來說，除正常管理程序需建檔保存，如次氯酸鈉加藥作業

流程、慢濾池維護作業流程等；另可適時修正或預擬成為緊急狀況管理程序，如水源訂定原水濁度級距，依不同濁度進行供水調配及操作;建立水質異常緊急處理標準作業流程，如發現水質異常時，立即通報相關管理人員並啟動應變程序，以全時確保水安全。

三、結論與建議

1.水源方面：建議於牡丹溪及替代水源野溪河床增設繞線式不銹鋼水平集水管，並評估增設連接牡丹淨水場至桑園淨水場管線及尋找新水源增加操作彈性。

2.淨水處理方面：建議桑園淨水場慢濾池維護及管理依台水公司頒定「自來水設備維護手冊」每季定期檢視慢濾池，並依慢濾池水頭損失進行刮砂、記錄濾砂厚度，並進行熟成作業。此外，日常慢濾池操作需二池慢濾池同時使用，可增加操作彈性，調整慢濾池閥件以維持每日濾速 2-3 米，並保持水位 0.9-1.2 米以上水深。慢濾池若要發揮正常效能，仍須定期刮砂作業及生物膜熟成等過程，故即使未使用慢濾池出水，應盡可能保持慢濾池有水位狀態，避免生物作用消失，需耗時等待再次熟成。

3.配水及用戶端：建立定期排水 SOP，包括紀錄制水閥排水開度、水質(pH 值、濁度、餘氯)及排水時間等重要資訊。

桑園淨水場成功驗證水安全計畫六大工作重點(6 Task)進行水質風險管控可行性。未來台水公司可以此架構應用於設計出水量小於 10,000 CMD 小型供水系統，可達管控全時水安全的目標，目前各單位已依分類原則實際執行並擴大辦理中。

參考文獻

1.AWWA, ” Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems”, Water Treatment Plant Design, Fifth Edition, 2012.

2.Bettina Rickert, Eva Barrenberg and Oliver Schmoll, “Taking Policy Action to Improve Small-Scale Water Supply and Sanitation Systems”, World Health Organization, 2016.

3.World Health Organization, “Guideline for drinking water quality”, 4th edition, 2011.

4.World Health Organization, “Water Safety Planning for Smaill Community Water Supplies”, 2012.

5.World Health Organization, “Water Safety in Distribution Systems”, 2014.

6.台灣自來水股份有限公司, “台水公司水安全計畫以坪頂淨水場為例”成果報告書, 2019.

7.中華民國自來水協會, “提升慢濾池處理效能之研究及實例探討”, 2016.

8.台灣自來水股份有限公司, ”慢濾系統操作維護準則研究”, 2018.

9.台灣自來水股份有限公司,”自來水設備維護手冊”, 2013.

作者簡介

陳乃菁女士

現職：自來水公司第四區管理處操作課工程員

專長：水質檢驗、水處理研究

何承嶧先生

現職：自來水公司總管理處水質處副處長

專長：水安全計畫、水處理研究

游育晟先生

現職：自來水公司總管理處水質處工程師

專長：水質檢驗、水處理研究

自來水事業引進 NS 管之策略探討

文/宋奕穎

摘要

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)供水範圍有山腳斷層通過，一旦發生大規模錯動，供應大臺北 500 萬人的供水系統則可能嚴重受損，災害復原將投入龐大的資金與時間成本。臺北盆地因覆蓋沉積砂層且地下水位高，屬高液化災害潛勢區，鄰近地區發生強震，臺北盆地因地質條件不佳，容易產生地震波放大效應，許多耐震能力不足的老舊管線可能造成損害。2011 年的東日本大地震，在規模超過 9 以上的地震能量釋放下，造成許多自來水管線斷裂，但採用具較佳之軸向變位及防脫能力之延性鑄鐵管 NS 型（New Seismic Type，以下簡稱 NS 管）之自來水管幾乎沒有損壞。

借鏡日本自來水管成功之耐震經驗，北水處率先國內自來水事業單位，自 2017 年開始自日本引進 NS 管，並著手建立相關之設計、材料、施工等規範，修建管材教育訓練場地，作為日後培訓安裝訓練場所。本次試辦計畫特別邀請委託日本技術人員來臺指導，目的使北水處員工及施工廠商學習施工方法，試辦計畫業於 2019 年完成，共完成 4,110 公尺 NS 管線埋設(汰換口徑分別為 200 mm 與 300 mm)。

NS 管國內並無生產，短期上必須仰賴進口，長期發展必須鼓勵國內廠商投入生產，以降低管材之購置成本。在歷經試辦計畫辦理廠商座談會經驗分享後，促使國內廠商積極提案將NS管納入CNS10808 G3219(延性鑄鐵管)國家規範，經標準局召開會議審議後，已於 2019 年 12 月 16 日公告實施，未來將有利國內廠商投入生產 NS 管。

一、北水處供水環境之地質狀況

地震災害潛勢包含強烈地表震動，以及活動斷層破裂或土壤液化引致的地表變形。北水處供水範圍有中央地質調查所公布之第二類活動斷層-山腳斷層通過(圖 1)，轄區可能會發生山腳斷層錯動而引致具災害性的地表變形。

圖 1　山腳斷層走向

2016 年高雄美濃地震在臺南市造成嚴重土壤液化災情，經濟部中央地質調查所於 2016 年 3 月 14 日公開全國性的初級土壤液化潛勢圖，臺北市政府則於 2016 年 9 月 10 日公開轄區內的中級土壤液化潛勢圖資，之後配合營建署「安家固園」補助計畫，蒐集了 4769 筆鑽孔資料並新增 190 個鑽孔，取得地質資料進行專業分析，持續精進臺北市土壤液化潛勢圖資，經過適當的篩選、校正和

補充鑽探資料等程序，以最新的知識更新成中級圖資。

由最新的中級圖資來看，顯示北水處供水轄區大部分屬於中至高液化潛勢範圍，高液化潛勢區約佔 32.84%，中液化液化潛勢區約佔 44.58%，低液化潛勢區約佔 22.58%(圖 2)，土壤液化所引致災害，容易造成大範圍的建築物下陷與傾斜及維生管線系統的損壞。

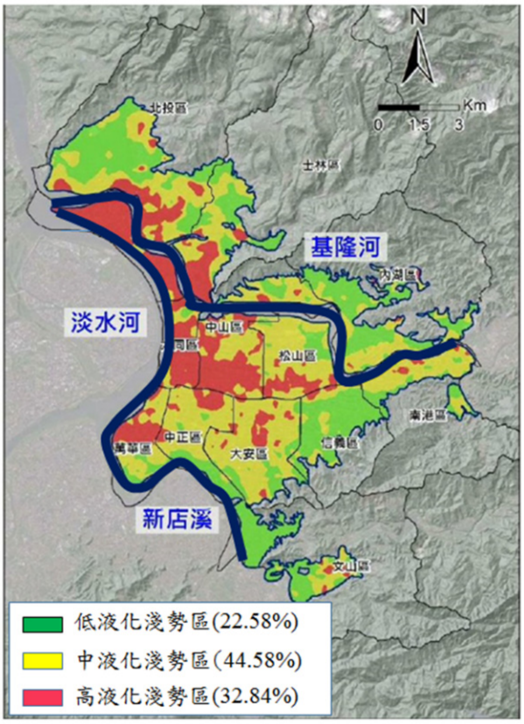
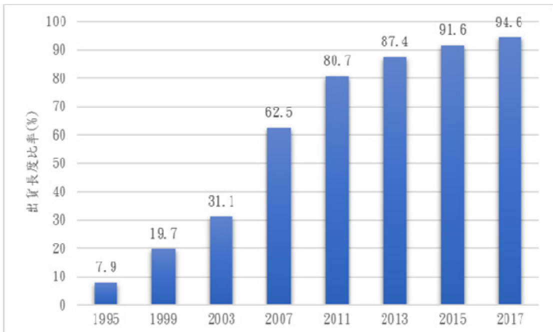


圖 2　北水處供水轄區土壤液化潛勢

二、耐震管材在日本使用情形

1995 年於兵庫縣發生阪神淡路大地震後，開啟日本自來水設施耐震化政策。當年位於神戶市臨海區域的六甲人工島已經採用 SII 型作為配水管，地震發生後島內無配水管脫接之情形發生，足以驗證耐震管材優異的耐震功能，促使東京都水道局隔年起正式採用耐震管材。1995 年以後日本國內發生多次規模達六級以上的大地震，隨著大地震發生頻率有增加之趨勢，主管自來水事業的厚生勞動省也未雨綢繆，開始推動自來水設施耐震化政策。

隨著自來水事業單位推動耐震化政策，日本耐震管材的需求量年年增加。以 DIP 管出貨長度計算，自 1995 年阪神淡路大地震發生，耐震管材的比率僅有 7.9%，到了 2006 年比率則已超過 50%，2017 年耐震管材出貨比率更高達 94.6%(圖 3)，目前自來水用 DIP 管均大幅採用耐震接頭，耐震管材在日本國內已經相當普及，不再被視為是特殊材料。



資料來源：日本延性鑄鐵管協會(JDPA)

圖 3　日本國內耐震管材出貨率

日本使用的耐震管材是由日本廠商自行生產，且日本國內市場規模需求夠大，耐震管材價格並未較非耐震管材價格高出甚多。若將耐震管材之 NS 型管與 K 型管進行價格比較，口徑 100 mm 至 300 mm 的價格差異約介於 1.11 至 1.48 倍 (表 1)，以 NS 型優異耐震功能及施工便利性，雖價格略微高出一些，仍非常有利耐震管材的推動與發展。

表 1　日本國內 K 型與 NS 型價格

標稱管徑	DIP(K)	DIP(NS)	價格比例
100	6,010	6,684	1.11
200	11,980	15,434	1.29
300	19,265	28,472	1.48

註 1：每公尺直管(1 種管)之日元單價。
註 2：依據株式會社久保田 2018 年度價格。

三、北水處引進耐震管材緣起

北水處透過與東京水道局簽訂的 MOU，北水處已多次派員前往東京觀摩學習。最初在 2010 年，北水處就曾於直潭淨水場，打造一個 NS 管教育訓練場並聘請日本水道協會技師，針對北水處工程師進行授課，也訓練出首批在台灣具有 NS 管施工及監造技能之工程師。

當 2016 年 2 月 6 日凌晨發生規模 6.4 之美濃地震，致臺南地區自來水管線損壞嚴重，影響民生用水甚鉅。臺北除了有山腳斷層發生地震的風險之外，盆地地質也不佳，屬於泥砂交互沉積的新生地，地震時容易發生「土壤液化」，整個臺北盆地大都具有中高等級的液化潛勢。因此，北水處決定加速引進 NS 耐震管材。

觀察 2011 年的東日本大地震，在規模超過 9 以上的地震能量釋放下，日本各地災情嚴重，許多自來水管都於地表裂縫處裸露懸空甚至斷裂。但採用 NS 管的自來水管幾乎沒有損壞。使用 NS 管區域的供水系統的停水原因不是來自於管線斷裂，而是停電導致不能加壓送水，或者淨水場損壞無法供應自來水所致。因為 NS 管管網系統損壞較輕微，所以災害復原十分迅速，日本災區各水道局都認為 NS 管的耐震能力對重建做出了巨大貢獻。

探究 NS 管何以稱為優良耐震管材，主要有 2 個原因：第 1 個原因是，在管與管銜接的接頭處，設計防脫裝置，地震發生時可以讓接頭產生強大的防脫力，即使發生地層掏空，土壤已經無承載力時，將形成鎖鏈結構，使水管不致於脫開。第 2 原因是，NS 管能夠容許軸向變位大，地震發生時，可以消散較多地震能量(圖 4)。

綜合以上理由，北水處於臺南大地震屆滿兩年之際，首度引進日本經過大地震考驗過的 NS 耐震管材，來建構臺北市的供水設備。

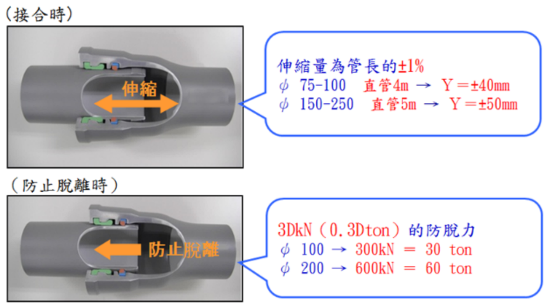


圖 4　NS 管防脫與伸縮

四、北水處引進NS管過程

(一)建置 NS 管之相關規範

NS 管在台灣並未生產也無相關施工規範，故在引進施工前，首先須規劃、設計、單價、材料、施工、維護管理等全套規範文件，故北水處委託東京水道國際有限公司彙整日本的 NS 型相關規範，編制中文版本(表 2)，作為後續執行 NS 管採購及施工的標準規範。

表 2　建置 NS 管相關規範

規範項目	規範名稱	根據規範或標準
1.編製規劃設置原則、設計規範、評估表單及注意事項	1-1.NS 型延性鑄鐵管規劃設置原則	日本水道協會「水道設施耐震工法指針、解說」
	1-2.NS 型延性鑄鐵管設計規範	日本延性鑄鐵管協會技術資料 JDPA T 35
	1-3.NS 型延性鑄鐵管設計補充規範	日本東京都水道局配水管工事標準圖
2.編製施工規範、表單及品質管制	2-1.NS 型延性鑄鐵管施工規範	日本延性鑄鐵管協會技術資料 JDPA T 51
	2-2.NS 型延性鑄鐵管施工規範補充說明	
	2-3.NS 型延性鑄鐵管施工管理規範	日本延性鑄鐵管協會 技術資料 JDPA T 52
3.編製施工單價及單價分析	3-1.NS 型延性鑄鐵管施工施工單價及單價分析	
4.提供所需施工機具型式及單價	4-1.NS 型延性鑄鐵管施工機具	
5.編製物料規範（含內襯粉體塗裝）、材料檢驗、所需機具及規格標準	5-1 自來水用 NS 型伸縮防脫接頭延性鑄鐵管規範	日本水道協會標準 JWWA G 113
	5-2 自來水用 NS 型伸縮防脫接頭延性鑄鐵管件規範	日本水道協會標準 JWWA G 114
	5-3.自來水用 NS 型伸縮防脫接頭延性鑄鐵管及管件規範附件	日本水道協會標準 JWWA G 113 日本水道協會標準 JWWA G 114
	5-4.自來水用延性鑄鐵管內面用環氧樹脂粉體塗裝	日本水道協會標準 JWWA G 112
6.編製倉儲管理及工地搬運應注意事項	6-1.NS 型延性鑄鐵管倉儲管理及工地搬運注意事項	
7.後續維護管理機制	7-1.NS 型延性鑄鐵管後續維護管理機制	

(二)打造教育訓練場地

為本次試辦計畫，北水處於直潭淨水場重新打造一處可供 NS 管進行教育訓練場地，作為訓練北水處現場監造人員學習 NS 管配管技術，以利執行現場監造工作。另也可作為台灣國內培訓 NS 管現場施工人員，核發專業證照制度之訓練場域。本次打造之教育訓練場地可進行口徑 150 mm 與 300 mm 之現場實務操作，是國內首座可進行 NS 管教育訓練場所(圖 5)。

圖 5　NS 管教育訓練場地

(三)進行 NS 管教育訓練

NS 管教育訓練課程，針對北水處現場監造人員以及現場施工人員分別規劃不同的課程，北水處員工的訓練重點在於讓學員能理解 NS 管設計及施工基本概念，以期達到學員於施工現場能確實監督施工廠商之目的。現場施工人員的訓練重點，在於讓學

員能完全熟悉 NS 管施工技術及觀念，以達到學員能確實於現場進行正確的施工(圖 6)，課程設計規畫如表 3 所示。

表 3　NS 管課程規劃

訓練課程	內容	北水處	施工廠商
NS 管設計概念及方法	NS 管設計要點說明及實習	○	-
NS 管施工發訪及原理	NS 管施工要領說明	○	○
NS 管施工觀摩及解說	講師示範 NS 管施工作業	○	○
NS 管施工實習訓練	依循講師指導，學員實際進行 NS 管施工作業	○	○
NS 管施工技術測驗	學員獨自進行 NS 管施工且由講師檢核是否依施工要領進行作業	-	○

圖 6　NS 管教育訓練

(四)NS 管埋設現場施工

本次試辦計畫所使用之耐震管材是委託國內興南鑄造廠股份有限公司購買久保田株式會社(Kubota Corporation)所生產之 NS 管材。埋設工程是委託國內之施工廠商施作(明泉水電工程有限公司)，施工人員於施工前已完成教育訓練並取得合格工作證，已具備施工能力。

試辦計畫之施工區域選址，係參考日本『耐震管材適用原則』選定試辦區域，經評估後選定北水處東區營業分處管轄之 E09010 小區做為試辦區域。因該區域係屬於高液化潛勢區，區域內設有緊急供水站並鄰近防災公園符合『耐震管材適用原則』所規定之條件。

待 NS 管自日本進口並完成交貨驗收後(圖 7)，北水處於 2017 年 1 月 15 日埋設國內首支 NS 管耐震管材，施工初期，雖現場施工人員已於教育訓練場地接受完整之教育訓練，但現場開挖環境屬拘限空間又有地下管線障礙之干擾，增加現場配管的難度，為使施工人員能克服現場配管的困難，剛開始施工初期 1 個月，邀請日本專業技師至現場親自示範配管並從旁指導現場施工人員協助施工，臺日雙方施工人員共同交流並解決施工中所遭遇之問題(圖 8)。

NS 管持續施工滿 1 年後，再次邀請日本技師駐場指導 1 個月，北水處施工人員在累積 1 年的施工經驗後已頗具心得，在遵守日本技師教導的配管技術下，曾提出優化切管器材，亦獲得日本技師一致好評。

兩次日本技師指導期間，日本技師分別針對現場施工情形提出相關改善事項，北水

處也分別開辦兩次施工心得交流會議，藉此達到技術交流提高施工品質。

最終於 2018 年 11 月完成試辦區域之 NS 管埋設工程，總共汰換管徑 200mm 3,630 公尺、管徑 300mm 480 公尺，合計汰換 NS 管管長 4,110 公尺。

圖 7　NS 管自日本進口到港

圖 8　日本技師駐場指導

本案試辦小區 E09010 於施工標案進場施工前，該小區初評售水率為 33.1%。2018 年 11 月完成小區內配水管施工後，售水率已提高至 96.2%，改善漏水量 1,359 CMD，證明台灣的施工人員即使施作新引進之 NS 型管材，除可正確完成配管外，同時也可以提升售水率。

五、NS型耐震管材推動策略

(一)建置管網地震損害風險地圖

因 NS 管台灣並無生產，短期必須仰賴日本進口，故購置成本比一般管線金額高出許多，加上每年管線汰換經費有限，故無法一次全面提升供水轄區所有管線之耐震能力。為使經費運用達到最大效益，汰換的選址即相當重要，優先汰換最適小區至關重要。選址的條件建議考量場址效應、土壤液化潛勢、管線易損性、區塊重要性等因素綜合考量，再挑選適合進行 NS 管汰換之小區。

(二)NS 管納入國家規範：

為降低材料成本，NS 管必須由國內生產，透過國內自來水事業單位之需求帶動供給，促使廠商投資生產。目前國內已有廠商考慮投入生產，參照 JIS G5526:2014 規範，提出修正 CNS 國家規範，已成功將 NS 管納入 CNS10808 G3219 國家規範，經標準局召開會議審議後，已於 2019 年 12 月 16 日公告實施，未來將有利國內廠商投入生產 NS 管。

(三)建置教育訓練及證照系統

為維持良好施工品質，必須建置完善的教育訓練及證照制度。短期規劃上，因耐震管材施工量有限，故由北水處委託國外顧問公司或中華民國自來水協會辦理施工人員

之教育訓練並進行實務測驗，通過測驗之施工人員由北水處發行合格工作證，限制僅持有合格工作證之施工人員方能進行施工。

長期規劃上，應回歸現有 DIP 管材之證照制度，由中華民國自來水協會主辦教育訓練並進行實務試測驗，通過測驗者發行合格證照，擁有合格證照之施工人員，皆可施作國內耐震管材施工(表 4)。

表 4　教育訓練及證照系統

	教育訓練	證照制度
短期規劃	北水處委託國外顧問公司或水協會舉辦	由北水處發行工作證 (限特定標案)
長期規劃	水協會舉辦	由水協會發行合格證照 (國內通用)

六、結論與建議

雖然國際間耐震管產品眾多，因日本 NS 管海外專利已到期，且已經歷多次大地震考驗，美國洛杉磯也於近年開始採用，非常適合地震頻繁國內採用。

NS 管已納入 CNS10808 G3219 國家規範，將有利國內鑄鐵廠商生產製造，已為 NS 管國內製造踏出重要的一步。

北水處可複製臺北帶動 SSP 產業之成功模式，每年穩定提供施作長度，若能結合北水處及台水之需求，將能刺激國內供給，促使廠商投資生產，降低成本。

NS 管耐震功能要能發揮，仍仰賴現場施工人員之正確銜接，推動初期由自來水事業單位負責訓練得標商，長期推廣建議應回歸水協會訓練及證照制度。

推動初期廠商產能不足，仍需仰賴國外供料，因價格昂貴，應優先施作高災害潛勢區，建議可委託專業研究機構協助選址。

參考文獻

1.鄭錦澤（2011），「臺北自來水事業處自來水設施耐震性及其對策」，經濟部水利署「國際新興公共給水管理與處理技術」專題演講-「自來水設施耐震調查及其對策」。

2.詹士旻、張正忠、鄭錦澤，「北水處延性鑄鐵管耐震接頭(NS 型) 施工實務性探討」，第35屆自來水研究發表會。

3.鄭錦澤、詹士旻、張正忠，「從震災應變與風險管理談耐震新管材之實用經驗」，中華民國自來水協會，自來水會刊第37卷第4期。

4.陳彥翔、林家煌、徐俊雄、李嘉榮，「延性鑄鐵管耐震接頭（NS型）之引進－以台灣自來水公司為例」，中華民國自來水協會，自來水會刊第39卷第1期。

5.王詠民、吳幸璋，「耐震防脫接頭球狀石墨延性鑄鐵管(DIP)應用探討」，中華民國自來水協會，自來水會刊第39卷第2期。

作者簡介

宋奕穎先生

現職：臺北自來水事業處東區營業分處三級工程師

專長：自來水工程設計、施工及工程預算單價編列。

台水公司台中服務所試辦投保營綜合保險探討

文/黃心怡、張仲仁、賴靜瑩、吳珮吟

摘要

台灣自來水股份有限公司第四區管理處台中服務所（以下簡稱台中所）轄區用戶數約 55.8 萬戶，服務範圍包含台中市、潭子及大雅等地區，其中水表股負責業務為水量計管理、裝拆、欠費催繳、停水處分及表位修漏等，員工數計 14 人。以往台水公司員工執行水量計裝拆或表位修漏業務，依賴師徒制方式累積現場經驗，惟近年來技術人力斷層嚴重、人員異動頻繁業務交接時間短，新進員工現場處理經驗不足，如遇用戶表位狀況不佳，施工不慎損壞管線漏水，容易發生屋內裝潢、電梯等財物損失。

因自來水設備故障或員工因公損害他人財物，訂有「損害賠償及慰問金發給作業須知」賠償機制，包含勘查程序、查估協調、賠償依據、賠償責任、撥款手續等。近年台中所亦發生員工執行停水處分及表位修漏時，止水栓失靈或損壞無法關水，水流入屋內致電梯損害之賠償。考量執行裝拆或修漏作業不可預測之損害賠償風險，擬試辦員工投保營造綜合保險，投保期間如執行業務不慎損害他人財物，則保險公司處理現場勘查、財物損失盤點及責任歸屬等事宜，減少台水公司處理協調賠償之人力耗費，及增加員工執行業務的保障。

關鍵字：水量計裝拆、表位修漏、營造綜合保險、財物賠償

一、前言

依台水公司「損害賠償及慰問金發給作業須知」，當自來水供水設備故障或員工因公損害他人財物、致他人受傷醫療賠償發生時，各廠所人員採取緊急措施，派員赴現場勘查受損詳情、損害原因、責任歸屬等，填報「損害他人財物報告單」及「損害他人財物現場勘查處理報告表」。區管理處組成賠償案件處理小組，辦理查估協調事宜，查明有無職務上過失，或未依有關規定辦理等，以避免類似情形發生，確保公司權益。

台中所水表股負責水量計裝拆、停復用、表位修漏等，由於用戶現場環境各異，如遇管線老舊腐蝕或損壞、表位過深、表前無止水栓或止水栓不堪修復、固封表位、表箱壓由令等表位不當情況，加深執行困難。

105 年 11 月水表股員工執行某社區大樓停水處分業務，大樓分表裝置於各樓層陽台，拆表時發現止水栓故障失靈無法關水，且水壓過強定表管裝設困難。為防止漏水緊急裝置止水栓，惟水錘效應造成止水栓沖脫，部分自來水滲入電梯車箱，導致二部電梯浸水損壞，損害賠償金額計約 28 萬元。

另 106 年 7 月某社區管委會致電台中所反映分表止水栓失靈無法止水，漏水流至屋外走道，逕而要求台水公司派員處理。考量漏水緊急案件，台中所員工至該大樓協助處理漏水問題，分表設置於各樓層水表室，止水栓失靈僅能活水作業，更換止水栓過程中因重力加速瞬間流量過大，水表室排水設施無法即時宣洩，流入室內電梯車廂，致該社

區三部電梯受潮損害賠償金額計約 49 萬。

依台中所檢討報告，兩起財損案件由台水公司負擔賠償費用，分析賠償事件肇因，員工學習表位修漏或水量計裝拆技術，除依水量計換裝作業標準辦理外，因應現場表位狀況多變，師徒傳承顯得格外重要。近年來面臨技術員工大量退休人力斷層，新進資淺員工實務經驗少，研判風險及應變能力不足，對於現場突發狀況雖已竭力處理，惟習得技術有限，除加強裝拆實地教育訓練外，比照委外換表契約為員工投保工程保險，將意外事件財損賠償之責任轉嫁給保險公司，降低不可預期之損害賠償風險。

二、工程保險之保險型態

工程保險涵蓋範圍廣泛，且與工程契約關係密切，其特性為保險期間配合施工期程、保險費率依工程大小之實際狀況而定，無固定保險期間及固定費率。工程保險分為「工程建設類保險」及「機械設備類保險」，其中「工程建設類保險」包含營造綜合保險及安裝工程綜合保險；「機械設備類保險」包含營建機具綜合保險、鍋爐保險、機械保險以及電子設備綜合保險；責任保險又分為第三人意外責任險與專業責任險。

為降低施工風險，現行工程保險以「營造綜合保險」為大宗，將工程施工期間可能面臨風險，如營建機具、設備、材料等意外毀損或滅失、第三人體傷、死亡或財物損害之法定賠償等均涵蓋保險範圍內，轉移由保險公司承擔賠償，使工程不致因災害損失導致停工。目前國內常見投保方式如下：

(一)廠商自行投保：

傳統工程投保方式大多由得標廠商依契約金額自行投保，機關於工程契約中編列依契約金額比例估列保險費用，請廠商依契約約定之保險條件辦妥工程保險，檢據向機關估驗計價請領保險費用。以台水公司為例，工程契約訂有「營造（或安裝工程）綜合保」之規定，各廠商於開工前應按契約規定完成投保營造綜合保險及雇主意外責任保險，以保障施工安全。

(二)業主統一投保(又稱「業主主控保險計畫」)：

廠商自行投保缺點為工程執行中大多有其他分包商，各廠商間權利義務難以釐清，如有事故發生需確認廠商責任歸屬。由業主統一投保，可將機關、廠商及所有分包商及工程契約相關界面整合於單一保險契約，同時並列被保險人，由機關統籌負責安排投保支付保費並管理保險作業。當保險事故發生時理賠作業單純，賠償案件調查與理賠計算作業易掌握。

以台北市政府捷運工程局辦理「捷運工程之營造工程保險」為例，採業主統保為主，廠商自行投保為輔，捷運局制定相關保險條款，並以「捷運線」為單位將主要廠商及各次要廠商列為共同保險人，統籌安排及支付保費，缺點為廠商與保險公司如有索賠糾紛時，機關需有具保險專業知識之人員協助處理，且保險未逾工程施工前辦妥，恐影響工期；優點為各工程統一保險有助於降低保費，避免漏保或重複保險之情形，亦可簡化保險手續；另外，台灣電力股份有限公司訂有專案工程超過5億元者採專案方式投保、未逾5億元者則由「工程綜合保險預約保單」辦理，簡化各廠商投保作業，並加速專案

進行。

不論廠商自行投保或業主統一投保均有其優缺點，評估選擇標準得以工程金額大小、廠商數量、人員配置等因素考量，機關視業務特性予以選用，以符合實際需求。

三、投保營造綜合保險

水量計裝拆、表位修漏屬技術性工作，需透過長時間實地學習，人才養成不易，基於人力有限情形下，台水公司執行一般家戶表位維修業務，多為個人獨立作業，執行業務如遇現場表位環境不佳、止水栓故障、或員工生理狀況不佳等，現場無人可以立即協助處理緊急措施，一但發生管線破損而大量漏水時，易造成損害財物之賠償案件。台中所擬試辦「水量計裝拆及用戶表位修漏」員工投保營造綜合保險，藉由工程保險轉移財損風險。

台中所洽保險公司評估員工投保營造綜合保險之可行性，保險公司建議保險主約為「營造工程財物損失險」、副約為「營造工程第三人意外責任險」，保險期間為一年，每一次財損事故發生自負額為 5,000 元，以一年執行案件量估算契約金額約 247 萬元、保險費約 1.5 萬元，保險基本條款如下：

(一)第一條、財物損失保險

承保工程於保險期間內，在施工處所因突發、不可預料之意外事故所致之毀損或滅失，需予修復或重置時，除約定不保事項外，由保險人對被保險人負賠償之責。另營建承包工程施工機具設備或進行修復所需之拆除清理費用，經約定承保者，保險人亦負賠償責任。

(二)第二條、第三人意外責任保險

被保險人在施工處所或毗鄰地區，於保險期間內因承保工程發生意外事故，致第三人體傷、死亡或財物受有損害，被保險人依法應負賠償責任而受賠償請求時，除約定不保之事項外， 由保險人對被保險人負賠償之責。

(三)不保事項

1.第七條、共同不保事項

營造工程財物損失保險及營造工程第三人意外責任保險之承保範圍，不包括直接或間接因下列各項所致之毀損、滅失或賠償責任：

(1)戰爭、類似戰爭行為、叛亂或強力霸佔等。

(2)罷工、暴動、民眾騷擾。

(3)政治團體或民眾團體之唆使或與之有關人員所為之破壞或惡意行為。

(4)政府或治安當局之命令所為之扣押、沒收、徵用、充公或破壞。

(5)核子反應、核子輻射或放射性污染。

(6)被保險人或其代理人之故意、重大過失。

(7)工程之一部分或全部連續停頓逾三十日曆天。

2.第八條、財物損失保險特別不保事項

(1)任何附帶損失，包括貶值、不能使用、違約金、逾期罰款、罰金以及延滯完工、撤銷合約或不履行合約等之損失。

(2)因工程規劃、設計或規範之錯誤或遺漏所致之毀損或滅失。

(3)因材料、器材之瑕疵、規格不合或工藝品質不良所需之置換修理及改良費用。

(4)保險標的之腐蝕、氧化、鏽垢、變質或其他自然耗損。

(5)文稿、證件、圖說、帳冊、憑證、貨幣及各種有價證券毀損或滅失。
(6)任何維護或保養費用。
(7)清點或盤存時所發現任何保險標的之失落或短少。
(8)家具、衣李、辦公設備及事務機器之毀損或滅失。
(9)各型船隻、航空器財物、領有公路行車執照車輛之毀損或滅失。
(10)施工機具設備之機械、電子或電氣性損壞、故障、斷裂、失靈之損失。
3.第九條、第三人意外責任險特別不保事項
(1)因震動、土壤擾動、土壤支撐不足、地層移動或擋土失敗，損害土地、道路、建築物或其他財物所致之賠償責任。
(2)被保險人、定作人及與承保工程有關廠商或同一施工處所內其他廠商，或上述人員之代理人、受雇人及其居住工地之家屬之體傷、死亡或疾病所致之賠償責任。
(3)被保險人、定作人及與承保工程有關廠商或同一施工處所內其他廠商，或上述人員之代理人、受雇人及其居住工地之家屬所有、管理或使用之財物，發生毀損或滅失之賠償責任。
(4)各型船隻、航空器、及其裝載之財物，或領有公路行車執照之車輛及其裝載之財物，因所有、管理或使用下列財物所致之賠償責任。
(5)因損害管線、管路、線路及其有關設施所致之賠償責任。但被保險人證明施工前已取得上述設施位置圖及有關資料，並於施工中已盡相當注意者，為修理或置換受損設施所需費用，不在此限。
(6)被保險人以契約或協議所承受之賠償責任。但縱無該項契約或協議存在，依法仍應由被保險人負賠償責任者，不在此限。

四、營造綜合保險條款之釐清

由於台水公司員工未曾辦理投保營造綜合保險，為避免日後理賠爭議，對於營造綜合保險基本條款之疑慮再洽保險公司予以釐清如下：

(一)第二條、營造工程第三人意外責任險，建議將「營建」二字刪除，避免日後理賠疑義：
1.依據營造綜合保險基本條款第一條規定，保險契約所載之承保工程在施工處所，於保險期間內，因突發而不可預料之意外事故所致之毀損或滅失，需予修復或重置時，除約定不保事項外，保險公司對被保險人負賠償之責。保險契約所載之承保工程，要保書已註明為「水量計裝拆及用戶表位修漏」，並無違反告知義務，經核保評估後承做，工程風險發生可獲得理賠。
2.按保險法 54 條之規定，保險契約解釋，應探求契約當事人真意，不得拘泥於所用之文字；如有疑義時，以作有利於被保險人之解釋為原則，營造綜合保險乃商品名稱無法將營建二字刪除。
(二)第七條、共同不保事項、(七)不予理賠係限於停工期間或發生停工後，契約期間所生賠償責任，均不予理賠：施工後停工逾 30 天所致之毀損、滅失或賠償確實不予理賠，但停工未逾 30 天，30 天內開工仍需負賠償責任。
(三)第九條、營造工程第三人意外責任險特

別不保事項(五),該條文與台水公司投保目的似有不符，建議與保險公司商議附加條款,並加註排除適用本條文之文字:

1.第三人意外責任此管線、管路、線路指的是非台水公司的管線，而是第三方管線路，如：中華電信網路，天然氣管路，第四台線路等，因施工損害第三方時保險契約可做為第三方支付。

2.本條款依 96 年 8 月 31 日依行政院金融監督管理委員會 95 年 9 月 1 日金管保二字第 09502522257 號令修正，適用於營造工程第三人意外責任險，被保險人因施工損害第三人管線、管路、線路或其有關設施時，應按規定之百分比負擔自負額，但最低不得低於保險契約所載之自負額。

3.本次投保工程為水量計裝拆及用戶表位修漏，施工前無需向縣市政府養工處或區公所申請道路挖掘，施工時損害第三方管線之機率極低，且洽保險公司排除該條款所費不貲。

經台中所評估營造綜合險雖有自負額，有助於降低損害賠償風險，釐清保險相關條文後續辦理員工保險事宜。

五、結論

台水公司倘發生自來水管線破裂漏水損害他人財物，係由區處組成賠償案件處理小組，辦理查估協調事宜，視情節輕重及損害程度狀況等，邀請當地憲警機關、地方縣市政府主管單位及請求權人等赴現場勘查及查估，並檢附案發現場及淹損照片、相關物品、修復等賠償收據及其他佐證資料等；如查估協調不成，依鄉鎮市調解條例向當地調解委員會聲請調解、或經法院判決確定賠償金額。

對於自來水管線漏水或淹損案件，台水公司派員協助處理受損物品清點數量、評估損害程度，及協調受損物品之賠償事宜；損害賠償涉及民法及相關法令規章繁雜，處理過程中運用談判技巧及法律知識，一般員工大多非具法律專業知識，過程艱辛且繁瑣。

外勤人員執行表位維修，難免遇到管線老舊腐蝕、老舊、止水栓損壞等難以處理狀況，特別是社區大樓分表設置各樓層者，一但管線破裂淹水就容易往室內流入，造成電梯、傢俱、裝潢泡水損壞等，甚至漫延至其他樓層。台中所轄區內社區大樓多、分表戶數也多，更加深外勤人員執行表位維修工作困難性，爰 108 年 8 月辦妥投保營造綜合保險，保險期間尚無辦理出險案件，出險程序有無窒礙難行或可否節省與受損害用戶間之協商和解時間，尚待實例研析，經評估後效益說明如下：

(一)減輕員工心理壓力、改善職場環境：

外勤員工長時間在戶外維修，存有高溫曝曬、昆蟲咬傷、物體飛落、墜落滾落等相關災害，相較於一般內勤員工，其職業災害風險更高。

台水公司表位設置完成後交由用戶自行維護，一般用戶很少關注用水設備狀況，依靠抄表定期檢視表位狀況，當裝拆或修漏人員技術不夠熟練又難以確認止水栓功能有無失靈，容易心生恐懼害怕淹水事件，進而降低執行外勤工作意願，藉由保險機制將作業風險移轉至保險公司，降低工作時不安全感，改善職場環境。

(二)降低台水公司損害賠償風險：

台中所轄區內社區大樓多分表用戶數亦多，面臨破管淹水案件機率較其他地區為高，藉由工程保險分攤及移轉風險功能，在有限費用成本下，降低財物損害賠償之風險。

另從國內台北捷運工程及台電公司執行業主主控保險計畫之經驗，確實能有效解決目前傳統投保方式上工程保險實務諸多問題，以及驗證出較傳統投保方式具有節省保費、提供較佳之保險條件等優勢。目前台水公司對於 10 萬元以下工程及勞務採購案，與保險公司以預約式保險方式簽定，對於水量計裝拆或表位修漏同仁之需要，亦可朝業主統一投保方式辦理，提供各所外勤同仁執行業務之保障。

參考文獻

1.王志鏞（1990），「業主主控保險計畫興起之原因」，保險資訊，第55期。
2.王志鏞（1991），「工程險保單之型態」，保險資訊，第74期。
3.黃國立（2002），「工程契約之保險條款」，營造天下，第75期。
4.泰安產物保險公司營造綜合保險基本條款。
5.行政院公共工程委員會網站公開之機關自行辦理工程保險案例，台北市政府捷運工程局、台電股份有限公司https://www.pcc.gov.tw/Content_List.aspx?n=829446EED325AD02
6.旺旺集團旺旺友聯產物保險集團，工程險保險問答集https://legacy.wwunion.com/5_faq_moto.aspx?item=CW&

作者簡介

黃心怡女士

現職：自來水公司總管理處營業處組員

專長：水量計及抄表業務管理、水量計計量研究

張仲仁先生

現職：自來水公司總管理處營業處組員

專長：水量計業務管理、水量計計量研究

賴靜瑩女士

現職：自來水公司第四區管理處台中所股長

專長：水量計裝拆、表位修漏管理

吳珮吟女士

現職：自來水公司第四區管理處豐原所股長

專長：水量計業務管理、綜合業務處理

共同管道巡檢安全注意事項-以東西向支管段為例

文/何政弘

一、前言

共同管道，指設於地面上、下，用於容納二種以上公共設施管線之構造物及其排水、通風、照明、通訊、電力或有關安全監視（測）系統等之各種設施（共同管道法第二條）。興建共同管道係因臺北都會區捷運初期施工時，經常挖損或遷移自來水、電力、瓦斯等民生管線，且不斷挖填方容易造成交通阻塞，引起廣大民怨，1989 年臺北市政府遂組團赴日本考察後積極推動共同管道建設。1999 年 3 月 25 日首先完成新社區（基隆河截彎取直）共同管道，2000 年完成東西向市民大道共同管道，依內政部營建署共同管道資料庫網站統計資料顯示，臺北市迄今陸續建置完成 12 條共同管道，2 條建置中，2 條設計中[1]。

共同管道內之公共設施管線及其附屬設施，由各該管線事業機關（構）檢修管理，並定期巡檢作必要之安全措施（共同管道法第十九條），定期巡檢頻率，幹管每半年至少一次，支管及電纜溝每年至少一次（臺北市共同管道管理辦法第十四條）。本文以臺北市東西向市民大道共同管道之支管段為例（市民大道西起環河北路東至中山北路），討論進行巡檢自來水管作業時應注意事項，以保護人員安全減少職業災害發生。

二、本例管道段概要

本文案例屬臺北自來水事業處北區分處轄區，因市民大道共同管道興建時，受制於路口或地下障礙，故斷續施作未能全線連通，自來水管僅局部設於共同管道間，仍有部分埋設於管道外。

管道結構大致為一斷面高 2.5 公尺、寬 2 公尺現場灌注混凝土箱涵，長度則依各地段而有不同，自來水管安置於內部一側間隔 6 公尺水泥墩（寬 80 公分）上，再以鐵束帶固定，另一側則為寬 60 公分之電纜架，供台電、電信等佈設纜線，中間為走道。

管道上方多為人行道，約每隔 20 至 40 公尺間設置一寬 2 公尺長 4 公尺之材料投入口（由 4 塊長 2 公尺寬 1 公尺凝土水板覆蓋），以便材料運入，材料投入口附近另設有一人孔蓋（直徑 80 公分圓形雙層鑄鐵蓋），供人員進出[2]。

因並無設置固定爬梯，也無通風、照明設備，人員進出均需自備。目前由臺北市政府工務局新建工程處共同管道監控中心統一管制人員進出並負責監控。

三、進入管道前作業

(一)規劃

因管道未連續分成多段，需先勘查欲巡地段之人孔位置及現況，確認能否開啟、有無施工或障礙物。其次查詢新工處道管中心網頁，預定巡檢時間有無施工挖掘案件，避免人員機具衝突。

(二)申請

連結網頁新建工程處管理之臺北市共

同管道管理維護作業系統申請，並填具檢附相關資料：進入或使用共同管道許可應遵守事項（簽章）、職業安全人員證照、缺氧作業人員證照、工作人員名冊表、工作人員身分證正反面、施工計畫書、工程表、相關圖說、進入或使用共同管道作業前自動檢查表等。

(三)人員確認

俟申請核准後洽管理人員，依排定時間至監控站簽到填具進出管制表，因本段支管無由監控中心開啓之出入口，須依選定開啟人孔進入，管理人員於現場再次核對名冊人員無誤後開始作業。

(四)孔口作業

1.設置交通錐及連桿圍成作業區域，防止無關人員進入，孔口工作人員保持警戒。

2.開啟選定之人孔（直徑 80 公分圓形雙層鑄鐵蓋），人員須穿著安全鞋，防止腳趾壓傷，並配戴手套，避免金屬尖銳部分或鐵屑等刺傷。人員進行拉、推、抬等動作時，不應彎腰施力引起脊椎受傷。

3.檢查孔內爬梯是否穩固牢靠，目前該管道段人孔未設置爬梯，現場少數存有的是先前管線施工單位所留置（如圖 1），若該人孔無爬梯則需自備使用，務必架設平穩。例如本例留存爬梯規格係使用於鷹架，非專門為此人孔設計架設，踏板不符標準（如圖 2），出入要緩慢小心。

4.啟動發電機使用伸縮通風軟管進行通風約 10 分鐘以上，注意通風軟管進氣口需遠離發電機廢棄排放方向，避免廢棄進入管道（如圖 3）。

圖 1　現場留存爬梯

圖 2　爬梯因陡峭致踏板向下傾斜

圖 3　發電機排氣方口遠離通風軟管進氣口

5.使用氣體偵測器偵測管道內氣體濃度參數若達合格標準：氧氣 18%以上並低於 23%，一氧化碳 35ppm 以下，硫化氫 10ppm 以下，可燃性氣體 30%以下（如圖 4），方可進入管道。人員進入管道後仍需隨身攜帶並開啟偵測器，注意空氣變化情形。

圖 4　氣體偵測器顯示偵測值合格

6.架設救援三角架於人孔上方，確認腳架穩固，捲揚器作動正常，工作人員著背負式安全帶並扣住鋼索進入管道，到達管道地面後再脫鉤鋼索，以防止墜落（如圖 5）。

圖 5　救援三角架

四、管道內作業

(一)通風管

管道內通風管若在人孔下旁邊，進入管道內將伸縮通風軟管接於管道內之通風管，以利新鮮空氣往管道遠端輸送，若銜接處未密合造成洩漏減壓，則空氣無法遠送（如圖 6），需重新整理固定銜接。若人孔旁無通風管，則伸縮通風軟管必須延伸加長才能銜接。若有無法銜接情況，可再開啟遠端人孔以利通風。

圖 6　伸縮通風軟管未與管道通風管密合

隨著管線前進，可見到通風管突出短管（如圖 7），上面有紅色開關把手垂直突出短管，此時為關閉狀態，若需在此附近停留作業，可將其 90 度轉開，則空氣由此送出。當需再往前進時將其關閉，至下一個短管時再予開啟，或視巡檢作業地點距離與人數調整。此功能大部分同仁不了解，尤其急忙費力於操作制水閥時卻忘記開啟附近短管輸送新鮮空氣，非常可惜。

圖 7　管道通風管及支管，紅色把手為開關

(二)照明

因共同管道之支管段屬於小型管道，未設置自動通風設備，也沒有建置自動照明設備系統，進入作業人員需自行攜帶移動式照明器具，例如手電筒或配戴頭燈，以利辨識環境及檢視管線設備。

(三)行走空間

幹管共同管道內之管線，以同種管線於同一管道為原則，以利管理及防災；但不種類之管線若經檢討不致產生干擾，並經相關管線事業單位同意者得同管道放置。

本支管段管道內一側為金屬製托架以安置纜線，一側放置自來水管，故非屬單一種管線管道。雖然一般通則規定管道最小淨高應不小於 2.2 公尺，走道寬度應不小於 80 公分，但此支管段位於市民大道南北兩側，夾於地下停車場、臺北車站三鐵共構、臺北轉運站等大型結構物間，寬度有限，故可供行走空間狹小（如圖 8）。

特別是位於道路十字路口下方管道為斜坡又轉彎，自來水管設有固定臺，加上斜坡欄杆佔據，人員經此只能側身「擠」過（如圖 9），加上地面泥沙濕滑，托架金屬易傷人，需要小心翼翼慢行。

若走道已無空間或有障礙物，僅能直接踩踏在水管上通過時，需先試踩管面濕滑程度，放緩腳步，並以手扶壁或抓握托架等尋求輔助支持行進。

(四)通訊

管道內無法接收手機訊號，必須使用無線電對講機聯絡，事前須確認對講機是否充電完成，頻道校對訊號收發功能正常。在管道內每人配備 1 支，另 1 人位於人孔下方，以利接收向人孔外回報管道前方人員訊息。

(五)其他

1.管道內設施物有許多銳角情形，混凝土結構殘留部份突出鋼筋、鐵線異物；電纜托架為充滿銳角之堅硬金屬；自來水管件突出之螺栓、螺桿；通風管管壁薄銳（出口、銜接口）、開關轉軸突出、突出鉚釘；欄杆焊接處突出；行走間一不小心觸及則非痛即傷，若穿著長袖衣物可增加保護。

2.共同管道內並非全然乾燥，部份管道壁體滲水、電纜線預留孔滲水，或夾帶泥沙，造成地面積水泥濘濕滑（如圖 10）建議直接穿著安全雨鞋進入管道較為適當。若積水過高時切勿強行通過，應退出該處，通報監控站另行處理後再申請巡檢。

圖 8　行走空間狹小

圖 9　下坡處行走寬度約 30 公分

圖 10　下坡處積泥沙

3.本管道內雖然僅有 2 種管線單位，卻也有管線障礙（如圖 11），此時先需確認管線種類有無感電可能，小心整理通過，在攀登爬梯、通過窄道，手腳並用，必穿戴手套，以防止所接觸物體上微小異物割傷、刺傷手掌。

圖 11　凌亂未整理的管線障礙

4.安全帽必定緊扣顎帶，管道間光線不佳，若未扣顎帶不小心頭碰到電纜托架掉了安全帽，在窄小空間內彎腰或蹲下去撿拾就可能再次碰撞造成傷害。

五、結語

(一)人孔應列入新工處巡查維護項目

因多數人孔位於人行道，但人行道施工、鄰近建築認養人行道，使人孔鋪面、結構改變、或造成人孔與地面連成一體等，導致無法開啟，造成該人孔無法使用。

(二)遵守局限空間作業規定

共同管道無儲存、使用化學物質；但因有部分滲水，無不可能參雜其他有害物質，或生活污水、食品加工及造紙等工業廢水之需氧污染物，產生缺氧或有毒氣體危害。部分同仁雖曾有出入管道經驗也確實檢測空氣無危害之虞，但每一次仍應依標準作業。

(三)運用通風設備

管道內須仰賴通風管流通空氣，故接裝伸縮通風軟管時須有效密合，並靈活運用通風管突出短管以調整進氣通風，維護環境安全增進作業舒適性。

(四)維持充分作業時間

進入管道需自備發電機、通風軟管、工作梯、三腳架等較為笨重之裝備，從辦公處所搬運至現場操作，且必須配合監控站往來耗時不少。因急躁時會忽略注意導致危害增加。故事前充分準備與聯絡，提早出發避免壓縮進入管道作業時間，維護作業安全。

參考文獻

1.內政部營建署，共同管道資料庫網站

2.臺北自來水事業處北區營業分處，臺北市共同管道109年度定期巡檢計畫，2019年9月

作者簡介

何政弘先生

現職：臺北自來水事業處北區營業分處三級工程師

專長：管網改善工程規劃、施工、小區計量及漏水改善。

台水公司推動職場健康管理及促進現況

文/傅敏菁

摘要

世界衛生組織(WHO)於 2010 年提倡健康職場推動模式，聲明：「一個健康的工作場所是經由員工和管理人員合作持續改進的過程，以保護和促進所有工作者的健康、安全和福祉，以及工作場所的永續性」〔衛生福利部國民健康署網站 2017 年〕。

隨著時代變遷，社會型態改變，傳統職業衛生已不足以因應目前國際企業的需求，目前先進國家已積極推動職場健康促進與健康管理，除改善員工健康，更積極提升員工士氣及體能，藉此降低請假、離職率與提高生產力。

我國勞動部自民國 63 年制定「勞工安全衛生法」，因應產業結構及社會環境變遷，勞工面臨職業災害的風險隨之提高，經衡量國內勞動環境實際需要及國際職業安全衛生發展趨勢，為強化工作者職業災害預防及安全健康保護，擴大適用範圍，乃將名稱修正為「職業安全衛生法」。

關鍵字：保護和促進所有工作者的健康、職業安全衛生法

一、前言

「職場健康促進」指的是在公司或組織內為了增進員工及其家人的健康，所舉辦強化健康行為的活動〔陳芬苓 2005 年〕。目前，國內勞工工作時間三分之一以上的時間都在職場，因此，職場是最適合施行健康促進活動的場所，推動健康促進也可達到正向的效益。「勞工健康管理」就是經由體格檢查、健康檢查，以掌握勞工健康狀況，並透過適當分配工作、辦理勞工傷病醫療、健康教育及推展健康促進活動等協助勞工保持或促進其健康。

依據國民健康署「105 年工作人口健康促進現況電訪調查」發現，國內職場員工有四成(40.4%)工作者體重超標、半數(51.8%)運動不足；工作者早餐(54.9%)、午餐(61.2%)一週有 5 天以上外食比例高，且僅約二成(19.2%)的工作者每日食用蔬果量達國民健康署三蔬二果之建議量〔衛生福利部 107 年〕。由統計結果可看出工作者外食比例高且運動量不足，所導致的結果就是三高問題及代謝症候群，再加上年齡邁向中高齡時，易發生心血管疾病。台水公司人力資源處的人力統計，截至 109 年 12 月底止，45 歲以上員工占 43.64% ，其中 60 歲以上員工人數所占比例最高 17.19% ，資料顯示，除確保中高齡及高齡工作者安全及健康外，須鼓勵世代合作與經驗傳承，建構友善就業環境，並促進其人力資源之運用

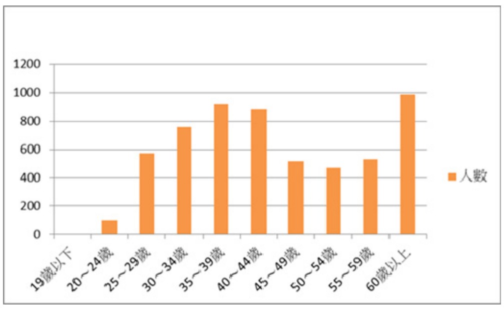


圖 1　台水公司 109 年員工年齡統計圖

根據衛生福利部疾病統計資料就年齡別對死亡原因統計，1 至 24 歲死亡人口以事故傷害居死因首位；25 至 44 歲以癌症與事

故傷害居前二位；45 歲以上則以慢性疾病之癌症與心臟疾病居死因前二位。為達到「預防勝於治療」，台水公司每年都花費了不少公司的人力、物力與時間辦理員工健康檢查，經由健康檢查檔案資料建檔及追蹤，不但可步步將所得到的健康檢查結果進行統計分析，篩選出異常的檢驗、檢查資料，再藉由台水公司特約的臨場服務醫師進一步面對面訪談及諮詢，確定此健康異常狀況與職場作業的關聯性，並進行相對應的環境改善、職場健康促進活動，或提供進一步衛生教育、疾病診斷與追蹤、或轉介相關科別，以促進職場健康，讓健康檢查結果的運用更全面更有效率，讓員工的健康確實獲得照顧。

台水公司依據職業安全衛生法規定於僱用勞工時，施行體格檢查；對在職勞工施行下列健康檢查，實施人數及費用統計結果詳表 1。

表 1　台水公司各單位 109 年健康檢查及特殊健檢統計

區處、工程處	員工一般健康檢查人數	員工一般健康檢查費用	特殊健檢項目及人數	特殊健檢費用
總管理處	194	310,400	游離輻射;粉塵作業/8 人	0 元(申請勞工保檢局給付)
第一區處	87	261,000	游離輻射;重鉻酸及其鹽類;汞及其化合物作業/12 人	12,190
第二區處	199	295,472	汞及其無機化合物作業、鉻酸及其鹽類作業、錳及其化合物作業各 14 人	12,096
第三區處	406	324,800	乙基汞、汞及其無機化合物;游離輻射;噪音作業;錳及其化合物作業;鉻酸及其鹽類作業/19 人	10,900
第四區處	323	516,800	長時間夜間工作;錳;鉻酸;汞;鉛作業/34 人	13,200
第五區處	358	412,850	游離輻射;汞、鉻酸作業/3 人	申請勞工保檢局給付 0 元
第六區處	237	379,200	錳化合物;重鉻酸鉀作業/27 人	10,800
第七區處	460	736,000	鉻酸及重鉻酸鉀;鉻酸及重鉻酸鉀 ;長期夜間作業(高屏地區) ;長期夜間作業(澎湖)/40 人	18,400
第八區處	95	141,550	苯作業;砷及其化合物;錳及其化合物;鉻酸及其鹽類或重鉻酸及其鹽類、鎘及其化合物;乙基汞化合物、汞及其無機化合物作業/12 人	27,471
第九區處	64	134,400	汞及其無機化合物;鉻酸及其鹽類;錳及其化合物作業/15 人	15,210
第十區處	93	134,850	錳;苯;鉻酸;氯乙烯作業/7 人	0
第十一區處	145	209,075	錳;鉻酸;乙基汞作業/4 人	3,200
第十二區處	190	297,350	鉻酸及其鹽類作業 4 人 乙基汞化合物及汞無機化合物作業 4 人，正己烷作業 4 人、錳作業 4 人	8,000
中區工程處	53	84,800	0	0 元
北區工程處	47	95,500	0	0 元
南區工程處	51	81,600	0	0 元
合計	3,002	4,415,647	225	131,467

(一)一般健康檢查。

(二)從事特別危害健康作業者之特殊健康檢查。

(三)經中央主管機關指定為特定對象及特定項目之健康檢查。

對在職勞工，依下列年齡規定，定期實施在職員工一般健康檢查：

(一)年滿六十五歲者，每年檢查 1 次。

(二)四十歲以上未滿六十五歲者，每三年檢查 1 次。

(三)未滿四十歲者，每五年檢查 1 次。

二、實施現況

(一)執行策略

台水公司推行健康促進的專職單位為工安環保處，未另外成立常態性專責組織，為落實職業安全衛生法規定，台水公司自 102 年於總管理處聘僱 1 名護理人員專責推行健康促進，另為實際涵蓋未配置護理人員單位之員工健康管理，於 104 年度增聘遴用具護理師證照及從事勞工健康服務受訓合格資格者 3 名護理人員，核定以北、中、南地區勞工人數相對多數之第二區、第四區及第七區管理處為配置地點。台水公司聘僱之護理人員負有規劃及執行的功能，評估公司員工的健康需求，綜理勞工之健康服務事務，規劃與推動勞工健康服務之政策及計畫，決定目標的優先順序，執行各項健康促進活動，同時網羅社區資源，建立互惠之合作關係，發揮更大之影響力來影響公司同仁。

表 2　台水公司健康促進發展 SWOT 分析表

內部組織 / 外部環境	優勢 Strenghts1	劣勢 Weaknesses
	1.特約從事勞工健康服務之醫師及僱用從事勞工健康服務之護理人員，辦理臨場健康服務。 2.參照工作場所大小、分布、危險狀況與勞工人數，備置足夠急救藥品及器材，並置急救人員辦理急救事宜。 3.辦理員工健康檢查，重視員工身體狀態。 4.健全的組織結構，業務推動系統化。	1.員工工作忙碌，員工外食佔多數。 2.重視產能，單位主管及同仁忽視危害健康潛在問題。 3.公司內員工平均年齡數中、高齡及久坐，易產生各種慢性疾病。
機會 Opportunities 1.政府積極推動健康促進，加強對職場的健康促進活動推行。 2.國內經濟持續成長，政府修法對員工健康保護的重視。 3.媒體報導健康資訊重要性，增加員工對於健康促進議題活動接受度較高	SO（增長性戰略） 1.辦理健康專題宣導與演講，增加健康認知，提升健康行為動機。 2.利用宣導品提升同仁自發性參與健康促進活動。 3.透過健康行為，進而落實健康生活，創造健康職場氛圍。	WO（扭轉性策略） 1.配合定期作業環境監測，了解潛在性危害，預防職業性災害。 2.多參與主管機關活動，如配合國民健康署年度活動、市政府衛生局健康促進活動及競賽等。
威脅 Threats 1.氣候變遷影響，增加傳染病傳播及面臨新型病毒侵襲的風險。 2.抗生素的濫用，恐對抗生素產生抗藥性的細菌正在成為日益嚴重的威脅。	ST（多元化策略） 1.請臨場服務之醫師分析作業環境潛在問題，提供單位主管參考。 2.健康議題以趣味性活動方式，增加員工參與率。 3.結合外部資源，藉由專業經驗協助舉辦相關活動。	WT（防禦性策略） 1.將衛教知識以電子郵件方式傳達員工。 2.依同仁需求意願，增加活動場次、項目。 3.每年規劃 2 次作業環境監測，並與健康檢查結果進行分析與評估。

台水公司為使健康管理制度更臻完善，將職場健康管理導入職業安全衛生管理系統，簡稱 TOSHMS，透過 PDCA－規劃 Plan、執行 Do、查核 Check 與改善 Act 的系統化管理循環模式提昇安全衛生管理績效，達到保障勞工安全健康之目的。台水公司職業安全衛生管理系統包含以下相關文件：

1.為使台水公司員工瞭解本身健康情況及早治療，及作為適當配置於工作場所作業，共同促進職場健康，確保營運供水之穩定及工作之順暢訂定 TS00-03-14 辦理健康檢查及管理實施要點。

2.為確保從事重複性作業工作人員之生命安全，避免造成或促成人為失誤、發生意外事件、導致肌肉骨骼傷病、降低工作生活品質、生產績效不佳、容易工作疲勞等，嚴重影響員工的健康、安全與福祉，訂定 TS00-03-25 人因性危害預防要點。

3.為避免發生勞工因長期處在高度心理壓力之下所產生的身心耗弱狀態，及長期輪班、夜間工作、長時間工作等異常工作負荷所促發之疾病，造成身體或精神之傷害，確保勞工之工作安全及身心健康，訂定 TS00-03-26 異常工作負荷促發疾病預防要點。

4.為避免發生勞工因執行職務，於勞動場所遭受主管、同事、服務對象或其他第三方之不法侵害行為，造成身體或精神之傷害，確保勞工之工作安全及身心健康，訂定 TS00-03-27 執行職務遭受不法侵害預防要點。

5.避免女性員工因職場中存在安全健康危害因子可能對妊娠有不良影響，嚴重影響女性員工的健康、安全與福祉，訂定 TS00-03-28 職場母性健康保護要點。

表 3　台水公司護理人員服務頻率

單位	護理人員報備方式	護理人員服務頻率(次/月)	臨場服務時間(小時/次)
總管理處	僱用		
第一區管理處	特約	3	2
第二區管理處	僱用		
第三區管理處	特約	3	2
第四區管理處	僱用		
第五區管理處	特約	3	2
第六區管理處	特約	3	2
第七區管理處	僱用		
第八區管理處	特約	3	2
第九區管理處	特約	3	2
第十區管理處	特約	3	2
第十一區管理處	特約	1	3
第十二區管理處	特約	3	2
北區工程處	特約	3	2
中區工程處	特約	3	2
南區工程處	特約	3	2

(二)執行人員與資源

依據勞工健康保護規則第四條規定，事業單位之同一工作場所，勞工總人數在五十人至二百九十九人者，應視其規模及性質，分階段辦理醫護人員臨場服務。

1.護理人員

台水公司僱用護理人員協助辦理責任區域範疇，相關責任區域規劃如下(表 3)：

(1)第二區處護理人員：第一、二、八、十二區處及北工處等五單位。

(2)第四區處護理人員：第三、四、五及第十一區處等四單位。

(3)第七區處護理人員：第六、七、十區處及南工處等四單位，台水公司屏東管理區處成立後，增加為責任區。

(4)總管理處護理人員：負責總管理處、第九區管理處及中區工程處等三單位健康保護事項，並統籌督導各單位健康辦理情形。

2.特約臨場健康服務醫師

台水公司所屬單位分散於不同地區，為符合職業安全衛生法暨勞工健康保護規則第五條規定，其與所屬各地區(12 個區管理處及 3 個工程處)分別特約臨場健康服務醫師，辦理台水公司員工健康服務事務(表 4)。

依據勞工健康保護規則第七條規定，從事勞工健康服務之醫師應具下列資格之一：

(1)職業醫學科專科醫師。

(2)依規定之課程訓練合格醫師。

3.外在資源：

衛生福利部國民健康署、各縣市政府衛生局及所在地衛生所、勞動部職業安全衛生署勞工健康服務中心、各縣市醫療院所。

(三)推動方式

目前各單位健康促進活動由工安課護理人員推動，無僱用護理人員之單位由職安人員兼任辦理。台水公司辦理之健康促進活動包括：

1.健康檢查

台水公司目前健康檢查經費依據「中央政府總預算附屬單位預算編制」規定，按 40 歲以下員工每人每年 350 元編列並依據「勞工健康保護規則」第 15 條規定，就年滿 40 歲以上員工補助每人每 3 年 1,700 元，計算平均每年每人費用 800 元。

表 4 台水公司醫師臨場服務頻率

單位＼項目	特約臨場服務醫院/醫師資格	醫師臨場服務頻率(次/年)	臨場服務時間(次)	經費
總管理處	臺中榮民總醫院 /職業醫學科專科醫師	6	3 小時	78,000
第一區管理處	新竹科學園區員工診所 /職業醫學科專科醫師	6	3 小時	90,000
第二區管理處	臺北榮民總醫院桃園分院 /受訓合格醫師	6	3 小時	45,000
第三區管理處	臺大醫院新竹分院 /受訓合格醫師	6	3 小時	63,000
第四區管理處	衛生福利部臺中醫院 /職業醫學科專科醫師	6	3 小時	79,200
第五區管理處	天主教聖馬爾定醫院 /職業醫學科專科醫師	6	3 小時	54,180
第六區管理處	成功大學附設醫院 /職業醫學科專科醫師	6	3 小時	64,800
第七區管理處	高雄醫學大學附設中和紀念醫院/ 職業醫學科專科醫師	6	3 小時	71,000
第八區管理處	國立陽明大學附設醫院 /職業醫學科專科醫師	3	3 小時	25,500
第九區管理處	基督教門諾醫院 /受訓合格醫師	3	3 小時	19,500
第十區管理處	臺北榮民總醫院臺東分院 /受訓合格醫師	3	3 小時	18,000
第十一區管理處	衛生福利部臺中醫院 /職業醫學科專科醫師	6	3 小時	60,000
第十二區管理處	亞東紀念醫院 /受訓合格醫師	6	3 小時	45,000
北區工程處	永和耕莘醫院 /受訓合格醫師	3	小時	21,000
中區工程處	臺中榮民總醫院 /職業醫學科專科醫師	3	2 小時	30,000
南區工程處	高雄醫學大學附設中和紀念醫院/ 職業醫學科專科醫師	3	3 小時	38,000
合計		78		802,180

2.四癌及 B、C 型肝炎篩檢

依癌症防治法規定，對於符合癌症篩檢之員工，於實施健康檢查時經員工同意，一併進行口腔癌、大腸癌、女性乳癌及女性子宮頸癌抹片篩檢，或聯絡當地衛生醫療機構至職場實施。

3.健康講座

4.減重比賽

5.從事勞工健康服務醫護人員臨場服務

6.自動體外心臟電擊去顫器(AED)、急救箱及血壓計設置

截至 109 年底台水公司所屬各單位共設置 42 台 AED，110 年台水公司新營專訓中心成立後，將依「公共場所必要緊急救護設備管理辦法」設置 1 台 AED。

7.各單位急救人員設置與教育訓練。
8.宣傳海報及電子郵件宣導健康衛教
9.疫苗接種
10.實施防疫措施

近年來因武漢肺炎疫情暴發，面對疫情造成的全球大流行，台水公司肩負全省供水責任，為避免產生全面性的影響，及確保員工有安全衛生的工作環境，對於工作環境或作業辨識可能之危害、實施風險評估，依評估結果採取各項防疫措施，包括：提供口罩關鍵基礎設施及臨櫃人員、設置紅外線體溫儀量測體溫、以 75%酒精消毒環境及實施各項相關措施。

三、結論

推動台水公司健康促進之初，即透過職業安全衛生委員會會議，討論將健康促進融入工作場所，做為職場健康促進發展，因此訂定之計畫目標，都以台水公司員工為出發，期能為公司健康發展、永續經營的契機。

台水公司為符合職業安全衛生法之規定，各區處特約臨場健康服務醫師及僱用臨場健康服務護理人員，由這幾年推動結果，可歸納以下幾點執行困難點：

(一)台水公司雖年年辦理員工一般健康檢查，但員工主動回診追蹤及複檢比率低。
(二)台水公司東部區處(第八區、九區及第十區管理處)臨場服務目前由二區、總處及七區護理師協助辦理，但因路程較遠，需支出較多交通費、雜費及住宿費。
(三)特約醫師諮詢後的追蹤，由於特約護理人員對該員工特性不夠熟悉，追蹤較不便。
(四)目前各單位健康促進活動由工安課護理人員推動，無僱用護理人員之單位由職安人員兼任，故各單位推動成效不一。

健康促進推動最基礎之工作為健康管理，健康促進可視為企業的福利的一環。推動健康促進的三要素是健康的飲食、正確的運動和良好的生活習慣。為提供良好健康促進，活動設計則是審慎評估及尋找可資運用的人、事、時、地、物及財力六大職場內外資源，展開各項活動，使職場健康促進計畫順利推展〔張李淑女 2013 年〕。

國內外研究證實，推動職場健康促進對公司與員工好處多多，員工可減少壓力、增加工作滿意度並改善員工健康，提升企業形象和競爭力等，其效益更可以擴大至家庭與社區。目前國內主管機關正積極修訂法規，以推動各事業單位的健康管理，員工是企業最珍貴的資產，優質的企業是員工最珍貴的資源。台水公司遵循法規，造就健康職場環境、積極及樂觀的就業力，進而提升服務品質和競爭力，創造經營的雙贏策略。

參考文獻

1.衛生福利部國民健康署企劃組，健康職場的營造，2017年1月
2.衛生福利部國民健康署網站，再忙也要動起來！打造健康職場生活 員工幸福有保障，108年新聞
3.陳芬苓，企業規模與實施職場健康促進之調查研究，台灣管理學刊，第5卷第1期，第149-168頁，2005年2月
4.張李淑女，健康與生活概論，新文京開發，2013年

作者簡介

傅敏菁女士

現職：自來水公司總管理處工安環保處營運士
專長：健康檢查結果之分析與評估、健康諮詢與急救。

從市場改建案探討智慧用水管理及精進用水服務

文/李鴻利

一、前言

臺北市為首善之都，因應都市發展及民眾對採買環境品質要求，臺北市政府開始規劃市內老舊市場更新重建作業，臺北市公有環南市場即在市府市場規劃更新名單中。

環南市場係臺北市政府為了安置堤防六號水門外之攤販，而於民國 64 年開始興建，共有甲、乙、丙、丁四棟大樓，在民國 67 年 2 月開始啟用，迄今約有 1 千餘個攤商，每日交易相當活絡，提供 30%大臺北地區每日生鮮量，為民生物資供應之大本營，進出該市場人數甚多。惟 40 餘年間，市場建築物結構主體使用負荷過大且設備老舊，已不符現代化需求，故臺北市政府開始著手推動環南市場改建工程。環南市場從民國 88 年起，歷經 18 年籌措推動，終在柯市長文哲任內拍板定案，其改建工程共花費約 55 億元，工期約 1,900 日曆天。為維持環南市場正常營運，分二期進行，該工程於 105 年 11 月 6 日開工，第一期改建工程歷經約 3 年完工，環南一期市場（又稱環南中繼市場）由舊環南市場 1,055 個攤商進駐，第二期改建工程預計於 111 年 8 月完工。

因環南市場改建案係市府重大建設，臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）為配合環南中繼市場試營運期程，於臺北市市場處（以下簡稱市場處）完成繳費後，即進場裝表（2 只∮100mm 總表及 1,057 只分表）並完成開水作業，使環南中繼市場如期營運。

另前因南門中繼市場，於試營運期間發生缺水情形，所幸緊急應變得宜，化解缺水危機，北水處由此作為借鏡，檢視環南中繼市場用水設備是否妥適，以免重蹈覆轍。

隨著 21 世紀資訊時代來臨，資訊科技大爆發，近年來，全球各地積極推動智慧城市建設，北水處為落實柯市長「發展智慧城市」之施政理念，積極推動智慧水表並搭配內建加值服務「智慧水管家」平台，使用戶可用電腦及手機等資訊工具遠端即時查詢用水量，藉此資訊平台掌握用戶用水狀態，提升水資源管理及強化預防性節水。

市場改建已成為臺北市政府積極推動之重大建設，目前已在進行中尚有成功市場、南門市場、萬大第一果菜暨漁類批發市場及環南市場二期等改建工程，由於環南市場改建工程為特殊給水案件，且為首次採用智慧水表之大型公有市場建設案件，北水處藉此探討智慧市場智慧用水管理之精進作為及建議事項，供後續市場改建有關自來水用水設備規劃設計之參考運用。

二、智慧水管理

過去北水處依賴抄表員每月或 2 個月定期至用戶住家抄表，多少會干擾影響居家生活，且人工作業衍生抄表員錯抄用水度數或用水地址、水表位於屋內不易抄表等問題。另因錯抄發生計費疑義時，需再派員至現場複查以瞭解用戶用水情形，不僅無法立即有效解決用戶的疑問，且會增加北水處額外管

理作業。

隨著科技進步、網際網路興起，現今網路使用日趨普遍，手機、平板、電腦產品已成為家戶必備生活用品，北水處結合科技產品及網際網路，推動智慧水表(如照片 1)，並搭配所開發之「智慧水管家」應用軟體（如圖 1）之內建加值服務，以開創用水智慧管理新紀元。用戶安裝智慧水表後即可由已連接網路之手機、平板或電腦即時查詢用水資訊，並透過內建加值服務警示設定（如圖 2）而主動傳送用水異常訊息至用戶端。此外，藉由進水譜（如圖 3）分析用戶用水特性，瞭解用戶內線用水設備是否漏水而進行相關改善，以避免用戶不必要水費支出及達到節省水資源之成效。

照片 1　智慧水表現場安裝情形

圖 1　北水處「智慧水管家」應用軟體

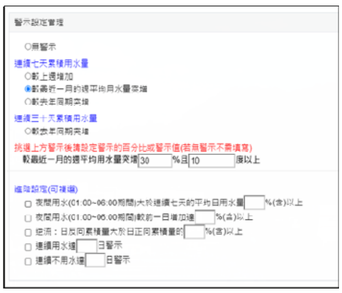


圖 2　智慧水管家內建加值服務

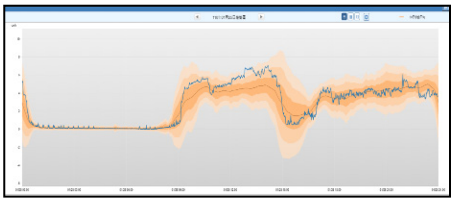


圖 3　用戶一日進水譜

由於智慧水表具有避免人工抄表之人為錯誤及隱私干擾、節省抄表人力與資源、提供用戶即時查詢用水量及透過加值服務主動偵測用水異常等多項優點，且為符合北市府建構智慧城市之政策，故北水處自 104 年起開始試辦智慧化管理水表，共花費三年時間完成 1,800 大用水戶（關鍵少數）的安裝目標。另配合北市府公共住宅政策，於興隆公宅區、健康社宅、青年社宅及東明社宅安裝 2,330 只智慧水表。

此外，自 109 年起，針對新建案全面推動智慧水表安裝，同時間為求更穩定的產品及調整未來大規模使用智慧水表的計費、服務、應用等工作流程，規劃現地場域試驗計畫提供業界團隊參與合作。未來供水轄區內用戶全面汰換傳統機械式水表為智慧水表，可提供用戶端流量監測、水質安全、節約用水等便民服務平臺，進一步建構供水轄區智慧水網，提升用水調度效率及降低漏水率，達到智慧城市用水智慧管理。

三、市場用水智慧管理

(一)新環南市場用水設備簡介

舊環南市場甲、乙、丙、丁四棟樓所組成，各棟大樓各有口徑 100mm 進水管，每棟大樓地下設有 108 M^3 水池，屋頂有 4 只 10 M^3 水塔，各棟屋頂水塔相互連接，以交互支援

供水。

環南市場改建工程為維持原有攤商於施工期間市場仍可正常營業，故共分二期施工，環南一期（即環南中繼市場）分為西區及南區 2 個供水系統，2 區總表口徑皆為 100mm，其水池水塔容量和分別為 254.8 M^3 及 207.8 M^3；環南二期則分為北區、東區及東 3 樓等 3 個供水系統，2 區總表口徑皆為 100mm，東 3 樓專用表口徑為 50mm，其水池水塔容量和各分別為 206.3 M^3、206.3 M^3 及 79 M^3，其中東 3 樓係專供北市府衛生下水道工程處辦公使用，故不在本次探討範疇。各區各有 1 只總表以供應各別之供水系統（如圖 4），各區一日設計用水量及水池水塔容量詳如表 1。

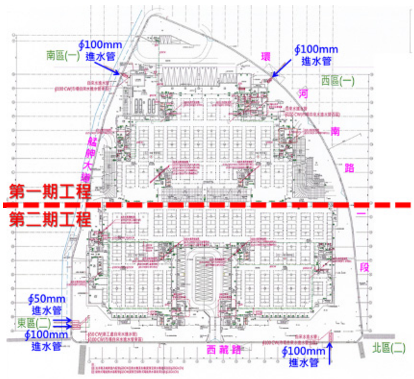


圖 4　環南市場改建工程各區總表位置圖

環南中繼市場供水系統共分成西區及南區 2 區，分別由各區總表進水至地下二層之蓄水池後，再由抽水馬達透過∮150mm 揚水管抽至頂樓之水塔，再經∮75mm、∮100mm、∮125mm 主下水管供給各樓層之攤位、廁所及其他用水設備。營業用攤位之分表係依所在位置而異，若攤位位於四周則係設置於各攤位後方之牆壁、牆壁突出矮牆（如照片 2）；若攤位位於場域中間，則設置於攤位間之分隔矮牆上（如照片 3）。另水表、電表及插座大多放置於同一箱盤內（如照片 4）。

表 1　一日設計用水量及水池水塔容量

期別	區別	一日設計用水量(M^3)			水池(M^3)	水塔(M^3)	水池水塔容量	
		各區	小計	合計			小計(M^3)	合計(M^3)
環南一期	西區	504	799	1,453	198	56.8	254.8	875.2
	南區	295			151	56.8	207.8	
環南二期	北區	359	654		149.5	56.8	206.3	
	東區	295			149.5	56.8	206.3	
	東 3 樓	99	99	99	32.4	46.6	79	79

照片 2　分表設置於攤位後方之牆壁

照片 3　分表設置於攤位後之分隔牆上

照片 4　水表、電表及插座於同一箱體內

(二)用水量分析及探討

環南市場、南門市場因老舊而相繼進行改建，為考量施工期間市場仍可維持正常營運，故皆先建造中繼市場。惟南門中繼市場試營運期間曾發生供水不足情事，經緊急利用鄰近消防栓佈設水帶灌水，並配合市場處營運營業時間持續灌水至夜間，另新設∮100mmDIP 給水外線供給南門中繼市場，以徹底解決供水不足問題。在發生前揭情事後，北水處轄區內亦有環南中繼市場即將營運，有了前車之鑑，即深入瞭解南門中繼市場營運期間發生供水不足之原因，並檢核環南中繼市場現有用水設備是否可能會發生相同情事，若有發生前開事件之可能性，則需研擬相關改善措施以防微杜漸。

南門中繼市場一日設計用水量採用建築面積推算法計算，其建築物種類為市場，市場每平方公尺使用人數為 0.16，每人每日平均需水量分別為 40L，有效面積比採係數 0.625，經計算一日用水量 31.2M^3。依該一日用水量查表得安全係數為 1.2，即求得一日設計用水量為 37.44M^3，另查表得知進水管口徑為 40mm。市場處設計水池及水塔容量分別為 16.3M^3 及 38.95M^3，其總容量大於 1 日設計用水量，且不超過 2 日設計用水量。惟參考過去實際用水量（如圖 5），舊南門市場實際平均一日用水量約 100M^3，月最大量之一日用水量約 140M^3（已扣除市場休市日未用水之日數），顯然南門中繼市場一日設計用水量不敷目前使用，加上假日期間及新環境吸引許多民眾前來（如照片 5），人潮較往常多，用水量增加，加劇供水不足之困窘。

照片 5　南門中繼市場人潮現況(照片摘自 108.10.21 聯合新聞網)

108年		107年	
浮動抄表日	用水度數總計	浮動抄表日	用水度數總計
108/10/01	2205	107/12/28	2703
108/08/30	2887	107/11/30	2830
108/07/31	3082	107/10/31	3023
108/06/28	2720	107/09/28	2604
108/05/31	2986	107/08/31	2867
108/04/30	2883	107/07/31	3250
108/03/29	2664	107/06/29	2962
108/02/27	2398	107/05/31	3466
108/01/31	3807	107/04/30	2517
		107/03/31	3087
		107/02/27	3062
		107/01/31	3509

圖 5　舊南門市場 107~108 年實際用水量

環南市場改建工程一日設計用水量亦採用建築面積推算法計算，其建築物種類為停車場及市場，東、西、南、北區各區市場樓地板面積總和及停車場樓地板面積總和詳如表 2。本案停車場、市場每平方公尺使用人數分別為 0.1 及 1，每人每日平均需水量分別為 3 L 及 40L，有效面積比皆採係數 0.625，另西區尚考量空調用水（白天 75 M^3、夜間 33M^3、24 小時 65 M^3）。考量使用水量變化增加 10%用水量，經計算東、西、南、北區各區一日用水量為 268.41M^3、458.71 M^3、268.41 M^3、326.8M^3。依該一日用水量查表得安全係數為 1.1，即求得東、西、南、北區各區一日設計用水量為 295.25M^3、504.58M^3、295.25M^3、359.48M^3，經計算各區進水管口徑皆為 100mm。

環南市場改建工程各區水池及水塔容量詳如表 1，其水池及水塔容量總和為 875.2M^3，雖滿足用水量相關規定，但市場處

為維持舊環南市場原有攤商於施工期間仍可正常營業，故改建工程分為一、二期，一期工程（環南中繼市場）完成後將先行使用，惟水池及水塔總容量總和僅剩 462.6M^3，經調閱舊環南市場以往實際用水量，其平均一日用水量約 1,100M^3，月最大量之一日用水量約 1,200M^3 (如圖 6) 。

表 2　環南市場樓地板面積及用水量一覽表

期別	區別	建築物種類	樓地板面積 M^2	有效面積比	人員 人/ M^2	每人每日平均需水量 M^3	一日用水量 M^3
環南一期	西區	停車場	22270	0.625	0.1	0.003	4.18
		市場	9593	0.625	1	0.04	239.83
	南區	停車場	22270	0.625	0.1	0.003	4.18
		市場	9593	0.625	1	0.04	239.83
環南二期	北區	停車場	22270	0.625	0.1	0.003	4.18
		市場	4796.43	0.625	1	0.04	119.91
	東區	停車場	22270	0.625	0.1	0.003	4.18
		市場	9593	0.625	1	0.04	239.83

抄表日	舊環南市場			
	A棟	B棟	C棟	D棟
108/11/26	11,206	16,571	12,172	15,895
108/09/24	10,306	16,210	11,875	15,977
108/07/25	9,923	15,725	11,194	14,892
108/05/29	11,289	15,923	11,693	15,463
108/04/01	11,856	16,260	10,511	15,839
108/01/24	11,908	16,274	13,862	16,888
107/11/27	12,438	17,144	14,078	17,595
107/09/25	11,747	16,815	13,817	17,279
107/07/26	11,639	15,954	13,455	16,044
107/05/29	12,659	15,237	14,800	15,961
107/03/29	13,356	15,540	14,752	15,769
107/01/25	13,209	16,586	16,276	16,264

圖 6　舊環南市場 107~108 年實際用水量

由於環南中繼市場攤位數並未有明顯調整，與舊環南市場攤位數相差不多，惟水池水塔容量約為原設計容量之一半，為避免南門中繼市場缺水事件重演，北水處在試營運前即積極協調市場處、水利處（受託工程單位）商討緊急備援相關事宜。經現勘尋覓支援供水位置，在供水不足時若自環南中繼市場周邊環河南路車道上消防栓補水至水池，因水池位於地下二層，佈設水線過長(約 100 公尺)，且佈設路線需跨越環河南路車道及影響市場停車場行車動線，故不宜採用該方案。北水處轉為檢視環南中繼市場用水設備－水池及水塔，發現環南一期西、南區水塔分別緊臨環南二期且已興建完成之北、東區水塔(如照片 6、7)，倘將兩區水塔合併使用，將可增加約 120M^{3}之蓄水量，應可有效舒緩用水尖峰時段供水吃緊之情形。基於市府一體，北水處積極與市場處、水利處三方溝通協調，最後將相鄰兩池穿孔連通，合併使用。此外，北水處透過智慧水管家定時監測環南中繼市場用水情形，以確保市場供水無虞(如圖 7、8)。因此，環南中繼市場自 109 年 2 月開始試營運迄今供水正常，並未接獲市場處或攤商反映有關供水異常情事。此外，在監測市場用水量期間發現環南中繼市場尖峰日用水量高達 1,600 噸，為因應遇颱風高濁水停止供水或施工停水期間供水不足情事發生，經與市場處及設計單位溝通協調後，市場處之設計單位變更設計，將原合併西、北區水塔及合併東、南區水塔維持供環南一期使用，另分別在環南二期工程東區及北區新增 102M^{3}及 130M^{3}之水塔，使新環南市場供水更為穩定充足。

經比較兩市場一日設計用水量設計方式，其中南門中繼市場及環南中繼市場（以南區為例）市場樓地板面積分別為 7386M^{2}及 9593M^2，有效面積比則分別採用 0.6 及 0.625，每平方公尺人數分別為 0.16 人/ M^{2}及 1 人/ M^2，每人每日平均需水量皆為 40L，兩市場一日設計用水量分別為 31.2M^3 及 268.41M^3。兩市場樓地板面積僅約差 3 成，惟一日設計用水量卻相差近 10 倍，其最主要之差異係在每平方公尺使用人數相差約 10 倍之緣故，從照片 5 顯現市場現場人潮擁擠，可見設計每平方公尺使用人數為 0.16 人與現況有明顯出入。雖南門中繼市場用水設備之設計皆符合北水處相關規定，惟市場處設計單位初次辦理市場改建工程設計案，設

計階段未充分考量市場攤商使用現況、類型，亦未參照過去使用水量，因此發生南門中繼市場試營運期間缺水之情事，故北水處為防範前述情事再次發生，已在用戶內線審圖階段針對改建且使用性質未變之工程納入調閱過往之供水模式、一日設計用水量檢核項目，以避免發生用戶供水不足情形。

照片 6　環南市場改建工程水塔現況

照片 7　環南市場改建工程水塔現況

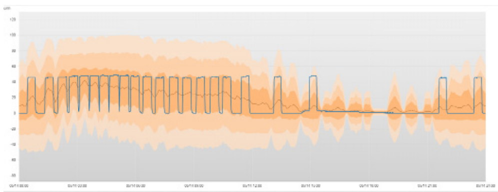


圖 7　環南中繼市場南區總表一日用水情形

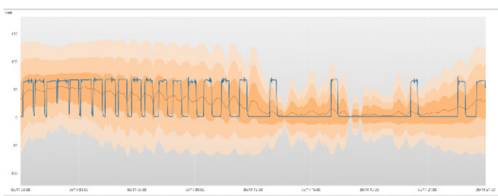


圖 8　環南中繼市場西區總表一日用水情形

(三)市場智慧用水管理

北水處為推動智慧城市中之智慧市場，在新環南市場之總表與分表皆採用智慧水表，以即時掌握市場用水特性及攤商之用水情形，另由智慧水管家應用軟體內之進水譜觀察市場集中於凌晨時段用水，且用水量大。經深入瞭解環南市場雖上午 5～6 時開始營運，惟市場內有家禽、獸肉、漁產類攤商，這些攤商提前在凌晨起即開始清洗家禽、獸肉等營運前置準備作業，且清洗期間自來水水龍頭全開未間斷，藉此以維持食材新鮮衛生（如照片 8~9）。另可由智慧水管家應用軟體內之環南中繼市場西區及南區進水譜(如圖 7、8)得知因營運前緊急處置併入環南二期東區及北區水塔增加 120M^3 蓄水量，使總表非長時間連續進水，尚有餘裕時間未進水，使環南中繼市場供水無虞。

照片 8　環南中繼市場家禽清洗過程

照片 9　環南中繼市場獸肉清洗過程

北水處為提供質優量足之自來水，故在新環南市場總表及分表裝設智慧水表，以監測市場進水及攤商用水情形，確保供水轄區內正常供水，另市場內之水池、水塔用水設備應需維持正常運作，惟水池、水塔並未設置水位監測系統，故市場管理人員欲瞭解水池、水塔水位，或是否正常運作時，需親自至地下水池或屋頂水塔處現場瞭解。

反觀北水處為供水調配或維生供水需求，會在適當位置設置配水池，惟配水池大多位於郊區或山區（如安坑配水池及中和配

水池，如照片 10)，基於人力成本因素而無人駐守，僅由維管人員每日定時巡查設備，為避免水池進水異常、水位過低或水池溢流等現象，北水處將水池現況相關訊號傳回北水處監控中心以利值班人員即時掌控（如圖 9)，並針對異常狀態第一時間派員至現場進行狀況排除，以維持北水處供水轄區穩定供水，此外，北水處開發網頁版（如圖 10）及手機版（如圖 11）之水網監測平台，同仁隨時掌握供水轄區現況，並針對供水異常情形及早發現以為因應，降低供水影響程度。

照片 10　安坑配水池(左)中和配水池(右)

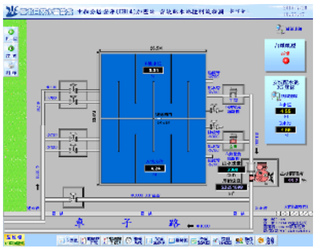


圖 9　監控中心配水池圖控畫面

環南中繼市場為臺北市柯市長或市府推動永續智慧城市政策下之產物，北水處配合市府政策於環南中繼市場安裝智慧水表，惟市場內線用水設備卻未見智慧管理相關設施，基於市政一體及貫徹市長智慧城市政策，北水處主動參與環南市場改建工程相關設計變更協調會議（如照片 11)，將北水處監控系統等相關管理經驗提供市場處參考，經北水處多次建議及協調溝通，最後市場處與設計單位同意變更設計在已完成環南中繼市場（環南一期）及環南二期工程之水池、水塔增設水位監測系統。

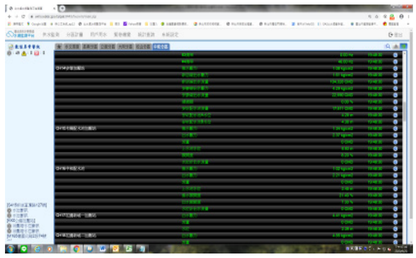


圖 10　北水處水網監測平台-網頁版

圖 11　北水處水網監測平台-手機版

照片 11　環南市場改建設計變更協調會議

(四)環南市場設置水壓傳輸設備

由於環南市場改建工程為市府重大建設，且為避免環南中繼市場營運期間市場周遭供水區域水壓不足導致無法滿足市場用水，故北水處主動協調廠商針對環南中繼市場新設總表處增設壓力回傳設備（如照片 12)，不僅可隨時監測環南中繼市場周遭水壓（如圖 12)，以維持市場周邊之供水穩定，且可提升北水處供水監控能量。

照片 12　新設總表處增設壓力回傳設備

圖 12　環南中繼市場表前水壓監視點

北水處藉助智慧水表結合「智慧水管家」應用軟體，以即時掌握市場用水情形及進行智慧化用水管理，另在市場總表處增設壓力回傳設備，以監控市場周邊水壓維持正常供水；在市場用水設備方面，於水池、水塔增設水位監測系統，使管理人員在監控室即可全面掌握用水資訊，使新環南市場用水設備營運符合市長智慧城市政策。

(五)精進市場用水設備

環南市場在審圖階段，設計單位為能讓攤商瞭解掌握個別用水資訊，各攤商之分表皆設置於各攤位後方之牆壁、牆壁突出矮牆或分隔矮牆上，且水表、電表及插座多放置於同一箱盤內，該設計方式雖未違反表位設置原則相關規定，惟市場處設計團隊未考量攤商使用需求及管理單位維護空間，隨著攤商設備陸續進場定位，部分攤商之水表箱受到攤商設備阻擋（如照片 13），甚至部分攤商設備固定於地面或冰櫃上方連接冷媒管（如照片 14）以致不易搬移。經瞭解係攤位使用空間有限，且市場處誤認為智慧水表免除人員現場抄表作業，即可直接阻擋設備而未限制攤商設備之擺設方式，導致部分攤位之表箱受到攤商設備阻擋，影響後續水費計量資料核對、訊號中斷現場維修、例行性維護管理、水表已達年限汰換等相關作業。

照片 13　表箱遭攤商設備阻擋現況

照片 14　攤商設備固定於地面或連接冷媒管

為瞭解環南中繼市場表位現況，故進行地毯式逐攤調查，經調查結果茲述如下：

1.環南中繼市場共有 1,055 個攤位，攤位依使用目的大致可分成 11 種類型，分別為蔬菜類、青果類、漁產類、家禽類、獸肉類、雜貨類、飲食類、調理加工食品類、販售準備區、冰櫃區及其他類，其中表位遭設備阻擋但可移動的共有 259 個，表位遭設備阻擋但不可移動的共有 193 個(如表 4)。

2.影響操作之表位以蔬菜類(223 個)、漁產類(63 個)、調理加工食品類(48 個)、獸肉類(50 個)所佔數量為大宗，因前揭類別之攤商所販售的商品需冷藏保鮮，故需冷藏櫃或冰凍櫃等保鮮設施，該設施體積大佔空間，攤商考量在有限空間下充分利用營業空間，擺設於牆邊，且設施上方放置食材、商品，冷藏櫃或冰凍櫃等保鮮設備之設置將因後續不易移動影響維護管理智慧水表（如照片 15~16）。

3.家禽類因所販賣係當天現處理之溫體家禽，故多不需冷藏凍設備，因此表位遭阻擋的攤位數較少。

4.雜貨類因設計成隔間型式，三面環壁，且

營業期間毋需用水，故三面牆多組成置物架且擺滿商品，後續亦不易智慧水表之維護管理（如照片 17）。

5.飲食類係以販售熟食為主，攤商多為小本生意，食材數量僅為供應當日使用，僅少部分攤商需冷藏食材，惟其冷藏設備所佔空間亦不大，且水電表箱附掛突出於牆面，不易擺設冷藏設備，故表位較不易受到阻擋（如照片 18）。

6.冰櫃區採集中式管理方式，且該區僅為冷藏使用，非作為營業場所，故表位遭阻擋的攤位數較少。

照片 15　表箱遭攤商設備阻擋現況

照片 16　表箱遭攤商設備阻擋現況

照片 17　雜貨類攤商擺滿商品現況

照片 18　飲食雜攤商現況

表 4　環南中繼市場各類型攤商之表位現況

類別	攤位總數	表位良好之攤位數	表位遭阻擋之攤位數		不易維護之表位比率（%）
			可移動	不可移動	
蔬菜類	360	137	116	107	62
青果類	5	1	4	0	80
漁產類	136	73	41	22	46
家禽類	73	57	13	3	22
獸肉類	160	106	39	15	34
雜貨類	20	0	0	20	100
飲食類	25	24	1	0	4
調理加工食品類	104	54	25	25	48
販售準備區	22	22	0	0	0
冰櫃區	149	129	20	0	13
其他類	1	0	0	1	100
小計	1,055	603	259	193	43

環南市場設計團隊僅考量為能讓攤商瞭解掌握個別用水資料，故將水表設計於各攤位後方牆壁或矮牆上，惟北水處既已採用智慧水表，攤商利用手機或電腦即可即時查詢用水情形，且更易於判讀。因此，故在後續設計階段應將攤商及管理單位之需求納入考量，北水處審圖人員審查階段因符合表位設置原則，故同意依市場處所提之位置規劃表位，但圖面上僅有表位、隔間及配管平面圖等資料，且市場處並未限制攤位使用方式，實無法預料市場興建完成後因攤商進駐衍生攤位佈置、大型冰櫃擺設及其他設備產生影響水表維護管理等問題。由於市場處設計團隊未充分考量攤商使用習慣及管理單位後續維護管理作業，造成不易操作之表位比率有 43%，不利管理單位後續維護操作。

由於環南二期水表表位設計模式與一期相同，仍會衍生前揭情事，故北水處積極參與市場處所召開之工程變更設計相關協調會議，市場處最後同意以分散集中式表位設置方式進行變更設計，以創造市場處（降低民怨）與北水處（利於維管）雙贏之局面。

四、結論與建議

因應全球環境變遷與科技發展，近年來世界各國正如火如荼地推動永續智慧綠城市，我國資訊與通信科技（ICT）產業已具有良好基礎，臺北市身為首善城市，目前亦正積極推動智慧城市，打造永續宜居城市，提升智慧綠色產業全球競爭能力。

市府為提升市民更好之生活環境及消費品質，針對市內之老舊市場逐步進行重建作業，市場內之硬體設備除要符合現代化之各種需求外，且必需為一個綠建築，亦為一個智慧建築。另考量市場在改建期間仍可維持市場正常營運，故興建中繼市場以為因應。北水處為配合市政推動智慧市場，於環南中繼市場總表、分表採用智慧水表以供用戶即時查詢，另透過內建加值服務主動偵測用水異常，使用水智慧化管理。惟市場處之設計團隊因初次辦理市場改建工程設計作業，在用水設備部分，未能與現代科技相結合及未參考過去市場用水設備使用情形或用水量，造成南門中繼市場試營運期間曾發生缺水困窘，或環南中繼市場之表位影響後續北水處維護管理，或環南中繼市場內線端用水設備未有妥善監控系統。

基於南門中繼市場曾發生缺水情事，且經北水處調查分析環南中繼市場可能會發生供水不足，除現勘尋覓供水支援點外，緊急協調商討已完成之環南二期水塔併入環南中繼市場使用。因此，環南中繼市場自 109 年 2 月 12 日開始試營運迄今供水正常，並未有供水異常情事發生。此外，另經「智慧水管家」應用軟體觀察環南中繼市場每日用水情形，發現日尖峰最大日用水量約 1,600M^3，為擴充新環南市場蓄水量，經北水處與市場處等相關單位溝通協調後，變更設計在環南二期工程新增約 230 噸容量之水塔，使新環南市場供水更為充足無虞。

由於環南中繼市場用水量大，且集中於凌晨時段用水。為維持市場用水無虞，北水處需維持穩定供水外，市場內用水設備亦需維持正常運作，故北水處除在該市場裝設智慧水表，另主動在新設總表處增設壓力回傳設備，以監測市場進水、用水情形及市場周遭水壓現況，實現市府智慧城市之理念。惟市場之水池、水塔並未設置水位監測系統，無法即時掌握水位變化，恐有悖離智慧城市政策，經北水處主動參與市場改建工程設計變更協調會議，並提出經驗分享及相關建議，市場處與設計單位最後同意變更設計在已完成環南中繼市場（環南一期）及環南二期工程之水池、水塔增設水位監測系統，使新環南市場納入智慧城市之一環。

綜上，透過智慧水表及「智慧水管家」軟體、新增壓力監測點及水池水塔水位監測系統，使管理單位及攤商即時掌握用水狀態，並可利用相關數據進行智慧分析管理，以達到市長永續智慧城市下之智慧市場。

作者簡介

李鴻利先生

現職：臺北自來水事業處西區營業分處二級工程師

專長：自來水工程設計、施工及自來水供水調配、水管橋維護管理。

ISSN 1025-7683

9 771025 768008