

自來水會刊第 38 卷第 2 期目錄



實務研究

- 精密電導率剖面儀於淨水場測試初探—以板新淨水場為例……………莊旭楨、陳文祥…… 1
- 建置漏水偵測輔助系統(WADA)—以台水為例……………吳界明、趙汝鵬、楊鈞煦…… 11

本期專題 營運管理

- 台水公司水安全計畫—以坪頂淨水場為例……………
……………何承嶧、游育晟、陳威豪、陳乃菁、劉彥均、王冠中、楊昭端…… 17
- 北水處導入水安全計畫—以管網環節為例……………葉泓暉…… 31
- 大陸引水前後—金門供配水營運之調整與發展……………黃仁國、許正芳…… 40
- 從智慧城市發展談水智慧社區運用管理—以健康公宅等為例……………鄭錦澤、林守義…… 53
- 進階用戶抄表管理系統導入之探討……………楊孟學、馬洲偉、李美燕、李丁來、藍炳樟…… 66

一般論述

- 2018國際水價現況解析……………周國鼎…… 77
- 自來水小區管網改善及評估之創新作法……………田友仲、李中彥…… 88

協會與你

- 歡迎投稿 108年「每期專題」…………… 93
- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…………… 30

自來水會刊雜誌稿約

- 一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水會刊，每年二、五、八、十一月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。
- 二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、業務報導、專家講座、他山之石、法規櫥窗、協會與您、會員動態、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地、自來水工作現場、自來水廠(所)的一天等文稿。
- 三、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得(包括技術與管理)，前述二類文稿請儘量附英文題目及不超過 150 字之中英文摘要，本刊將委請專家審查。「每期專題」由本刊針對特定主題，邀請專家學者負責籌集此方面論文予以並列，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「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、惠稿每篇以三千至壹萬字為宜，特約文稿及專門論著不在此限，**本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明**；無法刊出之稿件將儘速通知。
- 五、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版品：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。
- 七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 aael@mail.water.gov.tw，並請註明真實姓名、通訊地址(含電話及電子郵件地址)、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。
- 八、稿費標準為專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、專家講座、法規櫥窗、他山之石、特載等文稿 900 元/千字，「業務報導」為 500 元/千字，其餘為 400 元/千字，文稿中之「圖」、「表」如原稿為新製者 400 元/版面、如原稿為影印複製者，不予計費。
- 九、本刊係屬贈閱，如擬索閱，敬請來信告知收件人會員編號、姓名、地址、工作單位及職稱，或傳真(02)25042350 會務組。本刊將納入下期寄贈名單。
- 十、本會刊內容已刊載於本協會全球資訊網站 (www.ctwwa.org.tw) 歡迎各界會員參閱。
- 十一、本刊中之「專門論著」、「實務研究」、「一般論述」、「每期專題」及「專家講座」，業經行政院公共工程委員會 92 年 3 月 26 日工程企字第 09200118440 號函增列為技師執業執照換發辦法第五條第一項第四款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程科」。

自來水會刊雜誌

發行單位：中華民國自來水協會

發行人：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

葉陳萼

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：陳品如

電話：(04)22244191 轉 266

行政助理：古蓁苓

印刷：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

精密電導率剖面儀於淨水場測試初探

— 以板新淨水場為例

文/莊旭楨、陳文祥

摘要

精密電導率剖面儀為多工用途之設備，可提供清晰精密的污泥界面（污泥高度），在沉澱池水體電導度分層動態中，對混凝效果提供準確回饋，警示即時優化加藥，以分層異動可看出沉泥及浮渣或揚起（膠羽異常），可供及時調整混凝劑加藥率或其他應變操作，有助於混凝加藥之準確度，保障水質、精減用藥，並準確掌握沉澱池污泥沉積狀態，準確啟動除泥作業，提供高效率之廢水回收與污泥處理流程（協助降低污泥含水率，也減少回收廢水之耗電），減少排泥廢水量及反洗廢水量，助益於廢水回收及污泥濃縮之節能，亦可協助刮泥機優化操作，減少低密度污泥排出量。

一、前言

水中存在一基本電導率，依原水來源而定，例如鳶山堰及三峽河即有顯著差異，連續下雨也會稀釋而降低電導率；原水加入混凝劑形成的膠羽會輕微增加電導率，膠羽凝聚成大顆粒而沉降時，形成濃度漸增的污泥層，該層水體的電導率顯著增大；污泥層的膠羽顆粒於沉降初期會持續『壓密』而增加該層電導率，然而不同條件凝聚的膠羽顆粒、其在泥層中的壓密結果不同，由電導率剖面圖，可以了解膠羽沉降到污泥層的位置。

精密電導率剖面儀監測系統；以複數組多層式水體感測尺，裝設於淨水場各類水池之前中後段落，同步監測精密之電導率剖面資訊，可資掌握細密之原水及水處理池前後各段之水質變化及膠羽沉降動態，對淨水加藥混凝流程，可提供劑量是否準確、攪拌是否均勻或膠羽形成是否充分等作業達到最佳狀態之判識，以能準確微調；可減省藥劑與電能，有助於污泥減量。尤其於原水水質突發性變動時之應變操作，可即時反應自動調整，避免污染事故。

多層式水體感測尺單獨設置於沉澱池時，可提供精細之污泥毯高度，有助於適時之排泥作業，保障淨水處理之較高績效；感測尺設置過濾池時，可助於及時啟動反沖洗作業，保障後段流程之穩定。

二、工作原理

精密電導率剖面儀以一組感測單元同步感測 12~14 層水體之精密導電導值，並可串接 2~15 單元，讓每個監測站以 4cm 間距、總深度 1~7.8m 之水體，提供極精密之各類水土狀態資訊，包括水位、泥位、高濁、沉澱厚度、膠羽攪拌均勻度；此外，因內含溫度測值而能換算電導度、從其變異而能提供進流水質污染及處理異常之警訊；簡言之，因感測器以幾乎無需保養的結構，可長期深埋而提供水面下之流體與淤積動態或土壤中

之含水變化歷程，配接低功率無線傳訊器時，可遠端監測，即時掌握水土中重要的動態資訊。於兼具水質監測用途者，感測尺改採『多層電導率』輸出，可提供較高精度之 EC 測值，且如此之 EC 剖面監測，可在水處理過程提供準確之操作效能指標，有助於提高供水品質或降低水處理成本。

每 1~10 分鐘的多層同步測值，反應如下資訊：連續感測記錄水體中極多層電導率，可即時傳訊各種界面動態，在取水進流口可感測水砂界面之外，亦能顯著辨析高濃度之含砂水流以及水流電導特性異常（水源污染警訊），可有效管理進流取水之水質，而在自來水廠內處理流程則包括水與沉澱膠羽界面及水氣界面(水位)、水中導電度分布、水溫與電導率變化異常能作為處理管理指標，並針對污泥濃縮及調理流程能進行運轉管理與效能監控，實為多工實用之自來水製程管理新利器。

此感測器內部係屬直接數位式感測，測值精密穩定，且能消除個別電極之差異因子，對各組電極同步測讀其電導率值，呈現極高之分辨率與再現性，感測器測得之電導率值，測值再現性極好(<0.1%)，靈敏度極高(0.1 sec)，總合精度極為優越。由於水之電導率值小於沉澱膠羽之電導率值，若電極間之水體由沉澱膠羽所取代，其測值立即出現顯著變化，亦即相當簡明地分辨出沉澱膠羽層與緊密層界面，如圖 1 所示。

精密電導率剖面儀包括三項配件：電極組(多種型態、不鏽鋼製)、訊號處理電路(兩項合為感測單元)及訊號轉換傳訊器。一感測單元包含 12~15 組感水電極組，並與訊號處理電路封裝為一體，再連接至訊號轉換傳訊

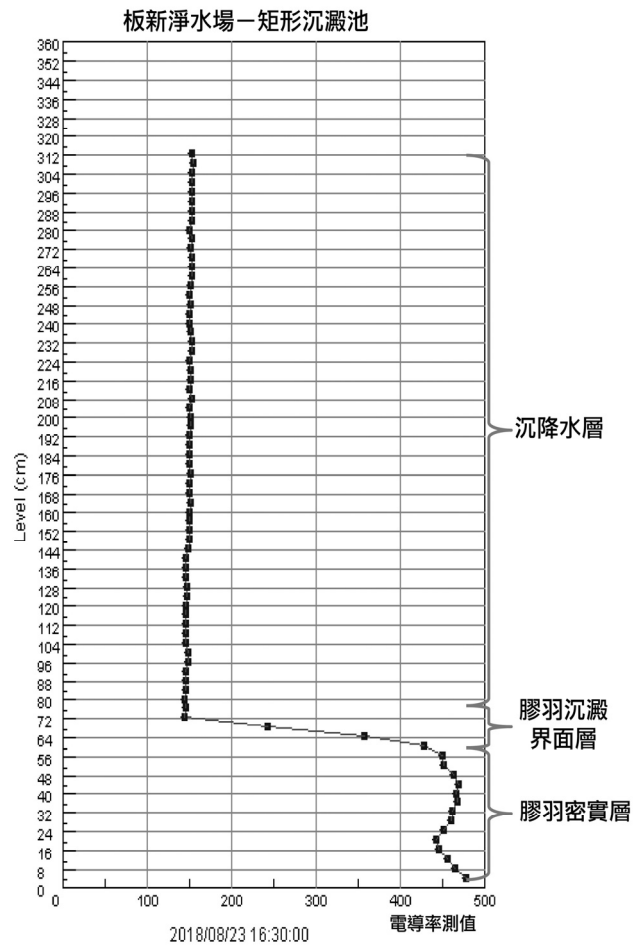


圖 1 精密電導率剖面儀作業示意圖

器，輸出各電極組之電導率數值或直接推算輸出水土界面位置。整串資訊可輸入記錄器或無線傳訊模組。

傳訊器主要特徵係同時測讀複數組電極之導電度，以數位方式做訊號處理，乃能獲取高精密度且穩定之測值；電導率值之數據(測值) 10~999 代表電導度(10 以下係空氣中測值)，數值越大，表示導電率越高，亦即水體中部分通道(flux,如『磁通』之概念)受到膠羽顆粒之置換或導通而增加導電量，因而以測值升高反應出兩電極間存在較大量膠羽顆粒。在完全溶解之水體中，兩電極間之導電度係電離子之傳導，而該離子之電傳導在本電路中係低電壓交流型態，因而不受水

體擾動之影響，亦不發生電極表面氧化物附著的現象。

水體中離子之改變，會反應到整組感測尺之所有電極，其數字測值會同步整體上升或下降，並不影響水下堆積層與界面之分辨，若電極間之水體由沉降膠羽所取代，其測值立即出現顯著增大，因此可立即判定該處即為界面位置。整組感測器係利用上下組電極其導電度之變異而辨識污泥毯界面，無需量出標準定義之導電度值，僅須找出可茲分辨之差異度即可。

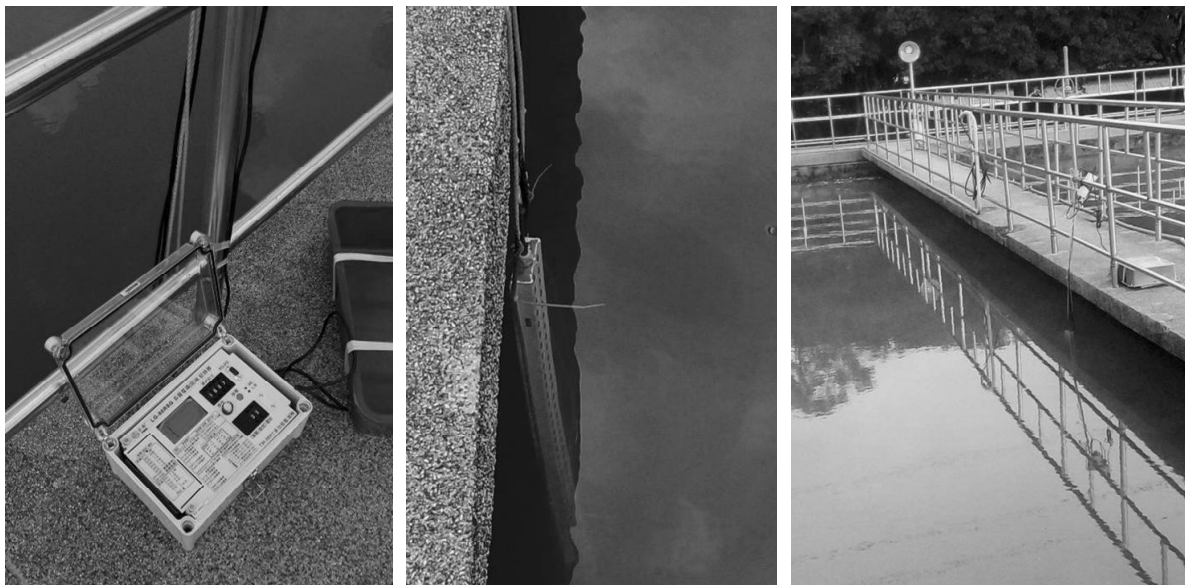
相關設備裝置非常簡單，有記錄機、感測尺等，可以透過有線或無線的傳輸方式將訊號連續傳送至監控室內，以供操作人員判讀或聯結自動控制作動。現場裝置如圖 2。在矩形沉澱池之前中後 3 段落各設一支多層

電導率剖面儀（感測尺），以即時之 3 組剖面圖及其污泥界面上多層測值之連續動態歷線，精密掌握膠羽之狀態，及時提供加藥率微調之準確資訊，其架設架構示意如圖 3。

三、結果與討論

(一)沉澱池水體電導率剖面看出污泥沉降狀況

多層電導率感測尺同步測得 78 組電極之電導率測值，每層間距 4cm，依電極組位置而作為浸水深度（0 為池底，往上每組測值依 Y 軸提高 4cm 的深度，水體電導率測值為 X 軸點位）。剖面儀每次 10 秒讀取多層感測尺之 78 組測值，整批輸出可由監測畫面，點繪出電導率剖面圖。可輕易讀出沉澱池前中後的污泥深度(圖 4)，或在不同時間同一點的污泥累積(圖 5)，隨時間增長而污泥增厚。



記錄機

感測尺

垂置沉澱池中

圖 2 精密電導率剖面儀現場裝置情形

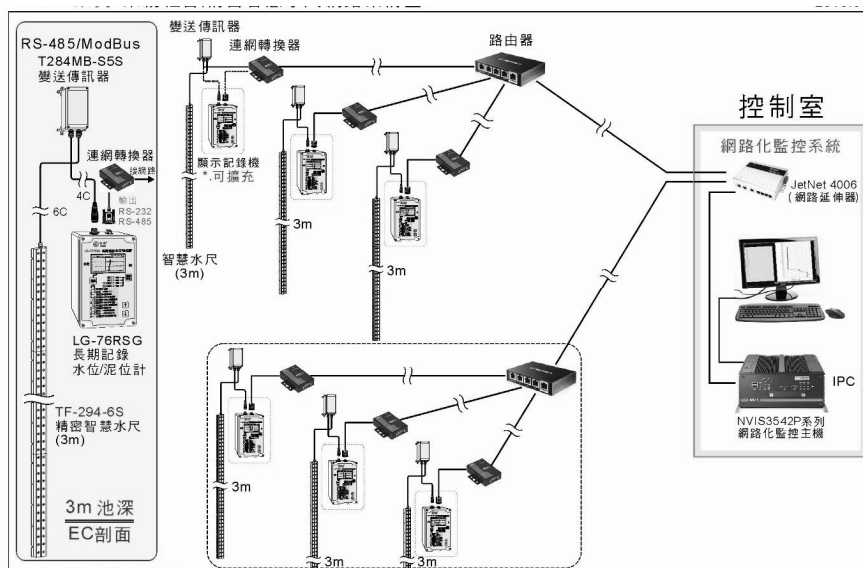


圖3 精密電導率剖面儀網路架構圖

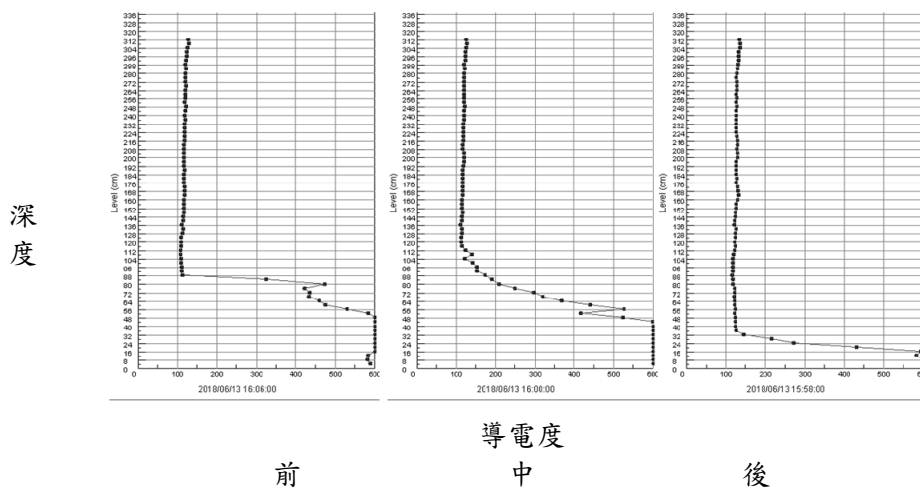


圖4 多層電導率感測曲線圖(沉澱池前中後位置)

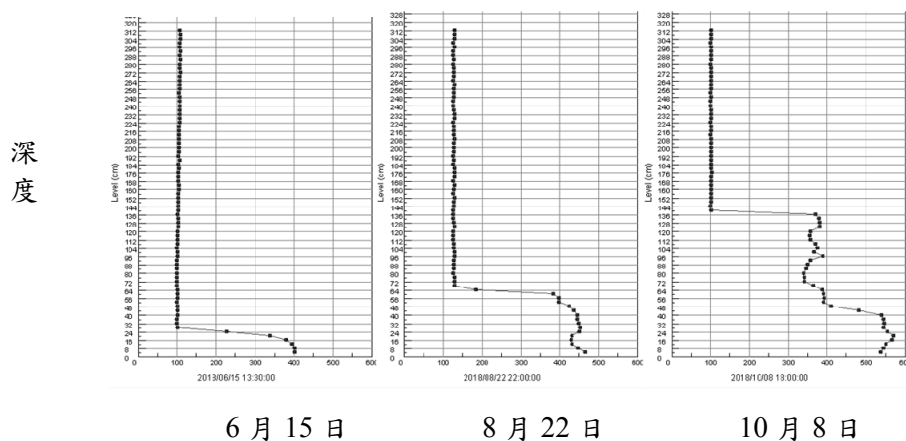


圖5 多層電導率感測曲線圖(沉澱池內同一點隨時間而污泥增厚)



(二)電導率分層漸變與污泥沉降/揚起

精密電導率剖面儀裝設於一期沉澱池的隨機位置（沉澱池前端、入口約 5~10 公尺處，設計沉降終點），同時監控膠羽沉降狀況及是否存在膨化顆粒（浮渣）；目標在提供精密資訊以確保加藥量準確度並避免過濾池提早劣化。

感測尺移置到第 2 渠左側後，每經數日後以 NB 讀取記存之數據，由挑出代表層測值之歷線（或動態數據組，暫選：表層 310cm 水深、202cm、102cm 及污泥界面下方泥及上方水各 2 層，圖 6），可清楚掌握沉澱池各層水之電導率動態，由各層測值的差異及變動，發現了諸項資訊：水源水質（三峽河或鳶山堰水源的切換會在電導率反應出來，降雨之影響也看得出）、是否仍有膠羽繼續沉降？（多數膠羽應在監測點之前陸續沉降）是否沉澱池水包含不沉降之顆粒？（上中下

層之測值持續有顯著梯度『分層』何以沉澱表層突現『揚起』樣態？（沉澱池流速極低、何故致已落底之膠羽被稀化？）

多層歷線圖：縱座標刻度為電導率（相當於電導度 EC 分辨力 1us），測值縱座標刻度反轉，水體中低（電導率）測值在上（反應三峽河水源），大測值在下方（鳶山堰水源），可以直接看到沉澱面上下各層電導率測值的變化（反應膠羽濃度或沉澱密度），點位在下方表示沉降到泥層。測尺處當時累積沉澱厚度 52cm；選定其上下各 2 組水體測值為縱座標，每 5 分鐘一筆點繪多層歷線圖。

圖 6 中 d56cm 原本測值 390 已接近穩定沉澱狀態，卻在 02:15 開始急速變小（曲線往上跳升），至 03:15 測值已低於 190，接近表層水體狀態，還變動到其下兩層 8cm 厚；惟 06:00 後再快速增大至沉澱特徵。

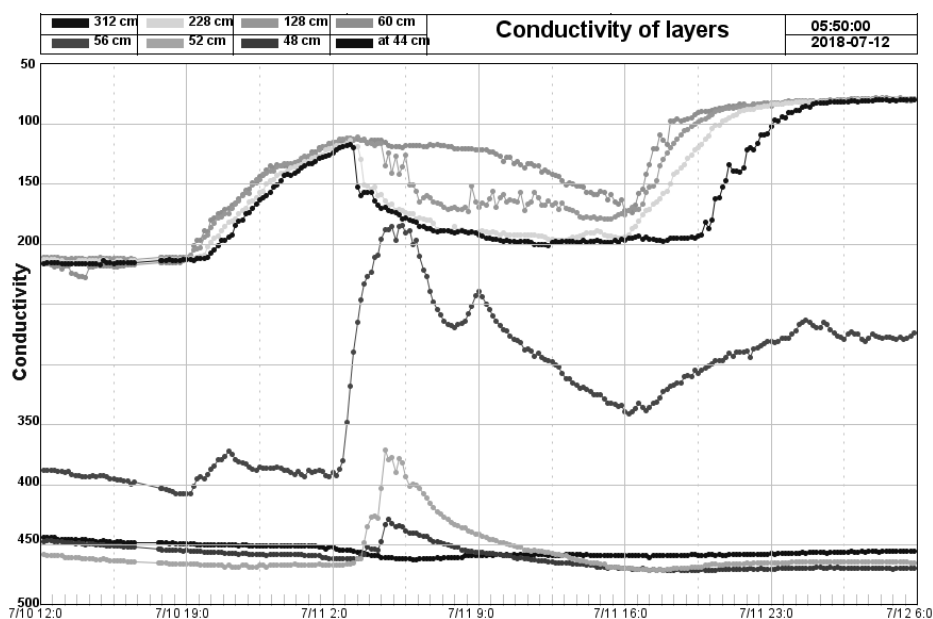


圖 6 代表層測值歷線圖 2018-07/10 17:00~07/12 06:00（瑪莉亞颱風期間）
縱座標上方值小、下方值大，用以反應上方清水測值、下方沉澱濃度。

，同時出現『分層』現象：d228/d312cm 上表層測值變大的同時，d60/d128cm 中間層卻持續維持極大的差距；經與控制室操作記錄比對，覺得似與當時三峽河 22:30 跳電後、其應變操作步調或有出入有關？似因水源切換途中跳電及濁度升高，PACl 加藥量沒跟好，導致既有『分層』、又有『揚起』，以上經與操作流程核對後，可提供精準即時之加藥操作的微調指南。

(三)『電導率剖面』代表層歷線之判釋與操作流程

圖 7 反應瑪利亞颱風期間，板新淨水場一期系統，第二渠沉澱池混凝後水體的動態：因應颱風豪雨之影響，大約有如下操作：

7/10 晚上開始瑪利亞颱風影響北臺灣，約 19:00 開始切換水源，三峽河抽水站卻於 22:30 跳電，於半夜 7/11_01:30 起，先從表層水體測值漸漸升高，卻在 02:15 開始出現沉泥『揚起』現象：最上層還沒密實的膠羽『被刮走』（膠羽濃度降低、電導率測值變小），到 03:15 進一步擾動到了其下兩層 8cm；此期間，整個水體持續『分層』運行：上層很快從 120=>=>170，但下層緩慢混合，直到 15:00 才達到 170，且此時上層已到 200 了，這種上下持續分層的現象，似乎有操作流程上的特殊處？

颱風過後，7/11 17:00 開始下層測值快速降低（切換三峽河淨水源），但上層有顯著滯後，略有浮渣現象；惟，整個剖面快速逐層往上降低，基本上沒有中間後層阻隔跡象，到 23:30 才達到整個水體都在低導電度的狀態。

另發現颱風當晚六七點開始調度取入三峽河水源，逐漸到 07/11 01:00 全面是三峽河水源（110~116）；到 03:00 突然表層測值跳高（155），而後維持 60 分鐘，並向下混到深度 100cm，並與原下層測值 116 上下的水層間出現一道厚約 30cm 的大梯度漸變層（水深 170~200cm 部位）；此期間，流動水體下之初級沉泥層，大幅度地稀鬆化（可稱『揚起』或刮走），前後至少 8 個小時。

04:00，表層測值開始持續顯著升高，同樣緩慢向下混到深度 150cm 為界，並與原下層水層間出現一道厚約 30cm 的大梯度漸變層（水深 120~150cm 部位），維持著上層與下層測值相當的差異約 8 個小時後，漸變層上與下之差異才較為縮減，下層測值開始混合了。以上這段期間，上層水體測值是漸漸向下混合，並無最上層特高的現象。

16:25，下層測值漸升高到 170 後，整個上下層是已達均勻的小梯度（最上層高值 197），似乎有低測值的水全面進來，並從下層開始漸漸擴散到上方，到 23:55 才全部水體都是均勻的低測值淨水（83）。

(四)歷線圖與瞬間剖面圖之相關（以瑪莉亞颱風歷程為例）

圖 8 表示歷線圖與瞬間剖面圖之相關，全部長度 312cm、78 層測點，整批測讀約需時 6 秒，可連續測讀或 10 秒鐘~10 分鐘一次；本次試驗採 5 分鐘記錄一筆。測尺經變送器輸出 6 段、每段 16 筆數據（測值 000~999），現場記錄器可將數值轉成圖點，在內建液晶顯示器繪出基本點位圖，可直接看到整個水體電導率均一的一直線，也可看

到污泥界面上下測值之一極大的轉折曲線。

全部6段78點分層測值在監控室內較大螢幕上即可看到整個沉澱池水體之電導率剖面，由此電導率剖面（或分層測值）可直觀看到原水加藥經混凝後之淨水流程的狀

態，包括膠羽是否均勻？是否沉降？污泥累積厚度？甚至包括原水基本水質（EC）的差異等；另由代表性水層測值的變動，也有機會判識出水量調度與加藥率調整之異常，從而提供優化操作的參考或依據。

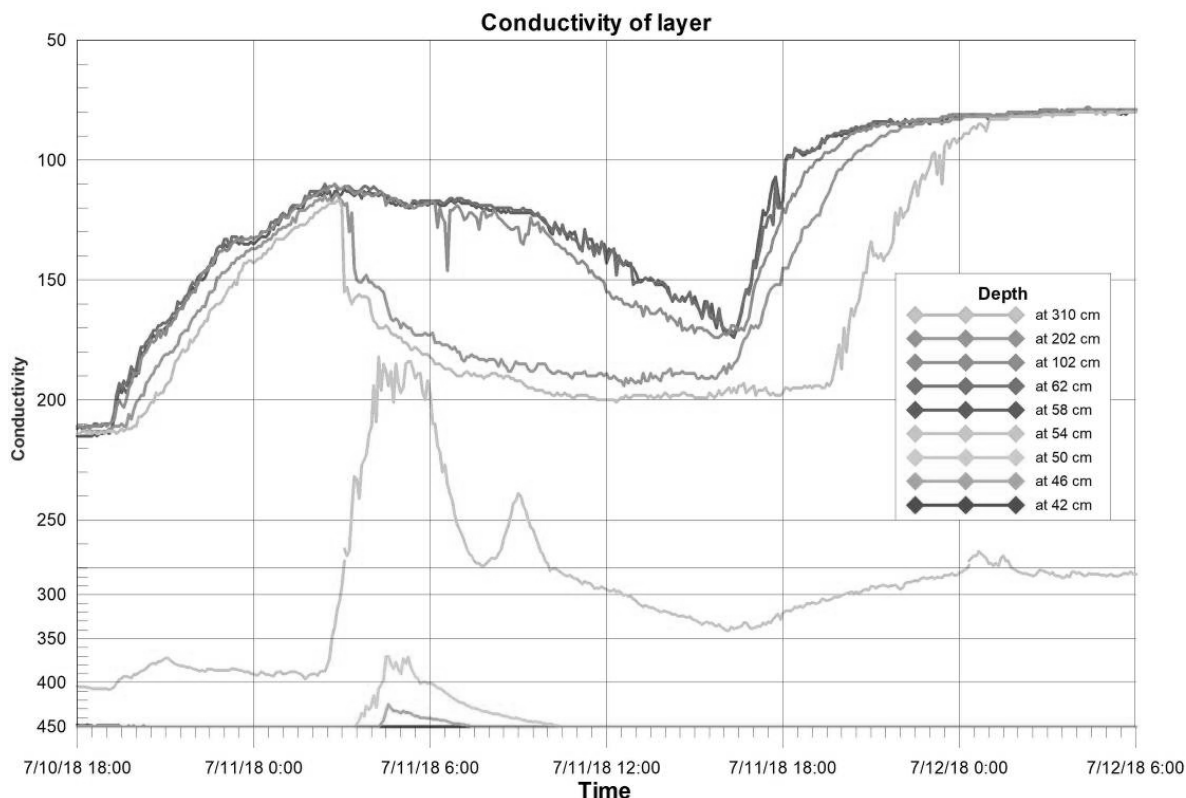


圖 7 代表層測值歷線圖 2018-07/10 18:00~07/12 06:00

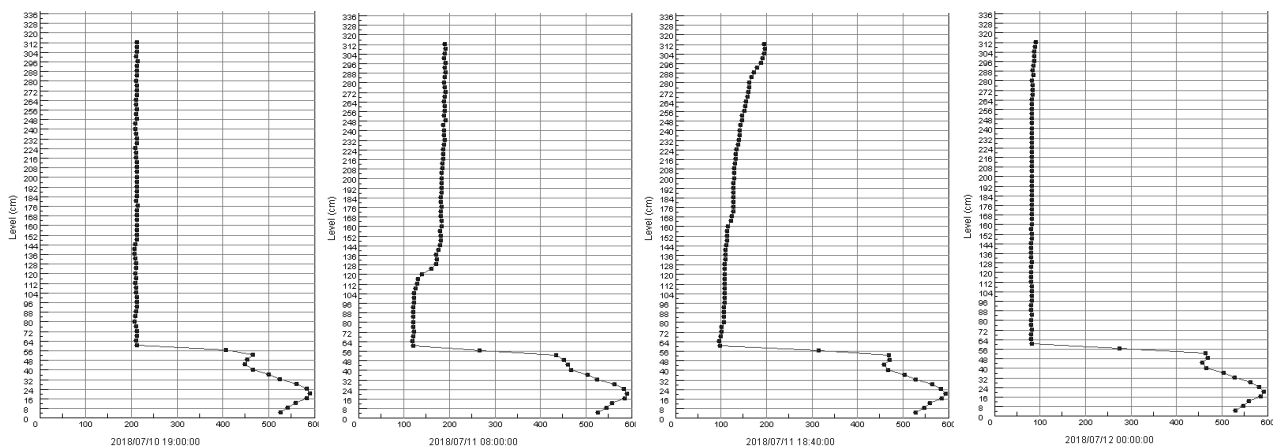


圖 8 歷線圖與瞬間剖面圖之相關

(五) 污泥揚起在剖面圖的觀察

污泥界面層應有膠羽漸次沉落而測值增大，但有特殊情況而致測值變小！

或係新膠羽電荷異常、破壞了已沉降膠羽穩定性，是否與混凝劑添加率沒有匹配有關？

圖 9 中，【54cm】層測點，原值 380 在 12:10 開始變小（點往上），至 14:20 測值已小於 300（仍可歸『污泥層』狀態），再到 16:10 測值低於 200，已不再有『污泥層』形態（甚至其下【50cm】一層的測值也顯著降低）；換句話說，污泥層已消失了一整層，至少是 4cm 厚的污泥層變稀了！此現象，在 19:00 之候，開始逐漸慢慢復原。

膠羽若沒沉降，停留在中上水層時，水體中電導率會出現持續『分層』現象；而若沉降到污泥表層的膠羽顆粒、其電性異常者，可能會破壞已沉降膠羽之穩定性，從而呈現『揚起』現象，亦即污泥層以『膨鬆化』

替代了『壓密』；此由界面層測值變小而得到警示。歷線圖 10，既可看到『分層』，又出現了『揚起』，而兩次揚起時之上層剖面又有顯著差異。

又污泥揚起與 PAC 添加與濁度之相關，圖 11 中，【54cm】層測點，原值 380 在 12:10 開始變小（點往上），至 14:20 測值已小於 300（仍可歸『污泥層』狀態），再到 16:10 測值低於 200，已不再有『污泥層』形態（甚至其下【50cm】一層的測值也顯著降低）；換句話說，污泥層已消失了一整層，至少是 4cm 厚的污泥層變稀了！對照圖 11 下方 PAC 添加率隨著濁度跳高而加大，可能臨時調升的 PAC 添加率與濁度跳高的時程不夠匹配；且在濁度顯著回降時，PAC 添加率的調降的比例較小、甚至還提早回升；此後，原本已屬沉泥層的測值逐漸增大，重新呈現膠羽漸漸沉落之『平衡』現象。

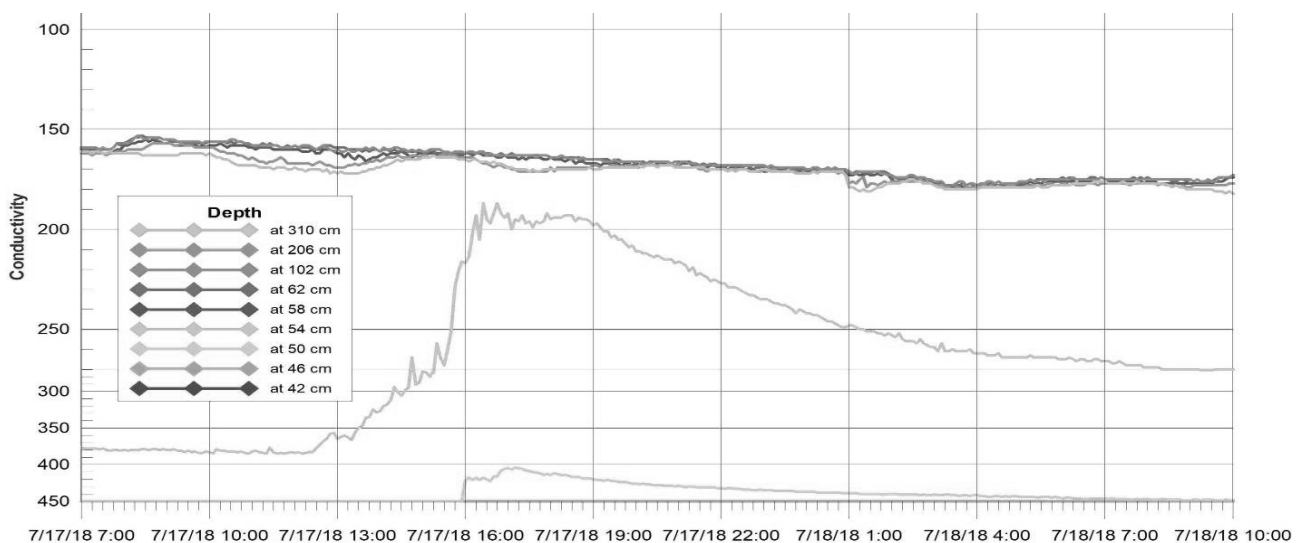


圖 9 【54cm】層測點隨時間電導度降低顯示污泥揚起

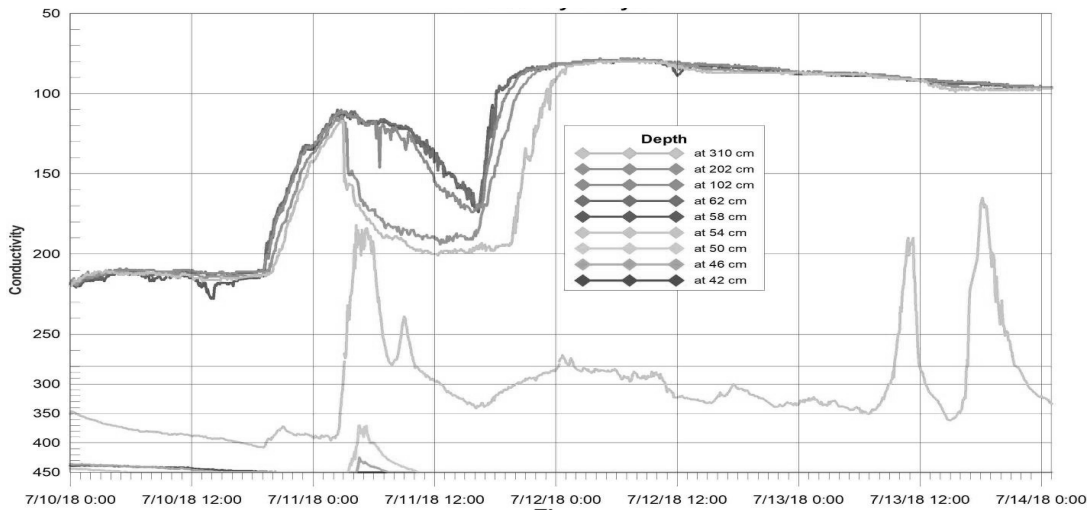


圖 10 污泥於分層揚起及沉降歷程與電導度的關係

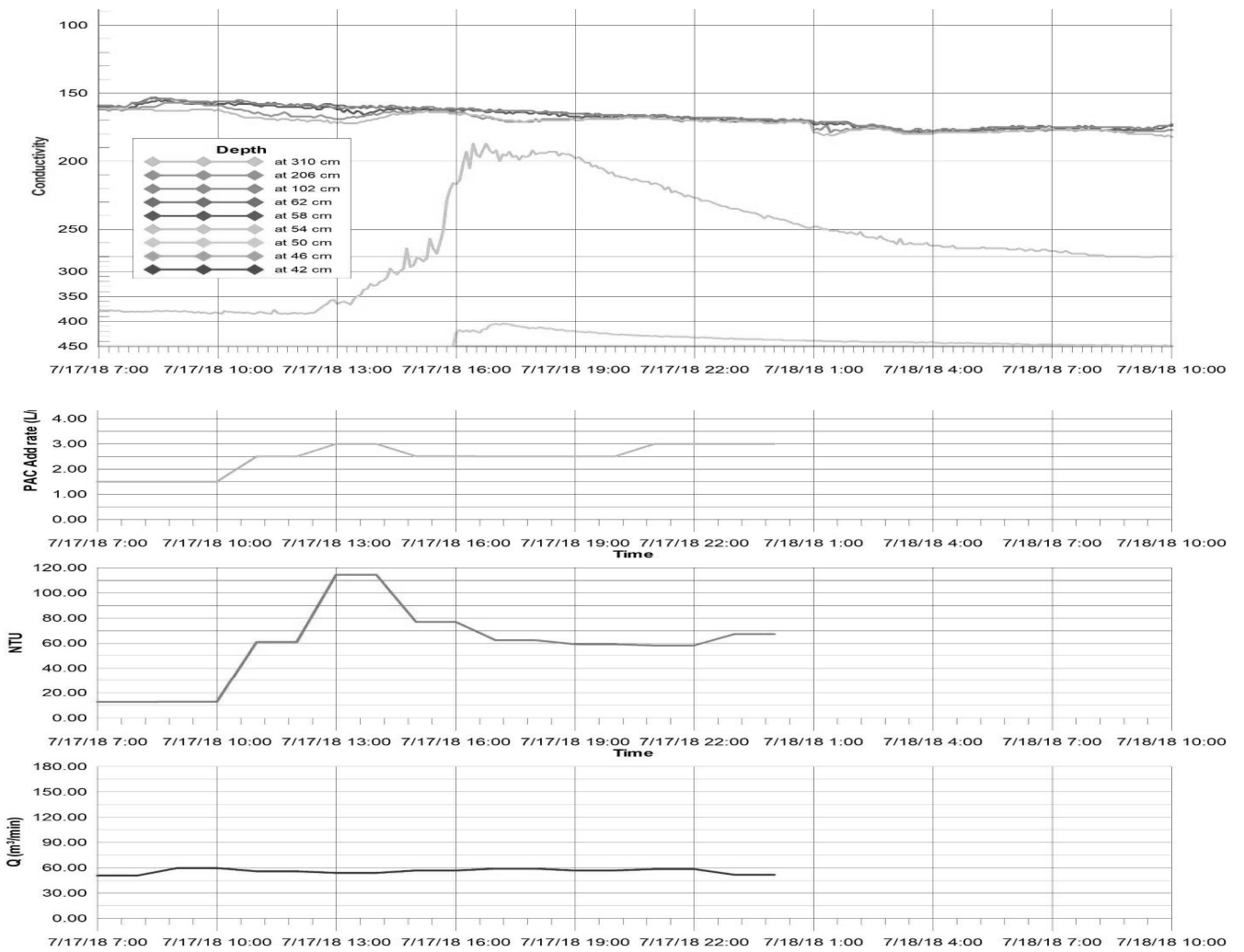


圖 11 電導度分層與加藥量、清水濁度以及進水量之相關圖

四、結論

(一)由污泥界面之上下層及代表性水深測層、組合【多層歷線圖】與即時【剖面圖】，能簡明看出沉澱池水中膠羽的狀態，可供淨水操作精進之監控參數，例如，混凝劑添加率微調、流量控制、水質異常警報等。

(二)因應原水情況的加藥率準確時，理論上混凝池水從散水渠進入沉澱池後，池中水流會是平穩的層流，水流行進中，已形成足夠大團粒的膠羽會陸續下沉，而後整個水體不同深度的電導率會大致相同，此可由電導率剖面圖及代表層歷線圖接可看出：

- 1.剖面圖：污泥界面以上是一垂直線（水值），界面層以下的泥層測值是皆遠大於『水』，僅界面層本層的測值會在一水平線上慢慢往右移（數據由測值由『水』變大為『泥』）；
- 2.換水作業：若進水切換不同來源，原水的電導度有所差異，將讓整池水的測值跟著轉移，該『水值』剖面線會傾斜移轉，在一定時間內（3~6 小時）平移到另外一個位置；此外，界面層變動有限。
- 3.分層歷線圖：界面上方『水值』的 3 層測值會聚合成一條水平線（3 個不同深度水層之測值相等），污泥界面層以下測層也會是平穩的水平線（應不會併為一條線，不同時間沉降的污泥層、其測值會有差異）；界面層上之兩層測值會是稍微往下走（測值增大）的小波紋線（逐漸『壓密』）。

(三)『揚起』vs.『分層』：膠羽若沒沉降，停留在中上水層時，水體中電導率會出現持續『分層』現象；而若沉降到污泥表層的膠羽顆粒、其電性異常者，可能會破壞已沉降膠羽之穩定性，從而呈現『揚起』現象，亦即污泥層以『膨鬆化』替代了『壓密』；此由界面層測值變小而可據以得到警示。

(四)以動態分層歷線圖呈現時，看到了原本歸為沉澱界面層之測值，突然反向變小，並持續變小，相對的其他上下各層之測值則維持穩定；此多層歷線圖之動線即有『揚起』的形象：依膠羽沉降原理，應係新膠羽破壞了已沉降膠羽穩定性。此時應係回饋去檢查：是否原水濁度、水量、混凝劑添加率存在微調之必要性？

(五)以記錄機之剖面圖可直觀看出打開排泥閥時，周邊沉澱迅速降低並顯現清水狀態的過程；即時關閉排泥閥後，可見到感測尺處出現污泥顆粒之陸續堆高，其與排泥速率與周邊污泥高度有關；對此，改變排泥閥開度（例 30%=>20%）及操作間隔，似乎有跡象可改善重力排泥的效果，至少是能有效避免多排清水，對延緩洗池也有幫助。

作者簡介

莊旭楨先生

現職：台禹監測科技股份有限公司 總經理

專長：感測器研發、水資源監測系統研製推廣

陳文祥先生

現職：台灣自來水股份有限公司供水處 組長

專長：自來水處理技術、水質管理

建置漏水偵測輔助系統(WADA)—以台水為例

文/吳界明、趙汝鵬、楊鈞煦

一、緣起

水是人類不可或缺的重要資源。台灣由於自來水供水系統已建置多年，如同世界各國，面臨管線老舊的困境。由於老舊管線造成的漏水是一個不容輕忽，也是不得不加以重視的問題，自來水管線一年要漏掉 2.5 座石門水庫有效庫容量，而平常看得見的漏水只佔總漏水量的 10%，其餘 90%是在地面下無法目視的，如果可以降低 5%(約每日 44 萬噸)的漏水量，每日可供 150 萬人使用。因此，本文主要目的就是希望透過科學方法能於第一時間找出地面下看不到的漏水區域並主動通知相關人員至現場檢修漏，搶救水寶寶。

囿於工程廠商的施工能量及路權申控的限制，目前年汰換率平均僅 1.2%，較國際自來水協會 IWA (International Water Association) 建議的管線年汰換率 1.5% 為低。在有限的管線汰換率狀況下，降低漏水率是一個非常重要的課題。以色列這個國家全國漏水率僅 5%，有 7 成的水表除了是超音波測量，還搭配獨立的 3G 網路發送器，並用資料庫監控、甚至預測漏水狀況。反觀在台灣，台水公司每兩個月才抄一次表，要兩個月後由售水率方能得知小區是否有漏水之情況，這些都是值得改善的地方。

傳統上，供水管網搜尋漏水位置是一件勞力密集的工作，即使輔以最新的技術或設

備，例如漏水檢測儀器、噪音記錄器等，這項工作仍然不易藉由昂貴的儀器和專業的技術人員得以有效執行。目前監控水量壓力的方法除了電腦依簡單的算式判斷警示外，其餘大多以人工憑經驗判斷，由於每個人所知有限，不一定能及時發現漏水，而致錯失處理良機，有時候造成了更多的水量損失。

過去台水公司的管線汰換並沒有充份利用科學的方法分析來作汰換管線的依據，因此台水公司成立大數據小組，大力支持由團隊自行開發建置 WADA (Water Advanced Data Analysis)系統並使用機器學習演算法來預測漏水情形，如圖 1 所示。WADA 利用機器學習的方法來分析監控系統 (SCADA)的數據，進而產生事件來主動通知相關人員，判斷哪些小區有漏水的疑慮，及早發現漏水點，不僅可減少水資源的浪費，對於減輕水資源開發的壓力亦相當有助益。

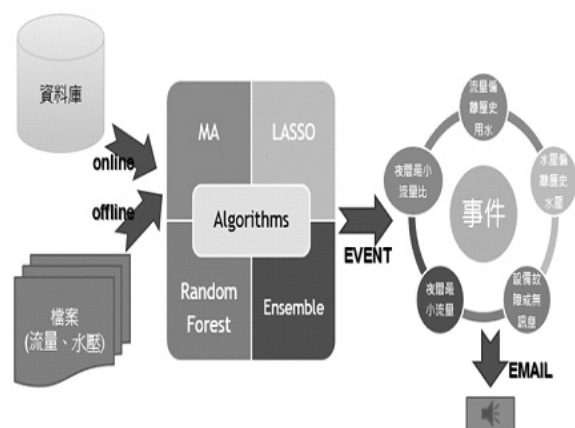


圖 1 WADA 預測模式架構簡介

二、WADA 系統架構

WADA 系統架構如圖 2 所示，主要是經由台水公司的線上 SCADA 系統(產水監控系統及供水監測平台)收集封閉小區即時的流量(約每 3 分鐘 1 筆)及水壓數據(約每 5 分鐘 1 筆)並儲存於 WADA 系統專用的資料庫，作為大數據歷史資料及即時分析之用。WADA 系統會定期自動以背景方式執行，並將即時之流量及水壓數據經由本公司自行開發的演算法所訓練的模組來進行分析。

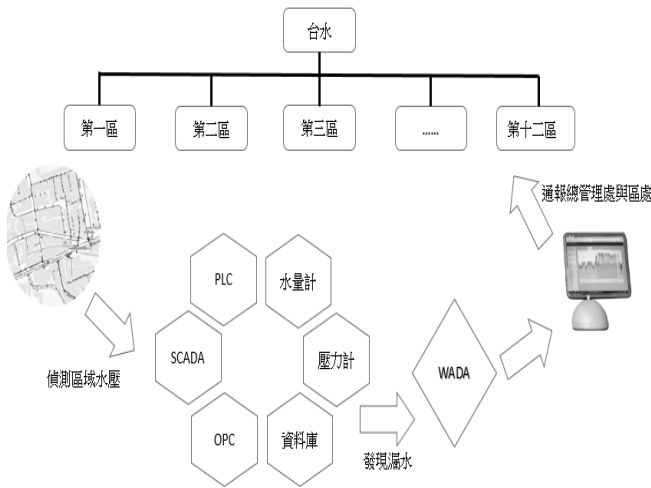


圖 2 WADA 系統架構組成

系統目前可以產生 4 種異常事件，包括流量異常、水壓異常、設備損壞異常及夜間最小流量異常，依據事件所屬的區處廠所分別以郵件通知相關管理人員，同時將事件寫入異常事件管理系統資料庫，廠所同仁收到事件後將依據其事件處理的 SOP(如圖 3)來進行初判是否為該小區內水池進水、抽水機運轉或其他已知原因所引起，若否，則派員至該小區檢漏，並將檢修漏情形填報於異常事件管理系統，如圖 4、5。

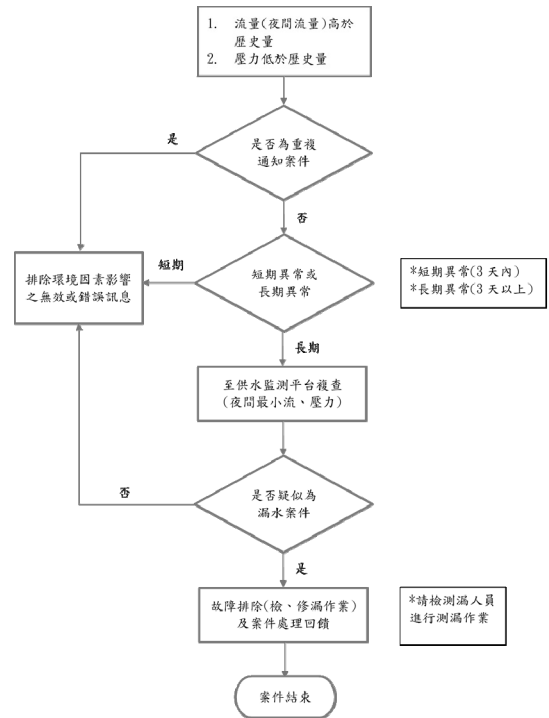


圖 3 WADA 案件接收處理流程[流量或夜間流量高於歷史量、壓力低於歷史量]



圖 4 WADA 系統分析首頁

全覽	異常	建立日期	異常名稱	區處	小區	開始日期	結束日期	處理情況
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2019-04-30	壓力低於歷史量(色曲線為異常)	四區廠	六股小區丁台路559巷旁	2019-04-26	2019-04-29	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2019-04-30	壓力低於歷史量(色曲線為異常)	四區廠	六股小區中夜東路一段460巷12號前	2019-04-23	2019-04-27	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2019-04-30	壓力低於歷史量(色曲線為異常)	四區廠	六股小區新豐路300巷115號	2019-04-23	2019-04-29	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2019-04-30	壓力低於歷史量(色曲線為異常)	四區廠	六股小區口標南路59-1號	2019-04-23	2019-04-29	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2019-04-30	壓力低於歷史量(色曲線為異常)	四區廠	六股小區丁台路313號	2019-04-20	2019-04-24	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2019-04-30	壓力低於歷史量(色曲線為異常)	四區廠	六股小區六股路248巷	2019-04-23	2019-04-29	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2019-04-30	流量異常高於歷史(藍色曲線為異常)	四區廠	六股小區流量計	2019-04-24	2019-04-29	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2019-04-30	壓力低於歷史量(色曲線為異常)	五區竹	東義小區竹崎鄉海豐146-2號附近	2019-04-25	2019-04-29	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2019-04-30	壓力低於歷史量(色曲線為異常)	五區竹	鹿港小區竹崎鄉寮寮村路口10-7號	2019-04-24	2019-04-29	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2019-04-30	壓力低於歷史量(色曲線為異常)	五區竹	鹿港小區竹崎鄉溪洲49-5號附近	2019-04-24	2019-04-29	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2019-04-30	壓力低於歷史量(色曲線為異常)	七區廠	智頭小區內山莊新豐路	2019-04-24	2019-04-29	

圖 5 異常事件管理系統



本系統除設定排程自動執行外，亦可手動選擇欲分析之小區執行分析。如圖 6



圖 6 WADA 系統手動執行分析畫面

三、推廣試辦時程及成效

台水公司自 106 年 6 月起成立大數據小組，定期召開會議檢討辦理情形及請已納入 WADA 系統之區處報告成效，研討改善系統功能。

大數據小組於 107 年 3 月以搶救水寶寶/使用大數據(Big Data)及機器學習(Machine Learning)建構漏水偵測輔助系統為主題，參加 107 年總統盃社會創新黑客松競賽，在結合其他外部成員加強系統功能後，於 6 月 2 日決賽中獲得卓越團隊前五名之佳績(如圖 7 及圖 8)，並獲得行政院推薦前往紐西蘭參加創新育成加速器活動，成效卓著。



圖 7 團隊合影



圖 8 團隊合影

系統開發期間發生花蓮 0206 大地震，小組成員立即收集花蓮地區監控系統相關流量及壓力點位於地震前後數據資料，交由 WADA 進行分析，並驗證是否有效，做為震後流量及水壓是否已回復至正常範圍的判斷參考依據。

WADA 使用機器學習演算法利用分區計量管網的流量及水壓等大數據資料來進行分析，其上線之初已協助七區澎湖所進行修漏驗證，驗證成功率達百分百，確認程式在資料擷取、分析處理、偵測異常事件等基本功能均正常運作後，在台中四區霧峰小區建置了 15 個即時分析漏水事件的小區，可以透過電子郵件主動通知相關業務同仁進行偵測分析。

107 年 5 月起已陸續將五區處竹崎所 11 個小區、七區處澎湖所 42 個小區、一區處基隆、瑞芳、萬金所 34 個小區、九區處花蓮所 6 個小區、十一區處員林所 18 個小區，108 年 2 月起又納入四區處東勢所 9 個小區及六區處歸仁、佳里、白河所等 10 個小區 WADA 系統分析，各區處回報 WADA 系統有效事件數量及漏水量統計如表 1。

表 1 數據統計至 108.01.30

區處別	納入 WADA 之 DMA 數量	事件數量	事件量級 (CMD)
1 區	34	13	3,677
4 區	15	18	1,222
5 區	11	13	1,373
7 區	42	11	479
9 區	6	3	466
11 區	18	1	56
合計	126	59	7,263

四、實際案例具體效益

WADA 系統目前已導入至本公司第 1、4、5、6、7、9、11 區管理處部分 DMA 小區。本文引用一區基隆所、五區竹崎所及七區澎湖所的偵漏事件作為案例說明。

(一) 壓力異常事件

WADA 系統於 107 年 8 月 12 日至 8 月 27 日區間五區竹崎所溪心寮小區偵測到有壓力異常的狀況發生，系統發出通知，在五區同仁派員進行檢漏及修漏後，壓力值也逐漸回復正常。圖 9 小箭頭所指的曲線為 WADA 演算法所推估的值，而虛線箭頭所指的曲線則為 WADA 根據演算法參數所偵測出來的值。異常情形如圖 9 黑色虛線圓圈範圍，也就是疑似漏水曲線。從圖 9 黑色圓圈中我們看到在進行修漏後，用水的實際壓力值已經回復到正常位置。

(二) 設備異常或傳訊異常事件

若有設備異常導致沒有資料的狀況發生時，WADA 系統亦會通知區處人員，區處人員收到警示便能前去監控設備所在地排

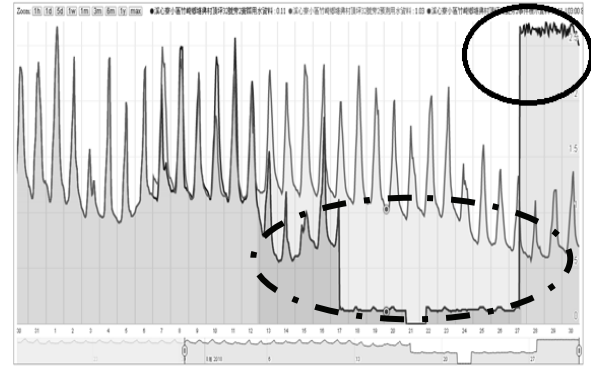


圖 9 溪心寮小區壓力異常事件圖

除設備無法傳訊的狀況。如圖 10 與圖 11 中，五區竹崎所沙坑小區異常事件經由人員現場勘察後，發現傳訊設備箱內有蟻窩導致傳訊設備故障，處理異物之後，傳訊功能便恢復正常。另外在一區基隆所逢甲小區，如圖 12 黑色圓圈部分，設備於 2 月 25 日到 3 月 16 日區間的訊號回傳值均為 0，經現場人員排除故障原因後，設備訊號已經恢復正常。

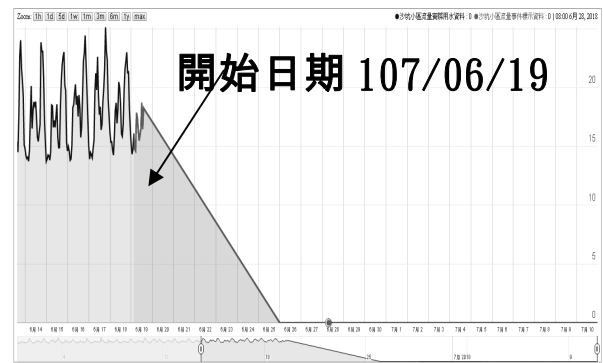


圖 10 沙坑小區設備無訊息或故障異常圖

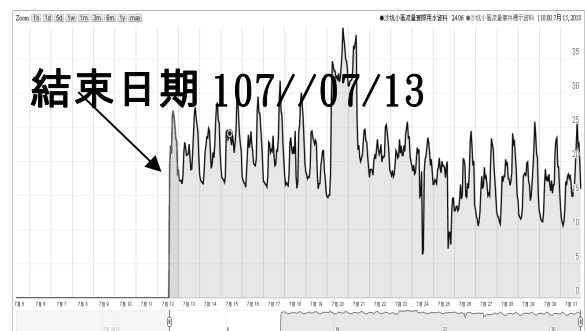


圖 11 沙坑小區設備無訊息或故障異常圖

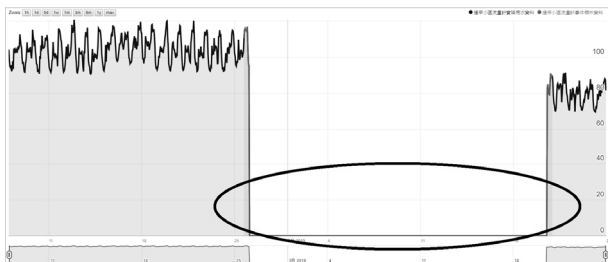


圖 12 逢甲小區設備無訊息或故障異常圖

(三)流量及夜間最小流量異常事件

在七區澎湖所成功小區中有發出夜間流量異常的漏水通知，由圖 13 及圖 14 中可知，不論使用 LASSO 或 MA 演算法，均可知其用水有往上增加的趨勢，6 月初起至 10 月初有實際用水(實心箭頭)往上線性增加之趨勢，且超過預測線(虛線箭頭)，圖中虛線圓圈部分為疑似漏水曲線且超過預測線 20% 以上，惟在 10 月 9 日後又恢復正常用水模式，在圖 15 中我們從夜間最小流量趨勢圖中也可以找到相同的漏水模式。

WADA 也有對基隆所光華路小區發出夜間流量異常的通知，在圖 16 之中，很明顯地可以看到黑色圓圈部分，有夜間流量變多的趨勢，經過人員修漏之後，可以明顯地看到曲線已經恢復正常，因此這是一個有效的偵漏與修漏行為。

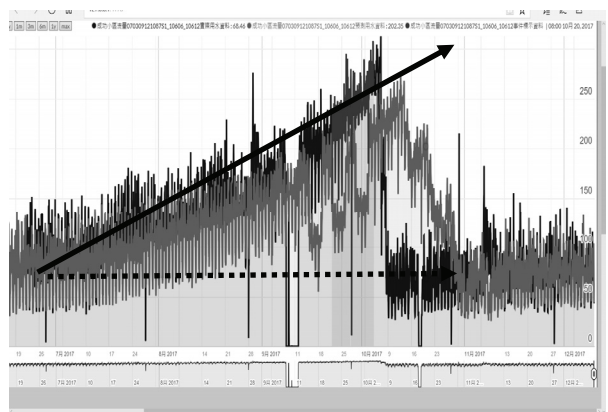


圖 13 成功小區漏水預測趨勢圖(LASSO)

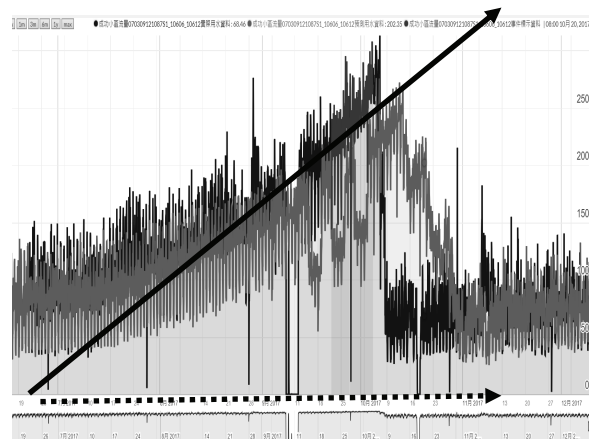


圖 14 成功小區漏水預測趨勢圖(預設 MA 演算法)

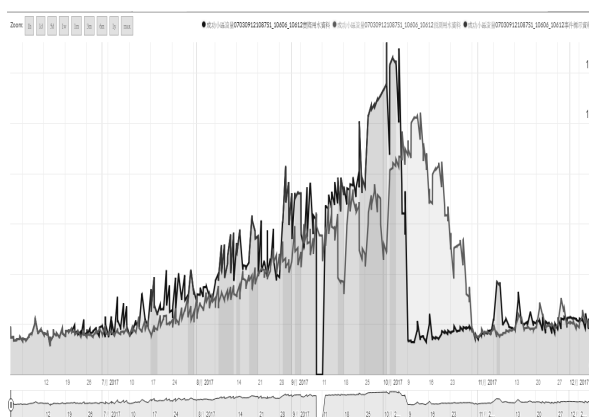


圖 15 成功小區夜間最小流量漏水預測趨勢圖

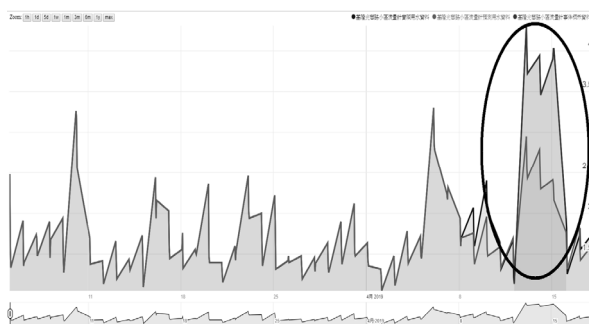


圖 16 光華路小區夜間流量異常圖

WADA 系統亦能對流量異常發出警示，如圖 17 在七區澎湖所莒光新村小區中可以發現黑色圓圈是發出警示的區間，日期約為 108 年 2 月 28 日，經過修漏之後流量便恢復正常，在圖 17 中可以明顯看出完成修漏後的流量曲線已經恢復正常。

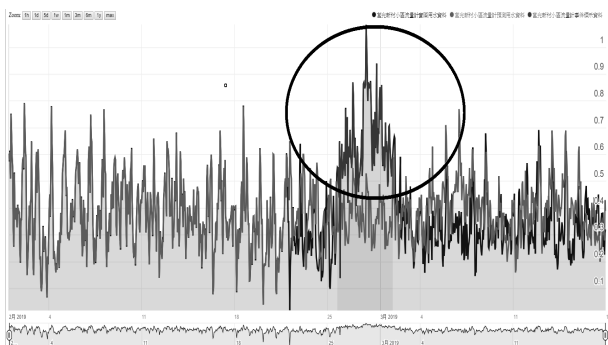


圖 17 莒光新村流量異常事件圖

五、未來研究方向

目前分區計量管網(District Metered Area, DMA)的建置具有協助縮減搜尋漏水範圍和時間功能，亦即能協助瞭解哪一個小區有漏水，但是小區內的管線長度平均 20-30 公里，部分甚至超過 50 公里，如何再縮減漏水區域以快速找出漏水的位置，對自來水事業是一大挑戰。為了解決這個問題，未來 WADA 系統將結合 EPANET(美國環保署開發的水力分析軟體)，使用機器學習演算法將 DMA 小區劃分為次小區，透過演算法自動將其分成數個次小區並自動判斷次小區內要安裝的水壓計位置及數量，接著再分析次小區的水壓計變化，藉由次小區的建立，我們就可以將檢修漏範圍有效的縮小至次小區範圍，減少修漏人力及提高修漏效率。

六、結論

台水公司相當重視以科學方法來加強現有經營模式，成立大數據團隊小組，計畫開始最大的困難就是無法聚焦問題。對於大數據分析最重要的資料來源必須要了解，所以一開始會請各區處將自己區處的 SCADA 資料擷取給大數據團隊小組進行分析，而難題是要如何開始分析，如何判斷才知道有沒

有漏水等等都是很複雜的議題。

WADA 系統是由台水公司大數據團隊自行使用開放原始碼軟體(open source software)開發完成，是專門針對漏水進行偵測的系統。而 WADA 之所以能被成功開發出來，其中首要因素就是獲得高階主管的支持，其次要有堅強及專業的領導人及團隊，最後還是需要各業務所屬單位的配合，提供正確的資料及業務 Know How，另外定期召開知識分享及團隊會議，作為標竿學習，讓團隊成員可以集思廣益，腦力激盪，如此才能有更多更好的創新作為。

在應用價值方面，由於 WADA 是利用大數據分析的系統，目前仍持續演進中，除了偵測漏水應用外，由於 SCADA 資料具有時間序列特性，因此 WADA 系統同樣可應用在台水公司預測售水率或其它業務面，另外 WADA 系統也具備高度可複製性，可複製到其它區處、電力或天然氣應用、甚至其它國家。未來因應大數據業務的成長，將協助台水公司各業務單位進行大數據方面的加值應用。

作者簡介

吳界明先生

現職：台灣自來水公司資訊處副處長

專長：Data Mining、Algorithm、Machine Learning

趙汝鵬先生

現職：台灣自來水公司資訊處組長

專長：電力工程、資訊處理

楊鈞煦先生

現職：台灣自來水公司資訊處工程師

專長：資訊處理、程式設計

台水公司水安全計畫—以坪頂淨水場為例

文/何承嶧、游育晟、陳威豪、陳乃菁、劉彥均、王冠中、楊昭端

摘要

台水公司致力於提供符合安全衛生之飲用水，為確保從集水區到消費者之水質安全，有效控制各供水系統潛在風險，引進世界衛生組織(WHO)所公布之水安全計畫(WSP)管理架構，於 107 年 9 月訂定「台灣自來水股份有限公司水安全計畫推動要點」，同時開始推動試辦計畫，以本公司現有水質預警系統(Alarm Data Transfer System, ADTS)及 1910 客服系統資料，計算淨水場總風險值，擇定風險較高之坪頂淨水場做為本計畫試辦場。依 WSP 指導原則十步驟依序執行，包含(1)成立水安全計畫團隊、(2)描述完整供水系統、(3)確定污染源如何進入供水系統、進行危害鑑定及風險分析、(4)評估現有控制系統、(5)風險控制與評估、(6)監測控制措施、(7)確認水安全計畫有效性、(8)建立支援計畫、(9)建立正常或緊急狀況管理程序、(10)水安全計畫建檔及回顧檢視。經由上述步驟評估後，提出對膠凝沉澱池、快濾池之操作改善建議及監控設備改善後，坪頂淨水場原風險值由 47 分降低至 33 分，且鋁內控達成率大幅提升，顯見 WSP 推行試辦後確有相當成效，值得後續推廣至其他區處，俾達全公司全時全面掌握水安全目標。

關鍵字：水安全計畫、風險值、水質改善、快濾池、鋁、濁度

一、前言

2004 年世界衛生組織(WHO)出版第三版

飲用水水質指引(Guidelines for drinking-water quality)及國際水協會(IWA)公布波昂安全飲用水憲章(Bonn Charter for Safe Drinking Water)，同時將水安全計畫納入，2011 年 WHO 發行第四版飲用水水質指引再度強化水安全計畫之重要性，因此水安全計畫逐漸受全球各供水管理系統與機構的重視，成為國際水質安全管理之理念標竿。據統計至 2013 年止，全球已有 93 個國家實施不同程度之水安全計畫，其中 46 個國家已制訂促進或要求水安全計畫的政策或法規。

二、水安全計畫之架構及推行步驟

以整體供水系統進行全面性地風險評估和風險管理，從水源、淨水處理、配水到用戶系統(from catchment to consumer)，評估潛在風險等級並採取預防及控制措施，以有效地降低水質風險及危害，經由水質檢驗與監控系統確認水質狀況，並透過反饋機制適時進行修正確保其有效性，維持優質之供水品質(詳圖 1)。

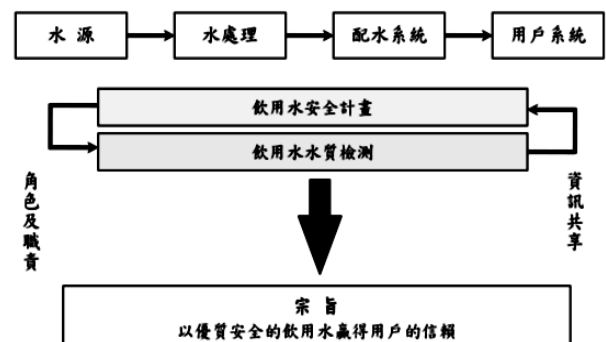


圖 1 從集水區到消費者全面管控

水安全計畫之推行步驟可分為十步驟(詳圖 2), 依據推行步驟針對個別供水系統由水源至消費者進行整體評估, 並建制及實施水安全計畫, 以確保水質安全。

三、台水公司水安全計畫推動規劃

(一)水安全計畫作業要點

台水公司參考 WHO 水安全計畫手冊, 並考量公司現況, 訂定「台灣自來水股份有限公司水安全計畫推動要點」, 作為推行水安全計畫之執行準則, 並對應 WHO 水安全

計畫十步驟, 建立台水公司水安全計畫推行流程圖(圖 3)。

風險鑑定與評估為水安全計畫的重要項目, 相關計算方式眾多, 以簡便有效為初衷, 捨棄繁複反應劑量風險評估的計算方式, 採用公司現有水質資訊(ADTS)及 1910 客服系統資料定義公司水安全計畫風險計算方式, 並初步定義年度風險值大於 30 分之淨水場, 制定水安全風險管控策略, 俾利各區處執行時有所依循。

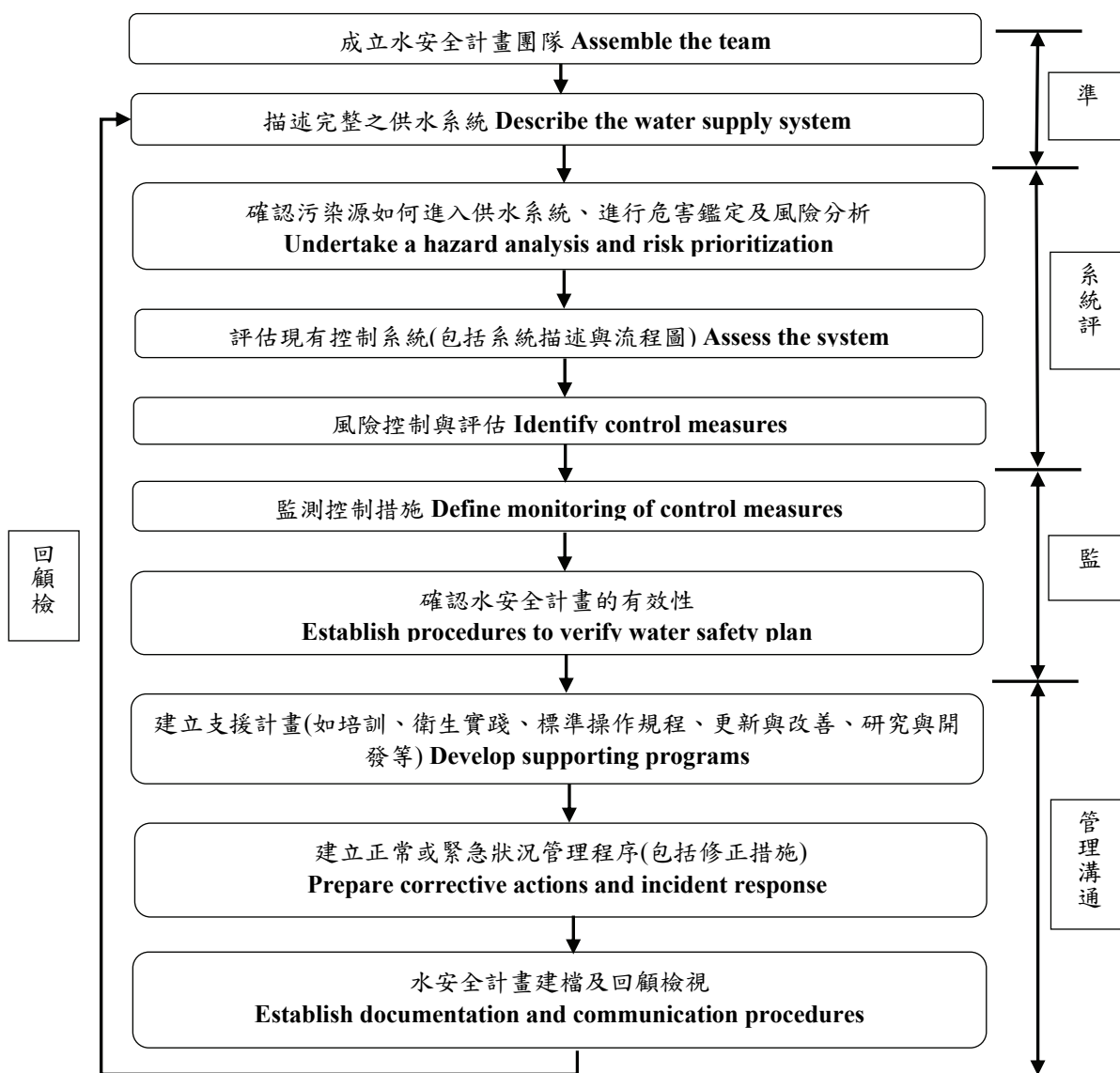


圖 2 水安全計畫推行步驟(WHO, 2004)



(二)風險值計算方式

台水公司採用常見之風險矩陣計算方法，計算各淨水場總風險值：

總風險值=水質異常風險+客訴風險=(水質異常嚴重度×水質異常頻率權重)+(客訴分類嚴重度×客訴頻率權重)。

1.水質異常風險

以 ADTS 系統產出各淨水場之內控達成率報表，分六大類採計混合後水源水質、清水池、混合後清水水質、回收廢水水質、放流廢水水質和配水系統飲用水質，嚴重度依照飲用水水源水質標準、飲用水水質標準、放流水標準之檢項分類給予風險分數，頻率權重則以內控達成率進行加權(詳表 1、2)。

表 1 自來水公司水安全風險矩陣

	風險分數	水質異常風險					客訴風險				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	
發生頻率權重	×1 95.0-99.9 %										×1 1-2 件
	×2 80.0-94.9 %										×2 3-12 件
	×3 60-79.9%										×3 13-52 件
	×4 <60%										×4 >52 件
	小計										小計
淨水場風險分數(總計)											

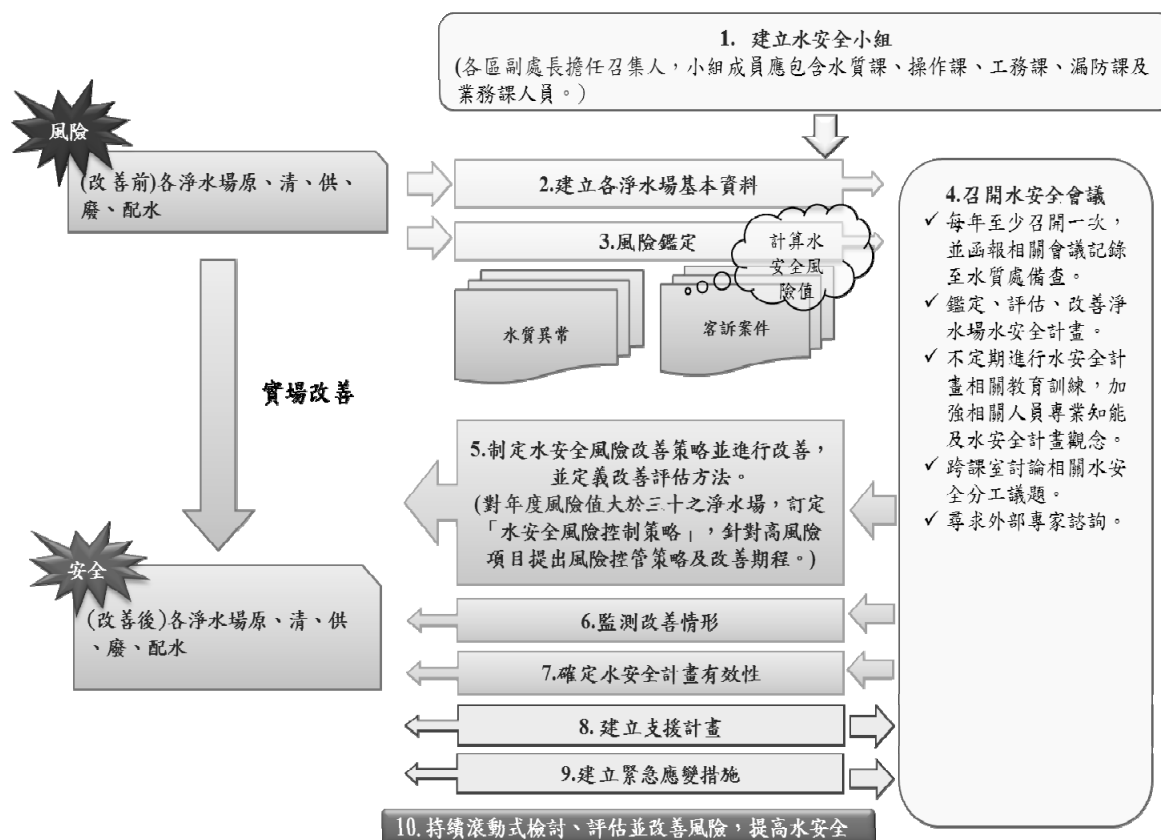


圖 3 自來水公司水安全計畫推行流程圖

表 2 水質異常風險值嚴重度及頻率權重表

	水質檢項	風險分數
水源	採計 1.各水源進場混合後水源水質進行計算	
	大腸桿菌群、氨氮、TOC、COD	3
	砷等六種重金屬	5
淨水場	採計 2.各淨水處理單元處理後水質-清水池進行計算	
	濁度	1
	色度、自由有效餘氯、氫離子濃度指數	2
	臭度	3
	細菌性標準	3
	影響適飲性、感官物質	3
	可能影響健康物質	4
	影響健康物質	5
	採計 3.各期淨水處理流程混合後清水水質	
	採計 4.回收廢水水質	
	懸浮固體量、總餘氯、COD、pH 等廢水檢項	1
採計 5.放流廢水水質(若無排放則本項不計)		
配水	採計 6.配水系統飲用水水質	
其他	曾遭受環保局開罰或新聞事件之檢項	5
	微囊藻毒或其他生物性毒性測試	5

2.客訴風險

客訴風險由 1910 客服系統申報資料統計，水質客訴分類為水中有沙等異物、氯味過重、水有異味及其他重大事件，給予 1-4 分之風險分數，申報頻率以每周發生一次以上(年申訴>52 件)/每月發生一次以上(年申訴>12 件)/每半年發生一次以上(年申訴>2 件)為訂定異常比率權重(詳表 1、3)。

各淨水場依上述兩大類別進行年度風險評估，依風險矩陣計算、加總計算該淨水場之總風險分數，作為台水公司水安全計畫執行之依據。

表 3 客訴風險嚴重度及頻率權重表

	客訴分類	風險分數
用戶端	其他(如總硬度過高、水有顏色、水黏膩感等)	1
	水黃濁有泥沙、水白濁、水裡有異物	1
	氯味過重	2
	水有異味	3
	重大申訴事件(如媒體新聞事件、環保受罰案件、其它污染事件等)	4

四、台水公司水安全計畫—以坪頂淨水場為試辦標的

為擇定一座淨水場試辦水安全計畫，首先調查近五年超內控次數最高之五座淨水場(先扣除離島及代操場站)計算其年度風險值(期間 106 年 10 月 1 日~107 年 9 月 30 日)，最終擇定風險值最高之坪頂淨水場，依 WSP 推行十步驟(詳圖 2)依序進行。

(一)成立水安全計畫團隊

本次試辦計畫組成推動小組，辦理台水公司 WSP 執行程序之建立、WSP 試行及初期推動等事宜，成員共 7 人，專長涵蓋水質管理、環境工程及水質檢驗等。

(二)描述完整供水系統

坪頂淨水場水源由高屏溪攔河堰抽取高屏溪表面水(平均抽水量約 52 萬 CMD)，另由竹寮抽水站抽取高屏溪伏流水(取水量僅 5~7 萬 CMD)。此外，於高屏溪枯水期則自南化水庫經南化聯通管輸送原水以彌補高屏溪地面水抽水量之不足。坪頂場舊場及新場皆採用傳統淨水處理單元，具 63 萬 CMD 出水能力，供應大高雄地區用水，供水人口數約 2 百萬人。

(三)確定污染源如何進入供水系統、進行危害鑑定及風險分析

有效風險管理需確認供水系統內所有可能危害、危害來源及可能危害事件，並評估各別風險，由水源、淨水、配水及用戶順序逐一確認污染物進入方式及管控措施。每個供水系統可能同時存在多項危害因子，因此建立各供水系統危害控管措施之優先順序非常重要。另發生危害事件時，需評估是直接或間接汙染，此為危害鑑定之重點。

1.污染源鑑定

國內為確保飲用水品質，包括從水源水質保護及飲用水水源水質標準訂定、淨水場使用之飲用水水質處理藥劑規定、飲用水水質標準及飲用水連續供水固定設備使用及維護管理辦法皆有明文規定，為飲用水品質管理層層把關。

坪頂場水源主要為高屏溪流域，高屏溪甲類水體集水區面積佔全流域一半以上，其

次乙類水體，丙類水體所佔面積最少。整體水質狀況以高屏溪主流上游較佳，中、下游受匯入支流之各項主要污染物濃度較高影響，水質狀況普遍較差。其中高屏溪主流上游豐水期之水質易受上游降雨沖刷影響，懸浮固體測值偏高。此外，高屏溪流域境內養豬業發達，畜牧業占大宗(70%以上)，其次為金屬表面處理業(約 3-4%)。另竹寮抽水站抽取高屏溪伏流水，原水濁度低，但仍屬硬度較高之原水。

南化水庫每年約 5 月至 10 月支援坪頂場，其本身集水區外，另由高屏溪支流旗山溪的甲仙攔河堰於豐水期越域引水。水體分類屬乙類水體，卡爾森指數介於 40~50 間，南化水庫屬普養狀態。

2.近五年超內控項目可能污染源分析

坪頂淨水場近五年(102~107 年)曾發生水質超出內控標準值項目之可能污染源分析如表 4，其主要超內控項目為鋁及總硬度。

表 4 近 5 年曾發生超內控項目之可能污染源

項目	超內控次數	可能污染源
鋁	36 次	1.水源中鋁含量與背景環境因素有關，廣泛存在於岩石、土壤與礦物中。 2.八八風災地質改變，豪雨時易發生高濁度及鋁含量高。 3.坪頂場為降低水中濁度，以聚氯化鋁作為混凝劑，混合水源 pH 值約介於 7.0-8.2 間，若 pH 值過高(>7.5)或過低(<6.0)，易形成溶解鋁，造成清水鋁含量過高。
總硬度	10 次	高屏溪流域上游支流荖濃溪主要為沈積岩的砂岩、頁岩構成，使原水中總硬度及總溶解固體量偏高。
總溶解固體量	1 次	高屏溪流域上游支流荖濃溪主要為沈積岩的砂岩、頁岩構成致使原水中總硬度及總溶解固體量偏高。
濁度	1 次	1.浮游植物的繁殖而產生。 2.人類在地面上的活動，例如建築施工、採礦業及農業等會造成泥沙灰塵。 3.受岩層地質及八八風災地質改變，豪雨時易發生高濁度原水。
氯乙烯	2 次	來源可能為高屏溪流域境內上游隘寮溪流經屏東高樹鄉、鹽埔鄉、里港鄉及九如鄉等人口、畜牧業及工業密集區，亦可能造成有機及化學物質汙染。
自由有效餘氯	3 次	自由有效餘氯主要來自於淨水場中淨水操作所添加之消毒劑，其含量主要受淨水操作之加藥量、水溫、濁度及有機物等影響。

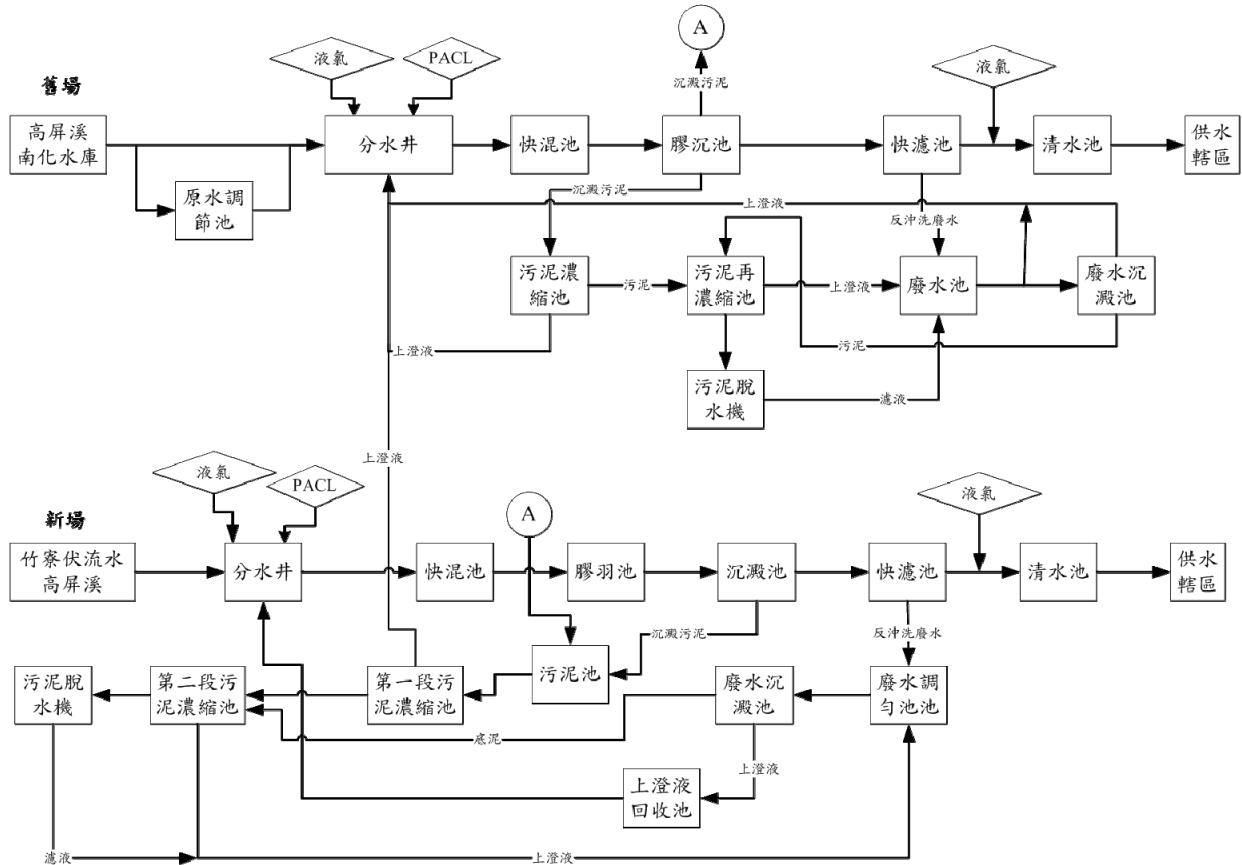


圖 4 坪頂淨水場舊場及新場淨、廢水處理流程圖

(四)評估現有控制系統

坪頂淨水場舊場於民國 90 年完工，新場於 103 年規劃，舊場及新場淨廢水處理流程如圖 4，該場使用聚氯化鋁為混凝劑，液氯為消毒劑。

(五)風險控制與評估

1.水質分析及評估

(1)原水水質

坪頂場原水除了高屏溪大腸桿菌群密度超內控外，其餘皆符合法規(詳表 5)，可利用調配混合原水比例降低大腸桿菌群密度。

南化水庫原水與竹寮伏流水濁度較低(表 6)，發生颱風或豪雨時，高屏溪原水高濁度(數萬 NTU)，造成場內淨水單元負荷，增加操作困難度。該場每日平均出水量 50~55 萬噸，原水調節池容量僅 5 萬立方公尺，容

量不足，每年需辦理清洗作業，以維持該池處理能力。

表 5 坪頂淨水場原水水質數據

項目	高屏溪	竹寮伏流水	南化水庫	法規標準
大腸桿菌群	超內控	132	33	20000
氨氮	N.D.	N.D.	0.03	1
化學需氧量	N.D.	N.D.	3.5	25
總有機碳	0.5	0.2	1.4	4
硒	0.00042	0.00028	N.D.	0.05
汞	N.D.	N.D.	N.D.	0.002
鉻	0.0154	0.00078	N.D.	0.05
鎘	N.D.	N.D.	N.D.	0.01
鉛	0.0058	0.00318	0.00045	0.05
砷	0.00204	0.00126	0.00091	0.05

(註)大腸桿菌群單位為 CFU/100ml，其餘單位 mg/L。



南化水庫及竹寮伏流水總鋁含量低，高屏溪原水總鋁含量 1.811 毫克/公升，顆粒鋁含量 1.782 毫克/公升，占總鋁含量 98.40%。

表 6 坪頂淨水場原水濁度及鋁數據

採樣點	濁度 (NTU)	總鋁 (mg/L)	溶解鋁 (mg/L)	顆粒鋁 (mg/L)
南化原水	3.4	0.0572	0.0106	0.0466
原水調節池進流端(高屏溪)	122	1.811	0.029	1.782
竹寮伏流水	1.41	N.D.	N.D.	N.D.

原水總硬度方面，南化原水總硬度較低，但高屏溪及竹寮伏流水皆為高硬度原水，總硬度較難由傳統處理程序去除，需藉由結晶軟化設備才可有效去除，惟該場現無空間建置，且軟化產生之碳酸鈣結晶亦屬事業廢棄物，將增加該場操作複雜性。

總硬度屬影響適飲性物質，對人體健康無害，雖該場各單元出水總硬度稍高(詳圖 5)，惟仍符合飲用水水質標準(300 mg/L)。

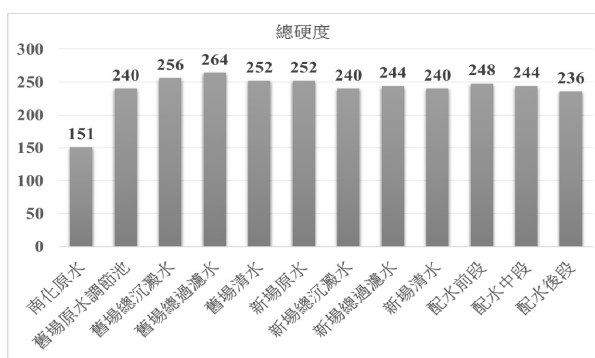


圖 5 坪頂淨水場各單元總硬度

(2)各淨水單元濁度、鋁

• 舊場膠凝沉澱池：舊場膠凝沉澱池屬傳統固體接觸型式，共 8 池。第 5、6 與 8 池設備損壞無法正常運轉，僅剩 5 池運轉。由

圖 6 可知，每池出流端沉澱水濁度皆超過本公司內控值 5 NTU，因原水濁度變化過大，該設備無法有效發揮功能，且場內無空間將膠凝沉澱池改為傳統膠凝池及沉澱池。故需每年清理淨水污泥，以維持該單元運轉與供水正常。

此外，鋁含量主要以顆粒鋁為主，溶解鋁含量低，與原水數據相近，顯示添加混凝劑非造成鋁含量偏高的主因。

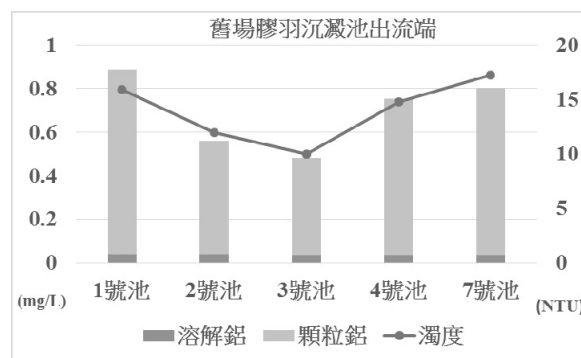
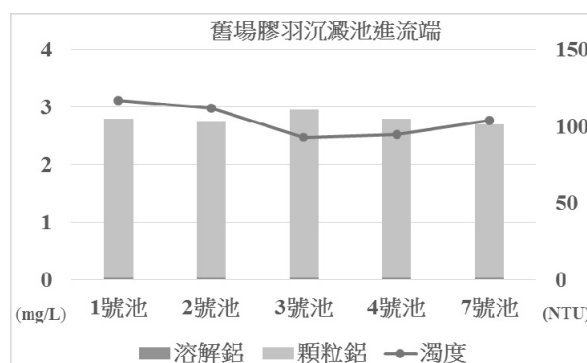


圖 6 坪頂淨水場舊場膠凝沉澱池濁度及鋁

• 舊場快濾池：舊場之快濾池共 20 池，屬阿卡諾式濾池。除了快濾池 8、10、11、12、14 外，其餘皆超過本公司內控值 0.5NTU。總鋁則除快濾池 3、11、12、14、15 符合本公司內控值外，其他池總鋁皆超出內控值 0.16mg/L (詳圖 7)。鋁主要仍以顆粒鋁為主，溶解鋁遠低於標準值，僅佔

總鋁 2.6~24.84%。經濁度與顆粒鋁相關性分析，相關係數達 0.91，故加強快濾池處理效能，應可有效改善清水濁度並降低顆粒鋁濃度。

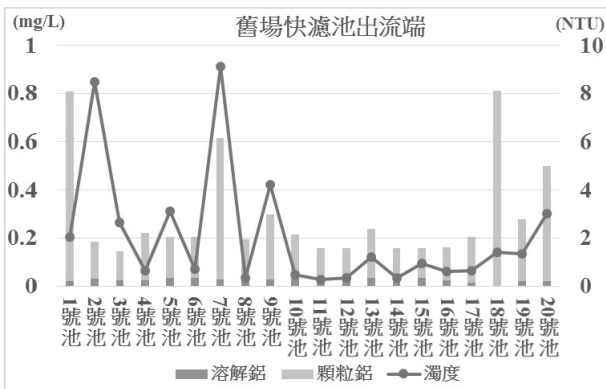
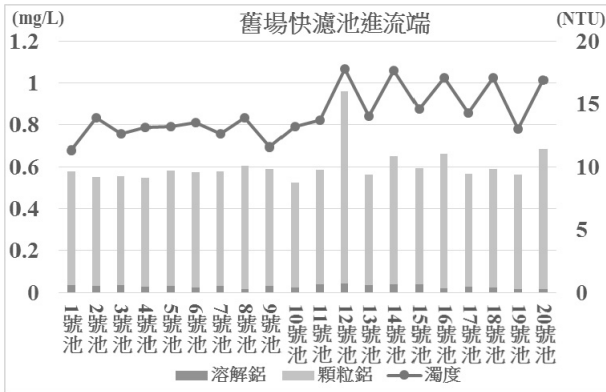


圖 7 坪頂淨水場舊場快濾池濁度及鋁

(3)新場各淨水單元水質分析

新場原水為竹寮伏流水，其原水濁度及鋁含量低，相對淨水處理負荷較低，各淨水流程濁度及鋁含量檢驗結果皆符合本公司內控值。

(4)清水水質分析

坪頂淨水場清水濁度及鋁含量皆符合飲用水水質標準。此外，採樣配水管網前、中、後各 1 點，檢驗結果皆符合法規(詳表 7、8)，2-MIB 及 Geosmin 亦遠低於人體臭味閾限值(2-MIB 為 29 ng/L; Geosmin 為 10 ng/L)。

2.廢水處理設備效能評估

舊場快濾池反沖洗廢水量(含側洗水量)設計值為 1.13 CMS，而每池操作反沖洗時間為 15 分，每池廢水量約為 1,017 m³，廢水池容量為 1,193 m³尚可負荷。

表 7 坪頂淨水場清、配水濁度及鋁數據

水樣別	濁度 (NTU)	總鋁 (mg/L)	溶解鋁 (mg/L)	顆粒鋁 (mg/L)
舊場清水	0.2	0.14	0.024	0.116
新場清水	0.28	N.D.	N.D.	N.D.
配水前段	0.35	N.D.	N.D.	N.D.
配水中段	0.4	N.D.	N.D.	N.D.
配水後段	0.45	N.D.	N.D.	N.D.

表 8 坪頂淨水場配水管網水質數據

水樣別	配水(前)	配水(中)	配水(後)
大腸桿菌群 (CFU/100ml)	<1	<1	<1
色度(鉑鈷)	<5	<5	<5
臭度	<1	<1	<1
總三鹵甲烷 (mg/L)	0.00471	0.00245	0.00279
鹵乙酸類(mg/L)	0.00383	0.00313	0.00317
2-MIB(ng/L)	1.07	1.59	3.66
Geosmin(ng/L)	0.71	0.74	0.77

統計 103~107 年坪頂淨水場(舊場)平均原水濁度、加藥量、色度及處理水量(表 9)，假設污泥比重 1,013kg/m³，污泥濃度為 1%，計算乾污泥量與濕污泥量(詳表 10)，5 年平均濕污泥量為 16,893CMD，舊場之污泥處理設備總容量 4,284 m³，容量無法負荷，且停留時間僅 6 小時，與一般設計值 24~48 小時差異過大，濃縮效益無法達到設計值。

若將新場污泥處理設備容量算入，則總容量為 8,100m³，亦無法負荷。且總停留時間



為 11.5 小時，僅最低設計值一半時間，濃縮效果有限。且新增污泥暫存池總容量為 9,785m³，也無法負荷，因此需再增建相關污泥處理單元，降低該場污泥處理設備負荷。

表 9 近五年舊場平均原水濁度、加藥量、色度及處理水量

年度	平均原水濁度 (NTU)	平均色度 (鉑鈷)	平均加藥量 (mg/L)	平均處理水量 (CMD)
103	463	25	38	513,647
104	267	22	37	499,069
105	214	19	48	484,719
106	161	15	41	481,962
107	186	15	39	485,355

表 10 近 5 年舊場平均乾濕污泥量彙整表

年度	乾污泥量(kg/day)	濕污泥量(CMD)
102	273,718	27,021
103	266,487	26,307
104	158,036	15,601
105	125,709	12,410
106	95,078	9,386
107	107,733	10,635
平均值	171,127	16,893

3. 風險改善策略

由上述分析，舊場快濾池濁度及顆粒鋁含量較高，可能為快濾池效能不佳所致，故進行快濾池效能評估。

(1) 反沖洗廢水濁度歷線

首先以反沖洗廢水濁度歷線評估快濾池效能，方式為進行快濾池反沖洗程序時，每分鐘採集一次反沖洗廢水直至反沖洗程序結束為止，檢測其廢水濁度進行分析。

挑選舊場出水濁度最高(9.11NTU)之快濾池 7，與當日排定反沖洗之快濾池 6 進行反沖洗廢水濁度歷線(圖 8)，反沖洗結束時，

快濾池 6 及 7 廢水濁度分別為 23.8 及 62.3NTU，皆無法達到美國自來水協會(AWWA)建議值 10~15NTU。雖快濾池 6 最終廢水濁度不符建議值，但該池曾於 106 年洗補砂，反沖洗後出水濁度 0.67NTU，過濾效能尚可接受，但快濾池 7 反沖洗後出水濁度仍高達 4.16NTU，遠高於內控值 0.5NTU。

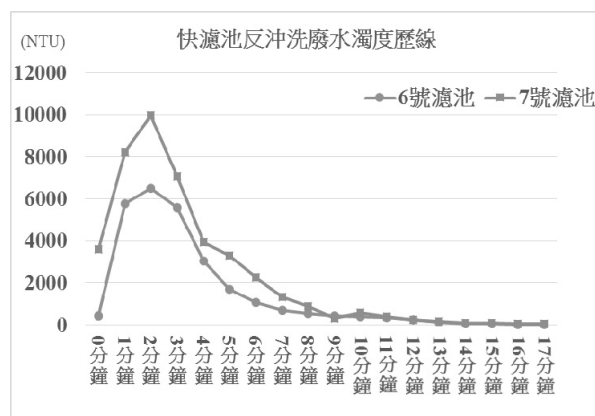


圖 8 舊場快濾池 6、7 反沖洗廢水濁度歷線

為提高反沖洗效率，本案測試增加快濾池 2、7、20 反沖洗程序之氣洗加水洗及水洗時間各 5 分鐘，快濾池 18 則維持原操作參數比較其反沖洗廢水濁度歷線(圖 9)。反沖洗結束時，快濾池 2、7、20 及 18 廢水濁度分別為 8.12、8.07、6.5 及 17.8NTU，快濾池 18 未達 AWWA 建議值。

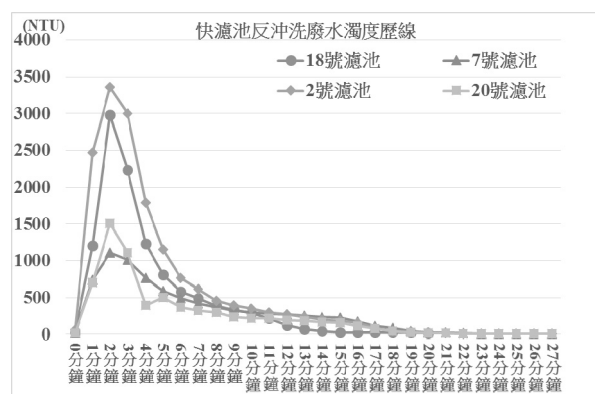


圖 9 舊場快濾池 2、7、18、20 反沖洗廢水濁度歷線

雖然增加反沖洗時間可降低最終廢水濁度，但為避免增加過多廢水，觀察各池反沖洗濁度歷線，發現反沖洗時間 22 分時，各池反沖洗廢水濁度即可低於 AWWA 建議值 15NTU。

若增加反沖洗時間至 22 分，則每池廢水量約為 1,492 m³，雖目前廢水池無法負荷，但待該場新設之圓形廢水沉澱池(1,040 m³)及矩形廢水沉澱池(1320 m³)啟用後，即可負荷增加之廢水量。

107 年舊場廢水平均量為 9,867CMD，增加反沖洗時間後，預估總廢水量為 14,800 CMD，約增加 50%，廢水沉澱池停留時間為 3.8 小時，尚屬合理。因此，增加反沖洗時間，該場廢水處理單元可以負荷。

(2)膨脹率試驗

反沖洗機制使濾床內濾料懸浮造成濾料間相互摩擦，使阻塞濾床之髒物隨反沖洗水流出。膨脹率為反沖洗前濾料深度與反沖洗時濾料懸浮深度之差異比。依美國自來水協會(AWWA)濾料膨脹率建議值為 15~30%。

進行反沖洗時，同步測量快濾池膨脹率，除快濾池 6 膨脹率達 22%，快濾池 2、7、18、20 膨脹率皆遠低於建議值。其中快濾池 2 膨脹率左右兩池差異極大，左小池達 22%，右小池僅 5%。

目視觀察快濾池 2 反沖洗作業，發現氣洗時，兩小池氣洗程度不一致導致膨脹率差異大，可能原因為濾砂結泥球或濾砂深度不夠，將進行侵入性試驗。

(3)侵入性試驗

侵入性試驗包含濾料層厚度、濾料取樣反沖洗濾料前後膠羽貯留試驗、物理性質分析等，藉侵入濾床內以探討濾床內部之變化

以評估快濾池整體效能。

A.濾料層厚度

快濾池由濾料層組成濾床對水中顆粒物進行過濾，並經由反沖洗去除濾床中雜質，因此濾料層可能因反覆進行反沖洗而流失，若濾床厚度不足，將降低過濾效能。於 108 年 1 月 19 日進行快濾池 2 濾料層厚度測量，結果顯示反沖洗前後，左右兩小池濾層厚度無明顯差異，濾料層厚度約 1 公尺。

B.反沖洗前後濾料膠羽貯留試驗

本試驗是藉由分析不同深度濾層中膠羽貯留情形，對整體濾床截留進行了解。反沖洗前後進行快濾池 2、7 濾砂分層採樣作業，左右兩小池各採集位置前、中、後，共 3 點。

如圖 10 快濾池 2 與 7 反沖洗前分層濁度濃度不一，反沖洗後，雖分層濁度降低，部分濁度仍超過 1000NTU，初步判斷，可能因反沖洗過程氣、水洗強度不足所致，且該場空壓機與各快濾池之間的距離不相同，也使各快濾池氣洗強度不一。

(六)監測控制措施

1.監控設備

該場連續監控膠凝沉澱池出流端、快濾池進流及出流端、清水池之濁度及餘氯，確保水質安全，並透過遠端警報通知值班人員。除了即時監控外，並每日進行例行水質檢驗，並於濁度改變時測試最佳加藥量。

2.內部控制管控檢討

舊場快濾池每池出水均有設置濁度計，具完整之監測機制，惟部分濁度計監測功能未發揮，如快濾池 7 出水濁度監測器顯示 0.083NTU，但實測值高達 10.9NTU。

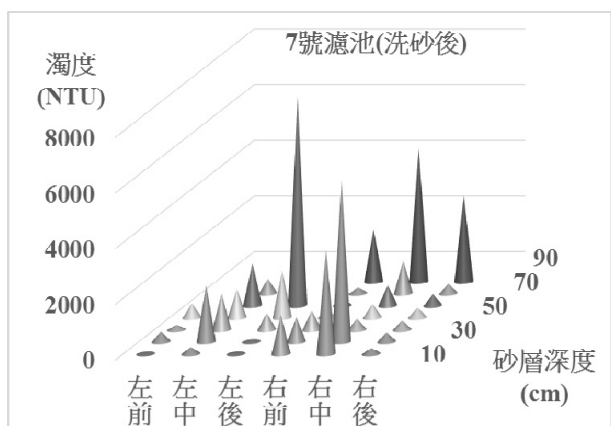
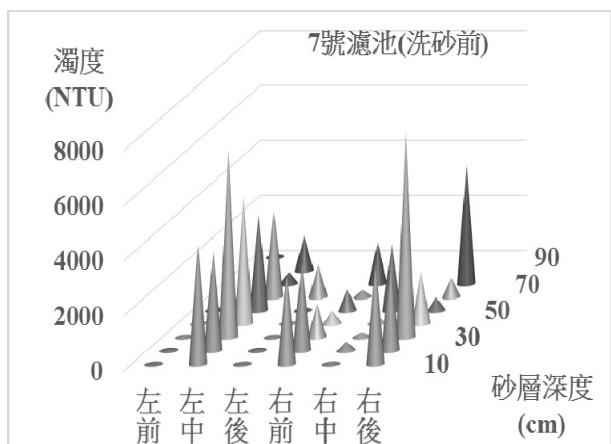
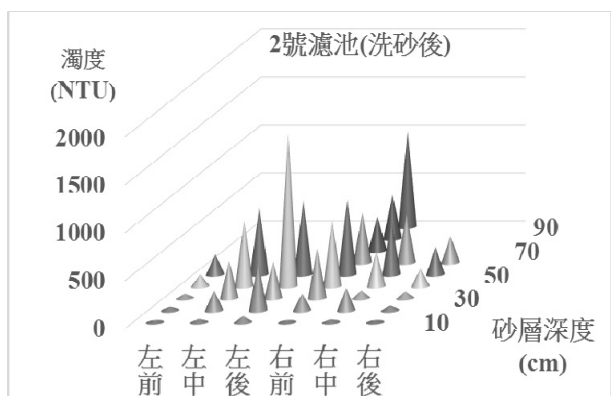
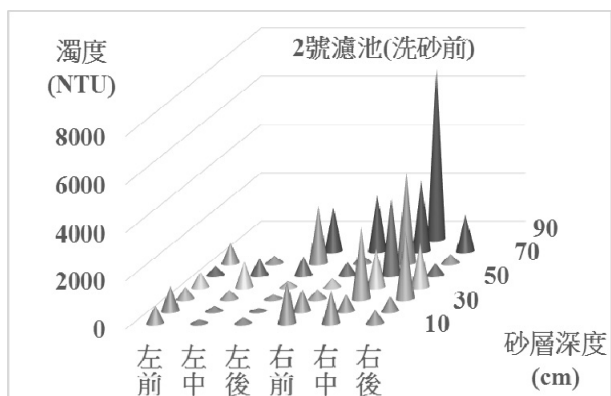


圖 10 快濾池 2、7 反沖洗前後濾砂深層濁度分布圖

調查快濾池 7 濁度計裝設情形，發現其濁度計進水幾乎停滯，經震動管線，則流出高濁水，經 4 小時之洩流仍高達 10.9NTU，應為該池過濾效果不佳，濁度顆粒穿透濾層阻塞濁度計進水管，造成滯留死水誤導檢測結果。經管線疏通及重新裝設，已改善快濾池 7 濁度監測器進水問題，且監測值無異常。

(七)確認水安全計畫有效性

原風險值評估期間為 106 年 10 月 1 日至 107 年 9 月 30 日，經水安全計畫後，重新計算風險值，評估期間為 107 年 8 月 1 日至 108 年 1 月 31 日，其風險值由 47 分降低為 33 分(表 11)，顯見試辦計畫確有成效。

水質異常風險中鋁控制改善甚多，混合清水達成率 58.3%提高至 100%，顯示提昇快濾池效能以改善濁度，進而降低顆粒鋁之策略確有成效。總硬度內控達成率亦提高(清水

表 11 坪頂場試辦計畫前後風險分數

	水質異常風險		客訴風險		分數
	水質超內控頻率	權重	客訴案件	權重	
試辦前	混合清水鋁 58.3%(3 分) 清水池總硬度 42.6%(3 分) 混合清水總硬度 50%(3 分)	×4	其他 2 件(1 分) 氯味過重 1 件(2 分) 泥沙+白濁+異物共 6 件(1 分) 水有異味 5 件(3 分)	×1 ×2	47
試辦後	混合清水濁度 66.7%(1 分) 混合清 TDS 66.7%(3 分) 混合清水總硬度 66.7%(3 分)	×3	氯味過重 1 件(2 分) 其他 2 件泥沙+白濁+異物共 6 件(1 分) 水有異味 5 件(3 分)	×1 ×2	33

池達成率 42.6%→66.7%，混合清水 50%→100%)，主要仰賴場所人員調配水源混合供水。新增之風險項目為濁度及總溶解固體量(TDS)，濁度與顆粒鉛相關性高，總溶解固體量與總硬度皆屬原水特性因素，因此，該場最主要風險仍為濁度(與顆粒鉛)及總硬度(與 TDS)。

於試辦期間(107 年 10 月~108 年 3 月)，客訴風險中水質客訴案件占比由 0.67%降至 0.55%，仍需持續改善淨水操作，並加強與用戶之聯繫溝通。

(八)建立支援計畫

除坪頂場既有之支援計畫如人員培訓、水質檢驗管理、職業衛生安全管理、淨水用藥管理外，本試辦計畫為水安全計畫更臻完善，引入外部支援系統，於 108 年 3 月 19 日邀請國內學者、專家召開專家學者諮詢會議，尋求各方專業意見及指導，與會委員均一致肯定，未來相關建議事項將納入水安全計畫。此外，規劃於 108 年 6 月 10 日至 11 日將試辦內容編成教材，對全公司各區處進行教育訓練，以傳遞水安全計畫實質作業流程。

(九)建立正常或緊急狀況管理程序

坪頂淨水場原水取用高屏溪，於颱風暴雨期間因高濁度原水常造成該場膠凝沉澱廢水處理不及，必須減量供水，該場已建置緊急應變標準作業程序(詳圖 11)。另該場如發生各類災害時，依本公司訂定之相關作業要點，辦理各類災害緊急應變，如發生水污染事件時，亦依相關作業要點落實水質檢驗工作以確保水質安全。

(十)水安全計畫建檔及回顧檢視

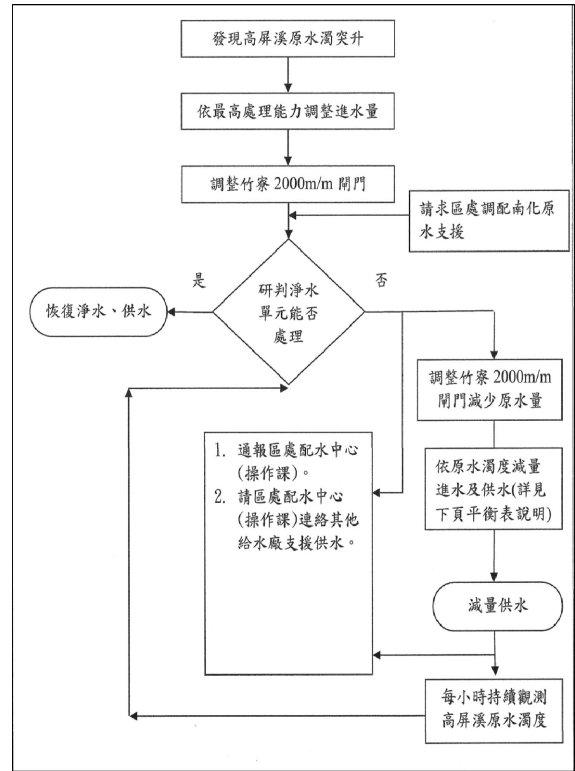


圖 11 坪頂淨水場高濁度原水緊急應變標準作業程序流程圖

藉由上述各步驟評估、檢討，該場鉛超內控達成率大幅提高，且年度風險值由 47 分降至 33 分，但仍大於 30 分，應持續滾動管理、檢討改善並建檔供後續推動參考。此外，經本次試辦坪頂場建議事項如下：

- 1.高濁期間，原水濁度飆升超出淨水單元負荷，建議場外增設前處理池或沉砂池，恢復該池功能並降低淨水污泥量。
- 2.建議修復故障之膠凝沉澱池並定期清洗淨水污泥，以降低負荷。高濁期間膠凝沉澱池排泥速度較污泥累積速度慢，影響正常供水，建議增建濕污泥暫存池以承接高濁原水累積大量污泥。
- 3.建議長期建立濁度歷線圖、膨脹率及濾沙深層採樣等試驗基本資料，以利了解快濾池功效。
- 4.建議延長反沖洗時間並改善鼓風機室到每

池快濾池間的距離，另反沖洗程序建議增加馬力以增強反沖洗強度並改善濾砂膨脹率過低問題。

5. 該場應將初期濾水排掉至濁度符合內控值後，再進行過濾之程序，避免監測設備進水管線阻塞問題。
6. 至於本試辦計畫著墨未深的水源及配水端，將再後續滾動檢討中強化。

五、結論

坪頂場經水安全計畫十步驟進行風險管控並擬定改善策略後，年度風險值降低且鋁之混合清水超內控達成率大幅提高，顯示提昇快濾池效能以改善濁度，進而降低顆粒鋁之策略確有成效，該場應持續滾動檢討。惟水安全計畫涉及內容廣泛，包含水源、淨水、用戶、設施，國內相關業務權責單位涉及水利署、環保署、水利會及地方政府等，仍需上級單位提供協調溝通平台。

未來將以坪頂場水安全計畫之經驗推廣至全公司，以區處成立水安全小組執行水安全計畫，總管理處各處室負責統籌輔導及管控工作，各單位分工合作形成完整且專業之水安全管理架構(詳圖 12)。

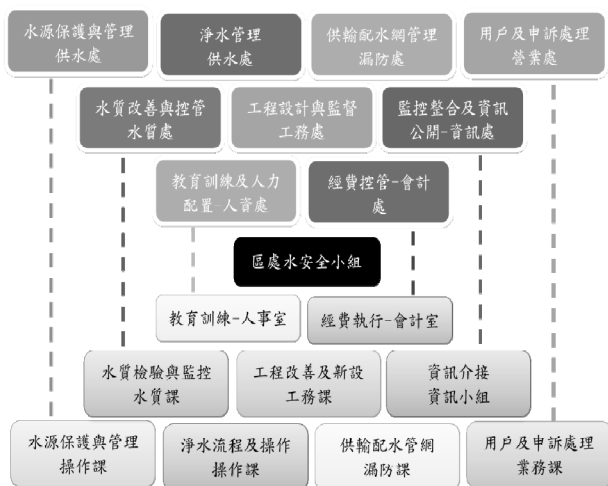


圖 12 台水公司 WSP 權責單位分工架構

參考文獻

1. 洪世政、李貞慧、陳文祥、唐俊成、游育晟、劉彥均，台水公司淨水場鋁含量控制策略探討，中華民國自來水協會107年度研究案計畫，2018。
2. 何承嶧、駱尚廉，水安全計畫之實務—以德國為例，自來水協會會刊，第35卷第3期，第65-73頁，2016。
3. 何承嶧、駱尚廉，水質安全計畫之導入評估，自來水協會會刊，第34卷第3期，第57-70頁，2015。
4. 駱尚廉、王根樹，國內自來水水質安全計畫之推動規劃。中華民國自來水協會101年度專題研究計畫，2013。
5. 台灣自來水股份有限公司，台灣自來水公司淨水場操作效能評估及改善作業要點，2012。
6. World Health Organization, “Global status report on water safety plans: A review of proactive risk assessment and risk management practices to ensure the safety of drinking-water”, 2017.
7. World Health Organization, “Guideline for drinking water quality”, 4th edition, 2011.
8. World Health Organization, “Water Safety Plan Manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers”, 2009.
9. World Health Organization, “Guideline for drinking water quality”, 3rd edition, 2004.
10. International Water Association, “The Bonn Charter for Safe Drinking Water”, 2004.

作者簡介

何承嶧先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處副處長

專長：環境工程

游育晟先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處工程師

專長：水質檢驗及分析、環境工程

陳威豪先生

現職：台灣自來水股份有限公司供水處工程師

專長：環境工程

陳乃菁女士

現職：台灣自來水股份有限公司水質處工程師

專長：水質檢驗及分析

劉彥均先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處工程師

專長：環境工程

王冠中先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處工程師

專長：水質檢驗及分析

楊昭端女士

現職：台灣自來水股份有限公司水質處工程師

專長：水質檢驗及分析

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。

北水處導入水安全計畫—以管網環節為例

文/葉泓暉

一、前言

自來水供水系統受限於水源地取水限制，供水須自水源處取水，經過導水設備、淨水設備、配水設備，經由供水管網系統再連接至各使用端。除供應不虞缺乏之用水外，飲用水的安全亦是各自來水事業不容忽視的課題，水處理的過程從取水、貯水、導水、淨水、送水、配水到用戶用水設備，各項環節對於飲用水安全上皆有潛在的風險，因此國際水協會（IWA）自 2004 年起公布相關準則及憲章，同時將水安全計畫（Water Safety Plan, WSP）納入其中，此舉更引起全球各供水管理系統與機構的重視。北水處對飲用水安全長期以來皆十分重視，以往成立水質精進推動委員會，近來導入水安全計畫實施策略，將原有水質精進推動委員會更名為水安全計畫推動委員會，執行相關水安全計畫措施。其中對於風險管理分為水源、淨水、管網、用戶等四環節進行，本文就管網環節部分，將臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）水安全計畫導入實施過程，做一概略性敘明。

二、水安全計畫實施步驟

「能夠持續地確保供水安全最有效的方法是對從水源至使用者的所有環節進行綜合性的風險評估與風險管理。而這樣的方法叫做水安全計畫。」，換句話說，「水安全計畫是供水事業分步實施的風險管理策略」，

水安全計畫的目標非常簡單，即：持續地確保飲用水供給的安全性與可接受性。

針對每一個供水系統，開發與實施水安全計畫方法步驟如下：

- 組建一個工作團隊，決定開發水安全計畫的方法。
- 確定從水源、通過水處理廠和配水管網，直到使用者用水點所有能影響供水安全的危害和危害事件。
- 評估由每一個危害及危害事件所帶來的風險。
- 考慮是否已對每一個重大風險進行了控制或設置了屏障，這些措施是否有效。
- 確認上述控制措施或屏障的有效性。
- 在必要的地方實施改進計畫。
- 論證系統的持續安全性。
- 定期評價危害、風險及其控制措施。
- 為了保持結果的透明與合理，保持精確記錄。

水安全計畫工作團隊應具有足夠的經驗及專業技能，他們必須瞭解取水、水處理及輸配水知識，瞭解可能影響整個供水系統安全的危害。對於小型供水事業來說，若內部缺乏專業成員，則必須倚賴來自外部的專家協助，使與供水安全有關的事業內部人員和外部每一個人瞭解與接受水安全計畫及方法。

進一步來說，水安全計畫不是一項書面

上的研究工作。它必須包括現場實地勘查，來確認事業的內部資料、資訊及圖表等是否合於使用。現場勘查還包括收集那些在現場、在水源地範圍內的工作人員的建議，或其他還未記錄到事業紀錄中有關當地的資料和人員資訊。另外評估、更新、編寫或修訂標準流程是水安全計畫策略不可或缺的一部分。理想狀態應該是，所有有助於得到整個事業內認可及接受的流程，都應該列為水安全計畫策略或工作方法的一部分。

此外，供水事業應該在水安全計畫方法上居主導地位，但不應該僅限於事業內部開發與實施水安全計畫。水安全計畫方法一個主要目的就是確定那些與供水安全相關的其它責任方，如農業及林業工作者、土地擁有者、工業界、交通界及其它公用事業單位，當地政府及使用者等(舉例來說，北水處對於水源巡查亦需要與外部單位水源特定區管理局等協調進行)，並請他們與供水事業一起來降低風險，不一定需要把所有這些代表都包括到水安全計畫團隊中，但他們應該是溝通網路裡必不可少的一部分，並且明確瞭解自己的貢獻對水安全計畫的影響。水安全計畫亦應該定期地接受外部獨立的審查這將有助於確保所有責任方的信心。

在確定危害時容易出現一種把風險局限於僅考慮那些影響微生物及化學物質指標的系統侵入，這是因為這些指標關係到供水水質達標問題。然而，確保水質安全必須更加寬泛，如洪水帶來的損害、水源及替代水源的充足性、供電的有效性和可靠性、水處理藥劑及材料的品質、培訓計畫、能否獲取受過培訓的員工、清水池的清潔、對於配

水管網的了解、保安系統、緊急應變、通訊系統的可靠性及實驗室設備的有效性等，許多方面均需要進行風險評估。但以上仍然不能說包括了所有必要的項目，如果一個供水事業認為上述的一些項目不在水安全計畫之內，那麼就不能說他們已經有了一個綜合性的水安全計畫策略，也不能說他們完全理解水安全計畫的概念。

對風險最顯見的控制就是在水廠內部設置物理屏障或處理步驟，包括過濾及消毒，但是，對於危害控制方法的考慮及評估應該更廣一些。例如：與農戶或工業事業簽定協定控制化學品的使用，牲畜業控制，選擇使用受過培訓的員工，泵站管理，目視檢查，設置自動關閉或斷路，審核藥劑供應商或設備製造商或與之簽署品質協定等各種方法，只要他們能夠被確定為有效方法並被證明能夠提供持續性的保護，都可以考慮作為控制措施。

同樣，以上仍然不能說包括了所有必要的方法，啟動實施水安全計畫方法並不是說每一個現有的控制措施都要重新確定其有效性，但是藉此評估檢視現有資料和報告，是非常可靠有效的。

在風險控制（或減小）前後進行風險評估十分重要，因為這樣做表示每一個危害得到確認，並且控制措施的有效性也得到了評價。風險評估會找到很多被認為對供水系統的安全影響不大的風險。但是，對於供水事業來說，充分瞭解這些風險並將其記錄在案並公開十分重要。更重要的是，要將這些風險進行排序，並對被確認的重大風險迅速採取改善計畫。

通常進行風險評估時採用的方法（如「半量化」風險矩陣法）是對風險出現的可能性及其後果的嚴重性進行評估。但是，並不是所有的風險都能簡單地用這樣的一個方法進行評估。某些風險無法用狹義的可能性（如預測的發生頻度為「每月」），或後果（如估計的嚴重性為「中等」公眾健康影響）來評估。例如：來自使用者的某些潛在的負面回饋可能不會對公眾健康造成很大影響，但可能會嚴重影響供水事業的聲譽，因而這些內容應該包含在水安全計畫中。有時，基於團隊的決定，用簡單的方式來評估風險可能更合適（如「重大」「不重大」或「不確定」）。不管採用何種方式，風險評估的方法必須是非常清晰、詳細、具有一致性。對於大型供水事業來說，這一點特別重要，因為風險評估可能會由許多不同的人來進行。

風險評估的複雜性取決於供水系統的複雜性。先進的水處理設備與程序是水安全生產的保障，但同時它們本身也會帶來對供水系統的潛在危害，因此需要進行詳盡的風險評估。例如：臭氧－顆粒活性碳聯用系統作為有機污染物的一種控制方式在淨水廠使用時，會在生產過程中帶來臭氧排放、溴酸鹽生成、生物膜生長、異味以及再生後的污染等問題。當供水系統發生任何改造或新的安排時，水安全計畫方法必須在計畫階段開始就被包括進來。

最後，實施監控是確認步驟中一個十分重要的組成部分，表明水安全計畫正在起作用。它將表明在監測點，通常也就是使用者的水龍頭，水質是否達到水質標準的要求。

但是，這不能使水變得安全，因為在水質的檢測結果出來時，通常水已經被喝下去了或被用於其他生活目的。控制措施減少風險以及顯示控制措施持續有效的運行監測是保障水安全的更加重要的手段，因為他們關注的是使水變得安全的過程。因此，實施監控是水安全計畫方法不可或缺的一部分。

水安全計畫方法的許多要素雖然已經存在於優良供水事業的運行實踐中；然而，全面實施水安全計畫將需要所有的供水事業重新審視可能影響水安全的每一件事。任何事情都不要想當然。如果屏障已經設置並且水質合格，這是由於屏障可靠亦或是運氣好？一個供水事業從未發生過事故，並且使用者對供水安全也很滿意，只能說這樣的供水事業是幸運的，但或許是因為它缺乏確認問題所需的流程與評估工具來驗證。公開透明地實施水安全計畫方法，將有助於提高使用者及其它相關責任方對供水安全的信心。開發水安全計畫本身不是目的，而是達到目的的方法。一個水安全計畫只有當其得到實施與修改的時候才發揮著應有的作用。

三、北水處導入水安全計畫實施過程

北水處對飲用水安全長期以來皆十分重視，以往成立水質精進推動委員會，近來導入水安全計畫實施策略，將原有水質精進推動委員會更名為水安全計畫推動委員會，委員會設有召集人 1 人、副召集人 1 人、委員 16 人，其中召集人由副處長擔任、副召集人由總工程司擔任、委員由專門委員、副總工程司、總隊總工程司、科室主管及營業分處主任擔任，每季開會 1 次研討相關水

安全計畫措施執行情形。其中對於風險管理分為水源、淨水、管網、用戶等 4 環節，每年各環節須訂定風險管控主題，並就辦理情形列管，本文就管網環節部分，將水安全計畫導入實施過程，做一概略性敘明。

由於水安全計畫涉及範圍廣泛，初期導入階段因是全新的概念，部分成員仍對水安

表 1 危害風險等級分類表

危害風險得分	危害等級
1~5	低
6~9	中
10~15	高
16~20	特高
影響等級 5 者	特高

表 2 本處 WSP 危害因子及危害事件鑑定表(管網)

危害事件 (危害原因)	相關危害或關注事項	發生頻率等級 (發生可能性) A	影響程度等級 (嚴重性) B	危害風險等級 (AxB)*
1. 鉛管	鉛濃度過高，影響人體健康	4	4	16 特高風險
2. 閥栓啟閉不當	壓力或流向突變造成管垢、積泥(濁度)揚起	5	2	10 高風險
3. 水齡過高	單向管、配水池滯留時間過高(置換率過低)或因設計不當造成短流、長期封閉管段、高地供水系統、細菌再生、餘氯消耗、鐵、錳、鋁含量過高	4	2	8 中風險
4. 施工排水不確實	管外污染入侵(病毒、隱孢子蟲及梨形蟲)或造成管垢、積泥揚起	5	2	10 高風險
5. 施工藥劑使用不當(塗料等)	臭味、不明化合物	3	3	9 中風險
6. 老舊管線腐蝕	鐵、濁度、殘留餘氯、總菌落數	5	2	10 高風險
7. 水壓瞬變 (Pressure Transient)	救火、爆管、加壓站停電抽水機瞬間起閉、管末排水時，因管線破損，外部污染物(病毒)入侵	2	4	8 中風險
8. 管材及配件釋出	塑膠管釋出 VOCs、水泥管釋出重金屬、橡膠配件釋出 NDMA、鋼管內襯釋出藥劑、DIP 水泥內襯塗料釋出造成 PH 值過高	2	2	4 低風險
9. 配水池維護不當	通氣網破損、密封不良、滲漏致小動物或雜物、積泥、積垢入侵	3	3	9 中風險
10. 水壓偏低	造成負壓汙染、管內積垢、水齡過高	3	3	9 中風險

全計畫並不瞭解，實施的過程中，也嚐試著去使得執行單位更明確認識水安全計畫的精神、作法及宗旨目的，可說是邊做邊學，摸著石頭過河，逐步推行的方式在進行。

為導入水安全計畫，除委員會成員外，執行單位相關人員亦須對水安全計畫推行方式、實施措施等相關風險管控事項具備一定程度的了解，經過多次開會說明及溝通後，於 102 年 10 月 9 日由本處供水科邀集相關單位研討「北水處 WSP 危害因子及危害事件鑑定表」會議，利用「半量化」風險矩陣法，依據危害風險等級分類表(表 1)，針對管網環節部分以各危害因子發生頻率、影響程度等級，分析各危害事件的風險性，進行風險評估(表 2)。

藉由「北水處 WSP 危害因子及危害事件鑑定表」挑選出風險性較高的危害風險選定作為年度管理控制項目，其中屬特高風險為鉛管，高風險為閘栓啟閉不當、施工排水不確實、老舊管線腐蝕；由於本處自 95 年起推動 20 年「供水管網改善及管理計畫」，汰換不良管材及老舊漏管線，98 年起更針對鉛管長度超過 20 公尺以上之水栓進行改善，並於 102 年 12 月 9 日全部完成。其他散佈於管網織零星鉛管，雖無水質安全疑慮，惟北水處仍訂定供水管網改善及管理計畫-鉛管子計畫，積極以多面向施工方式進行鉛管汰換作業，並於 107 年改善完成。因鉛管及老舊管線腐蝕項目已進行改善，成效良好，故經討論選定其餘兩項：閘栓啟閉不當及施工排水不確實，列為年度管控項目，進行水安全計畫風險管控。

為進行目標管控，針對施工排水不確實及閘栓啟閉不當，列出可能發生風險的原因，建立特性要因分析圖(魚骨圖)，以便進行管控(圖 1、2)。

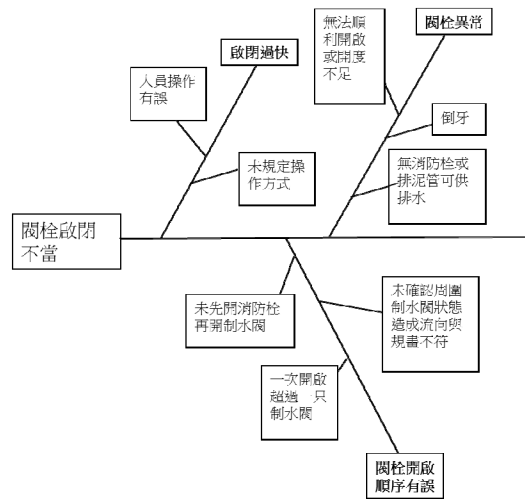


圖 1 閘栓啟閉不當特性要因分析圖

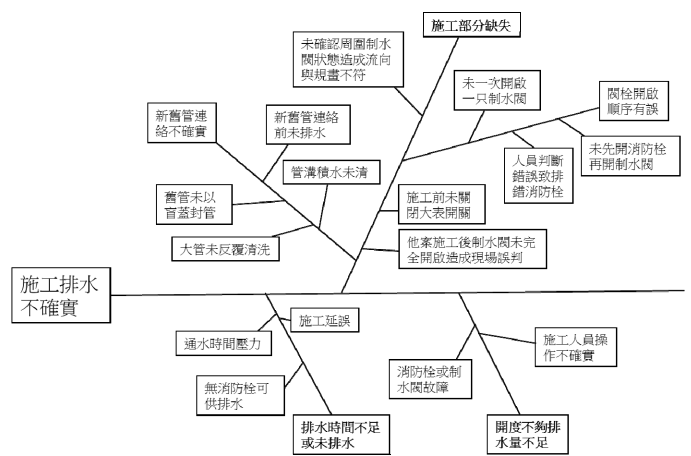


圖 2 施工排水不確實特性要因分析圖

選擇主要因素進行年度執行項目，依水安全計畫實施步驟訂定水安全計畫風險管控措施：

1. 環節：管網
2. 危害：(1)制水閘啟閉過快(2)排水時間不足造成水質汙染
3. 危害發生原因：施工或管末排水而閘栓啟

閉，因壓力或流量突變造成管垢或積泥受到突然水流沖擊後揚起，進而流進用戶用水設備內造成汙染。

4.控制措施：於操作閥栓時落實回報機制，

在閥栓啟閉前後通知監控中心並於通訊群組內回報，確實了解現場閥栓啟閉情形，並依閥栓啟閉流程，於啟閉制水閥時，依流程圖所訂定開啟及關閉操作轉數規定進

表 3 水安全計畫-管網環節控制措施表

類別	風險控管主題	主項因素	次項因素	控制措施	
管網	施工排水不確實	1.排水時間不足或未排水	1-1通水時間壓力	1.確實依施工所需時間辦理停水公告。 2.嚴格管控逾時收工。 3.確因現場因素延誤施工，應即通知里長，並通知客服、監控中心後，依規定進行排水。	
			1-2施工延誤		
			1-3無消防栓可供排水		1.由鄰近用戶表前拆表排水或擴大排水範圍。 2.準備足夠抽水機，於配水管接通前先行充分排水。 3.設計時納入考量，於適當位置新設消防栓、制水閥，或由現場施工時臨時變更設置。
		2.開度不夠排水量不足	2-1消防栓或制水閥故障	事前確實檢查或擴大排水範圍	
			2-2施工人員操作不確實	加強教育訓練、增訂罰則、落實APPI回報機制	
		3.施工部分缺失	3-1新舊管連絡不確實	3-1-1新舊管連絡前未排水	加強教育訓練、增訂罰則
				3-1-2舊管未以盲蓋封管	
				3-1-3管溝積水未清	
				3-1-4大管未反覆清洗	
			3-2閥栓啟閉順序不當	3-2-1未一次開啟一只制水閥	加強教育訓練、於停水請示單增加 復水作業規劃 (由廠商提報並於合約計價)
	3-2-2未先開啟消防栓再開啟制水閥				
	3-2-3人員判斷錯誤致排錯消防栓			請廠商妥善規劃復水作業、現場並調查測試相關閥栓	
	3-3未確認周圍制水閥狀態造成流向與規畫不符				
	3-4他案施工後制水閥未完全開啟造成現場誤判		請廠商於規劃復水作業前，確實現場勘查並調查測試相關閥栓		
	3-5施工前未關閉大表開關		契約增訂相關罰則以督促承商，並納入教育訓練內容		
	閥栓啟閉不當	1.啟閉過快	1-1未規定操作方式	修訂制水閥操作SOP、辦理教育訓練	
			1-2人員操作有誤		
		2.閥栓異常	2-1倒牙	圖資註記、明顯標示於第一層、抽換 擴大排水範圍	
			2-2無法順利關閉應封閉之制水閥		
			2-3無消防栓或排泥管可供排水		
3.閥栓操作順序有誤		3-1未先開消防栓再開制水閥	加強教育訓練		
		3-2一次開啟超過一只制水閥			
		3-3關閉大管未考慮流向及流量變化		確實依排水計畫執行	

表 4 WSP-管網環節監控作業表

監測項目	如何監測	監測時點及頻率	監測地點	由誰監測	由誰分析結果	誰對監測結果偏離時採取行動
閘栓開啟速率	即時回報通訊群組	每次	施工現場	工程人員	監工班長/供水科	股長
排水時間	即時回報通訊群組	每次	施工現場	工程人員	監工班長/供水科	股長
緊急事件處理	水污染緊急應變通訊群組	每案	污染現場	工程人員/水質科	水質科	應變小組成員

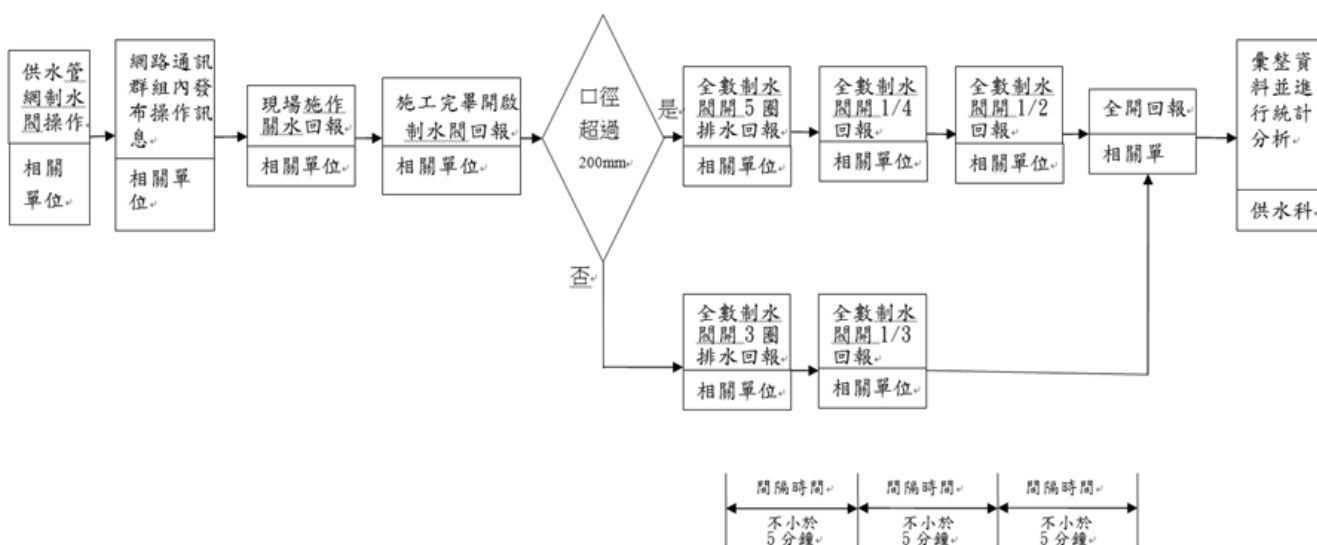


圖 3 供水管網操作制水閘通訊管控流程圖

行動作，並將周圍相關消防栓開啟進行排水，依該流程圖訂定之最低排水時間排水，直至水質清澈後方可通水，並同時回報至通訊群組作成紀錄。如有水污染案件發生，即時於水污染緊急事件處理小組通訊群組內發布訊息，並隨時將現場處理情形於群組內回報，直到排除污染為止。

5. 監控方式(表 4)

每次閘栓啟閉操作時，需實依閘栓啟閉流程進行操作，不可急開急關，排水時間必須超過最低排水時間，且必須俟排水至水質清澈後方可通水，並依施工啟閉制水閘網路

通訊管控流程圖(圖 3)，即時在通訊群組內回報開啟狀態。日後如仍有水質污染情事發生時，檢討發生原因，並可探討閘栓啟閉流程是否有修正之必要，排水消防栓至啟閉制水閘之間如有用戶接水使用，也應於排水前將表前制水閘關閉以免該等用戶發生水質異常。水污染案件成員包括水質科、客服中心、供水科及各分處人員，逐案管控至排除污染結束。

經過上述風險分析、要因分析、控制項目擬定，最後訂定水安全計畫-管網環節之風險管控措施，以及訂定供水管網操作制水閘

通訊管控流程圖並設定監控方式，定期檢視管控成效，並按季提報水安全計畫委員會，反覆進行研議及修正控制措施，以滾動式檢討循環進行，以確保控制措施是否達到一定成效。

至 104 年執行水安全計畫-管網環節之管控措施以來，經統計因操作制水閥造成水質異常案件數，自 103 年 39 案下降至 106 年 15 案，水質異常發生率(水質異常案件數/啟閉制水閥案件數)自 103 年 2.29% 下降至 106 年 0.9%，成效十分良好(圖 4、5)。

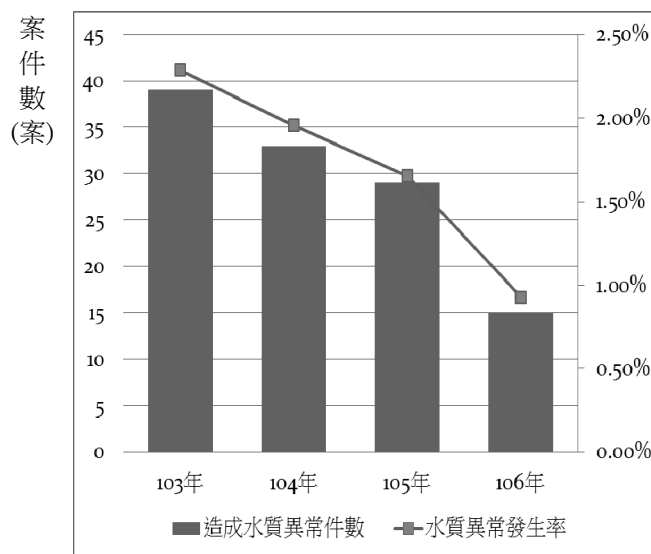


圖 4 103-106 年水質異常案件統計圖

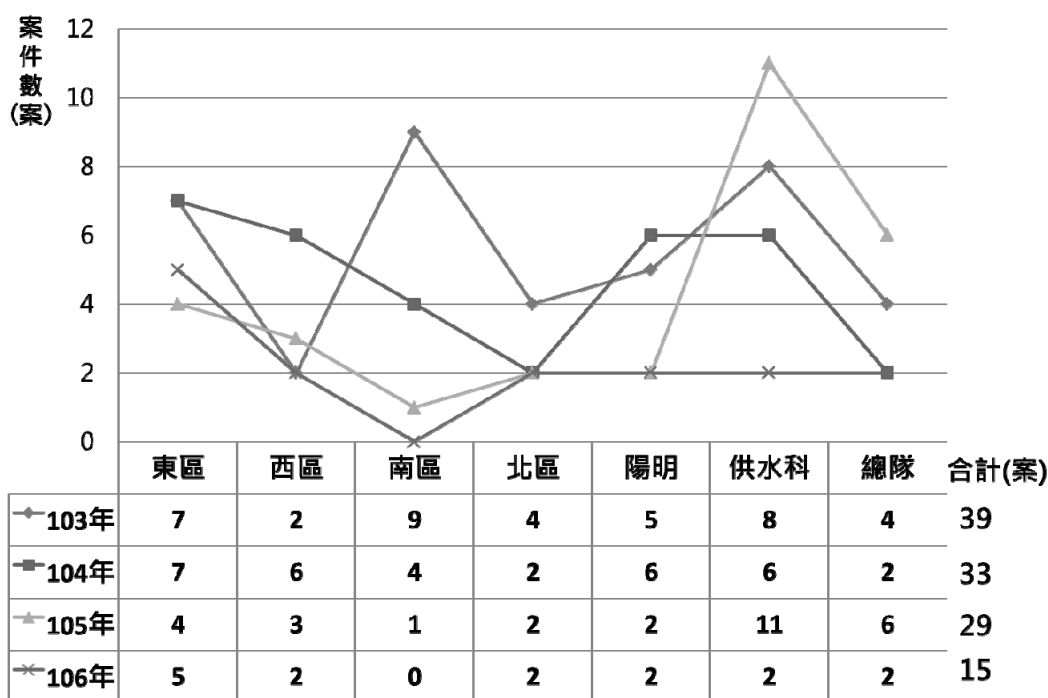


圖 5 103-106 年各單位水質異常案件統計圖

四、結語

北水處實施水安全計畫，遵循國際水安全計畫推行步驟，從委任人員、了解系統、確認風險、實施及監控控制措施、並滾動式檢討更新，雖然是導入全新的概念，惟參與

人員皆十分投入進行，水安全計畫委員會召集人亦不斷要求各單位重視水安全計畫，朝向與世界接軌。實施至今，除管網環節外，在水源環節、淨水環節及用戶環節，各方面皆已有良好成效，希望從水源至用戶水龍頭，從頭到尾在風險管控下持續提供用戶優

質的自來水。經由導入水安全計畫，本處同仁可進一步了解水安全計畫策略的系統性屬性，不管供水系統多簡單或多複雜，其應用性可確保所有類型及規模的供水系統的水安全。

自來水事業導入水安全計畫應該將計畫方法看作是一種把供水事業的整體工作方法引導到保證持續地進行安全供水方向的風險管理策略。如果影響供水安全的重大風險目前尚不可控，就需要採取措施儘量減小其危害程度；另外，有關風險管控的改善措施可能是需要包括短期、中期或長期的過程；因此水安全計畫的方法應該是動態的、實用的，不只是另外一種運行流程，亦不應該被看作是一個代表性象徵性作為和產生大量文書的手段。

水安全計畫方法可能有多種方法，本文藉由水安全計劃策略實施，並用實例表明水安全計畫在北水處的實際效果。重要的是，水安全計畫要與供水事業的組織形式與運行方式融為一體，否則的話，它是不容易會被事業接受的，在執行上亦無法有明確的執行單位，造成實行上之困難。推行水安全計畫的方法可能會表明出部分工作方式可能會帶來一些風險，或者這種工作方式無法控制風險，因此供水事業就應該改變那些工作方式。

最後，實施水安全計畫方法需要事業內部高級管理層給予支持。合理地實施水安全計畫方法，從長遠看會節約成本和優化目標資源，各事業同仁亦要看重計畫推行，在觀

念上不是另外增加工作項目，而是藉由系統性的步驟方法，提升自來水供水品質、降低供水風險，避免因風險發生後衍生之後續繁瑣冗長處理程序，除觀念更新外更要付諸行動，惟有全體同仁將水安全計畫深植在工作場所中，謹慎執行並反覆修正，水安全計畫才可以永續推行。

參考文獻

- 1.IWA，Global Status Report On Water Safety Plans，2017。
- 2.WHO，Water Safety Plans-Managing drinking-water quality from catchment to consumer，2005。
- 3.IWA，水安全計畫手冊，2015
- 4.小樽市水道局，水安全計畫，2017。
- 5.經濟部，前瞻基礎建設計畫-水環境計畫，2017。
- 6.何承嶧，經濟104年台德技術合作人員訓練計畫「為提昇台灣供水品質及經營績效，評估導入國際『水安全計畫』之可行性」，出國報告書，2015。

作者簡介

葉泓暉先生

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師

專長：自來水工程設計、漏水改善研究

大陸引水前後—金門供配水營運之調整與發展

文/黃仁國、許正芳

摘要

金門受先天水文條件所限，水資源保存不易，又因蓄水湖庫淺小、水質優氧化嚴重，導致近年供水源仰賴地下水之比例逐漸攀升。而自大陸引水計畫緣起，可追溯至 1995 年初金門大旱，該年因水源短絀所造成之危急水情，使陸方率先拋出供水議題；於 2000 年，水利署為因應小三通開放之水資源需求，乃著手評估自境外引水政策，自此亦促成兩岸多次非官方之意見交流。2013 年，我方為推動「金門地區整體供水改善綱要計畫」優先實施大陸引水之策略，始開啟兩岸官方正式商談。此後，雙方歷經多次會議，終在合作模式等細節達成共識，並完成契約簽訂，其後經施工團隊勦力推展，終至 2018 年 8 月 5 日正式通水。依所簽訂 30 年契約及每日 1.5~3.4 萬噸之供水量，可有效解決金門長年缺水之苦；而有關水質安全，則透過「三層把關，114 項檢測」機制，嚴格規範。

金門地區於通水後之淨水產能、藥劑用量與營運成本，均有正面改善，且原仰賴之地下水，於 2018 年 9 至 12 月之用量，已較 2017 年同期減少 11.6%，成果斐然。然而環視金門水資源環境，仍有許多沉痾宿疾待解決，因此，水利部門於今後仍需持續推動各項改善措施，包含集水區保育、地下水管制、供配水設施更新、漏水防治等，自根本整頓地區供水體質，以藉此提昇金門之自有水源供給能力。

關鍵字：金門、水資源、大陸引水

一、前言

金門自大陸引水計畫歷時 23 餘年，推動過程漫長且受諸多因素影響。政治上，遭兩岸局勢左右；法規上，為地域程序約束；實務上，無過往案例可循；工程上，逢險劣天候所苦。所幸於各方勦力克服下，終至 2018 年 8 月 5 日宣告完竣啟動，為金門日後民生供水、產業發展與生態保育等，奠定穩固基石。

然而風光喜迎背後，卻不容忽略金門整體供水因先天環境限制、後天人為失調所遭遇之困境。為利各方瞭解金門於大陸引水前後地區供配水營運之轉變，本文開端首將介紹金門水資源現況，並揭示潛藏危機，而後闡述引水計畫之緣起、工作內容與契約約定，最後則談及引水期間金門供水暫獲喘息之際，水利部門待推動之相關改善措施，如開發多元水源、強化軟硬體設施、推動漏水防治等，冀使地區供水體質更臻健全完善。

二、水資源概況

金門位處東經 118°12'至 118°30'，北緯 24°23'至 24°31'，總面積約 150.5 平方公里，屬亞熱帶海洋性氣候，依氣象資料統計，金門年平均溫度約攝氏 21 度，年降雨量 1073.4 公釐，且多集中於 4~9 月，佔全年總量之 74%，而年蒸發量達 1510.4 公釐，可見金門先天氣候不利於水資源之保存。

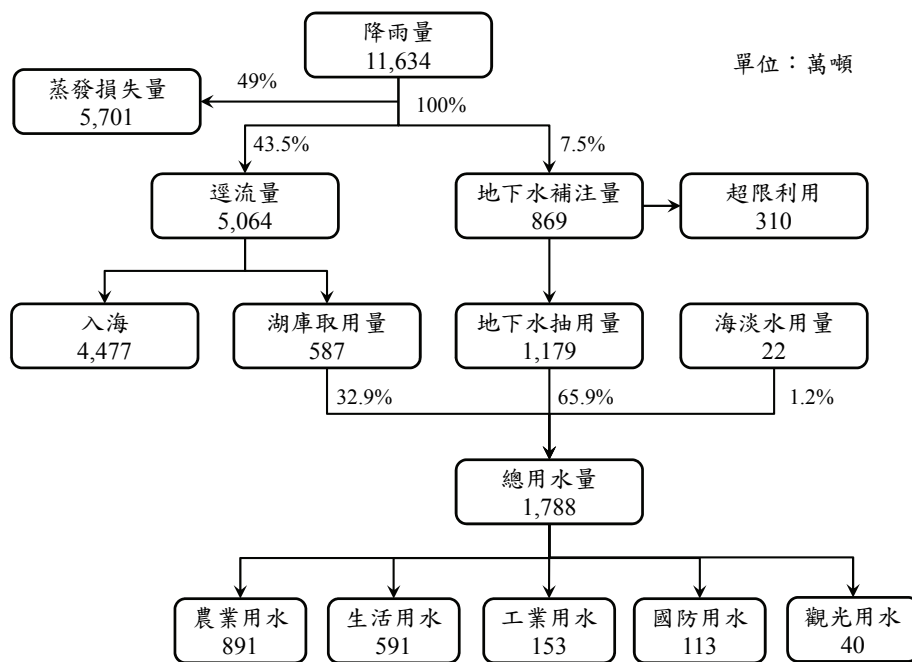


圖 1 金門地區水資源利用概況 (2011 年統計資料)

有關金門整體水資源利用概況，如圖 1，地區全年總降雨量約 11,634 萬噸，其中 5,701 萬噸 (49%) 經蒸發散損失，剩餘 5,933 萬噸 (51%) 中，4,477 萬噸 (38.5%) 排放入海，僅 1,456 萬噸 (12.5%) 為湖庫貯蓄及地下水補注。然而，為滿足每年 1,788 萬噸 (或單日 4.9 萬噸) 之用水需求，其間短差則由超抽地下水 310 萬噸及海水淡化 22 萬噸補足^[1]。由以上數據，顯見金門水資源供需失衡之窘境。

進一步檢視各用水類別，又以農業、生活與工業用水居前三位，其中農業用水依地區耕田分佈與灌溉習性，其水源除取自鄰近水塘外，又不乏私鑿水井，遇不足始採用自來水；而生活及工業用水，則隨地區產業發展及人口成長有逐年增加之趨勢^{[1][2]}；另國防用水因近年駐軍精裁，水量消耗相對穩定；最後，觀光用水所佔比例雖不及前四項，然而伴隨 2001 年小三通政策開放，截至 2018 年底^[3]，總入出境人數已達 190 萬 7 仟餘人，

較 2017 年之 175 萬 4 仟餘人，增加近 15 萬，成長 8.76%，屬歷年最高紀錄，顯示該項用水亦不容小覷。

三、引水前地區供水概況

依金門地理環境，現有供水分區劃分為金東南側、金東北側、金西與烈嶼等四供水分區 (如圖 2)，其中金東南、北兩側供水分區取用水源來自湖庫水與海淡水，分別於太湖 (日產水量 6,000 噸) 及榮湖 (日產水量 2,200 噸) 淨水場處理後，採管中加壓與重力方式供應；金西供水分區主要水源則取自地下水 (日汲水量 13,000 噸)，經轉送鄰近高架水塔並輔以除鐵錳、酸鹼調整、加氯消毒等程序後，以重力方式配送；而烈嶼供水分區雖建有紅山淨水場，惟近年僅進行小規模產水 (日產水量小於 100 噸)，以維持其正常機能與備載能力，該區多數用水仍由金西分區高架水塔，透過金門—烈嶼間之海底管線支援。

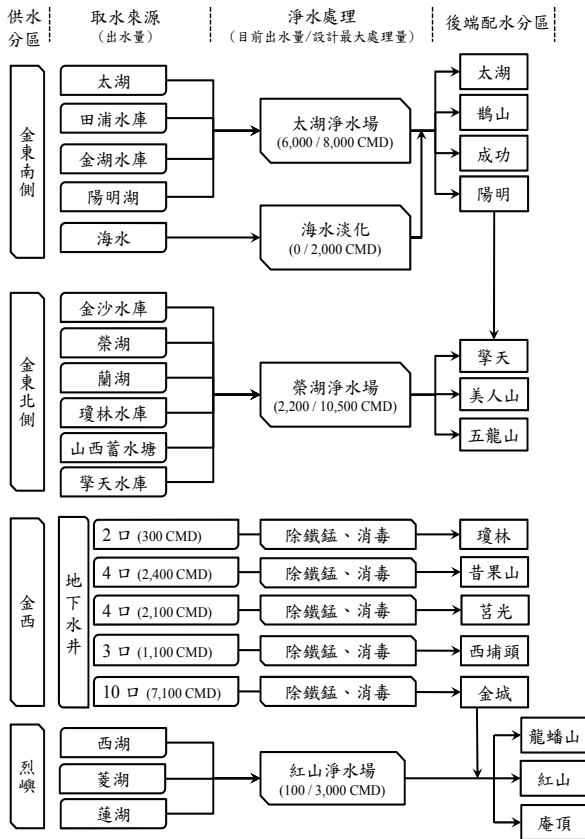
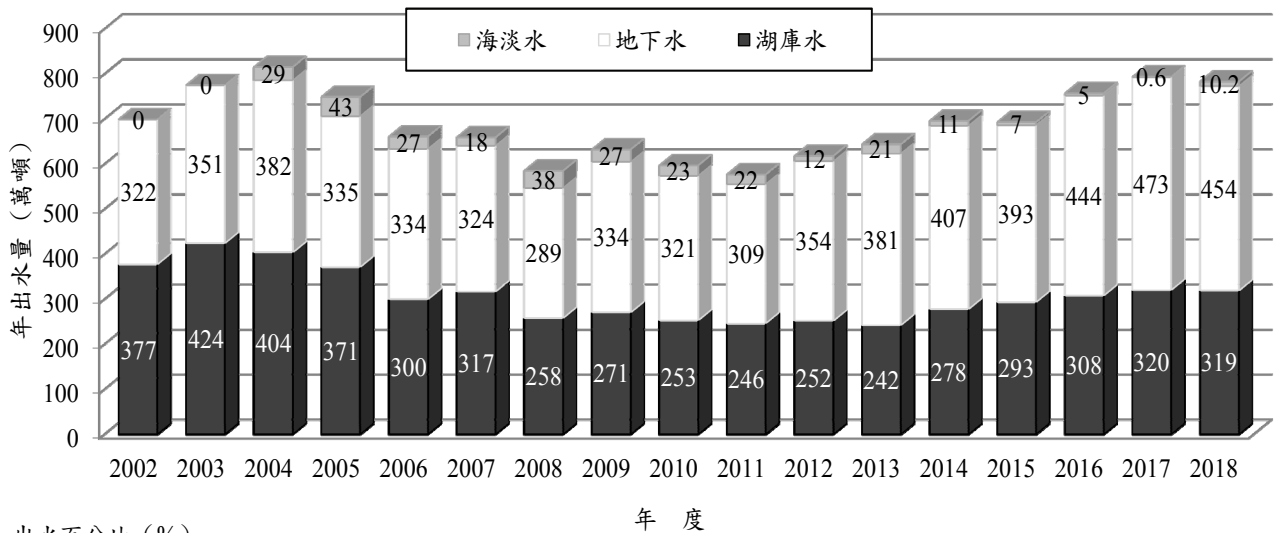


圖 2 金門供配水結構示意圖 (大陸引水前)

圖 3 彙整金門地區 2002~2018 年間各類水源使用情形。該圖顯示，各年總出水量雖隨需求變化，然而地下水取用比例卻有逐年攀升之趨勢，其值於 2017 年更達 59.6%，突顯金門供水結構過度仰賴地下水之隱憂，而海淡水之年產量於 2005 年雖曾達 43 萬噸之高峰，然而因設備老舊、原水前處理程序未完善等因素，於 2017 年已停產。依「金門地區整體供水改善綱要計畫」^[1] (以下簡稱改善綱要計畫)，時至 2021 年，金門單日需水量將因農業、生活、工業與觀光等發展，擴增至 6.11 萬餘噸，屆時若淨水產量未獲改善，或無額外水源挹注，則將有高達 1.21 萬噸之供水缺口，整體情勢更加嚴峻。



出水百分比 (%)

出水百分比 (%)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
海淡水	0.0	0.0	3.6	5.7	4.1	2.7	6.5	4.3	3.9	3.8	1.9	3.3	1.6	1.0	0.7	0.1	1.3
地下水	46.1	45.3	46.8	44.8	50.5	49.2	49.4	52.8	53.8	53.6	57.3	59.2	58.5	56.7	58.7	59.6	58.0
湖庫水	53.9	54.7	49.6	49.5	45.4	48.1	44.1	42.9	42.3	42.6	40.8	37.5	39.9	42.3	40.6	40.3	40.7

圖 3 2002~2018 年金門各類水源使用量及其比例



表 1 金門縣自來水廠各地面水庫可用水量一覽表

供水分區 (淨水場)	湖庫名稱	集水面積 (km ²)	滿水深 (m)	總庫容 (×10 ⁴ m ³)	呆水位庫容 (×10 ⁴ m ³)	有效庫容 (×10 ⁴ m ³)	庫容百分比 (%) ¹
金東南側 (太湖淨水場)	太湖	8.13	8.96	168.90	38.84	130.06	28.76
	田浦水庫	5.50	10.60	67.79	20.36	47.43	10.49
	金湖水庫	9.21	4.65	43.87	13.16	30.71	6.79
	陽明湖	1.32	6.93	30.82	7.72	23.10	5.11
金東北側 (榮湖淨水場)	金沙水庫	9.59	2.20	57.00	10.20	46.80	10.35
	榮湖	2.63	4.05	45.20	3.00	42.20	9.33
	蘭湖	1.20	8.20	37.00	10.00	27.00	5.97
	瓊林水庫	1.25	6.00	30.87	9.26	21.61	4.78
	山西蓄水塘	0.84	9.00	22.00	1.62	20.38	4.51
烈嶼 (紅山淨水場)	擎天水庫	1.46	15.06	23.84	7.15	16.69	3.69
	西湖	2.39	3.07	48.57	14.57	34.00	7.52
	菱湖	0.35	5.65	9.00	2.70	6.30	1.39
	蓮湖	1.06	6.05	8.54	2.56	5.98	1.32
總計		44.93		593.40	141.15	452.25	

¹蓄水百分比 = 有效庫容 / ∑有效庫容

四、水資源問題分析

先天水文條件已使金門水資源供應捉襟見肘，然而地形環境侷限與用水需求擴大，更增添供水負擔。茲將所面臨問題，分述如下。

(一)湖庫蓄水量匱乏

金門河川集水面積僅 0.35~9.59 平方公里，員幅甚小，為有效攔蓄降水，水庫多設於下游湖泊或近出海口處。依改善綱要計畫^[1]及本廠調查資料，如表 1，金門現有湖庫蓄水深介於 2.20~15.06 公尺間，總蓄水量約 593.4 萬立方公尺，扣除低於汲水設備或劣質原水之呆水量，有效蓄水量約 452.2 萬立方公尺，佔總量之 76.21%。而各湖庫之有效蓄水量，以太湖居首，其後依序為田浦、金沙水庫與榮湖，此四湖庫有效蓄水量總和，佔

整體之 58.94%。進一步檢視上述四湖庫之無因次庫容曲線，如圖 4，可發現除金沙水庫外，其餘三湖庫之蓄水深須達 60%以上，始能貯蓄近半庫容，顯示庫區深水容積有限，多數面域仍屬淺水，於此條件下，貯蓄水量極易因蒸發而損失。

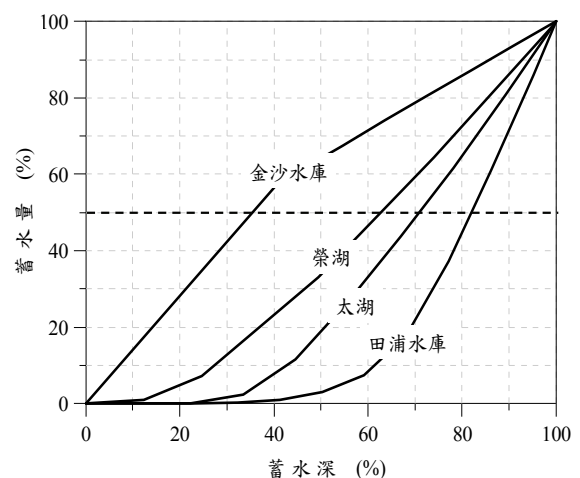


圖 4 金門主要湖庫無因次庫容曲線

(二)水質不佳

受既有湖庫位置所限，源於集水區上游聚落或農牧之生活廢水、耕作農肥與畜牧排泄等污染物，未經處理即排入河川，所含氮、磷等物質，直接提供水中藻類營養，繼而導致湖庫水質優養化嚴重。依 2002~2018 年全國環境水質監測資訊網公告之卡爾森指標 CTSI (Carlson trophic state index, CTSI)，如圖 5 箱形圖 (Box plot)，金門各湖庫多曾出現優養現象 (CTSI > 70)，其中又以榮湖 (CTSI = 91) 最為嚴重，而 2009 始啟用之金湖水庫，其水質亦曾逼近優養限度 (CTSI = 68)，顯見甚為上游入流影響。另由中位數可知，於太湖、金沙、瓊林及西湖等水庫，近半數時間均處於優養狀態。於此劣質原水下，地區淨水除採混凝、浮除、過濾與消毒等傳統程序外，多再經超過濾 (ultrafiltration, UF)、奈米過濾 (nanofiltration, NF) 或逆滲透 (reverse osmosis, RO) 等高級處理，繼而導致產水成本提高。

依自來水法規定，為保護地區水源，水利主管機關得視事實需要，會商有關單位，劃定公佈水質水量保護區，並禁止或限制相關貽害水質水量之行為。然而金門因受員幅所限，保護區劃定尚有困難。故為解決上游污染問題，主管機關自 1991 年起，即逐年辦理污水下水道系統建置，並以湖庫集水區內之聚落為優先。截至 2018 年底，總接管率雖已達 35.99%^[4]，然而污染問題改善有限，究其原因，除因接管進度緩慢外，地區湖庫淺小與低流動性，仍為水質易於優氧之主因。

(三)地下水嚴重超抽

金門地質分區概以中央垂線為界，以東具有大量露出之花崗片麻岩，以西則以紅土層為主，亦為地下水主要蘊藏區域。金門地下水大部分存在於淺層，依「金門地區地下水資源之管理與運用策略研究計畫」^[5]，地下水每日安全出水量約 2.38 萬噸，若扣除本廠每日為供應民生所用之 1.3 萬噸及金門酒廠釀製之 0.1 萬噸管制上限，單日剩餘安全出水量以不超過 1 萬噸為宜。然而據推估，民間每日私抽量約 2.2 萬噸^[1]，已明顯逾管制上限。

依 2006~2017 (通水前) 年金門地下水位觀察井紀錄，如圖 6，西半島地下水位，如於寧山庫、金鼎國小與湖浦國小等站，下降趨勢顯著，其中寧山庫水位由 14.32 公尺下降至 9.45 公尺，幅度達 4.87 公尺；而東半島之何浦國小、農試所與柏村國小等站，亦有 2.32~2.90 公尺之落差；烈嶼地區雖已非本廠抽用範圍，然而因尚有私井取用，故隨年度降雨量之變化呈較大波動，惟於紀錄年間亦下降 2.95~3.14 公尺，如烈嶼國中與上岐國小觀測井所示。由以上數據，可知金門地下水超抽問題日益嚴重。

五、自大陸引水計畫之推動

(一)緣起

為解決上述水資源問題，金門亟需採取具體可行之策略，而自大陸引水即為立基於改善綱要計畫^[1]所擬定分項措施「多元水源開發利用」中，較具長期優勢之方案。

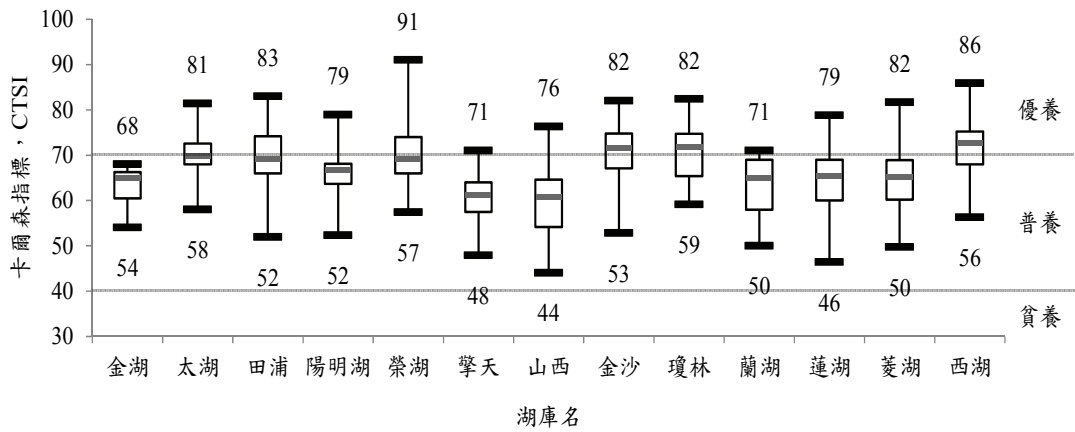


圖 5 2002~2018 年金門各湖庫卡爾森指標分佈

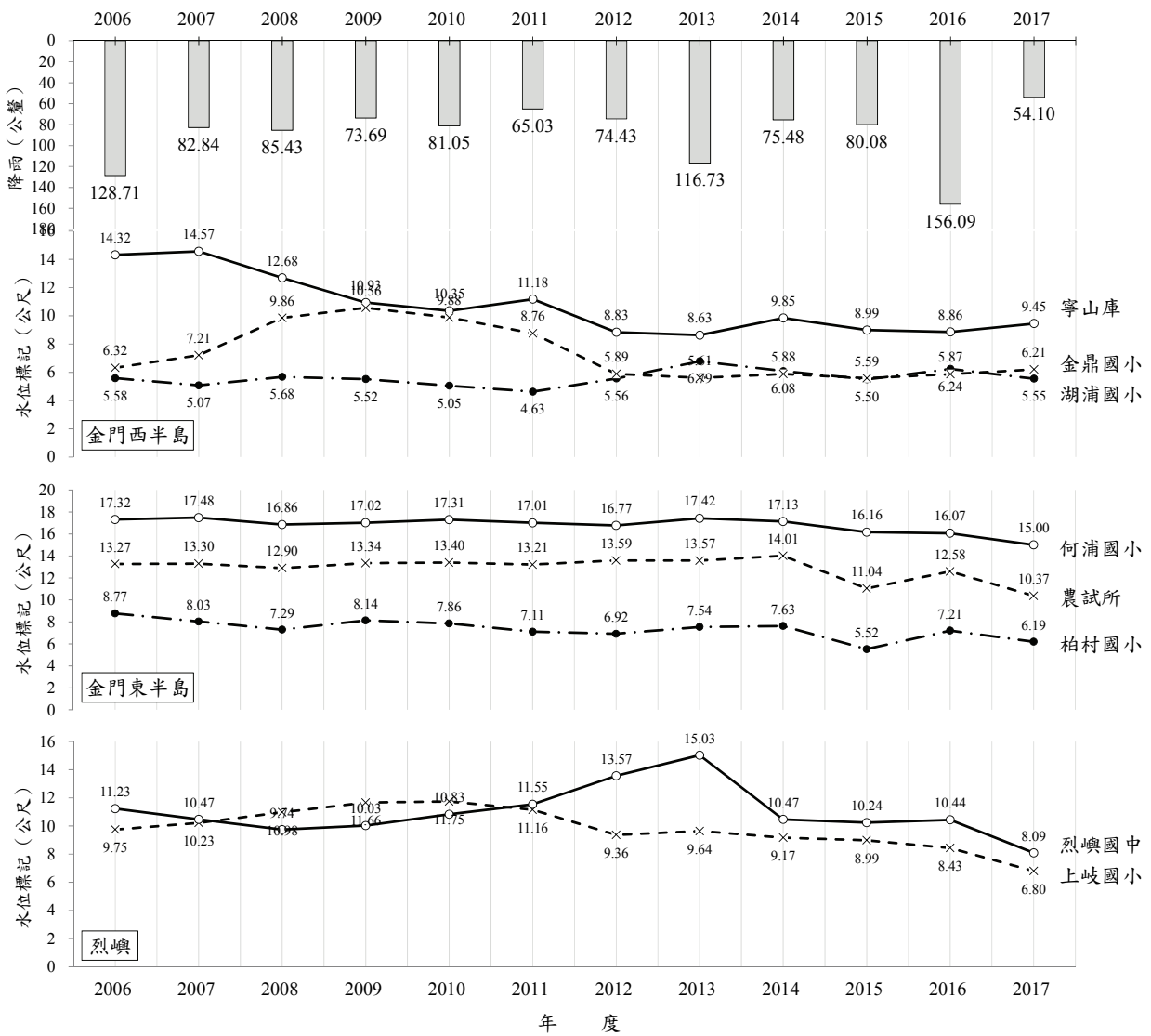


圖 6 2006~2017 年金門地區降雨及地下水位變化

自大陸引水計畫緣起，可追溯至 1995 年初金門大旱。由地區氣象觀測紀錄顯示，1994 年 9 月至 1995 年 1 月，金門累積降雨量僅 54.3 公釐，遠低於歷年同期平均值 251.4 公釐，該年多座湖庫幾近乾涸。為疏解旱象，經濟部啟動海軍艦艇載水計畫，自臺灣送水支援，然而該計畫僅經單次作業，即因每噸成本高達 700 餘元而停止，所幸該年 2 月後適逢大雨，缺水危機暫獲解除。惟此次旱象亦引起大陸北京及福建省官方關注。1995 年 3 月福建省水利廳於福州舉辦之世界水日大會上，拋出協助金馬地區解決飲水困境研議方案，並初擬可行路線，可謂開啟兩岸引水序章。於 2000 年，水利署為因應小三通業務推動後之水資源需求，乃著手評估自境外引水政策，完成「金馬地區與大陸通水之影響評估與規劃報告」。此後，兩岸透過各式非官方管道，陸續針對引水計畫相關資料蒐集、技術研討與作業細節等交換意見。又至 2013 年 4 月，「金門地區整體供水改善綱要計畫」獲同意核定，其並將自大陸引水計畫列為優先推動項目，同年 8 月，兩岸水利部門始於福州舉辦首次官方會商。此後，雙方總計歷經 3 次工作會議及 8 次技術商談，於 2015 年 6 月，終達成供水水源、水量、水質標準、合作模式、購水契約期限等多項共識，並於同年 7 月簽訂長達 30 年期之購水契約。而有關工程實務推動，兩岸則先後於 2015 年與 2016 年展開。

(二)引用水源、路徑及水質

有關自大陸引水源，如圖 7，係起自福建省山美水庫，經晉江供水系統南下抵達龍湖水庫後，由陸方於龍湖水庫籌建之抽水泵站及 11.68 公里陸域專管，導送至晉江金井

入海點，而後銜接本廠負責興辦之 16.05 公里海底管線，於橫越金門東北方海域並至田浦端上岸後，暫時貯蓄於新開鑿之受水調節池，經水質檢驗無虞，再經 7.06 公里之導水管系統送至新建之洋山淨水場處理，依設計量能，洋山淨水場每日計可產出 2.5~5 萬噸清水。

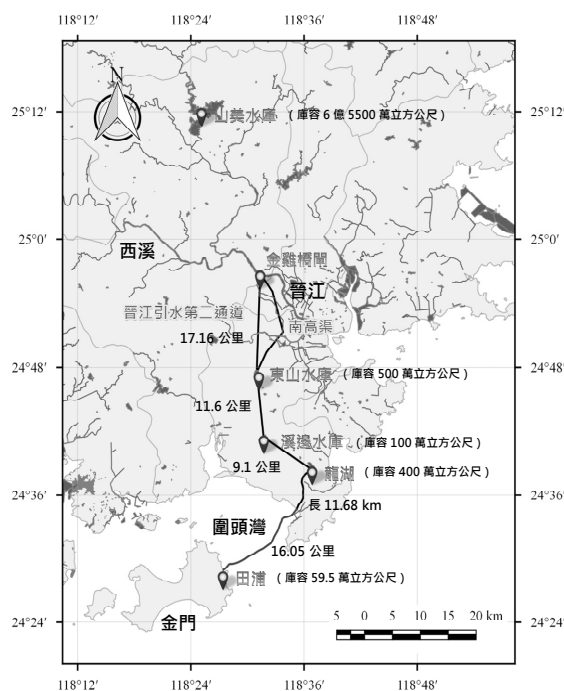


圖 7 「金門自大陸引水計畫」供水路線圖

而有關引用水質，本廠於計畫初期，即已多次派員赴晉江龍湖採水送驗，並與金門湖庫水比較，檢驗項目包含大腸桿菌群、化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD)、總有機碳 (total organic carbon, TOC)、氨氮、重金屬與總溶解固體 (total dissolved solids, TDS) 等，相關數據匯整如表 2 及圖 8。由圖表可知，金門湖庫水於部分檢測項目之平均值，有超標或臨近上限之情形，如 COD 濃度 48.4mg/L 不符 25mg/L 之規定；TOC 濃度 13.8mg/L 更達上限 4mg/L 之 3.45 倍；大腸桿菌群 (1.9mg/L) 與 TDS (436mg/L) 濃度



表 2 大陸「龍湖水庫」與金門主要湖庫水質比較

檢 項	大腸桿菌群	COD	TOC	氨氮	重金屬						TDS
					砷	汞	鉛	鎳	鉻	硒	
單 位	MPN/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
水源標準	2×10^4	25	4	1	0.05	0.002	0.05	0.01	0.05	0.05	500
方法偵測極限	—	4	0.188	0.02	0.0003	0.0004	0.004	0.002	0.004	0.0007	—
太 湖	2.1×10^4	45.2	13.3	0.54	<0.002	ND	ND	ND	ND	ND	261
田 浦	1.5×10^4	43.7	12.7	0.46	<0.002	ND	ND	ND	ND	ND	271
金 沙	2.4×10^4	60.6	16.0	0.51	<0.002	ND	ND	ND	ND	ND	720
榮 湖	1.6×10^4	44.1	13.4	0.47	<0.002	ND	ND	ND	ND	ND	491
金門湖庫平均	1.9×10^4	48.4	13.8	0.5	<0.002	ND	ND	ND	ND	ND	436
大陸龍湖	0.12×10^4	8.8	2.1	0.13	<0.002	ND	ND	ND	ND	ND	90

1. 數據來源：2017 年 1 月至 2018 年 9 月水源檢測報告平均值。

2. 平均值超過飲用水水源標準以粗體表示。

3. TDS 飲用水質標準為 500mg/L，水源若超過此值，傳統淨水處理程序無法去除，需加設高級處理始可處理。

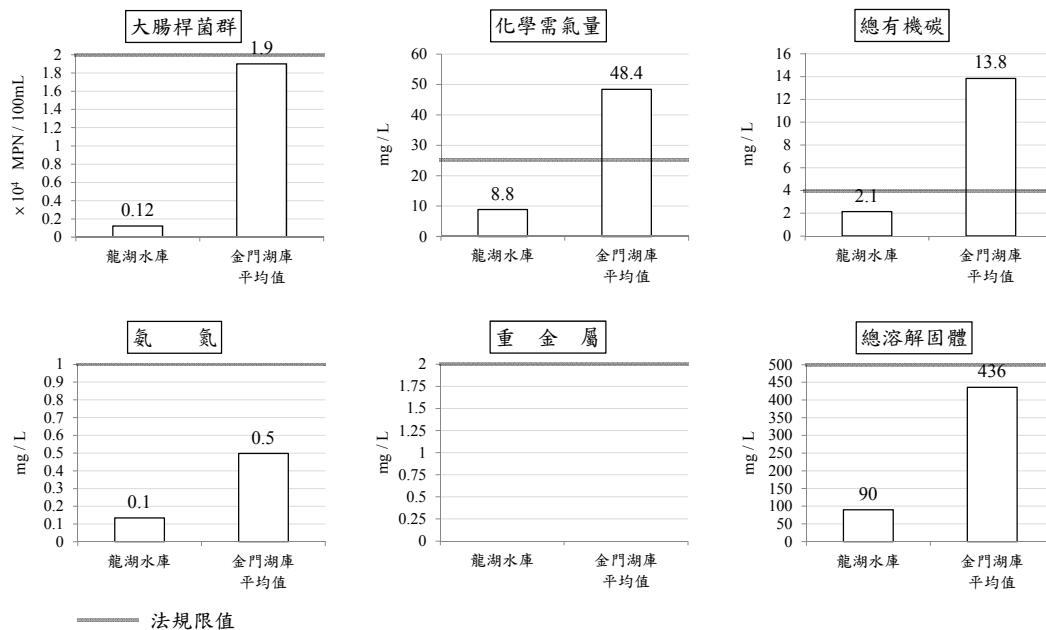


圖 8 大陸「龍湖水庫」與金門主要湖庫水質比較

雖未超標，卻甚接近規範值。而綜觀晉江龍湖水樣檢測數據，除均符合標準外，亦多優於金門湖庫水，該結果已初步保證引用水質安全無虞。

(三)購水量與安全檢測

依兩岸購水契約^[6]，金門自大陸引水量於第 1~3 年為每日 1.5 萬噸、第 4~6 年為每日 2 萬噸、第 7~9 年為每日 2.5 萬噸、第 10 年起每日 3.4 萬噸，並預留擴充至每日 5.5 萬噸之彈性。另有關於契約年間水質安全問

題，其一除有賴陸方嚴格落實水源地保護管理，及本廠不定期赴陸採驗外，另亦推動「三層把關，114 項檢測」機制，所謂三層把關，即本廠於晉江引水點、金門田浦接水點及洋山淨水場三處，設置即時監測系統，隨時掌握水質資訊；而 114 項檢測，則指晉江龍湖水源地除需符合臺灣「飲用水水源水質標準」內 10 項規定外，亦應滿足大陸「地表水環境水質標準」114 項指標^[7]，以此從嚴規範。

六、引水後營運現況

(一)淨水調度與地下水減抽

自通水啟用後，引進之大陸原水，原規劃送至新建之洋山淨水場處理，然而因該場軟硬體設施尚未完成，故經兩岸協商，先採單日 0.5~1 萬噸減量模式供應，又本廠為初期淨水所需，乃先轉送至太湖及滎湖淨水場。其中轉送太湖淨水場之大陸原水，與地區湖庫水以 1:1.3 之比例（依受水調節池泵浦效能）混合後進入淨水程序；而滎湖淨水場則因現有湖庫水質欠佳，故完全改採大陸水，由於兩者性質差異甚大，如表 2 及圖 8，故於淨水過程所需藥劑選用、最適添加量及其他系統運轉參數等，約耗時兩個月反覆測試，始使清水品質符合飲用水規定。

有關兩淨水場於通水前後之產能變化，如圖 9，其中太湖淨水場現因委託專業廠商代操作，故單日出水量仍維持契約最低保證量 6,000 噸，2018 年 9~10 月間之局部高峰（6,800 餘噸），係適逢新建海淡廠完工及滿載試車所致；而滎湖淨水場單日出水量，則由 2,200 餘噸平均提昇至 3,500 餘噸，大幅增加 59.1%，此外，該場現又因部份池槽正

停產改善，故產能於未來尚具擴充彈性。兩場所產充裕清水除供應原有金東南、北側分區外，其餘則支援金西地區用水。於實際調度下，金西地區於 2018 年 9~12 月之地下水抽取量，相較 2017 年同期已減少 11.6%或 29.96 萬噸，即其間差額部分已由上述水源替代。

洋山淨水場預計於 2019 年下半年投入營運，屆時自大陸引水量可望恢復至 1.5 萬噸，於清水產量提昇及供配水設施改善之情形下，可茲調度金西地區之餘裕水量勢將增加，則地下水減抽比例可望再次提昇。

(二)淨水用藥與成本

圖 10 彙整 2018 年通水前（1~8 月）、後（9~12 月）太湖及滎湖淨水場平均用藥量，包含次氯酸鈉、多元氯化鋁（poly aluminum chloride, PACl）、氫氧化鈉及硫酸鋁。首先，比較兩淨水場於通水前各項藥劑可發現，滎湖淨水場之施藥量，除氫氧化鈉外，其餘均高於太湖，且供助、混凝之 PACl 及硫酸鋁，幾近太湖之 1.56 與 2.22 倍，再次突顯既有劣質原水所造成之用藥負擔。進一步檢視各別淨水場於通水前、後之用藥變化，則可發現均有降低趨勢，此情形於滎湖淨水場尤為明顯，如次氯酸鈉濃度由 $0.10\text{kg}/\text{m}^3$ 下修至 $0.03\text{kg}/\text{m}^3$ ，PACl 由 $0.05\text{kg}/\text{m}^3$ 至 $0.03\text{kg}/\text{m}^3$ ，硫酸鋁由 $0.06\text{kg}/\text{m}^3$ 至 $0.03\text{kg}/\text{m}^3$ 。總體而言，各類用藥量約僅剩通水前之 30~60%。

另有關大陸引水對地區淨、產水成本之影響，因太湖淨水場現正委外操作之故，相關支出屬廠商營運隱私，然而考量前述用藥及其他連帶成本異動，本廠遂與代操作商協議依所送陸水量調降價購金，依此，本廠每

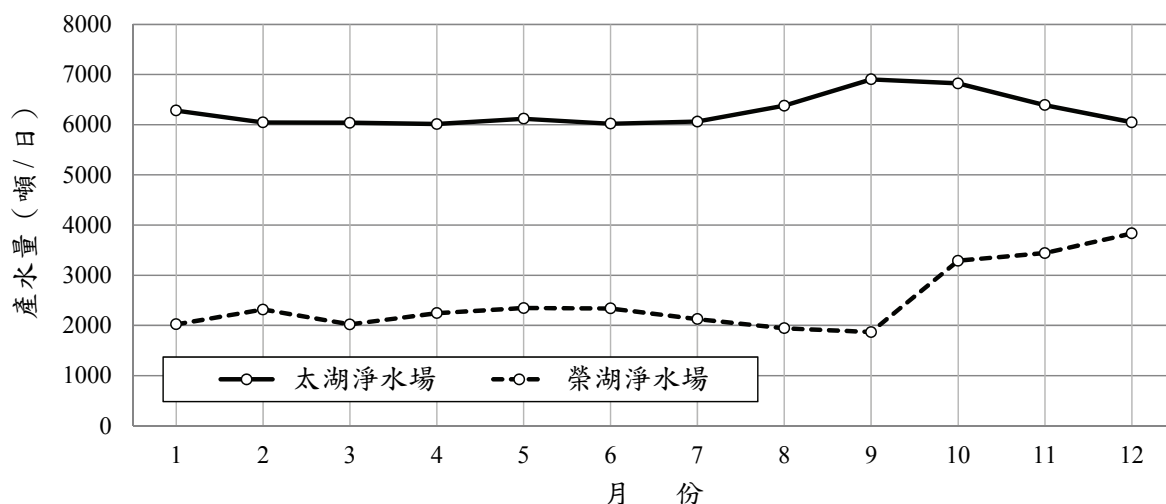


圖 9 2018 年太湖與榮湖淨水場供水量統計

噸價購支出可節省 0.23~0.70 元。而有關榮湖淨水場成本開銷，彙整如表 3。該表指出，當以傳統程序處理金門湖庫水時，因無購水費用，故每噸淨、產水成本為 12.53 元，然而囿於原水水質優養化嚴重，為有效殺菌，往昔乃於出水端提高消毒用藥，導致清水口感不佳及具化學異味，常為民眾詬病。為此，於傳統程序後乃再經高級處理，此項額外製程使每噸淨、產水成本增加至 38.99~46.78 元，若與每噸 10 餘元之售水價比較，可謂沉重財務負擔。而當改採大陸原水後，則僅需經傳統程序即可使所產清水符合飲用水標準並克服上述問題，且單位淨水成本僅 11.47 元，若另加計每噸購水支出 9.86 元^[6]，產水成本亦僅 21.33 元，尚低於引水前之費用，由此可見因原水質差異所造成之懸殊成本。

因通水迄今僅數餘月，表 3 所列成本分析尚屬初期估算，部分項目如人事、電力或

濾材等，於長期操作下仍可望分攤調降，故實際費用將持續檢討。

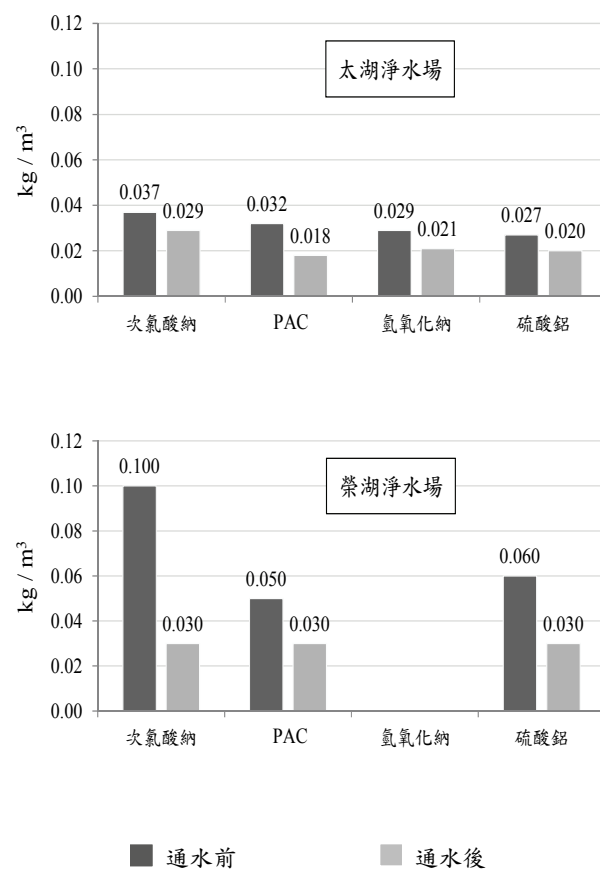


圖 10 通水前、後太湖及榮湖淨水場用量藥比較

表 3 榮湖淨水廠於不同原水源之產水成本比較

單位：新臺幣-元/噸

項次	項目 ¹ /費用	金門湖庫水		大陸龍湖	
		傳統淨水操作	高級淨水操作 (UF:RO=1:1, 產水率以 80%計)	高級淨水操作 (全 RO, 產水率以 70%計)	傳統淨水操作
1	人事費用	5.87	11.75	13.43	5.87
2	電力費 ²	2.11	4.39	5.01	2.11
3	藥劑費	2.02	2.99	3.42	0.96
4	設備維護費	0.58	5.60	6.40	0.58
5	濾砂	1.95	2.44	2.78	1.95
6	濾材更換費用	—	4.14	6.96	—
7	活性炭	—	7.68	8.77	—
淨水成本(1-7 小計)		12.53	38.99	46.78	11.47
購水成本		—	—	—	9.86
產水成本		12.53	38.99	46.78	21.33

1 未考慮行政、折舊及規費等支出

2 不含離島地區用電差價補貼

七、後續推動業務

大陸引水雖已疏解金門用水之苦，然而回顧地區水文環境，仍有許多沉痾宿疾亟待檢討解決，為健全島內供配水體質，本廠於未來將依改善綱要計畫指示，持續推動相關配套業務，分述如下。

(一)地下水管制與減抽

為有效保育及管理地下水資源，實現永續利用之目標，本廠於大陸引水後，業務重點之一將著眼於地下水應用檢討，而水權登記及計量管理即為掌握地下水使用情況之必要手段，因此，預計工作包含全面性私井普查及大戶用水量錶裝設。再者，為抑制違法水井，亦將配合研訂處置措施，避免私鑿情形無盡擴張。

另為紓解地區供水過度仰賴地下水之情形，本廠另項要務為視清水產能及輸水容量，逐年降低地區地下水抽用量，預計於第 1~2 年，每日各減抽 0.6 萬噸，第 3 年起每日減抽 0.63 萬噸，長期目標為每日減抽量 1.83 萬噸。

(二)供配水管線及設施改善

囿於現有供配水設備量能不足，東、西半島間用水調度有其上限，為克服該難題，本廠於 2018 年 7 月，已委外完成「金門地區整體供配水管網暨自來水設施新建及改善工程」規劃報告^[2]，依所訂期程，於未來 3 年將陸續推動既有配水池擴建、大口徑 (> ϕ 300mm) 配水幹管埋設，中繼加壓泵站興建等工程，藉以輔助暨加速東水西送。再者，伴隨人口成長與社區擴張，本廠亦將逐年檢討及延伸配水支線，以完善用水輸送。

另有鑑於部分地下水使用大戶，如餐廳、旅館、製造業、畜牧場等，實因座落供水管線未及或壓力不足處，迫使其僅能抽取地下水供營運使用，若未來淨水質、量均獲改善，並有完整水網支援，則可輔導業者優先取用自來水，此又將益於地下水源之涵養保育。

(三)湖庫水質及容積改善

因金門湖庫多位於生活及農牧區下游，為改善入流水質，並兼降低淨水成本，治本方法乃在落實上游集水區治理及使用管制，如推行河道清淤、排水整治、污水納管、畜牧遷養、合理化施肥、「水污染管制區」及「水質水量保護區」劃設等，自源頭杜絕潛在污染。而針對湖庫內既有劣質原水，於「金門地區水庫集水區保育實施計畫」⁸⁾雖曾研提諸多治理工法，如浮游生物淨化、奈米矽片除藻、湖面遮光控藻、呈層複合土壤淨化、微生物淨化、混凝除磷等，然而部分經初步驗證，成效不彰⁹⁾。因此，實際可行方法仍待研議。

另有關湖庫容積不足所衍生之貯水靜滯、水質優養、藻類繁殖及底泥沉積等舊痼，則有賴逐年辦理浚渫工程解決。受豐沛陸水所嘉惠，既有湖庫水之調度已較過往更具彈性，不受豐枯季所限，因此，部分庫區可視營運情形實施計畫性放空或水位調節，以提昇浚渫成效。

(四)多元水源開發利用

金門供水源原尚有海淡廠一座（設計日產水量 2,000 噸），然自 2017 年起，即因設備老舊與原水質不佳而停止運作。水利署為

穩定地區供水源及可靠度，2017 年 9 月乃於舊址興辦「大金門海水淡化廠功能改善暨擴建工程」，將日產水量增至 4,000 噸，並陸續於 2018 年 7~10 月間啟用及完成滿載試車，實質提高地區自有水源供應能力。

另重新檢視地區水資源利用情況，如圖 1，可發現每年排放入海之逕流（4,477 噸）約佔總逕流（5,064 噸）之 88.4%，未充份利用，故為有效攔蓄，地區水利部門已規劃於部分湖庫下游處，採加高溢洪道或開鑿蓄水池等方式，提昇貯蓄空間，初估可增加 4.6 萬噸用水。此外，針對主要溪流，又已逐年增建攔蓄水設施，計可再添 0.72 萬噸蓄水量¹⁰⁾。

污水回收利用亦為地區竭力開發之再生水源。依統計，本廠現有五座水資源回收中心之單日污水處理量約 6,000 餘噸，佔供水量之 26.1%，針對符合二級排放標準之廢水，本廠目前已將其輸送至鄰近池塘或濕地，經自然方式再次淨化，除供農業灌溉外，亦兼涵養地下水源。

(五)提昇用水效率

本項工作主要包含自來水減漏、農業節水及省水輔導三大面向。為執行自來水減漏，需藉由管網圖資建置、小區計量劃分與即時水壓監控相互配合，以有效掌握漏水區段；而於遇漏修復完妥後，亦應落實文件紀錄，除為日後類似案例提供作業方針外，亦可供年度管汰計畫排程參考。而於農業節水上，則自推廣旱作管路灌溉及辦理農塘水路基礎資料調查兩措施著手，其中旱作管路主要用以提昇灌溉均勻度、減少輸水損失、增

加單位用水之經濟價值；而基礎資料調查，則冀深入瞭解地區農塘水路現況，將過往粗放之汲用水方式，轉為較精確之區域化管理，並藉此研擬金門農塘水路設計規範、管理維護與永續經營之準則。最後有關省水輔導，則期透過省水器材補助換裝，以提高節水誘因，又配合不定期舉辦節水教育，厚植民眾正確用水觀念。

八、結語

金門在飽受戰火煙硝之際，亦長期承受先天資源不足的嚴峻考驗，致使民生與經濟發展皆舉步維艱。而自 2018 年 8 月 5 日，兩岸通水正式揭幕，除為 23 年漫長引水路劃下完美里程碑，對舒緩金門長期用水之苦，亦有實質成效。然而一紙三十年契約，仍未全然解決金門供水體質既存隱憂。因此，如何確保地區擁有充足且多元之自有水源，避免產生過度仰賴單一水源之風險，仍為關鍵。本廠肩負地區供水重責，於未來除將積極發展與維繫自主水權外，亦將戮力改善地區軟硬體供水設施，為提供民眾優質好水而努力。

謝誌

本文承蒙水廠各業務主管暨同仁提供資料參卓及文字潤飾斧正，謹致謝忱。

參考文獻

1. 經濟部，金門地區整體供水改善綱要計畫，2013。
2. 金門縣自來水廠，「金門地區整體供配水管網規劃暨自來水設施新建及改善工程」委託技術服務案規劃報告書，2018。

3. 大陸委員會，金門地區歷年小三通人數統計，政府資訊開放平台，2018。
4. 內政部營建署，全國污水下水道用戶接管普及率及整體污水處理率統計表，2018。
5. 金門縣政府，金門地區地下水資源之管理與運用策略研究計畫，2012。
6. 金門縣自來水廠，「金門自大陸引水計畫」購（供）水契約，2015。
7. 國家環境保環總局，地表水環境質量標準，中華人民共和國國家標準，2002。
8. 經濟部水利署，金門地區水庫集水區保育實施計畫，2017。
9. 蕭怡珍，淨水場藻類分析及過濾除藻效能評估之研究-以金門太湖淨水場為例，交通大學永續環境科技學程，碩士論文，2013。

作者簡介

黃仁國先生

現職：金門縣自來水廠工務課技士

專長：工務管理，地理資訊系統

許正芳先生

現職：前金門縣自來水廠廠長

專長：自來水規劃、營運及策略管理

從智慧城市發展談水智慧社區運用管理

— 以健康公宅等為例

文/鄭錦澤、林守義

摘要

自來水為民生必需品，科技演進日新月異，發展智慧城市(smart city)是近年來都市治理的新興議題之一，原則以資訊科技為基礎，將城市的硬體建設、知識創新體系與人文社會資本做有效率地整合，以提升城市或區域經濟競爭力，並追求高品質生活與環境永續發展。

基此，首先從國際水協會訂定“水智慧城市原則”，希基於城市的彈性規劃和設計，利用共同願景為基礎的協同合作，促使地方政府、水務專家和市民積極參與，共同面對城市水管理問題。另在智慧城市展及智慧城市首長高峰會上，台北市長表示，希望能將台北市打造為「宜居永續城市」。在此願景下，臺北自來水事業處(以下簡稱:北水處)承擔質優量足、用戶滿意的企業使命，透過企業社會責任的推動，更能體現直飲、效能、永續的台北好水，結合知識和能力與適當規劃與實施工具，讓北水處得以永續經營。

其次，為持續推動智慧城市，從智慧政府、智慧公宅、智慧創新等多面相主題，北水處從往昔為用戶提供永續的水資源服務，推動八大主題工具，諸如：供水系統管理資訊化、圖資管理資訊化等。另為提升營運管理效率，整合前述管理系統等來達到

「漏水改善與水壓管理」等五大面相，配合研訂相關計畫或方案，以期達成水敏型城市設計與全流域管理，而這也是北水處仍繼續努力之方向與目標。

最後，配合臺北市政府打造智慧城市政策，北水處推動水智慧社區，東區營業分處藉由智慧水管理平台運用、分析異常案件型態及處理方式，編製電子書分享案例及分享會，提供用戶智慧水表節水實際案例及自主管理技巧，吸引大用水戶熱烈參與；並積極輔導用戶運用「智慧水管家」自主管理用水。2018 年度預防性節約用水達 303,169 噸，換算節省水資源開發成本等 606 萬元；另約可減少 21,100 公斤的二氧化碳排放量。

未來北水處亦將配合階段性發展智慧水表，諸如：先推動模式試煉。另亦將配合主管機關推動智慧水表聯網服務與設置智慧水網示範區等，以更有效率智慧管理，提升水資源有效運用。另外，希帶動相關產業，帶來新的智慧生活型態；進一步打造為「生活實驗室」的智慧城市。本文另希望將位於東區營業分處轄區，目前台北市更多住戶的健康公宅等水智慧社區配合建置運用智慧水錶，以及水質安全偵測等案例，進行水智慧管理探討。希提升綠色供水效能；另供相關從業人員與有興趣人士等知識管理參考運用。

關鍵字：智慧城市標準、水智慧城市、水智慧社區

一、前言

資訊科技之發展日新月異，民眾之需求快速加增，這都不斷地考驗著經營與決策者之智慧。發展智慧城市(smart city)是近年來都市治理的新興議題之一，參與者必須包含政府、企業與市民大眾，藉由科技共同尋求解決公共事務難題的方案，讓城市生活環境更加友善與永續^[1]。英國標準協會(BSI)所發布的 PAS 181:2014 (Smart City Framework)是相對縝密、中立、且從城市管理者角色出發的方法論，它提供決策官員在進行智慧城市規劃時所需考慮的項目。其後相關國際組織經廣泛探討，已於 2018 年嘗試制定智慧城市標準，ISO37106:這份標準定義了智慧城市的營運模式，讓城市能更快速地實現其願景、策略和政策^[2]。該份標準提供了關於如何在實務中實現這些改變的詳細、經過驗證的指引。

此外，智慧水網論壇(Smart Water Networks Forum, SWAN)「2017 倫敦年會，匯聚了 31 國 220 多位水務業的領導人，一起分享邁向更智慧、更具有韌性的水未來轉型的經驗。透過鼓勵研訂智慧水管理政策、關鍵利益相關者之間的多層次協調、應用 ICT 技術，建立社區用水的集中化願景，全球城市可以增強其水務系統的韌性^[3]。其議題主要聚焦在創建智慧及韌性的水務系統，包括四個關鍵主軸：(一)安全水質、(二)可靠服務、(三)安全系統、(四)效能營運。根據 SWAN 專家研討，可歸納未來智慧水管理趨勢包括：線上用戶參與、智能灌溉、智能水管理、即時水質監測、行業合併及收購、

自動化智能操作及跨行業合作，將是未來國內在推動智慧水管理政策時，可供參考之方向。

另國際水協會是目前全球最主要的水務協會，會員橫跨 130 個國家及地區，約有 6,607 位個人會員、378 個團體會員、23 個大學成員及 54 個政府成員。今日全球之自來水事業正面臨許多方面的挑戰，其中包括基礎設施老化、環境及氣候變遷之影響、水資源短缺、各種需求不斷的增加、水質和能源價格上漲等。加上資訊科技之發展日新月異，民眾之需求快速加增，這都不斷地考驗著經營與決策者之智慧與應變的執行能力，並激發思考如何使節水、用水效率、用水安全與用戶服務品質之提升^[4]。

基此，國際水協會為幫助城市管理者，在確保人人可獲得水資源和衛生服務的基礎之上，制定和實施城市水資源永續發展的願景。嘗試訂定“水智慧城市原則”^[5]，基於城市的彈性規劃和設計，其目的係利用共同願景為基礎的協同合作，促使地方政府、水務專家和市民積極參與，共同面對城市水管理問題，亦提出水智慧城市原則：分為五個區塊：(一)願景、(二)治理、(三)知識和能力、(四)規劃工具、(五)實施工具，以及四個逐級遞進的行動計畫(一)第一級：為全民提供永續的水資源服務(Regenerative Water Services)、(二)第二級：水敏型城市設計(Water Sensitive Urban Design)、(三)第三級：流域城市(Basin Connected Cities)、(四)第四級：水智慧社區(Water-Wise Communities)。構築一系列 17 個原則，使城市中的各利益關係人促

成水智慧社區，確保打造永續的城市水環境^[6]。北水處為持續推動智慧城市，提昇綠色供水效能等願景，除藉由多層次與面相之協力治理外，在相關不同部門之資訊運用業務，亦周詳規劃未來短中長期推展方向，藉由規劃訂定相關策略地圖與績效指標，考量資訊業務現況及未來發展需求，研訂相關合宜工具與方案，以利自來水事業須面對相關課題因應。

此外，在 2019 年智慧城市展及智慧城市首長高峰會上，展示智慧公宅等相關主題^[7]，台北市長柯文哲表示，希望能將台北市打造為「生活實驗室」的智慧城市。其中智慧公宅是將智慧科技應用在公共住宅上，其中包含水、電、社區安全外，同時將智慧化設施納入智慧公宅的興建及管理上。

二、管理工作資訊化回顧探討

北水處過去配合科技之蓬勃發展，陸續將各相關管理工作流程化與系統化，並進行資訊化，使用資訊技術（Information Technology IT）做出各相關業務之管理系統，以提升作業效率，減少人為錯誤，並透過資料儲存與分析，跨系統間之資料拋轉、整合及加值應用，做出可提供有利於決策參考之資訊。而各相關管理工作之資訊化^[8]，正是邁入智慧型自來水網路與水智慧城市的第一步。

(一)供水系統管理資訊化

北水處為了提升供水及用水效率，並促進有效率的管理所有與供水系統相關之資產，又為降低供水風險，掌握供水轄區之供水狀況，乃於民國 77 年 5 月開始建置大臺北

區自來水監控系統。民國 88 年以後之後續配合擴充，其後配合民國 95 年開始進行的 20 年管網改善長程計畫之需求等，局部擴增軟、硬體措施，以提升改善後之監控系統之搭配運作等效益。目前供水轄區有 101 座加壓站（含淨水場內之加壓站），其中可做監控的有 92 站，另有 9 座淨水場之加壓站因考量供水安全與穩定性，僅做監視來輔助現場操作人員全盤掌握其所負責之供水區域的狀況。北水處為配合轄區內之管網系統之操作與管理之需求，設置有 237 個監視點，隨時監視管網之供水狀況，可提供操作管理人員遇到異常時，作即時應變。

(二)圖資管理資訊化

隨著供水管理資訊化，加上為配合健全管網政策之需求，其所搭配相關之圖資管理相對也必須資訊化，以同步提升圖資作業與維護管理之效率。北水處爰於民國 80 年起，配合內政部營建署推動「國土資訊系統」及臺北市政府府推動「地理資訊系統」，逐步參與相關會議，期間並由資訊室及供水科「工程管網電腦化推動小組」以 Arc GIS 系統辦理文山示範區試辦計畫^[9]。於民國 100 年配合北水處 4 年（民國 101-104 年）圖資管理系統之業務推動計畫^[10]，包括圖資整合管理平台建置、Web 化及整合改版、用戶用水申裝管理系統建置、GIS 管網監控整合系統建置、場站圖資管理平台建置、圖資基礎平台軟體維護及更新，以及跨機關（包含臺北市及新北市之路權單位及消防單位等）之介接整合運用等^[11]。執行到今日，已確認其方向之正確性，使圖資與工程之施作完全緊

密結合，大大提升了 GIS 所提供之圖資的穩定可靠性，又將管線資產之建置日期、管徑、材質等資訊建置於圖資系統中，可配合供水管網在管理上之各種需求，做不同的分析、比對與校正，幫助管網系統之操作管理人員做出更快速且精準的預測與即時應變，且可作為往後管線維修與汰換之參考^[12]，提升管線資產理之效率。

(三)淨水處理資訊化

民國 83 年起，為掌握出水水質及穩定加藥，開始建制 PC-BASE 水質監控系統，開始針隊加藥控制及水質偵測，將重要偵測點水質訊號及加藥量等訊號，由 PC 進行資料收集及控制，此優點為掌握各流程基本出水概況及加藥自動化控制能力。民國 90 年起，為進行淨水精緻化操作，全面掌控出水水質，降低人員操作失誤機率進而縮減人力，依排定之計畫期程，陸續建置淨水處理資訊系統。以 PLC-BASE 為基礎淨水處理系統，透過各製程監控設備建立及改善，將各場分為快濾中心、加藥室、變電站、淤泥處理廠、原水取水及出水系統、水質訊號、場區監視系統，透過光纖網路將整場連結，各場各站值班人員可透過場內光纖網路由場站內之監控電腦，監控整體處理現況；各場透過 ADSL 連結至北水處內之監控室，可掌握所有場站之淨水處理狀況；並透過網路與監控系統連線取得供水資訊，了解下游之供水變化狀況，以作為淨水處理出水之參考。民國 103 年起，為配合 PLC 修改架購，以因應舊機型停產，逐年進行 PLC 汰換，並配合工業電腦、WINDOW 作業系統、圖控軟體等改版

及支援問題，配合監控電腦使用年限逐年汰換，以確保淨水資訊系統正常運轉。

(四)水質監測資訊化

為確保民眾飲用水安全，於民國 72 年起設立「水質監測系統」，委託新竹電子工業研究所建立第一座本土化水質電腦監視系統，大幅取代淨水場傳統人力檢驗作業，及時掌握水質狀況，提升淨水處理應變能力。為配合行政院推動資通安全政策，於民國 93 年 5 月通過 BS7799 資訊安全認證，又於民國 95 年通過 ISO 27001 資安認證，首創全球第一家自來水事業通過資安認證之先例。另於民國 99 年起，隨著資訊科技發展，進行監測系統改善，各遠端偵測站改以可程式控制器（PLC）收集水質訊號，再以數據機經由數據專線傳送至水質監控中心圖控系統集中監控即時水質資訊。此外，並對內、外部顧客資訊分享作改善。其中將即時水質資訊傳送至水處資訊室、GIS 及供水科監控中心，提供相關單位作為操作參考依據，讓水質資訊發揮最大功能，達全面的水質保障。

(五)財產管理資訊化

為增進財產管理之效率、使管理人員迅速掌握資產之變化狀況，北水處於民國 85 年配合資訊業務之整合擴充，建置財產管理系統。民國 93 年建置新版財產管理系統，為要解決舊版系統之民國百年年序問題，並提昇財產帳目電腦化管控的效率，以及依財產管理辦法，配合臺北市政府財產管理，以及北水處之當時業務重新規劃設計，建置新版本系統。民國 95 年配合臺北市政府財政

局建置「財產管理人員入口網站」。民國 100 年為掌握各類財產即時狀況，並配合臺北市政府財政局 99 年度「財產管理系統整合開發案」。提供各單位進行財產管理介面，簡化作業程序，強化本處各項財產資源之運用效率，

(六)物料管理資訊化

北水處為精進物料之管理，於民國 86 年起建置物料管理系統，民國 88 年、民國 89 年、民國 91 年及民國 99 年陸續配合相關業務新增多項功能。為配合水費水表營收系統建置案修改系統相關程式，增修水表領料作業、水表退料作業、水表領料結存作業、水表退料結存作業、並新增水表驗收作業、水表判定作業、保固表入庫作業等，以落實就源輸入理念，簡化行政作業程序，且使不同系統之資料保持一致性，又確保表籍資料設置前後一致之完整性，同時簡化會計之帳務處理。民國 102 年為因應未來作業系統之升級與更新，以及消除管線工程承辦人員作業之不便利，需整合大口徑管材及各工程特殊用料需求，並擴增系統備料功能，自動管控需求量、備料量、領用及退回情形等數據，且針對不同之業務性質或需求給予適當的權限等級，為符合資安要求，增加權限管理功能。必須進行權限管理作業、藥品處理作業、基本資料管理作業、供料作業、料務管控作業、各單位領退料作業、倉儲作業、料帳作業等功能之增修，以符合未來作業之所需。

(七)水費水表營收資訊化

北水處為配合日常營運業務包含裝換水表、抄表、計費、水單產製、郵銀代繳、複查更正、銷帳處理、及帳務營收等等各項作業，建置水費及表籍系統。民國 81 年是使用王安主機(VS)、而於民國 85 年轉換至 UNIX 主機 SYBASE 資料庫之開放式環境。使水費及表籍管理電腦化，並增加便民之服務。爰於民國 95 年至民國 98 年分階段建置「水費水表營收資訊系統」，並於民國 99 年全面更新上線。依新規劃之簡化流程，重新開發之子系統包括：1.基本資料管理子系統、2.批次系統、3.抄表系統、4.前檯系統、5.複查及更正系統、6.帳務系統：為處理各項收費帳務處理，提供下列作業功能：郵銀代繳作業、郵銀超商代收作業、機關戶作業、代徵作業、補助作業。7.違章稽查系統、8.派工系統、9.電子帳單系統、10.水表系統、11.特定用戶管理系統。全新開發之系統解決民國百年年序問題，確保系統正常運作。資訊安全防範工作為全面性且不可中斷，北水處為確保「水費水表營收資訊系統」資訊作業環境安全及提供具安全性網路資訊作業平台給同仁及民眾使用，以提升資訊安全觀念與知識，乃積極推動各資訊系統資訊安全認證，並於民國 100 年通過 ISO27001 認證。

(八)用戶服務資訊化

北水處為建立便捷、迅速反應機制，提升為民服務效率並維持服務品質一致性與標準化，創造為民福服務之形象。在民國 90 年建置客戶服務資訊系統，另於民國 100 年重新建置開發全新的客服人員操作介面，以

提升客服人員工作效率，增進客戶服務滿意度，並確保人員服務水平，故進行客戶服務資訊系統升級建置。升級後之系統功能如下：1.整合既有交換機系統提供進線處理功能、2.派工處理功能、3.訊息管理功能、4.錄音與監聽功能、5.全流程整合施工資訊系統、Web GIS 系統、市府 1999 派工系統、水費系統、薪資系統。民國 101 年，延續前一年度開發成果，進一步納入值機員績效評估機制，強化客服人員管理功能，同時強化與其他既有系統整合。

以上八大系統與用戶供水有直接或間接之關係，北水處為精進服務用戶與提升供水效率，前已陸續完成資訊化，也積極進行相關業務之資料整合、增值應用等，並提供精確之資訊給各階層之決策者與相關單位應用，以作為決策之參考。

三、自來水智慧網路運用與協力治理 提升效能探討

建置了自來水各相關管理系統之後，緊接著是必須將這些相關管理系統做整合及增值應用，使它們能產出更多可供利用之各項資訊，來做整合增值應用，提升北水處之營運管理效率。故如何整合這些管理系統來達到「漏水改善與水壓管理」、「策略優先與資本支出之分配」、「簡化管網之操作與維護」、「簡化水質監測」，另加上「與用戶服務有直接或間接相關之系統整合」等目標，才是重要，而這也是北水處仍繼續努力邁向水智慧城市之方向。

對於跨組織或機構的協力過程(process)中，績效管理者(例如，上級主管機關或具實

權之委員會)對各協力組織的立場與策略行動應加以分析與掌握，若能優先選擇較具備創新立場的組織或領導者進入協力關係，應對於發展智慧城市之績效更有助益。掌握組織可能採取的策略行動，給予必要的協力，以提升整體治理的成效。北水處成立資訊與安全推動委員會、創意審查委員會與單位績效管理委員會等提供多方面得協力治理。此外，臺北市政府亦從上級主管機關面向，成立相對應委員會或由相關機關組成專案小組等，藉由多層次與面相，予以從旁協助。

基此，要邁入「智慧型自來水網路」，首先必須將自來水供水系統之管理資訊化(監控系統)，再進一步與其他相關之系統(如圖資管理系統、水質監測系統、財產管理系統、物料管理系統、……等等)搭配整合，使得成果、解決方案和系統完全整合成套，讓北水處能用以：1.做出具前瞻性的診斷問題，事先洞察優先和管理維護之問題，且善用數據驅動之透視力來做遠端控制和配水管網各方面之最優化。2.在水質與節約能源之法規和政策的要求上，符合透明和自信。3.提供用戶所需要的資訊工具，使用戶針對實際狀況和自己的行為及用水模式，做出智慧的選擇。茲將北水處邁入智慧型自來水網路來逐步達到以上之目標之過程說明如下：

(一)漏水改善與水壓管理

一般的配水系統之漏水是很難偵測的到，然而這將成為一個重要的問題。北水處為節約寶貴之水資源，刻正積極辦理管網改善之工作，並執行自民國 95 年至民國 114 年為期 20 年之管網改善計畫，又以創新之

小區計量技術，逐步提升售水率，降低漏水率，意即降低無計費水量（NRW），此技術並於民國 99 年榮獲國際水協會（IWA）頒發工程革新獎東亞區計畫類首獎，此外又搭配所擬定計畫性漏水檢測作業，委託漏水檢測之專業廠商進行檢測漏水工作，迅速找出不明漏水點，立即修復漏水。使得售水率逐年提升，漏水率則是逐年下降，預計至民國 114 年，可使漏水率降到 10% 以下。

北水處經由監控系統與圖資系統之建置，並將大型加壓站之抽水機增設變頻設備，以及中小型加壓站之自動化與增設變頻設備，使管網之運轉已可達到即時監視水壓與即時操作抽水機控制水壓之能力，並透過均勻水壓之操作使管網之管理更精緻化，達到節約能源之最佳效果。若遇到不預期之爆管，監控中心亦可迅速反應，並即時作水量、水壓之調配，縮短應變之時間，使災害損失降至最低，故北水處已由過去之被動管理水壓，轉變成為積極主動的管理水壓，並隨時掌握管網之水壓，有異常則立即應變。

北水處經由管網改善搭配計畫性之漏水檢測與水壓管理等措施，加上常態性的成立 NRW（無計費水量）改善小組，不斷檢討發覺各工程施工品質與漏水等相關問題，再透過流程之改變與更新，直接提升作業之品質，使無計費水量逐漸將低，其結果是，漏水率由 94 年 26.99%，到 107 年 12 月漏水率改善減少至 13.52%，漏水率改善成效 13.47%，相當於減少 13,238 萬噸的水量。

(二)策略優先與資本支出之分配

鑒於臺灣地區水資源開發不易，科技發展卻仍方興未艾，故日常需水量亦緩緩增

加，反觀過去管網之漏水問題，因管線資產龐大，又缺乏資金之挹注，以致汰換率不佳，致漏水日益嚴重，極待解決。北水處為節約水資源，並解決水資源開發不易之問題，乃毅然決定投資超過 200 億元，執行自民國 95 年起為期 20 年之管網改善長程計畫，並以自籌財源（由盈餘挹注、攤提折舊、貸款）之方式辦理。

因得助於圖資系統之建置，提供管網之資訊（包含埋設位置、年度、口徑、材質與竣工圖資、閘栓位置相關圖資等），方便工程人員運用系統進行管線工程之規劃、設計與施工，加上北水處同仁自行開發之管網弱點分析軟體，可依照弱點分析之結果，劃定小區之區塊，再排訂小區計量執行之優先次序，由售水率最差者優先辦理，並依計畫之期程逐年逐步進行小區之管網汰換與計量，執行至今真是立竿見影效果顯著，達到策略優先與資本支出之最佳分配。

(三)簡化管網之操作與維護

由於配水系統的複雜性，以及全時間提供持續供水服務給消費者之需要，北水處目前除定期進行閘栓之巡查與維護，並對管線末端作排水，以降低污染之機會，目前配合臺北市政府新建工程處，於施工資訊系統增加功能，使現場回報、開工、停水、復水、完工，…，等作業，納入現場行動應用（APP）回報管理，並將相關資訊直接拋轉至新建工程處之道路挖掘系統，幫助新建工程處作整體管控，在作業過程因簡化流程，以致減少許多人工作業，同時減少了人為錯誤，提升了數據的正確性與可靠性。至由監控中心直接進行遠端、在路上之制水閘控制，將視未

來資金之分配及環境發展之需要持續規劃。隨著智慧型技術之發展與應用，降低許多操作與維護成本。

(四)簡化水質監測

在水質方面是全球自來水公司和監管單位所關切的另一個問題。為了確保用戶都獲得所通過之嚴格水質標準的乾淨自來水，訂定愈趨嚴格的自來水標準及管理供水安全性的風險，並強化配水系統中的弱點已成為當務之急。因此，必須進行頻繁和嚴格的評估，以防止因人口迅速增長，城市化，以致污染和生物恐怖主義等所造成的危險，威脅到供水安全。

北水處自訂之水質標準較國家標準更為嚴格，又為消除管網中之安全漏洞，於轄區之供水管網，皆定期做閥栓之維護、排水與管線末端之排水，並量測水質是否達到標準，以確保供水之安全，降低供水風險。而所建置之水質監測系統已提供內、外部顧客資訊分享。在內部顧客方面，將即時水質資訊傳送至 MIS、GIS 及監控中心等依需求作整合，提供相關單位作為操作維護之參考依據，讓水質資訊發揮最大功能。在外部顧客方面，因應電腦多媒體發展及滿足民眾需求，修改外網即時水質資訊畫面及功能，以 Google Map 為基礎圖台，方便查詢水質資訊及歷史趨勢圖，以利民眾了解北水處供水品質，使系統發揮其對內部管理及對外徵信的最大功能。

(五)用戶服務有直接或間接相關系統整合

1.與用戶服務有直接相關方面

自建置客戶服務資訊系統以來，因陸續

整合監控系統、管理資訊系統、圖資系統、水費水表營收系統等相關資訊，客服中心之客服人員，可透過電腦操作，直接提供用戶各項服務資訊，包括繳費、施工停水、水池水塔、漏水、用戶無水服務、申請案件之處理狀況、…等用戶各項問題之解答。用戶有任何自來水方面需要服務，只要打電話到客服中心，客服中心之人員皆可及時協助解答或解決相關之問題。用戶亦可在任何地方，透過網路直接連上北水處之網站 (<http://www.water.gov.taipei>)查詢需要之相關資訊。

2.與用戶服務間接相關方面

管網改善工作是與用戶用水之水質安全息息相關，因此，所有與管網改善之相關工作皆與用戶服務有間接關係。北水處為提供內部相關之規劃、設計、施工與操作管理人員充足且正確之資訊，縮短作業時間，使內部作業更加順暢。爰於民國 98 年 1 月起，將管網改善工程進行全流程之管控，透過圖資管理系統、工程管理系統、物料管理系統與財產管理系統等相關系統之整合，使所有工程案件從規劃成案、編製預算書、設計、施工、到竣工結算、產製財產增加單、決算及財產入帳結案，全部納入管控，包括施工期間之道路挖掘管控（已與臺北市政府新建工程處之道路挖掘管理系統介接，可做資料拋轉增值應用。而新北市政府部分於民國 103 年進行介接與測試）、領、退料管控，圖資數化之管控、竣工結算之數量與入帳之財產增加單等皆可由系統一貫作業，大大的減少了人工之作業數量，也降低作業過程中犯錯之機會，且幫助了後續之操作與維護管理

人員，迅速了解資產變動之狀況，隨時可做操作與維護之因應，加上查核及考工人員不定期的抽查施工品質，隨時監控廠商之作業狀況。如此嚴謹控管執行之過程，再搭配前面已經說明之相關資訊化與系統整合等措施，必能確保用戶用水之水質安全。

四、水智慧社區運用管理探討

智慧城市可以說是近幾年來最熱門的話題，透過智慧城市的建設，能夠打造更方便且便利的城市生活。最初由 IBM 所提出的「智慧的地球」概念，強調的是未來世界在網路全面的建置下，將讓所有事情變得更智慧化。而後也衍生出許多不同的概念。在 2018 年智慧城市展及智慧城市首長高峰會上，台北市長柯文哲表示，希望能將台北打造成為一座「宜居永續」的智慧城市，將在五大項目中一一實現，分別是智慧公宅、智慧交通、智慧醫療、智慧教育及智慧支付等。智慧公宅？顧名思義就是將智慧科技應用在公共住宅上，除了對水、電、社區安全進行考量以外，同時將智慧化設施，像是社區管理雲、智慧電網等都納入智慧公宅的興建及管理上。透過營建經費另加 3%~5% 建置智慧化 ICT（資通訊技術）系統，公宅智慧化將打破大家對只有豪宅才可以享用智慧科技的觀念。

為配合臺北市政府智慧城市政策，規劃近年內推動數萬戶智慧公共住宅，北水處自來推動水表智慧管理為重要環節之一。當機械水表導入脈衝訊號讀取或電子水表輸出數位訊號，搭配有線或無線傳輸的讀取計量方式即構成自動讀表系統 (AMR)，是智慧水

表最初也是最基本的架構。經由實際安裝 SWM 及測試 AMR 結果，確實可降低用戶生活干擾，但在取得計量及頻率上，會受到數據格式、通訊方式及硬體架構的不同而有所影響，各廠牌表現依架構不同而各有優勢。

依相關研究建議先以「配合公共住宅政策、階段性免費安裝智慧水表(Smart Water Meter, SWM)」、「因應建商智慧新建案、付費升級安裝智慧水表」、「回饋大戶水費漲幅，安裝自動讀表系統 (Automatic Meter Reading, AMR) 協助節約用水」及「建置智慧水表資訊平台、提供民眾加值服務應用」4 個構面推動智慧水表建置，以充分發揮智慧水表優點；另再配合整體考量漸次發展「大用水戶」、「公共住宅」、「新建與私宅」、及「智慧水管家」等 4 個面向擴大運用^[13]。

智慧水表本體的進階功能包括漏水、逆流、超載偵測、磁干擾、電力不足、靜止天數、啟動次數、異常警示…等，是否能經由 AMR 傳回管理端而充份發揮 SWM 功能為運用重點，經實際建置發現如能參採各國實用經驗，諸如：資訊介面及資料運用等，將由助於提升運用成熟度，建議相關自來水單位應瞭解在地的服務及管理需求，據以制定智慧水表系統架構與規範，以充分發揮智慧水表的功能。本文將位於東區營業分處轄管配合建置的健康公宅等運用智慧水表，及水質偵測與智慧水管理等案例進行探討。此外，藉由台北市智慧公宅的實踐，相關業者也可以從這些 ICT 智慧經驗，能夠成長、茁壯，甚至將該等技術擴展到其他自來水事業體與國家。

(一)智慧水管理架構

于 107 年底前於智慧公宅等陸續裝設智慧水表，其中位處東區營業分處所轄，諸如：健康公宅已裝設 524 栓；另大用戶亦裝設 517 栓，合計達 1041 栓，約為北水處總數 40%。

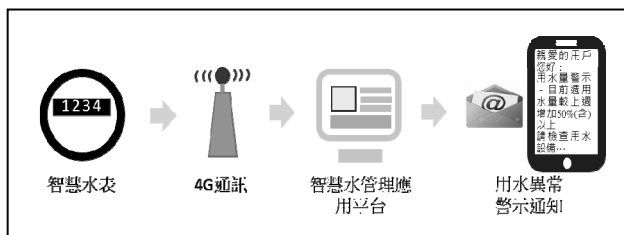


圖 1 智慧水管理系統架構

今年亦將於東明公宅裝設 720 栓。每只水表以線路連接至集抄器後，每日 2 次將抄表資料透過 4G 網路傳送至北水處智慧水管理應用平台進行紀錄與分析。另北水處也同時開發「智慧水管家」網站，供用戶登入查看自身用水資訊(如圖 1)。藉由系統平台提供週、月用水量突增 30、50%等多種警示條件，經統計發現用水習慣改變，即以電子郵件或簡訊方式提醒用戶注意，以供檢視或改善。

(二)水質安全監測

北水處為確保公宅飲水安全與品質，於健康公宅 1 區及 2 區各設 1 處「連續式即時水質偵測站」，裝設水質偵測器，24 小時連續監測濁度、餘氯及酸鹼度等水質狀況，所收集之即時資訊（每分鐘 1 筆）透過網路傳送至水質監控中心(如圖 2)，即時監控該公宅之水質狀況，並透過智慧水管家網站，供用戶查詢，除確保公宅住戶用水安全，亦提供用戶服務。



圖 2 水質即時監測資訊

(三)智慧水管理案例探討

當收到智慧水管理應用平台所發送之用水異常警示，這些問題都可從智慧水管理平台查知。利用系統所提供之功能，查詢智慧水表瞬間進水量、累積進水量、進水頻率等用水資訊加以分析研判，通常可以協助判斷可能之異常類型，甚至漏水區塊。

北水處自 104 年開始裝設智慧水表，迄今已累積 4 年智慧水管理經驗，經統計分析，除管線漏水外，地下水池及頂樓水塔常因設置地點較為隱密，少有人員出入，如發生異常通常難以及時發現(如圖 3)，以下將針對此二處用水異常發生時，智慧水管理應用平台如何協助查漏。

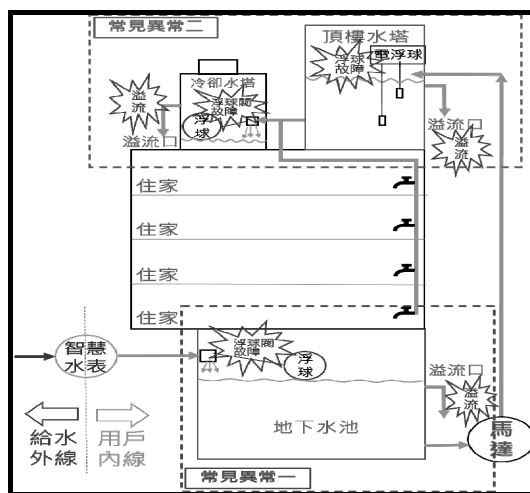


圖 3 常見用水設備異常示意圖



1.常見異常一：下水池浮球閥故障溢流態樣

地下水池浮球開關因為經年累用使用，材料一定會疲乏最後故障，導致地下水池進水滿了之後，卻無法止水，水就由溢流口直接排放至污水池，以致較難以發現異常。呈現在智慧水管理平台上的進水圖譜，會以持續平穩的進水量持續進水(如圖 4 左半側，以 120cmd 持續進水不中斷)，相較圖右半側浮球修妥後之進水圖譜，時而進水，時而止水完全不同。

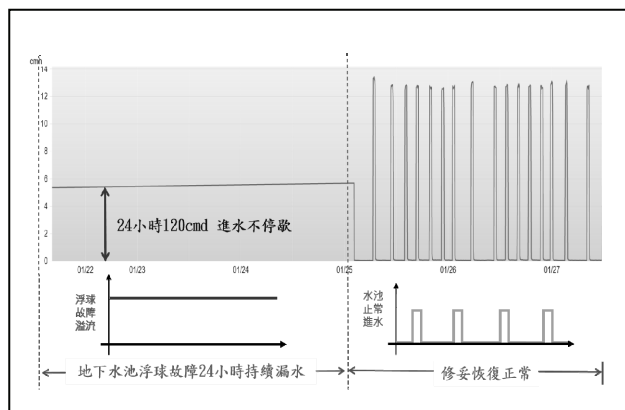


圖 4 水池浮球閥異常分析圖譜

2.常見異常二：上水塔浮球閥故障溢流態樣

此類型是頂樓水塔浮球故障，雖然也是浮球開關故障導致漏水的類型，但二者設置之浮球位置不同，呈現在智慧水管理平台的用水圖譜即有差異。頂樓水塔的浮球故障，底層揚水馬達就會不停抽水至頂樓水塔，滿水位之後同樣從水塔從溢流口排放，以致較難以發現異常。地下水池的水池續被揚水馬達抽去，水池水量不足就會持續進水，呈現在智慧水管理平台進水圖譜如圖 5，其進水頻率就會較以往增加。

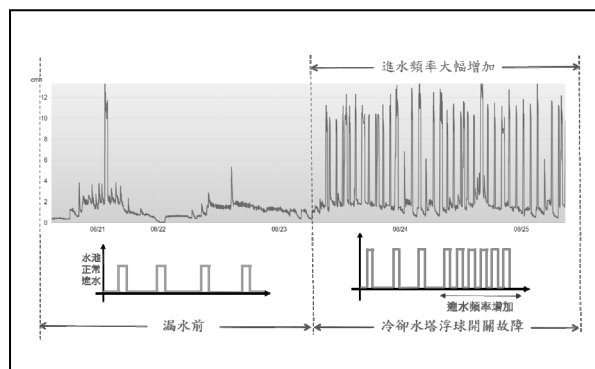


圖 5 水塔浮球閥異常分析圖譜

(四)智慧水管理成效

以東區營業分處而言，藉由智慧水管理平台警示等通知，2018 年度含健康公宅等大型用戶用水異常警訊處理率達 99.71%，經進一步複查等發現確有漏水，經用戶緊急僱商檢修完成改善之案件共計 53 件，因及早預警發現，避免持續漏損，預防性節約用水達 303,169 噸。以每度 20 元換算節省 606 萬元；以每度水排放二氧化碳量 0.0696 公斤換算，約可減少 21,100 公斤的二氧化碳排放量^[14]。另外，統計分析其中最主要原因為管線破損佔 39%，以及浮球(閥)故障佔 21%，如下表及圖 6。惟因用戶用水設備及環境多有所不同，目前部分異常態樣，確實較難僅由智慧水管理應用平台所蒐集之用水資訊或圖譜，直接判斷異常原因或地點。惟從以上的案例可以得知，特定之用水行為，會有相對應之圖譜。另從分析異常案件型態及處理方式，編製電子書分享案例，透過淺顯易懂的案例，讓用戶可以輕易達到自主用水管理。此外，舉辦分享會^[15]，吸引大用水戶熱烈參與；並積極輔導用戶運用「智慧水管家」自主管理用水，及藉由跨入用戶新服務等作

為。將持續累積相關案例及經驗完備資料庫，期望未來更能精準判斷及更多應用，供後續水智慧社區加值運用，以提升整體智慧水管理成效。

用水異常原因	減漏水量(噸)	占比
管線破損	118,350	39%
浮球故障溢流	63,330	21%
用戶修復(原因未知)	50,850	17%
閘栓未緊閉	43,630	14%
水塔漏水	14,040	5%
游泳池漏水	6,960	2%
蓄水池漏水	3,630	1%
其他	2,379	1%
總計	303,169	100%

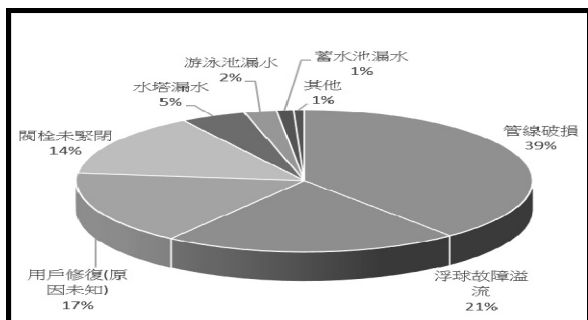


圖 6 用水異常統計分析圖

五、結語

首先，從國際水協會訂定“水智慧城市原則”，希基於城市的彈性規劃和設計，利用共同願景為基礎的協同合作，促使地方政府、水務專家和市民積極參與，共同面對城市水管理問題。台北市長表示，希望能將台北市打造為「宜居永續城市」。在此願景下，北水處承擔質優量足、用戶滿意為的企業使命，透過企業社會責任的推動，更能體現直飲、效能、永續的台北好水，結合知識和能

力與適當規劃與實施工具，讓北水處得以永續經營。

其次，為持續推動智慧城市，從智慧政府、智慧公宅、智慧創新等多面相主題著手。北水處從往昔為用戶提供永續的水資源服務，推動八大主題工具，諸如：供水系統管理資訊化、圖資管理資訊化、淨水處理資訊化、水質監測資訊化、財產管理資訊化、物料管理資訊化、水費水表營收資訊化、用戶服務資訊化等。另為提升營運管理效率，整合前述管理系統等來達到「漏水改善與水壓管理」、「策略優先與資本支出之分配」、「簡化管網之操作與維護」、「簡化水質監測」及「與用戶服務有直接或間接相關之系統整合」等目標，配合研訂相關計畫或方案，以期達成水敏型城市設計與全流域管理，而這也是北水處仍繼續努力之方向。

最後，配合臺北市政府打造智慧城市政策，北水處推動水智慧社區，東區營業分處藉由智慧水管理平台運用、分析異常案件型態及處理方式，編製電子書分享案例，及舉辦分享會，提供用戶智慧水表節水實際案例及自主管理技巧，吸引大用水戶熱烈參與；並積極輔導用戶運用「智慧水管家」自主管理用水。2018 年度預防性節約用水達 303,169 噸，以每度 20 元換算節省 606 萬元；以每度水排放二氧化碳量 0.0696 公斤換算，約可減少 21,100 公斤的二氧化碳排放量。未來北水處亦將配合階段性發展，諸如：先推動模式試煉：著重於了解產業現況、建立配套法規、採重點用戶先行實施、並提供廠商試煉場域（諸如：東區營業分處所轄管：基河 3 期國宅

等),以找出較佳運作模式及技術品質與成本均合格之團隊,作為下一階段導入商轉的可行性評估。另將配合水利署推動相關任務,諸如:智慧水表聯網服務與設置智慧水網示範區,以更有效率水資源管理,提升水資源運用。另外希帶動相關產業,帶來新的智慧生活型態;進一步打造為「生活實驗室」的智慧城市共同努力,攜手邁向更美好未來。

參考文獻

- 1.鄭錦澤、林哲生、林明美,「從智慧城市探討協力治理提昇綠色供水效能」,106年(2017),第十二屆海峽兩岸水質安全控制技術與管理研討會
- 2.「永續城市和社區-為永續社區建立智慧城市營運模式指引」,2018年8月,BSI英國標準協會。
- 3.李丁來,「參加2017年智慧水網論壇出國報告書」,106(2017)年8月31日,台灣自來水公司。
- 4.賴建信、許秀真、陳致良、陳宜欣,「第11屆國際水協會世界水會議及展覽」,107(2018)年12月,經濟部水利署。
- 5.The IWA Principles Water Wise Cities-For Urban Stakeholders to Develop a Shared Vision and Act towards Sustainable Urban Water in Resilient and Liveable Cities, INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (<http://www.iwa-network.org/projects/water-wise-cities/>)。
- 6.本刊編輯小組,「IWA—水智慧城市原則」,107年(2018),中華民國自來水協會會刊,第37卷,第2期,頁88-92。
- 7.「2019年智慧城市展及智慧城市首長高峰會」,2019年3月26-29日,2019智慧城市展,臺北市政府、台灣智慧城市產業聯盟、台北市電腦公會。
- 8.吳陽龍、鄭錦澤、傅中平,「工作資訊化管理與智慧型自來水網路運用與發展探討--以臺北自來水事業處為例」,103年(2014),中華民國自來水協會會刊,第33卷,第1期,頁1-13。
- 9.陳錦祥、鄭錦澤等,「公共管線圖資維護制度探討 - 以北水處維護制度為例」,(96年(2006)),國土資訊系統通訊第64期,頁25-44。
- 10.鄭錦澤等,「臺北地區自來水管線資訊建置維護管理整合運用探討」,(98年(2009)),中華民國自來水協會刊,第28卷,第2期,頁61-74。
- 11.鄭錦澤等,「臺北地區圖資系統發展維護與水質安全輔助功能探討」,(100年(2011)),第七屆海峽兩岸水質安全控制技術與管理研討會。
- 12.鄭錦澤、曹真、劉人嘉,「GIS在供水管網生命週期管理運用之研究」,(102年(2013)),第八屆海峽兩岸水質安全控制技術與管理研討會。
- 13.陳曼莉等,「智慧水表之建置與應用發展」,105年(2016)5月31日,中華民國自來水協會。
- 14.臺北供水區智慧水表推動計畫,108年(2019)2月,臺北自來水事業處。
- 15.林守義,「智慧水表協助用戶查漏案例分享」,臺北供水區智慧水表推動計畫,108年(2019)2月,臺北自來水事業處。

作者簡介

鄭錦澤先生

現職：臺北自來水事業處東區營業分處主任

專長：供水調度及管理、淨水處理、技術研發、工程規劃與管理、營業管理、圖資應用、採購稽核

林守義先生

現職：臺北自來水事業處東區營業分處抄表股股長

專長：抄表計量管理、智慧水表管理應用、資訊系統管理

進階用戶抄表管理系統導入之探討

文/楊孟學、馬洲偉、李美燕、李丁來、籃炳樟

摘要

國內自來水事業單位目前對於用戶用水數據，大多採用人工抄表方式進行，每月或 2 個月定時派員至用戶家中抄表做為計費依據，此種作業方式不僅耗費龐大人力，亦常發生干擾用戶生活之情形。若用水量資料更新時間過長，當發生有計費疑義等用戶抱怨事件時，為瞭解用水情形還另再派員進行稽複查，除無法立即因應民眾服務需要，且因重覆人力產生額外管理成本，故如何導入現代 ICT (information and communications technology) 資訊及通訊科技技術，提升營管效率，是各國自來水事業積極辦理之要務。

本研究乃探討應用手持式移動數據採集設備及無線抄讀自動傳輸管理系統，以提升用戶抄表及管理效率。台水公司人員可以透過專用的網頁平台，安全且即時地獲取所需的用戶用水數據，並可針對不同的業務部門，建立不同的用戶權限配置。而且每一個單位均可以獲得優化之資訊，僅涉及其業務內容的數據權限。為每一位客戶建立專屬的個人帳號，客戶可自行查看自己的用水數據資訊，減少用水糾紛，提高服務質量與水資源的運用效率。

一、前言

近年台水公司偶有被新聞媒體報導認為抄表不實的指控，台水公司第六區處於 104 年至 107 年委外抄表比率為因應人力調

配趨勢而逐年增加，以 106 年統計資料為例，發現錯誤(誤抄)件數共計 471 件，虛填指針件數共計 20 件，合計全年度抄表不實錯誤件數共 491 件，比例為 0.0165%。委外抄表人員抄表錯誤件數比例偏高控管不易，為加強抄表品質及維護用戶權益，目前台水公司主要係藉由加強教育訓練、使用照相抄表機及程式判斷抄表品質等措施，並配合現場抽查機制及合約獎懲，以減少誤抄比率，這些柔性的宣導及制度的執行，成效有一定的限制，難以達到有效的預防人為錯誤，故如何運用更先進的抄表工具並搭配用水資訊平台，積極提升抄表效率及提升為民服務品質，以事先有效防止誤抄，勝於事後的補救措施，讓抄表服務能取信於消費者，或降低水費異常突增之消費爭議，避免發生用戶收到水單而錯愕的負面案件，應是台水公司需積極改善的重要課題之一。

二、研究架構及方法

研究主要針對民生及工業兩類用戶：

(一)民生用水戶

透過不同用戶端居住環境的差異，運用不同的先進抄表工具，比對大樓抄表人力成本的差異，在確保抄表品質下評估最低抄表成本方式，研議未來執行的可行性。

另在追求良好的抄表品質前提下，除做到最基本的服務-抄表時不干擾用戶的生活起居外，並利用資料庫分析，提供用戶更多元且更具人性化的服務內容。

(二)工業用水戶

隨時掌握工業用戶用水狀況及水量計運作情形，確保水量計精準計費，進而減少用水糾紛，提高台水正面形象。另更清楚掌握大用水戶的用水習性，做為供水調配的參考，確保供水更趨穩定。

本研究試行的對象分述如下：

1.大樓抄表

(1)運用無線抄讀系統，採 1 樓地面集抄接收方式(一週一次)，且同步採傳統抄表方式，比對二者用水度數有無差異性，並利用集抄回傳數據，審核分析用戶端用水有無異常。

(2)裝置智慧水量計，同時維持傳統抄表頻率，比對二者用水度數有無差異性，並利用智慧水表回傳數據，審核分析用戶端用水有無異常。

2.表在屋內

運用無線抄讀系統，採 1 樓集抄接收方式(一週一次)，並同步採傳統抄表方式，比對二者用水度數有無差異性，並利用集抄回傳數據，監測用戶端無人居住下用水有無異常。

3.南科大用水戶

裝置智慧水量計，回傳用戶用水資料，並每日監測其進出水狀況及水量計運作情形，及觀測整體的用水量調配供水。

三、無線抄讀設備建置與應用

【研究 1：台南市東區某大樓及舊式公寓】

(一)系統架構概述 (T 系統)

該系統是一款專為水公司所開發之系統，以軟體即服務 (SaaS) 雲端平台模式，

使用視覺化管理介面，將所有的計量數據，讓使用者一目了然。在此試辦案中使用可附掛讀表介面單元 MIU 的水表來進行實測。

抄表人員可使用 Android 相容之智慧手機或平板電腦，安裝軟體 APP 後，即可以在步行抄讀或行車抄讀模式下，進行手動抄表或 AMR 讀表，並可於手持設備中讀取 AMR 水表、查檢所有水表讀數使用方便；現場人員在抄讀結束的同時，所有資料即利用行動通訊之網路或可連接之 WIFI 網路，立即上傳到雲端平台並安全地儲存和管理，在網站上可以管理所有收集到的水表訊息、讀數、照片，並且 GIS 定位抄表員的抄表位置及水表的安裝位置，並依場域現況拍照存證水表狀態，供水表資產管理與客戶水費糾紛之資料存證，並可以進行抄表人員之工作時間控管。(詳圖 1)



圖 1 T 系統服務平台架構

(二)安裝現場勘查及討論

台南市東區崇明 23 街某大樓，共安裝分表 47 只，大樓設有管理委員會，會務運作正常，門禁管制森嚴，係於 80 年建設完

成；另台南市東區育樂街舊式公寓，此處水表設置於用戶屋內陽台，因表在屋內，抄表員必須在抄表日當天逐戶拜訪用戶，進入用戶室內抄表，若用戶當日不在家，則需約時間抄表或提前抄表，此舉對於自來水用戶日常生活將造成程度不一之影響。若無法於當期聯絡到用戶進入屋內抄表，僅能根據近期用水度數平均計收。長期下來，若用戶用水時間及用水度數及不穩定，勢必造成實際用水度數與推估之度數產生極大之差異。

經與台南市東區崇明 23 街某大樓於 107 年 5 月 7 日管理委員會簽妥同意書，後續於同年 5 月 14 日完成水表感應器之裝設。(如圖 2) 此次安裝現場條件選擇，因本公司尚未採購該廠商之智慧水表，故不能直接更換原有的舊表，只能採用串聯的方式，加裝在原有的用戶分表出水端。為不影響用戶用水權益，縮短施工時間，故本次選擇有 PVC 材質配水管地點作為試辦地點。本研究團隊於 5 月 28 日會同廠商人員進行抄表系統訓練並完成第一次抄讀；第二次抄表於 6 月 4 日完成，爾後固定每星期一抄表一次，並拍攝水表顯示器照片 2 張，以作為對照之用。另台南市東區育樂街舊式公寓亦於 4 月 26 日用戶簽妥同意書，並於 5 月 21 日完成裝設，目前固定星期一進行無線抄讀。

(三)管理系統頁面及功能介紹

登入首頁後，左邊的快速捷徑列，清楚列示出此專案的戶數，並將所搜集的數據資料，即刻判斷異常的用戶，且警報系統亦隨之發出，如圖 3。管理人員只需點選數字，系統立即列出相關的用戶資料，供管理者快速處理有問題的水表。



圖 2 T 系統水表及感應器安裝現場



圖 3 T 系統抄表管理平台頁面

此研究專案執行時間是從 107 年 5 月 13 日開始至 107 年 10 月 15 日截止。這段期間所收集的用戶之用水數據。針對可能疑似滲漏(漏水)的用戶，經系統篩選出三筆資料，如圖 4，我們將針對可能有問題的住戶逐一深入了解。

用戶號	名稱	樓層	序列號	日期	用量	滲漏 閾值 (l/hr)	滲漏 計數 當前	滲漏 計數 上一 週期
成○營造股份有限公司			200311	2018/10/8 上午 10:06	1.28	20	7	30
成○營造			128887	2018/10/8 上午 10:08	0.78	20	7	15
成○			200312	2018/10/8 上午 10:06	0.56	20	1	0

圖 4 T 系統平台顯示疑似滲漏案例

以成○營造為例，系統分析此用戶這幾個月都有漏水的可能，所以我們進一步的點

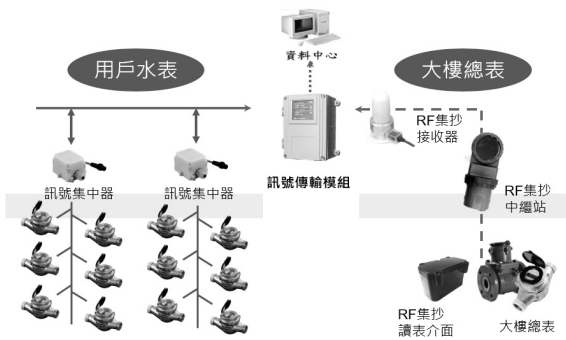


圖 8 E 系統架構示意圖

(二)安裝現場勘查及討論

該大樓於 106 年總分表啟用完成，共有 20 戶陸續交屋過戶，現場設置有 1 只 40mm 口徑總表，及 20 只 20mm 口徑分表，該址大樓無專任管理員，另主委為大樓住戶輪流擔任，委外抄表人員需於每期預定抄表日前，事前以電話聯絡該棟主委約定時間開門會同抄錄，因主委本人為上班族亦有工作在身，經常難與本處排訂之抄表期程配合，常需另外約定時間後再行前往抄錄，常與預定抄表有數日落差，對於用水數量突增原因造成判斷干擾。

本址於 107 年 5 月 29 日完成分表感應器裝設，同年 5 月 30 日完成總表感應器裝設，並於 6 月 2 日起每日登錄系統確認回傳正確無故障，每週三實地抄錄用戶指針一次，另廠商於 6 月 8 日進行使用意見交流並提供用戶 20 只分表監測系統帳密，於 6 月 12 日會同主委做系統簡易教學並轉交各用戶帳密使用，於 6 月 30 日追蹤主委住戶使用情形，其表示住戶反應良好，目前各用戶用水亦正常。

(三)管理系統頁面及功能介紹

首頁左側功能選單分為「儀表板」、「計

量器」、「事件」、「訊息通知」、「分析統計」、「報表/結算」、「維修紀錄」、「設定」與「使用者管理」、「下載」，共計十個模組，圖表上方有四個圖示由左而右依序顯示傳訊點數量、計量器數量、當日流量合計、當日最大/最小流量，下方分為兩個區域，左方為每小時「整點」的累積流量趨勢圖，右方為依據流量多寡由上而下排名前十名的橫條圖，往下拉為地圖檢視、計量器流量、流量比例分布等。(如圖 9)

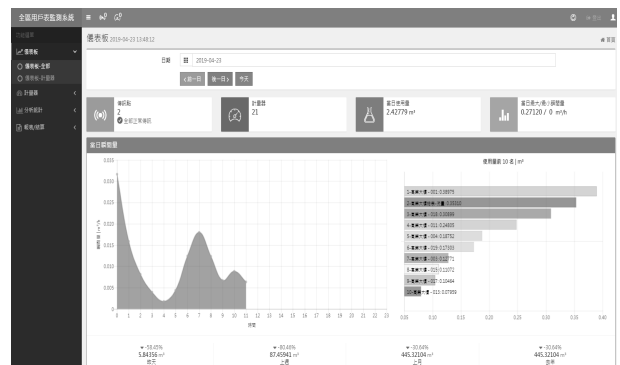


圖 9 E 系統抄表管理平台頁面

本系統於網頁上方顯示目前正在發生的事件，圖示由左而右分別為「傳訊器事件通知」及「計量器事件通知」，圖示顯示的數字為事件的件數(如圖 10)，亦有推播功能，當事件正在發生時，於登入網頁後會出現提醒視窗顯示事件內容，或於 email 另行通知。(如圖 11)



圖 10 E 系統平台顯示訊息通知警示



圖 11 E 系統平台顯示網頁版推播

實際應用分析部分，於 9 月 19 日大樓總表異常通知，持續一段期間無進水，派員前往查看確認總表正常無損壞，且持續正常進水及計量，異常係大樓自有蓄水量足短暫未進水現象，而後觀察一周用量與平常無異。(如圖 12)

計量器名稱	事件名稱	開始時間	已持續(分)	結束時間	下限	上限	檢量值
高第大樓總表-流量	無流量-高第大樓總表	09/19 02:40	560/5	09/19 12:00	0.100		0.000

圖 12 E 系統顯示總表短暫未用水之異常事件

10 月 3 日大樓分表異常通知，持續一段期間無進水，派員前往查看確認分表正常無損壞，電洽用戶表示該期間出差在外未用水，異常係與平時用水時段改變造成，非水表遲緩或不轉。(如圖 13)。

計量器名稱	事件名稱	開始時間	已持續(分)	結束時間	下限	上限	檢量值
高第大樓-005	高第大樓-無流量	10/01 06:00	120/180	10/01 08:00	0.010		0.000

圖 13 E 系統顯示分表持續未用水異常事件

【研究 3：台南科學園區】

(一)系統架構概述 (E 系統)

水表以有線方式連接至集中器，集中器

經連結傳輸至資料接收主機後將資料傳送

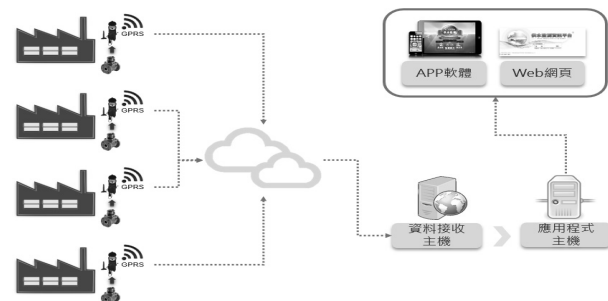


圖 14 南科應用 E 系統架構圖

(二)安裝現場勘查及討論

依據台水六區 103~106 年度重要工業用水之統計資料顯示，台南科學園區用水量約佔整體重要工業區用水的 70%左右，且有逐年增加的趨勢，考量裝置智慧水表成本效益及廠商的意願，故選擇該園區做為安裝智慧水表的試辦地點，並選擇 5 家廠商安裝 16 只試行，該 5 家廠商用水量約佔台南科學園區約 59%(佔 6 區整體用水量約 9.52%)。另因南科總表為 1000mm 超音波水量計，且附掛於水管橋上，與本次試辦案水表型式不同，礙於經費有限且現場無法施作，故本計畫案未於總表設置自動讀表回傳。

經與選定廠商溝通確認後，進行現場施工及軟體測試並與用戶說明全自動讀表設備及系統之架構及方法，各廠商除有獨立的帳號密碼，亦可與水公司有一個共同的資訊平台，讓雙方了解用水模式、及時的異常發現及故障排除。

(三)管理系統頁面及案件分析

管理系統頁面如下，可查詢各裝置用戶用水趨勢、用水流量分佈、用水流量貢獻、

夜間最小流、用戶基本資料等頁面。(如圖 15、16、17)

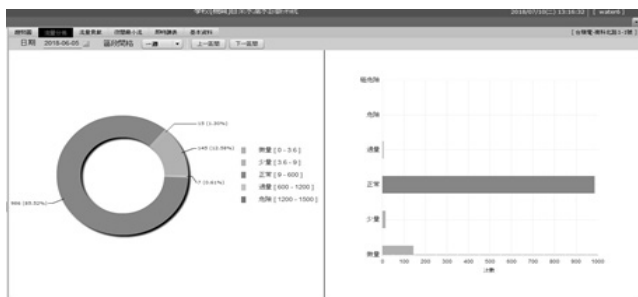


圖 15 E 系統平台顯示用水流量分佈及貢獻頁面

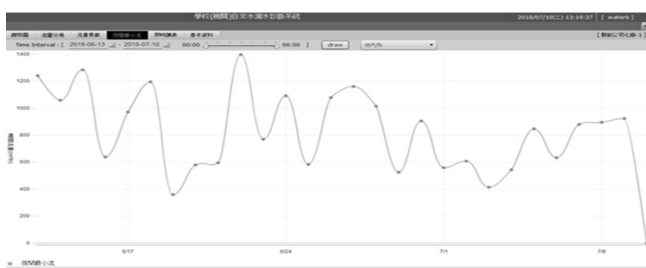


圖 16 E 系統平台顯示夜間最小流頁面

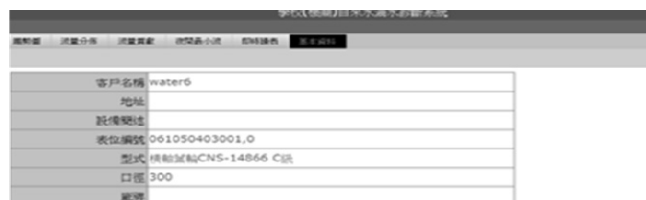


圖 17 E 系統平台顯示用戶基本資料頁面

案件檢討分析一，A 公司於 107 年 2 月 22 日進水量有異常情況(詳如圖 18)，於同年 2 月 24 日趨勢圖靜止，經確認用戶並無停止用水，皆正常使用，爰確定水表不轉，後於 3 月 1 日進行換表(配合 A 公司時間)，翌日用水趨勢圖恢復正常(詳如圖 19)。

成效：自動讀表即時回傳特性，有利自來水公司人員即時掌握用水量突增減情況，將用水問題即時反映給用戶，並在短時

間內做處理(通知用戶檢查漏水或更換故障表)，無須等到抄表時才發現異常，保障用戶用水權益，也可增加公司作業效率、減少無謂損失。

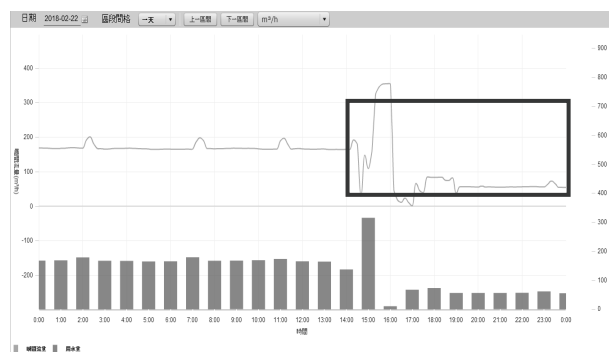


圖 18 E 系統平台顯示 A 公司 107.02.22 進水異常趨勢圖

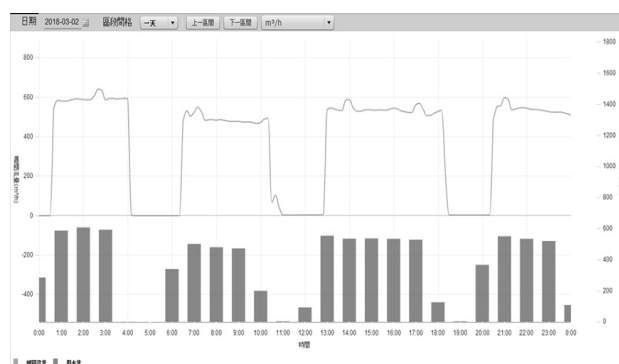


圖 19 E 系統平台顯示 A 公司 107.03.02 換表後正常進水趨勢圖

案件檢討分析二，B 公司廠務於 107 年 10 月 23 日進線表示，因前一日開始發現自來水表水量與自身內部計量器水量有落差，隔日 10 月 23 日落差開始加大，詢問是否為水表故障，經觀察該表流量趨勢圖，確於 10 月 23 日始流量銳減(詳如圖 20)，此後連日下降，經與廠務核對每日抄表指針和其內部計量器水量後，判斷為水表遲緩故障，並配合該廠需求於 10 月 29 日進行換表。

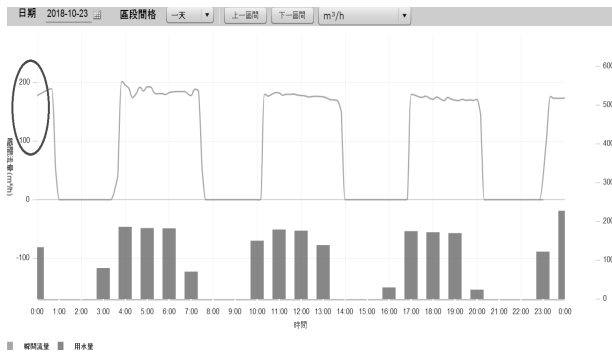


圖 20 E 系統平台顯示 B 公司 107.10.23 進水量降至 0~200 m³/hr 間趨勢圖

本案例恰發生於抄表後(原機關抄 10 月 18 日抄表)，有賴自動讀表系統即時記錄水表指針數，可隨時與用戶核對過去與近期指針，在短時間內判斷故障與否，並隨即處理，倘無本系統，便難與用戶核對指針，恐拉長觀測時間，如用戶無每日抄表習慣，將俟下次抄表日才由抄表員發現遲緩情形，屆時水表已停滯近月，不論對本公司或用戶，其抄錶計費爭議可能更大，本案確實彰顯自動讀表即時記載的效用。

四、研究結果與討論

本章節將此次試辦案之兩種系統廠牌做比對及研討分析，如何將兩家廠商系統規格、通訊方式、設備架設、管理系統、水表功能等特性，因應不同抄表環境做最適性導入，以求系統功能實際運用之最大化。

(一)T 系統

該廠商系統係以智慧水表附掛讀表介面單元 MIU 並以 RF(無線射頻 433MHz 頻段，功率僅 10mW)傳輸方式傳回用水資料，傳輸距離最長為 1.5km，惟結構物經測試對 RF 訊號會有些許屏蔽效應，如安裝於管道間之水表將大幅影響 RF 之穿透力；另因本公

司尚未採購該廠商之智慧水表，目前仍需以串聯方式進行裝設，表位現場環境需有較大空間佈設該設備，亦是考量重點。

管理系統附加價值部分，因數據透過雲端即時儲存，除資料保全安全性外，亦可從任一地點登入查看資料，實現即時同步管理；GPS 定位方面，確定表計安裝地點，可讓第一線人員清楚水量計安裝位置，免除新進抄表員找尋表位之陣痛期；用戶亦可利用專用帳號登入系統，查看本身使用水量情況，如有異常情形亦可逐日審視圖表以供核對檢查，避免用水爭議；系統採用 SAAS 方式可即時線上更新，不須專業 IT 人員維護系統，降低維護及保固成本，增進工作效能。

(二)E 系統

該廠商系統係直接將傳統機械表更換為 C 級電子智慧表，並以有線方式架構(通訊協定 RS485/Modbus)連接至集中器，集中器再連接至傳輸模組後，即可以無線方式將資料傳至資料中心，因有線方式之特點為訊號穩定，惟有線集抄系統必須使用市電方能運作，無線傳輸每月之通訊費亦是成本考量重點。

管理系統附加價值部分，因數據每日回傳，可立即判讀數值並做出異常警示通知，藉由設定手機 APP、網頁推播及簡訊等功能即時傳送，實現主動並即時管理用水資訊，另可依據各類不同用水種別分組別類做出售水量分析，以期預估未來一般用水或產業之趨勢分析。

表 1 管理系統差異及導入方式比較表

	喬偉文化邨大樓	新化大智路時尚宅
系統	T 系統	E 系統
適用環境	抄表不易 (集中式用戶抄讀及個別用戶抄讀)	抄表不易 (集中式用戶抄讀)
建置模式	移動式自動抄讀	固定式自動抄讀
水表	智慧水表 (外掛電子裝置之機械式水量計)	智慧水表 (內建電子裝置之機械式水量計)
抄表模式	人員至現場經由手持行動裝置收集數據，數據經由無線網路(GPRS 或 WIFI)直接上傳雲端資料庫	系統每日定時回傳
電源供應	水表 MIU 內建電池	水表、集中器自備電源
傳輸方式	RF+藍芽+GPRS (無線傳輸)	MODBUS + GPRS (有線傳輸+無線傳輸)
傳輸路徑	表→RF 手持設備→安卓系統移動設備→雲端系統	表→集中器→傳訊器→雲端系統
附加價值	1. 數據即時上傳，實現即時管理。 2. GPS 定位，確定表計安裝位置。 3. 用戶別用水、群組別用水、產業別用水。 4. SAAS 系統可即時線上更新，不須專業 IT 人員維護系統。	1. 數據分析及異常用水警示。 2. 網頁推播、手機簡訊通知。 3. 用戶別用水、群組別用水、產業別用水。 4. 居家水保全監控功能。

由上表 1 顯示，無論 T 系統或 E 系統，本報告內容皆導入應用於抄表不易的環境，惟不同之進階抄表管理系統有不同的設計理念，各有不同適用導入的場地及運用的策略，並配合各自軟硬體的架構，解決傳統抄表的問題及提升用戶的服務品質，實務運用兩套系統各有優劣，導入時仍需應不同的環境、需求及目的等因素綜合考量運用，才能發揮效益最大化。

另針對智慧水表系統未來如實際導入後，面對舊有社區及管網要執行時所會面臨的問題和困難點作研討分析，搭配本公司目前現有資源及建置經驗，提供實際可解決之對策建議如下：

1. 建置場址選定：使用自動讀表除了利用無線傳輸，亦可透過既有有線傳輸，若新建大樓表位設置於各樓層管道間，受限樓版與壁體阻隔的屏蔽效應，無線訊號難以穿透多層 RC，不易實現 RF 無線集抄，此時將採用自動讀表集抄方式，串線銜接各只

水表，收集各樓層水表訊號至數個集中器，匯流至控制器後再將所有分表的訊號無線回傳，難以一體適用於所有水公司用戶。

建議：未來推行時，以新建及都更大樓，或新設立的重劃區用戶為優先推行對象，並事先審核內線圖確認用戶表位，統一設置原則。

2. 舊有社區及大樓推行困難：市電配線缺乏，舊大樓需請用戶另行提供亦產生協調困難，舊房舍原表位位置又多有位於陽台、廚房後巷等，於公共空間設置箱體時易衍生妨礙通行，形成民眾嫌惡設施。

建議：市電配線部分，可考慮建置時以太陽能板方式提供自有電力，免除用戶需另行提供及電費支出，另亦可協助表位改善遷出，並提供水費減免等獎勵措施鼓勵社區及大樓重配線安裝。

3. 缺乏規模經濟：若然無法廣泛推行，缺乏規模經濟，無法實現產品規格的統一和標準化及透過大量建置而使抄表人力減少及成本下降，反因與現有抄表管理系統並存而造成系統過多，徒增管理成本。

建議：採行以國家標準規範之系統為主(依照 CNS14273 國家標準規範及台水公司「全區用戶水量計自動讀表傳輸介面規範」)並能與現有抄表管理系統作介接，減少重複閱覽數據資料之困擾。

4. 設備年限難以統一：因水表、電池、集中器、手持無線接收器等其他傳輸設備的使用壽命皆不相同，如使用年限不同在實際執行上及採購發包確有困難，將使採購發

包案分散徒增工作量，如能依照本公司現有「全區用戶水量計自動讀表」介面規範保固為 5 年，及水量計汰換年限為 8 年，可方便管理。

建議：可針對施作用戶系統通訊模組設備等保固年限統一，並於保固年限到期後，通訊模組設備更換電池仍未損壞的情況下繼續使用，可減少設備建置及汰換成本，降低相關資本支出。

5.收費方式及維護費用歸屬：智慧水表初期建置成本比傳統機械表昂貴，且人工抄表費用低廉，遠比自動讀表傳輸月費便宜，智慧表設置後之維護費用沉重。加上自來水的水價偏低，導致設置誘因不足。

建議：目前台水公司建置方向應以新啟用大樓、社區或大用水之工業用水戶作宣傳導入，並針對新啟用各口徑收費標準作調整，以一次性收費作繳費標準，並可於台水公司各區處廣邀建商、水電商、水表廠商等相關同業召開自動讀表導入說明會，介紹水公司新技術及讀表設備，以展示導入之決心及特色，增加建商設置之誘因。

6.設定用水模式困難：本研究案兩間廠商大多僅提供用水量數據、每日流量趨勢圖之呈現，然研究時程過於短暫，於大數據統整、歸納分析的功能仍較為貧乏，難以依據各用戶目前用水模式制定警示標準或異常通知，仍需員工經驗判斷或現場勘查。

建議：廠商應異業結合，並與台水公司事業討論過往相關案例及現有規範，引進相關演算引擎，搭配本公司現有異常數據邏輯判斷程式，提供自來水事業

整套之數據分析解決方案。

五、結論

進階用戶抄表管理系統全面導入，因整體架設成本較目前使用的機械表昂貴，且目前傳統的人工抄表工資低廉，整體節省的人力不敷裝置的成本，遑論智慧水表後續維護產生的費用，故以成本收益考量，誘因明顯不足。另考量水資源有效，運用進階用戶抄表系統管理異常用水，惟一般用水之用戶數多但用水量小，全面導入進階用戶抄表系統，節約用水效益有限，顯與投入之建置成本不相當。

然針對環境特殊或大用水戶，適度導入進階用戶抄表管理系統，有其必要性，針對本研究試行結果臚列如下：

(一)抄讀效益

進階用戶抄表管理系統導入對於提升抄表品質有明顯的效果，尤其對於抄表員至現場抄表環境無法配合的用戶，選擇適當性的先進抄表工具確實效益明顯，可以達到節省抄表、稽複查及客服人員等人力成本及提升服務的效率，減少水費的糾紛案件。

(二)水量計狀況的管理

透過導入先進的抄表工具運作傳輸的訊息，對於水量計運作功能，確實有更佳的掌控度，對於水量計遲緩或故障皆能即時更換維修，可增加水費收入減少水費爭議案件。

另以水資源運用效率、供水調度及 80/20 法則原理，有效且及時的掌握大用水戶的用水狀況，以自來水單位而言有其必要性，除掌握用戶端用水需求的全貌、水表狀況及供

水調度外，對於水資源管理的運用有所助益，尤其對於限水期間水量的管控及調度，效益會更明顯。

誌謝

感謝中華民國自來水協會提供專題研究經費，宇泰豐科技實業公司及弓銓企業公司協助配合提供抄表管理系統供測試及台水公司六區處林侑德、傅耀興、彭舒聖、吳昭毅、洪志豪、潘正坤等同仁之協助，得以完成本項研究。

參考文獻

1. 藍弋丰, from <http://technews.tw/2015/04/29/san-francisco-save-water/>
2. 科技新報TechNews, from <http://technews.tw/2015/04/29/san-francisco-save-water/>
3. 香港水務署 2015/16 年報, from https://www.wsd.gov.hk/filemanager/common/annual_report/2015_16/tc/index.html
4. Waterworks Research Institute Seoul Metropolitan Government SEP, 2013
5. 中華民國自來水協會 104 年度研究計畫 (2015) : 智慧水表之建置與應用發展
6. Smart Energy International. Japan smart grid: Sensus FlexNet trial and IED design Oct. 23, 2019, from <https://www.smart-energy.com/regional-news/asia/japan-smart-grid-sensus-flexnet-trial/>
7. 機經網, from <http://www.ahtlld.com/yqyb/201603/659394.html>

作者簡介

楊孟學先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處業務課管理師
專長：售水分析、抄表管理

馬洲偉先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處業務課管理師
專長：售水分析、新裝管理

李美燕小姐

現職：台灣自來水公司第六區管理處物料課課長
專長：售水分析、用戶服務

李丁來先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處處長
專長：自來水工程規設及營運管理、漏水防治管理

籃炳樟先生

現職：財團法人中華自來水服務社執行長
專長：自來水工程規劃設計施工及水務處理、環境工程

2018 國際水價現況解析

文/周國鼎

一、前言

根據國際水協會(International Water Association, IWA)於 2018 年 9 月公布之世界 35 個國家(或地區)之家戶用水資料,以家戶全年使用 200 度水為比較基準,水價最高者為位於南歐之微型島國馬爾他,每度新臺幣(以下同)127.59 元;最低之國家為亞美尼亞,每度 9.40 元;臺灣排名第 34 名,全球倒數第 2 名,每度 11.65 元,僅達各國平均價格 47.17 元之 24.7%。

在「水費負擔率」方面,35 個國家(或地區)之平均值為 1.02%,最高者為位於非洲的烏干達,其平均值為 8.80%,臺灣則為 0.16%,排名全球倒數第 2 名,僅達各國平均值之 16%,充分顯示用水費用負擔極輕。

本文之重點並非探討我國合理自來水價格究竟為何,而是將臺灣地區現有水價與世界各國作各種面向之比較,期有助於釐清水價相關問題。

二、臺灣地區自來水價格之現況

北水處及台水公司在平均水價及平均單位成本的定義上差別不大,僅專有名詞之用字略有不同(詳表 1)。為避免無謂困擾,政府有關機關必要出面整合制定一套共同的標準用語、定義及規範,以供我國各自來水事業機構遵循。

如前所述,北水處及台水公司因經營環境不同,造成營運成本差異,以致水價不一。此外,二者在投資報酬率方面,雖然台水公司已由 104 年度之負值在 106 年度轉為正值,惟與北水處相較,差距仍達 4.56 倍。

三、國際自來水費用資料

(一)資料來源

國際水協會「統計及經濟專家小組」於 2018 年 9 月在日本東京召開之世界水務雙年會,公布世界各國用水戶之水服務費用調查

表 1 北水處及台水公司 106 年度平均水價及成本統計表

項目		北水處	台水公司
平均水價	定義	給水收入÷計費水量	給水收入÷售水量
	新臺幣	9.945 元	10.99 元
平均單位成本	定義	自來水成本÷計費水量	給水總成本÷售水量
	新臺幣	9.095 元	10.80 元
單位銷售盈虧	定義	每度售水收入－每度售水成本	給水單位售價－售水單位成本
	新臺幣	0.850 元	0.19 元
投資報酬率	定義	盈餘÷平均業主權益	銷售盈虧÷平均權益
	比率	1.14%	0.25%

資料，相關費用均以美元計算，匯率則是依照 2017 年 12 月 31 日者（1 美元 = 29.6653 元新臺幣）。

(二)資料範圍

本次國際水協會公布之水服務費用調查資料，項目包括自來水「固定費用」(Fixed Charge)、「變動費用」(Variable Charge)、「其他費用」(Other Charges Drinking Water)及「營業稅」(VAT Drinking Water)等 4 項。

該水服務費用調查資料範圍涵蓋 37 個國家（或地區）及 198 個當地主要城市，惟阿根廷與巴西 2 個國家之合計 10 個當地主要城市相關數據闕如，故實際上僅 35 個國家（或地區）及 188 個當地主要城市者可供比較分析。代表我國家戶用水服務費用資料之城市為臺北市及高雄市，其自來水相關費用則分別代表北水處及台水公司之水費。

前述 35 個國家（或地區）之水服務費用調查資料中，包括澳門及我國代表城市之平均水價均較實際狀況明顯偏高。如以每家戶每年使用 200 度來計算平均水價，澳門、臺北市、高雄市者分別是每度 101.00 元、11.88 元及 13.67 元。

本研究之澳門平均水價將依據澳門自來水公司公布數據計算而得；臺北市及高雄市之平均水價則將分別依據《106 年臺北自來水事業統計年報》及《106 年台灣自來水事業統計年報》之相關數據統計而得。

(三)人均用水量（公升／人／日）

平均每人每日用水量就稱為「人均用水量」，如以國際水協會公布數據，我國 106 年平均每戶 2.58 人來計算，每家戶每年使用 100 度的自來水量代表人均用水量為 106 公

升，200 度者則代表人均用水量為 212 公升，二者均遠低於我國的人均用水量 278 公升（106 年，經濟部水利署）。

本次國際水協會所公布資料也包括 173 個城市的 2016 年人均用水量數據。人均用水量最高者為美國丹佛之 538 公升，最低者為位於非洲烏干達 Mbarara 之 14 公升，全球平均值則為 146 公升。人均用水量低於 106 公升的有 45 個城市，其比例約 26%；低於 212 公升者則有 147 個城市，其比例占 85%。人均用水量超過我國平均值（257 公升）的城市只有 8 個，其中包括了高居第 5 名的臺北市（326 公升）；高雄市（267 公升）則是第 8 名，顯示我國用水效率普遍偏低，有頗大之改善空間。

(四)「200 度／戶／年」之水費為比較基礎

本次國際水協會所公布之水價資料分別列出每家戶每年使用 100 度及每家戶每年使用 200 度者，惟我國人均用水量 278 公升者（全年 262 度）與 200 度者較為接近，因此本文僅取每家戶每年使用 200 度自來水之相關數據作分析比較。

1.自來水「固定費用」

扣除自來水事業機構代徵收費用（如「水源保育與回饋費」、「一般廢棄物清除處理費」等），自來水費用含有「固定費用」、「變動費用」及「營業稅」等項目。「固定費用」所占水費比例會隨著使用度數增加而下降，因而平均水價在一定度數以下，也會隨著使用度數增加而下降。換言之，「100 度／戶／年」之平均水價會較「200 度／戶／年」者為高。以臺北市水表口徑為 20 mm 之用戶為例，「100 度／戶／年」之平均水價為

新臺幣 13.16 元(含稅),「200 度/戶/年」者則降為 9.08 元(含稅),二者相差高達 4.08 元,占「200 度/戶/年」者之 45%。

根據本次國際水協會公布之水服務費用調查資料,並非所有城市的自來水費用均含有「固定費用」,包括比利時、捷克、香港、匈牙利、波蘭、羅馬尼亞、俄羅斯、南韓、西班牙、瑞典及美國等地,都有免收自來水「固定費用」的城市。義大利米蘭(Milan)雖然有收取「固定費用」,不過全年費用不到新臺幣 18 元,換言之,每個月僅新臺幣 1.5 元。整體而言,收取自來水「固定費用」的城市仍占大多數。

代表我國的北水處及台水公司,其水費結構均包含「固定費用」,也就是「基本水費」,其收費多寡與使用水量無關,而是隨水表口徑大小呈級距性的增加。

2. 自來水「變動費用」

自來水「變動費用」可依照收費制度之設計,隨使用水量、使用人數、馬桶數量或房屋面積而增加。根據本次國際水協會公布之水服務費用調查資料,部分城市的自來水費用不含「變動費用」,也就是其收費基準與使用水量無關,包括保加利亞、中國、墨西哥、挪威及土耳其等地,都有免收自來水「變動費用」的城市。

3. 「不計量單一價格」收費方式

「不計量單一價格」是採取「按戶收費」之方式,收費多寡與使用水量、使用人數、馬桶數量或房屋面積無關。本次調查資料所列巴西之城市及泰國平均水價,其收費即採此種方式,既不收取自來水「固定費用」,也不收取「變動費用」。

(五)平均每人國內生產毛額

往年國際水協會「統計及經濟專家小組」公布世界各國用水戶之水服務費用調查資料時,會附上該國「平均每人國內生產毛額」(GDP per capita,又稱「人均 GDP」)之數據,其人均 GDP 係採「購買力平價」(Purchasing Power Parity,簡稱 PPP)者,數據則取自美國中央情報局網站。本次所公布者並無附上人均 GDP 資料,惟為進行相關之分析比較,本研究仍沿用美國中央情報局網站所公布之數據。

「購買力平價」又稱「相對購買力指標」,是一種根據各國不同的價格水平計算出來的貨幣之間的等值係數,使我們能夠在經濟學上對各國的國內生產總值進行合理比較,這種理論匯率與實際匯率可能有很大的差距。由於幾乎世界各國都有麥當勞的分店,《經濟學人》雜誌所創的「大麥克指數」就是經常被用來評量購買力平價的簡單例子。如果一個大麥克在美國的價格是 4 美元,而在英國是 3 英鎊,那麼在美國 4 美元的購買力就相當於在英國的 3 英鎊,其購買力平價匯率就是 3 英鎊=4 美元。

根據美國中央情報局網站公布資料,國際水協會所公布 35 個國家(或地區)之 2017 年「人均 GDP」中,澳門拜近年博奕及觀光業的蓬勃發展,以 111,600 美元奪魁;挪威的 71,800 美元次之;第 3 名是瑞士的 61,400 美元;日本為 42,800 美元,名列第 18 名;臺灣則高達 50,300 美元,名列第 9 名;此 35 個國家(或地區)之平均值為 41,731 元。

四、分析討論方法

(一)計算單位水價

依據國際水協會於 2018 年 9 月公布世界各國主要城市家戶每年用水 200 立方公尺(度)之自來水費用(以美元計)調查資料,分別計算出各國主要城市單位水價、各國平均水價及各區域平均水價,再根據國際水協會所採用的 2017 年 12 月 31 日美元匯率(1 美元兌換新臺幣 29.6653 元),換算成以新臺幣計之單位水價。

1.各國主要城市單位水價

依據國際水協會之自來水費用調查資料,將各城市之自來水「固定費用」、「變動費用」、「其他費用」及「營業稅」加總,計算出該城市之全年自來水費用,再將該費用除以 200,就可得到該城市之平均水價。

本次國際水協會所列臺北市及高雄市自來水費用資料中之「其他費用」為「水源保育與回饋費」,該費用隨水費由自來水事業機構代徵,費率為每度自來水徵收 0.5 元。

(1)我國主要城市單位水價計算方式

我國自來水事業機構之「固定費用」即其所稱之「基本費」,係依照用戶水表口徑大小計費,口徑愈大者,其計費價格愈高;「變動費用」則依照用水量級別之累進計費價格計費,用水量愈多,其累進計費價格愈高;至於我國目前「營業稅」稅率,則由行政院統一訂為 5%。

台水公司依照用戶水表口徑,將「基本費」分為 13 mm、20 mm、25 mm、40 mm、50 mm、75 mm、100 mm、150 mm、200 mm、250 mm、300 mm、350 mm、400 mm 等 13 級距;北水處則因供水轄區內大用水戶較少,故僅分為 11 級距,而無 350 mm、400 mm 者。

每年使用 200 度自來水相當於平均每月用水量 16.66 度,或平均每 2 個月用水量 33.33 度,此類型用水戶多屬於家戶型之小用水量者,其所採用水表口徑也屬於小型者,如 13 mm、20 mm、25 mm 者。

根據統計,北水處及台水公司 106 年總用水戶分別是 1,686,166 戶及 6,982,040 戶,其中採用水表口徑 13 mm、20 mm、25 mm 之水表總數所占比率分別為其自來水事業機構之 95.79%及 99.04%。因此,臺北市與高雄市之單位水價計算將分別以其水表口徑 13 mm、20 mm、25 mm 者所占比率及對應之收費標準為依據。

如以每月用水量 16.66 度計費,臺北市及高雄市之全年「固定費用」、「變動費用」、「營業稅」、年度水費及平均水價計費統計結果詳見表 2。

如以每 2 個月用水 33.33 度計費,臺北市及高雄市之全年「固定費用」、「變動費用」、「營業稅」、年度水費及平均水價計費統計結果詳見表 3。

每月用水量 16.66 度或每 2 個月用水量 33.33 度,其全年用水量相同,惟用戶所繳水費卻因用水量累進計費價格而有些許不同,實際上後者將略多於前者,水費差距比率約 6%。不論是北水處,或是台水公司,均採每 2 個月抄表收費一次,因此本研究將採每 2 個月用水量 33.33 度之相關數據所計算而得者,作為我國代表城市之平均水價,以模擬實際狀況。

(2)各國平均水價

各國平均水價則以所屬城市之平均水價加總平均後得之。

表 2 每月用水量 16.66 度計費統計表

項目	臺北市	高雄市
固定費用（未稅）	1,035.49 元	449.07 元
變動費用（未稅）	952.38 元	1,559.93 元
營業稅	99.39 元	100.45 元
年度水費	2,087.27 元	2,109.44 元
平均水價（含稅）	10.44 元	10.55 元

表 3 每 2 個月用水量 33.33 度計費統計表

項目	臺北市	高雄市
固定費用（未稅）	1,035.49 元	449.07 元
變動費用（未稅）	1,081.78 元	1,679.98 元
營業稅	105.86 元	106.45 元
年度水費	2,223.13 元	2,235.50 元
平均水價（含稅）	11.12 元	11.18 元

(3)各國首府單位水價

本次國際水協會公布之自來水費用調查資料也包括 36 個國家首府之家戶每年用水 200 立方公尺（度）自來水費用（以美元計），其中包括我國臺北市者，惟阿根廷（布宜諾斯艾利斯）及巴西（巴西利亞聯邦特區）之首府相關費用數據闕如，無法列入比較。因此，實際上可供比較分析者為 34 國首府。

各國首府單位水價計算方式比照 4.1.1 各國主要城市單位水價者。

(二)計算「水費負擔率」

若僅就單位平均水價之高低，來評定水價廉價與否，對於世界各國家（或地區）不盡相同的國民所得及國民生產毛額而言，顯得有失公允。為求公平合理的水價比較，本文以所公布用水 200 立方公尺（度）之自來

水費用代表每年家戶平均自來水費用，以該費用除以該國「人均 GDP」，所得數值稱之為「水費負擔率」。

定義：水費負擔率 = 200 度之自來水費用 ÷ 人均 GDP

「水費負擔率」愈大，表示該國水價在同等的平均個人國民生產毛額下相對較高，意涵民眾用水費用支出負擔較重。

1.各國主要城市「水費負擔率」

將各城市家戶用水 200 立方公尺（度）之全年自來水費用除以該國「人均 GDP」，就可得到該城市之平均「水費負擔率」。

2.各國平均「水費負擔率」

各國之平均「水費負擔率」則以該國用水 200 立方公尺（度）之全年自來水費用除

以該國「人均 GDP」後算出。

3.各國首府「水費負擔率」

各國首府「水費負擔率」計算方式比照各國主要城市「水費負擔率」者。

(三)討論項目

將各城市水價、水費負擔率及各國人均 GDP 值，就各種面向將我國 2 個代表城市(臺北市及高雄市)之自來水價格與世界其他 35 個國家(或地區)及 188 個城市者加以比較分析，以進一步了解國際水價之現況與趨勢。分析比較之項目包括：

- 各國主要城市單位水價
- 各國主要城市水費負擔率
- 各國平均水價
- 各國平均水費負擔率
- 人均用水量與水費負擔率
- 臺灣地區家庭用水費占消費支出比率統計

五、分析討論

國際水協會所提供自來水費用調查資料，可供比較之資料範圍涵蓋共 35 個國家(或地區)及 188 個當地主要城市，本文將分別以「城市」、「國家」之區別，進行分析討論自來水價格相關面向。

(一)各國主要城市單位水價(詳見附表)

1.各國主要城市單位水價之排名

- 最高之城市為南歐微型島國馬爾他之全國平均值，每度水價為 127.55 元。
- 最低之城市為義大利米蘭(第 188 名)，每度水價為 7.93 元。
- 各國主要城市自來水價格之平均值為每度 45.86 元。

• 臺北市及高雄市之水價在 188 個城市中分別排名第 186 名及 185 名，也就是倒數第 3 名及倒數第 4 名，平均每度水價分別是 11.62 元及 11.68 元，低於 97%以上之城市，僅占有所有 188 個城市平均水價 45.86 元之 25%。

• 188 個城市中，水價低於臺北市者只有 2 個城市，分別是義大利米蘭(7.93 元)及亞美尼亞首府葉里溫(9.40 元)。

• 鄰近國家主要城市之日本東京自來水價格排名第 97 名(36.40 元)、仙台第 60 名(55.80 元)、札幌第 82 名(46.40 元)；韓國首爾第 179 名(15.91 元)、釜山第 165 名(21.42 元)；中國水價最高之城市為天津，排名全球第 161 名(24.18 元)，其餘者包括北京第 173 名(18.57 元)、上海第 181 名(15.06 元)、深圳第 174 名(18.3 元)；香港第 178 名(16.90 元)；澳門第 171 名(18.85 元)。總計，亞洲國家及地區僅中國、日本、韓國、香港、澳門及我國列入本次國際水協會每年家戶用水量 200 度者之統計，該地區水價最高者為仙台；最低者為臺北市。

2.各國主要城市水費負擔率之排名

- 最高之城市為非洲國家烏干達之 4 個城市，包括首府 Mbarara、Entebbe、Jinja 及 Kampala，其比值皆為 8.88%。
- 最低之城市為澳門，比值為 0.11%。澳門拜近年博奕及觀光業的蓬勃發展，「人均 GDP」激增，在國際水協會所列 198 個城市中，以 111,600 美元(2017)奪魁；加上平均水價僅 18.85 元，其水費負擔率為所有城市中最低，自然不足為奇。

- 各國主要城市家戶水費負擔率之平均值為 0.99%。
- 臺北市及高雄市之水價在 188 個城市中分別排名第 186 名及 185 名，也就是倒數第 3 名及倒數第 4 名，水費負擔率分別是 0.155%及 0.156%，低於 97%以上之城市，僅占有所有城市水費負擔率之 16%。
- 亞洲國家及地區主要城市之日本東京之排名為第 151 名(0.57%)、仙台第 84 名(0.88%)、札幌第 121 名(0.73%)；韓國首爾第 181 名(0.27%)、釜山第 174 名(0.37%)；中國北京第 114 名 (0.75%)、天津第 48 名 (0.98%)、上海第 145 名 (0.61%)、深圳第 115 名 (0.74%)；香港第 184 名 (0.19%)；澳門第 188 名(0.11%)。

(二)各國平均水價

取各國（或地區）城市單位水價之加總平均值，代表該國之平均水價，並加入各國人均 GDP 值及水費負擔率，依照英文國名之字母順序製表如表 4；另依照平均水價之高低順序及對應之水費負擔率繪圖如圖 1。

實際上，世界各國水價並非全國一致，多以城鄉為界，同一國家內之各地水價互有不同。

1.各國平均水價之排名

- 最高之國家為馬爾他，平均每度水價為 127.59 元。
- 最低之國家為亞美尼亞，平均每度水價為 9.40 元。
- 各國自來水價格之平均值為每度新臺幣 47.17 元。(註：該數值與前述各國主要城市自來水價格之平均值 45.86 元略有不同)

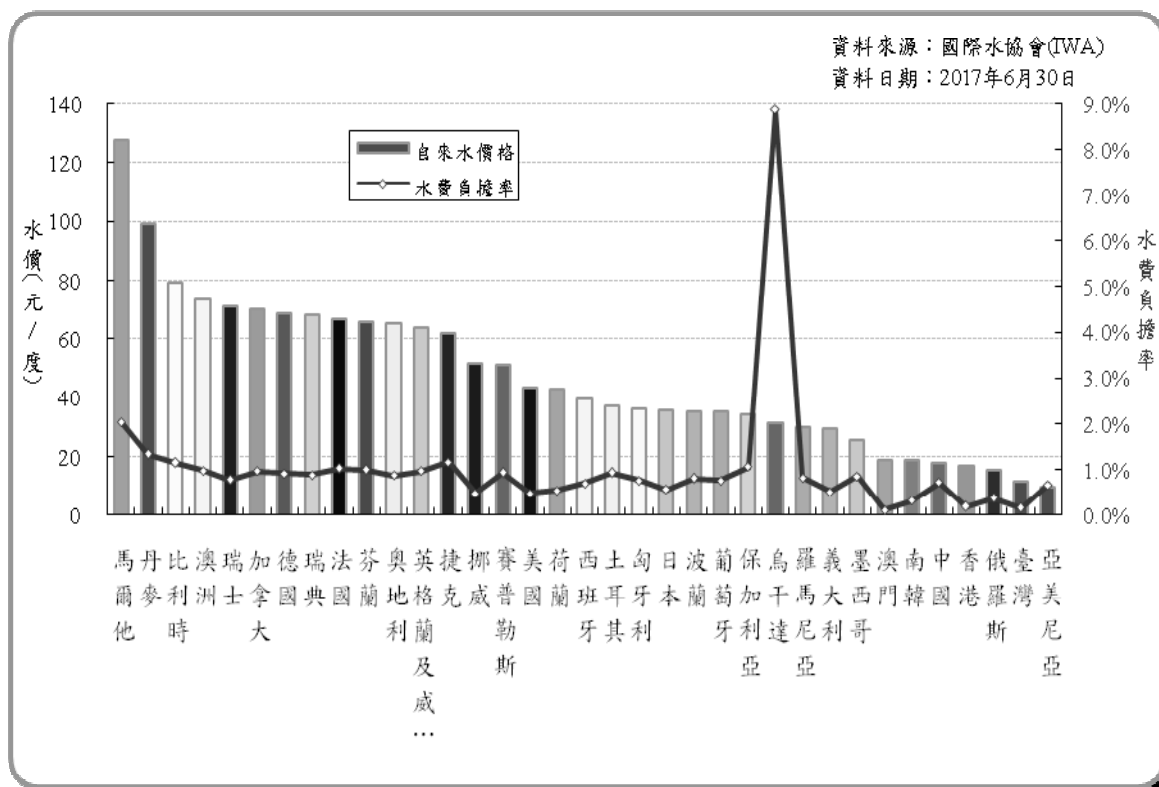


圖 1 各國家戶自來水平均水價及水費負擔率

表 4 各國家戶自來水平均水價統計表（依英文字母排序）

資料來源：國際水協會(IWA)

項次	國家 (英文)	國家 (中文)	個人 GDP (美元)	個人 GDP 排名	平均水價 (新臺幣/ 度)	平均水 價 排名	水費負擔 率	水費負擔 率 排名
1	Armenia	亞美尼亞	9,500	34	9.40	35	0.67%	25
2	Australia	澳洲	50,300	9	73.73	4	0.99%	9
3	Austria	奧地利	49,900	11	65.41	11	0.88%	16
4	Belgium	比利時	46,600	14	79.45	3	1.15%	5
5	Bulgaria	保加利亞	21,700	31	34.29	24	1.06%	6
6	Canada	加拿大	48,300	13	69.98	6	0.98%	10
7	China	中國	16,700	33	17.94	31	0.72%	23
8	Cyprus	賽普勒斯	37,000	23	51.36	15	0.94%	13
9	Czech Republic	捷克	35,500	24	62.10	13	1.18%	4
10	Denmark	丹麥	49,900	11	99.13	2	1.34%	3
11	England & Wales	英格蘭及威爾 斯	44,100	16	63.63	12	0.97%	11
12	Finland	芬蘭	44,300	15	65.72	10	1.00%	8
13	France	法國	43,800	17	66.92	9	1.03%	7
14	Germany	德國	50,400	8	68.74	7	0.92%	14
15	Hong Kong, China	香港	61,400	3	16.91	32	0.19%	33
16	Hungary	匈牙利	29,500	26	36.07	20	0.77%	21
17	Italy	義大利	38,100	22	29.31	27	0.52%	28
18	Japan	日本	42,800	18	35.96	21	0.57%	26
19	Macao, China	澳門	111,600	1	18.85	29	0.11%	35
20	Malta	馬爾他	42,000	19	127.59	1	2.05%	2
21	Mexico	墨西哥	19,900	32	25.52	28	0.86%	17
22	Netherlands	荷蘭	53,600	6	43.13	17	0.54%	27
23	Norway	挪威	71,800	2	51.63	14	0.48%	30
24	Poland	波蘭	29,500	26	35.50	22	0.81%	19
25	Portugal	葡萄牙	30,400	25	35.10	23	0.76%	22
26	Romania	羅馬尼亞	24,500	30	30.07	26	0.84%	18
27	Russia	俄羅斯	27,800	28	15.38	33	0.37%	31
28	South Korea	南韓	39,400	20	18.80	30	0.32%	32
29	Spain	西班牙	38,300	21	39.81	18	0.70%	24
30	Sweden	瑞典	51,500	7	68.11	8	0.89%	15
31	Switzerland	瑞士	61,400	3	71.24	5	0.78%	20
32	Taiwan	臺灣	50,300	9	11.65	34	0.16%	34
33	Turkey	土耳其	26,900	29	37.41	19	0.94%	12
34	Uganda	烏干達	2,400	35	31.61	25	8.88%	1
35	U.S.A.	美國	59,500	5	43.36	16	0.49%	29
-	-	平均 人均 GDP	41,731	平均水價 (新臺幣/ 度)	47.17	平均 水費負 擔率	1.02%	-

同，此因城市者係以各城市自來水單價之總和除以城市之數目而得，國家者則以各國自來水平均單價之總和除以國家之數目而得，以致二者之計算結果產生差異。)

- 在 35 個國家（或地區）中，臺灣平均水價排名倒數第 2 名，在亞洲最低，屬於低水價者，平均每度水價為 11.65 元，僅占各國單位水價平均值 47.17 元之 25%。
- 亞洲國家之日本自來水價格平均值排名第 21 名（35.96 元）；韓國第 30 名（18.80 元）；中國第 31 名（17.94 元）；香港第 32 名（16.91 元）；澳門第 29 名（18.85 元）。

2. 各國平均水費負擔率之排名

- 最高之國家為烏干達，平均值為 8.88%。
- 最低之國家（或地區）為澳門，比值為 0.11%。
- 我國平均值為 0.16%。排名不僅是全亞洲最低，若非澳門近年因博奕及觀光業的蓬勃發展，「人均 GDP」激增，臺灣家戶平均水費負擔率也將是全球最低，充分顯示臺灣的自來水價格明顯過低，而臺灣民眾用水費用負擔極輕。
- 各國水費負擔率的平均值為 1.02%。
- 亞洲國家（或地區）之日本之排名為第 26 名(0.57%)；韓國第 32 名(0.32%)；中國第 23 名(0.72%)；香港第 33 名(0.19%)；澳門第 35 名(0.11%)。

(三) 人均用水量與水費負擔率

本次國際水協會所公布的資料，包括世界上 173 個城市之 2016 年人均用水量，其中最高者為美國丹佛，高達每日 538 公升；最低者為烏干達的 Mbarara，每日只有 14 公升；所有城市之平均值則為 146 公升。我國

的臺北市人均用水量為 326 公升，高雄市則為 267 公升，在 164 個城市中排名分別是高居第 5 名及第 8 名，顯示我國家戶用水有高度浪費之虞。

為觀察「水費負擔率」與「人均用水量」之關係，取本次國際水協會公布可供比較 173 個城市的水服務費用及其人均用水量，二者予以對照比較。部份無 2016 年人均用水量資料者，則擇其往年最新可取得之數據。將此 173 個城市之「人均用水量」由高而低排列，再將其「水費負擔率」對應繪圖如附圖。由該圖可發現，隨著「水費負擔率」上升，「人均用水量」有逐漸下降的趨勢。換言之，「水費負擔率」愈低的地方，其「人均用水量」就愈高。因此，政府相關機關如要降低「人均用水量」，並提高用水效率，捷徑之一就是調高自來水的價格。

(四) 家庭用水費占消費支出比率

根據行政院主計總處公布之統計資料，將 97 年至 106 年間之我國「人均 GDP」、「平均每戶消費支出」及「家庭用水費占消費支出比率」彙整編製成表 5。

由該表可發現，該期間我國人均 GDP 由 17,814 美元成長至 24,408 美元，成長率為 37%；平均每戶消費支出則由新臺幣 71.6 萬元上升至 81.2 萬元，成長率為 13.4%，惟同期間之家庭用水費占消費支出比率卻由 0.38% 下降至 0.30%。

我國 106 年家庭用水費占消費支出比率為 0.30%，與世界衛生組織認定合理的比率為 2% 至 4% 差距頗大。我國在人均 GDP 及平均每戶消費支出逐年成長下，每戶每年自來水費負擔占消費支出比率倒是不增反減，不

僅無法維持原有已不合理之極低比率，遑論要達到世界衛生組織所認定之標準。

六、結論

(一)我國水價明顯偏低

由諸多數據顯示，相較世界各國，不論是歐美先進國家，或亞洲鄰近國家，我國自來水價格已明顯不合理之偏低。尤其臺灣的水價及「水費負擔率」全球排名均為倒數第 2 名，這些都是我國水價過低的明顯例證。

(二)水價高低攸關用水效率

當「水費負擔率」上升，「人均用水量」有逐漸下降的趨勢，顯示水價高低攸關用水效率。政府如要鼓勵民眾節約用水、珍惜水

資源，捷徑之一就是調高自來水的價格。

雖然立法院已於 105 年 5 月 6 日三讀通過水利法第八十四條之一修正案，開徵耗水費，以鼓勵節約用水。惟耗水費僅針對月用水量超過 1,000 度的大戶收取，而且並非所有業別一視同仁全面收取，機關、學校、醫院、集合住宅（總表戶）及農業用戶暫不開徵，實際開徵用戶數僅約 5,856 戶，而光北水處與台水公司之用戶，合計就高達近 800 萬戶。因此，開徵耗水費對於鼓勵民眾節約用水之影響力有限。

(三)水價訂定應高於廢水回收之成本

水價過低，對於工業界回收再利用水資

表 5 我國家庭用水費占消費支出比率統計表

年度	人均 GDP (美元) 註 ¹	平均每戶消費支出 (萬元新臺幣/年) 註 ²	家庭用水費占消費支出比率 註 ³
96	17,814	71.6	0.38%
97	18,131	70.5	0.38%
98	16,988	70.6	0.37%
99	19,278	70.2	0.37%
100	20,939	72.9	0.35%
101	21,308	72.8	0.33%
102	21,916	74.8	0.32%
103	22,668	75.5	0.32%
104	22,400	76.0	0.32%
105	22,592	77.7	0.31%
106	24,408	81.2	0.30%

註 1：中華民國統計資訊網(<https://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=37407&CtNode=3564&mp=4>)「國民所得統計常用資料」

註 2：中華民國統計資訊網-主計總處統計專區家庭收支調查統計表 (<https://win.dgbas.gov.tw/fies/a11.asp?year=106>)「第十表 - 可支配所得、消費支出及儲蓄」

註 3：台灣自來水公司「每戶（每人）每月水費及每戶家庭每年水費占消費支出比率」(<https://www.water.gov.tw/ct.aspx?xItem=37825&ctNode=793&mp=1>)

源之推動也毫無誘因，因為臺灣之自來水價格遠低於工業界自行建置回收再利用系統之成本。如要對工業界回收廢水產生誘因，未來自來水水價訂定必須高於廢水回收再生所需的成本。

(四)低水價政策不利水科技產業發展

以色列與新加坡因為面臨水資源匱乏之危機，政府充分反映自來水成本，實施高水價政策，不僅有效鼓勵節約用水，且因此造就內需之水科技商機，創造無數的就業機會。此外，該國並將此引以為傲的水科技產業行銷全球，賺取外匯，巧妙的將危險轉化為機會。

(五)高耗水業不應是我國歡迎之投資類型

日本交流協會副代表花木出在 104 年 6 月 2 日舉辦之「2015 台日投資論壇」演講時指出，臺灣因為薪資上漲率是亞洲最低、法人稅率是全球最低，同時，水、電價格之低在全球名列前茅，因此，來臺投資之日本企業有 81.8%獲利，也是亞洲第一。

許多外商來臺投資著眼於我國水、電價格低廉，因此投資案多是屬於高耗水、耗電者，例如某國際科技大廠在臺設置雲端運算中心即屬之。此類利用我國不合理偏低的水電價格政策，變相由我國稅收補貼獲利者，在我國合理調整水價政策前，不應該是我國所歡迎之投資類型。

(六)水價偏低不符社會公平

過低的水價除了使自來水事業機構之財務狀況失衡，導致無法適時更新設備與汰換老舊管線，進而降低經營績效，同時相對形成政府對於大量用水者之補貼，一般用水少的百姓反而吃虧，衍生用水效率與社會公平的問題。

(七)水價政策迫切需要理性及客觀之討論

我國自來水事業具有公共服務之特性，雖然不是以營利為目的，不過水價之訂定仍然應該確實反映成本，藉此確保自來水事業機構之永續經營，並達到鼓勵節約用水、減少溫室氣體排放之效益。台水公司之水價自民國 83 年起即無調整過，迄今已經過 25 個年頭，尤其近年國際物價高漲，光是 2013 年，全球供水成本就增加了 4.3%，因此合理之水價政策已迫切需要一個理性及客觀之討論空間。

參考文獻

- 1.臺北自來水事業處，106年臺北自來水事業統計年報，107年5月
- 2.台灣自來水股份有限公司，106年台灣自來水事業統計年報，107年4月
- 3.周嫦娥、廖肇寧，水資源總體經濟模式(III)，經濟部水利署委託研究報告，91年
- 4.經濟部水利署，台灣地區民國106年生活用水量統計報告，取自 <http://wuss.wra.gov.tw/annuals.aspx>
- 5.行政院主計總處，國民所得統計常用資料，取自 <https://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=37407&CtNode=3564&mp=4>
- 6.行政院主計總處，106年家庭收支調查報告，取自 <https://win.dgbas.gov.tw/fies/a11.asp?year=106>
- 7.經濟部水利署，耗水費規劃說明，104年5月
- 8.International Water Association，International Statistics for Water Services，2018

作者簡介

周國鼎先生

現職：行政院環境保護署科長

專長：自來水工程、空氣污染防治、綠色採購

自來水小區管網改善及評估之創新作法

文/田友仲、李中彥

一、前言

臺灣地狹人稠，山高水急，年雨量非常豐沛，卻因為地形因素無法將這些珍貴的水資源留下來好好的利用；再加上近年來受極端氣候的影響，不是暴雨成災，就是乾旱造成缺水，依據統計資料，過去每 19 年發生 1 次嚴重水災，現在是每 2 年就發生 1 次，過去每 17 年發生 1 次嚴重旱災，現在是每 9 年會發生 1 次，降雨量高低落差太大，對民生、農業及工業都造成相當大的影響，如何因應極端氣候，充份有效的利用水資源，如何節水，把珍貴的水留下來，已成為當下刻不容緩，急需研究的課題。

自來水淨水廠把原水處理成潔淨的自來水後，利用加壓站和供水管網將自來水送到用戶的家，過程中會因為種種因素導致部分自來水流失，造成無計費水量，就是所謂的 NRW (Non-Revenue Water)，如何降低 NRW 是目前全世界任何一個自來水事業都正在積極處理的問題，依據國際水協會 (IWA) 的研究，降低 NRW 有 4 大對策，分別為「管線汰換」、「水壓管理」、「漏水檢測」與「漏水處理」，其中「管線汰換」是最直接、最快速有效的處理方法。

臺北自來水事業處 (以下簡稱北水處) 為了降低 NRW，從民國 95 年開始，推動 1 個長達 20 年，分成 4 個階段的「供水管網改善及管理計畫」，目標是希望能在民國 114 年的時候將整理漏水率由原本的 26.99% 降低到 10%，計畫執行以來，每年實際的改善成績都優於計畫目標，漏水率以每年平均

1.07% 的速率下降，至民國 106 年已下降了 12.81%，來到 14.18%，成績斐然。

北水處積極推動管網改善後，日配水量由每日 230 萬噸降低至每日 182 萬噸，每日減少 48 萬噸的配水量，相當每年約半座翡翠水庫的有效蓄水量，所以前幾年全臺灣在缺水的時候，只有臺北不缺水，表示北水處的管網改善計畫已發揮成效。

二、管網改善遭遇問題與對策

北水處西區營業分處服務的範圍包含台北市中正區、萬華區以及新北市的中和區、永和區以及新店安坑地區，其中萬華區是北臺灣最資開發的地區，因此區內大多房屋老舊、巷道狹小且管線老舊，汰換難度相當高 (圖 1、2)。



圖 1 小區內現況房屋老舊



圖 2 小區內巷道狹小

以 W06007 小區為例，它是個位於萬華區艋舺大道、桂林路、和平西路 3 段所包圍的區域，在日治時期屬於八甲町，是萬華最早開發的地區之一，區內的水表大多位於屋內且多數為空屋，管線汰換時不易將給水管整斷汰換至表前，若沒有將給管整斷汰換至表前，僅汰換至屋前，屋內未汰換的舊管會大大提高管網改善的風險，造成小區改善完成的不確定性大增，所以遇到這種情況一定要想辦法與用戶溝通，先設法把屋內的水表由屋後改屋前，再徹底斷除舊管，遇不明管時先調閱原始台帳與竣工圖判斷是否還有用戶使用，若判斷無人使用，絕對不予接水，寧願事後無水處理，也不盲接。



圖 3 水表位於屋內

以區內三水街 9 巷為例，水表大多位於屋後及屋內（圖 3），且水溝內有大量清水流動（圖 4），經檢測是自來水，但是夜間聽音檢測卻測無漏水點，現況可以說是非常糟。

為了徹底斷除舊管改善漏水，西區分處利用夜間召開施工說明會（圖 5）向里長與用戶說明水表由屋後改屋前的好處，並由幹部率領第一線工程師不分日夜與用戶溝通，最後終於克服困難將水表由屋後改屋前（圖 6），在斷除舊管與屋前改接新管後，原

本充滿自來水的水溝已不再有水流動，表示管網改善已經有了初步的成效。



圖 4 水溝內有大量清水流動



圖 5 夜間召開施工說明會

另一個小區是位於新北市永和區福和路、中正路、永貞路與自由街所包圍的 W10002 小區，本小區在民國 102 年已開始進行管網改善，但未完成全面汰換，本年度鎖定管材老舊且之前因為管障嚴重而未汰換的秀朗路 1 段及自由街進行汰換。

因為這個小區有別的管網改善工程進場施工過，一條巷子內，有些水表有改接，有些沒改接，所以在施工前必須調閱大量原始給水台帳（圖 7）及竣工圖（圖 8）以確認供水現況，避免因為漏接而產生無水的情形。



圖 6 水表由屋後改屋前

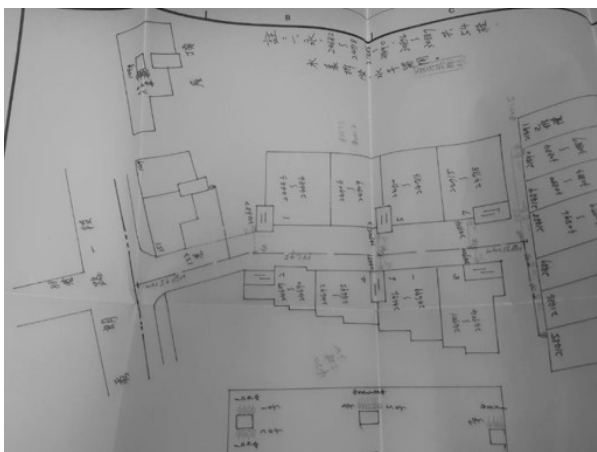


圖 7 原始給水台帳



圖 8 現場竣工圖

我們的辛苦是有代價的，區內有一家永和歷史最悠久的雞蛋行，每天都需要大量的自來水清洗雞蛋，否則蛋會臭掉，還好經過仔細的清查區內的直接表和總表後，發現秀

朗路這家雞蛋行的總表位於屋後巷內，非常隱密，當初在設計時忽略了這個水表，還好在施工前有徹底的清查每個水表的供水現況，才能預先改接，避免斷除舊管後，無水的困境。

本區內的秀朗路是早期永和通往新店的古路，原名「店仔街」，街上商店林立，它的路形彎彎曲曲，路寬非常狹窄，中間還有一個排水箱涵佔據地下空間，所有的管線都被趕到一邊，自來水管線又是所有地下管線中最早埋設的，上面佈滿密密麻麻的電信、電力等管障，自來水管要汰換的難度相當高（圖 9）。

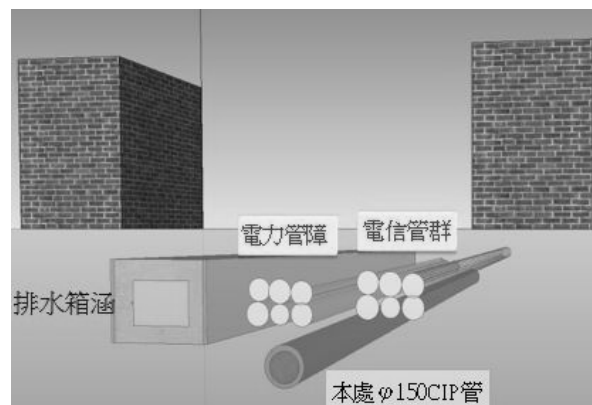


圖 9 配水管遭地下管障覆蓋示意圖

為了因應這些管障，北水處西區營業分處研擬一個現場施工預管障的標準作業程序（圖 10），埋設管線時，若前方遭遇管障，第一線工程師在現場應要求廠商先橫向擴挖，確認管障大小、位置與深度，並打電話通知分處幹部到場會勘，分處幹部到場後研判管障狀況並研擬對策，若可先暫時將管障架高，則先破壞管障包圍之混凝土，把管障清開，再吊起管障，從管障下方抽換管線或全面開挖檢視，若無法暫時將管障架高，且橫向擴挖有空間者，則繞開管障區埋設新

管，若橫向亦無空間，則以數支 50mm 不銹鋼管取代配水管，以保持管網活水連通，最後不得以才留用舊管，但是需於舊管前後增設制水閥以評估舊管漏水情形。

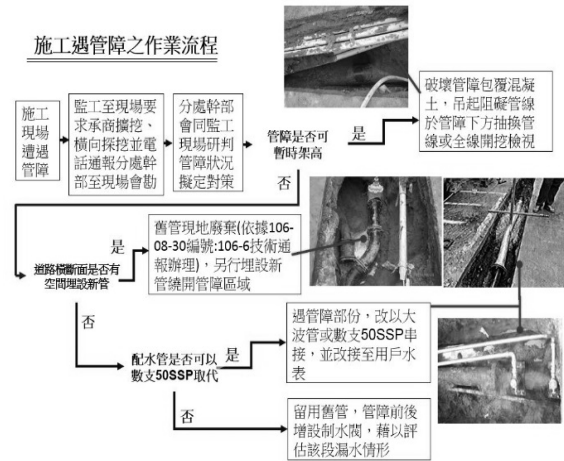


圖 10 施工遇管障建議之改善作業流程

以 107 年 8 月 2 日在永和區秀朗路 1 段 153 號前施工預管障的實際案例說明，當天開挖後發現地下管障密佈，第一線工程施立即依據施工預管障 SOP 通知股內幹部到場會勘，共同研議處理對策，現場判斷可將管障暫時架高，於是先以機具將管障吊起，再從管障底下抽換管線，努力克服困難(圖 11)，所謂：「精誠所至，金石為開」，小區計量管網改善就是要抱持著這種態度，售水率才能提升。

三、漏水量評估與管網改善成果檢核之創新作法及成功應用

巷道管線汰換是否確實是整個管網小區改善成功與否的關鍵，每一條巷道若能確實施工、徹底斷除不明管，則可提升整個小區的售水率，使無計費水量(NRW)下降。

在管網小區施工的過程中，若即時評估改善完成巷道的售水率，可得知該管段施工

是否確實、有無漏水，若漏水嚴重則可從小範圍內透過聽音檢測等方法找到漏水點，分段施工分段確認，可免除整個小區施工完成後，售水率無發達標，卻又不知從何改善，形成呆區的窘境。



圖 11 自來水管穿越管障

「巷弄管線直接法作業」是分管段檢核改善成效的最佳方式，北水處為瞭解管網改善進行中各管段施工是否確實，已於 102 年將巷弄直接法作業費納入契約內，使每一標案具有檢測的能力，將施工與檢測結合，有別於之前契約僅有施工汰管費用，並自行創新研發評估防火巷售水率之方法，成功應用於現場，及時改善漏水，提升施工品質。

傳統的巷弄直接法是先關閉受測管段的邊界制水閥與用戶水表，再由區段外的消防栓透過檢測水表與水表紀錄器灌水到區段內的消防栓，利用檢測水表與水表紀錄器與分析軟體，讓我們可以得知受測管段是否有漏水，若有漏水，其漏水量為何，是一種方便、快速又容易操作的方法(圖 12、13)。

但是每一種方法都有它的優缺點，傳統的巷弄直接法因為受限於需要由受測管段外的消防栓引水，往往需要很多條水帶相連

才能達到灌水的目的，這麼多條橫越馬路的水帶變成阻礙交通的設施，在車流量大的馬路是絕對不適用的（圖 14）。

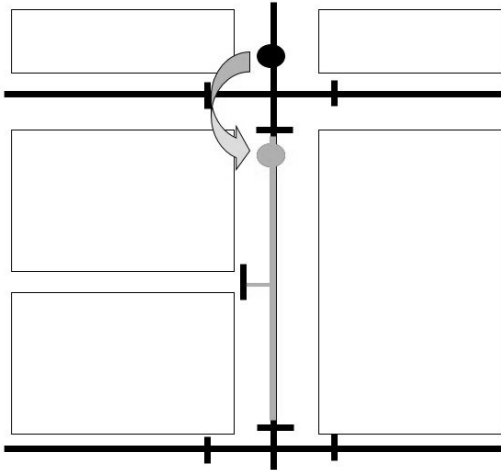


圖 12 巷弄直接法示意圖



圖 13 巷弄直接法現場照片



圖 14 傳統巷弄直接法，水帶會阻礙交通

北水處西區營業分處自行研發「巷弄直接法之創新作法」可由受測管段外的水表供水，由該水表透過「無水便利盒」設備與消防水帶相連接，再經由檢測水表與水表紀錄器灌水至受測管段內，經由電腦軟體讀取數據可得流量曲線，藉以判斷受測管段是否有漏水的情形。本創新作法以水表取代消防栓，突破以往只能從消防栓引水的限制，適應地形、減少對交通的影響，也使巷弄直接法的應用具有多變化性(圖 15)。

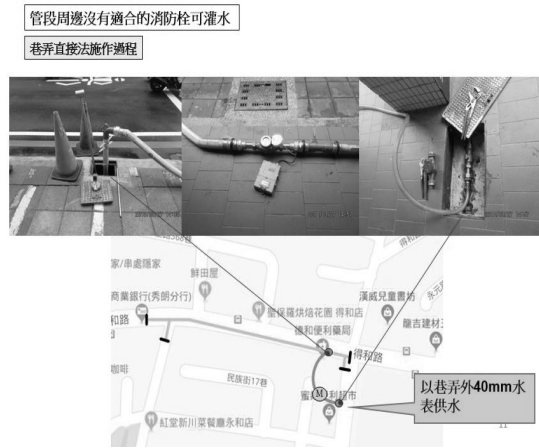


圖 15 巷弄直接法之創新作法

四、結論與建議

老舊巷弄進行自來水管線汰換施工，首先應先召開施工前說明會以尋求居民的共識。其次，申請區塊路證施工，俾利管線汰換及後續斷管作業。防火巷屋後改屋前是老舊巷弄斷除舊管及提升售水率之關鍵，藉由成功案例圖冊及各種樣態之改善說帖，對於完成老舊巷弄漏水改善有相當程度之幫助。此外，小區售水率改善的關鍵是區內舊路的管線汰換與不明管斷除，因舊路路幅不寬，且管帳異常嚴重，施工困難，如以區塊路證進場施工，並建立遇管障之改善標準作業流程，可避免因留用舊管或斷管不確實，造成漏水改善之盲點。

巷弄直接法評估老舊巷弄改善前，後之售水率變化，已日趨成熟且此水處廣為採用，並於工程契約內編列相關單價，惟傳統巷弄直接法僅能藉由消防栓與消防栓間互相灌水進行檢測，本文提出以用戶大表與消防栓灌水之創新作法，可避免傳統巷弄直接法水帶過街阻礙交通問題，亦成功應用在實際老舊巷弄改善之測試上，可做為其他類似案例參考應用。

參考文獻

1. 臺北自來水事業處，「臺北自來水管網改善計畫」，2003。
2. 臺北自來水事業處，「供水管網改善及管理計畫—長程策略方針」，2006。
3. 陳明州、吳奕均、楊境維，「小區計量工法於管網系統漏水管理之應用」，2008。
4. 郭志東、林哲生、李中彥，「小區售水率提昇之瓶頸與突破」，自來水會刊第28卷第3期，2009。
5. 廖于恒、邱嘉南、文其正，「小區計量於舊市區之應用」，「漏水防制與管理」研討會論文集，2009。

6. 李中彥、林永芳、時佳麟，「山坡地社區NRW 過高時之標準化改善作業—以新北市潭之鄉社區為例」，自來水會刊第32卷第1期，2013。
7. 李中彥，「臺北舊城區之自來水漏水改善策略」，自來水會刊第32卷第4期，2013。
8. 游叡研、李中彥，「利用歷史圖資研判斷除不明管線之案例分享」，自來水會刊第33卷第1期，2014。
9. 李中彥、陳晟彬，「以數支給水管取代配水管對小區管網壓力影響分析」，自來水會刊第33卷第4期，2015。

作者簡介

田友仲先生

現職：臺北自來水事業處西區分處三級工程師
專長：自來水工程設計、施工、圖資管理。

李中彥先生

現職：臺北自來水事業處西區分處股長
專長：自來水工程設計、施工、契約規範。

本刊 108 年「每期專題」

期別	主題	子題	時程
38 卷 第 3 期	水質處理	水質標準、水質安全、水質調查、水質檢驗及水質監測與水質管理、淨水用藥、廢水回收、淨水污泥再利用等。	8 月
38 卷 第 4 期	數位水務	大數據供水管理、智能供水計量、智能供水調度、智能供水管網、智能供水服務等。	11 月

~ 歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優 ~