

# 自來水會刊第 38 卷第 4 期(152)目錄



## 實務研究

- DMA 附加價值應用於供水操作與營運管理之研討…蘇怡昌、張景翔、林義鈞、羅啟文…… 1
- 淨水場廢水回收之研究—以臺北自來水事業處為例……張琰竣…… 11

## 本期專題 數位水務

- 自來水管橋智能監測與維護管理探討……鄭錦澤、汪嘉誠、吳世紀…… 19
- 資訊化提升緊急應變及停水宣傳效率之策略……曾彥中、陳信利、林清鑫…… 32
- 從 IoT 探究智能供水服務-以北水處智能計量為例……周麗娟…… 40
- 智慧水網發展探討：智慧水表之應用研究……林志麟、黃英閔…… 49
- 臺北自來水智慧化資訊管理系統建置與應用……黃騰宏、謝連達、許家成…… 57

## 一般論述

- 卡爾森「營養狀態指數(TSI)」方程式之正確性……周國鼎…… 65
- 自來水事業服務品質評鑑指標之探討……楊凱甯、陳品如、李丁來…… 74
- 水中鋁檢驗方法差異探討……楊昭端、趙文燦、吳美慧、賴明芬…… 81

## 協會與你

- 歡迎投稿 108年「每期專題」…… 10
- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…… 31

封面照片：台灣自來水公司提供

## 自來水會刊雜誌稿約

- 一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水會刊，每年二、五、八、十一月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。
- 二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、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](mailto: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](http://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：曾彥中

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

# DMA 附加價值應用於供水操作與營運管理之研討

文/蘇怡昌、張景翔、林義鈞、羅啟文

## 一、DMA 附加應用概要

為達到對水資源更有效地利用，分區計量管網(以下簡稱 DMA)管理已是降低供水系統水量漏損的有效方法之一，而建置 DMA 過程中所獲得及建置完成後所擷取的資訊，除了可用於即時監控供水情況外及比對潛在漏水情形外，所累積成的大數據庫更是隱含寶貴資訊等待挖掘，這些資訊其實包含用戶用水行為、都會區域人口板塊移動等，若又結合 GIS、營運、停水公告等資料庫及系統加值分析及交互運用後，更可提高對於用戶服務品質及降低本公司管線附屬設備維護費用。且此大量資料更可為自來水事業水量調度、計畫預測、水理分析等之利器。目前針對 DMA 之研討，多著重於降低供水損失，以致常有建置 DMA 不如將管線汰換更新之說，然 DMA 的建置對於工程規劃、供水操作、營運管理及用戶服務等面向均有極大助益，但卻鮮少有進行探討，故我們先針對 DMA 與「供水操作」、「閘栓管理」及「用戶服務」之應用進行探討。

## 二、DMA 與供水操作之探討

由於 DMA 建置完成之供水區域具有單一(或明確)進水點及供水區域封閉之特性，故其供水範圍、進水、用水壓力等供水狀況皆可連續且確實地進行監視及計量。

### (一)供水自動調控管理，管網水壓合理化

若依據 DMA 進水點單一此特性，再藉由將供水區域之進水點端裝設自動調控水量設備(如電動控制閘)，透過電腦即時監控、分析回傳之區域供水即時資料，依據各區域尖離峰用水特性，自動調整供應該區域之水量，以滿足區域內用戶用水需求，形成供水管網自動依據設定邏輯控制(如圖 1)。

即當系統偵測到區內水壓超過設定標準，將自動依據所設定之條件判斷並傳送訊號驅動進水點閘體自動調降開度減少供水量，進而降低區域供水壓力，符合實際需求；同理在尖峰用水時段則增加供水量因應，藉由系統自動調配區域之供水量來穩定管網水壓，避免管網壓差過大，造成管網發生供水異常之風險，延長管線壽命。

這種自動調控供水量進而調整供水壓力之方式，除有上述優點外，若依據漏水-壓力方程式 (FAVAD) 推論(公式 1)，更可藉由降低用水離峰時段供水壓力，在不影響用戶用水情況下，就可大幅降低供水損失量，同時亦可在區內管線發生重大事故時，遠端進行控制調整，降低損失，長期實現自動化區域水壓管理。

公式 1

$$\text{FAVAD: } L_1 = L_0 \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^\mu$$

L：漏水量  
P：供水壓力  
 $\mu$ ：管網指數

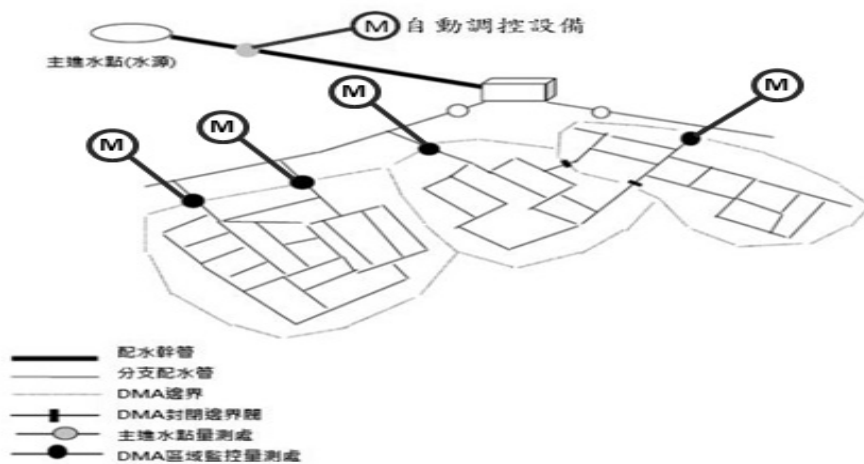


圖 1 管網自動調控設施

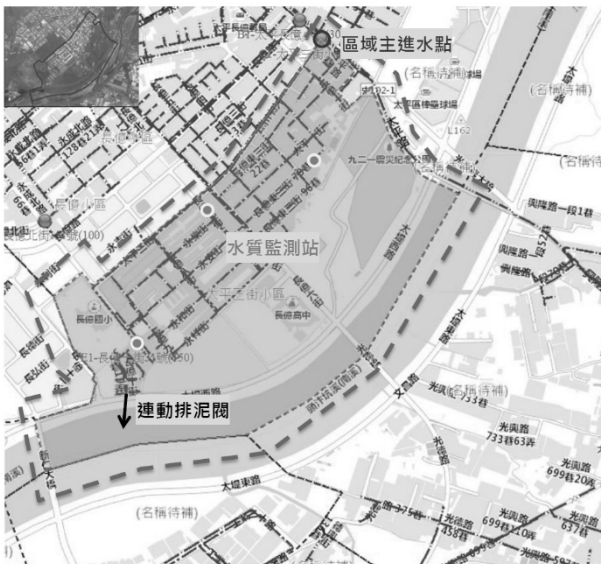


圖 2 區域水質調控示意圖

## (二)水質自動管理品質，實現自來水生飲

供水系統之水質常因管線的連通與流動性不佳，導致出現管末死水汙染用水的情形。而傳統方式常透過人工的方式定期進行水質採樣及排水作業以維護供水管網水質，然此模式常受制於採樣頻率、時效性等因素，導致難以即時且連續性的掌握供水管網水質變化狀況。

若於 DMA 建置完成區域之進水點、管網管末及其他重要用戶等位置裝設水質監

測儀器，除可對區域內供水水質狀況準確掌握外，一旦偵測到進水端或區域內某處因災害、汙染或其他因素導致水質標準超過規定時，便由系統自動控制主進水端進水量，同時自動開啟管末或區域內排泥閥進行主動排水，完成供水管網內水質的循環與更新(如圖 2)，以維護區域內供水水質，進而逐步實現自來水生飲的可能。

## 三、DMA與閥栓管理之探討

依據台灣自來水公司分區計量管網作業要點建置作業流程規定，DMA 建置作業進行斷水測試程序時，須將小區進水閥及邊界閥關閉，並開啟區內救火栓及用戶直接給水龍頭，確認區內是否已完成斷水形成獨立封閉的 DMA。

### (一)閥栓分級管理，有效分配維護資源

自來水系統供水管線埋設時，設置制水閥之主要原因，是為考慮日後配水管線之修復、裝接用戶進水管、維護操作等時之方便。所以自來水系統供水管網中所有的制水閥都是相同功用，以致所有的制水閥都相同

的重要。然依據管理學管理精神推論，若所有的制水閥都很重要，就代表所有的制水閥都不重要。

目前各路權管理單位為提升道路平整性，對於各管線單位之人手孔的管理日益嚴格，每年度均要求各管線單位辦理人手孔一定比例下地作業，雖自來水管線之人手孔因有救災需求，而部分路權單位准予不須辦理下地作業，但針對留存於道路上的人手孔除要求整平作業外，更要求進行周遭刨除加封作業，以目前辦理該項工程預算推計，每次辦理 1 個制水閥調平作業，就需耗損近萬元，以台中給水廠所轄 3 萬 2 千餘個制水閥估計，若所有制水閥全數留存且有 5% 的制水閥需進行調平作業，便需耗費約 1600 餘萬元之經費，又因當制水閥失靈或人手孔蓋故障時，均須再次耗費，故此類經費是持續且龐大的，且上列費用尚未包括人員巡檢費用。

所以對制水閥的維護作業受限於人力及經費，無法逐一維護的狀況下，針對制水閥的重點維護作業就是必要的作為。

DMA 建置過程中制水閥的調查及測試其實就有對制水閥之主要功能線進行分類，例如：中區管網進水點制水閥、DMA 進水點制水閥及 DMA 邊界閥等，再針對每類制水閥盒進行顏色管理，現場從事管線搶修及閥栓管理人員，就以最簡便的判斷，加快處理流程。

下列制水閥分類表(如表 1)僅是初步分類概念，分類原則依據供配水調度及搶修需求為主要原則。

當制水閥盒進行顏色分類管理後，現場

操作人員就有快速辨識能力進行調控及操作，例如：紅色制水閥盒不能輕易關閉或調整，排泥閥不能任意開啟或需搶修時應關閉那些制水閥等…。同理，閥栓管理人員亦可立即確認那些功能的制水閥故障或遭路權單位埋沒或下地。

表 1 制水閥功能分類分級表

編號	功能	顏色
1	主要送水幹線具調節區域供水量功能(大區管網進水點)	紅色
2	主要配水幹線取水點具調節中區供水量功能(中區管網進水點)	橙色
3	區域計量管網(DMA)進水點及邊界閥	綠色
4	消防栓制水閥、排泥閥	黃色
5	搶修急需，如管線穿越河底、鐵路或橋樑	藍色
6	一般搶修用	無色



圖 3 閥盒及孔蓋資訊判讀

這些制水閥分類作業其實在 DMA 建置時就已完成，只要將相關資訊於圖資系統(GIS)註記，讓日後新進人員於調整操作及管理制水閥作業時更有效率。當然路權機關是否同意管線單位自由制定所屬人手孔顏色，仍是未可知，尚有待溝通，但是目前亦有許多電子設備可供利用，讓制水閥的編號及功能明確註記(如圖 3)，只要購置有簡單設

備，就可讀出制水閥相關資訊。

## (二)閥栓採面狀管理，提升搶修效率

目前自來水事業進行管線緊急搶修作業面臨最大的挑戰之一就是人手孔(制水閥)為配合道路管轄單位因道路平整之需求進而下地或遭埋沒的問題，每當本公司一個制水閥下地、故障或埋沒時，就導致須增加關閉二個以上的制水閥，然若是制水閥下地、故障或埋沒情況嚴重時，所需關閉之制水閥的個數將以二的二次方趨勢增加，此種現象導致本公司進行管線搶修作業時程拉長、停水時間及範圍愈發難以控制，導致降低漏水搶修作業效率。

又依據自來水工程設施標準解說-配水設施篇敘述「…直線管上應每隔 500~1000 公尺裝設制水閥，…修理前之排水及修理後之洗管，將佔用時間太久，除影響正常之供水外，並浪費甚多水量，不合經濟原則…」，上列說法是以制水閥未遭下地或失靈的前提下最經濟做法，然以臺中市原臺中市 8 個行政區及大里、太平區為例，區內制水閥約有 3 萬 2 千餘個，若全數進行年度測試檢查，對於人力及資源消耗實在龐大。

對於搶修耗損水量成本與制水閥維護成本，對於自來水事業的支出就像位於天平二端一般，以致目前自來水從業人員針對制水閥減量乙節上，仍充滿著正反兩面的意見，但若在這二面向採擇中方式推動，也就是搶修作業及閥栓管理由原先「點狀管理」改為「面狀管理」方式，或是另一種自來水事業可推動的管理方式。

所謂搶修作業及閥栓管理採取面狀管理，亦即採取以 DMA 作為優先管理基礎，

以各 DMA 作為管線搶修作業之影響供水(停水)範圍時，因各 DMA 完成設置之前提均有進行封閉確認，即搶修作業之停水影響範圍及所操作之人手孔(制水閥)均是明確且可控制。

因自來水事業管線遍佈各道路，而搶修所需之人手孔若仍採取點狀管理，亦即每條道路最少須維持二至四個人手孔留存，除了日後維護費用大增外，亦與道路管轄單位追求道路平整的終極目標出現矛盾。

下列舉台灣自來水公司第四區管理處台中給水廠 0204 向上東興小區為例(如圖 4)。



圖 4 台中給水廠 0204 向上東興小區範圍圖

### 台中給水廠 0204 小區基本資料

- 區內閥栓總數：125 個
- 邊界閥總數：6 個
- 進水閥總數：3 個
- 管線總長：13.5 km
- 用戶數：1600 戶

該 DMA 範圍內其實需重點管理的制水閘僅有 9 個(7.2%)，若以 DMA 作為搶修作業停水範圍，每次搶修作業便是關閉 3 個進水閘，並採復水後管中 1 倍水量作為洗管水量，且假設全數管線口徑均為 200mm，所需耗費水費約為 9,500 元。

排水及洗管耗費水費 =  $13.5\text{km} \times 1000 \times \pi \times 0.1^2 \times 11.2$  元(每度水售價)  $\times 2$  倍 = 約 9,500 元

雖然於搶修作業採取面狀管理時，會造成較多水源損失，且造成停水戶數較多，但對自來水事業所需重點管理的人手孔將大幅度下降，且控制現場(含水源關閉)及停水用戶的估算時程均可有效之提升，進而提升管線搶修時效及用戶服務品質。

#### 四、DMA 與用戶服務之探討

當 DMA 區域封閉作業完成後，便接續針對該區內用水用戶進行清查彙整，並同步調整用戶抄表區以利日後資訊同步，增加 DMA 流量比對正確性。

當 DMA 封閉及調整用戶抄表作業完成後，這個小區便可完整計量及觀察供水情況，然上列每項作業所取得之資訊，對本公司均為極重要且有效的資訊，若可將這些資訊與相關系統連結及運用，便可將這些資訊應用極大化。

##### (一)民眾意見分區分類，改善高效民眾有感

因為 DMA 具有封閉性的特色，所以其實當一 DMA 發生供水異常(例如水壓不足、餘氯過高...等)時，該 DMA 區內所有用水戶都會受到影響，都會進行相同問題的反應。

簡而言之，每個用戶其實已與一個 DMA 的供水情況形成連結，所以自來水事業若以 DMA 作為管理基礎，將用戶依據所座落的

DMA 進行分區管理時，此時對於用水戶的管理作業就可以成為一種「群聚管理」或簡稱「面狀管理」。

所以依據 DMA 區內用戶處於同一供水模式的基礎，一旦出現水壓降低、水質異常等狀況時，即表示區域內大多數的用戶均面臨相同之供水異常狀況，所以若將以往用「點狀管理」的方式處理用戶反應之問題，變更為用「面狀管理」的方式處理用戶反應之問題時，自來水事業將可有效快速判斷各區域的用戶用水問題。

所謂用「點狀管理」的方式處理用戶反應之問題，就是自來水事業現場處理人員將用戶反映的問題視為個案，僅針對該用戶反映案件進行處置，然「面狀管理」是將區域內所有用戶的反映問題統籌分類，找出這個 DMA 範圍內民眾反映最多的問題，換句話說，若可以將此問題做有效的改善，也是用戶最有感的。

下列(表 2)舉台灣自來水公司第四區管理處台中給水廠 0204 向上東興小區為例。

表 2 向上東興小區(0204)用戶服務案件統計表

問題種類	服務類別	受理案件數
供水類	供水量問題	23,947
	修漏案件	184
	水質問題	12
工程類	施工相關資訊問題	567
	施工品質問題	946
業務類	帳單問題	20,980
	水表問題	59
	停水資訊	30,857
	新改裝問題	12
其他	各項申訴	789
合計		78,353

資料期間資料內容僅為敘事用

若採個案處理方式辦理，就是將這 7 萬 8,353 件用戶反映的問題逐一處理，但若將用戶所有反映的問題，先進行資訊整理，依據各 DMA 進行分區分類，雖然針對用戶反映的問題進行資訊分類，工作量較為龐大，但卻有利於自來水事業對各區域內用戶供水問題的掌握。

因為自來水事業從業人員無法逐一瞭解各 DMA 供水情況是否符合該區域用戶的用水習慣，所以自來水事業只要將用戶回饋的問題歸納分析後，就可大致發現各 DMA 的供水模式或是區域內設備是否需要改善。

而這些經由系統先行分類且不斷累積之用水問題，將有助於自來水事業後續對各區域內之用水問題進行改善(如圖 5)。

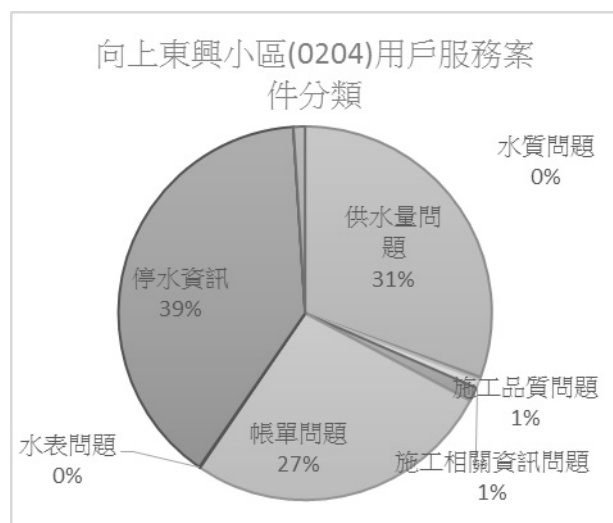


圖 5 向上東興小區(0204)用戶服務案件分類圖

由統計資料可知，位於向上東興小區(0204)內的用戶最常反應之停水資訊(39%)及供水量問題(31%)，所以往後自來水事業工程人員即可以依此作為根據，針對向上東興小區(0204)的民眾最有感的修漏及水壓不足問題優先處理，進行後續深入分析與重點

式追蹤探討，研擬解決對策，提供日後針對供水管網特定問題改善之參考依據。

## (二)用戶分區管理，搶修停水資訊快速傳送

對自來水用戶進行一定時間停止供水的情形，一直是自來水事業必要及無可迴避的議題。不論是自來水事業提升供水穩定度，降低停水時間及次數，或是要求用戶提升內部用水設備規格，延長用戶容忍停水時間，但最終都必須進行停水資訊的傳遞作業。

對於有計畫型停水作業，因有一定時間進行規劃停水範圍確認及用戶通知作業，所以自來水事業在進行計畫型管線工程的停水作業多受一般用戶採正面評價。

然自來水事業所面臨最大比例的停水作業，卻是為辦理無預期的管線漏水緊急搶修作業，這種無預期的停水反倒是用戶最為在意的，然對於自來水事業現場人員緊急搶修停水作業有二個無法立即確認的資訊「停水範圍」及「受影響用戶」，因為沒有這二個資訊就無法將「正確的停水資訊」傳遞到「正確的受影響用戶」手中。

所以若搶修作業及閘栓管理採取面狀管理時，這時在自來水事業接獲管線漏水位置的同時，就已知道此次搶修停水作業「停水範圍」及「受影響用戶」。

以台灣自來水公司第四區管理處台中給水廠 0306 太平三街小區為例(如圖 6)。

當管線漏水搶修作業發生於台中市 0306 太平三街小區內時，「停水範圍」就是 0306 太平三街小區範圍，「受影響用戶」就是 0306 太平三街小區範圍的用戶。



圖 6 台中給水廠 0306 太平三街小區搶修停水範圍

此種用戶供水面狀管理的方式是有助於發生緊急事故的訊息通傳，因為 DMA 已將用戶與該區進水點形成關聯，所以當該 DMA 進水點供水情況發生異常(供水量及壓力驟減等)或是該區內進行搶修作業時，我們可以利用簡訊發送系統或是停水公告系統開發建立應用程式(APP)推播方式，立即對這一群用戶進行主動通知，無須再一次篩選那些用戶有受到影響，降低本公司人力耗費且提升訊息傳達效率，以往用戶對自來水事業最為詬病的無預期的管線漏水緊急搶修停水「宣傳通知」作業甚至可以在每次緊急搶修停水前完成。

依據調查台灣智慧型手機滲透率已達 82%，其中 25 到 34 歲智慧型手機普及率更達 100%，所以如果每一用水戶若家中有三位成員推斷，若本公司可採取以網路方式規劃設計針對智慧型手機的訊息傳遞應用程式(APP)，將相關供水異常資訊傳遞至用戶智慧型手機，屆時用水戶就可於最短時間接獲訊息，我們亦可將此應用程式(APP)規劃為用

水戶回饋用水問題及民眾通報漏水之平台，這些資訊再回歸到每個 DMA 進行管理，做為日後該區的該區的供水改善方向參考。

### (三)依據用戶資料，預先規劃災防需求

雖大多數的災害發生多是無法預防的，但可透過適當之管理制度，研擬預防及應變對策，便可降低災害的延續性。

由於 DMA 的封閉特性，可使供水災害影響範圍得以限制，這樣的特性使得自來水事業可預先制定區域之災害管理計畫，因各 DMA 範圍並非極為龐大(用戶約為 1000-2000 戶)，且範圍內的用水情況及用水類別亦有長期資料可循，再依照各區域人口比例及分佈密集度，調度各區域適當之救災資源，讓資源獲得更有效之控制及分配(如取水站、水車、防災水井…等)，減少對人民生活所造成的衝擊。

所以當災害發生時，自來水從業人員便可依據發生災害位置的 DMA 判讀出點位所在之區域範圍。結合事前預先規劃的救災資源分布，使自來水事業得以立即對該區域內之用戶自動且準確發布災害及救援物資訊息。

## 五、總結

自來水事業基於降低供水損失發展推動分區計量管網主動進行漏水控制，其實 DMA 的漏水管理精神，就是一種採取「面狀」管理漏水的方式，以往自來水事業針對用戶資訊、供水主要及附屬設備的管理多採取點狀管理，但是自來水事業未來若可以配

合 DMA 的面狀管理精神，將「工程規劃」、「供水調配」、「財物管理」及「用戶資訊」…等面向採用一種新的管理邏輯，應可使管理變得更精緻，更是將自來水供水系統推向全自動的第一步。而 DMA 對於各種管理的優點如下：

#### (一)DMA 對工程規劃管理方面：

藉由 DMA 長期監控區域之流量、壓力及供、售水量變化，有助於提早察覺供水區域內用水型態轉變、用水人口移動以及經濟發展趨勢，預判未來各區域之用水需求消長，提早進行管網供水改善。

#### (二)DMA 對自動供水調控管理方面：

於管網進水點建置自動化調控設備，藉由控制閥體開度調控進水量，將管網水壓合理化，達成長期性地漏水控制，降低管網破管漏水量的增加，延長管線與管材壽命，提升區域供水品質，體現供水自動化的第一步。

#### (三)DMA 對閥栓管理方面：

藉由實施閥栓分級分區控管制度，以及導入閥盒智慧管理的概念，建立相關電子識別標示，增加自來水事業從業人員對閥栓資訊的辨識度，加快管線工程作業效率，逐漸減少及排除較為無用之閥體的維護，將有限之人力與資源運用效益最大化。

#### (四)DMA 對用戶管理方面：

藉由用戶水號編碼修正，增加用戶所屬的區域，自動將用戶歸納到所屬小區，於災害發生時，訊息的傳達可明確且快速的傳遞，無須再採人工篩選耗時費力。用戶供水異常問題的反饋亦可形成一系列的資訊回

歸各 DMA 進行管理，做為日後該區供水改善指標。對於災害防治預先制定各區域之災害管理計畫，減少對人民生活所造成的衝擊。

#### (五)DMA 對修漏管理方面：

因 DMA 供水範圍的明確且可控，以及對用戶建置資料的準確性，使漏損影響範圍得以有效控制，將破管搶修及各類管線施工訊息完整傳遞給區域內每位用水戶，並大幅減少搶修人員尋找漏水點與關閉制水閥的操作複雜度，提高修漏作業效率。

DMA 分區計量管網的建置已然被廣泛探討及運用，日後可對現行建置區域劃分的合理性、精細度進行更為複雜及全面性之劃分因素探討，以更加符合、貼近管網之真實供水狀態。

本研討之目的為對 DMA 附加價值提出其發揮空間之初步構想，惟其細部施行流程及後續效益之評估並未有提出，可供後續研究者進行更深入之分析探討。

#### 參考文獻

1. “District Metered Areas Guidance Notes”, International Water Association, 2007。
2. 楊露霞、張儀、周毅力，「城市供水管網DMA分區綜述」，2018。
3. 石文平，「分區計量(DMA)在實際工程的應用」，2017。
4. 陳靜，「採用DMA分區計量降低產銷差的實踐」，2017。
5. 陳書云，「淺談供水管網分區計量管理技術與應用」，2017。
6. 姜峰，「精細化DMA分區的探索與研究」，2017。

- 7.易維科技,「智慧水務整體解決方案」,2017。
- 8.李露、余健、李棟、王棟,「基於DMA技術的小區漏損控制案例分析」,2016。
- 9.薛志宏、陳富鈴、張美惠、劉玉絹,「利用等高圖分析掌握供水管網水質變化探討」,2015。
- 10.王毅堂,「分區計量(DMA)管理系統的建立與應用」,2014。
- 11.郝志萍、侯煜、崔昌,「計量小區(DMA)夜間最小流量解析方法 探討與案例研究」,2013
- 12.王敏、楊志堅、李揚、張永坡,「供水管網計量分區管理技術與應用」,2013。
- 13.葉儒鴻,「澎湖縣白沙鄉自來水管線測漏作業模式之探討」,2013。
- 14.北京市自來水集團,「基於獨立計量區(DMA)的城市供水管網運行管理模式的應用與研究」,2011。
- 15.台灣自來水公司,「台灣自來水公司分區計量管網作業要點」,2011。
- 16.黃欽稜,「漫談北水處漏水控制歷程」,2010。
- 17.王光輝、韓偉、魏道聯、花文勝、楊有華、楊帆,「DMA分區管理在首創水務公司供水管網中的應用」,2010。
- 18.周國鼎,「台灣地區全面建置分區計量管網之策略」,2009。
- 19.林清鑫,「自來水區域計量水量計與壓力監測管理系統建置探討」,2009。
- 20.臺北自來水事業處,「赴日本考察供水調配及水壓管理心得報告」,2008。
- 21.台灣省自來水公司,「自來水工程設施解說」,2006。
- 22.台灣省自來水公司,「台中市小區管網工程修正計畫(高地區部份)」,1998。

## 作者簡介

### 蘇怡昌先生

現職:台灣自來水公司第四區管理處台中給水廠工程師兼任廠長

專長:管網改善工程規劃、供水調度、漏水管理、工務管理

### 張景翔先生

現職:台灣自來水公司第四區管理處台中給水廠工程師兼任股長

專長:管網改善工程規劃、供水調度、漏水管理、工務管理

### 林義鈞先生

現職:台灣自來水公司第四區管理處台中給水廠工程師

專長:自來水管線工程

### 羅啟文先生

現職:台灣自來水公司第四區管理處台中給水廠工程師

專長:自來水管線工程

本刊 109 年「每期專題」

期別	主 題	子 題	時程
39 卷 第 1 期	工程技術	1.工程規設、施工及計劃管理、2.智慧供水技術、3.管線免開挖更生技術、4.環境友善及先進水處理技術、5.創新水源開發技術、6.薄膜技術、7.新興污染物處理技術、8.新興技術。	2 月
39 卷 第 2 期	營運管理	1.供水設施營運操作、2.供水系統維護管理 3.管線失效故障分析、4.管線狀況評估、5.降低無收益水量、6.集水區保育治理、7.緊急應變及危機管理、8.管網建模及應用。	5 月
39 卷 第 3 期	水質處理	1.飲用水質政策及監管、2.水源水質管理、 3.天然有機物去除處理、4.水安全計畫 5.先進水質檢測技術、6.新興污染物調查分析處理、7.水質監測與管理、8.淨水處理藥劑申請應用及管理。	8 月
39 卷 第 4 期	供水服務	1.提昇服務品質、2.資訊管理與應用、3.自動讀表技術應用、4.物聯網及 ICT 技術、5.節約用水及效率措施、6.可持續的水價、7.進階抄表管理系統。	11 月

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

# 淨水場廢水回收之研究-以臺北自來水事業處為例

文/張琰竣

## 一、前言

水為生命的泉源，更是人類賴以生活不可或缺的重要元素。有鑑於全球氣候急遽變遷，暖化現象日益嚴重，臺灣地區水資源短缺情形更趨明顯，為響應水資源永續利用及節能減碳之環境保護潮流，以下將針對臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)為例，藉由彙整淨水場廢水回收再利用相關法規政策，調查分析淨水場內廢水來源，掌握廢水來源及其特性後，探討比較淨水場廢水處理與廢水回收方式，規劃並實施改善策略，具體落實廢水管理工作，期能有效降低廢水產生量及增加廢水回收量，以達到節水、節能減碳及節省成本(原水、藥品及相關電費)等之目的，並使有限水資源發揮最大效益。

## 二、廢(污)水回收再利用相關法規

工欲善其事，必先利其器，故欲研究探討淨水場廢(污)水回收再利用，首先須先行

清楚瞭解於淨水處理流程中(水源→取(導)水→淨水→輸(配)水→用戶)所產生廢(污)水之回收再利用相關法規及其內容，茲整理如表 1 所示，以收事半功倍之效。

## 三、淨水場廢水來源

淨水場處理過程(包括混凝、沉澱、過濾及消毒等)中，將原水中含泥砂、微生物、有機物等雜質去除的同時，亦會產生許多廢水，約佔淨水場每日產水量之 2~10%。廢水主要來源為過濾單元產生的反沖洗廢水及處理單元(膠凝池/沉澱池)的清洗廢水。

### (一)快濾池反沖洗廢水

快濾池操作一段時間後，水中雜質與顆粒逐漸累積在濾料間，會使濾床之水頭損失增加或濾速減緩，因此須進行反沖洗，其所排放之廢水包括快濾池內排水主渠與支渠之排出水、反沖洗水及部分快濾池恢復過濾初期排放之濾前棄水等。

表 1 廢(污)水回收再利用相關法規及內容

法規名稱	條次	內容
水污染防治法	第2條第8款	廢水：指事業於製造、操作、自然資源開發過程中或作業環境所產生含有污染物之水。
	第2條第9款	污水：指事業以外所產生含有污染物之水。
	第7條第1項	事業、污水下水道系統或建築物污水處理設施，排放廢(污)水於地面水體者，應符合放流水標準。
	第32條第1項	廢(污)水不得注入於地下水體或排放於土壤。但廢(污)水經處理至合於土壤處理標準及依第十八條所定之辦法，經直轄市、縣(市)主管機關審查核准，發給許可證並報經中央主管機關核備者，得排放於土壤。

法規名稱	條次	內容
水污染防治措施及 檢測申報管理辦法	第2條 第9款	貯留：指將廢（污）水送至貯留設施，後續採回收使用、委託處理、以桶裝、槽車或其他非管線、溝渠，清除、運送廢（污）水至作業環境外，或廢棄物掩埋場返送滲出水至掩埋面之行為。
	第2條 第10款	廢（污）水回收使用：指將未排放至水體且未以土壤處理之廢（污）水，收集作為其他水資源用途。
水污染防治措施及 檢測申報管理辦法	第41條	事業或污水下水道系統產生之廢（污）水，應處理至符合放流水標準始得回收使用，並於回收使用前，設置採樣口。但有下列情形之一者，不在此限： 一、產生之廢（污）水作為製程之用。 二、產生之廢（污）水回收作為洗滌塔或其他污染防治設備之用，且其回收使用後之水經設置之廢（污）水（前）處理設施處理。
	第42條	前條回收使用後之水應符合放流水標準，始得排放於地面水體。但回收使用作為沖洗作業環境內辦公場所、員工宿舍及其他活動場所之室內用水，應符合建築物污水處理設施之放流水標準。 前項回收使用之廢（污）水應避免與人體接觸影響健康。
	第43條	回收使用廢（污）水者，應於廢（污）水產生及處理後，設置獨立專用累計型水量計測設施；回收前，設置回收使用之獨立專用累計型水量計測設施。廢（污）水回收使用者，應於回收使用前，設置廢（污）水（前）處理設施或貯留設施，貯存廢（污）水。
	第43條 之1	事業或污水下水道系統有下列情形之一者，不適用本章規定： 一、廢（污）水尚未進入廢（污）水（前）處理設施，僅於製程循環。 二、於放流池（槽、口）前之廢（污）水（前）處理設施各單元間迴流、返送。 三、設置淨化原廢水回收系統，淨化後循環至製程使用，其淨化系統與後續廢（污）水處理設施可獨立分割，且回收系統無廢（污）水直接排放至地面水體或土壤。
	第50條	事業或污水下水道系統設置之下列水污染防治設施及管線，應清楚及正確標示其名稱與管線內流體名稱及流向，其標示並應符合水污染防治措施計畫或許可證（文件）核准之內容： 一、用水、廢（污）水之收集、前處理、處理、迴流、排放、貯存等管線及處理單元。 二、緊急應變之繞流管線。 三、貯留、稀釋、回收使用之管線及貯槽單元。 四、獨立專用累計型水量計測設施、廢（污）水（前）處理設施獨立專用電度表。 五、污泥之收集、處理及貯存等管線及處理單元。
	第79條	畜牧業以外之事業或污水下水道系統採廢（污）水回收使用者，申報內容如下： 一、每月與廢（污）水、污泥產生量有關之製程設施及生產或服務規模。 二、原廢（污）水水質與檢測當日之水量、每月用水來源、用水量及廢（污）水產生量。 三、回收用水之來源、輸（運）送方式，及其回收之用途。 四、回收用水之水質與檢測當日之水量及每月回收使用之水量。 五、回收使用之水量計測設施或計量方式之校正維護日期與方法及每月讀數或量測值。 六、經核准設置貯留設施者，應另依第七十二條規定之內容申報。 七、設置廢（污）水（前）處理設施者，應另依第七十三條至第七十五條規定之內容申報。

法規名稱	條次	內容
下水道工程設施標準	第46條 第2款	二級處理水回收再利用處理設施設置規定如下： 一、(略) 二、回收水再利用之處理設備應設置二套以上。
建築物生活雜排水回收再利用設計技術規範	第9條 第2款	(9.2再生水用用途) 再生水只可使用於沖廁、景觀、澆灌、灑水、洗車、消防及其他不與人體直接接觸之用水。
	第9條 第4款	(9.4再生水處理系統規劃之基本考量)再生水的水源若為衛浴排水、廚房排水等，因含有較高的油脂，界面活性劑與氮、磷等營養物，須經二級處理後，配合以三級處理才能使用；其規劃與設計較具專業性，應委由環境工程技師或聘任環境工程技師之水處理包工業規劃設計。
建築技術規則建築設計施工編	第317條	由雨水貯留利用系統或生活雜排水回收再利用系統處理後之用水，可使用於沖廁、景觀、澆灌、灑水、洗車、冷卻水、消防及其他不與人體直接接觸之用水。
	第318條	建築物設置雨水貯留利用或生活雜排水回收再利用設施者，應符合條左列規定……。
建築物生活污水回收再利用建議事項	第3條	本建議事項所適用之回收再利用水質用途不應與人體有直接接觸。
注入地下水體水質標準及有害健康物質之種類、限值	第1條	注入地下水體水質標準與有害健康物質之種類及限值如附表。

## (二)膠凝池/沉澱池清洗廢水

沉澱池操作一段時間淤泥累積達一定高度後，為避免淤泥上揚影響處理效能及降低處理容量，須清洗沉澱池，清洗廢水包括整池沉澱池水及沖洗池底淤泥時所使用之清水。

## 四、淨水場廢水處理

### (一)淨水場廢水處理方式

早期各淨水場大多無廢水處理設施，廢水通常不經處理，就直接排入鄰近河川、公共排水系統，或回收至淨水程序最前端，至環保署水污染防治法修正公佈自來水廠排放標準後，為符合國家法規相關規定，紛紛著手進行改善、設置廢水處理設施。

淨水場廢水處理方式大致分為直接迴

流及處理後迴流或放流。直接迴流即為淨水場直接將未經任何處理之廢水迴流至淨水程序中重新處理。然部分廢水中可能含大量雜質、微生物，及淨水過程中所添加之藥劑等，若重回淨水流程中，恐會衝擊淨水場水力負荷，故目前國內外淨水場大多已增設廢水處理設施，將廢水處理後再回收或排放。近年淨水場為能有效去除廢水中濁度、固體物及微生物等，已發展成熟的處理技術，包括沉澱、混凝沉澱、溶解空氣浮除及薄膜程序處理等，摘要說明如下：

1.沉澱：為經常被選擇的廢水迴流前處理程序之一，可單獨或與其他程序串聯處理反沖洗廢水，多數設置貯存設施，然後再抽出進行與進流原水混合與處理，提供調勻

水質及水量之功能，做為緩和及高固體物含量的反沖洗廢水對原淨水系統或其他後續處理系統衝擊之程序，於採用傾斜板/管沉澱池的設置，效果良好；成本較其他預處理方式低，操作簡便。惟有相關研究指出未經沉澱，直接回流反沖洗廢水至混凝單元，往往對其處理效能有助益，原因應該歸於回流之反沖洗廢水含有眾多不穩定，沉降性頗佳之微粒，可明顯增加其碰撞頻率。

2. 混凝沉澱處理：加藥混凝方式是水及廢水處理常用單元，反沖洗廢水中的懸浮固體大都以黏土或金屬氫氧化物為主，如將此方法應用在反沖洗廢水處理，理論上也可達到良好的效果。2002 年 Adin et al. 曾以明礬當混凝劑，探討比較是否進行預沉降的反沖洗廢水處理模廠效能，結果顯示在尚未經預沉降條件下，以明礬進行混凝膠凝，可減少反沖洗廢水中粒子數目，且發現原本較小的粒子於添加明礬後會長成較大膠羽，有利於粒子沉降；另如先令反沖洗廢水預沉降 1 小時後，可將原始濁度去除約 70~80% 左右，令水中較不穩定的粒子先行沉降，而殘餘較穩定的粒子則再藉由添加明礬進行混凝，使其再成長為較大膠羽以利於沉降，一方面減輕後續系統處理負荷，相對可降低明礬使用量。

使用化學混凝劑，沉降去除廢水中微小顆粒，一般淨水場反沖洗廢水 pH 值多在中性範圍，通常不需另外調整，即能符合混凝劑最適加藥 pH 值，處理後可有效降低廢水中固體物負荷及天然有機物，對梨形鞭毛蟲 (*Giardia*)、隱孢子蟲 (*Cryptosporidium*) 及病毒

亦有 70~90% 去除率。2001 年 Arora et al. 模廠結果顯示：相較未添加任何藥劑僅去除 6% 濁度，添加 0.5 mg/L 之陽電性聚合物，可去除 86% 濁度，添加 0.5 mg/L 之陰電性聚合物，則可去除 89% 濁度。

3. 溶解空氣浮除：係利用高壓改變空氣溶解度，並控制氣泡大小，平均約為 10~100  $\mu$  m 左右，所產生之氣泡較一般以浮除法所產生的方式較為細小，增加總表面積，促進粒子與氣泡接觸機會，微小氣泡將固體物上浮至單元表面後刮除，故分離效果頗佳。此方法可穩定處理濁度範圍廣大 (11.9~2,880 NTU) 的廢水，相較於混凝程序，溶解空氣浮除方式對高固體物濃度廢水有較大處理彈性。另 2002 年 Edzwald and Tobiason 研究指出溶解空氣浮除法針對反沖洗廢水中隱孢子蟲、鐵及錳去除率分別約為 97.5%~99.4%、95% 及 75% 等，有不錯的處理效果。2003 年 Tobiason et al. 研究指出進流原水與反沖洗廢水混合後水質無明顯變化，對溶解空氣浮除效能亦無影響。

4. 薄膜程序：屬高級回收處理方式，需配合適當前處理程序，以延長薄膜使用壽命，可有效降低總菌落數及大腸桿菌數，對無機離子如鋁、砷、鈣、鐵、錳，及濁度與固體物等亦有極佳去除效果。

1996 年 Vigneswaran et al. 研究發現早期處理反沖洗廢水以橫流式微過濾 (Crossflow microfiltration) 方式，技術可行且效果良好，程序亦不受反沖洗廢水水質變動影響。以薄膜程序處理反沖洗廢水，最主要的優勢為對於反沖洗廢水中高濃度的梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲之穿透風險，具有實質有效的抑制效果。在荷蘭已有一商業化運轉薄膜程序處理

反沖洗廢水之實廠；比利時模廠係使用垂直流(Dead-end)微過濾程序處理反沖洗廢水，效果亦為良好。2001年 Song et al.採用微過濾薄膜處理反沖洗廢水，發現選用適當薄膜材質，則可直接處理，另如能在反沖洗廢水進入微過濾薄膜前，以多元氯化鋁(PACl)或氯氣先進行前混凝作業，則可進一步促進過濾流速及濾液品質。另一研究則結合明礬混凝前處理及超過濾薄膜(Ultrafiltration)系統，可減少薄膜本身負荷，更可提升過濾濾液品質，針對反沖洗廢水中病毒去除率達99%以上，可改善超過濾薄膜阻塞的可能，以延長薄膜使用壽命。

## (二)淨水場廢水回收方式

1996年美國修訂「安全飲用水法案」(safe drinking water act amendments)，要求美國環保署對公共給水系統回收過濾反洗廢水進行管理，過濾池反洗廢水回收課題才開始受到重視。2001年 Cornwell & MacPhee 利用模廠研究有關回收過濾反沖洗廢水對淨水處理之影響，將廢水迴流至混凝單元之前，迴流率設定為 4.3、10 及 20%，結果顯示提高迴流率能提升混凝沉澱單元去除微生物囊孢效率，惟反洗廢水中除了包含累積在濾床中的顆粒物質及溶解性有機物(平均約為原水 3.3 倍)外，微生物含量亦可能較高；另外 2001年 Arora et al.研究顯示廢水內梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲含量分別高於原水約上升 16 及 61 倍。

2002年美國制定「過濾池反沖洗水回收法」，規範採用傳統混凝沉澱處理及直接過濾處理之淨水場於回水反沖洗廢水時，須進行妥善規劃評估，並定期申報相關資料，以確保回收操作不影響淨水處理效能。國外大

型淨水場在設計時均會考量產生廢水的回收再利用措施，目前國內部分淨水場亦參考其作業模式將所生成廢水回收再利用，從環境影響及善用水資源的角度來看是相當理想方式，惟廢水中含大量雜質，及淨水過程中添加各種藥劑，再加上微生物累積之問題，回收廢水時若未經適當處理及控制回收水量，恐會衝擊淨水處理操作，故須審慎研究與評估考量，於規劃回收反沖洗廢水方案時，除須考量回收水迴流比例外，掌握廢水水質並作適當處理後再予以回收，以降低負面影響。國內淨水場廢水回收再利用可分成直接回收和處理回收等方式，說明如下：

### (1)直接回收方式

目前國內許多淨水場採直接回收方式，主要為快濾池反沖洗廢水直接回收和廢水處理程序之上澄液回收。快濾池反沖洗廢水直接回收方式係設置廢水池收集快濾池反沖洗廢水，再送至原水進流處加以回收，反沖洗廢水水質隨反沖洗時間先後有極大差異，反沖洗後段廢水濁度已降至 10NTU 甚至 5NTU 以下，若所含其他化學成分濃度亦呈現相當低濃度之情形，則將水質條件良好之後段反沖洗廢水分開收集並予以回收，如北水處長興淨水場曾於 2010 年以水安#7 快濾池進行反沖洗廢水分段採樣分析，並與原水水質比較，反沖洗後段廢水水質與前、中段廢水有極大差異，無論是濁度、懸浮固體物(SS)、有機物、重金屬及微生物等，後段廢水濃度已降至甚低，水質條件甚至比原水佳，將其視為廢水排放實屬可惜，且後段廢水量約佔反沖洗廢水量之 30%，故回收再利用價值頗高。另如目前北水處雙溪淨水場反

沖洗廢水採直接迴流方式，對混凝沉澱後水質並無明顯影響，甚至可以一定程度提升混凝沉澱效果，並經實場驗證，目前已降低北水處雙溪淨水場混凝劑(PACl) 用量，節省淨水藥品費用，且每年減少約 249,600 噸反沖洗廢水回收用電，節省動力費用約 22,020 元(10,055 度\*2.19 元)，減少設備耗損情形，及達到節能減碳效果。

廢水處理程序之上澄液回收方式，係設置淤泥濃縮池將膠凝沈澱池排泥水和快濾池反沖洗廢水進行濃縮處理，上澄液送至原水進流處加以回收，底部淤泥則進入淤泥處理系統，如此費用較低，惟需增設水質監測儀器設備，一旦上澄液水質不符合回收標準，必須降低回收負荷或者不回收。

另外，尚有一種直接回收方式為回收膠凝池/沉澱池程序水，由於沉澱池清洗前須先將整池水排放，其乃經加藥及混凝處理之程序水，將其併同廢水一起排放實屬可惜，如北水處直潭淨水場因沉澱池數量較多，2 池沉澱池暫停處理對其他沉澱池處理負荷增加量較小，該場即曾於清洗沉澱池前，先操作連通閥門將待清洗之膠沉池上層水流至剛清洗完而尚未進水之相鄰沉澱池內以回收程序水(如圖 1);而北水處長興淨水場沉澱池數較少，若 2 池沉澱池同時停止運轉，會造成其他沉澱池處理負荷增加約 15~30%，故其可行性較低，該場則曾以抽水機抽取沉澱池上澄水至鄰近膠凝池之方式回收(如圖 2)。

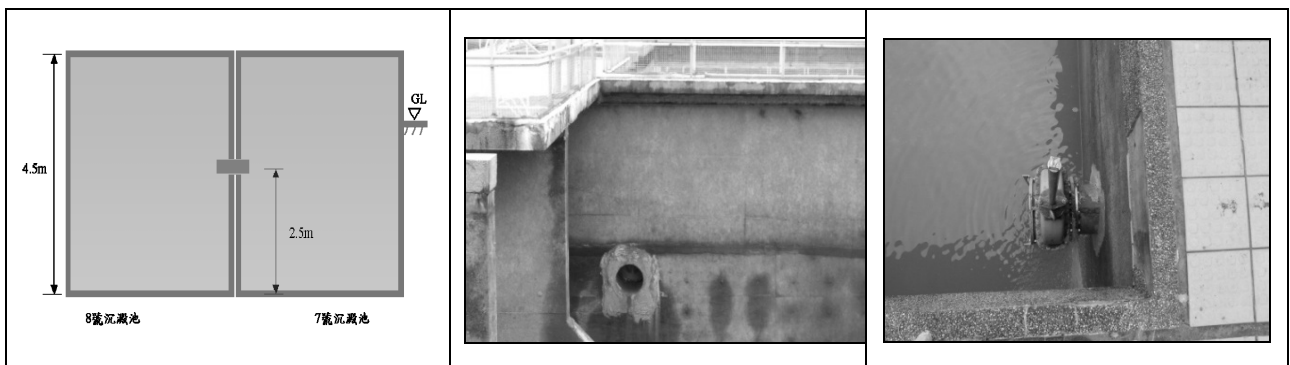


圖 1 北水處直潭淨水場沉澱池設置連通管閥示意圖

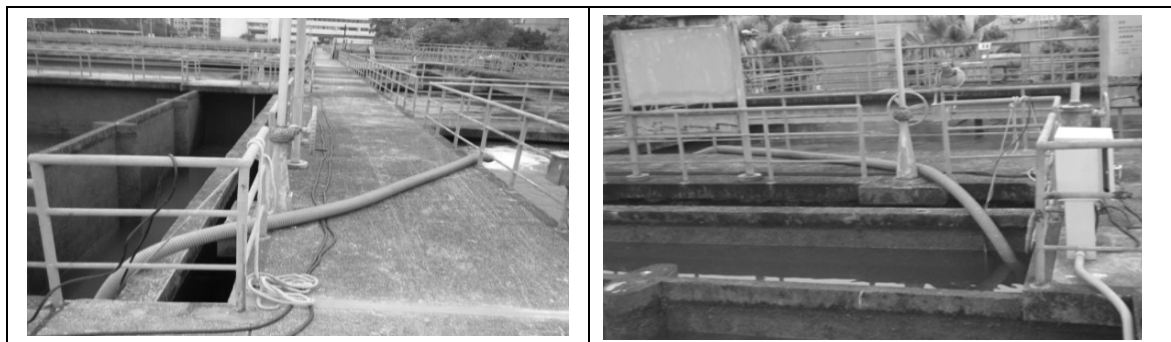


圖 2 北水處長興淨水場沉澱池上澄水抽至鄰近膠凝池之回收方式

## (2)處理回收方式

處理回收即將淨水過程中產生之廢水進行處理至符合自來水原水或排放水法規標準後再回收。處理方式與廢水水質密切相關，若在廢水處理費用較高於原水處理費用或原水水量充沛之情形下，則此方式較不適用，故須進行現場水質監測調查，以分析廢水經處理後之水質狀況及與原水混合後之回收液水質狀況，俾利評估廢水處理程序、效能及廢水回收可行性，如北水處公館淨水場之淤泥處理廠即曾藉由排放水監測儀器判讀水質良好與否，可即時回收排放水至公館淨水場之分水井。

## 五、結論與建議

自來水淨水過程將原水中含泥砂、微生物、有機物等雜質去除的同時，也會產生許多廢水，主要來源為過濾單元產生的反沖洗廢水及處理單元(膠凝池/沉澱池)的清洗廢水等，若不經處理即排放，將會污染河川，因此，需以資源永續循環為目的，建立策略及目標，依循 PDCA (擬訂對策及措施、行政指導推動再利用、長期監測評估風險、對策及措施之檢討與修正) 精神進行推動。淨水場廢水處理方式分為直接迴流及處理後迴流或放流，常見處理技術包括沉澱、混凝沉澱、溶解空氣浮除及薄膜程序處理等。

淨水場廢水回收再利用時為免衝擊淨水處理操作，須審慎研究與評估考量，因廢水中含大量雜質，及淨水過程中添加各種藥劑，再加上微生物累積之問題，須經適當處理及控制回收水量，於規劃回收反沖洗廢水方案時，除須考量回收水迴流比例外，掌握

廢水水質或經適當處理後再予以回收，以使負面影響降至最低程度，並具體落實廢水管理工作與加強設備日常檢查、調校及維修等作業，以有效控制及降低廢水產生量及減少廢水排放量，達到節水、節能減碳及節省成本等目的。

淨水場廢水回收再利用分成直接和處理回收，其中直接回收部分，考量快濾池反沖洗後段廢水之水質條件良好，建議可與快濾池反沖洗前排水主渠及支渠內殘留之處理水，及反沖洗後之濾前棄水等一起回收，對混凝沉澱後水質並無明顯影響，甚至可以一定程度提升混凝沉澱效果。至處理回收部分，則須進行現場水質監測調查，以分析廢水經處理後之水質狀況及與原水混合後之回收液水質狀況，以利評估廢水處理程序、效能及廢水回收可行性。

## 參考文獻

- 1.楊正邦、劉志成，快濾池反沖洗廢水之處理技術及回收再利用，中華民國自來水協會會刊，第23卷，第4期，第83-85頁，2004年12月。
- 2.陳福田，廢污水回收再利用面面觀，中華民國自來水協會會刊，第31卷，第2期，第2-4頁，2012年5月。
- 3.陳俊豪，淨水場回收廢水之最適化研究—以雙溪淨水場為例，中華民國自來水協會會刊，第37卷，第3期，第29-30頁，2018年8月。
- 4.Ferguson, C., Logsdon, G. S. and Curley, D., "Comparison of dissolved air flotation and direct filtration", Water Science and Technology, Vol.31, No.3-4, pp.113-124, 1995。
- 5.Vigneswaran, S., Boonthanon, S. and Prasanthi, H., "Filter backwash water recycling using

- crossflowmicrofiltration” ,Desalination, Vol.106,No.1-3, pp.31-38 , 1996 。
- 6.Dotremont, C., Molenberghs, B., Doyen,W., Bielen,P., and Huysman, K., “The recovery of backwash water from sand filters by ultrafiltration” ,Desalination, Vol.126, No.1-3, pp.87-94 , 1999 。
- 7.Arora, H., Di Giovanni, G., and Lechevallier,M., “Spent filter backwash water contaminants and treatment strategies” ,Journal of American Water Works Association,Vol.93, No.5, pp.100-112 , 2001 。
- 8.Cornwell, D.A. and MacPhee, M.J., “Effects of spent filter backwash recycle on Cryptosporidium removal” ,Journal of American Water Works Association, Vol.93, No.4, pp.153-162 , 2001 。
- 9.Song, H., Fan, X., Zhang, Y., Wang, T.and Feng, Y., “Application of microfiltration for reuse of Backwash water in a conventional water treatment plant - a case study” , Water Science and Technology:Water Supply,Vol.1, No.5-6, pp.199-206 , 2001 。
- 10.Adin, A., Dean, L., Bonner, F., Nasser,A. and Huberman, Z., “Characterization and destabilization of spent filter backwash water particles” , Water Science and Technology:Water Supply,Vol.2, No.2, pp.115-122 , 2002 。
- 11.Edzwald, J.K. and Tobiason, J.E., “Fate and removal Cryptosporidium in a dissolved air flotation water plant with and without recycle of waste filter backwash water” , Water Science and Technology:Water Supply, Vol.2, No.2,pp.85-90 , 2002 。
- 12.Nasser, A., Huberman, Z., Dean, L.,Bonner, F. and Adin, A., “Coagulation as pretreatment of SFBW for membrane filtration” , Water Science and Technology:Water Supply, Vol.2,No.5-6, pp.301-306 , 2002 。
- 13.United States Environmental Protection Agency, “Filter Backwash Recycling Rule Technical Guidance Manual,” EPA 816-R-02-014 , 2002 。
- 14.Tobiason, J.E., Edzwald, J.K.,Levesque, B.R., Kaminski, G.K., Dunn,H.J. and Galant, P.B., “Full-scale assessment of waste filter backwash recycle” , Journal of American Water Works Association, Vol.95, No.7,pp.80-93 , 2003 。

### 作者簡介

#### 張琰堉先生

現職：臺北自來水事業處淨水科三級工程師

專長：化學工程、環境工程、淨水處理、自來水工程設計及施工

# 自來水管橋智能監測與維護管理探討

文/鄭錦澤、汪嘉誠、吳世紀

## 摘要

自來水為民生必需品，供水管線的受損尤其是水管橋，將嚴重影響人民的生產和生活，是社會公共安全的一部分。鑑於宜蘭南方澳大橋斷裂造成重大傷亡損失，除交通部刻正就全國橋梁全面清查及通盤檢討維護管理機制。另依行政院公共工程委員會函請各相關機關就所管公共設施(包括自來水等)全面清查，並辦理抽查以強化落實度；依所適用之法規辦理維護管理，並確實編列檢修預算落實辦理，急要時應移緩濟急即刻辦理。另從后豐大橋斷橋事件後，水管與橋梁常有共構或附掛等政策面之整體考量，形成生命共同體。在邁向智能供水的時代，兼顧自來水管與附掛橋的安全監測，為相當重要的課題之一。本文藉由回顧以往一些較大的斷橋事件案例，進一步探討自來水管橋智能監測及維護管理等-並以大直斜張水管橋等實例探討；此外，在後續自來水建設與維護整備，結合智能管理勢須妥為考量的課題之一。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：斷橋事件、智能監測、水管橋維護管理

## 一、前言

近年來全球環境變遷，極端氣候頻仍，城市之基礎建設安全亦遭受考驗，水災、風災、地震後結構是否依然穩固也成為民眾關注的焦點。在 921 大地震已屆 20 周年之際，

當年大地震帶給台灣人的震撼與傷痛雖已漸磨平，但該地震帶給台灣人的教訓與轉變，仍持續讓國人進化，讓大家更能周全的應對、減輕未來難以預知的災害風險。然而在 今年米塔颱風過後宜蘭南方澳大橋斷裂，發生人車墜河的意外；除須緊急應變處理外。交通部刻正就全國橋梁全面清查及通盤檢討維護管理機制。另依行政院公共工程委員會 108 年 10 月 14 日請各主管機關全面清查，確實依規定檢查維護及通盤檢討維護管理機制是否周延，於辦理設計時應一併考量建立後續之維護管理機制，確實督導要求所屬全面檢修各類公共設施，並辦理抽查以強化落實度；各維護管理機關依據各類公共設施所適用之法規辦理維護管理。

台灣斷橋事件時有發生，自 30 餘年前的台北中興大橋斷裂，到莫拉克風災斷 12 座橋時達最高峰，在這 30 多年來曾發過哪些重大斷橋事件，讓我們一起來回顧說明如后：

(一)中興大橋：1986 年 11 月 30 日台北中興大橋，橋墩遭到沖刷而裸露，造成橋面斷裂。該橋兩側附掛自來水幹管  $\phi$  500mm\*2。其後依大台北地區防洪 200 年洪水頻率改建。

(二)高屏大橋：2000 年 8 月 27 日，由於受到颱風碧利斯及其後之降雨影響，高屏大橋的部分橋墩被溪水沖毀，使橋面塌陷

100 公尺，於同年重建，2001 年 3 月 21 日完工通車。

(三)后豐大橋：2008 年 9 月 14 日，辛樂克颱風帶來暴雨促使大甲溪河水暴漲，台 13 線后豐大橋橋墩被沖斷，改建如后述。

(四)雙園大橋：2009 年 8 月被中度颱風莫拉克引發的高屏溪洪水沖毀而無法通行。另有包括省道和鐵路橋梁共 12 座也遭大雨沖毀。

(五)楓港大橋：2005 年 7 月 20 日強颱風海棠挾帶暴雨沖斷位於屏鵝公路要衝的楓港橋，橋側自來水公司輸送大水管被沖斷一大截。

(六)尚志橋：花蓮市區尚志橋經 2018 年 0206 地震後結構受損，橋體附載自來水管。

在這些斷橋事件中，除前已提到的中興大橋、楓港大橋及花蓮市尚志橋外，亦有相關重要自來水管橋受損，諸如：辛樂克颱風重創大甲溪后豐大橋造成斷橋事件，並危及自來水輸水幹管供水安全(參 1)。經濟部函報行政院召集相關機關協商後，為保障國家人民生命財產及長期之公共利益，就政策面之考量，兩座橋樑仍採共構方式辦理。

根據世界銀行及跨國保險組織發布之研究指出，台灣之土地、人口受災風險居世界首位。自來水為民生與都會生活不可或缺之因素之一，自來水管橋如前所述，常須與橋樑共構或附掛，除參考引進相鄰先進國家維護管理經驗外，諸如：日本等外。隨著造型日趨多樣化與特殊美觀化，或有採取斜張橋等樣式，更因受力較為複雜，須進一步藉由

檢視監測與維護，以提升大眾用路安全與防災應變速度，及強化自來水管線風險管理成效，與打造成為宜居永續的韌性城市。

## 二、自來水管附掛橋智能監測探討

台灣現今的橋梁安全管理多依靠檢測人員巡視，難以達到即時安全管理的效果。此外，自來水管線經常附掛於橋樑，當地震來襲時，橋樑上的車輛震動加上地震的震動，無異於加深對附掛於橋樑的自來水管線傷害，且橋樑上車速愈大橋樑震動幅度愈大，無異於加深對附掛自來水管線的影響(圖 1)。『中山大直橋』為一跨越基隆河，連接台北市濱江街與北安路之重要橋梁。結構採「釣竿式斜張橋」設計，為世界首座，當然也是臺灣的第一座。大直橋橋面寬 28 至 40 公尺，塔高 60 公尺，共分 12 節塊。全線雙向共 8 車道，並在兩旁設置 2.5 至 4.5 公尺寬的人行步道；另在與人行步道間佈設附掛自來水  $\phi 600\text{mm} * 2$  幹管(圖 2)。

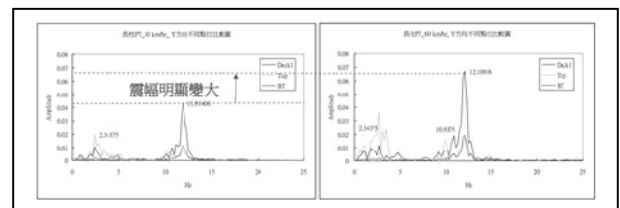


圖 1 在不同車速下橋樑震動比較示意圖



圖 2 大直橋與水管及人行步道共構

該橋梁結構體由主橋及匝道橋兩部份組成，該工程主橋全長約 600 公尺，為一系統特殊的釣竿式斜張橋結構，其複雜的結構特性不同於其他單元之樑式橋梁結構，為確保此斜張橋安全及掌握其未來老劣化之狀況，特進行橋梁監測預警系統之規劃及建構智能管理，以確保橋梁健全性、服務功能及行車順暢及兼顧自來水管安全供水。

### (一)自來水管附掛橋監測探討

在邁向智能供水的時代，兼顧自來水管與附掛橋的安全監測，為相當重要的課題之一。以大直斜張橋共構自來水管為例，其結構系統最值得注意的是「不對稱佈設的主梁與鋼纜」與「向主河道彎曲傾斜的橋塔」。其中不對稱佈設的主梁與鋼纜係依賴 P5 橋墩自錨式錨碇系統，故混凝土錨座是否有因背拉鋼纜之拉力造成裂縫劣化或是基礎之移動變位，對該橋之安全是相當重要的。該橋梁監測預警系統設計目標在於建立一套完整之「橋梁自動化遠端安全監測系統」，針對該橋破壞潛勢特性與劣化歷時曲線進行監測及預警，建立橋梁監測資料庫以回饋橋梁養護及設計所需參考資訊；完成先導性橋梁監測預警系統規劃、建置及累積實際運作經驗，以提昇橋梁管理養護品質及達成結構系統延壽之目標(參 2)。

1.破壞潛勢評估:就監測系統規劃而言，向河道彎曲傾斜的橋塔，橋塔在常時即承受極大之壓應力(軸力效應+彎矩效應)，此處亦是值得計畫進行長期監測。此外，橋塔及橋墩之空間幾何位置監測(如橋墩沉陷量測、橋墩傾斜量監測、橋塔傾斜量 監測)，橋塔、橋體應力及應變狀態，鋼纜拉

力及振動狀態之監測，橋體微振量測、受地震力之反應量測、受風顫振之監測，以及溫度量測及風向風速之量測，均可作為評估破壞潛勢之參考。

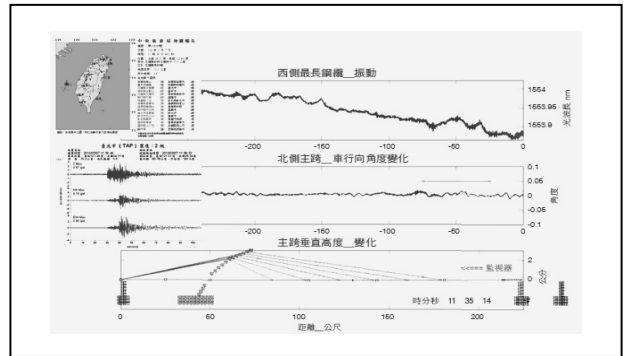


圖 3 2013/3/7 花蓮地震大直橋即時監測結果

2.監測系統資料擷取與分析：靜態資料每頻道每分鐘一筆，動態資料每頻道每秒六十筆。其反應狀況常處於可預期的安全合理變化範圍。而進入颱風季節後，其中又以橋塔受風力強弱影響最為顯著；進入秋冬季后，風雨影響逐漸減少，數次有感地震經即時監測觀察與現地安檢後，均確認橋梁安全無虞。

### 3.全方位光纖監測系統探討

另外，國家實驗研究院地震工程研究中心(國震中心)開發了一組「全方位光纖監測系統」，能隨時自動化執行量測作業，監視長距離多跨數橋梁的安全狀態(參 3)。2012 年 9 月國震中心與台北市政府合作，在大直橋全橋布設，其中的光纖沉陷計即時監測大直橋車流與地震的大梁垂直變位反應。把 7 組沉陷計沿主跨中央分隔島布設，光波長數據經軟體分析能即時繪示大梁高程變化。若強烈地震擾動造成橋柱破壞歪斜，或土壤液化橋墩沉陷，或河床沖刷橋柱歪斜，則所監

測的高程線形會永久改變。因此，高程線形是判讀橋梁是否安全的基本關鍵(圖 3)。未來，這套監測系統可協助政府橋梁養護管理機關，監控長距離多跨數橋梁，提升大眾用路安全與防災應變速度，以及自來水管線風險管理。

## (二)斜張橋監測智慧化趨勢管理探討

台北市在積極推展智慧城市的過程中，藉由台法合作的契機，創造國際技術交流之互動管道，進而普及物聯網及 AI 等技術應用。引進巴黎鐵塔之監測科技於社子大橋，自今年 6 月開始「社子大橋結構監測系統實證計畫」部署結構監測系統，遠端蒐集數據並即時預警、通報(圖 4)。測試內容包括安裝結構監測傳感器，即時測量橋梁的 3D 幾何變形和結構的三軸振動(參 4)。此外，結合演算法監測橋體結構，將可瞄準智慧防災監測，達到智慧安防目的，保障民眾公共安全及自來水管安全供水。透過政府力量及所有參與的夥伴，激發出更多資通訊產業之智慧應用，打造成為宜居永續的韌性城市。

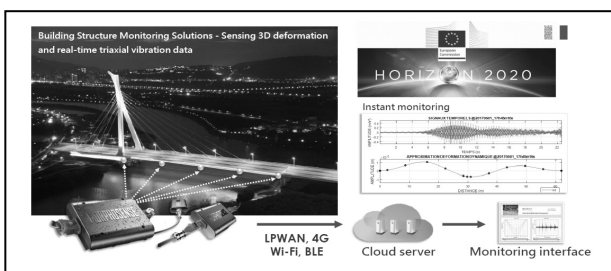


圖 4 社子大橋結構監測系統示意圖

## 三、水管橋及添架管維護管理探討

### (一)檢點與評估

對於橫越河川及水路的水管橋及橋樑

添架管應做定期的巡視檢點，橋樑添架管因位於橋樑下或側邊全面檢點較為困難，而必須投入較多的人力。另外，橋樑添架管因橋樑傳遞車輛振動等影響，對於管線及附掛金屬配件的狀態應充分加以注意檢點。如因臨海邊，有受海水影響的場合時，更應特別注意相關必要的檢點。

橋臺、橋樑基腳如有差異沉陷，常造成混凝土的龜裂，橋樑基腳保護工程的破損，伸縮縫異常移動等，明顯地認定有不均勻沉陷時，要對荷重、基礎地盤之狀況等做檢討，並必須採取防止下沉措施處理。橋台、橋腳之基礎被沖刷造成危險的場所，應與河川管理單位協議，並必要進行護岸、護床工等作堅固補強措施。排氣閥的漏水等情事，應加以檢點巡視。另外，對於颱風暴雨、地震發生後，應仔細檢點。對於定期或臨時檢點的時候，應將相關結果加以適當地紀錄，以供維護管理；水管橋維護管理檢點表如表 1 供參(參 5)。

目前國內具備為數眾多的水管橋，惟其結構形式多有不同，諸如：梁式橋、吊橋、拱橋、桁架橋、斜張橋、管梁橋等。水管橋結構所使用的材料性質也各自相異，諸如：鋼結構、混凝土、預力混凝土等，同時水管的材料性質也多變化，包括：鑄鐵、延性鑄鐵、鋼材、聚氯乙烯(PVCP)、聚乙烯(PEP)、混凝土管等。因此要提出泛用型的檢點與耐震評估詳細流程實有其難度。然而，水管橋常擔負主要管線的場合，如遭受地震而受損，其影響範圍甚鉅，且假設需要相當的復舊時間。基此，須考量對於相關水管橋的重

表 1 水管橋維護管理檢點範例表

檢點時間	年 月 日		檢點者姓名		索引	
場所	右岸				整理號碼	
	左岸				圖面號碼	
水管橋名稱	○○水管橋				架設型式	獨立・添架附掛
					管種	SP・FCD・FC・SUS
口徑	○○毫公尺				竣工圖號碼	
河川名稱	○○河、溪				上次油漆年度	
塗裝型式	油漆・防蝕布・FRC・塑膠布				環境條件 <sup>*1</sup>	
伸縮管	套筒型・維多力克型・承口型・波浪管式				排氣閥	排氣閥
漏水紀錄	有・無				漏水點部位	管體・伸縮管・接頭部・溶接部・排氣閥
修理時間	年 月 日					
用地管理	良好・柵欄的破損・不法投棄・不法佔有				橋臺部的狀況	良好・不良(龜裂・破損・其它)
外裝材的狀況			良好・不良(劣化・變色・剝落・其它)			
項目	部位	管體	伸縮接頭	步行防止		評價方法 <sup>*2</sup>
	銹蝕					1. 健全 2. 尚健全 3. 正在劣化 4. 劣化顯著 (塗膜劣化程度標準相關相片簿)
剝落						
變退色						
污穢						
塗裝綜合評價			1. 沒有必要立即更換塗裝 2. 數年後再行更換塗裝 3. 有必要及早更換塗裝			

備註： \*1：一般環境：一方面不受到空氣中飛來鹽分的影響、以及不受汽車排氣及工廠排煙較強的影響。  
 稍嚴重環境：受到空氣中飛來鹽分的影響、另外受汽車排氣及工廠排煙的影響。  
 嚴重環境：受到強潮風、以及飛來中鹽分的影響。  
 \*2：評估 3 及 4 的場合，若有漏水應檢附相關修理處的照片；另外，外塗裝及橋臺部若有異狀亦比照辦理。

要度進行耐震診斷，並以該診斷結果為基礎，做必要的補強或更新汰換。水管橋檢點與耐震評估工作仍建議從其基本資料蒐集開始，完整的蒐集橋梁相關資料可提高橋梁安全檢測與評估的正確性，同時亦可作為輔助現場檢測及各種評估分析的參考依據(圖 5)(參 6)。另耐震診斷可參考中華民國自來水協會「自來水設施耐震設計指南及解說」；

對於診斷較為困難的場合，可先進行一次使用較為簡易方法的診斷；對於該等結果，經研判如有需要再進行完整的診斷。水管橋的簡易耐震診斷手法，亦可參考中華民國自來水協會自「來水設施維護管理指南」表 9.5.23 獨立水管橋簡易耐震診斷表，以及表 9.5.24 橋樑添架管簡易耐震診斷表所示運用。

此外，根據現有蒐集之資料，配合現地

調查進行檢核，用以比較在設計、施工階段各項原始條件與目前狀況之差異，並探討既有損傷發生之原因及損傷持續進行之可能性。現場調查一般是利用目視的方式對整座

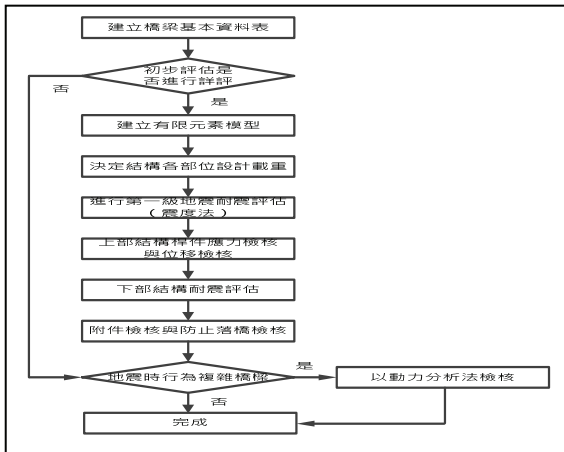


圖 5 水管橋耐震性能評估流程圖

水管橋做全面性的檢查，檢測過程中視需要於重要部位、破裂部位、缺陷或異常現象部位拍攝照片，以利爾後研判之參考，另外再以量化的方式對各個構件進行評估，以建立橋梁現況之基本管理資料，最後依調查表中的權重係數分配到橋梁的綜合評估。然而若當地形、地盤條件很複雜或呈非線性狀態，以及結構行為複雜的水管橋與水渠橋，則建議採用動力分析法以進行整體的耐震性能評估。一般而言，在下列情況下的水管橋與水渠橋必須實行動力分析：1.自然週期較長的橋梁(一般自然週期大於 1.5 秒以上)，或是橋墩較高的橋梁(一般大於 30 公尺以上)，或是具有高階模態效應之橋梁，或者預測變位會非常大之橋梁。2.斜張橋、吊橋等鋼纜系列橋梁。3.特殊形狀及新式構造的橋梁，或有上部結構之橋梁。

北水處轄區由各河川上游至下游橋梁

附掛  $\phi 500\text{mm}$  以上各輸水幹管為 12 坐附掛 20 支不同口徑、材質幹管。

上述橋梁大部分依使用材料主要為 RC 橋梁，依結構方式除大直橋為懸臂式斜張橋外，其餘大多為簡支式橋梁。輸水管線附掛位置主要位於橋梁下方，而大直橋輸水管線則設計置於橋上車道外側與人行步道之間。早期橋樑例如中正橋、福和橋或忠孝橋，自來水管係附掛於 RC 橋下方橫梁間，即屬桁內型式自來水管線附掛，管材以 MJP 與 DIP 為主，並未針對橋梁伸縮縫位置施作可撓設施，而是於橋台後銜接道路位置施作可撓設施，因橋樑反覆振動變位影響，且管線接頭因膠圈日久老化而產生滲水或漏水情形，透過持續檢視維護，如發現漏水及時修復，必要時輔以內套環方式處理；嚴重者須以專案因應改善。

另外假如水管橋樑為斜張橋型式，因斜張橋具有柔軟輕質與低阻尼的特性，在長期隨機車流與風力作用下，橋梁的震動反應相當明顯，且地震來襲時震動加遽，對附掛的自來水管線直管段與管件等重要結構元件可能造成疲勞及破壞等損傷行為，故自來水附掛管線經常利用伸縮可撓管的變位機制，以為因應。該等水管橋前曾委請國家地震研究中心與專業顧問公司多次評估與建議改善，諸如：圓山水管斜張橋 A 橋等，目前正進行四座相關自來水管橋耐震補強作業。惟其餘自來水管橋仍應持續檢點維護，並配合法規增修檢視，以為因應調整維修或補強，並提升自來水供水安全。

## (二)水管橋及橋樑添架管減震運用探討

### 1.伸縮接頭的運用

對於水管橋及橋樑添架管，當管線因地層潛變、振動、溫差、地震引發變位現象時，可藉由伸縮可撓管之各變位功能吸收調節，避免管線因不當應力損壞，維護輸水管線安全。其屬於柔性的管件，在外力的作用下，可提供某種程度的軸向、彎折或兩者兼備的變形能力。由於製造、運輸與施工考量，伸縮可撓管管長均不大，其間以接頭相互接合，而與直管段連結成一段長直管線。在構造及機能上，可分類為延性鑄鐵、鋼製、橡膠型、摺動型、波狀型等。在型式上有許多可供選擇使用，因此，對於相關的特徵應有必要進行瞭解，以供修理或汰換時應用；以下針對伸縮可撓管種類作一運用檢視整理探討。

### 2.延性鑄鐵可撓管運用檢視

延性鑄鐵可撓管之材質為延性鑄鐵，兩端為類似球形關節構造（圖 6），並以法蘭接頭與其他管段續接。延性鑄鐵可撓管構造設計是於承口與插口間套上橡膠環圈，以螺栓壓環迫緊，但承口與插口間仍可移動，利用膠圈的滑動，使此接合部位能適度彎曲。延性鑄鐵可撓管經常使用於管線埋設段出結構物附近，用來防止管線因埋管段土層不同差異沉陷而產生漏水，適合安裝於永久變位的环境，故地盤變動造成管體之作用力或溫差造成管線脹縮，會由可撓管球部關節所吸收，但若地震力造成伸縮量或彎曲角大於容許值，則可撓管易破壞產生漏水甚至拉脫力量傳遞至鄰近的管件接頭造成破壞（圖 6）。

### 3.鋼製可撓管運用檢視

鋼製可撓管之材質為碳鋼，兩端為短管

結構，兩短管間設置套筒的型式（圖 7），並以法蘭接頭與其他管段續接，活動部位是於承口與插口間套上橡膠環圈，以螺栓壓環迫緊，但承口與插口間仍可移動，利用膠圈的滑動以及變形，使此套筒部位能適度變位（圖 7），故能吸收地盤變動造成管體之作用力或溫差造成管線脹縮。鋼製可撓管經常使用於管線埋設段出結構物附近，相同性能之鋼製可撓管其長度及重量相較於延性鑄鐵可撓管小，故於橋樑管線附掛段可作為伸縮管使用。

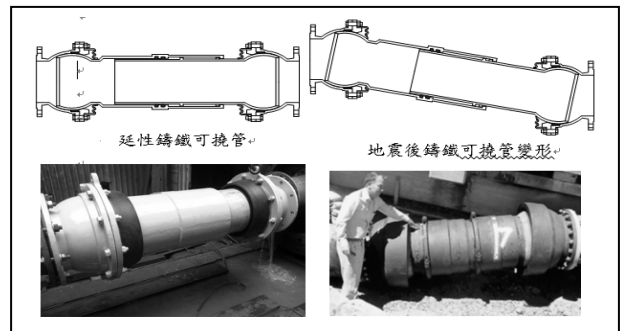


圖 6 延性鑄鐵可撓管地震前後示意圖

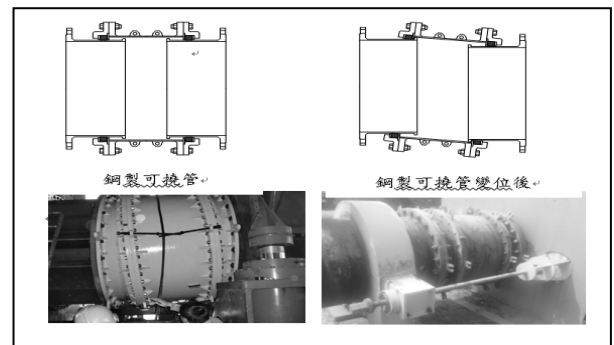


圖 7 鋼製可撓管地震前後示意圖

### 4.橡膠可撓管運用檢視

橡膠可撓管之構造為兩段碳鋼材質的法蘭間設置橡膠製波紋（圖 8），以法蘭接頭與其他管段續接，該可撓管構造設計是利用蛇腹狀的橡膠波紋，使此接合部位能適度彎

曲，故地盤變動造成管體之作用力或溫差造成管線脹縮，會由可撓管橡膠部位吸收，可依據設計需求決定橡膠波紋，波紋愈多橡膠可撓管之伸縮及偏位量愈大。橡膠可撓管適合安裝於管線延伸出結構體的部位明管段則容易遭高溫曝曬而產生橡膠老化問題，故不適合使用於附掛管線使用。

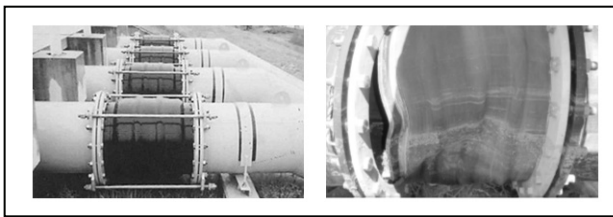


圖 8 橡膠可撓管地震前後示意圖

#### 5. 摺動型伸縮可撓管檢視

摺動型伸縮可撓管之材質為碳鋼，其結構類似於鋼製可撓管（圖 9），為兩短管間設置套筒的型式，可以法蘭接頭、焊接、承插接合與其他管段續接，活動部位是於承口與插口間套上橡膠環圈，以螺栓壓環迫緊，但承口與插口間仍可移動，利用自力式密封橡膠圈的滑動以及變形，使此套筒部位能適度變位（圖 9），故能吸收地盤變動造成管體之作用力或溫差造成管線脹縮，故經常作為橋樑管線附掛段伸縮管使用，但若地震力造成伸縮量或彎曲角大於容許值。

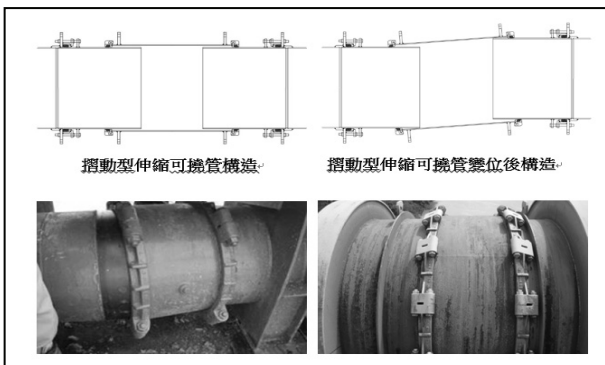


圖 9 摺動型伸縮可撓管地震前後示意圖

#### 6. 波狀伸縮可撓管運用檢視

波狀伸縮可撓管之波狀部材質為不鏽鋼（圖 10），可以法蘭接頭、焊接與其他管段續接，波狀部位的波紋數與伸縮及偏位量成正比，活動部位是波紋產生變位以適應位移環境，在日本常使用於橋樑附掛自來水管線做為伸縮管（圖 10），能吸收地盤變動造成管體之作用力或溫差造成管線脹縮。因波狀伸縮可撓管波紋處與接頭金屬材質不同，會產生異種金屬腐蝕，在學理上稱為伽凡尼腐蝕（Galvanic Corrosion）。雖然波狀伸縮可撓管一體化構造水密性佳，不易因波狀部位變位產生漏水，但是變形時由波狀部位承受內力，造成整體管段產生反作用力的疑慮，另外因波狀部位變形機制類似於彈簧，會因累積變形次數增加而產成金屬疲勞。

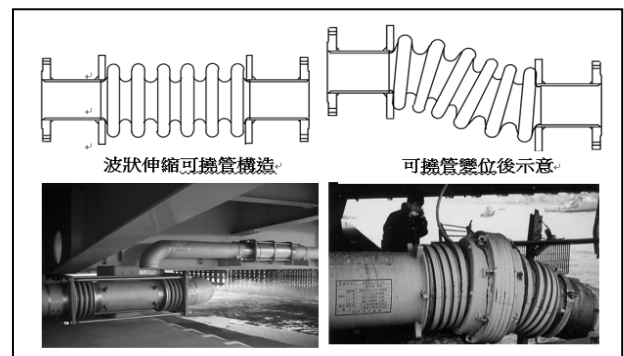


圖 10 波狀伸縮可撓管地震前後示意圖

#### 7. 橋樑附掛管線伸縮可撓管選用探討

自來水管線經常附掛於橋樑，造成橋樑震動的原因有車流量、風力及地震，地震對於橋樑來說是很重大的傷害，尤其是橋樑上還有車輛行走。另外假如橋樑為斜張橋型式，因斜張橋具有柔軟輕質與低阻尼的特性，在長期隨車流與風力作用下，橋梁的震動反應相當明顯，且地震來襲時震動加遽，對附掛的自來水管線直管段與管件等重要

結構元件，可能造成疲勞及破壞等損傷行為，故自來水附掛管線經常利用伸縮可撓管的變位機制以為因應。自來水管線於橋樑伸縮縫附近設置伸縮可撓管件，在不改變自來水管線結構之自然振動頻率、勁度下，但卻能加強自來水管線橋樑附掛段的抗震效果，削弱地震對自來水管線所造成的破壞。且設置伸縮可撓管件可有效增加自來水管線柔性，並於橋梁橫向、縱向均能有效改善自來水管線自身的位移量。

### (三)橋體的檢測與維護

#### 1.橋體混凝土的檢測

混凝土構造物的耐久性，受混凝土裂縫的影響相當大，基此，應深入調查。在調查時應注意裂縫對於構造物影響的程度，諸如：鋼筋腐蝕、漏水、凍結溶解等、以及耐久性、機能及美觀的損傷等情形。具體的混凝土構造物的檢查機器及檢查項目參考一覽表示如表 2。

表 2 混凝土構造物的檢查機器及檢查項目參考一覽表

檢查內容	使用檢查機器	檢查目的	紀錄方法
非破壞檢查	1.目視	龜裂發生狀況、鋼筋露出狀況、鋼筋爆裂、白華流出狀況、漏水狀況、附屬金屬腐蝕狀況、材質劣化狀況、損傷狀況、塗膜劣化狀況等	略圖素描、照片攝影
	2.錘擊測試(非破壞)	灰泥、瓷磚等外裝飾材剝離	略圖素描、照片攝影
	3.超音波測定裝置	龜裂深度檢測、內部空隙、接縫的檢出	波形照片攝影
	4.紅外線影像裝置	瓷磚、灰泥等外裝飾材的漏水及鼓出調查	軟式磁碟畫像紀錄、可以局部複製
	5.望遠鏡錄影	由遠距離作鋼筋露出狀況、鋼筋爆裂、白華流出狀況、漏水狀況、附屬金屬腐蝕狀況、材質劣化狀況、損傷狀況、塗膜劣化狀況等調查	錄影存檔、可以局部複製
	6.鋼筋混凝土透地雷達	鋼筋混凝土內的鋼筋位置、鋼筋厚度、空洞檢查	影像紀錄紙
	7.鋼筋探查器	鋼筋混凝土內的鋼筋位置、鋼筋厚度	紀錄紙
	8.鋼筋腐蝕計	鋼筋混凝土內的鋼筋腐蝕分布狀況及檢測	電位分布圖
	9.壓縮強度測定器	鋼筋混凝土內的壓縮強度及檢測	紀錄紙
微破壞檢查	10.中性化試驗(1%酚酞指示劑)	鋼筋混凝土的中性化深淺測定、鋼筋混凝土削孔紅色反應深淺測定	照片攝影
破壞檢查	11.鑽心取樣試驗	鋼筋混凝土的中性化深淺、壓縮強度、鹽分含有量的測定、試驗機及化學分析器衡量	照片攝影
其它	12.X射線攝影	PC橋樑管線內部鏽瘤狀況、鋼筋配筋狀況及空隙部分檢出	X射線照片

註：檢查機器涉及能力及精度差異性，使用前述機器時應掌握該等能力及精度

## 2. 橋體混凝土的維護

混凝土構造物經檢查如須補修或補強，應根據裂縫的性質、大小、結構受力情況和使用情況，區別對待及時治理。常見裂縫產生後的補救方法說明如后。

(1) 表面修補法：適用於對承載力沒有影響的表面裂縫及深進裂縫的處理，亦適用於大面積細裂縫防滲、防漏的處理。① 表面塗抹水泥砂漿。② 表面塗抹環氧膠泥。③ 表面涂刷油漆、瀝青。④ 表面鑿槽嵌補。

(2) 內部修補法：用壓漿泵將膠結材料壓入縫中，由於其凝結、硬化而致補縫作用，以恢復結構的整體性。這種方法適用於對結構整體性有影響，常用的材料有水泥和化學材料等，可按其性質、寬度、施工條件等具體情況選用。一般對寬度大於 0.5mm 的裂縫，可採用水泥灌漿，對寬度小於 0.5mm 的裂縫，或較大的溫度收縮裂縫，宜採用化學灌漿。

A. 水泥灌漿：一般用於大體積混凝土結構的修補，主要施工方式是鑽孔、沖洗、止漿、堵漏、埋管、試水、灌漿。鑽孔孔距一般為 1m~1.5m，鑽孔軸線與裂縫呈 30°~40° 斜角，孔深應穿過裂縫面 0.5m 以上，當有兩排或兩排以上的孔時，宜交錯或呈梅花形佈置；止漿及堵縫是縫面沖洗乾淨後，在裂縫表面用水泥砂漿(或環氧膠泥)塗抹；埋管安裝前應在外壁裹上舊棉絮並用麻絲纏緊，然後旋入孔中，並用水泥砂漿或硫酸砂漿封堵，防止冒漿或灌漿管從孔口脫出；試水是用 0.098MPa~0.196MPa 壓力水作滲水試驗，灌漿壓力一般為

0.294MPa~0.491 MPa，當出現大量滲露情況時，應立即停止泵堵漏，然後繼續壓漿。

B. 化學灌漿：化學灌漿能控制凝結時間，有較高粘結強度和一定的彈性恢復力，結構整體性效果好，適用於各種情況下的裂縫修補及堵漏、防滲處理。灌漿材料應根據裂縫性質、裂縫寬度和乾燥情況選用。常用的灌漿材料有環氧樹脂漿液(能修補縫寬 0.2 mm 以下的乾燥裂縫)等。

(3) 結構補強加固法：用錨桿、鋼板、鋼筋混凝土等材料對結構作補強加固，可扼制裂縫進一步發展，恢復結構的整體性。① 錨桿常用水泥砂漿或樹脂灌注，錨桿與縫面夾角越大越好。漿液凝固後，錨桿成為結構的一部分，能增強結構的承載能力。② 鋼板補強法，是將鋼板用粘合劑粘結在混凝土表面上，再用錨桿安裝固定。為了結合緊密，也可先將鋼板固定，再灌漿充填鋼板與混凝土之間的空隙。③ 鋼筋混凝土補強法，是在原結構表面澆築一層鋼筋混凝土，以利封閉裂縫，提高承載力，阻止裂縫發展的作用。

### (四) 油漆塗裝維護

水管橋及橋樑添架管的外面常有結露的情事發生，隨著結露及乾燥等情形反覆進行，因此，對於相關塗裝應有較嚴格的條件要求。對於塗裝常因相關耐用年限、設置的環境而有所差異，可參考相關廠牌規範。採用油漆保護層塗裝時，凡鋼料表面帶有濕氣，氣溫在 10°C~36°C 範圍以外，工作場所之灰塵過多可能沾污新漆或未漆之表面，或估計油漆膜在乾燥前，天候可能有變、陰雨



以及熱天鋼料溫度升高，油漆面可能起泡等情形時，均不得進行油漆工作。所有油漆工作應待下層塗料完全乾燥後。始得油漆上層。每 1 種油漆塗完後 3 天、工地油漆前及最後面漆完成後 3 天，均應會同業主監工人員檢查測定油漆乾膜厚度（廠商應自備油漆膜厚測定儀），並作成紀錄存查。

#### 四、大直水管橋可撓管汰換案例探討

大直水管橋由轄管東區營業分處，於近年發現橋樑伸縮縫所在之鋼製伸縮管件漏水，雖經數次初步維護，仍間隔一段時間後有漏水情事發生。為期提升成效，進而與工程總隊等共同研擬評估與改善方式，並由工程總隊於 107 年修復完成。因臺北市大直橋之橋梁結構較為特殊，故前述有關輸水幹管可撓管之設計與橋梁伸縮縫的關係，包括管線伸縮接頭之功能型式，及實務設計上應考量之因素及要項均為探討重點，故說明如后。

##### (一)大直橋伸縮縫之伸縮量檢視

為評估台北市大直橋上位於橋梁伸縮縫處之 600mm 輸水幹管伸縮管段日常振動情形，乃委外進行振動量測。另經檢視量測伸縮量結果如后(圖 11)：1.往市區臺北端西側 2 處  $\phi$  600mm 鋼製伸縮管件(No.1、2)：非法蘭接頭、撓性不足、明顯漏水、明顯變位。2.往市區臺北端東側 2 處  $\phi$  600mm 鋼製伸縮管件(No.3、4)：非法蘭接頭、撓性不足、輕微漏水。3.往大直端右支承處  $\phi$  600mm 鋼製伸縮管件(No.5)：非法蘭接頭、撓性不足、輕微漏水。

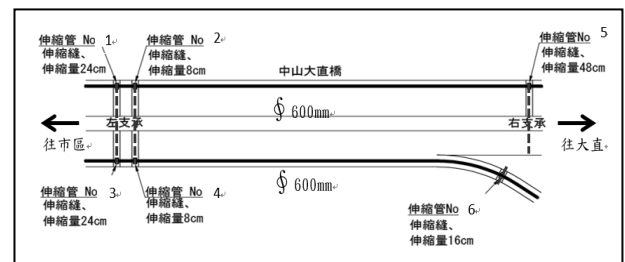


圖 11 大直水管橋伸縮縫檢視示意圖

##### (二)大直橋管線整修採用摺動型可撓管(CRS)之探討

- 1.鋼性伸縮可撓接頭避免發生反作用力：伸縮時不會發生反作用力，穩定吸收變位量。若有反作用力經常發生情況，其所造成的應力會集中於管體最脆弱部位(即焊接部位)，是造成漏水主因。
- 2.鋼性伸縮可撓接頭可因應管體扭曲變位：附掛管會發生管體扭曲的變位，鋼性伸縮可撓管可吸收此類變位。
- 3.鋼性伸縮可撓接頭避免發生電腐蝕：使用大口徑不鏽鋼波狀管時，與既有管線接合部分必須一併進行防止電蝕的措施，但絕緣處理有技術上的困難。而且，鋼性伸縮可撓接頭的材質與鋼管相同，不會發生電腐蝕的問題。
- 4.鋼性伸縮可撓接頭不需使用凸緣型(法蘭型)接頭：如附掛管般，管體震動搖晃較大的管線，為降低漏水風險，避免使用凸緣型(法蘭型)接頭，改用機械式接頭。
- 5.鋼性伸縮可撓接頭隨時保持設計上的伸縮性能：鋼性伸縮可撓接頭的伸縮量到達最大時，仍可發揮設計上的伸縮性能。
- 6.鋼性伸縮可撓接頭的使用案例豐富：鋼性伸縮可撓接頭在日本已有長期的採用實績。

### (三)摺動型可撓管(CRS)施工過程與成效檢視

有關大直橋下游側採摺動型可撓管改裝 3 組，整修主要流程說明如后:1.施工前整備作業(含停水作業等)、2.舊管件拆除作業、3.端部承口施工、4.可撓管吊裝、5.端承口接合、6.施工完成復水作業等，圖 12。其施工後成效歷經 108 年 4 月 18 日花蓮規模 6.1 之地震(臺北市震度 4 級)，經現場檢視狀況良好，未發生可撓管異常情形，已達初步功效。另於下游側改善原鋼製伸縮管件，進行比較對照組，持續觀察評估後續成效；另亦配合日常檢視與特殊情況，諸如較大型地震後或颱風前後等情況下進行即時監視，以提升整體水管橋安全與維護成效。

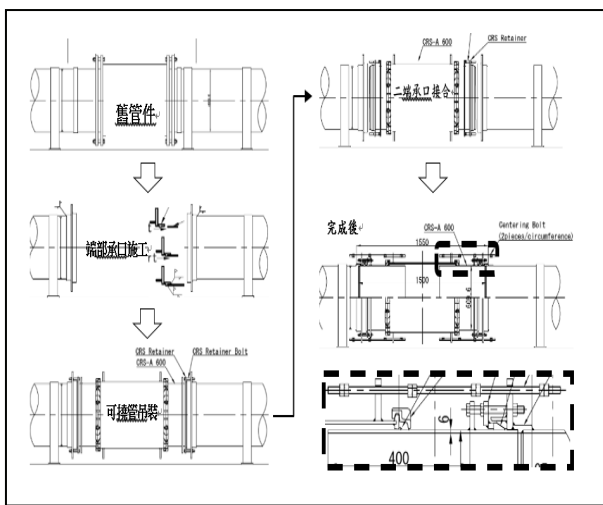


圖 12 摺動型可撓管整修流程圖

### 五、結語

供水管線的受損將嚴重影響人民的生產和生活，是社會公共安全的一部分。在這個瞬息萬變的時代中，從政府機構到私人企業，誰也無法保證自己絕對不會碰到突如其來的意外，也許意外的發生出人預料，但是如何預防、妥善處理危機，進而將危機化為

轉機，便考驗著企業的危機管理能力。將危機發展明顯地切割成數個獨立階段並不容易。基本上每一種危機在發生之前均會有徵兆出現，此危機的徵兆可能已潛伏多時，經一突發事件而引爆，斷橋事件亦復如是。設施維護與整備係自來水生命週期不可或缺之一環，資訊科技之發展日新月異，藉由軟硬體建設降低危機發生機率，並結合智能供水與工業 4.0 等趨勢，提高風險管理成效。另後續北水處除現有持續改善供水管網系統投入 200 億元結合工業 4.0 外，亦將於 109 年至 123 年新增投入 180 億元，結合智能運用推動設施整備計畫(參 7)，以提升自來水設施生命週期，持續打造宜居永續的韌性城市。

### 參考文獻

1. 「監察院對后豐大橋斷裂調查意見及糾正案」，監察院院98年2月13日。
2. 賴順政、黃守立、林育賢，「台北市中山大直橋監測及預警系統」，99年(2010)12月，第十屆中華民國結構工程研討會。
3. 李政寬，「橋梁自動化量測作業—全橋安全監測」，103年(2014)6月，科學發展498期。
4. (社子大橋結構監測系統實證計畫)，臺北智慧城市專案辦公室電子報，2019年。
5. 鄭錦澤等，自來水設施操作維護指南第九篇送配水設施，98年(2009)，中華民國自來水協會。
6. 劉季宇等，「自來水水管橋、藥槽及配水池之耐震評估研究案」，國家地震工程研究中心，103年12月，臺北自來水事業處。
7. 「臺北區自來水第五期建設給水工程計畫第二階段後續發展第二階段報告書」，2019年5月，臺北自來水事業處工程總隊。

## 作者簡介

### 鄭錦澤先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊副總工程司

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

### 汪嘉誠先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊三級工程師

專長：自來水管線工程規劃設計及施工管理

### 吳世紀先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊管線股股長

專長：自來水管線工程設計、監造及施工管理

## 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。

# 資訊化提升緊急應變及停水宣傳效率之策略

文/曾彥中、陳信利、林清鑫

## 一、摘要

2016 年 7 月強烈颱風尼伯特侵台期間，造成台東、花蓮地區一度停水高達 24,829 戶。本次颱風揭露中央、地方及台水公司之網頁停水戶數資料因時間差導致不一致問題，造成中央災害應變中心決策指揮困難及民眾接收資訊混淆，顯示以往以傳真方式提供災情速報表方式已無法滿足需求；台水公司遂比照台電公司建置以村里為範圍之停水查詢及通報系統，經台水公司歸納所屬各廠所人員使用者需求並整合介接災情資訊至中央災害情報站，於 2018 年起提供符合平時及災時便於各級單位查詢之「停水公告查詢系統」。

另配合經濟部水利署推動水資源物聯網建置，台水公司重新盤點各項監測設備點位開發「監控整合雲端系統」，除配合提供外單位介接部分供水資訊外，亦將災害氣象、水庫水情、重要供水量及水壓資訊、停復水資訊整合於單一網頁，以「即時」水情資料供各級長官作為決策分析之參考重要依據。

本文將探討台水公司近年藉由相關資訊系統提升緊急應變效率之作為，分析遭遇困難及解決方式，作為後續各單位緊急應變系統建置之規畫參考，並提出台水公司未來

供水調度之規劃建議。

## 二、前言

台灣自來水股份有限公司（以下簡稱台水公司）為處理災害防救事宜或配合各級災害應變中心執行各項災害應變措施，依「台灣自來水股份有限公司緊急應變小組作業要點」設置災害緊急應變小組，以綜理各類災害及緊急事故之指揮、督導、協調、資料蒐集及傳遞等有關災害緊急應變作業事項，並依「台灣自來水股份有限公司各類災害及緊急事件通報作業規定」，於有災害發生或有發生之虞時，立即透過各種傳訊工具，迅速通報相關災情，俾採取各種必要應變措施，以防止災害擴大，減少人民生命財產損失。

依上述通報作業規定，將災害依嚴重程度分類為甲級、乙級及丙級三種狀況，常遇狀況適用情境及通報時機詳如表 1。

於每一次通報內敘明「災害類別」、「災害等級」、「發生時間」、「災害地點」、「發生原因」及「現場(災情)狀況」，最重要的是須通報每一次之停水戶數及水壓降低戶數，以利上級單位如行政院災害防救辦公室、內政部消防署、經濟部水利署防災中心及經濟部國營事業委員會等單位隨時掌握最新的供水情形。

表 1 台灣自來水公司與所屬單位各類災害及緊急事件通報類別分級表

通報類別	常遇狀況適用情境	通報時機
甲級狀況	1.因災害造成自來水供水設備損害，致地區或局部停水達 48 小時（二天）以上及影響供水達 20 萬戶以上者。 2.發生職安衛生事故，致有 10 人(含)以上傷亡、失蹤者。 3.中央氣象局發布海上陸上颱風警報後 18 小時。	每日 3.7.10.13.16. 16.23 時
乙級狀況	1.因災害造成自來水供水設備損害，致地區或局部停水達 24 小時以上及影響供水 10 萬戶以上者。 2.中央氣象局發布海上陸上颱風警報後 12 小時。	每日 7.11.15.19 時
丙級狀況	1.區域或局部地區因計畫性停水達 24 小時或影響供水戶達 10 萬戶(含)以上者。 2.轄區範圍發生震度 5 級（含）以上地震。 3.中央氣象局發布海上陸上颱風警報時。	每日 7.15 時

傳統通報方式是在每一通報時間點前由台水公司所轄各廠所彙整災情數據通報各區管理處緊急應變小組，各區處在每一通報時間點前半小時彙整轄區災情狀況，於台水公司的災害防救資通訊系統上傳「各類災害及緊急事件通報單」，總管理處緊急應變小組再彙整所轄 12 個區管理處之災情資料於整點以「傳真」方式通報上級機關，從各廠所通報災情到總管理處彙整勢必經過 1-2 小時不等之時間延遲落差。

2016 年 7 月強烈颱風尼伯特侵台期間，造成台東、花蓮地區一度停水高達 24,829 戶，該次颱風期間停水消息紊亂，各時段地方政府與中央之災害應變中心掌握停水戶數皆不一致，甚至新聞記者直接向各區處詢問取得最新之供水資訊，比中央災害應變中心早一步取得災情訊息，使該次颱風揭露傳統傳真方式容易導致地方及台水公司之網頁停水戶數資料因時間差而不一致的問

題，造成中央災害應變中心決策指揮困難及民眾接收資訊混淆，顯示以往以傳真方式提供災情通報表方式已無法滿足需求。

### 三、停水公告查詢系統上線

台水公司原公告停水之方式為在官網以文字敘述停復水之時間、停水範圍等資訊(如圖 1)，民眾無水後僅能被動上官網查詢停水資訊，以地區篩選後逐筆尋找停水訊息，民眾往往找不到屬於住所的停水案件而致電客服中心 1910，依國營會 2016 年 8 月 8 日「水電基礎設施災損通報及搶修作業策進作為災後第 2 次檢討會議(尼伯特颱風)」紀錄，結論略以：「台電公司已建置以村里為範圍之地圖式查詢及通報系統，請台水公司於 2017 年 6 月底前完成相關系統測試作業。」，台水公司遂著手開發符合平時及災時便於各級單位查詢之「停水公告查詢系統」。



圖 1 台水公司原停水公告方式

台水公司「停水公告查詢系統」(以下簡稱本系統)於 107 年起上線,主要功能分述如下:

### (一)以地圖方式查詢停水資訊

不同於以往須逐筆搜尋停水訊息,民眾僅需上系統簡單輸入地址或明顯地標,系統即立即定位,民眾可在地圖上識別定位地點是否坐落於停水區域內,如坐落於停水區域內,則立即顯示「停水時間」、「復水時間」、「停水事由」、「停水範圍」、「刊登時間」等相關資訊(如圖 2)。



圖 2 停水公告查詢系統顯示停水案件

### (二)停水/降壓供水之戶數自動計算

以往停水區域內戶數是由廠所人員參考用戶點位圖或行政區戶數等資料才能推

算,本系統繪製完停水區域後,會自動於地圖上套疊用戶點位資訊,能立即自動計算出劃設的區域範圍影響之停水或減壓戶數,提升業務效率以及準確率。

### (三)降壓區域自動扣除停水區域並計算戶數

一般停水案件外圍可能會有降壓之區域,廠所人員先繪製停水區域後再於停水區域外圍繪製上降壓區域,本系統會自動扣除交集之停水區域,即兩區域差集的部分才為降壓區域,以綠色顯示降壓區域並自動計算用戶數。(如圖 3)



圖 3 停水及降壓案件示意圖

### (四)支援行政區域繪製停水區域

大型停水案件往往停水區域包含多個鄉鎮或村里,本系統提供廠所人員以勾選行政區域方式選擇停水區域範圍,勾選後系統自動繪製停水區域功能,廠所人員僅須再簡單編輯停水資訊即可完成公告。

### (五)發送停水通知電子郵件

前所提及台水公司原公告停水方式為被動地將停水資訊刊登於官網供民眾自行上網搜尋,往往民眾家裡發現無水時才會上網找原因,若又遍尋不著停水資訊將會怒火中燒,致電客服時往往態度不佳而降低服務

品質，故本系統上線後提供「主動」發送停水通知電子郵件功能，民眾先至系統輸入 EMAIL 信箱及訂閱住址，只要廠所人員繪製完區域並確認資訊無誤後，案件刊登至系統前端即同時發送電子郵件，民眾的智慧手機如綁定電子郵件信箱，幾乎已達到「即時」、「主動」通知的功能。(如圖 4)



圖 4 發送停水通知電子郵件示意圖

嘉義市政府消防局於 108 年 1 月 10 日以嘉市消救字第 1080400045 號函請台水公司開放「停水公告查詢系統—行政區停水 EMAIL 通知」，因該市行政轄區廣達 60 平方公里，而本系統 EMAIL 停水通知原係以個別獨立之定位點為發送基礎，希望能提供以行政區為單位申請電子郵件之停水通知方式。該市政府消防局表示火災初期搶救作業中、寶貴的水源將決定整個救火工作成效，成為消防的關鍵要素之一，系統新增以行政區申請電子郵件通知可即時通知自來水管網維護情形，實有助消防單位掌握轄區停水/減壓資訊、適時選擇適當管線水源，提升災害搶救部署效率，促進城市公共消防安全，因事涉人民生命財產安全，台水公司已於 2019 年 2 月完成新增該功能，並請各區處協

助推廣至當地消防單位。

### (六)緊急應變災時停水通報機制

以往用傳真方式通報災情數據因時間延遲造成資訊落差為本系統重點須解決工作之一，經台水公司規劃，由總管理處建立統一之災害事件名稱例「1080812○○颱風」，如於颱風期間發生停水事件，廠所人員在繪製停水區域時，停水事由選擇「1080812○○颱風」，於每一整點鐘系統會將全台因本次颱風造成之停水事件顯示於系統前端供民眾查詢，同步介接至中央災害應變中心之災害情報站，並於每一整點產生「災情速報表」統計各縣市、行政區及村里之曾經停水戶數、已恢復供水戶數及待復水戶數及最後全面復水時間，公告於系統前端供各單位查詢。(如圖 5)

各區處在彙整災情資訊上傳總處時，須至系統比對災情數據，確保上傳總處之「各類災害及緊急事件通報單與系統災情速報表數據一致，再由總處人員確認無誤後傳真上級機關，此作法應可改善資訊落差延遲之問題，未來如災情速報表數據能直接介接至中央災害應變中心，則數據將更準確且即時。

災害名稱	曾經停水戶數	已恢復供水戶數	待復水戶數	預計全面復水時間
台南市	700	350	350	2019/8/12 15:00
台中市	100	50	50	2019/8/12 15:00
高雄市	100	50	50	2019/8/12 15:00
新北市	100	50	50	2019/8/12 15:00
桃園市	100	50	50	2019/8/12 15:00
苗栗縣	100	50	50	2019/8/12 15:00
彰化縣	100	50	50	2019/8/12 15:00
南投縣	100	50	50	2019/8/12 15:00

圖 5 災情速報表示意圖

前述功能為目前系統現行功能，經 2018 年正式上線起獲得用戶廣大迴響，已成為台水公司主要對外主要使用之網頁之一，亦為廠所人員、客服人員每天上班必用系統之一，為能加強平時及災時劃設停水區域之準確性及效率，並增加多元停水宣傳方式，經蒐集各方修正意見，已研議擴充改版停水系統，預計於 2020 年 6 月起上線，改版重點供作如下：

### (一)增加管線圖層

管網圖可以幫助廠所人員更準確判斷停水區域，確認停水的邊界範圍，如未來全台分區計量管網均建置完成，再結合分區計量管網圖資，將各供水系統均劃分為大區、中區、小區，廠所人員只要判斷停水影響的分區，即能於系統快速完成劃設。

### (二)停水通知電子郵件新增「行政區」及「村里」訂閱服務

目前本系統只有提供「縣市」別的停水通知訂閱服務，將新增擴充可訂閱「行政區」及「村里」範圍的停水通知電子郵件功能，未來各級民意代表如村里長、議員等，均可訂閱自身服務區域之停水通知，透過社群或通訊軟體群組方式轉傳，達到服務民眾及停水案件廣為宣傳之雙贏功效。

### (三)介接水壓監測站、流量計點位資料

台水公司正辦理產水監控整合雲建置案，未來整合雲系統完成後，全台監測點位包含壓力、流量、pH、餘氯及濁度資料等都會上傳總管理處，停水系統將介接整合雲各場站及管網上的水壓監測站及流量計資料，使廠所人員可藉由壓力及流量資料判斷停水範圍以及復水過程，更精準掌握停水區

域供水情形。

### (四)提供 Line Bot 訂閱停水通知功能。

目前本系統僅有提供停水通知電子郵件，未來系統改版後將另外提供停水 LINE 通訊軟體訊息通知功能(如圖 6)，因目前台灣地區 LINE 為使用最為廣泛之通訊軟體，從青少年至老年人幾乎都有使用 LINE 通訊軟體之習慣，如停水通知能藉由 LINE 通訊軟體即時發送，再透過民意代表、親友間或群組之間快速轉發，將可達到廣泛宣傳的目的。

未來將積極測試本功能，一旦功能確認可行將廣為宣傳，鼓勵民眾皆能至系統申請停水通知，期望有朝一日能藉此功能取代原以紙本挨家挨戶分送停水通知單，原逐戶貼單既不環保又費時，在現今資訊網路時代，顯不符經濟效益。



圖 6 LINE BOT 停水通知示意圖

未來，台水公司願景為加以整合分區計量管網、圖資管理系統、監控整合雲等系統，將各管線及閘栓等建立關聯性，並配合大數據分析或機器人學習之演算法，只要關閉閘栓或水壓監測站及流量計數值下降，即能由系統自動判斷停水區域，並即時通知現場人員進行處理；另於閘栓開啟或水壓監測

站及流量計數值回升後，系統自動判斷復水區域，達到智慧水網之目標。

#### 四、建置即時之供水情資網站

為推動台水公司供水智慧化，並配合水利署「前瞻基礎建設計畫--水環境建設之推廣水資源智慧管理系統及節水技術計畫」所建置之水資源物聯網，台水公司已著手建立監控整合雲端系統，因監測點位包含自水源取水、生產淨水及管網供水、水質檢驗等，監測點位數量相當可觀且複雜，各式監測站又無統一之通訊協定，台水公司已花費相當人力及經費在盤點及整合建置雲端監控系統，目前已請各區處逐一清查並釐清區處及所轄廠所之系統架構，建置智慧雲端監控系統已有相當之成果，未來預計由各廠所統一

彙整蒐集監測點位資訊，透過 OPC UA 之架構上傳區管理處，再由各區處將總處所需之各式監測點位資訊上傳至區處雲端，再透過 OPC UA 之架構上傳總管理處監控整合雲(架構如圖 7)，目前台水公司統計有 3 大職能別(原水、淨水、供水)共計 24 類資料須上傳雲端系統。(詳表 2)

為能有效利用及管理監測點位數據，台水公司已完成建置「供水情資網站」，將即時之供水資訊以圖像化方式顯現，並結合氣象、災害資訊，未來將作為台水公司於災害緊急應變時最可靠信賴的系統，以提供各式供水相關情資供層峰人員決策參考使用，以下說明該網站所建置功能：

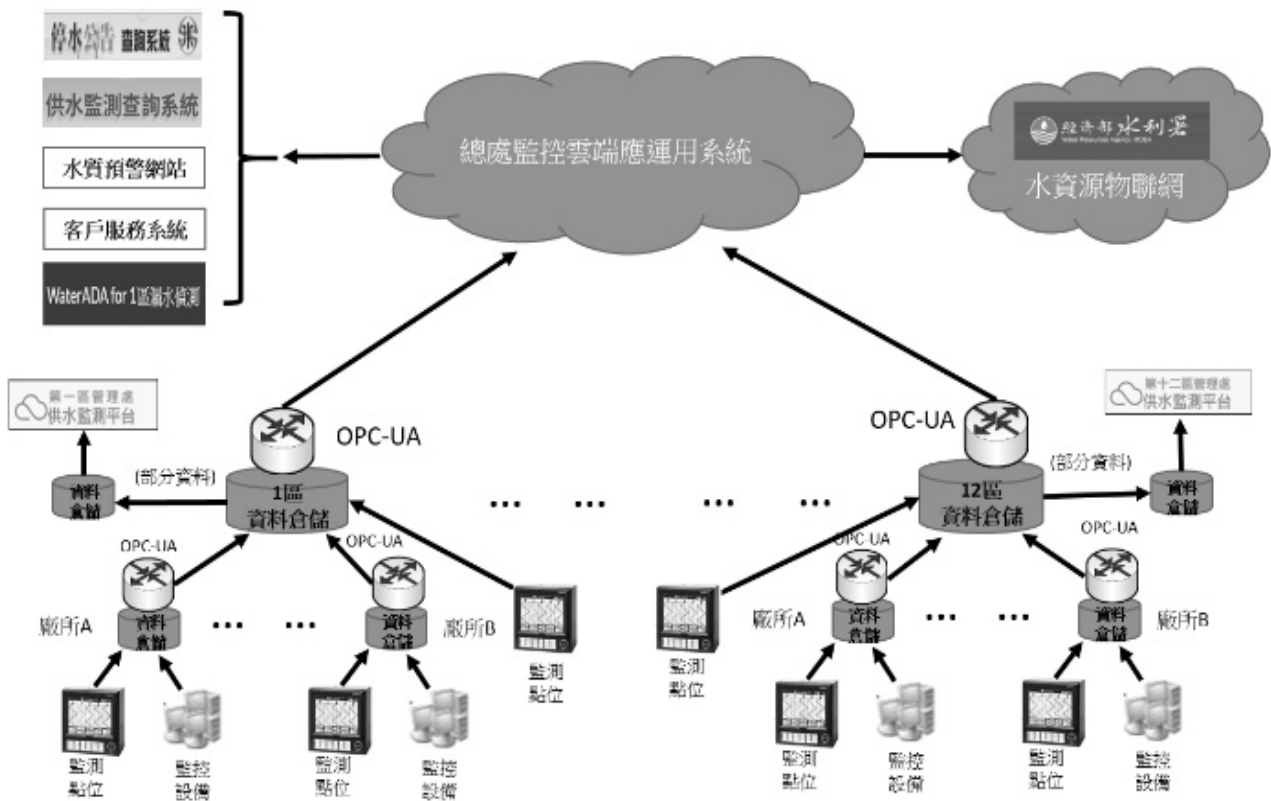


圖 7 台水公司監控雲端運用系統架構圖

表 2 上傳台水公司總處監控點位類別

職能別	監測點位
淨水 (淨水場出水)	流量、壓力、pH、濁度、餘氯， 共計 5 類。
供水	流量、壓力、pH、濁度、餘氯， 共計 5 類。
原水 (水庫水、地面水、地下水、海淡水)	流量(取水量、抽水量)、壓力、 水庫水位、水庫入流量、攔河 堰水位、閘門開度(水庫、攔河 堰、取水口)、 集水區降雨量、pH、濁度、油 汙、總有機碳、氨氮、化學需 氧量、生物養魚箱監測訊號， 共計 14 類。

### (一) 全台供水現況

本情資網建置全台供水現況圖，統計各區處各淨水場出水量，並呈現支援水量及受援水量情形，以計算出該區處供水量情況，並搭配以燈號顯示，如綠燈為供水量監測點位正常連線、驚嘆號為部分供水量監測點位連線有異常、灰燈為全數斷線之情況，方便使用者確認異常之情況，能及時派員檢修。(如圖 8)

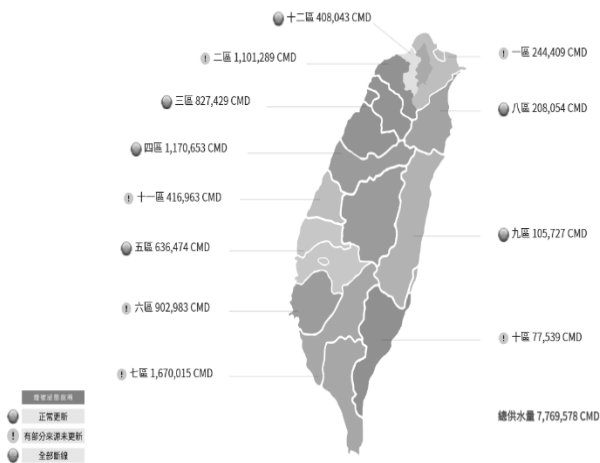


圖 8 全台供水現況圖

未來將再建置日供水量概況圖、月平均

供水量概況圖及年平均供水概況圖，讓使用者可以透過歷史資料進行分析判斷，作為現況供水是否正常之重要依據。

### (二) 主要淨水場即時資訊

在颱風、地震等災害期間，淨水場是否能維持正常出水為台水公司緊急應變時須關心之重要議題，尤其颱風或豪雨時，地面水常因濁度飆升導致淨水場無法處理造成停水，故緊急應變時須密切觀察濁度之變化，以便提早做供水調度因應。本情資網站篩選 46 座主要淨水場，將即時之出水量及濁度資訊展現於網頁上(如圖 9)，比過往人工查填報表方式更有效率。



圖 9 主要淨水場即時資訊

### (三) 水庫資訊

近年旱象頻仍，台水公司於旱象發生時啟動旱災緊急應變小組，以供水調度或實施限水措施等方式因應，除關心各區處供水及支受援水量情形外，旱災時需每日掌握各地區水庫蓄水情形，故本情資網介接經濟部水利署水庫水情資訊，呈現台灣各大水庫蓄水情形(如圖 10)，另屬台水公司轄管之澎湖地

區成功、興仁、東衛三座水庫及綠島酬勤水庫則由人員每日填報蓄水情況，未來也將改為自動監測之方式，以提升資訊傳播之效率。

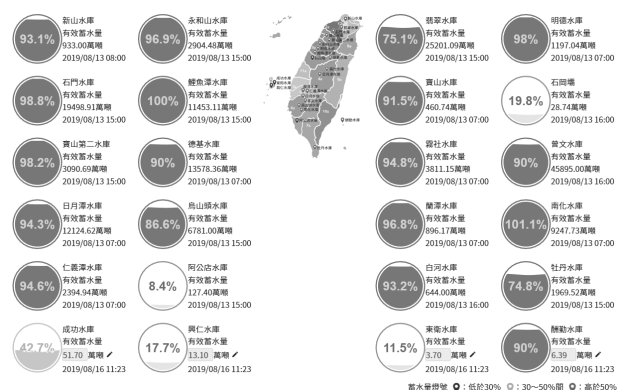


圖 10 水庫蓄水情形

#### (四)其他功能

本情資網站最主要目的為緊急應變時各項供水及災害資訊之整合，除上述各點功能外，亦介接中央氣象局颱風消息、天氣警特報、降雨資訊及地震消息等，並介接停水公告查詢系統，讓使用者無須再另外切換至其他網站查詢，方便各級人員緊急應變時展示使用。

#### 五、結語

穩定供水為台水公司最重要使命之一，萬不得已發生停水事件時，能早一分通知民眾，就能使民眾及早儲水備用，也能大幅降低停水造成不便進而減少民怨。台水公司已辦理停水公告查詢系統改版作業，未來將能更方便使廠所人員判斷及公告停水資訊，並透過資訊系統轉傳之方便性，更有效率地宣傳停水訊息。

台水公司在因應各種災害情況已有相

當豐富之經驗及 SOP，透過備援管線、系統之間供水調度、高濁度應變措施等都可大幅減低民眾停水造成之不便，面對災害發生時獲得更多的情報，可使決策者更能果斷準確地指揮及調度，與緊急應變相關的資訊系統將越趨重要，需能隨時提供最即時之供水資訊，未來相關系統介接整合對台水公司而言將是重要的課題。

#### 作者簡介

##### 曾彥中先生

現職：台灣自來水公司供水處工程師

專長：供水調配、電力工程

##### 陳信利先生

現職：台灣自來水公司供水處組長

專長：供水調配、機械工程

##### 林清鑫先生

現職：台灣自來水公司供水處處長

專長：供水實務、土木工程

# 從 IoT 探究智能供水服務-以北水處智能計量為例

文/周麗娟

## 一、緒論

以大臺北地區而言，屬於高密度人口住商混合區，根據經濟部水利署節約用水網站資訊，自來水供應分為「工業用水」及「生活用水」，而「生活用水」又分為「家庭用水」與「非家庭用水」，其中，以「家庭用水量」最大，佔整體都會區供水系統六至七成，而世界上越來越多的國家，對家庭用水量的持續增加也備感壓力；臺灣為世界排名第 18 個缺水國家，政府長年推動節約用水不遺餘力，要降低家庭用水量，並同時確保公眾健康及需求，此一個關鍵性的挑戰，若能夠在資通訊科技(ICT)發展下，結合物聯網(IoT, Internet of Things)，給予用戶端準確的水量計(俗稱水表)，搭配水量管理軟體，瞭解自我用水情形，達到水需求管理(WDM, Water Demand Management)，進而鼓勵用水人從自我行為態度上進行更有效的管理，改變使用天然資源的方式，減少使用水資源，方能優化整個地球的環境，達到永續經營之目的。

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)從民國 104 年開始規劃智能供水服務，先從用戶端裝設自動讀表(AMR, Automatic Meter Reading)，從市府新建公共住宅及大用水戶開始辦理，預計 109 年起，全市將推動新建物全面安裝智慧水表，藉由通訊設備回傳用戶端用水量，提供用戶隨時查詢家庭用水管理資訊，透過警訊察覺家中漏水情事並即時

修復，以管控家庭用水量的支出，自我節約用水，做出更明智的選擇，減少水資源的浪費。

關鍵字：家庭用水量、智能供水服務、水需求管理 Water demand management、自動讀表 AMR、資通訊科技 ICT、物聯網 IoT

## 二、研究背景與動機

幾十年來，資通訊科技(ICT)一直主導著新技術革命，深深影響著全球的經濟發展，隨著創新科技領域推陳出新，世界各國也搭上這股新科技順風車，建構屬於自己的「智慧城市」；「智慧城市」一詞源自於 2008 年美國總統歐巴馬，當年他將 IBM 所提的「智慧地球」，納入國家治理方針，該名詞便開始獲得各方注目；美國智慧城市理事會將「智慧城市」定義為「以智慧科技能力促成及優化城市的責任」，換言之，「智慧城市」包含著「科技能力」及「社會責任」兩大面向(許芷浩，2015：81)。

「智慧城市」是一套優化和創新公共服務的城市規劃戰略，世界各國早將推動「智慧城市」列為重要政策。將智力和社會資本聯繫起來，廣泛使用新的通信技術，希望藉由科技解決環境所帶來的各種挑戰，解決可持續性、經濟發展和公民福祉等等問題，提升各項公共服務領域基礎設施，提供城市中居民更好的生活品質，滿足公民、企業和機構的需求。據聯合國統計，到 2050 年，全世界將有 66% 的人居住在一個地方，這個地方就是「智慧城市」。簡而言之，「智慧城市」

所做的是，利用科技投入城市的基礎建設，提高政府資訊化程度，使這些城市成為更好的居住地。國家經濟發展重心原本便多集中在都會區，現今先進國家和發展中的國家都正在積極解決城市中所面臨的各項挑戰，發展數百個甚至數千個智慧城市項目，而這些項目也是未來經濟增長的關鍵，據美國消費電子產品協會(CES)指出，擁抱「智慧城市」的國家，未來 GDP 成長率可能約 2-5%(Greg, 2018)。

「智慧城市」與物聯網(IoT)密不可分，要成就「智慧城市」目標，絕不可離開物聯網(IoT)，因為物聯網是「智慧城市」重要基礎建設。物聯網(IoT)概念最早由比爾蓋茲於 1995 年提出，近幾年來，因資通訊科技(ICT)中各項技術快速發展，加上硬體成本大幅下降，網路速度提升，整體物聯網(IoT)產業便如雨後春筍般出現；然物聯網技術應用於臺灣，多集中於服務業和製造業，且相關研究多以企業和產業的角度論述，相較於應用在城市中基礎建設，目前尚在導入階段，發展模式和標準並未統一。顧問機構 Gartner 預測，2020 年物聯網的產值可能高達 3,280 億(蔡傑智，2015)，未來，整體城市產業鏈將繞著物聯網為基礎建設核心，時至今日，我們應做好相對性的準備，以因應未來邁入智慧城市。

### 三、相關研究

#### (一) LPWAN 為物聯網(IoT)基礎

行動通訊的發展，從第一代的通話 1G 論起，當時為類比式(FM)的大哥大黑金剛通訊年代，到了 1980 年代，美國將原本軍事用途 Internet 網際網路，公開讓全世界電腦通

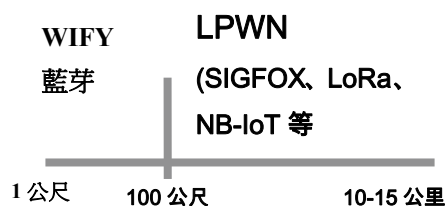
訊使用，並以 TCP/IP 為統一的傳輸通訊協定，此為全球網際網路之濫觴。隨著行動上網及資料傳輸率技術改良，發展出 2G(GSM 簡訊)，除了通訊通話，還可傳輸文字簡訊。接著進展到 3G 智慧型手機時代，除了通訊文字簡訊，還加入圖照片傳遞。近年來，4G 影音串流，手機上網觀看影片，甚至於未來的 5G 網際時代，各路人馬均拭目以待；而這每一階段的發展設計，都是以人的需求為出發點，希望給予人們高速度、低延遲的上網品質。

物聯網，IoT，顧名思義，Internet of Things，係指物件與物件間聯網通訊，並非以人為出發點，而是 M2M(機器與機器間通信，Maching To Maching)，以物件為主角。歐洲 ETSI 標準委員會將整個物聯網分別為感知層(Device)、網路層(Connection)及應用層(Management)三個架構。感知層為物聯網之基礎，其任務為透過各種具備感知或識別的物件，收集人和環境間相互關聯的資訊，目前大家最熟悉的技術為 RFID(無線射頻辨識系統)，屬於最先應用於物聯網的技術，例如 Youbike、倉儲管理、身分辨識卡或電子錢包等等，這些均屬於近距離感應設備，若要使用長距離感應，基於成本價格的考量，目前鮮少使用。另感知層常見技術還有 QR Code、NFC(近距離無線通訊)等。

第二架構，網路層，為感知層與應用層的中介，扮演著橋梁角色。在智慧城市中物聯網(IoT)之應用，主要在於優化人們居住的環境，從友善地球到智慧家庭、從交通運輸到社會照護，食衣住行等等，只要日常生活中可以想得到的物件，結合不同類型的感應

器，加上裝置通信，即可成為智能物件設備，透過網路，進行通訊。在萬物聯網世界裡，依不同的需求性，搭配不同無線傳輸技術。例如強調音質畫質的影音或 AR/VR 電玩，採用 4G、5G 或 Wifi 等技術，此部分多以手機平板為主；若是行動載具的 3C 產品，則採用藍芽 Bluetooth 等無線傳輸，以上均屬近距離通訊技術。而另一種需 24 小時 365 天長時間、長距離、大量連結且廣覆蓋率之技術，例如空氣品質數據、溫溼度、用電用水度數等等，這樣的數據需具備低功耗，長達數年電力供應，並透過感知層大量且持續不斷回傳巨量數據，若採用短距離通訊協定技術，勢必產生高功耗，則電池損耗頻度相對提高，造成各方成本增加。

由於傳統的 3G 與 4G 無法完成萬物聯網時代的大規模運作上需求，故在 4G 後期開始發展所謂的 LPWAN。LPWAN(Low Power Wide Area Network)，低功耗廣域網路，傳輸速率低於 200kbps，傳輸距離可達 10 公里，具備低功耗長距離長時間通訊運作，號稱具有省電特性，避免時常更換電池，可降低維護成本。目前常見的 IT 技術為 NB-IoT、Sigfox、LoRa 等，這些均屬於近年來熱門的 LPWAN 新興無線通訊技術(圖 1)(蕭佑和，2018)。



資料來源：蕭佑和(2018)(研究者自行整理)

圖 1 傳輸技術通訊距離比較圖

LPWAN 為近幾年發展技術，尚無統一通訊技術標準，目前分兩大類：授權頻段(Licensed Band) 和非授權頻段(Unlicensed Band)。這兩大類各具特色：

- 1.NB-IoT：隸屬授權頻段(Licensed Band)。相較於 Sigfox 或 LoRa，發展時期較晚。該技術係由第三代合作夥伴計畫(3GPP, 3rd Generation Partnership Project)在 4G 後期(約 3.9G 時代)依據第 13 版本(Release13)所定義的通訊標準，然因 3GPP 為全球電信標準開發協會，其中成員涵蓋歐洲、日本、中國、韓國、北美洲及印度。加上此技術屬於未來 5G 三大應用場景之一的大規模機器型通訊 (Massive Machine Type Communications, mMTC)，起步雖晚，具有一定的傳輸品質，然因 NB-IoT 使用電信級網路，依舊需透過基地台方可通訊，故會產生通信費用，相較 SigFox、LoRa，其成本較高(孫琳威，2019)。
- 2.SigFox：所採用的頻段屬於非授權頻段(Unlicensed Band)，故無須支付授權相關費用，是 LPWAN 技術中傳輸距離最遠，但一天傳輸的訊息次數最少。具有傳輸速度最低、訊息容量最小，也因為具備上述特性，大量節省裝置電力，適合應用在 mMTC。
- 3.LoRa：跟 Sigfox 一樣，屬於非授權頻段(Unlicensed Band)，同樣具有長距離、低功耗，網點多，可延長電池壽命的特色。成本比 Sigfox 較低，傳輸的頻寬比 Sigfox 較高，同樣適合大規模物聯網應用，為目前為擁有全球最多會員國之技術。

臺灣的電子產業在過去，以「代工」方式，在全球資通訊科技（ICT）產業中扮演著舉足輕重的角色，從上游半導體、晶圓代工、晶片、零組件、印刷版到電腦、筆電、主機板、系統設計、研發等等，均占有高市佔率；然而，瞭望全球產業目前均圍繞著物聯網(IoT)裝置而發展，為免國內水表技術在物聯網產業鏈缺席，北水處自 108 年起推動智能供水模式試煉，目前參與試煉的團隊均有採用上述探討之技術，北水處冀透過此計畫能與各家廠商為推動智慧水表共同努力，以檢視智能供水資通訊科技(ICT)技術，奠定智慧城市良好基礎。

## (二)智能供水為智慧城市要角

傳統的城市供水系統，面臨著漏水、水資源可持續性及抗災應變能力等等，已不足以因應這些挑戰所帶來的衝擊。智能供水服務在智慧城市中扮演著節能減碳重要角色，賦予高度的社會責任。理論上，智能供水始於水源，如智能閘門、智能泵、洪水預警系統等等，透過更智能的儀表如閘門和泵進行水處理。從水源、取水，進入了城市的供水系統，搭配水壓檢測器、水污染物感測器等，到了用戶端(家戶或企業)，使用終端感測設備如智能水龍頭、智能澆灌控制器、水污染物感測器及智慧水表等等。最後，水通過污水系統進入廢水處理和最終使用或排放，此階段依舊使用智能供水系統一開始時所採用的技術(Michele & Eric, 2014)。整個智能供水服務每個環節都是值得深入探討的議題，本研究將就目前大臺北地區用戶端水需求管理(WDM)現狀，探究智能供水服務用戶端之智能計量技術。

## (三)智能計量為水需求管理(WDM)前題

地球表面約 71% 為海水，萬物賴以為生的淡水卻不到 1%，2015 年 2 月 1 日公視新聞網報導，美國國家航空太空總署(NASA)發射一枚衛星觀測地球土壤濕度，未來數十年，全球許多農村和城市地區將面臨經常性和普遍性的乾旱，「超級乾旱」將使大陸型氣候國家深受其苦；其因來自於水文氣候極端變化，影響著地球土壤中的濕度，土壤濕度對於碳循環扮演著十分重要的角色，也影響著土壤吸碳的能力(姜唯，2019)，及地下水減少、流域水資源系統改變等等風險，淡水資源可持續性受到越來越多的威脅。

上個(20)世紀，水需求管理(WDM)顯少受到關注。水資源規劃者只需將人均預期用水量與服務人口相乘來計算未來的用水量。然後建造水庫基礎設施，如水庫和配水管等等，以儲存和運輸所需的數量(Gleick, 2000)，換言之，傳統水需求管理從供給面出發，配合著都市化進程，開發水源水庫等硬體設備。而今，世界人口增長，工業水電需求增加，社會經濟變化造成水資源額外的壓力，整體水資源缺乏的層面超乎想像，城市比農村更特別容易受到水資源短缺的影響，全球淡水資源供需已面臨無法平衡，近十年來，水需求管理(WDM)已發生巨大變化，已經發展成為城市用水重要策略，以高效能且可持續的方式管理稀缺的水資源策略，可謂是全球當前和未來的水資源規劃分配的關鍵步驟。在此背景下，許多城市實施了水需求管理(WDM)政策，從消費性用水降低成可持續性水消費(Stavenhagen et al., 2018)。

國內外政府對於用戶端水需求管理(WDM)政策，通常採用的方案為減少漏水、水價調漲如採用階梯式水價、或限制戶外用水等等，這些策略當中，最常見的方案為限制用水量，例如 2015 年 4 月加州政府頒布限水令，鑒於連續四年乾旱嚴重影響民生經濟，加州政府要求各大城市應減少 25% 都會區用水量；2019 年雪梨乾旱，政府禁止民眾與企業戶外用水，除非基於健康和 safety 因素得免，並規定各種限水措施，對不遵守規定民眾與企業，祭以罰金。然這些不得已之措施，僅能暫解燃眉之急。

21 世紀水需求管理(WDM)的概念基礎是節約用水，代表著是用水或減少水損失的任何有益於水資源行為，因此，管理用水需求代表著管理個人或企業用水行為。因此，越來越多學者強調應將生態價值納入水需求管理(WDM)，有意識地打破人類用水需求與用水量間的關聯，重新定義人類對水服務的基本需求，改以「友善環境」與「自我知覺用水權利」重新相連結，重新定義水需求管理(WDM)為可持續性使用之模式；為了達到此目標，國外學者強調，這一關鍵性的挑戰，不單從調整水價和限水量著手，如果可以從技術層面設計出一套解決方案，用水人便可經由利環境責任感出發，達到管理與降低自我用水量。

全球各地的公用事業正發展屬於自己的智能網，透過智能計量，數據蒐集分析，傳送控制訊號，提供家庭用水量的能源管理資訊，家庭用水量由許多成分組合而成，這些成分包含廁所、水龍頭、淋浴器等等用水，這些組成被稱為水需求管理(WDM)最終

用途，也是城市用水最大宗，透過與智能計量分析相結合，可收集比以前更多的家庭用水信息，提供用水人更多資訊，利於管控家中用水量支出，減少尖峰期的負荷，為可持續性的城市水管理做出重大貢獻，俾利水資源永續經營。例如，法國格奈爾環境行動團體(Grenelle de l' Environnement)，該組織成立於 2007 年，成員有法國政府、非官方組織及專業人士合作成立，連續多年強烈要求法國自來水事業公司應透過科技網路有效監控漏水，並鼓勵法國居民安裝智慧水表。法國自來水事業公司將城市供水網絡劃分為配水區，並於用戶端裝設智慧水表，管理者遠程即時讀取，提供用戶端免費自我監控用水量，一旦用水異常，則透過 SMS 或電子郵件發送警示通知用水人。另 2014 年，學者 Davies 等人於澳洲雪梨家庭安裝智慧水表實驗發現，剛開始安裝智慧水表家庭用水量比未安裝者平均降低了 6.8%，3 年後平均降低了 6.4%(Montginoul & Vestire, 2018)。

#### 四、案例探討

早期，臺灣用戶的水需求管理方式，濫觴於民國前 3 年 4 月公布「臺北水道給水規則」，以「計口」為主，「計量」為輔；直到民國 13 年年底，全部裝設水量計(俗稱水表)，隔(14)年 3 月公布「臺北市自來水使用條例」，全面推行計量用水，水量計從此正式成為用水人水消費的管理依據，也開始了人工抄表的時代。因應時代轉變，北水處多次改造抄表作業流程，83 年啟用掌上型電腦抄錄水表，抄表簿正式走入歷史；89 年為求人力有效運用，開始施行部分抄表作業外包

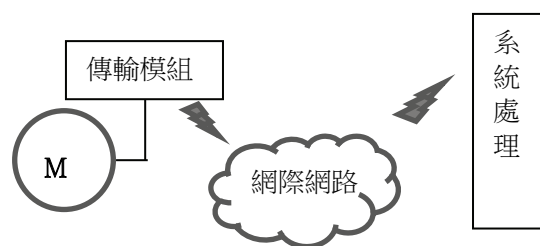
(李泰雄、李田樹，1992：158-162)。94 年成立抄表改善小組，100 年，率先改採數位化抄表機，搭配藍芽印表機，不再純抄錄度數，提升至客制化抄表服務，針對用水突增、突減、鎖門、自抄回針等用戶，即時警示，列印通知單提醒用戶確認。

傳統的人工抄表實施多年，由於社會結構轉型，都會建設高樓林立，人工抄表困難度漸漸浮現出來，普通用戶兩個月抄表一次，或者是大用戶一個月抄表一次，一旦內線發生漏水情事，用戶無法主動察覺，需待兩個月後抄表時，抄表員抄錄指針貼單告知，如遇用戶出國，不但造成水資源浪費，有時好意貼單告知反成用戶客訴對象，突增後續人工處理成本；另礙於大臺北地區多為老舊公寓頂鎖、空屋居多，雙薪家庭白天無人在，抄表員只能指針推定，數據準確度降低，增加後續水費更正作業。

正確的用水度數為水需求管理的先決條件，也是自來水公用事業風險管控與企業成本管理的關鍵工具。為探究用戶水量管理模式，北水處早於民國 94 年起，即開始裝設水量紀錄器，隨著物聯網產業鏈發展，於民國 104 年開始規劃安裝自動讀表(AMR, Automated Meter Reading)，監測分析用戶端用水變化。過去十年中，水表技術從 B 級機械式水量計到 C 級電子式水量計，通訊技術從初期運用電話網路 PSTN，到 2.5G (GPRS)、直至近期 3G、4G，現今 LPWAN。在先進讀表基礎建設中採用自動讀表(AMR)，所收集和分析的數據量，比早期人工抄表程序要處理的數量大得多。因此，隨著自動讀表推廣，表的數據管理(Meter Data Management,

MDM)已成為公用事業日益重要的課題。

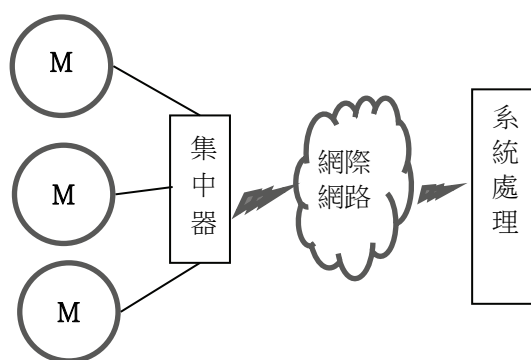
北水處用戶端智能計量分為三部分：自動讀表、通訊技術及系統處理。自動讀表的智慧水表安裝方式，依現場狀況，分為單一傳輸模組回傳或集中抄表兩種。單一傳輸模組回傳多半應用於直接表或總表(圖 2)。



資料來源：北水處網站(研究者自行整理)

圖 2 智慧水表(直接表或總表)傳輸示意圖

另一種應用於分表的傳輸方式，集中抄表，數個分表在同一層，透過 RF、藍芽、Wifi 等近距離通訊技術，經由集中器將所有分表數據透過網際網路回傳至資訊室主機(圖 3)。



資料來源：北水處網站(研究者自行整理)

圖 3 智慧水表(分表)傳輸示意圖

用戶端智能計量系統處理方面，目前北水處分兩種，一為業務分析系統，由分處 AMR 同仁遠端讀取用戶用水量；另一為智慧

水管家系統，提供給裝設 AMR 用戶自主管理，相當於簡易版的業務分析系統。業務分析系統針對大量數據進行分類與分析，將所接收水表資料包含流量、壓力及監測數據，彙整處理整理後，儲存於後端資料庫伺服器。用水人可透過個人電腦或行動載具(行動電話、平板等)接收經認證授權的資訊，透過智慧水管家系統查詢相關用水資訊。

減少漏水為節約用水首要工作，也是水需求管理的必要條件。北水處自 104 年到 108

年透過業務分析系統，主動輔導用戶改善漏水總計 460 件，透過系統警示，加入水管家自主管理之用戶，將可接收到系統發送簡訊或電子郵件訊息，提醒用水人提早發現漏水，改善漏水情事，減少水資源浪費。

當出現警示符號，並不代表一定有漏水事件產生，系統提供國際常用的夜間最小流(MNF, Minimum Night Flow)方式協助用戶判別是否漏水。理論上，在凌晨 01:00-05:00 無人用水時段，系統紀錄著這段時間瞬間流

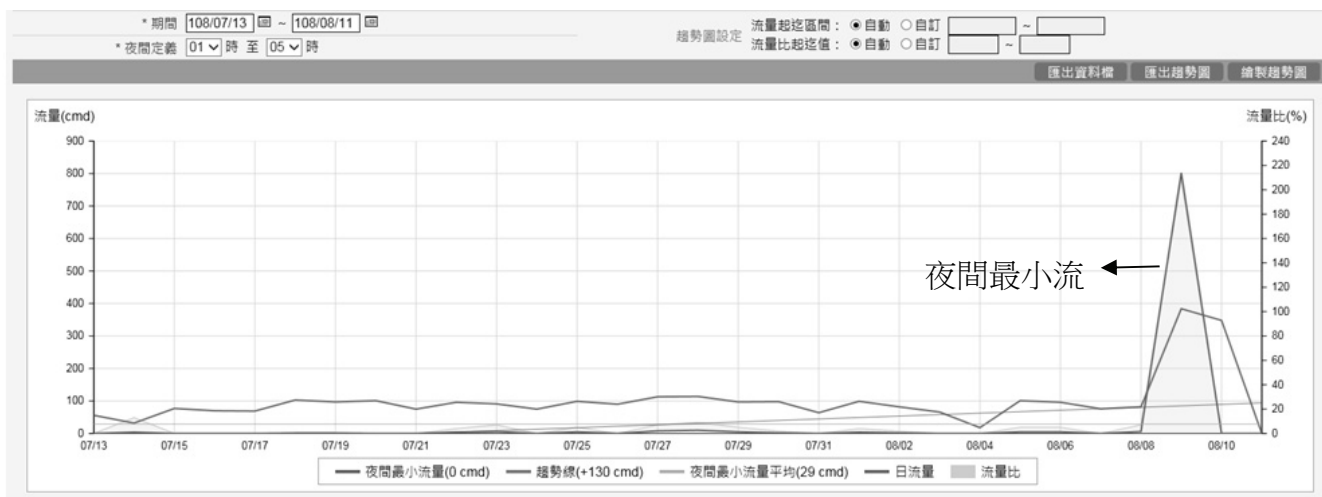


圖 4 快速上升漏水案例

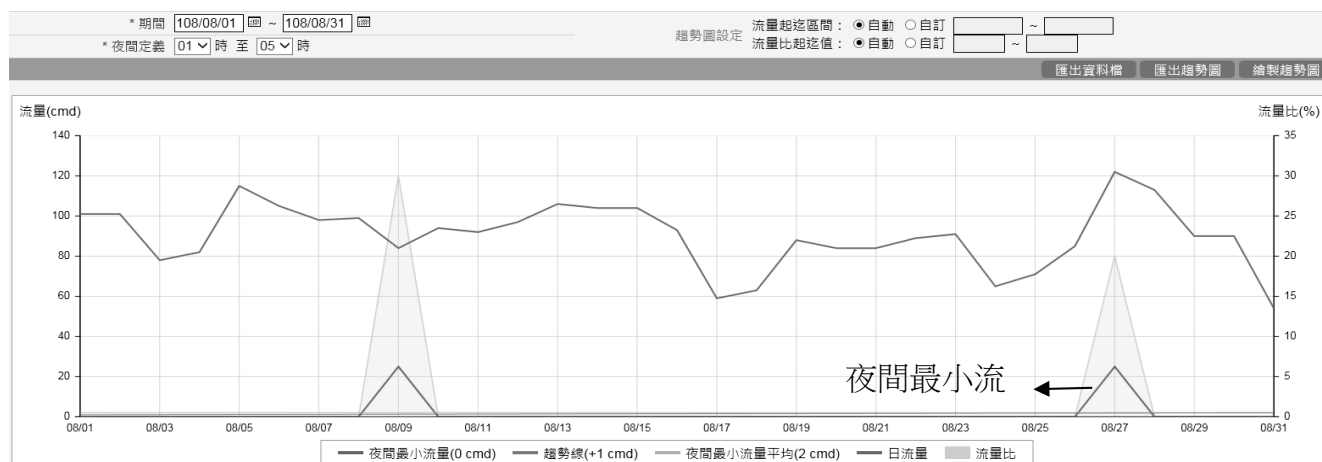


圖 5 正常夜間用水案例

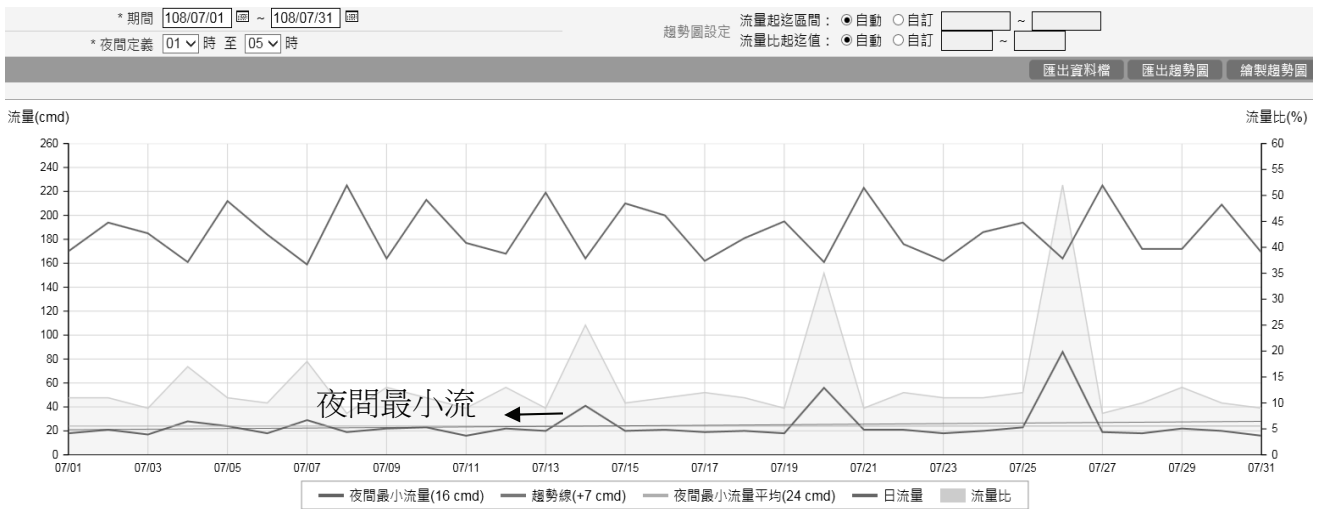


圖 6 持續進水案例

量，換算成 24 小時的流量(X 軸單位 cmd)。以圖 4 快速上升漏水量夜間最小流為例，該案例為某小學從 7 月中至 8 月上旬，MNF 均有觸底，8 月 7 日忽然突增，用水人經提醒發發現，學校暗管漏水並於 8 月 9、10 日緊急修復。另一種夜間最小流的案例(圖 5)，屬於正常夜間用水的例子。第 3 案例圖 6，夜間最小流從未觸底，如為直接表或總表，通常表後蓄水池容量，供小於需，導致長期需補水，如為分表，可能為用水設備或暗管洩漏。

## 五、結論

城市中的水資源保護是一項持續的挑戰，新資通訊科技(ICT)技術可以在其中發揮重要作用，雖然目前物聯網產業尚未進入萬物聯網 mMTC，無論是城市中地底下或家戶暗管的漏水，尚無法即時察覺，特別是用戶端每日微小的滲漏，然一旦缺水時，若能把這些平時漏掉的水聚集起來，則可變成沙漠中的甘泉綠洲，更何況缺水對社經產業所造

成的嚴重影響，及對政府和自來水機構帶來的重大壓力。現今自來水用戶僅能透過兩個月或一個月的水單知悉自我用水狀況，對於漏水情事往往事後發現，無法即時改善，從北水處 2018 年家戶節水服務查漏發現，1 年馬桶漏掉的用水量高達 1,700 萬噸，相當於全臺北市半個月用水量。雖然目前臺灣智能供水服務仍在導入階段，從北水處試辦至今，大臺北地區透過用戶端智能計量節水，總計已達到預防性節水 183 萬噸。

2018 年，法國自來水事業公司從法國南部蒙彼利埃(Montpellier)城市中擇 261 戶安裝智能計量的家庭進行田野調查，研究發現，大多數安裝智慧水表家庭，對於智能計量抱持正面積極態度，且與家庭用水的水需求管理具有顯著正相關，特別是家有花園或承租戶；另該研究也發現，部分用戶擔心無線傳輸(電磁波)與健康問題，且有不斷受到監控與不信任感產生，擔心個人數據安全問題(Montginoul & Vestire, 2018)。從國外文獻及本研究案例發現，智能計量結合終端用戶，確

實有助於水需求管理，並可幫助提早發現改善漏水。

隨著智慧城市各項基礎建設發展，城市的樣貌也跟著多元變化，未來物聯網勢必普遍於我們的日常生活中，各式各樣的數據持續不斷地產生與被儲存，這數據就如同小水滴般流動地，數以千計萬計數據，透過資訊網路線串連起一個一個小型物聯網，自動化的物流和運輸網路將無數個物聯網數據匯流成河，流向資料庫，形成 Big Data，越來越多的人與物透過通訊網路、能源網路與物流網路等等，利用這大數據，分析創造，發展成可利用資訊，並編入應用程式，推動整個智能產業的發展，創造經濟價值。數據儼然成為政府及自來水事業的關鍵工具，然在大數據時代中，在提供用戶更高價值的應用服務，協助永續環境發展的同時，除分析數據加值的質與量，強調透明度和可用性外，是否也應妥善規劃避免個資外洩，以防被有心人士利用，造成無法預期後果，鑑此，資訊安全將為智能供水服務發展中不可或缺的重要角色。

## 參考文獻

1. Greg Scoble(2018)。Welcome To The Age Of Smart Cities, 2019年1月5日取自CES網站專欄報導，網址：<https://www.twice.com/>。
2. 李泰雄、李田樹(1992)。臺北自來水八十年。臺北：臺北自來水事業處。
3. 姜唯譯(2019)。暖化臨界點更近了 研究：土壤濕度是陸地吸碳力關鍵，2019年8月10日取自環境資訊中心 TEIA 網站，網址：[https://www.sdgs-csr.org/tw/news-tw/574-climate\\_change\\_land\\_carbon.html](https://www.sdgs-csr.org/tw/news-tw/574-climate_change_land_carbon.html)。
4. 孫琳威(2019)。「LPWAN低功耗廣域網路創新應用趨勢」-工研院專題演講活動報導。證卷服務，672期，頁80-83。
5. 許芷浩(2015)。物聯網在韓國智慧城市發展的應用。台灣經濟研究月刊，8期，頁81-88。
6. 蔡傑智(2015)。雲端科技於物聯網時代之應用。電腦稽核期刊，32期，頁137-138。
7. 蕭佑和(2018)。萬物聯網，淺談IoT低功耗廣域網路趨勢：LoRa、SIGFOX、NB-IoT | 大和有話說，2019年9月1日取自MeetHub網站，網址：<https://meethub.bnext.com.tw/>。
8. Gleick, P. H. (2000). A look at twenty-first century water resources development. *Water International*, 25(1), 127 - 138.
9. Michele M., Eric W.,(2014). Moving Towards Sustainable and Resilient Smart Water Grids, *Challenges* 2014, 5, 123-137; doi:10.3390/challe5010123.
10. Montginoul, M., Vestire, A., 2018. Smart metering: A water-saving solution? Consider communication strategies and user perceptions first. Evidence from a French case study. *ELSEVIER: Environmental Modelling & Software* 104, 188-189.
11. Stavenhagen M., Buurman J. & Tortajada C. (2018). Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe, *Cities: The International Journal of Urban Policy and Planning*, 79, 187-195.

## 作者簡介

### 周麗娟小姐

現職：臺北自來水事業處西區分處抄表股股長

專長：系統專案管理、用戶服務

# 智慧水網發展探討：智慧水表之應用研究

文/林志麟、黃英閔

## 摘要

隨著智慧城市、物聯網概念興起，自來水事業單位在管理上逐步採用科技儀表來提升水資源管理效益。國際上多以「智慧水表 (Smart Water Meter)」作為發展核心，將水表的功能定位從純計量裝置轉化成智慧型感測設備，提供即時水量大數據 (Big Data) 與初步數據狀態判讀，與傳訊介面、傳訊網路、系統軟體搭配組合，以利自動讀表建置，除了解決人工抄表問題，更進一步發展各式管理功能(如漏水預警及水壓管理)，以掌握用戶用水行為，藉由供水調配操作，降低供水管網漏水損失，同時讓自來水事業單位能提供更好的客戶服務。智慧水表的導入與使用於國際間已成為智慧應用的主要量化指標，本研究蒐集國內外智慧水表的定義、發展軌跡和國際城市應用導入狀況，探討智慧水表應用對水資源管理之實質效益。國外發展智慧水網多仰賴智慧水表的大量及廣泛的布建，並由政府明訂發展期程，故我國應有明確的智慧水表時程表，並如期完成智慧水表及相關資料收集、分析系統的建置，智慧水網不僅取代人工抄表，更應注重其帶來的管理效益與數據分析應用，以利後續水務管理數據之智慧應用，促進國內水產業蓬勃發展。

關鍵字：智慧水網、智慧水表、大數據、自動讀表、漏水

## 一、前言

自來水事業單位透過水表向用戶計算水資源用量，以此作為標準收取水費。除了回收供配水成本外，並轉投入未來永續發展使用。近年來，氣候變遷急遽，水資源匱乏逐漸影響人類社會生活，並被列為未來經濟發展之可能危機之一，故自來水事業單位開始精細計算水費，並嘗試透過用水量的時序變化及用量分布，以此探究區域用水樣態、用戶用水行為，以發展智慧化的供水管理。

水表發展技術與物理學的發展相關，如 1730 年 Henri Pitot 進行流體流速的量測並發明皮托管；1738 年 Daniel Bernoulli 發表了白努利原理 (Bernoulli's principle)，描述流體速度與壓力之間關係，並根據能量守恆原理，流體流動時，其動能、位能與內能的總和不會變動。以物理學說為基底，水表的應用展開新的里程碑，如 1790 年，Reinhard Woltmann 首先發明螺旋式的葉片量測水流，現今常使用的奧多曼式水表即是以他命名 (Zyl, 2011)。技術持續發展到現在，大致可分為容積型水表、速度型水表、電磁式水表及超音波水表。

早期水表應用較專注於水費的計量與收取。然而部分地方人工抄表不易，故開始發展遠端讀表 (Remote-reading Devices) 及後續衍生的自動讀表 (Automatic Meter Reading, AMR) 技術來解決這些問題。第一個已知的

遠程讀表設備專利是由 L.Ehrlich 所取得，該技術是用於瓦斯表中；用於計量的水表則是 1917 年由 Edwin H. Ford and A. Neff 發表，1957 年才實際販售(AWWA, 2012)。在 1972 年，首個自動讀表應用案例是由 Theodore Paraskevagos 為波音公司所開發的「安全的數位傳輸感測系統」，用於公用事業體的自動抄表數據傳輸，當時主要透過電話線作為傳輸媒介(馮，2013)。

到近期，面臨人口爆炸、氣候變遷問題，各城市間供水愈趨緊張，單純的水資源計算已顯不足，故開始追求降低漏損、提高供水效率、減少用水浪費行為等目標。隨著資通訊技術發展，逐漸衍生出智慧水網、智慧水管理、智慧水表等科技產品之應用。綜合上述，本研究針對國際上自來水事業單位於智慧水表導入與應用現況進行初探。

## 二、智慧水表的定義與功能

### (一)智慧水表的定義

水表多指測量封閉管道中之自來水且具備流量顯示之儀表設備，可作為自來水交易、證明、公務檢測、環境保護、公共安全等方面依據，在我國，屬法定度量衡器，依據國家標準 CNS14866-1(經濟部標準檢驗局，2017a)定義，為「水表適用於被定義為積算量測的儀器，不論其技術，可連續測定流過之水體積之水量計」。在國際上依其計量原理可簡易分為機械式水表與電子式水表。

依據舊版 CNS14866-1(經濟部標準檢驗局，2004)之定義，機械式水表為「利用一種直接的機械程序，包括使用具有可移動壁的體積容器(容積型水量計)或利用水流作用在

運動機件的旋轉速率(速度型水量計)來量測」；2012 年所公布的 CNS14866-1(經濟部標準檢驗局，2012)，則首次將電子式水表納入規範，定義其為「依電器或電子原理及依機械原理結合電子裝置，用以計量冷飲水及熱水實際體積流量之水量計」。

智慧水表在國內又可被稱為數位水表、數位電子水表，被普遍歸類為電子式水表，主要透過電子電子元件感應葉輪產生計量，無齒輪磨耗問題，一般認為其應具備數據傳輸功能，透過數位通訊模組，將數據回傳至管理中心。

數據傳輸的過程會耗損的電力，然而水表多安裝於地底下或難引接電源之處，常有水淹、泥沙整體覆蓋之狀況，故與智慧電表相比，實難以外接電源，故智慧水表多內建電池，並具備一定等級的防塵防水等級，避免後續建置困難。

各供水事業單位與非營利組織對於智慧水表的定義不同，整理如表 1，綜合所述，認為智慧水表須結合自動讀表(AMR)，可提供特定時段的計量數據，已發現異常用水狀況，如疑似漏水問題等。

### (二)智慧水表的功能應用

綜合上述，認為智慧水表之功能或後端應用應具備下列要求：

#### 1.可遠端讀取數值-自動讀表(AMR)

智慧水表可協助用戶用水量之度數遠端回傳至自動系統中，其可協助擷取或記錄特定時段之用量數據，促使自來水事業單位的記錄間隔從過去兩個月、一個月縮短至每 10 分鐘，甚或每分鐘記錄一次，利於後續用戶用水模式分析或水頻譜分析(水量計口徑適宜性判讀)等作業執行。

表 1 國際間各單位智慧水表之定義比較

供水事業單位/非營利單位	定義
英國泰吾士水務局(2019a)	智慧水表可遠端監測用戶用量，每小時計量數據可確實反映用戶用水狀況，對於水費計算更為公平。
加拿大劍橋市政府(2019)	智慧水表利用自動讀表系統提供遠程抄表，數據分析和警報，以防止可能的漏水問題。這些即時數據有助於確保水費帳單的準確性，並使供水管理員工和用戶能夠發現潛在問題並避免不必要的水費。
Alliance for Water Efficiency (美國非營利組織，致力於水資源永續利用)(2019)	智慧水表則是一種可儲存和傳輸用水數據的測量設備。智慧水表亦可被稱為「使用時間」儀表，因為除了測量消耗量之外，它們還記錄消耗發生的日期和時間。 傳統水表每月或每兩個月讀一次，並且通過人工抄表計算用戶的水費。智慧水表可以遠端讀取並且頻繁式讀取，為用戶和自來水公司提供即時用水數據。智慧水表是自來水公用事業可選擇部署的自動讀表系統的一個組成部分。
Australian Water Association (澳洲當地協會組織，致力於水資源永續利用)(2012)	智慧水表是可連結至數據紀錄器，連續監測用水量之水表。和傳統管理方式不同(幾個月後才收到用水訊息)，智慧水表解決方案可以提供即時用水量或用水型態。因此，智慧水表提供即時數據，使客戶可以了解與管理，讓水務公司能提供更好的客戶服務。
臺北市政府-公共住宅智慧社區建置規範手冊(2016)	係指藉由電子感應來計量量測水流過水量計之體積量的器具，可透過通訊方式，如 RJ-45 或 RS-485 將數位化之資料傳送至其他系統(如台北市自來水事業處)。
中華民國自來水協會技術研究委員會(2016)	認為智慧水表應具備功能如能每日回傳水量、具備雙向溝通(Two-way Communication)功能、能發現用水異常事件、可監控用戶用水設備的運行、具有自動發送訊息給用戶的能力等。

在我國水資源管理中，自動讀表設備與通訊模式應符合國家標準 CNS14273 規範(經濟部標準檢驗局，2017b)，依照設備實際用途選擇是否集中抄表、有/無線通信方式，智慧水表的通訊模組可內建於水表內或外加於水表外，但無論何種模式，水表的指示裝置仍宜為可視，意即能直接觀看水表數值，不會被遮掩住，以避免後續計費爭議也利於用戶自行抄錄表值與管理使用。

透過自動讀表功能，水量數據可視化，管理者可即時監測區域或特地用戶的用水狀況，異常狀況及早發現改善，達到降低漏損、用水優化、行為模式分析、需量預測等

功效，使水管理更為細膩與靈活，在氣候不穩定的大環境下，以管理的方式改善現況或進一步使用者行為。

## 2.內建管理功能服務

智慧水表多已內建簡易的管理功能，本體進階功能包括漏水、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(鄭及林，2019)，因水表已先將數據做為初步處理，後端應用系統平台更可發展各種管理工具，發揮智慧水管理效益。

透過異常警示等管理功能，可縮短用戶或管理員異常狀況發生時的反應時間，使用單位亦可針對智慧水表所收集到的水量數

據建立資料庫，結合資料探勘 (Data Mining) 技術，進行用戶用水型態分析或用戶用水模式分析，以利於後續水表口徑大小判斷、供水調度作業等。

### 3. 後端服務管理

水與人類生活密不可分，從上述分析資料為基礎可發展各項用戶服務，如漏水警示、異常用水警示等，運用易於閱讀的顯示裝置幫助用戶檢查漏水。在部分限水地區，亦可透過智慧水表進行限水政策的執行 (Oracle White Paper, 2009)。

## 三、智慧水表於城市間應用現況

### (一)國外

#### 1.美國

美國水表數量約有一億只，其中 25% 為智慧水表 (中華民國自來水協會，2015)，在長期面對抗旱問題的加州已逐漸普及，為國際上屬於發展較為迅速的國家。

紐約地區可為美國智慧水表的應用指標，該地區從 2008 年開始進行智慧水表汰換，並加裝自動讀表設備，以利遠端抄表作業。2012 年時，已完成全市 835,000 個用戶無線水表設備 (MTU) 建置，用戶可至官網上查詢自身用水量 (The Official Website of the City of New York, 2018)。管理單位表示，透過用戶自我管理，預計每年可省下 9 千萬美元 (Vincent Leahy, 2017)。

舊金山也自 2009 年開始替全市 18 萬用戶汰換成智慧水表，目前有 96% 以上用戶採用智慧水表 (藍，2015)。該市水務公司認為因為智慧水表不用再仰賴 2 個月一次的抄表，每數小時便能自動更新、回報一次用水

數據，讓用戶、水公司能立即偵測到管線漏水，並派員檢修，以避免水資源平白流失 (黃，2017)。

另外，在哥倫比亞市，2017 年宣布預計斥資 4,900 萬美元，並從 2018 年開始部署智慧水表，以提升自來水公司的營運情況。該計畫預計於 2020 年底結束，每個月平均部署 6,000 只 (謝，2017)。

#### 2.中國

中國為亞太地區應用最廣泛的智慧水表市場，佔亞太市場 55% 以上 (Global Market Insights, 2017)。中國的智慧水表應用屬國家型計劃。國民經濟和社會發展第十二個五年規劃綱要發布時便發行《水利發展規劃 2011-2015》，表示傳統機械式水表的「人工抄表—計費—收費模式」不能確定使用者指定時間範圍內的水量，而智慧水表可以讀取使用者指定範圍內的用水量，因此可以準確地確定各個時間階段內水量的使用，有助於實現階梯式收費。到了第十三個五年計畫則進一步提出打造智慧城市，促進水、電等基礎設施城鄉聯網，推動節水型社會建設，期間智慧水表銷售收入占全部水表銷售比例要達到 40% (劉，2017)。

另外，2018 年前瞻產業研究院發佈的《中國智能水錶行業趨勢前瞻與投資戰略規劃分析報告》資料指出 2017 年智慧水表行業產量約 2255 萬台，伴隨著政府政策持續發展，智慧水表的市場規模也將穩步提升，到 2020 年智慧水表的滲透率將接近 45%，年出貨量 4500 萬台，市場規模將超過 170 億。(前瞻產業研究院，2018)

### 3.日本

依據日本水利研究中心(JAPAN WATER RESEARCH CENTER, JWRC)2016 年的研究指出,日本早於 1990 年代便已開始採用智慧水表與自動讀表,不過多用於解決易積雪區域的抄表問題(Japan Water Research Center, 2016)。

自 2014 年開始,各自來水事業單位進行各項試驗計畫,如神戶工業用水戶自動讀表計畫(神戶市政廳, 2017)、京都針對偏遠山區用戶進行自動讀表試驗(京都市上下水道局, 2018)、大阪針對小區域用戶進行試驗(大阪市政廳, 2019);橫濱市水務公司更宣布,自 2018 年起,將針對 500 個用戶開始汰換成智慧水表,預計 2020 年開始運作(Japan Water Research Center, 2017)。東京都水務公司則於 2018 年的水協會大會中宣布,東京都將開始進行裝設智慧水表的政策,預計在 2025 年時完成 10 萬個家戶智慧水表的裝設。並提前引進至 2020 年奧運會的宿舍大樓中(ANNnewsCH, 2018)。

### 4.英國

泰吾士水務局負責大倫敦,盧頓,泰晤士河谷,薩里,格洛斯特郡,威爾特郡,肯特等大部分地區的公共供水和廢水處理。預計於 2019 年開始推動裝設 441,000 家庭用智慧水表(英國泰吾士水務局官網, 2019b)。

## (二)國內

### 1.台灣自來水股份有限公司

約 1995 年前,大型用水戶多裝置機械式水表,為因應基層人員操作維修、抄表需求,遂逐步使用電子式水表,除了解決抄表

困難的問題,更協助智慧計量管理,故 1995 年起大量建置使用。目前供水幹管上也逐步裝設智慧水表,更利於供水監測作業使用。

對於用戶智慧水表自動讀表,台灣自來水公司第六區管理處(台南市)曾於 2000 年間開始進行 116 戶的試辦案件,然因透過電話線傳訊,維護成本過高不符,導致試辦案經濟效益不高。2017 年起,第七區管理處(高屏區域)開始鎖定工業區超大用水戶共 17 戶進行系統化的監測,冀能使水資源能妥善利用。

一般家庭住宅部分,2017 年與建商合作安,於新建置的大樓住宅裝設智慧水表,並建置管理系統完成自動讀表。

### 2.臺北自來水事業處

臺北自來水事業處已開始試辦千度以上用戶進行自動讀表管理,逐年擴大用水大戶的試辦案,讓政府服務有感,並建置用戶管理系統,開放給用戶進行查詢,截至 2018 年底已完成 1800 戶(臺北自來水事業處官網, 2019)。

於建置期間內,曾協助發現西門町大樓漏水,改善後月節省 9 萬;或某知名飯店每月減少 5700 度,月省 11 萬水費;或有社區活動中心,月省 8.8 萬水費,用戶普遍反應良好。未來規劃朝向 1000 度以上用戶皆應用施行(陳, 2016)。

在家庭用戶上,隨著智慧城市政策,於 2015 年開始於公共住宅裝設智慧水表與用戶管理系統,並於 2016 年公告「臺北市公共住宅智慧社區建置規範手冊」,承諾未來新建置的公民住宅將持續建置,該項政策也成

為該市智慧應用的典範。

台北市文山區興隆公宅為國內第一個公共住宅採用智慧水表並建置管理系統，2015 年正式完成，共計 274 戶，成為國內智慧建案的典範。管理系統整合水質、用水量資料，開放用戶透過手機 APP 平台便可查詢自身用水量，並主動提示家中水質狀況、或是否有漏水情形，使民眾管理自身用水。

公共住宅的成功，臺北自來水事業處(中華民國自來水協會，2016)歸納幾項建議，做為未來其他事業單位建置參考：智慧水表功能若過於簡易，則後續應用將受到限制。在後端傳訊介面的選擇上，為避免跨廠牌通訊協定與訊號編碼問題，導致數據漏失(可能為電氣干擾、雷擊突波產生)，系統數據與水表實際量測值偏移，恐發生計費糾紛，AMR 自動讀表功能無法發揮正常效益，徒增管理困擾，且廠商間的保固責任難以釐清。故臺北自來水事業處後續建議，智慧水表與後端傳訊介面應一併採購，與同家廠商購置，以確保訊號擷取無虞。

2017 年起臺北自來水事業處公告智慧水表增值服務收費價格表，正式啟動商業運轉模式，鼓勵建商裝置使用，用戶亦可以透過向在地區域營業分處申請付費安裝。

在未來使用上，前瞻基礎建設計畫將持續擴大施用範圍，預計於木柵二期建置智慧水網示範區，其中 2600 戶、128 棟建築物將全面汰換成智慧水表，再依智慧水表所蒐集的數據進行用戶用水量分析，擴大用戶服務範圍。2019 年更宣布，將進行全區智慧水表裝設，整體預計花 10 年 48 億完成。

#### 四、結語

水表隨著時代演進，其功能與需求亦有所不同，從初期的水費計量，到現在的智慧供水管理應用，皆代表了各時代不同的應用效益。當代隨著氣候變遷與都市化影響，智慧水表逐步成為國際城市未來發展的必備工具。智慧水表主要透過自動讀表功能與內建管理功能服務，與通訊設備結合搭建智慧水網系統，完成後端服務管理，協助自來水事業單位與用戶能管理水資源，降低水網及用戶內線漏水現象。

對於未來我國智慧水表之發展，建議應逐步發展執行，對於大型用水戶，有立即管理之必要，建議應全面遠端監測。因大型用水戶用量大，若有異常狀況發生，如漏水，其漏水量遠大於一般家庭用戶，透過智慧水表與自動讀表設備的裝設，可縮短發現異常狀況(漏水)的時間，更利於用戶自我水平衡管理；對於一般使用者，兩個月一次的水費單無法有效作為節水或管理水資源的依據，智慧水表的即時數據，能幫助用戶自我管理用水，透過附加管理功能，如超量警告、每日用水限制等，增加用戶的節水便利性。

雖然當前國內用水環境嚴峻，然而危機便是轉機，代表台灣擁有適合發展智慧用水管理的試煉場域，國內發展智慧水務產業仍必須仰賴政府相關單位的推廣及宣導，更積極促進國內水資源產業向上發展，打造水利技術大國，以提升我國水環境建設及水資源管理效益。

## 參考文獻

- 1.大阪市政廳 (2019), <https://www.city.osaka.lg.jp/hodoshiryo/suido/0000471573.html>
- 2.中華民國自來水協會技術研究委員會(2016),「智慧水表之建置與應用發展」,中華民國自來水協會104年度研究計畫。
- 3.中華民國自來水協會(2015):聰明的都市水管管理方法,中華民國自來水協會季刊,第34卷第2期。
- 4.加拿大劍橋市政府官網(2019), <https://www.cambridge.ca/en/your-city/smart-water-meters.aspx>。
- 5.前瞻產業研究院(2018),智慧城市推動智能水網建設 智能水表市場規模將穩步提升, <https://bg.qianzhan.com/trends/detail/506/181120-dc7c9a1a.html>。
- 6.京都市上下水道局 (2018), <https://www.city.kyoto.lg.jp/suido/page/0000245137.html>
- 7.英國泰吾士水務局官網(2019a), <https://www.thameswater.co.uk/my-account/water-meters/more-information/what-is-a-smart-meter>。
- 8.英國泰吾士水務局官網(2019b), <https://www.thameswater.co.uk/sitecore/content/Corporate/Corporate/About-us/our-strategies-and-plans/water-resources>。
- 9.陳燕珩(2016),「智慧水表試辦 大戶月省11萬」,中國時報, <http://www.chinatimes.com/newspapers/20160621000532-260107>。
- 10.神戶市政廳 (2017), <http://www.city.kobe.lg.jp/information/press/2017/10/20171010660001.html>
- 11.馮啟豪(2013),「水資源無線自動讀表功能」,南台科技大學碩士論文。
- 12.鄭錦澤、林守義(2019),「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」,自來水會刊第38卷第2期。
- 13.黃思敏(2017),「加州:我們回不去「正常」的用水習慣了——未來不分雨季旱季,讓節水成為一種生活態度」,社企流。
- 14.經濟部標準檢驗局(2004),「國家標準 CNS14866」。
- 15.經濟部標準檢驗局(2012),「國家標準 CNS14866」。
- 16.經濟部標準檢驗局(2017a),「國家標準 CNS14866」。
- 17.經濟部標準檢驗局(2017b),「國家標準 CNS14273」。
- 18.劉源 (2017),智能水表行業分析報告 市場需求不斷擴大,前瞻網, <https://www.qianzhan.com/indynews/detail/214/170824-748bee64.html>。
- 19.謝明珊(2017),「美哥倫比亞市斥資千萬美元升級智慧水表」,大橡股份有限公司(DIGITIMES Inc.), [https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=50&id=0000500453\\_h11542814ro95f4thq4p1](https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=50&id=0000500453_h11542814ro95f4thq4p1)。
- 20.臺北市政府(2016),「臺北市公共住宅智慧社區建置規範手冊(1.0版)」。
- 21.臺北自來水事業處官網(2019), <http://www.water.gov.taipei/cp.aspx?n=2E9B17EFBF12FB2C>。
- 22.藍弋丰(2015),「舊金山換智慧水錶有遠見,抗旱派上用場」,科技新報, <http://technews.tw/2015/04/29/san-francisco-save-water/>。
- 23.Alliance for Water Efficiency(2019), <http://www.allianceforwaterefficiency.org/smart-meter-introduction.aspx>.
- 24.American Water Works Association (AWWA). (2012), Water Meters – Selection, Installation, Testing and Maintenance, 5th ed.; AWWA: Denver, CO, USA; pp. 1 – 121.

25. Australian Water Association(2012), What are Smart Meters? Fact Sheet.
26. ANNnewsCH(2018), 水道にスマートメーター 2025 年めどで実証実験, <https://www.youtube.com/watch?v=R4J1Co3d-Xs>.
27. Japan Water Research Center(2016), Smart Water Metering in Japan, <http://www.jwrc-net.or.jp/english/research/research.html>.
28. Japan Water Research Center(2017), スマート水道メーターの最近の動向について, [http://www.zenken.com/kensyuu/kousyuukai/H30/645/645\\_sekine.pdf](http://www.zenken.com/kensyuu/kousyuukai/H30/645/645_sekine.pdf).
29. Smart Water Metering Market worth \$14bn by 2024(2017), Golbal Market Insights, <https://globenewswire.com/news-release/2017/04/19/962043/0/en/Smart-Water-Metering-Market-worth-14bn-by-2024-Global-Market-Insights-Inc.html>.
30. The Official Website of the City of New York(2018), About Automated Meter Reading (AMR), [http://www.nyc.gov/html/dep/html/customer\\_services/amr\\_about.shtml](http://www.nyc.gov/html/dep/html/customer_services/amr_about.shtml).
31. Vincent Leahy (2017), How New York is Becoming a Smart City, <https://www.ny-engineers.com/blog/how-new-york-is-becoming-a-smart-city>, New York Engineers.
32. Oracle White Paper (2009), Smart Metering for Water Utilities.
33. Van Zyl, J.E. (2011). Introduction to Integrated Water Meter Management.

## 作者簡介

---

### 林志麟先生

現職：中原大學環境工程學系 助理教授

專長：水處理技術、水資源管理

### 黃英閔小姐

現職：中原大學環境工程學系 碩士研究生

專長：水網數據分析

# 臺北自來水智慧化資訊管理系統建置與應用

文/黃騰宏、謝連達、許家成

## 一、緒論

臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）服務大臺北地區近 400 萬用戶供水，矢志提供質優量足的自來水資源。在圖資蒐集、數化及應用系統開發已有深厚基礎，系統可擷取、分析資訊，供業務查詢、管理及規劃，成為處內、民間及政府各管線單位不可或缺的重要決策資訊。但資訊技術及應用層面與時俱進，近年新課題與技術著重在資料共享、地理資訊倉儲、雲端服務、即時便民、管網監控、業務資訊整合、防災決策、大數據分析等，原有以「圖幅檔案」管理架構的自來水管網已無法支援上述的需求，因此必須針對現有的自來水管網進行優化設計，但要如何有效透過新知識與科技的結合，將概念發展成具體可行的策略與方法，且可實際推動執行，則是一項重要的新研究課題與挑戰。

北水處於民國 106 年起，採用最新地理空間資訊技術，開發全新一代管理系統，整合內部自來水管線、閥栓設備管理、即時施工數據、高精度地形圖、地籍圖及門牌號碼等空間圖資，串聯用戶端終端水費抄表資訊、自來水自動化監控系統 SCADA (Supervisor Control And Data Acquisition)、水質即時監控數據等，建立「臺北自來水智慧化資訊管理系統 (Water Intelligence System of eTaipei, WISE)」，可隨時隨地掌握全處自來水管網最新訊息，以高服務品質效率提昇城

市競爭優勢，建構永續發展環境，成就為世界一流的自來水事業管理單位。

上揭執行成果，北水處與台灣世曦工程顧問股份有限公司合作，以「臺北自來水智慧化資訊管理系統」參加台灣地理資訊學會第十五屆金圖獎，歷經層層評選及審查，從 42 件參賽作品中，榮獲「最佳應用系統獎」（圖 1）殊榮，實為對於北水處積極推動地理資訊系統之鼓勵與肯定。



圖 1 最佳應用系統獎

本文說明北水處建置智慧化資訊管理系統面臨問題及解決方法，並提出創新應用，最後探討執行成效。

關鍵字：水力分析、行動監工、智能斷水、機器學習

## 二、面臨問題

面對新技術同時，許多事業單位面臨既有環境不足的困境，北水處在挑戰一流的水事業管理路途上，存有以下幾個問題，簡述

說明如下：

### (一)資訊整合平臺老舊

北水處業務繁多，皆與空間資訊及地圖關聯，例如：水質採樣點、監測站分布圖、工程案件分布圖、停水範圍分布、直飲點、加壓站及淨水廠範圍、修漏案件分布、加壓站供水範圍圖、地籍圖、門牌、高程、地形圖、影像、管線及閘栓圖資、水質敏感區及竣工圖等，缺少整合平臺彙整空間資訊。

### (二)圖資無法即時查閱

過去現場人員為處理管線設備突發狀況，都必須先將紙圖印好帶至現場，如有缺漏時，施工人員需往返駐所調閱圖資或請辦公室同仁協助調出平面及竣工圖後，再將圖 LINE 給現場監工，使用上極度不方便，相當費時耗工且不利於現場災情之控制。

### (三)停水作業耗時費工

停水作業需要多年經驗判斷及熟悉現地，當現地人員趕往現地時，常遇圖資不足或對現地不熟悉時，往往無法即時確認應關閉那些閘，才可完成停水作業，於最短時間完成作業，造成資源浪費及民眾不安，整個停水作業耗時費工。

### (四)無法支援水力分析

水力分析人員取得管線圖資檔案後，無法直接轉製成 INP 資料進行水力分析，必須經過多個步驟後（包括在水理分析軟體 EPANET 上重新繪製、查地形圖取得節點高程、調閱用戶用水取得需水量、分配需水量至水理模型各節點、配置水源或場站基礎資訊），才可進行水力分析，因此要進行一個供水分區的水理模擬，可視為不可能的任務。

### (五)缺少動態展示平臺

目前國內多以 EPANET 來進行管網水力數值模擬，其還具有圖表呈現及水質濃度擴散分析等多種功能。然 EPANET 無法直接與地理資訊系統（GIS）的圖層資料結合，必須透過轉檔及資料前處理程序後才能將 GIS 資訊載入 EPANET 模式中運算，且分析完成的結果，過去亦僅能用 EPANET 單機軟體進行檢視，且無法與動態地圖相互整合，分析成果無法與現有設備及管網套疊，讓使用者充分瞭解其分析結果是否正確。

### (六)漏水潛能計算未精確

北水處歷年來已累積大量的漏水點資料，過去僅利用評估小區內售水率、和 100\*100 網格圖對漏水點分佈進行分析，未針對此數據再進一步利用其它分析方法找出可能造成漏水的原因及因子探討，故無法針對管線汰換順序，提供系統性建議及經費概估。

## 三、創新策略

北水處擁有 20 餘年的 GIS 發展經驗，深感企業 GIS 深化過程不單只是將資料空間資訊化或開發 GIS 應用系統所能代表，應該能滿足現在及未來需求、有深度的資料規劃、資料建置成果要能有信賴度，唯有將企業 GIS 可加值應用及可支援決策的項目納入考量後，才能使應用環境與企業作業完美結合。

為改善上述問題，以現有自來水管網為基礎，導入空間資料庫管理架構，進行自來水管網的優化設計及資料重構，在空間資料庫導入過程中，解決過去有圖無資或圖資不

符情形，作業過程中並引發出多元智慧化管網應用，並建立臺北自來水智慧化資訊管理系統（WISE），系統以自來水設備圖資為基礎、整合多元底圖、閘栓巡檢、施工資訊、即時監控資訊、即時供水歷線等資料庫類型，並整合設計圖、竣工圖、閘栓卡等實體檔案類型，至同一圖台進行呈現，系統以功能主題的方式呈現，使用者點擊最上層模組分類後，功能項目將以群組方式呈現，後續說明 WISE 應用系統六大特點：

**(一)建立即時高效率平臺**

WISE 平臺以彙整資訊、強化主題、個人呈現與介接分享等四個概念展開設計與開發作業（圖 2），應用系統整合處內各項空間資訊（圖 3），解決處內各單位圖資需求，統整內部既有 23 個線上使用的應用系統，

介接外部常用圖資，達到資訊整合多元應用，輔助日常業務執行。圖台介面規劃以功能主題的方式呈現，使用者點擊最上層模組分類後，功能項目將以群組方式呈現，並於需要細部資料時於下方呈現；當需要瀏覽地圖時，可將頁籤隱藏，以獲得最佳瀏覽空間。並考慮於行動裝置瀏覽的需求，以響應式網頁方式開發，並輔以彈跳式功能視窗設計，將功能選單縮至左上角，需要時才以滑動的方式呈現；並將功能介面以彈跳式視窗方式呈現，讓使用者不管在選擇項目或檢視地圖時，都可充分利用行動裝置有限的顯示螢幕，獲得最佳操作感受。

**(二)行動監工**

使用者除在辦公室內，在戶外也可利用手機及平板電腦讀取管網圖及相關資料，結

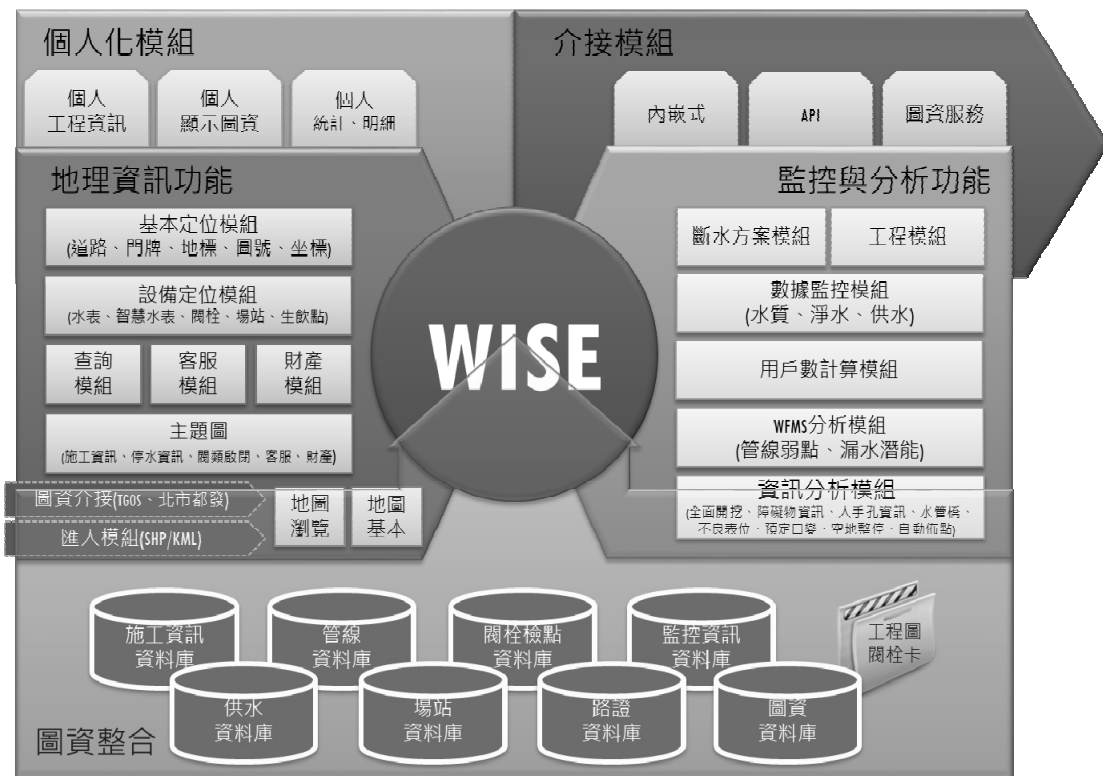


圖 2 WISE 資訊整合架構圖



圖 3 空間資訊整合範例



圖 4 外業即時調閱竣工圖範例

合 GPS 即時定位及 WISE 地圖服務功能，可提供現場第一線工程人員，透過行動裝置，可立即於現地查看管線平面圖、調閱各式工程竣工圖、閘栓圖卡及檢視各管線基礎資訊，瞭解即時災害及位置，提供研判資訊，避免管線誤挖情形。透過行動裝置開發管線圖資查詢功能，現場人員能即時查閱所需竣工圖、制水閘及消防栓圖卡（圖 4），輔助人員即時正確判斷，對於臨時性搶修案件尤見成效，明顯提升機關災害控管能力，且水資源能有效利用與節約，保障市民免受無水之

苦。

### (三)建立智能斷水

當現場發生漏水、爆管情形時，智能斷水分析功能可提供使用者完整斷水方案模擬，自動建議分階段所需關閉的制水閘，協助現場人員在停水影響範圍最小的情況下，用最短時間完成閘關閉作業，縮短民眾不便時間，並自動化依據關閉範圍，統計受影響用戶，未來可主動通知停水訊息，讓民眾可即時取得停水資訊，擴大宣傳效果。另針對自來水施工工程進行作業前宣導，可由 WISE 研判受影響區域，經由多元管道通知受影響用戶，以提昇水處服務品質及民眾滿意度(圖 5)。



圖 5 自動化判斷顯示關閉最少的閘

### (四)管網模型分析應用

過去要進行水理模型分析耗時費工，要產製一個供水分區的模型，幾乎是不可能達成的任務，若要進一步針對其它模擬分析（如爆管影響範圍或擴散分析等）進行實質探討，更是無法實質推動，現在透過系統自動化產製管網模型後，使用者僅需配置水源環境基礎資訊後，大量縮減前置作業時間，

使用者即可開始水理分析配置工作，並可引申出其它加值應用。北水處目前轄管長度為 6,311 公里，管線密度非常高，若要以全部管線進行分析，易產生效率不彰且實用性不高，因此必須針對管線資料進行預處理，經由自動化骨架萃取功能，將管網概括化，但概括化結果仍是一個完整的管網，WISE 提供預處理的功能，以現行自來水管網為基礎，依據水理分析的需求，來進行自來水管網的優化設計及管網拓撲關係重構作業，可由系統自動轉出智慧管網，產製水理分析所需要的管網結構及匯出 INP 檔案，使用者可於水理分析軟體上直接進行後續的參數設定及水理分析作業，縮短分析人員的繪製時間，及提高模型的準確性(圖 6)。

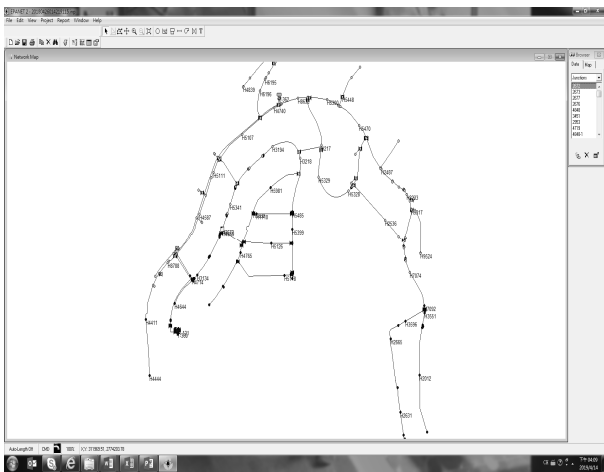


圖 6 水理分析軟體開啟管網範例圖

管網水理分析目標在模擬供水區管網的水壓與流量及水質變化的預測，做為配水管線管理與維護之輔助，應用於分區計量漏水管理之預期成效，可透過建立封閉式管網以掌握水理分析之必要條件(進出區域的水量、管線屬性功能等)，並於小區(封閉式管網)內建置即時監測系統，選用適當模式

來搜尋可能漏水點分佈，以做為未來應用於檢測漏水、水壓及水質管理之研究工具。

本專案以內湖供水示範區為例，利用系統自動化產出之模型，評估現況各時段供水情境以及未來供水情境之管網承載能力，找出管網局部供水瓶頸，提供機關管線汰換參考依據，(圖 7)；而在模型中設定管線之啟閉，可以模擬管線因爆管、維修時造成大量漏水或停水之影響範圍與影響程度，預先針對影響嚴重地區實施預防措施，提高緊急事故時之供水調度可靠性；另外，透過隨時間變化的多時段分析，模擬管網水齡分布、物質擴散預測，可評估管網水質情形，確保供水範圍內用戶用水安全。

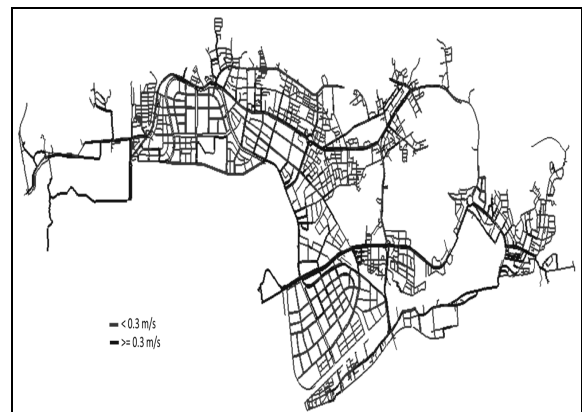


圖 7 管網流速分布示意圖

### (五)開發動態展示功能

過去使用者僅能使用 EPANET 單機軟體進行水理分析成果檢視，並無法於 EPANET 中與動態地圖相互整合，分析成果亦無法與現有設備及管網套疊，使用者無法瞭解其分析結果是否正確，因此在 WISE 平臺中開發動態展示分析結果功能，當同仁在 EPANET 中完成水理分析後，以 WISE 做為分析結果展示的平台，可讓其他同仁或長官在不受地

點與軟體的限制下，查看管網模擬結果(圖 8)，與即時實際監測數值做比較，協助判斷管網運行狀況。另外，若於分析結果中發現有異常情形，亦可利用 GIS 地圖套匯及定位功能快速查找可能造成影響範圍與地點，加速管線修漏或修改管網圖資問題。

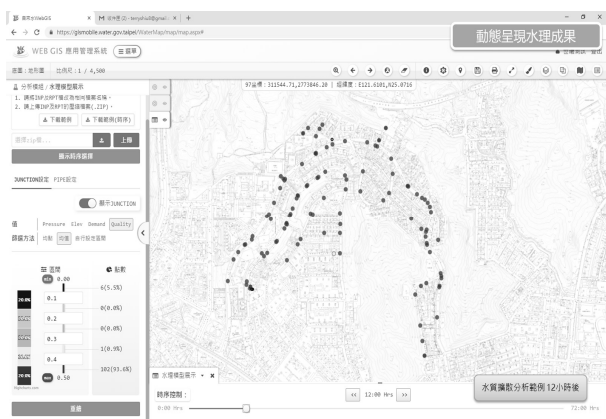


圖 8 依動態時序顯示水理分析成果

### (六)結合人工智能運算

人工智慧 (AI) 是電腦科學的一個領域，致力於解決與人類智慧相關的常見認知問題，例如學習、解決問題和模式辨識。由於統計運算效率的提高，成功地讓機器學習在很多領域更向前邁進。本次系統開發則利用 google 所提供的機器學習技術 TensorFlow，TensorFlow 容許開發者自由配置運算環境來做深度神經網絡研究，但也足以支持普通環境所需要的服務（例如透過影片進行圖像辨識）；你可以部署 TensorFlow 在使用一個或多個 CPU 或 GPU 的桌機或伺服器上，也可以透過 API 佈署在行動裝置裡，本系統結合管線及 2012-2018 漏水點的資料，並找出影響漏水的主要影響因子，分別為管線材質、管齡，如下表 1 所示，並以此為分析基礎，將現有管線進行潛能分析，

透過本次所開發的介面，上傳管線資料，並整合至小區進行顯示，讓使用者可瞭解管理範圍內各管線的漏水潛能及小區分佈(圖 9)，可預先針對管線汰換提供建議。

表 1 前 5 大影響因子對 isfix 相關係數

變數名稱	相關係數	類型
PB	0.51	材質
AGE	0.38	管齡
LP	0.29	材質
PVC	0.22	材質
DIP	0.16	材質

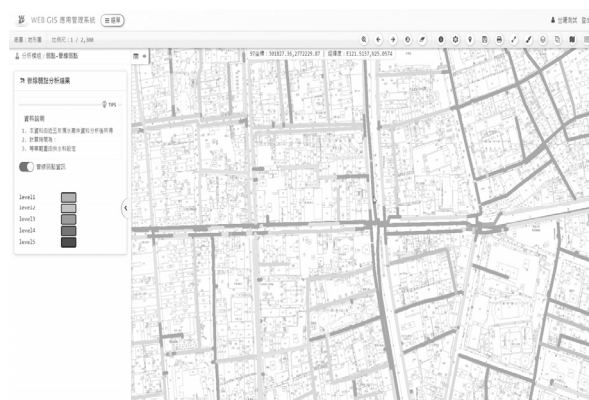


圖 9 機器學習成果範例圖

### 四、執行成效

除藉由委外計畫將轄管範圍內之自來水管線資訊釐正及檢視，並完成三維管線數位化建檔作業外，北水處積極推動創新應用及資訊系統建置，期望藉由導入資訊科技，整合自來水管線資料庫，來提昇整體應用成效。系統完成後，北水處可在都市作業資訊化、防救災反應即時化、管網分析系統化及在地作業行動化上，都可為世界一流自來水事業體及效仿對象，本系統完成後達成下列成效：



### (一)節省作業人力成本

使用者可於 WEBGIS 圖台框選範圍後，由系統自動化串接水費水表等系統等擷取水理模型所需資訊，並快速地建立管網水理模型，大量節省模型建置所需要投入的人力及時間，詳如表 2。未來若輸配水管線及相關設備有更新或其他工程上的需求，僅需數位化技術人員在 GIS 圖資及設備管理系統上做修正，便可快速且準確地更新水理模型進行後續分析。

使用者於 WEBGIS 圖台產出水理分析管網，以內湖供水分區為例，約可節省約 5,624 小時，大約 2 年 8 個月工作時間（包括重新繪製管網、計算節點高程、查詢用戶用水量、分配用水量及配置水源及分析），如圖 10 所示。

### (二)管網模型加值應用

未來透過即時資訊及水理分析，判斷可能漏水點，縮小可能漏水範圍，提升漏水點覓測之效率；並針對各管段損壞無法供水情境進行水理分析，並依序統計停水及水壓降低戶數，可做為定期巡檢或管線汰換優先順序之依據(圖 11)。

表 2 水理分析時效比較表

項目	原作業方式	新作業方式
圖資需轉置匯出	需要	不需要
圖資需重新繪製	需要	不需要
需自行建立節點高程	需要	不需要
需自行調閱用戶用水	需要	不需要
需重新分配用水量	需要	不需要
配置水源及分析	需要	需要
與地圖整合	不可以	可以

內湖示範區水理分析時間節省統計表



圖 10 內湖示範區水理分析節省時間



圖 11 管線損壞風險分析示意圖

對於一大型供水系統而言，在系統內劃分小區進行單一進水點的管理，可有效預知漏水情形，如小區封閉可行性評估(圖 12)，並在漏水發生後快速地找出可能漏水區域。而管網模型在小區劃設前，可預先針對小區範圍進行模擬分析，查看區域水壓是否能滿足該小區之用水需求，評估小區劃設之可行性。



圖 12 小區封閉可行性評估示意圖

### (三)增進防救災決策功效

藉由強化自來水管線位置圖資之有效應用與管理，促進管線設施汰舊更新，將可助益天然或人為災害之預防、應變、救護與復原。同時避免因錯挖造成停水公安事件，提昇都市防護能力。另配合水質、淨水及供水監控模組，當有數據異常時，可即時於地圖顯示，結合追蹤分析，讓首長於系統上瞭解影響所及範圍，輔助首長決策，同時若有發生水壓不足時，亦可即時預警，供承辦單位立即派員至現地瞭解，立即降低風險。

### (四)空間資訊整合共享

中央部會、臺北市及新北市已有地理資訊共同平臺，提供電子地圖、公共管線位置、門牌位置、正射影像及施工攝影等介接服務，北水處透過本系統除可介接上述最新資料，節省實體資料交換時程及存取空間，亦可透過此平台發佈最新資訊供其它單位使用，例如：施工及停水資訊、水質監測資訊、直飲台資訊及消防栓點位等，達到利便便民服務。

## 五、結語

北水處透過本系統建立，除可提供多人操作環境並且便於系統管理，且將系統功能重新整合後，新的系統平台亦可提供後續更多之加值服務，並完善大數據及雲端服務的資訊基礎環境，達成 GIS 技術提昇及多元運用環境，提供 24 小時全年無休的政府服務，透過無障礙的網路服務，隨時隨地掌握全處自來水管網最新訊息，實行資訊彙編及研判，以高服務品質效率提昇城市競爭優勢，建構永續發展環境，成就為世界一流的

自來水事業，未來亦可配合臺北市政府智慧城市的推動策略，可與其它新世代的設備技術（如智慧水表、物聯網、移動式水量計等）應用相互整合，將有助於自來水管理業務推動及管網資訊資源分享，更進一步促進水資源永續發展。

## 誌謝

本報告之完成感謝北水處陳副處長明州、廖副總工程司介廷、技術科科長時佳麟先生大力建議與指導。

## 參考文獻

1. 臺北自來水事業處「擴大GIS多元應用及支援決策」案成果報告書。
2. 臺北自來水事業處 WebGIS 系統 (<https://gismobile.water.gov.taipei/WaterMap/login/login.aspx>)
3. 陳錦祥等(2018年7月)，北水處GIS在智慧水管理的應用發展，台灣地理資訊學會年會暨學術研討會。

## 作者簡介

### 黃騰宏先生

現職：臺北自來水事業處技術科股長  
專長：自來水工程、水資源及環境工程

### 謝連達先生

現職：臺北自來水事業處技術科管理師  
專長：地理資訊、專案管理、資料處理

### 許家成先生

現職：台灣世曦工程顧問股份有限公司專案管理師  
專長：地理空間資訊、計畫工程、都市計畫

# 卡爾森「營養狀態指數(TSI)」方程式之正確性

文/周國鼎

## 摘要

我國採用「卡爾森指數(CTSI)」作為評估水庫水質營養程度的指標已有近 30 年的歷史，「卡爾森指數(CTSI)」中各參數之計算方程式係援引卡爾森於 1977 年所發表「營養狀態指數(TSI)」之相關計算方程式。因此，「營養狀態指數(TSI)」各參數計算方程式之正確性就攸關著我國所採用「卡爾森指數(CTSI)」之準確性。

在卡爾森所著「A Trophic State Index for Lakes」(中譯：湖泊營養狀態指數)之論文中，卡爾森為推導出湖泊水質的透明度、生物質濃度、總磷濃度等 3 個「營養狀態指數(TSI)」之數學方程式，共計列出 13 項方程式，其中方程式(9)、(10)、(13)等 3 項推導有誤，而方程式(13)更直接關係著我國「卡爾森指數(CTSI)」中總磷(TP)指數計算之正確性。

卡爾森發表該篇論文迄今已有 42 年之久，我國採用「卡爾森指數(CTSI)」作為水庫水質管理指標也至少將近 30 年了，期間不論是我國或是國際社會，都未曾有人對卡爾森所研發之「營養狀態指數(TSI)」提出修正建議。

雖然修正我國水庫水質管理指標之影響層面廣泛，甚至可能引起民間團體質疑動機，然為正確了解水庫水質營養狀態，以利施政決策之參考，進而避免浪費政府公帑，政府相關機關有必要徵詢專家學者、民間團

體及水庫相關(管理、使用)機關之意見，檢討修正我國水庫水質管理指標。

本文之目的在於探討卡爾森所研發「營養狀態指數(TSI)」方程式之正確性，雖然渠等方程式與我國「卡爾森指數(CTSI)」相關方程式之間也存有差異，不過本文中並不會加以著墨。

關鍵詞：優養化、總磷、CTSI

## 一、前言

108 年 9 月上旬某平面媒體大幅刊載標題為「全國水庫水質大調查 鳳山、明德水質最差」之報導，其導言指稱「本島優養化的水庫則包括明德、白河、鏡面、澄清湖、鳳山、阿公店 6 座，其中鳳山及明德百分之百優養化，水質最差」，再度引起社會各界對於水庫水質優養化的關切。

造成水庫優養化的可能原因包括家庭污水的排入、農牧業污染、水庫底泥釋出營養鹽等；而水庫優養化會導致自來水廠淨水成本增加、水中有機物及消毒副產物增加、甚至產生藻毒素藻臭味等不良影響。

水庫優養化之判定依據乃行政院環境保護署所訂「卡爾森指數(Carlson Trophic State Index, CTSI)」，水庫水質之「卡爾森指數(CTSI)」值超過 50 者，該水庫就被歸類為「優養」(eutrophic)類別；低於 40 者，則歸類為「貧養」(oligotrophic)類別；介於 40 與 50 之間者，則歸類為「普養」(mesotrophic)類

別，我國使用該指數迄今已有超過數十年的歷史。

我國所採用之「卡爾森指數(CTSI)」，顧名思義該指數發明者之名字為卡爾森，惟實際上，「卡爾森指數(CTSI)」與卡爾森於 1977 年所發表「營養狀態指數(TSI)」相較，僅湖泊水質的透明度、生物質濃度、總磷濃度等 3 個參數之計算方程式雷同，二者評估水質營養狀態之方式則不同。我國使用「卡爾森指數」之名稱，容易誤導使用者或閱聽者認為其與卡爾森所研發之「營養狀態指數(TSI)」完全無異。

由於我國所採用「卡爾森指數(CTSI)」各參數之計算方程式係援引卡爾森所研發「營養狀態指數(TSI)」之相關計算方程式。因此，「營養狀態指數(TSI)」各參數計算方程式之正確性就攸關著我國所採用「卡爾森指數(CTSI)」之準確性。

## 二、營養狀態指數(TSI)

### (一)出處

卡爾森所研發「營養狀態指數(TSI)」係出自其於 1977 年所發表名為「A Trophic State Index for Lakes」(湖泊營養狀態指數)之論文。

卡爾森全名為 Robert E. Carlson，時任職於美國明尼蘇達大學湖沼學研究中心，後為美國肯特州立大學(Kent State University)生物學系教授。卡爾森已於 2010 年退休，畢生致力於湖泊營養狀態之研究，並曾發表多篇相關學術論文。

### (二)意涵

在「A Trophic State Index for Lakes」(湖泊營養狀態指數)之論文中，卡爾森開發出一個以數值方式顯示湖泊營養狀態的指數，該指數就稱之為「營養狀態指數(TSI)」。卡爾森之所以開發該指數，是因為當時使用傳統的營養分級系統，無法簡單明瞭的向公眾溝通說明湖泊的當下性質或狀態以及未來恢復後的狀況。「營養狀態指數(TSI)」可以將大多數湖泊納入 0 至 100 的範圍內，每差一個級別(如 10、20、30 等)，就代表藻類生物量的倍增。

根據卡爾森所引用數據，他發現湖泊水質的透明度、生物質濃度、總磷濃度 3 者間呈高度相關性。卡爾森認為當磷濃度增加時，就代表藻類可獲取食物的來源增加，因此藻類濃度隨之增長；而當藻類濃度增加時，水質的透明度就會降低，沙奇盤(Secchi Disk)透明度的數值也就隨之下降。

因此，卡爾森希望找出湖泊水質的透明度、生物質濃度、總磷濃度 3 個參數間之相關性及各參數指數之數學方程式，而湖泊營養狀態的指數數值可以從這幾個參數中的任何一個計算而得，無須全數計算。

卡爾森所使用透明度、生物質濃度、總磷濃度等 3 個參數分別是物理性、生物性、化學性等 3 種屬性之代表。

### (三)參數方程式

在「A Trophic State Index for Lakes」(湖泊營養狀態指數)之論文中，卡爾森根據所收集到的數據，最終推導出湖泊水質的透明

度、生物質濃度、總磷濃度等 3 個參數指數之數學方程式依序如下列 3 式，方程式中之 SD 代表透明度、Chl 是葉綠素 a 濃度、TP 則為總磷濃度。

$$TSI(SD) = 10 \left( 6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right)$$

SD：透明度(m)

$$TSI(Chl) = 10 \left( 6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln Chl}{\ln 2} \right)$$

Chl：葉綠素 a 濃度(mg/m<sup>3</sup>)

$$TSI(TP) = 10 \left( 6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2} \right)$$

TP：總磷濃度(mg/m<sup>3</sup>)

### 三、「營養狀態指數(TSI)」方程式之驗證

在「A Trophic State Index for Lakes」(湖泊營養狀態指數)之論文中，卡爾森為推導出湖泊水質的透明度、生物質濃度、總磷濃度等 3 個參數指數之數學方程式，共計列出 13 項方程式，以下將逐項討論各方程式之正確性。本文中方程式所採用編號完全比照原論文中者。

#### (一)方程式(1)

卡爾森指出，藻類生物量與沙奇盤透明度之間的關係，可由水中光的垂直消光方程式表示如下：

$$I_z = I_0 e^{-(k_w + k_b)z} \quad (1)$$

其中  $I_z$  是沙奇盤消失深度處的光強度， $I_0$  是水面的光強度， $k_w$  是水及溶解物質對光的衰減係數， $k_b$  是顆粒物質對光的衰減係數， $z$  是沙奇盤消失的深度。

#### (二)方程式(2)

$k_b$  可以改寫為  $\alpha C$ ，其中  $\alpha$  的單位是  $m^2 mg^{-1}$ ， $C$  是顆粒物質的濃度( $mg m^{-3}$ )。方程式(1)可以改寫如下式：

$$z = \left( \ln \frac{I_0}{I_z} \right) \left( \frac{1}{k_w + \alpha C} \right) \quad (2)$$

#### (三)方程式(3)

將方程式(2)重新排列為線性方程式如下：

$$\left( \frac{1}{z} \right) \left( \ln \frac{I_0}{I_z} \right) = k_w + \alpha C \quad (3)$$

根據 Hutchinson (1957)及 Tyler (1968)之研究， $I_z$  約為  $I_0$  的 10%，可以視為一個常數。 $\alpha$ ，是沙奇盤上方水柱中每平方公尺的粒狀物質量的倒數，會因顆粒的大小、光吸收以及光散射特性而變化，但通常人們認為該值不會隨藻類濃度而變化。卡爾森在其論文中，將它視為一個常數。

#### (四)方程式(4)

方程式(4)為「營養狀態指數(TSI)」之立論基礎。

卡爾森所設計「營養狀態指數(TSI)」的邏輯是依據藻類生物量的倍增來作為營養

狀態級別的劃分，也就是每當藻類生物質的濃度從某個基礎值加倍時，就會產生另一個新的營養狀態級別。由於生物質濃度與沙奇盤透明度之間的倒數關係，生物量的每次倍增都會導致透明度減半。因此，卡爾森將沙奇盤透明度值轉換為以 2 為底的對數，當沙奇盤透明度對數值每次多 1 時，就代表生物質濃度較前個透明度者多了 1 倍。

卡爾森認為尺標上的零點（代表水質中毫無營養物質）應該是大於有史以來沙奇盤值中曾經記錄過的值，當時最大值是日本 Masyuko 湖的 41.6 公尺，該值是由 Hutchinson 在 1957 年所記錄的。而在以 2 為底的對數刻度上，下一個最大整數值是 64 公尺。卡爾森就定義在透明度為 64 公尺時，水質的營養狀態指數(TSI)值為 0，此值可從指數數值 6 減去  $\log_2 64$  而得之，進而產生 TSI 計算方程式如下：

$$TSI = 10(6 - \log_2 SD) \quad (4)$$

該數值之所以乘以 10，是卡爾森希望使尺標的範圍是從 0 到 100，而不是 0 到 10。方程式(4)立論合理，其正確性無誤。

#### (五)方程式(5)

卡爾森根據收集到的沙奇盤透明度與葉綠素 a 之數據，分別進行對數轉換，再作迴歸分析，得到的方程式如下：

$$\ln SD = 2.04 - 0.68 \ln Chl \quad (5)$$

其中沙奇盤透明度值以公尺為單位；葉綠素 a 濃度取自表水附近者，單位以  $\text{mg}/\text{m}^3$

計。

因卡爾森在「A Trophic State Index for Lakes」(湖泊營養狀態指數)論文中，並無提供相關數據之數值，因此本文假設該迴歸分析無誤。

#### (六)方程式(6)

卡爾森根據收集到的沙奇盤透明度與總磷倒數之數據作迴歸分析，可以得到以下方程式：

$$SD = \frac{64.9}{TP} \quad (6)$$

其中總磷之單位以  $\text{mg}/\text{m}^3$  計。

卡爾森在論文中並無提供相關數據之數值，因此本文假設方程式(6)之迴歸分析無誤。

#### (七)方程式(7)

卡爾森根據所收集到 7 月和 8 月的葉綠素與總磷之數據，加以迴歸分析，可以得到以下方程式：

$$\ln Chl = 1.449 \ln TP - 2.442 \quad (7)$$

卡爾森在論文中並無提供相關數據之數值，因此本文假設方程式(7)之迴歸分析無誤。

#### (八)方程式(8)

方程式(7)是卡爾森根據所收集到 7 月和 8 月間的葉綠素與總磷之數據，加以迴歸分析而得，不過卻和 Dillon 和 Rigler 在 1974 年所推導出關於春季總磷和夏季葉綠素間關係的方程式(如下)類似。

$$\ln Chl = 1.449 \ln TP - 2.616 \quad (8)$$

卡爾森在論文中並無提供相關數據之數值，因此本文假設方程式(8)無誤。

**(九)方程式(9)**

卡爾森將方程式(5)和方程式(7)結合，產生方程式(9)。

$$\ln SD = 3.876 - 0.98 \ln TP \quad (9)$$

惟實際上將方程式(7)代入方程式(5)，所得之方程式與方程式(9)有出入，計算過程如下。

$$\begin{aligned} \ln SD &= 2.04 - 0.68 \ln Chl \\ &= 2.04 - 0.68(1.449 \ln TP - 2.442) \\ &= 2.04 - 0.985 \ln TP + 1.661 \\ &= 3.701 - 0.985 \ln TP \end{aligned}$$

本人將上述修正之方程式(9)編號為方程式(9\*)。

$$\ln SD = 3.701 - 0.985 \ln TP \quad (9^*)$$

**(十)方程式(10)**

卡爾森為簡化方程式(9)，故改寫為方程式(10)。

$$SD = 48 \left( \frac{1}{TP} \right) \quad (10)$$

惟實際上根據方程式(9)推導，所得之方程式與方程式(10)有些微出入，計算過程如下。

$$\begin{aligned} \ln SD &= 3.876 - 0.98 \ln TP \\ \ln SD + 0.98 \ln TP &= 3.876 \\ e^{(\ln SD + 0.98 \ln TP)} &= e^{3.876} \\ e^{\ln SD} \times e^{0.98 \ln TP} &= 48.23 \\ SD \times TP^{0.98} &= 48.23 \\ SD &= 48.23 \left( \frac{1}{TP^{0.98}} \right) \end{aligned}$$

不過，上述方程式係根據錯誤之方程式(9)推導而得，因此正確之方程式(10)應該要依據方程式(9\*)推導而得，計算過程如下。

$$\begin{aligned} \ln SD &= 3.701 - 0.985 \ln TP \\ \ln SD + 0.985 \ln TP &= 3.701 \\ e^{(\ln SD + 0.985 \ln TP)} &= e^{3.701} \\ e^{\ln SD} \times e^{0.985 \ln TP} &= 40.49 \\ SD \times TP^{0.985} &= 40.49 \\ SD &= 40.49 \left( \frac{1}{TP^{0.985}} \right) \end{aligned}$$

本人將上述修正之方程式(10)編號為方程式(10\*)。

$$SD = 40.49 \left( \frac{1}{TP^{0.985}} \right) \quad (10^*)$$

**(十一)方程式(11)**

方程式(11)係根據方程式(4)，從沙奇盤透明度來計算營養狀態指數，其計算方程式如下：

$$TSI(SD) = 10 \left( 6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right) \quad (11)$$

由方程式(4)推導至方程式(11)，僅是簡單之指數運算原理運用，其正確性無誤。

**(十二)方程式(12)**

方程式(12)係根據方程式(5)，從葉綠素來計算營養狀態指數，其方程式如下：

$$TSI(Chl) = 10 \left( 6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln Chl}{\ln 2} \right) \quad (12)$$

由方程式(5)推導方程式(12)，係將方程式(5)代入方程式(11)，即可得方程式(12)，計

算過程如下，其正確性驗證無誤。

$$\begin{aligned} TSI(Chl) &= 10 \left( 6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right) \\ &= 10 \left( 6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln Chl}{\ln 2} \right) \end{aligned}$$

### (十三)方程式(13)

方程式(13)係根據方程式(10)，從總磷濃度來計算營養狀態指數，其方程式如下：

$$TSI(TP) = 10 \left( 6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2} \right) \quad (13)$$

由方程式(10)推導方程式(13)，係將方程式(10)代入方程式(11)，即可得方程式(13)，計算過程如下，其正確性驗證無誤。

$$\begin{aligned} TSI(TP) &= 10 \left( 6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right) \\ &= 10 \left( 6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2} \right) \end{aligned}$$

惟方程式(10)前已證明有誤，應修正為方程式(10\*)，因此正確之方程式(13)應該要依據方程式(10\*)推導而得，故將方程式(10\*)代入方程式(11)，計算過程如下：

$$\begin{aligned} TSI(TP) &= 10 \left( 6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right) \\ &= 10 \left( 6 - \frac{\ln \frac{40.49}{TP^{0.985}}}{\ln 2} \right) \end{aligned}$$

本人將上述修正之方程式(13)編號為方程式(13\*)。

$$TSI(TP) = 10 \left( 6 - \frac{\ln \frac{40.49}{TP^{0.985}}}{\ln 2} \right) \quad (13^*)$$

### (十四)「營養狀態指數(TSI)」方程式驗證之彙整

前述「營養狀態指數(TSI)」方程式之逐項驗證，彙整列表如表 1，總計 13 項方程式，計有方程式(9)、(10)、(13)等 3 項需要修正。

### 四、我國「卡爾森指數(CTSI)」

我國採用「卡爾森指數(CTSI)」作為評估水庫水質營養程度的指標已有近 30 年的歷史，雖然名為「卡爾森指數(CTSI)」，實際上僅各參數之計算方程式與卡爾森所研發「營養狀態指數(TSI)」之相關方程式雷同，其評估水質營養狀態之方式則不同。

有關水庫水質營養狀態之評估方式，世界各國並無一致的標準。國際上所使用水庫水質管理指標包括「單一參數」及「多參數」等 2 種類型，二者各有利弊，我國現行指標「卡爾森指數」屬於「多參數」者。「單一參數」指標直接依照該參數之數值，來分類其營養狀態；「多參數」指標則根據各參數計算出的數值，加總換算營養狀態指數，再據以判定營養狀態分類。

#### (一)「卡爾森指數(CTSI)」之計算

根據行政院環境保護署「全國環境水質監測資訊網」(<https://wq.epa.gov.tw/Code/Business/Standard.aspx>)，要求得「卡爾森指數(CTSI)」，需先分別計算水中的透明度(SD)、葉綠素 a (Chl-a)及總磷(TP)等 3 項水質參數之指數值。

表 1 「營養狀態指數(TSI)」方程式驗證彙整表

序號	方程式	修正方程式
1	$I_z = I_0 e^{-(k_w+k_b)z}$	-
2	$z = \left( \ln \frac{I_0}{I_z} \right) \left( \frac{1}{k_w + \alpha C} \right)$	-
3	$\left( \frac{1}{z} \right) \left( \ln \frac{I_0}{I_z} \right) = k_w + \alpha C$	-
4	$TSI = 10(6 - \log_2 SD)$	-
5	$\ln SD = 2.04 - 0.68 \ln Chl$	-
6	$SD = \frac{64.9}{TP}$	-
7	$\ln Chl = 1.449 \ln TP - 2.442$	-
8	$\ln Chl = 1.449 \ln TP - 2.616$	-
9	$\ln SD = 3.876 - 0.98 \ln TP$	$\ln SD = 3.701 - 0.985 \ln TP$
10	$SD = 48 \left( \frac{1}{TP} \right)$	$SD = 40.49 \left( \frac{1}{TP^{0.985}} \right)$
11	$TSI(SD) = 10 \left( 6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right)$	-
12	$TSI(Chl) = 10 \left( 6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln Chl}{\ln 2} \right)$	-
13	$TSI(TP) = 10 \left( 6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2} \right)$	$TSI(TP) = 10 \left( 6 - \frac{\ln \frac{40.49}{TP^{0.985}}}{\ln 2} \right)$

水中透明度(SD)、葉綠素 a (Chl-a)及總磷(TP)等 3 項水質參數指數之計算方程式，大致上與卡爾森所研發之「營養狀態指數(TSI)」者(即方程式(11)、(12)、(13))雷同，其方程式依序如下：

$$TSI(SD) = 60 - 14.41 \times \ln SD$$

$$TSI(Chl-a) = 9.81 \ln Chl-a + 30.6$$

$$TSI(TP) = 14.42 \ln TP + 4.15$$

式中：

SD：透明度(m)

Chl-a：葉綠素 a 濃度( $\mu$  g/L)

TP：總磷濃度( $\mu$  g/L)

將水中的透明度(SD)、葉綠素 a (Chl-a)及總磷(TP)等 3 項水質參數指數值加總，再取其平均值，即為「卡爾森指數(CTSI)」值，其計算式如下：

$$CTSI = \frac{TSI(SD) + TSI(Chl) + TSI(TP)}{3}$$

值得注意的是，卡爾森所研發之「營養狀態指數(TSI)」並無類似我國「卡爾森指數(CTSI)」，取前述 3 項水質參數指數值之加總平均值作為評估水質營養狀態之作法。

## (二)水庫水質營養狀態之分類

我國水庫水質營養狀態之分類係依據「卡爾森指數(CTSI)」判斷，水庫水質之營養程度依序區分為貧養、普養及優養等 3 類，數值愈大者代表水中營養物質愈豐富，其分類方式如下：

貧養(oligotrophic)：CTSI<40

普養(mesotrophic)：40≤CTSI≤50

優養(eutrophic)：CTSI>50

## (三)「卡爾森指數(CTSI)」應用範圍

臺灣地區共有 95 座水庫，其中位於本島之水庫計有 65 座、澎湖地區 8 座水庫、金門地區 13 座水庫、連江地區 8 座水庫及臺東縣綠島鄉酬勤水庫 1 座水庫。這些水庫分別隸屬包括經濟部水利署、台灣自來水股份有限公司、台灣電力股份有限公司、地方政府、農田水利會等主管機關或事業。

依據行政院 106 年 7 月 10 日核定「前瞻基礎建設計畫--水環境建設」加強水庫集水區保育治理計畫，對於特予保護水庫水體(具優養化潛勢者)之特定集水區，應優先設置營養鹽削減及控制設施，減輕水庫營養鹽污染負荷，以期在計畫執行期間，執行範圍水庫水體之卡爾森指數呈現下降之趨勢。

為評估水庫優養化潛勢之改善，前述水庫需定期執行水質採樣，量測水中的透明度(SD)、葉綠素 a (Chl-a)及總磷(TP)等 3 項水質數值，再計算各參數指數值之加總平均值，以求得其卡爾森指數。

## 五、結論

在卡爾森所著「A Trophic State Index for Lakes」(湖泊營養狀態指數)之論文中，卡爾森為推導出湖泊水質的透明度、生物質濃度、總磷濃度 3 個參數指數之數學方程式，共計列出 13 項方程式，由表 1 得知，其中方程式(9)、(10)、(13)等 3 項方程式需要修正，而方程式(13)更直接關係著我國「卡爾森指數(CTSI)」中總磷(TP)指數計算之正確性。

卡爾森發表該篇論文迄今已有 42 年之久，我國採用「卡爾森指數(CTSI)」作為水庫水質管理指標也至少將近 30 年了，期間不論是我國或是國際社會，都未曾有人對卡爾森所研發之「營養狀態指數(TSI)」提出修正建議。

水庫水質管理指標如同水庫健康檢查項目，意旨為了解水庫水質營養狀態，以作為水庫管理或使用相關機關（構）決策依據，進而採取適當作為。如果管理指標有誤，或不當應用管理指標，政府投入資源將付諸流水，無法發揮預期效用。尤有甚者，水庫水質與民眾用水之安全性息息相關，輿論及社會各界對於我國水庫水質莫不隨時保持高度關注，因此，水庫水質管理指標之正確與否絕對不容小覷。

雖然修正我國水庫水質管理指標之影響層面廣泛，甚至可能引起民間團體質疑動機，然為正確了解水庫水質營養狀態，以利施政決策之參考，並有效運用政府公帑，政府相關機關有必要加快腳步徵詢專家學者、民間團體及水庫相關（管理、使用）機關之意見，檢討修正我國水庫水質管理指標。

### 參考文獻

- 1.自由時報，全國水庫水質大調查 鳳山、明德水質最差，取自 <https://news.ltn.com.tw/news/life/paper/1315547>
- 2.行政院環境保護署，臺灣地區給水水源優養化評估法之建立及其優養化程度調查(一)，79年9月
- 3.行政院環境保護署全國環境水質監測資訊網

，卡爾森指數，取自 <https://wq.epa.gov.tw/Code/Business/Standard.aspx>

4.經濟部，「前瞻基礎建設計畫--水環境建設」加強水庫集水區保育治理計畫，106年7月

5. Carlson, R. E, A trophic state index for lakes, *Limnology and Oceanography*, 1977

### 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

# 自來水事業服務品質評鑑指標之探討

文/楊凱甯、陳品如、李丁來

## 一、前言

提升顧客服務品質是自來水事業的重要業務。其中服務品質的優劣如何分辨，主管機關又該如何評鑑自來水事業的績效？本文茲將探討澳洲、巴西、荷蘭、英國、美國和台灣等國家的主管機關，如何運用服務品質評鑑指標，來提升自來水事業的服務品質。

關鍵字：自來水指標、服務品質、評鑑指標

## 二、自來水服務品質的主管機關

### (一)澳洲

澳洲近年來進行水務治理改革轉型，在 2014 年之前，由國家水務委員會（National Water Commission, NWC）統籌管理，在澳洲自來水事業上，它扮演著的監管和服務品質評鑑的重要角色。從 2014 年之後，NWC 將所有職責回歸各政府的相關部門（NWC, 2015）。

由各政府的相關主管機關，負責監管公用事業單位訂價及服務品質。例如：維多利亞州的基本服務委員會（Essential Services Commission, ESC）或新南威爾士州的獨立定價和監法院庭。

為達到服務質量目標，由主管機關個別制定評鑑各自來水事業服務品質的績效指標，各自來水事業皆須達到其規定的標準，如未能達到目標，甚至必須支付費用賠償，以賠償用戶的損失。

### (二)巴西

世界銀行自 1992 年起，資助「巴西的水務現代化計畫」，幫助其建立一套國家級系統及自來水和廢汙水處理的績效評鑑機制。從 1996 年起，由國家衛生資訊系統（National Sanitation Information System, SNIS）進行蒐集有關自來水服務品質、財務績效、營運效率等自來水資訊。同時，由巴西監管協會（Association of Brazilian Regulators, ABAR）負責宣導。

巴西自來水事業的服務品質係由當地的主管機關負責管理監督，各州的主管機關可自訂評鑑標準和績效指標。例如，在塞阿拉州主管機關為「塞阿萊斯省法定代表人塞加雷斯的法定代表人（Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará, ARCE）」，由它制定服務品質標準和執行監督，目的在促進自來水事業資訊透明，保護顧客利益，並確保自來水事業的服務品質。

### (三)荷蘭

荷蘭水務由「荷蘭水務公司協會（Association of Dutch Water Companies, VEWIN）」主管。VEWIN 於 1997 年導入水務事業自發性評鑑標準，該標準於 2011 年已立法通過。該標準包括四個面向：1.水質、2.服務品質、3.環境品質、4.財務績效。為評鑑自來水事業，VEWIN 不但訂定標準評鑑自來水事業，還直接對用戶進行調查，以評估用戶對自來水事業的滿意度和期望，而這套評鑑標準也適用於廢(汙)水業。

#### (四)英國

英國是由英國水務辦公室(Office of Water Services, Ofwat)擔任各家自來水事業的監管者，以確保各家自來水事業皆提供顧客一定水準的服務品質；Ofwat 負責訂定各民營自來水事業於經濟上的規範，Ofwat 在法令上的義務包含保護顧客的利益、確保各家公司提供顧客優良的服務品質、供水及污水處理系統是否能夠永續經營，以及確認各家公司皆能發揮其效能並且維持良好的財務狀況。

Ofwat 利用四個面向來評估自來水事業的績效：用戶體驗的可靠性、可用性，對環境的影響以及財務狀況 (Ofwat, 2012a)。所有的英國自來水用戶均獲得最低服務標準的保證，即「保證標準計畫 (Guaranteed Standards Scheme, GSS)」。此與澳洲部分地區相同，一旦英國自來水事業未能達到上述任何的服務標準，即必須向受影響的顧客支付賠償費用。

#### (五)美國

美國各家自來水事業可自發性參加由美國兩大自然水產業協會 American Water Works Association (簡稱 AWWA) 及 Water Environment Federation (簡稱 WEF) 創立的評鑑計畫(QualServe)，以一年為一期，計畫內容涵蓋組織發展、顧客關係、營業計劃與管理、供水操作，以及污水處理等項目。參加此計畫的單位透過同業之間相互評鑑的過程，不僅能以客觀、有效率的評鑑標準去評量自身的表現，也能與其他性質相似的單位相互比較與學習，進而提升自身的營運效

率。

以 Columbus Water Works (簡稱 CWW) 為例，CWW 其中一個策略性目標為減少用戶無水可用的時間，而欲達成此目標，須透過良好的專業訓練、存貨管理、及時的反應時間，透過加入 QualServe (一項一年一期、自發性的評量計畫，其中包含組織發展、顧客關係、營業計劃與管理，以及供水操作和污水處理等面向。) CWW 得以透過每年的自評結果，評估其與目標值的差異程度，藉以改善其內部的操作及營運管理，並與其他表現優異的單位相互競爭與學習。

#### (六)台灣

台灣總共有 4 家自來水事業公司，以供水轄區最廣的台灣自來水公司為例，其為經濟部所屬的國營事業，而國營事業的服務品質之評鑑稱為「工作考成」。在法制上呈現出體系化的管理架構，包括法律、法規命令及行政規則等層次化的法位階體系，法律係由立法院制定、法規命令由國家發展委員會 (前行政院研究發展考核委員會) 訂定、行政規則由目的事業主管機關經濟部訂定，故自來水服務品質之評鑑主管機關為「經濟部 (國營事業委員會)」。

經濟部所屬國營事業之考核程序，依「國營事業年度工作考成作業要點」規定，分為三個階段：國營事業自評、經濟部初核、行政院複核。

##### 1.國營事業自評：

國營事業每年度終了，檢討經營結果填列自評報告，併同年度結算書於次年 2 月 25 日前提報主管機關，並副知各複核小組

成員（成員包括國家發展委員會、行政院經濟能源農業處、行政院人事行政總處、行政院主計總處等機關）。

### 2. 經濟部初核：

主管機關收到所屬事業提報之自評報告及執行政策因素影響金額明細表後，邀集至少 3 位學者專家進行審查後，完成初核報告，於 3 月函送行政院。

實務上，第一階段（未加計政策因素）各公司提報自評報告至經濟部後，由工作考成業務主管單位國營事業委員會綜整各公司資料後分送經濟部會計處、人事處、能源局、水利署等機關單位初擬評分。

第二階段（加計政策因素）由政策審議會工作小組，就政策因素影響金額作成初審意見，提報政策審議會審議。審議會通過之各公司政策因素影響金額，作為年度績效獎金及工作考成初評之參考依據。

### 3. 行政院複核：

各複核小組成員收到各國營事業副知之前一年度工作考成自評資料，以及各主管機關之初核資料後，依據複核分工辦理複核，並於 4 月將複核結果及複核分數，送國發會綜整後作成工作考成總報告。

經濟部辦理初核及行政院辦理複核時，除依各項指標計算公式核算分數外，尚得依各項指標目標值設定之挑戰度、社會輿論觀感，酌予增減分數。

## 三、自來水服務品質的評鑑指標

### (一) 澳洲

澳洲主管機關為促進水務事業達到服務品質目標，會計算出一組服務品質評鑑標

準，然後發布實施，並在年度報書中，對各水務事業進行比較。某些地區，尤其是維多利亞州水務主管機關 ESC 訂定最低績效標準，要求其中未達績效標準的水務事業，須對用戶給予財務性的補償，稱為「服務水準保證」(Marques and Simões, 2010)。

下表 1 為 ESC 所採用的服務品質評鑑指標。

表 1 澳洲 ESC 採行的服務品質評鑑指標

用水費負擔	顧客服務
平均每戶用水量	來電數
平均每戶用水費	有效
自有	無效
出租	平均接聽時間(秒)
欠費停水戶數(每 100 戶)	30 秒內接聽率(%)
供水效能	飲用水質
供水中斷	微生物含量(%)
計畫型	濁度(%)
非計畫型	水質客訴案(%)
平均復水時間	環境績效
計畫型	廢水回收率(%)
非計畫型	CO <sub>2</sub> 排放總量(噸)
用戶平均停水時間	
計畫型	
非計畫型	
破管及漏水	
水量及水壓可靠度	

澳洲主管機關因考量客戶在尖峰用水期間(每日的早上 5 點至 9 點及下午的 5 點至晚上 11 點)，若遇停水事件，必定對生活帶來諸多的不便及困擾，故訂定一項指標，以

衡量尖峰用水期間，因計畫型停水事件所受影響的客戶數量，並詳細計算一件停水事件，平均需花費多少時間才能復水。更定期檢視一年內客戶遭遇停水事件的數目，由此顯見，ESC 很重視停水事件帶給客戶的影響，也企圖降低客戶因停水事件而受到影響的程度。

澳洲主管機關評鑑顧客服務品質時，採用「神秘訪客」方式進行電話測聽，以獲得較客觀的數據資料，並制定一套電話禮儀的評估標準，以利客服人員對於電話禮儀，有較完整的標準化流程可以遵循，其項目包含：開場問候語、單位名稱、個人姓名、詢問來電者是否需要任何協助、結束用語等，並將接聽電話之語氣分類為「樂意協助、溫暖的」、「公事公辦、平淡的」、「放鬆的、溫和的」、「冷漠、簡要的」，以評鑑考核客服人員的電話禮儀。

## (二)巴西

巴西 ARCE 的服務品質評鑑，訂有「指標手冊」，按主類別、子類別分類，並訂有目標、及評分標準，下表 2 為 ARCE 的採行的服務品質評鑑指標。

表 2 巴西 ARCE 採行的服務品質評鑑指標

指標
供水穩定度
水質-大腸菌(%)
水質-餘氯(%)
水質-濁度(%)
客訴量

上表 2 指標“供水穩定度”是利用平均停水次數和平均停水時間相乘得出的。

“客訴量”則為每年每千個有效電話中的客戶投訴量 (ARCE, 2013 年)。

巴西為比較整個拉丁美洲的自來水事業服務品質，美洲水和環境衛生主管實體協會 (Association of Water and Sanitation Regulatory Entities of the Americas, ADERASA) 自創一套標準績效指標。又為獎勵管理績效卓越的自來水事業，從 1997 年開始，巴西衛生與環境工程協會 (ABES) 設立廣受歡迎的國家衛生品質獎 (Popular National Sanitation Quality Award, PNQS)，即所謂的巴西年度「衛生品質奧斯卡獎」，以表彰巴西衛生組織中最佳的管理事業，於每年 11 月舉行頒獎典禮，並舉辦為期兩天的「標竿事業觀摩展」，進行知識分享。PNQS 的另一個重要作為，是在頒獎典禮後，將 ABES 服務品質評鑑期末報告分送給各事業單位，並附上詳細的分數和執行摘要，說明其優勢和需要改進之處。除此之外，ABES 還邀請屢獲殊榮的事業部門負責人，參加為期一周的國際標竿之旅 (由 ABES 全額付費)，通常前往歐洲或美國，與其他國家分享最新技術和管理方法，促進國際間水務專家之意見交流。

## (三)荷蘭

荷蘭水協會 (Association of Dutch Water Companies, VEWIN) 非常重視客戶的期望是否被滿足，將服務品質的高低，定義為「自來水事業可以達到客戶期望的程度」，並為了解客戶實際感受，每年蒐集 12,000 份的民意調查報告，以評量各家公司的服務品質。下表 3 為 VEWIN 採行的服務品質評鑑指標。

表 3 荷蘭 VEWIN 採行的服務品質評鑑指標

指標
水質(平均指數)
水質(未符合法規)
水質(0-10 分)
顧客滿意度(0-10 分)
20 秒內應答率(%)
停水時間(分鐘)
能源使用率(kWh/m <sup>3</sup> )
廢水回收率(%)
服務成本(元/m <sup>3</sup> )

荷蘭將客服人員接聽電話的速度納入服務品質的評量標準中，以降低客戶等待客服人員接聽的時間。結果發現：納入評量標準後，客服人員接聽速度有顯著成長。根據統計，2012 年當年有 7 成的電話會在 20 秒內被接通，相較 2009 年進步 2%，更較 2006 年進步 32%。(VEWIN,2012)。

為提高服務品質，荷蘭自來水事業主管機關 VEWIN 還對計畫和非計畫供水中斷的復水時間進行標準測試。在 2012 年，定期維護造成供水中斷的復水時間平均每案 9：30 分鐘(最小值 4：29 分鐘，最大值 17：23 分鐘)。由於計畫外供水中斷的復水時間，平均為每案 15：27 分鐘。根據歐洲標準研究合作組織 (European Benchmarking Cooperation, EBC) 進行的研究，荷蘭自來水事業的供水中斷時間，比其他歐洲國家 (EBC 會員) 內的的供水中斷時間少 50% (VEWIN, 2012 年)。

#### (四)英國

英國水務辦公室 (Office of Water Services, Ofwat) 在實際計算各家自來水事業服務品質的分數時，係以各家自來水事業接

到的書面及電話客訴案件數量，以及顧客的問卷調查結果作為指標，來了解顧客對於各家自來水事業處理結果是否感到滿意。

Ofwat 重視的不僅是當下顧客的滿意度，而是更長遠的顧客滿意度目標—「何謂顧客真正重視的價值？」，以顧客利益為第一優先考量，還包含環境保育、資產活性化、服務品質及漏水率等面向，並以此目標為前提，要求各家自來水事業提出欲達成的目標，以及達成目標必備的獎懲辦法 (Outcome Delivery Incentives, ODIs)；獎懲辦法的存在即意味著自來水事業達到目標，即可獲得財務性的獎勵，但若未達成目標，亦須付出一定的賠償或代價。在 ODIs 機制的運作下，英國各家自來水事業必須制定適當且合宜的績效指標及獎懲辦法，以達到 Ofwat 訂定的最終目標—「提供顧客優良的服務品質」。

下表 4 為英國 Ofwat 採行的服務品質評鑑指標。

表 4 英國 Ofwat 採行的服務品質評鑑指標

目標	指標
水量足	漏水率
	平均用水量
	節能環保
水質優	水質客訴量
	未達水質標準
供水穩定	非計畫型停水超過 12 小時
	主幹管破管率
	計畫型停水未提前通知用戶
	計畫型停水時間超過預定停水時間
精實服務	客戶服務
	營運效能

### (五)美國

美國之自來水事業服務品質評鑑計畫稱為 QualServe，本文以喬治亞州中西部的哥倫布水廠（CWW）為例，說明 QualServe 如何執行。下表 5 為 QualServe 採行的顧客面服務品質評鑑指標。

表 5 美國 QualServe 採行的服務品質評鑑指標

顧客面指標
客訴處理
停水時間 計畫型 非計畫型
每一用戶的服務成本
水單的正確性

CWW 明白若要有效提升客服人員電話服務的品質，首先需要了解目前客戶的來電是否獲得最有效率及最適當的處置，尤其是尖峰時段，客戶能否順利地獲得客服人員的協助，故 CWW 採取的策略是監測客戶服務的電話系統，而監測的結果，確實發現無論是客服電話系統顯示忙線的時間、客戶待聽時間以及未接通電話比率皆偏高。

為解決此問題，CWW 並非採取雇用更多接聽人力的短期措施，而是從更長遠的角度投資引進「interactive voice response (簡稱 IVR) 互動式的語音答覆系統」，讓客戶能透過 IVR 取得帳單資訊、辦理延長帳單期限、語音付費等，而結果亦顯示上述的問題確實獲得解決，在系統全面上線後的第一年，即達成語音答覆系統付費比例的目標 (17%)。

CWW 其中一個策略性目標為減少客戶

無水可用的時間，而欲達成此目標，須透過良好的專業訓練、存貨管理、及時的反應時間，透過加入 QualServe（一項一年一期、自發性的評鑑計畫，其中涵蓋組織發展、客戶關係、營業計劃與管理，以及供水操作和汙水處理等面向。）CWW 得以透過每年的自評結果，評估其與目標值的差異程度，藉以改善其內部的操作及營運管理，並與其他表現優異的單位相互競爭與學習，型塑自來水事業公司間的良性競爭，藉以改善自來水事業的營運效率，降低營運成本，並不斷提高顧客滿意度。

### (六)台灣

經濟部訂有「經濟部所屬事業年度工作考成實施要點」作為經濟部所屬國營事業服務品質評鑑依據。

以 108 年度為例，「經濟部所屬事業 108 年度工作考成實施要點」中考核面向分業務經營、財務管理、生產管理、企劃管理、人力資源管理、環境保護與工業安全、其他等七大面向，其次依據獨（寡）占類事業及競爭類事業，分為訂定不同的經營績效評估面向、指標及初核單位、指標配分權數、評量計算方式，作為考核依據。

其中自來水事業的評估指標總計 18 大項，每項配分權重由 1 分至 10 分不等。權重最高的前 3 項為固定資產建設改良擴充執行力、工業安全、降低漏水率，其他項目權重配分均在 6 分以下。下表 6 為台灣經濟部採行的服務品質評鑑指標。

表 6 台灣經濟部採行的服務品質評鑑指標

面向	評估指標	配分
業務經營	營業利益目標達成率	6
	營運能力：	
	售水率	3
	供水普及率	3
	降低漏水率	8
	供水穩定度	6
	調度管控達成率	2
財務管理	顧客滿意度	3
	資產報酬率	4
	短期償債能力	2
生產管理	償債能力保障(倍)	4
	主要產品單位生產成本控制	6
企劃管理	固定資產建設改良擴充執行力	9
	研究發展貢獻度	4
人力資源管理	員工生產力	5
	用人費率	5
環境保護與工業安全	環保執行力	6
	工業安全	9
	降低供水單位用電量之節能減碳	3
	供水水質合格率	2
其他	大口徑管線爆管減少率	2
	公司治理	6
	行動支付服務	2

#### 四、結語

各國自來水服務品質的主管機關，利用各式各樣的服務品質績效評鑑指標，來督促所屬自來水事業單位達到服務品質的標準。每一項指標策略，均因時、因地制宜，依據時代的演進，以及地域性做調整，例如：澳洲、英國和台灣，係將評鑑指標連結強有力的財務獎勵措施，或懲罰措施執行，而荷蘭和美國，則公開服務品質的評鑑結果，作為自來水事業自行改善顧客品質服務的參考，故沒有一項策略是放諸四海皆準，也沒有一項策略是百分之百能夠提升自來水的服務品質，或是完全符合用戶對自來水服務品質的期望；最終，唯有在用戶感受得

到服務品質提升時，方能清楚明白自來水管理策略的有效性。

所有的案例，僅能提供自來水營運管理的借鏡，抑或是未來努力的參考方向之一，但無論是在何地，或是採行何種評鑑指標，一致的趨勢都導向「以顧客利益為優先考量」上，將用戶的用水權益視為自來水事業的責任與使命，努力提供民眾量足、質優的自來水，是所有自來水事業的共同要務。

#### 參考文獻

- 1.台灣自來水公司(2019)，台灣自來水事業107年統計年報。
- 2.經濟部(2019)，經濟部所屬事業108年度工作考成實施要點。
- 3.VEWIN (2012). Reflections on Performance Benchmarking in the Dutch drinking water industry. [http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publications/Cijfers/Vewin\\_reflections\\_on\\_performance\\_2012.pdf](http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publications/Cijfers/Vewin_reflections_on_performance_2012.pdf)
- 4.Amir Cahn (2016). Benchmarking Quality of Service: An International Comparison of Water Regulators. SWAN。

#### 作者簡介

##### 楊凱甯小姐

現職：台灣自來水公司第六區管理處支援經濟部國營

事業委員會企劃控制師

專長：自來水營運服務及管理

##### 陳品如小姐

現職：台灣自來水公司營業處管理師

專長：自來水營運服務及管理

##### 李丁來先生

現職：台灣自來水公司總工程師

專長：自來水工程規設及營運管理、漏水防治管理

# 水中鋁檢驗方法差異探討

文/楊昭端、趙文燦、吳美慧、賴明芬

## 摘要

台水公司各區處水質課使用環境保護署環境檢驗所公告之鋁檢驗方法(共有三種),辦理轄區淨水場原、清水之鋁含量檢測,經查各種方法皆有其特殊規定,尤以石墨爐式原子吸收光譜儀方法,因其適用範圍較有限制(20 - 200  $\mu\text{g} / \text{L}$ ),用此方法檢測台水公司例行樣品相對辛苦。檢量線標準品與樣品酸度匹配、環境帶入之干擾及溫度控制等等,均為檢測結果準確與否之因素,對於上機前的性能確認亦有其必要性。

關鍵字：鋁、原子吸收光譜、自來水

## 一、前言

由於鋁於幾年前陸續被媒體關注,世界各國也相繼訂定飲用水中鋁含量標準或建議值。行政院環保署於 2014 年 1 月修正的「飲用水水質標準」,已將「鋁」管制標準增列,逐年限縮管制上限,最終於 2019 年 7 月降到底限 0.2 mg/L。為此,台水公司各區處水質課自 2012 年起,正式將「鋁」納入水質檢驗規範,成為例行監測項目。且為確保數據正確性,台水公司總管理處曾數次辦理區處間比對,發現差異頗大,爰啟動本計劃,期能找出原因,解決數據差異的問題。

## 二、研究方法

### (一)研究對象、範圍：

台水公司各區管理處水質課檢測鋁所使用之方法儀器各不相同,本計畫委託大仁

科技大學許美芳老師,逐一前往各區處實驗室,針對鋁之檢驗現場檢視其樣品前處理程序、上機步驟、數據處理之狀況,找出其差異及問題。

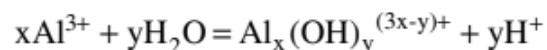
### (二)文獻探討：

鋁的化學反應包含多價鋁金屬離子在水中產生一系列的水解與聚合、沉澱,生成各種羥基多核鋁離子,進而產生氫氧化鋁沉澱物。而鋁因為其兩性化學特徵及水解聚合反應強烈,故其化學特性與其他金屬離子相當不同。

在鋁水解反應的過程中,由於各種水合鋁離子的羥基配位數未達飽和,剩餘的孤對電子會使得各個單核鋁離子彼此間發生架橋結合稱為羥基架橋作用。如下式：<sup>[1]</sup>



聚合反應是在兩相鄰單核羥基鋁離子的羥基之間架橋形成一對具有共用邊的八面體結構,隨著溶液 pH 值的升高,水中鋁離子的水解聚合反應會不斷發生並生成各種複雜的羥基多核鋁物種。因此對於水中鋁離子的一系列水解、聚合直至沉澱的化學反應可綜合表示為：



平衡常數式則為：

$$K_{xy} = \frac{[\text{Al}_x(\text{OH})_y^{(3x-y)+}][\text{H}^+]^y}{[\text{Al}^{3+}]^x} \frac{f_{xy} f_{\text{H}^+}^y}{f_{\text{Al}^{3+}}^x \alpha_{\text{H}_2\text{O}}^y}$$

f 值表示溶液中各個離子的活性係數

由上述可知，Al(III)的水解單核物種有  $Al^{3+}$ 、 $Al(OH)^{2+}$ 、 $Al(OH)_2^+$  及  $Al(OH)_3$  多種型態，此外多位學者曾提出相關的多核鋁物種有  $Al_2(OH)^{4+}$ 、 $Al_2(OH)_2^{4+}$ 、 $Al_3(OH)_4^{5+}$ 、

$Al_3(OH)_{15}^{3+}$ 、 $Al_7(OH)_{17}^{4+}$ 、 $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ 、 $Al_{13}O_4(OH)_{24}(H_2O)_{12}^{7+}$  等等<sup>[2]</sup>；此外還有  $[Al(OH)_3]_n$  氫氧化鋁膠體或沉澱物。歷年文獻中提出的各種羥基鋁水解聚合物種的平衡常數彙整如下表 1。

表 1 鋁水解聚合物平衡常數表

平衡方程式	logK(@ 25°C)	參考文獻
$Al^{3+} + H_2O = Al(OH)^{2+} + H^+$	-4.97	Baes and Mesmer(1976)
$Al^{3+} + 2H_2O = Al(OH)_2^+ + 2H^+$	-9.30	Baes and Mesmer(1976)
$Al^{3+} + 3H_2O = Al(OH)_3(aq) + 3H^+$	-15.0	Baes and Mesmer(1976)
$Al^{3+} + 4H_2O = Al(OH)_4^+ + 4H^+$	-23.0	Baes and Mesmer(1976)
$2Al^{3+} + 4H_2O = Al_2(OH)_2^{4+} + 4H^+$	-7.7	Baes and Mesmer(1976)
$3Al^{3+} + 4H_2O = Al_3(OH)_5^{5+} + 5H^+$	-13.94	Baes and Mesmer(1976)
$6Al^{3+} + 15H_2O = Al_6(OH)_{15}^{3+} + 15H^+$	-47.0	Bersillon et al.(1978)
$7Al^{3+} + 17H_2O = Al_7(OH)_{17}^{4+} + 17H^+$	-48.8	Bersillon et al.(1978)
$8Al^{3+} + 20H_2O = Al_8(OH)_{20}^{4+} + 20H^+$	-68.7	Matijevic & Tezak(1953)
$3Al^{3+} + 32H_2O = Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+} + 32H^+$	-98.73	Baes and Mesmer(1976)
$13Al^{3+} + 34H_2O = Al_{13}O_4(OH)_{26}^{5+} + 34H^+$	-97.39	Bersillon et al.(1978)
$Al^{3+} + 3H_2O = Al(OH)_3(am) + 3H^+$	-33.0	Bersillon et al.(1978)

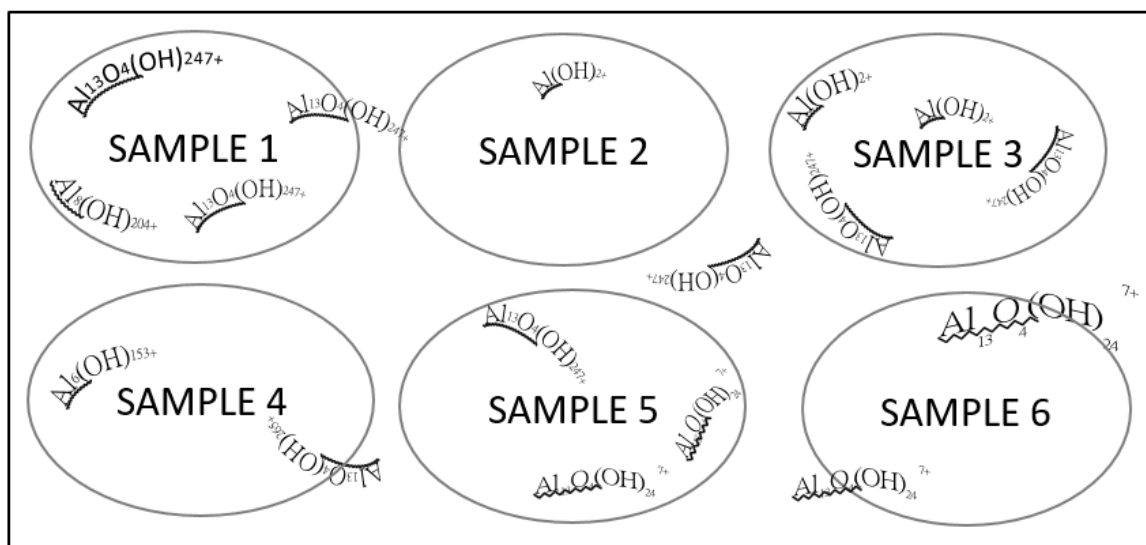


圖 1 不同鋁型態在水中分佈示意圖

由於鋁的特性，存在水中鋁會因聚合、水解，呈不均勻分布，推測檢測數據之差異與採樣方式有關，如圖 1 所示，六個紅色橢圓代表採集樣品位置，則雖於同一水域採集，所採之樣品「鋁」之含量大不相同。

### (三)樣品配製

為使樣品保有真實樣品之基質，取 0.8mL 濃度 1000mg/L 的鋁標準品，加入含有適當自來水的 5000mL 定量瓶中並以自來水定量至定量瓶刻線。由於自來水中含鋁量為

未知數，故結果以 12 個區處之標準偏差計算。本次參與實驗之水質課均使用同一瓶樣品，現場搖勻取樣，以排除採樣所帶來差異之因素。

### (四)現有資訊整理：

由於各區處轄區大小不一、樣品特性及數量亦大相逕庭，考量經濟及實務面，每個區處使用的儀器及方法並不相同，檢量線配製範圍亦不同，彙整如表 2。

表 2 各區處鋁檢驗儀器及方法一覽表

區處	儀器名稱	廠牌型號	方法	波長 nm	檢量線範圍 (mg/L)	MDL (mg/L)
一	石墨爐式 AA	PE/Pin AAcle 900Z	W303.51A	394.40	0.015~0.60	0.0045
二	石墨爐式 AA	PE/Pin AAcle 900Z	W303.51A	396.15	0.0375~0.20	0.0139
三	ICP/OES	PE/2100DV	W311.53C	308.21	0.010~0.25	0.0029
四	石墨爐式 AA	PE/Pin AAcle 900Z	W303.51A	394.40	0.02~0.30	0.007
五	石墨爐式 AA	PE/ Pin AAcle 900Z	W303.51A	309.27	0.02~0.10	0.0054
六	微波消化爐+ICPMS	CEMMARS Xpress Thermo/X Series2	W313.53B	27(MS)	0.008~1.0	0.00518
七	微波消化爐+ICP/OES	MARS/ Classic XP PE/Optima 2100DV	W311.53C	396.15	0.05~0.80	0.018
八	微波消化爐 ICPMS	CEM/MARS Agilent/7500cs	W313.53B	27(MS)	0.016~0.48	0.0041
九	石墨爐式 AA	PerkinElmer/900Z	W303.51A	309.27	0.015~0.15	0.0046
十	石墨爐式 AA	PE/Pin AAcle 900Z	W303.51A	309.27	0.01~0.10	0.0034
十一	石墨爐式 AA	PE/Pin AAcle 900Z	W303.51A	309.27	0.01~0.04	0.0032
十二	石墨爐式 AA	PE/AA900Z	W303.51A	394.40	0.02~0.30	0.0068

### 三、結果討論

#### (一)消化步驟探討

各區處依使用儀器不同而有不同消化方法，皆是參考行政院環境保護署環境檢驗所所公告之方法，茲摘錄如下：

##### 1. 石墨爐式原子吸收光譜法：

- (1) 取適量(50~100mL)之水樣（取樣前，應將水樣充分混合均勻）置於錐形瓶或燒杯中，加入 5mL 濃硝酸及數粒沸石(注意：可能會造成一些重金屬空白值增高)，置於加熱板上，宜以錶玻璃覆蓋避免可能之污染，緩慢蒸發至約剩 10 至 20mL（注意：不可蒸發至乾）。
- (2) 冷卻後加入 5mL 濃硝酸，加熱迴流至近乾，重複此步驟至溶液呈無色、淡黃色或澄清且顏色不再變化為止。
- (3) 以少量試劑水淋洗錶玻璃及燒杯內壁(如有需要可予以過濾)。移入 100mL 或其他體積之量瓶，若有需要可加入適量的基質修飾劑再以試劑水稀釋至刻度。或上機時將基質修飾劑置於取樣杯上，分析時再由取樣臂混合至石墨爐中。

##### 2. 感應耦合電漿發射光譜儀：

- (1) 將酸化保存之水樣搖晃均勻，取 100mL（或適量體積）於容器中，繼加入 2mL(1:1) 硝酸及 1mL (1:1) 鹽酸。
- (2) 置於加熱板或適當之加熱消化裝置上，將

溫度控制於 85℃ 左右，加熱至體積約剩 20mL（注意：不能讓樣品沸騰）。

- (3) 此時蓋上錶玻璃，繼續加熱迴流 30 分鐘（此階段可讓樣品稍微沸騰，但仍不能讓樣品過度劇烈沸騰）。
  - (4) 經上述消化處理後之水樣，再以試劑水稀釋至 50mL，如發現有不溶解顆粒，可以靜置自然沉澱法或離心法分離，若分離後仍有不溶解顆粒會阻塞霧化器，則可取部分消化溶液進行過濾，惟過濾過程中應避免可能之污染。
- ##### 3. 微波消化：
- (1) 取 45mL（若有需要，可減少取樣體積）經充分混合且均勻化之水樣，置於具有洩壓裝置之消化瓶中。
  - (2) 於排煙櫃中加入 5±0.1mL 濃硝酸；或分別加入 4±0.1mL 濃硝酸及 1±0.1mL 濃鹽酸消化液。
  - (3) 消化程式設定在使每個樣品約 10 分鐘內加熱到達 170±5℃，並在該溫度下維持加熱 10 分鐘。
  - (4) 依消化程式完成消化後，消化管可於微波消化裝置中靜置冷卻至少 5 分鐘以上再取出，或利用自行架設之冷卻裝置加速冷卻。
4. 每個方法的消化步驟所添加之酸液不同，溫度要求亦不同(表 3)。

表 3 各方法消化參數

方法	添加之酸液	溫度要求	時間
石墨爐式原子吸收光譜法	10 mL 濃硝酸/50~100 mL	-	加熱迴流至近乾
感應耦合電漿發射光譜儀	2 mL (1:1) 硝酸及 1 mL (1:1) 鹽酸/100 mL	85 °C	85°C 至 20mL 再迴流 30 分鐘
微波消化	5 ± 0.1 mL 濃硝酸/45 mL	170 ± 5°C	10 分鐘

為了解樣品消化是否必要，取一個樣品，分成 14 份，其中 7 份消化 7 份不消化，再分別檢測消化或不消化之測值(表 4)，將兩組測值以統計方法 F 檢定(表 5)、T 檢定評估(表 6)。

表 4 消化必要性測試

樣品	鋁 mg/L(消化)	鋁 mg/L(未消化)
1	0.0517	0.0405
2	0.0418	0.0368
3	0.0435	0.0370
4	0.0421	0.0350
5	0.0451	0.0413
6	0.0462	0.0341
7	0.0407	0.0332

表 5 F 檢定：兩個常態母體變異數的檢定

	鋁-消化	鋁-未消化
平均數	0.044442857	0.036842857
變異數	1.39262E-05	9.57619E-06
觀察值個數	7	7
自由度	6	6
F	1.454251616	
P(F<=f) 單尾	0.330402511	
臨界值：單尾	4.283865714	

表 6 T 檢定：兩個母體平均數差的檢定

	鋁-消化	鋁-未消化
平均數	0.044442857	0.036842857
變異數	1.39262E-05	9.57619E-06
觀察值個數	7	7
Pooled 變異數	1.17512E-05	
假設的均數差	0	
自由度	12	
t 統計	4.147693743	
P(T<=t) 單尾	0.000676068	
臨界值：單尾	1.782287556	
P(T<=t) 雙尾	0.001352136	
臨界值：雙尾	2.17881283	

由表 4，F 檢定計算結果可知 F 值小於理論值，判定數據再現性佳，可信度佳。由表 5，T 檢定計算結果 T 值大於理論值，研判消化與未消化兩者有顯著差異。

我們也對常用之石墨消化熱板之溫度是否均一做了測試，如下(圖 2)，高低溫差距達 5.5°C(圖 2)，樣品於熱板中消化效果之差異亦為造成結果差異原因之一，此次測試的熱板每一孔洞溫度均於 85°C 以上，尚符合方法要求。

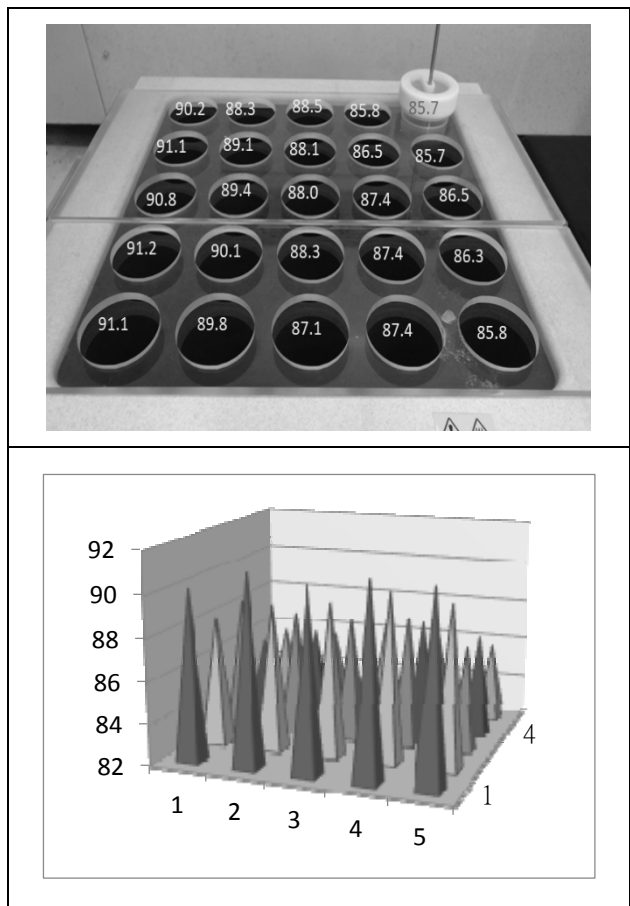


圖 2 消化熱板溫度分布圖

(二)檢量線配製規定之異同

檢量線亦因不同儀器而有不同之配製規定，環境檢驗所公告方法摘錄如下：

1. 石墨爐式原子吸收光譜法：標準溶液的基質儘可能與樣品基質匹配，在大部份情況

下，只需考慮樣品中酸濃度的匹配情況。

- 2.感應耦合電漿原子發射光譜法：500 mL 定量瓶內混合適量體積的標準儲備溶液，續加入 20 mL (1:1) 硝酸及 20 mL (1:1) 鹽酸，最後以試劑水稀釋至標線。
- 3.感應耦合電漿質譜法：檢量線空白溶液組成應與稀釋標準溶液所使用之酸液相同（通常為 1% (v/v)硝酸溶液）。
- 4.上述 3 種方法，其中石墨爐式原子吸收光譜法方法之檢量線標準品強調須考慮樣品中酸濃度的匹配情況，為測試檢量線標準品中酸濃度是否影響吸收值，我們製備不同酸濃度之檢量線，再以石墨爐式儀器測定檢量線線性。三種不同酸濃度檢量線分別為：A.各濃度點以純水定量配製、B.各濃度點各加 10mL 硝酸後再以純水定量(與消化樣品相同酸度匹配)、C.各濃度點以含 1%硝酸之稀釋水定量，其中 B 配製方法酸度最高與亦最接近樣品酸度。

每檢量線各配製五個不同濃度上機，結果如表 7，以 B 配製方法之檢量線吸收值顯

著較低，顯示含高濃度酸之樣品，其黏滯性會影響取樣管線中之流速，感度相對較低，故方法建議須考慮樣品中酸濃度的匹配情況。

### (三)基質修飾劑

當待測物已受到明顯的干擾時，可使用儀器製造廠商所建議的其他基質修飾劑。修飾劑的功能有二：一是與待測元素反應，生成較不易揮發的化合物，避免待測元素在灰化過程中逸失；另一是與樣品基質反應，生成較易揮發的化合物，以使基質在灰化過程中去除，減少干擾。環境保護署環境檢驗所公告水中金屬檢測方法－石墨爐式原子吸收光譜法(NIEA W303.51A)建議之修飾劑種類如下：

- 1.硝酸鎂溶液 (10,000mgMg/L)：溶解 10.5g 硝酸鎂[Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O]於試劑水中，並稀釋至 100mL。
- 2.硝酸鎳溶液(10,000mgNi/L)：溶解 4.96g 硝酸鎳[Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O]於試劑水中，並稀釋至 100mL。

表 7 酸濃度匹配結果影響

配製方法 \ 檢量線濃度(ppm) \ 吸收度	0.015	0.030	0.060	0.150	0.300	R 值
各濃度點以純水定量配製	0.0526	0.0753	0.1353	0.4346	0.7870	0.9977
各濃度點各加 10mL 硝酸後再以純水定量配製	0.0394	0.0696	0.1310	0.3853	0.6461	0.9955
各濃度點以含 1%硝酸之稀釋水定量配製	0.0536	0.0748	0.1316	0.3406	0.7910	0.9967

3.磷酸溶液(10%V/V)：以試劑水稀釋 10mL 濃磷酸至 100mL。

4.硝酸鈾溶液 (4000mgPd/L)：溶解 8.89g 硝酸鈾[Pd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O]於試劑水中並稀釋至 1L。

5.檸檬酸溶液(4%)：溶解 40g 檸檬酸於試劑水中並稀釋至 1L。

該方法並提供各項金屬元素適用之修飾劑(表 8)，其中並無“鋁”之建議修飾劑。

表 8 石墨爐式原子吸收光譜分析金屬元素之的基質修飾劑參考表

修飾劑	元素
1500mg Pd/L + 1000mg Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> /L	銀,砷,銅,錳,銻,錒,錫
500-2000 mg Pd/L + reducing agent	銀,砷,鎘,鈷,鉻,銅,鐵,錳,鎳,鉛,銻
5000mg Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> /L	鈷,鉻,鐵,錳,
100-500 mg Pd/L	砷,錫
50 mg Ni/L	砷,錒,銻
2%PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> +1000 mg Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> /L	鎘,鉛

由於原廠建議以 0.015mg Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>做為修飾劑，可以幫助元素裂解或原子化的效能，本次我們試以硝酸鎂作為修飾劑添加，觀測其差異，結果由訊號可知濃度 0.02 mg/L Al 之吸收值由 0.00077 升至 0.06367；濃度 0.2 mg/L Al 之吸收值由 0.00539 升至 0.51878，吸收值明顯提高，如(圖 3、圖 4)。

#### (四)特徵濃度

##### 1.原子吸收光譜儀

(1)特徵濃度是原子吸收光譜法表徵靈敏度的重要性能技術指標。

Sample ID	Absorbance
AA: 0.02-Al	0.00077
BG: 0.02-Al	0.00013
AA: 0.04-Al	0.00302
BG: 0.04-Al	0.00070
AA: 0.1-Al	0.00271
BG: 0.1-Al	0.00061
AA: 0.16-Al	0.00446
BG: 0.16-Al	0.00074
AA: 0.2-Al	0.00539
BG: 0.2-Al	0.00074

圖 3 未添加硝酸鎂修飾劑圖譜與吸收值

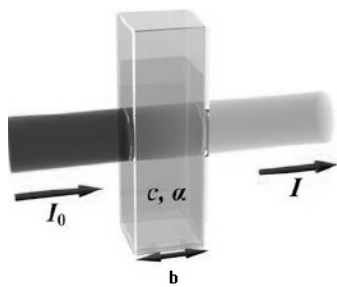
Sample ID	Absorbance
AA: 0.01ppm-Al	0.03934
BG: 0.01ppm-Al	0.00852
AA: 0.02ppm-Al	0.06367
BG: 0.02ppm-Al	0.01311
AA: 0.06ppm-Al	0.17176
BG: 0.06ppm-Al	0.03288
AA: 0.1ppm-Al	0.28596
BG: 0.1ppm-Al	0.05295
AA: 0.2ppm-Al	0.51878
BG: 0.2ppm-Al	0.09449

圖 4 添加硝酸鎂修飾劑圖譜與吸收值

(2)在吸收光譜學中，吸收度(Absorbance)及比爾定律的定義如下：

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc$$

其中：I<sub>0</sub>=入射光強度，I=穿透光強度



特徵濃度之定義為：樣品產生 1%吸收度(即淨吸收度為 0.0044)時所需要的濃度，表示如下：

又比爾定律為：

$$A = \epsilon bc \quad \epsilon : \text{莫耳吸收係數}$$

B：光徑長度(cm)

C：標準品濃度(M)

故特徵濃度  $C_s$  可如下之計算：

$$C_s = \frac{\text{標準品濃度} \times 0.0044}{\text{標準品吸收度}}$$

例：5 mg/L Fe 標準品產生 0.12 吸收度

$$C_s = \frac{5\text{mg/L} \times 0.0044}{0.12} = 0.18\text{mg/L}$$

可計算 Fe 之特徵濃度為 0.18mg/L

(3)一般在火焰式原子吸收光譜法中，以濃度 (mg/L)計算特徵濃度，但在石墨爐式原子吸收光譜法中，標準品濃度以絕對量(質量)表示，故稱為特徵質量。

(4)如為慎重起見，可另再以穩定性較高的銅來調校儀器。特徵濃度應越低越好，如未設有特徵濃度管控值，仍應以欲測試元素之特定濃度建立一允收範圍，以確保儀器之性能。各儀器使用前須依儀器使用手冊檢查其靈敏度及再現性。

## 2.感應耦合電漿原子發射光譜儀

(1)電漿最適化為獲得待測元素最大訊號對

背景的比值 (S/N ratio)。

(2)儀器安裝、維修、更換配件(或更改操作條件)後，需重新進行調校。

(3)儀器開機後，儀器調校需確認銅對鉛淨訊號之比值(R)，比值需落在±2 倍標準偏差。

(4)儀器性能之校調：可配製 0.1mg/L(或 1mg/L) Mn 標準液，其訊號強度須>1,000,000 及 RSD<1%(或依儀器規定)。

(5)儀器性能校調雖以訊號強度判斷儀器狀況，仍建議建立一監控範圍以為預警之用。

## (五)升溫程序之影響

石墨爐的溫控程式是石墨爐原子吸收光譜法的重要參數設定，影響金屬原子定量分析之精密度與準確度，一般溫控程式包含乾燥(Dry)、灰化(Ashing)、原子化(Atomization)及清除(Clean)等四步驟。各階段作用及建議溫度分述如下：

1.乾燥(Dry)：此階段目的主要是去除樣品中的水份及溶劑，以避免在灰化階段因溶劑突沸而造成樣品逸失，原則上需設定一個可以使樣品溫和地被蒸乾的溫度及加熱時間，一般建議略高於水或溶劑沸點，但要注意不能造成溶液突沸。

2.灰化(Ashing)：此階段目的是去除樣品中有機及無機基質，以避免這些質基造成干擾，原則上溫度愈高灰化效果愈好，但仍需注意溫度設定不能太高，避免樣品過度裂解及揮發而使待測元素逸失。

3.原子化(Atomization)：待測金屬元素之靈敏度受原子化溫度影響甚鉅，待測元素在此階段被原子化，由分子變為原子，原子化

的數量愈多能被量測的吸收光愈強，則靈敏度愈高。原則上在確定已達原子化的前題下，溫度愈低愈好，可使待測元素原子化又能維護石墨管使用壽命。

4.清除(Clean)：為了避免樣品成份殘留於石墨管中而對下一分析樣品造成記憶干擾效

應，於原子化階段後再加清除步驟，溫度設定需高於原子化溫度。

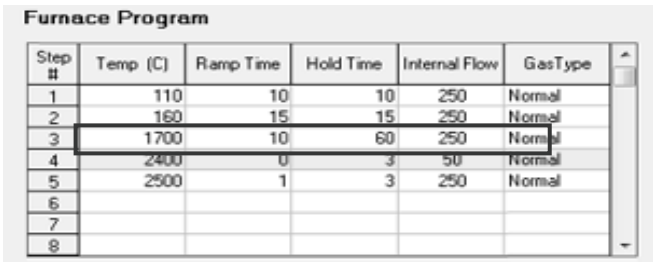
5.原廠對鋁元素各階段的溫度建議如表 9。

6.我們修改升溫程式並測試改善效果如下，修正灰化溫度及時間後檢量線偏差有明顯改善(表 10)。

表 9 鋁元素各階段的溫度建議

程序	溫度(°C)	升溫時間(秒)	停留時間(秒)	氫氣流(mL)
Dry	110	1	30	250
Dry	130	15	30	250
Ashing	1200	10	20	250
Atomization	2300	0	5	0
Clean	2450	1	3	250

表 10 升溫條件改善結果

	儀器條件及檢量線	說明																																										
改善前儀器條件		原灰化條件為 1700°C 維持 60 秒																																										
改善前檢量線	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Mean Signal (Abs)</th> <th>Entered Conc. mg/L</th> <th>Calculated Conc. mg/L</th> <th>Standard Deviation</th> <th>%RSD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Blank</td> <td>0.0000</td> <td>0</td> <td>-0.0095</td> <td>0.00</td> <td>8.58</td> </tr> <tr> <td>0.015ppm</td> <td>0.0452</td> <td>0.015</td> <td>0.0152</td> <td>0.01</td> <td>14.19</td> </tr> <tr> <td>0.030ppm</td> <td>0.0694</td> <td>0.030</td> <td>0.0285</td> <td>0.00</td> <td>2.26</td> </tr> <tr> <td>0.060ppm</td> <td>0.1289</td> <td>0.060</td> <td>0.0610</td> <td>0.01</td> <td>4.34</td> </tr> <tr> <td>0.15ppm</td> <td>0.3281</td> <td>0.150</td> <td>0.1698</td> <td>0.04</td> <td>11.86</td> </tr> <tr> <td>0.30ppm</td> <td>0.5480</td> <td>0.300</td> <td>0.2900</td> <td>0.07</td> <td>13.63</td> </tr> </tbody> </table> <p>Correlation Coef.: 0.995582    Slope: 1.82947    Intercept: 0.01739</p>	ID	Mean Signal (Abs)	Entered Conc. mg/L	Calculated Conc. mg/L	Standard Deviation	%RSD	Blank	0.0000	0	-0.0095	0.00	8.58	0.015ppm	0.0452	0.015	0.0152	0.01	14.19	0.030ppm	0.0694	0.030	0.0285	0.00	2.26	0.060ppm	0.1289	0.060	0.0610	0.01	4.34	0.15ppm	0.3281	0.150	0.1698	0.04	11.86	0.30ppm	0.5480	0.300	0.2900	0.07	13.63	檢量線 RSD%常偏大至 10%以上
ID	Mean Signal (Abs)	Entered Conc. mg/L	Calculated Conc. mg/L	Standard Deviation	%RSD																																							
Blank	0.0000	0	-0.0095	0.00	8.58																																							
0.015ppm	0.0452	0.015	0.0152	0.01	14.19																																							
0.030ppm	0.0694	0.030	0.0285	0.00	2.26																																							
0.060ppm	0.1289	0.060	0.0610	0.01	4.34																																							
0.15ppm	0.3281	0.150	0.1698	0.04	11.86																																							
0.30ppm	0.5480	0.300	0.2900	0.07	13.63																																							

	儀器條件及檢量線	說明																																																						
改善後儀器條件	<p><b>Furnace Program</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Step #</th> <th>Temp (C)</th> <th>Ramp Time</th> <th>Hold Time</th> <th>Internal Flow</th> <th>GasType</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>110</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>250</td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>160</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>250</td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1200</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>250</td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2400</td> <td>0</td> <td>5</td> <td>50</td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2500</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>250</td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Step #	Temp (C)	Ramp Time	Hold Time	Internal Flow	GasType	1	110	10	10	250	Normal	2	160	15	15	250	Normal	3	1200	10	15	250	Normal	4	2400	0	5	50	Normal	5	2500	1	3	250	Normal	6						7						8						將灰化條件改為 1200 °C 維持 15 秒
Step #	Temp (C)	Ramp Time	Hold Time	Internal Flow	GasType																																																			
1	110	10	10	250	Normal																																																			
2	160	15	15	250	Normal																																																			
3	1200	10	15	250	Normal																																																			
4	2400	0	5	50	Normal																																																			
5	2500	1	3	250	Normal																																																			
6																																																								
7																																																								
8																																																								
改善後檢量線	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Mean Signal (Abs)</th> <th>Entered Conc. mg/L</th> <th>Calculated Conc. mg/L</th> <th>Standard Deviation</th> <th>%RSD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Blank</td> <td>0.0000</td> <td>0</td> <td>0.0011</td> <td>0.01</td> <td>17.48</td> </tr> <tr> <td>0.0375ppm</td> <td>0.0606</td> <td>0.0375</td> <td>0.0373</td> <td>0.00</td> <td>3.50</td> </tr> <tr> <td>0.075ppm</td> <td>0.1251</td> <td>0.075</td> <td>0.0759</td> <td>0.00</td> <td>1.20</td> </tr> <tr> <td>0.10ppm</td> <td>0.1615</td> <td>0.10</td> <td>0.0977</td> <td>0.00</td> <td>2.12</td> </tr> <tr> <td>0.15ppm</td> <td>0.2468</td> <td>0.15</td> <td>0.1487</td> <td>0.01</td> <td>4.70</td> </tr> <tr> <td>0.20ppm</td> <td>0.3357</td> <td>0.20</td> <td>0.2018</td> <td>0.03</td> <td>8.44</td> </tr> </tbody> </table> <p>Correlation Coef.: 0.999767    Slope: 1.67216    Intercept: -0.00181</p>	ID	Mean Signal (Abs)	Entered Conc. mg/L	Calculated Conc. mg/L	Standard Deviation	%RSD	Blank	0.0000	0	0.0011	0.01	17.48	0.0375ppm	0.0606	0.0375	0.0373	0.00	3.50	0.075ppm	0.1251	0.075	0.0759	0.00	1.20	0.10ppm	0.1615	0.10	0.0977	0.00	2.12	0.15ppm	0.2468	0.15	0.1487	0.01	4.70	0.20ppm	0.3357	0.20	0.2018	0.03	8.44	檢量線 RSD% 明顯降低至 10% 以下，且整體分析時間由 127 秒縮短為 84 秒												
ID	Mean Signal (Abs)	Entered Conc. mg/L	Calculated Conc. mg/L	Standard Deviation	%RSD																																																			
Blank	0.0000	0	0.0011	0.01	17.48																																																			
0.0375ppm	0.0606	0.0375	0.0373	0.00	3.50																																																			
0.075ppm	0.1251	0.075	0.0759	0.00	1.20																																																			
0.10ppm	0.1615	0.10	0.0977	0.00	2.12																																																			
0.15ppm	0.2468	0.15	0.1487	0.01	4.70																																																			
0.20ppm	0.3357	0.20	0.2018	0.03	8.44																																																			

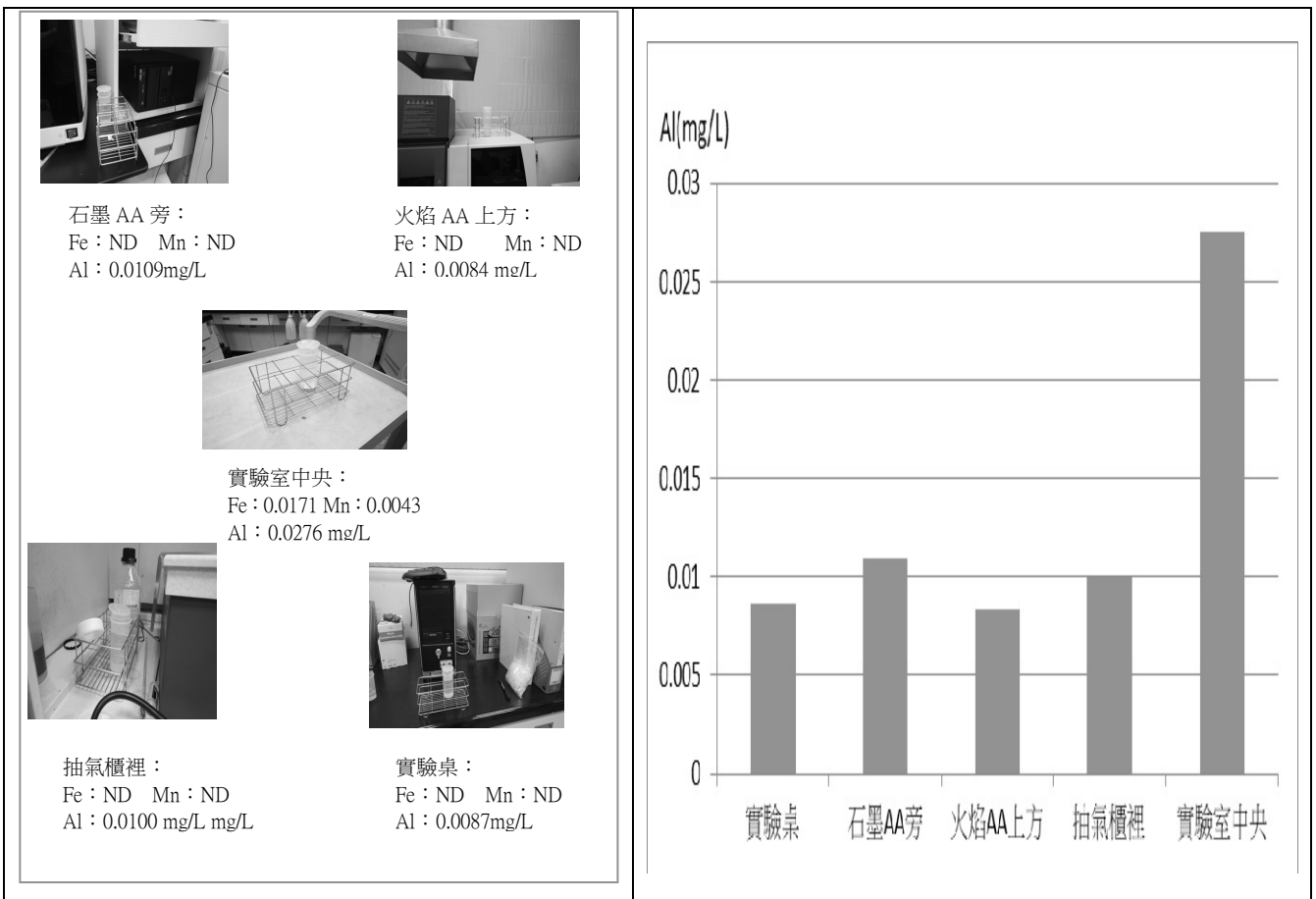


圖 5 實驗空間「鋁」背景值

## (六)環境干擾

「鋁」是一種很重要的金屬元素，其應用小到鋁製的易開罐或鋁箔包，大到飛機的機翼上，都可使用「鋁」元素，因此環境中自然存在之鋁元素亦容易造成分析背景干擾。為了解環境對水樣分析所造成之影響，我們針對實驗室進行背景測試，步驟為取適當體積之試劑水放置在實驗室各位置 1 天後再進行鋁元素分析，另為比對其他元素是否有相同干擾，亦同時偵測鐵及錳元素以為對照，結果發現鐵及錳在環境中皆無分析值但鋁元素卻明顯有環境背景值(圖 5)，各個檢項之 MDL 為，鐵：0.0079mg/L；錳：0.0019mg/L；鋁：0.0032mg/L。

## 四、結論

- (一)樣品的均勻度及消化對檢測結果確有顯著影響，而石墨熱板消化器之溫度差異亦應注意。
- (二)檢量線之配製是否考量樣品酸度之匹配，確實會影響檢測結果。
- (三)修飾劑之添加可增強吸收值，添加硝酸鎂約可增強 50~80 倍，若使用 Perkin Elmer 之儀器建議使用 0.015mg 之  $Mg(NO_3)_2$ 。
- (四)理論上特徵濃度(靈敏度)測試通常會以穩定性較高的銅來調校儀器。特徵濃度應越低越好，如未設有特徵濃度管控值，仍應以欲測試元素之特定濃度建立一允收範圍，以確保儀器之性能。
- (五)以石墨爐原子吸收光譜法測定鋁元素時，升溫程式影響元素之靈敏度及穩定性甚鉅，因此各區處可針對各單位之樣

品特性設定適合之升溫程式以求最佳之定量分析。

- (六)有些實驗室之 autosampler 取樣盤未加蓋，環境中許多用品含鋁，如鋁門窗、排氣罩等，因水樣測值濃度極低(屬 ppb 等級)，環境背景對鋁元素分析經實驗證明有顯著的干擾，易受環境影響，建議應對監測環境因子進行風險評估。
- (七)本次實驗室間比對雖已排除樣品均勻度的問題，然上述諸多原因致使結果差異仍大，希望經由辦理人員訓練，可以強化儀器維護操作技能，提升自行克服問題之能力，解決實驗室間差異指日可待。

## 五、誌謝

研究期間感謝許美芳老師不辭辛勞悉心指導、各區水質課及負責重金屬分析實驗的皓凱、政淳、佳惠、惠佳、宇震、承龍、哲維、緯廷、啟元、睿宏、書賢、筑君、暉哲等各同仁的協助，因為有你們的無私付出，在百忙之中仍提供資料與實驗數據，讓這篇研究報告得以完整，至感銘心。期許這次大家的通力合作，能讓本次研究主題“水中鋁檢驗方法差異探討”，對大家未來工作有所助益，也串聯起大家互相討論的橋樑，在檢驗技術上更上層樓。

## 參考文獻

- 1.湯鴻霄，羥基聚合氯化鋁的絮凝型態學，環境科學學報，第 18 卷第 1 期，p.1-10，1998 年。
- 2.胡靖宜，鋁水解物種對腐植酸混凝行為之影響，p12，2008。
- 3.廖昌郁，以鋁鹽混凝劑處理二氧化矽顆粒廢水

-鋁型態分佈及轉化特性的影響，2006。

- 4.行政院環境保護署環境檢驗所，水中金屬檢測方法－石墨爐式原子吸收光譜法(NIEA W303.51A)。
- 5.行政院環境保護署環境檢驗所，水中金屬及微量元素檢測方法－感應耦合電漿原子發射光譜法(NIEA W311.53C)。
- 6.行政院環境保護署環境檢驗所，水中元素萃取消化法－微波輔助酸消化法(NIEA W312.51C)。
- 7.Rubin, A. J. and Kovac, T. W., Effects of Aluminum (III) Hydrolysis on Alum Coagulation, in Chemistry of Water Supply, Treatment, and Distribution, Rubin A. J., Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, MI, 1974.
- 8.C. F. Baes and R. S. Mesmer: The Hydrolysis of Cations. John Wiley & Sons, New York, London, Sydney, Toronto 1976.

## 作者簡介

---

### 楊昭端女士

現職：自來水公司水質處工程師

專長：水質檢驗及管理

### 趙文燦先生

現職：自來水公司第四區管理處副處長

專長：環境工程、水質管理

### 吳美慧女士

現職：自來水公司水質處工程師

專長：水質檢驗及管理

### 賴明芬女士

現職：自來水公司水質處工程員

專長：水質檢驗及管理