自來水會刊第 43 卷第 4 期(172)目錄

實務研究

水量計箱優化之研究與設計……黃貴麟、張民岦、林孟珠……1

本期專題　供水服務

以AMR壓力資訊回溯配水管水壓之實務研究 ……周家榮…… 10

臺北市老舊高地社區漏水改善探討－以翡翠城為例……游叡研……18

台水WADA小區與彈性微區提升售水率應用……林子立、陳召臻、顧培正、林璟鴻……25

壓力坡降工法分析漏水管段探討－以二林所0112及0202小區為例……

……田吉星、吳宏麟、洪銘希、莊宜臻、程炯凱……33

高地供水壓力控制之研析……何健成、鍾佳佑、張煥獎……39

一般論述

探討自來水事業導入AI的先決條件……邱嘉南……44

臺北自來水事業處推動帳務服務電子化之研究－以水費線上結清為例…陳臆尤、陳惠鈴……51

自來水工程辦理採購應注意事項－契約解除與終止篇……謝彥安……58

矩形水池結構計算之研討……曾浩雄……65

草屯淨水場新建工程簡介……廖純章、蔡函叡、譚猷翰、洪維志……71

他山之石

日本自來水現況及未來挑戰……李丁來、詹宜勳……76

協會與你

歡迎投稿114年「每期專題」…… 85

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法……43

封面照片：草屯淨水場新建工程　台灣自來水公司提供

自來水會刊雜誌稿約

一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水會刊，每年二、五、八、十一月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。

二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、每期專題、專家講座、一般論述、業務報導、他山之石、法規櫥窗、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地、自來水工作現場、自來水廠(所)的一天、會員動態、協會與您等文稿。

三、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得（包括技術與管理），前述二類文稿請檢附摘要。「每期專題」由本刊針對特定主題，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「自來水工作現場」供自來水從業人員，針對工作現場發表感想。「自來水廠(所)的一天」為提供自來水基層廠(所)的工作現況，增進社會各界對自來水服務層面的認識。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與您」則報導本會會務。

四、惠稿應包含 300 字以內摘要及關鍵字，每篇以不超過十頁為宜，特約文稿及專門論著不在此限，**本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明**；無法刊出之稿件將儘速通知。

五、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版品：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。

六、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。投稿一經接受刊登，版權即歸本協會所有。

七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 thomas7735tw@mail.water.gov.tw，並請註明真實姓名、通訊地址（含電話及電子郵件地址）、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。

八、稿費標準為專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、專家講座、法規櫥窗、他山之石、特載等文稿 900 元／千字，「業務報導」為 500 元／千字，其餘為 400 元／千字，封面照片及文稿中之「圖」、「表」如原稿為新製者 400 元／版面、如原稿為影印複製者，不予計費。

九、本會刊於 110 年開始發行電子會刊，內容已刊載於本協會全球資訊網站（www.ctwwa.org.tw）歡迎各界會員參閱。

十、本刊中之「專門論著」、「實務研究」、「一般論述」、「每期專題」及「專家講座」，業經行政院公共工程委員會列為技師執業執照換發辦法第四條第一項第六款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程料」。

自來水會刊雜誌

發 行 單 位：中華民國自來水協會
發　行　人：李嘉榮
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
李丁來

委 員
陳明州、康世芳、武經文、邱福利、
吳能鴻、王明傑、楊人仰

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：唐俊成

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：吳宗昱
電　　話：(04)22244191 轉 516

行政助理：劉麗玉

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

水量計箱優化之研究與設計

文/黃貴麟、張民岦、林孟珠

摘要

本研究針對台灣自來水公司現有水量計箱之使用狀況進行了深入分析，發現水量計箱在實際使用中經常出現破壞情形，尤其是在箱蓋及旋軸部位。本研究提出三種主要構想：整體增加厚度、局部加厚設計以及改善現有設計。並透過有限元素數值模擬分析，評估不同設計方案在承受荷重時之表現。結果顯示，新設計在抗壓強度方面有顯著提升。在實測驗證中，新構型在施加至 4,000 公斤時仍能保持良好的結構完整性，超過 9,000 公斤才產生斷裂，而舊設計則在 4,500 公斤時即出現斷裂。這表明新設計在抗壓強度上有顯著提升。另外，考慮到未來智慧水量計設備所需的空間配置，新設計也納入了自動讀表傳輸設備所需的空間。後續，本研究成果將提供水量計箱標準規範之修訂，納入新設計的細部尺寸及抗壓強度要求。同時，加強對製造材料的管理與檢驗，建立定期維護與檢查制度，以便及早發現並處理水量計箱可能出現的問題，並持續投入資源進行新材料和新技術的研究，以提升水量計箱之性能。

關鍵字：水量計箱、自來水工程

一、前言

(一)計畫背景

隨著城市化進程的加快，台灣自來水公司（以下簡稱台水）面臨著越來越多的挑戰，尤其是在水量計箱之使用與維護方面。水量計箱作為自來水系統的重要組件，其設計與材質直接影響到整體供水系統的安全性與可靠性。近年來，許多用戶反映水量計箱的箱蓋經常遭受車輛輾壓或重物承壓而導致損壞(圖 1 及圖 2)，這不僅增加了維修成本，也影響用戶的使用觀感；另外，現行規範僅對水量計箱的內部空間及管線穿越開口大小進行規範，而對於細部尺寸亦缺乏明確規定，這使得不同廠商生產的產品在互換性上存在相容問題。

本研究針對現有水量計箱進行深入分析，並提出改良方案。研究目標是將水量計箱之抗壓強度由原有 2,000 公斤提升至 4,000 公斤，以避免因重物承壓而導致破損之風險。另考慮未來智慧水量計之推動，亦納入自動讀表傳輸設備所需的空間，以確保新設計能夠適應未來技術發展需求。

圖 1　水量計箱蓋結構破損

圖 2　水量計箱上蓋支撐結構斷裂

現有水量計箱主要使用延性鑄鐵（FCD450-10），詳如圖 3 及圖 4 台北自來水事業處（以下簡稱北水處）及台水既有水量計箱成品，其抗壓強度雖然符合相關規範基本要求，但由於台水用戶遍佈全台，故在實際應用中仍然存在不足。例如，不正常重車輛輾壓及鏽蝕等因素也會進一步降低其使用壽命。

因此，提高水量計箱設計的抗壓安全係數成為迫切需求。本研究藉由有限元素分析（FEM）數值模擬，事先評估不同設計方案對抗壓強度之影響。模擬在不同荷載條件下材料的應力分布，從而幫助設計優化結構構型。此外，在材料選擇方面，不同材質如不鏽鋼 SUS304 和 ABS 等也被考慮，但因其抗壓強度普遍低於 FCD450-10，經評估不適合採用及納入新規範。

圖 3　北水處水量計箱成品

圖 4　台水既有 40 型水量計箱成品

(二)水量計箱破壞原因分析

經過相關統計分析，歸納出現行水量計箱破裂的主要原因，包括：

1.製造材料強度未達標：許多現有產品在生產過程中未能嚴格控制材料質量，導致最終產品強度不足。

2.不正常重車輛輾壓或重物承壓：在城市環境中，重型車輛經常經過安裝有水量計箱的位置，這對其造成了額外的物理壓力。

3.鏽蝕造成強度降低：長期暴露於潮濕環境中，材料容易發生鏽蝕，使得其結構完整性受到影響。

針對以上問題，本研究提出將抗壓能力從現行 2,000 公斤提高至 4,000 公斤，以提升安全性並減少破損機率。同時，也建議在製造過程中加強材料管理和防鏽處理，以進一步降低破壞風險。

(三)設計構想

本研究提出三種改善設計方案：

1.整體增加厚度：增加整體厚度解決方式看似單純，但缺點是將使重量大幅增加，特別是近年來，鑄鐵價格飆漲如果單靠整體增加厚度，不但材料成本加運輸本也會倍增，若產品計算碳足跡也會大幅增加，不符合產品未來法規發展趨勢。同時大口徑

箱體若重量倍增，將使安裝人員操作更加費力，因此不建議。

2.應力集中區域局部加厚：針對應力集中區域進行局部加厚是一個可行方案。透過有限元素分析，可以確定哪些區域需要加厚以提高整體結構強度，因為鑄件若不等肉厚度差距過大時，鑄造時因凝固冷卻不均而產生殘留應力造成鑄件變形，若採此設計方式在製造時上箱蓋鑄件容易造成翹曲，導致箱蓋成品的平面度難以維持，若上箱蓋翹曲會造成無法密合的問題。因此考慮到製造性，新設計仍以鑄件接近等厚度方向進行為優先考量方向。

3.改善現有設計，藉由在旋軸邊箱體增加支撐：經由上述設計過程與結論，同時考慮既有設計的上箱蓋 O 環 C 環結構已使用多年，在防彈跳與非工作人員輕易取走具有一定程度的效用，不宜大幅改變。所以最佳的新設計方向以調整現有旋軸位置與修改 O 環 C 環尺寸設計，並藉由在旋軸邊箱體加支撐。為證明構想可行，在改善設計與分析進行期間也同時修改現有產品，同時進行 20，25，40 口徑水量計箱抗壓測試做一對一抗壓強度直接比較，以證明設計構想的有效性。這樣不僅能提升抗壓強度，同時保持原有開蓋方式，減少對操作人員的不便。

二、抗壓強度構型探討與改善方案

水量計箱在水資源管理中扮演著至關重要的角色，其中抗壓強度是確保其安全性和耐用性的主要指標。隨著使用要求的提高，對於水量計箱的設計提出了更高的要求。本研究旨在探討不同口徑（20、25、40）的水量計箱抗壓強度的影響因素，並提出改良設計以提升其抗壓能力。通過有限元素分析和實測結果，評估新構型的可行性和有效性。

在對現有台水公司 40 型水量計箱進行分析時，發現其抗壓強度不足以承受高達 4,000 公斤的負荷。特別是在上箱蓋的設計中，旋軸邊缺乏必要的支撐，導致在高負荷下容易發生斷裂。根據實際損壞情況的觀察(圖 2)，水量計箱的破裂主要發生在上蓋和旋軸處，這使得提升抗壓強度成為當前研究的重點。因此，提出了改良設計方案，增加四面支撐結構，並調整旋軸的位置，以期提高箱體的整體強度和穩定性。

在抗壓強度的測試中，原有設計在承受約 4,500 公斤的負荷時出現斷裂，而改良設計則在超過 9,000 公斤的負荷下才發生斷裂，顯示出改良設計的抗壓強度可提高一倍（圖 5）。此外，測試結果還顯示，改良設計的塑性變形量顯著減少，這表明其在高負荷情況下的結構穩定性得到了明顯改善（圖 6）。這些結果不僅驗證了新設計的有效性，也為後續的規範修改建議提供了實證支持。

在新構型的設計中，箱蓋的開啟方式仍然保持與現有設計相似，但增加了四周支撐的設計，使其在承受壓力時更為穩定。此外，對旋轉軸的位置進行了調整，減少了其與箱蓋的接觸面，以降低受力情況（圖 7）。這些改動不僅提升了整體抗壓強度，還減少了因旋軸磨損導致的故障風險。

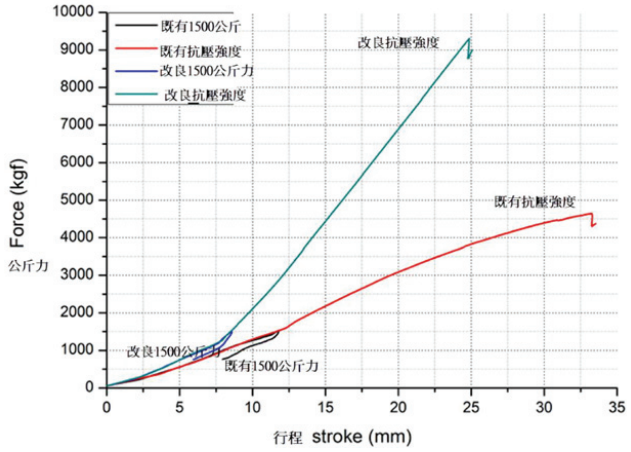

圖 5　40 型水量計箱原始/修改設計抗壓強度比較

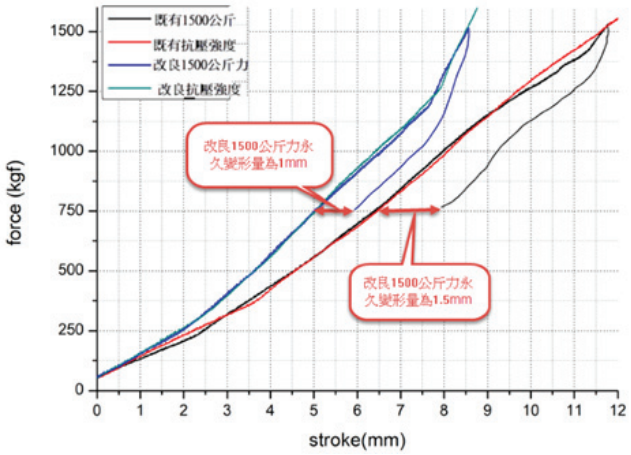

圖 6　40 型水量計箱原始/修改設計荷重及變形曲線

在材質方面的比較中，研究顯示不同材質在抗壓強度上的表現差異明顯，分析顯示不鏽鋼延展性大於 FCD450-10，較易通過 4,000 公斤力抗壓測試。ABS 材質極限強度僅 24~138MPa，強度僅為 FCD450-10 材料的 30%。以 ABS 材料強度估算，ABS 僅能通過 1,000 公斤力抗壓測試，在使用 ABS 材質的情況下，若要達到相同的抗壓強度，必須大幅增加厚度，這將影響箱蓋的互換性（見圖 8）。因此，選擇合適的材料對於設計改良至關重要。

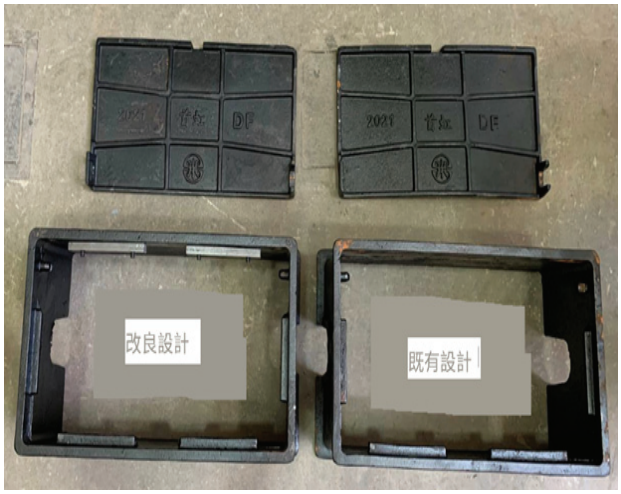

圖 7　40 型水量計箱原始/改良設計

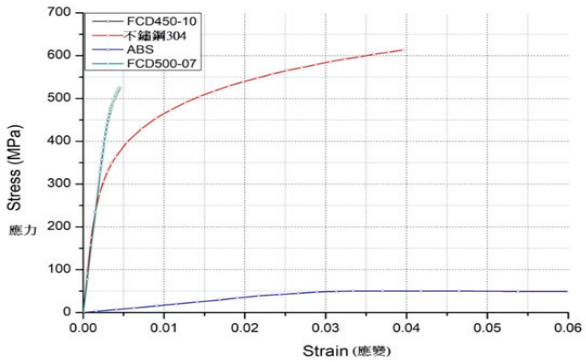

圖 8　不同材質水量計箱應力應變曲線比較

本研究經由多次的有限元素分析和實測，顯示出改良後的水量計箱設計在抗壓強度方面有顯著提升。增加的四面支撐設計和旋軸位置的調整，均有效提高了水量計箱的安全性和耐用性。這些改進不僅有助於提高水量計箱的抗壓性能，還為相關設計標準的制定提供了有價值的參考依據，未來可望在實際應用中進一步推廣和實施。

為了驗證改良設計的可行性，還進行了荷載測試，評估了水量計箱在實際條件下的抗壓能力。荷載測試結果顯示，改良設計的水量計箱在面對動態施加的荷載時，依然能保持良好的結構穩定性，且沒有出現顯著的塑性變形。

本研究之成果不僅顯示了改良設計在提高水量計箱抗壓強度方面的有效性，驗證選擇合適材料和設計結構對於提升產品性能的重要性。

三、水量計箱現況分析與材質比較

(一)水量計箱使用現況與設計挑戰

水量計箱是供水系統中關鍵的保護設備，主要用於保護內部的計量裝置免受外部環境影響。隨著重型車輛壓力增加，現有設計面臨承載能力不足的挑戰，特別是在極端荷重（如 4,000 公斤）下，可能出現局部應力過高導致結構損壞的情況。

根據現有分析，40 型水量計箱採用 FCD450-10 材質具有良好的抗拉強度和耐衝擊性，但仍存在以下問題：

1.局部應力集中，尤其在肋條與箱蓋邊緣區域。

2.現有三面支撐設計支撐不足，造成變形與應力分佈不均。

3.增加訊號孔需求可能進一步削弱結構強度。

為解決這些問題，需優化設計結構並進行材料評估。

(二)材質機械性能比較

水量計箱常用材料如 FCD450-10 系列、不鏽鋼 SUS304 和 ABS 材料的機械性能如下。

FCD450-10 具有良好的抗拉強度和剛性，耐衝擊性適中，適合作為水量計箱的主要結構材料，不鏽鋼 SUS 304 因抗拉強度和耐衝擊性能大幅優於 FCD450-10，但成本較高且降伏強度較低。ABS 雖然具有重量輕特性，但相對強度僅為 FCD450-10 的 30%，在 4,000 公斤荷重下無法適用。

材質	抗拉強度 (MPa)	降伏強度 (MPa)	伸長率 (%)	勃氏硬度 (HB)
FCD450-10	>450	>280	>10	143-217
不鏽鋼 SUS304	>505	>215	>40	-
ABS	約 81	-	>2	-

(三)現有設計應力與變形分析

針對現有設計進行有限元素分析，結果顯示：

1.荷重 1,500 公斤時：最大變形量約 1.03mm（符合規範小於 2mm 的要求）。

2.荷重 4,000 公斤時：局部應力達 480MPa，超過 FCD450-10 的抗拉強度，存在局部斷裂風險。

為改善結構強度，需針對目前水量計箱支撐設計進行優化，導入更合適的肋條尺寸設計。

四、水量計箱結構優化與設計改良

(一)結構優化過程與分析結果

針對現有設計的問題，進行多次結構優化設計，以 CATIA 程式建模，並以 CATIA SimDesign 進行有限元素分析，主要目的是降低局部應力集中，提升整體穩定性，並滿足 4,000 公斤荷重的安全需求。優化過程包含以下三個階段：

1.優化#1：增加支撐點與肋條高度

(1)設計變更(圖 9、圖 10)：

- 在箱體結構中新增支撐點，提升四面支撐力。

• 將肋條高度加高至 14mm，寬度維持 8mm。

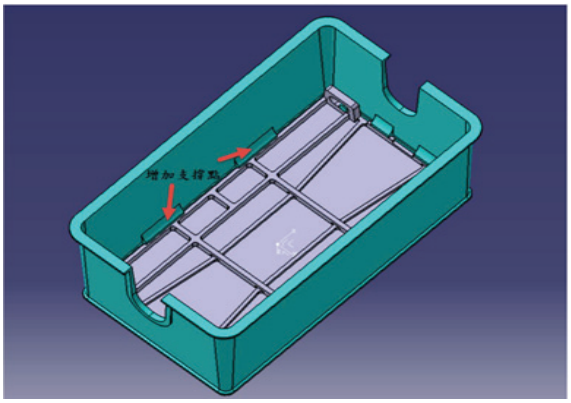

圖 9　40 型水量計箱結構優化#1 箱體增加支撐點

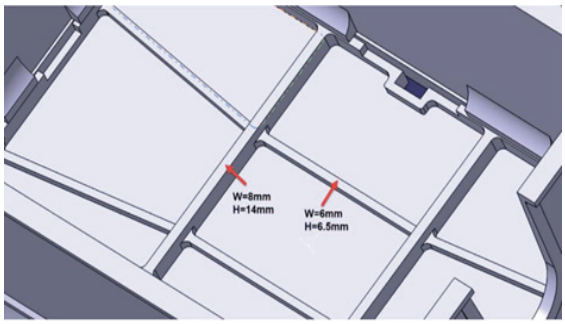

圖 10　40 型水量計箱結構優化#1 肋條加高至 14mm

(2)分析結果(圖 11)：

• 荷重 4,000 公斤時，局部應力集中在肋條區域，達到 480MPa，超過 FCD450-10 的抗拉強度。

• 雖然不會造成箱蓋整體破裂，但肋條局部可能產生裂紋。

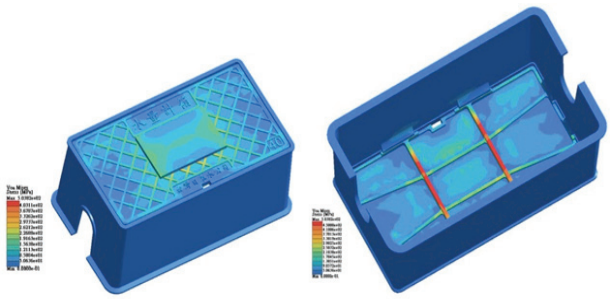

圖 11　40 型水量計箱結構優化#1 荷重 4,000 公斤應力分析

2.優化#2：調整肋條尺寸

(1)設計變更(圖 12)：

• 將肋條寬度增至 10mm，但高度減至 6.5mm，以平衡剛性與應力分佈。

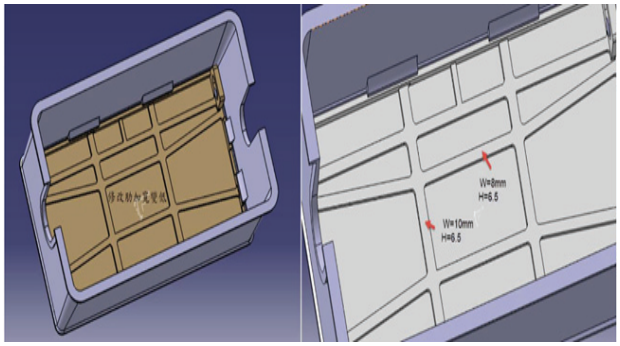

圖 12　40 型水量計箱結構優化#2

(2)分析結果(圖 13)：

• 荷重 4,000 公斤時，加強肋條區域的應力下降至約 450MPa，符合材料抗拉強度要求。

• 最大變形量為 1.23mm，塑性變形符合規範。

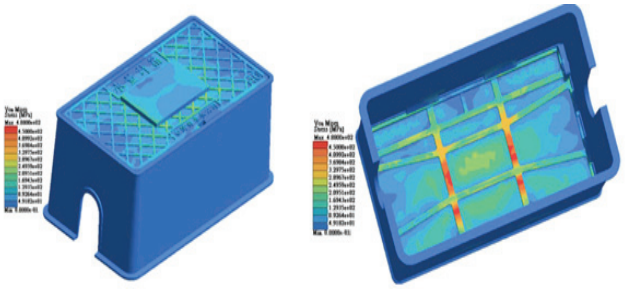

圖 13　40 型水量計箱結構優化#2 應力分析

3.優化#3：進一步修正肋條尺寸

(1)設計變更(圖 14)：

• 將肋條寬度增至 12mm，高度維持 6.5mm，進一步提升剛性。

• 增加訊號孔，並將箱蓋厚度增加 0.5mm，

以抵銷訊號孔對結構強度的影響。

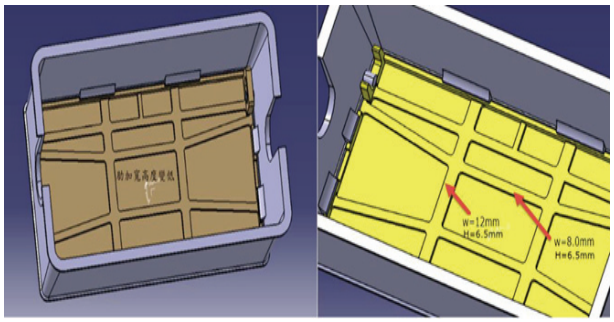

圖 14　40 型水量計箱結構優化#3

(2)分析結果(圖 15)：

- 荷重 4,000 公斤時，整體應力分佈更加均勻，最大應力下降至 445MPa，符合安全標準。
- 最大變形量僅為 1.16mm，遠低於現有規範要求。

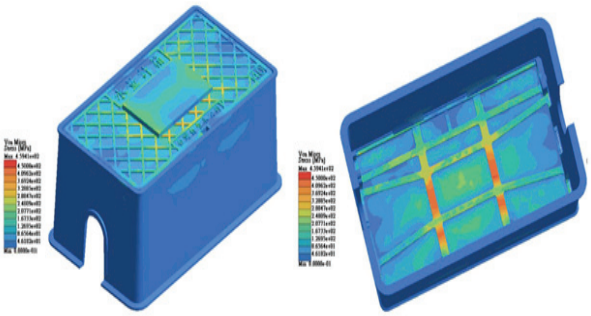

圖 15　40 型水量計箱結構優化#3 應力分析

(二)增加訊號孔的設計改良

在優化#3 的基礎上，進一步設計訊號孔以滿足功能需求，同時確保結構安全性：

1.設計變更(圖 16)：

(1)在箱蓋設置訊號孔，並將厚度增加 0.5mm 強化其剛性。

(2)修改 OC 環行程尺寸，簡化小特徵設計以提高鑄造性。

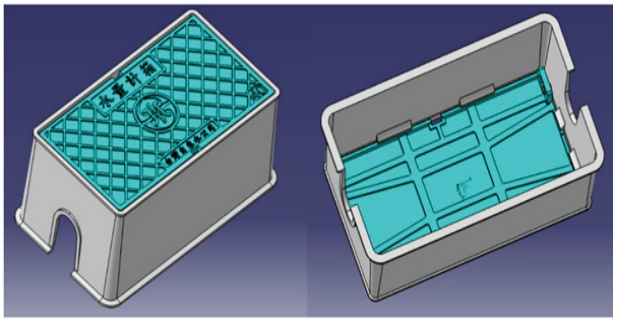

圖 16　增加訊號線孔改善設計(40 型)立體圖

2.分析結果(圖 17)：

(1)荷重 4,000 公斤時：

- 最大應力為 426MPa，集中於訊號孔附近，仍低於材料抗拉強度 450MPa。
- 最大變形量為 0.99mm，完全符合規範。

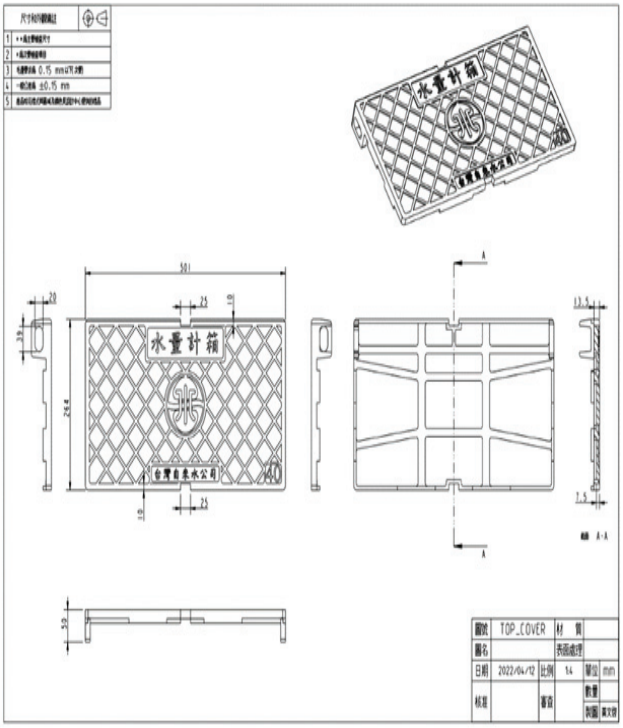

圖 17　增加訊號線孔改善設計(40 型)尺寸圖

(三)材質選擇分析與最終建議

1.材質選擇評估：根據優化設計的應力與變形需求，對主要材質進行評估，結果如下表：

材質	抗拉強度(MPa)	降伏強度(MPa)	優缺點分析
FCD450-10	>450	>280	成本低，抗壓性能好，適合大量生產。
不鏽鋼 304	>505	>215	抗拉強度高，耐衝擊性優，但成本高，不適合大規模應用。
ABS	約 81	-	強度不足，需大幅增加厚度才能符合規範，成本效益低。

2.最終建議：基於現有規範，維持使用 FCD450-10 為最佳選擇。該材質經優化設計，可以在不增加重量的情況下，滿足抗壓能力需求，並大幅降低旋軸斷裂風險。

(四)定案設計的優化成果

1.定案設計數據結果

(1)荷重 1,500 公斤時：最大塑性變形 0.12mm，遠低於規範 2mm 要求。

(2)荷重 4,000 公斤時：最大應力 356MPa，最大局部應力 120MPa，旋軸應力遠低於 450MPa。

2.圖面與重量分析：由圖 18 顯示定案設計的內部空間與管線開口完全符合標準規範，箱體重量約 16 公斤，箱蓋重量約 8.3 公斤，也符合輕量化設計需求。

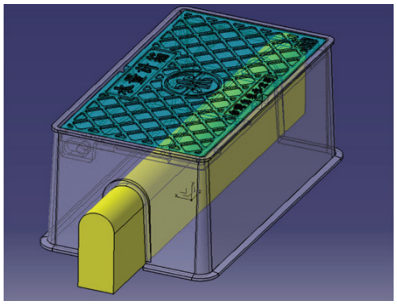

圖 18　40 型內部空間與管線穿越開口

3.最終成果與效益：改良後的 40 型水量計箱設計在 4,000 公斤荷重下可確保安全運行，並滿足功能需求，具備以下效益：

(1)降低局部應力集中與斷裂風險。

(2)提升結構剛性與壽命。

(3)優化製造工藝，降低生產成本。

五、成果與建議

(一)研究成果，本研究針對現有水量計箱的設計進行了深入的分析與改良，最終達成了以下幾項重要成果：

1.抗壓強度提升：透過有限元素分析和實測驗證，新設計的水量計箱抗壓強度由原有的 2,000 公斤提升至 4,000 公斤，這一改進顯著降低了因重物承壓而導致的破損風險。具體來說，40 型水量計箱在抗壓測試中，改良設計在超過 9,000 公斤力時才出現斷裂，而舊設計則在 4,500 公斤力時即發生破裂，顯示出新設計的抗壓能力大幅增強。

2.材質選擇與性能比較：在材料方面，研究團隊對比了不同材質（如 FCD450-10、不鏽鋼 SUS304 和 ABS）的性能，結果顯示 FCD450-10 在抗壓強度和耐用性方面表現最佳。雖然不鏽鋼 304 具有較好的耐蝕性，但其成本較高且在抗壓性能上不及 FCD450-10。ABS 材料則因強度不足經評估不適合用於新規範。

3.設計構型優化：新設計採用了四面支撐的構型，這一改變不僅提高了抗壓強度，也改善了箱蓋的開啟方式，使其操作更加便捷。設計中還考慮到了未來智慧水量計的需求，為自動讀表傳輸設備留出了足夠的空間。

(二)建議，基於本研究的成果，提出以下幾點建議：

1.標準化規範修訂：建議未來對水量計箱的標準規範進行修訂，以納入新設計的細部尺寸及抗壓強度要求。修訂後的標準應明確規定各種口徑水量計箱的材質、結構及檢驗方法，以確保產品的一致性與安全性。

2.加強材料管理：為確保水量計箱的長期使用性能，建議加強對製造材料的管理與檢驗。特別是在材料進廠時應進行嚴格的質量檢測，以防止因材料質量問題而導致產品失效。

3.定期維護與檢查：建議應建立定期維護與檢查制度，以便及早發現並處理水量計箱可能出現的問 題，對於已安裝的舊型號水量計箱，應定期進行抗壓測試，確保其仍符合安全標準。

4.持續技術研發：隨著科技的不斷進步，建議持續投入資源進行新材料和新技術的研究，以提升水量計箱的性能。例如，可以探索使用複合材料或其他新型金屬材料，以進一步提高抗壓強度和耐用性，同時降低生產成本。

(三)結論：本研究提出了水量計箱優化構型設計，其抗壓強度顯著提升並符合未來智慧水量計需求。透過系統性的分析與驗證，新設計不僅提高了產品安全性，也為台水公司長久以來的破損問題提供可行的解決方案。未來若能依據本研究成果進一步推廣至其他相關產品，將有助於提升整體供水系統的可靠性與安全性，本研究不僅解決了當前台水公司水量計箱面臨的問題，也為未來在智慧城市建設中的應用奠定了基礎。在此基礎上，希望能持續推動相關技術的發展與應用，以促進更高效、更安全的供水服務。

參考文獻

1.台灣自來水股份有限公司，「現行水量計箱設計規範」，內部文件，2022年。

2.陳維隆、王玉城、龔恩誼，「水量計箱標準規格及規範設計成果報告」，朝陽科技大學，2023年。

3.Total Materia Database, "FCD450-10 Material Properties," [網路資料].

4.台北自來水事業處，「智慧水表應用與發展計畫報告」，內部文件，2021年。

作者簡介

黃貴麟先生

現職：台灣自來水公司營業處申裝組組長

專長：新裝管理、自來水營運管理

張民岦先生

現職：台灣自來水公司工務處研發組組長

專長：結構分析、自來水營運管理

林孟珠小姐

現職：台灣自來水公司營業處處長

專長：經營管理、自來水營運管理

以 AMR 壓力資訊回溯配水管水壓之實務研究

文/周家榮

摘要

管網有足夠水壓監視點是供水調控根基，然布建監視點需申挖道路，每處花超過 80 萬且費工，因此本研究提出以兼具水壓量測功能的家戶 AMR 回溯配水管水壓，便是另類最經濟選擇（約數萬元）。惟封閉管流會因高流速的主、次要損失使配水管與 AMR 間有壓降，故研究分別應用壓損與流速平方成比及 Hazen-Williams 公式求取場址壓損係數，並回溯家戶水表水壓至配水管消防栓。本案選取臺北、新北市 11 個 AMR 案例驗證，結果顯示無論使用 Hazen-Williams 或壓損與流速平方成正比公式，評估結果無太大差異；而於正常環境背景下，99%水表水壓紀錄回溯配水管水壓之誤差小於 0.1kgw/cm^2，驗證本研究可行，期未來能開啟 AMR 管網水壓監視點布建基礎；而環境背景異常主要為鄰近有大用戶、內線有 2 套系統及水錘等因素。

關鍵詞：AMR、自動讀表、配水管水壓、水壓監視點、水壓回溯

一、研究方法

為找出用戶水表與配水管間的壓力函數關係，本研究在兼具水壓、水量量測的用戶自動讀表系統（以下稱 AMR）前配水管的地下式消防栓安裝了 HWM 的水壓紀錄器 Lolog 450，這些紀錄值在本研究初期設定為每 15 秒記錄 1 筆資料（記錄上限為 1.6 萬筆資料），而記錄時間約 2.8 天；在選定的 11 個案例裏，擷取每個案例的一部分資料（通常為連續數小時），並透過分析少量紀錄來建立壓力損失函數（可視為訓練資料），再以其餘紀錄資料來驗證先前函數的準確性（可視為驗證資料），在此需特別說明，前述訓練資料一般會選定最大量進水的波峰，以降低整體分析的誤差。

惟經多次校對水壓紀錄器與 AMR 紀錄時間（下小節說明）發現，紀錄時間差異不大，研究末期即恢復 Lolog 450 為每分鐘記錄 1 筆，便可記錄超過一般用戶週期性用水 7 天，更方便比較應用。

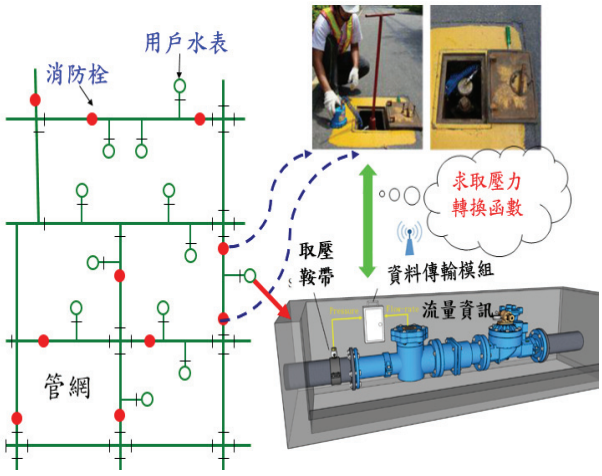

圖 1　實驗配置

本研究規劃配置如圖 1，基於前述研究方法，需要關注如下 2 個技術問題。

(一)利用 AMR 水壓、水量資料回溯鄰近配水管水壓的方法：

一般管流的水頭損失分為主要損失（Major loss, 即管壁摩擦損失）與次要損失

（Minor loss, 即管件流向突變、合流、分流等能量損失）。因此，對相同截面積的特定管段：

$$\Delta h_{head-loss} = h_{major-loss} + h_{minor-loss}$$
$$= h_{f1} + h_{f2} = f\frac{4L}{D}\frac{V^2}{2g} + K\frac{V^2}{2g}$$
$$= \left(\frac{4fL}{D} + K\right)\frac{1}{2g}V^2 = K_1V^2$$

（因特定管段 f、L、K 為常數，D 為固定的管線內徑，所以 K1 為常數）

$$= K_1\frac{Q^2}{A^2} = K_1'Q^2$$

其中K_1' 為常數，

如圖 2 為管網中消防栓與 AMR 的標準配置：

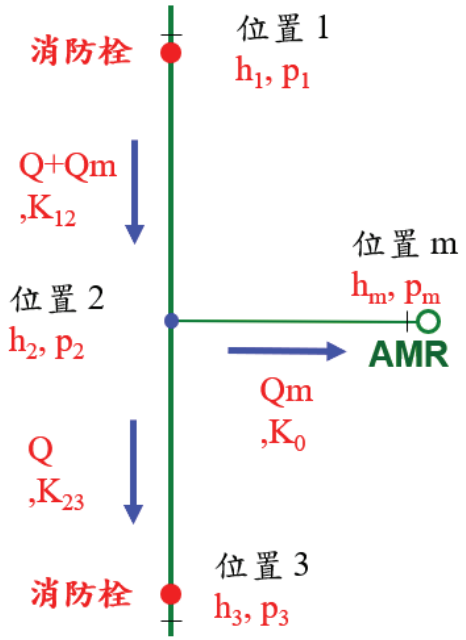

圖 2　AMR 與消防栓的管網配置 1

基於在水管中不可壓縮連續性流體的能量守恆，流體由位置 1 流到位置 2，其總水頭表示如下：

$$\frac{V_1^2}{2g} + h_1 + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \Delta h_{1-2}$$

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} - h_2 - \frac{p_2}{\rho g} = \Delta h_{1-2} + \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}\right)$$
$$= K_1'Q^2 + K_aQ^2 - K_bQ^2 = K_{12}Q^2$$

其中 K12 為位置 1、2 間水頭損失的場址係數，水頭損失與管中水流量平方成正比，Ka、Kb 為轉換係數。

應用前述概念，再審視圖 2：

(1) 當 Qm=0,

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} - h_3 - \frac{p_3}{\rho g} = (K_{12} + K_{23})Q^2 \quad \text{.....(i)}$$

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} - h_2 - \frac{p_2}{\rho g}$$
$$= h_1 + \frac{p_1}{\rho g} - h_m - \frac{p_m}{\rho g} + \Delta h_{2-m}$$
$$= K_{12}Q^2 \quad \text{.....(ii)}$$

(2) 當Qm 突增時，　　Qm≠0

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} - h_3 - \frac{p_3}{\rho g} = K_{12}(Q + Q_m)^2 + K_{23}Q^2 \quad \text{.....(iii)}$$

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} - h_m - \frac{p_m}{\rho g} = K_{12}(Q + Q_m)^2 + K_0Q_m{}^2 \quad \text{.....(iv)}$$

因 h1、P1、h3、P13、hm、Pm、Qm（由水表讀取）等已知，藉由解上述 4 聯立方程式，可得 K0、K12、K23、Q，但如此並不友善。

如圖 3，依目前案例發現：

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} - h_3 - \frac{p_3}{\rho g} < 0.02\text{kgw/cm2}$$

故可令管損依長度分配，如

$$\frac{\Delta h_{12}}{\Delta h_{23}} = \frac{L_{12}}{L_{23}}$$

或令　　$\Delta h_{12}=0$

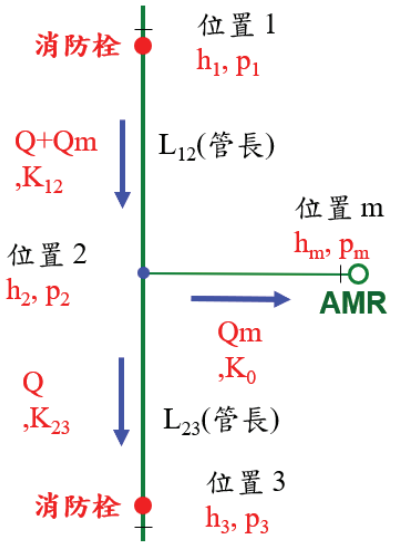

圖 3　AMR 與消防栓的管網配置 2

若Δ為 Qm=0 的水頭損失，Δ’ 為 Qm≠0 時的水頭損失，則點 1（消防栓 1）到點 m（AMR 位置）壓力轉換公式為：

$$p_1 = p_m + h_m - h_1 + \Delta h_{1-3} \times \frac{L_{1-2}}{L_{1-3}} + (\Delta' h_{1-3} - \Delta h_{1-3}) + K_0 Q_m^2$$

在實驗室內，小範圍的供水系統，相關水頭損失可採用與流量平方成正比公式（類 Darcy-Weisbach 公式）推估，故衍伸上述推導過程，但研究一併考量，若屬大區域之供水管網，其未必能服膺上述計算公式，所以在如下的 11 個研究案例中，同樣亦採用 Hazen-Williams 公式重算 1 次(水頭損失約與流量 1.85 次方成正比)，以比較採用何公式較適合。

(二)AMR 與消防栓水壓紀錄器間的對時及壓力校對：

研究進行前需校正所有壓力儀器間的可能誤差，在此可分成水壓紀錄器 Lolog 450 間的校對（可能同時使用 2~3 只水壓紀錄器於鄰近消防栓）、AMR 與水壓紀錄器 Lolog 450 間的校對 2 項：

1.水壓紀錄器 Lolog 450 間的校對：如圖 4，本研究把 2 組水壓紀錄器同時安裝在可 1 分 2 的地下式消防栓立管上（消防栓水閥未開啟），然後透過瞬間開啟消防栓開關，比較 2 組紀錄器的壓力差與紀錄時間差，便可校對，而須特別注意的是，2 組水壓紀錄器的高程需一致。

圖 4　水壓紀錄器 Lolog 450 間的校對

2.AMR 與水壓紀錄器 Lolog 450 間的校對：分成時間與壓力的校對 2 種。

(1)時間校對：給水管內的流量 Qm=0 時，AMR 於給水管內各點的總水頭應相同，此對於校對各種壓力表很有用，另研究所用的 AMR 系統可每分鐘記錄 1 筆數據，而 Lolog 450 最低可設定每秒鐘 1 筆，而本研究初期設定為每 15 秒記錄 1 筆，然後在水壓紀錄有明顯壓力變化起伏的相同點附近（可

能誤差 1~2 分鐘內），以 Lolog 450 同時間前後數組資料分別與 AMR 量測壓力資料計算差值之系列數據最小平方和，其中平方和最小的該組，即為時間最接近的資料組。

(2)壓力校對：給水管內的流量 Qm=0 時，給水管內等水頭，配水管的水頭損失可依管線長度比例內差分配，再以水準儀（圖 5）對各消防栓、AMR 進行高程量測，即可進行 AMR 與 Lolog 450 間壓力校對。

圖 5　表位、消防栓水準儀高程量測

二、實例說明

如圖 6，為研究案例臺北市環保局福德坑資源處理場，用戶因大量進水產生鄰近消防栓壓降之相關歷時曲線，此案例的消防栓及 AMR 配置如圖 2，由圖 6 可以發現，在用戶大量進水時，配水管（消防栓）與給水管（AMR 表）有明顯壓降，其中給水管因口徑較小，同流量壓損較大，故壓降更為明顯；而依案址圖資分析，AMR 鄰近配水管（分支接水點）上、下游消防栓相距 400M（鄰近無住家，不需依北市每 60~100M 設置 1 處消防栓規定），且分支點緊鄰上游消防栓約 8M，故設定分支點總水頭與消防栓總水頭相同，以便後續推估，否則一般上、下游所產生水頭差可以 AMR 流量為 0 時，依上、下游與支點距離分配水頭損失，但此部分水頭損失一般小於 0.02kgw/cm^2。

而實務上來說，各消防栓、AMR 點位產生之壓力差，主要為 AMR 與消防栓間的高程差與極小部分的儀器誤差，此可透過前述「AMR 與消防栓水壓紀錄器間的對時及壓力校對」章節方法來調校。

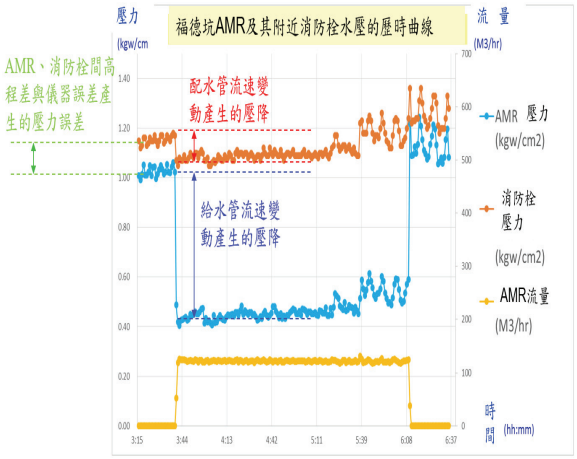

圖 6　因用戶大量進水產生配水管壓降案例

如圖 7 所示，為已校對完妥之 AMR、消防栓壓力、流量歷時曲線，其校正分為 2 項，1 是時間軸（橫軸）的誤差校正，係消防栓所用 Lolog 450 紀錄時間與 AMR 紀錄時間點存在少許誤差，而其紀錄時間精度，前者為 15 秒、後者為 1 分鐘，故研究利用同時間點 AMR 資料相對前後 6~8 筆（約 1.5~2 分鐘範圍）的 Lolog 450 紀錄值批次進行差值的最小平方法比較，差異最小的那 1 組，即為校時後的同組資料；另 1 項是儀器間壓力值的

校正，首先是高程校正，研究以水準儀量測 AMR 與消防栓水壓紀錄器所在高程，精度應可在 5mm 以內，即約 0.0005kgw/cm^2 以內。

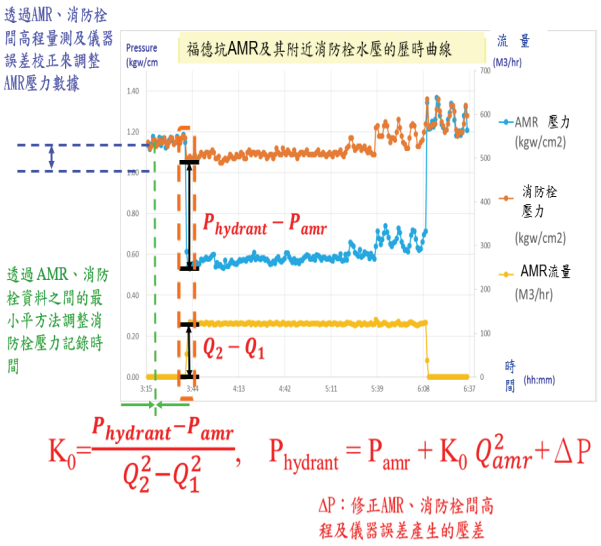

圖 7　以 AMR 回溯配水管水壓步驟說明

上述案例經校正後，可依圖 7 的公式計算 K0=0.0000345，而 AMR 與配水管的壓力轉換公式為：

Phydrant = Pamr + 0.0000345 Qamr^2 + 0.1602

ΔP 的壓力校正為 0.1602 kgw/cm^2，而每次進水時配水管的消防栓與 AMR 壓差約 0.51 kgw/cm^2。

三、實驗結果與探討

如圖 8 為研究進行 11 個案例，以 AMR 推測得到配水管水壓的公式轉換結果，比對實際消防栓水壓紀錄值差異之累計百分率，以淺藍色標記的辛亥路 4 段為例，每分鐘 1 筆紀錄值、每週上萬筆資料，約有 97.22% 估計值與實際值誤差小於 0.3 kgw/cm^2、98.35% 估計值與實際值誤差小於 0.4 kgw/cm^2、98.9%估計值與實際值誤差小於 0.5 kgw/cm^2，這樣的誤差值在應用上仍偏大，稍後會探討這些異常案例的產生原因，且說明這樣的誤差未必全然是錯誤的，可能只是儀器的量測時間差。

研究發現，11 個案例中，有 6 個公式推估值與實際值誤差小於 0.1 kgw/cm^2 資料達 99%比例以上，顯示本研究可行性相當高，而其餘案例，稍後將分析其環境背景因素。

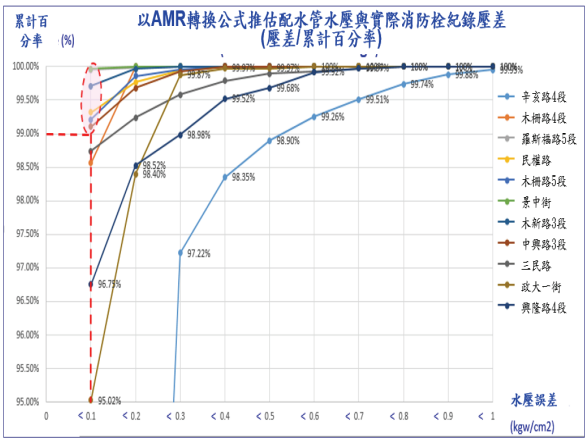

圖 8　以 AMR 轉換公式推估配水管水壓與實際消防栓紀錄壓差（壓差/資料累計百分率）

茲分析以 AMR 推估配水管水壓可能發生異常原因如下：

(一)鄰近區域有水錘效應：

我們以誤差最大的辛亥路 4 段為例，因鄰近有特定的水錘來源，依圖 9 顯示，水錘的壓力變動可能在 1~4.5kgw/cm^2 之間，每次變動可能在 1、2 秒內完成，這對於 AMR 與 Lolog 450 校對於 15 秒內的誤差仍顯太大、不可預期，依研究案例資料，在無水錘發生時的配水管推估壓力與消防栓實際紀錄壓力誤差約在 0.2kgw/cm^2 以內，故此推估壓力仍為可行，只是推估壓力發生時間點可能有 15 秒的誤差。

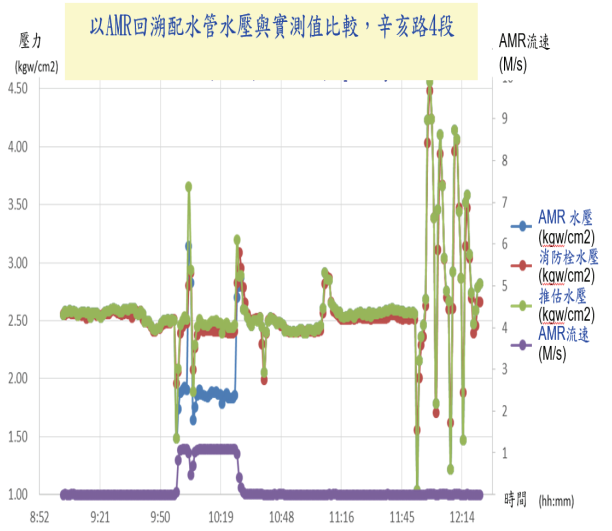

圖 9　以 AMR 回溯配水管水壓與實測值比較（辛亥路 4 段）

以 AMR 推估鄰近消防栓水壓誤差稍大的 5 個案例中，有 4 個水錘影響因子。

(二)AMR 與鄰近配水管消防栓間有大用水戶：

如圖 10 所示，在 AMR 回溯配水管水壓的場址係數計算上，若介乎 AMR 與消防栓間有大用水戶突然進水，則壓損場址係數 K0 的計算與回溯配水管水壓公式，將有較大的誤差，因此在案例採用上，應評估是否排除應用，而本案例雖有此情形，然因外線配水管口徑為 400mm，而此處多戶用戶管僅為 50~75mm，且用戶用水量不大，推估與實際水壓差小於 0.1 kgw/cm^2 資料約占所有紀錄資料 98.56%，而 100%推估值誤差皆小於 0.2 kgw/cm^2，仍可應用，但算是一個特例。

(三)AMR 水量計內線有 2 套以上供水系統：

如圖 11，可發現水壓量測亦受到鄰近水錘影響，不過水錘的振幅多在 0.1 kgw/cm^2 以內，另外，可發現 AMR 瞬間進水流量有 2 組明顯不同的波峰，這顯示進水內線可能有 2 套以上系統（如 2 組水池等），依進水歷時曲線可計算出 2 組 K0 值，但因進水瞬間流量都不大（7.3~9.7CMH），AMR 進水與否對 AMR 及鄰近消防栓水壓影響都很小（小於 0.1 kgw/cm^2），本案例雖仍可以透過 AMR 推估配水管網水壓，不過「內線是否有多個進水系統」，且此多個供水系統是否會影響 AMR 推估配水管水壓之進行，仍應列入選點評估準則。

據此，上述 3 個可能造成 AMR 水壓溯源誤差的狀況，可於實務應用上訂定標準法則進行篩選。

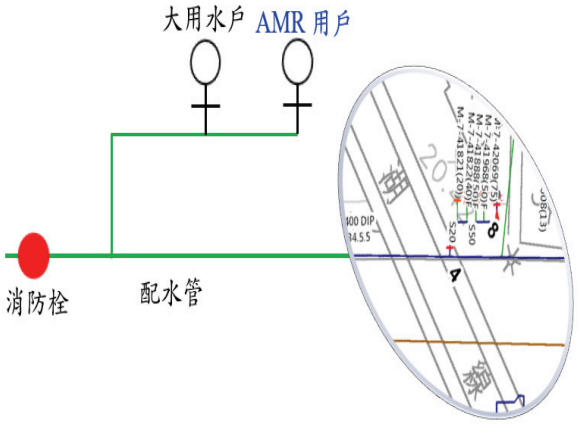

圖 10　AMR 與鄰近配水管消防栓間有大用水戶（木柵路 4 段）

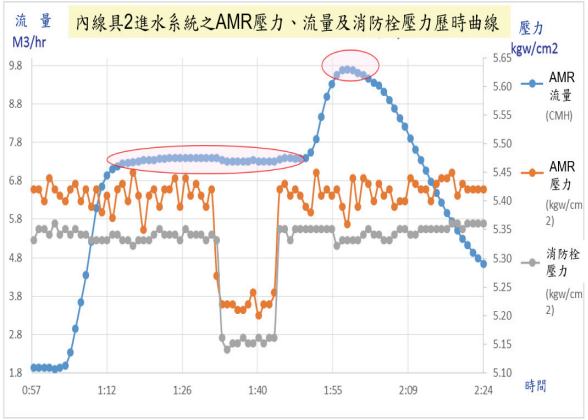

圖 11　AMR 水量計內線有 2 套以上進水系統之流量、壓力歷時曲線(政大一街)

篩選的步驟有 2 方向：

1.圖資檢視 AMR 與鄰近配水管消防栓間是否有大用水戶，若有則應排除。

2.檢視 AMR 水壓、流量與鄰近配水管消防栓之水壓歷時曲線：

(1)是否有 2 套以上進水系統：若有，則評估 2 套系統 K0 值回溯配水管水壓是否符需求。

(2)是否有環境水錘：水錘是否影響 AMR 回溯配水管水壓，若屬回溯水壓與實際消防栓水壓紀錄器量測值於一定時間區間（如取 10 分鐘）的平均值相近，則此水錘影響可忽略，單點量測誤差可視為水錘瞬間誤差，此回溯推估可用；反之則不列入 AMR 回溯點使用。

表 1　配水管推估與實際消防栓紀錄水壓之誤差及比較 Darcy、Hazen 公式推估差異

AMR位置	推估公式	K0，水頭損失場址係數	誤差<0.1 kgw/cm² (%)	誤差<0.2 kgw/cm² (%)	誤差<0.3 kgw/cm² (%)
辛亥路4段	Darcy	0.00183	55.01%	81.87%	97.22%
	Hazen	0.00278	51.49%	80.77%	96.85%
木柵路4段	Darcy	0.02173	98.56%	100%	100%
	Hazen	0.02885	98.61%	100%	100%
羅斯福路5段	Darcy	0.0016	99.95%	99.99%	100%
	Hazen	0.00222	99.95%	99.99%	100%
民權路	Darcy	0.000036	99.32%	99.77%	99.94%
	Hazen	0.000056	99.30%	99.77%	99.94%
木柵路5段	Darcy	0.000034	99.21%	99.86%	99.96%
	Hazen	0.00007	99.22%	99.87%	99.96%
景中街	Darcy	0.000034	99.97%	100%	100%
	Hazen	0.000044	99.97%	100%	100%
木新路3段	Darcy	0.000188	99.71%	99.97%	100%
	Hazen	0.000314	99.63%	99.97%	100%
中興路3段	Darcy	0.002679	99.11%	99.68%	99.92%
	Hazen	0.0045	99.11%	99.66%	99.95%
三民路	Darcy	0.00389	98.74%	99.24%	99.58%
	Hazen	0.00546	98.74%	99.24%	99.58%
政大一街	Darcy	0.001355	95.02%	98.40%	99.87%
	Hazen	0.001971	95.02%	98.40%	99.87%
興隆路4段	Darcy	0.054123	96.75%	98.52%	98.98%
	Hazen	0.071757	96.75%	98.52%	98.98%

另前述研究方法章節提到，本研究因應於大區域及小範圍水頭損失公式的差異，評估採用 Hazen-Williams 或壓損與流量平方成正比（類 Darcy-Weisbach）公式來比較，研究結果顯示如表 1，扣除辛亥路 4 段水錘影響嚴重案例，其產生 AMR 推估配水管水壓與消防栓水錘水錘發生瞬間有紀錄時間差，其餘 10 個案例顯示，無論使用 Hazen-Williams 或類 Darcy-Weisbach 公式，評估結果都沒有太大差異，其誤差都在百分比的小數第 2 位。

四、結論及建議

臺北自來水事業處轄區目前有共 234 個壓力監視點，其中 175 個為有線、59 個為無線，而有線的水壓監視點施作 1 處約 80~90 萬元以上、小區計量（兼水壓監測功能）窨井設置約近 20 萬元，而本研究兼具壓力量測的 AMR 計量表安裝僅約數萬元，研究發想於 AMR 水量計的逐漸普遍，若能加值應用，對管網的監控有很大助益；如下簡略說明本研究結論、建議如下：

(一)以兼具水壓量測的 AMR 回溯配水管水壓確為可行：

在本研究中，用戶進水與否，AMR 與附近消防栓間最大壓力差約為 0.85 kgw/cm²，因此，若不考慮流體流動水頭損失引起的壓降，將家戶 AMR 水壓直接當成配水管水壓是危險的；而本研究提供了一種實用的方法，可應用家戶 AMR 資訊（流量和壓力）計算該場址水頭損失係數 K_0，並推估配水管水壓，在正常環境下，99%的估算誤差小於 0.1 kgw/cm²，但即便環境異常狀

況，亦有約 97%以上資料誤差小於 0.3kgw/cm^2。

(二)前述 AMR 回溯配水管水壓將產生異常的環境背景因素如 AMR 與鄰近配水管消防栓間有大用水戶、用戶內線有 2 套進水系統、水錘等因素，可先篩選、排除應用：

AMR 與鄰近配水管消防栓間有大用水戶可透過圖資查詢鄰近水表位置及用水量狀況後篩選排除；用戶內線有 2 套進水系統則計算 2 套系統 K0 值回溯配水管水壓是否符需求，以本案政大一街案例而言，98.4%的推估誤差小於 0.2 kgw/cm²、99.87%的推估誤差小於 0.3 kgw/cm²，如果要求不高這個點應該可用，否則將不採用此點作配水管水壓推估；另環境背景中有水錘，其 AMR 回溯配水管水壓資料並非不能用，但有觀測時間差，但為免困擾，亦可逕行排除。

但在此要特別說明的，研究所採用的水量計，其瞬間流量是採過去 1 分鐘的平均流量，所以在流量短時間劇烈變化時，回溯的配水管水壓變化較和緩，故流量劇烈變化情況下，推估亦發生誤差。

(三)研究採用 Hazen-Williams 或水頭損失與流量平方成正比（類 Darcy-Weisbach 公式）來求取水頭損失場址係數及以 AMR 資訊回溯配水管水壓，結果顯示沒有明顯優劣差異。

(四)以 AMR 回溯配水管水壓是預算有限時的另類選擇，且若能搭配用戶提供市電電源，則可幾近即時資訊：

有線水壓監視點因接用市電，可做到每分鐘更新 1 筆的即時壓力傳訊，而 AMR 目前多接用電池，考量電池之續航力，雖可以做到每分鐘記錄 1 筆資料，但至少需每 10 分鐘才能回傳 1 筆資訊，並不即時，所以若能提供用戶部分誘因，如減免部分基本費，可請用戶協助提供市電，便可有較即時之壓力資訊傳遞；因此，在可預見的將來利用 AMR 建造成本低、施工方便的即時壓力監測 SCADA 系統是可行的。

參考文獻

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

2.Selami Kara etc. (2015), Real time monitoring and control in water distribution systems for improving operational efficiency. Desalination and water treatment. July 2015, http ://dx.doi.org/10.1080/19443994.2015.1069224

3.https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure_head。

作者簡介

周家榮先生

現職：臺北自來水事業處陽明營業分處股長

專長：管網改善、小區計量實務及水量計、水壓研究等

臺北市老舊高地社區漏水改善探討－以翡翠城為例

文/游叡研

摘要

老舊高地社區因對自設加壓受水設備維管意識不足，且早期水管材質較不佳容易劣化，當內線發生漏水，用戶不只需多分攤總表差額水費，尚需負擔額外馬達加壓電費；總表後內線埋設路面下，因涉及道路開挖工程技術面難度較高致維修不易，用戶常透過民意代表反映漏水改善困難。為珍惜寶貴水資源，減輕用戶財務負擔，降低漏水可能衍生公安危險，探討改善可行方案。

翡翠城社區為高地漏水改善少數成功案例，前後歷經約 4 年之久，節省不必要水費及電費支出，達照顧偏遠高地區居民之美意。本案對老舊高地社區漏水改善執行過程遭遇問題進行分析探討，提出具體改善作為，持續修正完善計畫，針對改善方案給予反饋，提出執行注意重點，有效達成漏水改善目的。

關鍵字：漏水改善、高地社區、加壓受水設備

一、前言

大臺北地區為盆地地形四周多山，平地管網末端壓力偏低，隨著都市高度發展，市郊邊陲山區地勢較高處亦大量開發興建私人社區住宅，為解決壓力無法到達高地區問題，私人開發單位自行興建水池及水塔等加壓受水設備，社區總表位於平地水壓可及處，透過間接馬達加壓供水模式，將自來水由山下水池加壓打至山上高點水塔，或直接打至各棟頂樓水塔，滿足用水需求。

這些早期開發興建之老舊高地社區，社區用水設備由社區自行維護管理，於完成初期運作良好，惟隨著時間年久失修，機電設備出現故障頻率變高，且部分社區對於自設加壓受水設備之維護管理意識不足且缺乏專業知識，致可能有故障停水情形發生。

早期水管材質較不佳，通常是鐵管或塑膠管材質容易劣化，造成社區內管線漏水嚴重，用戶不只需多分攤總表差額水費，還需負擔額外馬達加壓電費，造成嚴重負擔。同時漏水也可能造成公安危險問題，例如馬路破損下陷可能導致交通意外事故發生。

如上所述社區總表後至山上各棟建築物之管線設備，通常埋設於道路下方，如有漏水因涉及道路開挖等工程技術面難度較高致維修不易，且用戶常反映社區用水設備維護管理費用過高難以負擔全額，多次透過民意代表反映無力維護，希望相關單位能就施工技術面予以協助處理，並希望能補助相關改善費用以減輕用戶負擔。

考量社區自設加壓受水設備維護不當將造成水資源浪費，部分社區漏水量甚至高達數萬噸，社區處理改善過程十分艱辛並困難重重。基於水資源有限且日益匱乏，為珍惜重要民生必需之水資源避免浪費，為減輕社區民眾財務負擔，減少漏水可能衍生公安危險，並提供專業技術協助，臺北自來水事業處（北水處）盡全力協助老舊高地社區住

戶解決管線老舊漏水問題，造福居民解決漏水之苦並節省寶貴水資源。

二、案例執行探討

內湖路 3 段 357 巷及 329 巷 10 弄一帶住戶（以下簡稱翡翠城社區），位於內湖區邊陲高地區，內湖路 3 段及金龍路一帶位處松山內湖線供水末端，且內湖路 3 段末端地勢較高壓力偏低，水壓約介於 0.3~0.5kg/cm^2。

翡翠城社區間接加壓受水設備老舊且漏水嚴重，每月漏水約 500 度，造成社區用戶水費及電費增加雙重損失，社區總水塔位於台電變電箱正上方(如圖 1)，曾因漏水造成漏電公安意外，用水安全之虞，里長及住戶多次透過民意代表陳情希望改善漏水問題。

本案有 2 個處理層面，分別是區域水壓偏低及內線漏水問題，改善執行歷程如下：

(一)提升區域水壓：

1.翡翠城社區一帶水壓偏低，經評估研擬提升水壓策進方案，調閱圖資、水理分析及現場檢核，確定適當地點為碧湖國小，多次溝通徵求校方同意辦理用地取得，於校區用地新設管中加壓站。

2.妥善辦理系統切換作業，過程未發生水汙染或無水情事，切換後該區域的整體水壓獲得改善，內湖路 3 段末端水壓由 0.3 kg/cm^{2}提升至 1.1 kg/cm^2（如圖 2），壓力獲得改善。

(二)改善漏水問題：

1.106 年 3 月 15 日，社區住戶提出申請：因加壓受水設備老舊耗能且管線老舊漏水嚴重浪費水資源等因素，社區住戶自行維護困難且無力負擔全額改善費用，委請北水處代為協助辦理改善更新並予以經費補助。

圖 1　翡翠城社區水塔位置圖

圖 2　管中加壓站水壓改善示意圖

2.研擬改善對策：經初步評估改善方案，分別說明如下：

- 方案一：以「臺北市老舊高地社區自設加壓受水設備改善計畫」方式辦理，補助工程改善總經費之 80%(每戶以 10 萬元為上限)，每戶負擔費用估算約 3~4 千元。優點是無私地補償問題（依自來水法第 61-1 條第 4 項規定，使用達 10 年以上，視為有地上權存在），缺點是因需編列公務預算時效較慢，完成後社區總表需留用。
- 方案二：以平地延管方式辦理，延伸健全區域管網，北水處全額負擔配水管費用，用戶負擔給水管費用，每戶負擔費用估算

約 3~4 千元，優點是時效較快（不須編列公務預算），缺點是可能會遭遇私地問題較難處理，於完成後社區總表須廢除。

- 方案三：由用戶申請管線整理方式辦理，依自來水法第 65 條，配合用戶申請管線整理，新設配水管線得按其成本向用戶收取二分之一以下之補助金，估算每戶負擔費用約 1 萬 2 千元，優缺點如方案二說明。方案三用戶需負擔費用較高，用戶不接受。
- 方案四：區域水壓提升，內線不汰換更新，維持社區山下總表及表後型態，總水池及山上總水塔廢棄。方案四未徹底解決漏水問題，用戶不接受。

本案主要評估探討方案一及方案二可行性，方案二優點是時效較快可於當年度完成改善，但缺點是遇私地問題較難處理，如遇地主反對，依自來水法雖訂有補償辦法，惟行政程序複雜，可能變成法律爭議曠日廢時，且私地補償責任在北水處。依自來水法第 53 條，使用公、私有土地，應擇其損害最少之處所及方法為之，如有損害，應按損害之程度予以補償。依自來水工程使用土地爭議補償裁量準則第 7 條，使用公、私有土地，土地補償費以埋設物投影面積之一點五倍，按施工開始當年期土地公告現值百分之五計算，一次發給土地所有權人。

繳費方式亦不同，方案一係以專案方式整筆一次完成繳費，方案二由用戶各別申請繳費增加行政作業複雜度。方案一係屬改善內線方式，方案二視同埋設配水管(外線)，可能導致外界聯想專門為某社區量身訂做之疑慮。經多方考量權衡分析利弊後以方案一方式辦理較佳，雖須編列公務預算補助時程較慢，惟後續執行上應會較順遂，行政程序較單純簡化，較不會產生相關疑義(如表 1)。

表 1　方案執行分析說明表

方案	配水管產權	私地補償責任	時效	總表	繳費方式
一	用戶	用戶	較慢	留用	專案一次繳納
二	北水處	北水處	較快	廢除	用戶各別繳納

3.106 年 4 月 24 日，簽准編列公務預算補助辦理漏水改善。

4.107 年 1 月 9 日，社區完成用水設備內線工程設計圖審圖作業，因各棟建築物皆增設中間評估總表，與原始內線給水台帳圖不同，故須審圖更新台帳。

5.107 年 2 月 21 日，用戶完成繳費。用戶負擔款項為工程改善總經費 20%，公務預算補助 80%，用戶應付款項需於簽訂改善契約前一次完成給付繳納至北水處，可避免用戶個別繳納造成管理困擾。

6.107 年 4 月 13 日，北水處完成管線改善設計圖作業。

7.107 年 4 月 30 日，完成正式簽約及用印事宜，簽訂代辦改善契約重點注意事項如下（甲方：社區、乙方：北水處）：

(1)用戶加壓受水設備所使用之土地非屬用戶所有，但自供水日起，使用年限已達 10 年以上者，同意依自來水法第 61-1 條第 4 項規定，本社區保證工程完畢後恢復原狀(免出具土地使用同意書)。

(2)土地或加壓受水設備產權等糾紛應由甲

方依自來水法第 61 條之 1 等規定自行處理，若有糾紛無法處理，乙方得逕行暫緩辦理，待甲方處理完畢並經通知乙方後，乙方得繼續辦理。施工如遇土地爭議協調未果或依法因此無法施工，得終止契約，應辦理結算並部分驗收後結案，如有剩餘用戶負擔款無息退回。

(3)乙方受理甲方委託後代辦施工改善。完工後加壓受水設備則移由甲方自行維護管理，如有保固事宜經甲方通知乙方後，由乙方連繫承攬廠商辦理（保固期間為管線 3 年、機電設備 2 年）。

(4)於本改善契約辦理完竣後，相關加壓受水設備之所有權及管理使用權仍為甲方所有，甲方應負責維護，各類加壓受水設備保固期間過後若造成第三人損害，應由甲方負責。

8.107 年 5 月 4 日，辦理施工前說明會(如圖 3)向里長及用戶說明施工相關事宜，議員亦親自出席。

9.107 年 6 月 15 日，完成內湖翡翠城管線改善更新(如圖 4)，施工過程妥善安排工序，確實督商執行縮短工期，施工期間維持正常供水，系統切換過程透過消防栓隨時量測水質及水壓變化，無用戶反映無水或水濁。完成後售水率達 100%，用戶可節省每期水費及電費支出。

三、漏水改善執行重點

(一)以「臺北市老舊高地社區自設加壓受水設備改善計畫」方式辦理，管線產權屬用戶，私地補償責任亦為用戶。依自來水法第 61-1 條第 4 項規定，用戶加壓受水設備所使用之土地非屬用戶所有，但自自來水事業供水日起，使用年限已達十年以上者，其用戶就該等土地視為有地上權存在，得於直轄市、縣（市）主管機關同意，並保證工程完畢後恢復原狀下，在取得土地所有權前為必要之維護與更新。社區(住戶)須檢附敘明保證工程完畢後恢復原狀之申請書。

圖 3　施工前說明會

圖 4　現場施工改善

(二)原社區總表須保留，符合計畫補助用戶改善內線設備原則精神。

(三)區域水壓提升，內湖路 3 段管網末端水壓可供給至翡翠城社區各棟一樓水池，社區山下總水池及山上總水塔可廢除，

總水塔廢除可免除變電箱公安危險。

(四)各棟建物增設中間總表：翡翠城社區原總水池及總水塔廢棄後，於各棟建物一樓樓梯間新增中間評估總表，方便日後查漏有助漏水管理。

(五)用戶需委託合格自來水管承裝商或相關執業技師繪製用水設備內線工程設計圖辦理審圖作業，確認各棟蓄水量是否符合規定。

(六)各棟建物維持間接加壓用水設備（中間評估總表至頂樓分表之加壓設備、地下室水池及頂樓水塔等），會同里長及住戶現場逐棟勘查加壓受水設備使用現況，發現 357 巷 2,4 號及 10,12 號二棟水池已廢棄不用，要求用戶購買不鏽鋼水桶，恢復間接供水模式，以免日後因區域管網水壓調整影響進水。

(七)需要全體住戶一起同時申請（不接受各別申請）並以專案一次付清繳費完成後，接續辦理後續簽約及設計施工事宜，施工時一併埋設配水管和給水管，完成後舊有供水系統須同時斷除，舊設備由用戶自行雇工拆除或廢棄，才能達成漏水改善目的。

(八)新設配水管規劃，綜合考量消防救災需求，增設消防栓並以 DIP 管利用平口轉換，利用表用雙凸緣縮管，DIP 管可直接連接 SSP 管接至表位，可成功消除管末端滯留段(如圖 5)，管線保持持續流通狀態不會有滯留水水污染問題，日後不須作管末排水。

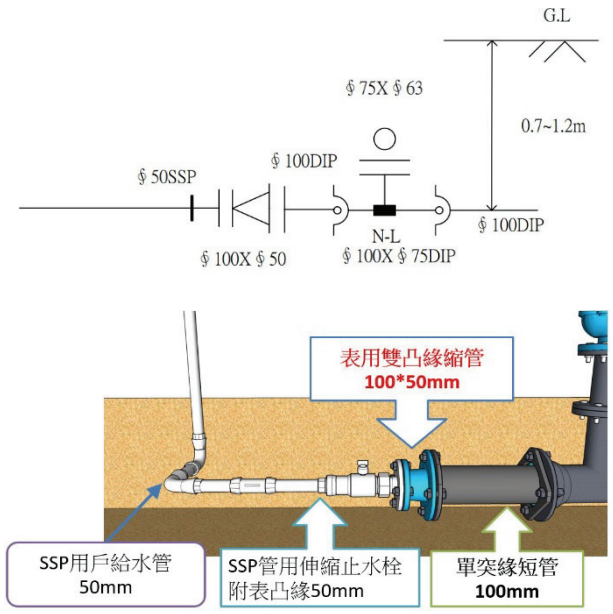

圖 5　管線末端無滯留段示意圖

(九)本案社區無管委會整合不易，多次拜會里長、鄰長及住戶，經 9 個多月溝通協調，終取得全數 145 戶土地無償使用同意書，實屬不易，成功關鍵點在於與地方意見領袖及里長保持良好溝通協調。

四、計畫執行分析探討

臺北市老舊高地社區自設加壓受水設備改善計畫於 101 年核定，匡列 34 個社區，其立意良善旨為照顧老舊高地社區居民用水權益，但執行率卻不如預期，101 至 106 年間僅執行 1 案。

探究原因有地主阻撓無法取得土地無償使用同意書，部分社區受限於原匡列社區限制無法申請，住戶意見分歧無法取得共識，部分住戶不願繳納分攤自付款項，補助執行彈性不足，規定社區繳費、簽約時限及專標施作將使案件推行時程延長，申辦文件過於繁雜造成民眾困擾與不便，故於 106 年及 108 年辦理相關計畫內容修正以加速推

動：

(一)擴大適用對象，不僅限於原匡列 34 個社區，執行對象擴大為申辦接水時採用戶加壓受水設備供水之老舊高地社區。

(二)廣納成案來源，除社區提出申請外，其他經相關行政程序管道提出之案件亦納入計畫辦理。

(三)增加執行彈性，補助原則除各社區補助以一次為限，得視執行情形分批辦理。

(四)刪除繳費及簽約時限。

(五)修正可以現行標案進行改善施工。

(六)簡化作業流程程序，刪除應備文件一覽表，相關事項納入契約內容。

(七)加強計畫宣導，除於北水處網站上公告計畫內容外，主動向漏水嚴重社區訪談或辦理說明會，提升社區辦理意願。

經檢討分析計畫內容，主動探究執行率不佳原因並據以修正提出改善措施，以更符合實際用戶需求與便民原則，加速推動老舊高地社區漏水改善，展現照顧偏遠高地區用戶與維護水資源責任，協助社區解決長期漏水難以維修之苦。107 年完成 2 案(翡翠城社區、楓橋新村社區)，109 年完成 1 案(玫瑰城社區)，並持續受理用戶申請辦理漏水改善。

五、土地爭議預防原則

老舊高地社區改善一大困難點在於，管線位於路面下方，亦即俗稱之內線外管，執行過程可能出現地主出面阻撓無法施工，雖依自來水法使用年限已達十年以上者，其用戶就該等土地視為有地上權存在，但實務處理仍相當棘手，施工前務必詳細調查土地權屬，辦理施工前說明會，實地拜訪用戶，預先了解可能潛在出面阻撓地主，主動溝通說明善意化解疑慮，執行上注意重點如下：

(一)為符合自來水法 61-1 條第 4 項規定，用戶加壓受水設備所使用之土地非屬用戶所有，但自自來水事業供水日起，使用年限已達十年以上者，其用戶就該等土地視為有地上權存在，社區(用戶)申請時須檢附敘明保證工程完畢後恢復原狀之申請書。

(二)為避免執行時發生土地爭議，管線設備所經過非屬社區或社區居民所有之私有土地並屬下列情形之一者，宜檢視其土地權屬並取得無償使用同意書。

1.供水期間未達 10 年。

2.具敏感性或某特定地主佔改善所需經過之土地持分比例較高者。

3.社區維護自來水管線，曾遇地主抗爭。

4.社區與建商或地主曾經產生糾紛。

六、結語

老舊高地社區漏水改善，可透過「臺北市老舊高地社區自設加壓受水設備改善計畫」申請補助經費並進行改善，先決條件之一是全體住戶需取得共識並願意分攤自付工程款項(20%)，如社區內部意見分歧，如有少數住戶不願分攤費用，將使得社區漏水改善作業難以推動，北水處基於服務用戶，善盡維護珍貴水資源社會責任，執行過程主動持續溝通協調，尤其是地方意見領袖里長或是社區主委及總幹事，透過私下拜訪溝通及公開辦理說明會，協助消弭不同意見用戶之疑慮，使漏水改善能順利推行。透過計畫改

善工程由北水處代為施作，施工品質可獲得保障，避免自行雇工修理品質良莠不齊。

翡翠城社區為高地漏水改善少數成功案例，本案自 103 年起即著手進行相關可行性方案研究及測試，歷經多次前置相關規畫研討作業，在 105 年確定整體策進方案，其後辦理用地取得、設置碧湖國小管中加壓站、區域供水調配、取得全體用戶申請書並願意自付 20%工程款項、簽訂代辦契約、辦理施工前說明會至 107 年 6 月完成最後管線更新，前後歷經約 4 年時間終於完成漏水改善。社區原內線漏水嚴重，改善後已無漏水，用戶可節省每月不必要水費及電費支出，本案於乾旱時期更能彰顯對節省寶貴水資源之貢獻，並且有助於提升水處形象以及達到照顧偏遠高地地區居民之美意。

本案對高地社區漏水改善執行過程遭遇問題進行分析探討，提出具體執行作為，持續修正計畫，簡化申請流程更貼近實務可行層面，加速推動漏水改善。並針對改善方案進行討論並給予反饋，提出相關執行應注意重點，包括私地問題預防處理原則，社區(住戶)須檢附敘明保證工程完畢後恢復原狀之申請書，每棟建築物須維持間接加壓用水設備以利供水穩定，社區山下總表留用，各棟建物增設中間評估總表以利日後漏水管理，全體住戶同時申請並完成繳費，簽訂代辦契約，施工完成後舊有供水系統須同時斷除，才能達成漏水改善目的。

謹以此文將老舊高地社區漏水改善執行經驗作全面性整理探討歸納說明與自來水從業人員分享，期能有助於後續高地社區漏水改善加速推動。

參考文獻

1.臺北自來水事業處，臺北市老舊高地社區自設加壓受水設備改善計畫，2019最新修訂
2.自來水法，最新修訂 2021 年 2 月 3 日
3.賴奕誠、游叡研，「封閉型加壓站類型介紹及管理作為」，自來水協會自來水會刊第39卷第2期，2020
4.臺北自來水事業處，內湖路3段357巷一帶用戶用水設備改善探討簡報，2017

作者簡介

游叡研先生

現職：臺北自來水事業處技術科股長

專長：漏水管理、小區計量、高地供水

台水 WADA 小區與彈性微區提升售水率應用

文/林子立、陳召臻、顧培正、林璟鴻

摘要

水公司於 2017(民國 106)年 5 月成立「大數據分析小組」，參考以色列 Takadu 公司開發之智慧水網軟體管理技術，自行研發漏水偵測輔助系統 WADA（Water Advanced Data Analysis），自 2018(107)年 5 月上線，針對小區管網 DMA 每日提供初步的異常事件及預警事件訊息。

2021(110)年 8 月增修為 2.0 版，係以國際水協 IWA 在降低漏水工作「真實供水損失管理」的四大主軸之一「主動漏水控制」，進階所需的「彈性微區」工法數據納入，並將小區水壓、流量異常初判等數據一併呈現，利於後續降低漏水及提升售水率等現場工作之應用。

關鍵字：檢漏、降低漏水、提升售水率

一、前言

台水公司於 2016(105)年試辦以色列 TakaDu 公司的智慧水網應用計畫，2017(106)年 5 月成立「大數據分析小組」，參考以色列 Takadu 公司開發之智慧水網軟體管理技術，自行研發漏水偵測輔助系統 WADA（Water Advanced Data Analysis），自 2018(107)年 5 月上線，該系統係針對小區管網 DMA 每日提供異常事件及預警事件通知，事件包含小區管網之水量突增、水壓突降、設備故障、及預測用水量偏離正常值等提供初步的預警事件。

2021(110)年 8 月增修為 2.0 版，係國際水協 IWA 在降低漏水工作「真實供水損失管理」的四大主軸之一「主動漏水控制」，進階所需的「彈性微區」工法數據納入，並將小區水壓、流量異常初判等成果數據一併呈現，利於後續降低漏水及提升售水率等現場工作之應用。

二、台水九區小區DMA概述

台水九區管線長 2389 公里，DIP 管長約 72%，迄 2024 年 6 月小區已完成建置 147 處，小區管長占全區處管長(覆蓋率)95%以上，已介接 WADA 共 139 個小區，藉 WADA 日日監測小區最小流量率之介接率達 95%(139÷147)，為全公司平均介接率 63%之最高區處。

然而距小區售水率 80%之目標，卻只有 37 處達標、達標率僅 25%(37÷147)，距全公司 13 個區處平均達標率 44%，為倒數第二名，顯然務實的提升小區售水率，仍有一段漫長的路要走。

如何提升各個小區的售水率，除了管線汰換外，藉由傳統的檢修漏及分段計量工法，找出漏水熱區、再進階覓出漏水點或竊水(尤其具營利者)用戶，來提升售水率，仍是國際上普遍採用的可行方案，尤其是民營非公部門的自來水事業。

三、案例探討

小區計量普遍採用的是單一總表計

量，然而，以檢漏來提升售水率而言，最佳的方案是多總表計量，如 2 進 1 出或 2 進 2 出的總表計量模式。

而此多總表的複式計量工法，受益於台水公司在 2021(110)年 8 月將 WADA 增修進階為 2.0 版，而大大減少了降低漏水業務人員後續耗時的分析工作，並能將檢出的漏水於修漏後翌日，藉由最小流量率(夜間最小流量 CMD÷日配水量)得到成果，縮短了作業期程。

(一)共和小區-彈性次小區

1.傳統工法

(1)共和小區供水模式為 2 進 1 出(均為 ϕ 200)的 3 只計量總表，同時供應小區內及下游出水至豐坪小區的用水(圖 1)。

(2)傳統一步一腳印的大漏水易檢出，難度高的小漏水亦須檢出，方有可能達到 80%的售水率目標。

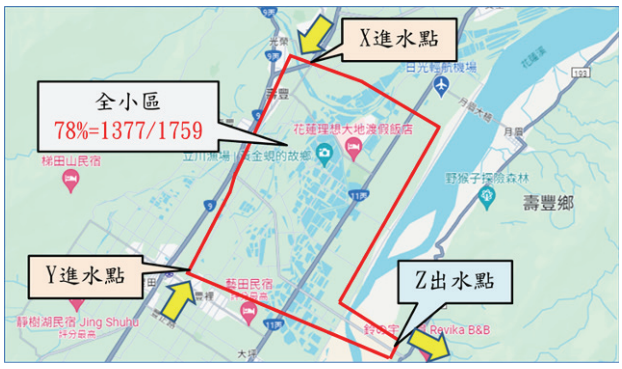

圖 1　共和小區供水模式為 2 進 1 出(均為 ϕ 200)的 3 只計量總表

2.改善作法：

(1)將共和小區 2 進水點，依管線現況，運用閥控分割為可獨立計量的彈性微區方式供水(圖 2)。

(2)採 70 年代檢漏常用的最小流量率工法，及 WADA 2.0 版漏水偵測輔助系統為工具，較易達到目標。

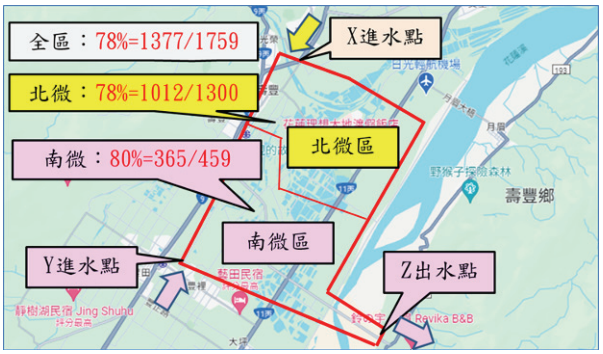

圖 2　依管線現況，運用閥控分割為可獨立計量的彈性微區方式供水

(3)都會型以 WADA 夜間最小率<30%，初判為無較大漏水，可暫緩進場檢漏。

(4)本案例將 78%的北微區再切割，經 WADA 分析，北微 B 區最小率 86%(圖 3)，經檢修漏，夜間流量已降至 68，其最小流量率 81%，查係理想渡假村內線大量進水之因，故可暫緩進場檢漏。

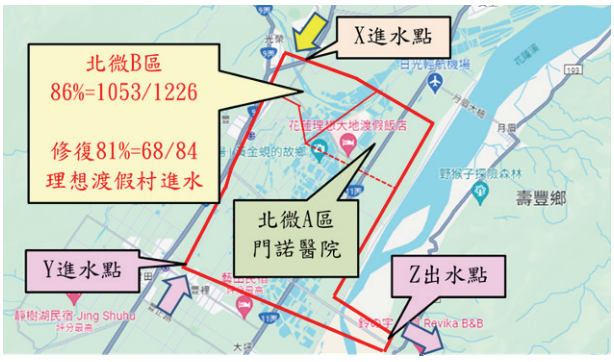

圖 3　本案將 78%的北微區再切割，經 WADA 分析，北微 B 區最小率 86%

(5)將理想渡假村 B1 區移除 X 進水點計量範圍，北微 B2 區最小率 20%，雖<30%，惟經技優檢漏員於夜間 7 段分段計量，確認漏水熱區(圖 4)，即進行夜間檢出 ϕ 150 伸縮接頭 6 CMD 地下漏水。

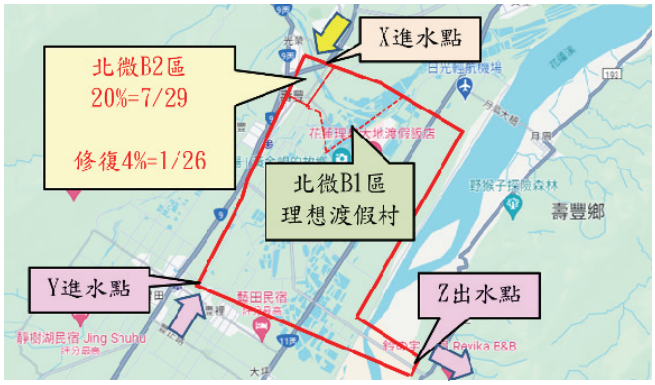

圖 4　將理想渡假村 B1 區移除 X 進水點計量範圍，北微 B2 區最小率 20%，雖<30%，惟經技優檢漏員仍在該管段檢出漏水點

(6)經修復後 WADA 最小流量率僅 4%，已近無漏水，續擴大作業區。

3.進階工法：

(1)北微 B2 區擴供至 C 區，B2+C 最小率 86%、99CMD(圖 5)，圖資僅數戶，初判為管線漏水。

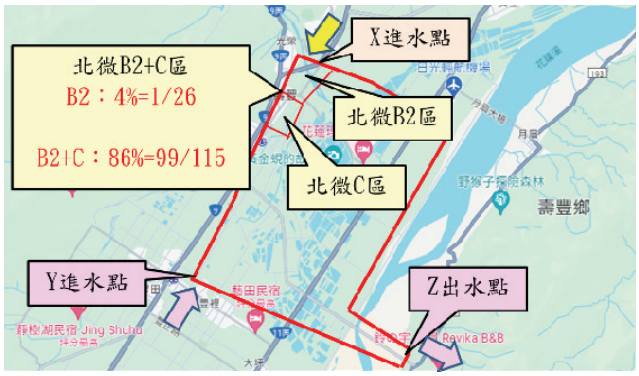

圖 5　北微 B2 區擴供至 C 區，B2+C 最小率 86%、99CMD 的夜間最小流量

(2)北微 C 區圖資現場比對，管線位置在荒廢小徑下，並已雜草叢生(圖 6)，經傳統測漏器聽音未能檢出。

(3)北微 C 區管長 280M，經採兩點漏水相關儀，數據及波型顯示無漏水，偵漏儀器未能判出漏水點。

圖 6　管線位置為荒廢小徑，並雜草叢生

(4)漏水音及科技偵漏皆無效(圖 7)，採進階工法「超音波二分法計量」終覓出(圖 8~10)，係 ϕ300 DIP 套管接頭漏水，修後最小流量率：0%(0/27CMD)。

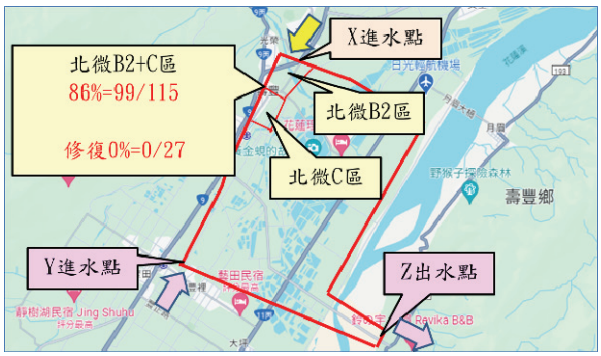

圖 7　漏水音及科技偵漏皆無效

圖 8　夾管超音波二分法計量-開挖

圖 9　夾管超音波二分法計量-聽音研判

圖 10　「超音波二分法計量」終見出漏水點，係§300DIP 套管接頭，疑似碎石入膠圈內，歸屬為「施工不良」所致

(二)吉安站小區-彈性次小區

吉安站小區供水模式為 2 進 2 出的 4 只計量總表，同時供應小區內及下游出水至 2 處小區的用水(圖 11)。

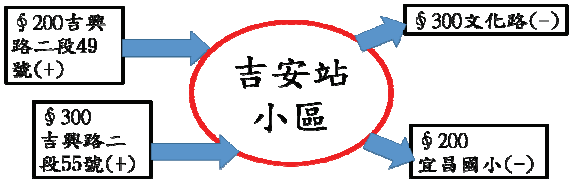

圖 11　吉安站小區為 2 進 2 出的 4 只計量總表

將§200 進水表供水至土地公廟微區，最小率為 0%(0/17)，擴大至南昌路微區，最小率為 49%(65/133)，顯見漏水熱區為土地公廟至南昌路口。

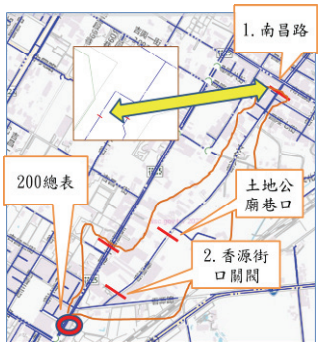

圖 12　漏水熱區為土地公廟至南昌路口最小率為 49%(65/133)

經檢測疑似於小巷內漏水，惟並未檢出漏水點，遂簡易以§20 水表計量(圖 13)，並確認漏水熱區，經分段開挖以管帽封管測試(圖 14)，終檢出疑似§20*13mm 竊水分岐管(圖 15)，斷管接§20 直管後，最小率為 0%=(0÷21)

圖 13　小巷內以§20 水表計量測試

圖 14　分段開挖以管帽封管計量測試

圖 15　檢出疑似 20*13mm 竊水分岐管，斷管接§20 直管後，最小率為 0%=(0÷21)

圖 17　人工美化的養魚池，以掩飾其竊水行為櫃、干擾聽音的抽水機

(三)區處下小區-餐廳竊水

本列案小區售水率經檢修漏，始終未能達到 80%售水率，經分段測試，檢視 WADA 數據分析，該資深檢漏員，藉其敏銳的經驗判斷，該餐廳應有竊水，惟多次明查暗訪，始終未果。

經內部檢討，依主筆經驗，類此營業大竊水，絕大部分均有自鑿的地下抽水井及其旁的大型儲水櫃、干擾聽音的抽水機(圖 16)、人工美化的養魚池，以合理化來掩飾其竊水行為(圖 17)。

經動員全部檢漏員前往，分工監視疑似竊水關鍵處，老闆終自露馬腳於關閉關鍵內閥時被同仁發現(圖 18)，檢視廚房至少有 10 只水龍頭未經用戶表計量(圖 19)。

圖 16　自鑿的地下抽水井及其旁的大型儲水

圖 18　於關閉關鍵內閥時被同仁發現

圖 19　餐廳廚房至少有 10 只水龍頭未經用戶表計量

本案竊水點於當天進場作業時，適逢餐廳廚房大用水，於水表聽音時，即檢出可能

的竊水源頭(圖 20)，只是須找到竊水點，方能追償。

圖 20　竊水源頭 25*25 丁字處

究其竊水源頭，竟是既設§25 水表，因人行道重整，水表須後移 1 公尺所致(圖 21)，查表位移設竣工圖為 1988(77)年，原表位止水栓續存，僅於栓後接外線表位後移，合理懷疑…竊水者在人行道尚未完工時，關閉舊位址止水栓，於無水狀態下，增設丁字另件後接管，完成竊水管引接入內線連結。

圖 21　竊水源頭，竟是既設§25 水表，因人行道重整，水表須後移 1 公尺所致

試算竊水行為長達 33 年，經檢出斷其竊水管後之無竊水用水量，推算年竊水 4,383M^3，總竊水量 144,639 (4383*33 年) CMD，每 CMD 以 10 元計，年短收 43,830 元，33 年短收水費共約 144 萬餘元。竊水檢獲後，小區售水率終於逾 80%目標，提升至 81%，故以小範圍的計量區域來作業，確有其成效。

(四)水利會小區-私業者集體竊水

本案集體竊水之發現，係因檢漏員檢測廣豐小區，對大橋下的民用小型減壓閥漏水音起疑(圖 22)，主動檢驗水質有餘氯反映，進而追朔出集體竊水。

圖 22　大橋下的民用小型減壓閥漏水

位於中台灣中央山脈右側下的花蓮地區山澗水豐富，故有私業者於山上引水經沿途水利大水溝(圖 23)佈設明管而下(圖 24)，沿途販賣，有月收費、年收費及逾數萬元的永久會員，惟近年氣候變遷、時有枯旱斷水，業者萌生竊用台水管線(圖 25)，私接供水入其內線混接(圖 26)。

圖 23　私業者於山上引山澗水經水溝佈管

圖 24　私業者於山上引水經沿途水溝佈設明管而下，檢漏員沿管逐段檢驗水質

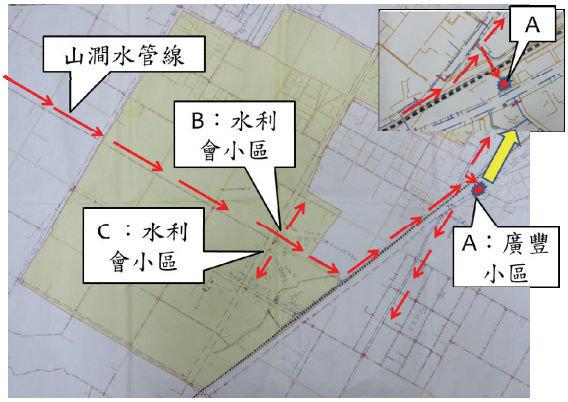

圖 25　A 點為發現點、B 點為竊水連結處

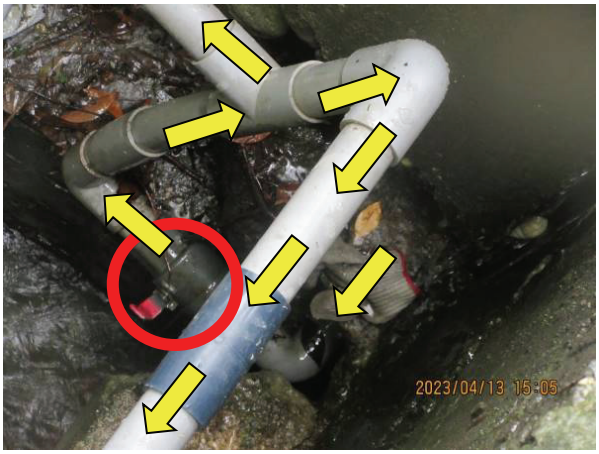

圖 26　業者竊用台水管線私接供水後，縮管為§40 源頭控制閥

探討本案竊水之緣起，係道路拓寬施工，而有橫跨道路之大排水 PC 暗溝重整，挖掘到其上台水公司§50-PVC 管線，路旁住宅之私人業者趁機私接 50*50 丁字引接山澗水管線，並於台水管線後裝設塑膠閥開關(圖 26.B 點)，控制竊水供水量。

本案例水利會小區屬鄉村型小區，售水率 30.49%(182÷597)；NRW=415CMD，經發現竊水並斷管後，售水率提升至 44.07%(182÷413)；NRW=231。

本小區尚未列入檢漏作業，故並無經檢修漏來降低漏水率之成效驗證。「竊水非漏水」，依台水公司傳統作法，欲藉檢修漏來找出該竊水，並將花費相當的人力與時間，或許能找出該竊水點。

四、結論

小區除降低漏水率外，尚可針對非漏水的竊水檢出來提升售水率，而藉 WADA 最小流量率與彈性微區的運用，對檢漏工作而言，確有達到事半功倍的效果。

作者簡介

林子立先生

現職：台灣自來水公司第九區管理處操作課課長

專長：漏水檢測及分區計量診斷與提升售水率

陳召臻小姐

現職：台灣自來水公司第九區管理處操作課工程員

專長：降低漏水、圖資管理

顧培正先生

現職：台灣自來水公司第九區管理處操作課檢漏主辦

專長：漏水檢測、竊水檢測及分區降低漏水、檢漏業務分析

林璟鴻先生

現職：台灣自來水公司第九區管理處操作課檢漏技術士

專長：漏水檢測、竊水檢測及分區降低漏水

壓力坡降工法分析漏水管段探討－以二林所 0112 及 0202 小區為例

文/田吉星、吳宏麟、洪銘希、莊宜臻、程炯凱

摘要

台灣自來水公司第十一區管理處二林營運所自辦 37 個小區，管網管線總長度 1,027(KM)，PVCP 佔比高達 66%，為避免破管採全天穩壓恆壓供水，以管理報表分析日漏水量，已知小區明顯有漏水，因閥類老舊及制水閥埋沒率高，不易進行次小區封閉作業，致無法有效找出漏水熱區縮小範圍；倘以大規模進行管線汰換，雖能降低實際損失，但成本極高。

本報告欲透過壓力坡降工法以水壓計(人工)或紀錄器(機器)，在小區夜間最小流量或適當區間擷取水壓紀錄計壓力值，結合操作水頭、管徑、管種和管齡，分析判斷疑似漏水管段熱區，以更省時更低成本的方式，有效的進行漏水點檢修及提供重點管汰區域，以實務應用之經驗作為防治漏水的方法之一。

關鍵字：分區管網、水壓、壓力坡降

一、前言

台灣自來水公司第十一區管理處二林營運所（以下簡稱二林所）透過自辦建置分區計量管網(District metered areas, DMAs)作為多項供水管理工具，利用分區管網結合監控系統，調節供水流向及出水壓力，壓力設定以各淨水場外一處適當小區壓力觀測站為基準，採全天尖離峰一致水壓管理模式調整管控，另運用監控之夜間最小流量、壓力變化及管理 DMAs 分析日漏水量報表交叉比對，較可釐清虛假損失，並可以即時辨別是否為新的破管事件，發生明漏可即時修復，另一方面亦有助於掌握目前漏水情形，建立調整漏水整治之優先順序。

由於二林所全面自辦建置 DMAs，尚未規劃次小區及次小區管網封閉確認作業；管網管線總長度 1,027 公里，PVCP 佔比高達 66%，小區範圍大，閥類老舊及制水閥埋沒率高，不易進行次小區封閉作業，分段測試需停水、閥栓狀態狀況多，測試後容易造成水濁須排水，所需人力較多。

原執行漏水檢測(暗漏)，以人工方式，一步一腳印的進行檢漏，耗費人力，在 DMA 整個管網中執行漏水檢測需要經驗又受地形地物等因素影響，無法很有效率找出漏水點減少漏水。

為解決二林所已知小區明顯已有漏水卻無法有效找出漏水熱區及縮小範圍檢測窘境，期能透過壓力坡降工法，分析判斷疑似漏水管段熱區。

二、壓力坡降工法及分析

本報告選擇(芳苑鄉)0112 小區及(二林鎮)0202 小區，平均水壓 0.5~1.2kg/cm^2，分別於管網中適當距離，利用消防栓或用戶直接用水水栓處，並量測各水壓紀錄器裝設位置

高程，採人工及機械(裝設水壓紀錄器)兩種壓力坡降記錄方法，水壓計作業前，均需校正或比對壓差，前者以水壓計於適當區間量測紀錄水壓，作業時間不能過久，採多組分別同時進行量測；後者係安裝裝設水壓紀錄器紀錄，時間約 3 天，藉由密集的記錄，監視管網壓力。

兩項工法搭配本公司供水監測平台曲線，判斷最適區間壓力流量或夜間最小流量取最適合時段，避開用水尖峰及大用戶用水等，易造成壓降影響分析數值，將量測水壓數值及高程計算操作水頭，結合管徑、管種和管齡進行比對分析，鎖定漏水管段熱區，進行檢漏或管汰(圖 1)。

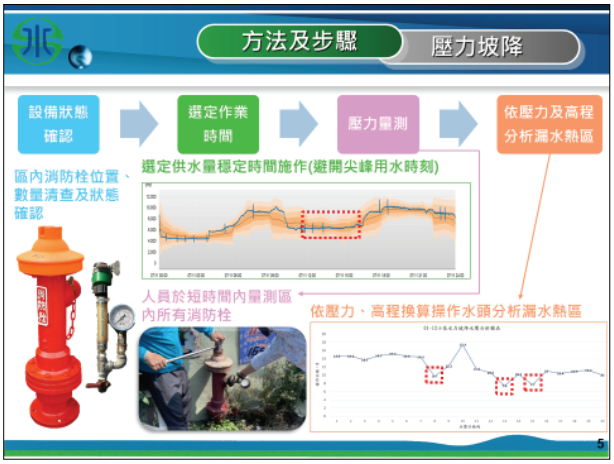

圖 1　壓力坡降工法示意圖

(一)人工壓力坡降 0112(芳苑王功)小區

王功有三百餘年養蚵歷史，王功市區的芳漢路上，長約 740 公尺兩旁皆是蚵類炸食的小吃店，以「王功漁火節」觀光與美食形象商圈聞名。該小區為觀光社區，管線老舊長度約 21 公里，PVCP 佔 86%，多數制水閥失去功能及閥盒埋沒數高，不易分段測試，漏水量約 1,030 CMD，自建小區，無委外劃分次小區，平均水壓 0.5~1.2kg/cm^2，考量商圈全面管汰經費龐大，又無法精準管汰漏水熱區，且施工期間恐影響民生經濟，造成民怨，以透過手持壓力計，於用戶給水栓或消防栓量測，在小區較無大用戶用水時段以人工方式現場擷取水壓紀錄，將水壓數值進行比對分析，作業如下：

1.首先該小區天然地形區分南、北兩塊，過橋管夾設超音波流量計，初步判斷南側為漏水熱區(圖 2)。

2.以南側漏水熱區選定 20 個測量點位，以 2 人 1 組共 5 組每組 4 個點位，於小區用水離峰時段，同步測量分配點位壓力值，因小區無分段測試，故供水流向較無從掌握，僅以路順編排順序。

3.將量測壓力及高程計算操作水頭，結合管徑、管種和管齡進行分析如下：

(1)經分析第 10 點位操作水頭為 17.4 高程與各點位相近，唯壓力值 1.5 kg/cm^2 大於進水壓力 1.2 kg/cm^2 研判為測量操作不當致失真，不予參考。

(2)分析其他有效 19 點位，操作水頭最高 15.24 最低 7.4，相對較低為編碼 8、13、14、15、17 及 20(圖 3)。

(3)判斷疑似漏水管段熱區有三個區塊，分別為王功國小、仁愛路及芳漢路王功段 500 號(圖 4)。

圖 2　0112 天然地形分南北 2 區塊示意圖

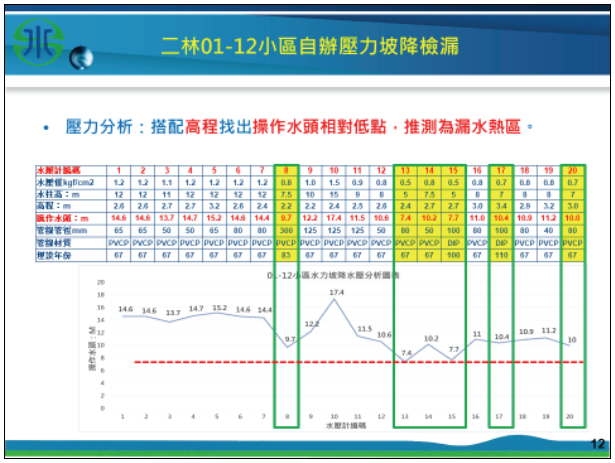

圖 3　0112 小區壓力分析圖

圖 4　0112 漏水熱區示意圖

(二)機械壓力坡降 0202(仁愛)小區

二林鎮位於彰化縣西南方，地當舊濁水溪下游與魚寮溪之間之濁水溪沖積扇上，全鎮略呈橢圓形，地勢平坦，地形完整，濁水溪灌溉下平原肥沃，農產方面以稻米、葡萄、蕎麥為大宗。總面積約 92.85 平方公里，是彰化縣面積最大的行政區，為一典型發展較早農業鄉鎮，自來水公司 1973 年成立前已有供應自來水。

二林所 02 中區(二林鎮)共有 13 個小區，其中有 4 個小區(0202、0203、0204、0205)漏量較大合計管線總長度約 128 公里，合計漏量為 3,660CMD，換算每公里漏量為 28.6CMD，小區漏量分別為 1,300、680、890、790CMD，期透過委外執行水壓紀錄器壓力坡降工法，以裝設水壓紀錄器方式記錄水壓，將水壓數值進行比對分析尋找漏水熱區。

本報告以 0202(仁愛)小區漏量大者為例分析，該小區位於市中心旁重劃區，漏管線總長度約 29 公里，PVCP 佔比高達 89%，漏水量約 1,300 CMD，自建小區，無委外劃分次小區，多數制水閥失去功能及閥盒埋沒數高，不易分段測試，平均水壓 0.8~1.2kg/cm^2。作業如下：

1.本小區範圍廣大，有密集重劃區及鄉村郊區，裝設點位以消防栓為主要安裝點(圖 5)(圖 6)。

2.選定 21 個安裝點位裝設水壓紀錄器，時間約 3 天，藉由 15 分鐘 1 筆密集的記錄管網壓力(圖 7)。

圖 5　0202 壓力坡降量測點

圖 6　0202 壓力坡降量測點示意圖

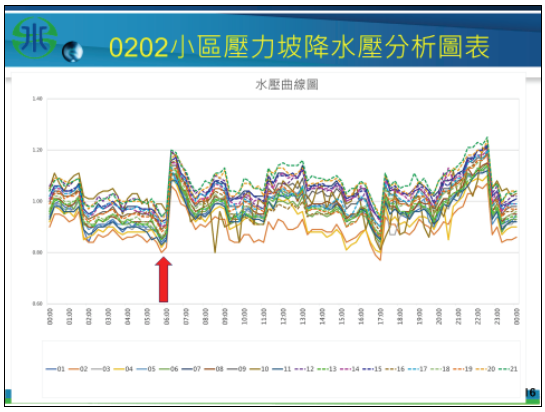

圖 7　0202 壓力坡降量水壓分析示意

3.以其中 1 天最適時段監測壓力值及高程計算操作水頭，結合管徑、管種和管齡進行分析如下：

(1)經判斷各點位 3 天記錄，分析最大最小流量及最大最小壓力數值，避開用水尖峰及大用戶用水等因素，採第 2 天早上最小流 5 點 45 分之數值分析(圖 8)。

(2)經分析 21 個點位，操作水頭最高 19.5 最低 17.9，相對較低為編碼 5、8、10、11、13 及 20 以編碼 10 最低(圖 9)。

(3)判斷疑似漏水管段熱區主要有三個區塊分別為埤北、三和街及吉利街(圖 10)。

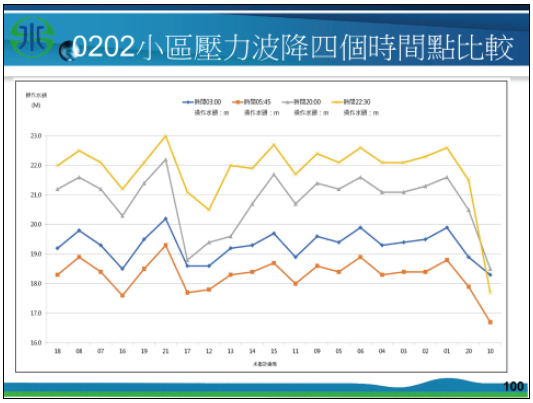

圖 8　0202 壓力坡降量 4 個時段水壓分析示意圖

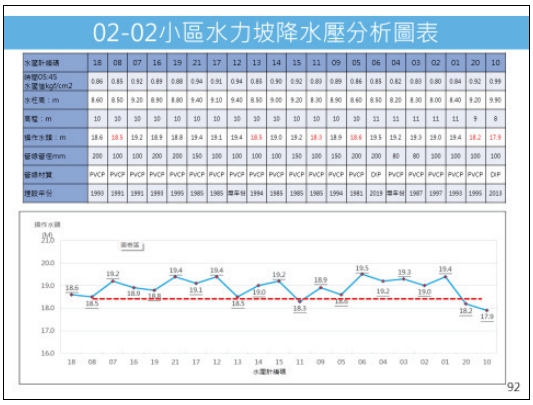

圖 9　0202 壓力坡降量水壓分析操作水頭示意圖

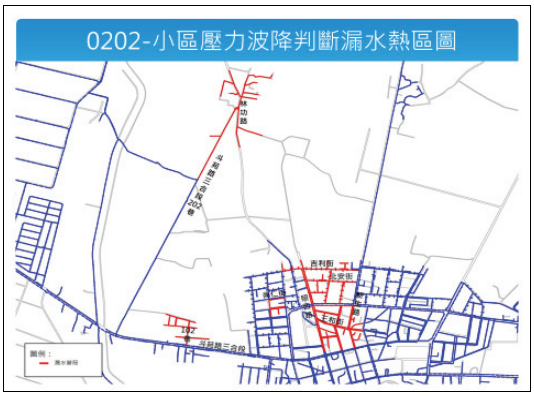

圖 10　0202 壓力坡降量漏水熱區示意圖

三、壓力坡降成果展現與效益

經過前述壓力坡降工法的執行，相關成果效益如下：

(一)人工壓力坡降 0112(王功)小區效益：

0112 小區分別於 112 年 7 月至 11 月共計檢測維修 9 處漏水點(圖 11)，其中 11 月 22 日修復一處 300mm 漏水量約 600CMD，共檢回漏量約 800CMD，目前整體售水率約 79-82%(NRW 值約 300CMD) (圖 12)。

圖 11　0112 壓力坡降量檢漏點位示意圖

圖 12　0112 壓力坡降流量成效示意圖

(二)機械壓力坡降 0202(仁愛)小區效益：

0202 小區分別於 113 年 1 月至 6 月共計檢測維修 14 處漏水點(圖 13、14)，主要漏水為 3 月 18 日修復一處 100mm 漏水量約 500 CMD，合計修漏小計約 650CMD，113 年辦理仁愛路管汰工程檢回漏量約 450CMD，共檢回漏量 1,100CMD 目前整體售水率約 85-86%(NRW 值約 190CMD)，成效良好。

圖 13　0202 壓力坡降量檢漏汰換點位示意圖

圖 14　0202 壓力坡降流量成效示意圖

四、結語

由本實例可知，藉由壓力坡降工法具有無需停水、無需建置次小區、免分段測試、無需排水、工法簡單、短時間可完成、費用低等優點，可提供已知小區明顯有漏水，閥類老舊及制水閥埋沒率高，不易進行次小區封閉作業小區，利用操作水頭等數值進行比對分析，以更省時更低成本的方式找出疑似

漏水管段，有效的進行漏水點檢修及提供重點管汰區域，以實務應用之經驗作為防治漏水的參考。

致謝

感謝禾郅公司、台水第十一區管理處漏防課、二林營運所參與本案同仁，提供相關資料及指導協助。

作者簡介

田吉星先生

現職：台灣自來水股份有限公司　主任

專長：供水、管網及營運規劃與業務管理

吳宏麟先生

現職：台灣自來水股份有限公司 漏防課課長

專長：分區管理及操作維護

洪銘希先生

現職：台灣自來水股份有限公司　股長

專長：工程設計管理、管網改善

莊宜臻小姐

現職：台灣自來水股份有限公司　股長

專長：業務管理及抄表作業規畫

程炯凱先生

現職：台灣自來水股份有限公司 技術士

專長：管線維修工程、漏水改善

高地供水壓力控制之研析

文/何健成、鍾佳佑、張煥獎

摘要

為了減少高地供水壓力所造成之水量洩漏損耗與破管機率，針對加壓站以單一管線加壓同時供水至不同高程供水區域的情形，應用 SCADA 系統建置，將後站水位回傳監控室，自動調整供水壓力設定值，以減少管線壓力，另對於單一加壓站內並聯分支不同管線，以供應不同高程區域部分，在節省加壓站營運成本思維下，使用單一抽水機配合自動控制防呆持壓兼減壓閥分管分壓供應。

關鍵字：高地供水、加壓站、SCADA

一、前言

台南市白河區東部三分之一面積為丘陵地，境內自來水公司白河營運所所轄加壓站共有 31 座、高地配水池與減壓池共有 24 座，其中「關子嶺溫泉區」與「青山柑橘果園」兩大供水系統各有 13 座加壓站串連加壓。因丘陵地型地勢高程起伏變化大，各加壓站間抽水機加壓揚程多在 60~90M 間，如此高壓力若遇供水區內夾雜下沉地勢區域，將造成管件損耗增加破管機率，本文主要目的為介紹加壓站的減壓方法與自動化操控及安全機制，研究成果亦可提供操作單位參考與研議因應之道。

二、研究背景

(一)以車關寮加壓站加壓系統為例：

車關寮加壓站位於「青山柑橘果園」系統內，如圖 1 車關寮加壓站高程 157M，供水至後方高程 231M 的北寮第一加壓站配水池及高程 220M 的二坑埔加壓站配水池。北寮第一加壓站與車關寮加壓站地面高程相差 74M，配水池水位控制浮球閥閥前壓力最少須達 0.5kg/cm^2 才能開啟進水，加計北寮第一加壓站配水池進水高度 2M，車關寮加壓站供水壓力須達 81M(8.1kg/cm^2) 才能供應至北寮第一加壓站配水池。

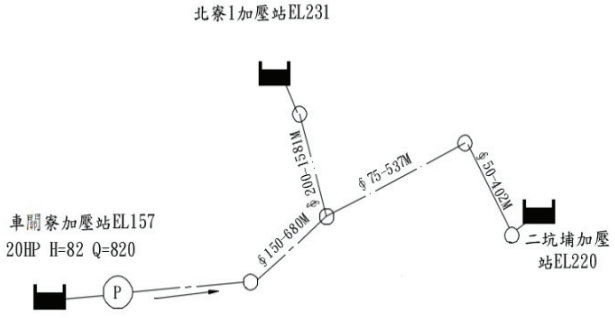

圖 1　車關寮加壓站供水關係圖

(二)以關子嶺第六加壓站加壓系統為例：

關子嶺第六加壓站位於「關子嶺溫泉區」系統內，如圖 2 關仔嶺第六站加壓站高程 371M，供應至後方高程 438M 的關仔嶺第七站加壓站，及高程 385M 的關嶺分校加壓站。關子嶺第七加壓站與關子嶺第六加壓站地面高程相差 67M，加計關子嶺第七加壓站配水池進水高度 2M，故關子嶺第六站供水至關子嶺第七站，供水壓力須 69M(6.9kg/cm^2)；關嶺分校加壓站高程與關子嶺第六加壓站地面高程相差 14M，配水池水

位控制浮球閥閥前壓力最少須達 0.5kg/cm^2 才能開啟進水，加計關仔嶺分校加壓站配水池進水高度 2M，關子嶺第六加壓站供水至關嶺分校加壓站，供水壓力僅 23M(2.3kg/cm^2)，若以供應關子嶺第七加壓站之壓力供水，壓力太大必須減壓。

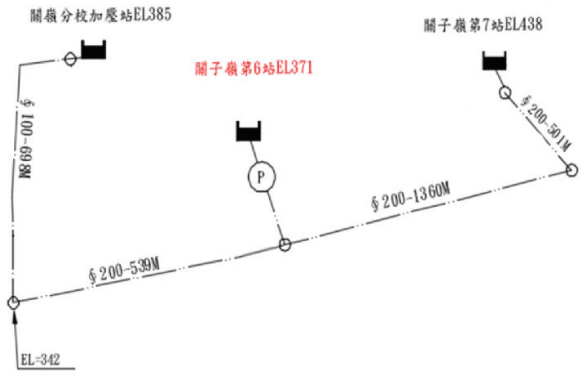

圖 2　關子嶺第六加壓站供水關係圖

三、改善方法

(一)串聯壓力控制：

車關寮加壓站系統中，北寮第一加壓站後用戶僅 88 戶，須加壓供水時間較少。而二坑埔加壓站須供應 159 戶，加壓供水時間較長，如此車關寮加壓站只須於北寮第一加壓站配水池水位不足時加壓至 8.1kg/cm^2，當北寮第一加壓站配水池滿後，車關寮加壓站供水壓力即可減壓至 7.0kg/cm^2，管壓不須保持於 8.1kg/cm^2 高壓力上，為達成上述控制車關寮加壓站須引入以下 SCADA 設備。

1.變頻器：變頻器經類比輸入(AI)端子接收 4-20mA 電流訊號，對應變頻器輸出頻率 0~60Hz 以控制抽水機達恆壓功能。

2.PID 控制器：設定壓力目標值並接收抽水機出水壓力偵測器訊號，經 PID 控制器內部運算後自動調整類比信號輸出至變頻器，控制抽水機出力達壓力目標值。

3.PLC(可程式控制器)：具有微處理器用於自動化控制的數位裝置，支援各種通訊協定，並俱備數位及類比輸出輸入功能，將控制指令載入後可控制或監測各種機械與電氣裝置，用於取代傳統自動化工業配線。

4.監控設備：透過各種通訊協定處理並存儲數據，並結合人機介面，讓操作人員透過 PLC 實現遠端監測和控制現場設備。

如圖 3 車關寮加壓站監控設定，車關寮加壓站為供水至北寮第一加壓站，日常壓力值設定 8.1kg/cm^2，當北寮第一加壓站配水池水位達上限 2.5M 時，壓力將自動降載至 7.0 kg/cm^2。當北寮第一加壓站水位降至低水位 2.0M，則依時間段帶入 8.1 kg/cm^2。

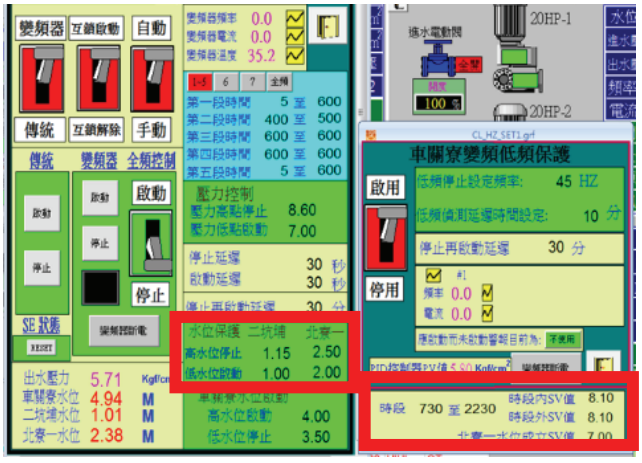

圖 3　車關寮加壓站監控畫面

(二)並聯壓力控制：

在關子嶺第六加壓站，出水管同時並聯供應至兩不同高程區域，為避免高壓送水至關嶺分校加壓站，雖然可使用不同抽水機供水，但關嶺分校後端用戶數不足 25 戶，再增設抽水機將增加營運成本，故僅以單一抽水機供水，在關子嶺第六加壓站供水至關嶺

分校加壓站管線上，我們新增一只持壓兼減壓閥(示意圖如圖 4)，其構造為遙控浮球閥本體並在上控制室及出水管安裝持壓響導閥及減壓響導閥，同時在響導閥管線上增設電動球閥搭配壓力計偵測浮球閥上控制室及進出水壓比較控制，當壓力異常時能立即啟動排除故障，以確保機械減壓閥正常運作。持壓兼減壓閥其功能為將持壓與減壓響導閥功能整合於單一浮球閥進行減壓控制，浮球閥主管進水側接入持壓響導閥(常閉)受控側與彈簧設定壓力抗衡，決定是否將上控制室水壓經減壓響導閥(常開)流入出水管。當浮球閥進水壓高於持壓響導閥壓力設定值時，將開啟持壓響導閥，讓主閥上控制室與減壓響導閥導通，若出水壓未達減壓響導閥設定值時則浮球閥上控制室將與出水端導通，此時上控制室因導通洩壓，使浮球閥開啟；當進水壓不足致持壓響導閥關閉，此時浮球閥上控制室導通暢流將被截斷，將使浮球閥關閉；當浮球閥進水壓足夠導通上控制室經持壓響導閥至減壓響導閥，但若出水管壓上升達減壓響導閥彈簧設定壓力時，將關閉減壓響導閥，此時亦將使浮球閥關閉。電動球閥 1(圖 4 YV1)平常為開啓，功能為緊急關閉進水管至持壓響導閥受控側，當出水壓力經過減壓後超過設定值，代表減壓響導閥故障，故將關閉 YV1 使持壓響導閥全閉，當出水管壓力下降後再恢復開啟。電動球閥 2(圖 4 YV2) 平常為關閉，當出水壓力過低且上控制室壓力過高，代表前方持壓響導閥故障，即開啟 YV2 導通持壓響導閥前後管，僅剩減壓響導閥單獨動作，當出水壓力回升時恢復關閉。電動球閥 3 平常為關閉(圖 4 YV3)當出水壓過低，代表持壓響導閥與減壓響導閥皆故障，則開啟 YV3 導通上控制室與出水管，讓浮球閥全開大流量供水，當出水壓力提升後恢復。

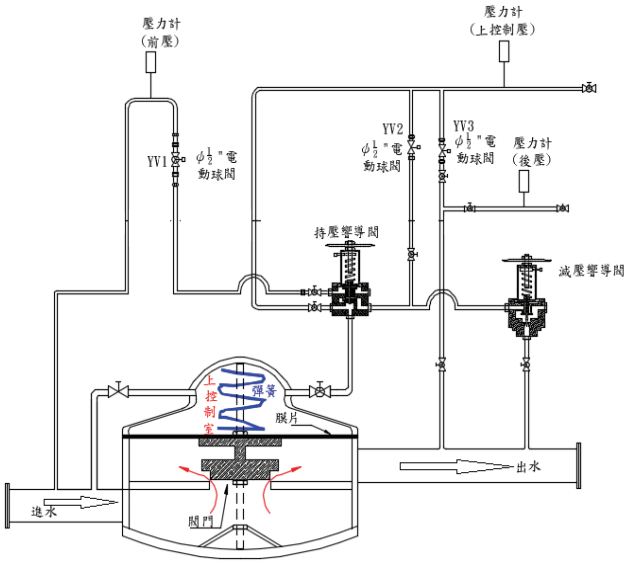

圖 4　持壓兼減壓閥安裝示意圖

圖 5　關子嶺加壓站持壓兼減壓閥監控畫面

四、成果解析

(一)串聯壓力控制執行結果：

如圖 6 所示，車關寮加壓站出水壓力(紅線)在 2 月 2 日 00:31 北寮第一加壓站配水池水位(綠色)未達 2.5M 時，車關寮加壓站為補

足北寮第一加壓站水位，出水壓力如圖 3 監控設定加壓達 8.1kg/cm^2，變頻器運轉頻率 57.7Hz，運轉功率 11.5kw；同日 2 月 2 日 03:59 北寮第一加壓站配水池水位此前已達 2.5M 監控設定上限且尚未降低至 2M，因此車關寮加壓站出水壓力如圖 3 監控設定降載至 7kg/cm^2，此時變頻器運轉頻率僅 51.4Hz，運轉功率 6.2kw，車關寮加壓站變頻器全程依監控設定數據自動控制且抽水機運轉電力需量差異達 5.3KW，可以減少動力費支出。

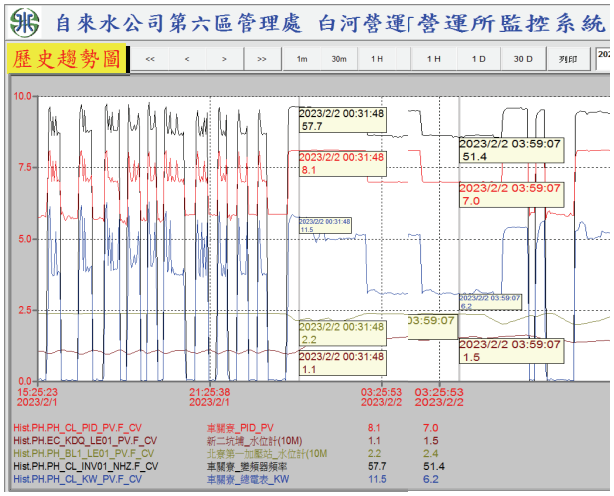

圖 6　多段壓力執行成果曲線

(二)並聯壓力控制執行結果：

如圖 7 所示，紅色曲線為關仔嶺第六站抽水機出水壓力，也是持壓兼減壓閥前壓力，深紅色曲線為上控制室壓力，最下方綠色為減壓後出水壓力，16:43-16:58 出現三線同為 7.0 kg/cm^2，此時為關嶺分校加壓站須快速補水時間，此時 YV3 開啟使上控室與出水端全導通，此時持壓兼減壓閥全開出水，所以前壓=減後壓，主要用於大用水時使用，16:58-17:43 浮球閥進水壓在 5.0~7.0kg/cm^2 之間變化，而透過持壓兼減壓閥減壓後，無論前壓多少出水壓力皆能維持於 3.2kg/cm^2，可證明減壓效能正常，水壓穩定符合需求。

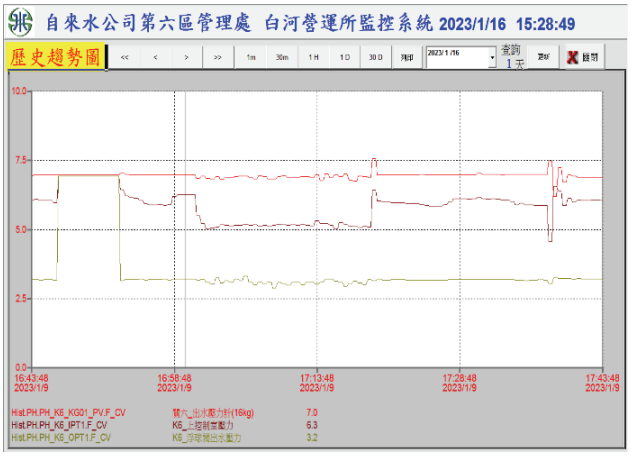

圖 7　關嶺分校加壓站壓力歷史曲線

五、結語

針對加壓站後端供應不同高程供水區域本文提供兩種壓力控制方法：

(一)針對加壓站後供水區有高程差且用水情形為非常時供水，串聯壓力控制方法可利用自動化控制，讓加壓站抽水機在達到特定條件時降低負載，可使管線壓力無須一直處於高壓力中，降低破管風險；加壓站抽水機可降載，減少動力費支出；監控電腦依據設定條件遠端自動操作，避免人為勿操作風險。

(二)針對加壓站後供水區域有高程差且用水情形須常時穩定供水，透過並聯壓力控制方法在管線上安裝壓力控制閥，不須依靠複數的抽水機便可穩定各供水區之水壓，減少場站營運及維護成本。

作者簡介

何健成先生

現職：台灣自來水公司歸仁服務所工程員

專長：電力工程

鍾佳佑先生

現職：台灣自來水公司白河營運所技術士

專長：電力工程

張煥獎先生

現職：台灣自來水公司第六管理處處長

專長：土木工程、環境工程

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。

探討自來水事業導入 AI 的先決條件

文/邱嘉南

摘要

許多城市現在都主動採用大數據和人工智慧，來為基礎設施提供更好的能源、計算能力和連接性來提高經濟回報。由於人工智慧可以減少了行政成本和時間，許多政府也開始將人工智慧用於各種公共服務，藉由人工智慧為地方政府服務帶來技術突破。

本研究提出由 IoT、Real-time .Info、Big Data 等所組成的導入 AI 化事業體的先決條件，建立它們間的關係，並以金字塔結構呈現。

自來水事業導入 AI 前將遇到的挑戰就跟所有企業導入 AI 一樣，例如即時資料的使用導致組織需以不同於原本習慣的方式工作而造成員工的抵抗。

但是有鑑於導入 AI 後能帶來非凡的好處，在能夠為所有利益相關者帶來成長機會和卓越服務的動機下，努力擁抱改變或許才是生存之道。

關鍵字：物聯網（IoT，Internet of Things）、即時資料（Real-time .Info），資料大數據（big data）

一、導入AI化事業體的決條件

(一)IoT

物聯網 (Internet of Things ，縮寫為 IoT) 是指連接著各種裝置的網路和幫助裝置與雲端和裝置之間互相通訊的技術。近代由於電腦晶片的普及和高頻寬電信網絡的出現，現今世界上已有數十億個裝置與網路連結。這代表每天各種裝置如汽車、冰箱、冷氣、吸塵器、和各種機器可以利用感測器收集資料並能智慧化地回應使用者的需求。物聯網 (IoT)對人類的生活及工作帶來了巨大的變動。它讓機器能做更多的繁重工作、接管瑣碎的任務，並使生活更健康、更有效率且更加舒適。

物聯網將日常的「物」與網路整合在一起。從 90 年代開始，工程師就在日常用品上加裝感測器和處理器。但是由於晶片又大又笨重，一開始這樣的作法並不流行。當低功耗的無線射頻辨識 (RFID) 標籤，最先被用於追蹤昂貴的設備。隨著科技發展，運算裝置的體積縮小，晶片也變得更小、運算速度更快，且越來越聰明。具有運算能力的智慧化裝置，會從四周的環境、使用者的輸入或使用模式中收集資料，並透過網路和 IoT 應用程式交換這些資料。例如電視、監控攝影機或運動裝備都可以是一種智慧裝置。

IoT 應用程式整合來自各個 IoT 裝置的資料，並運用機器學習或人工智慧 (AI) 技術來分析以做出聰明的決策。作出的決策會再回傳給 IoT 裝置，讓 IoT 裝置能更聰明地回應使用者的需求。

工業 IoT (IIoT) 指的是用於製造業、零售業、健康產業和其他企業的智慧型裝置，其目的為創造更多商業價值。從感測器到各種設備的工業裝置能提供企業擁有者詳細的即時資料，幫助改善商業流程。其可以提供對於供應鏈管理、物流、人力資源和生產

相關的建議，幫助降低成本並提高收入。

(二)Real-time .Info

即時資料指資料一經獲取即傳送到個人裝置或工作相關裝置，以供其中的應用程式使用[1]。即時資料的工作原理是不將資料儲存或保留在孤島中，相反地，它直接將資料傳輸給最終使用者。即時資料本質上意味著，資料被收集後不會予以保留。即時資料交付有助於從事廣泛的分析專案，以及其他需要快速、輕鬆的資料存取的業務活動。例如，幫助計程車司機瞭解交通狀況。

即時資料有助於進行超快速、連續的資料分析，從接收資料到傳輸至終點的時間雖然很短，卻會經歷四個主要步驟：擷取串流資料、資料串流處理、將處理後的資料視覺化、從視覺化到即時儀表板。得益於資料庫技術的進步，這整個過程在幾毫秒內即可完成，主要是以查詢工具來推動此過程。此外，視覺化工具已有長足發展，對於需要即時資料的眾多場景，除了可支援其不斷增長的需求，並能支持不斷發展的即時分析生態系統，以用於各種大數據應用場景。

具有即時處理資料的組織可以獲得幾項好處，包括：

(1)為管理者提供總覽資訊

管理者經常被要求提高系統的效率，而使用即時資料的儀表板可為他們提供整個運行系統的總覽，包括瓶頸、等待處理的時間延遲、數量追蹤等等，所有這些元素都可以進行評估，以便提高工作系統的效率，並使其達到更高的標準。

(2)提高營運效率

營運效率必須同時從多個層面著手：庫存、調度、供應鏈、交付和接收，任一層面的失效都可能造成巨大的破壞。即時資料可用來追蹤每個層面，確保在出現問題時通知正確的負責人。這種一致的資訊流可以防止生產速度減緩，有助於處理材料延遲到達的問題，防止不必要的重新供應材料等等。

(三)Big Data

大數據（big data），台灣又稱巨量資料，為來自各種來源的大量非結構化或結構化資料。從學術角度而言，大數據的出現促成廣泛主題的新穎研究。這也導致各種大數據統計方法的發展。大數據並沒有統計學的抽樣方法，它只是觀察和追蹤發生的事情。因此，大數據通常包含的資料大小超出傳統軟體在可接受的時間內處理的能力。由於近期的技術進步，發布新資料的便捷性以及全球大多數政府對高透明度的要求，大數據分析在現代研究中越來越突出。

資料集大小增長的部分原因來自於資訊持續從各種來源被廣泛收集，這些來源包括搭載感測裝置的行動裝置、高空感測科技（遙感）、軟體記錄、相機、麥克風、無線射頻辨識（RFID）和無線感測網路。大數據需要特殊的技術，以有效地處理大量收集的資料。適用於特殊大數據的技術，包括大規模並列處理（MPP）資料庫、資料探勘、分散式檔案系統、分散式資料庫、雲端運算平台、網際網路和可延伸的儲存系統。

工業大數據（Industrial big data）是構成工業人工智慧的重要元素，指由工業裝置高速產生的大量數據，對應不同時間下的裝置狀態，以產生於物聯網中傳遞的訊息。此一詞語在 2012 年隨著工業 4.0 的概念而出現，

也和資訊科技行銷流行的大數據有關，工業大數據也意味著工業裝置產生的大量數據有其潛在的商業價值。工業大數據會配合工業網際網路的技術，利用原始資料來支援管理上的決策，例如降低維護成本以及提昇對客戶的服務。

(四)AI

人工智慧（artificial intelligence，縮寫為AI）亦稱機器智慧，指由人製造出來的機器所表現出來的智慧。通常人工智慧是指透過普通電腦程式來呈現人類智慧的技術。該詞也指出研究這樣的智慧系統是否能夠實現，以及如何實現。人工智慧可以定義為模仿人類與人類思維相關的認知功能的機器或計算機，如學習和解決問題。人工智慧是電腦科學的一個分支，它感知其環境並採取行動，最大限度地提高其成功機會。此外，人工智慧能夠從過去的經驗中學習，做出合理的決策，並快速回應。因此，人工智慧研究人員的科學目標是通過構建具有象徵意義的推理或推理的計算機程式來理解智慧。人工智慧的四個主要組成部分是[2]：

(1)專家系統：作為專家處理正在審查的情況，併產生預期或預期的績效。

(2)啟發式問題解決：包括評估小範圍的解決方案，並可能涉及一些猜測，以找到接近最佳的解決方案。

(3)自然語言處理：在自然語言中實現人機之間的交流。

(4)計算機視覺：自動生成識別形狀和功能的能力。

目前有大量的工具應用了人工智慧，其中包括搜尋和數學最佳化、邏輯推演。而基於仿生學、認知心理學，以及基於概率論和經濟學的演算法等等也在逐步探索當中。

人工智慧也廣泛應用於許多不同領域。機器人經營餐館和商店並修復城市基礎設施。人工智慧管理運輸系統和自動駕駛車輛。智慧平台管理多個城市領域，例如垃圾收集和空氣品質監測。事實上，城市人工智慧體現在城市空間、基礎設施和技術中，將我們的城市變成了無人監督的自治實體，可以方便地實時實現數位化支援的智慧響應服務。許多城市現在主動利用大數據和人工智慧，為基礎設施提供更好的能源、計算能力和連接性來提高經濟回報[3]。

人工智慧的技術，不論是機器學習、深度學習、集成學習、還是強化學習，都在各個產業中具有著龐大的潛力，而隨著轉型的迫切性提高，我們也看到人工智慧更為廣泛的被應用到各個領域中，像是工業 4.0、智慧城市、新零售、以及智能家居等等，這些應用的背後最重要的技術之一即是人工智慧。

然而不論是哪個產業中的應用，我們可以將 AI 分成五大價值層面，也就是時間序列、圖像處理、音訊處理、NLP、以及影像處理，而產業中的 AI 應用即是建立於這些領域的進展。 例如我們常聽到的 Google 助理，也就是 AI 驅動的智能助理，即是在音訊處理以及自然語言處理上極為成熟的應用。(表 1)[4]

由於人工智慧可以減少了行政成本和時間，許多政府也開始將人工智慧用於各種公共服務，而藉由人工智慧也為地方政府服務帶來技術突破。人工智慧代理協助城市規

劃者進行場景規劃，提供最佳的土地利用解決方案，幫助我們制定民主的城市土地利用規劃。人工智慧也利用在線數據來監控和修改

環境威脅政策。人工智慧甚至與司法部門的人類法官相輔相成，提供客觀、一致的風險評估。

認知能力（Cognition）指的是人類透過學習、判斷、分析等等心理活動來瞭解訊息、獲取知識的過程與能力，對人類認知的模仿與學習也是目前 AI 第二個焦點領域，主要包括：

(1)分析辨識能力：例如醫學圖像分析、產品推薦、垃圾郵件辨識、法律案件分析、犯罪偵測、信用風險分析、消費行為分析等。

(2)預測能力：例如 AI 執行的預防性維修（Predictive Maintenance）、智慧天然災害預測與防治。

(3)判斷能力：例如 AI 下圍棋、自動駕駛車、健保詐欺判斷、癌症判斷等。

(4)學習能力：例如機器學習、深度學習、增強式學習等等各種學習方法。

表 1　人工智慧在實際應用中的價值創造

	What	Use cases
1.時間序列與預測	針對歷史數據做趨勢分析	• 風險分析 • 趨勢分析 • 推薦引擎 • 定價 • ……
2.圖像處理	專門處理靜態圖像，包含圖像辨識、圖像生成、圖像分析等	• 人臉辨識 • 機器視覺 • 圖像辨識不良品 • 圖像優化 • ……
3.音訊處理	專門處理聲音的數據	• 健康音訊異常偵查 • 引擎或機器不良偵測 • 提高音源品質 • 情緒偵測 • ……
4.自然語言處理	專門處理字詞之 AI 應用，可以細分為自然語言處理與自然語言生成	• 輿情監控 • 情緒分析 • 文案撰寫 • 聊天機器人 • ……
5.動態引像處理	專門處理影片類型的數據	• 運動選生分析 • 優化影片質量 • 偵測不良及異常 • ……

二、導入AI先決條件架構

本研究提出由 IoT、Real-time .Info、Big Data 所組成的導入 AI 化事業體的決條件，並可以用金字塔結構呈現。最底層的物聯網(IoT)是整個架構的基礎，並支撐起整個架構。藉由無數佈置周遭具有運算能力智慧化的裝置，從四周的環境、使用者的輸入或使用模式中收集資料，並透過網路和 IoT 應用程式交換這些資料。物聯網 (IoT)所蒐集的資料組成第 2 層的即時資料(Real-time .Info)，最終組成大量非結構化或結構化的資料大數據（big data）。(圖 1)

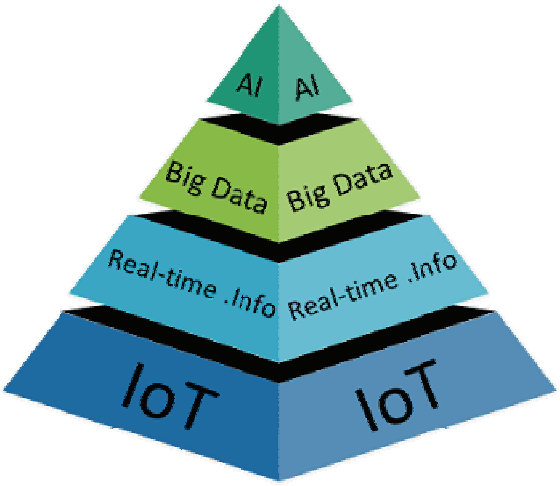

圖 1　導入 AI 先決條件金字塔(本研究)

自來水事業導入 AI 前將遇到的挑戰就跟所有企業導入 AI 一樣，遇到的第一個挑戰就是缺乏人才，尤其是有經驗的人工智慧工程師。AI 是近代才興起的科學，不像一般電機、機械、土木等領域已累積相當多的經驗及人才。尤其近幾年人工智慧工程師才從學術界擴展至產業界，這些工程師自然先流向大型集團產業，自來水事業要擁有自己的人工智慧工程師相當不易，自行培養需要相當久的時間，外包也無法與自身領域契合。

接下來的挑戰是資料可用性，因為機器學習就是需要以資料做為原料，若資料沒有準備好，光有人才也沒有用。但資料基礎建設並不是一夕之間就可以建立，若沒有在幾年前開始蒐集資料，也沒有實際驗證過資料的可用性，往往資料不夠全面完整，沒有足夠的條件以機器學習來解題。

下一個挑戰是如何找到切入點。工程師的視角通常比較關注在技術面，沒有整個企業或集團的全貌。因此，若只有工程師懂得人工智慧的內涵，雖然很容易找到「可用人工智慧來幫助」的問題，但很難找出對企業來說最為優先關鍵，同時也是技術上可行的問題。正因如此，企業中的經理人是否真正能掌握人工智慧的能力及極限，也是產業 AI 化很重要的一個關鍵。

還有常見挑戰是台灣在機器學習領域超過十年經驗的人，幾乎統統都在學術界，但是產業界與學術界中間，只有一條微弱的點對點產學合作形式做為連 結，無法以足夠的速度及深度將學術界的專業知識及經驗，匯流到產業界的第一線實務工作上。

最後，即時資料的使用勢必會導致組織以不同於原本習慣的方式工作。大多數組織每週都會召開檢討會議，以便能夠處理任何問題。而使用即時資料之後，您可以每隔幾分鐘（如果不是幾秒鐘）就查看一次資訊，這將需要一套專門的工作流程方法。工作方法在過去可能是每週改變一次，現在則變成每天改變，這將影響到公司文化。使您的組織變成以資訊為中心，是實現這種即時、資料驅動的決策環境的第一步。

導入人工智慧後必然造成企業工作方式或流程的改變。以決策的流程為例，現在很多企業是由主管聽報告看報表後，憑著直覺或經驗來做決策；導入人工智慧後，決策的形式可以變得相當多元，可以是人做決策再交由模型驗證。或是人提出很多可能的方案，由模型來挑出最好的；也可能倒過來，由模型推薦多種方案，由人來做最後決策。更一步的作法，也許是人與模型的反覆驗證及互相改進，這些都是可能的決策流程，沒有哪一種是最好的，企業必須視組織的文化及任務的性質，挑選出合適的方式來使用。

透過即時資料可以極大地改變企業的工作方式，因此必須以系統化的方法實施。但是，這可能帶來非凡的好處，能夠為所有利益相關者帶來成長機會和卓越服務。

結論

沒有任何技術會是特效藥，可以解決任何企業的難題，包含人工智慧也是。它可以說是大數據分析的最終應用，但仍然只是一個工具。而所有的工具，都要有清楚的目的，以及能夠用得、用得巧的人，才能產生價值。人工智慧系統並沒有辦法即插即用，必須要有大量資料來訓練，若公司裡原本並沒有蒐集某個想要解決的問題所需的資料，或資料蒐集的時間不夠長、資料的品質不夠好，那麼不管引入再好的系統也沒有用。

國內企業面對這波人工智慧浪潮的反應，可以說不算慢，只是方向必須再更精準，不能再像過去流行的大數據一樣，把資源大多投注在資料平台上。很多公司在導入後突然發現，為什麼沒有出現傳說中神奇的效果？因為，所謂的大數據平台只是蒐集、承載、處理資料的系統，少了資料分析這一步，價值不會憑空出現。

要導入人工智慧，企業首先要對這個技術有正確的認知，才知道施力點在哪裡，才知道預期的成效會在什麼地方以什麼形式出現。沒有任何技術會是特效藥，可以解決任何企業的難題，包含人工智慧也是。當然人工智慧模型的預測可能會有失誤，這可能是資料來源的品質問題、資料處理問題、模型建立的過程有問題，甚至是機器學習的極限，無論如何，應該進行嚴謹的除錯與驗證，而不是怪罪建立模型或使用模型的人，更不應該因此就輕易放棄人工智慧。因此，因應技術的導入與流程的改變，企業對於 KPI 的設定與績效評估方式，同步必須進行調整。關鍵點之一是要有實驗及容錯的文化；其次是要了解人工智慧是人與機器學習技術互動的成果，不能單看人所做的工作或模型的準確率，而是從整體著眼，評估人與人工智慧協同合作後，是否有效達到預期的成果。

有了正確的認知後，由誰來找到切入點及執行導入工作，也是一個大學問。很多人以為人工智慧既然跟電腦有關，就應該是 IT 部門的工作，如果事情這麼簡單就好了。如果問到究竟該由誰來進行人工智慧的初步導入的疑問，也就是問到企業應該如何建立第一支人工智慧團隊的問題。

在人工智慧時代中，企業除了要掌握科技發展的趨勢與應用之外，同樣要有足夠的

視野看清楚方向，並在人才、時間與資源都有限的狀況下，進行未來的佈局。人工智慧跟人才一樣，需要長期觀察，並需要不斷翻新。它的建置不像軟體系統，完成後除非修改規格，不然用不著再修改。它需要效能監測機制，我們才能知道模型的準確度是否因為使用者行為的改變、感測器的更新、或是環境的改變等等因素而降低，尤其是與使用者行為有關的機器學習模型。所以人工智慧導入後，一定要設立長期的效能監測機制，才能確保它的效益持久不變。在人工智慧時代，要創建一個表現卓越的組織或部門，除了企管及業務能力，能否妥善利用人工智慧來作為業務的成長加速器，也會讓組織或部門的表現大大不同。一旦決定以人工智慧做為加速器，必須要對於人工智慧的本質及利弊有清楚的認知，它擅長什麼？它無法做什麼？以及如何讓同仁與人工智慧協同作業，把每一天的業務工作做得更好？這些將會成為重要的功課。

參考文獻

1.TIBCO Software Inc. The Changing Face of Retail: 4 Ways to Real-time Data-Solve your greatest challenges with hyper-personalized customer experience ， https://www.tibco.com /zh-hant /company

2.Yigitcanlar, T.et al. Artificial Intelligence Technologies and Related Urban Planning and Development Concepts: How Are They Perceived and Utilized in Australia? J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.

3.(2023) Artificial Intelligence in Local Government Services: Public Perceptions from Australia and Hong Kong, Government Information Quarterly, 40(3), 101833

4.OOSGA Analytics, TIDE Team

作者簡介

邱嘉南先生

現職：臺北自來水事業處淨水科

專長：防災、資訊處理

臺北自來水事業處推動帳務服務電子化之研究
—以水費線上結清為例

文/陳臆尤、陳惠鈴

摘要

雙北地區房屋租賃、買賣等交易活絡，加上屋齡偏高陸續進行都更，水費結清業務每年約 5.8 萬件。雖自 109 年配合臺北市政府政策提供網路申辦服務，惟不具線上繳費功能，需耗費大量人力溝通聯繫並等待用戶付款後，始能郵寄繳費憑證予用戶，歷時約 5 個工作日，無法滿足用戶即時之需求，故採用線上申辦用戶僅占水費結清用戶 3.55%。為達便捷快速、簡政便民之效，運用精實管理思維改善申辦流程，北水處於 112 年 3 月推出水費線上結清全程電子化服務，10 分鐘即可完成繳費，憑證亦以電子方式發送，大幅縮短辦理時效，首年線上結清率已超過 10%，推估全年共減少人工作業時間約 56,000 小時。便利的電子化服務不僅提升整體服務的效能外，亦為推動淨零碳排的一大助力。

關鍵詞：電子化服務、帳務服務、用戶服務、水費結清、淨零排放、節能減碳、無紙化、精實管理

一、前言

科技改變了民眾與政府之間的互動方式，政府機關無不善用資訊通訊科技，對內提升行政效率，對外提供即時服務並強化滿意度。虛擬政府逐漸取代實體政府的功能，民眾利用網路、智慧型手機等媒介即時獲取所需服務，得以減少與實體政府面對面的機會。因此，臺北市政府推行人民申請案件 E 化政策後，北水處立即配合市府目標，提供水費結清網路申辦服務。然而，該服務僅止於線上申請及受理，後續各階段皆須人工處理，效率大打折扣，故使用率偏低。本研究係運用精實管理的思維，找出作業流程中的痛點，並消除申辦過程中的浪費行為，同時簡化整體作業流程，以提高線上申辦案件數及使用率，進而優化北水處帳務服務的品質。在實施改善計畫後，並透過問卷調查使用者對於北水處線上水費結清服務的滿意程度。

二、北水處推動水費線上結清服務

鑒於雙北市房屋買賣、租賃市場交易活絡，地震憑仍加上屋齡偏高，老舊屋舍陸續進行都更，用戶於所有權異動或搬家時，為將權利義務清楚區分，均須辦理水電等公共事業費用之結算。因此水費結清為北水處重要業務，近年來每年辦理件數約 5.8 萬件，亦占用戶臨櫃辦理業務之大宗。

以往用戶如有結算水費之需求，均需記下水表度數，親自前往北水處客服中心或 5 個轄區營業分處辦理，往往耗費不少交通及等候時間。爰此，為提高辦理效率，並配合臺北市政府人民申請案件 E 化政策，北水處 109 年起提供網路申請水費結清管道，用戶填寫水表度數或上傳水表照片，北水處同仁

收件後核算水費，並以簡訊通知轉帳繳費或臨櫃付款，確認款項入帳並銷帳後再郵寄繳費憑證，簡要處理流程及所需天數如圖 1，推出後因大力宣導且能免除用戶親臨北水處營業據點之不便，首年線上申辦件數即達 591 件，占整體水費結清案件數比例亦逐年攀升至 4.9%（圖 2）。

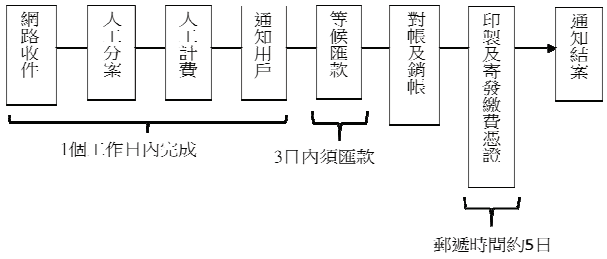

圖 1　改善前水費線上結清處理流程

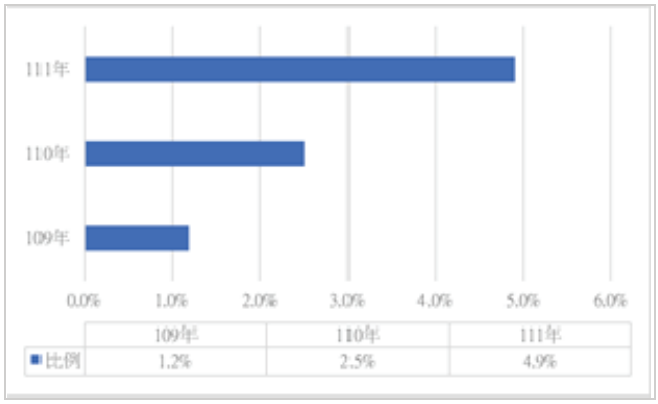

圖 2　線上結清成長趨勢

三、問題分析

然而，自 109 年推出線上申請水費結清功能以來，雖然件數逐年上升，惟占整體水費案件數仍無法突破 5%，且常遭用戶抱怨無法即時取得繳費憑證、申請手續繁瑣不便民……等，經重新盤點申辦流程，發現以下問題：

(一)人工作業耗時：系統送件後，由北水處專責人員查詢水號所屬營業分處後分案，分處承辦人員核算舊欠水費及結清費用後，以簡訊通知用戶於 3 天內完成匯款或臨櫃繳費，並須俟用戶繳費後再列印繳費憑證後寄出。因此，雖以網路申請，而後續分案、水費核算、通知繳費、銷帳、寄送憑證等均須人工作業。且經統計，約有 3 成的申請案件，於審核後發現因度數錯誤、非北水處轄區、逾期繳費、結算日期有誤等原因而退件，反而耗費承辦人員更多時間於案件審理與聯繫用戶，後端處理流程未因網路服務而縮減，反倒徒增人工作業時間，造成人力的浪費。

(二)繳費方式不易：繳費方式僅限於匯款、ATM 轉帳及親洽服務櫃檯繳費，常遭用戶抱怨繳費管道過少，且倘需親臨櫃檯繳費，何須上網填寫諸多資料，直接臨櫃辦理結清即可，因此繳費方式並不符合用戶的需求。

(三)繳費憑證無法即時取得：當用戶因房屋買賣、搬家等原因進行水費結算，須出示繳費憑證給屋主或房東以茲證明已將水費結清至指定日期。惟用戶繳費後，承辦人員須查核確認入帳情形後再進行人工銷帳、印製繳費憑證，並以平信方式郵寄，投遞時效約須 3 個工作日，無法滿足用戶即時便捷之需求。

經整理線上申辦結清各階段所遭遇之問題如表 1，對於內部顧客而言，網路申辦僅提供線上收件，但後續審核、計費、通知用戶、對帳、銷帳及寄送繳費憑證等各流程

表 1　線上申辦水費結清流程所遭遇問題一覽表

處理流程	作業內容	遭遇問題
1.分案	送件後，由專責人員收案，先檢核水號並依用水地址分案給各分處承辦人。若非北水處轄區，統一交由輪值分處辦理。	無法由系統自動判讀轄區並分案，需設置專責人員定期登入系統收件。此外，非北水處轄區亦須依照行政作業流程回復申請者，行政作業繁瑣。
2.計費	人工查詢前期水費繳納狀況，並依申請人所填度數計算應繳金額後，合計應繳水費。	人工檢核所填結清區間與度數是否正確，再進行費用試算。若結清區間與度數錯誤，需用戶補件或退件。
3.通知用戶	以簡訊通知用戶應繳金額及繳款帳號、方式。	用戶逾期未繳費，致使案件以不通過結案，平白浪費行政資源。
4.對帳	若以匯款或 ATM 繳納者，需透過財務科確認款項是否入帳。	無法即時獲知款項是否入帳，須與財務單位多次聯繫確認，浪費時間與通話費。
5.銷帳	以人工方式在水費系統銷帳。	無法自動電腦銷帳。
6.印製及寄送繳費憑證	透過水費系統印製繳費憑證後以人工方式郵寄。	人工處理流程多且郵寄繳費憑證約需 3 個工作日，無法即時取得憑證。
7.通知結案	發送簡訊通知用戶案件已完成	重複通知用戶，恐遭抱怨擾民。

均需人工作業，相較臨櫃辦理反而增加行政流程的繁瑣，亦無法透過網路服務提升辦理時效；而對外部顧客而言，網路服務需符合方便性與即時性，才能吸引民眾使用。而在推行水費結清網路申辦以來，屢屢接獲用戶抱怨等待時間曠日廢時、繳費方式不便等，無法符合用戶即時的需求。為此，提高網路服務效率，勢必要針對整體電子化流程進行改善，從用戶的觀點出發，消除過程中的浪費，以創造服務的最大價值。

四、改善策略

冗長的作業流程將降低服務對用戶的價值及使用意願，故藉由精實管理的思維進行流程改善，屏除過程中每一步驟的無效浪費，希冀使用最低成本，達到最大效能及效率。經檢視水費結清網路申辦流程，發現精實管理中的三大浪費：等待、運輸及動作的浪費。因此，改善的重點為全程電子化，消弭人工作業程序中所產生的浪費，有助於提升效率，提供用戶有價值的服務。為進行改善工作，由業務科與資訊室建立團隊，逐一審視各階段改善要點，並徵詢各營業分處第一線承辦人員的實務經驗後，剔除流程中無效作業程序，並將流程中能由電腦系統處理的部分自動化，流程改善策略如圖 3，茲將調整重點分述如下：

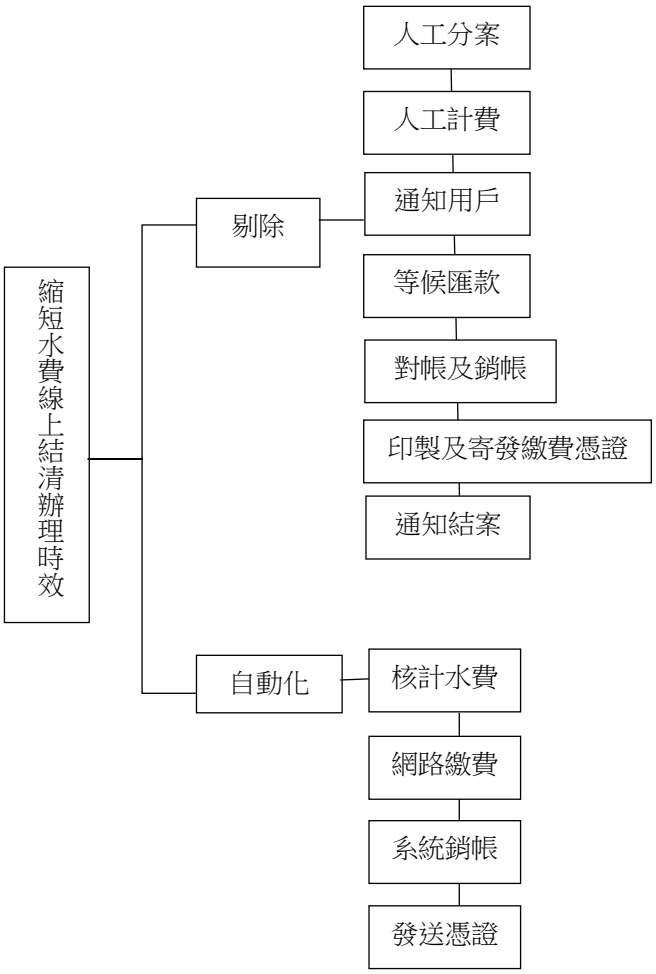

圖 3　縮短水費線上結清流程改善策略

(一)全流程電子化系統：重新建置線上結清系統，並調整水費系統臨時計費帳務處理功能，用戶僅需輸入欲結清之用水地址相關資料，依照步驟逐一操作，將自動轉接至臺北市政府智慧支付平台繳費，從水號查詢到繳納款項全程電子化，提供用戶一站式的服務，與以往僅提供申請功能截然不同，無須苦候北水處通知繳費。

(二)資料自動檢核：原平台申請頁面無資料檢核功能，北水處收件後須人工逐筆核對各項資料正確性，經統計約有 3 成的退件率，承辦人員常須聯繫用戶造成不必要的負擔，降低行政效率。因此，新系統建置自動檢核功能，用戶輸入水號即可稽核是否為北水處轄區水號，台水用戶誤於北水處網站申辦時，將能及時提醒，且用水計費期間、指針度數的合理性亦做初步把關，從系統前端過濾無效的申請案件。

(三)多元繳費方式：為符合現今消費支付習慣，提供多元繳費方式，用戶可依繳費習慣自行選擇銀行帳戶支付、信用卡或多種行動支付，無須出門匯款或親臨北

水處營業據點繳費。

(四)系統自動銷帳：調整臨時計費帳務處理功能後，用戶繳費成功後，即時連線水費系統之臨時計費銷帳功能，將款項自動歸入相關表報欄位，免除北水處內部作業聯繫確認款項進帳之步驟。

(五)電子繳費憑證：銷帳後將自動發送電子繳費憑證至用戶手機或電子信箱，大幅縮短原需約 3 日之郵遞時間，即時提供用戶繳費憑證，縮短時效增加用戶使用意願。此外，若支付時已登錄手機條碼，新系統亦支援發票自動歸戶功能，無須手動輸入變動性載具，中獎後由財政部通知領獎，便利用戶發票管理。

針對前述五大面向對系統進行優化，免除流程中不必要的浪費，如：等候時間、承辦人員重複的動作及信件遞送時間等，並且開放更多元的支付方式，務求達到全流程電子化，以發揮線上服務的最大效能，提供用戶高效率的帳務服務品質，完善整體線上結清流程。

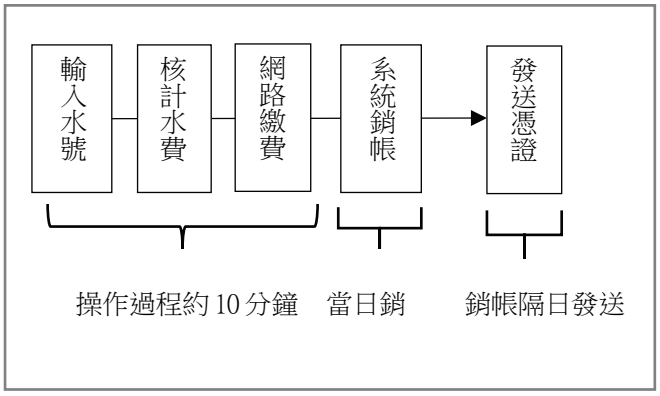

圖 4　改善後水費線上結清處理流程

五、實施成果

水費線上結清全流程電子化後，用戶自輸入水號、確認度數到完成繳費，操作時間僅需約 10 分鐘，繳費當日夜間完成銷帳，隔日自動發送電子繳費憑證予用戶，每案從送件到收執繳費憑證作業時間約需 1 日，簡化作業程序，大幅提升服務效率，減少民眾等候時間。(圖 4)

水費線上結清全流程電子化系統建置完成後，於 112 年 3 月上線，服務開辦前預先透過北水處官方網站、臺北市政府臉書粉絲團發布宣傳活動，鼓勵民眾免出門，透過手機即可一站式完成水費結清。經統計 112 年全面電子化後，全年辦理件數已達 6,137 件，較去年數量成長 127.13%，線上申辦率提升至 11.03%，足見全流程電子化後服務效能有顯著的進步(圖 5)。除件數成長的量化表現外，亦提升服務效率及用戶滿意度，更符合節能減碳的世界潮流，簡要分述如下：

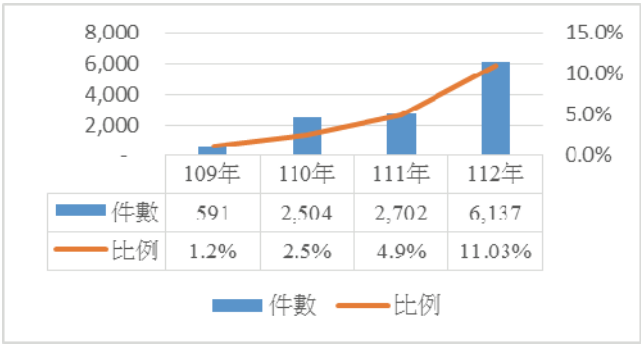

圖 5　線上結清全程 E 化後申請件數比例躍升

(一)服務效率

流程改善前，申請水費結清需分階段辦理。首先，雖能於網站申請水費結清，但功能相當陽春，用戶送件後並未提供檢核功能，約有 3 成的案件因無法辦理而遭退件處理。北水處收件後由承辦人員逐筆檢核資料正確性後計算應繳水費，並依規定於 1 日內

通知申請人繳款，若不親臨北水處營業據點繳款，須提供匯款帳號並請用戶 3 日內付款。付款後，尚需內部人工對帳、銷帳才能印製繳費憑證，並以平信方式郵寄用戶，投遞期間約需 3 個工作日。因此，每案從送件到收執繳費憑證之作業時間平均至少約需 5 個工作日左右。

全流程電子化後，簡化作業程序，大幅提升服務效率，減少民眾等候時間，更因減少北水處承辦人員的介入，每年預估約可減少 56,000 小時的人工作業時間，從而避免人力的浪費。

(二)用戶滿意度

為了解民眾對於線上水費結清全程 E 化服務品質的看法，北水處針對曾經使用過本服務之用戶進行問卷調查。問卷採李克特（Likert）的五點量表來詢問受訪者對於項目的滿意程度，總共分為四大部分，第一部分：水費線上結清的使用次數；第二部分：使用經驗的衡量共 6 題；第三部分：服務整體滿意度的評價；第四部分：個人基本資料。總共回收 100 份問卷，扣除無效問卷 9 份，共計有效問卷為 91 份。

從問卷分析可得知，21%的受訪者不只 1 次使用線上結清服務（圖 6）；在使用經驗上，94%以上的受訪者同意網站設計清晰易懂、操作流程簡單、繳費方式快速便捷，97%以上的受訪者認為提供電子繳費憑證有助於減紙愛地球，並表示未來願意繼續使用線上結清服務，且願意推薦他人使用（圖 7）。整體而言，98%的受訪者對水費線上結清服務感到滿意（圖 8）。

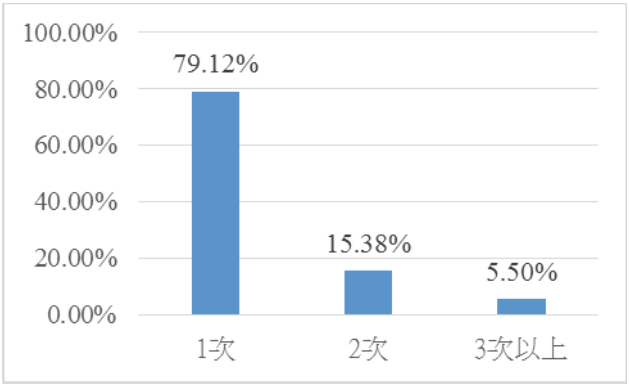

圖 6　線上結清全程 E 化後個人使用次數

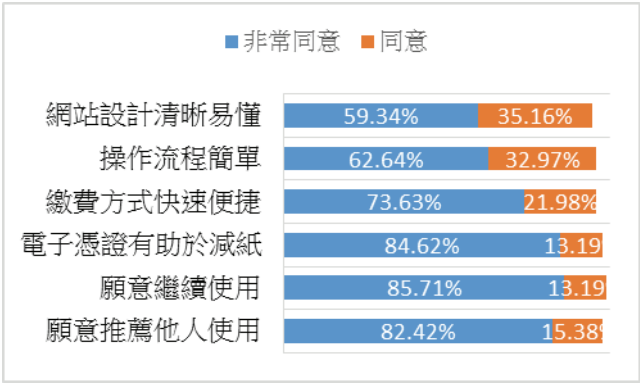

圖 7　線上結清全程 E 化後網站使用經驗

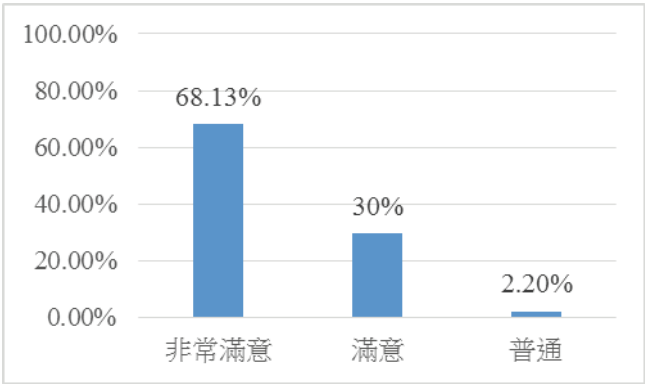

圖 8　線上結清全程 E 化使用滿意度

(三)節能減碳

目前世界各國迎來減碳的潮流，113 年 7 月北市府制定「臺北市淨零排放管理自治條例」，自治條例第 47 條規定：「為強化節能減碳，市政府各機關學校針對各項為民服務業務，應推動電子線上申辦、線上支付、電

子商務、視訊與寬頻環境等數位轉型及智慧創新等應用作為，並應研提便民輔導措施，鼓勵市民與企業同步轉型及創新。」北水處配合市府政策，積極將線上申辦、線上支付趨勢導入帳務服務中，水費線上結清服務全程電子化後，鼓勵民眾「多用網路，少用馬路」，利用線上辦理得以減少因交通所產生的碳排放，銷帳後改為發送電子憑證，亦有助於減少紙張用量、降低因郵遞所製造的溫室氣體，達到北市府節能減碳、淨零排放的政策目標。

六、結語

本研究透過精實管理模式分析水費線上結清系統的改善作為，秉持以用戶的需求為導向，創造服務的最大價值，排除等待、運輸及動作三大的浪費後，簡化整體作業程序，完成水費線上結清系統全面電子化的目標，並開放網路繳費功能，繳費後由系統於當日自動銷帳並發送電子憑證，將案件辦理時效從 5 日成功縮短至 1 日，大幅提升北水處帳務服務效率。系統上線後申辦件數即有顯著的增加，112 年已辦理 6,137 件，較去年案件數量成長 127.13%，線上申辦率從 4.9% 提升至 11.03%，推估全年總計減少人工作業時間約 56,000 小時，以及因不再印製、郵遞紙本繳費憑證，從而減少紙張與交通運輸的使用，符合北水處淨零排放、節能減碳的政策目標。從問卷調查來看，使用者對於水費線上結清全面電子化服務普遍感到滿意，建議未來應定期檢視各項業務流程，消除無法創造價值的浪費，以顧客需求為中心持續改善服務並推動電子化，降低北水處行政成本及提升整體服務量能與效率。

參考文獻

1.邱創鈞，創新的精實心法，工具機與零組件雜誌第92期，P100-103，2017。
2.國家發展委員會資訊管理處，發展一站式整合服務，邁入服務型智慧政府，政府機關資訊通報第354期，P1-4，2018。
3.國家發展委員會，服務型智慧政府2.0推動計畫（110年至114年），2020。
4.張美瑤，電子化政府便民APP服務品質與民眾滿意度關係之研究：以高雄iBus為例，數據分析第14卷第1期，P33-47，2019。
5.臺北市政府，臺北市2050淨零行動白皮書，2022。

作者簡介

陳臆尤女士

現職：臺北自來水事業處業務科四級管理師

專長：帳務服務

陳惠鈴女士

現職：臺北自來水事業處東區分處股長

專長：客戶服務、帳務服務

自來水工程辦理採購應注意事項－契約解除與終止篇

文/謝彥安

摘要

本文討論自來水工程採購中「契約解除」與「契約終止」的法律差異與實務應用。解除契約具有溯及效力，使契約回復至簽訂前狀態，而終止契約則僅對未來發生效力，對已完成部分仍需履行相關義務。實務上多採「終止契約」，以減少拆除已完成工程的衝突與損失。文中進一步探討合意終止與行使終止權的不同，強調合意終止需雙方達成一致，屬新契約的締結；而終止權的行使則為單方行為，依法律或契約約定而生效。此外，文中檢視可歸責於廠商的解除或終止情形，包括違反政府採購法相關規定、不當得利、轉包等案例，提供實務參考，助於妥善處理採購糾紛。

關鍵字:自來水工程、契約解除、契約終止、政府採購法、工工程履約

一、前言

在自來水工程進行中，如有遇到履約過程中因為一方違約或是互不信任，這時就可能面臨解除或終止契約。其實契約的解除與終止是兩種不同的法律行為，對工程進度和雙方的權利義務有著重大影響。解除契約和終止契約在字面上看似相似，但其法律效果和實際操作中有顯著差異。本文將說明這兩者的差異，並進一步討論合意終止與行使終止權的不同情況，以及可歸責與不可歸責於廠商的解除或終止契約事由。了解這些概念有助於在工程中合理應對契約糾紛，確保工程順利進行。

二、解除與終止契約之差異與效力？

在辦理自來水工程的過程中，如果有一方違約，或是因為雙方互不信任或其他因素導致契約終止或解除，但其法律效果和實際操作中卻有顯著差異，以下將介紹兩者的差異。

解除契約，依據最高法院 109 年度台上字第 2931 號民事判決內容：「解除，使因契約發生之債權關係溯及消滅，故未履行之債務因解除而不存在，已履行之債務則由當事人雙方互負回復原狀之義務。」解除契約的法律效果是使契約之效力溯及消滅，亦即回復到簽約前的狀態。換言之，一旦工程契約遭解除，除了尚未施作的部分不必再施作之外，已施作的部分也必須回到尚未施作的狀態。

終止契約，依據最高法院 111 年度台上字第 1044 號民事判決：「契約自終止時向後失其效力。」換言之，終止契約並不具有溯及力，而是從終止之日起失去效力。因此，若工程契約被終止，雙方仍需對終止前已完成的工程承擔相關責任與義務。針對已完成部分的工程款項，機關應支付廠商相應的報酬。

在工程實務上，由於工程契約涉及的金額和工作量較大，如果廠商或機關解除契約，雙方需承擔恢復原狀的責任，甚至可能需要拆除已完成的部分，這會使爭議更加複雜，也勞民傷財。因此，實務上通常認為工程採購契約原則上是「終止」，只有在特定情況下，才允許廠商或機關「解除」契約。考量到我國法院就工程案件幾乎大多選擇「終止契約」而非「解除契約」的方式處理，故本文以下進一步討論「終止契約」中，有合意終止與行使終止權二種不同情況。

三、合意終止與行使終止權之差別

(一)合意終止

在實務上，我們經常遇到的一個問題是，如果一方違約，或者因雙方互不信任或其他因素導致契約終止或解除，當尚未進入法律訴訟程序時，雙方常選擇以「合意終止」的方式結束承攬契約。有時也會依契約內文的約定終止契約。這兩者雖然都能終止契約，但在某些後續法律效果上有所不同。

若雙方選擇以「合意終止」契約的方式結束承攬關係，需要注意的是，我國實務認為合意終止契約是雙方額外訂立的新契約，以終止原有契約，原契約的權利義務雙方不再遵守。最高法院 106 年度台上字第 483 號民事判決指出：「按合意終止契約乃契約當事人以新契約終止其原有契約，使原有效契約向後歸於消滅，未履行之義務即免再履行。合意終止後雙方之權利義務關係，除當事人另有約定者外，並不當然適用原契約。」這意味著，若雙方不再有信任關係而選擇以「合意終止」的方式終止契約，例如通過開會討論並達成一致，或以書面形式同意終止契約，只要能證明雙方就終止契約達成合意，即可生「合意終止」契約之效力。但若雙方僅就合意終止契約，並未另行約定其他事項，例如如何處理已施工程中的瑕疵，鑒於實務認為「除當事人另有約定者外，並不當然適用原契約」，顯然我國法院認為若無特別約定，則僅係單純合意終止契約。

此外，雖然合意終止契約時雙方未約定特約事項，但若承包商溢領工程款，業主應依民法第 179 條不當得利之規定向承包商請求。這可參酌最高法院 98 年度台上字第 2481 號民事判決內容：「合意終止契約之損害賠償，應依其契約之約定定之，如無約定，僅能依不當得利之規定請求返還利益，此與契約之終止之損害賠償，係依法律有關之規定（如民法第 507 條第 2 項、第 511 條）行使尚有不同。」總而言之，「合意終止」契約雖能結束承攬關係，但需注意約定的具體內容及後續可能引發的法律問題。

(二)終止權

關於契約終止權，最高法院 112 年度台上字第 652 號民事判決指出：「契約之終止，有由當事人合意而終止者，亦有依當事人一方行使終止權而為終止之意思表示者。又當事人一方行使終止權，其終止權之發生原因有依法律規定者，謂之法定終止權，亦有基於當事人約定者，謂之約定終止權。」這明確說明，終止權與合意終止是不同的終止方式。

關於終止權行使的性質，可以從最高法院 101 年度台上字第 1180 號判決中清楚了解：「按契約之合意終止為契約行為，法定

或約定終止權之行使則為單獨行為，後者發生效力與否，端視有無法定或約定終止之事由存在，既無待他方當事人之承諾，自不因他方當事人之同意或未為反對之意思表示而成為合意終止。」也就是說，實務上認為倘若一方依契約規定的事由向另一方行使「終止權」，這是屬於「單獨行為」，是否發生法律效力取決於是否符合契約所約定的終止事由。例如，工程採購契約範本（112 年 11 月 15 日修正)第 21 條詳細列出了業主與承包商各自可以終止契約的事由，此時僅需依據契約所約定的內容向他方表明終止契約的意思即可，無需他方同意。當然，倘若他方認為行使終止權的一方終止契約不符合契約所約定，例如承包商遭業主以遲延履約為由終止契約，承包商可能需要提出履約爭議調解或到法院對簿公堂，以確認終止權之行使是否合法。

行使終止權與合意終止最大的不同在於，後者若無特別約定，僅生契約終止之效果，無法再主張原契約的權利義務；而前者，法院認為行使終止權的一方仍可依終止前的契約內容行使相關權利。最高法院 102 年度台上字第 182 號民事判決指出:「次按民法第二百六十條規定，解除權之行使，不妨礙損害賠償之請求；此為當事人依法律規定終止契約時所準用，復為同法第二百六十三條所明定。基於同一法理，於依契約約定終止契約時，應可類推適用。」故若機關依契約約定之終止權向承包商終止契約，仍可主張已完成部分工程之瑕疵修補權或其他權利。

(三)在這種情況下，可能會出現雙方都認為對方違反契約約定而欲行使契約終止權的問題。這是否會被認為是雙方「合意終止」呢？最高法院 102 年度台上字第 2326 號民事判決明確指出：「按合意終止契約，係雙方契約當事人以第二次之契約終止原有之契約，使原有契約之效力向後歸於無效。故合意終止時，就契約等必要之點，依民法第一百五十三條規定，自須雙方互相意思表示一致，始生效力。被上訴人承攬系爭工程，工程款之給付究為總價承攬抑實作實算？九十八年十一月一日每日收工會議紀錄所載『由總工程款扣除，經雙方確認無誤，支付款項後，解除雙方合約』，此總工程款之金額若干？有否及於其他衍生之工程款？被上訴人主張之結算方法，與上訴人是否互相意思表示一致？兩造是否已結算確認？俱屬合意終止契約必要之點，仍待釐清。且既訂明『約定經雙方確認無誤，支付款項後，解除雙方合約』，若雙方已確認總工程款，終止合約，被上訴人何以於九十八年十一月四日仍執工程明細表（見一審卷第十六頁、第三十五頁，原證九、原證十）請求上訴人確認並給付本約並追加修繕之工程款？原審所認被上訴人得請求工程款之金額，於上訴人尚未確認給付前，即雙方已合意終止合約，是否符合兩造真意？亦非無疑。原審未予詳求，徒憑九十八年十一月一日每日收工會議紀錄，逕依以系爭承攬合約書及九十八年二月十六日之協議書為據，認上訴人尚應給付被上訴人工程款二百十六萬三千

一百九十八元，雙方合意終止契約，自嫌速斷。」，此判決指出，如果雙方對「契約之必要之點」未達成合意，不能認定為合意終止契約。在雙方互相指責對方違反契約而行使終止權的情形下，尚難形成雙方對於必要之點合意，應認為雙方獨立行使終止權，至於誰的終止權行使合法，可能需要由法院認定。

四、可歸責於廠商解除或終止契約

經由前面的介紹，相信讀者可以了解到，「合意終止」契約是屬於雙方所額外約定的契約終止，但一般來說，契約內皆會約定得行使「終止權」之事由，以下就工程採購契約範本（112 年 11 月 15 日修正）中所列可歸責於廠商之事由而致解除或終止契約之事由簡要介紹之：

(一)違反政府採購法第 50 條第 2 項：

當發生政府採購法第50條第1項所規定的情形時，機關可以依據同條第 2 項解除或終止契約，並向承包商請求損害賠償，這是機關所擁有的「終止權」或「解除權」。然而，如果解除或終止契約不符合公共利益，機關可以經上級機關核准，讓承包商繼續履行契約。例如，如果承包商已經完成工程，僅剩驗收與點交的過程，此時解除契約可能會帶來不必要的後果，甚至需要另外尋找承包商來接手驗收，這在實務操作上可能會面臨招不到標的情形。畢竟，沒多少廠商會願意接手已經竣工的工程並負責後續的驗收，尤其是驗收後的缺改可能會讓廠商卻步。因此，在這種情況下，應認為機關可以經上級核准後，讓原來的承包商繼續履行契約。

此外，因為這項約定只是重申政府採購法第 50 條的規定，因此即使契約中未明列此項終止事由，機關仍然可以依政府採購法第 50 條第 2 項所賦予的「法定終止權」或「法定解除權」行使權力。這可以從最高法院 99 年度台上字第 818 號判決中得到印證:「政府機關辦理採購，應依本法規定；本法未規定者，適用其他法律規定。決標或簽約後，發現得標廠商於決標前有第一項情形者，應撤銷決標、終止契約或解除契約，採購法第三條、第五十條第二項前段分別有明文規定。這項契約終止事由既為採購法所明定，屬法定終止事由。若投標廠商有採購法第五十條第一項各款情形之一者，政府機關可以依同法條第二項規定終止契約。」

(二)違反政府採購法第 59 條：

政府採購法第 59 條第 1 項規定：「廠商不得以支付他人佣金、比例金、仲介費、後謝金或其他不正利益為條件，促成採購契約之成立。」，此規定即禁止機關或承包商已賄賂之方式使採購契約成立，例如承包商透過行賄機關承辦人員，進而得標，此時，機關即得行止契約之解除或終止權。另外，因為本項亦為政府採購法第 59 條之重申，故即使契約終並無約定，機關仍可以政府採購法第 59 條第 2 項之「法定終止權」或「法定解除權」行使權力。

(三)違反不得轉包之規定

何謂轉包或分包？此約定在工程採購契約範本（112 年 11 月 15 日修正）第 9 條第(十一)款第 1 目：廠商不得將契約轉包。廠商亦不得以不具備履行契約分包事項能力、未依法登記或設立，或依採購法第 103

條規定不得作為參加投標或作為決標對象或分包廠商之廠商為分包廠商。故倘若廠商違反上開約定之轉包或分包之約定，則機關即可解除或終止契約。

(四)廠商或其人員犯政府採購法第 87 條至第 92 條規定之罪，經判決有罪確定者：

此條分別規定承包商或其人員違反政府採購法第 87 條至第 92 條，並經判決有罪確定，機關可以解除或終止契約。

以下是政府採購法第 87 條至第 95 條的相關規定和解釋：

1.政府採購法第 87 條：

(1)第 1 項與第 2 項（強制圍標罪）：例如，找黑道脅迫其他廠商不讓其得標。

(2)第 3 項（詐術圍標罪）：例如，借牌陪標、製作假文件投標或陪標。

(3)第 4 項（合意圍標罪）：例如，數家廠商事前談好讓其中某一家廠商得標。

(4)第 5 項（借牌圍標罪）：例如，借用他人資格投標，或出借自己的資格給他人。

2.政府採購法第 88 條：綁標罪，通常指機關擬定、採用或適用的技術規格，其所標示的擬採購產品或服務的特性（如品質、性能、安全、尺寸、符號、術語、包裝、標誌及標示或生產程序、方法及評估程序）在目的及效果上限制競爭的情況。

3.政府採購法第 89 條：交付秘密資訊圖利罪，指受機關委託的設計、監造或專案管理單位，若因自身利益將採購相關資訊洩漏給他人即構成此罪。

4.政府採購法第 90 條：強制決定罪，懲罰廠商在投標前威脅設計單位配合投標，使設計內容讓其他廠商投標意願降低，從而排除其他廠商。

5.政府採購法第 91 條：強制洩密罪，若投標廠商為提高得標機會，以強暴或脅迫方式迫使機關採購人員或相關人員洩漏應依法保密的資料。

6.政府採購法第 92 條：專門規定對廠商的罰金。若廠商或其人員違反第 87 條至第 91 條的規定，可以依第 92 條對廠商課以罰金。

(五)因可歸責於廠商之事由，致延誤履約期限：

此解除或終止契約事由應為承包商最常碰到的可歸責事由，須注意的是，一般來說，契約內會載明延誤的範圍，例如工程採購契約範本（112 年 11 月 15 日修正）第 21 條第(一)款第 5 目約定「履約進度落後__%（由機關於招標時載明；未載明者，巨額之工程為 10%，未達巨額之工程為 20%）以上，且日數達 10 日以上。」，且倘若承包商有落後進度達 20%時，機關應該要先命承包商改善，才得以解除或終止契約。

(六)偽造或變造契約或履約相關文件，經查明屬實者。

(七)擅自減省工料情節重大者：

本條顧名思義，是指承包商有偷工減料，且情節重大之情形。

(八)無正當理由而不履行契約者：

通常是指，廠商無正當理由不履行契約，例如擅自停工或拒絕進場施工。

(九)查驗或驗收不合格，且未於通知期限內依規定辦理者：

查驗與驗收不合格之情況與致延誤履約期限之情況相似，亦須由機關訂一定期限通知承包商改善，機關方取得解除或終止契

約之權利。

(十)有破產或其他重大情事，致無法繼續履約者；廠商未依契約規定履約，自接獲機關書面通知次日起10日內或書面通知所載較長期限內，仍未改正者；違反環境保護或職業安全衛生等有關法令，情節重大者；違反法令或其他契約規定之情形，情節重大者：

工程採購契約範本（112 年 11 月 15 日修正）第 21 條第(一)款第 10 至 13 目因係為違反其他法或因為一些原因無法繼續施工，因涉及個案與不同法規之適用，囿於篇幅關係，筆者僅簡單列出。

五、不可歸責於廠商解除或終止契約

前面介紹完可歸責於廠商之事由後，以下將介紹不可歸責於廠商之事由，通常包含以下幾類：

(一)政策變更：

契約因政策變更，廠商依契約繼續履行反而不符公共利益者，機關得報經上級機關核准，主動終止或解除部分或全部契約，並補償廠商因此所受之損失，惟因為本情況是基於公共利益之考量，故採購契約範本也明確規定，廠商不得請求所失利益。

(二)不可抗力因素或不可歸責於雙方之事由：

不可抗力的因素，可參酌工程採購契約範本（112 年 11 月 15 日修正）第 17 條第(五)款之規定，諸如戰爭、地震、颱風等等，其屬不可歸責於兩方之事由，一般而言，承包商得執前揭規定請求展延，但倘若是非常嚴重之情形，使契約根本無法繼續履行，雙方的辦理契約之解除或終止。

(三)因非可歸責於廠商之事由，機關遲延付款：

此項規定於工程採購契約範本（112 年 11 月 15 日修正）第 21 條第(十一)款，倘若機關非因可歸責於承包商之事由，卻遲延付款，承包商除得向機關請求加計年息（由機關於招標時合理訂定，如未填寫，則依機關簽約日中華郵政股份有限公司牌告一年期郵政定期儲金機動利率）之遲延利息；或得於通知機關 1 個月後（由機關於招標時合理訂定，如未填寫，則為 1 個月）暫停或減緩施工進度、並申請延長履約期限，亦得向機關請求因此增加之必要費用。

又倘若機關延遲付款達 3 個月（由機關於招標時合理訂定，如未填寫，則為 3 個月）者，承包商得通知機關終止或解除部分或全部契約，即行使承包商之契約解除或終止權。

(四)機關未盡協力義務：

協力義務是指為使承攬人順利完成工作，定作人須給予必要的協助，例如機關在履約過程中提供用地、提供正確圖說等協議義務。如果機關不願意提供協助，承包商應該在適當的期限內催告機關，若機關在期限內未履行協力義務，承包商可以通知機關終止或解除契約。

另外，如果機關所需負擔的協力義務項目並不影響承包商進行其他部分的工程，最高法院 92 年度台上字第 915 號民事判決指出：「如果承攬契約的內容包括數個可獨立施作的項目，而其中需要定作人協力的部分並不影響其他部分工作的進行及完成，則承

攬人不能任意以契約中的一部分需要定作人協力而未協力，致使該部分不能施作為理由，而終止契約。即使該部分工作不能進行，只要其他部分工作仍可完成，承攬人無法主張機關未負協力義務而得解除或終止契約。」易言之，承包商在履約過程中若遇到機關未提供協助，應在合理期限內催告機關，若機關未在期限內履行義務，承包商可以終止或解除契約。但如果機關未提供協助的部分並不影響其他可獨立施作的工程，承包商無法以此為由解除或終止契約。

六、結論

在自來水工程契約的管理中，正確區分解除契約與終止契約具有重要意義。解除契約與終止契約在法律效果上的差異直接影響雙方的權利和義務，並對工程進度和成本管理產生深遠影響。合意終止契約與單方行使終止權在實務操作中各有適用情境，需要根據實際情況靈活應用。可歸責於廠商與不可歸責於廠商的解除或終止契約事由，亦需詳細了解和謹慎處理，以避免不必要的糾紛和損失。透過深入理解這些法律概念和實務運作，自來水機關和承包商可以更有效地處理工程契約，確保工程項目的順利推進和圓滿完成。

參考文獻

1.陳錦芳，由法院判決看透政府採購契約-工程採購篇，2020。
2.陳誌泓，萬國法律：工程契約之違約終止及相關爭議(一)
3. 法源法律網 https://www.lawbank.com.tw/?membernotice=t

作者簡介

謝彥安先生

現職：執業律師、土木技師、國立台灣大學兼任講師、台北自來水事業處「管線工程廠商領班人員訓練」法律講座、台北自來水事業處企業工會「112年勞動法令研習活動」法律講座

專長：工程法律、廉政倫理、勞資法律

矩形水池結構計算之研討

文/曾浩雄

摘要

水池是自來水重要設施之一，它分為矩形及圓形水池，矩形又分為小型(約 1000 M^3 以下)及大型水池，如游泳池；圓形水池則分為有無中間支柱。其結構體分為有頂蓋及無蓋。有頂蓋者其直徑較大者，須加設中間支柱，直徑大於 20 m 者其頂蓋宜採用拱頂式)。矩形水池之池深越大其底邊承受之力矩越大。它的結構體主要是由池牆豎向鋼筋支撐，原則上其短、長邊之比值宜維持在 1：2 以內，俾以雙向版原理求其邊緣力矩：圓形水池則由其水池特性指數 H^2/Dt，求得環向力係數，進而求得其環向力及其所需鋼筋量。水池直徑越大則其環向力越大。頂蓋及底板求得之力矩必須與牆頂或牆底分別進行力矩分配，才能求得其最終力矩，並據以求其所需之鋼筋量。

關鍵字：矩形水池、圓形水池、頂板、底板、頂板雙向版、池牆、豎向鋼筋、環向鋼筋、力矩分配。勁度、特性指數。

一、矩形水池

(一)前言：台水公司以多年來之經驗，確定採用基腳（Footing）式池牆再於底部鋪設 10 cm 之 PC 者，其漏水水率相當高，因此強制規定：水池之池底必須採用筏式基礎（Mat Foundation），而且其厚度不得少於 40 cm，所有水工設施，其所使用混凝土之強度不得小於 245 fkg/cm^2。另為防止池牆受地震力之破壞致發生漏水，規定：池牆之厚度不得小於 30 cm。上述規定除設計台水公司之水池者必須遵守外：建議民間設計者也採用其規定，期能儘量減少水池之漏水機率。

(二)型式：矩型水池分為 1000 m^3 以下(含)之小型箱型及 1000 m^3 以上之大型水池。另就其構造而言，又分為有頂蓋及無頂蓋水池。有頂蓋水池之結構體分為頂版、池牆及底版等三項。

(三)結構計算

1.雙向版

一根梁若兩端均為固定者，則其端點負力矩 $M- = 1/12\ w\ \ell^2 = 0.0833\ w\ \ell^2$)：中央最大正力矩 $M- = 1/24\ w\ \ell^2$。假設兩個固定端之距離為 b，若將梁之寬度加大形成一塊平版，亦即梁之寬度(短邊 a)放大到與固定端之寬度 b 同寬，讓頂版寬度 a 與長邊長度 b 之比值= 1：1，詳如圖 1。

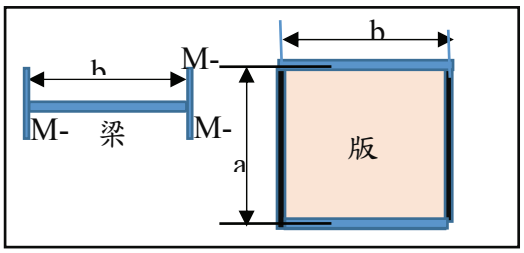

圖 1　梁版平面圖

此時固定端端點之負力矩 $M- = 0.033\ w\ \ell^2$，只剩原先之 1 / 2.5。這是因為長邊所配置之鋼筋會協助短邊所承受之力矩。若將梁之寬度 a 縮小為頂版長邊長度 b 之一半。即頂版寬度 a 與長邊長度 b 之比值= 1：2，此時

則固定端則其端點負力矩 M-又恢復到 0.0833 w ℓ^2。茲將水平雙向版之力矩係數列如表 1。

表 1　水平雙向版之力矩係數表數

短邊 m						長邊
1	0.9	0.8	0.7	0.6	≦0.5	
0.033	0.04	0.048	0.055	0.063	0.0833	0.0833

2.頂版

假設頂版之長邊為 8 m (心至心)；短邊為 5 m (心至心)，則兩者之比值為 5/8 = 0.625。經查表(一般混凝土力學書本都有)，並以插入法求得短邊之負力矩係數= 0.057。假設頂板厚度 t = 15 cm，活載重為 200 kg/m^2，則頂版之總載重= 2.4 * 0.15 + 0.2 = 0.56 T/m^2。其短邊負力矩 M- = 0.057* 0.56 * 5^2 = - 0.8 T-m/m。

3.池牆

當水流入水池後，池牆必然會承受水壓，而以牆底之受壓為最大，其大小與水深成正比，p = γ * H。水池若無頂板，此時牆底承受之力矩 M- = 1/6 * γ * H^3。若有頂板，根據結構力學設計手冊 P.80 之 H.8.9。其頂端之力矩 M- = w * H^2 / 30：底端之力矩 M- = - w * H^2 /20，式中之 w = γ * H，H 為水深。當水深= 5m 時，w = 1 * 5 T-m/m = 5 T-m/m。垂直池牆也有雙向效應，當池寬與牆高之比值小於 3 時，主牆兩側之池牆仍有協助主牆抵抗水壓之能力。根據英國出版之 Renolds's Rei nforced Concrete De- signer's Hand book 11 TH Edition P. 149 頂板及底板均為固定時，其力矩係數重新繪製如圖 2。

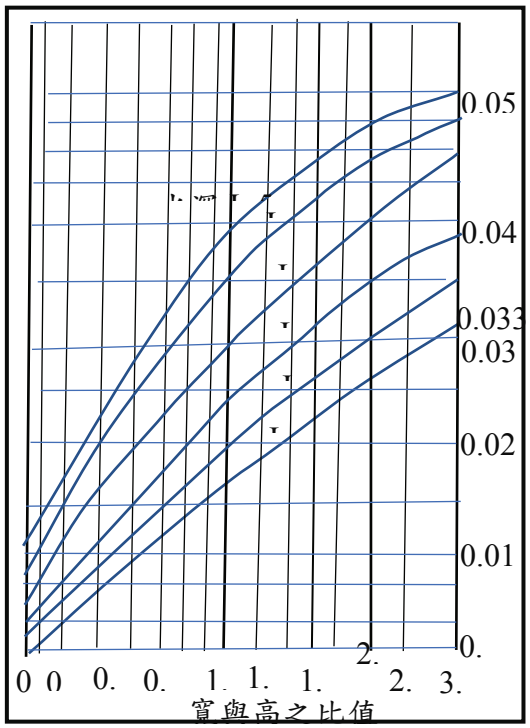

圖 2　垂直雙向牆之力矩係數

假設池牆高度為 5 m，一般有效水深大都不會超過 4.7 m，另加 30 cm 之出水高，池牆之總高度維持在 5 m 以下。雖然有效水深為 4.7 m，但發生地震時，池裡的水會因震盪而上升，因此計算牆底承受之力矩時，其水深仍應以 5m 計算。上下兩端均為固定，則池牆頂端之力矩 M- = - 1 * 5^2 / 30 = - 0.833 T-m/ m。

4.力矩分配

由上述之分析，池頂與池牆接合點之力矩並不相等，而且均為負值，在力學上該點並無法維持穩定，因此必須就兩者之勁度(Stiffness)重新加以分配。池頂每 m 之勁度 = 1* t^3 / L = 1 * 0.15^3 / 5 = 0.0007。池牆之勁度 = 1 * 0.3^3 / 5 = 0.0054，兩者力矩分配係數為：池頂= 0.0007 / (0.0007 + 0.0054) =0.115；池牆= 0.0054 / (0.0007 + 0.0054) = 0.885，池頂端點之力矩=-0.833；池牆底端之

力矩 M- = -w * 5^2 /20 = - 5 * 5^2 / 30 = -4.17。兩者合計 M_0 = - (-0.833 + (-4.17) =-5.003。在力學上池牆與頂版一端產生力矩時，必然於另一端產生誘發力矩(其方向必定相反)，力矩分配計算如表 2。

5.需要鋼筋量

池頂之 As = M/ad = 0.23 / 0.0123 / (15 – 2)= 1.44 cm^2/m。採用 φ 13 mm 鋼筋，每 m 需要根數 = 1.44 / (1.267) = 1.174 根/m，其間距 S = 100 / 1.44 = 69.443 採用 20 cm。池牆 As = M/ad = 0.23 / 0.0123/ (30 – 7.5) = 0.83 cm^2/m。採用 φ 13 mm 鋼筋，每 m 需要根數= 2.01 / (1.267) =1.59 根/m，其間距 S = 100 / 1. 59 = 126.6 採用 20 cm。

表 2 力矩重新分配表

項目	頂版	牆
分配係數	0.115	0.885
原有力矩	-0.8	-4.17
固定端合計力矩	-4.97	
誘發力矩	0.57	4.4
最終力矩	-0.23	0.23

6.大型無頂板水池

例如游泳池，池長 50m；池高 3.5 m 池底承受之力 M- = 1/6 * γ * H^3。一般有效水深都採用 3.7 m，另加 30 cm 之出水高，池牆之總高度= 4 m。則每 m 牆底所承受之力矩 M- = 1/6 * 1 * 4^3 = 10.67 T-m/m。牆底之端點力矩仍應如上所述與池牆底部之力矩加以重新分配。

7.溫度鋼筋

混凝土遇到冷熱變化仍會伸縮，故須加設溫度鋼筋予以抵抗。長年曝露在陽光下之頂板，其溫度鋼筋量應為 0.3%，所以其所需之 As = 0.3 % * 15 * 100 = 4.5 cm^2。As = M / ad = 4.5 / 0.0123 / (15 – 2) = 28.14 cm^2/m。採用上下兩排 φ 13 mm 鋼筋，每 m 需要根數 = 4.5 / (2 *1.267) = 1.77 根/m，其間距 S = 100 / 1.77 = 56.49 採用 25 cm。池牆每 m 所需之鋼筋量 As = 0.25 * 30 * 100 = 7.5 cm。M/ad = 7.5 / 0.0123/ (30 – 7.5) = 27.1 cm^2/m。採用前後兩排 φ 19 mm 鋼筋，每 m 需要根數= 27.1 / (2 * 1.986) = 6.82 根/m，其間距 S = 100 / 6.82 = 14.85 採用 12 cm。

8.底版

假設池牆高度 5m，上下兩端均為固定，水池之總載重:1.頂板= 0.56 * (5 + 0.3) * (10 + 0.3) = 30.57 T。2.池牆 = 2.4 * (5 + 0.3) + 10) * 2 * 5 = 367.2 T。3.底板= 2.4 * (5 + 0.3) * (10 + 0.3) * 0.4 = 52.41 T。4.滿池水重= 1 * (5 - 0.3) * (10-0.3) = 214.3 T。滿池總重量 = 30.57 + 367.2 + 52.41 + 214.3 = 664.48 T。底版下方之土壤之承載力 p = 664.48 / ((5 + 0.3) * (10 + 0.3)) = 12.17 T/m^2 (必須小於土壤容許承載力) 。底版下方土壤之淨反力 f = (664.48 – 52.41) / ((5 + 0.3) * (10 + 0.3)) = 11.21 T/m^2。底版之作用力與頂版之作用力相類似，但方向正好相反，底版短邊之力矩 M- = 0.083 * 11.21 * 5^2 = 23.26 T-m/m。底部之力矩同樣須就牆底之端點力矩加以重新分配。

二、版梁柱式水池

(一)採用之場合

由於池牆底端之力矩與池深之三次方成正比，因此一般水池深度都控制在 5 公尺以內；而水池頂板之端點力矩亦與其寬度之平方成正比，而寬度均以不超過 6 公尺為限，長度則採用 12 m。依此原則計算，則單一水池之容量只約為 6 m *12 m * 5 m = 360 m^3。因此容量大於 360 m^3 者勢必加大其長寬度，此時雖然其長短邊之比值仍可維持在 1：2 之間(可藉由雙向版原理計算其邊緣力矩)，但其周邊力矩會因而加大(邊長之平方成正比)，在此情況下，長邊或短邊必須加設梁柱以縮短其短邊之長度。此乃容量大之水池必須採用版梁柱式水池之原因。如此安排下，水池之容量可無限放大，其所形成大面積之頂版由其下方加設置之梁及池內之柱子支撐，形成有版有梁有柱之水池。至於所加設梁柱後其應力之分析，可按結構力學設計手冊 P.154 至 P.159 相關鋼架(Frame)之公式辦理。

(二)梁與柱之應力分析

1.剛架(Rigid Frame)

梁與柱子結合在一起，其接點所產生力矩之大小，會因兩者剛度(Stiffness)之比值而互異。而且其所受之應力除了垂直荷重外，尚承受因地震所產生之水平力。因此大梁與柱子所承受之應力須以剛架(Rigid Frame)加以分析。根據「結構力學設計手冊」P.171，剛架如圖 3 之 k = I1 / I2 * h / ℓ，$\lambda = k^2 + 10k + 4$，$\phi = 3k^2 + 41k + 4$。

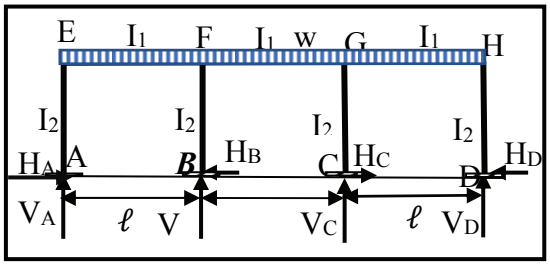

圖 3　剛架各梁柱之指數圖

假設柱子之尺寸為 45 cm * 45 cm；梁之尺寸為 35 cm * 45 cm。水深 H = 5 m，池長 ℓ = 6 m。頂板厚度 t =15 cm。活載重= 0.2 T/m^2，則其總荷重 w = 2.4 * 0.15 + 0.2 = 0.56 T/m^2。I_1 = 45 * 45^3 / 12 = 341718.8 cm^4；I_2 = 35 * 45^3 / 12= 265781 cm^4。k = 341718.8 / 265781 * 5 / 6 = 1.07。λ = 1.07^2 + 10 * 1.07 + 4 = 15.85，ϕ = 3 * 1.07^2 + 41 * 1.07 + 4 = 31.31。$V_A = V_D = (4k^2 + 9k + 4) / \lambda * w * \ell / 2$ = (4 *1.07^2+ 9 *1.07 + 4) /15.85 * 0.56 * 6 / 2 = 1.93 T。$V_B = V_C = (11k^2 + 21k + 8) / \lambda * w * \ell / 2$ = (11 * 1.07^2 + 21 * 1.07 + 8) /15.85 * 0.56 * 6 / 2 = 4.56 T。$H_A = -H_D = (3k + 2) / \lambda * w * \ell^2 / 4$ = (3 * 1.07 + 2) / 15.85 * 0.56 * 6^2 / (4 * 6) = 0.28 T。$-H_B = -H_C = k / \lambda * w * \ell^2 / 4k$ = (1.07 / 15.85 * 0.56 * 6^2 / (4 *1.07) = 0.32 T。$M_A = M_D = (3k + 2) / \lambda * w * \ell^2 / 12$ = (3 * 1.07+2) / 15.85 + 0.56 * 6^2 / 12 = 2.01T-m。$M_B = M_C = k / \lambda * w * \ell^2 / 12$ = 1.07 / 15.85 * 0.56 * 6^2 / 12 = 0.11T-m。$M_E = M_H = (3k + 2) / \lambda * w * \ell^2 / 6$ = (3 * 1.07+2) / 15.85 + 0.56 * 6^2 / 6 = 3.87 T-m。$M_{FE} = M_{CH} = (3k^2 + 6k + 2) / \lambda * w * \ell^2 / 6$ = (3 * 1.07 ^2 +6 * 1.07 +2) / 15.85 + 0.56 * 6^2 / 6 = 4.11T-m。$M_{FG} = M_{GF} = (3k^2 + 5k + 2) / \lambda * w * \ell^2 / 6$ = (3 * 1.07^2 +5 * 1.07 +2) /

15.85 + 0.56 * 6^2 / 6 = 4.04T-m。$M_{FB} = M_{GC} = k / \lambda * w * \ell^2 / 6$ = 1.07 / 15.85 + 0.56 * 6^2 / 6 = 3.43T-m。

2.梁中央彎曲力矩

$M_0 = (M_{左端} + M_{右端}) / 2$，如圖 4 所示，M 不包含符號。

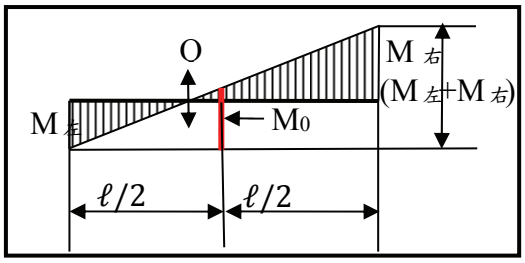

圖 4　梁之中央力矩及剪斷力圖

剛架中央正彎曲力矩 M_0：($M_{左} + M_{右}$) / 2。a.外梁 M_0 = (10.0 + 10.0) T-m / 2 = 10 T-m。b.內梁 M_0 =(11.86 + 11.86) T-m / 2 = 11.86 T-m。

3.梁之剪斷力

梁之剪斷力= (M 左端 + M 右端) / ℓ = (11.86 + 11.86) T-m / 6 = 3.95 T。梁之剪應力 = 3.95 *1000 / (35 * 50) = 2.26 < 20.8 kg /cm^2 (混凝土強度為 245 kg/cm^2)。

4.柱之剪斷力

因垂直荷重產生內柱下端之剪斷力 H_D= 0.32。外梁 H_A = 0.28 T。柱因力矩產生內梁下端之剪斷力 Ha = (M_{AE} + M_{EA}) / H = (2.01 + 3.87) / 5 = 1.18 T。內梁 H_d =(0.11 + 3.43) T = 3.54 T。Σ H_A = 0.28 + 1.18 = 1.46 T。

Σ H_D=0.32+3.54= 3.86 T。內梁下端之剪應力 Sc = 3.86 *1000/ 45 / 45 =1.91 kg/cm^2 < 20.8 kg /cm^2 ，OK。

5.梁 X 向及 Y 向

一安排相同之數，以減少另行計算之麻煩。要計算力矩所產生之剪力可按上述計算所得加以分析。剪力 V = (1.74+ 0.87) T-m / 2 / 5 m = 0.26 T-m。$P_{外柱}$ = [1.74 + 4.28) T / 6 m + (2.26 + 5.56] T-m / 6 m = 2.31 T。$P_{內柱}$ = (4.87+ 4.87) T-m / 6 m+ (6.32 + 6.32) T-m / 6 m = 3.73 T。柱因長期垂直荷重產之軸向力，柱因長期垂直荷重所產生之軸向力=上部頂版之靜載重及活載重加大、小梁之自重+梁之 X 向及 Y 向力矩所產生之剪力之總和。$P_{角偶柱}$= 13.7 T + 0.26 T = 14.03 T。$P_{外柱}$= 13.77 T + 2.31 T = 16.03 T。$P_{內柱}$ = 27.54T + 3.73 T = 31.27 T。$P_{內柱}$之剪應力 = 31.27 * 1000 / (45 * 45) = 15.44 kg/cm^2 > 61.25，OK。

6.柱之壓應力

柱上部之荷重(0.56 T/m^2*負擔面積)。牆上大梁自重= [2.4 T/m^3 * (0.6 -0.12] * 6 m *1 支 = 6.91 T。內柱、外柱、角偶柱之自重=2.4 T/m^3 * (0.45 * 0.45 * 5) m^3 = 2.43 T。

外柱之荷重 = 0.56 T/m^2 * 6 m * 3 m + 2.42 T = 8.16 T。內柱之荷重 = 0.56 T/m^2 * 6 m * 6 m + 2.43 T = 22.59 T。角偶柱下部之荷重= 0.56 T/m^2 * 3 m * 3 m + 2.43 T = 7.47 T。內柱之壓應力 p = (0.56 * 6 * 6 + 2.43) / (45 * 45) = 11.16 kg/cm^2 > 61.25 kg/cm^2，OK。

7.加設梁柱後之底版：加設梁柱後之底版，可視同倒立之版柱，柱子只計算其載重即可，因為柱子之勁度= b * d^3 / H (b 為柱寬；d 柱厚)；池牆之勁度= b * H^3 / L，因為 H^3 相當大，因此發生地震時所產生之地震橫力幾乎可由池牆全部承擔。為方便計算，池底可設地中梁，池牆加設外柱(夾在池牆間)，此時底板之應力可完全依照上

述雙向版之方式加以計算，若不加設地中梁，可就中央由四根柱子所支撐之底板，計算其所產生之力矩。根據力學上所推演之公式該平板之力矩 M_0= 0.09 * w * L * F * (1 - 2C / 3L)^2。式中之 w 為靜載重及活載重之和，L 柱之間距，F = 1.15 － C / L，未設柱頭者，C = 0，因此 f = 1.15，算出之 M 值，可由平板格間力矩係數表(請參閱「Design of Water Tanks」[1])，查得其外格間之內負力矩係數 40 %為最大，因此其力矩 M = 40 % * 0.09 * w * L * 1.15。

三、核算安全性

1.傾倒：P=k_h*W，W=水池總重量(滿水)，傾倒係數 S_c=(垂直重力所產生之抗傾倒力矩) / (因地震橫力所產生(因地橫力產生之橫向作用力)，即(P*H/2) / (W * ℓ/2) ≧ 1.5，如圖 5。

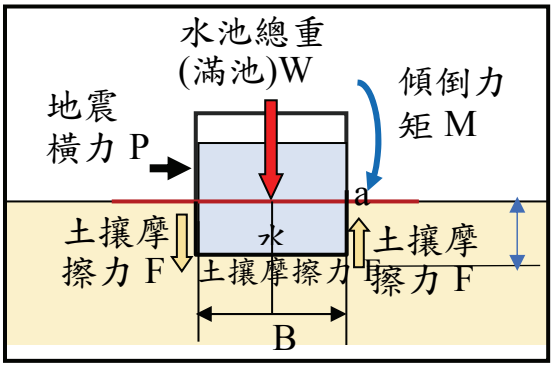

圖 5　各種安全性示意圖

2.浮起：假設地下水位在離地面下 1.0m 處，浮力 F = 1 T/m^3*(H － 1) *A，(A 為水池外圍面積)，W ≧ F 就 OK。若底板突出池牆，則可加計回填土壤(水平衡力 P) ≧ 1.25。f_c =土壤摩擦係數(一般= 0.5)，若 W > P，則可免計土壤之主、被動土壓力，詳如圖 5。

3.下陷：當 W / A≧ T 時，W = 水池凝土重量加滿池水重：T 為土壤容許承載力(由地質鑽探得知)，水池就有會下陷之虞。

4.滑動：水池因垂直重力產生與土壤間摩擦產生之抗滑動力)，惟當水池底版建於地下約 1.0 公尺以上時，水池可考慮池牆與土壤間之摩擦力，設*f*=土壤與水池池牆間之單位面積摩擦力，則 (水池總重量(W-*f* * a) / (水池總基礎面積 A)，a 為水池四周牆壁與土壤接觸面積，當(W-*f* * a) ≦ T 時，水池就無下陷之虞，仍詳如圖 4。

四、結論

矩形水池須分別就頂板、池牆及底版三項分別加以計算。原則上將其短邊與長邊之比值限在宜維持在 1：2 之範圍內，俾以雙向版計算。

參考文獻

1.Design of Waater Tanks，by Nibedita Sahoo 10401010

2.Renolds's Reinforced Concrete Designer's Handbook 11TH Edition By Charlse E. Reynolds London New York。

作者簡介

曾浩雄先生

現職：尚潔環境工程公司技師。

專長：自來水工程規劃設計及施工。

草屯淨水場新建工程簡介

文/廖純章、蔡函叡、譚猷翰、洪維志

摘要

為解決彰化及南投地區目前地下水涵養不足並提供質優量穩之水源，經濟部水利署遂辦理「鳥嘴潭人工湖工程」，利用人工湖調蓄供水，並由台灣自來水公司(以下簡稱台水公司)配合辦理「鳥嘴潭人工湖下游自來水供水工程」，規劃新建「鳥嘴潭淨水場」與「草屯淨水場」及其下游各分項送水設備，以達到地下水減抽之政策目標，並滿足彰化地區及南投草屯中長程目標年之公共用水需求。

關鍵字：水源聯合運用、地下水、固碳量、重力流、住宅區型高效隔音發電機組、污泥含水率、灌漿套管

一、前言

草屯淨水場位於南投縣草屯鎮，設計出水量為 5 萬噸/日，原水取自鳥嘴潭人工湖（圖 1）。淨水場除可滿足草屯地區所有民生用水和公共用水外，亦可達到地下水減抽效益及進行跨越南投及彰化地區水源聯合運用降低缺水風險。

圖 1　草屯淨水場原水取自烏嘴潭人工湖

淨水場設置前處理、淨水、清水、廢水、污泥處理及管理樓等單元（圖 2）。各單元藉由土建工程、機械工程、管線工程、電氣工程、儀控工程、場區綠化及道路排水等建設構築一完整的淨水場，以達質優量穩之供水目標。

圖 2　草屯淨水場各單元配置圖

二、工程效益及特色

淨水場可滿足未來草屯地區民生公共用水需求，並使用地面水取代抽地下水，進行跨區水源聯合運用，降低缺水風險，促進民生產業繁榮發展。。

全場區佔地 8.15 公頃，除綠化面積達 62%外（固碳量約 17 噸-CO2e/年），結構體採用共構設計（圖 3），縮小用地開發面積，將開發施工影響降至最低。

場區設置滯洪池（圖 4），除因應豪大雨期間蓄積水量維護淨水場及周邊居民安全，亦可為生態棲息區域，維持環境生態平衡，且滯洪池邊坡以砌塊石施做，可較一般鋼筋混凝土式滯洪池減少約 1084 噸-CO2e。

圖 3　結構體採用共構設計示意圖

圖 4　滯洪池砌塊石邊坡

巧妙利用地形地勢，全場主要水力輸送以重力流設計，淨水處理單元運用水頭差 11.34 公尺（1 年可節省 58.5 萬度電，減少約 290 噸-CO2e/年），減少設備建構及維護工作量及降低因設備故障影響供水穩定（圖 5）。

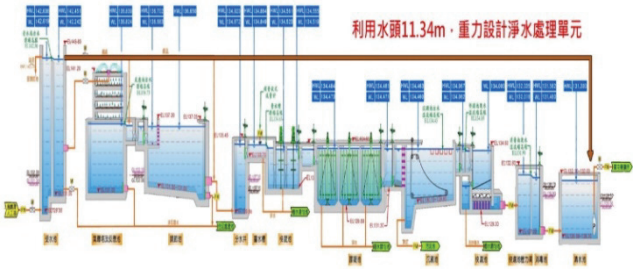

圖 5　淨水處理單元水頭差 11.34 公尺

主要機械設備皆採變頻設計，電動機採用 IE3 超高效率型式，提升馬達效率 0.9~2.5%，達到節能減碳效益。

淨水場關鍵設備（沉水式電動抽水機低吸型、刮泥機、圓型刮泥機、豎型膠凝機、魯式鼓風機及柴油引擎發電機組）之選用納入招標評選項目，確保主要設備品質，保障營運效能。

本場區周邊鄰近農田，新建構完整的灌溉水渠，解決農民長年灌溉水源不穩定的困境，穩定周邊農作物年收成。

加藥桶槽旁設置 RC 樓梯及操作平台，取代不銹鋼爬梯（圖 6），且鋼構屋頂設置走道及扶手欄杆，減少人員高空墜落風險（圖 7）。

圖 6　加藥房設置 RC 樓梯及操作平台

圖 7　鋼構屋頂設置走道及扶手欄杆

池體結構採用第二型水泥以強化抗蝕能力。

設置足夠供應全場的住宅區型高效隔音發電機組，除因應台電供電不穩定時維持正常供水及降低噪音避免影響周遭居民外，亦於排氣管增設觸媒淨化排煙系統之污染防制利器（圖 8），降低環境影響。

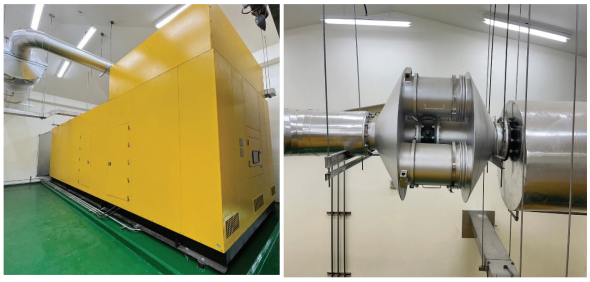

圖 8　發電機組及觸媒淨化排煙系統

以智慧管理透過電信網路集中周邊淨水場的操作資訊統一管理，有效監控整體輸水管網的操作狀況（圖 9）。

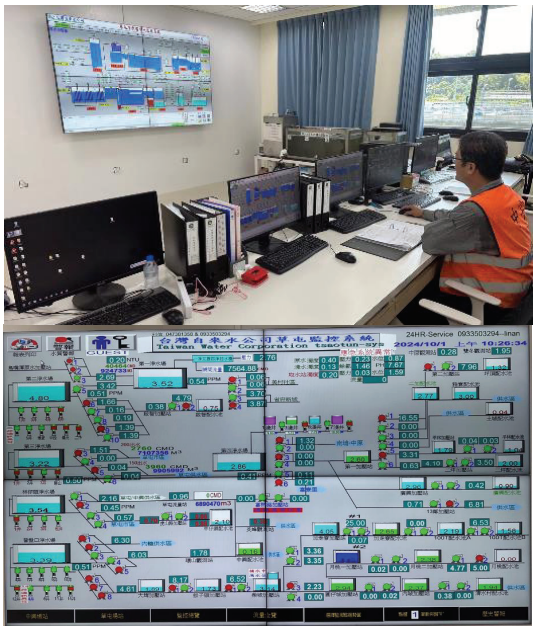

圖 9　監控室及監控畫面

淨水場基地整年日照充足，脫水系統以污泥曬乾床取代機械脫水設計，每年節省約 65,700 度用電量（年減碳排放量約 36 噸-CO2e），並使污泥含水率低於 30%，降低污泥處置費，提高回收水使用率，減少水資源浪費（圖 10）。

圖 10　污泥曬乾後之污泥餅

三、重要工項品質管制

淨水場池體結構採用第二型水泥，為落實材料源頭管控及確保供料品質穩定，辦理混凝土預拌廠驗廠作業（圖 11），內容包含硬體設備、原料管制、品質管理制度、製程管制、材料檢驗與試驗設備之管制、不合格品管制與矯正措施及搬運、儲存、防護與交貨等七大類。

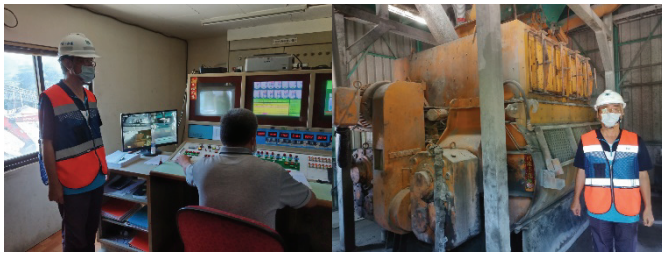

圖 11　混凝土預拌廠驗廠情況

為發揮池體結構之水密性及提昇池體耐久性，於施工過程中，特別要求施工廠商在池牆灌漿時，將灌漿套管伸入牆身中，防止粒料分離，並使用高周波振動器均勻搗實，以強化池牆的水密性（圖 12）；至於施工縫的止水帶，除以特製固定座固定外，在灌漿後，亦專人搗實止水帶二側混凝土及清

理鋼筋、止水帶上之混凝土殘渣（圖 13）。

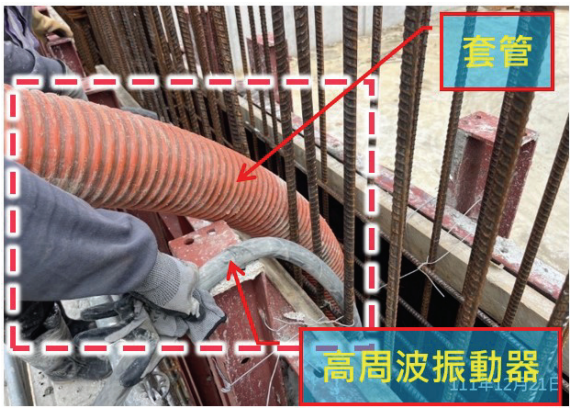

圖 12　套管伸入牆身及使用高周波振動器

圖 13　專人搗實止水帶二側混凝土

建構 BIM 模型減少施工期間因干涉致重工重製風險及規劃足夠的操作維護空間（圖 14、圖 15）。

項次	問 題 點	修 正
1	加藥機房加藥室西側線槽擋住門口影響進出動線	修改線槽路徑及高程
2	快混池膠凝池兩遮開孔以利線槽通過	新增開孔
3	上澄液回收池(TK-731)溢流管與電纜線槽干涉	修改線槽高程
4	H2往H1管排與水溝底部干涉	修改管排高程
5	快濾池反沖洗泵出口下方為閥件維修空間，電纜線槽需修改位置	電纜線槽東移，增加預埋管走線
6	調節池P-151/152 設備位置調整，避免出入口手閥位置重疊	設備往南移30cm
.....	.....	.....
71	廢水處理單元的污泥管水量計與管線干涉	調整盤體安裝位置
72	快濾池SS濃度計儀表箱與快濾池進水渠道底部干涉	調整儀表箱安裝位置
73	快濾池閘門電動機多處與欄杆干涉	調整電動機安裝方向
74	快濾池操作盤及電動機與欄杆干涉	修改走道及欄杆，增加動線空間
75	快混池空壓機房電氣盤背板開啟空間不足	調整盤體安裝位置
76	LCP-151盤體應保留1m淨空間，以利操作維護	調整盤體安裝位置

圖 14　BIM 檢討後之問題彙整表

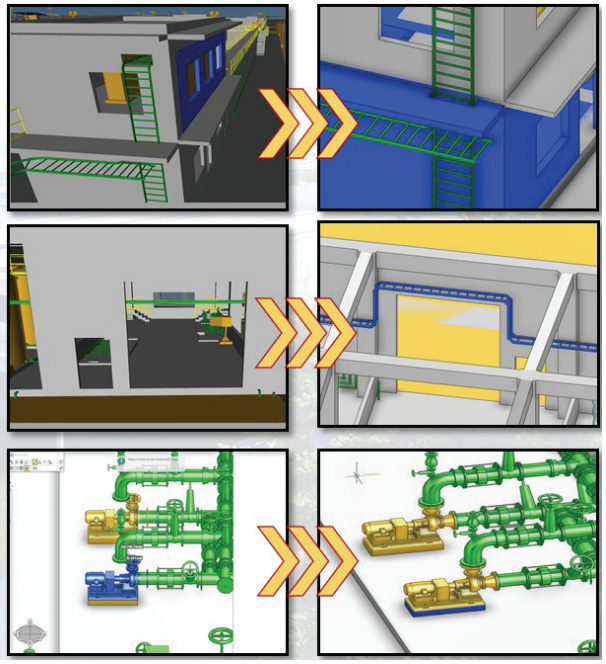

圖 15　BIM 檢討後之修正結果

四、工程成果展現（獲獎肯定）

草屯淨水場因應抗旱缺水，113 年 3 月底提前出水達 5 萬噸/日，前行政院陳建仁院長暨前經濟部王美花部長於 113 年 5 月 4 日視察本工程進度（圖 16），肯定團隊的用心。

圖 16　前院長視察淨水場情形

淨水場於 113 年 7 月 1 日完成連續 10 日之 5 萬噸/日整體試車（圖 17），相關濁度、

餘氯檢測數值成果均符合規範，且於整體試車完成後依接管單位需求水量出水中。

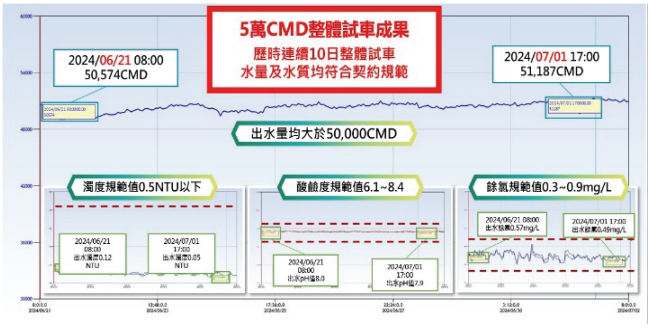

圖 17　整體試車成果

本工程除代表自來水公司參加經濟部 113 年度公共工程優質獎選拔入選（圖 18）外，亦代表經濟部參加第 24 屆公共工程金質獎（圖 19），並獲得佳作獎項。

圖 18　經濟部優質獎頒獎

圖 19　第 24 屆金質獎現場評選

作者簡介

廖純章先生

現職：台灣自來水公司中區工程處第四工務所主任

專長：自來水工程工程監造及履約管理

蔡函叡小姐

現職：台灣自來水公司中區工程處第一課工程師

專長：自來水工程設計及履約管理

譚猷翰先生

現職：台灣自來水公司中區工程處第四課技術士

專長：自來水工程採購、品質管控及履約管理

洪維志先生

現職：台灣自來水公司中區工程處第四工務所技術士

專長：自來水工程工程監造及履約管理

日本自來水現況及未來挑戰

文/李丁來、詹宜勳

摘要

本論文說明日本自來水供應現況，供水概況說明人口、普及率、年供水量相較過去年度變化趨勢；自來水源及淨水處理方法說明總取水量組成變化，以及透過淨水處理程序，淨化水量比例；自來水設施維護提升穩定度說明配水池有效容量及其停留時間增加趨勢，以穩定供水；供水設備及維護費用說明相關成本(折舊、取水、動力機修藥品、職員給與、其他等費用)構成比例變化；水費概況說明不同自來水事業收取水費及一般家戶水費支出情形；日本現行水道法之水質標準；未來供水挑戰一節由人口減少伴隨水費收入減少，以及各類災害影響供水層面，藉由修訂法規加強供水基礎建設。以上各節說明日本現行自來水事業相關制度，值得進行後續研究上的相關探討。

關鍵字：總取水量、水費、成本、加強供水基礎建設。

一、供水概況

日本全國自來水業者可區分為「水道事業」(包括上水道事業、簡易水道事業)、「水道用水供給事業」及「專用水道」共三類，11,936 處，如表 1 所示，其中大部分規模較小，至 2022 年，日本全國自來水服務人口共有 1.225 億人，佔總人口的 98.2%，2021 年供水量約 149 億立方公尺/年，相較 1997 年全年供水高峰量為 170.62 億立方公尺，約減少 13.7%，日本供水人口、普及率、年供水量變化趨勢如圖 1 所示。

表 1　日本自來水事業供應種類及規模(令和 4 年度,西元 2022 年)[1]

種類		內容	事業數	給水人口
水道事業		透過自來水供應水，以滿足一般需求的企業（不包括人口在 100 人以下者）		
	上水道事業	供水人口>5,000 人	1,299	1 億 2,051 萬人
	簡易水道事業	供水人口＜5,000 人	2,376	162 萬人
小計			3,675	1 億 2,213 萬人
水道用水供給事業		向自來水事業供應自來水的企業	89	
專用水道		1.宿舍、公司宿舍等 100 餘戶居民自備供水等。 2.日最大供水量 20 立方公尺以上的自備供水者。	8,172	40 萬人
合計			11,936	1 億 2,253 萬人

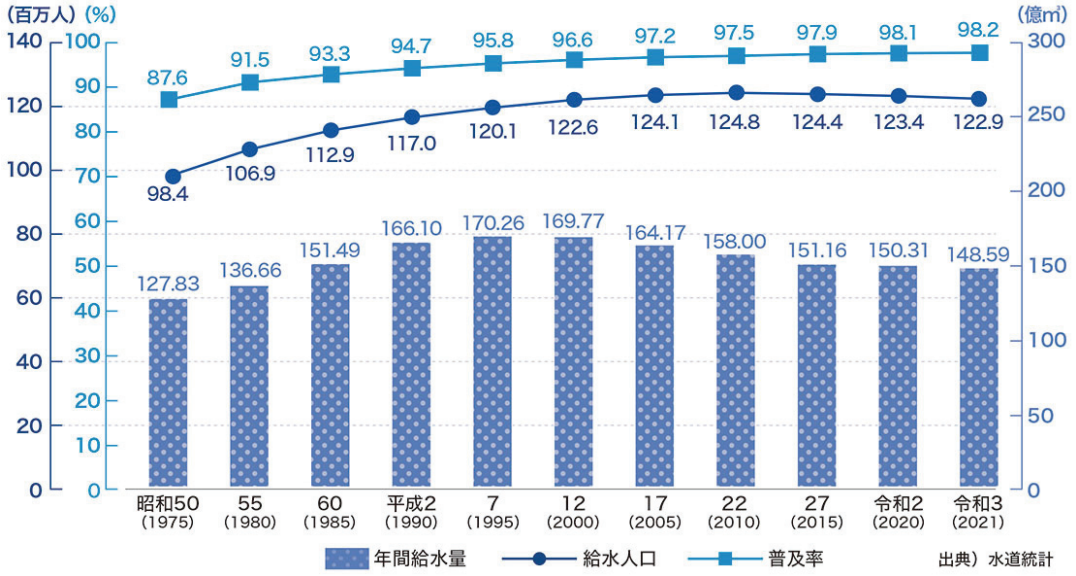

圖 1　日本供水人口、普及率、年供水量變化趨勢[2]

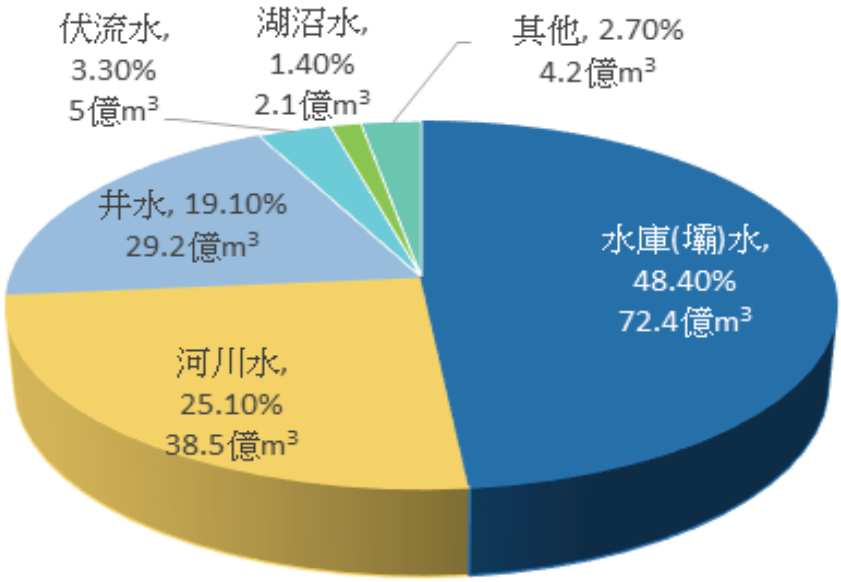

圖 2　日本自來水水源種別[2]

二、自來水源及淨水處理方法

日本全國 2021 年的總取水量約為 153 億立方公尺，由於工商及城市發展需要大量的自來水，因此大部分水源都依賴水庫(壩)或攔河堰截留水或河水等地表水，對水庫(壩)水源的依賴率逐漸上升，大約 3/4 的水源來自水庫(壩)、河川和湖泊儲存的水，如圖 2 所示，各水源年取水量及其組成比的變化，如圖 3 所示。

淨水處理方法分為快速過濾、慢速過濾、薄膜過濾和僅消毒四種方法，但無論採用哪種方法，都必須安裝消毒設施，並且必須使用氯劑消毒。

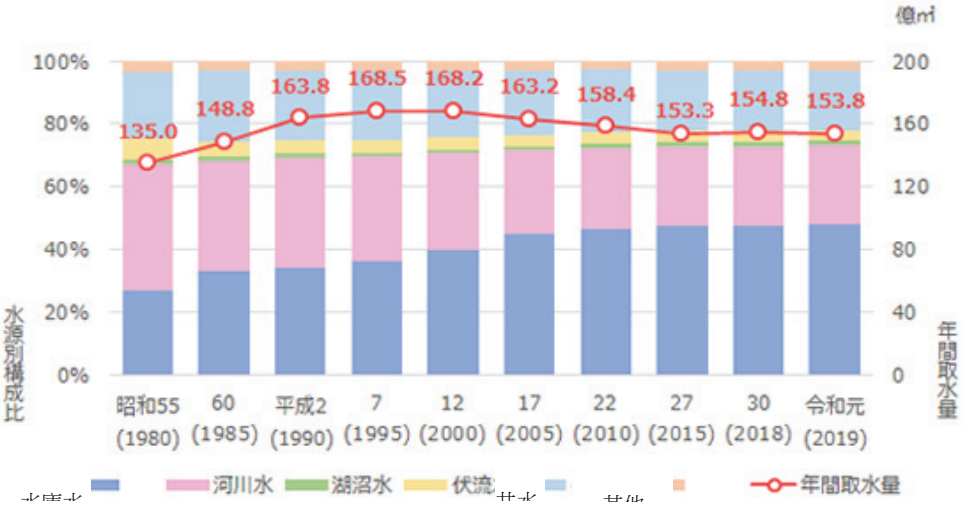

圖 3　日本各水源年取水量及其組成比變化[3]

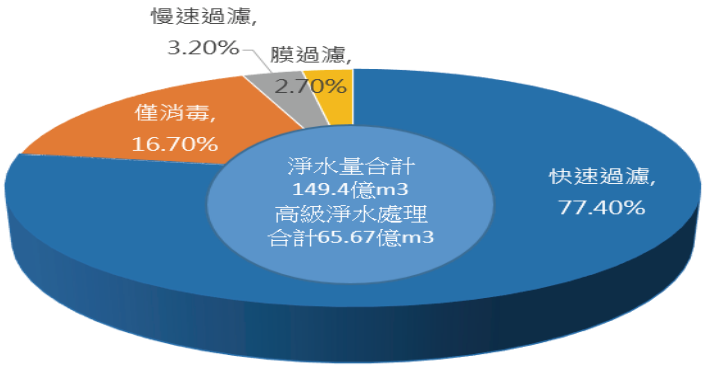

圖 4　日本 2021 年自來水水處理技術方法及淨化水量[2]

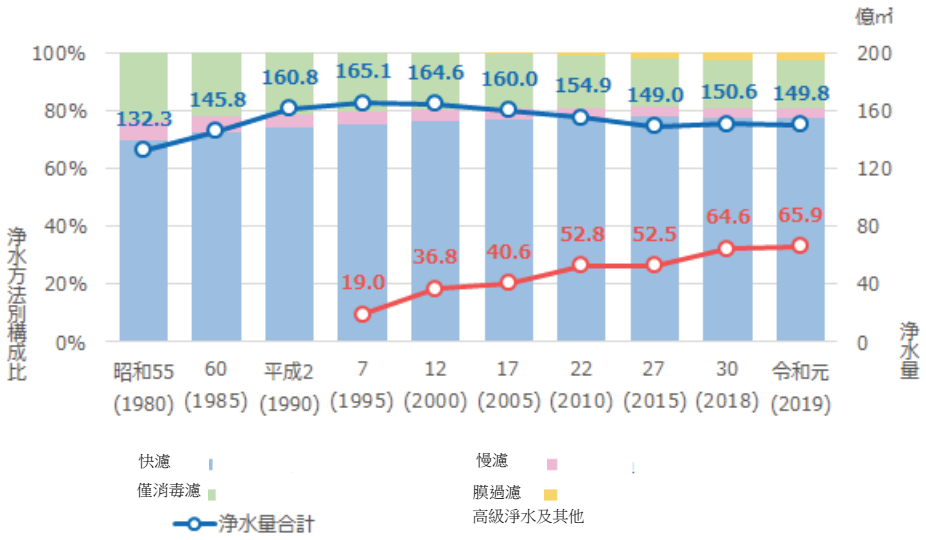

圖 5　日本各淨水技術之淨水量趨勢[4]

自 1990 年以來，由於自來水水源水質惡化，自來水事業逐漸採用薄膜過濾和先進的高級淨水處理技術來改善自來水水質，獲得美味的飲用水。所稱「高級」淨水處理是指利用活性碳、臭氧、生物等淨水技術，去除普通 (傳統或常規)淨水處理程序，無法充分去除的異味、三鹵甲烷等的技術方法，如圖 4 所示，各項淨水技術之淨水量變化，如圖 5 所示。

三、自來水設施維護質的提升及管種概況

為提升自來水設施供水穩定度及服務品質，各自來水事業持續擴建配水池容量，配水池停留時間（水池有效容量÷計畫最大日供水量x24 小時）由 1980 年的 6.9 小時，增加到 2019 年的 14.8 小時，為穩定供水發揮重要功能，如圖 6 所示。

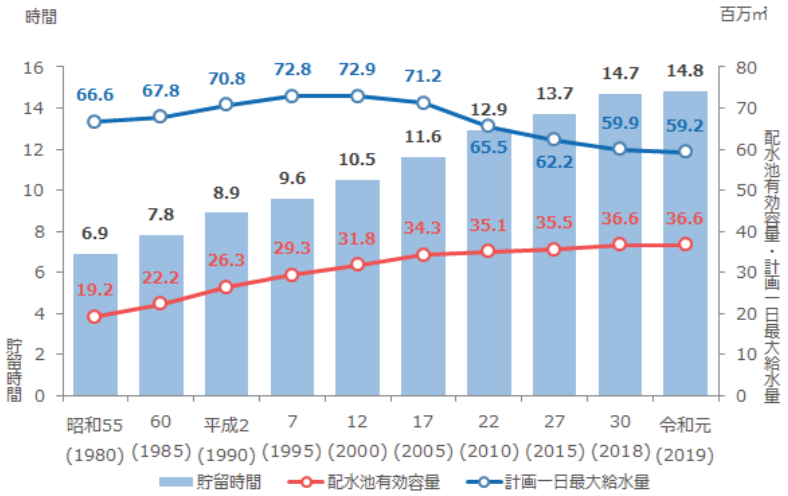

圖 6　日本自來水配水池有效容量及停留時間趨勢[5]

表 2　日本 2021 年全國自來水管道[2]　(單位:千公里)

管種別 \ 年度	平成 13 年 (2001)	平成 23 年 (2011)	令和 3 年 (2021)
延性鑄鐵管	298.65	361.30	401.67
(具有內部耐震接頭結合)	(21.91)	(52.07)	(95.67)
鋼管	18.92	18.50	18.44
硬質氯乙烯管(PVCP)	177.81	203.16	242.12
聚乙烯管(PEP)	9.87	25.14	59.06
鑄鐵管	28.69	17.66	11.36
石棉水泥管	23.66	7.11	3.28
其他	4.88	6.29	6.82
合計	562.48	639.16	742.75

而日本 2021 年全國管道總長度為 742,743 公里，其管種分布詳如表 2，顯示管道維護工作相當繁重，亟需積極努力方可維護供水正常。此外，老化管線的更新，亦須有計劃的進行維護及汰換，例如在更新管線時，將鑄鐵管和石棉水泥管，更換為「耐震」管種。

四、自來水的供水設備及維護費用概況

日本每 m^3 自來水的供應成本，2019 年的調查約 169.06 日幣(約 36.53 元新臺幣)，包括折舊、取水、動力機修及藥品、職員給予、利息及其他等費用，如圖 7 所示，每立方公尺供水成本構成比例變化如圖 8 所示。從成

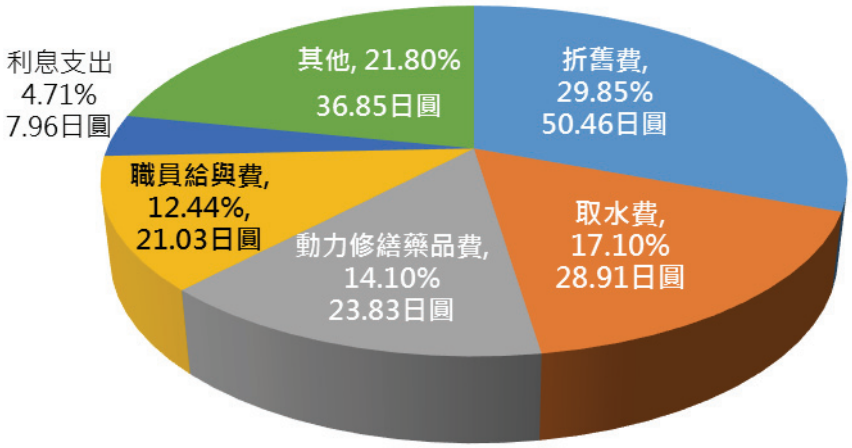

圖 7　日本每立方公尺自來水供水設備及維護費用[6]

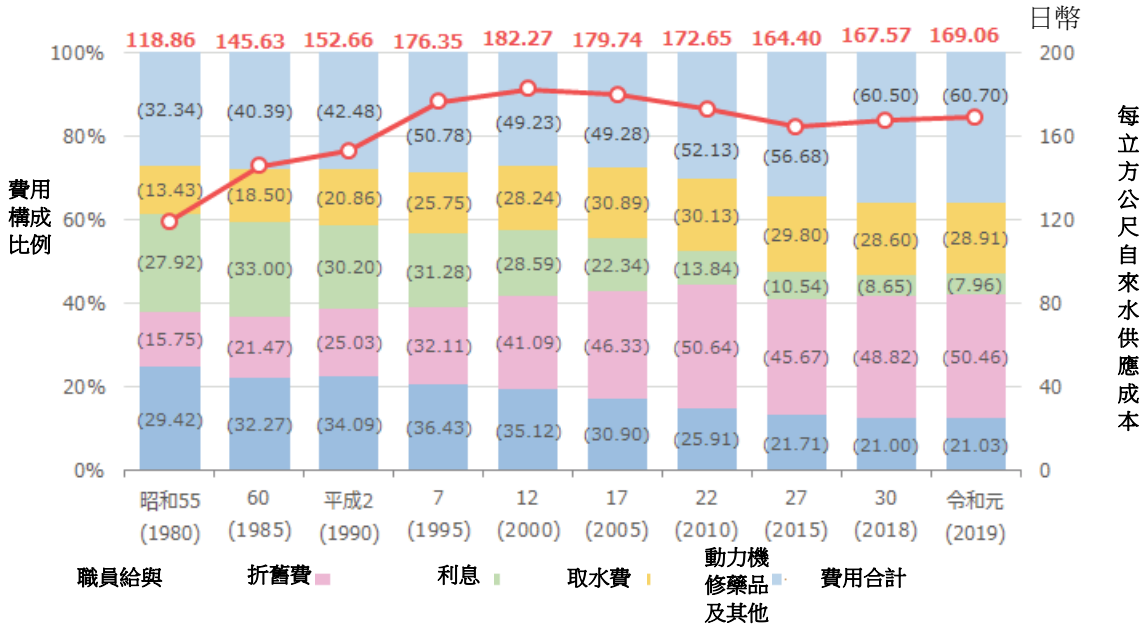

圖 8　日本每立方公尺自來水供應成本構成比例變化[6]

本結構看，員工薪資、利息支出等比例在下降，而折舊攤提費用所佔比例則在上升，約佔供應成本的 30%，主要是更新汰換老舊供水設施、投資擴充水源設施，確保自來水的水質安全和穩定，以及因水源水質惡化，導入先進淨水處理等因素，導致增加成本。

五、自來水水費概況

日本自來水事業的供水營運，採用自立會計制度，其理念係以自給自足為基礎利用向用水者收取的費用來建造和管理設施。因此，收費根據自來水事業的不同而有所不同，不會有「統一水價」，致各地區水價有所不同。造成其差異的因素包括水源類型和地點的差異、供水設施的建造週期、工程規模以及勞動成本和設施維護管理成本等，日本水道協會 2019 年調查 1321 家自來水事業，一般家戶每月使用 20 立方公尺自來水，其水費(日圓/月，含消費稅）概況如圖 9 復根據日本總務省 2021 年家計調查支出(兩人或兩人以上的家庭）平均每戶每月水費支出為 2,330 日幣(約 510 元新臺幣)，佔總消費支出的 0.8%，如圖 10。

六、供應安全可靠的自來水

日本為了提供所有人安全放心的水，根據《水道法》第四條的規定，自來水必須符合《水質標準部令》規定的 51 項水質標準，如表 3 所示。自來水事業單位定期進行水質測試，以確認提供的自來水符合這些水質標準。此外，為進一步提高自來水的安全性，從水源頭到水龍頭進行細緻的水質管理。如果存在水質超標風險，將會找出原因並透過改變淨水廠營運管理方式、改善供水設施等措施進行應對。

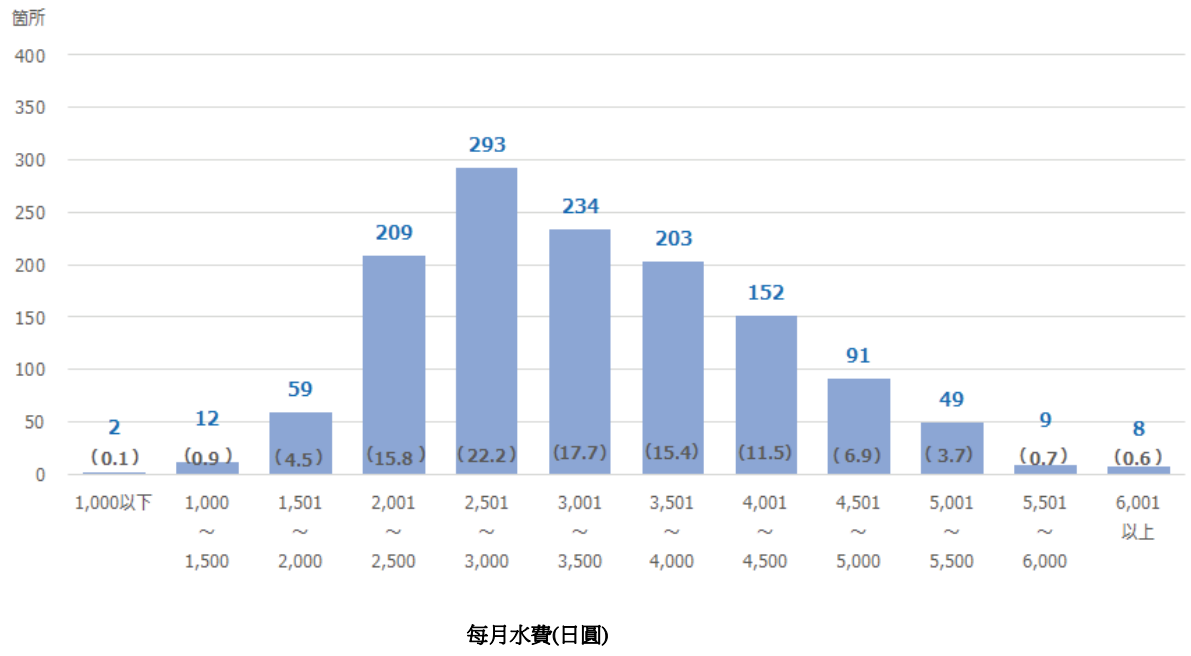

圖 9　日本不同自來水事業收取家戶使用 20 立方公尺/月水費概況[7]

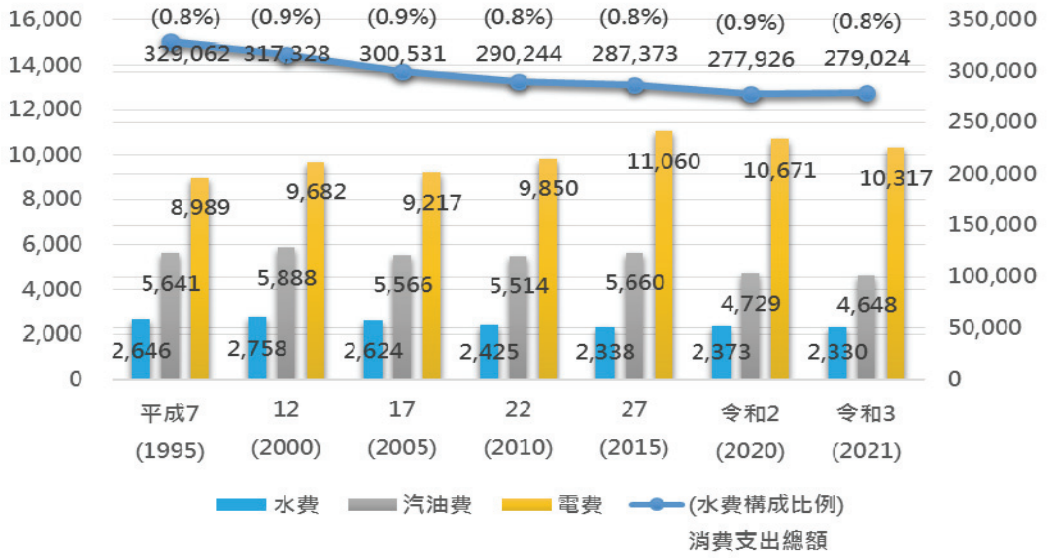

圖 10　日本家戶自來水費佔每月家庭支出比例概況[2]

表 3　日本水質標準項目及標準值[2]

日本水質標準項目及標準值（令和２年４月１日施行）			
項目	基準値	項目	基準値
一般細菌	≤100 個	總三鹵甲烷	≤0.1mg/L
大腸菌	不被檢測到	三氯乙酸	≤0.03mg/L
鎘及其化合物	≤0.003mg/L	溴二氯甲烷	≤0.03mg/L
汞及其化合物	≤0.0005mg/L	三溴甲烷	≤0.09mg/L
硒及其化合物	≤0.01mg/L	甲醛	≤0.08mg/L
鉛及其化合物	≤0.01mg/L	鋅及其化合物	≤1.0mg/L
砷及其化合物	≤0.01mg/L	鋁及其化合物	≤0.2mg/L
六價鉻化合物	≤0.02mg/L	鐵及其化合物	≤0.3mg/L
亞硝酸氮	≤0.04mg/L	銅及其化合物	≤1.0mg/L
氰離子和氯化氰	≤0.01mg/L	鈉及其化合物	≤200mg/L
硝態氮和亞硝酸態氮	≤10mg/L	錳及其化合物	≤0.05mg/L
氟及其化合物	≤0.8mg/L	氯離子	≤200mg/L
硼及其化合物	≤1.0mg/L	鈣、鎂等（硬度）	≤300mg/L
四氯化碳	≤0.002mg/L	蒸發殘渣	≤500mg/L
1,4-Dioxane	≤0.05mg/L	陰離子界面活性劑	≤0.2mg/L
1,2-二氯乙烯	≤0.04mg/L	土臭素	≤0.00001mg/L
二氯甲烷	≤0.02mg/L	2-MIB	≤0.00001mg/L
四氯乙烯	≤0.01mg/L	非離子界面活性劑	≤0.02mg/L
三氯乙烯	≤0.01mg/L	酚類	≤0.005mg/L
苯	≤0.01mg/L	總有機碳量（TOC）	≤3mg/L
氯酸	≤0.6mg/L	pH	5.8 以上，8.6 以下
氯乙酸	≤0.02mg/L	味	無異常
氯仿	≤0.06mg/L	氣味	無異常
二氯乙酸	≤0.03mg/L	色度	≤5 度
二溴氯甲烷	≤0.1mg/L	濁度	≤2 度
溴酸鹽	≤0.01mg/L		

七、未來供水挑戰

日本的供水系統已經非常普及，自來水普及率達到 98.2%（截至 2021 年）可以說是「全民供水」，已經成為日本民眾日常生活中不可或缺的一部分，提供著世界一流的安全、美味的水。自來水事業的營業收入，主要來自於自來水用戶的水費收入，由於人口減少及老年化，致用水需求減少，水費收入就會減少，而供水設施老化問題嚴重，更新升級設備需要更多的經費，面對這些雙重負面因素，負責營運自來水的地方政府，因財務困窘而陷入了停滯，供水形勢變得異常困難，針對這種情況，2019 年 10 月頒布了修訂後的《水道法》，以加強供水基礎建設，主要修改內容如下：

(一)明確關聯方責任

「水道法」修改的目的是「加強水道基礎設施」。為了推動這項進程，國家和地方政府，開放讓私人企業參與其中。惟，儘管供水設施的營運權可以授予私營部門，但供水設施本身的所有權仍屬於地方政府。換句話說，將設施本身賣給私營部門，並不是私有化。

(二)「促進廣域協作」

日本各地方政府營運的自來水事業約有 1,300 處。其中，供水人口不足 5 萬人的有 900 多處，營運赤字率超過 30%。目前，各地方政府經營自屬的自來水設施，其營運績效存在巨大差異，水費因地區而異。因此規定都道府縣，從市町村以外的廣域角度，負責協調自來水事務等，將供應少量水的設施整合，以發揮規模經濟，實現高效率的業務運作，並降低成本。

(三)有系統地更新水管並強化抗震能力

日本許多供水設施是在經濟高速成長時期建造的，日益老化且超過其使用壽命，需投入許多預算維修。這對地方政府來說是一個重大挑戰，透過制定包含更新供水設施所需費用的業務收入和支出預測的義務，並從長遠角度有計劃地更新供水設施，穩步強化地震抵抗力，建設能夠抵禦地震和其他災害的供水系統。

(四)「促進多元化的公私夥伴關係」

建立多樣化的公私夥伴關係，地方政府擁有水道設施，並利用私部門的技術能力和管理知識，讓私營部門運作和管理這些設施，例如加強公眾參與的制度，使得市政當局保留公共設施所有權，但將供水服務管理委託給私營公司的特許權制度，成為公私夥伴關係的一種選擇。

近年來，由於新型冠狀病毒的傳播及氣候變遷、地震、暴雨災害等造成大面積停水的情況時有發生，甚至可能會發生南海海槽地震、都市地震等大規模災害，為因應大地震或洪水等發生的停水，對可持續供水的需求更加受到重視。

為了妥善更新供水設施，並將高品質的供水永續經營，傳遞給後世子孫，自來水事業應從長遠角度，積極評估如何優化水費結構，努力系統化更新其設施，編制並公佈未來預測之營業收入和支出，以及與鄰近自來水事業合作進行相互調度及支援，供水產業各方須共同努力，在大家的理解和配合下，穩步推進必要的措施。

參考文獻

1.日本國土交通省(2022):令和４年度「水道の種類 」。 https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/watersupply/content/001737255.pdf
2.日本水道協會(2021): 日本の水道の現状。http://www.jwwa.or.jp/shiryou/water/water.html#water01
3.日本水道協會(2019): 水道水源の状況。http://www.jwwa.or.jp/shiryou/water/water02.html
4.日本水道協會(2019): 浄水方法別の浄水量 http://www.jwwa.or.jp/shiryou/water/water04.html
5.日本水道協會(2019): 施設整備の質的向上 http://www.jwwa.or.jp/shiryou/water/water03.html
6.日本水道協會(2019): 水道の設備と維持管理の費用 http://www.jwwa.or.jp/shiryou/water/water06.html
7. 日本水道協會(2019): 水道料金 http://www.jwwa.or.jp/shiryou/water/water07.html
8.國土交通省(2024): 令和６年度全国水道主管課長会議 https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/watersupply /content/001741375.pdf

作者簡介

李丁來先生

現職：台灣自來水公司總經理

專長：自來水規設、營管及漏水防治、自來水工程規劃設計、環境工程、化學工程

詹宜勳先生

現職：台灣自來水公司供水處工程師

專長：土木工程、建築工程、消防工程

本刊 114 年「每期專題」

期別	主　題	子　　題	時程
44 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
44 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
44 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
44 卷 第 4 期	**數位技術應用**	1.數位化技術提升供水系統管理效率、2.物聯網(IoT)技術在管網監控中的應用、3.AI 智慧化監控水質與預警系統、4.數位雙生(Digital Twin)技術在自來水系統模擬中的應用、5.大數據分析助力供水需求預測與調度、6.區塊鏈技術提升供水數據安全與透明度、7.無人機與數位技術應用於管網巡檢、8.AI 輔助檢漏降低漏水率之技術應用、9.智慧水表與自動化抄表系統應用	11 月

～歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優～