Water Works Association
of the Republic of
China (Taiwan)

自来水

166

WATER SUPPLY QUARTERLY
Volume 42 NO.2 MAY 2023
中華民國自來水協會會刊

第42卷 第2期
2023年5月

本期專題：營運管理

陽明山區供水調配案例探討
北水處加壓站監控系統優化-LINE Message警報推播導入應用
多點相關儀應用於台灣管段偵漏探討
導入資訊系統推動工程管理電子化運行成果-以台水公司為例

自來水會刊第 42 卷第 2 期(166)目錄

實務研究

南化複線－南化至左鎮送水管(二)段工程簡介……洪志雄、陳峙江、簡逢盈… 1

氣候變遷下的水與生活臺北自來水事業處面對旱災的應變作為……邱嘉南……12

本期專題　營運管理

陽明山區供水調配案例探討……王詠民……19

北水處加壓站監控系統優化－LINE Message 警報推播導入應用……李家裕…… 24

多點相關儀應用於台灣管段偵漏探討……

……林聖桓、謝張浩、郭家憲、蘇怡昌……35

導入資訊系統推動工程管理電子化運行成果－以台水公司為例……

……蔣承廷、丁上竣、王孝宇、張光翹……40

一般論述

荷重元作為反沖洗力度量測之可行性評估……楊惠玲、吳志超、李冠廷、彭文彥……51

以曝氣法去除配水系統中總三鹵甲烷可行性初探……簡廷原、吳宗昱、林正隆、陳文祥……58

他山之石

日本熊本市供水災害應變與自來水設施耐震策略……歐尚鑫、李丁來……64

赴韓國高陽參加「Water Korea 2023」出國報告……黃欽稜…… 74

協會與你

協會訊息……自來水協會會務組……85

歡迎投稿 111年「每期專題」……23

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法……34

封面照片：台灣自來水公司提供

自來水會刊雜誌稿約

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

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

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

四、惠稿應包含 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：林正隆

編審委員
甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、
梁德明

執行編輯：吳宗昱
電　　話：(04)22244191 轉 516

行政助理：黃香蘭

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

南化複線－南化至左鎮送水管(二)段工程簡介

文/洪志雄、陳峙江、簡逢盈

摘要

目前南化淨水場之既有送水管已達汰換年限，惟為維持台南地區正常供水，致使該管線無法停水進行大規模管線汰換。另為穩定台南地區供水及備援能力，台灣自來水公司辦理南化複線-南化至左鎮送水管，其中管二段採豎井與隧道方式設置送水管與「曾文南化聯通管工程」之導水管並聯共構，預計未來工程完成後，可提升台南地區供水能力，以滿足應台南地區未來用水成長需求。

關鍵字：豎井、隧道、南化複線、送水管

一、前言

南化淨水場之設計出水量為 80 萬 CMD，南化場至豐德配水池間之既設送水管口徑為§2,000mm 鋼管及預力混凝土管，自民國 83 年 4 月啟用至今已達使用年限，需立即汰換以降低大台南地區供水風險，目前已更換部分管線成 DIP 管。惟該管線目前屬在役供水管線，無法停水進行大規模管線汰換，且現況並無備援管線可因應取代，因此乃進行「南化場至豐德配水池複線送水管工程(南化場至左鎮段)送水幹管工程」(以下簡稱南化複線，共分為管(一)~管(八)，共八段)，以確保台南地區所需之供水能量。

另因 105 年 2 月 6 日台灣發生芮氏規模 6.6 地震，震央位於高雄市美濃區，最大震度為台南市新化 7 級，造成台南市震災相對嚴重，本公司第六區管理處所屬輸水幹管亦遭致嚴重損壞，導致台南部分地區因管線搶修困難，以致連續停水多日，無法迅速恢復供水功能，因此爰利用前述工程之新埋設管線，俾利穩定台南地區供水及備援能力。

目前南化場至豐德配水池之南化複線已完成左鎮段至豐德配水池段管線埋設，為早日完成南化複線全線送水，本公司刻正辦理南化場至左鎮段送水幹管埋設作業。

南化複線為新設§3,000mm 與§2,400mm 之南化場至左鎮段送水管線，將銜接民國 102 年已完成左鎮至豐德配水池間新設§2,400mm 複線送水管線，從南化場至豐德配水池複線送水幹管供水後，舊有§2,000mm 管線方能順利進行汰舊換新。此外，因應經濟部水利署規劃中之未來「南化水庫二期」及「曾文水庫越域引水」兩大計畫完成後，可達 124 萬 CMD 之供水潛能，同時配合經濟部水利署辦理並納入前瞻基礎建設計畫「曾文南化聯通管工程」完成後調配水源，現有§2,000mm 鋼管及預力管經過汰舊換新後，搭配南化複線新設送水管線以及南化場擴建後，可達複線供水 124 萬 CMD 目標，以滿足未來台南地區用水需求及支援高雄地區用水，並提升地區供水之穩定度。

二、地形與地質

「南化複線-南化至左鎮送水管(二)段工程」(以下簡稱本工程)位於台南市南化區，有關工區之地形與地質說明如下。

(一)地形

本工程位於台南市東方之南化水庫西側，地形概況亦詳見圖 1，地形方面位於新化丘陵(林朝棨，1957)，新化丘陵北由曾文溪南岸南至小岡山，全長約 34 公里、東西最寬約 11 公里。工區周遭以砂頁岩互層、泥岩等軟弱地層而成，被數條河谷截切，各溪流皆呈現掘鑿曲流，環流丘、牛軛湖時常可見，亦常見切斷曲流而造成之河川改道。四周分水嶺高程介於 800~1,000m 之間，地形陡峭，砂頁岩互層區時常因差異侵蝕形成豚背狀地形，而泥岩區則侵蝕為惡地地形。計畫區水系位於菜寮溪及後堀溪流域內，皆為曾文溪東部的支流，流域範圍內為曲流河谷地形，於新化丘陵西緣合流入曾文溪。

(二)地質

本工程地層分布屬上新世至更新世北寮頁岩(圖 2)，岩性多為軟弱砂質泥岩，偶夾薄砂層，並未有構造線通過，地質條件相對單純。地層受玉井向斜構造影響，整體地層走向呈南北向，向西傾斜約 40 至 50 度，並有向西漸緩趨勢。

本區隧道段覆蓋層厚最厚可達 65 公尺，通過後堀溪支流處因受侵蝕相對較薄。由鑽探岩心可知，其可分為風化表土層、崩積層、礫石及岩盤。風化表土層之厚度約 1.5-7.35 公尺；崩積層主要分布於沿線邊坡，厚度約 1.2-1.5 公尺；厚層礫石分布於階地堆

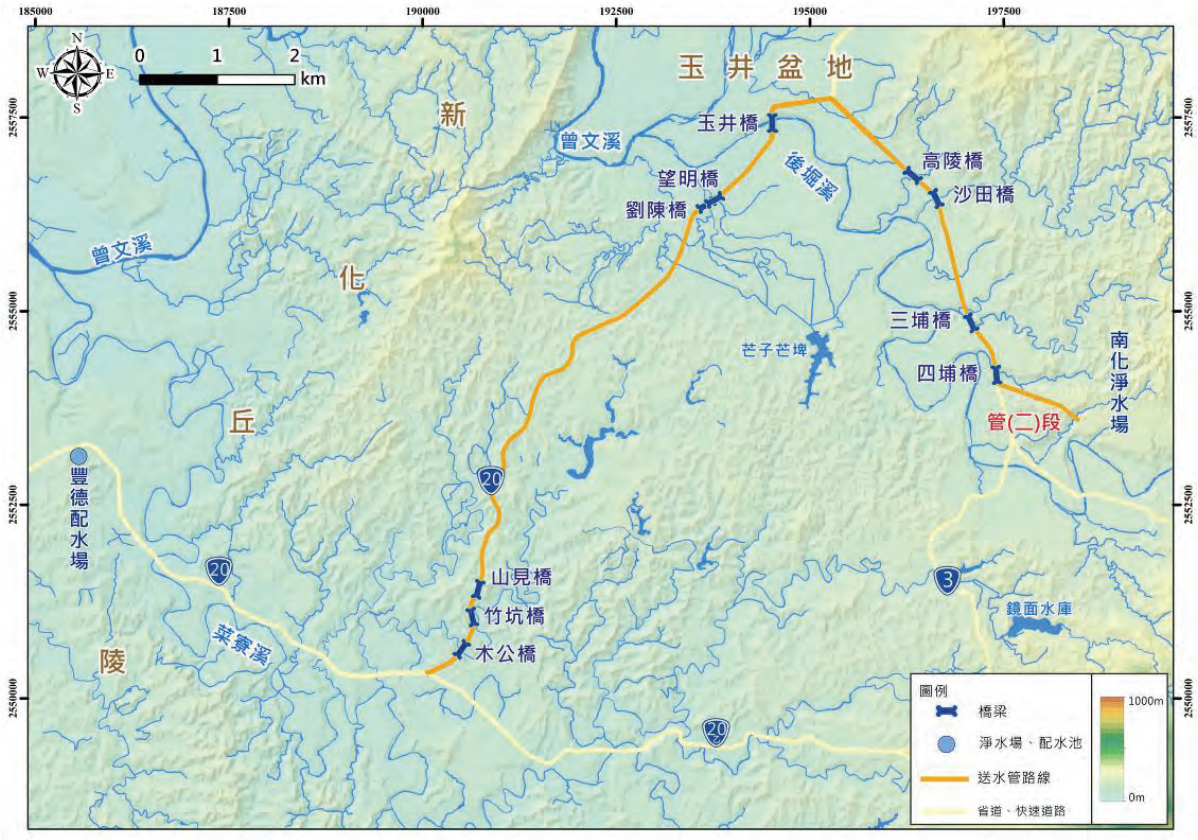
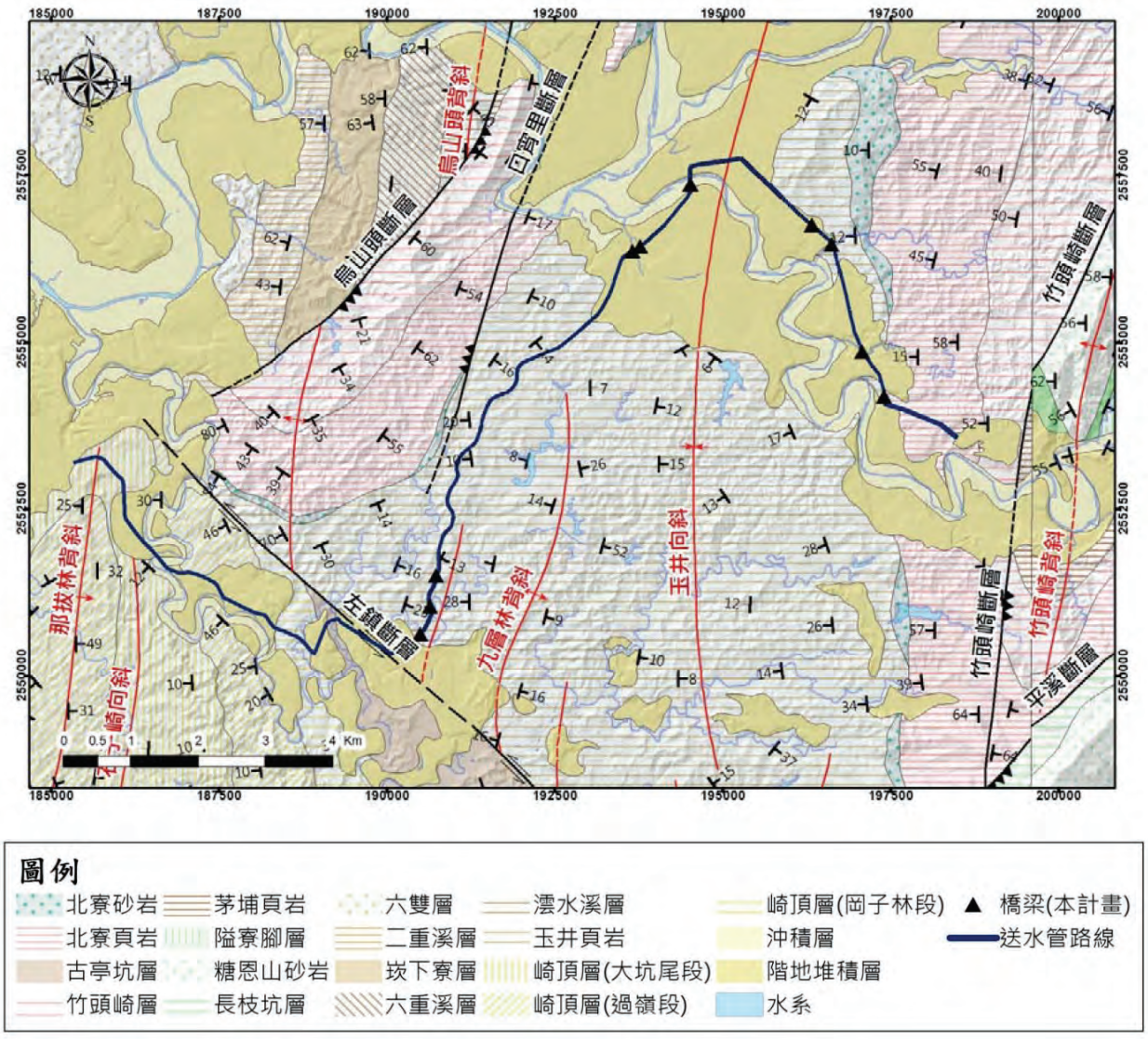


圖 1　本工程工區地形圖



資料來源：經濟部中央地質調查所五萬分之一地質圖(新化．甲仙圖幅)

圖 2　本工程區域地質圖

積層，其平均厚達 5-10 公尺。本區岩盤性質相對單純，其岩性差異不大，岩心單壓強度部分大於 300 kg/cm^2，但材料有遇水軟化現象，單壓強度最低有 11.6 kg/cm^2 之紀錄，屬甚弱或弱岩，岩石品質介於 70%~100%，平均為 86%(屬佳)，層面發育不明顯，裂隙不發達，岩層以黏土、砂質泥岩為主，透水性甚低，不易存在含水層，其地表逕流水有局部聚積現象。

三、管(二)段工程設施概要

本工程為前南化複線銜接南化場與台 3 線之新設 ϕ3,000mm 與 ϕ2,400mm 管線，並代辦「曾文南化聯通管工程」分歧管之 ϕ2,600mm 管線。

管二段原規劃方案路線鄰近牛埔山之未天宮，為當地北寮里居民信仰中心，並計畫於南化淨水場至台 3 線路段分別採用架橋

段、推進段及明挖段埋設水管，後經現場勘查及與當地民眾認為原規劃方案有影響風水疑慮，因此將本段路線依用地取得、技術性、維護管養、維護成本、施工界面及文化遺址等進行比較如表 1 所示，依評估結果改採隧道方案，雖隧道方案較原規劃方案高出約 0.2 億元，但隧道方案可減少台 3 線道路埋管約 520 公尺，且隧道方案在其他方面皆優於原規劃路線。由於隧道方案於計畫執行期間已與地方民眾協商溝通，因此雙方皆有共識情況下，本工程於南化淨水場區至台 3 線之埋管路線採豎井及隧道方案進行配置與水理分析，並進行基本設計。

表 1　方案綜合評估表

評估項目		原規劃路線				隧道建議方案			
1	用地取得	協議價購、強制徵收				地下權補償、價購或徵收			
2	管徑大小	1、φ2600mm 聯通管(原水) 2、φ3000mm 送水幹管				1、φ2600mm 聯通管(原水) 2、φ3000mm 送水幹管			
3	施工技術	高	中高	中	低	高	中高	中	低
3-1	架橋段	○							
3-2	推管段		○						
3-3	明挖段				○				○
3-4	豎井開挖						○		
3-5	隧道開挖						○		
4	維護管理	架橋段及推管段不易維護				豎井段固結、隧道段可維護			
5	維護成本	高				低			
6	施工界面	較多				較少			
7	文化遺址	明挖段直接擾動				隧道段避開文化遺址			
8	工期(月)	32				33			
9	經費	約 14.20 億 (直接工程費)				約 14.40 億 (直接工程費)			
10	經濟性	總工程費較低，然管線以推管與明挖方式埋設，日後鋼管之管線維護不易。				總工程費較高，然隧道段預留維護走道與管線人孔，日後營運維護成本較低，且可減少台 3 線道路埋管約 520m。			
11	綜合評估	1、架橋段現地地形吊裝不易，地層軟弱不利吊車吊裝，難度較高，推管段作業期程相對較長。 2、地方反對，計畫不易推動。				1、國內隧道施工技術純熟，管線架設於隧道內部，利於維護管理，免去架橋段高空作業及維護，降低風險。 2、可減少台 3 線未天宮石碑至四埔橋段埋管，長度約 520 公尺。			
12	優選方案					◎			

管二段主要工程項目包含豎井工程、隧道工程、維護道路工程與管線工程，其總平面配置詳圖 3，工程概要如下所述：

(一)豎井工程

豎井總深度為 37.40m，位於里程 T0K+0.00~T0K+16.15 處。豎井由兩個部分組成，分別為豎井段及豎井擴挖段(圖 4)。

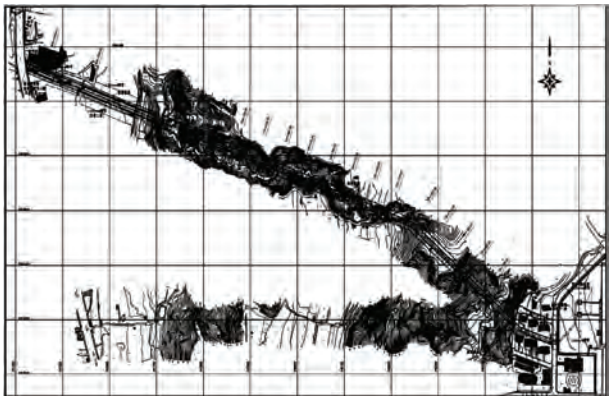


圖 3　管(二)段工程平面布置圖

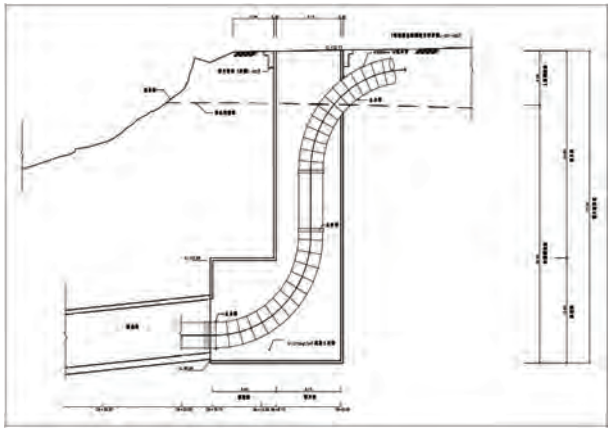


圖 4　豎井縱斷面圖

豎井段範圍自地表面垂直開挖至 EL.107.64m，里程分布於 T0K+0.00~T0K+8.15，總長度為 24.80m，採圓型斷面(圖 5)，直徑為 8.15 公尺，內部配置直徑 3000mm 及直徑 2600mm 送、導水鋼管，兩支送、導水鋼管間以連接鈑圍束，並於送水鋼管附掛完成後，採用 210kgf/cm^2 凝土封堵固結，降低輸水時因落距衝擊造成鋼管之震動損壞。

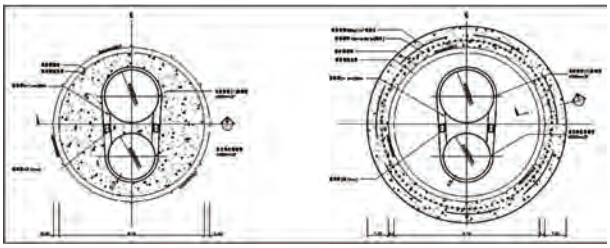


圖 5　豎井段標準斷面圖

豎井擴挖段範圍自 EL.107.64m 至 EL.95.34m 為止，里程分布於 T0K+0.00 ~T0K+16.15，開挖水平斷面為 D 字型(圖 6、圖 7)，垂直深度為 12.60m(含支撐厚度)，水平長度為 16.15m，此段為連接隧道及送水管轉折處。

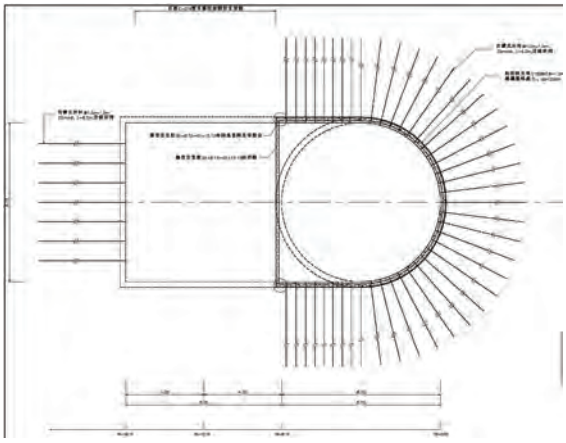


圖 6　豎井水平剖面圖(T0K+0.0~T0K+8.15)

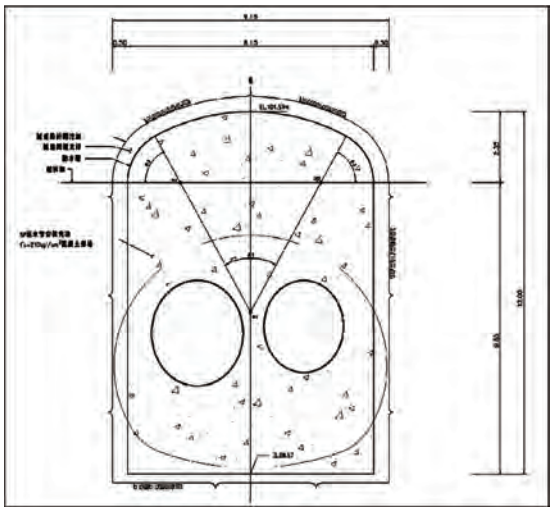


圖 7　豎井擴挖段標準斷面圖
(T0K+8.15~T0K+16.15)

(二)隧道工程

隧道全長約 828.6 公尺，坡度分別為 11.83%與 0.5%，分為隧道交叉段、一般段及假洞段(隧道縱斷面詳圖 8)。本工程隧道採多心圓斷面(詳圖 9)，淨寬 7.94 公尺、淨高 6.38 公尺，斷面尺寸設計除考量輸水管路置放空間之要求外，另考量相關附屬設施(機電設備)與管線維修需求。

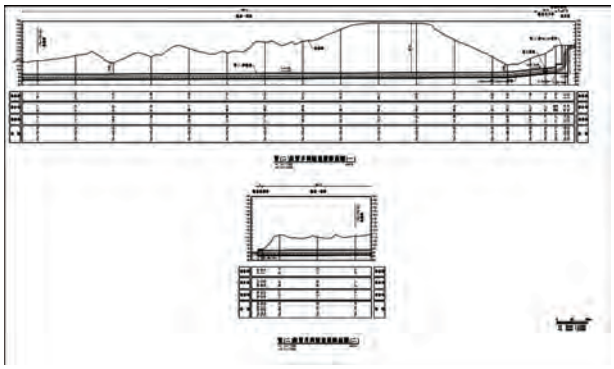


圖 8　隧道段縱斷面圖

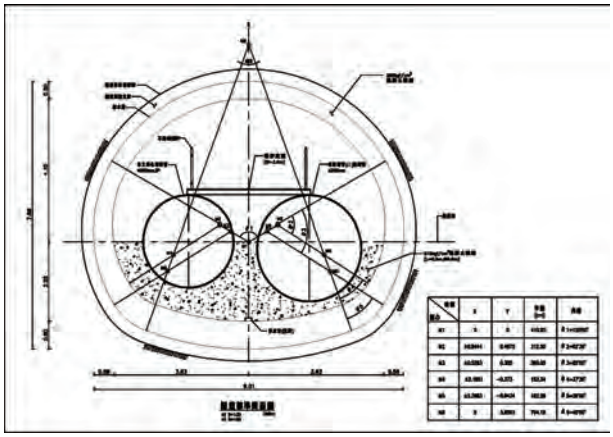


圖 9　隧道段標準斷面圖

根據本工程地質調查成果，隧道一般段全段皆位於地下水位面以下，故於隧道襯砌外圍設置防水膜，該防水膜除不透水特性外，亦有保護襯砌與洞內設施不受地下水侵襲之功用，以延緩混凝土與各項設施因地下水所造成之破壞。另考量鄰近用地為果園，

居民有取水需求，故採用不排水隧道設計。

另避免隧道內積水，於隧道鎮墩內設置排水管，使流入隧道內之水，可藉由重力排水的方式，由洞口處排出。

(三)橫坑工程

由於本工程施工期程緊縮，故本工程自淨水場聯絡道路旁之產業道路開設橫坑，橫坑全長約 78.03 公尺，最大覆蓋深度為 26.52 公尺，坡度為 11.83%，於完工後亦可做為主隧道通風通道，橫坑縱斷面圖詳圖 10。

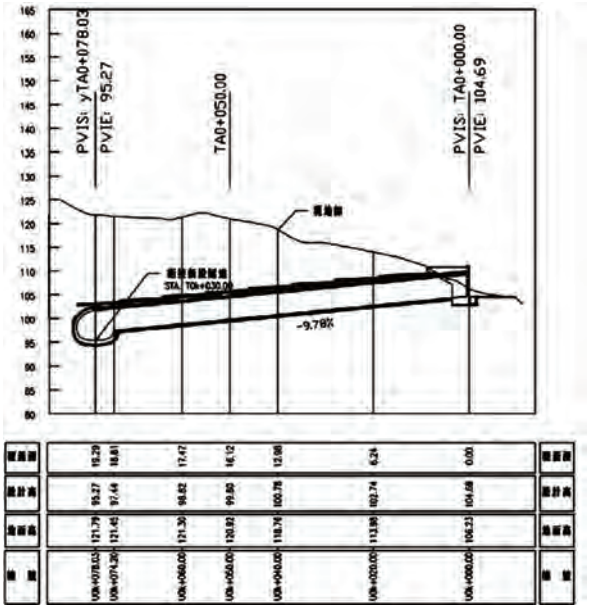


圖 10　橫坑縱斷面圖

橫坑完工後將做為隧道維護及通風使用，僅維修人員及小型機具進出，採馬蹄形斷面，橫坑淨寬為 4.2m、淨高為 4.6m，詳圖 11。

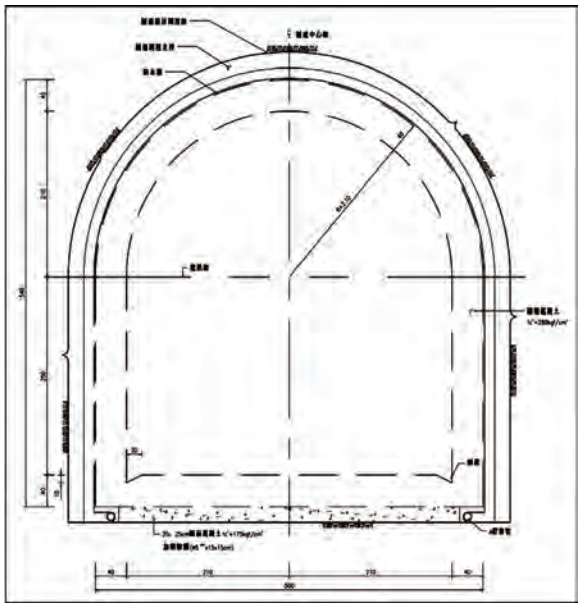


圖 11　橫坑標準斷面圖

(四)維護道路工程

為提供隧道施工期間之施工便道，以及日後管線於隧道內維護保養，本工程於隧道出口至台 3 線開闢維護道路。維護道路路廊總長 354.98 公尺，道路縱坡於隧道出口之道路起點端為 0%，隨後斜率分別為-8%與-1.67%，至台 3 線與既有道路高程順接。由於維護道路沿線須穿越坑溝與丘陵、提供隧道管線日後營運維護之機具與材料停放空間、以及銜接既有農路，故維護道路分為平台段、箱涵橋段、路塹段與路工段，道路淨寬為 10.8 公尺至 20.44 公尺。有關維護道路平面圖詳圖 12，維護道路縱斷面圖詳圖 13~圖 14。

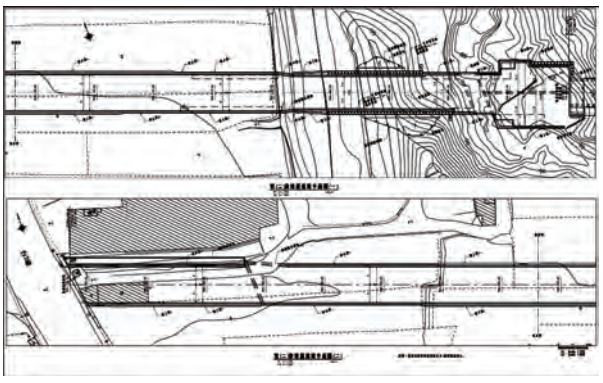


圖 12　維護道路平面圖

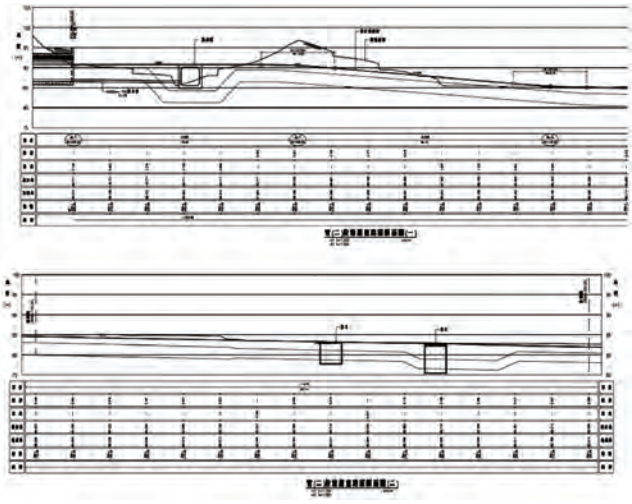


圖 13　維護道路縱斷面圖(1)

(五)管線工程

曾文南化聯通管長度約 1,266 公尺，隧道段約 828.6 公尺，明挖覆蓋段約 437.4 公尺，採 2,600mm § SP 管。複線管(二)送水幹管長度約 1,320 公尺，隧道段約 828.6 公尺，

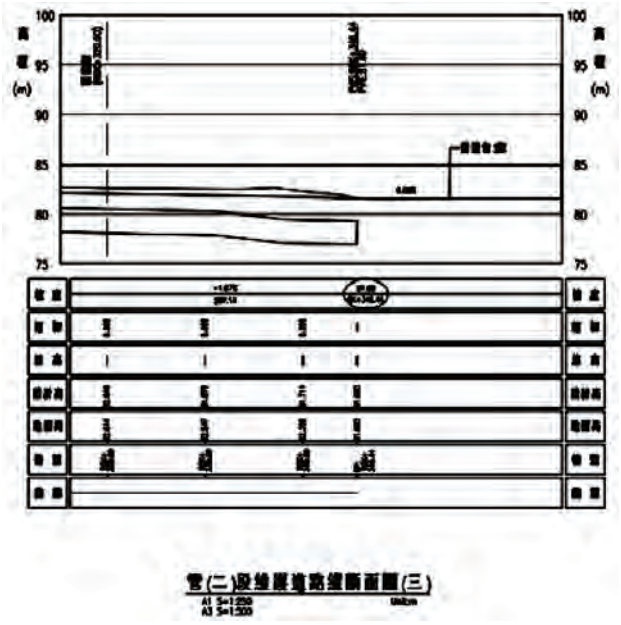


圖 14　維護道路縱斷面圖(2)

明挖覆蓋段約 491.4 公尺。分別採 3,000mm § SP 管(1193 公尺)與 2,400mm § SP 管(127 公尺)埋設。

四、豎井與隧道之開挖與支撐設計

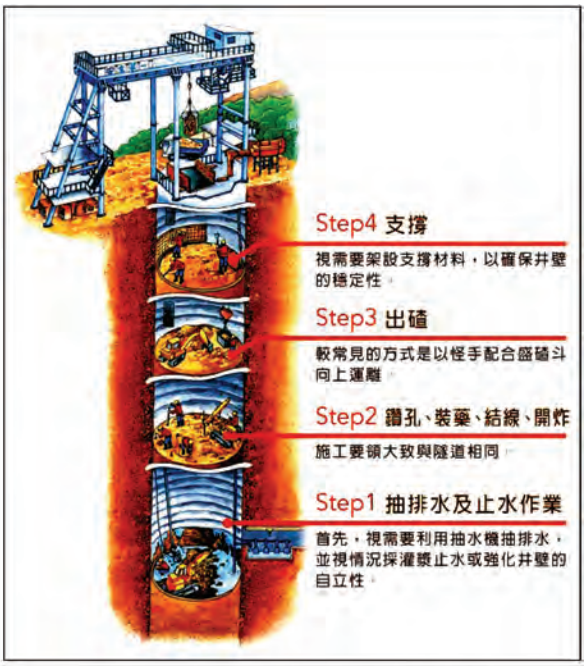
(一)豎井開挖與支撐設計

1.豎井開挖

豎井開挖採降挖工法，即從地表開始往下開挖(圖 15)，由於井口乃唯一出口，因此碴料須配合人工及機具向上運輸，而滲入井內之地下水則使用抽水機向上抽出井外。考慮豎井岩性以泥岩及泥質砂岩之軟岩為主，在單壓強度較低且開挖斷面較小情況下，豎井段採用全斷面機械式開挖；而在豎井擴挖段之轉彎處採用台階開挖，以降低岩體解壓後形成之變形量。

2.豎井支撐設計

豎井支撐系統採納新奧工法(NATM)理念，其利用岩體之自立性形成之拱效應並容許適量變形，再配合使用半剛性支撐系統，



圖片來源：交通部數位博物館「深不見底的豎井(2016)」

圖 15　豎井沉降工法施工順序示意圖

使周圍岩體應力重新分配而達到新的平衡狀態。

豎井段開挖分為土層及岩層，土層約自地表至下方 6.5m 處，開挖時先設置 280kgf/cm^2 混凝土管環及管幕鋼管鞏固井口，用於支撐頂部門架系統及其上方之開挖設備，以避免井口坍陷，內支撐則採用浪型鋼襯鈑並背填灌漿。岩層方面，考量到工址岩盤岩性以泥岩及泥質砂岩之軟岩為主，其特性為節理、弱面不發達，可視為一連續體，但岩盤強度不高，故支撐系統採用 G150 水平桁型鋼支保及厚度 30 公分鋼纖維噴凝土，並配合自鑽式岩栓，使豎井開挖過程中產生大變形時，仍能維持周圍岩盤之一整體，豎井段開挖支撐詳圖 16 與圖 17。

豎井擴挖段支撐系統則延續豎井段之配置，採用 G150 桁型鋼支保、厚度 30 公分鋼纖維噴凝土及自鑽式岩栓，與豎井段不同點在於里程 T0K+0.00~T0K+8.15 處之開挖水平斷面為 D 字型，採用水平鋼支保閉合，並開挖至豎井底部後，拆除 T0K+8.15 處之 I 字型鋼支保，再進行下一階段(T0K+8.15~T0K+16.15)之馬蹄形斷面開挖，並將原先 U 字型水平鋼支保銜接垂直鋼支保，水平剖面詳圖 6。另外在 T0K+8.15 與 T0K+16.15 之頂拱處各打設一輪管幕鋼管，豎井擴挖段標準斷面及開挖支撐詳圖 18。

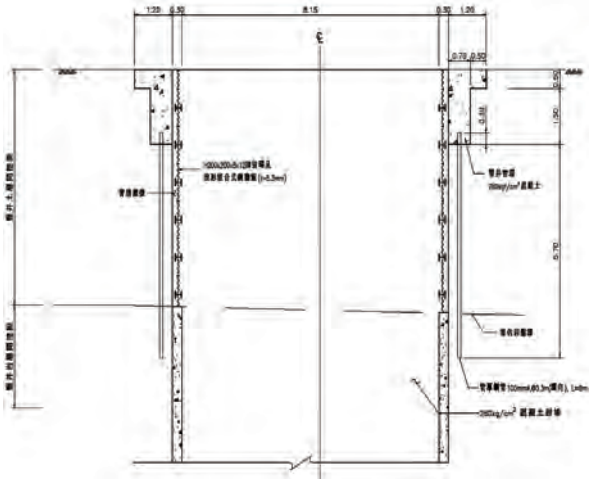


圖 16　豎井段土層開挖支撐圖

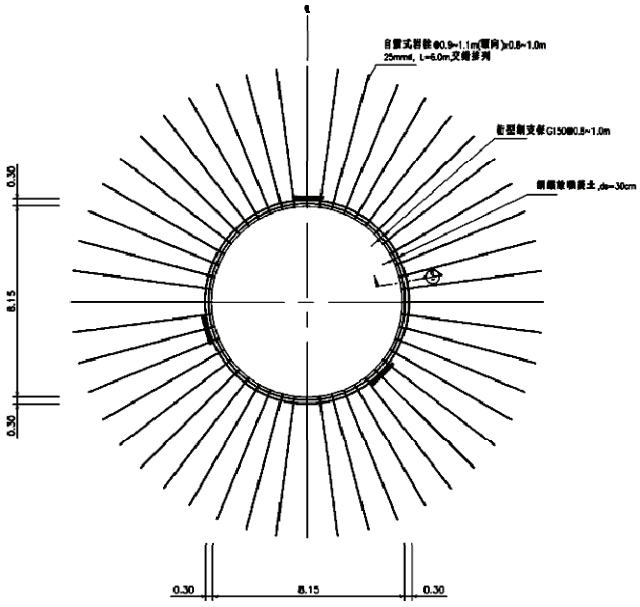


圖 17　豎井段岩層開挖支撐圖

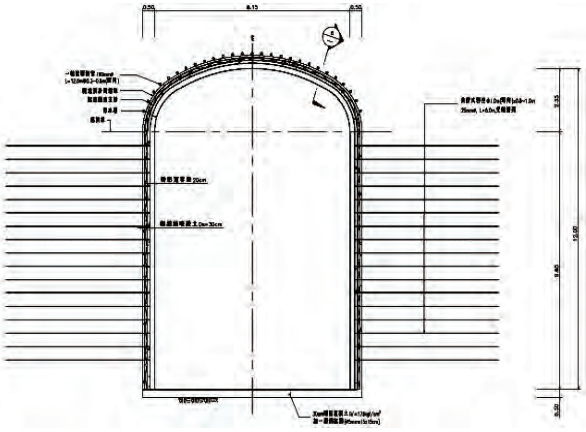


圖 18　豎井擴挖段開挖支撐圖
(T0K+8.15~T0K+16.15)

(二)隧道開挖與支撐設計

1.隧道開挖

隧道施工方法的規劃將影響施工進度、工程造價及隧道安全至鉅，因此隧道施

工方法之選擇，為隧道工程作業之首要考慮因素，但無論採何種工法，事先均需作詳盡周詳之地質調查及配合施工時之良好的工地管理，才可達到提高施工進度的目的。

目前施工方法有全斷面鑽掘機(TBM)開挖法、自由斷面鑽掘機(Roadheader)開挖法、破碎機(Breaker)開挖法和傳統鑽炸法，因本工程隧道長度僅約 828 公尺，考量隧道沿線地質條件、工期、經費、施工性等因素，隧道採 NATM 工法進行設計，隧道主體採用破碎機(Breaker)機械開挖作業。有關隧道開挖作業流程示意圖詳圖 19。

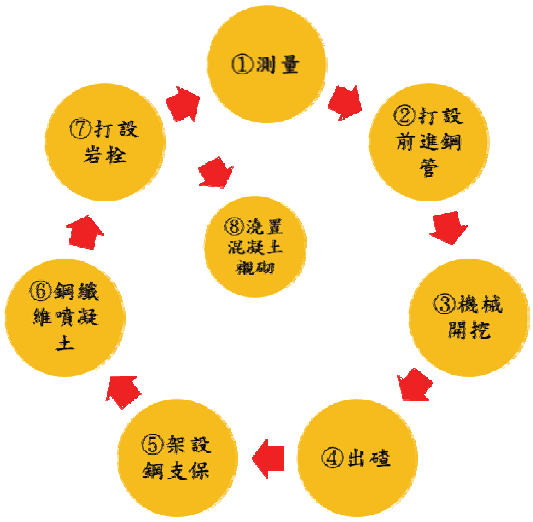


圖 19　隧道開挖施工流程示意圖

2.隧道支撐設計

本工程隧道岩體分類主要採用 PCCR 系統，依據岩材強度、岩心品質指標、不連續面狀況、地下水狀況、節理方位等因素，據以區分岩體等級後，再依各岩體規劃不同等級之開挖支撐配置。開挖支撐配置主要採自鑽式岩栓、桁型鋼支保、鋼纖維噴凝土、先撐鋼棒及管幕鋼管等支撐材料。本工程隧道屬於 C 類岩類，並依照岩體軟弱程度之不同，可區分為 CI 及 CII，另考量本區岩層特性易泡水軟化，CII 類岩體配有兩種支撐型式，隧道支撐配置詳表 2。

3.隧道計測設計

隧道開挖工程屬高危險性的工作場所，雖隧道施工前都經過地質調查，然而受限於現場調查的侷限以及隧道地質多變性，就算是透過再綿密的地質調查也難完全掌握地質狀況，故隧道設計過程中所援用之地質參數經常含有相當程度的不確定性。為避免隧道因地質不確定性致使隧道開挖時發生落盤、崩塌、變形等風險，因此於隧道開挖時設置監測系統(伸縮儀、變位計等)，

表 2　隧道開挖支撐表

支撐類別	IV	V-A	V-B
岩體分類	CI	C2	C2
輪進長度	1.0~1.5m	0.8~1.2m	0.8~1.2m
鋼纖維噴凝土	20 cm	25 cm	25 cm
桁型鋼支保	G150@1.0~1.5m	G150@0.8~1.2m	G150@0.8~1.2m
岩栓	-	8 支，交錯排列 L=6.0m@1.0m (環向)X0.8~1.2m	4 支，交錯排列 L=6.0m@2.0m (環向)X0.8~1.2m
先撐保護	C：先撐鋼棒 L=3m@0.2~0.4 (環向) x1.0~1.5m	100mmϕ, L=12m 管幕鋼管@0.3~0.5m (環向)x9.0m	100mmϕ, L=12m 管幕鋼管@0.3~0.5m (環向)x9.0m
地盤改良	-	-	改良厚度 t≧3m
變形寬容量	15 cm	25 cm	25 cm

表 3　隧道開挖計測項目表

計測種類	計測項目	計測間距(m)
類別 I (主計測斷面)	伸縮儀(E)	60~80
	計測岩栓(M)	
	3D 光學稜鏡(P)	
	斜向收斂變位計測(D)	
	水平收斂變位計測(H)	
類別 II (副計測斷面)	3D 光學稜鏡(P)	20
	斜向收斂變位計測(D)	
	水平收斂變位計測(H)	

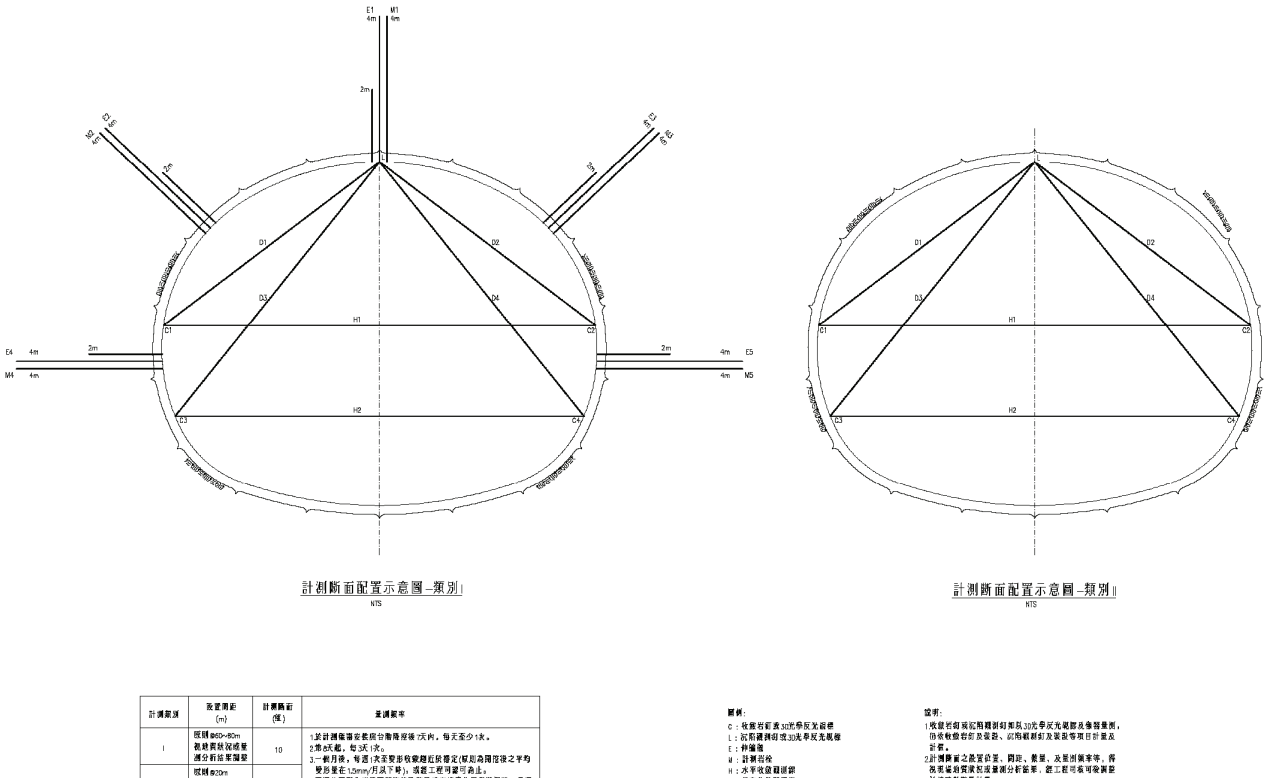


圖 20　隧道開挖計測圖

可提供施工單位及監造單位作為施工安全監測與防災解決方案，並可適時調整隧道支撐總類與數目，以有效降低隧道開挖之意外災害事故，確保勞工生命安全。

本工程隧道計測以斷面變位量為主，可分為類別 I(主計測斷面)與類別 II(副計測斷面)，如表 3 及圖 20。

四、結語

南化複線-南化至左鎮送水管(二)段分別埋有清水送水管與原水導水管，考慮管線須穿越文化遺址、生態豐富之樹林與地方民意，本工程採用豎井與隧道方式提供管線設置空間，減少傳統明挖埋管對生態、環境與

地方交通衝擊。另本工程隧道除設置送水管與聯通管外，另於送水管與聯通管頂處架設維修走道，更利未來管線巡檢維護通道。

本工程已於民國 111 年 8 月 17 日決標，並於同年 9 月 10 日開工,目前工區正在進行施工便道開築，預計於民國 113 年底完工，以以確保台南地區所需之供水能量。

參考文獻

1.南化複線上游段(南化淨水至左鎮段)送水幹管工程設計-管(二)段基本設計報告。

作者簡介

洪志雄先生

現職：台灣自來水公司南區工程處副處長

專長：自來水工程規劃設計及施工管理、土木工程、環境工程、職業安全衛生管理、企業經營管理

陳峙江先生

現職：台灣自來水公司南區工程處工程師

專長：自來水工程規劃設計及施工管理、土木工程、結構工程

簡逢盈先生

現職：黎明工程顧問股份有限公司土木一部大地技師

專長：隧道工程、埋管工程

氣候變遷下的水與生活
臺北自來水事業處面對旱災的應變作為

文/邱嘉南

摘要

臺灣年降雨量在世界排名算是前段班，但是每人每年水資源分配量卻遠低於全球平均值，甚至落為世界排名第 18 位缺水國家。而臺灣非常依賴的水庫，近年來由於淤砂量快速增加、有效蓄水量大幅降低、春雨及梅雨量未如預期等因素，造成水庫蓄水量下降，缺水危機頻繁浮現，直接造成衝擊。臺北自來水事業處肩負大臺北民生與經濟發展的供水責任，積極以具體目標及行動呼應聯合國永續發展。提供質優量足、用戶滿意的服務為使命，打造大臺北成為水資源永續的宜居城市。為維持大臺北地區供水穩定安全，推動自來水設施整備，確保設施安全無虞，永續自來水事業之發展。

關鍵字：乾旱、水庫、自來水

一、臺灣的降雨及水資源利用

臺灣年降雨量高達全球平均的 2.6 倍，但由於地形與雨季分布的因素，每人每年水資源分配，僅全球平均值的 1/6，為世界排名第 18 位缺水國家。一直以來臺灣的水治理相當依賴水庫，然而近年來極端氣候造成強降雨頻率增加，導致水庫淤砂量累積更加快速、有效蓄水容量大幅降低；另一方面，春雨、梅雨量未如預期，造成水庫蓄水量下降，缺水危機頻繁浮現。水庫供給的不穩定，直接衝擊臺灣多數人口。因為都市計畫區雖僅佔臺灣面積 12.9%，但人口卻高達 81.4%，呈現過度集中的情形。

根據水利署統計[1]，臺灣每年總降雨量可達 915 億噸以上，卻只有使用 168 億噸，水資源利用率不到兩成。剩下八成水資源，不是蒸發就是直接流入大海。以 2018 年為例，臺灣實際利用的總水量約 167 億噸，僅佔總降雨量的 19%。其中 70 億噸引用河川水、54 噸取用地下水，從水庫取用的水約 42 億噸，但水庫整體的有效庫容不足 20 億噸，即便所有水庫裝滿 2 次，也不足供應全年所需。

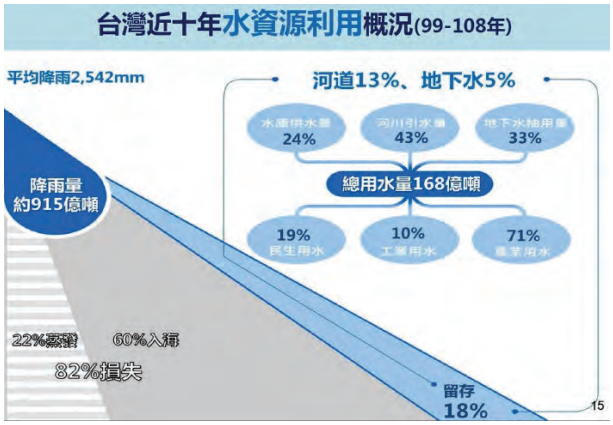


圖 1　臺灣近十年水資源利用概況

二、臺灣水庫的窘境

臺灣本島共 66 座水庫，設計總容量約 29.2 億立方公尺，2019 年有效容量約剩 19.6 億立方公尺，即便政府近 5 年來投入逾 48 億的經費在清淤，水庫淤積情形仍不減反增。水利署統計，2015～2019 這五年間，全

台水庫淤積共增加了 1,573 萬立方公尺。水庫的淤積率愈高，能夠留住的水就愈少，平均每年減少 300 萬噸的庫容，將近是 3 萬人一整年的用水量。

面對水庫上游源源不絕而來的泥沙，雖然政府已動用大筆資金用於清淤，並且清淤數量也屢創歷史新高，但是陸挖清淤遠比不上水庫泥沙淤積的速度。2020 年發生的嚴重乾旱，行政院宣示全力清淤，清淤量 1,440 萬立方公尺，創下歷史新高。然而全國水庫的淤積不減反增，達 74 萬立方公尺，源源不絕的泥沙，讓水庫庫容一年比一年更加拮据。

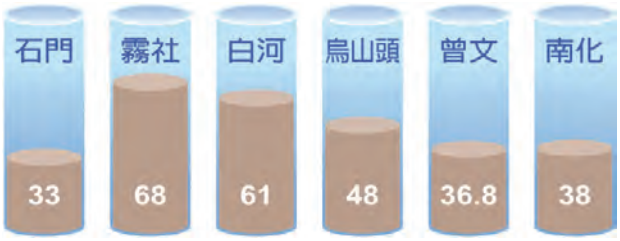


圖 2　臺灣地區六大水庫淤積情形

三、氣候變遷的衝擊

依據環保署的資料，在過去的 100 年裡，地球表面的平均溫度已增加 0.8℃，而台灣全年氣溫百年來已上升約攝氏 1.3 度，且近 10 年增溫有加速趨勢，到本世紀末將可能增溫超過攝氏 3 度，未來的極端高溫每年可能超過 100 天。乾旱事件強度將比現在嚴重至少 12%，未來的雨季會有更多雨，且極端降雨事件的雨量增加 20%，颱風帶來的降雨強度也增強超過 20%。

高溫意味著熱浪發生的頻率會更加頻繁，且持續的時間也越長。嚴重熱浪會導致疾病的發生，如熱痙攣、中暑、甚至死亡。颱風及其他熱帶性氣旋，可以從溫暖的海水中獲得更多的能量。因此當海水溫度越高，這些颱風及熱帶氣旋的威力也越大，也將挾帶更豐沛的雨量，由於溫度越高所產生的蒸發現象越旺盛，因此氣候變遷所造成的颱風威力也隨之增強。

極端氣候發生頻率增加，如豪雨、乾旱、極端高溫、極端低溫，將使作物瞬間受損，不僅是國內糧食生產量減少的問題，其他糧食輸出國也會面臨相同威脅，將使全球糧食供應鏈更加脆弱。而氣候變遷導致水溫上升的現象也影響到水環境，增加水質惡化之潛勢，進而影響水資源的取得、安全與品質，造成地區性水資源短缺、飲用水缺乏或品質不佳。

世界衛生組織（World Health Organization，WHO）指出，氣候能透過不同機制，直接或間接造成人類死亡，如間接經由空氣污染等途徑導致心血管、肺部、腦部損害與癌症，或是透過暖化、水與社會經濟的變化影響傳染性疾病散布與營養失調。例如登革熱在過去 50 年發生率增加 30 倍，是目前傳播最快速的病媒傳染病，根據我國資料顯示，高溫將使登革熱、腸病毒重症等發生風險增加，甚至可達 7 倍。

四、氣候變遷下的旱災對臺灣的影響

根據臺灣氣候變遷科學報告，目前臺灣全年總降雨量並無顯著變化，但出現雨季降雨量增多、乾季降雨量減少的趨勢，並伴隨降雨時數減少的現象。當降雨天數變少，總雨量不變，代表下雨強度加大，意即短時間強降雨發生的次數將會增加；強降雨容易將

泥沙帶入水庫，將造成水庫淤積惡化，蓄水力減弱，對水庫挑戰很大，更可能造成淹水問題。

中研院人為氣候變遷專題研究[2]指出，在本世紀中葉，臺灣春雨量將減少13.2%。而隨著全球氣溫升高，臺灣的颱風也將逐漸減少，到了本世紀末，登陸臺灣的颱風可能減半，顯示在氣候變遷的影響下，臺灣乾旱的情況將越來越常見。

氣候變遷帶來的不只是頻繁極端天氣型態，「不確定性」更是其最大特性。而「缺水」對臺灣民眾來說早已不是新聞，2020 年臺灣創下 56 年來首度颱風季沒有颱風登陸的紀錄，同年 10 月，臺灣氣象史更寫下了三項「第一次」：第一次在夏季豐水期進行人工增雨、第一次在 10 月召開旱災應變會議、第一次在 10 月將水情燈號轉為一階限水的「黃燈」，同時臺中、苗栗更在 2021 年 4 月亮起紅燈，開始實施「供五停二」限水措施。

圖 3　日月潭碼頭因連日無雨逐漸乾涸

此次缺水除了造成全臺停耕灌補助近新臺幣70億元，更因為供應價值千億美元的半導體產業，主要水源之一的新竹寶山第二水庫，在2021年4月蓄水量低於10%，若缺水影響半導體晶片的生產，可能對全球電子業不利，因此被外媒關注。

五、臺北自來水事業處因應旱災的應變作為[3]

(一)整備工作

針對本處之旱災防救業務，各相關單位應執行減災、整備、應變、復健各階段之整備工作，實施步驟如下：

1.劃分各相關單位及其他外單位須辦理之旱災災害防救業務。

2.辦理旱災災害防救業務預防及整備。

3.建置旱災預警機制、緊急通報體系及與其他單位間之聯絡網路。

4.各單位緊急應變人員編組。

5.訂定旱災災害緊急應變標準作業程序。

6.辦理旱災災後復原相關業務。

(二)災害防救資訊蒐集

1.自來水供水狀況資訊

持續進行自來水供水狀況資料之調查、分類及建置作業，以建立完善旱災防救所需資料之管理制度。

2.水庫蓄水狀況資訊

翡翠水庫在臺北自來水系統，主要取水口青潭堰及直潭壩二處，目前翡翠水庫網路即時系統可提供即時水位、雨量、水質狀況、原水供水量、發電運轉量、水文氣象及相關最新消息。

另翡翠水庫下游尚有直潭壩及青潭堰兩攔河堰，均屬本處管理。

3.河川水位流量資訊

為利判斷旱災缺水的影響，須依靠平時

各相關單位所建置之河川水位流量資訊等各類資料的支援。相關工作要項包括如下：

(1)加強河川水位流量資訊資料之彙整及應用。

(2)建置河川水位流量資訊資料庫管理機制，含硬體、軟體及系統操作手冊等。

(3)檢討資料庫資訊交換機制，確保各資料庫間資訊交換的可行性。

(4)持續進行旱災相關資料庫調查、分類及資料建置。

4.雨量趨勢預報資料

為利判斷旱災缺水的影響時間，須依靠當時中央氣象局所提供之雨量趨勢預報資訊。相關參考資訊如下：

(1)一周預報、月平均預報。

(2)月長期天氣展望、季長期天氣展望。

(三)監測及預警

1.掌握原水水源量及供水區用水需求

為達到轄區內水量調配與壓力掌握，設立監控中心，並運用大臺北地區自來水監控系統之監視與控制功能，藉以監測及預警供水區用水需求。藉由各監視點及流量計之所提供之水壓水量資訊，提供災時決策者緊急迅速研判災情及狀況之所需。

2.乾旱預警

臺灣地區雨量受自然環境之支配，降雨季節及降雨時間極不均稱。當雨季之降雨量不豐，每每在枯水期發生缺水現象。若水庫之蓄水量及水文氣象測報，經評估可能不敷未來乾季月份供水所需，則中央發布乾旱預警，並預先規劃調配各標的用水在不同時期之供水量，使整個枯水期得以共同承擔乾旱的衝擊，減少因缺水使經濟發展受損、民生不便之負面影響。並依實際缺水量計算旱災等級，成立緊急應變組織以為因應，並適時公布乾旱情勢及應變措施。

3.製作旱災潛勢圖

臺北市旱災及缺水影響潛勢圖係為預先掌握災害風險而產製，目前臺北市旱災及缺水影響潛勢圖無法模擬未來旱災與缺水之狀況，故產製時係依據 110 年臺北市之需水分析結果，其僅供災前防災整備應變。依據災害防救法規定，災害潛勢圖資應 5 年更新一次，故有效期限視為 5 年。

本潛勢圖是假設臺北市因旱災或其它因素導致停水、缺水之狀態下，各里受到缺水衝擊影響之潛勢(圖 4)。至於各里受到缺水衝擊影響之潛勢分析是依據臺北自來水事業處之民國 110 年臺北市一級經濟發布區用

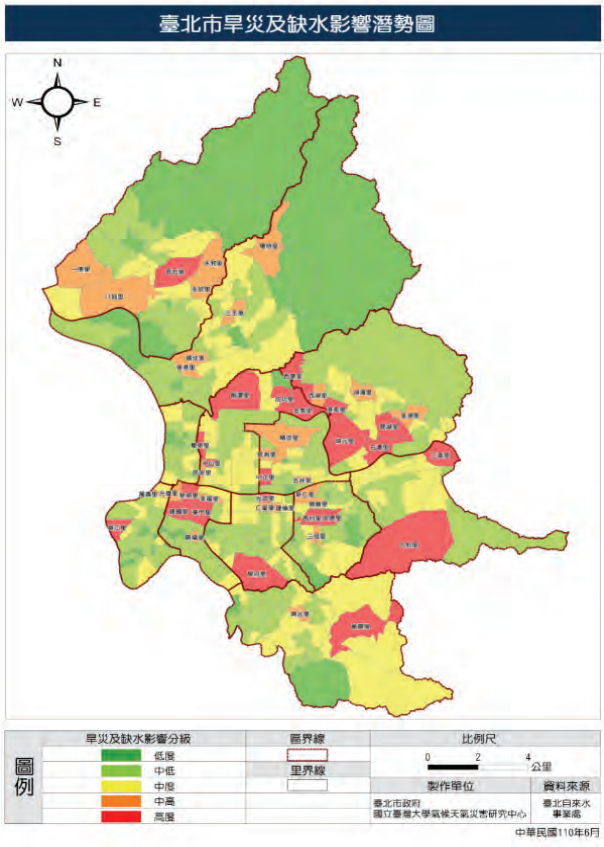


圖 4　旱災潛勢圖

水量尺度為村里層級之空間尺度後進行分析。以民國 106 年臺北市各里之平均用水量為標準，大於 2 倍平均用水量之村里受缺水影響等級最高、界於 1.5 至 2 倍平均用水量之村里屬中高等級、界於 1 至 1.5 倍平均用水量之村里屬中度等級、界於 0.5 至 1 倍平均用水量之村里屬中低等級、低於 0.5 倍平均用水量之村里屬低度影響。

(四)推動節水措施

1.節水觀念及省水設備推廣

鑒於水資源不足已成趨勢，須賡續推動節約用水政策，除藉由系統化推廣與宣導，將節約用水觀念延伸到不同對象與層面，提升水環境文化，讓市民願意珍惜水資源，並促使家家戶戶採用省水器材，進而養成正確用水習慣與做法，促進水資源永續發展。

圖 5　大用水戶節水輔導

圖 6　節水體驗車家戶節水到府服務

2.防災普教

落實中小學生之防災普及節約用水教育、深植災害防救觀念，提昇省水節水知識。期藉深植防災意識及水資源之再利用能力於學童，發揮擴散於其家庭，俾於可預見之未來，確能達成提高全民防災意識及災害應變能力，將災害損失減輕至最低程度。

圖 7　節水體驗營活動

圖 8　防災公園體驗活動

(五)二次災害之防止

為因應乾旱缺水所採取之分區供水措施，在自來水管線漏水率不可能為零情形下，若供水壓力驟降，管內水壓低於大氣壓力，則管線破損處即成為污染物入侵之孔道。若加上用戶不當地以馬達直接抽水，或用戶水池位置低進水呈倒虹吸現象，則污染問題將更形嚴重，污染範圍亦可能因而擴大。因此，如何防制停水期間導致水質污染

事件實為當務之急。

有鑑於分區停水期間水質申訴案件之激增及水污染案件之頻傳，未來實施停水措施前，宜參考過去相關經驗，妥善研擬水質污染防制工作計畫；以期減少水污染案件之發生，並能對人力做更有效之運用，案件之處理亦能更周詳、更有效率，陸續進行之相關工作如下：

1.配水管網改善

為有效改善漏水，提昇水資源利用率，所辦理之措施如下：

(1)管線汰換。

(2)漏水檢測。

(3)修漏作業。

(4)水壓管理。

(5)小區計量。

(6)加壓設施改善。

2.強化乾旱期間預防水污染工作

擬定停水前及停水期間之水污染防制工作項目及人力編組分工，並據以施行。以期停水期間之水污染案件能降至最低程度，並能於發生水污染案件時，作最迅速、有效、妥善的處理。

(六)用水調度及供應計畫

依經濟部「自來水停止及限制供水執行要點」及配合本處特性之各階段實施用水調度及供應措施如下：

1.第一階段：

(1)離峰及特定時段降低管壓供水

本階段主要係針對長興、公館淨水場及中和、松山、民生、大同、公館、安康、安華等大型加壓站，離峰及特定時段抽水機以變頻方式降低管壓供水。

(2)限水措施：

公家機關及國營事業轄管停止以自來水澆灌花木、沖洗外牆、街道、水溝及噴水池用水等非急需或非必要用水。

2.第二階段：限水措施

(1)停止露天屋頂放流用水。

(2)停止非必要消防栓試水。

(3)關閉市政專用水栓。

(4)游泳池（含附設泳池）、洗車（含加油站附設洗車）、三溫暖（含水療）等業者減供 20%。

(5)每月用水量超過 1,000 度大戶（但醫療或其他因性質特殊減量供水將造成重大公眾損失之用水者除外）減供 20%。

3.第三階段：分區輪流停水措施

(1)將供水區域分為 5 區，每 5 天輪流停水一天，星期六、日恢復全區供水，平均每日可減少供水量 27 萬噸。

(2)將供水區域分為 3 區，每 3 天輪流停水一天，星期日恢復全區供水，平均每日可減少供水量 52 萬噸。

(3)將供水區域分為 2 區，每 2 天輪流停水一天，星期日恢復全區供水，平均每日可減少供水量 77 萬噸。

4.第四階段：定量定時供水措施

定量定時供水：將供水區域分成 2 區，隔日輪流定時供水 12 小時，每日平均可減少供水量 120 萬噸。另依區內用水狀況，優先以水車送水順序為：居民維生用水、醫療用水、國防軍事用水、工商事業用水及其他用水等。

(七)緊急用水運送

1.本處、消防局或其他相關局處應依市府災

害應變中心指示及調度，運用可用的各式車輛實施緊急用水運送。

2.協調道路運輸業者、海運業者及空運業者協助緊急運送。

3.必要時得請求中央災害應變中心支援、統合及協調陸海空交通運輸工具實施緊急用水運送。

(八)災情發布與媒體聯繫

為宣導乾旱災害預防及本府各項救災事宜，以保障市民身家財產安全。市府相關單位在災前、災中及災後以發布新聞稿、召開記者會、手機簡訊發布、電視台跑馬燈、廣播插播等各種傳播方式，宣導市民關切事項及防災準備事宜等。

(九)災區疾病監測及環境衛生追蹤改善

由市府衛生局執行各區環境衛生清理、防疫、消毒及民眾身心健康檢查等工作，得視實際需要設置社區巡迴醫療站，主動協助災區民眾健康諮詢及醫療。

(十)申請支援

於災情嚴重時，聯繫台灣自來水公司或中央旱災災害應變中心、經濟部等單位並協調必要之支援事宜，並可結合「災害防救」與「全民防衛動員」之機制，與國軍單位簽訂支援協定，於災害發生時視需要申請支援。

(十一)其他

1.社會秩序維護

為免分區停水期間，發生飲用水、貯水用具、消毒用具等民生用品供應失調或物價波動，或發生火災、傳染疾病蔓延等，或因部分行業暫時歇業致影響勞工就業權，民政、警察、消防、消保、環保、衛生醫療、勞工、社會福利等單位依權責辦理相關應變措施，以避免災害擴大並維持社會秩序。

2.支援協助分配

於旱象期間，如各界公益團體、善心人士捐增相關民生物資，為將救災資源合理分配予最需要之民眾，應協調相關單位事先統籌規劃物資貯存及發放事宜。

六、結論

臺北自來水事業處肩負大臺北民生與經濟發展的供水責任，致力提升水利用效能、減少能耗與排放，並以具體目標及行動呼應聯合國永續發展目標。提供質優量足、用戶滿意的服務為使命，邁向直飲、效能、永續的臺北好水願景，打造臺北成為水資源永續的宜居城市。強化自來水系統，確保大臺北地區供水穩定安全，並跨區域合作聯合調度供水。推動自來水設施整備計畫，透過全面健檢整備，確保設施安全無虞，優化供水系統效能，確保自來水事業之永續發展[4]。

參考文獻

1.經濟部水利署，https://www.wra.gov.tw，2022

2. 中央研究院環境變遷研究中心 https://www.rcec.sinica.edu.tw/?action=about&ntype=1&id=3，2022

3.臺北自來水事業處災害防救業務執行計畫，2021。

4.臺北自來水事業處的企業社會責任報告書，2020。

作者簡介

邱嘉南先生

現職：臺北自來水事業處勞安室工程師

專長：防災、資訊處理、環境工程

陽明山區供水調配案例探討

文/王詠民

摘要

夏季的陽明山區因缺少東北季風挾帶豐沛水氣之滋潤，雨量少，屬乾旱季節，倘無颱風經過時，陽明山區之水源更為匱乏，加上近年山區部分較平坦區域持續被開發利用，自來水之需求急遽擴增。山區中多個分散小水源在枯旱期間顯然不敷使用。

本文探討範圍係以山區小水源之併串聯調配案例、藉由傳統隔膜式持減壓閥增設額外排氣及無線壓力傳輸模組、佐以設置特定多噴孔持減壓閥、部分自動讀表系統增設壓力模組、另山區無臺電電纜區域小水池採用太陽能高容量電池訊號無線傳輸水位計，並實施高地社區漏水改善補助等多項精進方案的引進運用，使陽明山區在枯旱時期仍能朝最佳化操作調配模式，努力維持經濟、有效率與穩定的供水調配案例。

關鍵詞：山區供水調配、分散式小水源、枯旱季、持減壓閥、遠端壓力監控

一、前言

陽明山區山勢陡峭，最高峰七星山主峰海拔高程 1,120 公尺，區內供水系統最高點為海拔 810 公尺，最低約為海拔 30 公尺，區內水系龐雜小水源分散且多（詳圖 1），傳統節氣白露至端午節間多為雨季，夏季除有颱風外，區內水源及溪流枯旱明顯，且隨著陽明山區的開發，區內水源在枯旱夏季早已不敷使用。

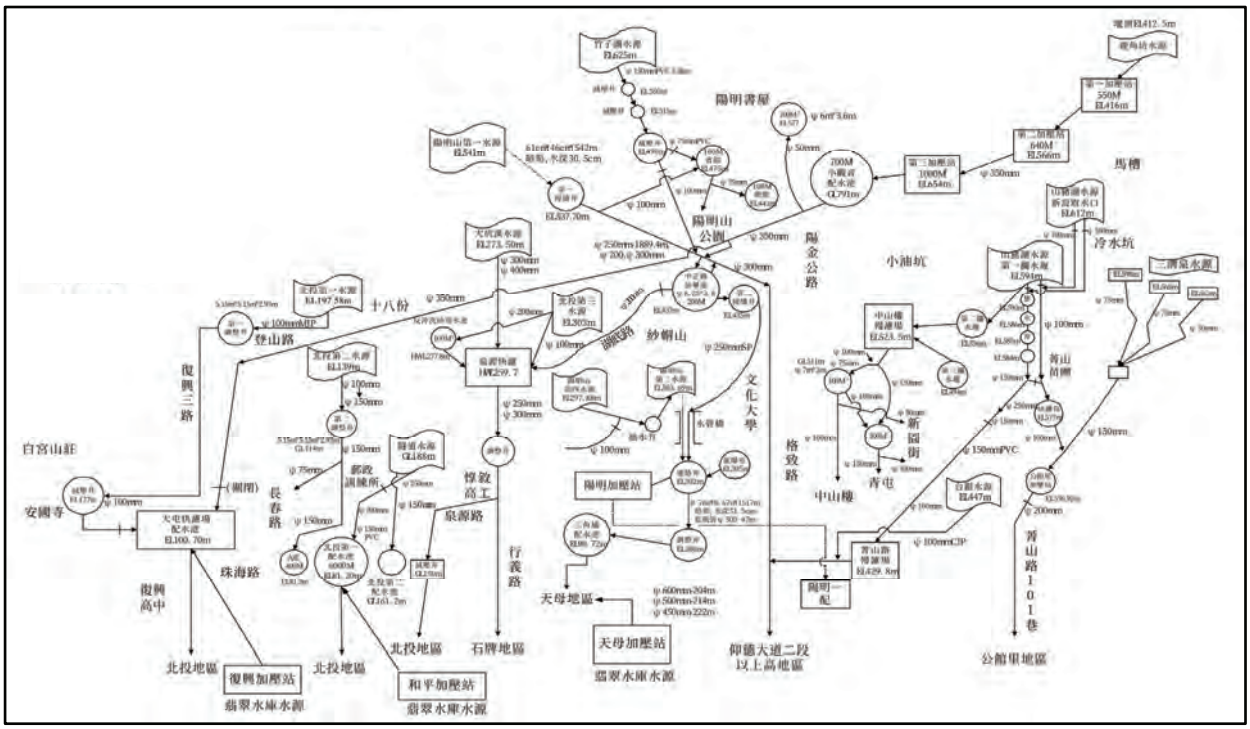


圖 1　陽明山區各水源及供應範圍示意圖

二、開源措施

陽明山地區主要由陽明山區各水源供水，隨著陽明山區的利用開發，山區需水量已大幅增加，陽明山區內各小水源早已不足區內使用，不足水量主要規劃建立五段加壓系統由平地水源分段加壓供水，補充山區水源不足，解決山區夏季枯水期間嚴重缺水問題，並建立雙向（平地、高地）供水系統（詳圖 2 及圖 3），確保陽明山地區供水穩定及品質。

三、節流措施

合理擴建山區配水池，提升山區尖離峰供水調蓄容量。山區高地水源原則採保留於高地區使用，透過增設山區配水池的容量，用水離峰的多餘水量可蓄留供尖峰時使用，有效提升山區供水調配能力，近年整建陽明山區配水池如下表(詳表 1)。

山區節流措施除了合理擴建配水池及補強改善舊漏水池外（詳圖 4），同時導入「小區計量」，推動分區管網漏水改善作業，藉由系統模組化的漏水改善執行作業，搭配量化的執行成效評估，使漏水改善作業得以有效管理，使有限的資源得以精準投入並發揮最大效益。

圖 2　陽明山高地區供水與平地水源分段加壓供水系統圖

表 1　近年陽明山區整建配水池名稱及容量

配水池名稱	小觀音配水池	中正加藥池	陽明山第一配水池	鹿角坑第三清水池	吳寓停車場配水池	陽明山公園第二停車場	夢幻湖停車場	大屯配水池
容量(公噸)	600	200	4,000	800	200	200	200	4,000

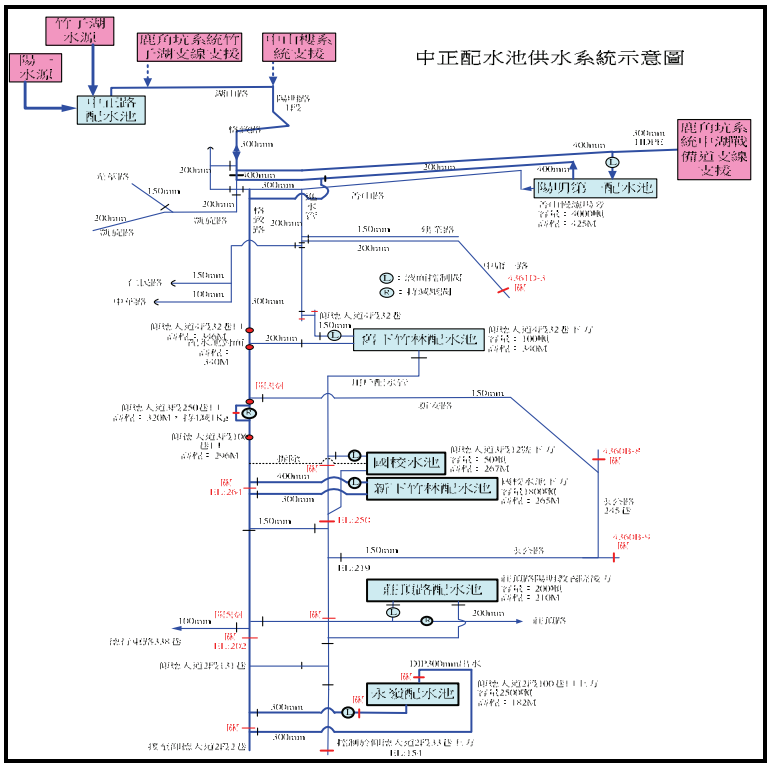


圖 3　陽明山區某供水次系統示意圖

圖 4　老舊漏配水池池頂鋼筋裸露補強改善施工前後照片

四、管理精進措施

針對山區偏遠無台電線路的小型配水池水位無線監控需求，採太陽能板搭配大容量電池以克服陰雨天太陽能板難以充電等困境（詳圖 5）。另持續擴大使用山區持減壓閥壓力無線傳輸模組（詳圖 6），並納入水網監測平台水壓監視點。第一線工程師可由手機 APP 隨時掌握山區供水系統水壓及水池水位最新動態（詳圖 7 及圖 8）。

圖 5　偏遠山區配水池無線監控水位計搭配大容量電池的太陽能板

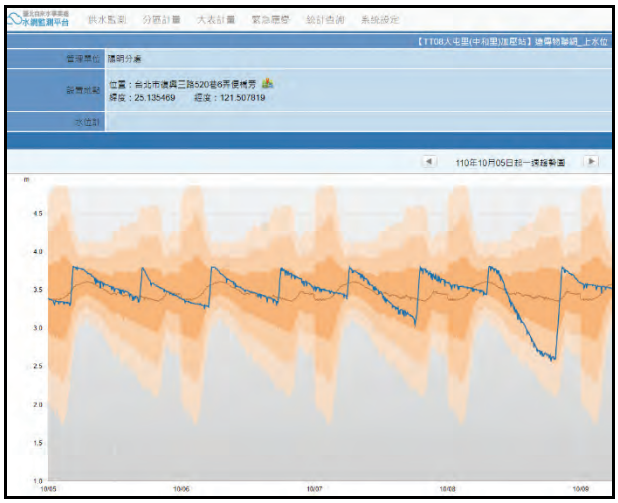


圖 6　水網監測平台顯示偏遠山區配水池水位即時趨勢

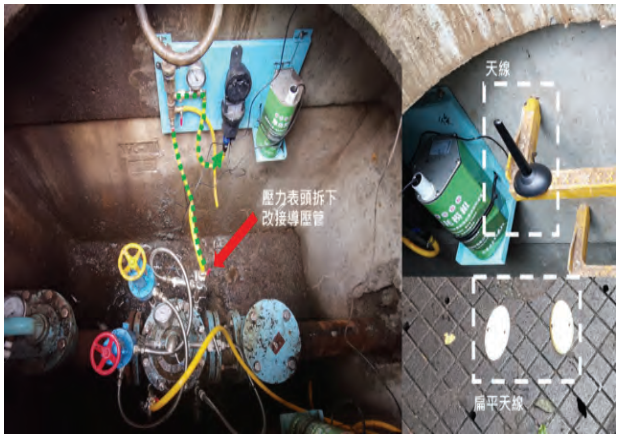


圖 7　山區持減壓閥壓力無線傳輸模組

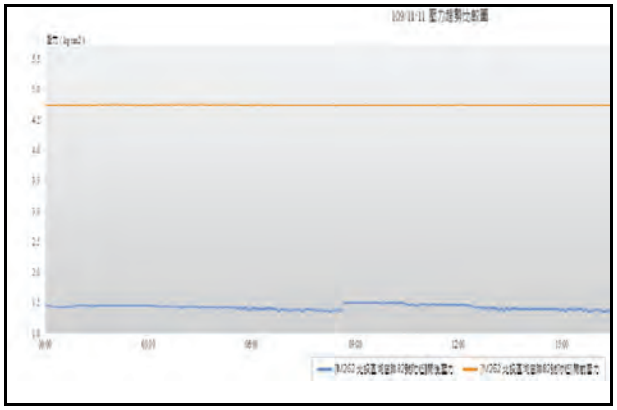


圖 8　水網監測平台顯示偏遠山區持減壓閥（閥前及閥後）壓力即時趨勢

五、結語

山區水資源珍貴，尤其枯旱期間涓滴得來不易，應持續透過各項開源、節流、供水調配及設施的定期檢修維護等措施，以助於山區的穩定供水。

山區部分小水源較不具規模，但鄰近仍有民生供水需求者，仍應定期進行設施整修維護，以降低損漏狀況，取得供水效益。

透過長期監測預估供需及預先規劃建置引進區外水源系統，能解山區枯旱季區內缺水燃眉之急。另透過建立山區小供水系統的串聯支援機制與建設合理容量的較大配水池，可使山區得來不易的水資源能夠充分被利用。

無線傳輸持減壓閥壓力模組及高容量電池太陽能板的水池水位無線傳輸管理模組等多項成熟好用的新技術，應持續整合擴大運用到偏遠山區的供水管理上，可讓資源及人力有限的山區的供水管理更有效率。

參考文獻

1.白耀宏等(2013)，陽明山高地區漏水改善計畫，臺北自來水事業處。

2.玉山資源有限公司(2008)，陽明山地區水資源現況調查之研究，經濟部水利署北區水資源局。

3.郭國勝等，小區計量於高地區之應用，自來水協會季刊第28卷第2期。

4.知識管理系統，陽明山各水源分布圖，臺北自來水事業處(2005)。

5.https://www.ymsnp.gov.tw/main_ch/index.aspx?tmp=1，陽明山國家公園管理處(2021)。

6.https://eng.water.gov.taipei/Default.aspx，臺北自來水事業處工程總隊(2021)。

7.https://www.water.gov.taipei，臺北自來水事業處(2021)。

作者簡介

王詠民先生

現職：臺北自來水事業處陽明營業分處二級工程師兼股長

專長：自來水工程規劃、設計、監造、小區計量、漏水搶修及供水調配

本刊 112.113 年「每期專題」

期別	主　題	子　　題	時程
42 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
42 卷 第 4 期	**供水服務**	1.提昇服務品質、2.資訊管理與應用、3.自動讀表技術應用、4.物聯網及 ICT 技術、5.節約用水及效率措施、6.可持續的水價、7.進階抄表管理系統．8.氣候變遷、9.抗旱期間供水服務與經驗。	11 月
43 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

～歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優～

北水處加壓站監控系統優化－LINE Message 警報推播導入應用

文/李家裕

摘要

北水處 SCADA 監控系統自成立迄今已 30 年，在加壓站及配水池管理上扮演重要的角色。但受限於管理設備及人員條件，對場站異常狀況往往無法及時的反應處理。如何讓警報訊息發揮最大的功能，是現今北水處監控系統不可忽視的重要課題。

近年 IT 及 OT 科技整合技術已趨成熟，北水處於 110 年 5 月與財團法人資訊工業策進會共同完成水資源共通平台，在各分區監控站利用艾默生 RX3i CPL410 控制器與 PLC 連線讀取各場站即時運轉操作資訊，將 OT 上的運轉數據移供 IT 管理使用，並導入 LINE Message 警報推播系統，將各場站讀取的即時資料與管理者預設之警報值做比對，一旦確認到達警戒值時，即觸發 Line Bot 進行訊息推播，通知原先規劃設定的群組或個人，在第一時間通知管理人員並立即進行後續處理，可大幅減少異常反應時間，增加應變處理效率。

關鍵字：LINE Message、警報推播、IT/OT 融合技術、監控系統

一、問題探討：

北水處目前轄管各大小型加壓站共 101 站、配水池 134 座(統計至 111 年 7 月)，維護運作狀況繁雜，難免偶有突發狀況需管理人員進行處理。但考量現有監控警報因系統建置時間久遠，不僅場站數量隨時間增加，在警報功能項目上亦隨需求而有所新增，相關警報可能是監視點或水質偵測或加壓站等不同管理單位之警報均在工業電腦畫面上呈現，警報產生後由管理值班人員過濾後通知工程師或相關人員進行後續處理。而大量的運轉資訊及警報資訊讓監控人員很難全面顧及所有的狀況運作，常常在接到客訴電話或 1999 的申訴才知道加壓站或配水池發生異常狀況，而這些警報訊號如何在第一時間傳送給正確的人員進行異常狀況的後續處理，以避免或降低災害損失，實為北水處精進的重要課題。

二、北水處現有加壓站監控系統及警報說明：

北水處 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)資料蒐集與監控系統為架構在工業電腦上的自動化及控制系統。採用 Citect Technologies 公司開發的 Citect 圖控軟體，近年受限於版權升級問題，開始納入 GE 公司的 CIMPLICITY 圖控軟體，提升系統備援功能，目前 2 套軟體均在正常運作。北水處分布在各地小型加壓站及配水池均納入監控系統進行管控，屬於分散式控制系統（簡稱 DCS），而這些加壓站子系統使用可程式控制器（PLC）做為控制單元，可自行依場站特性編寫好的邏輯程式自動運轉，為該站自動控制的大腦，不需主系統的介入。

對工程師而言，加壓站子系統在圖控系統上所能呈現的資料越詳細越能了解狀況並做出正確判斷。而當加壓站有狀況需介入處理時，主系統才會下達操作指令給子系統。

SCADA 系統區分數據蒐集系統、數據傳輸系統和人機介面軟體(HMI)等 3 部分，以提供集中的監視和控制，並進行遠端過程的輸入控制和輸出。在數據蒐集系統方面，場站所裝設 PLC 控制單元負責蒐集各偵測設備如：水位、壓力、流量、電力系統狀態、抽水機及閥類狀態、變頻器運轉資料、水質資料等所量測的數據，以數位訊號、類比訊號及通訊傳輸等方式將資料傳入至 PLC 的 DI、AI 及 CMM 模組，如圖 1。

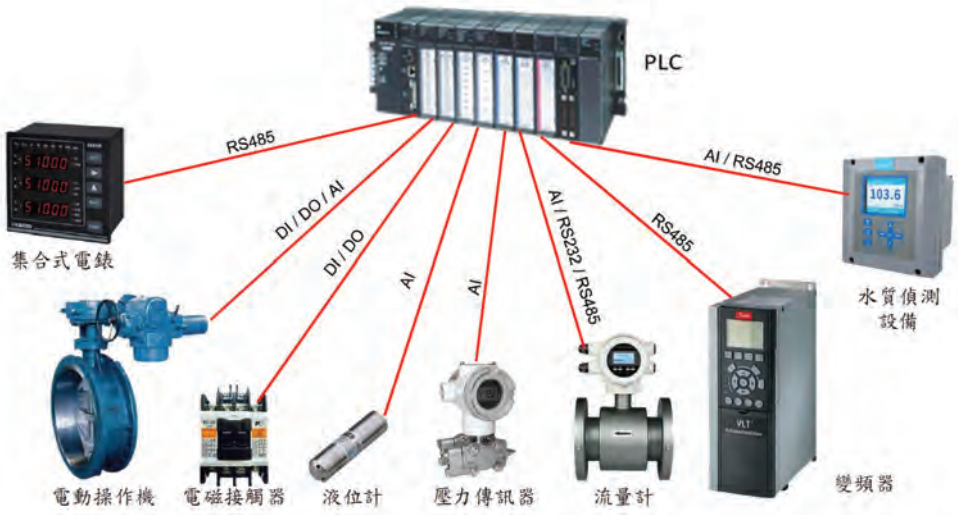


圖 1　監控系統數據搜集示意圖

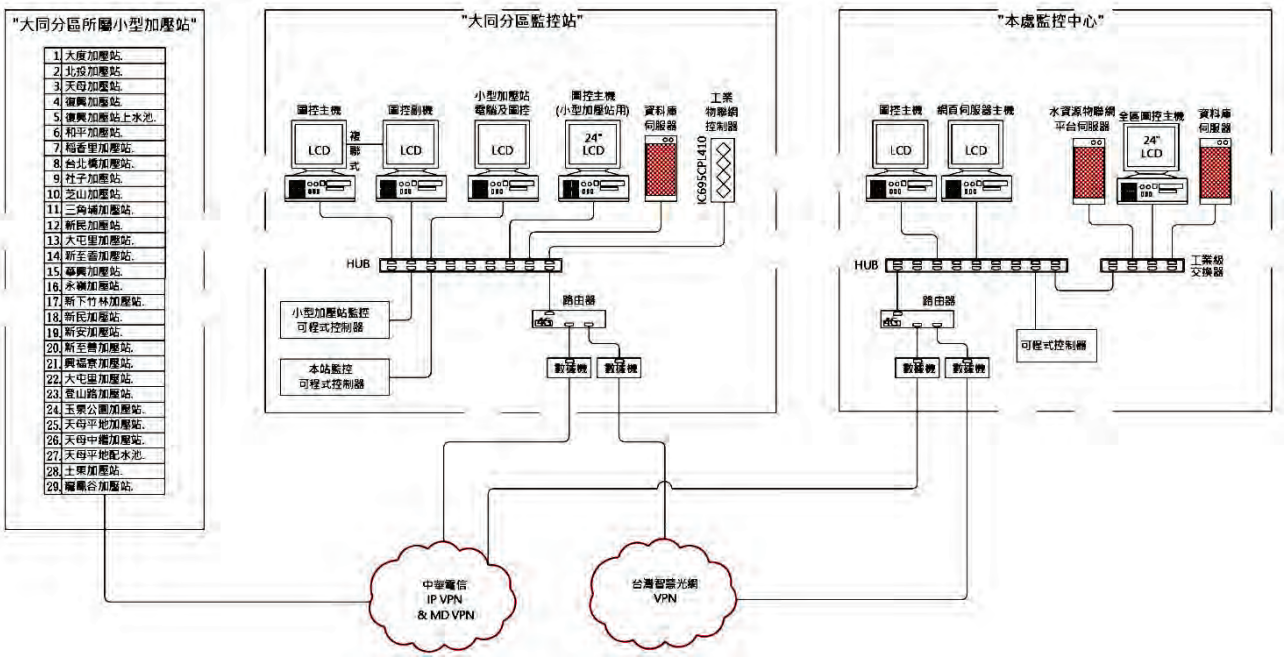


圖 2　監控系統架構及通訊傳輸示意圖

小型加壓站在 PLC 蒐集站內各項運轉資訊後，透過中華電信 IP VPN(部分場站因位置偏僻無法架設時改採 MD VPN)將其傳送至分區監控站，各分區監控站在彙集該區所有小型加壓站及站內運轉資料後，透過 IP VPN 或台智光 VPN 網路將彙整後之運轉資料傳送至監控中心，再以人機介面圖控系統進行狀況掌控，現有監控系統架構及通訊傳輸如圖 2。

北水處監控系統所用 Citect 及 CIMPLICITY 圖控軟體，均具有一般 SCADA 軟體所需具有的功能，如：圖形操作介面、系統狀態動態模擬、即時和歷史資料、趨勢曲線顯示、警報處理系統、資料擷取與記錄、資料分析及報表輸出等功能。但相關功能操作均在工業電腦上進行。以警報處理系統而言，在未導入 LINE Message 警報推播前，警報產生在螢幕畫面跳出後由管理值班人員過濾及初步判斷後通知相關工程師或管理人員進行後續處理。而這些警報因系統建置已久遠，不僅場站數目隨時間增加，在警報功能項目上亦隨需求有所新增，警報可能是監視點或水質或加壓站等不同管理單位之警報均在電腦頁面上呈現，部分警報甚至不清楚當初設計的目地為何，在大量的運轉資訊及警報資訊呈現下，監控值班人員很難全面顧及所有的層面，難免有造成警報氾濫的情況發生(如圖 3)。所以警報系統應有改善優化的必要，場站管理工程師應憑藉其對場站運轉狀況的了解，抓取重要的運轉數據，並在第一時間獲得警報通知，由異常的數據判斷發生異常原因，進行後續處理以減少或降低異常狀況的損失。

圖 3　監控系統警報頁面圖

三、IT/OT融合技術的應用：

近年工業物聯網（IIOT）非常熱門，顧名思義就是讓工業上的相關設施能上網，也就是說通過網路去做資訊的讀取與傳遞、並利用取得的資訊來進行管理或執行某些動作。以 OT (Operational Technology)方面的數據來說，大部分來自於各場站的偵測設備如：水位計、壓力傳訊器、流量計、集合式電表、電磁接觸器、斷路器、閥類電動操作機、變頻器、水質偵測設備等，並以 PLC 可程式控制器之 DI、AI 及 CMM 模組來收集 OT 數據，而這些數據以往僅在 OT 內運作執行，未有將數據轉移至 IT (Information Technology)上做更多的有效管理運用。

以北水處目前採用的 PLC 可程式控制器而言，大部分為艾默生(Emerson)公司 RX3i 系列，該公司產品 RX3i CPL410 控制器(如圖 4)內建雙作業系統具有協同處理引擎機制(Coprocessor Engine)兼具工業控制器與電腦功能。提供 Linux 系統的 PACEdge 開發平台，可使用雲端或邊緣計算進行安全通訊與分析，支援多種程式語言及多種通訊協定，簡化 IIoT 應用程序開發和管理，更利於工業互聯網連接應用。

圖 4　Emerson 邊緣運算(Edge)控制器 Rx3i IC695CPL410

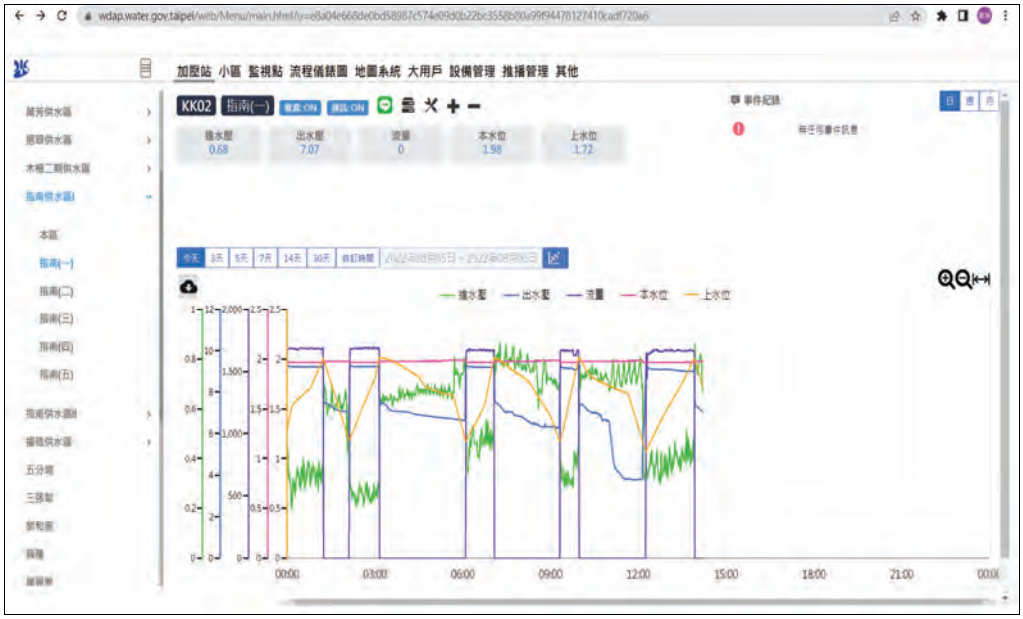


圖 5　水資源共通平台

四、北水處新設水資源共通平台

北水處於 110 年 5 月與財團法人資訊工業策進會合作完成水資源共通平台(如圖 5)，配合現有 PLC 設備，採用 CPL410 控制器作為物聯網匯集器，而共通平台連接供水科加壓股各分區監控站之 CPL410、防漏股小區 AMR 接收主機、大用戶 AMR 主機、無線監控點主機或經由監控中心裝設之 CPL410 連接至淨水科及水質科相關科室之 PLC，以 HTTP、MQTT、AMQP、ODBC/SQL 等協定，取回所需要的運轉資料，由共通平台感測資料處理模組進行場站類型、數據屬性、時間特性判斷，傳遞到資料儲存模組儲存該紀錄，而成為一個水資源資訊共享的平台，並作為後續的 IT 管理應用。目前共通平台計有：加壓站、小區計量、監視點、流程儀表圖、大用戶計量、設備管理、推播管理、帳號管理等方面之應用，詳如圖 5。

水資源共通平台為開發提供北水處各相關單位利用分享資訊的平台，功能項目依各單位需求而擴充，項目內容較為繁多，本篇將以加壓站及後續警報處理部分接續說明。以加壓站管理而言，經由各項偵測設備取得的數據繁多，但對工程師而言，重要數據如：進水壓、出水壓、出水流量、本水池水位、上水池水位、通訊及電力狀況等資料，可做為場站發生異常狀況快速判定的依據，經由有經驗的工程師讀取數據後，即可進行狀況判定及後續處理。以北水處轄管的指南(一)配水池加壓站為例，位於台北市文山區指南路三段 53 號對面三角公園內，站內有 50Hp 抽水機 2 台，以水池加壓方式供水至指南(二)配水池加壓站，日常操作模式為上水池低水位啟動抽水機供水，上水池滿水時停止運轉，管區工程師擇定出水流量、出水壓、進水壓、本水池水位、上水池水位、能耗、通訊及電力狀況等資料為該站觀察參考之項目。而共通平台經由分區監控站之 CPL410 讀取該站相關項目之即時值，歷史資料趨勢圖是經由監控中心資料庫抓取，並以 HTTPS 頁面呈現(如圖 5)。

由頁面上方 line 符號點選後可進入該加壓站之推播管理頁面(如圖 6)，頁面右側推播設定可知道管理工程師開啟出水流量、出水壓、本水池水位、通訊及電力狀況等 5 項資料為推播啟動 ON 的狀態，相關資料均可作為異常狀況的判定，如：出水壓偏低及出水流量大增可能是加壓站至上水池之管線破管大量溢流；出水壓偏高有可能是上水池水位計故障加壓站持續出水造成滿水位，導致進水遙控浮球閥關閉出水壓力上升；本水池水位過高可能是進水遙控浮球閥故障未能止水，造成水位過高甚至溢流等等。相關上下限警報值可於編輯設定頁面進行相關數值調整設定。

水資源共通平台新加入人員，可由系統管理員在帳號管理選項內進行新增帳號、個資輸入及使用權限設定(如圖 7)，使用者相關權限決定各個子功能的建立、讀取、編輯與刪除之操作行為。新增帳號完成後即可登入平台進行個人密碼開通作業(如圖 8)。系統管理員也可以在推播群組管理內依需求將工程師進行任務編組，並以群組方式接收推播(如圖 9)。

圖 6　指南(一)配水池加壓站推播管理項目

圖 7　水資源共通平台新增帳號頁面

圖 8　個人密碼開通頁面

圖 9　推播群組設定頁面

五、LINE推播在警報系統的導入應用

依台灣社交平台使用人數而言，LINE是目前使用人數最高的社交軟體，以其方便及普及性考量，將其作為監控系統異常狀況發生時通知工程師的工具，可說是最快及有效的方式，綜觀其優點如下：

1.社交平台使用者最為普及眾多。

2.操作介面熟悉簡單。

3.訊息成本約 0.2 元，費用較低。

4.所傳遞警報訊息可引導使用者進行下一步連結。

LINE Messaging API 為開發者與 LINE 用戶之間建立雙向溝通的應用程式介面，以傳遞方式可區分 push message (推送訊息；指 LINE 機器人可在任何時間點對用戶主動傳送訊息，需要列入計價)及 reply message(回覆訊息；指 LINE 機器人針對 LINE 用戶傳來的訊息進行自動回覆，不屬於計價訊息)，而水資源共通平台的警報推播屬於主動傳送訊息是需要計價的。目前 LINE 訊息計價方案主要分為輕、中、高用量等 3 種不同收費(如表 1)。

工程師在加入水資源共同平台後，若需要接收警報推播，則需進行 LINE「智慧水資源推播系統」官方帳號綁定，在進入頁面左上方下拉式表單進入個人設定，選取 LINE 推播綁定並按下綁定 LINE 的按鈕，即會出現綁定官方帳號的 QR Code 及 6 位數輸入號碼，在掃描 QR Code 加入為好友，並登錄 6 位數註冊密碼，會回傳註冊成功，並成為正式的推播使用者(詳圖 10~圖 12)。

六、LINE警報推播模組的運作說明

水資源共同平台警報推播的資料庫區分警報值設定及接收群組設定 2 部分，分別由轄管工程師及系統管理員在平台頁面進行相關設定，經資料存取模組放入伺服器檔案系統及資料庫內。而各廠站相關的運轉資訊即時值由 CPL410 定時接收讀取，除配合頁面即時值顯示外，讀取的即時值會與資料庫的設定值進行資料比對，當條件成立時將場站的相關參數及推播對象帶入經由警報推播模組，而成為一個 Flex message 的警報通知，再傳給 line server 丟出警報信號給工程師(如圖 14)。

表 1　LINE 推播訊息方案費用標準　(摘錄於 LINE 官方網站)

	低用量	中用量	高用量
固定月費	免費	800元	4,000元
免費訊息則數	500則	4,000則	25,000則
加購訊息費用	不可	0.2元	0.15元~

※未稅價格

圖 10　掃描 QR Code

圖 11　官方帳號加入好友

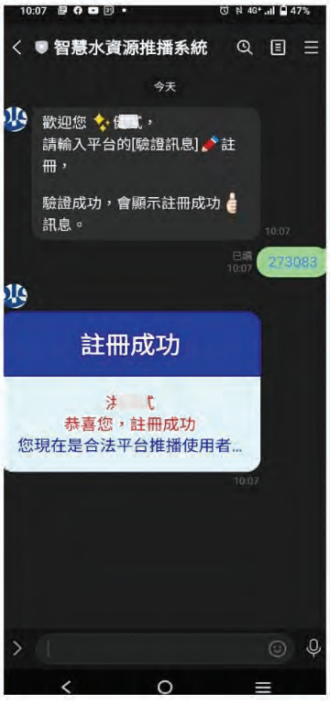


圖 12　輸入加入號碼完成註冊

警報推播在平台成立的條件需滿足下列 4 項條件：

(1)偵測運轉即時值符合警報設定條件的數值或狀況：即時值種類區分 2 類，一為超過或低於設定數值，如：水位、壓力、流量等偵測數值。第二種為狀態條件符合，如：通訊及電力狀況在 OFF 時其條件成立。

(2)滿足設定時間條件：當偵測的即時值達到設定條件時開始計時，計時時間將依工程師所設定時間，目前平台有 1、3、5、10、15、20、30 分鐘等設定選項，計時期間若偵測即時值已變為正常數值(即不符合警報設定)時，將停止計時並待下次條件符合條件時重新計時，當設定時間內所偵測的即時值均處於符合警報設定值條件時，則滿足時間設定條件。時間設定於平台內可二階段時間設定，分別通知不同的相關群組人員。

(3)接收警報群組的設定：工程師在加入平台及綁定 LINE 推播官方帳號後，系統管理員會依工程師或委託管理人員的管理權責，區分為各區及各階段的警報接收群組，當相關人員被設定於該接收群組時，於各項條件成立時將成為接收警報推播的對象。

(4)推播功能的開啟：場站各項讀取到的即時值對轄管工程師未必需全將其設定為警報推播項目，工程師可依需求開啟或關閉其推播功能，當推播功能開啟時才會條件成立進行推播。

當上述 4 項條件在伺服器內經過資料處理及運算模組計算滿足條件後，則進入警報推播模組開始下一步驟的作業。警報推播運

作流程詳如圖 13。

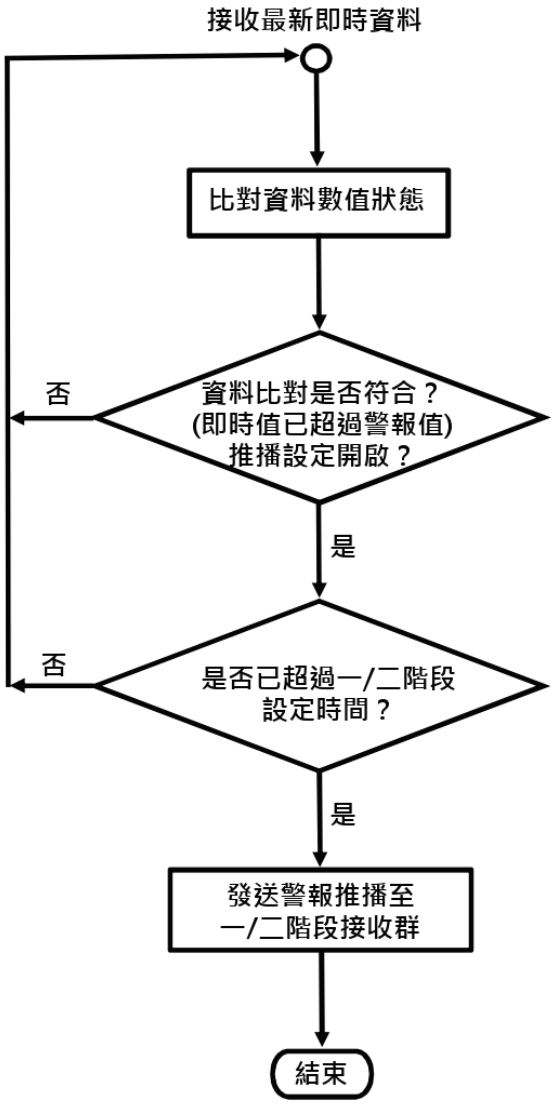


圖 13　推播流程圖

LINE Messaging API 是一個能因應客戶需求提供「互動式訊息」的服務，開發人員可以運用 Messaging API 製作出不同的訊息發送與訊息回應功能，可以更彈性的決定訊息發送與回應的對象、時機點、訊息格式等，來滿足各行各業在不同場景下的「訊息互動」需求。Messaging API 也有多種訊息格式，如有：Template Message 模板訊息、Flex Message 彈性訊息、Quick reply 快速回覆、LIFF（LINE Front-end Framework）網頁、Flexible rich menu API 靈活圖文選單等種類，而北水處推播訊息格式因考量主要目的為訊息傳遞，採用自由度最高的 Flex Message 彈性訊息，利用 LINE 本身所提供的 Developer 或 Flex Message Simulator 等進行訊息格式編輯，組成一個 JSON 檔案格式如圖 15，伺服器在讀取場站即時值後經過資料處理及運算模組後，當警報推播條件成立時，將相關場站資訊帶入 text 內，以 multicast 方式將訊息傳送群組內指定的接收對象，完成的 JSON 檔案採用超文本傳輸協定 https 作為溝通的方式將傳送給 LINE bot 發送給相關接收人員，接收對象會在智慧水資源推播系統的官方帳號內接收到警報訊息(圖 16)，即完成全部的警報推播傳送作業，管理人員即可進行後續異常狀況處理。

七、結語：

(一)北水處加壓站監控系統在 LINE Message 警報推播導入應用後，場站發生異常狀況時，在第一時間即可利用 LINE Message 傳送給相關管理人員並立即進行後續處理，可大幅減少異常反應時間，增加應變處理效率。

(二)LINE 通訊軟體使用普及性高，入手輕鬆，訊息傳遞可依規劃指定對象分眾推播，接收對象明確。訊息收費相對於電信公司簡訊而言，收費方案便宜，每則約 0.2 元，並可依每月推播數量選擇適用收費方案。

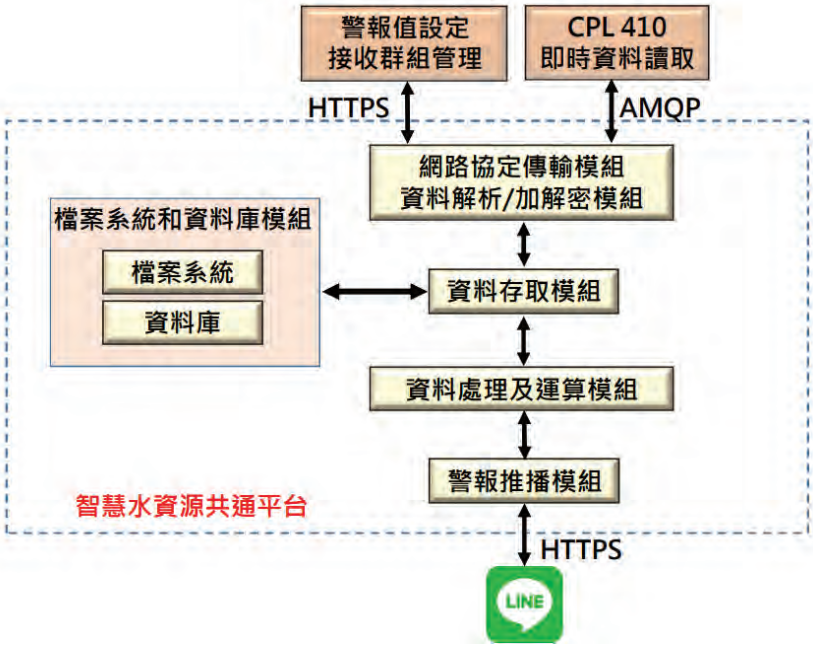


圖 14　LINE 推播平台軟體架構圖

```
url -v -X POST https://api.line.me/v2/bot/message/multicast \
H 'Content-Type: application/json' \
H 'Authorization: Bearer {channel access token}' \
d '{
    "to": ["U4af4980629...","U0c229f96c4..."],
    "messages":[
        {
            "type": "flex",
            " altText": "Flex Message",
            "contents": {
            "type": "bubble",
            "size": "mega",
            "header": {
              "type": "box",
              "layout": "vertical",
              "contents": [
                {
                  "type": "box",
                  "layout": "vertical",
                  "contents": [
                    {
                      "type": "text",
                      "text": "異常警報(加壓站)",
                      "color": "#ffffff",
                      "size": "xl",
                      "flex": 2,
                      "weight": "bold",
                      "align": "center"
                    }
                  ]
                }
              ],
              "paddingAll": "10px",
              "backgroundColor": "#ff5551",
              "spacing": "md",
              "height": "50px",
              "paddingTop": "10px"
            },
            "body": {
              "type": "box",
              "layout": "vertical",
              "contents": [
                {
                  "type": "text",
                  "text": "觀星台北",
                  "color": "#990000",
                  "size": "xl",
                  "align": "center",
                  "weight": "bold"
                },
                {
```

圖 15　警報推播 JSON 檔案格式(程式冗長僅擷取部分程式)

圖 16　智慧水資源推播之警報訊息

參考文獻

1.黃士嘉、林敬傑，博碩文化股份有限公司，LINE 程式設計與AI聊天機械人實作開發，2019年7月。

2.LINE Developers 官方網頁，https://developers.line.biz/en/docs/

作者簡介

李家裕先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊設計科機電股股長

專長：自來水機電工程設計及監造

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。

多點相關儀應用於台灣管段偵漏探討

文/林聖桓、謝張浩、郭家憲、蘇怡昌

摘要

台水公司為推動降低漏水率工作，每年依各供水系統無收益水量訂定隔年度之管線檢漏計畫，截至 110 年底，台水公司總管線長度已達約 66,000 公里，經評估專業檢漏人力需求至少為 132 人以上，惟台水公司受限於財務狀況，現有檢漏人力不足，且近年適逢大量退休潮，專業檢漏人員青黃不接，因此如何運用科技檢漏儀器，提升既有人力之檢漏能力，並快速、有效率地找回漏水量，已成為台水公司近年來積極解決的課題之一。

國外相關儀及噪音記錄器等多是以佈置制水閥或消閥栓體為主，惟台灣因政府政策，常遇制水閥下地情形，且台灣管種以 PVCP(塑膠管材)較多，本篇依用戶水表保存較完整且於重要供水區域皆有用戶之特性，採用將科技儀器佈置於用戶水表進行偵測配水管漏水，探討佈置於用戶水表偵測配水幹管漏水之可行性及可偵測距離。

關鍵字：多點相關儀、專業檢漏人員

一、前言

(一)多點相關儀原理

當供水管道存在漏水時，在漏口處會產生漏水聲波，並沿管道向遠方傳播，當把探頭吸到或放在管道或管道連線件的不同位置時，探頭自動記錄漏水聲波信號，然後下載到計算機，相關軟體可計算出由漏口產生的漏水聲波傳播到不同探頭的時間差 Td，只要給定兩個探頭之間管道的實際長度 L 和聲波在該管道的傳播速度 (簡稱聲速) V，漏水點的位置 Lx 就可按下式計算出來。

(二)計畫目的

目前國外主流之檢漏儀器多採聲學原理，布設於人、手孔內之制水閥，直接與自來水管線接觸，以蒐集、分析管線漏水音，惟台灣配合路平政策，須將部分孔蓋下地（台水公司為制水閥盒），為國際間少有之特殊規定，以致檢漏儀器佈置密度相對國外偏低，亦即儀器單點檢測長度經常超過原廠建議之最高檢測長度限制，影響漏水偵測準確性，本次嘗試利用用戶水表進行相關儀漏水音收集並定位漏水點。

(三)地點挑選

本次測試路段挑選以管線長度 50m/戶以下為原則，經評估後於東勢區豐勢路土牛小區及草屯鎮民生三街如圖 1 上進行測試。

圖 1　土牛小區儀器測試地點

二、東勢區測試過程及結果

本次測試管線為 PVCP 塑膠管種，管線口徑為 150mm，一次以 8 顆探頭佈點將感測器安裝置於用戶水表及制水閥進行檢測(詳表 1)，一開始需調閱圖資針對既有水表及管徑管種進行初步了解，如圖 2。

表 1　圖 6 中各點安裝類型

探頭編號	安裝設備名稱
2	用戶水表
3	用戶水表
4	用戶水表
5	制水閥
6	用戶水表
7	用戶水表
8	制水閥

圖 2　東勢管線圖資

再來對各用戶表進行現場勘查及放樣測距，了解各用戶水表現場是否存在並同時測得管線長度，安裝感知器如圖 3、圖 4 及圖 5。

圖 3　測距量測

圖 4　感測器安裝

圖 5　以吸附用戶水表進行量測

本案於佈設完成後，多點相關儀漏水點定位於 5 號(制水閥)及 6 號(用戶表)探頭區外非區內，本公司人員針對探頭 5 及 6 之間區域外進行漏水複測探勘，於 5 號及 7 號探頭之間，勘查時發現有漏水聲，惟多點 5 號(制水閥)和 7 號探頭(用戶表)無反應，當時 5 號和 7 號測距為 40.4m，水壓約 1.1kg/cm^2，且 5 號(制水閥)及 8 號探頭(制水閥)之間也無反應，當時 5 號和 8 號測距為 54.4m 如圖 6。

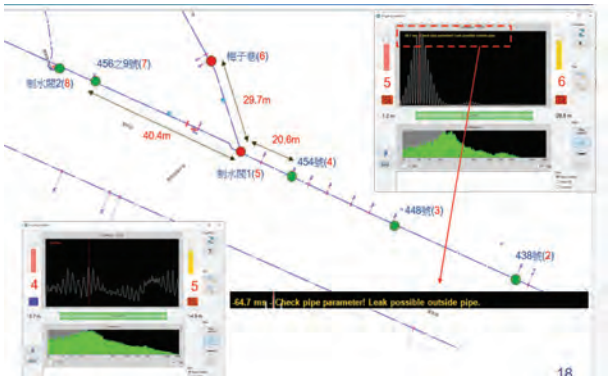


圖 6　多點相關儀偵測結果

因該路段屬於人行道地磚，因地磚底部結構屬於混凝土回填材料，導致該路段漏水音引音發散無法確認漏水位置，檢漏人員於 5 號及 7 號探頭之間制水閥再行放置感測器將測距縮短至 25.5m 如圖 7，此次佈置結果，多點相關儀出現明顯漏水訊號，漏水點距離

圖 7 之 8 號探頭 6.8m 位置。

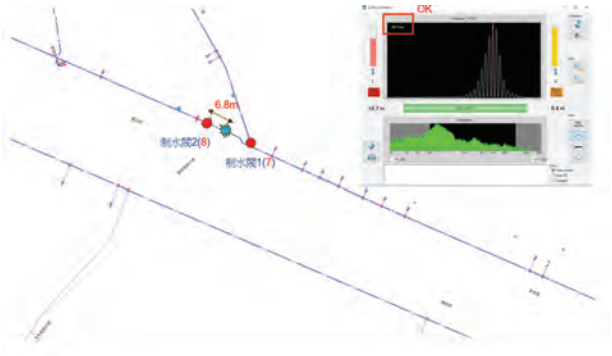


圖 7　多點相關儀偵測結果

經現場開挖，距離地面開挖深度 12cm 左右先是挖出一條 20mm 以塑膠球閥關閉之用戶外線，研判該用戶外線已經以球閥關閉，非相關儀偵測之漏水點，故繼續開挖作業。

圖 8　20mm 球閥

挖至管頂後無管線漏水跡象如圖 9

圖 9　管頂照

經測漏人員以聽音棒管身聽音後，確認漏水點自圖 7 探頭 8 方向傳來，並再次以相關儀確認漏水聲源，感測器夾分水鞍及前後制水閥如圖 10。

圖 10　再次裝設感測器

經確認於距離圖 7 之探頭 8 方向 4.4m 處並繼續向探頭 8 方向進行開挖作業如圖 11。

圖 11　現場開挖

後於原開挖點位距離約 2 米處出現漏水點如圖 12 測試結果詳如表 2。

圖 12　東勢漏水點

表 2　土牛偵測距離及開挖誤差

探頭夾放位置	制水閥	制水閥	用戶水表	制水閥	制水閥	制水閥
	A	B	A	B	A	B
測距(m)	54.4		40.4		25.5	
水壓(kg/cm^2)	1.1		1.1		1.1	
多點相關儀	無反應		無反應		有	
判定漏水點距離A(m)					6.9	
實力漏水點距離(m)					4.4	
誤差(m)					2.5	

三、南投縣草屯鎮民生三街用戶水表測試結果

另於草屯鎮民生三街 14 巷內，以多點相關儀 3 顆探頭全佈設於水表，分別佈於南投縣草屯鎮民生三街 14 巷 35 號，南投縣草屯鎮民生三街 14 巷 34 號，南投縣草屯鎮民生三街 14 巷 45 號，外線為 25mmPVCP 管，配水管為 80mmPVCP，經本次量測結果如表 3。

表 3　多點相關儀檢測結果

探頭夾放位置	35號	34號	34號	45號	35號	45號
	A	B	B	C	A	C
測距(m)	30.7		23.3		54	
水壓(kg/cm^2)	1.7		1.7		1.7	
多點相關儀	有		無反應		有	
判定漏水點距離A(m)	15.6		-		4.6	
實力漏水點距離(m)	16.6		-		16.6	
誤差(m)	1		-		12	

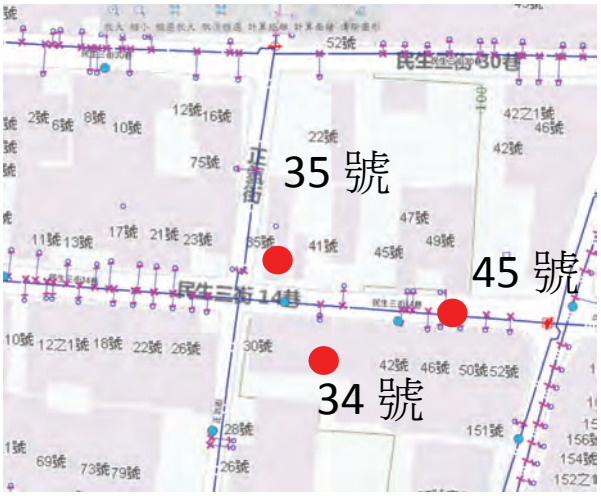


圖 13　多點感測器佈設示意圖

圖 14　感測器安裝

圖 15　南投漏水點

本次草屯鎮於用戶表佈設量測，於測距 30.7m 及測距 54m 皆測得疑似漏水點，惟經開挖後確認為距離 A 點 16.6m 處 25mm 用戶外線斷裂漏水如圖 15。

經檢討其中測距 30.7m 測得之漏水點誤差為 1m，較測距 54m 測得漏水點誤差 12m 小。

四、檢討與分析

本次東勢區案例，水壓為 1.1kg/cm^2，多點相關儀檢測由佈設於制水閥兩端檢測長度 54.4m，逐漸縮小至 25.5m 偵測到漏水訊號，由此次檢測結果可發現，雖然安裝於制水閥體本次 150mmPVCP 塑膠管漏水點傳遞距離大約落在 12.75m，以過往經驗 13mmPVCP 塑膠管傳遞約 29~32m，隨口徑放大，傳遞距離縮短，與過往經驗相同。

另南投縣案例，測試 80mmPVCP 管及 25mmPVCP 合併之複合管線，從表 1 可知，本次小口徑管線檢測，於測距 30.7m 及測距 54m 皆測得疑似漏水點，惟測距 54m 雖有偵測漏水，儀器判讀之漏水點與實際偏差極大，測距 30.7m 則較為準確，測距 54m 一半約 27m，與過往經驗傳遞距離相關，惟測距拉長於本次測試精準度較低。

五、結論

經分析本次案例、於台灣環境使用多點相關儀偵測 PVCP 管材漏水，制水閥距離如超出約 50 米以上，檢測較為不易，另多點相關儀可於佈設點於用水水表偵測漏水，惟檢測距離 PVCP 管應落在約 30m 上下為佳。另都會區各用戶表距離大約落在 25 至 30m，以漏水點傳遞兩端大約傳遞距離為 12.5 至 15m，倘多點相關儀佈設於用戶水表用以偵測 150mm~200mm 管線，以本次 150mm 管線漏水音傳導距離經驗，應屬可偵測範圍內，故於水壓狀況條件佳情況下，應可應用於佈設用戶水表偵測配水管漏水。

作者簡介

林聖桓先生

現職：自來水公司總管理處漏水防治處工程師

專長：分區計量管網、主動漏水控制

謝張浩先生

現職：自來水公司總管理處漏水防治處處長

專長：漏水防治業務

郭家憲先生

現職：自來水公司總管理處漏水防治處副處長

專長：漏水防治業務

蘇怡昌先生

現職：自來水公司總管理處漏水防治處檢修組組長

專長：漏水防治業務

導入資訊系統推動工程管理電子化運行成果－以台水公司為例

文/蔣承廷、丁上竣、王孝宇、張光翹

摘要

為擴大整合內部其他部門系統資源及精進系統功能，因此台水公司規劃改良行之多年工程管理系統，重新開發二代工程管理資訊系統。

藉由相關單位訪談與需求分析後建立工程管理系統作業標準化流程，並規劃將系統建構為線上 NWCals 及單機 NPCals 之多層式運作架構，並於單機系統整合 PCCES 產製之相關 XML 檔案進行加值應用。將複雜之工務行政作業利用系統進行支援，另於業務流程中透過跨系統資料交換，整合其他相關作業資訊進行彙整應用。因應淨零政策推動，亦導入計算碳排放量功能，加速掌握總體碳排數據能力，提供後續減碳決策之參考。

系統營運配合資安防護要求，修補可能之資安風險強化系統安全。並透過各類型實務訓練推動等，提高同仁學習效率，加速系統應用之普及率。

關鍵字：計畫管理、工程管理、資訊化、資訊安全、資料交換、淨零碳排、節能減碳

一、緣由

台灣自來水股份有限公司(以下簡稱台水公司)於民國 91 年開始即建置工程管理資訊系統，其主要功能係提供本公司轄下各機關工程相關人員針對重大工程計畫執行推動情形進行資訊化管理，並為配合行政院公共工程委員會推動之 PCCES 系統，整合工程預算書及電子標單統一交換格式，並建立施工綱要規範及編碼標準化應用，藉此強化工程界各項資源整合以順應國內資訊環境迅速發展之態勢。

台水公司推動工程管理資訊化行之多年，為因應公司內部其他部門系統資訊(包括會計、材料與財產等系統)介接資源整合之需求，以及面對資訊安全議題與中央政府持續節能減碳政策推動與系統功能持續精進之要求，故台水公司規劃開發第二代工程管理資訊系統(以下簡稱本系統)，同時投入強化工程資訊管理資訊系統服務能量提升之相關工作。[1]

二、國內其他機關單位電子化成果

經查國內已有許多公務機關及單位導入工程資訊化整合機制，列舉如下說明：

(一)行政院公共工程委員會，公共工程經費電腦估價系統(PCCES)

為強化辦理公共工程之經費估價其公開與透明化，由行政院公共工程委員會所建置之公共工程經費電腦估價系統(以下簡稱 PCCES)，免費提供國內公務機關及相關廠商下載使用，PCCES 系統可提供編制工程預算書、標單及契約書製作，節省預算編制的時間成本並減少錯誤的發生。

透過 PCCES 系統所規定之統一格式電

子檔傳遞，可免除各家所開發系統間資料不相容之狀況，達到預算資料的標準化及透明化，並透過系統流程化操作步驟，簡化預算編制人員之操作程序，且經由程式計算工程預算書金額亦可提高預算編製效率。

PCCES 系統亦結合政府採購法規定，並於其中所建立之公共工程施工綱要規範及綱要編碼原則，使系統操作過程均得以遵守相關規定辦理，落實相關法令原則。[2]

圖 1　PCCES 系統畫面

圖 2　公共工程標案管理系統畫面

(二)行政院公共工程委員會，公共工程標案管理系統

有鑑於辦理公共工程生命週期各作業階段可能有不同單位及承辦人員接手，且各機關單位或有自行開發之資訊系統做進度管控，辦理期間之資訊流通未有統一規格，容易造成資料重複填報及不符合相關法規之虞，故此工程會規劃建置公共工程標案管理系統(以下簡稱本系統)，以共通平台提供各機關單位進行工程管理作業。

透過人性化的操作介面，使各單位使用者均可快速上手使用，另因雲端資料庫所具備之共通性，可以達到隨時隨地調閱資料的目的，且共通資料的流動使得重複資料無須手動填報，而針對施工廠商及監造單位部分亦可達到資料完整紀載的成效，在品質查核節點上大大增加機關的掌握程度，避免規範外的弊端出現。

系統內包含計畫及標案相關資料，透過資料間的套疊可實現多元化資料查詢，舉凡如標案分布狀況、執行狀況、查核狀況、進度彙整及經費分布等各項統計，其中標案資料源頭係介接決標公告系統，國內標案資料均不會遺漏，達到全方位控管之效能。[3,4]

(三)內政部營建署，工程管理整合資訊系統

內政部營建署為整合工程資訊供後續加值應用，以工程管理生命週期所梳理之資訊流為主，由規劃、設計、採購、施工至營運階段均納入資訊系統進行整合，強化業務面之標準作業程序確實執行。

另參酌行政院公共工程委員會所推動之 G2G 及 B2G 業務，將各地方政務機關、工程相關廠商及工程會標案納入管理系統，提供使用者快速檢索工程管理資料之途徑。

透過系統內所建立之資訊化作業標準程序，可確保資料之正確性及一致性，並運用資料交換平台之資料串接機制，整合轄下各業務單位所獨立建置之管理系統及外部

單位工程管理系統之相關資訊，實現多元資料整合應用之目標。[5]

圖 3　工程管理整合系統畫面

(四)經濟部水利署，專案管考系統

經濟部水利署透過建置專案管考系統，整合轄下各單位所執行各項計畫之狀況，經由系統所建立之相關業務作業流程，協助使用者控管各項列管計畫之辦理進度，其中亦導入資料雙向傳輸機制及工程 GIS 圖資串聯，使系統得以發揮最大功效。

其中執行委辦計畫可透過系統所規劃之流程，完整蒐集過程資料進行績效分析及追蹤，並導入各級角色權責概念及稽催機制，優化作業效率及精進工作品質，達到系統開發使用之莫大效益。[6,7]

(五)臺北市政府水利工程，施工監造管理資訊系統

由北市府水利處所建置之施工監造管理資訊系統(以下簡稱本系統)，係採用多層式架構所開發之網路版系統，並運用集中式資料庫儲存模式，提供使用者於可上網環境即時更新及調閱系統相關資料之應用。

本系統功能模組涵蓋工程生命週期各階段作業，由開工、施工期間各項作業、工程督導、竣工、驗收及結案保固等各作業流程，配合機關端、監造端及施工廠商端等各類型系統使用者角色，增加透過系統進行整體工程執行過程監督控管之效益。[8]

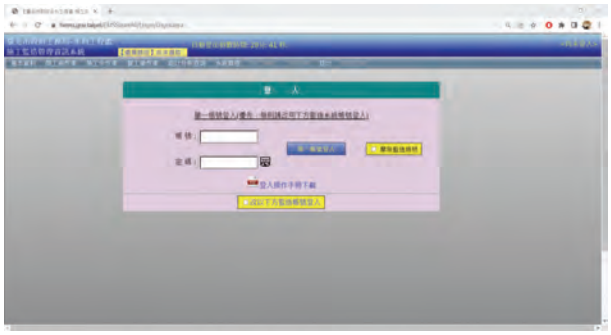


圖 4　北市府施工監造管理資訊系統畫面

三、現況需求分析

由於舊系統原有之系統架構與開發當時使用之相關程式語言與介面設計，面對資訊化作業陸續增加之功能需求已不敷使用；同時配合跨系統資料交換之要求亦已無法滿足資訊安全防護之相關規定。

其次，台水公司為能優化全國 13 個區管理處、3 個區工程處及轄下各單位之設計、發包、監造人員，針對辦理國內供水區域新增、擴建及改善工程、一般建築及設備需求、無自來水地區供水改善需求、專案及代辦工程等計畫類型，並依提案、核定、設計、發包、監造、結算及保固等工程全生命週期各階段資訊化管理能力，故必須改良舊有系統無法全方位因應不同計畫特性所產生之資料收集管理之差異化。

此外，面對全球各國以及我國預計達成「淨零碳排」之目標，如何有效評估各工程設計投入之人力、機具、材料、雜項之碳排放量估算，可透過數據呈現相關資訊，以便管理階層能有效掌控，以利逐年降低碳排量之相關改善措施推動。

四、解決方案

針對系統運作現況配合預期達成之管理優化之發展目標，台水公司與執行團隊擬定各項解決方案以及執行方式略如以下各點說明：

(一)從作業流程收集管考資料

為求降低第一線承辦同仁配合管考作業要求所需填報系統資料之工作負擔，因此配合工務行政作業相關規定所需產製之報表文件，規劃系統功能輸出產製，在作業表單文件完成同時，配合管考作業所需之相關資料亦同步產生，經承辦人員確認後經過傳輸程序即可上拋管理系統儲存，作為後續管考單位資料擷取之來源依據，即可減少資料重複填報之負擔，亦可維持資料之一致性。如此作法可有別於其他單位管理系統需配合管考規定，定期回報彙整資料之作業模式。

(二)與相關單位擬定作業準則

鑒於系統應協助第一線作業人員快速產出作業所需之相關工作表單，因此系統將行政作業之規則融入管控機制中，作為資料流程防呆以及資料運算標準之參考依據。因此對於系統訪談過程除業務執行單位之需求外，同步徵詢各級管考單位之規定，可將相關準則與邏輯融入系統作業程序中，除可減少人員作業產生錯誤外，亦可確保系統產出之表單資料等數據是可符合管考單位之要求，加速工務行政程序之推動。

針對工程碳排量之數據計算規則，亦即配合管理單位所擬定之碳排係數存入系統規則表，工程人員僅需完成預算編列作業後，後續相關數據計算與報表則可由系統依運算規則自動產製。

圖 5　與公司內相關單位進行需求訪談

(三)由全面改版提升系統功能

由於舊版系統採用之開發程式語言已非主流工具且前端系統與後台系統分別採用不同程式語言撰寫，因此除對於系統維護工作產生負擔外，同時並不易配合目前資訊安全防護要求與時俱進，故新系統透過全面重新改版與架構重建方式將前端系統、後台系統與資料交換相關系統之程式語言統一採用 C#語法，工具則採用微軟 Visual Studio 將開發環境維持一致，減輕後續維護負擔，對於未來系統持續擴充之需求亦建立良好基礎。同時新系統網站架構針對資訊安全常見之風險弱點於開發階段即針對程式碼撰寫方式進行必要之規範，因此亦較原有系統能具有更高之資訊安全防護效果。

(四)用資料交換進行資訊整合

配合新系統必須具備與本公司其他單位管理系統間資料互通交換之能力，因此對於跨系統資料交換工作遵循包括標準制定、技術規格與試行運作等程序完成後上線

運作。

在標準制定方面，由於本系統面對其他單位之系統規格與標準各不相同，因此針對個別系統逐一擬定資料交換規格，針對資料統一採用 json 格式進行交換。其次在技術規格方面由於受限於本公司資訊安全規定，資料交換不得開放其他系統直接存取資料庫，因此均建立 web services 標準提供相關交換通道並擬定各系統分屬資料供應方或資料取得方以及率定資料交換頻率。最後則透過雙方交換系統利用實際資料配合作業流程進行試營運整合測試後以確認功能無誤。[9]

五、計畫執行成果

(一)資訊系統功能特色

1.工程管理系統作業流程標準化

因應使用單位要求可離線作業之需求，因此本案系統之運作架構於作業端採用單機程式(NPCals)與管理端採用線上 Web 化系統(NWCals)方式配置，系統間採用電子流程機制進行資料同步。盤點工程管理生命週期與各階段使用者操作情境，配合系統架構運作規劃，相關系統功能操作流程詳如圖所示。[9]

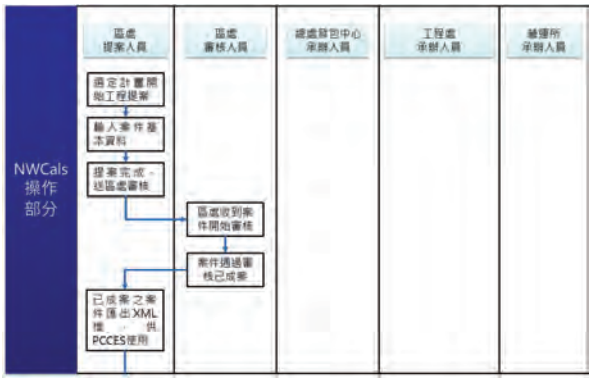


圖 6　NWCals 系統操作流程

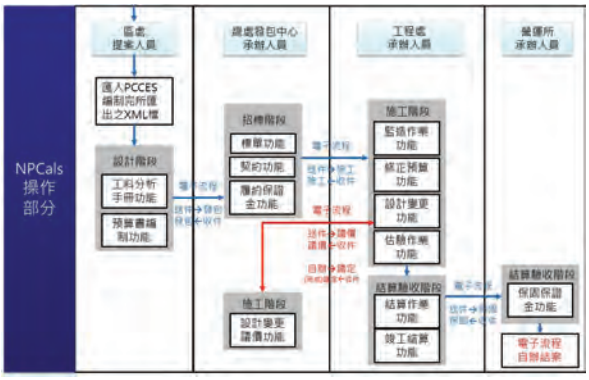


圖 7　NPCals 系統操作流程

2.計畫管理功能模組優化

於本系統工程計畫管理部分，有異於其他系統以一個計畫類型即獨立一個功能頁面，導致系統內存有多種內容填報頁面方式，本系統以同一功能頁面選擇不同計畫類型方式，動態調整使用者填報計畫內容欄位，除了降低使用者點選計畫類型出現失誤的機率外，亦可減少系統因功能頁面繁多所影響維護難度及運行效能，進而達成精實管理的成效；同時各類型計畫所產製之工程案件審核流程，亦與前述計畫管理功能模組採相同設計方式，可匯集多種審核流程於同一功能頁面下辦理，優化案件審核人員電子化處理程序。

圖 8　NWCals 計劃管理功能模組畫面

另針對各類型工程計畫經費控管部分，本系統規劃獨立計畫經費管理功能模

組，可依以建立之計畫項目由計畫管理員進行經費管制，其中各項科目於各年度所分配之經費、各單位可分配得金額等，均可透過此功能模組進行操作使用，而透過單機與線上程式間資料傳輸的電子流程功能，於工程預算經費資料上傳時增加限制條件控制，有效降低超額預算經費或誤植科目預算上傳的可能，並將工程經費資料即時更新於各類型計畫中，優化管考效能。

圖 9　NPCals 電子流程功能模組畫面

3.整合 PCCES 納入管理流程

為配合行政院公共工程委員會建置公共工程技術資料庫之政策推動，國內公共工程編列工程預算書、電子標單及契約書採用 PCCES 系統，因此本系統開發初期即規劃將以電子資料整合方式，將 PCCES 所編制產出之 XML 檔案直接匯入本系統做後續使用，除了可以免去重複編制相關經費所增加的作業負擔外，亦可藉由電子檔案的傳遞避免人為因素所導致的資料錯誤發生。因此本公司同仁僅需於 PCCES 系統內編制預算書、標單、契約完成後，將 PCCES 所產製之 XML 檔案匯入本系統中，相關資料即可延續作為辦理後續本公司工程案件各階段工務流程作業之資料來源。

圖 10　NPCals 系統匯入 PCCES 預算書內容

4.工程預算別管理機制

本系統針對各項工程預算書之經費規劃，將獨立設置工程經費設定功能模組供使用者操作，於該功能中可進行歷次預算別之預算資訊設定，如該預算之核定文號、申請與核定日期、是否為捐補助以及經費來源設定等(歷次預算別包含原預算、契約簽訂後修正預算、歷次修正預算、竣工結算等)，且除了預算資訊設定外，亦可針對所選定預算期別賦予科目支應年度及科目年度等科目明細設定功能，此功能模組結合前述計畫經費控管及電子流程上傳功能，即可有效率且精確管考各項工程預算金額與相應計畫間的經費額度。[10]

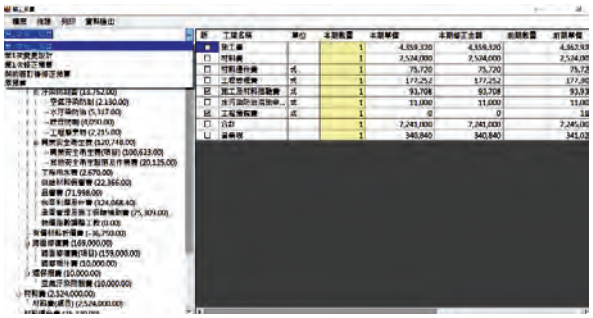


圖 11　於 NPCals 系統檢視各期別預算內容

5.建立跨系統資料交換

跨系統間的電子資料交換(Electronic Data Interchange，縮寫 EDI)亦屬本系統規劃重點項目，如前述整合 PCCES 系統電子檔即

可視為較單純的 EDI 實踐方式，而本系統透過 Web Services 元件彙整本公司內部材料、財產、會計及人事系統所提供之資訊服務，為工程管理增添資料更新的即時性。

本系統規劃初期即已納入單一登入(Single Sign-On，縮寫 SSO)機制，與本公司人事系統串接帳號驗證(Active Directory，縮寫 AD)，於系統上線後同仁僅需使用自己登入電腦使用的帳號密碼，即可於本系統內操作電子流程功能，將已建置完成的工程相關資料透過網路同步傳輸，實現工程資料即時線上控管及確保資訊留存。

其中於工程設計階段可透過備料功能，將預算書中所編列之材料項目對應本公司材料系統之物料項目，再將已進行對應之備料表透過資料交換功能傳輸至材料系統，續由物料管理人員完成備料作業，復於施工階段亦可辦理備料表更新及工程領退料等作業，迄工程結算驗收階段本系統亦建立相應功材料保管費及下腳料數量管理功能收集資料，藉由前述與本公司材料系統資料互通的機制，期能達到物料使用情形精準管理與有效掌控之目標。

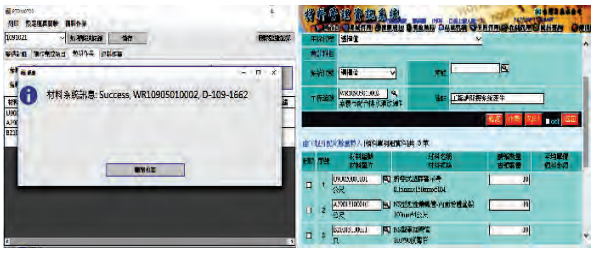


圖 12　NPCals 系統與材料系統辦理領料

另於本系統亦提供與本公司財產系統間建立資料交換機制，辦理汰換工程廢棄設備資料維護作業，依據設定條件查詢得財產系統所留存之設備資訊後，由使用者填列管線設備報廢欄位以及欲新增的管線設備欄位，即可傳出資料至財產系統辦理設備汰換作業，迄結算驗收階段完成個體財產成本分析作業後，即完成本工程案件財產入帳流程。

圖 13　NPCals 系統介接財產列表清單

6.契約金額調整及運算關聯設定

前述本系統可匯入 PCCES 所產製之契約書 XML 檔案進行後續階段作業，然原則上須已在 PCCES 系統上完成契約金額調整，而於本系統契約功能模組內，亦有建立契約金額調整之功能，提供系統使用者可於預算書 XML 檔案匯入且完成設定調整及發包工項後，逕行於契約功能模組內執行更迅速準確的契約總價調整，所計算得契約金額定得以符合設定為發包工項之取位設定，故於本契約功能模組可提供使用者依不同使用情境選擇契約金額調整之辦理方式。

另於契約功能模組內所調整完成之各工項契約金額，為因應後續施工階段辦理各期估驗作業及變更設計仍有間接費用計算之需求，因此於本系統內設計間接費用設定運算關聯功能，於此功能內所設定之間接費用百分比即可作為後續工務行政作業中相關費別之金額的計算依據。

圖 14　於 NPCals 系統進行運算關聯設定

7.估驗作業及變更設計運行機制

工程管理過程中勢必會有與廠商間的估驗作業及變更設計的需求，因此本系統也有建置相關功能模組相因應，針對估驗作業部分除了具備最基本之各期別估驗金額運算功能外，亦可針對物價指數調整款金額進行設定計算，所計算得物調款金額可由系統自動帶入估驗項目金額中，另有關各期估驗計價可由系統自動依據程式所設定之公式，自動計算保留款及顯示預付款金額，且針對該期估驗期別之核發金額亦可由使用者依實際使用需求調整取位精度，提供估驗作業更加彈性的辦理方式。

辦理管線工程類型計畫之特殊性質，可設定估驗項目之試水與否及試水數量，經由系統內建之計算公式簡化同仁計算估驗金額之作業時間，如若遇有工程案件部分驗收之情況，亦可於估驗作業功能模組中進行設定，並於後續工作階段之功能模組中先行辦理已驗收項目之相關保固記錄管理。[11]

變更設計雖然並非每件工程案件都必須要執行的作業，然而其背後所蘊含的運算邏輯是極其複雜的，本系統可將變更設計項目確切區分出單純的數量變更、新增工料項目、新增既有工料項目等類型，並賦予新(新增工料單價)、原(原契約工料單價)、回(已完成議定單價)等工料屬性，於辦理議定書作業時可配合工料項目之單價分析及分析量等資料屬性確實區分出相關議定金額及項目，並可與其他功能模組如估驗作業、修正預算及結算作業等進行資料相互使用，便於使用者辦理工程各階段期間時作業流程可有效整合。

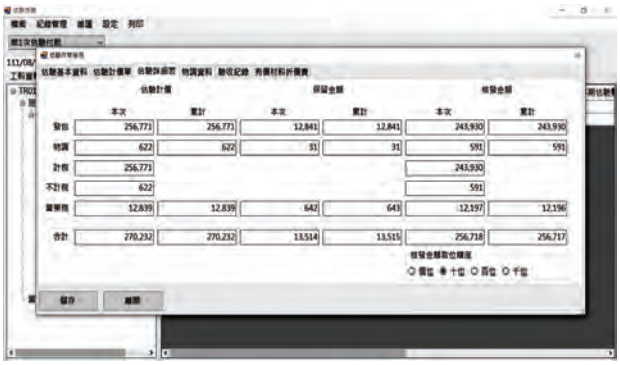


圖 15　於 NPCals 系統進行估驗設定

圖 16　於 NPCals 系統辦理變更設計議定

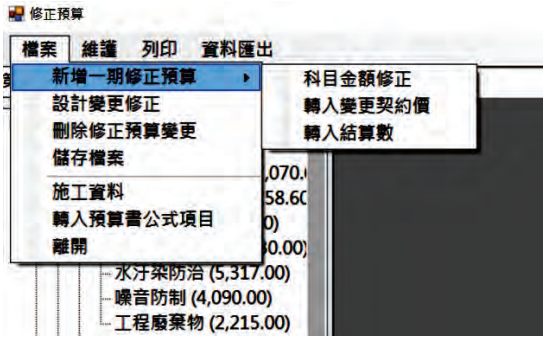


圖 17　修正預算功能模組可轉入資料類型

8.因應淨零政策計算碳排量化功能

此外因應國內環保意識升級，由各企業與機關所響應之 ESG 課題，亦於本系統建立工程預算書排碳量計算功能，提供本公司轄下各級單位於工程規劃設計初期即可透過數據化管理，掌握台水公司工程每年之碳排放量，以做為未來工程設計時可逐年降低排放量評估之參考依據。

圖 18　於 NPCals 系統進行碳排量計算

(二)資訊安全防護作為

有鑑於國內針對資通訊安全防護議題日漸重視，台水公司於資訊系統開發至正式上線營運後均有辦理資訊安全防護作為，本系統除了遵循台水公司資訊室所制定之資通系統防護規則外，亦有委託專業資安檢測廠商辦理網站弱點檢測及滲透測試。

網站弱點檢測採用 IBM AppScan Enterprise 10.X 工具執行作業，檢測過程所發現之風險均已配合資安顧問之建議完成修補作業，現行本系統屬低度風險等級(依據 MasterCard 國際組織標準五級定義準則)。

滲透測試則依據檢測單位所制定之方法流程執行作業，依序由作業系統、網站服務、應用程式及密碼破解等測試類型，搭配各類型下分之細項類別進行滲透檢測，藉由初測所發現之風險進行修補後再進行複測，確認本系統之風險程度已均屬低度，讓系統運作在資安風險可控制之範圍內。

(三)實務推動方法

系統轉換使用往往會遇到所謂的陣痛期，故台水公司於本系統實務推動方面，為減短同仁操作上的適應期，首先同仁操作舊系統逾數十年，其中所積累之實務資料量甚為可觀，因此彙整舊系統中同仁常用相關資料後透過資料庫程式進行批次匯入，使同仁無須花費大量時間重新建構資料，並配合於上線前辦理試營運作業，將本系統實務操作上可能出現狀況提前解決，減少全面上現實問題發生機會。

為使同仁在系統操作上能夠更快上手，於系統開發完成後安排教育訓練課程，提供全台各單位指派種子培訓人員參訓，每位參訓同仁於台水公司專業電腦教室採一人一機實務操作方式，快速上手本系統操作流程，訓後由種子培訓人員返回所屬單位協助其他同仁操作使用，加速系統實務上線之程序。

圖 19　辦理教育訓練課程

另製作操作教學影片，配合系統功能操作畫面及真人語音說明，供未參訓或學員課

後仍可透過教學影片自我學習，實務使用如遇有操作上的問題，可先行瀏覽相關主題影片後續行辦理系統操作。

六、結論與建議

本系統功能涵蓋工程全生命週期管理(計畫研提、規劃設計、招商發包、施工驗收、竣工結算與保固等)，涉及多單位之業務需求整合，系統推動過程，工作團隊需要解決的並非僅資訊技術問題，更多的時間在於解決行政程序應如何透過系統進行資訊流的收集以及作業程序的控管，彙整不同單位對於作業程序的認知差異(例如預算修正、設計變更、工程估驗等工務行政中屬複雜之作業程序)，並據以設計出符合系統標準化作業之流程；其次面對其他單位不同系統間的資料交換需求，如何溝通協調出一套符合雙方系統均能接受之交換規格亦是本系統在跨多元系統資料交換間之一大挑戰。

目前系統已上線運作執行，相信新增需求仍會有如舊系統推動過程般在使用中陸續產生，在新系統規劃統一使用業界大廠支持之開發工具與程式語言之系統架構下，應能迎刃而解。

對於本系統未來之展望建議可朝向幾個方向進行：

(一)針對目前提供離線作業之單機作業部分之系統功能改以全面 web 化。由於目前網路連線基礎環境均已成熟，若能將系統服務在資訊安全防護完備前題下開放外部網路連線，應可全面線上作業，除了資料收集更加即時外，使用者透過瀏覽器即可操作對於系統後續維運服務可更加便捷快速。例如工程碳排放量計算成果可即時收集取得加速數據統計彙整。

(二)擴大系統使用參與人員角色。目前系統功能主要開放工程承辦人員操作使用，對於工程管理資料收集來源亦包含監造廠商或施工廠商，因此例如工程估驗作業應該改良目前提供承包廠商填報 excel 檔案回收檔案後匯入系統之作業模式改採廠商線上填報估驗相關資料，並佐以承辦單位資料線上審查機制，提升工程估驗資料收集與金額運算作業效率。

(三)加強行動裝置支援外業應用。目前系統針對行動裝置提供之功能主要以查詢在建工程基本資料為主，然在行動裝置使用已如此普及之情形下，應可針對包括如監造紀錄、工程查核與施工通報等適合外業即時回報等作業提供行動化回報功能，加速作業時效也減少內容資料重製彙整之負擔。

(四)加強數據整合與預測應用。在推動多年之工程管理資訊化系統中所累計之工程案件已將近 34,000 件，資料量也已超過 1GB(不含實體檔案)，因此如何在所累積之大數據中將工程執行成果之績效可更加簡明扼要以戰情儀表之概念呈現，讓管理階層快速掌握與精準執行概況，透過資料加值讓數字說話發揮數據效益。此外，對於應可配合工程實務經驗運用歷史資料利用機器學習建立可供管理決策參考之預測模型，以提升決策品質降低風險。

參考文獻

1.「二代工程管理資訊系統改版建置暨資料庫轉換開發暨系統維護案」投標須知，台灣自來水股份有限公司，2017
2.經費電腦估價系統(PCCES)-公共工程技術資料庫，行政院公共工程委員會
3.公共工程標案管理系統簡介-臺北市場次，周壽榮，行政院公共工程委員會，2013
4.行政院公共工程委員會資訊業務發展概要,鄧民治，政府機關資訊通報第 323期，2014
5.內政部營建署工程管理資訊整合系統建置與推動，政府機關資訊通報第310期，內政部營建署，2013
6.經濟部水利署專案管考系統建置，高治中，經濟部水利署，2007
7.經濟部水利署委辦計畫資訊化管理，梁志雄，吳皇達，經濟部水利署，2014
8.監造管理資訊系統操作手冊，臺北市政府工務局水利工程處
9.「二代工程管理資訊系統改版建置暨資料庫轉換開發暨系統維護案」服務建議書，財團法人中國生產力中心，2017
10.「二代工程管理資訊系統改版建置暨資料庫轉換開發暨系統維護案」細部功能規範，台灣自來水股份有限公司，2017

作者簡介

蔣承廷先生

現職：台灣自來水公司工務處機電組工程員

專長：機電工程設計及考工

丁上竣先生

現職：財團法人中國生產力中心智慧產業服務組組員

專長：專案管理、資訊系統開發規劃、地理資訊系統資料分析

王孝宇先生

現職：財團法人中國生產力中心智慧產業服務組經理

專長：工程管理資訊平台規劃、道路挖掘管理系統規劃、道路養護管理系統規劃、系統資料庫、專案之分析與執行

張光翹先生

現職：台灣自來水公司工務處機電組組長

專長：機電工程專案管理、工程採購及履約、工程規劃設計

荷重元作為反沖洗力度量測之可行性評估

文/楊惠玲、吳志超、李冠廷、彭文彥

摘要

本研究利用荷重元加工製成之力度感測器，發展可用於偵測反沖洗強度電子化技術，藉由探討反沖洗強度與對應之反沖洗膨脹率關係，期待取代反沖洗膨脹率之量測，改善膨脹率測定的限制，提供最直接之濾池反沖洗效能警訊。

研究成果發現，力度感測器與膨脹率測定器於湖山淨水場單一石英砂濾料之檢測，其變化具線性關係，具有取代膨脹率測定器之潛力，除了可於池中任何點位施測外，更具有依需求擴增感測器數量，達同時於池中多點位量測之目標，應用價值高。

除此之外，力度感測器亦可同時可與本團隊先前研發的濾池反沖洗影像辨識技術聯合運用，發掘濾池真實問題，並針對問題點位調整濾池反沖洗操作，延長濾池壽命。

關鍵字：荷重元、力度感測、膨脹率

一、前言

目前台灣地區淨水場在過濾池過濾操作控制方面，多以定濾率控制為主，並在達所設定之水頭損失或設定濾程時進行反沖洗，當濾池反沖洗效能差，多數直接反應在頻繁的反沖洗上，而當反沖洗頻率增加，將直接反應在清水的耗用上，為提供濾池反沖洗效能不佳時反沖洗操作的調整，國內外濾池操作維護指南裡建議至少每季進行一次膨脹率之測定(中華民國自來水協會，2008)[1]。

傳統濾池之效能評估作業中膨脹率測定，能夠幫助操作者了解反沖洗力度是否足夠，但由於膨脹率測定有需架設於池邊之限制，且因設備架設不便，單一濾池反沖洗多僅施測 1~2 個點位，亦不易將氣、水洗分開量測。池邊普遍為反沖洗力度較小之區域，當測出膨脹率不足，其反應出之資訊為濾池邊緣處呈現反沖洗力度不足狀態，無法提供濾池大部分面積之力度資訊。

膨脹率低下反應反洗力度不足的問題，一般有數種成因，其一為濾料層中未洗淨的膠羽累積，產生濾砂與泥球結塊等，阻礙反沖洗氣泡與水流導致力度下降，此情況一般可在氣水洗時觀察到不均勻的區塊；其二為池底集水管阻塞使得反洗強度減弱，此時則易呈現在較大面積的反洗不均，如阿卡諾濾池的左、右二側反洗不均狀況，當濾池中存在反沖洗不均勻，部份區域反沖洗力度不足，氣流與水流將集中往壓損較小處偏移，便伴隨部分區域反沖洗力度過大；其三，當濾池顯示全面力度不足，則可能導因於反洗設備需進行檢修。反洗力度不足濾砂無法相互碰撞刷洗，膠羽不易脫落，力度過大，帶動濾砂距離過大，無法有效接觸碰撞使附著膠羽脫落。長期以來影響濾料清潔、濾後水水質不佳、濾程縮短、泥球形成等問題。

然而，即使定期檢測反沖洗膨脹率，單

點或二點膨脹率之量測仍不足以協助判斷上述各種狀況，因此為了更全面了解反洗力度之分布，本研究嘗試使用荷重元製作力度感測模組進行測量，荷重元本身具有精度高、價格便宜、重量較輕等優點，相較於傳統膨脹率測定器，荷重元可依需求擺放測量位置，反應反沖洗時力度分布，並協助判斷造成反洗不均的確切原因。

二、研究方法

本研究主要為透過荷重元作為力度感測器，偵測反沖洗強度，並進一步評估偵測反沖洗力度、並與傳統膨脹率作比較，進一步討論力度及目視濾池反洗狀況關聯性。

(一)試驗水場

本研究以鯉魚潭給水廠及湖山淨水場之濾池進行試驗，評估濾池形式為阿卡諾式濾池，濾池相關資料如表 1 所示，其中鯉魚潭場屬於雙層濾料，包含無煙煤及石英砂，湖山場則為單層石英砂濾料。另鯉魚潭反沖洗操作不包含氣水洗階段，總反洗時間為 19 分鐘，而湖山之反沖洗包含氣洗、氣水洗及水洗，總反沖洗時間為 12 分鐘。二場之反沖洗氣洗壓力與水洗泵頻率差異不大。

(二)力度感測器裝置與設置方法

本研究所使用之力度感測器依偵測敏感度區分為氣洗感測器(額定載荷 3 kg；準確度 1 g)與水洗感測器(額定載荷 0.6 kg；準確度 0.12 g)，為增加受力面積，另裝設受力圓盤，氣洗感測器以 20 cm 盤面即可有足夠敏感之力度表現；水洗則需 30 cm 方具有足夠之力度表現，相關裝置如圖 1 所示。圖 2 為荷重元設置與數據收集裝置，包含荷重元之對應錶頭，並利用筆記型電腦於現場連續收集力度數據。

表 1　鯉魚潭、湖山淨水場之濾池背景資料

水場	鯉魚潭	湖山
形式	阿卡諾式	阿卡諾式
濾料種類/厚度/粒徑	無煙煤/40cm/0.9±0.1mm 石英砂/25cm/0.45±0.05mm	石英砂/100cm/0.85±0.05mm
反沖洗啟動機制	濾程 32 小時或達設定水頭	濾程 50 小時或達設定水頭
氣洗時間	8 分鐘	5 分鐘
氣水洗時間	無	3 分鐘
水洗時間	11 分鐘	4 分鐘
反沖洗空氣壓力(kg)	0.3	0.16(1 台) 0.27(2 台)
反洗水泵頻率(Hz)	60Hz	北場:60Hz 南場:55Hz

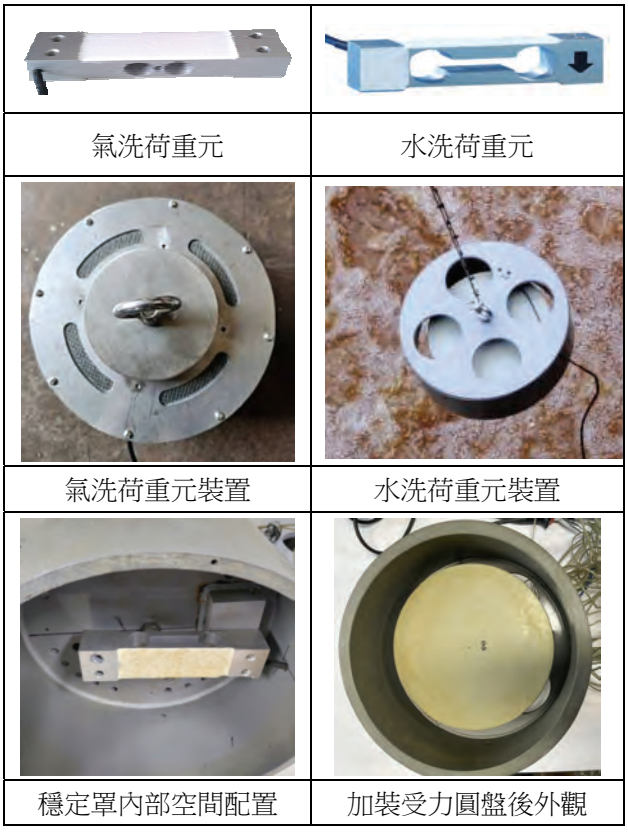


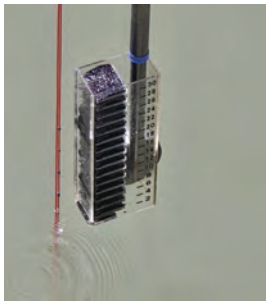
圖 1　荷重元外觀與內部配置

圖 2　荷重元設置與數據收集裝置

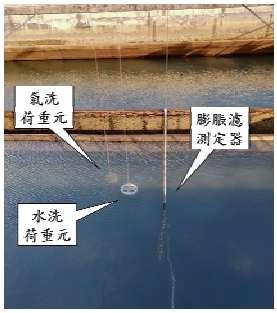
為確認力度感測器數據之較適擺放深度，本團隊比較荷重元放置在平行水面、水面下 25 cm、水面下 50 cm 中，發現以水面下 50 cm 有最佳的穩定度與力度表現，本研究之試驗遂皆將荷重元置於水面下 50 cm 進行。

(三)傳統膨脹率測定器之對照試驗

為了解反洗力度與膨脹率之相關性，利用階梯式膨脹率測定器與力度感測器裝置同時放置於濾池中，並於反沖洗時同步進行測試，圖 3 為氣、水洗力度感測器與膨脹率測定器於濾池中之設置圖。



階梯式膨脹率測定器



測定器相關位置

圖 3　荷重元與膨脹率測定器於濾池之設置

(四)荷重元於實場反沖洗力度檢測應用試驗

評估力度感測器於實場應用可行性，遂針對鯉魚潭、湖山淨水場進行力度測量，結合實場影像判別反洗狀況，解析試驗濾池反沖洗時之表現，及其可能存在之問題。

圖 4 與圖 5 分別為氣洗雨水洗力度感測器實際連續監測結果範例，為方便進行比較與進一步討論，各濾池數據取平均力度進行後續討論。

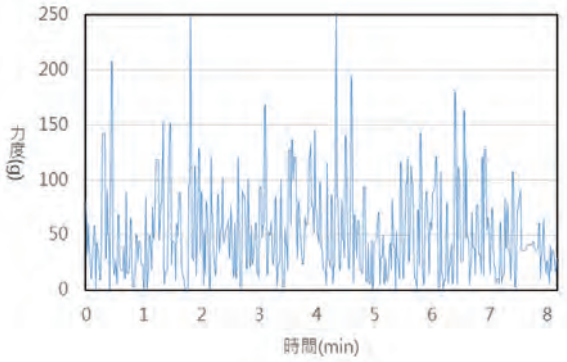


圖 4　氣洗力度感測結果範例

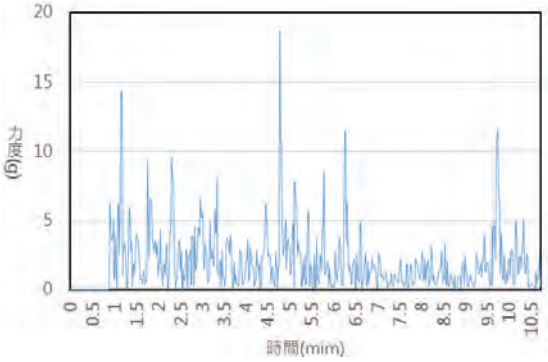


圖 5　水洗力度感測結果範例

三、結果與討論

(一)傳統膨脹率測定器之對照試驗

本研究在鯉魚潭與湖山淨水場劑型試驗，首先探討傳統膨脹率與荷重元感測器之檢測是否存在相關性。

針對濾池反沖洗膨脹率之要求，美國自來水協會對於濾池在反沖洗時，濾料之膨脹率建議值為 15-30%[5](AWWA.,2003)，台灣方面對於膨脹率方面建議值為 20-30%(中華民

國自來水協會，2008；台灣自來水股份有限公司，2010)[1,4]。

鯉魚潭場屬雙層濾料，實場試驗力度偵測結果顯示其濾池反沖洗氣洗力度分布範圍約 20~55 g，但濾砂膨脹高度皆超過膨脹濾測定器極限 30 公分，考量濾料厚度，可知皆達 50 %以上之膨脹率，顯然對於無煙煤而言，有力度過大之虞，此也反映在本場的無煙煤濾料有溢流之情形。

而屬單層石英砂濾料的湖山場，力度與膨脹率兩者之關係如圖 6 所示，可見呈線性關係，且顯示當力度達到 48~56g 以上時，反洗膨脹率可達 20~30%之建議值。

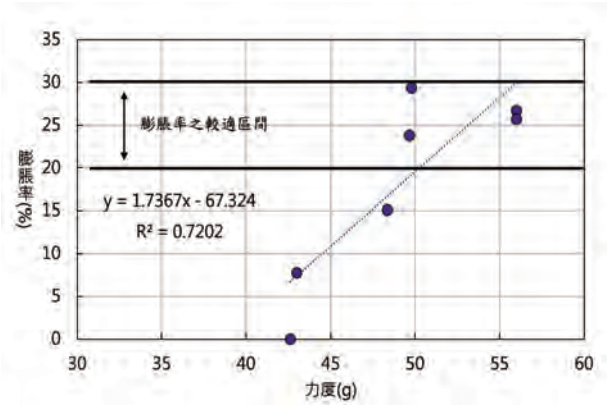


圖 6　湖山淨水場反洗力度與膨脹率之關係

(二)荷重元於實場反沖洗力度檢測應用試驗

1.鯉魚潭給水廠試驗結果

鯉魚潭氣洗力度試驗結果如下表 2 所示，顯示力度愈大，氣泡數量愈多，影像偏白；反之，力度愈小，氣泡愈少，則影像傾向呈現出膠羽顏色。以目視判斷， 5 號池與 9 號池顯示出肉眼可辨識之力度較弱情形，依其 35g 與 18g 的力度表現，說明鯉魚潭場之濾池在氣洗力度小於 35 g 以下，便容易發生氣洗反沖洗力度不足的狀況。

以水洗力度測試結果而言，5 號池與 9 號池亦同時呈現較小的水洗力度，而 18 號池雖肉眼未觀察到明顯力度較小的影像表現，但其氣洗與水洗實測值皆顯示與 5 號池及 9 號池有相近之力度表現。5 號池、9 號 及 18 號濾池建議應進行更多點位之力度感測監測，並視結果優先嘗試延長反沖洗時間操作調整。

整體而言，鯉魚潭給水廠之濾池，反沖洗之氣、水洗力度有較佳表現者為 10 號與 16 號池；而 4 號池有氣洗強度較低，水洗強度較高之情形，17 號池之氣洗 38 g，已接近前述不足警示值 35 g，但其水洗強度與 4 號池同，皆較其他濾池高，氣洗強度低而水洗強度高之情形，推測濾床中可能存在不均勻之濾料分布，氣洗與水洗些微之位置差異，便導致反洗強度之結論不同調，亦應將該濾池列入觀察。

表 2　鯉魚潭氣、水洗力度檢測結果

濾池編號	氣洗力度(g)	氣洗影像	水洗力度(g)	力度表現
4	48		1.74	氣洗低水洗強
5	35		1.22	過低
9	18		1.09	過低
10	42		1.42	足夠
16	50		1.57	足夠
17	38		1.68	氣洗低水洗強
18	35		1.08	過低

*水洗影像受反洗時間影響較大，故不在此討論

2.湖山淨水場試驗結果

湖山淨水場濾池分為南場與北場，力度試驗結果如表 3 所示，依據本場與膨脹率測定器之比較，顯示當氣洗力度達到 48~56g 以上時，反洗膨脹率可達 20~30%之建議值，可見僅南場 5 號池與南場 6 號池反洗力度可達建議值。而以觀察氣洗影像，亦顯示力度愈大，因氣泡數量愈多，影像偏白；力度愈小，則膠羽色愈明顯。藉由目視判斷，南場 14 號池顯示氣洗不均，其力度為所有檢測濾池中力度最小者，僅 38 g。此結果亦指出，以湖山淨水場而言，氣洗力度約小於 38~40g 時，易發生目視可判別之力度過小情況。

水洗力度試驗結果顯示，北場 7 號池有最弱之水洗力度 0.33g，其次為南場 14 號池 0.70g，再其次為南場 6 號池與北場 9 號池。水洗強度較強者展現水洗力度大於 1g。

表 3　湖山氣、水洗力度檢測結果

濾池編號	氣洗力度(g)	氣洗影像	水洗力度(g)	力度表現
南 5	51		1.14	足夠
南 6	49		0.83	氣洗強水洗低
南 9	42		2.01	氣洗低水洗強
南 10	47		1.05	足夠
南 14	38		0.70	過低
北 7	43		0.33	過低
北 9	40		0.92	過低

*水洗影像受反洗時間影響較大，故不在此討論

整體而言，湖山淨水場之濾池反沖洗力度表現以南場 5 號、10 號狀況較佳，而南場 14 號、北場 7 號與北場 9 號池之氣、水洗力度不足，而南場 6 號池與南場 9 號池則有氣洗與水洗強度表現不一致之情況，亦應將濾池列入觀察。

四、結論與建議

鯉魚潭與湖山淨水場之試驗結果顯示，力度感測器相較於膨脹率測定器具有較高的設備機動性與較高的偵測敏感度，且與傳統膨脹率測定器具有特定程度之相關性。

針對力度感測器未來之應用模式建議，以及監測到力度不足後，對應之反沖洗調整方式，說明如下：

(一)力度感測器未來之應用模式

1.建置膨脹率測定器之相關曲線

針對一尚未進行過評估之水場，可先建立傳統膨脹率與荷重元感測器之檢測數據相關性曲線，作為力度是否足夠之基本參考依據。

2.定期檢測力度或必要時檢測

由於力度感測雖機動性高，但其仍不適合以常備設備方式，固定架設於濾池，隨時監測反沖洗力度，且就其應用目的而言，其亦無連續偵測之必要，建議可定期檢測，如每季一次。另可搭配本團隊先前之研究所研發之濾池反洗效能影像辨識技術(吳志超等人，2022)，相較力度感測器，影像辨識技術可藉由固定式攝影機，隨時監控濾池反沖洗狀態，在影像辨識結果顯示濾池反沖洗效果不佳，或存在反洗不均之狀況，則啟動力度感測，協助反沖洗效能出現問題主因之釐

清。

3.依需求配置數個力度感測器

因力度感測器具有體積小之機動性，可依需求設置數個力度感測器(如圖 7 所示)，同時進行濾池不同點位之力度分布評估。

初步建議在阿卡諾是濾池左右側放置對應之荷重元，並切分靠近廢水閘門與遠離廢水閘門端，各設置一枚荷重元感測器。邊角處力度不足為常見情況，當邊角處顯示反沖洗力度不足，仍無法因此給予具建設性之反沖洗操作調整建議，故建議不須刻意設置力度感測器加以評估。

圖 7　同一濾池可同時設置多枚力度感測器

(二)力度不足之濾池反沖洗調整

反沖洗力度不足、氣流/水流分布不均等現象，長期使用下，容易產生泥球，進一步發展至濾料結塊。力度過小，亦可能造成無效水洗，徒耗水資源。定期執行濾池反沖洗影像辨識與力度感測，則可追蹤濾池反沖洗操作效能，及早調整操作模式，便有機會在膠羽於濾料層中逐漸累積的過程，阻止狀況惡化。

當出現反洗力度不足時可進行以下建議，嘗試進行濾池反洗操作改善。

1.增加氣水洗強度

調整氣水洗設備之運轉強度，包含鼓風機啟動機台數、增加水洗馬達運轉頻率；或是調整反沖洗氣流、水流閥門，增加風量、水量、壓力，嘗試突破濾砂結塊等。然由於多數水場在濾池反沖洗設備操作條件上，多已在設備全力運轉條件操作，調整空間小，則可嘗試其他改善方式。

2.增加氣、水洗時間

在設備無調整空間之情況下，可嘗試增加氣、水洗時間，團隊曾針對目視濾池表面有泥球累積的濾池，進行延長氣、水洗時間測試，結果顯示泥球累積狀況改善，且反衝洗效能影像辨識偵測結果顯示反沖洗清澈度大大提升，顯示延長氣、水洗時間有助於改善濾池反沖洗效能不佳之情形。

致謝

本研究感謝自來水公司提供部分研究經費支持，計畫名稱「濾池效能評估電子化偵測研究探討」，論文之部分研究成果節錄自該計畫相關成果報告。

參考文獻

1.中華民國自來水協會，自來水設施維護管理指南，(2008)。

2.吳志超、楊惠玲、賴思樺、陳劭瑜，智能影像辨識應用於濾池反洗終點判斷之研究，自來水會刊，第41卷，第3期，(2022)。

3.台灣自來水股份有限公司，濾池效能評估電子化偵測研究探討，第二年研究計畫期中報告，(2021)。

4.台灣自來水股份有限公司，過濾及反洗效能評估方法之建立及試行，第二年研究計畫期末報告，(2010)。

5.AWWA, A.W.W.A. Water Treatment, AWWA, Denver, (2003).

作者簡介

楊惠玲女士

現職：逢甲大學環境科技與智慧研究中心副主任

專長：水處理、人工智慧於水環境之研究

吳志超先生

現職：逢甲大學環境工程與科學系教授

專長：淨水技術與程序控制、環境資源與保育

李冠廷先生

現職：逢甲大學環境工程與科學系碩士生

專長：水處理

彭文彥先生

現職：逢甲大學環境工程與科學系碩士生

專長：水處理

以曝氣法去除配水系統中總三鹵甲烷可行性初探

文/簡廷原、吳宗昱、林正隆、陳文祥

摘要

總三鹵甲烷(Total Trihalomethanes, THMs)為淨水程序加氯消毒所產生的一種常見消毒副產物(Disinfection byproducts, DBPs)，因對人體具有致癌風險，各國飲用水水質標準對其皆有嚴格之規範要求。

降低水中總三鹵甲烷濃度可藉由減少總三鹵甲烷生成及去除已生成之總三鹵甲烷兩種方式來進行，目前台水公司皆使用前者之方式(如加強混凝、控制加氯量等)，其方法控制不易，且成本也較高；而國外常見運用後者的方式為使用曝氣法，本文參考國外文獻及案例對曝氣法做初步的探討，介紹國外常用之曝氣系統，其對總三鹵甲烷的去除率可達約 44~72%，且操作容易、成本低廉，顯示曝氣法亦為一種降低配水系統總三鹵甲烷濃度之可行方法，惟配水中若仍含有有機前質，仍總三鹵甲烷濃度上升的可能，因此較適合末端配水系統。

關鍵字：總三鹵甲烷、曝氣、氣水比

一、前言

總三鹵甲烷(Total Trihalomethanes, THMs)為一種消毒副產物(Disinfection byproducts, DBPs)，由水中天然有機物(Natural Organic Matter, NOM)前質(precursor)與餘氯氧化反應生成，具有致癌性，國內飲用水水質標準最大限值為 0.08 mg/L，台灣自來水股份有限公司(簡稱台水公司)內控標準最大限值為 0.064 mg/L。總三鹵甲烷生成反應時間較慢，於配水管網中隨接觸反應時間(停留時間)持續增加，且亦與水溫、pH、有機物前質含量、自由有效餘氯及溴鹽濃度有關。

因為總三鹵甲烷對於人體具有健康危害之風險，降低自來水中總三鹵甲烷濃度為台水公司的重要課題，欲降低自來水配水管網中總三鹵甲烷之濃度，主要可從兩方面著手：其一是利用加強混凝、減少有機物前質與消毒劑接觸之反應時間等方式降低總三鹵甲烷之生成；其二是對於已生成之總三鹵甲烷，利用曝氣法、顆粒活性碳及薄膜系統等方式將其去除。

本文主要蒐集國外文獻及現場案例(如下)，針對曝氣法去除配水系統中總三鹵甲烷之可行性做初步的探討，台水公司未來也將嘗試在配水池安裝曝氣裝置，測試曝氣對配水系統中總三鹵甲烷之去除效果。

1.Formation of Trihalomethanes in Water Distribution Systems and Their Removal.[1]

2.Localized Treatment for Reduction of Disinfection Byproducts.[2]

3.THM Removal Strategies for Water Tanks and Reservoir[3]

二、相關研究

曝氣法為國外常使用去除水中總三鹵甲烷方法之一，針對其常見的產品及其研究說明如下：

(一)攪拌循環系統[3]

配水系統中總三鹵甲烷的移除主要藉由水中的總三鹵甲烷與空氣接觸，進而從水中揮發出來，因此可在配水池中裝設一個積極攪拌循環之裝置(如圖 1)，使水中的總三鹵甲烷都能盡可能與水面的空氣接觸，而根據亨利定律，水中與空氣中的總三鹵甲烷飽和濃度為一固定比例，因此必須再搭配配水池頂部安裝一個通風抽氣設備(如圖 2)，移除配水池頂部的總三鹵甲烷，使水中的總三鹵甲烷能繼續揮發出來。

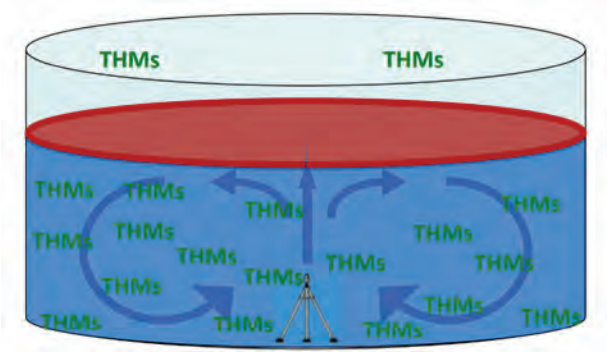


圖 1　攪拌循環系統去除水中總三鹵甲烷原理示意圖[3]

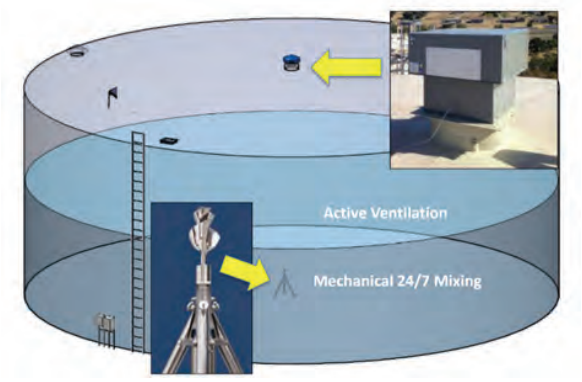


圖 2　配水池頂裝設通風抽氣設備示意圖[3]

本系統依靠持續地攪拌，將含有高濃度總三鹵甲烷之配水移至水面去除，因此配水在配水池的停留時間越久，其去除效率越高。圖 3、圖 4 為在柯爾法克斯城(calfax)的配水池，兩者的差異為前者配水在配水池的停留時間為 4 天、後者為 10 天，兩者的總三鹵甲烷去除率前者為約 44%、後者為 65%，顯示停留時間確實影響總三鹵甲烷的去除效率。

圖 3　柯爾法克斯城配水池(停留時間 4 天)[3]

圖 4　柯爾法克斯城配水池(停留時間 10 天)[3]

(二)噴嘴再循環系統[2]

本系統主要由沉水式馬達、不銹鋼管道、噴嘴曝氣機及池頂通風設備四個部分所組成，藉由安裝一個在配水池底部的沉水式馬達以及水池頂部的噴嘴來循環。配水在通過噴嘴時會與空氣接觸，藉此將總三鹵甲烷從水中揮發去除，並且搭配池頂安裝通風口和抽氣裝置，將揮發至池頂空氣中的總三鹵甲烷抽出池外。最近的一項研究預測，噴嘴曝氣可去除 75～80%的總三鹵甲烷（AWWARF，2009 年）。

本系統與上一個介紹的攪拌循環系統原理相同，都是藉由將配水池內所有的配水盡量送至水面與空氣接觸，藉此去除配水中的總三鹵甲烷。

(三)表面曝氣系統[3]

表面曝氣系統(裝置如圖 5)可以作為一個加強去除總三鹵甲烷非常好的策略，前面介紹的不論是攪拌循環系統或是噴嘴再循環系統，其水中總三鹵甲烷的揮發速度都侷限於配水池水面的表面積，因此對水面的表面積不大、同時停留時間又較短之配水池來說，總三鹵甲烷的去除效率就很有限。此時若能搭配表面曝氣系統，增加配水與空氣的接觸面積，水中總三鹵甲烷的去除率便能大大地提昇。

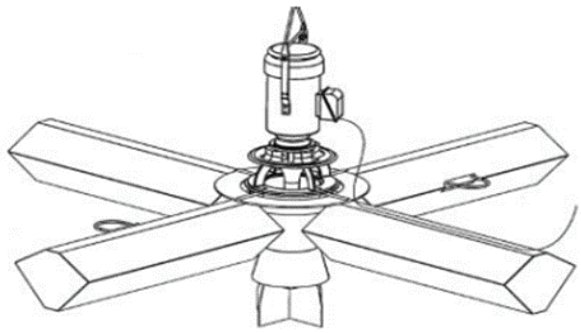


圖 5　表面曝氣裝置示意圖[3]

表面曝氣系統的安裝成本不高，且不需大幅改動原本的配水池，唯一要注意的是會增加其動力成本，因此可先在配水池安裝攪拌循環及通風抽氣設備，視其去除總三鹵甲烷之效率，再評估是否要加裝表面曝氣設備，一個整合攪拌循環、抽氣通風及表面曝氣的設備示意圖如圖 6。

圖 7、圖 8 則為安裝在加拿大普盧默斯配水池中表面曝氣、攪拌循環及通風抽氣設備的內外部照片，其水中總三鹵甲烷濃度可

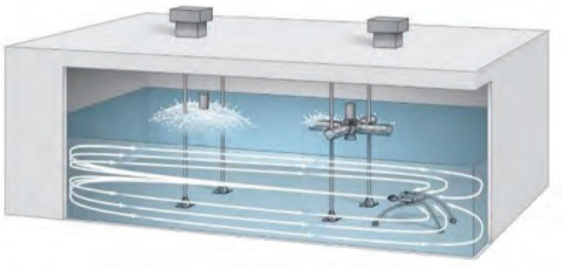


圖 6　整合攪拌循環、抽氣通風及表面曝氣設備示意圖[3]

圖 7　加拿大普盧默斯配水池內部表面曝氣及攪拌循環設備照片[3]

圖 8　加拿大普盧默斯配水池外部通風抽氣設備照片[3]

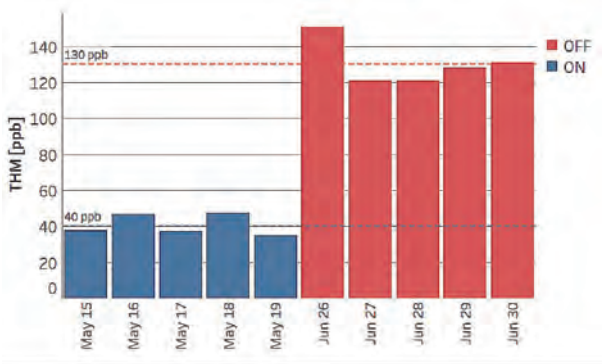


圖 9　加拿大普盧默斯配水池裝設整合攪拌循環、抽氣通風及表面曝氣設備前後，水中總三鹵甲烷濃度比較[3]

從約 130 ppb 降至約 40 ppb，去除率可達 70%，如圖 9 所示。

(四)太陽能曝氣系統 (SolarBee) [2]

本系統是一個獲得專利的專有系統，它使用太陽能與電力混和驅動鼓風機來減少消毒副產物，其原理即結合前述的噴嘴再循環系統及表面曝氣系統，當含有總三鹵甲烷之配水流入配水池，該系統藉由馬達將進流水抽至表層附近，並藉由鼓風機及其進氣管將空氣打入水面，使總三鹵甲烷藉由氣提揮發至配水池頂部，再藉由抽氣設備抽至配水池外(圖 10)。本系統需要提供適當的隔音保護(所有使用鼓風機之系統皆須有適當的隔音設備)，以盡量減少對當地居民的影響。

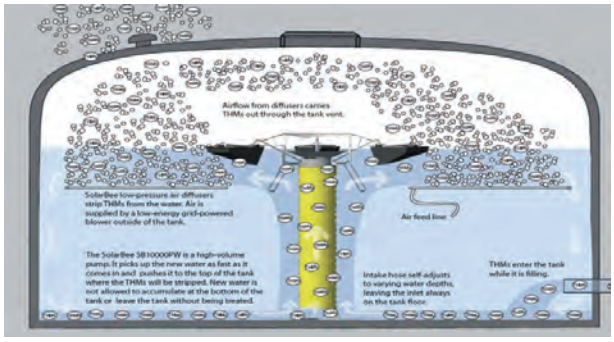


圖 10　太陽能曝氣系統示意圖[2]

(五)空氣氣提塔系統[2]

本系統需額外裝設一個空氣氣提塔，在空氣氣提塔中，配水被幫浦送到內部填充介質的氣提塔頂部，藉由重力往下流，並與吹入氣提塔內下方的空氣流接觸。處理後的配水藉由重力從塔底流出(圖 11)，含有總三鹵甲烷的空氣則從塔頂流出。根據研究（AWWARF，2009）空氣氣提塔可以去除 75 ~ 85%的總三鹵甲烷。氣提塔的優點為屬於獨立單元，且因為體積小，可以安裝在相對較小的區域內(但配水池旁仍需有部分空間使其可以安裝)，幾乎不需要維護。惟必須仔細考量配水系統中的水壓，避免管網中的配水逆流。

圖 11　空氣氣提塔實地安裝照片[2]

(六)擴散曝氣系統[2]

本系統之原理與表面曝氣系統相同，都是藉由增加空氣與配水的接觸面積來提升水中總三鹵甲烷之去除率，唯一的差別在於表面曝氣系統是藉由將水面上的空氣打入水體中，因此空氣僅能移除水體中接近水面的總三鹵甲烷，所以該系統通常需搭配攪拌循環或噴嘴再循環系統，將配水池底部水體帶動至水面附近進行曝氣，而擴散曝氣系統則是直接將空氣導入配水池底部，然後藉由擴散器將空氣以氣泡的形式釋放至水中，當氣泡上升到水面的過程，會收集揮發性化合物，包括總三鹵甲烷。

三、實場規畫研究[1]

台水公司因為供水區域遍佈全台，部分供水管網過長，導致配水於管網中停留時間過久，使部分淨水場近年偶有總三鹵甲烷超

出引用水水質標準之情事。依據台灣本土之水質條件，台水公司未來規畫於配水池設置擴散曝氣系統，測試擴散曝氣系統對於去除配水中總三鹵甲烷之效果。

選用擴散曝氣系統具有以下幾個優勢：首先是台水公司之配水池周圍用地取得較為困難，多無法大幅改動配水池及其周圍之構造，其次為台灣用水需求大，造成配水於配水池之停留時間不若歐美地區來的久，使用擴散曝氣系統能更有效率於短時間內去除總三鹵甲烷，且該系統安裝簡便，工期較短，能降低施工期間用戶停水之時間。

而關於擴散曝氣系統對水中總三鹵甲烷之去除率有過一項相關的研究，該研究的水樣皆取自位於加拿大馬尼托巴省(Manitoba)的萊特利爾(Letellier)淨水場，並設計了一個裝置來模擬配水系統中的擴散曝氣系統，包括 900 毫升水樣、一個擴散器（直徑為 1 英寸的球形 FisherbrandTM 氣體擴散石，平均孔徑為 60 μm），該擴散器通過氣體流量計連接到 1L 的水樣瓶中。空氣流量固定在 1.5 LPM，通過改變曝氣時間提供不同的氣水比，以此找出最佳的氣水比。

每一樣品瓶在曝氣前均取 20mL 水樣以氣相層析儀測量初始總三鹵甲烷濃度。然後添加所需的氯量，使水中的自由餘氯約為 3 mg/L，以便能夠測量曝氣過程中的氯損失。並以四種不同的氣水比用於評估總三鹵甲烷的去除率，包括：15.7、23.5、31.4 和 39.2，以此找出去除總三鹵甲烷最有效的比例。曝氣後，取 20 mL 水樣測定其總三鹵甲烷濃度，計算去除率。而曝氣取樣後剩餘的水樣則被保存了 7、24、48、72、和 168 小時，用於配水系統中總三鹵甲烷再生成之評估。

結果顯示在使用擴散曝氣後，水中總三鹵甲烷濃度減少了 61%至 72%，其去除率取決於曝氣空氣量與水量的比率。效果最好的氣水比為39，它將總三鹵甲烷降低了72%（圖12）。而曝氣後的水樣保存至 168 小時，其結果顯示總三鹵甲烷濃度在 24 小時內均符合加拿大水質法規標準(100 μg/L)，惟配水再停留更久的時間，其總三鹵甲烷仍會超過法規標準值（圖 13），顯示只要水中仍有存在餘氯和有機物質，總三鹵甲烷仍會一直生成。

台水公司將以此研究為基礎，預計於台東成功淨水場之大柿橋配水池設置噴嘴曝氣系統，驗證評估該系統對於國內配水中總三鹵甲烷的去除效果。

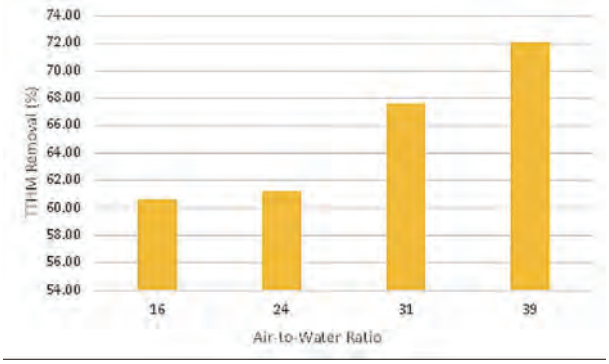


圖 12　氣水比效果與總三鹵甲烷去除率(%)之關係[1]

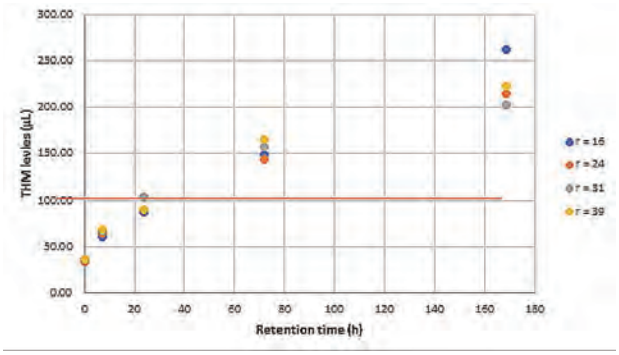


圖 13　曝氣後配水停留時間與生成總三鹵甲烷濃度(μg/L)之關係圖[1]

四、結論與建議

高濃度的三鹵甲烷對人體健康有負面的影響，例如癌症，口服攝入、皮膚吸收和吸入亦會導致不良生殖後果。當淨水場所使用的水源含有大量溶解有機碳，在經過淨水場加氯消毒後，即大大增加了總三鹵甲烷於配水系統中生成的潛勢，因此降低配水系統中總三鹵甲烷濃度對民眾的健康至關重要。過去台水公司針對降低總三鹵甲烷風險，採取加強混凝、控制加氯量等措施，其皆是在淨水流程減少總三鹵甲烷的生成，而曝氣法則是透過總三鹵甲烷的揮發特性來去除配水中已生成之總三鹵甲烷，此方式亦為一個簡單有效降低總三鹵甲烷風險之方法，且相比於使用顆粒活性碳或薄膜系統去除水中總三鹵甲烷，曝氣法的成本更為低廉、施工也更為簡便，並且可針對高總三鹵甲烷濃度之地區使用曝氣法加強總三鹵甲烷的去除，使之成為一種更具成本效益的選擇。

惟曝氣後仍需注意配水系統中總三鹵甲烷的再生成，只要配水中仍有溶解性有機碳，在曝氣後 1~3 天總三鹵甲烷濃度仍會上升[1]，因此建議曝氣系統可裝設於有較高總三鹵甲烷風險之末端配水系統中，降低總三鹵甲烷再生成之機率。

台水公司也正在著手計畫於配水池裝設曝氣設備，研究曝氣法對實際配水系統總三鹵甲烷的去除效果如何。

參考文獻

1.Giovanna Esteves, Erin Schatkowsky, Formation of Trihalomethanes in Water Distribution Systems and Their Removal, The Canadian Science Fair Journal, 2019.

2.Chandra Mysore, Localized Treatment for Reduction of Disinfection Byproducts, Florida Water Resources Journal, 2018.

3.Joshua Kurniawan, THM Removal Strategies for Water Tanks and Reservoir, PSI Water Technologies, Inc.

作者簡介

簡廷原先生

現職：自來水公司總管理處水質處工程師

專長：水質異常改善研究、水質檢驗、水質監測儀器

吳宗昱先生

現職：自來水公司總管理處水質處工程員

專長：水質異常改善研究、飲用水處理藥劑研究、淨水流程設備改善

林正隆先生

現職：自來水公司總管理處水質處組長

專長：水質異常改善研究、環境工程、水質管理

陳文祥先生

現職：自來水公司總管理處水質處處長

專長：自來水處理技術、環境工程、水質管理

日本熊本市供水災害應變與自來水設施耐震策略

文/歐尚鑫、李丁來

摘要

日本熊本市位於九州的中心，其全市的自來水 100%來自周邊山區的地下水，經過收集、消毒等處理程序後，提供給市民高質量、清潔和美味的自來水，被譽為日本品質最佳的自來水之一，也是日本第一個地下水城市。

其自來水系統由「熊本市上下水道局」負責管理和提供服務，熊本市的自來水系統為應對日本常見的地震風險而提高了耐震性能，採用了多種策略，例如提高水池和管道的抗震能力，建造備用水源系統等等。在 2016 年的熊本地震中，自來水系統受到極大的挑戰，但經過大量的重建工作和改善措施，現在已經恢復正常運行，同時更具有抗震性和災害韌性，為居民提供更可靠的自來水供應。

關鍵字：自來水、災害應變、耐震

一、熊本市自來水的供水歷史簡述

自古以來，有水的地方就聚集著人們，創造了文明。即使在熊本地區，純淨的地下水也在山腳下補充。到了江戶時代，人們日常的供水由泉水改為比較衛生的井水。當佩里在江戶時代末期（黑船襲擊）到達浦賀時，他給日本帶來了新的西方文化，但與此同時，他也帶來了可怕的流行病，例如通過飲用水傳播的霍亂，從此以後，每隔幾年就會爆發流行病，奪去數十萬人的生命。因此，明治政府為預防這一流行病推動了現代自來水廠的發展，並於 1887 年在橫濱市建成了日本第一座自來水廠。1897 年成為“熊本市”的本町，發展成為九州第二大城市（人口 6 萬），但生活用水仍是井水。此外，熊本市氣候炎熱潮濕，井水傳染的傳染病很常見。因此，唐島市長（第 3 代）認為建設健康城市是當務之急，並於 1908 年編列預算 1000 日元（目前約為 1000 萬日元）用於供水調查費用，至 1909 年唐島市長宣布了供水建設計劃，幾經周折，1922 年 3 月，以八景水穀為水源、立田山為蓄水池的草圖獲得許可，於 1923 年 6 月開工建設。之後，於 1924 年 11 月 27 日，終於實現了盼望已久的通水目標。

二、熊本市自來水系統概述

目前熊本市的自來水系統包括 38 處水源地、99 口井、45 處配水池和連接配水池之間的管道總長度截至 2021 年 3 月 31 日為止為 3,570 公里(導水管 44 公里，送水管 53 公里、配水管 3473 公里)，由熊本市上下水道局運營中心 24/7 監控。

自 1924 年開辦自來水以來，全市自來水系統通過與周邊鄉鎮的合併和工業的發展帶動了城市的發展。目前供水人口約 74 萬市民，供水 352,921 戶，每天供應約 22 萬 m^3（截至 2021 年 3 月 31 日），規劃日最大供水量為 27.5 萬 m^3/天，普及率為 96.4%，有收率 89.4%，售水率 92.1%。無水庫和淨水場，

所取地下水經由最低法定氯量處理後，再分送至調節池，最終供應市民家中使用。地下水從取水井抽出，經過消毒，然後輸送到配水池。

而從配水池到用戶的配水方式有兩種：利用高差從高處配水池重力供應，和從平地配水池以加壓方式配水。為了確保向所有人供應的飲用水是安全的，熊本市上下水道局對自來水系統進行嚴格的水質檢查，從水井到用戶水龍頭，進行 94 個檢項。

圖 1　熊本市自來水系統架構

圖 2　熊本市主要自來水供水設施概況

圖 3　熊本市主要自來水供水設施位置

三、熊本地震對水道系統的影響

(一)自來水系統損害統計資料

2016 年熊本地震是一系列地震事件，包括主震規模 7.0，在日本九州地區熊本縣熊本市地下約 10 公里處於當地時間 2016 年 4 月 16 日 01:25 發生，以及在 2016 年 4 月 14 日 21:26 時發生的一次前震規模 6.2，深度約為 11 公里。

這兩次地震共造成 273 人死亡，2,809 人受傷，其中大多數是間接死亡或受傷。熊本縣和大分縣遭受了嚴重的破壞，許多建築物倒塌並著火。超過 44,000 人因災難而被迫疏散。由於地震的影響，熊本市全市失去了自來水供應，從地震發生當天(4 月 16 日)凌晨 1 點 25 分，整個熊本市內完停水。

地震造成熊本市公用設施損害情況包含(截至 2017 年 3 月 31 日)：

1.自來水系統：包括取水井、建物、配水池等共 38 個設施；管路方面，幹管損壞共有 440 處，給水管道損壞有 2,213 處，總計有 2,653 處。此外，公共道路上也有 1,698 處漏水的地點被通報和發現，但進行漏水調查的只有 325 處；１次側（住宅）方面，有 850 處漏水的地點被通報和發現，進行

漏水調查的有 724 處。總計，通報和發現漏水的地點共有 2,548 處，進行漏水調查的有 1,049 處。災害造成的損失金額約為 39.8 億日圓。

2.工業用水系統：其中包括 2 個設施，如取水井等，以及建築物傾倒和管道損壞等情況。然而，管路並未發生漏水情況。損壞造成的經濟損失約為 12,50 萬日圓。

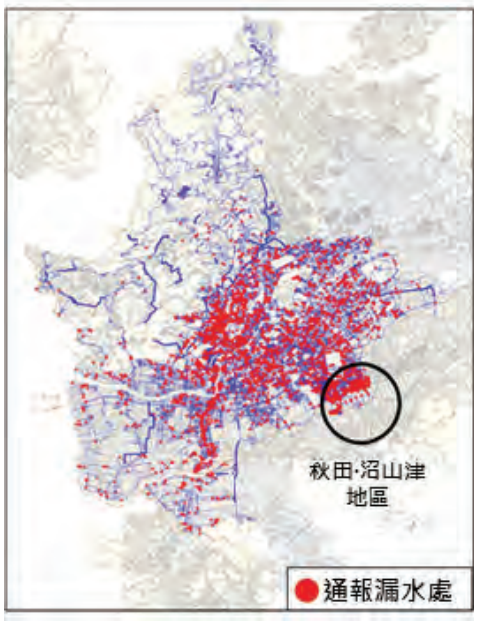


圖 4　2016 年熊本地震漏水通報分布處

圖 5　2016 年熊本地震水道設施受災情況

(二)自來水系統災害應變過程簡述

在 2016 年熊本地震期間所進行的應急給水活動。在地震前震期間約 8 萬 5,000 個戶停水，並在 20 個地點(大部分均為各地的中、小學學校)設置了給水站，以健軍水源地作為向給水車補給的基地。地震本震後至 5 月 6 日為止，約有 32 萬 6,000 戶停水，設置了最多 33 個給水站。應急給水活動從 4 月 15 日開始，持續了 22 天，由 97 個企業機構提供支援，共派出了 4,286 名人員和 1,013 輛給水車。

而從地震發生當天(4 月 16 日)凌晨 1 點 25 分，整個熊本市內完全停水。在 4 月 18 日早上 9 點恢復供水的比例為 68.2%，12 點已經恢復到 76%，下午 4 點為 76.4%，下午 6 點已經達到 82.2%。4 月 21 號早上 7 點已經可以恢復供水 99.7%。而到 4 月 30 日號的下午 6 點，幾乎只花了短短 2 個星期，熊本已完全恢復供水。

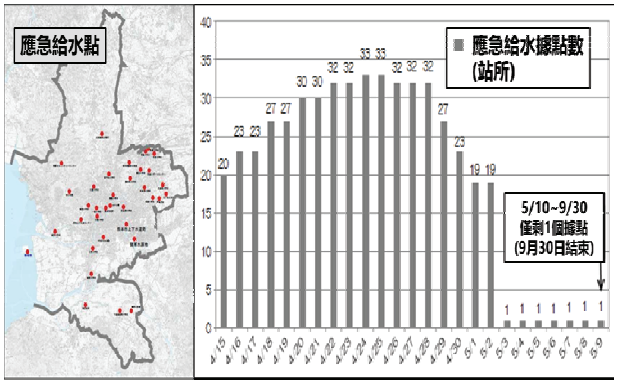


圖 6　應急給水點設置分佈

有關管線漏水的統計，直到 2016 年 6 月 22 日所有的修漏作業都完成，總共有 3,597 件，這個數量幾乎是熊本市短短在一個月內執行了一年份的修漏件數。而在漏水調查及復舊的部分，光是到 5 月 17 日的統計數字，當時總共有 54 個團體，75 家業者，合計超過 5000 人次以上參與。

圖 7　熊本地震相關的應急復舊與漏水調查作業

(三)因應震災停水時的緊急供水措施

1.運搬給水

運搬供水是使用運水車、水箱（車載式）將飲用水輸送到停水區、避難所、醫院等重要設施的供水方式，由於具有機動性，通常在發生災難時，針對管末或高地區域，是採取此種運水方式來因應急需。

2.緊急送水車

發生災害時，水道局會派出水車為市民運送飲用水，並配備水泵，可將水送至高處的接水槽或低處抽水，並依熊本市上下水道局與東京都與政令指定城市，簽定 21 個主要城市發生災害時的相互支援協定，提供災害支援其他水道局的救災工作。

圖 8　熊本地震應急給水措施

3.緊急供水水箱

這是一種可以安裝在卡車等上，用於在發生災害時供應運輸用水的水箱。水道局有 34 個 1m^3 的水箱（包括 17 個折疊式水箱）。

圖 9　熊本市使用水箱於緊急供水情形

4.消防栓的使用

消火栓是在道路上每隔 100 米至 200 米設置的用於滅火的設施 一旦發生災害，它不僅可以用於滅火等滅火活動，還可以用於應急供水。

(1)設置臨時供水站

在發生災害等情況，可以使用路上的消防栓，連接一個特殊的裝置，作為臨時供水站使用。

圖 10　熊本市使用消防栓為臨時供水站情形

(2)向運水車等供水

可以用來給水車供水。 即使不是發生災難，例如在馬拉松比賽期間使用消防栓向臨時供水站給水。

圖 11　使用消防栓向臨時供水站給水

5.實施應急供水的場所

災害期間應急供水的地點、方式和時間，根據災害的類型、規模、破壞程度和停水程度而有所不同。 實施應急供水活動時，採用車輛進行宣傳（普及應急供水方式、實施地點、供水時間等），醫療活動據點醫院、透析治療醫院等重要醫療設施、養老院等重度殘疾、易受災設施、重要公共設施（市政府、區役所等）、避難所等的緊急供水（小學、公園等）等）列為優先供水對象。

(1)緊急供水基地（水池或水塔）

水池或水塔是向緊急供水車供水的設施，熊本市上下水道局於健軍水源地設置 2 處、熊本市上下水道局局內設置 2 處、舊西武供水及下水道中心設置 1 處、川尻配水站、改寄配水站、城山調整池各 1 處，共 8 處供水站，作為災害時應急供水的基地。

圖 12　緊急供水基地(健軍水源地)

(2)設置具有蓄水功能的供水管

具有蓄水功能的供水管，平時是普通的供水管，但在發生地震等災害時供水管被切斷時，可以確保水箱容量的自來水，提供應急飲用水。於 2018 年 3 月 29 日，在水道局前安裝了容量為 6m^3 具有蓄水功能的供水管。此外，熊本市的中小學也安裝了類似的具有蓄水功能的供水管，平常也進行具蓄水功能供水管之操作培訓！

圖 13　具有蓄水功能的供水管

四、熊本上下水道局震災復舊和重建計劃

本計劃是爲了恢復和重建在 2016 年 4 月發生的熊本地震中受損的上下水道設施而制定劃。該計劃的目的是提供關於上下水道事業恢復和重建的基本方針：建設「安心」、「強韌」、「持續可行」的供水和污水處理系統，和恢復重建的五項主要措施：早日

恢復供水和工業供水設施、儘早修復污水處理設施、給水及工業給水設施抗震、下水道設施抗震改造、加強災害應對能力，主要內容如下：

(一)計畫的目的和定位

計畫旨在早期恢復和重建在 2016 年熊本地震中受損的上下水道設施，此計畫與熊本市第七次綜合計畫、熊本市震災復興計畫和熊本市地區防災計畫相一致，旨在具體化市重建計畫為目標，積極推動事業的恢復和重建，進而建立一個安全、堅強、可持續的上下水道系統。此計畫的期間是從平成 28 年到平成 31 年(2016 年至 2019 年)，但由於重建需從中長期視角來處理，所以在平成 32 年(2019 年)後仍持續進行。整個計畫由基本方針和五個復舊重建策略組成。

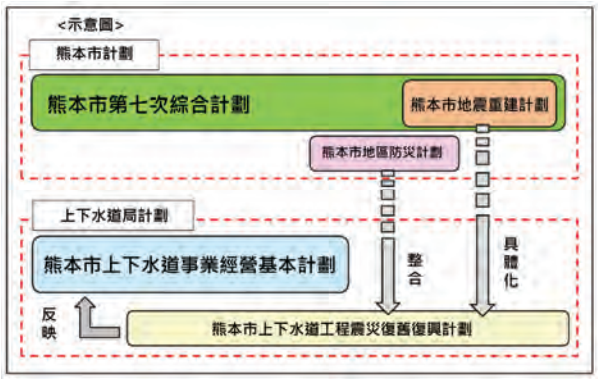


圖 14　熊本市計畫關係圖

(二)2016 年熊本地震的供水問題評估

熊本地震發生後，市內約 32 萬 6 千戶家庭全部斷水，但在其他自治體和相關團體的幫助下，大口徑水管的修復工作於 2016 年 4 月 30 日完成，全市範圍內可恢復供應自來水。然而，為全面的復原和推動重建上下水道的工作，以及記取教訓與經驗，熊本市對上下水道局職員進行了調查，以整合反省點和意見。並歸類為以下 4 點問題和教訓：

1.依賴東部配水區的水運用

熊本市主要從東部水源區提供水，並向市區各地供應水。然而，由於東部是震源地，因此地震發生後水供應中斷。需要加強東部地區和其他配水區的聯絡管網和備援給水管道，實施風險分散。

2.兩次地震導致初期應對混亂

地震發生後，一度接到超過 30,000 筆詢問或漏水資訊的電話，許多職員需要處理電話，因此初期出現混亂。然而，也出現了民間委託「無水專線」和利用社群網路收集漏水資訊等有效的方法。 因此，今後需要加強與民間企業和相關組織的合作，明確分工，讓職員專注於統一管理資訊，分析結果並採取適當的對策，並努力向市民提供易於理解的信息。

3.大規模停水的應急供水活動混亂

兩次大地震導致全市 32.6 萬戶家庭停水，緊急供水站共設置了最多 33 個，但供水點不足，導致許多市民湧入供水站。因此，今後需要有效利用學校等公共設施儲水管道，供水車補充供水設施，並在社區建立協同體制，讓當地居民參與供水活動。此外，需要整修市區內供水車的供水站點。

4.其他自治體提供的人力支援受到困難

由於緊急供水、緊急修復（漏水調查和修理）、下水道調查各自由負責部門實施，因此接收其他自治體提供的援助時，難以調整住宿和停留基地等問題。因此，今後需要制定接受援助計劃，包括組建統一調度支援小組等，並與相關組織簽署災害協定，加強

合作機制。

(三)震災復舊重建計畫基本方針及政策

基於對熊本地震所面臨的問題的檢討，熊本市復興計畫將上下水道項目劃分為 4 項政策，以實現「防災、減災的城市建設」。為了具體實現這些計劃，其確定計劃的基本方針，即建立「安心」、「強韌」、「持續可行」的上下水道，並提出主要措施來穩步推動這些項目。

表 1　熊本市防災、減災的政策

項目	內容
基礎建設的復原和功能強化	・致力於早期恢復東部地區等受災嚴重的上下水道管線和設施。 ・更新和抗震化連接配水池、淨水廠和防災基地（大範圍避難所、市政府辦公廳舍、上下水道局辦公廳舍等）的上下水道管線和設施。
行政的災害應對能力增強	・促進與民間企業締結災害時的協議。 ・建立市民、社區、政府和企業共同參與的高效和有成效的災害應對體制。
增強避難所功能	・根據需要進行功能增強，例如建設災害用人孔廁所等。 ・確保儲備物資。
增強快速供水體制	・逐步更新行政廳舍、公設民館、小中學校等設施的貯水設備等。 ・當發生災害時，利用避難所的供水設施和豐富的地下水，提供迅速的飲用水，並根據災害規模請求其他自治體提供給水車支援，設立給水車補充點等措施，以增強快速供水體制。

1.早期恢復上水和工業用水設施

熊本地震造成巨大破壞的上水道設施的早期恢復，以將災害損失降至最低並確保穩定的供水體制。同時，實施工業用水設施的早期恢復，確保穩定工業用水供應體制。自來水和工業用水設施的抗震化。

2.強化自來水和工業用水設施的功能

提高其在地震時的安全性。此外，通過與平成 26 年度(2014 年)的中期修訂的「自來水設施整備實施計劃」的優先順位修訂相結合，推動上水和工業用水設施的抗震化，以確保在非常時期穩定的市民生活繼續進行。作為災害準備，推動災害應對用貯水設施供水點（補充給水車）的建設。

3.災害時應對能力的強化

針對地震情況，熊本市建立接受其他自治體和相關團體援助的體系，包括緊急供水和緊急恢復等針對廣域上下水道設施受災的活動。同時，也將促進與民營企業和相關團體的外包以及與災害初期應變人員的協議簽署，以使員工在災害初期能夠迅速作出決策和行動。根據市區域防災計畫，熊本市將與相關機構合作，計畫系統性地整修緊急供水設施，並部署大型供水車（$4m^3$）以建立可向市民提供飲用水的快速供應體系。

表 2　自來水和工業用水設施抗震化具體措施

項目	內容
推動防災措施	・更新受震害的取水設施。 ・更新老化的管道和設施。 ・更新因震災受損的主幹管道。 ・進行配水池（場）和災害應對總部等設施（市政府，區政府，上下水道局，醫療據點）和廣域避難所等防災據點之間連接管道的抗震化。
推動減災措施	・目標是確保 74 萬市民一週所需的 68,000 立方米水，推動災害對策用貯水設施的建設。 ・強化供水基地功能，包括建設高遊原配水池和天明地區基地。 ・在主要配水場設置非常用發電設施。

表 3　強化災害時應對能力的具體措施

項目	內容
建立援助體系	・在水道局的災害對策手冊和業務持續計畫（BCP）的修訂中，考慮了本次地震的問題等，熊本市將建立接受其他自治體和相關團體援助的體系，包括緊急供水、漏水調查和緊急修復等針對廣域上下水道設施受災的活動。
建立迅速的初期應變體系	・將與民營企業和相關團體合作，進行外包以使員工在災害初期能夠迅速作出決策和行動。 ・將促進與災害初期應變人員的協議簽署，以加強協調。
迅速建立初動態勢	・透過外包給民間企業和相關團體等，讓職員在初動時能夠快速判斷和採取行動。 ・推動締結災害時協定，以強化協調。
加強易懂資訊收發	・基於市區防災計畫，與相關部門合作，利用網站、電視、廣播、社交媒體、公關車等，努力提供比以往更易懂的資訊收發，並迅速建立客服中心等。
強化緊急供水體制功能	・在水道局內建置帶儲水功能的供水管(6立方米)。 ・配備大型供水車（4m^3）。 ・針對已安排或規劃在小學和中學建置的帶儲水功能的供水管，進行必要改善，以應急供水設施的形式使用，並配置緊急供水用水龍頭等設備。 ・推動在公民場所建置帶儲水功能的供水管等。 ・就使用帶儲水功能的供水管進行緊急供水方案的實施，重新考慮由上下水道局和各自治會等組織的避難所運營協議會在市民協作方面的角色。
改善人孔廁所	・在指定為避難所的小學校為中心進行改善，同時考慮在區公所等公共設施設置人孔廁所。

4.穩健推動重建和復原工程

明確本計畫期間實施的主要措施和進度等，以全面且計劃性地推動重建和復原工程，並為每個主要措施設定評估指標，通過 PDCA 管理循環進行進度管理，隨時在網站上公布進度情況。

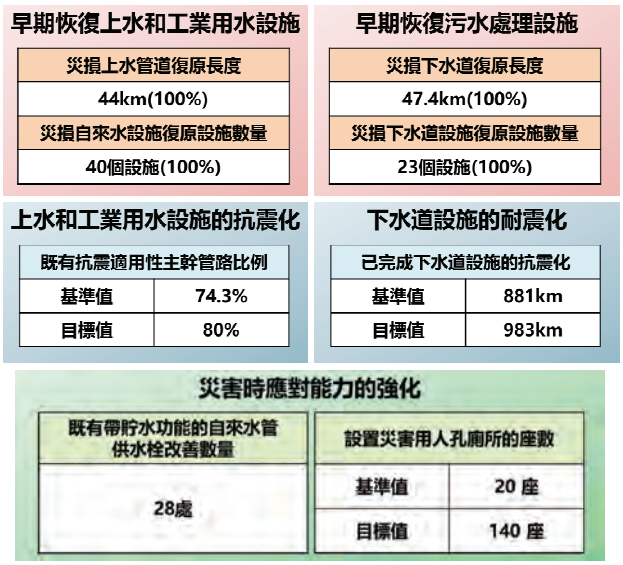


圖 15　復興和復原工作檢驗指標

(四)熊本市自來水管線的耐震化措施

1. 2016 年熊本地震中不同管道的損壞率

熊本市所使用自來水管有鑄鐵管、球墨鑄鐵管、鋼管、硬質 PVC 管等。其中，使用最多的管型是“球墨鑄鐵管”。在 2016 年熊本地震中，管道類型的損壞率（每 1 公里管道長度的損壞件數）為鑄鐵管 0.40 件/公里，鋼管（焊接接頭）0.12 件/公里，鋼管（其他形式接頭）0.55 件/公里、氯乙烯管(PVCP)0.18 件/公里，球墨鑄鐵管為 0.05 件/公里，新進採用的球墨鑄鐵管（抗震接頭）則沒有發生破損。

2.熊本市球墨鑄鐵管安裝情況

1979 年，熊本市採用球墨鑄鐵管並開始鋪設管道，從 2003 年起，直徑 150mm 以上的管道使用球墨鑄鐵管（抗震接頭），2005 年起，直徑 75mm 以上的管道使用球墨鑄鐵管（抗震接頭），截至令和第 2 年末，熊本市供水管道（鉛管、輸水管和配水管的總和）約 3,550 公里中，有 2,654 公里或約 74.7%為

球墨鑄鐵管。鑄鐵是由鐵、碳（含量在 2% 以上）和矽組成的鐵合金，它具有較高的強度和耐腐蝕性，也比較容易切割。但是，因為碳是條狀的，鑄鐵有易受衝擊的缺點，而球墨鑄鐵管是通過球化鑄鐵管中所含的碳，來增加韌性和抗衝擊性而製成的，較具“延展性”及耐受衝擊。此外，除管材外，鑄鐵管之接頭類型，可根據地震引起的地面晃動和位移靈活“彎曲”具這些特性的耐震接頭，可使球墨鑄鐵管具有極強的抗震能力。

表 4　熊本市自來水管材使用情形

管種	長度(公里)	比率(%)
鑄鐵管	74	2.1
球墨鑄鐵管 （包括抗震接頭）	2,654 （795）	74.7 （22.4）
鋼管	174	4.9
硬質氯乙烯管(PVCP)	380	10.7
混凝土管	0	0
鉛管	0	0
聚乙烯管(PE)	227	6.4
不銹鋼管	7	0.2
其他	34	1.0
合計	3,550	100

3. 熊本市自來水管耐震化之推動

熊本市的一些主要管道一直使用抗震管，但從 2005 年開始採用抗震管（帶有抗震接頭的球墨鑄鐵管等）。此外，從 2020 年起，根據熊本市區域防災計劃中規定的假設地震，來預測水管的損壞情況，評估漏水次數等，確定管道更新的優先順序，並促進抗震能力。截至 2020 年末，幹線管道抗震合格率達到 79.6%，管道整體抗震率為 29.5%。此外，由於 1960 年代和 70 年代安裝的管道將到期更換，預計更換老化管道的需求將會增加，使這些管道抗震和更換舊管道都需要經費，將適時調整水價，增收水費用於耐震化之推動。

四、結語

(一)熊本市在地震後積極推動上下水道復興計畫，其中包括被災的上下水道設施的復原和耐震適合性的提升。這些努力旨在保障市民的生活安全和社會基礎設施的可靠性。

(二)熊本市針對被災的上下水道管路進行了延長復原和提升耐震適合性的工作。同時，市政府也改善了既有帶貯水功能之給水管、給水栓，並設置了災害用的馬桶。這些努力都有助於提升市民的生活品質和抗災能力，增強了社會的韌性和可持續性。同時也積極推動財政和行政改革，以確保經營基礎，永續發展。

(三)熊本市在地震後積極推動上下水道及耐震有關的復興計畫，這些努力不僅有助於恢復市民的生活正常，同時也提高了市民對城市基礎設施的信任，並增強了熊本市的經濟和社會發展，值得同處地震帶的台灣借鏡。

參考文獻

1.Yuji Matsuoka (2023, February), Water Supply System Infrastructure-Issues and Lessons Learned from the Kumamoto Earthquake, Paper presented at the 12th JWWA/WRF/CTWWA Water System Seismic Conference, Kumamoto, Japan.

2.Kazumitsu Tashiro (2023, February), Response to Newly Actualized Damage Following the 2016 Kumamoto Earthquake, Paper presented at the 12th JWWA/WRF/CTWWA Water System Seismic Conference, Kumamoto, Japan.

3.歐尚鑫、吳鍾青、李丁來(2023)，第12屆台美日自來水設施耐震研討會出國報告，自來水股份有限公司，台灣。

4.熊本市上下水道局(2017)，熊本市上下水道事業震災復旧復興計画，熊本市，日本。

5.熊本市上下水道局(2018)，熊本市上下水道事業　熊本地震からの復興記録誌～地下水都市・熊本を守る～，熊本市，日本。

作者簡介

歐尚鑫先生

現職：台灣自來水公司工務處工程師

專長：給水工程、環境工程

李丁來先生

現職：台灣自來水公司副總經理

專長：工程專案管理、環境工程、自來水工程規設、供水營運及管理、漏水防治及管理

赴韓國高陽參加「Water Korea 2023」出國報告

文/黃欽稜

摘要

Water Korea 是韓國最大的上下水道展覽會，自 2002 年開辦以來，迄今已滿 21 年，由韓國上下水道協會（Korea Water and Wastewater Works Association, 以下簡稱 KWWA）與地方政府共同舉辦。最早於大邱開辦，僅聚焦於給排水設備展覽，隨後的參展陸續加入了各種會議、研討會、競賽、技術參訪等內容，原本每年 11 月舉辦，自 2012 年起移至 3 月，以結合政府的世界水日活動，每屆吸引超過 150 個展覽廠商、1 萬 5 千名訪客。2020 及 2021 年 Water Korea 因疫情封控措施中斷了 2 年未開辦，終於在解封後恢復辦理，未來舉辦地點將採一屆於高陽市 Kintex 展覽會場（詳圖 1）、一屆於其他都市輪流辦理展覽。本屆則由 KWWA 來函邀請中華民國自來水協會參加其中的「國際研討會」（International Seminar），分享臺灣水行業的相關經驗，第一次正式參與活動。

關鍵字：Water Korea、展覽會、韓國、KWWA

一、會議綜覽

過去臺灣上下水界並未參與 Water Korea 展覽會議，本次會展於南韓京畿道高陽市 Kintex 第 2 展覽館舉辦、日期為 3 月 21 日～3 月 23 日，水協會前秘書長吳陽龍指派青年事務委員會副主委黃欽稜與會，於國際研討會發表演講、參與開幕式、展覽、設施參訪等活動，與 KWWA 首度進行接觸交流，藉以了解韓國自來水界最新技術與產品應用，並分享黃員於北水處服務的經驗，說明臺北疫情前後的智慧水務發展現況。

本次 Water Korea 於展覽期間於多個會議室同步辦理多場研討會、內容包羅萬象，諸如設施診斷技術、供水研究、國會水論壇、水器材認證制度、海外水道協會交流、

圖 1　本屆 Water Korea 於京畿道高陽市的 Kintex 第 2 展覽會場舉辦

韓美技術合作研討會、海外業務拓展戰略、國內水廠理事與經理會、國內水務商務會議、水質改善報告、水界合作技術開發、綠色產業工作坊、智慧供水與污水處理、AI-Digital Twin 供水建設、供水/污水改進案例介紹、水道政策...等。KWWA 雖然是 Water Korea 主辦者，本身也籌辦多個場次研討會，但上述研討會也有他方的籌辦單位，包含自來水研究所、國會附屬團體、韓國水產業協議會、飲用水檢驗機構理事會、環境部、K-Water、水科學聯合會等。於開幕式齊聚一堂（圖 2）。

雖然 Water Korea 屬於韓國國內的展覽會暨研討會，並未冠名 IWA，仍邀請一些國外產官學共同參與，除了學習國外新技術之外，其主要目的在於韓國水產業欲拓展國外市場，KWWA 認為最好的辦法就是邀請潛在買家蒞臨韓國，介紹新產品與技術，更說明過去韓國成功的海外技術輸出及合作案例，比起在地廠商個別赴海外參展更有宣導效益，而且韓國水界已經具有垂直整合的供應鏈，由國際貸款、技術文件、設備選用、到安裝運營等全生命週期，均有國內廠商的專業分工、更有經驗豐富的計畫整合主導者，因為拓展海外市場必須打群體組織戰，他們標榜提供解決方案（Total Solutions），而非只賣單一產品（Product Selling）。

Water Korea 為免費入場的展覽會，與冠名某些國際水組織的活動不同，參加 Water Korea 無須繳交昂貴的註冊費，除了某些閉門會議與特定研討會屬於邀請制，一般人皆可入場參觀，亦可上網預約或於入口處現場製作個人掛牌，KWWA 更鼓勵公務人員參加，入場時透過掃描掛牌條碼計算參與場次與時數，以發放證明納入公務學習點數。

圖 2　開幕式典禮

二、國際研討會（International Seminar）

國際研討會設定了四個主題（Topic），由受邀講者自行選擇報告內容，包含 Beyond COVID-19、Carbon neutral in water & wastewater works、Turning sludge into the resource、Water reuse，以及其他議題分享 Others。共邀請 6 位國外上/下水協會或機構的幹部出席演講，分別來自臺灣、美國、印尼、越南、蒙古等 5 國，然而蒙古烏蘭巴托市上下水道局主席臨時未能出席，改由 KWWA 污水部長報告韓國上下水道發展現況。

由於 Water Korea 屬於韓國本土的展覽會，大部分的研討會議均以韓語發表，並不提供即時翻譯與雙語文件，因為韓語理解能力不足，無法吸取相關訊息，甚為可惜，而黃員受邀演講的「國際研討會」採即時韓英翻譯、講者簡報文件皆為英文，因此筆者就以國際研討會參與經過與聽聞，概略整理六篇演講如後。

(一)講者：Fidan Karimova, Practice Leader, Global Sustainability &Innovation, Water Environment Federation(WEF)，水環境聯合會。主題：Catalyzing global water innovation to lead the transformation to the circular water economy

美國水環境聯合會的一個分支機構專注於上下水道的永續發展，並呼籲全世界的水務及監管部門能彼此分享、學習最佳經驗。水環會認為永續發展、循環經濟的課題十分艱深，不但難以快速理解內涵，而且涉及水務內部及外部治理、用戶習性等，即便水務單方面想要推動，也因涉及他方因素而充滿困難。Karimova 女士舉例，水務內部的技術問題，例如淨水場的水處理、管網調度問題，只要內部技術人員就可解決，但循環經濟問題卻由內部延伸到上游供應商、下游民眾、側面的法令、監管機構，這就不只是單純的技術問題了，要解決難題就必須全部的人都一起匡進來。

雖然永續發展與循環經濟的科技層面不難，但如何讓跨部門的組織動起來，有賴互相整合、跨域合作，最重要的切入點就是透過最佳實績（Best Practice）的分享，讓其他打算推行永續發展的水務參考、並依據當地的特性做出調整，以符合在地實踐。因此水環會特別重視利害關係人之間的網絡聯繫（Networking）、相互整合（Integration），每年均辦理多場循環經濟（Circular Water Economy）的研討會，正是該組織運作目的。

(二)講者：Colin Chung, Chair of the International Council, American Water Works Association(AWWA)，美國自來水協會。主題：Water 2050

美國自來水協會也為了全美水務的永續發展，提出了 Water2050 的策略。如同前面水環會的分享，美國因為幅員遼闊，各家水務特性分歧，AWWA 必須制定一體適用的戰略，包含五大主題：Sustainability、Technology、Economics、Governance、Social/Demo，主講人 Chung 指出，上個世紀初 AWWA 最重視 Technology，許多的突破都來自技術層面，而且只要透過建設並導入新科技，就能獲得本質上的提升，例如加氯消毒技術，推廣給每個「會員」後，曾經讓全

美死於水媒病的人數大幅下降，但這樣的成功經驗甚難在 21 世紀再次複製，必須導入更多的社會科學、經濟與治理等面向，方能獲得成功。

AWWA 透過對眾多水務會員的調查，制定五大主題下層的行動方案，調查後發現會員體質高度相異性，問題也極度複雜，例如某些水務只管理自來水，有些上下水道一起經營、某些只負責配送不負責水處理，有些水務是民營的，以營利為第一優先，但有些卻是政府機構，甚至還兼具有監管的身分，營運費用部分來自納稅人，光是水務運營、組織的分類就有極高的差別，因此 AWWA 使用智庫（Think Tank）導引會員理解 Water2050，梳理自身體質、找出最適合方案，成為 AWWA 現階段推展的重點。

（三）講者：Chin-Ling Huang, Deputy Chairperson of Youth Affairs Committee, Chinese Taiwan Water Works Association (CTWWA)，中華民國自來水協會。主題：Moving Toward Smart Water under COVID - A Case study of Taipei

來自北水處的黃欽稜本次代表中華民國自來水協會，分享疫情前後邁向智慧水管理的臺北經驗(圖 3)。雖然臺北在 2021、2022 兩年因為疫情影響，轄區售水量(不含支援台水)分別下降了 3.8%、4.6%，但整體經濟影響不只是如此，透過自動讀表系統（AMR）的水量分析得出，疫情期間公宅用水（Residential）反而有 8～9%的增量，係因待在家中用水增加所致，相對導致 Non-Residential 部分大減 15～18%，這樣的減幅，較能反映經濟活動的趨緩程度(Economic Slump)。北水理解使用 AMR 數據分析可得到附加價值(Added Value)與洞見(Insight)，為智慧水務的亮點之一。

圖 3　北水處黃欽稜代表水協會發表演說

由於北水處在疫情前開展了 AMR 的多項試辦，並且透過 GIS 躍昇能夠直接生成模型進行水理分析，在疫情期間進行了多項水理模型的應用，例如管網口徑偏大（Over-designed）所導致的沉降問題、配水池滯留導致附近水齡（Water age）升高，更透過模型的數位孿生（Digital Twin）優化水泵變頻操作，發現智慧系統支援決策之潛能所在，因此疫情後，北水處將賡續推動智慧水表商轉計畫（Commercial Operations Management, COM）、以及 GIS 後續應用計畫（GIS-Next Project）。

(四)講者：Viet-Anh Nguyen, Vice President, Vietnam Water Supply and Sewerage Association(VWSA)，越南上下水道協會。主題：Turning Sludge into Resources in Vietnam: Challenges and Opportunities

來自越南的阮博士身兼河內大學土木工程教授，以及越南上下水道協會副主席。本次介紹家庭污水處理與淤泥再利用的經驗。由於越南只有 7 成的家戶鋪設為數不長的下水道，幾乎都是與雨水下水道共用的合流型下水道，大部分排入河川，其中 16%經過污水處理廠淨化，全國的污水處理量合計僅 140 萬立方米/日，許多地方尚未佈設污水/雨水下水道系統，家家戶戶的排出的尿糞污水均使用化糞池暫存後，然後以水肥車載運集中處理，總計越南約 90%的家戶使用化糞池。

過去水肥車隊每日載運至處理場，先傾瀉至大面積的乾燥池以風乾方式，收縮水肥的含水量，成為「生料」(Raw faecal sludge)，然後堆積儲存，持續發熱約 60 度，發酵到一定程度後，過篩除去石塊再棄置掩埋場。風乾過程的滲流糞水則收集到池子內加入漂白水殺菌後排放河川。現在某些大城市，如河內，則載運到污水處理廠以厭氧消化（Anaerobic digestion）處理後再以機器分離固態物質，省下露天風乾的時間與空間，也不會有滲流的糞水須額外處理，所得到的生料不掩埋棄置，而是裝袋成為肥料販售，或者當作燃料產生電力提供污水處理廠內部使用。

(五)講者：Arief Wisnu Cahyono, General Secretary, Indonesia Water Supply Association (PERPAMSI)，印尼自來水協會主題：PERPAMSI at the Glance -Year 2022

印尼自來水協會秘書長 Arief Wisnu 先生本次介紹印尼全國的自來水現況與挑戰。印尼水協會共有 440 個水務會員，其中 401 個為地方政府所有、16 個為私人公司、23 個為非營利機構營運，全部的接水用戶數 1420 萬戶，會員的全部職員合計 5.89 萬人。大部分都是小型水務，用戶數介於 1～3 萬的水務有 157 家，介於 3～30 萬用戶的水務有 119 家，超過 30 萬戶的水務僅有 5 家，據統計，疫情前印尼達到「合格飲用水」標準的用戶僅 89.27%，其中的 69.09%雖然合格，但不是自來水（如井水），自來水普及率僅 20.18%。水協會的短期目標為 2024 年達 100%的合格飲用水，其中 7 成非自來水、3 成自來水。

由於氣候變遷，某些人口稠密的都市，如爪哇島上的多個城市也面臨缺水問題，但是新水源難覓，開源不易，故須節流，印尼

也把減少 NRW 列為都市水務的重要解決課題之一，Arief Wisnu 先生說由每噸水的耗能就可看出漏水嚴重的程度，因為泵送出去時，管網如果有破洞，不只流失水、更是耗電，印尼有 159 個水務會員每噸水耗能超過 0.5 度電，甚至其中 13 個水務每噸水耗能超過 1 度電（詳圖 4），全國 NRW%的平均值約落在 35%附近，水協會旗下 440 個水務會員的 NRW%都超過了 25%。

(六)講者：Yeo Cheon Yoon, Director of Department of Sewerage, Korea Water and Wastewater Works Association(KWWA)，韓國上下水道協會。主題：Water Supply and Sewerage Management in Korea。

最後由 KWWA 污水部尹部長介紹全國上下水道現況。韓國自來水系統發展成熟，2020 年都市地區普及率達 99.4%，鄉村也高達 96.3%，水源則以湖庫、河川等地表水為大宗，分別佔了 47.3%、43.0%，河川伏流水 6.7%、地下水 2.1%，合計全年 69.43 億噸，首都圈則以漢江流域供應原水為主，90 年代達到取水高峰，隨後開始遞減，因為用戶用水持平、農業用水逐年減少，首都圈供水無虞，但尹部長表示管網管理上仍有加強的空間，例如 2019 年仁川爆發的紅水事件（Reddish water），就是管網系統因操作切換幹管不當，流向改變，使得老舊鑄鐵管的鐵鏽大量剝離所致，此外 2020 年也發生搖蚊（Chironomid）密集產卵於濾床，導致孑孓幼蟲隨管網輸送入戶事件。因此韓國將透過智慧水網優化調度管理，並提出資產管理計畫，以汰換、更生老舊設施著手，維持量足且優質的供水。

韓國的家庭污水在 1970 年以前係流入雨水下水道系統，然後排入河川，在 80～90 年代開始進行截流處理再排入大海，直到 2000 年以後才陸續埋設專屬污水下水道，蒐集家庭糞尿污水，目前全國平均污水接管率達 80.7%（圖 5），但尹部長表示 20 年前埋設的污水下水道品質有問題，目前已經有多起

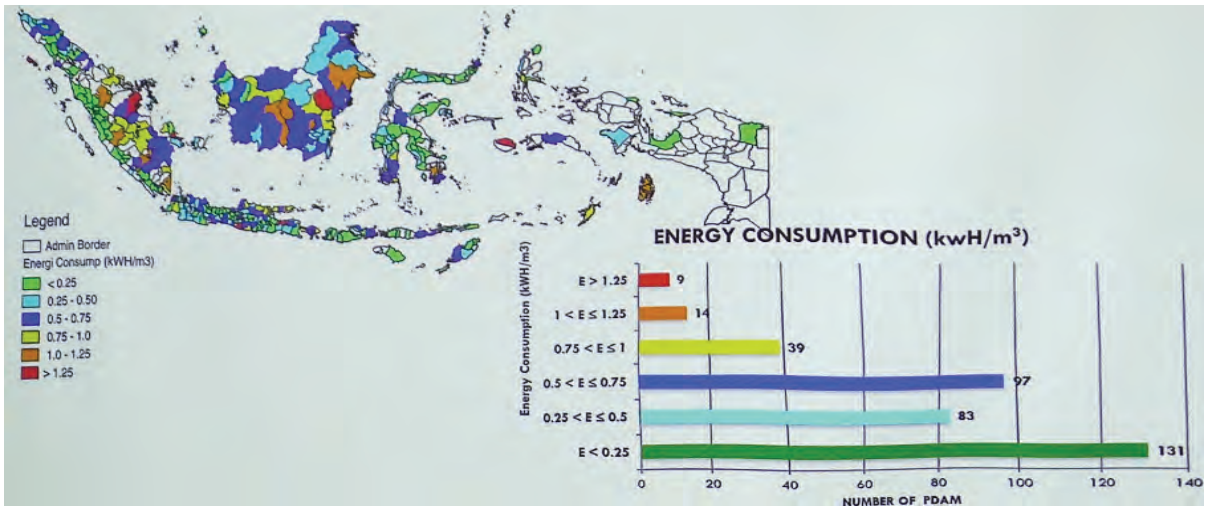


圖 4　印尼各水務生產每度自來水耗用的電力偏高，漏水嚴重也是其中之因素

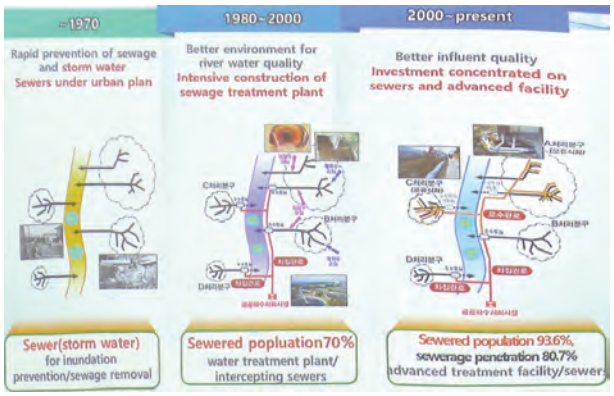


圖 5　韓國污水下水道系統發展的 3 個時期

接頭鬆脫掏空、管身破損滲汙等事件，暴雨時也發生雨水入侵污水系統，導致氣塞或水錘損害管路，減損強度及壽命，加上排水坡降設計不當，糞便容易阻塞甚至倒流入戶，而且污水處理廠當時設計已不敷所需，設備亟待翻修與擴張，以確保排放符合現行標準，並導入厭氧消化的沼氣燃燒發電，實踐污水場碳中和，目前多個更新計畫陸續展開中。

三、展覽會（Exhibition）

本次 Water Korea 的展覽會依照產品或服務的特性，共分為九類：包含「創新類」、「水處理設備類」、「藥品類」、「管線鑄造類」、「手孔、閥門、水池類」、「設施營運類」、「量測儀器類」、「汙泥處理類」、「調查、診斷、分析類」，以不同的顏色分配到各自的展區範圍，詳圖 6、7。本次展覽約有 10 多家水表商，供應管理用流量計、民用水表等，其中的民用型水表，如圖 8～11，某些廠商已經結合三表共同傳輸，韓國電子表為多重噴嘴本體，以磁鐵感應轉動軸，轉換為電子訊號，量程比 R=100、160 為大宗（相當於 B^{+}、C 級）。管材相關設備則為本展場的最大宗，約有 30 多家，如圖 12～18，幾乎全部為韓商。

圖 6　展覽會區分九類產品型態分區展出

圖 7　本次 Kintex 展覽場地與攤位全覽

圖 8　使用 RS485 有線通訊集抄之 3 表(水表、電表、瓦斯表)整合型 AMR

圖 9　不鏽鋼殼及黃銅殼之多重噴嘴(Multijet)水表，表身後端凸起圓形裝置為逆止閥

圖 10　電子表：DN15、符合 OILM R49，量程比 R=100、檢定使用年限：8 年

圖 11　超音波表：DN15、符合 OILM R49，量程比 R=250、檢定使用年限：8 年

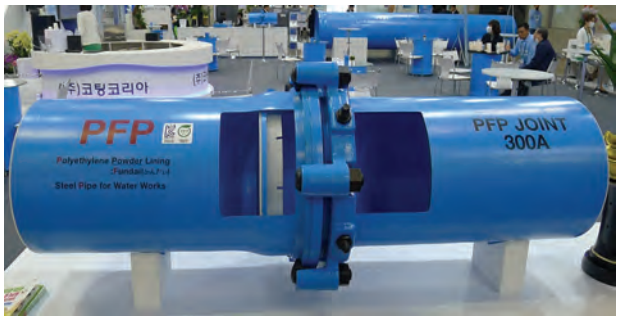


圖 12　使用 polyethylene(聚乙烯)粉料的粉體塗裝鋼管，而非傳統 Epoxy(環氧樹脂)粉體

圖 13　不鏽鋼止漏帶，厚殼型

圖 14　PVC 塑膠管與鑄鐵三通管銜接方式、不鏽鋼鞍帶分水栓鑽孔展示品

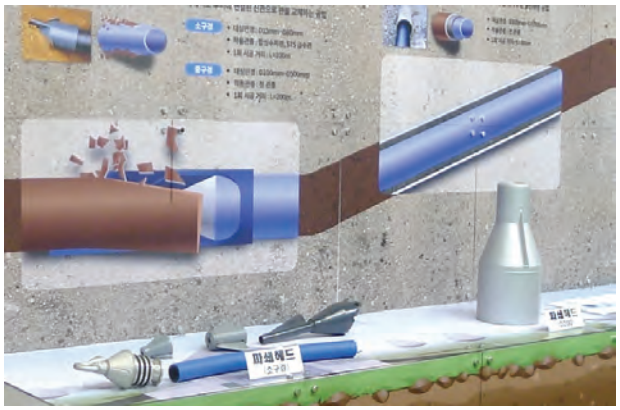


圖 15　免開挖劈管工法示意圖與設備展示

閥類與水力控制元件，大約有 15 家廠商，如圖 19、20，由小巧 DN15mm 手動調整的閘閥，到 DN1000mm 的特殊控制閥一應具全，並且韓國開發媲美外國大廠的智慧型控制閥。

展覽會如同韓國自來水業界的縮影，各個領域均有「自有品牌」，並非代理國外產品的攤位，因此韓國過去參與海外國際競標也都能選用國內產品，不仰賴他國技術，且價格相對低廉，極具競爭優勢。

圖 16　測漏儀：放置於水表鏡面之 Noise Logger；安裝於表前管線之靈敏壓力計，回傳雲端平台以 AI 偵測管網漏水。

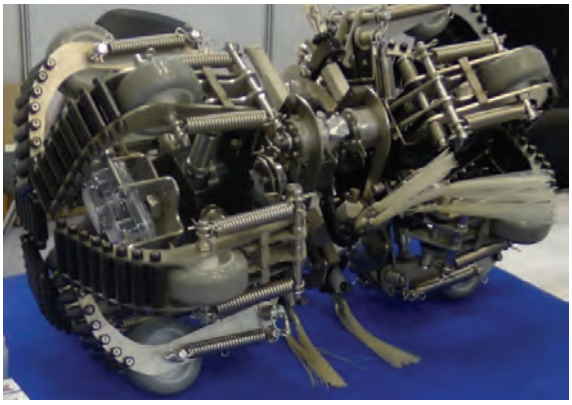


圖 17　管內清洗刷頭，適用口徑 300~400mm

圖 18　不斷水安裝制水閥設備剖面展示

圖 19　智慧響導閥，可設定多時段減壓，並參考最不利點水壓變化，自我學習最優設定

圖 20　超大口徑節流閥，以數位響導閥控制

四、設施參訪（Facility Tour）

本次 KWWA 特別安排一場外賓參訪，有韓英雙語翻譯人員隨行，參觀地點分別是喜鵲屋淨水場（Kkachiul WTP）以及掘浦污水場（Gulpo WWTP），兩者均位於漢江南側的富川市，與會場所處的高陽市隔著漢江相望。

(一)喜鵲屋淨水場

位於京畿道富川市（Bucheon）的喜鵲屋淨水場，興建於丘陵山上，附近並無水源，而是來自直線距離約 40 公里外的漢江中上游的八堂水庫，透過原水管長程輸送至此淨水處理，蓋在山上目的為配水池具高程優勢，可完全以重力輸送，無須水泵加壓，節省能源。該淨水場為傳統混凝膠羽、沉澱快濾的水處理技術，並未使用臭氧、活性碳、膜濾等深度處理之工藝，似乎很尋常，但該淨水場內部設有水資源教育中心、配水池上方更興建一座棒球場(圖 21)提供球隊練習。

喜鵲屋淨水場為首爾都會圈原水幹線系統所供應的最末端（圖 22），原水經淨化處理後，該場每日最大出水量為 23.5 萬噸，供應富川市當地所需，當時的規劃還有教育的目的，因此場內設有水資源教育中心（圖 23）。此外因為 2020 年發生搖蚊孑孓入侵供水系統事件，喜鵲屋淨水場後來也於沉澱池上方額外加裝灑水頭，對著沉澱池旋轉灑水，藉以驅趕昆蟲，經實證以此簡單的小裝置，就可避免相同的事件發生。

圖 21　喜鵲屋淨水場鳥瞰圖，配水池上方興建的棒球場免費提供附近球隊使用

圖 22　首爾都會圈原水幹線與其支線圖，最左紅色文字方框所指為喜鵲屋淨水場

圖 23　喜鵲屋淨水場附設水資源教育館

(二)掘浦污水場

淨水場的位置可以設在遠離水源的地方，但污水場往往要考慮當地污水管集水區，設置於下游匯流口以下地區，因為家庭污水皆以重力流動方式蒐集。本次參觀的掘浦污水場就是設置在多條主幹線匯流點。本污水場日處理量最大為 163 萬噸，污水經過 DeNiPho 技術、4 階段 BNR 技術處理，可去除氨氮、總磷等，符合法規標準後除了排放，還設有生物膜濾中心，可產製再生水。

本場的污水來源，大約 95%屬於家庭廢水，僅有 5%為工業廢水，因此富含高濃度的人體排泄廢物，即尿糞污水。由於附近皆是農田，沒有居民，所以掘浦污水場的 BNR 生化反應池為露天設置，惡臭不會遭到投訴，由鳥瞰圖（圖 24）很像自來水淨水場沉澱池。尿糞污水經過沉澱池先將固態物質分

離，上方的流動液體充滿有機物氨氮，臭味極濃，接著進入生化反應池（圖 24）進行 DeNiPho 程序，注入空氣，讓池內細菌充分與污水混合，分解污水，上述程序重複進行 2 次，然後進入除磷設備，得到的水質就清澈許多了，接著再加氯消毒便符合標準，可排放到河川。

圖 24　掘浦污水場鳥瞰圖

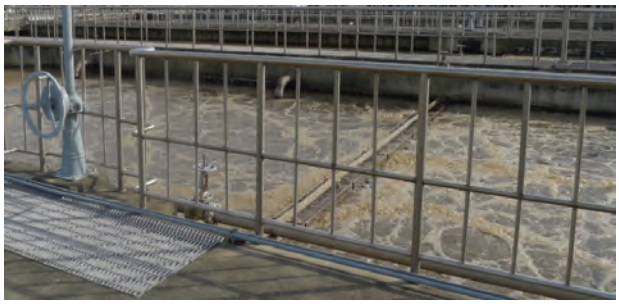


圖 25　生化反應程序(Bioreactor)分解有機物

分離後的固態汙泥，採用厭氧消化（Anaerobic digestion）然後進行脫水，最後送入焚化爐，本場使用厭氧消化產生的瓦斯進行發電，可以減少 32%的購電依賴，未來朝向能源獨立邁進，逐步減少外購電力。掘浦污水場的除磷及加氯室上方特別興建了一處生態公園，附設運動場地提供民眾免費使用，讓污水場不再是人人避而不及的嫌惡設施，具有 Eco-Park 的休憩功能，開放民眾入園。

五、心得與建議

(一)韓國水道的發展已經度過了滿足水量、提升水質的年代，正朝向精緻化管理、智慧化應用邁進，由其研討會的議題、展覽會場產品、以及技術參訪場址狀況皆可察覺韓國水務的企圖。

(二)相較臺灣水界的單打獨鬥，韓國有政府成立的 K-Water 提供研究、營運、管理、建造等各環節之諮詢、整合、代操作，服務對象不僅是上水、下水，更會連帶提攜設備商、承包商、研究機構的整體水準。本次會議處處可見到 K-Water 的身影，甚至其扶植的新創公司(Start-ups)。

(三)臺日韓三方水道界有著相似的水器材使用與發展路徑，但過往與韓國的接觸較少，年度出國計畫也未曾編列，建議未來可逐步派員參加韓國類似展覽與會議，例如本展覽會、或者韓國國際水週（KIWW），相較歐美、東南亞、非洲等水務體質與臺灣差異較大，韓國經驗應有值得借鑑之處。

作者簡介

黃欽稜先生

現職：中華民國自來水協會青年事務部副主任委員、
臺北自來水事業處一級工程師

專長：漏水控制、數值分析、智慧水表、水理分析

協會訊息

文/自來水協會會務組

一、本會第 40 屆自來水研究論文發表會（含高峰論壇）定於 112 年 11 月 16 日（四）假國立臺灣科技大學國際大樓舉行。

二、本會第 56 屆自來水節慶祝大會暨第 20 屆第 2 次會員代表大會舉辦時間：112 年 11 月 17 日上午；地點：福華國際文教會館 2F 卓越堂。

三、本會第 40 屆自來水研究發表會高峰論壇、論文徵稿主題：

A 供水系統改善	B 智慧供水管理	C 供水永續發展	D 緊急應變服務
1. 供水管網漏控技術與管理 2. 供水設施整備改善 3. 工程技術與案例探討 4. 先進水處理技術 5. 其他	1. 淨水系統規劃、維護與管理 2. 輸配水系統規劃、維護與管理 3. 供水系統智慧化管理與應用 4. 自動讀表技術與智慧水管理 5. 其他	1. 水源開發、集水區治理及保育 2. 高濁度原水水質預警監控、處理與應變機制 3. 供水系統節能減碳管理與應用 4. 水質檢驗、監測與管理 5. 其他	1. 緊急維生給水站、臨時供水站、防災地下水井設置與管理 2. 緊急應變措施及危機管理 3. 用戶服務與客服管理 4. 節約用水服務 5. 其他

四、本會 112 年度之技術研究專題研究計畫案，由臺北自來水事業處提案「傳統淨水場利用既有處理程序去除季節性溶解錳研究」及台灣自來水公司提案「台水公司檢漏策略案例研究探討」兩案同時執行。

五、本會 112 年度之管理研究專題研究計畫案，由台灣自來水公司提案「台水公司多元財務融資策略之研究」及臺北自來水事業處提案「機關學校節約用水推動機制與用水設備異常態樣之分析與探討」兩案同時執行。

六、本會秘書長自 112 年 3 月 1 日由理事陳錦祥接任並辭去理事一職，同時通過由候補理事謝張浩遞補理事。

七、通過丁彥文、江茹慧、林宗賢、魏梓庭、張繼元、陳俊豪、林珈汶、吳英豪、張志愷、曾雪芳、薛于芠、楊韻瑾、李昱錚、傅佑瑜、蔡政宏、張碩君、蔡宇婕、孫安妤、林上欽、賴羿齊、林俊學、黃柏綸、甘宇荃、江忠諺、陳怡婷、邱繼慶、郭哲安、江芳豪、李蘊理、簡廷原、吳宗昱、許永旭、劉嘉文、吳宗霖、鄭長庭、藍秉修、張子中、黃信維、陳志男、毛贊棠、鄭宇凱、陳杏涵、陳建鋒、潘明松、許美智、林俊賢、李新雄、李偉綸、黃志成、王秉科、吳宸安、嚴世鈞、陳威錡、許聖富、李宗蔚、楊祥龍、羅薪又、溫志超、林怡利等共計五十九位申請加入個人會員案。

八、通過「佳洛系統工程有限公司」、「金弘盛企業股份有限公司」、「大地昌興業股份有限公司」、「孚因機電股份有限公司」共計四家廠商申請加入團體會員案。

九、本會本年度將舉辦桌球、網球、慢壘及羽球體育康樂活動之活動，以提倡全民運動並凝聚會員向心力。

十、本會主辦「第九屆國際水協會亞太地區會議及展覽會」9th IWA-ASPIRE 2023 即將於 2023 年 10 月 22-26 日於高雄舉辦，歡迎會員與會共襄盛舉。

官網連結如下：

https://www.iwaaspire2023.org/