



Water Works Association
of the Republic of
China (Taiwan)

自來水

158

WATER SUPPLY QUARTERLY

Volume 40 NO.2 MAY 2021

第40卷 第2期
2021年5月

中華民國自來水協會會刊

本期專題：營運管理

面對極端氣候之自來水事業資產管理研究

自來水加壓設備預知維管與類神經網路之應用

淨水污泥餅認定及去化方向探討

閘栓維護作業-淺談北水處營業分處閘栓維護工作



自來水會刊第 40 卷第 2 期(158)目錄



實務研究

- 全面推動智慧水表的契機－導入AMR技術的紅海策略
.....時佳麟、黃欽稜、盧雪卿、邵功賢..... 1
- 科技偵漏相關儀在台水供水環境之成效探討.....林子立..... 10
- 管線生命周期的最後一哩路－拆除及廢棄實務探討.....李俊德..... 19

本期專題

營運管理

- 面對極端氣候之自來水事業資產管理研究.....
.....柯藹洵、鍾澤邦、周星妤、陳佩君、蕭淑貞、楊晴雯..... 26
- 自來水加壓設備預知維管與類神經網路之應用.....邱嘉南..... 36
- 淨水污泥餅認定及去化方向探討.....陳威豪、黃庭水、陳文祥..... 44
- 閘栓維護作業－淺談北水處營業分處閘栓維護工作.....吳幸璋、王詠民..... 53

一般論述

- 拱型水管橋結構設計之研討.....曾浩雄..... 59
- 疫情時代的櫃台數位化轉型.....陳韋權..... 69
- 臺灣現代自來水之父：時代的先驅－威廉巴爾頓.....吳世紀..... 79

他山之石

- 新加坡自來水漏水管理－如何達成低漏水率.....游叡研..... 89

協會與你

- 歡迎投稿 110年「每期專題」..... 52
- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法..... 58

封面照片：台灣自來水公司提供

自來水會刊雜誌稿約

- 一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水會刊，每年二、五、八、十一月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。
- 二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、每期專題、專家講座、一般論述、業務報導、他山之石、法規櫥窗、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地、自來水工作現場、自來水廠(所)的一天、會員動態、協會與您等文稿。
- 三、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得（包括技術與管理），前述二類文稿請檢附摘要。「每期專題」由本刊針對特定主題，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「自來水工作現場」供自來水從業人員，針對工作現場發表感想。「自來水廠(所)的一天」為提供自來水基層廠(所)的工作現況，增進社會各界對自來水服務層面的認識。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與您」則報導本會會務。
- 四、惠稿每篇以不超過十頁為宜，特約文稿及專門論著不在此限，**本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明**；無法刊出之稿件將儘速通知。
- 五、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版品：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。
- 六、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。投稿一經接受刊登，版權即歸本協會所有。
- 七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 thomas7735tw@mail.water.gov.tw，並請註明真實姓名、通訊地址（含電話及電子郵件地址）、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。
- 八、稿費標準為專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、專家講座、法規櫥窗、他山之石、特載等文稿 900 元／千字，「業務報導」為 500 元／千字，其餘為 400 元／千字，文稿中之「圖」、「表」如原稿為新製者 400 元／版面、如原稿為影印複製者，不予計費。
- 九、本會刊於 110 年開始發行電子會刊，內容已刊載於本協會全球資訊網站（www.ctwwa.org.tw）歡迎各界會員參閱。
- 十、本刊中之「專門論著」、「實務研究」、「一般論述」、「每期專題」及「專家講座」，業經行政院公共工程委員會 92 年 3 月 26 日工程企字第 09200118440 號函增列為技師執業執照換發辦法第五條第一項第四款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程科」。

自來水會刊雜誌

發行單位：中華民國自來水協會

發行人：郭俊銘

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電話：(02)25073832

傳真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

葉陳萼

委員

陳明州、李嘉榮、康世芳、王傳政、武經文、

駱尚廉、范煥英、洪世政、李丁來

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總編輯：李丁來

執行主編：林正隆

編審委員

甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、
梁德明

執行編輯：曾彥中

電話：(04)22244191 轉 376

行政助理：黃香蘭

協力廠商：松耀印刷企業有限公司

地址：台中市北區國豐街 129 號

電話：(04)22386769

全面推動智慧水表的契機—導入 AMR 技術的紅海策略

文/時佳麟、黃欽稜、盧雪卿、邵功賢

一、前言

(一)前智慧水表時代

在民國 104 年以前，臺北供水轄區 165 萬多只水表，由委外抄表人員每月或隔月逐戶抄表每年超過 1 千萬次，且多數水表因位於公寓頂樓或用戶屋內，因而透過用戶自抄每及配合每年至少 1 次見抄之方式因應計費需求，使得在擾民程度與計費成本之間取得平衡，惟在抄表同仁的職業安全（墜落、受傷、惡犬、髒污等）以及計量正確性（用戶自抄、推定、錯抄）與即時性等尚有持續精進之空間。

為解決前述問題，北水處於民國 89 至 90 年間即針對 20 處學校、飯店、用戶總表及支援台水公司等地點，試辦國內製造電子水表加上自動讀表系統（AMRs, Automatic Meter Reading system），經由市內電話（PSTN）回傳使用水表積算值、瞬間流量，及偵測漏水、正轉、電力不足…的天數功能。於民國 94 年再試辦無線自動讀表系統（AMRs），依據研究成果水表透過無線網路技術（WiFly）進行自動讀表技術上應屬可行，該研究試辦讀表成功率平均達 99.8%、讀表正確率為 100%，惟當時所需投入建置及後續通訊、維護等成本偏高，技術問題待克服及經濟效益不高而暫停實施。

同期間，台灣自來水公司自民國 89 年至 91 年間亦在第六區處及第七區處針對工業用戶、商業戶及政府機關，依當時國內技

術產品各辦理約百餘只水表安裝 AMRs，經由市內電話（PSTN）回傳使用，因台水公司用戶分佈較廣，工業及商業大用戶採用自動讀表系統效益較顯著，故至 104 年初仍維持採用，但也未擴大辦理。

從 89 年至 104 年間相關研究，包括內政部建築研究所 93 年「數位化水、電及瓦斯自動讀表系統在建築物能源監測之應用與推動辦法之研擬」、經濟部水利署 101 年「提升水量計功能強化用水管理之育成計畫」及台水公司 102 年「水量計自動讀表介面功能規範研究」…等，提出考量建置成本與使用效益，集合住宅推動應可行；事業單位認為 AMR 建置相關費用應由事業單位負擔，多數政府主管機關則認為先採鼓勵性質推動 AMR，之後再立法強制安裝；國內 B、C 級水表搭配無線射頻（RF, Radio Frequency）搭配通訊傳輸（當時是 GPRS）成本最低且淨效益最高；而台水公司建置 AMR，除大用戶外因通訊設備維率修低、維護成本過高，而改採人工抄表。

(二)智慧水表推動的契機：

歐美等先進國家為因應高昂的抄表人力成本，率先採用具有自動讀表技術（AMR）之智慧水表以因應抄表以及用水節水管理應用，然而智慧水表成本較為昂貴，於當時國內投入廠商數量亦相當有限，因此有賴政府政策以及財務結構之支持下，方能促成智慧水表推動。

在法規上，為推動國內智慧建築之發展，內政部建築研究所 92 年完成之「智慧建築標章」作業要點暨評估手冊；93 年起，正式受理智慧建築標章之申請；102 年開始，工程經費在兩億元以上新建之公有建築物，須申請「智慧建築候選證書及標章」；105 年訂定「智慧建築評估手冊 2016」，將「數位水錶」（智慧水表）位列其中八項評估指標中「節能管理」之中。

在政府政策上，臺北市政府為實踐「智慧城市新經濟」政策目標，於 104 年 7 月成立「智慧城市委員會」研擬願景及推動策略。並於 105 年 3 月設立「臺北智慧城市專案辦公室」，建立民間與政府溝通政策之平臺，讓資通訊業者能透過臺北市進行智慧水表物聯網 (IoT, Internet of Things) 場域驗證。在財務結構上，北水處自 105 年 3 月 1 日起實施新水價，此為水價凍漲 21 年後首次調整，平均調幅為 28.16%。反映水價之主要效果為使自來水資源價值化，並且可將增加之水費收入轉而投入可達成節水防漏之政策投資，形成減漏節能之良性循環。

最後是人口結構的轉型，臺灣全國人口數於 108 年達到了最高峰的 2,360 萬人，之後因為少子化浪潮的影響開始造成人口下滑，至 109 年底人口數已減少至 2,356 萬人，（圖 1），因此未來的勞動力勢必有漸減趨勢，然而轄區裝表的用戶數卻自 104 年的 166 萬戶，增加至 108 年底的 170 萬戶，每年平均以 1 萬戶在成長（圖 2），抄表人員工作負擔逐年增加，在此一增一減之間，未來恐將面臨無人願意抄表或抄表成本過高之窘境，因此抄表模式必須轉型以未雨綢繆。

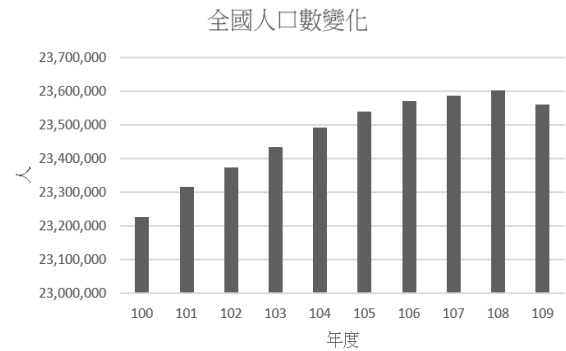


圖 1 全國人口數變化

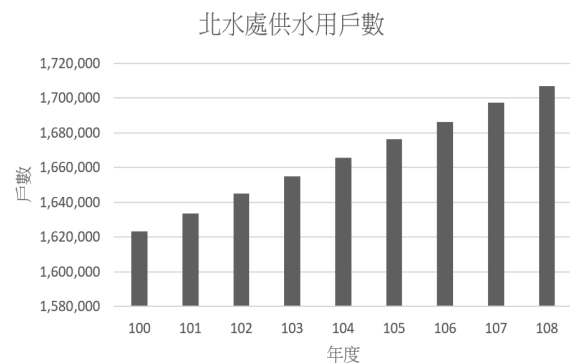


圖 2 北水處供水用戶數變化

(三)過去推動之技術、數量與成本經驗

為配合北市府「智慧城市」政策，北水處已於 104 至 108 年針對大用水戶、府屬機關及市府新建公宅與市場，進行智慧水表安裝試辦，至 108 年底共安裝約 6 千餘只，讓國內智慧水表產業萌芽與逐步具備推動條件，且達到異常用水主動警示及預防性節水效益，惟智慧水表品質與物聯網 IoT、資通訊 ICT 技術整合還需提升，目前廠商因缺乏經濟規模難以投資改善，因此無論在設備的成本上，技術上仍均有待突破，且能夠提供完整智慧水表服務之供應商亦十分有限，因此須從各個面向擬定策略，使得智慧水表得以供應充足且成本合宜，使全面推動智慧水表成為可能。

本文將透過檢討經濟學市場供給需求曲線變動因子，從變動因子所對應政策執行



策略，探討導入 AMR 技術的紅海策略。

二、市場的需求供給

市場需求供給曲線：需求曲線（D）和供給曲線（S）是經濟學模型，市場上產品價格（P）與數量（Q）的決定，是由該產品的需求與供給同時發揮作用互相影響而定。需求曲線與供給曲線的交叉點（E）用以決定市場的均衡價格（ $\bar{P}$ ）和均衡數量（ $\bar{Q}$ ），形成市場兩種力量決定價格和產量的均衡。這個模型適用於競爭性市場，而不適用於市場存在獨占或者寡占的情況，因此需求供給曲線未來的發展方向對於該產品能否被普遍性採用至關重要，需求供給曲線如圖 3 所示。

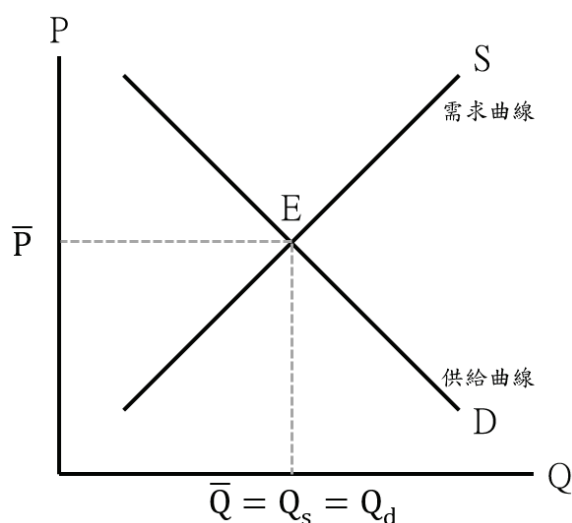


圖 3 需求供給曲線

影響市場需求曲線的因子：需求量是指在某一個特定的價格水準，且其他條件不改變的情況下，消費者有能力並願意購買的數量。對於不同價格相對應的需求量所形成之曲線，即為需求曲線。需求法則描述出需求曲線的特質為「在其他條件不變的情況下，產品的價格越低，其相對應的需求量越

多」，因此依需求法則形成之需求曲線是向右下傾斜的，當需求增加時，需求曲線會向右擴張（圖 4）。引起產品需求變動的原因至少有五個，分述如下：

1. 可支配收入改變：消費者可支配收入增加，會使其對於產品的消費增加，引起需求曲線向外移動。
2. 喜好的改變：消費者對於產品的偏好，會受到資訊取得，以及觀念改變等因素的影響而調整，同時若產品具備更好的功效或附加價值，或是法規要求，都會使消費者認為該產品是需要的增加其需求量。
3. 用戶總數改變：用戶數若增加，會引起產品的需求增加。
4. 相關產品價格改變：當產品的替代品價格上升，消費著對於產品的需求會增加。
5. 產品本身預期未來價格改變：有些商品是可以跨期替代，也就是說可以提前購買儲存備用或延後購買以節省開支。惟智慧水表採購後即開始損失表齡，一般決策不會因為突然便宜而大量採購囤積，非本文討論範圍。

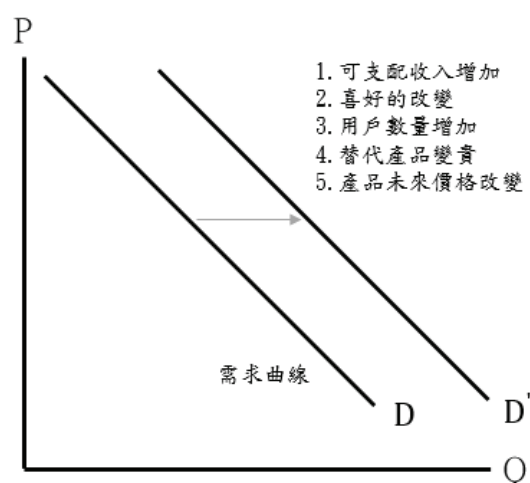


圖 4 需求增加

影響市場供給曲線的因子：供給量是指在某一特定的價格水準，且其他條件不改變的情況下，生產者有能力並願意供給的數量，對於不同價格相對應的供給量所形成之曲線，及為供給曲線。供給法則描述出供給曲線的特質為「在其他條件不變的情況下，產品的價格越高，其相對應的供給量越多」，因此依供給法則形成之供給曲線是向右上傾斜的，當供給增加時，供給曲線會向右擴張（圖 5）。

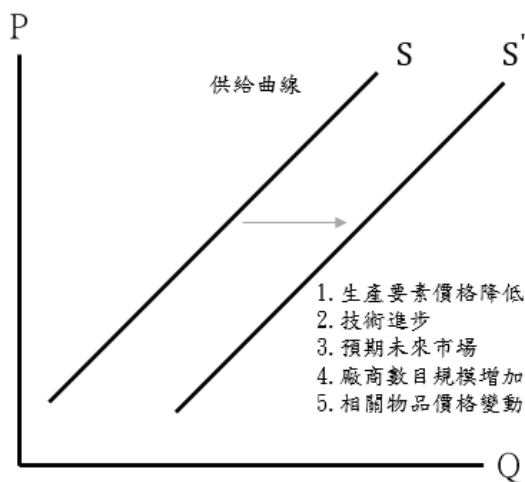


圖 5 供給增加

引起產品供給變動的原因至少有五個，分述如下：

1. 生產要素價格的變動：若生產要素的價格下跌，則生產成本降低，在有利潤的情況下，會增加對產品的生產而引起曲線右移。
2. 技術進步：若生產者技術進步，使生產效率增加，成本降低而利潤上升，生產者便有能力增加產品的供應。
3. 預期未來市場：若廠商預期所生產產品的未來市場看好，有潛在龐大需求，價格或市場規模會上漲，會調整其未來生產能量，以求能在未來市場獲取更多的利潤。

4. 廠商的數目或規模改變：若某產品價格不變，但廠商的數目或規模增加，則整個市場對產品的供給會增加。

5. 自家生產的相關物品價格的變動：生產者所生產的產品中，常常互為生產過程中之替代品或互補品，其替代品或互補品之價格變動，出於產能有限創造極大利潤考量下，會影響到產品的投產數量。因此為廠商內部調整範疇，非本文政策討論範圍。

三、紅海市場態樣說明

所謂的紅海市場，在經濟學的角度來說，就是接近完全競爭的市場。透過了解接近完全競爭市場的態樣，方能透過政策與策略的擬定，引導市場往期望的市場型態方向來發展。

一個市場若屬完全競爭型態的市場，需要具備下列幾個基本特質：

- (一) 市場非常成熟但擁擠，競爭非常激烈：市場上有眾多的需求者與供給者，供應數量與需求數量均相當強勁，產品價格是由市場上的供給與需求共同決定，任何一個廠商均無法靠自身力量任意提高或降低價格，因此所有廠商皆是價格接受者。
- (二) 市場充斥同質化商品：單一廠商所生產的產品，在消費者眼中與其他產商所生產的產品完全能提供相同功能，因此產品在完全競爭的市場皆屬同質產品，彼此間具有完全替代性。
- (三) 產品價格與品質訊息完整：在市場上，供給者與需求者對於產品的價格與品質有完整的資訊，因此雙方都是在最有利的價格下交易產品。

(四)商品功能因同質無從比較，廠商傾向以低價策略競爭：個別廠商為了爭取更高的利潤，發展成透過低價策略爭取市場之態樣。

四、導入AMR技術的紅海策略

北水處因同時扮演著影響政策制定者與消費者之角色，而政策制定者對於營造良好產業發展環境具有相當之責任，因此，北水處與國內產業合作，分別在市場需求面以及供給面擬定多面向策略與措施，以利引導自動讀表技術市場供需發展，以下就幾個比較主要的措施分述如下：

(一)市場需求面向措施：

1.可支配收入改變

(1)調漲水價：北水處自 105 年 3 月 1 日起實施新水價，此為水價凍漲 21 年後首次調整，平均調幅為 28.16%，使水資源價值化，並真實反映用水成本。增加之水費收入可投入達成節水防漏之政策初始投資，形成減漏節能之良性循環。

(2)漏水改善：北水處透過小區計量管網改善推動，至 108 年已建置完成 828 個計量小區，並透過小區智慧流量計即時監控應用，漏水率至 108 年已降低至 12.71%，可有效減少動力費用及增加支援水量，所增加可支配收入再投入智慧計量應用強化漏水改善，形成良性循環。

2.喜好的改變

(1)推動智慧城市與智慧生活：為配合臺北市政府推動「智慧城市」政策，推行智慧化生活模式，北水處於 104 年起，首先針對用水千度大用水戶 100 只進行智慧水表試辦安裝，以評估應用成效，並自 105 年起

運用增加之水費收入，擴大安裝範圍，納入 200 度以上用戶及府屬機關學校，並將市府新建社宅及市場一併納入試辦安裝，至 108 年底共安裝 6,609 只，促進對於智慧水表的使用需求。

(2)提升附加價值：為使用戶善用智慧水表以達節約用水之效，107 年建置「智慧水管家」平台，持續提供安裝用戶視覺化用水資訊及異常警示服務，至 109 年 12 月協助用戶發現漏水及改善完成共 1,479 案，預防性減少約 448 萬噸水資源浪費，以北水處水價表千度以上用水費每度為 20 元換算，節省費用約 8,960 萬元。另為瞭解未來全面建置智慧水表對於數據分析與區域管理之大數據應用，透過「建置臺北智慧水網示範區」，研究包含用水模式與藏水於民進水智慧模型、水表智慧功能分析、水理模型建置與智慧應用、智慧函數型數據漏水預測、智慧調整自動讀表與通訊強度偵測與傳輸技術的應用、導入智慧傳訊狀況監測系統等多面向應用技術，以提升智慧水表之附加價值，促進使用需求。

(3)法規要求：內政部建築研究所在民國 92 年訂定「智慧建築標章制度」，並自 102 年 7 月 1 日開始，新建之公有建築物總工程經費在兩億元以上者，須申請「智慧建築候選證書及標章」，近年智慧相關技術進步快速，為加強推動普及智慧建築並與時代密切接軌，於 105 年訂定「智慧建築評估手冊 2016」，而「數位水錶」位列其中八項評估指標中「節能管理」之中；又因北水處於 104 至 107 年之智慧水表試辦

頗具成效，臺北市議會於 108 年 5 月提案，茲因極端氣候影響，致使水資源供給面臨嚴重短缺和不均，為節約用水保護環境，請北市府制定相關法令，要求「新建案強制裝設智慧型水表」，讓民眾可以及早發現漏水情況，以避免水資源浪費。因此北水處自 109 年 1 月 1 日起辦理檢驗之新建案須全面安裝智慧水表，同時新申請之審圖須全面以智慧水表進行設計，可有效從法規面促進智慧水表之採用需求。

3.用戶總數改變：雖然臺北市近年人口逐年減少，然而須裝設水表計量的用戶數量每年仍然持續穩定增加約 1.2 萬戶，加上新建案全面安裝智慧水表政策、8 年後之智慧水表汰換需求以及全國水務事業單位都逐漸積極推動智慧水表應用與發展，未來每年須使用智慧水表的用戶數將逐年成長，有效擴大市場利基。

4.相關產品價格改變：臺灣刻正面臨少子化的問題，109 年全年出生人數僅 16 萬 5,249 人，相對於 40 年前全年出生人數 41 萬 4,069 人相比僅剩下 40%，未來臺灣勞動力將逐年萎縮將使得抄表人力難以尋找或增加營運成本，人工抄表做為自動讀表的替代品緣故，將會促使水務單位採用更多的自動讀表設備以節省人力資源。

(二)市場供給面向措施：

1.生產要素價格的變動

(1)調整自動讀表紀錄與傳輸頻率：過去北水處安裝於既有用戶之大用水戶與府屬機關之自動讀表設備，紀錄頻率為 1 分鐘 1 筆，且 10 分鐘傳輸 1 次，每年每只水表每年數據 52 萬筆，傳輸 5 萬餘次，對於

電池電力需求甚鉅，廠商之生產成本因而居高不下，主要都是在電池成本上。考量推動全面安裝時，機關與用戶對於數據之實際需求並考量經濟性，將紀錄頻率調整為 1 小時 1 筆且每天回傳 1 次，將傳輸電池需求降低至 1%，可大幅降低單只智慧水表電池成本。

(2)新建案審圖優化供電及安裝環境：針對新建用戶於審圖時，即要求用戶須提供市電供電以維持智慧水表運作穩定，並可有效減少電池使用環保問題，而採以市電供電成本十分低廉，用電量與 1 個燈泡差不多，幾乎可完全免除電池供應成本。另外對於地下表箱蓋以及封閉性室內水表間所造成的無線通訊屏蔽問題，也規定要加裝 EMT 導管至通訊良好處，以利減少通訊接駁設備使用、避免積水環境以及維持設備訊號正常。

2.技術進步

(1)辦理技術試煉 POC：為促進智慧水表技術發展，北水處於 108 至 109 年辦理智慧水表技術試煉，提供試煉場域供廠商實場測試設備技術，測試包含照相式、脈衝式及電子式讀表技術，成功引進國外水量計、讀表通訊模組、通訊技術，並使國內產業串連，共同開發新式脈衝式水表、讀表通訊模組及設備國產化等，使國內智慧水表技術獲得空前發展。

(2)引進低成本通訊技術：北水處早期之自動讀表通訊技術多以 3G 以及 4G 等主流商用技術為主，惟此類技術因屬付費授權頻段，通訊成本較高，且相較於智慧水表所需甚微的資料傳輸量，可謂大砲打小鳥，

大而不當。又因國家通訊委員會（NCC）於 106 年時提供免執照頻段如 2.4GHz、5GHz、920MHz-925MHz 頻段等供自建智慧讀表之無線通訊網路，因均無「通訊費率」及「無線電頻率使用費」之負擔，可有效降低通訊成本，因此北水處在 108 年首次引進例如 NB-IoT、LoRa 以及 Sigfox 等授權與免執照頻段通訊技術，透過選擇合適的傳輸量技術，有效降低通訊成本。

(3)辦理營運測試 FOT：為發展智慧水表大量推動時之管理技術與確保設備穩定性，於 109 至 112 年辦理智慧水表營運測試，提供實際用戶場域約 1.5 萬戶供廠商長期實地評估，持續蒐集各場域測試資料，包含廠商團隊設備規格、建置成本、技術與維運品質等，進行綜合評估廠商設備產能、現場裝設與資料回傳品質、傳輸技術與通訊穩定度、整體建置進度管控與維運管理能力。

3.預期未來市場：目前臺灣水表市場，除了連江縣已全面升級換裝為智慧水表以外，未來具有安裝智慧水表的潛在市場包含北水處的 170 萬只、台灣自來水的 736 萬只及金門縣水廠的 2.3 萬只，合計近 900 萬只，若每只智慧水表以 3,000 元計算，市場規模約 270 億元，深具投資吸引力，且目前海外市場例如東南亞的印尼、越南及新加坡等均開始大力推動智慧水表應用，若廠商能提早投入設備研發，預先準備具競爭力之產品，將可於未來國內及國外智慧水表市場拔得頭籌。

4.供應商增加

(1)培植產業發展：智慧水表服務包含感知、

通訊、平台及應用等多面向層面服務，非單一廠商能獨立提供整合服務，因此過去國內能完整提供智慧水表技術廠商數量及產能均非常有限，為了促進產業發展，北水處於 107 年起辦理 3 場次廠商座談會及說明會，積極媒合產業，108 年邀請供應鏈廠商參與技術試煉，成功媒合 10 組 18 家廠商組團參與，且測試成果均相當優良，使國內產業數量獲得長足發展。接續於 109 年辦理之智慧水表營運測試，亦有 11 組團隊投標，7 組團隊得標參與，且尚有數家技術仍在發展中之團隊有意參與，已有效增加願意投入智慧水表發展之供應商數量。

(2)調整規格要求及放寬設備型式：若機關對於智慧水表的規格要求越高，包含設備功能、防水能力等，過高的技術門檻恐抑制有意參與產業投入之廠商意願。北水處為合理化設備規格，因此將讀表頻率由 1 分鐘讀表 1 次降低到 1 小時讀表 1 次；數據資料每 10 分鐘回傳 1 次改為每天回傳 1 次；以及將通訊技術從 4G 改為由廠商自行選擇合適通訊技術等措施，重新定義“智慧水表”合理的規格要求及放寬設備型式，使得廠商能有更多彈性整合可用資源，進而達成培植產業發展以促進供應商增加。

五、問題與討論

基於需求供給模型，未來於推動需求與供給面增加的策略前，需一併考量市場可能產生的價量變化，例如需求量增加太快而供給量趕不上增加的速度，就會形成價量齊增

的情況，如圖 6 所示。若需求量之增加能與供給量之增加能夠並駕齊驅，則在拓展智慧水表市場與應用的同時，可以有效維持價格的穩定，如圖 7 所示。

還有一種情況是若需求量增加的速度趕不上供給量增加的速度，此時會發生供過於求的供需結構，可能發生數量增加但價格降低之情況，這種情況是在目前智慧水表價格尚處高位之初期推動發展中最理想的市場變化，如圖 8 所示。

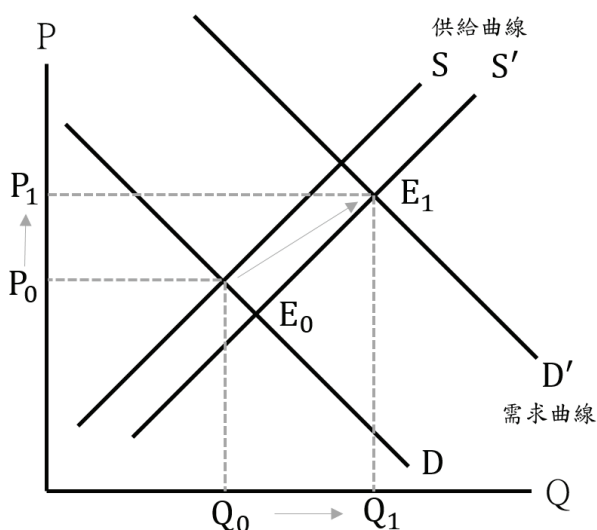


圖 6 需求增加快於供給增加之價量變化

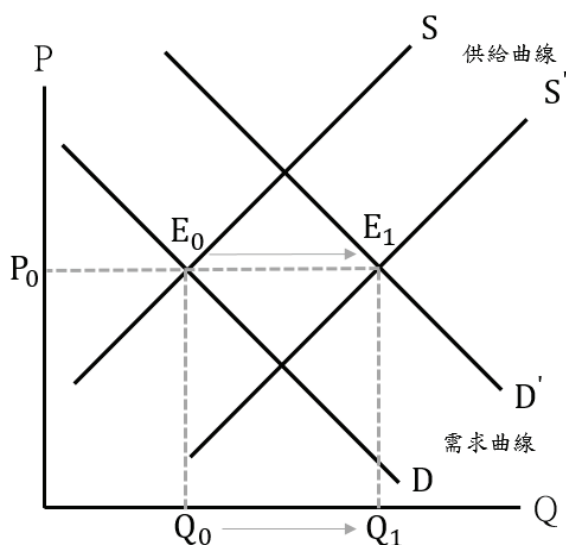


圖 7 需求與供給增加相同之價量變化

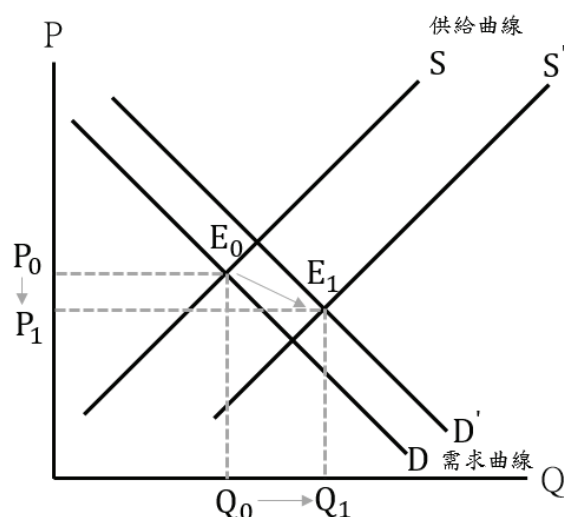


圖 8 需求增加慢於供給增加之價量變化

六、結論

- (一)北水處已辦理智慧水表技術試煉、營運測試、調整規格要求及放寬設備型式，並從審圖源頭要求建商須預留電源及調整安裝環境進行設計，以促使廠商能降低生產及維運成本、培植產業異業結盟發展，將智慧水表市場供給曲線持續向右推進，並且透過預期未來全面安裝之龐大市場吸引力，強力促進市場供給面的發展。未來，為了促使市場能在不增加產品價格甚至降低價格之下能提供更多的產品數量，可再檢討相關功能需求是否能夠再簡化，或具備更多彈性，以促進供應面持續發展。
- (二)在市場需求部分，自 104 至 108 年間，北水處透過於大用水戶、府屬機關及市府新建公宅試辦安裝智慧水表 6 千餘只，使智慧水表市場需求開始萌芽，更自 109 年起推動新建案全面安裝智慧水表，為市場需求面提供了強勁的數量需求，亦成功地將市場需求曲線往右推

進，然而，然而為了避免發生如圖 5 的情況，依據供給需求原理，在市場供給尚未完全打開之前，強制性的安裝需求量需配合市場供給量同步成長，以避免因供不應求所造成的價格上漲及物資短缺，致形成無法負擔的財務問題。

(三)獨占及寡占市場都將使智慧水表推動遭遇無法跨越的價格高牆，並且會使需求更加萎縮，因此應創造更多機會吸引廠商持續投入發展，例如持續辦理技術試煉或技術交流等工作，以培養更多技術符合使用的供應商，同時，配合最新市場供應情況，同步增加需求數量，使更多的供應商能持續提供服務，讓市場更趨成熟穩定，打造具備良性競爭的市場環境，以利智慧水表全面發展。

參考文獻

- 1.數位化水、電及瓦斯自動讀表系統在建築物能源監測之應用與推動辦法之研擬，內政部建築研究所，2004。
- 2.94年度臺北市政府員工平時自行研究報告，數位化水表於自來水事業之應用與推動研究，2005
- 3.提升水量計功能強化用水管理之育成計畫，經濟部水利署，2012。
- 4.水量計自動讀表介面功能規範研究，台灣自來水公司，2013。
- 5.臺北智慧城市的推動，李維斌，2016。
- 6.臺北自來水事業處網站資料，<https://www.water.gov.taipei/cp.aspx?n=19BB786E67F1CC20>。
- 7.臺北自來水事業統計年報，臺北自來水事業處，2019。
- 8.<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BE%9B%E7%BB%99%E5%92%8C%E9%9C%80%E6%B1%82>，維基百科。
- 9.經濟學原理，劉亞秋，致勝文化，2008。
- 10.https://www.ncc.gov.tw/chinese/news_detail.aspx?site_content_sn=8&is_history=0&pages=3&sn_f=38486，國家通訊傳播委員會，2017。
- 11.臺北市循環城市白皮書，臺北市政府產業發展局，2020。
- 12.<https://www1.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=15409&CtNode=4693&mp=3>，中華民國統計資訊網，行政院主計總處，2021。
- 13.台灣自來水事業統計年報，台灣自來水股份有限公司，2020。
- 14.金門縣自來水廠統計年報，金門縣自來水廠，2018。
- 15.智慧水表技術試煉成果報告，臺北自來水事業處，2020。
- 16.智慧水表技術試煉（POC）成果初探，時佳麟、黃欽稜、盧雪卿、呂慶元、邵功賢，第37屆自來水研究發表會，2020。

作者簡介

時佳麟先生

現職：臺北自來水事業處技術科科長
專長：技術研發應用、地理資訊系統、工程考核管理、內線審圖檢驗

黃欽稜先生

現職：臺北自來水事業處技術科一級工程師
專長：管網改善、漏水控制、數值分析

盧雪卿女士

現職：臺北自來水事業處技術科二級工程師兼股長
專長：自來水工程材料研發

邵功賢先生

現職：臺北自來水事業處技術科三級工程師
專長：自來水工程設計施工

科技偵漏相關儀在台水供水環境之成效探討

文/林子立

一、前言

2015(民國 104)年台灣發生 1947(36)年以來最嚴重的乾旱，北部許多縣市進入二階段、三階段的限水窘境，新聞媒體更大肆報導：「全台 5.9 萬公里管線，只靠 67 人徒步抓漏…水公司還用三十年前那一套…用聽音器等測漏「古法」…更目睹了一場現代「水巫」，用『尋龍尺』找漏水…」，遂有引進尖端科技偵漏儀器之要求。

二、問題背景與現況分析

當台灣發生最嚴重的乾旱及漏水檢測的老舊設備端上了國際新聞媒體後，全世界檢漏儀器開發大廠陸續來台，向台水公司展示其高科技性能的偵漏儀器。

其實，台水檢漏前輩早在 1985(74)年就引進了當時國際相當尖端且先進的「兩點漏水相關儀」(圖 1~2)，其後檢漏單位持續的使用並跟著科技的腳步更新進階版的儀器(圖 3~4)迄今，期間包括國際大廠陸續開發於 2000(89)年的噪音紀錄器(漏水分析儀；圖 5)及 2006(95)年的多點漏水相關儀(圖 6)，台水檢漏單位皆參與其現場實測的驗證工作，並深知其在實務運用上的優劣點。



圖 1 1980(69)年，法國 Metravib 和英國 W.R.C. 開發原型「漏水音相關檢出器」



圖 2 1985(74)年台水引進日本富士公司和英國 W.R.C.開發的箱型「兩點漏水相關儀」



圖 3 2001(90)年台水購入升級版的掌上型「兩點漏水相關儀」



圖 6 2006(95)年英國 PRIMAYER 公司的多點漏水相關儀



圖 4 2016(105)年台水購入進階版筆記型「兩點漏水相關儀」



圖 5 2000(89)年台水購入的噪音紀錄器(漏水分析儀)

三、漏水與偵漏儀器的原理與歷史概述

檢漏即是調查漏水聲音的作業，漏水聲音是通過管體振動產生的聲波，並透過介質（空氣或固體、液體）的傳播，能被人之聽覺器官或儀器所感知的波動現象。漏水聲音振動是因為有一股支持的能量（水壓），當漏水聲源振動時會推拉它附近的介質，漏水聲波正是介質在傳送時所產生的現象，當振動的管體向外振動時會擠壓介質，使介質的密度變大，而向內振動時，介質質點間的間隔則會變大，密度也就會跟著變小，這一疏一密的持續變化，就是漏水聲波的形成。(王炳鑫，2015)

漏水音包括水流出管外之際與管壁摩擦而發生之聲音，與其管四周不同密度土壤衝擊而發生之聲音，經非常複雜的合成後，以土壤為導體傳達地表面，其頻率會依據周圍之土壤、道路路面、管種以及土壤之含水情況等種種條件而有大幅變化（台水檢修漏

作業概要，1982)。

自 1935(24)年第一個獲專利之偵測地下管線漏水聽音器(測漏器)問世，並取代傳統普通聽音棒的附耳原聲聽音檢測，使得無法流出地面的地下漏水，可藉由聽音辨位而易於檢測出來。該檢漏儀器係利用漏水引起之震動聲，轉換以電氣方式而探測出漏水，原理係將探測所得震動能變換為電能，再予以加強擴大後變成聲音由耳朵聽得，惟聽音作業時，常有管內之流水音、車輛行走音、下水道衝擊音及其他震動音等類疑似音，均為聽音作業之障礙，故使用測漏器時，要能分別漏水音與雜音是非常重要的，因此檢漏人員應具備相當之經驗與熟練技巧(台水檢修漏作業概要，1982)。

台灣約於 1971(60)年間自日本國引進漏水測漏器，並由當時台灣省建設廳公共工程局來開設檢漏訓練班，推廣於時屬各鄉鎮市管轄的自來水廠使用。

1976(65)年，英國自來水研究所(Water Research Centre W.R.C.)開發「相關式漏水探知裝置」，1980(69)年，法國 Metravib 公司和英國 W.R.C. 技術合作，開發出「漏水音相關檢出器」(Acoustic correlation; 圖 1)，1981(70)年日本富士公司和英國 W.R.C.技術合作，引進該儀器和技術，將軟、硬體加以改良及無線電化，並導入微電腦裝置，而開發出進階產品「相關式漏水探知裝置」(Leak noise correlator; 圖 2)。(王炳鑫，1987)

隨著科技的進步，國際自來水各檢漏儀器開發公司，於 2000(89)年間陸續開發出「噪音記錄器(Noise loggers; 圖 5)」以輔助漏水的檢測，俟約於 2006(95)年間整合「噪音記

錄器」及「兩點漏水相關儀」，開發出「多點漏水相關儀 (Multi-Point Correlation system; 圖 6)」，並隨著網路的普遍化，進階到原廠雲端分析，其軟體解析能力更可持續升級。

台水公司近年持續引進國際自來水業針對漏水檢測普遍採用的偵漏儀器--兩點漏水相關儀及多點漏水相關儀，其係藉感測原件接觸由漏水震動遞延至可接觸的管件(如制水閥、消防栓、排氣閥、過橋管)震動音，並由程式軟體解析其噪音與頻譜，研判該接觸管線是否有漏水，輔助檢漏人員進一步的漏水點確認工作，其使用在屬高水壓供水的歐美國家，確有其一定程度的成效。

綜上儀器功能，對漏水的檢測均是依感測器來捕捉漏水音及判斷，因此管線兩端感測器如僅 1 只偵聽到漏水音，另 1 只未能感測出漏水音者，即無法做到相關的漏水偵測功能，又當水壓降低而漏水音強度亦隨之減弱時，漏水便不易發現；此外，不論以水壓監測進行輔助偵漏或以分段測試(step test)計量工法來縮小漏水管段，均會因源頭減壓致漏水量降低，而使漏水產生的現象不顯著，致不易偵出漏水點。

四、偵漏儀器實測與成果

(一)多點漏水相關儀

多點漏水相關儀係屬區域(面)的偵測，其雖具兩點漏水相關儀的漏水點偵漏功能，惟其準確度不如兩點漏水相關儀，故本報告僅針對區域(面)內數管段的偵測(案)，並判斷其屬「有效偵測」或「無效偵測」者，定義如下：

- 1.以多點漏水相關儀偵知兩端感測器中間管段有漏水，並開挖驗證確屬該管段有漏水者，不論距離差異，即視為「有效偵測」。
- 2.多點漏水相關儀偵出某管段有漏水，經測漏器複測無漏水或鑽探確認無漏水，或開挖驗證無漏水者，皆視為「無效偵測」。
- 3.經測漏器檢測，並開挖驗證有漏水的管段，多點漏水相關儀未能偵出有漏水者，亦視為「無效偵測」。

至於進階屬漏水點距離差距的準確度比率，係屬兩點漏水相關儀的範疇，本案多點漏水相關儀不納入統計分析。

本案多點漏水相關儀有效樣本共 31 案(區域)，感測器(紀錄探頭)於不同時間共使用 153 只，統計詳表 1：

- 1.感測器偵出有漏水 43 處，開挖有漏水共 29 處，感測器偵出有漏水率 67%(29/43)。
- 2.感測器偵出 43 處漏水，經檢漏員測漏器複測，檢測出含偵測器未偵出之漏水點 4 處，共計有漏水 35 處，開挖實際有漏水 34 處，人力檢漏有漏水率 97%(34/35)，感測器未偵出漏水率 12%(4/(4+29))。

一般而言，高水壓漏水是感測器的優勢，尤以金屬管材為最，故以不同水壓進階分析：

- 1.水壓在 1(含)KG/CM² 以下，共 10 案，49 只偵測器：
 - (1)偵出有漏水 11 處，開挖有漏 10 處，偵出有漏水率 91%(10/11)。
 - (2)經檢漏員測漏器複測，檢測出含偵測器未偵出 1 處之漏水點共計 12 處，開挖實際有漏水 11 處，人力檢漏有漏水率 92%(11/12)，感測器未偵出漏水 1 處，未

偵出率 9%(1/(10+1))。

- 2.水壓在 1.1-2.0 KG/CM² 之間，共 12 案，69 只偵測器：

- (1)偵出有漏水 18 處，開挖有漏水 9 處，偵出有漏水率 50%(9/18)。
- (2)經檢漏員測漏器複測，檢測有漏水共計 10 處，開挖實際有漏水 10 處，人力檢漏有漏水率 100%(10/10)，感測器尚無未偵出之漏水。

- 3.水壓在 2.1KG/CM² 以上，共 9 案，35 只偵測器：

- (1)偵出有漏水 13 處，開挖有漏 10 處，偵出有漏水率 77%(10/13)。
- (2)經檢漏員測漏器複測，檢測出含偵測器未偵出之漏水點共計 13 處，開挖實際有漏水 13 處，人力檢漏有漏水率 100%(13/13)，感測器未偵出漏水 3 處，未偵出率 23%(3/(3+10))。

多點漏水相關儀的最佳使用時機，為下午佈放感測器於測點，凌晨感測器自動啟動紀錄音聲，翌日上午收取即時解析判讀，並對疑似漏水點，以兩點漏水相關儀及測漏器鑽探確認漏水點，惟該感測器並無防盜措施、易竊失，致大部分偵漏僅採晝間而避免夜間作業，未發揮其應有之效能。

(二)兩點漏水相關儀

兩點漏水相關儀係屬管段(線)的漏水點偵測，其準確度高於多點漏水相關儀的偵漏，故國際上檢漏技師普遍將兩點漏水相關儀使用於對測漏器測出的漏水點，提供輔助驗證的儀器。

本報告兩點漏水相關儀有效樣本共 181 件(表 2)，塑膠類測管共 142 件、金屬類管共

39 件。測管以 A、B 感測器為兩端測點，AB 之間為測管距離，所示「測點」各為「儀器」及「實際」等兩漏水點，其所示距離皆以 A

感測器為起始點，統計之誤差率公式為：

$$ABS(\text{儀器測點距離}-\text{實際漏水點距離}) / \text{AB 感測器間測管距離}$$

表 1 多點漏水相關儀作業成果比較

供水壓 (KG/CM ²)	案數	儀器偵測						測漏器檢漏		
		感測器 (只)	偵出漏 水處	開挖有 漏數	偵測成 功率	感測器 未偵出 有漏數	未偵出有漏 率	檢測漏 水處	開挖有 漏數	檢漏成 功率
計算式	A	B	C	D	E=D/C	F	G=F/(D+F)	H	I	J=I/H
1 以下	10	49	11	10	91%	1	9%	12	11	92%
1.1~2	12	69	18	9	50%	0	0%	10	10	100%
2 以上	9	35	13	10	77%	3	23%	13	13	100%
合計	31	153	42	29	69%	4	12%	35	34	97%

表 2 兩點漏水相關儀暨人力檢漏成效比較－不分管種

兩點 漏水 相關 儀偵 測	誤差率	水壓	件數	1%-	1-10%	11-30%	31-60%	61%+	空挖
	件數	小計	181	25	100	38	10	4	4
		1 以下	16	0	8	6	1	1	0
		1.1-2	86	15	44	17	6	1	3
		2.1 以上	79	10	48	15	3	2	1
	件數比率	小計		14%	55%	21%	6%	2%	2%
		1 以下		0%	50%	38%	6%	6%	0%
		1.1-2		17%	51%	20%	7%	1%	3%
		2.1 以上		13%	61%	19%	4%	3%	1%
	誤差率	水壓	件數	1%-	1-10%	11-30%	31-60%	61%+	空挖
人力 測漏 器檢 漏	件數	小計	181	107	55	8	6	1	4
		1 以下	16	11	3	2	0	0	0
		1.1-2	86	51	26	2	3	1	3
		2.1 以上	79	45	26	4	3	0	1
	件數比率	小計		59%	30%	4%	3%	1%	2%
		1 以下		69%	19%	13%	0%	0%	0%
		1.1-2		59%	30%	2%	3%	1%	3%
		2.1 以上		57%	33%	5%	4%	0%	1%

1.經統計，在不分水壓下之樣本案件：

(1)「儀器偵測」漏水點與「開挖實際」漏水點，兩者誤差在 1%(含)以內者計 25 件($14\%=25/181$)；1 至 10% 者 100 件($55\%=100/181$)；11% 以上共 52 件($29\%=(38+10+4)/181$)；開挖未發現漏水者 4 件($2\%=4/181$)。

(2)「人工檢測」漏水點與「開挖實際」漏水點，兩者誤差在 1%以內者計 107 件($59\%=107/181$)；1 至 10% 者 55 件($30\%=55/181$)；11% 以上共 19 件($11\%=(8+6+1)/181$)；開挖未發現漏水者 4 件($2\%=4/181$)。

(3)據上兩者分析，依有效範圍 1%範圍內比較，「人工檢測」準確度 59%高於「儀器偵測」14%達 45%($59-14\%$)，詳表 2/件數比率/小計。

2.依材質之音速值特性分析，塑膠(PVC)類管對聲音的傳導速度為 1060m/sec；金屬(DI)管為 3000 m/sec，故對漏水的偵測有效距離與感知，顯然金屬管大於塑膠類管，故進階採管種分析如下：

(1)塑膠類測管：樣本數 142 件

A.塑膠類測管之「儀器偵測」漏水點與「開挖實際」漏水點，兩者誤差率在 1%(含)以下者共 21 件($15\%=21/142$)；1-10%者 80 件($56\%=80/142$)；11% 以上共 37 件($26\%=(28+7+2)/142$)；挖無漏水 4 件($3\%=4/142$)。

B.塑膠類測管之「人工檢測」漏水點與「開挖實際」漏水點，兩者誤差在 1%以內者計 78 件($55\%=78/142$)；1 至 10%者 45 件

($32\%=45/142$)；11% 以上共 15 件($10\%=(8+6+1)/142$)；開挖未發現漏水者 4 件($3\%=4/142$)。

C.據上分析，塑膠類測管依有效範圍 1%內比較，「人工檢測」準確度 55%($78/142$)高於「儀器偵測」15%($21/142$)達 40%($55-15\%$)，詳表 3/件數比率/小計。

(2)金屬類測管：樣本數 39 件

A.金屬類測管之「儀器偵測」漏水點與「開挖實際」漏水點，兩者誤差率在 1%以下者共 4 件($10\%=4/39$)；1-10%者 20 件($51\%=20/39$)；11% 以上共 15 件($39\%=((10+3+2)/39)$)；挖無漏水 0 件(0%)。

B.金屬類測管之「人工檢測」漏水點與「開挖實際」漏水點，兩者誤差在 1%以內者計 29 件($74\%=29/39$)；1 至 10%者 10 件($26\%=10/39$)；11%以上為 0 件(0%)；開挖未發現漏水者 0 件(0%)。

C.據上分析，金屬類測管依有效範圍 1%範圍內比較，「人工檢測」準確度 74%($29/39$)高於「儀器偵測」10%($4/39$)達 64%($74-10\%$)，詳表 4。

3.由於水壓越高，一般而言對漏水音的傳導距離越長，越容易偵出漏水點，將水壓(KG/CM^2)參數代入分析(表 4)：

(1)在低於 1 KG/CM^2 水壓及有效範圍 1%內測出件數的比率：

A.「儀器偵測」在塑膠類管為 0 件(0%)；金屬類管亦為 0 件(0%)，顯示「儀器偵測」在低水壓的環境下，不論何種管種仍存在其弱勢之盲點。

表 3 兩點漏水相關儀暨人力檢漏成效比較－塑膠管

兩點漏水相關儀偵測	誤差率	水壓	件數	1%-	1-10%	11-30%	31-60%	61%+	空挖
	件數	小計	142	21	80	28	7	2	4
		1 以下	10	0	4	5	1	0	0
		1.1-2	74	13	39	14	4	1	3
		2.1 以上	58	8	37	9	2	1	1
	件數比率	小計		15%	56%	20%	5%	1%	3%
		1 以下		0%	40%	50%	10%	0%	0%
		1.1-2		18%	53%	19%	5%	1%	4%
		2.1 以上		14%	64%	16%	3%	2%	2%
人力測漏器檢漏	誤差率	水壓	件數	1%-	1-10%	11-30%	31-60%	61%+	空挖
	件數	小計	142	78	45	8	6	1	4
		1 以下	10	6	2	2	0	0	0
		1.1-2	74	42	23	2	3	1	3
		2.1 以上	58	30	20	4	3	0	1
	件數比率	小計		55%	32%	6%	4%	1%	3%
		1 以下		60%	20%	20%	0%	0%	0%
		1.1-2		57%	31%	3%	4%	1%	4%
		2.1 以上		52%	34%	7%	5%	0%	2%

表 4 兩點漏水相關儀暨人力檢漏成效比較－金屬類管

兩點漏水相關儀偵測	誤差率	水壓	件數	1%-	1-10%	11-30%	31-60%	61%+	空挖
	件數	小計	39	4	20	10	3	2	0
		1 以下	6	0	4	1	0	1	0
		1.1-2	12	2	5	3	2	0	0
		2.1 以上	21	2	11	6	1	1	0
	件數比率	小計		10%	51%	26%	8%	5%	0%
		1 以下		0%	67%	17%	0%	17%	0%
		1.1-2		17%	42%	25%	17%	0%	0%
		2.1 以上		10%	52%	29%	5%	5%	0%
人力測漏器檢漏	誤差率	水壓	件數	1%-	1-10%	11-30%	31-60%	61%+	空挖
	件數	小計	39	29	10	0	0	0	0
		1 以下	6	5	1	0	0	0	0
		1.1-2	12	9	3	0	0	0	0
		2.1 以上	21	15	6	0	0	0	0
	件數比率	小計		74%	26%	0%	0%	0%	0%
		1 以下		83%	17%	0%	0%	0%	0%
		1.1-2		75%	25%	0%	0%	0%	0%
		2.1 以上		71%	29%	0%	0%	0%	0%

B. 「人工檢測」在塑膠類管計 6 件 (60%=6/10)；金屬類管亦有 5 件(83%=5/6)，

顯示由檢測員經耳朵與大腦的聽音與技術判斷，在現階段仍然優於儀器的判讀。

(2)在高於 2 KG/CM² 以上水壓及有效範圍 1%內測出件數的比率：

A. 「儀器偵測」在塑膠類管為 8 件 (14%=8/58)；金屬類管 2 件(10%=2/21)，顯示雖在高水壓下，儀器偵漏的準確度未盡理想。

B. 「人工檢測」在塑膠類管為 30 件 (52%=30/58)；金屬類管亦有 15 件 (71%=15/21)，顯示在高水壓下，檢漏員聽力判斷確有其實務技術上的優勢。

4 相關儀作業過程與耗時統計

兩點漏水相關儀的使用時機，一般是測漏器檢出無法確認，而需由該儀器提供輔助的漏水點協助檢漏員判斷的工具，或依據多點漏水相關儀所檢出的疑似漏水管段，進階來輔助確認漏水點，其過程如下：(1)擇測點安放感測器及交維措施放置→(2)兩測點間長度以測距輪量測→(3)相關儀主機操作與檢視漏水點距離→(4)測距輪量測漏水處位置→(5)測漏器聽音複測漏水處→(6)電錘鑽探勘確認漏水點→(7)感測器及交維措施收取。

各案過程視其現場環境及交通狀況，而有不同的耗時，如鄉村型及都會型的檢測過程，即有不同的耗時，本案各樣本由最快的 20 分至最慢的 3 小時 10 分鐘，平均每處確認漏水點耗時 68 分鐘，其中 30 分鐘以內共 39 案(21%)、31 至 60 分鐘者 73 案(40%)、61 分至 90 分鐘者 30 案(17%)、91 至 120 分鐘者 23 案(13%)、121 分鐘以上者 16 案(9%)。

本兩點漏水相關儀測試樣本共 181 案，

總測試長度 13,770 公尺，平均每案 76 公尺 (13,770/181)及耗時 68 分鐘，依測漏器平均檢漏速率 2500 公尺/日(312.5 公尺/小時)，約 15 分鐘(76m/312.5m*60 分鐘)即可檢出疑似漏水點，並經鑽探確認過程約 20 分鐘，合計約 35 分鐘即可完成漏水點的確認，此為檢漏人員未主動使用兩點漏水相關儀主因之一。

五、結論

現階段台水公司皆採用移動式的偵漏儀器，而固定式的雲端型多點漏水相關儀，雖可告知疑似漏水點位置，但僅採購到硬體設備，原廠並不出售核心程式軟體，且設備故障仍須送修付費，對檢漏技術的成長與精進，似助益不大。

檢漏人員未主動使用兩點暨多點漏水相關儀原因探討：

(一)由於兩點漏水相關儀作業組約需 2 至 3 人，在晝間的都會區，其過程必定影響交通上的順暢(圖 7)。

(二)多點漏水相關儀作業組仍約需 2 至 3 人，晝間感測器的佈放，需有交維措施，亦將影響交通上的順暢，且佈放之管件(如制水閥；圖 8)有積水者，需先抽離，檢視是否漏水，如為漏水者，即無法放置。

(三)為降低漏水量，各給水廠紛紛管控採低水壓之供水政策，因管線漏水音在短距離即消散，遠距離的兩端感測器無法偵得漏水音頻，致該設備輔助檢漏的效果在台水供水區不易顯現。

(四)近年台灣受限於公路局及各縣市政府競

相實施「各縣新版本之路平政策」，各地路口制水閥除消防栓外，其餘原則上均須埋沒於路面下 20 公分(圖 9)，致歐美國家普遍採用的高科技偵漏儀器-漏水相關儀，在台灣的使用環境及佈設條件丕變下，無法置放(圖 10)。

(五)筆者曾於當時在不同時間來台水公司，分別召開降低漏水交流研討會上的日本東京水道服務社及國際水協會(IWA)漏水損失專家團隊(Water Loss Specialist Group)成員 Gary wyeth，詢問台水公司在上述路平政策下，現階段除漏水相關儀偵測外，是否還有其他的科技偵漏儀器，可用來檢測眼睛看不到的地下漏水時，該國際漏水改善專家一致的回覆是：回歸傳統一步一腳印的測漏器人力徒步檢測漏水。



圖 7 相關儀感測器佈放，在晝間必定影響交通上的順暢



圖 8 掀開蓋佈放感測器磁吸管件



圖 9 地方政府的路平政策，閘盒下地 20 公分



圖 10 柏油回鋪，致感測器無法佈放

作者簡介

林子立先生

現職：台灣自來水公司漏水防治處工程師

專長：分區計量診斷與漏水檢測



管線生命周期的最後一哩路－拆除及廢棄實務探討

文/李俊德

摘要

國內在進行自來水管線汰換工程時，針對舊管處理方式，主要可分為拆除、就地廢棄、留用三類，其中拆除及就地廢棄之管線歸類為廢管，實務上，在考量廢管殘值、全線開挖龐大施工費及造成交通黑暗期等因素，國內管線工程以往多採取就地廢棄方式處理，尤其在都會地區更是如此，主要是為了避免施工申訴案件，減少額外行政作業。

雖然舊有管線辦理就地廢棄對工程人員而言為較簡便的作業方式，惟本文擬就環境保護、漏水防治、空間容納、用水品質、財務管理、法律涉訟等面向來闡述說明，舊有管線仍應設定以拆除為目標，就地廢棄則應符合一定條件方得為之，以及臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）如何落實此一政策目標。

一、前言

自來水管在機關部門依需求購入後，經規劃、設計、招標發包、施工、營運維護等階段逐步執行（圖 1），絕大部分管材係埋入於地面下，埋設深度主要依據管徑、用途及埋設地點的道路寬度而定，一般介於 0.5 至 4 公尺之間。在正常情況使用下，當管線來到生命周期的終點，即達到其規定使用年限（表 1）或因材質特性產生變異致不堪使用，則必須規劃予以汰換更新俾維持供水管網系統的穩定。

在都會地區的道路下方，由於各類型公共事業管線包括電力、電信、自來水、油管、瓦斯、通訊、視訊、雨水及污水管等設施縱橫交錯，彼此互相干擾的情況已經成為常態（圖 2），管線汰換儼然是施工單位的一場夢魘。

自來水管大多數為剛性材質，在進行汰換更新時，若遭遇其他單位管線障礙，必然會影響整體施工進度，此時，施工單位將面臨舊有管線拆除或廢棄的抉擇，依據筆者在管線施工現場、廢棄作業流程訂定及文件審核等相關實務經驗，謹將北水處在管線生命周期的最後一哩路，如何精進管理機制，分享讀者先進們參考。

表 1 管線設施財產入帳參照表

規 格 / 型 式	使用年限	規 格 / 型 式	使用年限
輸配水及給水管線等 鑄鐵：MJP、CIP □徑75mm~2000mm	20	輸配水及給水管線等 聚乙烯、橡皮：HDPE、PEP □徑20mm~400mm	15
輸配水及給水管線等 鑄鐵：STP □徑100mm~3600mm	15	輸配水及給水管線等 不鏽鋼：SSP □徑50mm以下	40
輸配水及給水管線等 石棉：AcP	15	輸配水及給水管線等 玻璃纖維：FRP □徑75mm~300mm	10
輸配水及給水管線等 塑膠：PVC、ABS □徑13mm~400mm	15	輸配水及給水管線等 白鐵鉛管聚丁稀聚氯丙稀： PB、GIP、LP □徑20mm~100mm	10
輸配水及給水管線等 鋼筋混凝土：RCP □徑500mm~3400mm	20	輸配水及給水管線等 石墨鑄鐵：DIP □徑75mm~2600mm	40
輸配水及給水管線等 預力混凝土：PSCP □徑500mm~3400mm	20	輸配水及給水管線等 鋼襯預力混凝土：PCCP □徑1350mm~4000mm	50
輸配水及給水管線等 不鏽鋼：SSP □徑75mm~2000mm	40	輸配水及給水管線等 不鏽鋼：SSP □徑75mm~2000mm	40
輸配水及給水管線等 聚乙烯、橡皮：HDPE、PEP □徑20mm~400mm	15	各場站內自來水管以外之管線設備	15

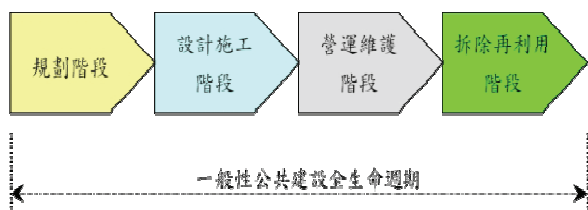


圖 1 一般性公共建設生命週期



圖 2 管溝開挖現場管障狀況

二、為何舊管應儘可能予以拆除

北水處為改善供水管網系統、降低漏水、提升水資源有效利用及用戶服務品質，自 95 年度起推動「供水管網改善及管理計畫」，全面汰換老舊自來水管線，供水轄區內僅輸配水管線總長度即逾 3,000 公里，計畫以每年汰換管線 170 公里的速度，持續進行 20 年至民國 114 年。由於管線大部分都埋在車水馬龍的道路下方，地下各類管線又十分龐雜，施工相當不容易，為了降低交通衝

擊及避免影響用戶用水，路權管理機關並不允許將道路圍起來慢慢施工，因此必須上午停水開挖，傍晚恢復通水通車。為了達成工程執行進度目標，部分施工單位便將管線就地廢棄視為理所當然的工程手段，因此，在管汰計畫執行初期造成了問題管線的改善十分緩慢，在施工管理上更是困難重重，並且衍生出許多始料未及的問題。在歷經十餘年管汰計畫執行過程，北水處已累積相當豐富且寶貴的施工經驗，至於舊管為何建議應儘可能予以拆除，經分析原因後，茲分別敘明理由如下：

(一)環境保護面向

自來水管線的材質主要有混凝土、金屬及塑膠等三類，這些類別的管線無論原料或製造成型，都是透過提高能量（高溫及高壓）破壞物質原始狀態而製成，故在地底常溫常壓環境下，其自然分解期長，幾乎可以保持管線原狀百年以上，一旦予以就地廢棄，便形成地下的固定殘留物。

雖然經研究現行使用之管線材質皆通過 CNS 國家檢驗標準，可滿足土壤及地下水相關法規釋出濃度要求，於地底常態土壤溫度(15°C~30°C)環境下無有毒元素釋出疑慮〔1〕；但某些早期金屬類管材可能含有鉛或以鉛作為封口材料，在地底溫度、濕度適當條件作用下，極有可能溶出鉛至地下水中；另外，在溫泉地區，即便使用化學性質相對穩定的不鏽鋼管，亦可能遭受硫化物環境的腐蝕（圖 3），或捷運沿線產生的迷失電流造成的電蝕（圖 4）而析出微量重金屬物質，進一步污染土壤及地下水。

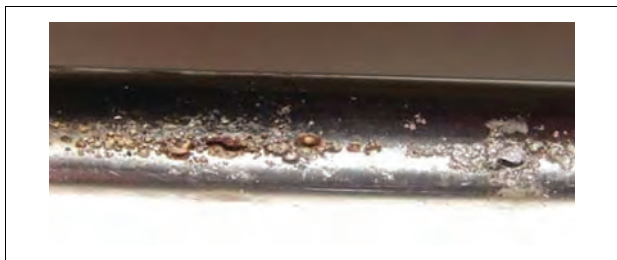


圖 3 不鏽鋼管在硫化物環境的腐蝕

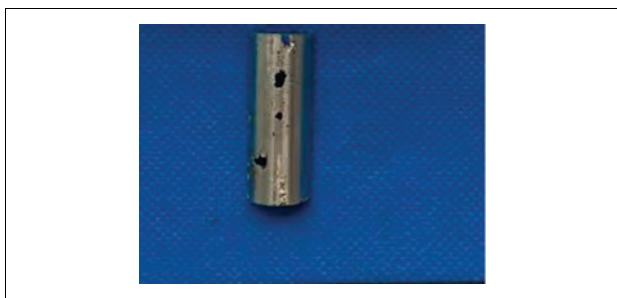


圖 4 迷失電流造成不鏽鋼管的電蝕

(二)空間容納面向

隨著時代演進，各類型維生管線應運而生，道路下方的管線數量也越來越多，因都會地區道路寬度有限，且各管線單位為便於將管線引進用戶端，大多集中在靠近道路外側車道埋設幹管，吾人即便依照中央主管機關頒布之「市區道路地下管線埋設物設置位置圖說明」〔2〕規定各類管線應埋放位置辦理施工，亦恐因地下管線雜亂無章，而無法遂行埋設作業。再者，如各管線單位在進行管汰時，舊管皆因經濟考量而不予拆除，長此以往，則未來勢必再無埋設空間，或只能疊覆在其他管線之上，如此將造成管線淺埋、覆土深度不足，遭覆蓋之管線則無法接管使用或進行維護，這些管線無疑已形同失效而無法使用。

(三)漏水防治面向

1910~1940 年代，日本人在臺北埋設了最早的自來水管網，稱為臺北水道，主要集

中在艋舺、大稻埕和臺北城周邊，大約能服務 40 萬人，當時日本人埋設的管網，大管線（配水管）採用鑄鐵管，而用戶小管線（給水管）則採用鉛管。到了 1944 年二戰末期，日本人已無力進行更多管網建設，更糟的是，盟軍開始肆無忌憚的轟炸破壞，持續到 1945 年 8 月，將近一年的空襲，使臺北遭受許多損壞，地底下的管線也受到一定程度的破壞。

1967 年臺北市行政區擴張，併進當時臺北縣數個鄉鎮後，經濟更為蓬勃發展，為了滿足激增的人口與用水需求，致力擴充水處理設施及管線系統，以追趕不斷增加的需求。1960~1980 期間臺北陸續投入龐大的資金推動四期自來水擴建工程，而 1990 年代末期則開始第五期擴建工程。

早期的管線工程係以埋設新管滿足用戶使用需求為目標，由於當時數位圖資技術尚未發展，對於因故未能拆除或斷管的管線並未能有效管理，這些存在於現場的舊管日積月累成為不明管線，其中一部分成為無人使用的殘留管，隨著時間材質逐漸老化或產生鏽蝕進而發生漏水。此外，因為早期輸配水管線佈設尚未普及，許多管線必須從遠處引接而來，這些老舊管線因接水點不明，施工時常未從源頭斷管，導致管汰工程雖持續進行，但漏水改善卻經常無法達成預定目標，倘若能夠力行將舊管拆除，相信必能有效提升漏水改善成果。

(四)用水品質面向

在進行管線汰換施工時，舊管如採就地廢棄方式處置，則現場將存在兩支配水管，

即便廢棄管已無通水，惟日後辦理用戶接水時極易產生混淆而造成錯接，屆時再辦理改接施工亦將費時、費力又費金錢；更有甚者，如舊管尚接有未斷除的殘存管，則管中仍可能有少量通水，只是水量不夠充足，錯接後將影響用戶用水品質，長此以往，管內逐漸形成滯留水，如此恐造成水質變化、飲水口感不佳，甚或讓民眾身體感到不適。

(五)財務管理面向

1.增加收入：一般拆除工程所產生之廢棄料，設計單位即應思考該廢棄料中那些尚具有相當之殘值，可再生回收利用或變賣，俾符合目前政府推動之循環經濟（circular economy）政策，再者，廢料變賣後尚可增加額外收入，減輕機關財務負擔。自來水管線中以鑄鐵管為最大宗，殘值也最高，目前市面上廢鐵回收價格每公斤約 7~10 元，塑膠（管）亦可回收變賣，惟價格較低，每公斤約 1~1.5 元。管線變賣通常以批次辦理，由機關依市場行情訂定預算單價後辦理公告及招標，廠商投標後以最高價為得標，圖 5 為北水處 109 年某廢料變賣標案決標公告。

2.減少支出：依據內政部「市區道路使用費收費標準」規定，道路主管機關應向使用市區道路土地之地面或其上空、地下設置管線或設施者應收取市區道路使用費。臺北市現行管汰施工後必須將管線圖資上傳至道路管理單位之資料庫，如舊管採就地廢棄方式處置，則該管線仍視為有使用道路事實，仍需繳納道路使用費，為減少費用支出，就必須將舊管予以拆除。

109年廢料變賣案

[標案代碼]3.79.27
[機關名稱]臺北自來水事業處
[單位名稱]供應科
[機關地址]106臺北市大安區長興街131號
[聯絡人]洪明祥
[聯絡電話]02-87335796
[傳真號碼]02-87335794
[標案案號]10936004H33
[標案名稱]109年廢料變賣案
[招標方式]公開招標
[決標方式]最高標
[是否複數決標]否
[是否屬契約變更]否
[標的分類]變賣
[開標時間]109年9月29日下午2時30分
[標的地點(含地區)]本機關直潭淨水場（地址：新北市新店區直潭路2號）。
[預算金額]7,171,500元
[決標公告序號]001
[決標日期]109年9月29日
[決標公告日期]109年10月5日
[契約編號]109北水財告字第001號
[是否訂有底價]是
[底價金額是否公開]是
[底價金額]7,800,000元
[決標金額]7,906,500元
[標決標金額是否公開]是
[投標廠商家數]1
[得標廠商名稱]登御有限公司
[得標廠商地址]臺北市大安區復興南路1段103號3樓之1
[得標廠商電話](02)26936163
[得標廠商圖則]中華民國(ROC)
[履約期限日期]自決標次日起至109年12月31日止或契約金額用罄止，兩者以先屆者為準，詳契約規定。

圖 5 廢料變賣標案決標公告

(六)法律涉訟面向

早期因為都市發展迅速，政府在未經徵收即先行開闢；或因人民自行闢設；或依都市計畫寬度開闢等而未辦理徵收，致私有土地成為既成道路，由於自來水管線係跟隨都市發展的腳步向前延伸，自不可避免可能會埋設於私地內。如今民智已開，當管線單位進行管線汰換時，土地所有權人為維護自身權益，極有可能會向施工單位提出損害補償的請求，部分甚至直接訴諸法律行動。

依據目前實務案例〔3〕，主管機關於辦理土地徵購前，所有權人對於地下仍得自由使用收益，對於地下之自由使用收益受有限制，所受損失應給予相當之補償。損害補償係以管線使用土地之垂直投影面積為計算基準，故建議在施工時即應沿著舊管採同管溝方式進行汰換，並且應儘可能將舊管予以拆除，俾減少日後補償爭議，俾達到免訟、

減訟及降低補償費用的目標。

三、管線拆除遭遇的困境

前面雖然已就各種面向闡述了舊管拆除的必要性，惟文獻上則多為探討報廢管線再利用或就地廢棄管線的安全性，究其原因，乃因舊管拆除並非管線工程的主體，傳統觀念上仍以新設管線數量（長度）做為工程績效評比的主要項目。另就給付施工廠商報酬而言，管線拆除與新設預算單價相比約為 1：3 至 1：6（表 2），對廠商而言拆除舊管並無實質的誘因，一旦遭遇管障，管線清理既費工又費時，且拆除過程中因管溝側壁易產生坍塌、管溝回填夯實不易等因素，事故風險勢必升高，讓施工單位不得不望舊管而卻步。

表 2 各口徑管線新設與拆除預算單價比較

項次	項 目 及 說 明	單位	單價	單價比值 (拆除：安裝)
1.1	自來水管埋設，延性鑄鐵管，75≤管徑≤100mm，直管及管件，安裝，日間施工	M	989	1：6.01
1.2	自來水管埋設，75≤管徑≤100mm，直管及管件，拆除，日間施工	M	163	
2.1	自來水管埋設，延性鑄鐵管，150≤管徑≤250mm，直管及管件，安裝，日間施工	M	1,245	1：5.41
2.2	自來水管埋設，150≤管徑≤250mm，直管及管件，拆除，日間施工	M	230	
3.1	自來水管埋設，延性鑄鐵管，300≤管徑≤400mm，直管及管件，安裝，日間施工	M	1,577	1：3.18
3.2	自來水管埋設，300≤管徑≤400mm，直管及管件，拆除，日間施工	M	496	

另一個對舊管拆除的不利因素則是施工停水，在都會地區，自來水管線工程除了影響交通外，因為管線汰換施工致該管段必須暫時停止供水，首當其衝則的是直接用水戶。一般如係採逐段汰換方式施工，則每日必須辦理停水，當天收工前再將新、舊管予以臨時連接恢復通水，如此舊管則可依現況辦理拆除；如係在商店林立的巷道施工，尤其是經營美容美髮及餐飲的店家，施工單位為了縮短停水時間以降低民怨，通常會先埋設新管，至路口管線聯絡處再予停水施工，且考量經濟因素，一般並不會再進場拆除舊管，而採就地廢棄方式辦理，致舊管拆除成效停滯不前。

四、管線就地廢棄的管理機制

所謂管線汰換即表示埋設新管與拆除舊管是同等重要且為並行不悖的作業，惟現今都會地區地下埋設物包含範圍甚廣，各類管線均已將地面下的空間分配殆盡，即便事先自所蒐集之管線圖，了解地下物分布之位置深度選定埋設位置予以試挖，亦不確定是否有足夠之埋設空間，故北水處在進行管線汰換工程時之施工原則，係依據閥、栓箱位置沿著既有管線開挖，並依作業流程圖（圖 6）及以下相關規定〔4〕辦理管線就地廢棄：（一）管線工程舊管原則均應拆除繳庫（圖 7）。

（二）設計需拆回之舊管，因故無法拆回時，應逐日辦理就地廢棄會勘確認，工程主辦單位需傳送現場照片通知（圖 8），經工程管理單位檢視照片後，依個案派員至現場會勘同意或書面審驗同意，始得以就地廢棄處理。

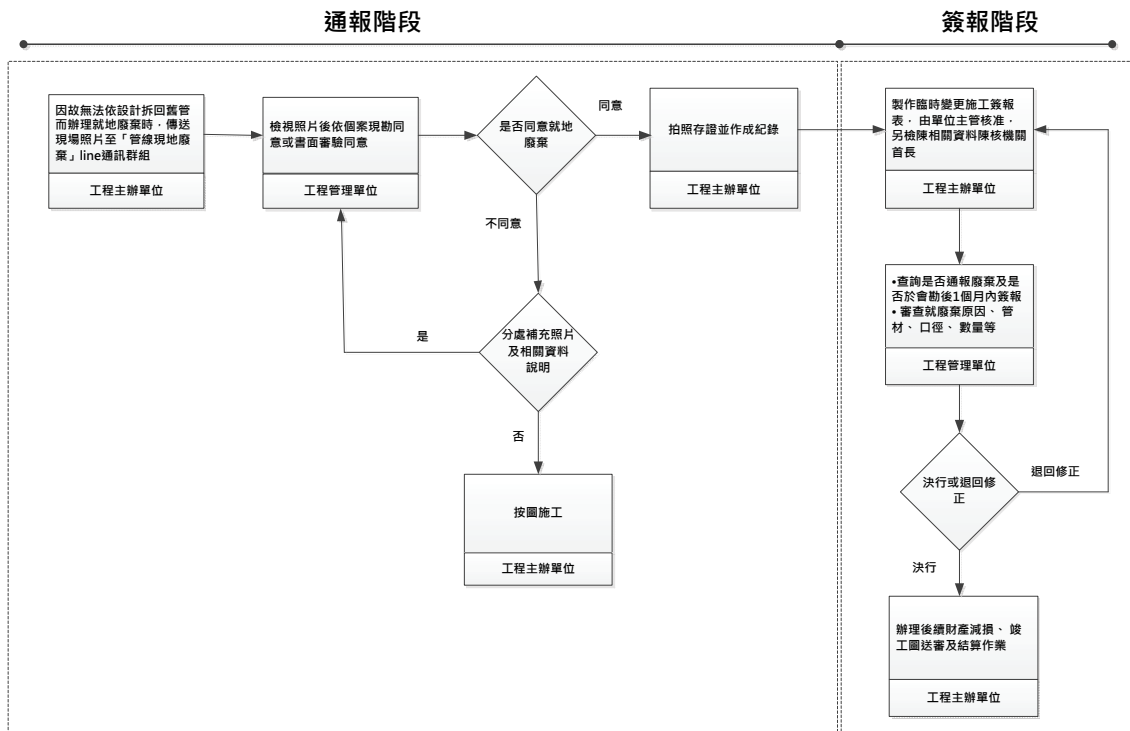


圖 6 管線就地廢棄作業流程圖



圖 7 管線汰換工程舊管拆除繳庫

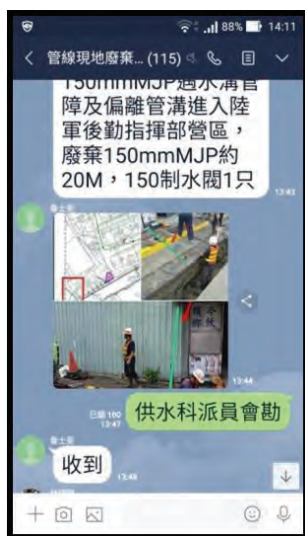


圖 8 工程主辦單位傳送現場照片通知會勘

- (三)經會勘或書面審驗同意就地廢棄後，需拍照存證作成紀錄，併工程臨時變更施工簽報表，由主辦單位主管核准。
- (四)會勘舊管得以就地廢棄處理時，必須確認已斷管無水並確實封管（圖 9）。
- (五)主辦單位應將單位主管已核准之相關資料，加會工程管理單位作書面審查，並於會勘後 1 個月內陳核機關首長核准（簽核內容需包含就地廢棄原因、管材、口徑及數量等資料）。



(六)制水閥及地下式消防栓因故無法拆除需辦理就地廢棄時，應將閥、箱上蓋拆除並回填確實。

(七)舊管為非金屬材質者，如 HDPE、PVC 等殘值較低，拆除不符效益，設計時可採拆除繳庫或打碎後就地廢棄（免繳庫）方式辦理（圖 10）。



圖 9 就地廢棄管線確實封管



圖 10 PVC 舊管打碎後就地廢棄

五、結語

以往管線就地廢棄係由施工單位自行派員會勘辦理，因缺乏外部監督機制，會勘

容易流於形式，造成舊管拆除成效不彰，進而衍生不少管理上的問題。

北水處為管控就地廢棄案件辦理時效及瞭解舊管拆除執行成果，除了制訂相關作業流程及規定提供施工單位據以執行，並且由工程管理單位定期製作就地廢棄通報及簽報案件統計報表，於相關會議中報告執行成果及檢討缺失改善情形。

藉由嚴謹的就地廢棄作業流程及提供充分的佐證資料等條件，間接提升了施工拆除舊管的數量，經統計北水處近 4 年報廢物料數據，每年拆回繳庫的石墨管片及廢雜鐵約為 1,900 公噸，在未採行精進措施前則約為 1,500 公噸，整體舊管拆除數量增加了 26.7%，政策實施成效可謂十分可觀，也提供各相關單位持續執行的動力。

參考文獻

- 1.陳瑞昌、紀添源、徐俊雄，自來水就地報廢管線最佳處置研究，中華民國自來水協會第37屆自來水研究發表會，中華民國109年11月。
- 2.內政部，市區道路地下管線埋設物設置位置圖說明，中華民國64年9月。
- 3.最高行政法院判決，裁判字號：106年判字第87號，中華民國106年2月。
- 4.臺北自來水事業處，編號106-6技術通報，中華民國106年8月。

作者簡介

李俊德先生

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師

專長：土木工程、自來水工程

面對極端氣候之自來水事業資產管理研究

文/柯藹洵、鍾澤邦、周星妤、陳佩君、蕭淑貞、楊晴雯

摘要

極端氣候透過水資源對人類社會產生直接與間接影響涵蓋許多層面，如人類健康、生態系統多樣性、維生基礎設施和能源變化，以及其他間接影響。為因應影響層面如此廣泛且效果如此深遠的極端氣候衝擊，從長期規劃角度強化基礎設施抗災強度、進行前瞻水利技術研發、有效運用數位量能、建立緊急應變機制等調適措施，已成為迫在眉睫的要務。對水利事業經營而言，有效的資產管理與運用，成為支撐調適措施不可或缺的要件。

為此，本研究透過文獻蒐集及個案分析方法，探討台水公司(以下簡稱台水)為落實五大重點工作，應如何進行良善及有效的資產管理與運用。本研究已獲致 2 點結論：1. 自來水事業經營，需投資各種建設設施，致固定資產投資成本居高，故除負債占權益(或資產)比率外，還應衡酌其他財務指標，綜合評估財務之永續性。2. 財產管理措施須配合未來抗災建設規劃及供水設施正常運作所需，並進一步推動資產活化，多管齊下降低利息，擲節開支，長期而言須評估管線資產脆弱度，建立長期調適策略與降低漏水率計畫。

同時提出 7 點建議：1. 建立正確之各項自來水建設計畫及營運成本資料並透明化。2. 汲取國外水務公司營運特色及資產制度優點並內化為可行方案。3. 建置資訊系統

資源，提升資產管理及經營收支控管效果。

4. 在經費許可時逐步提供智能服務，提升供水服務品質。5. 氣候風險因素納入資產購入及新建策略。6. 推估災害風險成本納入水價調整災害準備政策，強化供水服務及緊急應變能力。7. 面對極端氣候，投資創新研究，以提升自來水供應決策品質，降低經濟損失(社會成本)。

關鍵詞：極端氣候、自來水、事業、永續發展、資產管理

一、前言

(一)研究背景

極端氣候正深刻地改變水資源的「質」和「量」，這議題的迫切性從聯合國教科文組織發布 2020 年《世界水發展報告》^[1]，主題「水與氣候變遷」，足見兩者關係密切。極端氣候透過水資源對人類社會產生直接與間接影響涵蓋許多層面，如：1. 水資源的量與質；2. 人類健康；3. 生態系統多樣性；4. 維生基礎設施和能源變化；5. 間接影響。

全球因氣候變化，水資源循環增加，致極端事件變多，世界經濟論壇(WEF)公布 2020 年十大風險^[2]均與極端氣候之自來水資產管理有關。國內部分，水利署「臺灣水資源高風險地區調適指標研究」^[3]，也指出氣候變遷可能導致供水缺口，尤以高雄、臺南差異最大。

(二)研究動機及研究目的

1. 研究動機與目的

為因應影響層面如此廣泛，且效果如此深遠的極端氣候衝擊，從長期規劃角度強化基礎設施抗災強度、進行前瞻水利技術研發、有效運用數位量能、建立緊急應變機制等調適措施，已成為迫在眉睫的要務。對水利事業經營而言，有效的資產管理與運用，成為支撐調適措施不可或缺要件。

本研究為蒐集瞭解國內外自來水事業之資產規模，及極端氣候引發極端事件影響水務公司事業經營，探討台水適應極端氣候的良善資產管理措施，藉由文獻查證及個案研究找出自來水事業資產管理精進作為。因此，本研究目的如下：

- (1)瞭解國內外自來水事業之資產規模。
- (2)瞭解極端氣候引發極端事件影響水務公司經營種類。
- (3)探討個案(台水)公司適應極端氣候的良善資產管理措施。
- (4)藉由文獻查證及個案研究找出自來水事業資產管理精進作為。

2.研究範疇

台水屬未公開發行股票公司，成立逾 47 年，長期鉅額投資(每年超過 200 億餘元)，以「提供量足、質優自來水，配合廉能的管理，以達到企業社會責任、永續經營及促進經濟發展目標」為該企業之使命。在新冠肺炎疫情(COVID-19)爆發時，仍確保民生防疫用水及維持產業用水無虞。

按台水之《會計制度》，第八章第一節第二款第四十七點「資產係指透過各種交易或其他事項所獲得或控制之經濟資源，能以貨幣衡量並預期未來能提供經濟效益者」。

以及第四章會計報告第二節會計科目之分類第二十五點「會計科目分為資產、負債、權益、收入、支出五大類及盈虧撥補表、現金流量表項目。」資產負債表將資產分為「流動資產」、「不動產、廠房及設備」、「投資性不動產」、「無形資產」及「其他資產」等科目。台水 2020 年決算，不動產、廠房及設備達 3,205.1 億元，占總資產 3,324.8 億元比率為 96.4%，故本研究以此為主要研究範圍。

3.研究方法

本研究透過蒐集國內外文獻及個案分析方法，運用財產管理資訊系統作數據分析，並彙整國外產業及經濟部所屬國營事業資產管理比較，探討台水為落實五大重點工作(加速降低漏水、建置現代化淨水場、設置備援管線、提升供水普及率及提升全方位服務品質)及因應災害之經驗，應如何進行有效的資產管理與運用。

二、國內外自來水事業之資產管理

(一)台水經營損益、資產管理及投資

1.經營損益

台水為落實企業使命，營運局負國家政策及穩定物價等任務，公司經營管理亟需考量極端氣候與調適因應，持續強化供水服務品質，滿足用戶永續安全用水需求。因此每年持續鉅額投入專案計畫(如：降低漏水率計畫、多項穩定供水計畫)及新技術工法與檢驗儀器。近 2 年(2019~2020)從盈轉虧(1.97 億元到-6.17 億元)，主因 2020 年水情嚴峻，撥付停灌補償款(6.91 億元)及一期稻作轉旱作節水獎勵金等所致。

2.重要資產管理

自來水管線為台水重要資產，根據協同筆者參加 2019 年義大利社會氣候科學協會(SISC)「第 7 屆年會(7th Annual Conference)」學習經驗，以及彙整台水相關實務與分析結果，台水 2004-2022 年預計投入 1,169 億元投資降低漏水率計畫，訂有兼顧工程及資產管理並重的降漏及資產管理方法，已展現降低漏水率績效，並於 2020 年底漏水率已降至 13.90%，較原預定「降低漏水率計畫（2013 至 2022 年）」目標(15%以下)超前，企求 2031 年漏水率降至 10%以下。

3.設備投資

近年來高屏溪每逢颱風豪雨原水濁度飆高，超出淨水場處理負荷能力，台水只能減量出水或暫停出水因應，致使高雄局部地區有供水量不足或水壓偏低情形。2020 年完成坪頂淨水場改善工程，合計廠房及設備數量 405 個，新增資產金額達 6.6 億元。完工後可增加處理高屏溪每日 10 萬噸之自來水，增設部分廢水處理設備，提升高濁度原水之廢水處理能力，並設置備用發電機解決停電問題，改善高屏地區每逢颱風豪雨造成停電致缺水之問題。

(二)台水及北水處資產規模

蒐集臺北市政府所屬北水處及經濟部所屬台水等 2 家公營事業資產規模，如表 1。北水處隨歷年營業量及設備增加，資產及權益逐年增加。2.台水每年投資降低漏水率、穩定供水與前瞻基礎建設計畫，隨工程完工致折舊性資產增加，水費無法抵償所需成本致增加負債。

表 1 北水處與台水資產與負債比較表(2020 年)

項目	北水處	台水	說明
權益 (億元)	88,392	191,128	台水權益約為北水處 2.2 倍。
負債 (億元)	12,579	130,463	台水負債約為北水處 12.4 倍。
資產總額 (億元)	100,971	321,591	台水資產總額約為北水處 3.3 倍。
淨值比率 (權益資產比率；%)	87.54	59.43	台水每 100 元資產，其中 58.53 元來自權益資金；其餘 41.47 元仰賴融資。
負債資產比率(%)	12.46	40.57	張明輝(2020)提出一般產業負債資產比率(負債/總資產)不宜超過 65%，超過 70%表示不健康。
負債權益比率(%)	14.23	68.26	比率愈高越代表企業體質越不健康。

(資料來源:北水處 2020 年報、台水 2020 年決算書及本研究整理)

表 2 台水的資產

台水 2019~2020 資產(摘要)			
單位:億元			
會計科目	2019 年	2020 年	較前一年度增減(%)
資產	3,216.1	3,324.8	3.38
流動資產	21.3	26.2	23.00
現金	7.9	8.5	7.59
應收帳款	4.9	10.8	120.41
存貨	5.8	5.3	-8.20
不動產、廠房及設備	3,101.8	3,205.1	3.33
土地	855.0	852.0	-0.35
機械及設備	1,961.8	2,016.7	2.80
使用權資產	39.3	36.7	-6.62
投資性不動產	5.8	10.2	75.86
無形資產	1.0	0.9	-10.00
其他資產	46.9	45.7	-2.56
待整理資產	0.02	0.03	50.00

(資料來源:台水 2020 決算書及本研究整理)



台水 2020 年「機械及設備類」金額 2,016.7 億元(一般管線資產 1400 億元)占不動產、廠房及設備金額 3,205.1 億元比率 62.9%，如表 2。2019 年起實施 IFRS 16，2020 年財報中新增「使用權資產」科目，金額 36.7 億元占總資產 3,324.8 億元比率為 1.1%。顯示台水因產業特性，固定資產比重大。

(三)國外水務公司財報

1.美國水務公司

美國水務協會(AWWA)於 2020 年公布水務行業 20 大挑戰^[4]，「資產管理」即名列其中，並與汰換或更新老舊基礎設施、融資(資本改善)、長期供水永續發展等各項重要營運問題緊密關聯。蒐集美國最大的民營水與污水公共事業-美國水務公司(AWK)，股票上市發行，債務權益比率。該公司 2020 年 12 月 31 日債務權益比率為 145%^[5]如表 3；近 5 年平均則為 135.07%^[6]。

表 3 美國水務公司(AWK)債務權益比率

美國水務公司(AWK)債務權益比率 單位:億美元、%			
日期	長期債務	股東權益	債務權益比率
2020-12-31	\$9.33B	\$6.45B	145%
2019-12-31	\$8.64B	\$6.12B	141%

(資料來源: American Water Reports 2020 Results 及本研究整理)

2.日本(東京都水道局)

日本東京都水道局公開資產管理績效^[6]，含：有形固定資產、用地管理活用、儲藏品管理及知識產權管理等四大構面之經營成果，如表 4。

3.義大利 CAP 集團

CAP 集團在 2019 年房地產與資產管理中，2019 年與不動產有關之應付租金(租賃

費用)為 €1,177,920.14(約新台幣 41,168 千元)；2019 年與物業有關的租金 €162,359.64(約新台幣 5,674 千元)^[7]。2019 年合併財務報表顯示收入超過 3.69 億歐元(約新台幣 129 億元)，全年淨利潤為 3,225 萬歐元(約新台幣 11.27 億元)，而 2018 年為 3,194 萬歐元(約新台幣 11.16 億元)^[8]。為落實永續發展 SDGs15(陸地生活)實施保護資產措施，2019 年投資 7,500 萬歐元(約新台幣 26.21 億元)；1.06 億歐元(約新台幣 37.05 億元)確保水質(包括更新設備及監測污染物)^[9]。

表 4 東京都水道局 2019 年資產比較表

東京都水道局 2019 年資產比較表 單位:千円	
項目	金額
有形固定資產	
1.固定資產管理	2,443,666,074
2.無形固定資產	35,214,824
3.投資資產	1,333,112
小計	2,457,213,217
用地管理活用	
儲藏品管理	
知識產權管理	
說明：鄰近的日本東京都水道局，歷年資產管理分有形固定資產、用地管理活用、儲藏品管理及知識財權管理等四大構面，固定資產管理 2,443,666,074 千円占有形固定資產 2,457,213,217 千円之比率為 99.4%。	

(資料來源:東京都水道局官網及本研究整理)

4.小結

自來水事業往往需投資各種管線、蓄水池及抽水機等機械設備，致固定資產占總資產比率較高，特別是台水供水轄區涵蓋偏遠及離島。根據蒐集自來水產業固定資產占總資產比率，分別為台水 96.4%、北水處

96.6%、東京都水道局 99.4%，顯見自來水事業固定成本確實很高，營運上需要留意有無閒置資產及資金。

再蒐集負債占權益比率，分別為台水 68.26%、北水處 14.23%、美國水務公司平均 135.1%，雖然該比率愈高越代表企業體質越不健康，不過還要衡酌其他財務指標，不能以單一指標解釋企業體質是否健康。

三、極端氣候所引發極端事件對台水營運之主要影響

2012 年政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)《管理極端事件和災難的風險以促進氣候變化適應》^[10]提出，極端事件將對氣候關係密切的行業如水利、農業、糧食安全、健康與旅遊等產生更大的影響。且與氣候密切相關或依賴氣候的行業，如飲水等受到極端氣候影響最大^[11]。

根據 2020 年 9 月《控管美國金融體系的氣候風險 MANAGING CLIMATE RISK IN THE U.S. FINANCIAL SYSTEM》報告^[12]，氣候變遷已影響或正影響幾乎所有經濟面項，包括基礎設施、農業及人類健康等。過渡風險和自然風險及與氣候和非氣候相關的風險可能會相互影響，而加劇衝擊和壓力，也可能會導致資產定價混亂。

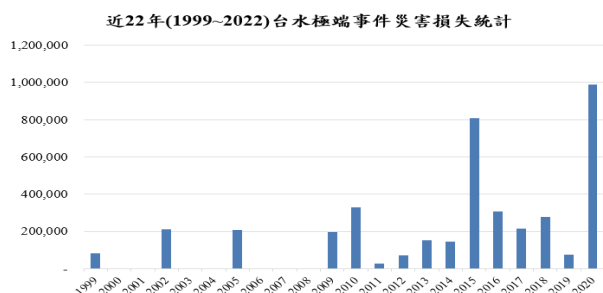


圖 1 台水極端事件災害損失統計

(資料來源:台水審定決算及統計年報及本研究整理)

蒐集統計台水審定決算及統計年報，極端事件包括：地震、颱風、水災、旱災、雷擊等，近 22 年(1999~2020)災害損失金額累計高達 40 億餘元，涵括災損及停灌休耕補償與增加機修費等；尚未包括：增購原(清)水費及營管費、減收的給水收入、年度積極宣導節約用水費用。損失金額最高在 2020 年達 9.9 億元；年平均約 1.9 億元，如圖 1。

四、建構極端氣候的良善資產管理

為因應影響層面廣泛且效應深遠的極端氣候衝擊，從長期規劃角度強化基礎設施抗災強度、進行前瞻水利技術研發、有效運用數位量能、建立緊急應變機制等調適措施，已成為迫在眉睫的要務。對水利事業經營而言，有效的資產管理與運用，成為支撐調適措施不可或缺的要件，正如美國水務協會(AWWA)於 2020 年公布的水務行業 20 大挑戰，「資產管理」即名列其中，並與汰換或更新老舊基礎設施、融資(資本改善)、長期供水永續發展等各項重要營運問題緊密關聯。經蒐集台水之資產管理經驗分析。

(一)因應極端氣候及自來水供應需求，鉅額投資降低漏水率及穩定供水計畫

極端氣候威脅永續發展，台水長期面對極端氣候引起風災、水災、乾旱頻繁與水污染等問題，已積極投資新擴建計畫及設備更新，創造可觀的穩定供水能力外部效益，統計 2020 年針對開源、節流、調度及備援等四大對策，經滾動式檢討並執行永續發展所需專案投資計畫共 19 項(皆為繼續計畫，內含 8 項前瞻基礎建設計畫共 46.7 億元)，實際執行 18 項共計新台幣 146.5 億元(備援 1 件因用地取得遭抗爭暫無法執行)，全部與緩解或因



應氣候風險有關，占該年度固定資產投資 192.2 億元約 76.2%。

2020 年在開源、節流、調度及備援等四大對策分項執行金額及專案投資占比：1.開源：計 9 項，總金額為新台幣 48.1 億元，占 32.82 %。2.節流：計 2 項，總金額為 73.0 億元，占 49.82 %。3.調度：計 2 項，總金額為 3.3 億元，占 2.25%。4.備援：計 5 項，總金額為 22.1 億元，占 15.11%。

(二)資產及財務績效顯著

表 5 2020 年經濟部所屬事業資產規模比較表

項目	台電	中油	台糖	台水
資本額(億元)	3,300	1,301	564	1,475
年營收(億元)	6,155	7,314	300	337
總資產(億元)	21,410	7,296	6,580	3,325
負債總額(億元)	18,030	4,437	1,987	1,379
權益總額(億元)	3,380	2,859	4,593	1,946
負債權益比率 ^{*1} (%)	533	155	43	71
負債比率 ^{*2} (%)	82	61	30	41
稅前淨利(損)(億元)	356	-200	36	-73
保留盈餘(累積虧損)(億元)	-524	-113	164	23

註：1.負債權益比率=負債總額/權益
2.負債比率=負債總額/總資產

(資料來源：各國營事業 2020 年自編決算數及本研究整理)

台水成立迄今近半個世紀，經管之固定資產投資成本高，但回收卻相當低，有時配合政策投入鉅額投資使折舊大幅增加，如為延緩地層下陷而停止抽取地下水源，台水為提供雲林縣及南彰化用水需求，配合水利署興建湖山水庫下游自來水工程，自 2018 年完工後財產入帳，每年新增 2 億餘元折舊。在

此情況下，仍排除各項經營挑戰，戮力完善供水調配，在現行銷售自來水價格仍維持 1994 年 7 月 1 日公告價目(係 1989 年成本基準)，近 10 年(2011~2020)努力維持良善財務績效，實屬不易，如表 5、圖 2。

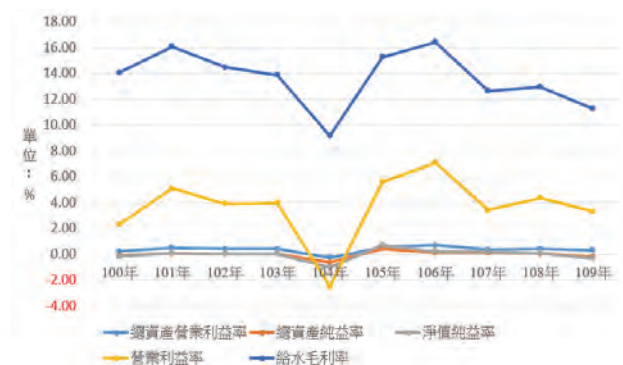


圖 2 台水收益力分析

(資料來源：本研究整理)

(三)戮力建構資產管理改善供水服務已顯見經營績效

表 6 近 27 年台水工程績效摘錄表

項目	1994 ^{*1}	2011 年	2020 年
用戶數(千戶)	3,871	6,366	▲7,328
供水普及率(%)	84.25	91.11	▲93.92
管線長度(km)	37,745	57,753	▲64,697
漏水率(%)	— ^{*2}	20.19	▼13.90
管線汰換率(%)	1.78 ^{*3}	1.54	▼1.26
水質合格率(%)	99.57	99.94	▼99.87
每員工平均服務用戶數(戶)	607	1,163	▲1,277

註：

1.現行自來水費率於 1994 年 7 月 1 日公告實施。

2. “—” 代表「無數值」。

3.1994~1995 年因政府補助管線汰換經費，故管線汰換率頗佳；台水均須每年自籌約 70 億元辦理汰換舊漏管線，近 10 年(2011~2020)管線汰換率 1.25%優於國際水協會曾出版之自來水事業績效指標報告，國際間自來水事業每年之管線汰換率平均值 0.91%。於 2020 年底規劃加大投資，冀期 2024 年漏水率降至 12%。

(資料來源：本研究整理)

《2019 年聯合國世界水發展報告》揭示獲取安全的飲用水和衛生設施是一項基本人權。台水在自籌資金下建構資產管理，持續為供水服務品質而努力，近 5 年(2016~2020)之水質合格率高達 99.96%。

近年台水為因應全球暖化及極端氣候與水源污染與水資源短缺問題，持續落實政府經濟政策，營造富國利民之基石，持續積極投入提高售水率及供水普及率等重要工程建設。台水近 10 年(2011~2020)已投資相關工程近 1,530 億元，冀達積極降低漏水率及穩定供水，以滿足民眾賴以維生的有限水資源、充裕工業用水，並已展現工程績效，如表 6。

(四)強化不動產、廠房及設備類資產管理

1.財產管理

台水 2020 年決算，「不動產、廠房及設備類資產」占總資產比率約 96.4%，顯見：

- (1)審慎審查每年各專案計畫「固定資產投資計畫財務分析及效益評估」，以防止無效益或避免過多或過早之投資，並減輕債息負擔及節省管理、維護與折舊費用。如「員嶼淨水場擴建工程第二次修正計畫」，乃具：A.提供穩定量足之自來水；B.提升寶山淨水場備載能力及上坪溪水源利用率；C.減少外部水源開發海淡廠或比麟水庫成本；D.符合政府穩定新竹地區供水政策等外部效益。
- (2)每年實施財產盤點及抽盤：檢視財產是否堪用、檢討耐用年限(是否維護保養得以延長使用)以真實反映成本、預估待整理資產、供水設施是否正常使用以提供用戶

用水需求。例如 2020 年財產抽盤 6 個區(工程)廠(場)站。

- (3)每年辦理「資產減損及減損損失迴轉評估」，以營業中資產是否全面正常供水，非營業中資產現金流量是否穩定，判斷有無減損跡象；另以前年度已認列減損性資產，評估有無證據可辦理迴轉。而台水已成立逾 47 年，折舊性資產耐用年限 40 年為多，加上早期採用經濟管種管線耐用年限僅為 20 年，面臨設備老舊，當極端事件衝擊生財工具的功能，2020 年機修費已達 27.6 億元(占總成本 8%以上)。礙於經費有限及逾年限堪用資產繼續營運使用，適時對資產評估，反映合理成本，方有助於自來水事業永續經營。例如因湖山水庫下游自來水工程計畫完成後，由湖山淨水場及林內淨水場供應清水，古坑營運所經評估快濾池、沉澱池及廢水池等已無使用需求，辦理資產減損評估作業。
- (4)恪遵法規、辦理會計估計變動，適當反映資產成本。如實施 IFRS 16(使用權資產)，將供水設施(配水池、清水池、配電盤等)租用他人土地之租金資產化，及檢討符合會計估計變動條件之資產，均影響資產負債表，須審慎專業評估，適當反映成本。
- (5)使用權資產管理資訊化，正確建檔、計算租賃資產價值，節省人力成本及提升營運控管效能，同時利於知識傳承。
- (6)落實責任中心考評及內部控制制度，提升資產管理效能。2020 年持續實施「資產活化及管理」責任中心考評，增列「財產增加帳務處理」及「財產盤點」2 項內部控制制度，強化資產管理。

綜上，財產管理措施足堪重要，唯有適時做好建設規劃及供水設施正常運作，用戶方能 24 小時獲取高品質自來水。

2. 資產活化

台水擁有土地 852 億餘元，占不動產、廠房及設備 3,205 億元比率 27%，95% 供營業使用，僅少數因供水系統整合、原水水質變化或廠所整併等導致成為閒置或低度利用資產。為提升資產使用效能，經濟部成立「加強土地清理活化小組」，清查閒置或低度利用房地，積極辦理活化或再利用，參與由部次長每半年召開檢討會。該公司截至 2020 年 12 月底資產活化，累計租賃收入 5,499 萬元(如:和山靶場出租案)、累計處分不動產利益 2,204 萬元。2020 年已盤點清查列管閒置房地，邀集相關所屬區處檢討轄管待活化資產辦理情形，未來朝向閒置房地公開標租增加收益及提高使用效益，冀廣續推動資產活化，以充裕營收。

3. 其他—降低利息成本擷節開支

鉅額投資及採購精密檢漏、水質安全檢驗等儀器設備致借款規模逐年增加，由於債務利息控管得宜，未呈現對比增加。加強債務管理措施如下：

- (1) 公開標借取得較低利息：採上網公告方式，透過利率競價模式，獲取較低之借款利率，以減少利息支出。
- (2) 多元籌資管道：年度中逢資金缺口，公開標借短期借款或發行商業本票融資支應，年終舉借長期借款，運用長短借利差，節省資金成本。
- (3) 關注利率變化：隨時關注國際利率變化及是否反轉趨勢，提早釐訂應變措施。

(4) 善用透支額度：採統收統支制度，嚴控現金週轉率，與往來銀行訂有透支契約額度，除可防範流動性風險，並可靈活運用資金調度。

(5) 申請信用評等並發行商業本票降低資金成本：連續 2 年(2020 及 2021)均獲中華信用評等公司授予台水長期發行體信用評等為 **twAAA**，短期發行體信用評等為 **twA-1+**，評等展望為「穩定」，利於後續發行商業本票、增闢融資管道，取得低廉利率以有效降低營運資金成本。

五、結論與建議

展望未來，面對國內公司治理 3.0，強化自來水事業資產管理在 ESG 生態環境(Environment)、社會責任(Social)、公司治理(Governance)等面向永續經營策略非常重要。未來極端氣候引起的旱澇愈來愈頻繁，台水轄區位處地震帶，無可避免地震威脅挑戰，極端事件正快速侵蝕台水長期建立的資產與營運能力。為共好、共享價值，不影響下一世代，本研究提出 2 點結論及 7 點建議。

(一) 結論

1. 蒐集國內外文獻獲悉：

- (1) 自來水事業經營，需投資各種管線、蓄水池及抽水機等機械設備，固定資產投資成本居高，致固定資產占總資產比率亦高，顯見自來水事業之營運需要留意有無閒置資產及資金。
- (2) 雖一般而言負債占權益(或資產)比率愈高越代表企業經營體質越不健康，不過還要衡酌其他財務指標，不能以單一財務指標解釋企業體質是否健康。

(3)隨投入降低漏水率資金增加，降低漏水率的數據越低，亦即效果更好。

2.探討個案台水資產管理策略獲悉:

(1)財產管理措施足堪重要，唯有適時做好建設規劃及供水設施正常運作，用戶方能 24 小時獲取自來水。

(2)推動資產活化，以裕營收。

(3)多管齊下助降低利息，擷節開支。

(4)評估管線資產脆弱度，建立長期調適策略—降低漏水率計畫。

(二)建議

本研究提出 7 點建議如下：

1.建立正確之各項自來水建設計畫及營運成本資料並透明化。

由於公營自來水事業為穩定供水或執行政策性任務，須先投資建設，至於能否於水資源費率反映，相當不容易，建議建立正確各項營運成本資料及適度揭露，期與外界建立誠信關係。

2.汲取國外水務公司營運特色及資產制度優點並內化為可行方案。

自詡為國際級自來水事業一員，持續蒐集並汲取國外水務公司營運特色及資產制度優點內化為可行之行動方案(如日本東京都水道局每年揭露資產管理成效)，提升資產管理效能，利於事業永續經營，以維護用戶及事業之權益。

3.建置資訊系統資源，提升資產管理及經營收支控管效果。

自來水事業以企業經營方式，須遵循法令規章，配合國際及國內法令變動檢討，與時俱進，如台水 2019 年導入國際財務報導準則 IFRS 16 租賃規定，因業務需求承租他人

資產而受重大影響，明確辨認契約性質及終止均為重要事項。由於造成資產負債增加，亟需建置系統資源，正確計算租賃資產及負債，提升資產管理及經營收支控管效果。

4.在經費許可時逐步提供智能服務，提升供水服務品質。

台水投入前瞻基礎建設計畫，逐步推廣水資源智慧管理系統及節水技術，由智慧監控取代人工巡查，有效減少珍貴水資源流失及供作決策參考，以提升供水服務效能。

5.氣候風險因素納入資產購入及新建策略。

台水供水管線若可採用或汰換具韌性或延展性的管種(如 DIP 延性鑄鐵管)，有助於因應颱風災害，降低資產損失。

6.推估災害風險成本納入水價調整災害準備政策，強化供水服務及緊急應變能力。

落實 SDG8「永續經濟成長」，參考水利署(2019)委託台灣經濟研究院，辦理「自來水發展政策效益評估之研究」^[13]成果，水價公式「因應災害準備」為因應非人為之災害或非營運疏失事故可能造成之損失或賠償。故台水若能合理推估災害風險成本，並納入水價調整災害準備政策，未來有助於提升自來水基礎設施韌性，確保用戶用水穩定及安全，發展世代永續共享安全水資源。

7.面對極端氣候，投資創新研究，以提升自來水供應決策品質，降低經濟損失(社會成本)。

參考文獻

- 1.The United Nations World Water Development Report 2020, WATER ANDCLIMATE CHANGE.
- 2.The World Economic Forum(2020), The Global

- Risks Report 2020 15th Edition, Figure II: The Global Risks Landscape 2020.
3. 艾奕康工程顧問(股)公司(2016)，臺灣水資源高風險地區調適指標研究，P1-19，水利署。
 4. American Water Reports 2020 Results, <https://ir.amwater.com/news-and-events/financial-releases/financial-release-details/2021/American-Water-Reports-2020-Results/default.aspx>
 5. 美國水務公司 (AWK) 債務權益比率 (2008~2020)，<https://www.macrotrends.net/stocks/charts/AWK/american-water-works/debt-equity-ratio>
 6. 東京都水道局(令和元年版)，事業運営の基本方針，資産の管理，http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/files/items/27375/File/01_gaiyou_r1_06_01.pdf
 7. Gruppo CAP, CANONI LOCAZIONE, <https://www.gruppocap.it/il-gruppo/societa-trasparente/capholding/beni-immobili-e-gestione-patrimonio>
 8. Gruppo CAP, <https://www.gruppocap.it/Other.aspx/ModuleAction/Index?newsId=8b6229efb3b844f783fc02b0423b1fd9§ionId=1164fb79-3003-07c5-e054-00144fecba8c&customModuleId=11f41d09-0965-48b1-9dfa-ce9f752eb270&actionName=Detail>
 9. Gruppo CAP, <https://sostenibilita.gruppocap.it/it/proteggere-la-risorsa>
 10. IPCC(2012)，Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation，P14，
<https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>
 11. 推進亞洲極端氣候和災害管理-從IPCC《特別報告》談起，3.2 行業的脆弱性，
[https://cdkn.org/wp-content/uploads/2012/04/Lessons-from-the-IPCC-SREX-report-for-Asia-Chinese-](https://cdkn.org/wp-content/uploads/2012/04/Lessons-from-the-IPCC-SREX-report-for-Asia-Chinese-language-version.pdf)

[language-version.pdf](https://cdkn.org/wp-content/uploads/2012/04/Lessons-from-the-IPCC-SREX-report-for-Asia-Chinese-language-version.pdf)

12. Commissioner Rostin Behnam, Sponsor Bob Litterman, Chairman (2020), MANAGING CLIMATE RISK IN THE U.S. FINANCIAL SYSTEM.
13. 台灣經濟研究院(2019)，自來水發展政策效益評估之研究，P3-42，水利署。

作者簡介

柯藹洵女士

現職：台灣自來水股份有限公司財務處組員

專長：經營管理、財務分析

鐘澤邦先生

現職：台灣自來水股份有限公司財務處管理師

專長：財務計畫、財務分析

周星妤女士

現職：台灣自來水股份有限公司財務處組員

專長：財產管理、土地行政

陳佩君女士

現職：台灣自來水股份有限公司財務處組長

專長：財產管理、費率檢討

蕭淑貞女士

現職：台灣自來水股份有限公司財務處處長

專長：事業經營、財務管理

楊晴雯女士

現職：中華經濟研究院分析師

專長：資源經濟、產業經濟

自來水加壓設備預知維管與類神經網路之應用

文/邱嘉南

摘要

自來水淨水及供水過程中有許多關鍵性之機具或設備需要保持經常性的妥善，若發生異常故障，將造成供水中斷、潛在工安事故或污染等連鎖性的影響。

傳統設備運轉及維護，在建置之初就在重要的設備進行大量的在線連續監控，透過 SCADA 系統，將訊號傳送至控制中心。監控人員依據經驗，或透過人力定期攜帶儀器檢測設備狀態，或聽到設備發出異常聲響，才通知設備商進行維護保養。不僅耗費時間及人力，臨時的異常運作也不易被發現。

「雲端監測」，是一種結合物聯網技術、聯網裝置與雲端平台的解決方案。利用振動規、溫度貼片及智慧電表安裝於設備上，透過閘道器採集設備的振動、溫度及耗電量並傳輸至雲端，雲端平台分析數據後，判斷可能異常原因。雲端平台與大數據分析還可以協助建立專家系統，有系統地歸納、儲存、管理資深人員的專業知識與技術經驗，並以此為基礎進行分析。提前的維修準備，可延長設備的壽命與維持設備運轉品質，並在適當的時間提出維修保養計畫。

異常預測是基於異常現象資訊進行故障診斷與故障預測，依據歷史統計數據、故障輸入獲得的數據等各類已知資訊，針對當前設備異常現象特徵，進行故障損傷程度的判斷及故障預測。從類神經網路的研究發展趨勢來看，類神經網路對於自來水加壓站的

異常預測，應該會有相當的效果。如果能建立預測模組，在可能發生異常狀況前超前排除，就能使供水不致中斷，滿足市民用水的需求。

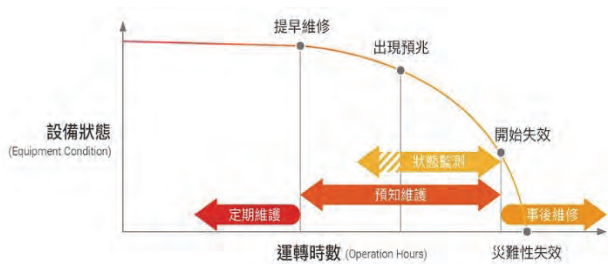
一、問題探討

自來水的供應以滿足都市發展的用水需求為依歸，除了需要有足夠的水壓及水量分配到各供水區，也要滿足尖峰時間暴增之用水量。自來水在淨水處理完成後的配送過程中，利用加壓設備將水送到高地的配水池，再利用自然的水壓送水，透過自來水管線分配到用水戶；若在無法設置高地配水池的區域，則需用加壓設備直接加壓送到用水戶。也就是遇到水壓不足或是水量不足的狀況，在沒有自然的壓力時，便需要加壓設備克服。因此，加壓站設備肩負自來水供應的重責大任，是不可或缺的重要角色。若發生異常故障事故，將造成供水中斷、潛在工安事故或污染等連鎖性的影響。如何維持其正常運作，自然是自來水事業重要的課題。

有鑑於資訊系統軟硬體技術蓬勃發展，目前使用電腦設備監控各項製造機具或瞬時使用者的使用狀態，已成為非常重要又普遍的要求。例如製造業的機械設備，若需要使用者 24 小時不眠不休、三班輪替的監控機台狀況，需要耗費非常大的人力資源。若能透過大量案時間測量的連續序列，善用資料探勘(data mining)技術，可協助即時發現異常，儘早通報，減少損害。

二、設備維修模式

設備故障與維修一直都是密不可分，一般維修模式可分為事後維修(Break-Down Maintenance, BDM)、定期維修(Time-Based Maintenance, TBM)、狀態監測(Condition-Based Maintenance, CBM)與近幾年產業關注的預兆診斷(圖 1)。簡述如下：



資料來源：微程式資訊

圖 1 設備故障維修示意圖

(一)事後維修

待故障發生後再修理，一般用於對製造流程影響不大之機械設備，或已備好零件備品，能於短時間內完成修復者。但當機台產生故障後，若需要盡速維修上線，臨時的訂購會造成備品成本提高，維修人力調用不順。臨時性維護時，也會降低生產效率，若關鍵零件毀損，恐導致重大事故，需承擔更高的風險。

(二)定期維修

以固定維修週期的方式進行排修保養，不論設備是否已損壞，都會依照時間或使用情況進行更換。維護頻率過高，人力與成本提高，但若降低維修頻率，又會導致設備生產品質與良率問題，也有可能遇到設備提前失效的可能，一樣必須承擔事後維修之風險。

(三)狀態監測

在設備運行時，便藉由各種量測方法來獲得狀態訊息，並進行機械設備之監測，再根據性能指標評估維修項目，進而早期檢知異常情況以判斷要更換之時間。此做法可降低設備無預警停機、減少定期維護成本、提高設備之稼動率，延長設備壽命。但此做法相對也會提高監測設備的成本支出，例如需工業電腦與資料擷取卡。因此目前此做法大多運用在重要關鍵設備，像是飛機、核能發電廠、半導體製程設備等重要設備。

(四)預知化維護

在工業 4.0 與智慧製造的積極發展下，智慧診斷監測技術的市場需求殷切，使設備故障診斷技術包括新型感測器、特徵工程及分析手法，以及近年新穎的人工智慧(Artificial Intelligence, AI)加值技術紛紛被提出與商品化。

透過使用智慧化零組件/模組，或是在設備內、外部加裝位置、力量、加速度、振動、噪音、溫濕度等各類型感測器。結合資通訊、機電系統應用技術(例如物聯網、雲端運算、巨量資料、人工智慧)，使設備擁有重要的運作能力，例如資料即時(Real Time)擷取、記錄與傳輸等。再配合相應的致動器、控制裝置，使設備運作狀態與效能監控最佳化，達到智慧設備之功能。

預知化維護為狀態監測之進階功能，經由狀態監測之大數據資料與實際維護經驗，根據所定義之數據與標籤(Label)，透過人工智慧進行學習與判斷，建立預估模型，以達到更精準之設備損壞時間預估。

三、類神經網路

(一)基本概念

生物的神經元大致上都有著可以接受來自其他神經元的訊號的神經樹 (dendrite)，以及可以傳送訊號給其他神經元的神經軸 (axon)。(圖 2)

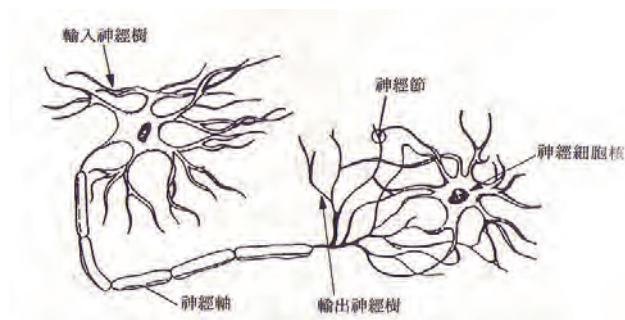


圖 2 典型神經細胞結構圖

神經網路在進行學習時，外界刺激神經細胞所產生的電流會改變神經節上的加權值。當電流反覆在神經網路上流動，神經節上的加權值也反覆地改變，最後會慢慢的趨向穩定，此時即表示學習已告完成。

類神經網路的單位神經元架構與生物的神經元類似，都有著數個可以接受其他神經元的「輸入 (Input)」，以及數個傳送訊號給其他神經元的「輸出 (Output)」。將這些神經元連結起來，就是類神經網路。類神經網路通常會分成好幾「層」，而每一層與每一層之間的神經元都會緊密連結著 (fullyconnected)。(圖 3)

簡言之，類神經網路就是連結在一起的人工神經元，可以透過無數次訓練提高執行任務的準確率（如下棋或預測天氣）。訓練類神經網路時，必須要給它一組數量很大且已經知道正確答案的訓練樣本，讓類神經網

路之間的神經元連結可以自動透過輸入訊號與正確答案的比對調整自身的參數。

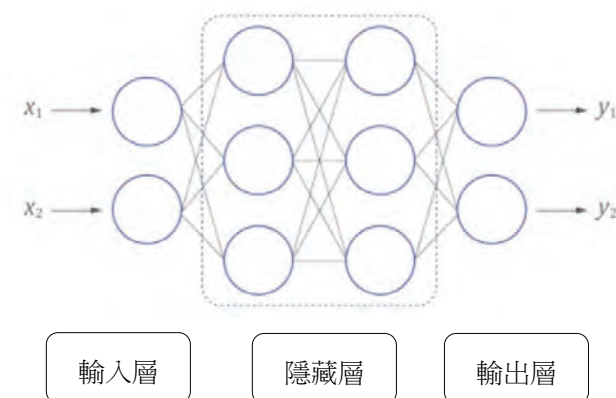


圖 3 類神經網路

類神經網路具有以下特性，使其廣泛被利用：

1. 平行處理(parallel processing)

採用大量平行計算，經由許多不同的人工神經元來做運算處理，有別於傳統的運算方式。

2. 容錯(fault tolerance)特性

操作上具有很高之容忍度，整個神經網路都會參與解決問題之運作。如果輸入資料混雜少許雜訊干擾，仍然不影響其運作之正確。

3. 聯想式記憶(Associative Memory)

又稱為內容定址記憶(content addressable memory)，它可以記憶曾經訓練過的輸入樣式以及對應的理想輸出值。只要給予一部份的資料，便可以得到全部的資料並且可以容忍錯誤，就像人類只要看到某一部份的影像可以回憶起全部的影像。

4. 解決最佳化(Optimization)問題

所謂最佳化問題，是指在一問題領域

中，希望找到一組設計變數值，使其在滿足設計限制下，使整個設計目標達到最佳化狀態。以下舉例說明這個概念：

「考慮一旅行員要到 N 城市作生意，試找出一條從某城市出發，連貫這些城市，又回到原出發城市的最短路徑。」

若能找到這樣一條路徑，便是解決了一個”組合最佳化問題”，而類似這樣的問題，可藉由類神經網路來幫忙解決。

四、產學界的發展

(一)學界發展

趙培堯(2012)^[1]應用類神經網路預測半導體機台異常值，及時探測到機台參數偏差，當參數偏離原值並超出設定的區間範圍時發出警報。該研究並開發出一套預警機制，事先預測機台在未來可能發生的異常，依據預測結果事先做出預防措施，以防止事態變嚴重，進而促進製程良率與產能的提升。

Malhotral, P., Vig, L., Shroff, G., Agarwall, P. (2015)^[2]，以非異常數據精煉，並在多個時間步驟中用作預測變量。利用堆疊式長期-短期記憶(LSTM)網絡，按時間序列進行異常/故障檢測。並且在心電圖、太空梭、動力需求和多傳感器引擎數據集得到印證。

葉昱宏(2017)^[3]結合分群法與類神經網路，以飛機使用發動機上的電子控制單元為例，選定的電子控制單元檢測數據為樣本，載入倒傳遞類神經網路軟體測試輸入與輸出之間的關係，用以建立預測模式，藉以預測電子控制單元的使用壽命。

Ahmad, S., Lavin, A., Purdy, S., Agha, Z.

(2017)^[4]，著眼於串流及時序數據的遽增應用性，並認為這些數據並驅動了技術挑戰和願景。基於串流分析的基本功能在於以無人監督的方式對每個資訊流進行建模，並進行異常行為檢測。提出一種嶄新的層次時間記憶(HTM)的在線序列記憶演算法，建構一個受控制的開源環境來測試串流數據的異常。

林建謀(2018)^[5]結合主成份分析法與倒傳遞類神經網路預測飛機零組件故障時間，以陸軍某型直升機機上發動機(T700-GE-401 型)的電子控制單元為例，蒐集影響電子控制單元故障時數的 6 項關鍵因素，建立直升機關鍵性零組件失效預測系統，可精進機隊關鍵性零組件維修管理並提升直升機妥善率。

江振瑞(2019)^[6]使用卷積神經網路(convolutional neural network, CNN)搭配長短期記憶(long short-term memory, LSTM)遞歸神經網路(recurrent neural networks, RNN)，以判別智慧工廠機台是否可能即將發生嚴重異常。

(二)產業界發展

維修保養的目的在於透過維修來確保系統功能，並於系統故障時加以修復。早期由於技術與經驗有限，只能等設備壞了才修，其實並無保養的觀念。隨著科技的進步及預防觀念的改變，設備保養的作法開始提升變為定期的更換磨耗品、定期檢查重要的部位，也就是週期固定的預防維護以避免系統故障，並延長使用壽命。預防維護動作通常會進行排程，並衍生預期停機時間，此項維護的目標，在於將意外停機時間成本壓至最低。

勞斯萊斯的大型客機引擎，全球市佔率第一，達 45%。該公司的引擎健康管理部門（Engine Health Management），隨時有二十幾名工程師，一天二十四小時、一年三百六十五天，在監控中心監控安裝在全球近一百家航空公司客機上的四千六百具勞斯萊斯引擎。這些引擎，每具都安裝二十到三十個感測器，隨時收集轉速、溫度、震動、油壓等各種運轉數據，並透過衛星回傳監控中心即時分析，並和幾千筆資料做比對，檢視引擎是否正常運轉。若發現任何數據異常，客服人員就會馬上通知飛行員及航空公司，派遣維修人員提早檢修，避免引擎發生無預警故障。勞斯萊斯利用感測和連網裝置，做到「機器狀態監控」和「預知性維護」，避免設備無預警故障，維持在最有效率、最佳的運作狀態。

預知性維護（Predictive Maintenance，簡稱 PdM）不僅能優化設備的運作時間和性能，且能減少維護的時間和人力成本（Scheffer, 2004^[7]；Hashemian, 2008^[8]；Negandhi et al., 2015^[9]；Chebel-Morello et al., 2017^[10]）。預知性維護是以狀態為依據的維修，在機器運行時，對它的主要（或需要）部位進行定期（或連續）的狀態監測和故障診斷，判定裝備所處的狀態，預測裝備狀態未來的運作趨勢，據以預先制定預知性維護計劃，確定機器應該修理的時間、內容、方式和必需的技術和物資支持，所以是一種集合了裝備狀態監測、故障診斷、故障（狀態）預測、維修決策支持和維修一體的活動。一般而言，預知維護動作會在偵測到維修需求後展開排程，所需成本通常比意外停機時間更低，可

以盡可能延長關鍵設備的使用時間，同時將非計畫性停機損失降至最低，進而大幅提高產值。

五、加壓站設備預知化維護及異常預測

（一）預知化維護

自來水加壓設備長期高強度運轉，若未定期進行保養與檢測，很可能臨時故障造成設備停擺。加壓設備故障的原因很多，較常見的包含軸承故障、轉子故障、定子故障、過熱或污染等。然而設備的故障通常並非瞬間發生，大部份的問題，其實可透過檢測及早發現。可依據振動特徵判斷是平衡不良、對心不良、軸彎曲、機械鬆動等，或藉由溫度、耗電量的檢測，提前發現設備的潛在問題。

傳統設備運轉及維護，在建置之初就在重要的設備進行大量的在線連續監控，透過 SCADA 系統，將訊號傳送至控制中心，並對各種反應狀態（包含異常狀態）進行各種反應控制以對整個反應系統的狀況進行最嚴密的監控。除了即時監測資料外，巡檢人員會定時記錄裝備操作的參數（如：溫度、壓力、流量、轉速等），並記錄裝備是否異常。

以上傳統人力監測方式，大都是依據經驗，或透過人力定期攜帶儀器檢測設備狀態，或聽到設備發出異常聲響，才通知設備商進行維護保養。不僅耗費時間及人力，臨時的異常運作也不易被發現，因此仍難以消弭設備臨時停機的風險。

為解決以上問題，目前已發展成熟的「雲端監測」，是一種結合物聯網技術、聯

網裝置與雲端平台的解決方案。利用振動規、溫度貼片及智慧電表安裝於設備上，透過閘道器採集設備的振動、溫度及耗電量並傳輸至雲端，雲端平台分析數據後，判斷可能異常原因。此解決方案特色包含雲端 24 小時監測設備狀態、異常運作告警通知、即時及定期妥善度量測。同時運用雲端系統，資料儲存於公有雲端，除具備高度安全性外，同時降低了導入解決方案的建置成本。雲端平台與大數據分析還可以協助建立專家系統，有系統地歸納、儲存、管理資深人員的專業知識與技術經驗，並以此為基礎進行分析。專家系統除了提供可媲美人類專家的建議或解答，還可自動學習，持續精進推導分析的正確性。且在雲端的架構下，也可打破地域限制，在遠端集中監控裝置在各地的設備。

在不須更換或變動設備下即可進行設備的遠端監測，搭配異常告警與主動式的設備健康度診斷，24 小時全天候看管設備，是提升設備稼動率的最佳幫手，更可實現設備不停機、生產不中斷的理想。

透過遠端監控器跟分析軟體我們可預測機器何時發生故障，了解損壞部位，並且在最方便的時候安排維修。掌握設備損壞時間，避免過度維護所造成資源浪費跟不必要的停機。有效協調維護人員跟必要料件交期，避免非預期的故障停機。

提前的維修準備，可延長設備的壽命與維持設備運轉品質，並在適當的時間提出維修保養計畫。對設備有十足的掌握，才能更有餘力設計更精良的操作流程，進而持續提供品質優良且穩定的供水。

(二)異常預測

為了達成預知化維護，就必須要有告知設備何時可能會失效的能力，很顯然的就是要有預測分析能力。異常預測是基於異常現象資訊進行故障診斷與故障預測，依據歷史統計數據、故障輸入獲得的數據等各類已知資訊，針對當前設備異常現象特徵，進行故障損傷程度的判斷及故障預測。它是一門新發展的科學，而且越來越受到重視，尤其是在連續運轉系統中，異常預測有著非常重要的意義。依照異常預測的方法原理，異常預測可分為：時頻法、統計法、資訊理論分析法及其它人工智慧法（專家系統、神經網路等）(Sun, Yan, & Wen, 2017)^[1]、模糊理論法、灰色系統理論等。

從類神經網路的研究發展趨勢來看，類神經網路對於自來水加壓站的異常預測，應該會有相當的效果。如果能建立預測模組，在可能發生異常狀況前超前排除，就能使供水不致中斷，滿足市民用水的需求。

參考近年來的研究，自來水加壓站設備需收集的資料集涵蓋欄位計有 7 項，分別是：

1.累計運轉擷取時間(Time)

例如每秒 1 筆、每分鐘 1 筆。

2.功率(Power)

抽水機的功率數值。

3.溫度(Temperature)

抽水機的溫度數值。

4.壓力(Pressure)

抽水機的輸出壓力數值。

5.正常工作時間(Uptimes)

又稱上線時間，是指某時間段內系統正常工作的總時長。上線時間是用來衡量系統

穩定性的重要指標之一。根據某時間段內系統的上線時間，我們可以計算出系統的在該時間段內的上線率。上線率是一個百分數，和上線時間相比，上線率往往能夠更加直觀的表現出系統的穩定程度來。

6.狀態(Status)

正常或異常情形。

7.結果(Outcome)

正常運轉、停機、或是降速等。

經過一段時間收集資料集後，可使用業界最普遍使用的 IBM SPSS Modeler 系統建立類神經網路模式，並可選用多層次感知器 (Multilayer Perception, MLP) 或徑向基底函數 (Radial Basis Function, RBF) 比較預測結果。前者允許使用者產出較為複雜的關係，但需要花費較長的訓練與評分時間；後者可以縮短訓練與評分時間，但預測能力較前者稍差。

六、願景

在工業 4.0 及巨量資料的時代，偵測和診斷技術已有成熟的發展，目前更進一步整合到預測維度，以預知出錯 (fault prognosis) 為重點 (Reis & Gins, 2017)^[12]。量測資料與運作方式跟過去相比，主要有以下差異：(1) 資料維度由單變量進到多變量、高維度；(2) 資料結構由同質性的資料表格進到性質迥異的資料集；(3) 資料收集由靜態進展到動態、非靜止的；(4) 監控重點由平均數進到離散程度、相關性；(5) 製程監控由鬆散的進到結構式的。除了「製程健康」亦聚焦「設備健康」，也就是重視錯誤的預防。

設備隨著時間的運轉數據是非常有價值的資訊。運用此方面的知識，可以使維修

計畫有更好的安排，減少生產線的損失，更重要的是能確保人員的安全。在管理目標順利達成，運轉風險降低的同時，經濟效益也明顯的提高。此外，維修保養紀錄提供了設備的各項(可能)錯誤訊息，若能結合維修及運轉製程資料，將有機會找出運轉條件及系統可靠性間之關鍵訊息，進而改善操作流程，發展預測維度，以提昇運轉風險管理層次 (Reis & Gins, 2017)^[12]。

類神經網路在理論上不須判定資料型態，也不須事先訂立模式，且可處理非線性的問題，並可利用學習訓練來解決問題。對於完全沒有規則可言的問題提供了極佳的解決方法，在實際操作上也印證了理論上的優點。就實證結果的效應，依類神經網路模式所產生的預測值與實際值間的差異性相當小，預測結果足可反應實際狀況。因此以類神經網路進行預測極具可靠性，其預測結果可提供作為決策之參考。尤其類神經網路可隨著樣本的增加而重新學習，只要有樣本即可作分析，從使用角度來說非常方便。也就是說可直接利用個案去模擬，因此在眼前累計的數據並不多的狀況下，沒有明顯的因果關係可遵循時，類神經網路提供了一個良好的解決問題方法。

自來水淨水及供水過程中有許多關鍵性之機具或設備需要保持經常性的妥善率，若發生異常故障，將造成供水中斷、潛在工安事故或污染等連鎖性的影響。這些重要的淨水及供水過程可透過感測器、網路傳輸及數據分析等專業技術，監測設備之運轉狀態並預測故障趨勢。建立預防性維護頻率，節省成本及人力，避免臨時性跳機或故

障，進而提高生產效益，提升安全管理績效。

參考文獻

- 1.趙培堯(2012) “類神經網路於預測半導體機台異常值之應用” 國立交通大學，碩士論文
2. Malhotral, P., Vig, L., Shroff, G., and Agarwall, P. (2015) "Long Short Term Memory Networks for Anomaly Detection in Time Series" , European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning.
- 3.葉昱宏(2017) “結合分群法與類神經網路預測發動機失效時間” , 中華科技大學,碩士論文
- 4.Ahmad, S., Lavin, A., Purdy, S. and Agha, Z. (2017) "Unsupervised real-time anomaly detection for streaming data" , Neurocomputing 262, 134 – 147.
- 5.林建謀(2018) “結合主成份分析法與倒傳遞類神經網路預測飛機零組件故障時間－飛機發動機電子控制單元為例” 中華大學，碩士論文
- 6.江振瑞(2019) “智慧工廠多類別不平衡深度學習嚴重異常徵兆預判” , 科技部，計畫編號 MOST107-2221-E008-081
- 7.Scheffer, C. and Girdhar, P. (2004) Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance, Elsevier
- 8.Hashemian, H. M.(2008) Predictive Maintenance of Critical Equipment in Industrial Processes, Lamar University Press
- 9.Negandhi,V., Sreenivasan, L., Giffen, R., Sewak, M. and Rajasekharan, A. (2015) IBM Predictive Maintenance and Quality 2.0 Technical Overview, Redbooks, (2015)
- 10.Chebel-Morello,B.,Nicod, J.-M. and Varnier, C., (2017) “From Prognostics and Health Systems Management to Predictive Maintenance” , Mechanical Engineering and Solid Mechanics

Series- Reliability of Multiphysical Systems Set, Vol. 7, John Wiley.

- 11.Sun, J., Yan, C., and Wen, J. (2017). "Intelligent Bearing Fault Diagnosis Method Combining Compressed Data Acquisition and Deep Learning" , IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement.
- 12.Reis, M.S. and Gins, G. (2017). Industrial Process Monitoring in the Big Data/Industry 4.0 Era: From Detection, to Diagnosis, to Prognosis. Processes, 5(35)

作者簡介

邱嘉南先生

現職：臺北自來水事業處勞工安全衛生室

專長：防災、資訊處理

淨水污泥餅認定及去化方向探討

文/陳威豪、黃庭水、陳文祥

摘要

依據行政院環境保護署民國 90 年 10 月 29 日(90)環署廢字第○○六八六三五號函示如下：「查自來水淨水場水處理過程，除沉砂池係採重力沉澱方式，其所產生之污泥尚能符合規定，得依營建署剩餘土石方處理方案之規定辦理，不受廢棄物清理法等相關規定管理，其餘採混凝或廢水沉澱之污泥，因含有混凝劑、助凝劑或高分子凝聚劑，恐有二次污染之虞，因此，其處理時應依廢棄物清理法等相關規定辦理。」

本公司近 3 年(106~108 年)所屬淨水場淨水污泥餅進行溶出毒性結果，其值均遠低於有害事業廢棄物之認定標準，且 106~108 年度淨水污泥餅總體化學成份，由數據顯示，淨水污泥餅主要成份以 SiO_2 、 Al_2O_3 與 Fe_2O_3 為主，其他化合物(如鈣、鎂及銅等微量金屬元素)含量皆相近，另還有其他鐵、鎂、鈣、銅等微量金屬元素每年差異不大，故較為安定，應無危害人體健康及污染環境衛生之虞。

而近幾年積極辦理淨水污泥餅資源化再利用相關研究，由眾多研究發現，淨水污泥餅資源化再利用具有可觀的可行性，且本身及再利用產品均有市場經濟價值，因此較不符合廢棄物清理法等第 2 條第一項第四款規定，不可認定為廢棄物，可視為資源。

關鍵字：毒性特性溶出程序(TCLP)、總體化學分析、資源化、廢棄物清理法等。

一、前言

查依內政部營建署 88 年 11 月 24 日函送之「研商水庫、河川、給水廠、沉砂池等淤積之泥土資源回收再利用申請設置土資場」會議結論(一)略以：按內政部 86 年 1 月 18 日函頒修正『營建廢棄土處理方案』(營建剩餘土石方處理方案之前稱)之適用範圍：包括公共工程(含交通運輸、經濟水利、河川、水庫、水土保持之沉砂池、自來水給水廠沉澱池等工程)所產生之廢土石方，係屬不會產生二次污染之有用土石資源。自應包括水庫、河川之沉砂池、給水場沉澱池等淤積之泥土，且行政院環境保護署民國 97 年 6 月 12 日環署廢字第 0970040965 號函，認定本公司林內淨水場原水調節池淤泥屬營建剩餘土石方。

然行政院環境保護署民國 90 年 10 月 29 日(90)環署廢字第○○六八六三五號函示如下：「查自來水淨水場水處理過程，除沉砂池係採重力沉澱方式，其所產生之污泥尚能符合規定，得依營建署剩餘土石方處理方案之規定辦理，不受廢棄物清理法等相關規定管理，其餘採混凝或廢水沉澱之污泥，因含有混凝劑、助凝劑或高分子凝聚劑，恐有二次污染之虞，因此，其處理時應依廢棄物清理法等相關規定辦理。」因此，本公司淨水場產生淨水污泥餅被認定為事業廢棄物。



二、淨水污泥性質

(一)毒性特性溶出程序(簡稱 TCLP)

依據廢棄物清理法第二條第二項第二款及有害事業廢棄物認定標準規定，本公司淨水場產生淨水污泥餅屬一般事業廢棄物。

經查本公司近 3 年(106~108)所屬淨水場淨水污泥暨原水淤泥進行溶出毒性結果，彙整如表 1~3，其值均遠低於有害事業廢棄物之認定標準，尚無污染環境衛生之虞。

(二)總體化學成份分析

經查本公司 106~108 年度所屬淨水場淨水污泥總體化學成份，由數據顯示，淨水污泥餅主要成份以 SiO_2 、 Al_2O_3 與 Fe_2O_3 為主，而因各場混凝劑添加不同，如 PACL 或氯化鐵，僅其鋁化合物或鐵化合物兩者成份百分比不同外，其他化合物(如鈣、鎂及銅等微量金屬元素)含量皆相近。

表 1 106 年淨水污泥餅 TCLP 數據表

	總汞	總鎘	總硒	六價鉻化合物	總鉻	總鉛	總砷	總銅	總鋇
法規標準 mg/L	0.2	1	1	2.5	5	5	5	15	100
新山場	ND	0.023	0.033	ND	ND	0.119	ND	0.125	1.05
大湍場	ND	0.01	0.015	ND	ND	ND	ND	0.123	2.81
寶山場	0.0193	0.011	0.014	ND	ND	ND	ND	ND	1.00
林內場	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.05	0.157
南化場	ND	ND	0.034	<0.05	0.005	0.05	0.006	0.023	0.24
坪頂場	ND	ND<0.005	ND	ND	0.004	0.021	ND<0.0006	ND	1.05
清洲場	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.673
砂婆嚨場	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.461
壽豐場	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.022	0.363
員林第三場	ND	ND	<0.100	ND	ND	ND	ND	ND	ND
板新場	0.0005	ND	0.0005	ND	ND	0.04	ND	ND	1.03

表 2 107 年淨水污泥餅 TCLP 數據表

	總汞	總鎘	總硒	六價鉻化合物	總鉻	總鉛	總砷	總銅	總鋇
法規標準 mg/L	0.2	1	1	2.5	5	5	5	15	100
大湍場	0.0002	ND	ND	ND	ND	ND	0.009	ND	0.798
明德場	0.0022	ND	0.002	ND	0.032	ND	0.003	0.176	ND
豐原場	N.D.	N.D.	<0.002	N.D.	N.D.	N.D.	0.003	0.035	0.579
林內場	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.05	0.348
南化場	ND	ND	0.024	ND	0.005	ND	0.001	ND	0.964
路竹場	ND<0.0004	ND<0.01	ND<0.035	ND<0.01	ND<0.017	ND<0.017	ND<0.038	ND<0.017	2.46
清洲場	ND<0.00048	ND<0.0076	ND<0.00091	ND<0.0022	ND<0.038	ND<0.063	ND<0.00019	ND<0.020	1.99
砂婆嚨場	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.036
壽豐場	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.823
下壩場	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
板新場	0.0005	ND	ND	ND	0.047	ND	0.005	0.023	0.921

表 3 108 年淨水污泥餅 TCLP 數據表

	總汞	總鎘	總硒	六價鉻化合物	總鉻	總鉛	總砷	總銅	總鋇
法規標準 mg/L	0.2	1	1	2.5	5	5	5	15	100
新山場	ND	0.017	ND	ND	ND	0.079	ND	0.012	2.96
大湍場	ND	ND	ND	ND	ND	0.072	0.004	ND	0.863
寶山場	ND	ND	ND	ND	0.042	0.08	0.001	ND	1.01
豐原場	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<0.100	0.005	N.D.	1.46
林內場	ND	ND	<0.100	<1.00	<0.020	<0.040	ND	0.021	0.32
南化場	ND	0.003	0.005	ND	ND	ND	0.001	ND	1.12
坪頂場	<0.002	<0.05	<0.05	ND	ND	ND	ND	ND	0.856
清洲場	ND<0.00049	ND<0.0076	ND<0.00099	ND<0.0023	ND<0.039	ND<0.082	ND<0.00019	0.076	3.18
砂婆嚨場	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.66
壽豐場	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.02
員林第三場	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

另比較明德、豐原、林內、南化、砂婆嚨及板新淨水場淨水污泥餅總體化學成份，彙整如表 4~9 所示，由該圖可知，每年主要成份還是以 SiO_2 、 Al_2O_3 與 Fe_2O_3 為主，而其他元素含量部分，每年差異不大，因此也無污染環境衛生之虞。

表 4 明德場 106~108 年淨水污泥餅總體化學成分表

項目	板新場原水淤泥	板新淨水場(106 年)	板新淨水場(107 年)	板新淨水場(108 年)
成份分析(%)				
SiO ₂	70.05	48.29	45.39	40.92
Al ₂ O ₃	14.82	20.81	24.18	26.09
Fe ₂ O ₃	4.58	7.72	6.43	6.23
Na ₂ O	1.07	0.74	0.54	0.46
CaO	0.61	0.54	0.51	0.57
K ₂ O	2.97	4.55	3.40	3.16
P ₂ O ₅	0.17	0.28	0.36	0.36
Cl	ND	0.04	0.06	0.08
SO ₃	0.28	0.54	0.67	0.82
CuO	-	0.01	0.01	0.01
NiO	0.01	0.01	0.01	0.01
MnO	0.07	0.12	0.13	0.15
MgO	1.43	2.38	1.73	1.69
ZnO	0.01	0.02	0.02	0.02
SrO	0.01	0.02	0.01	0.02
TiO ₂	0.71	0.83	0.69	0.65
ZrO ₂	0.05	0.04	0.03	0.03
Br	-	-	-	0.01
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	0.02
BaO	0.01	0.01	-	0.10
Rb ₂ O	0.01	0.03	0.02	0.02
Y ₂ O ₃	-	-	-	-
As ₂ O ₃	-	-	-	-
燒失量	3.12	13.00	15.79	18.58

表 5 豐原場 106~108 年淨水污泥餅總體化學成分表

項目	豐原淨水場(106 年)	豐原淨水場(107 年)	豐原淨水場(108 年)	豐原淨水場(109 年)
成份分析(%)				
SiO ₂	60.00	50.36	54.77	49.21
Al ₂ O ₃	19.80	22.37	18.88	19.84
Fe ₂ O ₃	4.81	7.24	6.11	12.73
Na ₂ O	0.59	0.44	0.49	0.30
CaO	1.05	0.89	1.94	1.33
K ₂ O	3.59	3.51	3.20	3.74
P ₂ O ₅	0.20	0.26	0.25	0.19
Cl	0.02	0.03	0.05	0.03
SO ₃	0.44	0.47	0.41	0.33
CuO	0.01	0.01	0.01	0.01
NiO	0.01	0.01	0.01	0.02
MnO	0.09	0.14	0.19	0.22
MgO	1.68	1.69	1.58	0.95
ZnO	0.01	0.02	0.02	0.03
SrO	0.01	0.01	0.02	0.03
TiO ₂	0.67	0.72	0.65	0.90
ZrO ₂	0.04	0.03	0.03	0.06
Br	-	¾		-
Cr ₂ O ₃	0.01	0.02	0.02	0.03
BaO	0.01	¾		-
Rb ₂ O	0.02	0.02	0.02	0.03
Y ₂ O ₃	-	¾		-
As ₂ O ₃	-	¾		-
燒失量	6.94	11.76	11.35	10.02



表 6 林內場 106~108 年淨水污泥餅總體化學成分表

項目	林內原水調節池淤泥	林內淨水場(106 年)	林內淨水場(107 年)	林內淨水場(108 年)
成份分析(%)				
SiO ₂	57.78	54.94	53.64	52.01
Al ₂ O ₃	20.17	19.54	18.62	18.65
Fe ₂ O ₃	6.81	8.95	10.64	11.47
Na ₂ O	1.00	0.93	1.00	0.93
CaO	1.71	1.85	1.83	2.24
K ₂ O	3.87	3.88	3.90	3.81
P ₂ O ₅	0.12	0.11	0.14	0.14
Cl	0.00	0.00	ND	ND
SO ₃	0.24	0.17	0.20	0.18
CuO	0.01	0.01	0.01	0.01
NiO	0.01	0.01	0.01	0.01
MnO	0.09	0.12	0.14	0.13
MgO	2.12	2.03	2.10	2.06
ZnO	0.02	0.01	0.02	0.02
SrO	0.02	0.02	0.02	0.02
TiO ₂	0.90	0.81	0.80	0.79
ZrO ₂	0.04	0.03	0.03	0.03
Br	-	-		
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	0.02
BaO	-	-		
Rb ₂ O	0.02	0.02	0.02	0.02
Y ₂ O ₃	-	-		
As ₂ O ₃	-	-		
燒失量	5.05	6.55	6.86	7.46

表 7 南化場 106~108 年淨水污泥餅總體化學成分表

項目	南化水庫淤泥	南化淨水場(106 年)	南化淨水場(107 年)	南化淨水場(108 年)
成份分析(%)				
SiO ₂	54.04	38.59	35.60	39.52
Al ₂ O ₃	20.17	24.33	19.69	22.94
Fe ₂ O ₃	7.77	12.85	14.42	14.24
Na ₂ O	0.62	0.36	0.36	0.36
CaO	1.47	1.09	4.74	2.04
K ₂ O	3.78	3.80	2.80	3.66
P ₂ O ₅	0.14	0.15	0.16	0.14
Cl	0.00	0.36	0.03	0.03
SO ₃	0.19	0.24	0.53	0.25
CuO	0.01	0.01	0.01	0.01
NiO	0.01	0.01	0.01	0.01
MnO	0.11	0.09	0.12	0.13
MgO	2.52	2.10	1.96	2.06
ZnO	0.02	0.01	0.01	0.02
SrO	0.02	0.02	0.02	0.02
TiO ₂	1.10	0.64	0.60	0.72
ZrO ₂	0.03	0.02	0.02	0.03
Br	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	0.02
BaO	-	-	-	-
Rb ₂ O	0.02	0.02	0.02	0.02
Y ₂ O ₃	-	-	-	-
As ₂ O ₃	-	-	-	-
燒失量	7.96	15.29	18.88	13.78

表 8 娑婆噹淨水場 106~108 年淨水污泥餅總體化學成分表

項目	娑婆噹淨水場 (106 年)	娑婆噹淨水場 (107 年)	娑婆噹淨水場 (108 年)
成份分析(%)			
SiO ₂	53.24	38.19	55.34
Al ₂ O ₃	14.66	15.44	13.44
Fe ₂ O ₃	4.77	9.59	4.52
Na ₂ O	1.11	0.77	1.07
CaO	9.90	8.12	10.36
K ₂ O	3.14	3.56	2.75
P ₂ O ₅	0.13	0.28	0.13
Cl	ND	ND	0.02
SO ₃	0.19	0.49	0.26
CuO	0.01	0.02	0.01
NiO	0.01	0.02	0.02
MnO	0.08	0.24	0.09
MgO	3.49	5.24	2.96
ZnO	0.01	0.03	0.01
SrO	0.02	0.03	0.02
TiO ₂	0.76	1.19	0.65
ZrO ₂	0.04	0.04	0.03
Br	-	-	
Cr ₂ O ₃	0.02	0.05	0.05
BaO	-	-	
Rb ₂ O	0.01	0.02	0.01
Y ₂ O ₃	-	-	
As ₂ O ₃	-	-	
燒失量	8.41	16.68	8.26

表 9 板新場 106~108 年淨水污泥餅總體化學成分表

項目	板新場原 水淤泥	板新淨水 場(106 年)	板新淨水 場(107 年)	板新淨水 場(108 年)
成份分析(%)				
SiO ₂	70.05	48.29	45.39	40.92
Al ₂ O ₃	14.82	20.81	24.18	26.09
Fe ₂ O ₃	4.58	7.72	6.43	6.23
Na ₂ O	1.07	0.74	0.54	0.46
CaO	0.61	0.54	0.51	0.57
K ₂ O	2.97	4.55	3.40	3.16
P ₂ O ₅	0.17	0.28	0.36	0.36
Cl	ND	0.04	0.06	0.08
SO ₃	0.28	0.54	0.67	0.82
CuO	-	0.01	0.01	0.01
NiO	0.01	0.01	0.01	0.01
MnO	0.07	0.12	0.13	0.15
MgO	1.43	2.38	1.73	1.69
ZnO	0.01	0.02	0.02	0.02
SrO	0.01	0.02	0.01	0.02
TiO ₂	0.71	0.83	0.69	0.65
ZrO ₂	0.05	0.04	0.03	0.03
Br	-	-	-	0.01
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	0.02
BaO	0.01	0.01	-	0.10
Rb ₂ O	0.01	0.03	0.02	0.02
Y ₂ O ₃	-	-	-	-
As ₂ O ₃	-	-	-	-
燒失量	3.12	13.00	15.79	18.58

三、淨水污泥去化方式

「廢棄物清理法」早於 63 年公布施行，並經數次修正，於 106 年 6 月 14 日華總一義字第 10600072531 號令公布，另於 91 年 1 月 9 日頒布與自來水場淨水污泥處理方式息息相關的「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」。

因此淨水污泥由掩埋場走向一個新的

再利用處理方向。隨著環保意識抬頭及相關子法陸續訂定發布施行，各事業亦應對其事業廢水及廢棄物處理設施妥為規設及操作管理，並對其產生之淨水污泥餅應顧及企業形象，除不致污染環境而遭環保單位罰款取締外，應朝資源化技術多方研發及突破法規瓶頸，以降低企業營運成本增加營收並達成環境友善盡企業社會責任。

(一)淨水污泥餅資源化現況

目前本公司每年自行產製的污泥餅約 13~14 萬噸，若含委外操作高級處理廠（如澄清湖、鳳山、拷潭等給水廠）及淨水程序委外機械脫水的部分，全公司淨水污泥每年大約 18~20 萬噸，現階段本公司污泥餅之最終處置，皆採再利用方式辦理委外處理(除了澎湖離島外)，其廠商資格均依廢棄物清理法及經濟部事業廢棄物再利用管理辦法相關規定核實審查。

本公司淨水處理產生之事業廢棄物之最終處置，現已朝向資源化再利用方向辦理，108 年各區處再利用量數量彙整如圖 1 所示，去化方式概述如下：

1.無機性污泥(D-0902)

(1)處理業者：當作培養土原料，再利用為培養土。

2.淨水污泥(R-0909)

(1)再利用為水泥(公告再利用)者有：107~108 年台泥蘇澳廠及亞泥花蓮廠為了進行空氣污染源申請，曾有取用清州場及砂婆礑淨水污泥餅進行試燒，但水泥業者較有意願收東部淨水場產生之淨水污泥，對於西部地區意願則不高。

(2)再利用為紅磚(公告再利用)者有：建洲、協福、洪義成、黃隆昌、尚發、瑞鴻泰、豐興、興桑、盛建、嘉品、大合順、興陽及大勝等磚窯廠。

3.淨水軟化碳酸鈣結晶(R-1208)

(1)再利用作為水泥原料或鋼鐵廠燒結礦原料(公告再利用)者有：中鋼，僅收澄清湖淨水場產出碳酸鈣結晶。

(2)再利用為高壓磚(通案再利用)者有：新豐混凝土公司，收受本公司四區處卓蘭淨水場及七區處鳳山淨水廠產出碳酸鈣結晶。



圖 1 本公司 108 年淨水污泥餅再利用數量統計圖

綜上，本公司為更積極、有效輔導與管理公司各區管理處淨水場污泥餅再利用，期能落實資源永續經營及資源回收再利用之重要理念，並為環境保護與污染防治之工作共同努力，以達到環境資源永續經營之目標，特於 92 年訂定「台灣自來水公司各區管理處淨水場污泥餅再利用管理輔導暨查核辦法」。配合施行後為求完善多次修正為「台灣自來水公司淨水污泥餅處理或再利用輔導管理及查核要點」，其中分別針對處理廠商、清理廠商及再利用廠商不同的性質制定輔導查核表格，並明定廠所、區處及總處的查核頻率落實分級輔導查核。

(二)淨水污泥餅資源化技術

配合經濟部 91 年訂定「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」，本公司積極研發與推動淨水污泥的資源化利用，於 91 年辦理「自來水淨水場脫水污泥再利用之可行性研究」等，在相關研究及國外實例推展驗證下，許多資源化再利用技術已十分成熟，成功將淨水污泥之最終處置處理模式由原來的掩埋方式朝向資源化再利用方向辦理辦理，歷年相關淨水污泥再利用資源化相關研究摘要如下：

1.101 年自來水淨水污泥再利用成輕質骨材之可行性研究：

(1)綜合實驗室及量產實驗之試驗結果可知，淨水污泥為不含有害物質之廢棄物，而經高溫燒製成輕質骨材後，更是具有高安定化且無害化的建築材料。由此觀之，淨水污泥實具有開發成為輕質骨材主要原料的潛力，因此建議政府有關部門，對於類似的相關研究與實務開發，應給予獎勵使其提高生產的動能及意願，供應大量輕質骨材，投入工程營建上，從而大量減輕河川砂石的濫採及環境污染。

(2)以淨水污泥再利用產製輕質骨材，頗具推動實廠化之經濟可行性，且由工程應用評估結果顯示，淨水污泥製作之輕質骨材符合 CNS 3691「結構混凝土用之輕質粒料」及 CNS 14826「隔熱混凝土用之輕質粒料」之要求。

2.103~104 年淨水污泥冷結固化再利用之可行性研究：

(1)淨水污泥再利用為 CLSM：立順興資源科技股份有限公司與本公司豐原給水廠淨水污泥個案再利用為 CLSM，已核准在案(108 年 3 月 29 日經授工字第 10820407440 號函)，且立順興 109 年得標豐原給水廠污泥餅再利用勞務採購案，將於 109 年度擁有實績案例。

(2)淨水污泥再利用為高壓磚：利用各場淨水污泥產製之高壓擠製地磚，其配比之污泥添加量可達水泥用量的 100%~115%，抗壓強度達 $232 \text{ kgf/cm}^2 \sim 309 \text{ kgf/cm}^2$ ，且抗彎強度均大於 55 kgf/cm^2 ，應可符合工程對高壓地磚這項材料之強度性能要求。

3.107 年台灣自來水公司淨水污泥餅再利用資源化製成農業資材之可行性研究：

(1)根據本研究結果，淨水污泥透過適當處理後整體而言可以增加其導水度及濕團粒

穩定度，並促進食用作物及非食用作物之生長表現，本公司淨水污泥餅經適當改良後可有效改善肥份不足情形，並適合做為栽培用土。

(2)為使淨水污泥餅能有效管理及達到永續及循環經濟的精神，本研究擬淨水污泥之雜項栽培土品目，其適用範圍為利用自來水場淨水污泥經添加有機質料及化學肥料調整成栽培介質或土壤改良資材，作為育苗、容器栽培、植物栽培介質或綠美化工程植物使用者。

4.107~108 年利用自來水淨水污泥及電弧爐氧化矽製成 CLSM 可行性研究及手冊製作：

(1)本研究製試驗結果發現，淨水污泥與電弧爐氧化矽製成無機聚合 CLSM 實具可行性。且當鹼液 $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ 莫爾比為 1.5 淨水污泥添加量達 25%，並使用 DL 鋼鐵廠之氧化矽製成之無機聚合 CLSM，為最佳之參數。其落沉試驗於 4 小時達直徑 6.4cm，符合早強型 CLSM。抗壓強度於 28 天達 36.8 kgf/cm^2 ，達到本公司 $20\text{-}50 \text{ kgf/cm}^2$ 之標準。經熱壓膨脹試驗後，氧化矽無膨脹之現象，呈現安定化之結果。

(2)未來使用淨水污泥搭配氧化矽製備 CLSM 時，各 CLSM 廠之氧化矽需統一氧化矽來源，避免未來 CLSM 之品質管控及長期監測。

5.107~108 年淨水污泥產製無筋混凝土之可行性研究：

(1)淨水污泥無筋混凝土之材料成本依其設計強度不同而有所差異，林內場者成本約為對應強度之普通混凝土的 78%~91%(140 kgf/cm^2 級)、84%~99%(175 kgf/cm^2 級)、80%~92%(210 kgf/cm^2 級)；南化場者約為對應

強度之普通混凝土的 80%~88%(140kgf/cm² 級)、82% ~ 92%(175kgf/cm² 級)、86% ~ 93%(210kgf/cm² 級)；大滴場者為對應強度之普通混凝土的 82%~109%(140kgf/cm² 級)、86% ~101%(175kgf/cm² 級)、85%~91%(210kgf/cm² 級)。

- (2)綜合分析配比試驗數據、經濟分析與量產試驗之結果，利用淨水污泥產製無筋混凝土確實具有量產之可行性與經濟效益，唯仍須多面相對生產廠商與消費大眾進行宣導，提倡淨水污泥產製無筋混凝土之應用性及環保性。

四、結論與建議

- (一)本公司所屬淨水場淨水污泥餅及原水淤泥，經過毒性特性溶出程序(TCLP)後，其值均遠低於有害事業廢棄物之認定標準，且歷年來總體化學成份，主要成份皆以 SiO₂、Al₂O₃ 與 Fe₂O₃ 為主，另還有其他鐵、鎂、鈣、銅等微量金屬元素每年差異不大，故較為安定，應無危害人體健康及污染環境衛生之虞，因此不符合廢棄物清理法第 2 條之 1 規定，不可認定為廢棄物。
- (二)近幾年積極辦理淨水污泥餅資源化再利用相關研究，由眾多研究發現，淨水污泥餅資源化再利用具有可觀的可行性，且本身及再利用產品均有市場經濟價值，因此不符合廢棄物清理法第 2 條第一項第四款規定，不可認定為廢棄物。
- (三)因本公司淨水污泥餅被認定為事業廢棄物，依據經濟部再利用管理辦法規定，若要再利用為非公告所列之種類，需先申請個案再利用(含試驗計畫)，俟個案通過並實績一年後，才可申請通案再利

用，而通案通過並實績二年，才有資格向經濟部申請公告再利用，故最少需要花費 3~5 年時間，常常造成廠商卻步外，繁瑣的申請文件及審查作業，也是造成廠商苦惱的原因。

- (四)依據相關檢測數據及資源化再利用相關研究，本公司淨水污泥餅較為安定，無污染環境之虞，且具有再利用技術及市場經濟價值，可認定為非屬廢棄物之範疇，屆時，去化方式將更加多元化及降低社會環境成本。

- (五)本公司淨水污泥餅不論被認定為事業廢棄物與否，落實資源永續經營及資源回收再利用之重要理念，並為環境保護與污染防治之工作共同努力，以達到環境資源永續經營之目標，仍依照「台灣自來水公司淨水污泥餅處理或再利用輔導管理及查核要點」辦理，其中分別針對處理廠商、清理廠商及再利用廠商不同的性質制定輔導查核表格，並明定廠所、區處及總處的查核頻率落實分級輔導查核。

參考文獻

- 1.行政院環境保護署，廢棄物清理法。
- 2.行政院環境保護署，有害事業廢棄物認定標準
- 3.顏聰、陳豪吉，自來水淨水污泥再利用成輕質骨材之可行性研究，台灣自來水股份有限公司研究報告，2012。
- 4.顏聰、陳豪吉、黃中和、蔡文博，淨水污泥冷結固化再利用之可行性研究，台灣自來水股份有限公司研究報告，2014。
- 5.黃裕銘、鄒裕民、賴鴻裕、吳明宗、紀雅筑，台灣自來水公司淨水污泥餅再利用資源化製成農業資材之可行性研究，台灣自來水股份有限公司研究報告，2018。

6.鄭大偉、蔡志達，利用自來水淨水污泥及電弧爐氧化矽製成CLSM 可行性研究，台灣自來水股份有限公司研究報告，2019。

7.陳豪吉、黃中和、吳崇豪，淨水污泥產製無筋混凝土之可行性研究，台灣自來水股份有限公司研究報告，2019。

黃庭水先生

現職：自來水公司總管理處供水處組長

專長：淨廢水操作處理、供水管線、環境工程

陳文祥先生

現職：自來水公司總管理處供水處副處長

專長：淨廢水操作處理、供水管線、環境工程

作者簡介

陳威豪先生

現職：自來水公司總管理處供水處工程師

專長：淨廢水操作處理、環境工程

本刊 110.111 年「每期專題」

期別	主 題	子 題	時程
40 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
40 卷 第 4 期	抗旱應變及供水服務	1.提昇服務品質、2.資訊管理與應用、3.自動讀表技術應用、4.物聯網及 ICT 技術、5.節約用水及效率措施、6.可持續的水價、7.進階抄表管理系統、8.氣候變遷、9.抗旱期間供水服務與經驗。	11 月
41 卷 第 1 期	工程技術	1.工程規設、施工及計劃管理、2.智慧供水技術、3.管線免開挖更生技術、4.環境友善及先進水處理技術、5.創新水源開發技術、6.薄膜技術、7.新興污染物處理技術、8.新興技術。	2 月

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

閥栓維護作業－淺談北水處營業分處閥栓維護工作

文/吳幸璋、王詠民

一、前言

供水轄區管網的控制需仰賴閥栓設備操作，當發生破管導致水壓水量不足，甚至水質異常時，均顯示出閥栓設備在管網中的重要性，以破管需關水維修為例，制水閥設置密集便於封閉管段，但將增加工程費用及後續維護管理成本，設置太少則因範圍廣增加操作制水閥往返時間，亦因停水範圍大衍生復水時間延長等問題，因此管網內閥栓設置數量，與設置的位置是否適當，直接關係到後續管網操作及滿足用戶用水，北水處供水轄區多位於人口密集的都會區，隨著工業發展，國民生活水準逐漸提高，自來水的普及使用途也逐漸擴大，停復水不僅僅是影響一般用戶飲用、浴廁、廚房、洗滌、洗衣、淋浴等生活上不便，與商業活動有關的大型辦公大樓、廠房的空調系統，各種產業製造用水、冷卻用水、鍋爐用水，以及醫療院所之用水，影響層面極廣。

隨著各項市政建設的推動，管線單位辦理汰舊換新，以及道路主管機關路面更新工程，許多閥栓在未有足夠的人力進行巡查時，未發現已遭埋沒，而因基本資料建立時可資參考的地形地物，因城市進步變化太大，導致難以覓得該埋沒閥栓，近年北水處投入相對的努力，來進行閥栓維護管理及缺失改善，以管理供水轄區士林、北投的陽明營業分處為案例，分享將近年來轄區內閥栓管理的歷程。

針對轄區內所屬閥栓，從巡查開始發現缺失、研擬改善方式、改善完成、解除列管，為閥栓工作重點。然因閥栓數量龐大，缺失

項目不一，須依情形判斷派工、排程，除投入大量人力、時間外，亦利用目前已開發之資訊系統協助執行，提高正確率，且於資料庫內建立操作紀錄、現地照片以利後續查詢或擴充利用；本文係說明營業分處目前例行性閥栓作業，配合目前可應用於閥栓巡查、維護之標案種類，執行過程遇到的困難與成果，並提供建議以期後續能順利執行。

二、閥栓相關作業簡介

營業分處轄區內以制水閥為大宗，為施工截斷水流或調配供水而控制啟閉，另尚有排氣閥、排泥閥、持減壓閥等特殊閥一併應用，救火栓（消防栓）主要為消防使用，因直接由管網接出，可測量管網水壓、水質，另可做排水、小區計量、緊急取水及清洗等擴充應用；就道路主管機關新建工程處要求閥栓箱蓋及周邊需與路面平齊外，而閥栓是否能正常操作，與供水品質息息相關，故就目前閥栓作業分為巡查後缺失改善及影響供水品質兩大類，依執行過程所發現問題，配合適當調整或交由工程標案解決問題。

(一)閥類維護：

本處閥類維護採「閥類分級表（A、B、C）」及「閥栓 APP」方式執行，其中分級定義如表 1：

表 1 閥栓分級定義表

分級	定義
A	管線口徑 300mm 以上制水閥、加壓站進出水控制閥、邊界控制閥
B	小區邊界閥、地上式消防栓前制水閥
C	其他閥

A、B 級閥類巡查維護由轄區分處自行辦理，於年度開始前擬定計畫送呈單位主管，奉核後提交事業處備查。每月檢討未巡查維護閥栓原因。C 級閥因數量龐大，故委外辦理。執行時均以「閥栓 APP」「閥清理」及「閥操作」等 2 項功能分別上傳閥箱(人孔)相對位置、內外部檢視情形及操作紀錄，以逐步完成本處供水管網所有閥類狀態調查，執行期間將適時召開檢討會議，檢討執行方式及成果。

(二)救火栓維護：

救火栓(消防栓)使用單位為消防局，轄區消防隊隊員每 2 個月檢查 1 次，如發現缺失即透過自有報修系統報修，目前消防局報修系統已與本處客服系統介接，可自動成案納入報修；而因應道路主管機關新建工程處要求管線單位人(手)孔巡查，將地下式消防栓與 C 級閥類並列，委外辦理巡查。

(三)長關閥明細資料及調整閥狀態：

為避免管網內滯留水影響供水品質，且使設備管理系統內閥類開關狀態符合現況，定期由設備管理系統篩選已關閉 6 個月以上閥之圖號編號，現場檢視是否需調整(或修正)，如需調整狀態，可利用施工 APP、閥栓 APP 或請批次匯入設備管理系統；如有已拆廢的閥類，可由圖資管理人員協助辦理閥類屬性修正。

表 2 閥栓維護數量及頻率表

級別	A 級	B 級	C 級閥栓	臺北市 C 級閥栓
執行 頻率	1 年 2 次	1 年 1 次	1 年 2 次	1 年 1 次
數量	6,705	4,593	64,979	53,138
辦理 人員	分處同仁自辦			廠商辦理
辦理 方式	閥栓箱內、外部檢視及操作			閥栓箱外部路面檢視

(四)自來水設備檢查：

依據自來水設備維護手冊所定檢查頻率，分每季、每半年、每年檢查轄區所屬自來水設備，包含消防栓、排氣閥、制水閥、排水閥、窰井等設施物，每季由事業處統計轄區內閥栓維護情況。

(五)因應處外單位辦理事項：

為避免外單位施工損壞自來水管或銑鋪後閥栓遭埋沒，每日依道路管線暨資訊中心核准預約排程資料，每日巡查後填報「管線設備巡查紀錄表」並張貼現場照片，月底依巡查項目統計後填報「本處管線設備巡查統計表」。如預約排程有銑鋪路段，則調閱圖資巡查現場閥、栓是否遭埋沒，如有埋沒情形，立即覓測噴記，後續由適當標案辦理提升。

三、可資運用於閥栓維護之標案

(一)「GIS 管線資訊現地應用系統」閥栓類巡查相關作業：

依道路主管機關巡檢人手孔規定，須檢視外觀是否平整，由於轄區內 C 級閥、消防栓數量龐大，故成立本標案辦理，除檢視外觀是否平整，尚需檢查有無積水、積土、銘牌等項目，標案內可進行四點定位，一併改善閥栓圖卡。

(二)轄區管線設備維修工程、管線配合工程

1.管線設備維修工程：

本工程係管線設備維修，依契約每日需派足基本人力，巡查如發現有立即危險，循報修系統由本標案派工先行處置，避免發生賠償案件；另閥栓漏水先行勘查與修理、閥栓箱內積土排除、閥栓箱換新及非管制路段之週邊破損修復、埋沒提升皆由本標案處理。

2.管線配合工程：



辦理閥栓損壞換新、配合外單位路面銑鋪閥箱提升調平。

(三)圓形切割樹脂水泥整平工程(NSC 工法)：

依道路主管機關規定針對新銑鋪路面(新設管網、配合閥栓、路面更新)及其所列管制道路均須採用本工法進行閥栓埋沒提升、整平改善。

(四)供水區域蝶閥維修：

本標案係為輸水幹管蝶閥例行性維護，每季約可排定 30 處，另可因應技術士、監工現場操作及施工情形發現蝶閥或持減壓閥問題，經通知配合檢查、維護等事宜。

(五)不斷水連絡及制水閥增設工程

本標案係因應計畫性工程施工前試關水發現擴大關水影響層面過大，經簽奉核可後施作。

四、執行成果：

(一)分處標準執行流程

依據所需改善類型分成現場改善及閥栓相關資料改善，簡要分為 4 階段如下：



圖 1 閥栓維護執行流程

於年度巡查前先審視該閥圖卡，除是否為有效或尚未修正之圖卡外，亦可參考分處

內造冊紙本資料。

現場巡查視本處要求及相關操作之需求，除勘查是否埋沒及周邊平整度外，亦需就積土、積水及銘牌等確實檢查紀錄，另也依規定以近照、遠照等上傳水處 APP 系統，以利後續資料彙整。現場核對閥卡內容，相關地址、管線口徑等亦需審慎檢視，作為相關圖資改善依據。

巡查後缺失改善需視其改善項目分派，如屬埋沒而工法及時間允許，優先以 NSC 工法提升，破損及箱蓋不平等具急迫性者以設備維修標案立即改善，積土及閥箱蓋無鍊條者順序次之，最後再統一處理銘牌。其中銘牌因累積相當換箱作業，待改善數量仍高，後續在預算可負荷範圍下由巡查標一次性作業，可大幅提升改善數量，亦可加快現場回報機制之確實性。

閥栓相關資料以現場巡查資料為佐證，修正相關屬性資料，除了圖卡要求的四點定位及量測照片外，相關口徑、地址等資訊如有誤亦可經監工確認後通知數化人員修正，藉由相當的累積逐步完善整體圖資系統。

(二)閥栓維護項目處理情形

本分處 107 年度閥栓改善成果如下表，待改善數量為扣除已改善數量後統計資料其中缺失項目數量均由巡查統計，分類改善情形如下：

1.箱蓋完整、下陷或過高、周邊破損

因箱蓋完整、下陷或過高、周邊破損等項目易肇生危險，影響行車等公共安全，具相當急迫性，如狀況緊急一經發現即通報設備維修標案進場改善，以避免危害發生。

2.積水、積土

積水由於屬不影響閥栓操作之情況，且易因天候持續發生，不另實施改善，原則以積土之閥栓優先處理。

3.埋沒

閥栓因性質特殊，有提供民生及公共安全之重要性，無須符合道路主管機關一升一降之限制，惟因不同路段須分派不同標案，例如銑鋪後道路管制，一律以 NSC 工法實施人手孔改善，閥栓數量多且作業流程分屬不同人員管理，執行及統整上在未來年度仍有許多可改善空間。

4.銘牌

閥栓銘牌除須可明顯辨識閥號編號外，亦應有可掃描之 QR 碼，施工時現場人員針對關水操作之閥栓應可即刻了解及回報，現水處施工 APP 可於工程執行停水、復水時通報，以利每月統整各股閥栓操作情形。依據閥栓巡查系統可統整巡查結果無銘牌之紀錄，因應閥栓重要性排定改善期程，優先改善消防栓、A 級、B 級閥，107 年度 C 級巡查標共計改善 1,954 處。

5.度盤不轉、無法操作開關

為符合「臺北自來水事業處輸配水系統閥類維護管理要點」第六條，閥類維護項目規定（閥箱內部檢視及閥體操作情形），委外巡查未開啟箱蓋巡查 C 級閥栓部分，將擬由分處依本處內控「閥類維護作業」規定頻率編排計畫，兩年內完成巡查維護（詳閥栓年度巡查計畫）。

6.圖資錯誤

圖資部分多數由紙本數化，因年代久遠現場多有地物、地貌改變的狀況，藉由巡查計畫確實將圖資逐步更新改善對後續埋沒、抽換等至關重要，因此制定閥栓改善標準化流程。

(1)整合 EDM 圖卡資料

a.四點定位資料：會計室估驗資料統整重繪閥卡。

b.監工手繪圖資整理(92 年以後)：圖資 EDM

資料批次列印。

c.92 年以前：監工圖卡資料個別篩選 67 二度分帶座標轉換 97 座標對照。

(2)閥栓圖卡準確分級

a.完整：由一、整合 EDM 圖卡資料取得，為完整定位閥卡

b.不確定：現場地形地貌改變，參考點失效之閥卡。

c.無效：閥卡無監工及廠商核章、備註缺乏重新丈量時間完整及無效閥卡交由資深技術士處理。

(3)閥栓圖卡完備建置

依圖號造冊、建檔核對口袋埋沒資料，清除更新管汰、已永降、提升資料藉由現場巡查、工程施工回饋更新相關閥栓現況。

(4)覓測提升及閥卡修正。

現場有閥栓，但無圖卡者優先製作圖卡目前 107 年已將閥卡紙本造冊，並將無閥卡之閥栓補齊，後續可陸續針對現場有出入及年度過久之閥卡進行例行性改善、更新。

五、遭遇困難及事件排除

(一)從資料蒐集初期開始，本處數位化設備管理系統內對閥栓屬性分類，不同條件篩選下，得出的數量將與實際該維護的數量不符，例如施工時位於人行道或綠帶屬性為非道路，後經道路拓寬現況位於車道，或是位於社區道路屬用戶需維護之私有表前制水閥，了解為系統內資料端上傳更新時間落差，故須先完成資料同步。

(二)由於可進行閥栓維護的標案多，而各標案目標各有不同屬性及其特性，在巡查資料尚未彙整前，即經會議裁示訂定相關閥栓改善標準，以利區分各標案模糊地帶，便於分派改善廠商。

(三)巡查執行期間，必須對加強設備管理系



統調閱圖資、閥卡等基本資料取得之操作，亦須排定巡查內容及分類，以利後續掌握及彙整。

- (四)另配合本處「擴大 GIS 多元運用及支援決策案」管線附屬設備疑似埋沒清冊調查及場站(含加壓站及配水池)管線圖資補正，在原年度巡查計畫外，亦須調度人力完成無法定位之人孔及中間止水栓之巡查，期間亦利用此機會完成場站、私有用地之閥栓所屬釐清及圖資修正。

六、結論與建議

- (一)閥栓現況(含埋沒、銘牌有無、開度大小、圖卡等)之掌握，設備管理系統與閥栓維護管理系統內之狀態是否一致，因資訊系統間資料拋轉，需不斷檢視並回報正確資料，使資料庫逐漸完善。
- (二)另因閥栓數量龐大，能介入改善之標案分屬不同監工，如何以數位化資訊系統，建立單一回饋機制以單一資料庫存放資料，避免因多系統間資料互相拋轉產生落差，應可減少閥栓對口人資料整合之人工作業。
- (三)閥栓缺失改善必須依標案特性妥適分派，需各標案監工負責督商配合，除監工本身需注意並重視閥栓在管網中的重要性，

另須責成承商及時派工，提高排修效率，避免因未及時改善而衍生管網控制或賠償問題。

- (四)閥栓埋沒改善需經查閱相關圖資、現場覓測、分派標案、申請挖掘許可等繁雜程序，涉及承商派工、挖掘許可核准等，實難以預期改善期程，惟一步一腳印，期許逐年降低埋沒狀況。

七、結語

「工欲善其事，必先利其器」，閥栓在供水管網的重要性不可言喻，為了使閥栓在供水管網中達成原設置的目的，如何有效率的管理，是自來水從業人員必須經常思考的問題，隨著大環境數位科技的進步，發展數位化軟體管理工具、搭配硬體設備建立完善的資料庫，以期有助於後續遇有埋沒提升的準確度，而資料庫內維護的履歷紀錄曾經維護的缺失項目，有助於判斷後續係以汰換或以維修方式辦理；另系統整合行動各種行動通訊平台，建置地理資訊化圖形化資料庫，以平板電腦、智慧型手機等設施，使第一線現場人員即時快速查詢，即時紀錄問題，回饋於資料庫中，避免因資料量過大而紀錄疏漏，也能減少巡查維護後辦公室內行政作業時間，增進工作效率。

表 3 閥栓維護數量項目統計表

	箱蓋是否完整	維護項目								
		積水	埋沒	積土	圖資錯誤	度盤不轉	無法操作開關	銘牌	下陷或過高	閥位周邊破損
缺失	19	498	1835	461	273	0	0	3057	7	15
待改善	0	0	1721	0	195	0	0	1103	0	0



圖 2 修正閥栓圖資流程

參考文獻

1. 臺北自來水事業處，「臺北市自來水設備檢驗辦法」，2016。

作者簡介

吳幸璋先生

現職：臺北自來水事業處陽明營業分處三級工程師

專長：自來水工程管線設計施工、監造、閥類維護及漏水搶修。

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。

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。

拱型水管橋結構設計之研討

文/曾浩雄

一、背景說明

現有南化淨水場最大出水量早已不足供應台南及高雄地區用水量之需求，故亟需增加其水源量以提高其出水量，為此水利署乃計劃自曾文水庫引水至南化淨水場，俾穩定台南地區供水之需求並提高備援高雄之能力。

但南化淨水場前之現有道路(台 20 線)已無空間可資埋管。故必須改自南化淨水場內清水池南池前，經場內中間宿舍圍籬，然後在通過其前方山谷前，再以架設水管橋(南化第 1 號橋，長 108 m)方式接至對岸私有高山地，並即以推進方式通過(約 450 m)該高山地，直達「未天宮」旁之產業道路(詳如圖 1)，然後沿著台 3 線與台 20 線至現有豐德配水池。

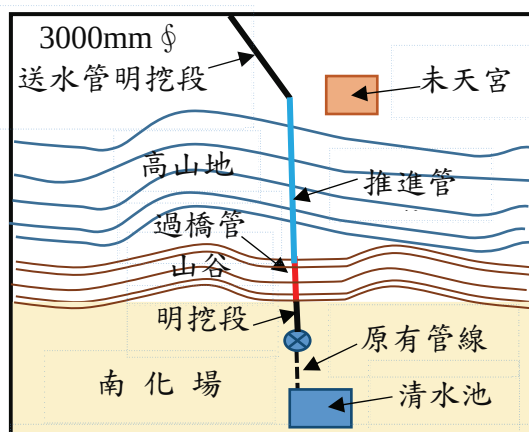


圖 1 南化送水管起點平面示意圖

二、水管橋型式評估

國內水管橋之工程技術已臻成熟，影響水管橋型式之因素主要為安全性與經濟性。安全

性之因素主要為地質問題與河防安全問題，為合乎河防安全，應依據「申請施設跨河建造物審核要點」予以檢討，並參照地質狀況進行上、下部結構之工程佈置；至於經濟性之考量，亦應比較不同上、下部結構方案之工程費加以評估。此外，亦應考量橋梁長度、淨空、施工性、美觀性並顧及下列因素：(一)維持施工期間及完工後之排洪功能，減少河川通水遮斷面積率。(二)考量工程特性、需要性、工期及其可動支之預算金額。(三)融合橋梁與地方環境及其特色，以達到提升當地景觀之效果。

三、採用水管橋型式之原則

傳統上水管橋之管材均採用鋼管，除避免活性接頭外，尚可藉由其本身具有之勁度，通過凹地、山谷甚至河川，其最大跨距約 47 m；大於 47 m 者，則需改採桁架補強型式，其跨徑約可達 70 m；或另架設大跨徑拱形桁架以承載管線之重量，其結構型式較常見者為桁架式或提籃式鋼拱橋(類似南方澳拱橋，以鋼索懸吊其下方之橋面)。

以現有台 1 線大肚溪橋上游之水管橋為例，該橋係採用跨徑為 80 m 之桁架式鋼拱橋。但如河谷較深且跨距較大，則可採用 RC 或鋼構式下拱橋，跨徑可大於 100 m，若山谷相當深；跨徑愈大，則可考慮採用斜張橋、脊背橋等特殊造型水管橋。若水管橋緊臨既設橋梁，為避免降低河道通水斷面，橋墩位置應配合既設橋墩佈設。

四、結構設計之步驟

決定採用水管橋型式。2.決定構件之尺寸；水管口徑、厚度（影響勁度、耐壓性，耐拉力及壓力）、跨距、拱高（越高端點承受之水平力越小，但傾倒力矩越大）。3.暫定各構件之尺寸。4.計算各構件之自重及其慣性力矩。6.計算長期荷重產生之作用力（根據「結構力學設計手冊」^[1]所列之相關公式）。7.計算短期（風力及地震力）作用力。8.長期及短期作用力之整合。9.求各構件之應力（一次及二次）。10.下部結構：帽梁、橋墩（利用土木工程師學會研發之混凝土工程設計規範之應用之操作手冊程式^[2]），11.核算河川沖刷深度。12.設定基礎尺寸及配筋。13.核算土壤承載力及需要打基樁根數。

五、拱型水管橋

拱橋式水管橋分為上拱式與下拱式，兩者之作用力完全相同，本文所提之南化第 1 號橋，因其對岸是高山地，管線要通過必須以推進管方式施工。為施工上之需要，新建之水管橋在未通水前，需架設臨時行車道，讓進行推進管施工用之載運機具車輛及人員進出，本文乃特別針對實際需要，就兩者之特性分別加以詳述。

六、水管橋構造

(一)採用下拱單孔式拋物線拱型水管橋，加設臨時行車道。鋼管橋及臨時行車道之橫斷面圖詳如圖 2。

推進管施工前，施工機具需藉由車輛運送，故需在拱形橋完工後，立刻架設車輛臨時通行道，以利車輛及施工人員通行。

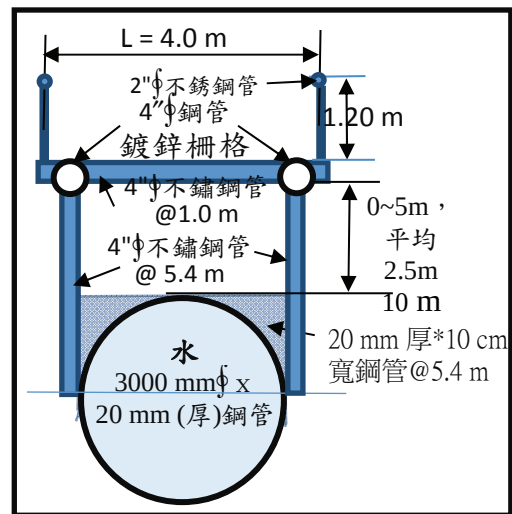


圖 2 車道支撐及欄杆示意圖

(二)一般上拱式水管橋並不設置維修步道，只在拱橋上加設攀梯。水管橋需要油漆或修漏時，工作人員可攀梯而上，到達工作地點後再加設臨時護欄。因此上拱式水管橋並不需要設置提籃式鋼索；但下拱式水管橋必須架設維修步道，為支撐其重量可加大維修步道之勁度以抵抗其二次應力；亦可加設支撐柱，藉由拱橋鋼索支撐維修步道之重量，當然仍需考慮其勁度，以抵抗其二次應力。

(三)基本數據

- 1.高 $f=5\text{ m}$ ，跨距 $L=108\text{ m}$ 。水管口徑為 3000 mm ，水管厚度 2 cm 。
- 2.水管單位重量 $\omega=0.02466 \times (\text{外徑}-\text{厚度}) \times \text{厚度}$ (1)
 $=0.02466 \times (3040 - 20) \times 20 = 1489.46$ ，以 1490 kg/m 計。滿管水重 $=1\text{ T/m}^3 \times 3.14 \times 3\text{ m}^2/4 \times 1000 = 7065\text{ kg/m}$ 。
- 3.欄杆採用鍍鋅鋼管(SCH80S)，重量： $4''\text{ } \phi$ ： 22.4 kg/m ， $3''\text{ } \phi$ ： 15.3 kg/m ， $2''\text{ } \phi$ ： 7.46 kg/m 。
 車道每公尺欄杆重量 $4''\text{ } \phi \times 1/5.4\text{ m} \times 2\text{ 支} + 4\text{ m} \times 2\text{ 支} + 3''\text{ } \phi \times 1\text{ m} \times 2\text{ 支} + 2''\text{ } \phi \times 1\text{ m} \times 2\text{ 支} =$

$22.4 * (1/5.4 * 2 + 4 + 15.3 * 1 * 2 * 1 * 2 + 7.46 * 1 * 2 = 207.20\text{kg}$ 。鍍鋅柵隔板每公尺重量 $= 1.05 * 4 * 1 = 4.2\text{kg/m}$ 。

4.車道下方由鍍鋅鋼板每 5.4 m (108 m / 20 間格)連接主鋼管左右兩側之豎鋼管，其厚度 $= 2\text{cm}$ ，寬 304 cm，高 $304 / 2 + 10 = 164\text{cm}$ ，重量 $= 7.85 * 2 * (3.14 * (30.4^2 - 3.0^2) / 4 + 30.4 * 10) \div 5\text{kg}$ 。

5.臨時車道重量 $= 207.2 + 4.2 + 5 * 1 / 5.4 = 212.3\text{kg/m}$ ，以 215 kg 計。通水前水管橋之單位載重 $w = \text{水管重} + \text{車道重量} + \text{活載重} = 1490 + 215 + 100 = 1805\text{kg}$ 。

6.通水後之單位載重 $= \text{水管} + \text{水重} + \text{車道載重} + \text{活載重} = 1490 + 7065 + 215 + 100 = 8870\text{kg}$ ，以 9000kg 計。

7.3000 mm ϕ 主鋼管實質斷面積 $A = 3.14 * (30.4^2 - 3.0^2) / 4 = 1896.56\text{cm}^2$ 。

8.主鋼管之慣性力矩 $I = 3.14 * (30.4^4 - 3.0^4) / 64 = 21622680\text{cm}^4$ 。

9.主鋼管之 $Z = 3.14 * (30.4^4 - 3.0^4) / (30.4 / 2) = 9104286.6\text{cm}^3$ 。

10.車道護欄支撐用縱向 4" ϕ 鋼管(SCH80S)，之 I_2 值 $= 3.14 * (11.4^4 - 10.63^4) / 64 = 202.2\text{cm}^3$ 。

11.車道護欄縱向扶手 2" ϕ 鋼管之值 $I_3 = 3.14 * (6.03^4 - 5.27^4) / 64 = 36.27\text{cm}^4$ 。

12.車道每一間格中點為正力矩，因此支撐用縱向 4" ϕ 鋼管為承受拉力，茲以其管心為受力中立軸。

13.整座車道之值 $I = 4" \phi + 2" \phi$ 鋼管至中心軸增加後之 $I' = I_2 + I_3 + a_3^2 * r_3^2 = 2 \text{支} * (202.2 * 2 * (36.27 + (3.14 * (6.03^4 - 5.27^4) / 4) * (603/2 + 120)^2) = 2045135\text{cm}^4$ 。 $Z = I / y = 20451346 / (603/2) = 67832\text{cm}^3$ 。

七、上部結構作用力分析

(一).推進管施工期

1.因車輛集中荷重

(1)車道端點為負力矩 $= -\omega * \ell^2 / 12 = 215 * 540^2 / 12 = 5224500\text{kg-m}$ 。

(2)車道護欄上欄杆為承受拉應力 $\sigma_t = 5224500 / 6064.17 = 861.54\text{kg/cm}^2 < 1400\text{kgf/cm}^2$ ，OK。

(3)主鋼管(投影長度 * 2 cm 厚)承受之壓應力 $\sigma_c = (215\text{kg/m} + 9000\text{kg/m}) * 5.4\text{m} / (30.4 * 2) = 81.84\text{kg/cm}^2 < 1200\text{kgf/cm}^2$ ，OK。主鋼管承受之剪壓應力 $\sigma_s = (215\text{kg/m} + 9000\text{kg/m}) * 5.4\text{m} / (3.14 * (30.4^2 - 3.0^2) / 4) = 120.94\text{kg/cm}^2 < 700\text{kgf/cm}^2$ ，OK。

(4)若採用上拱式水管橋，必須藉由拱橋懸吊下方之臨時車道，如此，只徒增工程費，對結構安全毫無幫助。但因推進管施工期間(通水前)a 必須架設車輛臨時通行道，為支撐其重量，縱使是下拱橋仍須設置支撐柱，再藉由拱橋之勁度及支柱支撐車輛臨時通行。

(5)通水前車輛裝載推進機具及人員進出，每次裝載重量以 3000mm ϕ 鋼管為例，每根 5m 長之重量 $= 0.02466 * (3040\text{mm} - 20\text{mm}) * 20 * 5\text{m} = 74732\text{kg}$ 根，另加車輛重 3.5T 及欄杆等之重量 $= 7.45 + 5.5 + 215 * 5.4 / 1000 = 8.15\text{T}$ ，以 9T 計，至於施工用之機具可分散裝載，不予另計。

(6)由於拱橋跨距長達 108 m，車輛臨時通行道不可能只藉由其兩側之小尺寸鋼管就能支撐其荷重。

(7)但行車道至少有中央一點會由拱橋支撐，拱橋受力情形詳如圖 2。同樣根據「結構力學設計手冊」^[1]拱橋中央承受集中荷重時，各關鍵點之作用力可由下列公式求得。

$$H_A' = -H_B' = 15/64 P * L / f \text{-----}(2)$$

$$= 15/64 * 9000 * 108 / 5 = 45562.5 \text{ kg} \circ V_A' = V_B' = P/2$$

$$= 9000/2 = 4500 \text{ kg} \circ$$

$$M_A' = M_B' = -P * L / 32 \text{-----}(3)$$

$$= -9000 * 108 / 32 = -30375 \text{ kg-m} \circ$$

$$M_C' = 3P * L / 64 \text{-----}(4)$$

$$= 3 * 9000 * 108 / 64 = 45562.5 \text{ kg-m} \circ$$

$$(8) \text{拱形鋼管之 } Z = 3.14 * (304^4 - 300^4) / 64 /$$

$$(304 / 2) = 142254.48 \text{ cm}^3 \circ$$

$$(9) \text{鋼管承受最大拉應力 } \sigma = M / Z = 45562.5 /$$

$$142254.48 = 0.32 \text{ kg/cm}^2, \text{OK(相當)} \circ$$

(10) 推管施工期間，車輛行駛在車道上，其重須藉由其下方之支撐柱支撐，前已設定車輛臨時通行道下方分成 20 間格，每格間距 $d = 108 \text{ m} / 20 = 5.4 \text{ m}$ ，即由 19 根支柱支撐。

(11) 再根據「結構力學設計手冊」^[1]，拱橋承受集中荷重時，各關鍵點之作用力可由下列公式求得。

(12) 以最外支撐柱為例，依 $F_y = 0, V_{A1} = P = 9000 \text{ kg}$ 。

$H_{A1} = 0 \text{ kg}$ 。其每根支柱之長度，自中央至左右兩端第二根支撐點與端點 A 之距離 $d, d = 1$ 分別由 0 至 30 m，如圖 3。最外支撐點距離端點 $d = 1/20 \ell$ ，如圖 4。

$$(13) H_A' = -H_B' = 15/4 * P * \ell * d^2 / f * (1 - d)^2 \text{-----}(5)$$

$$15 / 4 * 9000 * 108 * (1/20)^2 / 5 * (1 - 1/20)^2 = 1644.8$$

$$\text{kg} \circ \text{小於車輛在拱橋中央時所產生之作用力 } 45562.5 \text{ kg} \circ \text{故可不計} \circ$$

$$(14) V_A = P * (1 - d)^2 * (1 + 2d) \text{-----}(6)$$

$$= 9000 * (1 - 1/20)^2 * (1 + 2 * 1/20) = 8934.75$$

$$\text{kg} \circ \text{大於車輛在拱橋中央時所產生之作用力 } 4500 \text{ kg} \circ$$

$$(15) V_B = P * d^2 * (3 - 2d) \text{-----}(7)$$

$$= 9000 * (1/20)^2 * (3 - 2 * 1/20) = 6525 \text{ kg} \circ \text{小於車輛在拱橋中央時所產生之作用力 } 4500 \text{ kg} \circ$$

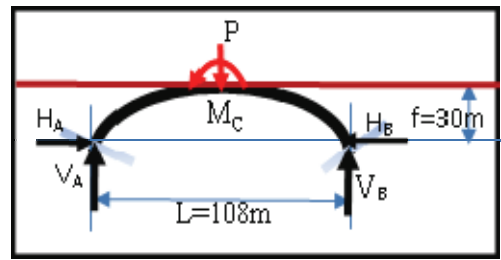


圖 3 拱型水管橋集中荷重示意圖

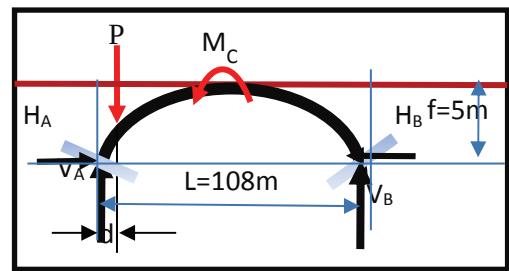


圖 4 拱型水管橋集中荷重示意圖

$$(16) M_A = -P * L * d / 2 * (1 - d)^2 * (2 - 5d) \text{-----}(8)$$

$$= -9000 * 108 * 1/20 / 2 * (1 - 1/20)^2 * (2 - 5 * 1/20) = 38378.8 \text{ kg-cm} \circ \text{小於車輛在拱橋中央時所產生之作用力 } 45562.5 \text{ kg} \circ$$

$$(17) M_B = -P * L * d / 2 * (1 - d) * (3 - 5d) \text{-----}(9)$$

$$= -9000 * 108 * 1/20 / 2 * (1 - 1/20) * (3 - 5 * 1/20) = 6348.4$$

$$\text{kg-cm} \circ \text{小於車輛在拱橋中央時所產生之作用力 } 30375 \text{ kg} \circ$$

$$(18) M_C = -P * L * d^2 / 4 * (3 - 10d + 5d^2) \text{-----}(10)$$

$$= -9000 * 108 * (1/20) / 4 * (3 - 10 * 1/20 + 5 * (1/20)^2) = -30526.9 \text{ kg-cm} \circ \text{小於車輛在拱橋中央時所產生之作用力 } 45562.5 \text{ kg-cm} \circ$$

(二) 車道承受之應力

1. 車輛運送施工器具經過車道支撐中點時(詳如圖 5)，其對車道縱向支撐鋼管所產生之最

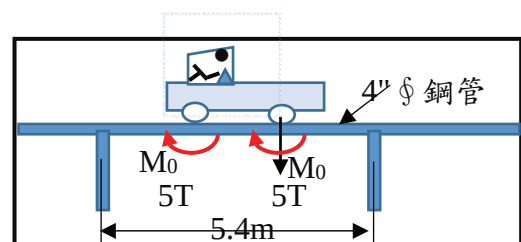


圖 5 車道受力示意圖

$$\text{大力矩 } M = 0.2 P * \ell \text{----- (11)}$$

$$= 5000 \text{ kg} * 540 \text{ cm} = 2700000 \text{ kg-m}。$$

$$2. \text{縱向支撐鋼管所產生之應力 } \sigma = M / Z =$$

$$2700000 \text{ kg-m} / 67832 \text{ cm}^3 = 39.80 \text{ kg-cm}^2。$$

八、長期作用力

(一)因拱橋自重

1. 拱橋因拱橋自重受力情形仍如圖 6 所示。

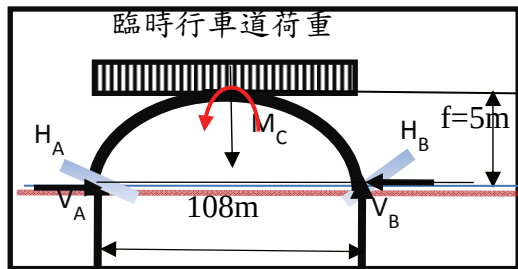


圖 6 拱橋在均佈荷重下受力示意圖

2. 根據「結構力學設計手冊」^[1]拱橋承受均佈荷重時(通水後)，其兩端之水平及垂直反力之計算公式分別為 $H_A = -H_B = w * \ell^2 / (8f)$ ----- (11)

$$= 9000 * 108^2 / (8 * 30) = 437400 \text{ kg}。$$

$$V_A = V_B = w * \ell / 2 = 9000 * 108 / 2 = 486000 \text{ kg}, \text{大於車道所產生之作用力 } 8934.75 \text{ kg}。M_A = M_B = M_C = 0。$$

(二)因水流轉向

(1) 一般在此處所設置之彎管都採用 45°，如圖 7 所示。

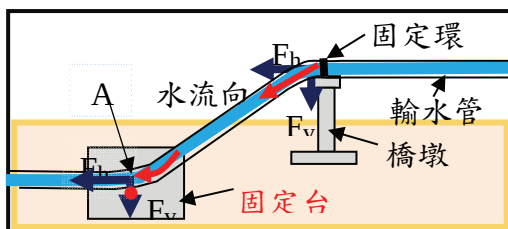


圖 7 管中水流轉向產生分力示意圖

(2) 假設管中此處之操作水頭 = 42 m，則水流向前衝之力量 = $4.2 \text{ kg} * 3.14 * 3^2 / 4 / 1000 = 296.73 \text{ T}$ 。則其垂直分力與水平分力均為 $296.73 * \sin 45^\circ = 209.8 \text{ T}$ 。

九、短期作用力

(一)因橫向風力：

1. 拱橋因短期橫向風力所產生各項作用力詳如圖 8 所示。

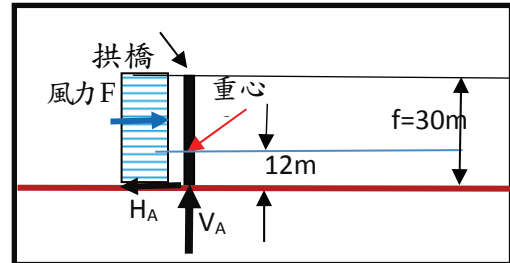


圖 8 承受橫向風力產生之應力示意

$$2. \text{拋物線拱型水管之長度 } L = R + (8 * f^2) / (3 * R^2) * R \text{----- (12)}$$

式中 L 為拋物線長度，R 為拋物線的水準投影長度，f 為拋物線的拱高。 $L = 108 + (8 * 30^2) / (3 * 108^2) * 108 = 13022 \text{ m}。$

$$3. \text{水管正面承風係數以 } 0.8 \text{ 計，則風力 } \Sigma H_z = F = c * q * A \text{----- (13)}$$

$$= 0.8 * 150 * (130.22 * 3.04) = 47504.3 \text{ kg}。$$

$$H_z = 47504.3 / 2 = 23752.13 \text{ kg}。$$

4. 鋼兩端外側(固定環螺絲)承受之側向(Z 向)傾倒力矩 $M_{Ax} = F * f / 2 - W * L * (304 + 15) / 2 = 47504.3 * 30 * 2 / 5 - 9000 * 108 * (304 + 15) / 2 = -154639484 \text{ T-m}$ ，負值表示不會傾倒。

(二)因縱向風力：

1. 拱橋承受縱向風力詳如圖 9。

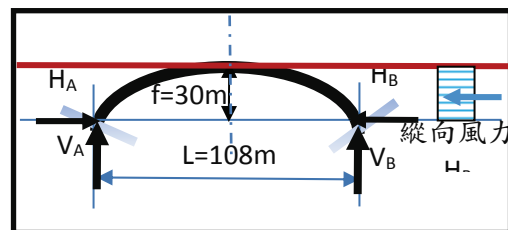


圖 9 承受縱向風力產生之應力示意圖

$$2. H_{Ax} = -11 / 14 * w * f \text{----- (14)}$$

$$= -11 / 14 * 0.8 * 150 * 30.4 * 30 = \pm 8598.9 \text{ kg (忽左忽右)}$$

右與風力反向)。

$$3. H_{BX} = -3/14 * W * f \text{-----} (15)$$

$$= -3/14 * 0.8 * 150 * 3.04 * 30 = -2345.14 \text{ kg (與風力反向)}。$$

$$4. V_A = V_B = W * f^2 / (4L) \text{-----} (16)$$

$$= 0.8 * 150 * 130.22 * 3.04 * 30^2 / (4 * 108) = \pm 98967.2 \text{ kg (忽左忽右)}。$$

$$5. \text{鋼橋承受之側向傾倒力矩 } M_{AZ} = 51/280 * W * f^2 \text{ (17)}$$

$$= -51/280 * 120 * 30^2 = 19671.4 \text{ kg-m}。$$

$$6. \text{抗傾導力矩 } M_R = W * L/2 = 9000 * 130.22/2 = 585990$$

$$T\text{-m} > 19671.4 T\text{-m}，\text{表示不會傾倒}。$$

(三)因橫向(乙向)地震力：

$$1. \text{鋼管總重量 } W = 9000 * 130.22 = 1171980 \text{ kg}。 \text{水平}$$

$$\text{震度以 } 0.25 \text{ 計, } F = 1171980 * 0.25 = 292995 \text{ kg}。$$

$$2. \text{水平橫力 } H_{AZ} = F' = 1171980 * 0.25 / 2 =$$

$$146497.5 \text{ kg}。$$

$$3. \text{鋼橋兩端固定環螺絲中心承受之橫向(乙向)傾倒力矩 } M' = F' * f * 2/5 - W * (300 + 15) = 292995 * 30 * 2/5 - 9000 * 130.22 * (304 + 15) = -370345680 \text{ kg-m}，\text{表示不會傾倒}。$$

(四)因縱向地震力：

1. 拱橋承受縱向地震力詳如圖 10。

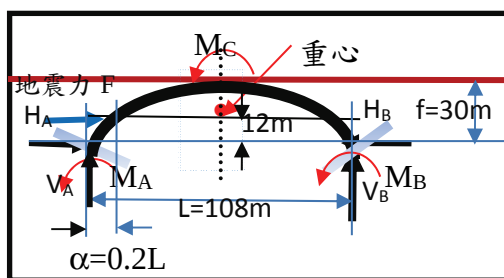


圖 10 縱向地震產生支應力示意圖

2. 水平縱向推力 $F = 292995 \text{ kg}。$

$$3. V_{AY} = \pm 12 * F * f * \alpha^2 / \ell * (1 - \alpha^2) \text{-----} (18)$$

$$= -12 * 292995 * 30 * (2/5/2)^2 / 108 * (1 - 2/5/2)^2 = -25002 \text{ kg}。$$

$$4. V_{BY} = 12 * F * f * \alpha^2 / \ell * (1 - \alpha^2) \text{-----} (19)$$

$$= 12 * 292995 * 30 * (2/5/2)^2 / 108 * (1 - 2/5/2)^2 =$$

$25002 \text{ kg}。$

$$5. H_{AX} = -F * (1 - 15\alpha^2 + 50\alpha^3 - 60\alpha^4 + 24\alpha^5) \text{-----} (20)$$

$$= 292995 * (1 - 15 * 0.2^2 + 50 * 0.2^3 - 60 * 0.2^4 + 24 * 0.2^5) = 208518.7 \text{ kg}。$$

$$6. H_{BX} = -F * (15\alpha^2 - 50\alpha^3 + 60\alpha^4 - 24\alpha^5) \text{-----} (21) = 292995 * (15 * 0.2^2 - 50 * 0.2^3 + 60 * 0.2^4 - 24 * 0.2^5) = 84476.3 \text{ kg (忽東忽西)}。$$

$$7. M_{AX} = -2F * f * \alpha * (1 - \alpha)^2 * (2 - 7\alpha + 8\alpha^2) \text{---} (22)$$

$$= 2 * 292995 * 30 * 0.2 * (1 - 0.2)^2 * (2 - 7 * 0.2 + 8 * 0.2^2) = 816305 \text{ kg-m}。$$

$$8. M_{BX} = 2F * f * \alpha^2 * (1 - \alpha) * (3 - 9\alpha + 8\alpha^2) \text{-----} (23)$$

$$= 2 * 292995 * 5 * 0.2^2 * (1 - 0.2) * (3 - 9 * 0.2 + 8 * 0.2^2) = 142512.8 \text{ kg-m}。$$

$$9. \text{鋼橋產生抗傾倒力矩-傾導力矩} = M_R - M_B$$

$$= 9000 * 130.22^2 / 2 - 142512.8 = 76165105 \text{ kg-m}$$

$$> 0，\text{表示不會傾倒}。$$

十、長短期作用力之組合

(一)地震力

$$1. \text{因長期荷重} + \text{因水流轉向} + \text{地震力 } \Sigma$$

$$V_{AY} = 486000 + 209800 + 8215.63 * (1 - 50 \%)$$

$$= 699908 \text{ kg}。$$

$$2. \Sigma H_{AX} = \text{因長期荷重} + \text{因水流轉向} + \text{縱向地震力} = 437400 + 20980 + 82222 * (1 - 50 \%) = 499491 \text{ kg}。$$

(二)風力

$$1. \Sigma V_{AY} = \text{長期荷重} + \text{因水流轉向} + \text{風力}，$$

$$= 486000 + 209800 + 98967.2 * (1 - 35 \%)$$

$$= 760129 > 699908 \text{ kg (採用因風力因素)}。$$

$$2. \text{行車道中央一點由拱橋支撐時, } M_{AX} = M_C = 45562.5 \text{ kg-m}。 \text{因橫向風力 } \Sigma H_{AZ}$$

$$= 19551.6 * (1 - 35 \%) = 12708.54 \text{ kg}。$$

$$3. \text{因推進管施工期(通水前車輛通行) } H_{AX}$$

$$= 45562.5 \text{ kg} > 2686491 \text{ kg (取因長期荷重因素)}。 V_{AY} = 4500 \text{ kg (通水前車輛通行)}$$

荷重作用在中央) < 700848 kg (取因長期荷重 + 流向 + 縱向風力因素)。

4.因橫(Z)向風力 $HAZ = 19551.6 \text{ kg}$ 。MAX 及 MAZ 均為負值(傾倒力矩小於抗傾倒力矩)故可不予考慮。

5.短期橫向地震力, $VAY = 0 \text{ kg}$ 。 $HAZ = 292995 / 2 = 146497.5 \text{ kg}$ 。

6.MAX 及 MAZ 均為負值(即傾導力矩小於抗傾導力矩), 故可不予考慮。

十一、應力分析

(一)拱型水管橋頂端拉應力

$MC / Z = 45562.5 / 142254.48 = 0.32 \text{ kg/cm}^2$ 。

(二)固定環螺栓

1.因橋墩上之固定環設置 26 支(一邊 13 支) M-32 螺栓(斷面積 = 8.04 cm^2), 因橫向風力產生之 Z 像橫力 $HAZ = 95223.4 \text{ kg}$ 因而承受之剪應力, $\sigma S = 95223.4 / (18 * 8.04) = 658 \text{ kg/cm}^2 < \text{容許剪應力 } 700 \text{ kgf/cm}^2$ 。

3.固定環與鋼管間之摩擦力 = 7 kg/cm^2 (固定環寬度為 25 cm), 故其可發揮之阻擋橫力 = $7 * 3.14 * 304 * 30 = 200458 \text{ kg}$ 。

(三)固定台

1.固定台重心務必與水流轉彎處之中心相吻合以免發生旋轉力矩。水在管中流動會因水管水平或垂直轉彎而產生離心力, 若未設法阻擋會造成接頭脫開之虞, 阻擋方式一般都採用混凝土固定台, 原則上乃藉由其重力與土讓產生之摩擦力及被動土壓力而為之。

2.若上部固定台採用長*寬*高 = $2 \text{ m} * 4 \text{ m} * 4 \text{ m}$, 水管斷面積 $3.14 * 304^2 / 4 = 7.25 \text{ cm}^2$ 。則其承受被動土壓力淨面積 $A = 4 * 4 - 7.25 = 8.75 \text{ m}^2$, 固定台

重量 = $23 * 8.75 * 2 = 4025 \text{ T}$ 。若上部固定台採用長*寬*高 = $1 \text{ m} * 4 \text{ m} * 4 \text{ m}$, 則其重量 = $40.25 / 2 = 20.125 \text{ T}$ 。

3.若混凝土與土讓之摩擦係數為 0.5 則阻止滑動之橫力 = $40.25 * 0.5 = 20.13 \text{ T}$ 。兩側土讓與混凝土間之摩擦力以 5 T/m^2 計, 其總摩擦力 = $5 \text{ kg/m}^2 * 4 \text{ m} * 4 \text{ m} * 2 \text{ 面} = 160 \text{ T}$, 若土讓密度為 1.86 T/m^3 , 安息角為 30° , 被動土壓力係數 $k_p = (1 + \sin 30^\circ) / (1 - \sin 30^\circ) = 3$ 。埋深自 0.7m 至 4.7m, 被動土壓力 $P = 3 * 1.86 \text{ T/m}^3 * (0.7 + 4.7) \text{ m} / 2 * 8.75 \text{ m}^2 = 131.82 \text{ T}$ 。

4.座固定台產生之阻擋橫力 $F = (20.13 + 160 + 131.82) * 1000 = 311950 \text{ kg}$ 。

5.鋼管能承擔之壓力 $P = 1200 * 3.14 * (304^2 - 300^2) / 4 = 2275872 \text{ kg}$ 。固定環與固定台及鋼管可發揮之橫向阻擋力 = $200458 + 311950 = 512408 \text{ kg} > \text{水橋端點 A 因長期荷重 + 因水流轉向 + 因縱向地震力之總水平推力 } \Sigma H_{AX} = 499491 \text{ kg}$, OK。

(四)水管端點承受壓力 = 499491 kg 。水 1.管斷面 $A = 3.14 * (304^2 - 300^2) / 4 = 1896.56 \text{ cm}^2$, 水管承受之壓應力 $\sigma_c = 499491 / 1896.56 = 263.4 \text{ kg/cm}^2 < 1200 \text{ kg/cm}^2$, OK。

(五)固定環螺栓承受之拉應力：

1.螺栓之 $I_x = 3 * 8.05 * (304 + 15)^2 = 2457528 \text{ cm}^4$ 。

2.固定環螺栓承受之拉應力 $S = My/I = 15625 * (304/2 + 15) / 2457528 = 1.06 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$, OK。固定環螺栓承受之拉力 $P = 1.06 * 8.05 = 8.533 \text{ kg}$ 。

(六)螺栓錨著長度

1.鋼筋混凝土長期容許握裹應力 $f_b = 12.36 \text{ kgf/cm}^2$ 。螺栓之周長 = 10.1 cm , 因拉力 8.533,

握裹力 $\geq 8533 = f_b \cdot 7L = 1236 \cdot 10.1L, L = 0.1\text{cm}。$

2.另依「鋼筋混凝土最新規範題型解析」^[9]所列, ACI318-95 之規定:埋設螺絲長度 $L_d = 0.28 \cdot d_b \cdot f_y / f_c'^{0.5}$ ----- (24)
 ,式中之 d_b 為螺栓口徑, f_y 為鋼筋降伏點強度 $= 2800 \text{ kgf/cm}^2$ 。 $L_d = 0.28 \cdot 2.22 \cdot 2800 / 210^{0.5} = 120 \text{ cm}$ 。上述公式可依下述係數修正為 $L_d = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \lambda \cdot \eta \cdot L_d$, 其修正係數之規定詳如下: (1)頂部鋼筋(鋼筋下方混凝土深度超過 30cm), $\alpha = 1.3^*$ 。(2)鋼筋口徑 19 mm ϕ (含)以下 $\beta = 0.8$ 。(3)鋼筋口徑 19 mm ϕ 以上 $\beta = 1.0$ 。(4)塗環氧樹脂, 鋼筋保護層小於 $3d_b$ 或鋼筋間距小於 $6d_b$, $\gamma = 1.5^*$ 。(5)其他狀況, $\gamma = 1.2$ 。(6)輕質骨材混凝土, f_{ct} 未知者 $\lambda = 1.3^*$, f_{ct} 已知者 $\lambda = 1.78 \cdot (f_c')^{0.5} / f_{ct}$ 但不小於 1。(7)保護層 i 及最小間距 $S_{淨}$, $i \geq d_b$ 而且 $S_{淨} \geq d_b$, 或 $i \geq d_b$ 且橫筋或肋筋符合規範之規定 $\eta = 0.7$ 。上述*記號表示: 頂部鋼筋和環氧樹脂塗佈鋼筋兩項修正因素之積不必大於 1.7。(8)本文之 $\alpha = 1.3$ (頂部鋼筋下方混凝土深度超過 30cm 者), $\beta = 1$ (19mm ϕ 以上之螺栓), $\gamma = 1.2$ (螺栓保護層不小於 $3 d_b$, 或螺栓間距不小於 $6d_b$), $\lambda = 1.3$, (輕質骨材混凝土 f_{ct} 較低者), $H = 0.67$ 或 $= d_b / (C + K_{tr}) \geq 0.4$, C 為螺絲中心到中心間距之 1/2, 故 $C = 3.14 \cdot [(300 + 2 \cdot 2 + 5 \cdot 2 + 2.22)] / 302 = 16.55 \text{ cm}$, 或螺絲中心到混凝土外緣表面距離之最小值 $= (5 \text{ m} - 4 \text{ m}) - 0.2 / 2 = 20 \text{ cm}$ 。 $K_{tr} = A_{tr} \cdot f_{yt} / (105 \cdot S \cdot n)$ 。 A_{tr} 為 S 距離內橫向鋼筋總面積, 若採用 13 mm ϕ , $A_s = 1.267 \text{ cm}^2$, S 橫筋之最大間距 $= 15 \text{ cm}$, n 為使用螺絲數 $= 30$ 。 $A_{tr} = 1.267 \cdot 100 / 15 = 8.45$, $K_{tr} = A_{tr} \cdot f_{yt} / (105 \cdot S \cdot n) = 8.45 \cdot 2800 / (105 \cdot 15 \cdot 30) = 0.5$, $\eta = d / (C + K_{tr}) = 222 / (16.55 + 0.5) = 0.13$, $d_b = 1.3 \cdot 1 \cdot 12 \cdot$

$0.13 \cdot 120 = 24.34 \text{ cm}$, 不得少於 30 cm, 採用 30 cm。

十二、下部結構應力分析

(一)下部結構項目

下部結構含帽梁; 橋墩、基礎及基樁, 其作業程序如後:

- 1.先建立工址處地震資料與橋梁結構基本資料, 依橋梁結構規則性決定分析層次, 規則性橋梁結構採用擬震力係數法之靜力分析, 不規則性橋梁結構採用震譜疊加法之動力分析, 計算橋梁結構之振動周期及韌性容量, 計算橋梁結構之最小設計地震力及地震力之分佈, 檢核橋梁結構之各類載載重組合(含橋梁結構之地震力)。
- 2.進行橋梁之下部結構應力檢核, 採用雙向地震力效應組合加以計算橋柱斷面塑性彎矩 M_p 及剪力 V_p , 比較 M_p 、 V_p 與 $Z \cdot I \cdot C \cdot W$ 彈性分析值並擇取小值, 進行設計基礎、基樁, 以及設計支承及防止落橋裝置, 完成橋梁下部結構之耐震設計。

(二)帽梁

- 1.帽梁之長*寬*高 $= 4.0 \text{ m} \cdot 0.5 \text{ m} \cdot 0.75 \text{ m}$ 。
- 2.帽梁之橫/縱斷面圖詳如圖 11 及圖 12。
- 3.帽梁承受之壓應力, 設鋼筋混凝土上其承受之壓應力 $S_c = 447055.3 / (75 \cdot 304) = 2961 \text{ kg/cm}^2 < 0.25 \cdot 210 = 525 \text{ kg/cm}^2$, OK。

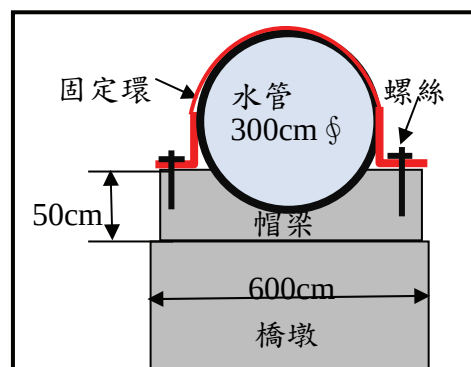


圖 11 帽梁橫斷面示意圖

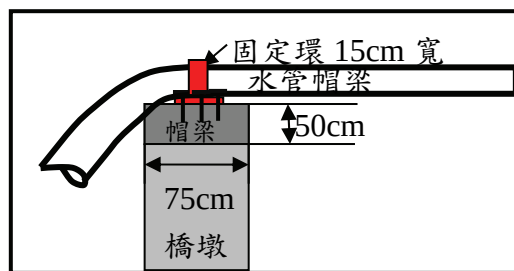


圖 12 帽梁縱斷面示意圖

(三)橋墩

1. 假設橋墩(支柱)高度 = 4 m，橫向地震力對橋墩底部產生之力矩 $M = 292995 \times (30 \times 2/5 + 4) - 9000 \times 13022 \times (6/2) - (40.25 \times 1.5) \times 1000 \times (6/2) = 990855 \text{ kg-m}$ 。地震力依照規範可折減 50，故上述力矩可折減為 $990855 \times 50\% = 495427.5 \text{ kg-m}$ 。

2. 柱之應力可利用「雙軸彎曲矩形柱校核程式」求得，但因該城市之柱常以 1.5m 為限，固可將上述數據除以 4，再將端點 A 之長期與短期組合後之軸向壓力 190 kg 及 Z 向之力矩 123856 kg-m，柱(橋墩)之尺寸 $L \times B = 1.5 \text{ m} \times 0.75 \text{ m}$ ，保護層厚度 7.5 cm、及 $f_c' = 210 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $f_s' = 4200 \text{ kgf/cm}^2$ 、鋼筋尺寸，數量等資料，分別輸入。經電腦程式計算結果，得其所需之鋼筋量 8 之 19 mm ϕ ， $p = 0.23\%$ ，OK。

(四)基礎

1. 依照「基礎工程題解」^[4]乙書所述，其所對應之基礎反力也因而互異：垂直合力作用於牆底基礎之偏心大小，分為下列三種狀況，詳如圖 13。

2.A. 垂直合力無偏心：如圖 13A。垂直合力 V 作用於基底中心上，則基礎底下土壤之反力為 q ， $q = V/B$ 。

3.B. 垂直合力偏心 $e \leq B/6$ ：根據材料力學之觀念得知，如圖 13B 所示。則 $q_{\max} = V/B + My/I = V/B + M/S = V/B + V \cdot e/B^2/6 = V/B \cdot (1 + 6e/B)$ 。

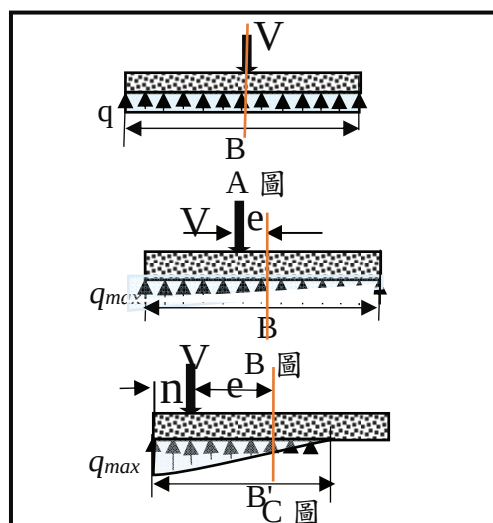


圖 13 基礎反力情況示意圖

$$q_{\min} = V/B - My/I = V/B - M/S = V/B \cdot (1 - e/B) \quad (25)$$

$q_{\min}$ 為負值表示承受張力，由於土壤抗張強度極低，故通常忽略不計，由垂直力平衡觀念， $\Sigma F_y = 0$ ， $V = 1/2 \cdot q_{\max} \cdot B'$ ，又反力之合力必 V 在同一直線上，故 $B' = 3n$ ，且 $n = B/2 - e$ 。則 $V = 1/2 q_{\max} \cdot (3n)$ ， $q_{\max} = 2V/3n = 2V / (3 \cdot (B/2 - e))$ 。

5. 當 $V = 760129 \text{ kg}$ ， $M = 495427.5 \text{ kg-m}$ 時，偏心距 $e = 495427.5 / 760129 = 0.65 \text{ cm}$ ，可視為沒有偏心。若基礎採用 $8.0 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ ，則土壤承載力 $= 760129 / (8.0 \times 3) / 1000 = 31.67 \text{ T/m}^2 \gg 10 \text{ T/m}^2$ 。因此必須打基樁。

(五)基樁

1. 決定固定台承載力或拉拔力樁長因素：(1) 由垂直力、斷面、投影長度、及承載力。(2) 決定所需要之側面有效覆土厚。

2. 若採用 300 mm 之 PC 樁，樁長 $\ell = 9 \text{ m}$ ，其臨界深度 $= 20 \times 0.30 = 6 \text{ m}$ ，設 Q_p 樁底承載力； N_q = 基底以上之覆土所貢獻之承載力因子，假設 $= 60$ (可按其安息角 ϕ 由相關之圖表得)， $\phi = 24.25^\circ$ ， $\gamma = 1.85$ ， $\tan \phi = 0.45$ ，設則向土壓係數 $k = 1.5$ ， $q_\ell = 50 \cdot N_q \cdot \tan \phi$ 。

$= 50 * 60 * 0.45 = 1350 \text{ Kpa} = 13.77 \text{ T/m}^2$ ，臨界深度 6m
土壓力 $\sigma_t = 1.85 * 6 = 11.1 \text{ T/m}^2$ 。 $f_t = 1.5 * 11.1 * \tan^2(0.8 * 24.25^\circ) = 5.79$ ，則 $Q_p = 15.79 * (2 + 6) = 46.32 \text{ T/m}$ 。

3.單樁側向土壤摩擦力 $= 3.14 * 0.3 * 13.77 = 12.97 \text{ T/m}^2$ 。支點樁及側向土摩擦力樁聯合使用時，只折減摩擦力，而且安全係數取 2，則基樁之淨極限承載荷載重 $Q_u = Q_p + Q_a = 46.32 + 12.97/2 = 52.805 \text{ T}$ 。設樁數 $m = 4$ 支；排數 $n = 3$ 排。樁中心間距為 S ，群樁中心間距 $S = 3/3 = 1.0 \text{ m}$ ，而最小間距 $S = 2.5$ ， $d = 2.5 * 0.30 = 0.75 \text{ m}$ ，OK。

4.群樁效率 $e = 1 - \theta/90 * (n - 1) * m + (m - 1) * n / (m * n) \dots\dots\dots (24)$
 $q = \tan^2(d/S) = \tan^2(0.30/1.0) = 16.67^\circ$ ， $e = 1 - 16.67/90 * ((3 - 1) * 4 + (4 - 1) * 1) / (4 * 3) = 0.83$ 。基樁最大容許承載力 $0.83 * 52.81 = 43.83 \text{ T/m}^2$ ，現場土壤實際可承受載重 $P = 10 * 8.0 * 3 = 240 \text{ T}$ ，尚差 $760.129 - 240 = 520.13 \text{ T}$ 。需要基樁數 $520.13 / 43.83 = 14.87$ 支，採用 12 支 (4 排，每排 3 支)。則主方向 8m 方向之間距 $= 8.0\text{m} / 4 \text{ 格} = 2.0\text{m} / \text{格}$ ，OK。

(六)基礎配筋

1.基礎尺寸及抗傾倒力臂詳如圖 14。

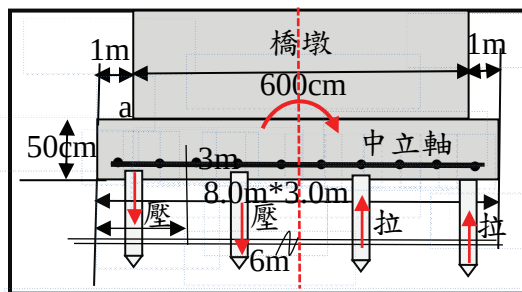


圖 14 基礎配筋及抗傾倒示意圖

2.土壤反力 $p = 10 \text{ T/m}^2$ ，每支基樁承載力 $p = (760.129 - 44.09 * 12) / 3/3 = 9.627 \text{ T/m}^2$ 。

3.假設基礎高度 $= 0.5 \text{ m}$ 對基礎底版產生之力矩(折

減後) $M_{ox} = (292995 * (30 * 2/5 + 4.5) - 9000 * 13022 * (6/2) - (40.25 * 1.5) * 1000 * (6/2)) * 50\% = 568676.5 \text{ kg-m}$ 。偏心距 $e = 568676.5 / 760.129 = 0.748$ ，可視為沒偏心。橋墩底端 a 點之力矩 $M = (9.627 - 2.4 * 0.5 * 3) * 1^2 / 2 = 3.01 \text{ T-m}$ 。採用兩排，有效深度 $50 - 7.5 + 7.5 = 50 \text{ cm}$ ， $A_s = M / ad = 3.01 / (0.0122 / 50) = 4.93 \text{ cm}^2$ 。採用 $19 \text{ mm } \phi$ ，間距 $S = 100 / (19.57 / 2.865) = 14.64 \text{ cm}$ ，採用 12 cm 。

十三、整體結構安全分析

(一)下陷：土壤承載力-整座水管橋總重量 $\Sigma W = 10 * 8 * 3 + 44.09 * 12 - 760.129 = 708.95 > 0$ ，OK。

(二)滑動：因風力或地震橫力 $\Sigma H_x = 0$ ，OK。

(三)上浮：現場無地下水，因此浮力 $= 0$ 。若距離地面 0 m 就有地下水，則其福利 $P = 1 \text{ T/m}^3 * (0.5 * 8 * 3 + 0.75 * 6 * 4) = 30 \text{ T} < \Sigma W = 9 * 13022 = 1172 \text{ T}$ ，OK。

(四)傾倒：根據上述計算，地震力(大於風力)對基礎底版產生之力矩(折) $M_{ox} = \pm 568676.5 \text{ kg-m}$ (忽前忽後)。基礎底部 $L = 800 \text{ cm}$ 。基礎重量 $= 2.4 * 0.5 * 3 * 8 = 28.8 \text{ T}$ ，基樁之拔起力只能計其摩擦力 $= 0.83 * 12.97 * 1000 = 10765.1 \text{ kg}$ ；不可加計點樁之支撐力。至於抗壓基樁及抗拉拔基樁，以其中心為中力軸，其力臂詳如圖 14 所示。則抗傾倒力矩 $M_R = \pm (28.8 * 1000 * 4 + 10765.1 * 6 + 438300 * 3) = 1494690.6 > 529080 \text{ kg-m}$ ，OK。

作者簡介

曾告雄先生

現職：尚潔環境公司技師

專長：自來水工程規劃、設計及施工

疫情時代的櫃台數位化轉型

文/陳韋權

一、前言

2020 年全球疫情肆虐，除了影響各行各業的經濟活動，民眾的日常生活也產生了變化。非接觸經濟的崛起，開啟了各企業對於數位化轉型的需求（行政院數位國家創新經濟推動小組，2020；麥肯錫數位諮詢，2019；蘇吉龍，2020）。自來水公司在該年度也重新推廣網路 e 櫃台的服務，希望民眾能夠線上申辦各項業務，儘量減少親至現場臨櫃辦理的次數。透過網路申辦服務，減少面對面接觸的情況，能夠有效降低員工染疫風險，避免造成相關接觸同仁均需居家隔離，導致公司業務停擺。

本研究延續 109 年度自來水公司研究報告「如何有效率管理水籍」(陳韋權，2020)，進一步探討未來水籍資料要如何進行無紙化及數位化，並論述其在疫情時代進行數位化轉型的意義。水籍資料主要來自民眾申辦各項業務的申請書及附件，若要進行水籍資料的無紙化及數位化，必須思考如何將民眾在櫃台辦理的業務數位化。然而，櫃台數位化並非短時間能夠完成，存放久遠的紙本水籍資料已面臨佚失、毀損、蟲蛀等情況，在疫情下甚至有受污染的風險。將現有的紙本水籍資料掃描成電子檔留存，一直是當前需要推行的任務。而未來配合櫃台數位化進行水籍資料電子化歸檔及後續的數位化管理，也是需要同時規劃進行的工作。無紙數位化能夠減少文書工作，電子表單還能提高正確性（李映葶，2020）。然而，科技的接

收度會影響使用者的態度及行為（林科宏，2018），並影響數位化的推廣。2020 年疫情爆發意外地提高了民眾使用無紙化數位服務的需求；同時，使用數位服務也可降低公司員工受到傳染的機會。公司除了耗費大量人力成本在防疫工作，也可思考是否趁此機會順勢推行櫃台數位化，有效減少人與人的接觸情況，並從根本的作法來解決員工染疫風險的問題。

本研究先分析 2020 年櫃台數位服務的業務量，討論目前數位化的背景，並深入了解戶政、地政、電信業者的數位化過程。最後，重新檢視民眾申辦自來水業務的需求及既有的作業流程，並提出相關的建議。希望能透過此篇研究報告提高公司對於櫃台數位化的重視，並作為未來進一步規劃櫃台數位化參考。

二、研究方法

本研究主要透過自來水公司網路 E 櫃台的案件分析，及回顧相關的文獻、個案，來探討自來水公司在疫情時代的櫃台數位化轉型。首先，分析近 10 年的網路 E 櫃台案件資料，以了解疫情對民眾使用櫃台數位服務的影響，資料範圍為 2011 年到 2020 年。然後，進一步探討政府及企業數位化的背景，並深入了解戶政、地政、電信業者的數位化過程及作法，以供本公司推行櫃台數位化參考。為了解民眾申辦自來水業務的需求，分析民眾於網路 E 櫃台申辦案件的類型及件數。最後，檢視民眾申辦案件數最多的

業務，探討相關規定、流程是否能夠再優化，為未來數位化轉型做好準備。

三、結果與討論

本章依序為疫情影響、數位化背景、相關案例、民眾需求、業務流程。各研究結果整理後，討論如下。

(一)櫃台數位服務業務量因疫情增加

2020 年因為疫情爆發，為了避免群眾聚集造成大量傳染，政府、企業均開始進行數位化轉型（行政院數位國家創新經濟推動小組，2020；麥肯錫數位諮詢，2019；蘇吉龍，2020）。自來水公司也重新推廣網路 E 櫃台服務，希望民眾儘量使用網路線上申請，減少親臨現場辦理業務，降低面對面接觸的染疫風險。分析 2011-2020 年的網路 E 櫃台案件數變化情形，如圖 1 所示。從圖 1 可以發現，過去網路 E 櫃台的申辦量在 18 萬至 22 萬間變動。在 2020 年驟升至近 35 萬件，增加的案件量為最低點的 1.9 倍。

為了解民眾線上申辦業務的案件量是否隨著疫情的發展進一步增加，以下分析 2019 年及 2020 年各月的網路 E 櫃台的申辦量，如圖 2 所示。在疫情爆發前一年，2019 年 2 月的案件數為該年最低點，推測為年節的關係，案件數僅有 1188 件。其後案件數開始上升，2019 年 5 月後略有起伏，約在 2 千件上下變化。2019 年 12 月到達該年的最高點，案件數為 2264 件，其為該年最低點的 1.9 倍。2020 年 1 月的案件數下降，推測為年節的關係，案件數有 1717 件；此即該年最低點，其為 2019 年最低點的 1.4 倍。然後，隔月開始上升並繼續成長，2020 年 6 月後遽

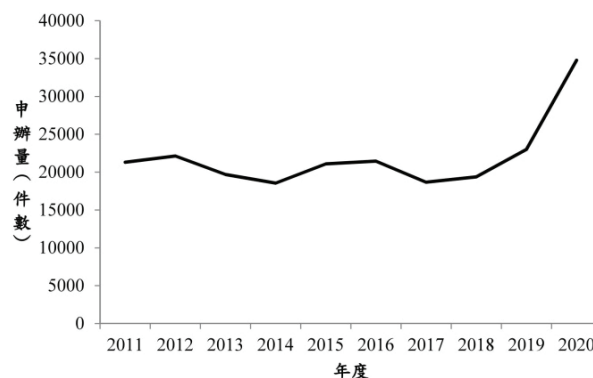


圖 1 2011 至 2020 年網路 E 櫃台案件數變化情形



圖 2 2019 至 2020 年網路 E 櫃台各月案件數變化情形

圖 1、圖 2 參考資料：整理自「網路 E 櫃台—統計資料—件數統計表」，台灣自來水公司 (110)，取自 <https://sys.water.gov.tw/StatisticalReport/SummaryStatistics?siteId=1&nodeId=4837>

增，2020 年 7 月時案件數已突破 3 千件。2020 年 10 月後又進一步增加，至 2020 年 12 月已逼近 4 千件。相較於 2019 年，2020 年各月的案件數幾乎都較去年同期增加，並呈現向上成長的趨勢，2020 年的最高點為 2019 年最低點的 3.3 倍。

在 2020 年疫情爆發期間，民眾申辦業務的方式確實發生了變化，網路 E 櫃台的案件數大幅成長。疫情影響了民眾的生活習慣，也影響了各行各業的業務經營方式。面對疫情的影響，數位化能夠有效因應其可能造成的相關經營風險，政府、企業均將之視為重

要的策略之一。在疫情期間，自來水公司也以推廣網路 E 櫃台服務來因應疫情的衝擊。

(二)櫃台數位化轉型有必要開始推行

2002 年電子簽章法正式實施後，各種數位化服務相繼出現，過去政府持續推動數位國家，希望能夠從中創造新的經濟動能。2018 年國家發展委員會提出「智慧政府發展藍圖」，希望各部會能合力完成「數位身分證」及「建立安全的資料交換機制」(內政部，2020)。以民眾需求為中心，中央與地方一同突破跨機關資料流通的障礙，藉由整合各系統，發展政府一站式服務。根據 2020 年行政院數位國家創新經濟推動小組的報告(行政院數位國家創新經濟推動小組，2020)，全球政府與產業均加速數位創新與轉型以因應疫情的影響。國內也加強產官學的合作，並建立長期策略以培養相關的數位化廠商。

關於數位化轉型，管理諮詢顧問公司麥肯錫也認為國家能藉此增加競爭力，研究發現國家的生產力越高，整體的數位化程度也較高(麥肯錫數位諮詢，2019)。類似的關係也出現在個別的產業，產業的數位化程度提高 1%，生產力就會提高 0.7%。麥肯錫更指出台灣若要提升生產力，勢必要在數位化進一步提升。關於如何建立起企業的數位能力，麥肯錫認為第一步要制訂穩健的數位策略，企業必須清楚數位化要如何強化其現行的價值訴求，並且和客戶端結合，提供更精簡且個人化的體驗。第二，數位轉型要能成功有賴領導力與組織，高階主管如何進行取捨並推動數位化，整個組織如何大規模改變工作方式，都將決定數位轉型能否成功。第三，吸引並留住數位人才，即如何招募並留

住具有數位技能的人才。第四，營造有利於數位發展的文化，推動數位化轉型需要跨部門的合作團隊，並在組織的各層級倡導數位願景。

相關數位化的廠商也開始推出各種解決方案，包括電子化簽章、紙本文件數位化等(偉迅科技，2021)。許多公司均面臨文件眾多導致調閱、歸檔困難，而要進行無紙數位化時，又發現自身的業務流程有許多問題。其實，數位化並不是單純追求無紙化，必須優化所有辦公室流程才能提高數位化效益。

現今，外在的數位化環境已逐漸成熟。自來水公司也配合政府數位化服務的推行，在網路 E 櫃台提供自然人憑證、Mydata 等數位化認證服務(台灣自來水公司，2021)，方便民眾線上申請各項業務。然而，臨櫃業務卻仍維持紙本的形式，後端的水籍歸檔也累積大量紙本資料佔據龐大空間。面對數位化的潮流，政府和企業均加速數位化轉型，疫情的影響更提高了民眾對於數位服務的需求。對於自來水公司而言，其實現在是進行櫃台數位化轉型的機會，可以重新思考公司的數位化策略，並開始分階段推展數位化。

(三)櫃台數位化轉型可參照其他單位分階段施行

為了解其他單位數位化轉型的過程，以供自來水公司參考。以下將探討相關的數位化轉型案例，包括戶政、地政、電信業者等。關於各案例的情形，分別討論如下。

1.戶政事務所

2020 年 7 月全國戶政事務所實施「綠色

櫃台文件電子化功能」(張理國, 2020; 臺中市政府, 2020), 運用「數位簽名板」及「拍攝式掃描器」提供數位化服務。正式上線前, 透過紙本、數位雙軌作業方式進行測試。現在除了民眾申辦業務可透過數位簽名板確認, 還可在電子化申請書直接簽名, 當下也能同時掃描附件以電子檔案方式歸檔於內政資料中心系統。

其實, 戶政推動電子化的過程也面臨許多問題, 如系統整合、資安、人力配置、教育訓練等(林惠瑩, 2019; 蔡玫娟, 2012)。如今, 可以直接進行線上調閱資料, 作業流程改善也提升服務效率。進入全面無紙化後, 內政部預估每年可節省 2235 萬張紙, 少砍 2682 棵樹, 節省約 1 億 1175 萬元的紙張及文件產製費用, 同時達到節能減碳且善盡保護環境的社會責任。此次無紙化主要針對民眾填寫申請書表採取電子化作業, 目前申請戶籍謄本除了有電子戶籍謄本, 也仍保留紙本形式供民眾申請(黃旭初, 2018)。

2. 地政事務所

2001 年通過電子簽章法後, 2003 年台北縣(今新北市)地政局率先推出全國首創的「臺北縣網路申領電子謄本作業」(新北市新莊地政事務所, 2019)。結合憑證和電子簽證機制, 民眾可於線上申請電子謄本。新北市後續也持續改善民眾臨櫃申請的流程, 試著推行「雙向櫃台」, 卻面臨許多問題, 如中央主管機關是否同意使用電子檔案歸檔、使用電子檔案歸檔是否合於檔案法等法律規定。在克服各種問題後, 2011 年終於推行「雙向櫃台」, 使用「雙向螢幕」和「手寫板」。民眾可於雙向螢幕確認申請書內

容, 並直接在手寫板簽名確認。申請書和電子簽名會整合成電子檔歸檔, 不用另外列印紙本申請書。

其它的地政單位推行電子化也是面臨許多問題, 如人力配置、民眾支持、地政士辦理地政業務的行為改變等(張鈞喬, 2018; 黃詩淳, 2020; 黃慧雯, 2018)。同時, 數位化所需的經費也是問題之一。因此, 行政院在 2016 年通過「數位國家・創新經濟發展方案」, 即後續「前瞻基礎建設計畫」的「數位建設」(行政院, 2019), 地政單位近年透過該計畫的補助, 陸續使用「雙向螢幕」和「手寫板」, 提供民眾更優質的服務體驗(新竹縣竹東地政事務所, 2019)。

3. 電信業者

電信業者的競爭非常激烈, 除了持續為顧客創造價值外(花瑤錦, 2002), 還必須做好顧客管理, 提供顧客需要的產品與服務(葉燕蓉, 2002)。「永遠走在最前面」是中華電信的企業理念, 推行櫃台數位化也領先同業(中華電信, 2019)。除了提供民眾優質的服務, 還必須做到保護環境的社會責任。數位化需要不一樣的專業, 以委外的方式透過專業的廠商協助轉型也是可行的策略(林育弘, 2004)。中華電信即透過專業的偉迅科技來輔導, 進一步推行櫃檯服務流程提升計劃(偉迅科技, 2021)。臨櫃業務使用電子套表、雙螢幕、證件數位化、電子簽名等方式, 透過數位建檔結合業務受理流程, 方便後續的資料覆核及調閱。

另外, 透過據點即時管理, 民眾可以知道門市的服務狀況, 並透過網路預約功能、等候簡訊通知等服務, 有效提升民眾申辦服



務體驗。同時，該系統能協助服務績效管理，具有產製各式報表、圖表並進行統計分析的功能。永遠走在最前面的中華電信並不為此滿足，申請了三項國內外認證，包含 ISO 14067、PAS 2060、環保署碳標籤，並在 2020 年成為業界唯一的零排碳門市。

4. 小結

在電子簽章法通過後，地政和戶政單位積極進行櫃台數位化。除了「永遠走在最前面」的中華電信領先同業進行全面櫃台數位化，政府機關轉型過程遭遇到許多法規及流程等問題。經過分階段推行，全國戶政已全面推行「綠色櫃台」，地政也透過前瞻計畫的補助增添數位化設備。櫃台數位化需要「雙向螢幕」、「數位簽名板」、「拍攝式掃描器」等硬體設備，但對自來水公司而言，相

關的法規、流程改善等問題才是推行櫃台數位化面臨的最大困難。自來水公司在數位化的進度已經落後，然而進行轉型的工作無法一次完成，目前應先擬妥數位化的計畫，逐步分階段推展施行。

(四) 櫃台數位化轉型要考量民眾申辦需求

為了解民眾申辦自來水業務的需求，以提供符合民眾需要的數位化服務，本節分析 2011 年至 2020 年網路 E 櫃台各項目的申辦情形。從表 1 可以發現，民眾使用網路 E 櫃台辦理最多的項目為過戶，占全部業務的 40%。其次為過戶（自然人憑證），占全部業務的 18%。再其次為通訊地址變更，占全部業務的 18%。將申辦最多的前三項業務合併計算，該案件量即占全部業務的 76%。

表 1 2011 至 2020 年網路 E 櫃台申辦各項目件數統計

項目	年度										合計	比例	累積比例
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020			
1.過戶	8,329	9,323	7,371	4,948	6,773	7,117	6,781	8,442	10,014	18,658	87,756	40%	40%
2.過戶（自然人憑證）	4,956	5,000	4,406	4,497	4,944	4,054	2,155	2,969	4,204	2,701	39,886	18%	58%
3.通訊地址變更	3,925	3,287	2,844	3,819	3,986	4,618	3,594	3,264	3,712	6,027	39,076	18%	76%
4.繳費證明	698	962	1,541	1,361	1,586	1,848	1,227	482	773	652	11,130	5%	81%
5.補開水單	1,711	1,815	1,574	1,678	1,296	974	309	412	315	256	10,340	5%	86%
6.取消委託代繳	610	700	926	960	965	826	628	697	1,173	2,224	9,709	4%	90%
7.過戶（公司行號）	205	113	131	211	260	625	1,820	1,440	1,280	2,175	8,260	4%	94%
8.自報度數	145	158	234	318	328	303	418	435	440	549	3,328	2%	95%
9.內政部跨機關服務						417	744	524	438	315	2,438	1%	96%
10.過戶（批次過戶）	94	18	25	27	106	99	618	445	373	315	2,120	1%	97%
11.裝置證明	121	267	270	309	337	270	219	68	89	140	2,090	1%	98%
12.突增水費複查	206	202	164	172	257	137	69	85	82	143	1,517	1%	99%
13.停用	104	93	79	84	79	60	49	55	53	107	763	0%	99%
14.復用	101	80	70	84	76	54	34	28	40	84	651	0%	100%
15.啟用	91	81	41	44	54	34	6	6	4	6	367	0%	100%
16.申請變更戶名（登錄統一編號）										365	365	0%	100%
17.廢止	8	22	17	16	22	8	9	19	21	34	176	0%	100%
18.臨時恢復普通用水	6	4	3	7	7	4	3	2	1	6	43	0%	100%
19.新裝工程預約初/預審內線圖申請	3			7	3	2				27	42	0%	100%
20.遺失水錶賠償申請			1	6	6	1		1			15	0%	100%
21.申請英文電子帳單										2	2	0%	100%
22.申請英文版紙本帳單										1	1	0%	100%
合計	21,313	22,125	19,697	18,548	21,085	21,451	18,683	19,374	23,012	34,787	220,075		

參考資料：整理自「網路 E 櫃台－統計資料－件數統計表」，台灣自來水公司（110），取自 <https://sys.water.gov.tw/StatisticalReport/SummaryStatistics?siteId=1&nodeId=4837>

若進一步分析，過戶的業務包含該項目分類的過戶、過戶(自然人憑證)、過戶(公司行號)、過戶(批次過戶)、內政部跨機關服務等，分別占全部業務的 40%、18%、4%、1%、1%。若合併計算，過戶的業務即占全部業務的 64%。再加上案件數次高的通訊地址變更，這兩項業務即占全部業務的 82%。未來水籍及櫃台數位化若能針對此兩項業務進行流程優化，對於推動數位化即可謂事半功倍了。

(五)櫃台數位化轉型要調整既有的作業流程

為了提供符合民眾需求的數位化服務，本節延續前述內容，進一步探討占全部業務 82%的民眾申辦項目，即過戶和通訊地址變更。首先，將從自來水公司營業規章彙編等資料探討相關的流程規定(台灣自來水公司，2018)，並進一步論述未來應如何進行數位化。

1.過戶

除了房屋買賣、租賃、繼承等原因而需要過戶外，許多法規也規定民眾需要提供身為自來水用戶的證明，如軍眷水費優待等。因此，過戶是自來水公司申辦案件數最多的業務，占全部業務的 64%。申請過戶需要填寫申請書及定型化契約，即本公司的「用戶用水設備各種異動申請書」及「消費性用水服務契約」，並檢附相關的身分證件。目前有臨櫃、郵寄、傳真、網路等申請方式，除了臨櫃申辦是立即辦理外，其餘的工作天均為三天。

臨櫃、郵寄、傳真使用紙本形式的申請書辦理；其實，一般民眾對於如何填寫自來水申請書並不熟悉。若用戶臨櫃辦理，自來

水公司自 107 年 4 月 2 日起開始提供免填書表服務，過戶申請作業可在承辦輸入相關資料後，直接列印申請書讓民眾簽名，省略向民眾說明如何填寫自來水申請書的步驟。網路申請則有不使用憑證、使用自然人憑證、使用工商憑證、使用 MyData 等方式(台灣自來水公司，2021)。若是不使用憑證網路申請，用戶需將相關的身分證件以電子檔的形式上傳；而使用憑證網路申請，則能取代原本的身分證件，方便民眾申辦業務。MyData 是政府為了方便民眾申辦各種業務，包含社會福利、教育學習、商工登記、消費金融、綜合服務等(國家發展委員會，2021)。MyData 提供若干身分驗證方式，包含自然人憑證或工商憑證驗證、臺灣行動身分識別行動驗證、健保卡驗證、雙證件驗證等。除了使用讀卡機進行憑證驗證外，臺灣行動身分識別行動驗證在綁定自然人憑證後，即可用支援生物辨識之行動裝置透過 MyData 申辦業務。對於沒有自然人憑證的民眾也可改用健保卡驗證；若民眾沒有實體卡，也可透過雙證件驗證的方式，輸入健保卡卡號與設籍戶口名簿戶號來驗證。MyData 提供更多元的方式認證，國營事業也配合政府提供 MyData 認證的方式，民眾能夠線上申請自來水啟用、過戶，及線上下載過戶證明、用水及繳費資料。

網路申請以線上勾選的方式代替紙本申請書的簽名蓋章，另外在用戶聲明的部分特別強調兩項聲明。第一項為申請免簽章單獨過戶，前用戶水費由新用戶負擔；第二項為前用戶如於 6 個月內提出異議時，本公司得取消新用戶之用水人名義變更(過戶)之

申請，變更後取消前已發生之欠費，新用戶應予清繳。此外，在同意條款的部分還特別強調「個人資料保護法告知事項」。伴隨相關數位化法規的完善，網路提供更便捷的方式讓民眾線上申辦過戶。

2. 通訊地址變更

通訊地址變更是民眾申辦案件數次高的業務，佔全部業務的 18%。目前有臨櫃、電話、網路等申請方式，除了臨櫃、電話申辦是即辦外，網路申請的工作天為一天。臨櫃使用紙本形式的申請書辦理，而自來水公司自 108 年 7 月 23 日也開始提供通訊地址變更免填書表服務，承辦輸入相關資料後，可直接列印申請書讓民眾簽名，省略向民眾說明如何填寫自來水申請書的步驟。電話申辦則是詢問對方水號或用水地址來確認資料，並需要申請人提供其姓名、身分證號碼、電話、通訊地址等相關資料來代填申請書，若對方不願提供則不予受理。

網路申請有不使用憑證、使用自然人憑證、使用工商憑證等方式（台灣自來水公司，2021）；若不使用憑證則需申請人於線上填寫相關資料，而使用自然人憑證或工商憑證於線上填寫的頁面可自動帶入部分相關資料。網路申請以線上勾選的方式代替紙本申請書的簽名蓋章，在同意條款的部分同樣強調「個人資料保護法告知事項」。其實，用戶線上資料填寫正確，並不需用憑證就能網路申請，也能透過電話由客服代填申請書。目前自來水公司已提供便捷方式，方便民眾申請通訊地址變更。

3. 水電麻吉貼心聯合服務

民眾常會同時申辦自來水和電力的業

務，為提供民眾更方便的申請方式，101 年行政院推行「水電麻吉貼心聯合服務」，並列為重大施政項目，預計每年服務數萬名民眾。北水處自 103 年起也參與「水電麻吉貼心聯合服務」計畫，該服務涵蓋「通訊地址變更」、「金融代繳」、「電子帳單」、「過戶」、「軍眷優待」等業務。部分過戶及通訊地址變更案件也會透過此申辦管道移轉回自來水公司，然而案件傳遞過程需要額外時間且又有遺失風險，實有輔導民眾直接線上申辦的必要。

4. 戶籍資料異動跨機關通報服務

103 年 12 月 15 日自來水公司加入「內政部戶政司全球資訊網」-「戶籍資料異動跨機關通報服務」，方便民眾於戶政機關更改資料時，不用再向台電、台水等單位申請變更。若是民眾在戶政機關更改姓名或是變更戶籍，均可透過該跨機關服務平台交換資料，部分過戶及通訊地址變更案件也會透過此申辦管道移轉回自來水公司。然而，跨機關服務平台交換的資料與自來水公司的既有系統不會相同，接收資料後的相關處理也造成額外的時間人力成本。

5. 小結

自來水公司提供用戶多元的管道辦理過戶及通訊地址變更，並和台電、戶政機關有跨機關的服務。隨著網路申請越來越方便，使用紙本申請書來辦理已顯得過時。然而，依照現行自來水公司的營業章程，即使用戶網路申辦，網路 E 櫃台的案件仍需列印紙本資料，再將之歸入水籍資料袋，此作法有違數位化的精神。自來水公司目前尚未能做到數位化歸檔，徒增額外歸檔人力，並花

費許多時間成本。未來若要進行數位化，相關的法規與流程需要先進行改善，應將其列為數位化的重點目標。

四、結論與建議

綜上所述，疫情的爆發讓民眾改以網路申辦各項業務，數位化成為因應疫情的重要策略之一。現今外在數位化環境已趨成熟，疫情加速了政府、企業的數位化轉型。參考相關個案發展數位化的過程，會面臨硬體、法規、流程等問題。推行數位化需要考慮民眾申辦業務的需求，對自來水公司而言，過戶、通訊地址變更占全部業務的 82%，若能將此兩項業務順利數位化，即完成 82% 的數位化工作。然而，相關法規、流程仍需改善。本研究建議，可順應外在數位化發展的趨勢，將數位化作為因應疫情的策略，針對民眾主要申辦的業務需求，進行相關法規、流程等改善，推行自來水公司的櫃台數位化轉型。本研究的結論和建議，整理如下。

(一)結論

1. 疫情爆發加速企業發展數位化

本研究發現，疫情爆發年度的網路 E 櫃台案件申辦量大幅增加，該年度最高點為疫情爆發前一年最低點的 3.3 倍。外在數位化環境已趨成熟，疫情爆發加速政府、企業進行數位化轉型。相關個案如戶政、地政、中華電信等，均陸續進行櫃台數位化轉型。

2. 民眾申辦集中於部分業務項目

本研究發現，民眾網路 E 櫃台申辦的業務主要為過戶、通訊地址變更等。過戶的案件量占全部業務的 64%，通訊地址變更的案件量占全部業務的 18%。若將這兩項業務的

案件量加總，其即占全部業務的 82%。

3. 相關數位化配套法規流程欠缺

本研究發現，自來水公司提供民眾多元的方式申辦過戶及通訊地址變更，但是部分法規流程並不符合數位化的精神。現行的網路 E 櫃台案件雖提供民眾線上申辦，但後端的案件處理卻仍維持紙本作業。未來若要進一步推展櫃台數位化轉型，相關配套法規流程勢必需要先行調整。

(二)建議

1. 將數位化提升至企業策略層次

疫情加速企業數位化轉型，許多企業將之視為因應疫情的重要策略。除此之外，數位化提供民眾更便捷的管道及更優質的服務體驗。減少相關的紙本資料，能夠節能減碳，有助於達成企業社會責任的目標。自來水公司的經營理念為「QuIcK（即效率、快速服務之意涵）」（台灣自來水公司，2021），其代表品質（Quality）、創新（Innovation）、信賴（Credibility）、專業（Knowledge）。櫃台數位化能夠提供民眾更方便快速的服務，符合自來水公司的經營理念。因此，自來水公司應將數位化提升至企業策略層次，將其視為重要經營策略來思考如何數位化，並進一步據以規劃施行。

2. 推行符合民眾需求的數位服務

推行數位服務必須符合使用者的需求，才不會事倍功半。自來水公司的業務雖然種類繁多，但是民眾常申辦的業務僅有過戶及通訊地址變更。該兩項的案件量即占全部業務的八成，自來水公司也提供民眾許多管道辦理該兩項業務。未來若能針對這兩項

業務先推行數位化服務，相信能夠較快獲得數位化的成效。

3.分階段建立數位化的環境文化

推行櫃台數位化尚需要企業能夠建立起數位化的環境文化；此外，硬體、法規、流程的改善均不是短時間能夠完成。無紙化、電子化、數位化的訴求並不相同，還必須考量現實的情況並重新思考推行該項措施的目的。自來水公司的紙本水籍資料存放年代久遠，面臨佚失、毀損、蟲蛀等情形，需要儘早將其電子化。不斷成長的紙本水籍資料也占據公司龐大的儲存空間，如何讓民眾不須使用紙本申請書，將各項業務數位化並以電子的方式儲存是下一個目標。最終，將各個系統整合且提供數位化管理的功能，才能藉由數位化提升公司的競爭力。

參考文獻

- 1.中華電信(2019)。2019中華電信企業社會責任報告書。臺北市：中華電信。
- 2.內政部(2020)。數位身分識別證(New eID)：新一代國民身分證換發計畫。臺北市：內政部。
- 3.台灣自來水公司(110)，「網路E櫃台－統計資料－件數統計表」，取自<https://sys.water.gov.tw/StatisticalReport/SummaryStatistics?siteId=1&nodeId=4837>
- 4.台灣自來水公司(2018)。台灣自來水公司營業規章彙編。臺中市：台灣自來水公司。
- 5.台灣自來水公司(2021)，「台灣自來水公司全球資訊網」，取自<https://www.water.gov.tw/ch>
- 6.行政院(2019)，「行政院全球資訊網－政策與計畫－重要政策－前瞻基礎建設計畫－數位建設」，取自<https://www.ey.gov.tw/Page/5A8A0CB5B41DA11E/22f19306-5c3b-4c0a-9a89-2e8e2dfdb648>
- 7.行政院數位國家創新經濟推動小組(2020)，「行政院數位國家創新經濟推動小組全球資訊網－民間諮詢委員會－會議紀錄－行政院DIGI民間諮詢委員會第二屆第一次委員會議」，取自<https://digi.ey.gov.tw/Page/B3351C815D48E804/331e2b78-6779-48e6-bc4f-86fd09ad2e5a>
- 8.李映葶(2020)。業者配合政策使用無紙化作業報關之意圖與因素探討。國立中山大學公共事務管理研究所，高雄市。
- 9.林育弘(2004)。電子化政府之公共服務電子化資訊業務委外可行模式分析。國立中山大學企業管理學系研究所，高雄市。
- 10.林科宏(2018)。應用IoT建立醫療無紙化作業關鍵成功因素之研究。國立彰化師範大學資訊管理學系，彰化縣。
- 11.林惠瑩(2019)。戶政跨機關服務之基礎與其發展和問題的研究－以豐原戶政事務所為例。逢甲大學公共事務與社會創新研究所，台中市。
- 12.花瑤錦(2002)。中華電信企業價值之評估。國立交通大學經營管理研究所，新竹市。
- 13.偉迅科技(2021)，「偉迅科技全球資訊網－產品介紹－文件數位無紙化系統」，取自www.weshine.com.tw/Product_epaperless.html
- 14.國家發展委員會(2021)，「MyData數位服務個人化全球資訊網－關於MyData」，取自<https://mydata.nat.gov.tw/sp/about>
- 15.張理國(2020)。內政部：7/1起 戶政事務所服務邁向無紙化。中時新聞網。取自<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20200630001850-260407?chdtv>
- 16.張鈞喬(2018)。高雄市政府地政局「地政事務所辦理跨所土地登記案件」作業對地政士執行業務行為模式改變之探討。國立中山大

學公共事務管理研究所，高雄市。

- 17.陳韋權（2020）。109年度自來水公司研究報告－如何有效率管理水籍。臺中市：台灣自來水公司。
- 18.麥肯錫數位諮詢（2019）。台灣刻不容緩的數位化課題：如何透過數位轉型，重新啟動經濟成長的動力。麥肯錫數位諮詢。取自 http://mckinseychina.com/wp-content/uploads/2017/10/McKinsey_Taiwans-Digital-Imperative-CN.pdf
- 19.黃旭初（2018）。戶政一站式為民服務。政府機關資訊通報，354，5-10。
- 20.黃詩淳（2020）。彰化縣地政機關服務品質對民眾滿意度影響之研究-以彰化縣彰化地政事務所為例。國立彰化師範大學公共事務與公民教育學系，彰化縣。
- 21.黃慧雯（2018）。基層官僚提供「跨縣市土地登記整合」服務之研究－以高雄市政府地政局地政事務所為例。國立中山大學公共事務管理研究所，高雄市。
- 22.新北市新莊地政事務所（2019）。新北市新莊地政事務所提升服務品質執行計畫。新北市：新北市新莊地政事務所。
- 23.新竹縣竹東地政事務所（2019），「新竹縣竹東地政事務所全球資訊網－便民服務－電子謄本雙向櫃檯無紙化」，取自 https://jhudong.land.hsinchu.gov.tw/content/?parent_id=10215&type_id=10215
- 24.葉燕蓉（2002）。中華電信顧客關係管理之探討。國立交通大學經營管理研究所，新竹市。
- 25.臺中市政府（2020），「臺中市政府全球資訊網－熱門公告－市政新聞－台中戶政無紙化櫃檯 7/1全面上線」，取自 <https://www.taichung.gov.tw/1539259/post>
- 26.蔡玫娟（2012）。戶政資訊安全管理機制之研

究-以新北市戶政機關為例。國立政治大學行政管理碩士學程，台北市。

- 27.蘇吉龍（2020）。機械加工產業數位化轉型之研究。國立臺灣大學工業工程學研究所，台北市。

作者簡介

陳韋權先生

現職：自來水公司第四區管理處營運士

專長：科技應用與人力資源發展

臺灣現代自來水之父：時代的先驅－威廉巴爾頓

文/吳世紀

一、前言

2018 年秋，筆者赴日本東京考察，公暇之餘造訪臺灣自來水之父－威廉巴爾頓(William Kinninmond Burton 1856-1899)位於東京青山靈園之墓地。在日本巴爾頓研究會(バルトン研究会)石井先生及駐日代表處鄧淑晶女士的帶領下，走入位於市中心、如公園般綠意的公共墓園，園區相當開闊爽朗、整齊有序，經過一番步行終於抵達其長眠之處。映入眼前是一塊渾然氣派、高約二公尺寬近一公尺的自然粗曠之石板墓碑(圖 1)，



圖 1 巴爾頓墓碑

高聳立於下方高約一·五公尺天然造型石材基座，有別於週遭一般日式工整方型立柱式為主的墓碑，相當顯眼，基地面積大約十五平方公尺。正面碑文分別以英文、漢字刻印巴爾頓的在日本及臺灣的簡介，漢字碑文如下：

前工科大學教師
內務省顧問技師
臺灣總督府顧問技師

勳四等 W K バルトン(譯註：巴爾頓)君墓
千八百五十六年五月十一日生於蘇國
千八百九十九年八月五日歿於東京
友人建之

而墓碑背面以直式印刻「ミセス・マツ・バルトン(譯註：滿津·巴爾頓女士) 大正七年一月三日永眠」。碑文內容有關巴爾頓的簡歷已廣為熟知，然對於「友人建之」及背面碑文略感不解。回國後蒐集日本及臺灣相關史料文件，對這位來自蘇格蘭、四十三歲就葬身日本的臺灣自來水之父，有更深刻的體認及感動。為讓自來水同業進一步瞭解這位百餘年前從事臺灣及日本衛生建設、奠定現代化基礎的時代先驅，爰為文介紹威廉巴爾頓較鮮為人知、短暫卻燦爛的一生。

二、成長歷程

(一)名門之後

威廉巴爾頓之父約翰巴爾頓(John Hill Burton 1809-1881)為蘇格蘭愛丁堡法學博士，律師出身、也是有名望的政治社會經濟學家，曾任獄政首長、英國皇室歷史編撰官，為當時知識界的巨峰，著作繁浩，名列蘇格蘭史上最著名人物思想家之一，於當地國立肖像美術館還立有雕刻胸像。日本啟蒙大師福澤諭吉赴歐考察時曾購入其著作「政治社會經濟學之實際應用(Political and Social Economy: Its Practical Application, 1849)，作為改造日本政治、社會、經濟結構的重要參考，也可說是明治維新時期間接影響日本的

思想家。約翰巴爾頓於 1855 年與愛丁堡大學教授兼法官的伊奈斯(Cosmo Innes)的女兒(Katherine Innes 1827-1898)結為連理。於 1856 年 5 月 11 日所誕生的長子，以小孩祖父為名，取名為威廉巴爾頓(William Kinninmond Burton)，小名威利。其後並分別生下妹妹 Rose、Mary Rose 及弟弟 Cosmo Innes Burton。其中妹妹 Rose 不幸於一歲就夭折病亡。

(二)少年威利



圖 2 少年威利

在高級知識份子家庭成長的少年威利(圖 2)，從小受到熱愛攝影的外祖父(Cosmo Innes)薰陶影響深遠。經常帶他到自然風光明媚的蘇格蘭高地四處探索及攝影，在其幼年心靈已種下未來遠赴異國從事志業的種子。威利的外祖父為當時愛丁堡攝影協會創始會員，並開設攝影教室教導推廣，在其影響下，威利也對這一門結合化學與藝術的專門技藝產生濃厚的興趣，進而成為其一生的嗜好。

少年威利還有位一生奉獻於弱勢的教育及婦權改革先驅-姑姑瑪麗巴爾頓(Mary Burton 1819-1909)。姑姑瑪莉為保護一位有著嗜酒父親的少年免於受到影響，接來同住庇

護。這位少年進而與威利結識而成為形影不離的玩伴，也發展為成日後一生的摯友。這位小三歲的少年日後雖然學醫，但在巴爾頓的鼓勵之下從事寫作，在他所創作的第一部小說(The Firm of Girdlestone)於 1890 年獲得出版時致謝詞特別獻給他這位兒時玩伴、一生摯友的巴爾頓:「獻給:我的老友-東京帝國大學教授威廉巴爾頓，多年前鼓勵我創作，僅殷切誠摯地敬獻-作者」。此人就是後來創作福爾摩斯系列偵探小說而家戶喻曉的英國著名作家-柯南道爾爵士(Arthur Conan Doyle 1859-1930)。

(三)技術學徒

巴爾頓於 1873 年自愛丁堡學院(Edinburgh Collegiate School)完成中學學業，畢業後並未繼承父親衣鉢進入大學學術界，反而朝向工程技術實務界。進入從事船舶機械設計的布朗兄弟顧問公司(Brown Brothers Consultant Corp.)，簽訂為期五年的學徒工作契約，正式以技術者之姿出道進入職場。優異的表現讓他先外派倫敦分公司增廣視野，後來回到愛丁堡升任機械製造工廠之設計主任，巴爾頓在布朗兄弟顧問公司一直待到 1878 年契約屆滿為止。派駐在大都會倫敦期間，目睹工業革命發展所帶來的疫病及衛生環境惡化問題，在他敏銳的內心感覺到文明科技未來的發展，也深刻體會到衛生工程的重要性。

以巴爾頓的家學淵源的背景往學術界發展乃順理成章，然而卻走一條全然不同的路，充分顯示出其作為思想家父親開放的態度以及當代蘇格蘭人務實的特性。再加上社會風氣並未特別尊崇讀書學術，反而重視實

務應用，使當代蘇格蘭應用科學技術人才輩出，遂成為工業革命的發源地以及世界文明的起點，巴爾頓亦為其中之一。

(四)衛生專家

巴爾頓於學徒契約屆滿後辭職，當時倫敦正大規模整治泰晤士河及興築上下水道等改善衛生條件之工程。在其舅父伊耐斯二世(Cosmo Innes Junior 1842-1887)引領指導下，於 1880 年在倫敦共同開設一家名為伊耐斯-巴爾頓工程顧問公司(Innes & Burton Cons. Corp.)，在倫敦從事衛生工程之顧問工作。巴爾頓進入衛生工程領域之後，迅速吸收學習公共衛生及上下水道工程之相關智識及實務經驗。並進入國王學院(Kings College)進修化學相關知識及理論發展，漸漸成為理論及實務兼具的衛生工學方面的專家。

在此基礎上，1882 年起伊耐斯二世就任倫敦衛生保護協會理事長，拔擢巴爾頓擔任該協會主任技師。開始致力於整體性之區域衛生規劃、學校醫院等衛生設備之設計、施工及維護等。包括歷史悠久最負盛名的聖湯瑪士(St. Thomas)醫院、西倫敦醫院、東北兒童醫院、伊頓中學、劍橋大學等各醫療及教育機構的上下水道衛生設備都有留下巴爾頓的專業足跡。

巴爾頓於此期間除致力於衛生工程之專業外，另外在攝影技術方面亦已有極高之造詣，於 1881 年成為英國攝影協會會員的他，經常在英國攝影專業期刊上發表相關論文。並於 1882 年彙集成冊出版「現代攝影技術基礎(The ABC of Modern Photography)」一書(圖 3)，年僅二十六歲的青年巴爾頓已漸漸成為當時歐洲衛生工學界及攝影界的閃耀

新星。

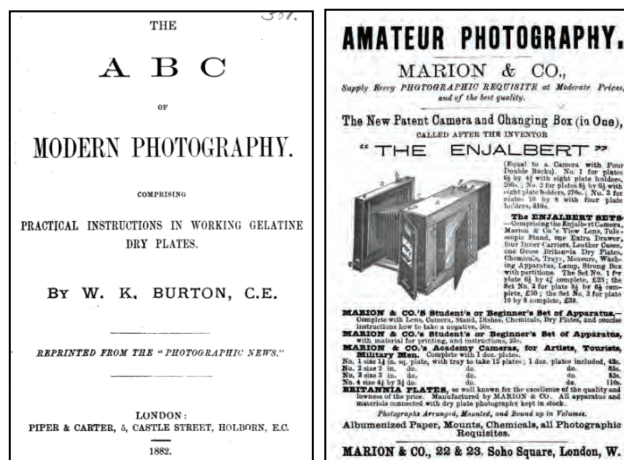


圖 3 巴爾頓著作—現代攝影基礎

三、御雇外國人

橫跨歐亞大陸位於東方的另一端，與英國同屬大陸邊陲的島國日本，正處於明治維新為推動國家現代化的過程，以優厚條件禮聘歐美先進國之人才到日本擔任指導顧問，稱為「御雇外國人」。1884 年內務省衛生局官員永井久一郎奉首任局長長與專齋(日本公共衛生之父)之命至英國倫敦參加世界萬國衛生博覽會，並考察歐洲各國公共衛生建設。回國後提出「衛生二大工事-巡歐記實」報告書，介紹歐洲各國在衛生工事上的發展，其中英國之衛生工程技術為當時歐洲之首，對倫敦上下水道的建設發展有鉅細靡遺的描述。建議日本未來應以該國為學習對象並強調應開辦衛生工程講座，培訓國內本土技術人員。永井後來調任新成立之帝國大學書記官，決定於土木工程學科下設立衛生工程講座，並自英國招聘教師。

根據長與專齋之晚年自傳「松香私志」有關招聘人選有如下之描述：「、、、巴爾頓當時為任職於倫敦水道事務局之衛生工

事方面專家，在倫敦萬國衛生博覽會期間與衛生局永井久一郎結識，永井歸國後推薦招聘巴爾頓來日、、、」。然而，在永井所撰「衛生二大工事-巡歐記實」報告內文所介紹之當時英國方面專業人物包括巴薩格(Joseph Bazalgette)及雷薩姆(Baldwin Latham)等之土木、衛生工程界的代表性人物，卻對巴爾頓隻字未提。顯然，巴爾頓之招聘應非永井之直接推薦，而另有其因。

根據當時帝大校長渡邊洪基與駐英公使河瀨真孝的通信文獻顯示，招聘英籍衛生工學教師之責係委由外務省駐英公使全權處理。渡邊校長在時任帝大書記官永井的建議下，寫信給河瀨公使之推薦人選為當時英國聲譽卓著的土木工程師、具有許多上下水道工程實務經驗、也曾任倫敦萬國衛生博覽會衛生工學部門審查委員長雷薩姆。倘若河瀨是個循規蹈矩公事公辦的外交官，依照帝國大學的建議找人交差，或許巴爾頓就不會踏上臺灣的不歸途，其命運際遇將大不相同，日本衛生工事的發展歷史也會重寫。事實上，河瀨公使積極查證推薦人選的能力品格，也徵詢當時業界有關雷薩姆的風評，得知其似乎是個相當自負且憤世嫉俗的專家。於是便再商請當時倫敦聖湯瑪士(St. Thomas)醫院院長布里斯托推薦合適人選，布里斯托所推薦人選就是曾規劃設計該醫院設施、年僅三十一歲的青年衛生工事專家巴爾頓(圖 4)。河瀨公使面試二人後確定人選，於 1887 年 3 月 16 日將結果呈報。巴爾頓於三月底在倫敦接受英國攝影協會及親友包括柯南道爾等人的設宴送別。然而，誰也沒料到這竟是永生的訣別。

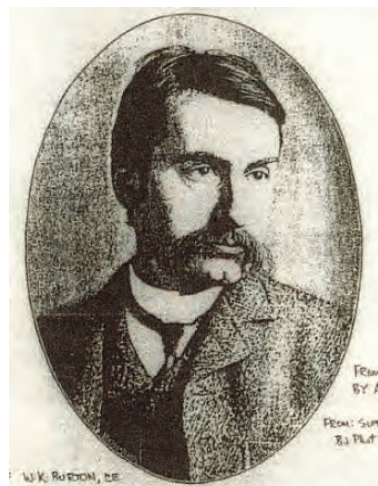


圖 4 赴日前的巴爾頓

相較於當時名聲顯赫的資深技師雷薩姆，沒有漂亮的大學文憑及教學經驗、學徒體制出身的青年巴爾頓能夠脫穎而出，憑藉的是在實務界所學到的紮實訓練及專業技術。日後也證明他是極為稱職的指導者及務實的工程師，成功地在日本播下衛生工程專業的種子。因此，日本政府眼光獨具之背後，全是駐英公使河瀨真孝睿智無私的抉擇。

四、活躍於日本

巴爾頓於 1887 年 4 月 6 日於倫敦啟航出發，5 月 26 日抵達日本橫濱港。正式成為帝國大學工科大學土木工學科衛生工學講座首任教授，任期自 1887 年 5 月 26 日起至 1890 年 5 月 25 日止。月俸 350 日圓，大約相當於當時日本內閣閣員之待遇水準，明治政府不惜花費巨資禮遇吸引外籍專家，可見其推動國家現代化的決心。

巴爾頓相當融入日本社會且熱愛當地傳統文化、藝術、體育等活動，由於他踏實作風及經驗豐碩，深受實務及學術界之讚佩。與日本政府原訂三年的聘約也經多次展

延至 1896 年，並於 1894 年與小他十六歲的當地人荒川滿津(另譯:松子)結婚共組家庭(圖 5)，育有一女多滿，惟另生二子皆不幸夭折。



圖 5 在日時期的巴爾頓及妻女

在專業方面，除專任帝國大學講堂教授外，同時也在實務界做出實質貢獻。完成包括東京在內等全國二十八個城市上、下水道的調查規劃及衛生改善的計畫指導。此外，包括籌設日本攝影協會、設計全日本第一高樓-凌雲閣等跨領域的成就，使其成為影響日本最鉅的蘇格蘭人。茲分述如後：

(一)上下水道建設

巴爾頓來日之時，正值霍亂疾病肆虐日本，從 1877 年起經常性之霍亂疫情大流行。明治政府積極推動衛生工事建設，於 1887 年提出首都東京衛生工事興建計畫，計畫內容涵蓋上(淨)水供給及下(污)水排放。

初任大學教師的巴爾頓，能將學理和實務結合應用，親切熱誠的講解及務實的作風，名聲不逕而走，深獲各界肯定與讚譽，並與當時衛生局青年官員、小他一歲的後藤新平(1857-1929)結為肝膽相照的莫逆之交。1888 年 10 月東京市成立上下水道設計調查

委員會，在後藤的引介下，該委員會任命巴爾頓為主任技師，負責實際規劃執行，著手策畫東京的上下水道計畫案。經過二個月不眠不休的投入，同年 12 月提出「東京市區上水設計第一報告書」。

該報告書以多摩川為水源，東京市未來計畫人口 150 萬人為對象，每人每日給水量為 4 立方英呎(約 110 公升)，依據此供水需求提出規畫案。日本政府為求慎重，委請歐洲先進國之水道專家審查，巴爾頓依意見修正後提送「東京市區上水設計第二報告書」，最終於 1890 年 4 月定案。於 1893 年動土開工，不久即因甲午戰爭爆發導致資材勞力短缺影響進度，遲至 1899 年才告完工。

技職體制出身的巴爾頓在很短的時間內提出全日本最大都市東京衛生工事上水、下水建設計畫案。初試啼聲即一鳴驚人，內務省衛生局也正式聘請其兼任該局顧問技師，任期於 1889 年 1 月 1 日起至 1890 年 5 月 25 日(帝國大學教師聘約截止日)，將其豐富的專業由北到南擴展到全日本各地，包括函館、仙台、東京、大阪、神戶、名古屋、廣島、岡山、下關、福岡等主要城市衛生工程之調查規劃都留下他的足跡及貢獻。成為日本衛生工程學界及實務界之擘建者，為全日本各地主要都市上下水道建設奠定基礎。

由於在日本衛生專業領域上傑出的表現，巴爾頓於 1891 年獲選為英國土木學會準會員(Association Member of Institution of Civil Engineers)。並於 1894 年以其大學衛生工學之授課講義內容為基礎，撰寫完成其畢生的

鉅著「都市給水-自來水設施建設」(The Water Supply of Towns and the Construction of Waterworks) (圖 6)。出版後廣獲歐美工程專業界好評及應用，並多次再版流傳後世。時至今日，現代自來水設施之設計基本原理仍受巴爾頓百餘年前著作之影響。

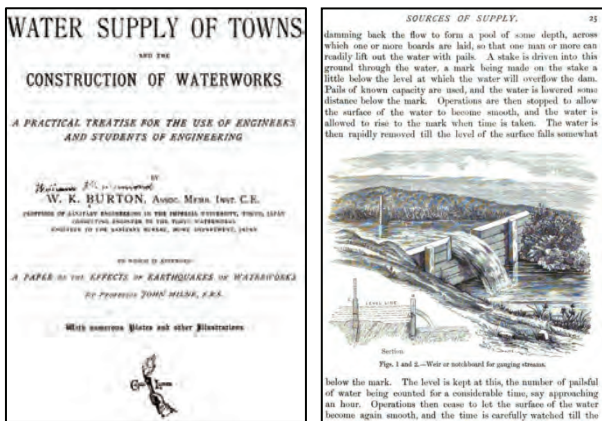


圖 6 巴爾頓著作—都市給水設施

(二)日本攝影協會

巴爾頓來日之後被東方異國風情深深吸引，透過大量的攝影捕捉日本的風土、人文。當時攝影技術雖已引進到日本，然而尚處於基礎的萌芽階段，設備昂貴且笨重，攝影愛好者多屬於仕紳富豪階級。當時攝影界採用傳統濕板底片，感光速度慢且控制困難，運搬不易。巴爾頓來自於攝影技術發展最先進的英國，引進採用乾板底片的新技術，感光時間短且較輕便易於攜帶，經常進入各偏遠地區調查勘災及記錄攝影。

1891 年日本中部發生濃尾大地震，巴爾頓會同前往災區實地拍攝調查，並編撰成冊出版「日本大地震」(The Great Earthquake of Japan)，留下當年極為珍貴的震災後畫面。此外，他也對日本古老傳統活動如相撲、弓術、柔術等展露高度的興趣，甚至邀請相撲

力士至其官舍表演展示並攝影集結成冊「日本相撲」(Wrestlers and wrestling in Japan)，撰文向西方世界介紹日本古老的運動(圖 7)。其他作品還包括：「日本戶外風情」(Scenes from Open Air Life in Japan)、「日本火山-富士山」(The Volcanoes of Japan, Fujisan)等，留下百年前日本社會風貌及自然環境的影像。

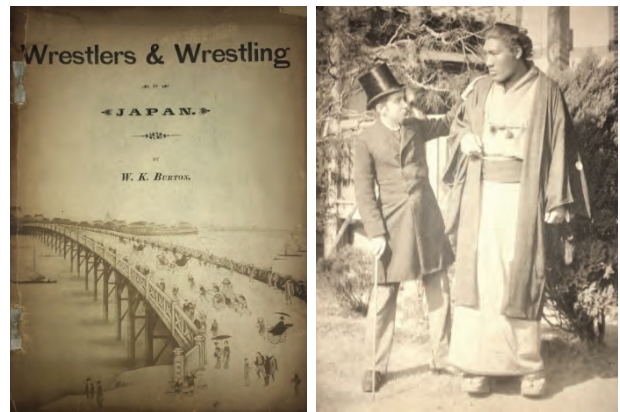


圖 7 巴爾頓著作—日本相撲

由於他的攝影知識豐富、技術純熟，個性隨和熱心且對很多事物好奇，不久之後與當地許多攝影界同好結識，包括當時於東京開設寫真館「玉潤館」的攝影界代表性人物-小川一真。於 1889 年與小川等攝影家共同發起成立「日本寫真協會」，邀請文部大臣(教育部長)榎本武揚擔任會長，巴爾頓擔任實際執行會務的書記。開始辦理攝影展覽、推廣攝影活動，吸引普羅大眾的注目，漸漸地蔚為風潮，將攝影從仕紳菁英階層慢慢往市井小民擴展，攝影參與人數也持續增加，為日本攝影普及化邁進一大步。

如同坐著時空機器從未來回到現在的巴爾頓，帶來最先進的攝影技術及知識。來到日本幾年之後，在他穿針引線之下，日本寫真攝影界呈現飛躍性的進步與發展。

(三)凌雲閣(淺草十二階)

巴爾頓來日期間的日本，經過明治維新的改革洗禮，已展現現代國家的雛型。1890 年帝國議會即將開議，且國內勸業博覽會也將盛大舉行。全國上下脫古換新，國民意氣高昂。其中東京商人福原庄七決定效法巴黎愛菲爾鐵塔，於首都東京興建代表性高塔建築，作為邁向文明開化國家之象徵。透過攝影師江崎礼二找上具有水塔設計經驗的巴爾頓。

來自無地震國家的巴爾頓請教帝國大學友人外籍教師包括：英籍建築專家康德(Josiah Conder)、地震專家米爾恩(John Milne)教授等專家之意見，克服艱難課題，設計完成八角形的十層樓磚造塔樓，高度約 44 公尺。然而，業主除要求於其內部裝設大幅增加建物荷重的升降電梯之外，又於工事進行中要求變更原設計，以十二天干地支帶來好運勢為由，要求將原設計高度提高達到十二層樓。篤信科學的巴爾頓遇上古老的虛玄之學也不得不妥協，於是將增加出來的第十一、十二層樓改採較輕質的木造結構。



圖 8 凌雲閣

自 1890 年 1 月 4 日開工起、至 11 月 10 日完工舉辦盛大開業啟用儀式，名為「凌雲閣」，又名「淺草十二階」(圖 8)。為當時日本第一高樓及第一部升降電梯，中間樓層為各式商店，頂樓為瞭望台。當時引起盛況空前，吸引大量遊客，進而繁榮周邊區域。可說是第一代的東京瞭望塔，比起現今東京天空樹高塔，當時受矚目之盛況更有過之，簡稱十二階的凌雲閣遂成為東京新地標。

然而，巴爾頓對於增加高度及設置電梯的變更感到隱隱不安。最終，所擔心的事終於發生，屹立于淺草 33 年的凌雲閣於 1923 年 9 月 1 日關東大地震時從八樓以上腰折倒塌，剩餘建築殘骸被爆破拆除，不過那已是巴爾頓逝世 24 年後的事。現今只能到位於東京的江戶東京博物館內巨大的凌雲閣模型前追憶過往風華。

五、臺灣衛生革新

在第三任契約屆滿(1896 年 5 月 25 日)前，巴爾頓的舅父及最親近的弟弟分別於 1887 年及 1890 年過世，遠在故鄉蘇格蘭的母親獨自生活，再加上柯南道爾等諸多友人的問候召喚，思鄉情懷的巴爾頓計畫於聘約屆滿後返回闊別多年的故鄉。

未料，1895 年底來自好友後藤新平的請託改變了他的命運。時任內務省衛生局長的後藤於日本治臺之初兼任臺灣總督府衛生顧問，深刻體會當時臺灣衛生環境之惡劣。深知要扭轉頹勢首要之務在於改善基本衛生條件，於是極力遊說巴氏到臺灣總督府擔任衛生工事顧問，推動上下水道之建設。

此時的巴爾頓正準備帶著日籍妻子、女兒返回離開 9 年的祖國，最後卻被其好友後藤的雄辯與熱忱說服，答應邀約前往臺灣，

唯一條件是必須有其得意門生—濱野彌四郎擔任其助手同行。後藤甚至特別安排當時臺灣總督桂太郎親自於東京設宴感謝巴氏。然而，這不僅改變了巴爾頓的命運，也影響了濱野彌四郎的一生。

(一)初抵臺灣

巴爾頓擔任臺灣總督府衛生工事顧問技師囑託的聘約初始任期係自 1896 年 6 月 1 日起至 1897 年 3 月 31 日止，原僅十個月，後來又歷經多次逐年展延聘約，直到其 1899 年因病去世為止，在臺奉獻期間約三年。最後一年的延聘待遇高達月薪五百日圓(圖 9)，已相當於當時臺灣總督的薪俸水準，顯見當時對他的倚重與禮遇。此外，濱野自 1896 年 9 月 3 日起任總督府民政局衛生課高等官六等技師，開啟其在臺長達 23 年的生涯。

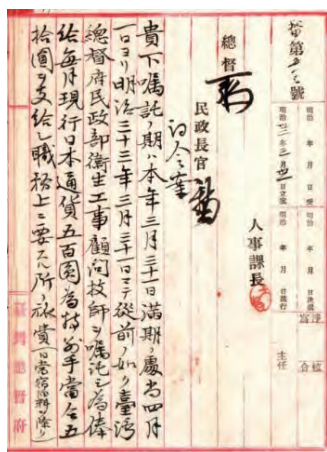


圖 9 巴爾頓延聘公文

(二)臺北水道之策定

巴爾頓於 1896 年 9 月結束將近一個月的調查活動後向總督府所提之「衛生工事調查報告書」，有關臺北市之給水工事規劃構想洋洋灑灑二十六頁，建議在臺北市城內以既有鑽井設備並施設適當的貯水池，以唧筒加

壓供水的方式解決當前水源不足的困境，進行所謂「改良式鑽井」給水建設。

隨後，巴爾頓於 1897 年 4 月「臺北及其他地方關於衛生工事設計之意見書」進一步調查發現，雖然臺北城內、大稻埕、艋舺等主要三市街的鑽井水質良好，但是各鑽井水量及深度等均難確定，且鑽井數量持續增加亦會減少出水量。因此巴爾頓此時意識到鑽井給水終非長久之計，應該另覓永恆水源建設水道水源地才是根本之道。

1898 年 3 月其好友後藤新平出任總督府民政局長，巴爾頓除向其報告建議開發臺北永久新水源的必要性，並獲得後藤的大力支持。巴爾頓與濱野二人轉而開始密集地探勘臺北的水源。巴爾頓也於此期間，攜帶妻女來台入住於民政長官廳舍後方的石坊街(現懷寧街、衡陽路)一帶官舍，留下在臺期間生活及工作上的影像(圖 10)。



圖 10 巴爾頓與女兒及長尾半平合影

1898 年夏天，師徒二人全力投入臺北水源的探勘，於濕熱暑氣下，多次進出新店溪上游屈尺、龜山一帶之蠻荒山區踏勘。巴爾頓不幸於此期間感染當時所謂風土病「台灣熱(瘧疾)」而入院治療。當時同時期住院治

療的十二名患者中，僅巴爾頓一人存活，可說是九死一生，雖身體健康大不如昔，但對於臺北給水的水源方案也了然於胸，並逐漸將初步構想轉達給其弟子濱野。

臺灣總督府於 1903 年成立「臺北市街給水調查委員會」，在巴爾頓與濱野之探勘調查成果基礎上，以新店溪為主要水源，進行後續臺北水道設施之規劃設計。然日俄戰爭於 1904 年爆發，一直到 1906 年才通過臺北水道工程建設預算案。1907 年巴爾頓逝世八年後，臺北水道終於動工，並於 1909 年完工通水。

通水迄今逾一百二十年之發展演進已遠遠超出當初的規模範疇，然而唯一不變的是，我們所仰賴的主要水源仍是百餘年前巴爾頓深入探勘的新店溪上游，可以說臺北自來水之發展係依循巴爾頓百年前奠下的基礎。

(三)基隆給水之規劃

基隆港為當時日本進出臺灣的門戶，總督府正進行港口整建及衛生改善之規畫。因此基隆水道之調查設計為巴爾頓抵臺之後推動的第一件自來水工程，也是其手中唯一完成的給水規劃設計案。

對於基隆的調查，巴爾頓最初於 1896 年 9 月 4 日所提出之「衛生工事調查報告書」內有關「基隆上水下水工事設計報告書」所提出之給水工程之初步設計構想包括：水源、蓄水池位置、給水方式等大架構方向。此外，巴爾頓亦向總督府請求進行補充調查與測量，包括：地形、地勢、高程及水源流量測量等，以作為其後續進一步規劃設計之依據。

巴爾頓與濱野二人前後總共針對基隆給水提出四次的書面報告。並建議將基隆水道工程建設分為二期，第一期為攔河堰與鐵管敷設工程，第二期為水源地淨水設施工程，最後於 1897 年 9 月提出「基隆給水管總長度概算」總經費四十六萬日圓。經總督府審查通過後於隔年動工，並由濱野兼任建設工務所主任，1902 年完工。

基隆水道可說是巴爾頓於臺灣所規畫的第一座完整包含取水、沉澱、過濾、送水等現代化自來水處理流程的設施，並將此自來水設施規劃設計實務經驗傳承予濱野，為濱野日後二十三年間從事全島各地自來水之擘建奠定基礎。巴爾頓雖未能親眼目睹基隆水道之完工，惟濱野日後繼承其遺志成功地推動全島水道工事，改善衛生環境，化疫厲之地為樂土，料應足以瞑目。

(四)魂歸異鄉

1899 年初，全島衛生革新的推動建設逐漸上軌道之際，巴爾頓先是接獲遠在蘇格蘭母親病逝的消息，接著又於春天感染赤痢，身體健康狀況不佳的隱憂，再加上家鄉親友召喚。於是向後藤新平提出長休假返鄉的申請，一家人於五月初離開臺北回到東京官舍，準備返回闊別十二年的蘇格蘭探親。不料，在出發前夕，赤痢的再病發引發肝臟機能的衰弱，入住東京帝國大學醫院治療，卻因病情急速惡化，最終於 1899 年 8 月 5 日因痢疾引發的併發症肝膿瘍而病逝，安葬於東京青山靈園公墓，得年四十三歲。

濱野聞訊後悲慟不已，為其恩師發起募捐立碑。隔年初於其東京青山靈園葬身處建立墓碑，簡介生平並於碑文下方印刻「友人

建之」。巴爾頓遽然去世，身後留下妻子滿津及尚未滿七歲之愛女多滿。在好友後藤新平滿懷歉意的協助下，在生活物資上持續予以幫助。妻子滿津於 1918 年逝世後同葬於巴爾頓墓園，並於墓碑背面印刻其名。

1919 年濱野準備離開臺灣前夕，為紀念其對臺灣水道事業的貢獻，向總督府申請使用臺北水道水源地內設立巴爾頓銅像座，並擔任銅像建設委員長。在其多方奔走及募集資金下，於 3 月 30 日舉行銅像揭幕儀式，銅像坐落於唧筒室正前方(圖 11)，面朝開闊壯麗的臺北水道水源地。各界人士政要等超過百人出席揭幕儀式，共同追思這位推動臺灣本島衛生革新的最大犧牲者，可惜該台座及銅像後來於二戰期間佚失。

2006 年適逢巴爾頓冥誕一百五十歲，在日本水道文史專家稻場紀久雄教授的大力奔走下，邀集日本上下水道等各界成立「巴爾頓誕生一百五十周年紀念活動籌辦委員會」。分別在日本東京及蘇格蘭愛丁堡二地展開相關的紀念活動，包括邀請巴爾頓後代共同組團前往蘇格蘭愛丁堡，於其兒時住所附近(現 Napier 大學校園內)設立一座有巴爾頓浮雕石刻像的紀念石碑(圖 12)。



圖 11 臺北水道銅像



圖 12 愛丁堡石碑

介紹碑文用英文寫著:英國王室歷史編撰官長男、日本帝國大學衛生工學首任教授、東京等主要都市水道設計之內務省顧問技師、日本最早摩天高樓凌雲閣設計者、日本攝影發展技術之先驅、對日本現代化貢獻最鉅之蘇格蘭人。短短幾行字表達日本各界對他的評價及感念，同時也一圓巴氏百餘年前未完成的返鄉夢。

六、結語

學徒出身的巴爾頓並無顯赫學歷，然而秉承蘇格蘭人務實精神，在遙遠異鄉開創新局、造福人群，作出偉大貢獻。實踐無分國界、不論人種的博愛精神，雖於異國英年早逝，卻永世留芳，得到跨越國界及時空的追思與懷念。巴爾頓銅像已於 2021 年春天恢復矗立於臺北自來水博物館園區內，意義非凡，屆時春暖花開如果有機會造訪園區時記得帶束花，到其銅像前道聲～多謝！

參考文獻

- 1.バルトン先生、明治日本の先驅，稻場紀久雄，平凡社。
- 2.都市の醫師－濱野彌四郎の軌跡，稻場紀久雄，水道産業新聞社。
- 3.日治初期的臺灣北部衛生工程之建設事業-以臺灣衛生工程顧問技師爸爾登為中心，呂哲奇，台灣史料研究 第十三期。
- 4.網站：臺灣文獻館(<https://www.th.gov.tw/>)
国立国会図書館(<http://www.dl.ndl.go.jp>)。

作者簡介

吳世紀先生

職務：臺北自來水事業處工程總隊股長

專長：自來水管線工程規劃、設計、施工

新加坡自來水漏水管理—如何達成低漏水率

文/游叡研

摘要

為供應可靠優質自來水，新加坡公用事業局自 90 年代起，已持續有效地改善漏水，新加坡成功達成僅約 5% 低漏水率(LOW UNACCOUNTED FOR WATER-UFW)，2017 年為 5.1%，相當了不起成就，一切可歸功於良善規劃、有效管理、維持有效高品質且可靠管網供水系統、主動漏水控制得當、精確水表計量、嚴格立法阻止非法竊用水、顧客關係管理得當(包含用戶反映快速處理及鼓勵舉報漏水處理)等環節。其對用水需求管理要求高，達成更高效率水利用。

新加坡起步得早，在確保供水永續性下足苦工，本文先介紹新加坡供水系統，並詳細介紹新加坡整體供水管網管理相關作為，包含管線汰換更新作業原則，壓力最佳化避免高壓，提出不用維修的管網(Maintenance-free)概念等，主動漏水控制介紹。動態漏水檢測計畫(Dynamic Leak Detection Programme)。

新加坡面對挑戰與創新，隨著科技發展，結合即時數據傳輸，在漏水檢測部分提出創新作為，提升預測判斷漏水的能力，建立聰明的水網格(Smart Water Grid)，包含建立供水管網監控系統(Water Network Monitoring System)及自動讀表(Automated Meter Reading)，應用於發展檢測漏水的技術，稱之為虛擬小區計量(Virtual DMA)。

新加坡自來水漏水管理經驗值得我們

借鏡參考學習，發展更全面性的管理策略，找出更適合於台灣本土當地背景特性的改善方法，同時能洞察未來可能出現的挑戰，提供方案預為因應。近十幾年來，北水處漏水改善計畫執行成效非常卓著，但我們不能自滿，相較於新加坡漏水率僅約 5%，大台北地區漏水改善仍有一段漫長的路要走，所幸我們已經走在正確的道路上，藉由新加坡降低 UFW 的成功經驗，加以思考學習活用，北水處漏水率降至 10% 亦是指日可待。

關鍵字：UFW、漏水率、漏水控制、用水需求管理

一、引言

新加坡是各方面都相當進步的國家，在追求效率與永續發展不遺餘力，在開源（污水薄膜處理過濾成新生水 NEWater）與節流（減少不明水流失），都獲得巨大成功。筆者曾於 2016 年於新加坡國立大學李光耀公共政策學院進修碩士課程（Master in Public Administration and Management Programme），期間特別多次參訪新加坡自來水管理法定機構新加坡公用事業局（Public Utilities Board，以下簡稱 PUB），進一步深入了解他們的漏水改善作為，以為借鏡學習，並希望與自來水同業人員分享。

二、前言介紹及背景說明

以下介紹新加坡如何有效達成及維持低漏水率(LOW UFW)，將 UFW 最小化也是新加坡整個用水需求管理（water demand

management) 策略中基石，也進一步確保了提供有效率、充足且可持續發展的供水。

(一)確保供水永續性：

新加坡天然水資源稀少，PUB 身為國家水機構單位，為確保供水水源多樣性及永續性，發展國家四大水龍頭，分別是本地集水區、進口水、新生水(NEWater)及海水淡化。然而單單只有擴大水源供應並不是長久之計，和其一樣重要的是用水需求管理，比如鼓勵用戶及公私部門的節約用水、保護集水區及水道不受汙染及確保更進一步的休閒遊憩功能。用水需求管理中一個相當重要的環節即是降低減少流失的水 UNACCOUNTED-FOR-WATER(UFW)，PUB 自 1990 年開始從源頭淨水廠、供水管網系統、消費用戶端，進行一系列全面且有效管理策略，逐步降低 UFW。

(二)UFW 歷史及背景說明：

供水管網系統和水庫及淨水廠不同的是，它是相對看不到的，但是它卻決定了整個供水系統的效率，疏於維護的管網系統漏水率相對較高，供水不穩定，則收益減少，收益減少意味著更無力維護管網系統，甚至需調漲水價，這是一個惡性循環，最終的結果就是用戶滿意度降到最低點。

PUB 早已洞察必須有效維護管網系統，才能以合理水價提供可靠供水，早在 1960 年代，PUB 已經有漏水檢測部門負責測漏。經過多年努力，從 1985 年每 100 公里約有 95 處漏水，到現在每年每 100 公里僅約有 4 處漏水，相較於一般已開發國家每年每 100 公里約有 10~30 處，新加坡漏水成效相當卓著。

PUB 成就可歸功於有效供水管網系統管理、主動檢測漏水、用戶反映快速處理、嚴格流量計算與監控。整體改善下，在可負擔得起的水價內，達成效率、充足、可持續發展的供水。隨著新科技應用，新加坡已將漏水率(UFW RATE)降低至 5%以下。

(三)UFW 定義：

UFW 廣義來說就是供水系統效率指標，由國際水協會(IWA)所建立評估自來水事業的效率指標，它是從淨水廠流入管網系統的總流入量(SYSTEM INPUT VOLUME)扣除收費水量 REVENUE WATER(SALES)及合法的無收費水量 ACCOUNTED FOR WATER(AFW)，算式如下：

$$UFW = \text{SYSTEM INPUT VOLUME} - \text{REVENUE WATER (SALES)} - \text{ACCOUNTED FOR WATER (AFW)}$$

表 1 水平衡表(International Water Balance Table)

System Input Volume	Authorized Consumption	Billed Authorized Consumption	Billed Metered Consumption	Revenue Water
		Unbilled Authorized Consumption (Accounted-For-Water)	Billed un-metered Consumption	Non-Revenue Water
			Unbilled metered Consumption	
			Unbilled un-metered Consumption	
	Water Losses (Unaccounted-For-Water)	Apparent Losses	Unauthorized Consumption	
		Real Losses	Metering Inaccuracies and Data Handling Errors	
			Leakage on Transmission and/or Distribution Mains	
			Leakage and Overflow at Utility's Storage Tanks	
			Leakage on Service Connection up to Point of Customer Metering	

(四)管理 UFW 的效益：

水是民生必需品，由於漏水、偷水或是不準確水表計量，全球流失水(UFW)相當可觀，超過幾十億噸的水就這樣白白浪費了，相當可惜。降低 UFW 的同時表示水公司可

獲得更多收益，保護珍貴水資源，增加對管網系統了解與管理，減少非法用水，改善用戶服務以及確保整個管網系統的有效運轉。

三、新加坡供水系統

為了替新加坡民生及工業用水提供永續水源，PUB 已發展了 4 個國家水龍頭確保水源多樣性，本地集水區共有 17 個水庫，約占 27%、向馬來西亞進口水約占 50%、新生水(NEWater)約占 20%、海水淡化約占 3%。PUB 採用了整體全面的方式管理水系統，從水源、收集水、淨化處理及管網系統供應飲用水，在回收水處理(NEWater)及排水渠道的管理均相當到位。

新加坡主要採用重力供水，利用重力水壓將水輸送至用戶家中，服務水庫 (SERVICE RESERVOIR) 位於地形高處或是特別架高水塔，可提供用水緩衝與調節，提高及穩定供水能力，目前有 9 個服務水庫。少部分位於高處的用戶，則需另透過加壓站加壓的方式供水(如圖 1)。

新加坡供水系統已連成管網，管線彼此連通，互為備援備載，不會因單一系統水源失能即對整體供水產生影響，供水穩定度因此大為提高，確保可靠供水網絡。

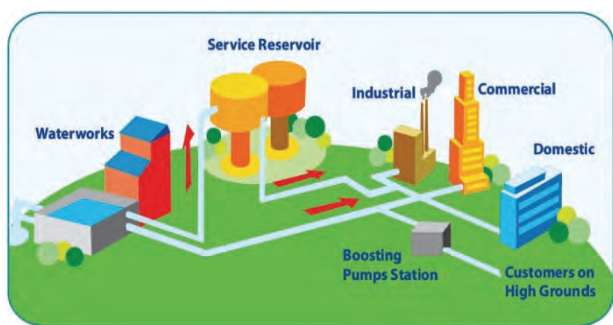


圖 1 新加坡供水系統示意圖

四、新加坡整體供水管網管理

PUB 體認到硬體及軟體都是確保管網系統健全要素，硬體指的是技術層面及立法管理，而軟體指的是與用戶間緊密的夥伴關係，才能在最短的時間反應解決系統問題。整體供水管網管理模式的組成要素可廣泛地分類為高品質的管網及有效的管理、主動漏水控制、精確水表計量、嚴格立法執行及顧客關係管理(如圖 2)，以下分項詳細說明：

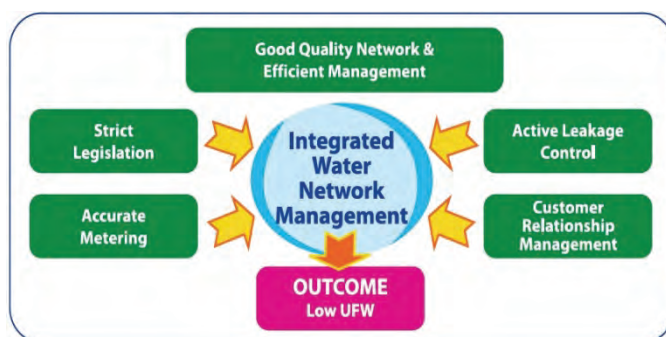


圖 2 整體供水管網管理模式架構圖

(一)高品質的管網及有效的管理：

減少漏水發生率同時意味著可有效降低 UFW，因此如何降低輸配水管網漏水機率是至關重要的。

新設管網系統：使用最新更佳、抗腐蝕的管材，例如銅管(給水管)、不鏽鋼管、延性鑄鐵管等，必須確保新埋設的管材是長期不漏水的。

既有舊管網系統：在 1980 代初期，無內襯鑄鐵管及鍍鋅鐵管因容易腐蝕漏水已遭到禁用，同時全面調查舊管所在位置並全面汰換成銅管、不鏽鋼管、延性鑄鐵管，總計花費約 5 千 6 百萬新元。為了進一步提升舊有輸配水管防漏性，PUB 針對 280 公里容易漏水潛能的管線進行 5 年更生計畫，這個計

畫在 2004 年完成，共花費約 8 千 7 百萬新元。此外，在 2008 年完成 120 公里的石棉水泥管的汰換計畫，共花費約 2 千萬新元。

PUB 同時也對所有管線進行電腦資料分析，包含位置、管材、尺寸、管齡、漏水及修復紀錄等，訂出計畫列出須優先汰換管線對症下藥，以達事半功倍之效。其中最早的標準是每年每公里漏水 5 次以上即須整段汰換，至 1990 年代中期，標準提高到每年每公里漏水 3 次以上，隨著管網系統逐年更新強化，目前標準為每年每公里漏水 2 次以上即須整段汰換。

除了前述汰換計畫外，整個輸配水管網系統也持續地進行檢視與升級，可以有效地減少漏水件數，例如當有地區進行整體改造開發時，一併進行老舊管線汰換作業，或在修理漏水時採用更高品質的管件。

壓力最佳化：為了優化管網水壓，PUB 作法是試圖減少壓力以滿足個別地區的最低水壓即可。在用水離峰時段，壓力會傾向過高，尤其是靠近服務水庫(SERVICE RESERVOIR)區域，或是用水需求很低時，例如接近清晨時分。壓力越高代表耗能，自來水管件容易受損漏水，且當管線漏水時，高壓將使漏水加遽。PUB 執行壓力管理計畫以追求壓力最佳化，透過重新劃分供水管網區域，調整節流閥及減壓閥進行壓力控制，從服務水庫到輸配水管網系統，最後至消費者用戶端，通盤完整考量。

不用維修的管網(Maintenance-free)：隨著都市發展，用水需求急遽升高，需要埋設更多水管，但是地底下已佈滿各種管線，空間嚴重不足。管線機構已不得不將管線往更深

的地底埋設，例如採用 Pipe-Jacking、Horizontal Directional Drilling(HDD)或甚至挖地底隧道等方式。然而，埋得越深代表更難進入也更難維護修理管線。尤其在市中心，埋設新水管是難上加難，新加坡新生水(NEWater)管線基礎建設就遭遇這個問題。受限於環境，所需要的就是應該建立需要最少維修的管網系統，或希望能達到不用維修的管網(Maintenance-free)概念。這個概念希望管線維修能對環境產生最小衝擊，因此需要有一套系統性的做法，從規劃、設計、施工、即時監控都要顧慮到。

大口徑延性鑄鐵管管壁厚度增加，運用檢測漏水的新科技，例如植入光纖線路，即時偵測到漏水時的溫度變化，還有即時壓力監控，可以即時偵測到漏水時的壓力驟變，可及時處理，避免大規模維修。

共同服務管道(Common Services Tunnel)：除了聚焦管網新科技應用，PUB 也和其他管線單位與都市計劃者一起合作改善鋪設管路，濱海灣南側已完成一條共同管道。

電力、電信、區域冷卻管、汗水、飲用水、新生水整合在共同管道，除了可避免管線意外遭挖損，進入 CST 也方便進行管線維修，不需要再開挖馬路造成交通堵塞。雖然 CST 建造費用高昂，但在土地寸土寸金的市中心區，提供一個可行的方式，同時有利於不同管線永續的維護管理。

(二)主動漏水控制：

對於地底下看不見的漏水，如果沒有及時發現，漏水量相當可觀。自來水有水壓，水通過管線破損處會產生類似噴射音，頻率

是不同的。漏水音是容易辨認的，它與漏水量大小、壓力、管材及所處環境有關。漏水檢測設備根據漏水音質作判斷抓漏，尤其是金屬管材水管更適用聽音檢測和追蹤漏水，因為金屬管材相對於非金屬管材的聲音傳導性更高。對於 MDPE 或 HDPE 之類的非金屬管材，漏水聽音檢測的方式是一樣的，但是效果就沒這麼好，偵測的範圍也比較小。

動態漏水檢測計畫 (Dynamic Leak Detection Programme)：在新加坡，口徑從 100mm 到 2200mm 的輸配水管線長度共計約 5,500 公里，為檢修漏水，全年實施動態漏水檢測計畫，針對整個管網系統查漏。計畫目的就是追蹤查漏，尤其是地底下看不見漏水。在 1980 至 1990 年代中期，整個管網系統被分成很多不同小區，分區檢測。利用晚上進行聽音檢測，因為晚上大部分用戶不用水而且夜深人靜聽音不會受干擾，一年中有 10 個月反覆進行檢測，剩下 2 個月則針對容易漏水的區域再進行加強檢測。

分區計量檢測模式稱之為 DMA (District Metered Area)，針對個別小區，可進行零壓力測試、分段測試、聽音漏水檢測等。然而，這是一個需要大量勞力的模式，有些管線位於無法進入之處，相關閥栓須配合啟閉也耗費人力，難度不小。

隨著漏水檢測技術長足進展，PUB 也取得更靈敏的漏水檢測設備，可對管網系統進行更精確的漏水分析。1990 年代後期，PUB 開始採用多叉式 (multi-pronged) 漏水檢測儀器，利用漏水聽音定位。利用看得見的閥

栓，先掌握管線所在位置，再利用聽音設備快速定位找出可能漏水管線。

為提高查漏效率，多次漏水紀錄且管齡老舊區域優先辦理，每年都會針對容易漏水區域檢測 2 至 3 次。PUB 將整個管網系統分成 112 個小區，每個小區再切成 2 到 5 個次小區，總共有 312 個次小區，聽音檢測紀錄器及其他設備也一併運用，協助進行漏水定位。目前每年主動檢測到的漏水點約三百多處，檢測作業是由 PUB 員工 (技術士) 自己做，沒有外包給廠商，隨著技術士年齡逐漸老化退休，目前剩約 20 多位技術士。

漏水徵兆 (Signs of Leaks)：除了前述動態漏水檢測計畫，PUB 也在旱季時對排水溝渠及水路進行監控，以查明判斷是否有漏水跡象。在旱季時，排水溝渠水流應該是很小的 (或無)，然而，一旦發現溝渠有不明水流，即表示有可能是自來水管漏水。同理，汗水下水道如果發現不明乾淨水流，也可能是自來水漏水所致，因此，自來水部門須與雨水排水部門及汗水部門通力合作，橫向互動溝通，有利及早查修漏水。

新加坡早期利用 DMA 及夜間最小流查漏，透過閥栓啟閉及關閉用戶止水栓，逐步進行查漏，需要大量勞力。隨著查漏科技的進步，自 90 年代後期開始，轉變以噪音收集器 (Acoustic leak noise localiser) 及相關式儀器 (digital leak noise correlator) 做系統性的查漏，利用電腦分析找出可能漏水區域 (possible leak zone)，再以電子聽音棒確認漏水點。動態漏水檢測計畫自 1990 年代強化執行以來，已對新加坡漏水整治發揮極大貢獻，地下漏水情形已大為減少 (如圖 3)。



圖 3 漏水檢測示意圖

(三)精確水表計量：

新加坡供水系統，從源頭淨水廠到用戶家，達到 100% 水表計量，主要基於 3 個理由：分別是準確計量、水費收益及珍惜水資源。目前仍有一些國家尚未採用水表計量，而僅收取固定費用，這將造成用水浪費，只有正確計量，以量計價，用戶才會有節省用水的原動力。

PUB 採用不同水表口徑從 15mm 到 150mm，可以有效掌握用水消費情形。對於家庭用戶，PUB 採用符合 ISO4064/1C 的 15mm 水表，即使低量小流也能準確計量。

水表型式(Types of Water Meters Used)：從淨水廠出水的水表準確性是非常重要的，因為如果源頭的計量不準確，將大幅影響到整個水平衡計量 (Water Balance Account)，這也是為什麼新加坡的 UFW 能控制得這麼低的原因。PUB 自 1985 年起採用電磁式流量計作為淨水廠出水的水表，它是高度可靠而且準確，當流速介於 0.5~1.0m/s，容許誤差為 1%，當流速大於 1.0m/s，容許誤差僅有 0.5%。為了確保可靠性及準確性，每個月都利用容積式校對方式進行水表測試。

家庭式水表(15mm diameter)採用容積型

水表，它在低流速時的計量比流速型水表更準確。對於用水量變化較大的工廠或商業大樓，採用複合型水表(Compound Meters)，它有一個主表可計量高流量，同時有一個並聯旁通的小表可計量低流量。雖然複合型水表比較貴，但是它可以達到更準確的計量，對降低 UFW 帶來貢獻。

水表位置：為利於安裝水表、定期抄表、維護作業，水表應該設置於開放不受阻礙的空間，同時前後都要有獨立的閥以便日後換表及維護。家庭式小表位於大門旁的獨立空間內(如圖 4)，可見度高。大表(總表)則設置於地面上，或位於立式水表結構室內，分表則位於樓層公共空間。

水表維護與汰換計畫：PUB 有一個專屬的水表試驗室(Meter Workshop 如圖 5)用以維護及進行水表測試，定期測試水表的準確度，測試結果可協助了解不同水表在不同模式下的行為，有利判斷使用適合的表種，並對汰換頻率提供有效建議。



圖 4 家戶水表整合在門柱旁



圖 5 PUB 水表試驗室(Meter Workshop)

此外 PUB 亦執行動態水表汰換計畫，家庭式水表如使用超過 4000 噸或表齡達 15 年就需汰換(視何者先到)；對於非家庭式水表，則每 2 到 7 年汰換不等；至於大型用水戶如煉油廠或晶圓製造廠，每年都要汰換水表。經驗顯示，良好的水質、埋設管線時的嚴格監造、佐以良善維護管網系統都有助於確保水表的準確性並可延長水表壽命。

電腦化收費系統(Computerised Billing System)：電腦化收費系統包括被稱為調查及紀錄(I&R)檢驗計畫，以確認抄表度數是否正確，當度數突然不正常地增加或異常，系統會自動提醒作進一步的複查確認，可以早期發現水表故障問題或漏水情形，即時改善。

(四)嚴格立法執行：

對於偷竊水或非法使用來水用戶，新加坡採取嚴格立法執行以達威攝作用，非法用水的情形非常稀少，非法用水如果遭 Public Utilities Act 查獲，可能被處以最高 5 萬元新幣罰款，或可能處以 3 年以下有期徒刑，也可能同時罰款並坐牢。對於連續犯者，每天最高再加罰 2 千 5 百新幣。

為防止管網系統遭不明挖損，Public Utilities Act 對於沒有事先查明管線位置即進行開挖者，處理嚴格懲罰。未查明管線位置即任意開挖者，將被處以最高 5 萬元新幣罰

款。任何人被發現破壞供水管網，將被處以最高 1 萬元新幣罰款，以上亦可能處以 3 年以下有期徒刑，並且要負責賠償損失。

(五)顧客關係管理：

號召所有人民一起參與漏水舉報是非常重要的，因為管網系統範圍廣大，漏水位置不確定，只靠政府是不夠的。PUB 成立 24 小時服務的 PUB-ONE 服務中心，受理有關排水、汙水及自來水用戶反映，收到反映後，PUB-ONE 會根據特性進行任務分配，跟自來水相關的，即分配給水服務管理中心(Water Services and Operations Centre - WSOC)，WSOC 也是 24 小時全天候服務的單位，除了有承包商待命支援外，WSOC 有值勤內業職員指揮，也有工作車和外業維修人員，可以隨時到現場處理，特別是漏水修理，分秒必爭。

民眾可透過電話、傳真、電子郵件、簡訊、網路、通訊視訊與 PUB-ONE 作聯繫，99%的緊急用戶反映可在 45 分鐘內得到處理，隨著智慧型手機 APP 普遍，PUB 也進一步擴大用戶參與平台，其中包括 iPhone APP，提供更多元即時反映管道，善用大眾力量，PUB 也能更即時處理例如自來水管線漏水、溢流水災、以及下水道汙水問題。多年努力下，新加坡供水管網系統每年每 100 公里漏水發生次數，從 90 年代早期約 100 多處漏水降至目前僅約 4 處漏水。

五、新加坡面對的挑戰與創新

新加坡是高度開發國家，土地使用相當競爭，空間不足使得管網擴張或汰換更新變得越來越難進行，高技術高成本埋管工程，

例如 Pipe-Jacking 或是地底隧道，是未來不可避免趨勢。長期來說，供水管網系統運轉與維修成本只會更加提高上揚。

人力知識水準及教育水平一直向上提升，例行性例如監控與手動操作的工作，要留住現有人力已不容易，更不用說招募新人力困難。所幸隨著科技發展，有了更便利、更便宜的水壓、流量、聲音監測器，以及量測水質更好替代品，提供更有效率供水管網系統監控作業。結合即時數據傳輸，有很好的基礎來發展相關應用，有效提升管網系統管理成效，尤其是漏水檢測部分，也加強預測判斷漏水的能力，建立聰明的水網格 (Smart Water Grid)。

(一) 供水管網監控系統 (Water Network Monitoring System)

全世界自來水事業體，漏水檢測一直是重要領域，新加坡的漏水率雖然相對不高，仍致力於發展遠端漏水監控能力，長遠來看可以有效降低運行成本，同時可以降低自來水管爆管的風險成本，防患未然。

PUB 與 Centre for Environmental Sensing and Modeling(CENSAM)，是屬於 Singapore-MIT Alliance for Research and Technology(SMART)跨領域研究團隊，利用壓力感應器的數據資料所發展出漏水檢測的演算法，根據不同感測器壓力變化進行數值模擬分析，漏水一定會造成壓力瞬變，鄰近感測器收集壓力變化資料，透過全方位模型分析後，系統可以協助即時定位管網爆管或大量漏水位置(如圖 6)。2009 年在市中心區，安裝 8 個太陽能壓力感測器進行測試，2011 年底增加到 25 個壓力感測器，逐步擴大中。

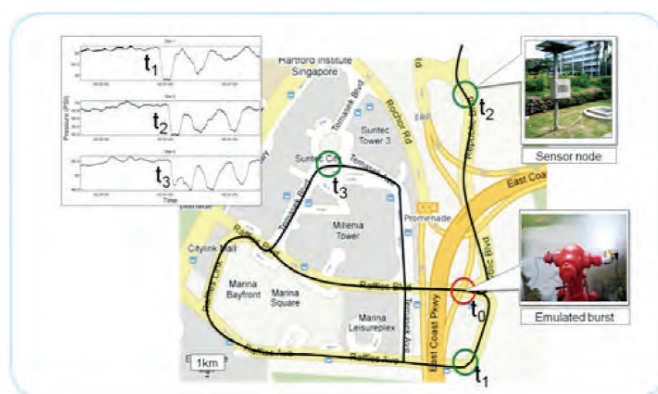


圖 6 利用壓力感測器模擬定位漏水點

雖然這個系統可精確掌握突發性漏水點，但是對於已存在的漏水點，因為它不會造成壓力急遽改變，壓力已平衡成背景值，系統無法偵測出壓力瞬變，還是需要利用前述所提聽音檢測技術探查漏水，兩者並用。

透過消防栓排水模擬漏水狀況，壓力驟變可以進行分析了解管網狀態，也包含偵測已存在漏水點。PUB 正在探索研究所收集到的壓力與聲音數據，做進一步的應用，例如用以檢測輸配水管漏水可能。

CENSAM 研究，感測器也一直進化，多功能感測器應運而生(如圖 7)，同時能量測壓力、流量、聲音、水質等，整合式感測器更方便，成本更低，搭配應用即時無線數據傳輸，方便資料收集與分析，實用性相當高。



圖 7 多功能整合式感測器

新加坡分為 11 個供水區(DMA)，目前 PUB 已與來自以色列研發團隊(VISENTI)合作安裝約 200 個感測器，覆蓋 6 個供水區可即時監控水質、水壓、流量、漏水聲等。預計總共裝 300 個感測器，即可覆蓋所有 11 個供水區。目前其檢測漏水的準確率約 50%。

(二)自動讀表(Automated Meter Reading)

除了壓力感測器，PUB 也在讀取水表度數這個科技領域持續創新，引入新技術，自動讀表科技的好處是可以減少人工現場抄表的人力成本，尤其是對於某些難以抄到的水表，是極佳的方式，不會再有抄不到的水表，也可減少人為誤差。另一個附加好處可以得知用戶即時的、真正的用水量，不會因人工抄表時間差，或是抄不到表而由推估或預測的方式產生水費爭議。

及時自動讀表資訊也可應用於發展檢測漏水的技術上，我們稱之為虛擬小區計量(Virtual DMA)。取代平常例行性的固定區間漏水檢測，將用戶用水量總和與實際管網系統進水量作比較，宏觀上來看，可判斷哪些區域有潛在漏水，可配合先前所述管網系統壓力感測器，交叉比對確認實際漏水位置，可大幅提高修漏效率，也可減少人工現場作聽音檢測漏水位置的人力工作量。這種虛擬 DMA 模式，不需要真正的封閉一個區塊，管網仍是互相連通，利用邊界管網水表流量計一進一出即可得知區塊進水量，再由電腦即時與用水量比對，可預知是否有潛在漏水。

PUB 已執行小規模，試驗性質的自動讀表計畫 AMR，評估此科技在新加坡本土可行性。此外，消費者也可透過網路了解他們的

用水消費情形，有利於即時掌握用水量並有利於節省用水。這個試驗計畫包括 2 個 AMR 系統，共計 430 只水表，包含 2 個高地(high-rise)的住宅區及 1 個低地(low-rise)的工業區。目前針對大量用水戶，例如商業中心、製造工廠、醫院等採用自動讀表，可即時監控用水量，了解用水行為，目前約有 600 個用戶。

六、結語

UNACCOUNTED-FOR-WATER(UFW)指的是連接從飲用水淨水廠到用戶端水表的管網供水系統，由於漏水、竊水或其他理由所造成的不明水流失(water losses)。可以想見，如果缺乏良好維護管理，管網供水系統將很容易惡化並造成水流失浪費。目前大部分的國家，漏水率(UFW RATE)約介於 10%~30%，但新加坡僅有約 5%，是很了不起成就。

新加坡，對於現有的供水設備與基礎建設，擁有全面性的維護管理政策。定期汰換並及時維修老舊管線，謹慎且前瞻性地規劃良善供水系統。執行精確水表計量，從淨水廠至用戶端設備都精確計量(全面採用精確度更高的 C 級表)。嚴格立法執行，有效防阻用戶偷竊水，並鼓勵大眾舉報公共區域的漏水。

透過新科技應用，例如更高階漏水噪音檢測儀器，無線傳輸感測器監控系統應用，不間斷漏水警示系統，新加坡仍致力發展遠端漏水監控能力，長遠來看可以有效降低運行成本，同時降低水管爆管的風險成本。

流失水管理是新加坡總體水需求管理

(Water Demand Management)相當重要部分。降低 UFW 方法，依據新加坡的獨特環境，一步一步地發展和改良而形成的，不墨守成規，因地制宜才是王道。由於 PUB 總體考量，勇於面對挑戰，才能建造一個有效率、足夠的、可永續發展的自來水供水系統。在很多情況下，所有減少 UFW 的政策推動，必須經過事前縝密仔細的規劃、評估、執行，最後才有辦法適用於新加坡本土的管網系統。

自 1980 年代以來，整套完整的供水管網系統管理方法，已經使新加坡成功地減少不明水流失，每年每 100 公里漏水發生次數，從早期約 100 多處降至僅約 4 處漏水，當前的挑戰是如何維持這項得來不易的成就，尤其當面對空間越來越不足，新設與維修管線越來越困難，上揚的材料與能源費用，環境氣候變遷等挑戰，UFW 的管理無疑是自來水事業公司須全力關注的焦點領域，透過掌握 UFW，可以清楚了解掌握整個水系統的出水量，實質漏水量(physical losses)以及帳面漏水(commercial losses)。

新加坡自來水漏水管理經驗值得我們借鏡參考學習，他山之石、可以攻錯，我們還需再加強 UFW 管理，並且需發展更全面性的管理策略，找出更適合於本土當地背景特性的改善方法，同時能洞察未來可能出現的挑戰，提供方案預為因應。

近十幾年來，北水處推動「供水管網改善及管理計畫」執行成效非常卓著，大台北地區漏水率以每年約 1%比率下降，漏水率從 94 年的 26.99%持續下降至 109 年的 11.9%，相當每年可省下半座翡翠水庫蓄水量，

這是北水處非常了不起的成就，但我們不能自滿，相較於新加坡漏水率僅約 5%，其差異不可謂不大，北水處目標於 114 年將漏水率降至 10%，藉由新加坡降低 UFW 的成功經驗，加以思考學習活用，北水處漏水率降至 10%以下亦是指日可待。

參考文獻

- 1.Cecilia Tortajada、Yugal Joshi、Asit K.Biswas，新加坡水故事-城市型國家的可持續發展，2015。
- 2.陳榮順、李東珍、陳凱倫，清水綠地藍天-新加坡走向環境和水資源可持續發展之路，2013。
- 3.Singapore Public Utilities Board ANNUAL REPORT，2017/2018。
- 4.新加坡公用事業局Public Utilities Board，網站：<https://www.pub.gov.sg/>

作者簡介

游歡研先生

現職：臺北自來水事業處東區營業分處股長

專長：漏水管理、小區計量、高地供水

ISSN 1025-7683

