

# 自來水會刊第 35 卷第 1 期目錄



## 實務研究

- 改善沉澱池污泥翻揚之吸泥策略以直潭及新竹第一淨水場為例……………邱榮寬、楊義榮…… 1
- 自來水地理資訊系統躍升規劃—以北水處為例……………  
……………陳明州、廖介廷、時佳麟、黃騰宏、丁昱升…… 14

## 本期專題 供水管網及漏損控制

- 旗津區降低無收益水量試辦計畫之案例研究……………隋忠寰、郭家憲、張敬悅、蔡博淵…… 26
- 以中區管理小區—長期漏水管控之模式……………游叡研…… 33
- 口徑40mm以下C級表效益評估之研究—以臺北為例……………黃欽稜、蔡淑惠…… 40
- 台灣自來水管網漏水檢測技術現況與展望……………李丁來、林子立、盧烽銘、黃香蘭…… 48
- 從自來水重要幹管災損與維護資產風險管理探討……………鄭錦澤…… 57

## 一般論述

- 消防栓維護管理精進—運用雲端連結之策略規劃……………鄭志斌、沈政南…… 69

## 他山之石

- 丹麥降低無收益水量 (Non-Revenue Water) 經驗……………韓瑋…… 74

## 工作現場

- 修漏實務— $\phi$ 1750mmPSCP破管修漏實務探討……………陳銘琮、竺正平、謝張浩…… 82

## 感性園地

- 板新水廠規劃設計施工的回顧與檢討……………朱憲政…… 84

## 國際視窗

- 「你知道嗎？」—氣候變遷……………本刊編輯小組…… 86

## 協會與你

- 歡迎投稿 105年「每期專題」…………… 39
- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…………… 73

封面照片：台灣自來水公司提供

## 自來水會刊雜誌稿約

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

## 自來水會刊雜誌

發行單位：中華民國自來水協會

發行人：胡南澤

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電話：(02)25073832

傳真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

李丁來

委員

駱尚廉、葉宣顯、康世芳、王根樹、林財富、  
陳曼莉、范煥英、洪世政、莊東明

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總編輯：李丁來

執行主編：林正隆

編審委員

甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、  
梁德明

執行編輯：陳品如

電話：(04)22244191 轉 266

行政助理：古藜苓

印刷：松耀印刷企業有限公司

地址：台中市北區自強街 50 號

電話：(04)23607717

# 改善沉澱池污泥翻揚之吸泥策略 以直潭及新竹第一淨水場為例

文/邱榮寬、楊義榮

## 一、前言

自來水原水所含懸浮微粒形成濁度，與水中之色度、嗅度、微生物、無機物與有機物有密切相關性。無機物微粒主要為河川沖刷之砂土與黏土，粒徑大多在 0.1mm 以下，在中性水中其表面大多帶負電，而由於電斥力作用使得顆粒會穩定地懸浮水中；有機性微粒主要為動植物遺骸分解之產生物，以及水中浮游生物體、藻類等。沉澱是一種固體與液體分離的程序，藉由重力作用將水中懸浮的固體分離，為水處理工程中必備的處理程序<sup>(1)</sup>。

一般傳統淨水場之處理程序包括混凝沉澱、過濾與消毒等單元，每一段處理程序都會影響懸浮微粒、污染物、細菌、病毒等之去除效率。混凝沉澱可去除 95% 以上之懸浮固體，為後續的過濾與消毒單元提供操作安全之關鍵屏障。

然而在颱風暴雨或季節性大雨來臨時，原水濁度常超過 1000NTU。例如 97 年就有鳳凰、辛樂克、薔蜜等颱風入境，新店溪水源原水年平均高達 74NTU，但單以薔蜜颱風之瞬間最大濁度即達 10,500NTU。淨水場對高濁度原水之應變，潛藏著危機，因為雨量豐沛而密集常會造成水源集水區嚴重崩塌，極可能因為原水濁度瞬間飆升而造成淨水場減量供水或停水的困境。

以往沉澱池排泥多採刮泥機，將池底污泥刮至集泥坑，過程中污泥會產生擾動，且

集泥坑內污泥在泵出池外時，因漏斗效應難以順利完全排除污泥，此時必須藉助橫向水流或空氣攪拌以擾動污泥，此舉除降低污泥固體物含量外，亦產生污泥翻揚問題。為解決上述排泥發生的缺點，近年來業界推出吸泥機，以改善刮泥機在排泥時產生之問題。

本文先介紹國內淨水場之沉澱池所採用的各種排泥方式及其優缺點，以研擬最佳的排泥策略，並以直潭與新竹第一淨水場實際設置吸泥機之排泥成效驗證吸泥機比傳統刮泥機對淨水場之排泥具有明顯之改善效果，以及驗證吸泥時不會造成污泥被攪動使 SS 上揚之缺點。

## 二.沉澱池排泥方式比較與評估

### (一)排泥方式探討

目前國內各淨水場為解決沈澱池排泥問題，大多採人工清泥、手動排泥或連續排泥等三種方式。究竟此三種方式之差異性或優劣點何在，實需要深入加以探討，方能提供研訂最佳污泥排除方案的參考。

#### 1.人工清泥方式

採行人工清泥方式排泥，於沈澱池開始進行排泥時，該池需先停止進水，並將池體予以排空，惟至排水後期，池底殘存之污泥不易排出，所以需輔以人工進入池內以清水沖刷，以利將沈澱池內污泥清空，平均每一沈澱池自排水清空、人工清泥、恢復進水至開始出水，全程所需之時間依池體之容積大小及污泥量而定，一般約需 2 工作天。倘若

颱風接續來襲，污泥濃度將因膠羽顆粒壓密沈降而更加密實，其後伴隨而來的白濁水，內含細微懸浮高嶺土，須增加混凝藥劑劑量以致污泥黏稠性增加，則清理每一沈澱池約需 3 工作天。在正常狀況下，當沈澱池污泥累積高度達 1 公尺時，即須進行清理。

採行人工清泥方式除無法密集排泥以保持沈澱池淨空外，尚存在以下缺點：

- (1)當任一沈澱池停止進水以開始進行人工清泥時，其他仍處於淨水程序運轉中之沈澱池，在原水進流量維持不變的情況下，其水力負荷將相對增加而影響沈澱單元之效能，對於後續過濾單元之處理效能也會造成不利影響。
- (2)沈澱池清理期間，所排空之水量與清洗之用水量，將造成相當之水資源浪費。以直潭淨水場為例，每年約需清理沈澱池 160 次池，清理一池次之耗水量約 9,036 噸/池次，全年洗池共計 160 池次，共浪費約 1,445,769 噸水資源。
- (3)污泥長時間累積於池底可能發生厭氧腐敗上浮的現象，污泥老化可能影響出水品質。
- (4)遇原水長時期處於高濁度狀況下，受限於淤泥處理廠硬體設備容量不足，倘若沈澱污泥採人工批次清理，將超出淤泥處理廠之尖峰固體負荷，而限制過濾池反沖洗廢水排出，惡性循環的結果，更增加淨水操作之困難度。
- (5)依環保法令規定，當颱風大雨時，原水濁度超過 2,000NTU，淨水場得採緊急應變措施，將沉澱污泥直接排至承受水體。若沉澱池採用人工清泥方式，則淨水場在此非常時期無法採用緊急應變措施，勢必減量

操作，影響民生用水之供應，且增加污泥處理之容量。

## 2.手動排泥方式

手動排泥方式係利用沈澱池排泥設施，定期以人工操作方式開啟排泥閥，促使污泥自集泥坑之虹吸管排泥。

由於採手動排泥相當不便且耗費人力，再者排泥系統之管閥設備常因為老舊銹蝕，啟閉管閥不易，造成沈澱池排泥效果不好，故改採電動排泥系統，配合電磁閥定時啟動電動排泥閥設定時間進行排放污泥。

手動排泥方式改善為電動控制模式後，操作結果並不如預期，主要係因為：

- (1)沈澱池未設置刮泥機，無法有效將污泥刮集至沈澱池前端之集泥坑，只能局部排泥。
- (2)污泥累積於集泥坑內，經長時間壓密沈降後，經常於排泥數分鐘後，集泥坑形成漏斗效應，只能局限於虹吸管附近排泥，使得污泥無法持續抽出，或甚至發生虹吸管卡住泥塊而無法排泥，仍必須配合人工清泥。
- (3)當颱風暴雨時期原水濁度飆高而大量污泥產生時，排泥速度常緩不濟急。

## 3.連續排泥方式

無論任何型式之沈澱池，沈降於池底的污泥皆需定期排除，以保持出流水之澄清。不論採行人工清泥或手動排泥都只是治標方法，最終需裝設刮泥機以有效刮集污泥至集泥坑，並採行連續排泥方式以維持沈澱池淨空才是治本之道。其優點如下：

- (1)污泥定時排出，使沈澱池內較無蓄積污泥，可保持沈澱池處理能力，並增加對突發高濁度原水之因應。

- (2)使用連續排泥可大幅減少過去人工清泥之人事成本，且節省清泥期間所耗費的排空與清洗的用水量之費用。
- (3)當颱風大雨時，進流之原水濁度超過 2,000NTU 時，依環保法令規定，淨水場得採將沉澱污泥直接排至承受水體之緊急應變措施。若淨水場沉澱池採連續排泥方式，此時污泥無需排至廢水場進行濃縮與脫水，而是直接放流，以繼續維持淨水處理作業。

至於缺點如下：

- (1)刮泥機初設成本高。
- (2)刮泥機需支付操作及維護保養費用，其中操作費主要為驅動刮泥機之電費，維護保養費用主要包括潤滑油、耐磨條塊等之耗材及驅動鏈條、損壞元件之更換。
- (3)經常性的移動刮泥機及集泥坑須先擾動後再排泥均會造成污泥翻揚導致 SS 上昇。
- (4)污泥濃度低，廢水量較大。

## (二)最佳排泥策略之決策程序

排泥方式為沈澱池操作至為重要之策略，如何訂定最佳排泥策略？首先要決定採用何種方式排泥，其次為決定採用何種排泥設備，最後研訂標準作業程序。

- 1.決定排泥方式：關於沈澱污泥排除方式，於平常原水低濁度時期，不論採行人工清泥、手動排泥或連續排泥等方式，都不致構成淨水操作上的問題。但如何於颱風暴雨時期原水濁度飆高而大量污泥產生及使用中高濁度河川水為原水的淨水場時，快速排除沈澱污泥才是關鍵所在。雖然以機械式連續排泥所耗費初設成本較大，但卻是效率較高的排泥方式，且其操作維護成本不高<sup>(2)</sup>。

- 2.選擇最佳之排泥設備：矩形沉澱池之排泥設備具有多種形式，分別為刮泥機與吸泥機兩大類。前者較常用者有走橋式、往復式、鏈條式、單軌式等型式，原則上利用刮板刮集污泥至集泥坑，再利用泵浦將污泥由集泥坑中排出；後者係於刮泥時附帶吸泥功能，利用虹吸將池底污泥吸除，故無需設置集泥坑。因為各種排泥設備各有優劣，要選擇最佳之排泥設備，建議宜從下列各項因素：初設成本、機組功能、鏈條調整與更換、設備維護費用、機組牽引方式、刮泥時底泥受擾動導致翻揚、國內實績之使用績效等進行綜合評估。
- 3.研訂標準作業程序(SOP)：若經綜合評估決定最佳之排泥設備型式，為充份發揮排泥效率，則須訂定採購規範，並依水質特性訂定設備操作標準作業程序，以符合經濟效益。

## (三)如何提升排泥效率

### 1.沉降機制探討

在淨水場沉澱池原水處理操作實務上，原水與混凝劑經混凝、膠凝，懸浮粒子與混凝劑結合成較大之粒子，隨原水經整流板流入沉澱池內過程( $t=0$ )，即因重力開始沉降，此時顆粒沉降屬於混凝沉降兼具層沉降，顆粒間彼此有相同的相對位置，因為顆粒濃度較高，顆粒會影響沉降速度。在  $t=t_1$  時，污泥固體已沉降，污泥上方在一層澄清水。層沉降區域下方，顆粒濃度漸漸增加而造成大部分顆粒彼此間產生物理性接觸。此時之沉降現象，介於層沉降與壓密沉降之間，稱為過渡沉降(Transition settling)。於過渡層下方為壓密沉降區，所有顆粒彼此互相接觸並開始壓密。在  $t=t_2$  時，層沉降區消失，

所有顆粒之沉降屬於過渡沉降及壓密沉降。在  $t=t_3$  時，過渡沉降消失，所有顆粒沉降屬於壓密沉降。於  $t=t_4$  時，壓密沉降區之顆粒間更加緊密，污泥之固體濃度更高。圖 1 為利用有刻度之圓柱桶在不同時間點進行分批式之沉降試驗<sup>(3)</sup>。圖 2 為依據分批式沉降試驗結果做成沉降曲線。

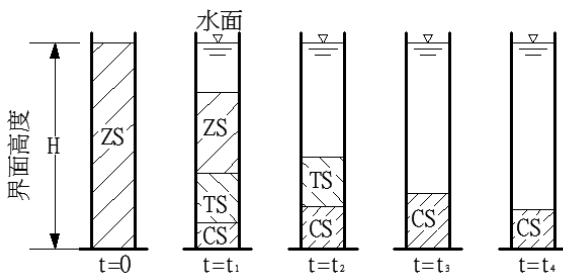


圖 1 利用圓柱桶進行污泥沉降試驗

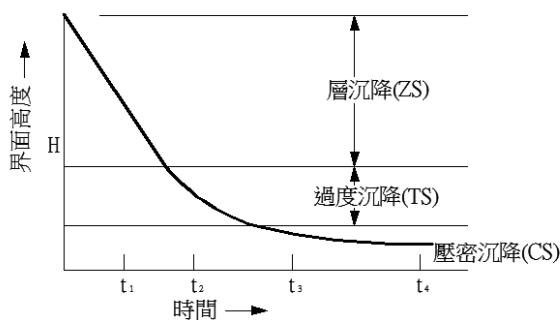


圖 2 污泥沉降曲線

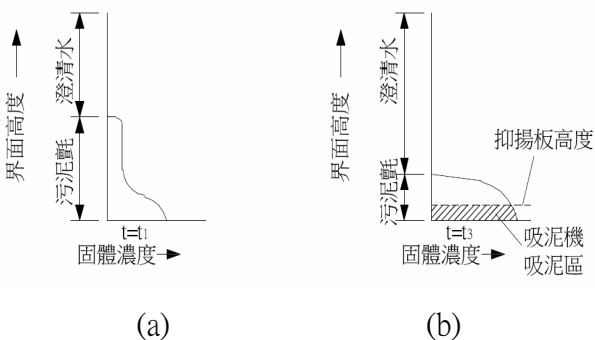


圖 3 污泥固體濃度與池深度之關係

淨水場採矩形沉澱池，進水端之沉降如

圖 1 之  $t=0$  層沉降混合凝沉，當  $t=t_1$  時，層沉降以下區域形成污泥氈，與澄清水間隔。此時污泥固體濃度與池深度之關係如圖 3(a)所示。當  $t=t_3$  時，壓密污泥之濃度將會增加，污泥界面高度降低如圖 3(b)，適合將池底壓密污泥直接排除。

### 5. 排泥效率提升

由於淨水場沉澱池收集至集泥坑之污泥須定期排放至廢水處理場，且廢水場仍須處理大量低濃度之快濾池廢水，因污泥之固體濃度與污泥容量呈反比，假如能提高污泥固體物濃度，則污泥容量將減少，因此可減輕廢水處理場之操作負荷。

一般利用刮泥機所收集之污泥，其固體濃度平均不超過 2%，假如能改善集泥效率，將固體濃度提升至 4%，則污泥容量可減少 50%，固體濃度提升至 6%，則污泥容量可減少 66.7%。

過去以刮泥板刮集污泥至集泥坑後以泵浦或虹吸排泥之排泥機制，基本上會有以下之缺點，以致其污泥濃度平均低於 2%<sup>(4)</sup>：

- (1) 污泥氈底層之壓密污泥因刮泥板之移動受到擾動，破壞其沉澱之平衡作用，導致固體濃度減低，部分懸浮微粒上浮，增加出水濁度。
- (2) 集泥坑內之污泥底層雖有壓密污泥，但在排泥時，僅短時間排出濃度較高之污泥，其後因有「漏斗效應」，即離排泥口較遠之污泥無法受力排出，致持續排放低濃度污泥。

為解決此一效應，工程設計上設置橫向水泵或曝氣管以擾動集泥坑壓密污泥，此舉導致集泥坑內固體濃度減低，以及出口端濁

度升高。

近年來，國內已有業者利用前述之沉澱理論，研發以吸泥機制，直接於沉澱池底吸除壓密之污泥，並為防止吸泥機移動時擾動污泥，設計抑揚板，以及 V 形刮泥板，使污泥能集中在吸泥口快速吸除。如圖 3(b)所示斜線吸泥區為吸泥機吸除之壓密污泥範圍。

### 三、實例一：直潭淨水場吸泥機實場測試與評估<sup>(5)</sup>

台北自來水事業處為尋求解決沉澱污泥排除問題之對策，自 99 年 1 月至 100 年 12 月進行「自來水廠淤泥處理最佳化之研究」，深入瞭解污泥對淨水操作的影響，並通盤檢討過去與現在的污泥處理模式，且參考比較同業關於刮泥設備應用現況，進行可行性分析，以作為規劃快速排除沈澱污泥之策略依據，始能對症下藥減少失敗機率。該研究包括如下：

- 蒐集近年水源水質資料及變化趨勢。
- 探討國內自來水同業污泥排除方式。
- 比較各種污泥排除方式之優劣性。
- 評估淨水場與污泥廠之操作效能。
- 評估現行污泥處理方式之妥適性。
- 探討其他污泥處理之改善方案。
- 實場試驗吸泥設備之功能及效益。
- 研訂污泥排除最佳化標準作業程序。

#### (一)淨水場弱點分析

##### 1.原水濁度之風險

新店溪水源的原水濁度於平時，濁度通常在 50NTU 以下，高濁度則都發生在颱風暴雨期間。整體而言，近年來原水濁度呈現逐年上升的趨勢，另檢視往年集水區原水尖峰濁度皆未超過 1,000 NTU 以上，但每逢颱風

或豪大雨期間，原水濁度則可遽增至 1,000 至 3,000 NTU，甚至超過 10,000 NTU 以上，對淨水場操作造成極為沈重的負擔。圖 4 為 89 年至 99 年間新店溪水源原水瞬間濁度趨勢。

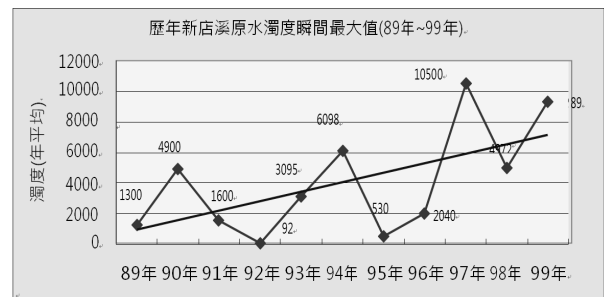


圖 4 89-99 年新店溪原水濁度瞬間最大值

當原水處於低濁度時期，一般淨水場在符合設計規範的條件下操作，淨水處理的能力實無庸置疑，一旦高濁度原水湧入淨水場，則隨之產生大量的污泥，能否快速而有效予以清除，則關係著淨水處理的成敗。例如民國 93 年蘭寧、艾莉、海馬及納坦等颱風連續侵襲北部地區，由於大漢溪上游帶入大量土砂，使原水濁度高達數萬度，造成桃園地區民生用水嚴重匱乏；另於民國 94 年也因為接續而來的海棠、馬莎、泰利、丹瑞、及龍王等颱風造成原水濁度急速飆高，以致板新、桃園及高雄等地區供水短絀，在在都顯示出高濁度原水所產生的大量污泥給淨水場及民生用水之供應帶來莫大的災害。

##### 2.淨水單元之風險

颱風暴雨期間，污泥累積速度極快，且颱風過後往往因為遞延效應致原水處於高濁度狀況下，大量土砂持續湧入淨水場，即使具有沈砂池設計的淨水場，若不能克服並解決沈澱池污泥大量累積問題，並持續快速

予以排除，則可能造成沈砂池功能失效之外，更可能導致淨水處理失敗而關場停水。故面對高原水濁度的問題，淨水場操作之主要困擾並非在反沖洗廢水的問題，而是極大量的土砂所造成淨水單元的負荷和後續污泥濃縮處理的困難。

新店溪水源高濁度原水皆發生在颱風侵襲期間，其後受到翡翠水庫接續進行排渾清淤作業影響，常造成原水濁度高居不下，結果除淨水設備須承受高負荷運轉外，上游大量沖刷砂土，加上高劑量淨水處理藥品的加注，所產生的污泥量亦相當可觀。以 93 年的艾莉颱風豪大雨為例，經由估算，期間總計產生乾污泥量約 22,465 噸，即佔 93 年全年度總量 30,833 噸之 72.9%；另由污泥厚度量測得知，7~9 月即累積高達 1.65 公尺，佔沈澱池有效操作深度 4.5 公尺之 36.7%，使得水平流速過快造成沈澱污泥嚴重翻揚。

超高濁度原水造成之風險歸納如下：

- (1) 水源水質日漸惡化，特別是原水濁度出現明顯逐年上升趨勢，嚴重考驗淨水場處理技術。
- (2) 淨水場若不能在颱風暴雨前加速清理沉澱池污泥，將削弱淨水場對高濁度原水之應變能力。
- (3) 超高濁度原水造成沉澱池效能不佳而大幅增加快濾池之負荷，導致濁度、病原菌穿透濾床，影響用戶飲水安全。

## (二) 刮吸泥機種類與型式

沈澱池形式一般常為矩形及圓形二種，其中以採用矩形沈澱池最為廣泛，依處理功能不同又分為水平流式、污泥接觸式及傾斜板(管)式三種。不論何種形式之沈澱

池，為有效排除淨水處理過程中所產生的污泥，則非依靠刮泥機不可。就以往刮泥機運用於自來水同業的經驗，其成效並不理想。

### 1. 刮泥機型式探討

刮泥機具有多種型式，較常用之刮泥機有走橋式、鏈條式、往復式及單軌式等型式，不過走橋式刮泥機因消耗動力較大，且無法應用於設有傾斜管/板之沈澱池，所以較少為淨水場所用。至於鏈條式刮泥機依鏈條之材質又可區分為金屬與非金屬二種，由於淨水場沈澱池內所產生之污泥為較重之無機污泥，因此常採用金屬鏈條以提供較強大之拉力。

目前自來水同業所運用的刮吸泥機型式種類相當多樣：(1) 北水處所屬 5 座淨水場僅雙溪淨水場於 100 及 102 年試辦裝設 3 套軌道式吸泥機；(2) 台水公司於 95 年統計所屬淨水場沈澱池裝設刮泥機採行連續排泥方式者，計 27 座淨水場，其中屬往復式者有 17 場，屬鏈條式者 8 場，其他型式 2 場。所有 27 座淨水場中處理能量大於 20 萬 CMD 之淨水場共有 11 場，其中往復式 5 場，鏈條式 5 場及懸臂式 1 場(表 1)。

### 2. 新進吸泥機型式

裝設軌道式吸泥機之淨水廠計有寶山、新竹第一、直潭、潭頂等 4 場，共計 37 套。目前尚國內無套管式吸泥機之實績。

## (三) 刮吸泥機實績評估與實物現場測試

### 1. 實績評估

北水處早期曾於公館、直潭淨水場採用鏈條式刮泥機，雙溪淨水場採用往復式刮泥機進行排泥。惟分別或因故障率偏高維修不易且維修成本偏高，或因操作擾動底泥引起



澄清水濁度大幅提高，以致效果不彰，已全數拆除改採人工清理方式排泥，未來計畫逐步採用連續排泥方式。台水公司過去亦有多場設置各型刮泥機，使用上均有正負評價，部分刮泥機因效果不佳，或有停用或淘汰之經驗。推究設備損壞率高或使用不順原因如下：

表 1 台水公司設置刮泥機現況

區處	淨水場名稱	設計能量 (萬 CMD)	刮泥機型式		
			往復式	鏈條式	懸臂式
1	新山	20	■		
2	大滴	30		■	
2	平鎮	60	■		
4	豐原一場	20	■		
4	豐原二場	60		■	
4	鯉魚潭一場	50		■	
4	鯉魚潭二場	60	■		
5	林內	20		■	
6	烏山頭	24		■	
7	拷潭	23	■		
7	小坪	80			■
合計			5	5	1

#### (1)北水處應用實績

a.鏈條式刮泥機常因刮泥機驅動元件及刮板等之材質強度、保護及監控設施不足因應原水濁度突然增高的狀況。由於淨水場沈澱池內所產生之膠凝污泥屬無機污泥，其單位重量較高，假如鏈輪及鏈條等驅動元件及刮泥板材質沒有足夠強度以推動污泥，造成刮板斷裂、刮板偏斜或鏈條鬆脫斷裂等零組件故障；此外，以淨水處理而言，當進流原水之濁度遽然升高時，常於短時間內伴隨有大量之污泥沈澱於池底，若污泥量過大而超出刮泥機之設計條件

時，常因強制操作導致刮泥機易於損壞。

b.往復式刮泥機因操作擾動底泥引起澄清水濁度大幅提高影響出水品質，另因沈澱池所產生之膠凝污泥為較重之無機污泥，刮泥效率不佳。目前均已拆除停用。在原水濁度稍高情況下，瞬間累積過多，常令刮板無法往復推動污泥，導致系統過負荷而故障。

#### (2)台水公司應用實績

a.鏈條式刮泥機使用在豐原、鯉魚潭及林內等淨水場均能順利運轉，且對沈澱池淤泥之排除具有正面之效益，特別是豐原及林內二淨水場，均能因應原水濁度達 3,000 NTU 時之狀況。

b.往復式刮泥機使用在新山、平鎮及拷潭等淨水場，因在原水高濁度或濁度變化懸殊之淨水場操作實績並不理想；另使用在寶山淨水場第二期沈澱池也因故障率高、容易漏油、約 30cm 積泥即無法操作、維修費高等缺點，現均已故障停用。故台水公司行文其各淨水場往後不再將採用油壓往復式刮泥機而將逐步予以淘汰。

c.軌道式吸泥機使用在寶山及新竹第一淨水場之實績。

(a)寶山淨水場第一期淨水設備沈澱池計 6 大池(12 小池)。於 95 年 12 月 4 日新裝設完成 12 部吸泥機，每日操作一趟 30 分鐘即可排除當天產生的沈澱污泥。

(b)新竹第一淨水場沈澱池計 4 大池(8 小池)，每大池原先設置 2 部鏈條式刮泥機及 1 部吸泥泵(7.5HP)，吸泥量達每小時 250m<sup>3</sup>，4 大池輪流以刮泥機排泥，常導致廢水池常處於滿水位，且刮泥機鏈條常

斷裂，功能不彰，故於 97 年 5 月辦理更新，全部改設置為軌道式吸泥機。目前各處理單元運作正常，且污泥量大幅減少，廢水池水位均維持正常操作。定期每兩週巡查進行設備檢點，各池操作迄今未發現有異常狀況。詳情如實例 2 所述。

## 2. 實物現場測試

由於刮泥機在國內推廣使用較久，故有甚多實績之使用經驗與紀錄可供功能評估，但吸泥機在國內使用期間較短，各場原水濁度與含砂量不同，尚難以認定是否可完全適用於北水處，為確認其效用，業者同意無償安裝一套試驗機組進行實場測試。

實場試驗係擇定直潭淨水場第一期第 8 號沈澱池進行。為測試「軌道式吸泥機」是否能夠達到快速排除污泥的效果，分別就一般操作及特殊操作進行試驗。一般操作係設定刮泥機每日工作頻率進行自動續排泥，觀察污泥排除效果，適用於平常穩定下原水濁度之操作；特殊操作係於沈澱污泥累積到一定高度後，再啟動刮泥機，觀察能否順利排除高濁度所產生大量污泥，亦即適用於高濁度原水形成大量污泥時之操作。

### (1) 安裝機組

原沈澱池既有土建結構劃分 4 區塊，其中 1 區塊為試驗區，1 套含 3 組稀泥台車之吸泥機(圖 5)，98 年 8 月 12 日開始安裝，98 年 8 月 28 日安裝完成(圖 6)並開始進行實場試驗。

### (2) 機組功能測試

#### a. 一般操作測試

吸泥機組安裝完成並啟動試俾後，進行功能測試，觀察吸泥機自動排泥效果。

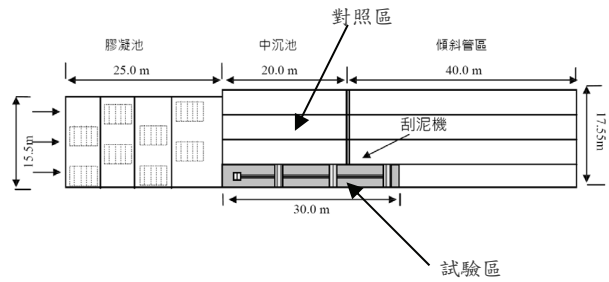


圖 5 試驗機組安裝位置



圖 6 吸泥機安裝完成

北側未安裝吸泥機為對照區，以既設排泥管重力排泥之方式操作，屬人工清泥範圍，南側安裝吸泥機為試驗區。吸泥機組操作設定為自動模式，工作時間為 20 分鐘/次，工作頻率為 1 次/8 小時。

98 年 8 月 30 日~98 年 10 月 4 日，測試期間計 35 天，日平均原水濁度為 41.7NTU，吸泥機組運作良好，沈澱池污泥順利排除。經量測結果，對照區污泥層平均高度為 0.79m，最大高度 1.15m(圖 7)，試驗區污泥層經常維持在平均高度為 0.05m(圖 8)。

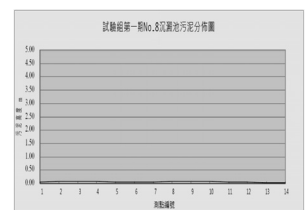
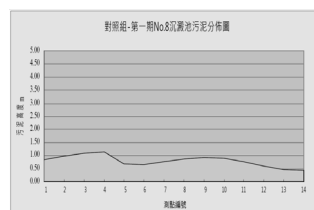


圖 7 對照區累積污泥 圖 8 試驗區累積污泥



b.特殊操作測試

為測試該吸泥機於颱風暴雨期間，能否順利排除高濁度所產生大量污泥，先暫時停用吸泥機，然後試驗區與對照區同時進行污泥累積。

98 年 11 月 11 日~11 月 25 日，污泥累積期間總計 14 天，日平均原水濁度 34.7NTU，經量測結果，污泥層平均高度為 0.67m，最大高度 0.97m(圖 9)。經啟動吸泥機操作後，污泥完全排除(圖 10)。

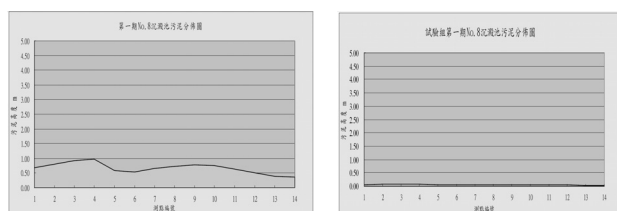


圖 9、圖 10 試驗區累積污泥-排泥前後

98 年 12 月 4 日進行累積污泥排除試驗，因污泥厚實且阻力極大，故採半自動往復漸進式抽泥，歷經 2 小時，將累積污泥層完全排除。試驗結果顯示，該機組應可在高濁度污泥驟增時順利排泥。

(3)污泥沈降試驗

為評估吸泥機之吸泥效率，觀察量測沈澱池累積污泥達 30cm 時，啟動吸泥機組並自污泥渠每 5 分鐘採集污泥樣本 1 支，共計 8 之樣本進行污泥沈降試驗，其污泥濃度如表 2。

吸泥機抽出之污泥濃度平均 3.7%，高出一般鏈條式刮泥機抽出之污泥濃度(僅約 2%)。污泥沈降性良好，而且全部樣品經 8 小時沈降後，污泥界面皆能達到穩定，污泥體積平均濃縮至 40.5%。

(4)測試結果

表 2 污泥濃度試驗紀錄表

樣品	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	混合
SS (mg/L)	1,570	42,500	91,000	94,600	85,300	45,900	7,210	4,520	37,000
污泥濃度 (%)	0.2%	4.3%	9.1%	9.5%	8.2%	4.6%	0.7%	0.5%	3.7%

試驗機組經實場測試運轉結果如下：

- a.吸泥機組安裝試車至今，依據不同原水濁度設定操作頻率，可隨時保持沈澱池淨空狀態。
- b.為測試吸泥機於高濁度時之排泥功能，採厚層污泥(1.04m)進行模擬操作，結果顯示機組於高濁度高泥層狀態下能於 2 小時內順利排除污泥。
- c.吸泥機組移動時，有抑揚板防止污泥擾動，未發生沈澱底層污泥翻揚現象。
- d.吸泥機組在污泥氈下吸泥，故抽出之污泥濃度經化驗結果，可達 3.7%以上，與一般鏈條式刮泥機抽出之污泥濃度(僅約 2%)比較，吸泥效率較佳且可有效降低污泥量 46%。
- e.吸泥機組自 98 年 9 月起測試運轉逾 2 年期間，並未發生軌道左右拉力偏差而脫軌情形。
- f.颱風暴雨期間污泥量驟增時，可採往復漸進之操作方式排除污泥，無需停機清泥。
- g.試驗期間經歷 98 年芭瑪、99 年凡那比及 100 年南瑪都等颱風操作均正常穩定，尤其凡那比颱風原水尖峰濁度達 9,289NTU，污泥均能快速去除。

(四)刮吸泥機綜合評比

藉各淨水場採用各種刮吸泥機之使用實績評估與實地現場測試結果，就功能性及實用性較佳的鏈條式刮泥機、單軌式刮泥機、套管式吸泥機及軌道式吸泥機等 4 種型式比較分析如表 3。

- 1.初設成本：鏈條式刮泥機最高，單軌式刮泥機及套管式吸泥機次之，軌道式吸泥機則最低。
- 2.機組功能：單軌式刮泥機、套管式吸泥機及軌道式吸泥機優於鏈條式刮泥機，其中僅軌道式吸泥機兼具刮/吸泥功能。
- 3.鏈條重整：鏈條式刮泥機、單軌式刮泥機及軌道式吸泥機使用金屬鏈條，需要額外支出鏈條重整及更換費用。
- 4.設備維護：套管式吸泥機及單軌式刮泥機均屬國外技術，進口零組件搭配國內材料製造，造價比較高，且將來維修時恐有零組件供應不及之問題。
- 5.牽引方式：套管式及軌道式吸泥機機組皆以直線方式移動，機組兩側都設有導輪或壁輪，移動穩定性較高，不易造成機組偏斜或脫軌。
- 6.底泥擾動：鏈條式刮泥板上下循環移動，容易造成底泥擾動，單軌式刮泥機、套管式吸泥機及軌道式吸泥機係貼近池底板移動，不易造成底泥擾動。
- 7.污泥翻揚：鏈條式刮泥機、單軌式刮泥機及套管式吸泥機無防止污泥翻揚之設計，原水濁度飆升或污泥快速累積時，容易造成污泥翻揚，軌道式吸泥機設有抑揚板，配合 V 型刮泥板，可避免機組移動時造成污泥翻揚。
- 8.國內實績：鏈條式刮泥機在國內採用之廣泛性較高，單軌式刮泥機則有經濟部中區

水資源局設計採用，軌道式吸泥機則有台北市公司新竹第一淨水場及寶山淨水場設置，套管式吸泥機在國內則尚無實績。

表 3 刮吸泥機綜合性評比表

項目	鏈條式刮泥機	單軌式刮泥機	套管式吸泥機	軌道式吸泥機
刮泥功能	■	■		■
吸泥功能			■	■
初設成本	1200 萬 (4m×60m×4)	600 萬 (8m×60m×2)	600 萬 (8m×60m×2)	500 萬 (8m×60m×2)
操作費用	高	中	低	低
維護費用	低	高	高	低
故障率	高	中	低	低
耗電量	高	中	低	低
牽引方式	以二條金屬鏈條牽引機組，容易造成刮泥板偏斜	以單條金屬鏈條牽引機組，刮板高度與材質強度較高，左右受力不均時，較不易造成偏斜	以鋼纜牽引機組，兩側設有導輪，不易造成吸泥管偏斜	以金屬鏈條牽引機組，兩側設有導輪，不易造成刮泥板偏斜
刮泥板	有刮泥板	有刮泥板	無刮泥板，但設有鬆泥板，具提升吸泥效率的效果	設有 V 型刮泥板，具刮泥吸泥效率的效果
底泥擾動	刮泥板上下循環移動，容易造成底泥擾動	刮板高度較高，不易產生刮板高度外之擾動	平移式吸泥，且吸泥口貼近池底板，底泥擾動輕微	平移式吸泥，且吸泥口近池底板，底泥擾動輕微
污泥翻揚	無防止污泥翻揚之設計	無防止污泥翻揚之設計	無防止污泥翻揚之設計	有抑揚板，避免污泥翻揚
國內實績	■	■		■
綜合評價	普通	普通	良好	優良

資料來源：北水處，自來水廠淤泥處理最佳化之研究，2011 年 P. 84

#### 四、實例二：新竹第一淨水場沉澱池廢水排放量改善計畫

##### (一)設備與測試概況

新竹一場之沉澱池共有 4 大池，操作容量約 80,000CMD，每大池 39.1mL ×12mW ×4.6mH，每大池以矮牆隔成 2 座小池，共計

8 小池。每大池原設 2 部鏈條式刮泥機及 1 部 7.5Hp 吸泥泵，吸泥量為 250m<sup>3</sup>/hr，每日排泥量約 4,000-6,000m<sup>3</sup>，因牽引鏈條常斷裂，功能不彰，故於 97 年 5 月經公開招標將鏈條式刮泥機汰換為軌道式吸泥機，原先進水端污泥擾動管(俗稱蜈蚣腳)及 7.5Hp 抽泥泵維持現狀。

該場之原水水源為頭前溪截流水，濁度較高且易受氣候變化影響，操作技術較水庫水源之淨水場難度高。

由於廢水處理設備容量有限，汰換吸泥機後，計畫改變過去操作方式，以降低廢水量，且調整過程中不得造成池底污泥翻揚影響出流水濁度，測試期間為 101 年 2 月 17 日至 3 月 3 日，並根據測試結果提出吸泥機操作 SOP。

## (二)廢水減量測試

### 1.廢水量概況

經過去量測統計，平均每日原水量為 76,489m<sup>3</sup>，產生之廢水有 2 股來源，一股為沉澱池廢水平均每日 3,543m<sup>3</sup>，另一股為快濾池廢水平均每日為 1,519m<sup>3</sup>，合計每日廢水量為 5,062 m<sup>3</sup>。又沉澱池廢水包括 2 股來源，其一為 7.5Hp 蜈蚣腳抽泥泵，每日平均為 651 m<sup>3</sup>，另一股為吸泥機廢水，目前每 2 小時操作 1 次(每次為 28 分鐘)。

### 2.測試方法

本計畫預定由 2hr/次的操作週期，每次增加 2 小時至 12hr/次，並測量各週期產生之吸泥量。由於 7.5Hp 抽泥泵與快濾池之操作條件並未改變，本計畫擬在不影響出水濁度條件下，僅利用增加吸泥機之操作週期，以

降低總廢水量。

### 3.測試結果

測試結果如表 4。過去吸泥機以 2hr/次操作，其廢水量為 2,892m<sup>3</sup>，加上 7.5Hp 泵 651m<sup>3</sup> 及快濾池廢水 1,519m<sup>3</sup>，每日共排出 5,062m<sup>3</sup>。

如操作週期增加到 12hr/次，則吸泥機廢水量僅 482m<sup>3</sup>，減少為 2,410 m<sup>3</sup>，減量 83%。而總廢水量由 5,062 m<sup>3</sup>降低至 2,652 m<sup>3</sup>減少 2,410 m<sup>3</sup>，減量 47.6%。

表 4 調整吸泥機操作週期降低總廢水量

操作週期 (h/次)	沉澱池廢水量 m <sup>3</sup> /天			快濾池廢水量 m <sup>3</sup> /天	總廢水量 m <sup>3</sup> /天
	吸泥機	7.5Hp 泵	合計		
2	2892	651	3543	1519	5062
4	1446		2097		3616
6	964		1615		3134
8	723		1374		2893
10	578		1229		2748
12	482		1133		2652

## (三)調整吸泥機操作週期對沉澱池出水濁度之影響：

### 1.測試概述

本計畫以第 4 池為試驗池，進行 2、4、6、8、10、12hr/次操作週期的調整。其餘 3 池為對照池，均維持 2hr/次之操作週期。

### 2.測試結果

表 5 為延長操作週期對沉澱池出水濁度影響之結果。由新竹一場之原水濁度紀錄表得知測試 7 日當天之最高及最低濁度(如表

左欄)，平常原水濁度約分佈在 15-150NTU 之間，但偶而會有瞬間升高之現象，例如 101 年 2 月 24 日頭前溪上游暴雨，導致進水濁度高達 1,256NTU。觀察比對對照池與試驗池出水濁度之數據，得到以下之測試結果：

- (1)由對照池與試驗池出水濁度變化比較，顯示在不同原水濁度條件下，適當改變操作週期並不影響出水水質，且吸泥機移動過程不會造成污泥翻揚影響出水品質，即使在原水濁度高達 1,256NTU 時，亦不須減量進水操作。
- (2)試驗池出水濁度優於對照池約 0.5-2.5NTU，表示延長操作週期有助於沉降效果，理論推測操作週期較長，形成較厚之污泥毯有利於 SS 沉降。
- (3)24 日當天原水濁度高達 1,256NTU，對照池出水濁度分佈在 2.17-7.30NTU，而試驗池則為 1.77-5.23NTU，表示試驗池以 10hr/次操作週期具有較高之污泥毯，有利於吸附超高濁度原水之 SS，故其沉降效果較對照池佳，且因高污泥毯時池底污泥有壓密作用，故吸出之污泥固體濃度高達 81,730mg/L。
- (4)出水濁度之良窳，於原水濁度在 1,200NTU 以下，與原水特性、加藥量、沉澱池刮吸泥機之設置條件有關。
- (5)本測試結果驗證逐步調整操作週期 2-12hr/次，吸泥機於吸泥過程中不會翻揚污泥，且有利於出水水質的改善，並可將目前廢水量由 2,892CMD，降至 482CMD，減量 83%。
- (6)因操作週期由 2hr/次調整為 12hr/次，則吸泥機之耗電量每天由 219kwh 降為

37kwh，亦即節能 83%，每月約可節省 24,625 元之電費。

表 5 改變吸泥機之操作週期對沉澱池出水濁度之影響

日期	原水濁度 最低-最高	沉澱池出水濁度(NTU)					
		對照池			試驗池		
		週期	1 池	2 池	3 池	週期	4 池
2/17	19.5-98.3	2	2.67-4.71	3.31-5.45	出水 閘門 維修	2	2.07-3.25
2/20	17.2-32.5	2	2.45-5.39	3.23-6.50		4	2.27-4.97
2/21	18.4-41.9	2	2.11-4.52	2.70-6.11		6	1.70-4.00
2/22	21.8-34.3	2	2.11-5.57	2.68-7.86		6	1.65-4.99
2/23	24.4-160	2	2.10-4.84	2.74-6.65		8	1.71-4.46
2/24	40.8-1256	2	2.17-6.16	2.66-7.30		10	1.77-5.23
3/3	28.6-98.9	2	2.07-2.82	2.73-5.37	1.35-2.34	12	1.51-2.54

#### (四)吸泥機操作之 SOP

新竹一場吸泥機之移動速度可由變頻器調節，在高濁度時可將移動速度調降，以降低牽引鏈條面對污泥之阻力。依不同原水濁度累積之污泥量與本計畫測試結果，計算其操作模式如表 6。

表 6 新竹一場吸泥機之操作模式

原水濁度 NTU <sup>a</sup>	污泥溼體積 <sup>a</sup> m <sup>3</sup> /d <sup>a</sup>	移動速度 <sup>a</sup> m/min <sup>a</sup>	每次抽泥量 <sup>a</sup> m <sup>3</sup> /次 <sup>a</sup>	操作頻率 <sup>a</sup> 次/d <sup>a</sup>	操作週期 <sup>a</sup> 小時/次 <sup>a</sup>
30 <sup>a</sup>	24.0 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>	0.80 (1) <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>
50 <sup>a</sup>	25.0 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>	0.83 (1) <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>
100 <sup>a</sup>	26.9 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>	0.90 (1) <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>
500 <sup>a</sup>	54.5 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>	1.82 (2) <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>
1000 <sup>a</sup>	68.6 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>	2.29 (3) <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
1500 <sup>a</sup>	86.1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>	2.87 (3) <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
2000 <sup>a</sup>	99.1 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	1.98 (2) <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>
2500 <sup>a</sup>	109.8 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	2.20 (3) <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
3000 <sup>a</sup>	118.9 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	2.38 (3) <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
4000 <sup>a</sup>	157.5 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	3.15 (4) <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>
5000 <sup>a</sup>	196.6 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	3.93 (4) <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>

新竹一場之原水濁度在 100NTU 以下之機率為 88%，在此條件下，每日僅操作一次吸泥機即可獲得高固體含量之廢水。原水濁度超過 100NTU，依操作模式於控制盤內之 PLC 面板上設定操作條件，屆時吸泥機即自

動進行吸泥作業。

## 五、結語

近年來，國內河川及水庫之地表水受到集水區周遭環境濫墾或不當開發影響，使得水源水質日漸惡化，而強降雨常伴隨發生土石流，大幅增加水源水質與水量的不穩定性，尤其颱風來襲時之暴雨強度日愈增大，造成土石流及地表水沖刷，使得原水濁度大幅飆升，大量土砂及懸浮固體瞬間湧入淨水場，導致淨水處理程序產生大量污泥嚴重影響淨水場之操作。

雖然行政院環保署為使淨水場於上述超高濁度下仍能供應自來水，規定在颱風暴雨期間原水濁度超過 2,000NTU 時，得將污泥直接排入水體做為特殊狀況下的緊急應變措施，然而這必須建立在沈澱池設有排泥設備及廢污水繞流管線系統的前提下，否則只是徒具形式。概因若無排泥設備，大量污泥仍將持續累積於沈澱池底無法排除，必須降載操作，甚至嚴重到整場停工清泥。當今大多數淨水場仍採用人工清泥方式，面對日愈惡化的原水濁度，應審慎評估改善沉澱池之污泥排放策略。

參考比較過去各淨水場採用各種刮吸泥機之使用時機的優缺點與現況，並對吸泥機進行實場安裝與測試，進行綜合性之評估驗證獲致結果。由於吸泥機貼近沉澱池底移動，可直接吸取抑揚板底下之壓密污泥，減少污泥量，降低廢水處理場之操作負荷，且刮泥時不會造成污泥翻揚。淨水場若裝設吸泥設備取代人工清泥方式排除沉澱池污泥，則除了可以節省人工清泥費用及人工清泥耗水量外，最大效益在於颱風暴雨期大量

沉澱污泥，不再需經由污泥處理程序直接排放，可節省相當金額的污泥處理費用，且可持續供應民生用水。

## 參考文獻

1. 姜佳伶，淨水廠沉澱及過濾單元濁度去除及其衍生廢污量之研究，中央大學碩士論文，2007年10月。
2. 張晉，水處理工程與設計，鼎茂出版，1999年3月。
3. Tom D. Reynolds 原著，李孫榮等譯，環工單元操作，高立出版，1998年7月。
4. 郭琮貴，原水濁度變化對高速膠凝平板式污泥毯澄清池處理效能影響之探討，中央大學碩士論文，2006年7月。
5. 臺北自來水事業處，自來水廠淤泥處理最佳化之研究，臺北市政府100年度自行研究報告，2011年12月。
6. 山亞環境，新竹第一淨水場沉澱池廢水排放量改善測試報告，101年3月。

## 作者簡介

### 邱榮寬先生

現職：山亞環境科技股份有限公司董事長

專長：水處理工程與設備製造、污水廠操作實務

### 楊義榮先生

現職：永坦企業有限公司技師

專長：環境保護、水處理工程、化工機械設計



# 自來水地理資訊系統躍升規劃—以北水處為例

文/陳明州、廖介廷、時佳麟、黃騰宏、丁昱升

## 摘要

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)近十餘年來，建置管線資料庫、開發相關地理資訊及業務應用系統，以支援業務發展之需求。GIS 系統之開發以自來水管線、閘栓設備管理為導向，建立自來水管線資訊管理系統，形成管網 e 化架構。

惟隨著時代發展，面臨資訊技術及應用層面與時俱進，既有系統已逐漸不符需求，遂成立「供水管網圖面管理運用發展」專案，冀望以現有組織及資訊發展趨勢為藍本，重新擬定未來整體資訊服務架構，並持續納入新技術新思維，以雲端技術、GIS 倉儲及跨平臺之概念為核心，擴大 GIS 整體服務效益。

經整體規劃考量，後續發展整合應採用 Web 統一平台，新系統架構以 SSO(Single Sign On)整合，圖資圖台部分由原先之 Bentley PowerMap 升級為 Microstation V8i，進行應用程式介面及功能模組之調整修改，並依 GIS 及水理分析應用格式重訂圖資數化建置規範，修正及建置既有管線設備資料，以改善圖資存取速度，提昇圖台整體運作效能，支援決策分析應用。

關鍵字：供水管網圖資、自來水圖資管理系統、GIS 發展規劃

## 一、緣起

北水處服務大臺北地區近 400 萬用戶供水，矢志提供質優量足的自來水資源。鑒此，自民國 88 年著手建置管線資料庫及建

立自來水管線資訊管理系統，形成管網 e 化架構。

惟因北水處因應不同業務流程應用，發展之自來水管線資訊管理系統功能眾多，系統架構複雜，開發語言迥異，並依附於多種使用元件。且於不同時期委由多家廠商進行應用系統開發，難以整體規劃考量。但資訊技術及應用層面與時俱進，舊有系統已面臨進階智慧水網應用之瓶頸及衝擊，包括跨裝置行動應用以掌握即時及綜合性資訊、圖資系統效能及供應、雲端應用服務及防救災決策支援等。

在面臨資料共享、地理資訊倉儲、雲端服務、即時便民、管網監控、業務與資訊整合、防災決策等不同課題上，需要借重外界專家學者或顧問團隊之專業技術，故成立「供水管網圖面管理運用發展」專案(以下簡稱本專案)，以自來水管線資訊管理系統(GIS)為主，並將涉及 MIS 及 SCADA 跨系統流程及資料內容一併納入規劃，以北水處組織架構及資訊現況為藍本，擬定未來整體資訊服務架構，擴大 GIS 多元應用及整合服務，使外部及內部顧客感到滿意，成就世界一流的自來水事業。

## 二、專案規劃工作項目及目標

### (一)專案規劃工作項目：

#### 1.系統診斷階段

(1)系統調查：包含「基本圖」、「資料庫」、「系統平台」、「系統服務架構」、「建置/維護圖資數化」、「跨系統流程」及「資料完整性」



等課題。

(2)系統瓶頸分析。

2.整合架構規劃階段

(1)整合架構規劃:提出整合架構規劃(三層式整合架構),並進行系統架構分析及技術可行性分析,作業項目包含「圖資供應服務規劃」、「資產管理規劃」、「供水管網即時監控」、「管汰計畫及計量區管理」、「防災應變對策管理」、「Data mining 規劃」等主題。

(2)系統整合方案:提出現有系統及軟硬體如何整合至新架構,並以供水管網即時監控角度,提出軟硬體整合規劃建議。另提出雲端系統方式處理相關資訊規劃,於不同裝置平台皆能即時呈現相同資訊,且可供管理單位、工程單位、客服中心、監控中心即時查詢及示警。

3.未來發展規劃階段

(1)未來發展規劃:就整合架構提出未來發展規劃,作業項目包含「未來整體發展架構」、「系統發展配置」、「擴充及階段性發展建議」、「各子系統資料產出及功能描述說明」。

(2)訂定中程計畫:訂定未來 4~5 年管網資訊中程計畫。

(二)專案目標:

- 1.以資訊工程手法,解決自來水管線資訊管理系統(GIS)未來發展面臨之瓶頸。
- 2.提出與自來水圖面有關之跨系統資訊流程診斷及建議。
- 3.以智慧型水網為藍圖,就不同規劃主題,規劃供水管網圖面運用發展之跨系統資訊服務建議,發揮資訊整體戰力。

4.擬定未來 4~5 年整體資訊服務架構,作為持續推動「管網資訊中程計畫」之指導原則。

5.本專案執行時程共分五個階段,專案流程如圖 1 所示。

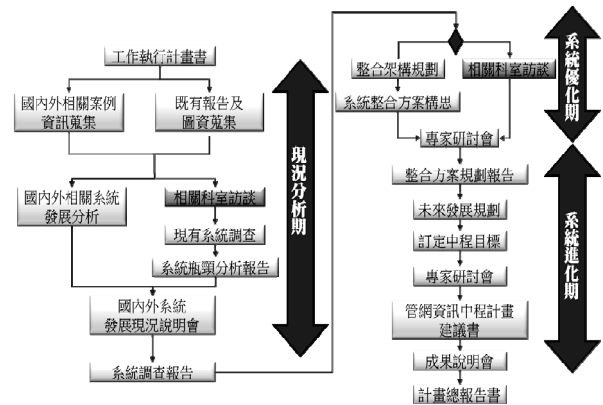


圖 1 專案工作執行流程圖

6.專案規劃期間,除針對北水處既有系統現況及需求,研議未來發展方向,另為免閉門造車,並聘請業界專家學者於工作會議及各階段報告審查會議協助審視提供建議。另為廣泛了解業界發展及新知,以作為北水處發展之借鏡,並先後舉辦 2 次專家研討會,邀請專家學者進行專題介紹:

- (1)第 1 次:專題介紹包含「APP 之應用」及「管線空間資訊之決策支援應用」。
- (2)第 2 次:專題介紹包含「TGOS 展望」、「GIS 軟體發展及趨勢」、「Open Source 的發展與應用(以 QGIS 為例)」及「水理分析軟體(以 EPANET、WaterGEMS 為例)」。

三、系統診斷

(一)國內外系統發展現況

透過調查瞭解國內外相關 GIS 系統之建置管理經驗並相互比較,有助於發掘北水處供水管網資料整合應用之瓶頸,進而謀求解

決對策。經由掌握最新資訊科技相關技術，有助於系統環境統合升級。茲就所調查之國內外相關系統應用特色說明如下：

#### 1. 臺北市雨水下水道地理資訊系統

(1) 地圖服務最佳化：混合採用快取圖磚及動態地圖模式，兼顧圖面繪製速度及資料即時更新需求。

(2) 網路介接多項主題底圖：善用臺北市政府內部多項主題地圖，以網路介接方式取得圖資，達成圖資維護權責明確且最具即時性的優勢。

#### 2. 新北市污水下水道營運管理系統

(1) 行動化 APP 作業：執行線上查閱、案件通報及圖資編輯等應用。

(2) 建構資料更新機制：編撰資料建置規範文件，提供施工廠商據以辦理竣工資料建檔。

#### 3. 台灣自來水公司相關系統應用

(1) 圖資查詢系統：區分為一般民眾及內部查詢。

(2) 工務系統轉檔功能：提供簡易介面進行空間資訊轉出功能，可輸出各類交換格式。

#### 4. 東京都水道局

該局地理資訊系統—Mapping System 於 1991 年 9 月正式上線運作。隨著電腦科技進步，Mapping System 不斷採用最新技術進化，從 Unix 大型主機/終端機、Unix Platform Client/Server、Windows Platform Client/Server，到最新的 Web 版本的 Mapping System，讓 GIS 系統更廣泛使用。

#### 5. 上海市自來水市北有限公司

(1) GIS 桌面應用系統：採用 Client/Server 設計，背後為 ArcSDE 空間資料庫，提供該

公司各級業務部門及下屬供水管理所進行設施管理、管網分析及輔助決策等功能，並可接收 SCADA 監控系統及 PERMALOG 漏水監測系統資料進行分析。

(2) GIS/GPS 戶外巡查系統：採用 Mobile/Server 設計，提供外業抄表員及工程人員檢索供水管網圖資並更新資訊，將資訊作業向現場延伸。

(3) WebGIS 系統：該公司「自來水管網綜合管理 WEBGIS 系統」採用 ArcGIS Server 技術開發，透過全新的圖面快取技術，已將大量業務管理功能移至瀏覽器上。

#### 6. 首爾市水道局

(1) 產品管理系統：此系統建構科學化的客戶需求預測模型，演算因子包含即時天氣預報、當日訊息（如水位等）及歷史的供水模式等，其目標以節省生產自來水產品之成本為考量。

(2) 遠端操控系統：收集及分析設備操作站及淨水廠之整合資訊，並結合 CCTV 設備，可作為優化取水相關作業之決策支援資訊來源。

(3) 供水控制系統：主要包含即時水質、水量及水壓顯示模組，可監控意外事件(如漏水事件)的發生情形，本系統以 GIS 為運作平台。

(4) 行動化應用：用戶可透過 QR Code，提報故障的生飲點，並對訂閱資訊的市民，提供賬單及停水公告等主動提醒服務。

#### (二) 既有系統調查

系統調查流程包含資料蒐集及訪談作業，需求調查的作業步驟與方法如圖 2：

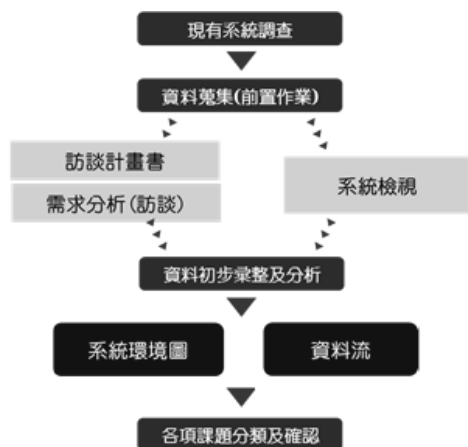


圖 2 系統調查流程圖



圖 3 需求訪談作業步驟流程圖

### 1. 相關資料蒐集

規劃前所需整理收集的資料包括管理業務職掌手冊、現有地理資料項目清單、現有相關系統操作手冊、現有地理資訊商用軟體(GIS Software)清單等。

經過對整體業務進行初步瞭解，可對系統之功能需求與資料需求進行正確的分析，並提出建議方案。

### 2. 需求訪談作業方式

業務需求調查係針對現有資訊使用及交流單位進行訪談，以取得各單位聯繫窗口進行系統建置現況與需求調查，內容如下：

- (1) 各單位的地理資訊建置現況及資料產出情形。
  - (2) 各單位地理資訊建置發展的課題及需求。
3. 需求的訪談作業步驟如下(圖 3)：

- (1) 訪談內容應包含訪談時間、單位、目的等。
- (2) 以面對面訪談為主，並視需要輔以書面調查。
- (3) 彙整訪談結果後，如有疑問將再以電話聯絡詢問，彙整訪談單位之系統使用及後續需求等相關內容。

### (三) 需求分析

分析作業將依據前幾個步驟的成果，以「基本圖課題」、「資料庫課題」、「系統平台課題」、「系統服務架構課題」、「建置/維護圖資數化課題」、「跨系統流程課題」、「資料完整性課題」等分類整理，提出系統分析說明如下：

#### 1. 基本圖課題

基本圖課題指供水管網圖面管理時，所需非業務主管範疇所需圖資，例如地形圖、航照圖、門牌地址位置等，目前使用瓶頸說明如下：

##### (1) 基本圖與現況的時間差

臺北市地形圖以兩年一輪的方式進行修測，新北市後續也會與臺北市的週期相近，因此地形圖與現地的最大差異為 2 年。惟都市不斷輪動變換，故對北水處而言，取得最新的地形圖及簡易的街廓變動註記是應用之重點，可利用圖塊的遮罩後，以簡易方式編修分戶線及巷道位置即可。

##### (2) 基本圖資的來源

地理資訊發展近期重視的課題是資料的分享，而地理圖資圖磚的發展及雲端應用

提供基本圖來源的廣度，未來北水處應與雙北市地理倉儲系統及 TGOS 建立圖資介接服務，以獲取最新、最正確之資料。

### (3)圖資間的空間重疊

常見地形圖與現有管線套疊後，發生管線與地物間重疊的不合理性。目前北水處管線圖係採與地形圖相對位置繪製，建議日後管網施工時，需有詳細的管線測量資料，以減少無法判斷管線真實位置的狀況。

## 2.資料庫課題

北水處資料庫主要分為 SQL 資料庫及 DGN 圖檔，資料瓶頸分析如下：

### (1)以 DGN 紀錄管線訊息

北水處現使用 MicroStation 之 CAD 圖檔方式，常會有「等待圖檔下載」、「跨圖幅的編修整合」、「跨圖幅的文字註記安排」、「圖檔編修的時序安排」、「新圖檔的抽換」等作業瓶頸。

### (2)DGN 轉換為 GIS 資料的應用

北水處 WebGIS 使用之管線資料，係每日排程由系統自動拋轉 DGN 的管線資料到 SQL Spatial 資料庫內。惟仍有下列的問題：

- 圖元仍依 CAD 方式截分，導致圖元數目增加。
- Non-Simple Geometry 問題：於 CAD 繪圖中如果採用複合式元件，或是成交疊、空值等圖元，會造成無法在符合 OGC 規範之資料庫存取。

### (3)圖層與屬性的限制

因為 GIS 對圖層的分類原則以相似或同一功能分析者分為同一圖層為原則，建議圖層設計應修正區隔使用中、廢棄留存及拆除圖層，只有「使用中」者提供查詢，其他則

建置於參考圖層，在管理及系統展示上較為有利，並可以增加日後 GIS 顯示速度。

### (4)SQL 的表單檢視

目前因有多種 GIS 及工管系統，故現存多個資料庫及相關表單(Tables)，惟歷經多個團隊開發，以致在資料庫設計書內並無詳細說明，甚無索引鍵及資料庫說明。建議在系統重整時進行下列考量。

- 建立完整資料庫設計文件，說明各索引鍵值及名稱同值化，並有資料輸出輸入說明。
- 檢視各資料合併及消除，如果系統有修正或功能消除，該資料項應同時刪除。

## 3.系統平台課題

北水處發展相關系統已有時日，多以 Client/Server 架構開發，圖資的繪製採用 MicroStation 及 VISIO CAD 編修； WebGIS 圖台採用 Mapguide Open Source 免費軟體，空間資料庫採用 SQL Spatial，因此系統平台的瓶頸就是多系統的使用，造成使用者及系統維護者的困難。

## 4.系統服務架構課題

北水處的發展源自圖資管理需求，並進行相關系統開發，這樣的思維是以計畫為導向的開發方式，圖 4 為現有系統服務架構示意圖。

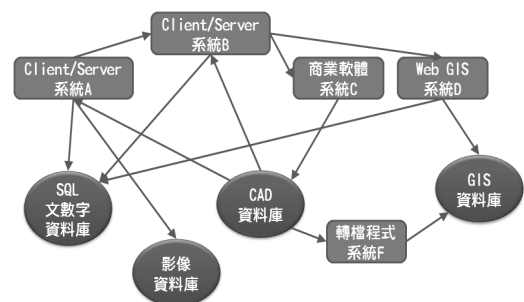


圖 4 現有系統服務架構示意圖



依據 GIS 以地圖服務為導向的發展趨勢，新的圖資系統架構，應避免僅由 Client/Server 架構轉為 Web 平台，而應全方位的整合到單一圖層環境為考量。

圖 5 是虛擬的未來服務架構圖，強調的是簡化環境及簡化資料庫，降低異質資料間的衝突及資料轉換，並且從外界引入 SOA 服務。

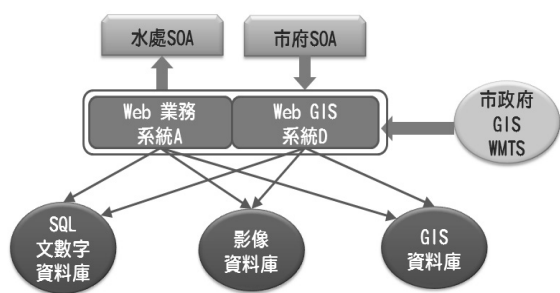


圖 5 簡化後服務系統架構示意圖

#### 5.建置/維護圖資數化課題

目前圖資數化作業流程係監工現場手繪草圖(管件圖及平面圖)，後續竣工圖繪製係利用 VisioCAD 繪製，並依圖面的示意性，以 MicroStation 再繪製 DGN 圖檔，並每日定期排程轉置到 GIS 資料庫。

整體而言，如何減少監工人員負荷，使管線施工廠商也可以參與圖資繪製，以減少 VISIO 繪製的圖資回饋到有坐標的圖面時產生之空間誤差，是降低瓶頸的關鍵。

#### 6.跨系統流程課題

由於現有系統是採多次開發完成，而且各階段引用的技術、資料形態及業管單位均不同，為避免碰觸原有系統的運作及穩定性，最簡單的方法就是遠端呼叫或以暫存檔方式傳遞資料或資料互拋。如此，則易產生資料庫同步機制及流程、暫存檔檢核、異質資料庫比對及傳送失敗面臨資訊失真的風

險。

#### 7.資料完整性課題

北水處自來水管線資訊管理系統歷經多年之發展，經檢視分析工程管理系統整體架構，尚有一些項目待檢討改進，其中較為重要項目如下：

- (1)較無整體規劃：現有各工程管理系統多為解決特定業務而開發，缺乏整體工程管理流程規劃及資料庫剖析，且未充份具有架構上的彈性。
- (2)操作流程及界面繁瑣：為辦理某類工程案件，往往需在數種管理系統間進行功能切換。
- (3)跨系統流程及異質資料庫：此為 GIS 及 MIS 存在之問題，係屬資料庫同步及一致性的課題。
- (4)不同平台：同時具備 Client-Server 及 Web 架構，系統擴充能力受限。

綜上，系統內整合及 GIS、MIS、SCADA 系統間之整合，實為後續系統發展之關鍵議題。

### 四、整合架構規劃及方案

#### (一)整合架構規劃

##### 1.圖資供應規劃

##### (1)需要那些對外圖資及圖資格式的選擇

未來需要單位外的圖資非常多元及多時序，如地形圖、航照影像、都市計畫圖、通用版電子地圖、臺北市歷史圖資、門牌地址查詢定位服務及地籍查詢定位服務等。

隨著需求進階及圖資來源變多，建議將資料的來源及圖台，往 GIS 的方向推近，索取及介接的圖資格式，應以符合國家坐標系統之名稱命名為 1997 臺灣大地基準

(TWD97) 的向量檔、圖磚服務及門牌 API 服務。

## (2)現有 GIS 圖層及圖元

北水處現有管線圖資均以 CAD-Based 架構 DGN 格式儲放，以 GIS 發展歷程而言，CAD 圖資轉換為 GIS 資料是必然的過程，除圖元區分為點、線、面外，再適當以圖層方式分割不同性質物件是必要的。故未來應將「未使用」及「用途獨立」區隔出來，則可以節省圖層內圖元數量，對系統存取及展示效能有幫助。

## (3)配合水理分析的 GIS 資料架構

在管線資料格式上，應以符合 Networking 的拓樸關係建立，以符水理分析應用。

## (4)資料分層原則

供水管線應為供水管網系統最主要的圖層，資料的完整性、圖元切割及圖幅切割等議題都需仔細考量，可將現有管線設備圖層依範圍及用途再分類。

## (5)圖元重製與歸納

考量現有管線資料精簡 Networking 模式，建議將用戶管線另存檔案，以減少管線節點數量。圖面節簡也需將管線節點適當調整，對圖元重新整理及歸納，並可同時將 3D 管線所需的深度數化註記。

## 2.資產管理規劃

### (1)GIS 在資產管理的目的

對監工人員而言，在竣工或修漏完成時，如果可以同時完成財產登錄及施工數量核算，對第一線工作人員應可減輕許多負擔。

### (2)資產管理系統的加值應用

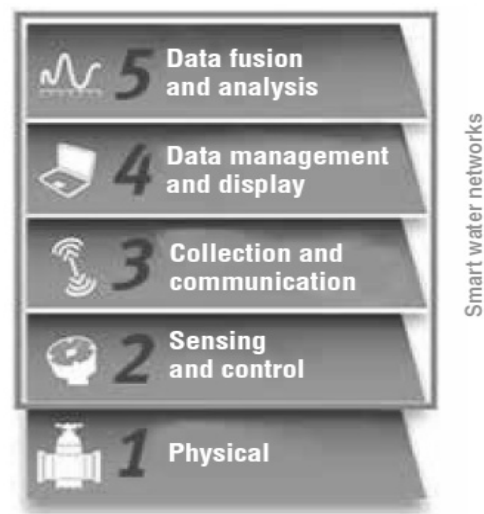
資產管理系統如能結合 GIS 系統，將資

產管理的範疇提昇到空間特性，對於資產的維護、時程管控、路線安排及空間展示方式，可開闢許多更經濟性的作為。

## 3.供水管網即時監控

### (1)Smart Water Network(SWN)的發展趨勢

在全球暖化及極端氣候的影響下，水的應用要更有效率及經濟性，以美國自來水工作協會的研究為例，SWN 可分為 5 個層次，如圖 6 所示。



Source: SWAN Forum, [www.swan-forum.com](http://www.swan-forum.com)

SWN—smart water network

圖 6 Smart Water Network 的 5 個層次

北水處現有 SCADA 監控中心，第 1~3 層都有初步成果，但監測流量及壓力點數量及分佈上應該仍有擴充的空間。

SWN 的第 4 層訊息在北水處監控中心已有圖控軟體進行處理，但資料量體過大，系統先行提供監測點 1 個月內的壓力或流量值，若需要長時間的監測值則需另行處理；第 5 層的資料融合與分析則是提供分析使用，故如何在現有系統中提供介面供各單位擷取資料是迫切需要的。

### (2)與空間位置之整合

GIS 圖台系統上應能顯示管網即時流量及水壓訊息，如設有警示壓力或流量值時，可以立即顯示不同顏色或警告視窗。進階的功能設計，應能滿足監控中心需求，如加壓站停電時影響範圍，及壓力評估調配等。

#### 4. 管汰計畫及計量區管理

##### (1) 管汰與計量區管理發展需求

現有小區的空間資訊以不同格式零散存放，缺乏整合圖像管理系統，仍需查閱成果報告書。另管網改善工作需要大量的分析作業，有些分析模式應可發展為系統化模組。於 DMA 長期管理時，重新計算售水率的變化趨勢及追蹤該地區新的漏水原因，則可利用 GIS 空間統計分析能力。

管汰與計量區管理需跨 GIS、MIS、SCADA，利用海量數據的計算及挖掘分析，才能支援決策。

#### 2. 水理分析軟體與 GIS 發展現況

北水處現以美國環境保護署 EPA 所發佈之 EPANET 為水理分析工具，可以結合有 network-modeling 功能的 GIS 或 CAD 軟體，目前網路上有各種第三方軟體提供 GIS 轉 EPANET 輸入格式 INP，也可以將 EPANET 結果與 GIS 強大的功能結合。

#### 防災應變課題

##### (1) GIS 應用的層面

- 資料蒐集及加值整合：透過不同裝置介面蒐集各項災情資料及套疊各項主題圖資，以進行資料庫的整合及加值運用。
- 應用推廣：將防災應用系統融入 SOP，擴大防救災資料的使用價值。

##### (2) 災害潛勢分析及早期預警

災害潛勢可從水源區域或淹水潛勢等相關圖資獲得，早期預警部分，水庫、取水、

供水、淨水等監測即時資料，及外單位之河川水位、雨量資料等，均能進行空間套疊分析，以充份的圖資資料分析並判斷災害可能的範圍。

##### (3) 救災應變

為掌握災害各類情資，應從各單位業務範圍加以探討救災應變 GIS 應有之作為。

#### 6. 資料採礦課題

##### (1) 北水處的礦區

北水處可採礦分析資料的類別初估如下：

- SCADA 資料：水質監測數據、水量監測數據、水壓監測數據等。
- 業務資料：水表水費、客服資料、物料、財產資料、工程及工安資料、修漏及爆管、水質污染等。
- 外部資料：如大臺北地層圖層資料、人口分布、歷史淹水資料等。

##### (2) 決策支援

資料採礦可視為知識發掘的步驟，從上述的海量資料(Big Data)分析其關聯性或趨勢等，以獲得統計資料並預測可能發生之事件。

#### 7. 管線三維應用課題

##### (1) 三維展示的發展

三維建模的應用領域很廣泛(圖 7 為國外應用案例)，在地下管線的用途如下：

- 避免管線衝突及重覆。
- 同時看到地面與地下的相對關係。
- 尋找新管線合宜的位置。
- 可以迅速找到管線問題位置。
- 建物結構及公用管線銜接評估。
- 立體空間容積計算。



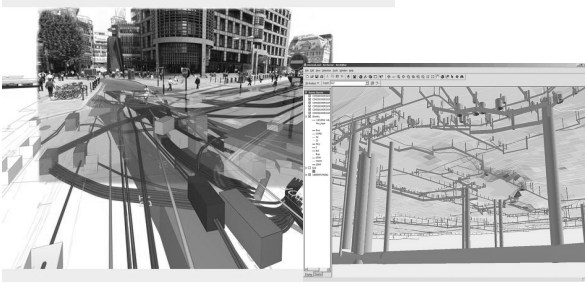


圖 7 外三維管線應用案例

(2)北水處二維與三維的應用

二維管線若轉換為三維實體建置，所需人力及建模費用將是高額支出。另一個方法是將二維管線依管徑先給予合理的高程，並針對管線相交及銜接處調整高度後，可產生圖 8 三維展示方式，也可與其他重要設施及正射影像或都市建物模型合併展示(如圖 9)。

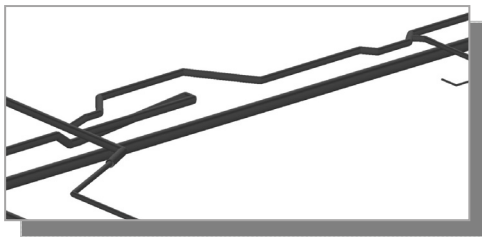


圖 8 水處管線 3D 模型

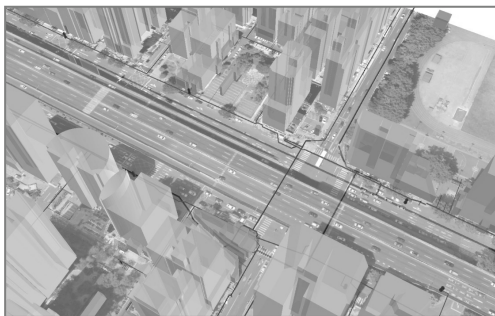


圖 9 處管線與建物 3D 模型

(二)系統整合方案

1.系統應用發展現況

北水處目前系統及數化發展應用現況如表 1 說明。

後續發展整合應採用 Web 統一平台，新系統架構以 SSO(Single Sign On)整合，並以權

限控管業務使用功能。圖資層部分，考量市府授權的 Microstation 版本，建議以 V8 取代 V7。另建議改以 DGN 繪製竣工圖，並以「數化及資料建置規範」之圖層內容重新撰寫 DGN 轉 GIS 程式，以維持 GIS 資料庫為最新及正確之資料。

表 1 既有系統現況表

應用層	圖資管理系統 (EDM)	平臺類別	Web (104年完成)	
		優點	竣工圖管理完備	
		問題	精度及正確率應再精進;需制定數化規範	
	設備管理系統	瓶頸(或風險)	承包費變動為系統最大之風險	
		平臺類別	Client-Server (Microstation V7)	
		優點	目前約200套授權(後續為市府統一授權)	
	工程管理系統	問題	圖料為檔案格式非圖料庫格式	
		瓶頸(或風險)	轉圖料庫時有風險;轉換速度慢;不支援二次採演算	
		平臺類別	Web及Client-Server	
	圖資層	數化	優點	符合分處作業程序
			問題	部分功能需強制性,各分處使用程度不同
			瓶頸(或風險)	商業流程引導功能(單一業務入口),增加人員更替之作業時化風險
產出圖面		實體圖	數化方式	人工繪製
			數化介面	Microstation V7
			竣工圖繪製	Visio
		電子圖檔	粘厚控制	參考地形圖相關位置
			優點	數化速度較快,使用Visio門檻較低
			問題	無實測之坐標資料;Visio無空間屬性
		管理系統	圖控下	竣工圖
			圖控下	圖控下
			圖控下	圖控下
優點	圖控下	圖控下		
	圖控下	圖控下		
	圖控下	圖控下		
問題	圖控下	圖控下		
	圖控下	圖控下		
	圖控下	圖控下		

2.整合方案

(1)系統調整或整合面的需求

建議建置新系統時，採現行及新系統雙軌並行制，在系統未能完全取代前，由承包商將異動資料逐日變更；在實施上，也逐營業分處變動，使各分處與廠商可以有充份能力檢討資料正確性及熟悉系統。

經研議考量既有 GIS 之運作方式及投資、使用者需求、外界接軌及後續高階運用等面向，未來系統整合方案，可依某個時點進行資料停滯，開發 Web 版，再向上及向下進行系統開發及修正作業，系統轉換時再將異動期資料補正，如圖 10 所示。

(2)系統移轉作業

由於系統開發需要進行壓力測試及作業調整，建議選擇一個營業分處或行政區作為資料及系統測試，在確認符合需求後，再進行全區資料轉換作業。



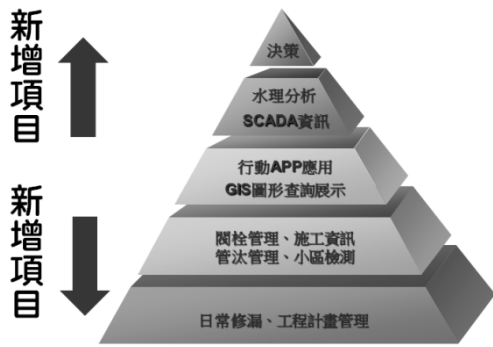


圖 10 未來系統整合方案示意圖

(3)資料移轉作業

管網資料需由現有資料進行轉換、縮減及疑慮清除，作業項目包括圖檔轉換、不必要圖元刪除及修改、圖層重新分配、圖元重組等。

作業期間所有異動及更新仍以舊系統為主，在完成資料轉製後，再將轉換期間之異動新資料修正後替換。

五、未來發展規劃

(一)系統未來整體架構功能建議

經綜合各單位之意見，建議系統功能架構如圖 11，包含「圖層模組」、「GIS 操作模組」、「圖資管理子系統(EDMS)」、「工程管理子系統(PTMS & EIMS & CIMS)」、「防災應變子系統」、「行動化子系統」、「決策支援子系統」等。



圖 11 新系統功能架構

系統建置發展的前置作業應為訂定完善的數化及資料建置規範，並以此規劃、整理既有之資料庫。資料整理之重點說明如下：

1.圖層、圖元及屬性：訂定數化、資料格式規範及製圖原則，內容應包含如下：

- (1)數化作業(含 GIS 資料維護流程)：包括數化平台、方法、格式、時間管制、轉匯 GIS 資料庫等。
- (2)品質檢核：包含精度及數量、數化廠商自我檢核、分處監工及主管檢核、圖資單位檢核等。
- (3)測量作業：包含測量方法、測量、精度、項目、竣工圖作業(製圖原則)、製圖格式、圖例說明、檢核機制等。
- (4)GIS 圖層：包含圖層說明、圖元說明、詮釋資料等。
- (5)資料表說明：包含資料表名稱、資料格式等。

2.精度及高程：可利用工務局及都發局現有之資料，輔以歷史竣工圖資訊做精度及高程之調整。

3.資料品質：各分處檢核資料合理性，不足部分以測量作業補足。

4.維護與編修：數化(及竣工圖製作)作業配合規範之調整及設計「DGN 轉 GIS 程式」。另因應數化流程之修訂，亦應設計符合數化作業方式之「數化平台及模組」，以完善數化作業。

依據「數化及資料建置規範」整理一完整 GIS 資料庫後，再向上及向下進行系統開發及修正作業，系統轉換時再將異動期資料補正。

## (二)各子系統資料產出及功能描述說明

### 1.圖層模組

(1)外部圖層介接(WMS、WMTS)：包含 TGOS、雙北市 GIS 倉儲、臺北市政府新工處挖掘施工圖資、公私地圖層等。

(2)內部圖層介接(WebService)：包含 SCADA 監測值(至少 5 年資料)、流量計、監控點、生飲點、水表、財產、修漏資料、施工資料(歷史及目前)等。

(3)業務圖層：包含管線圖層及竣工圖資等。

2.GIS 操作模組：包含 GIS 操作、環域分析、圖檔列印、圖檔供應、圖檔匯入、3D 檢視等。

3.圖資管理子系統：包含圖資查詢、圖資建置及歷史圖資整理等。

4.工程管理子系統：包含設備管理系統、WEB 化既有之工程管理系統、整合用水設備管理相關功能等。

### 5.防災應變子系統

(1)防災應變功能：包含事件登錄及分析、爆管應變、緊急公告及水質水量預警功能等。

(2)水壩潰壩影響空間範圍功能：由專責單位提供影響範圍 GIS 格式，由 WebGIS 圖套疊分析。

(3)水質污染影響範圍追蹤功能：專業水理軟體分析後之成果套疊。

(4)水源區水情預測子系統：針對北勢溪與南勢溪範圍，進行即時水情決策系統之規劃與建置。

(5)相關圖資套疊：災害潛勢及防災等。

6.行動化子系統：包含施工 APP、客服報修 APP、防災應變 APP、營運 APP、水質普查

APP、內線檢驗 APP 等。

### 7.決策支援子系統：

(1)小區計量管理：包含小區範圍查詢統計、小區供水量及水費查詢、小區售水率查詢、流量計顯示查詢等。

(2)資產管理：包含資產資料查詢及列印、資產資料分析、設備風險指標、可靠度評估及維修策略等。

(3)監測資訊(SCADA)：包含水位、水量、水壓、水質歷史監測值查詢、統計分析(空間分布及屬性)、預警值設定等。

(4)斷水方案：包含關閥後影響之空間範圍、戶數統計及輸出、停水公告等。

(5)其他統計分析及巨量資料分析：包含用水預測值、工程施工現況圖及歷史資料查詢分析、營運指標、服務指標、管汰計畫歷史資料查詢分析等。

## (三)效益分析

以「圖資層」、「應用層」及「決策層」等層面，分析新系統建置後預期之效益如圖 12 說明。

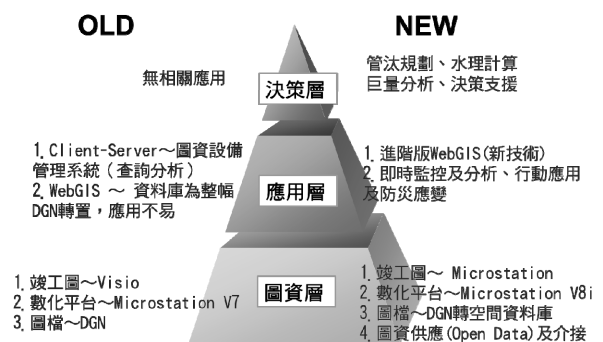


圖 12 新系統效益說明

## 六、結論與建議

綜上所述，未來整體架構既已依需求規劃，後續系統之開發，因應供水管網與公共

工程建設、民生需求結合之趨勢，應朝向整合性服務為導向。以北水處主導臺北都會區供水系統建置、維運與管理之角色而言，在配合各業務需求完成多項業務管理系統開發後，如何彙整至應用整合平臺上，提供市府首長、路權主管單位，或相關管線事業單位整合資訊服務，是未來系統擴充時是否能延伸應用的關鍵。

後續系統推動作業，為確保如期如質達成擬訂之策略及目標，應成立跨科室之推動小組，並由高階長官主導協調，分工執行本專案訂定之上位計畫。藉由調查既有系統與資料庫，分析業務狀況後，釐清未來的施行策略，作為持續性分年計畫執行依據，並藉由成果示範、試辦作業與推廣培訓，達成績效評核的目的。並應持續納入新技術新思維，以雲端技術、GIS 倉儲及跨平臺之概念為核心，擴大 GIS 整體服務效益。

## 參考文獻

1. 廖介廷、朱健行，「管線數值系統建置與應用之研究」，臺北自來水事業處，臺北市政府92年度員工平時自行研究報告，2003年。
2. 王銘水、時佳麟、姚榮昇、劉人嘉、蔡淑惠、許以旻，「自來水管線基礎圖資整合建置之最佳化研究」，臺北自來水事業處，臺北市政府94年度員工平時自行研究報告，2005年。
3. 時佳麟、李峰杰、姚榮昇、蔡淑惠、劉人嘉，「臺北自來水事業處管網E化現況與未來發展」，臺北自來水事業處，2006年臺灣水利產業研討會。
4. 陳錦祥、鄭錦澤、姚榮昇、張瑛興，「公共管線圖資維護制度探討 - 以臺北自來水事業處維護制度為例」，國土資訊系統通訊第64期，2007年。
5. 鄭錦澤、劉人嘉，「臺北地區自來水管線資訊建置維護管理及整合運用探討」，自來水季刊，2009年。
6. 鄭錦澤、曹真、劉人嘉、丁昱升，「精進圖資數化委外之發展與管理」，臺北自來水事業處，臺北市政府102年度員工平時自行研究報告，2013年。
7. 網站資料：國土資訊系統資料倉儲及網路服務平台(TGOS)網站-服務簡介，「國土資訊系統資料倉儲及網路服務平台之定位及使用效益」，內政部資訊中心。

## 作者簡介

### 陳明州先生

現職：臺北自來水事業處副處長

專長：自來水管網規劃、供水調配、水壓管理

### 廖介廷先生

現職：臺北自來水事業處技術科科長

專長：自來水工程規劃、地理資訊系統

### 時佳麟先生

現職：臺北自來水事業處技術科一級工程師

專長：自來水工程品管、管線數值系統

### 黃騰宏先生

現職：臺北自來水事業處技術科股長

專長：自來水工程設計、工程管理系統

### 丁昱升先生

現職：臺北自來水事業處技術科三級工程師

專長：自來水工程施工、圖資建置維護管理

# 旗津區降低無收益水量試辦計畫之案例研究

文/隋忠寰、郭家憲、張敬悅、蔡博淵

## 摘要

丹麥在過去 20 年間對水資源保育等方面成果卓著，在嚴格的政策法規體系下，促成許多水資源科技開發，並在漏水檢測與管理等方面發展出整合性的專業技術，使該國 2013 年無收益水量(Non-revenue water, NRW) 僅為 8.29%。台水公司為加速降低漏水率成效，積極引進國外先進降低漏水技術及設備，本文以「旗津區降低無收益水量(NRW) 試辦計畫」為例，分享台丹合作經驗及成果。

關鍵詞：主動檢漏、分區管網、水力分析

## 一、前言

丹麥是少數將能源政策朝向綠色國度「State of Green」的國家之一，過去 20 年間該國對水資源保育等方面成果卓著，在嚴格的政策法規體系下，促成許多水資源科技開發，亦使民眾普遍建立水資源保護之觀念；此外，基於使用者付費觀念下，丹麥水價每立方公尺約新台幣 325 元（約近台灣水價的 30 倍，其中 218 元為污水處理費，107 元為自來水水費），在高水價政策支持下，以確保有充裕的人力物力保護水資源。該國 2013 年總用水量平均值為 63.1 立方公尺/人/年（約是台灣 1/2），由此可見，提高環保意識與調節水價等方式可大幅度降低用水量。另外，丹麥政府針對漏水率超過 10% 的自來水事業課以重稅，以有效管理當地自來水事業之供水效能，故該國各自來水事業相當重視降低漏水的問題，在歷經多年產、官、學、研持續合作，丹麥在漏水檢測與管理等方面

面，發展出整合性的專業技術，使該國 2013 年無收益水量(NRW)僅為 8.29%，位居世界領先國家之一（詳圖 1）。

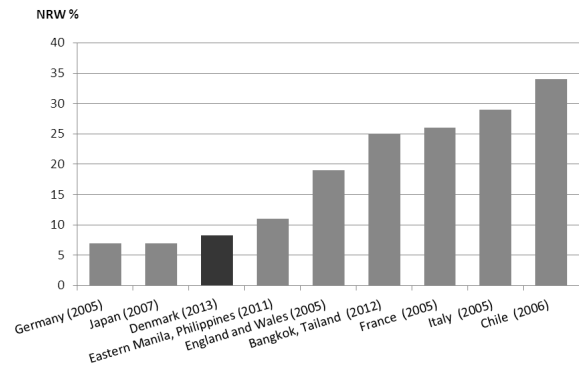


圖 1 世界各國無收益水量(NRW)概況

台水公司自 93 年起大規模投入預算，辦理多項降低漏水率計畫，為引進國外先進降低漏水技術及設備，積極尋求國際合作機會，在我行政院環保署與丹麥商務辦事處的協助下，丹麥政府與台水公司共同出資，雙方就漏水整治與供水效率提升方面研議合作方案，並由 Rambøll、DHI、Leif Koch 等公司組成丹麥專業團隊共同執行；鑑於 103 年春節期間在高雄市旗津老街一帶發生破管導致多戶停水事件（詳圖 2），為改善旗津區管網狀況及供水穩定，台丹雙方決定以旗津區為試辦區域，於 103 年 9 月至 103 年 12 月進行試辦計畫。

## 二、旗津區降低無收益水量試辦計畫

### (一)旗津現況：

旗津區供水來自鳳山給水廠，通過過港隧道 600mm 送水管進入島區，該送水管亦為旗津區之唯一供水幹管，依據水量與水壓監

測站之即時監測數據顯示，103 年 10、11 月平均供水量約為 12,537 CMD，由抄表數據紀錄顯示對應之平均售水量為 6,852 CMD，售水率約為 54.66%（其中普通民生用水佔總用水比例最高，約為 56.09%，其次為機關用水，約為 22.25%），而旗津區無收益水量約為 5,685 CMD，約占供水總量 45.34%。



圖 2 旗津破管事件



圖 3 旗津區之 DMA 初步規劃

## (二)旗津分區計量管網初步規劃：

丹麥團隊依據現有的管網資料及水力分析結果，初步規劃旗津區分區計量管網，共劃分為 2 個中區及 5 個小區(詳圖 3)，並提

供該區域水壓管理模式之具體建議。

## (三)旗津檢漏作業：

### 1.丹麥檢漏作業流程

本次合作丹麥團隊在旗津示範小區展示主動檢漏作業流程及示蹤氣體檢漏等先進技術，台水公司亦指派約 46 位檢漏人員（共分為 6 組）參與此次教育訓練與實地檢漏作業。丹麥團隊檢測漏作業流程大致可區分如下：

(1)漏水定域：在 DMA 分區初步檢漏判斷是否存在漏水

丹麥自來水事業每月定期利用流量、水壓監測資料來界定各分區計量管網 (DMAs) 是否存在不明破管或是累積暗漏，並對 DMA 定期進行初步檢漏作業，以有效減少漏水案件及漏水量，透過頻繁的檢漏可減少管線修復所需的時間週期，亦可有效減少漏水量。在 DMA 區域導入初步檢漏作業能使漏水量維持在一個較低的水平。檢漏人員可輕易在下次檢漏週期判斷是否執行進階檢漏作業或是持續進行初步檢漏，因此，初步檢漏作業將隨著 DMA 的建置持續進行。

(2)漏水定位：縮小分區計量管網 (DMAs) 檢測疑似破管或漏水區域

對供水管網進行 DMA 分區目的係藉由量測小區水量之變化判斷是否漏水存在，為縮小分區計量管網中疑似破管或漏水區域，透過關閉某些制水閥將小區劃分多個次小區或是切分為數個管段，並量測小區流量的變化檢測出疑似漏水管段。管線分段檢漏法對於只有一到兩個漏水點是成效良好。若某個計量小區內發生突發性的水量激增，最佳的檢漏方法便是將此區域進行分段檢漏，以縮小疑似漏水範圍。

本次合作計畫丹麥團隊在旗津示範小區內進行 80 人時的主動檢漏作業，該團隊依據現有的管網資料初步將示範小區劃分為二個次小區（詳圖 4），丹麥技師與台水檢漏人員共同進行實地檢漏作業。丹麥團隊於檢漏過程中，發現許多在 GIS 系統所標示的閘栓因現場埋沒而無法使用，其中亦有部分閘栓異常致使無法正常起閉，造成檢漏人員不易縮小疑似破管或漏水區域。丹麥技師表示由於某些漏水案件不易找出漏水點，故對分段檢漏法之前期規劃作業是十分重要，分段檢漏法前期規劃的關鍵取決於是否能對



圖 4 旗津示範小區之次小區法檢漏作業

DMA 進行更細的分區。因此，自來水事業必須依據管線圖資定期執行閘栓巡查及維護計畫，以確保閘栓保持正常運作，故丹麥

團隊建議台水公司對所有閘栓每年進行全面巡查維護作業，便可以節省檢漏作業時間及人力。

(3)漏水定點：確認漏水的正確位置（或近似位置）

確認漏水點的實際位置取決於檢測漏設備的使用，丹麥技師表示檢漏人員必須充份瞭解檢測漏設備正確的操作方法及維護保養作業，包括各種聲音辨識設備如噪音記錄器、漏水相關儀、測漏器及聽音棒等，才能確保每個設備能發揮最大的效用。檢漏作業過程中無法避免「開挖疑似漏水點卻未發現漏水」(dry holes)的現象發生，但在現場開挖後重新回填前必須藉此機會確認漏水實際位置，即一旦進行開挖卻未發現漏水點時，檢漏人員必須立即使用測漏器、相關儀或示蹤氣體等各種漏水定點探測儀器找出真正漏水點。

## 2.丹麥常用檢漏設備

檢漏是一項需要專注、耐心及經驗的工作，丹麥所使用檢漏設備對檢漏人員的保護相當人性化，以避免檢漏人員因長時間聽噪或承重導致職業傷害，以下將介紹丹麥常用的檢漏設備及儀器：

### (1)檢漏裝備車

對於如何成功找出漏水點而言，正確地使用檢漏設備是重要前提之一。檢漏人員除對檢漏設備進行定期維護及清潔保養外，按序擺放檢漏設備至適當位置亦是至關重要。因此，丹麥檢漏人員配備檢漏裝備車作為交通工具，車內並擺放各種設備及配件以利檢漏工作進行，此外，檢漏車另設置資訊設備，以收集監測訊號進行漏水分析。檢漏

裝備車大致裝載管線探測器、手持電子聽音棒、閥栓與閥盒探測器、測漏器、漏水相關儀、脈衝產生器、鋼瓶(內含示蹤氣體)、示蹤氣體探測器與探頭、鐵錘及不同規格的扳手等相關設備與配件。(詳圖 5、6)



圖 5 丹麥檢漏裝備車裝載配件



圖 6 丹麥檢漏裝備車資訊設備

此外，丹麥檢漏人員在進行聽漏作業時會搭配承載設備的小拖車，增加檢漏作業之機動性及便利性，並減少檢漏人員身體負擔，如圖 7。

### (2)手持電子聽音棒

聽音棒在檢漏作業中常見的檢測儀器，考量聽漏人員一天會有很多小時需要屈膝等不方便的姿勢進行聽音，丹麥檢漏人員所使用的聽音棒具備擴音功能並配有耳機

以優化工作環境(如圖 8)，避免因檢漏人員長時間作業導致精神不濟而誤判，亦可使聽漏作業更簡單有效，故手持電子聽音棒常作為初步檢漏作業之使用儀器。



圖 7 丹麥檢漏設備-小拖車



出處:www.hwm-water.com

圖 8 手持電子聽音棒

### (3)測漏器(數位閥栓與地面麥克風)

測漏器(如圖 9)可以用於準確定位漏水點。一般情況下，丹麥檢漏人員不會將測漏器作為初步聽音檢漏的儀器，原因如下：

- 經測試在約  $4\text{kg/cm}^2$  的壓力下，漏水量必須達到  $0.5\text{ CMH}$ ，測漏器才能明顯反映漏水噪音。



- 檢漏人員長時間使用測漏器需要極大的耐心與專注力，長時間聽漏會導致降低工作效率。
- 測漏器必須在無風、無交通、工廠等干擾的低噪音環境下作業。

測漏器對檢漏人員的人力投入要求很高，因此測漏器的重量與使用舒適性就顯得非常重要。

#### (4)漏水相關儀

有別於以雜訊音量來界定漏水位置，漏水相關儀(如圖 10)是將兩個噪音接收器分別安裝在疑似漏水管段的兩側，利用漏水穿過管壁聲音之傳遞速度來定位漏水。此種檢測方法的準確性，取決於漏水雜訊的強度及管材對聲波傳導的特性。另外對於塑膠管、大口徑水管及其它雜訊傳導率比較低的管材，搭配水中捕音器(水診器)截取在水中傳遞的漏水音，利用水體本身以取代管體作為聲音傳導媒介。本次丹麥檢漏人員示範相關儀的測漏作業，檢漏過程發現在水壓過低及噪音傳導率低的管材之情況下，相關儀測漏效果並不明顯。

#### (5)示蹤氣體測漏器：

示蹤氣體係由氫氣與氮氣混合而成，常見比例為氫氣 10%：氮氣 90%，示蹤氣體中主要活躍成分是氫氣，由於氫氣具有最小氣體分子的特性，因此，示蹤氣體可以穿透各種地面結構，例如水泥、瀝青路面或其它類似的材質，故對管體內之示蹤氣體進行適當加壓，漏水點便可利用示蹤氣體測漏器而定位出來。在某些特定情況下，檢漏人員需要對路面進行鑽孔，使得示蹤氣體能夠擴散到路面之上。示蹤氣體測漏器應該成為自來水事業必備之檢測漏設備，且示蹤氣體檢漏法

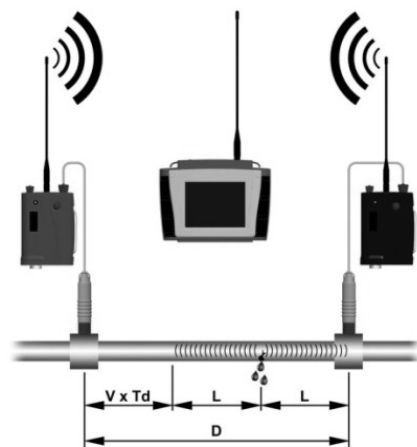
相當合適應用於台灣，特別在不易探測漏水點的區域。示蹤氣體測漏器可以探測到 1 莫耳的氫氣量，即使路面表層為混凝土，示蹤氣體亦可滲透出來，故示蹤氣體檢漏法適用於任何管材。(如圖 11)

丹麥檢漏技師示範檢漏設備之使用順序，首先是利用聽音棒找出疑似漏水管段，爾後可嘗試使用相關儀檢測出漏水點概略位置，然後以測漏器確認。如果已確認有漏水點，而其它方式均不能找到正確漏水位置，便可以考慮使用示蹤氣體檢漏法。



出處:www.fastgmbh.de

圖 9 丹麥檢漏設備-測漏器



出處:www.teksuas.com

圖 10 丹麥檢漏設備-漏水相關儀





出處: www.johnmorris.com.au

圖 11 丹麥檢漏設備-示蹤氣體測漏器

### 3.丹麥檢漏人力管理

在教育訓練期間，丹麥技師特別強調檢漏人員應獨立作業，將檢漏作業劃分責任制。檢漏人員應該有屬於自己的探測區域，即每一個檢漏人員都要對自己所管轄的一個或多個供水區域負責。此外，自來水事業須對每個獨立檢漏人員的檢測結果進行評估，以利檢漏人員能全面掌握自己每天的檢漏作業成果，透過檢漏結果評估，可以幫助檢漏人員更明瞭何種檢測方法會有較佳的檢漏成果。於此同時，任命檢漏技術熟練人員作為檢漏團隊管理者(Team leader)是非常重要的，管理者可以全面掌握區域檢漏結果以及對檢漏人員進行技術指導。由於各供水區域漏水情況有所不同，所以探測漏水點的難易度及數量亦會有所差異。於此情況下，管理者應根據實際情況配置檢漏人員的責任區域，倘若發生了突發事件，管理者可以

從其它區域迅速借調人員進行即時機動檢漏。檢漏人員亦應定期調換檢漏區域，以利交叉探測與定位漏水點。經過一段時間的檢漏作業，依據新漏水點數量變化、維修情況對檢漏範圍進行更有效的分區，每一個區域內的檢漏人員投入數量可以相應減少。

### 三、試辦計畫成果

丹麥團隊協助台水公司建置旗津區之水力模型，並進行 DMA 初步規劃，依據水力分析結果旗津區可被劃分為 5 個 DMA 小區。由於旗津區的漏水率較高，丹麥團隊在旗津區示範 DMA 小區內進行為期一周的實地檢漏與主動檢漏教育訓練(詳圖 12)。在檢漏作業期間，丹麥團隊與台水公司的員工共同找到了 13 處漏水點(詳圖 13)，並在此期間展示各種檢漏儀器的正確使用方法與示蹤氣體測漏法。丹麥團隊透過 DMA 示範小區內的流量計保守估算，經本次檢漏作業示範小區可以減少漏水損失約為 1,300 CMD。



圖 12 實地檢漏作業及教育訓練



圖 13 主動檢漏成果(13 處漏水點)

#### 四、結論

本次台丹雙方共同完成此降漏試辦案，丹麥團隊與台水公司在合作過程中相互分享經驗，相信在此案執行的基礎上，雙方未來會有更多積極交流與合作的機會。台水公司擁有很多資深且優秀的檢漏人員，但是未來面臨的挑戰便是如何將這些資深員工的寶貴經驗傳承予年輕員工，唯有透過不斷地教育訓練與經驗知識交流，方可使台水公司檢漏技術得到提升，並且增加人員對工作之責任感與熱忱。

#### 參考文獻

1. Siemens AG, "Asian Green City Index", 2011.
2. Siemens AG, "European Green City Index", 2009.
3. 哥本哈根水務 (HOFOR) 2014年報(RAPPORT HOFOR VAND OG SPILDEVAND, 2014)
4. 台灣自來水公司第七區管理處, 103年春節期間旗津地下漏水檢討報告, 2014。
5. 台灣自來水公司, 「台丹水資源合作高雄市旗津區降低無收益水量(NRW)試辦計畫」期末報告, 2015。
6. 郭家憲, 「自來水分區計量管網之滲漏評估-以旗津區廟前路段為例」, 2015。
7. Malcolm Farley, Gary Wyeth, Zainuddin Bin Md. Ghazali, Arie Istandar, Sher Singh, The Manager' s Non-Revenue Water Handbook - A Guide to Understanding Water Losses, 2008。
8. Website: [www.hwm-water.com](http://www.hwm-water.com)
9. Website: [www.johnmorris.com.au](http://www.johnmorris.com.au)
10. Website: [www.fastgmbh.de](http://www.fastgmbh.de)
11. Website: [www.teksuas.com](http://www.teksuas.com)

#### 作者簡介

##### 隋忠寰先生

現職：台灣自來水公司漏水防治處工程員

專長：自來水工程、土木工程

##### 郭家憲先生

現職：台灣自來水公司第七區管理處課長

專長：自來水供水操作、水利工程、自來水工程

##### 張敬悅女士

現職：台灣自來水公司漏水防治處工程師

專長：圖資管理、分區計量管網

##### 蔡博淵先生

現職：台灣自來水公司漏水防治處組長

專長：分區計量管網規劃

# 以中區管理小區—長期漏水管控之模式

文/游叡研

## 摘要

水資源是國民經濟發展不可或缺的極重要自然資源，台灣雖然降雨量豐沛，但大台北地區仍在 2002 年遭逢嚴重水旱，早期因缺乏自來水設施維護管理的機制，舊管漏水日益嚴重，為進行漏水改善，臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）以 IWA 所提漏水控制的四大主軸：「管線汰換」、「漏水檢測」、「及時修漏」、「水壓管理」同時併行作為改善策略。推行以來成效卓著，各區域售水率明顯提升，總體漏水率更以每年約 1 個百分比逐年降低，至 2013 年底已降至 17.88%。

為有效提升「管線汰換」投資報酬率，北水處以 DMA 作為管改成效的檢核工具，導入「小區計量」觀念，透過區塊規劃、裝表計量、管網改善及長期管理等四大步驟，全面投入大臺北地區之漏水改善作業。本處參考其他先進國家漏水改善經驗，多年嘗試後走出最適合自己的路，將理論與實務完美結合，持續有效地進行漏水控制。

「小區計量」是漏水改善的利器，「中區計量」則是進行長期漏水管控的新模式，兩者互為併行。所謂中區計量，進水點係為輸水幹管之分歧管，內含 5~10 個小區不等，可於滿足用戶用水需求的條件下進行長時間的封閉供水區域。中區與小區兩者互為併行相輔相成，可互補不足處，期以更科學且經濟可行之方式推動分區計量管網計畫。

關鍵字：中區計量、小區計量、漏水改善

## 一、前言

若無法有效進行漏水管控，對於大臺北地區民生經濟及水資源管理的經濟效益將產生衝擊，台灣地區雖降雨量豐沛，然受限自然地形限制及山區人為過度開發影響，無法有效儲水以供應一般民眾生活所需用水，尤其台灣的水價長期偏低無法調整，導致很多人忽略水資源的重要性。早期只著重在供水管網建置擴張，缺乏自來水設施維護管理的機制，自來水老舊管線汰換率過低，致漏水日益嚴重，漏水率始終居高不下，將近三分之一自來水成為 NRW 無計費水量甚為可惜，依據 2002 年 IWA 國際水協會資料，台灣的 ILI 基礎設施漏水指數（Infrastructure Leakage Index）比歐美國家都高，2002 年夏季因無颱風為台灣帶來降水，大台北地區在當年遭逢嚴重水旱，為有效解決改善管網漏水，北水處爭取經費訂下中長期計畫，總預算約 800 萬美元，目標於 2025 年前將漏水率降至 10% 以下。

IWA 國際水協會漏控策略，至今廣為各國所採用，北水處以 IWA 所提漏水控制的四大主軸：「管網改善」、「漏水檢測」、「修漏品質」、「水壓管理」同時併行作為漏水改善策略，其中「管網改善」與「水壓管理」對改善漏水的貢獻最大，合計佔了約 95%，自 2004 年起每年之管線汰換率皆超過 IWA 所建議的 1.5%，平均每年約可降低 22,000CMD 之 NRW，水壓管理部分大量採用變頻系統，有效消弭高壓之駝峰，趨向穩壓供水，夜間時則減壓供水，高地社區裝設持減壓閥，控

制各站管線供水壓力，避免壓力過高增加漏水，透過壓力管理平均每年約可替北水處降低 18,000CMD 之 NRW，成效斐然。

然水壓管理有其侷限，以長遠來看「管網改善」才是改善管網體質，能永續降低漏水的關鍵，依先進國家經驗，建置可獨立計量的區域管網，藉由 DMA (District Metering Areas) 分區計量管網，可有效掌握區域漏水情形，針對漏水嚴重的地區進行漏水改善，並有利於施工後檢核管改成效，提高漏水改善效率，在有限的經費下可有效提升「管網改善」投資報酬率，達到加速提升售水率之目的。

北水處以「小區計量」結合「管網改善」，在選定的漏水嚴重小區內進行全面性的管線汰換，為掌控並診斷檢覈管網改善成效，施工後須關閉小區邊界制水閥形成封閉型管網並進行售水率複評，目標是複評售水率須達 90% 以上，小區漏水改善才算完成，小區計量協助有效管理並控制漏水，執行以來成效卓著，大臺北地區之漏水率以每年約 1% 比率下降，自 2002 年 28.44%，至 2013 年已降至 17.88%，持續有效地改善自來水管網體質。

小區計量之規模範圍小，是為利後續進行檢漏、修漏及管汰作業執行，因此有人稱之為「檢漏計量管網」，惟其並不適合於長期漏水管控，為有效進行長期管理，北水處自 2013 年起導入「中區計量」觀念，擬定中區計量執行策略，推動建置分區計量最經濟、可行且有效之模式，持續進行漏水控制。

北水處推行之小區計量對於漏水改善的成效卓著，惟為有效掌控避免漏水復發，勢必導入長期管理之機制，本文探討以中區

管理小區之模式進行長期漏水管控，並提出中區劃設原則與分區計量管理策略。

## 二、分區計量管網 (DMA) 作業執行

北水處自 2003 年起全面推動 DMA (District Metering Areas) 分區計量管網 (如圖 1)，將現有管網系統確實切割成可分別獨立計量之管網，分區計量管網之建置有利於篩選低售水率之管網區塊，而後針對評估漏水嚴重且用水量大之區塊進行管網改善，以有效提升「管線汰換」之投資報酬率，提高成本效益。

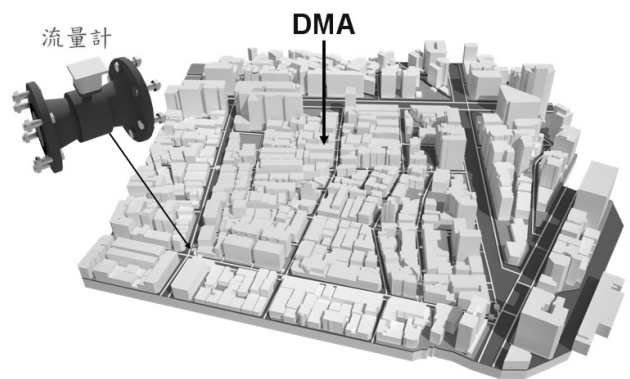


圖 1 分區計量管網示意圖

小區計量之規模大小應考量以實際進行管線汰換及檢修漏作業時，短期內能有顯著漏水改善成效為宜，故小區範圍不應過大，以免不易查明漏水處，一般而言其配水管總長度約 2.5~3 公里，總表與直接用水表總栓數約 300~500 栓。執行之初以自行劃設小區方式辦理，待建立標準作業原則及各項技術成熟後，考量劃區數量龐大，後續以委外劃區方式繼續推動，至 2013 年 6 月累計已劃設 804 個小區 (如圖 2)，經由區塊規劃、裝表初評、管網改善、期末複評等程序，以小區計量鎖定漏水嚴重區域進行改善，已完成 229 個小區之漏水改善。



圖 2 小區分佈圖

DMA 之「小區計量」是漏水改善的利器，北水處藉由小區計量執行漏水改善獲致良好成效，下一步要思考的是如何推動長期管理，惟小區的管理不易，理由分析如下：

- (一)小區數量過多，若計量表全數安裝遠端傳輸納入長期管理，則成本過高，現有人力資源難以負荷，不符經濟效益。
- (二)現有管網系統複雜，各小區間邊界管線連接點過多，管理難度高，且容易造成計量誤差。
- (三)市區管障多，計量表安裝位置受限，部分邊界管線無法納入小區內，形成管理上的盲點。
- (四)北水處執行低壓力政策，各小區如皆封閉計量恐將造成壓力不足，影響民眾用水需求。

因此北水處自 2013 年起導入「中區計量」概念，不同於小區係以口徑  $\phi$  300mm 以下之配水管為計量管網，中區係以口徑  $\phi$  400mm 以上之輸水管直接作為供水來源，以輸水管之分支管為進水點，並裝設流量計進行中區計量。每個中區內含 5 至 10 個小區不等，以新北市中永和區為例，原劃設將近 120

個小區，重新規劃後成 15 個中區，中區由輸水管之分歧管做為進出水點，相對單純且易於管理，將相鄰小區結合以集中管理，邊界管線連接點變少，長期管理的成本支出也大為降低。且可將原各小區間三不管地帶之管線納入計量，不會有漏網之魚，同時因中區水源來自輸水管，獨立封閉計量可行性高，不需面對因封閉所有小區所衍生壓力不足的問題，可解決小區長期管理的難題。

中區可獨立計量後，即可利用遠端傳輸將計量表記錄器之資料回傳監控中心，中區計量的進水點就相當於固定監視點，可即時監控流量與壓力數值，電腦自動判斷是否有突發性大量漏水或不明壓力洩降等情形，執行監測比對趨勢，協助進行分區計量管理。

理論上，假設整個自來水管網系統的體質很健全，漏水率只有不到 10% 的前提下，分區計量管網之建置應綜觀全局，以長期管理的思惟，由大而小，由面至點，先行劃設大區、然後中區、最後才是小區，有計畫性的逐步分層建置分區計量管網，類似葡萄串的概念。但是北水處因早期缺乏自來水設施長期維護管理的機制，管網體質先天不良，漏水率高達近 30%，部份地區水壓不足，中區封閉計量在實務上尚不可行。經綜合考量後，北水處只好反其道而行，先行劃設小區，以小區計量結合管網汰換，鎖定漏水嚴重區域進行漏水改善，同時管網體質也獲得調整，各區域水壓明顯提升（如圖 3），待小區計量執行有一定成果後，各方面時機條件成熟了，中區可成功獨立封閉計量，我們即回過頭來順勢導入中區計量，以中區管理小區之模式進行長期漏水管控與壓力管理。中區與小區間的關係實係互為因果，相輔相

成，北水處參考其他先進國家分區計量管理方式與漏水改善經驗，多年摸索嘗試後走出最適合自己的路，將理論與實務完美結合，持續有效地進行漏水控制。

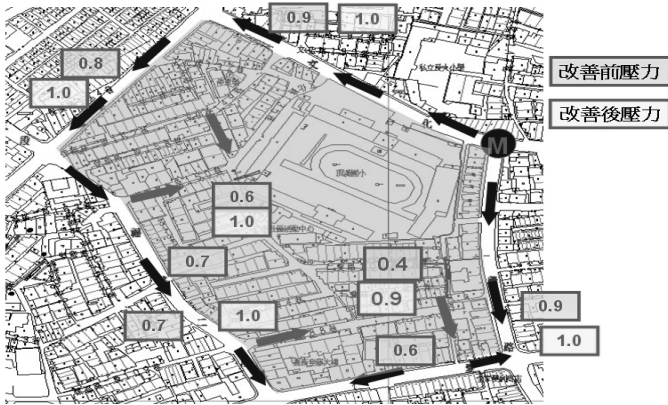


圖 3 W08006 小區改善前後壓力比較

### 三、中區劃設原則與管理策略

#### (一)中區劃設原則：

1.由輸水幹管著手：中區原則上係以口徑  $\phi$  400mm 以上之輸水管（如圖 4）作為供水來源，儘量利用山岳，河川等天然分割線，找出輸水管之旁通管作為中區進水點，先完成圖面劃區。需注意部份幹管不要劃進去，才能滿足下游端的用水需求。

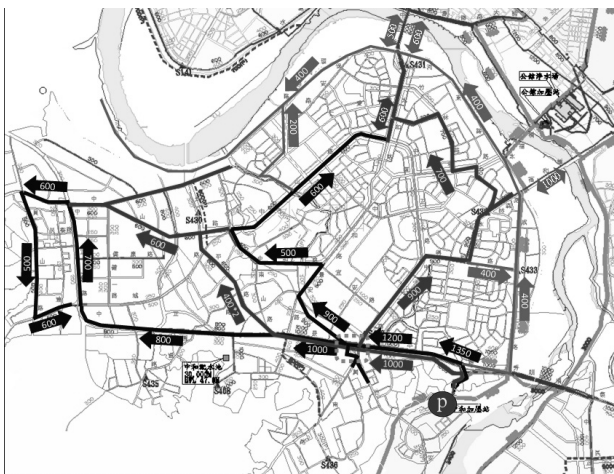


圖 4 中永和地區輸水幹管分佈圖

2.水理分析：應用水理分析軟體輔助（例如 EPAnet），評估中區進水點的效益分析，模擬進水點對中區內壓力影響。同時須考量除滿足尖峰最大用水需求外，能量（壓力）的耗損不可過大，避免水壓不足情形發生。同時需分析當中區進行封閉計量的條件下，其內之各小區是否亦可同時進行封閉計量，如小區內有水壓不足情形，則需分析是否再增加進水點。

3.現場測試：現場需進行封閉測試，封閉所有進水點，挑選中區內具代表性之消防栓，須確認消防栓水壓為 0 才合格，確認中區邊界沒有外水內流之情形。同時進行長期封閉測試，需封閉一周以上，如接獲用戶抱怨尖峰用水水壓不足情形，則考慮加開第 2 進水點。同時為考量消防救災等臨時調度之需，可增設副取水點。

4.窰井及計量表：為利日後計量表換表需求，中區需安裝大型窰井，同時必須有退拆裝置（如套管或伸縮管），考量都會地區管障多，若空間不足可將進水管縮小口徑，不過在縮管前須先執行進水點之半閉測試，如半閉一周以上仍未影響用戶用水需求，方可進行縮小口徑。計量表須具備可遠端傳輸之功能（有線或無線皆可），才能由電腦即時監控中區之流量與壓力等資料。

5.實質封閉與形式封閉：因中區內含數個小區，範圍較大，為避免影響相鄰中區的用水需求，長期實質封閉恐造成供水不便，故在區與區的交界流量計需採用可雙向計量的流量計，達到形式上的封閉，既不影響正常供水，又可達到各中區自獨立計量





進一步推動中區計量建置，由水理分析決定最佳中區進水點位置，分析軟體選用 EPANET，依地形圖資料系統之獨立標高點未決定各節點之高程，並依用戶用水量大小平均分布於各節點，考量中區特性，原則以口徑 200mm 以上管線建置於系統。

中區以輸水幹管作為供水來源，規劃三處進水點，進水點 1 位於永和區永和路 2 段 61 號，進水點 2 位於中和區環河西路與永和路口，進水點 3 位於中和區中山路 2 段 2 巷口（如圖 7）。同時考量緊急消防救災應變狀況，另規劃 2 個副取水點。經實際進行中區長時封閉，規劃進水點可滿足中區內壓力與用水需求，可見小區計量已達成漏水改善初步目標，管網體質已趨健全，協助中區可成功獨立封閉計量。

建置中區計量同時亦須對區內原有小區作小幅重新配置，以符合最佳供水狀況，部分小區需變更原有進水點並考量出水點。因中區邊界封閉後，小區之間進水與出水有連帶影響關係，經實地測試後重新規劃小區為 9 區，彼此間供水流向圖如下圖所示。



圖 7 永和二中區進水點位置

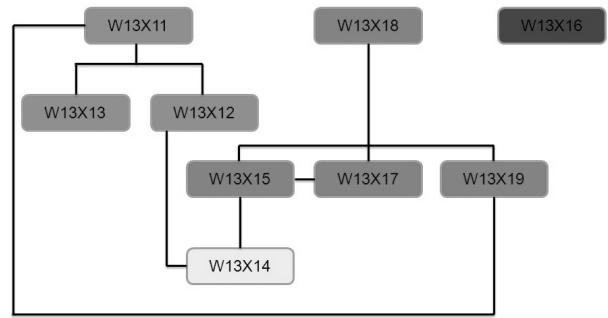


圖 8 永和二中區供水流向圖

## 五、結語

本文提出以中區管理小區之模式進行長期漏水管控，分區計量管網就如同人體進行健康檢查，以了解管網漏水（病情）之嚴重性，當中區計量發現配水量有異常變化，表示中區內可能有突發性漏水，此時再縮小範圍，將中區內之小區進行封閉計量，即可查出漏水落於哪個小區內，再將該小區劃分為更小的次分區，利用夜間最小流查出漏水位於哪個次分區內，於該次分區再進行直接法漏水檢測或其他聽音檢測等技術，進一步以找出實際漏水管段，進行檢修或舊管汰換之漏水改善作業。

如此逐步篩分，由大而小，由面至線再至點，一步一步縮小範圍之診斷漏水方法，可有效提高檢漏作業效率，協助我們更快速定位出漏水所在區域，能將有限漏水防治經費花在刀口上，避免無謂浪費。

本文探討中區劃設原則與分區計量管理策略，小區計量是漏水改善的利器，中區計量則是進行長期漏水管控與壓力管理，兩者互為併行相輔相成，中區可補足小區之不足處。後續可利用配水管網模型進行相關管網水理分析，期以更科學且經濟可行之方式推動分區計量管網計畫。



### 參考文獻

1. 臺北自來水事業處，「臺北自來水管網改善計畫」，2003。
2. 臺北自來水事業處，「供水管網改善及管理計畫—長程策略方針」，2006。
3. 陳明州、吳奕均、楊境維，「小區計量工法於管網系統漏水管理之應用」，2008。
4. 郭志東、林哲生、李中彥，「小區售水率提昇之瓶頸與突破」，自來水會刊第28卷第3期，2009。
5. 黃欽稜，「漫談北水處漏水控制的八年歷程與獲獎」，自來水協會自來水會刊，2010
6. 黃欽稜，「中區計量執行策略」，臺北自來水事業處NRW研討會，2013

7. 游叡研、李中彥，「利用歷史圖資研判斷除不明管線之案例分享」，自來水協會自來水會刊第33卷第1期，2014
8. 游叡研，「善用平常用水量加速取得小區售水率」，自來水協會自來水會刊第33卷第2期，2014

### 作者簡介

#### 游叡研先生

現職：臺北自來水事業處西區營業分處三級工程師  
專長：管網改善工程規劃、設計與監造、分區計量

## 本刊 105 年「每期專題」

期別	主題	子題	時程
35 卷 第 2 期	自來水工程 與案例	自來水工程規劃、設計技術與施工、無自來水地區探討、工程技術與案例探討、工法改良、工程實例等	5 月
35 卷 第 3 期	淨水處理及 水質安全	淨水處理技術、海水淡化、淨水高級處理、水質檢驗、監測與管理、臭味檢測及檢控防蝕控制等、水質安全、多重屏障、廢水處理等	8 月
35 卷 第 4 期	營運管理及 績效評估	供水設施及資產管理、資訊管理與應用、供水管網、自來水營運、客戶服務、人力資源管理、大數據分析、合理水價等	11 月

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

# 口徑 40mm 以下 C 級表效益評估之研究—以臺北為例

文/黃欽稜、蔡淑惠

## 摘要

本研究為評估一般用戶的水表換裝 C 級表後的效益，研創宏觀分析—抄表度數分析法之三個宏觀指標及開發水表效益評估分析工具模組進行研析，針對口徑 40mm 以下電子式 C 級表及口徑 25mm 機械式 C 級表，除比較換表前後水量增減情況，並比較 C 級表安裝於總表、分表的效果差異，期減少大臺北地區不感度流量發生，進而降低帳面損失及無收費水量，可做為未來擴大規模安裝口徑 40mm 以下 C 級表之參考。

## 一、前言

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)民國 98 年前所採用的水表，不論口徑大小都以機械式 B 級表為主，目的僅計量用戶使用水量，作為收費的依據。然而許多國際間自來水事業已開始採用電子式 C 級表，可針對微小流量進行精確的計量與漏損監控功能，進而減少不感度流量(Under Registration)發生。

因此，北水處自民國 99 年始迄今，針對大口徑 50mm 以上的大用戶水表，改採電子式 C 級表，以提高售水率與計量管理品質；囿於水價長期偏低，若一般用戶也採用昂貴的電子式 C 級表，其使用年限內所計量的水費，完全無法回收水表之初置成本，因此現階段對於一般用戶口徑 40mm 以下之小型表，僅能做局部測試計畫。

本研究為評估一般用戶的水表換裝 C 級

表後的效益，研創宏觀分析—抄表度數分析法之三個宏觀指標及開發水表效益評估分析工具模組進行研析，針對口徑 40mm 以下電子式 C 級表及口徑 25mm 機械式 C 級表，除比較換表前後水量增減情況，並比較 C 級表安裝於總表、分表的效果差異，期減少大臺北地區不感度流量發生，進而降低帳面損失水量及無收費水量，可做為未來擴大規模安裝口徑 40mm 以下 C 級表之參考。

## 二、研究方法

本研究研創之宏觀分析法，是以既有實際抄表度數做為分析之原始資料，具有以下優點：

- 免費取得分析資料：因抄表度數為現場水表運轉下所累積的度數，不似器差曲線需由實驗室「最佳狀況」下所取得的資料，不需任何花費。
- 分析結果較客觀：因抄表度數是含一切現場影響因素，例如受用戶用水習慣及用水設備因素所影響，分析結果較無偏頗。

### (一)宏觀指標介紹

任何對水表進行的改變措施，肯定有好有壞，不一定對每個水表都帶來正向效益，由於總表數量極為龐大，而且其他影響因素眾多，不易看出投入措施對系統改變之趨勢，所以必須以統計的角度，檢視系統改變前後的宏觀效果。我們所關心的項目，乃是總表整體準確度及整體計量收益是否增加，以反映宏觀調控的效益。假設投入 1 萬只水表的改變措施，整體水量收益增加了，



即便其中 100 只水表收益下滑，我們也不應在乎，這就是宏觀調控的精神。爰此，本研究設計三個觀察總表性能的「宏觀指標」，作為抄表度數分析之重要工具，計算方式(如圖 1)所示。

第 1 個指標相對差率 $\epsilon$ ，若 $\epsilon$ 為正，則總表度數和>分表度數和，表示整體總表運作良好，發生總表分攤，這是我們所期待的；若 $\epsilon$ 為負，則總表度數和<分表度數和，表示整體總表運作不符期待，從宏觀角度合理推斷，總表極可能有慢轉的情形。

第 2 個指標收益率 $\beta \geq 1$ ，當 $\beta$ 愈大，表示這群總表所創造的分攤愈大，收益也愈大，如果 $\beta=1$ ，則表示這些總表沒盡到責任，完全無法貢獻分攤度數，與僅裝分表的收益完全一樣。

第 3 個指標 $\gamma$ ，表示這一群總表度數<分表度數和的比率，其值介於 0~1，如果比率愈低，則表示整體總表計量行為愈好，當 $\gamma=0$ 表示整體總表的度數>分表和，每一只總表都貢獻了分攤度數，當 $\gamma=1$ 則情況相反，沒有一只總表提供分攤度數。

$\epsilon$ 、 $\beta$ 的計算式都除以分表度數和，是為了「正規化」與「無因次化」，此舉讓不同度數的總表/分表組都可以一起比較。亦即可合理推斷這些總表是否有慢轉的問題。

### (二)宏觀指標的優點

過去想要由抄表度數分析水表行為與準確度變化十分困難，因為抄表度數內含許多變動項，彼此干擾，以致於無法明確觀察水表準確度行為，(如圖 2)所示，其中變動項的「抄表誤差」、「用水變化」不但成因多而且影響比重大，如果不加以剔除，很容易抵消「水表準確度改變」的微小變化，甚至產生錯誤的分析結果，導致誤判。

使用宏觀指標可以輕易消除「抄表誤差」、「用水變化」兩項干擾，讓分析聚焦於水表計量行為的變化。抄表誤差的本質為隨機性誤差，某次度數多抄幾度，下次可能就少抄一些；某些表多抄，也有另一些表少抄幾度，誤差有正有負，類似高斯分佈。由於宏觀指標採用一大群總表-分表組的抄表數據，水表數量多、抄表期數多，並且採用加

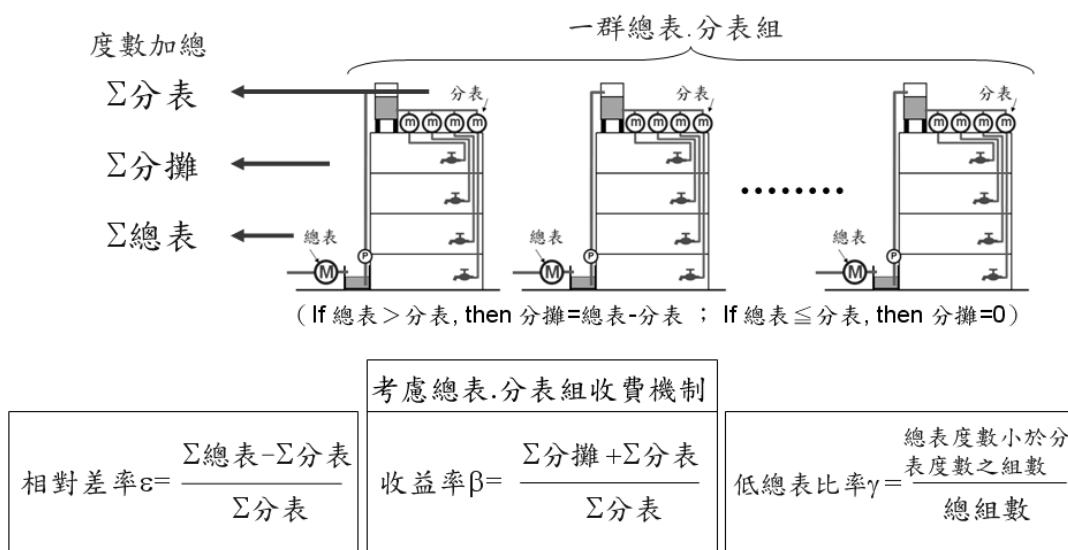


圖 1 三個宏觀指標的計算方式

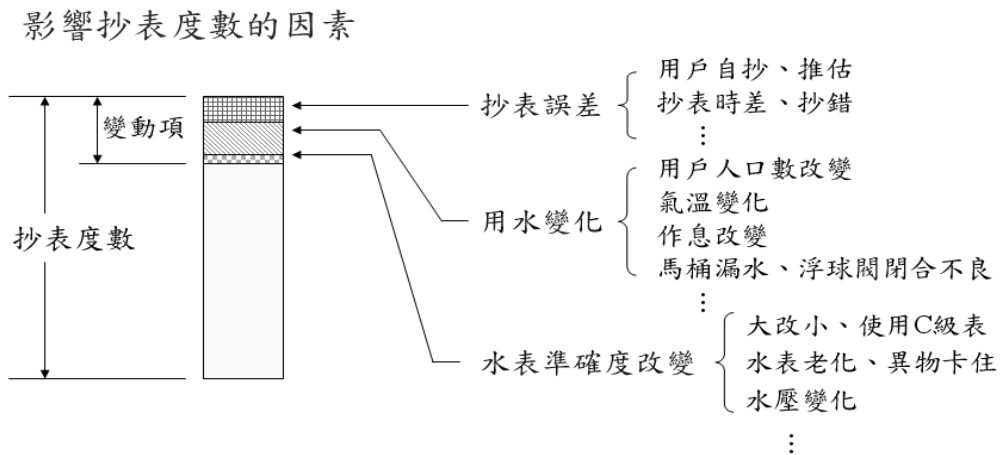


圖 2 影響抄表度數的因素

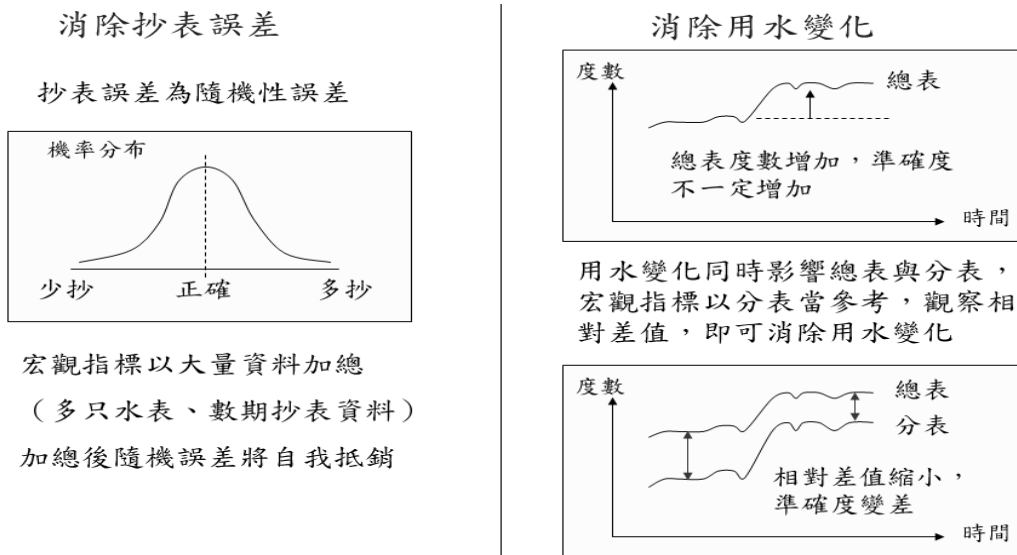


圖 3 宏觀指標的優點

總方式計算，因此抄表誤差可正負抵銷(如圖 3 左圖)所示。

用戶之用水變化有時候造成的度數增減十分可觀，例如夏季用水就遠大於冬季用水，甚至某些用戶因人口增減，用水變化可輕易超過三成以上，干擾遠大於其他因素。由於用水變化同時影響總表與分表度數，而宏觀指標不單看總表度數變化，而是同時擷取分表的數據，把分表的度數變化當作參考值，相當於觀察總表與分表的相對差距(如圖 3 右圖)，因此宏觀指標可輕易濾除用水

變化的干擾。

### (三)開發水表效益評估分析工具模組

本研究於北水處的「多維度分析系統」開發「水表效益評估分析工具模組」(如圖 4)所示，整合北水處的「水表水費營收系統」及「多維度分析系統」擷取及篩選資料相關資訊，再將所要分析的資料套入宏觀指標的計算公式。

模組除可自動分析判斷，並針對變異性大的資料，增加自動篩除條件，避免非水表因素之少數水栓突增減造成誤判。讓使用者

深入了解分析效益的趨勢走向及穩定性，確保分析結果的客觀性，同時大幅降低人工作業分析成本及提升統計分析的準確率。



圖 4 水表效益評估分析工具模組

### 三、分析結果討論

#### (一)口徑 40mm 以下電子式 C 級表

##### 1.測試區域概況

本研究挑選一個獨立計量小區作為小型 C 級電子表測試區域，名稱為內湖三期重劃區，小區編號為 E07005(詳圖 5)。此區域為 1980 年代開發的住宅區，本區域幾乎皆為公寓式住宅，並無工商業活動。內湖三期設有獨立小型加壓站，出水壓介於 2.6~3

kg/cm<sup>2</sup>，由於區塊內左半邊有丘陵，水送入區塊內之後，地勢最高點僅能維持水壓約 1.5 kg/cm<sup>2</sup>。本研究將區域內所有總表（151 只）與直接表（128 只）及少許分表（74 只），拆除既有 B 級機械表，更換為 C 級電子表。

##### 2.效益分析

C 級表安裝於總表的效益評估採用抄表度數分析法，將換表前後的抄表資料，分別代入前述介紹的三個宏觀指標 $\epsilon$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ，比較換表前（B 級），與換表後（C 級）的計量表現，詳(表 1)，以更換 25mm 的 C 級表宏觀指標變化量最大，效益最佳，其中 $\epsilon$ 與總表「準確度」有關，大幅增加 1.78%， $\beta$ 與水量「營收」有關，也增加 1.24%，而且總表度數低於分表和之比例 $\gamma$ 更是大幅減少 11.60%。若將 20~40mm 的資料合併代入三個宏觀指標，計算三種口徑帶來的整體效益，所得 $\epsilon$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 的變化分別為+1.38%、+0.92%、-9.38%。於現場實際條件下運轉，安裝於總表的 C 級表的確較 B 級表為準確，對北水處的水費收入增加 0.92%。



圖 5 小型電子 C 級表測試區域

表 1 小型電子 C 級表安裝於「總表」效益分析

各口徑效益： 比對 { 換表前3年的抄表資料  
換表後8個月的抄表資料

	40mm	變化量	25mm	變化量	20mm	變化量	20~40mm 合併計算	變化量
總數	20只		79只		44只		143只	
$\epsilon$	5.63% →6.72%	<b>+1.09%</b>	5.05% →6.83%	<b>+1.78%</b>	6.99% →8.42%	<b>+1.43%</b>	5.48% →6.86%	<b>+1.38%</b>
$\beta$	106.64% →107.24%	<b>+0.60%</b>	106.22% →107.46%	<b>+1.24%</b>	108.08% →108.79%	<b>+0.71%</b>	106.59% →107.51%	<b>+0.92%</b>
$\gamma$	34.23% →31.67%	<b>-2.56%</b>	35.88% →24.28%	<b>-11.60%</b>	28.44% →17.42%	<b>-11.02%</b>	33.37% →23.99%	<b>-9.38%</b>

表 2 小型電子 C 級表安裝於「分表」之效益分析

	40、25、20mm	變化量
總數	74只(6組)	
$\epsilon^*$	-27.64%→-6.12%	<b>+21.52%</b>
$\beta^*$	100.46%→101.98%	<b>+1.52%</b>
$\gamma$	37.50%→44.44%	<b>+6.94%</b>

分表的宏觀指標：

$\text{相對差率}\epsilon^* = \frac{\Sigma\text{分表} - \Sigma\text{總表}}{\Sigma\text{總表}}$	$\text{收益率}\beta^* = \frac{\Sigma\text{低總表差} + \Sigma\text{總表}}{\Sigma\text{總表}}$	$\text{低總表比率}\gamma = \frac{\text{總表度數小於分表度數之組數}}{\text{總組數}}$
---	---	--

此外，本測試區塊中也有 74 只分表更換為 C 級表，同樣採用抄表度數分析法比對更換 C 級表前後的宏觀指標，計算結果詳(表 2)，但是須特別注意分表的宏觀指標 $\epsilon$ 、 $\beta$ 稍有不同，可看出整體效益以相對差率 $\epsilon^*$ 的變化最大，分表準確度大幅提升 21.52%，因為分表變準了，過去 B 級表慢轉嚴重的情形獲得改善，使得低總表比率 $\gamma$ 增加 6.94%，但因為北水處採用「總表分攤」的收費機制，即便分表準確度大幅增加，水量收益 $\beta^*$ 的增量僅微增 1.52%。

雖然本次測試換裝為 C 級表之水量皆有增加，但僅為「新表」的效益，並不能長期

保證穩定的水量增加比率，因為水表裝出使用一段時間，機構逐漸老化、磨損、卡垢，將不可避免發生計量準確度之衰退。故此測試區的 C 級表將持續安裝於現場，了解宏觀指標是否隨著時間發生衰退，才能判斷 C 級表於 8 年內生命週期之平均水量增益。

## (二)口徑 25mm 機械式 C 級表

### 1.測試方式概述

北水處於 2011 年採購 4,000 只 25mm 機械式 C 級表，隨機安裝於供水轄區內，安裝對象包含總表、分表、直接表，但其中安裝於直接表的 C 級表因為無法計算宏觀指標，又因表箱內空間不足，也未與既有 B 級表串



接，故無法評估效益。本研究可以評估效益的類型為安裝於總表/分表系統的 C 級表，共分為 2 個類型(如圖 6)所示，分別為：原為 B 級「總表」更換 C 級表，原為 B 級「分表」更換 C 級表，於此 2 類型的 C 級表可以計算宏觀指標，以觀察安裝前後的指標改變，評估 C 級表的效益。

其中「分表」更換 C 級表的類型，頂樓所有的分表都必須同時更換為 C 級表，不能遺漏，才能比較 C 級分表與總表的差異，計算出的宏觀指標才不會被 B 級分表的行為干擾。由於分表安裝 C 級表，觀察分表效益的宏觀指標稍有不同，計算方式(詳表 2)之下半圖，相對差率為 $\epsilon^*$ 、收益率為 $\beta^*$ ，但低總表比率 $\gamma$ 的計算方式不變。

## 2. 效益分析

將更換 C 級表前後各 1 年的抄表度數，分別計算宏觀指標，即可比對使用 C 級表前後宏觀指標之差異(詳表 3)，其變化量代表 C 級表安裝後的效益。其中「總表」更換 C 級表後，與準確度有關的相對差率 $\epsilon$ 增加 0.62%，與營收有關的收益率 $\beta$ 也增加 0.34%，而因為總表變準了，低總表比率 $\gamma$ 也變小 6.01%(詳表 3)左半邊，由於樣本數量高達 1,192 組，因此本研究有信心說 C 級表安裝於總表具正向效益。

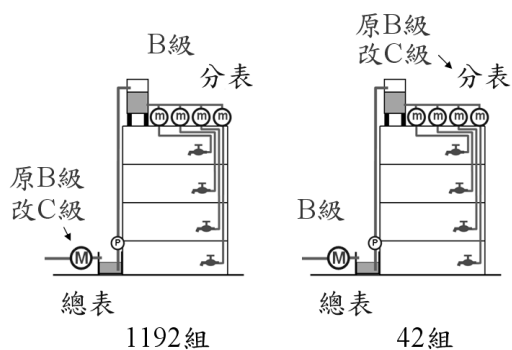


圖 6 2 類 25mm 機械式 C 級表安裝測試方式

表 3 25mm 機械 C 級表更換前後效益分析

	總表更換C級表		分表更換C級表		
	1192組	變化量	42組	變化量	
$\epsilon$	3.92% →-4.54%	+0.62%	$\epsilon^*$	-3.18% →-0.68%	+3.86%
$\beta$	105.30% →105.64%	+0.34%	$\beta^*$	101.68% →102.54%	+0.86%
$\gamma$	34.31% →28.30%	-6.01%	$\gamma$	33.33% →55.61%	+22.28%

如果將頂樓「分表」全部更換為 C 級表，其總表維持 B 級，此時宏觀指標變成觀察分表的相對差率 $\epsilon^*$ 、收益率成為 $\beta^*$ ，但低總表比率 $\gamma$  仍然維持既有計算方式。本研究的樣本共有 42 組，亦即 42 棟大樓頂樓分表全部更換為 C 級表，計算結果(如表 3)右半邊，可明顯發現，分表更換 C 級表後計量準確度大幅提升，相對差率 $\epsilon^*$ 增加 3.86%，收益率 $\beta^*$ 的增幅也比總表更換 C 級表來的大，然而因為分表都變準了，導致低總表比率 $\gamma$  更是大幅攀升了 22.28%，如果因而造成低總表和案件增加，相對所投入複查人力增加的成本是否抵消收益率的增加，自來水事業單位值得再審慎評估。

### (三)比較 C 級表安裝於總表/分表效益差異

上述的試驗結果顯示把同樣的 C 級表安裝在不同的地方，其計量表現也不同。若以「器差曲線」疊合「水量貢獻譜」的計量優勢區域(詳圖 7)，以及上述的試驗結果來看，將 C 級表安裝在頂樓分表，水量收益的提升幅度較大，但這必須將所有的分表都更換為 C 級表才有這樣的效果，通常頂樓分表都超過 4 只，內湖三期試驗區更是高達 12 只，全部更換 C 級表的成本極高。

雖然總表更換為 C 級表後的收益率較小，但總表僅有 1 只，而且匯集多只分表的



用水，流經總表水量很大，收益率提升所帶來的額外水量增量較多，益本比反而比分表更換來的高，而且總表口徑愈大服務期間累積的水量也愈多，乘上一樣的收益率，所得到的水量增益將更高（北水處小型總表平均 8 年累計度數：13mm 平均 4,450 度、20mm 平均 6,560 度、25mm 平均 13,280 度、40mm 平均 18,100 度）。

上述的建議是建立在目前 B、C 級小口徑水表價格與目前水價偏低的前提之上，目前 C 級表的價格約為 B 級表的 1.9 倍，詳(表 4)，而北水處 1 立方公尺自來水平均單價更是未滿 8 元，為世界水價排名之倒數 2~3 名，如果未來水價能夠提升至合理區間，與國際平均相當，或 B、C 級水表價格拉近，則仍有全面採用 C 級表的可能性，甚至採用更先進的智慧水表。

因此具有總表-分表系統的建築物，僅需要將總表更換為 C 級表，其頂樓分表可維持

為 B 級。但小型總表採用 C 級表是否能長期承受較大流量而不致於提前損壞，建議仍需更多的實測數據才能判定。

表 4 013 年小口徑水表 B、C 級價格

小口徑水表	13mm	20mm	25mm	40mm
B級機械價格(元)	730	810	920	1570
C級電子價格(元)	1400	1500	1800	3100

至於直接表系統的建築物，雖然不在本研究討論範圍內，但直接表的運轉行為較為接近分表，其後方不進入水池，而是與用水設備相連，開啟水龍頭、沖馬桶...等都會直接影響，小流量運轉比例偏高，因此，直接表更換為 C 級表的收益率提升比率將較高，與分表雷同。唯一的差別，在於流經直接表的水量並沒有總表那樣多，因此小型直接表更換為 C 級表的益本比仍然偏低，建議大用戶或 50mm 以上大型直接表才適合更換為 C 級表，其餘小型直接表仍維持 B 級。

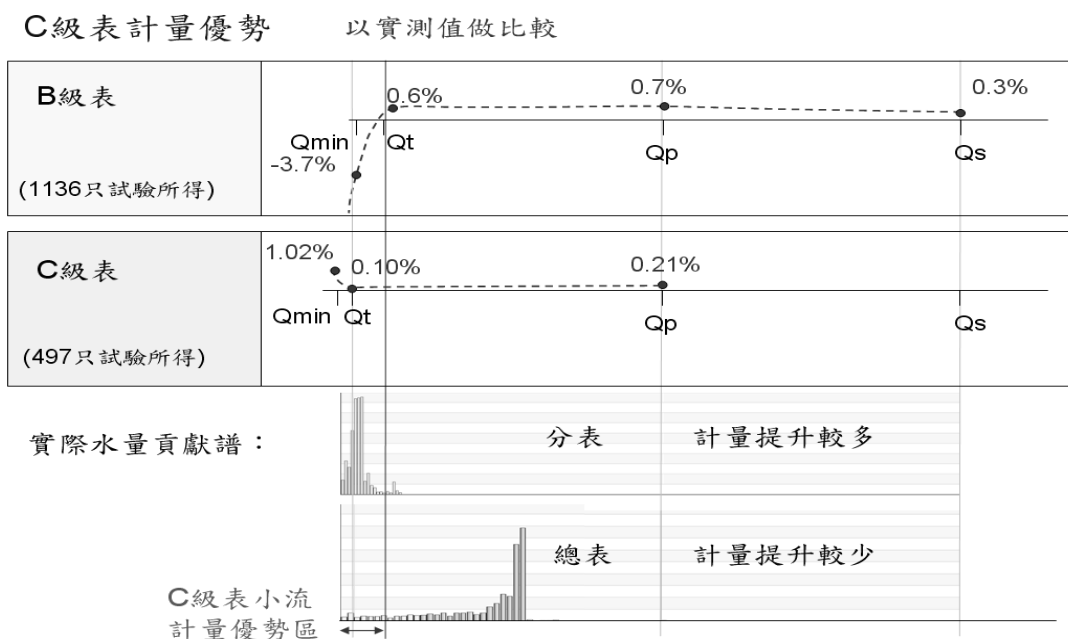


圖 7 總表、分表改換為電子 C 級表的計量提升差異

## 肆、結論

- (一)研創宏觀分析—抄表度數分析法之三個宏觀指標，利用歷史抄表數據分析整體總表的計量準確度與水量收益，此由母體資料分析之方式，較無推估偏差，分析的結果客觀，相較於昂貴的試驗及調查，本研究無需額外的資料調查費用。
- (二)試辦總表換裝 25mm 機械 C 級表 1,192 只，雖然低總表和比例下降 6.01%，但考慮總表分攤機制下，水量收益僅增加 0.34%，成效平平。
- (三)試辦總表換裝電子 C 級表 143 只，除了低總表和比例下降 9.38%之外，考量總表分攤機制下，水量收益亦有 0.92%的增量，效果比機械 C 級表更佳。
- (四)小口徑機械式或電子式 C 級表，安裝於「分表」的水量增益比率皆較「總表」換裝 C 級表來的好，但因分表數量過多，換裝為 C 級表之水表購置成本過高，其「益本比」反而不如「總表」更換 C 級表。
- (五)歷史抄表值反映水表特性與運轉流量的合併行為，為瞭解水表計量的重要資料庫，因此未來為進行更深入之分析，抄表資料之額外附屬紀錄欄位應確實記載，避免缺漏。
- (六)小口徑電子 C 級表的水量增益難以彌補採購成本的額外支出，除非水價結構調整；但可降低不感度流量的發生，且研究若需調查用水行為，仍需電子表才可記錄流量。

## 參考文獻

- 1.鄭國華、許敏能、黃欽稜、周家榮、蔡淑惠、蔡裕國，用戶總表計量效能之宏觀分析與計量效能提升對策，中華民國自來水協會102年委託研究案，2014。
- 2.楊崇明、蘇政賢、陳宗霆、林于程，C級電子式水量計經濟效益評估研究，2010水利產業研討會。
- 3.王文中，統計學與EXCEL—資料分析之實習應用，第五版，第181頁。碩博文化股份有限公司，2004年。
- 4.王中宇、溫坤禮、葛樂矣，測量誤差分析與數據處理，第6、7頁。五南圖書出版公司，2008年。
- 5.吳冬友、楊玉坤，應用機率導論。第114、508頁。五南圖書出版公司，2008年。

## 作者簡介

### 黃欽稜先生

現職：臺北自來水事業處二級工程師

專長：管網改善、滲漏控制、水理模擬、數值分析。

### 蔡淑惠女士

現職：臺北自來水事業處三級管理師

專長：圖資研發與應用、溫泉營運管理、水表營運管理、抄表計量管理。

# 台灣自來水管網漏水檢測技術現況與展望

文/李丁來、林子立、盧烽銘、黃香蘭

## 摘要

由於全球氣候變遷造成降雨不均、經濟成長及人口集中都市化增加用水需求、新增水資源開發不易，所以各國普遍面臨缺水危機，2015 年台灣地區也面臨 67 年來最嚴重的旱災，如何降漏及防漏已成為國安議題，凸顯自來水管網降低漏水的重要性及迫切性。本文主要評析目前國內自來水事業管網漏水檢測技術應用現況及所面臨的問題，並就如何導入現代科技進行漏水監測，俾提升降漏作業效率、進而減少漏水量，提出建言供各界參考。

關鍵詞：氣候變遷、旱災、水危機、降低漏水、漏水檢測技術

## 一、前言

由於全球氣候變遷造成降雨不均、經濟成長及人口集中都市化增加用水需求、新增水資源開發不易，所以各國普遍面臨缺水危機，2015 年台灣地區也面臨 67 年來最嚴重的旱災，2 月 26 日起，新北市新板地區、林口區、桃園市、新竹縣市、苗栗縣、台中市、北彰化、台南市和高雄市紛紛拉響第二階段限水警報，其中新北市新板地區、林口區、桃園市等地區甚至進入第三階段限水，影響國家經濟發展及民眾日常生活甚鉅。

截至 103 年底，臺北自來水事業處(簡稱北水處)售水率為 73.38%，漏水率為 16.71%，台灣自來水公司(簡稱台水公司)售水率為 73.86%，漏水率為 18.04%，因此如何降漏及防漏已成為台灣兩大自然水事業亟需處理之問題，104 年的乾旱危機，更是被提升為

國安議題，凸顯自來水管網降低漏水的重要性及迫切性。

北水處於 92 年為加速整頓供水管網系統，決心推動 20 年漏水改善計畫，預計投入 230 億元推動漏水防治，不僅汰換更新配水管，更全面將用戶外線給水管更新為波狀不鏽鋼管材，讓臺北管網能夠更有效率地運用有限的水資源，預定至 114 年將漏水率降低到 10% 以下。而台水公司亦為改善供水損失，參考國際間辦理降低漏水率之策略，包括「水壓管理」、「修漏之速度及品質」、「主動漏水控制」、「管線及資產管理」(如圖 1)，呈報行政院於 102 年 11 月 4 日核定辦理「降低漏水率計畫(102-111 年)」，編列 645 億元(不含其他配套措施 150.96 億元)，預計在 105 年將漏水率降至 17% 以下，111 年降至 14.25% 之目標。該四大策略中，屬於「主動漏水控制」項目之一的檢漏作業，是北水處及台水公司要達到降漏目標，不可或缺的必要措施。

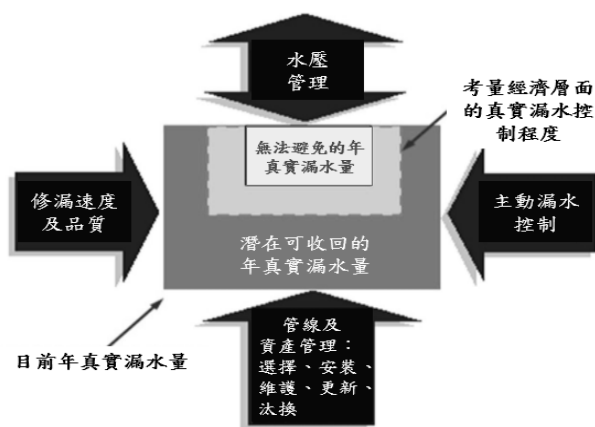


圖 1 漏水控制四大措施

(資料來源: IWA Water Loss Task Force and AWWA Water Loss Control Committee, 2003)

## 二、台灣自來水管網漏水檢測人力及績效概況

### (一)金門縣自來水廠及連江縣自來水廠

金門縣自來水廠及連江縣自來水廠並未設專責檢測管線漏水單位或人員。

### (二)北水處

北水事業處係於供水科下之檢測股(防漏股)設置職司漏水檢測人員，民國 70 年代約有 40 名專業人力，惟自 80 年代起因業務發展考量，開始委外檢漏，於民國 88 年全面委託專業測漏公司，藉助現代化測漏設備，進行分區循環檢測作業，有系統地檢測供水區域內輸配水管線、給水管線之地下漏水，原有員額以遇缺不補原則，或調整至其他業務單位，目前該處專責檢測管線漏水人員僅剩兩名，主要工作為用戶服務及抽查委外檢漏作業執行成效及履約管理，委外執行「主動漏水控制」之檢漏人力約 5 組(每組 2 人)共 10 人，執行「計畫型漏水檢測」(輸配水管線長度 3919 公里，用戶外線約 2400 公里，原則採兩年一循環)及「小區委外規劃與計量分析」，101 年—103 年北水處委外檢漏績效概況詳如表 1。

### (三)台水公司

台水公司於 103 年 9 月 1 日將原設「漏水防治中心」併同與供水處、營業處、水錶修理場等部分業務，改組成立「漏水防治處」，下設北、中、南區隊職司漏水檢測業務 61 人，另有該公司第八、九、十區管理處管線隊 16 人，合計漏水檢測人力共 77 人，其中專責管線漏水檢測及調查人力為 63.5 人(截至 104 年 6 月)，執行「計畫型漏水檢測」(管線長度 59438 公里，用戶外線長度未計，約採兩年一循環)及「非計畫型(機動及小區漏水調查)」，台水公司曾於 80-90 年代間試辦委外檢漏，後因故停辦，目前尚無辦理委外檢漏。101 年-103 年台水公司自行檢漏之績效概況詳如表 1。

由表 1 顯示，計算台水公司自行檢漏績效約 0.0016(件/Km/年/人)，與北水處委外檢漏檢漏績效約 0.071(件/Km/年/人)，顯然有所差距。而若以台水公司 103 年底檢漏人力 70.5 人，扣除國定假日及法定(約 115 天)、年假(約 10 天)、訓練(約 5 天)及陰雨天不適檢漏作業天數(約 30 天)，每年實際執行檢漏天數約 205 天，每日需要執行 2.5 公里管線

表 1 近年北水處委外檢漏及台水公司自行檢漏績效概況

年度	北水處				台水公司		
	檢漏管長(KM)	地下漏水檢出(件)	檢漏人力(人)	費用(萬元)	檢漏管長(KM)	地下漏水檢出(件)	檢漏人力(人)
101	3012	2136	10	1286	34799	4077	71.5
102	2850	2218	10	975	30635	3216	73.5
103	2920	1888	10	778	30660	3444	70.5

資料來源：  
 1. 本研究彙整自臺北自來水事業處 101-103 年度統計年報、「主動漏水控制委外作業」結算成果及台灣自來水 101-103 年度檢漏成果。  
 2. 不含地面漏水檢出(件)。

的檢漏工作，每天有效檢漏工時約 3-4 小時，每位檢漏人員每年投入在檢漏工作的有效工時僅約 615~820(平均 718)小時，換算每年投入在每公里管線檢測時間不到 1 小時，因此台水公司面臨實際投入在管線檢漏工時明顯不足問題，如何利用有限資源，研擬更有效之檢漏策略，以期在短時間內達到改善漏水成效要求，乃為重要課題。

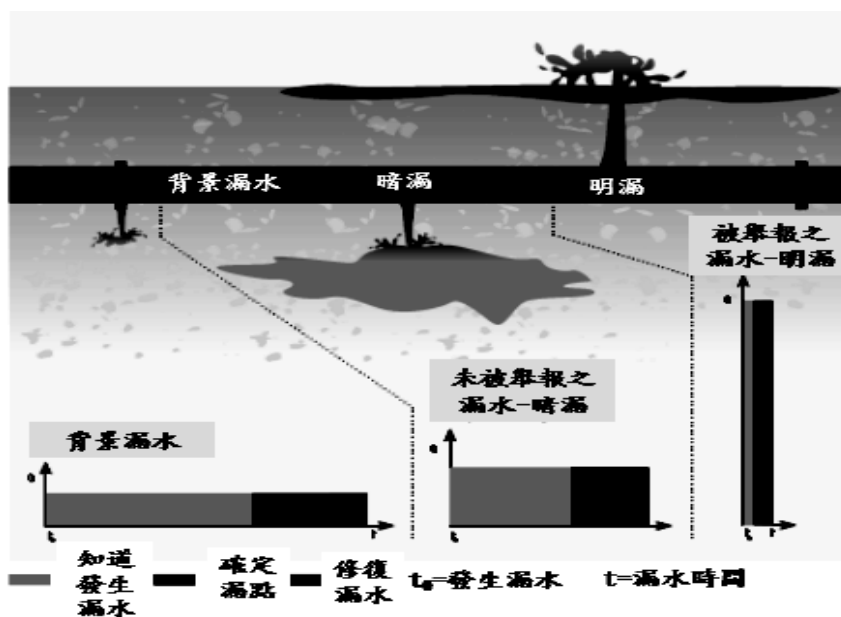
### 三、國內供水管網檢漏方法及技術應用概況

管線漏水量是漏水流量與漏水時間之乘積，其關係如圖 2 所示因此降低管線漏水

的關鍵，是及早發現漏水並快速修復，特別是及早發現尚未冒出地面的暗漏。

目前，台水公司管線報案來源，主要來自自來水事業專責(或委外)檢漏人員定期計畫性巡檢或機動檢漏之檢出或一般員工、熱心民眾或機關單位報修，該公司 101 年至 103 年修漏系統案件來源情形，如表 2 所示。

表 2 顯示，目前台水公司的修漏系統案件係以民眾、台水員工(非專責檢漏)及其他機關通報之明漏案件為主，然對於潛藏於地下之暗漏，須依靠自來水事業專責(或委外)檢漏人員定期計畫性巡檢或機動檢漏來發現。



(資料來源:Guidelines for water loss reduction, 2011)

圖 2 管線漏水流量與漏水時間之關係

表 2 近年台水公司修漏系統案件數來源情形

年度	民眾	台水員工報修	專責檢漏人員	其他機關
101	116,402	38,052	6,065	39
102	139,346	15,774	4,826	0
103	103,026	31,282	5,716	0

資料來源：彙整自台灣自來水公司修漏管理系統 101-103 年度修漏系統案件來源(含地面及地下漏水檢出件、用戶表箱及另件漏水等)統計。

對於潛藏於地下之暗漏之檢出方法可以分為二大類：「被動檢漏法」和「主動檢漏法」，說明如次：

### (一)被動檢漏法

所謂「被動檢漏法」是待地下管線漏水冒出地面後才發現漏水的方法，是最原始但看起來最經濟的檢漏方法，但此方法係以發現明漏(reported burst)為主，明漏案件的流量一般都很大，是可以被用戶或路人發現的漏水，對周圍環境及用戶會產生較大的影響。一般而言，對其修漏處理速度都很快，漏水的持續時間都不長。因此，即使具有較大的漏水流量，但漏水的量卻不大，也易於發現。被動檢漏法對潛藏於地下之暗漏一般無能為力，該方法雖看似經濟，事實上對於管線漏水整治有其局限性，已不符合現代提倡永續發展社會對於自來水事業的要求，不能作為主要的檢漏方法。

### (二)主動檢漏法

所謂「主動檢漏法」乃是在地下管線發生漏水在尚未冒出地面前，即屬於暗漏

(unreported burst)階段，採用各種檢漏方法及相應設備儀器，主動檢查地下管線漏水的方法，對於現代城市道路地下管線漏水之查察，應以主動檢漏法為主。目前自來水事業專責(或委外)檢漏人員大多配備有簡單的儀器設備，管線地下漏水之檢出主要靠作業人員的工作經驗，有所謂「良心檢漏」之說法。常用主動檢漏法、技術及設備概略如下：

#### 1.音聽法

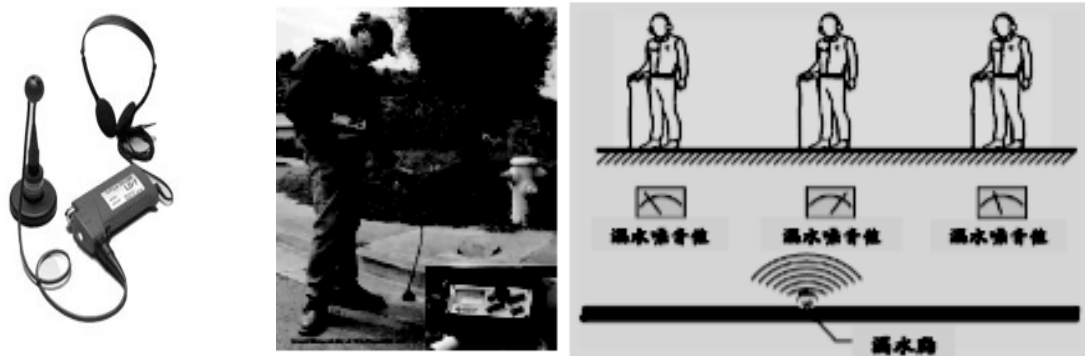
採用聽音棒及檢漏儀等聽音儀器尋找漏水聲，並確定漏水地點的方法，係目前自來水事業專責(或委外)檢漏人員最熟悉的方法。聽音棒構造簡單、重量輕、成本低、操作容易，最廣為使用，在專業檢漏單位中人手一支，如圖 3 所示。

惟必須有相當之經驗，經驗豐富者可由噪音中分辨出極小的漏水音、也可從聽到的漏水音推測漏水量、漏水狀況等。聽音棒除了可以調查有無漏水外，還可應用在斷水確認、制水閥開關狀態確認等。檢漏器則是專門用於探測管線漏水噪音的設備，一般有主



(資料來源: Fuji Tecom Inc. 2015)

圖 3 聽音棒作業示意



(資料來源: Subsurface Leak Detection Inc.,2014)

圖 4 檢漏器作業示意

機、捕音器(或稱地面麥克風)、專用耳機三大部分組成。漏水聲波是由漏口處產生，並藉由管線傳播，同時也通過土壤從不同的方向擴散到地面。為精確定位漏點位置，把捕音器放在管線上方，以間隔距離來比較漏水噪音的強度。在通常情況下，聽測到最大漏水雜訊的地方就是漏點位置，如圖 4 所示。

## 2.環境調查法

判定漏水線索和範圍的直觀方法，根據供水管網圖及有關人員提供的情況，對供水管線進行詳細的調查，包括管道連接情況、分佈、管線材質及周圍環境的情況並通過觀察路面情況、管線上方道路草木茂盛、路邊溝渠清水長流等情況判定是否有漏水點發生。

## 3.餘氯檢測法

按照「飲用水管理條例」之「飲用水水質標準」規定，自由有效餘氯須維持在 0.2 ~ 1.0 毫克/公升，利用餘氯檢測原理，水樣加入磷酸緩衝液溶和 N,N- 二乙基- 對- 苯二胺 (N,N-diethyl- p-phenylenediamine，簡稱 DPD)，有效餘氯可將 DPD 氧化，使溶液轉變為紅色化合物的原理，可通過目視比色判斷是否供水管網發生漏水。

## 4.分段查漏法

首先是利用夜間民眾已經休息，關閉所有的用水器具，在供水管網正常條件下，檢測供水區總水錶是否走動，或者在正常供水情況下，分段逐次進行供水幹管與分支管測漏；如供水區總水錶有在走動，但查不出漏水點，則進入下水道或排水箱涵，檢查是否有地下管線被包覆在內而流入，或從下水道箱涵底部流出；最後是用各種測漏儀器精確定位。

## 5.夜間小區最小流量測定法

一般測定小區流量，係將漏水調查區根據管網狀況及需要，切割為數個小區，然後，把切割出來的小區內的管網，除留進水管外，其餘均與外部管網隔絕，然後在進水管上安裝流量計，即可測量出流入該區域的水量。在都會區，一般用水係在凌晨 1 點 ~ 3 點(各區域略有不同)內會出現當天夜間最小流量，因此時各種活動大多已停止，故此時測得的夜間最小流量係與該小區漏水量相近。在夜間小區最小流量測定法中，一般需進行夜間用戶用水資訊抄表工作(抄出該期間較大用戶的用水量)，這需耗用大量人力，而且極易漏抄表，從而對資料的正確性



產生影響，為簡化起見，可找出過去幾個月的用水資料，計算出使用者的平均用水量，然後找幾個小錶用戶實測出其夜間用水量，加上其區域內大用水戶的實際夜間用水量，即可推算漏水量情形，俾研判是否進行地毯式搜索，將漏水點找出來。

#### 6. 升壓檢漏法

此方法是藉由提高局部路段管線水壓，將地下暗漏點變為地面明漏後，加以修復的方法，可任意選擇一段管道（或一個社區），根據現場情況安裝數個水壓計，利用午夜，按該地段管網的管材及使用年限，結合平時水壓情況，逐步升高該地段的水壓。並安排數名有經驗的管線操作人員，分散守候在進水點和管網沿線以及設置水壓計的地方，手持對講機，及時互通水壓情況以防爆管，時間持續數個小時，逐步提高該地區水壓至管線可承受範圍，水壓越高、漏孔越大，隨著升壓時間的持續，暗漏點附近的地面上會出現濕痕或塌陷，做好標記後將查出的漏點即時修復，再重複實驗數次，且水壓一次比一次高，時間一次比一次長，直到查到最後一個漏點。

#### 7. 窰井查漏法

當地下管線發生漏水，這些洩漏水量會依循「水往低處流」的原理，在地下流竄，尋找其“出路”，通常道路底下之電力或電信管線窰井是其最好出路，打開這些窰井，沿線觀察其進水情形，必要時抽乾這些窰井水量，觀察其水流方向可供判斷漏水流向，經研判後找到漏水點。

#### 8. 相關儀檢測法

相關儀可協助快速定位管線漏水位置的設備，一般有主機、無線發射機、振動感

測器三部分組成。供水管線發生漏水時，在漏點處會產生漏水聲波，並沿管線向遠方傳播，此時置於管壁或與管線相連部位的兩個感應器接收到漏水噪音訊號，該信號通過發射機或通過電纜傳給相關儀主機，相關儀主機根據接收信號的不同時間差(Td)、兩個感測器位置(A點及B點，一般常設置於消防栓)之間管線長度(L)和聲波在該管道的傳播速度(聲速V)，來計算漏點位置(Lx)，並以圖形及資料給出測試結果， $Lx=(L-V \times Td)/2$ ，如圖5所示，其中，V取決於管材、管徑和管道中的介質，單位元為 m/s，並全部存入相關程式或電腦中自動計算。此種方法對環境干擾不敏感，因為這些干擾信號可通過交叉相關技術被相關儀濾掉，只要管線圖資及正確輸入操作，就能準確地確定漏點位置，而不需要豐富的聽漏經驗，目前國內自來水事業專責(或委外)檢漏單位僅少數人員熟悉此類方法之操作。

#### (三)現有國內自來水管網檢漏績效

現有道路路面下的水管，在道路兩旁有排水溝、雨下或污水下水道等情形下，除非是發生大口徑管線破漏使漏水能較快冒出路面外，很多的漏水案件要一定時間後才冒出路面，甚至很長時間才可能冒出路面，其漏水量取決於系統的壓力、操作情況、土壤情況及管線的狀況等。暗漏持續時間則取決於主動檢漏措施的積極性及強度，根據經驗，暗漏平均持續時間為檢測週期的一半，即若檢測週期為一年，平均暗漏的持續時間為半年，此原則可以做為自來水事業制定漏水檢測計畫的參考。

因此衡量現有檢漏單位的檢漏實效，「暗漏檢出率」是個重要指標，所謂「暗漏

檢出率」是在全部修漏件數中，檢漏單位找到的水未冒出地面的地下暗漏件數占全部修漏案件的比率，亦即暗漏檢出率=暗漏修復件數/修漏案件總數。比率越高，防止漏水實效越好，理想值是超過 70%，中國大陸有多省要求應超過 30%。101 年-103 年北水處委外檢漏及台水公司自行檢漏之暗漏檢出率概況詳如表 3。

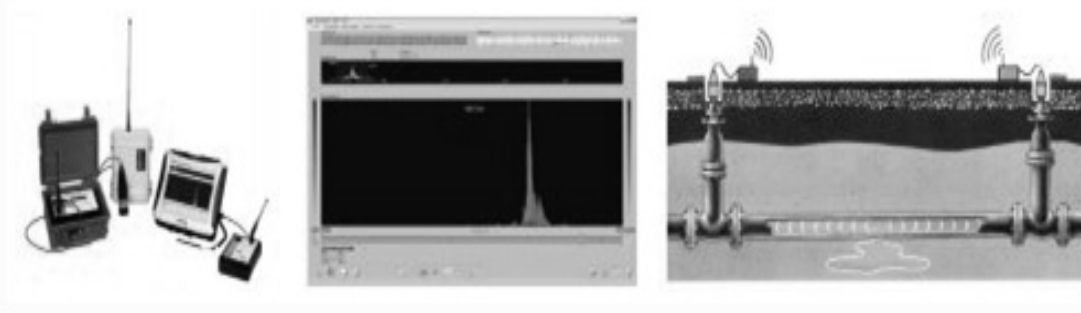
從表 3 可知，北水處目前採取委外檢漏之做法，其暗漏檢出率(%)大致接近 30%，但台水公司目前採自行檢漏之做法，其暗漏檢出率(%)仍遠低於 30%。

另，探討分析台水公司 101-104 年度自行檢漏案件，其檢出案件位於用戶外線或輸

配水管線,佔該位置總修漏案件數之情形，可發現「用戶外線」檢出率從 6.64%逐年提升至 10.92%，而「輸配水管線」檢出率約維持在 5%~6%間，顯示「輸配水管線」檢出率亟待積極改善。

#### 四、未來展望

近年來自來水管網之漏水改善受到政府和社會各界的重視，國外先進及成熟的技術與設備也逐步進入國內市場，為開展漏水調查工作提供了良好的條件，雖然台水公司早於民國 63 年成立時，就參考日本作法，成立了專責的管線檢修隊，也相繼引進了當時先進國家的漏水檢測設備，專門從事漏水



(資料來源: SETEC Engineering GmbH & Co., 2015)

圖 5 相關儀檢測示意

表 3 近年北水處委外檢漏及台水公司自行檢漏之暗漏檢出率概況

年度	北水處委外檢漏			台水公司自行檢漏		
	地下漏水檢出(件)	管線漏水修復件數(件)	暗漏檢出率(%)	地下漏水檢出(件)	管線漏水修復件數(件)	暗漏檢出率(%)
101	2561	9355	27.34	4077	56068	7.27
102	1310	7502	17.34	3216	55483	5.80
103	1401	6232	22.48	3444	50603	6.81

資料來源：  
 1. 本研究彙整自臺北自來水事業處 101-103 年度統計年報、檢修漏成果及台灣自來水司 101-103 年度檢漏成果。  
 2. 管線漏水修復件數及地下漏水檢出件數含用戶給水管及送、輸配水管線之漏水件數。

控制工作，取得了一定的效果，但經過四十年來之實際運作，從整體漏水防治成效來看和先進國家仍有一段不小的差距，因此僅就未來展望提出幾點看法：

### (一)研訂有效的激勵機制，強化檢漏單位當責觀念

當責的觀念非來自外國，而是人們心底深處對負責任、成就感的一種深自期許，強調「為成果負責」。從表 1 中，可知北水處委外檢漏人員平均人年檢出地下漏水件數約 208 件，而台水自辦檢漏人員平均人年檢出地下漏水件數約 50 件，除管線接管密度差異外，北水處委外檢漏人員係按檢出水管線依口徑及件數計價，暗漏檢出件和廠商效益連結應是主因。因此自來水事業宜研訂專業檢漏單位及人員合理獎勵辦法，將可激勵人員當責觀念，俾益於提高暗漏檢出率。

### (二)增補檢漏人力或引進民間檢漏人力

台水公司 101-103 年的暗漏檢出率平均約 6.62%，如欲達到 30% 的要求，自有人力約需增加 4.5 倍，概需增補 247 人(3.5×70.5 人)，但受限於政府對於台水公司員額控管，檢漏技術人員數量雖與以往相較減少甚多，但增補不易，因此可考慮參考北水處作法，選擇適當區域委託民間辦理，可增補自有檢漏人力之不足之問題。

### (三)導入進階檢漏科技及儀器

傳統檢漏方式已無法因應社會漏水案件之需求，為求快加速提升檢漏成效，檢測漏作業除了要有專業的人力及技術外，並應結合先進科技及儀器，藉此彌補人力之缺陷及不足，以提高檢漏效率，目前各國所開發

管線狀況評估及測漏技術包括：免停水侵入式測漏施工法(例如測漏智慧球)、大口徑不斷水侵入式測漏技術(例如 Sahara)、渦電流檢測技術、噪音記錄器及線上漏水監測技術設備、智慧型多點式相關儀監測技術設備、雲端智慧水網管理系統、用戶外線漏水評估設備等。

惟引進國外進階漏水防治技術可能遭遇之困難如次：

- 1.部分技術廠商僅以原廠服務計費，而不一次性出售設備，對於自來水事業而言，無法自行掌握技術的應用能力與時程，長期之服務費用負擔亦為一大考量要項。
- 2.多數國內代理商僅負責介紹與引進技術，並無法完整掌握原廠技術，對於產品採購後續之技術支援能力有限，尤其是後續保固維修及完整之教育訓練。
- 3.多數技術均有專利或獨家性(甚至僅此一家)，產品或服務價格無從比較，因此，限於政府採購法之規定，不利於引進國外進階檢漏技術。
- 4.國內管線設備設置方式(如圖資正確性、人孔、控制閥等附屬設備佈設密度、施工規範等)與國內現地環境(如道路申挖規定、多種材質管線、塑膠類管線多、水壓低等)，可能與國外有所差異，未必能符合技術之條件要求。因此欲導入這些新技術，必須先進行小規模試辦採購，或洽請廠商無償提供技術展示或實作驗證，以評估其後續應用之效益後，再行辦理較大規模之採購。

## 參考文獻

1. 臺北自來水事業處，「臺北自來水事業統計年報」，<http://www.water.gov.taipei/ct.asp?xItem=1018480&ctNode=48087&mp=114001>。
2. 臺北自來水事業處101-103年度「主動漏水控制委外作業」結算成果(未出版)。
3. 台灣自來水公司，「台灣自來水事業統計年報」，[http://www.water.gov.tw/02results/res\\_d\\_list2.asp?cate\\_id=462](http://www.water.gov.tw/02results/res_d_list2.asp?cate_id=462)
4. 台灣自來水公司101-104年度檢漏管理系統統計資料(未出版)。
5. 台灣自來水公司101-104年度修漏管理系統統計資料(未出版)。
6. AWWA Water Loss Control Committee, Applying Worldwide Best Management Practices in Water Loss Control, JAWWA Aug.2003, Vol. 95 Issue 8, p65.
7. GIZ,VAG, IWG-KIT, IEC-FHNW, Guidelines for water loss reduction,2011, [http://www.acwua.org/sites/default/files/guidelines\\_for\\_water\\_loss\\_reduction\\_-\\_english.pdf](http://www.acwua.org/sites/default/files/guidelines_for_water_loss_reduction_-_english.pdf)
8. FUJI Listening Stick , <http://www.fujitecom.com/catalogue/LSP.pdf> ,
9. Subsurface Leak Detection Inc. Leak detection:buy the right equipment for your system, <http://www.pnws-awwa.org/uploads/PDFs/conferences/2014>
10. SETEC Engineering GmbH & Co., Pipe network inspection, 2015 <http://www.setec.at/en/pipe-network-inspection.html>
11. 福建省住房和城鄉建設廳，「福建省城市供水漏損控制工作管理導則(試行)」，福建省住房和城鄉建設廳，2015.

## 作者簡介

---

### 李丁來先生

現職：台灣自來水公司漏水防治處處長

專長：自來水工程規設、自來水營運管理及研究

### 林子立先生

現職：台灣自來水公司漏水防治處檢修組工程師

專長：分區計量診斷及漏水檢測

### 盧烽銘先生

現職：台灣自來水公司漏水防治處檢修組組長

專長：自來水供水操作、水利工程、自來水工程

### 黃香蘭女士

現職：台灣自來水公司漏水防治處檢修組營運士

專長：檢修漏數據統計分析

# 從自來水重要幹管災損與維護資產風險管理探討

文/鄭錦澤

## 摘要

在這個瞬息萬變的時代中，從政府機構到私人企業，誰也無法保證自己絕對不會碰到突如其來的意外，也許意外的發生出人預料，但是如何預防、妥善處理危機，進而將危機化為轉機，便考驗著企業的危機管理能力。自來水對於人民生活及國家整體經濟發展相當重要，從近年來自來水重要幹管災損事件造成之供水風險，如何規劃有系統及計畫性之診斷技術與維護檢驗作業方式，以及相關配套系統之聯結使用策略，對於提升管線系統之機能，以延續自來水設施整體生命週期係相當重要之課題。

本文首先主要藉由國內、外適當案例與維護現況回顧、並與國內外相關專家訪談，探討設施維護管理考量重點與策定程序。另針對不同之主要管種：鑄鐵管、鋼管、預力鋼筋混凝土管等，探討運用間接與直接診斷等技術評估狀況，以及評估土壤、地質與水等環境因子推斷管線狀況等；此外，藉由維護、修建補強、改良及更新程序運用策略等，以期提升整體管線系統效能。

其次，有關於管線資產風險管理主要希望將資源分配至需要的高風險領域，第一步評估管線損壞的可能後果風險；第二個步驟是藉由運用相關管線數據評估失敗的可能性，可以藉由利用先進的評估技術。管線維修和監測重點技術等資訊；第三個步驟是評估系統的限制條件風險判斷，應充分考慮相關系統臨界限制條件；以利分析結果供整體

評定。最後綜整考量上述三個步驟的執行結果，並利評估採取相關對策。

最後，有關於自來水設施管線資產風險管理所涉及財源籌措亦應審慎考量，如能於水價結構中合理反映成本，當然是籌措財源主要考量方式之一，惟目前在台灣政經社會環境下，欲合理調整水價，常有諸多須配合政治等因素考量，尤其有關於震災等災損之風險管理等。且因其所需經費龐大，短期效益較難呈現，籌措並不容易。因此，尚可就幾種其他發展情形考量：1.水價結構附加專款專用、2.巨災保險籌措、3.公務預算編列補助、4.巨災債券籌措、5.發佈緊急命令籌措等。另供自來水相關從業人員運用，及有興趣人員知識管理與參考。

關鍵字：資產風險管理、診斷技術、維護檢驗、財源籌措

## 一、前言

自來水對於人民生活及國家整體經濟發展有相當重要，隨著資訊及技術之發展，以及都市發展及維護交通便利等因素，用戶對於相關供水品質要求日漸提高。在自來水設施中管線工程之角色相當重要，管線工程之優良與否關係著整個自來水系統的功能。另外管線系統若未適當維護，小者可能造成水質的劣化，影響用戶之健康；嚴重時可能危及生命財產。近期來重大管線災損常有發生，諸如：台南市 105 年 2 月 6 日凌晨約 4 時發生規模 6.4 地震，台南市地區受損管線  $\phi$  300mm 以上管線設備破損 26 處，包含  $\phi$  2000mm/m 幹管受損，停水戶數為 25 萬戶。另

高雄市 105(2016)年 1 月 31 日小港區沿海二路與利昌街交叉口  $\phi$  1750mm PSCP 輸水管線破裂，小港等 5 區部分屬管線末端及高地區周邊約 7 萬戶停水，前金等 3 區周邊管線末端及高地區 2 萬戶減壓供水。此外，新北市 105 年 1 月 27 日樹林柑園大橋自來水幹管  $\phi$  1350mm PSCP 破裂。台南市 105 年 1 月 20 日南化區南化給水廠下游台 20 乙線三錦橋（近西埔里側） $\phi$  2000mm 幹管受損，影響戶數約 10 萬戶。民國 98 年(2009)1 月及民國 102 年(2013)5 月苗栗縣鯉魚潭水庫直徑 2.6 公尺的導水管線，亦先後二次造成導水管爆裂，皆造成數十萬戶停水。該等事故皆引起國人與執政當局的重視，乃至於國際媒體的報導，為避免類似事件再度發生，宜針對重要的維生管線資產風險管理進行評估診斷及維護，該等課題相當重要值得探討。

基此，如何規劃有系統及計劃性之作業方式，以及相關配套系統之聯結使用策略，對於提升管線系統機能是相當重要地。管線工程隨著科技進步，藉由引入新的施工技術及管材，將有助於提昇整體供水品質及機能。然而系統狀況評估改善是一項複雜艱難的工作，目前國內外雖然有不少相關分析模式或程式，但是，仍須因地制宜，配合國內自來水現況及地區特性，建立合理可行之技術，以利計畫評估並供決策參考據以改善，以期提昇整體成效。

## 二、背景調查

自來水管線工程所使用的管種材料相當多，依目前台灣地區自來水管管材主要種類眾多，諸如：灌鉛接頭鑄鐵管（CIP）、機械接頭鑄鐵管（MJP）、球狀石墨鑄鐵管

（DIP）、預力混凝土管（PSCP）、預力鋼襯混凝土管（PCCP）、鋼筋混凝土管（RCP）、鋼管（SP）、聚氯乙烯管（PVCP）、不銹鋼管（SSP）、鍍鋅鋼管（SSP）、聚丙烯管（PBP）、石棉水泥管（ACP）、玻璃纖維管（FRP）、強化塑膠管（ABS）、鉛管（LP）、白鐵管等。其或因台灣地區百年來自來水經歷不同階段之經營開發，或因管材時空環境演進，或因社會變遷人民需求水準品質，以致現存有上述諸多管材。

美國自來水協會（AWWA）曾針對在美國 337 個供水設施的自來水管資料統計概估，約三分之二（66%）是金屬（40%左右的鑄鐵管[CIP]，22%的石墨球狀鑄鐵管[DIP]和 4%的鋼管（SP）），約 16 % 石棉水泥（AC），13%的聚氯乙烯（PVCP）和 3%的各種混凝土管。另外，相關調查 21 個加拿大城市（約 11%加拿大的人口）資料，亦發現管材類型有相似的施設情形<sup>(1)</sup>。

目前管線施工使用明挖工法仍為主要之工法，其施工方式原則上依不同管徑及條件定線擋土保護後挖掘管溝、安放管材及警示帶、消毒後回填夯實覆蓋。如遇無法施作或條件不符時，再改採其它特殊工法。根據國內外過去多年使用之經驗，雖然有其便利性，不過隨著環境變遷，對於人民生活品質及社會成本，造成若干負面衝擊及困擾，歸納其原因歸納如下：1.施工時嚴重影響交通。2.施工噪音、振動、灰塵等影響環境，造成鄰近居民反感。3.既有管線拆遷配合曠日費時。4.路面修復及既有管線拆遷費高。5.回填夯實不確實產生沉陷，影響路面功能。6.挖方廢土不易處理。7.道路挖掘申請不易。8.地下管線資料不完備，相關管線診斷

之資訊與技術亦陸續配合改進與運用。

預力混凝土管開發自歐洲，美國自 1943 年引進 PCCP，台灣在民國 49 年開始曾有唐榮鐵工廠等數家廠商進行研究試製，台灣首次使用預力混凝土管係民國 55 年至 57 年配合曾文海埔新生地開發以及西港鄉供水工程之實施。至於 PCCP 管係於民國 69 年首先使用於台北市建國南北路。從近年來若干重要幹管再次爆裂，凸顯 PCCP & PSCP 等大口徑管線雖僅佔修復總件數之甚小比例，惟該等管線若突然爆管，預力崩解與原預期之機能落差甚大，且因其漏水量大等危害度相對甚高。基此，以下特別針對該等管線損壞情形，以美國案例說明評估。該國混凝土壓力管協會曾對 PCCP 所發生事故 38 件原因做探討：1.因水管內外發生鋼線腐蝕所引起者 33 件（因內部腐蝕者為 8 件；因外部腐蝕者為 25 件）。2.因陰極處理不當所引起者 3 件。3.因生產過程不當所引起者 6 件。4.但無因管體之構造設計不當所引起者。由此統計來看因水管內外部之腐蝕所引起之事故者佔大部份。惟須注意美國 ASTM A-648 另外還有多項規定如：(1)提醒廠家在鋼線生產冷拉伸線時，不能使線材溫度太高的建議。(2)做扭轉試驗。(3)做扭轉試驗後扭斷面及扭斷樣品外觀之觀察檢查。(4)拉斷時斷口面積縮小率之測量等之規定，係與 CNS 之規定項目不同者。因此，引用規範時須注意強化對保護 PC 鋼線不受損壞為極重要之事。

重要幹管因大部分管線設施埋設於地下，如欲直接目視確認較為困難。因此必須維持該等設施管理良好，否則將影響整個自來水事業經營及給水服務甚鉅。基此，設施

適當管理應考量：(1)污染防止及水質保持、(2)漏水防止、(3)事故及災害對策、(4)情報資訊管理、(5)保全維護及運轉管理等。傳統上來說，間接的資料如同爆管的歷史資料與使用時間則會用以判斷管線的狀況，然後決定是否進行管線汰換，通常需要花費相當高的資金與社會成本。現今市面上有許多的方法與科技可以採用，這些方法涵蓋不同層級的內容，並且可以用以判斷管線的使用情況。然而這些技術都面臨不同的挑戰，不論是執行的層面或是財務的層面。

綜合而言，管線評估維護或更新主要考量預防管線經年使用後漏水、破裂，防止濁水及通水能力的回復。另外，從提昇需要者用戶用水品質的觀點，以及減低餘氯濃度，直接供水的擴大，耐震性的改善等多重目的。對於導、送配水管等耐震化考量亦應探討，對於臺灣地區相關地質敏感區或斷層帶所處之自來水事業的基幹設施，諸如：導送水管線應納入管線更新重點組合亦可為選項評估。

### 三、系統維護與管理評估

有關系統管理之維護評估管理計畫之策定順序，應考量由系統管理為觀點，進行相關計畫的策定，首先要考量系統上各設施的重要度、緊急性等優先順位，對於設定之計畫目標，在有限的財源下，選定能達成最有效能的方案。尤其在規劃評估大規模的改善案或更新工程，因為需要龐大的資金，更有需要依各設施所考量的信賴性，及其合乎要求的維護管理水準，規劃適當的分年分期計畫，以利調整財政負擔，並期避免在短時間內集中支出。進而可以提高整體事業計畫



之績效，以利企業整體健全的發展。日本與中華民國自來水協會建議相關評估檢討順序與擬訂計畫目標可參考如圖 1<sup>[2]</sup> 所示，進行關聯之系統機能綜合的評價、診斷，及其對應之效益分析。

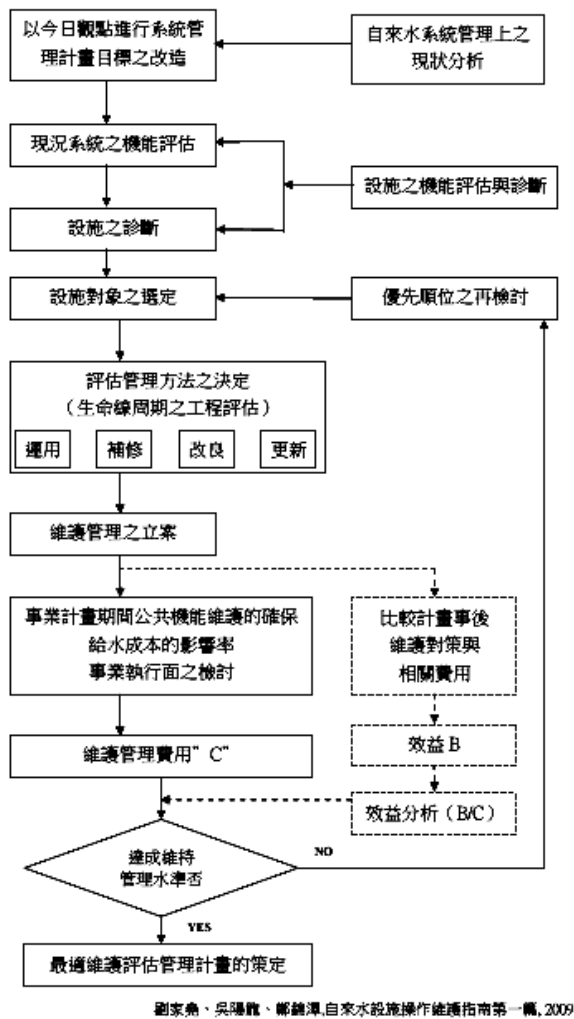


圖 1 維護評估管理計畫之策定流程圖

美國環保署曾建議有關於幹管結構狀況評估和管線重建決策須考量，包括幾個要素：(1)該等管線在土壤中物理的模擬。(2)了解管線的損壞失能模式及其相關的頻率，包括觀察到的或可量測的符號（或劣化風險的指標），以及指向的劣化機制的潛在推理的指標。(3)檢測管線的辨別的指標。(4)

劣化風險指標解讀，以研判管線的狀態。(5)從以往損壞故障進行經驗/統計建模（主要是在小管徑配水幹管）。(6)從劣化模式預測未來的損壞故障率，以及管線剩餘壽命。(7)評估損壞失能的後果（直接，間接成本 and 社會成本）。(8)規劃安排管線重建，減少生命週期成本，同時滿足或超過供水功能目標（數量，質量，可靠性等）。

相關考量示如圖 2<sup>[3]</sup>，評估管線條件時須注意的不應僅以單一劣化風險指標。相關的信息亦須參考，如土壤性質，環境負荷（氣候，地下水，覆土等），操作營運（陰極保護 CP、洩漏檢測），傳感器監測數據和管線的幾何形狀，以供提昇管線評估成效。相關建議劃分這些因素主要分為三類：物理，環境和操作。物理因子包含：管齡和材料、管壁厚、管的製造年份、管徑、接頭型式、推力克制間隙、管線襯裡和塗層、不同的金屬、管線施工安裝與管線製造。環境因子包含：管溝基礎、溝內回填、土壤類型、地下水、氣候、管位置、擾動、迷走電流、地震活動。操作因子包含：管內水壓力、水錘、洩漏、水質、流速、回流潛勢、操作和維護實際狀況。

有關前兩項因子可進一步分為靜態和動態（或依賴於時間的）。靜態因素包括管材，管件的幾何形狀和土壤類型等，而動態的因素包括管齡，氣候和地震活動。操作因素本質上是動態的。許多因素是不容易衡量或量化。此外，這些因素和管線失能之間的定量關係常常不容易完全了解。因此，管道狀態評估的實踐相結合使用兩種類型的指標，即劣化風險指標和推理的指標。

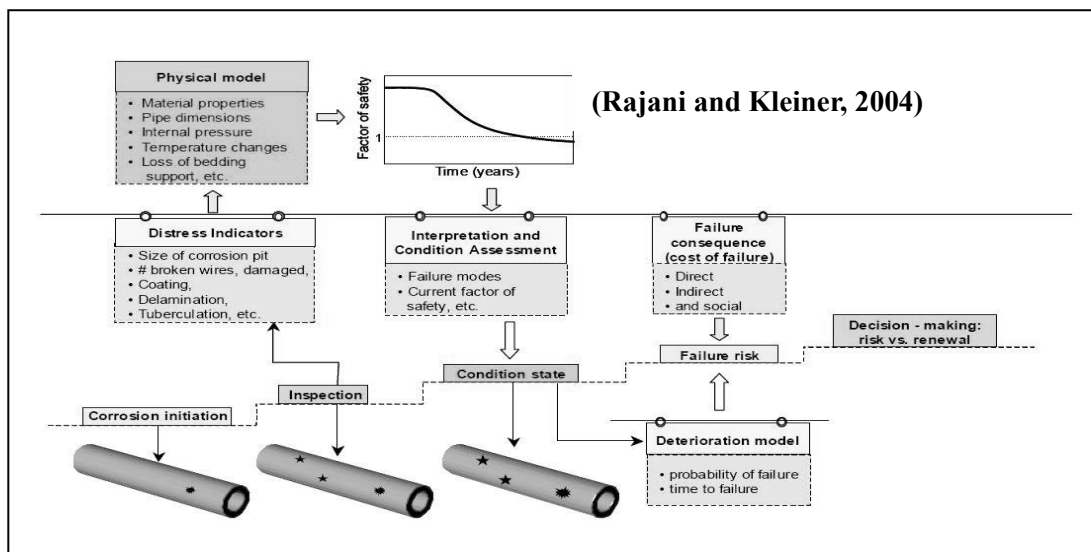


圖 2 管線結構狀況和損壞失能模式評估與補強對策程序示意圖

表 1 鑄鐵管的使用年數與老化程度排列等級一覽表

主要項目 等級	有無內襯 水泥	使用年數 Y (年)	過去發生事故歷史	外部要因	評估	對策
I	無	$Y \geq 40$	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模事故</li> <li>事故事件多</li> </ul>	危險性大	事故的可能性大	最優先更新
II	—	$30 \leq Y < 40$	<ul style="list-style-type: none"> <li>中規模事故</li> <li>事故事件中</li> </ul>	危險性中	事故的可能性中	優先的更新
III	—	$Y < 30$	<ul style="list-style-type: none"> <li>小規模事故</li> <li>事故事件少</li> </ul>	危險性小	事故的可能性小	可能時更新

#### 四、系統診斷探討

重要管線常因經年使用產生劣化，進而使得機能降低，必須加以改善更新等作為。相關管線更新效率欲達成何種的效果，管線的強度及耐久性診斷評估事宜不可或缺。適切時期應實施機能診斷，以利預防保全及相關更新汰換及更生工作。管線的診斷方法分為間接評估診斷及直接評估診斷，分別說明如后：

##### (一)間接評估診斷

間接評估診斷主要是藉由日常的維護

管理業務所得的抱怨、事故等相關修理紀錄，水量、水壓、水質相關的紀錄等，基本管線機能降低要因的解析，以及預測未來可能變化的方法。間接診斷相關說明條列如后：

1. 相關事故率的評估診斷：診斷區間的漏水及破損事故全部事故件數管線全長及使用年數相除值（其他企業工程施工等造成的事故除外）診斷。
2. 使用年數定性的評估診斷：鑄鐵管的使用年數等相關老化程度排列等級一覽表示如表 1<sup>[4]</sup>。

- 3.用戶抱怨率的診斷：診斷區間的出水不良、紅水、水壓不足等，相關抱怨件數與管線全長及使用年數相除值的診斷。
- 4.漏水量的診斷：診斷區間的漏水量。
- 5.地震時受損率的診斷：診斷區間的管線受損件數與管線全長相除值的診斷。
- 6.綜合物理評估診斷：藉由事故率、使用年數、地震時受損率等相關資料做綜合物理評估診斷。

鑄鐵管等管線埋設於複雜地下土壤環境中，何種土壤屬於易產生腐蝕之土壤環境，有賴更進一步之評估分析，美國鑄鐵管研究協會發展一套土壤對延性鑄鐵管所造成腐蝕程度之評估方式，簡稱為「10分評估系統」將土壤電阻率、pH值、氧化還原電位、含硫量、濕度等5種因素賦予不同權重分數，分別調查分析各因子數值，再將其數值加總超過10分者即表示該土壤對延性鑄鐵管具有腐蝕性，應採取適當的管線防蝕措施。

## (二)直接評估診斷

直接評估診斷主要是對於管線機能進行直接的測定、評估的方法，為信賴性較高的手法。可使用在間接診斷對於管線機能劣化狀況難以判斷的場合。相關常見診斷項目說明如后：1.管內面（銹瘤、塗裝、內襯）2.管外面（塗裝、腐蝕）3.接頭（球狀承口、螺栓、螺栓帽、壓圈、有無漏水、管體接合彈性間隙）4.管體（殘存厚度）5.通水斷面積6.週邊土壤及地下水的水質7.管內水（水壓、水質）。評估診斷項目及調查測定方法表示如表2，另外，腐蝕老化調查項目評估

說明如后：

- 1.鑄鐵管腐蝕深度老化程度：鑄鐵管外面開始測定，依據腐蝕部位的深度及老化度的情形，以供評估。鑄鐵管老化度等級的診斷基準及對策，示如表3。
- 2.鋼管外面管腐蝕狀況老化程度：塗覆裝鋼管外面的損傷部位及劣化部份腐蝕等，造成破孔漏水的期間推算，以供評估老化程度。對於破孔漏水的期間推算式及方法表示如后及圖3；另塗覆裝鋼管老化程度等級示如表4。

表2 診斷項目及調查測定方法一覽表

診斷項目	調查、測定方法
管內面	消防栓等插入照相攝影調查 管內自走式攝錄調查 管線切斷調查
管外面	腐蝕深度調查 管厚測定（ $\gamma$ 射線測定、超音波測定、過電流測定）
接頭	螺栓及螺絲帽腐蝕狀況調查 管接頭調查、測定（水密性的調查、接頭接合彈性間隙拔出量測定）
管體	靜態強度測定、化學組成調查、腐蝕狀況調查
通水斷面	X射線測定、 $\gamma$ 射線測定
週邊土壤及地下水的水質	土壤的N值測定、壓縮試驗、壓密試驗、密度試驗、美國國家標準（ANSI）的土壤評估基準、地下水的PH值的測定、含有物質的調查
管內水	PH值、濁度、餘氯濃度的測定、水壓的測定

表 3 鑄鐵管的管體老化等級的診斷基準及對策

老化等級	定義	對策
I	腐蝕貫通的狀態 腐蝕深度 $\geq$ (規定管厚-管厚容許誤差 <sup>(註1)</sup> )	基本上殘存管厚已無法提供保障，即時做更新為必要的緊急對策。
II	設計安全率未滿 1.0 的狀態 (規定管厚 -容許值) $\geq$ 腐蝕深度 $\geq$ { 規定管厚-容許值-實際管厚 (安全率 1.0 <sup>(註2)</sup> )}	靜水壓、水錘壓、外荷重包含土壓力等對應的保障未達安全率 1.0，應儘早作必要的更新。
III	設計安全率達 1.0 以上，未達 2.0~2.5 的狀態 (規定管厚-容許值-實際管厚 (安全率 1.0 <sup>(註2)</sup> ) $\geq$ 腐蝕深度 $\geq$ { 規定管厚-容許值-實際管厚 (安全率 1.0 <sup>(註3)</sup> )}	靜水壓應未達 25，水錘壓、外荷重包含土壓力等對應的保障未達安全率 2.0；應更增加診斷地點，詳細地進行診斷；另外考量管線的重要度，在更新修繕時應納入立案。
IV	設計安全率達 2.0~2.5 的狀態，腐蝕深度的腐蝕量超過 2.0mm 狀態 { 規定管厚-容許值-實際管厚 (安全率 1.0 <sup>(註3)</sup> ) $\geq$ 腐蝕深度 $\geq$ { 腐蝕量 (2.0mm)}	這個等級預測腐蝕仍持續進行，約 10 年內應再診斷。
V	以腐蝕深度的腐蝕量 2.0mm 而言，尚有安全餘裕度；亦即腐蝕深度的腐蝕量小於 2.0mm 狀態。	以腐蝕而言，對應深度的腐蝕量 (2.0mm) 尚有安全餘裕度

註 1：規格管厚 10mm 以下的場合為 1.0mm；亦即 10mm 超過 10% 以上的場合。

註 2：安全係數以靜水壓、水錘壓、外荷重包含土壓力、輪載重等為對應，當採用 1.0 時的計算厚度。

註 3：安全係數以靜水壓對應 2.5、水錘壓、外荷重包含土壓力、輪載重等為對應 2.0 時的計算厚度。

$$\text{最大侵蝕度 (CRm)} = \frac{\text{最大腐蝕深度 (mm)}}{\text{使用經過年數 (年)}} (\text{mm / 年})$$

$$\text{破孔期間} = \frac{\text{管的原來厚度 (mm)} - \text{最大腐蝕深度 (mm)}}{\text{最大侵蝕度 (mm/ 年)}} (\text{年})$$

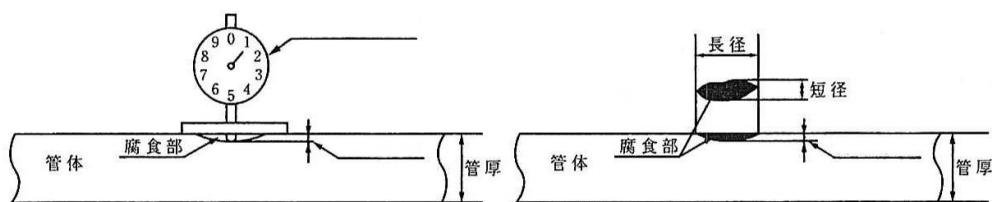


圖 3 腐蝕深度及腐蝕面積的測定方法

表 4 塗覆裝鋼管老化程度等級表

老化程度等級	破孔迄止的期間 y (年)	評估
I	$y \leq 5$	必須研訂對策
II	$5 < y \leq 10$	重點注意路線
III	$10 < y$	注意路線

3. 螺栓及螺絲帽腐蝕老化程度: 藉由螺栓及螺絲帽腐蝕測定, 以供接頭部位老化程度評估。螺栓的老化程度等級的判斷案例及圖 4; 老化程度等級診斷基準表示如表 5。

4. 管厚測定老化程度: 管體 X 射線照相攝影, 內面腐蝕認定情形, 位置可藉助超音波板厚計測定, 以供管體的老化程度評估。鋼管的管厚測定案例示如圖 5。

表 5 螺栓及螺絲帽老化程度等級診斷基準表

老化程度等級	定 義	對 策
I	螺栓外徑顯著減少, 螺絲帽腐蝕激烈。	管線更新應優先檢討 <sup>(註1)</sup>
II	螺栓的螺絲釘谷部已腐蝕, 螺絲帽的角端全體腐蝕。	管線更新應優先檢討 <sup>(註2)</sup>
III	螺栓的螺絲釘山部已腐蝕, 螺絲帽的角端一部分腐蝕。	繼續實施追蹤調查
IV	尚未腐蝕。	繼續實施定期調查

註 1: 螺栓及螺絲帽腐蝕激烈的場合, 接頭止水性能將被假想較差, 漏水事故等恐有發生之虞, 管體應進行調查診斷, 管線更新應做必要檢討。

註 2: 螺栓及螺絲帽腐蝕的場合, 管體將被假想同樣腐蝕, 包含管體的調查診斷應進行, 以及管線更新應做必要檢討。

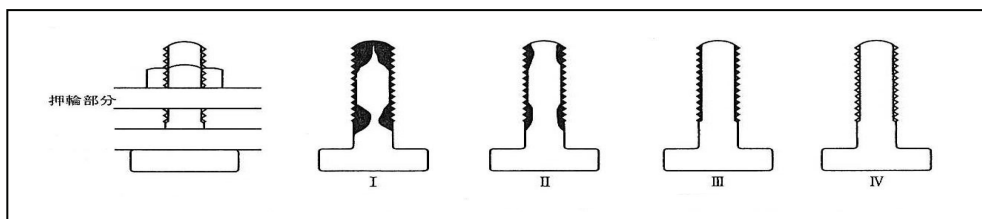


圖 5 螺栓及螺絲帽老化程度等級判斷例

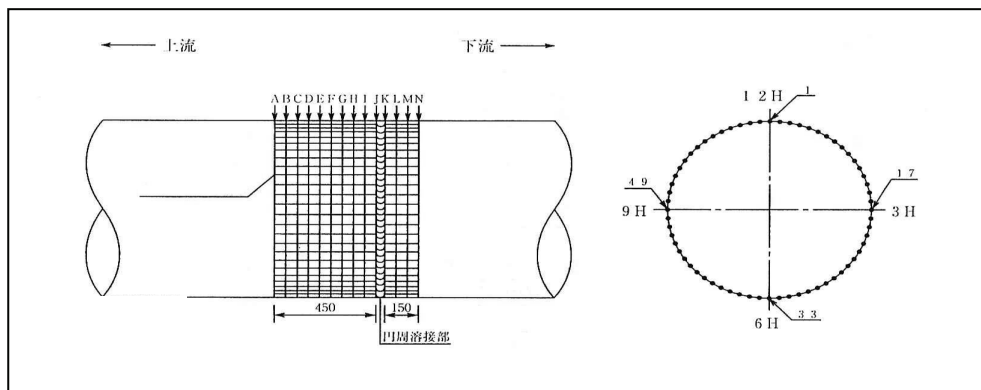


圖 6 鋼管管厚測定案例 (50 mm 格子)

5.PCCP 管等評估

美國環保署(EPA)曾藉由公用事業報告或相關文獻統計，不同技術在公用事業實際運用在 PCCP 情形<sup>[5]</sup>(示如表 6)，其用途區分為高、中或低。高使用率係由 15 個或更多的公用事業或實際使用至少 500 英里(miles)。同樣，中等使用率係使用相當於 5 到 15 個自來水業或實際使用 200 至 500 英里。低使用率相當於少於 5 個公用事業少超過 200 英里。然而運用相關技術時，常須注意該項技術仍有許多可能的限制情形，諸如：高使用率運用的電磁檢測(Electromagnetic Inspection)之 RFTC 技術雖然可運用在檢測預力鋼線斷線情形，惟仍須考

量 1.限制在檢測鋼線幾乎已全然腐蝕、2.所須考量之成本十分高、3.檢測時須停止輸送功能、4.受限於在管線附著牽引涵蓋之百分比、5.亦受限於管線之坡降與通道、6.對於非鋼襯預力管與外部檢測時有較大差異等<sup>[6]</sup>。

6.管線震損等評估

今年高雄美濃與台南地震，以及 99 年 3 月 4 日高雄甲仙的地震規模皆達 6.4，也因土壤液化或地層錯動，使得管線損壞或接頭脫落，造成多處地點管線損壞影響供水。臺灣、日本及美國等同屬環太平洋地震帶，考量大規模地震對公共給水系統的危害甚鉅，各國投入自來水系統耐震性與震後應變之研究，一向不遺餘力。在管線評估方面日

表 6 公用事業利用不同檢測技術評估和監控統計一覽表

項次	技術名稱	公用事業數	檢測長度(miles)	備註
1	電磁檢測 Electromagnetic Inspection	24	1895	高使用率
2	聽音監測 Acoustic monitoring	23	101	高使用率
3	內部檢視和探測 Internal Visual and Sounding	14	750	高使用率
4	土壤和地下水的化學分析 Chemical analysis of soil and groundwater	11	110	中使用率
5	同軸線上聽音探測器 In-line acoustic probes	10	70	中使用率
6	外部檢視和探測 External visual and sounding	10	4	中使用率
7	土壤電阻率 Soil resistivity	9	361	中使用率
8	管線與土壤電位測量（密間隔電位測量 - CIPS） Pipe-to-soil potential survey(Close Interval Potential Survey - CIPS)	8	389	中使用率
9	應力波分析 Stress wave analysis	5	4	中使用率
10	鋼線連續性檢測 Wire continuity	5	1	中使用率
11	點位間的電位差調查 Cell-to-cell potential survey	3	63	低使用率
12	相關式系統檢測儀 Correlator systems	2	17	低使用率
13	半電位差測量 Half-cell potential measurements	2	<1	低使用率
14	地下麥克風檢測 Ground microphones	1	19	低使用率

本歷經數次大地震後，經蒐集大量管線災損資料，經統計分析，發展出適合日本地區管線災損經驗公式(Miyajima et al; 2013)。Rm(v) = Cp x Cd x Cg x R(v) 該公式包括管種接頭形式、口徑大小、地形地質條件及尖峰地表加速度(示如表 7)<sup>[7]</sup>。惟經歷日本東北大地震後，因東京都液化並比對各地管線災損，進行該公式修正，以符合日本地區需求。

表 7 日本管線震損經驗係數參考表

管材(connector type)	Cp	管徑	Cd
DIP (A)	1.0	φ 50 - 80mm	2.0
DIP (K)	0.5	φ 100 - 150mm	1.0
DIP (T)	0.8	φ 200 - 250mm	0.4
DIP (disengagement prevention)	0	φ 300 - 450mm	0.2
CIP	2.5	φ 500 - 900mm	0.1
PVCP (TS)	2.5	> φ 900mm	0.05
PVCP (RR)	0.8	R(v): $9.92 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.14}$ (locations/km)	
SP (welding)	0.5/0		
SP (non-welding)	2.5	v: 地表尖峰速度 cm/s (15 ≤ v < 120)	
ACP	7.5		
PEP (electro-fusion)	N/A	Cg:管線埋設處之地形地質係數	

財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心，近年來亦針對自來水管線與系統耐震研究，除進行一系列研究計畫外，亦陸續執行經濟部水利署、臺北自來水事業處、興南鑄造廠、台灣世曦顧問公司等之委託研究計畫。有關自來水系統災損推估、管網分析、設施耐震評估、管材耐震試驗、防災應變資訊系統、相關災害潛勢分析等，亦多有著墨，其修正臺灣地區管線地震災損經

驗公式係數可參考表 8<sup>[8]</sup>。

表 8 臺灣管線震損經驗係數參考表

管材	耐震分級	管徑 (mm)				
		13 - 75	100 - 250	300 - 450	500 - 900	>900
		S1	S2	S3	S4	S5
DIP(K)	T2	1.79	0.63	0.18	0.09	0.04
SP(welding)		1.79	0.63	0.18	0.09	0.04
HDPE		1.79	0.63	0.18	0.09	0.04
PVCP(RR)	T3	2.86	1.00	0.29	0.14	0.07
HIWP		2.86	1.00	0.29	0.14	0.07
DIP(A)	T4	3.57	1.25	0.36	0.18	0.09
MJP		3.57	1.25	0.36	0.18	0.09
CIP	T5	8.93	3.13	0.89	0.45	0.22
PVCP(TS)		8.93	3.13	0.89	0.45	0.22
PCCP		8.93	3.13	0.89	0.45	0.22
ACP	T6	26.8	9.38	2.68	1.34	0.67
RCP		26.8	9.38	2.68	1.34	0.67

### (三)診斷結果的綜合評估

管線更新計畫的策訂，應當考量診斷結果，基於管線機能的現況，以及與未來需求水準間之差異，明確進行綜合評估。另外，並配合評估之際，尚須將下列項目做必要的檢討。包含：管線的重要度、地方政府的施政策略與自來水事業發展間的整合、施工上的制約、財政上的制約。

### 五、資產管理、風險與財源籌措評估

有關於管線損壞的風險分析的目的是將資源分配至需要的高風險領域，而不是浪費稀少有限之資源在低風險區域。風險通常是表示為損壞和損壞之結果可能性的乘積。損壞的風險可以藉由管線維修和監測重點技術等資訊，利用先進的評估技術，管線



損壞的臨界風險判斷應充分考慮系統限制條件；重新分析結果以供整體評定。美國環保署曾建議資產管理風險評估流程示意如圖 7<sup>(1)</sup>，並說明如后。

在資產管理評估過程的第一步是評估管線損壞的可能後果，包括生命安全，財產損失，業務中斷，公眾的信任和政治成本。此一評估的結果可為管線或是管線的一部分，基本上可區分為低、中、高等損壞後果之分類。第二個步驟是藉由運用相關管線數據評估失敗的可能性。分別考量：在圓周方向：損壞的可能性包含：I、管齡。II、狀況：諸如：以往洩漏或破裂形式等情形。III、已知因素：諸如：在管線設計、製造、施工安裝（包括管溝的條件）、環境、操作等可能增加故障的可能條件。IV、常用簡便評估技術：諸如：內部目視檢查，外部檢查，並檢視線上腐蝕性及腐蝕測量。V、評估損壞風險；藉由相關過程而形成指標流程。2、在縱軸方向：損壞的可能性包含：I、管道設計延展與阻抗情形。II、管線承受之應力。III、周邊土壤型態。第三個步驟是平評估系統的限制條件：包括(1)系統餘裕(備援備載)、(2)可以停止服務總時間(3)考量進行內部評估所需工作時間、(4)可供運用之時間與建設成本、(5)停水時間和成本。評估時須考量在該等管線上相關閥栓的可操作性和是否需要將其修復。最後綜整考量上述三個步驟的執行結果，以供評定的管線臨界狀況，並利評估採取相關對策。

資產與風險管理分析時，有關於自來水設施財源亦應審慎考量，如能於水價結構中合理反映成本，當然是籌措財源主要考量方

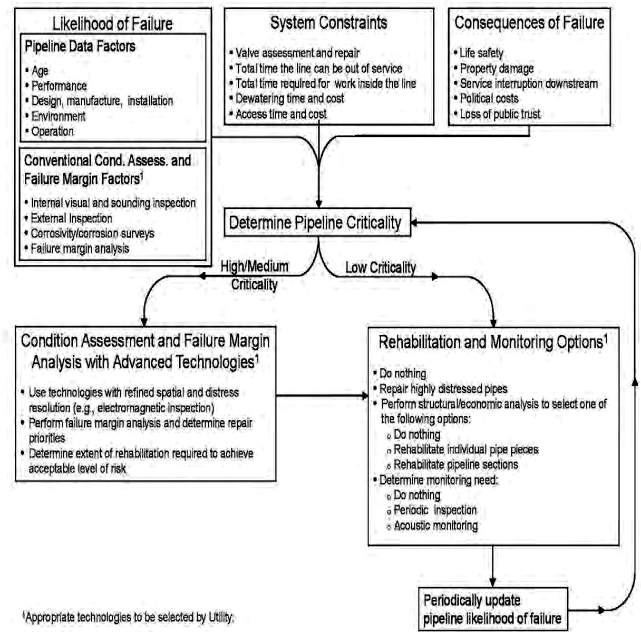


圖 7 資產管理風險評估流程示意圖

式之一，惟目前在台灣政經社會環境下，欲合理調整水價，常有諸多須配合政治等因素考量，尤其有關於震災等災損之風險管理等。且因其所需經費龐大，短期效益較難呈現，籌措並不容易。因此，以下僅就幾種其他發展情形：1.水價結構附加專款專用、2.巨災保險籌措、3.公務預算編列補助、4.巨災債券籌措、5.發佈緊急命令籌措等<sup>(9)</sup>。從業人員或有識之士可藉由不同模式再深入探討，以期評估更適合台灣本土之方案，將有助於提升整體風險管理成效及維護事業經營發展。此外，自來水耐震等法規現階段完整性似乎仍嫌不足，因此可進一步與相關專業機構探討補強。亦可由我國自來水協會參考美日等國模式成立自來水地震技術小組，或由中央自來水主管機關主導，以利產官學界等進行平臺交流，深化技術與法規增修探討，以利推動提升整體自來水設施耐震等防災風險成效，並利維護用戶用水安全，與環境永續發展。

## 六、結語

自來水系統是民生最重要的維生管線之一，只要功能受損，居民生活及工商業活動會受到極大的影響與損失。近期來新聞媒體常有發生重大自來水管線災損，該等事故皆引起國人與執政當局的重視，乃至於國際媒體的報導。尤其臺灣、日本及美國同屬環太平洋地震帶，考量大規模災損對公共給水系統的危害甚鉅，各國投入自來水系統相關應變與風險管理之研究，一向不遺餘力。在有限的資源下，自來水事業(公司)仍持續進行相關探討與施政作為。以北水處為例：進行推動相關風險管理主要對策，其重點包含 3 部分：1.強化防災設施能力、2.場站設施耐震評估、3.整備維生用水。為避免類似事件再度發生，自來水事業(公司)仍宜持續針對重要的維生設施進行評估診斷及維護與資產風險管理。惟從日本等複合式災害案例，面對難以預測之災變，我們的因應作為仍須作更多探討，宜納入更多複合性災害的想定。藉由從多方面持續探討與精進，希望提升整體災害應變及風險管理之能力。另在資產與風險管理分析時，有關於自來水設施財源亦應審慎考量，尤其在水價調整之際，該等課題相當重要值得進一步探討，以維自來水永續發展，並利國計民生。

## 參考文獻

- 1.美國環保署 (2012), Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Distribution Systems.
- 2.劉家堯、吳陽龍、鄭錦澤, 自來水設施操作維護指南第一篇總論, 98年(2009)自來水設施維護管理指南, 中華民國自來水協會.
- 3.Rajani, B., and Kleiner, Y. (2004). "Non-Destructive Inspection Techniques to Determine Structural Distress Indicators in Water Mains." Evaluation and Control of Water Loss in Urban Water Networks, Valencia, Spain, 1-20.
- 4.鄭錦澤、陳晃賜、郭得祿, 自來水設施操作維護指南第九篇送配水設施, 98年(2009), 自來水設施維護管理指南, 中華民國自來水協會.
- 5.美國環保署 (2012), Water Research Foundation, Best Practices Manual for Prestressed Concrete Pipe Condition Assessment: What Works? Doesn't? What Next?
- 6.鄭錦澤、林佑鴻, 從重要幹管探討維護診斷與生命週期, 102年(2013) 10.28 -11.01, 第九屆海峽兩岸水質安全控制技術與管理研討會暨 2014 水質高峰論壇, 台中市, 中華民國。
- 7.Masakatsu Miyajima, Seismic Upgrade of Drinking Water Pipelines, 自來水耐震研習會, 102年(2013) 9.16, 台北市, 中華民國。
- 8.鄭錦澤、曾喜彩、周家榮、劉季宇、黃仲偉, Seismic Assessment of Pipeline Network of Taipei Water Department under M7.1 Sanchiao Fault Scenario Earthquake and the Countermeasures, 第八屆台美日自來水耐震研討會, 102年(2013) 8.21-8.22, 舊金山, 美國。
- 9.鄭錦澤、周家榮, 從臺美日自來水耐震研討會探討耐震法規與財源發展趨勢, 103年(2014), 中華民國自來水協會會刊, 第33卷, 第3期, 第79-86頁。

## 作者簡介

### 鄭錦澤先生

現職：臺北自來水事業處東區營業分處主任

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

# 消防栓維護管理精進—運用雲端連結之策略規劃

文/鄭志斌、沈政南

## 摘要

消防栓(即救火栓)為重要救災設施，依據自來水法第 46 條，自來水事業應配合公共消防設置救火栓，另救火栓設置標準第 12 條，自來水事業設置救火栓後，應將規格、位置及其他相關資料建檔，並通知當地消防機關查察及協助管理。故消防栓的巡查維護由消防機關與自來水事業單位各自建置系統進行管理工作，惟隨著自來水管線逐年建設汰換，消防栓形式、位置、數量亦隨之變動，消防機關與自來水事業單位如仍採電話、傳真或電子郵件作為雙方資料交換或橫向聯繫工具，已無法滿足消防栓現況(如數量、位置)即時更新的需求。

本文介紹臺北自來水事業處對於消防栓維護管理精進作法，在消防機關與自來水事業單位現有消防栓管理系統架構下，運用網路雲端科技連結作即時資訊的交換，精進消防栓整體維護管理作業模式。

關鍵字：消防栓、防救災、設備維護、E 化作業

## 一、現階段消防栓維護管理作業模式

消防栓為消防救災的重要設備，如何確保其功能正常，充分支援救災使用，為消防單位與自來水事業的重要職責。依據自來水法第 46 條規定：「自來水事業應配合公共消防設置救火栓。其設置標準，分別由中央及直轄市主管機關會商消防主管機關定之」。另消防法第 17 條則規定：「直轄市、縣(市)政府，為消防需要，應會同自來水事業機構選定適當地點，設置消防栓……其保養、維

護由自來水事業機構負責。」因此，自來水事業單位為消防栓設置與維護機關，在大台北地區即為臺北自來水事業處(以下稱北水處)，並由轄下 5 個營業分處負責執行相關業務；消防單位則為使用機關，在大台北地區包括臺北市政府消防局與轄下 4 個救災救護大隊共 45 個分隊，以及新北市政府消防局與轄下新店、汐止、中永和、三重等地區消防分隊。因此，雙方對口單位與人員均多，聯繫複雜繁瑣。

北水處負責維護的轄區消防栓數量多達 3 萬餘只，主要透過 GIS 圖資系統與「閘栓維護管理系統」(如圖 1)進行設備管理，消防單位例如臺北市消防局則運用其「水源巡查維護系統」進行巡查與報修等作業管理。

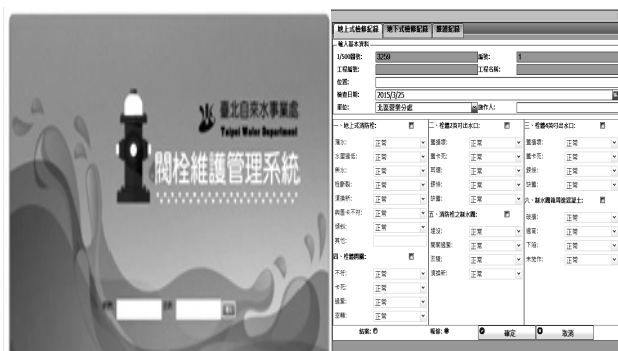


圖 1 北水處閘栓維護管理系統

現階段消防栓報維修作業模式，係由消防局每月由消防隊員進行逐栓巡查，發現有需異常則由隊員或分隊對口人透過電話、傳真或電子郵件等管道向北水處報修，並於其機關的水源巡查系統填報，而臺北市政府消防局次月由系統下載報修清單，並函送北水

處確認維修情形。北水處消防栓維護機制係採即報即處理方式辦理，當營業分處對口人接收消防栓報修訊息後，分處即派員現場勘查，如為未關緊漏水、積沙、箱蓋過緊等可加以排除的情形，即現場進行維修、調整，以即時恢復消防栓出水功能，避免影響消防救災使用，並簡省委外修理費用；至於嚴重故障需委由外包承商修復，以及需開挖路面方能維修的案件，則通知承商儘速排程維修，並循程序申請道路挖掘許可後進場施工，其中倘有急迫案件，消防分隊與營業分處則相互聯繫優先處理。此外，北水處幕僚單位彙整各分處修復情形後，行函復消防局維護情形，並分析異常狀況進行會勘處理。

## 二、現階段聯繫與管理模式檢討

前述消防栓管理作業模式執行已久，惟隨著自來水管線的建設汰換，消防栓形式、位置、數量亦隨之變動，且北水處轄管供水區域消防栓數量達 3 萬餘只，在臺北市內也高達 2 萬餘只，而消防栓報修維護、拆除新設等聯繫工作，由消防機關與北水處以電話、傳真、電子郵件作橫向聯繫時，容易有下列問題產生：

### (一)在巡檢－維護作業方面：

1. 主要採電話或傳真通報，雙方無共同管理介面時，易發生通報與接收訊息疏漏，通報地點無明顯標的不易分辨（如山區）、傳真資料模糊辨識不易等問題，對於報修案件的後續處理、時效管控及流程管理造成困擾。此外，對消防隊員而言，消防栓報修通報北水處後，需再於消防機關「水源巡查維護系統」填報輸入，二者間倘有疏漏誤差，亦難以及時檢核更正。

2. 消防栓報修維護案件，北水處與消防機關有各自管理系統，橫向聯繫相關報表資料龐大，需以人工作業進行資料篩選與追蹤，管理作業繁瑣且易有疏漏，資訊傳遞與實際作業時間存在落差，難以全面且即時掌握消防栓現況。

### (二)在消防栓點交與雙方資料建立部分：

1. 依消防法第 17 條規定：直轄市、縣（市）政府，為消防需要，應會同自來水事業機構選定適當地點，設置消防栓，所需費用由直轄市、縣（市）政府、鄉（鎮、市）公所酌予補助；其保養、維護由自來水事業機構負責。自來水事業單位於消防栓設置完成後需點交給消防機關，並將點交結果造冊向所在地地方政府、鄉鎮(市)公所申請補助款。目前北水處消防栓點交作業，採人工製作點交清冊，遞送至消防分隊作現場會勘確認後，消防機關於水源巡查維護系統建置相關資料。由於北水處與消防機關雙方消防栓管理系統無法連接勾稽，點交過程中消防栓資料稍有誤差遺漏時，無法立即檢核更正，長期下來將造成雙方管理系統資料庫中消防栓數量、地址等資料產生落差，進而影響後續管理維護作業。
2. 北水處與消防機關管理系統對於消防栓無共同唯一的代碼，在辦理前述點交作業時，僅能以消防栓設置地址為主要辨識依據，日後常因現場房屋門牌拆遷變動，或位於山區無明顯標的辨識，造成雙方建置資料產生落差，進而影響後續維護管理作業。

## 三、消防栓管理精進模式規劃

為了解決前述問題，北水處着手規劃消



防栓管理精進模式，將消防栓從設置、點交、維護、拆廢各階段作業均由系統管控，並與消防機關管理系統的資訊同步交換更新。在維持雙方既有管理系統操作架構的前提下，利用雲端方式進行消防栓維護異動資料的拋轉交換，具體規劃作業如下：

**(一)建立消防栓的共通編號：**

為確保消防栓資訊完整、維護作業順暢，每只消防栓必須建立共同且唯一編號，編號建立後，將雙方管理系統資料庫中消防栓予以分類作清查比對，確認雙方資料庫中消防栓編號同步一致，如有消防栓資料不一情形，則採現場會勘方式確認修正。

**(二)消防栓維護報修精進規劃：**

消防栓共同編號建置後，針對消防栓維修的通報與管理，於雙方消防栓管理系統增加資訊拋轉介接功能，每日透過雲端連結自動拋轉交換資料。當消防機關同仁巡檢發現消防栓有異常時，可迅速使用既有管理系統進行報修，資料透過雲端連結拋轉至北水處管理系統後，案件自動錄案並通知維護單位同仁進行勘查及維護作業。維修處理結果亦透過雲端連結同步拋轉至消防機關管理系統。如此一來，北水處與消防機關管理系統經由雲端連結，消防栓異常案件的通報、維修、複查、管理等全流程均採系統化、網路化與即時化方式進行管理，使北水處與消防機關同仁可由雙方既有管理系統獲得消防栓即時資訊，更能提升救災及維護管理效能，規劃作業流程如圖 2。

**(三)消防栓新設拆遷異動精進規劃：**

北水處於消防栓異動時，不論是新設、拆廢或遷移，閥栓管理系統將自動產生管控資料由承辦人員辦理點交，並透過雲端自動

拋轉相關資訊，將消防栓基本資料（包括地址與編碼等）傳送至消防機關管理系統，雙方人員完成現場點交後，消防機關管理系統將點交完成訊息回傳，始完成整個點交作業。本作業流程設計，除可減少資料建置錯誤外，雙方管理系統也可交叉核對確認，因此可從源頭確立雙方資料正確性及一致性，相關作業流程如圖 3。

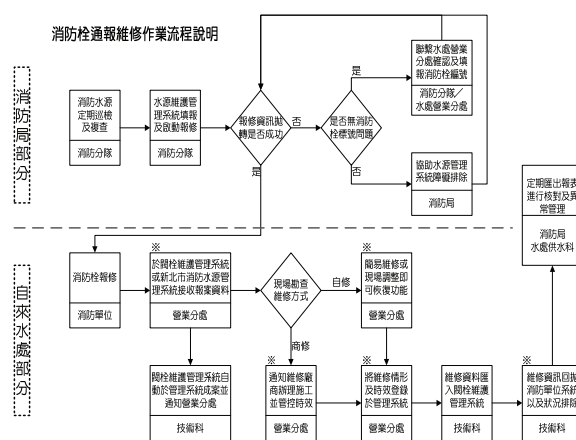


圖 2 消防栓通報維修作業流程

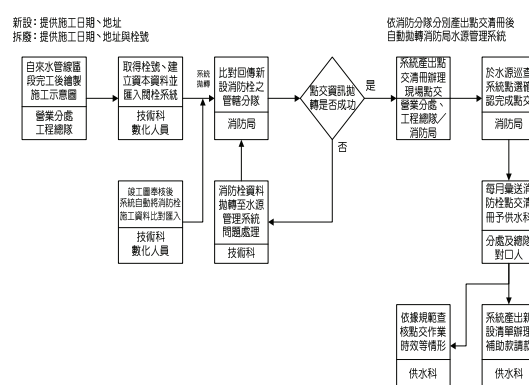


圖 3 消防栓點交作業流程

**四、北水處推動管理精進模式作法**

由於管理精進變革牽涉不同機關，策略與具體作業流程規劃完成後，需積極進行溝通協調，甚至主動協助排除障礙，方能順利推動。北水處推動執行過程概述如下：



**(一)建立消防栓共同且唯一編號：**

北水處與消防機關管理資料庫中，每只消防栓必須有共同唯一代碼，方能進行資料庫的資訊傳輸與運用。為此，北水處主動分別拜訪臺北市政府消防局及新北市政府消防局，確認以北水處的 NGIS 編號作為消防栓的唯一編號。

**(二)研擬具體作業流程後，先行溝通確認：**

北水處完成資料庫介接作業流程後，主動邀集臺北市消防局研商，分別與資訊單位、現場執勤人員以及管理單位進行討論，總計召開跨局處研商會議 7 次，作業問題研商及進度控管追蹤會議達 18 次，現階段仍持續進行相關推動會議。

**(三)同步進行資訊系統程式設計及資料庫清查比對：**

雙方資訊人員進行系統程式撰寫及測試，並同步比對資料庫清單，資料有疑義時辦理現場會勘釐清，使雙方系統資料庫的消防栓資料同步一致。

**(四)系統運轉測試及教育訓練：**

系統程式完成後，接續進行雲端資料拋轉測試，並辦理使用人員教育訓練。

**(五)正式上線使用及後續維護改善：**

新的做法上線使用後，協助使用人員排除問題，不論是系統操作或是現場狀況，讓雙方人員都可順利使用，讓變革作業得以順利推動。

**五、結論與建議**

北水處與臺北市政府消防局正着手推動前述消防栓管理精進模式，此雲端連結完成後將有下列效益：

**(一)有效提升消防栓維護管理效能：**

透過報修與維修資料介接拋轉，使消防機關與北水處均能及時掌握消防栓現況與案件處理進度，節省雙方人力、時間支出，並確保消防救災能量，同時有助於北水處案件管理分析、管控消防栓維護進度，更能建立北水處正面形象，達到北水處、消防機關與民眾三贏的最大效益。

**(二)北水處與消防局消防栓資料同步一致：**

將北水處與消防機關的消防栓點交作業，運用系統進行管理與資訊拋轉，可確認雙方完成應辦的點交程序，並使消防栓資料可以就源管理，確保雙方資料得以持續同步一致。

**(三)整體作業更為環保省時：**

消防栓資料均建置在系統資料庫內，現場同仁可透過網路瀏覽器與行動載具，檢視報修案件的報修內容及照片，即時掌握現場狀況迅速完成維修汰換，避免資訊模糊造成人員重複勘查確認，影響時效。

**(四)運用系統進行有效管理：**

透過系統將可進行統計分析，發掘問題進行異常管理，除使消防栓穩定發揮效能外，並可避免錯誤樣態持續發生，使雙方維護資源有效運用。

**(五)以最小變動幅度完成變革作業推動：**

消防單位與自來水單位均使用原有系統，僅增加部分功能欄位，並透過雲端拋轉資料運用。因此使用同仁可迅速熟練運用，使變革作業順利推動。再者，且消防單位與自來水事業單位僅需投入相對較低的費用，即可完成系統介接與資料拋轉，並確保消防栓防救災效能。

由於本案具有前述效益，且策略架構、

作業流程以及推動模式均已建立，北水處於完成與臺北市政府消防局管理系統雲端連結後，將接續與新北市消防局聯繫推動。而此一模式亦可提供各自來水單位參考運用，期能都與消防機關建立良好的連繫與互動模式，並改善消防栓的維護與管理。

## 參考文獻

1. 臺北自來水事業處，內部作業流程控制，2015。
2. 臺北自來水事業處網站資料，<http://www.water.gov.taipei/>，2006。
3. 臺北市政府消防局網站，<http://www.119.gov.taipei/>，2015
4. 新北市政府消防局網站，<http://www.fire.ntpc.gov.tw/>，2015

## 作者簡介

### 鄭志斌先生

現職：臺北自來水事業處陽明營業分處三級工程師

專長：自來水管線工程、漏水管理

### 沈政南先生

現職：臺北自來水事業處供水科二級工程師兼股長

專長：自來水管線工程、小區計量

## 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

98 年 2 月 10 日第十六屆理監事會第十次聯席會議審議通過(99 年 5 月部分修正)

### 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」會刊論文中評定給獎論文，最多三篇，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貳萬元整，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，推薦 6-9 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，選出給獎論文，報經本會理監事會議遴選核定後公佈。

### 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。

# 丹麥降低無收益水量 (Non-Revenue Water) 經驗

文/韓瑋

## 摘要

城鎮化過程與全球氣候變遷加劇了世界各城市的缺水問題。各城市必須提高供水效率以及時因應不斷增長的人口數。對許多水務公司而言，縮小供水總量與售水量之間的差值(即無收益水量 Non-Revenue Water, NRW) 至關重要，目前全球無收益水量約佔供水總量的 25-50%。為確保充足的水量供應，同時避免因 NRW 而造成的資源浪費，丹麥政府在幾十年前便針對丹麥各水務公司制定了強有力的激勵措施與嚴格的懲處罰則，旨在降低城市無收益水量並有效地管理與督導水務公司，以為市民提供更優質的服務。丹麥以系統化的策略管理與全盤總體規劃為基礎，實施有效的降漏計畫，以達成減少 NRW 的目標。通過與工程技術顧問公司的密切合作，大部分水務公司對供水系統採用了多種高效、經濟的管網漏損監控技術、漏損管理系統以及「智慧 NRW 管理」體系，現今，丹麥的平均城市供水漏損率僅為 7%，部分大城市甚至低於 5%，成效顯著。

關鍵詞：無收益水量 (NRW)、丹麥經驗、智慧 NRW 管理、漏損管理、分區管網 (DMA)

## 一、丹麥城市降低無收益水量總覽

### (一)丹麥首都哥本哈根市 (Copenhagen)

在過去的二十年裡，丹麥首都哥本哈根市的人均用水量從每日 171 公升降至 104 公升，每年節水 120 億公升。不僅如此，哥本哈根市的平均城市供水漏損率僅為 7%。值得一提的是，哥本哈根市約有 11%的供水管

線已使用超過 100 年以上，而 76%的供水管線已使用超過 60 年 (資料來源：哥本哈根大區公共事業 - HOFOR)，其成功證明只要維護和管理得當，老舊管線依可維持良好營運。

### (二)丹麥第二大城市－奧胡斯市 (Aarhus)

奧胡斯市是丹麥第二大城市。奧胡斯水務公司每年為 27 萬用戶供應約 1500 萬立方公尺的優質飲用水。奧胡斯水務公司長期致力於最佳化供水管網，其各項關鍵績效指標均表現卓越。在過去的十年間，奧胡斯水務公司成功地將其 NRW 降低至 6%，實質管網漏損僅為 1.4 立方公尺/公里/天，供水系統漏損指數 (Infrastructure Leakage Index, ILI) 降至 0.83。(資料來源：奧胡斯水務 - Aarhusvand A/S)

### (三)安徒生故鄉－歐登塞市 (Odense)

位於丹麥菲英島的歐登塞是世界著名童話作家安徒生的故鄉。歐登塞每年為 15.6 萬用戶供應 900 萬立方公尺的自來水。歐登塞水務公司將其 NRW 降低至 5%，實質供水漏損僅為 0.89 立方公尺/公里/天，即 19 升/接點/天，供水系統漏損指數 (ILI) 為 0.49，是世界最佳指標之一。(資料來源：歐登塞水務 - VCS Denmark)

### (四)丹麥水質控制

丹麥的自來水源自地下水。抽取的地下水通過氧化過程祛除可溶解氣體，例如硫化氫 (H<sub>2</sub>S)、二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 以及甲烷 (CH<sub>4</sub>)。自來水輸送至用戶處之前，水體還將通過砂



濾器，藉此祛除鐵（Fe）、錳（Mn）以及氨（NH<sub>3</sub>）。丹麥對自來水水質的要求非常高，所有水務公司均需要嚴格遵從由丹麥環境與食品部頒布的「飲用水水質標準」以符合生飲標準。

## 二、提高供水效率

由於城市在不斷發展中，目前全球城市人口數量已達到 32 億，預計至 2030 年，這一數字將達到近 50 億。屆時，約有五分之三的人口生活在城市中。據聯合國估計，在 2030 年之前，全球用水總量將增長 30%，這意味著目前已面臨用水壓力的國家將出現更大的供水缺口。與此同時，用水需求將主要集中在大城市。如果「一切照舊」、沒有創新突破之作為，以目前平均的經濟增長速度，不出 20 年，人類對水資源的需求便會超出目前可用淡水資源的 40%。為填補這一缺口，水務公司必須採取新的水資源管理方法。

### (一)何謂無收益水量

水務公司要面對的一個主要問題是供水總量與售水量之間所存在的顯著差值，此差值稱為無收益水量（Non-Revenue Water，NRW）或城市供水漏損，全球無收益水量約佔供水總量的 25-50%。由於 NRW 為有效無計費水量（計量與非計量）、帳面損失水量與實質漏水量所組成，故 NRW 亦稱為無計費水量。無收益水量產生的主要原因為：供水管網管線及其它配件的實質漏損、計費與計量系統的不準確、供水水壓過高、過度的市政用水以及未查獲違章竊水量等。

NRW 計算步驟如下：

- 1.取得系統的供水總量並更正已知誤差；
- 2.取得售水量，即計費的合法用水量；
- 3.計算無收益水量＝系統供水量－售水量；
- 4.估算有效無計費水量；
- 5.估算帳面損失水量：竊水量，水表不感度量與數據處理誤差量；
- 6.計算無收益水量中的實質漏水量＝總無收益水量－有效無計費水量－帳面損失水量。

### (二)管材與供水漏損

丹麥用水量在過去 25 年裡減少了 30%，而同一時期，國內生產總值增長了 40%。此外，由於這一問題受到政治關注並修訂相關法規，水務公司及工程技術顧問公司共同研發全新的且具經濟效益的漏損監控技術和漏損管理系統。目前丹麥平均城市供水漏損率已降至 7%，在適當的供水系統管理維護下，即便是非常陳舊的管網依然可以維持良好營運。哥本哈根市即是相當成功的案例，其亦證明供水漏損率與管網的管齡無關。

### (三)合理降漏：NRW 減半

過高的供水漏損帶來經濟損失和不必要的營運成本浪費將嚴重影響水務公司的財務狀況。NRW 直接影響水務公司在業務擴展、議題處理與設施維護方面的資金投入能力。一般來說，在一至兩年內將 NRW 減半是一個務實可行的目標。NRW 減半能夠增加水務公司的經濟利潤並降低營運與維護成本，從而帶來可觀的額外年收益。由此節約下來的資金可以為更多市民服務，這對水務公司而言，應具有非常大的吸引力。

### (四)減少 NRW 的重大意義

減少 NRW 計畫一般著眼於降低城市供水漏損與增加收入；但除此之外，其還會為水務公司和市民帶來其他不容忽視的益處：

1. 優化供水管網並能夠更好地控制氯含量，從而改善水質，保證用水安全：即位於供水源頭的用戶無需擔心氯含量過高，管線末端的用戶也不必擔心氯含量過低，並透過水壓管理也能夠減少水錘效應以及管線真空將污染物吸入供水管線中的風險。
2. 緩解水資源短缺壓力，使同一水源能夠使更多人受惠。
3. 由於系統內的水壓隨著用水需求而改變，降低 NRW 亦可相對減少耗能。在供水需求不改變的前提之下，需要處理和供應的水量也隨之減少，進而使得供水更加穩定。供水系統改善後其效能更為出色，可確保二十四小時不間斷供水。
4. 管理系統可以提供水務公司決策支援和客戶服務。
5. 預防漏水能夠減少對街道路面的損害。

#### (五)重新評估優先順序

過高的 NRW 是很多水務公司正面臨的一重大難題，可是只有少數水務公司能夠成功降低 NRW。大部分的失敗案例是由於水務公司低估了 NRW 管理的技術難度與複雜性，並且對降漏措施所帶來的潛在利益缺乏瞭解。

減少 NRW 不僅僅是一個技術問題，它還要求水務公司重新進行全盤的評估與檢討，確保有效執行降低 NRW 計畫的優先措施。同時，水務公司為確保 NRW 可保持在較低的水準，需要對管理與實地檢漏人員進行週期性的教育訓練。

### 三、成功降低NRW計畫

20 世紀 90 年代初以前，並沒有可靠和標準化的方法對供水管網的漏損進行測量。而此後，世界各地的相關機構一直致力於研發相關工具和方法，以幫助水務公司評估和管理供水漏損。在過去的二十年中，國際水協（IWA）的供水漏損工作小組（Water Loss Task Force, WLTFF）也一直致力於研究與開發供水漏損的最佳國際慣例與績效指標。

關於供水管網的資訊和數據越多，管理系統的完整度便越高，水務公司便更易於瞭解全域概況，並確定投資與工作執行的優先次序，進而管理降低供水漏損計畫並成功減少 NRW。完善的管理系統與有序實施相關措施是降低 NRW 並確保快速經濟收益的關鍵。

除此之外，水務公司從管理層面瞭解 NRW、制定自上而下的降低 NRW 計畫也是重點。降低 NRW 計畫必須依賴於水務公司的系統化的策略，以全盤的總體規劃為基礎，通過實施整體計畫而得以實現。為確保取得最好的降漏成果，各級員工均需接受階段性的教育訓練，提高檢漏人員的知識層面與實際檢漏能力。

在降低 NRW 過程中，資金投入最大的部分是受損管線修復與汰換。依據埋管深度不同，修復與管線汰換需要對路面進行不同深度的開挖，造成不可避免的交通和店鋪營業干擾。在大部分情況下，依據管線的管齡或管材來決定汰換之管線是無法減少對應的供水漏損。為有效排列投入的優先次序並快速獲得相對收益，水務公司必須清楚掌握供水管網的現狀，並針對如何進行最佳的管

線修復與汰換制定整體規劃方案。

### (一)減少 NRW 總體規劃

為提高供水效率並作出最佳決策，減少 NRW 的總體規劃制定必不可缺。規劃制定必須基於現有供水管網的數據分析，並連續地對補充資訊進行蒐集。總體規劃應涵蓋下列內容：

- 1.降低 NRW 計畫的基準
- 2.水平衡分析，包括 NRW 各個組成部分（實質漏損、帳面損失、無計費水量等）間的關係
- 3.建立管理系統、資料庫、SCADA、GIS 和建模工具
- 4.在實施可行性方案的成本效益分析的基礎上，計算漏損經濟水準（Economic Level of Leakage, ELL）
- 5.依據成本效益分析結果，水務公司應制定降低 NRW 的一系列措施（水壓管理、分區管網、智慧抽水操作、實地檢漏等）
- 6.在建立水力模型與數據分析的基礎上，提出分區管網（DMA）與壓力分區（PMA）的劃分建議
- 7.根據任務的重要性安排工作與活動計畫
- 8.降低 NRW 計畫的預算及其經濟投入收益率（ROI）

降低 NRW 顯然對水務公司以「供水效率最大化，營運成本最小化」的營運目標具有相當大的誘因。然而，實現這一目標的困難在於如何準確判斷何時、何處能夠落實最高的投資收益率。作為總體規劃的一部分，漏損經濟水準（Economic Level of Leakage, ELL）的概念，可適切解答此一難題。根據國際水協提出的對不同供水系統的水平衡

分析，漏損經濟水準（ELL）涉及到了對各個無收益水量（NRW）形式的成本效益分析，同時也考慮到減少 NRW 對今後投資水處理廠、原水抽取、加壓站等設施及其對營收利潤的潛在影響。

只有通過建置水力模型、使用 GIS 系統與連接了 SCADA 的 NRW 管理系統對現有系統和營運進行測繪，這一計畫才有可能實現。不論以何種方式安裝或變更營運方式，將這幾種系統與模型綜合使用，才能夠保證優化、高效與低水準 NRW 的供水管網。

### (二)智慧 NRW 管理

「智慧 NRW 管理」概念的工作原理是將供水管網劃分為更小、更易於管理的單位—分區管網（DMA）。分區管網的最佳數量與設計需要通過水力模型來實現。通過建置分區管網所蒐集到的數據，水務公司可以開展最具經濟效益的降低 NRW 措施。分區管網完全建置完成之後，水務公司可實施先進的分區管網即時監控系統，並以此對供水管網進行全域管控。

### (三)供水系統營運階段

任何系統中降低 NRW 及其後續管控都是一個長期的過程。成功的管理即對現有以及未來的漏損經濟水準（ELL）進行連續分析評估。水務公司只有在對現有系統管控得當；並且基於綜合的管理體系與可靠數據進行決策才能實現這一目標。營運階段的重點為：

- 1.持續的智慧分析，優化 NRW 水準
- 2.對管線修復汰換計畫進行排序，對影響較大的漏水點優先作業
- 3.進行 NRW 智慧分析，對漏水率較高的區域

進行持續主動檢漏作業

4. 安裝並使用即時漏水警報系統 (NRW 管理系統的一部分), 以即時處理緊急漏水修復
5. 依據獨立 DMA 之漏損經濟水準 ELL, 對 DMA 邊界範圍進行優化
6. 實施管線汰換修復計畫, 長期對供水管網進行升級

#### 四、有效管理供水管網

所有的供水系統中均會產生不同程度的 NRW。經營良好的水務公司會將這一比率控制在 15% 以內; 最好的水務公司可以達到 3%。體質低下、設備維護不當、程式不完善、無檢漏管理和水表定期測試的水務公司, 其 NRW 可能達到供水總量的 40% 或更多。有些水務公司可能不確定其實際的 NRW 水準, 為掌握可靠資料, 加壓站入水口與用戶處均需安裝準確的測量設備。

##### (一) 關鍵績效指標

NRW 是水務公司最重要的績效指標之一。過高的 NRW 預告著需有大量的基礎設施和設備升級的資金投入。水務公司應重點關注漏損經濟水準 (ELL), 將 NRW 降低至 ELL 不僅會帶來可觀的經濟收益, 還能帶來其它好處。

然而, 僅僅憑藉 NRW 比率比作為關鍵績效指標 (KPI) 來判斷一家水務公司的真實績效水準是不準確的。許多因素都會影響 NRW 在供水總量中所佔的比率。如果供水管網中的平均壓力較低, 則 NRW 比率也相對較低。但是這並沒有完全反應供水管網的真實績效水準。影響 NRW 比率的另一個因素是人均用水量。如果平均人均用水量較高, 那麼管網的 NRW 比率則顯示相對較

低; 如果供水區域較小, 就 NRW 比率而言, 其實質漏損也相對較低。

##### (二) 其它績效指標

其它的績效指標, 比如實質漏損 (升/管線/天或立方公尺/公里/天) 也可以顯示水務公司的營運水準。丹麥的各家水務公司的實質漏損低於 3 立方公尺/公里/天, 每一根管線的漏損僅為 60-70 升/天。在過去的 20 年中, 丹麥各大水務公司的 NRW 均為 7%, 平均供水壓力為 3bar, 人均每日用水 110 升。丹麥的基礎設施漏水指標 (ILI) 一般保持在 1.5 左右。丹麥的 NRW 的最大組成部分是實質漏損, 約佔 75%; 其餘 25% 則為帳面損失水量。由此可見, 不間斷的監測系統與有效的修復漏水點是水務公司降低 NRW 的關鍵。

#### 五、提高經濟收益

##### (一) 應對城市供水需求

為確保供水可以滿足日益增長的人口數量, 水務公司必須更加有效地管理水資源。全球性的氣候變化正在加速水資源的短缺。由供水相關的前景分析顯示, 降雨量減少 20% 可能會導致某些地區地下含水層的補給下降 70%——地下水位嚴重下降會對地中海盆地、美國西部、非洲南部和巴西東北部等半乾旱和乾旱地區造成毀滅性的打擊。

減少供水漏損能夠延緩人口增長對城市水資源的額外需求。通過提高供水管網的效率, 水務公司可為額外增加供水 30% 的人口數量。若不及時實施降漏方案, 水務公司則需要增加自來水處理與供水輸送的成本, 即需要擴大水廠蓄水體積或尋找更多的水源。若僅擴大供水管網而忽略使用降低供

水漏損方案，供水系統會直接陷入供水效率低下的惡性循環迴圈。水務公司應利用對供水系統的投資（包括新設備與水廠）將 NRW 降低至漏損經濟水準（ELL）。

## **(二)降低營營成本、提高供水利潤**

如果供水總量中的 25-50%在送抵用戶的途中損失，其亦表示用於處理和供應這部分自來水所使用的能源也便隨之浪費了。降低 NRW 的方案可確保供水系統內水壓更穩定並提高能源效率，降低能耗。此外，降低壓力與減少壓力波動還能延長管線、閘栓與其它設備的使用週期。

通常情況下，NRW 中的帳面損失水量約佔四分之一。由於抄表誤差與水表不感度量所產生的 NRW 嚴重影響水務公司的盈利能力。通過高效的降低 NRW 管理來增加盈利可以為水務公司帶來更多的可用資金，確保其未來的高效發展。

## **(三)水質安全**

供水管網傳輸往往會給水質帶來負面影響。在很多地區，水廠必須添加氯來對自來水進行消毒，以避免細菌污染。但是如果供水管網的水量傳輸不能正常運行，加壓站附近的氯含量便會過高，而管網末端的氯含量則較低或為零。上述兩種情況均不利於水質與用戶。管網內的供水量與其滯留時間必須盡可能統一，以便氯化法更有效地發揮作用。

如果發生餘氯衰減，漏水率較高的管網容易因低壓情況下產生的真空狀態而被污染。設計、營運和維護得當的供水管網能夠將污染降至最低並確保飲用水的安全。

## **(四)其它益處**

實施有效的降低 NRW 方案不僅可帶來可觀的經濟效益，還能為水務公司帶來其它益處，例如：

- 1.通過二十四小時不間斷供水可實現供水的穩定性和安全性
- 2.成功實施減少 NRW 的方案能夠改善客戶服務關係。採用相關的管理工具可以更加瞭解客戶需求，完善客戶服務並提供有效用水建議。
- 3.降低 NRW 方案是經濟投資計畫的基石。管線修復與汰換計劃可以幫助水務公司優先選擇現況最差的管線，而非目前的普遍做法—即優先替換使用年限最久的管線。
- 4.更好地理解供水管網的運行，同時提高用戶對非法用水的意識。
- 5.對相關人員的教育訓練與技術轉移將提升各級員工的知識水準。

## **六、降低城市NRW：政策先行**

經濟刺激是行為改變的重要助力。多年來，丹麥政黨充分瞭解稅收對供水系統的影響，二十多年前便在全國範圍內頒佈相關法規，要求所有用戶必須安裝經認證的水表，並對用水量、排水量以及 NRW 課稅。

水費的提升可以遏制不必要的浪費。1989 年至 2012 年間，丹麥居民的水費從每立方公尺 2 歐元增加至 7 歐元。這一價格包括供水（22%）、污水處理（47%）以及稅收（31%）。水費的大幅上漲加強了公眾的節水意識。因此，丹麥人均用水量從 1989 年的每天 170 升降至 2012 年的每天 114 升。2000 年，歐盟通過了「水務架構方針」（Water Framework Directive）。該方針規定了國家的水費定價政策，旨在充分鼓勵高効用水，並將

部分繳費用於提高供水服務水平。

國家對供水量課稅無疑刺激了丹麥的水務公司降低供水漏損。目前，丹麥的水務公司必須為其 NRW 支付每立方公尺 1 歐元的稅款。為了鼓勵水務公司進一步減少供水漏損，丹麥政府還對 NRW 比例高於 10% 的水務公司處以額外的罰款。

## 七、國際成功案例

憑藉先進的漏損監控技術與管理系統，丹麥的多家工程顧問諮詢公司已經成功地幫助全球範圍內多個城市與水務公司成功地降低了無收益水量（NRW）。

### (一)馬來西亞—芙蓉市 (Seremban)

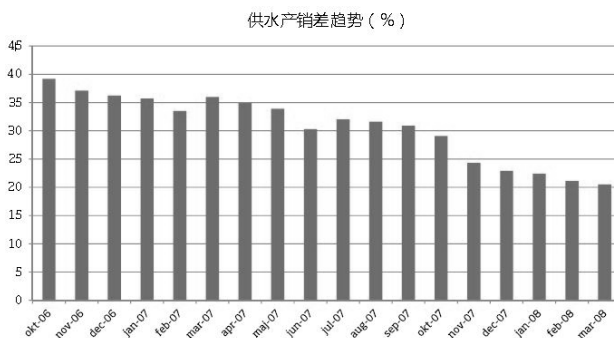


圖 1 芙蓉市無收益水量遞減趨勢

這座擁有 50 萬居民的城市一直面臨著水資源短缺與供水系統效率低下的問題。在丹麥專家的幫助下，僅僅 18 個月，芙蓉市的水務公司便成功地將其無收益水量（NRW）從 39% 降至 21%。在節約了大量能源的同時，每月還節水 65 萬立方公尺--相當於 3 萬個家庭的用水量。此項目包括：安裝 NRW 管理系統、漏損監控與修復系統；實現水表替換方案；檢測與維修 3 千餘處漏水點；建立 GIS 系統；建立供水管網的水力模

型，並建置 55 個分區管網與 20 個壓力控制區。此項目的投資收益期為 26 個月。

### (二)阿拉伯聯合大公國—阿布達比 (Abu Dhabi)

淡水稀缺是中東地區面臨的巨大挑戰之一，昂貴的海水淡化措施已經成為大部分水務公司唯一的供水解決方案。除了海水淡化的高昂成本外，許多地區的 NRW 也高達 45%。為了降低供水管網的漏損率，阿布達比採用了多項新技術，例如通過壓力控制方案來控制供水壓力並將其背景滲漏降至最低。含有噪音記錄與線上水力模型的主動檢漏控制系統能夠即時檢測到新的漏水點。被動檢漏控制系統監控背景滲漏，並可指示清除較小漏水點的最佳時間。通過 2011 年與 2012 年的努力，供水漏損明顯減少，阿萊茵市 (Al Ain City) 的 4 個大型 DMA 分區也已經實現了既定目標，即實質漏損不超過供水總量的 10%。

### (三)孟加拉共和國—達卡 (Dhaka)

孟加拉共和國首都達卡所面臨的挑戰並非僅僅出現在達卡市，實際上全球許多城市都面臨著類似的難題。達卡市的供水總量的 60% 在送抵用戶的途中損失；缺乏基本的衛生條件；全市僅有 1 個污水處理廠來處理 1500 萬居民的生活污水。此外，當地供水和污水公司的組織效率低下、員工工資過低。如今，由丹麥的水力工程師與承建商所組成的工作小組正在幫助當地的供水機構——達卡供水與污水管理局 (DWASA)，對達卡市的供水管網進行大面積的汰換。在汰換近 3,800 千米的新水管後，實際水損與帳面水損均可得到有效地減少。達卡市目前劃分為 85

個新的分區管網(DMA)，分別測量供水量、用水量與管網供水壓力。四個試點 DMA 已經完成，區域內的 NRW 約為 5%。達卡市接下來的挑戰便是如何將 NRW 的比率保持在這一水平。

註：本文節錄自丹麥政府所屬之綠色國度組織(State of Green)之「綠色轉型白皮書」期刊「減少城市供水漏損 - 控制供水產銷差」。

### 參考文獻

- 1.綠色轉型白皮書 (Think Denmark)，減少城市供水漏損 - 控制供水產銷差 (Meeting an increasing demand for water by reducing urban water loss - Reducing non-revenue water in water distribution)

### 作者簡介

#### 韓瑋女士

現職：丹麥安博公司(Ramboll Denmark A/S)工程師

專長：自來水工程、水資源管理、氣候變化

## 一度水的概念

一度水 = 1公噸  
= 1立方公尺  
= 1,000公升  
= 1,000公斤

※換句話說，一度水可裝53加侖汽油桶5大桶或啤酒瓶1,667瓶



## The concept of one unit of water

1 unit of water = 1metric ton  
= 1cubic meter  
= 1,000liters  
= 1,000kgs

※ In other words, one unit of water can fill up five 53-gallon barrels of oil or 1,667 bottles of beer.



# 修漏實務－ $\phi$ 1750mmPSCP 破管修漏實務探討

文/陳銘琮、竺正平、謝張浩

## 一、前言

104 年 11 月 25 日，新竹第二淨水場巡查發現場區道路滲漏水，經查該處為  $\phi$  1750mm PSCP 原水管線與場內  $\phi$  100 mmDIP 埋設處洩漏，是否屬大口徑管線漏水，且該管線位置與損壞情形等均不甚清楚，故台水公司第三區管理處(以下稱本處)及二場相關人員等均謹慎處理，首先立即安排測漏人員進行相關聽測漏工作，藉此先行確定漏水點及管線初略位置；其後即行遣派修漏承商先行探管以釐清確切位置、漏水量大小以為相關材料及施工作業策略之擬定依據，避免造成大新竹地區 20 餘萬戶民生及新竹科學園區、新竹工業區等重要工業供水之重大影響，因此，全區處上下一心無不兢兢業業地看待此事，筆者僅提供過程實作案例來做初步的探討與報告。

## 二、探管開挖作業

當日經開挖後確定為 90 年埋設之  $\phi$  1750mm PSCP 破裂，並發現管材外層混凝土披覆已嚴重剝離，預力鋼線外露斷裂，造成長約 4M 之垂直向裂縫漏水(詳圖 1)。經評估(一)場內並無重車輾壓；(二)原水取水管係屬重力式送水，管中壓力僅約  $1\text{kg}/\text{cm}^2$  左右；(三)管齡僅為 14 年等因素初步推測應屬該段處管材劣化(瑕疵)造成破裂漏水。

## 三、前置工作整備特色概述說明

本處新竹二廠原水管每日出水約 22~25 萬 CMD，主要供給新竹市、新竹縣、竹北市、

新豐鄉及湖口鄉計約 20 餘萬戶民生用水及 5 萬 CMD 之工業用水，影響層面甚鉅，為減緩漏水搶修作業中之缺水衝擊，故於探管確認損壞情形及量測、評估相關搶修所需材料尺寸後，即予臨時減漏修復作業回復，以維持穩定正常供水。

另外，未免漏水情況惡化，經評估於一週內完成備料及相關作業之整備(公告 12/2 施工)；期間邀請縣市政府、新竹農田水利會、消防局及科學園區管理局等相關單位召開會議討論供水調配及停水宣導作業，讓各用戶能及早儲水備用，另由本處寶山、東興給水廠增量出水及請二區處北水南送支援調配水源供應，因此停水修漏期間，實際僅使停水戶數降低至約 1 萬戶，及約 2 萬戶高地區及管線末端用水戶降壓外，其餘均能維持正常穩定供水。

另本處為確保此修漏作業能順利推動及降低修漏停水時間，除確認各修漏作業流程(SOP)及制水閥開關操作功能外，並由修漏廠商至原水管製造商盟立公司倉庫覓得已停產多年僅剩之該批次 PSCP 管，針對其口徑再次測量製做特殊接頭，並載至現場確實套合調整，以免施工修正時耗增工時；也於整備期間先請台電公司遷移廠區內高壓電線，避免產生工安事故，另亦於開挖處先行打設擋土鋼軌、挖除上方 RC 路基、規劃復排水工作小組、公告工業用水取載水點及一般用戶設取水點等整備工作，使公告停水 36 小時之搶修作業，提前於 22 小時即恢復供水，深獲地方各界好評。



#### 四、總結及建議

本次修漏施工因事先規畫以各方支援系統水量有效充分調配，使停水戶數大幅降至僅約 1 萬戶，另停水施工時間則因各項事前準備工作得宜，致縮短至 22 小時即完成修復恢復供水；且亦因事先公告宣傳停水事宜，使用戶均能及時備水儲用，有效穩定供應大新竹地區用水，故提供本次施工的前置、準備及過程分享，供各先進酌參應用。施工用料計有： $\phi$  1800mm DIP8.5M、套管 2 組及特殊接頭 2 只(詳圖 2)，施工長度計 13M，並以 CLSM 回填及鋪設 5cmAC 復舊。



圖 1  $\phi$  1750mm PSCP 鋼線外露斷裂漏水



圖 2  $\phi$  1750mm SP 特殊接頭 2 只



圖 3  $\phi$  1750mm SP 特殊接頭內外焊道檢視



圖 4 組裝完成照片

#### 作者簡介

##### 陳銘琮先生

現職：台灣自來水公司三區處新竹給水廠代理廠長  
專長：自來水管線工程

##### 竺正平先生

現職：台灣自來水公司三區處新竹給水廠管線股股長  
專長：自來水管線工程

##### 謝張浩先生

現職：台灣自來水公司三區處副理  
專長：自來水管線工程

## 板新水廠規劃設計施工的回顧與檢討

文/朱憲政

台灣省公共工程局於民國六十二年成立北區自來水測設隊，開始規劃與設計板新自來水工程。板新自來水系統是流域性的大型自來水工程，供水區域包括板橋、新莊、土城、樹林、鶯歌、三峽、泰山、三重、蘆洲、五股、八里、淡水等市區，供水人口約 20 萬人，最大日供水量約每日 20~30 萬噸，為當時最大的供水工程（不含台北市）。

在公共工程局優秀的工程師和台水長官領導及訓練有素的工程技術人員，群策群力、共同參與下，終於在民國六十五年五月，短短的三年半內，順利完工供水，誠屬難能可貴。該水廠構造完整，雖歷經九二一地震及大小風雨的侵襲，仍完好如初，水廠管理完善，功能正常，且供水區域內的都市發展，欣欣向榮，台北大學及新社區的發展更是錦上添花，超過當初規劃的預期，充分展現了自來水的效益及功能。

現在自來水公司第十二區管理處在網路上([www12.water.gov.tw](http://www12.water.gov.tw)) 有歡迎學者專家及學生等各界人士參觀水廠的資訊，筆者曾為該水廠設計團隊之一員，茲提供下列資料，協助參訪者更易了解板新水廠的設計構想詳細內容，做為今後改善的參考。

- (1)本工程完全由公共工程局工程人員自行辦理，沒有借重國外學者專家指導協助，是土法練鋼的典範。
- (2)本工程由土地取得、規劃、設計、施工、建造，工期僅約三年半，非常緊湊，效率甚高。

- (3)本工程為出水量每日 20~30 萬噸的大型快濾水廠，其間雖有二、三期擴建，但完工迄今 40 年，整體操作維護實況尚屬良好。

- (4)本工程所用建材除抽水機及部分控制儀器採用國外產品外，其餘均採用國產製品，其品質及功能都合乎標準，日前對原水濁度過高的應變能力尚佳。

- (5)本工程水源取自大漢溪，自鳶山堰抽水至分水井經簡易量水後，借重力導水箱涵引至淨水池，此段可兼做水工實驗設施，調節取水量、量測水量、量測水理特性、以及抽水機特性曲線等功能，建議可做教學研究的參考，充分利用寶貴的設施。

- (6)本工程出水量甚大，添加 PAC 混凝劑和加氯消毒均採液態加入方法，以利操作維護和安全。

- (7)本工程送配水系統是以 1350mm 預力混凝土管為主幹管，自水廠加壓直送泰山地上配水池，當初計劃在配水池裝置水位計，利用電話傳送訊息到抽水站，控制水壓，但事與願違，沒想到 40 年來資訊傳送系統突飛猛進，自來水公司已建置了完善的水壓檢測控制系統，著實是一大進步。

- (8) 40 年前選用管材為預力混凝土管(PSCP)可以說是經濟考量重於安全考量的不得已決策，不料到破管意外不斷，使整體供水系統發生嚴重缺失，不但維護費心費力，更使公司聲譽受損，有待改善。

台灣自來水至今無法達到生飲的目標主要是水壓不足，改善方法，首需檢討管材，再加強水壓的監測及控制系統。有人認為系統水壓高，用水量及漏水率都會相對增加而不願面對，故問題仍然存在未改善。台灣省住都局在民國七十五年興建台北近郊污水陸上放流管計畫，鑑於 PSCP 管缺點難以改善，故改採預力混凝土鋼襯管（PCCP）AWWA 規格，管徑 3400mm，長 8084 公尺內壓 10kg/cm<sup>2</sup>，使用至今約 30 年，尚完整堪用。

個人認為如果 40 年前板新供水系統主幹管採用 PCCP，破管的缺失應可大幅避免，並建立健全的浮動式送配水管線系統，台灣自來水建設的徹底改革應可順利達成，直接供水及生飲的目標也可逐步推動。

民國六十二年，筆者擔任北區自來水測設隊隊長，有幸與隊內人才齊集，通力合作，承擔起史無前例的重任。回想過去，不得不提當年的總工程司陳茂達先生、陳耀楠組長、陳阿添工程師、林國平工程師，沒有他們全力指導與協助，是無法完成任務的，不幸四位先輩均已仙逝，令人懷念感佩。此外，亦感謝隊上陳雲祥、謝啓男、謝發清、林久雄、賴雙鳳、林華、周潮生、高松能、陳福田等有卓越貢獻的工程師，以及其他共同努力的同仁，和大家一起分享建設的成果及喜樂。本人退休至今已 17 年，對工程實務之了解或許有落差，以上個人淺見，敬請大家參考。

## 參考文獻

1. 台灣自來水公司第十二區管理處網站 (www12.water.gov.tw) 資訊，其中包括板新

給水廠導覽、供水轄區、供水系統、未來計劃及目標等。

2. 板新水廠規劃、設計、施工之時的最主要參考書籍為 AWWA WATER TREATMENT PLANT DESIGN 及 WATER SUPPLY AND SEWERAGE。

## 作者簡介

### 朱憲政先生

現職：無(前任台灣省住宅及都市發展處副處長，已退休)

專長：土木工程、自來水工程、下水道工程、都市計畫、環境工程

「你知道嗎？」

## 氣候變遷 CLIMATE CHANGE

本刊編輯小組編譯

Between 1991 and 2000 over 665,000 people died in 2,557 natural disasters of which 90% were water related events.

在 1991 至 2000 年間  
計發生 2,557 起天災，  
導致逾 665,000 人死亡，  
其中百分之九十的事故與水有關。



Adaptation to climate change is mainly about better water management.

有更好的水管理才能因應氣候變遷挑戰



Without improved water resources management, the progress towards poverty reduction targets, the Millennium Development Goals, and sustainable development in all its economic, social and environmental dimensions, will be jeopardized.

若沒有完善的水資源管理，「減貧目標」及「千禧年發展目標」將難以達成，並將不利於經濟、社會、環境等各方面的永續發展。