

自來水會刊第 33 卷第 1 期目錄



實務研究

- 工作資訊化管理與智慧型自來水網路運用與發展探討—以臺北自來水事業處為例……………
……………吳陽龍、鄭錦澤、傅中平…………… 1
- 供水管網壓力分析-EPAnet 的應用……………許志浩……………14
- 利用歷史圖資研判斷除不明管線之案例分享……………游叡研、李中彥…………… 20

每期專題 輸配水系統規劃管理及供水穩定之探討

- 利用管線汰換經驗工法於小區計量之應用……………林佑鴻…………… 27
- 台水公司管網檢漏策略之建議……………周國鼎…………… 38
- 自來水管線檢測作業成果研析……………鍾添平、黃欽稜…………… 48

一般論述

- 自來水事業績效國際評比及標竿探討……………李丁來、陳光辰…………… 59
- 矩形水池結構設計之研討……………曾浩雄…………… 72

法規櫥窗

- 飲用水管理條例、飲用水水源及水質標準等飲用水法令之法制分析……………
……………何彥陞、張鴻銘、林康、洪世政、吳美惠…………… 84

他山之石

- 赴澳洲水質檢驗中心生物檢驗研習心得……………李維旻、王冠中、吳美惠…………… 96

協會與你

- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…………… 19
- 歡迎投稿 103年「每期專題」…………… 37

封面照片：后豐大橋水管橋（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。「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。機關出版名：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 cllin@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）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：陳福田

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

吳美惠

委員

駱尚廉、葉宣顯、陳曼莉、陳錦祥、蘇金龍

張怡怡、林財富、周珊珊、蕭宏民、李丁來(兼秘書)

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：吳美惠

執行主編：李丁來

編審委員

鄭錦澤、黃建源、陳孝行、陳志銘、簡俊傑

洪世政

執行編輯：林正隆

電話：(04)22244191 轉 824

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

工作資訊化管理與智慧型自來水網路運用與發展探討 —以臺北自來水事業處為例

文/吳陽龍、鄭錦澤、傅中平

一、前言

今日全球之自來水事業正面臨許多方面的挑戰，其中包括基礎設施老化、環境及氣候變遷之影響、水資源短缺、各種需求不斷的增加、水質和能源價格上漲等，全球有 1/3 之自來水公司漏水率超過 40%，多數自來水公司之事業基金不足，無法獲得額外之財源或政治上的支持，以解決低效率。雖經過多次之政策調整，惟仍難以獎勵自來水公司對成本管控之努力，以提升或使管網之管理改為更好，又提倡節約用水，雖然對水資源永續利用有正面助益，惟將造成自來水公司之收入減少^[1]，再加上最近全球之不景氣，使水價之調整困難重重，此皆衝擊全球自來水公司營運與管理之效益。

臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）亦同樣處在這樣的環境之下，加上資訊科技之發展日新月異，民眾之需求快速加增，不斷地考驗著經營與決策者之智慧與應變的執行能力，並激發思考如何使節水、用水效率、用水安全與用戶服務品質之提升，又要進一步使北水處之成本最小化，效益最大化、服務優質化，安全確保化之經營目標。本報告將以北水處為例，說明該處如何配合運用現代化之科技及發展趨勢，逐步邁入智慧型自來水網路之潮流，以及在過程中所顯現之效益，另將探討「漏水改善與水壓管理」、「策略優先與資本支出之分配」、「簡化

管網之操作與維護」、「簡化水質監測」四項議題^[1]來達成節約水資源、節省供水成本、提升營運與應變效率等，再加上北水處一向重視的「用戶服務有直接或間接相關之系統整合」等，來說明北水處過去正是朝此方向不斷努力，並分享一些經驗，以利從業人員及關心此等課題人士知識管理參考。

二、供水狀況背景

北水處之供水轄區包括臺北市及新北市之三重、新店、中和、永和與汐止 7 個里，供水面積約 434 平方公里，供水總人口數約為 392 萬人，用戶 164 萬餘戶，普及率 99.6%，並在三重、中和、板橋、蘆洲、淡水、關渡、汐止等地，與台灣自來水公司之管網連通，支援轄區以外地區之用水。民國 102 年底輸配水管總長度為 3,740 公里，給水管總長度 2,450 公里，當年配水量 82,423 萬立方公尺 (10.78%)，其中轄區配水量 71,859 萬立方公尺，占 87.18%，支援台灣自來水公司水量 10,564 萬立方公尺，占 12.82%。

三、管理工作資訊化

北水處過去配合科技之蓬勃發展，陸續將各相關管理工作流程化與系統化，並進行資訊化，使用資訊技術（Information Technology IT）做出各相關業務之管理系統，以提升作業效率，減少人為錯誤，並透過資料儲存與分析，跨系統間之資料拋轉、

整合及加值應用，做出可提供有利於決策參考之資訊。而各相關管理工作之資訊化，正是邁入智慧型自來水網路的第一步，以下就緣由與過程略作幾個面向說明如后：(一)供水系統管理資訊化，(二)圖資管理資訊化，(三)淨水處理資訊化，(四)水質監測資訊化，(五)財產管理資訊化，(六)物料管理資訊化，(七)水費水表營收資訊化，(八)用戶服務資訊化。

(一)供水系統管理資訊化

北水處為了提升供水及用水效率，並促進有效率的管理所有與供水系統相關之資產，又為降低供水風險，掌握供水轄區之供水狀況，乃於民國 77 年 5 月開始建置大臺北區自來水監控系統（簡稱監控系統），使北水處之供水管理正式邁入資訊化。將供水系統內之輸配水管線之流量與水壓、配水池水位等進行監視，並針對大型與重要之加壓站進行監視與控制（小型之中繼加壓站僅有監視），以取得供水系統長期運轉之各項數據（淨水場及加壓站之配置圖、抽水機組運轉時數、進出水流量及壓力之瞬間值和累計曲線圖，配水池之水位變化趨勢圖，管網監視點之流量或壓力的瞬間與累計趨勢圖…等），提供作為短、中、長期之運轉分析，可更精確的做出年、月、日等之用水量、配水量、輸水量及需水量等預測，掌握其供水變化，做調整因應，更有彈性的調配及穩定供水。

另自民國 88 年以後之後續配合擴充之小型加壓站監控系統設置，及管網監視點（即水壓、流量與水池水位）之擴充，搭配依據供水區之用水特性，將加壓站抽水機陸

續改用變頻等設備，使供水區管末端之水壓提高，均化水壓，改善用戶之用水服務及相關之管網改善與供水系統之維護管理，以及供水管網之異常判定與緊急狀況之即時操作應變等，皆有甚大之助益。又隨著都市之發展與不斷更新，以致供水系統需配合調整擴充因應，該舊有之監控系統的軟、硬設備皆難以負荷新增需求，且其資訊之硬體設備亦已超過使用年限，必須進行更新改善，乃於民國 93 年更新改善監控系統，整合了舊有監控系統與後續配合擴充者，使資訊之軟、硬體運作更符合未來需求。其後配合民國 95 年開始進行的 20 年管網改善長程計畫之需求等，局部擴增軟、硬體措施，以提升改善後之監控系統之搭配運作等效益。

目前供水轄區有 87 座加壓站（含淨水場內之加壓站），其中可做監控的有 74 站，另有 13 座淨水場之加壓站因考量供水安全與穩定性，僅做監視來輔助現場操作人員全盤掌握其所負責之供水區域的狀況。北水處設置有 141 個監視點，隨時監視管網之供水狀況，可提供操作管理人員遇到異常時，作即時應變。

(二)圖資管理資訊化

隨著供水管理資訊化，加上為配合健全管網政策之需求，其所搭配相關之圖資管理相對也必須資訊化，以同步提升圖資作業與維護管理之效率。北水處爰於民國 80 年起，配合內政部營建署推動「國土資訊系統」及臺北市政府府推動「地理資訊系統」，逐步參與相關會議，期間並由資訊室及供水科「工程管網電腦化推動小組」以 Arc GIS 系統辦理文山示範區試辦計畫。該期之重要發

展是引入地理資訊概念，並瞭解以當時純點、線、面的 GIS 技術及硬體發展。為使圖資管理早日資訊化，於民國 88 年開始成立獨立運作之臨時任務編組「圖資管理小組」，全面建立自來水管線基礎圖資之「自來水管線管理資訊系統」及推動本處相關工程管理系统。建立以 CAD 圖面導向的設備管理系统，並大量數化來源資料，成為原始之基本圖資。

民國 92 年起為使圖資與現況吻合，成立「用水設備股」持續推動自來水管線基礎圖資之「自來水管線管理資訊系統」相關業務。另自民國 95 年改制為圖資股，進行檢討修正執行目標，以「整理整合、專業規範、現場紀錄、即時數化」十六字，為圖資發展與規劃方向，因與圖資作業之執行與管理效率有關，故詳述如后：

- 1.整理整合：向內整理分析圖面資料或解決系統問題；向外在系統與系統間、人員調配間達到最佳整合成果。
- 2.專業規範：建立專業團隊為圖資永續發展之不二法門，更需建立規範及標準作業程序。此外，圖資方面亦須配合修正或建立各類標準作業程序，以建立整體圖資制度。
- 3.現場紀錄：與工程週期結合，檢討北水處圖資需要那些資料，在於工程進行時，廠商與監工便開始紀錄施工資料與監工資料，做為即時數化原始資料。
- 4.即時數化：開放授權於工程單位人員或外包廠商進駐各工程單位，依「現場紀錄」進行「即時數化」。

民國 95 年以後，隨著地理資訊科技環境瞬息萬變，須不斷導入外界相關科技及配

合整體政策發展規劃，如臺北市政府地理資訊綱要計畫、圖資中心共通平台建置計畫，推動建置及介接業務相關之地理服務元件（GIS Web Services），來擴展 GIS 業務應用及加強 GIS 為民服務應用等。加上北水處內部近年來因配合管網汰換、小區計量、漏水控制…等各種工程業務推展，不斷地彈性進行系統功能改善及增修，來提供創新加值的系統服務。乃於民國 100 年配合北水處未來短中長期資訊業務推展方向，研訂 4 年（民國 101-104 年）圖資管理系统之業務推動計畫，包括圖資整合管理平台建置、Web 化及整合改版、用戶用水申裝管理系统建置、GIS 管網監控整合系統建置、場站圖資管理平台建置、圖資基礎平台軟體維護及更新，以及跨機關（包含臺北市及新北市之路權單位及消防單位等）之介接整合運用等。

執行到今日，使圖資與工程之施作完全緊密結合，可配合供水管網在管理上之各種需求，做不同的分析、比對與校正，幫助管網系統之操作管理人員做出更快速且精準的預測與即時應變，且可作為往後管線維修與汰換之參考，提升管線資產管理之效率。

(三)淨水處理資訊化

北水處各淨水場操作靠人工現場或遙控依規定程序操作，對現場及整體資訊掌握程度不足，只能掌握基本資訊如水量及水位，對水處理資訊非常欠缺。民國 83 年起，為掌握出水水質及穩定加藥，開始建制 PC-BASE 水質監控系統，開始針隊加藥控制及水質偵測，將重要偵測點水質訊號及加藥量等訊號，由 PC 進行資料收集及控制，此

優點為掌握各流程基本出水概況及加藥自動化控制能力,惟受限於 PC 處理能力仍無法處理大量資訊且穩定性較差,系統較不穩定。

民國 90 年起,為進行淨水精緻化操作,全面掌控出水水質,降低人員操作失誤機率進而縮減人力,依排定之計畫期程,陸續建置淨水處理資訊系統。以 PCL-BASE 為基礎淨水處理系統,透過各製程監控設備建立及改善,將各場分為快濾中心、加藥室、變電站、淤泥處理廠、原水取水及出水系統、水質訊號、場區監視系統,透過光纖網路將整場連結,各場各站值班人員可透過場內光纖網路由場站內之監控電腦,監控整體處理現況;各場透過 ADSL 連結至北水處內之監控室,可掌握所有場站之淨水處理狀況;並透過網路與監控系統連線取得供水資訊,了解下游之供水變化狀況,以作為淨水處理出水之參考。此優點為快濾中心所監控之閥類採電動操作機,閥開度、運轉狀態納入 PLC 監控,運轉流程由 PLC 自動執行,取代人力操作。加藥室將 PAC、NaOH、次氯酸鈉及液氯等淨水用藥、加注加藥及控制納入 PLC 進行監控,精確且即時的控制加藥量達到加藥最佳化及加氯操作安全的目標。變電站設置電錶監控各設備耗電情形,作為設備節電及節能重要之依據。又可監控淤泥處理設備各流程運轉狀況,降低處理人力,掌握淤泥處理現況,作後續處理之參考。而原水取水口之取水閘門、放流閘門及各場內原水蝶閥、出水閥類等取水與出水設備,改為電動操作或增加偵測設備,將閥開度等運轉狀況與取水量納入監控,以利值班人員掌握原水之取

水與出水系統運轉狀況,適時作調配水量。在水質監控方面,從原水到出水,各流程依功能需要建置線上水質偵測設備,即時偵測各單元流程問題並即時處理,確保水處理安全。又建置場區監視系統,監視場區之安全。

民國 103 年起,為配合 PLC 修改架購,逐年進行 PLC 汰換,並配合工業電腦、WINODW 作業系統、圖控軟體等改版及支援問題,又監控電腦已達使用年限,需逐年汰換,以確保淨水資訊系統正常運轉。

(四)水質監測資訊化

北水處為全面有效掌握民眾用水品質設置水質監測系統,對從原水、淨水場、輸配水管網到用戶代表點之水質,24 小時全天候電腦嚴密監測,以確保民眾飲用水安全,於民國 72 年起設立「水質監測系統」,委託新竹電子工業研究所建立第一座本土化水質電腦監視系統。另自民國 77 年,為因應科技發展之趨勢,著手改善取樣系統並自行研發輪測系統,而得以用最精簡之設備對淨水流程水質作全面監測;以 PC 取代原 MINI 電腦系統,並隨需求逐年改善軟硬體功能。又為使淨水加藥自動化,將加藥量、水量、水位、水壓及水頭損失等淨水處理相關訊號納入,並進一步研發完成漂水自動加注系統及本土化混凝自動加藥監控系統。

民國 88 年起建置完成完整之淨水處理資訊系統,原有水質監測系統設於各淨水場過濾池及流程單元之輪測點乃進行精簡;於加壓站、學校、捷運車站等增設監測點;並由第十河川局接收水文資訊包括:降雨量 8 點項、主要河川水位 15 點。民國 90 年,為鼓勵自來水生飲,開始設置水質資訊站,公

佈飲水台即時水質資訊及播放宣導資訊，藉由宣導教育及水質數據透明化提升民眾對水質的信心。此外，隨著網路科技發展，將資訊應用系統建置於網頁上，提供使用者利用瀏覽器直接上網查詢及執行各項快速便捷之應用服務，因此同步將即時水質資訊拋至內部及外部網站，以利同仁及民眾查詢。在資訊 e 化，又鑒於資安事件頻頻發生之時，北水處之水質資訊系統為配合行政院推動資通安全政策，於民國 93 年 5 月通過 BS7799 資訊安全認證，又於民國 95 年通過 ISO 27001 資安認證，首創全球第一家自來水事業通過資安認證之先例，確保資訊之安全穩定，維護整體效能，提升系統之完整性與監測數據之可靠性。對於高風險之資產做改善；並制定門禁、文件、記錄、帳號申請、電腦軟體、系統開發、資料備份、設備攜出、入等管控標準程序；又對於安全意外事件訂定矯正預防措施，定期對影響資訊中斷事件演練，以避免意外事件影響整體運作。

民國 99 年起，隨著資訊科技發展，進行監測系統改善，各遠端偵測站改以可程式控制器（PLC）收集水質訊號，再以數據機經由數據專線傳送至水質監控中心圖控系統集中監控即時水質資訊。此外，並對內、外部顧客資訊分享作改善，在內部顧客方面，將即時水質資訊傳送至水處資訊室、GIS 及供水科監控中心，提供相關單位作為操作參考依據，讓水質資訊發揮最大功能，有效喚起所有相關人員的水質關懷與使命感，並啟動所有相關作業的水質考量，達全面的水質保障；另為內部管理、多人使用及方便於桌上 PC 操作查詢，建置內網水質查詢系統，

自訂查詢水質資訊、報表下載、遠端更新停水消息及假日期間直、間接水啟閉等功能。在外部顧客方面，因應電腦多媒體發展及滿足民眾需求，修改外網即時水質資訊畫面及功能，以 Google Map 為基礎圖台，方便查詢水質資訊及歷史趨勢圖，以利民眾了解北水處供水品質，使系統發揮其對內部管理及對外徵信的最大功能。

(五)財產管理資訊化

為增進財產管理之效率、使管理人員迅速掌握資產之變化狀況，北水處於民國 85 年配合資訊業務之整合擴充，建置財產管理系統，其系統功能包含

- 1.財產處理：一般財產、土地、建物等財產入帳、增減值及報廢等異動之管理；財產盤點及保險資料維護。
- 2.批次作業：折舊入帳、報廢核准、扣帳等批次作業。
- 3.查詢作業：財產別、單位別、土地資料、建物資料、特殊材料、報廢資料、折舊資料及會計科目等查詢作業。
- 4.報表作業：內部報表及財政局報表及總目錄列印作業。
- 5.珍貴財產管理。
- 6.折舊預算管理。

民國 93 年建置新版財產管理系統，為要解決舊版系統之民國百年年序問題，並提昇財產帳目電腦化管控的效率，以及依財產管理辦法，配合臺北市政府財產管理，以及北水處之當時業務重新規劃設計，建置新版本系統。其系統之功能包括財產申請單審查、土地、建物及動產等財產入帳作業；財產移動、增減值及土地重估價值調整批次作業

等屬財產管理面，又加入概算與預算管理與不動產租借管理，以及折舊處理之折舊入帳作業、財產主檔歷史檔寫入，再增加盤點資料產生及維護，財產報廢、核准及扣帳作業，保險資料建檔及維護，並新增財產別、單位別、土地資料、建物資料、特殊材料、報廢資料、折舊資料及會計科目等查詢作業及報表作業內部報表及財政局報表及總目錄列印作業等，依照財產管理效率之需求擴充功能。

民國 95 年配合臺北市政府財政局建置「財產管理人員入口網站」，整合各項例行性報表報送作業，修改北水處當時財產系統之資料庫各項代碼與財政局一致，並修改系統相關程式。加上北水處變更折舊攤提方式，增加鎖帳、市有房地遭無權占用管制功能等需求，增修以下之功能：增修財產入帳折舊作業管制處理，增修財產管控處理功能，報表功能增修，管有建物清冊功能增修，折舊預算管理功能增修，標籤條碼化與自主盤點管理功能增修，新增資料上傳功能與產製報表功能，新增公告地價與公告現值資料匯入功能，新增訴訟案費用管理功能。

民國 100 年，為掌握各類財產即時狀況，提供各單位進行財產管理介面，簡化作業程序，強化本處各項財產資源之運用效率，並配合臺北市政府財政局 99 年度「財產管理系統整合開發案」，提供資料交換介接機制，提升作業效率，又提供租金（使用費）管理、財產保管人管理等功能。進一步擴增財產系統之相關功能：新增各財產保管單位，財產新增、移動、報廢等異動管理功能及各類申請單列印作業。另依據臺北市政

府財政局財產管理作業及該局「財產管理系統整合開發案」資料介接格式，增修系統資料交換作業以符合財政局規範。新增財產保管人管理功能。增修租金(使用費)管理系統，俾利契約時程管控、租金(使用費)收支管理、預算編列及收據產製等作業。增列已達使用年限動產查詢及通知功能。設備管理系統及物料管理系統資料介接作業。其它統計報表增修作業等。該財產管理系統沿用至今。

(六)物料管理資訊化

北水處為精進物料之管理，於民國 86 年起建置物料管理系統，其系統之功能包含：

- 1.料務子系統：提供物料科料務股處理材料訪價、請購、驗收、先行動用核發、材料管控等作業及資料查詢與各項報表列印。
- 2.購料子系統：提供物料科購料股處理標案製作、決標、交貨、付款等作業及資料查詢與各項報表列印。
- 3.倉儲子系統：提供物料科倉儲股處理材料發料、退料、購案收料、庫存盤點等作業及資料查詢與各項報表列印。
- 4.料帳子系統：提供會計室三股處理材料日結、月結、年結、傳票製作等帳務作業及資料查詢與各項報表列印。
- 5.各單位領退料子系統：提供各用料單位處理材料領用、退料、工程決算等作業及資料查詢與各項報表列印。

民國 88 年為因應擴大內需之業務擴充及會計年度變革，進行預算核登作業、材料領退料作業、盤點作業、日結及傳票拋轉作業、料帳報表作業、年結作業等之功能增

修，以符合當時之作業需要。民國 89 年為配合簡化領退料開單作業，由一單一料改為一單多料，新增領料憑單列印作業及退料憑單列印作業，並增修收料憑證維護作業及各單位用料統計查詢作業。民國 91 年為簡化領退料作業程序，減少人工作業之疏失，且可減少用紙之環保需求——進行無料單領退作業功能及增加領料控管機制，增修工程合約維護作業及各單位領退料申請作業，又增修倉儲領退料結存作業及會計料帳作業，並新增憑單審核作業與每日領退料清冊，以及工程決算相關報表。民國 92 年為配合會計及預算整合長期工程計畫管理變革，增修領料作業、退料作業、傳票資料拋轉會計系統功能，並新增料帳預扣功能及長期工程預算控管功能等，提昇預算控管機能及料帳管理更加嚴謹避免誤失。

民國 99 年為配合水費水表營收系統建置案修改系統相關程式，增修水表領料作業、水表退料作業、水表領料結存作業、水表退料結存作業、並新增水表驗收作業、水表判定作業、保固表入庫作業等，以落實就源輸入理念，簡化行政作業程序，且使不同系統之資料保持一致性，又確保表籍資料設置前後一致之完整性，同時簡化會計之帳務處理。民國 102 年為因應未來作業系統之升級與更新，以及消除管線工程承辦人員作業之不便利，需整合大口徑管材及各工程特殊用料需求，並擴增系統備料功能，自動管控需求量、備料量、領用及退回情形等數據，且針對不同之業務性質或需求給予適當的權限等級，為符合資安要求，增加權限管理功能。必須進行權限管理作業、藥品處理作

業、基本資料管理作業、供料作業、料務管控作業、各單位領退料作業、倉儲作業、料帳作業等功能之增修，以符合未來作業之所需。

(七)水費水表營收資訊化

北水處為配合日常營運業務包含裝換水表、抄表、計費、水單產製、郵銀代繳、複查更正、銷帳處理、及帳務營收等等各項作業，建置水費及表籍系統。民國 81 年是使用王安主機(VS)、而於民國 85 年轉換至 UNIX 主機 SYBASE 資料庫之開放式環境。其系統功能包括：1.抄表系統功能、2.郵銀代繳系統功能、3.郵銀及超商代收系統功能、4.水表系統功能、5.櫃檯系統功能、6.水單系統功能、7.計費系統功能。

爰於民國 95 年至民國 98 年分階段建置「水費水表營收資訊系統」，並於民國 99 年全面更新上線。依新規劃之簡化流程，重新開發之子系統包括：

- 1.基本資料管理子系統：系統運作及管理所需的基本資料建檔與維護。
- 2.批次系統：系統於下班時間執行的大量整批作業。
- 3.抄表系統：為將用戶端的水表使用狀況抄錄至本處計費結算及管理異常情形，提供抄表機資料傳輸作業、抄表資料檢核補登作業、網路自報度數作業、抄表抽查作業、抄表路順編排管理作業、資料異動作業等功能。
- 4.前檯系統：受理民眾申辦各項業務的櫃檯作業功能。
- 5.複查及更正系統：為利處理用戶用水問題與爭議，以及辦理用水度數及水費的更

正，提供複查案件處理作業、地漏核減水量作業、列印複查案件清冊作業、水費更正換單作業等功能。

- 6.帳務系統：為處理各項收費帳務處理，提供下列作業功能：(1)郵銀代繳作業、(2)郵銀超商代收作業、(3)機關戶作業、(4)代徵作業、(5)補助作業。
- 7.違章稽查系統：針對違章用水戶需進行稽查及追償列管等作業，建置違章用水案件申報及列管作業、違章用水違查案件結案作業、稽查費用逾期催繳作業、追償水費核減作業等功能。
- 8.派工系統：為掌握各類案件的處理時效，增加各項作業的派工及回派管理。
- 9.電子帳單系統：推動電子帳單同時宣導本處活動訊息，提供電子帳單用戶資料維護作業、宣傳欄位維護作業、確認函寄發作業、電子帳單戶文宣發送作業等功能。
- 10.水表系統：為紀錄水表完整生命歷程，完善管理水表提高使用效益，提供水表報廢作業、水表繳回作業、水表財增減作業、水表庫存作業、各類水表異動及派工回報作業、無法換表處理作業等作業功能。
- 11.特定用戶管理系統：為針對大用水量或是表位不良等等特殊用戶，建置不良表位改善作業、非定期普查不良表位改善作業、大用戶列管作業、總表小於分表合改善作業。總表分攤異常案件控管作業等功能。

全新開發之系統解決民國百年年序問題，確保系統正常運作。而以開放式架構建置系統，便利其他資訊系統介接。因採用視窗界面設計方式，提供友善人機介面。建立檢核內控制度減少人工調整帳務作法。「水

費水表營收資訊系統」自上線使用至今，運作順暢，且易於與外系統進行介接、資料拋轉及整合。

資訊安全防範工作為全面性且不可中斷，北水處乃積極推動各資訊系統資訊安全認證，並於民國 100 年通過該系統 ISO27001 認證。

(八)用戶服務資訊化

北水處為建立便捷、迅速反應機制，提升為民服務效率並維持服務品質一致性與標準化，創造為民福服務之形象。於民國 90 年建置客戶服務資訊系統，其系統之功能如下：

- 1.話務管理功能：來電時系統可依值機員等候時間、值機員話務量負荷分派，將來話分配給適當之值機員。
- 2.具備軟式電話（SoftPhone）功能：值機員可直接經由值機席螢幕畫面點選執行電話按鍵功能（例如接聽、掛斷、轉接、三方通話、撥號及登入、登出功能。
- 3.電腦建置水費查詢、抄表查詢、水質生飲申請案件、停水公告、修漏水、無（缺）水及客訴案件派工查詢處理系統，值機員透過電腦畫面之點選，即可迅速回覆用戶來電查詢事項，或處理各種派工案件。
- 4.登錄用戶來電內容及滿意度：值機員接獲用戶來電，可於電腦中，登錄用戶來電內容、案件處理情形及滿意程度…等，俾利日後之統計分析作業。
- 5.主管可透過監控台電腦畫面，監督值機員作業狀況，主管可立即點選值機員畫面，即時監聽。

民國 100 年，因既有系統架構、功能及

開發的程式語言工具無法滿足當時資訊系統及設備。極需整合新式客服平台，重新建置開發全新的客服人員操作介面，以提升客服人員工作效率，增進客戶服務滿意度，並確保人員服務水平，故進行客戶服務資訊系統升級建置。升級後之系統功能如下：

- 1.整合既有交換機系統提供進線處理功能：系統整合電話及電腦系統，當用戶來電時，系統即自動顯示用戶歷史服務資訊，以便快速提供服務。
- 2.派工處理功能：當用戶需求無法於線上即時解決時，系統提供修漏水、無缺水及客戶申訴等派工功能，將用戶反應之事項通知權責單位處理，並提供流程化案件管理功能，依成案、通知、回報、完工、結案等各階段進行全流程管控。
- 3.訊息管理功能：系統提供訊息公告、跑馬燈等方式，便利值機人員互相傳遞訊息，另有傳真作業功能可進行傳真收發，簡訊處理功能可於系統直接進行簡訊發送，多樣化的訊息傳遞功能，提供更具時效性與便利性的作業方式。
- 4.錄音與監聽功能：記錄值機人員的各種話務通話，並提供管理人員搜尋與撥放各項話務錄音記錄的功能，以確保服務品質。
- 5.全流程整合施工資訊系統、Web GIS 系統、市府 1999 派工系統、水費系統、薪資系統。

民國 101 年，延續前一年度開發成果，進一步納入值機員績效評估機制，強化客服人員管理功能，同時強化與其他既有系統整合。並配合使用單位陸續提出的各項作業需求，進行系統功能擴增。升級前端 CIC 資料庫提升管理及作業效率。經繼續整合並擴增

功能後，增進值機員績效管理：整合各項值機員績效指標，以評估值機員作業績效。並簡化證照發送管理：將原以人工造冊方式處理之抄表給水管線工作證、領班工作證、水池水塔工作證、委外承商工作證之製作發放，納入系統管理，由申請資料之建檔，至工作證產製，以及後續工作證請領清冊之列印均以電腦化處理。除增加人員評核作業的效率與公平性外，更提供客服人員反饋學習的機制，幫助客服人員成長，精進更好的市民服務品質。另整合式的查詢功能，整合各項服務資訊顯示於單一功能，利於值機人員追蹤用戶服務情形，提升服務效能。又滿足管理人員與值機人員各項作業需求，提升管理及作業效率，達成完整的客服人員操作應用程式升級。

以上八大系統與用戶供水有直接或間接之關係，北水處為精進服務用戶與提升供水效率，已陸續完成資訊化，也積極進行相關業務之資料整合、加值應用等，並提供精確之資訊給各階層之決策者與相關單位應用，以作為決策之參考。

四、智慧自來水網路運用與發展

建置了自來水各相關管理系統之後，緊接著是必須將這些相關管理系統做整合及加值應用，使它們能產出更多可供利用之各項資訊，來提升北水處之營運管理效率，否則只是 IT 碎片，東一塊、西一塊而已，無法發揮改善營運效率之效益^[2]。故如何整合這些管理系統來達到「漏水改善與水壓管理」、「策略優先與資本支出之分配」、「簡化管網之操作與維護」、「簡化水質監測」，另加上「與用戶服務有直接或間接相關之系統

整合」等目標，才是重要，而這也是北水處仍繼續努力之方向。

要邁入「智慧型自來水網路」^[1]，首先必須將自來水供水系統之管理資訊化（監控系統），再進一步與其他相關之系統（如圖資管理系統、水質監測系統、財產管理系統、物料管理系統、……等等）搭配整合，使得成果、解決方案和系統完全整合成套，讓北水處能用以：

- ★做出具前瞻性的診斷問題，事先洞察優先和管理維護之問題，且善用數據驅動之透視力來做遠端控制和配水管網各方面之最優化。
- ★在水質與節約能源之法規和政策的要求上，符合透明和自信。
- ★提供用戶所需要的資訊工具，使用戶針對實際狀況和自己的行為及用水模式，做出智慧的選擇。

茲將北水處邁入智慧型自來水網路來逐步達到以上之目標之過程說明如下：一、漏水改善與水壓管理，二、策略優先與資本支出之分配，三、簡化管網之操作與維護，四、簡化水質監測，五、用戶服務有直接或間接相關之系統整合。

(一)漏水改善與水壓管理：

一般的配水系統之漏水是很難偵測的到，然而這將成為一個重要的問題。北水處為節約寶貴之水資源，刻正積極辦理管網改善之工作，並執行自民國 95 年至民國 114 年為期 20 年之管網改善計畫，又以創新之小區計量技術，逐步提升售水率，降低漏水率，意即降低無計費水量（NRW），此技術並於民國 99 年榮獲國際水協會（IWA）頒發

工程革新獎東亞區計畫類首獎，此外又搭配所擬定計畫性漏水檢測作業，委託漏水檢測之專業廠商進行檢測漏水工作，迅速找出不明漏水點，立即修復漏水。使得售水率逐年提升，漏水率則是逐年下降，預計至民國 114 年，可使漏水率降到 10% 以下。

北水處經由監控系統與圖資系統之建置，並將大型加壓站之抽水機增設變頻設備，以及中小型加壓站之自動化與增設變頻設備，使管網之運轉已可達到即時監視水壓與即時操作抽水機控制水壓之能力，並透過均勻水壓之操作使管網之管理更精緻化，達到節約能源之最佳效果。若遇到不預期之爆管，監控中心亦可迅速反應，並即時作水量、水壓之調配，縮短應變之時間，使災害損失降至最低，故北水處已由過去之被動管理水壓，轉變成為積極主動的管理水壓，並隨時掌握管網之水壓，有異常則立即應變。

北水處經由管網改善搭配計畫性之漏水檢測與水壓管理等措施，加上常態性的成立 NRW（無計費水量）改善小組，不斷檢討發覺各工程施工品質與漏水等相關問題，再透過流程之改變與更新，直接提升作業之品質，使無計費水量逐漸將低，其結果是，轄區之配水量由民國 95 年之 958,240,000m³，逐年減少，到民國 101 年底之 823,100,000 m³，售水率由民國 95 年之 63.41%，逐年提升，到民國 101 年底之 69.64 %。

(二)策略優先與資本支出之分配：

鑒於臺灣地區水資源開發不易，北水處為節約水資源，並解決水資源開發不易之問題，乃毅然決定投資 200 億元，執行自民國

95 年起為期 20 年之管網改善長程計畫。

因得助於圖資系統之建置，提供管網之資訊（包含埋設位置、年度、口徑、材質與竣工圖資、閥栓位置相關圖資等），方便工程人員運用系統進行管線工程之規劃、設計與施工，加上北水處同仁自行開發之管網弱點分析軟體，可依照弱點分析之結果，劃定小區之區塊，再排訂小區計量執行之優先次序，由售水率最差者優先辦理，並依計畫之期程逐年逐步進行小區之管網汰換與計量，執行至今真是立竿見影效果顯著，每年約減少 1% 漏水率。達到策略優先與資本支出之最佳分配。

(三)簡化管網之操作與維護

北水處目前皆定期進行閥栓之巡查與維護，並對管線末端作排水，以降低污染之機會，目前正配合臺北市政府新建工程處，於施工資訊系統增加功能，使現場回報、開工、停水、復水、完工，…，等作業，納入現場行動應用（APP）回報管理，並將相關資訊直接拋轉至新建工程處之道路挖掘系統，幫助新建工程處作整體管控，在作業過程因簡化流程，以致減少許多人工作業，同時減少了人為錯誤，提升了數據的正確性與可靠性。至於 Colin Walsby 提及由監控中心直接進行遠端、在路上之制水閥控制，將視未來資金之分配及環境發展之需要再作規劃。隨著智慧型技術之發展與應用，使得北水處之人力資源配置已精簡到少於編制員額 500 餘人，降低許多操作與維護成本。

(四)簡化水質監測

在水質方面，為了確保用戶都獲得所通過之嚴格水質標準的乾淨自來水，訂定愈趨

嚴格的自來水標準及管理供水安全性的風險，並強化配水系統中的弱點已成為當務之急。因此，必須進行頻繁和嚴格的評估，以防止因人口迅速增長，城市化，以致污染和生物恐怖主義等所造成的危險，威脅到供水安全。

北水處自訂之水質標準較國家標準更為嚴格，又為消除管網中之安全漏洞，於轄區之供水管網，皆定期做閥栓之維護、排水與管線末端之排水，並量測水質是否達到標準，以確保供水之安全，降低供水風險。而所建置之水質監測系統已提供內、外部顧客資訊分享。

在內部顧客方面，將即時水質資訊傳送至 MIS、GIS 及監控中心等依需求作整合，提供相關單位作為操作維護之參考依據，讓水質資訊發揮最大功能。

在外部顧客方面，因應電腦多媒體發展及滿足民眾需求，修改外網即時水質資訊畫面及功能，以 Google Map 為基礎圖台，方便查詢水質資訊及歷史趨勢圖，以利民眾了解北水處供水品質，使系統發揮其對內部管理及對外徵信的最大功能。

(五)用戶服務有直接或間接相關之系統整合

1.與用戶服務有直接相關方面：

自建置客戶服務資訊系統以來，因陸續整合監控系統、管理資訊系統、圖資系統、水費水表營收系統等相關資訊，客服中心之客服人員，可透過電腦操作，直接提供用戶各項服務資訊，包括繳費、施工停水、水池水塔、漏水、用戶無水服務、申請案件之處理狀況、…等用戶各項問題之解答。用戶有任何自來水方面需要服務，只要打電話到客

服中心，客服中心之人員皆可及時協助解答或解決相關之問題。

用戶亦可在任何地方，透過網路直接連上北水處之網站（<http://www.twd.gov.tw>）查詢所需要之相關資訊。

2.與用戶服務間接相關方面：

管網改善工作是與用戶用水之水質安全息息相關，因此，所有與管網改善之相關工作皆與用戶服務有間接關係。北水處為提供內部相關之規劃、設計、施工與操作管理人員充足且正確之資訊，縮短作業時間，使內部作業更加順暢。爰於民國 98 年 1 月起，將管網改善工程進行全流程之管控，透過圖資管理系統、工程管理系統、物料管理系統與財產管理系統等相關系統之整合，使所有工程案件從規劃成案、編製預算書、設計、施工、到竣工結算、產製財產增加單、決算及財產入帳結案，全部納入管控，包括施工期間之道路挖掘管控（已與臺北市府新建工程處之道路挖掘管理系統介接，可做資料拋轉增值應用。而新北市政府部分則規劃於民國 103 年進行介接與測試）、領、退料管控，圖資數化之管控、竣工結算之數量與入帳之財產增加單等皆可由系統一貫作業，大大的減少了人工之作業數量，也降低作業過程中犯錯之機會，且幫助了後續之操作與維護管理人員，迅速了解資產變動之狀況，隨時可做操作與維護之因應，北水處又經由對承包廠商之物料盤點，加上查核及考工人員不定期的抽查施工品質，隨時監控廠商之作業狀況。如此嚴謹控管執行之過程，再搭配前面已經說明之相關資訊化與系統整合等措施，必能確保用戶用水之水質安全。

北水處為周詳規劃未來短中長期資訊業務推展方向，將依據資訊業務現況及未來發展需求，並配合臺北市政府資訊政策及業務需要修正，使資訊預算及資訊資源，有效發揮最大效益，來研訂未來資訊業務推動計畫。執行之主要方向如后：

- 1.完成應用系統開發工具升級，以因應 windows 7 電腦作業平台之支援與相容，以建置符合使用者多方需求之應用系統，充分提升整體資訊效能。
- 2.圖資暨工程管理相關系統平台及架構改版。
- 3.圖資整合管理平台建置、用戶用水整體服務流程導向之系統建置及工程管理相關系統功能整合。
- 4.GIS 管網監控整合系統建置，將整合北水處水質、水壓及水量之監控資訊，除主動發佈即時訊息外，且能透過 GIS 多元圖面顯示技術與管網連續嚴密監測之 SCADA 圖控系統介接，協助供水系統規劃設計及優化整體管網調配管理能力，對災害造成管網異常狀況等緊急情況發生時，可提升處理意外事件之應變能力。
- 5.完成客服系統整合 GIS 等地理圖資資訊，簡化值機員查詢修漏或無水資訊時間，提高系統整合便利性、未來功能擴充性與發展性。
- 6.完成採購作業跨科室業務全流程之探討，建置北水處採購作業整體規劃之採購資訊管理系統。
- 7.完成北水處水質管理相關系統之系統架構修正及功能整合，簡化系統資料流程，避免各系統分開作業造成資料重複建置或資

料不一致情形發生，且對系統管理及維護工作效能亦可提升。

8. 用戶服務檔案管理電腦化。
9. 以資訊工程技術，解決北水處圖資系統（GIS）未來發展所面臨之瓶頸。
10. 提出與自來水圖面有關之跨系統資訊流程診斷及建議。
11. 以智慧型自來水網路為藍圖，就不同之規劃主題，規劃供水管網圖面運用發展之跨系統資訊服務建議，以發揮北水處資訊整體戰力。
12. 擬訂本處未來 4~5 年整體資訊服務架構，作為北水處持續推動「管網資訊中程計畫」之指導原則。

伍、結語

現階段全球並沒有一個強而有力的商業案例，投資風險甚高，且需籌措額外之資金投資，以致全球仍有 65% 之自來水公司對投資發展智慧型自來水網路尚裹足不前。其實智慧型自來水網路代表下列幾點特性：

- (一) 給自來水公司機會，來實現節省資金，解決用水安全與水質問題。
- (二) 它將成為資源越來越受限制之下的未來希望。
- (三) 自來水公司應抓住這機會和時間加以運用，並應與技術廠商密切合作、仔細思考建立一套正確的工具來提升效率及解決問題。
- (四) 要成功仍有賴跨自來水行業之利益相關者集體的努力和合作。
- (五) 因自來水公司會有不同的需求和挑戰，所以仍將繼續發展並創新。
- (六) 未來將有賴於人和技術之間的夥伴關

係，彼此配搭，以解決我們最寶貴的水資源。

(七) 幫助我們走在對的方向上。

北水處確實有幸，在上級機關與審監單位之共識與支持下，加上臺灣地區各相關高科技之技術發展環境非常成熟，已早先一步進入這方面的領域，且迅速整合應用，雖不甚完全但已愈臻成熟，相信在過不久，會成為一個成功的商業案例。

參考文獻

1. Colin Walsby, AWWA, Journal, March 2013 及 Growing Blue, 2011。
2. Peter Williams, Journal, June 2013。
3. 臺北自水事業處統計年報。
4. 臺北自來水事業處資訊室「管理資訊系統」工作報告。
5. 臺北自來水事業處淨水科工作報告。
6. 臺北自來水事業處供水科工作報告。
臺北自來水事業處技術科工作報告。

作者簡介

吳陽龍先生

現職：臺北自來水事業處 處長

專長：自來水事業經營管理、自來水工程規劃與管理

鄭錦澤先生

現職：臺北自來水事業處技術科 科長

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

傅中平先生

現職：臺北自來水事業處技術科 一級管理師

專長：工程考核與管理、自來水監控系統應用

供水管網壓力分析-EPAnet 的應用

文/許志浩

一、前言

從供水分區長期管理而言，自區域封閉開始、裝設評估表、進行售水率評估、完成管線改善後，如何建立供水區域長期管理之壓力基本資料，以作為日後壓力變化之參考基本值，當水壓變化或遽降時，採取應變或進行即時緊急應變搶修。

應用 EPAnet 水理分析，求算出區域內各點觀測點壓力值，再於實地之各觀測點裝設壓力記錄器，紀錄一定時間之壓力值，經比對分析後，訂定區域內壓力監測之基礎值。

管網分析可在不中斷供水狀況，利用配水系統網絡模型，模擬在不同狀況下，實際系統可能出現之變化，作為預擬應變機制之參考。另外目前配水管網所存在的問題及預擬狀況所產生的問題，亦可透過管網分析後，進行可行性之評估。

二、EPAnet 水理分析計算理論水壓力

(一)EPAnet 簡介

EPAnet 是美國環保署所採用的水利分析軟體，可分析配水管網中管內壓力變化的情形。由節點 (nodes) 及鏈結 (links) 組成配水系統網絡模型 (如圖 1)。

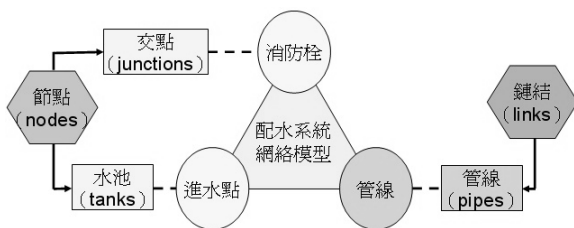


圖 1 配水網絡模型

進行管網分析係以供水區域內之管線，建立配水系統之網絡模型，於模型中設定條件，經數學運算得到所需水壓力。在進行管網分析時，可在不中斷供水狀況，利用配水系統網絡模型，模擬在不同狀況下，實際系統可能出現之變化，作為預擬應變機制之參考。當然目前配水管網所存在的問題及預擬狀況所產生的問題，也可藉由管網分析，進行可行性之評估，以衡量人員、物資投入之依據。

(二)EPAnet 運算

本次係採用 EPAnet2.0 管網水理分析軟體，將供水分區之進水點、管線、消防栓及制水閥，逐一以節點 (nodes) 及鏈結 (links) 標繪於 EPAnet 圖面，組成配水系統網絡模型，再輸入資料後，以獲得區域內各點壓力資料。

1.底圖製作：利用北水處供水設備管理系統轉入供水分區範圍之圖檔，在於圖面標示節點及管線 (如圖 2-3)。

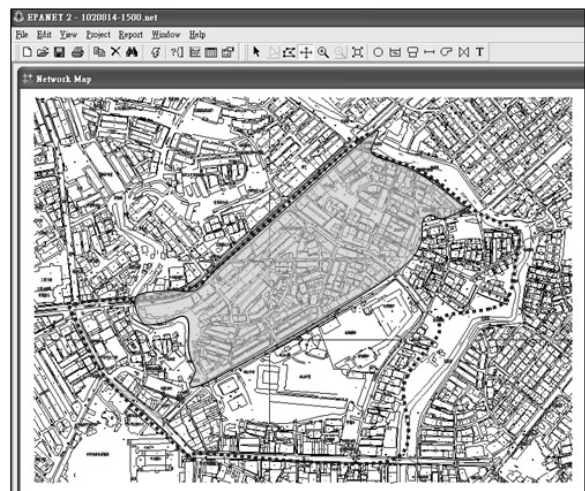


圖 2 供水分區圖檔

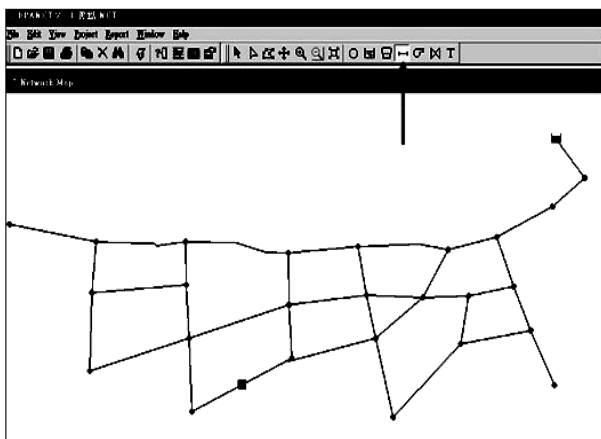


圖 3 標繪節點與管線

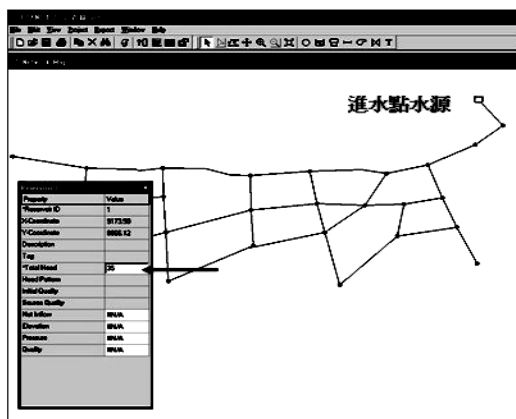


圖 5 輸入進水點壓力

2.輸入資料：本次係採 Hazen-Williams formula 水頭損失公式（分析自來水常用 Headloss 為 H-W），C 值在延性球狀石墨鑄鐵管（dip）取 140。各節點（node）分別輸入高程（elevation）、需水量（demand）。各管線分別輸入編號、長度（length）、管徑（diameter）、C 值（如圖 4-7）。

3.計算結果：經系統分析計算出理論水壓力（如圖 8-9）。

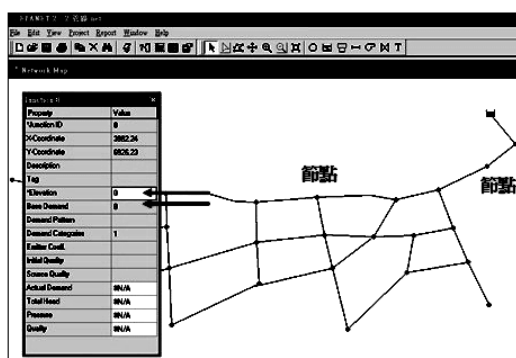


圖 6 輸入高程

三、現地裝設壓力記錄器取得實測水壓力

(一)供水區域基本資料

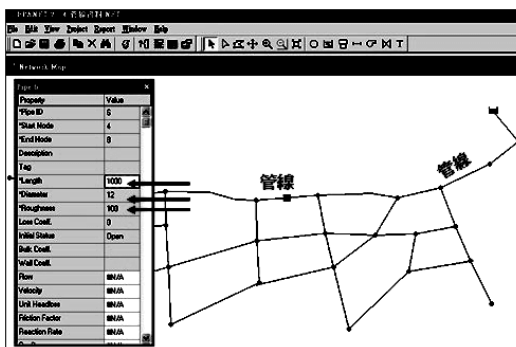


圖 7 輸入管徑及長度

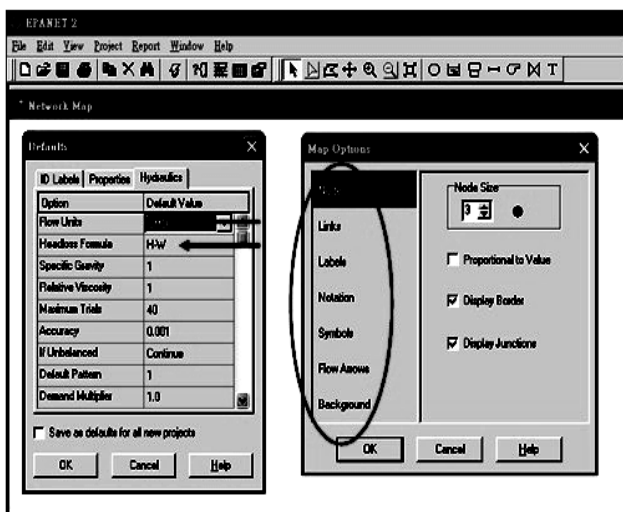


圖 4 設定流量單位 CMD

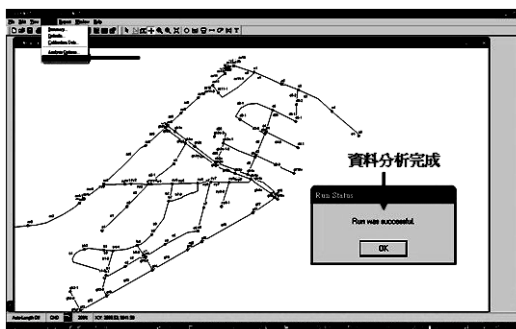


圖 8 資料分析完成

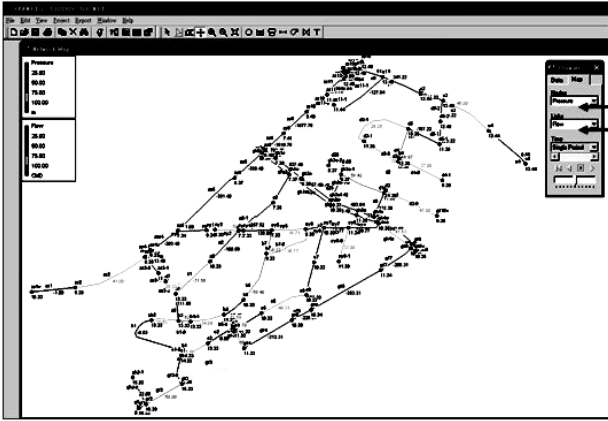


圖 9 理論壓力值分佈圖

本次係以新北市中和區中山路 2 段 181 巷以東、瓦窯溝以西、中山路 2 段以南、廣福路以北，所圍之區域，進行實測水壓作業。這個供水區域之用戶數約 2,400 戶，共計汰換不鏽鋼管 (ssp) 2,800 公尺、延性球狀石墨鑄鐵管 (dip) 2,000 公尺 (如表 1)，汰換完畢後，售水率已達 98.31%，平均每日漏水量僅 36CMD (如表 2)，屬於漏水改善成效極優的區域。

表 1 管線汰換一覽表

管網改善			
SSP(M)	比例	DIP(M)	比例
2,838	97.86%	2,060	100.00%

表 2 改善前後售水率及漏水量

售水率(%)		漏水量(CMD)	
改善前	改善後	改善前	改善後
58.87%	98.31%	1,254	36

(二)利用消防栓裝設壓力記錄器

為能取得實際管網中壓力，在區域內地

下式消防栓裝設壓力計量測水壓值，並以紀錄器記錄一定時間之壓力值 (如圖 10)。裝設壓力計之地下式消防栓地點選定，以高程較高、巷弄管末端及曾紀錄用戶水壓較低之地點，做為觀測點 (如圖 11)。

此供水區域在 8 個地下式消防栓分別裝設 8 只壓力計及紀錄器 (如表 3)，紀錄器設定每 30 分鐘記錄一筆壓力值，整個觀測期共 7 日，分別將 8 個消防栓之壓力曲線繪製 (如圖 12-19)。



圖 10 消防栓裝設壓力紀錄器

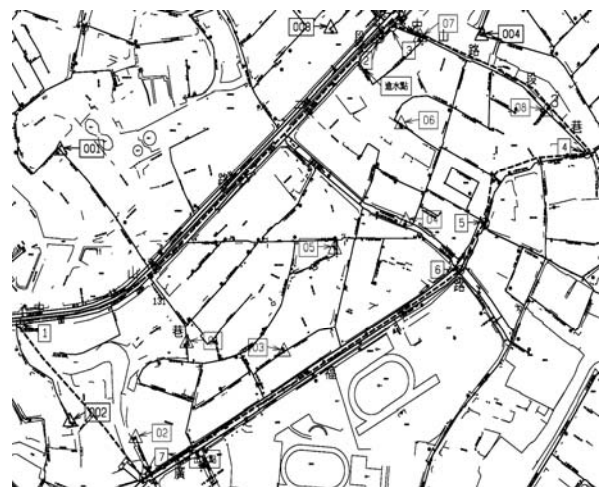


圖 11 壓力觀測點裝設位置圖

表 3 裝設壓力計位置一覽表

序號	型式	地址	管徑
01	地下	中山路二段 131 巷 4 號	200
02	地下	廣福路 112 巷 8 號	100
03	地下	廣福路 56 巷 2 弄 10 號	150
04	地下	光華街 49 號	200
05	地下	水源路 30 號旁	150
06	地下	光華街 31 巷 22 弄 11 號旁	100
07	地下	中山路二段 3 巷 4 號	200
08	地下	中山路二段 3 巷 52 號	200

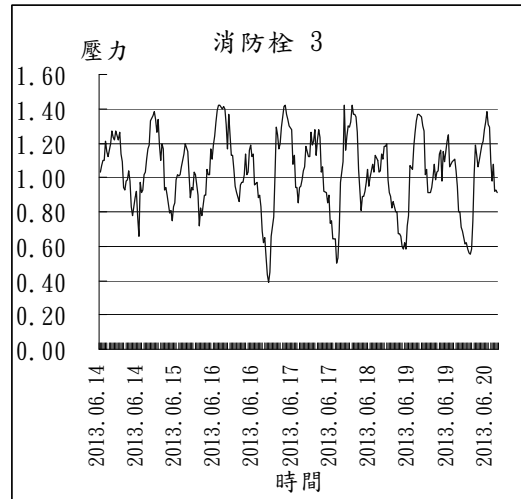


圖 14 消防栓 3 壓力曲線圖

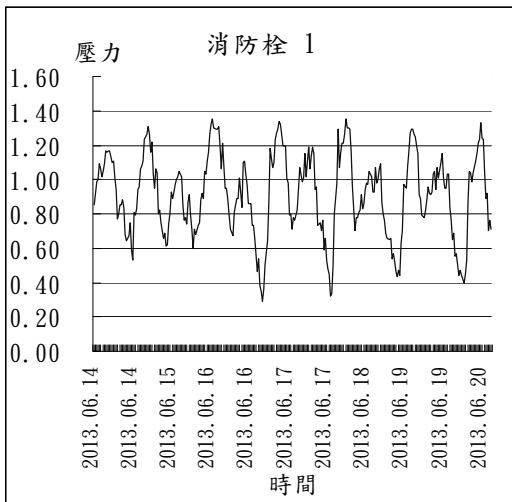


圖 12 消防栓 1 壓力曲線圖

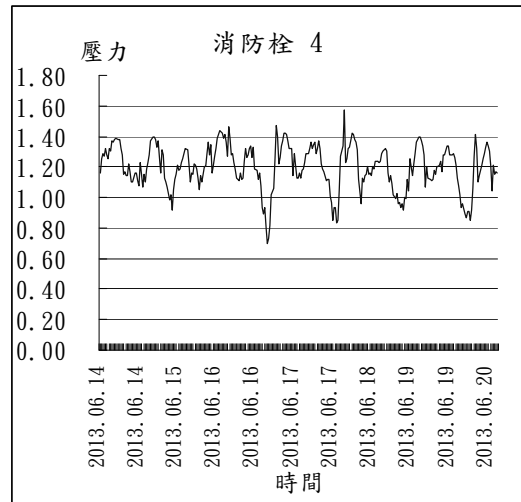


圖 15 消防栓 4 壓力曲線圖

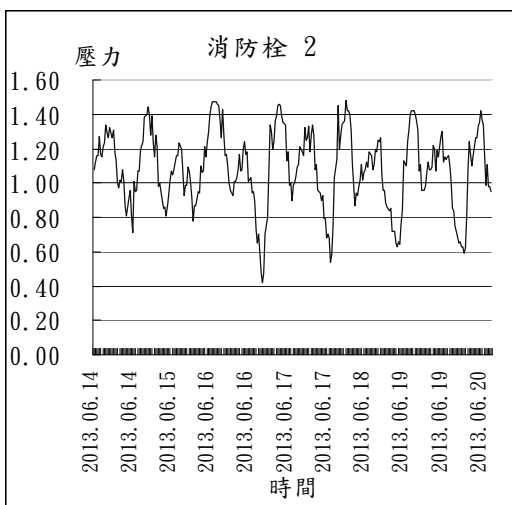


圖 13 消防栓 2 壓力曲線圖

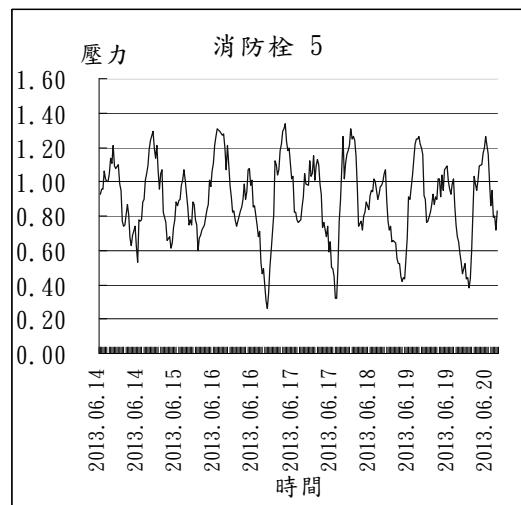


圖 16 消防栓 5 壓力曲線圖

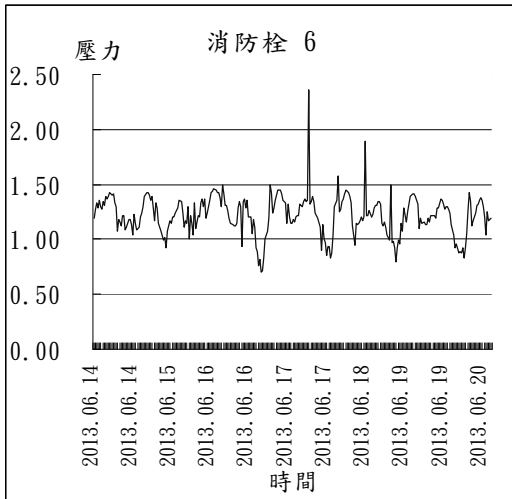


圖 17 消防栓 6 壓力曲線圖

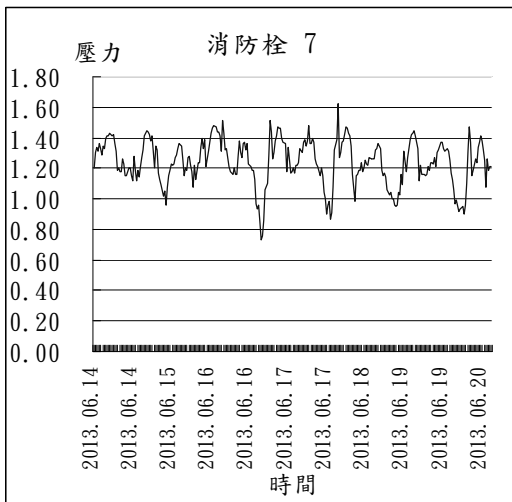


圖 18 消防栓 7 壓力曲線圖

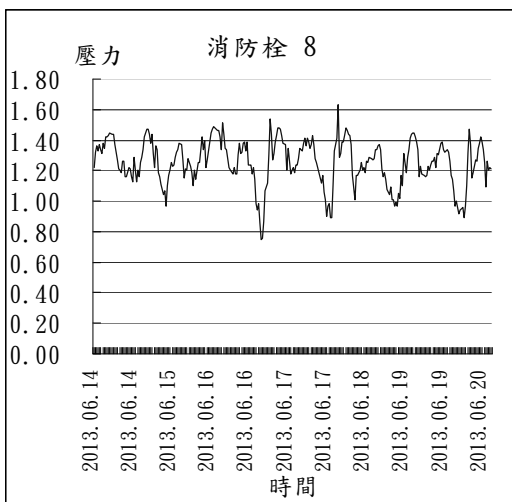


圖 19 消防栓 8 壓力曲線圖

經過 7 日觀測期，8 個消防栓所測得之平均壓力值至少都在 0.9 kg/cm^2 (如表 4)。其中消防栓 1、2、3、5 的位置點為離本供水區域進水處最遠處，也可看出 4 處的平均壓力也較低，消防栓 2 及 3 僅有 1 日在夜間用水高峰時間 21:30 至 22:30 低於 0.5 kg/cm^2 ；消防栓 1 及 5 則有 4 日在夜間用水高峰時間 21:30 至 23:30 低於 0.5 kg/cm^2 。雖然有某些時段記錄之壓力的確偏低，惟因時間較短，且一般住宅仍有水池水塔供水，致並未接獲民眾反映缺水或水壓不足之電話。

表 4 量測 7 日壓力一覽表

消防栓								
序號	01	02	03	04	05	06	07	08
平均水壓	0.91	1.08	1.03	1.20	0.90	1.22	1.24	1.25
最高水壓	1.35	1.48	1.42	1.57	1.34	2.36	1.62	1.63
最低水壓	0.29	0.42	0.39	0.70	0.26	0.70	0.73	0.75

以 EPAnet2.0 管網水理分析軟體，所計算出理論水壓力，與實際裝設壓力記錄器所得之實測水壓力，經列表比對 (如表 5)。

表 5 理論與實測水壓力一覽表

序號	型式	地址	理論水壓	實測水壓
01	地下	中山路二段131巷4號	1.28	0.91
02	地下	廣福路112巷8號	1.53	1.08
03	地下	廣福路56巷2弄10號	1.03	1.03
04	地下	光華街49號	1.04	1.20
05	地下	水源路30號旁	0.93	0.90
06	地下	光華街31巷22弄11號旁	1.14	1.22
07	地下	中山路二段3巷4號	1.36	1.24
08	地下	中山路二段3巷52號	1.34	1.25

四、結論與建議

- (一)經水理分析所得之理論壓力值與現地實測之壓力值，仍有所差異，當然實際所記錄到之壓力值，才是真實壓力，惟實務上較難廣設壓力觀測點，來取得供水分區內各點壓力值，因此利用 EPAnet 水理分析計算理論水壓力，經經驗累積後，適時修正相關輸入資料，例如 C 值或用水量等，所得之壓力值才有助於長期管理。
- (二)以本供水分區而言，由於範圍較小，仍可利用地下式消防栓裝設壓力紀錄器，以獲得區域內壓力值，作為長期管理之基礎壓力值，若面臨規模較大之區域，如仍採同樣方式，則需面臨人力及設備的問題。

參考文獻

- 1.時佳麟等，「臺北自來水事業處管網E化現況與未來發展」，水產業研討會，2006年。
- 2.許志浩，「分區計量區在管線汰換後售水率偏低之實務改善探討」，中華民國自來水協會會刊，2007年8月。
- 3.時佳麟等，「結合用水量時空分佈之計量小區管網模擬」，國立臺北科技大學土木與防災研究所，2011年7月。
- 4.臺北自來水事業處，「臺北自來水事業處統計年報」，2012年5月。
- 5.許志浩，「談供水分區與EPAnet之應用」，臺北自來水事業處，2013年3月。
- 6.鄭錦澤，「水理分析軟體(EPANET)操作基礎班」，臺北自來水事業處，2013年5月。

作者簡介

許志浩先生

現職：臺北自來水事業處西區營業分處給水股股長
專長：自來水工程設計、施工；設施維護管理；分區計量

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。

利用歷史圖資研判斷除不明管線之案例分享

文/游叡研、李中彥

摘要

不明管線之斷除，為提升小區管網售水率改善之關鍵，然而，斷除不明管，對第一線執行任務之監工及承攬廠商而言，為非常具有挑戰性之任務，一但導致合法用戶無水可用，將造成莫大民怨。

本文以 2 個成功案例作說明：

- (一)永和保生路利用歷史圖資作研判，於規劃及設計階段徹底清查圖資，對症下藥，施工順序得當，順利達成無痛斷管，將民怨減至最低。同時避免盲目施工，節省公帑，將有限經費發揮最大成效，成功解決不明管漏水問題。
- (二)由歷史圖資研判，萬華 406 號空地於日據時期為西本願寺用地，於 1975 年後陸續有違建進駐，故沿長沙街 2 段之舊有水栓應為 1975 年後所設置，本地點於 2005 年已拆遷違建，應有許多未斷除之「盲腸管」在漏水。施工時優先鎖定長沙街 2 段，發現舊管銹蝕嚴重且有高達近 30 處舊有鉛管接水點，將不明管全數斷除。

由上述成功利用歷史圖資準確研判斷除不明管案例可知，藉由設計時詳察歷史圖資、地形圖、航照圖之變化，研判建物設置及拆除情形，可較精準研判斷除不明管線，使漏水改善施工時不致因斷除不明管導致合法用戶無水，減少民怨，且能將有限經費投注於亟需改善之處，有效提升管線漏水改善執行效率。

關鍵字：歷史圖資、不明管、漏水改善

一、前言

為減少漏水，提昇供水效能，臺北自來水事業處（以下簡稱本處）近年來持續推動管線汰換工程，並為明確評估管線更新對漏水改善之成效，自民國 92 年起，導入「小區計量」觀念，冀以更積極主動之方式，強化漏水管理與控制。

傳統觀念普遍認知管材老舊為漏水之主因，故以往管線汰換工程著重於老舊管材之全面更新。惟近期執行漏水改善作業後發現，不明管線之斷除，為提升小區管網售水率改善之關鍵，然而，斷除不明管，對第一線執行任務之監工及承攬廠商而言，實為非常具有挑戰性之任務，其因在於一但斷除之管線非不明管，而係圖面資料遺失或錯誤所造成，將導致合法用戶無水可用，監工將面臨莫大民怨，除需緊急以水車送水，或以「無水便利盒」等方式，將消防栓水源灌至用戶水池外，還將面對用戶各類陳情（如市長信箱、全民督工、1999 案件等），使監工及承商視為畏途，遇不明管時不願徹底斷管，導致影響漏水改善成效。

為準確研判可能不明管線位置，使監工於現場施工時有所依據可循，參考歷史圖資（包含舊有管線圖、地形圖、航照圖），研判建物接水時間、新建及拆除等狀況，可以歸納及判斷舊有管線位置，以及是否仍在使用等狀況。

本文以永和保生路及萬華長沙街 2 段等兩處利用歷史圖資斷除不明管之成功案

例，期能藉由案例說明，使設計時能更有效研判不明管線位置，於設計圖詳予標註，並使監工現場施工斷管時無後顧之憂，減少民怨之產生，並提升小區改善作業之執行績效，並加速漏水改善執行進程。

二、永和保生路斷管案例

永和區保生路一帶（仁愛路至環河西路 2 段）經檢測漏水嚴重，而保順路經檢測無漏水，管線設備圖資如圖 1 所示。本案進行自來水管網改善設計時，雖然保順路本通已有配水管，但調閱保順路大樓給水台帳圖（圖 2），赫然發現其原始申請 $\phi 200$ 給水管竟長達約 450 公尺，這支給水管遠自仁愛路接水，順著保生路一路延伸至保順路，於 1991 年完工（如圖 3 紅線所示）。

而後清查保生路圖資，保生路於 1993 年埋設 $\phi 200$ DIP 配水管（圖 4），並於保生路 55 號旁就近改接保順路大樓給水管，此時給水管仍有約 250 公尺（如圖 5 紅線所示）。清查保順路圖資，保順路係於 1994 年始埋設 $\phi 300$ DIP 配水管（圖 6）。

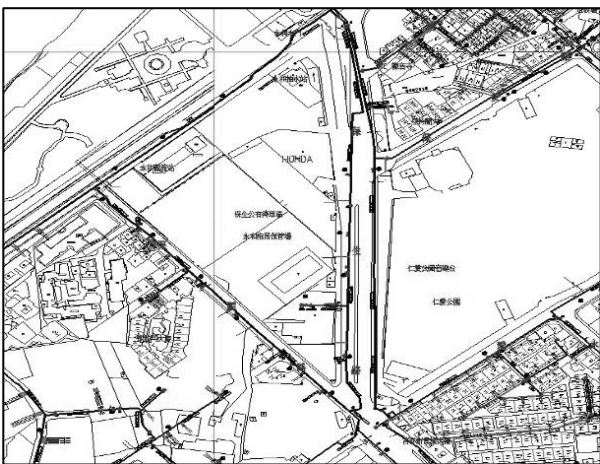


圖 1 管線設備圖資

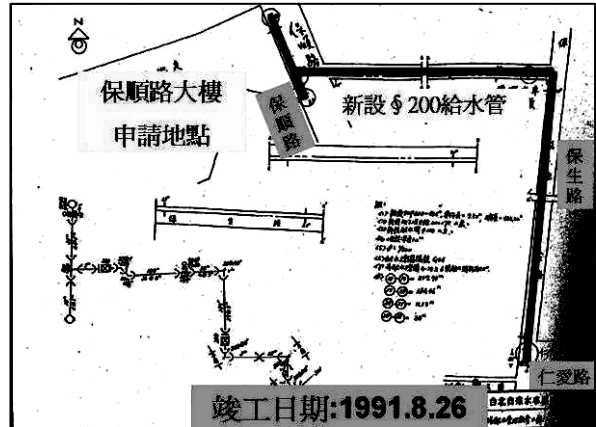


圖 2 保順路大樓給水台帳圖



圖 3 不明管示意圖

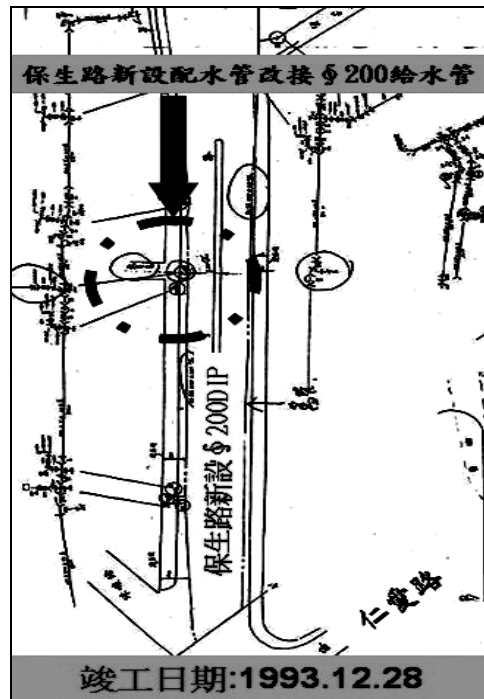


圖 4 保生路配水管竣工圖



圖 5 不明管示意圖

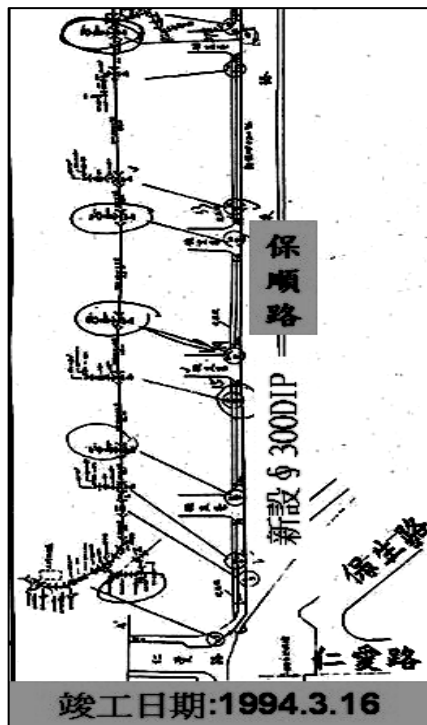


圖 6 保順路配水管竣工圖

由以上不同管線埋設時間差，我們可以作 4 點合理推論：

- (一) 早期應沒有保順路，保順路應為後來才開闢之道路。
- (二) 保順路開闢後未埋設配水管，故保順路大樓給水管需遠從保生路接水。
- (三) 有 1 支 $\phi 200$ 給水管從保生路直接穿到保順路，這是原來管線設備圖資所沒有的

不明管，施工時需斷除。
(四) 保順路於 1994 年新設配水管時應未就近改接用戶給水管。

有關推論(一)保順路是否係為後來才開闢之道路，我們可利用歷史圖資協助研判，由 1969 年及 1973 年之航照圖 (圖 7、圖 8) 可大致看出端倪，保順路一帶整片是未開發的農地，連路形都沒有，而保生路則已有路形。

由 1985 年之航照圖 (圖 9)，可以看出這一帶的環境建物變遷，周圍已有部份開發，但保順路路形仍未呈現，可見保順路屬於較晚開發地區。



圖 7 航照圖



圖 8 航照圖



圖 9 航照圖



圖 10 航照圖

由 2009 年之航照圖 (圖 10)，全區已大樓林立，保生路已拓寬，保順路也已開闢完成，可由歷史圖資佐證保順路為後來才開闢之道路。

由推論(三)及(四)，設計階段調查清楚後，於設計圖上載明「 $\phi 200$ 不明管係供應保順路 45 號至 49 號及 51 巷等大樓用戶用水，請先將該用戶給水管改接至保順路配水管後，再將此不明管斷除」(圖 11)，進一步需擬定施工對策，施工分兩階段：

(一)先於保順路開挖施工，將給水管就近改接至本通 $\phi 300$ DIP 配水管。實際施工也確如我們所料，保順路配水管並未接上用戶給水管。(圖 12)

(二)回到保生路，從源頭斷除 $\phi 200$ 不明管。
(圖 13)

施工前，保生路每日漏水 420CMD，保順路經檢測無漏水；於施工後再檢測，保生路已無漏水。本案經驗同時告訴我們，要解決管線漏水問題，只從漏水巷道作改善可能陷入見樹不見林的迷思，較佳作法是將鄰近巷道納入一併整體考量，可以有效避免斷不明管後用戶無水客訴案，進而徹底改善漏水問題。

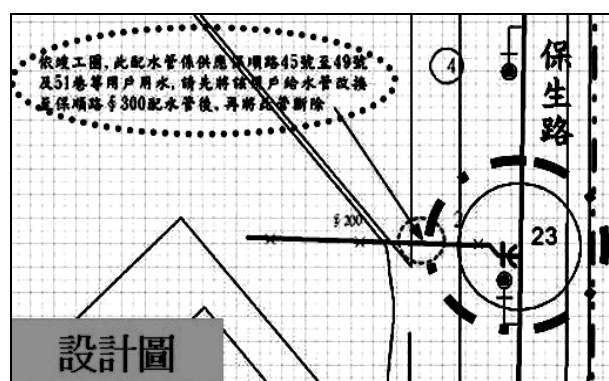


圖 11 設計圖



圖 12 保順路開挖施工

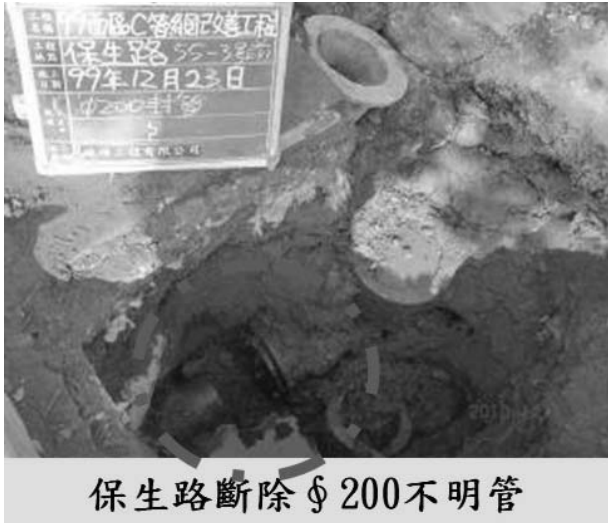


圖 13 保生路斷管相片

本案成功利用歷史圖資（給水台帳、竣工圖、航照圖）作研判，於設計階段徹底清查圖資，對症下藥，施工順序得當，順利達成無痛斷管，將民怨減至最低。同時避免盲目及無謂施工，節省公帑，成功解決不明管漏水問題，達成售水率改善。

三、萬華長沙街2段斷管案例

萬華 406 號空地位於臺北市長沙街 2 段、中華路 2 段、貴陽街 2 段及西寧南路所圍區域，本區域於 2008 年施工時，現址大多數區域已闢建為綠地，惟周邊鄰接貴陽街二段及西寧南路路段仍存有低矮房屋。

為利徹底斷除該區域內不明管線，首先查閱相關歷史圖資做為研判，首先查閱日據時期水道圖（圖 14），該圖顯示日據時期本區域為「西本願寺」之寺廟用地，西本願寺為當時臺北乃至臺灣最大之日式佛寺，與東本願寺、臨濟護國禪寺、曹洞宗佛寺等共同為當時重要佛寺之建築代表。另查閱 1945 年（日據時代末期）空照圖（圖 15），顯示該區域確為西本願寺用地。

台灣光復後，政府於 1954 年將西本願寺的本堂交給「中華理教總會」及軍方和警備總部等單位使用，旁邊則有聯勤被服廠、反共救國軍及大陳島撤退的軍民居住，由 1969 年之地形圖（圖 16）及 1973 年之航照圖（圖 17）可驗證時空變化，當時西本願寺的本堂仍然存在。

西本願寺的本堂於 1975 年發生火災，本堂の木造大殿及其旁的御廟所全數被燒毀，僅剩台基、石階及部份欄杆。火災後，仍有民眾陸續遷入，利用西本願寺殘存的建築，自行隔間及裝修，做為臨時生活住所。圖 18 為 2002 年之空照圖，顯示西本願寺本堂火災後，原址遭違建加蓋之情形。直到 2005 年政府進行拆遷違建改建為萬華 406 號空地，2009 年之空照圖如圖 19 所示。

由以上歷史圖資研判，萬華 406 號空地於日據時期為西本願寺用地，光復後為理教總會使用，於 1975 年發生火災後陸續有違建進駐，故沿長沙街 2 段之舊有水栓應為 1975 年火災後所設置，本地點於 2005 年已拆遷違建改為空地，故舊有管線應無使用，合理推論長沙街 2 段有許多無用的「盲腸管」或「廢棄管線」，應予以斷除，故本案設計時即於設計圖載明「本處舊有給水管線已無使用施工時毋須改接」（圖 20）。

萬華 406 號空地一帶於 2009 年施工時，優先鎖定長沙街 2 段，克服萬難依設計圖全面拆除舊有 MJP 管線，舊有給水管線均無改接，經本次施工拆除舊有 MJP 管，發現舊管內部銹蝕且漏水嚴重（圖 21），於其上發現近 30 處舊有鉛管接水點（圖 22），現已抽換為 DIP 管，並將舊有接水點全數斷除。因本

案例調閱歷史圖資準確研判，故斷除舊管後並無既有用戶反映無水，順利完成漏水改善任務。

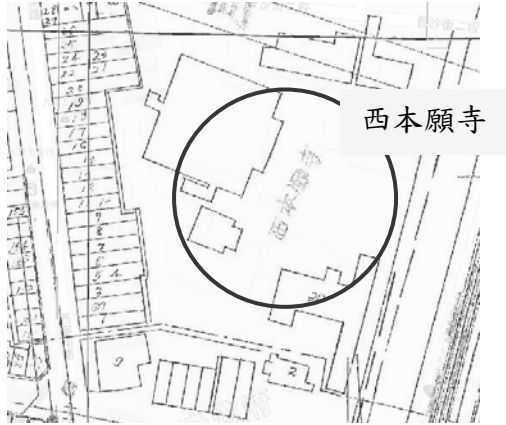


圖 14 萬華 406 號空地日據時期水道圖



圖 15 萬華 406 號空地 1945 年空照圖

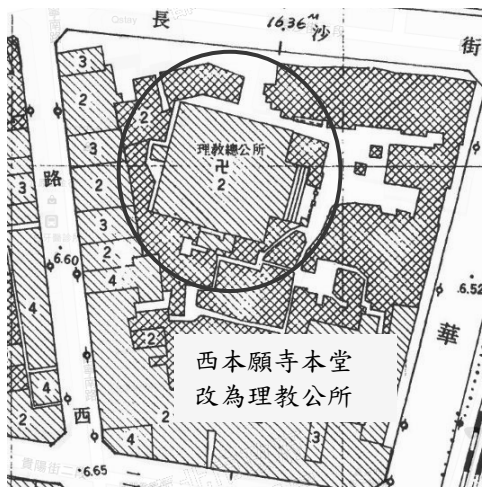


圖 16 萬華 406 號空地 1969 年地形圖

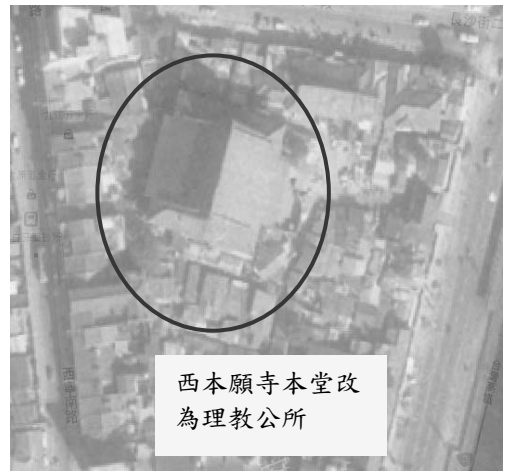


圖 17 萬華 406 號空地 1973 年航照圖



圖 18 萬華 406 號空地 2002 年空照圖



圖 19 萬華 406 號空地 2009 年空照圖

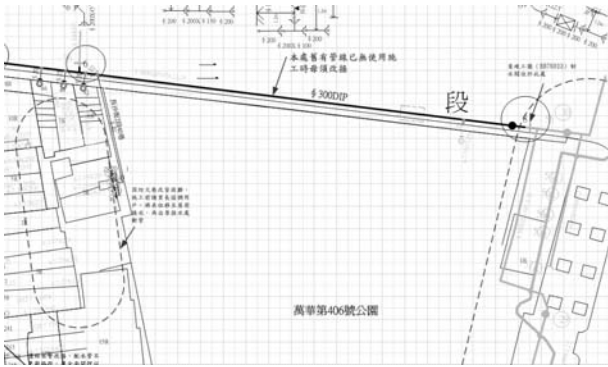


圖 20 萬華 406 號空地一帶設計圖



圖 21 長沙街 2 段拆除舊管照片

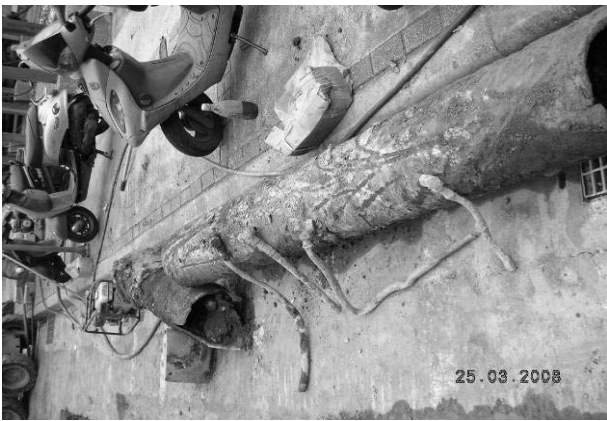


圖 22 長沙街 2 段舊有鉛管接水點

四、結語

改善漏水的關鍵，在於不明管線須徹底斷管，而斷不明管過程是否處理得當，關鍵在於歷史圖資的收集是否完善。

本文以永和保生路及萬華長沙街 2 段兩處成功案例作分享，於規劃及設計階段詳查

歷史圖資，由地形圖、航照圖之變化，研判建物設置及拆除情形，可較精準研判斷除不明管線。施工時可鎖定目標，達成無痛斷管，不致因斷除不明管導致合法用戶無水，將民怨減至最低。同時能有效避免盲目及無謂施工，將有限經費投注於亟需改善之處，有效提升管線漏水改善執行效率。

歷史圖資是為可資參採的利器，可協助準確研判，成功解決不明管漏水問題，達成售水率改善。

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. 張正忠、時佳麟、陳倉桓，「歷史資料於小區管網汰換之應用」，自來水會刊第28卷第2期，2009。
6. 李中彥、林永芳、時佳麟，「山坡地社區NRW 過高時之標準化改善作業—以新北市潭之鄉社區為例」，自來水會刊第32卷第1期，2013。

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幫工程司
專長：管網改善工程設計與監造、小區計量。

李中彥先生

現職：臺北自來水事業處技術科幫工程司
專長：自來水工程設計、施工及契約法規。

利用管線汰換經驗工法於小區計量之應用

文/林佑鴻

摘要

近年來全球氣候暖化，造成氣候呈現兩極化，冬天溫度越來越冷，夏天溫度越來越熱，降雨量也越來越難以評估，好比民國 90 年納莉颱風，帶來過多的降雨量，造成水淹臺北城；隔年民國 91 年卻發生降雨量嚴重不足，造成北台灣地區發生 22 年來嚴重旱災，臺北自來水事業處（以下簡稱本處）針對大臺北地區實施分區管制供水。印證了全球暖化後水資源短少，更突顯臺灣地區必須隨時面臨缺水危機。

本處基於確保大臺北地區自來水用戶用水無虞，自 92 年起為有效減少漏水，降低漏水率，積極汰換管線及利用「小區計量」工法，進行評估管線汰換及漏水改善成效，期望民國 114 年達到漏水率 10% 的目標。

本文主要報告利用多年來小區汰換管線的施工經驗，提供在施工過程中遭遇管線障礙及空間限制的環境下，如何克服困難解決汰換管線的方法，期望能在小區改善後售水率一步到位，達到預定的目標。

一、前言

臺灣是個四面環海且颱風頻繁的島嶼，照理說應該是不缺水的，雖然降雨量豐沛，但臺灣的山坡陡峭，河川短促，大部分的雨水都迅速地流入海洋，大多的降雨量無法截流再利用，造成每人每年可以分配到的水量相當有限，為了確保大臺北地區用水無

虞，本處肩負著供應整個臺北市以及部分新北市地區之日常用水，所以提供用戶質優、量足的用水環境，是本處責無旁貸的使命。

早期配水管材質為灌鉛白口接頭鑄鐵管（CIP）、機械接頭鑄鐵管（MJP），用戶給水管材質為鍍鋅鐵管（GIP）、聚丁烯管（PB）、鉛管（LP）、聚氯乙烯管（PVC），這些管材較不耐衝擊且接頭易鬆脫，經常年使用或地震影響，易造成大量漏水，為減少漏水，解決用水無虞，本處自 92 年來積極汰換配水管為球狀石墨延性鑄鐵管（DIP），給水管為不鏽鋼管（SSP）；並且利用「小區計量」工法，來評估管線汰換及漏水改善之成效。

執行以來，本處汰換管線長度已逾 1,100 公里，年平均汰換率 2.6%，超越國際自來水協會（IWA）建議值 1.5% 之標準；漏水率由 94 年底 26.99% 降低至目前 19.10%（平均每年降低 1.13%）。

所謂的「小區計量」工法係於管網中劃分若干獨立供水之區域，藉由裝設於區域進水點之流量計，量測區域供水量，並與區內所有用戶用水量進行比對，求得區域售水率，而藉由區域施工前及施工後售水率之量測比較，可確實掌控管網改善之成效。

為達民國 114 年漏水率 10% 的目標，本處針對供水轄區積極劃設小區，裝設審井流量計並對裝表小區辦理初始售水率，針對弱區（初始售水率低於 50% 的小區）優先進場

改善，目前為止本處已劃設 789 個小區，已裝表計量有 401 個小區，尚未裝表有 388 個小區，已完成改善售水率達 90% 以上有 155 個小區。

在大臺北地區各類管線均埋設於道路地底下，因無共同管溝之設置，導致各管線單位各自埋設，先搶先贏，後來者直接將管線埋設在他單位管線上方，而本處自來水因埋設時間較早且深度較深，常被其他管線覆蓋，造成日後無法汰換管線，減少漏水。而利用小區計量工法進行小區內管網改善後，該區售水率未達設定目標 90%，售水率無法於施工後一步到位，經多年的小區管線汰換經驗得知，小區改善後售水率一步到位三個要素為「全區管線抽換施工」、「配水管全線開挖確實斷除不明管及廢管」、「給水管完整抽換」，方能有效提升售水率，達到設定目標。

本文主要報告利用小區計量工法檢核管網改善成效，針對小區改善後售水率一步到位所需具備的三要素，提供小區管汰施工時遭遇的種種問題解決對策（如圖 1），期能提供從事小區計量管線汰換及漏水改善之參考。

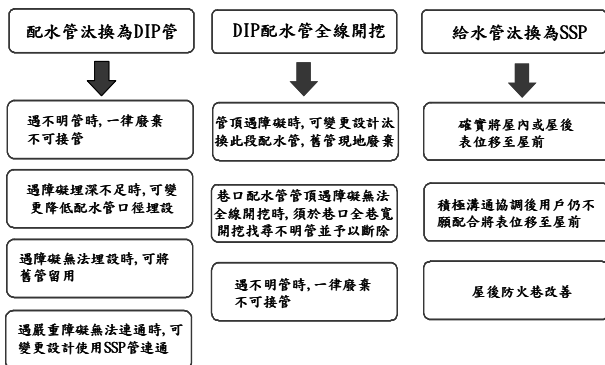


圖 1 利用控管不同施工階段遇問題解決對策達

成小區施工一步到位

二、配水管汰換遇問題解決對策

當配水管材質為 MJP、CIP 或達汰換年限的 DIP 時將進行汰換，汰換期間將遭遇現場其他管線障礙等因素而導致無法全部汰換配水管，以下列出四種狀況及解決方法供參考。

(一) 遇不明管時，一律廢棄不可接管：

遭遇問題：汰換配水管時經查詢用戶用水設備資料比對現場用戶水表表號，發現現場給水管無水表（不明管線）或中止用戶，則該戶不予改接，確實作到一表一管線。斷除不明配水管時，可將不明配水管上的制水閥關閉測試數天，待無用戶反應時，即可拆除封管。斷除不明給水管或配水管時，當晚請承商待命，以防用戶無水，即可前往處理無水事件。

處理對策：至現場先安撫用戶並處理無水案件，若無法立即解決，可先用無水便利盒或水車先供民眾暫時用水（如圖 2），再與用戶溝通隔日早上再前往改管供水。

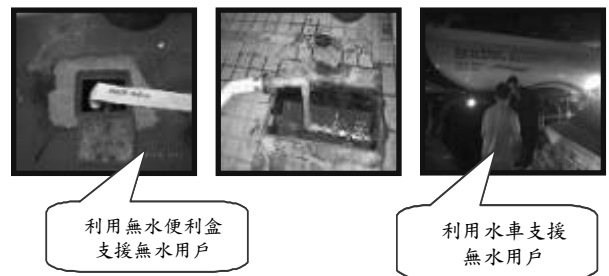


圖 2 無水便利盒及水車供水情形

(二) 遇障礙埋深不足時，可變更降低配水管口徑埋設：

遭遇問題：當埋設配水管時遭遇他單位



管線或排水箱涵等障礙時無法埋設至規定深度時。

處理對策：埋設深度不足時(30cm)可考慮將配水管變更降低口徑埋設(如圖 3)，將口徑 300mm 配水管變更為 200mm 配水管埋設。

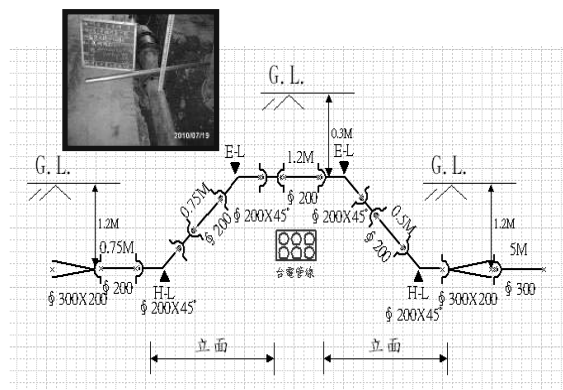


圖 3 將 300mm 配水管變更為 200mm 配水管

(三)遇障礙無法埋設時,可將舊管留用：

遭遇問題：當舊有水管某區段遭遇其他單位管線或排水箱涵等覆蓋且巷弄狹窄並無空間埋設新管時，可將該區段配水管留用不予抽換，給水管部分仍需找空間汰換。

處理對策：因管線障礙無法汰換時，可先利用「簡易巷弄直接法」測試該無法汰換的區段是否漏水，若無漏水可將該區段留用(如圖 4)，在重慶北路 4 段 190 巷口開挖後發現舊有 200mm 配水管被台電及污水管線障礙覆蓋，以致該區段無法汰換留用；經測漏若有漏水則改用其他方法汰換管線。

(四)遇嚴重障礙無法埋設配水管連通時,可變更設計使用 SSP 管埋設連通：

遭遇問題：當舊有配水管某區段遭遇其他管線障礙覆蓋且因巷弄狹窄並無空間埋

設新管時，經利用「簡易巷弄直接法」測試該無法汰換的區段有漏水時必須汰換管線。

處理對策：

- 1.若施工期程許可的話，可邀集各管線單位及路權單位至現場會勘，辦理管線遷移使配水管能夠順利汰換。
- 2.若施工期程緊迫或管線無法遷移，則將該區段配水管現地廢棄改以 SSP 給水管埋設或連通(如圖 5)，三重區龍門路進行管線汰換工程，於龍門路與仁愛路 55 巷口舊有管線被管線障礙覆蓋，新設配水管無法與仁愛路 55 巷配水管連通，為避免該區段漏水及形成管末端，以二支 50mm SSP 給水管連通。



圖 4 舊有配水管無法汰換留用處理情形

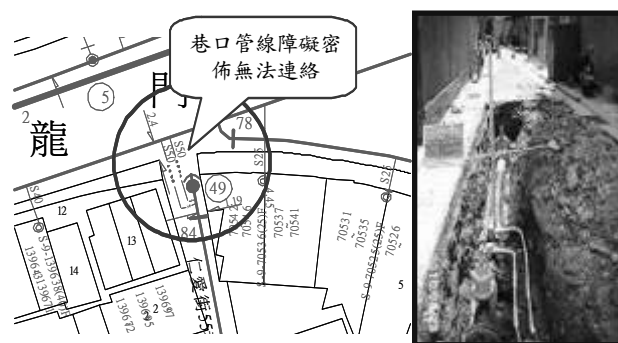


圖 5 以 SSP 給水管連通處理情形

三、配水管全線開挖遇問題解決對策

當配水管材質為 DIP 且使用年限未達汰換年限時無須汰換配水管，必須針對舊有配水管管頂進行全線開挖，確實將不明管線斷除，施工期間將遭遇配水管被其他管線覆蓋，而無法確實開挖至管頂斷除不明管，以下列出三種狀況及解決方法供參考。

(一)管頂遇障礙時,可變更設計汰換此段配水管，舊管現地廢棄：

遭遇問題：配水管上方被其他管線覆蓋無法全線開挖。

處理對策：依據本處漏水改善小組第 51 次會議紀錄：「全線開挖時若管線局部遭外單位管線覆壓，以致無法檢視時，授權現場監工先將該部分以改管方式處理，並以工程臨時變更施工簽報表陳報分處主任核可。若全線遭覆蓋，則請施工單位通報供水科並邀路權及相關管線單位辦理會勘」。(如圖 6) 台北市社中街 2~32 號間，DIP 配水管上方被台電及電信管線覆蓋，以致該區段配水管管頂無法全線開挖，經監工人員依程序簽准核備後，以改管方式重新埋設配水管，舊有管線現地廢棄。

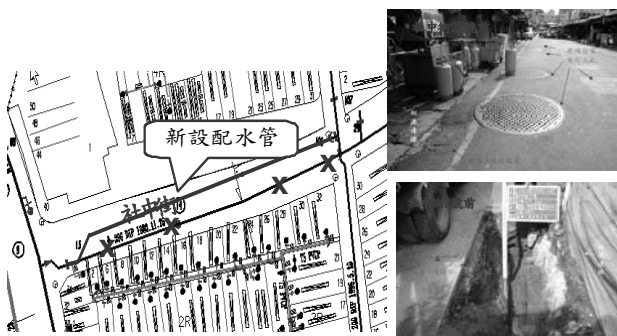


圖 6 DIP 配水管遭覆蓋以改管處理情形

(二)巷口配水管管頂遇障礙無法全線開挖

時，須於巷口全巷寬開挖找尋不明管並予以斷除：

遭遇問題：在丁字巷口處之配水管上方被其他管線覆蓋無法全線開挖，且該巷口無足夠空間可供另外埋設配水管。

處理對策：因早期巷弄無配水管時，如用戶申請接水，通常設計由巷口配水管接水至巷內用水，爾後該巷新設配水管將用戶用水改由此配水管接水，而忘記將原有巷口的接水點斷除，而形成盲腸管導致漏水元兇。

(如圖 7-1、7-2) 該巷口配水管被電信管線覆蓋，以致無法全線開挖，且巷口四周有台電人孔及瓦斯管線等障礙無法埋設新配水管，此時須於巷口處全巷寬開挖找尋不明管線，雖無法在接水點處斷管，但可在離接水點最近的地方斷管以減少漏水。

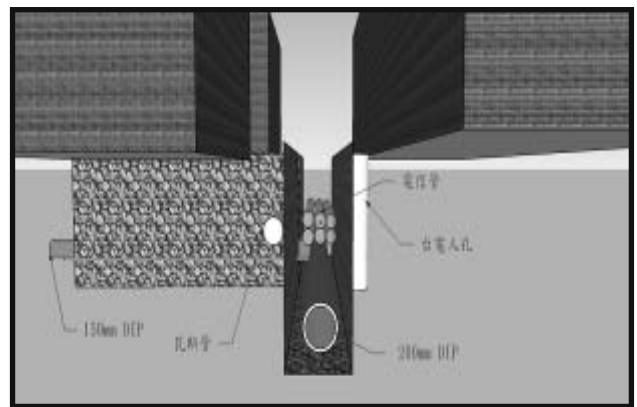


圖 7-1 巷口被管線覆蓋情形

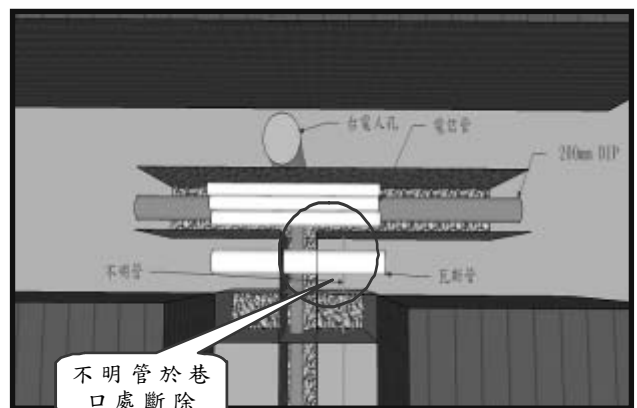


圖 7-2 丁字巷口斷除不明管處理情形



(三) 遇不明管時，一律廢棄不可接管：

遭遇問題：全線開挖時汰換給水管，需確認每個接水點是否對應一個水表，維持一個接水點接一個水表，如有發現無水表的不明管或不明配水管三通管均須加以斷除。

處理對策：

1. 遇不明接水點，經確認無人使用時可用代用埋金或止漏帶包覆方式加以斷管（如圖 8）。
2. 遇不明配水管三通時可關閉不明配水管上制水閥，使管內呈現無水狀態，確認無人用水後，用管塞加以封管（如圖 9）。



圖 8 不明管以埋金或止漏帶包覆情形



圖 9 不明配水管封管情形

四、給水管汰換遇問題解決對策

根據資料顯示管線漏水大多發生在給水管，所以給水管汰換顯得更加重要，當給水管材質為 LP、PB、GIP、PVC 管時，必須汰換為 SSP 管，施工時必須確實從接水點汰

換至水表前，必須整段汰換為 SSP 管，施工期間將遭遇無法整段汰換的問題，以下列出三種狀況及解決方法供參考。

(一) 確實將屋內或屋後的表位移至屋前：

遭遇問題：一般水表表位應設置在屋前建築線以內騎樓上，則可確實的汰換給水管線至水表前，但如水表表位位於屋內或屋後時，必須與用戶溝通，同意將表位移至屋前，以便汰換整段給水管。

處理對策：一般老舊社區的房子，表位均位於屋內廚房處，若將表位移至屋前，必須從水表後重新埋設內線至原有表位處與舊有管線連通或新設內線至屋頂水塔處，而內線施作的方式有以下三種方式：

1. 屋內內線以明管施作：從屋前水表後埋設內線，經過屋內時則在屋內沿者角落配置明管內線至舊有表位處與舊管連接（如圖 10、11）。

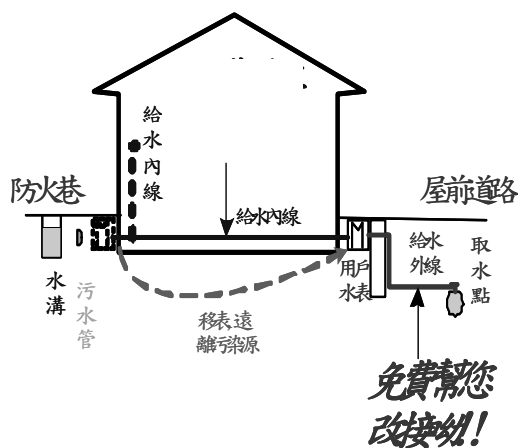


圖 10 屋內內線以明管配置情形（一）



圖 11 屋內內線以明管配置情形（二）

2.屋內內線埋設於地下：從屋前水表後埋設內線，經過屋內時則將內線埋至於地板下至舊有表位處與舊管連接（如圖 12、13）。



圖 12 屋內內線以暗管配置情形（一）



圖 13 屋內內線以暗管配置情形（二）

3.內線以明管沿著外牆配至屋頂水塔：此方法內線無需穿越用戶住家屋內，但須將馬達移至屋前，該方法為自屋前水表後配置內線經由馬達沿著外牆配置水管至屋頂水塔（如圖 14、15）。

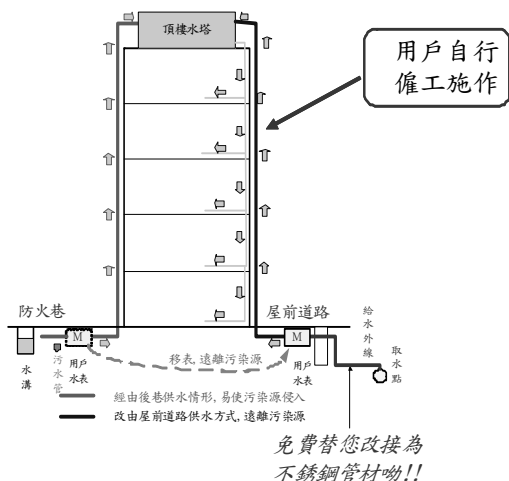


圖 14 內線沿著外牆至水塔情形（一）



圖 15 內線沿著外牆至水塔情形（二）

(二)積極溝通協調後用戶仍不願配合將表位移至屋前：

遭遇問題：用戶水表位於屋內，經由與用戶溝通協調後，用戶仍不願意依上述三種施工方法將表位移至屋前時，為避免漏水須對舊管採取測漏方式，檢核舊管是否漏水，若無漏水則將舊管汰換至水溝邊（如圖 16）。

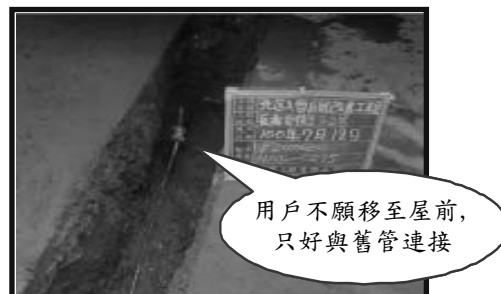


圖 16 給水管汰換至水溝邊情形

處理對策：針對舊管進行測漏，經測漏後若無漏水現象，則將舊管汰換至水溝邊，若有漏水時則再發公文通知用戶說明漏水嚴重恐影響公共安全，期望用戶配合將表位移至屋前，測漏方式有以下二種供參考：

1.在水溝邊將舊管安裝水表並將屋內表前止水栓關閉，由配水管供水進行表前表測試屋內水管是否漏水（如圖 17），若水表度數轉動即代表屋內水管漏水。

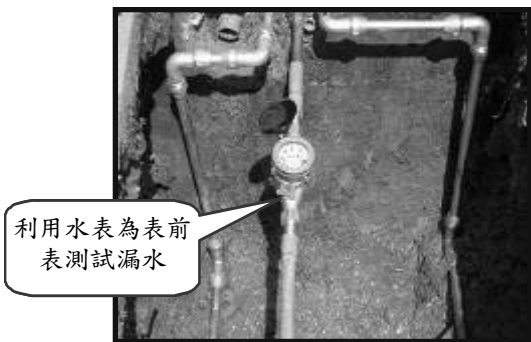


圖 17 水表表前表測試情形

2. 在水溝邊將舊管安裝空氣壓力表並將屋內表前止水栓關閉，由空壓機打氣進行測試屋內水管是否漏氣（如圖 18），加壓後關閉壓力開關，若壓力表指針下降則表示該管線有破洞即表示有漏水現象。



圖 18 空氣壓力表測試情形

(三)屋後防火巷改善：

遭遇問題：當用戶水表位於屋後防火巷或靠近防火巷的屋內牆邊，可將表位移至防火巷就地進行給水管汰換改善。

處理對策：於防火巷就地改善，而針對防火巷寬度大小，可分為以下二種改善方式：

1. 防火巷寬度夠寬廣時，以 SSP 不繡鋼管汰換用戶給水管埋設於防火巷地下（如圖 19）。
2. 防火巷狹窄或老舊房屋即將都更時以 PVC 明管汰換給水管（如圖 20）。



圖 19 防火巷埋設給水管情形



圖 20 防火巷以明管安裝給水管情形

五、「簡易巷弄直接法」介紹

所謂「簡易巷弄直接法」就是利用水表組（40mm 水表、止水栓、消防水帶母接頭）及消防水帶（如圖 21），開啟區外水源消防栓導入區內測試配水管內消防栓或拆除用戶水表倒灌進行巷弄配水管測漏（如圖 22）。

(一)適用時機：

1. 汰換配水管時遭遇現場無空間埋設新管，需將舊有管線留用時，可採用此法測漏。

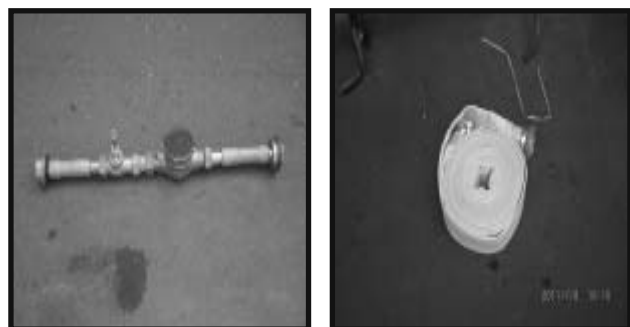


圖 21 水表組及消防水帶

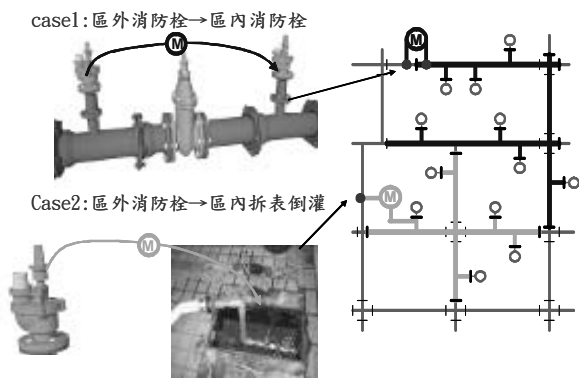


圖 22 簡易巷弄直接法工法示意圖

- 2.配水管全線開挖時，管頂被他單位管線覆蓋且無法埋設新管，需將舊有管線留用時可採用此法測試舊管是否漏水。
- 3.完工後需檢核配水管是否漏水。

(二)案例實際操作：

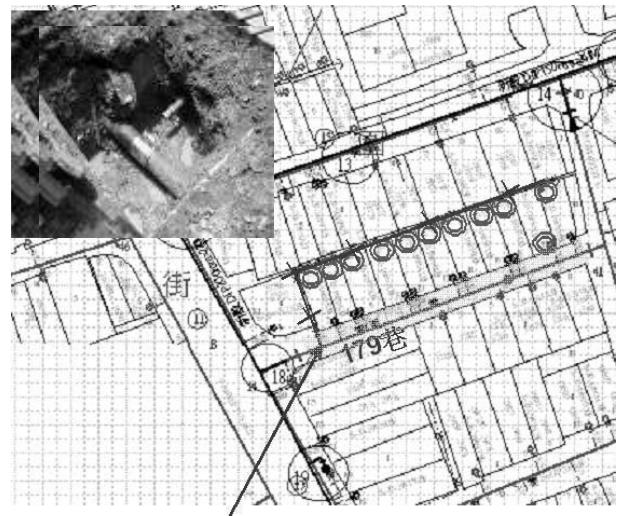
- 1.地點：新北市三重區大智街 179 巷
- 2.緣由：該巷管線在汰換前，經現場與用戶由屋內進入防火巷(179 巷 2 號旁防火巷)勘查，發現該防火巷用戶給水管漏水嚴重必須汰換（如圖 23），因防火巷狹窄無法就地防火巷改善，須將防火巷水表移至屋前進行給水管汰換。
- 3.施工：將大智街 179 巷配水管全線開挖並將用戶給水管汰換為 SSP 管及將防火巷的水表全部移至屋前接水，將原防火巷 50mm 口徑接水點斷除。
- 4.利用「簡易巷弄直接法」測試漏水：首先將大智街 179 巷前後 2 只制水閥及沿線水表表前止水栓關閉，此時配水管內處於無水狀態，接著將消防水帶一頭連接區外消防栓，另一頭連接區內消防栓，再將水表組串連在一起（如圖 24），最後開啟區外

消防栓，水將流經水表組進入區內配水管內，當區內配水管滿管時，若區內無漏水現象，此時水表指針應處於停止狀態，若區內有漏水現象，此時水表指針為持續轉動狀態；本案例經測試水表指針處於停止狀態，即大智街 179 巷管線汰換後已無漏水（如圖 25）。

六、小區管網改善案例介紹

(一)小區位置：

新北市三重區文化北路 224 巷以南、三和路以西、自強路以北、正義北路以東所圍區域(N08007 正義停車場小區)（如圖 26）



S50接水點

圖 23 水表由屋後移至屋前及斷除接水點



圖 24 水表組與消防水帶串連

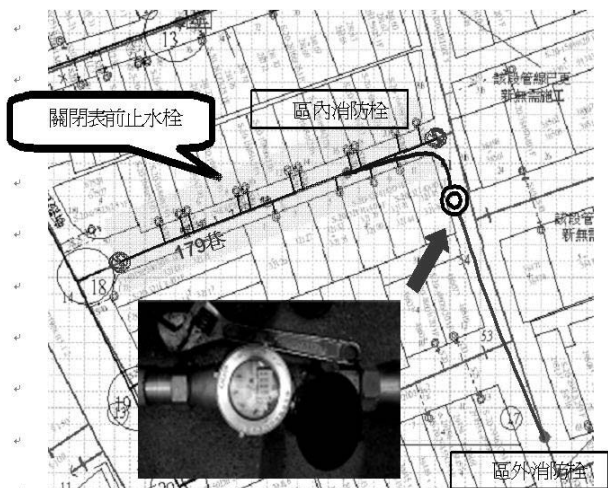


圖 25 大智街 179 巷測試情形

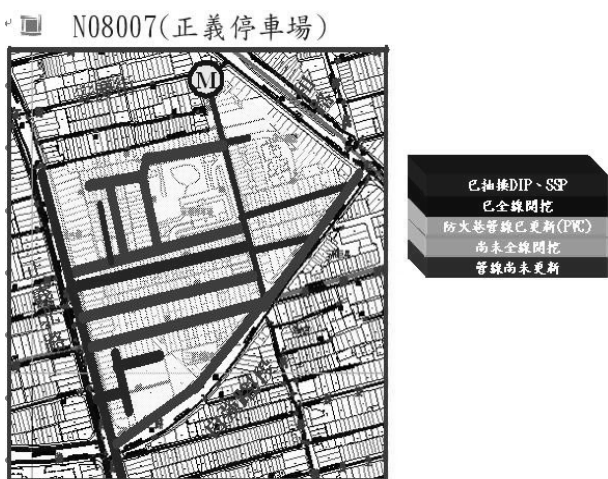


圖 26 N08007 小區位置圖

(二)基本資料：

- 用戶數：1,081
- 直接用水與總表戶數：403
- 裝表日期：97.12.18
- 進場施工日期：100.3
- 完工日期：100.8

改善成果

- 配水管：467m (DIP 完成率：97.8%)
- 給水管：782m (SSP 完成率：97.1%)
- 給水栓：181 栓
- 表位改善：18 栓

- 全面開挖巷弄：987m
- 售水率
- 初始：24.08% (98.2.15)
- 期末：91% (100.10.15)

(三)汰換時遭遇問題：

本區為新北市三重舊有社區，巷道狹小管線錯綜複雜，管線遭其他管線單位覆蓋情形嚴重，造成汰換管線困難度提升。汰換期間發現文化北路 200 巷（如圖 27）巷道寬度僅 3 公尺且路中間有一排排水溝，柏油路面僅剩 2 公尺可開挖，而且巷內又有電信及台電人孔，均造成汰換管線的困難度。

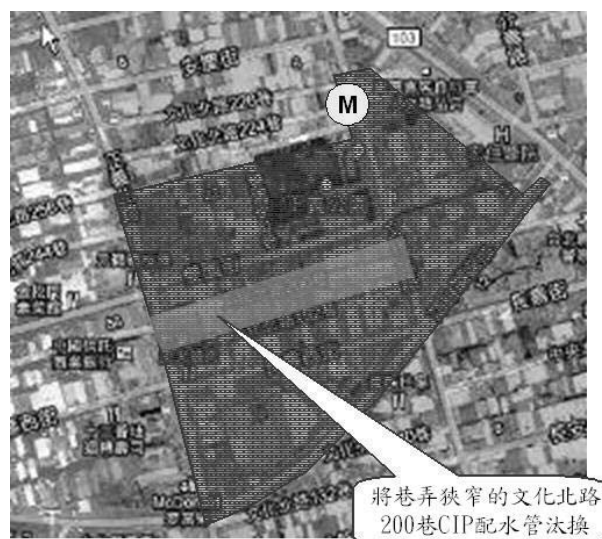


圖 27 文化北路 200 巷位置圖

(四)管線汰換過程：

本巷舊管為 100mmCIP 管須汰換為 100mmDIP 管，首先由正義北路口進行汰換管線，開挖後發現 100mmCIP 配水管位於水溝下方，另一側有電信管線（如圖 28），為了確實汰換老舊配水管，將新設配水管埋設於另一側，舊有配水管現地廢棄。

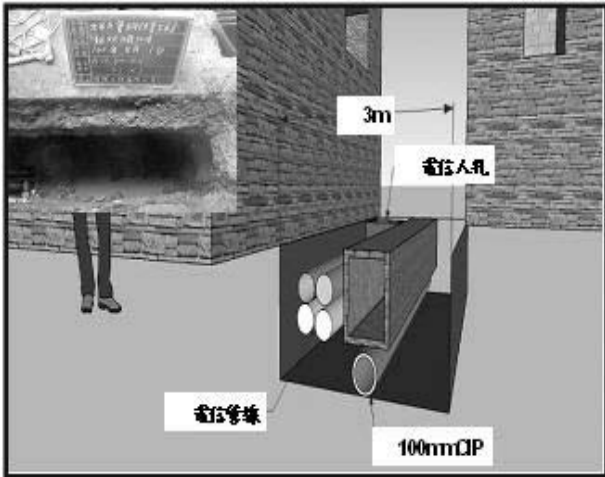


圖 28 配水管位於水溝下方情形

汰換至文化北路 200 巷 10 號時，遭遇台電人孔佔滿整個巷道（如圖 29），以致配水管無法繼續往前埋設，被迫停止施工，為了供水管網健全，採用埋設 2 支 50mm 不繡鋼管連通配水管（如圖 30）。

施工至文化北路 200 巷口時，又遇到台電及電信管線及台電人孔等障礙（如圖 31），以致配水管無法與文化北路本線 200mm 配水管連通形成管網，此處同樣採用 2 支 50mm 不繡鋼管連通配水管（如圖 30）。

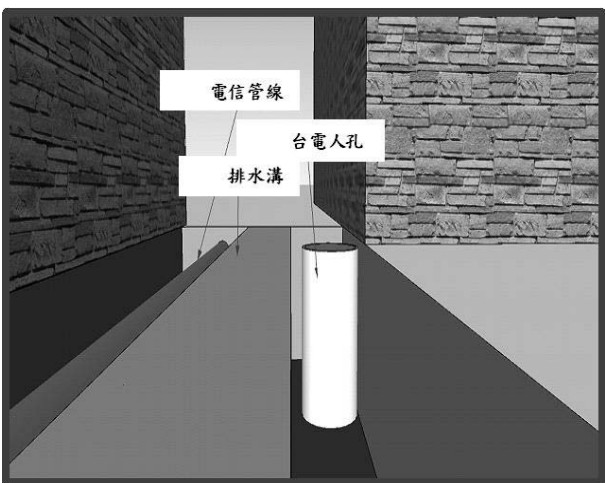


圖 29 文化北路 200 巷 15 號前障礙

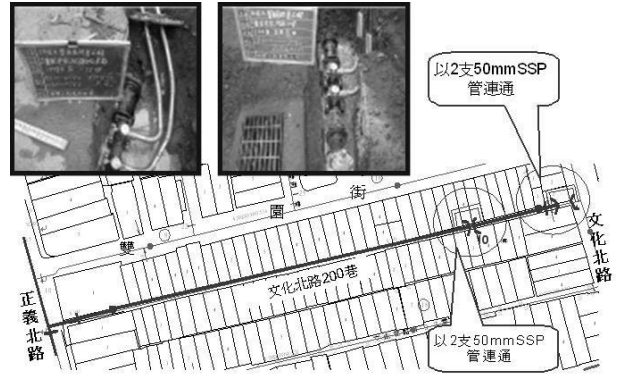


圖 30 以 SSP 管連通改善情形

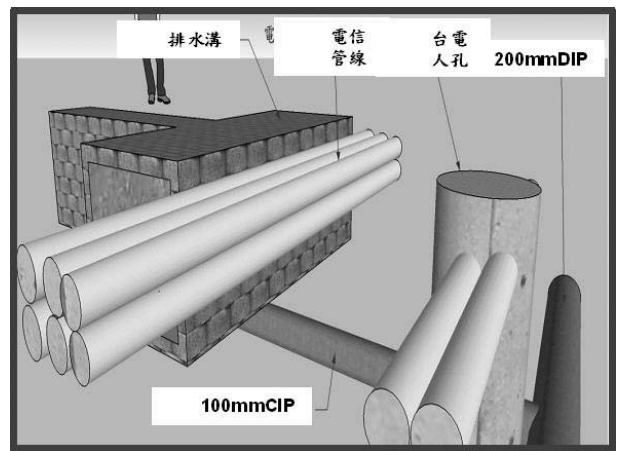


圖 31 文化北路 200 巷路口障礙

(五)改善成效：

文化北路 200 巷克服施工困難，確實將舊有管線汰換改善（如圖 32）及本區管網抽換完成後，該區售水率由初評 24.08% 提升至 91%，達到售水率 90% 目標要求，一共減少了 2,446CMD 的漏水量，完成複評解除列管。



圖 32 文化北路 200 巷完工路面

七、結論

小區管網改善完成後，售水率是否一步到位達目標值，其實跟施工過程階段是否符合本文介紹的管線汰換三要素「全區管線抽換施工」、「配水管全線開挖確實斷除不明管及廢管」、「給水管完整抽換」有很大的影響關係。

為使小區管網改善後，售水率即達設定目標更為有效率，本文提供「配水管汰換為 DIP 管」、「DIP 配水管全線開挖」、「給水管汰換為 SSP 管」等三個階段遇施工困難的解決具體作法及「簡易巷弄直接法」輔助測試漏水工法，可於小區管網改善採用，藉以提升施工後小區售水率即達目標值的效率，方能使小區售水率改善一步到位，達成改善漏水之目標。

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. 文其正，「小區計量於舊市區之應用」，2009。
3. 郭志東、林哲生、李中彥，「小區售水率提昇之瓶頸與突破」，2009。

作者簡介

林佑鴻先生

現職：臺北自來水事業處北區營業分處幫工程司

專長：自來水工程設計施工

本刊 103 年「每期專題」

期別	專題主題名稱	副主題項目	時程
33 卷第 2 期	淨水處理與再利用技術	淨水高級處理、供水系統、廢水處理、消毒技術、過濾等、廢水回收再利用、淨水污泥再利用	5 月
33 卷第 3 期	氣候變遷與調適	氣候變遷、全球暖化、水源調度、災害應變、供水應變、水源污染與保護、抗旱準備、緊急應變及危機管理	8 月
33 卷第 4 期	自來水管運管理	供水設施及資產管理、資訊管理與應用、供水管網、自來水管運、客戶服務、人力需求、收費、水量與水壓、能源管理	11 月

台水公司管網檢漏策略之建議

文/周國鼎

摘要

台灣自來水股份有限公司（以下簡稱台水公司）101 年底之漏水率為 19.55%，為改善供水損失，台水公司已研提 10 年降低漏水率計畫，將編列新臺幣 645 億元，預計在 110 年達成將漏水率降至 15% 以下之目標。自來水管線之檢漏作業為降低漏水率之重要措施之一，自來水事業單位每年必須投入大量人力及物力執行檢漏作業。截至 101 年底，台水公司供水轄區內管徑超過 50 公釐之自來水管線長度合計為 58,123 公里，如果希望達到「3 年 2 循環」的檢漏目標，也就是每年要執行 38,749 公里管線的檢漏作業，在該公司現有檢漏人力僅有 67 人之條件下，以每年 225 工作天計算，平均每人每日需要執行約 2.6 公里管線的檢漏作業，遠遠超過現行平均每人每日執行約 1.5 公里之工作負荷。若是要因應檢漏人力不足之困境，台水公司就必須研擬更有效率之策略，充分利用有限資源，達到最大之漏水改善成效。

因此，台水公司應修正主觀判斷及「地毯式普查」的檢漏策略，改以科學化的方式挑選出優先實施檢漏作業之區域。首先，台水公司應收集已建置完成分區計量管網的漏水率、供水成本、重要性及水源豐缺等因素之相關資料，並分別將各因素予以量化及加權，將各因素之分數加總後，得到該分區計量管網之總得分。台水公司即可依據總得分排出先後順序，在現有人力之條件下有系統性的依序執行檢漏作業。此外，檢漏作業

不可土法煉鋼，應結合先進科技及儀器並引進新血，藉此彌補人力之缺陷及不足，始可快速提升檢漏成效。

本文將以闡明分區計量管網之意義為開端，釐清目前部分自來水從業人員對於檢漏作業之錯誤認知，進而研擬出台水公司可行之檢漏策略。

關鍵詞：檢漏、分區計量管網、漏水率

一、前言

社會各界經常詬病我國自來水管網漏水率過高，相關主管機關一再以日本東京都（漏水率 3%，2009）為標竿，要求自來水事業單位加速降低漏水率。以臺北市為例，近年來管線漏水率雖然有逐年下降的趨勢，不過 101 年底之漏水率為 19.10%，仍有許多改善的空間。

我國 2 個主要自來水事業單位之一的台灣自來水股份有限公司（以下簡稱台水公司），其 101 年底之漏水率為 19.55%。為改善自來水管網漏水情況，台水公司於 102 年 4 月 22 日提出 10 年降低漏水率計畫，計劃自 102 年起的 10 年內投入經費新臺幣 645 億元，汰換長度 6,000 公里的管線，建置 2,000 個分區計量管網 (District Metering Areas, DMA)，預計可降低 5.3% 之漏水率，以期達成馬總統黃金十年之政策目標，在 110 年降低至 15% 以下。

自來水專業人員都知道，漏水防治的主要措施有 4 項（見圖 1），包括水壓管理、主動漏水控制 (Active Leakage Control, ALC)、修

漏品質與速度以及基礎建設之改善。因此，屬於主動漏水控制項目之一的檢漏作業也是台水公司要達到降低漏水率目標所不可或缺的。

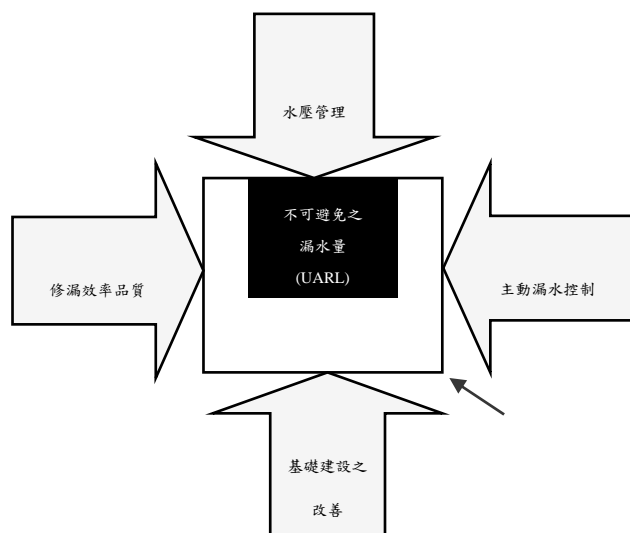


圖 1 漏水防治之四項主要措施

截至 101 年底，台水公司供水轄區內管徑超過 50 公釐之自來水管線長度合計為 58,123 公里。如果希望達到「3 年 2 循環」的檢漏目標，也就是每年要執行 38,749 公里管線的檢漏作業，在該公司現有檢漏人力僅有 67 人之條件下，扣除國定假日以後，平均每人每日需要執行近 2.6 公里管線的檢漏作業，遠遠超過現行平均每人每日執行約 1.5 公里之工作負荷。若是要因應檢漏人力不足之困境，台水公司就必須研擬更有效率之策略，充分利用有限資源，才能在短時間內達到預期漏水改善成效。

二、分區計量管網之意義

在人力有限的條件下，台水公司每年能夠自行執行檢漏作業的管線總長度約是 22,613 公里，勢必無法達到「3 年 2 循環」，

也就是每年 37,749 公里的目標。因此，台水公司應修正「地毯式普查」的檢漏策略，改以科學化的方式挑選出優先實施檢漏作業，也就是漏水情勢嚴重之區域。

(一)屬「診斷」方法，非「治療」工具

圖 2 中之管網漏水情況嚴重與否，可藉由安裝於該自來水管網進流點、及出流點之流量計，與用戶水表之計量比對後而得知。

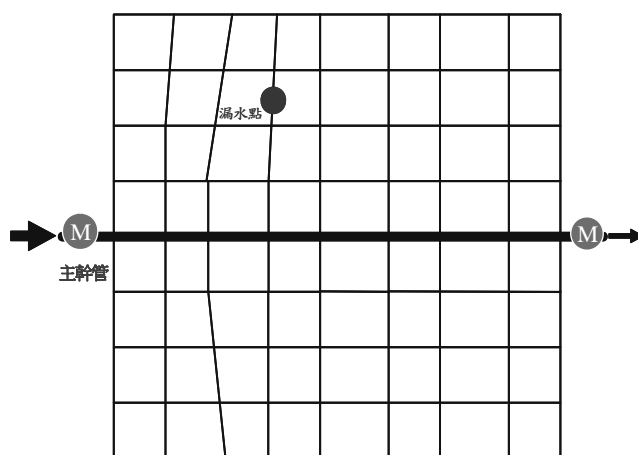


圖 2 初步診斷管網漏水區域

建置分區計量管網後可了解該獨立計量管網內之漏水率，進而判斷是否具有採取檢修漏作業之必要性。因此，對於漏水防治而言，分區計量管網屬於「診斷」之方法，而非「治療」之工具。分區計量管網作業就如同初步人體健康檢查，可讓自來水事業單位了解自來水管網病情（即漏水率）之嚴重性，至於病因在何處（即漏水點）仍有待後續進一步之檢驗。如果初步健康檢查之結果為一切正常，也就沒有進一步細項檢驗之必要。

社會上乃至政府相關主管機關之部分人士常誤以為一旦完成分區計量管網之建置，自來水管網之漏水率隨即就可降低之觀

念並不正確，因為光是健康檢查僅能得知病因，並無法完成治療。分區計量管網之建置有利於篩選高漏水率之管網，惟確實漏水地點之定位則有賴檢測漏作業，降低漏水率更須藉由修漏及水壓管理等作業予以改善，光是管網分區計量作業是無法降低漏水率的。該檢測漏作業之實施僅限於最小規模之分區計量管網，其他規模者則僅執行監測比對作業。

(二)避免無謂檢漏，提高效率

分區計量管網作業方式可讓自來水事業單位先診斷病因發生之大略部位，再逐步篩分，縮小範圍，最後藉由精密儀器確認病因所在。換言之，分區計量管網作業可使檢測漏作業只在漏水情況嚴重的區域執行，讓經費有效利用，並提高檢漏效率，避免無謂浪費。監測比對作業後如發覺自來水管網並無漏水，或漏水程度並不嚴重，該區域之管網即無檢測之必要，因為檢測漏作業需耗費龐大人力以及時間，並且所費不貲。

監測比對後如發覺並無漏水，或漏水程

度相對上並不嚴重，該區域之自來水管網即無優先檢測之必要；如果發現漏水率偏高，則將管網再細部分割，以尋找較確切之漏水區域。圖 3 將管網分割為 4 個小的管網 (A、B、C、及 D 區)，並分別於每個小管網之進流點及出流點處安裝流量計，再與區域內用戶水表之計量總和比對後，即可了解個別管網漏水情形之嚴重性，進而得知漏水點發生之區域為 4 區中之哪一區。之後再就該區管網進行細部分割，或直接實施檢測漏作業，以找出漏水點之確切位置。

就圖 3 而言，自來水事業單位僅需針對 A 區域內之自來水管網詳細檢測漏水點，而無須對 B、C、D 等三區實施檢測作業。如此一來，人力、經費、及時間均節省了 3 倍，效率亦提高 3 倍。像這樣由大而小、縮小範圍逐步診斷之作法，將可提高作業效率，避免無謂浪費，將經費確實花在刀口上。在漏水防治經費有限之困境下，此種作業方式顯的格外重要。

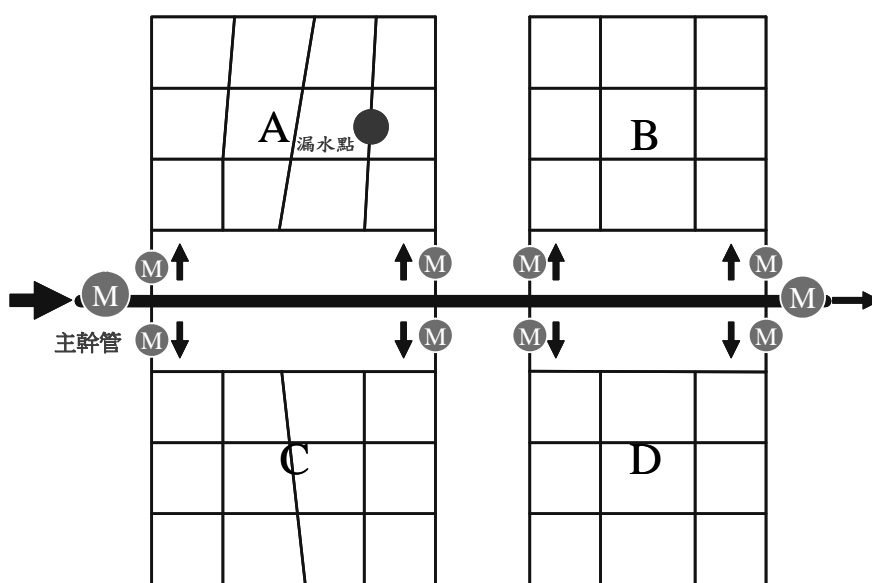


圖 3 細部分割管網診斷漏水區域

三、分區計量管網(DMA)之劃分

分區計量管網得視管網漏水之嚴重性進一步將管網細部分割，其層級多寡及規模詳述如下。

(一)層級

前述章節指出「分區計量管網之建置就如同初步人體健康檢查，可讓自來水事業單位了解自來水管網病情（即漏水率）之嚴重性，至於病因在何處（漏水點）仍有待後續進一步之檢驗」。因此，為查出確實病因，自來水事業單位就類似醫生之作法，先診斷病因發生之大略部位，再根據當地特性及經費多寡逐步篩分，縮小範圍，藉由精密儀器確認病因所在。如果初步健康檢查之結果為一切正常，也就沒有進一步細項檢驗之必要，自來水事業單位就無須進一步分割管網，縮小範圍了。

分區計量管網之規模及層次應視需要性、當地特性及經費多寡而定，經費充裕者計量管網可分割愈細，相對之層次愈多，因此將實施檢測漏作業之最小分區計量管網之規模愈小，計量管網之數量自然也就愈多。在分區計量管網數量愈多、最小分區計量管網之規模愈小的條件下，所形成的監測網絡愈綿密，愈可快速定位出漏水區域，以利後續檢漏、修漏作業之進行。分區計量管網之層次較少者，所需投入經費較少，相對的最小分區計量管網之規模會較大，後續檢測漏作業所需的時間也就愈多。不過，檢測漏作業之實施應僅限於最小規模之分區計量管網，因此該管網亦可稱為「檢漏計量管網」或簡稱「檢漏管網」。

台水公司計劃每年建置 200 個分區計量

管網，惟不論何種層級之管網，其數量均可列入計算。部份人士以為僅檢漏管網得以列入數量之計算乃一大誤解。

(二)最小分區計量管網之規模

目前在台灣地區執行分區計量管網作業時，最為人爭論的乃最小分區計量管網之規模，也就是執行檢測漏作業之分區計量管網之大小；此外，對於該規模究竟應以管網內配水管線總長度或是接管用戶數為依據也是莫衷一是。部份人士堅持分區計量管網應嚴格以配水管線總長度不可超過 2.5 公里或者 3.5 公里為原則，有些人則認為用水戶數（總表加上獨立表之數量）應以 300~500 個或 500~1,000 個為上限，也有人認為應將配水管線總長度及用水戶數二者同時列入考量。

實際上，檢漏管網之規模因國情差異、地方特性、生活型態、及經費多寡而會有所不同。同一國家內，甚至同一城市內之檢漏管網之規模，不論是以配水管線總長度或是以接管用戶數計算也都會不一樣。周國鼎（2008 年）指出，最小分區計量管網也就是檢漏管網，其規模應取決於停水作業之方式、投入人力之多寡及漏水量量測之方法。

四、分區計量管網之建置策略

考量台水公司財務拮据，總長度 58,123 公里之自來水管線應優先選擇高漏水率且人口密集之區域，根據前述劃分方式逐步建置分區計量管網，將有限預算投入在漏水嚴重且用水量大之區域，避免齊頭式之平等而將建置經費「平均分配」於各地區，以提高成本效益。

此外，為促使各級自來水事業單位主動積極地推動漏水防治工作，台水公司應先行將各區管理處間及各廠所間之自來水管網確實切割成可獨立計量之管網，其相互支援之水量亦應準確計算，以建立明確之責任劃分，確認各級單位漏水防治之執行成效。

在經費有限之前提下，台灣地區目前無法也無必要全面建置最小分區計量管網，唯有未達目標漏水率者才因檢漏作業之需要而逐步建置，其餘者則以分區計量管網之型式加以監控即可；而該目標漏水率則應分階段、分層級訂定，以免好高騖遠、不切實際，或者目標過低，以致毫無成效。

綜上所述，台灣地區分區計量管網之建置策略如下。

(一)明確之責任劃分

- 1.確實將各級自來水事業單位間之自來水管網分割，且連接點之數量應儘量減少，以降低計量誤差。
- 2.各級自來水事業單位間之管網連接點應裝設固定式流量計，其相互支援之水量亦應準確計算，以有效掌握各自總配水量，俾利責任釐清。
- 3.各級自來水事業單位應定期向上級單位提報漏水率，以利漏水防治成效之管控。例如台水公司各區管理處每季應向總管理處提報，而各廠所則每月向所屬之區管理處提報。

(二)目標漏水率之訂定應合理

漏水防治工作無法一蹴可幾，目標漏水率之訂定應合理適當，不宜過高，達到目標漏水率之計量管網即無須進一步分割，未達者就持續分割，直至檢漏計量管網（即最小分區計量管網）為止，續以檢修漏作業、甚

至管線汰換之方式來改善管網漏損之問題。當鄰近之計量管網均達到原訂目標漏水率後，即可再行逐步提高標準，訂定更嚴格之目標漏水率。

目標漏水率之訂定應注意以下事項：

- 1.目標漏水率應由上級單位訂定，並逐年檢討。
 - (1)區管理處之目標漏水率由總管理處訂定。
 - (2)各廠所之目標漏水率由所屬區管理處為求達到總管理處所訂定之目標下，依照各廠所之管網現況、地理人文條件之不同而分別訂定。
 - (3)各廠所以達成區管理處訂定之目標為前提，得依照各區域管網之不同而分別訂定目標漏水率。
- 2.目標漏水率不宜與管網現有漏水率差距過大，以免造成所有自來水管線均分割建置成檢漏計量管網，喪失篩選出漏水最嚴重區域，將資源花在刀口上之目的。例如某廠所轄區之管網總漏水率為 35%，若分區計量管網之目標漏水率訂為 15%，二者差距高達 20%，極有可能為達到該目標漏水率，該轄區自來水管線全數細分建置成檢漏計量管網，形成資源的浪費。不同管網漏水率之目標漏水率建議值詳見表 2。
- 3.分區計量管網之目標漏水率可依管網層級不同而分別訂定，愈內層管網之目標漏水率可相對較低；惟如為簡化上級單位之管理，各層級管網之目標漏水率除檢漏管網者(10%)外，亦可完全一致。
- 4.最小分區計量管網（即檢漏管網）之漏水率應以直接量測法計算者為準，並以 10% 為上限；其餘分區計量管網之漏水率則可

以視需要選擇其他適合之漏水量測量法（詳見周國鼎於 2012 年發表之「估算自來水漏水量之方法」）計算。

表 2 目標漏水率之建議值

管網漏水率	目標漏水率
40%以上	35%
30%~40%	30%
20%~30%	20%
15%~20%	15%
檢漏計量管網	10%

(三)篩選高漏水率地區

考量經費之侷限性，建置分區計量管網之優先順序應依照漏水率之高低並兼顧人口密集等因素予以排定，俾使政府有限預算能夠發揮最大效益。建議篩選方式如下：

1. 台水公司各區管理處間之管網明確分割，自成可獨立計量之管網，在此稱為「第一級計量管網」或「區處計量管網」。
2. 未達目標漏水率之「區處計量管網」續以各區管理處所轄廠所之供水轄區為一單位，各廠所間之管網明確分割，在此稱為「第二級計量管網」或「廠所計量管網」，總計台灣地區之自來水管線可劃分為 123 個「第二級計量管網」。
3. 「廠所計量管網」未達目標漏水率者，區管理處可依據漏水率之高低及兼顧人口密集之因素優先擇定部分「廠所計量管網」，依照供水範圍大小及區域給水之原則再行分割為 10~25 個「第三級計量管網」，其分割數量由各廠所提報，並經所屬區管理處核定後據以實施。
4. 「第三級計量管網」未達目標漏水率者，

各廠所可依據漏水率之高低及人口密集等因素優先擇定部分「第三級計量管網」，依照供水範圍大小及區域給水之原則分割為 10~25 個「第四級計量管網」，再以此類推依序分割為「第五級計量管網」、「第六級計量管網」等，直至管網規模符合「檢漏計量管網（即最小分區計量管網）」者為止，前述分割數量由各廠所提報所屬區管理處核定後據以實施。

5. 「檢漏計量管網」應辦理檢修漏作業、甚至管線汰換之方式來改善自來水管網漏水狀況，直到符合檢漏管網之目標漏水率 10% 為止。

五、應實施檢漏作業管網之篩選

篩選應實施檢漏作業之管網應以量化數據及科學化方式為之，而非地毯式、盲目式或依序輪流式的挑選管網，才能因應人力及資源有限的條件，並提高降低自來水管網漏損之效率。

(一)篩選策略

台水公司應根據已建置完成分區計量管網之各項特性，如漏水率、供水成本、重要性（包括人口密集、重要機關、醫院等）及水源豐缺等篩選因子，分別予以量化及加權，將各因子之分數加總後，得到該分區計量管網之總得分，該分數可稱之為「檢漏指數」(Leakage Detection Index, LDI)。台水公司即可依據「檢漏指數」(LDI)之高低排出各管網執行檢漏作業之先後順序，再依序加總各管網之管線長度，至達到當年度人力可執行檢漏之最大管線長度為止。以 101 年為例，台水公司檢漏人力為 84 人，正常工作負荷為每人每日執行約 1.5 公里管線長度之檢漏

作業，扣除國定假日以後，該年共計可執行約 28,000 公里之管線長度。表 3 為「應實施檢漏作業管網篩選表」之範例。

(二)篩選因子

各管網之「檢漏指數」(LDI)係根據篩選因子之量化及加權計算總得分而得，其分數愈高者，優先實施檢漏作業之順位愈高。

1.篩選因子之選擇

凡是與漏水防治有關之項目，皆可作為篩選因子之後選者，是否被挑選為篩選因子，則取決於自來水事業單位認定之重要性。

不過，在此要注意的是，「漏水率」是我國最常被用來作為自來水管網供水效能的績效指標，理所當然的，它一定會被挑選為篩選因子。但是周國鼎(2012)指出，「漏水率」根本無法客觀衡量漏水防治的改善績效，因此「漏水率」顯然不適宜作為檢漏篩選因子。至於國際間公認的最佳漏水防治績效指標，則是「設施漏水指數」(Infrastructure Leakage Index, ILI)，惟其未獲我國自來水事業單位之認同及採用。

2.篩選因子之量化

台水公司應針對分區計量管網之各項篩選因子，製作量化對照表，分數下限可訂為 0 分，上限為 10 分，量化因子顯示至小數

點下 1 位。以「漏水率」因子為例，漏水率 10%時之分數為 1.0 分，漏水率 45%時之分數為 4.5 分，60%漏水率時之分數為 6.0 分。如果未來自來水事業單位以「設施漏水指數」(ILI)取代「漏水率」作為篩選因子，也是可以比照前述方式，製作其量化對照表。

類似「重要性」之篩選因子屬於主觀之價值判斷，無須製作量化對照表，惟為求慎重，台水公司應由資深專業人員予以量化給分。

篩選因子之量化分數愈高，代表執行檢漏作業之急迫性愈高。因此，漏水率愈高、供水成本愈高、重要性愈高、水源愈缺乏者，其篩選因子之量化分數（尚未加權者）也就愈高。

3.篩選因子之加權

量化之篩選因子經加權後得到加權分數，再將各篩選因子之加權分數予以加總，所得之分數就是該管網之「檢漏指數」(LDI)。篩選因子之權重係為顯示各因子間之相對重要性，其權重之多寡取決於自來水事業單位認定之重要性。為使「檢漏指數」(LDI)更容易被自來水從業人員接受，「檢漏指數」(LDI)之總分可訂為 100 分，由於各項篩選因子之分數上限為 10 分，因此，其權重配比加總後之數值應洽為 10。

表 3 應實施檢漏作業管網篩選表

	漏水率	供水成本	重要性	水源豐缺	其他	合計	檢漏排序	管網管長度
管網 1								
管網 2								
管網 3								
...
管網 N								
累計管網管線長度								

六、應用先進檢漏科技及儀器

傳統檢漏方式已無法應付龐大之漏水案件，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。

自來水事業單位常用的傳統檢漏儀器包括探勘棒、聽音棒、漏水探知器（簡稱聽音器）、水壓自動記錄器、制水閥盒探知器、超音波流量記錄器等。以下介紹數種先進檢漏儀器及科技：

(一)相關式測漏儀

藉由拾取管道兩端的漏水音，進行相關函數計算，得出漏水點距離兩端距離，主要用於穿越河流、建築物、環境嘈雜下的供水管網。

(二)數位式水壓自動紀錄器

透過水壓的持續紀錄，可在漏水點產生時，及早發現水壓的變化，並可於追查漏水點時協助縮小漏水點的範圍。

(三)資料記錄器

漏水資料記錄器係利用收集分析噪音數據來判斷各管段漏水之可能性，可避免檢漏人員大海撈針之地毯式的執行檢測業務。香港水務署在 2,001 年首次引進該設備，於 2,001~2,006 年期間在 200 個防漏區內共計安裝 3,150 個漏水自動記錄儀，花費包括資本成本約新臺幣 4,800 萬元及經常性成本每年約新臺幣 140 萬元，平均每年檢測 5,000 次，即可發現約 5,000 個滲漏個案，每年節省水量 80 萬噸，成效極為顯著。

資料記錄器可搭配遙測科技，將資料傳回控制中心，以節省人力及時間。例如，遙

測資料記錄器可經由 GSM 網路利用 SMS(簡訊服務)來操作控制，紀錄器提供有單頻、雙頻及四頻模式，可與廣泛多樣的感應器配合使用來監測供水管網。

(四)氫氣測漏儀

電纜用氫氣測漏儀係利用氣體測漏的原理，在待偵測的管路中注入安全濃度的氫氣(5%氫氣、95%氮氣)，之後使用儀器偵測從漏點逸出的氫氣，如此便可以知道管路漏點的位置。

(五)Sahara 檢測技術

Sahara 檢測技術(示意圖見圖 4，派爾國際工程股份有限公司提供)是一種非破壞性、線上管線狀況評估工具，適用於各種管材，並可在不斷水的方式下執行管徑大於 300 mm 的配水管和主幹管的測漏工作。經檢測發現漏水點時，系統將即時確定其位置和漏水量。

(六)SmartBall 檢測技術

SmartBall(見圖 5，派爾國際公司提供)有多種中文譯稱，香港地區稱之為「智能球」，台北自來水事業處稱其為「精靈球」，台灣自來水公司曾使用「智慧球」之名稱。SmartBall 是一種長途越域送水管音波測漏技術，適用於各種管材。

SmartBall 是一個微形音波記錄器，所有儀器皆包括在 66 mm 直徑之鋁球中，外部套上海綿球體以保護外殼，並協助其在管內移動。球體放置於可輕易壓縮的開孔海綿球，並將球投入直徑 100 mm 之排氣閥或其它適當的另件，以進入檢測管。球比管徑小，在管內滾動並沿途收集音波資料。一旦經過漏水點，記錄漏水音波供後續分析。當球到達

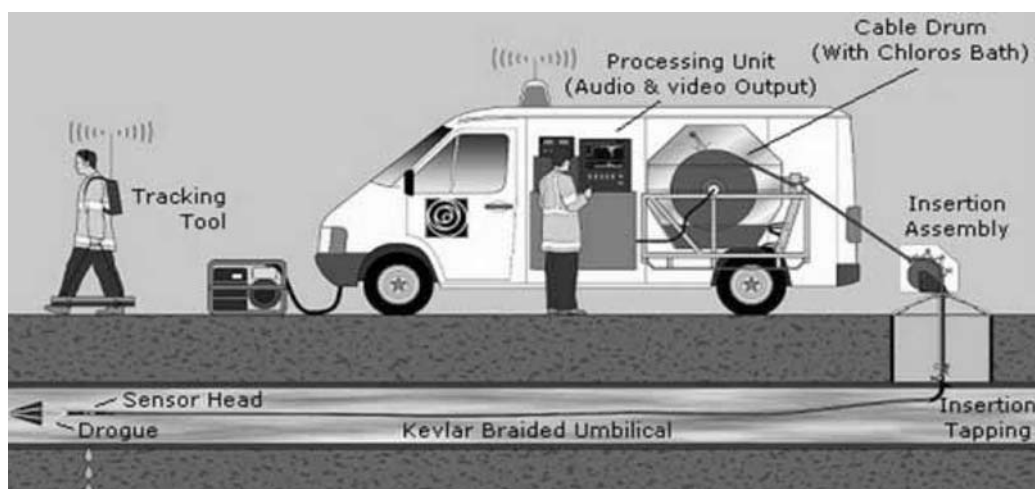


圖 4 Sahara 檢測技術示意圖



圖 5 SmartBall 檢測技術示意圖

回收點時，可使用回收網伸入到管道內將球取回。回收設備中也包含一水中攝影機確保回收網就正確位置，並確認球已回收在網中。SmartBall 可通過全開的蝶閥及流量管控的分歧管，並可在足夠的流速下進行垂直上升。

SmartBall 具備相關式測漏儀所沒有的優勢。因檢測球體直接通過漏水點，並記錄漏水點的壓降噪音，而非讓漏水壓降噪音依賴水或管壁的傳遞到達遙遠的感測器，因此 SmartBall 可工作於大口徑管線道和任何管材。此外，由於 SmartBall 會經過每個漏水位置，因此無受多點漏水點干擾的問題，但相關式測漏儀就會發生此問題。

(七) 渦電流

渦電流檢測技術適用於預力（鋼襯）混凝土管(PSCP, PCCP)預力鋼線斷裂之檢測，其原理係以磁極波產生一磁場，當管線內發生磁場改變時，檢測儀器可量測磁場當時改變的強度。預力鋼線斷裂時將使磁場發生變化，並在斷裂接鄰處產生新的南北磁極，檢測儀器藉此變化量測出預力鋼線斷裂的位置及損壞數量。

七、結論

(一)為因應檢漏人力不足之困境，台水公司就必須研擬更有效率之策略，充分利用有限資源，才能在短時間內達到預期漏水改善成效。

- (二)除非台水公司採取外包方式，將自來水管網之檢漏作業委外辦理，否則台水公司勢必在執行檢漏作業管網的選擇上要有所取捨。
- (三)檢漏作業之實施必須以可獨立計量之區域管網為基礎，藉由分區計量掌握自來水管線之漏水情況，進而視需要執行檢、修漏作業。
- (四)分區計量管網之建置應由面至點、由大而小，有計畫性地分層級逐步建置，而非反向而行，形成由點至面之作法。
- (五)應實施檢漏作業管網之篩選應以量化數據及科學化方式為之，而非地毯式、盲目式或依序輪流式的挑選管網。
- (六)「漏水率」無法客觀衡量漏水防治的改善績效，因此「漏水率」顯然不適宜作為檢漏篩選因子。
- (七)「設施漏水指數」(ILI)不受供水系統之間歇性供水、水壓高低、用水量多寡等因素影響，可有效表達出配水管網在現有水壓下之管理維護績效，國際水協會(IWA)及美國自來水協會(AWWA)等單位均認定其為最佳的漏水防治績效指標。
- (八)囿於台水公司檢漏人力有限，傳統檢漏方式已無法應付龐大之漏水案件，引進先進設備、提升檢漏效率，實屬必要且急切。

參考文獻

- 1.經濟部水利署，加速辦理降低自來水漏水率及穩定供水計畫，2012
- 2.台水公司，降低漏水率實施計畫一試辦小區管網計畫成果報告，2007年1月
- 3.東京水道服務社，東京都小區防漏對策，臺北自來水供水管網改善計畫第二次研討會議

- 4.周國鼎，最小分區計量管網規模之探討，2008水利產業研討會論文集，2008年11月
- 5.周國鼎，估算自來水漏水量之方法，中華民國自來水協會季刊，第31卷第3期，2012
- 6.周國鼎，評漏水率作為漏水防治績效指標之適當性，第29屆自來水研究發表會，2012
- 7.台水公司，102至111年降低漏水率計畫—汰換管線暨分區計量管網建置計畫，2013年2月
- 8.台水公司，降低漏水率專案報告上網版，2013年4月
- 9.Jon Boon, Jack Lai，結構評估及測漏的新技術
- 10.S Tooms, JAE Morrison, DMA Management Manual by the Water Losses Task Force: Progress., Leakage 2005 - Conference Proceedings, 2005

作者簡介

周國鼎先生

現職：行政院環境保護署科長、環境工程技師

專長：自來水工程、空氣污染防治、綠色採購

自來水管線檢測作業成果研析

文/鍾添平、黃欽稜

一、前言

聯合國跨政府氣候變遷小組 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)，指出全球暖化加速情況比早前的評估嚴重，估計到 2100 年全球平均氣溫將比 1990 年上升 1.4°C 至 5.8°C，全球氣候變遷問題愈來愈嚴重，導致近年來氣候極端化已愈形顯著。臺灣降雨量豐枯差別甚大，雖平均全年降雨量尚稱豐足，但因台灣地區地勢陡峭，河川坡陡流急、降雨時間及空間分布不均等自然限制因素，加上近年來極端氣候事件不斷增加，使得台灣地區水、旱災時有所聞，而每人年平均可分配的水資源僅為世界平均值的 12%，列為第 18 位缺水國家。

解決這項問題的方法，專家都不約而同的提出「開源與節流」的策略，但「開源」方面，台灣可供建壩蓄水壩址多已開發，且開發成本逐漸升高，加上環保意識高漲，因此開發水資源相當困難，故而「節流」更顯重要。

臺北市自來水事業處（以下簡稱本處）漏水管理參考 IWA 的漏水控制四大主軸及理念（如圖 1）；做好漏水檢測「主動漏水控制」，因而自 85 年起將管線檢測委由民間專業測漏公司進行本處供水轄區管線巡檢工作，期能有效降低漏水，並配合「管線汰換」、「修漏作業」、「水壓管理」等三大主軸同步執行。



圖 1 IWA 的漏水控制四大主軸

二、管線檢測作業說明

(一) 檢測作業流程概述

本處管線檢測作業委外辦理，可精簡政府人事，提升國內相關產業活化民間投資，促進國內就業機會，本處針對供水轄區內之輸配水管線、給水管線實施地下漏水檢測作業、接合管確認位置作業、輸配水管確認位置作業等工作，相關作業流程概，如圖 2 及圖 3。

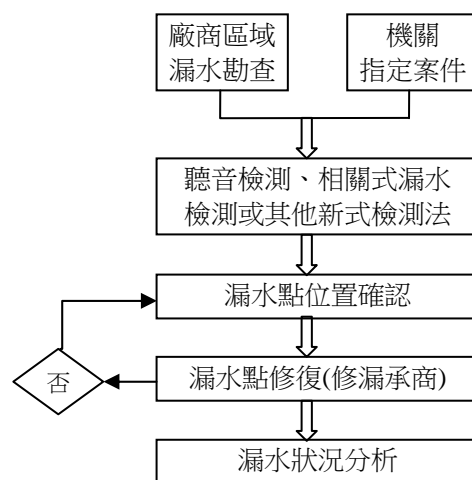


圖 2 漏水檢測確認作業流程

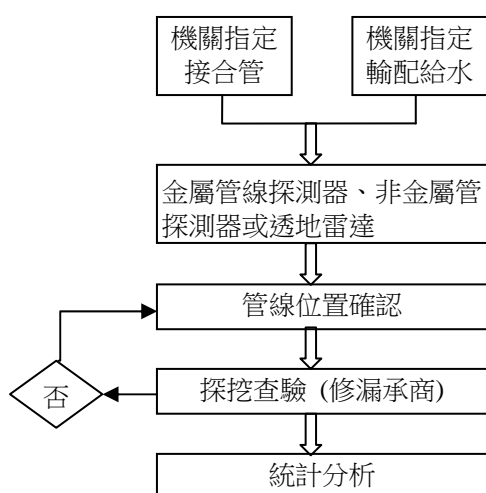


圖 3 管線位置確認作業流程

由於本處管線埋設於地面部分，非肉眼所能視及，必須仰賴機械或儀器設備進行管線、閥栓、漏水檢測，惟在調查作業執行過程中，仍有部分干擾因素可能影響調查結果。包括：人為活動、車輛噪音及停車問題、管線埋設環境位置及深淺等，因此，藉由儀器及專業人員之工作經驗，方能確實完成本調查工作。

(二)區域性漏水檢測作業

本作業目的是檢測各營業分處轄區之地下管線隱藏性漏水，以標案作業計畫書之目標安排現場作業、統計及檢討每日作業結果，並同時進行品質管理。

1.作業計劃

各轄區分處配置一組以上檢漏人員同時作業為原則，提出區域性漏水檢測作業計畫及進度表，本標案廠商計畫書提出檢出區域性漏水檢測 3,000 件目標；巡檢里程應完成 2,500 公里之目標，經本處審核同意核定。

2.作業方式

檢測區域內之輸配水管線、給水管線實施地下漏水檢測作業，依核定作業計畫及進度表實施。

3.檢測方式

- (1)止水栓聽音：使用聽音棒或其他測漏儀器實施止水栓（水表）聽音檢測，以發現漏水並判斷漏水位置。
- (2)閥栓聽音：使用聽音棒或測漏器實施消防栓、制水閥聽音檢測，以發現可疑漏水處。
- (3)路面聽音：沿輸配水管線或用戶給水管線上方實施路面聽音檢測作業，以測定漏水可能位置(如圖 4)。
- (4)相關式漏水檢測：使用相關式漏水探測器，檢測或確認管線漏水位置。其餘可視實際情況或依要求，配合路面聽音或漏水確認作業實施。

4.確認作業

針對前項檢出之可能漏水處，利用各種測漏儀器或其他方法，最後確認漏水實際位置(如圖 5、圖 6)。

5.報修漏水

檢測發現漏水處應於現場標示明顯記號後，填寫報修單（含位置草圖）送本處派員挖修，並拍攝漏水點挖修前照片送營業分處修漏股參酌辦理檢修後續作業（如圖 7）。

6.計算漏水量

配合修漏包商檢修計算及分析漏水量。

(三)指定案件檢測作業

- 1.接獲指定之漏水或用戶缺水、無水等案件時，於通知二日內（因天候不良、路證申請或用戶拒絕配合等因素致無法作業不在此限），前往指定地點完成檢測作業，並按區域性漏水檢測作業方式報修漏水及相關作業。
- 2.本處正在進行搶修急需協助如 1999 緊急案件，廠商於一小時內派員至現場進行檢測，廠商並設置一檢測專線並由專人執

機，可適時提供檢測資訊及緊急案件之執行。

3.指定檢測漏水之檢測作業方式，類同區域性漏水檢測作業，為其檢測地點為本處所指定，並適時配合各營業分處修漏作業。

(四)接合管確認位置作業

接獲案件通知後廠商依指定時間及地點進行接合管線位置確認作業，確認後於現場標示明顯記號，拍攝探挖前照片及繪製管線位置、深度圖送防漏股辦理。

(五)輸配水管確認位置作業

接獲案件通知後依指定時間及地點進行輸配水管線位置確認作業，確認後於現場標示明顯記號，拍攝探挖前照片及繪製管線位置、深度圖送防漏股辦理。

(六)配合挖修作業

挖修、探管時依指定時間赴現場配合，並適時配合水處及修漏廠商完成探挖（修）作業。

(七)行政作業

- 1.製作施工計劃書及預定進度表。
- 2.填寫工作日報。
- 3.檢漏成果及指定案件之送、收件作業。
- 4.每月估驗作業。
- 5.適時提供各修漏單位檢測相關資訊
- 6.編製成果報告書。

三、檢測執行成果

(一)作業成果概述

本次工作執行依本處所指定東區、西區、南區、北區、陽明五個營業分處所轄區域實施作業，作業內容包含：區域性漏水檢測作業、指定案件確認作業、接合管、輸配

水管確認位置作業及配合挖修探管作業…等，綜合以上各項作業結果彙整出所需資料，並依各區作業成果統計彙整。



圖 4 檢測聽音作業



圖 5 檢測確認作業-1



圖 6 檢測確認作業-2



圖 7 修漏開挖作業

本次分析標案自 100 年 9 月 14 日開工至 101 年 8 月 31 日竣工，依計畫完成檢漏作業，全案共計 353 個日曆天，完成巡檢里程東區營業分處 1270 公里、西區營業分處 1250 公里、南區營業分處 1118 公里、北區營業分處 627 公里、陽明營業分處 575 公里，共計完成巡檢里程約 4840 公里，作業成果統計彙總並分析說明如后，全案數量統計（表 1）。

表 1 各項目數量統計表

工作項目	單位	全案 (100~101 年) 受理數量	正確率 (%)
區域性漏水檢測	處	2999	95%
指定檢測案件	處	876	90%
接合管確認位置作業	處	72	82%
輸配水管確認位置作業	處	35	91%
巡檢里程	公里	4840	—

(二)漏水修理之重要性

目前本處把管線汰換幾乎全部投入小區及配合路平管線抽換內，所以小區的漏水可以明顯下降，但目前施工完成的小區面積

約佔十分之一，而小區以外，汰換管線還未實施的區域佔了十分之九，面積廣大，如果想要避免漏水加劇，在這樣大的面積內，在管線汰換實施前，只能用漏水檢測與修理的傳統工具。雖然漏水檢修僅是個治標的工具，如果停了下來，在小區外大面積的漏水將急遽惡化，甚至侵蝕掉好不容易降下來的整體漏水率，而且漏水不檢修將影響道路行車安全，及民眾對水處觀感，漏水檢修是不能停的治標工作。

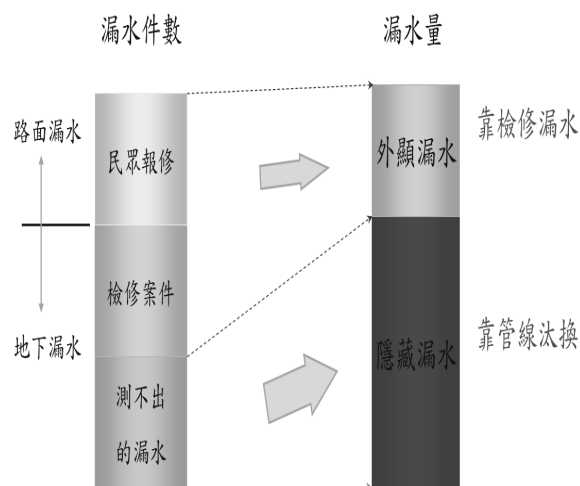


圖 8 外顯 漏水抑制仍須仰賴傳統檢修

四、檢測成果分析

(一)漏水管種分析

本標案經各營業分處開挖查證，漏水管種所佔比率分析，如表 2 及圖 9。所檢出之管線漏水案件，漏水管種前 3 名為塑膠管 (PVCP、PVC)、PB 管、鉛管，PVCP 管線漏水案件約佔 40 %、PB 管線給水管線佔約 34 %、鉛管管佔 13%，而查詢本處圖資系統各種給水管比例如表 3 塑膠管線佔本處給水管線約 31%，從民國 60 年代末期迄今大量使用，而 PB 管線僅佔給水管線約 3 %，僅 70 年代短短幾年使用，分析顯示 70 年代所埋

設之 PB 管線已開始大量劣化，故頻頻發生漏水現象。

表 2 漏水管種件數統計表

漏水管種	件數	比例
接合管	22	0.70%
止水栓	52	1.66%
制水閥	8	0.26%
鑄鐵管	107	3.42%
鍍鋅白鐵管	34	1.09%
不銹鋼管	38	1.21%
塑膠管	1274	40.69%
鉛管	412	13.16%
PB 管	1183	37.78%
其他	1	0.03%

表 3 本處給水管材比率統計表

管種	塑膠管	鉛管	FB 管	不鏽鋼管	鍍鋅白鐵管	其他
比例	32.3%	11.1%	3.47%	29.7%	2.4%	21.2%

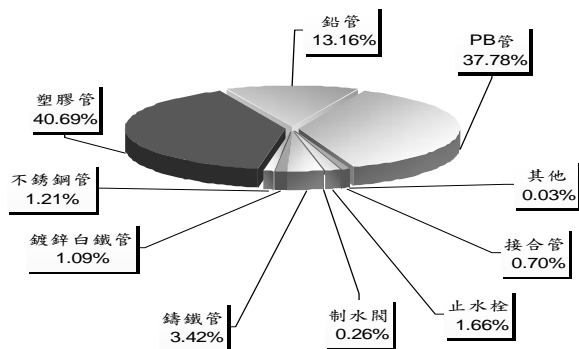


圖 9 漏水管種件數分析

檢測案件經現場開挖查證修理完妥，發現 PB 管漏水案件所佔比率偏高現象，顯示 PB 管線劣化漏水相當嚴重，另發現 PB 管線檢測漏水修理完妥後，同一條 PB 管經常於修復後數月又在同一支管線其他處發生漏水，如圖 10，充分顯現 PB 管線材質劣化程度已超過使用年限。

又依統計資料顯示 100~101 年之 PB 管修理件數亦佔全水處修漏案件量約 24.6%，如表 4。顯示 PB 管線之漏水問題需儘速處理，故建議各營業分處在配合市府路平管線抽換時及小區計量管線抽換時，要更加注意務必將 PB 管線徹底抽換。

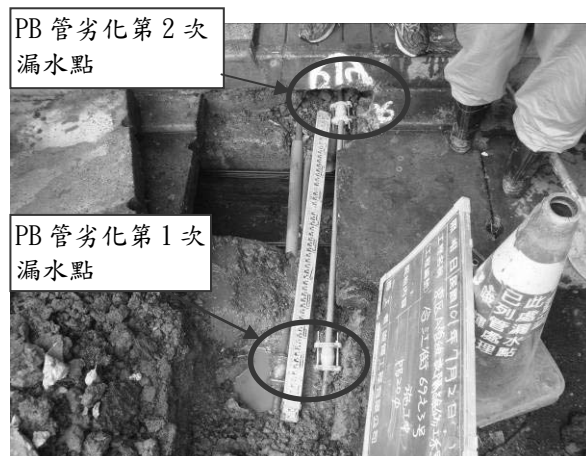
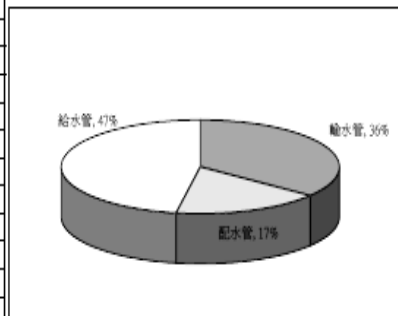
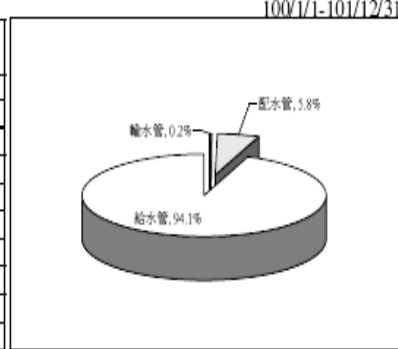


圖 10 PB 劣化漏水(1,2,3)

表 4 100~101 年累計漏水管種原因統計分析表

種類	項目	漏水原因										項目	漏水件數 萬件	百分比 (%)	總漏水量 (CMD)	百分比 (%)	
		腐蝕	龜裂	空腐	墊片	折斷	接觸	其他	合計	%							
	總計	1812	13405	580	560	38	1173	57	17425	100.0%							
	保	10.4%	76.9%	3.3%	2.1%	0.2%	6.7%	0.3%	100.0%								
輸水管	小計	6	4	16	4	1	0	0	31	0.2%							
	鋼管-PCCP-PSCF	0	0	2	0	0	0	0	2	0.0%							
	DIP	1	1	2	0	0	0	0	4	0.0%							
	CIP-MJP	5	3	12	4	1	0	0	25	0.1%							
	其他	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%							
配水管	小計	331	499	96	12	6	57	4	1005	5.8%							
	鋼管-PCCP-PSCF	0	0	2	0	0	0	0	2	0.0%							
	DIP	25	37	22	2	1	28	2	117	0.7%							
	CIP-MJP	306	306	62	8	3	21	0	706	4.1%							
	PVC	0	148	11	2	1	7	1	170	1.0%							
給水管	小計	1475	12902	468	344	31	1116	53	16389	94.1%							
	DIP	0	1	1	1	0	0	0	3	0.0%							
	CIP-MJP	37	30	6	0	0	4	0	77	0.4%							
	PVC	0	845	125	14	14	688	39	938	5.6%							
	PB	0	4016	53	180	8	18	5	4280	24.6%							
接合管	小計	107	45	1	0	5	1	0	159	0.9%							
	LP	1326	301	18	32	1	58	0	1736	10.0%							
	SSP	0	0	169	57	0	342	8	576	3.3%							
	接合管	5	50	95	60	3	5	1	219	1.3%							
	其他	0	1	0	0	0	0	0	1	0.0%							



觀察 97-99 歷年管線委外檢測作業與本次 100-101 年檢測標案之比較各管種修理情形，漏水管種件數及漏水量統計表、圖 11 歷年漏水管種件數圖，PB 管所佔比率均大於 30% 以上，可見 PB 管抽換已刻不容緩。

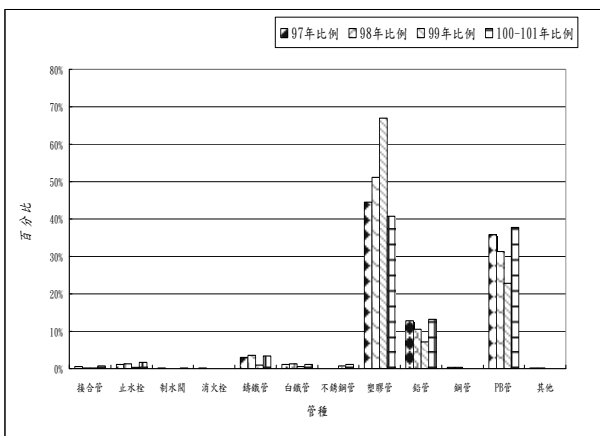


圖 11 歷年漏水管種件數

(二)管線未汰換整理造成同一地點附近漏水頻頻發生

以往本處供水管線進入市區各巷弄

後，同時有本處多支給水管線及配水管不同高程平行佈設，如圖 12、圖 13、圖 14、所示，另查本處圖資系統約 20% 之給水管線為老舊材質不明管線，甚至有建築物已拆除，其給水管線並未由接合管處斷除等，如圖 15~22，上述皆是供水管網弱點處，因此同一地點重複挖修時有所聞，對於管網弱點區應加速管線汰換整理為提升健全供水管網及減少漏水的正確作法。

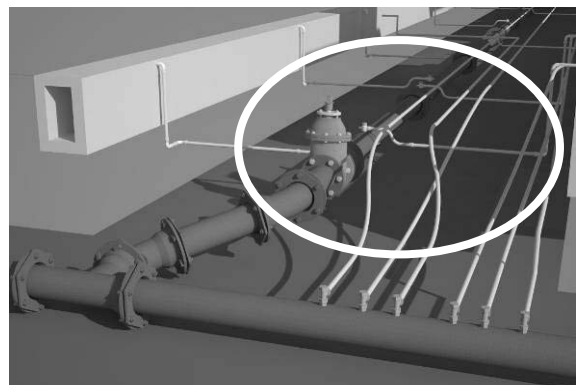


圖 12 本處多支給水管線及配水管平行佈設



圖 13 本處多支給水管線及配水管平行佈設且與其他管線單位平行-1



圖 14 本處多支給水管線及配水管平行佈設且與其他管線單位平行-2



圖 15 管線老舊漏水-1

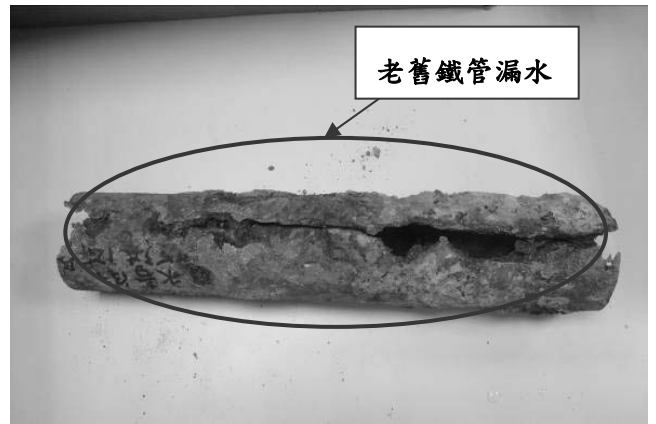


圖 16 管線老舊漏水-2



圖 17 管線老舊漏水-3



圖 18 管線老舊 PB 管線及修復不良



圖 19 給水管線與水溝壁平行疑遭施工損毀修復不良-1



圖 22 配水管與電信電力管線重疊埋設疑遭施工損毀修復不良-2



圖 20 給水管線與水溝壁平行疑遭施工損毀修復不良-2



圖 21 配水管與電信電力管線重疊埋設疑遭施工損毀修復不良-1

(三)健全本處管網體質之優質方法-有效率之管線汰換

本次區域檢測案案件計 2999 件將其開挖正確件數作 Google 分布圖佈點與小區計量完成圖比對，顯示絕大多數之區域檢測漏水案件(98%以上)分布於完成小區之區塊外(如圖 23、24、25)。可見有效率有評估之管線汰換，才是健全本處管網體質之優質方法，並可避免重複挖修，影響路面平整及提升本處供水品質，降低挖路所引起之民怨。

(四)無法開挖修管線列管避免重複檢修

本標案區域檢測完成案件 2,999 件，檢測後因進行管線抽換、道路禁挖及施工時有

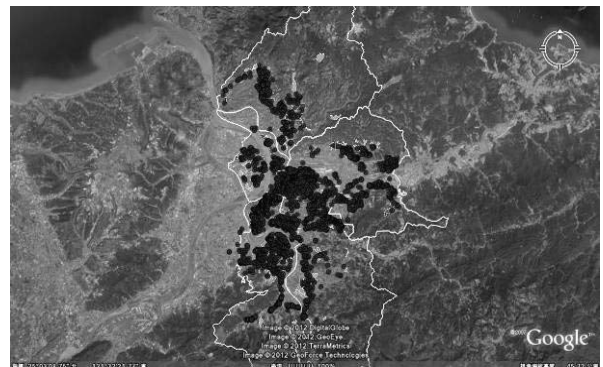


圖 23 區域檢測案 Google 分布

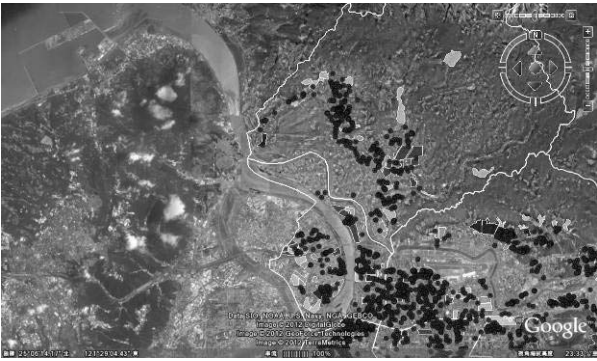


圖 24 區域檢測案 Google 分布圖-2(塊狀顏色區域為完成小區)



圖 25 區域檢測案 Google 分布圖-3(塊狀顏色區域為完成小區)

管線障礙等因素計無法挖修計 40 餘件，無法挖修案件部份列入管控，並請執行挖修營業分處於無法挖修案件條件消失後，立即積極進場挖修。

(五)計畫性檢測區域檢測成果口徑分析

100-101 年本處給水管維修比率約為 94%(如圖 26)，分析本檢測案(100 年 9 月-101 年 8 月)發現區域檢測案 2999 件，其中給水管佔約 97%之案件量，區域檢測案件給水管(50MM 含以下案件)雖然只略高 3%，但仍顯示廠商偏重採用家戶聽音法(止水栓聽音)使用聽音棒或其他測漏儀器實施止水栓(水表)聽音檢測，來發現漏水並判斷漏水位置，故廠商區域檢測案檢出案件以給水管線佔絕對多數。

由檢測成果分析其原因，因表前給水管

水漏水聲音管線埋深淺，較易隨給水管傳遞至表前給水栓或地面，其漏水疑似音較為明顯容易發現，廠商雖以地毯式進行管線檢測，檢測成果仍以給水管為大宗，廠商為爭取檢測效率，提高投資報酬率及避免檢測數量不足，致使契約罰款，本標案多檢出給水管線。

又因本處輸配水管線因埋設深度較深，其漏水音不易傳至地面，故使用聽音棒或其他測漏儀器，較難捕捉漏水疑似音。但輸配水管線之漏水量為給水管線之十數倍(如圖 27)，依 100-101 年統計輸配水管線漏水件數約佔 6%但漏水量佔 53%，為鼓勵廠商多檢出輸配水管線漏水，故後續標案提高輸配水管線區域檢測案件單價，並降低檢測給水管線區域檢測案件單價，以提高輸配水管線檢出件數。

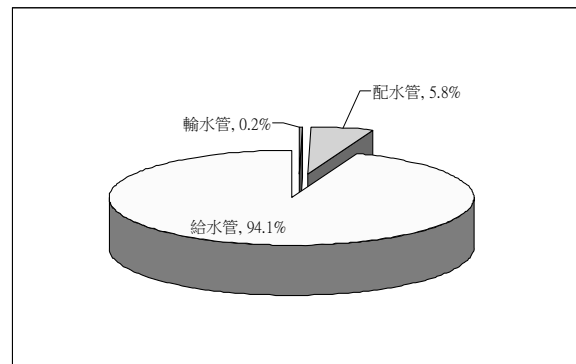


圖 26 100-101 年全處漏水案件百分比

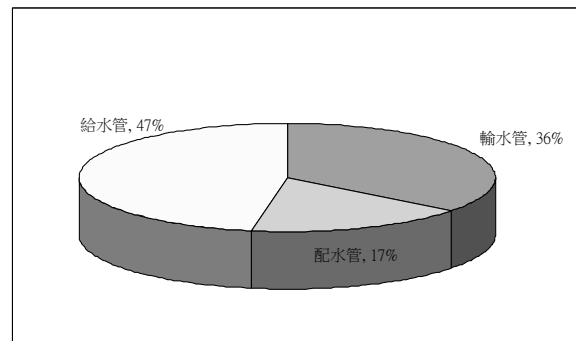


圖 27 100-101 年全處漏水量百分比

五、結論與建議

(一)全面辦理檢修合一提昇檢修速度及效率

本處在 101 年已將 5 個營業分處，由北區及南區營業分處 2 標試辦修漏案件之指定檢測檢修合一工作（在每件修漏案件內含固定一定比率之漏水檢測人員之指定檢測費用），以提高漏水修理之效率，經營業分處試辦尚屬可行，102 年在 5 個營業分處擴大辦理 6 個標案。在管網汰換及小區計量工作進行亦邁入第 2 階段長期管理，全處之區域檢測檢出數量已由以往動輒 4、5 千件降低至 2 千件左右。

(二)漏水嚴重巷弄儘速辦理管線汰換

本標案進行中若開挖發現損漏嚴重管線路段，即通知各營業分處作為後續配合、管網等工程汰換參考；為強化汰換管線成效，另已將依本標案成果報告書檢測明細資料，請營業分處篩選漏水嚴重巷弄，納入小區計量評估要項進而提升汰換管線效率，而檢測成果可作為本處管線汰換之參考。

(三)列管無法開挖案件避免漏水發生

各營業分處申請漏水指定檢測作業、輸配水管及接合管確認作業，因檢出點位於建築物下方及空間不足等因素致現場無法施工，或用戶尚未改接或空地整停尚未完成等因素，致無法挖掘案件，請各營業分處就無法挖修部分加以列管，避免形成“盲腸管”，並俟可以開挖時立即處理避免漏水發生成為管網弱區。

(四)加速管線汰換健全管網體質

本處實測 400 個小區售水率，結果發現管網體質仍不理想，其中售水率低於 50% 的小區佔 4 成(如圖 28)，又查本處近 6 年漏水檢修密度，集中於萬華、三重、中永和等舊

市區，故管網體質若沒改善，漏水重複發生，因此修漏只能做到治標不能治本(如圖 29-30)。

自來水管線老舊係管線材質已踰使用年限或已老化將招致破損，將使同一管線修漏變成一修再修的機率增高，修漏對於有效降低漏水率效益不大，因此健全管網體質，加速老舊管線汰換速度方能「治本」，同時為避免管線汰換作業不確實，完成管網汰換後輔以小區計量作為考核。

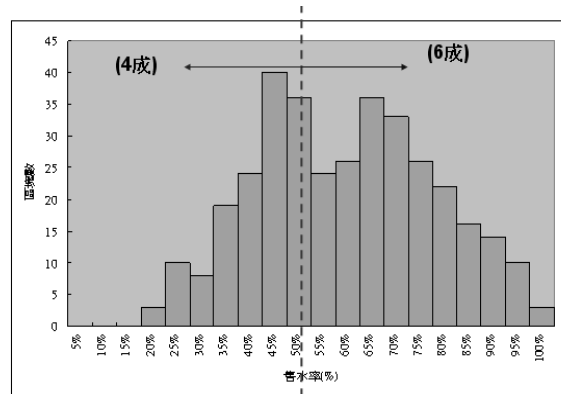


圖 28 本處實測 400 個小區售水率條狀圖



圖 29 本處本處實測 400 個小區分布圖



圖 30 本處近 6 年漏水檢修密度圖

唯有健全管網體質，方能進行管網水壓管理，進而提高主動漏水控制之檢測效率(漏水噴射音較為顯著提高，較易檢測漏水)，並提升修漏品質，也就是回應 IWA 的漏水控制四大主軸及理念，達到良性循環。

然而目前政府之政策走向，朝向精簡公務體系人力，活化民間投資。是以本處要更快速達成管線汰換，並兼顧施工品質，在本處有限人力下，將擴大管網汰換標案及標案件數，並適時引入「委託監造人力」，以加速老舊管線汰換，健全本處管網體質，進而提高本處供水品質。

參考文獻

1. 臺北自來水事業處 100、101年統計年報。
2. 臺北自來水事業處，100-101年管線委外檢測工作成果報告書。
3. 臺北自來水事業處，96-98、99年管線委外檢測工作成果報告書。
4. 臺北自來水事業處，小區委外規劃與計量分析

工作成果報告書。

5. 黃欽稜 ”漫談北水處漏水控制歷程” 自來水會刊第 29 卷第 4 期。

作者簡介

鍾添平先生

現職：臺北自來水事業處供水科 三級工程司

專長：自來水工程漏水控制、施工管理

黃欽稜先生

現職：臺北自來水事業處供水科 二級工程司

專長：管網改善 小區計量 漏水控制

自來水事業績效國際評比及標竿探討

文/李丁來、陳光辰

摘要

本研究篩選國內與美、日、英等國自來水事業之 11 項核心績效指標，包括供水損失、水質合格率、每職工供水量、供水管線故障率、管線汰換率、每職工服務用戶數、每職工之營收、單位售水成本、平均售水單價、營運比率及總資產報酬率等，依據所蒐集之各國自來水事業或組織，可公開取得之 2010 年度計量績效報告資料為準，進行國際評比結果，國內兩大自然自來水事業在「每職工供水量」、「每職工服務用戶數」及「單位售水成本」績效表現良好，但在「供水損失」、「供水管線故障率」、「每職工之營收」、「平均售水單價」等績效卻亟待改善，而台北自來水事業處在「營運比率」及「總資產報酬率」績效表現優於許多國家，但台灣自來水公司在此兩項指標之績效表現則明顯遜色。國內自來水事業亟待進行績效改善項目之標竿學習對象，首選日本 JWRC 績效報告中百分位數 75%-95% 之自來水事業，次選對象為新加坡公用事業局。

關鍵字：自來水事業、標竿學習、績效指標、國際評比

一、前言

台灣自來水事業肩負國家供水的重任，其績效良窳對於我國經濟發展及民生影響深遠。國內自來水事業在官網上自許之願景為「成為國際級自來水事業」或「成為世界第一流的自來水事業」，然此種自我期許，缺乏具體比較基準。因此，透過國際間相對客觀而適當的指標，來進行自來水事業績效評量，可得知國內自來水事業在國際的表

現，繼而省思策進，逐步實現願景。

本文利用所篩選出之 11 項國際自來水事業核心績效指標(李丁來，陳光辰，2012)，包括供水損失、水質合格率、每職工供水量、供水管線故障率、管線汰換率、每職工服務用戶數、每職工之營收、單位售水成本、平均售水單價、營運比率及總資產報酬率，進行自來水事業績效評比，以評估國內兩大自然自來水事業在國際間之排名，並將結果優秀者列為標竿學習對象，可作為未來釐訂經營策略目標、提升競爭力之參考。

二、研究方法

本研究採用次級資料分析法，相對於原始資料而言，次級資料分析法係指將已經彙整、摘要之有系統的檔、可公開取得之報告或年報資料等，加以分析運用。本研究係以蒐集國內外自來水事業單位暨其政府主管機關、具代表性之自來水事業相關協會、重要國際組織之績效指標及經營績效資料進行評比。

三、國際評比數據資料來源及可信度

(一)數據資料來源

在進行國際評比排名時，最困難的是取得同一時期各國自來水事業公開之次級資料。本研究之數據係源於各國自來水事業或組織所公告之年度營運資料，為求資料年度之一致性，原則上以 2010 年度之資料為準，如無該年度資料者，則以最新年度替代。

唯其中涉及中國大陸部份，因各地區自來水事業單位之績效數據不易取得，因此僅

以 2012 年獲「中國供水服務評級指標體系」(1.0 版)評選為 5A 級的澳門自來水公司為代表,另補充香港水務署公佈之 2010 年報資料。

各國自來水事業績效評比主要數據資料來源情形如表 1 所示。

(二)數據可信度分級

本研究所採用之數據可信度分級,參考 Alegre, H.等人(2006)建議之來源可靠度定義及數據準確度範圍,應具有「★★★」可靠度及高準確度,唯其資料之信度、效度及誤差,可能因各國自來水事業對資料數據品質之要求有所差異,但本研究仍力求客觀分析及準確。

表 1 各國自來水事業績效評比主要數據資料來源彙整

自來水事業(協會、組織)名稱	數據資料來源	資料中之自來水事業家數	資料年度
台灣自來水公司	台灣自來水公司年報	1	2010
臺北自來水事業處	臺北自來水事業處年報	1	2010
新加坡 Public Utility Board, PUB	PUB Financial Report 及 Annual Report 或 IBNET 資料庫	1	2010/11
香港水務署	香港水務署年報	1	2010/11
澳門自來水公司	澳門自來水公司年報及可持續發展報告	1	2010
AWWA	BENCHMARKING Performance Indicators for Water and Wastewater Utilities: Survey Data and Analyses Report	60 (僅自來水服務部份)	2007
OFWAT	"Service and delivery - performance of the water companies in England and Wales 2009-10"及"Financial performance and expenditure of the water companies in England and Wales 2009-10"	21 (自來水服務部份)	2010
JWRC	Analysis of Performance Indicators (PI) in Guidelines for the Management and Assessment of Drinking Water Services in F.Y.2009	1460 (自來水服務部份)	2009
IBNET	The IBNET Water Supply and Sanitation Performance Blue Book-The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Databook	89 (自來水服務部份)	2008
EBC	Learning from International Best Practices-2011 Water & Wastewater Benchmark	45	2010

資料來源:本研究整理

四、研究範圍及限制

本研究力求客觀與完善,但受限於時間、初級資料取得及跨國研究資料取得不易

等因素,研究範圍及限制如下:

- (一)僅限於各國自來水事業可公開取得之計量(Metric)績效資料。
- (二)國際自來水事業績效參考資料僅限表 1



所示，無法擴及全球自來水事業。

(三)本研究採用各國自來水事業可公開取得之次級資料進行分析，其資料之信度、效度及誤差，可能因各國自來水事業對資料數據品質之要求有所差異，但本研究仍力求客觀分析及準確。

五、自來水事業核心績效指標之國際評比

(一)供水損失

1.概述

供水損失是各國自來水事業最重視的問題之一，因水資源短缺的問題逐漸受重視，亟需採取各種措施來解決供水損失問題，這些供水損失(又稱無收益水量，Non-Revenue Water，簡稱 NRW)，包含：(1)有效無計費水量(例如管線沖洗以維護水質用水、蓄水池清洗用水、新管裝設後清洗用水、消防用水)；(2)帳面損失水量(例如竊水和用戶表計量不準)；(3)真損失水量(例如管線破裂及爆管漏水量)。「供水損失量」也定義為進入供水系統內之水量與收費水量之差值，因各國經濟發展程度不同，故在自來水供水損失上之管理指標也有差異，本研究整理 Alegre, H.等人 (2000)蒐集各國自來水供水損失指標，可分基本級、中級、進階級三類，一般自來水事業或組織係採用基本級，故本研究沿用此級指標進行評比。

2.計算式

供水損失百分比(%)=100%*(進入供水系統之體積量-計費售水量)/進入供水系統之體積量或「供水損失百分比(%)」=100% -售水率。

3.評比結果與討論

評比結果如圖 1 所示。一般說來，供水

損失愈高，會減少營收及表示供水營運效率愈差，尤其於水源短缺地區，被要求降低供水損失率之壓力甚大。圖 1 顯示本次評比序位排名中位數為 12.5%~13.0%，國內兩大自來水事業在此項指標之績效表現與國際相較，台水公司之 28.6%及北水處之 32.8%，僅略優於英國英格蘭及威爾斯水公司之平均值 35%及世界銀行建立之「IBNET」中位數值 31%，但卻遠遜於新加坡 PUB 之 4%、日本 JWRC 百分位數 25%之 18.8%、美國 AWWA 百分位數 25%之 12.4%、中國澳門自來水公司之 12.5%，顯見「供水損失」之改善，是國內兩大自來水事業極需急起直追之項目。

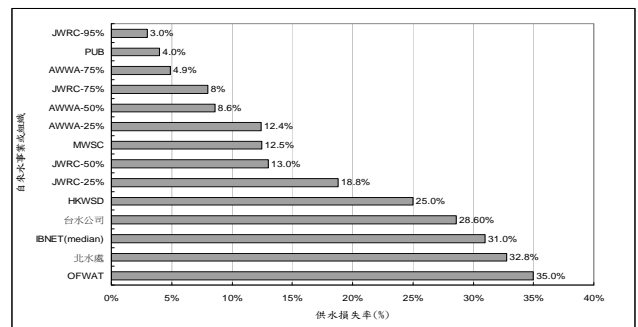


圖 1 自來水事業「供水損失」國際評比

(二)水質合格率

1.概述

飲用水是人類生存的基本需求，也是人類維生的物質基礎，自來水之供水服務績效中，最基本也是最重要的莫過於飲用水之水質安全，必須讓民眾相信其飲用水之水質是安全無慮的。因此，為確保飲用水安全，各國乃考慮影響人體健康之最大容許濃度限值，研訂出飲用水水質標準及違反時之相關罰責。多數國家制定飲用水管理相關法規或標準時，經常參酌世界衛生組織所出版之「飲用水水質指針」，目前 WHO 於 2011 年最新公告者係第四版(WHO, 2011)，WHO 建

議的指導方針值並非強制性嚴格遵循的限定標準，各國可依其地理條件、民眾認知、經濟、文化、民意等差異，採用風險-效益分析方法，確定該國家飲用水水質標準的管制項目與最大限值。

因為各國飲用水水質標準之管制項目、標準值未盡相同，所以水質檢驗合格率雖然相同，但其實際水質數據並不一定相同，故僅以各國自來水或飲用水主管機關對自來水事業抽驗檢驗直接用水統計結果(間接供水不列入統計)或自來水事業於年度營運報告所揭露數據為評比參考。

2. 計算式

「飲用水水質合格率 (%)」=100*(完全符合法規要求之合格天數 / 365 天) 或 =100*(完全符合法規要求之抽檢驗件數 / 總檢驗件數)。

3. 評比結果與討論

評比結果如圖 2 所示，一般說來，自來水事業對「水質合格率」之績效期望係愈高愈好，並以 100% 為目標。雖然各國飲用水水質之「標準值」常因國情而有不同，但我國飲用水水質標準的訂定及修正，通常是蒐集先進國家飲用水水質標準及其訂定標準的準則，作為國內擬訂飲用水水質標準的參考，再從汙染物質的環境背景資料、對人體健康的影響、對社會的影響、工程技術可行性、經濟性及分析技術可行性與調查消費者付費意願等綜合分析(蔣本基,2002)，因此我國飲用水水質之「標準值」與各國標準相差不大。圖 2 顯示，本次評比序位排名中位數為 99.95%，國內兩大自來水事業在「水質合格率」指標之績效表現與國際相較並未遜色，台水公司為 99.91%，略優於北水處的

99.81%，但與新加坡 PUB、日本、美國等國自來水事業均達到 100% 相較，仍有改善空間。

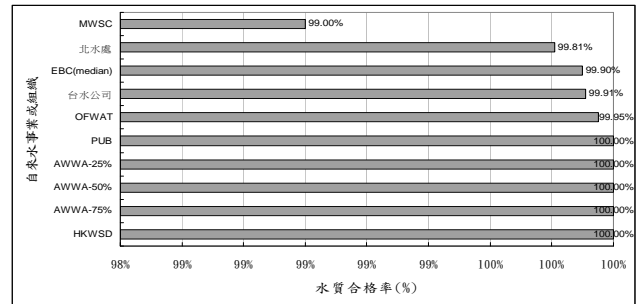


圖 2 自來水事業「水質合格率」國際評比

(三) 職工生產力

1. 概述

對大部份自來事業而言，因係由公部門所經營，大都會面臨冗員太多之批評，且時常被要求精簡人力，因此如何提高職工生產力，以控管人力之需求，對自來水事業經營績效而言極為重要。各國自來水事業職工生產力指標主要有三項，分別是每位職工供水量、每位職工服務用戶數、每位職工之營收。

2. 計算式

- (1) 每職工每日平均供水量 = 每日平均供水量 / 全時工作職工數。
- (2) 每職工服務用戶數 = 總用戶數 / 全時工作職工數 或 每千用水戶所用職工數 = 全時工作職工數 / 每 1000 用水戶。
- (3) 每職工之營收 = 總營業收入 / 全時工作職工數。

3. 評比結果與討論

(1) 「每職工每日平均供水量」

一般說來，自來水事業對「每職工每日平均供水量」之績效期望為愈高愈好。圖 3 顯示，本次評比序位排名中位數值為每職工每日平均供水量為 961m³/日，國內兩大自來



水事業於此項指標之績效表現，北水處為每職工供水量 2212m³/日，台水公司為每職工供水量 1566m³/日，與國際相較位居前茅，尤其北水處高於日本 JWRC 百分位數 95% 自來水事業每職工供水量 1996m³/日。台水公司雖不如前二者，但也優於日本 JWRC 百分位數 75% 及美國百分位數 75% 之自來水事業每職工供水量 1289m³/日及 1249m³/日，更是美國百分位數 25% 自來水事業之每職工供水量 567m³/日及香港水務署每職工供水量 579m³/日之 2.8 倍及 2.7 倍。顯示國內兩大自來水事業之整體職工生產力之績效表現，優於國際。

(2) 「每職工服務用戶數」

一般而言，自來水事業對此項績效期望係愈高愈好。圖 4 顯示，本次評比序位排名中位數值每職工服務用戶數為 705~798 戶，國內兩大自來水事業在此項指標之績效表現，北水處每職工服務用戶數為 1476 戶，台水公司每職工服務用戶數為 1160 戶，北水處明顯優於台水公司。如與國際相較，北水處雖不及日本百分位數 95% 之自來水事業每職工服務用戶數 2196 戶，但略優於日本百分位數 75% 之自來水事業每職工服務用戶數 1460 戶，台水公司雖不如前三者，但優於日本百分位數 50% 每職工服務用戶數 1082 戶，為美國百分位數 75% 之自來水事業 667 戶之 1.74 倍，可見國內兩大自來水事業在此指標表現優於國際，也佐證國內兩大自來水事業用人尚屬精簡。

(3) 「每職工營收」

一般說來，自來水事業對「每職工營收」之績效期望係愈高愈好。圖 5 顯示，本次評比序位排名中位數值每職工營收為

US\$185,316 元，國內兩大自來水事業在此項指標之績效，台水公司每職工營收為 US\$165,428 元，略優於北水處每職工營收

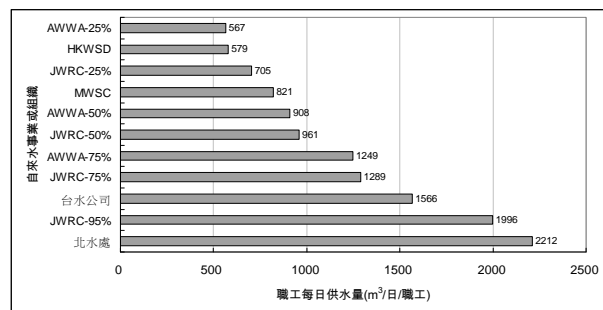


圖 3 自來水事業「每職工每日平均供水量」國際評比

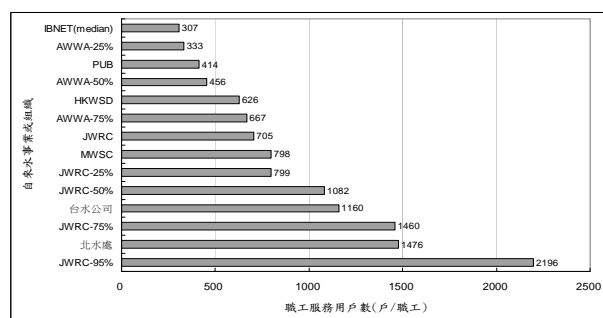


圖 4 自來水事業「每職工服務用戶數」國際評比

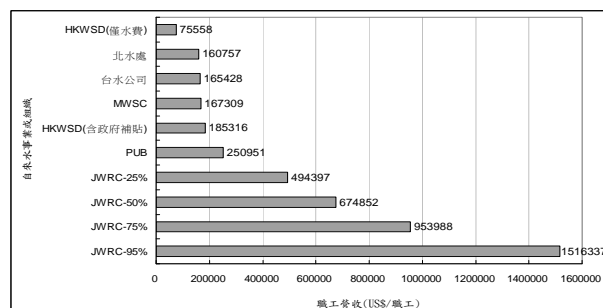


圖 5 自來水事業「每職工營收」國際評比

US\$160,757 元，與前述中數值相較約有 12% 差距。而與國際相較，國內兩大自來水事業在此項指標之績效，僅優於香港水務署(僅水費營收) 之每職工營收 US\$75,558 元，屬敬陪末座，約為日本百分位數 95% 之自來水事業每職工營收 US\$1,516,337 元之 1/10，其原因主要在於圖 9 所顯示之「平均售水單價」，與國際相較，也屬敬陪末座有關，國內兩大

自來水事業之「平均售水單價」，約為各國評比序位排名中數值之 40%。因此雖然國內兩大自然水事業在「每職工服務用戶數」及「每職工供水量」與國際相較，屬名列前茅，但因「平均售水單價」偏低，連帶影響此項指標之表現。

因「平均售水單價」之合理調整，為政府自來水主管機關所掌控，在目前油電雙漲連動造成百物齊漲，但平均薪資則十餘年來原地踏步之經濟情勢及國家經濟財政困難情形下，恐無法學習香港水務署，要求政府補貼低水價所導致之營運虧損，因此國內兩大自然水事業如仍維持目前僅以經營「自來水」為主要營收來源之營運模式，「每職工營收」恐難增長。

由於政府目前正極力推動新興水源(包括生活汙水、事業廢水、海水及貯留雨水)之利用(莊順興,謝明昌,2010)，而新加坡政府也從全球水源整合管理之發展趨勢，認知到處理廢水和提供乾淨飲用水息息相關，因此責成 PUB 從 2001 年 4 月起掌管整個國家水供應系統，包括保護和擴大水資源、雨水管理、淡化海水、用水需求管理等(周珊珊,李丁來,2010)，因此新加坡 PUB 經營新興水源方面業務，以開發其他可行財源之經驗，可供國內兩大自然水事業學習，以突破現行受政策侷限之困境。

(四)供水管線故障率

1.概述

所有原水須先在淨水場經過嚴謹的淨化處理過程後，再經由送配水管輸送到各用戶，自來水事業得持續不斷地改善這些儲水設施和供水網絡，方能確保為消費用戶提供

優質的供水服務。從消費用戶的角度看，供水的穩定性是相當重要的一件事，消費者期望一年 365 天,每天 24 小時，打開水龍頭皆能持續有潔淨及安全的飲用水可使用，因此最有效可量度自來水事業供水可靠度的績效指標便是「供水管線故障率」，係供水管線、控制閥及其附屬管件接頭設施等，因故破裂或漏水，導致需停水修復或水壓降低，因此造成供水不穩定，其意義與「配水系統健全性」相同。

2.計算式

「供水管線故障率」=每年(總漏水次數+總破管次數)/總管線長度(100Km)

- (1)總管線長：指從淨水場到用戶水量計前之管線長度總合，包括：送配水管線、閥、消防栓、附屬管件及用戶給水管線，不包括用戶水量計後之用戶內管線。
- (2)漏水：係指在供水管線、閥、消防栓、附屬管件及水量計前之用戶給水管線，所發生之連續漏水需予以修復件數。
- (3)破管：係指對管線、閥、消防栓、附屬管件及水量計前之用戶給水管線等所造成之設備損害，而導致突然發生之漏水需予以修復件數。

3.評比結果與討論

一般說來，經常性發生管線漏水及爆裂，將導致增加緊急搶修處理件數及營運成本，也增加停水修理次數，進而干擾用戶正常用水權益，導致用戶抱怨與不滿，因此自來水事業對「供水管線故障率」之績效期望係愈低愈好。

圖 6 顯示，本次評比序位排名中位數值「供水管線故障率」為 29.0 件/100Km，國內

兩大自來水事業在此項指標之績效評比，台水公司「供水管線故障率」為 329.4 件/100Km，雖略優於北水處 414 件/100Km，但與國際相較，卻係異常偏高，為敬陪末座，主要在於國內兩大自來水事業之供水管線故障次數，將用戶連接自來水配水管線(通稱為用戶外線或用戶給水管)，所發生之故障修復次數納入統計，因該部份管線之維護管理屬自來水事業責任，導致依指標定義所計算之績效表現不佳；復因該部份管線之設備資產屬自來水用戶所有，故於 2010 年年報中，國內兩大自來水事業並未將用戶給水管長度納入統計。

然如將供水管線故障次數僅計算送配水管線部份，則台水公司之指標值降為 39.1 件/100Km，北水處也降為 47.4 件/100Km，在此項指標之績效僅略優於澳門自來水公司之 89.1 件/100Km，與國際相較，也屬敬陪末座，顯見此項指標之改善亦是國內兩大自來水事業亟需急起直追之項目。為了減少供水管線故障率，自來水事業可採取不同的措施或策略來提高供水穩定度，如：(1)提高管線巡視檢查頻率，主動發覺漏水，及時進行搶修(2)進行管線的更新汰換(3)調整水壓(4)於供水系統增設監測水流及水壓設施，以快速發現漏水，及早進行修復，惟將會增加漏水發現次數，進而增加供水管線破管率，但就長期而言將會改善對用戶供水之穩定度及減少漏水量，因此其效益將會反映在供水損失減少及降低用戶受非計畫型停水而影響的時間。

(五)管線汰換率

1.概述

提供穩定優質的自來水是自來水事業單位之職責，供水管網肩負輸送自來水到用戶的重要功能，但大部分管線埋入地下後，水管內部須承受水壓，外部須承受道路荷重，同時也受到地震及周圍土壤環境影響，隨著時間而逐漸老化鏽蝕，導致管道產生破損，逐漸發生水管滲漏或爆裂，而造成寶貴水資源流失。而且老舊管線也會影響用水品質，例如壓力洩漏、水質污染等不利現象，因此供水網絡必須妥善保養，以維持穩定的供水服務，並於必要時對供水管網進行改善更新，保障供水品質。

2.計算式

管線汰換率=100% *{每年管線更新或汰換長度/供水管線總長度(不含用戶給水管線)}

3.評比結果與討論

管線設備係自來水事業最重要之資產設備，平常需定期檢查、保養維護，以延長設備的使用壽命，為企業省下可觀的營運成本，然而如果設備資產之維護成本高於重置成本時，就需考慮予以更新汰換，以符經濟。管線汰換率愈高，表示供水設備資產品質愈佳，因此自來水事業對「管線汰換率」之績效期望係愈高愈好。

圖 7 顯示，本次評比序位排名中位數值「管線汰換率」為 1.76%，不含汰換用戶給水管線部份，北水處為 1.95%略高於台水公司之 1.76%，與國際相較，略高於日本百分位數 75%自來水事業之 1.16%及美國百分位數 25%自來水事業之 1.3%，低於日本百分位數 95%自來水事業之 2.36%及美國百分位數 75%自來水事業之 6.4%。

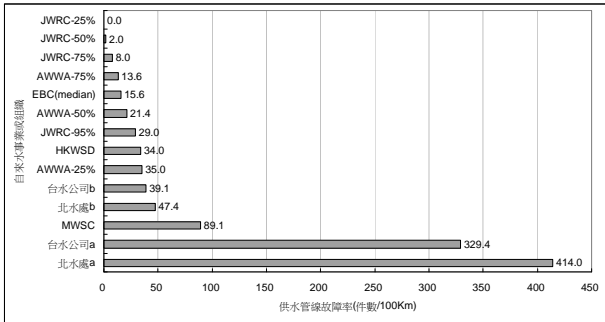


圖 6 自來水事業「供水管線故障率」國際評比

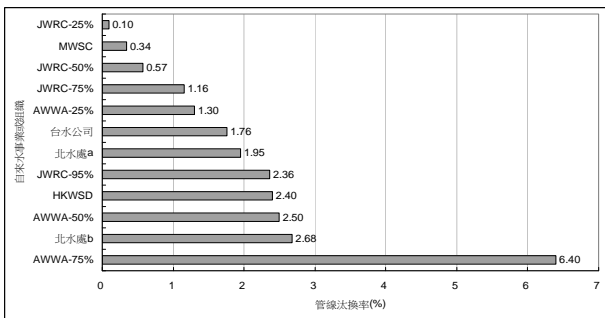


圖 7 自來水事業「管線汰換率」國際評比

國內兩大自來水事業在此項指標之績效與國際相較，屬於居中，主要在於管線汰換經費龐大，在水價長期偏低，財務困難情況下，恐怕無財力可大幅提高，依台水公司之估算，管線汰換率 1%，目前所需投資預算約 500 億元(台水公司,2012)。對照圖 1、圖 7 及圖 9 顯示，供水損失率之降低與管線汰換率之提升，無法看出其相關性，但與水價相關性較大。目前許多研究(Malcolm Farley 等人，2008；USEPA,2010)顯示，降低供水損失有效措施，「管線汰換」係其中之一，但非為主要措施，水價偏低之自來水事業，在缺乏足夠財務能力之情形下，如對於管線汰換標的之選擇，缺乏審慎評估，而盲目投資鉅額預算，追求提升管線汰換率，將在水價未獲合理調整前，先因不良的財務體質，而嚴重影響事業之經營，因此宜另謀對策，審慎因應。

(六)單位售水成本

1.概述

自來水之供應系統包括從水源、取水、導水、淨水、供配水至用戶、用戶使用等過程，因此所謂「自來水成本」是自來水事業為生產和供應一定數量自來水至用戶過程中，以耗費資源用貨幣計量的經濟價值。自來水之生產及供應需要消耗原水、動力、藥品等資料和勞動力，這些消耗在成本中用貨幣計量，就表現為原料費用、折舊費用、工資費用等。自來水事業的經營活動不僅包括生產，也包括銷售活動，因此在銷售活動中所發生的費用，也應計入成本。同時，為了管理生產所發生的費用，也應計入成本，故自來水供應系統所需之成本包括原水成本、淨水成本、供水成本、管銷成本。

依據經濟部訂頒之「水價計算公式及詳細項目」規定，平均單位水價 = $[(\text{成本} + \text{合理利潤}) / \text{售水度數}] \times (1 + \text{營業稅率})$ ，因此單位售水成本會影響合理水價之計算。

2.計算式

單位售水成本 = 售水總成本 / 總售水量

3.評比結果與討論

一般說來，單位售水成本愈低，表示成本管控成效良好，因此自來水事業對「單位售水成本」之績效期望係愈低愈好。圖 8 顯示，本次評比序位排名中位數值「單位售水成本」為 US\$1.0/m³，國內兩大自來水事業在此項指標之績效，北水處為 US\$0.26/m³ 低於台水公司之 US\$0.38/m³，與國際相較，兩者均遠低於其他國家自來水事業，約為日本百分位數 95% 自來水事業 US\$3.46/m³ 之 1/10，也僅為世界銀行建立之「IBENT」國家自來水事業中位數值 US\$0.66/m³ 之 1/2，顯見國內兩大自來水事業在此項指標之財務控制績



效良好。

雖然國內自來水事業在此指標之表現，可謂名列前茅，但相較於圖 9 之「平均售水單價」及圖 1 之「供水損失率」、圖 6 之「供水管線故障率」等屬後段排名情況，可能係因自來水事業暨其監管機關，為追求短期財務平衡效益，而刪減應投資於設施維護所需預算所致。

(七)平均售水單價

1.概述

自來水事業為公用事業，雖不能像一般企業以追求最大利潤為目的，但本質上仍為營利事業，需有合理之利潤以供事業發展之用。若報酬率過高，則產生因獨占壟斷所導致不當獲利之批評；相反地，若報酬率太低，在未獲取合理利潤情況下，將造成投資不足，自來水事業不僅供水能力及因應緊急應變需求之備載能力受限，其風險承受力亦因而脆弱，進而影響用戶服務品質。

2.計算式

$$\text{平均售水單價} = \frac{\text{總給水收入}}{\text{總售水量}}$$

3.評比結果與討論

一般說來，平均售水單價愈高，表示自來水事業所提供之服務價值愈高，售水單價愈高，愈有利於增加營收及獲利，維持事業之永續發展，因此自來水事業對「平均售水單價」之績效期望係愈高愈好。

由圖 9 顯示，本次評比序位排名中位數值「平均售水單價」為 US\$0.75/m³，國內兩大自然自來水事業在此項指標之表現，北水處為 US\$0.26/m³，低於台水公司之 US\$0.37/m³，與國際相較，兩者均遠低於其他國家自來水事業，未及日本百分位數 95%自來水事業 US\$4.38/m³ 之 1/10，也僅為世界銀行建立之

「IBNET」國家自來水事業中數值 US\$0.71/m³ 之 1/2，顯見國內兩大自然自來水事業在此指標之表現，可謂敬陪末座，對應於前述「供水損失率」及「供水管線故障率」之指標表現，可能係自來水事業在水價未能合理調整下，隱藏沉重的"冰山"成本，而刪減應投資於設施維護所需預算所致。

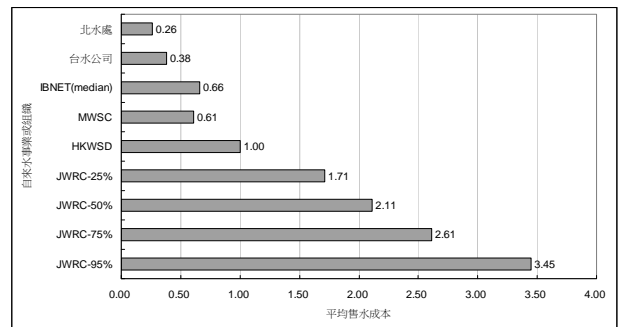


圖 8 自來水事業「單位售水成本」國際評比

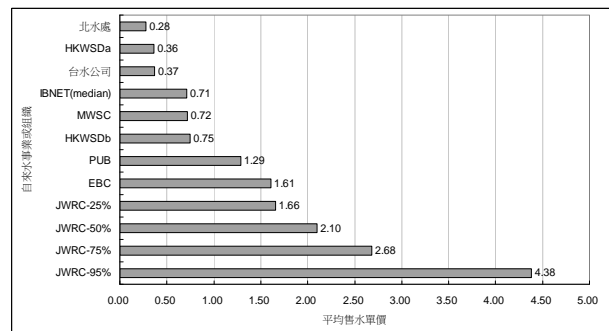


圖 9 自來水事業「平均售水單價」國際評比

(八)營運比率

1.概述

「營運比率」(Operating ratio)又稱「總成本覆蓋率」(Total cost coverage ratio)或操作成本率 (Operating Cost Coverage) 或活力比率，係企業財務指標之一種，通常適用於需要很大比例的收入來維持操作的公用事業，如自來水事業。可顯示自來水事業管理效益，為自來水事業對於資源利用有關的指標，反映了自來水事業經營效率的高低和各種資源是否得到充分的利用，通常「營運比率」評

價結果，其比率越大愈好，表示企業在支出減少情況下產生利潤的能力越高。

2. 計算式

$$\text{經營比率} = 100\% * (\text{營業收入} / \text{營業成本})$$

3. 評比結果與討論

「營運比率」係用於管控支出，衡量自來水事業之營收可否支應所需之營運成本，營運比率值愈高，表示自來水事業愈有能力獲利及維護財務之健全性，利於維持事業之永續發展，因此自來水事業對「營運比率」之績效期望係愈高愈好。圖 10 顯示，本次評比序位排名中位數「營運比率」值為 105%，國內兩大自來水事業在此項指標之績效，北水處之「營運比率」值為 111%，優於台水公司「營運比率」值 103%，與國際相較，北水處之表現僅次於日本百分位數 95%、75%、50% 自來水事業之「經營比率」值 147%、127% 及 115%，但高於其他國家自來水事業；而台水公司「營運比率」值與國際相較，僅高於新加坡 PUB 之 101% 及香港水務署(有政府補貼 87%、無政府補貼 35%)，而略低於歐洲標竿合作組織中位數 104% 及「IBNET」國家自來水事業中位數 105%。

由於全球面臨能源、食物及金融財政危機，自來水事業維持日常操作所需成本也日漸增加，由圖 10 顯示，除日本之自來水事業外，大部份自來水事業之營運比率皆僅處於營收及支出平衡之情況，將使自來水事業對於因應經營環境變動、對抗物價上漲之能力降低，無足夠財務能力更新、汰換老舊設備，也無力提升用戶服務品質，繼而發生經營虧損之問題。

(九) 總資產報酬

1. 概述

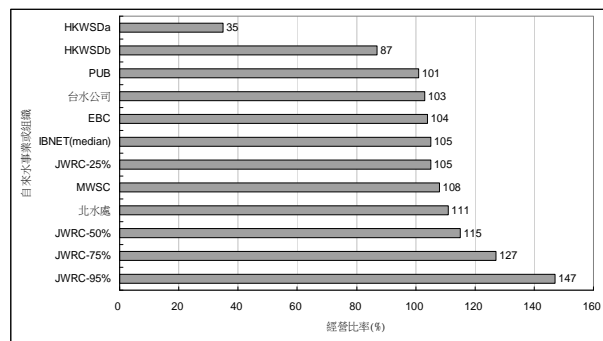


圖 10 自來水事業「營運比率」國際評比

總資產報酬率又稱為總資產利潤率、總資產回報率、資產總額利潤率等，即在衡量公司所有資產是否充分利用，用以評價企業運用全部資產的總體獲利能力，是評價企業資產運營效益的重要指標。不論公司資產是以舉債而來或是股東資金，公司利用其所有的資產從事生產活動，所獲得的報酬表現在稅後淨利上，總資產報酬率越高，表示公司的營運使整體資產的報酬運用效率越高，也意味著企業的資產盈利能力強，在增加收入、節約資金使用等方面取得了良好的效果，所以，這個比率越高越好，若該比率越低，說明企業資產利用效率低，應分析差異原因，找出影響該指標的不利因素，提高銷售利潤率，加速資金周轉，提高企業經營管理水準。

2. 計算式

$$\text{總資產報酬} = 100\% * (\text{淨利} / \text{總資產})$$

3. 評比結果與討論

總資產報酬率越高，表明資產利用效率越高，利於維持事業之永續發展；該指標值越低，說明企業資產利用效率低，應分析差異原因，提高銷售利潤率，加速資金周轉，提高企業經營效能，因此自來水事業對「總資產報酬率」之績效期望係愈高愈好。圖 11



顯示，本次評比序位排名中位數「總資產報酬率」值為 0.94%，國內兩大自來水事業在此項指標之績效，北水處為 0.94%，優於台水公司之負 0.49%，與國際相較，北水處之績效則遠不及澳門自來水公司之 14.5%、新加坡 PUB 之 2.4% 及美國百分位數 75% 及 50% 自來水事業之 3.6%、2.6%。

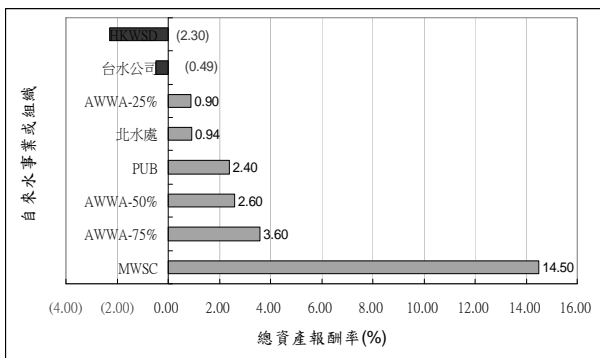


圖 11 自來水事業「總資產報酬率」國際評比

台水公司與國際相較，則僅高於香港水務署為負 2.3%，遠低於北水處及其他國家自來水事業，總資產報酬率太低，其影響結果是自來水事業無法累積自有資金，各項供水改善建設須以借款支應，而還本付息之沉疴重擔，亦造成自來水事業財務結構之惡化，自來水事業在未獲取合理利潤情況下，不僅產能受限，其風險承受力亦隨之脆弱，終使自來水事業陷入「部份業務應辦，惟因財力不足而未辦」之窘境，其對自來水安全、衛生及穩定供水實有不利影響。

自來水事業為公用事業，雖不能以追求最大利潤為目的，但本質上仍為經濟性事業，需有合理之利潤以供事業發展之用。報酬率過高，將有多餘資金流入，可能造成投資過度；相反地，若報酬率太低，將造成投資不足，導致產能不足之風險。因此，自來水法第五十九條規定：「自來水水價之訂

定，應以水費收入抵償其所需成本，並獲得合理利潤」。經濟部於 2006 年 7 月 10 日經授水字第 09520206750 號令訂定「水價計算公式及詳細項目」規定：「給水投資報酬率定為 5%~9%」（經濟部,2006），然依目前政治及經濟環境下，「給水投資報酬率定為 5%~9%」，並無落實之可能，故宜因應經濟情勢合理向下修正，可參考圖 11，將「給水投資報酬率」下修為「1%~3%」，以達到最起碼之總資產報酬率。

六、結論與建議

本研究經參考國內外文獻，歸納篩選出國際間最常用於自來水事業之核心績效指標項目，並運用標竿學習原則，與國際自來水事業或組織進行評比，協助自來水事業建立具體而長期性的願景展望，以持續提升其經營效能，促使國內自來水事業員工更能有共識與意願追求更上一層的目標，激勵組織活力往卓越邁進，研究結論及建議如下：

- (一)經依核心績效指標進行國際評比結果，台灣自來水公司在「職工每日平均供水量」、「職工服務用戶數」及「單位售水成本」指標表現良好，「水質合格率」及「管線汰換率」指標表現居中，「供水損失」、「每職工營收」、「供水管線故障率」、「平均售水單價」、「營運比率」、「總資產報酬率」指標表現欠佳，為亟待進行績效改善項目。
- (二)經依核心績效指標進行國際評比結果，台北自來水事業處在「職工每日平均供水量」、「職工服務用戶數」、「單位售水成本」、「營運比率」、「總資產報酬率」指標表現良好，「管線汰換率」指標表現居中，「供水損失」、「水質合格率」、「供

水管線故障率」、「平均售水單價」、「每職工營收」指標表現欠佳，為亟待進行績效改善項目。

(三)國內自來水事業亟待進行績效改善項目之標竿學習對象，首選日本 JWRC 績效報告中百分位數 75%-95%之自來水事業，次選對象為新加坡 PUB。

參考文獻

1. Alegre, H.; Hirner, W.; Baptista, J.M.; Parena, R. (2000). Performance indicators for water supply services, 1st edition, Manual of Best Practice Series, IWA Publishing, London,
2. Alegre, H.; Baptista, J.M.; Cabrera JR., E., Cubillo, F.; Duarte, P.; Hirner, W.; Merkel, W.; Parena, R. (2006). Performance indicators for water supply services, second edition, Manual of Best Practice Series, IWA Publishing, London,
3. AWWA(2012). <http://www.awwa.org/About/index.cfm?&navItemNumber=1420>
4. Bill Kingdom, Roland Liemberger, Philippe Marin(2006). Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series, Paper No. 8: The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries, The World Bank Group.
5. Caroline van den Berg and Alexander Danilenko (2011). The IBNET Water Supply and Sanitation Performance Blue Book: The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Databook. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.
6. EBC(2009). International Benchmark 2008-Project overview. http://www.waterbenchmark.org/content/pdf/IntBM08_EBC_Project_Overview_v1.0.pdf,
7. Enrique Cabrera Jr., Peter Dane, Scott Haskins, Heimo Theuretzbacher-Fritz (2011). Benchmarking Water Services Guiding water utilities to excellence, IWA Publishing, London, UK.
8. International Water Association(2012), <http://www.iwahq.org/1nb/home.html>
9. Japan Water Research Center (2009), Analysis of Performance Indicators(PI) in Guidelines for the Management and Assessment of Drinking Water Services in F.Y.2009. <http://www.jwrc-net.or.jp/english/pi-FY2009/pi-e09.pdf>
10. John Anderson(2007). Benchmarking Performance Indicators for Water and Wastewater Utilities: 2007 Annual Survey Data and Analysis Report. AWWA
11. Ofwat (2012). <http://www.ofwat.gov.uk>
12. Ofwat (2011). Service and delivery – performance of the water companies in England and Wales 2009-10. http://www.ofwat.gov.uk/regulating/reporting/rpt_1os_2009-10.pdf
13. Ofwat (2011). Financial performance and expenditure of the water companies in England and Wales 2009-10. http://www.ofwat.gov.uk/regulating/reporting/rpt_fpe_2009-10.pdf
14. TaKaDu(2011), The Connection between Water Prices and Water Network Efficiency, http://www.takadu.com/files/The_Connection_between_Water_Prices_and_Water_Network_Efficiency_2011.pdf
15. The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (2012), <http://www.ib-net.org/>
16. 中國水網(2012), 中國供水服務評級指標體系(1.0)。
17. http://news.h2o-china.com/html/2012/03/1011332568673_1.shtml,
18. 中國城鎮供水排水協會(2009), 中國城鎮供水

排水協會《城市供水統計年鑒》指標解釋,
<http://www.cuwa.org.cn>

- 19.台灣自來水公司(2010),台灣自來水事業統計年報.
- 20.行政院研考會(2012),國營事業工作考成.
<http://www.rdec.gov.tw/lp.asp?ctNode=12252&CtUnit=1683&BaseDSD=7&mp=100>
- 21.行政院研考會(2010),經濟部所屬事業99年度工作考成實施要點.
<http://www.rdec.gov.tw/DO/DownloadControllerNDO.asp?fileType>
- 22.臺北自來水事業處(2010),臺北自來水事業處統計年報. <http://www.twd.gov.tw>
- 23.臺北市政府(1997),臺北市政府所屬市營事業機構年度經營績效考核要點.
<http://www.rdec.taipei.gov.tw/ct.asp?xItem=1206756&ctNode=6214&mp=120011>
- 24.李丁來,陳光辰(2012),自來水事業國際績效指標之探討,自來水會刊第31卷第4期
<http://www.ctwwa.org.tw/download.aspx?AttachmentFile=SysUpDoc/message/magazine/16C4796ECD8C405.pdf>
- 25.周珊珊,李丁來(2010),國際永續水資源利用與管理現況-新加坡、以色列與澳洲經驗之介紹,永續產業發展雙月刊, No.50,p11-20.
<http://www.ema.org.tw/monthlymgz/pdf/50/p11-p20.pdf>
- 26.莊順興,謝明昌(2010),台灣產業之永續水資源—新興水源之利用與推動,永續產業發展雙月刊, No.50,p61-68. <http://www.ema.org.tw/monthlymgz/pdf/50/p61-p68.pdf>

作者簡介

李丁來先生

現職：台灣自來水公司供水處處長

專長：自來水工程規劃、設計、營運管理及研究

陳光辰先生

現職：清華大學工業工程與管理學系教授

專長：工程經濟、工廠改善、JIT 生產方式

矩形水池結構設計之研討

文/曾浩雄

一、背景說明

水池之設計一般均以美國波特蘭水泥協會 (Portland Cement Association, 簡稱 P.C.A.) 編著之「Rectangular Concrete Tanks (鋼筋混凝土圓形水池)」^[1] 為藍本。該書完全符合美國鋼筋混凝土協會所制訂之衛生工程構造物規範 (ACI 350 R77)。而台灣自來水公司前總經理陳榮藏先生根據本書所編著之「水池設計(一)---矩形鋼筋混凝土水池」^[2] (以下簡稱書 2)，成為當時該公司所有土木工程人員設計矩形水池時之範本。

惟近年來水池設計之觀念已有若干改進，例如原先認為池牆之基礎宜採用牆基式設計，但經歷數年所得之經驗，這樣的設計常因溫度變化及地震力等因素，破壞牆基與池底底版交接處之止漏設施，造成漏水現象。故近年來已改採用筏式池底(池底完全無接縫)，且其厚度必須大於 40cm。另外所有水工構造物所使用之混凝土，其強度 f_c' 至少須達 245 kgf/cm^2 。加上該書印成後迄今已過了 20 多年，早已絕版(鉛字排版印刷)；而新進人員又苦於市面上很難找到相關之書籍可資參考。為此筆者乃依據新規定事項並參酌網路上之設計案例，整理成本文供新進人員參考。

二、鋼筋混凝土之規範

(一)材料強度

混凝土與鋼筋之強度，以及鋼筋混凝土應力係數均比照前期(第 33 卷 3 期)「高架水

塔結構設計之研討」所述，不再贅述。

(二)鋼筋之選擇與其下限

主鋼筋之選擇以採用同面積，而根數較多；直徑較小之鋼筋，可獲得較大之鋼筋混凝土握裹力。合宜之鋼筋直徑應不大於構材厚度之 6%。鋼筋排紮最大間距不得大於 30 cm，抗乾縮及溫度變化之鋼筋，其構材之厚度不應大於 30 cm，鋼筋之斷面積不得小於混凝土斷面積之 0.3%。厚度 30 cm 以上之構材，其溫度鋼筋則依美國鋼筋混凝土協會規範之規定：竹節鋼筋之面積不得小於 0.25%。曝露於空氣中之混凝土之表面，不論其厚度多寡，最少每 30cm 應有 1 根 #5 鋼筋，以抵抗較大之溫度變化。

(三)鋼筋之保護層厚度

依照美國鋼筋混凝土協會規範之規定，建議構造物各部分之保護層如下表 1。

表 1 構造物各部分之保護層一覽表

構造物部位	狀況	保護層(cm)
頂版	表面粉刷	2
	表面不粉刷	4
池牆、梁及柱	表面不粉刷	6.5
基礎及底版	上層鋼筋	6.5
	下層鋼筋	5(有 PC 墊)
	下層鋼筋	7.5(無 PC 墊)

(四)構造接縫

1. 施工縫：垂直間距在 3~4.5m 之間；水平間距在 6~9m 之間。所有鋼筋均應連續穿過施工縫(結構上視為一體)，施工縫應有抗

剪楔(深度至少 3.8cm)，水密性構造物則須加止水片/帶。

- 2.伸縮工縫：直接曝露於大氣者在 15~18m 之間；完全埋於地下者在 24~30m 之間。
- 3.伸縮縫之寬度詳如表 2。

表 2 構造物各部分之保護層厚度表

溫度變化範圍	伸縮縫間距(m)			
	12	18	24	30
埋設地下或溫度變化 22°C	13	19	22	25
半露天或溫度變化 45°C	19	22	25	*
全露天或溫度變化 67°C	22	25	*	*

三、矩形水池相關之事項

(一)佔地面積及其經濟性

小型圓形水池之模板其所需之成本較高，因此採用矩形水池較為經濟，但在同一體積下，前者之周邊長度較短，故容量較大之水池以採用圓形水池較為經濟，但佔地面積較大。

(二)箱形與大型水池之區分

由以上之分析，一般池牆之高度與其長度都適中者，歸類為箱形水池，例如：廢水池，其池牆採用雙向版設計；反之，池牆之長度大於其高度之三倍者，歸類為大型水池，例如：沉砂池、游泳池，其池牆應採用單向版原理設計。

(三)池牆設計之方式

- 1.一般而言，水池四周池牆之垂直方向或水平方向，均會承受相當程度之力矩，至於其大小則依其高、寬及長度等因素及其上下支撐之狀態而異。但它係因三角荷重所

引起，故其大小很難精確求得。

- 2.池牆之長度若大於其高度之三倍者(大型水池)，其水平因素對承受水壓之幫助甚微，宜假設外力全部由池牆垂直向元素承受，即池牆以承受垂直力矩為主，因此該類之池牆應視為懸臂構件，並採用單(豎)向版設計。此類水池因互相直交之鄰牆具有抗剪牆之作用，地震力對池牆之應力影響不大，故結構分析時可予省略。然而池牆長度較大者，因鄰牆之抗剪功用僅有助於本牆兩端接近交角部分，大部分池牆，尤其是靠近池牆中心部分均應由本身承受地震側力。因此，以豎向版設計之大型水池其池牆受地震力之影響較大，故設計時應考慮地震力之影響，以策安全。

- 3.若池牆之長度相對小於其高度之三倍者(箱型水池)，則該池牆會同時承受垂直與水平力矩，故以採用雙向版設計為宜。

(四)水池之形式

水池分為開頂式(無蓋版)水池，例如：小型雨水集水池(如圖 1 所示)與閉頂式(有蓋版)水池，例如：小型蓄水池。另因池數之多寡分為獨立式(單一)水池與組合式水池(以共同牆組合成數池)，例如：淨水場內之沉砂池、混/膠凝池、沉澱池及快濾池等。

(五)採用設計之工法

池牆除了力矩以外，還承受由側牆所引起之拉力。池牆之設計須保證結構物不致於發生龜裂，以防止滲漏。美國混凝土協會 350 委員會建議：縱使將來技術的發展或可適用以極限強度法(Ultimate Strength Method)來設計衛生工程構造物，但目前仍以採用工作應力法(Working Strength Method)設計為宜。因為該法係遵守虎克定律(Hook's

Law)，較極限強度法更能求得較明確的應力分佈情況，進而了解構造物之應變情形，也因此構造物之設計才能確實控制其最大應力處之龜裂於極小。

(六)池牆之厚度

矩形水池之設計程序甚為繁雜，除須同時考慮池內之水壓力及池外之土壓力外，尚需考慮發生地震時對慣性力、動態水壓及晃動壓力等反復載重所造成之張應力。尤其是地下式矩形水池，若池外之土壤含有地下水，則其池底尚須考慮地下水位所造成之向上浮力，此時之池牆厚度至少須 30cm 以上；另需考慮土壤承载力，確定其埋入土中所需之深度，以確保水池不致於往下沉。

(七)池牆與頂底兩端接頭之條件

1. 筏式池底之水池其池牆之底端若為固定，則底版之設計應考慮池牆底端傳來之版邊力矩，並依兩者之剛度加以重新分配。
2. 無版蓋之牆頂必然為自由端；有蓋版者則常假設為鉸接或自由端，若其頂版之鋼筋足以承受牆頂因水壓產生剪應力所傳導而來之張力時，牆頂端得以鉸接方式設計之；否則應設計為自由端。
3. 四邊長度均相等之正方形水池，由於構造上之對稱性(任何對角線均對稱)，而各池牆所受之外力亦均相同時，則牆之垂直邊不會產生角度之轉動，此時牆頂應為自由端；牆底應為固定端。

(八)水壓與土壓

1. 矩形水池建於地下時，池牆之設計須同時考慮水池內之水壓力及水池外之土壓力。一般均分為兩種情況進行結構應力分析：
(1) 假設池外無填土；而池內為滿水之情況；
(2) 假設空池受外壓(由土壓力或地下水

壓力及土壓力合成之壓力)之情況。然後採用兩者應力較大者作為設計池牆所需之鋼筋及其厚度之依據。

2. 水在水池中之密度 ω ，無論溫度高低，一般都以 1T/m^3 (或 1kg/cm^3)計。
3. 至於水池所承受之土壓，與工址之土質有關，如土質之密度 γ 、C 值，摩差角 ϕ 等，而這些重要資料之決定均須以現場土壤試驗結果為準。
4. 水池外側所承受土壓力分為兩大類。當水池滿水時，池內之水壓會將池牆往外推，此時池牆外側就會承受側向被動土壓力；相反，若水池是空池時，池牆外側就會承受側向主動土壓力。依「基礎工程題解」^[3]所述之 Rankine 側向土壓力理論：地下物承受被動土壓力係數 $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$ ；主動土壓力係數 $K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$ ----- (1)
5. 設池牆底端(與底版接觸處)距地面之深度為 H，則其外側每公尺寬所承受之被動土壓力 $P = \gamma * K_p * H^2 / 2$ ----- (2)
主動土壓力 $P = \gamma * K_a * H^2 / 2$ ----- (3)

(九)池牆承受之力矩

池牆承受水壓係屬三角形荷重，池內任何一點 h 之水壓大小與其水深成正比，即 $P = \gamma * h$ ；其所承受之力矩亦與其水深之立方成正比，即 $M = \omega * h^3 / 6$ 。牆底與水面之距離為最大，故牆底所受之水壓及力矩也最大。

(十)力矩係數

1. 依以上所述，池牆之長度若大於其高度之三倍者，該池牆將以承受垂直力矩為主，其水平因素對承受水壓之幫助甚微，因此該池牆應視為懸臂構件，此時池牆須完全依其力矩之大小 $M = \omega * H^3 / 6$ 設計之。但當池牆之高度與其長度都適中(池牆之長度

小於其高度之三倍者)，則該池牆不僅承受垂直力矩，還承受水平力矩，此時池牆垂直或水平方向之力矩須加以修正，設其修正係數為 C ，則其承受之力矩 $M=C*\omega*H^3$ 。

(十一)力矩係數之規定

1.既然水池之力矩因池牆之長度及高度之比值而異，故其係數也必然與長度及高度之比值有關。設池牆之高度為 a (一般此類之牆高均視為池深)； b 為長邊池寬； c 為短邊池寬。池寬與池深之比值(b/a)自 0.5 至 3.0。設 Y 軸為水平軸； X 軸為垂直軸，向下為正(均與一般之假設相反，詳如圖 1 所示)，座標系統之原點在頂端中點。 M_y 為水平方向之力矩係數； M_x 為垂直方向之力矩係數。

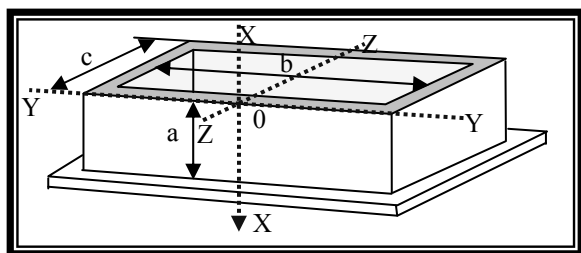


圖 1 開頂獨立水池示意圖

- 2.由雷諾手冊(Reynold' Hand Book)可查得以雷生法計算出之力矩及剪力係數(Carpenters Coefficient)，請參閱文末之附註。
- 3.外壓之荷重未必是三角形荷重，例如：地下水池之頂版有覆土時，池牆所承受之土壓成為一梯形分佈荷重。在此情形下，為能應用既有的係數表，可採用同等面積之三角形荷重替代梯形荷重，其計算結果與實際情形極為相近，且在安全範圍內。
- 4.計算池牆之垂直力矩時，其 $M=C*\omega*a^3$ ；水池頂版之水平力矩時，其 $M=C*\omega*a^2$ ， ω 為水之單位體積重量； ω 為版之單位面積

荷重。

(十二)剪力係數

- 1.池牆水平鋼筋之設計，除考慮水平方向之力矩外，應同時考慮水平方向承受拉力之影響。而池牆垂直邊緣之剪力即為其臨接池牆傳導而來之水平拉力。另在演算斜向拉力(Diagonal Tension)及附著應力(Bond Stress)時，也須先求得池牆邊緣之剪力。
- 2.頂邊鉸接；底邊鉸接及頂邊自由；底邊鉸接之池牆，其邊緣之剪力可分別由圖 2 及圖 3 查得。

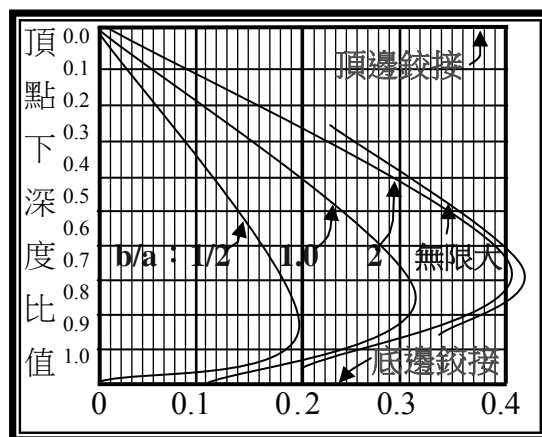


圖 2 池牆單位長度之剪力圖

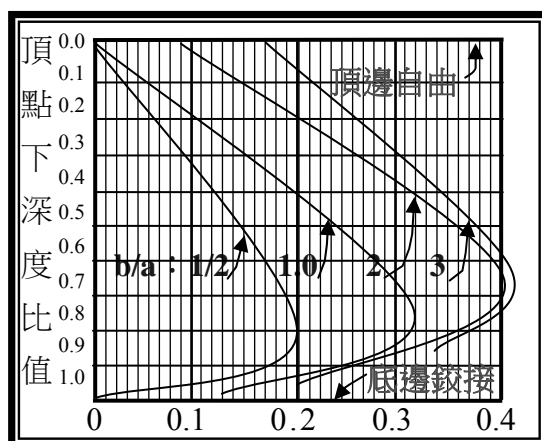


圖 3 池牆單位長度之剪力圖

三、開頂獨立水池之設計範例

茲舉例依次說明設計步驟如下：如圖 1

所示之獨立水池，無頂(無蓋版)，水池之頂邊為自由；底邊為鉸接。池深 $a=4.8\text{m}$ ，池牆長度 12.0m ，池寬 $c=60\text{m}$ 。應力之計算基數與單位為：(1)力矩由力矩係數乘以 ωa^3 求得，其單位以 T-m 計。 $\omega a^3=1*4.8^3=110.59\text{T-m}$ ；(2)由剪力由其係數乘以 ωa^2 求得，其單位以 T/m 計， $\omega a^2=1*4.8^2=23.04\text{T/m}$ 。

(一)池牆厚度

1.先求邊長與池深之比值： $b/a=12/4.8=2.5$ ；
 $c/a=6/4.8=1.25$ 。由書 2 表 V(本文之羅馬字係數表均查自該書)查得其力矩係數如表 3 其中底邊($X=a$)之係數=0，故予省略。

表 3 開頂獨立水池池牆之力矩係數表

X	Y=0		Y=b/4		Y=b/2	
	Mx	My	Mx	My	Mx	My
0	0	0.069	0	0.35	0	-0.092
1/4	0.026	0.059	0.015	0.034	-0.018	-0.89
1/2	0.045	0.048	0.031	0.031	-0.016	-0.082
3/4	0.044	0.029	0.034	0.020	-0.012	-0.059

X	Z=c/4		Z=0	
	Mx	My	Mx	My
0	0	-0.300	0	-0.10
1/4	-0.006	-0.024	-0.002	-0.003
1/2	0.003	-0.012	0.008	0.007
3/4	0.011	-0.002	0.018	0.006

2.由上表可知：在 $X=0$ (水池頂端)； $Y=b/2$ (水池長邊之牆角)之 My (水平方向)之力矩係數=-0.092 為最大。因它位於長邊之牆角故

短邊與之相鄰之牆角，其力矩也應相等。
 3.該處之力矩 $M=-0.092*\omega a^3=-0.092*110.59=-10.17\text{T-m}$ 。

4.抗彎力矩之混凝土最小有效厚度 $d_{\min}=\sqrt{M/K}=\sqrt{10.17*1000/19.58}=22.79\text{cm}$ 。

5.另由圖 3 查得 $b/a=2.5$ 時，垂直方向 0.6a 處之剪力係數=0.41 為最大。由此算出最大之剪力 $V=0.41*\omega a^2=0.41*23.04=9.45\text{T/m}$ 。再由表 VIII 查得 $b/a=2.5$ 時，底邊中點之最大剪力係數為 0.42，則剪力 $V=0.42*23.04=9.68\text{T/m}$ 。核算混凝土抗剪最小有效厚度 $d_{\min}=V/bjd=9.68*1000/(0.862*4.2*100)=26.74\text{cm}$ 。由以上之計算可知池牆厚度之設計係受剪力控制。選定池牆厚度=35cm，扣除 6.5cm 之保護層並估計鋼筋之半徑=1.0cm，得池牆之有效厚度 $d=35-6.5-1=27.5\text{cm}>26.74\text{cm}$ ，OK。

(二)池牆水平負力矩鋼筋

1.池牆頂端($X=0$)：(1)若不計池牆水平方向之拉力，池牆轉角處之最大橫向鋼筋面積 $A_s=M/ad=10.17/(0.01207*27.5)=30.64\text{cm}^2$ 。
 (2)池牆因受與其直交池牆之剪力傳來產生之水平方向拉力(如圖 4 所示)之影響，水平鋼筋面積量須增加。

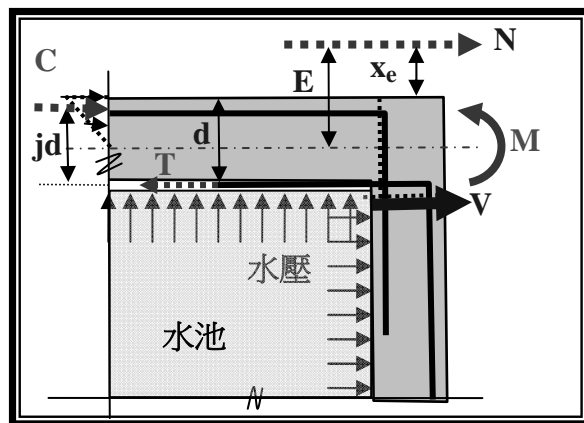


圖 4 池牆承受剪力形成偏心力矩示意圖

2.力矩有正負號之分(負數表示池牆內面受拉力)；剪力也有正負號之分(負數表示壓力)。由圖 3 查得頂端(X=0)之剪力係數為 0.13，則池牆垂直邊緣頂端所受之剪力為 $V = 0.13 * 1 * 4.8^2 \div 3.0 = 3.0 \text{ T/m}$ 。亦即軸向拉力 $N = V = 3.0 \text{ T/m}$ 。池牆水平方向受拉力之偏心距 $E = M/N + d'' = 10.17 / -3.0 - 1/2 * (27.5 - 7.5) / 100 = -3.39 + 0.1 = -3.29 \text{ m}$ 。偏心力矩 $M_e = NE = -3.0 * -3.29 = 9.87 \text{ T-m}$ 。而 $F = bd^2 / 10^5 = 100 * 27.5^2 / 10^5 = 0.76$ 。 $KF = 19.58 * 0.76 = 14.88 \text{ T-m} > NE = 9.87 \text{ T-m}$ 。這表示混凝土所承受之壓應力未超過其容許壓應力，故不需使用壓力鋼筋。由 $i = E / (E - jd)$ ，得 $i = -3.29 / (-3.29 - 0.862 * 0.275) = 0.93$ 。鋼筋面積需要量 $A_s = NE / adi = 9.87 / (0.01207 * 27.5 * 0.93) = 31.97 \text{ cm}^2 / \text{m}$ 。鋼筋握裹周長 $\Sigma O = N / jud = 9.87 * 1000 / (0.862 * 12.36 * 27.5) \div 34 \text{ cm}$ 。

2.池深中點(X=a/2)：此處之 $M = 0.082 * \omega a^3 = 0.08 * 110.59 = 9.07 \text{ T-m}$ 。 $N = -0.40 * 23.04 = -9.22 \text{ T/m}$ 。 $E = 9.07 / -9.22 + 1/2 * (27.5 - 7.5) / 100 = -0.88 \text{ m}$ 。 $NE = -9.22 * -0.88 = 8.14 \text{ T-m} < KF$ ，OK。 $i = -0.88 / (-0.88 - 0.862 * 0.275) = 0.79$ 。鋼筋面積需要量 $A_s = NE / adi = 8.14 / (0.79 * 0.01207 * 27.5) = 31.19 \text{ cm}^2 / \text{m}$ 。鋼筋握裹周長 $\Sigma O = N / jud = 9.22 * 1000 / (0.862 * 27.5 * 12.36) \div 32 \text{ cm}$ 。

3.池深 3/4 處(X=3/4*a)：(1) $M = 0.059 * \omega a^3 = 0.059 * 110.59 = 6.52 \text{ T-m/m}$ 。 $N = -0.38 * 23.04 = -8.76 \text{ T/m}$ 。 $E = 6.52 / -8.76 + 1/2 * (27.5 - 7.5) / 100 = -0.64 \text{ m}$ 。 $NE = -8.76 * -0.64 = 5.61 \text{ T-m} < KF$ ，OK。(2) $i = -0.64 / (-0.64 - 0.862 * 0.275) = 0.73$ 。(3)鋼筋面積需要量 $A_s = NE / adi = 5.61 / (27.5 * 0.73 * 0.01207) = 23.15 \text{ cm}^2 / \text{m}$ 。(4)鋼筋握裹周長 $\Sigma O = N / jud = 8.76 * 1000 / (0.862 * 12.36 * 27.5) = 29.62 \text{ cm}$ 。

$12.36 * 27.5) = 29.62 \text{ cm}$ 。

(三)長池牆水平正力矩鋼筋

1.池牆頂端(X=0)：(1)由表 3 可知長池牆水平正力矩發生在牆頂 X=0 處，其力矩係數為 0.069，正值表示池牆外面承受拉力，故其水平力矩 $= 0.069 * 110.59 = 7.63 \text{ T-m/m}$ 。(2)水平拉力來自短牆頂端之剪力。由圖 3 查得 $b/a = 1.25$ 時之剪力 $V = 0.03 * \omega a^2 = 0.03 * 23.04 = 0.69 \text{ T-m}$ 。此值甚小，對長池牆水平應力影響極微，故可省略不計。其所需之鋼筋量 $A_s = 7.63 / 0.01207 / 27.5 = 22.99 \text{ cm}^2$ 。

2.池牆中點(X=a/2)：(1) $M = 0.048 * \omega a^3 = 0.048 * 110.59 = 5.31 \text{ T-m/m}$ 。 $N = -0.30 * \omega a^2 = -0.30 * 23.04 = -6.91 \text{ T/m}$ 。 $E = 5.31 / -6.91 + 1/2 * (27.5 - 7.5) / 100 = -0.67$ 。 $NE = -6.91 * -0.88 = 6.81 \text{ T-m} < KF$ ，OK。(2) $i = -0.67 / (-0.67 - 0.862 * 0.275) = 0.74$ 。(3)鋼筋面積需要量 $A_s = NE / adi = 6.81 / (0.01207 * 27.5 * 0.74) = 27.72 \text{ cm}^2 / \text{m}$ 。(4)鋼筋握裹周長 $\Sigma O = N / jud = 6.91 * 1000 / (0.862 * 12.36 * 27.5) \div 24 \text{ cm}$ 。

3.池牆 3/4 處(X= 3/4*a)：(1) $M = 0.029 * \omega a^3 = 0.029 * 110.59 = 3.20 \text{ T-m/m}$ 。 $N = -0.33 * 23.04 = -7.60 \text{ T/m}$ 。 $E = 3.20 / -7.60 + 1/2 * (27.5 - 7.5) / 100 = -0.32 \text{ m}$ 。 $NE = -7.60 * -0.32 = 2.34 \text{ T-m} < KF$ ，OK。(2) $i = -0.32 / (-0.32 - 0.862 * 0.275) = 0.57$ 。(3)鋼筋面積需要量 $A_s = NE / adi = 2.34 / (0.01207 * 27.5 * 0.57) = 12.37 \text{ cm}^2 / \text{m}$ 。(4)鋼筋握裹周長 $\Sigma O = N / jud = 7.60 * 1000 / (27.5 * 0.862 * 12.36) \div 26 \text{ cm}$ 。

(四)短牆中點水平正力矩鋼筋

由表 3 可知短池牆水平力矩，除牆角 ($z=c/2$) 處與長池牆水平力相同外，由於本例之長牆與短牆長度之比值只有 2(12m/6m)，故短池牆水平會受長池牆分配而來力矩之

影響，其餘各處之力矩均甚小。而此處($y=0$)之最大負力矩只有 -0.003 ，約為另一牆角($y=0, b/2$)處之 $1/3(-0.0089/-0.003)$ ，牆角($z=c/2$)；正力矩也只有 0.007 ，在理論上其所需之鋼筋量很小，依規定只需鋼筋混凝土所需之最小鋼筋量 $A_s=0.0025b*t=0.0025*100*35=8.75\text{cm}^2$ 。

(五)長牆垂直鋼筋

- 1.長牆垂直力矩發生在牆中點($y=0, x=a/2$)處，由表 3 查得其力矩係數 $=0.045$ ，故其垂直力矩 $=0.045*110.59=4.98\text{T-m/m}$ 。在無頂版之水池，其池牆垂直方向之軸向力僅得自池牆自重。在 $x=a/2$ 處之軸向壓力 $N=2.4 * 4.8/2*0.35=2.016\text{T/m}$ 。此荷重之效應與力矩相比，其影響可謂微乎其微，故可予省略。而且省略軸向壓力後計算所得之鋼筋量仍在安全範圍內；但對於有蓋版之水池，池牆之設計則不可因謀求節省鋼筋而省略軸向垂直壓力之影響。池牆省略軸向壓力後所需之鋼筋量 $A_s=M/ad=4.98/[0.01207 *(35-6.5-3)]=16.18\text{cm}^2$ 。
- 2.由表VIII查得 $b/a=2.5$ 時，底邊中點之剪力係數 $=0.42$ ，故其剪力 $=0.42*23.04=9.68\text{T/m}$ 。
- 3.鋼筋周長 $\Sigma O=V/jud=9.86*1000/0.862/25.5$
 $12.36\div 37\text{cm}$ 。採用 $19\text{mm} \text{ \textcircled{R}} @15\text{cm}$ ，實際 $A_s=19.0 \text{ cm}^2$ ， $\Sigma O=40\text{cm}$ ，OK。

(六)短牆垂直鋼筋

- 1.短牆垂直最大力矩在牆角 $3/4$ 池深($z=0, x=3/4 a$)之處，由表 3 查得其力矩係數 $=0.018$ ，則其垂直力矩 $=0.018*110.59=1.99 \text{ T-m/m}$ 。池牆省略軸向壓力後所需之鋼筋量 $A_s=M/ad=1.99/0.01207/25.5=6.47\text{cm}^2$ 。
- 2.由表VIII查得 $b/a=1.25$ 時，底邊中點之剪力係數 $=0.28$ ，故剪力 $=0.28*23.04=6.45\text{T/m}$ 。

- 3.鋼筋周長 $\Sigma O=V/jud=6.45*1000/0.862/25.5$
 $12.36\div 23.74\text{cm}$ 。採用 $16\text{mm} \text{ \textcircled{R}} @18 \text{ cm}$ ，實際 $A_s=11.0 \text{ cm}^2$ ， $\Sigma O=28\text{cm}$ ，OK。

(七)水平鋼筋之綁紮

- 1.池牆水平鋼筋之綁紮及彎曲情形，詳如圖 5 所示。短牆之外側水平鋼筋經 90° 彎折後延伸進入池牆內側以幫助承受負力矩。
- 2.長池牆水平鋼筋，理論上須延伸至超過反曲點後，加上直徑 12 倍之長度處即可截斷。其反曲點約距離牆角 0.15 倍之池牆長度(依力矩圖)。故理論上斷點在距離牆角 $0.15*12-12*0.022.5=1.50\text{m}$ 處。但依鋼筋混凝土平版施工之規定，須延伸半數之正鋼筋至版支撐點，而且必須有一部分鋼筋延伸至轉角，供紮束垂直鋼筋之用。故可在距轉角 150 cm 處將水平鋼筋每隔一根截斷，將留下之半數延伸至轉角並彎折 90° 後，進入短池牆之內側以幫助承受負力矩。
- 3.長池牆轉角之內側，其上部 $3/4$ 深度(3.6m)以上，須要水平負力矩截面積為 31cm^2 ，鋼筋，周長為 36cm ，選用 $22\text{mm} \text{ \textcircled{R}}$ 圓筋，每 12cm 一根，則其 $A_s=32.3\text{cm}^2$ ， $\Sigma O=58\text{cm}$ 。長池牆轉角處每 48cm 中有一根鋼筋係由短牆之外側正力矩鋼筋彎折延伸而來，因此每 48cm 間距內再加 3 根 L 形鋼筋即可，合計每 12cm 有一根鋼筋，並以等間距平均綁紮。而池牆下部 $3/4$ 深度部分，需要水平負力矩之鋼筋量為 $A_s=23.1 \text{ cm}^2$ ，周長 $\Sigma O=43\text{cm}$ ，除一根由短牆外側彎伸進入者外，另加 2 根 L 形鋼筋，合計每 48cm 有三根鋼筋平均 $@16\text{cm}$ 。
- 4.長池牆中央外側之上部所需要之水平正鋼筋為 22.6cm^2 ，選用每 18cm 一根 $22 \text{ mm} \text{ \textcircled{R}}$ 圓筋，則其 $A_s=21.6 \text{ cm}^2$ ， $\Sigma O=38\text{cm}$ ，其

中每 36cm 將一根在轉角前 150cm 處截斷；另一根延伸至轉角並彎折進入短牆內側，以幫助承受負力矩。下部 1/2 深度部分需要鋼筋面積 18.6 cm^2 ，周長 28cm，其配筋與上半部相同。

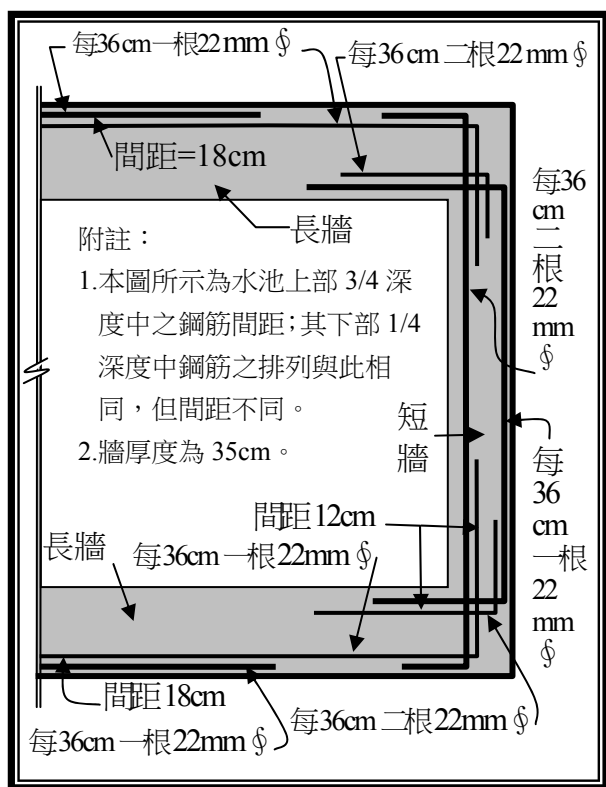


圖 5 池牆鋼筋排紮平面示意圖

5.短池牆轉角之內側，需要水平負力矩鋼筋面積與長池牆相同，上部 3/4 深度部分仍選用 22mm ϕ 圓筋，每 12cm 一根。除每 36cm 一根由長池牆外側正力矩鋼筋延伸彎入者外，另加二根 U 形鋼筋，合計每 12cm 有一根均勻排紮。每根鋼筋平均排列間距為 16cm；下部 1/4 深度部分除每 36cm 一根由長池牆外側正力矩鋼筋延伸彎入者外，另加一根 U 形鋼筋，合計每 18cm 有一根均勻排紮 ($A_s=21.56 \text{ cm}^2$ ，比所需之量 23.1 cm^2 略少，但屬安全)。該等 U 形鋼筋自應貫穿短牆內側之全長，並錨定於兩端

池牆外側，以承受 1/4 點及中點之水平負力矩。

6.短池牆外側其水平正力矩鋼筋需要量甚少，故採用最小鋼筋量 $1/2 * A_{s_{min}}=4.4 \text{ cm}^2$ 即可，茲選用每 48cm 一根 22 mm ϕ U 形鋼筋圓筋 ($A_s=8.1 \text{ cm}^2$)，貫穿短牆外側全長並彎折進入長牆內側，以幫助承受負力矩。

(八)垂直鋼筋之綁紮

因本例之水池荷重大部分由水平方向承受；垂直方向只承受極小部分之荷重，且以水平鋼筋為主，故水平鋼筋應排紮在池牆兩側之外層，而將垂直鋼筋綁紮在內層，以便水平鋼筋獲得較大之有效深度，並發揮其最大之效應。

四、閉頂獨立水池之設計範例

(一)池牆厚度

- 1.閉/無頂(無蓋版)，假設頂邊與底邊均為鉸接。水池之尺寸與前例相同(池深 $a=4.8 \text{ m}$ ，池牆長度 12.0 m ，池寬 $c=6.0 \text{ m}$)。
- 2.此類水池之頂版與池牆之間以接縫鋼筋 (Dowels) 相連接。
- 3.先求邊長與池深之比值： $b/a=12/4.8=2.5$ ； $c/a=6/4.8=1.25$ 。其力矩係數由表 VI 查得其力矩係數如下表 4。其中頂邊 ($X=0$) 與底邊 ($X=a$) 之係數(水平與垂直兩向)均等於 0，故予省略。
- 4.由前例可知：頂端自由時之最大力矩：垂直向 $M_x=0.045\omega a^3$ ，水平向 $M_y=-0.092\omega a^3$ ，與頂邊為鉸接之池牆其最大力矩：垂直向 $M_x=0.052\omega a^3$ ，水平向 $M_y=-0.053\omega a^3$ 。由此可知：頂邊鉸接之池牆，其所受之水壓荷重，由垂直向承受之比例較高。亦即承受垂直向之力較多；承受水平向之力較

少。頂邊鉸接之池牆其垂直力矩較頂端自由之池牆高 16%。又頂邊鉸接之水平力矩最大值 $Y=0$ 處 $M_y=0.018\omega a^3$ ，而頂端自由者之 $M_y=0.069\omega a^3$ ，故若增加頂部之支撐可使水平力矩減少甚多。

表 4 閉頂獨立水池池牆之力矩係數表

X	Y=0		Y=b/4		Y=b/2	
	Mx	My	Mx	My	Mx	My
1/4	0.032	0.011	0.022	0.010	-0.006	-0.032
1/2	0.052	0.018	0.038	0.017	-0.011	-0.053
3/4	0.048	0.015	0.037	0.014	-0.010	-0.048

X	Z=c/4		Z=0	
	Mx	My	Mx	My
1/4	0.003	0.004	0.007	0.012
1/2	0.008	0.007	0.018	0.019
3/4	0.014	0.008	0.022	0.016

5.由上表 4 可知：最大力矩係水平方向，它位於 $Y=b/2$ ； $X=a/2$ ，其值為 $M_y=-0.053\omega a^3=-0.053*110.59=5.86T\text{-m/m}$ 。

6.抗彎力矩之混凝土最小有效厚度 $d_{\min}=\sqrt{M/K}=\sqrt{5.86*1000/19.58}=17.34\text{cm}$ 。

7.另由圖 2 查得 $b/a=2.5$ 時，垂直方向 0.6a 處之剪力係數=0.41 為最大。求得其最大剪力 $V=0.41*\omega a^2=0.41*23.04=9.45T\text{/m}$ 。核算混凝土抗剪最小有效厚度 $d_{\min}=V/bjd=9.45*1000/(0.862*4.2*100)=26.10\text{cm}$ 。由以上之計算可知池牆厚度之設計係受剪力控制。若選定池牆厚度=35cm，若估計鋼筋之半徑=1.0 cm，經扣除 6.5 cm 保護層之厚度，得池牆之有效厚度 $d=35-6.5-1=27.5\text{cm}>26.10\text{cm}$ ，OK。

(二)水池牆角水平負力矩鋼筋

1. $X=a/2$ 深度處：(1)如上所述：水池牆角之最大力矩發生於 $(X=a/2)$ 深度處，其值為 $-5.86T\text{-m}$ ，而軸向拉力由圖 2， $b/a=2.50$ 時之剪力係數得 $N=-0.37\omega a^2=-0.37*23.04=-8.52T$ (負數表示拉力)。(2)水平受拉鋼筋之偏心距 $E=M/N+d"=-5.86/8.52+1/2*(27.5-7.5)/100=-0.59\text{ m}$ 。 $NE=-8.52*-0.59=5.03\text{ T-m}$ 。 $F=bd^2/10^5=100*27.5^2/10^5=0.76$ 。 $KF=19.58*0.76=14.88\text{ T-m}>NE=-8.52T\text{-m}$ 。這表示混凝土所受壓應力未超過其容許壓應力，故不需使用壓力鋼筋。(3)由 $i=E/(E-jd)$ ，得 $i=-0.59/(-0.59-0.862*0.275)=0.71$ 。鋼筋面積需要量 $A_s=NE/adi=5.03/(0.01207*27.5*0.71)=21.34\text{cm}^2\text{/m}$ 。鋼筋握裹周長 $\Sigma O=N/jud=8.52*1000/(27.5*0.862*12.36)\approx 29.1\text{cm}$ 。採用 19mm ϕ 圓筋@12cm，實際 $A_s=23.7\text{ cm}^2$ ， $\Sigma O=50\text{cm}$ ，OK。

2.池深中點 $(X=a/4)$ ：(1)此處之 $M=0.032*\omega a^3=0.032*110.59=3.54\text{ T-m}$ 。 $N=-0.21*23.04=-4.84T\text{/m}$ 。 $E=3.54/-4.84+1/2*(27.5-7.5)/100=-0.63\text{m}$ 。 $NE=-9.22*-0.88=8.14T\text{-m}<KF$ ，OK。 $i=-0.63/(-0.63-0.862*0.275)=0.73$ 。(2)鋼筋需要量 $A_s=NE/adi=3.54/(0.73*0.01207*27.5)=14.61\text{cm}^2\text{/m}$ 。(3)鋼筋握裹周長 $\Sigma O=N/jud=9.22*1,000/(0.862*12.36*27.5)\approx 32\text{cm}$ 。採用 19mm ϕ 圓筋@18cm，實際 $A_s=15.8\text{cm}^2$ ， $\Sigma O=33.3\text{cm}$ ，OK。

(三)長池牆水平正力矩鋼筋

1.池牆頂端 $X=a/2$ 深處： $M=0.018*110.59=1.99T\text{-m/m}$ 。池牆所受之水平拉力來自短牆頂端之剪力。由圖 2 查得 $b/a=1.25$ 時，在深度 $a/2$ 處之剪力係數=0.29，故拉力 $N=V=0.29*\omega a^2=0.29*23.04=6.68T\text{-m}$ 。偏心距 $E=0.99/-6.68+1/2*(27.5-7.5)/100=-0.20\text{m}$ 。

$NE = -6.68 \times -0.2 = 1.34 \text{ T-m}$, $i = -0.2 / (-0.2 \times 0.862 \times 0.275) = 0.46$ 。其所需之鋼筋量 $A_s = 1.34 / (0.01207 \times 27.5 \times 0.46) = 8.78 \text{ cm}^2/\text{m}$ 。

2. 池牆中點 $X = a/4$ 深處： $M = 0.011 \times 110.59 = 1.22 \text{ T-m/m}$ 。 $N = -0.15 \times 23.04 = -3.46 \text{ T/m}$ 。 $E = 1.22 / -3.46 + 1/2 \times (27.5 - 7.5) / 100 = -0.25$ 。 $NE = -3.46 \times -0.25 = 0.87 \text{ T-m}$ ， $i = -0.25 / (-0.25 - 0.862 \times 0.275) = 0.51$ 。鋼筋面積需要量 $A_s = NE / \text{adi} = 0.87 / (0.01207 \times 27.5 \times 0.51) = 5.14 \text{ cm}^2/\text{m}$ 。鋼筋之 $\Sigma O = N / \text{jud} = 3.46 \times 1000 / (0.862 \times 12.36 \times 27.5) \doteq 12 \text{ cm}$ 。採用 $19 \text{ mm } \phi$ 圓筋@ 36 cm ，實際 $A_s = 7.9 \text{ cm}^2$ ， $\Sigma O = 16.7 \text{ m}$ ，OK。

(三)水池短牆角水平正力矩鋼筋

1. 池牆 $X = 1/2a$ 處： $M = 0.019 \times 110.59 = 2.10 \text{ T-m/m}$ 。短牆所受之水平拉力來自長牆端之剪力。由圖 2 查得 $b/a = 1.25$ 時，在深度 $a/2$ 處之剪力係數 $= -0.37$ ，故拉力 $N = -0.37 \times 23.04 = -8.52 \text{ T/m}$ 。 $E = 2.1 / -8.52 + 1/2 \times (27.5 - 7.5) / 100 = -0.15 \text{ m}$ 。 $NE = -8.52 \times -0.15 = 1.28 \text{ T-m}$ 。 $i = -0.15 / (-0.15 - 0.862 \times 0.275) = 0.39$ 。鋼筋需要量 $A_s = 1.28 / (0.01207 \times 27.5 \times 0.39) = 9.89 \text{ cm}^2/\text{m}$ 。鋼筋握裹周長 $\Sigma O = 8.52 \times 1000 / (0.862 \times 12.36 \times 27.5) \doteq 29.08 \text{ m}$ 。採用 $19 \text{ mm } \phi$ 圓筋@ 18 cm ，實際 $A_s = 15.8 \text{ cm}^2$ ， $\Sigma O = 33.3 \text{ cm}$ ，OK。

2. $X = a/4$ 處： $M = 0.012 \times 110.59 = 1.33 \text{ T-m/m}$ 。短牆所受之水平拉力來自長牆端之剪力。 $N = -0.16 \times 23.04 = -3.69 \text{ T/m}$ 。 $E = 1.33 / -3.69 + 1/2 \times (27.5 - 7.5) / 100 = -0.26 \text{ m}$ 。 $NE = -3.69 \times -0.26 = 0.96 \text{ T-m}$ 。 $i = -0.26 / (-0.26 - 0.862 \times 0.275) = 0.52$ 。鋼筋面積需要量 $A_s = 0.96 / (0.01207 \times 27.5 \times 0.52) = 5.56 \text{ cm}^2/\text{m}$ 。鋼筋握裹周長 $\Sigma O = 3.69 \times 1000 / (0.862 \times 12.36 \times 27.5) \doteq 12.59 \text{ m}$ 。採用 $19 \text{ mm } \phi$ 圓筋@ 36 cm ，實際 $A_s = 7.9$

cm^2 ， $\Sigma O = 16.7 \text{ cm}$ ，OK。

(五)長牆垂直鋼筋

1. 長牆垂直力矩發生在牆中點 ($y = 0$, $x = a/2$) 處，由表 4 查得其力矩係數 $= 0.052$ ，則其垂直力矩 $M = 0.052 \times 110.59 = 5.75 \text{ T-m/m}$ 。在同一斷面上尚有軸向垂直壓力須加入計算。每公尺長之荷重計算如下：(1) 池牆高 2.4 m 之重量 $= 2.4 \times 2.4 \times 0.35 = 2.02 \text{ T}$ ，(2) 池頂寬 6 m ，厚度 30 cm 之重量 $= 2.4 \times 0.3 \times 6 / 2 = 2.16 \text{ T}$ ，(3) 假設水池上方覆蓋 90 cm 之土壤(假設其密度 $= 1.6$)，其重量 $= 1.6 \times 0.9 \times 6 / 2 = 4.32 \text{ T}$ 。(4) 活載重 $= 0.5 \times 6 / 2 = 1.50 \text{ T}$ ，合計 10 T 。計算壓應力時，應採用全部荷重較為安全。此時之 $E = 5.75 / 10 + 1/2 \times (35 - 2 - 7.5) / 100 = 0.70 \text{ m}$ 。 $NE = 10 \times 0.70 = 7.0 \text{ T-m} < NE = 14.88 \text{ T-m}$ 。故不需使用壓力鋼筋。

2. 計算拉力鋼筋時，其軸向壓力僅能採用水池本身之自重。此時之 $N =$ 池牆之重量 2.02 T ，加上池頂之重量 2.16 T ，合計 $= 4.18 \text{ T}$ ， $E = 5.75 / 4.18 + 1/2 \times (35 - 2 - 7.5) / 100 = 1.5 \text{ m}$ 。 $NE = 4.18 \times 1.5 = 6.27 \text{ T-m}$ 。 $i = 1.5 / (1.5 - 0.862 \times 0.255) = 1.17$ 。鋼筋面積需要量 $A_s = 6.27 / (0.01207 \times 25.5 \times 1.17) = 17.41 \text{ cm}^2/\text{m}$ 。

3. 由表 VII 查得池底中點之剪力係數 $= 0.33$ ，故剪力 $V = 0.33 \times 23.04 = 7.60 \text{ T/m}$ 。為鋼筋握裹周長 $\Sigma O = 7.6 \times 1000 / (0.862 \times 12.36 \times 25.5) \doteq 27.97 \text{ m}$ 。採用 $19 \text{ mm } \phi$ 圓筋@ 18 cm ，實際 $A_s = 15.8 \text{ cm}^2$ ， $\Sigma O = 33 \text{ cm}$ ，OK。鋼筋之排列可由池底向上之 $a/4$ 處，每兩根截斷一根，則上部 ($a/4$ 至頂部) 之鋼筋中距 $= 36 \text{ cm}$ 。

(六)短牆垂直鋼筋

1. 短牆垂直最大力矩在牆角 $3/4$ 池深 ($z = 0$, $x = 3/4 a$) 之處，由表 4 查得其力矩係數 $= 0.022$ ，則其垂直力矩 $= 0.022 \times 110.59 = 2.52$

T-m/m。計算壓垂直應力時，僅能考慮水池本身之自重。此時之池牆之重量 $=2.4*0.35*4.8*3/4=3.02T$ ，池頂之重量 $2.16T=5.18T$ ， $E=2.52/5.18+1/2*(35-2-7.5)/100=0.61m$ 。NE $=5.18*0.61=3.16T-m$ 。i $=0.61/(0.61-0.862*0.255)=1.56$ 。As $=3.16/(0.01207*25.5*1.56)=6.58cm^2/m$ 。

2.由表VII查得 b/a=1.25 時，池底中點之剪力係數 $=0.263$ ，故剪力 V $=0.263*23.04=6.06T/m$ 。ΣO $=6.06*1000/(0.862*12.36*25.5)≐22.31m$ 。採用 19mm § 圓筋@24cm，實際 As $=11.98cm^2$ ，ΣO=25cm，OK。鋼筋之排列可由池底向上之 a/4 處，每兩根截斷一根，則上部(a/4 至頂部)之鋼筋間距=48cm。

(七)水平鋼筋之綁紮

1.同圖 5 所示(圖上之鋼筋直徑改為 19 mm §) 為長牆之內側，下部 3a/4 池深部分(1.2m~4.8m)，選用 19mm § 圓筋@12 cm，其中每 36cm 一根係由短牆外側正力矩鋼筋彎折延伸而來，另外再每 36cm 間距加兩根 L 形鋼筋，平均等間距綁紮即得每 12 cm 一根鋼筋。而上部 a/4 池深部分(0~1.2m)則每 18cm 一根 19mm § 圓筋，其中每 36cm 一根係由短牆外側正力矩鋼筋彎折延伸而來，另外再每 36cm 間距加兩根 L 形鋼筋，平均等間距綁紮即得每 18cm 一根鋼筋。

2.長池牆中央外側，下部 3a/4 池深部分，每 18cm 一根 19mm § 圓筋水平鋼筋，其中每 36cm 一根係由短牆外側正力矩鋼筋兩端在距離轉角前 150cm 處截斷。另一根延伸至轉角並彎折延伸進入短牆內，幫助其承受水平負力矩。而上部 a/4 池深部分每 36 cm 一根 19mm § 圓筋全部彎折延伸進入短牆內側。

3.短池牆轉角之內側同長池牆，下部 3a/4 池深部分綁紮 19mm § 圓筋，其間距 12cm，亦即每 36cm 三根鋼筋，其中一根係由長牆外側正力矩鋼筋彎折延伸而來，另外再加兩根 U 形鋼筋，而上部 a/4 池深部分亦同長池牆，須綁紮 19mm § 圓筋，其間距 18cm，亦即每 36cm 二根鋼筋，其中一根由長牆外側彎折延伸而來，另外再加一根 L 形鋼筋，短池牆中央外側，同長池牆，其下部 3a/4 池深部分須綁紮 19mm § 圓筋，其間距 18cm，亦即每 36cm 二根鋼筋，其中一根係兩端在距離轉角前 100cm 處截斷。另一根延伸至轉角並彎折延伸進入長牆內，幫助其承受水平負力矩。而上部 a/4 池深部分每 36cm 一根 19mm § 圓筋，兩端延伸彎折進入長牆內側。

(八)垂直鋼筋之綁紮(全上)

五、結論與建議

(一)牆角水平補強鋼筋

1.一般工程師常誤以為池牆既然以豎向單向版設計，則其水平鋼筋只要有抗伸縮之溫度鋼筋就已足夠，然而事實並不盡然。池牆接近轉角部分因受端點另一直交池牆束制之影響，而在水平向產生相當數量之水平應力，因此需要水平彎曲應力鋼筋。隨著池深之增加，其水平鋼筋之需要量亦會明顯的增加，水深達 2.5m 以上之池牆，其牆角水平鋼筋需要量已漸超過溫度鋼筋。水深越增加水平鋼筋之需要量將超過溫度鋼筋一倍至數倍。所以水深達 2.5 以上池牆之設計，雖然因為牆長超過池深之三倍以上而以豎向版設計，但仍應同時注意核算牆角水平鋼筋。

2.研討箱形水池設計表 I (頂底兩端均為鉸

接及Ⅲ(頂端自由；底端固定)之池牆水平力矩係數，經歸納得到下列幾點結論：

- (1) 牆角負力矩係數隨著 b/a 值之增加而增加，其增加率會因池牆長度 b 之逐漸增加而減緩。
- (2) 距牆角長度 $b/4$ 處之水平正力矩係數，亦隨著 b/a 值之增加而增加，其增加率則有逐漸緩和之趨勢。當 b/a 值之增加到 2.5m 以上時，力矩係數逐漸趨近於一常數，然後會因池牆長度 b 之增加而減少。而不會再有明顯之增加。
- (3) 池牆中心處之水平正力矩係數，則先隨著 b/a 值之增加而增加，俟達某一極大值後又因 b/a 值之增加而減小。表 I 中最大正力矩發生於 $b/a=1.5$ ，表 II 則以 b/a 值等於 2 時之正力矩為最大。
- (4) 池牆水平向變形之反曲點，因池牆長度之增加而逐漸移向牆角。

3. 以上所述，請參閱表 5、圖 5 及圖 6。

表 5 池牆水平正負矩係數與 b/a 值關係比較表

b/a	頂端自由；底端固定	頂端鉸接；底端鉸接	頂端自由；底端鉸接
3.00	① $-0.082\omega a^3$	③ $-0.063\omega a^3$	④ $-0.196\omega a^3$
2.50	① $-0.074\omega a^3$	③ $-0.062\omega a^3$	④ $-0.138\omega a^3$
2.00	① $-0.060\omega a^3$	③ $-0.059\omega a^3$	② $-0.094\omega a^3$
1.75	② $-0.052\omega a^3$	③ $-0.057\omega a^3$	② $-0.076\omega a^3$
1.50	② $-0.044\omega a^3$	③ $-0.052\omega a^3$	③ $-0.063\omega a^3$
1.25	③ $-0.037\omega a^3$	③ $-0.045\omega a^3$	③ $-0.049\omega a^3$
1.00	③ $-0.029\omega a^3$	④ $-0.035\omega a^3$	④ $-0.036\omega a^3$
0.75	③ $-0.017\omega a^3$	④ $-0.025\omega a^3$	④ $-0.026\omega a^3$
0.50	③ $-0.009\omega a^3$	④ $-0.014\omega a^3$	④ $-0.014\omega a^3$

①最大負力矩發生在水池頂端，②最大負力矩發生在水池 $a/4$ 深處，③最大負力矩發生在水池 $a/2$ 深處，④最大負力矩發生在水池 $a/3/4$ 深處。

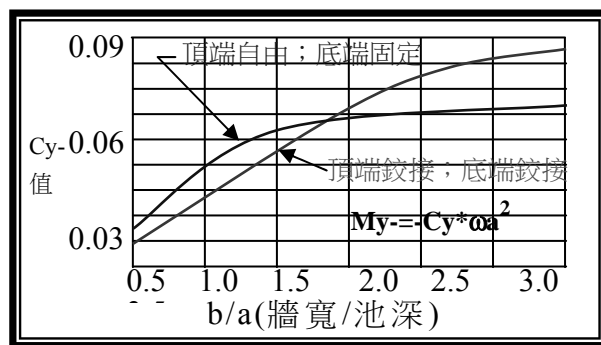


圖 5 牆角水平力矩係數最大值圖

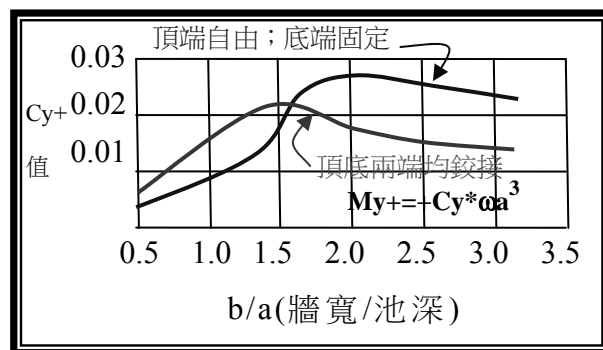


圖 6 牆中心水平力矩係數最大值圖

參考文獻

1. 鋼筋混凝土圓形水池：美國波特蘭水泥協會
2. 水池設計(一)---矩形鋼筋混凝土水池：陳榮藏 台灣自來水公司員工訓練所編印，1985年12月
3. 基礎工程題解：施國欽編著，2006年9月，文笙書局出版，第P.5-20。

附註：

書 1 之力矩及剪力表是從事矩形水池之設計工作者必備之資料。但該等係數表共計 14 頁，非本刊篇幅所能容納。因此，若有需要者，請傳訊至網址：hilo@seed.net.tw 向筆者索取。

作者簡介

曾浩雄先生

現職：尚潔環境工程公司技師

專長：自來水工程規劃、設計及施工

飲用水管理條例、飲用水水源及水質標準等飲用水法令之法制分析

文/何彥陞、張鴻銘、林康、洪世政、吳美惠

一、緒論

為提升飲用水品質，確保飲用水安全衛生，維護國民之健康，政府於民國（以下同）61 年制定頒布「飲用水管理條例」及其相關配套法制。飲用水管理相關法規相當多，可以分為法律、法規命令、行政規則、具法規命令性質之公告、一般公告等五類。上述規範是飲用水管理行政之重要準繩，自應合於行政程序法之相關規範，且飲用水管理涉及諸多行政法上權利義務之處理，實應合於行政程序法之相關規範，以符依法行政之精神。故飲用水管理主管機關之行政行為應合於明確性之要求，並有「禁止恣意原則」之適用。「禁止恣意原則」為平等原則之次原則，指行政機關於為行政決定時，對當事人有利或不利之事證，除有充分、適當的理由外，應一律注意（行政程序法第 36 條）；適用其他有關法令之規定，自須符合法律事實與法令構成要件該當之法令適用基本方法要求，始有客觀法令適用之可言，否則即難謂無違反行政法上禁止恣意原則之虞（最高行政法院 89 年判字第 935 號判決）。故主管機關對於應依職權調查之事實，負有概括調查之義務，即凡與行政決定有關，而有調查之必要與可能者，均應調查。

惟目前飲用水相關法令之制定，未能就實際執行工作進行整體考量，中央、地方執法單位與水事業單位對於相關規範之認知

出現落差，導致業務執行效率降低，訴願案件居高不下，甚至發生對簿公堂之情事（如最高型行政法院 96 年判字第 1657 號判決、92 年判字第 1152 號判決等十數個判決）。對此，本文檢視實際執行法令有關飲用水管理條例、細則、標準、管理辦法、作業要點等條文，針對現行法令之爭議或問題，提出其法制上之探討，找出爭議問題之關鍵，從行政法之觀點分析其法制上可以改善之空間，最後提出法制之建議。

關鍵字：飲用水管理條例、飲用水水源水質標準、飲用水水質標準、水質處理藥劑品質管制、飲用水水處理藥劑檢測方法

二、我國飲用水管理法制之架構與內容

現行與飲用水有關之法律有飲用水與自來水二大類。自來水管理依據自來水法，中央主管機關為經濟部水利署；而飲用水管理係依據飲用水管理條例，中央主管機關為行政院環境保護署（以下簡稱環保署）。本文聚焦於飲用水管理，因此本文僅以飲用水管理相關法規進行檢討與分析。

飲用水管理相關法規相當多，依行政法之概念可以分為法律、法規命令、行政規則、具法規命令性質之公告、一般公告等五類。飲用水管理法律為「飲用水管理條例」。

飲用水管理條例係為確保飲用水水源水質，提昇公眾飲用水品質，維護國民健康所制定。飲用水管理條例共可分六章，其內

容包含：飲用水水源水質、飲用水水質及飲用水設備之管理，要求自來水供水單位及飲用水設備管理者及所有者重視水質維護以符合標準，落實飲用水設備登記、申報及維護管理制度。

屬法規命令^(註 1)有 7 個，分別為：飲用水管理條例施行細則、飲用水水源水質標準、飲用水水質標準、飲用水連續供水固定設備使用及維護管理辦法、飲用水水源水質或淨水處理改善計畫審核準則、飲用水水質處理藥劑申請公告作業準則、違反飲用水管理條例按日連續處罰執行準則等。

法規命令具有對外效力，若行政機關所為之公告具有對外效力，亦可認為具法規命令性質。環保署認定 5 種公告具有法規命令性質：「飲用水水質處理藥劑一覽表」、「公告聚丙烯醯胺(Acrylamide)、聚氯化己二烯二甲基胺及氯甲基一氧三環二甲基胺聚合物為飲用水水質處理藥劑」、「公告微生物製劑使用於處理供人飲用之水時，為飲用水管理條例第十三條規範之飲用水水質處理藥劑」、「指定簡易自來水為飲用水之種類」、「飲用水水質處理藥劑一般規定事項」。

行政規則^(註 2)共有 2 種：即「違反飲用水管理條例處罰鍰額度裁量基準」、「公私場所供公眾飲用之飲水台屬飲用水管理條例所稱之供公眾飲用之連續供水固定設備」。

至於單純之公告有 2 種：「飲用水水源水質或淨水處理改善計畫審核申請表」、「飲用水水質處理藥劑申請公告審核表」。

三、飲用水管理法律執行之議題與困境

(一)飲用水水源水質標準相關規定之問題

飲用水水源水質標準主要規範於飲用

水管理條例第 3 條與第 6 條之規定。第 3 條規定：「本條例所稱飲用水，指供人飲用之水；其種類如下：一、自來水：指依自來水法以水管及其他設施導引供應合於衛生之公共給水。二、社區自設公共給水設備供應之水。三、經連續供水固定設備處理後供應之水。四、其他經中央主管機關指定之水。」第 6 條規定：「第三條第二項各款所定水體符合飲用水水源水質標準者，始得作為飲用水之水源。但提出飲用水水源水質或淨水處理改善計畫，向中央主管機關申請核准者，不在此限；其申請提出改善計畫之資格、計畫內容、應檢附之書件、程序、監測、應變措施、核准條件、駁回、補正及其他應遵行事項之準則，由中央主管機關定之。前項飲用水水源之水質標準，由中央主管機關定之。」而第 6 條第二項授權規定之飲用水水源水質標準，於 86 年發布後（86 年 8 月 30 日行政院台八十六環字第三三六八六號函核定，86 年 9 月 24 日發布），已有 16 年，隨著科技的進步與污染情形的多樣性，舊有的規定與程序不一定適用於現有狀況，因此建議可以修訂飲用水水源水質標準，使其可以更合於現行機制。

第 3 條立法意旨係規範「飲用水種類」，^(註 3)並非規範飲用水之「水源」。其中自來水亦為飲用水種類之一，其經自來水事業淨水設備處理後供人飲用時，可不再處理，直接供人飲用（如台北自來水事業處所推行之自來水生飲計畫），或用戶經煮沸等處理後再

飲用。故本條所稱『來源』之立法意旨係指飲用水之種類。

而第 6 條是 95 年增列飲用水水源水質或淨水處理改善計畫作業準則之法源依據，以貫徹法律保留原則。惟實體上並未改變「提出飲用水水源水質或淨水處理改善計畫，向中央主管機關申請核准者」即可成為飲用水水源之規定。是以，經通知禁止作為飲用水水源者，嗣後如能證明水源水質已能符合飲用水水源水質標準，只要委託經中央主管機關認可之檢驗測定機構辦理水源水質檢驗測定符合飲用水水源水質標準之檢驗測定證明文件，報請原處分機關查驗，經原處分機關再進行水源水質複驗且認定符合飲用水水源水質標準後，經環保署核准後即得繼續使用該水源^(註 4)。

綜上可知，若要成為飲用水之水源，除了地面水體、地下水體之外，「經中央主管機關指定之水體」也可以成為水源，只要符合：(1)符合飲用水水源水質標準者或是(2)提出飲用水水源水質或淨水處理改善計畫向主管機關申請，即得作為飲用水之水源。然而，目前實務上主管機關固守第 3 條自來水水源定義，並未考量特定條件下，因地制宜的處理措施。例如，部分地區因災害之發生，使得該水源不符合飲用水水源水質標準。但是該水質經淨水處理後之出水若是可以符合飲用水水源水質標準時，為了解決災害地區飲水問題，應認定改善後之水源出水為符合飲用水水源水質標準之水源。

另外，飲用水管理條例第 21 條規定：「違反第六條第一項規定者，處新臺幣六萬元以上六十萬元以下罰鍰，並通知禁止作為飲用水水源。」，故可知，違反第 6 條規定是指

「作為飲用水之水源不符合飲用水水源水質標準」。故供水單位之責任應該是：「禁止作為飲用水水源」。倘若要作為水源，只要自來水事業提出飲用水水源水質或淨水處理改善計畫，向中央主管機關申請核准即合於上述法律規定。然而，當一處水源被他人污染時，第一時間被通知的是水污染防治主管機關而非自來水事業。而水污染防治主管機關再轉知自來水事業該水源污染時，即依第 21 條規定處罰自來水公司，此不僅混淆第 6 條的立法意旨，更將飲用水水源之管理責任加諸自來水事業，未明確界定水污染防治主管機關與使用水源之供水單位之權責。

按多數主要水源皆已依據自來水法第 11 條劃定公布水質水量保護區，主要河川在自來水取水口上游亦已依據「地面水體分類及水質標準」公告為甲類或乙類水體(甲類水體適用於一級公共用水、乙類水體適用於二級公共用水)，水區水體分類既以劃定，水污染防治主管機關應依據水污染防治法第 5 條為避免妨害水體用途，利用水體以承受或傳運放流水者，不得超過水體之涵容能力，嚴格限制污染源排入水體。而非逕依飲用水管理條例第 21 條規定直接處罰供水單位。

(二)飲用水水質標準之問題

依據統計資料顯示，飲用水水質標準之訴願案件占飲用水管理條例最大宗。本文整理環保署訴願統計資料，自 93 年起至 102 年 7 月 20 日止，共計有 27 件，其中有 25 件屬於飲用水管理條例第 11 條以及第 24 條之規定。處分機關之處罰方式，有 24 件係裁處新臺幣 6 萬元罰鍰，並限期完成改善。有 1 件是處罰 12 萬元。有 1 件除了處罰新臺幣 6 萬元罰鍰之外，並且連續處罰 1 次，再

處罰 6 萬元。裁處原因有以下類型：

1. 濁度不符飲用水水質標準
2. 總三鹵甲烷超過飲用水水質標準所定限值
3. 鐵及錳超過飲用水水質標準所定限值
4. 大腸桿菌群超過飲用水水質標準所定限值
5. 自由有效餘氯未符合飲用水水質標準第 3 條第 3 款化學性標準第 4 目自由有效餘氯限值範圍
6. 色度超過飲用水水質標準最大限值
7. 總硬度、總溶解固體量不符合飲用水水質標準所定之限值

綜整上述案件，本文發現，飲用水水質標準第 3 條將標準分為三種，即細菌性標準、物理性標與化學性標準，其中化學性標準可分為：影響健康物質 36 項、可能影響健康物質 5 項、影響適飲性物質 11 項、有效餘氯限值範圍 1 項、氫離子濃度指數 1 項等。上述標準參考先進國家與世界衛生組織標準，兼具科學性與國際重要性，固無問題。

惟各種水質標準對於人體之影響程度不同，有直接影響身體健康，有部分項目是有影響身體健康之虞，部分項目僅是影響口感或是飲用之心情。因此，該標準所保障之「法益」並不相同。若是將該標準視為一種評估標準或依據，無法律效果者，當然沒問題。但是水質標準將會透過第 24 條規定直接對未符合標準者裁罰 6 萬至 60 萬，並且在未改善時得以按日連續處罰，此影響不可謂不大。尤其是處分機關有裁罰輕重之判斷餘地（裁量空間）時，處分機關如何界定 6 萬至 60 萬之標準？並非無議。

行政院環保署 98 年 1 月 16 日環署毒字第 0980005968 號令公告「違反飲用水管理條例處罰鍰額度裁量基準」，並自 98 年 2 月 1

日生效。上述處罰鍰額度裁量基準是以飲用水中除大腸桿菌群、總菌落數、濁度或氫離子濃度指數外，任一水質，最高濃度為飲用水水源水質標準限值倍數進行計算；亦即，該標準分為二種情形進行處分，第一種是大腸桿菌群、總菌落數、濁度或氫離子濃度指數以外任一水質，第二種是大腸桿菌群、總菌落數、濁度或氫離子濃度指數。惟上述基準仍無法體察各種水質標準對於人體之影響程度不同之特性，並未注意其法益保障並非一致，而逕為處罰，此處罰似未合乎比例原則而有違憲之虞。

(三)飲用水水質標準與水源高濁度之問題

1. 氣候變遷與水源高濁度問題

在國科會推動的「臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫」指出，近十幾年來臺灣不斷出現豪大雨事件，可能要正式其可能是臺灣自然界真正的雨量特徵。而該報告亦指出，西元 2000 年後臺灣將進入一個氣候上相對的多雨期時。國立台灣大學全球變遷研究中心柳中明教授更使用 NCEP-RSM 所模擬得之數據，說明台灣破記錄的降雨將會不斷出現，且被成功預報掌握的機率也不高。

氣候變遷第二個挑戰在於氣候不只是從一種狀態變化至另一種狀態，而是一直在改變。因此，因應氣候變遷的衝擊不僅在於適應變遷後的新氣候狀態，更要有策略因應不斷改變的環境。然而，台灣社會與經濟發展快速，加上法規鬆綁，水源地被濫用或開發，水源遭到破壞。若遇雨量較大之降雨，往往導致溪水夾帶大量泥沙，導致下游濁度飆高及淤積增加問題，使原水濁度受到影響，並將導致水中可溶性礦物質增加，淨水場處理能力受到考驗。淨水廠因高濁度而無

法供水之原因有下：

- (1)水源集水區多位於山區，水源各支流亦多，部分地區土質鬆軟。若遇雨量較之降雨、豪大雨，甚至是颱風，大量雨水將挾帶土石流入水庫，並進入淨水場。
- (2)因颱風或地震發生，使水源各支流邊坡坍塌，土石流入水庫，造成水庫底泥淤積。而坍塌之邊坡因土石淤沙暴露，稍有雨勢，即沖刷土石，造成水源濁度升高。
- (3)水庫水位達滿水警戒高度之排水洩洪，使水庫週邊泥沙順勢沖刷，水流濁度遽升。
- (4)天然災害及遇颱風季節時，為進行水庫底泥之排放及閘門設施之維護，水庫取排水閘門將開啟上中下層，導致閘門附近泥沙順流流進淨水場，使濁度瞬間提高。
- (5)水庫進行取排水設施維護保養或水庫活化排砂作業，啟動各閘門，擾動水庫底泥，使原水濁度瞬間提高。

2. 高濁度與行政罰之問題

水質發生高濁度之情形時，有以下二個議題需要討論：

(1) 行政罰以出於故意或過失者為處罰依據

行政罰法第七條規定：「違反行政法上義務之行為非出於故意或過失者，不予處罰。法人、設有代表人或管理人之非法人團體、中央或地方機關或其他組織違反行政法上義務者，其代表人、管理人、其他有代表權之人或實際行為之職員、受僱人或從業人員之故意、過失，推定為該等組織之故意、過失。」司法院釋字第 275 號解釋(註 5)「應受行政罰之行為，僅須違反禁止規定或作為。義務，而不以發生損害或危險為其要件者，推定為有過失，於行為人不能舉證證明自己無過失時，即應受處罰」，該解釋

所採取之「推定過失責任」，雖將無過失之舉證責任移轉予行為人，然現代民主法治國家對於人民違反行政法上義務欲加以處罰時，應由國家負證明行為人有故意或過失之舉證責任，方為保障人權之進步立法，故行政罰法第七條將行政罰之責任要件明文規定為須具備故意或過失，應係屬對人民較為有利之立法。

由於水質發生高濁度之情形時，目前主管機關即認定為違反標準而逕為裁罰。惟水質高濁度並非皆可歸責於自來水事業，故若自來水事業沒有內部在水質處理技術上人為或機械設備出現問題，即沒有所謂故意或過失情形，則造成水質濁度超出飲用水水質標準限值，水公司即無故意與過失，而不應該受到裁罰。故目前主管機關即認定為違反標準而逕為裁罰應有違反行政罰法規定之虞。

(2) 「因暴雨或其他天然災害」之認定過於僵化

暴雨，依教育部重編國語辭典為「急而猛烈的雨」。亦即指短時間內累積極大降雨量的雨，惟暴雨的數值大小依地理位置不同而有差異。

目前現行法規並無對於暴雨做出定義，環保署訴願會認為暴雨指的是中央氣象局所謂之「大雨」(指 24 小時累積雨量達 50 毫米以上，且其中至少有 1 小時雨量達 15 毫米以上之降雨現象)或「豪雨」(指 24 小時累積雨量達 130 毫米以上之降雨現象)。惟需注意的是，中央氣象局定義之大雨及豪雨有其氣象學之意義，惟是否適合直接做為本條「暴雨」之定義與判斷基準，實有疑義。

由於飲用水水質標準第 4 條第 1 項立法

意旨係為避免因暴雨或其他天然災害將致使供水系統之飲用水水源水質惡化，濁度劇增，影響淨水程序中之過濾效果，進而致使飲用水水質之「濁度」項目無法達到正常標準。因此，關鍵在於該「暴雨」使供水系統之飲用水水源水質惡化，濁度劇增，影響淨水程序之過濾效果，故氣象局之「大雨」或「豪雨」雖然可以視為「暴雨」。但是部分雨勢雖未達「大雨」或「豪雨」，但是仍將使供水系統之飲用水水源水質惡化，濁度劇增，影響淨水程序中之過濾效果，進而致使飲用水水質之「濁度」項目無法達到正常標準。此等「雨勢」判斷方式，建議應留給供水單位舉證之餘地，以符合本條之立法意旨。亦即，暴雨之界定，除了氣象局之大雨以及豪雨之等級外，其他之短時間內累積極大降雨量的暴雨亦應屬於適用本條之情形。此等情形得由供水單位舉證後適用。

此外，關於天然災害之定義，我國相關法制有以下之立法例：

- ①災害防救法第 2 條規定：「第一款、災害：指下列災難所造成之禍害：a.風災、水災、震災、旱災、寒害、土石流災害等天然災害。b.火災、爆炸、公用氣體與油料管線、輸電線路災害、礦災、空難、海難、陸上交通事故、森林火災、毒性化學物質災害等災害。」
- ②中央對各級地方政府重大天然災害救災經費處理辦法規定：「所稱之災害依該辦法第二條規定，指災害防救法第二條第一款第一目所定之災害。」
- ③有線廣播電視系統經營者天然災害及緊急事故應變辦法第 2 條規定：「本辦法所稱天然災害，指風災、水災、旱災、寒害

及其他特殊天氣之變化、地震、大火、海嘯、火山爆發等因素所造成之災害。」

- ④天然災害停止上班及上課作業辦法第 3 條規定：「本辦法所稱天然災害，指下列因素致交通、水電供應中斷或供應困難，影響通行、上班上課安全或有致災之虞者：風災、水災、震災、土石流災害、其他天然災害。」
- ⑤社會救助法第五條之二第二項規定訂定之「因天然災害致未產生經濟效益之農牧用地養殖用地及林業用地認定標準」第 2 條規定：「本法所稱天然災害，指風災、水災、震災、旱災、寒害、土石流災害及非人為因素所致之森林火災。」

對於飲用水水質標準第 4 條第 1 項規定之「天然災害」，應回歸立法意旨觀察之。本條立法目的既然是為避免災害將致使供水系統之飲用水水源水質惡化，濁度劇增，影響淨水程序中之過濾效果，進而致使飲用水水質之「濁度」項目無法達到正常標準，故關鍵應在於「避免災害將致使供水系統之飲用水水源水質惡化，濁度劇增，影響淨水程序中之過濾效果」而非「暴雨或其他天然災害」。因此，暴雨或其他天然災害應屬於「列舉規定」而非「例示規定」。「暴雨或其他天然災害」應定義為「非可歸責於供水單位自己之事由」而造成之災害。因此，本文認為本條災害應以「災害防救法」第 2 條規定第一款所定「災害」為準。

(四)直轄市、縣市環保局檢驗科室與環保署檢驗測定機構認證許可之問題

由飲用水管理條例第 12 條規定觀察，公私場所設置供公眾飲用之連續供水固定設備之檢驗測定，由經中央主管機關認可之

檢驗測定機構辦理。飲用水管理條例第 12-1 條第一項之規定，檢驗測定機構應取得中央主管機關核給之許可證後，始得辦理本法規定之檢驗測定。

所謂的「本法規定之檢驗測定」所指為何？實有疑義。就飲用水管理條例之規定而言，除了第 12 條規定外，其他的檢測規定只有第 14 條、第 14-1 條、第 15 條、第 15-1 條等規定，其他並無所謂的「檢驗或測定」之規範。而第 14 條、第 15 條是各級主管機關之檢測，屬於主管機關之職權業務，除非法律明文授權由檢驗測定機構進行檢測，否則不應直接認定可由檢驗測定機構檢測。故第 14 條、第 15 條若是由檢測機構進行檢測，該檢測機構與一般行政機關關係，應該只是行政助手之關係，而非委託行使公權力。

另外，第十四條之一規定：「自來水、簡易自來水或社區自設公共給水之供水單位」之檢測義務，該供水單位不一定有相關的檢測設備，故應可委託檢驗測定機構檢測。至於第 15-1 條，已明文規定應由非其所屬且取得中央主管機關核發許可證之環境檢驗測定機構進行檢測，因此得解為第 12-1 條第一項規定之「本法規定之檢驗測定」。

準上，若採嚴格文意解釋，應該只限於第 12 條、第 14-1 條、第 15-1 條。其他檢測應不包含在內。若是涉及裁罰之檢測，亦不包含於第 12-1 條第一項規定之「本法規定之檢驗測定」。因此，環境檢驗測定機構管理辦法所定義的「環境檢驗測定機構」，指依本辦法規定申請核發許可證，執行環境檢驗測定業務之機構。

有問題的是飲用水管理條例第 12-1 條第三項。第三項規定：「飲用水水源水質、

飲用水水質及飲用水水質處理藥劑之檢測方式及品質管制事項，由中央主管機關定之。」依本條之體例，第三項應是對於檢驗測定機構之相關規定，而檢驗測定機構得執行之檢測應僅有第 12 條、第 14-1 條、第 15-1 條。然而，該項卻規定「飲用水水源水質、飲用水水質及飲用水水質處理藥劑之檢測方式及品質管制事項」。本條項之解釋有二：第一種是解釋為僅適用於規範檢驗測定機構。亦即，中央主管機關訂定飲用水水源水質、飲用水水質及飲用水水質處理藥劑之檢測方式及品質管制事項，是規範檢驗測定機構。而檢驗測定機構可以執行飲用水水源水質、飲用水水質及飲用水水質處理藥劑之檢測，並應兼顧其品質管制。第二種解釋係認為該條項之規定不論是檢驗測定機構或是主管機關之檢測，甚至是供水單位之檢測皆應包含於本條項之規範。故不論是由何種單位檢測皆要達到主管機關所規定之飲用水水源水質、飲用水水質及飲用水水質處理藥劑之檢測方式及品質管制事項。本文認為，若採取體系解釋以及文意解釋皆應屬於第一種解釋為宜。若採第一種解釋，則環保局之檢測方式並不需要達到之環保署飲用水水源水質、飲用水水質及飲用水水質處理藥劑之檢測方式及品質管制事項。因此，若是「檢驗單位系統」(縣市環保局檢驗科室)於抽驗自來水是否符合飲用水水質標準時，其實並不需要取得行政院環保署環境檢驗所環境檢驗測定機構認證許可，或是國際 TAF 實驗室檢驗認證。於執行公權力時，環保局是依據其職權為飲用水相關之稽查。該職權是飲用水管理條例第 2 條所賦予(本條例所稱主管機關：在中央為行政院環境保

護署；在直轄市為直轄市政府；在縣（市）為縣（市）政府。

值得注意的是，直轄市政府與縣（市）政府執行公權力時，是否有能力去稽查或是抽驗？該組織是否合法？值得討論。若是地方政府並沒有正當組織型態，亦無得進行飲用水稽查與採樣、檢驗之單位或是設備，則該地方政府即無稽查、採樣、檢驗之權限。

(五)水質處理藥劑品質管制項目與採樣之問題

飲用水管理條例第 18 條於制定時與 86 年 5 月 2 日修正之內容並不相同，且從立法理由觀之，可知為新增之條文。其立法目的在於：「使用未經指定公告之藥劑，處理飲用水水質，影響飲用水品質甚鉅，關係國民健康，爰課以刑事責任，以維護飲用水之潔淨與安全。」該立法關注於「影響飲用水品質甚鉅，關係國民健康」，以刑事罰處罰行為人，確有其法益保護之必要，並無疑義。

惟要注意的是，以刑罰予以限制者，係屬不得已之強制措施，具有最後手段之特性，自應受到嚴格之限制。釋字第 646 號、釋字第 544 號、第 551 號皆說明：「…以刑罰予以限制者，係屬不得已之強制措施，具有最後手段之特性，自應受到嚴格之限制。如為保護合乎憲法價值之特定重要法益，且施以刑罰有助於目的之達成，又別無其他相同有效達成目的而侵害較小之手段可資運用，而刑罰對基本權之限制與其所欲維護法益之重要性及行為對法益危害之程度，亦合乎比例之關係者，並非不得為之」。

對此，處分機關應以最嚴謹態度面對第 18 條刑事罰。該條係處罰違反第 13 條，因此第 13 條之認定與判斷即相當重要。第 13

條規定「飲用水水質處理所使用之藥劑，以經中央主管機關公告者為限」係賦予飲用水之中央主管機關就可能違反刑事責任之事項進行規範與公告，飲用水之中央主管機關肩負較高的行政責任，亦即應於飲用水水質處理所使用藥劑公告之職權，應有高於行政罰之標準，故應有更高的職權調查責任。對於「非屬前項公告之藥劑，供水單位得向中央主管機關申請公告為飲用水水質處理藥劑」亦應更為嚴謹。

本文認為有以下之法制問題需要探究：

1. 「准許證明文件」之問題：

主管機關就「非屬公告藥劑，供水單位得向中央主管機關申請公告為飲用水水質處理藥劑」時，主管機關應有積極職權調查責任，積極調查水單位所提出之申請飲用水水質處理藥劑是否合於國家標準或是健康標準。而非在無法律明確規範下，逕以法規命令「飲用水水質處理藥劑申請公告作業準則」要求供水單位提出「美國加拿大、日本、紐西蘭、澳洲及歐體（EC）等任一國家准許作為飲用水水質處理藥劑之證明文件」。

至於供水單位所提出之申請資料，應屬「證據資料提供」之當事人協力義務。供水單位應提出的是該藥劑是否可達到飲用水水質處理目的及對健康無損害，而非證明其有否有美國、加拿大、日本、紐西蘭、澳洲及歐體等一國家准許證明文件，以符法制。

2. 處理藥劑採樣方式

行政院環境保護署環境檢驗所飲用水處理藥劑檢測方法彙編中，共有 25 個檢測方法。雖然各種飲用水處理藥劑檢測之樣品製備法並不一致，但是除了直接指定何種檢測方法之外，大多數的採樣方法，都有其固

定之程序，且程序多達 11 種。本文認為，行政院環境保護署環境檢驗所飲用水處理藥劑檢測方法直接影響刑事責任之有無，檢測方法涉及專業性與技術性之內容，其法律定位究竟是「行政調查」或是「犯罪偵查」？或是刑事程序之「鑑定」，不無疑問。依飲用水管理條例第 18 條進行刑罰時，應賦予飲用水管理主管機關事前之調查義務與採證，故應修正該條文之內容，非單純移送檢調單位，而是必須主管機關先就個案進行查證與證據蒐集之職權調查義務。

飲用水水質處理藥劑經環保單位採驗發生品質管制事項不合格時，環保單位皆以違反飲用水管理條例第 13 條，依同法第 18 條移送司法機關偵辦。惟司法機關皆認為上開行為係違反飲用水管理條例第 12 條之 1 第 3 項：「飲用水水質及飲用水水質處理藥劑之檢測方法及品質管制事項，由中央主管機關定之」規定，作成不起訴處分，此環保機關與司法機關就法令解讀差異問題，如何釐清、處理研議建議修訂方案，並研議如何向環保機關爭取飲用水水質處理藥劑品質管制事項不符法令規定時，改以行政罰處分，而真正使用非屬「中央主管機關公告之飲用水水質處理所使用之藥劑」者，再依飲用水管理條例第 18 條移送司法機關偵辦。

四、飲用水管理法令修正建議-代結論

基於上述分析，本文建議飲用水管理條例相關規範應進行新（修）訂，分析如下：

（一）研修訂違反飲用水水質處理藥劑品質管制項目相關罰則

行政院環境保護署環境檢驗所飲用水處理藥劑檢測方法直接影響刑事責任之有無，依飲用水管理條例第 18 條進行刑罰時，

應賦予飲用水管理主管機關事前之調查義務與採證，故應修正該條文之內容，非單純移送檢調單位，而是必須主管機關先就個案進行查證與證據蒐集之職權調查義務。

因此，本文建議修訂飲用水管理條例第 18 條規定為：「違反第十三條規定者，經中央主管機關查驗屬實者，處一年以下有期徒刑、拘役或科或併科新臺幣六萬元以下罰金。」依該條進行刑罰時，應賦予飲用水管理主管機關事前之調查義務與採證，故應修正該條文之內容，非單純移送檢調單位，而是必須主管機關先就個案進行查證與證據蒐集之職權調查義務。

（二）新訂飲用水水質處理藥劑檢測方法規範

行政院環境保護署環境檢驗所飲用水處理藥劑檢測方法彙編中，共有 25 個檢測方法。雖然各種飲用水處理藥劑檢測之樣品製備法並不一致，但是除了直接指定何種檢測方法之外，大多數的採樣方法，都有其固定之程序，且程序多達 11 種。依飲用水管理條例第 18 條進行刑罰時，主管機關先就個案進行查證與證據蒐集之職權調查義務。環保人員辦理藥劑採樣應該有更完整之法令規範，就其程序面進行嚴謹之規定，建議步驟具體明確的訂出，並且邀集專家學者、供水單位共同討論，以使法制更加完備。亦即，建議建立一套「飲用水水質處理藥劑檢測方法規範」，其定性可以係「行政規則」。該行政規則應將個步驟明確界定，尤其是強化採樣步驟、採樣時點與程序、會同單位、檢測結果爭議解決方式等內容。

此外，建議修訂飲用水管理條例施行細則之規定，增加因違反飲用水管理條例第 11 條規定，處分機關依飲用水管理條例第 24

條規定為行政處分時，應合於行政程序之相關要求。

(三)無影響健康之水質項目應修訂成超標免罰之做法

飲用水水質標準第 3 條之規定係將標準分為三種，各種水質標準對於人體之影響程度不同，水質標準將會透過飲用水管理條例第 24 條規定直接對未符合標準者以行政處分進行裁罰 6 萬至 60 萬之罰鍰，並且在未改善時得以按日連續處罰。本文建議修訂飲用水管理條例第 24 條規定為：「用水水質違反第十一條第一項規定，致影響國民身體健康或有影響健康之虞者，處新臺幣六萬元以上六十萬元以下罰鍰，並通知限期改善，屆期仍未完成改善者，按日連續處罰；情節重大者，禁止供飲用。」該條之處罰必須要區分不同法益的侵害程度，因此應區分為「會造成健康之影響」、「有造成健康影響之虞」、「不會造成健康之影響」等三個層次。若將造成健康影響或是可能發生健康損害之虞，即應加以制止與處罰，若對於健康沒有損害者，則不應加以處罰。

此外，建議增加飲用水水質標準第 3-1 條，規定：本標準所列物理性標準、影響適飲性物質項目，受區域水文地質條件及環境背景因素影響，經具體科學性數據研判非因可歸責於自來水事業之事由而達本標準所列管制值，得經中央主管機關同意後，不適用本標準。飲用水水質標準第 3 條對於水質標準之界定分為：「1.細菌性標準。2.物理性標準。3.化學性標準。(1)影響健康物質。(2)可能影響健康物質。(3)影響適飲性物質。(4)有效餘氯限值範圍（僅限加氯消毒之供水系統）。(5)氫離子濃度指數（公私場所供公眾

飲用之連續供水固定設備處理後之水，不在此限）限值範圍等。對於不影響人體健康之項目，如物理性標準、影響適飲性物質等項目，建議可以參照上述之地下水污染管制標準第二條以及土壤污染管制標準第 2 條規定修正。

(四)符合飲用水水源水質標準之水源之定義

飲用水管理條例第 3 條之立法意旨係在規範飲用水之種類，若要成為飲用水之水源，除了地面水體、地下水體之外，其他經中央主管機關指定之水體也可以成為水源。但是前提是要 1.符合飲用水水源水質標準者或是 2.提出飲用水水源水質或淨水處理改善計畫向主管機關申請，始得作為飲用水之水源。

若要使飲用水水源水質標準規定中，加入自來水水源定義涵蓋及接受「不符合飲用水水源水質標準之水源經淨水處理後之出水如符合飲用水水源水質標準，應接受該出水為符合飲用水水源水質標準之水源」之概念，可以用第三條第一項第四款「其他經中央主管機關指定之水」之規定，再具備：1.符合飲用水水源水質標準者或是 2.提出飲用水水源水質或淨水處理改善計畫向主管機關申請者，即合於法律之規定。

違反飲用水管理條例第六條之規定，主要是處罰「作為飲用水之水源不符合飲用水水源水質標準」，而依第 21 條規定，違反第六條第一項規定者，處新臺幣六萬元以上六十萬元以下罰鍰，並通知禁止作為飲用水水源。本文建議增訂飲用水管理條例第 6 條第二項：「飲用水水源如遭受重大污染時主管機關應禁止該水源之使用，並通知該水源之供水單位。」本條修正為第一項，飲用水水

源如遭受重大污染時應禁止使用。亦即當水污染防治主管機關得知水源區發生重大污染事件時，應基於權責主動通知自來水事業，確保飲用水安全。

(五)修訂飲用水水質處理藥劑相關規範

主管機關應就非屬公告之藥劑，有職權調查之責任，本文建議修訂飲用水管理條例第 13 條第二項規定：「非屬前項公告之藥劑，供水單位或其他單位得向中央主管機關申請公告為飲用水水質處理藥劑；其申請資格、應檢附之書件、程序、核准條件、駁回、補正及其他應遵循事項之準則，由中央主管機關定之。」依本條第 2 項條文內容觀之，雖僅規定供水單位係具備申請資格，而未限定僅能由供水單位向中央主管機關申請公告為飲用水水質處理藥劑。惟從修正理由觀察，似可得知立法者欲以供水單位為申請單位。惟基於行政效率以及資訊取得管道而言，藥劑廠商、研究單位或是法人團體等對於藥劑申請應有足夠之誘因與動力，並且資訊取得較供水單位為便利，因此建議修改法律之規定，將供水單位修改為「供水單位或其他相關單位」。

另外建議請環保署修訂飲用水水質處理藥劑申請公告作業準則第 3 條申請文件關於「美國、加拿大、日本、紐西蘭、澳洲或歐盟 (EU) 等任一國家准許使用該藥劑處理飲用水水質之相關證明文件。」修改為：「該藥劑是否可以達到飲用水水質處理目的之證明文件。」。飲用水水質處理藥劑申請公告作業準則依第 3 條本條規定並非屬於法律層次，僅是法規命令層次，本不應逾越母法所授權之範圍。飲用水管理條例並無要求需提供美國、加拿大、日本、紐西蘭、澳洲或

歐盟 (EU) 等任一國家准許使用該藥劑處理飲用水水質之相關證明文件。此規範要求對於申請人造成母法所無之負擔，有違反法律保留原則之虞。供水單位所提出之所有申請資料，應屬於「證據資料提供」之當事人協力義務。亦即供水單位（當事人）應提出的是該藥劑是否可以達到飲用水水質處理之目的即可，而非證明其有否合於「美國、加拿大、日本、紐西蘭、澳洲及歐體 (EC) 等任一國家准許作為飲用水水質處理藥劑之證明文件」。「美國、加拿大、日本、紐西蘭、澳洲及歐體 (EC) 等任一國家准許作為飲用水水質處理藥劑之證明文件」之定性，應該當成是該藥劑是否可以達到飲用水水質處理目的之證明文件。

最後，建議增加「供水單位及相關財團法人、社團法人、事業及其所屬公會或環境保護相關團體得提出具體科學性數據、資料，供中央主管機關作為公告飲用水水質處理藥劑之參考」之規定。地下水污染管制標準第 5 條與土壤污染管制標準第 7 條規定使第三人得以具體科學性數據、資料，提供主管機關參考，此屬於第三人協力之提供，有助於行政機關以及供水單位之資料完整，故增加本條規定。

備註

註1：指行政機關基於法律授權，對多數不特定人民就一般事項所作抽象之對外發生法律效果之規定。(行政程序法§150)

註2：上級機關對下級機關，或長官對屬官，依其權限或職權為規範機關內部秩序及運作，所為非直接對外發生法規範效力之一般、抽象之規定。(行政程序法§159)

註3：90年07月17日環保署環署水字第○○四三

九〇一號函。

註4：環保署環署87年06月09日毒字第〇〇三六九〇二號函解釋參照。

註5：釋字第275號：人民違反法律上之義務而應受行政罰之行為，法律無特別規定時，雖不以出於故意為必要，仍須以過失為其責任條件。但應受行政罰之行為，僅須違反禁止規定或作為義務，而不以發生損害或危險為其要件者，推定為有過失，於行為人不能舉證證明自己無過失時，即應受處罰。行政法院六十二年度判字第三〇號判例謂：「行政罰不以故意或過失為責任條件」，及同年度判字第三五〇號判例謂：「行政犯行為之成立，不以故意為要件，其所以導致偽報貨物品質價值之等級原因為何，應可不問」，其與上開意旨不符部分，與憲法保障人民權利之本旨牴觸，應不再援用。

作者簡介

何彥陞先生

現職：逢甲大學土地管理學系助理教授、台灣環境與土地法學雜誌執行主編、台灣法學雜誌主編
專長：土地利用法規、行政法、環境保育法規、濕地保育法制

林康先生

現職：臺灣自來水公司水質處化學組長
專長：水質檢驗、淨水處理、水質管理

張鴻銘先生

現職：臺灣自來水公司水質處工程師
專長：水質檢驗、淨水處理、水質管理

洪世政先生

現職：臺灣自來水公司水質處副處長
專長：水質管理

吳美惠女士

現職：臺灣自來水公司水質處處長
專長：化學及水質管理

赴澳洲水質檢驗中心生物檢驗研習心得

文/李維旻、王冠中、吳美惠

摘要

澳洲水質中心，是南澳水公司之水質分析實驗室，該實驗室成立逾 80 年，以確保南澳的飲用水水質安全為宗旨。其生物性的水質檢測項目眾多，可大致區分為微生物類、原蟲類、及水中藻類。微生物類檢項主要以大腸桿菌群，大腸桿菌等指標生物，以及其他致病菌如退伍軍人菌、沙門氏菌的檢測；原蟲類則檢測梨形鞭毛蟲、隱孢子蟲及變形蟲類，如福氏耐格里變形蟲（俗稱食腦蟲）等；而藻類鏡檢方面則主要針對有問題的藻種，例如產生藻類毒素或臭味物質之藍綠菌類或可能阻塞濾床的藻種如針桿藻等藻類進行嚴密監控。

此外，該中心亦相當注重生物多樣性及永續經營，設置有專門研究小組定期觀察環境中的各生物種類的消長。而其研究部門專司新技術之開發，例如開發以加入硫酸銅粉末、超音波方式破藻及水層攪動方式去除藍綠藻華的問題。由此可知，澳洲水質中心為兼具專業檢測、科學研究及技術創新之制度化水質檢驗單位，其相關技術及經驗值得本公司學習及借鏡。

關鍵字：澳洲水質中心、水質檢測、細胞培養、qPCR、產品測試

一、目的

台灣人口眾多，工商業高度發達，人們對於穩定、優質的供水需求標準日益提高，然台灣山高水急，雖有極豐沛的降雨卻因時地分配不均，導致水資源實質上極度缺乏。

雪上加霜的是工業、農業行為所造成的人為汙染、及氣候變遷、全球暖化之自然因素威脅，更使自來水事業面臨嚴峻的挑戰。

此次參訪目標為南澳水公司(SA water)所屬之澳洲水質中心(the Australian Water Quality Centre, AWQC)。澳洲水質中心擁有悠久之水質檢測歷史及完善之管理策略，不僅確保南澳水公司之供水品質，更接受外部委託進行多項檢測；除此之外，澳洲水質中心編制有專門研究人員，專責進行生態調查及各項技術開發，使得澳洲水質中心在國際科學研究上頗具盛名。

本次參訪由台灣自來水公司水質處生物組派兩員參加，主要研習項目為生物類檢項，除著眼於本公司現有之藻類、微生物、原蟲等檢項之比較外；觀摩其水庫採樣規劃與方法，實驗室動線設計及相關人員配置也能做為本公司在成立水質中心時參考。而由於歐美各國及 WHO 近年來對於水質標準生物性檢項不斷增加，學習澳洲水質中心之微生物、分子生物技術更是此行之一大目的。宏觀方面，澳洲水質中心的整體規劃及檢驗室經營策略也能做為本公司未來推展業務之借鏡。

二、澳洲水質業務總覽

本次參訪地點澳洲水質中心，位於南澳首府阿德雷德，其水源大約有 40-50% 來自於 River Murray，此河為澳洲最長的河流，長度為 2,995 公里，發源於澳大利亞阿爾卑斯

山脈，往西北方向流，構成維多利亞州與新南威爾斯州的邊界，之後往南移動，進入南澳，於阿德雷德附近入海；在南澳地區 River Murry 沿河興建許多水庫，如 Mount Bold、Happy Valley、Myponga、Millbrook、Hope Valley、Little Para 和 South Para。這些水庫可儲備約 60% 的用水，在乾早期可以儲存 10% 以上的城市用水，其他水源則來自於雨水及 2012 年正式啟用的海淡廠，有助於乾早期之應變。

澳洲水質中心依經營模式不同，區分為研究部門與商業部門(圖 1)。研究部門除測試、開發新檢驗技術外，亦進行基礎科學研究，提供全盤性的生態考量意見供公司經營策略擬定時參考，並積極發表學術論文，使澳洲水公司在國際水質檢驗相關期刊上享有極高知名度；商業部門則進行例行性的水質監測檢驗，並依客戶需求提供各式檢驗服務。其主要的檢測項目可以分為化學性檢項及生物性檢項，生物性檢項除了常見監控項目如大腸桿菌群、糞便型大腸桿菌及大腸桿菌、梨形鞭毛蟲與隱孢子蟲外，更提供進階之水媒致病微生物如福氏耐格里變形蟲 (*Naegleria fowleri*)、棘變形蟲、退伍軍人菌 (*Legionella sp.*)、沙門氏菌等，以及對管線及供水品質有潛在威脅之微生物如硫抑梭菌。

此外，由於澳洲氣候溫和、雨量稀少，且農、牧業發達，水中有機物及營養鹽含量較高，極適合藻類滋長，因此澳洲水公司也進行嚴密的水源水庫藻類監控。透過密集的採樣及顯微鏡鏡檢，及時掌握水庫中藻種的總量、有毒藻種、產臭藻種的比例及數量與長期發展趨勢。而藻毒如微囊藻毒、柱胞藻

毒、魚腥藻毒、貝毒的分析則是使用化學分析法，可提供靈敏且可靠的監控數據。



圖 1 澳洲水質中心業務簡介圖

三、澳洲水質中心水質業務介紹

(一) 水庫管理與即時水質監控

水庫中放置許多個水質監測系統，可以利用手機連線控制監測儀(圖 2)，亦可以從手機中讀取數據(氣溫、水溫、葉綠素、水中硝酸鹽類等資料)。在南澳水源保護區禁止非工作人員進入(研究人員亦須申請)以保護水資源之安全與不受汙染。

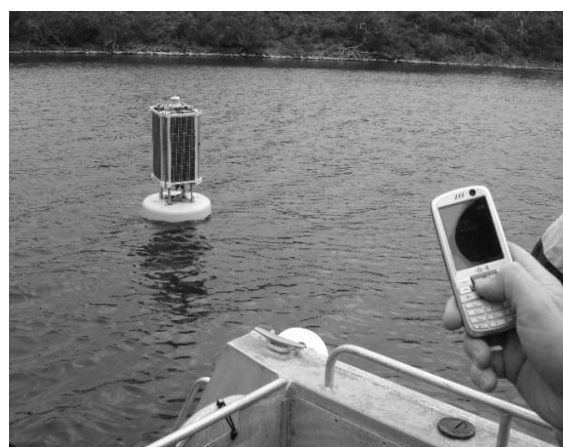


圖 2 以行動電話控制水庫中水質監控裝置

本次參訪實習採樣地點為南澳水公司最大水庫 Mount Bold 水庫，因水庫周圍種滿林木且南澳氣候乾熱，在夏天時易發生火

災，餘灰可能因雨水沖刷帶入水庫，因此此水庫的水色偏棕色。此行隨同實驗室研究人員登船進行水樣採集，可發現與台灣自來水公司採樣工具略有差異，但採集原則大致相同。

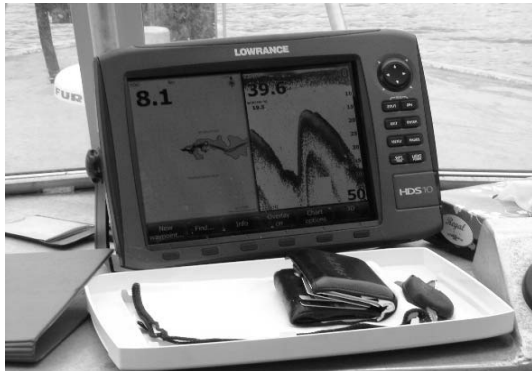


圖 3 採樣船上之聲納系統及採樣器

(二)收樣及採樣系統

水樣的採集依排程。不同分析法，需要不同的容器與添加物等。且有專門採集小組進行採集，採集車(圖 4)亦具備有冷藏功能，可以將水樣即時冷藏。



圖 4 配備齊全的採樣車



圖 5 水質收樣系統

水樣採集後先使用實驗室管理系統進行登錄並分派，依據檢項性質先大致分為生物及化學類樣本，分送至實驗室後，再細分各檢項於研究人員，於實驗過程中之所有標籤亦經由系統印製(圖 5)，免去人為書寫可能造成之錯誤。構成一制度化、階級化且高度分工之樣品管理體系。

(三)梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲

隱孢子蟲與梨形鞭毛蟲均為常見的腸胃道致病原蟲，感染後可能造成噁心、上腸胃道不適、缺乏食慾或腹瀉等症狀，可經由水、口腔及排泄物來傳染。且由於隱孢子蟲具堅硬的外殼，對於淨水流程的處理氯的容忍度很高，因此如何徹底去除一直為各國自來水事業之一大挑戰，台灣亦有明訂檢測方法(NIEA E232.51C)以確保飲用水中未有梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲。

澳洲水質中心檢測梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲與台灣現行公告方法略有出入，該中心將其水樣大致分為高濁度及低濁度水樣，其中低濁度水樣與台灣現行方法相同：使用商業化套件進行過濾、免疫磁珠分離再以螢光染劑染色觀察；針對高濁度水樣時，澳洲水質中心則採用另一種方式進行水樣前處理：將 10 公升之水樣，添加碳酸氫鈉、氯

化鈣並用 1M 氫氧化鈉調整 pH 值至 10，以形成膠羽的方式，沉澱濃縮水樣中的兩蟲、再利用鹽酸及 tween 80 沖洗溶解並徹底回收(圖 6)。



圖 6 利用膠羽沉澱方法收集兩蟲

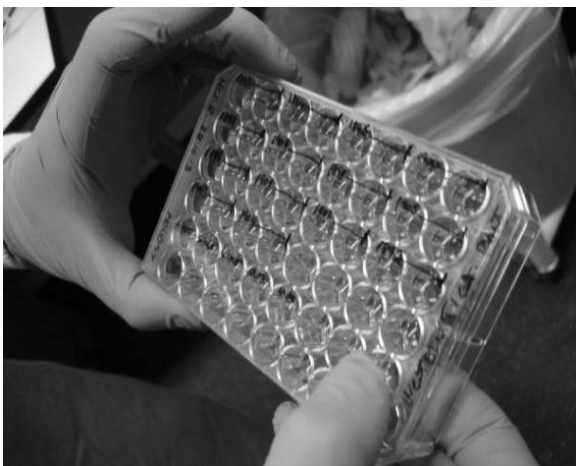


圖 7 利用細胞株測試兩蟲感染力



圖 8 核酸晶片作為親緣關係分析之用

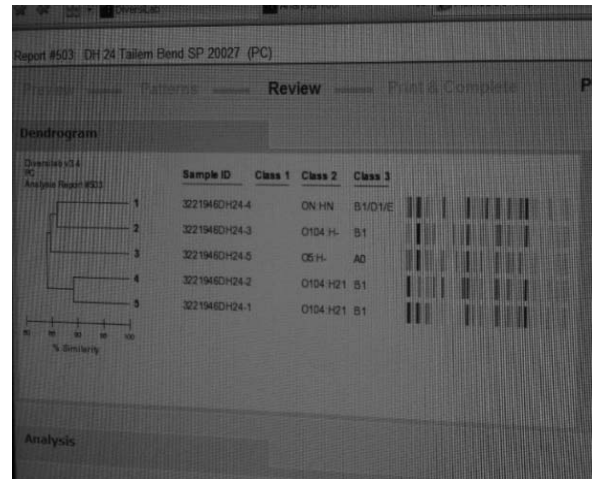


圖 9 透過軟體繪製之親緣關係樹

此外，該中心亦進行兩蟲相關基礎科學研究，利用人類腸胃道的細胞株為宿主(圖 7)，觀察澳洲現存不同種類的梨形鞭毛蟲之感染能力。並利用核酸晶片(DNA chip，圖 8) 確認不同種類的梨形鞭毛蟲之間親屬種緣關係(圖 9)。目前大約有 40 種不同的梨形鞭毛蟲被分離出來，但大部分為相似的種類，其中 *Giardia lamblia* 可以感染人的小腸、*Giardia canis* 可感染犬類的十二指腸，此兩類具病原性，其餘梨形鞭毛蟲並不會感染人。

(四)變形蟲

福氏耐格里阿米巴(*Naegleria fowler*，俗稱食腦變形蟲)。此變形蟲喜歡在溫水(42°C)環境生活。在偶發的情況下，如將病原體吸入鼻腔或接觸鼻腔後，食腦變形蟲會沿著嗅覺神經管道經進入腦部引發原發性阿米巴腦膜炎。棘變形蟲屬(*Acanthamoeba* sp.)，是常見的原生動物之一，出現在土壤、水中。此變形蟲可以抵抗酸鹼與溫度的變化，並可以抵禦宿主的免疫細胞攻擊，不過僅有幾種會感染人類及其他的動物，棘變形蟲會引發棘阿米巴角膜炎 (Amoebic Keratitis) 與肉芽腫性阿米巴腦炎兩種不同疾病。

澳洲水質中心在變形蟲檢驗方面，是利用自行培養之大腸桿菌來餵養變形蟲，以培養皿上的外觀形狀及顯微鏡檢來辨識變形蟲(圖)，而若要更精確的鑑種，則利用即時定量聚合酶連鎖反應(qPCR)進行分析，因核酸中 G≡C 鍵結與 A=T 鍵結因氫鍵數不同有不同的解離溫度，理論上由於各物種之核酸所含的核苷酸數量、比例皆不同，因此其核酸在進行核酸增值時其解離曲線(melting curve)亦不同，可以此特性來判別不同種的變形蟲，此聚合酶連鎖反應技術亦可以運用在辨識不同的生物，例如不同的細菌，大腸桿菌、退伍軍人菌、沙門氏菌等。

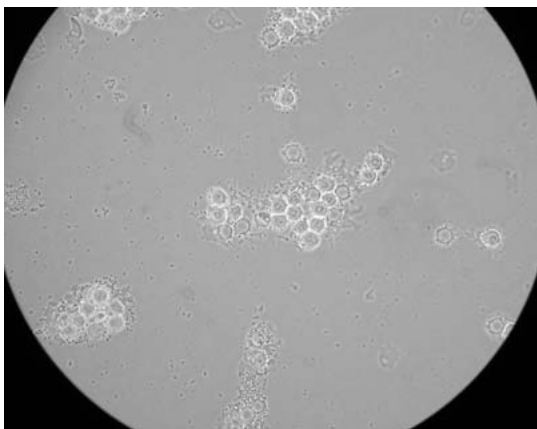


圖 10 顯微鏡下之變形蟲

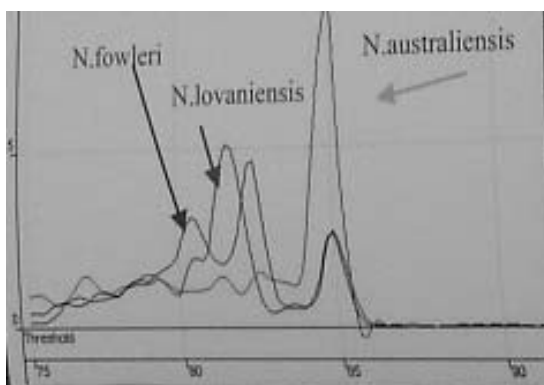


圖 11 依照解離曲線辨識不同變形蟲

(五)微生物及指標微生物

針對常見水質微生物監控項目如大腸桿菌群(total coliforms)、糞便型大腸桿菌

(faecal coliforms) 及大腸桿菌 (Escherichia coli)，澳洲水質中心採用濾膜法、多管發酵法及螢光素呈色及螢光反應檢測法(Colilert)進行監控。

除此之外，與台灣不同的是，澳洲水質中心對於其他水媒性致病性微生物亦建立相關檢測方法，並接受外部客戶委託測試：退伍軍人菌 (Legionella pneumophila，圖 12) 大多存在工業用水與環境用水中，有中年與老年人尤其有抽菸習慣、肺部氣管疾病及有免疫疾病患者可能受其感染而罹患退伍軍人肺炎。澳洲水質中心利用專門培養基，使用 5 種不同條件培養 (原水樣、10 倍稀釋、100 倍稀釋、熱處理、酸處理)，特別選用熱處理與酸處理是因此致病菌喜歡在熱的環境下生長，也具有抗酸的特性。

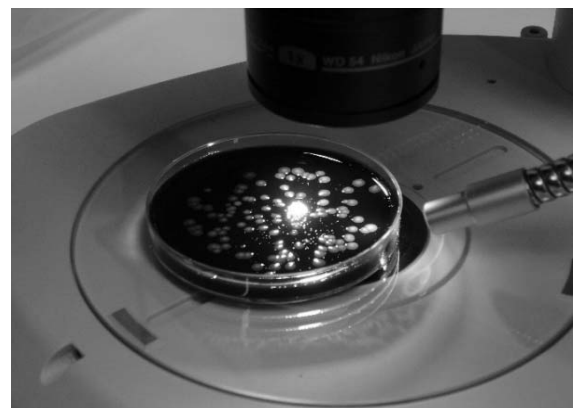


圖 12 顯微鏡下之退伍軍人菌培養基

沙門氏菌為革蘭氏陰性桿菌，主要為傷寒及霍亂疾病之病原菌。沙門氏菌與大腸桿菌的親源關係相近，在環境中及生物體中普遍存在，澳洲水質中心同樣使用選擇性培養基來培養、鑑定。基本上，若檢測結果超過飲用水檢測標準時，該中心將重新採集水樣進行確認，另外也會透過管理系統，即時發出通知給客戶端。

(六)藻類監控及藻華去除技術開發



浮游藻類、藍綠菌、葉綠素-a 與藻藍素的監測，主要目的為了解水庫水質優養化程度，水中臭味物質，藻毒的產生。澳洲水質中心利用顯微鏡來計數藻類，將水樣加入 1% 魯戈氏液將藻體固定、靜置 2 天使其徹底沉澱，再去除上清液達到 10 倍濃縮，在觀察時取 1ml 濃縮液放入計數池計數，目前水質中心提供 4 種服務：



圖 13 自然沉澱法濃縮藻類



圖 14 使用計數池監控藻類數量

1. Algal Scan：

辨識有毒藍綠菌至各個藻種，其餘水庫藻類辨識到屬即可。

2. Full Enumeration：

檢視大部分 (> 80%) 的藻種與藍綠藻。

3. Partial Enumeration：

僅辨識優勢種與有毒藻種。

4. Total Cyanobacteria Enumeration：

僅計算藍綠菌。

除了藻數量之計算，水質中心也進行藻類活性之評估：(1)使用螢光染劑染色，再使用具螢光功能之顯微鏡或流式細胞儀(Flow cytometer)來確認藻類活性，依選用染劑不同，活性不同之藻體會有不同之螢光呈色。(2)另有不使用染劑方式，調整螢光顯微鏡濾片至 500nm，亦可觀察藻類活性。

針對藻華現象，水質中心亦開發主動式的處置方法，例如將硫酸銅或低濃度(1 mg/L)的 H_2O_2 溶液或粉末直接加入有問題的水庫或河川中來去除藻類。由於形成藻華的藍綠菌相較於水中其他藻類對 H_2O_2 耐受性較差，因此可將對水體中的其他藻類與生物的傷害降至最小。

而相對於化學物質處理殘留的風險，使用物理性方式控制藻類滋生也是而目前水質中心積極開發的部分，例如利用不同頻率、不同間隔時間之超音波來做為降低藍綠菌的生長之手段，若使用超音波將其泡膜震破，使其內容物釋放細胞內，即可殺死藻細胞或破壞其浮力調節機制而使藻類永沉水底，最終因缺乏光照而亡。除此之外，利用水流攪動來擾亂藻類的成群聚集等，同樣能降低藻類光合作用效率而達到抑制藻類生長的功效，實為一值得期待之技術。

(七)藻毒檢測

利用酵素免疫分析法套件(ELISA kit)進行藻毒偵測，或利用化學檢測法取得更精準的分析結果（偵測極限較低，可偵測異構物），不同的藻毒素會使用不同的分析儀器(HPLC-MS 或 LC-MS-MS，圖 15、圖 16)來測定。



圖 15 利用 HPLC-MS 監測藻毒

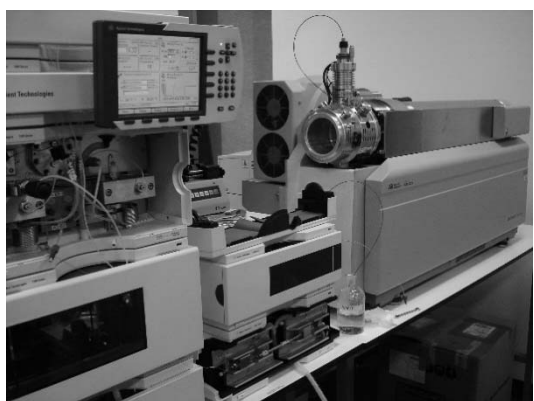


圖 16 Triple- quads LC-MS-MS

(八)水域生態調查：

監測水庫及其流域附近之動物生態，包括無脊椎動物（如棘皮、軟體、節肢動物等）與脊椎動物（如魚類）。主要觀察其生物多樣性變化，如物種演替、遷徙與滅絕等。該研究小組亦保存眾多之動植物樣品以供日後比對、研究(圖 17)。

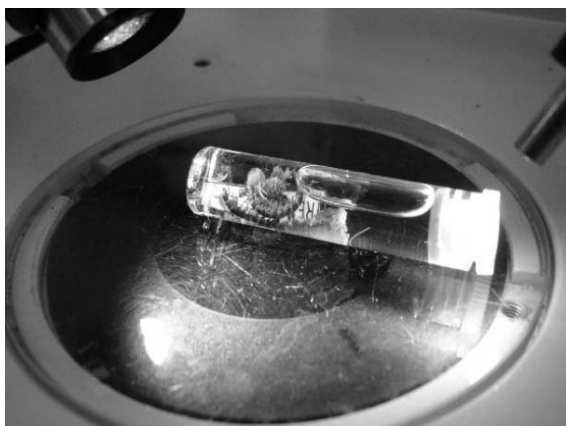


圖 17 於酒精當中保存的節肢動物樣本

(九)產品測試

除了出廠前的水質檢驗項目之外，飲用水到客戶端還需要有管線配送，運送時周圍環境、配水管材質等一切接觸水體的材料造成之生物或化學性改變飲用水品質亦須考慮，因此水質中心內有專門部門針對輸水過程中管線及材料進行相關試驗，測試送出的飲用水在管線中、水龍頭、環境等輸送的途徑中是否會產生變化，由此實驗可確保飲用水輸送過程中不會有任何水質改變或微量物質汙染。主要測試的項目為：

- 1.水質適飲性。
- 2.水質外觀分析。
- 3.微生物生長測試：

將管線等放在水中靜置 8 週，每週測試 2 次關於水中溶氧量的變化，主要觀察是否有微生物生長。

- 4.突變反應測試：

使用艾美氏試驗（Ames test）來偵測水中可能致癌物質。

- 5.細胞毒性反應測試：

觀察輸送途徑中是會產生有毒物質，由於有毒物質在短時間內可能都只有微量的輸出，因此利用對毒物較敏感的細胞株（VERO cell）來進行實驗，觀察細胞是否有不正常死亡的現象來衡量水體中是否存有急毒性物質。

- 6.金屬溶出測試：

主要檢測輸送過程中是否釋出金屬物質，並利用化學法分析。

- 7.高溫溶出測試：

檢視水在高溫中輸送是否會釋放有毒物質。由於輸送管材中可能會有一些耐熱程度較低的物質、塑膠類材質、螺旋帽等，

因此需要經過高溫測試。

四、心得與討論：

(一)水庫水質及生態管理：

- 1.水源保護區的設立，在水庫集水區範圍內設立水源保護區，另外，南澳方面跟台灣有相似情況，河川管理、水庫管理與水公司不屬於同一個部門，水權的劃分使得他們無法管理 River Murry，此河川流域亦有工廠，農場會排放廢水汙染水源。
- 2.在水公司所管理範圍內，有育林計畫，植樹可加強水土保持也可以加強土壤中的含水量，可防止南澳夏季乾熱自燃現象。
- 3.殺藻劑的使用：根據藻類鏡檢結果，追蹤與預防藍綠藻華的形成，並積極開發化學或物理方法主動式消除藻華威脅。
- 4.生態調查也是水庫或水源水質管理的重點，澳洲水質中心除有專門研究小組外，亦與研究單位合作，進行大規模、系統化之生物多樣性調查。

(二)實驗室經營策略

- 1.澳洲水質中心的分工可分為例行性工作的商業組與研究組，分工規劃詳盡，商業部門會因應客戶需求不作多餘檢項，較有效率；分工細膩，各組皆有專業人才，可以作更深入的研究。研究部門除開發新方法以外，亦依據實驗需求與學校等研究機構配合，例如測試有毒物質所需的動物實驗需有專門養動物的動物房以確保動物的生長環境，因此便與當地學校合作，達到資源成果共享的雙贏局面。
- 2.澳洲水質中心之化學部門具有一專門獨立的品管室，配製標準品與盲樣供給研究人

員測試，利用盲測查看每個人作出的值差異是否在標準誤差 $<20\%$ 之內，因為實驗為團體工作，可以確保每一個實驗步驟由誰接手都可行。例如藻類的計數，藻種的判斷，需要相當的經驗，藻種複雜，藻類個體小，相似度高，因此可能會有誤判的現象。

- 3.定期檢討做實驗的目的性，並在實作的過程中累積資料以驗證。在進行實驗前，首先要了解為甚麼要做這個實驗，可以達到的效果？如果沒有達到預期的效果，是否需要再檢討實驗步驟。衡量人力（時間）與成果百分比。
- 4.南澳水公司依據不同的用水（飲用水，工業用水，公共區域用水）會發展出不同的水質檢測標準。飲用水的水質標準最高，公共區域用水（游泳池，公園的湖水，海水浴場等）僅會與身體皮膚接觸，標準會略為降低，也不需考慮適飲，口感。
- 5.人力資源為公司最重要的資產，為防止人員有職業傷害，南澳水公司有請醫師，物理治療師來評估人員，在工作中常作的動作（提重物，搖水樣瓶，長期使用顯微鏡等）訂出一套工作安全規範。
- 6.實驗室的建立規劃：在生物實驗室方面，將原蟲與微生物檢項放在同側並搭配其研究部門，藻類及生物多樣性放在另一側，中間有休息室可供大家休息時互相討論問題。以負壓實驗室為中心，各實驗室工作檯面相通為一個大實驗室，其外圍就近為個人辦公室，並設有多個入口，僅相關人員可以刷卡進入。

(三)值得引進之檢驗及服務項目

- 1.qPCR：運用非常廣泛，有關水媒傳染途徑的微生物、病毒、原蟲等與分子生物學相關，鑑定種類，毒性基因的有無皆可依此方建立標準方法。另外親屬種源關係的鑑定也須透過此技術來進行下一步實驗。
- 2.產品測試：澳洲水質中心對於所有的接觸水的材質進行測試，輸送水的管材、水龍頭、加熱器內的管子及其它可能會接觸與盛裝水的容器均加以測試以確保處理完善與符合標準之水的品質不受其他接觸材料而影響品質。

五、結語：

台灣為全球貧水區域，一方面因高山地形導致水流湍急，另一方面降雨也集中在夏季，颱風、豪大雨造成土石流入水庫導致水庫淤積，儲水量不足。近年來更深受全球氣候變遷的影響，水資源得來不易。另外經濟面上，台灣工廠林立、都市化及水源保護區的概念不慎充足，水污染的問題頻頻出現在新聞上，藻華及藻毒，新興污染物的產生，都可能對人造成因長期飲用而導致的疾病的風險，在經濟方面與環保方面之間的平衡實在值得深思。

澳洲為世界先進國家，降雨不豐且氣候乾燥，但因地廣人稀，平均每人可分得知水資源卻遠較台灣豐富。然而由於產業及環境的差異，南澳洲水公司同樣面臨許多難題，例如農牧業發達造成的有機物污染、廣大森林及多樣性生態導致原蟲、變形蟲等致病菌同樣多樣化、且由於雨量稀少，河川湖泊水體流速慢、停滯期長，更容易造成藻類滋生而產生藻毒或臭味問題。此次有幸有此澳洲

參訪機會，不但學習了許多新穎的檢驗技術可供未來台灣自來水公司加強對水質之管理監控外，更了解基礎研究與實務結合的重要性，對於生態環境變遷的掌握及不斷研發更新的檢驗及處理技術，使得南澳水公司面對氣候變遷或人為汙染造成之總總難題始終居於主動之地位。

除技術層面，該公司之經營策略及企業文化也值得借鏡：其檢驗業務可針對客戶需求而提供彈性化的服務，而非亂槍打鳥、一網打盡式的經營，這對經營日漸困難、亟需開源節流之自來水事業實為一良好之典範。最後，以人為本、永續經營的企業文化更值得我們學習，永遠將人員當作公司最重要的資產，培養出具備高度技術及研究倫理之專職研究、檢驗人員，從上到下各司其職，並以自身工作為榮且對自身專業充滿自信，也使得南澳水公司能夠由內而外，不論是制度面或技術面皆為世界一流，也期待台灣自來水公司上下一心，有朝一日亦能擠身世界級水公司之列。

作者簡介

李維旻小姐

現職：台灣自來水公司水質處生物組工程師

專長：微生物學及分子生物學

王冠中先生

現職：台灣自來水公司水質處生物組工程師

專長：微生物學及分子生物學

吳美惠女士

現職：台灣自來水公司水質處處長

專長：化學及水質管理