自來水會刊第 36 卷第 1 期目錄

實務研究

西嶼降低NRW兩年專案成效探討……林子立…… 1

東湖地區停水後復水時程策進方案暨執行成果……李鴻利、鄭答振……9

本期專題　營運管理

借鏡日本耐震管材改善管線與提升耐震能力探討……鄭錦澤、陳輝哲、林志成……21

利用大數據以人工智慧之水量需求預測……林志憲……34

自來水管埋設施工規範消毒洗管作業之革新修正……李中彥、石明憲……48

水資源環境教育設施場所經營模式探討－以深溝水源生態園區為例……

……林岳、楊碧孌、謝東穎、朱益廷……55

一般論述

以浮除法去除水中新興污染物－全氟辛酸與全氟辛烷磺酸……李育輯、駱尚廉……67

PVC硬管及軟管揮發性及半揮發性有機化合物釋出研究……張美惠……74

他山之石

水資源再生－淺談南加州再生水之利用……游育晟、陳文祥……84

法規廚窗

自來水工程使用土地爭議補償裁量準則修正探討 ……賴敏中…… 91

國際視窗

「你知道嗎？」－水務再公有化已成全球趨勢……本刊編輯小組……98

協會與你

歡迎投稿 106年「每期專題」……33

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法……97

封面照片：台灣自來水公司提供

自來水會刊雜誌稿約

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

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

三、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得（包括技術與管理），前述二類文稿請儘量附英文題目及不超過 150 字之中英文摘要，本刊將委請專家審查。「每期專題」由本刊針對特定主題，邀請專家學者負責籌集此方面論文予以並列，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「自來水工作現場」供自來水從業人員，針對工作現場發表感想。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與您」則報導本會會務。

四、惠稿每篇以三千至壹萬字為宜，特約文稿及專門論著不在此限，**本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明**；無法刊出之稿件將儘速通知。

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

六、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。

七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 aael@mail.water.gov.tw，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」、「土木工程料」。

自來水會刊雜誌

發 行 單 位：中華民國自來水協會
發　行　人：胡南澤
會　　址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓
電　　話：(02)25073832
傳　　真：(02)25042350

自來水會刊編輯部
臺中市雙十路二段二號之一
行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號
總 編 輯：李丁來

執行主編：林正隆

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員
黃志彬

副主任委員
李丁來

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

編審委員
甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、梁德明

執行編輯：陳品如
電　　話：(04)22244191 轉 266

行政助理：古蓁芩

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

西嶼降低 NRW 兩年專案成效探討

文/林子立

一、前言

澎湖縣政府於 2014 年 2 月提出為保育熱門觀光地區西嶼之地下水，需減抽地下水(含鹹化井)，又因 2004 至 2013 年近 10 年來漏水率偏高，平均售水率 59.67%（表 1），2013 年更低至 56.47%，故規劃建議水公司擴建現有西嶼 750 CMD(2012 年底啟用)海水淡化廠為 2000 CMD，以改善西嶼鄉用水。

台灣自來水公司冀望於短期內減少漏水量，並降低 NRW (Non-Revenue Water 無收益水量)，以達到減抽地下水量，遂成立「西嶼降低漏水專案」，徵調全公司專業檢漏人員進場作業。

兩年專案始於 2014 年 5 月迄 2016 年 4 月執行完成，移動年（2015/5~2016/4）售水率達到 86.54%（1703÷1968CMD），效益額約達 2,200 萬元。

二、問題背景與現況分析

西嶼系統管線長約 44 公里、用戶 2591 戶，供水範圍包括西嶼鄉全鄉 11 村，主要供水水源由西嶼淨水場、西嶼鹽井水淡化廠（16 口地下水井）及 750CMD 的西嶼海水淡化廠供應，既設總水量計（含既設小區）共計 13 處。

2014 年西嶼系統給水成本 62.72 元/m^3，水費約 10 元/m^3，每賣出 1m3 水即虧損 52.72 元/m^3，如依澎湖縣政府規劃擴建海水淡化廠為 2000CMD，則虧損將數倍增加。故台灣自來水公司計畫排除管線汰換工法，改採分區計量暨檢修漏工法，冀望於短期內減少漏水量，並降低供水量，以達到減抽地下水量。

表 1　西嶼系統 2004－2013 年水量統計

年	日均售水量	日均供水量	售水率
2004	1658	2514	65.93%
2005	1587	2645	59.98%
2006	1655	2777	59.62%
2007	1593	2742	58.11%
2008	1532	2655	57.71%
2009	1602	2606	61.47%
2010	1615	2691	60.02%
2011	1604	2720	58.97%
2012	1554	2636	58.95%
2013	1541	2729	56.47%
平均	1595	2674	59.67%

三、實務探討

水公司於 2014 年 4 月成立「西嶼降低漏水專案」，5 月調集專業檢漏人員進場作業。作業前 2014 年 4 月移動年（2013/5~2014/4）售水率 58.33%（1545÷2649CMD），目標於 2016 年 4 月移動年（2015/5~2016/4）售水率達到 70%（1545÷2200 CMD），則預估一年可減少 163,885m^3 (449 CMD；16.95%)供水量。

(一)供水系統概述

西嶼供水系統係由小池水庫、16 口地下水井專管的鹽井水淡化廠及 750CMD 海水淡化廠等處理後，進入 1500 噸清水池，再加壓供應西嶼鄉全鄉 11 村用水。惟為供應屬管末地處南端且地面標高為 10 至 35m 的外垵村用水，於其前端設管中加壓站，增壓進入地面標高 52m 的高地 500 噸調配水池，再重力供水外垵小區，故外垵小區成為西嶼系統供水穩定度的關鍵指標。

(二)作業工法

為於短時間內降低供水量，採計量與檢漏同時進行，計量方面，利用現有 13 處的小區總水表，進行每日的區域供水量分析，以判定漏水嚴重區，再責由檢漏組進場漏水聽音及修漏作業。另針對可再縮小的供水區域，增設管夾超音波流量計及水壓的紀錄與分析，尤其外垵 500 噸調配水池與場內加壓出水點，更需藉線上型管夾超音波流量計，以取得每分鐘進、出清水池之瞬間流量、日供水量及水位、出水壓值等關鍵數據，以利做全系統的診斷及驗證總體作業成效。

1.漏水檢測

作業期間，除了採傳統管線聽音檢漏外，對於已知漏水量之小區卻不易檢出漏水點所採取不同的因應方式，如相關儀檢測漏水、漏水分段計量測試（STEP TEST）、及現場開挖會辦等作業工法，大部分皆能以小區計量來驗證並達到預期降低漏水量之目標(圖 1-3)。

2.用戶普查與竊水檢測

經取得小區同步售水率及最小流量率等數據交叉分析，前述工法仍無法檢出類似背景漏水者，則進行包括用戶水表流量簡易測試、用戶用水普查及小管內視鏡檢視(圖 4-5)等工法。

圖 1　艷陽下的管線聽音檢漏

圖 2　相關儀檢測漏水點

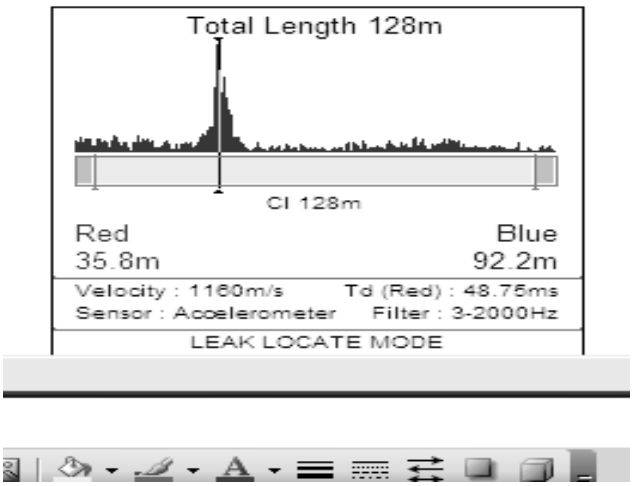


圖 3　相關儀判讀之漏水點

圖 4　小管內視鏡檢視分岐管 A

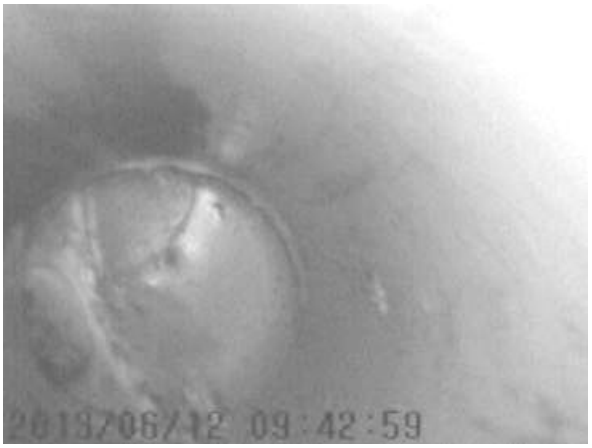


圖 5　小管內視鏡檢視分岐管 B

對於西嶼供水系統建置初期，係屬鄉營的簡易自來水系統，其管線埋設經常不按牌理出牌，據聞有熟悉管線裝接的民間技術人員，藉裝接竊水管線來收取費用，亦有竊水戶譏笑依法繳納水費的用戶，更有甚者，竊水戶已免繳納水費，卻可據此售予其他用水人，並且加以收費的「二房東」現象。竊水行為在社區形成風氣後，有曾被查獲但事過境遷，再被二次查獲竊水的案例發生。致本專案所檢出的竊水案件偏多(圖 6-7)，期間共協助並檢出竊水 20 案、追償水量達 74,884m^3，追償金額高達 829,718 元。

於同步售水率始終無法提高者，則採用戶表流量簡易測試與用戶表聽音，經逐戶比

圖 6　竊水檢測-表前私接分岐管竊水

圖 7　竊水檢測-藉竊水來免費澆水的菜園

對，亦發現用戶水表異常，即小流量指針正常運轉，大流量指針卻卡住不動等現象。另再針對停用戶逐戶聽音檢測，覓出外線分岐節點並拆除之，從源頭杜絕竊水，降低供水量。

3.數值分析與現場處理

為縮短從知道漏水(Awareness)到檢出(Location)並修復(Repair)的時間，最小流量率成為檢漏單位研判小區供水是否復發漏水的依據，而這些數值分析所顯示的異常訊息，再到現場巡檢所發現的，有些是村落廟慶(圖 8)、用戶內線水塔浮球漏水(圖 9)、用戶內線漏水已告知卻故意不修理，致夜間流量誤判為公司管線漏水、虛耗人力，或多日乾旱用戶菜圃澆水等非漏水因素，然而，為排除內線漏水所造成的最小流量率誤判，檢

漏員乃主動自費購置零件為其修復，顯見為短期降低供水量，專案成員可是無所不用其極。

圖 8　廟慶-用水增加、突增供水量

圖 9　小門村海巡營區水塔浮球漏水-供水量累增、協助修復

4.供水瓶頸與供水診斷

103 年 6 月 20 日澎湖所於外垵調配水池前端之內垵國小前，為準確計量總表後端之小區供水量，將原先與供水管徑相等之§150mm 總水表改設縮管為§100mm 總水表後，形成供水瓶頸。經比對 6 月 10 日與 30 日兩天之線上超音波相關流量與水壓數據(圖 10)，發現縮管後西嶼場為滿足後端之外垵調配水池水位與外垵小區之供水，變更供水模式，即提高出水壓致全系統區域之漏水量隨之增加：

(1)全日平均出水壓由 1.992 提升至 2.076，約提高 0.084 kg/cm^2。

(2)夜間水壓由 1.87 調升至 1.97 kg/cm^2，00:00~04:00 累積流量約增加 80CMD。

(3)流量數據由 6 月 10 日的 1408(最小流量) ÷ 2191CMD(日水量)=64%(最小流量率)、增加至 30 日的 1869÷2600=72%，夜間瞬間流量增加 461CMD、日水量增加 409CMD，研判係提高出水壓、致增加供、漏水量。

綜如前述，西嶼系統 2014 年給水成本 62.72 元/m^3，水費 10 元/m^3，每賣出 1m^3 水就虧損 52.72 元/m^3，雖然，提高售水率與降低供水量是一體兩面，然而，本專案主要績效不在展現提高售水率（因為賣越多水，就虧越多錢），而在降低供水量（即少賣水，虧損就減少）、基於降低 NRW 之考量，所以才會有作業期間主動為用戶修復水塔浮球漏水的設備、竊水檢測、普查用戶與水表感度檢測等等，上揭均屬於 NRW 裡非漏水項目的工作。

四、績效驗證

本案自 2014 年 5 月進場作業，迄 2016 年 4 月底止，執行兩年之成果如下：

(一)作業成效

1.作業期間兩年（2014/5~2016/4）累計供水量 1,502,940 M^3（2056CMD），較作業前兩年（2012/5~2014/4）尚未進場作業之累計供水量 1,965,450 M^3（2689CMD），共減少 462,510m^3（平均每日減少供水量 633CMD），減少率 23.53%（462,510÷1,965,450）。

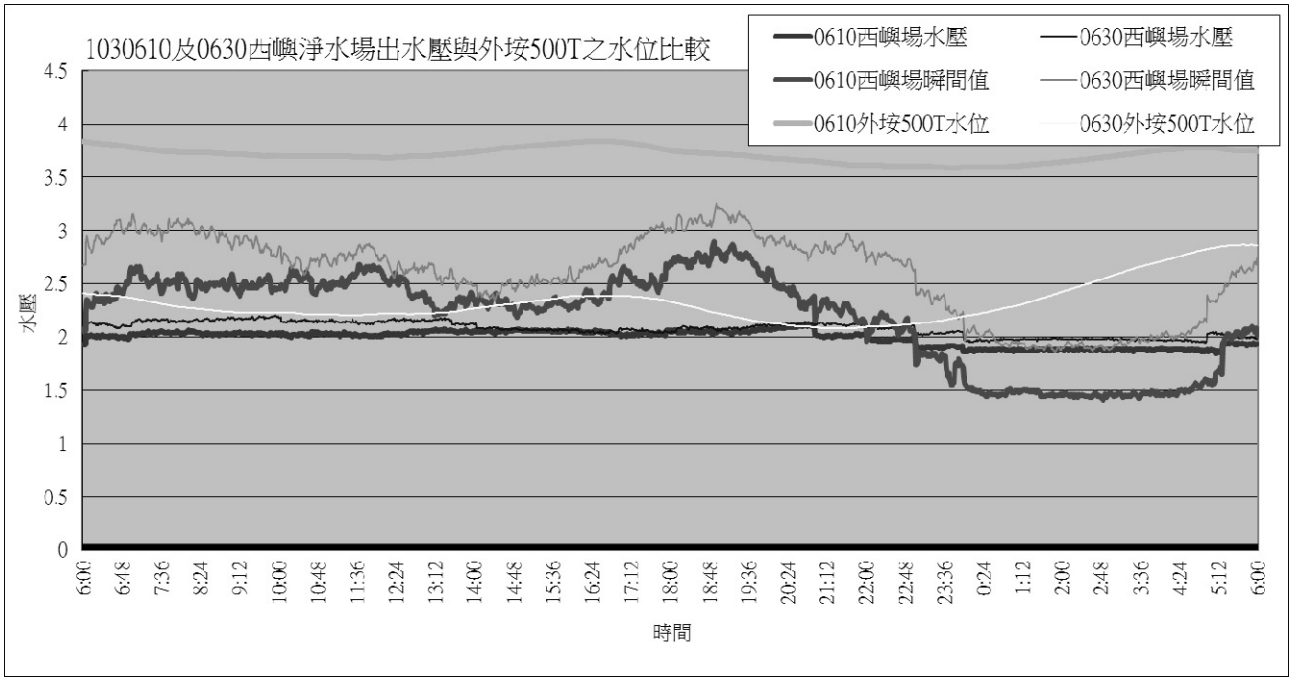


圖 10　供水瓶頸前 103 年 6 月 10 日及後 6 月 30 日西嶼淨水場出水壓與外埔 500T 水位比較

表 2　西嶼系統 2013-2016 年各月水量(CMD)比較

月	月售水量				月供水量			
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
1	161	221	335	3	2867	2779	1983	1953
2	3108	3006	3795	3342	3030	2671	2124	2234
3	169	198	174	261	2846	2539	1819	2086
4	2707	2763	3033	3432	2820	2591	1912	2006
5	210	206	187	3	2458	2406	1931	2042
6	2737	2615	2985	3434	2644	2385	1948	2056
7	223	387	194	0	2774	2474	1919	2111
8	2829	3196	2970	3608	2731	2294	1926	1959
9	226	190	122	0	2661	2178	1867	2010
10	3128	3004	3420	3538	2601	2076	1875	2011
11	201	509	-10	0	2678	2145	1880	2077
12	2934	2887	3571	----	2663	1999	1935	----
平均	1542	1588	1716	1763	2729	2376	1925	2045
備註	西嶼兩年專案自 2014 年 5 月迄 2016 年 4 月止。							

表 3　西嶼系統 2013-2016 年各月移動年水量(CMD)比較

月	移動年售水量				移動年供水量				移動年售水率			
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
1	1554	1546	1598	1688	2656	2721	2309	1923	58.52%	56.81%	69.19%	87.81%
2	1565	1538	1658	1663	2677	2694	2267	1937	58.44%	57.10%	73.15%	85.82%
3	1561	1541	1656	1670	2713	2668	2206	1960	57.55%	57.75%	75.08%	85.21%
4	1530	1545	1678	1703	2736	2649	2150	1968	55.93%	58.33%	78.07%	86.54%
5	1530	1545	1677	1687	2729	2645	2110	1977	56.06%	58.42%	79.48%	85.34%
6	1518	1535	1707	1724	2735	2623	2074	1986	55.49%	58.51%	82.32%	86.82%
7	1519	1549	1691	1708	2732	2598	2026	2002	55.62%	59.62%	83.43%	85.29%
8	1531	1580	1671	1762	2739	2561	1995	2005	55.92%	61.70%	83.77%	87.88%
9	1528	1577	1666	1752	2739	2521	1970	2017	55.78%	62.55%	84.57%	86.87%
10	1532	1567	1701	1762	2734	2477	1952	2028	56.03%	63.25%	87.12%	86.87%
11	1532	1592	1658	1763	2737	2433	1931	2045	55.97%	65.43%	85.90%	86.22%
12	1541	1588	1716	----	2729	2376	1925	----	56.47%	66.81%	89.15%	----
註	西嶼兩年專案自 2014 年 5 月迄 2016 年 4 月止。											

2.依各月售、供水量(表 2)之消長可驗證成效，再比較移動年平均售水量(表 3；圖 13)：作業前 2014 年 4 月 (2013/5~2014/4) 1545 CMD，迄作業結束 2016 年 4 月為 1703 CMD，平均增加 158CMD、成長率達 10.22%(158÷1545)，持續監測至 2016 年 11 月達到 1763 CMD，平均增加 218CMD、成長率達 14.11%(218÷1545)，成效持續顯現。

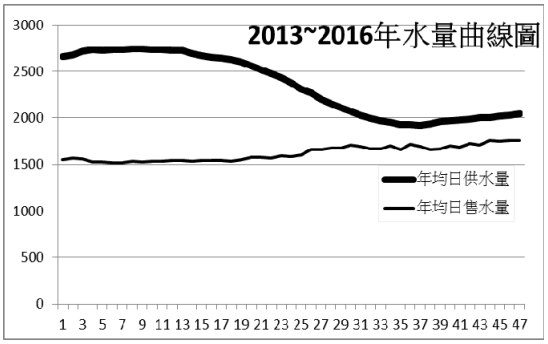


圖 13　移動年平均供、售水量圖

3.比較移動一年期售水率成效：作業第二年 2016 年 4 月(2015/5~2016/4)86.54%，較未進場前一年 2014 年 4 月(2013/5~2014/4) 58.33%，共提升 28.21% (86.54%-58.33%)。技術支援並檢出違章竊水 20 件、追償水量 74,884m^3，追償金額 82 萬 9,718 元。

(二)兩年作業效益

兩年作業期效益共約 2,200 萬元（表 4-C 值），期間共投入 1564 作業人日，支出費用(含用人、修漏、住宿、機票、旅費及加班費等)約 895 萬元（表 4-A6 值），作業收入(含竊水追償費、檢漏效益、售水量增收)約 3,095 萬元（表 4-B4 值）。

跨海作業單位效益，每減少 1 m^{3}之支出費用為 19.36 元（8,952,068 元÷462,510m^3）、每減少 1CMD 成本約 14,142 元/CMD

（8,952,068 元 ÷ 633 CMD）、每提升 1%售水率之支出為 317,337 元（8,952,068 元÷28.21%）。

(三)他山之石

國際某專業降低 NRW 團隊曾於 2013 年，針對台水公司年虧損達 3 億元以上的澎湖縣，規劃馬公地區降低漏水率示範計畫(執行 18 個月)，本西嶼專案恰亦屬澎湖地區，且已執行並有相關實際數據可供比較，故擷取其相互比較供參。

以每減少 1CMD 成本比較，該團隊計畫為 19,177 元/CMD、台水團隊實際為 11,532 元/CMD (表 5) ，另以每減少 1m^{3}成本相論，該團隊計畫為 52.54 元/m^3、台水團隊為 31.59 元/m^3。惟以該團隊之降低漏水技術，如付之執行其效益當優於計畫數。

表 4　西嶼系統降漏專案執行二年效益比較(103/05-105/04)

項目		金額(元)	比率	備註
A.支出	A1.用人費	3,801,958	42.47%	2,715,684 元×1.4 倍
	A2.修漏費	1,948,797	21.77%	移送 795 件
	A3.住宿	1,908,000	21.31%	
	A4.機票及旅費	1,118,167	12.49%	
	A5.加班費	175,146	1.96%	
	A6.支出小計	8,952,068	100%	
B.收入	B1.竊水追償費	829,718	2.68%	追償水量 74,884m^3
	B2.減漏效益(減少給水成本支出)	29,009,090	93.71%	462,510m^3×62.721 元/m^3
	B3.售水量增收(二年期間增加售水量)	1,115,950	3.61%	111,595m^3×10 元/m^3
	B4.收入小計	30,954,758	100%	
C.效益(B4-A6)		22,002,690		

單位效益					
D.計算式	項目	細項	水量(m^3)	金額(元)	備註
	a.作業前兩年 101/5-103/4	D1.累計供水量	1,965,450	--	# 2689 CMD
		D2.累計售水量	1,122,538	--	1535 CMD
	b.作業期間兩年 103/5-105/4	D3.累計供水量	1,502,940	--	# 2056 CMD
		D4.累計售水量	1,234,133	--	1688 CMD
	5.累計減少供水量	D5=D1-D3	462,510	29,009,090	462,510m^3×62.721 元/m^3
	6.累計增加售水量	D6=D4-D2	111,595	1,115,950	111,595m^3×10 元/m^3
	7.平均日減供水量	D7=D1#-D3#	633		2689-2056 CMD
	8.售水率提升	D8	28.21%		86.54%-58.33%
E.單位效益	每減少 1m^{3}供水量之支出費用	E1(元/m^3)=A6÷D5		19.36	8,952,068 元÷462,510m^3
	每減少 1CMD 成本	E2(元/CMD)=A6÷D7		14,142	8,952,068 元÷633CMD
	每提升 1%售水率之支出	E3(元/%)=A6÷D8		317,337	8,952,068 元÷28.21%
說明	西嶼系統 103 年給水單位成本 62.721 元/m^3				

表 5　某國際公司與台水公司之降低 NRW 團隊作業比較

序	項目		馬公系統(計畫)	西嶼系統(已執行)
A	作業期間	計算式	2014/01~2015/06	2014/05~2016/04
B	全系統無計費水量(CMD)		6,729 (22901-16173)	1,104 (2649-1545)
C	作業區無計費水量(CMD)		3,000	1,104
D	作業區減少無計費水量(CMD)		1,500	633
E	年減少無計費水量(m^3)	D*365 日	547,500	231,045
F	工作人員薪資		20,999,764	3,801,958
G	差旅費		7,765,000	3,201,313
H	經費	F+G	28,764,764	7,003,271
I	售水單位成本		59	62.721
J	可節省費用	E*I	32,302,500	14,491,373
K	效益	J-H	3,537,736	7,488,102
L	每減少 1CMD 成本	H/D	19,177	11,063
M	每減少 1m^3成本	H/E	52.54	30.31
N	提升售水率		4.95%	28.21%
備註	1. 馬公系統數據係引自 2013 年國際某專業降低 NRW 團隊於執行 18 個月的降低漏水計畫案，惟因故未執行，僅擷取該計畫之薪資與差旅費兩項數據核算，比較供參。 2. 以該團隊之降低 NRW 技術，如付之執行其效益當優於計畫數。			

結論

兩年專案期間，未執行管線汰換工程，於 2016 年 4 月結束，已逾預期目標售水率 70%，達到 86.54%，且持續 2 人一組以澎湖營運所自動讀表系統的監測維護，迄 2016 年 11 月仍有 86.22%之移動年售水率，顯見仍能維持既有成果並有效抑制漏水之復原。

誌謝

本報告要感謝台灣自來水公司西嶼降低漏水專案團隊共 15 位的全體隊員，跨海發揮務實的檢測技術與經驗，尤其是現場負責人及竊水防止實務專家蘇隆盛先生的戮力參與，使得此一報告順利完成，特此誌謝。

作者簡介

林子立先生

現職：台灣自來水公司漏水防治處工程師

專長：分區計量診斷與漏水檢測

東湖地區停水後復水時程策進方案暨執行成果

文/李鴻利、鄭答振

摘要

104 年因蘇迪勒與杜鵑颱風在南勢溪上游降下豪雨，造成烏來忠治里、烏來日月光溫泉附近等多處土石崩塌，原水濁度升高到淨水場無法負荷。杜鵑颱風期間，臺北自來水事業處首次進行全面停水作業，在恢復供水後，因東湖地區位於供水管網末端與高地地區，在前端用戶大量進水時，即造成末端東湖地區復水困難與延遲，為改善前述現象，分別針對東湖地區、東湖加壓站、內湖三期及四期加壓站提出相關策進方案，透過實際測試及分析結果顯示，在颱風停水復水後，應可加速東湖地區之復水時程。

一、前言

104 年 8 月 7 日蘇迪勒颱風挾狂風暴雨侵襲臺灣，於南勢溪上游降下豪雨，造成上游集水區坡地崩塌、邊坡滑落等災害，以致於新店溪原水濁度飆高達 3 萬 NTU 以上，為平日的千倍，遠超過淨水場最大處理能力 6 千 NTU。臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）為因應此種情況未來可能成為常態，特針對不同原水濁度擬定淨水場高濁度原水取用 SOP，以決定實施減量或停止取水措施。9 月 28 日杜鵑颱風再度襲臺，上游集水區受暴雨持續沖刷，原水濁度最高增至 22,800NTU，且 10,000NTU 以上持續遞延 14 小時，北水處為避免淨水設備損壞，並有效保留沉澱池處理空間，當原水濁度超過 6,000NTU，即依新修訂之 SOP 操作，逐步減少取水量，原水濁度超過 12,000NTU，則陸續關閉取水設施，以迴避濁度高峰，待原水濁度降至 12,000NTU 以下，逐步恢復取水，藉此措施縮短復水作業時程，儘速恢復正常供水。

杜鵑颱風期間，北水處首次進行全面大規模停水作業，為過去從未有過之經驗，復水作業亦為最大挑戰，故仍有檢討改進空間，其中東湖地區因屬供水管網末端與高地區之用戶，在前端用戶大量進水時，即造成後端地區復水困難與延遲，為改善前述現象，故研擬該區域供水系統改善方案，以加速復水時程。

二、東湖地區復水延遲之原因探討

東湖地區除平地區外，又以東湖加壓站、內湖三期及內湖四期加壓站供水區域復水最為緩慢，以下分別針對東湖平地區、東湖加壓站、內湖三期及內湖四期加壓站復水緩慢進行探討：

(一)東湖平地區

為探討東湖平地區復水困難與延遲之原因，首先需瞭解東湖地區目前供水模式，東湖地區是由松山內湖線經民權東路 6 段，再於成功路 2 段交口分別由民權東路 6 段 φ900mm 本線與成功路 2 段分支 φ500mm 管線進行供水（如圖 1）。因東湖平地區位於該供水區域末端，以致颱風期間大規模停水後，在前端用戶大量進水情況下，末端東湖平地區之用戶則無法有效進水，造成東湖平地區復水困難及緩慢。

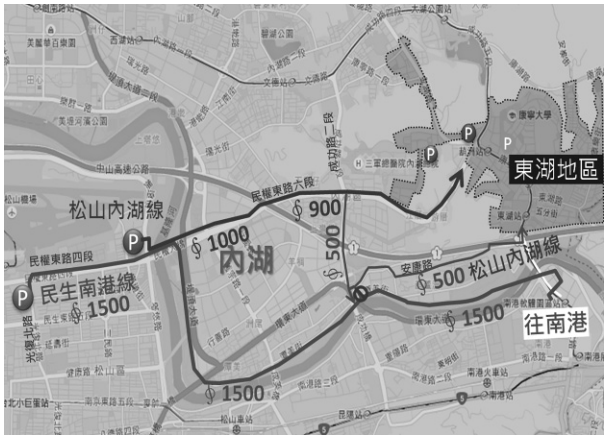


圖 1　東湖地區現有供水狀況

(二)東湖加壓站

有關東湖加壓站部分，東湖加壓站日平均出水量約 1700CMD，出水壓約 6kg/cm^2，加壓站水池水位幾乎保持在 4.2m 高水位(如圖 2 所示)。杜鵑颱風停水後復水時，東湖加壓站水池在開始加壓供水後，因大用戶瞬間且間歇性持續大量進水，不僅加壓站出水壓無法達到平日出水壓 6kg/cm^2，且造成加壓站水池水位快速下降（如圖 3 所示），以致於東湖加壓站供水末端之用戶無法有效地進水，該末端用戶須俟大用戶水池蓄滿後方有機會開始穩定地進水，加壓站之水池才能開始上升至停水前之水池水位。故加壓站進水量不足以因應停水後需水量大幅增加，是造成東湖加壓站復水緩慢之主要原因。

(三)內湖三期及內湖四期加壓站

內湖三期加壓站平日進水壓 1.1 kg/cm^2，出水壓 2.8 kg/cm^2，出水量 5600CMD；內湖四期加壓站平日進水壓 0.7 kg/cm^2，出水壓 3 kg/cm^2，出水量 2950CMD，因內湖三期加壓站同時供給內湖四期加壓站用戶用水，且內湖四期加壓站水池水位一直維持在高水位，故可推算內湖三期供水區域之用水量為 2650 CMD（如圖 4 所示）。

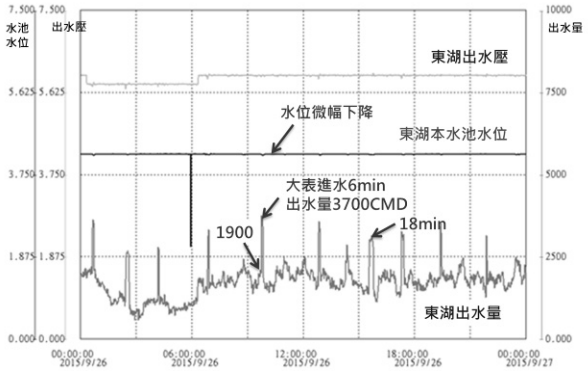


圖 2　東湖加壓站平時供水狀況

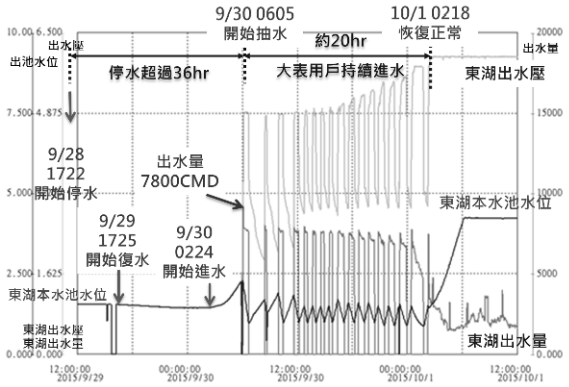


圖 3　東湖加壓站杜鵑颱風停水後復水時供水狀況

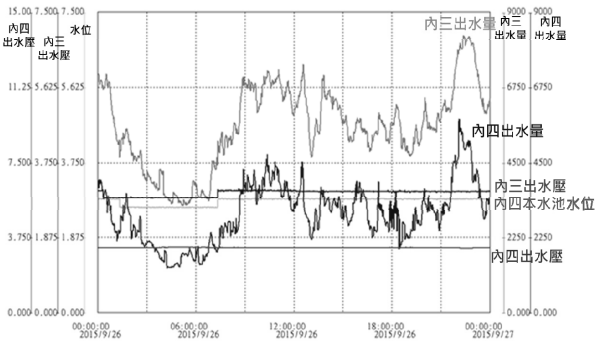


圖 4　內湖三期及四期加壓站平日供水狀況

杜鵑颱風復水期間，內湖三期加壓站出水量一直維持在 9600CMD 左右，接近 2 倍平時出水量；內湖四期加壓站瞬間出水量皆在 9800CMD 左右，由於進水量不足，遠小於出水量，造成水池水位一直無法有效提升，每次出水時間僅約 10 分鐘，需至內湖三期加壓站供水區域之用戶水池水塔蓄滿

後方有能力提供內湖四期加壓站足夠進水量；另內湖四期加壓站自 9 月 30 日 16 時 30 分至 23 時 20 分一直維持在約 6500 至 7500CMD 高出水量，約為平時出水量之 2.8 倍，隨內湖四期加壓站供水區域之用戶端水池水塔蓄滿後，出水量逐漸降低，內湖四期配水池水位才明顯地上升（如圖 5 所示）。故內湖三期加壓站供水量因在停水後復水期間，需同時供水至內湖三期供水區內之用戶及內湖四期加壓站配水池，增加復水期間供水負擔，導致內湖四期配水池進水量不足，是造成該復水緩慢之主要原因。

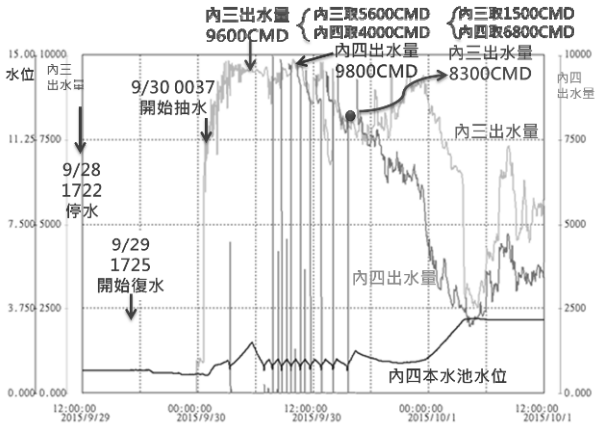


圖 5　內湖三期及四期加壓站杜鵑颱風停水後復水供水狀況

三、東湖地區復水時程策進方案

為避免停水後復水困難與延遲情形再次發生，北水處分別針對東湖平地區、東湖加壓站及內湖三期及四期加壓站提出相關策進方案，茲說明如下：

(一)東湖平地區

1.透過民生南港線 § 1000mm 分支管支援東湖地區。

2.於安康路 § 500mm 管線設置管中加壓站提升東湖地區整體水壓。

(二)東湖加壓站

1.增設加壓站進水管，增加進水量。

2.部分區域改由大湖公園加壓站支援供水。

3.大用水戶進水模式調查。

(三)內湖三期及四期加壓站

利用既有管線新增進水點，增加進水量。

四、東湖平地區評估成果

有關東湖平地區整體策進方案係期望透過民生南港線 § 1000mm 分支管接成功橋過河段 § 700mm 管線，再經由安康路 § 500mm 管線來支援東湖平地區（如圖 6 所示）。

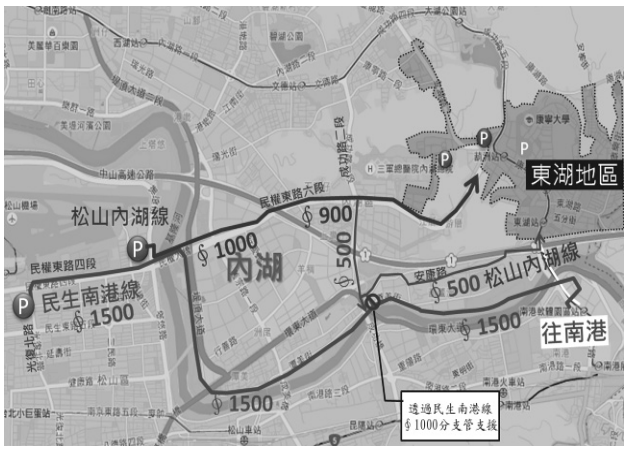


圖 6　透過民生南港線分支管支援東湖平地區

為瞭解該方案是否可行，分別於安康路 § 500mm 管線及適當位置裝設壓力記錄器（如圖 7 之所示圓點），以瞭解操作過程中該區域之壓力變化，另為避免操作過程中造成水質異常，分別在成功橋過河段 § 700mm 管線與安康路 § 500mm 管線連絡處出水端最近位置之消防栓觀測水質及壓力變化（如圖 7 之所示正方形），以便隨時掌控並做相關處置。

圖 7　透過民生南港線§1000 分支管支援東湖平地區

105 年 3 月 7 日至 3 月 15 日分段操作成功橋過河段§700mm 管線與安康路§500mm 管線連絡處蝶閥，經現場觀測消防栓壓力及下載壓力記錄器資料分析結果（如圖 8），以民生南港線成功橋旁§1000mm 分支管提升東湖平地區整體水壓，其效果有限，故另提出以下設置管中加壓站方案。

有關在安康路§500mm 管線上設置管中加壓站以提升東湖平地區整體水壓之策進方案，本策進方案採用 EPANET 軟體進行水理分析，藉以評估其可行性。首先，建立東湖平地區一帶現況供水模式之水理分析模型，以作為後續增設管中加壓站水理分析使用。現況供水模式之水理分析後，經水理分析值與實際量測值比較，顯示本水理分析模型與實際現況接近，可用該水理分析模型進行後續增設管中加壓站之水理分析（如圖 9）。

其後需在安康路§500mm 管線沿線上選擇適合設置管中加壓站之位址，經現場勘察後，於安康路近成功路 2 段附近之綠地適合設置管中加壓站（如圖 10 及照片 1），故

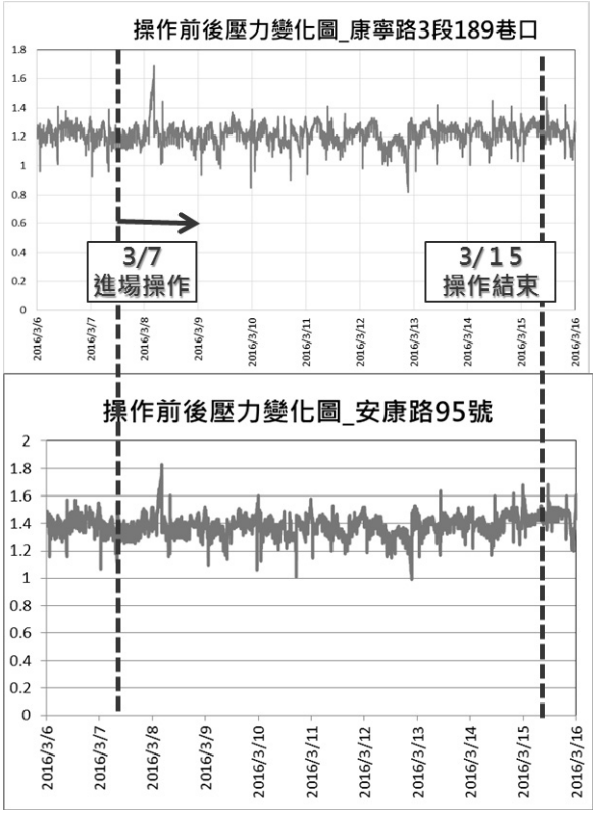


圖 8　量測點操作期間之壓力變化

圖 9　東湖平地區現況供水模式之水理分析

圖 10　設置管中加壓站位址示意圖

照片 1　現場勘察照片及衛星圖

修改先前之水理分析模型，於該模型上以此位址設置管中加壓站後進行水理分析。

安康路設置管中加壓站揚程設定為 10m，經水理分析結果，東湖平地區之水壓僅提升約 0.02~0.05kg/cm^2，揚程 10m 之管中加壓站無法有效提升東湖平地區整體之水壓（如圖 11 所示），故再測試不同揚程之管中加壓站進行水理分析。

為瞭解不同揚程之管中加壓站對東湖平地區整體水壓之效果，分別採用 20m 及 30m 揚程之管中加壓站進行水理分析，分析結果如表 1，從表 1 得知縱使管中加壓站揚程提升至 30m，亦無法提升東湖平地區整體水壓。為探究其原因，首需瞭解管中加壓站之供水量與水頭損失之關係變化（如圖 12 及表 2）。在未設置管中加壓站時，供應至東湖平地區之供水量為 7,936CMD，自管中加壓站至東湖路水頭損失約 0.17kg/cm^2。當管中加壓站揚程為 10 m 時，供應至東湖平地區之供水量為 19,960CMD，自管中加壓站至東湖路水頭損失約 1.09kg/cm^2。當管中加壓站揚程為 30 m 時，供應至東湖平地區之供水量為 33,376 CMD，自管中加壓站至東湖路水頭損失約 2.94kg/cm^2。簡言之，管中加壓站透過安康路 § 500mm 管線，經康寧路 3 段 § 400 供水至東湖平地區，隨著揚程提高，送水量增加，管中加壓抽水機所提供揚程，在送水過程中幾乎耗盡，故在該 § 500mm 管線上設置管中加壓站並無法有效提升東湖平地區整體水壓。

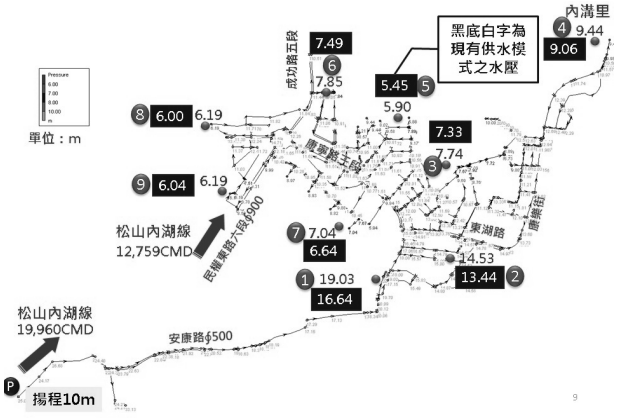


圖 11　揚程 10m 管中加壓站水理分析

表 1　不同揚程管中加壓站之水理分析結果

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9
管中加壓站揚程 (m)	康寧路3段249號 (kg/cm^2)	五分街與安康路口 (kg/cm^2)	東湖路113巷 (kg/cm^2)	內溝里加壓站前 (kg/cm^2)	康寧路3段189巷 (kg/cm^2)	成功路5段420巷 (kg/cm^2)	康寧路3段56巷 (kg/cm^2)	金湖路326巷口 (kg/cm^2)	民權東路6段413巷 (kg/cm^2)
現況未設管中加壓	1.66	1.34	0.73	0.91	0.55	0.75	0.66	0.6	0.6
10	1.90	1.45	0.77	0.94	0.60	0.78	0.70	0.62	0.62
20	2.14	1.56	0.78	0.95	0.62	0.79	0.71	0.62	0.62
30	2.38	1.68	0.80	0.96	0.64	0.80	0.72	0.63	0.62

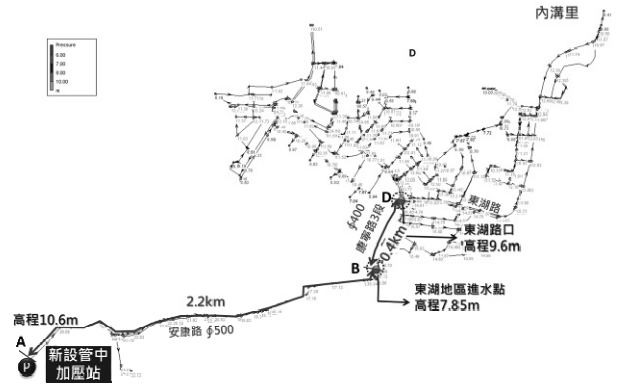


圖 12　東湖平地區及管中加壓站相關示意圖

表 2　不同揚程管中加壓站之水頭損失

管中加壓站揚程 (m)	管中加壓站(高程10.6m壓力1.5kg)總水頭(m) A	供水量 (CMD)	東湖地區進水點壓力 (kg/cm^2)	東湖地區進水點總水頭(m) B	加壓站至東湖地區進水點(§500)水頭損失(m) C=A-B	東湖路口壓力 (kg/cm^2)	東湖路口總水頭 (m) D	東湖地區進水點至東湖路口(ϕ400)水頭損失(m) E=B-D
現況未設管中加壓	25.6	7,936	1.65	24.35	1.25	1.43	23.9	0.45
10	35.6	19,960	2.01	27.95	7.65	1.51	24.7	3.25
20	45.6	27,413	2.37	31.55	14.05	1.58	25.4	6.15
30	55.6	33,376	2.74	35.25	20.35	1.66	26.2	9.05

有鑑於此，為提升東湖平地區整體水壓需另尋其他策進方案，故評估東湖平地區改由民生南港線供水之可行性，亦即由民生南港線南湖大橋§1000mm 分支新增§1000mm 管線供水（圖 13 所示 1 位置），並於東湖路與§800mm 管線連絡（圖 13 所示 2 位置），而松山內湖線§900mm 管線不再供水至東湖平地區。經水理分析結果民生南港線分別透過安康路§500mm 管線及南湖大橋§1000mm 分支供至東湖平地區之水量為 6,710CMD 與 26,021CMD，大幅降低安康路§500 管線供水負擔，減少水頭損失，可全面提升東湖平地區整體壓力，水壓平均可提升約 0.45kg/cm^2。故東湖平地區改由民生南港線南湖大橋§1000mm 分支供水，經水理分析結果，可全面且有效提升東湖地區整體水壓（如圖 14 所示）。

圖 13　民生南港線供給東湖平地區示意圖

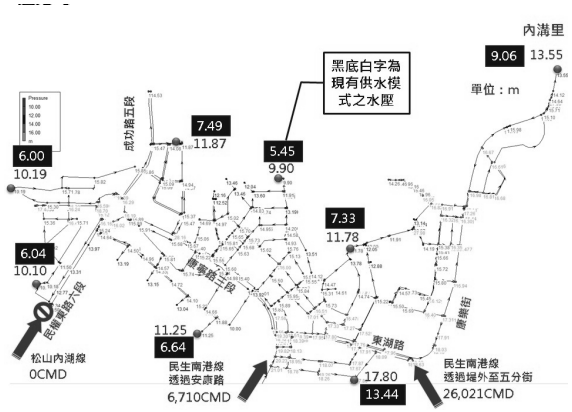


圖 14　民生南港線供給東湖平地區之水理分析

五、東湖加壓站執行成果

為加速東湖加壓站供水區域之復水時程，訂定相關策進方案（如圖 15 所示），執行成果分別說明如下：

圖 15　東湖加壓站復水策進方案

(一)東湖加壓站部分供水區域改由大湖公園加壓站供水

本方案係為颱風停水後復水期間，減輕東湖加壓站供水負擔，故將東湖加壓站供水範圍（如圖 16 所示虛線所圍起之區域）中部分區域改由大湖公園加壓站支援供水，支援供水區域如圖 16 陰影範圍所示。

圖 16　大湖公園加壓站支援供水示意圖

本方案執行過程如圖 17，首先調查支援區域內之閥類現況，並對區域內之所有閥類逐只操作瞭解現況。

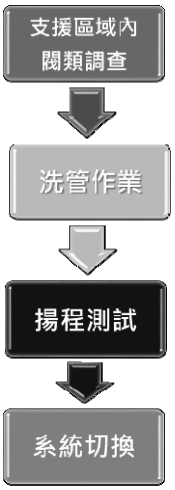


圖 17　大湖公園加壓站支援供水執行過程

由於支援進水點之管線係位於東湖加壓站供水區域之管末端，該進水點區域內外之管線需透過洗管作業以確保支援進水點水質安全（如圖 18）。透過可封閉且無用水戶之區域（如圖 19 陰影區域）進行洗管作業，即完成支援進水點之洗管作業。

圖 18　支援進水點洗管作業

圖 19　支援進水管段洗管作業

接下來，為確認大湖公園加壓站實際是否能供水至東湖加壓站供水區域內，故需進行揚程測試。經調查支援東湖加壓站供水區域內最高點高程為 54m；而支援進水點高程為 41m，兩點高程差 13m。大湖公園加壓站原由 1 台抽水機運轉供水，經再啓動第 2 台抽水機後，加壓站出水壓由原先之 3kg/cm^2 提升至 3.6kg/cm^2，量測支援進水點消防栓壓力由 1.4kg/cm^2 上升至 2kg/cm^2，推估支援供水區域內最高點之壓力應可達到 0.7kg/cm^2（圖 20）。

圖 20　大湖公園加壓站揚程測試

最後進行系統切換，關閉東湖加壓站供水點開關後（如圖 21 之❶及❷），再開啓支援進水點開關，支援供水區域內經由大湖公園加壓站供水後，量測支援區域內消防栓壓力變化（如圖 21），支援供水區域內最高點壓力由 2kg/cm^{2}降至 0.6kg/cm^2。故測試結果，該區域在颱風停水後復水時，可由大湖公園加壓站支援供水，且依測試結果應可提供約 2 倍平均日供水量。

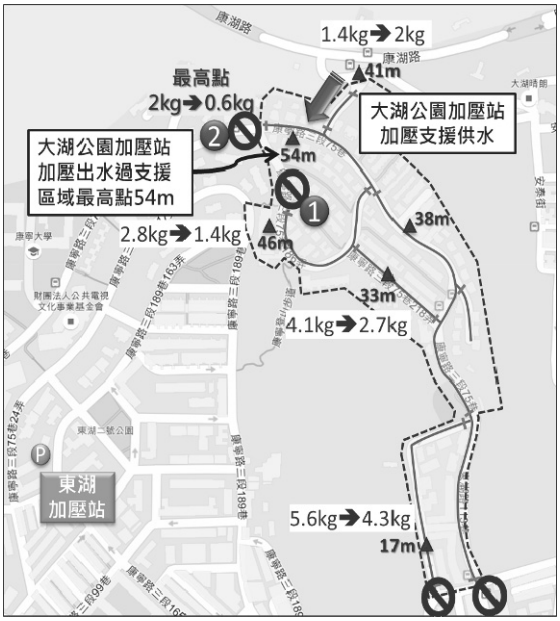


圖 21　系統切換示意圖

(二)東湖加壓站新增進水管

東湖加壓站原進水管口徑為 § 200mm，在經過杜鵑颱風約 32 小時停水後，大部分用戶端之水池水塔幾已用盡，且因大表用戶大量進水，造成進水量無法滿足供給加壓站出水。為增加颱風停水後復水期間之進水量，調查東湖加壓站附近管線，經查康寧路 3 段 75 巷 § 250mm 之既有管線可通往加壓站，再利用該既有管線於加壓站前新增 § 250mm 進水管，即可於復水時同時進水，以增加壓站進水量（如圖 22 之虛線）。

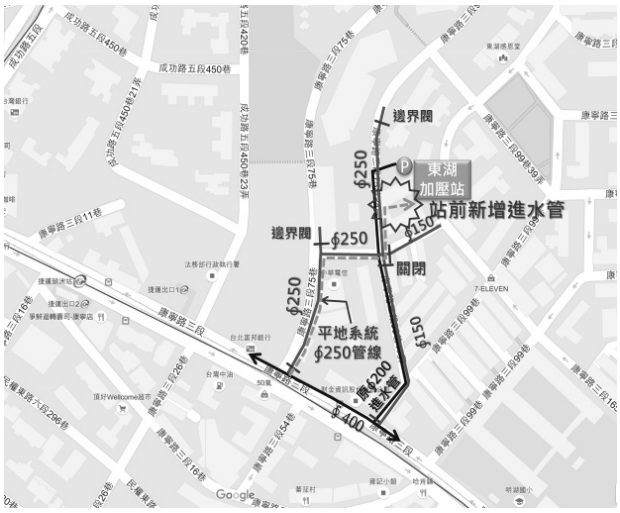


圖 22　東湖加壓站新增進水管

(三)用戶進水模式調查

如前所述東湖加壓站於復水時，因大用戶瞬間且間歇性持續大量進水，造成加壓站無法達到平日出水壓及加壓站水池水位快速下降。為瞭解造成前述現象之原因，著手調查東湖加壓站供水區域內之大表用戶，經查共有 3 戶 § 100mm 大表用戶，針對前述用戶進行進水譜分析，經由進水譜分析結果研判，其中大用水戶 C 用水模式是造成東湖加壓站出水突峰之主要原因（如圖 23）。因此，針對該用戶進水模式進行改善，首先於 105 年 3 月 3 日於大表前裝設孔口片（如照片 2 及 3），裝設後再進行進水譜分析，由圖 24 顯示裝設孔口片前後，該大表瞬間進水量由 1900CMD 降至 1400CMD，惟進水時間約 7 分鐘，仍太短暫。為降低瞬間進水量及延長進水時間，故 105 年 3 月 8 日再調整該大表表前之制水閥，經調整後，大用水戶 C 瞬間進水量由 1400CMD 降至 700CMD，且每次進水時間也延長至約 14 分鐘（如圖 24）。

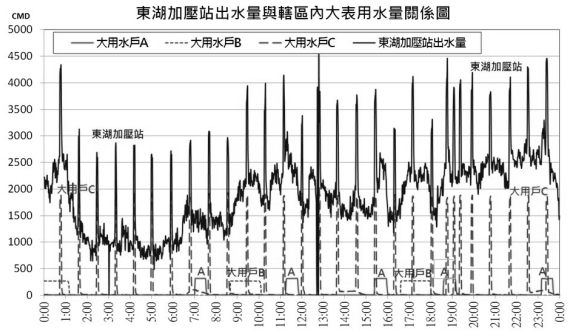


圖 23　東湖加壓站出水量與轄區內大表用水量關係圖

照片 2　孔口片安裝情形

照片 3　大表孔口片安裝完成

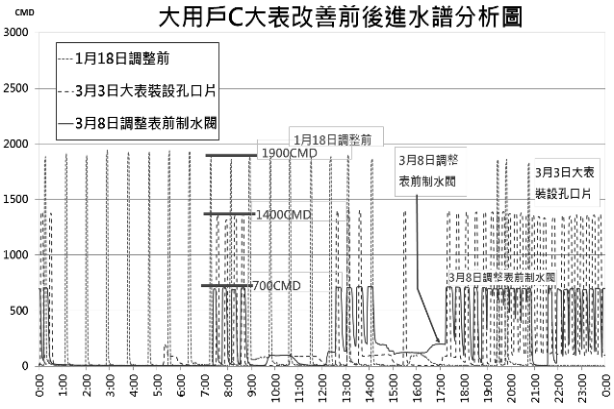


圖 24　大用水戶 C 大表改善前後進水譜分析

為進一步瞭解改善大用水戶 C 大表進水模式對東湖加壓站出水量之影響，分別取 105 年 1 月 18 日調整前、3 月 3 日大表裝設孔口片後及 3 月 8 日調整大表表前制水閥開度後東湖加壓站出水量之資料，由圖 25 明顯看出，3 月 3 日大表裝設孔口片後，東湖加壓站出水突峰明顯降低，在夜間更是未有出水突峰。在 3 月 8 日調整大表表前制水閥後，東湖加壓站幾乎無出水突峰。故透過改善大表用戶短時間內大量進水模式，可降低加壓站負擔。

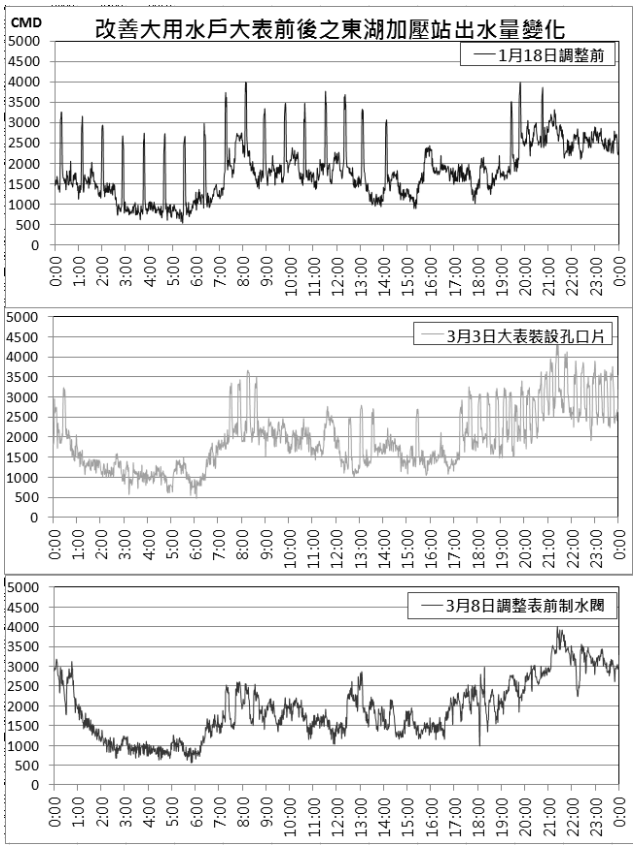


圖 25　改善大用戶 C 大表改善前後之東湖加壓站出水量變化圖

六、內湖三期及四期加壓站執行成果

因內湖三期及四期加壓站供水區域亦為本次杜鵑颱風復水延遲之區域，故針對該區域提出相關復水策進方案。為減輕內湖三

期加壓站供水負擔，並增加內湖四期加壓站進水量，故提出新增內湖四期加壓站進水點。經調閱竣工圖及相關資料後，由松山內湖線透過 § 400mm 管線作為內湖四期加壓站新增進水點（如圖 26），惟該 § 400mm 管線上用戶並不多，且從民權東路 6 段 191 巷 62 弄至加壓站進水端無用戶在使用，易造成水滯留，故若要採用該管線作為內湖四期加壓站之進水點，需先進行洗管作業。

圖 26　內湖三期及四期加壓站策進方案

圖 27　內湖四期加壓站洗管作業

內湖四期加壓站新增進水管洗管作業，需先確認新增進水管適合之排水點，經查新增進水管本線並無消防栓或排泥閥可供排水，故需擴大停水範圍以供排水使用（如圖 27）。在確認洗管段為封閉狀態下，分別利用內湖三期加壓站（如圖 27 之❶）與松山內湖線（如圖 27 之❷）進行洗管作業，在歷經 8 個小時洗管作業後，水質方符合規定。

為確認松山內湖線可由新增進水點進水，需先調查該 § 400mm 管線之地形變化，經查內湖四期加壓站新增進水管在新增進水點高程為 17.2m，而新增進水管至內湖四期加壓站配水池間高程最高點為 31.44m，兩者相差 14.24m，而進水點前消防栓壓力現場量測約為 0.9 kg/cm^2，故進水點前消防栓壓力尚需提高 0.52kg/cm^2 方可自進水點越過最高點進入內湖四期加壓站之配水池內。經 105 年 2 月 25 日現場測試結果，在提高松山內湖線出水壓，且進水點前消防栓壓力提高至 1.5kg/ cm^2，關閉加壓站原進水處，改由新增進水點進水後，加壓站內之壓力表頭測得進水壓為 0.35kg/cm^2，還原至進水管高程處之進水壓力為 0.75 kg/cm^2。故提高松山內湖線出水壓，且進水點提高 0.6kg/ cm^2，即可越過該 § 400mm 進水管最高處，應可順利進水至配水池內。

本次洗管作業耗費近 8 個小時，且需逐戶關閉用戶表前止水栓，費時耗工，故規劃相關精進作為，以縮短洗管時程，相關精進作為如下，並分別說明如後：

1.在 § 400mm 管線上新增消防栓。

2. § 400mm 管線上之用戶給水改接。

3.將新增進水管 § 400mm 管線與 § 200mm 出水管連絡。

在辦理前述新增進水管 § 400mm 管線洗管作業時，因該管線本通無消防栓，故洗管時需擴大關水範圍以藉由消防栓及排泥閥排水，並需辦理用戶停水作業，倘爾後每次颱風前皆需辦理洗管作業，恐造成民怨，

且考量洗管需足夠出水量，故建議在 ϕ 400mm 管線新增消防栓（如照片 4），以利洗管作業時縮小停水範圍及避免用戶發生水污染機率。

照片 4　在 ϕ 400mm 管線上新增消防栓

另有部分用戶係由新增進水管 ϕ 400mm 管線本線供水，為避免用戶用水品質不穩定及每次颱風前洗管作業時造成停水，需改接至內湖四期加壓站供水區域內之管線，如圖 28 之綠色虛線箭頭，將位於 ϕ 400mm 管線上之用戶改接至 ϕ 200mm 管線上。

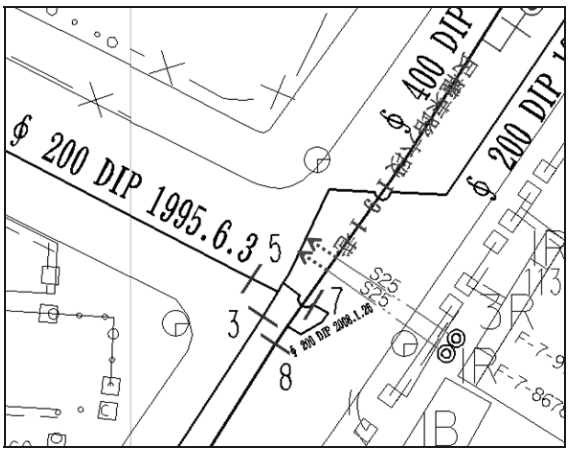


圖 28　ϕ 400mm 管線上之用戶給水改接

為減少颱風前洗管時間，將新增 ϕ 400mm 進水管與內四 ϕ 200mm 出水管進行連絡，並在連絡處增設制水閥（如照片 5），平時保持開啓狀態，不僅使管網活化，減少管中滯留水，亦可降低加壓站耗能，惟颱風停水復水後，該制水閥則需進行關閉，以利 ϕ 400mm 進水管進水作業。

照片 5　新增進水管與出水管連絡

本案已於 105 年莫蘭蒂颱風來襲前進行新增進水管洗管作業，約 2 小時完成，大幅縮短作業時間。故前述精進作為，可有效縮短洗管作業時程。

七、結論與建議

104 年杜鵑颱風北水處首次全面大規模停水，復水期間部分區域復水緩慢，其中包含東湖地區。為加速颱風停水復水後東湖地區之復水時程，北水處分別針對東湖平地區、東湖加壓站及內湖三期及四期加壓站提出相關策進方案。

有關東湖地區部分，以民生南港線成功橋旁 ϕ 1000mm 分支管提升東湖地區整體水壓，其效果有限。另經水理分析結果，在安康路 ϕ 500mm 管線上設置管中加壓站並無法有效提升東湖地區整體水壓，惟東湖地區

改由民生南港線南湖大橋旁§1000mm 分支新增§1000mm 管線並與東湖路連絡進行供水，經水理分析結果，可全面且有效提升東湖地區整體水壓。

在東湖加壓站部分，東湖加壓站部分區域經測試結果，可改由大湖公園加壓站供水，且應可提供約 2 倍平均日供水量。另於加壓站前新增§250mm 進水管，推估颱風期間可提供約 5,300CMD 進水量，有效舒緩供不應求之情形。最後，透過改善大表用水戶進水模式，找出造成東湖加壓站出水突峰之關鍵用水戶再加以改善，經改善結果顯示，可減輕加壓站供水負擔。

有關內湖三期及內湖四期加壓站部分，透過內湖四期加壓站相關精進作為，可在颱風來襲前，有效縮短內湖四期加壓站新增進水管洗管時程，並由新增進水管供給內湖四期加壓站供水區域，可減輕內湖三期加壓站供水負擔。

因東湖地區位於供水轄區末端，且部分區域為高地，透過前述相關改善措施，可於颱風停水復水後，有效加速東湖平地區及東湖、內湖三期、內湖四期等加壓站供水區域之復水時程。另建議於民生南港線南湖大橋旁§1000mm 分支新增§1000mm 管線供水至東湖地區，應可全面提升東湖地區整體水壓。

作者簡介

李鴻利先生

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師

專長：自來水工程設計、施工及自來水供水調配。

鄭答振先生

現職：臺北自來水事業處供水科二級工程師兼股長

專長：自來水供水調配。

借鏡日本耐震管材改善管線與提升耐震能力探討

文/鄭錦澤、陳輝哲、林志成

摘要

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)為與國際接軌，積極參與推動國際間之自來水事業之交流合作，並於 102 年與日本東京都水道局簽署合作備忘錄，為自來水事業進一步發展，透過雙方工作人員交流，促進技術、經驗及知識等之提升。北水處轄區位於軟弱土層之臺北盆地，因地震盆地震度放大效應常易造成埋設於地下之自來水管線遭受直接損壞或二次災害之可能性，北水處自來水管材長期以來延性鑄鐵管所普遍採用之接頭型式(A、K 型)乃沿襲日本早期研發之柔性接頭，僅能承受中、小規模地震，面對日益頻繁之大規模震度如 921 或 311 等地震，耐震性能顯然須再提升，北水處為進一步引用新型成熟可靠耐震管材 NS(New Seismic)型，並培訓種子人員特選派鄭錦澤帶隊，率領陳韋嘉、林永芳、林佑鴻、呂紹禎、陳國駿、賴奕誠、陳俊霖、林志成、陳輝哲等人，前往日本東京都及大阪等地研習 NS 管設計及施工與製造，以瞭解 NS 管特性以期運用時發揮其優點，並由 NS 管施作觀摩及實際實習，充分掌握工程品質，確保其耐震能力，觀摩 NS 管製程及檢驗，瞭解材料品質，建立實質且深化的合作模式，學習對方長處，並藉親身體驗及融入在地文化，培養國際觀，提昇競爭力，讓自來水服務品質，能與快速變化的世界同步與時俱進。另分別針對管線地震災損評估、給配水管耐震運用探討、國際交流運用提升自來水耐震能力、引用耐震管材課題等探討。以供臺灣地區自來水相關從業人員運用，及有興趣人員知識管理與參考。

關鍵字：耐震管材、兵庫減災行動綱領、地震災損評估、防脫能力(白線)管理

一、前言

在 2016 世界水會議 國際水協執行董事 Ger Bergkamp 於總結報告提示“來自 108 個國家超過 4,700 水專業人士聚在一起辯論挑戰，腦力激盪探討「我們管理水的方式，將決定如何發展經濟，增進人類福祉和環境賡續。」相關解決方案，以期藉由新的見解，建立新的合作夥伴關係和展示解決全球水危機的新思路[1]。另根據英國政經風險評估業者 Maplecroft 發表的《2011 天然災害風險地圖》(Natural Hazards Risk Atlas 2011)，該報告係根據國際貨幣基金(IMF)、世界銀行(World Bank)與美國中情局(CIA)資料，選出 11 項評估標準；報告統計 196 個國家地區，天災對台灣經濟的威脅程度名列全球第 4，是「極度危險」的國家之一，與美、日、中同等級[2]。台灣位於環太平洋地震帶上，且位處菲律賓板塊及歐亞板塊交界處，前者每年約以 7-8 公分向西北方位推移後者，因此地震不斷發生，該地震帶發生地震比率約佔全世界 80% 。而臺北盆地地質又屬軟弱沉積層，如遭受重大災變而無適當預防及應變措施，將造成臺灣地區重大衝擊。且台灣雖然多雨卻位列世界第十八個缺水國，在大力改善管線漏水之際，提升水資源有效利用，同時考量提升管線耐震能力，將有助於整體自來水營運、風險管理與永續發展。

台灣地區年平均降雨量雖高達 2,500 公厘，但是人均雨量每人每年約僅有 4,000 噸，與世界平均值比較僅有 12% ，因此，水資源並不豐裕。近年來，臺灣水資源開發不易，如遇長時間乾旱，常造成供水吃緊，雙北地區甚至 91 年需分區輪流供水。在無法獲得新水源的情形下，且須共體時艱配合水利署辦理板新供水改善計畫分階段支援 53 萬-100.5 萬日立方公尺至板新等鄰近地區，以供北區水資源整體調度，因此如何有效利用水資源，成為北水處當前最重要的工作之一。為了提升自來水的售水率，降低無效水量，北水處於 92-95 年辦理供水管網改善中程計畫；並且持續推動為期 20 年之「臺北自來水供水管網改善計畫」。該計畫主要希改善北水處供水管網效能，期間並借重國外先進城市自來水事業的經驗，針對系統需改善的問題，提出具體可行的建議與方案。規劃漏水檢測、管線修漏時效與品質、管線汰換及水壓管理四大要項為主軸，並輔以廠商認證及員工培訓、監控及 GIS 資訊系統等，推動管線汰換、小區計量、水壓管理、加壓設施改善、加壓站供水方式研究、監控系統及自來水管線資訊管理系統等工作項目，希能夠解決北水處供水管網現所面臨的諸多問題，在 95 年至 114 年分為 4 階段，每一階段以 5-7 年為期，各階段工作完成前進行後續計畫及時檢討修正，以作為下一階段推動依據，預期將漏水率由 95 年 26.99%降低至 10%左右，投入計畫經費超過 200 億元，時值第 3 階段起步之際，亦希望探討過去，策勵未來，能兼顧多方考量，提升整體成效。

從國際減災趨勢而言，於 2015 年 3 月 14 日到 18 日來自 187 國家 2800 政府代表，在日本宮城縣仙台市舉行 5 天的第 3 屆世界減災會議(The Third United Nations World Conference on Disaster Risk Reduction, WCDRR)通過 2015-2030 年兵庫減災綱領[3]，這份宣言提議，推動重要策略如下：一、採納這分簡潔、聚焦、具有前瞻性和行動導向的 2015-2030 年減災綱領。二、針對「2005-2015 年兵庫行動綱領：建構國家與社區的災害回復力」落實情形，完成整體檢視與評估。三、考量在執行兵庫行動綱領過程，經由區域性與國家層及策略/機構、各項減災計劃與建議，以及區域協議上所獲得的經驗。四、確認基於履行承諾之合作模式，以推動 2015-2030 減災綱領。五、確定以定期檢視之模式，以瞭解 2015-2030 減災綱領之推動。在世界減災會議期間，各國重申對於降低災害風險以及建構耐災能力的承諾，同時也強調推動永續發展和消弭貧窮的急迫性，必須適度地納入各級政策、計畫、方案和預算之中，並且納入相關綱領之考量。該次會議獲致 7 大全球目標：一、至 2030 年前實質地降低全球因災害的死亡率。二、至 2030 年前實質地減少因災害影響的人數。三、至 2030 年前在全球各國減少災害對國內生產毛額(GDP)直接經濟損失。四、至 2030 年前實質地減少災害對關鍵基礎設施破壞，以及造成基本服務的中斷，並包含發展其耐災能力。五、至 2020 年前大幅增加具有國家和地方減災策略的國家數目。六、在 2030 年前透過持續與充分的支援，大幅度強化針對開發中國家的國際合作，使其能改善國家作為已落實防災綱領。七、至 2030 年前實質地改善民眾對多重危害的早期預警系統和災害風險資訊評估之可及性及管道。基於自來水為關鍵

基礎維生設施，如遭破壞將造成基本服務的中斷，尤其包含耐災能力，除影響民生，亦將擴及經濟發展，乃至於國家長治久安。

自來水管大多沿道路埋設，管線位於路面下受到車行荷重經年累月之反覆作用下，接頭施工品質好壞立見高下，接合施工不良之接頭處水密性易受影響，造成未來管線可能漏水之主因，故接頭施工為影響管線工程品質最重要之因素。惟因近來人民權益意識高漲，對於管線施工造成交通阻塞、噪音擾民、停水不便、路面不平等之忍受度降低，於此施工環境日益嚴苛之趨勢下，工程人員更須掌握施工重點。另外，台灣又位處環太平洋地震帶上，目前北水處新設配水管主要使用管種為球狀石墨鑄鐵管(通稱延性鑄鐵管，簡稱 DIP)，接頭部分主要係採用柔性接頭(K 型接頭等)。柔性接頭雖可伸縮彎曲吸收地盤變動造成管體之作用力，惟實際上在軟弱地盤時仍無法避免不均勻沉陷所引起的損害。依美日先進國家資料顯示，防脫型 DIP(Restrained joint ductile iron pipelines 或稱耐震接頭 DIP、鎖構造接頭 DIP，以下均簡稱耐震接頭 DIP)可克服柔性接頭 DIP 接頭易鬆脫之主要缺點，近年來，已逐漸替代柔性接頭 DIP 成為主流管種。如能藉由改進管材及接頭的耐震性能，運用於北水處相關管線工程等，將有助於提昇風險管理能力，並兼顧漏水改善與水資源有效運用，為值得進一步探討的課題。

為精進前述議題，培訓種子人員，北水處特選派鄭錦澤帶隊，率領陳韋嘉等 9 人，前往日本東京都及大阪等地研習 NS 管設計及施工，行程因事前用心規劃，且與日方多次討論相關課程安排，參與受訓人員專心學習與親自組裝操作，收益良多。主要就 NS 管設計、施工、材料與製造及檢驗詳細說明，並記載教育訓練施作觀摩與操作實錄，透過參訪東京都水道局、東京水道服務社、研修開發中心及栗本鐵工所等一系列地點，瞭解自來水事業從規劃、研修、實作、材料檢驗製造流程，有助於提升新材料與技術之專業知識及技能，並期提升自來水管線設施風險與資產管理等成效。

二、台北地區管線地震災損評估

臺灣既然位於環太平洋地震帶上，自來水設施係維生系統中極重要的一環，人類如長期無水可喝，將無法生存。地震時如自來水設施遭受損壞，其損壞將不僅是構造物之破壞，更可能因災區生活用水缺乏或消防用水不足等障礙，進而引起疾病流行或火災擴大等二次災害，因此震災後自來水之維生供應能力，將直接或間接影響地震防災及救災工作之成效。北水處自來水供水系統為北臺灣最大之都會區域公共給水系統，然而轄區卻位於軟弱土層之臺北盆地，因地震時盆地震度放大效應，常易造成埋設於地下之自來水管線遭受直接損壞之可能性。北水處自來水管材長期以來常因海島等因素而依循日本規格使用延性鑄鐵管，且延性鑄鐵管具有可伸縮與撓轉之接頭構造，因此，在地震力作用下可隨地盤而變動，管體所承受應力一般尚可因應。基此，其耐震能力常取決於受地盤應力時，接頭吸收變位能量是否足夠，以及是否有被拉脫或擠壓破壞之疑慮。目前北水處普遍採用之接頭型式(K 型等)乃沿襲日本早期研發之柔性接頭，一般僅能承受中、小規模地震，面對日益頻繁之大規模震度如 921 或 311 等地震，耐震性能可能不足。

依北水處等委託財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心（以下簡稱國震中心）「臺北區地下自來水管線地震危害度之研究」顯示[4]，北水處送配水管線在遭受 50 年超越機率 10%地震，也就是回歸週期 475 年的地震侵襲時，將產生 3000 ~4000 多件管線災損案件。另根據 921 集集大地震造成臺灣中部地區自來水地下管線嚴重受損，部分災區停水長達 3 個月始完全恢復供水。國內外相關案例均顯示，提昇地震帶上自來水管線系統之耐震能力，為建構安全城市的必要條件之一。在各國的重大災害性地震中，除了建築物損壞，不亞於建築物重要性的自來水系統往往被人們忽略。以阪神大地震為例，自來水系統總損失金額相當驚人，約 290 億日圓，其中管線的損失金額就佔自來水系統總損失金額一半以上，由此知管線耐震能力的重要性[5]。

有關於延性鑄鐵管及接頭在供水系統抗震性能的實驗研究，前由水利署[6]及北水處[7]等分別委託國震中心研究針對自來水延性鑄鐵管，選擇台灣目前主要使用之延性鑄鐵管 K 型接頭、早年鋪設且所佔比例仍相當高之延性鑄鐵管 A 型接頭，以及與用戶水表接續或淨水場內各單元間常用之接續平口接頭等進行耐震性能試驗。相關受測單元包含:軸拉、軸壓等試驗係以 500 噸萬能試驗機作為施載系統，以分析及探討自來水延性鑄鐵管現況，經測試如地質條件良好，K 型接頭仍具部分耐震能力。惟在臺北盆地內，依據盆地沖積層之分布狀況及組成，以松山層最接近地表，為各項工程建設最常遭遇之地層。松山層沉積物沉積時受水位高低變化以及河系影響，形成低中塑性之泥層，及泥質砂或砂礫交互層次的土層，部分地質條件顯係非良好。

基此，進一步探討山腳斷層引發規模 7.1 級地震對台北地區供水管網的損害評估及因應措施，係由北水處委託國震中心研究，主要探討台北地區是我國政治及經濟的中心，對於各類型災害的威脅，應有最壞的打算與最好的準備，而其鄰近的活動斷層－山腳斷層，原屬活動性較低而歸類為第二類活動斷層，但仍不宜輕忽。且近年來有部分研究評估斷層長度可能延伸至外海，致其活動性風險提高。因此，2012 年北水處藉由委託國震中心再研究「模擬山腳斷層地震自來水管線災損推估」案，評估發現台北地區因鄰近山腳斷層，其管線受損的主要原因為「斷層開裂位移」及「液化沉陷」，以及相關災損數量。在前述 2 種狀況下，北水處評估參照現有自來水業相關之合約承商施工人員數量、庫存材料，並提出因應考量之風險管理方案及因應措施，亦由筆者於第八屆臺美日自來水耐震研討會代表報告[8]。另於 106.1.10 與台灣區水管工程工業同業公會簽訂合作備忘錄，並將相關因應措施具體納入管線工程契約，以提升災變時緊急動員能量。

三、台北地區給配水管耐震運用探討

北水處雖然自民國 87 年起全面採用不銹鋼管材作為外線給水管，不銹鋼管性質優異，可延長管線使用年限，提供優良水質。然不銹鋼管係剛性管材，為提升耐震性能，施工規定必須以防震 3 彎頭方式施工，若遇障礙物，則須以彎頭繞接，另為調整管線位置，亦需增加 S 型管之使用，無可避

免將增加接頭數量。接頭數量增加不但施工效率降低，且增加漏水機率，且使用彎頭繞過障礙物，如於有限空間施工非常不便。日本東京都水道局自 1980 年採用不銹鋼管亦遭遇同樣問題，且日本接頭另件價格昂貴，使用不銹鋼管在施工性及經濟性均有待改善。有鑑於此，日本研發出具有可撓性且接頭配件最少之波狀不銹鋼管(簡稱波狀管)，經過約 800 處試用測試及耐震性調查，結果顯示波狀管之施工便利性與耐震性皆優於一般不銹鋼管，且減少施工成本，因此自 1998 年起於東京都全面採用。

北水處管網改善每年汰換長度超過 150 公里，其中給水管約佔 60%。北水處於民國 98 年(2009 年)參採日本 JWWA 訂定波狀不銹鋼管材料規範，並逐步推廣採用。波狀不銹鋼管適用於工作水壓 10kgf/cm^2 以下，每支長度為 4M，波狀部有 8 節，其內徑不可小於直管部之內徑。推廣初期因採購數量較少，製造成本較高，採用波狀管施工成本約為傳統方式 2.5 倍以上。然而為降低採購成本，北水處採用大量採購方式，加上市場競爭機制，于 99 年初採購單價降至首次採購價 1/3，20mm 及 25mm 口徑波狀管成本為傳統方式之 0.83 倍(東京都水道局為 0.73 倍)，40mm 及 50mm 約為 0.91~0.95 倍，顯示波狀管成本已較傳統不銹鋼管施工方式成本低。基此，給水管彎接部分北水處已全面推廣採用波狀不銹鋼管，取代傳統 3 彎頭及 S 管施工，不但可提升施工效率、增加管線耐震性，亦因減少使用彎頭，降低未來漏水機率。惟為避免施工人員錯誤施工，在自來水施工人員培訓時應特別加強波狀不銹鋼管等耐震管材之施工訓練，惟有正確施工觀念才能將管材特性完全發揮，避免錯誤運用造成浪費。[9]

另在配水管部分，大型波狀管已於 99 年 1 月 29 日辦理擴大試用採購(口徑 75mm 至 300mm，長度 2m)，其主要可用於施工遇障礙物，施工空間有限處、管線連絡高程落差或水平位移較大處、配合衛工處遷移管線及消防栓移至人行道，管線由側溝底下穿越時使用。大型波狀管可減少彎頭使用並提升管線耐震能力，惟因單價較高，僅適用於特殊場合，無法完全取代 DIP。財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心，近年來亦針對自來水管線與系統耐震研究，除進行一系列研究計畫外，亦陸續執行經濟部水利署、北水處、興南鑄造廠、台灣世曦顧問公司等之委託研究計畫。有關自來水系統災損推估、管網分析、設施耐震評估、管材耐震試驗、防災應變資訊系統、相關災害潛勢分析等，亦多有著墨。對於近斷層、非均勻地盤，當工址座落於極軟弱土層時，所有延性鑄鐵管的管體應力、接頭撓曲角的需求尚可滿足，但 800mm 管徑以內的接頭伸縮量需求，是 K 型接頭延性鑄鐵管不足或勉強達到的，倘若加計「設計內壓」、「車載荷重」、「溫度變化」、「地盤下沉」等因素所需要的伸縮量餘裕，則所有管徑之 K 型等接頭延性鑄鐵管，恐怕均可能無法滿足需求。另 NS、S (S II)型接頭延性鑄鐵管之容許撓曲角均足以承擔土壤液化引致的震陷[10]。對身處地震帶的臺灣及位於臺北軟弱地層的北水處，為確保管線長期防漏、防震功能，將現行柔性接頭 DIP 提升至耐震接頭 DIP，仍應是更佳方案之一。

四、台北地區國際交流運用提升自來水耐震能力探討

臺灣、日本及美國同屬環太平洋地震帶，考量大規模地震對公共給水系統的危害甚鉅，各國投入自來水系統耐震性與震後應變之研究，一向不遺餘力。為交流彼此技術與經驗，透過美國自來水協會研究基金會(AWWARF, America Water Works Association Research Foundation)與日本自來水協會(JWWA, Japan Water Works Association)為平台，自 1999 年起，每 2 年美、日兩國輪流主辦「美日自來水設施耐震對策研討會」。且自第 3 屆起，邀請英國及臺灣擴大參與建立交流平台，針對自來水相關設施之系統效能分析、風險評估與管理、震後應變與恢復、震害經驗與防治技術等議題，舉辦「臺美日自來水設施耐震對策研討會」[11、12]，今年預定於台南辦理第 10 屆台美日自來水設施耐震對策研討會。

此外，北水處為與國際接軌，積極參與推動國際間之自來水事業之交流合作，並於 102 年與日本東京都水道局簽署合作備忘錄，為自來水事業進一步發展，透過雙方工作人員交流，促進技術、經驗及知識等之提升。前依日本 DIP 協會研究報告， NS 型 DIP 較 S 或 SⅡ型 DIP 約可節省施工成本 20%，口徑 450mm 以下之專利年限已屆滿，將可直接引進臺灣使用。

基此，透過多次交流後，于 105 年與日方多次討論相關自來水管材耐震能力課程安排，行程因事前用心規劃，且參與受訓人員專心學習與親自組裝操作，收益良多。主要就 NS 管設計、施工、材料與製造及檢驗詳細說明，並記載教育訓練施作觀摩與操作實錄，透過參訪東京都水道局、東京水道服務社、研修開發中心及栗本鐵工所等一系列地點，瞭解自來水事業從規劃、研修、實作、材料檢驗製造流程，有助於提升新材料與技術之專業知識及技能，並期提升自來水管線設施風險與資產管理等成效[13]。特別就供水管網改善計畫常應用之小口徑管線施工探討。

依東京都水道局規定配水管口徑 50~350mm 者為配水小管，於一般巷弄較狹窄地區施作，首先於巷道內單側擺設行人通道，巷口並派專人指揮交通，後續進行管溝開挖，施打木板樁及水平擋土設施，施工現場埋設管線 NS 型 ϕ150 ㎜ DIP 直管，管線安裝時，先將配管吊起稍離地面，於下方墊木頭加高，再將吊掛機具配置於管線上，將插口放入承口中，此時管線需呈一直線，操作棘輪絞鏈，將插口慢慢插入承口內，完成當日預計施工長度，然後拆除擋土設施及管溝回填料，並用夯實機具確實夯實路面，最後管溝鋪設柏油，開放車輛及人員通行。

一般於巷弄內汰換管線時必須停水施工，為避免停水時間過長影響用戶用水需求或商家營業造成不便，使用配水小管替代管線迂回流方式，可減少管線汰換時停水時

圖 1　施工現場行人通道設置

圖 2　施作水平支撐情形

圖 3　吊掛機具吊掛管線情形

圖 4　管線安裝情形

圖 5　拆除擋土設施情形

圖 6　使用夯實機具情形

圖 7　管溝鋪設柏油情形

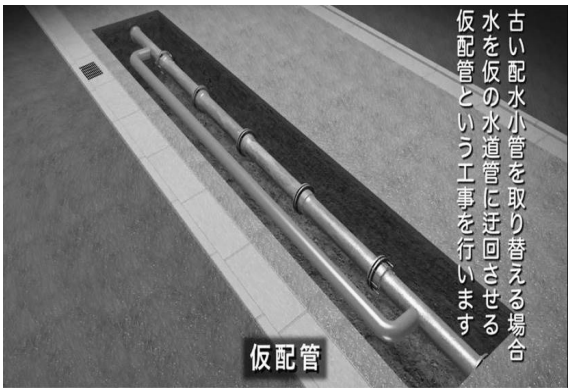


圖 8　汰換管線兩端連接設置替代管線

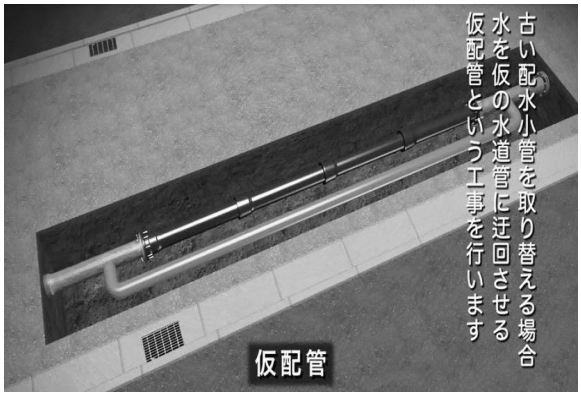


圖 9　通水狀況下汰換管線情形

間，施工方式為在欲汰換管線的前後端處連接上附有兩端開關的替代配水管，即可在舊管水流行走替代管線通水之下汰換配水管，施工完成後再拆除替代管線。使用之方式施工簡單便利，且運用在無法停水時間太久的地區，將可減少民眾停水抱怨。

圖 10　兩端設置開關及拆除替代管線

五、台北地區引用耐震管材探討

(一)新舊管件銜接問題

1.既有延性鑄鐵管銜接：未來引進耐震型之延性鑄鐵管 NS 型耐震管材與現行北水處所使用之 A 型或 K 型接頭，其新舊型管件如無法直接接合，但因延性鑄鐵管(DIP)外徑均相同，使用既有 A 型或 K 型接頭之套筒，搭配承口部分使用特殊押圈即可進行接合組裝，故與既有 A 型或 K 型接頭管件接合組裝較無問題。

2.大型波狀管應用：北水處供水轄區目前施工汰換自來水管線，常遇地下管線眾多之情形(如臺電、電信、瓦斯、污水等)，因 NS 型耐震管材施工較既有 A 型或 K 型接頭施工工序較多，可能增加施工難度，北水處近年為因應地下管線複雜之情形，已採購使用 300mm 口徑以下之大型波狀管，故屆時可採用大型波狀管，以因應銜接之特殊情形。

3.給水管線銜接：NS 型與現行使用之 A 型或 K 型接頭之延性鑄鐵管，在給水管施工銜接方面，因東京都水道局與北水處均同樣採用鞍帶分水栓組裝後銜接用戶給水管線，故施工上並無差異，並不會因未來引進新型的耐震管材，而須全面變更施工方式之問題。

4.建立 NS 管相關規範：目前國內尚未開始生產耐震型 NS 管，惟臺灣屬環太平洋地震帶，採用耐震管材為趨勢所在，如就金屬管材熔燒製程與金屬球化率，國內廠商應該可以達到標準，惟耐震型 NS 管接頭的鑄模、細部尺寸及使用配件等要求，需要更為精準，故於接頭加工部分，需予以特別加強，在日本實地裝接過程中，小口徑耐震型 NS 管承插接合部位類似卡榫方式增加其撓度，並輔以橡膠壓圈止水，如承插接口突部過大，恐導致安裝接合或是拆卸退出不易，如承插接口部分突部過小，則地震時可能因卡榫力量不足，無法發揮其耐震性能，建議訂定相關規範及材料檢驗，初期可提高抽驗頻率，如廠商所提供之材料皆能符合標準時，再考量逐步放寬抽檢頻率。

(二)耐震防脫能力(白線)管理

目前北水處所使用之自來水送配水管，大多為球狀石墨鑄鐵管(DIP)，其接頭採用A型及 K 型接頭，其中 K 型接頭屬柔性接頭，亦為現階段北水處汰換自來水管線主要使用之管材，惟 K 型接頭遇地震力超出接頭所容許之伸縮量及可撓角時，將會造成自來水管接頭拉脫而漏水。面對日益頻繁之大規模地震，耐震性能顯然不足，日後若引進 NS 型耐震管材，其特性與相關問題必需優先因應。

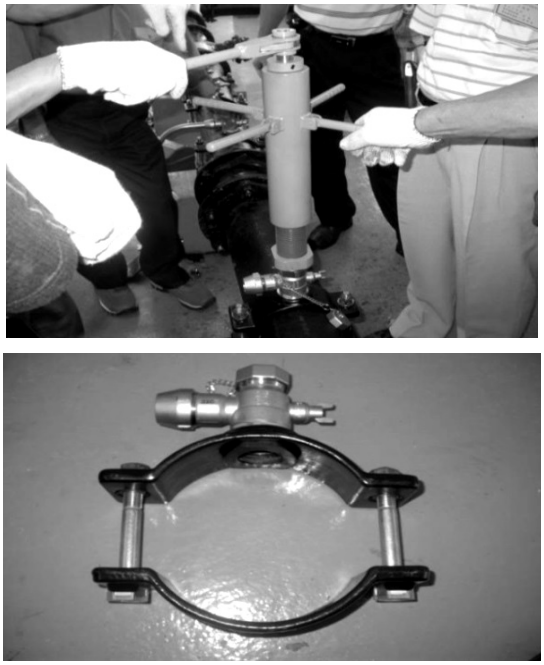


圖 11　鞍帶型分水栓與鑽孔操作機制

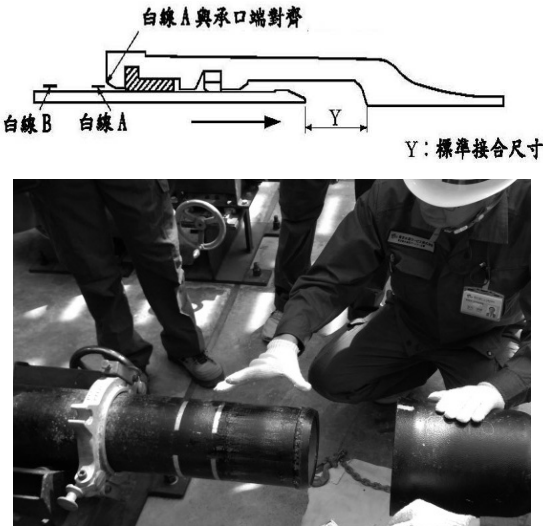


圖 12　NS 型直管插口白線標示示意圖

以日本分析過去大地震所造成主要管種損害情況，舊型之鑄鐵管(CIP)、非耐震型之延性鑄鐵管(DIP)，遭逢 1995 年阪神淡路大地震、2004 年新潟縣中越地震與 2011 年東日本大地震，均產生接頭鬆脫之損害，鑄鐵管更發生管體受損情形，唯獨耐震型延性鑄鐵管(DIP)均較無損害情況發生。

NS 型係透過直管可伸縮原理，具有管材長度約 1%伸縮及彎曲之功能，且該管件內部設置防脫環，當伸長量最大時，插口突緣部被防脫環擋住，即啟動防脫功能，防止脫接，可承受地震或位移產生之伸縮與彎曲量。因此管件上白線標示位置與施工時之確實安裝與檢核，與其耐震特性與效果息息相關，故未來 NS 型引進使用時在監工人員及廠商施工人員之教育訓練層面，應加強落實。

(三)工作態度、施工品質及教育訓練推廣

日本東京都水道局與水道服務株式會社，就專業程度、工作態度與敬業精神，均值得國內自來水相關工程人員學習，針對各施工步驟，逐項檢核，作法上採施工檢核表搭配人員施作後簽認的模式，實務上也確實看到現場的施工人員會不斷確認，並檢核其完成的工項，這種習慣的內化，以及對於自身技術技能的要求，著實為國內自來水第一線施工人員所須學習地。雖說這樣的方法和國內工程所採行的自主品管制度類似，方法都是每完成一工項，即檢核應符合相關規定，檢核有錯立即改正，道理大同小異，可是過程中每個步驟是否確實到位，恐是國內施工品質長久不佳的最大因素須精進之處。

有鑑於此，完善及確實的施工搭配檢核習慣及提高施工人員素質，才是提升工地施工品質的第一要務，因為唯有第一線的工作能落實，才有可能花最小的力氣把事情做好，使得資源能更有效分配及運用。「態度決定一切」說明了為什麼日本的工程品質和我們不同，沒有卑微的工作，只有謹慎謙虛落實的工作態度，每個工作都是由一件件小事組成的，但是我們不能忽視工作中的小事，所有成功的人都和我們一樣做著簡單的

小事，不同的是他們不認為那是簡單的小事，簡而言之剖析成功的原因，態度比能力來得重要。

東京都歷經關東大地震後推動耐震管材已歷時數十餘年，其中不斷進步研發新管材，且經由阪神大地震考驗證明，使用耐震管材地區管線完全未受損，甚至路基已完全坍方，管線已懸空仍未損壞漏水，皆證明耐震型 NS 管材抵抗地震之能力。然而對國內而言，不管是自來水第一線施工人員或監造人員大多數未接觸過 NS 型耐震管材，辦理相關教育訓練使人員熟悉其正確施工方式及施工步驟，並應藉由日本技術人員實地交流，培養北水處種子人員(包含廠商施工人員)熟悉 NS 管 DIP 施工方式後，逐步引進耐震型 NS 管。另擴建北水處 NS 管 DIP 實務訓練場，全面辦理員工及施工人員教育訓練，則為目前首要配合任務之一。

(四)管線汰換施工協調機制與相關配套措施

1.施工協調作法：東京都水道局每三個月會邀集各管線單位開會討論施工及協調事項，預告未來將施工汰換管線之地區，各管線單位倘有施工需求或須協調事項，於會議時併同處理，此種作法類似臺北市政府工務局新建工程處針對計畫性挖掘案件，整合各管線單位於挖掘範圍內是否有施工挖掘之需求，以避免重複挖掘；惟東京都水道局與臺北市政府之道路挖掘施工協調方式，略有不同，差異在於主動協調或被動協調程度與頻率。

2.管線遷移作法：東京各項道路挖掘施工，涉及須其他單位遷移地下管線者，基本上加壓型的管線，須優先配合遷移，如污水管為重力流，原則其他管線應配合改管遷移，相關配合管線遷移施工之費用，由提出請求之單位負擔。北水處目前遇管線遷移，係由北水處工程總隊及各營業分處配合工程辦理管線遷移，遷移費用之負擔與東京都水道局之作法略有差異。另目前台北地區相關道路主管機關之規定，及要求配合須辦理事項亦有所不同。

3.施工機具研發：東京都水道局除研發機施工機具，提升施工效率外，並於商業應用層面與業界合作開發新式施工機具，如運用小型瀝青混凝土夯實機械，增加夯實能量及功率外，以電動鑽孔機具取代人力操作，大幅提升施工品質及效率，降低人為疏失，突顯出東京都水道局不只是水製造供應商，更投入很多資源，具有研發能力之專長。

4.落實職業安全與假設工程管理：

(1)施工現場：東京都水道局之施工廠商提供一個乾淨又安全的施工環境，管溝開挖後確實設置擋土設施，管溝開挖深度較深時四周均設置安全護欄，勞工進入工區安全護欄內作業時均使用安全帶，值得我們學習及改進。每個角落及路口均設置交通指示標誌並派專人指揮交通，設置之施工告示牌內容資訊清晰且使用低噪音設備，大大降低因施工造成民眾交通擁塞及噪音的影響，如此作法，確實可降低民眾抱怨、提升單位形象。

(2)工廠參訪：北水處曾辦理多次國內管材鑄造廠參訪，國內廠商之製造水準近年來亦已有長足進步。參訪日本栗本鐵工所堺工廠，與國內廠商比較，具有幾項特點，其一為工廠佔地遠大於台灣工廠，由簡報室至製造廠，走路約 10 分鐘，大體而言場

區環境整理的很乾淨整潔。另外工廠內因採自動化生產，看到的員工並不太多，主要為品管人員，員工大部分為日籍人士，國內鑄鐵廠則大多仰賴外籍勞工。國內鑄鐵廠給一般人的印象是悶熱、空氣污濁、擁擠骯髒，參訪的工廠規模較國內廠區大許多，各製造單元間距離較大，製造動線安排較佳，較無悶熱擁擠之感，地面上也乾淨許多。參觀工廠前，為參訪人員準備了全副裝備，包括安全帽、防護大衣、手套、護目鏡、毛巾、綁腿等，另外因廠區內噪音較大，特地準備了耳機及麥克風，做為解說溝通之用，甚為貼心。

(五)選定試辦區推廣

土壤液化容易發生在高地下水位且土壤以疏鬆砂質土壤與低塑性粉土或粘土為主的地區，例如濱海地區、港灣、近河口三角洲、溼地、沿海平原、砂丘、河床、舊河道、自然堤周圍、沖積扇的扇緣、人工填土區及抽砂回填的海埔新生地等地區。土壤液化容易造成維生管線系統損壞。921 集集地震當時液化災害包括地下管線或人孔蓋上浮、斷裂等。以北水處目前劃設管線改善之 800 餘小區而言，比對套疊位於經濟部地調所發布之高液化或中高液化潛能區約有 600 餘小區，其中位處於東區分處所轄範圍逾 300 小區。基此，如欲試辦耐震管材運用，進行相關管線改善兼顧小區計量提升售水率，以選擇東區營業分處所轄範圍之小區為首選。

1.中山區 E09010 小區試辦：因應國內現場施工環境與日方大有不同，日本東京都施工前，均與外部單位事先協調，確認管線保留空間大小等，並且規劃各管線單位預埋設位置，國內地下管線密集且錯綜複雜，施工上不如東京都地區便利，常遭遇外單位管線橫越等問題，北水處規劃並選定東區分處轄區內高度液化潛勢區，如中山區之 E09010 小區龍江路以東、民竹東路以北、復興北路以西、民權東路 3 段以南，屬典型舊市區型態道路，另外擇定位於基隆河岸邊塔悠路及撫遠街等小區為備選，規劃評估進行試辦，並以辦理委託日方專業協助現場施工指導，一方面可提供日方技術人員瞭解本國施工現場與日本當地的差異，藉由現場指導與協助，讓國內施工人員體驗日方按部就班的工作態度，藉此試辦並推廣。

2.社子島開發計畫應用：社子島位居臺北市西北側於基隆河及淡水河交會地區，屬士林區範圍，與新北市五股、蘆洲區相對，其地形屬平坦且低窪，地質以粉質細砂與黏土為主，因鄰近山腳斷層，屬容易因地震而造成液化之潛勢區。該區計畫居住人口約 3 萬餘人，土地使用分配商業、住宅、生態及遊憩等區域並規劃與民生息息相關之共同管道設置，北水處未來可再評估考量擇適當時機利用新型耐震 NS 管與國內技術已趨成熟之不鏽鋼波狀管，設置一系列耐用且耐震之配水管與給水管，並可搭配規劃該區維生系統，如大型儲水池或儲水槽等設置，供應質優量足之自來水，並確保該區域飲用水安全。

(六)塗裝材料研析

日本栗本鐵工所耐震型 NS 管製作，以自動化方式進行，現場人員大多為品質檢驗人員，進行全流程品質監控，並於出貨前於合格管材內部用印標註，代表每一支管皆有

通過品管認證。此外，日本東京都水道局實際使用耐震型 NS 管部分，大約 70%以上管材內襯採用粉體塗裝，經詢問其未發生過粉體塗裝整片掉落，致增加管材鏽蝕機率，造成堵塞影響通水情事，國內廠商應精進粉體塗裝時之溫度控制與噴塗技術，並就塗料附着性加以檢試驗。此外，採用水泥內襯時，國內常因用戶用水量過低，配水管內之滯留水導致內襯上鹼性離子析出，造成水質 PH 值偏高，而堺工廠表示日本方面於水泥內襯均再上一層塗料保護，可減少發生長期滯流水致自來水 PH 值偏鹼性之問題，此部分究竟為蒸汽養護時間充裕，抑或塗料作效，值得國內後續進一步研析。此外，塗料是否涉及相關專利引用，亦須加以進一步探討，以供實際推廣運用參採。

六、結語

從國際趨勢與兵庫減災行動綱領瞭解，基於自來水為關鍵基礎維生設施，如遭破壞將造成基本服務的中斷，尤其包含耐災能力，除影響民生，亦將擴及經濟發展，乃至於國家長治久安。從台灣 921 大地震，與去年高雄台南地震，見證對於自來水設施及民生經濟等之嚴重影響。北水處以往曾構築防災風險管理五層防護網，然居安思危，從日本 311 大地震等災害，對於複合式災害，應有更為周全之整備。值此大力推動臺北自來水供水管網改善計畫之際，希望藉由國際交流與進一步試辦引用，改進提升管材及接頭的耐震性能，運用於北水處相關管線工程等，希能兼顧漏水改善與水資源有效運用，並有助於提昇風險管理能力。

參考文獻

1.Ger Bergkamp Executive Director, International Water Association “The way we manage water will determine how economic development, human well-being and environmental sustainability will be achieved.” Brisbane Report, World Water Congress & Exhibition 2016, The International Water Association.

2.鄭錦澤（2011），「臺北自來水事業處自來水設施耐震性及其對策」，經濟部水利署「國際新興公共給水管理與處理技術」專題演講-「自來水設施耐震調查及其對策」。

3.「2015-2030仙台減災綱領」，國家災害防救科技中心編譯，2015年10月。

4.「臺北區地下自來水管線地震危害度之研究」，國家實驗研究院國家地震工程研究中心，臺北自來水事業處，2006年12月。

5.張明禮、鍾立來、吳賴雲，「地下管線耐震需求及容量之探討」，國立台灣大學，2009。

6.「提升公共給水震損評估與管材耐震測試環境之規劃研究」，國家實驗研究院國家地震工程研究中心，經濟部水利署，2012。

7.「自來水接續管線受震位移及滲漏之試驗研究案」，國家實驗研究院國家地震工程研究中心，臺北自來水事業處，2012。

8.鄭錦澤、曾喜彩、周家榮、劉季宇、黃仲偉, Seismic Assessment of Pipeline Network of Taipei Water Department under M7.1 Sanchiao Fault Scenario Earthquake and the Countermeasures, 第八屆台美日自來水耐震研討會, 102年(2013) 8.21-8.22, 舊金山, 美國。

9.鄭錦澤、黃裕泰，「臺北地區自來水設施耐震評估與風險管理探討」，(100年(2011))，中華民國自來水協會會刊，第30卷第3期，頁59-66。

10.劉季宇，「延性鑄鐵管耐震分析與性能基準值

之探討」，(104年(2015))，中華民國自來水協會會刊，第34卷，第2期，頁81-93。

11.范煥英、鄭錦澤、范川江、朱聖心，「參加「第8屆台、美、日自來水設施耐震對策研討會」暨考察舊金山自來水耐震及高地區加壓設施心得報告」，(102年（2013））。

12.吳陽龍、王銘榑、張峻維，參加『2015第9屆台美日自來水設施耐震對策研討會』出國報告，104年10月30日，中華民國自來水協會。

13.鄭錦澤、陳輝哲、林志成、陳韋嘉、林永芳、林佑鴻、呂紹禎、陳國駿、賴奕誠、陳俊霖，「研習延性鑄鐵管耐震接頭(NS型)設計、施工及材料等教育訓練」，2016年12月1日。

作者簡介

鄭錦澤先生

現職：臺北自來水事業處東區營業分處主任

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

陳輝哲先生

現職：臺北自來水事業處技術科三級工程師

專長：自來水工程設計施工、工程單價、圖資應用

林志成先生

現職：臺北自來水事業處技術科三級工程師

專長：給水工程、單價分析、建築設計

本刊 106 年「每期專題」

期別	主　題	子　　題	時程
36 卷第 2 期	氣候變遷及應變能力	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、供水水質突發污染應變與處理、韌性供水系統等	5 月
36 卷第 3 期	水質處理	水質安全、多重屏障、水質檢驗、水質監測、淨水藥劑、消毒、過濾、臭味處理、供水操作、淨水處理、海水淡化、淨水高級處理、綠色生產等	8 月
36 卷第 4 期	新興議題與再利用	新興水質項目應對、突發事件預警、供水緊急應變、危機管理、氣候變遷與調適、國際水情、淨水用藥、廢水回收、淨水污泥再利用等	11 月

～歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優～

利用大數據以人工智慧之水量需求預測

文/林志憲

摘要

自從美國總統歐巴馬宣布振興經濟方案之中納入智慧電網計劃後，智慧電網引起世界各國的重視。由於水資源議題亦日趨熱絡，繼而引發智慧水網的推動。而智慧水網（Smart water grid 或 Smart Water Network），是一種現代化的供水網路。利用資訊及通訊科技，收集與偵測自來水供應狀況，與用戶端的自來水使用狀況。再用這些資訊來調整自來水的生產與輸配，或進一步改善家庭及企業用戶的用水量，以此達到節約能源、降低損耗、增強供水品質的目的。

智慧水管理乃強調更有效率操作與管理自來水系統，而最佳操作與管理關鍵之一係能準確預測短期水量需求。本研究提出之即時水量需求預測模組（Real-time Water demand Forecasting Module，簡稱 RWFM），係利用類神經網路（簡稱 ANN）塑模，輸入、輸出以時窗推移方式，使用嘗試錯誤法於各種網路架構及參數組合中，求取最佳整體預測效能，以進行即時出水量預測。

本研究 RWFM 模型，經實驗證實，具有高準確度之水量需求預測能力。未來可進一步提供商用模型之建立，實現智慧水廠有效即時自我調控、降低生產成本及提高經濟價值之目的，符合現代化之需求。

關鍵字：大數據（Big Data）、智慧型系統（Intelligent System）、類神經網路（Artificial Neural Network）、水量需求（Water Demand）、預測（Forecasting）、智慧水管理（Smart Water Management）

一、前言

智慧水管理基本上分為三個層次，底層的最佳感測技術、中層的資料管理與分析及上層的決策支援。底層是建置最佳智慧感測的基礎設施，採用符合現代微型化且具有自我通訊功能的智慧水表或智慧感測器，藉由物聯網將測值傳送回資料中心。而中層的資料中心，如傳統的監控系統（Supervisory Control And Data Acquisition，簡稱 SCADA）、自動讀表系統或是營收系統，蒐集來自底層的偵測資料或調查的資料，建立及儲存於該系統內，運用一些基礎運算讓數值以圖表方式顯示，作為業務上管理之用。決策支援層是將中層紀錄資料彙整，以大數據分析及雲端計算，在大數據中萃取出有用的資訊，以供決策支援或甚至智慧控制，例如本研究之預測用水需求以智控生產配送、或是以管網當中流量、壓力或聲波數據來預測漏水事件及地點，以及優化水壓管理；而整體涵蓋範圍可參考圖 1 所示。本研究即是利用人工智慧工具來預測用水需求，以提供後端生產配送控制及異常事件預（警）報，為智慧水廠的重要技術之其中一環。

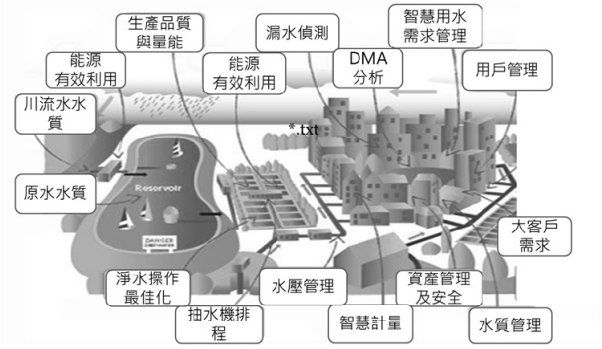


圖 1　智慧水管理涵蓋範疇

由於感測及 SCADA 技術提升，監控大數據持續紀錄在資料庫中，本研究之目的係希望利用電腦強大運算能力，套用人工智慧工具，發掘資料內部所隱含資訊，建立 RWFM 準確預測用水需求，可結合外部系統，提供後端產能調度及生產成本優化操作模組，自動回饋至 SCADA。用水需求預測資訊可提供水廠排定生產規劃及原物料需求、供配水異常及爆管漏水發生之預（警）報，以及原水調度、淨水處理、加藥控制、抽水機排程、管網控制閥調控等優化控制，創造一個現代化之智慧水廠。

二、文獻回顧

歸納文獻中所提出之水量預測方法如表 1，發現可做為水量變化之影響因子共有週號、最高氣溫、最低氣溫、天候、平均溼度、降雨量、降雪量、平均風速、降雨發生、季節、區域人口比等 11 種，並加入過去水量做為輸入變數。而預測方法隨時代變化，從過去複雜規則、須具備高等數學知識及較長之準備時間等條件，已演進為簡便輕巧之模型，尤其近年來以使用 ANN 者居多。就預測間隔而言均屬短期預測，其中以小時為單位之預測間隔更可稱之為即時預測。此外適用範圍長雖可減少塑模次數，但是會產生濾波效果，降低波形突變反應，無法對環境用水模式改變有良好之循跡特性。由於各研究之地區及供水系統有所不同，因此相對應之區域用水變化亦有其屬性差異，故針對水量預測必須先就水量歷史變化進行觀察並了解及資料特性，以利建立準確的預測模組。

表 1　過去文獻水量預測方法比較表

提出者	*輸入變數*	*預測方法*	*準備時間*	*預測間隔*	*適用範圍*	*須外部變數*	*規則簡單*	*適合即時預測*
An等[5]	週號、最高氣溫、最低氣溫、平均溼度、降雨量、降雪量、平均風速	KDD-R	長	日	長	是	否	否
Jain等[9]	最高氣溫、過去水量、降雨發生	BPNN	短	週	長	是	是	否
Nahm & Woo[11]	日水量、氣溫及天候、季節、週號	FT	中	日、時	長	是	否	否
Dumas等[8]	過去水量	RBFN	短	時	短	否	是	是
Smaoui等[12]	過去水量	BPNN	短	月	長	否	是	否
Beckwith & Wong[6]	過去水量	NDST	中	日	長	否	否	否
Xu & Zhang[15]	過去水量	WNN	短	時	短	否	是	是
Tachibana & Ohnari[13]	週號、天候及日期、最高氣溫、區域人口比	CA	長	時、日	長	是	否	否
李等[1]	過去水量、天候、日期、最高溫度、最低溫度	G-NN	短	時	短	是	是	否
單等[4]	1.年、月、日、時、週號 2.過去水量	BPNN	短	時	1.長 2.短	否	是	是

ANN 是人工智慧中求最佳解的方法之一，是一個模仿生物神經網路之資訊處理系統，優點在於不需要瞭解系統之數學模型為何，可直接以 ANN 取代系統模型，同樣可得到輸入與輸出間之關係。ANN 是由許多的人工神經元與其連結所組成，並且可組合成各種網路模型。圖 2 表示一個人工神經元之構造，其工作原理為多個輸入值 x_1，x_2，‥‥x_n 及一個輸出值 y_j，細胞體其輸入值與輸出值關係式，一般可用輸入值的加權乘積和之函數來表示。

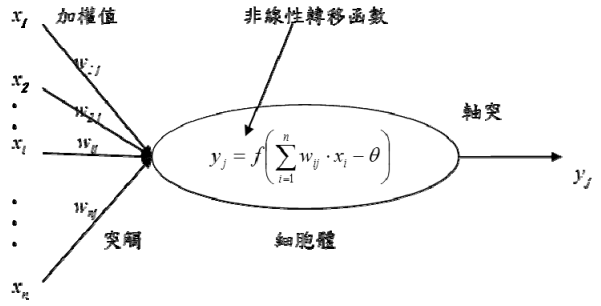


圖 2　人工神經元模型[14]

ANN 具有嚴謹的數學基礎、平行處理、分散聯想記憶、容錯能力、自我調適及非線性之特性。有良好的推廣性，對於未知的輸入亦可得到低誤差率的輸出。由於應用類神經網路可能會遭遇到落入區域最佳解（Local Optimal）、過度訓練（Over Training）或訓練不足（Under Training）、隱藏層數目及神經元數目多寡、無法收斂等問題，故需採取相對應的對策避免發生，諸如：設定不同的初始值再重新運算、設定疊代停止條件、增刪輸入變數、增加訓練範例等。

倒傳遞類神經網路（Back-Propagation Neural Network，簡稱 BPNN）是目前 ANN 學習模式中最具代表性、應用最普遍之方法。BPNN 主要應用於模式辨識、分類問題、函數逼近、預測問題、雜訊過濾及適應控制等各方面。BPNN 是種階層式網路，包含輸入層、隱藏層及輸出層，隱藏層可為一層（含）以上，每一層皆由神經元所構成。同層之神經元彼此不相連，而不同層的神經元則相互連結。信號傳輸方向是單方向，由輸入層傳到輸出層，而修正權值之誤差信號卻是與之相反方向，從輸出層傳到輸入層。BPNN 的運作過程分為學習過程與回想過程。學習過程是一種監督式學習，從問題資料集（data set）中取得訓練用之輸入值和目標輸出值。輸入值經過學習過程計算出輸出值，與目標值比較得出誤差值，此誤差值經計算後提供調整加權值與偏權值，並逐層倒傳遞計算調整至最前層，如此反覆調整使輸出值和目標值誤差，在一個設定之合理範圍內，便稱之為網路收斂。而回想過程是網路模型利用在學習過程獲得之加權值與偏權值，將待推算問題之輸入值輸入，以逼近最可能之輸出值。

BPNN 運算流程依據問題定義網路之輸入與輸出單元，決定網路層數與各層之神經元數。其次決定初始加權值與偏權值，或以隨機亂數取得。加權加總經非線性轉換計算隱藏層輸出值，同樣亦計算輸出層輸出值。定義網路性能指標之誤差函數 E 為均方誤差（mean square error，簡稱 MSE），而 BPNN 訓練之目的係將誤差函數 E 降至最少，使得網路輸出值能夠逼近目標值。使用學習法則倒傳遞調整網路的加權值與偏權值。重覆計算隱藏層、輸出層及權值修正，直至誤差函數收斂或到達設定終止條件即表示訓練完成。

三、研究方法

出水量值，為淨水場營運管理之重要數值。影響出水量之變動因素有時間、週號、氣溫、天候、節假日活動、自來水設施維護及不可預知因素等，可區分為規律性變化及非規律性變化，而依地區用水習慣亦有不同流量趨勢，如商業區與工業區之別；在如此多變因之水量預測工作，若能開發易於使用維護之預測模組，將有助於淨水場管理技術之提升。接下來將探討水量變化模式以發掘水量預測塑模之輸入項，並且敘述如何進行 ANN 工程以及評估預測效能。

(一)研究架構

本研究之 RWFM 模型是依據過去之歷史水量資料及時間變數，利用 BPNN 訓練水量波形模式，訓練塑模使網路具有函數逼近功能，網路模型建立並得出網路參數。系統架構流程如圖 3 所示，為獲得良好之預測效果及提高本架構穩定性，其中 ANN 時水量塑模程序須定期於背景執行，修正 ANN 參數，以便貼近當期出水量模式。而圖中虛線部份屬外部系統，非本研究範圍。

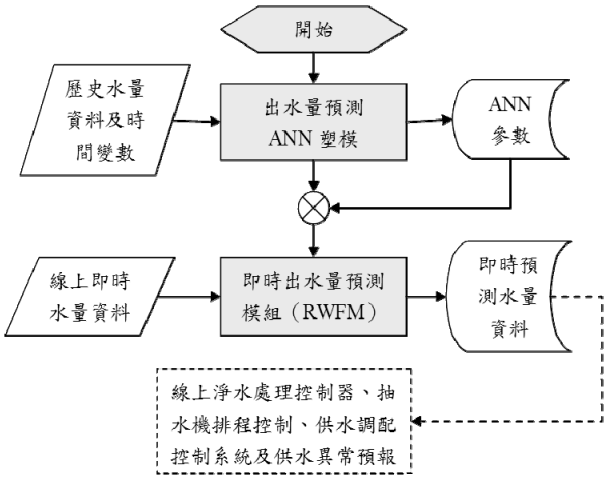


圖 3　本研究系統架構流程圖

(二)RWFM 規劃與建立

出水量乃屬季節性時間序列（seasonal time series），具有很強之週期性，每週、每月、每年內均可構成一個循環，如每週變化與生活習性、工作時間安排及例假日有關，每月部分與工廠生產計畫或月週期活動等有關，年變化與節日、慶典活動、氣溫天候季節等有關。故其預測可以小時、日、週、月、季、年等為單位。水廠 SCADA 為有效達成監控目的，所紀錄數值設計以分（minute）級單位者佔大宗；而紀錄於資料庫之水量資料，則視查詢需求會設計以分或時（hour）級單位。

本次以丸山淨水場 SCADA 系統為例，其所紀錄之水量資料係以「分」級單位，紀錄之種類可分為瞬間值及累積值。累積值因為數值係一直累加，所以使用此資料需要將之切分成一定時間之間隔，計算該間隔之始末差值，即可反應該時段（interval）之出水量，用此方式將不會像瞬間值有雜訊問題，並且能正確計算出時段內之用水量。決定時段之長短，應考慮資料庫紀錄之間隔、不可造成波形嚴重失真以及避免雜訊干擾等因素。另考慮水量預測之目的係提供抽水機排程等操作類運用，而抽水機由於電氣及機械特性，依據使用原則建議不可過度頻繁之啟停切換，以避免影響抽水機使用壽命；還有配水池所能提供最大時緩衝容量之承受時間設計；再者考慮預測器效能，減少計算機進行 RWFM 執行時之資源需求等，因此綜觀衡量，本研究預測水量資料設定以一小時累積水量為間隔。

圖 4 為 X+1 年 4 月份之每日出水量波形，其中波形係以半小時為一時段，觀察波

形可發現明顯之區域極值，便可得到出水尖峰、離峰時間。且水量變化除受週期性（週、月、年）需求影響外，仍受可控因素及不可控因素影響，可控因素如：節慶、用戶習慣改變、區域開發、供水區調整、操作異常等，而不可控因素如：氣象、設備異常等影響變化。觀察圖 4 之累積水量波形，發現週一（3 日、10 日、17 日及 24 日）、掃墓日（5 日）、重大節慶活動開幕前一日（11 日）波形比較他日有明顯差異。水量變化與時段序號、週號、日號有著關聯性，故可選擇為 RWFM 之輸入項。換個角度觀察，因為屬於時間序列，所以可選擇前幾筆累積出水量為輸入項，來預測未來幾筆之水量。本研究係以出水量歷史值進行水量短期即時預測，做為淨水場線上控制之用；然而氣溫、天候、季節及區域開發等出水量短中期變化之影響因素，對即時預測影響小，故不予考慮。水量為物理化學變量，輸入為數值，輸出亦為數值，因此利用 BPNN 具有函數逼近功能，以建立 RWFM。

圖 5 所示為本模組建構之基本流程，首先蒐集過去之出水量資料，由於資料格式及內容無法直接提供模組使用，須經過一番分析整理，排除不完整之資料並作正規化處理，歸納出一套符合資料特性之輸入、輸出方式及呈現型式；接著劃分資料為訓練集、驗證集及測試集；選擇適當的模組輸入及輸出項，決定 ANN 網路架構、網路訓練參數及學習法則，並將前述項目設定為變動因子，進行網路訓練並確認收斂後，評估預測效能，以試誤法重複改變變動因子及執行前

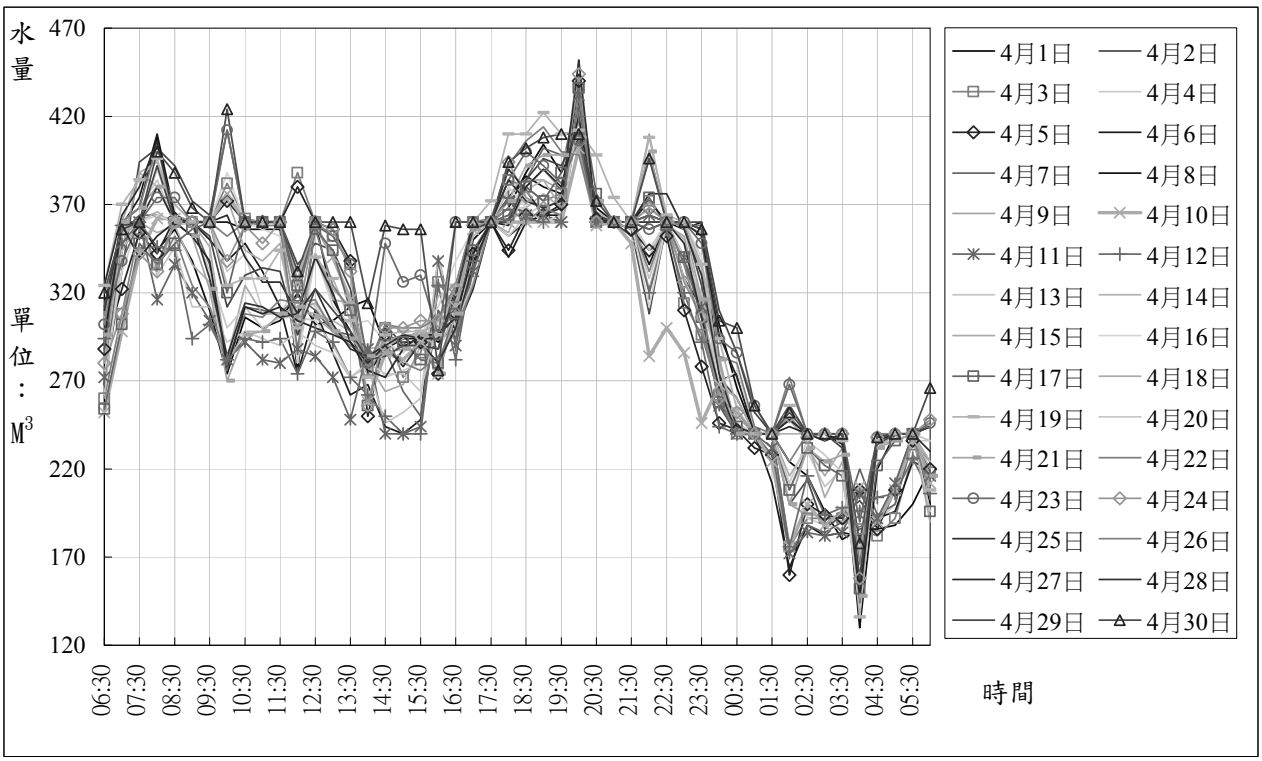


圖4　X+1年4月份之日水量波形

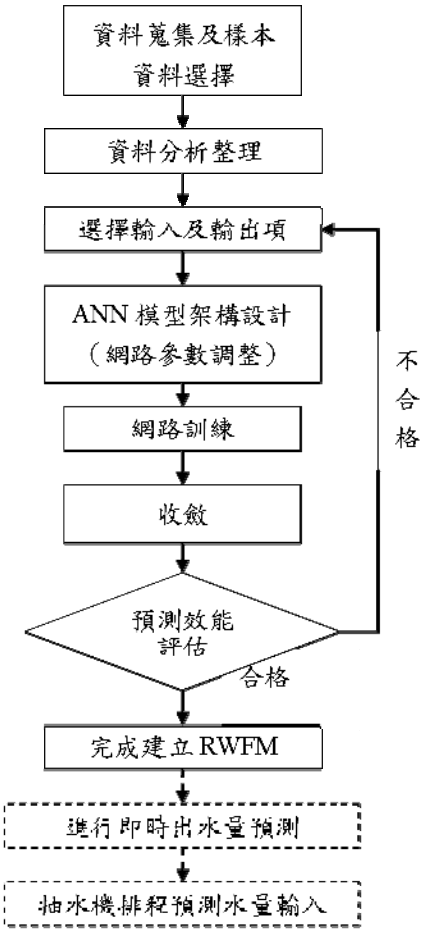


圖 5　RWFM 建模流程

述動作以比較各別優劣，直至獲得符合期待且具有準確預測能力之網路模型，RWFM 即告完成。為考量即時性及分散控制系統之運用，本模組必須可進行即時水量預測，提供下一階段各類操作模組之所需資訊，其 RWFM 應設計為網路訓練快速、所需計算機運算與記憶體資源少並具有預測反應快速之能力，以符合實際應用需求。

1.資料蒐集及樣本資料選擇

資料取得自 SCADA 資料庫，透過資料庫查詢取得所需數據，資料筆數端賴資料庫所紀錄之歷史而定。水量變化屬於時間序列，故將採時窗推移方式，以過去數筆出水量為輸入項。進一步觀察，水量變化與時段序號、週號、日號有著關聯性，所以亦嘗試選擇為輸入項。前述兩種輸入項交互搭配試圖發現適合之組合。由於水量資料屬於實數型數值（real value data），而時段序號、週號及日號屬於類別型式資料（categorical data），因此在資料之呈現方式，仍按原型態方式做為輸出入型式。

而 BPNN 性能與輸入資料模式極具關係，若訓練集相似性高，訓練後之直傳式網路則對於預測不同模式的水量波形效果會降低；所以提供網路訓練不同資料集特性，包含適度雜訊以降低訓練樣本同質性也是必要[3]。因此，將利用用水習性常態波動及為數不多的短期可控及不可控因素造成水量波形突變，決定水量資料不再做去除異常日之動作。在樣本資料之選擇方面，考慮水量屬時間序列且有日變化之故，故以一日為組，如每單位小時一筆之水量資料，則設定 24 筆為一批次，中間不再切分。按資料集規劃使用方式，切分為訓練集、驗證集及測試集共三集，將訓練集及驗證集以批次為一單位交互混合切分，以避免同週號、日號之日水量資料集中在單一資料集中。一般資料樣本數（sample size）應愈大、愈全面、愈完整愈好，然而本研究模組係採時窗推移方式進行塑模，以週或日為循環單位重新訓練，考慮水量波形亦受季節變換影響之故，且為確保即時預測器之再生能力，所以不宜規劃過低之訓練集資料天數為原則，以利突顯用水特性；並且將嘗試變換輸入資料量方式，求取最佳輸入資料量。

2.資料分析與整理

由於所蒐集之資料格式不符合實驗所需、內容不完整、資料集存在著缺值等問

題，因此必須將資料集檢視並予以補遺，並將所蒐集之水量資料轉換為每單位時間之累積水量值資料集。而時段序號 t'、週號 w 及日號 d 亦做為輸入項；時段序號係配合每單位時間，以日為範圍依序編號，例如：自 00:00 至 01:00 設計為時段 1，則以此類推 23:00 至 00:00 為時段 24；週號則星期一設為 1，推至星期日為 7；日號則以月為範圍依序編號，當 1 號設為 1，推至 31 號為 31。

正規化（normalize）係將輸入資料一致化，尤其當輸入特徵（feature）度量單位不同時，可避免落入區域最佳解及避免神經元過早飽和而無訓練效果之問題，而且可提高訓練速度。因此在資料前處理中，將之正規化係有其必要性。

經過一番分析整理排除不完整部分並作正規化處理後，考慮該模組之未來預測能力，資料集除了切分成訓練集及驗證集外，另使用測試集以檢視網路再生能力。因為水量變化亦受週變化之影響，故選擇接續訓練集及驗證集後之 7 批次（7 天）為測試集，劃分情形詳如圖 6 所示，依時間序列推移時窗進行網路訓練及測試。

3.選擇輸入及輸出項

輸入層以第 z(t) 至 z(t+q) 時段出水量為輸入項，共 q+1 個神經元數，其中 t 代表累積時段序號，即 t+q 表示 t 時段後的第 q 個時段序號之單位時間出水量，另搭配組合之時段序號 t'(t)、週號 w(t) 或日號 d(t) 亦做為輸入項，共有 q+4 個輸入項。因為水量波形每日具有其循環性，其 q 值應搭配每日時段數之倍數，如 24 或 48 個時段，以利具有出水量整日變化之特性。

而輸出項部分即為所預測未來之水量需求，需依需求之不同並考慮 RWFM 之執行速度，應不超過 24 個為原則，而可參考所搭配後端控制器之需要，安排適當之輸出項即可。如欲預測未來 5 個時段之水量變化，即為設定 5 個輸出項。因此選取第 z'(t+q+1) 至 z'(t+q+p) 時段出水量值為輸出項，輸出層共 p 個神經元數。

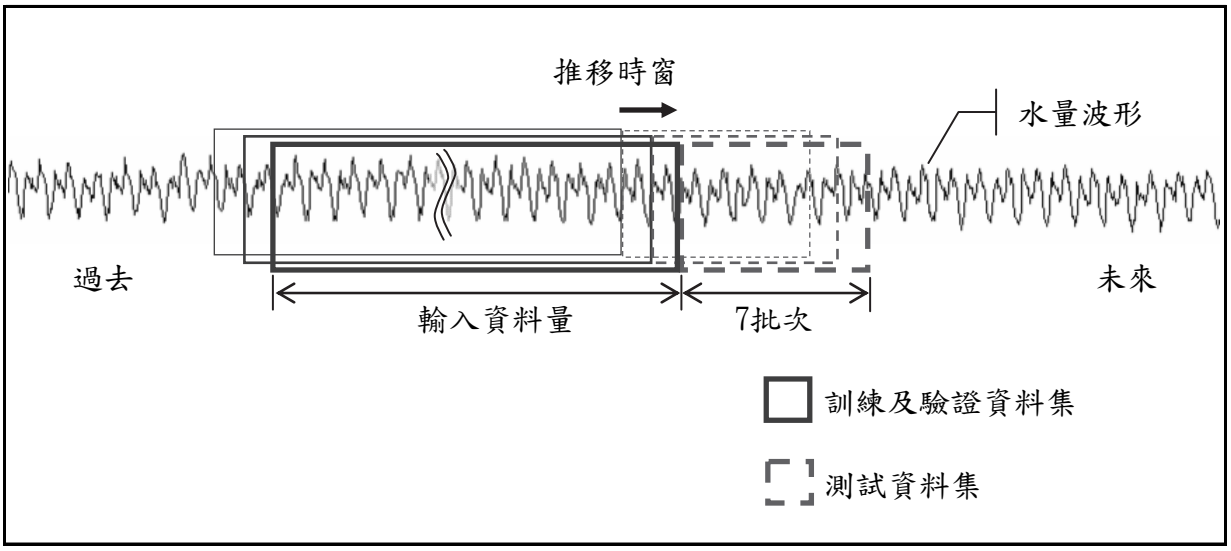


圖 6　資料集劃分方式說明

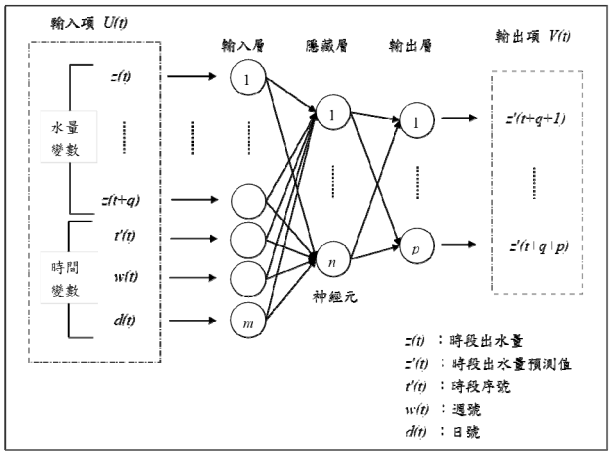


圖 7　本研究水量預測用 ANN 架構說明

其網路架構如圖 7 所示，在網路訓練階段，輸入第一筆資料 U(t) = [z(t), z(t+1), …, z(t+q), t'(t),w(t),d(t)] 分別對應 m 個輸入神經元，第二筆資料 U(t+1) = [z(t+1), z(t+2), …, z(t+q+1), t'(t+1), w(t+1), d(t+1)] 亦對應同樣各個輸入神經元，如此依序排列輸入資料 U(t), U(t+1), U(t+2),…，而輸出端第一筆目標值 V(t) = [z(t+q+1), z(t+q+2), …, z(t+q+p)] 分別對應 p 個輸出神經元，第二筆目標值 V(t+1) = [z(t+q+2), z(t+q+3), …, z(t+q+p+1)] 亦同，因此輸入輸出對應為 U(t)→V(t), U(t+1)→V(t+1),…。

4.網路訓練參數設計

因網路訓練過程之準確率、速度及再生能力係受網路參數（初始權值、學習率、隱藏層數、隱藏層神經元數、轉換函數、學習法則等）之變化等影響，因此網路參數之設計亦是重要之一環。當集中某種傾向之初始權值時，可能落入區域解，故應以多次隨機變化方式安排初始權值。另隱藏層之多寡雖然代表多次之空間轉換，而一至二層之隱藏層已可反應輸出與輸入之交互作用[16]。

ANN 具有自我學習功能，利用倒傳遞修正權值，一次又一次之迭代訓練直至網路收斂為止。另須考慮全部訓練過程之迭代數（epoch）限制，避免訓練時間過長或無法收斂。本研究使用 LM 法、BFGS 擬牛頓法、最速恢復倒傳遞法、攀登共軛梯度法、PB 重啟共軛梯度法及 FP 共軛梯度法共六種快速訓練之學習法則，以試誤法找出效能最佳化之網路參數。

5.預測效能評估

為評估模型預測的效能表現，本研究採取以下二項評估指標，分別為平均絕對百分比誤差(簡稱 MAPE)與相關係數(correlation coefficient，γ)。其說明及計算的公式如下所示：

(1)平均絕對百分比誤差（MAPE）

類神經網路在一個平均值變動範圍內之整體預測效益是以 MAPE 表示，而 MAPE 不受實際值及預測值單位與大小之影響，能夠客觀獲得兩者間之差異程度。若有 N 個期數（在本研究中即等於測試集筆數與輸出層神經元數之積），則 MAPE 定義如公式（1），MAPE 之值愈小，表示模型預測效能愈高，預測模式之預測結果與歷史資料實際值吻合度愈大。一般 MAPE 以 50% 為分界，小於者表示不正確之預測，大於者屬合理或良好之預測，當 MAPE 小於 10% 時，則表示預測能力屬高精確度[10]。

$$\mathrm{MAPE} = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\left|\frac{a_j - \ddot{t}_j}{\ddot{t}_j}\right| \qquad (1)$$

其中，aj：第 j 個預測值

$\ddot{t}_j$ ：第 j 個實際值

N：期數

j ：屬於{1,……,N}

(2)相關係數（γ）

相關係數為實際值與預測值兩變數間「線性」關聯程度的指標。設有兩組樣本 $a_1, a_2 ..., a_N$ 及 $\ddot{t}_1, \ddot{t}_2 ..., \ddot{t}_N$，其樣本平均數分別為 $\bar{a}, \bar{\ddot{t}}$，樣本標準差分別為 $S_a, S_{\ddot{t}}$，且兩組樣本之樣本共變異數（Covariance）$S_{a\ddot{t}}$ 定義為

$$S_{a\ddot{t}} = \frac{1}{N-1}\sum_{j=1}^{N}(a_j - \bar{a})(\ddot{t}_j - \bar{\ddot{t}}) \qquad (2)$$

則相關係數（γ）為

$$\gamma = \frac{S_{a\ddot{t}}}{S_a S_{\ddot{t}}} = \frac{\sum_{j=1}^{N}(a_j - \bar{a})(\ddot{t}_j - \bar{\ddot{t}})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{N}(a_j - \bar{a})^2}\sqrt{\sum_{j=1}^{N}(\ddot{t}_j - \bar{\ddot{t}})^2}} \qquad (3)$$

一般而言，γ 為介於 1 至 -1 之間的實數，當 γ 為負值表示兩變數之間為負相關，若 $\gamma = 0$ 為沒有任何線性相關，為正值則表示正相關。例如當 $1 \geq \gamma > 0.7$ 時，則表示兩變數之間有高度正相關，因此愈接近 1 可代表預測效果愈佳。

網路績效係受網路架構、網路參數影響，因此必須充分進行試誤法以去蕪存菁。輸入項組合、輸入資料量、網路參數及學習法則均為試誤法之變動因子，其塑模方式是以該批嘗試變動一至三項因子，在 5 次不同初始權值所訓練之網路，針對測試資料集使用預測效能評估指標計算效能並經 5 次求其平均，以比較其網路績效，選擇優者之因子保留至下一批，而下一批亦循同樣方式繼續擇優保留，即均保留最佳因子，以求取最佳因子組合。

發展 RWFM 程式之步驟，首先載入歷史出水量資料並予以整理分析，以迴圈方式嘗試使用不同之輸入項組合，將水量資料整理為輸入資料及目標資料並作正規化處理；接下來為訓練階段作業，陸續以迴圈方式使用不同之輸入資料量及其不同起始日之變化，其中先將資料集設定及劃分為訓練集、驗證集與測試集，而驗證集做為網路訓練避免過度訓練之檢驗，測試集則做為預測效能評估使用。之中再以迴圈方式，使用不同之第一及第二隱藏層神經元數、轉換函數與學習法則等變化，設定網路訓練績效目標值、最終停止迭代數及學習率等。接著開始進行網路訓練，一直至達到所設定之目標為止，讀取網路參數及權值。為了比較當次網路績效，須將測試集資料逆正規化還原，以便預測效能評估。如此重複其迴圈，比較各迴圈以得出較佳之網路預測效能，保留當次因子，再進行迴圈，直至找出最佳預測效能。最後輸出其網路參數及結果並據此以建立具有即時預測功能之 RWFM。

四、實驗執行及結果討論

為了測試本研究所提出 RWFM 之績效，分別以程式實作進行驗證，使用 Intel Xeon CPU 3.00GHz, 1GB RAM, Microsoft Windows Server 2003 計算環境，以 MATLAB 6.5 軟體撰寫及執行程式。首先蒐集水廠 SCADA 的出水量歷史資料並前處理，採用試誤法以變換各種網路參數及輸入變數組合，進行 ANN 塑模，比較各組之優劣，使用平均絕對誤差百分比（MAPE）及相關係數（γ）為 RWFM 評估指標，最後求取最佳績效之網路模型；而該模組之衡量指標之一即是執行時間。為了達成即時預測及即時排程之目的，其程式必須快速執行完成。因

此測試過程中將紀錄執行時間，以做為模組可行性之參考依據。

(一)實驗對象

針對丸山淨水場 X 年 6 月至 X+1 年 7 月間之資料進行研究，使用 X 年 6 月 1 日至 X+1 年 6 月 18 日之歷史出水量資料塑模，針對 X+1 年 6 月 19 日至 X+1 年 7 月 24 日之出水量進行 RWFM 驗證；整理為一小時一筆之水量資料集，排除不完整部分，全部資料集共有 9648 筆，共為 402 天。

(二)RWFM 建模與實作

首先將出水量資料整理為一小時一筆之水量資料集，排除不完整部分並進行正規化處理，整理後，一天為 24 筆水量資料，設一小時為一個時段，則一天有 24 個時段。資料集切分為訓練集、驗證集及測試集共三集，而訓練集及驗證集以批次為一單位依序交互切分，一批次設定連續 24 筆資料，即為一天之水量，中間不再切分，例如：訓練集為第 1、3、5、7…批次（天）之水量資料集，而驗證集為第 2、4、6、8…批次之水量資料集。接著選擇接續訓練集及驗證集後之 7 批次（天）為測試集。為提供後端控制模組使用，因此規劃輸出層共 6 個神經元，也就是輸出時窗為 6 個時段，以預測未來 6 小時之水量。

而網路變動因子共有 6 項如表 2 所列，分別為輸入變數、輸入資料量、第一隱藏層神經元數、第二隱藏層神經元數、隱藏層轉換函數及學習法則。每種變動因子組合採 5 次不同之隨機變化初始權值進行訓練。輸入變數因子係由出水量、時段序號、週號及日號之資料集組合，分為 24 及 48 個時段之水量時窗輸入，再搭配時段序號、週號及日號等時間變數變換組合；選擇 24 及 48 個時段係因為分別為一天及二天之水量資料，可以完整表達一整天之水量波形模式。輸入資料量因子則考慮資料集之大小，以 20 至 330 批次（480 至 7920 筆）之變化，其代表著 20 天至 330 天水量資料之意涵，而輸入資料量之計算方式係為訓練集與驗證集之批次數合計，並不包含測試集。第一隱藏層神經元數嘗試以 1 至 40 個之變化。第二隱藏層神經元數則以 0、5、10、15 及 20 個之變化，試圖了解一或二層隱藏層其優劣；其中第二隱藏層神經元數為 0 個，係代表未使用第二隱藏層，即僅用一個隱藏層之意。隱藏層轉換函數採用正切雙彎曲函數及對數雙彎曲函數，而輸出層則採用純直線（pure line）

表 2　網路塑模所採用變動因子與其範圍

變動因子	*變動範圍*
輸入變數	出水量、時段序號、週號及日號之組合，分為 24 及 48 個時段之時窗輸入，再搭配時間變數變換組合
輸入資料量	20 至 330 批次（480 至 7920 筆，不含測試集）
第一隱藏層神經元數	1 至 40 個
第二隱藏層神經元數	0、5、10、15 及 20 個
隱藏層轉換函數	正切雙彎曲函數（tan-sigmoid）及對數雙彎曲函數（log-sigmoid）
學習法則	LM 法、BFGS 擬牛頓法、最速恢復倒傳遞法、攀登共軛梯度法、PB 重啟共軛梯度法及 FP 共軛梯度法等演算法
※ 測試集資料起始日	第 333 至第 366 批次（做為檢驗 RWFM 推移預測效能）

轉換函數。求解之學習法則採用 LM 法、BFGS 擬牛頓法、最速恢復倒傳遞法及攀登共軛梯度法、PB 重啟共軛梯度法及 FP 共軛梯度法等演算法。設定正規化後之目標 MSE 為 0.01 以終止訓練；也因為採用快速學習法則，故全部訓練過程之迭代數限制在 400 以下，避免訓練時間過長影響執行速度。

以試誤法比較分析各種因子變換搭配之組合，以找出最佳 RWFM 效能。其評估指標係使用平均絕對誤差百分比（MAPE）與相關係數（γ）及執行時間，以 5 次不同初始權值網路訓練後之評估指標求取平均數，執行時間則為這 5 次執行後之總合時間，單位為秒。以下就各變動因子變換搭配塑模結果綜合分析：

1.輸入變數

採用 24 時段水量時窗輸入具有執行時間短之優勢，而 48 時段則有較佳之預測 MAPE；另外搭配時間變數可使用時段及週號，僅可些微改善預測 MAPE，卻也略增加執行時間，故如何選擇應視所採用之計算機效能及預測效能需求而決定。本例中，係採用輸入變數為 48 個時段之水量時窗輸入並搭配時段及週號時間變數者，在此以日為頻率再塑模調整之推移預測效能為佳。

2.輸入資料量

為符合 Baum-Haussler 規則，應選擇大於 300 批次，以提供訓練集及驗證集進行訓練集驗證，避免網路過度配適及記憶現象；且增加訓練輸入資料量可提高預測準確度，相對也會使塑模執行時間增加。提供更多訓練集資料給予網路學習，可降低異常日之 MPAE 突增之幅度。於本例中因受限所蒐集之資料量，故選擇 330 批次為佳。

3.第一隱藏層神經元數

視 Baum-Haussler 規則之要求；於本例中，採用 26 個輸入變數（24 時段水量時窗輸入、加上時段及週號時間變數）者，以 26-18-6 網路架構為佳；採用 50 個輸入變數（48 時段水量時窗輸入、加上時段及週號時間變數）者，以 50-32-6 網路架構為佳。

4.第二隱藏層

經實驗發現，不使用第二隱藏層優於使用者，故不應採用。

5.學習法則

採用塑模執行時間快速之 PB 重啟共軛梯度法或 FP 共軛梯度法，均有不錯之表現。

6.隱藏層轉換函數

在本研究採用對數雙彎曲函數優於正切雙彎曲函數。

檢視最佳網路績效為輸入資料量 330 批次、50-32-6 網路架構，其最小之 MAPE 係發生在測試集資料起始日為第 365 批次時，其 γ 值為 0.9819，輸出層第 6 個神經元輸出（1 個時段）之水量波形詳圖 8 所示；最大之 MAPE 則發生在輸入資料起始日為 350 批次時，其 γ 值為 0.9156，輸出層第 6 個神經元輸出之水量波形如圖 9，明顯發現自第 28 至 35 及 108 至 110 時段間水量波形異常變化，嚴重影響當批次或次批次之預測效能。然而 RWFM 亦可運用此特性，做為異常水量警報之用。

在塑模過程發現，水量歷史資料中，若具有水量異常狀況者，諸如：主要幹管破管大量漏水、大用戶臨時大用水、供水區域臨時改變等原因，將會影響接續幾日之預測能力，若以單一輸入資料起始日之最高準確率為塑模目標，並未是良好之水量預測器。因

此必須以日或週為頻率再塑模調整（變換輸入資料起始日），確認其推移預測之整體效能，提高 RWFM 預測能力。

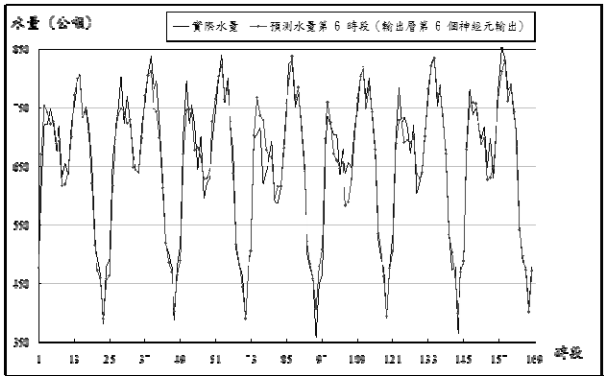


圖 8　第 365 批次輸出層第 6 個神經元輸出水量波形圖

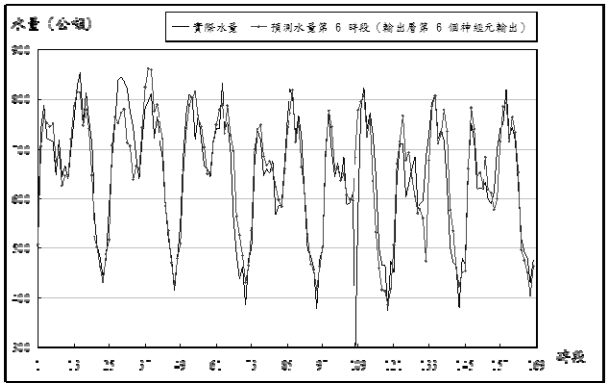


圖 9　第 350 批次輸出層第 6 個神經元輸出水量波形圖

(三)模式驗證

本研究模型之開發，為了驗證模式是否符合效益並確認可行性，將按上節分析結果所述，決定 ANN 之塑模方式，針對 X+1 年 6 月 19 日至 X+1 年 7 月 24 日共 36 日之出水量進行預測，預測結果將以預測效能評估指標檢驗，以驗證本研究模型。

兩種預測效能評估指標，即 MAPE 與 γ，在 MAPE 評估準則部份必須小於 0.1，方可稱為高準確度之預測能力；而 γ 則必須介於 0.7 至 1 之間，才稱為預測值與實際值具有高度正相關，因此 RWFM 將採本準則予以驗證。

RWFM 採用輸入變數為 48 個時段之水量時窗輸入並搭配時段及週號時間變數、輸入資料量為 330 批次、第一隱藏層神經元數為 32 個搭配使用對數雙彎曲函數、不使用第二隱藏層、學習法則為 FP 共軛梯度法之 50-32-6 ANN 架構塑模，以日為頻率重塑調整網路權值，就 X+1 年 6 月 19 日至 X+1 年 7 月 24 日之出水量進行推移預測，平均塑模執行時間為 243.1 秒，其中 MAPE 最佳發生在 X+1 年 6 月 19 日（週日）為 0.0218，最差發生在 X+1 年 7 月 18 日(週一)為 0.0638；γ 最高發生在 X+1 年 7 月 6 日（週三）為 0.9928，最低發生在 X+1 年 7 月 13 日(週三）為 0.8409；而 MAPE 平均值為 0.0356，γ 平均值為 0.9695；驗證結果均符合上述之準則要求。

進一步探討發現 7 月 18 日預測水量波形明顯不同於實際水量，MAPE = 0.0638 為最差，經查 X+1 年 7 月 17 日至 19 日正值颱風來襲，其中 18 日（週一）登陸，當地政府宣佈放停止上班上課，因此出水模式大幅改變，改變原因有用戶提前儲水備用、工廠停止運轉及商家停止營業、自來水設施風災損壞等等，影響供水情形所致。再來 6 月 20 日之 MAPE = 0.0625 為次差，7 月 13 日之 MAPE = 0.0549 為第三差，經查原因分別為（1）管線工程施工，阻斷部分幹管路徑，改變供水管網，當日施工完成後恢復為原有供水路徑，因此影響出水量波形；以及（2）幹管破管漏水，雖即時派員處置，惟突發狀況已造成短期大量出水，改變出水模式，並提供做為後續幾日之輸入訓練資料，因此一併影

響連續三日之預測效能。然而在前述異常因素影響下，RWFM 仍維持不錯之效能，依然達成水量預測驗證之目標。

五、結論

由於社會需求提高，對於自來水調配與供水品質要求與日俱增；但水資源開發不易，為撙節用度，達成自來水系統最佳管理，準確預測短期水量需求是為關鍵。本研究利用 ANN 進行即時出水量預測，實現精確預測水量，並以優化操作為目標，建構智慧水廠。研究過程中，對於 RWFM 獲得結論並提供建議，做為後續研究參考。

(一)結論與研究貢獻

本研究提出 RWFM 採用 ANN 進行即時出水量預測，經實驗證實，符合驗證準則，具有高準確度之預測能力。有效掌握水量變化趨勢降低產水落後所衍生之風險，提高淨水場管理之可靠度，並可提供抽水機排程控方案，以創造經濟運轉之貢獻。

為發展適用於即時水量預測，本研究之 RWFM 建模時，採用開發成本小、具有規則簡單易於維護及系統開發時間短之 ANN 工具，使用水量及時間等非外部變數資料輸入，而輸出、輸入水量資料以時窗推移方式，以排除過去研究者針對線上即時應用上之缺點；並且使用較多實驗資料（共 36 日）驗證模型之可用性，在未排除因風災、破管、施工等造成異常水量之條件下，水量推移預測效能之平均絕對百分比誤差（MAPE）平均值為 0.0356，相關係數（γ）平均值為 0.9695，平均塑模執行時間為 243.1 秒，因此證明本研究提出之 RWFM 確實有效可用，而且也說明 BPNN 對於水量預測之時間序列問題具有極佳再生能力。

水量需求預測仍具不確定因素，諸如：幹管破裂大量漏水、大用戶臨時改變用水、風災與特殊日改變出水及用水模式、供水區域臨時改變等原因，影響異常日之出水量預測能力。若塑模完成，在獲得最佳之網路績效後，便不再定期訓練修正網路權值，將僅止於特屬區間日之最高準確率，無法持續維持整體準確率。而本研究亦強調系統開發，故針對系統操作維護等實務應用層面，本研究提出必須適時以日或週為頻率定期再塑模調整，以提高整體推移預測效能。

(二)後續研究方向與建議

出水量直接影響淨水場產能調度及生產成本，本研究提出之 RWFM，可運用在水資源調度、淨水處理、抽水機排程與供配水系統穩定等，智慧水廠應用概念，其應用例如：依據預測水量計算淨水加藥排程；此外將預測水量與即時水量比較，讓機器學習專家經驗，用來辨識用水增加、水量漏失、爆管、水量計故障等事件特徵，利用大數據分析，採掘有用資訊，減少專業人力需求，加速問題判斷，立即就該事件採取對應處置，減少供水不穩定的操作風險，以及降低漏失水量，建立供水管網專家系統。

參考文獻

1.李斌、許仕榮、柏光明、李黎武，〈灰色—神經網路組合模型預測城市用水量〉，《中國給水排水》，第2期，2002。

2.林志憲、駱至中、王炳鑫，〈以類神經網路為基之淨水場時出水量預測模組〉，第二十二屆自來水研究發表會論文集，中華民國自來水協會，編號C07，2005，頁次267-286。

3.吳菁菁，〈類神經網路應用於短期用電量之預測〉，元智大學工業工程所碩士論文，1993。

4.單金林、戴雄奇、李江濤，〈利用BP網路建立預測城市用水量模型〉，《中國給水排水》，第8期，2001。

5.A. An, C. Chan, N. Shan, N. Cercone, & W. Ziarko: “Applying knowledge discovery to predict water-supply consumption”, IEEE Expert, vol. 12(4), 1997, pp. 72-78.

6.S. F. Beckwith & C. K. P. Wong: “Application of dynamical system theory for short-term water load demand prediction”, Proceedings of the 1994 Second Australian and New Zealand Conference on Intelligent Information Systems, 1994, pp. 283-287.

7.H. B. Demuth & M. Beale, Neural Network Toolbox User's Guide for Use with MATLAB, MathWorks, 2002.

8.M. Dumas, M. Salmerdn & J. Ortega: “ANNs and GAs for predictive controlling of water supply networks”, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks of the IEEE-INNS-ENNS, vol. 4, 2000, pp. 365-370.

9.D. A. Jain, U. C. Joshi & A. K. Varshney: “Short-term water demand forecasting using artificial neural networks: IIT Kanpur experience”, Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition, vol. 2, 2000, pp. 459-462.

10.C. D. Lewis, Industrial and Business Forecasting Methods, Butterworths, London, 1982.

11.E. S. Nahm & K. B. Woo: “Prediction of the amount of water supplied in wide-area waterworks”, Proceedings of the 24th Annual Conference on Industrial Electronics Society of the IEEE, vol. 1, 1998, pp. 265-268.

12.N. Smaoui, S. BuHamra & M. Gabr: “A combination of Box-Jenkins analysis and neural networks to model and predict water consumption in Kuwait”, Proceedings of the 2002 International Joint Conference on Neural Networks, vol. 2, 2002, pp. 1678-1683.

13.Y. Tachibana & M. Ohnari: “Prediction model of hourly water consumption in water purification plant through categorical approach”, Proceedings of 1999 IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics, vol. 2, 1999, pp. 569-574.

作者簡介

林志憲先生

現職：台灣自來水公司第八區管理處工務課長

專長：工業控制、監控、抽水機、人工智慧

自來水管埋設施工規範消毒洗管作業之革新修正

文/李中彥、石明憲

摘要

臺北市政府於 99 年 1 月 1 日公布「02505 自來水管埋設」施工規範（第一版），其主要係供臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）管線施工時使用，其中於 3.4「試壓與消毒」內敘述自來水管線施工後消毒洗管規定。然而，前述規範規定除有可能造成高劑量消毒水排放於排水系統，進而造成河川污染外，亦可能造成進入管線內消毒作業人員之危險，故自該規範公布實施後，尚難以規範規定執行。

為降低放流消毒水之含氯量，可就消毒水含氯量多寡及消毒時間作通盤考量修訂，以利精進管線施工通水整體全流程水質成效，及永續環境維護。北水處參考國內外自來水管消毒洗管之規定，經過多次會議研商，將修正條文報請臺北市政府納入施工規範內，經召開審查會議研商修正後，於 104 年 4 月 1 日公布修正「02505 自來水管埋設」施工規範（第 2 版），導入 CT 值之概念，對有效消毒、施工作業方便性、確保施工安全及消毒後水質排放採符合標準有革新性之作法。

關鍵字：施工規範、消毒洗管、CT 值

一、前言

為整合劃一全國公共工程施工規範，提升工程品質，行政院公共工程委員會於民國 90 年 11 月 15 日發函頒「公共工程施工綱要規範實施要點」，其重點內容如下：

(一)凡適用政府採購法以辦理新興公共工程及各類房屋建築工程（以下簡稱工程）之規劃、設計、施工之機關、法人或團體（以下簡稱主辦機關）均適用本要點。

(二)主辦機關辦理工程應應用行政院公共工程委員會（以下簡稱工程會)所訂定之公共工程施工綱要規範（含完整版、精簡版綱要規範及有關標準化與資訊化措施，以下簡稱施工規範）。

(三)未達新臺幣一千萬元之非房屋建築工程及未達查核金額之非特殊建築工程得應用全部或部分精簡版之規範。

(四)前項所稱特殊建築工程係指依政府採購法授權所訂之機關委託技術服務廠商評選及計費辦法附表一：公有建築物工程技術服務建造費用百分比法內所列第三類至第五類建築工程。

(五)主辦機關自本要點實施日起辦理新興個別計畫之規劃、設計及施工，應用施工規範之有關措施及內容，如有所不足或另有特殊情節，應循施工規範完整版所訂有關編撰格式、編碼架構及編碼規則增刪條撰，以因應其個案需用。

(六)前點有關施工規範之有所不足或另有特殊情節，經增刪修撰後之相關技術資料，主辦機關應提供工程會「公共工程施工綱要規範整編暨資訊整合中心」(以下簡稱「整合中心」）循既定之工程專業審議機制研議。其經審議並參採者，將就所涉部份之新版篇章，適時於

工程會「整合中心」技術資訊網站公告實施。

(七)前點所述增修之技術資料以及有關一般技術性疑問，均應於「整合中心」網站所設「論壇」及「勘誤表」討論區發表，再由「整合中心」 彙辦，適時回應釋疑或經審議參採為施工規範相關版次更新之依據。

(八)主辦機關或工程業界於應用施工規範有關標準化與資訊化過程，有積極性之貢獻成就經參採者，工程會除給予獎勵外，並函請其服務機關依公務人員考績法規予以適當之獎勵。

(九)主辦機關之新興個別計畫如採委託技術服務方式辦理時，應於委託規劃、設計、監造招標文件及契約中，明定應依本要點相關規定辦理。

依前述要點規定，全國各機關所編撰之施工規範應依其四段式架構編寫。北水處為臺北市政府所屬機關，其施工規範須依工程會四段式架構編寫，並符合臺北市政府施工規範體系，為因應自來水管線工程施工所需，北水處配合臺北市政府整體施工規範編撰作業，負責編撰自來水施工專章「02505 自來水管埋設」及「20507 自來水管修復」等兩章，臺北市政府並於 99 年 1 月 1 日公布該專章施工規範（第一版），其主要應用單位係北水處管線施工時使用。

「02505 自來水管埋設」於 3.4「試壓與消毒」內於第 3.4.3 敘述自來水管線施工後消毒洗管規定，惟其規定中「加入含氯量 60 P.P.M.之消毒水消毒，管線沖洗初期先加半量消毒水，剩餘部份在未滿管前平均加入，消毒時間為 1 小時」在實務上有執行之困難，除高劑量消毒水排放於排水系統亦造成河川污染外，亦可能造成消毒作業人員之危險，故該規範自公布實施後，尚難以依前述規定執行。

為修訂適合自來水管埋設實務作業之消毒洗管方式，北水處參考國內外自來水管消毒洗管之規定，經過多次會議研商，將修正條文函報臺北市政府納入施工規範修訂，經臺北市政府（幕僚單位為工務局）召開審查會議研商修正後，於 104 年 4 月 1 日公布修正後「02505 自來水管埋設」施工規範（第 2 版），以下針對消毒洗管國內外相關規範之比較、本次規範修定之理念等加以說明。

二、各施工規範排水洗管規定之比較

(一)臺北市政府 99 年 1 月 1 日「02505 自來水管埋設」施工規範（第一版）之規定水管沖洗潔淨，除了抽換管線工程及配合用戶須限時供水者外，應加入含氯量 60 P.P.M.（配置方式參考表 1）之消毒水消毒，管線沖洗初期先加半量消毒水，剩餘部份在未滿管前平均加入，消毒時間為 1 小時，之後排水過程中應檢測排放水之餘氯及濁度，直到餘氯降至 0.8PPM 濁度小於 2.0NTU 始可通水。

(二)行政院公共工程委員會 102 年 6 月 13 日「第 02505 章 V6.0 自來水管埋設」之規定

1.水管試壓後水管內之剩水或存水須排洗潔淨，除抽換管線工程及配合用戶限時供水外，新設水管內須使用漂白液（含氯量為 6%）或漂白粉（含氯量為 25%）予以消毒，消毒時間為 1 小時，排水過程中，應檢測排放水之餘氯及濁度，直到餘氯降至

0.8ppm 以下，濁度降至 2.0NTU 以下。

2.水管試壓及消毒所需水量(除契約已編列者除外)及設備，不論試壓次數多寡概由承包商自行負責。

表 1　含氯量 60 P.P.M.配置方式

每一千公尺管徑（m/m）	含氯量（0.06）之漂白液（Kg)	含氯量（0.25）之漂白粉（Kg)
100	7.8	1.88
150	17	4.24
200	31	7.54
250	49	11.78
300	70	16.96
350	96	23.09
400	126	30.16
500	196	47.12
600	282	67.86
700	385	92.36
800	503	120.64
900	636	152.68
1,000	786	188.50
1,100	950	227.96
1,200	1131	271.30
1,300	1327	318.40
1,400	1538	369.26
1,500	1763	423.90
計算公式：每一千公尺漂白液（粉）(kg）＝管徑^2（mm）×3.14÷4÷含氯量×6×10^{-5}		

(三)台灣自來水股份有限公司 100 年自來水管埋設工程施工說明書二、自來水管埋設。

1.水管試壓後水管內之剩水或存水須排洗潔淨，水管內須使用濃度為百萬分之 50 以上之氯水予以消毒 1 小時或漂白粉溶液(含氯量為百分之 25 以上)予以消毒，消毒時間至少 12 小時以上，消毒後將管內存水排盡並以清水加以沖洗乾淨後始可通水。

2.水管試壓及消毒所需水量(除契約已編列者除外)及設備，不論試壓次數多寡概由乙方自行負責。

(四)中華民國自來水協會自來水設施操作維護指南 9.5.6 管線清洗、消毒及異物排除（與日本自來水設施設計指針，2000 略同）

1.管線消毒

管線消毒藉由上游端的消防栓、分水栓等開口部分，持續經由反復式抽水機等加以洗淨排水，須注入氯等消毒劑達到管內餘氯 10mg/L 的程度，並中止排水，在靜置 24 小時後，再測定管內殘留餘氯 5mg/L 以上時再重複洗淨作業。餘氯 5mg/L 以上時點，自來水重新注入切換再開啟排水。在相關排水過程，應測定自來水濁度、臭氧、pH 值等，該等測定值應符合相關水質基準始能開始使用。在既有管線連絡作業的場合等，以及無法充滿含有 10mg/L 餘氯場合，連絡既有管線，在日本新設管線的洗淨水量大約為 3 倍程度管內自來水，達到上游的既設管線的餘氯相同程度始能通水。另外，如需排放含有餘氯的水時，排放前應先瞭解預為因應,避免產生氯的臭味及魚類等發生被害死亡的情事，脫氯處理（可藉由硫代硫酸鈉、亞硫酸氫鈉等溶液中和除氯）勢必應進行處理。

(五)不同規範之消毒洗管方式比較

臺北市舊版施工規範及工程會施工綱要規範之規定內容基本相似，即新設水管內須使用漂白液（含氯量為 6%）或漂白粉（含氯量為 25%）予以消毒，消毒時間為 1 小時，

其方式係沿用水池水塔之消毒方式訂定，本規定以高濃度含氯消毒水消毒，係爭取縮短消毒時間並儘速完成通水，規範內將抽換管線工程及配合用戶須限時供水案件予以排除。惟實務上新設管線除管徑夠大到作業人員可進入管內消毒外，此方式難以執行，即便人員可進入管線內以噴灑方式消毒，其高劑量消毒水易對作業人員產生危險，另消毒水需排放至附近排水系統，如此高劑量之消毒水不符合水污染防治法內「放流水標準」之規定，排放於河川中易可能造成水中生物中毒暴斃等問題，故實務上難以執行。

台水公司 100 年度規範基本上與前述規範內容接近，只是將消毒水濃度由濃度為百萬分之50以上之氯水予以消毒1小時或漂白粉溶液(含氯量為百分之 25 以上)予以消毒，消毒時間至少 12 小時。

自來水協會自來水設施操作維護指南之規定，源於日本自來水設施設計指針，其要求之消毒水濃度要求為管內餘氯 10mg/L 的程度，並中止排水，再靜置 24 小時。其要求遠較國內其他規範為低；另考量無法充滿含有 10mg/L 餘氯場合，連絡既有管線，可以新設管線的洗淨水量大約為 3 倍程度管內自來水，達到上游的既設管線的餘氯相同程度始能通水。其主要概念係以管網內既有之自來水所含餘氯進行消毒，與現行其他規範高劑量消毒水進行噴灑消毒之作法有別。

三、新版施工規範之變革(導入CT值)概念

消毒劑殺死微生物之消毒效果與消毒劑濃度及接觸時間成正比，殺死 99%之微生物所需之消毒條件以 CT 值表示（C 為消毒劑濃度，單位為 mg/L；T 為接觸時間，單位為分鐘）。

以加氯消毒（其在中性時主要為次氯酸）對大腸桿菌為例，其殺死 99%大腸菌類的消毒條件（CT 值）為 0.04，即與 0.1mg/L 的氯（次氯酸鈉）接觸 0.4 分鐘即可達成，可謂瞬間反應，其反應機制為氧化還原反應，破壞了微生物扮演新陳代謝極重要的酶的官能基，原屬還原態被氯氧化為氧化態而瞬間失去功能而致死。然而，梨形孢囊蟲因其孢囊之保護作用，對消毒劑之抗性較強，以氯消毒其 CT 值高達 480，亦即 2mg/L 需接觸 4 小時（240 分鐘）方可達致死率 99%；因此梨形孢囊蟲等原蟲，主要係靠混凝/沉澱/過濾之淨化程序搭配來去除。人與單細胞微生物極不相同，而是多細胞生物，以自來水中含氯 1mg/L 以下而言，在口中即消耗殆盡。因此氯對微生物而言消毒效果極佳，對人體則完全無害。

水之消毒主要是殺死細菌、濾過性病毒及原蟲類等微生物，通常加入極少量（毫克/公升）之消毒劑在短時間內就可達到目的。國際知名環工學者 Amatharajah 之文獻，殺死 99%各類微生物之消毒條件如表 2 所示。

依表 2 之消毒條件，可作下列小結，作為導入 CT 值概念修定施工規範之參考：

(一)依目前規範規定，試壓及漏水試驗共 90 分鐘，平均自來水餘氯 0.5PPM 計算，CT 值 45 足以殺死大腸菌類及小兒痲痹病毒。至於梨形孢囊蟲等原蟲，主要係靠混凝/沉澱/過濾之淨化程序搭配來去除，與管網中之新設管線較無關聯。

表 2　殺死 99%維生物之消毒條件（CT 值）

微生物種類	殺菌劑	濃度© mg/L	接觸時間(T) min	CT	pH	溫度(℃)
大腸菌類(E.Coli)	臭氧(O_3)	0.065	0.33	0.022	7.2	1
		0.0023	1.03	0.002	7	12
	二氧化氯(ClO_2)	0.75	0.5	0.38	6.5	5
		0.75	0.3	0.23	6.5	10
	次氯酸(HOCl)	0.1	0.4	0.04	6	5
	次氯酸根(OCl^-)	1	0.92	0.92	10	5
	二氯胺($NHCl_2$)	1	5.5	5.5	4.5	15
	一氯胺(NH_2Cl)	1	175	175	9	5
小兒麻痺病毒(Poliovirus)	臭氧(O_3)	0.3	0.13	0.04	7.2	5
		0.245	0.5	0.12	7	24
	二氧化氯(ClO_2)	0.8	6.8	5.4	7	5
		0.5	2	1	7	25
	次氯酸(HOCl)	0.5	2.1	1.05	6	5
	次氯酸根(OCl^-)	0.5	21	10.5	10	5
	二氯胺($NHCl_2$)	100	140	14000	4.5	5
	一氯胺(NH_2Cl)	10	90	900	9	15
梨形孢囊蟲(Giardia cysts)	自由氯($HOCl^+$(OCl^-))	2	240	480	7.8	1
		5	60	300	7.8	1
		2	180	360	7.8	5
	氯胺(NH_4Cl)	2.6	180	468	6.5	3
		1.8	230	414	7	10

(二)依據美國 CPE 手冊，可讓梨形孢囊蟲 99%致死率之消毒條件餘氯 0.4PPM 情況下、pH7.0、水溫 20℃、CT 值 35(即須接觸約 90 分鐘)。

四、以CT值進行管線消毒實際測試

102 年北水處工程總隊辦理「環河南路(青年路口至成都路口)堤外輸水管新設工程」華中推進段（華中橋下）」消毒洗管案例實際導入 CT 值概念進行洗管過程（圖 1 及圖 2）及紀錄敘明如下。

(一)2 月 27 日華青明挖段末端排水水質(pH:10.1、TDS 87 mg/L、餘氯 ND)，嚴重滯留需先行排水。華青明挖段上游可接自來水管進水，管內儲水量 487 噸，下游排水管徑為 50 ㎜，水壓 1kg/cm^2，閥全開排水量 17m^3/hr。

(二)3 月 2 日 10:00~18:00 排水管開度均為半開，排水未檢出餘氯。

(三)3 月 3 日 09:30 仍未檢出餘氯，排水管開度改為全開。

(四)3 月 4 日 07:30 排水檢出餘氯，13:00 取樣送水質科檢驗(停止排水)(pH:7.6、TDS 68 mg/L、餘氯 0.33 mg/L、濁度 0.29NTU)。

(五)3 月 4 日 16:00 取樣送水質科檢驗（pH:7.7、TDS 69 mg/L、餘氯 0.2 mg/L、濁度 0.94NTU）。

(六)3 月 4 日 22:00~6 日 09:00 全開度排水 35 小時，並於早、中、晚以手持式餘氯檢測儀測餘氯，依餘氯測值調整排水量。

(七)3 月 6 日 09:45~11:50 進行現場取樣確認 ΣCT。(如表 3)

表 3　新設輸水管消毒及水質檢測案例

管徑：1350mm、長度：114M

T:消毒劑累計接觸時間(min)	0	30	60	90	125	備註
C:消毒劑(餘氯)殘留濃度(mg/L)	0.38	0.37	0.39	0.32	0.36	
CT(mg/L*min)	0	11.1	11.7	9.6	12.6	Σ CT=45(mg/L*min)
水溫(℃)	23.7	23.8	24	23.8	23.9	
pH	7.3	7.4	7.7	8.3	8.5	新 DIP 管內滯留 2 天
TDS 總溶解固體量(mg/L)	66	66	67	68	68	
濁度(NTU)	0.14	0.11	0.26	0.15	0.14	
異味(有/無)	無	無	無	無	無	
耗氯量(mg/L)	—	微量	微量	微量	微量	
取樣日期	102 年 0306	102 年 0306	102 年 0306	102 年 0306	102 年 0306	
取樣時間	09:45	10:15	10:45	11:15	11:50	

註：102 年 3 月 6 日環河南路(青年路口至成都路口)堤外輸水管新設工程」華中推進段（華中橋下）新設輸水管消毒及水質檢測作業

五、新版施工規範修正規定

依前述 CT 值之概念，北水處於 101~102 年間以技術科為幕僚單位，召集水質科、工程總隊歷經 3 次會議討論，期間參考工程總隊於 102 年 3 月 6 日於環河南路(青年路口至成都路口)堤外輸水管新設工程」華中推進段實際操作之結果完成「02505 自來水管埋設」施工規範草案之修訂，後將修定草案陳報臺北市政府，市府於 102 年 7 月 15 日召開審查會議，原則依北水處修正草案通過，並配合整體施工規範修編成果於 104 年 4 月 1 日正式公告實施，其修定內容如下：

1.水管沖洗潔淨，除了抽換管線工程及配合用戶須限時供水者外，應進行消毒洗管。廠商應提出管線消毒計畫，經機關審查同意後始得進行消毒。採滯留浸泡方式消毒者，應使用適當含氯量之消毒水使其 CT 值大於 45(其中 C 為滯留消毒水餘氯濃度 PPM，T 為接觸時間 min)，直到餘氯降至 0.8PPM 以下、濁度小於 2.0NTU、pH 值須介於 6.0 至 8.5 間且無異味始可通水。

依修定施工規範，其重點為將 CT 值大於 45 為完成消毒洗管之條件，另規定通水

圖 1　採樣過程照片

圖 2　餘氯檢測照片

水質須符合飲用水標準(即餘氯降至 0.8PPM 以下、濁度小於 2.0NTU、pH 值須介於 6.0 至 8.5 間且無異味）始可通水。

六、結論與建議

自來水在輸送過程中，會因水中微量物質反應或水與輸送管線之管壁接觸產生反應，使水質產生劣化，也可能因外部化學物質或微生物之入侵產生水質污染之情形，因此管線清理作業乃為維持自來水水質所必需，有計畫之消毒洗管，對於提升供水水質確保供水安全至為重要。

對於新設管線，因消毒劑殺死微生物之消毒效果與消毒劑濃度及接觸時間成正比，故北水處導入 CT 值概念，經過多次開會研議及實際測試，最後納入臺北市政府 104 年 4 月 1 日公布修正之「02505 自來水管埋設」施工規範（第 2 版）內，規範規定「採滯留浸泡方式消毒者，應使用適當含氯量之消毒水使其 CT 值大於 45，直到餘氯降至 0.8PPM 以下、濁度小於 2.0NTU、 pH 值須介於 6.0 至 8.5 間且無異味始可通水。」藉由本次施工規範之修定，能以更簡單可行之方式，進行有效之管線消毒洗管作業。

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.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。

4.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。

5. 游叡研、李中彥，「利用歷史圖資研判斷除不明管線之案例分享」，自來水會刊第33卷第1期，2014。

6. 李中彥、陳晟彬，「以數支給水管取代配水管對小區管網壓力影響分析」，自來水會刊第33卷第4期，2015。

7. 臺北自來水事業處，「新設輸水管消毒及水質檢測作業報告」，102年3月12日。

8.中華民國自來水協會，「自來水設施維護指南」，2008。

9.臺北自來水事業處，「管線施工排水洗管作業相關規範檢討會議紀錄」及與會水質科、工程總隊提供意見，101年3月28日、101年6月3日、102年3月21日。

10.台灣自來水公司，「自來水管埋設工程施工說明書」，100年版。

11.中華民國自來水協會「自來水廠操作最佳化之自我評鑑技術手冊」89年翻譯。

作者簡介

李中彥先生

現職：臺北自來水事業處西區分處二級工程師

專長：自來水工程設計、施工及契約法規。

石明憲先生

現職：臺北自來水事業處西區分處三級工程師

專長：自來水工程設計、施工及淨水處理。

水資源環境教育設施場所經營模式探討
—以深溝水源生態園區為例

文/林岳、楊碧孌、謝東穎、朱益廷

摘要

台灣自來水股份有限公司（以下簡稱台水公司）「深溝水源生態園區」（以下簡稱深溝園區）於 2012 年 4 月 16 日通過環境教育設施場所認證，為一所以水資源教育為主的環境教育設施場所，迄今已對外營運滿 4 年餘，其經營模式實有必要精進，本研究藉由文獻回顧、問卷調查及專家學者訪談提出經營模式評估探討，提供深溝園區作為未來精進及改善的策略。

本研究於 105 年 8 月於深溝園區進行問卷調查，並於同年 8 月及 9 月與環教專家學者進行訪談等，來探究深溝園區應精進及改善內容。

「經營管理」以「場域管理」、「行銷管理」、「人力資源與組織」、「課程、活動方案管理」、「財務管理」及「夥伴、在地資源、教育社群」等六大面向研討，本研究由六大面向研析深溝園區精進或改善對策，提供未來園區申請展延，並檢視經營模式是否符合環教場所設立之目標及宗旨。

「財務管理」方面，未來應考量對外收費，並評估收費金額與入園人數所造成之影響。「場域管理」方面，園區廁所及休憩設施略有不足，可於適當地點增設，另於導覽步道再增加參訪者的休憩設施。另可評估增加親水設施。「人力資源與組織」方面，建議增加環教人力，提供備援人力，另園區未明訂各項考核要點或辦法，尚無自行進行評核，未來可研擬後執行。「課程、活動方案管理」方面，可增加在地化的課程，另落實回饋單檢討機制，以優化課程教案。

關鍵詞：環境教育、深溝水源生態園區、水資源環境教育設施場所

一、緒論

「環境教育法」於 2011 年 6 月 5 日正式實施，台水公司立即規劃及設置環境教育設施場所，位於北部地區的「深溝水源生態園區」於 2012 年 4 月 16 日通過環境教育設施場所認證，為一個以水資源教育為主的環境教育設施場所，惟迄今已對外營運滿 4 年餘，其認證有效期限為 5 年，該園區其經營模式實有必要精進，並符合申請認證展延目標。

本研究將藉由文獻回顧先探討出優質環境教育設施場所應具備條件及特質，藉由園區問卷調查成果及訪談環境教育學者專家所提出優化環境教育設施場所之特質進行回饋，探究「深溝水源生態園區」經營模式，並維持園區之特色，提出精進及改善對策，以提供民眾獨特之水資源環境教育服務。

二、文獻回顧

(一)水資源環境教育設施場所

環境教育設施場所在我國「環境教育法」施行之前，通常以環境學習中心（environmental learning center）或自然中心（nature center）稱呼，它可代表許多不同樣

貌並且多元的型態組織，及可由很多類似的目標而努力，但是型態呈現卻不一的組織機構（周儒，2011）[1]。例如：臺北市關渡自然公園、曾文水庫及臺北自來水園區等，雖然組織型態不同，可能是公部門的機關，或是私部門的財團法人等，但都是以水資源作為環境教育的主軸，以水資源教育作為設施場所的發展目標。台水公司為國營企業，以供應民眾量足質優之自來水為主要目標，亦肩負推廣水資源環境教育的責任，設置水資源環境教育設施場所，提供民眾正確的用水觀念與知識，進而愛惜及保護水資源。

水資源環境教育的理念是一種愛護水資源的教育（汪靜明，2000）[2]，其哲學理念，建構在啟發人們關愛水資源、並維護其生態環境，以保障永續水資源的生活、生產與生態價值。水資源環境教育的宗旨，即在於增進民眾：

1.認識水資源特性與水資源環境。
2.瞭解水資源與人和自然的關係。
3.愛護水資源及維護水資源生態平衡。
4.合理使用與處理水資源問題等素養。

水資源教育是全民終身學習教育，依據前述環境教育的宗旨，水資源環境教育設施場所期望透過環境教育的方法，使民眾「覺知」日常生活中水資源的來源，以及建構水資源的專業「知識」與「技能」，藉此了解水資源在人與自然關係，以及使用過程中所發揮的功能，並且帶領民眾了解合理使用及處理水資源的利用、回收再生與重複利用的特性和過程，增進民眾對水資源的正向「態度」與「價值觀」，進而建立正確的用水行為及素養，最後能「參與」水資源保護的使命。

(二)環境教育設施場所的構成要素

政府於 2010 年 5 月 18 日《環境教育法》通過立法，總統於同年 6 月 5 日公布，，並自 2011 年 6 月 5 日正式施行[3]，其中環境教育設施場所在《環境教育設施場所認證及管理辦法》中有明確定義：「環境教育設施、場所，指整合環境教育專業人力、課程方案及經營管理，用以提供環境教育專業服務之具有豐富自然或人文特色之空間、場域、裝置或設備。」，故環境教育設施場所會因其場域特色及單位屬性有所不同，其中心的規模大小、所投入資源多寡、服務特性、服務能量會有所差異，但不論任何型態的，都會有一個最基本的構成要素。

國內學者周儒（2000）參考國外眾多案例，以及相關文獻所提及的內涵彙整後，歸納出環境學習中心的四個最基本的構成要素[4]，包括：方案、設施、人與營運管理，其彼此相互依存、影響，其中又以活動方案為核心，逐步影響到設施、人及營運管理，其彼此互相影響的關係表示於圖 1：

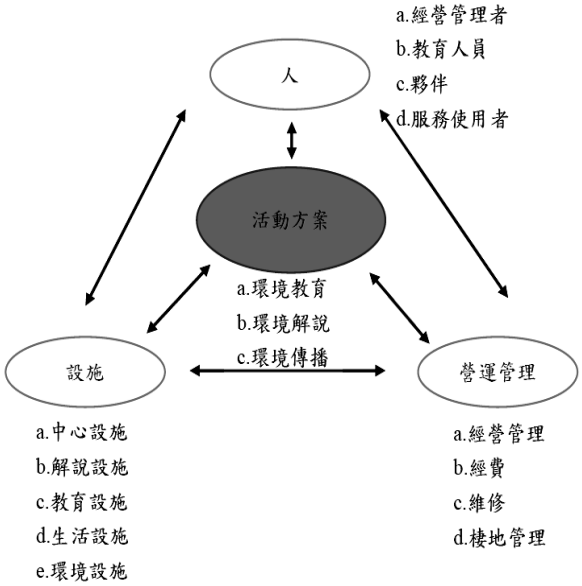


圖 1　環境學習中心構成要素圖

探究構成中心的四項要素，其意義與考慮如下：

1.活動方案（program）：方案是一個中心存在的最基本條件，方案可以有各式各樣的類型活動，對於不同年齡、屬性的對象有不同的設計，以滿足需求。大致可區分為：環境教育（environmental education）、環境解說 （environmental interpretation）及環境傳播（environmental communication）等三大類型活動。

2.設施（facility）：一個具有環境教育功能的學習中心，必須具備足夠的設施，才可以滿足發揮其功能。這些設施包括中心的房舍（教室、展示、研究規劃、保存等）、環境教育設施、環境解說設施，生活設施（休息、住宿設施）、環境設施 （衛生、環保、永續等設施）。

3.人（people）：一個自然中心必須要有人的存在，人的使用、活動才能使得中心的存在具有實質上的意義。而在人方面，包含了中心的人員、中心的環境教育專業人員、與中心共同合作的夥伴（社區人士、民間團體）、中心設施與服務的使用者（學校師生、社區民眾）等。

4.營運管理（operation and management）：中心的存在、運作與發展，一定需具備有效的經營管理策略與實際的執行，並考慮經營管理、財務、維護、土地與棲地管理等四大方向。有完善的營運管理，才能真正提供有品質的環境教育服務給使用者。

(三)優質環境教育設施場所具備的特質

優質環境學習是許多環境教育設施場所創建過程的一個重要目標，那如何成為一個優質環境教育設施場所，其應具備的特質或是條件，其中 Wilson 與 Martin（1991）提出一個成功的自然中心[5]，其運作推動中心計畫的七項準則，分述如下：

1.服務的理念（創立的理念、機關社團團體的第一線服務、運作的評量、協助學校環境、安全及衛生的工作、經費的來源及運用）。

2.穩定的支持（其他專業人力及經費補助等）。

3.基本人力（一位專職的發展業務主任及一位執行方案的助理主任，或爭取機關或私人機構人力援助、志工等）。

4.完善的溝通網路（縱橫向關係與溝通聯絡、電腦網路、刊物、社區多議題交流、公眾展示）。

5.明確的目標（組織的發展目標、對象目標、工作進度、評量目標）。

6.明定運作事項的優先順序。

7.諮詢委員會（董監事或理監事會議）提供發展引導（地方政府、環境專業、組織發展專家、學校行政與教學代表、社區民眾參與）。

三、深溝水源生態園區現況

(一)園區介紹

台水公司「深溝水源生態園區」位於宜蘭縣員山鄉，面積 21 公頃，原生林濕地與水道面積佔 2/3 以上水源涵養園區，為目前宜蘭地區僅存低海拔原生林，是園區最大的生態特色。

深溝園區保留了 1895 年初期設置的集水井、沉砂井及亞歷山大椰子、台灣赤楊等老樹，並設置「自來水文史館」，以展示宜蘭自來水文物、史料。淨水設施及各式輸送管線等，設置生動清楚的解說設施。

圖 2　深溝水源生態園區平面圖

動物資源為歷經數十載的圈護，成為鳥類（45 種）、魚類（20 種）、昆蟲（85 種）、兩爬類（23 種）的重要棲息地。

植物資源經調查計有 116 種物種，陸生植物表現出臺灣北部低海拔植被生態，並大量復育原生種的水生植物。深溝園區具有豐富的水文、水源、生態景觀，近年來在園區人員戮力推動生態保育及環境教育工作，已成為蘭陽地區各級學校「水資源」環境教育的首選場域，園區分區功能配置如圖 3。

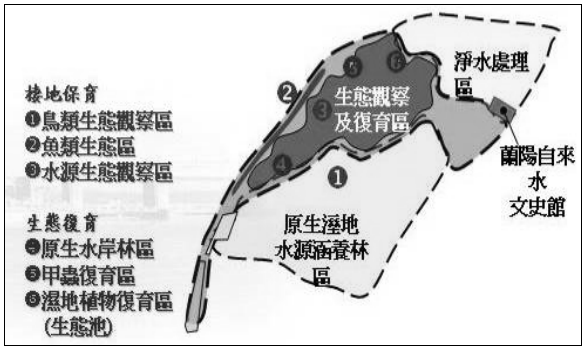


圖 3　深溝水源生態園區分區功能配置圖

深溝園區因豐沛的地下水資源，於 1932 年開闢為宜蘭水道的水源地，在歷經近八十年的經營下，已成為一處融合水生態、水處理、水知識、水安全的場域。園區具有人文、藝術、科技、生態、教育五大特色：

1.人文特色：保留了 1895 年初期設置的集水井、沉砂井及亞歷山大椰子、台灣赤楊等老樹，並設置「自來水文史館」，以展示宜蘭自來水文物、史料。

2.藝術特色：深溝園區以植栽及大型裝置藝術予以美化，更並設計「樂水精靈」、舉辦「愛水 99 寫生比賽」、「愛水 100 生態攝影比賽」、成立「水水藝廊」等。

3.科技特色：深溝園區以綠色供水之思維，導入先進的監控中心操控技術及行動科技，可透過監控顯示牆向參觀園區者展示高科技之淨水技術。

4.生態特色：廣達 21 公頃之水源涵養園區，為目前宜蘭地區僅存低海拔原生林。園區中人工設備僅占 2 公頃，未經人為破壞，水池與水道的「藍」及草地樹群的「綠」，是園區最大的生態特色。

5.教育特色：提供國人一處優質的水源生態環境教育場域，讓水資源教育透過體驗及寓教於樂的課程，深入社會各階層。

(二)園區經營宗旨及營運計畫

1.經營宗旨：推廣行銷自來水文史館、水源及生態導覽解說、環境教育、水質 DIY 體驗等系列活動，以達到具有人文、藝術、科技、生態和教育五大環境教育功能。

2.設施建置及資源：

(1)資源特色鮮明、基礎服務設施完備：為全台之指標性淨水場。園區服務設施如交通動線、停車場、廁所、簡報室、指示系統、解說系統等已建置完成。

(2)網路行銷：已建置「深溝園區網站」，提供園區簡介、線上申請及問卷調查等服務。

(3)組成「水空間聯盟」行銷「員山-水的故

鄉」：與鄰近社區和附近遊憩據點組成「水空間聯盟」，共同推展「員山-水的故鄉」的在地美學。

(4)環教策略聯盟：與羅東林區管理處、荒野保護協會宜蘭分會、蘭陽博物館家族協會、人禾教育基金會（員山森林生態館）策略聯盟，提升環境教育品質與服務。

(5)環境教育人力資源：由台水公司區處組成之「決策部」管理，其下分為 5 組，每組設組長 1 人、組員 2 人，計 15 人。

3.課程方案內容介紹：水生植物學堂、水的奇妙旅程、水域動物調查、濕地小學堂、駭客入侵、解開自來水的身世之謎及水源生態之旅。

4.安全維護：由定期實施安全檢查及教育訓練宣導、加強門禁管理、深溝園區巡邏、安全管理維護措施及訂定安全及災害事件之處理標準作業程序，以維護園區安全。

5.環境負荷：園區深溝淨水場主要任務為供應宜蘭北部地區用水，為維持供水安全及考量環境負荷，每日參觀人數不宜超過 200 人，上、下午各以 100 人為限，並以團體（10 人以上）申請為原則。

6.營運目標：以近年深溝園區參訪人數為評估依據，營運年度服務人數為 13,000 人次。

7.財務計畫：為善盡企業社會責任，提升公司形象，本環境教育業務不以營利為目的，未來將進行酌量收費部分費用，以維持園區基本運作。

8.近 5 年辦理環境教育情形：統計 2012 至 2016 年，入園每年約 11,000~14,000 人次。顯示環境教育及環境解說人數有逐年增加趨勢，表 1 為各年度園區辦理環境教育活動人次統計[6]。

表 1　深溝園區環境教育推動成果　單位：人次

年度	環境解說	環境教育	合計
2012 年	9,374	1,840	11,214
2013 年	12,288	1,517	13,805
2014 年	12,726	1,685	14,411
2015 年	13,158	1,306	14,464
2016 年	13,792	1,096	14,888

四、深溝水源生態園區經營現況分析

本研究中進行問卷調查及專家學者訪談，來探討優質的水資源環境教育設施場所的特點，研析深溝園區經營情況，分述如下：

(一)問卷調查

問卷調查[7]以分成 5 梯次對入園民眾進行發放問卷，發放數 103 份。問卷調查結果主要部分分述如下：

1.接受問卷調查的民眾認為深溝園區設施最優質的部分，前四名項目為生態池、自來水處理流程解說設備、景觀生態池解說設備、親水河道、生飲台及自來水設施模型，問卷調查結果如圖 4。

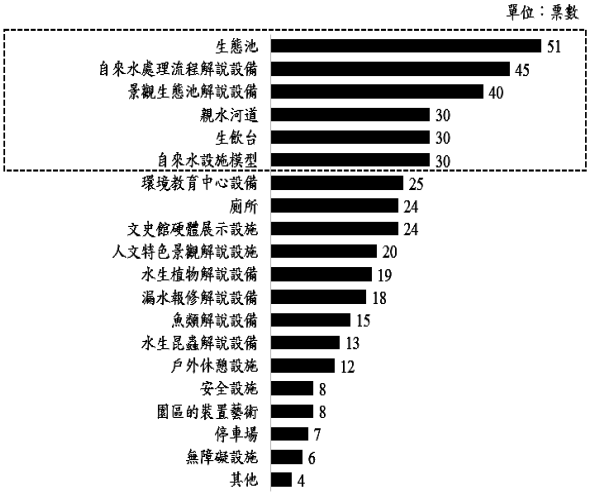


圖 4　受訪民眾認為園區設施最優質的部分

2.接受問卷調查的民眾認為深溝園區設施最需要改善的部分，前三名項目為戶外休憩

設施、魚類解說設備、園區的裝置藝術、廁所及水生昆蟲解說設備，問卷調查結果如圖 5。

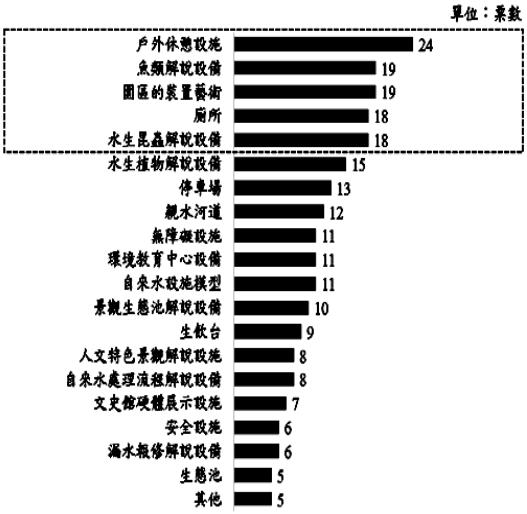


圖 5 受訪民眾認為園區最需要改善的設施

3.民眾可接受收費的價格部分，經問卷調查，有 81%民眾同意園區收取部分費用以維持優質的環境教育服務，大多都認為收取新臺幣 100 元以下為合理價格，問卷調查結果如圖 6。

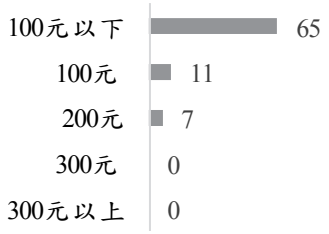


圖 6　民眾可接受收費的價格

(二)專家學者訪談

藉由專家學者訪談來探究深溝水源生態園區具備的特色為何，或是需要補充加強的部分，本研究分別於 2016 年 8 月及 9 月訪談國立臺中教育大學深耕於環境教育之教授，另外也訪談台水公司從事環境教育業務的高階主管，藉由他們對於環境教育的經驗及專業，並將訪談內容分成環境及設施、人力資能、活動方案及經營管理四大面向來整理出一個優質的水資源環境教育設施場所特質。經本研究彙整訪談紀錄成果如下：

1.環境及設施

(1)進行棲地營造：種植誘蝶植物、蜜源植物及花果植物，用來吸引鳥類、昆蟲及動物，並依當地所擁有的物種作為考量。

(2)園區設置綠廊：台灣位於熱帶及亞熱帶地區，氣候屬於高溫的關係，可以設置綠廊的方式，綠蔭可以降溫，避免陽光照射，營造環境舒適度，並注意環境的平衡性。

(3)妥善運用模型：園區不同的水資源設施可以建置一些簡單的模型。例如快混、慢混、混凝、沉澱、藥劑、過濾等。

(4)環境承載量：園區如有超出每日最大限制量時，需要進行協調與溝通，或可運用收費機制管控入園人數。

2.人力資能

(1)長官支持：環境教育設施場所的發展，最重要的關鍵之一是人員，需要長官支持，以及人員互相溝通與協調。

(2)妥善運用人力：妥善運用退休的公司員工，經由教育培訓後，或是廣徵各界有心人士來進行培訓擔任志工。另外，也可以利用工作假期的方式，或是利用學生的服務課程及志願服務的資源。

(3)加強訓練及培訓制度：環境教育並不是只單純的知識傳遞，要滿足學習者的學習需求，要把專業的知識轉換成民眾可以了解的語言，開班增能培訓，了解教育學的原理，建立一套培訓制度。

(4)檢視志工運用制度：志工的誤餐費、保險費及車馬費是基本配備，並編列足夠活動

的經費，當服務時數滿一定的數量，提供志工做為獎勵的方式，形成互惠互利的模式，朝向一套優良的志工制度來發展，並包含志工的退場機制。

3.活動方案

(1)不同年齡層：對不同的年齡層有不同的教學方式，例如學齡較低的學童，可以增加繪本、遊戲及體驗的方式，提升學習者的興趣。低年齡層的小朋友比較需要有體驗的方式進行課程，或是提供動手操作的方式，吸引他們前往參加。

(2)加強回饋單及教學觀摩制度：課程優化可以從學員的回饋單來進行修正，其中回饋單必須要問對問題，才會有回饋的答案。或是找一個環境教育專家，由公司人員或是志工們一起參與，進行教學觀摩等。

(3)配合學校課程：盤點各年級有關於水資源的課程，並配合課程與環教場所結合。在編寫課程教案時，也可以邀集鄰近學校的教師進行協助發展與修正，或是配合水資源課程，結合實地與課程，形成在地的戶外教室。

(4)不斷的創新課程：課程也要不斷的更新，發展出特色去吸引民眾進入園區，課程內容也要夠豐富、可以澄清民眾觀念且不斷更新，並適當的發展屬於自身場域特色的課程。

(5)計畫性的發展課程特色：水資源環境教育設施場所的課程特色主要以水資源為主，所以短期計畫目標以發展水資源相關課程為主，並依總課程架構方式，依據場內的資源，分成短、中、長期來進行課程規劃。

4.經營管理

(1)收費機制建立：進行收費雖會影響民眾入園區的意願，但仍需酌收費用，以維持園區財務，且會讓民眾有珍惜資源的感覺。

(2)定期召開工作會議：承辦單位需要定期召開工作會議，建議每月召開 1 次，瞭解工作夥伴工作情況，以及瞭解團隊的工作進度，並適時檢視是否符合營運目標。

(3)結合鄰近在地資源並廣泛的發展夥伴關係：結合鄰近在地資源可以套票互搭的形式，可以藉由其他產業進行結盟，或是廣泛的發展夥伴關係，進而形成套裝課程等合作方式。

(4)管理制度化：管理層面上，建議朝評鑑、考核及獎勵三大方向進行，並建置一套合理可行的制度。

(三)園區優缺點分析

深溝園區的自然環境資源及教育設施，如生態池、自來水處理流程解說設備及親水河道等，為受訪民眾認為最優質的部分，亦是現有的自然資源及淨水設施等，僅妥善設計適宜之水資源課程，即可達到教育宣導之目的。而園區戶外休憩設施、廁所較少，尚無法滿足參訪人員之基本需求。

園區所規劃環境教育相關課程及活動方案，雖然能連結單位的特色，但缺少成效之展現。在人力資源與組織管理上，環境教育人員略有不足，且尚未明訂各項經營績效考核要點及辦法，無法自行進行評核。

在財務管理部分，尚未進行對外收費，較難滿足收支平衡。而園區於夥伴、在地資源、教育社群方面，與鄰近單位配合良好，可再加強辦理相關活動。

五、經營模式精進或改善對策

水資源環教場所的營運、運作與未來發展，一定具備有效的經營策略與實際的執行，最主要達成的目標為水資源保育、永續利用及愛水節水，但與經營策略相關融合的層面，可以分為「場域管理」、「行銷管理」、「人力資源與組織」、「課程、活動方案管理」、「財務管理」及「夥伴、在地資源、教育社群」等六大面向，針對這六大面向進行模式探討，並輔以各檢核項目來精進或改善經營，以下為各檢核項目及細項。

1.場域管理：可由交通位置、自然及場站資源、人文產業、建築與設施、場域植栽、親水設施等項進行精進，其場域設施精進對策如圖 7。

(1)交通位置：園區可由搭乘公車抵達，建議可聯合其他鄰近觀光遊憩組織或單位，與當地交通業者合作套票系統，如公車一日券，在有效期間內可不限次數搭乘，發展出區域的旅遊地圖。

(2)自然及場站資源：園區原即是自來水處理場，其淨水設施為具特色之參訪重點。建議多規劃與自來水處理相關之互動設施，如園區內已設置之生飲台、實際操作檢漏設備等。提供民眾簡易裝接水管、水龍頭之簡易維修、水質簡易檢測、自來水水質之網路謠言及迷思、飲水與身體健康或家中水塔之潔淨觀察等設備，互動設施及課程可讓參訪者印象深刻及有良好的學習成效。

(3)人文產業：可朝擴充館藏，台水公司歷史悠久及承接不少 1895 年至 1945 年之文物，建議應可積極的收集各地之史蹟文物，以充實館藏，未來如數量豐富亦可擴大為自來水博物館。

(4)建築與設施：建議於導覽步道再增加參訪者的休憩設施及廁所，以提供民眾中途使用。該設施應考量與週邊環境結合，並優先使用符合本園區特色之設備，並考量環境友善因子。

(5)場域植栽：園區仍有多處遮陽不足，導致舒適度不足，建議原生種植物以多層次的方式栽種，並營造出生態綠廊，以提供樹蔭讓民眾避暑。

圖 7　深溝園區場域管理精進對策圖

(6)親水設施：親水環境為參訪者最喜歡的景點，建議於安全且可掌控之前提下，增加親水環境或設施，以結合水資源活動或課程，可讓民眾親身體驗。

2.行銷管理：一般行銷及網路行銷。

(1)結盟合作：建議可配合結盟單位或是政府機關的環境教育單位進行宣導品的發放或是張貼海報等，用來加強宣傳效果。

(2)配合學校活動：主動配合學校的課程進行到校服務，提供學校教師帶學生來環教場所進行校外學習的機會。

(3)媒體宣傳：配合相關媒體進行宣傳，或由園區辦理相關主題活動，以吸引媒體入園採訪，或由園區人員主動投稿至報章雜誌進行宣傳等。

(4)宣導禮品：園區可以贈送（或販賣）明信片、種子吊飾、檢驗水質簡易工具等小禮物，以增加園區之宣傳效果。

(5)網路線上活動：建議除定期上傳活動資訊、活動照片等外，或是主動回應粉絲提問的問題，或開放粉絲提供意見，並針對意見提供改善等討論活動。另外可以辦理線上活動等。

(6)網頁要活潑生動：園區網頁設計較為中規中矩，建議因應時代改以活潑、簡單及便捷修正，另網站宣傳網址可以搭配其他網站連結，以增加網頁的曝光度。

(7)行銷影片：園區現有數個介紹影片，現主要之內容為介紹園區環境及設施。建議未來行銷影片應提高層次，以多元的方式來呈現環教場所願景及目標，以引起共鳴。並可選多個通路來撥放影片，例如免費的網路影音平台，如 YouTube、FB 等相關網站進行宣傳。

3.人力資源與組織：主要由組織經營、環教行政及教學人員、環教人員數量、志工運用及人力培訓等項進行研析，其精進改善對策可依圖 8 進行。

(1)組織經營：建議園區結合第八區管理處現有各領域專長人員及資深志工，共同組成

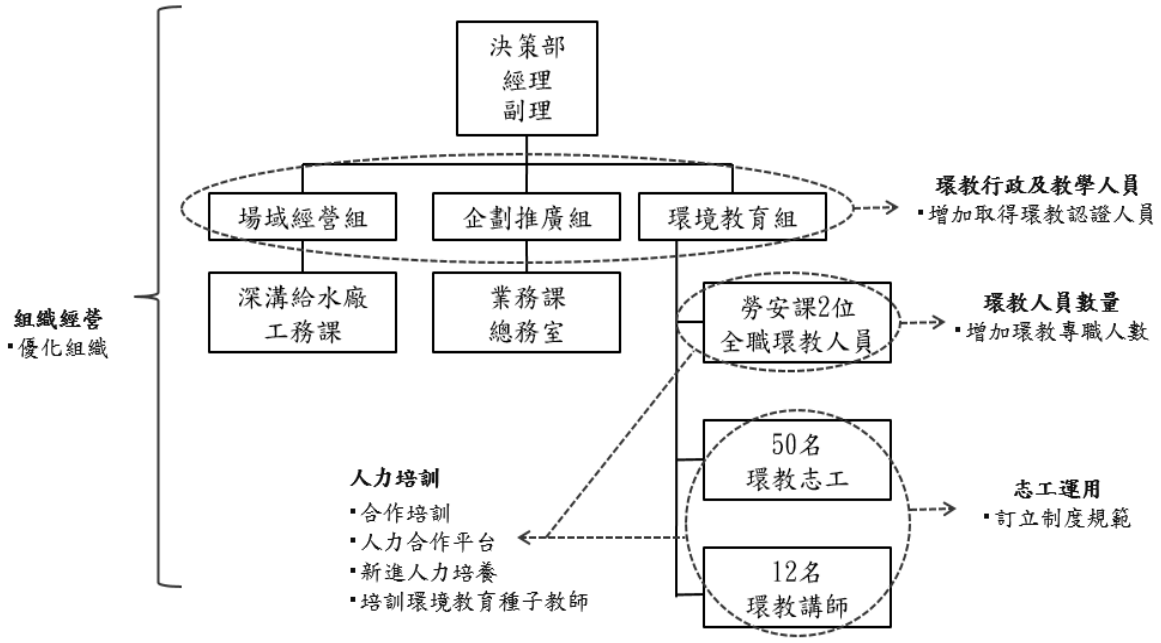


圖 8　深溝園區人力資源與組織精進對策圖

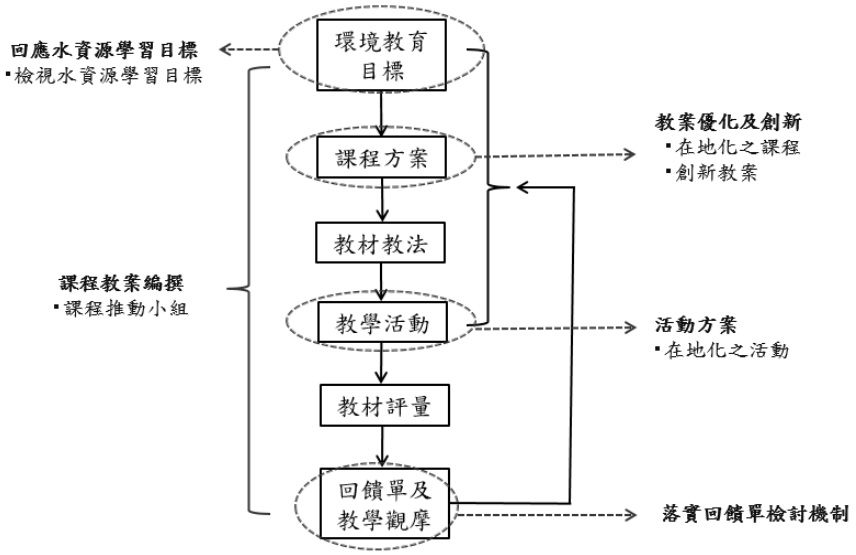


圖 9　課程精進流程圖

設立環境教育課程推動小組，研擬相關課程時或辦理活動時，都應再檢視是否與環教場所營運宗旨或目標相符。

(2)環教行政及教學人員：建議除深溝園區外，可以考慮第八區管理處其他同仁取得環境教育人員認證，以提供額外的人力資源運用。

(3)環教人員數量：目前環教專職人員僅為 2 名，多僅能維持日常行政工作。依台水公司內部規劃係建議 3 人，以便有足夠人力再精進課程及活動等，可於公司員額調配時再爭取。

(4)志工運用：建議增訂志工服務項目、培訓、須遵守之規範，可邀志工一併參與討論，並於每 2-3 年檢視內容及修訂。

(5)人力培訓：可規劃邀同類型單位或是其他類型單位共同培訓，彼此互相討論及學習，有他山之石的效果。

4.課程、活動方案管理：可由水資源環教場所教育目標、課程教案編撰、在地化之課程、教案優化及創新、落實回饋單檢討機制及活動方案研析，其精進改善對策可依圖 9 進行。

(1)檢視水資源學習目標：園區於未來新增或修正課程或活動方案時，應將主軸放置於水資源教育及園區資源內可設計之獨特課程。並將該項課程精緻化，做出市場區隔。倘如有太多教案但無聚焦學習目標，會失去環境教育設施場所設置的目標及宗旨。

(2)課程教案編撰：園區可結合區處現有各領域專長人員及資深志工，共同組成設立環境教育課程推動小組，建議再邀請環境教育或教育相關專家學者，以提供教育方面的專業。

(3)在地化之課程：課程活動內容除了水資源教學之主軸外，可以融入在地化的特色及公司理念，進而培養鄰近居民對園區之認同感及對台水公司的信心。

(4)教案優化及創新：課程活動內容除了水資源教學之主軸外，可以融入在地化的特色及公司理念，進而培養鄰近居民對園區之認同感及對台水公司的信心。可再延伸在地化課程，如宜蘭水源以地下水為主，並

規劃設計相關體驗課程或活動。

(5)落實回饋單檢討機制：回饋單應檢討設計內容，須讓民眾回應出課程之優缺點，如那個單元讓你印象最深刻，那個部分最不有趣等。另亦可進行教學觀摩，藉由環境教育專家、工作人員及志工們共同參與，於教學過程中，共同觀察學員反應，以教學人員之教導，依步驟來討論那些部分有問題，進而改善。

(6)活動方案：建議研發能反映對環境關懷及在地資源特色的活動方案。

5.財務管理：本研究主要從收費機制、販賣園區紀念商品、提升附加價值及單位補助等，進行研析深溝園區規劃短中長期目標，其財務管理規劃發展如圖 10。

(1)收費機制：建議在收費機制評估方面，可委託專業團隊進行調查，藉由問卷性收費評估，以量化統計分析，提出一個可行性的收費機制，同時確保園區的服務品質提升。

(2)販賣園區紀念商品：建議可藉由販賣園區明信片、種子吊飾、檢驗水質簡易工具等產品，除了可以增加園區收入外，亦達到宣傳的效果。

(3)提升附加價值：園區除了環境教育的主要營收外，建議提升園區其附加價值，如場域租借、品牌使用費、廣告費等，增加其財源收入。

(4)單位補助：每年仍應向行政院環境保護署及教育部申請補助，建議將補助經費作為非經常性費用，不宜將補助金額視為經常費用，亦可朝向與企業指定贊助與捐款，提供企業作為善盡企業社會責任的管道之一。

6.夥伴、在地資源、教育社群：由夥伴關係、教育合作、產學合作、工作假期、學校合作及共辦社區活動等進行精進。

(1)夥伴關係：建議園區可以部分時段對外開放與當地休閒業者合作推廣水資源保育。

(2)教育合作：園區已加入蘭陽環境學習中心俱樂部，建議可辦理共同學習及各項環境教育活動，視需要增加環境教育合作備忘錄合作項目。

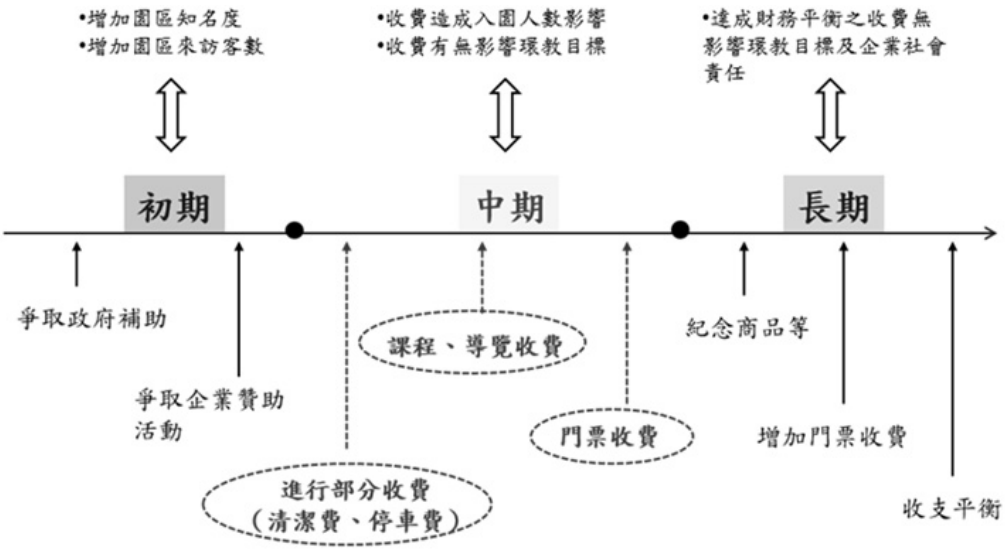


圖 10　財務管理規劃發展圖

(3)產學合作：建議可與鄰近大專院校（國立宜蘭大學、佛光大學等）簽訂產學合作，或是委託研究案。

(4)工作假期：可以廣徵鄰近大學的學生進行工作假期等活動。

(5)學校合作：園區與在地國中小簽署環境教育合作協議，建議多配合學校課程辦理相關活動。

(6)共辦社區活動：與當地居民合作守護園區附近水資源環境，並辦理假日市場等方式，邀請小農等入園，進行有機農產品推廣。

本研究由經營模式之六大面向研析，並提供「深溝水源生態園區」進行評估營運優化之策略，藉以檢視水資源環境教育設施場所不足之處，並給予相關建議及精進或改善對策。

六、結論與建議

優質水資源環境教育設施場所經營之主要面向，可歸納為「場域管理」、「行銷管理」、「人力資源與組織」、「課程、活動方案管理」、「財務管理」及「夥伴、在地資源、教育社群」等六大項目，並可由該六大面向來檢討並規劃最適化經營模式。

本研究由深溝園區現況分析，從優質水資源環境教育設施場所的特點與深溝園區進行比較，提供台水公司未來經營模式精進或改善對策，亦可提供其他水資源相關環境教育設施場所自行檢核並優化其經營模式，以及未來將申請水資源環教單位亦可做自主評估及規劃，並提供其他環教產業發展參考。

參考文獻

1.周儒(2011)實踐環境教育：環境學習中心。臺北：五南。

2.行政院環境保護署網站http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/index.aspx,2010.

3.汪靜明(2000)。水資源環境教育的理念。中華水資源管理學會「水資源管理季刊」第五期專論。

4.周儒(2000)。《設置臺北市新店溪畔河濱公園都市環境學習中心之規劃研究》，市府建設專題研究報告第298輯。臺北：臺北市政府研究發展考核委員會。

5.Wilson, T. & Martin, J.(1991).Centers for environmental education：Guidelines for success center. CMSEE, Western Kentuckey University, pp.12-17.

6.台灣自來水公司第八區管理處，「深溝水源生態園區」101-105年環境教育成果報告書，2012~2015。

7.中華民國自來水協會(2016)。《環境教育設施場所最佳化經營模式探討－以台灣自來水公司為例》。

作者簡介

林岳先生

現職：台灣自來水公司副總經理

專長：自來水工程、經營管理

楊碧孌女士

現職：台灣自來水公司工安環保處處長

專長：營業管理、職業安全衛生管理

謝東穎先生

現職：台灣自來水公司工安環保處環保組組長

專長：自來水工程、環境工程、水資源管理

朱益廷先生

現職：台灣自來水公司工安環保處環保組工程員

專長：自來水工程、環境工程

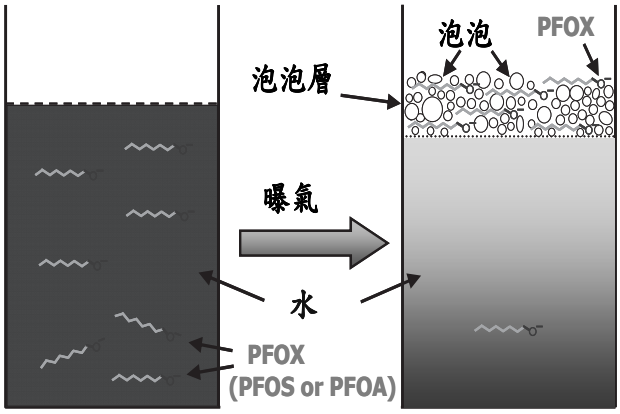
以浮除法去除水中新興污染物－全氟辛酸與全氟辛烷磺酸

文/李育輯、駱尚廉

摘要

美國近來一項研究顯示，大約 600 萬美國人的飲用水中含有超過健康安全標準的全氟化合物(Perfluorinated chemicals，PFCs)之致癌物質。研究發現在美國企業、軍事基地消防訓練場、民用機場消防站和污水處理工廠周邊，66 座公共飲用水供應 600 萬人設施提供的樣本中所含的高氟致癌物質超過健康安全標準。這項研究以美國國家環境保護局依據未予監管污染物監測規則，針對 3.6 萬份樣本中 6 種多氟烷基和全氟烷基物質含量的檢測資料為樣本。在美國 33 個州 4864 座飲用水供應設施中，僅有 194 座達到美國環保局設定的最低標準。在涉及約 600 萬人飲用水的樣本中，同時檢測出全氟辛烷磺酸(Perfluorooctane sulfonate, PFOS) 和全氟辛酸（Perfluorooctanic acid, PFOA），最高濃度分別為 349 和 1800ppt，都明顯超出美國環保局所設 70ppt 的健康安全標準。PFCs 在過去 60 年普遍用於工業和商業產品生產，如用於製造不沾鍋塗層等，這類化學物質本身與癌症、內分泌失調、高膽固醇和肥胖症等病症的發病率相關。本研究在探討水處理方法，利用 PFOA 與 PFOS 本身為具有界面活性劑的兩性(oleophobic)特質，很容易吸附於氣液的界面，故以三價鐵(Ferric ion)為 PFCs 的活化劑，只要在 5 分鐘的反應時間後，即可以有效的去除 99%的 PFCs，而 PFCs 等全氟化物具有高化學穩定性，降解破壞過程通常伴隨著高能量消耗與高處理成本，加上 PFCs 本身具有一定經濟價值，若不以一般的氧化降解處理改由回收再利用，不但可以大幅降低處理成本，亦可以減少排放到環境的風險，顯示了利用浮除回收液調整 pH 至中性(6.8-7.5)，約可回收 86-94％的 PFOA 與 PFOS，此方法不但可以節省一般化學氧化所需要的高耗能，並且可以迅速有效的回收 PFOA 與 PFOS，具有其實場應用的可行性。

關鍵字：全氟辛烷磺酸（PFOS）、全氟辛酸(PFOA)、三價鐵(Ferric ion)、浮除法(flotation)、回收、再利用



摘要圖曝氣後收集 PFOX 於表面泡泡層

一、前言

隨著化學合成工業的發展，以及人工合成有機物的廣泛應用，新興污染物在水環境、空氣和土壤中的濃度於全球範圍內逐年提升，如環境內分泌干擾物（EDCs）、藥品和個人護理品（PPCPs）等新興污染物逐漸受到各界學者和研究人員的關注。新興污染物中，有著高熱穩定性和化學穩定性的全氟

化合物，因為其具有高能量的 C-F 鍵，如何有效地將其從環境中去除目前仍是一個棘手的問題(Lewandowski, et. al; Prevedouros, et. al. 2006)。於 2007 年環保署已在中壢和七股的魚體、牡蠣檢驗出 PFOA；並針對台灣七條河川進行調查，也發現普遍存有全氟化合物。PFOS 在積體電路工廠排放廢水中檢測出、PFOA 則是在光電工業的廢水中檢測到，在其排放口 PFOA 的濃度為 360~480ng/L。主要廠區新竹科學園區內(電子和光電廠業) PFOA 的濃度最高達 26,895ng/L，在河川主流上游科學園區下方的 PFOA 濃度為 34.9 ng/L，在主流下游濃度卻高達 717 ng/L。在自來水中的 PFCs 分佈情形，Mak et. al (2009) 在 2009 以全球五大洲各大城市的自來水水體中的 PFOA 與 PFOS 作調查，驚見 PFOA 與 PFOS 之分佈已經是全球性的污染，其中以中國上海市的 PFOA 濃度高達 78ng/L 為最高，而臺北市自來水亦含有 5ng/L 的濃度，可見 PFCs 之污染情形的嚴重性。環保署指出全氟辛酸（PFOA）及全氟辛烷磺酸（PFOS）目前毒理不明，但已將其歸列為毒化物篩選候選名單，由 PFCs 相關議題及趨勢，可明確了解到研究去除 PFCs 的處理技術刻不容緩。PFOA 不僅無法在環境中自然降解，對於過去一般的傳統處理技術，如臭氧(O_3)或過氧化氫(H_2O_2)為氧化劑之高級氧化處理法 (Advance Oxidation Processes, AOPs)或生物處理技術皆無法有效去除，故缺乏適當有效的去除處理方法(Eschauzier et al., 2012; Lin et al., 2015; Lee et al., 2012)。本研究主要目的以浮除法(flotation)移除並回收 PFOA 與 PFOS 並批次實驗不同的金屬活化劑(activator)、pH、金屬劑量與初始 PFOA 與 PFOS 的濃度對反應去除分離的影響，找出最佳的條件回收 PFOA 與 PFOS。實驗方法與處除流程如摘要圖(Graphical Abstract)示。

二、實驗材料與方法

浮除實驗反應器如圖 1，為一 30 公分高，內徑 4 公分由 polyethylene(PE)製成的反應柱(column)，可避免 PFOX(PFOA 或 PFOS)吸附於管壁，注入之空氣流量為 7.5L/min 並經由 20-25 μm 之曝氣頭注入反應柱體內。

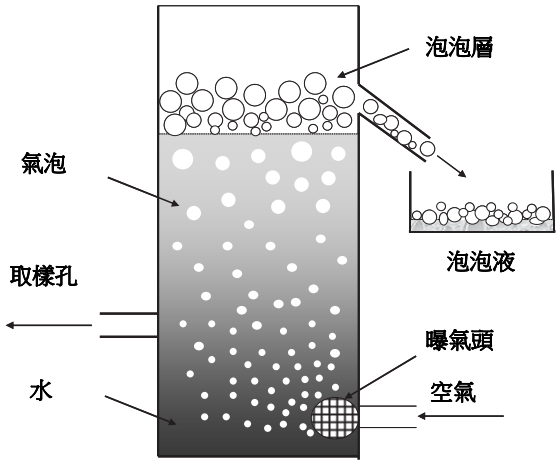


圖 1　實驗反應器

以 PE 材質容器配製並儲存 $FeCl_3$, $LaCl_3$, $AlCl_3$, $CaCl_2$, $FeCl_3$, $FeCl_2$, KCl, PFOS 與 PFOA. PFOX 溶液之初始濃度配製為 20, 50, 100, 120, 150 與 200 ppm，金屬離子的濃度為 0.115, 0.23, 0.46, 0.92, 1.15, 2.3, 4.6, 6.9, 9.2 與 11.5 mM 分別在不同的批次反應試驗，反應溶液的初始 pH 則由 0.1N NaOH 或 0.1M H_2SO_4 調整試驗。在特定的反應時間後水應水溶液則由反應柱內取樣孔取樣並作後續的分析實驗，所有的實驗皆以三重覆(triplicate)試驗分析。

PFOX 實驗分析方法使用 HPLC 型號為 UltiMate 3000 Basic HPLC, Dionex.，使用的管柱為 Agilent Eclipse XDB-C18 2.1×150 mm 5 μmNarrow-Bore.，(1) 沖提劑流動相為乙腈(acetonitrile)/水用 70：30 v/v 比例混合而成，(2)NaOH 9 mM 加 H3BO4 100 mM，動相流量為 0.3ml/min，注射體積為 50 μL，管柱溫度維持 30℃恆溫。IC 型號為型號為 Dionex, Ics-3000，保護管柱為 (Ion Pac AS4A Guard Column, Dionex)，分離管柱為(Ion Pac As4a Analytical HPLC Column, Dionex)，配製流洗液濃度為 3.2 mM $NaCO_3$ / 1 mM $NaHCO_3$，動相流量為 2 ml/min，注射體積為 50 μL (Lee et al; 2016)。

三、實驗結果與討論

不同陽離子活化劑的作用：在加入陽離子活化劑後所有的 PFOX 移除效率皆在 3-5 分鐘後到達平衡，因此所有的反應試驗皆以 5 分鐘為反應時間作為實驗去除反應之探討。圖 2(a) 與 (b) 顯示了使用 Fe^{3+}, La^{3+}, Al^{3+}, Fe^{2+}, Ca^{2+} 與 K^{+}為陽離子活化劑的作用對 PFOX 的移除效率的影響， 很明顯的發現三價陽離子(Trivalent cation)會比二價或一價陽離子作用較佳，主要是三價陽離子有較高的價數與親電性 (eletrophilic)，對於陰離子也會有較強的靜電吸引力(electrostatic attraction)與較高的鍵結強度與去除率(Lee et al., 2009)。而其中 以 Fe^{3+}對於 PFOS 的去除率為最佳。而不同陽離子活化劑對 PFOS 的去除作用順序大小如: $Fe^{3+} \geq La^{3+} > Al^{3+} > Ca^{2+} > Fe^{2+} > K^{+}$ ，而其在 11.5 mM 陽離子活化劑濃度於 5 分鐘的反應時間後，PFOS 去除率分別為 99.5, 99.0, 90.2, 28.9, 25.2 與 3.1%。

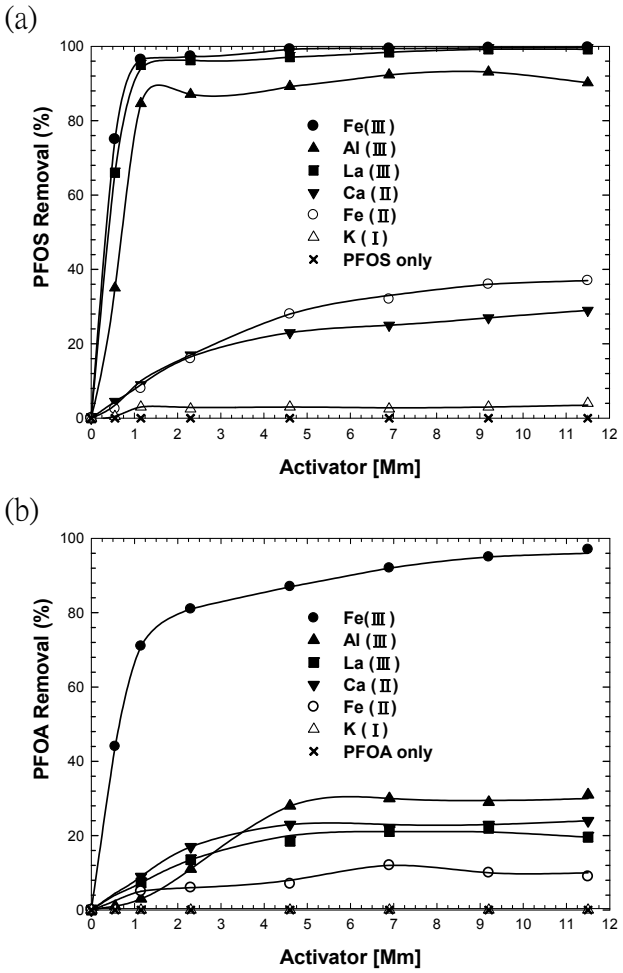


圖 2　不同陽離子活化劑的去除 PFOX 作用

(一)不同活化劑與 PFOX 的初始濃度影響：

圖.3(a) 與 (b) 顯示了在不同初始濃度下的 PFOA 或 PFOS 在 0-1.15 mM 劑量下的三價鐵(Fe^{3+}, FeⅢ)在 5 分鐘的曝氣浮除後的去除效率的變化，很明確的發現當 PFOX 與三價鐵的濃度越高，所呈現的去除率也越佳，主要是因為目標污染物(PFOX)本身是一種界面活性劑(surfactant)，當濃度越高時會提升溶液的表面活性(surface activity)與表面吸附(surface excess)，容易吸附或存在於氣體與液體之間的界面層，而三價鐵(ferric ions) 會與 PFOX 形成 1：1 莫爾比(molar ratio)之 PFOX/Fe 錯和物，反應式如 Eq (1) (Hori et

al.,2007; Wang et al., 2008; Sima and Makanova, 1997)，也降低 PFOX 之陰離子之間的斥力而形成陽離子聚合物(aggregates) ，也可以靜電吸附強陰電性之 PFOX 並存在氣體與液體之間的界面於反應柱之液面泡泡層(Foam layer)。

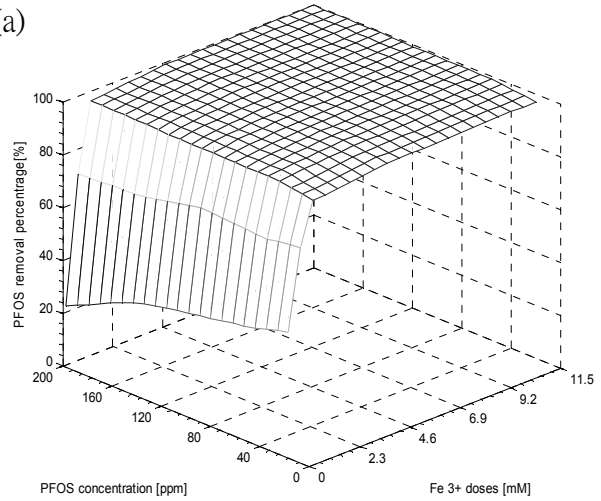
$C_7F_{15}COO^- + Fe^{3+} \rightarrow [C_7F_{15}COO^-Fe]^{2+}$ Eq (1)

整個反應在 Fe^{3+}濃度大於 PFOX 之 1：1 莫爾濃度後快速上升，主要是在低劑量的 Fe(Ⅲ)沒有足夠的反應劑量與 PFOX 鍵結形成錯和物，浮除法後形成的聚合物十分細微，因此去除效率也不佳。但在在足夠劑量的 Fe^{3+}存在下，浮除法可以有效的在 5 分鐘的曝氣反應後去除 PFOX，且去除效率高達 99%以上，呈現了高速的質量移轉與實際運用於實場的可能性。另 PFOS 呈現較佳的去除率相較於 PFOA，主要是 PFOA 有極高的水溶性(solubility = 3.6 g/L)，故對水溶液液相的作用力較強，較不易於液相中分離，但 11.5mM 劑量的 Fe^{3+}存在下，浮除法可以有效的去除 99%以上的 PFOA，呈現極高的去除反應效果。

(二)Fe(Ⅲ)對表面張力(surface tension)的影響

在圖 4 中比較了 PFOS, PFOA 與純水溶液在不同的 Fe(Ⅲ)濃度下表面張力的變化。在純水溶液中水溶液的表面張力隨著 Fe(Ⅲ)濃度增加而有緩緩增加的趨勢，但相對於 PFOS 與 PFOA 則有完全相反的趨勢，以 200 ppm 的 PFOS 與 PFOA 在未添加 Fe(Ⅲ)的溶液下初始表面張力分別為 62 與 46(mN/m) ，但在添加 Fe(Ⅲ)後，劑量約 0.3-1.15 mM 接近於 PFOX/ Fe(Ⅲ)之 1：1 莫爾比後，表面張力迅速下降，約只剩下 31 到 34 (mN/m)，這符合 PFOX 再添加 Fe(Ⅲ)後快速去除的反應作用(如圖 3)，這也說明了 PFOS 與 PFOA 在浮除法氣泡生成的過程中，由於表面張力大幅降低而增加了表面活性(surface activity)而更容易生成穩定的泡沫(foam)，並大量快速集中於液面而被去除。

(a)



(b)

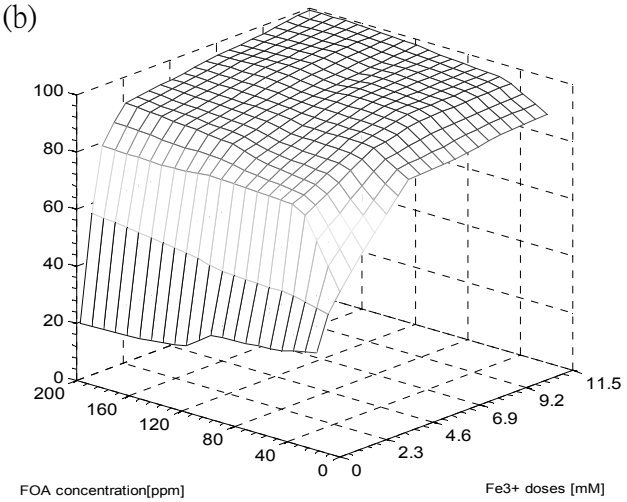


圖 3　不同初始濃度下的 PFOX 在 0-1.15 mM 劑量下的 FeⅢ之浮除法之去除率變化

(三)不同 pH 對 PFOX 的去除率影響

由於溶液中氫離子與氫氧根離子的濃度會改變液體的作用力，pH 改變了水溶液存在的物種並影響溶質的沈澱、微胞(micelle)或半微胞(hemimicelle)的表面電荷與金屬離

子的吸附，因此強烈影響浮除的反應機制。此外，pH 本身會影響水溶液中溶質的物種分佈，PFOS 與 PFOA 的 pKa 值分別為-3.4 與 -0.2 (Steinle-Darling et al., 2008), 遠遠低於研究測試(2.2-10.0)的操作範圍，因此 PFOX 在水溶液中主要是呈現為去質子(deprotonated)的陰離子物種(anionic species)，很容易與三價鐵陽離子(ferric ion) 形成 Fe(Ⅲ)-PFOA 陽性錯成物(complex)，在經由靜電吸引(electrostatic attraction) PFOX 形成更大的聚合物(aggregate)。

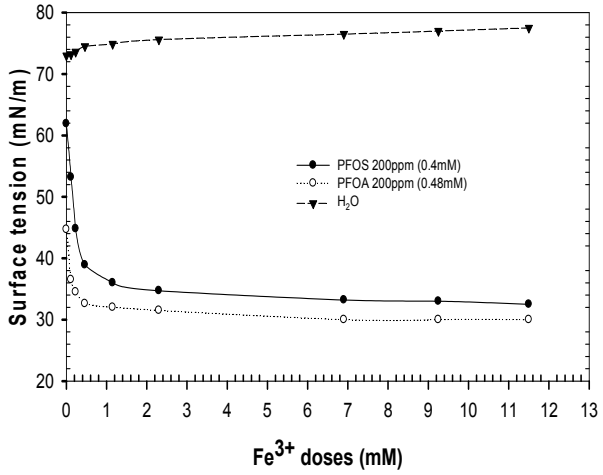
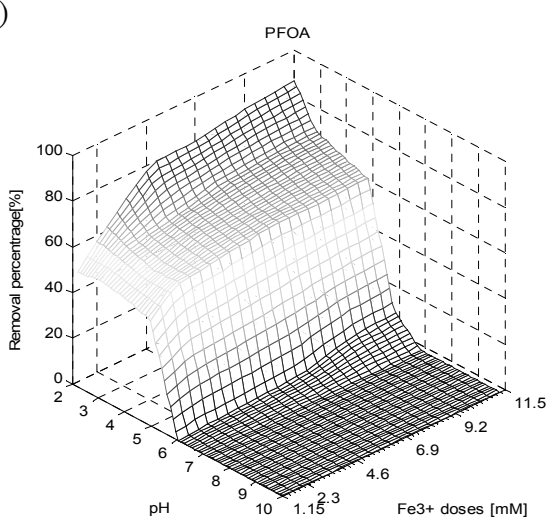


圖 4　比較 PFOS, PFOA 與純水溶液在不同的 Fe(Ⅲ)濃度下表面張力的變化。

(a)



(b)

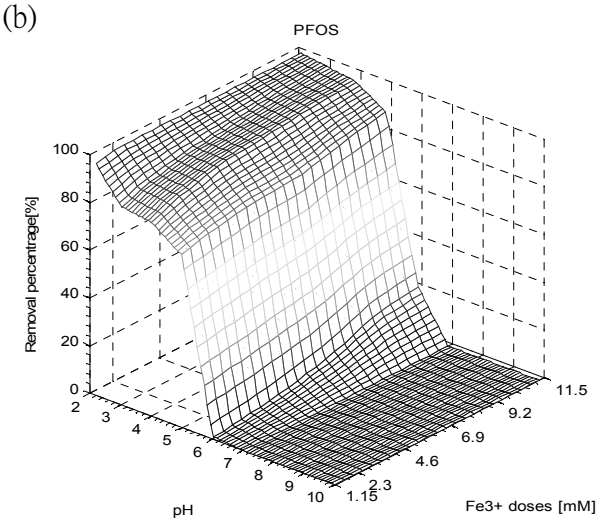


圖 5　比較 200ppm 的 PFOS 與 PFOA 在不同的 pH 下去除效率的變化。

在圖 5 中顯示 PFOS 與 PFOA 的去除率皆隨著 pH 的上升而快速下降，最高的 PFOS 與 PFOA 去除率發生在最低的初始 pH (約 2.2) ，而當 pH 大於 7 時，整個去除反應完全不發生，類似的結果也被發現在文獻中 (Capponi et al., 2006; Rubio et al., 2003). 在鹼性條件下，氫氧根離子(OH^-;hydroxyl ions) 會競爭與 PFOX 錯合的 Fe^{3+}，進行水合反應生成 $Fe(OH)_3$ 沈澱物如 Eq (2-3) (Chiang et al., 2009)，而且 pH 值越高反應越明顯。

$$Fe^{+3} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 (S) + 3H^+ \quad \text{Eq.(2)}$$

$$Fe^{+3} + 3OH^- \rightarrow Fe(OH)_3 (S) \quad \text{Fq.(3)}$$

此外，pH 有意義的影響 PFOX 形成微胞(micelle)或半微胞(hemimicelle)，PFOX 等界面活性劑(surfactant)的臨界微胞濃度(CMC)與表面張力會機械式的隨著 pH 增加而上升 (Abe et al., 1988)， 主要的原因是界面活性劑的微胞(micelle)或半微胞(hemimicelle)可能會抓取質子(如 H^+)，使得對於陰離子界面活性劑之間親水性靜電作用力(hydrophilic-hydrophilic electrostatic interaction)變弱, 而在較低的 PFOX 濃度下形成微胞或半微胞，故

當增加水溶液之 pH 時，會降低表面活性(surface activity)並減少浮除法去除 PFOX 的效率，因此，pH 扮演關鍵性的角色在吸附膠體(adsorbing colloid)浮除 PFOX 的過程中，而 Fe(Ⅲ)為活化劑以浮除法最佳的分離去除 PFOX 的 pH 範圍必須在小於 5 的酸性範圍。

(四)PFOX 之去除與回收

由於 PFOS 與 PFOA 本身具有一定的經濟價值，若能夠在浮除法去除並純化 PFCs 的過程回收，必然可以大量減少處理成本與處理前後棄置可能造成底表或地下水體受污染的可能性(Huang et al., 2000)。由圖 5 得知，當溶液 pH 大於 6 時，既使在高劑量的 Fe(Ⅲ)活化劑下，依然無法以浮除 PFOX，在肉眼上亦可觀查到當 pH 升高時，浮除的過程轉變形成大量的棕色氫氧化鐵(ferric hydroxide)，因此設計一系列的實驗調整收集到的浮除泡沫決定 pH 值對回收 PFOX 的影響，首先以高計量 11.5 mM Fe(Ⅲ) 在 pH 2.3 下浮除法去除法得到 99%以上去除率之 PFOX 形成的泡沫(collapsed foamate)，再後續以 NaOH 調整其 pH 值，並定量釋出的 PFOX 濃度轉換成回收率如圖 6。

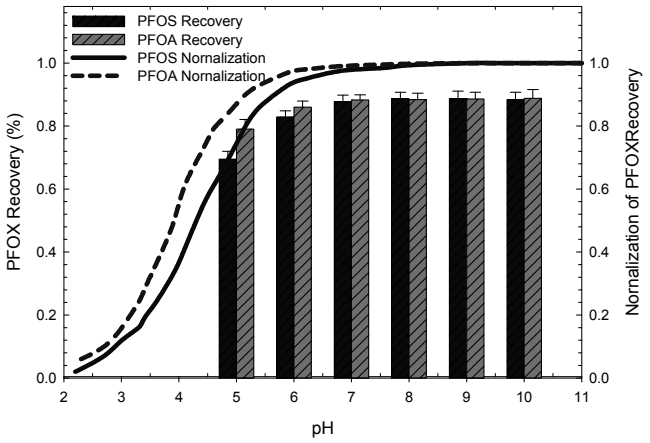


圖 6　在 pH 2.3 下 11.5 mM 劑量之 Fe(Ⅲ)浮除形成的泡沫調整 pH 後之回收率。

藉由調整 PFOX 浮除泡沫之 pH 值，發覺在 pH=7 下，對 PFOS 與 PFOA 的回收率分別為 86-90 與 88-91%，類似的回收結果在 pH=6 下，對 PFOS 與 PFOA 的回收率分別為 69-82 與 and 74-83%。 比較 PFOS 與 PFOA 的回收率 PFOA 在 pH=6 下較快到達最大回收率，當 pH 增加時， 自由的 PFOX 陰離子又再次釋出至水溶液中，而此反應以 PFOA 釋出的速度較 PFOS 快 (Lee. et al., 2014)。

四、結論

由於 PFCs 內的強 C－F 間的鍵結(carbon-fluorine bond)造成穩定的化學鈍性(chemically inert)而難以一般的化學氧化去除，目前可以去除的方法往往伴隨高耗時與耗能的問題，因此發展一個低耗能快速物理性分離並回收 PFOX 的方法，將是一個聰明又具實場運用的可行處理方法。浮除法已大量運用於工業界並具有低耗能、所需空間小、低成本、容易操作等優點。此研究巧妙的運用目標污染物具有界面活性劑的性質以三價鐵(ferric ion)為活化劑快速形成 Fe^{3+}-PFOA 錯和物並聚集於水溶液的表面之泡沫層中，很容易收集並透過簡易的 pH 值調整回收，呈現簡單快速並且高效率的環境友善(environmental-friendly)方法，為未來 PFCs 處理提供了經濟可行的方案。

參考文獻

1.Abe, M., Kato, K., Ogino, K., 1988. Effects of Inorganic Electrolytes and of pH on Micelle Formation of Amphoteric-Anionic Mixed Surfactant Systems, Journal of Colloid and Interface Science, 127, 328-335.

2.Capponi, F., Sartori, M., Souza, M. L., Rubio. J., 2006. Modified column flotation of adsorbing iron hydroxide colloidal precipitates, Int. J. Miner. Process. 79, 167－173

3.Chiang, P. C., Chang, E. E., Chang, P. C., Huang C. P., 2009. Effects of pre-ozonation on the removal of THM precursors by coagulation, Science of The Total Environment, 407, 5735-5742.

4.Eschauzier, C., Beerendonk, E., Scholte-Veenendaal, P., de Voogt, P., 2012. Impact of treatment processes on the removal of perfluoroalkyl acids from the drinking water production chain. Environ. Sci. Technol. 46, 1708-1715.

5.Hori, H., Yamamoto, A., Koike, K., Kutsuna, S., Osaka, I., Arakawa, R., 2007. Photochemical decomposition of environmentally persistent short-chain perfluorocarboxylic acids in water mediated by iron(II)/(III) redox reactions, Chemosphere 68, 572－578.

6.Huang, S. D., Su, P. G. Huang, S. P., Ho Y. L., Tsai T. Y., 2000. Adsorbing Colloid Flotation with Polyaluminum Chloride: A Powerful Technique for Removing Heavy Metals from Wastewater, Sep Sci Technol, 35, 1223－1232.

7.Lee Y. C., S. L. Lo, Huang, C. P. Efficient Sonochemical Degradation of Perfluorooctanoic Acid Using Periodate, Ultrasonic sonochemistry. 22,(2016), 542 -547.

8.Lee Y. C., S. L. Lo, Kuo, J. Huang, C. P Promoted Degradation of Perfluorooctanic Acid by Persulfate When Adding Activated Carbon. Journal of Hazardous Materials, 261 (2013) 463-469.

9.Lee, Y. C., Lo, S. L., Chiueh, P. T., Chang, D.G., 2009. Efficient decomposition of Perfluorocarboxylic acids in aqueous solution using microwave-induced persulfate. Water Res. 43, 2811－2816.

10.Lewandowski, G., Meissner, E., Milchert, E., 2006. Special applications of fluorinated organic compounds, J. Hazard. Mater. 136 385－391.

11.Prevedouros, K., Cousins, L. T., Buck, R. C., Korzeniowski, S. H., 2006. Sources, fate and transport of perfluorocarboxylates. Environ. Sci. Technol. 40, 32-44.

12.Mak, Y. L., S. Taniyasu, W. Y. Yeung, L. G. Jin, L. Y. Yang, P.S. Lam, K. Kannan, N. Yamashita, (2009) Perfluorinated Compounds in Tap Water from China and Several Other Countries. Environ. Sci. & Technol. 43, 4824-4829

13.Sima, J., Makaiiova, J., 1997. Photochemistry of iron(III) complexes, Coordination Chemistry Reviews, 160, 161-189.

14.Rubio, J., Souza, M.L., Smith, R.W., 2002. Overview of flotation as a wastewater treatment technique. Minerals Engineering, 15 (3), 139－155.

15.Wang, Y., Zhang, P. Y., Pan, G., Chen, H., 2008. Ferric ion mediated photochemical decomposition of perfluorooctanoic acid (PFOA) by 254 nm UV light. J. Hazard. . Mater. 160, 181－186.

16.Lin, J. C., S. L. Lo, C. Y. Hub, Y. C. Lee, J. Kuo, Enhanced sonochemical degradation of perfluorooctanoic acid by sulfate ions, Ultrason Sonochem. 22 (2015) 542-547.

17.Yu-Chi Lee, Shang-Lien Lo, Jeff Kuo , and Ching-Hong Hsieh, Decomposition of perfluorooctanoic acid by microwave-activated persulfate: effects of temperature, pH and chloride ions. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 6 (2012), 17－25.

作者簡介

李育輯先生

現職：臺北自來水事業處淨水科工程師

專長：淨水工程、水處理與環境工程

駱尚廉先生

現職：台灣大學環境工程研究所特聘教授

專長：淨水工程、水處理與環境工程

PVC 硬管及軟管揮發性及半揮發性有機化合物釋出研究

文/張美惠

一、前言

北水處用戶水質抱怨案件中，常有民眾反映自來水異藥味的案例，經現場勘查發現大部分為民眾使用園藝用塑膠軟管接水，或戶內 PVC 硬質塑膠管接管時接著劑所造成，究竟 PVC 管材溶出成份為何，對人體健康有何影響則未知。隨著檢驗技術之發展與進步，飲用水中越來越多的新興污染物被發現，這些化合物存在水中的濃度很低，通常為μg/L(ppb)等級或更低，對人體的健康影響不是很明確，對環境生物的影響有些許證據，尤以一些類環境荷爾蒙物質或疑似致癌物質最被關切。本研究就自來水用戶常用之 PVC 硬質塑膠管及民眾常因誤用於自來水而產生異臭味之橘色園藝用 PVC 塑膠軟管進行溶出試驗，另外亦取 PVC 硬質塑膠管以市售接著劑進行接合後，進行溶出試驗，以瞭解上述管材溶出揮發性及半揮發性有機化合物之狀況，及可能對人體健康之影響。

二、揮發性及半揮發性有機物之健康影響

本研究溶出試驗檢測之化合物包括：19 項揮發性有機物及 7 項半揮發性有機物，該 26 項化合物對人體健康之影響，整理如表 1。

三、研究方法

(一)研究試驗步驟

本研究依以下步驟進行:

1.購買市售內徑 25mm 自來水用新的 PVC 硬質塑膠管及園藝用橘色 PVC 軟管，前者長度 60cm 共 5 段，後者長度 3 m，以每批次能取出揮發性及半揮發性有機物檢測所需水樣體積(揮發性有機物檢驗樣品 40mL；半揮發性有機物檢驗樣品 1L)。

2.取硬質 PVC 管 2 段(長度各 40cm)，以市售接著劑接合後，以 Parafilm 封口膜將 1 端密封，再將管內充滿萃取水(或自來水)，充滿後立即倒出作為分析樣品，約 4 次可取足分析樣品所需水樣體積。依前述充滿倒出步驟 4 次，可取得第 2 個分析樣品，重複上述步驟共取 5 個分析樣品，分別檢測揮發性及半揮發性有機物。

3.取 1.所述新的 PVC 硬質塑膠管 4 段，依美國 NSF 61 管材溶出試驗程序，管內充滿萃取水，以 Parafilm 封口膜將兩端密封，置於恆溫箱內，於 23±2˚C 恆溫下依不同試驗延時取樣，檢測揮發性及半揮發性有機物。

4.取橘色 PVC 軟管 1 段，依美國 NSF 61 管材溶出試驗程序，管內充滿萃取水，以 Parafilm 封口膜將兩端密封，置於恆溫箱，於 23±2˚C 恆溫下，依不試驗延時取樣，分析揮發性及半揮發性有機物。

5.以洗淨之 1L 玻璃製血清瓶裝試劑水，以與管材相同方法密封瓶口，放入相同環境，相同時間順序取樣分析，進行方法空白分析。

表 1　本研究檢測之各項有機化合物對人體健康之影響

分類	中文名稱	英文名稱	對人體健康影響
揮發性有機物	氯乙烯	Vinyl Chloride	人類致癌物，中樞神經衰弱、肝腎、肺病變
	1,1-二氯乙烯	1,1-Dichloroethylene	可能人類致癌物，中樞神經系統、肝、腎損害
	二氯甲烷	Dichloromethane	可能人類致癌，肝癌，心臟血管疾病
	順-1,2-二氯乙烯	cis-1,2- Dichloroethene	未發現有致癌証據，肝、腎、肺吸收，並迅速排泄
	反-1,2-二氯乙烯	trans-1,2- Dichloroethene	中樞神經系統損傷
	氯仿	Chloroform	極可能人類致癌物，肝、腎腫瘤
	1,1,1-三氯乙烷	1,1,1-Trichloroethane	未發現有致癌證據，肺水腫、脂肪肝中樞神經抑制
	四氯化碳	Carbontetrachloride	極可能人類致癌物，肝、腎腫瘤
	1,2-二氯乙烷	1,2-Dichloroethane	極可能人類致癌物，肝、腎、中樞神經及心血管系統損害
	三氯乙烯	Trichloroethylene	極可能人類致癌物，肝、腎、中樞神經及心血管系統損害
	一溴二氯甲烷	Bromodichloromethane	極可能人類致癌物，肝、腎、大腸腫瘤
	四氯乙烯	Tetrachloroethene	可能人類致癌物，肝、腎腫瘤
	一氯二溴甲烷	Dibromochloromethane	可能人類致癌物，肝腫瘤
	溴仿	Bromoform	極可能人類致癌物，肺腫瘤
	1,4-二氯苯	1,4-Dichlorobenzene	極可能人類致癌物，肝、腎、中樞神經及心血管系統損害
	1,2-二氯苯	1,2- Dichlorobenzene	無證據顯示致癌，對腎臟及血液造成影響
	苯	Benzene	人類致癌物，造血系統及中樞神經系統損害
	甲苯	Toluene	未發現有致癌證據，中樞神經系統、脾、肝、腎損害
	二甲苯	Xylene	未發現有致癌證據，中樞神經系統、肝損害
半揮發性有機物	雙酚 A	Bisphenol A	國際毒化學計畫研究認為毒性低,沒直接證據顯示為致癌物
	鄰苯二甲酸二甲酯	Dimethyl phthalate (DMP)	1.呼吸造成人或動物眼睛、鼻子、喉嚨刺激，2.無人類致癌資料，3.動物研究輕微影響生長及腎 4.非人類致癌性，美國 EPA 致癌等級歸類為 D。
	鄰苯二甲酸二乙酯	Diethyl phthalate(DEP)	非人類致癌物，對人類健康之影響為未知
	鄰苯二甲酸二丁酯	Di-n-butyl phthalate(DBP)	肝損害，毒理資料缺乏
	鄰苯二甲酸甲苯基丁酯	Benzyl butyl phthalate(BBP)	1.食用含微量 BBP 食品為人體暴露之主要來源，2.急性暴露血液及中樞神經系統受影響，3.美 EPA 及國際癌症協會癌症等級列為 C(可能人類致癌物,動物試驗數據有限)。
	鄰苯二甲酸二正丁酯	Di-n-octyl phthalate(DNOP)	1.食入毒性低，2.短期對肝造成傷害，3.致癌等級 2B。
	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	Bis 2-ethylhexyl phthalate(DEHP))	出現在肝、腎、睪丸、脂肪、乳汁;對兒童影響最顯著,美國環保署致癌等級 B2(疑似人類致癌物,有動物實驗證據)。

6.以洗淨之 1L 玻璃製血清瓶，加入已知濃度水樣後，以與管材相同方法密封，放入相同環境，依相同時間順序取樣分析，進行添加標準品濃度分析，以測試待檢測化合物之穩定性。

7.經溶出試驗取出之萃取水樣以 NIEA 784.52C「水中揮發性有機化合物檢測方法－吹氣捕捉／氣相層析／串聯式光離子化偵測器及電解導電感應偵測器法」及 NIEAW801.52B「水中半揮發性有機化合物檢測方法－氣相層析質譜儀法」分別分析揮發性有機物及半揮發性有機物。

8.進行數據分析及健康評估。

(二)管材溶出試驗程序

本研究採用美國NSF61管材溶出試驗程序，其步驟摘述如下：

1.管材洗淨

管材試樣先以自來水洗去管壁上附著之外來顆粒狀污物，並以實驗室試劑水潤洗。

2.準備萃取水(Exposure Water)

因分析目標物為有機物，製備 pH=8 之萃取水，pH=8 萃取水(含 100 ppm 硬度及 0 ppm 餘氯)之製備方法為：25 mL 0.04M $NaHCO_3$ solution +25 mL 0.04M $CaCl_2$，稀釋至 1 公升，每天重新配製。其中 0.04M $NaHCO_3$ 溶液：溶 3.36 克 $NaHCO_3$ 於試劑水，稀釋至 1 公升，每週重新配製；0.04M $CaCl_2$:溶 4.44 克無水 $CaCl_2$ 於試劑水，稀釋至 1 公升，每週重新配製。

3.多點萃取法

試驗管材/管段充滿萃取水，以非反應物(Inert)加蓋，於 23±2℃放置 24±1 小時，取出萃取水分析(第 1 天)，重新以萃取水充滿，於 23±2℃再放置 24±1 小時，取出萃取水分析(第 2 天)，重新以萃取水充滿，重覆前步驟，於第 4、8、10、15 及 19 天取得萃取水分析。第 3、7、9、14 及 18 天萃取水丟棄，程序如表 2 所示。

表 2　多點萃取法管財測試取樣程序

暴露時間	流逝時間	取　　樣
24±1 小時	1 天	達暴露時間收集萃取水分析後，重新填充萃取水
24±1 小時	2 天	滿暴露時間收集萃取水分析後，重新填充萃取水
24±1 小時	3 天	滿暴露時間排出萃取水丟棄後，重新填充萃取水
24±1 小時	4 天	滿暴露時間收集萃取水分析後，重新填充萃取水
72±1 小時	7 天	滿暴露時間排出萃取水丟棄後，重新填充萃取水
24±1 小時	8 天	滿暴露時間收集萃取水分析後，重新填充萃取水
24±1 小時	9 天	滿暴露時間排出萃取水丟棄後，重新填充萃取水
24±1 小時	10 天	滿暴露時間收集萃取水分析後，重新填充萃取水
96±1 小時	14 天	滿暴露時間排出萃取水丟棄後，重新填充萃取水
24±1 小時	15 天	滿暴露時間收集萃取水分析後，重新填充萃取水
72±1 小時	18 天	滿暴露時間排出萃取水丟棄後，重新填充萃取水
24±1 小時	19 天	滿暴露時間收集萃取水分析後，重新填充萃取水

4.方法空白

每 1 批次進行方法空白，以一洗淨玻璃製血清瓶，倒入試劑水後，以與管材同方法密封，放入相同 23±2℃環境，依相同時間順序取樣分析。

5.方法標準(Method Standard)又稱添加(spiked)標準濃度分析

每 1 批次進行添加測試，以一洗淨玻璃製血清瓶，倒入已知濃度水樣後，以與管材相同方法密封，放入相同 23±2℃環境，依相同時間順序取樣分析，測試待測定化合物之穩定性。

6.數據評估

(1)分析濃度正規化(Normalization)

將分析數據以下式進行正規化：

正規化濃度=實驗室測出濃度×(SAF × VL)／(SAL×VF(static))

SAF：管材實際暴露表面積

SAL：管材實驗時暴露表面積

VL：管材實驗時使用萃取水體積

VF(static) ：管材滯留狀況接觸萃取水體積

(2)多點萃取法結果計算

以【正規化濃度】對【流逝時間】作圖，稱為衰退曲線(Decay curve)，取【流逝時間】第 15 天數據為 Day1；以外差求得(或實際實驗)第 105 天數據，為 Day90。

Day1 數據不可超過【短期暴露值】(short－term exposure level , STEL)；Day90 滯留(Statics)數據不可超過【最大污染物容許值】(Maxium contaminant level , MCL)或【總允許濃度】TAC (Total allowable concentration) ，NSF61 方法中僅列出部份有健康評估之揮發性及半揮發性有機物之健康限值，如表 3。

表 3　NSF61 所列揮發性及半揮發性有機物之健康限值

化合物	TAC or MCL (mg/L)	STEL (mg/L)
Bisphenol A	1	5
Di(2-ethylhexyl Terephthalate (DEHT)	1	9
DEHP	0.006	_
苯(benzene)	0.005	_
甲苯(Toluene)	1	_
二氯甲烷 (Dichloromethane)	0.005	_

四、結果與討論

本研究實驗結果討論如下：

(一)檢測分析品質管制

1.方法偵測極限

各揮發性有機物及半揮發性有機物之方法偵測極限詳表 4。

2.空白試驗

將實驗室試劑水，依樣品相同試驗程序進行空白試驗，結果如表 5，26 項化合物中，二氯甲烷、一溴二氯甲烷、甲苯、1,2-二甲苯、DMP 及 DEHP 等 6 項有低濃度測值，其中 1,2-二甲苯、甲苯及 DEHP 空白試驗最大值小於或約等於方法偵測極限的 2 倍，尚符合檢驗品管規範，二氯甲烷、一溴二氯甲烷則顯示環境或儀器有該化合物污染現象。

3.方法標準分析

方法標準(Method Standard)又稱添加(spiked)標準濃度分析，係於試劑水中添加標準濃度，依相同試驗程序試驗及分析，以測

試待分析化合物之穩定性，測試結果如表 6，顯示二氯甲烷、順-1,2-二氯乙烯及雙酚 A 等 3 種化合物，其在試驗過程中之穩定性較差。

表 4　各項檢測化合物之方法偵測極限

化合物	MDL(μg/L)	化合物	MDL(μg/L)	化合物	MDL(μg/L)
氯乙烯	0.0330	三氯乙烯	0.0358	1,3&1,4 二甲苯	0.0278
1,1-二氯乙烯	0.0281	一溴二氯甲烷	0.0284	1,2 二甲苯	0.0336
二氯甲烷	0.0255	四氯乙烯	0.0234	雙酚 A	6.16
順-1,2-二氯乙烯	0.0227	一氯二溴甲烷	0.0401	鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)	3.44
反-1,2-二氯乙烯	0.0198	溴仿	0.0320	鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)	3.53
氯仿	0.0304	1,4-二氯苯	0.0320	鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)	4.96
1,1,1-三氯乙烷	0.0234	1,2-二氯苯	0.0715	鄰苯二甲酸甲苯基丁酯(BBP)	5.24
四氯化碳	0.0312	苯	0.0353	鄰苯二甲酸二正丁酯(DNOP)	1.29
1,2-二氯乙烷	0.0304	甲苯	0.0274	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)	1.15

表 5　空白試驗結果

化合物	結果(μg/L)	化合物	結果(μg/L)	化合物	結果(μg/L)
氯乙烯	ND	三氯乙烯	ND	1,3&1,4 二甲苯	ND
1,1-二氯乙烯	ND	一溴二氯甲烷	ND~0.14	1,2 二甲苯	ND~0.08
二氯甲烷	0.35~8.94	四氯乙烯	ND	雙酚 A	ND
順-1,2-二氯乙烯	ND	一氯二溴甲烷	ND	鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)	1.57~2.78
反-1,2-二氯乙烯	ND	溴仿	ND	鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)	ND
氯仿	ND	1,4-二氯苯	ND	鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)	ND
1,1,1-三氯乙烷	ND	1,2-二氯苯	ND	鄰苯二甲酸甲苯基丁酯(BBP)	ND
四氯化碳	ND	苯	ND	鄰苯二甲酸二正丁酯(DNOP)	ND
1,2-二氯乙烷	ND	甲苯	ND~0.04	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)	ND~3.26

表 6　添加標準濃度分析結果

化合物	回收率(%)	化合物	回收率(%)	化合物	回收率(%)
氯乙烯	71.2~83.8	三氯乙烯	90.9~99.9	1,3&1,4 二甲苯	79.6~86.6
1,1-二氯乙烯	79.1~98.4	一溴二氯甲烷	85.8~97.2	1,2 二甲苯	81.3~89.5
二氯甲烷	0.0~221	四氯乙烯	90.5~97.2	雙酚 A	51.2~88.9
順-1,2-二氯乙烯	0.0~91.9	一氯二溴甲烷	80.7~92.9	鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)	72.3~81.4
反-1,2-二氯乙烯	84.8~105	溴仿	85.0~91.8	鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)	77.6~84.6
氯仿	88.1~94.4	1,4-二氯苯	81.0~87.2	鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)	93.4~99.7
1,1,1-三氯乙烷	85.6~99.1	1,2-二氯苯	82.2~97.9	鄰苯二甲酸甲苯基丁酯(BBP)	99.7~106
四氯化碳	85.8~97.2	苯	82.2~88.6	鄰苯二甲酸二正丁酯(DNOP)	102.7~107
1,2-二氯乙烷	90.5~95.9	甲苯	83.0~101	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)	108.9~115

(二) PVC 硬質塑膠管溶出試驗結果

PVC 硬質塑膠管依 NSF61 標準程序，於 19 天之溶出試驗過程中，萃取液完全未檢出者包含 16 項揮發性有機物及 3 項半揮發性有機物，檢出者包括氯乙烯、甲苯、1,2-二甲苯及塑化劑 DEHP、DMP、DBP、DNOP 等 7 種化合物，如圖 1～圖 7。各種化合物之溶出狀況不同，氯乙烯、1,2 二甲苯、DBP、DNOP 等 4 種化合物於溶出試驗前 2～4 天，被檢測出濃度值，之後即降為 ND；甲苯約 8 天後降為 ND；DEHP 及 DMP 則於第 19 天仍檢測出有殘存濃度，顯示有持續溶出現象。

(三)橘色 PVC 軟質管溶出試驗結果

橘色 PVC 軟質塑膠管依 NSF61 標準程序，於 19 天之溶出試驗過程中，萃取液完全未檢出者包含 13 項揮發性有機物及 3 項半揮發性有機物，檢出者包括二氯甲烷、1,2-二氯苯、苯、甲苯、1,3 &1,4-二甲苯、1,2-二甲苯、雙酚 A、塑化劑 DEHP、DNOP、DMP 等 10 種化合物。如圖 8～圖 17。

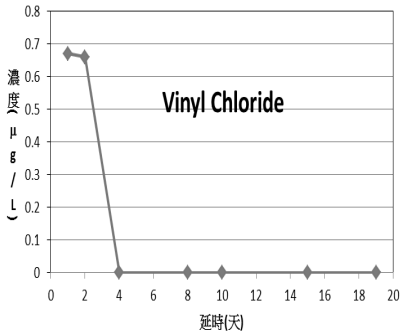


圖 1　PVC 硬管溶出試驗氯乙烯溶出結果

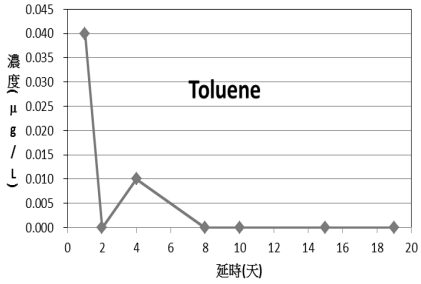


圖 2　PVC 硬管溶出試驗甲苯溶出結果

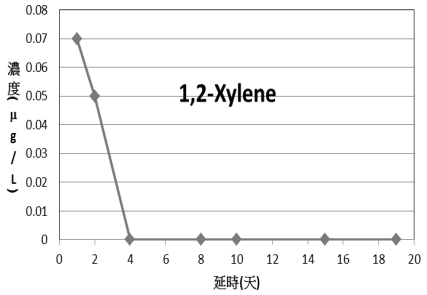


圖 3　PVC 硬管溶出試驗 1,2-二甲苯溶出結果

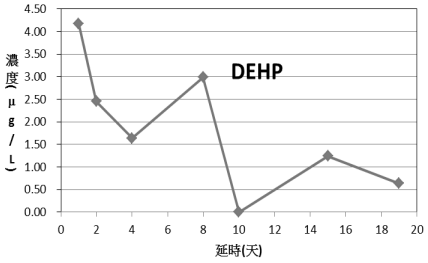


圖 4　PVC 硬管溶出試驗塑化劑 DEHP 溶出結果

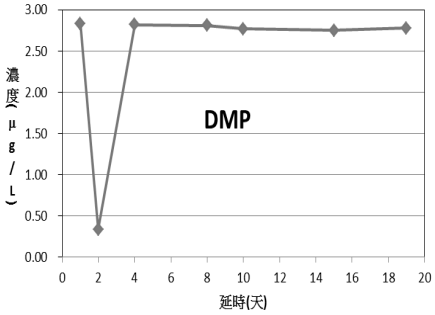


圖 5　PVC 硬管溶出試驗塑化劑 DMP 溶出結果

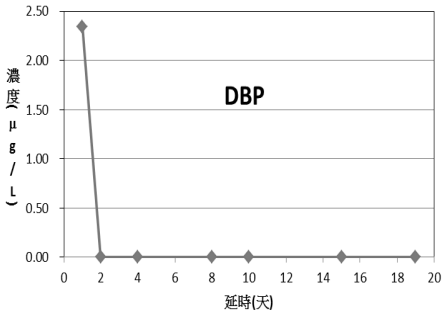


圖 6　PVC 硬管溶出試驗塑化劑 DBP 溶出結果

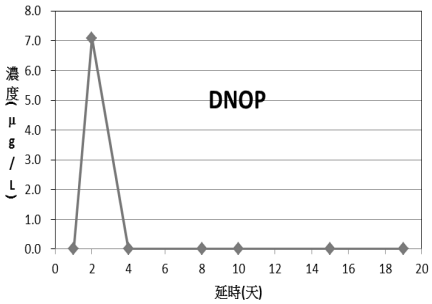


圖 7　PVC 硬管溶出試驗塑化劑 DNOP 溶出結果

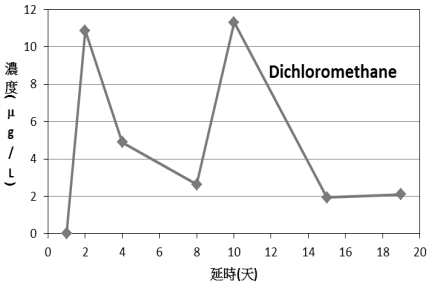


圖 8　PVC 軟管溶出試驗二氯甲烷溶出結果

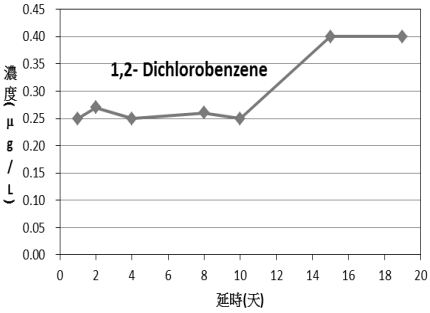


圖 9　PVC 軟管溶出試驗 1,2-二氯苯溶出結果

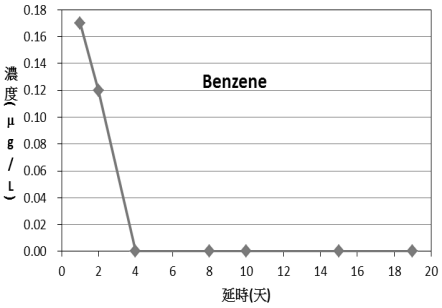


圖 10　PVC 軟管溶出試驗苯溶出結果

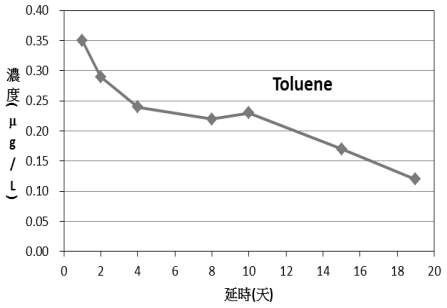


圖 11　PVC 軟管溶出試驗甲苯溶出結果

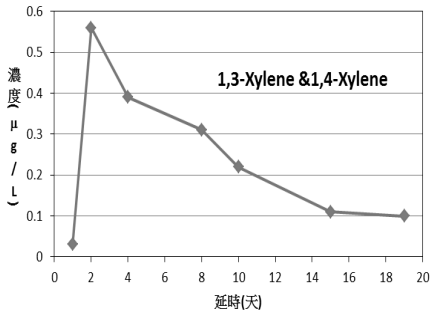


圖 12　PVC 軟管溶出試驗 1,3 及 1,4-二甲苯溶出結果

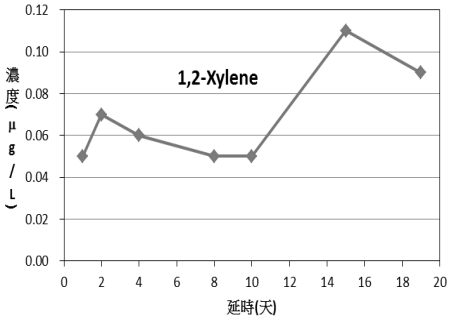


圖 13　PVC 軟管溶出試驗 1,2-二甲苯溶出結果

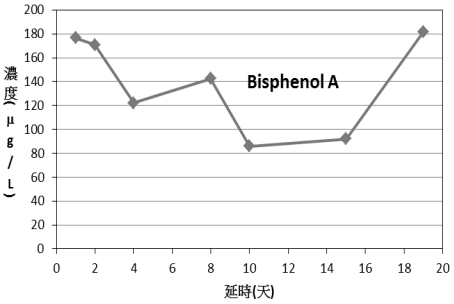


圖 14　PVC 軟管溶出試驗雙酚 A 溶出結果

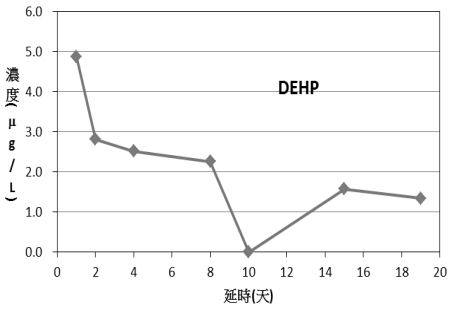


圖 15　PVC 軟管溶出試驗 DEHP 溶出結果

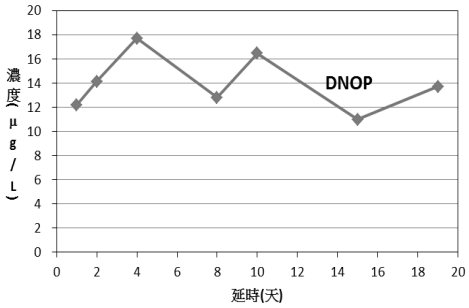


圖 16　PVC 軟管溶出試驗 DNOP 溶出結果

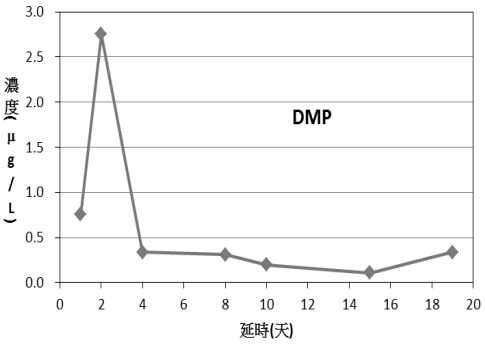


圖 17　PVC 軟管溶出試驗 DMP 溶出結果

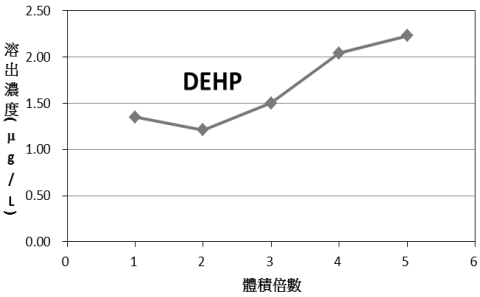


圖 18　PVC 硬質管接合 DEHP 溶出結果

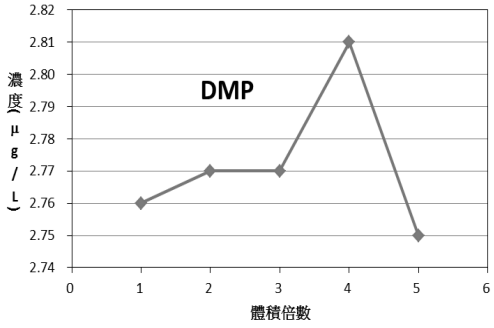


圖 19　PVC 硬質管接合 DMP 溶出結果

10 種化合物中僅苯及 DMP 在 4 天內產生最大溶出量後遞減至 ND 及極低濃度，其餘均有持續溶出之現象，1,2-二氯苯、1,2-二甲苯及雙酚 A 甚至有溶出量持續上升之趨勢，DNOP 則維持約相同濃度溶出。

(四) PVC 硬質塑膠管接合溶出試驗結果

2 段 PVC 硬質塑膠管使用接著劑接合後，以水連續充填潤洗，檢測 26 項化合物，結果僅出現 DEHP 及 DMP 2 項化合物(如圖 18 及圖 19)，其餘 24 化合物均 ND，顯示接著劑於連續潤洗水溶出的主要化合物為塑化劑。

(五)建康風險評估

依 NSF61 管材溶出試驗程序－「多點萃取法」數據評估方法，以【正規化濃度】對【流逝時間】作成 Decay curve 圖，取【流逝時間】第 15 天數據為 Day1；以外差求得第 105 天數據，為 Day90。 Day1 數據不可超過【短期暴露值】(short-term exposure level(STEL)) ；Day90 滯留(Statics)數據不可超過【最大污染物容許值】(Maxium contaminant level , MCL)或【總允許濃度】TAC (Total allowable concentration) 。因 NSF61 所列【短期暴露值】資料中未涵括本研究分析之有機物，故本研究健康風險分析僅評估 Day90。評估 PVC 硬質塑膠管之健康風險，如表 7 所示，僅 DMP 有濃度值，顯示 DMP 有低濃度持續溶出現象，惟目前尚無最大容許值資訊，無法評估其對健康影響，其它化合物 Day90 評估值均為 ND。

表 7　PVC 硬質塑膠管健康風險評估

溶出化合物	Day90 值 (μg/L)	最大容許值 MCL(μg/L)
氯乙烯	ND	-
甲苯	ND	1000
1,2-二甲苯	ND	-
DEHP	ND	6
DMP	2.76	-
DBP	ND	-
DNOP	ND	-

表 8　軟質橘色 PVC 塑膠管之健康風險評估

溶出化合物	D90 值 (μg/L)	最大容許值 MCL(μg/L)
二氯甲烷	2	5
1,2-二氯苯	1.15	-
苯	ND	5
甲苯	ND	1000
1,3&1,4-二甲苯	ND	-
1,2-二甲苯	0.3	-
雙酚 A	17	1000
DEHP	ND	6
DMP	ND	-
DNOP	6	-

評估橘色 PVC 軟質塑膠管之健康風險，如表 8 所示，Day90 有濃度值的為二氯甲烷、1,2-二氯苯、1,2-二甲苯、雙酚 A 及

DNOP，其中二氯甲烷及雙酚 A 未超過最大容許值，其它 3 項則缺乏最大容許值資訊，無法評估其對健康之影響。

五、結論與建議

1.依據美國 NSF61 管材溶出試驗程序，以多點萃取法針對市售自來水用 PVC 硬質塑膠管及園藝用橘色 PVC 軟質塑膠管進行溶出試驗，分析包括揮發性有機物及半揮發性有機物等 26 種化合物，結果如下:

(1)自來水用 PVC 硬質塑膠管在溶 出試驗初期會溶出低濃度氯乙烯、甲苯、1,2 二甲苯、DBP 及 DNOP 等化合物，之後遞減；持續溶出者有 DEHP 及 DMP，DEHP 評估無健康風險，DMP 則可能為檢驗過程污染。

(2)相較於 PVC 硬質管，軟質管溶出較多種化合物；僅在初期有溶出情形者只有苯，其他二氯甲烷、1,2-二氯苯、甲苯、1,3 &1,4-二甲苯、1,2-二甲苯、雙酚 A、DEHP、DMP、DNOP 等溶出期相對較長，而 1,2-二氯苯、1,2-二甲苯及 DNOP 在本試驗中，溶出量有上升趨勢，惟健康風險評估均為無健康風險或尚無相關健康資訊。

(3)PVC 硬質塑膠管接合時主要溶出物為塑化劑 DEHP。

2.使用硬質 PVC 塑膠管建議應進行約 4 天以上之浸泡後排放，可充份去除管材與水接觸初期溶出之化合物，但有微量 DEHP 溶出現象，惟濃度在不影響人體健康範圍。PVC 硬管接合時之接著劑亦會溶出 DEHP，建議大量充份排水後再使用。

3.非自來水用橘色 PVC 軟質塑膠管會溶出多種影響健康物質，建議不宜使用於飲用水。

參考文獻

1..臺灣大學環境衛生研究所, 飲用水水源與水質中新興污染物對人體健康風險評估之研究計畫(4/4),行政院環境保護署委託研究，中華民國102年。

2.財團法人成大研究發展基金會,推動飲用水列管項目之篩選作業計畫-飲用水列管項目毒理資料庫，行政院環境保護署委託研究，中華民國103年。

3.NSF/ANSI Standard 61,2013.

4.Exposure to endocrine disruptors via materials in contact with drinking water.DETR/DWI 4746,May 1999.

作者簡介

張美惠小姐

現職：台北自來水事業處水質科三級工程師

專長：淨水處理、水質管理、水質檢驗

水資源再生－淺談南加州再生水之利用

文/游育晟、陳文祥

一、南加州供水概述

加州降雨量和逕流量變化幅度非常大，歷經豐水年後通常為乾旱年，再接著幾年的「正常」年。平均每年約 50%至 60%的雨水和融雪蒸發、被植物吸收或流出加州，其餘逕流流入河流、湖泊、水庫或供應補充地下水。全加州平均用水約 80%由地表水提供；約 20%來自地下水（地下水儲存在土壤顆粒和岩石間的空隙中）。枯水年期間則仰賴更多地下水，尤其在加州某部分乾旱地區。

南加州地區屬於陽光普照的半乾燥沙漠氣候，年降雨量(約 200~350 mm)非常稀少，然而過去 100 年間人口成長約 58 倍，尤以洛杉磯郡為最(圖 1)，導致當地現有水源不足以供應居民日常生活所需，於是聯邦政府及加州州政府資助加州水計畫(State Water Project，SWP)，其範圍從北加州到南加州長度超過 600 英里，在南加州地區主要包括加州運河、洛杉磯運河及科羅拉多河運河等三條運河，為該地區重要支援水源(圖 2)。洛山磯郡目前 2/3 用水量來自北加州及科羅拉多河引進；剩餘 1/3 用水量來自當地地下水井。

南加州地區因近年來遭遇史上最嚴重的乾旱季節，降雨量逐年減少，以致科羅拉多河乾涸，造成科羅拉多河運河流量減少及水質惡化，同時又因北加州三角洲地區當地環保人士抗議而限制送水量等原因，南加州正面臨著空前的供水挑戰，影響供水穩定性。

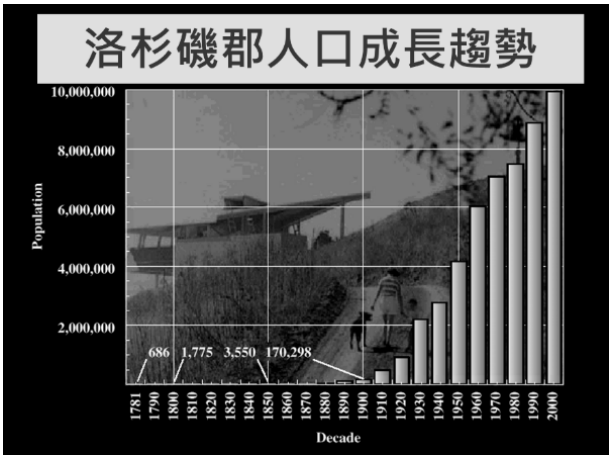


圖 1　洛杉磯郡人口成長趨勢圖(1781-2000)

圖 2　南加州地區水源供應來源示意圖

此外，美國共有七個州和墨西哥共同享有科羅拉多河水權，亦須面對人口增長問題，目前南加州人口數每年仍持續增加，預估至 2035 年，橘郡中、北部地區人口將增加超過 30 萬人。因此，用水量需求將逐年增加。而加州地區人均每日用水量高達 600 公升，其中 50%以上作為戶外草皮澆灌使用，所以除了積極推廣各項節約用水措施(如減少沖馬桶次數、減少淋浴用水量、改用人工

草皮等)，不可否認地，當地需要可靠且持續性的水源以維持地區經濟已成為非常重要的課題。廢水回收已成為重要水資源，有關地下水補充水量的權責單位係由南加州水補注署(Water Replenishment District of Southern California，WRD)、洛杉磯郡衛生署(Sanitation Districts of Los Angeles County，LACSD)及橘郡水務署(The Orange County Water District，OCWD)等機構負責，以管理和保護地下水資源。

二、再生水利用執行機關(構)

(一)橘郡水務署目前供應橘郡中、北部地區約 240 萬居民用水，其中包含每天供應約60萬居民足夠用水的地下水補給系統(Groundwater Replenishment System，GWRS)。

(二)地下水補充系統為世界上最大的高級淨水再利用系統，其程序為取用處理過的廢水，並經三階段先進製程，包括微過濾裝置(MF)、逆滲透薄膜(RO)與紫外線及過氧化氫消毒等。這種淨水過程所生產的高品質水，其品質超過所有州政府和國家飲用水標準。

(三)洛杉磯郡衛生署之聯合排污系統(Joint outfall system，JOS)是一個包含超過 1200 英哩污水幹管之獨特系統，由聯合水污染控制廠(Joint Water Pollution Control Plant，JWPCP)和七座連結之廢水回收處理廠所組成，可提供洛杉磯郡內廣達 73 個城市之區域廢水處理。聯合排污系統(JOS)擁有兩種類型的廢水處理廠，其中上游廢水回收處理廠收集水質較佳的廢水和生產經消毒過的三級再生水，而在下游部份，聯合水污染控制廠則處理高固體含量及高鹽份的工業廢水。不過，因為廢水回收和再利用成本昂貴，所以聯合水污染控制廠將完成二級處理後的廢水直接排入海洋，不再回收使用。這種創新有效的配置方式，不但可使區域範圍內生產及供應的再生水極大化，而利用廢水處理回收使用亦是南加州乾燥氣候下維持高生活品質之重要途徑。

(四)南加州水補注署目前是加州最大的地下水機構，並僅次於南加州大都會水務署(MWDSC)，為加州第二大的水務機構。為居住在洛杉磯郡南半部 420 平方英里內 43 座城市共四百萬人，約全郡一半人口(加州 10%以上的總人口)，負責管理和保護地下水資源。

根據加州政府的規劃及上述機關的執行，目前南加洲再生水的使用已經非常普遍，其中提供間接飲用的部分已達 58%，而其他部分則為直接非飲用之用途(圖 3)。

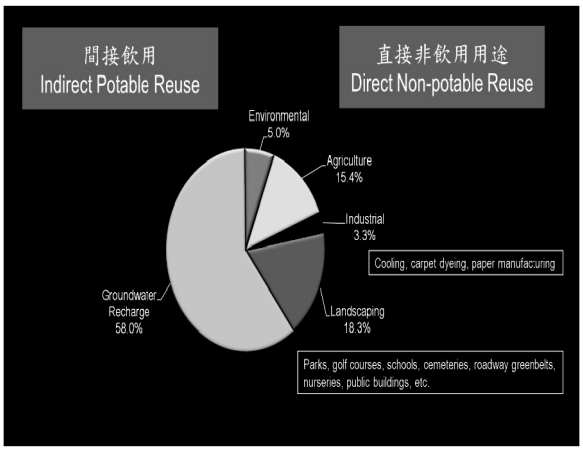


圖 3　南加洲再生水利用之比例

三、再生水利用應用實例

(一)作為自來水之使用

橘郡衛生署(OCSD)將二級處理過廢水送往橘郡水務署的微過濾裝置(MF)，微過濾裝置(MF)採用聚丙烯製的中空纖維束製成，在真空狀況下，水通過纖維的微孔洞(直徑約為 0.2 微米)以濾除水中懸浮固體物、原生動物、細菌和一些病毒等水中顆粒物質。

微過濾裝置(MF)最佳進流水濁度介於 3 至 5 NTU 之間，最佳進流水壓力保持在每平方英寸 3 至 12 磅(PSI)範圍內，為避免進流水壓力過高，微過濾裝置(MF)每 22 分鐘反沖洗 1 次；每 21 天完整化學清洗一次。藉由上述操作程序可降低過濾壓力並有效減少能源成本，使微過濾裝置(MF)濾膜增加處理水量，此外，透過持續研究薄膜技術，可以進一步減少能源需求和降低單位生產成本。

在微過濾裝置(MF)及逆滲透薄膜(RO)處理後，將出流水暴露於高強度紫外光與過氧化氫，用以消毒和分解殘留低濃度(ppt 等級)之低分子量有機化合物。這個過程可以確保有效地分解或去除生物及有機化學物質(如圖 4)。

為確保出流水不會造成水管腐蝕，必須再檢驗確認水中 pH 值維持於 6 到 9 之間。主要是因為在逆滲透薄膜過濾(RO)程序之前添加硫酸，以提高逆滲透薄膜的效率表現，但是也導致累積過量二氧化碳而使水中 pH 值降低，另外逆滲透薄膜過濾(RO)程序所去除的礦物質離子也會減少水中鹼度，故此時可利用空氣去除過量二氧化碳以穩定逆滲透程序後的出流水與提高水中 pH 值。最後，於混合箱中混合氫氧化鈣與水，再額外添加陽離子聚合物加速未溶解的氫氧化鈣顆粒沉降去除，隨後將這種混合溶液加入到出流水中，以提高水的穩定性和增加緩衝性，使水中 pH 值在配水系統中維持固定區間範圍，將處理過之再生水利用泵浦送至蓄水塘，再透過自然入滲補注地下水水源，作為自來水間接飲用之地下水源(圖 5)。

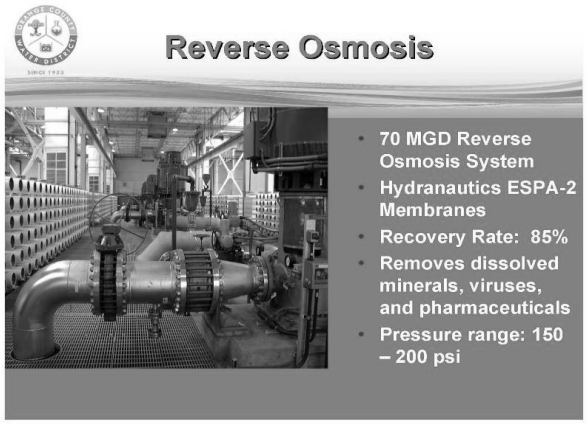


圖 4　橘郡再生水高級處理設備

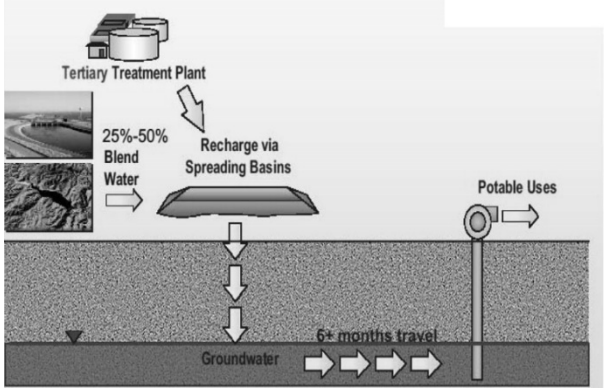


圖 5　污水處理廠再生水間接飲用水示意圖

(二)作為地下水之補充

地下水補充系統補注地下水的主要方式包含將水源供應至水橘郡水務署在 Anaheim 當地的蓄水塘，以確保地下水層保持健康水位。其水源包括地下水補充系統之再生水、加州水計畫(SWP)與科羅拉多河之外來水源以及 Santa Ana 河水。地下水補充系統所淨化處理之再生水作為 Kraemer、Miller 和 Miraloma 等三處蓄水塘之補注地下水主要水源。Kraemer 蓄水塘面積為 31 畝(大約 12 公頃)，年均補注水量為 35000 畝-英呎(AFY)(大約每年 11000 百萬加侖或每年 4300 萬立方公尺)。Miller 蓄水塘面積為 25 畝(大約 10 公頃)，年均補注水量為 19000 畝-英呎(AFY)(大約每年 6000 百萬加侖或每年 2340 萬立方公尺)。橘郡水務署最新的 Miraloma 蓄水塘面積為 13.2 畝(大約 5 公頃)，估計每年補注水量為 10000 英畝-呎(AFY)(大約每年 3250 百萬加侖或每年 1200 萬立方公尺)。因為 Santa Ana 河水含有無機淤泥和黏土的懸浮固體物，導致堵塞河床底部，故所統計地下水補充系統再生水和其他較乾淨水源(加州水計畫與科羅拉多河)的入滲速率，大約是 Santa Ana 河水入滲速率的兩倍。

地下水補充系統的再生水藉由 13 英里(約 20 公里)長、直徑五英呎(約 1.5 公尺)寬的管線，每天能夠輸送超過 80 百萬加侖(302000 立方公尺)的再生水經 Fountain Valley、Santa Ana、Orange 和 Anaheim 等城市輸送到 Kraemer、Miller 和 Miraloma 等三處蓄水塘。

南加州水補注署負責補注、管理和保護加州中西海岸兩座地下水蓄水塘。在這個區域內，年度用水需求量為 635000 畝-英呎(AF)，這兩座蓄水塘供應該地區約 250,000 畝-英呎(AF)地下水水量，佔總需水量 40%，剩下 60%的需求主要是從環境敏感的三角洲地區和科羅拉多河的外來水源供應。

為保護中西海岸地下水蓄水塘的地下水資源，居民於 1959 年經由投票成立南加州水補注署。然而，已經證實在極度乾旱條件下，引進外來水源不僅是一種成本昂貴的作法，而且容易受影響中斷。

在 1959 年南加州水補注署成立前，無管制的過度超抽地下水造成許多水井乾涸，1950 至 1960 短短十年間，地下水位便迅速下降至海平面 90 英呎以下，且因地下水水位下降低於海平面，致使鹹海水滲入並污染淡水含水層。

如今，南加州水補注署藉由人工補注地下水蓄水塘，確保地下水層保持健康水位，南加州水補注署透過將水注入沿海岸水井，以防止海水污染乾淨的地下水層，並定期監測地下水，以確保水質符合所有健康標準。

(三)作為庭院草皮澆灌使用

廢水處理廠產生的高品質再生水皆符合飲用水標準，其用途包括工業、商業和娛

樂業使用，亦可作為農業、園林、公園和高爾夫球場灌溉使用，甚至補充地下水水源。目前，洛杉磯郡衛生署為美國最大廢水回收單位。

洛杉磯郡 Lakewood 市使用上述經處理後的的回收廢水作為一般草皮澆灌使用，為了區分澆灌用水，加州政府以紫色識別方式來區分直接與非飲用之再生水(圖 6)，如此，可以將原用來庭園澆灌的自來水使用量降低。

圖 6　直接非飲用之再生水出水口(以紫色標記)

(四)作為環境保護避免海水入侵及地下水位回升

目前，有三分之二的加州人口居住在南加州地區，然而該地區降雨量卻不到加州整體降雨量日三分之一，所以南加州各郡大多依賴外來水源供應，以滿足用水需求。然而橘郡卻不需依靠外來水源供應，因為其水源主要是來自於該郡中北地區之地下水層。地下水層範圍由太平洋到延伸至 Yorba Linda，貯水量超過 4000 萬畝-英呎(AF)(約 490 億立方公尺)，目前每年抽水量約 30 萬畝-英呎(AF)(約 3 億 7 千萬立方公尺)，最大約可達 70 萬畝-英呎(AF)(8 億 6 千萬立方公尺)。

有關海水透過淺層地下水入侵的知識可以追溯到半世紀前，在 Hunting Beach 海岸下含有一淺層地下水，其地質特徵屬於 Talbert Gap。在這裡砂礫沖積物跨越屏障，創造出有利於海水入侵的條件。當水從井抽出後，海水便會透過 Talbert Gap 入滲到深地下水層(Alpha Aquifer 與 Beta Aquifer)，最終達到飲用水井。圖 7 為加州沿海地區主要地下水水位下降趨勢圖，由此圖可看出，在及短的時間內，因地下水大量的超抽，水位下降的速度飛快，也因而造成地下岩盤海水的入侵(如圖 8)。

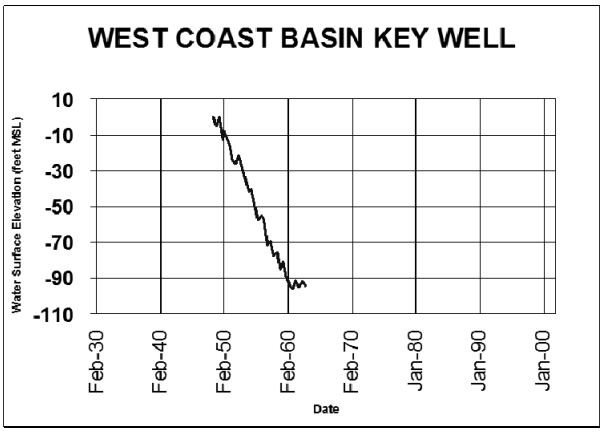


圖 7　加州沿海地區地下水水位下降趨勢圖

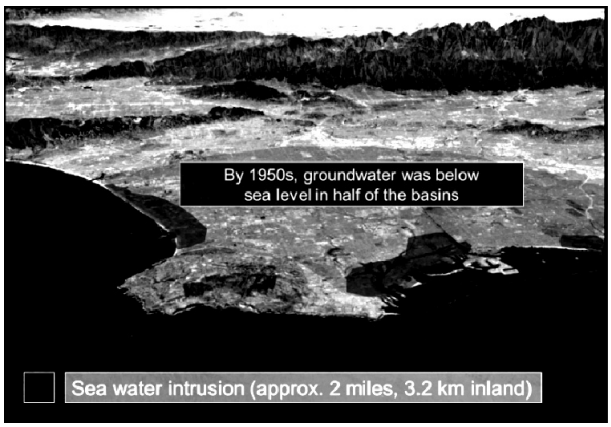


圖 8 加州沿海地區海水入侵示意圖

所以橘郡水務署於 1965 年開始一個試

驗計畫，研究如何阻止海水流入地下水層。根據南加州其他海水屏障的經驗，可以沿著 Talbert Gap 的注入井將水加壓注入。這將產生一個水壓障礙(hydraulic barrier)來推動入侵的海水返回大海。因為了解到前述保護屏障的重要性，因此供應 100%可靠的注入水量是必要的。在經過多年試驗，橘郡水務署興建 21 號淨水場(WF 21)用以提供安全且可靠的注入水供應。由幾十年的監測數據顯示，採用先進淨水處理程序所生產的超純水注入 Talbert Barrier 確實發揮有效性和安全性。綜合而言，地下水補給系統包含下列優點：

1.即使在乾旱時亦能可穩定供應高純度、接近蒸餾水品質的再生水。
2.提供更經濟有效且節能的策略，其所需能源僅為引入外來水源所需能源之二分之一或淡化海水所需能源的三分之一。
3.建立水壓屏障，以防止海水入侵至飲用水井。
4.補注地下水供應量，減少地下水超抽情形。
5.改善蓄水塘水質。
6.減少排入海洋的廢水量。
7.減少該地區對外來水源的需求。
8.單位生產成本僅為每畝-英呎(AF)850 美元，比外來水源的單位成本更低。

此外，橘郡水務署沿著海水屏障和蓄水塘周圍設置巨大網狀的監測井來密集監控地下水層，包含許多與地下水補充系統有關的監測井已設置在 Kraemer 和 Miller 蓄水塘周圍來監測水位和收集水質數據。除了確保水質安全，這些監測井亦可作為計算蓄水塘至抽水井之間的地下水流動時間。

橘郡水務署自 1933 年成立以來，便持續監控地下水層水位。過去地下水源補充的主要來源為 Santa Ana 河，Santa Ana 河從 San Bernardino 和 Riverside 郡等源頭向西流至橘郡，其上游水流每年在降雨和乾旱氣候之間循環。

在 1940 年代左右，整個水位情況發生變化，因為以天然補充方式再也無法滿足地下水抽取量。於是橘郡水務署研訂地下水補給計劃，透過主動監測及管理地下水層水位，以維護地下水層水位。為使地下水補充與使用間達到平衡，橘郡水務署開始由科羅拉多河與 Sacramento-San Joaquin River 三角洲地區引進水源使用，並可提供給橘郡中北部地區大約 30%居民使用。然而，依靠科羅拉多河與 Sacramento-San Joaquin River 三角洲地區水源補充地下水的作法卻面臨挑戰。首先，從遠方地區來源引入水源非常耗能，所以動力費成本昂貴。此外，三角洲地區亦是屬於環境敏感區域，亦是許多非常依靠水源維生的瀕危物種棲息地，常有許多當地環保人士抗爭。於是「地下水補充系統」已經成為橘郡重要可靠水源的一部份。

地下水補充系統將處理過的水注入海水屏障防止海水入侵。事實上，橘郡水務署 21 號淨水場(WF 21)自 1976 年起便率先使用逆滲透薄膜(RO)作為廢污水淨化處理程序，累積近幾十年的研究數據足已證明此高級淨水製程的可靠性與有效性，並於現今成為最有效的處理方式。

自 2008 年 1 月開始營運以來，地下水補充系統每天可以產生 70 百萬加侖(70 MGD 或約 265,000 CMD)高純淨水，至 2015 年止淨

水設備已擴充至每天 100 百萬加侖(100 MGD 或約 378,000 CMD)。藉由設備擴充及廢水海洋放流重新改道，地下水補充系統最大產水量將可達 130 百萬加侖(130 MGD 或約 492,000 CMD)。

每天大約 30 百萬加侖(30 MGD 或約 113000 CMD)處理過的水由泵浦加壓站沿 Huntington Beach 和 Fountain Valley 海水入侵軸面注入地下水井，以作為防止海水入侵的屏障，其餘處理過的水則由加壓站輸送至 Kraemer、Miller 和 Miraloma 的蓄水塘，以補充地下水水位。

經過長時間以高級淨水處理之再生水補注沿海屏障的經驗，橘郡水務署現已能夠採用 100%地下水補充系統再生水補注沿海屏障而不必混合其他外來水源。不過，仍然必須在蓄水塘與其他水源混合，其中地下水補充系統再生水佔 75%，而用於混合的水源主要為 Santa Ana 河水，地下水補充系統補注地下水輸送示意圖(圖 9)。

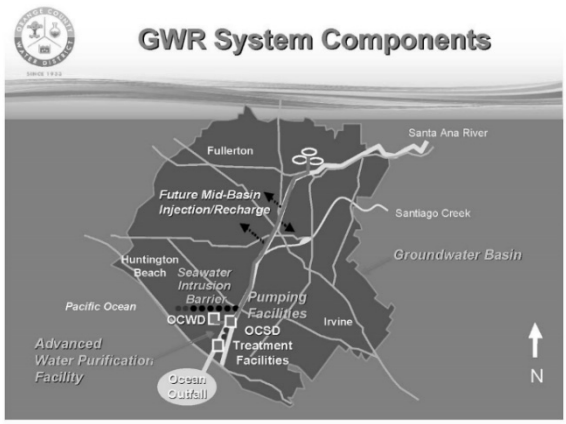


圖 9　地下水補充系統供水示意圖

結論

以加州近幾年遭遇乾旱缺水問題，除了推廣減少草坪灌溉、加裝省水設備等省水措施外，亦利用水價來抑制浪費。此外，將處理過之再生水補充地下水水源，可以有效維持地下水水位，類似地下水庫銀行的概念。而加州政府為缺水地區推動廢水回收處理再利用，回收水除了用於一般花園、草皮澆灌使用外，並可補注沿海地下水水井防止海水入侵，或補充地下水水源以減少對外來水源依賴，此作法亦可作為臺灣缺水地區之水資源再利用的參考。

誌謝

感謝加州洛杉磯郡 Lakewood 市水資源總監溫俊山博士、洛杉磯郡衛生署技術服務處廢水研究部門經理湯繼誠博士、橘郡水務署工程師壇樂博士提供本文內相關再生水資料及實場的解說及協助。

參考文獻

1. 南加州大都會水務署(MWDSC) http://www.mwdh2o.com/
2.City of Lakewood http://www.lakewoodcity.org/
3.洛杉磯郡衛生署(LACSD) http://www.lacsd.org/
4.橘郡水務署(OCWD) http://www.ocwd.com/
5.洛杉磯水電局(LADWP) http://www.ladwp.com/

作者簡介

游育晟 先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處 工程員

專長：自來水水質檢驗及分析、水質管理

陳文祥 先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處 組長

專長：自來水處理技術、水質管理

自來水工程使用土地爭議補償裁量準則修正探討

文/賴敏中

一、前言

自來水工程之施作，攸關全體國民利益，凡有人民居住之地方，均有自來水使用之需求。按自來水法第 61 條第 1 項規定:「自來水事業在其供水區域內，對於申請供水者，非有正當理由，不得拒絕。」，是以於現代法治國家中，供應合乎衛生、乾淨之自來水為政府照顧人民之義務，亦為人民生存基本權客觀面向之落實。

自來水供應涉及自來水管線之設計與埋設，為求自來水供應之便利性與通暢性，管線常須埋設於公、私有土地，雖屬涉公共利益之工程，然於施作過程，對於公、私有土地之使用、收益等相關土地利益造成影響時，按照「有損失斯有補償」之法理，在符合一定條件之情況下，國家應依法加以補償，以便利公共工程之進行與平衡受有損失之人民與機關，現行實務之補償方式，即按照自來水法第 53 條授權所訂定之「自來水工程使用土地爭議補償裁量準則」加以處理。

然對於土地利用造成不便之給付究竟係損害賠償或損失補償？其性質為租金或規費？損失之有無，應如何認定？損失之標準應如何計算？是否應區別私有土地與公有土地設計不同之補償方案？若不同行政機關對於其所有之土地有不同計算公式時，應以何機關為準？因自來水工程使用土地爭議補償裁量準則舊法第 6 條、第 7 條及第 8 條之規範，仍有不足及實務適用困難之處，相關爭議於自來水工程管線通過私人所有或公有土地時，再再引發討論，經水利署邀集有關單位多次會議協商討論後，於民國 105 年 12 月 22 日公布修正，以下即針對上述問題加以探討，並就修法差異做簡介。

二、自來水工程使用土地補償法理

為自來水工程使用私有或公有土地時，對於土地所有權人、使用人所造成之不便利，加以補償，其補償之法律性質究係為何？探求如后：

(一)憲法基礎：

國家為追求公共利益，故得於法治國原則、依法行政原則、法律保留原則底下，按照行政法規選擇諸行政行為態樣，進行各項行政措施。然於施行行政行為時，造成人民之損失，若該行政行為為違法行為，則國家即應按國家賠償法等相關規定賠償，殆無疑義。

但若國家之行政行為係合法行為，則該項行政行為所造成人民之損失應如何處理？早期之法律見解，有認國家於此時因公益大於私益，不需要負擔任何法律責任，然我國大法官會議解釋釋字第 652 號解釋文略以：「我國憲法第十五條規定，人民之財產權應予保障，故國家因公用或其他公益目的之必要，雖得依法徵收人民之財產，但應給予合理之補償，且應儘速發給。…」，是以國家徵收人民財產，應發給合理補償且儘速辦理。

而國家對於其他未徵收土地如既成道

路之侵害，因仍影響人民對於土地之占有、使用、收益、利用之情形，基於財產權保障原則，國家仍需對於人民所造成之不便利進行補償。

對於此點，我國大法官會議解釋釋字第 440 號解釋文略以：「人民之財產權應予保障，憲法第十五條設有明文。國家機關依法行使公權力致人民之財產遭受損失，若逾其社會責任所應忍受之範圍，形成個人之特別犧牲者，國家應予合理補償。主管機關對於既成道路或都市計畫道路用地，在依法徵收或價購以前埋設地下設施物妨礙土地權利人對其權利之行使，致生損失，形成其個人特別之犧牲，自應享有受相當補償之權利。…」，是以國家對於人民之土地依法徵收前，埋設地下自來水管線，人民財產權因國家合法之行政行為所造成之損失，主管機關即應按照「特別犧牲」之理論對人民加以補償。

(二)民法基礎：

民法相鄰關係為所有權社會化之體現，係對於所有權加以擴張或限制，按民法第 786 條第 1 項:「土地所有人非通過他人之土地，不能設置電線、水管、瓦斯管或其他管線，或雖能設置而需費過鉅者，得通過他人土地之上下而設置之。但應擇其損害最少之處所及方法為之，並應支付償金。」，為管線通行權規定，惟對於合法使用相鄰土地仍應支付償金，是為上開損失補償法律理論之落實。

我國民法學者通認為上開法條支付之償金，並非對價性質，而係屬於補償性質，為適法行為之損失補償，而非損害賠償。如此解釋與公法上之損失補償理論相符。此亦為自來水法第 52 條與第 53 條第 1 項規定：「自來水事業於其供水區內或直轄市、縣（市）政府於轄區內因自來水工程上之必要，得在公、私有土地下埋設水管或其他設備，工程完畢時，應恢復原狀，並應事先通知土地所有權人或使用人。」、「前條使用公、私有土地，應擇其損害最少之處所及方法為之，如有損害，應按損害之程度予以補償。」之法理基礎。

而於自來水法第 53 條第 1 項之法律用語，雖採用民事損害賠償之法律用語，惟自來水供應與管線設計，其目的在追求公共利益而非私人利益，亦非可得特定之範圍人數之反射利益；且法條用語係補償而非賠償，故就前後法條設計及立法意旨以觀，自來水法第 53 條第 1 項之「應按損害程度加以賠償」之意旨，應與前開民法規定為相同解釋。此與法務部以 105 年 5 月 5 日法律字第 10503505020 函所述自來水埋管補償償金非對價，屬「補償」性質為適法行為之損失補償之見解相符。

(三)相關函釋、判決：

依法務部 105 年 5 月 5 日法律字第 10503505020 號函說明三，自來水法與電業法之立法規範意旨相近，參考最高行政法院 93 年判字第 423 號判決意旨略以:電業法 53 條之無害通過權之特別規定，應與民法物權篇所有權相鄰關係類同，支付償金非對價性質，屬「補償性質」，為適法行為之損失補償。

依經濟部 91 年 2 月 20 日經能字第 09104604590 號函略以：「…故業於公有道路設置供電線路應屬『電業法』許可範圍。道路使用費係每年給付，屬於使用租金性質，

與『電業法』規定之立法意旨不符，電業使用道路補償之金額，應視實際損害之程度為之。」，明確認定電業使用道路應付補償費（補償性質），而非道路使用費（租金性質），以符電業法規範目的。

依財政部國有財產署所訂「電業、自來水事業依電業法、自來水事業法使用國有土地設置管線之處理方式」第 1 點：「基於電業、自來水事業係屬公用事業，對民生及產業影響至鉅，故其依電業法第五十一條、自來水法第五十二條使用本局管理之國有非公用土地，如不妨礙原有之使用，本局各地區辦事處應儘量配合辦理。」、第 3 點：「因必要使用本局管理之國有非公用土地設置管線時，應依電業法、自來水法有關規定事先敘明土地標示，併同補償標準通知本局地區辦事處，以利協議及執行。」，可知國產署亦規定電業、自來水事業管線埋設係依損害補償之方式，而非採使用費或租金之方式。

目前公路用地使用費收費係公路主管機關(包括公路總局、直轄市縣政府及鄉鎮公所)向使用人徵收，其目的係用於公路之修建、養護及管理，核應屬自來水法第 51 條：「自來水事業因工程上之必要，得洽商有關主管機關使用河川、溝渠、橋梁、涵洞、堤防、道路等，但以不妨礙其原有效用為限。」之範疇，與自來水法第 53 條對地主權益之損害補償性質不同。

綜上，自來水事業埋設管線，土地所有權人或使用人依自來水法第 53 條、裁量準則領取損失補償後，依自來水法第 53 條第 3 項，土地所有權人或使用人不得拒絕自來水事業使用；而公有非公用土地管理機關亦不得另收取使用費或租金。

三、舊法與新法規定差異

本次修法刪除自來水工程使用土地爭議裁量準則第 6 條、第 8 條，並修正第 7 條，內容為刪除他機關規定優先適用、刪除公、私有土地補償區別及降低補償費計算為公告現值百分之 5，詳述如后：

(一)有關刪除第 6 條土地主管或管理機關訂有補償或出租收益優先適用規定

於舊法時代，自來水工程使用公有土地者規範於自來水工程使用土地爭議補償裁量準則第 6 條規範內容為：「使用土地屬公有土地，且該土地主管或管理機關訂有補償或出租收益等相關規定者，優先依其規定辦理。未訂有相關規定者，適用本準則。」，此規定認為公有土地若歸屬於其他主管機關，且該主管機關訂有土地補償或出租收益之相關規定時，基於行政機關無相互隸屬關係者，尊重其他機關之理由，優先適用其他機關之相關規定。此種規範方式有助於行政機關間之相互尊重與協調，避免行政衝突之優點。

惟衍生出另一問題，若他行政機關所計算出土地使用之補償費，顯然高於自來水工程所計算之土地補償費時，造成埋管成本大增，且與私有土地補償費相較顯失公平、平等時，是否仍需優先適用他行政機關之規定？蓋我國目前對於土地使用之補償金，財政部或其他部會尚無統一之公式加以計算。且不同行政機關間對於機關所有之土地使用，亦有不同見解，故於土地使用補償金額相差不大時，適用舊法第 6 條規定並無爭議，惟於自來水公司計算之補償金與其他行政機關間有大幅落差時，即會因此而產生爭議。

舊法條文中所述「各機關訂有補償規定」，解釋上可能包含行政規則，而行政規則之訂定由各機關自行擬定頒行，恐造成機關以內部行政規則，率爾向自來水事業要求補償費用，類此高額補償費之爭議。

尤其他機關對於其所轄土地使用補償訂有特定行政規則或法規命令，或土地位於精華地區時，不同行政機關之間對於土地補償之金額計算有所不同，價差過大，更易引發彼此間之對立，及衍生出實務執行上造成公、私有土地補償費差異與公平性的問題，如公有土地補償金額大於私有土地情形。

如埋管於台鐵土地，鐵路局主張按舊法第 6 條規定應優先適用該局自行所訂「交通部台灣鐵路管理局經管公用不動產出租及利用作業要點」，該要點性質屬行政規則，而「自來水工程使用土地爭議補償裁量準則」與「交通部台灣鐵路管理局經管公用不動產出租及利用作業要點」二者補償費價差高達約 3.6 倍，致台水公司須支付龐大金額始能埋管之不合理現象，對民眾用水權益亦有不利影響。

另觀之同屬公共建設之大眾捷運法、下水道法等，皆於其子法(例如：大眾捷運系統工程使用土地上空或地下處理及審核辦法、各縣市政府使用土地支付償金或補償費基準)中直接明定補償計算基準，而未再授權其他機關依其個別規定為補償。

再者，因自來水工程使用公有土地皆為地下空間，與一般租用性質不同，且自來水工程係基於公益目的而設置，故新法為避免爭議，將舊法第 6 條後段優先適用規定刪除。

於修法過程，相關單位曾建議於舊法中新增第 7 條第 2 項農田水利法規優先適用規定，惟按「農田水利會費用徵收辦法」第 7 條第 1 項規定：「農田水利會對事業區域內管理之農田水利建造物，得受理申請架設橋涵、架設管線或纜線、建築通路跨越或埋設設施，並向申請人徵收建造物使用費。」，該建造物徵收使用費與「公路用地使用費徵收辦法」規定相似，為對土地使用，因該特定對象享有特定利益，收取之合理相對給付，屬「規費」或「租金」性質，而非容忍自來水埋設管線通過支付之損害金，無對價給付，屬「補償」性質，兩者性質不同，應無須增列。

按農田水利會費用徵收辦法之母法農田水利會組織通則第 28 條規定：「農田水利會得徵收建造物使用費、餘水使用費，列為事業收入」，而自來水工程使用土地爭議補償裁量準則之補償係基於公眾用水之公共利益所為之損失補償，建造物使用費與自來水工程使用土地爭議補償二者給付目的亦不同，綜上，「自來水工程使用土地補償裁量準則」亦應優先適用，而非農委會所提建議於「自來水工程使用土地補償裁量準則」修正條文第 7 條第 2 項增列第 2 項農田水利會相關費用徵收規定優先適用。

退一步言之，若認「農田水利會費用徵收辦法」同屬「補償」性質，因其係為依農田水利會組織通則第 29 條規定授權之法規命令，與「自來水工程使用土地爭議補償裁量準則」法律位階相同，而究何者優先適用之競合問題？按中央法規標準法第 16 條規定：「法規對其他法規所規定之同一事項而為特別之規定者，應優先適用之。其他法規修正後，仍應優先適用。」。

按法務部法律字第 10200042350 號函說

明 2 略以：「…其認定標準，如同一事件規定之性質為一般性者，為普通法，性質較為特殊者，為特別法；就同一事件規定之事項，較為粗疏簡陋者為普通法，規定較為詳細者，為特別法；就同一事件之規定，範圍廣泛而性質較單純為普通法，規定較狹小而複雜詳細者為特別法…」，是以自來水工程使用土地，其補償裁量準則規定係針對自來水工程，其規定適用範圍較小且複雜詳細，故與「農田水利會費用徵收辦法」相較，「農田水利會費用徵收辦法」為普通法，「自來水工程使用土地補償裁量準則」為特別法，「自來水工程使用土地補償裁量準則」應優先適用。

且如土地屬農田水利會所有者而有補償例外之情形，不僅已違反前揭修法之精神，其他機關亦有不同之徵收補償標準時，是否亦須再參考修正？

另農田水利會雖屬公法人，按改制前經濟部水利處 89 年 7 月 31 日經(89)水利河字第 A895026916 號函說明 2：「農田水利會雖為公法人，其財產屬水利會所有，非屬土地法第四條所稱公有土地…」，是以土地所有權人登記為農田水利會者，非屬土地法第 4 條規定所稱之公有土地，故農田水利會土地非屬公有土地，本即不適用自來水工程使用土地爭議補償裁量準則舊法第 6 條：「使用土地屬公有土地，且該土地主管或管理機關訂有補償或出租收益等相關規定者，優先依其規定辦理。」之規定，其應適用舊法第 8 條土地補償費準用水利事業穿越私有土地之上空或地下地上權徵收補償辦法第 3 條規定，故為維持法安定性原則，應採一致相同之補償規定，不應就農田水利會法規新增個別優先適用規定。

(二)有關刪除第 6、8 條區別公、私有土地，採同一補償標準規定

舊法係參照下水道法相關規定訂定，下水道及自來水同為國家基礎建設，攸關民生衛生、用水及產業發展之公共利益，其廣為施設可達政府照顧民眾福祉之目的。

按下水道法第 14 條略以：「下水道機構因工程上之必要，得在公、私有土地下埋設管渠或其他設備，其土地所有人、占有人或使用人不得拒絕。但應擇其損害最少之處所及方法為之，並應支付償金。」、同法施行細則第 10 條：「本法第十四條、第十六條規定支付之償金或補償，其標準由直轄市、縣(市)主管機關訂定之。」及高雄市下水道工程使用土地支付償金及補償費標準第 3 條：「公共下水道因建設之必要，須在公、私有土地埋設管渠或其他設備者，應一次支付償金。其償金以埋設物投影面積一點五倍乘以使用當年度公告土地現值百分之五核算之。」規定埋設下水道償金計算，無區分公、私有土地不同，均為以埋設物投影面積一點五倍乘以使用當年度公告土地現值百分之五，故無針對公、私有土地有不同補償規定。

按自來水法第 52 條：「自來水事業於其供水區內或直轄市、縣（市）政府於轄區內因自來水工程上之必要，得在公、私有土地下埋設水管或其他設備，工程完畢時，應恢復原狀，並應事先通知土地所有權人或使用人。」及同法第 53 條第 1 項：「前條使用公、私有土地，應擇其損害最少之處所及方法為之，如有損害，應按損害之程度予以補償。」，埋設自來水管補償同下水道法第 14 條亦無區分公、私有土地，均為按損害之程度予以補償。

且自來水工程使用土地爭議補償裁量

準則第 6 條，依其母法(自來水法第 52 條及第 53 條)之規定而來，按母法規定補償之原則亦未區分公、私有土地而有不同。

因此，自來水管補償應比照下水道法規定，不區分公私有土地而一體適用相同之補償標準，新法即刪除第 6、8 條公、私有地規定，採同一補償標準。

(三)有關修正第 7 條補償費計算由當年期土地公告現值百分之 10 降為百分之 5 規定

自來水工程使用土地時，按舊法第 7 條規定：「使用土地屬既成道路之私有土地或公共設施保留地時第五條第一款之土地補償費以埋設物投影面積之一點五倍按施工開始當年期土地公告現值百分之十計算，一次發給土地所有權人。」。

如按新北市下水道工程使用土地補償標準第 2 條第 2 項規定：「前項償金依埋設物投影面積之一點五倍，按施工當年期公告土地現值百分之五計算之；埋設物投影寬度之一點五倍未達一公尺者，以一公尺計算。」，其他各縣市政府所定之補償基準亦同。

舊法第 7 條第 1 項補償費計算基準之規定，與下水道工程使用土地補償標準相似，惟舊法卻提高以公告土地現值百分之 10 計算。考量自來水工程所埋設管線之管徑多非屬大管徑，而下水道多為大管道，按損害程度而言，施設下水道所造成的損害程度應遠大於自來水管線，惟自來水埋管補償費計算卻為下水道 2 倍，2 者有失公允。

是以新法修訂土地補償方式比照下水道使用償金，由當年期土地公告現值百分之 10 降為百分之 5 計算，使自來水管線使用與下水道使用之補償費率計算具一致性。

修訂後亦可減少埋管成本，避免對自來水事業之財務造成負擔，致自來水事業可廣為鋪設、汰換管線，使人民享有潔淨自來水，達成國家照顧人民之福祉。

四、結語

自來水事業屬於公用事業，為尋求穩定供水，台水公司平均每年約投資 120 億元辦理專案計畫投資，積極投入經費辦理各項重大自來水工程，目的就是為了能提供更穩定的供水。

自來水管線是為解決民生衛生系統設備，為自來水工程之重點，管線之埋設攸關民生用水之公共利益及國家產業發展之公共利益，故於自來水法第 52、53 條賦予自來水事業管線埋設權，不論行政機關或私人之土地所有權行使即受此限制，當因此限制所受實際損害時，自來水事業就其損害予以補償，此為自來水法之特別規定，其他公用事業法或公共設施(例如電業法、大眾捷運法、下水道法等)亦有類此之規定。

對於自來水埋管之損害補償，依自來水事業之特性於自來水之子法裁量準則中應即予以明定補償方式，不再授權其他機關依其個別規定為補償。

且考量使用土地所造成之不便利，以土地所有權歸屬於私人或行政機關所有，分別不同之補償方式，有違反平等原則之虞，及埋設自來水管線所受損害應小於下水道，應刪除公、私有土地補償區別，並降低補償費計算為公告現值百分之 5 規定。

上揭修訂之事項，本次修法於修法過程均有邀集相關單位跨部會研議，新法參酌自來水法第 52 條、第 53 條及下水道法相關規定、損失補償之法律理論與相關單位意見，刪除自來水工程使用土地爭議裁量準則第 6

條、第 8 條，刪除他機關規定優先適用、刪除公、私有土地補償區別，並修正第 7 條降低補償費計算為公告現值百分之 5，此係就舊法之規定與現況不符或窒礙難行部分修正，解決爭議，以符合自來水法規定之意旨。

參考文獻

1.經濟部105年12月22日經水字第10504606393號令。

2.王服清著，論財產權特別犧牲損失補償原則在行政救濟之實踐問題－無法律，無補償？，興大法學期刊第14期，頁81。

3.謝在全著，民法物權論上冊，103年9月修定6版，頁206。

4.王澤鑑著，民法物權(一)2002年9月，頁219。

5.台水六年(107~112)經營計畫（董事會議審議通過版），台灣自來水公司，2015年12月。

作者簡介

賴敏中小姐

現職：台灣自來水股份有限公司企劃處管理師

專長：法制、法務

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

中華民國 105 年 8 月 26 日第十八屆第八次理監事聯席會議審議通過

一、目的

為鼓勵本會會員踴躍發表自來水學術研究及應用論文，以提升本會會刊研究水準，特設置本項獎勵辦法。

二、獎勵對象

就本會出版之一年四期「自來水」會刊論文中分「工程技術」、「營運管理」、「水質及其他」等類別，分別評定給獎論文，每類別以 2 篇為原則，每篇頒發獎狀及獎金各一份，獎狀得視作者人數增頒之。

三、獎勵金額

論文獎每篇頒發獎金新臺幣壹萬元整，金額得視本會財務狀況予調整之。

上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

四、評獎辦法

(一)凡自上年度第二期以後至該年度第二期在本會「自來水」會刊登載之「每期專題」、「專門論著」、「實務研究」及「一般論述」論文，由編譯出版委員會於每年六月底前，每類別推薦 3-4 篇候選論文，再將該候選論文送請專家學者審查 (peer-review)，每篇論文審查人以兩人為原則。

(二)本會編譯出版委員會主任委員於每年七月底前召集專家學者 5 ~ 7 人組成評獎委員會，就專家審查意見進行複評：

1.評獎委員以無記名投票，每類別論文勾選至多 2 篇推薦文章，每篇以 1 分計算，取累計分數較高之論文，至多 2 篇，為該類給獎論文。

2.同一類別如有多篇文章同分無法選取時，以同分中專家審查總分數高低排序，分數再相同，則由評獎委員以無記名投票方式決定。

（三）選出給獎論文，報經本會理監事會議通過後公佈。

五、頒獎日期

於每年自來水節慶祝大會時頒發。

六、本辦法經由本會理監事會審議通過後實施，修訂時亦同。

「你知道嗎？」

水務再公有化已成全球趨勢
Water Remunicipalisation As A Global Trend

本刊編輯小組編譯

Cities, regions and countries worldwide are increasingly choosing to close the book on water privatisation and to "remunicipalise" services by taking back public control over water and sanitation management.

全球有越來越多的城市、地區和國家，正逐漸選擇結束水務私有化的政策，經由"再公有化"城市服務的方式，由政府重掌水務和環境衛生管理權。

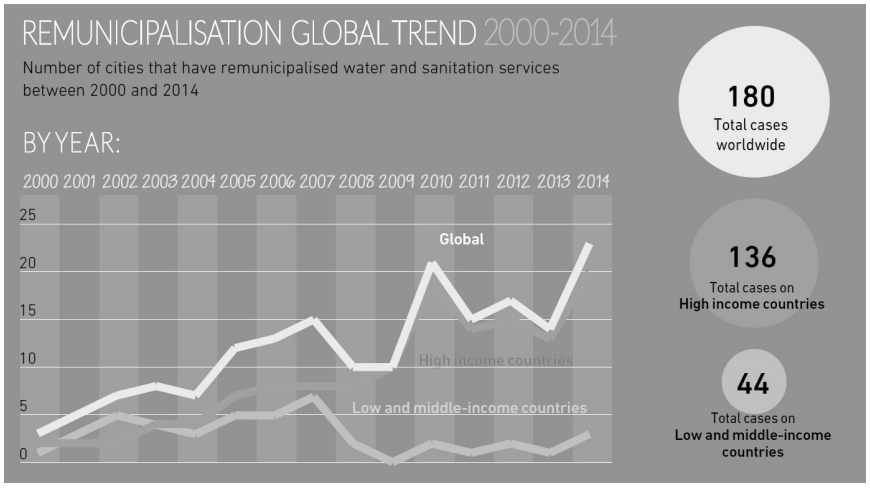
2014 年

有 180 案例

2003 年

有 3 案例

2000-2014 水務再公有化的全球趨勢



2000 年至 2014 年水務再公有化的城市數量

全球共 180 案例

在高收入國家有 136 案例

在低收入國家有 44 案例

Despite more than three decades of relentless promotion of privatisation and public-private partnerships (PPPs) by international financial institutions and national governments, it now appears that water remunicipalisation is a policy option that is here to stay.

儘管國際金融機構和各個政府在過去三十多年努力不懈地宣傳、推動私有化和公私合營（PPPs），但現在看來，水務再公有化已是一既成事實的政策趨勢。

資料來源：https://www.tni.org/en/publication/here-to-stay-water-remunicipalisation-as-a-global-trend