自來水會刊第 34 卷第 2 期目錄

特　　載

π型企業－談台水永續經營之道……阮剛猛、莊東明、陳佩君……1

實務研究

探討大臺北地區水資源永續發展與利用……張琰竑……14

本期專題　水質安全及處理

吉貝淨水場溴酸鹽改善實場驗證……陳文祥、游育晟、吳美灶……27
路竹阿公店水庫水質分析及對策研擬……陳威豪……38
利用等高圖分析掌握供水管網水質變化探討……薛志宏、陳富鈴、張美惠、劉玉絹……48
水中溴酸鹽生成機制與移除技術之探討研究……
……游育晟、林康、洪世政、許國恩、王郁萱、朱敬平、鍾裕仁……58

一般論述

2014國際水價現況解析……周國鼎……68
延性鑄鐵管耐震分析與性能基準值之探討……劉季宇……81
自來水事業代為管理高地社區之初討－以臺北自來水事業處為例……陳建宏……94

工作現場

以導電度檢測計查緝竊水實例……李建興、蘇隆盛、胡偉德、王耀輝、廖麗芬……98

國際視窗

「你知道嗎？」－聰明都市供水管理方法……本刊編輯小組……101

協會與你

歡迎投稿 104年「每期專題」……93
中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法……97

封面照片：水質安全多重屏障概念

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。機關出版名：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。

六、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。

七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 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：台中市北區自強街 50 號
電　　話：(04)23607717

π型企業－談台水永續經營之道

文/阮剛猛、莊東明、陳佩君

摘要

國內食安、工安、環保及就業等問題，還有全球暖化、氣候變遷等大環境因素，引發國人對公司治理、企業社會責任及企業永續經營之熱烈討論與期待。本研究目的，乃透過文獻蒐集與分析、專家訪談及個案研究的方法，以瞭解台水戮力永續經營之現況。經研究獲致以下結論：1.台水之風險管理、競爭力、創新、公司治理、企業社會責任、水資源管理及遵循國際規範，與其企業永續經營績效有關。2.台水永續經營尚須嚴加注意營運產品之智財權、客戶教育、財務及法律等 4 項面向。3.台水應發展思考型組織、善用董事會成員專長並將風險納入經營主要會議中討論與塑造永續發展文化，有利企業永續經營。進而按近、中、長期計畫目標，逐步落實各項策略，奠定台水永續經營利基。

一、緒論

(一)研究背景與動機

國內食安、工安、環保及就業等問題，還有全球暖化、氣候變遷等大環境因素，引發國人對公司治理、企業社會責任及企業永續經營之熱烈討論與期待。而一般企業經營皆可參照上市上櫃公司治理實務守則及上市上櫃公司企業社會責任實務守則，加以健全公司治理及落實企業社會責任。惟企業永續經營部分，並未有一套實務守則可參照或遵循，此引發我們對此議題之好奇並想進一步探討。

去（103）年年底經濟部前杜部長表示，南部地區年底即將進入缺水期，未來一年面臨乾旱，可能是近 10 年最嚴重。惟經營自來水之台灣自來水股份有限公司（以下簡稱台水），全台最大公營供水企業，即將面臨經營之挑戰，亟須探究。另國營事業經營當為國內各企業之表率，以落實有關各項公共供水，協助提高國民生活水準，促進國家經濟與競爭力之提升。因此，台水是否僅追求企業獲利？或應有發展永續經營之具體作為，值得深究。

(二)研究目的

根據前述研究動機，本研究擬瞭解台水企業永續經營施行沿革、台水戮力企業永續經營概況及探討台水落實永續經營成效評估，與藉由企業永續經營文獻查證、專家訪談及個案研究找出精進作為。因此，本研究目的羅列如下：

1.瞭解台水永續經營施行沿革。
2.瞭解台水戮力永續經營概況。
3.探討台水永續經營成效評估。
4.藉由企業永續經營文獻查證、專家訪談及個案研究找出精進作為。

(三)研究方法

為達成本研究目的，藉由以下 3 種方法進行探討：

1.文獻資料蒐集與分析（蒐集次級資料分析）：藉由金融監督管理委員會（以下簡稱金管會）、行政院國家永續發展委員會、國

家發展委員會、台水，以及碩博士論文網站與專家研究等相關文獻，彙整並加以分析，以瞭解企業永續經營之意涵與作為(如圖 1)。

圖 1　永續發展概念圖（資料來源：永續發展電子報）

2.專家訪談：依據文獻蒐集獲得初步企業永續經營大綱，進而透過訪談 2 位實務經驗豐富之學者專家，以瞭解企業永續經營現況。受訪者簡介摘述（如表 1）。

表 1　受訪者簡介

受訪者	職位	服務年資	訪談時間
甲君	1.執行委員 2.獨立職能監察人	1.具董事、監察人 20 餘年(1991~迄今)經驗，擔任外部董事、監察人、獨立董事、獨立職能監察人、董事兼總經理等職務。 2.高階經理人經歷：擔任副總經理以上高階經理人 20 餘年(1988~2012)之經營管理經驗。	3 小時 30 分
乙君	1.董事 2.經濟部技監	水利專業年資約 37 年；其中主管年資約 20 年，監察人約 1 年 5 個月，學者專家董事 1 年 6 個月。	1 小時 20 分

3.個案研究法：觀察成立已逾 41 年的台水，藉由重要營運統計速報、統計手冊第 33 期、台水四十週年專輯等資料，加以分析探討其對永續經營之扎根工作。

(四)研究流程

按照前述之研究目的，本研究進行的步驟說明如下：首先確定研究主題，進而蒐集相關永續經營等文獻資料，接著進行文獻探討、專家訪談及個案分析，最後提出結論、建議與心得。

二、文獻探討

(一)企業永續經營相關理論

近年歷經全球化、全球暖化、氣候變遷等因素，著實影響企業能否永續經營之重要關鍵。本研究摘自國際、政府部門、實務界與學者專家對企業永續經營之詮釋（如表 2）。

(二)企業永續經營相關法規或政策

諸多與永續發展或永續經營之法律，國內並未發展健全，例如：「永續發展基本法」。僅就目前相關法規，如參酌金管會（證期局）發布之公司治理、企業社會責任相關法規與公司治理中心之公司治理評鑑指標外，以及依據國營事業管理法第三條規範國營事業定義、自來水法第八條規範公營之自來水事業經營方式、飲用水管理條例第十一條規範飲用水水質標準，還有經濟部規範及台水訂有「台灣自來水股份有限公司企業社會責任實務守則」等有關企業永續發展相關法規/政策運作（如表 3）。

表 2　企業永續經營的定義與意涵

學者專家/專業機構（年度）	定義與意涵
聯合國世界環境與發展委員會(WCED)（西元 1987 年）	永續發展定義為：「能滿足當代需求，同時不損及後代子孫滿足其本身需求的發展」。
世界企業永續發展協會(WBCSD)（西元 2000 年）	由邀集六十個企業界及非企業界意見團體(opinionformers)，在一次國際會議中所提出之看法：企業社會責任是企業承諾持續遵守道德規範，為經濟發展做出貢獻，並且改善員工及其家庭、當地整體社區、社會的生活品質。
國際 GRI 組織新一代(第四版)之報告書 G4 綱領（西元 2013 年）	核心目標為促進全球各地發行永續報告的組織能將環境、社會和公司治理績效包含在報告書的揭露範圍內。幫助企業自發性的申報其對經濟、環境及社會面所帶來的衝擊及貢獻。並提供一個全球適用的架構以支持標準化的揭露方式[1]。
台灣證券交易所公司治理中心（西元 2012 年）	企業社會責任(Corporate Social Responsibility，CSR)泛指企業在創造利潤、對股東利益負責的同時，還要承擔對所有利害關係人的責任，以達成經濟繁榮、社會公益及環保永續之理念。
行政院國家永續發展委員會（西元 2015 年）	行政院國家永續發展委員會/國家永續發展委員會設置要點 (104 年 1 月 21 日修正)：一、行政院（以下簡稱本院）為加強保護環境生態、強化社會正義、促進經濟發展、維護國土資源、建設健康永續家園，追求國家永續發展，依據環境基本法第二十九條，設置國家永續發展委員會[2]。
國家發展委員會（西元 2015 年）	現行計畫-「104 年國家發展計畫」為「國家發展計畫(102 至 105 年)」之第 3 年實施計畫，政府將秉持「追求經濟繁榮、堅守社會正義，以及確保環境永續」原則，致力推動各項建設，為國家發展奠定有利基礎。

（資料來源：本研究整理）

表 3　企業永續經營相關法規/政策

發布單位	法規名稱
金管會（證期局）（民國 103 年修定）	上市上櫃公司治理實務守則。
	上市上櫃公司企業社會責任實務守則。
台水（民國 103 年）	台灣自來水股份有限公司公司治理實務守則。（修訂）
	台灣自來水股份有限公司企業社會責任實務守則。（新訂）
經濟部（民國 104 年）	經濟部所屬事業 104 年度工作考成實施要點(草案)。(目前送院審議中)

（資料來源：本研究整理）

綜合上述文獻分析，釐訂 8 項訪談題目如下：

1.風險管理與永續經營之相關性為何？

2.競爭力與永續經營之相關性為何？

3.創新與永續經營之相關性為何？

4.公司治理與永續經營之相關性為何？

5.企業社會責任與永續經營之相關性為何？

6.水資源管理與永續經營之相關性為何？

7.國際規範與永續經營之相關性為何？

8.請您以個人宏觀角度，敬請不吝指教並提示有關永續經營關鍵。

三、台水組織經營概況與企業永續經營探討

(一)台水經營概況分析

謹遵蔣故總統經國先生在行政院長任內，重要措施中指示：「為有效發展各地之公共給水，應即成立全省性之自來水公司，統一經營，同時加速實施全省自來水長期發展計畫，以期集中有限人力與財力，提高投資效益，減低營運費用。」，臺灣省政府乃遵於六十二年四月一日成立臺灣省自來水

公司籌備處，隨後於民國 63 年 1 月 1 日成立臺灣省自來水股份有限公司。台水成立後重要變革（如下表 4）。

表 4　台水成立重要變革

公司名稱	隸屬上級主管機關別	期間（民國）
臺灣省自來水股份有限公司	臺灣省政府	63~88 年 7 月
臺灣省自來水股份有限公司→更名「台灣自來水股份有限公司」	經濟部	88 年 7 月~迄今
台灣自來水股份有限公司	環境資源部	未來規劃

（資料來源：台水四十週年專輯及本研究整理）

歷經 41 年風華，近 5 年台水之重要經營概況，舉凡總收入、總支出、售水量、漏水率、每員工服務用戶數等，皆有顯著效益。譬如，積極降低漏水率從 99 年 20.51%，截至 104 年 4 月底為 17.05%，降低 3.46%，已展現成效。未來朝運用智慧科技，以即時監測漏水系統，期符合國際標竿城市之水準。其餘總收入等項目皆有明顯成長（如表 5）。

表 5　台水經營概況分析

年度別（民國）	總收入（百萬元）	總支出（百萬元）	售水量（百萬立方公尺）	漏水率（%）	每員工服務用戶數(戶)
99	26,472	26,605	2,210	20.51	1,160
100	26,819	27,147	2,231	20.19	1,163
101	27,109	27,508	2,254	19.55	1,171
102	28,140	28,069	2,296	18.53	1,193
103	28,772	28,726	2,361	18.04	1,205
備註： 1.103 年度為自編決算數。 2.截至 104 年 4 月底之漏水率成效為 17.05%。					

（資料來源：台水統計手冊第 33 期及本研究整理）

(二)台水發展企業永續經營之分析

台水為永續經營，近 5 年持續或發展之功能性會議，如：廉政會報、獨立董事暨監察人與董事會檢核室、經理部門互動會議（以下簡稱互動會議）、公司治理委員會議、企業社會責任推動會議、俾從各項會議中有效控管，以達企業永續經營目的（如表 6）。

四、台水企業永續經營運作機制成效分析

(一)台水永續經營運作機制

簡述台水現有經營運作機制，於內、外部經營機制概述（如圖 2）。

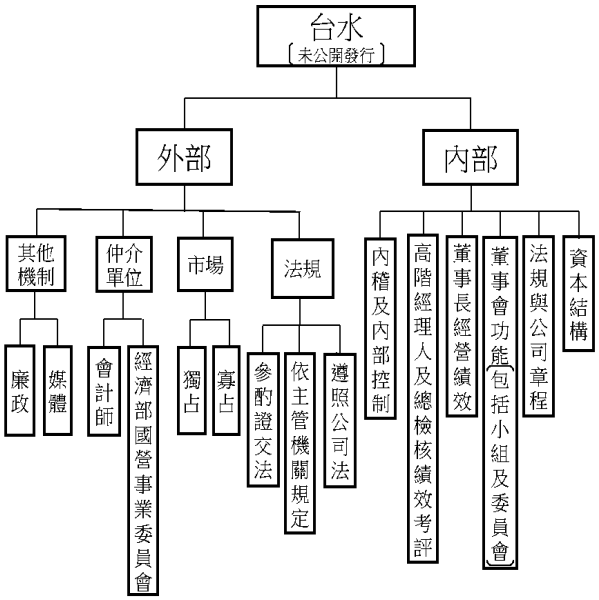


圖 2　台水永續經營運作機制

（資料來源:參考葉銀華[4]及本研究整理 ）

有關台水永續經營圖像，在風險管理、競爭力、創新、公司治理、企業社會責任、水資源管理、遵循國際規範及塑造永續發展文化等八構面積極推展並勾勒出完備的永續經營圖像（如圖 3）。

表 6　台水會議型態、名稱、次數、成員及功能

序號	會議型態	名稱	次數（年度）	成員	功能	成立年度(民國)
1	經理部門	廉政會報	100：0 101：2 102：2 103：2	置召集人一人，由首長兼任；副召集人一人；委員由本機關一級單位首長（主管）、專家學者及社會公正人士派（聘）兼之。	為貫徹廉能政治，端正政治風氣，提昇施政效能。	100
2	董事會	董事會土地買賣及交換審議小組	99：0 100：0 101：2 102：2 103：2	董事（含獨立董事）5 席組成，並由獨立董事共同擔任召集人。	為強化土地買賣及交換案件之審議，以有效協助所有土地之處分及擬購土地之取得。	89
3	董事會	獨立董事暨監察人與董事會檢核室、經理部門互動會議	99：2 100：2 101：8 102：13 103：11	獨立董事、監察人與公司各業管單位。並設召集人。	為董事常會外增加獨立董事暨監察人與檢核室、經理部門之互動，俾利即時掌握公司營運重要訊息，強化與落實管理、監督職能，並積極促進董事會功能與議事效能，以健全公司治理，提升公司競爭力及達成公司治理精神與企業永續經營之目標。	99
4	董事會	公司治理委員會議	101：0 102：4 103：4	董事（獨立董事、勞工董事及專家學者董事）及公司有關管單位。並設召集人。	勞工董事因其工作權，建立公司長久穩建發展基礎及更在意公司永續經營[3]。	101
5	經理部門（為主）	企業社會責任推動委員會議	101：0 102：1 103：1	董事長(指導委員)、總經理(主任委員)、企劃處業管副總經理(副主任委員)，各副總經理、總工程師、奉圈選之總處、區處一級主管及工會代表 (委員)。	103 年度第 1 次會議決議，下設公司治理、環境保護與勞動安全、員工關懷與社會服務等 3 個推動小組，以積極實踐企業社會責任。	101

（資料來源：本研究整理）

圖 3　台水永續經營圖像（資料來源：本研究整理）

承上說明，於永續經營圖像之八構面中，台水於建立風險管理機制、提升競爭力、創新管理、健全公司治理、善盡企業社會責任、宏觀水資源管理、符合國際規範與塑造永續發展文化，以提升價值並取信於利害關係人，永續經營圖像與經營實績（如表 7）。

(二)台水永續經營運作成效

根據前面個案資料，並蒐集台水 99~103 年之顧客滿意度、水質合格率、廠站 ISO 認證、資通安全、環境教育認證、公司治理績效等（如表 8）。

另，台水自 100 年 10 月起建置「環境會計資訊管理系統」，於 101 年 6 月正式上線，將環境、環保活動與會計作業結合，為永續經營立根基。

近年台水為永續經營，積極培育專業人才並提升自來水相關技術，多元汲取國際專業、技術或合作且積極安排出國考察、出席相關會議等事實摘要（如表 9）。

五、專家訪談

針對題項逐項分析如下：

問題 1：風險管理與永續經營之相關性為何？

訪問摘要：有效風險管理確保永續經營。（兩位受訪者皆表同樣意見）特別是與公司營運高度有關。個人過去在科技公司的經驗，摘述如下：

(一)特別重視風險管理，風險類別說明：1.營運產品（特別是智慧財產權）2.客戶教育 3.財務 4.法律等 4 項風險嚴加注意。

(二)建立制度：成立風險管理小組，由總經理每月主持會議，就產業、同業競爭、技術及國際趨勢等議題主軸討論。以及設置風險管理委員會（屬功能性委員會）並每季討論。從檢視流程來做風險控管，從控管達成經營績效（甲受訪者表示）。因水是提供百姓維生，提升產業經濟之重要元素；惟供水風險定義及內容如下：

1.廣義：供水風險影響社會安定，產生生產問題。

2.狹義：影響穩定供水。國內常見影響穩定供水重要風險因素如下：

(1)氣候因素：與水源調配有關。

(2)水質因素：與①環境保護②監測-外在因素/風險（例如排放問題）有關。

(3)供水系統穩定：與操作有關。

台灣因為地理加上氣候等因素，成為名列前茅之缺水國家。若能降低前揭風險，俾有利台水永續經營。（乙受訪者表示）

結論 1：有效風險管理確保永續經營。

問題 2：競爭力與永續經營之相關性為何？

訪問摘要：提升或強化競爭力與永續經營有關（兩位受訪者皆表同樣意見）。一般經營模式，區分為：1.差異化 2.低成本 3.差異化+低成本。例如：鴻海就靠低成本經營。檢視產業比、與同業比，屬風險-營運產品（甲受訪者表示）。台水對社會有具體貢獻。台灣本島公營水事業有：臺北自來水事業處及台水，各有地域性經營基礎，台水應該與自己比，強化競爭力方面如下：

1.提升人員素質：建立好的服務觀念。

2.水源確保。

3.供水系統穩定。

做好上揭事項，有利台水永續經營。（乙受訪者表示）

表 7　台水永續經營圖像與經營實績

序號	經營構面	摘述經營實績
1	風險管理	1.扎根核心本業（提供量足、質優之自來水；積極降低漏水率），慎防無預警停水並從防弊、除弊、興利方面著手。 2.注意公共風險管理[5]，朝與風險共榮共存管理。
2	競爭力	1.深化人才培訓與運用。 2.長期銷售便宜之自來水。 3.隨時注意國內外政經社會之情勢變動，適時調整經營策略。
3	創新	1.創新服務：自民國 99 年起建置 Call Center，現將水費、水質、水表、工務、停復水等用水問題整合，頗受肯定。日後朝大數據管理運用。 2.創新管理：善用董事、監察人多元專長，設立各項機制並由他們發揮實質監督。
4	公司治理	1.每年自發性滾動式檢討並配合經濟部工作考成辦理。 2.自民國 96 年第 33 次股東常會選任第 13 屆董事、監察人，其中 2 位零持股董事（獨立董事），日後陸續並將其設置於董事會下設小組、委員會中，發揮董事會獨立性與健全公司治理制度。 3.公司治理的機制能夠發揮興利與除弊的功能[6]。
5	企業社會責任	1.找出公司之重大考量面，作為擬訂企業永續發展的依據[7]。 2.重視員工關懷。 3.率先落實環保：訂定環境政策，以達永續經營之目標，並努力達成如下承諾： (1)符合法規：恪遵環保法規，提升公司形象。 (2)污染防治：嚴控處理流程，杜絕污染機會。 (3)資源利用：反洗廢水回收，污泥餅再利用。 (4)全員參與：普及教育訓練，強化環保認知。 (5)社區和諧：加強溝通協調，做好敦親睦鄰。 (6)持續改善：提高環境績效，確保永續經營。 4.實踐企業社會責任，發揮公司最大價值，奠定永續發展基石。 5.編製永續/社會責任報告書：從民國 99 年起編製永續報告書；自 103 年起自律性編制企業社會責任報告書。 註：1.GRI 4.0 版（西元 2016 年起適用），要求供應鏈納入永續性報告書[8]。 2.台灣證交所已宣佈將對特定上市公司，從民國 104 年開始必須要提出年度 CSR 報告。
6	水資源管理	1.水源跨區支援與彈性調度，以供水穩定。 2.強化水質內控管理及水源自行監測能力。 3.針對新興水源審慎評估、規劃後，方提研擬方案。 4.啟用伏流水等多元水源機制。 5.落實「主動漏水控制」，積極辦理分區計量管網建置及管線檢漏等工作。
7	國際規範	1.淨水場站：積極導入 ISO14000 管理制度，已有 17 廠站獲驗證並持續每年辦理續評，每 3 年換證。 2.會計決算.：102 年起按國際財務報導準則編製。 3.全面推動提升服務品質執行計畫。刻正辦理第一區處獲選第七屆「政府服務品質獎」入圍決審機關。
8	塑造永續發展文化	發覺永續發展相關議題並積極實踐，每年彙編永續報告書及企業社會責任報告書。

（資料來源：本研究整理）

表 8　摘錄台水近期發展永續經營機制與績效表

年度別(民國)	顧客滿意度(%)	水質合格率(%)	廠站 ISO 認證	資通安全	環境教育認證	公司治理績效
99	85.50	99.93	ISO14001：驗證新增 5 件:拷潭、翁公園及鳳山淨水場；東興及深溝給水廠。	ISO 27001 通過複評及獲選年度經濟部通報演練績優單位。	-	87.5 分/部屬事業第五名
100	86.55	99.94	ISO14001：驗證新增 1 件:嘉義給水廠公園淨水場。	ISO 27001 通過複評及獲選年度經濟部通報演練績優單位。	-	92.1 分/部屬事業第四名
101	85.65	99.95	ISO14001：驗證新增 0 件。	ISO 27001 通過複評及獲選年度經濟部通報演練績優單位。	「深溝水源生態園區」通過環境教育設施場所認證。	97.45 分/部屬事業第二名
102	87.75	99.94	ISO14001：驗證新增 3 件：彰化第三、砂婆礑淨水場及板新給水廠。	ISO 27001 通過複評及獲選年度經濟部通報演練績優單位。	-	96.4 分/部屬事業第二名
103	88.22	99.94	ISO14001：驗證新增 5 件：利嘉、新山、龍潭及牡丹淨水場與寶山給水廠。	ISO 27001 通過複評及獲選年度經濟部通報演練績優單位。	澄清湖高質水處理中心通過行政院環保署環境教育設施場所認證（全台第一座)。	94.9 分/部屬事業第一名

補充說明：

1.台水於民國 63 年成立後，自 95 年開始積極導入 ISO14000 管理制度。據統計於 99 年（含以前）僅 8 廠站獲 ISO14001 驗證；在積極永續經營理念下，截至 103 年底，共有 17 廠站獲該項驗證並持續每年辦理續評，每 3 年換證。

2.自 96 年 7 月 2 日由 SGS 正式評鑑通過，取得 ISO27001 資安認證證書，並通過複評。另自 97 年起，參與經濟部及行政院年度資通安全通報演練，每年獲績優單位。

3.台水公司治理成效，在經濟部每年公開招標委由第三公正單位實施評鑑結果，從末段班，一步一腳印改革與建立制度，扎根努力，躍至經濟部所屬事業翹楚。

（資料來源：本研究整理）

表 9　借鏡他山之石-台水近期公務出國考察成效彙總表

年度別（民國）	出國次數	出國人數	建置台水永續經營利基
99	2	2	出席亞洲開發銀行舉辦「水危機與選擇會議」，借鏡他人成功策略，俾台水永續經營。
100	5	9	「第 9 屆台以（以色列）經技合作會議」重要決議：台以間將進行更廣泛經技合作平台，特別在具強烈互補之科技產業，完成簽署「台以水科技合作瞭解備忘錄」，共同拓展台以兩國水科技交流，有利台水永續經營。
101	5	5	1.台水規劃興建水質中心大樓，擬將水質處轉型為研究型單位，提升水處理研究技術，確保公眾用水安全。 2.鼓勵員工加入國際自來水協會（IWA）會員，享用該協會提供的資源外，亦可仿傚該協會之義工制度，以有效的推動國內自來水事業。
102	8	15	1.為因應外在經營環境變化及精進本公司水質生物檢測技術，前往南澳水質中心學習，並於 103 年 1 月 21 日第 16 屆第 8 次董事會中提出水質處水質中心大樓運作內容及目前執行進度報告，俾公司永續經營。 2.赴日東京都水道局研修開發中心等機構參訪，俾建置自來水專業人員訓練園區案，厚植人才培育與技術傳承，並提 103 年 3 月 25 日第 16 屆第 10 次董事會報告台水規劃「自來水訓練園區」專案報告，俾公司永續經營。
103	8	11	赴日考察檢漏技術及分區計量管網規劃，俾珍惜水資源。

（資料來源：公務出國報告資訊網及本研究整理）

結論 2：提升或強化競爭力與永續經營有關。

問題 3：創新與永續經營之相關性為何？

訪問摘要：企業要創新才能永續經營（兩位受訪者皆表同樣意見）。例如：馬雲創辦的阿里巴巴集團透過交易模式改變，創造更多客群及增加營收。

建議台水：

(一)善用董事會：借重獨立董事、董事及監察人專長，以利各項業務精進。

(二)討論如何有效運用水資源：

1.降低用水量，回饋消費者：例如制定與去年同期用水量比較，如有降低，可折抵下期水費。

2.以價制量：因為目前水費便宜，易造成浪費用水，應可爭取合理調整水價，避免浪費。

3.財務揭露透明：例如財務透明揭露，讓民眾也能瞭解老舊自來水設備及管線需足夠經費才能加速並逐年汰換，以降低爆管機率與漏水率，並積極有效減少浪費水資源（甲受訪者表示）。創新有利企業永續經營。水會影響日常生活，因為人類生活習慣改變，台水經營從提升供水普及率，接著追求供水更穩定，然後要求提升水質，因此要永續經營不能墨守成規。建議作法如下：

(1)強化管理：落實正向服務價值觀，提高人員素質。

(2)多元水源開發：不可拋棄任何一面向。

(3)供水、淨水系統穩定：舉例說明：

①供水技術方面:鼓勵員工、廠商對設備、材料進行研發，引進新工法。

②水量計方面：未來研發朝智慧型自動量測努力（乙受訪者表示）。

結論 3：企業要創新才能永續經營。

問題 4：公司治理與永續經營之相關性為何？

訪問摘要：公司治理與永續經營有關（兩位受訪者皆表同樣意見）。像英國重視董事會職能，注重風險控管及營運績效。經營團隊應善盡職責，例如董事會應制定 3~5 年(中期)計畫、總經理（執行長，CEO）必須規劃公司 1~3 年(短期)計畫。這些計畫必須包括企業核心價值、員工福利及權利與激勵等，建立良性循環機制。釐定董事會與經理部門策略並每年檢討（甲受訪者表示）。公司治理與永續經營絕對有關。台水屹立迄今，受百姓肯定，仍有必要停、看、聽。對國會關注事項須再思考。公司向上的步驟，包括：員工、經營策略、虛心檢討（對內部檢討、聽取外部建議），公平公正公開治理公司。近幾年台水參與公司治理制度評鑑，成效受肯定，好的開始，有利台水永續經營（乙受訪者表示）。

結論 4：公司治理與永續經營有關。

問題 5：企業社會責任與永續經營之相關性為何？

訪問摘要：達成永續發展目標的必要條件之一，就是履行企業社會責任（兩位受訪者皆表同樣意見）。首先，落實 CSR 要重視員工、股東等利害關係人之關注議題，把員工照顧好。其次，社會（區）參與、貢獻及維護人權。最後，友善環境（甲受訪者表示）。落實「企業社會責任」或對啟發企業善盡社會責任與永續經營有關，因為會帶給社會良好觀感。國營事業－台水注重品質，會提升民眾信任，對政府信賴，同時也代表國家進步之表徵，具多重意義。建議台水落實企業社會責任經營步驟如下：

(一)提供量足與質優之自來水。

(二)給員工安定的工作環境：同時可以提升員工忠誠度（乙受訪者表示）。

結論 5：履行企業社會責任為企業永續經營必要條件之一。

問題 6：水資源管理與永續經營之相關性為何？

訪問摘要：鞏固本業水資源管理有利永續經營有關（兩位受訪者皆表同樣意見）。台灣雖是海島型國家，但水資源受天候、地形等因素影響，成為世界排名第十八位缺水國家。董事會成員是最便宜的顧問，台水可借重並發揮其專長，做好水資源管理，讓水資源有效運用。另外，台水漏水率為人所詬病，因此要做好供水品質與量之控管。也要教育民眾，可至國民小學宣導，從小培養節約用水之觀念及習慣。

最後，揭露相關訊息。例如舉辦研討會，充分揭露水資源分配情形及強化節約用水觀念與污水回收等資訊。炒熱

議題，也可達到水資源有效運用效果（甲受訪者表示）。水資源管理與永續經營有關。台水販售自來水，惟水資源面臨嚴峻問題，我國屬缺水國家，然新興水源卻不易開發。建議台水積極作為如下：

1.原有水源維持，跨區支援。

2.水污染嚴重，除環保單位稽查，公司亦須有自行監測能力與彈性調度，不致影響供水穩定。

3.新興水源從規劃到研擬提報，方案要審慎評估及積極監督。

4.台灣蓄水水庫有限，可考慮納入地下水涵養，啟用伏流水，以及有限度安全使用地下水（乙受訪者表示）。

結論 6：鞏固本業水資源管理有利永續經營有關。

問題 7：遵循國際規範與永續經營之相關性為何？

訪問摘要：遵循國際規範追求企業永續經營（兩位受訪者皆表同樣意見）。藉由第三公正單位之提醒、企業自我體檢，以奠定永續經營之基石。同時，瞭解國際議題，助益企業永續經營（甲受訪者表示）。國際規範與永續經營有關。針對自己主動提升績效與品質，以及產品符合國際規範，現今企業要永續經營皆不能排除任何一項。對於已做到部分樂見努力成果；尚未做到之處，建議分階段達成規範（乙受訪者表示）。

結論 7：遵循國際規範追求企業永續經營。

問題 8：請您以個人宏觀角度，敬請不吝指教並提示有關永續經營關鍵。

訪問摘要：建議一：從風險管理出發，落實計畫，檢視各項重要指標，建構自我思考型組織。建議二：視董事會為顧問團，善用董事會成員專長並將風險納入經營主要會議中討論，例如：1.缺水風險 2.教育層面風險 3.財務風險：例如管線老舊須汰舊換新。建議三：針對台水 102 年度永續報告書提出具體建議如下：1.對利害關係人之重大議題可再深入。2.在節能減碳（含與外部合作）與社會貢獻，可再強化數字表達。3.創新與貢獻社會責任之連結。4.經濟面數據須輔以文字敘明。檢視並強化永續或企業社會責任報告書內容，有利企業永續經營。（甲受訪者表示）。對於台水永續經營策略，建議按近、中、長期計畫目標推動。綜合建議如下：

1.將台水願景落實於經營策略之中：包括員工教育。

2.確保水源：跨區調度；依據政府採購法，防弊、興利。

3.落實分層負責：須有前瞻想法，落實分層負責、適度授權。

4.公司未來重點規劃及檢討：

(1)檢視及策劃經營策略。

(2)水源掌握。

(3)漏水率管理。

若能將上揭發揮至極致，方能奠定台水永續經營利基（乙受訪者表示）。

結論 8：發展思考型組織、善用董事會成員專長並將風險納入經營主要會議中討論與檢視並強化永續或企業社會責任報告書內容，有利企業永續經

營。按近、中、長期計畫目標，逐步落實各項策略，奠定台水永續經營利基。

六、結論、建議與心得

企業經營時，經常審酌以經濟面、社會面、環境面及公司治理面等為架構外，惟勾勒出之完善經營圖象，各公司有別，本研究結論僅供參考。

台水目前從健全公司治理、落實企業社會責任，並自 100 年 4 月後，透過董事會議決定/議、授權公司治理委員會議、互動會議等積極作為，經常指點策略，讓公司得到正確經營方針，獲致改善之切入點，逐步落實永續經營發展，鞏固台水永續經營利基並與國際接軌。由前一章資料分析，本研究獲得以下結論、建議與心得。

(一)結論

本研究獲致 3 點結論如下：

1.台水之風險管理、競爭力、創新、公司治理、企業社會責任、水資源管理及遵循國際規範與其企業永續經營績效有關。

2.台水永續經營尚須嚴加注意營運產品之智財權、客戶教育、財務及法律等 4 項面向。

3.台水應發展思考型組織、善用董事會成員專長並將風險納入經營主要會議中討論與塑造永續發展文化，有利企業永續經營。

(二)建議

除獲上揭結論外，並對台水永續經營，建議按近、中、長期計畫策略目標推動。特別提出 7 點建議如下：

1.借重獨立董事、董事及監察人多元專長，以利各項業務精進。

2.強化管理：落實正向服務價值觀，提高人員素質，強化軟硬實力，改善企業體質。

3.創新作為如下：

(1)服務管理：從考訓用提升人員素質與資源運用。

(2)多元水源開發：不可拋棄任何一 面向，以穩定供水。

(3)供水、淨水系統穩定：(舉例說明)

①供水技術方面:鼓勵員工、廠商對設備、材料進行研發，引進新工法。

②水量計方面：未來研發朝智慧型自動量測努力。

4.未來水資源管理前瞻性積極作為如下：

(1)原有水源維持，跨區支援。

(2)水污染嚴重，除環保單位稽查，公司亦須有自行監測能力與彈性調度，不致影響供水穩定。

(3)新興水源從規劃到研擬提報，方案要審慎評估及積極監督。

(4)台灣蓄水水庫有限，可考慮納入地下水涵養，啟用伏流水，以及有限度安全使用地下水。

(5)落實「主動漏水控制」，於分區計量管網建置及管線檢漏等工作。

5.企業自律並主動提升績效與品質，以及產品皆不能排除任何一項符合國際規範，至未做到之處，分階段達成規範。

6.最近媒體報導，多位曾任政府重要職務之專家學者，對水資源政策必須適當調整，方能逐步改善，掌握調整契機。

7.儘速完成永續經營或發展作法儘速完成立法，以供行政機關或企業遵循，利於成功發展永續經營。

(三)心得

常說：「能在水公司服務，就是在做功德。」。因「水」是為生活必須品，亦牽動國家經濟成長。再者，悟出《老子》:「上善若水」的道理，水亦柔亦剛，提醒做人做事的道理。

前面我們看似乎靠天，遇水則發；台水雖屬獨佔亦為獨大事業，惟而今恐將面臨近 60 多年來最嚴峻的旱災，中央與地方政府須齊心抗旱，全民節水共體時艱。台水亟需思變，整個經營團隊務求背水一戰，期共度難關。朝台水願景-成為國際級自來水事業:「積極強化公司治理制度，實踐企業社會責任，以提升企業競爭力，俾達成為國際級自來水事業之願景目標。」邁進。公司齊心「用心（專業）、用情（熱情）」建構π型企業（指能自我提升、持續學習、發揮無限可能正面效益之企業），務須發揮群策群力，將先前已具備的 SWOT 分析能力，結合風險管理、發展競爭力、不斷創新、健全公司治理、履行企業社會責任、精進水資源管理、遵循國際規範與塑造永續發展文化，擘劃台水企業永續發展並能與國際一流企業並駕齊驅。

參考文獻

1.G4永續性報告指南 ，“前言”，頁3 。

2.行政院國家永續發展委員會，http://nsdn.epa.gov.tw/CH/NSDN/point.htm。

3.張緒中、黃北豪、劉梅君，引進勞工董事擺脫低薪困境，中國時報，104年3月19日。

4.公司治理-全球觀點、台灣體驗，葉銀華著，頁27~53。

5.宋明哲著（2014），新風險管理學精要，五南圖書出版公司，頁10-11。

6.林純正（2011），指導教授：黃北豪博士，公司治理關鍵因素之探討-以管理控制系統為基礎，頁92-93。

7.吳年如（2014），指導教授：黃北豪博士，企業永續發展之研究：利害關係人觀點，國立中山大學企業管理研究所碩士論文，頁57。

8.企業社會責任實踐（上篇）－全球供應鏈將被要求永續性報告書，104年3月31日，工商時報。

作者簡介

阮剛猛先生

現職：台灣自來水股份有限公司董事長

專長：國家與公共政策、企業經營、法律、領導統御

莊東明先生

現職：台灣自來水股份有限公司企劃處處長

專長：企業管理、環境工程管理、績效管理

陳佩君小姐

現職：台灣自來水股份有限公司董事會管理師

專長：經營管理、行政管理、會議管理

探討大臺北地區水資源永續發展與利用

文/張琰竑

一、前言

地球之所以被稱為「藍色星球」，其關鍵就在於水。放眼全宇宙各星系，地球有什麼奇特之處呢？就是水與生命。生命需要水才能生存，生命的來源就是水，因此地球成為「水」噹噹的行星。水為維持地球生態體系運作最重要環境因子，人類文明發展與其他環境生態系統之運作皆離不開水資源。雖然地表有超過 70%面積被水所覆蓋，但能為人類所直接使用之淡水僅佔全球水量的 0.8%，故淡水是極為有限卻又不可或缺的環境資源。臺灣多雨而貧水，每人所分配到水量約為全球平均的 15%，因此在追求永續發展過程中，必須共同面對水資源永續利用此一重要課題。

在「英國大英百科全書」中，水資源被定義為「全部自然界任何形態的水」，包括氣態水、液態水和固態水，此定義被現在各國廣泛引用；1977 年聯合國教科文組織（UNESCO）建議水資源應指可資利用或有可能被利用的水源，此水源應具有足夠的數量和可用的質量，並能在某一地點成為滿足某種特定用途而可以被利用。我們常常會將“水資源”與“水”這兩個不同的概念混為一談，這是極不正確的觀念，因為水的範圍比水資源大得多；在水資源管理中，水對水資源管理具有特別重要的意義，亦即要做好水資源管理，要把所有的 「水」管理都要納入進來，如海水、雨水……等。

在人類大量開發與消耗下，水資源需求日益擴增，水資源供給因自然水文運作系統受到人為不當干擾而日益減少。未來人口增加及經濟活動擴張，將使許多國家陷入缺水困境。如果說二十世紀是石油戰爭的世紀，那麼二十一世紀很可能成為水資源戰爭的年代。

臺灣地狹人稠，經濟發展快速，水資源一旦匱乏，對民生或經濟衝擊甚劇，臺灣地區主要水資源問題為並不豐裕。在水資源有限條件下，如何維持河川或水庫之水源水質更顯特別重要。臺灣地區山脈多為南北縱走，為東西兩部的主要分水嶺，高山流水匯成的溪河多向東西兩面奔流入海。臺灣河川經常在短時間內因暴雨受限於河川特性造成相當大之洪水流量，其中以淡水河系更為嚴重。

新店溪為淡水河主要支流之一，以臺灣河川特性而言，上游處山高水急現象更為明顯。該溪為臺北自來水事業處（以下簡稱「北水處」）也是大臺北地區唯一無可取代的主要水源，對於原水取用係採取南勢溪天然流量與翡翠水庫放流量（北勢溪）聯合運用方式。枯水期水量小，只能依賴翡翠水庫續存調節，暴雨期間雨量相當密集常造成水源集水區嚴重坍方。颱風季節洪峰期間流量特別大，因河川特性原水水質不若歐美日等國穩定，濁度常因此發生驟然升降急遽變化。此外，臺灣位處環太平洋地震帶，數年前又遭逢 921 等大地震，地層、岩盤及土壤鬆動不若以往穩定，近年來暴雨或颱風期間，集水區坍方頻率有日漸升高情勢，且水文異常現象日趨嚴重，豐枯之間對於土壤造成甚大損

害，進而影響水源涵養及原水水質。如水土保持、水源維護保育不足，對於水庫及淨水場操作管理維護將極為不利，以 2004 年桃園石門水庫及平鎮淨水場等案例，原水濁度高達幾萬度，將嚴重影響整體水資源運用，進而影響國計民生。

近年來北臺灣屢遭颱風等重大災害，如象神、納莉及艾莉等風災，集水區原水尖峰濁度由二千多度、四千多度以至艾莉颱風時幾近七千度，節節攀升，再加上風大雨急，淨水場持續承受高濁度原水及淤泥無法及時清理的窘境，造成前處理瓶頸外，也增加後處理負荷及反沖洗水量，嚴重影響處理效能及水質安全，實已超出淨水設備所能負載。為降低風險並確保出水品質，不得不採取減量處理措施，以減少淨水設備所遭受之衝擊。惟因大臺北地區為政經中心首善之區，對於正常供水之壓力更甚於臺灣其他地區。此外，鄰近地區自來水系統調配能力有限，面對日趨惡化之水文情勢，尚須增加出水以支援台灣自來水股份有限公司（以下簡稱「台灣自來水公司」）第 12 區及第 1 區管理處等轄區內民生用水。

大臺北地區將近四百萬供水人口主要靠一個翡翠水庫，其位於新店溪支流北勢溪之翡翠谷，主要供應臺北市全部及部分新北市地區自來水，係單一目標水庫，為大臺北地區提供最穩定供水來源。該水庫與鄰近石門水庫間並無聯通管線可供雙向調度，且北水處尚須支援台灣自來水公司。當翡翠水庫發生缺水或供水能力不足時，不若石門水庫尚有其他標的用水可資移撥，亦無埤塘湖泊或寶山水庫等備援水源系統因應，就水資源調度供水風險較之於石門水庫仍屬偏高。

二、全球性之水資源永續利用政策

水資源為全球永續發展與利用之重要影響機制，世界相關組織之永續發展論述與文獻中，皆將其列為主要核心議題進行研究，簡要摘錄如下：

(一)Agenda 21

1992 年 Agenda 21 將永續水資源發展列為未來各國發展之重要議題，並於水資源永續發展行動計畫綱領指出「水資源品質與供應的保護」的重要性，並建議應用整合式方法發展、經營、與使用水資源，主要觀點為：

1.國家應秉持最適永續原則，以維持水資源的生態系統。

2.國家應確定水資源保育為國家經濟發展政策規劃與執行的重要議程，以支持水資源環境之永續發展。

3.國家應要求對影響水資源利用的開發行為，須進行環境影響評估。

4.國家應致力於水資源科技創新的研究發展，以回復受損害的水資源及其環境。

(二) 1992 年都柏林「環境與發展會議」

都柏林會議討論所訂的四原則：

1.淡水為有限而脆弱的資源，對支持吾人生存發展及所立足的環境均至為重要。

2.水資源的發展以及經營管理須基於廣泛參與的機制，包括使用者、規劃者及決策者等各階層的相關人士。

3.婦女對水資源的供應，經營管理及保育均擔當著核心的角色。

4.水資源於各競爭使用者之間具有經濟價值，並應認為是經濟的物品。

(三)聯合國永續發展委員會

於永續發展指標建議中提出與水資源

相關之面向與指標為：

1.水資源面：須注意水資源的使用強度、缺水頻率、缺水延時及範圍、水價、抽取水資源對環境的衝擊、廢水處理之污染者付費、水資源的消費等指標。

2.環境面：為確保乾淨水資源品質與供應、須注意地下水及地表水年抽取率、每人及每戶用水量、地下水保育、乾淨水中之大腸菌數、水體之生化需氧量、廢水處理範圍、水域網路密度等指標。

3.保護及促進人類健康面：為維持基本公共衛生，需注意擁有衛生設施與安全飲用水之人口比率。

(四)經濟合作發展組織(OECD)

OECD 所提出環境指標中，永續水資源發展指標包括歷年各地合法容許取水量與乾季有效降雨量、因超量取水所造成低流量河川之長度、各類日用水量消長狀況、每人每日用水量與用水狀況、各地日常用水供需狀況(需水量/供水量)、灑水灌溉率(灑水灌溉水量／灑水耕作面積)。

(五)歐洲地球之友

將水資源的環境空間定義為環境中可永續使用的水資源；但水資源具有高度的區域性與地方性，因此各個國家或地區所擁有之水資源總量不盡相同，使得各國或地區之水資源利用須因應地理環境之特殊性而調整。

永續歐洲手冊提出幾項運用性指標：

1.保護深層地下水。

2.地下水使用量須限制在其可自然恢復之範圍內，且需運用價格政策、抽取管制及節省與保護政策或手段來管制地下水使用。

3.鼓勵使用地表水，並保持地表水品質於可接受範圍內。積極減少污染源，降低水資源污染，其次應減少灌溉用水之抽取，且以有機農業取代密集農業。

(六)永續西雅圖計畫

美國所提出永續西雅圖計畫中，以水資源總量除以人口數所得之每人水的消費量作為永續水資源使用指標。

(七)臺灣「永續發展論壇」

臺灣「永續發展論壇」對於水資源的永續發展亦提出產業、環保、社會等三大面向之討論。

三、臺北地區水資源利用管理概況回顧

臺北自來水系統供水範圍包括臺北市 12 行政區及新北市所轄三重（二重疏洪道以東）、新店、永和、中和（員山路以東）、汐止部分地區等，另在中和、三重、關渡、汐止、木柵等地連接臺灣自來水公司送水管支援新北市各地用水。其輸配水管長達三千多公里，轄區面積 434 平方公里。隨著經濟持續發展及人口快速成長，平均日出水量達 270 萬噸，供水人口約 394 餘萬人，形成北部地區最大的都會區域公共給水系統，其平日供水調配業務相當艱鉅，且任務非常重要。

(一)臺北地區水資源概況

臺北自來水系統的水源 97.3% 主要來自新店溪，及少部分(2.5%)地區性水源（雙溪及陽明山等高山水源），新店溪水源系統主要包括南勢溪及北勢溪水源，係利用南勢溪的川流水源，配合北勢溪翡翠水庫的庫容水源，以聯合運用方式由直潭壩、青潭堰引水

供應臺北自來水水源，其主要設施包括翡翠水庫、直潭壩、青潭堰，分述如下：

1.翡翠水庫：

1987 年完成翡翠水庫，水庫容量 406 百萬立方公尺。功能為給水、發電、防洪等多目標營運，水庫蓄水能滿足供應大臺北地區計畫目標 119 年各用水標的之需水要求。供水區域包括臺北市及新北市三重、新店、永和、中和、淡水、三芝等地區。水庫壩址位於新店溪支流北勢溪下流,距臺北市約 30 公里，其河系主流為新店溪，支流為北勢溪，集水面積 303 平方公里。正常蓄水位標高 170 公尺，最高洪水位標高 171 公尺，滿水位面積 1,024 公頃，總蓄水量 406,000,000M^3，計畫有效蓄水量 327,000,000 M^3（完工後 50 年），計畫年運用水量 1,196,000,000 M^3(與南勢溪合併運用)，可靠出水量為每秒 40 M^3 (相當於每日 3,456,000 M^3)，計畫年供水量 763,000,000 M^3 (與南勢溪合併運用)，計畫年發電量 222,700,000KWH。

2.直潭壩：

直潭壩位於北勢溪與南勢溪交匯口下游約 4 公里處之 U 型狹谷內，在青潭堰及粗坑電廠之上游及粗坑壩之下游，屬新北市新店區直潭里，於 1978 年 7 月底全部竣工。原設置目的係攔蓄新店溪水，供應臺北區過渡時期每 5 年發生 1 次缺水之水源，後增建取水口，直接供應臺北自來水系統原水。設計有效蓄水容量 420 萬 M^3，直潭壩取水口設計容量為 2,700,000CMD。

3.青潭堰：

青潭堰位於新店溪中游新北市新店區青潭上游約 1 公里，臺電公司小粗坑電廠下游約 800 公尺處，用以抬高新店溪河川水位，使青潭取水口能順利引取原水且作為調節小粗坑電廠作尖峰運轉時之尾水，以免流失水量。於 1975 年 9 月竣工，至 1976 年 12 月始配合導水工程竣工通水啟用。原設計水庫正常最高水位為標高 22.6 公尺，正常最高水位時之調節池蓄水面積為 0.3 平方公里。設計有效蓄水容量 32.5 萬 M^3。青潭取水口設計容量為 1,085,000CMD。

(二)地區性水源

臺北地區的天母、士林地區高地，及陽明山、北投高地，其自來水水源基本上係由區域性的地表水或地下水供應，並非由新店溪水源設施供應，其中天母、士林地區的高地如至善國中、故宮，及至善路等地區用水，主要係由雙溪水源的雙溪攔水壩供應，雙溪攔水壩原設計蓄水量為 40,000 M^3，因泥沙淤積之故，水庫容量已降至 20,000 M^3 左右，其設計出水量為 4 萬 M^3／日。至於陽明山、北投水源主要供應陽明山、士林、北投的高地用水，其供水水源為地區性的川流水及泉水（地下水），受季節豐枯影響及無調蓄庫容，故供水量常不穩定，其取水設施大都為小型的欄水設施或取水口等。

(三)臺北地區水資源維護與管理概況

1.水源運轉維護及水質保護情形：為保護新店溪水源，1979 年申請劃定公告「新店溪青潭水源水質水量保護區」，禁止一切污染行為，其面積計 717 平方公里。1984 年成立專責機關「臺北水源特定區管理委員會」，今隸屬經濟部水利署，更名為「臺北水源特定區管理局」（以下簡稱「臺北水源局」），加上翡翠水庫管理局（以下簡稱「翡

管局」）等其他諸多機關共同努力，其水土保持、水源維護保育做得較好。臺北水源局專責辦理有關水源區內水污染防治、土地使用分區管制與水源區治理等事宜，範圍包括南勢溪及北勢溪集水區。為維護大臺北地區居民飲用水安全、確保水源水質潔淨，除不定期派員至水源區巡查外，並於 2001 年報請中央公告「青、直潭堰壩水庫蓄水範圍」，並派水域巡查人員每日作例行性巡查，以維護蓄水範圍潔淨與安全。

2.大臺北地區水源主要來自新店溪流域中、上游集水區，其運轉維護及水質保護相當重要，臺北水源局及翡管局主要針對新店溪水源集水區進行污染源的控制與防治。集水區污染源主要分兩部分，一為人為污染源，為人為活動所產生的污染物，包括人類及各類牲畜排泄物、人為土地使用的土石污染源等；另一為自然污染源，主要為天然災害的土石污染源。

四、水資源多元運用－永續發展與利用

(一)水源水質保護帶探討

翡翠水庫為大臺北地區重要水源，由於新水源開發不易，水庫淤積逐年增加，蓄水容積減少，加上溫室效應造成氣候異常，大壩安全維護及水庫運轉需更加審慎。為維護水庫優良水質，防止優養化，正全力推動水質污染防治、協調推動劃設水庫保護帶。其執行策略為探討現行法令，在中央、地方與民眾間取得共識下，籌措合理化財源，推動保護帶劃設與徵收，並進行造林工作，以涵養水源，減少非點源污染。

針對飲用水水源的珍貴，水源保護應以確保水源水質清淨、水量豐沛為目標，以期降低淨水處理成本，供給民眾安全衛生、可口適飲及健康飲用水。欲達成上述目標，水源保護工作應注意相關課題發展：

1.劃定水源保護區，以分區分級的管制方式來達成水源保護目標。考量目前「自來水水源水質水量保護區」與「飲用水水源水質保護區」劃定範圍不同，且多已為國有林班地，因此現已劃定之「飲用水水源水質保護區」應視為「完全禁止區」，如位處兩保護區差異之區域，考量污染源之削減、水源水體水質的分類、是否為水庫集水區內及兼顧地方發展需要，再分別劃定為「限制管制區」與「許可管制區」。

2.列出可能的污染行為或活動(Possible Contamination Activities, PCAs)，並研討對飲用水水源傷害較大的 PCAs，依序列舉作為優先管制或取締的對象。

3.在重新評估國土規劃與發展計畫時，除考量傳統的經濟與農業方面外，應強調由水源保護觀點進行國土規劃。

4.在管理體系上，集水區自然區域與行政區域重疊互置，劃分難以一致，事權未能集中，行政標準寬鬆不一，遇有政治立場迥異的行政首長或不同層級行政區域，往往協調困難，應研究合宜之機制。

5.複雜的分工體系，集水區以河川上中下游區分權責機關，中央與地方權責不清，常造成臨事互推或工作難以協調的主因，雖有成立以集水區或河川為管轄範圍的管理局，惟相關整體法規機制未健全，常徒具虛名，難以發揮整體功能，應進一步探討整體法規訂定及運作。

6.現行集水區等管理法規有自來水法、飲用

水管理條例、水土保持法、都市計畫法、水利法施行細則、水污染防制法……等，適用法律散置，主管機關常因法而異，與水源水質管理需要具有整體特性不一，造成適用上競合關係，缺乏以水質為主體的整體規劃和制度設計，因此亟待建立全面治理觀點的水資源管理體系。

(二)高地水源運用概況

1910 年北投水廠設立，轄區涵蓋泉源（大坑溪水源、北投第三水源、隧道水源），大屯（粗坑水源、臨時水源及北投第一、二水源）等 7 個水源，1959 年陽明山水廠成立，管轄中山樓水源、菁山路水源、臺銀水源、賓館水源、衛館水源、公館里水源、竹子湖水源、陽明山第一水源等 8 個水源，供應陽明山、士林、北投、天母等高地區市民飲用。1970 年北投水廠增闢百拉卡水源，後於 1974 年 1 月起與陽明山水廠一起併入臺北自來水廠，1977 年改組成立北水處迄今。

陽明場轄區涵蓋臺北市士林、北投及淡水區北新莊等三個行政區，由於山區水源夏、冬兩季水量差距甚大，原水水量日趨短缺，目前原水取得有紗帽山、大屯山、七星山等三座山麓小溪流表面水（粗坑溪、大坑溪、磺溪、鹿角坑溪、冷水坑溪計五個小溪流）及湧泉（隧道、北投第一、二、三水源、竹子湖水源、陽明山第一、三、四水源、臺銀水源計九個水系），除鹿角坑外，其他水源均為重力自然流下。總出水量約為 45,000~65,000 噸，以慢濾（二處）、快濾（二處）處理，原水導水管線 ϕ 75 ㎜~ ϕ 350 ㎜約有 34.5 公里長。

1984 年完成鹿角坑加壓站建設，抽水補充供應大屯快濾場及陽明山中正路下游市民用水，1992 年大屯場四只快濾筒移置鹿角坑第三加壓站過濾，處理後供應小油坑下游、仰德大道 2 段以上地區使用。

(三)陽明山水源運用與管理檢討

陽明山高地水源分散、水量小，易受天候及水文影響，且因地形關係，較難形成管網互相支援、調配，致夏季枯水時期，常有水量不足現象發生。目前陽明山地區量大且較穩定之水源有鹿角坑及陽三、四水源等。高地水源得之不易，為符合「高地水源保留於高地區使用」之原則，應妥善加以利用，作有效率調配，使之互相支援，以滿足高地居民用水，如此不僅提高自來水使用普及率，亦改善陽明山居民用水品質。

現有部份高地水源或因區內水權歸屬農業用水，致屢屢發生用水浪費，部份地區因水權無法轉用而發生缺水現象；或因長期疏於管理，致發生被居民私接而浪費，或因私接管無資料而難以查知。如能合理有效管理，將水權統一管理合理分配，對於山區水源留供山區使用，將可減少調配平地水源加壓至高地水量，當可有效節約能源，經濟部水資源局對高地水源集中管理原則上表支持態度；另對於水質處理設備也較易維護管理。

(四)地下水資源運用與管理探討

地下水(groundwater)顧名思義就是地面以下的水，一般定義指在地表面以下，土壤或岩石孔隙中的水。不過也有人定義要在地層水達到飽和之水分，始稱地下水。而地表下土壤水分未達飽和者，不認定其為地下水。在學術領域上多採用後者定義。

1971 年地下水進入全面開發期，由於工商及都市用水增加，地面水不敷應用，轉而大量使用地下水。至 1981 年養殖漁業興盛，臺灣西部沿海鄉鎮及屏東地區乃競相引用地下水資源。因此二、三十年來農業用水均非常仰賴地下水，從早期民生及工業用水至近年來農漁業養殖用水，地下水一直扮演重要的水資源。

然就永續發展與世代間公平性而言，地下水如同化石燃料一樣，為長年來地殼中所累積之資源，其差異在於水資源在經過某一時間之滲透後可恢復，但其回復期間則與各地之地質狀況與地層深度有關。深層地下水可能形成於一萬年前甚至更久，目前過量抽取將危及未來世代使用水資源之權利，違反永續發展目標。但地下水在乾旱時期相當重要，尤其近幾年臺灣地區遭受全球氣候變遷影響，經常發生連續多月乾旱不下雨情況，地下水往往在地面水使用不足時，緊急抽用以彌補地面水量。全球氣候暖化現象日益嚴重，高溫不但加速地面水分蒸發，且為解渴與降溫，用水量亦隨之大增。北部人口密集地區之民生用水、各項工業用水與高科技工業之冷卻用水等需水量均非常大，在乾旱嚴重發生時，地下水更被視為救急之水，政府在乾旱發生之際，往往會考慮運用地下水資源以調節使用之不足，如 2002 年水利署為解決新竹科學園區缺水危機，曾於新竹頭前溪地區挖地下水井以備緊急用水需求。另為解決大臺北地區水荒，亦在該年於新北市樹林區山佳地區鑽鑿八口抗旱井。

1.臺北地區地下水資源

(1)概況

自 1951 年代起，臺北盆地使用機械式鑿井大量開發地下水，導致地下水水位急速下降，地層嚴重下陷，經 1972 年宣告為地下水管制區域，並實施配套措施後，地下水位下降情形始獲得改善。自 1968 年起，經濟部水資源統一規劃委員會鑑於盆地內人口密集且為政經中心，針對既有深井進行地下水水位、水質監測工作，藉以瞭解地下水位及水質變化。臺北盆地大部分地區地下水位近幾年已趨穩定，僅因短時期水文條件，如降雨情況之影響，略呈起伏，在考量水質及安全出水水量內，建議可酌予開放地下水供緊急狀況使用。

(2)地下水水質

依過去進行水質檢測之觀測井中不合格率偏高者為鐵、錳及氨氮等三項，其他項目合格率在 85%以上。造成鐵、錳濃度偏高主要原因為臺北盆地地質特性，惟如能適當處理，仍屬適飲性物質，不致對健康造成影響。另依據導電度檢測結果顯示地下水質以新店溪水系最佳，屬水質良好地區；大漢溪水系水質次之，屬含鹽量中度地區；基隆河水系及淡水河出口處再次之，屬含鹽量高度地區。臺北市及其南方之中和、新店等地區屬於軟水或軟硬適中，盆地西部、北部及西南部為硬水或非常硬水。

(3)地下水運用特性

地下水源供應具持續性：2004 年艾莉颱風「桃園停水事件」，桃園地區當地鄰里間仍普遍使用之地下水井發揮成功緊急給水功能，停水期間持續提供當地民眾洗滌及衛生用水。1995 年日本阪神大地震時，災區當地已設置之耐震維生貯水槽，確保災民維持

最低限度生存飲用水，但用水量需求較大之盥洗及衛浴等民生用水的取得卻仍極為困難，記取此次教訓，神戶市於 1996 年 8 月開始實施「發生災害時供市民使用之地下水井登錄制度」，作為災後備用基本衛生用水。

為求震災後提供居民充分用水，可預先設置大規模給水設施，然費用相當龐大，並不符經濟效益，且可能造成地層下陷。因此，規劃適量之災後給水益形重要。目前規劃緊急用地下水井以地下水安全取水範圍內，提供災後地區核心醫院、防災據點之醫療用水及衛生用水，或滿足災區內整體基本衛生用水量需求，填補以耐震維生配水池提供維生給水外的其它災後緊急用水需求。

地下水源平時須維持一定程度抽取量：為確保水井能提供緊急給水，除平常須有一定抽取量，若在平時不抽取一定程度的水，臨時緊急狀況需要給水時，往往無法發揮作用，同時須定期檢查水質。平時維護所須維持之一定抽水量，亦可充分利用供平日公園池塘補水或園藝植栽用水。

震災中地下水井受損率不高：地震震災調查中關於水井的災情報告並不多，以日本阪神淡路大地震為例，72 座取水井中僅有 6 處發生損害，且損害程度並不嚴重；與地下水井相較之下，導水設施所受到災害影響反而較大。

a.淺井：一般挖掘深度約在 30m 內的挖掘井，抽取具有自由水位面的地下水，缺點為較易受到地表污染物影響、發生污水滲入造成污染事件。淺井主要優點為費用較低、開鑿較為簡便。

b.深井：抽取較深之侷限含水層地下水，一般而言水量及水質較淺井穩定，開鑿費用較高。

2.防災緊急給水地下水井

研究規劃於臺北市大型防災公園、已規劃為避難場所之公園綠地、學校及地區核心醫院等地點，以均勻分佈為原則，設置防災緊急給水地下水井，提供災後持續性醫療用水及基本衛生用水。若以災後 10 天內每人每日基本衛生用水量 20 公升為基準，則深井每日總出水量為 52,600 公噸，在地下水使用法令鬆綁後，建議計畫分年分期建置。

(五)維生用水及包裝用水運用與管理探討

臺灣地區位處環太平洋地震帶上，臺北地區供水範圍涵蓋主要政經中心，主要為臺北市全部及新北市部分地區，實際日間活動人口當在 400 萬人以上，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，自來水設施係維生系統中極重要一環，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，將不僅是構造物之破壞，更藉由震後災區生活用水缺乏或消防用水不足等障礙，進而引起火災擴大或疾病流行等二次災害，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。

對於災變需要考量之重要因素之一為維生水源，經由檢視該來源之供應量及可靠性，可供自來水事業經營體應準備之維生供水量參考，此部份主要提供來源如下：

a.震災後原有自來水配水池未破損者而能提供者。

b.損壞之自來水配水池或其它供輸水管線等

設施經強修而恢復供水者。

c.一般住宅未損壞留存之蓄水池。

d.公有或私有之大型水池或游泳池未損壞留存者。

e.獨立水處理系統包含高級飲用水處理廠包裝水或供應商庫存飲用水。河流或池塘所能提供者。

f.井水及其它型式之地下水。

g.其它鄰近區域支援者。

另外，針對基本維生用水及緊急維生給水進行探討：

1.基本維生用水

目前基本維生用水量在法規方面尚未有明文規定， 將維生所需最低之飲用水量加上其它地震後之必要民生用水量，建議做為地震後之基本維生用水量。參考日本案例，一般每人每日係以 3 Lpcd 為原則，再依都市開發程度、人口集中程度、供水規模及面積大小，研定持續最低總維生供水量。如東京係採每人每日 3 Lpcd，以連續供應 21 天為原則；神戶係採前 3 天每人每日 3 Lpcd，第 4-10 天增至每人每日 20 Lpcd，第 11-21 天增至每人每日 100 Lpcd，第 22-28 天增至每人每日 250 Lpcd 已接近正常用水量。

分析兩者主要差異性，東京因都市開發程度高、人口密集、供水規模及面積大，較不易提供全體居民大量緊急維生用水，因此採用較低標準；神戶地區都市化程度不若東京地區，採較高標準。在每日維生用水量方面，臺北地區之供水規模、都市面積及人口數均比神戶市大許多，惟較東京市小，其維生用水之考量，建議初期可參考東京市之標準，再次第發展至神戶市之標準。

基本上維生供水量＝該地震發生後考量維生供水日數*維生供水人口*每日維生用水量。在維生供水人口方面，除大規模災害外，一般考量為原供水人口。在考量維生供水日數方面，涉及地震後之修復時間，目前我國尚無相關數據，參考日本歷次大地震後斷水恢復情形，大致在第 5 天之修復率約 40% ，在 10 天之修復率約 50% 以上，一般在第 7 天後可陸續恢復供水。惟如阪神大地震災後月餘仍有 20 萬戶無法恢復正常供水，其修復速度及時間當受災區嚴重程度之影響。

2.緊急維生給水

都市防災設施中對於災後維生所需供水儲留之設施建置，列為其中重要的一環。有鑑於 2004 年 8 月艾莉颱風，豪雨挾帶淤砂造成石門水庫大量淤積，致使石門大圳取水口阻塞無法取水，在原水無法供應下導致桃園地區長達半個月時間無法正常供水。因此建置災後緊急供水儲留設施及取水設備，當為都市亟需考量之問題。

北水處配合臺北市政府防災政策，於臺北市 13 處防災公園規劃收容災民人口每人每天飲水量 3 公升維持 4 週之維生用水。考量災後提供民眾維持生存所需最基本飲用水，目前規劃建置之維生取水設施分為 3 種形式，第 1 種型式係在配水池旁建置緊急維生取水站，利用抽水機抽取配水池之清水儲放；第 2 種型式係利用送水管之排氣閥，設置取水設備抽取積蓄管內之清水；第 3 種型式為於臺北市防災公園內，建置地下式管狀或鋼筋混凝土維生貯水槽，說明如下：

(1)管狀維生貯水槽

利用配水管週邊之公園、綠帶、學校或道路人行道，埋設大口徑之防脫管線，其長

度約數公尺至十餘公尺，口徑為 1.5 公尺～2.4 公尺，其長度如以 10 公尺計算其容量即可有 18～45 公噸，並設置連接管與旁邊之配水管連通，屬密閉式設施，故無需另設加壓設備，平時即可維持活水進出，另連接管上設置緊急遮斷閥，並兼做維修人孔，大型地震發生時，緊急遮斷閥自動關閉，將水留存於管中，利用取水設施即可將水取出，作為周邊居民之緊急維生用水，如圖 1。

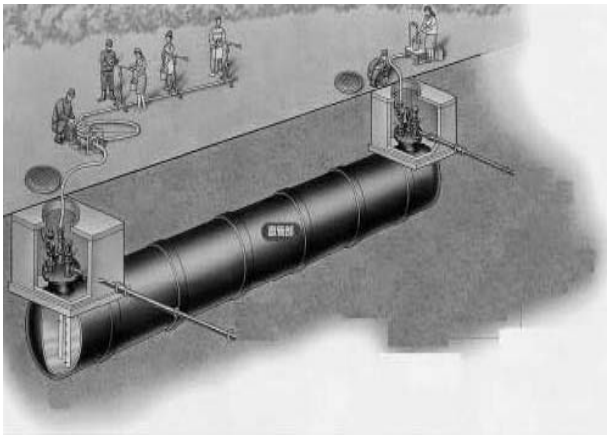


圖 1　管狀維生貯水槽示意圖[5]

(2)鋼筋混凝土維生貯水槽

鋼筋混凝土維生貯水槽(簡稱 RC 維生貯水槽)，其儲水容量較管狀維生貯水槽為大，一般在 500 公噸以上，設置連接管與旁邊之配水管連通，需配置加壓設施，將貯水槽儲水重新打入供水系統中，並補充新水以維持水質。操作模式為平時作為系統配水池供應住戶用水，大型地震發生時，利用閥控將水留存於貯水槽，再透過取水設施，即可將水取出作為周邊居民之緊急維生用水，如圖 2。

(3)建置情形

a.北水處轄區（含新北市）共規劃 46 處緊急維生給水站，其中 13 處配合市府已規劃之防災公園設置，作為災民收容中心，為能提供災民緊急維生用水，確保維持生存最基本飲用水。

圖 2　鋼筋混凝土維生貯水槽示意圖[5]

b.46 處緊急維生給水站全部完成後可提供約 34.4 萬公噸維生飲用水，以每人每日 3 公升基本維生飲用水量計算，可供應轄區 391.8 萬用水人口約 28 天用水。

地區性災害發生時，規劃以安全避難場所內設置之耐震防災緊急維生貯水槽架設緊急供水站方式給水，水車作為局部區域未架設固定給水站之臨時給水站補充給量。為短期補充維生用水，須規劃經包裝之袋裝維生用水，以提供緊急及方便使用，另直潭淨水場現在進行高級水處理模廠，亦可利用該等設備供應杯裝水等以利維生應急使用。

(六)打造永續供水城市

水資源為民生的命脈，亦為國家經濟發展的原動力，從最近幾年之事例及可預見的未來，臺灣或臺北地區可能面臨嚴重缺水危機，或遭遇颱風豪雨所產生的洪泛威脅。誠然政府或需為缺水問題而積極開發水源，或為消除洪泛而藉水庫調洪與廣設排水設施以利宣洩。然而在今日水資源建設開發不易情形下，對於水資源維護及有效利用將更形重要，其中關於水處理設施之改善將更顯重要。

北水處在公共給水方面，完善供水讓臺

北地區近 12 年來未發生區域性停水，更為臺北下一個百年建構用水無虞的防護網。未來仍將持續提升水資源利用效能，積極推動備援備載、管網改善、推動節水及耐震防災四大計畫，打造水資源永續發展與利用的城市。

1.備援備載

北水處在2009年以前只有1條原水輸水管線，淨水場備載處理能力僅 13%，應付颱風暴雨等突發狀況實存有風險。2009 年底完成直潭第 2 條原水輸水路後，增加取水量每日 270 萬噸，且可與既有原水輸水路互相備援，達到雙系統取水目標，至此臺北地區原水取水有了雙管齊下的安心保障。2013 年擴建直潭淨水場第 6 座淨水設施後，其總淨水能力增為 340 萬噸，北水處整體淨水能力備載率將提升為 34%，配合雙線原水輸水管線，可大大降低原水濁度暴增造成的缺水風險。

1987 年及 2002 年分別完成口徑 3,400 公釐及 3,800 公釐之第一、第二條清水幹線主線工程，為大臺北地區清水輸送及調配打下堅實基石，惟轄區內仍存有少數經由單線管路輸送清水之獨立供水區，缺水風險相對較高。2002 年的旱災，促使開始積極強化供水系統備援能力，未來供水轄區內兩條主動脈間－清水雙線輸水管路－將擁有相互連通的 6 條支線，可靈活調度運用，各供水分區皆能相互支援。

自 2006 年至 2021 年積極進行備援備載作業：(1)原水雙系統取水；(2)淨水備載率由13%提升至 37%；(3)清水幹線相互備援；(4)供水分區雙系統供水。

2.管網改善

為提昇水資源永續利用效能及健全供水管網，全面推動小區計量工法進行漏水改善，以管線汰換、水壓管理、主動檢測漏水及修漏速率品質作為四大主軸方向，搭配全線開挖施工以徹底斷除不明管，並以小區計量循環追蹤管網改善成效。近年來降雨量受氣候變異影響，變得極不穩定，加上環保意識抬頭，新水資源開發不易，因此減少無計費水量 (Non-revenue Water, NRW)更是必須落實的措施。自 2006 年至 2025 年推動「供水管網改善及管理」長程計畫，整體目標為將漏水率降至 10 %。

2012 年汰換管線 167.5 公里，巡檢里程 3,012 公里，漏水率由 2006 年 25.77 %下降至 2012 年 19.1%,累積年漏水率降低 6.67 %，節省水資源 8,969 萬噸。

3.推動節水

不論生活用水，工業及農業用水均須珍惜點滴水源得來不易，以最少水資源創造最大的利用價值，包括經濟及生態環境的價值。可惜在目前水價偏低的條件下，推動節約用水真是談何容易，因為使用者不會有切身之痛，因此合理化水價應該是邁向水資源永續發展與利用的優先課題。

北水處「家戶節水」係以點、線、面方式，從「家庭」「社區」「學校」「社會」4 個管道來推動，經由社會營造節水話題氣氛、學校推動水教育、社區凝聚節水意識，最後在家庭生活中來落實節水行動，以多面向宣導及鼓勵民眾實踐節水生活。每人每日家庭用水量自 2007 年推動家戶節水的 263 公升降至 2013 年 220 公升，降低 16.3%，因用水量降低，讓臺北有餘裕的水量及時間來防範旱象及支援其他缺水地區供水。

北水處更以「家戶節水計畫」擊敗日本、韓國等競爭對手，榮獲國際水協會 2012 專案創新獎東亞區首獎及全球榮譽獎。

2012 年節水推動具體成效：

(1)每人每日用水量（目標：較 2010 年減少 3 公升）執行成果減少 6 公升。

(2)每人每日家庭用水量（目標：較 2010 年減少 3 公升）執行成果減少 5 公升。

4.耐震防災

(1)維生用水：2007 年完成緊急給水站建置，提供 250 萬人每人每日 3 公升可持續 4 週所需最基本飲用水。

(2)耐震管材：北水處長期致力於自來水管線系統耐震能力之提升，與國內外自來水專業單位交流，參與國際性研討會增進自來水專業智能，對於新技術及新工法之引進不遺餘力。在管材方面，比照先進國家，配水管採用防蝕、耐震、耐衝擊之「球狀石墨延性鑄鐵管（DIP）」，給水管全面推動波狀不鏽鋼管（SSP），強化給水管線耐震性能，可承受地震震度 7 級（400gal）而不漏水，取代傳統施工方式，用於克服地下障礙物施工，並減少接頭數量，強化耐震潛能，增加管網整體耐震能力，可降低漏水機率。

(七)中水雨水回收再利用，善用水資源

北水處於自來水園區所建置的「雨中水貯留及示範教育模組」利用水資源教育館屋頂收集雨水，作雨水貯留，另接管收集園區內鄰近親水池之排放水，每年自來水替代量超過 700 噸以上，作為自來水園區澆灌及沖廁使用。

利用屋頂收集雨水利用，除了可加強原本建築物的使用功能，並可藉此達到暴雨時都市防洪之目的，另外配合澆灌系統與沖廁系統之連結，可增加自來水之替代量，進而使水再生循環利用。

透過示範教育模組並可增加民眾對雨水回收之了解，使教育功能之展現更加具體，希望未來公私有建築物都能援引採用。

(八)水資源教育

要讓保育種子萌芽必須從小扎根，2004 年起北水處投入國小水資源教育，每年製作節水學習手冊分送北市國小學童，落實向下紮根目標。2009 年製作多媒體互動電子書，以仿照時下流行線上遊戲方式，採互動模式製作，使其在遊戲中學習節水知識。2011~2012 年開辦教師研習營，函邀北市及新北市國小教師參加，2012 年另舉辦網路節水佳句、節水徵文、節水教案等創意比賽，以生動有趣的方式與民眾互動辦理宣導，頗受民眾好評。

另為因應 2011 年 6 月 5 日施行環境教育法及落實環境教育功能，特於寓教於樂之自來水園區內成立環境教育中心，其精心研發三大主題課程：「水.源來如此」(自來水流程)、「臺北水道水源地」(古蹟)、「觀音山生態探秘」（生態）為主軸架構，規劃多項水資源環境教育活動，並於 2012 年 2 月通過行政院環保署環境教育設施場所認證，為全國第一個獲得認證之公營事業機構所屬設施場所，且於該署「2012 年環境教育基金補助計畫成果發表會」獲頒績優單位。

(九)資源回收－淤泥再利用

自來水淨水過程中產生的淤泥，若不經處理即排放，將會污染河川。為了保護環境使資源能夠再利用，北水處致力將淤泥餅轉化為有用資源，傳統以掩埋處理方式成本

高，現在提供淤泥餅作為製磚及水泥之原料，不但可避免二次公害，平均每年可節省近 1 億元以上的掩埋處理費用，亦可將廢棄物轉變為可利用之資源，使淨水場成為零排放、零污染的工業，真正做到「垃圾變黃金」的資源再利用目標。

五、結論

人類的文明發展與其他環境生態系統之運作皆離不開水資源。雖然地表 70%的面積為水所覆蓋，但人類可直接使用之水資源卻相當稀少，僅佔全球水總量的 0.8%。在全世界追求永續發展與利用過程中，如何明智的開發與運用如此珍貴的環境資源，將成為二十一世紀人類所必須共同面對之課題。

早期人類為水所苦，為水而爭。但在科技進步與前人努力下，水不再需要汲汲營取，而是唾手可得。隨著自來水的方便與普及，人們忽略對水最初的珍惜與重視，逐漸淡忘了對水的渴望與依賴，恣意揮霍與污染，直到天災面臨缺水危機時，才又感受到對自來水的依賴與渴望，警覺到水資源的有限與脆弱。請從現在做起，共同珍惜每一滴甘甜的水。

「打造不缺水的供水城市」不但是臺北自來水重要目標也是企業社會責任，除提出管網改善等四大計畫外，並致力綠色服務及環境教育工作等，未來仍秉持維護水資源職志，持續推動綠色節能及擴增供水能力與穩定供水，讓更多民眾共享優質水源，且不增加供水風險，積極提高水資源使用效率，如此，在政府與全民共同戮力合作下，才能使水資源永續發展與利用得以落實。

參考文獻

1.陳永森、陳章波，臺灣水資源環境空間永續利用，財團法人台灣環境資訊協會，1999年。
2.林松茂，永續水資源發展，財團法人中國生產力中心全球資訊網，2013年2月。
3.鄭錦澤，「從風險管理探討提昇臺北自來水調度備載能力及效益」，中華民國自來水協會會刊，第26卷，第2期，第33-44頁，2007年5月。
4.黃金山，水資源永續利用及產業的發展，永續產業發展雙月刊 No.50，第21-28頁，2010年6月。
5.臺北自來水事業處工程總隊，緊急維生供水計畫，臺北自來水事業處工程總隊全球資訊網，2013年7月。
6.臺北自來水事業處，2012永續發展及環境報告書，臺北自來水事業處，2013年。
7.Taipei Water Department, “Taipei aims for a ‘green’ water supply,” Water21-Magazine of the Internation Water Association, 2009.
8.臺北自來水事業處，發現台北好水，臺北自來水事業處，2011年。

作者簡介

張琰竑先生

現職：臺北自來水事業處淨水科三級工程師

專長：淨水處理、自來水工程設計及施工

吉貝淨水場溴酸鹽改善實場驗證

文/陳文祥、游育晟、吳美炷

一、緣起

淨水過程中產生之消毒副產物—溴酸鹽經世界衛生組織 (WHO) 歸類為可能致癌物，在環保署公告之飲用水水質標準中，已將該物質列為管制項目，其管制標準限值為 0.01 毫克/公升。

澎湖離島地區因枯豐水期差異，致使水庫中溴鹽含量變化高低不一，且該地區使用之部份地下水源已有受海水入侵鹽化現象，造成水中溴鹽含量偏高，經由次氯酸鈉消毒後產生溴酸鹽副產物屢有接近管制上限或偶超乎管制上限情形。

台灣自來水公司(以下簡稱本公司)於 2014 年 4 月 18 日「澎湖地區清水水質溴酸鹽含量等四項偏高改善」研商會議指示，派員至吉貝淨水場進行現場水質改善實場驗證，包括評估 pH 調整對於溴酸鹽生成潛勢之影響、前加氯對於溴酸鹽潛勢之影響、微生物對於溴酸鹽生成潛勢之影響等因子，並進行實場淨水流程評估，以研究探討淨水操作處理方法以降低清水中溴酸鹽含量，提供對策供操作營運單位參考應用，期確保供水符合飲用水水質標準。

二、飲用水中之溴酸鹽

依據文獻顯示溴酸鹽生成潛勢，飲用水中溴酸鹽主要來源為飲用水處理藥劑次氯酸鈉所含不純物，或為次氯酸鈉與臭氧等淨水處理程序與水中溴鹽反應所產生。

水中溴鹽氧化為溴酸鹽反應過程，會先產生活性溴 (Reactive bromine) 之中間物質，依據水中不同 pH，活性溴可能包含溴 (Dibromine, Br_2)、次溴酸 (Hypobromous acid, HOBr) 和次溴酸鹽 (Hypobromite ion, OBr^-) 三種，一般淨水處理之 pH 條件，HOBr 和 OBr^-平衡為控制溴酸鹽生成之關鍵因子，其中 OBr^-控制溴酸鹽生成，至於 HOBr 則可與有機物反應，形成溴仿等溴化有機物(Tynan et al., 1993)。溴鹽可與次氯酸反應生成次溴酸，次溴酸較次氯酸活潑，易與有機物發生鹵化反應，此外，次溴酸鹽自身氧化還原反應或與次溴酸發生交互氧化反應 (Cross-oxidation)，均會生成溴酸鹽，隨著 pH 降低，反應速率會增加。次溴酸鹽自身氧化還原反應或與次溴酸發生交互氧化反應，均會生成溴酸鹽，隨著 pH 降低，反應速率會增加，Wong (1977) 研究顯示次氯酸與溴鹽之交換反應 (Exchange reaction) 於 2.5 分鐘內完成。

1997 年國外已陸續有次氯酸鈉溶液含有溴酸鹽之報導，美國氯協會 (The Chlorine Institute, Inc.) 據以展開調查，發現英國次氯酸鈉溶液溴酸鹽含量普遍高於美國。次氯酸鈉溶液會含有溴酸鹽係因其原料濃鹽水中含有溴鹽 (典型鹽度 35 之海水氯鹽含量 1.94%，溴鹽含量 0.0067%)，經電解程序後產生溴酸鹽，業界產製的次氯酸鈉溶液中溴酸鹽含量會依原料來源、製程方式而有不同。製造次氯酸鈉溶液之兩大原料為氯氣和氫氧化鈉，純產製次氯酸鈉溶液之廠商 (非碱氯工業原廠) 可選購低溴之氯氣和氫氧化鈉來製造 NaOCl，以降除次氯酸鈉溶液中之溴

酸鹽。

台灣早期大多使用液氯進行加氯消毒，考量其危險性，已多改用安全性較高之次氯酸鈉作為消毒藥劑。惟近年來歐美日等先進國家陸續發現次氯酸鈉中含有溴酸鹽，陸續針對次氯酸鈉中溴酸鹽含量訂定品質基準。環保署於 2007 年考量先進國家對飲用水水質處理藥劑之管理趨勢，避免國內使用次氯酸鹽作為消毒劑之淨水場，其不純物(雜質) 溴酸鹽，在消毒過程中影響飲用水水質的安全性，爰於 2005 年 12 月 26 日公告飲用水水質處理藥劑次氯酸鈉增列不純物項目溴酸鹽，上限值為 50 mg/kg，施行日期為自公告後兩年正式施行。

依據「飲用水水質標準 (2009 年 11 月 26 日修正)」管制規定，台灣溴酸鹽管制限值為 0.01 mg/L，與美國、加拿大、世界衛生組織、歐盟、蘇格蘭、英國、日本和中華人民共和國等國家限值相同，符合國際管制趨勢。因臭氧淨水處理會導致水中溴鹽轉化為溴酸鹽，故標準原僅規範有使用臭氧處理之淨水場，惟依據前述次氯酸鈉等藥劑含有溴酸鹽不純物質，環保署爰擴大規範所有飲用水之水質標準中溴酸鹽含量不得超過 0.01 mg/L，自 2010 年 1 月 2 日起正式施行。颱風天災期間致水源濁度超過 500 NTU 時，為因應供水需求及我國特殊氣候水文環境，溴酸鹽標準在該期間不適用。

三、實場試驗程序

吉貝嶼之供水原由白沙鄉公所自營之簡易自來水供應，於 1977 年間完成後開始營運，但因地方政府缺乏專業人員管理，供水時有不繼，至 1988 年 7 月交由本公司接管，又吉貝系統自 2006 年起已從白沙供水系統分離，自成一個獨立的供水系統，目前吉貝嶼主要仰賴七口深井做為淨水場原水來源。

吉貝嶼目前抽取七口深井地下水送至淨水場內（圖 1 為吉貝淨水廠平面配置圖），經慢濾池過濾後貯存於清水池，並採加次氯酸鈉之消毒方式處理後，再以抽水機加壓送至供水區。吉貝淨水場內主要設備包括：

(一)慢濾池 8M×12M 濾池兩座，濾率 6.5 $M^3/M^2/D$。

(二)配水池 800M^3 清水池一座，H.W.L：12.6 M。

(三)清水抽水機 7.5 HP × 980 CMD × 27 M 二台（其中一台備用）。

(四)消毒設備：

1.消毒室乙座，面積 3M×4M。

2.次氯酸鈉加藥機二台（其中一台備用），加藥量為 3PPM， FRP 貯藥桶二桶。

(五)100 M^3 廢水池乙座。

(六)管理室乙棟，二樓 RC 造，面積 8M × 5M × 2 = 80M^2。

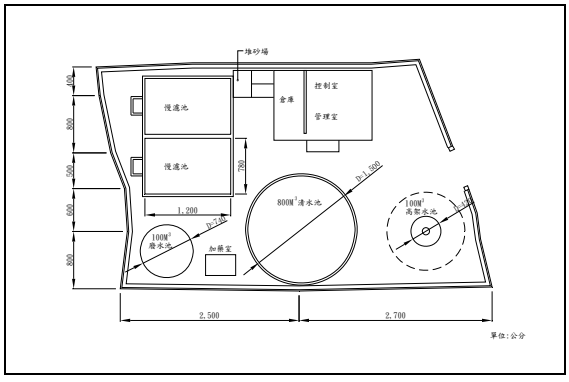


圖 1　吉貝淨水場平面配置圖

本公司澎湖營運所 2007 及 2008 年之吉貝深井工作登記表統計結果，2007 年吉貝供水系統平均供水量約為 475CMD，2008 年吉貝供水系統平均供水量約為 454CMD，吉貝

嶼七口深井以 7 號井供水量最大，6 號井及 2 號井供水量較少。又於「澎湖吉貝嶼供水水質改善工程計畫」指出目前各深井出水量均呈下降情形，且在水質方面亦有鹽化現象。

吉貝地下深井原水經慢濾處理後，進入清水池，次氯酸鈉加藥位置位於慢濾前 (前加藥)，避免細菌藻類滋長，慢濾池已啟用 11~12 年，約 3 年換一次砂，目前已換 4 次因地下深井原水 pH 接近 9，故於慢濾前添加硫酸，以控制 pH，次氯酸鈉於慢濾前加藥，地下深井原水部分，目前 2 號井管線破掉，無法使用，6 號井和 4 號井出水水質不佳，亦未使用，目前使用之地下深井以 7 號井水質最差，水量約 130~140 CMD。吉貝淨水場冬天供水量約 200~250 CMD，1 噸次氯酸鈉約可使用 2 個月，夏天 500 CMD，1 噸約 1 個月，清水池為 800 噸，採加壓供水，處理流程照片如圖 2 所示。

(一)預備階段

2014 年 8 月 13 日水質處派員至吉貝淨水場實場現勘，就後續試驗程序進行意見交換，初步結論有：

1.原於慢濾池上方遮蓋板須移除，讓慢濾池生態系統得以完整發展。
2.慢濾池共二池，操作方式於前端加入次氯酸鈉(前氧化)及硫酸(調整 pH)，為比較差異，將其中一池之前加氯調整為後加氯。
3.進行慢濾池微生物採樣，以了解微生物於慢濾池之生長狀態。

a.地下深井 (1 號井)

b.分水槽

c.慢濾池

d.清水加壓機

圖 2　吉貝淨水場淨水處理實況

(二)第一階段

2014 年 8 月 25 日至 29 日(共 5 天)，由本公司水質處、第七區管理處及澎湖營運所派員進行水質改善實場驗證，相關同仁於現場進行淨水處理問題檢討，並依據分工進行水質採樣及分析作業。

1.前置作業

(1)優先辦理吉貝淨水場「後加氯」加藥管線配置及移除慢濾池上方遮蓋作業(澎湖營運所主辦)。

(2)原水採「分流」方式改由吉貝淨水場兩個慢濾池並聯處理，以作為實場驗證之對照組與實驗組(澎湖營運所主辦)。

(3)完成吉貝淨水場地下深井(1、3、5、7 號井)之原水溴鹽、總鐵、總錳及氨氮含量水質分析工作(第七區處檢驗室主辦)。

2.現場試驗

澎湖營運所於進行實場驗證前(8 月 18 日至 8 月 22 日)，先行移除慢濾池上方遮蓋，並配置慢濾池後加氯管線，因吉貝淨水場有兩座慢濾池(採並聯式操作)，本次試驗除規劃探討不同 pH 對溴酸鹽生成趨勢影響，並評估不同加藥點(慢濾池前加氯或後加氯)對溴酸鹽生成濃度影響。

測試原水來源以溴鹽濃度最高之 7 號井為主，為維持每日穩定之供水量，不足水量由其他井補充。試驗自 8 月 25 日起先行調整後加氯加藥量，待穩定後，前加氯和後加氯操作模式持續至 8 月 27 日，於於當日上午啟動調整 pH 測試，原水水源比例受潮汐和供水量影響，比例並無固定，且淨水場清水池配水管線因閥件效能不佳，有返送於清水池之情形，水質採樣點包含原水(各地下深井水混合後)、慢濾池窖井(後加氯)、慢濾池陰井(前加氯)、清水池和配水點等 5 處，實場驗證示意如圖 3。

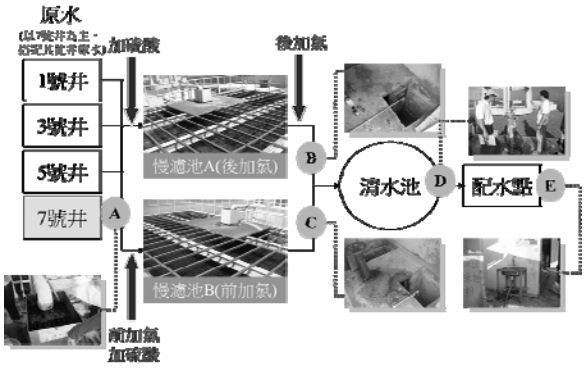


圖 3　實場驗證示意圖

自 8 月 25 日起至 29 日計完成 20 次採樣(pH、導電度、總溶解固體量和溴酸鹽分析水樣數為 20 個，溴鹽和硫酸鹽分析水樣數為 10 個)，水質檢測項目包含 pH、導電度、總溶解固體量、溴鹽、溴酸鹽和硫酸鹽。

3.試驗結果

吉貝淨水場實場驗證 pH、導電度和總溶解固體量變化如圖 4~圖 7 所示，8 月 28 日上午 8 點後加氯和前加氯水樣點後導電度有顯著增加，8 月 28 日後的後加氯和前加氯導電度平均值分別為 1,757 和 1,793 μs/cm，相較於 8 月 28 日 8 點前水樣導電度平均值略高 130~141 μs/cm，主要貢獻來自添加硫酸調整 pH 之硫酸鹽。

(1)溴酸鹽濃度變化趨勢如圖 8 所示，原水均為 ND，前加氯慢濾水溴酸鹽濃度呈現規律性變化，高峰值出現在每日晚上 8 點，濃度介於 0.112~0.287 mg/L，依據 2.5 節文獻顯示光照會大幅增加溴酸鹽生成濃度，假若溴酸鹽濃度峰值之反應時間為前天下午 2 點，推估慢濾池停留時間約為 30

小時；後加氯慢濾池溴酸鹽濃度介於 ND~0.0421 mg/L，主要係因後加氯管線係採用 PVC 管，加藥劑量控制相對較不穩定，且窨井體積較小，混合效果較不理想，溴酸鹽濃度變化大；清水溴酸鹽濃度因來自前加氯和後加氯慢濾水混合，加上淨水場清水有返送於清水池之情形，濃度峰值變化趨勢較不顯著，介於 0.0136 ~ 0.0819 mg/L；配水點溴酸鹽濃度與清水相近，介於 0.0119 ~ 0.0844 mg/L。吉貝淨水場採用水質最差的 7 號井作為主要原水水源，若採前加氯方式，因慢濾池無遮蔽，陽光照射會增加次氯酸鈉與溴鹽反應，溴酸鹽生成風險較高；後加氯相對於前加氯模式，雖可降低溴酸鹽生成風險，但因加藥劑量不穩定，溴酸鹽有超過 0.010 mg/L 風險，操作人員仍需妥善控管加藥量。溴鹽濃度變化如圖 9 所示，原水溴鹽濃度介於 1.04~1.26 mg/L，後加氯和前加氯慢濾水水樣溴鹽濃度分別介於 1.55~3.42 mg/L 和 1.54~3.48 mg/L，推測部分溴鹽與次氯酸鈉反應生成溴酸鹽或與進一步腐植酸等有機物反應生成三溴甲烷等溴化有機物，清水和配水點溴鹽濃度相近，分別介於 1.71 ~ 2.71 mg/L 和 1.74 ~ 2.70 mg/L。

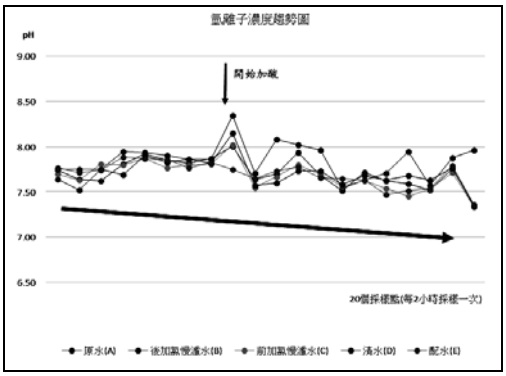


圖 4　吉貝淨水場實場驗證-pH

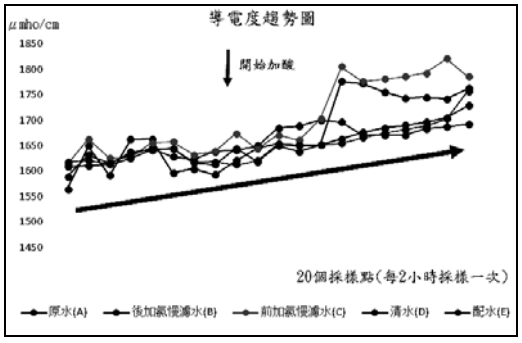


圖 5　吉貝淨水場實場驗證-導電度

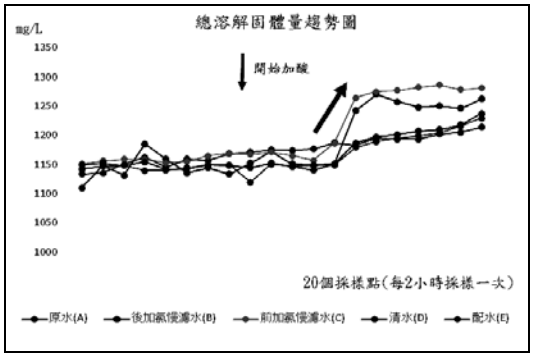


圖 6　吉貝淨水場實場驗證-總溶解固體量

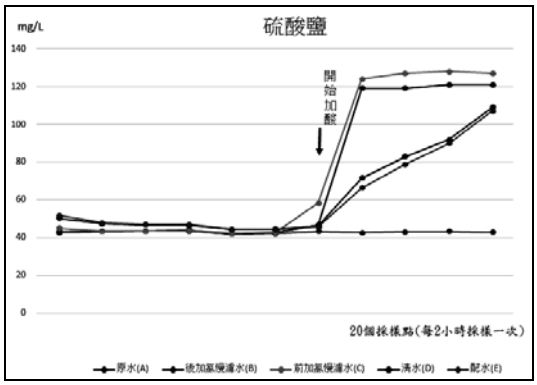


圖 7　吉貝淨水場實場驗證-硫酸鹽

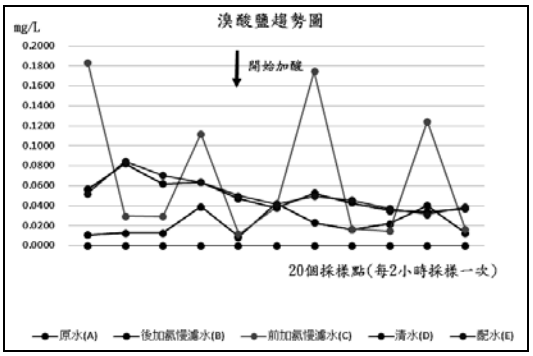


圖 8　吉貝淨水場實場驗證-溴酸鹽

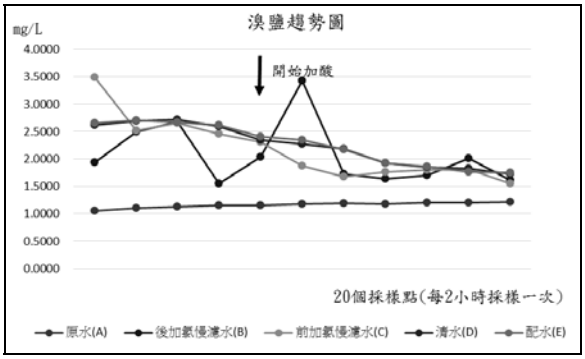


圖 9　吉貝淨水場實場驗證-溴鹽

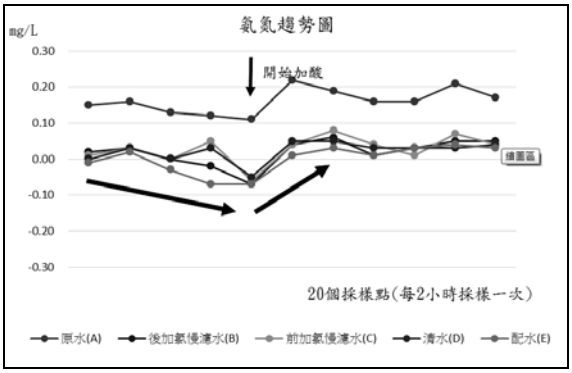


圖 10　吉貝淨水場實場驗證-氨氮

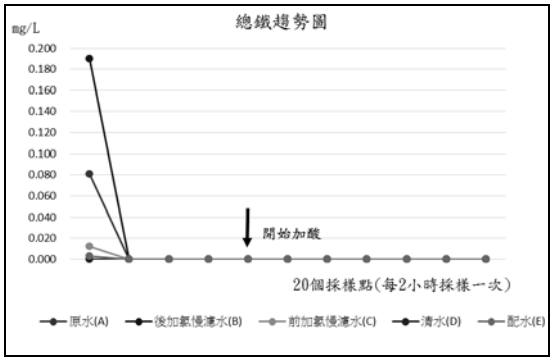


圖 11　吉貝淨水場實場驗證-總鐵

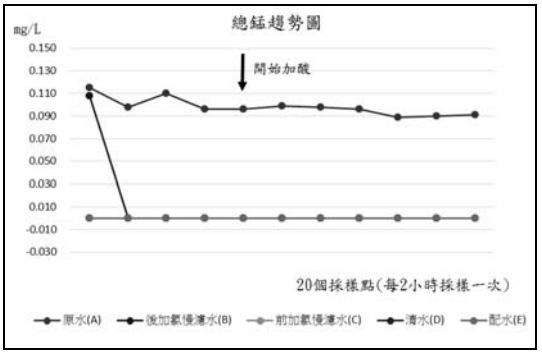


圖 12　吉貝淨水場實場驗證-總錳

(2)氨氮變化趨勢如圖 10 所示，原水之氨氮仍受原水深井調度及潮汐之水位之影響而變動，不論是後加氯慢濾水或是前加氯慢濾水多能符合飲用水水質標準，顯見以次氯酸鈉進行氧化或是慢濾池微生物分解對於氨氮的去除的結果是可被接受；另圖 11 總鐵變化趨勢及圖 12 總錳變化趨勢，對照的兩組慢濾池其處理結果也都能符合飲用水水質標準，就這樣的數據顯示，先前澎湖營運所以擔心傳統慢濾池操作方式無法有效去除氨氮、鐵及錳的顧慮是不正確的，也因此導致前加次氯酸鈉而增加不純物溴酸鹽的投入，後續的試驗將針對這個發現進行確認。

(三)第二階段

2014 年 9 月 10 日至 11 日(共 2 天)，由水質處、第七區管理處及澎湖營運所派員進行水質改善實場驗證，相關同仁於現場進行淨水處理問題檢討，並依據分工進行水質採樣及分析作業。

1.為追蹤前階段吉貝淨水場之水質改善實場驗證計畫之結果及成效，故進行第二階段之採樣計畫(採樣點如圖 13)。本次的試驗與第一階段的差異在於選用的原水回歸到既有的操作模式，而不再是選定最差的狀態(以 7 號井為主，其他井為輔)，本階段係以 1、3、5 號井為原水來源，符合當季的供水操作試驗設計如下：

◆流程 A：原水＋硫酸＋次氯酸鈉 → 慢濾池 A → 窨井 → 清水池 → 用戶（前加氯--加氯點於進慢濾池之前）

◆流程 B：原水→ 慢濾池 B → 窨井→ 清水池 → 用戶

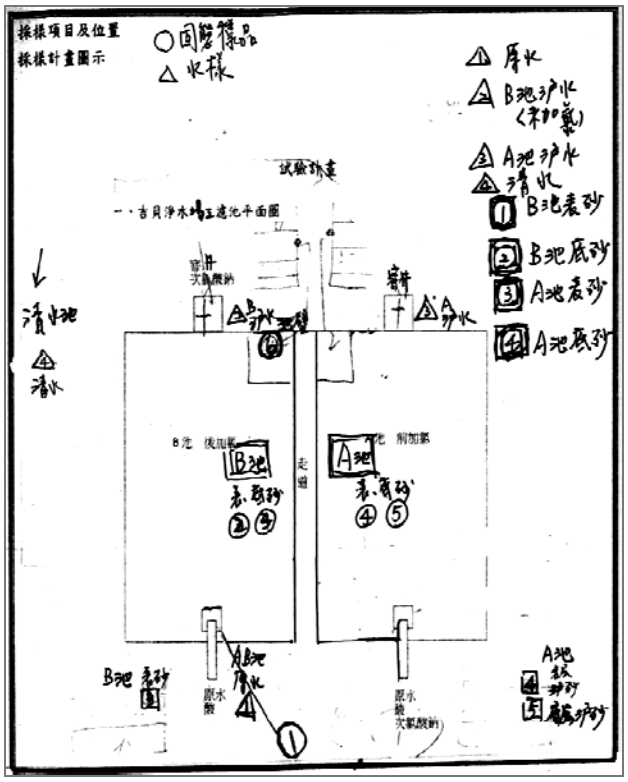


圖 13　第二階段試程流程

2.試驗結果

(1)第二階段試程綜合水質試驗結果如表 1，不論是慢濾池前加次氯酸鈉的操作模式，亦或是慢濾池後加次氯酸鈉的操作模式，其鐵、錳、氨氮及濁度經傳統慢濾池處理後，可符合飲用水水質標準，另與第一階段試程相較，其去除效率相當，而慢濾池後加次氯酸鈉的操作模式，就鐵、錳及氨氮(圖 14~16)去除，甚至有更佳的效果。

(2)在溴鹽及溴酸鹽水質試驗結果發現，在慢濾池前加氯 (A 池)溴鹽明顯較原水高，應是由次氯酸鈉之添加而來，也觀察到在 A 池濾後水部分之溴酸鹽濃度高於不添加次氯酸鈉慢濾池後 (B 池)，其原因應為來自次氯酸鈉添加及氧化作用，而清水部分則因兩池混合後持續之氧化而增加。

表 1　第二階段試程綜合水質試驗結果

採樣日期	採樣點	水溫	濁度	pH	餘氯	導電度	TDS	色度	總鐵	溶解鐵	總錳	溶解錳
103.09.10	原水	30.9	0.69	7.57	0.00	1139	793.4	0.32	0.07	0.06	0.054	0.049
	A池前加氯	30.3	0.37	7.42	0.20	1181	824.1	0.06	0.01	0.02	0.017	0.025
	B池生物	30.9	0.18	7.50	0.00	1139	792.2	0.01	0.00	0.00	0.019	0.006
	清水	31.0	0.39	7.79	0.25	1167	813.0	0.01	0.04	0.04	0.025	0.017

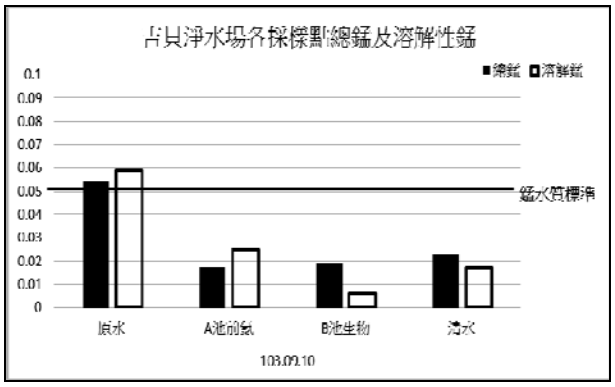


圖 14　吉貝淨水場實場驗證(第二階段)-錳

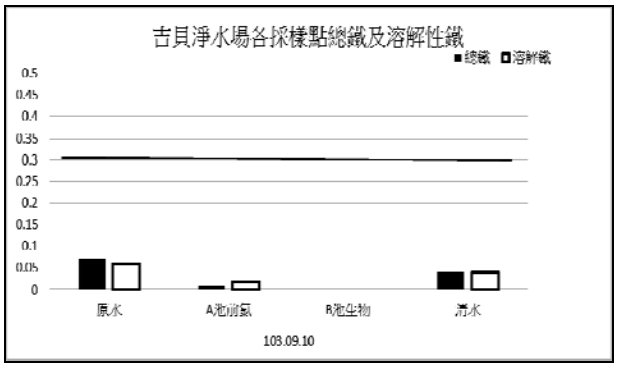


圖 15　吉貝淨水場實場驗證(第二階段)-鐵

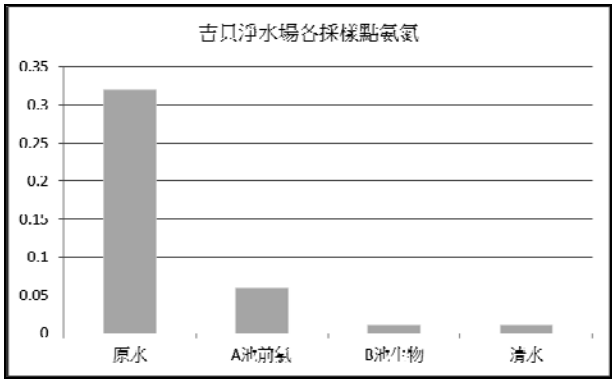


圖 16　吉貝淨水場實場驗證(第二階段)-氨氮

(3)本次試驗進行兩慢濾池上下層濾砂內之溴鹽及溴酸鹽之採樣，採樣的方式是利用土剷將濾砂剷出，取適當之砂量加入試劑水後進行搖晃，經濾除顆粒後將水樣進行分析(如表 2、圖 17)，可以看出當慢濾池前加入次氯酸鈉後，原水溴鹽經氧化形成溴酸鹽，在 A 池表面有較高之溴酸鹽係因氧化進行及照光效應，在 A 池底砂部分溴酸鹽濃度降低，推測濾砂及其內含之微生物對於溴酸鹽無累積作用。

表 2　吉貝淨水場濾砂之溴鹽及溴酸鹽

採樣日期 :103 年 9 月 10 日

地點名稱	溴酸鹽	溴鹽
吉貝(A 池表砂)	0.0026	0.2090
吉貝(A 池表砂)	0.0011	0.1677
吉貝(A 池表砂)	ND	0.1492
吉貝(A 池表砂)	ND	0.1395

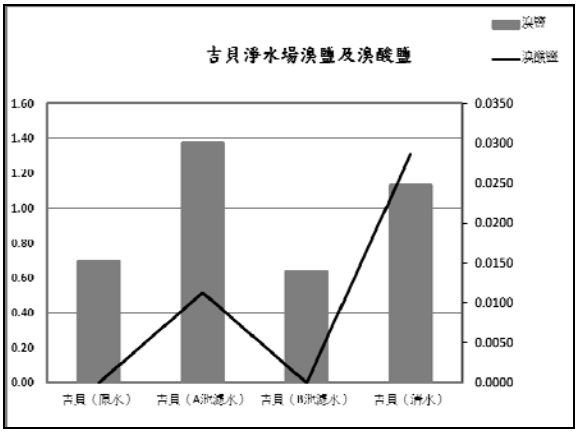


圖 17　吉貝淨水場實場驗證(第二階段)-溴鹽及溴酸鹽

3.第一階段及第二階段試驗小結

(1)第一階段試驗係採 7 號井為主，1、3、5 號井為輔進行操作，處理水量約 620CMD(夏季用水量)，第二階段試驗係採 1、3、5 號井進行調度操作，處理水量約 409CMD(秋季用水量)，水量差異係因遊客銳減，也因此導致處理時間或貯存清水池時間加長。

(2)兩階段之檢驗結果，不論是 A 慢濾池過濾水(前加氯)或 B 慢濾池過濾水(生物池)其處理後清水之鐵、錳及氨氮皆可符合飲用水水質標準。

(3)總溶解固體量(TDS)不符合飲用水水質標準，係因以傳統慢濾設備無法去除。

(4)溴酸鹽：A 慢濾池過濾水(前加氯)部分稍微超標、B 慢濾池過濾水(生物池)未檢出。

(5)原水溴鹽約 0.6 mg/L，A 慢濾池過濾水約 1.3 mg/L、B 慢濾池過濾水約 0.6 mg/L，推論應是 A 慢濾池前加氯所致。

(6)A 慢濾池表沙及底沙測出溴酸鹽，B 慢濾池則無，推論應是 A 池前加氯所致，且處理過程中 B 慢濾池內之生物並未對溴鹽產生轉換為溴酸鹽之行為，且無生物累積現象。

(7)綜上，原澎湖營運所對於吉貝淨水場所採取的慢濾池前加氯藉以氧化鐵、錳及氨氮的做法是不正確的，經試驗觀察僅採以單純慢濾池的操作即可達到處理的需求，而且，慢濾池前已添加次氯酸鈉，將增加加藥量、也增加溴鹽氧化生成溴酸鹽的機會。

(四)第三階段

103 年 10 月 14 日至 16 日(共 3 天)由本公司水質處、第七區管理處及澎湖營運所派員進行水質改善實場驗證，相關同仁於現場進行淨水處理問題檢討，並依據分工進行水質採樣及分析作業。

1.本次試驗為延續了解當吉貝淨水場若全採用水質狀況最差的 7 號井時以傳統慢濾池

處理，且因受冬季吉貝離島已無觀光遊客，需水量銳減，將期中慢濾池 A 瓶用，試驗目的在於了解其經傳統慢濾池處理後鐵、錳及氨氮是否能符合飲用水水質標準，且以後加次氯酸鈉的方式觀察溴酸鹽是否也可符合飲用水水質標準，試驗流程如圖 18。

2.另為了解溴鹽氧化程溴酸鹽之效應，以採瓶杯試驗進行不同濃度次氯酸鈉添加試驗。

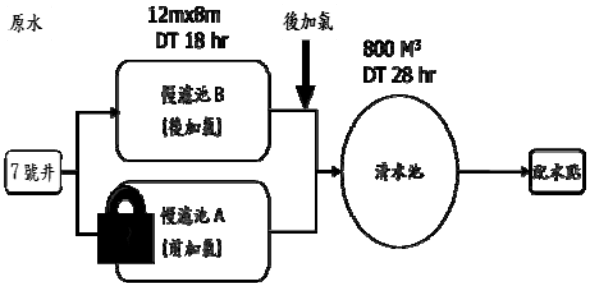
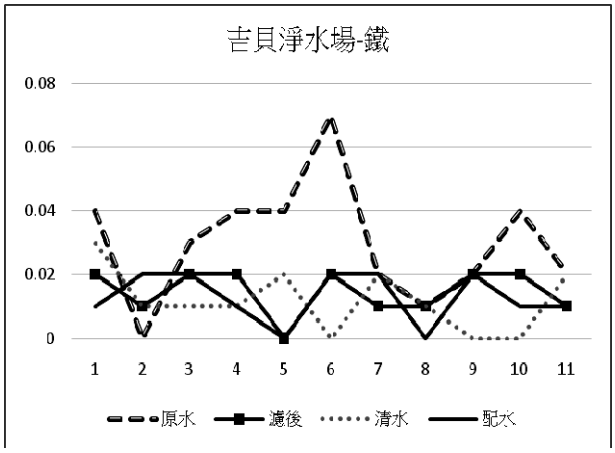


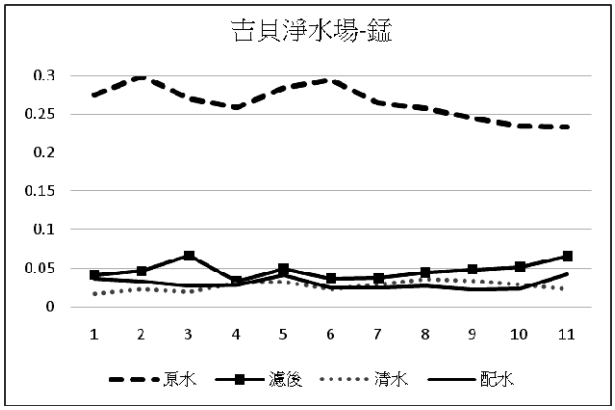
圖 18　第三階段試程流程

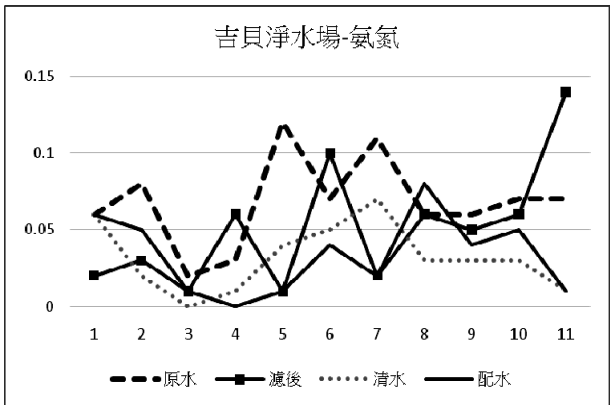
3.試驗結果

(1)觀察清水、配水水質之鐵、錳、氨氮及濁度，以傳統慢濾池處理在試驗期間皆能符合飲用水水質標準(圖 19)，也說明了以微生物群進行的慢濾池處理技術，是可穩定的利用在深水井的水質處理，以吉貝淨水場而言在設計的技術與處理的水質是可匹配(暫不將總溶解固體量納入考量)。

(2)在第三階段吉貝淨水場試驗溴鹽部分，在試驗觀察期間原水、清水及配水大致穩定，而溴酸鹽雖有變動，但期值仍遠低於 0.01mg/L 之飲用水水質標準(圖 20)，說明了傳統慢濾處理技術確實在吉貝淨水場發揮效益，而濾後加次氯酸鈉的方式也降低了溴酸鹽的生成。







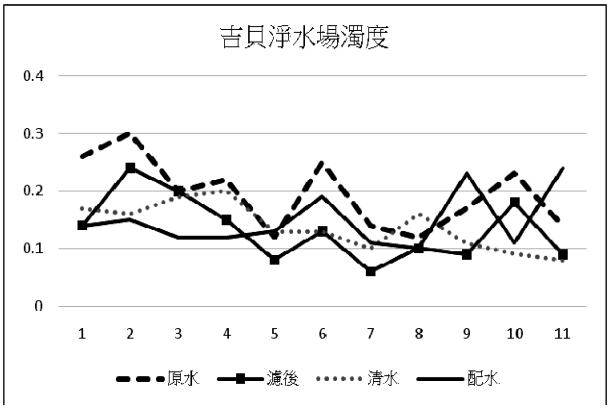


圖 19　吉貝淨水場實場驗證(第三階段)-鐵、錳、氨氮及濁度

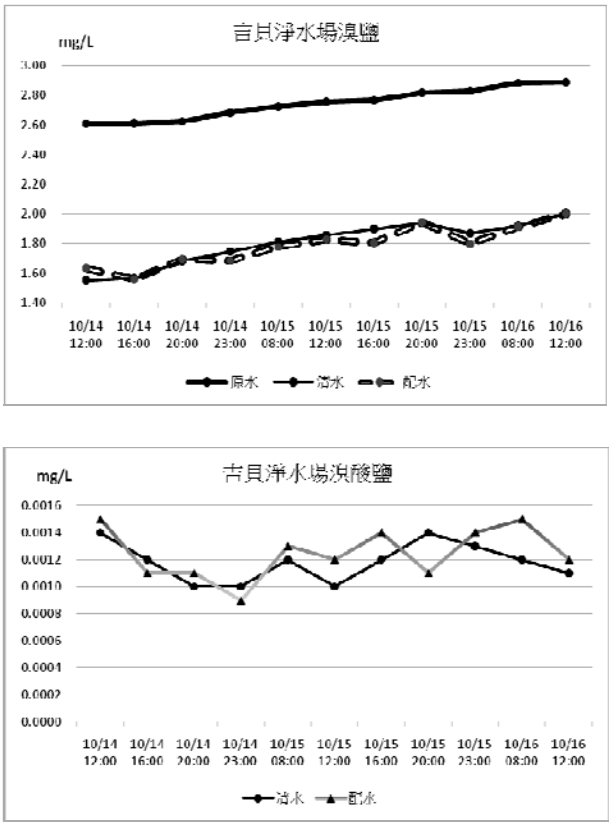


圖 20　吉貝淨水場實場驗證(第三階段)-溴鹽及溴酸鹽

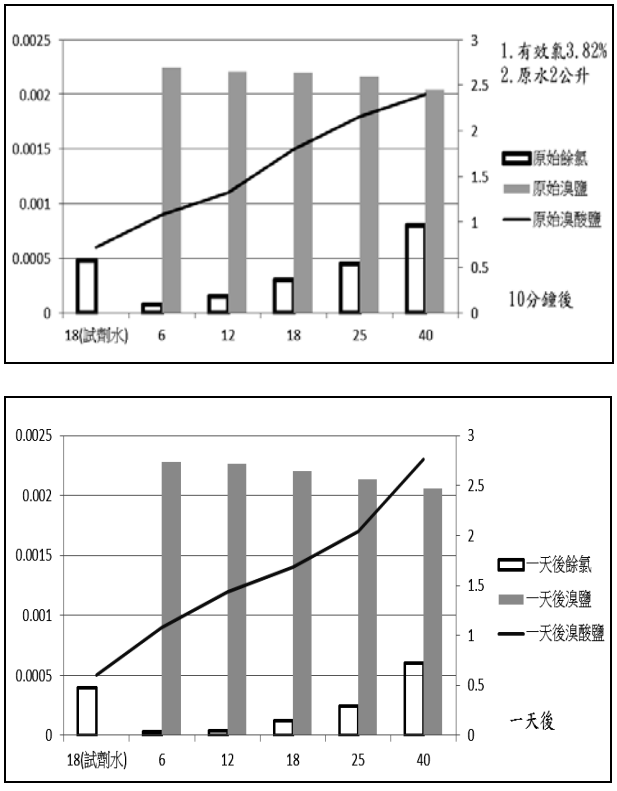


圖 21　吉貝淨水場實場驗證(第三階段)-溴鹽及溴酸鹽杯瓶試驗

(3)取吉貝淨水場 7 號深井原水進行溴鹽氧化生成溴酸鹽試驗，經評估實場後加次氯酸鈉之量為 18 mg/L(次氯酸鈉有效氯含量 3.82%，約 0.687 mg/L 加氯)，溴酸鹽部分，清水及配水皆低於 0.002 mg/L(標準 0.01mg/L)遠低於水質標準。在試劑水中溴酸鹽由次氯酸鈉之貢獻約 0.0005 mg/L(標準值之 1/20)，在添加不同濃度次氯酸鈉 10 分鐘後發現，溴酸鹽已成比例產生(氧化原水溴鹽)，經過一天後其濃度並未發生變化。如圖 21。

四、結論與建議

(一)結論

1.試驗結果其中鐵、錳、氨氮及濁度經傳統慢濾池處理後，可符合飲用水水質標準，因此，原吉貝淨水場為加強氧化而採用慢濾池前加氯的操作方式應予以修正。

2.溴酸鹽部分，清水及配水皆低於 0.002 mg/L(標準 0.01mg/L)遠低於水質標準。在試劑水中溴酸鹽由次氯酸鈉之貢獻約 0.0005 mg/L(標準值之 1/20)，在添加不同濃度次氯酸鈉 10 分鐘後發現，溴酸鹽已成比例產生(氧化原水溴鹽)，經過一天後其濃度並未發生變化。

3.原澎湖營運所對於吉貝淨水場所採取的慢濾池前加氯藉以氧化鐵、錳及氨氮的做法是不正確的，經試驗觀察僅採以單純慢濾池的操作即可達到處理的需求，而且，慢濾池前已添加次氯酸鈉，將增加加藥量、也增加溴鹽氧化生成溴酸鹽的機會。

4.慢濾池生物黏膜中含有豐富的微生物種群，包括細菌、藻類、原生動物以及各種微生物的分泌物，這些微生物形成了良性

迴圈食物鏈，此與慢濾池之處理效能息息相關。

5.後續吉貝淨水場之操作，依據試驗結果應以原水經慢濾後再加次氯酸鈉之方式辦理，回歸慢濾池原設計之操作方式。

(二)建議

1.加氯因慢濾池無遮蔽，陽光照射會增加次氯酸鈉與溴鹽反應，加氯點調整為至慢濾後，開蓋後，避免藻類滋生問題，建議慢濾池上方增設遮光罩。

2.後加氯相對於前加氯，雖可降低溴酸鹽生成風險，但因加藥劑量不穩定，溴酸鹽仍有超標風險，應注意妥善控管加藥量，當有效氯高時，所需加氯量低，現場既有加藥設備調整不易，建議應更新加藥設備。

3.吉貝地區受潮汐影響，每日原水進水水量變化大，介於 14~30 CMH，且目前以人工方式手動調整加藥，建議設置遠端中控系統於澎湖本島統一管控，將次氯酸鈉加藥方式自動化 (如依原水量調整)，當地人員再定期巡檢設備運作狀況，亦可建立完整原水量、加藥量和供水量連續數據。

4.慢濾池為傳統淨水設計，有佔地面積大出水量少的缺點，在用水需求壓力下，已多改為快濾方式，但對於離島、偏遠地區等其操作運營較困難地區，仍具優勢，本淨水技術應獲重視並投入研究。

參考文獻

1.Belluati, M., Danesi, E., Petrucci, G., Rosellini, M., Chlorine Dioxide Disinfection Technology to Avoid Bromate Formation in Desalinated Seawater in Potable Waterworks. Desalination, 203 (1-3), 312 – 318, 2007.

2.Genuino, H. C. and Espino, M. P., Occurrence and Sources of Bromate in Chlorinated Tap Drinking Water in Metropolitan Manila, Philippines, Arch Environ Contam Toxicol, 62 (3), 369-379, 2012.

3.Wong, G.. T. F., Davidson, J. A., The fate of chlorine in seawater, Water Res, 11 (11), 971 – 978, 1977.

4.Tynan, P. J., Lunt D.O., Hutchison, J., The formation of bromate during dringing water disinfection, Final report to the Department of the Environment, 1993.

5.朱琦，飲用水處理過程中溴酸鹽的生成特性及優化控制研究，哈爾濱工業大學博士論文，2012。

6.江弘斌，飲用水水質處理藥劑次氯酸鈉不純物品質管制項目增列溴酸鹽，自來水會刊，第29卷第4 期，第50-58頁，2010。

7.陳谷、方芳、高乃雲、楊婷、陳明吉、沈玉瓊，原水中溴酸鹽的產生與控制技術，淨水技術，32，第10-14頁，2013。

8.環境檢驗所，抽測飲用水中溴酸鹽，為人民健康把關，環境電子報，第24期，2011。

作者簡介

陳文祥先生

現職：台灣自來水股份有限公司　組長

專長：自來水規劃、效能評估、營運管理及策略管理

游育晟先生

現職：台灣自來水股份有限公司　工程員

專長：自來水水質檢驗及分析

吳美炷小姐

現職：台灣自來水股份有限公司　工程員

專長：自來水水質檢驗及分析

路竹阿公店水庫水質分析及對策研擬

文/陳威豪

一、緣起與目的

103 年 4 月 24 日阿公店水庫因臭味及錳水質問題，導致路竹淨水場停止出水，由坪頂廠供水支援，本研究擬藉最佳加藥測試實驗，協助該場進行水質改善及因應作為。

考慮路竹淨水場原水異常水質現象，為改善其臭味及高錳水質，本專案擬採添加高錳酸鉀及粉末活性碳方式，結合加強混凝機制，據以測試去除上揭水質(含有機物)之成效。另利用此機會，結合以往台灣自來水公司（以下簡稱本公司）所辦理高錳酸鉀、異臭味及加強混凝等杯瓶訓練，培植本公司同仁實作能力，以建立水處理研究基礎知能。

二、文獻回顧

(一)高錳酸鉀於淨水場之應用

高錳酸鉀最早使用於水場中主要是作為鐵、錳去除及臭、味之控制，對於淨水程序中控制藻類與其他微生物生長亦有不錯之效果，故適用於淨水程序。再者，高錳酸鉀於還原所生成之二氧化錳可吸附有機或無機物質，而使後續混凝及沈澱出流水之濁度降低(Weber, 1972)。有 Moyers 與 Wu (1985)、Ma 與 Graham (1996)以及 Graham (1997)等多位學者均已證實，高錳酸鉀能有效提高表面水的混凝程序、減少濁度、溶解性有機物、色度(E420)及 UV 吸光值(UV_{254})，並可降低三鹵甲烷的生成潛能。另外，Zawacki (1992)也指出，高錳酸鉀除可氧化有機物，去除色度及臭、味之外，所生成之二氧化錳膠羽，對於淨水程序亦有很大之貢獻。

(二)臭味來源

造成水源臭味的原因非常複雜,通常是由許多因素相互作用的結果。水源的臭味常因地域性、時間性及週期性的不同而呈現不同特殊臭味，其中以水生藻類及放線菌所產生的臭味為水源臭味主要來源。自來水事業往往因水中 Geosmin 與 2-MIB 超過人民感官臭味閾值(threshold)造而成民眾抱怨水質問題，尤其好發於夏季月份(Rangesh & Sorial, 2011)。研究顯示，水中主要 Geosmin 與 2-MIB 來源來自藍綠藻(cyanobacteria)(Watson, 2004; Watson, Ridal, & Boyer, 2008)，另外研究指出在地表水中之 Geosmin 與 2-MIB 可能是來自於特定絲狀菌或放線菌所貢獻的(Zaitlin & Watson, 2006)。

(三)台灣南部自來水中的臭味物質

根據國內外學者的研究，台灣地區約有一半的水庫被懷疑水中有臭味問題(Hu, 1998)，南部地區尤其嚴重，南部地區的臭味問題，以土臭味、魚腥味及氯味最為常見(高氏, 1998；汪氏, 2000；楊氏, 2001)。

台灣南部地區地面水(澄清湖、鳳山水庫、東港溪等)中土臭味及魚腥味會隨季節變化而有所改變(陳與曾, 1986；溫氏, 1995；高與林, 1998；汪氏, 2000)，且與水中藻類種類的數量有明顯關係，根據研究魚腥味主要出現在冬天，而土臭味則常見於夏天，另外在陳氏等人(1982)的報告中指出，澄清湖水源

中之土臭味主要可能來源為放線菌與藍綠藻，當進入夏季時，澄清湖的環境因子適合放線菌生長，在藍綠藻大量繁殖後常伴隨著表面水生放線菌的增殖，而使水質受到放線菌的影響，產生土臭味，此時以 Oscillatorialimnetica 和 Microcystis 兩種藍綠藻為優勢藻種。且高氏(1998)已於澄清湖及港西淨水場之原水及清水中偵測到產生土臭味之化學物質 2-MIB。

(四)臭味之控制

曝氣、混凝、沈澱、砂濾等為一般傳統基本之淨水單元，傳統淨水程序對臭味之去除並未有顯著之成效，仍需仰賴其他單元之輔助。

氧化法乃藉由氧化劑之高氧化電位來對目標物進行分解去除，傳統淨水場乃以氯作為氧化劑，但由於目前水源污染嚴重，為達效果提高加氯量，卻也提升消毒副產物致癌問題，現階段的淨水場多尋求替代氧化消毒劑，以達兼顧處理效果與安全之目的，常見的替代氧化劑有臭氧、二氧化氯與高錳酸鉀等，然使用氧化劑除氧化有機物外，亦可同時將臭味物質去除，不過不管使用何種氧化劑，處理過的水都可能因氧化產生的生成物或殘餘氧化劑本身的味道而導致出水存在與原水不同形式的臭味。

活性碳被利用來去除臭味物質在國外已有相當多的研究。以粉狀活性碳之添加來去除臭味物質，其表示一般 PAC 乃用於非常態性的臭味問題處理，即當飲用水發現臭味處理問題時再施加，其對於臭味及水中揮發性有機物的控制相當有效。

事實上早在 1964 年時即已有文獻顯示格蘭氏陽性菌會代謝臭味物質(Silvey and Roach,1964)；McGuire(1999)亦指出生物處理對臭味去除具有成效。Nerenberg 等(2000)以臭氧搭配生物濾床進行臭味去除之研究，其表示單獨使用臭氧，其氧化後之產物會增加生物活性，然單獨使用生物濾床於淨水程序，則有營養鹽不足的考慮，故若在臭氧氧化後增加生物濾床則可將臭氧為完全分解的物質藉由生物利用而達去除效果。

三、實驗方法

(一)去除鐵、錳、臭味、有機物杯瓶試驗(以下簡稱實驗組)步驟 A、B、C 與 D 流程，如圖 1~4 所示。

(二)傳統處理杯瓶試驗(以下簡稱對照組)步驟 E、F 與 G 流程，如圖 5~7 所示。

四、水質分析與探討

(一)初嗅數

試驗時路竹淨水場原水初嗅數到達 4，以同樣流程試驗，初嗅數於添加高錳酸鉀、粉末活性碳程序及在後續加強混凝(調酸至 pH=6.3 及加 PACl)初嗅數皆會降低，同樣的，傳統前氯、PACl 混凝對照組，其初嗅數亦降低，皆符合飲用水水質標準(初嗅數 3)。

(二)臭味物質 2-MIB/Geosmin

由圖 8 可知，5 及 6 月份 A 與 B 水樣其 2MIB 與 Goesmin 濃度皆比 E 水樣低，係因加強混凝沉澱試驗中除了有添加 PAC 以利去除外，還因為怕水樣中殘留 PAC 會持續與 2MIB 及 Geosmin 反應而影響數據準確性，多

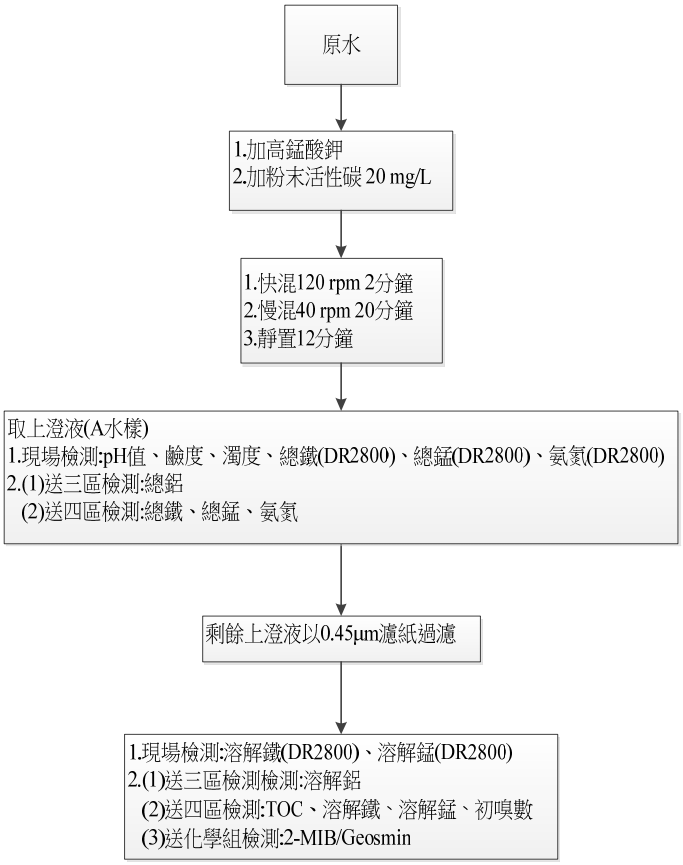


圖 1　實驗組步驟 A 流程圖

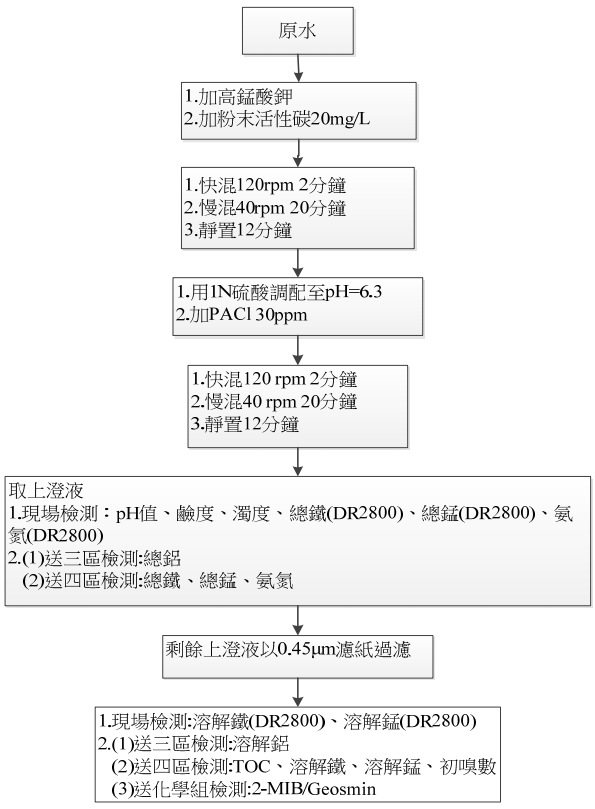


圖 2　實驗組步驟 B 流程圖

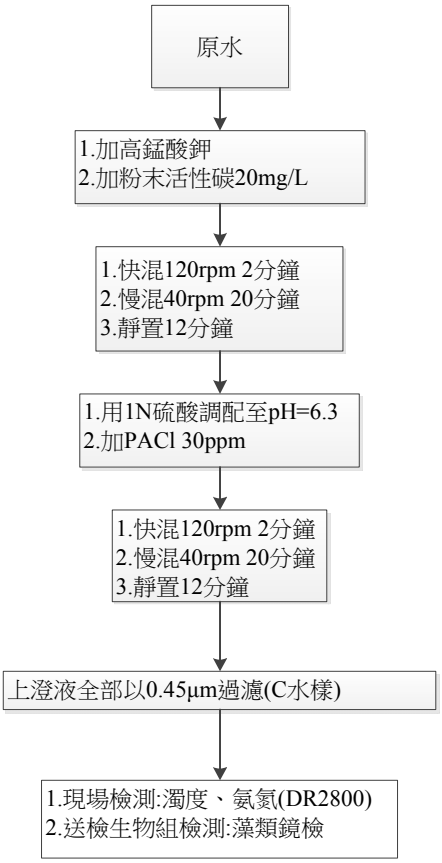


圖 3　實驗組步驟 C 流程圖

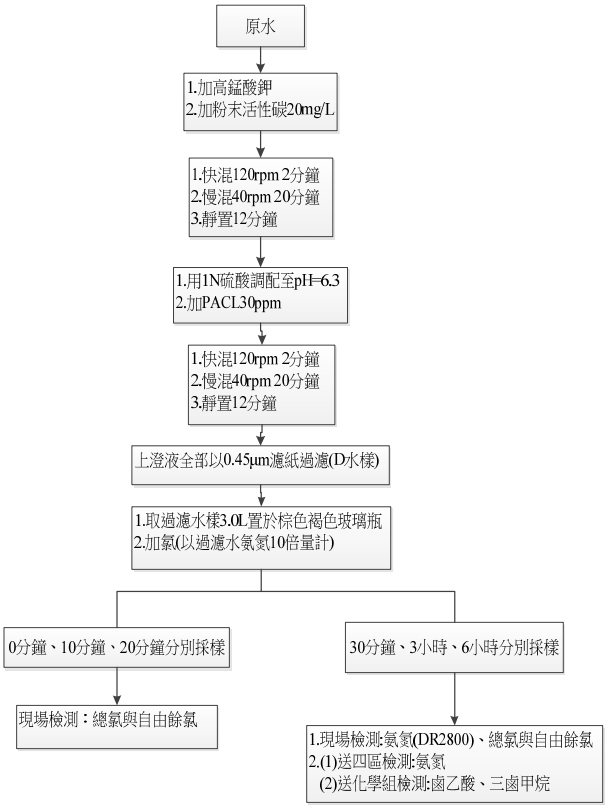


圖 4　實驗組步驟 D 流程圖

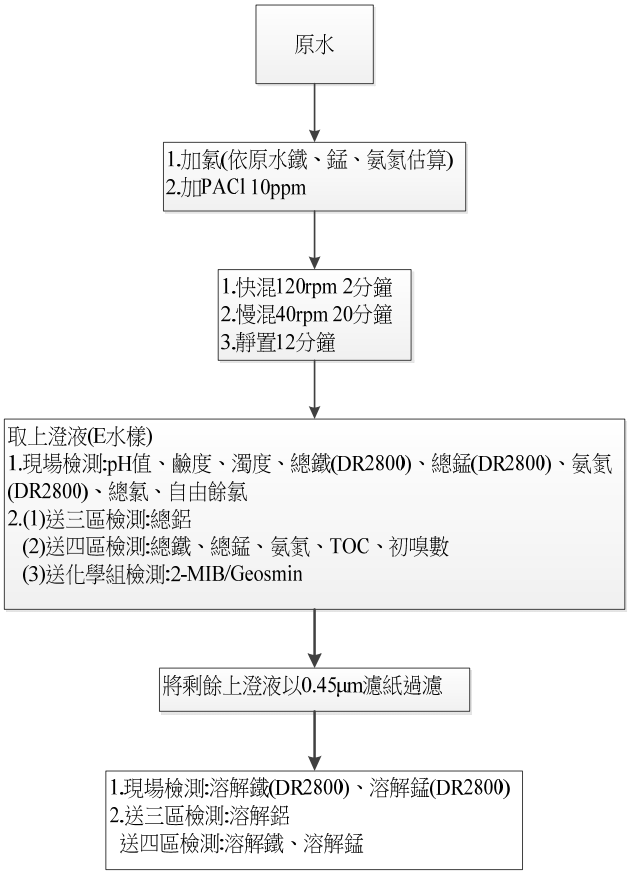


圖 5　對照組步驟 E 流程圖

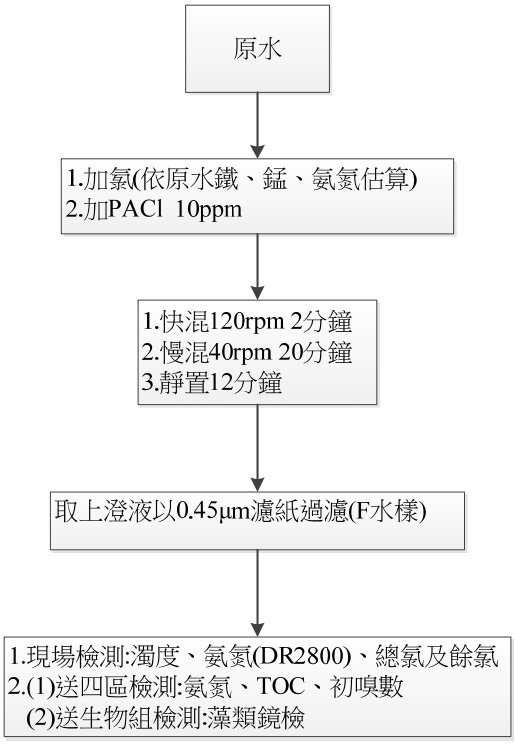


圖 6　對照組步驟 F 流程圖

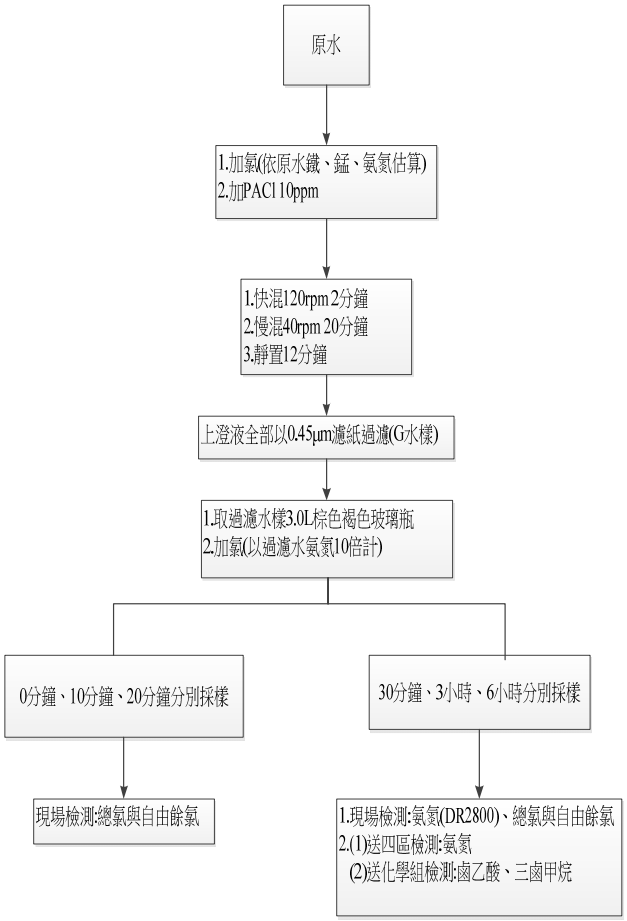


圖 7　對照組步驟 G 流程圖

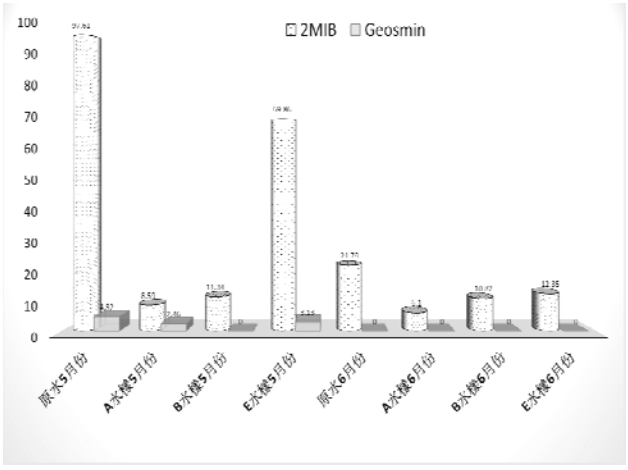


圖 8　水樣中 2MIB/Geosmin 變化

了過濾動作，導致其濃度再度降低。因此可以判定，過濾程序會降低 2MIB 與 Goesmin 濃度。而缺少 7 月份數據，係因水樣超過保存期限無法分析之故。

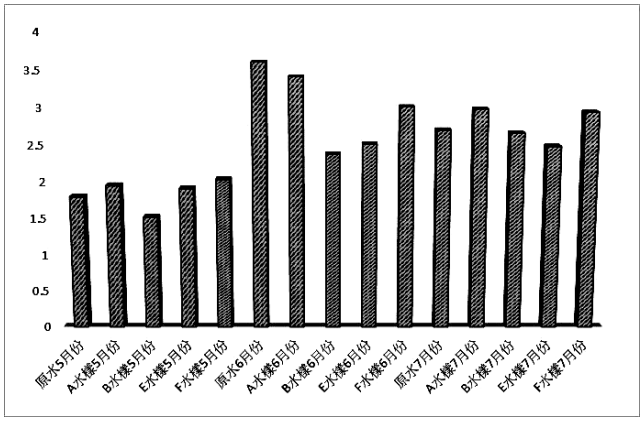


圖 9　水樣中 TOC 變化

(三)總有機碳(TOC)

由圖 9 可知，5、6 及 7 月份原水 TOC 濃度雖然符合飲用水水源標準 4.0mg/L，但整體而言，數值仍偏高，且不管加強混凝沉澱試驗或傳統快混膠凝沉澱試驗，對其 TOC 去除率效果皆低。

在傳統快混膠凝沉澱試驗中，E 水樣經由 0.48um 濾紙過濾後，其濾液則為 F 水樣。F 水樣 TOC 數值皆比 E 水樣高，研判因濾紙材質(為醋酸材質)影響所導致而成。

原水中之總有機碳若於傳統淨水處理加氯氧化氨氮、鐵、錳之前不予有效去除，將產生三鹵甲烷或鹵化醋酸等消毒副產物。總有機碳內大部分均含有生物可同化性有機碳(Assimilable Organic Carbon A.O.C)，故在進入配水系統之前，不予去除，則所供應之水質非屬生物穩定性者，將於配水系統滋長微生物，助長管線腐蝕、產生味、臭並耗損餘氯。

(四)總鋁

由圖 10 可知，5~7 月試驗中，不管在原水中，或是經過加強混凝杯瓶試驗及傳統杯瓶試驗下各階段水樣中，鋁型態都以顆粒鋁為主。除了 5 月份原水總鋁濃度較低為 0.693mg/L 外，6 及 7 月份原水總鐵濃度高達 4.94 與 4.48mg/L，相對原水濁度分別為 38.4、157 及 211NTU，由此可知，路竹淨水場原水(阿公店水庫)總鋁濃度受到原水濁度影響甚大。

在加強混凝沉澱試驗及傳統快混膠凝試驗中，5 與 6 月份皆添加 PACl，而 7 月份則改為氯化鐵。而由該圖得知，5 與 6 月份 A、B 及 E 水樣皆有溶解鋁含量存在，反觀 7 月份則無且其總鋁濃度為 0.14mg/L，符合 108 年 7 月 1 日規定鋁標準 0.2mg/L。因此，若預降低路竹淨水場清水鋁濃度，可考慮混凝劑由 PACl 變更為氯化鐵。

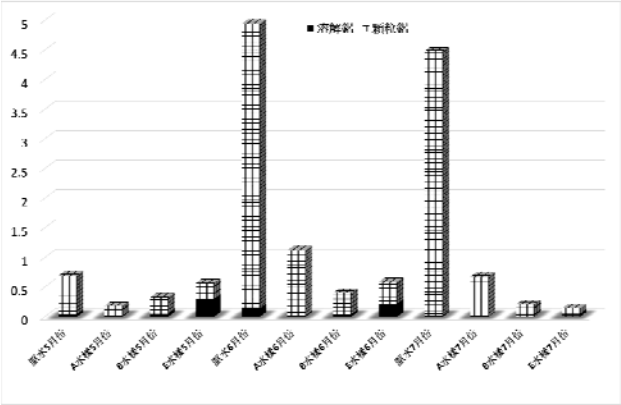


圖 10　水樣中鋁變化變化

(五)總鹵乙酸及總三鹵甲烷

由圖 11 與 12 可知，由 5 月份與 6 月份實驗組進行比較，6 月份因原水水質總有機碳明顯較高且加氯量稍高，所以總鹵乙酸生成含量較 5 月份高出 2.2~2.5 倍、三鹵甲烷含量高出 2.2~3.9 倍，顯然總鹵乙酸、三鹵甲烷生成含量受有機碳含量及加氯量影響。此外，對照組總鹵乙酸、三鹵甲烷生成含量則以 5 月份低總有機碳 1.8mg/L、高加氯量 7mg/L 較 6 月 16 日高總有機碳 3.6mg/L、低加氯量 3mg/L 下高出 1.4~1.6 及 1.1~1.6 倍，顯見加氯量影響較有機碳。

反觀 7 月份數據，D 與 G 水樣卻明顯不同且濃度也很低。若假設 7 月份水樣中較無三鹵甲烷前驅物質，但圖 10 則顯示，不論經過實驗組試驗流程或對照組試驗流程，7 月份 TOC 濃度仍約有 3mg/L，兩者理論上明顯有所衝突。目前仍無法解釋為何會產生此種狀況，也有可能採樣誤差所造成，但仍續進一步採集與分析更多水樣，才可解析。

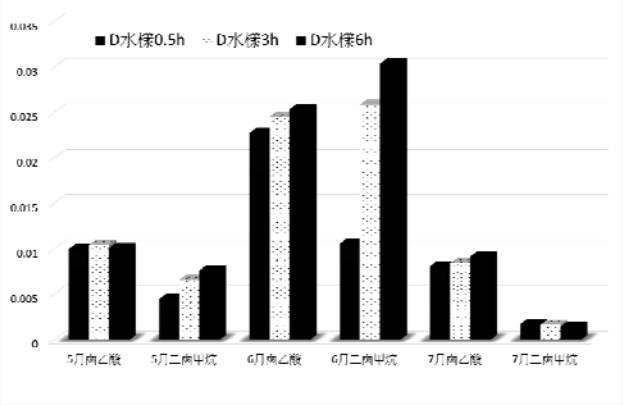


圖 11　D 水樣不同時間內 HAAs 及 THMs 變化

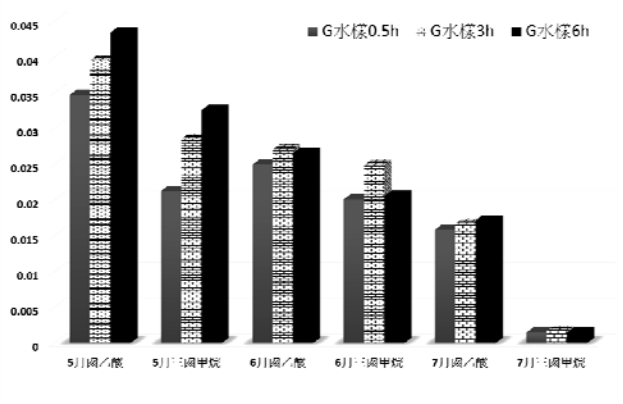


圖 12　G 水樣不同時間內 HAAs 及 THMs 變化

(六)餘氯

由圖 13 可知，5 及 6 月份(D 水樣)自由餘氯濃度雖然隨著時間增加而逐漸降低，但其氨氮濃度也降低到符合飲用水水質標準。反觀，7 月份自由餘氯濃度，隨著時間增加，其減少量不多，且最後仍有 0.7ppm，而氨氮濃度卻較無變化，初步研判，該月份水樣中氨氮型態較難與氯反應，須利用生物作用進行去除。

由圖 14 得知 5 及 6 月份(G 水樣)自由餘氯濃度雖然隨著時間增加而逐漸降低，但其氨氮濃度也降低到符合飲用水水質標準。而 7 月份 E 水樣與 7 月份 D 水樣產生相同情況，其自由餘氯濃度，隨著時間增加，其減少量不多，且最後仍有 1.17ppm，而氨氮濃度卻較無變化，初步研判，該水樣中氨氮難與氯發生反應。

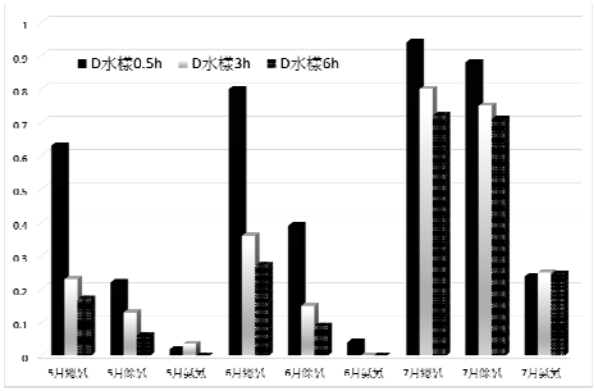


圖 13　D 水樣不同時間內總氯、餘氯及氨氮變化

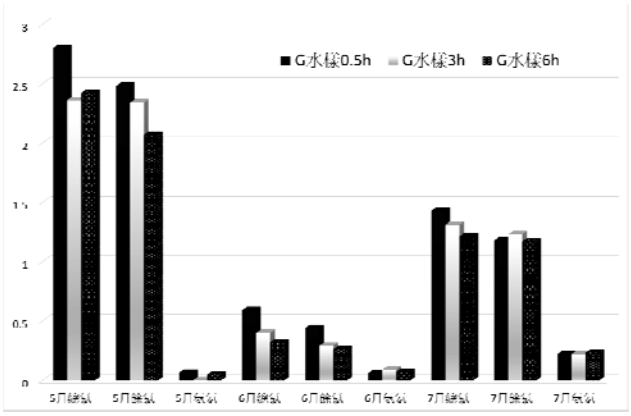


圖 14　G 水樣不同時間內總氯、餘氯及氨氮變化

(七)氨氮

氨氮飲用水水源標準為 1.0mg/L，由圖

15 得知，5~7 月原水皆未超出標準值。而氨氮飲用水水質標準為 0.1mg/L，除了 5 月份 A 水樣(0.03mg/L)、5 月份 F 水樣(0.06mg/L)與 6 月份 E 水樣(0.09mg/L)符合外，其餘皆超出標準。

在實驗組試驗程序中，並未添加次氯酸鈉藥劑，5 月份 B 水樣氨氮去除率為 45%(原水 0.26mg/L 降至 0.143mg/L)與 7 月份 B 水樣氨氮去除率 27%(原水 0.31mg/L 降至 0.225mg/L)，去除成效偏低。

氨氮屬於難處理之物質，在傳統淨水處理流程中，皆採用折點加氯法進行去除，但若氨氮濃度過高，持續使用該方法，則會提高處理成本及大量的氯胺產生。

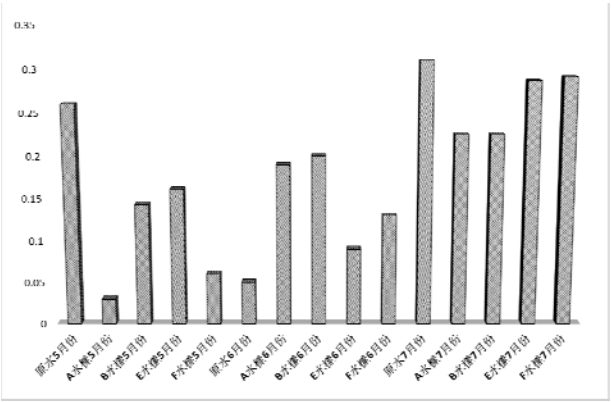


圖 15　水樣中氨氮變化(5~7 月份)

而在對照組試驗程序中，5 與 7 月份試驗中添加次氯酸鈉濃度分別為 7ppm 與 2ppm，其 E 水樣氨氮去除率分別為 38%(原水 0.26mg/L 降至 0.161mg/L)與 7%(原水 0.31mg/L 降至 0.287mg/L)，去除成效也偏低。雖然在對照組試驗程序中，即時添加次氯酸鈉，其氨氮去除仍偏低，但 5 及 7 月份 E 水樣自由餘氯濃度仍有 2.58 與 0.61mg/L，表示水樣中氨氮已與次氯酸鈉反應完成。若想再進一步去除氨氮，仍需從源頭管理或生物處理方式去除之。

(八)鐵、錳

由圖 16 可知，5~7 月試驗中，不管在原水中，或是經過實驗組試驗及對照組試驗下各階段水樣中，鐵型態都以顆粒鐵為主，且溶解鐵皆可有效氧化形成顆粒鐵，經由過濾後即可去除之。

除了 5 月份原水總鐵濃度較低為 1.14mg/L 外，6 及 7 月份原水總鐵濃度高達 13.8 與 6mg/L，相對原水濁度分別為 38.4、157 及 211NTU，由此可知，路竹淨水場原水(阿公店水庫)總鐵濃度受到原水濁度影響甚大。

E 水樣 5、6 及 7 月份溶解鐵與顆粒鐵分別為 N.D.與 0.165、N.D 與 0.147 及 0.03 與 0.438mg/L。由上述資料顯示，7 月份總鐵濃度明顯比 5 及 6 月份高，係因 5~6 月份添加混凝劑為 PACl 而 7 月份則為氯化鐵。因此研判，添加氯化鐵會增加水中總鐵濃度，但若加藥量控制適當，可全部轉化成顆粒鐵存在，經過過濾程序，即可完全去除。

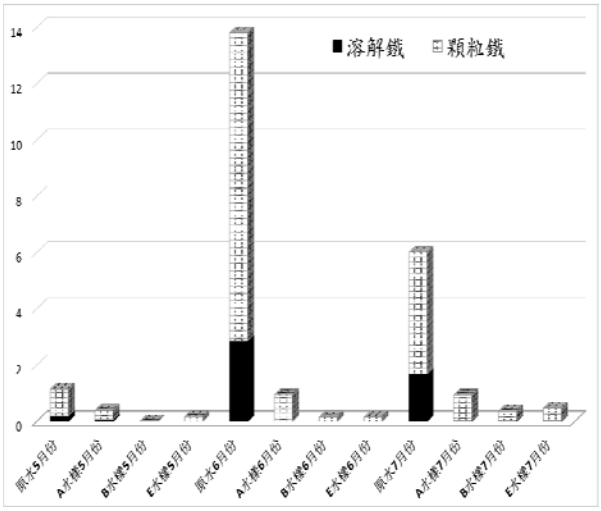


圖 16　水樣中鐵變化(5~7 月份)

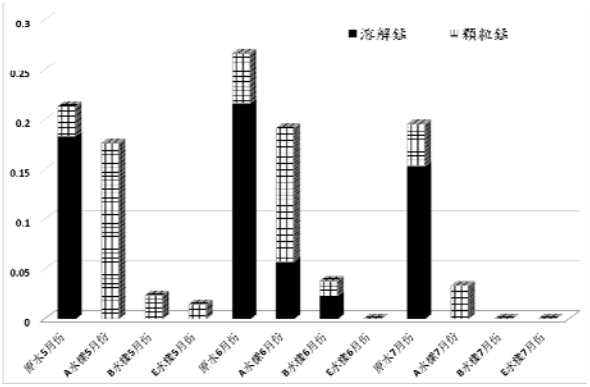


圖 17　水樣中錳變化圖(5~7 月份)

由圖 17 得知，5、6 及 7 月份原水中，錳型態都以溶解錳為主，且不論是經過加強混凝杯瓶試驗或傳統杯瓶試驗下各階段水樣中，錳型態都從溶解錳轉變成顆粒錳為主，經由過濾後即可去除之。

在實驗組試驗中，添加高錳酸鉀去除原水中之鐵錳，其添加濃度，以原水鐵、錳含量估算，理論計算公式為 0.94×Fe+1.92×Mn。5、6 及 7 月份，估算添加高錳酸鉀理論藥量濃度分別為 0.65536、1.52048 及 1.56648ppm，而本試驗實際添加藥量濃度則為 0.6、1.4 及 1.0ppm。由圖 17 得知，A 水樣 5 及 6 月份，其總錳濃度明顯比 7 月份高，雖以顆粒錳為主，但仍因添加濃度過高所造成。因此，為避免添加過多高錳酸鉀，其實際添加量應約為理論計算量之 70%為佳。

五、結論與建議

(一)結論

依據實驗數據，有以下幾點結論：

1. 1.5~7 月份初嗅數，路竹淨水場原水初嗅數皆到達 4，不論實驗組加強混凝流程試驗或者對照組傳統流程試驗皆能有效去除至 2 以下。
2. 臭味物質 2-MIB/Geosmin，路竹淨水場原水主要以 2-MIB 為主，較容易超過味恕限值 2ng/L。其去除氯以實驗組加強混凝(有添加 PAC)流程為佳，且過濾程序也會降低 2MIB 與 Goesmin 濃度。
3. 總有機碳(TOC)，路竹淨水場原水數值偏高(至少 2.5mg/L 以上)，不管實驗組加強混凝流程或者對照組傳統流程，對其 TOC 去除率效果皆低，而濾紙材質(為醋酸材質)會影響 TOC 檢測準確性。
4. 路竹淨水場原水皆以顆粒鋁為主。在實驗組加強混凝流程試驗及對照組流程試驗中，5 與 6 月份皆添加 PACL，而 7 月份則改為氯化鐵。5 與 6 月份 A、B 及 E 水樣皆有溶解鋁含量存在，反觀 7 月份則無且其總鋁濃度為 0.14mg/L，符合 108 年 7 月 1 日規定鋁標準 0.2mg/L。因此，若預降低路竹淨水場清水鋁濃度，可考慮混凝劑由 PACL 變更為氯化鐵或者調酸降低 pH 值。
5. 總鹵乙酸及總三鹵甲烷，實驗組加強混凝流程試驗顯然其生成含量受有機碳含量及加氯量影響。對照組傳統流程試驗其生成含量則是加氯量影響較有機碳。不論實驗組加強混凝流程試驗或者對照組傳統流程試驗，自由餘氯濃度雖然隨著時間增加而逐漸降低，但其氨氮濃度也降低到符合飲用水水質標準(除了 7 月份除外)。
6. 5~7 月份氨氮，實驗組加強混凝流程試驗中，並未添加次氯酸鈉藥劑，去除成效偏低。對照組傳統流程試驗中，雖有添加次氯酸鈉藥劑，其去除氯稍微提高，但成效仍偏低。若想再進一步去除氨氮，研判仍需從源頭管理減量去除為佳。路竹淨水場原水鐵以顆粒鐵為主，錳以溶解錳為主。不論經過實驗組加強混凝流程試驗或者

對照組傳統流程試驗，皆可有效去除之。

(二)建議

本次專案計畫試驗期間，適逢阿公店水庫空庫排砂期間，路竹淨水場未出水，雖原水水樣採集自水庫最低點，但其水質未遇到最差狀態，未能達到本次專案計畫期望。建議如下：

1.持續觀察阿公店水庫水質，若再次發生水質問題時，應進駐路竹淨水場進行本專案計畫試驗流程，並回饋至實場操作面，較能解決問題。

2.TOC包含DOC、POC與EOC三種物質，而DOC又可分為疏水性與親水性，尤其親水性DOC與加氯量有關係，而本次專案計畫試驗期間，TOC、氨氮及餘氯(削減速率快)等水質問題，建議仍須持續進行試驗，以利找出最佳方案。

3.目前路竹淨水場亟需相關工程或淨水處理步驟改善措施，然以現有之水質分析法偏重化學參數如總磷、總氮、餘氯，及物理性參數如濁度及透明度等指標尚不能完全據以評斷改善方法，阿公店水庫水質問題常肇因於微生物活動，例如藻類產毒、微生物產臭等等，其在淨水流程中之去除效率亦難以掌握。因此台水公司水質處生物組擬進行『路竹淨水場有機碳及生物性相關參數探討與淨水處理流程改善之研究』,該計畫欲針對該淨水場淨水流程中生物相關指標如生物相變化及有機碳殘存量加強監控；另一方面，對於水質中之關鍵指標如危害性藻種或找出具指標之微生物進行模擬淨水程序之加藥氧化、混凝與沉澱，評估其成效以作為淨水處理相關程序調整之依據，期望能藉此計畫之成果達到改善該淨水場供水能力之目的。

參考文獻

1.彭惠君，(2002)，「高錳酸鉀對水中有機物去除機制之研究」，碩士論文，國立成功大學。

2.楊惠玲，(2002)，「以二氧化氯對 Geosmin 與 2-MIB氧化去除之研究」，碩士論文，逢甲大學。

3.黃毓茹，(2003)，「粉狀活性碳吸附原水中Geosmin與2-MIB之研究」，碩士論文，國立成功大學。

4.林恩添，(2009)，「工業廢水氨氮處理技術」，陽光綠地(Sunshine & Greenland)，第3期。

5.Dionigi, C. P., Lawlor, T. E., McFarland, J. E., & Johnsen, P. B. (1993). Evaluation of geosmin and 2-methylisoborneol on the histidine dependence of TA98 and TA100 Salmonella typhimurium tester strains. Water Research, 27(11), 1615-1618.

6.Froese, K. L., Wolanski, A., & Hrudey, S. E. (1999). Factors governing odorous aldehyde formation as disinfection by-products in drinking water. Water Research, 33(6), 1355-1364.

7.Kim, Y., Lee, Y., Gee, C. S., & Choi, E. (1997). Treatment of taste and odor causing substances in drinking water. Water Science and Technology, 35(8), 29-36.

8.McGuire, M. J. (1995). Off-flavor as the consumer's measure of drinking water safety. Water Science and Technology, 31(11), 1-8.

9.Morgan, J. J., & Stumm, W. (1964). Colloid-chemical properties of manganese dioxide. Journal of Colloid Science, 19(4), 347-359.

10.Mouchet, P. and Bonnelye, V.（1998）“ Solving Algae Problems : French Expertise and Word-wide Application”, J. Water SRT Aqua., Vol.47, No.3, pp.125-141.

11.Posselt, H. S., Anderson, F. J., & Weber, W. J. (1968). Cation sorption on colloidal hydrous manganese dioxide. Environmental Science &

Technology, 2(12), 1087-1093.

12.Rangesh, S., & Sorial, G. A. (2011). Treatment of taste and odor causing compounds 2-methyl isoborneol and geosmin in drinking water: A critical review. Journal of Environmental Sciences, 23(1), 1-13.

13.Robertson, R. F., Hammond, A., Jauncey, K., Beveridge, M. C. M., & Lawton, L. A. (2006). An investigation into the occurrence of geosmin responsible for earthy–musty taints in UK farmed rainbow trout, Onchorhynchus mykiss. Aquaculture, 259(1–4), 153-163.

14.Sävenhed, R., Borén, H., Grimvall, A., Lundgren, B. V., Balmér, P., & Hedberg, T. (1987). Removal of individual off-flavour compounds in water during artificial groundwater recharge and during treatment by alum coagulation/sand filtration. Water Research, 21(3), 277-283.

15.Schulz, S., Fuhlendorff, J., & Reichenbach, H. (2004). Identification and synthesis of volatiles released by the myxobacterium Chondromyces crocatus. Tetrahedron, 60(17), 3863-3872.

16.Watson, S. B. (2004). Aquatic taste and odor: A primary signal of drinking-water integrity. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 67(20-22), 1779-1795.

17.Zaitlin, B., & Watson, S. B. (2006). Actinomycetes in relation to taste and odour in drinking water: Myths, tenets and truths. Water Research, 40(9), 1741-1753.

作者簡介

陳威豪先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處工程師

專長：環境工程

利用等高圖分析掌握供水管網水質變化探討

文/薛志宏、陳富鈴、張美惠、劉玉絹

摘要

以等高圖軟體對供水區例行檢驗數據進行繪圖及分析比較，有助於全面瞭解供水區水質變化狀況及掌握弱點區域，以為管網操作維護之參考。本文以北水處供水區為例，研討各項水質之相關性，並求出餘氯衰減方程式及三鹵甲烷生成方程式，有助於充份掌握及預測供水管網水質。

關鍵字：等高圖(Contour Map)、水齡(Water Age)、餘氯衰減(Chlorine Decay)

一、前言

經淨水場處理完成水質優良的自來水，藉由管網輸送至用戶端，有可能因複雜的管網系統，遭遇物理性、化學性及生物性反應，而產生水質劣化現象，自來水從業人員希望透過管網水力分析(Hydraulic Analysis)，掌握供水管網任意地點及時間之流速、水壓與水齡，更希望發展管網水質模式(Water Quality Model)，充份掌握管網不同地點及每一地點不同時間之水質狀況，以彌補人工採樣檢驗之不足，提供管網操作維護單位充份水質訊息，作為各項水質維護操作或管線汰換之參考。

在管網系統尚無法完成有效水力分析模式前，利用既有的例行水質檢測數據以等高圖繪製軟體，進行反推水質模式分析，希能瞭解管網水質弱點區域及自來水自離開淨水場後水質劣化狀況，而對管網水質狀況全盤掌握。

二、文獻回顧

(一)供水管網水質劣化原因

淨水場處理完成的自來水，經由管網輸送至用戶，有可能因複雜的管網系統，遭遇物理性、化學性及生物性反應，而產生水質劣化或變差現象，主要的影響因素有管網結構、系統操作及水質特性(Benser 2001 年；Lahlou 2002 年)。

1.結構性因素：管網系統一般包括埋於地下之配水管線、配水池、閥類、消防栓、加壓站及給水管線，常發生設計、設置及材質等瑕疵，致發生水質問題，如管線管徑及配水池設計過大及配水池配置失當，致滯留時間過長，產生餘氯消失及臭味等水質問題；管線流速過慢地區如盲管，易致銹瘤梗阻，管壁亦易孳生生物膜。另外管線材質會形成有利於微生物生長的環境，如鑄鐵管、石棉管及壓力混凝土管即易發生孔蝕及有利於微生物生長的問題。另外腐蝕亦會造成水質劣化，如鐵管腐蝕產生水黃及紅水現象；鉛管溶出鉛影響人體健康等。另外錯接、接頭滲漏及破管等均可能導致致病菌入侵(Intrusion)管網系統。

2.操作因素：管網操作條件導致低流速、系統切換導致流速及流向改變、配水池儲水時間及滯留時間過長，水力條件導致沉積物累積，皆會影響供水水質，讓微生物有機會棲息及孳生，發生微生物再生及餘氯消耗等現象。

3.水質因素：水溫及水中所含生物可分解有機物質(BOM)，皆會影響微生物再生狀況，

消毒劑會與水中有機及無機物產生臭味問題或形成消毒副產物，且形成量會隨水於管中運送時間改變，粒子物質會於管線中再懸浮致濁度增加。

(二)管網水質維護

維護管網水質應考量的水質問題(Spencer 2012 年)有消毒副產物(如三鹵甲烷)、糞便污染(如 E.Coli)、管材釋出重金屬(如鉛)及最低的消毒劑量等，要維持管網水質要注意兩個觀念 a.淨水場出水水質(即管網進入點)儘可能在化學性、物理性、微生物性甚至美味性是極為穩定的，與管線系統材質間相互反應性低 b.儘量利用管網操作維護，維持原來淨水場出水的水質狀況，避免劣化。

在管網操作維護時可設定以下達成目標，以確保管網水質(Spencer 2012 年)a.降低滯留時間或水齡，減少水與管壁之接觸時間及增加配水池中水的置換率(Turn over)，維持水的新鮮度，配水池滯留時間最高 3 至 5 天。b.維持管網最低正水壓，任何時間最低水壓 1.4kg/cm^2(20psi)，避免因短暫壓力變化，致管外污染物入侵。c.維持穩定的殘餘消毒劑量。d.避免錯接(Cross Connection)及倒流(Backflow)致非飲用水系統水污染飲用水系統。e.於啟閉制水閥、加壓站停復電、消防栓排水等活動，均會因流速改變，將管內沉積物及銹瘤等沖刷出而影響水質，因此，應儘量避免管網中的流速波動及反方向流動，減低壓力瞬變(Pressure Transients) 致外部污染物入侵情形發生。f.降低漏水率，非計費水量應低於 10%。g.每公里管線爆管及漏水事件低於 0.09 件。h.管線施工時，配件應有端蓋(end cap)，附件應包覆，端蓋及包覆均應至安裝前始得拆除，以避免外部污染進入管中。i.有計畫提升及使用水力分析模式，建立完善之水力分析，將有利於配水池進出流操作及單向洗管作業，有效降低水齡及消除管中沉積物。j.每年進行單向洗管及配水池清洗。

(三)管網水質分析

定期的水質監測檢驗數據，難以全面瞭解淨水場至用戶水龍頭之所有水質變化狀況，由於管網管線佈設，水在管中之流動路徑及運送時間隨時在變，水質亦隨地點及時間而有所改變。自來水業者會以建立水力(Hydraulic Model)及水質模式(Water Quality Model)方式，補水質採樣檢驗之不足，此模型將具有以下效用(Lahlou 2002 年)：

1. 可瞭解管網水質之空間(Spatial)及時間(Temporal)變化。
2. 可瞭解不同水質參數間之相互關係。
3. 可以藉由全面性掌握管網水質劣化現象，發現管網結構性狀況(如配水池滯留，管中滯流等)而加以修正(如管線汰換，降低配水池蓄水量及開啟關閉制水閥及水量調配等)。
4. 可以瞭解不同來源自來水水質摻混現象。
5. 可評估及降低管網生成消毒副產物用戶之健康暴露風險。
6. 可評估發生事件外來污染源之系統容忍度(vulnerability)

Benser 等人(2001)利用可視化軟體(Visualization Software)利用資訊層疊加(Superimposing)方式，分析微生物水質變化與管網結構(管材、管齡、爆管事件)之相關性，水質變化被解釋為水力條件及鄰近爆管事件之影響結果，且流況對施工洗管效率及管垢堆積對水質有決定性之影響，流速較低

處，如盲管，易因施工或爆管修復後洗管不確實，致堆積沉積物，及大腸桿菌群及總菌落數孳生。Vasconcelos 等(1997 年)針對美國 5 個供水系統以 EPANET 模式分析，配合現場採樣確認，發現管徑越大、管齡越低(越新)管壁對餘氯衰減之影響越低；相反地，管徑越小、管齡越高(越舊，腐蝕越嚴重)管壁對餘氯衰減之影響越大。研究發現，餘氯衰減動力學包含於整體水流(Bulk)具 1 次衰減反應及於管壁(Wall)具 0 次或 1 次衰減反應。

三、研究方法

為全面瞭解由淨水場至供水區之水質變化狀況，本研究以北水處供水區為例，進行研究分析，使用方法及步驟如下，主要利用【Google map】及【Surfer 8】等套裝軟體工具進行數據分析。

1.蒐集供水管網直接水(未經用戶水池水塔等用水設備)代表點，包含淨水場清水、管網代表點及線上監測點，以 Google map 求得經緯度座標。

2.蒐集 1 述代表點最近 2 年水質檢驗數據，項目包括指標項目「濁度」、「餘氯」、「pH」、「TDS」、消毒副產物「總三鹵甲烷」及重金屬「鋁」、「鐵」、「錳」、「鉛」等。

3.將每 1 採樣點個別項目蒐集數據集合中「極端值」予以捨去，以去除因人為或儀器因素導致之個別檢測誤差數據，去除「極端值」的方式，係依譚(2008)以鬚盒圖方式(圖 1)，計算各代表點所有數據之各圖示分位值，超出上下《外側欄值》之數據，即為「極端值」。

4.每 1 組數據捨去「極端值」後，計算平均值。

5.以等高圖應用軟體【Surfer】繪製各水質項目等高圖(Contour Map)，以瞭解整個供水區管網各項目水質變化狀況及項目間之相關性(如餘氯與總三鹵甲烷、濁度與鋁、鐵、錳等)。

6.將各水質項目等高圖與供水區主要街道圖(由 Google Map 利用座標求得)重疊，以瞭解水質劣化區域。

7.將供水區所有檢測數據依各淨水場供水區予以分類，蒐集個別淨水場由出水至管網中段及後段所有數據。繪製等高圖後，利用【Surfer】之 Cross Section 功能，計算從淨水場出水至管網末段餘氯相對於絕對距離衰減(Decay)方程式及三鹵甲烷生成方程式。餘氯衰減方程式以 1 次方程式 $Cx=C0e^{-kx}$ 求得；三鹵甲烷生成方程式以 $C0-Cx=C0(1-e^{-kx})$ 求得(Clark,1998)，式中因無法利用水力分析求得輸送時間(水齡)t，以距離淨水場之絕對距離 x(m)取代，以利瞭解淨水場出水隨輸送距離 x 之水質變化狀況。

8.配合小區域(內湖區)分區水壓調查結果進行區內直接供水水質檢測，作成等高圖，與水壓等高圖進行比對，以瞭解水壓與水質間之相關性。

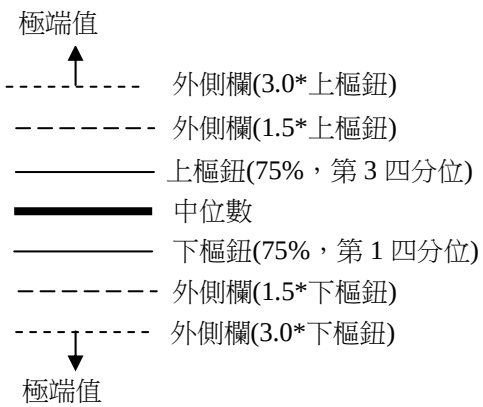


圖 1　鬚盒圖簡例

四、結果與討論

(一)全供水區水質分析

以北水處全供水區共 159 直接水代表點(包括直潭淨水場供水區 108 點、長興場供水區 14 點、公館場供水區 19 點、雙溪場供水區 5 點及陽明山高地供水區 13 點)各項水質檢驗數據繪製成等高圖，並進行討論。

1.自由餘氯

如圖 2 全供水區自由餘氯等高圖，將 0.5 mg/L 界線以細白點線，0.4 mg/L 界線以粗白點線標註，可看到各淨水場出水自由餘氯約 0.6 mg/L，流至南港、內湖及士林區則降至約 0.4~0.5 mg/L，至文山區及北投區則降至約 0.4 mg/L，整個供水區自由餘氯約在 0.6~0.3mg/L 間，供水餘氯尚稱穩定，消耗有限。

2.總三鹵甲烷及酸鹼度

如圖 3 全供水區總三鹵甲烷等高圖，供水三鹵甲烷濃度大部份在 10 μg/L 以下，少部份地區大於 10 μg/L 但未超過 20 μg/L，將 10 μg/L 界線以白點線標示，可觀察到在文山區、士林區、北投區及萬華區局部出現相對較高濃度三鹵甲烷，但均遠低於飲用水水質標準限值 80 μg/L，約略與自由餘氯衰減狀況，有相對應關係。全供水區酸鹼度(pH)等高圖如圖 4，將 7.2 界線以細白點線標註，7.5 界線以粗白點線標註，可發現在文山區及北投區出現較高 pH 狀況，顯示該地區管線系統滯留時間較長，水齡較高，而士林區則以原水中所含消毒副產物前趨物較高有關。

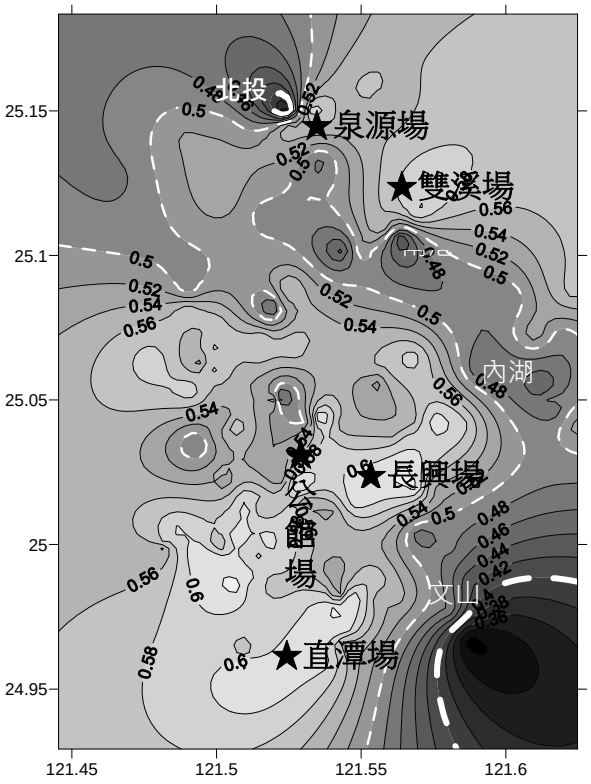


圖 2　全供水區自由餘氯等高線圖
(細白點線 0.5mg/L,粗白點線 0.4mg/L)

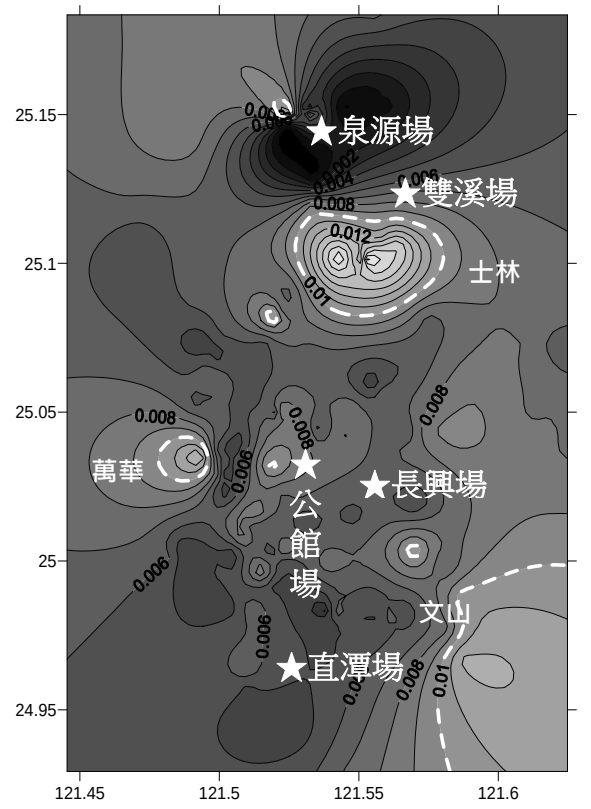


圖 3　全供水區總三鹵甲烷等高線圖
(白點線 10 μg/L)

3.自由餘氯、pH 值與總三鹵甲烷之相關性

自來水在管網中，會因管網系統滯流或用水量相對於配水量比例較低，水齡過高，致供水水質較不新鮮，因而發生酸鹼值升高、自由餘氯量較低及三鹵甲烷生成量較高等水質劣化現象。

4.濁度

全供水區管網濁度等高圖如圖 5，僅有局部略高現象，但都在 1.0 NTU 以下，顯示有局部沉積物或鏽垢堆積，但尚不嚴重。

5.鐵、錳、鋁及鉛等金屬

將水中鐵、錳、鋁及鉛之檢測數據繪成等高圖，由圖 6 所示，供水區中內湖、士林、中正及北投區附近，有較高的金屬濃度，且鐵、錳、鋁及鉛具一致性，顯示可能該區管線鏽蝕較嚴重，或該處水的流速較低，鏽垢及沉積物於該處累積。另文山區亦有些許類似現象，值得後續追蹤。

(二)各淨水場供水區水質分析

為瞭解各淨水場供水區由淨水場出水至管網之水質變化狀況，以各淨水場供水區水質數據作成等高圖進行相關性分析，直潭場自由餘氯及三鹵甲烷等高圖如圖 7 及圖 8，由圖 7 可觀察到，整個供水區之自由餘氯衰減不明顯，餘氯約在 0.60~0.50 mg/L 之譜，最遠端的淡水捷運站 0.47mg/L，但局部地區如指南六站、萬芳二號配水池、華興加壓站等處餘氯衰減較多，可達 0.4~0.3 mg/L 之譜，又由圖 8 可看出總三鹵甲烷濃度較高之區域(高於 0.01mg/L)與自由餘氯較低之區域有相對應關係，可能為該處系統多段加壓蓄水及蓄水量相較於用水量較大，滯留期較長，水齡較高，致餘氯消耗，三鹵甲烷生成較多。

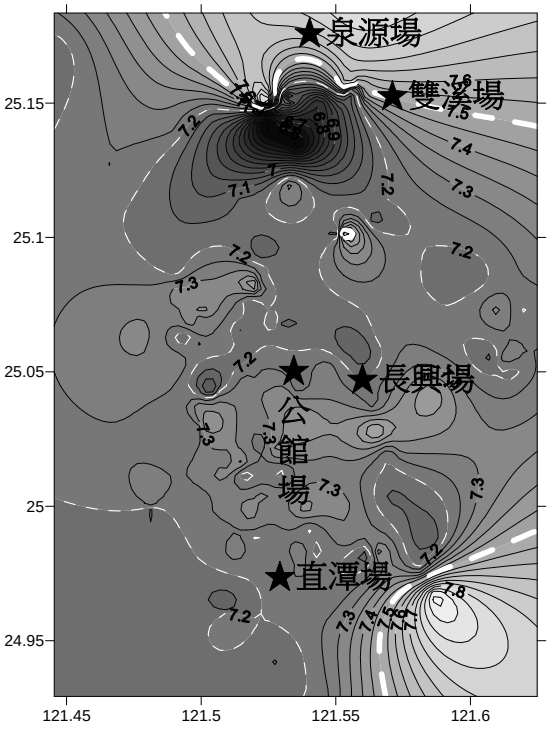


圖 4　全供水區酸鹼度等高線圖
(細白點線 7.2，粗白點線 7.5)

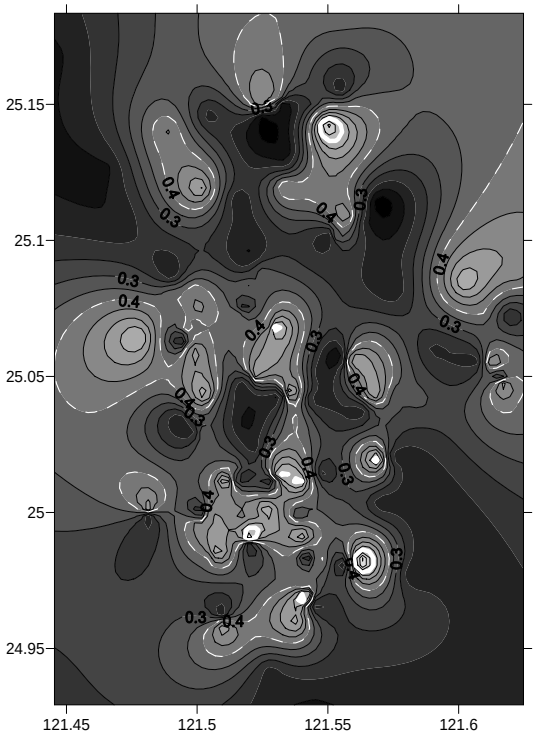


圖 5　全供水區濁度等高線圖
(細白點線 0.4 NTU，粗白點線 0.6 NTU)

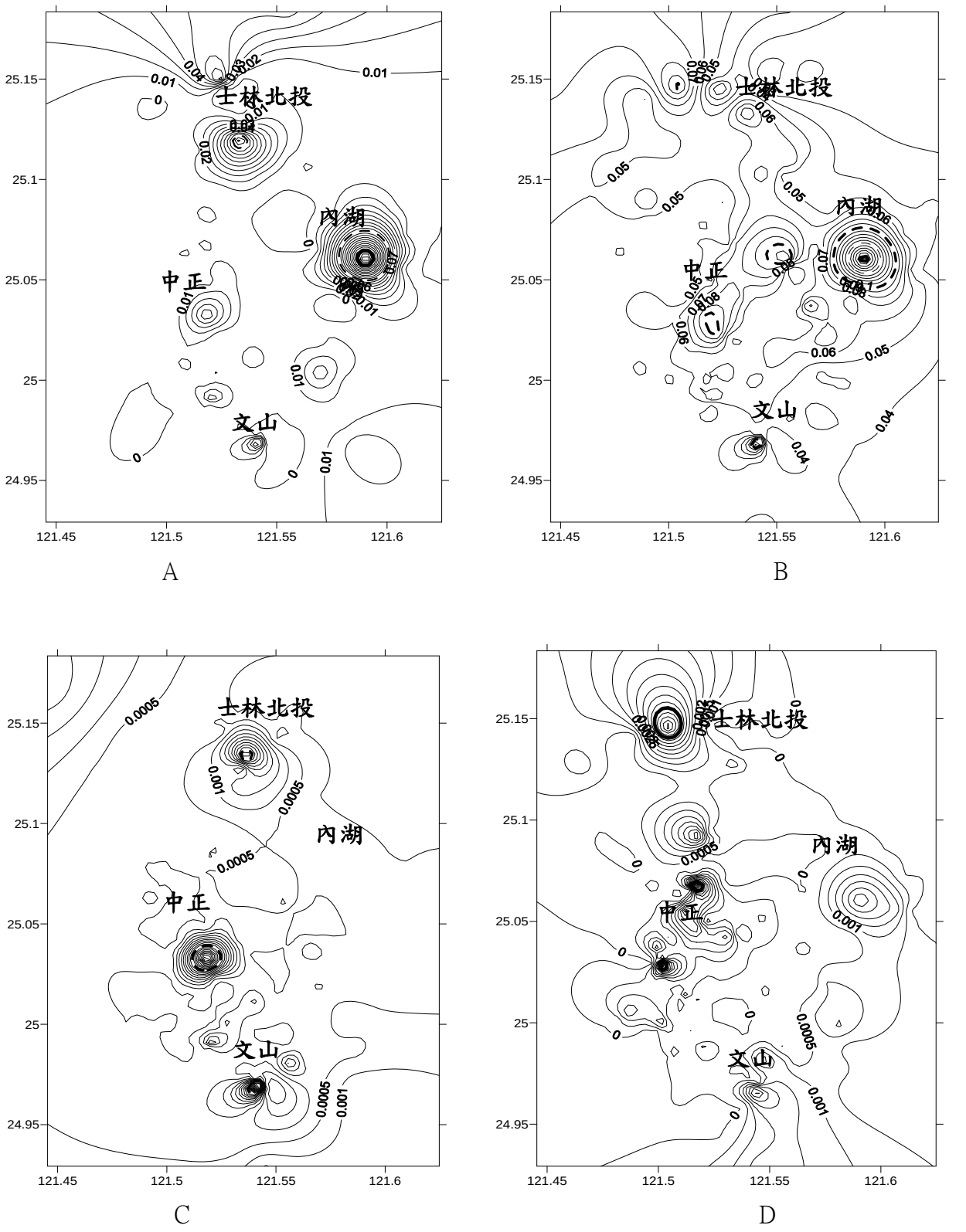


圖 6　全供水區鐵、錳、鋁及鉛等濃度等高圖(A 鐵(點線 0.1ppm,粗線 0.2ppm)；B 錳(點線 0.05ppm)；C 鋁(粗線 0.2ppm；點線 0.1ppm)； D 鉛(粗線 5ppb)

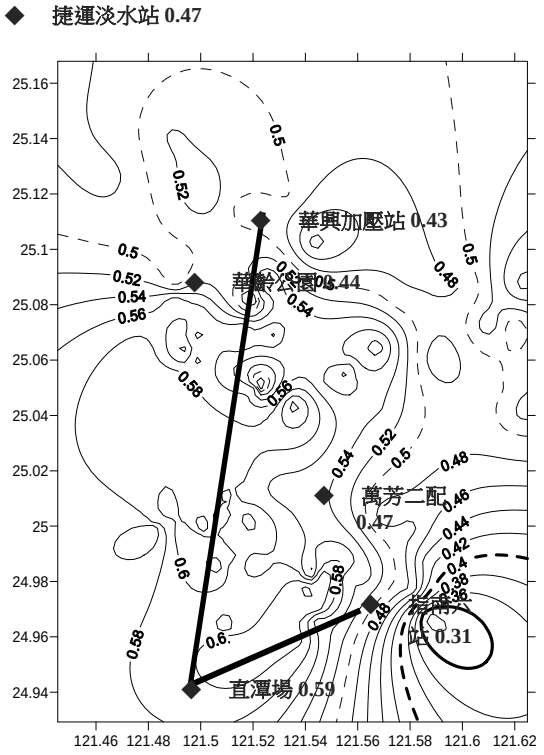


圖 7　直潭場供水區自由餘氯分佈圖
(粗點線 0.4 mg/L,細點線 0.50 mg/L)

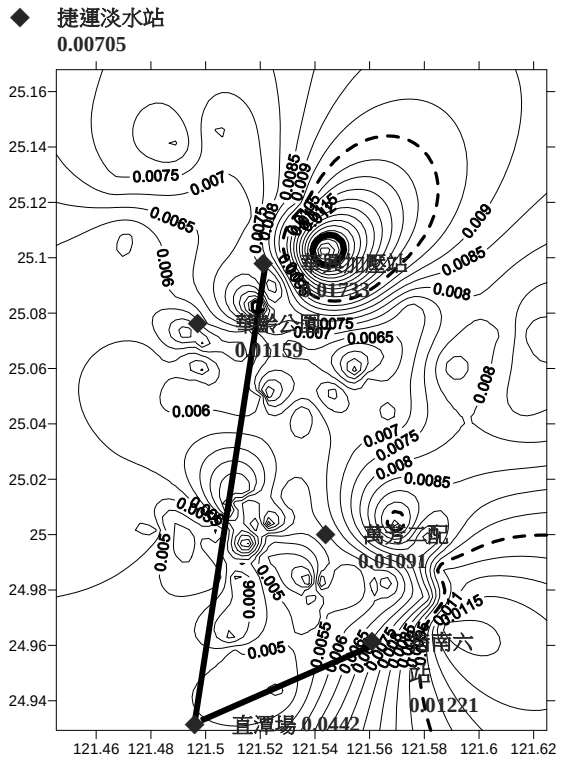


圖 8　直潭場供水區三鹵甲烷分佈圖
(粗點線 0.01 mg/L,粗線 0.015 mg/L)

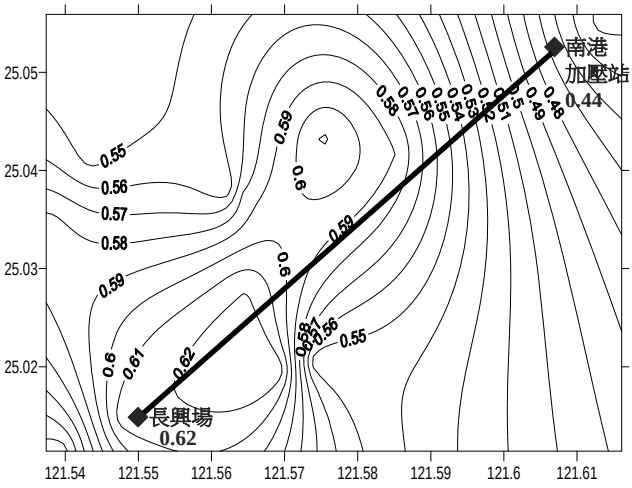


圖 9　長興場供水區自由餘氯分佈圖

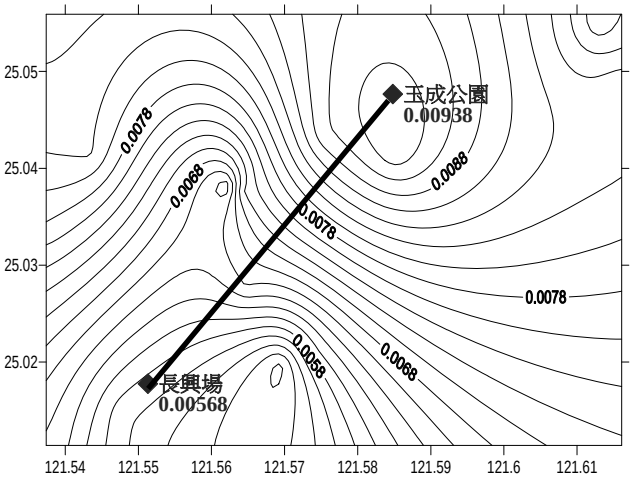


圖 10　長興場供水區三鹵甲烷分佈圖

表 1　各淨水場供水區餘氯衰減及總三鹵甲烷生成方程式

供水區 淨水場別	餘氯衰減 方程式	總三鹵甲烷生成 方程式	備註
長興	$C_X=C_0e^{-0.00009x}$	$THM_0-THM_X=THM_0(1-e^{0.0001x})$	
公館	$C_X=C_0e^{-0.00003x}$	$THM_0-THM_X=THM_0(1-e^{0.00008x})$	
直潭	$C_X=C_0e^{-0.00007x}$	$THM_0-THM_X=THM_0(1-e^{0.0001x})$	指南方向
直潭	$C_X=C_0e^{-0.00002x}$	$THM_0-THM_X=THM_0(1-e^{0.00009x})$	華興方向

註: C_0 及 THM_0 為淨水場出水自由餘氯及總三鹵甲烷濃度；C_x 及 THMx 為自淨水場輸送 x 公尺後自由餘氯及總三鹵甲烷濃度

長興供水區水質狀況如圖 9 及圖 10，圖 9 自由餘氯由長興場出水之 0.62 mg/L 衰減至最遠端的南港加壓站 0.44 mg/L，而三鹵甲烷最高出現在圖 10 的玉成公園 0.00938 mg/L，衰減方向相同，但較無相關對應關係，顯示輸送管線可能較複雜。

1.各淨水場管網餘氯衰減及三鹵甲烷生成方程式

為將各淨水場供水區餘氯衰減及三鹵甲烷生成狀況，以方程式表示，直潭場以圖 7 及圖 8，長興場以圖 9 及至圖 10 由淨水場至餘氯最低點及三鹵甲烷最高點，各劃一截線，求取自由餘氯衰減方程式及總三鹵甲烷生成方程式，因直潭場供水區出現兩處(指南六站及華興加壓站)餘氯低谷及三鹵甲烷波峰，故以兩不同方程式分別表示。方程式的表示方式為水質濃度對應該地點距離淨水場的絕對距離，求取方程式彙整如表 1，可以發現無論自由餘氯衰減常數及總三鹵甲烷生成常數 k 數值均極低，表示自由餘氯隨輸送距離衰減得很慢，總三鹵甲烷隨輸送距離也生成得很慢。若以不同場別比較，淨水場出水餘氯衰減速率長興場>直潭場指南方向>公館場>直潭場華興方向，而三鹵甲烷生成速率直潭場華興方向>公館場>直潭場指南方向；長興場。整體而言，由於都會區用水量大，自來水於管中流動速度大，置換率高，故能維持用水新鮮及良好水質。

(三)供水區小區域水質分析

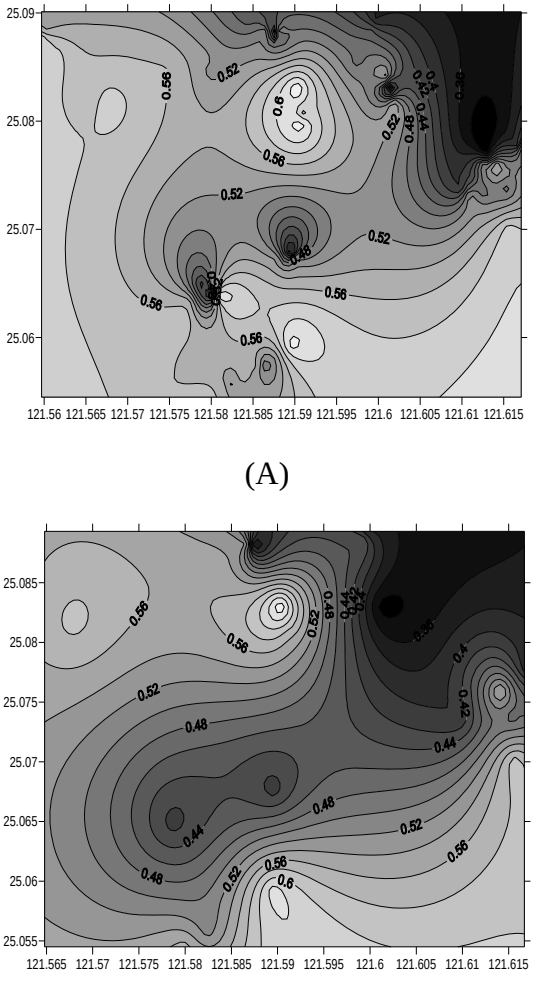
北水處於 99 年完成大直內湖區分區水壓調查，並利用 Surfer 軟體作成水壓等高線圖，為瞭解水壓與水質之相關性，另於該區域進行管網直接水水質採樣檢測，採樣點總計 66 點，其中 20 點檢測三鹵甲烷。繪製水質等高圖進行分析與討論。

1.檢測點數對等高圖結果之影響

為瞭解檢測點數對等高圖結果之影響，以 66 點及 20 點之自由餘氯檢測結果作圖，結果如圖 11，發現兩圖的相似性極高，均可充份顯示出幾乎相同的餘氯波峰及低谷。

2.不同水質項目等高圖間之相關性

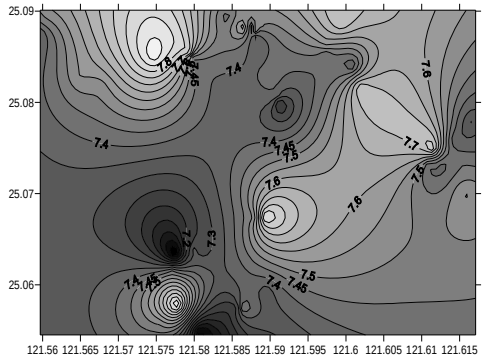
以 66 點不同檢項數據分別作圖，如圖 12，發現餘氯、pH 及總三鹵甲烷間有相關性，餘氯較低處，pH 較高，總三鹵甲烷生成量較高，結果最明顯的是圖右上角的【金龍



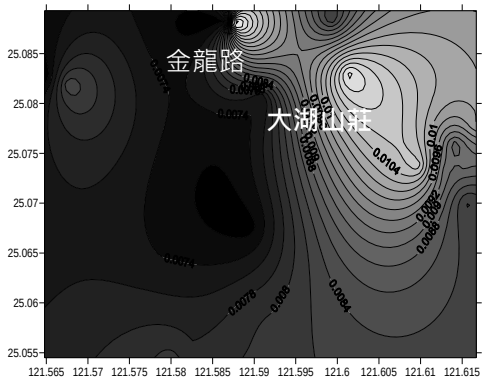
(A)

(B)

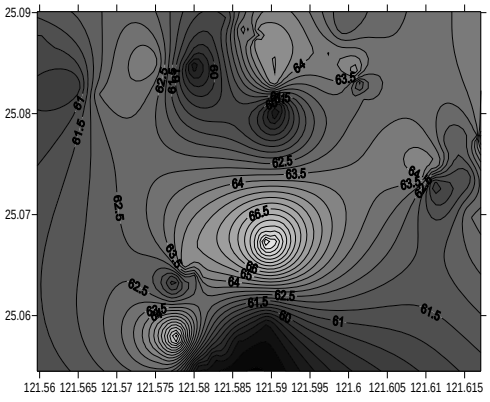
圖 11　內湖區自由餘氯等高圖
(A:66 代表點;B:20 代表點)



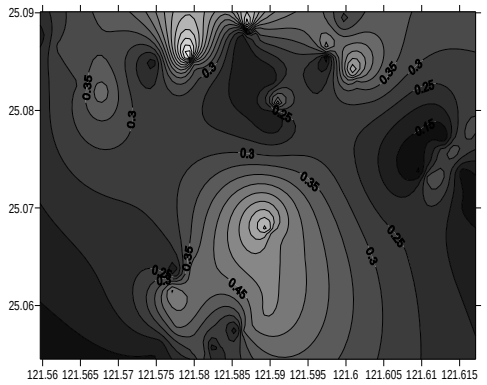
(A) pH



(B) 總三鹵甲烷



(C) TDS



(D) 濁度

圖 12　內湖區不同水質項目等高圖

路】及【大湖山莊街】，反應出部份水齡(Water Age)較高現象。濁度及 TDS 則較無對應關係。

3.水質與水壓之相關性

以水質等高(圖 12)與水壓等高圖比對，可瞭解餘氯較低地區(大湖山莊街及金龍路)，水壓亦偏低，在 1kg/cm^2 以下，三鹵甲烷相對較高；另內湖區公所附近及新湖二路，水壓約 1~2 kg/cm^2，亦有餘氯略低點出現，但三鹵甲烷不受影響，故於此例中水壓 1kg/cm^2 以下，確實對水質安全有不良影響。

五、結論與建議

(一)將例行水質檢測數據作成等高圖並進行分析，有助於管網水質管理者對供水區水質狀況有一整體概念，並可瞭解整個供水區水質弱點區域，及各項水質間的相互關係。

(二)水質等高圖的數據點以越密集越能表示出實際狀況，但只要分佈均勻，具代表性，精簡的數據仍能獲得相似的水質分佈，以北水處內湖分區為例，20 採樣點與 66 採樣點，幾乎可表示出相同之水質分佈。

(三)利用等高圖除有助於對供水區之整體水質狀況有所掌握外，若要瞭解更細部局部地區(如盲管)水質狀況，應針對局部地區再進行密集採樣檢測及分析。

(四)管網水質分析典型的作法為運用模式先進行供水管網水力分析(Hydraulic Analysis)，掌握水壓、流速及水齡後，再據以進行水質模式分析，在管網水力條件尚無法全面掌握前，水質模式利用水質等高圖表示為可行的作法，但僅能表示出不同地理位置的水質變化，尚無法

表示出對不同時間的變化，需定期予以更新。

(五)利用等高圖已可求出由各淨水場出水至管網水質弱點之自由餘氯衰減方程式及總三鹵甲烷生成方程式，有助於進行管網水質預測，但自變數若能由絕對距離 x(m)轉為水齡 t(d)，對管網水質維護將更有助益。

(六)本報告之分析若能結合地理資訊系統(GIS)將更能確切掌握水質狀況相對應之管線系統設備，而對管網系統操作及維護，作出有效水質維護之建議。

(七)建議供水區水壓調查可結合水質調查，並充份利用地理資訊系統，以充份掌握供水水質狀況，回饋供水管理單位作最好的管網操作及維護調整。

參考文獻

1.譚克平(2008),極端值判斷方法簡介,台東大學教育學報,191,131~150.

2.Clark Robert M. & Walter M.Grayman,1998.Modeling water quality in drinking water distribution systems,AWWA.

3.Lahlou Z.Michael.2002.Water Quality in Distribution System.National Drinking Water Clearinghouse.

4.Spencer Catherine 2012,Water Quality in the distribution system:a review.J. AWWA 104:7:48.

5.Clark Robert M.& Judith A. Coyle .1990.Measuring and Modeling Variations in Distribution System Water Quality. J. AWWA.

6.Clark Robert M.et al.2010,Chlorine Fate and Transport in Distribution Systems:Experimental and Modeling studies. J. AWWA 102:5:144.

7.Besner Marie-Claude.et al.2001,Understanding Distribution System Water Quality. J. AWWA 93:7:101

8.Vasconcelos.John J. et al.1997,Kinetics of Chlorine Decay. J. AWWA 89:7:54.

9.Guthrie David L.1975,Contour Mapping-An Essential Tool Revisited. J. AWWA.

10.Scharfenaker Mark A.2002,White Papers Set Stage for Regulating Distribution System Water Quality. J. AWWA.

11.Golden Software Inc.2002,Surfer 8 User’s Guide.

作者簡介

薛志宏先生

現職：台北自來水事業處水質科科長

專長：水質管理、淨水處理、水質檢驗

陳富鈴小姐

現職：台北自來水事業處水質科工程員

專長：水質管理、淨水處理、水質檢驗

張美惠小姐

現職：台北自來水事業處水質科幫工程司

專長：水質管理、淨水處理、水質檢驗

劉玉絹小姐

現職：台北自來水事業處水質科幫工程司

專長：水質管理、水質檢驗

水中溴酸鹽生成機制與移除技術之探討研究

文/游育晟、林康、洪世政、許國恩、王郁萱、朱敬平、鍾裕仁

摘要

溴酸鹽經國際癌症中心 (IARC) 歸類為疑似人體致癌物 (Group 2B) 後，環保署已陸續針對淨水場訂定處理藥劑次氯酸鈉的溴酸鹽不純物上限值，及清水溴酸鹽管制限值，惟文獻調查資料顯示[1]，以次氯酸鈉為加藥藥劑之淨水場，原水存在高溴鹽濃度時，仍可能影響清水溴酸鹽的生成狀況，故本研究以原水溴鹽濃度高於 1.0 mg/L 之水樣為標的，探討淨水處理過程添加次氯酸鈉後，消毒副產物溴酸鹽之生成潛勢及影響因子，並進一步評估可行之去除技術。人工配製水樣測試結果顯示，溴酸鹽之生成主要與操作因子有關，隨溴鹽濃度增加、pH 提高、加氯量提高，加氯反應時間延長等，溴酸鹽生成濃度將隨之增加，另由兩座淨水場原水測試結果顯示，僅加氯量和溴酸鹽生成濃度具有正相關性，顯見不同水樣 (包含單純的人工配製水樣及成分複雜的實場水樣)，對於次氯酸鈉將溴鹽轉換成溴酸鹽的相關性會因水中的成分差異而有不同之變化，但由原水溴鹽濃度為 1.0 mg/L 以上的人工配製水樣或實場水樣來看，次氯酸鈉添加需為極端量 (如 10 mg/L 以上)，溴酸鹽才有顯著的生成。在移除技術方面，本研究測試的活性碳及離子交換樹脂，溴酸鹽的移除效能分別為 30 及 99%，惟離子樹脂可同時吸附多種陰離子，會導致樹脂使用壽命短，而增加再生或更換的成本，故本研究建議以次氯酸鈉進行消毒之淨水場，可優先可透過管控藥劑使用或添加及原水溴鹽濃度變化，來降低清水溴酸鹽超標之風險。

關鍵詞：溴鹽、溴酸鹽、次氯酸鈉、活性碳、離子交換樹脂

一、前言

溴酸鹽為淨水過程中產生之消毒副產物之一，經國際癌症中心 (IARC) 歸類為疑似人體致癌物 (Group 2B)，現行環保署公告之飲用水水質標準 (2014 年 1 月 9 日修正發布) 之管制限值為 0.01 mg/L。飲用水中溴酸鹽主要來源為飲用水處理藥劑次氯酸鈉所含不純物，或為次氯酸鈉與臭氧等淨水處理程序與水中溴鹽反應所產生。

次氯酸鈉溶液所含溴酸鹽係因原料中含溴鹽經電解後所產生，爰此，環保署於 2007 年公告飲用水水質處理藥劑次氯酸鈉將溴酸鹽列為不純物項目，上限值為 50 mg/kg，自 2009 年 12 月 26 日正式施行，環境檢驗所於 2011 年進行次氯酸鈉飲用水處理藥劑中溴酸鹽含量之抽驗，濃度範圍為 0.3 ~ 46.6 mg/kg (抽測樣品數 102 件)，全部符合前述品質規定[2]，惟淨水場使用時仍需留意次氯酸鈉藥劑有效氯遞減之情形，避免為了維持水中有效餘氯，而提高加氯量，間接增加清水中藥劑不純物溴酸鹽濃度。

江弘斌 (2010) 研究指出[1]，在環保署公告飲用水處理藥劑次氯酸鈉增列溴酸鹽不純物項目限值前，台灣西部沿海地區、澎湖地區及原水含溴鹽之淨水場，清水中溴酸鹽其含量有超過 0.010 mg/L 之情形，推測應和次氯酸鈉中溴酸鹽含量、所加劑量、原水中

溴鹽含量、水中 pH、是否有抑制溴酸鹽生成之成份存在有關，尤以前三者影響重大，惟開始使用低溴酸鹽含量之次氯酸鈉液後，國內清水溴酸鹽含量超過 0.01 mg/L 之情形，已有明顯得改善。

在水中溴鹽氧化為溴酸鹽過程中，會產生二溴自由基 (Dibromine radicals, $Br_2\cdot$)、次溴酸 (Hypobromous acid, HBrO) 和次溴酸鹽 (Hypobromite ion, BrO^-) 等活性溴 (Reactive bromine) 中間物質。一般淨水處理之 pH 條件將影響 HBrO 和 BrO^-之平衡，是為控制溴酸鹽生成之因子之一，其中 BrO^-控制溴酸鹽生成，HBrO 則是與有機物反應，形成溴仿等溴化有機物[3]，黃鑫等人 (2007) 以上海市長江原水進行加氯衍生溴酸鹽測試，當原水溴鹽濃度為 0.146 mg/L，加氯量 1.45、3.3 和 5.0 mg/L 時，溴酸鹽生成濃度分別為 0.0041、0.0047 和 0.0077 mg/L，溴酸鹽濃度隨加氯量升高[3]。

鑒於溴酸鹽之致癌性風險，已有許多研究評估活性碳吸附、硫酸亞鐵或亞硫酸鈉化學還原、零價鐵、紫外光照射、薄膜技術和離子交換樹脂等技術加以移除水中溴酸鹽，以改善飲用水水質。黃文鑑 (2001) 利用活性碳去除水中溴酸鹽，去除率達 100%，每克活性碳吸附量為 0.81~1.12 mg 溴酸鹽[5]；張泉 (2010) 研究顯示，原水溴酸鹽濃度介於 0.04 ~ 0.5 mg/L，奈米過濾膜 (NF) 對溴酸鹽去除效率達 90%以上[6]；Amy and Siddiqui (1999) 文獻資料指出，陰離子交換樹脂對於對水中陰離子親合力之大小順序為：$F^-<HCO_3^-<Cl^-<Br^-<I^-<NO_3^-<BrO_3^-$，溴酸鹽和溴鹽相較於氯鹽和氟鹽具有較高選擇性，利用強陰離子型樹脂，可完全移除水中溴酸鹽[7]。

基於上述的文獻資料，目前淨水場次氯酸鈉處理藥劑中的溴酸鹽不純物濃度已有加以控管，惟文獻資料指出除藥劑中的不純物外[1]，水中的 pH 及原水溴鹽濃度，都可能為影響溴酸鹽生成的因素，故本研究探討次氯酸鈉藥劑溴酸鹽不存物符合管制上限時，當原水溴鹽濃度高於 1.0 mg/L 或者極端加藥的狀況，溴酸鹽的生成狀況，釐清溴鹽濃度高於 1.0 mg/L 時，何種極端加藥狀況下，才會導致溴酸鹽超標；另除探討次氯酸鈉添加對於溴酸鹽生成之影響，考量溴酸鹽生成之致癌風險，亦評估活性碳吸附及離子交換樹脂對於清水溴酸鹽的移除效能，以提供相關操作管理面之建議，供自來水處理單位參考。

二、實驗方法

(一)溴酸鹽生成試驗

考量淨水場原水可能含有機物、氨氮或氯鹽、溴鹽等物質，基質較為複雜，本研究先以人工配製高溴鹽水樣 (濃度大於 1.0 mg/L) 添加次氯酸鈉，釐清溴鹽經次氯酸鈉反應轉換為溴酸鹽的趨勢，試驗內容包括添加不同原水溴鹽濃度、調整原水 pH 值、改變反應時間及加氯量，試驗條件說明如表 1，再進一步以國內原水溴鹽濃度大於 1.0 mg/L 的 A、B 淨水場，評估添加次氯酸鈉水中溴酸鹽生成濃度之變化趨勢，試驗條件說明如表 2。

(二)水中溴酸鹽移除效能評估

1. 活性碳吸附

本研究採用內徑為 1.1 公分，長度 20 公分的玻璃管柱，活性碳種類為顆粒性活性碳 (Granular activated carbon, GAC)，材質

為天然椰子殼，規格為 8-30 mesh，取適量的活性碳填充於管柱，填充體積為 15 ~ 25 mL 活性碳 (1BV = 15 ~ 25 mL)，總重量約為 8.0 ~ 9.5 g 間，辦理吸附效能試驗前，先以人工配製水樣測試活性碳的飽和吸附量，及活性碳對於淨水場水樣的空床接觸時間等試驗條件，步驟說明如下。

(1)飽和吸附量：

利用人工配製溴酸鹽水樣(濃度為 110 mg/L)，以空床接觸時間 5 分鐘，確認活性碳飽和量。

(2)空床接觸時間 (Empty-bed contact time, 以下簡稱 EBCT) 測試：

在進行管柱活性碳吸附時，改變進流水樣的流速即會影響處理水樣與活性碳的

表 1　人工配製水樣溴酸鹽生成試驗

編號	試驗組別	控制條件	改變條件
1	不同溴鹽濃度	✧ 原水 pH：8.0 ✧ 反應時間：30 分鐘 ✧ 加氯量：2 mg/L	✧ 原水溴鹽濃度：0.8、1.2、1.6 及 2.1 mg/L
2	不同原水 pH 值	✧ 原水溴鹽濃度：2.0 mg/L ✧ 反應時間：30 分鐘 ✧ 加氯量：2.0 mg/L	✧ 原水 pH：6、7、8、9
3	不同加氯量及反應時間	✧ 原水 pH：8.0 ✧ 原水溴鹽濃度：1.5 mg/L	✧ 加氯量：1、2、6 mg/L ✧ 反應時間：0 分鐘、30 分鐘、120 分鐘和 24 小時

註：水樣溴鹽以溴化鈉配製

表 2　實場水樣溴酸鹽生成試驗

編號	試驗組別	A 場		B 場	
		控制條件	改變條件	控制條件	改變條件
1	不同溴鹽濃度	✧ 反應時間：120 分鐘 ✧ 加氯量：2.0 mg/L	✧ 原水溴鹽：添加 2 mg/L、添加 6 mg/L	✧ 反應時間：120 分鐘 ✧ 加氯量：2.0 mg/L	✧ 原水溴鹽：添加 2 mg/L、添加 6 mg/L
2	不同 pH 值	✧ 原水溴鹽：1.55 mg/L ✧ 反應時間：120 分鐘 ✧ 加氯量：2.0 mg/L	✧ 原水 pH：6、7、8	✧ 原水溴鹽：1 mg/L ✧ 反應時間：120 分鐘 ✧ 加氯量：2.0 mg/L	✧ 原水 pH：6.5、7.8、8.5
3	不同加氯量	無測試	無測試	✧ 原水溴鹽：1 mg/L ✧ 反應時間：120 分鐘 ✧ pH：7.8	✧ 加氯量：1、2、6、15 mg/L

EBCT，EBCT 的定義如式 1 所示，其大小會影響到整體的處理效能，且亦會影響到貫穿曲線的特性，典型顆粒活性碳反應槽設計參數中建議的 EBCT 為 5-30 分鐘，本研究以淨水場清水進行活性碳吸附最佳 EBCT 測試，EBCT 試驗條件包括 0、5、10、15 分鐘。

$$EBCT = \frac{V_b}{Q} \qquad \text{(式 1)}$$

其中，

EBCT：空床接觸時間, h

Vb：活性碳於管柱中的填充體積，m^3

Q：流量，m^3/hr

實場水樣移除效能評估：

依據 EBCT 試驗結果，挑選最適的 EBCT 進行 A 淨水場清水活性碳溴酸鹽移除效能評估。

2. 離子交換樹脂

本研究參考文獻資料[6]，採用強鹼型苯乙烯系陰離子交換樹脂(Rohm Haas 4400OH)，該樹脂屬凝膠型 (gel type)，使用前先取 50 mL 樹脂進行 NaOH 調理，調理後再以小型管柱進行吸附試驗 (管徑為 1.3 cm，管長為 19.2 cm)，每批試驗皆填裝 4 mL (1 BV = 4 mL) 已調理之樹脂，辦理吸附效能試驗前，先以人工配製水樣測試離子交換樹脂的飽和吸附量，及離子交換樹脂對於淨水場水樣的空床接觸時間等試驗條件，步驟說明如下。

(1)飽和吸附量：

利用人工配製溴酸鹽水樣 (濃度 1,322 mg/L)，以空床接觸時間 5 分鐘樣確認離子交換樹脂，確認離子交換樹脂飽和量。

(2)EBCT 測試：

同活性碳試驗，當進行管柱離子交換樹脂吸附時，改變進流水樣的流速即會影響處理水樣與樹脂的 EBCT，本研究以淨水場清水進行離子交換樹脂吸附最佳 EBCT 測試，EBCT 試驗條件包括空床接觸時間 0、5、10、15 分鐘。

(3)實場水樣移除效能評估：

依據 EBCT 試驗結果，最適的 EBCT 進行 A 淨水場離子交換樹脂清水溴酸鹽移除效能評估。

三、結果與討論

(一)溴酸鹽生成濃度之影響因子

1.人工配製水樣

(1)不同溴鹽濃度

以人工配製不同溴鹽濃度 (0.8~2.1 mg/L) 水樣添加 2 mg/L 次氯酸鈉，評估溴酸鹽生成濃度 (反應時間為 30 min)，pH 控制為 8.0，結果如圖 1 所示，溴鹽濃度愈高，溴酸鹽生成濃度愈高，兩者呈現正相關，水中初始溴鹽濃度 2.1 mg/L 之水樣，生成溴酸鹽濃度 (0.0022 mg/L) 為初始溴鹽濃度 0.8 mg/L 水樣的 2.8 倍 (0.0008 mg/L)。

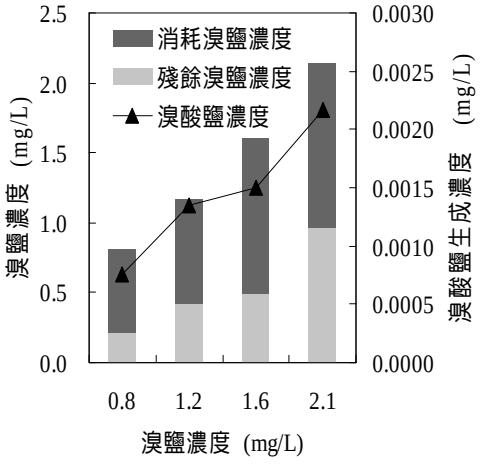


圖 1 人工配製水樣之溴酸鹽生成濃度 (不同溴鹽濃度)

(2)不同 pH

以人工配製溴鹽濃度 2 mg/L 水樣，進行不同 pH (6~9) 溴酸鹽生成濃度評估 (反應時間為 30 min)，加氯量為 2 mg/L，結果如圖 2 所示，pH 愈高，溴酸鹽生成濃度愈高，溴酸鹽生成濃度介於 0.0006~0.0015 mg/L。

(3)不同加氯量和反應時間

以人工配製溴鹽濃度 1.5 mg/L 水樣，進行不同加氯量(1.0、2.0 和 6.0 mg/L)和接觸時間 (30 分鐘至 24 小時)溴酸鹽生成濃度評估，pH 控制為 8.0，結果如圖 3 所示，加氯量愈高，反應時間愈長，溴酸鹽生成濃度愈高。加氯量 6mg/L，反應時間為 24 小時之水樣溴酸鹽濃度由 0.0010mg/L(次氯酸鈉不純物貢獻) 增加為 0.0066mg/L，反應時間 24 小時溴酸鹽生成量為反應時間 30 分鐘之 10 倍。

2.實際原水溴酸鹽生成濃度探討

以國內兩座淨水場原水於實驗室添加次氯酸鈉 (依據該場實際平均加氯量，添加 2.0 mg/L)，評估溴酸鹽生成濃度變化，兩淨水場均以地下深井原水作為水源，評估結果如下所述。

(1)不同溴鹽濃度

實場水樣不同溴鹽濃度 (pH 固定，加氯量為 2 mg/L，反應時間為 2 小時) 對溴酸鹽生成潛勢影響 (如圖 4 所示)，因原水中含有氨氮、NOM 等有機物，可能會影響溴鹽和溴酸鹽以及有機溴化物等溴化物之轉換，測試結果顯示淨水場於正常穩定次氯酸鈉加藥狀態下，溴鹽濃度對溴酸鹽生成濃度影響相對較小，實際原水不同溴鹽濃度對溴酸鹽生成潛勢影響並未如自行配製水樣具有正相關效應，添加次氯酸鈉後，溴酸鹽濃度變化幅度小，介於 0.001~0.002 mg/L。

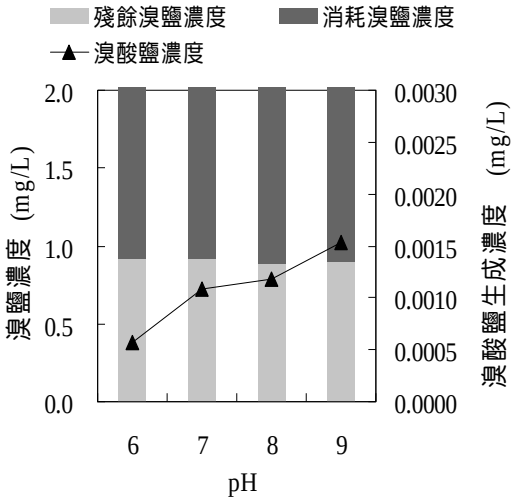


圖 2 人工配製水樣之溴酸鹽生成濃度 (不同 pH 值)

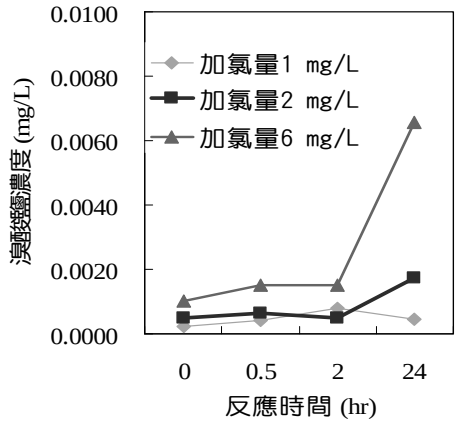
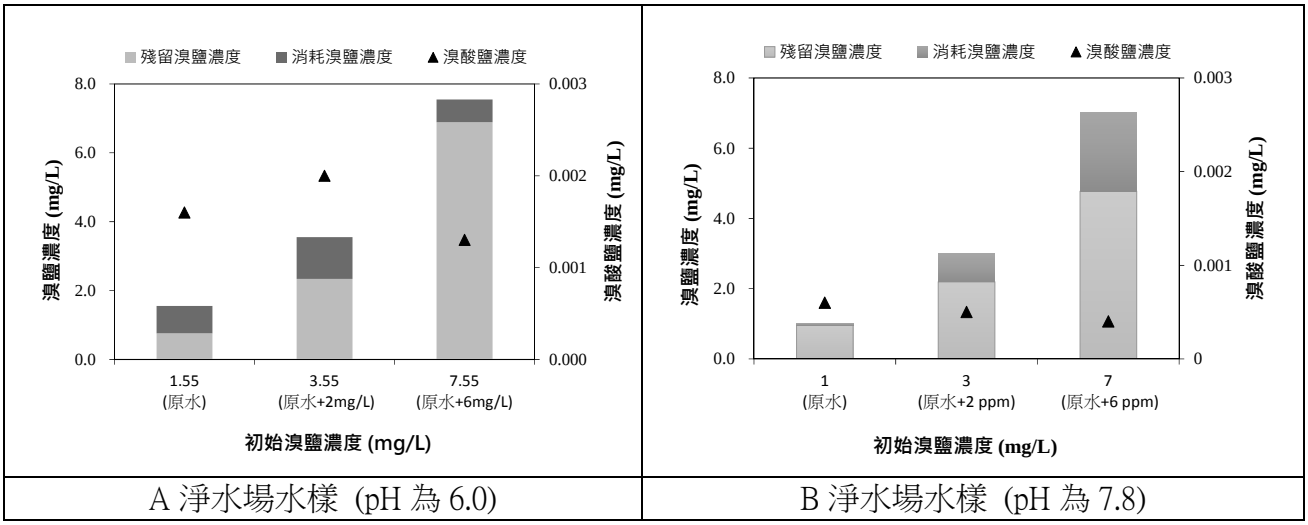


圖 3 人工配製水樣之溴酸鹽生成濃度 (不同加氯量和反應時間)

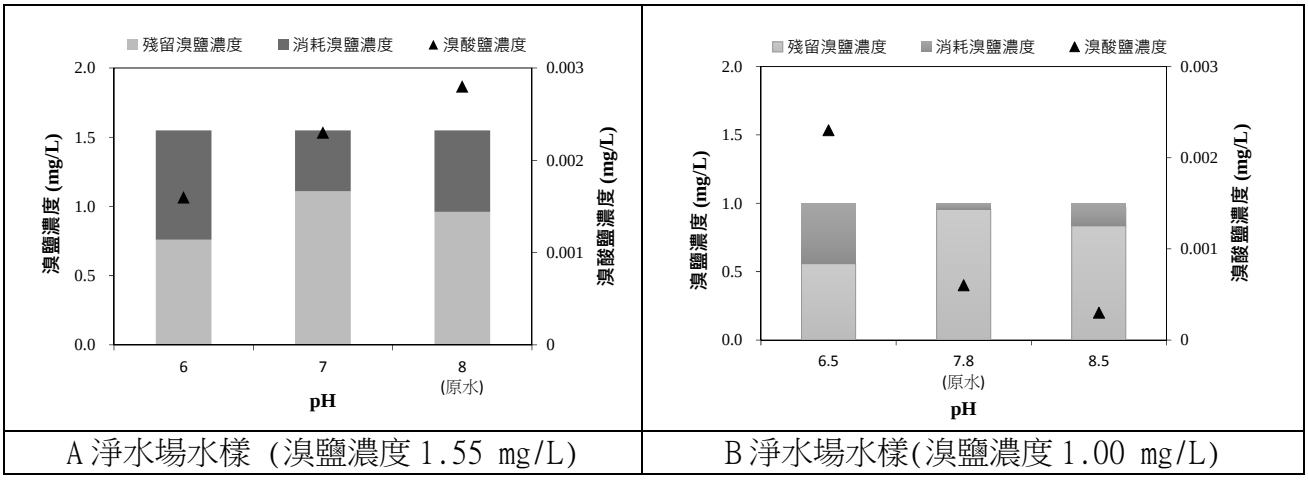
(2)不同 pH

實場水樣不同 pH 值 (加氯量為 2 mg/L，反應時間為 2 小時，以硫酸或氫氧化鈉調整 pH) 對溴酸鹽生成潛勢影響 (如圖 5 所示)，因原水中含有氨氮、NOM 等有機物，可能會影響溴鹽和溴酸鹽以及有機溴化物等溴化物之轉換，測試結果顯示不同淨水場實際原水於不同 pH 值時，溴酸鹽生成趨勢變化有所差異 (A 淨水場和 B 淨水場分別呈現正相關和負相關)，溴酸濃度變化幅度小，介於 0.001~0.002 mg/L。



A 淨水場水樣 (pH 為 6.0)　　B 淨水場水樣 (pH 為 7.8)

圖 4　淨水場實際原水之溴酸鹽生成濃度 (不同溴鹽濃度)



A 淨水場水樣 (溴鹽濃度 1.55 mg/L)　　B 淨水場水樣(溴鹽濃度 1.00 mg/L)

圖 5　淨水場實際原水之溴酸鹽生成濃度 (不同 pH 值)

(3)不同加氯量

以B淨水場原水進行不同加氯量 (pH固定，反應時間為 2 小時) 對溴酸鹽生成潛勢(如圖 6)，結果顯示與自行配製水樣測試結果相符，加氯量高時，溴酸鹽生成濃度愈高，當加氯量低於 6 mg/L，溴酸鹽生成濃度低於 0.001 mg/L，極端加氯量時(15 mg/L)，溴酸鹽濃度有顯著變化 (0.0069 mg/L)。加氯量 1~6 mg/L 時，溴酸鹽濃度增加，且消耗之溴鹽濃度亦對應減少，當加氯量提高為 15 mg/L，溴鹽消耗量比例與 6 mg/L 相近(18%和 26%)，並無對應增加，但加氯量高時，推估溴鹽轉化為溴酸鹽比例提高，以致加氯量 15 mg/L 溴酸鹽生成濃度高於加氯量 6 mg/L。

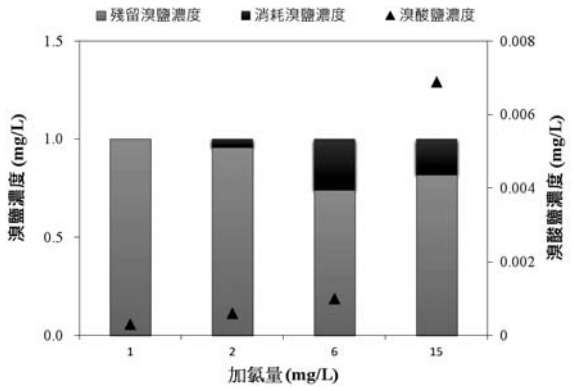


圖 6　不同加氯量之溴酸鹽生成潛勢評估(B 淨水場水樣)

表 3　含溴鹽水樣添加次氯酸鈉溴酸鹽的生成狀況

影響因子	溴酸鹽濃度變化		
	人工配製水樣	A 場水樣	B 場水樣
pH	正相關	正相關	負相關
初始溴鹽濃度	正相關	無影響	無影響
加氯量	正相關	—	正相關

備註：表格中「-」係指無進行試驗。

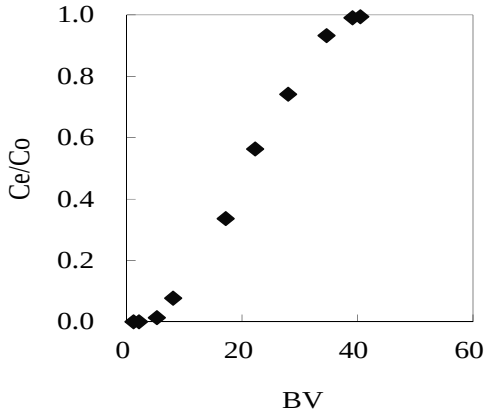


圖 7　活性碳程序對溴酸鹽之吸附貫穿曲線

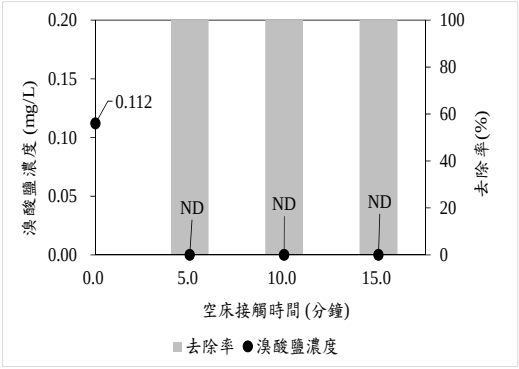


圖 8　活性碳吸附對於淨水場水樣的空床接觸時間試驗結果

3.小結

依據前述人工配製水樣及實場水樣測試結果，將影響因子與溴酸鹽生成的相關性列於表 3，結果顯示不同水樣 (包含單純的人工配製水樣及成分複雜的實場水樣)，共同僅有加氯量因子對於溴酸鹽的生成有正相關性，其餘因子如水樣初始的 pH 值或者初始溴鹽濃度，對於次氯酸鈉將溴鹽轉換成溴酸鹽的相關性則因水中的特性不同而有不同之變化；但由人工配製水樣或者實場水樣來看，其次氯酸鈉添加需為極端量 (如 10 mg/L 以上)，溴酸鹽才有顯著的生成狀況。

(二)活性碳吸附移除水中溴鹽或溴酸鹽

1.活性碳飽和吸附量測試

本研究以人工配製溴酸鹽濃度 100 mg/L 進行活性碳吸附效能試驗 (EBCT 為 5 min)，結果顯示活性碳吸附量為 9.47 mg BrO_3^-/g 活性碳，吸附貫穿曲線 (breakthrough curve) 如圖 7 所示。

2.活性碳吸附 EBCT 測試

因操作在不同活性碳床的吸附停留時間，對於溴酸鹽的移除效能會有不同，本研究使用 A 淨水場的清水測試活性碳吸附的最佳 EBCT，試驗結果如圖 8 所示，當 EBCT 控制在 5 分鐘時，溴酸鹽的移除效能即可達 100%，故後續針對溴酸鹽移除以 EBCT 為 5 分鐘進行活性碳吸附試驗。

3.實場水樣移除效能

活性碳溴酸鹽試驗結果如表 4 所示，清水溴酸鹽移除試驗結果顯示，經活性碳處理後其移除率約有 29.8%左右，推測可能存在其他離子競相吸附之問題 (如硝酸鹽、亞硝

酸鹽等)，影響溴酸鹽的移除率，另本研究曾同步以人工配製溴酸鹽水樣進行活性碳吸附試驗時，其結果與文獻測試結果相似[5]，可獲得 100%的移除效能，惟實場水樣可能水中所含物質較為複雜，故移除效能相對較差。

(三)離子交換樹脂移除水中溴酸鹽

1.離子交換樹脂飽和吸附量測試

本研究以人工配製溴酸鹽濃度 1,322 mg/L 進行離子交換樹脂吸附效能試驗，結果顯示強鹼型陰離子交換樹脂 4400 OH 吸附量為 565 mg BrO_3^-/mL 樹脂，吸附貫穿曲線 (breakthrough curve) 如圖 9 所示。

2. 離子交換樹脂 EBCT 測試

離子交換樹脂溴鹽的不同 EBCT 移除效能如圖 10 所示，當 EBCT 控制為 5 分鐘時，其溴酸鹽即可有最佳的移除效能，移除率達 100%，故後續針對溴酸鹽的移除，皆以 EBCT 為 5 分鐘進行離子交換樹脂試驗。

3.實場水樣移除效能

離子交換樹脂溴酸鹽移除試驗結果顯示 (表 4)，離子交換樹脂對於清水溴酸鹽的移除效能高達 99%以上，與文獻使用其他種強鹼型因離子交換效能相似(7,8)，與前述活性碳吸附處理結果出現競相吸附的結果不同，顯示離子交換樹脂對於不同水樣的來源

表 4　活性碳吸附及離子交換樹脂對 A 淨水場清水的溴酸鹽移除效能表

水質項目	A 淨水場清水		
	處理前	活性碳處理後	離子交換樹脂處理後
pH	8.2	9.1	12.2
人工添加溴酸鹽 (mg/L) 註	0.117	0.0821	0.0006
溴酸鹽移除率(%)	—	29.8	99.5
TOC (mg/L)	0.9	1.0	1.1
TOC 移除率 (%)	—	0	0
註：清水溴酸鹽濃度為 ND，人工額外添加 0.1 mg/L 的溴酸鹽。			

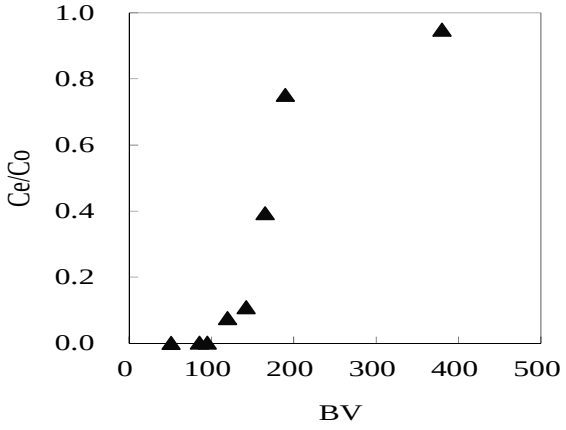


圖 9　離子交換樹脂對溴酸鹽的飽和吸附量

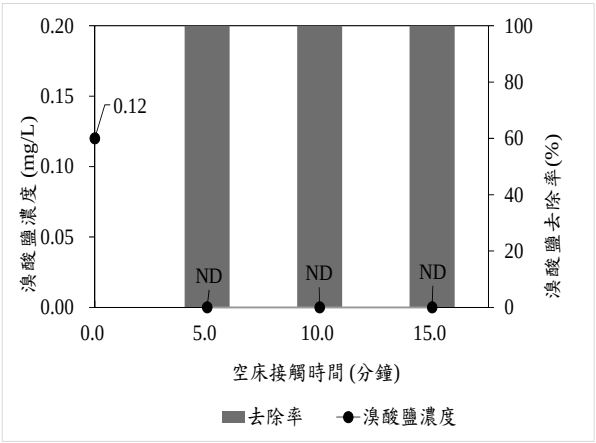


圖 10　離子交換樹脂對於淨水場水樣之空床接觸時間測試結果

適用性廣，其試驗結果處理後水樣 pH 值偏高，主要係因本研究採用的樹脂種類為強鹼型陰離子樹脂，當溴酸鹽與陰離子樹脂結合後，會釋放出 OH^- 離子，故處理後水樣的 pH 值會上升，此亦顯示後續若要採用陰離子樹脂塔進行淨水處理尚要考慮處理後水樣 pH 的問題。

本研究同步評估其他有檢出濃度之陰離子 (含 F^-、Cl^-、Br^-、NO_3^-、SO_4^{2-}) 的移除效能，如圖 11 所示，由圖可得知氯鹽、溴鹽及硫酸鹽的移除率同溴酸鹽之移除率，幾乎達 100%，其次氟鹽及硝酸鹽亦同樣有約 20~60%的移除效果，顯然目前市面上常使用的水處理之強鹼型陰離子交換樹脂，可移除多種酸性的陰離子物質，一般而言，優先吸附酸性較高的陰離子如硫酸鹽及氯酸鹽等，因此，後續之成本計算應以水中較高濃度的陰離子濃度進行飽和吸附狀況推估，無法單一考慮溴酸鹽的飽和狀況評估再生時間。

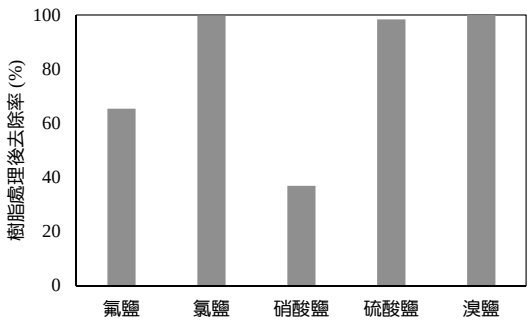


圖 11　淨水場原水或清水其他陰離子樹脂處理後之移除率

四、結論

1.淨水場清水溴酸鹽除來自次氯酸鈉藥劑不純物貢獻外，水中前驅物溴鹽與次氯酸鈉反應後亦會產生溴酸鹽。

2.人工配製水樣溴酸鹽生成試驗結果顯示，溴酸鹽濃度會隨水樣初始溴鹽濃度、pH、加氯量提高而增加，而反應時間愈長亦有利於溴酸鹽生成，但實際淨水場原水溴酸鹽生成試驗結果，僅發現加氯量和溴酸鹽生成濃度具有正相關性，其餘因子如水樣初始的 pH 值或者初始溴鹽濃度相關性不如人工配製水樣來的顯著，顯示不同水樣(包含單純的人工配製水樣及成分複雜的實場水樣)，對於次氯酸鈉將溴鹽轉換成溴酸鹽之相關性，因水的特性差異而有不同變化，但由人工配製水樣或者實場水樣來看，其次氯酸鈉添加需為極端量 (如 10 mg/L 以上)，溴酸鹽才有顯著的生成或者導致超過 10 ppb 的狀況。

3.另承相關研究，採用次氯酸鈉進行消毒之淨水場，尚需確認次氯酸鈉藥劑不純物溴酸鹽含量是否符合飲用水處理藥劑之品質標準。

4.依據本研究之測試結果，額外增加處理單元，尚需考量新設備的處理效能及成本問題，由本研究測試的活性碳及離子交換樹脂，對於同一淨水場清水，溴酸鹽的移除效能分別為 30 及 99%，惟離子樹脂可同時吸附多種陰離子，可能導致樹脂使用壽命短，而增加再生或更換的成本。

5.本研究建議以次氯酸鈉進行消毒之淨水場，可優先由操作面的控管措施，加以減少溴酸鹽生成，如以室內貯存次氯酸鈉藥劑，控管次氯酸鈉使用藥期為 2 週，降低有效氯的衰減而導致加藥量加大的狀況，並定期進行加氯量與原水水質理論耗氯量之合理性分析，確認最適加氯量範圍，另可檢討次氯酸鈉加藥點之適宜性，減少不

必要之耗氯，以降低溴酸鹽生成風險；除藻劑的管控外，亦可監測原水溴鹽濃度或建立溴鹽與導電度或 TDS 的關連性曲線，即時判斷原水溴鹽的濃度概況，避免加藥過量時，高濃度溴鹽有加乘效果。

參考文獻

1.江弘斌，飲用水水質處理藥劑次氯酸鈉不純物品質管制項目增列溴酸鹽，自來水會刊，第29卷第4期，第50-58頁，2010。

2.環境檢驗所，抽測飲用水中溴酸鹽，為人民健康把關，環境電子報，第24期，2011。

3.Tynan, P. J., Lunt D.O., Hutchison, J., The formation of bromate during dringing water disinfection, Final report to the Department of the Environment, 1993.

4.黃鑫、高乃雲、盧寧，BrO_3^-等溴類物質在長江水氯化過程中的形成，中國環境科學，27 (6)，806-810，2007。

5.黃文鑑，臭氧副產物-Bromate、AOC 之生成影響因子與控制方法之研究(II)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，2001。

6.張泉，納濾膜去除飲用水中典型污染物試驗研究，哈爾濱工業大學碩士論文，2010。

7.Amy, G. M., Threshold Levels for Bromate Ion Formation in Drinking Water, IWSA Workshop, 1993.

8.Ding L., Denga H., Wu C., Hana H., Affecting factors, equilibrium, kinetics and thermodynamics of bromide removal from aqueous solutions by MIEX resin, Chemical Engineering Journal, 181-182, 360-370, 2012.

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

林康先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處 副處長

專長：自來水處理技術、水質管理

洪世政先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處 處長

專長：自來水處理技術、水質管理

許國恩先生

現職：財團法人中興工程顧問社 正研究員

專長：高級氧化技術

王郁萱小姐

現職：財團法人中興工程顧問社 副研究員

專長：環境生物技術

朱敬平先生

現職：財團法人中興工程顧問社 副主任

專長：薄膜設計與操作、水再生處理

鍾裕仁先生

現職：財團法人中興工程顧問社 主任

專長：環境檢測分析

2014 國際水價現況解析

文/周國鼎

摘要

我國自來水價格自民國 83 年起即無調整過，迄今已經過 21 個年頭，近年來國際物價高漲，自來水價格應不應該合理調整以反映成本，應有理性討論之空間。

根據國際水協會(International Water Association, IWA)於 2014 年 9 月公布之世界 30 個國家（或地區）之家戶用水資料，以每家戶每年使用 200 度自來水為基礎來計算，換算成新臺幣，每度水價最高者為丹麥之 91.46 元，臺灣排名第 27 名，平均每度水價為 9.23 元，僅達各國自來水平均價格 43.84 元之 21%。

在「水費負擔率」方面，30 個國家（或地區）之平均值為 0.95%，最高者為位於中美洲的墨西哥，其平均值為 1.83%，臺灣則為 0.16%，排名全球倒數第 2 名，僅達各國平均值之 17%，充分顯示臺灣民眾的用水費用負擔極輕。

我國主要 2 個自來水事業單位之一的台灣自來水股份有限公司 103 年度之平均單位水價為每度 10.96 元，平均單位成本約為 11.14 元，也就是水價甚至較成本為低，給水投資報酬率為-0.24%，較經濟部 95 年 7 月 10 日所訂頒「水價計算公式及詳細項目」之法定給水投資報酬率 5%~9%相差甚多。

本文之重點並非探討我國合理自來水價格究竟為何，而是將臺灣地區現有自來水價格與世界各國（或地區）水價作各種面向之比較，期能助於釐清水價之相關問題。

關鍵詞：自來水水價、自來水價格、水價前言

一、前言

我國自來水價格自民國 83 年起即無調整過，迄今已經過 21 個年頭，近年國際物價高漲，光是 2013 年，全球供水成本就增加了 4.3%，我國自來水水價究竟應不應該合理調整以反映成本，此刻應有理性及客觀之討論空間。

臺灣地區雖然平均年降雨量高達約 2,500 公釐，為全球平均值的 2.6 倍，不過臺灣的雨勢集中在特定的季節，水量豐枯現象懸殊，加上地形陡峭、河川短促、水流湍急，70%以上的降雨量全都流進大海，水資源不易蓄存。因此，臺灣地區實際可用水量僅年降雨量之 26%左右，臺灣目前也已經被聯合國列為全球排名第 18 位具缺水危機的國家。降雨時空分布不均，加上水源開發不易，以致水資源調配運用困難，在在都使自來水事業之營運備極艱辛。

我國主要 2 個自來水事業單位之一的台灣自來水股份有限公司（以下簡稱台水公司），103 年度之平均單位水價為每度（註：1 度＝1 立方公尺＝1,000 公升）新臺幣 10.96 元，平均單位成本約為 11.14 元，也就是水價甚至較成本為低，給水投資報酬率為-0.24%，較經濟部 95 年 7 月 10 日所訂頒「水價計算公式及詳細項目」之法定給水投資報酬率 5%~9%相差甚多。

台水公司現行水價已維持了 21 年，當年係以抵償民國 78 年當時的成本及應有合

理利潤為計價基礎。不過近二十餘年物價上漲幅度已呈倍數成長，再加上水源開發困難、水質標準提升等外在因素與日俱增，近年來台水公司之給水收入早已無法抵償給水成本。

水價過低，除無法有效鼓勵民眾節約用水、珍惜水資源，對於工業界回收再利用水資源之推動也毫無誘因，因為價廉物美之自來水使得工業界購買自來水之費用往往遠低於自行建置回收再利用系統之成本。

自來水事業單位將原水導送進入淨水場，經過繁複的淨化處理程序後，再經配水管將自來水輸送至用戶之水龍頭。這些過程所需投入的人力、物力，加上相關之管銷成本即是自來水之成本。不過，目前臺灣地區水價的訂定，係依據自來水法等相關法規，報請自來水法主管機關核定。而政府及民意機關在審議水價時須考慮供水成本、水資源保育、社會公平、行政效率、國民健康、民意接受性及其他政府政策，使得訂定合理之水價成為一個極為複雜之課題。

雖然要訂定合理之自來水價格並不容易，不過藉著國際水協會(International Water Association, IWA)於 2014 年 9 月公布最新之世界各國家戶用水資料之時機，讓社會大眾了解國際間之水價概況，並將臺灣地區現有水價與世界各國作各種面向之比較，有助於釐清水價之相關問題。

二、臺灣地區自來水價格之現況

(一)自來水事業單位營運成本比較

目前供應臺灣本島自來水共有 2 個事業單位，也就是臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）及台水公司，二者供水區域不同。北水處供水區域以臺北市為中心，包括新北市三重、中和、永和、新店與汐止部份地區；台水公司之服務區域則是上述地區以外者，其中也包括屬於離島地區之澎湖縣。外島地區之金門縣及連江縣則是分屬金門縣自來水廠及連江縣自來水廠之供水轄區。

北水處及台水公司因成立屬性及經營環境不同，造成營運成本差異，以致水價不一。

1.維護營運費用

相較台水公司，北水處供水區域較小、管線較短、用戶集中，故其維護營運費用較低。台水公司供水區域遍及偏遠地區，管線長、用戶分散，不僅投資金額龐大，維護營運費用相對亦高。台水公司供水轄區的人口密度比臺北市低許多，在相同的接管長度（相同的接管費用）時，可供水的用戶數相對的比臺北市低，在接管線至用戶端時所花費的成本自然不同。

2.原水、清水成本

北水處水源取自翡翠水庫，水源充沛，原水價格低，又其污染少，處理費用亦較低。台水公司自有水源不足，購水成本較北水處高，加上部分水源受污染嚴重或暴雨導致之高濁度原水，處理費用亦較高，因此給水成本高於北水處。

3.稅捐負擔

北水處係臺北市政府行政單位之一，免繳房屋稅與土地稅；台水公司除須繳交房屋稅與土地稅外，每年度之盈餘尚需繳納 25%之營利事業所得稅，稅捐負擔較重。

4.工程需求與資金成本

臺北市為繁榮之都會區，根據北水處

103 年 5 月公布之年報，供水普及率已達 99.60%，近年由於用水人口幾近飽和，供水普及率已因而北水處所需擴建工程較少，且經費多由政府補助，資金成本較低。

台水公司服務區域遍佈全臺，根據該公司 103 年 4 月公布之年報，供水普及率為 91.56%，歷年來為配合政府政策提高普及率，每年須辦理多項供水工程。此外，由於水價長期未能獲准合理調整，造成台水公司自有資金不足，必須舉債支應各項鉅額工程經費，以致利息負擔沉重，資金成本較高。

(二)平均單位水價及平均單位成本

北水處及台水公司在平均單位水價及平均單位成本的定義上差別不大，僅專有名詞之用字略有不同（詳表 1）。不過，為避免無謂困擾，主管機關有必要出面整合制定一套共同的標準用語、定義及規範，以供我國各自來水事業單位遵循。

如前所述，北水處及台水公司因經營環境不同，造成營運成本差異，以致水價不一。此外，二者在投資報酬率上面，一者為正值，另一者為負值，更是天地之別。

(三)合理水價

依據經濟部 95 年 7 月 10 日經授水字第 09520206750 號訂頒之「水價計算公式及詳細項目」，若以台水公司 100 年度至 102 年度審定決算資料為基礎，給水投資報酬率 5%與 9%為合理利潤之條件下，其合理水價（含營業稅）如下：

- 給水投資報酬率 5%時，合理水價為每度 16.37 元。
- 給水投資報酬率 9%時，合理水價為每度 20.10 元。

(四)統一水價

無論是工業、商業或一般家戶，也不管是都會地區或偏遠地區，北水處及台水公司分別在其供水轄區內採用同一標準收費。

衡情論理，偏遠地區因住戶稀少且分散，所需埋設管線較長及供水設施較多，甚至需多段加壓方可將自來水送達，其成本自然較人口集中之城市高出許多，水價理應較城市者為高。不過，一般而言，偏遠地區民眾之所得較低，為照顧該地區民眾之生活並兼顧水資源全民平等共享之精神而採用統一水價。

表 1　北水處及台水公司 103 年度平均單位水價及成本統計表

103 年度		北水處	台水公司
平均單位水價	定義	給水收入÷計費水量	給水收入÷售水量
	新臺幣	8.33 元	10.96 元
平均單位成本	定義	自來水成本÷計費水量	給水總成本÷售水量
	新臺幣	7.83 元	11.14 元
單位銷售盈虧	新臺幣	+0.5 元	-0.18 元
投資報酬率		+0.43%	-0.24%

三、國際自來水費用資料

(一)資料來源

國際水協會係由國際自來水協會(International Water Supply Association, IWSA)及國際水質協會(International Association on Water Quality, IAWQ)於 1999 年合併而成立，目前成員包括 1 萬名個人會員及 400 個團體會員，成員遍及 130 個國家，為目前全世界最大之水產業科技國際組織。

國際水協會「統計及經濟專家小組」(The Statistics and Economics Specialist Group)於 2014 年 9 月在葡萄牙里斯本(Lisbon)召開之世界水務雙年會(World Water Congress)中，公布年世界各國用水戶之水服務費用調查資料，相關費用均以美元計算，匯率則是依照 2013 年 12 月 31 日者（詳 http://nl.exchange-rates.org/historicalrates/E/USD/31-12-2013）。

(二)資料範圍

本次國際水協會公布之水服務費用調查資料包括自來水及污水之相關費用，由於本文意旨在分析國際自來水價格現況，本文僅節錄其中有關自來水者，項目包括自來水「固定費用」(Fixed Charge)、自來水「變動費用」(Variable Charge)及「其他費用」(Other Charge Drinking Water)等；「水下水道使用費」、「污水處理費」及隨水費徵收如「一般廢棄物清除處理費」、「水源保育與回饋費」及「營業稅」(VAT & Other Taxes)等費用則不列入計算。

該水服務費用調查資料範圍涵蓋 30 個國家（或地區）及 160 個當地主要城市，代表我國家戶用水服務費用資料之城市為臺北市及高雄市，其自來水相關費用則分別代表北水處及台水公司之水費價格。

前述 30 個國家（或地區）中巴西之代表城市，包括聖保羅(Sao Paulo)及巴西利亞聯邦特區(Brasilia Federal District)，因其收費採「不計量單一價格」(Flat Rate Unmetered)之「按戶收費」方式，僅提供水服務費用之總計，無法區分自來水及污水之相關費用，因此無法列入比較。

(三)人均用水量（公升／人／日）

平均每人每日用水量就稱為「人均用水量」，如以平均每戶 4 人來計算，每家戶每年使用 100 度的自來水量代表人均用水量為 68.5 公升，200 度者則代表人均用水量為 137 公升，二者均遠低於我國全國的人均用水量 271 公升（102 年，經濟部水利署）。

本次國際水協會所公布資料同時包括 46 個國家（或地區）及 207 個當地主要城市（或地區平均值）註 2008 年、2010 年及 2012 年的人均用水量統計資料（詳附圖）。部份城市無 2012 年資料者，則依序以其 2010 年或 2008 年之數據為比較依據。

前述 207 個當地主要城市（或地區平均值）中之人均用水量最高者為美國佛羅里達州邁阿密之 526 公升，最低者為位於非洲的布吉納法索之 45 公升，平均值則為 165 公升。人均用水量低於 68.5 公升的只有包括美國華盛頓特區（51 公升，倒數第 3 名）及以色列耶路撒冷（59 公升，倒數第 6 名）等 8 個城市，其比例不及 4%；低於 137 公升者則有 91 個城市，其比例為 44%。人均用水量超過我國平均值（271 公升）的城市只有 20 個，其中包括了高居第 10 名的臺北市（340 公升）；高雄市（266 公升）則是第 23 名，顯示我國用水效率普遍偏低，有頗大之改善空

間。

註：本次國際水協會公布 160 個城市之水服務費用及 207 個城市（或地區平均值）之人均用水量資料，部分城市僅列水服務費用之資料，而無人均用水量之數據；也有一些城市僅列人均用水量之資料，而無水服務費用之數據。

（四）「200 度／戶／年」之水費為比較基礎

本次國際水協會所公布之水價資料分別列出每家戶每年使用 100 度及每家戶每年使用 200 度者，惟所有城市之家戶年平均用水量約 241 度，與 200 度者較接近，因此本文僅取每家戶每年使用 200 度自來水之相關數據作各方面之分析比較。

1.自來水「固定費用」

自來水費含有「固定費用」、「變動費用」、「其他費用」及「營業稅」等項目，「固定費用」所占整體水費之比例會隨著使用度數增加而下降，因而平均單位水價也會隨著使用度數增加而下降。換言之，「100 度／戶／年」之平均單位水價會較「200 度／戶／年」者為高。以臺北市水表口徑為 20 mm 之用戶為例，「100 度／戶／年」之平均單位水價為新臺幣 13.16 元（含稅），「200 度／戶／年」者則降為 9.08 元（含稅），二者相差高達 4.08 元，占「200 度／戶／年」者之 45%。

根據本次國際水協會公布之水服務費用調查資料，並非所有城市的自來水費用均含有「固定費用」，包括巴西、保加利亞、香港、法國、匈牙利、伊朗、以色列、澳門、波蘭、羅馬尼亞、韓國、瑞典及美國等地，都有免收自來水「固定費用」的城市。不過，整體而言，收取自來水「固定費用」的城市仍占大多數。

代表我國的北水處及台水公司，其水費結構均包含「固定費用」，也就是「基本水費」，其收費多寡與使用水量無關，而是隨水表口徑大小呈級距性的增加。

2.自來水「變動費用」

自來水「變動費用」可依照收費制度之設計，隨使用水量、使用人數、馬桶數量或房屋面積而增加。根據本次國際水協會公布之水服務費用調查資料，部分城市的自來水費用不含「變動費用」，也就是其收費基準與使用水量無關，包括巴西、加拿大、墨西哥、挪威等地，都有免收自來水「變動費用」的城市。

3.「不計量單一價格」收費方式

「不計量單一價格」是採取「按戶收費」之方式，收費多寡與使用水量、使用人數、馬桶數量或房屋面積無關。本次調查資料所列巴西之城市，其收費即採此種方式，既不收取自來水「固定費用」，也不收取「變動費用」。

(五)平均每人國內生產毛額

本次國際水協會公布之調查資料中「平均每人國內生產毛額」（GDP per capita，又稱「人均 GDP」)係指「購買力平價」（Purchasing Power Parity，簡稱 PPP）者，數據出處為美國中央情報局之網站(https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/)。

「購買力平價」又稱「相對購買力指標」，是一種根據各國不同的價格水平計算出來的貨幣之間的等值係數，使我們能夠在經濟學上對各國的國內生產總值進行合理比較，這種理論匯率與實際匯率可能有很大的差距。由於幾乎世界各國都有麥當勞的分店，《經濟學人》雜誌所創的「大麥克指數」就是經常被用來評量購買力平價的簡單例子。如果一個大麥克在美國的價格是 4 美

元，而在英國是 3 英鎊，那麼在美國 4 美元的購買力就相當於在英國的 3 英鎊，其購買力平價匯率就是 3 英鎊=4 美元。

該資料所公布的 30 個國家（或地區）之 2013 年「人均 GDP」中，澳門拜近年博奕及觀光業的蓬勃發展，以 82,400 美元奪魁；挪威的 55,400 美元次之；第 3 名是美國的 52,800 美元；日本為 37,100 美元，名列第 14 名；臺灣則高達 39,600 美元，名列第 10 名；此 30 個國家（或地區）之 2013 年「人均 GDP」平均值為 33,960 元。

四、分析討論方法

(一)計算平均單位水價

依據國際水協會於 2014 年 9 月公布之世界各國主要城市家戶每年用水 200 立方公尺（度）之自來水費用（以美元計）調查資料，分別計算出各國主要城市平均單位水價、各國平均單位水價及各區域平均單位水價，再根據國際水協會所採用的 2013 年 12 月 31 日美元匯率（1 美元兌換新臺幣 29.84 元），換算成以新臺幣計之平均單位水價。

1.各國主要城市平均單位水價

依據國際水協會之自來水費用調查資料，將各城市之自來水「固定費用」、自來水「變動費用」及自來水「其他費用」加總，計算出該城市之全年自來水總費用，再將總費用除以 200，就可得到該城市之平均單位水價。

2.各國平均單位水價

各國之平均單位水價則以所屬城市之平均單位水價加總平均後算出。

3.各區域平均單位水價

另以各國（或地區）所在之區域分類歸納為非洲、美洲、亞洲、歐洲及中東地區等 5 區域，將區域內各國水價加總平均，所得值即代表該區域之平均單位水價。

(二)計算「水費負擔率」

若僅就單位平均水價之高低，來評定水價廉價與否，對於世界各國家（或地區）不盡相同的國民所得及國民生產毛額而言，顯得有失公允。為求公平合理的水價比較，本文以所公布用水 200 立方公尺（度）之自來水費用代表每年家戶平均自來水費用，以該費用除以該國「人均 GDP」，所得數值稱之為「水費負擔率」。

定義：水費負擔率＝200 度之自來水費用÷人均 GDP

「水費負擔率」愈大，表示該國水價在同等的平均個人國民生產毛額下相對較高，意涵民眾用水費用支出負擔較重。

1.各國主要城市「水費負擔率」

將各城市家戶用水 200 立方公尺（度）之全年自來水總費用除以該國「人均 GDP」，就可得到該城市之平均「水費負擔率」。

2.各國平均「水費負擔率」

各國之平均「水費負擔率」則以該國用水 200 立方公尺（度）之全年自來水總費用除以該國「人均 GDP」後算出。

3.各區域平均「水費負擔率」

另以各國（或地區）所在區域（包括非洲、美洲、亞洲、歐洲及中東地區等 5 區域）內各國用水 200 立方公尺（度）之全年自來水總費用加總平均，再除以該區域之平均

「人均 GDP」，所得值即代表該區域之平均「水費負擔率」。

(三)討論項目

將各城市水價、水費負擔率及各國人均 GDP 值，以各國（或地區）國名英文字母依序列冊（詳見附表），再就各種面向將我國 2 個代表城市（臺北市及高雄市）之自來水價格與世界其他 29 個國家（或地區）及 156 個城市者加以比較分析，以進一步了解國際水價之現況與趨勢。分析比較之項目包括：

- 各國主要城市平均單位水價
- 各國主要城市水費負擔率
- 各國平均單位水價
- 各國平均水費負擔率
- 各區域平均單位水價
- 各區域平均水費負擔率
- 人均用水量與水費負擔率
- 臺灣地區家庭用水費占消費支出比率統計

五、分析討論

國際水協會所提供自來水費用調查資料，資料範圍涵蓋共 30 個國家（或地區），及 158 個當地主要城市，本文將分別以「城市」、「國家」及「區域」之區別，進行分析討論自來水價格相關面向。

(一)各國主要城市平均單位水價（詳見附表）

1.各國主要城市平均單位水價之排名

- 最高之城市為比利時 Liege，每度水價為新臺幣 110.83 元。
- 最低之城市為伊朗 Shiraz（第 158 名），每度水價為新臺幣 4.87 元。
- 各國主要城市自來水價格之平均值為每度新臺幣 45.38 元。
- 臺北市及高雄市之水價在 158 個城市中分別排名第 152 名及 149 名，其水價低於 93%以上之城市，屬於低水價者，平均每度水分別是新臺幣 8.64 及 9.83 元，僅占平均各城市自來水價格 45.38 元之 19%及 22%。
- 值得注意的是義大利米蘭（第 153 名）之單位水價極低，僅新臺幣 6.8 元。
- 鄰近國家主要城市之日本東京自來水價格排名第 90 名(36.26 元)、仙台第 49 名(55.60 元)、札幌第 74 名（46.23 元），韓國首爾第 144 名(15.96 元)、釜山第 138 名(19.49 元)，香港第 141 名（17.31 元），澳門第 142 名（16.51 元）。（註：亞洲國家及地區僅日本、韓國、香港、澳門及我國列入本次國際水協會每年家戶用水量 200 度者之統計）

2.各國主要城市平均水費負擔率之排名

- 最高之城市為墨西哥 Puebla，比值為 3.69%。
- 最低之城市為美國邁阿密，比值為 0.12%。根據國際水協會公布之統計資料，2012 年人均用水量（詳見附圖）最高的城市也是美國邁阿密，高達 526 公升。
- 各國主要城市家戶水費負擔率之平均值為 1.06%。
- 臺北市及高雄市之家戶水費負擔率分別為 0.15%及 0.17%，在 158 個城市中分別排名第 156 名及第 154 名，顯示臺灣民眾用水支出負擔極輕，僅占各國平均值之 14%及 16%。
- 鄰近國家主要城市之日本東京之排名為第 117 名(0.66%)、仙台第 88 名(1.00%)、札幌第 104 名(0.84%)，韓國首爾第 145 名(0.32%)、釜山第 139 名(0.39%)，香港第 153 名(0.22%)，澳門第 157 名(0.13%)。

(二)各國平均單位水價

取附表中各國（或地區）城市平均單位水價之加總平均值，代表該國之平均單位水價，並加入各國水費負擔率及人均 GDP 值，依照英文國名之字母順序列冊如表 2；另依照平均單位水價之高低順序及對應之水費負擔率繪圖如圖 1。

實際上，世界各國水價並非全國一致，多以城鄉為界，同一國家內之各地水價互有不同。

1.各國平均單位水價之排名

- 最高之國家為丹麥，平均每度水價為新臺幣 91.46 元。
- 最低之國家為伊朗，平均每度水價為新臺幣 5.52 元。
- 各國自來水價格之平均值為每度新臺幣 43.84 元。（註：該數值與前述各國主要城市自來水價格之平均值 45.38 元略有不同，此因城市者係以各城市自來水單價之總和除以城市之數目而得，國家者則以各國自來水平均單價之總和除以國家之數目而得，以致二者之計算結果產生差異。）
- 在 29 個國家（或地區）中，臺灣平均單位水價排名第 27 名（倒數第 3 名），在亞洲最低，屬於低水價者，平均每度水價為新臺幣 9.23 元，僅占各國單位水價平均值 43.84 元之 21%。
- 鄰近國家之日本自來水價格平均值排名第 20 名（35.82 元），韓國第 24 名（17.72 元），香港第 25 名（17.13 元），澳門第 26 名（16.51 元）。

2.各國主要城市平均水費負擔率之排名

- 最高之城市為墨西哥 Puebla，比值為 3.69%。
- 最低之城市為美國邁阿密，比值為 0.12%。國際水協會公布之統計資料，2012 年人均用水量（詳見附圖）最高的城市也是美國邁阿密，高達 526 公升。
- 各國主要城市家戶水費負擔率之平均值為 1.06%。

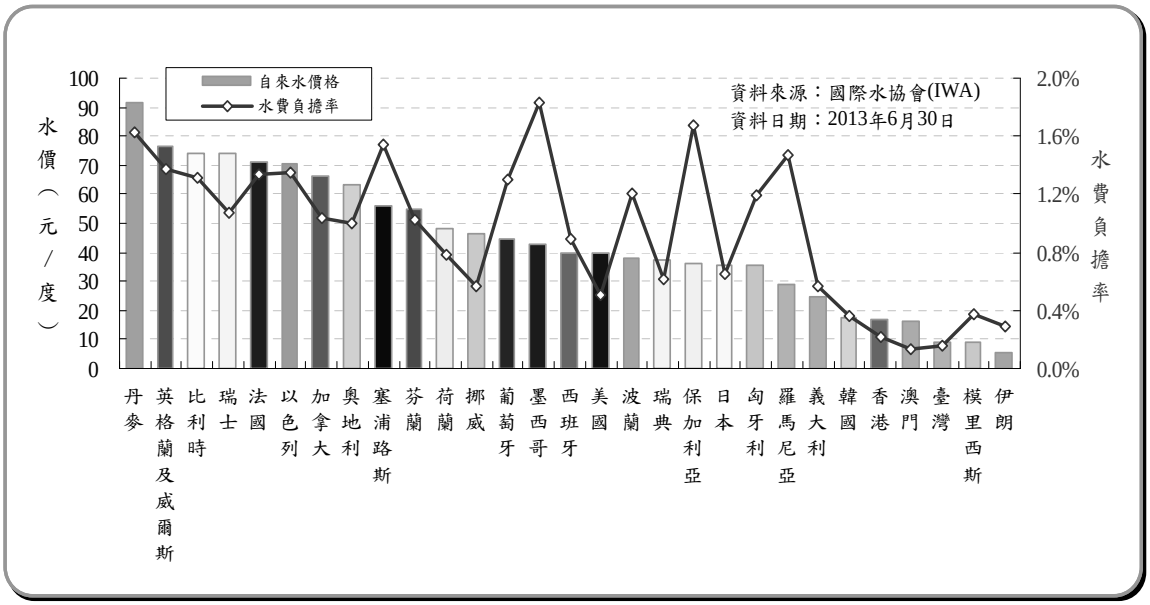


圖 1　各國平均單位水價及水費負擔率

表 2　各國平均單位水價統計表（依英文字母排序）

項次	國家(英文)	國家(中文)	人均 GDP(美元)	人均 GDP排名	平均水價(新臺幣/度)	平均水價排名	水費負擔率	水費負擔率排名
1	AUSTRIA	奧地利	42,600	7	63.35	8	1.00%	16
2	BELGIUM	比利時	37,800	11	74.36	3	1.32%	9
3	BRAZIL	巴西	12,100	30	n/a	n/a	n/a	n/a
4	BULGARIA	保加利亞	14,400	27	35.98	19	1.67%	2
5	CANADA	加拿大	43,100	6	66.25	7	1.03%	14
6	CYPRUS	塞浦路斯	24,500	21	56.32	9	1.54%	4
7	DENMARK	丹麥	37,800	11	91.46	1	1.62%	3
8	ENGLAND & WALES	英格蘭及威爾斯	37,300	13	76.74	2	1.38%	6
9	FINLAND	芬蘭	35,900	15	54.72	10	1.02%	15
10	FRANCE	法國	35,700	16	71.26	5	1.34%	8
11	HONG KONG	香港	52,700	4	17.13	25	0.22%	27
12	HUNGARY	匈牙利	19,800	24	35.30	21	1.19%	12
13	IRAN	伊朗	12,800	29	5.52	29	0.29%	26
14	ISRAEL	以色列	34,900	17	70.20	6	1.35%	7
15	ITALY	義大利	29,600	20	24.96	23	0.57%	21
16	JAPAN	日本	37,100	14	35.82	20	0.65%	19
17	MACAO	澳門	82,400	1	16.51	26	0.13%	29
18	MAURITIUS	模里西斯	16,100	25	8.87	28	0.37%	24
19	MEXICO	墨西哥	15,600	26	42.50	14	1.83%	1
20	NETHERLANDS	荷蘭	41,400	8	48.39	11	0.78%	18
21	NORWAY	挪威	55,400	2	46.60	12	0.56%	22
22	POLAND	波蘭	21,100	23	37.74	17	1.20%	11
23	PORTUGAL	葡萄牙	22,900	22	44.43	13	1.30%	10
24	ROMANIA	羅馬尼亞	13,200	28	28.92	22	1.47%	5
25	SOUTH KOREA	韓國	33,200	18	17.72	24	0.36%	25
26	SPAIN	西班牙	30,100	19	39.78	15	0.89%	17
27	SWEDEN	瑞典	40,900	9	37.60	18	0.62%	20
28	SWITZERLAND	瑞士	46,000	5	73.87	4	1.08%	13
29	TAIWAN	臺灣	39,600	10	9.23	27	0.16%	28
30	USA	美國	52,800	3	39.70	16	0.50%	23

資料來源：國際水協會(IWA)
製表人：周國鼎

- 臺北市及高雄市之家戶水費負擔率分別為 0.15%及 0.17%，在 158 個城市中分別排名第 156 名及第 154 名，顯示臺灣民眾用水支出負擔極輕，僅占各國平均值之 14%及 16%。
- 鄰近國家主要城市之日本東京之排名為第 117 名(0.66%)、仙台第 88 名(1.00%)、札幌第 104 名(0.84%)，韓國首爾第 145 名(0.32%)、釜山第 139 名(0.39%)，香港第 153 名(0.22%)，澳門第 157 名(0.13%)。

(三)各區域平均單位水價

依照各區域內之平均單位水價之高低順序及對應之水費負擔率繪圖如圖 2。

1.各區域平均單位水價之排名

- 最高之區域為歐洲地區，平均每度水價為新臺幣 52.32 元。
- 最低之區域為非洲，平均每度水價為新臺幣 8.87 元。
- 中東地區、美洲及亞洲的平均每度水價分別是 37.86 元、49.48 元及 19.28 元。

2.各區域平均水費負擔率之排名

- 最高之區域為歐洲，平均值為 1.14%。
- 最低之區域為亞洲，平均值為 0.30%。
- 歐洲、美洲及中東地區的水費負擔率分別是 1.14%、1.12%及 0.82%元。

(四)人均用水量與水費負擔率

本次國際水協會所公布的 2012 年各城市人均用水量資料中，最高者為美國邁阿密（526 公升），最低者為位於葡萄牙的 Loures（49 公升）。所有城市之平均值則為 168 公升。我國的臺北市人均用水量為 340 公升，高雄市則為 266 公升，在 158 個城市中排名分別是第 8 名及第 18 名。

將各城市「人均用水量」由高而低排列，再將其「水費負擔率」對應繪圖如附圖。由該圖可明顯看出，隨著「水費負擔率」上升，「人均用水量」有逐漸下降的趨勢。換言之，「水費負擔率」愈低的地方，其「人均用水量」就愈高。在 158 個城市中，美國邁阿密不僅是「水費負擔率」最低之城市，也是「人均用水量」最高者，充分證明「水價高低攸關用水效率」。

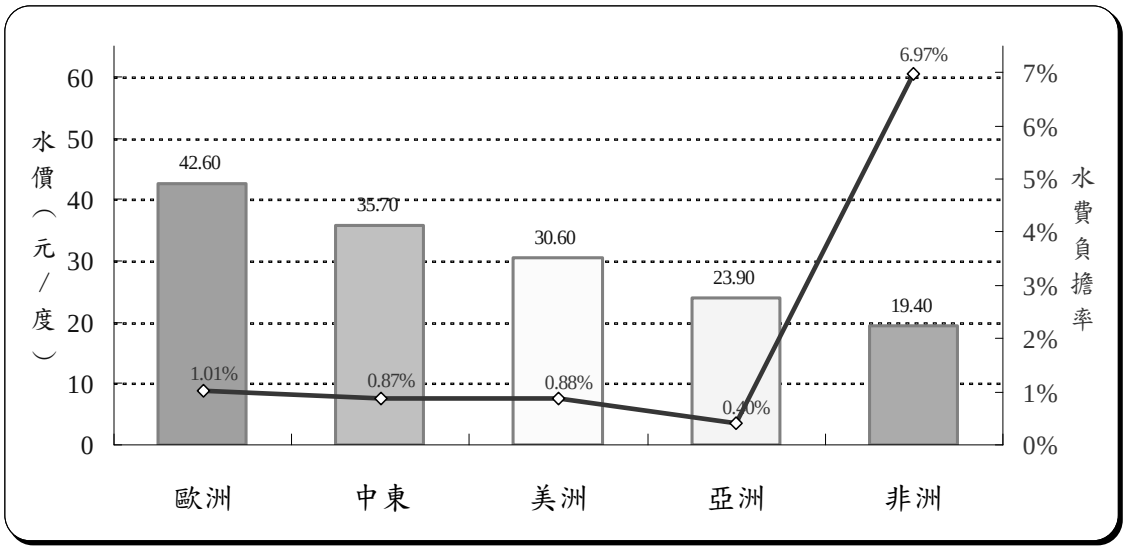


圖 2　各區域平均單位水價及水費負擔率

因此，政府相關機關如要降低「人均用水量」，並提高用水效率，捷徑之一就是調高自來水的價格。

(五)家庭用水費占消費支出比率

根據行政院主計總處公布之統計資料，將 96 年至 102 年間之我國人均 GDP、平均每戶消費支出及家庭用水費占消費支出比率編製成表 3。由該表可發現，該期間我國平均每人 GDP 由 17,814 美元成長至 21,902 美元，成長率為 23%；平均每戶消費支出則由新臺幣 71.6 萬元上升至 74.8 萬元，成長率為 4.5%，惟同期間之家庭用水費占消費支出比率卻由 0.38%下降為 0.32%。

世界衛生組織認定合理的家庭用水費占消費支出比率為 2%至 4%，我國在人均 GDP 及平均每戶消費支出逐年成長下，每戶每年自來水費負擔占消費支出比率倒是不增反減，不僅無法維持原有已不合理之極低比率，遑論要達到世界衛生組織所認定之標準。

六、結論

本文之重點並非探討我國合理自來水價格究竟為何，而是將臺灣地區現有自來水價格與世界各國之水價作各種面向之比較，以期有助於釐清水價之相關問題。由諸多數據顯示，相較世界各國，不論是歐美先進國家，或亞洲鄰近國家，我國自來水價格已明顯不合理之偏低。尤其如果扣除澳門的特例後，臺灣在「水費負擔率」方面，排名全球倒數第 1 名，更是明顯的證明。

美國邁阿密兼具「最低水費負擔率」及「最高人均用水量」城市之頭銜，也充分證明水價高低攸關用水效率。因此，政府相關機關如要鼓勵民眾節約用水、珍惜水資源，捷徑之一就是調高自來水的價格。

水價過低，對於工業界回收再利用水資源之推動也毫無誘因，因為價廉物美之自來水使得工業界購買自來水之費用往往遠低於自行建置回收再利用系統之成本。如要對工業界回收再利用廢污水產生誘因，未來自來水水價必須高於回收廢污水所需的成本。

此外，過低的水價除將使自來水事業單位之財務狀況失衡，導致無法適時更新設備與汰換老舊管線，進而降低經營績效，同時相對形成政府對於大量用水者之補貼，一般用水少的百姓反而吃虧，衍生用水效率與社會公平的問題。

世界上大多數的政治人物都不願意觸碰水價調漲的議題，因為那是一個容易導致選票流失、不討好的議題。我國也因為連年選舉，任何執政黨都不願意合理調漲水價，社會正義及國家前途就在這樣的拖延等待中逐漸流失了。不過，沙烏地阿拉伯水電部部長 Abdullah Al-Hussayen 在 2010 年 10 月召開的沙國水電論壇中展現了與以往截然不同的立場，他首次表達了水價有調漲的必要性。該國當時水價為每度新臺幣 0.8 元，實際平均單位成本卻高達每度 180 元，換言之，水價中有 99.6%是由政府補貼。當地的自來水多由海水淡化而來，在油價高漲的時代，過度便宜的水價會傷及國家利益，增加消耗原本可以外銷賺取外匯的石油，長此以往對於國家發展是不利的。Al-Hussayen 部長又表示，他們本來以為降低水價可以幫助老百姓，實際上反而是不利的，因為低水價變相鼓勵了浪費水資源，這都是在侵蝕國家的財富。

全球水務情報雜誌(Global Water

表 3　我國家庭用水費占消費支出比率統計表

年度	人均 GDP (美元)註[1]	平均每戶消費支出 (萬元新臺幣／年) 註[2]	家庭用水費占消費支出比率 註[3]
96	17,814	71.6	0.38%
97	18,131	70.5	0.38%
98	16,988	70.6	0.37%
99	19,278	70.2	0.37%
100	20,939	72.9	0.35%
101	21,308	72.8	0.33%
102	21,902	74.8	0.32%

註 1：中華民國統計資訊網 (http://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=14616&CtNode=3564&mp=4)「國民所得統計常用資料」
註 2：行政院主計總處地方統計推展中心家庭收支科-台灣地區家庭收支調查-家庭收支概況
(http://win.dgbas.gov.tw/fies/index.asp)
註 3：根據台水公司普通及軍眷用戶水費之資料換算

Intelligence) 發行人 Christopher Gasson 表示，各國政府已逐漸了解補貼水費是一個不好的政策，雖然老百姓都希望有免費的自來水，事實上要供應量足質優的飲用水所費不貲。此外，全球暖化導致旱澇之發生將愈趨頻繁，地下管線設備也會持續老化，加上社會大眾對於提升水質之要求從無間斷，未來自來水事業單位的供水成本更會不斷攀升。

我國自來水事業具有公共服務之特性，雖然不是以營利為目的，不過水價之訂定仍然應該確實反映成本，藉此確保自來水事業單位之永續經營，並達到鼓勵節約用水、減少溫室氣體排放之效益。台水公司之水價自民國 83 年起即無調整過，迄今已經過 21 個年頭，尤其近年來物價高漲，合理之自來水價格已迫切需要一個理性及客觀之討論空間。

七、誌謝

感謝台水公司李丁來處長、王明傑組長、黃素麗組長、謝富全管理師、廖婉芝管理師及北水處蔡淑惠科員等人士，不吝百忙之中提供諮詢及寶貴資料，協助完成本文之撰寫。

參考文獻

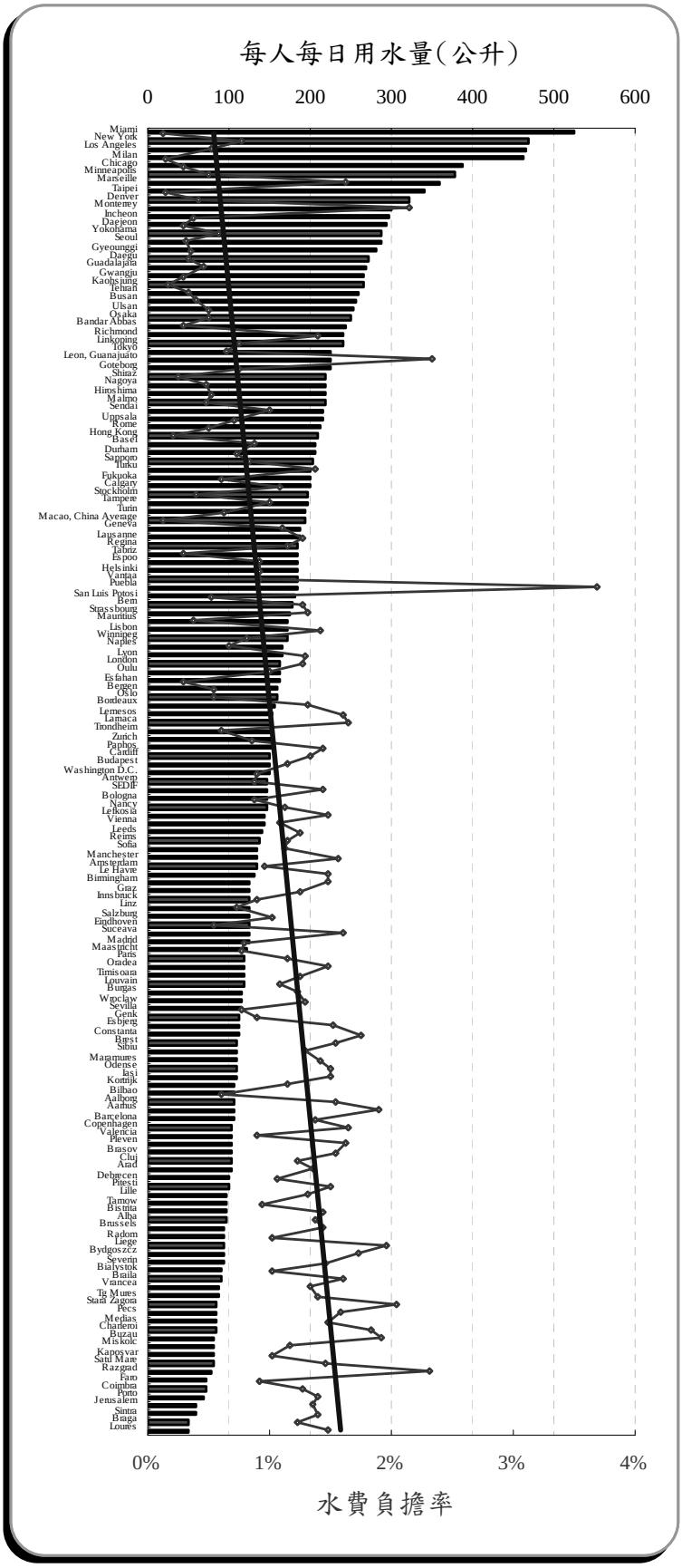
1.International Water Association，International Statistics for Water Services，2014
2.Global Water Intelligence，Global Water Prices Outstrip Inflation as Scarcity, Neglect and Public Finances Catch up with Customers，取自 http://www.prweb.com/releases/2014/10/prweb12216091.htm
3.台灣自來水股份有限公司，六年(105-110)經營計畫，103年12月
4.臺北自來水事業處，臺北自來水事業統計年報，103年5月
5.台灣自來水股份有限公司，台灣自來水事業統計年報，103年4月
6.經濟部水利署，自來水生活用水量統計，103年3月

作者簡介

周國鼎先生

現職：行政院環境保護署科長、環境工程技師

專長：自來水工程、環境教育、空氣污染防制、綠色採購



附圖　各城市人均用水量與水費負擔率之關係圖

延性鑄鐵管耐震分析與性能基準值之探討

文/劉季宇

一、前言

自來水地下管線之鋪設，須能根據耐震需求(seismic demand)而設計、選用適合之管材，否則可能導致管線耐震容量(seismic capacity)不足，在強烈地震作用下，未能應付其地震力，造成一定程度之破壞，進而影響供水。因此，為提升自來水系統的震後服務效能，理應依工址之不同以及管線之重要性，訂定具經濟性、合理性的地下管線耐震需求，進而設計、選用具有足夠耐震容量的管材。

延性鑄鐵(ductile iron)因具有球狀石墨的微結構，故而機械性質優異，能承受衝擊力及塑性變形，加上高矽及高碳之化學成份，故亦具有抗腐蝕性及同鋼一樣的強度，成為自來水系統最普遍使用的管材(日本延性鑄鐵管協會，20012)。延性鑄鐵管一般採可伸縮、撓轉之接頭構造，在地震作用下可隨地盤而運動，管體應力相對極小。其耐震性能取決於受地盤變位作用時，接頭吸收變形之能力是否足夠，以及有否拉脫之疑慮。延性鑄鐵管材(接頭)之耐震容量，可透過試驗取得，試驗方法與實作經驗可參考水利署與北水處研究報告(經濟部水利署，2012；臺北自來水事業處，2012)。而在本會刊第 33 卷第 3 期「延性鑄鐵管耐震能力評估及發展」(吳世紀，2014)中，亦詳細介紹延性鑄鐵管耐震發展的沿革與趨勢、管線設計案例，以及我國 K-bar 耐震接頭的研發與試用情形，內容精闢，頗可參觀。

地下管線的耐震對策，理應因地制宜。日本地狹人稠、地震頻仍，故政策決定全面使用耐震管材，以有效降低地震風險；美國加州等地區雖然地震也多，但因人口(用水)分布相對不集中，全面使用耐震管材將極不經濟，故除非極重要之幹管，一般仍以損壞發生後進行修繕為基本原則。以我國而言，若能就不同工址特性之重要管線耐震容量，分別賦予基準值，確保最低限度的耐震性能，使能在設計地震下可應付耐震需求，當較為實際。

基於上述理由，本文針對自來水延性鑄鐵管，首先簡述耐震分析原理、流程，以及耐震設計之檢核項目，與管材的耐震分級規定；其次，舉計算例說明各種地盤條件，在設計地震最大地震動下的耐震需求，包含管體應力、接頭伸縮量、接頭撓曲角等，以及抵抗土壤液化引致側向滑潰(lateral spreading)與震陷(settlement)的耐震需求。最後，建議一套延性鑄鐵管的耐震性能基準值，希望可作為未來進行管線相關設計、採購之參考。

二、地下管線耐震分析與災害潛勢

自來水地下管線耐震分析採反應變位法(response displacement method)，此乃基於地下管線之質量遠小於周遭土層，故地震作用下，地下管線與土層同步震動，其變形亦受土層束制，相對於周遭土層可視為靜態反應(中興工程，2005)。地下管線結構反應係地震時地表變位所引致之作用，包含管軸方向

(軸力)與管軸垂直方向(撓曲)。以地震時之土層應變為輸入，可分析地下管線的變形及受力反應。連續構造管線之受震反應，可由梁理論求出土層變位傳遞係數的解析解，應用時以之乘上地盤應變，即可得到管體的反應。若為接頭構造管線，則須同時檢核管體受力，以及接頭伸縮與撓曲能力；此時，管體受力會因變形集中於接頭之故而下降，以應力修正因子反映之。

延性鑄鐵管之耐震分析方法，可參閱「自來水設施耐震設計指南及解說」(中華民國自來水協會，2013)，其內容乃參照日本「水道設施耐震工法指針・解說」(日本水道協會，1997、2009)，進行翻譯編修而得。此外，ISO 16134 Earthquake- and Subsidence-Resistant Design of Ductile Iron Pipelines (ISO, 2006)，對於延性鑄鐵管之耐震計算與檢核亦有規定，內容與日本「水道設施耐震工法指針・解說」相近。ISO 16134 的耐震計算與檢核流程如圖 1 所示，依序為：(1)設定地震動(工址之設計地表加速度)；(2)計算地盤之震動週期；(3)計算入射地震剪力波之波長；(4)計算水平向之地盤變位振幅；(5)代入選定管材之資料；(5)檢核管體之合成應力、接頭之軸向伸縮量、接頭之撓曲角；(7)就管材之選定進行迭代，直到檢核項目均通過；(8)決定工址發生土壤液化之可能性，若果，須進行地盤變形之檢核。日本水道協會之連續(一體)及接頭(繼手)構造管線的地震動耐震計算與檢核流程極相似，不同之處為有第一、二級地震動之區別。

以上所堤耐震分析方法，須以地盤條件，以及地震動、地盤變形(如土壤液化)等地震災害潛勢為輸入條件，所需要的參數包括：地盤震動週期、地下水位高度、土壤液化敏感類別，以及最大地表速度、最大地表加速度、地震規模(針對土壤液化評估)等。

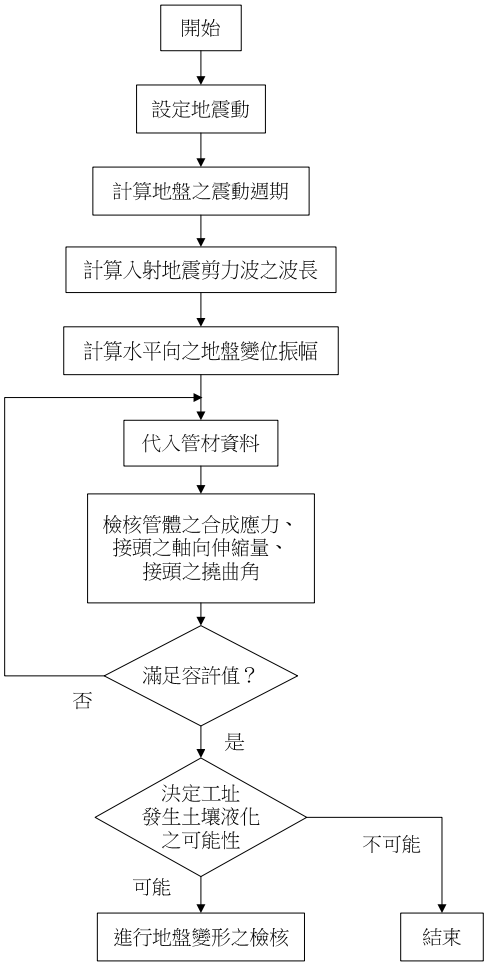


圖 1　ISO 16134 DIP 耐震計算與檢核流程

參考「建築物耐震設計規範及解說」(內政部營建署，2011)，耐震需求因地震(力)大小而不同，可將之概分為中小度地震、設計地震及最大考量地震。設計地震之回歸期為 475 年(10% in 50 years)，而最大考量地震則為 2,475 年(2% in 50 years)。一般工程結構物之耐震設計，採設計地震(回歸期 475 年)，非常重要的工程結構物，則進一步考慮最大考量地震(回歸期 2,475 年)。並且，日本「水

道設施耐震工法指針・解說」的第一、二級地震動，可分別對應於「建築物耐震設計規範及解說」的設計地震及最大考量地震的地震動。

關於工址的地盤震動週期、土壤液化敏感類別，以及設計地震、最大考量地震的最大地表速度、最大地表加速度、地震規模(針對土壤液化評估)的決定方式，參閱水利署研究報告(經濟部水利署，2014)的第四章，有十分詳細的說明。

三、地震動耐震計算與檢核

(一)地盤震動變位

按 ISO 16134，深度 z (單位 m)處之管線中心線位置，水平向地盤變位振幅 U_h (單位 m)與地表加速度有關，可表為：

$$U_h = \left(\frac{T_G}{2\pi}\right)^2 \cdot a \cdot \cos\frac{\pi z}{2H}$$

其中 T_G 、 a 、 H 分別為地盤震動週期(單位 s)、地表加速度(單位 m/s^2)、地盤厚度(單位 m)。

因此，進行延性鑄鐵管耐震設計(分析)時，倘若依循 ISO 16134 水平向地盤變位振幅之假設，則可採設計地震(或最大考量地震)，決定工址之最大地表加速度 A_{max} ，用於進行後續的計算與檢核。

若按日本「水道設施耐震工法指針・解說」(2009)，則水平向地盤變位振幅 U_h 與地表速度有關，可表為：

$$U_h = \begin{cases} \frac{2}{\pi^2} S_V T_G K'_{h1} \cos\frac{\pi z}{2H} & \text{(第一級地震動)} \\ \frac{2}{\pi^2} S'_V T_G \cos\frac{\pi z}{2H} & \text{(第二級地震動)} \end{cases}$$

其中 U_h 、 T_G 、 H 之定義同前； S_V 、 S'_V 分別為第一、二級地震動的地盤地震動速度反應(最大地表速度，cm/s)，可由地盤震動週期 T_G 之值，參照日本「水道設施耐震工法指針・解說」所提供之設計速度反應譜(如圖 2 所示)而得到， K'_{h1} 則為基盤面設計水平震度值，一般取 0.15。這裡的第一、二級地震動的設計用速度反應譜，前者乃就單自由度土層模型，在阻尼 20%、正規化日本地震紀錄多筆(最大地表加速度調至 1.0g)之下，迴歸所得之地表最大速度之曲線，使用時，應搭配基盤面設計水平震度值 K'_{h1} 以還原之；後者乃 1995 年日本阪神地震中，斷層 10 公里內的五筆基(岩)盤地震紀錄的分析結果，並按超越機率的不同，有下限值 70 與上限值 100 cm/s 之不同速度反應譜，分析時可視情況斟酌選用。

因此，在進行延性鑄鐵管耐震設計(分析)時，倘若依循日本水平向地盤變位振幅之假設，則除可參用日本設計用速度反應譜外，亦可採用「建築物耐震設計規範及解說」(內政部營建署，2011)之設計地震(或最大考量地震)，決定工址之最大地表速度 V_{max} ，用於進行後續的計算與檢核。

承前，管軸方向之地盤應變為：

$$\varepsilon_G = \frac{\pi \cdot U_h}{L}$$

其中， L 為入射地震波的波長(單位 m)。

「水道設施耐震工法指針・解說」(日本水道協會，2009)考慮地盤均勻性的問題，建議在計算 ε_G 時，可再乘一地盤不均勻度係數 η ，定義於該書之表-3.1.8，本文整理如表 1 所列。

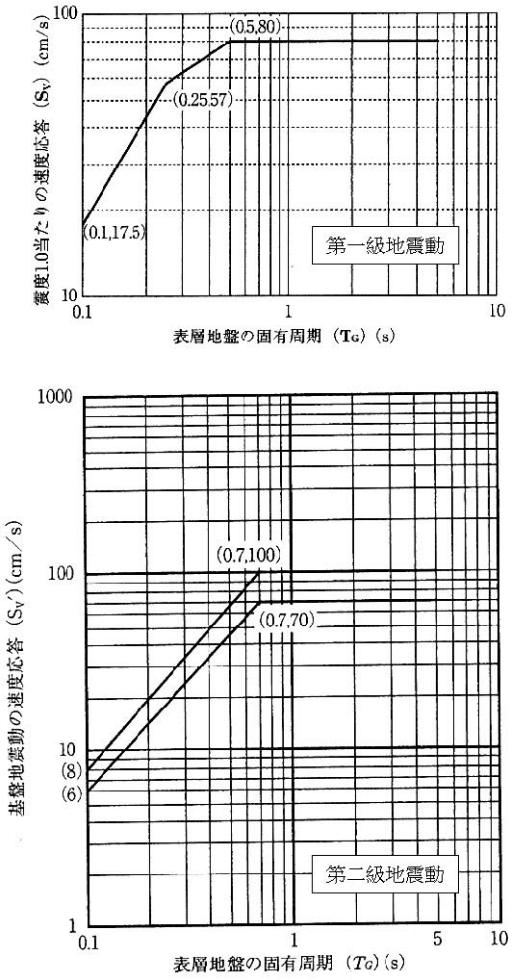


圖 2　日本水道協會之設計用速度反應譜

(二)檢核項目

首先，為管體之合成應力 σ_x (單位 Pa)：

$$\sigma_x = \sqrt{w \cdot \sigma_L{}^2 + \sigma_B{}^2}$$

其值應不高於管壁的材料強度(延性鑄鐵抗拉強度 420MPa、檢核時常以 270MPa 為容許應力)。上式中，σ_L 、σ_B 分別為管體的軸向應力(單位 Pa)與撓曲應力(單位 Pa)，w 為依管線重要性而賦予之加權係數，其值介於 1.00 ~ 3.12 之間。管體的軸向應力 σ_L 與撓曲應力 σ_B 分別表為：

$$\begin{cases} \sigma_L = \xi_1 \cdot \alpha_1 \cdot \dfrac{\pi U_h}{L} \cdot E \\ \sigma_B = \xi_2 \cdot \alpha_2 \cdot \dfrac{2\pi^2 D U_h}{L^2} \cdot E \end{cases}$$

其中 D 、E 分別為延性鑄鐵管外徑(單位 m)與延性鑄鐵之彈性模數(單位 Pa)。其中，土層變位傳遞係數 α_1 、α_2 ，以及應力修正因子 ξ_1 、ξ_2 ，其計算方式可參閱各相關文獻，在此擬不多作說明。

其次，為接頭之軸向伸縮量 u (單位 m)，依 ISO 16134 有：

$$u = \pm \varepsilon_G \cdot \ell$$

其值應不高於所選擇接頭的容許伸縮量。式中，ℓ 為延性鑄鐵管的標稱長度(單位 m)。上式亦為日本「水道設施耐震工法指針・解說」中的簡便計算方法。日本同書另有一更精確但相對複雜的計算方法，在此略而不論。

表 1　地盤不均勻度係數 η 建議值(日本水道協會，2009)

不均勻程度	不均勻度係數	地盤條件
均勻	1.0	洪積地盤、均勻之沖積地盤
不均勻	1.4	層厚變化稍劇烈之沖積地盤、一般丘陵
極不均勻	2.0	河川流域、河谷、非常不均勻之沖積地盤、大規模開挖或填土之工址

最後，為接頭之撓曲角θ(單位 rad)：

$$\theta = \pm \frac{4\pi^2 \cdot \ell \cdot U_h}{L^2}$$

其值應不高於所選擇接頭的容許撓曲角。

一般情況下，純粹地震動引致之延性鑄鐵管接頭撓曲角，不論其振幅大小，均極其有限；延性鑄鐵管接頭具有相當之容許撓曲角，乃因施工性的需要。

實務上，自來水管線之設計檢核，還必須將「設計內壓」、「車載荷重」、「溫度變化」、「地盤下沉」等作用，對於管體(接頭)的受力、變形的需求，一併予以考慮，方為完整。

四、地盤變形耐震計算與檢核

地震引致之土層開裂、側向滑潰或震陷，可能影響管線安全，須予檢核。ISO 16134 對於地震引致地盤永久變形之耐震檢核，要點為地盤變形可否經由接頭構造之容許伸縮量與容許撓曲角而吸收，以及接頭構造之防脫力是否足以避免管線發生脫接。

參考葉錦勳(2003)之研究，利用工址的工程鑽孔資料，可計算在地震規模 7.5 和不同最大地表加速度作用下的液化潛能指數的曲線，得到液化潛能指數超過 15 時，所對應的最大地表加速度值，用於決定工址所屬的土壤液化敏感類別，以及一旦發生液化現象時的最大震陷量，相關內容可參閱水利署的研究報告(經濟部水利署，2014)。

(一)管軸方向之地盤永久變形

假設在管線鋪設長度L的範圍內，地盤應變為ε_G，則對於標稱管長為L_P、容許伸縮率為β之延性鑄鐵管共n只而言，應滿足以下條件：

$$\varepsilon_G \cdot L < n \cdot \beta \cdot L_p$$

同時，對於管徑D、防脫力F_p之延性鑄鐵管，當土壤摩擦力為τ，且作用拉脫力於單只接頭的最大管線範圍為L_a時，應滿足以下條件：

$$F_p > \pi \cdot D \cdot \alpha \cdot \tau \cdot L_a$$

以避免管線發生脫接。式中α為摩擦力折減係數，乃考慮土壤液化情況下，土壤摩擦力可能較低時使用。

(二)管軸垂直方向之地盤永久變形

管軸垂直方向如有地盤移動，例如土壤液化引致之側向滑潰或震陷，應採能吸收地盤變形之接頭構造管線。

參考日本「水道設施耐震工法指針・解說」之範例，可推論出管軸垂直方向發生地盤變位時，不同範圍內的延性鑄鐵管直管的轉角分布，可簡化如圖 4 所示，其中$+1$代表順時針方向的一個單元轉角，-2代表逆時針方向的二個單元轉角，其他以此類推。如此，當 66m、90m、114m、138m 的範圍內發生地盤變位時，地盤變位幅度H與單元轉角θ之關係，可依序表為：

$$\begin{cases} H_1(\theta) = \ell \cdot (t_1 + t_2 + t_3 + t_2 + t_1) \\ H_2(\theta) = \ell \cdot (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_3 + t_2 + t_1) \\ H_3(\theta) = \ell \cdot (t_1 + t_2 + ... + t_5 + t_4 + \cdots + t_1) \\ H_4(\theta) = \ell \cdot (t_1 + t_2 + ... + t_6 + t_5 + \cdots + t_1) \end{cases}$$

其中，正切函數$t_i = \tan(i\theta)$的相加個數，依序為 5、7、9、11 個，也就是半邊的直管的數目。

考量地盤性質、地盤變形範圍及變位幅度，均具有相當的不確定性，因之，進行設

計檢核時，對應於其他不同地盤變形範圍的單元轉角(需求)，可以內插方式決定並略作增減即可。

五、延性鑄鐵管耐震分級

ISO 16134 針對延性鑄鐵管之耐震分級，訂有規定，如表 2 所列。其中，管材(接頭)伸縮、防脫與撓曲性能，分別作「S-1、S-2、S-3」、「A、B、C、D」、「M-1、M-2、M-3」等的耐震分級。而根據日本延性鑄鐵管協會之技術文件「NS 形·SII 形·S 形ダクタイル鉄管管路の設計」(日本延性鑄鐵管協會，2007)，日本國土開發技術研究中心曾於 1977 年公布地下管線耐震接頭的評估基準。根據該基準，耐震接頭依設計或使用場合之不同，概分為「伸縮型」、「撓曲型」兩大類。「伸縮型」須依其伸縮性能與防脫性能，「撓曲型」則須依其撓曲性能與防脫性能，分別檢核耐震分級，防脫性能乃耐震接頭之必要條件。基本上，ISO 16134 的延性鑄鐵管耐震分級，係直接援引日本的地下管線耐震接頭評估基準。

以上耐震分級中，S-1 等級之伸長/壓縮率取「±1%」，A 等級之防脫力取「3D (kN)」，緣由在日本延性鑄鐵管協會官網上有一說明：考慮極軟弱地盤，取地震動加速度 $a = 4\text{m/s}^2$、地盤震動週期 $T_G = 0.8\text{s}$、土層剪力彈性波速 $V_{DS} = 100\text{m/s}$ 的情況，此時地盤應變為 $\varepsilon = a \cdot T_G / 2\pi V_{DS} \approx 0.005 = 0.5\%$，倘若訂定安全係數為 2，則應取「±1%」為最高之伸長/壓縮等級；考慮地盤摩擦力 $\tau = 10 \sim 20\text{kN/m}^2$、作用力範圍 $L_a = 100\text{m}$，則地震時接頭所受之拉拔力有 $F = \tau\pi DL_a$，與 3D (D 單位為 mm)之比值約為 $1 \sim 2$，故欲得到相同之安全係數，須訂定「3D (kN)」為最高之防脫力等級。

理論上，採用 A 等級防脫力之耐震接頭延性鑄鐵管時，已足以應付最嚴苛之地盤強

表 2　ISO 16134 之延性鑄鐵管耐震分級表(ISO, 2006)

性能參數	等級	性能要求
伸長/壓縮率(e) e = (變形量/L) × 100%	S-1	e ≥ ±1%
	S-2	±0.5% ≤ e < ±1%
	S-3	e < ±0.5%
防脫力(F)	A	F ≥ 3D kN
	B	1.5D kN ≤ F < 3D kN
	C	0.75D kN ≤ F < 1.5D kN
	D	F < 0.75D kN
接頭最大轉角(θ)	M-1	$\theta \geq \pm 15^\circ$
	M-2	$\pm 7.5^\circ \leq \theta < \pm 15^\circ$
	M-3	$\theta < \pm 7.5^\circ$
L：標稱管長(mm)　D：標稱直徑(mm)		

制變位耐震需求，例如邊坡破壞，或是土壤液化引致之側向滑潰或震陷，而無損壞之疑慮。

六、地震動之耐震需求

本節探討延性鑄鐵管在各種地盤分類與最大地震動下的耐震需求。

分析過程按以下假設：(1)地盤變位振幅循 ISO 16134；(2)延性鑄鐵管規格採「3 種管」以示保守(只影響管體合成應力之計算)；(3)管線埋深(管頂距地面深度) 1.5m；(4)工址地表 30m 以內為均質土層，其下為剪力波速 400 m/s 之工程岩盤。

根據「建築物耐震設計規範及解說」(內政部營建署，2011)，地盤分類除台北盆地區域外，餘依工址地表面下 30m 內之土層平均剪力波速 VS30 決定。其中，VS30 ≥ 270 m/s 者為第一類(堅實)地盤；180 m/s ≤ VS30 < 270 m/s 者為第二類(普通)地盤；VS30 < 180 m/s 者為第三類(軟弱)地盤。

依規範計算設計地震(回歸期 475 年)之最大地震動，方法為：(1)統一取工址短週期設計水平譜加速度係數 S_S^D 、工址放大係數 $F_a^{(D)}$ 的組合的最大值，並斟酌是否加計最大之近斷層放大效應，計算可能之最大地表加速度(最大之地盤振幅)，以求設計之保守；(2)考慮堅實(VS30 代表值 270 m/s)、普通(200 m/s)、軟弱(150 m/s)、極軟弱(100 m/s)等四種地盤，其 VS30 代表值分別取地盤分類剪力波速範圍接近下限之值，以得到較長之地盤震動週期(較大之地盤振幅)。

以下考慮兩組算例：

(一)第一組算例(非近斷層、均勻地盤)

考慮非近斷層之最大地震動，假設均勻地盤($\eta = 1.0$)、普通管線($w = 1.00$)。由震區短週期設計水平譜加速度係數 S_S^D 最大值 0.80、近斷層調整因子 $N_A^{(D)}$ 不計、工址放大係數 $F_a^{(D)}$ 為 1.0，得短週期設計水平譜加速度係數的最大值組合為 $S_{DS} = 0.80$ ，進而有最大地表加速度 $A_{\max} = 0.4S_{DS} = 0.32\text{g}$ 。

四種地盤在指定最大地震動作用下，延性鑄鐵管之管體應力、接頭伸縮量、接頭撓曲角分析結果，如表 3 所列。參閱延性鑄鐵管 NS、S (S II)、K 型接頭，不同標稱管徑的設計檢核用最大伸縮量與容許撓曲角的規格(日本水道協會，2009)，比較結果可發現：對於非近斷層、均勻之地盤，即使是極軟弱的土層(表中第三類地盤 B)，所有管徑延性鑄鐵管的管體應力、接頭撓曲角的需求，均遠小於延性鑄鐵容許應力或各管材容許撓曲角；至於接頭伸縮量的需求，亦小於 K 型接頭延性鑄鐵管的容許伸縮量，且有適當之餘裕。

(二)第二組算例(近斷層、非均勻地盤)

考慮加計最大近斷層效應之最大地震動，假設不均勻地盤($\eta = 2.0$ ；影響接頭伸縮量之計算)、重要管線($w = 3.12$ ；影響管體合成應力之計算)。由震區短週期設計水平譜加速度係數 S_S^D 最大值 0.80、近斷層調整因子 $N_A^{(D)}$ 最大值 1.42 (取近花東地區斷層)、工址放大係數 $F_a^{(D)}$ 為 1.0，得短週期設計水平譜加速度係數的最大值組合為 $S_{DS} = 1.136$，進而有最大地表加速度 $A_{\max} = 0.4S_{DS} = 0.454\text{g}$ 。

表 3　最大地震動下，非近斷層、均勻地盤之延性鑄鐵管耐震需求

地盤分類	第一類地盤(堅實地盤)		
VS30 代表值	270 m/s		
管徑(mm)	管體應力(MPa)	接頭伸縮量(mm)	接頭撓曲角(deg)
200	36.82	2.06	0.0103
400	23.58	2.06	0.0103
800	9.862	2.06	0.0103
1,200	5.350	2.05	0.0103
1,600	3.284	2.05	0.0103
2,000	2.141	2.05	0.0103
2,400	1.534	2.05	0.0103
地盤分類	第二類地盤(普通地盤)		
VS30 代表值	200 m/s		
管徑(mm)	管體應力(MPa)	接頭伸縮量(mm)	接頭撓曲角(deg)
200	44.75	3.36	0.0151
400	25.31	3.36	0.0151
800	9.570	3.36	0.0151
1,200	4.986	3.35	0.0151
1,600	2.996	3.35	0.0151
2,000	1.936	3.34	0.0150
2,400	1.383	3.34	0.0150
地盤分類	第三類地盤 A (軟弱地盤)		
VS30 代表值	150 m/s		
管徑(mm)	管體應力(MPa)	接頭伸縮量(mm)	接頭撓曲角(deg)
200	50.45	5.48	0.0226
400	25.96	5.47	0.0226
800	9.238	5.47	0.0226
1,200	4.667	5.46	0.0225
1,600	2.770	5.46	0.0225
2,000	1.783	5.45	0.0225
2,400	1.271	5.44	0.0224
地盤分類	第三類地盤 B (極軟弱地盤)		
VS30 代表值	100 m/s		
管徑(mm)	管體應力(MPa)	接頭伸縮量(mm)	接頭撓曲角(deg)
200	54.77	11.20	0.0420
400	25.96	11.20	0.0420
800	8.791	11.18	0.0419
1,200	4.298	11.17	0.0419
1,600	2.530	11.16	0.0418
2,000	1.624	11.14	0.0418
2,400	1.157	11.13	0.0417

表 4　最大地震動下，近斷層、非均勻地盤之延性鑄鐵管耐震需求

地盤分類	第一類地盤(堅實地盤)		
VS30 代表值	270 m/s		
管徑(mm)	管體應力(MPa)	接頭伸縮量(mm)	接頭撓曲角(deg)
200	92.27	5.84	0.0147
400	59.06	5.84	0.0147
800	24.41	5.83	0.0147
1,200	13.05	5.83	0.0146
1,600	8.020	5.82	0.0146
2,000	5.258	5.81	0.0146
2,400	3.787	5.80	0.0146
地盤分類	第二類地盤(普通地盤)		
VS30 代表值	200 m/s		
管徑(mm)	管體應力(MPa)	接頭伸縮量(mm)	接頭撓曲角(deg)
200	112.1	9.54	0.0215
400	63.34	9.53	0.0214
800	23.52	9.52	0.0214
1,200	12.14	9.51	0.0214
1,600	7.335	9.50	0.0214
2,000	4.771	9.49	0.0213
2,400	3.422	9.47	0.0213
地盤分類	第三類地盤 A (軟弱地盤)		
VS30 代表值	150 m/s		
管徑(mm)	管體應力(MPa)	接頭伸縮量(mm)	接頭撓曲角(deg)
200	126.4	15.54	0.0320
400	64.86	15.53	0.0320
800	22.51	15.52	0.0320
1,200	11.35	15.50	0.0320
1,600	6.797	15.48	0.0319
2,000	4.403	15.46	0.0319
2,400	3.152	15.44	0.0318
地盤分類	第三類地盤 B (極軟弱地盤)		
VS30 代表值	100 m/s		
管徑(mm)	管體應力(MPa)	接頭伸縮量(mm)	接頭撓曲角(deg)
200	137.2	31.78	0.0596
400	64.46	31.77	0.0596
800	21.18	31.74	0.0595
1,200	10.47	31.70	0.0594
1,600	6.225	31.66	0.0594
2,000	4.021	31.62	0.0593
2,400	2.875	31.57	0.0592

四種地盤在指定最大地震動作用下，延性鑄鐵管之管體應力、接頭伸縮量、接頭撓曲角分析結果，如表 4 所列。同理，參閱各管材的規格，可發現：對於近斷層、非均勻地盤，當工址座落於極軟弱土層(表中第三類地盤 B)時，所有延性鑄鐵管的管體應力、接頭撓曲角的需求均可滿足，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 型接頭延性鑄鐵管，恐怕均可能無法滿足需求。

七、土壤液化側向滑潰與震陷之耐震需求

本節探討延性鑄鐵管抵抗土壤液化側向滑潰與震陷的耐震需求。

延性鑄鐵管線欲抵抗土壤液化災害，首要條件是接頭必須具備相當之防脫能力；再者，在管軸垂直方向發生地盤變位下，各只延性鑄鐵管直管在接頭交界處形成轉角。當管線隨地盤變位幅度擴大，延性鑄鐵管直管逐一傳遞並累加(減)轉角，如圖 3 所示，直到所有相對轉角均達到接頭之容許撓曲角時，為可承受之最大地盤變位幅度。

首先探討土壤液化引致側向滑潰的分析。假設因為土壤液化，在圖 3 所示範圍內出現最大地盤變位 Δ ，其值為 2m、4m 及 6m。則由 $H_i(\theta)=\Delta$ 可以解出所需要的接頭撓曲角(單元轉角)的需求，結果如表 5 所列。試比對 NS、S (S II)型接頭延性鑄鐵管之規格(日本水道協會，2009)，某些情況下這些耐震接頭的容許撓曲角看似有所不足，惟地盤變位發生時，倘耐震接頭有足夠的防脫力，則可以帶動範圍以外更多的直管參與，降低接頭撓曲角的需求。

其次探討土壤液化引致震陷的分析。承前，考慮不同土壤液化敏感類別之設計震陷量(經濟部水利署，2014)，作為最大地盤變位 Δ 之值，則不同條件下所需要的接頭撓曲角(單元轉角)的需求，計算結果如表 6 所列。試比對 NS、S (S II)型接頭延性鑄鐵管之規格(日本水道協會，2009)，這些耐震接頭的容許撓曲角均足以承擔土壤液化引致的震陷。

表 5　不同土壤液化側向滑潰範圍及變位量之直管接頭撓曲角需求

側向滑潰範圍	地盤變位量		
	$\Delta = 2m$	$\Delta = 4m$	$\Delta = 6m$
66m	2.1°	4.2°	6.3°
90m	1.2°	2.4°	3.5°
114m	0.77°	1.5°	2.3°
138m	0.53°	1.1°	1.6°

八、耐震性能基準值之建議

綜合以上討論，以地震動耐震需求而言，對於目前國內最常用之自來水管材—K 型接頭延性鑄鐵管而言，可知：(1)管體強度與接頭容許撓曲角，均已足夠；(2)非近斷層、均勻地盤之工址，接頭容許伸縮量均已足夠；(3)近斷層、非均勻地盤工址之中，因接頭容許伸縮量的不足，並不適用於極鬆軟之土層，例如土層平均剪力波速 VS30 之值為 100 m/s 附近或以下者。

因此，在地震動情況下，針對近斷層、非均勻地盤工址，土層平均剪力波速 VS30 之值為 100 m/s 附近或以下者，參照 ISO 16134 耐震分級表，此時鋪設重要自來水管

線時，應要求延性鑄鐵管(接頭)具有相當之耐震性能基準值，建議可訂為：最高伸長/壓縮率等級(S-1)，或次高伸長/壓縮率等級(S-2)並須搭配最低限度之防脫力等級(C)。而所謂近斷層工址，可參考「建築物耐震設計規範及解說」(內政部營建署，2011)，為保守計，凡須考慮近斷層調整因子的斷層距離內區域，均應屬之。

至於土壤液化情況下，延性鑄鐵管(接頭)必須擁有足夠的防脫力，方足以帶動更多的直管參與變形，抵抗地盤的強制變位。對於平整地形、傾向於只單純發生液化震陷的區域，考量液化過程中砂土黏著、摩擦作用的降低，重要自來水管線的耐震性能基準值，建議可訂為：次高之伸長/壓縮率等級(S-2)，並搭配次高之防脫力等級(B)。對於非平整地

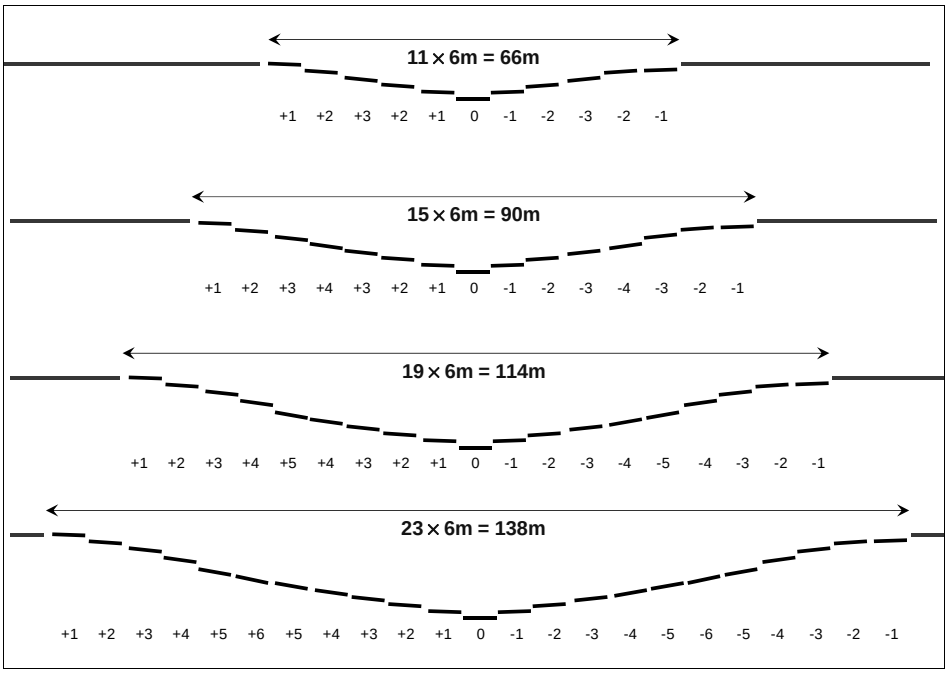


圖 3　接頭構造管線之直管轉角分布與不同範圍管軸垂直方向地盤變位之關係

表 6　不同土壤液化震陷範圍及變位量之直管接頭撓曲角需求

震陷範圍	液化敏感類別與地盤變位量				
	極高	高	中	低	極低
	$\Delta = 110$cm	$\Delta = 100$cm	$\Delta = 90$cm	$\Delta = 70$cm	$\Delta = 50$cm
66m	1.2°	1.1°	0.95°	0.74°	0.50°
90m	0.65°	0.59°	0.53°	0.41°	0.30°
114m	0.42°	0.38°	0.34°	0.27°	0.19°
138m	0.30°	0.28°	0.25°	0.19°	0.14°

形、水岸高灘等，以側向滑潰現象為主的液化區域，條件至為嚴酷，重要自來水管線的耐震性能基準值，建議可訂為：最高之伸長/壓縮率等級(S-1)，並搭配最高之防脫力等級(A)。

台北盆地按現行「建築物耐震設計規範及解說」(內政部營建署，2011)，並無中央地質調查所調查第一類活動斷層之近斷層效應考量，故對於重要自來水管線，建議採納上述針對土壤液化的耐震性能基準值即可。

最後須強調一點：對於非常重要、非常特殊之自來水管線工程，除考慮「建築物耐震設計規範及解說」之設計地震力(或最大考量地震力)外，理應更謹慎為之，例如必須實施專屬之工址鑽探調查、地震危害度分析、額外之地質災害(含土壤液化)評估等，以遂行必要的耐震分析與檢核，此點不得不慎。

九、結語

本文引介自來水延性鑄鐵管耐震分析原理與檢核項目，並就 475 年回歸期設計地震之最大地震動，以及土壤液化引致側向滑潰與震陷，建議一套重要自來水管線的耐震性能基準值，包含應用時機與管材(接頭)之防脫力、伸長/壓縮率的 ISO 16134 耐震分級。

訂定自來水延性鑄鐵管耐震性能基準值之初衷，在於配合具經濟性、合理性之管線耐震需求，據以選用具足夠耐震容量的管材，達到提升自來水系統耐震安全的目標。其中，一般自來水管線受損時，影響不大，但重要自來水管線乃輸配水系統的重中之重，為耐震性能基準值的適用對象。基準值並非最高標準，但可有效降低設計地震或土壤液化下重要自來水管線損害的發生。

誌謝

感謝經濟部水利署委託研究計畫之經費補助，計畫編號 MOEA-WRA-1020117、MOEA-WRA-1030158)，本研究得順利完成。

參考文獻

1.ISO (2006). ISO 16134 Earthquake- and Subsidence- Resistant Design of Ductile Iron Pipelines, 1st Ed.

2.中華民國自來水協會，2013，「自來水設施耐震設計指南及解說」，台北。

3.中興工程，2005，「地盤及基礎結構物的耐震設計」(譯印)，台北。

4.內政部營建署，2011，「建築物耐震設計規範及解說」。

5.日本水道協會，1997，「水道設施耐震工法指針・解說」。

6.日本水道協會，2009，「水道設施耐震工法指針・解說，設計事例集」。

7.日本延性鑄鐵管協會，2007，「NS形･SII形･S形ダクタイル鉄管管路の設計」，T-35技術資料。

8.日本延性鑄鐵管協會，2012，「ダクタイル管路の耐震設計について」，T-23技術資料。

9.吳世紀，2014，「延性鑄鐵管耐震能力評估及發展」，自來水會刊第33卷第3期，pp.47-54。

10.經濟部水利署，2012，「提升公共給水震損評估與管材耐震測試環境之規劃研究」研究報告，計畫編號MOEA-WRA-1010381，台北。

11.經濟部水利署，2014，「公共給水系統震災早期災損預警技術研究(2/2)」研究報告，計畫編號MOEA-WRA-1030158，台北。

12.臺北自來水事業處，2012，「自來水接續管線

受震位移及滲漏之試驗研究案」研究報告，計畫編號10131056S04，台北。
13. 葉錦勳，2003，「台灣地震損失評估系統—TELES」，國家地震工程研究中心研究報告，NCREE-03-002，台北。

作者簡介

劉季宇先生

現職：國家地震工程研究中心 副研究員

專長：地震工程 維生線系統耐震分析

本刊 104 年「每期專題」

期別	專題主題名稱	副主題項目	時程
34 卷第 3 期	節能減碳	節能減碳管理與應用、設施操作及維護與管理、營運管理、節省動力費、設備動力探討、能源管理、綠色水廠等	8 月
34 卷第 4 期	自來水營運管理及用戶服務	供水設施及資產管理、資訊管理與應用、供水管網、自來水營運、人力需求、收費、用戶服務與客服管理、資訊管理與應用、公共參與、教育與培訓、顧客服務、認證等	11 月

～歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優～

自來水事業代為管理高地社區之初討
－以臺北自來水事業處為例

文/陳建宏

一、前言

依自來水法第 23 條規定：自來水事業依本法第 61 條規定無法供水者，自來水用戶為接用自來水，於總表後至建築物前所設置之加壓設備、蓄（配）水池、操作室、受水管、開關及水栓等設備，統稱為用戶加壓受水設備。需以用戶加壓受水設備方能接用自來水之社區，簡稱為高地社區。

有關自來水事業代為管理高地社區的用戶加壓受水設備之議題，多年來未曾間斷。以臺北自來水事業處（以下簡稱：北水處）為例，可追溯至民國 71 年 04 月 15 日起即公告實施「臺北自來水事業處接管集合用戶自設給水系統處理要則」，又經 80 年 6 月 12 日、81 年 9 月 8 日修訂為「臺北自來水事業處接管社區用戶自設給水系統處理要則」後於 94 年 03 月 10 日 廢止。

北水處又於 90 年 01 月 03 日公告實施「臺北自來水事業處代管高地社區自設給水系統處理要點」並溯自 89 年 12 月 23 日起施行，又經 93 年 9 月 21、98 年 8 月 12 日修訂並更名為「臺北自來水事業處代管用戶加壓受水設備處理要點 」及最近 100 年 9 月 29 日修訂等。既有代管高地社區事宜於 31 年間共計 8 次修訂調整。

近期來自來水法於民國 93、96、98、102 年亦分別增修有關於高地社區代管之法條。亦可知對於高地社區的管理是社會民意高度重視的課題，也是自來水事業無可忽視的範疇。

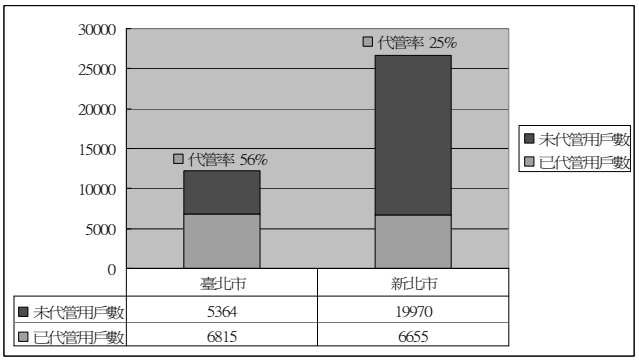
尤其近年來房價高漲，市區所能提供之建築用地日益稀少，土地價格履履創下新高甚至是天價。而以北水處供水所轄臺北市及新北市而言，影響所及更勝於其他自來水事業供水地區。而建築用地朝向山坡地或郊區方向發展，是為不可逆之趨勢，甚至有些建商針對高所得族群設計，以市區近郊交通便利、有開闊視野、空氣清新、花木扶疏，景致優美為號召，開發山坡地之豪宅建案等，這些供水對象都是自來水事業無可避免之高地社區。

二、目前高地社區管理情形及遭遇之難題

高地社區均屬私人開發興建，社區用戶加壓受水設備由社區自行管理維護，於完成初期設備新穎、運作良好，而使用若干年後，因水管老舊，造成社區內管線漏水嚴重，必須多分攤水費（總表差額），再因社區對於加壓設施之維護管理專業能力不足，故時有故障停水情形發生；甚至發生因建商開發期別區分或建案區分為大樓型、公寓型、別墅型之別，同一個加壓受水設備供應不同社區，造成社區間為管護管理之齟齬甚至破壞其加壓受水設備變成社會新聞，以致透過民意代表關切，希望事業機關協助改善之情形。

目前北水處供水轄區內，台北市高地社區共有12,179戶，北水處代管15個社區6,815戶，代管率為 56%；新北市高地社區共有26,625 戶，北水處代管 4 個社區 6,655 戶，代管率為25%，如表1。

表 1　北水處代管高地社區用戶比率



北水處總供水用戶數為 1,637,592 戶，其中臺北市用戶為 1,067,369 戶高地社區用戶僅占不到 1%，新北市供水戶數為 570,223 戶，其中新北市高地用戶僅占不到 2%，如圖 1。

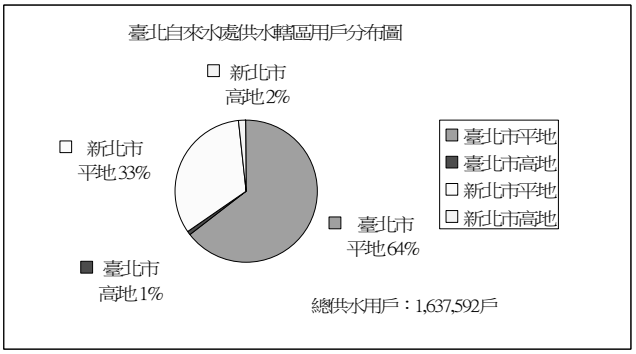


圖 1　北水處供水轄區用戶分布圖

而其中由北水處代管之用戶更為少數，但是高地社區在管理上產生的困擾與成本相較於平地社區用戶是不成比例的。除了每年要求的代管會勘協調案、協助漏水檢測案，用戶水費疑義說明等，均增加自來水事業之營運成本，更遑論社區用戶在面對如此專業之加壓受水設備時，付出的修護維護成本，不預期停水待修設備造成生活上的困擾，對社區管委會形成額外工作負荷，使得居民間的關係緊張，甚至形成生活機能不佳印象，導致社區房價疲弱不振。

三、北水處代管高地社區遭遇之難題

如以北水處代管的高地社區為例，統計由 93 年至 101 年的維護成本，平均每年每戶維護支出為 1887 元戶/年，約是平地用戶 633 元/戶/年的 3 倍，如圖 2。

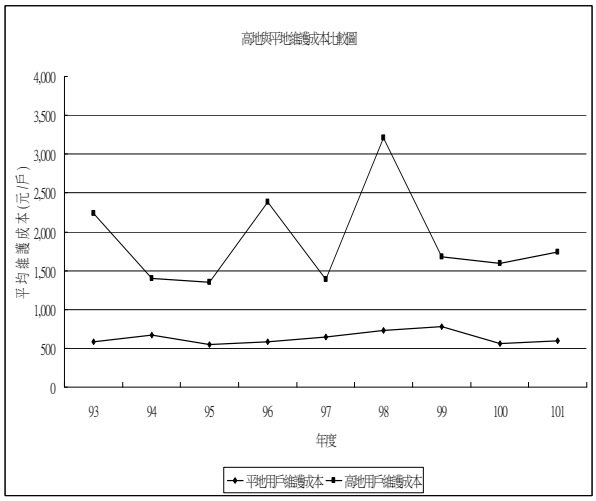


圖 2　平地用戶與高地用戶維護成本比較圖

然而代管社區每年隨水費繳交的管理維護費，依目前的費率第一段加壓為 3.5 元/度，第二段以上段加收 3 元/度，由 87 年調整後迄今未調漲，在考量照顧高地居民經濟能力等因素下未反映成本，已虧損累累，而近年來電費上漲等維管成本增加趨勢下，漸漸影響至事業單位的財務健全，且將平地用戶收取之水費使用在高地社區的維護管理上，亦有違使用者付費之公平原則。再進一步而言，如果將本項代管高地社區業務擴及至全部轄區內自行管理之高地社區時，可想而知將對於自來水事業的長期營運管理有多大之影響。

依自來水法第 8 條所揭櫫的精神「公營之自來水事業，應以企業方式經營，以事業發展事業。」，自來水事業要能策進其合理發展，加強其營運之有效管理，以供應充裕而合於衛生之用水，改善國民生活環境為目的。

簡言之，社會福利與企業經營不能混為一談，而管理社區用水設備等權宜便民措施亦不宜與維持潔淨而穩定供水的自來水事業核心價值等量齊觀。

或許現在正是一個重新思考高地社區該何去何從，如何定位，如何處理的時機了。

四、相關法規研析

(一)依北水處之接水要點，一般用戶申請新設時，須由自來水管承裝商代為繪製用戶內線設備圖說後，送請北水處申請審查，於審定並施工後再辦理檢驗等程序。

(二)北水處營業章程及相關規定

1.用戶申請供水之處所，若非本處水壓可正常供水者，用戶於申請新設供水時，應自行付費安裝及管理維護間接加壓用水設備。其申請時應檢附供水計畫書依接水須知送北水處審查。

2.用戶用水設備內線施工及漏水維修，由用戶自行雇用合格自來水管承裝商辦理。

(三)自來水法第 93 條規定，自來水管承裝商應向所在地直轄市或縣（市）政府申請許可並加入相關水管工程工業同業公會始得營業。自來水用戶用向自來水事業申請供水時，其內線用水設備裝設工程，應由水管工程工業同業公會之會員辦理。

簡言之目前的相關法規其實均已規範了內線工程（如果為高地社區則包括了加壓用水設備）規劃、設計、施工、檢驗及維護，理應運作良好，為何產生如此多的爭議呢。

以上的各個環節好似環環相扣，但是如沒有建管單位、自來水事業主管機關及民間(建商.建築師.設備施工管理廠商.用戶)部門相互緊密結合作，最後仍會行百里而半九十，功虧一簣。原因在於：

(一)高地社區之用戶加壓受水設備的核心角色其實是起造人（建商）。建案由建商委託建築師設計，委託營造廠商施工，用戶加壓受水設備委託機電顧問公司設計，委託自來水管承裝商施工，甚至委託跑照，委託送件申請等等，一切均由起造人（建商）促成。

(二)問題都發生在建案銷售後，建商退出改由住戶成立社區管理委員會接手後的若干時間開始浮現。一般社區自行管理社區內的設備諸如，電梯維修、水塔清洗、環境清潔等，因規模較小，金額較少，標的清楚，不會有認知上的落差，而社區外的用戶加壓受水設備，是多數住戶完全不清楚的部分，甚至還以為該等設備是自來水事業裝設的，每當無預警停水之後方才瞭解問題的嚴重性。

五、高地社區管理之建議

(一)應擴大及強化「自來水管承裝商管理辦法」，由自來水管承裝商加入水管工業同業公會之模式，改訂為「自來水用戶用水設備裝修管理辦法」，由相關技師或自來水管承裝商加入「用水設備裝修相關同業公會」。

(二)自來水事業認定為高地社區，需自行設置用戶加壓受水設備時，由起造建築師

委託「用水設備裝修相關同業公會」之會員規劃設計供水計畫書送自來水事業審查，審核通過後應由該公會會員施工並為當然之管理保固。

(三)管理保固期間約 5 年(以一般機電及土建工程之保固期計算)，其保固費用應由公會依該用水設備規模審定，由建商於完工交屋後應將施工維護廠商、設計圖、竣工圖說及保固保證金等，列入移交社區管委員會管理，於用水設備保固期滿，無該修繕事宜時由社區管委會無息退回該會施工會員。並由「用水設備裝修相關同業公會」協助社區管委會另訂加壓受水設備管理維護契約。

(四)管理保固期間如該公會會員無法執行管理維修之作為時，社區管委員得沒收保固金並通知該公會，則公會應指派會員接辦並應同意以社區沒收之保固金支應。

(五)建管單位應以供水計畫書，規劃設置之用戶加壓受水設備，所供水範圍。要求完工後僅可成立 1 個社區管理委員會，並應納入建築執照注意事項附表內，副知各縣市政府之公寓大廈管理機關，以避免成立多個管委會時相互傾軋。

作者簡介

陳建宏先生

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師

專長：臺北自來水事業處高地社區管理、自來水管線工程

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

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

一、目的

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

二、獎勵對象

就本會出版之一年四期「自來水」會刊論文中評定給獎論文，最多三篇，每篇頒發獎狀及獎金各一份，獎狀得視作者人數增頒之。

三、獎勵金額

論文獎每篇頒發獎金新臺幣貳萬元整，金額得視本會財務狀況予調整之。

上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

四、評獎辦法

(一)凡自上年度第二期以後至該年度第二期在本會「自來水」會刊登載之「每期專題」、「專門論著」、「實務研究」及「一般論述」論文，由編譯出版委員會於每年六月底前，推薦 6-9 篇候選論文，再將該候選論文送請專家學者審查 (peer-review)，每篇論文審查人以兩人為原則。

(二)本會編譯出版委員會主任委員於每年七月底前召集專家學者 5 ~ 7 人組成評獎委員會，就專家審查意見進行複評，選出給獎論文，報經本會理監事會議遴選核定後公佈。

五、頒獎日期

於每年自來水節慶祝大會時頒發。

六、本辦法經由本會理監事會審議通過後實施，修訂時亦同。

以導電度檢測計查緝竊水實例

文/李建興、蘇隆盛、王耀輝、胡偉德、廖麗芬

一、前言

目前查緝竊水案件多以檢測餘氯含量來判斷是否為自來水，因有些離島或地層下陷海水倒灌鹽化地區地下水都有些微暗紅色反應，且如游泳池業者有自行加藥者更難以判斷；本實例利用攜帶型導電度/總溶解固體量測定器判斷，因地下水含礦物質致導電度較高或自來水各供水系統導電度不一但較低，以分辨地下水管路或哪一自來水系統水源。

二、實例

台南市某 SPA 溫水游泳俱樂部，於 91 年 6 月啟用，剛開始 2 個月用水 1680 度，而後用水量高低起伏，最少時僅用 3 度，台灣自來公司(以下簡稱「台水」)歸仁所曾 4 次判斷水表失靈，並換表，自 103 年 11 月換表後使用度數均為 0，故台水同仁懷疑該戶有竊水嫌疑， 3 次前往查緝，用戶聲稱使用地下水，水質很好，都在泡老人茶，現場有多台自動飲水機開放飲用。惟打開水井旁開關測試，未有看到流出地下水。且因游泳池均有自行加藥，所檢測水質均有餘氯反應，難以分辨管線如何進水致查無竊水證據，後又會同漏水防治處南區分隊現場勘查，現勘同仁於水表旁(圖 1)誤開加藥管線被次氯酸鈉 NaOCl 噴蝕到褲子。

配合今年 2 月 26 日起限水措施，該戶採每週抄表，用水均為 0 度，並由該用戶簽名確認，為了能夠對用戶關水測試時不影響其他用戶用水，在附近新設了 3 只制水閥，致引起該用戶戒心以限水理由貼告示牌停用自動飲水機。台水歸仁所同仁對此案鍥而不捨，邀請漏水防治處會同營業處 5 月 6 日再度前往查緝竊水，經調閱新裝內線圖及抄表資料及 google 街景地圖，思索該用戶水特性，遂向第四區處水質課商借 ultrameter 4p 攜帶型導電度/總溶解固體量測定器一台檢測導電度。

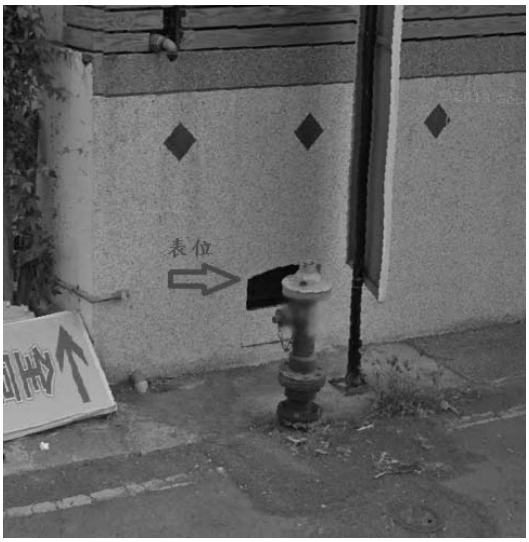


圖 1　現場表位及藥水管

圖 2　地下水管

初至現場仍查無竊水事證，復勘查地下水井旁水管及(圖 2)圍牆附近管線開關、內部淋浴盥洗廁所及水塔水質，因地下水含礦物質較高均測量導電度高達 1122 μmho / cm(圖 3)，確實比該所潭頂場之每月檢測值高出 2 倍多。

圖 3　地下水導電度達 1122 μmho / cm

圖 4　自來水導電度 498 μmho / cm

最後，量測門口右側牆邊一水龍頭之導電度為 498 μmho / cm(圖 4)，因表前止水栓已經關死，推斷有竊水可能性，為確認是否直接進水，將兩旁制水閥關上就沒有水，台水同仁鑽到水溝內發現溝內有一水管穿越(圖 5)，以聽音檢測確實與開關有連動水聲(圖 6)，為了確定實際接水點開挖，遂拿出漏水檢測相關儀(圖 7)確定接合管位置後噴『水』字拍照供修漏申請路面。

確認竊水管路後，即依自來水法第 69 條實施檢查及處理，由同仁在現場保全證據，並至派出所報案請求協助，警察到場前，該用戶（房東）已於用水實地調查表認簽，承認 95 年路面刨除到廢管時接管使用至今(惟續查水籍附近並無 40mm 廢止戶)，聲稱承租者不知情(該負責人亦對電話中口

圖 5　聽音檢測竊水管線由水溝內穿越

圖 6　右上角水龍頭即為竊水點之一

圖 7　漏水檢測相關儀

圖 8　會同警方測試水龍頭連動止水

圖 9　開挖發現 40mm 管線

氣當場道歉)，台水遂告知房東倘未處理結案時將依自來水法第 70 條停止供水，且該游泳池於地下水管制區抽用地下水對其形象有負面影響。並請警察會同於証明處簽字(圖 8)，告知依自來水法第 71 條計算追償水費含開挖金額後做筆錄，續依自來水法第 98 條函送地檢署，全案已於 105 年 5 月 20 日繳清追償金額 3,066,050 元（含開挖費）。

台水歸仁所隨即調派修漏廠商於下午開挖，發現係 40mm 管線分水鞍接自 200mm 幹管，在斷管前先將分水鞍頭關上再確認看水龍頭是否連動止水並錄影存證(圖 9)；經斷管拆下分水鞍及部分管線留做證據，並將 40mm 封管避免地下水倒灌漏水。開挖前後均有請警察及房東會同，警察亦有隨身密錄器存證，台水現場人員亦同步拍照及攝影存證。

本實例歸功於台水同仁持續鍥而不捨的精神，事後開出 331 萬 4,580 元追償水費另加開挖費用 2 萬 7,685 元(尚未結案)，用戶對 40mm 接水點有意見認為只用 25mm 管徑，惟台水認為其犯意為接 40mm 才能供給游泳池大量進水，仍應以接水點 40mm 計罰。

三、建議

本實例係利用各項儀器確認接水點，並靠導電度計立即分辨地下水或自來水研判竊水管線來源，建議查緝竊水應配備攜帶型導電度/總溶解固體量測定器，綜合各項儀器檢測分析以利正確研判，排除地下水管線找出竊水接水點。

作者簡介

李建興先生

現職：台灣自來水股份有限公司營業處組長

專長：抄表稽複查業務

蘇隆盛先生

現職：台灣自來水股份有限公司漏水防治處南區隊隊員

專長：測漏業務及查竊水點

王耀輝先生

現職：台灣自來水股份有限公司漏水防治處南區隊隊員

專長：測漏業務

胡偉德先生

現職：台灣自來水股份有限公司第六區處歸仁所主任

專長：供水調配

廖麗芬小姐

現職：台灣自來水股份有限公司第六區處歸仁所股長

專長：抄表管收作業

「你知道嗎？」

聰明的都市供水管理方法

本刊編輯小組編譯

一、美國智能水表的安裝數量大約佔全世界的三分之二，且計畫在2016年前(美國本土智能水表安裝比例)超過50%。

傳統水表	智能水表
人工到家戶定期判讀用水量 →無法精確得知用水變化，確切漏水時間點推測困難	可遠端自動連續判讀用水量 →應用較為廣泛，可作為水價資料分析，或提供較準確的漏水警示等

二、30-60%的水質(不合格)事件和供水配送管網有關

傳統水質監測	智能水質監測
人工實地取樣及化驗分析 →耗時及成本高	利用線上即時監測平台傳輸訊息 →易於管控並可防患未然避免水質爭議

三、根據世界銀行統計，普遍而言「無收益水量」(Non-revenue water,NRW)平均佔15-40%，而部分開發中國家可能高達60或70%。

傳統漏水檢測	智能漏水檢測
週期性於某區域內進行地毯式檢測 →耗時及成本高	利用常置型感測器或自主檢漏軟體，搭配遠端警示系統可隨時檢測管網用水變化 →能避免漏水及大型破管所造成之供水中斷及財產損失
傳統水壓管理	**智能水壓管理**
→水壓控制閥由人工被動式操控 →耗時及成本高	採遠端自動設備即時調控管網水壓 →減少破管頻率及延長設備使用年限

四、動力成本高達自來水事業營運成本的40%

傳統動力成本管理	智能動力管理
管控加壓站動力費或於加壓站裝設控制器 →未依用水需求或動力費率進行管理	加壓站採自動控制設備即時適切調控 →增加動力使用效益及營運績效，減少動力成本。

五、據估計，若全球自來水事業及其用戶實施智能自來水管理後，每年共可節省125億美元

(資料來源: NEW SWAN Infographic:Smart vs. Traditional in Urban Water, http://www.swan-forum.com/uploads/4/5/6/0/45609013/swan_infographic_smart_vs._traditional_in_urban_water.pdf)