

自來水會刊第31卷第2期目錄



特 載

廢污水回收再利用面面觀.....陳福田..... 1

實務研究

鳳山水庫淤泥清理及去除氨氮方案之研討.....曾浩雄..... 14

供水加壓系統節能之最佳化操作及管理.....王銘博、李育樟..... 23

每期專題

管線維護與更新

供水漏損與水價關係之探討.....張敬悅、李丁來、藍炳樟..... 35

自來水管線衛星定位實務探討.....陳昭仁..... 46

延性球狀石墨鑄鐵管實務應用與發展趨勢.....吳世紀..... 53

自來水管網工程噪音監測與改善探討.....張本慶、許敏能..... 60

一般論述

自來水工程承裝技工培育及證照制度之初討.....許敏能、黃裕泰..... 66

自來水事業永續發展之探討.....吳天瑛..... 75

水資源投資分析指標研析探討及未來趨勢建議.....
.....廖庭宇、阮香蘭、鄭欽韓、吳依芸、林真伊、劉世翔..... 85

業務報導

都是為了「鋁」.....楊昭端..... 96

協會與你

中華民國自來水協會第17屆理、監事會第6次聯席會議暨紀錄..... 99

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法..... 84

歡迎投稿101年第3季、第4季「每期專題」..... 22

封面照片：基隆暖暖幫浦台灣自來水公司第一區管理處(吳祥永攝)

自來水會刊雜誌稿約

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

自來水會刊雜誌

發 行 單 位：中華民國自來水協會

發 行 人：陳福田

會 址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電 話：(02)25073832

傳 真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

吳美惠

委 員

駱尚廉、葉宣顯、陳曼莉、陳錦祥、蘇金龍

張怡怡、林財富、周珊珊、蕭宏民、李丁來(兼秘書)

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總 編 輯：吳美惠

執行主編：李丁來

編審委員

鄭錦澤、黃建源、陳孝行、陳志銘、簡俊傑

洪世政

執行編輯：林正隆

電 話：(04)22244191 轉 514

行政助理：古蔡苓

印 刷：松耀印刷企業有限公司

地 址：台中市北區自強街 50 號

電 話：(04)23607717

廢污水回收再利用面面觀

文/陳福田

一、前言-橫看成嶺側成峯

近年來，台灣地區用水量持續成長，惟水資源開發愈來愈難，致水資源供需逐漸失衡。目前，水源多來自水庫，因溫室效應影響，氣象水文異常，傳統水源不甚穩定，益增缺水風險。為穩定供水，政府一方面宣導節約用水，一方面推動廢污水回收再利用及海水淡化等，期求水源之多元化。

行政院經濟建設委員會於100年12月23日發佈新聞稿，指稱「在全球溫室效應下，我國今年初因梅雨季降雨不如預期，亦曾發出旱災警訊。因此，政府在開發新興水資源之構想中，除了海水淡化外，也包括生活污水回收再利用。…現階段再生水政策中，水利署考量使用意願及經濟效益因素，主要以高缺水風險地區，如桃園、新竹、台中、台南及高雄以及嚴重地層下陷地區雲林及彰化為推動範圍。未來，隨著下水道建設推展，當污水下水道放流量愈來愈大時，經建會將協調促請內政部及水利署妥擬供給端及需求端之配合方式及再生水計費原則，以積極推動再生水政策，並於擬訂污水下水道及水資源相關實施計畫時納入，俾提升國家資源運用效率，落實永續發展之願景。」誠屬先見之明。

廢污水回收利用不僅可舒緩生態環境之承載，亦可化腐朽為資源、挹注水源之不足，確係深謀遠慮之策，惟其必要性、急迫性則視地區而異。例如，以色列（地處沙漠）及新加坡（向馬來西亞買水）等地區，因水源

缺乏、水價高昂，故人民對再生水之接受程度高；反觀，台灣水源尚豐、水價低廉，故人民對再生水或難接受，即如蘇東坡之千古絕句「橫看成嶺側成峯，遠近高低各不同」

本文之作，前以「橫看成嶺側成峯」啟言，隱寓策略宜視情境（Situation）而異；後以「簡囊遠行漸登高」結語，旨在彰顯台水公司穩健踏實之策略。內文分就「投資者」、「主政者」、「政策配合者」等角色，試抒台水公司「利己」、「利他」及「權衡」之道，以就教有方，冀期拋磚引玉。

茲勾勒本文之觀念架構如下圖1。

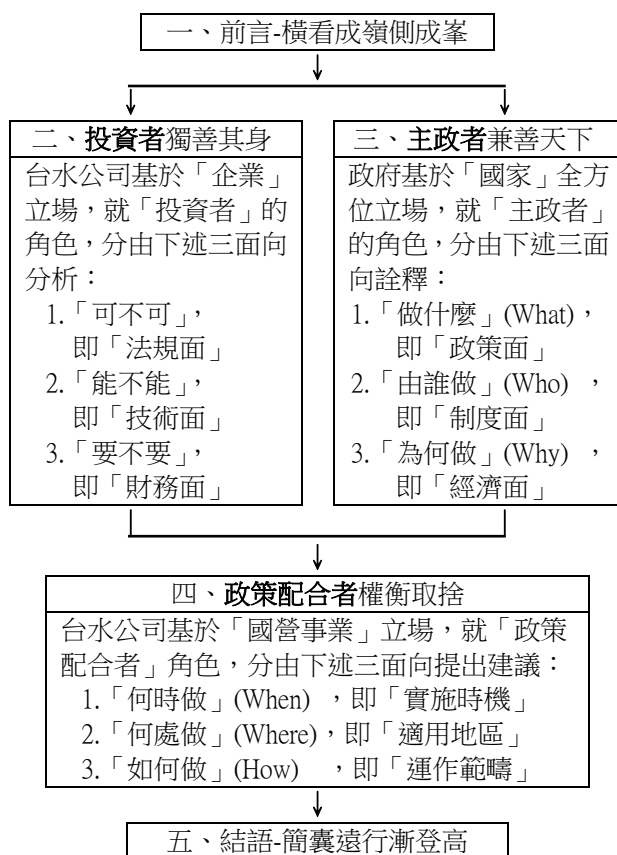


圖1 本文之觀念架構

二、投資者獨善其身

台水公司兼負經濟性、服務性、政策性等任務，惟深究其實，台水公司係一「企業個體」，欲求利他，先須利己；欲求助人，先須自助。本節試就「企業」立場，以「投資者」的角色，分由「可不可」（即法規面）、「能不能」（即技術面）、「要不要」（即財務面）

三面向分析「廢污水回收再利用做為再生水源」之可行性。

（一）法規面

現行廢污水回收再利用之相關規範散見於水污染防治法等法規，筆者試循「水源→取（導）水→淨水（處理）→輸（配）水→使用」等程序，臚列相關規範如表1~5。

表 1 現行廢污水回收再利用之「水源」相關規範

法規名稱	條次	條文內容
水污染防治法	第2條第8款	廢水：指事業於製造、操作、自然資源開發過程中或作業環境所產生含有污染物之水。
	第2條第9款	污水：指事業以外所產生含有污染物之水。
	第7條第1項	事業、污水下水道系統或建築物污水處理設施，排放廢（污）水於地面水體者，應符合放流水標準。
水污染防治措施及檢測申報管理辦法	第2條第10款	廢（污）水回收使用：指將未排放至水體且未以土壤處理之廢（污）水，收集作為其他水資源用途。
	第41條	事業或污水下水道系統產生之廢（污）水，應處理至符合放流水標準始得回收使用，並於回收使用前，設置採樣口。但作為洗滌塔或其他污染防治設備、製程之用，不在此限。

表 2 現行廢污水回收再利用之「取（導）水」相關規範

法規名稱	條次	條文內容
水污染防治措施及檢測申報管理辦法	第41條	事業或污水下水道系統產生之廢（污）水，應處理至符合放流水標準始得回收使用，並於回收使用前，設置採樣口。但作為洗滌塔或其他污染防治設備、製程之用，不在此限。
	第43條第1項	回收使用廢（污）水者，應於廢（污）水產生及處理後，設置獨立專用累計型水量計測設施；回收前，設置回收使用之獨立專用累計型水量計測設施。
	第50條	事業或污水下水道系統設置之下列水污染防治設施及管線，應清楚標示其名稱與管線內流體名稱及流向： 一、（略） 二、（略） 三、貯留、稀釋、回收使用之管線及貯槽單元。 四、獨立專用累計型水量計測設施、廢（污）水（前）處理設施獨立專用電表。
	第79條	事業或污水下水道系統採廢（污）水回收使用者，申報內容如下： 一、每月與廢（污）水、污泥產生量有關之製程設施及生產或服務規模。 二、原廢（污）水水質與檢測當日之水量、每月用水來源、用水量及廢（污）水產生量。 三、回收用水之來源、輸（運）送方式，及其回收之用途。 四、回收用水之水質與檢測當日之水量及每月回收使用之水量。 五、回收使用之水量計測設施或計量方式之校正維護日期與方法及每月讀數或量測值。 六、經核准設置貯留設施者，應另依第七十二條規定之內容申報。 七、設置廢（污）水（前）處理設施者，應另依第七十三條至第七十五條規定之內容申報。

表 3 現行廢污水回收再利用之「淨水（處理）」相關規範

法規名稱	條次	條文內容
水污染防治措施及檢測申報管理辦法	第43條 第1項	回收使用廢（污）水者，應於廢（污）水產生及處理後，設置獨立專用累計型水量計測設施；回收前，設置回收使用之獨立專用累計型水量計測設施。廢（污）水回收使用者，應於回收使用前，設置廢（污）水（前）處理設施或貯留設施，貯存廢（污）水。
下水道工程設施標準	第46條 第2款	二級處理水回收再利用處理設施設置規定如下： 一、(略) 二、回收水再利用之處理設備應設置二套以上。
建築物生活雜排水回收再利用設計技術規範	第9條 第4款	(9.4再生水處理系統規劃之基本考量) 再生水的水源若為衛浴排水、廚房排水等，因含有較高的油脂，界面活性劑與氮、磷等營養物，須經二級處理後，配合以三級處理才能使用，其規劃與設計較具專業性，應委由環境工程技師或聘任環境工程技師之水處理包工業規劃設計。設計基本考量敘述如下……。

表 4 現行廢污水回收再利用之「輸（配）水」相關規範

法規名稱	條次	條文內容
水污染防治措施及檢測申報管理辦法	第 79 條	(略，同前表 2「水污染防治措施及檢測申報管理辦法第 79 條」條文內容)
建築物生活雜排水回收再利用設計技術規範	第9條 第4款	(略，同前表 3「建築物生活雜排水回收再利用設計技術規範 9.4 再生水處理系統規劃之基本考量」條文內容)
建築技術規則建築設計施工編	第318條	建築物設置雨水貯留利用或生活雜排水回收再利用設施者，應符合條列規定…。

表 5 現行廢污水回收再利用之「使用」相關規範

法規名稱	條次	條文內容
水污染防治法	第32條 第1項	<p>廢(污)水不得注入於地下水體或排放於土壤。但有下列情形之一，經直轄市、縣(市)主管機關審查核准，發給許可證並報經中央主管機關核備者，不在此限：</p> <p>一、污水經依環境風險評估結果處理至規定標準，且不含有害健康物質者，為補注地下水源之目的，得注入於飲用水水源水質保護區或其他需保護地區以外之地下水體。</p> <p>二、廢(污)水經處理至合於土壤處理標準及依第十八條所定之辦法者，得排放於土壤。</p>
水污染防治措施及檢測申報管理辦法	第42條	<p>前條回收使用後之水應符合放流水標準，始得排放於地面水體。但回收使用作為沖洗作業環境內辦公場所、員工宿舍及其他活動場所之室內用水，應符合建築物污水處理設施之放流水標準。前項回收使用之廢(污)水應避免與人體接觸影響健康。</p>
建築物生活污水回收再利用建議事項	第9條 第3款	<p>本建議事項所適用之回收再利用水質用途不應與人體有直接接觸。</p>
污水經處理後注入地下水體水質標準	第1條	<p>污水經處理後注入地下水體水質標準，除不含有害健康物質外，其餘水質項目及最大限值如…。</p>
臺灣省灌溉事業管理規則	第29條	<p>流入及介入之水體應先經適當處理，不符灌溉用水水質標準時主管機關應限制或禁止之。</p>
建築技術規則 建築設計施工編	第317條	<p>由雨水貯留利用系統或生活雜排水回收再利用系統處理後之用水，可使用於沖廁、景觀、澆灌、灑水、洗車、冷卻水、消防及其他不與人體直接接觸之用水。</p>
建築物生活雜排水回收再利用設計技術規範	第9條 第2款	<p>(9.2再生水用途)</p> <p>再生水只可使用於沖廁、景觀、澆灌、灑水、洗車、消防及其他不與人體直接接觸之用水。</p>

近年來，政府正研擬制定專法以推動廢污水回收再利用、雨水貯留、海水淡化等新興水源業務。茲就經濟部水利署委託草擬之

「新興水源發展條例草案」，臚列未來有關廢污水回收再利用之規範如表6。

表6 「新興水源發展條例（草案）」廢污水回收再利用相關規範

條次	條文內容
第2條第2款	污水：依水污染防治法之定義。
第2條第3款	廢水：依水污染防治法之定義。
第2條第8款	生活次級用水：指用於沖廁、地板清洗、洗車及其他不與人體直接接觸之水。
第2條第9款	環境景觀用水：指用於環境景觀、澆灌、灑水、街道清洗、消防、河川保育及其他不與人體直接接觸之水。
第2條第10款	取供事業：指引取新興水源經處理產生可利用之水，部分或全部供應他人使用之事業。
第6條	以污水為水源之再生水，其用途以工業用水、農業用水、生活次級用水、環境景觀用水及地下水補注為限。以廢水為水源之再生水，其用途以工業用水或該工業區域內之生活次級用水及環境景觀用水為限。
第7條	再生水取供事業及生產再生水自用者自下水道系統取水，應取得下水道主管機關同意文件，並以專案向主管機關申請核准。
第8條	再生水及貯留雨水之輸水、配水管線及相關設施，應以中央主管機關公告之顏色標識，且不得與自來水系統混接。

綜上所述，得知廢污水回收再利用屬「新興水源」之一環，其相關法規尚在研議階段，與現行自來水相關規範屬不同領域。

（二）技術面

決定廢污水回收再利用系統之技術關鍵在於再生水之用途，不同的用途將影響水再生技術的選擇。依使用標的，廢污水回收再利用系統可概分為工業用水、農業用水、環境用水、生活次級用水等四大類別，茲分述如下。

- 1.工業用水：依使用目的，可分為冷卻用水、鍋爐用水及製程用水，以冷卻為最普遍之用途。
- 2.農業用水：灌溉及養殖為最大用途。惟國內尚未有將再生水計畫應用於農業之實例；普遍而言，農業對使用再生水之接受度仍低。
- 3.環境用水：國內廢污水處理廠處理後之放流水，絕大部分放流於河川水體或經排放水渠道後流入河川。排放符合放流標準之

處理水可為河川提供更多水量，於枯水期更成為河川基流量之貢獻者；但若流入基流量不足之河川，亦可能因涵容能力不足，導致河川無法符合水體分類用途要求或影響河川生態。

4.生活次級用水：沖廁、景觀、澆灌灑水、

洗車及清洗地板等，為社會最為普遍接受之用途。

現行法規依不同用水標的，訂定之水質標準不一，故目前並無一致再生水標準。茲將我國現行法規有關廢污水回收再利用之水質標準，列如表 7。

表 7 我國現行法規有關廢污水回收再利用之水質標準

用水標的	水質標準名稱	法規名稱	條文	主管機關
工業利用	鍋爐給水與鍋爐水水質標準	中華民國國家標準	10231	經濟部
農用利用	灌溉用水水質標準	農田水利會 灌溉排水管理要點	第20條	農委會
環境利用	放流水標準	水污染防治法	第7條 第2項	環保署
環境利用	污水經處理後注入地下水體水質標準	水污染防治法	第32條 第2項	環保署
生活次級利用	建築物生活污水回收再利用建議事項	行政程序法	第165條	經濟部

供應自來水係台水公司主要業務，亦即將原水或地下水予以處理達自來水水質標準後供給，故自來水處理技術屬單一目標導向；而廢水回收再利用技術為多目標導向，除尚有多項再生水類別未明訂水質標準，亦無統一主管機關，對台水公司而言，著實存在選擇技術處理類型或新建系統難以控管之風險。

(三) 財務面

水利署於100年度委辦之二份個案研究報告「楠梓污水處理廠水再生利用規劃」及「鳳山溪污水處理廠水再生利用規劃」中，分就1.以現行水價為前提 2.以調整水價為前提，提出再生水廠財務效益分析如下。

1.以現行水價為前提，再生水廠財務效益分析

若用水戶支付之費用等同最高自來水水價（12 元/噸），其財務效益分析結果如表 8。

表 8 再生水價格 12 元/噸之財務效益分析

廠別	楠梓 再生水廠	鳳山溪 再生水廠
財務 效益指標		
自償率	負值	負值
計畫 內部報酬率	負值	負值
計畫淨現值	-1,486,267,134 元	-2,285,945,562 元
回收年期	特許期間 (20年) 無法回收	特許期間 (20年) 無法回收

上表顯示

- (1) 財務自償率及計畫內部報酬率皆為負值，即不具備回收報酬效益。
- (2) 「楠梓污水處理廠水再生利用」計畫淨現值為-1,486,267,134 元；「鳳山溪污水處理廠水再生利用規劃」計畫淨現值為-2,285,945,562 元，均為負值，表示於特許期間無法回收。

易言之，在再生水價格 12 元/噸的情況，該二計畫並不具備財務可行性。

2.以調整水價為前提，再生水廠財務可行分析

若權益資金要求報酬率為 8%（即權益淨現值為零），其財務效益分析結果如表 9。

表 9 權益資金報酬率為 8%之財務效益分析

廠別 財務 效益指標	楠梓 再生水廠	鳳山溪 再生水廠
自償率 (SLR)	113.94%	113.42%
計畫 內部報酬率	6.10%	6.12%
計畫淨現值	157,866,800 元	262,950,023 元
獲利指數	1.12	1.12
回收年期	營運後 第11年回收	營運後 第10年回收
權益內部 報酬率	8.00%	8.00%
權益淨現值	0 元	0 元
權益資金 回本年期	13 年	12 年

上表顯示

- (1) 「楠梓污水處理廠水再生利用計畫」在權益淨現值為零的要求條件下，再生水價格須為 36 元/噸，方具財務可行性。
- (2) 「鳳山溪污水處理廠水再生利用計畫」在權益淨現值為零的要求條件下，再生水價格須為 28.5 元/噸，方具備財務可行性。

綜上分析，得知因廢污水回收再利用之再生水成本遠高於自來水水價，故再生水廠在現行水價機制下，自償率為負值，不具財務效益。

申言之，台水公司現行新興水源之一「海淡水」和水價價差已造成台水公司重大負擔；「再生水」恐亦成為台水公司財務之另一重大負擔。

三、主政者兼善天下

政府胸懷天下、心繫萬民福祉，期求長治久安，爰基於「國家」全方位立場，就「主政者」的角色，分由「做什麼(What)，即政策面」、「由誰做(Who)，即制度面」、「為何做(Why)，即經濟面」三面向詮釋「廢污水之回收再利用」

(一)政策面

異常氣候導致全球各地水旱災害不斷，台灣地區亦不例外。近年來，水文極端事件在各地更迭發生，民國90年納莉颱風重創北台灣、91年桃園地區接續發生乾旱缺水、93年艾利颱風再次橫掃北台灣造成石門水庫原水高濁度而停供水、95年卡玫基颱風侵襲中台灣、98年上半年仍在抗旱，但緊接著莫拉克颱風橫掃南台灣，而超大豪雨打破歷史紀

錄，造成嚴重的土砂災害，災害規模及生命財產損失均為幾十年來所僅見。長期的乾旱缺水或颱風豪雨期間之短期停供水，對於缺水容忍度極低之工業用戶，造成嚴重的直接損失(僱水車載水、無法生產或減量生產，以艾利颱風期間為例，桃園地區停水直接損失高達近50億元)及間接損失(訂單減少或取消)等，面對台灣地區缺水風險與日俱增之水環境，必須籌謀穩定的新興水源。

為穩定水源供應，早年台灣地區以興建水庫、堰壩，開發川流水為主，地下水開發為輔。惟因近年來環保意識抬頭及民意高漲，興建水庫壩堰等傳統地面水及地下水開發日益困難。是故，面對全球異常氣候造成之極端降雨事件導致之乾旱缺水或颱風豪雨期間因原水高濁度所衍生之短期停供水，多元化水源開發已成為我國未來水資源管理之既定政策與重點課題，尤其是新興水源中之「廢污水回收再利用」產業發展，除可提升整體供水可靠度、減少天然水資源開發及污染排放，亦可促進水利產業發展。

民國 95 年1 月19 日行政院核定「新世紀水資源政策綱領」，成為我國目前推動水再生利用之政策面依據。此綱領標示節流與開源並重、生態保育與開發利用兼顧之政策主張。綱領中第七點「策略與措施」明確提出，研訂水源多元化發展條例，輔導與獎勵海水、雨水及廢污水再利用之事業興辦，以提升用水效率。經濟部水利署依據政策綱領提出「新興水源發展條例(草案)」，並擬訂政策目標如表10。

表 10 新興水源之政策目標

目標年	政策目標
100-105年	<ul style="list-style-type: none"> ● 新興水源發展綱要計畫 ● 完成生活污水廠放流水供予工業用水之協調與整合 ● 持續推動工業廢水回收再利用（WASCO、大廠回收） ● 建立再生水友善法制環境
106-110年	<ul style="list-style-type: none"> ● 興建再生水實廠 ● 再生水作為高風險缺水潛勢地區之穩定水源
120年	<ul style="list-style-type: none"> ● 再生水佔公共給水量之10%

綜上所述，可知政府為穩定水源供應，業已訂定「廢污水回收再利用」政策目標，惜未見具體、完整之推動方案。

(二)制度面

目前，用水目的事業主管機關包括經濟部、內政部、農委會及國科會等，而制定水回收再利用相關標準或審核機制係環保署職掌。茲分述如下。

1.經濟部

經濟部依據水利法第 60 之 3 條「為促進水資源之經濟使用，冷卻用水及可循環使用之工業用水，主管機關得命水井所有人加裝設備，以供再利用」，要求水井所有人須將冷卻用水及可循環使用之工業用水進行循環再利用，但並未載明再利用之比例，且無相關罰則，屬宣示性條文。

此外，依據區域計畫法第 15 條之 2 第 1 項第 4 款、水利法施行細則第 46 條第 1 項、開發行為環境影響評估作業準則第 11 條及非都市土地申請新訂或擴大都市計畫作業要點第五點之規定，「用水計畫審查作業要點」所訂定之行政規則，影響層面廣，主管機關為經濟部，該作業要點並附有各事業別用水回收率之建議值，為經濟部相關法令中唯一明訂回收率之法令。

就法規系統之屬性而言，用水計畫書審查作業要點屬行政規則，修訂程序屬主管機關權責。在水再生利用專法尚未立法前，藉由用水計畫書審查作業要點之修訂，應可獲得較立即有效之水回收利用成果。

2.內政部

內政部主管之法規包括(1)下水道法(2)建築法(3)下水道工程設施標準(4)建築技術規則建築設計施工編第 17 章綠建築基準等。

其中，下水道工程設施標準第 46 條第 2 款規定：「如有設置回收再利用設備，則回收水再利用之處理設備應設置二套以上」；第 3 款規定「處理設備之選擇應依回收水之用途及其對應之水質要求」，然本條文並未強制要求下水道工程須進行水回收再利用設備之設置。

建築技術規則建築設計施工編第 298 條第 4 款規定：「四、建築物雨水或生活雜排水回收再利用：指將雨水或生活雜排水貯集、過濾、再利用之設計，其適用範圍為總樓地板面積達三萬平方公尺以上之新建建築物」，要求總樓地板面積達三萬平方公尺以上之新建建築物需進行建築物雨水或生活雜排

水之回收再利用；另，第 316 條中規定：「建築物應就設置雨水貯留利用系統或生活雜排水回收再利用系統，擇一設置…設置生活雜排水回收再利用系統者，其生活雜排水回收再利用率應大於百分之三十」。

為考量人體健康風險，第 317 條中規定：「由雨水貯留利用系統或生活雜排水回收再利用系統處理後之用水，可使用於沖廁、景觀、澆灌、灑水、洗車、冷卻水、消防及其他不與人體直接接觸之用水」。配合環保署公告之「建築物生活污水回收再利用建議事項」，建築物生活雜排水回收再利用之作為需將生活雜排水處理至符合相關標準或建議之濃度值，方能回收使用，即具有水再生利用之本質。

3.國科會

國科會主管之法規包括(1)科學工業園區設置管理條例(2)園區事業投資計畫管理辦法(3)科學工業園區水電輔導管制辦法(4)南部科學工業園區水電輔導管制辦法等。

園區事業投資計畫管理辦法第 3 條第 2 項第 7 款規定：「產生廢水、廢氣、廢棄物、噪音振動、使用毒性化學物質及用水回收率等，應符合有關法令及環境影響評估之規定」。科學工業園區水電輔導管制辦法第 9 條及南部科學工業園區水電輔導管制辦法第 9 條皆提及「園區用戶應依環保相關法規實施用水回收率、排放率。管理局得輔導園區用戶設置用水回收系統；對用水回收具實績成效之園區用戶，得予以獎勵」。

近年來，各園區之開發極為重視環境保護議題，各新設工廠皆被要求其製程用水回收率須達 85%以上，且園區全區用水回收率

須大於 75%。可惜的是，將廢水再生回收至製程使用之案例仍未被普遍接受。

4.農委會

農委會主管之法規包括(1)農業科技園區設置管理條例(2)農業科技園區園區機構營運管理辦法(3)農田水利會灌溉排水管理要點等。

其中，農業科技園區園區機構營運管理辦法第 18 條 1 項 7 款規定：「七、環境保護：產生廢水、廢氣、廢棄物、噪音振動、使用毒性化學物質及用水回收率等，應符合有關法令及環境影響評估之規定」，惜未訂用水回收率。

農田水利會灌溉排水管理要點第 17 條規定：「水利會應加強灌溉餘水或排水再利用」，該條文雖可作為農業回歸水再利用之法令依據，但並無強制性，亦無相關配套措施，且未載明相關灌溉餘水或排水再利用之比例及相關罰則，故並無法提高農業灌溉用水之再利用率。

5.環保署

環保署依據環境影響評估法，針對開發行為訂定行政命令「開發行為環境影響評估作業準則」，並對工業區、文教、醫療建設、住宅社區、陸上土石、高爾夫球場等五類之開發案制定「環境影響評估審議規範」。

「開發行為環境影響評估作業準則」第 21 條規定：「開發單位應評估設置節約能源措施、雨水截流儲存利用設施、污水處理水回收為中水道沖洗廁所及澆灌利用或其他中水道系統等之可能性。對於施工及營運期間所產生之大量廢棄物、廢氣、廢熱或廢(污)水，應評估其回收及再使用之可能性」，此

條文對於水回收再利用，仍屬非強制性之規定。

工業區開發環境影響評估審議規範提及「工業區全區用水總回收率(含廠內用水回收，中水道系統回收及污水處理廠廢水回收等)應至少達百分之七十。」此為五項開發行為中，唯一明訂用水回收率，且規範所提之中水道系統回收及污水處理廠廢水回收均具有水再生利用之本質。

綜上所述，得知有關廢污水回收再利用之權責分散各部會，目前用水目的事業主管機關包括經濟部、內政部、農委會及國科會等，而制定水回收再利用相關標準或審核機制則屬環保署職掌。各主管機關對用水管制端雖有部分零星分散之規定，但並未對「水再生利用」訂定相關管制要求與獎勵輔導措施。易言之，目前尚無事權統一機關。

(三)經濟面

本節藉由經濟部水利署委辦計畫「福田水資源回收中心再生水供應台中港工業專區可行性規劃」、「楠梓污水處理廠水再生利用規劃」、「鳳山溪污水處理廠水再生利用規劃」，基於「社會整體」觀點說明廢污水回收再利用對整體國民經濟或整個社會可產生之總體效益。

1.量化供水效益

供水效益主要為出售再生水所帶來之收入；廠商願付價格愈高則供水效益愈大。然而，現行國內水價低廉無法合理反映成本，故廠商不願支付高於現行水價之費用。暫以現行自來水水價（最高水價 12 元/噸）計算供水效益如下。

(1)「楠梓污水處理廠水再生利用規劃」計

畫：每年約生產 660 萬噸，其供水效益約 0.79 億元（12 元/噸×660 萬噸=0.79 億元）。

(2) 「鳳山溪污水處理廠水再生利用規劃」計畫：每年約生產 1,485 萬噸，其供水效益約 1.78 億元（12 元/噸×1,485 萬噸=1.78 億元）。

(3) 「福田水資源回收中心再生水供應台中港工業專區可行性規劃」計畫：每年約生產 4,626 萬噸，其供水效益約 5.55 億元（12 元/噸×4,626 萬噸=5.55 億元）。

2. 避免缺水風險效益

水再生利用所取用的事業廢水與生活污水因水源的水量較傳統水源穩定，不易受到豐枯水期的影響，因此可降低傳統水源供給經常發生的缺水風險，減少工業用水因停水停工所衍生的損失。尤以工業用水中無法停機之製程所帶來之效益更大，但因工業型態不同，缺水對製程設備之影響亦不同，此部分難以廣泛定量。茲參考經濟部水利署「水再生利用經濟效益評估模式研究」，得知「就工業用水而言，當缺水率達到 20% 時，就可能造成 50% 的製程停產，導致產值損失。」

茲就個案計畫之潛在用戶製程停止時生產線減少所帶來之經濟損失為例說明如下

(1) 「楠梓污水處理廠水再生利用規劃」計畫：楠梓加工區民國 99 年廠商營業額約 1,492 億元，用水量約 38,000 CMD，換算每噸用水量產值為 1.08 萬元。因本計畫再生水可穩定供水 2 萬 CMD，假設每年停水 1 天，則每年可避免經濟產值損失 1.08 億元〔1.08 萬元/噸×（2 萬 CMD×1 天×50%）=1.08 億元〕。

(2) 「鳳山溪污水處理廠水再生利用規劃」計畫：臨海工業區年產值約 9,136 億元，用水量約 250,000 CMD，換算每噸用水量產值為 1 萬元。因本計畫再生水可穩定供水 4.5 萬 CMD，假設每年停水 1 天，則每年可避免經濟產值損失 2.25 億元〔1 萬元×（4.5 萬 CMD×1 天×50%）=2.25 億元〕。

3. 替代水源成本效益

若以廢污水回收再利用作為水源替代傳統水庫水源，除可降低缺水時的損失風險，亦可省去擴增水源所需建設取水設備之興建成本（如水庫、水壩、引水設備等）。亦即，當水再生利用規模逐步擴大到足以取代其他供水水源時，將可避免天然水資源開發方案之成本。此外，亦能減少水資源過度開發下所額外增加的環境保育成本、降低對環境生態所造成之衝擊。

4. 擴大投資效益

擴大政府公共支出，將可發揮帶動民間投資的外部經濟效果，其所創造的乘數效果將甚為顯著。依照經建會之推估「每增加一元公共投資，即可創造所得 1.17 元」，以「福田水資源回收中心再生水供應台中港工業專區可行性規劃」為例，可增加公共投資約 57.88 億元，創造所得 67.72 億元（57.88 億元×1.17=67.72 億元），對區域經濟發展有顯著之激勵作用。

5. 增加就業效益

依據民國 95 年工商及服務業普查結果，營造業勞動成本占全年各項支出總額比率為 23.63%，平均每人每年勞動報酬 487,055 元。以「福田水資源回收中心再生水供應台中港

工業專區可行性規劃」為例，該工程增加公共投資 57.88 億元，以施工時間 3 年平均概算，每年約可增加雇用 936 人/年（57.88 億元 \times 23.63% \div 487,055 元/人 \div 3 年 \approx 936 人/年）。

6. 提升國家環境競爭優勢

國家的演進須面對諸多持續發展的挑戰，包括空氣治理、水資源利用、垃圾處理等城市設施節能化。其中，水資源利用更是國際性組織（如聯合國）用來評比國家之競爭力或發展程度常見之指標。由於再生水的水源主要來自生活污水或事業廢水，水再生利用不僅可減少廢污水排放所帶來之環境污染及減少未來水污染防治排放費用，亦可大幅提高國內水資源利用效率，從而減少開發水資源設施的碳排放量，增加綠色效益、節能減碳。

綜上分析，得知在現行水價無法合理反映成本下，不僅無法確實反映水資源開發的各項環境經濟成本，亦且造成用水浪費，擴大供需缺口、增加缺水風險；另，對於廢污水回收再生利用之再生水，廠商礙於成本、心理因素，不願支付高於現行水價之費用。

易言之，廢污水回收再利用確實對國家整體永續發展具有正面意義，其將提高國家的總體利益，惟對台水公司個體效益較低。

四、政策配合者權衡取捨

台水公司係政府團隊之一員，兼負政策性任務，當於利己、利他間權衡取捨（Trade off）。亦即，台水公司基於「國營事業」立場當就「政策配合者」角色，分依（一）「實施時機(When)」（二）「適用地區(Where)」（三）「運作範疇(How)」提出如下建議。

(一) 實施時機

在法規面及技術面等不確定性因子（廢污水回收再利用法規尚研議階段、水質標準規範未完善等）下，台水公司承接廢污水回收再利用業務之風險相當高，爰建議中央政府應先明訂法源及水質標準，方可減少台水公司承接風險。

另則，再生水成本明顯高於現行水價，水價將成為推動廢污水之回收再利用之一大阻力，爰建議仿效國外設立「水費調節基金」制度（再生水價應低於自來水價），適時調整自來水價並訂定完善配套機制，俾使台水公司或其它民間廠商有足夠誘因從事廢污水之回收再利用。

(二) 適用地區

水利署統計資料顯示，民國 99 年全國用水量約 170.64 億立方公尺，包括農業用水 122.05 億立方公尺(71.53%)，生活用水 32.56 億立方公尺(19.08%)，及工業用水 16.03 億立方公尺(9.39%)。其中，工業用水僅佔 9.39%，但產值卻佔生產毛額之 24-26%，且新開發計畫之工業用水量已於用水計畫書中要求其用水回收率應至少達 65%以上，因此廢污水回收再利用之再生水應用於工業用水較具效益，為首選。

因廢污水之回收再利用之再生水成本遠高於現行水價，且使用者信心不足，再生水不易全面普及，爰建議選擇金門澎湖離島等缺水、水質條件不佳、產水成本較高之區域辦理為宜。

(三) 運作範疇

台水公司為自來水事業，主要任務在於提供適於用戶飲用之自來水，與廢污水之回

收再生水之使用限工業用水、農業用水、生活次級用水等不與人體接觸之用水，其目的、用途皆不同，所衍生之水質、管網、設備、專業人員皆不同，故在發展再生水資源之角色分配上，中央主管機關為主要權責單位，台水公司為配合參與單位。

台水公司兼負政策任務，自當配合辦理廢污水回收再利用相關業務，爰建議以「代操作」及「代管」方式配合辦理廢污水之回收再利用業務，即代為操作再生水廠及管線設備，該等操作維護、汰換更新等一切必要費用，由各該主管機關編列預算支應。

五、結語—簡囊遠行漸登高

台灣旱澇不均之現象逐年顯著，水源多元化或將勢在必行，而廢污水之回收再利用誠屬深謀遠慮之策。惟因再生水成本遠高於現行水價，致廢污水回收再利用之推動或宜侷限高缺水風險地區，而其應用標的或以新開發之工業區用水為宜；及至水價合理調整並訂定完善配套機制，台水公司自當擴展廢污水回收再利用業務之廣度（Width）與深度（Depth），期求供水之充裕、穩定，達成「提升國民生活水準、促進國家經濟發展」之神聖使命。

孔子曰：「欲速則不達」；《孫子兵法》虛實篇云：「水無常形，兵無常勢，能因敵變化而取勝者，謂之神。」意謂領兵打仗不能沿用一套作戰方法，應隨時依戰場形勢變化，實事求是地靈活運用。易言之，台水公司沒有不變的成功方程式，必須時時「衡外情」、「量己力」，簡囊遠行、拾級登高，一步一腳印，循序完成短、長程目標，讓沿

路之石碑鐫刻台水人辛勞之足跡、光榮之里程，亦讓台水公司之金字招牌於歷史之長河中永遠光輝燦爛。

參考文獻

1. 〈水利法〉，經濟部，民國 97 年。
2. 《水再生利用法令競合及國外相關制度研究》，經濟部水利署，民國 99 年。
3. 〈各標的用水量統計〉，各項用水統計資料庫，經濟部水利署全球資訊網
4. 莊順興，〈廢(污)水回收再利用技術評估系統介紹〉，新生水水源開發推動成功案例分享研討會，民國 100 年。
5. 莊順興，〈廢污水回收再利用技術評估〉，民國 100 年。
6. 《福田水資源回收中心再生水供應台中港工業專區可行性規劃》，經濟部水利署，民國 100 年。
7. 《新世紀水資源政策綱領(核定本)》，經濟部，民國 95 年。
8. 《楠梓污水處理廠水再生利用規劃》，經濟部水利署，民國 100 年。
9. 〈新興水源發展條例草案〉，經濟部水利署全球資訊網。
10. 《鳳山溪污水處理廠水再生利用規劃》，經濟部水利署，民國 100 年。
11. 謝明昌，〈新生水水源發展及利用推動策略〉，民國 100 年。

作者簡介

陳福田 先生

現職：台灣自來水公司總經理

專長：工程管理、策略管理、績效管理

鳳山水庫淤泥清理及去除氨氮方案之研討

文/曾浩雄

一、前言

民國 98 年莫拉克颱風重創台灣，國內各地在槽水庫無不遭受嚴重之土石淤積，政府及民間都強烈感受到，水庫清泥乃是目前刻不容緩的工作；另外，近年來由於世界各地大量使用環境賀爾蒙，造成大自然環境不變，各方為減少環境賀爾蒙之污染，也都開始節制使用這類產品。鳳山水庫雖是離槽水庫，且其原水取自濁度不高之東港溪地面水，故水庫每年污泥淤積量還在台水公司可忍受之範圍內。但逐年增加的污泥量終究會對水庫之有效容量及其壽命，造成負面的影響。

另外，因鳳山場原水中氨氮之含量特別高(6~12 mg/L，詳如圖 1^[1])，因此其淨水過程中需使用大量的氯氣(從石油中萃取)，其對大自然環境之衝擊及維護操作環境之安全非常不利，因此籲請台水公司早日設法降低其使用量，共同為改善人民生活品質而努力。

鳳山淨水場位於高雄市大寮區山丘上，該場雖有對外聯絡道路，但因位居山區故幾與外界隔絕。其原水取自東港溪，該溪全年都有豐沛的水量，除了上游之雨水外，流域地區也有豐富的地下水，甚至附近多種廢水都排入溪中。東港溪地面水之濁度在雨季會高達 200 NTU；旱季則低到 6NTU，年平均濁度為 20 NTU。民國 99 年港西抽水站進水之濁度以 9 月份之 210 NTU 為最高；12 月份之 9.4 NTU 為最低，年度平均值為 46.6NTU (詳如表 1)^[1]。

表 1 港西抽水站 99 年原水月平均濁度(NTU)

1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
13	13	12	11	65	36
7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
70	65	210	33	22	9.4

鳳山淨水場平均每日取用東港溪之地面水約 40 萬 m³，經正常處理淨水程序後，送供高雄南部各工業區(含大發、臨海及高雄加工出口區等)之用水。

(二)鳳山水庫

鳳山水庫集水面積約 3 平方公里，原計畫最高水位為 EL：50m，但因原水蓄至標高 42m 以上時就會漏水。故目前蓄水之最高水位只達 EL：42 m，其有效蓄水量為 7 百 80 多萬 m³，計劃年供水量為 25,550 萬 m³，平均每天可提供 70 萬 m³之原水量。目前鳳山給水廠將廠內兩座淨水場分為民生用水及工業用水專用之淨水場。前者之原水完全取

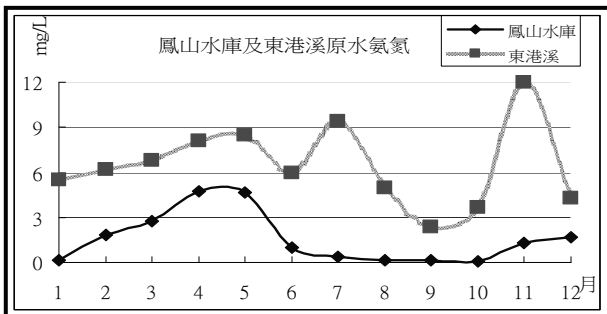


圖 1 鳳山水庫及東港溪原水含氨氮量曲線圖

二、背景說明

(一)鳳山淨水場概況



自高屏溪攔河堰，設計出水量為 30 萬 CMD，最大出水量為 35 萬 CMD；後者之原水則取自東港溪之地面水，設計出水量為 40 萬 CMD，最大出水量為 45 萬 CMD。該原水原係逕送場內分水井處理，但早期鑑於東港溪地面水濁度一直增高，且受污染情況越趨嚴重，因此乃將它先放流入庫，經沉砂後再抽至淨水場處理。由於高屏溪攔河堰之水源並不穩定，每遇大雨濁度飆高，高雄地區各淨水場之原水取水量就會減少，此時有需要將鳳山水庫原水調為民生用水(依自來水法之規定民生用水為第一優先)，其水質應達到飲用水水源水質之標準。

鳳山水庫每年所沉積之污泥量，可依日本水道顧問公司之公式計算。假設污泥乾固體重為 $Q_s(T/day)$ ；混凝劑加藥量為 $A(mg/L)$ 而月平均濁度 T_u 以 46.6 NTU 計。則：

$$Q_s = Q \times (T_u \times f_1 + A \times f_2) \times 10^{-6} \quad (1)$$

$$f_1 = SiO_2 / T_u \times S.S. / SiO_2 = 1.25 \times 1.2 = 1.5 \quad (2)$$

$$f_2 = Al_2O_3 \text{ 濃度} \times 2Al(OH)_3 \text{ 分子量} / Al_2O_3 \text{ 分子量} \\ = 2 \times 0.07 \times 78 / 102 = 0.107 \quad (3)$$

由於該原水自東港溪至水庫取水口都不加任何藥劑，故 $A=0$ ，則 $Q_{s46.6} = 400,000 \text{CMD} \times (46.6 \times 1.5 + 0) \times 10^{-6} = 28.0 \text{T/D}$ (4)

鳳山水庫可視同沉砂池，假設懸浮物固體有 76% 為無機固體，其比重為 $\gamma = 2.56$ ；另外 24 % 為有機固體其比重為 1.096。依理論換算沉砂池之淤存量約 51.0% 為無機質^[3]，因此沉積於水庫底之砂泥量 $= 28.0 \text{T/D} \times 1.4 \text{m}^3/\text{T} \times 51\% \times 365 \text{D/Y} \approx 7,297 \text{m}^3/\text{Yr}$ 。 (5)

(三) 氣曝塔之現況

近年來由於東港溪之原水中所含之氨氮值一直偏高(超過飲用水水源水質標準之

1mg/L)，故已全部移作工業用水之原水。後來為了有效消除氨氮之影響，乃於原水進入水庫之處建造一座圓形氣曝塔(如圖 2)，其頂部之 EL=53m，氣曝塔內徑=3.0 m；外徑=3.5 m，頂版出水口外圍之直徑=10 m，出水口之高與寬= 50cm * 43.63cm，每兩個出水口之中心距離=87.26 cm，其底部之 EL = 51.3 m。地面之高程自西側之 EL= 44m 降至東側之 43.1 m，平均高度= 9.75m。該塔設計者為增加原水與空氣接觸面積，刻意將頂版外緣向下傾斜 14.42°，並在頂版上加設 RC 曲線導流板，意使原水衝出氣曝塔後在空中形成拋物線，以拉長其流程並擴大其衝出範圍，期使原水與空氣充分混合。



圖 2 鳳山水庫曝氣台照片(Google)

三、氣曝之功能及其效果

(一) 氣曝設備之功能：

水之氣曝處理是藉由水與空氣密切接觸，再應用物質與氣體交換法，使具有高度揮發性之氣體自水中放出；或將空氣中之氧氣溶入水中，促使水中含有易氧化之物質發生氧化作用。因此氣曝設備可用於增加水中溶氧，進而氧化原水中之鐵錳、氨氮，或去除硫化氫及臭味等；亦可釋出水中之二氧化碳，提高原水之 pH 值，進而減輕其腐蝕性及對加藥軟化處理時之干擾等^[4]。

依「自來水設備工程設施標準解說」^[5]所述：瀑布式(Cascad type)氣曝係利用台階及水體之重力使水流呈瀑布形依次下降，讓空氣隨水流帶入原水中，並藉由衝擊次一層氣曝盤時激起水花，使水與氣得以充分混合。其台階或板面積，一般以負荷率設計(所需之面積約 1~2 m² /1,000 CMD)，並以最大處理水量算定，操作水頭約需 5~10 m。台階或氣曝盤上下約 3~5 層，每層高約 30~60cm，並須保持適當的水深，其總高度需 2~4m，以促使原水落下時與空氣充分混合。

另依 Oesten 氏之論述：在負荷率為 1~2 m² /1,000 CMD 之條件下，水滴自空氣中落下時其吸氣量之飽和點為 7.68cc/L，若其落差=2m，則其吸氣量為 7.38 cc/L，若高度再增加，其所能增加的吸氣量也只能提高 4%((7.68 - 7.38) /7.68) 而已。

目前鳳山場專屬工業用水之原水量為 40 萬 CMD，故其所需求氣曝盤之板面積 A= 400 ~ 800 m²/ CMD 之間。但現有氣曝塔之頂版面積只有 3.14* ((5m)² / 4 + (0.8 + 0.4363) m/2*2/4* 1.667m (導流板 1/4 圓弧之半徑) - (1.1m*0.12m 小分流版)*18 格=46.37 m²，與所需之最低值相差甚鉅。如能增加氣曝盤之面積，則可增加氣曝效果。「水及廢水處理化學」^[6]書中提及：氨對河水中溶氧濃度之影響與其細菌之氧化作用有關，其反應式如下：



而 NH₃:O₂之莫耳比是 1:2; 質量比為 0.27:1。故要硝化 1mg 之氨，需 3.7mg 之氧。



(二)現有氣曝塔之效果

其實在氣曝塔頂版上加設曲線導流板，反而減少板面積，違反 Oesten 氏之論點。而原水自頂版出水口流出後，只要落下距離有 3m 高，其吸氧量就已達飽和點。而目前原水自氣曝塔頂端中央之出水管流出後，衝擊次一層(氣曝塔之頂版)之板面積只有 46.37m²，原水落下再衝擊次一層時已是現有地面，無法再落下，故衝擊次一層之面積並未再增加，因此其板面積只達理論上最低負荷率之 11.6% (46.37m² /400 m² *100%)。

四、改善氣曝效果之構想

現有氣曝塔之氣曝盤面積必須設法提高，使之達到設計規範之最低要求。其作法可在現有氣曝塔四周加設氣曝盤架，原則上兩者不互相依靠，以免影響原構物之安全(氣曝盤架之內側與現有氣曝塔至少應相隔 1cm)。氣曝盤架上設三層氣曝盤，最上層與目前之氣曝塔出水口底部 EL =51.3m 同高(詳如圖 3)。

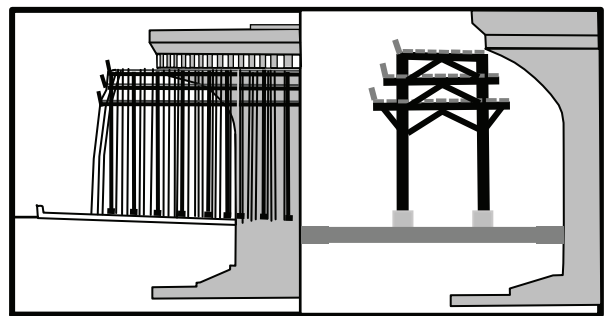


圖 3 曝氣盤及其支撐示意圖

每層氣曝盤依次向下降 50 cm，最上層至最下層氣曝盤之寬度分別為 2.3m、2.9m 及 3.5 m，其直徑分別為 14.62m、15.82m 及 17.02m)，則其板面積= 89 m²、117.6 m² 及 148.6 m²、加上現有頂版面積 46.37 m²，合計 401.6 m²。



近年來市面上已有一種綠色環保多效能粉料組成物(以泥土加固化劑塑造而成)，其成品(通稱為固化土)可染各種顏色、也可印上花卉或木紋，而其最大的優點是：質輕(比重可隨固化劑之種類及其含量加以調整)、質堅、防銹、防水、防火及耐老化等，且可用特殊黏劑或鐵釘加以組裝成為任何結構體。因此可採用此材料作成仿木板(每塊厚 6cm，寬約 40 cm)，作為氣曝盤之盤面以承受原水之衝擊，每塊板與板之間留 1cm 隙縫以利原水落下。

氣曝盤架各層之內外側加釘 10cm 淨高之豎向仿木擋水板(宜略向外傾斜)，最上層盤面之內環也宜略向下傾斜，除避免原水直接衝出盤面外，並還可讓原水平均分布在盤面上。氣曝盤架之內外環各以一排 1 支 3 吋 ϕ 之鍍鋅鋼管作為支撐柱，管底焊一塊(1*40* 40) cm 鋼板，以分散其上部所受之載重至 RC 基礎上；管內以水泥砂漿填充，以加強其剛性，外圍則漆上綠色水泥漆以增加美觀性。

設氣曝塔一圈之支撐柱共 36 排(每排內外環各 1 支)，則其外環每排之間距 = $3.14*2/36*排$ 14.62m = 255cm；內環向則只有 $3.14*2/36 排*(10+0.02)m \doteq 174.8$ cm。每層每根柱之內外環向及徑向之間各焊上 1 支 3 吋 ϕ 之鍍鋅鋼管。每層兩排支柱與水平桿之間均各加一支 1 吋 ϕ 之斜撐桿，長 52cm，以加強水平桿之支撐力及氣曝盤架之剛性(Stiffness)，而第 2 及 3 層向外伸出之橫桿與支撐柱之間也各加一支同管徑之斜撐桿(長分別為 30 及 60cm)，以加強該等水平懸臂桿之支撐力(詳如圖 3)。原水自氣曝塔頂版衝出

之速度，經依流體等加速度及自由落體運動之公式計算，其水平分速度 = 3.91m/s；垂直分速度 = 1.04m/s，落到地面(EL = 39.1 m)之時間 = 1.31 秒，此時與出水口之水平距離 = 5.14m。可知：設置氣曝塔架後，原水在 1 秒鐘內就流滿最上層氣曝盤，其滯留時間以 1 秒計，其高度 = 1 秒(400,000/86,400) cms/3.14/4/ (14.22²-10.02²) m² = 5.2cm，盤面之靜載重 = $10^3 \text{kg/cm}^3 * (\text{水 } 1 * 5.2 \text{ cm} + \text{木 } 0.9 * 6 \text{ cm}) * 10^3 \text{ kg/cm}^3 = 10.6^3 \text{ kg/cm}^2$ 。另加活載重 = $12 * 10^3 \text{ kg/cm}^2 = 22.6 * 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 。氣曝盤架上之構件經查三層矩形剛架結構計算法之圖表，Kb = 0.32 時，第二層徑向水平桿之端點所承受之負力矩為最大 C = 0.96，Mmax = $0.96 * 22.6 * 10^3 \text{ kg/cm}^2 * 200 \text{ cm} / 2 * 2 \text{ 邊} * / 2 * (230/2 \text{ cm})^2 \doteq 28,693 \text{ kg-cm}$ ，3 吋鍍鋅鋼管之斷面模數 Z = 22.66 cm³，故其所受之最大彎曲應力 fs = $28,693 \text{ kg-cm} / 22.66 \text{ cm}^3 \doteq 1,266 \text{ kgf/m}^2 < 1,400 \text{ kgf/cm}^2$ ，OK。氣曝盤上之仿木板放置在 3 吋 ϕ 鋼管上，再以固化土製成之 U 型固定夾(兩翼長 6cm*寬 6cm)，從底部加以固定。但為安全起見仍以簡支樑計算，其最大正力距 = $22.6 \text{ kg/cm}^2 * 10^3 * 40 \text{ cm} / 4 * (255 \text{ cm})^2 \doteq 146,696 \text{ kg-cm}$ ，而仿木板之斷面模數 Z = $40 \text{ cm} * 6 \text{ cm}^2 / 6 = 240 \text{ cm}^3$ ，故其容許抗拉強度應達 $62 \text{ kgf/m}^2 (14,696 \text{ kg-cm} / 240 \text{ cm}^3) =$ 以上。

「淨水技術實務」^[8]書中提及氧化劑中，只有氯氣可氧化氨，若停止前加氯(Pre-chlorination)，需設法把氨氧化成硝酸，否則，淨水程序最後階段用以消毒之少量氯氣會被氨消耗殆盡，無法成為游離氯殘存在清水中。

民國 100 年鳳山水庫及東港溪原水平均氨氮濃度分別為 1.59 mg/L 及 6.49 mg/L(如圖 1⁽¹⁾)。依前所述：要硝化 1mg 之氨，需 3.7mg 之氧(1：3.7)。在標準狀態(溫度 26.7°C，壓力 760mm 汞柱)下，氧的密度=1.3kg/m³。本方案所增加氣曝盤面積之比例=100% (401.6/400m²)，則將來原水經氣曝後，可去除之氨氮量= (7.68cc/L*1.3 mg/cc*100 %/3.7 =2.7mg/L > 1.59 mg/L(不計原水再流經水庫所增加之溶氧量)。因此每年可省下氯氣之使用量=10mg(Cl⁻)/1mg (NH₃⁺)*1.59 mg/L (NH₃⁺)*400,000 CMD*10⁻⁶T/m³*365D/年= 2,321.4 T/年。

五、鳳山水庫沉泥清理概況

以前鳳山水庫都採用工作船暨挖土機(如圖 4)進行清泥工作。由於水庫之深度落差非常大，清泥時僅能移除進水口(氣曝塔)附近較淺處之淤泥。每年概估能挖除之淤泥量不到其 30%；剩下之 70%會慢慢擴散然後淤積於水庫較深之庫底，如此日積月累下，相對的也逐漸減少水庫之儲水容量。鳳山給水廠曾於民國 99 年及 100 年分兩次辦理「鳳山取水口淤泥清理 20,000m³ 工程」，首次由巨亞浚淤公司以 1,650 萬元得標，換算淤泥清理費=825 元/m³(包括從水庫中抽取淤泥、暫存及曬乾)；後來由中宇環保工程公司以 480 萬元得標，換算淤泥運棄費=240 元/m³(包括從挖起淤泥及運棄)。兩項工程之費用相加(從抽取淤泥到運至棄置場)之總費用=825 元/m³+240 元/m³=1,065 元/m³。

鳳山水庫啟用至今已數十年，而其蓄水最高水位迄今仍只能維持在 EL= 42.0m。近

年來台水公司一直在推動「水庫蓄升計畫」，期能增加水庫之蓄水容量。目前該計畫已經多次勘驗與改善，相信不久再就勘驗結論做好必要之措施與改善後，即可將最高水位提升到 EL= 44.5 m，故本文將水庫之最高水位訂為 EL= 44.5 m。未來氣曝塔之出水口底部至水庫最高水位將只剩 (51.3-44.5)m=6.8m，但仍高於 3m 故氣曝塔之效果將不受影響。



圖 4 鳳山水庫挖泥工作船相片

六、阻止污泥入庫之構想

(一)設污泥塘

東港溪地面水之濁度雖不高，但每年流入水庫的污泥量達 28.0T/D×51.0%×1.4m³/T*365 D=7,297 m³。因此若能降低進入水庫之污泥量，對淨水場濁度之處理，及減少水庫之淤積量，一定會有相當大的助益。為此可在現有氣曝塔下游兩岸標高為 45.0m 之最窄處(寬約 35m)，加築擋水牆(詳如圖 5)，再藉由北側之現有圍堰(如圖 4 之右側，其 EL=47.0m)之間形成一污泥塘(Lagoon)。

(二)設污泥堆置場

現有圍堰以北之窪地(如圖 6 之上側)，因其東側地面標高只有 40m，若要以該空地作為污泥塘，則此處需加築 5.7m(47.0-40)m 高之擋水牆(長約 100m)，並將氣曝塔四周圍

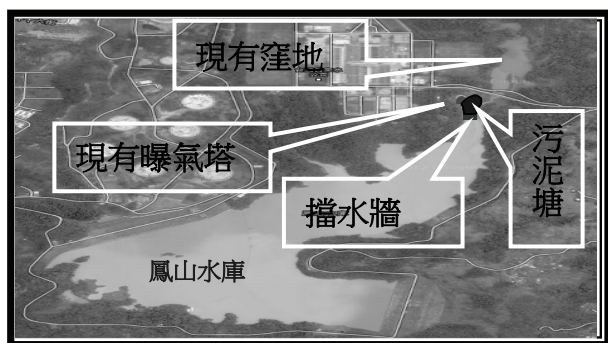


圖 5 污泥塘位置平面示意圖(Google)

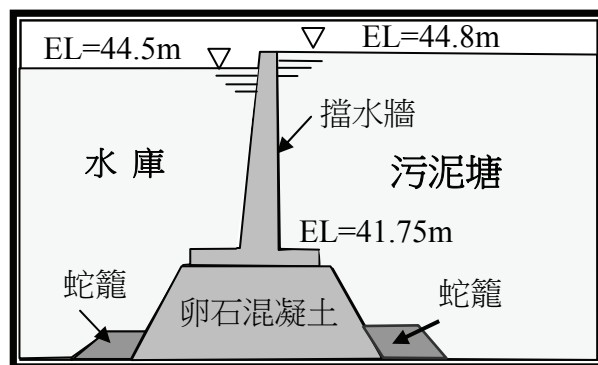


圖 6 擋水牆橫斷面示意圖

成蓄水池，再自此埋設一條 1000mm ϕ 之管線約 90m 至空地末端，並在此處加築一座分水井，讓原水自井中流出，然後慢慢蓄至 EL: 47.0m 後再越過圍堰進入水庫。惟經試算後因成本過高乃予以放棄。但原則上仍宜將該空地留作污泥堆置場，俟將來填滿污泥後，可變成廠內可用之建地。本案之構想所需之設施如下：

1. 卵石混凝土：在擬建擋水牆處(現有地盤 EL=37m 至 EL: 41.5m 之間)以卵石混凝土填充(上底 1.0m；下底 2m，平均高度 2.25m)，以減少擋水牆底部所受之水壓力。
2. 擋水牆：設牆頂之 EL=44.8m(詳如圖 6)，比未來水庫最高水位(EL: 44.5m)高出 0.3 m。則牆及底版厚(3.05+0.25)m=3.3m。若水庫之水位降至 EL: 41.75m 以下，擋水牆內外之水位差達 3.05m，此時擋水牆需要鋼筋量 $A_s = M/ad = 1T/m^3 * 3.05 m^3 / 6 / (35-7) / cm / 0.0122 = 13.84cm^2/m$ ，採用內、外側各一排 19 mm ϕ @20cm， $A_s = 14.32cm^2/m$ ，每 1/3 支加長 30cm 插入底下之卵石混凝土，以增加擋水牆抵抗滑動及傾倒之安全係數。擋水牆之平均厚度及底版厚度同樣為 25cm，故其水平溫度鋼筋同為 $A_s = 1/2 * 0.0025 * (35+15)cm * 100cm = 6.25cm^2$ ，採用 13mm ϕ @ 25 cm， $A_s = 6.26cm^2/m$ 。
3. 污泥塘：興建擋水牆後所圍成之水域，其面約為 13,000 m²。故滯留時間 = 13,000m²*3.9 m (平均深度) / 400,000 CMD*24hr = 3.04hr。
4. 導水幕：在污泥塘內自西南側向東北側加築導水幕(長=100m)，以防止原水短流。幕頂 EL =44.7m，打下導水幕後底部兩側，現有地盤 EL: 37m 至 EL: 41.5m 之間(加權平均後，其平均高度 2.25m)，以卵石混凝土填充，故露出混凝土之高度=3.2m。導水幕採用 7cm(厚) *30cm(寬)*3.2m*2.5 倍(8m 長)之仿木浪板(45°等腰三角形，腰長 5cm，內部加 1cm 厚之鋼板)打入泥土中。
5. 防漏三角仿木板：為防止原水滲過導水幕，每兩塊浪板(50cm/塊)相接之頂端內側，各打下一條同一深度之 45°等腰 (5cm*5cm)三角仿木板，與幕頂同高為 EL = 44.7 m。
6. 蛇籠：擋水牆基礎及導水幕底下卵石混凝土之內外兩側均放置蛇籠(1m 高，上底 0.6m，下底 1.2m)，以增加卵石混凝土之穩定性。
7. 集泥坑：擋水幕起點內側築一條 RC 集泥坑，其長*寬*深=10m*1.5m*1m，坑底由末端以 5%由東向西傾斜，以利泥水藉由其重力流至末端之泥水井。

- 8.泥水井：集泥坑末端設一座長*寬*深=2m*2m*1m 之 RC 泥水井，以便抽取泥水。
- 9.排泥管：採用 1 條 100 mm ϕ PVC 管，長 120m 至現有窪地。其可抽取之泥水量以全年污泥量之一半計= $7,297\text{m}^3/\text{年}/2\%/2/365\text{ day}/\text{年} \doteq 500\text{ CMD}$ ，其流速= $(500/86,400)\text{ cms}/(3.14/4*0.1\text{m}^2)=0.74\text{m/s} < 3\text{m/s}$ ，OK。水頭損失 = $10.66*(500/86,400)\text{ cms}/(120)^{1.85}*120\text{m}/0.1\text{m}^{4.87}=0.98\text{m}$ 。
- 10.沉水式抽泥水機：1 台，揚程=50m-39.1m =10.9 m，馬力數= $1.1\text{T}/\text{m}^3*997\text{ CMD}*(10.9\text{ m}+1.5)/6480/0.8=1.3\text{ HP}$ 採用 1.5 HP。
- 11.泥水分離機：7.5KW*1 台，將集泥坑之泥水藉由抽泥機送至該機將泥與水分離。
- 12.儲卸槽：經泥水分離螺旋機輸送進入 2m^3 PE 儲卸槽(固定在以鍍鋅管及鐵板焊成之支架及平台上)，槽外裝 1 台震動機(1KW) 及一只電動閘閥，以利污泥卸運之操作。
- 13.機電控制設備：全部機械設備共 11KW (2 +7.5*1+1.5)KW 之用電及控制設施。
- 14.本方案之平面示意圖詳如圖 7。

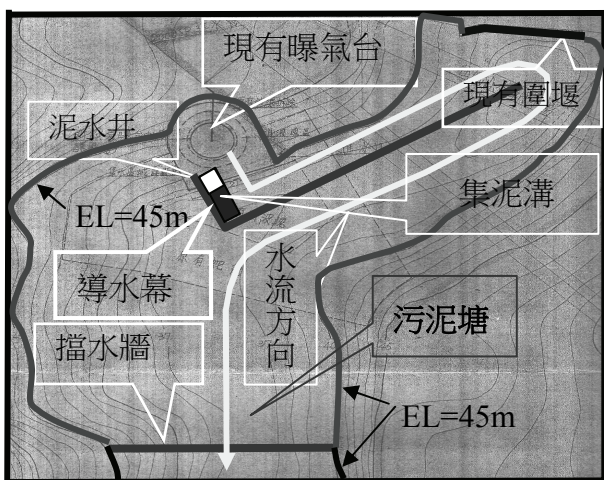


圖 7 淤泥清理方案平面示意圖(Google)

七、工程費用概估

- (一)氣曝盤架 RC 基座(含鋼板)：1.2 萬元/ $\text{m}^3 * 0.5\text{m} * 0.5\text{m} * 0.65\text{m}(\text{高}) * 36\text{ 座} \doteq 7\text{ 萬元}$ 。
- (二)氣曝盤架 3 吋 ϕ (含水泥砂漿)：0.07 萬元 / $\text{m} * 9.75\text{ m} * 2\text{ 支}/\text{排} * 36\text{ 排} \doteq 50\text{ 萬元}$ 。
- (三)氣曝盤架環向 3 吋 ϕ 水平連結桿：0.065 萬元/ $\text{m} * (2.3\text{m}/\text{支} * 36\text{ 排} + 2 * 3.14 * (15.82\text{ 平均直徑} + 10.02)\text{m}) * 3\text{ 層} \doteq 48\text{ 萬元}$ 。
- (四)氣曝盤架徑向加長及斜撐桿(1 吋 ϕ)：0.03 萬元/ $\text{m} * 36\text{ 排} * 2\text{ 支}/\text{層} * (1.25 + 0.52)\text{m} * 2 + 0.3 + 0.6\text{m} * 3\text{ 層} \doteq 29\text{ 萬元}$ 。
- (五)油漆：300 元/ $\text{m}^2 * 2 * 3.14 * (0.0891\text{ m} * 9.75\text{ m} * 36\text{ 排} * 2\text{ 支} + (15.82\text{ m} + 2.3\text{m} * 36\text{ 排}) * 3\text{ 層} + 0.034\text{ m} * (0.3 + 0.6 + 1.77)\text{ m} * 2\text{ 支} * 36\text{ 排}) \doteq 69\text{ 萬元}$ 。
- (六)仿木氣曝盤及擋板(含固定夾)：1 萬元 / $\text{m}^3 * \text{厚} .06\text{ m} * (354.23\text{ m}^2 + 3.14 * 2 * 15.82\text{ m} * 0.1\text{ m} * 2\text{ 塊} * 3\text{ 層}) \doteq 25\text{ 萬元}$ 。
- (七)卵石混凝土：0.1 萬元/ $\text{m}^3 * (1.0\text{m} + 2\text{m})/2 * (3.5\text{m} * 35\text{m} + 2.25\text{m} * 100\text{m}) \doteq 53\text{ 萬元}$ 。
- (八)擋水牆：1.混凝土=2,000 元/ $\text{m}^3 * 0.25\text{m} * (\text{牆高} 3.05 + \text{底版} 1.5)\text{m} * 35\text{m}(\text{長}) \doteq 8\text{ 萬元}$ ，2.鋼筋=20 元/ $\text{kg} * 2\text{ 排} * (2.25\text{kg}/\text{m} * 35\text{m}/0.2\text{m} * (3.05 + 1.5)\text{m} + 0.994\text{kg}/\text{m} * (3.05 + 1.5)\text{m}/0.2\text{m} * 35\text{m} + 2.25\text{kg}/\text{m} * 35\text{m}/0.2\text{m}/3 * 0.3\text{m}) \doteq 11\text{ 萬元}$ ，3.模板=800 元/ $\text{m}^2 * 35\text{m} * 3.3\text{m} * 2\text{ 面} = 19\text{ 萬元}$ ，(4)合計=38 萬元。
- (九)導水幕：100m*2 倍*8m*0.05m*(1 萬元 / $\text{m}^3 + 0.18\text{ 萬元}/\text{T} * 7.85\text{T}/\text{m}^3 * 0.01\text{m}) \doteq 82\text{ 萬元}$ 。
- (十)防漏三角仿木：1 萬元/ $\text{m}^3 * 8\text{m}/\text{支} * 0.05\text{m} * (0.05\text{m} + 1.8\text{ 萬元}/\text{T} * 7.85\text{T}/\text{m}^3 * 0.01\text{m} * 0.03\text{m}) * 200\text{ 支} \doteq 5\text{ 萬元}$ 。
- (十一)蛇籠：0.1 萬元/ $\text{m}^3 * (0.6 + 1.2)\text{ m}/2 * (100 + 35)\text{ m} * 1\text{m} \doteq 12\text{ 萬元}$ 。

- (十二)集泥坑及泥水井：2,500 元/ m³*
(10m*1.5m +2m*2m)* 1m = 5 萬元。
- (十三)排泥管：600 元/m*120m≐8 萬元。
- (十四)沉水式泥水抽水泵：2 萬元/馬力*1.5
馬力/台*2 台(其中 1 台備用)=6 萬元。
- (十五)震動機(1KW)及電動閘閥：各一只，其
造價=50 萬元。
- (十六)儲卸槽：(PE 製*2m³，1 座) =5 萬元。
- (十七)機電及控制設備：3 萬元/ KW * 11KW
= 33 萬元。
- (十八)假設工程與其他未計及之雜費：50 萬
元。
- (十九)鑽探及工程設計費、管理費(10%)、雜
項(空污費等)、稅捐利潤(20%)、工物
價波動準備金費(5%)，即以上小計
=575 萬元之 35%≐ 201 萬元。
- (二十)合計：776 萬元。

八、年費分析

- (一)折舊費及維修費：(1)管線及土建構物 371
萬元*(4+1) %/年≐ 19 萬元/年。(2)機電工
程 89 萬元*(5+3)%/年≐ 7 萬元/年，小計
約 26 萬元/年。
- (二)利息：776 萬元*1.3%/年≐ 10 萬元/年。
- (三)人工費：可借由既有人力給水廠現有員
工兼顧之，故不計人工費。
- (四)動力費：每天抽集泥坑含污泥塘底盤高
只 EL =37.0m 處之泥水井中之泥水，送
至污泥堆置場。其年基本電費及流動電
費為(194.2 元/月/KW*12 月+2.38 元
/KW/ 時 24 時 / 天 * 365 天)
*11/KW/hr*70%/ (1+35%) ≐ 24 萬元。
- (五)土方運費：假設每年平時已抽掉一半進
行泥水分離，設污泥之含水率為 70%，

則其=240 元/m³ *28 T/D*365 D/Y*
(1/1.072T//m³)/2≐ 132 萬元。

- (六)土方清理費：每年另一半污泥量仍依照
方式處理，其費用=1,056 元/m³*5,478m³/
年≐ 580 萬元。
- (七)合計：772 萬元/年。

九、效益評估

- (一)現有氣曝塔加設氣曝盤架後，其有效氣
曝面積可達正常之需要值，因而每年可
節省加氯費達 1.2 萬元/T*2,321.4≐ 2,785
萬元。
- (二)若完全採用傳統方式去除污泥，則每年
需花費 1,056 元/m³*5,478 m³/年*2=1,157
萬元；若採用本方案雖需投資 776 萬元，
但每年只需年費 772 萬元，反而可節省
385 (1,157-772)萬元，且可阻止污泥流入
水庫。
- (三)每年所節省之氯氣費扣除年費後，其純
益達 2,013(2,785-772)萬元，而所投資之
776 萬元，可於 4.63 個內(776 萬元/年
/2,013 萬元/年*12 月)完全收回。

十、結論

影響氣曝效果的因素，除原水落下要有
2~4m 之高度，氣曝板之負荷率還須達 1~2
m²/1,000CMD。鳳山場現有氣曝塔落水高度
雖達 9.75m，但氣曝板之負荷率只達最低要
求之 11.6%，故其效果並不佳。本案若付諸
實施，不僅原水經氣曝後其溶氧量可達
100%，因而每年可節省氯氣之消耗費達
2,013 萬元之外，還可紓緩對環境之衝擊並
提高操作環境之安全性。另外原水經氣曝
後，再藉由其重力流入新圍成之污泥塘，滯

留時間達 3 小時，日後可大幅降低流入水庫之污泥量，因而減緩水庫底泥沉積之增加量，進而延長水庫之壽命。其所投資之 775 萬元，以所獲得之純益計算，約可於 4.63 個月內完全收回非常合算，故值得採行。

參考文獻

1. 台灣自來水公司第七區管理處化驗室。
2. 中華民國自來水協會，「自來水設施操作維護手冊」，第596及第599頁(民國84年)
3. 「給水工程學精要」，黃振賢，曉園出版社，第262頁(民國82年)。
4. 「水及廢水處理理論與實務」，Ronald L. Droste 著作，林正芳等譯，六合出版社，第281、第408及第344頁 (民國91年)。

5. 民國自來水協會「自來水設備工程設施標解說」，第356及351頁(民國85年)。
6. 「水及廢水處理化學」，楊萬發譯，茂昌圖書，第478、481~482頁(民國76年)。
7. 「淨水技術實務」，耿秋陽譯，復漢出版，第162頁(民國77年)。

作者簡介

曾浩雄先生

現職：尚潔環境工程公司技師

專長：自來水工程



本刊 101 年預定「每期專題」

31 卷第 3 期：自來水管理

(101 年 8 月出刊)

31 卷第 4 期：能源管理

(101 年 11 月出刊)

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

供水加壓系統節能之最佳化操作及管理

文/王銘博、李育樟

摘要

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)近年來在使用省能高效率設備及操作管理精進之作法,已有效建立供水加壓站節能之最佳運轉模式,除提升能源的有效利用率,降低 CO₂之排放量,並能減少管線漏水,節省水資源。希藉由北水處率先及持續推動節能減碳作為,以為業界之表率,同時善盡企業之環保社會責任。

北水處在供水加壓站節能之最佳化操作及管理作為已有相當之成效,經統計截至 100 年底,供水加壓電量已降低 19.17%,單位供水耗能(度/噸)亦已降低 11.21%。本文以探討並分享目前加壓站節能之具體措施及成效,含括創新變頻控制模式之應用、抽水機運轉效率之提升、電費結構之檢討、實施計畫性負載管理措施、主動參加優惠電價方案、電能管理監控、設備功率因數改善、操控模式標準化及提高設備妥善率等,其中不乏為創新精進之舉,對於節能省電費效益顯著。

一、前言

依 AWWA 最新研究報告指出^[1],自來水事業平均 80-90 %碳足跡歸因於電力使用,且將近 91-99%電力使用於加壓抽水機,又提到自來水事業通常從控制漏水的辦法中的水壓管理而降低了大部份的能源使用。確實,經統計供水加壓站之用電佔北水處總電量之 90%以上,抽水機為最大之耗能設備,

北水處近年來藉由使用省能高效率之設備及精進之操作管理,建立供水場站節能之最佳操作及管理模式,尤其加壓抽水機採用了創新變頻抽水機控制模式之後,除有效降低供水耗能外,又能健全水壓管理,減少管線漏水及提升供水品質,另亦全面建置加壓抽水機耗能監測程式,全程掌控設備之運轉效能狀況,建立了科學化之抽水機效率管理機制,對於降低運轉耗能及設備維護管理之精進,確有相當之成效。

二、節能之最操作及管理

(一)創新變頻控制模式之應用

供水系統使用變頻設備所能獲得的經濟效益,實際上與負載特性、抽水機馬力的大小、管網的特性、控制模式以及氣候季節等因素息息相關,雖然初次投資成本高昂,但以北水處的使用經驗來說,無論是低壓系統(600V 以下)的小型中繼加壓站,或是高壓系統(3.3kV)的大型供水加壓站,實施變頻操作後,對於減低能耗、穩定管網水壓、減少漏水量、提升運轉效能、降低抽水機啟動電流及延長使用壽命等,確實可以產生相當大之效益。

1.壓力回授控制

根據相似定律抽水機轉速的變化對於輸出流量、揚程及軸功率分別為線性、平方與立方的函數關係,因此,轉速的降低將可有效降低軸功率的需求。

如圖 1 所示為抽水機之運轉特性曲線,

依據供水系統之負載需求，使用變頻器改變抽水機之轉速時，以定壓力控制模式可維持固定之輸出壓力(為目前北水處採用之模式)，當抽水機運轉之操作點位於 A-C 線上移動且連續變化下，則軸功率將會在 K-M 曲線上作連續之對應變化。我們可以利用變頻器來控制抽水機進行無段變速運轉，隨著轉速減少而降低軸功率，即達到省能運轉之功能。變頻器為節能利器，亦為水壓管理利器，目前使用變頻器控制抽水機轉速來調節抽水機輸出流量及壓力已成為節能主流，有關使用變頻系統、多台抽水機並聯系統與利用出口閥門開度控制流量三種不同操作方式之比較，請見表 1。

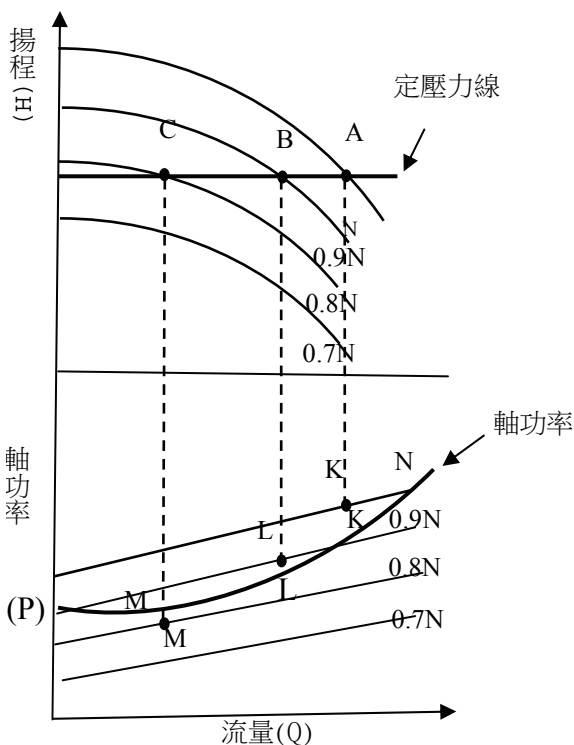


圖 1 抽水機定壓力運轉時轉速與軸功率之關係

2. 變頻創新壓力回授控制

若變頻器以加壓站出口端 A 點(傳統)為壓力回授點(如圖 2)，PID 控制器讀取靠近抽水機端之出口壓力 A 為回授值(PV)，與設定值(SV)比較後，即調整變頻器輸出能量以改變抽水機轉速。此模式為一般最簡便之設置方法，優點是僅須於加壓站出水口端獲取回授壓力值即可，無遠端通訊易發生斷訊之問題；其缺點為離峰比尖峰時管網壓力普遍偏高，無法完全滿足管末用水之實際需求，節能之效果有限，且管線漏水量將隨水壓之提高而增加。

若變頻器 PID 控制器讀取管網末端壓力點 B(創新)為回授值(PV)，與設定值(SV)比較後(如圖 2)，即調整變頻器輸出能量以改變抽水機轉速，故抽水機出口端之壓力為變動值而非固定，而管網末端壓力 B 則維持一定，可滿足所有用戶之需求。此模式之優點是管網壓力隨時處於滿足最低需求之穩定狀態，同時可規劃最適壓力參數之預設運轉曲線，以自動調配轄區供水系統之水壓水量，除可減少管線漏水外，節能之效果十分顯著。然其缺點為須設置遠端水壓監視點，且遠端監視點的選定，將影響供水系統之穩定與節能之成效。另為避免遠端監視點在通訊斷線時造成的供水異常風險，故本系統原則均採 2 處以上之遠端監視點及出口壓力點，以作為通訊斷線時之備援壓力回授點。

表 1 抽水機使用變頻、多台並聯與閥門開度控制比較表

控制方式	變頻控制(A)	多台抽水機操作(ON-OFF)(B)	閥門開度控制(C)
特性說明	可依據需求水壓或水量藉由變頻器增、減抽水機轉速，以調節抽水機性能及輸出能量，具低啟動電流及無段變速之特性，可維持管網最佳之水壓或水量，能精確的控制輸出量。	數台抽水機以並聯或大小配方式操作，依使用需求水壓或水量調節抽水機運轉台數，在加、減台時，易造成水壓或水量突升突降之情形。	藉由調整抽水機出水口閥開度，控制出水壓力及出水量。以往這種方法被視為最簡單的流量控制方法廣為運用，但會造成管路壓損提高，故電能損失會很大。
投資成本	低壓抽水機用變頻器技術已相當成熟，單價較低，中(高)壓抽水機用變頻器因技術層次較高，單價較高。	由於必須設置數台抽水機，因此在 3 個案例所需要的安裝空間最大，價格居中。	閥門開、啟頻繁、因此必須選用流量及壓力操作性能佳的閥門，其初期投資在 3 個案例中最少。
耗能成本	採變頻器以定壓力或定流量控制，抽水機軸功率與轉速 3 次方成正比，能精確的控制輸出量，因此節能之成效大。	多台抽水機並聯或大小配方式，啟動電流大，加減台時會有水錘現象產生，當運轉於臨界值時，會有加台時輸出量太高，減台時量又不夠的情形，無法精確控制輸出量，能源損耗在 3 個案居中。	當閥門開度減小時，僅造成壓力之改變，並使管線水頭損失提高，抽水機耗能成本高，在 3 個案例中表現最差。

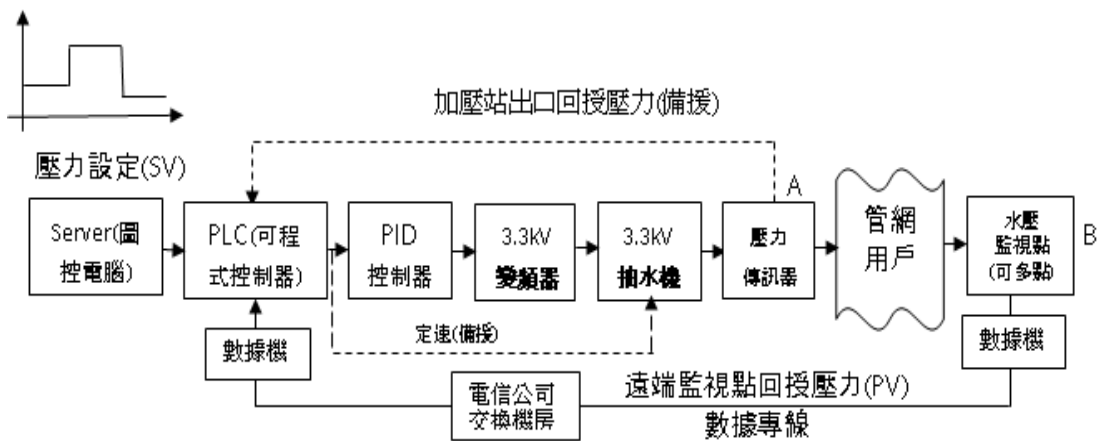


圖 2 創新變頻抽水機複壓力回授控制架構

3. 建立大型加壓站最佳控制架構

圖 2 為北水處創新變頻抽水機複壓力回授控制架構，本創新發明已於 98 年 11 月取得國家新型專利。北水處已建立大型加壓站變頻抽水機管網壓力控制架構，如圖 3。大

型加壓站變頻器採管網末端壓力回授控制抽水機之創新操作模式，可隨時依尖離峰時段及不同季節改變壓力設定值，以滿足管網最佳壓力需求，提供穩定之供水品質，並有效降低管線漏水。小型加壓站因供水區域穩

定且屬於較封閉性管網，多屬無人駐守之加壓站，故變頻器運轉控制皆採出口端定壓力且以 1 台抽水機控制 1 台變頻器的控制模式，力求控制簡單、穩定及標準化，藉以滿足尖離峰用戶用水需求，並調節抽水機之輸出能量達節能之目的。

4.使用變頻器之效益

整體而言，北水處加壓站抽水機使用變頻器之主要效益如下：

(1)降低供水耗能

依相似定律(Affinity Law)，抽水機輸出軸功率與轉速 3 次方成正比，採用本創新變頻器控制模式調整抽水機轉速以調節尖、離峰之供水，維持管網最適壓力需求，經統計北水處加壓站抽水機搭配變頻器運轉可節省 11.2~59.5%之電量，降低供水耗能成效顯著，以大同、中和及天母加壓站為例，如表 2 所示。

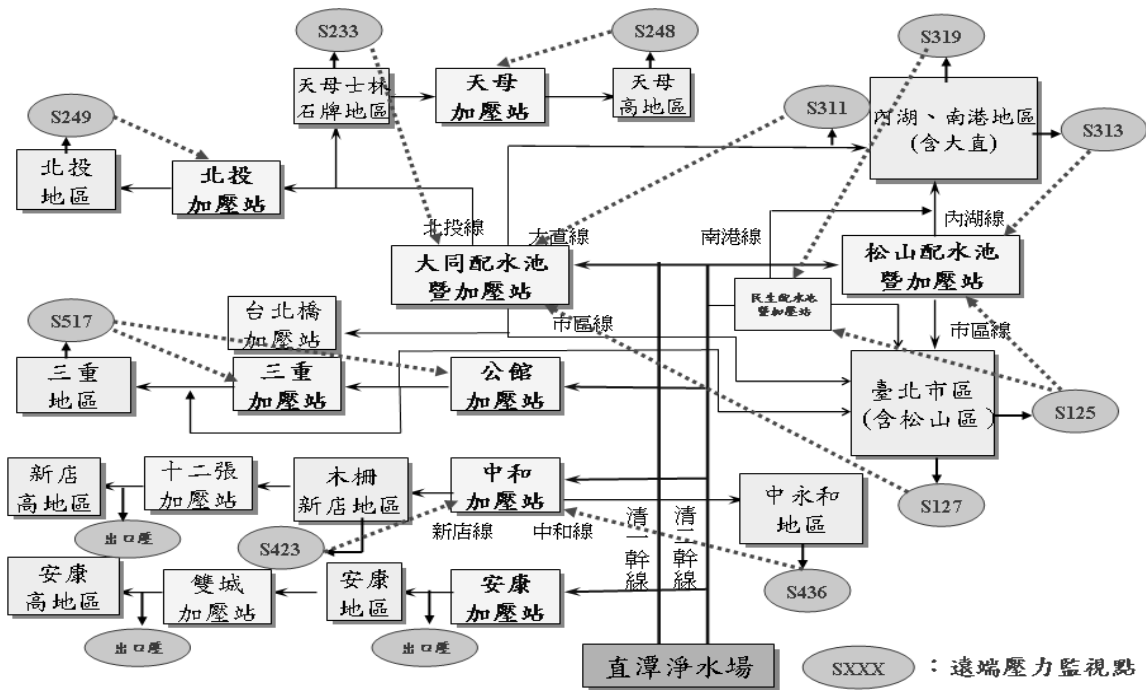


圖 3 大型加壓站變頻抽水機管網壓力控制架構圖

表 2 大型加壓站變頻抽水機節能成效

站別	遠端壓力回授點	回授壓力設定範圍(kg/cm ²)	設置前出水平均壓力H ₀ (kg/cm ²)	設置後出水平均壓力H ₁ (kg/cm ²)	耗電量	單位供水耗能(度/噸)	備註
大同站-北投線	S233	1.4-1.9	2.63	2.40	-14.39%	-16.56%	變頻器設置前後一年比較
大同站-大直線	S311	1.9-2.3	3.03	2.81	-25.37%	-15.46%	變頻器設置前後一年比較
中和站	S436(中和線) S425(新店線)	1.3-1.6 1.8-1.9	3.12	2.82	-11.22%	-7.45%	變頻器設置前後一年比較
天母站	S248	1.2	4.85	4.05	-28.63%	-41.94%	變頻器設置前後一年比較

(2) 減低管線漏水

圖 4 為北水處處近年管網平均水壓與漏水率之趨勢圖，從圖中發現，在 95 年以前漏水率與平均水壓趨勢相當接近，供水管網平均水壓高，則漏水率也高，但在 95 年起實施「供水管網改善及管理計畫－第一階段計畫」(95~101 年)，期間除進行管線汰換外，同時透過小區計量工法，及加壓站陸續設置變頻器有效管控水壓，以更積極主動強化漏水管理與控制之作為，水壓雖有提高，但漏水率呈現下降趨勢，近年來因全面採用變頻器來調控管網水壓，96~100 年管網平均水壓介於 1.53~1.58 kg/cm² 之間，故以變頻器維持管網均壓效果已有相當之成效。

依水壓及漏水流量方程式 FAVAD(Fixed And Variable Discharge)：

$$\frac{L_1}{L_0} = \left(\frac{H_1}{H_0} \right)^\eta$$

其中 L 為推估漏水量(KM³)，H 為管線水壓值(kg/cm²)，而 η 為指數。當 η 值越大則代表漏水量相對於水壓變化之敏感度越高，其中日本 η 值為 1.15，英國為 1.26，北水處之 η 值為 1.85。

以大同、中和及天母加壓站為例，若 η 值以 1.85，及合理漏水率 10%，代入 FAVAD 方程式計算，設置變頻器後管線相對漏水率降低 13.1~28.5% 之間，如表 3 所示。

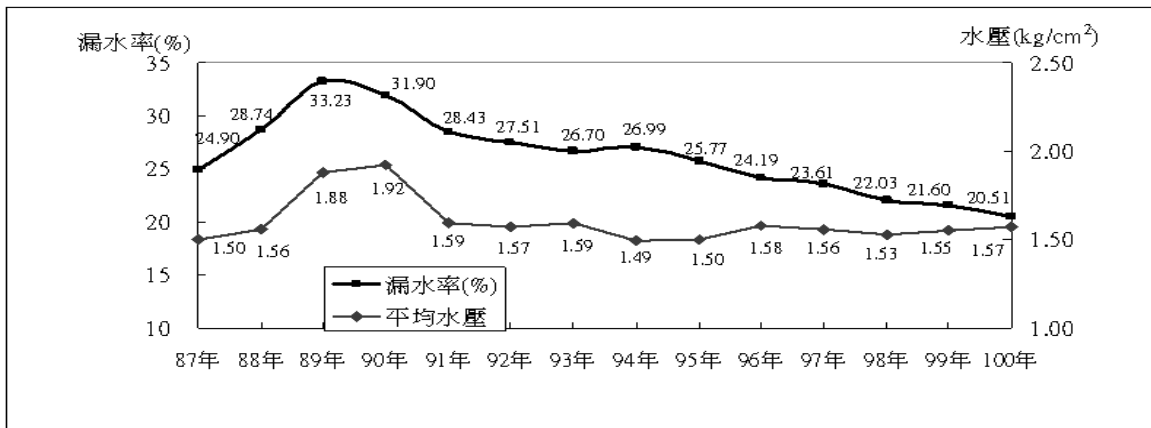


圖 4 北水處近年管網平均水壓與漏水率之趨勢圖

表 3 大型加壓站變頻抽水機減低管線相對漏水成效

系統別	設置前出水壓力 H ₀ (kg/cm ²)	設置後出水壓力 H ₁ (kg/cm ²)	推估漏水量 L ₀ (萬噸/月)	換算漏水量 L ₁ (萬噸/月)	相對 漏水率
大同站-北投線	2.63	2.40	80	67.5	-15.6%
大同站-大直線	3.03	2.81	26	22.6	-13.1%
中和站	3.12	2.82	120	99.5	-17.1%
天母站	4.85	4.05	7	5	-28.5%

(3)提升控制精確度及供水品質

以往加壓站或淨水場抽水機之控制方式，為滿足尖離峰用戶水量及水壓之需求，採定速 ON-OFF 控制或大小馬力配的方式，此操作方式水量及水壓變化很大，造成管網壓力突變且無法較精確掌握用戶之實際需求量；若採用變頻器無段變速之優點，依其負載量來調整抽水機之轉速，可以很精確依管網用戶需求控制出水壓及出水量，提升供水品質。另變頻器啟閉抽水機時可為遞增或遞減轉速控制，為較平順的起停特性，可防止水錘現象產生及降低運轉噪音，避免抽水機起、停次數頻繁，每日起、停次數可減少 2~4 次，相對穩定管網出水壓，降低因壓力突變造成對管網設備產生的破壞，可改善並提升供水品質及維持管網均壓之效果。

以大同加壓站為北投線例，如圖 5，北投線抽水機設置變頻器前，尖、離峰出水壓力介於 1.57~3.48 kg/cm² 之間變化，改採變頻器以 S233(臺北市忠誠路 1 段)遠端水壓監視點作為回授控制，並設定時段定壓力運轉後，尖、離峰加壓站之出水壓力落在 1.70~3.03 kg/cm² 之間，與設置前同時期比較，月平均壓力約降低 0.23 kg/cm²，每日起、停次數可減少 3 次以上，且能維持管末端用戶穩定之進水壓，如圖 6。

(4)改善抽水機起動特性

北水處高壓沉水式抽水機之起動轉矩採 NEMA 標準 B 類設計，若以市電定速直接起動高壓大馬力抽水機，則起動電流高達額定電流之 4~6 倍，此時必須增大電氣設備容量，而且起動電流易造成保護電驛之誤動作，造成管理上之困擾，若採 Y- Δ 或電抗器降壓起動，起動電流雖然可稍降低，採但

是起動時突波衝擊電流使電動機運轉壽命降低，及停止運轉時的水錘效應嚴重威脅逆止閥和抽水機軸承的安全。以變頻器起動抽水機，起動時電壓之頻率值是以低頻之數 Hz 作線性起動，緩慢增加頻率，能夠限制起動電流在 100~120%左右，因此在操作大馬力抽水機時比較容易，故變頻抽水機之緩啟動特性，相對減少抽水機啟動時重力軸承及軸封等機械組件之磨損，同時亦降低高電流對馬達繞組線圈之衝擊，有效延長抽水機組之使用壽命。

(5)提高抽水機運轉效率

當使用變頻抽水機以壓力回授控制調節供水需求時，其轉速在性能曲線之某區間變化時，其相對之效率將較定速運轉時提高。目前北水處設定變頻器之頻率範圍為 42~60Hz，以維持抽水機在較佳效率區間運轉，其頻率低限設為 42Hz，係考量幫浦控制閥為克服管線背壓所需之最低開啟動力要求。

(6)降低緊急電力設置容量

加壓站設置緊急電力之目的，係為因應市電計劃性或緊急停電時，仍可維持基本之民生及救災用水需求，以中和加壓為例，該站設有 3.3kV-2500kVA(2,000kW)緊急柴油發電機 1 台，若未設置變頻器，抽水機之起動方式為定速直接起動，為克服抽水機起動瞬間之容量，發電機容量最多僅能供應 3 台 500Hp 定速抽水機啟動，但在增設 2 台 500Hp 變頻器後，前 3 台 500Hp 抽水機以定速直接起動，第 4 及第 5 台 500Hp 抽水機以變頻起動，在第 5 台抽水機起動後，發電機容量仍有 430 kVA 之餘裕。因變頻器起動係數為定速直接起動之 20%，是一種非常有利之起動

控制方式，故變頻器除可改善抽水起動特性外，亦可有效降低緊急電力之設置容量及費用。

(二)抽水機效能之提升

1.抽水機汰換

電動抽水機係由泵浦及電動機所組成，抽水機為供水加壓系統的核心，大致可歸類陸上型及沉水式，而在衡量抽水機性能好壞的指標中，最重要的就是抽水機效率，抽水機總效率為泵浦效率(η_p)與電動機效率(η_m)之乘積，換言之，為抽水機輸出能與輸入能之比，其高低即表示抽水機的運轉效益，效率高代表能減少用電量及動力費用，降低運轉成本。

從節能角度而言，在規劃設計時，除期盼抽水機製造廠在效率的改進外，使用時亦應依使用條件選用較高效率抽水機。根據性能曲線，如圖 7 所示，一般抽水機額定點即是指效率最佳處，規劃設計時應使選用抽水機之額定點近於操作點，以使在高效率之範圍內運轉，較為省能。由許多實例知道在規劃時，因為過於保守而高估揚程需求，除需

加大抽水機馬力而浪費初設成本外，因運轉操作點偏離額定點致效率降低，造成動力浪費，也影響設備使用壽命。北水處大型場站早期設置之抽水機，僅有少數採用沉水型，大都為豎軸陸上型，因供水需求之改變，實際運轉揚程大都明顯低於原設計額定揚程，而與管網實際供水需求並不契合，不僅運轉效率較差而且較耗能，且豎軸陸上型抽水機並一直有噪音及散熱問題，為此，近年來已陸續進行汰換改善。換新之抽水機原則上均採沉水式清水型，採鼠籠式感應電動機，繞組線圈冷卻方式為線圈浸水之直接水冷卻，額定揚程係以契合現有管網實際供水需求訂定，除參考近年來管網之平均最大時揚程，並將未來可能之需求列入考量，以接近實際運轉揚程，如此，抽水機泵浦效率一般可提昇約 10~15%，惟因沉水式清水型電動機之效率平均比豎軸陸上型抽水機低約 5%，整體效率約可提昇 5~10%。沉水式清水型抽水機因係安裝於水池或管線內，因此並沒有機房散熱問題，故加壓站抽水機之噪音量亦明顯減低 10~15dB(A)左右。

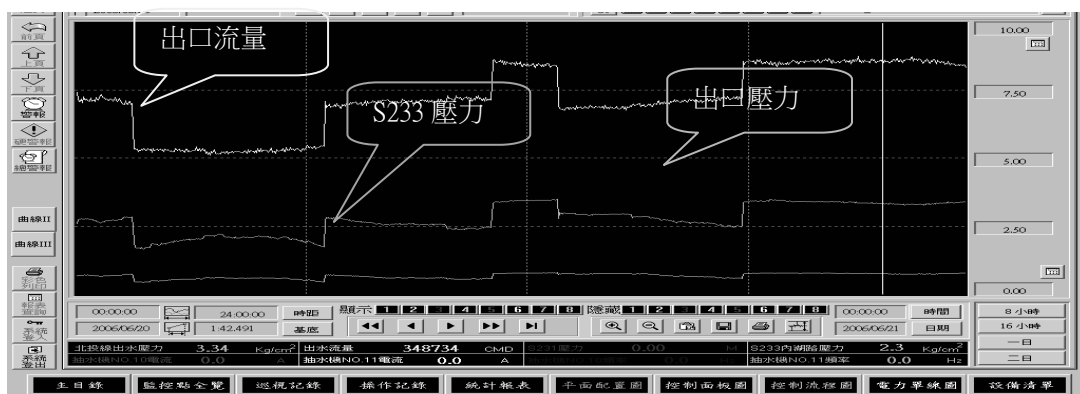


圖 5 設置變頻器前 S233 監視點及北投線出口壓力、流量趨勢圖



圖 6 設置變頻器後 S233 監視點及北投線出口壓力、流量趨勢圖

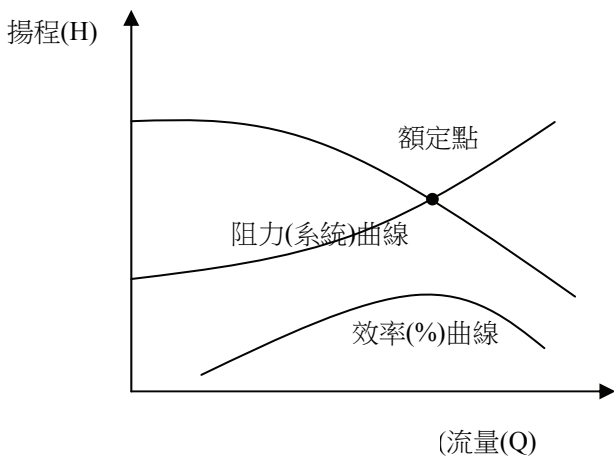


圖 7 抽水機性能曲線

2. 抽水機運轉效率管理

加壓抽水機之用電量佔北水處總用電之 90% 以上，為主要之耗能設備，藉由供水加壓抽水機耗能監測程式之建置，建立抽水機效率管理機制，以降低供水耗能及精進設備維護管理。又根據本文之分析發現，抽水機耗能增加之幅度，與其效率降低之幅度成指數關係，如圖 8 所示，以設計運轉效率為 50% 之抽水機為例，若其運轉效率降低 25%，則能耗相對將大幅增加 100%，尤其抽水機在故障前，因運轉效率將逐次降低，必然造成用電量大幅增加，由該圖中亦發現原本運轉效率較低者，如小馬力數或高揚程、低流量之機型，其運轉效率降低相對於耗能

增加之幅度愈明顯。

維持抽水機在較佳運轉效率之節省電量及節電效益公式如下：

節省電量

$$= HP \times 0.746 \times FL\% \times \left(\frac{1}{\eta_2} - \frac{1}{\eta_1} \right)$$

節電效益=

$$HP \times 0.746 \times FL\% \times \left(\frac{1}{\eta_2} - \frac{1}{\eta_1} \right) \times PE \times Hr$$

HP：抽水機額定輸出馬力數

FL%：抽水機之負載率

η_1 ：抽水機較佳之運轉效率點

η_2 ：抽水機較差之運轉效率點

PE：每度電之電價

Hr：抽水機之運轉時數

因此，北水處結合供水監控系統 (SCADA)，以不增加硬體設備及在既有系統架構平台之下，成功開發抽水機效率監測程式，本效率監測程式完全由 PLC 及監控電腦自動作資料處理計算，整合於既設之供水監控系統平台，兼具條件式篩選、效率高低排序、即時運轉資訊顯示、歷史趨勢圖及設定效率異常等功能，可同時精進設備之設計、維護及管理層面，整體而言，其效益如下：

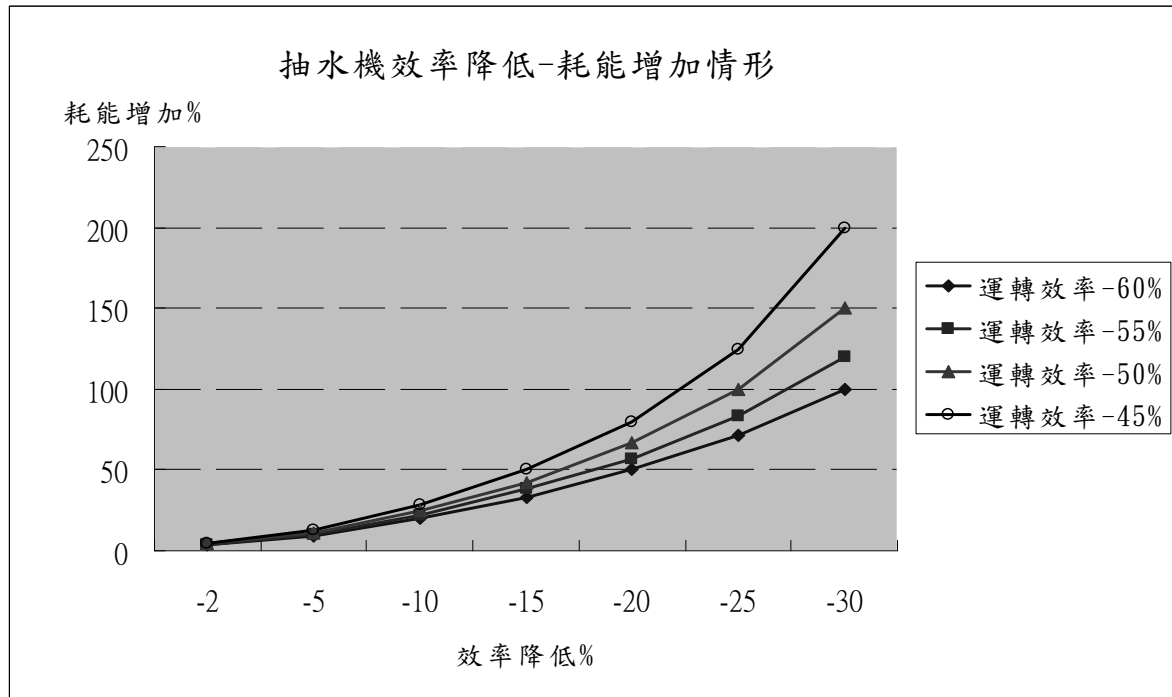


圖 8 抽水機效率降低相對耗能增加之關係圖

- (1)本系統程式具全程監控功能，當設備效率異常時可即時產生警報，以告知操作管理人員，俾利及時之處理及後續追蹤，以提高應變速度，並降低供水風險及降低耗能。
- (2)除長期掌控抽水機效率之變化，可化被動式維修為主動式之預防保養，更可藉由本系統比對承商對設備汰換或維修前、後性能改善之情形，作為履約管理之輔助工具。
- (3)本系統全程紀錄抽水機運轉效率相關資料，可作為後續抽水機汰換評估時，提供其規格選用之最佳參考資料庫，使設計額定點與實際供水需求契合，提高運轉效能。
- (4)依抽水機運轉效率優劣排序之結果，調配抽水機最佳運轉組合，以降低電量及節省電費。

(三)電費結構之檢討

加壓站每月應繳電費主要包括基本電費與流動電費，其計算式為：

基本電費（元/每瓦每月×契約容量）+ 流動電費（元/每度×用電度數）

1.訂定合理契約容量(基本電費部分)

加壓抽水機用電量隨著出水量與出水壓之高低呈現正相關，考量加壓站因供水區域改變或應緊急突發狀況場站間相互支援時，避免因契約容量訂得太高，實際用電並未達到該契約容量而付出較多的基本電費，或者契約容量訂得太低，導致經常發生超約用電，支付之電費可能大於實際用電之電費亦不經濟。故建議檢討契約容量之合理性時，應考量供水管網負載特性、用電量之未來變化及契約容量調整前後之電費比較等因素，另契約容量在 500kW 以上之場站，可評估參加台電公司之夏月尖峰時段優惠電價方案，以計劃性抑低尖峰時段需量，全年最高可減少所抑低契約容量 75%之基本電

費優惠，將可活化契約容量，使用電及供水調配更具彈性。

2.採用最有利之三段式時間電價(流動電費部分)

目前台灣電力公司訂定的時間電價分為二段及三段式，為反映尖峰、半尖峰、離峰時間不同之供電成本，分別就尖、半尖、離峰時間訂定不同費率；尖峰時間電價較高，離峰時間電價較低，以鼓勵用電戶調整作業時間或增設負載管理設備等，裨利移轉尖峰時間用電於離峰時間使用。

以北水處而言，供水抽水機用電量佔加壓站總電量之 98%以上，其餘為加壓站機房空調、照明及儀控設備等用電。依據台電公司最新公告之電價表，採用三段式電價費率只有全年用電時數之 1/17(夏月尖峰時間)較高，其餘之 16/17 均較二段式低，且以北水處供水負載特性分析，夏月供水尖峰時段約落在夜間 18~24 時，也是用電量最大之時段，而此時段並非台電公司之供電尖峰時間(10~12 及 13~17)之高電價計費時段，兩者負載之尖峰時段並不重疊，因此，對於每天需 24 小時持續供應民生用水之供水加壓站用電，採用三段式時間電價對水處確實較為有利。

自 96 年 2 月北水處將 19 處高壓以上供電之中大型加壓站，由原為二段式時間電價變更為三段式後，每年減少了 800 餘萬元之流動電費，約佔加壓站總動力費之 6.4%，故採用三段式時間電價節省電費之效益明顯。

(四)實施計畫性負載管理措施

加壓站採行負載管理措施主要為計劃性減少電量，並抑低尖峰用電量，而將其移轉至離峰時段使用，除可享用低廉之離峰電價外，另使電力公司之尖、離峰時段供應之

電力趨於平均，電力調度更為靈活，可避免發生限電危機，而影響民生及工業用電。負載管理之效益，可使加壓站與電力公司兩者均蒙其利。

基於北水處供水尖峰時段與台電供電尖峰時段並不重疊，因此，負載管理措施以抑低尖峰時間之抽水機用電為主要目標且效益較大，且又可使採用之三段式時間電價發揮加乘效益，實施後 100 年約節省 785 萬度電量，加壓站採行之負載管理措施如下(1)變頻器之水壓管理(2)幹管餘壓重力旁通供水(3)調整大型配水池進水時段(4)調配抽水機最佳運轉組合。

(五)主動參加優惠電價方案

為使加壓站負載管理措施之效益發揮到最大，除透過加壓設施與監控系統有效整合，利用配水池、變頻器及幹管餘壓供水外，同時主動參加台電公司「用戶計劃性減少用電措施(二)」優惠電價獎勵方案，其適用對象為契約容量在 500 瓩以上之高壓或特高壓之用戶，實施期間為每年 6 月中旬起至 10 月電費月份(實際用電為 5 月中旬起至 9 月)，星期一~星期六(例假日除外)每日上午 10~12 時，下午 13~17 時，每日 6 小時，抑低契約容量 25~40%，優惠電價以月為計價單位，若達到上述要求時，台灣電力公司除當月基本電費給予減免外，從當年 11 月至翌年 5 月電費月份均可享有扣減優惠，年最高優減金額為抑低契約容量 75%之基本電費。

基於維持轄區正常供水前提下，根據供水管網負載之特性及調閱分析相關時段歷史用電紀錄後，擇定大同、公館、民生、松山、三重、中和及安康等大型加壓站於用電尖峰時段內調整加壓站操作模式，進行具體

可行之抑低尖峰時段用電契約容量，以符合台灣電力公司優惠電價方案，本方案屬用電戶自願配合性質，即使當月未達到抑低契約容量標準，僅當月不享有優惠電價(基本電費)獎勵，電力公司對用電戶並無罰則，使加壓站供水調配更具彈性及機動性，經統計 100 年共抑低契約容量 9,000kW，獲台電優減基本電費 830 萬元。

(六)電能管理監控

加壓站為能降低基本電費支出，除了訂定適當之契約容量外，同時為提昇及強化監控系統之功能，於既設監控系統圖控(Citect)撰寫用電需量監測程式替代電力需量監測設備，節省了裝設相關硬體設備之費用，除中大型加壓站用電應予以監控外，近期亦將小型加壓站納入監控系統管控，加壓站電能管理監測程式功能如下：

- 1.即時(Real Time)監視加壓站用電情形，具智慧電表概念。
- 2.設定 2 段式警報，當用電瞬間值達到設定值時，發出警報以告知值班人員，及時切除可停、次要負載，避免超約用電罰款。
- 3.配合計劃性負載管理，與台電公司優惠電價之抑低契約容量整合，使達成優惠電費成效提高。
- 4.紀錄歷史用電趨勢，作為契約容量調整之依據及供水調配之參考，並作為設備負載分析之用，以避免發生用電超約之情形，合理訂定契約容量，減少電費支出。
- 5.與供水監控系統整合，依管網遠端監視點之壓力需求可由監控電腦設定 24 時段壓力值驅動變頻器運轉，並可機動依尖、離峰時段及不同季節改變壓力設定，以滿足管網最佳壓力需求，減少能源浪費。

(七)設備功率因數改善

改善功率因數亦是節省用電項目之一。功率因數低，表示無效電力偏大，也就會使線路電流增大，而增加線路及用電設備的電力損失。一般改善方法，除用電設備選用高功率設備外，在靠近負載端的地方，加裝電容器，以提高功率因數。

台電公司為鼓勵用戶提高用電設備功率因數，在電價表中訂定用戶用電的功率因數如超過 80%時，每超過 1%當月電費減收千分之一點五，如低於 80%時，每低於 1%當月電費加收千分之三。改善功率因數，除了可以減輕電費並減少電力損失外，還可穩定電壓提高用電品質，供水加壓站維持用電設備功率因數在 95%以上，每年約可節省 350 萬元電費。

(八)操控模式標準化

因應現代化企業管理之潮流，自來水事業供水設施正積極邁向自動化之目標，除可提升供水品質並提高危機應變處理能力，更可藉由電腦化監控功能來增進設備之有效管理。

加壓站抽水機、閘類、電氣及儀控設備控制異常或故障，造成抽水機不正常運轉，幫浦控制閘、洩壓閘的不正常動作，水池溢流，或抽水機運轉效率降低等，均會導致加壓站電量增加，惟近年來北水處之中小型加壓站設備之操控業已朝監控自動化發展，包含管中加壓、水池加壓、間接供水、直接供水、混合供水(直接+間接)、定速或變頻操作等不同類別加壓站，其中相同類型的加壓站之 PLC 程式、控制線路、圖控畫面、參數及警報設定等功能，亦已建立操控模式標準化，未來對於新設或接管之加壓站，亦將循此模式辦理，如此，將可降低設備異常機

率、及節省能源之浪費及縮短維護查修時間，並使操作管理作業朝效率化及省力化精進。

(九)提高設備妥善率

加壓站的機電設備，遇事故的損害，不僅需負擔設備修護費用，尚有供水中斷，供水品質降低，北水處形象受損等損失，若需要其他場站支援供水，將額外增加耗能及電費。加壓機電設備為供水系統之神經中樞，所以平常應經常保養點檢維修，以降低突發事故所帶來的損失。

加壓站機電設備包含抽水機、閘類、發電機、變頻器、電氣及儀控設備等，於平時即應落實定期及不定期之檢驗、校正及維護等工作，俾使設備維持在最佳運轉效能，以維持供水穩定。其中屬於年度維護工作之預防性檢測項目有電氣設備之紅外線熱影像檢測、抽水機振動檢測及變壓器絕緣油檢測等，以利早期正確診斷出設備在發生異常前兆，倘發現有異狀可及早安排維修或汰換，避免因設備突發故障而影響正常供水及增加耗能。預防性檢測已是未來保養的必然趨勢，其目的為在不降低維修品質之條件下，做到更嚴謹、精確及最有效率的維修，以節省維修費用、降低耗能並達到幾乎不發生任何意料之外的當機事件，北水處近期開發之抽水機耗能監測程式，可全程掌控及紀錄設備之效能狀況，建立即時預警機制，此亦為預防性檢測之精進作法。

三、結語

從宏觀的環境保護與節省能源的角度來看，各國政府應積極制訂各項節能創源政策，以減少能源的消耗，降低對環境的污染，開創更有效率的能源使用規劃。北水處

為保護環境與節約能源，積極落實政府之節能減碳政策，96 年已完成建構環境管理系統 (Environmental Management System,EMS)，以落實防污節能的生態理念，並透過環境管理系統推行，制訂環境政策與環境目標，據以規劃環境管理方案，進行環保績效評量，降低事業活動對環境的衝擊。

供水加壓站為 EMS 之重要環節，在節能減碳的努力已獲得相當之成效，96 年度榮獲臺北市政府「我愛 Cool 地球省電大作戰」減碳節能績優單位，並在 EMS 小組努力下，獲經濟部 98 年節約能源績優表揚活動選拔入優等獎肯定。若以 95 年為基期，截至 100 年底之統計數據，北水處之供水加壓電量已降低 19.17%(2,760 餘萬度)，單位供水耗能(度/噸)降低 11.21%，我們將持續擴大高效率省能設備之應用及操作管理之精進，全面建立供水場加壓站節能之最佳化運轉模式，俾藉由北水處率先及持續推動節能減碳作為，以為業界之表率，為保護地球盡一份心力，同時善盡企業之環保社會責任。

參考文獻

1. Boulos, P.F., 2010. Assessing the carbon footprint of water supply and distribution systems. American Water Works Association.

作者簡介

王銘博先生

現職：臺北自來水事業處供水科科长

專長：管線工程、設計、施工、管理

李育樟先生

現職：臺北自來水事業處供水科副工程司

專長：機電及控制、節能技術及應用

供水漏損與水價關係之探討

文/張敬悅、李丁來、籃炳樟

摘要

供水漏損是各國自來水事業最重視的問題之一，目前世界各國平均供水漏損率達 30%，由於水資源短缺的問題逐漸受重視，亟需採取各種措施來解決供水漏損問題。本研究係比較各國 41 個都市供水管網漏損指標之無收益水率(Non-Revenue Water rates)與水價關係，發現在不同的國家和地區，水價和無收益水率之間的關係有其一致性，即較低的無收益水率與相對較高的水價有高度關聯，反之，較高的無收益水率與相對較低的水價有關聯，其原因是高水價，可使自來水事業有較高的財務自償能力，進行周全管線設備資產維護及採取各項主動措施進行供水漏損之防治，提升管網效率。決策者在制定水價政策時，應考慮低水價對供水設備資產健全性，可能產生深遠的惡性循環影響，錯誤的水價隱藏龐大的“冰山成本”，缺乏節水動機及對管網進行完善的維護，欲達到減少供水漏損之目的，應藉由調整水價到合理程度，以提高管線設備資產維護預算，並配合強化自來水事業監管，將可達到減少漏損和提升管網效率之目的。

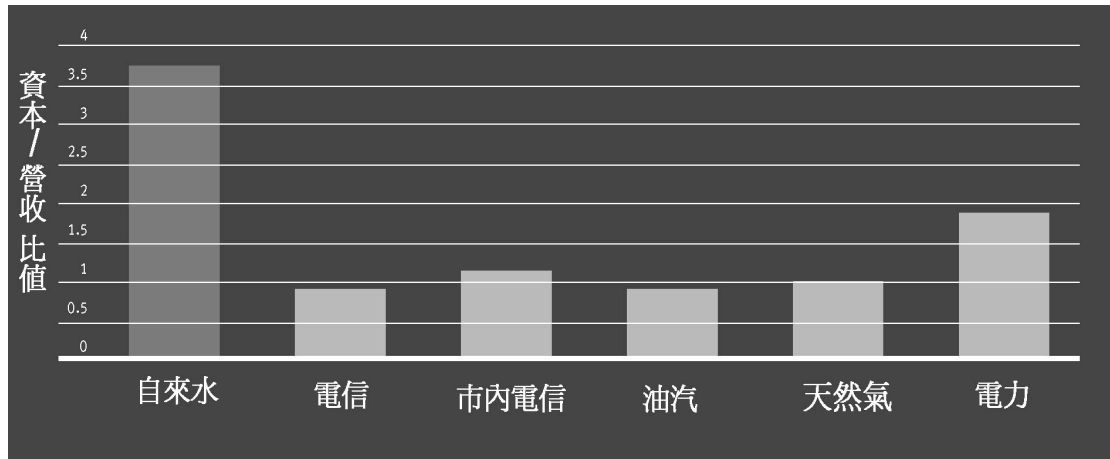
一、被低估的自來水水價

國際知名的市調公司 Frost & Sullivan 於 2009 年調查各國水價顯示，國際意見領袖均同意各國水價被低估，非但不能反映水應具有的經濟價值，亦未合理反映影響水的生產成本之各項因素：例如能源、管網維護以及水的消耗對環境所造成的衝擊（Frost &

Sullivan, 2009)。由於水是重要的天然資源，各國均將水資源視為“公共財”(public good)，並企圖確保每個國民都有機會使用它，而不被私人所壟斷。但低水價政策不僅使用水形成變相補貼，也使低水價最大受益者-高耗水工業及用水大戶，持續運用政治壓力以阻擋水價之合理調整。事實上，全世界約 90%的水是使用在工業和農業，這個不公平的分配現象導致水價長期因政治壓力及社會目的而維持固定，致形成不經濟的低水價現象，戕害了自來水事業永續供水的能力。

人為的將水低於合理價格出售，造成水應有之價值被低估，導致自來水事業對供水管網維護應有之投資不足，誤導消費者對水的經濟價值缺乏正確認知，視水為廉價的資源，貶低了水的重要性，也讓自來水用戶缺乏節水的觀念。

自來水被刻意低於合理價格出售之現象，反映在自來水設備之投資收益相較於其他公用事業(例如電信、市內電信交換、油氣管道、油氣配送、電力)，具有相對較高之「資本/營收(capital to revenue ratio)」比值，如圖 1 所示，這代表自來水設備單位資本(即供水管網成本)投入所能產生之單位營收(水價)相較於其他公用事業明顯偏低。因此，自來水事業或政府監管部門為追求短期之財務效益，僅能投資少數的預算於供水管網設備資產之維護，導致供水管網故障率偏高及增加供水漏損，也引發政府、民意機關及用戶對自來水事業經營效率偏低之批評。



資料來源：TaKaDu 取自 Global Water Intelligence，Global Water Market 2008；經本研究整理

圖 1 各類公用事業資本/營收比值

二、各國水務設施普遍面臨投資短絀問題

根據世界銀行 2006 年的一份研究，都市供水管網在將水送達用戶之前大約損失 25%-30%(Bill Kingdom 等人，2006)。這些供水漏損之代表指標即無收益水量率(Non-Revenue Water，簡稱 NRW)，包含：(一)有效無計費水量(例如消防用水)；(二)假損失水量(例如竊水和用戶表計量不準)；(三)真損失水量(例如管線破裂及爆管，此為一般所認知之自來水漏水量)。「無收益水量」也可被定義為進入供水系統內之水量與收費水量之差值，無收益水量種類及原因如表 1 所示。

理論上，水價應該會影響構成無收益水量的每一個成份之數量。高水價將會引導更多措施努力進行節水，故自來水事業將會投資更多經費於提升用戶計量表之準確度、防止竊水以及降低管線破裂發生頻率。

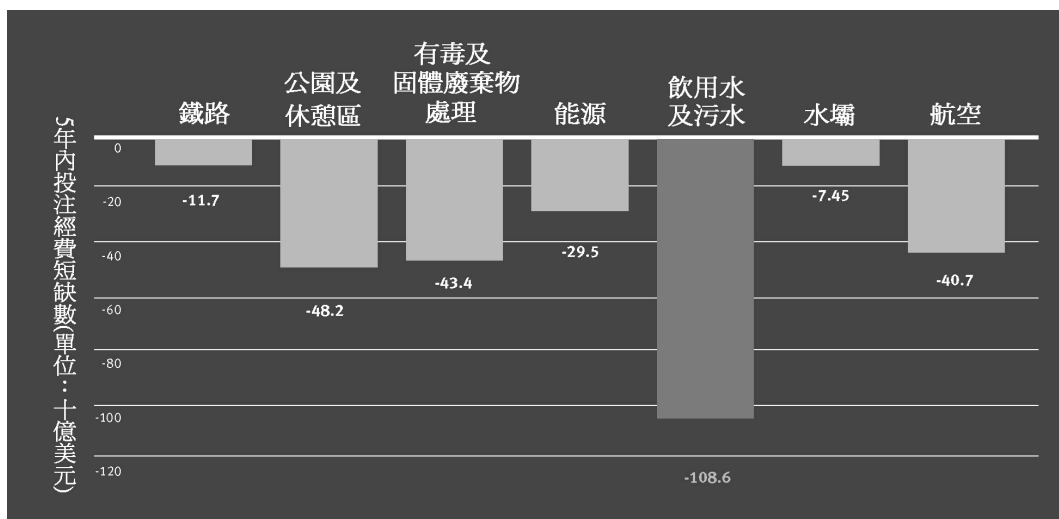
自來水管線之真漏水量主要歸因於管線埋設處之內外環境因素改變、管線維護不

足及管材老化，許多西方國家的自來水管線係埋設於 20 世紀，例如美國有些管線使用時間已超過百年(USEPA，2007)，需要增加維護或進行汰換，許多研究已發現各國水務設施目前面臨預算不足，無力進行更新汰換之困境(Booz Allen Hamilton，2007；Saeed Mirza 等人，2009；Samuel Sherraden，2011)。Booz Allen Hamilton 公司 2007 年研究指出，全球飲用水及污水設施投資金額需求在 2030 年前將達到 22.6 兆美元，約係其他公共基礎設施(包括電力、海/空港口、道路及鐵路等)所需總投資經費的 55%；但預期實際投資金額將較低，例如世界經濟論壇 2010 年估計飲用水及污水方面投資金額約每年約 2 兆美元，這將造成全球公共基礎設施投資不足。以美國為例，美國土木工程師學會引用美國環保署 2002 年的研究指出，未來五年用於飲用水及污水設施將需要投資 2,550 億美元，但約只有 1,400 億元美元預算可被納編，故資金短絀將達 1,086 億美元(ASCE，2009)，如圖 2 所示。

表 1 無收益水量之組成種類及原因

供水漏損類別	組成	可能原因
有效 無收益水量	可計量的用水	<ul style="list-style-type: none"> ● 特殊用戶雖有水表計量但無收費(例如自來水事業本身用水) ● 有計量的操作用水(例如洗管及消毒用水)
	未經計量的用水	<ul style="list-style-type: none"> ● 特殊用戶無水表計量且亦無收費 ● 推估與真實損失差異(真實損失不可得) ● 未計量的操作用水(如未計量的洗管及消毒用水) ● 消防用水
假損失水量 (或營業損失水量)	非法用水	<ul style="list-style-type: none"> ● 違法私接管路竊水 ● 於合法用水戶上私接管路竊水 ● 私接管路竊水謀利
	水表計量不準	<ul style="list-style-type: none"> ● 用戶水表計量低於應有數值 ● 使用計量品質較差等級之用戶水表 ● 用戶水表缺乏維護或汰換 ● 水表停止計量 ● 用戶表計量數據處理誤差
真損失水量 (或供水設施損失水量)	送配水管線破漏	<ul style="list-style-type: none"> ● 管路突然爆裂或是接頭漏水
	配水池溢流	<ul style="list-style-type: none"> ● 蓄水池池牆裂縫導致滲流或浮球閥失效導致溢流
	用戶外線至用戶表間漏損	<ul style="list-style-type: none"> ● 無預期的管路爆裂或接頭漏水 ● 管線接頭或管件漏水

資料來源：取自 Leakage Management and Control: A Best Practice Training Manual. WHO, (2001) 及 IWA's best practice standard water balance. 經本研究整理。



資料來源：TaKaDu 取自 American Society of Civil Engineers, 2009；經本研究整理

圖 2 美國 2010-2014 年內於各類公共基礎建設之投資短缺數

雖然公共設施管網逐漸老化，但政府部門實際投資於公共基礎建設之預算卻不斷下降(Samuel Sherraden,2011)。由於自來水管線的汰換實是重要的資本支出，而管線汰換的優先順序需經複雜的評估過程。因此供水管線在未被汰換或充分進行更新前，應進行適當之監測及維護，以減少供水管線破裂、漏水和爆管的影響。

高無收益水率實在不利於自來水事業之永續發展，潔淨的水源也無法於短期內被迅速補充。那麼，自來水事業應當充分發揮現有供水資產設備之投資效益，思考如何提高供水管網設備維護經費投資，主動進行供水管網設備維護，俾延長管線資產使用年限及防止供水漏損。然因水價太低，致使自來水事業所編供水管網設備維護預算，不足以供妥善進行供水管路的合理維護。

三、自來水水價與無收益水量之關係

當探討自來水水價和都市供水管網漏損程度的關係時，可以清楚發現兩者具有相關性。本研究係以各國計 41 個都市水價做為樣本，根據各國家庭用戶用水水價分成 5 組，再依據無收益水量率進行次分組。

表 2 是各國都市供水管網無收益水率與水價分類，A 組包括水價最低的都市群(低於 1 美元/m³)，具有顯著較高的無收益水率(平均 36.8%)。反之，E 組包括水價最高的都市群(高於 4 美元/m³)，具有顯著較低的無收益水率(平均 6.2%)。其中，B 組、C 和 D 組的無收益水率平均分別為 26.6%、16.2% 和 14.8%。值得注意的是，具較高水價的都市群，顯示有較低的無收益水率，僅 D2 組中之倫敦市例外，其原因根據泰晤士水務公司的報告(Thames Water, 2011)，其在倫敦轄管約

30,000 公里管線，雖然水價高達 3.46 美元/m³，但 1989-2009 年已投資 100 億英鎊於各項供水設施之改善，然仍有 44% 的供水管線超過 100 年歷史，其中 1/3 超過 150 年(維多利亞女王時代鑄鐵管)，管網明顯老化，導致其無收益水率相對較高，2004-2009 年將部份 2,048 公里(近 7%)鑄鐵管更換為堅硬塑膠管，已減少漏水 27%，將接續於 2010-2015，投資 50 億英鎊繼續更新換新 1000 公里管線。

圖 3 顯示各都市水價和無收益水率的分佈情形。可以明確的觀察到有兩個主要都市群組，粉紅色圈代表低水價和高無收益水率，綠色倒三角表示高水價與低無收益水率。這些樣本都市的地理位置並非導致此種關係之主因，雖然亞太地區城市(綠色倒三角)佔據了紅色群集大部份，但也有美洲城市(紅色正三角)和歐洲城市(粉紅點)，落在此區，顯示地理因素非為主要影響因子。

於圖 3 繪一條白色虛線，來模擬水價和無收益水率間的相關性。根據這條虛線，可發現低水價但高無收益水率的都市群(表 2 A 組都市和部分 B 組都市)，對於水價有較高的靈敏度，當水價增加至約 1.5 美元/m³ 時，其對於無收益水率之降低將會有相對低之影響。除了水價之外，無收益水率會受多種因素的影響，而且此種關聯性可能是複雜的，本文不擬探討。

圖 4 是世界各國都市水價和無收益水率的關係，可以觀察到無收益水率和水價之間存在相反關係，水價較高的都市，顯示較低的無收益水率。反之，水價較低的都市，顯示較高的無收益水率。

若將圖 4 之無收益水率由低至高排名，



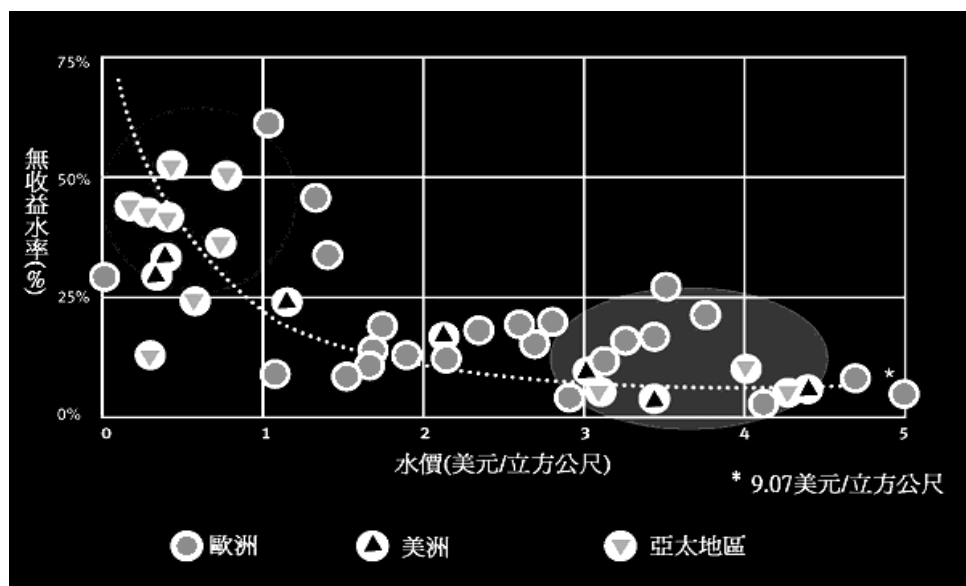
前 8 名的城市(荷蘭 Utrecht 市、澳洲 Adelaide 市、美國 San Jose 市、法國 Paris 市、澳洲 Sydney 市、奧地利 Vienna 市、美國 San Diego

市及丹麥 Copenhagen 市)，顯示其無收益水率<10%，但水價明顯高於 41 個都市水價之中位數值 (2.12 美元/m³)。前 8 個城市中，

表 2 各國都市供水管網無收益水率與水價分類

水價 (美元/m ³)	無收益水率(%)		
	<25%	25%-50%	>50%
<1 美元 A 組	A1：東馬尼拉(Manila East)	A2：蒙特瑞(Monterrey)、河內(Hanoi)、都柏林(Dublin)、吉隆坡(Kuala Lumpur)、胡志明市(Ho Chi Minh City)、瓜達拉哈拉(Guadalajara)、香港(Hong Kong)、加德滿都(Katmandu)	A3：西馬尼拉(Manila West)、雅加達(Jakarta)
1-2 美元 B 組	B1：耶路撒冷(Jerusalem)、馬德里(Madrid)、斯德哥爾摩(Stockholm)、雅典(Athens)、羅茲(Lodz)	B2：智利聖地牙哥(Santiago de Chile)、布加勒斯特(Bucharest)、那不勒斯(Naples)	B3：索菲亞(Sofia)
2-3 美元 C 組	C1：克拉科夫(Krakow)、休斯頓(Houston)、巴塞隆納(Barcelona)、華沙(Warsaw)、布達佩斯(Budapest)、烏特勒支(Utrecht)	C2：無	C3：無
3-4 美元 D 組	D1：阿德雷得(Adelaide)、波士頓(Boston)、厄斯特拉發(Ostrava)、赫爾辛基(Helsinki)、聖荷西(San Jose)、布魯諾(Brno)、奧斯陸(Oslo)、布里斯班(Brisbane)	D2：倫敦(London)	D3：無
>4 美元 E 組	E1：巴黎(Paris)、雪梨(Sydney)、維也納(Vienna)、聖地牙哥(San Diego)、哥本哈根(Copenhagen)	E2：無	E3：無

資料來源：TaKaDu,2011；經本研究整理



資料來源：TaKaDu 取自 GWI's 2009 Water Tariff Survey；經本研究整理

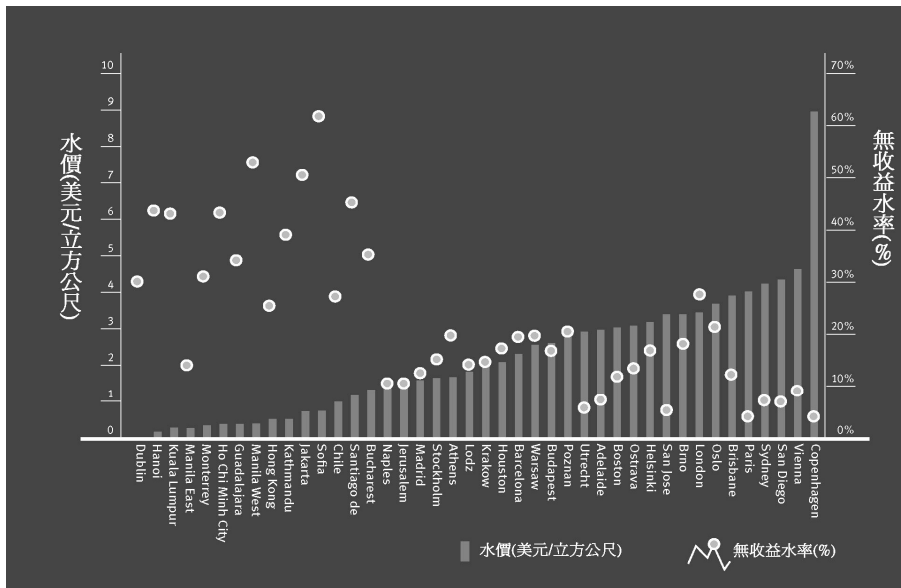
圖 3 各國都市(按地區)水價及無收益水率關係

有 5 個是表 1 的 E 組城市(全組都是), 2 個為 D 組城市, 僅有 1 個城市屬於 C 組。

圖 5 為歐洲地區的都市水價與無收益水率的關係, 顯示就算樣本的地理位置相同, 水價與無收益水率間的反比關係還是存在的。例如歐洲較低水價的城市(愛爾蘭共和國首都 Dublin 市、保加利亞首都 Sofia 市、羅馬尼亞首都 Bucharest 市和意大利 Naples 市)

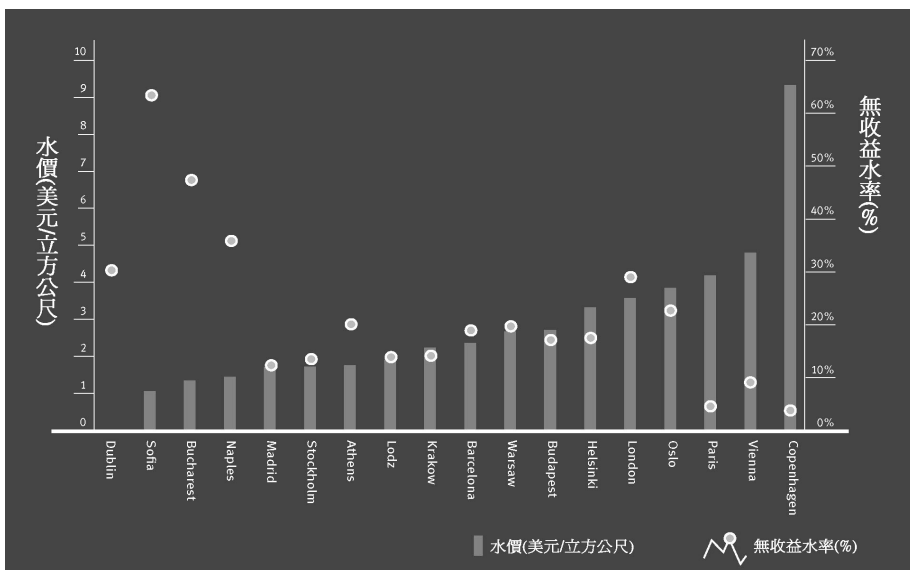
), 就有較高的無收益水率。反觀, 法國 Paris 市、奧地利 Vienna 市和丹麥 Copenhagen 市則訂定高水價政策, 而造就低無收益水率之結果。

由於自來水之漏損乃源自管線, 因此可能會影響無收益水率的高低, 但經探討管線長度對於無收益水率之影響, 如圖 6 所示, 結果發現管線長度與無收益水率間, 顯然沒



資料來源：TaKaDu 取自 GWI's 2009 Water Tariff Survey；經本研究整理

圖 4 各國都市水價與無收益水率關係



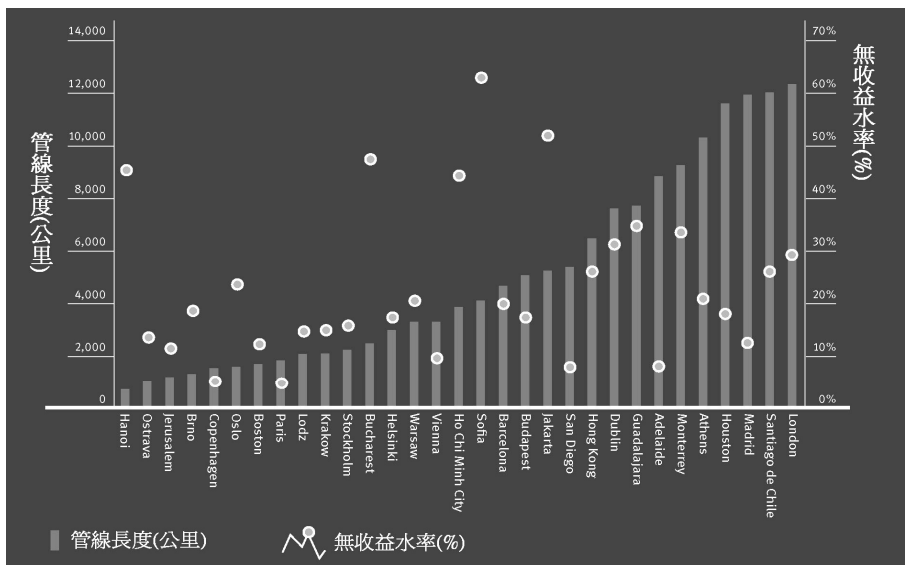
資料來源：TaKaDu 取自 GWI's 2009 Water Tariff Survey；經本研究整理

圖 5 歐洲都市水價與無收益水率關係

有明確相關性。

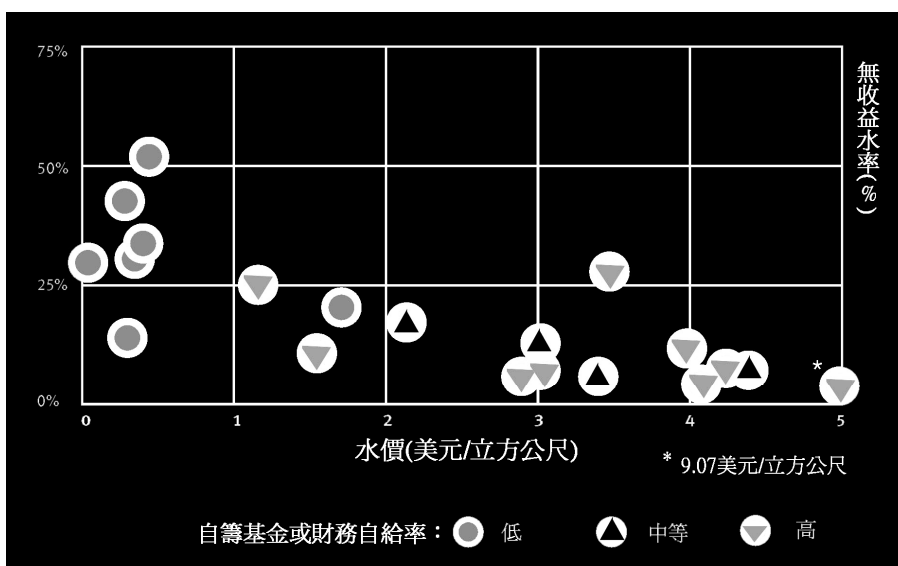
由於有些國家(例如英國、法國和丹麥)係以特許經營方式由民營企業提供自來水服務，故其財務自償率是 100% 或接近 100%，但其他國家之自來水管網設備投資預算則可能是來自於稅收或是自來水事業以外之政府資金補貼，故也探討都市供水管網財務自償性與無收益水率之關係，如圖 7 所

示。可發現高財務自償率（綠色倒三角）的自來水事業，其水價較高而無收益水率較低，另一方面，主要透過稅收或外部資金補貼（粉紅點）的自來水事業，通常是收取較低的水價並伴隨著較高的無收益水率。此意味自負財務盈虧的自來水事業，由於可從自來水服務中收取較高水費，因此在自來水漏損管控方面有較好的績效。



資料來源：TaKaDu,2011；經本研究整理

圖 6 全球都市管網供水管線長度與無收益水率關係



資料來源：TaKaDu 取自 GWI's 2009 Water Tariff Survey；經本研究整理

圖 7 全球都市水價(按財務自償程度分類)與無收益水率關係

四、水價對供水管網漏損的影響

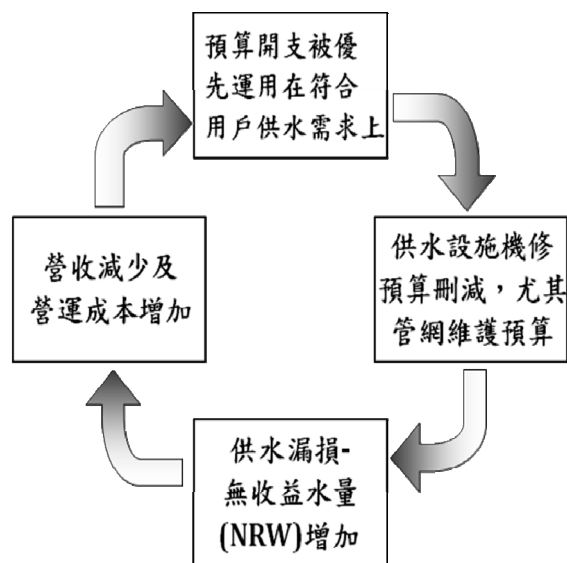
為了讓都市供水設施維持良好的運作，自來水事業在管網維護預算上必須適當地提高，其中包括早期漏水檢測和部署先進監測及控制技術。然而不可避免的是，這些預算之多寡往往取決於水價。由於水價受政治因素影響而被抑制，未能反映其實際價值，致使自來水事業之利益率偏低，許多自來水事業不具備足夠的資金以供投資於管網資產設施的維護，導致發生大量的供水漏損問題。

再者，如果水價與自來水的成本是相關的，則低水價可能使自來水事業及相關政府監管部門，為了追求短期好看的財務效益數字，而刻意刪減開支，減少許多在自來水設施維護和漏水防治所需之合理投資。然而隨著供水成本日益增加，如果水價遲遲未能調整到合理程度，自來水事業無足夠財務來進行各項降漏投資，將形成圖 8 所示之降低供水漏損惡性循環。反之，如果水價能調整到合理程度，讓自來水事業有足夠財務，來進行各項降漏投資，將形成如圖 9 所示之降低供水漏損良性循環。

五、管線汰換率對供水管網漏損的影響

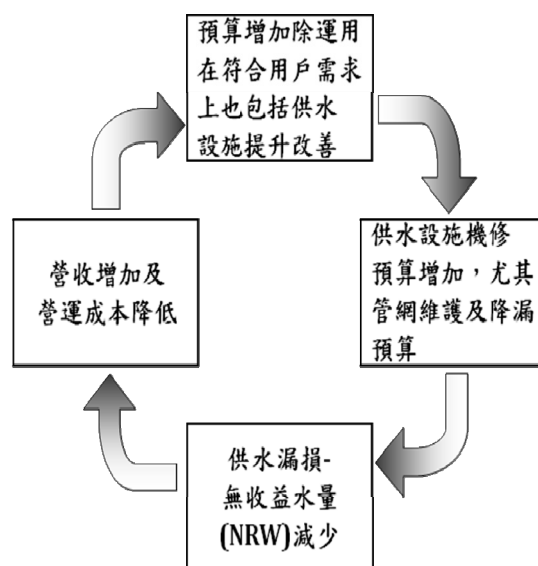
由於國內水價已長期未獲得政府及民意代表支持進行合理調整，只要自來水事業提到希望調整水價，民意代表、自來水用戶及媒體輿論均提出自來水事業應先提高經營效率，將漏水率降低後，才能提出調整水價方案，因此有部份政府人士演譯出如希望

儘速調整水價，則應儘快降低漏水率，而如欲儘快降低漏水率，就須加速提升管線汰換率(例如至少 1.5%以上)，以利儘快降低漏水率爭取調整水價，因此乃就管線汰換率與供水管網漏損的影響進行探討。



資料來源：Malcolm Farley 等人,2008；經本研究整理

圖 8 降低供水漏損惡性循環



資料來源：Malcolm Farley 等人,2008；經本研究整理

圖 9 降低供水漏損良性循環

依據日本水道研究中心(Japan Water

Research Center) 2005-2008 就全日本服務人口超過 5001 人之自來水事業約 1800 家所彙整之 2009 年自來水服務管理及評估指南績效指標分析報告(JWRC, 2009)中之管線汰換率、漏水率(非本文所指 NRW 率)、水價關係如表 3 所示, 結果如下:

- (一)管線汰換率: 累計 75%之自來水事業平均管線汰換率是 1.28%, 累計 50%之自來水事業平均管線汰換率是 0.628%。
- (二)漏水率: 累計 75%之自來水事業平均漏水率是 7.36%, 累計 50%之自來水事業平均漏水率約 1.6%。
- (三)水價: 累計 75%之自來水事業平均水價是 220 元日幣/m³, 累計 50%之自來水事

業平均水價是 172 元日幣/m³。

以上資料初步顯示, 降低管線漏水率與提升管線汰換率較無相關, 但與水價較相關, 目前許多研究(Malcolm Farley 等人, 2008; USEPA,2010)顯示, 降低供水漏損有效方法係以分區計量管網為主之降低 NRW 各項措施, 管線汰換係其中措施之一, 但非為主要措施, 如果水價偏低之自來水事業, 在缺乏足夠財務能力之情形下, 根據訛傳說法(例如 IWA 對於管線汰換率建議至少 1.5%), 盲目投資鉅額預算於加速追求提升管線汰換率, 將在水價未獲合理調整前, 先因不良的財務體質, 而嚴重影響事業之經營。

表 3 日本自來水事業管線汰換率、漏水率、水價情形

年度	績效指標	累積百分率				
		95%	75%	50%	25%	5%
2005	管線汰換率(%)	3.07	1.35	0.64	0.13	0
	漏水率(%)	19.4	6.3	0.1	0	0
	水價(日幣/m ³)	282.3	213.3	169.7	134.3	67.4
2006	管線汰換率(%)	2.94	1.35	0.69	0.18	0
	漏水率(%)	20.5	7.8	0.3	0	0
	水價(日幣/m ³)	287.8	216.1	173.8	138.6	77.1
2007	管線汰換率(%)	2.79	1.33	0.65	0.12	0
	漏水率(%)	21	8.9	1.2	0	0
	水價(日幣/m ³)	281.9	214.9	172.8	137.4	70.1
2008	管線汰換率(%)	2.57	1.21	0.59	0.1	0
	漏水率(%)	20.5	8.9	1.6	0	0
	水價(日幣/m ³)	281.9	213.8	172.9	140.2	81.4

資料來源: Japan Water Research Center, 2009; 經本研究整理

六、結論

- (一)從各國經驗顯示，高水價才可使自來水事業有能力對供水設施主動進行維護，以有效降低自來水的漏損。各國都市供水之案例顯示，高水價都市其供水漏損率低，而低水價都市則導致供水漏損率高。顯然，水價也與其他因素相關，例如平均收入情況，在發展中國家，水價不能太高，以免許多用戶無法負擔，然而，不管在不同的國家和地區，水價和供水漏損率間的關係都是一致的，可說供水漏損率是"果"，水價是"因"。
- (二)決策者在制定政策和水價時，應考慮低水價所可能產生的許多負面影響，以避免自來水事業及其政府監管部門，為了追求短期財務效益，而刪減應投資於設施維護所需預算，進一步使供水設施體質逐漸劣化，而種下高供水漏損率之遠因。
- (三)錯誤的水價政策，將隱藏沉重的"冰山"成本，無法激勵自來水事業及用水戶投資預算於各項節水措施，也阻礙自來水事業採取主動措施來持續強化供水設施功能健全性，降低漏水發生。
- (四)要永久地減少水的損失和提升投資效率，可以通過調整水價到合理程度，以減少供水漏損量。
- (五)降低供水漏損與提升管線汰換率較無相關，如果水價偏低之自來水事業，在缺乏足夠財務能力之情形下，盲目投資龐大預算於加速追求提升管線汰換率，將

在水價未獲合理調整前，先因不良的財務體質，而嚴重影響事業之經營，建議宜審慎為之。

參考文獻

1. Addressing the Challenge through Innovation, Aging Water Infrastructure Research Program, EPA, September 2007; <http://nepis.epa.gov/EPA/html/DLwait.htm?url=/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=60000I2A.PDF>
2. American Society of Civil Engineers (ASCE), 2009. <http://www.infrastructurereportcard.org/fact-sheet/drinking-water>
3. Bill Kingdom, Roland Liemberger, Philippe Marin. Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series, Paper No. 8: The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries, The World Bank Group, December 2006;
4. Booz Allen Hamilton, Global Infrastructure Partners, World Energy Outlook. Organisation for Economic Co-operation and development (OECD), Boeing, Drewry Shipping Consultants, US Department of Transportation, 2007; http://www.strategy-business.com/media/image/07104-ex_01b.gif
5. Global Water Tariffs, Frost & Sullivan, 2009; Global International Waters Assessment Report (GIWA), 2006
6. Japan Water Research Center, 2009. Analysis of Performance Indicators (PI) in Guidelines for the Management and Assessment of Drinking Water Services in F.Y. 2009, <http://www.jwrc-net.or.jp/english/pi-FY2009/pi-e09.pdf>
7. Malcolm Farley, Gary Wyeth, Zainuddin Bin Md. Ghazali, Arie Istandar, Sher Singh. The

Manager's Non-Revenue Water Handbook-A Guide to Understanding Water Losses.2008.
<http://www.allianceforwaterefficiency.org>.

8.Positive Infrastructure Report (PIR), The World Economic Forum, 2010; <https://members.weforum.org/pdf/ip/ec/Positive-Infrastructure-Report.pdf>

9.Saeed Mirza, Ph.D., Professor of Civil Engineering and Cristian Sipos, Ph.D. Candidate, McGill University, Municipal Infrastructure – The Need for Alternate Revenue: Canada's Infrastructure Deficit, AMM (Association of Manitoba Municipalities) Magazine, Winter 2009;
<http://www.amm.mb.ca/PDF/Magazine/Winter2009/SR-legacy.pdf>

10.Samuel Sherraden, The Infrastructure Deficit, Why do we have an infrastructure deficit? How big is it?, New America Foundation, 3 February, 2011;
http://growth.newamerica.net/publications/policy/the_infrastructure_deficit

11.Thames Water website, Last update on June 1, 2011;
<http://www.thameswater.co.uk/cps/rde/xchg/corp/hs.xsl/2690.htm>

12.TaKaDu , 2011, The Connection between Water Prices and Water Network Efficiency.
http://www.takadu.com/files/The_Connection_between_Water_Prices_and_Water_Network_Efficiency_2011.pdf

13.U.S. Environmental Protection Agency, The Clean Water and Drinking Water Infrastructure Gap Analysis, September 2002.

14.USEPA, 2010. Control and Mitigation of Drinking Water Losses in Distribution Systems
http://www.epa.gov/ogwdw/pws/pdfs/analysis_

wa-03_water_loss_doc_final_draft_v62.pdf

作者簡介

張敬悅小姐

現職：台灣自來水公司股份有限公司供水處工程師
 專長：圖資管理

李丁來先生

現職：台灣自來水公司股份有限公司供水處處長
 專長：自來水工程設備規設、供水營運管理、淨水處理

藍炳樟先生

現職：台灣自來水公司股份有限公司副總經理
 專長：自來水工程、自來水營運管理

自來水管線衛星定位實務探討

文/陳昭仁

摘要

由於水資源保護受到重視，因此自來水管線漏水問題同時被廣泛討論，更提出各種預防或解決之道，為響應此一重要課題，本文將就基本面、管理面提出管線定位的探討。早期因戰亂、技術不成熟或疏於管理，造成圖資錯置或不全，當今科技突飛猛進，加上精確度的需求，管線的定位成為重要的基礎建設。為精確管理（控）或避免各管線單位間的糾紛四起，藉由衛星定位（GPS，Global Positioning System）、地理資訊系統（GIS，Geographic Information System）及監控系統（SCADA），得以達到快速、準確及精簡人力的目的。

管線圖資不全得以透過修漏、用戶新裝、專案工程等來補救或建立，這些工作又是自來水事業天天在進行的業務，實應積極作為，技術並非問題，僅補充或修正契約條文即可達到目的，況且相較日後逐一挖掘當可節省大筆經費。配合所謂「公分級」精度標準，為節省經費亦可採三支距測量做為前置作業，如此將可在不影響工程進度下順利展開作業。完成管線定位後的資料，理當由圖資中心做登錄或確認的工作，則可達到永續管理的目的。

一、前言

台灣地區自來水事業體各項設備源自日據時代，管線及圖資更不例外，歷經戰火、地震、颱風、水災等蹂躪，加上管理不

善，圖資正確性頗有瑕疵，此對營運管理更是雪上加霜，勢必影響到自動化監控的推動，本文將以台灣自來水公司（簡稱水公司）為例提出探討。

水公司自 1974 年成立以來，背負著政府積極提升普及率的政策，採用經濟管種如小口徑使用塑膠管(pvcp)、大口徑埋設預力混凝土管(pscp)，2010 年底供水普及率已達 90.86%， $\phi 50\text{mm}$ 以上管線長度為 57,210 公里。自 1993 年起進行管線汰換，歷經 17 年，約汰換管線 8,378 公里，平均年汰換率約 0.92%，與日本的 5%、美國的 3.5%，國際水協(IWA)建議的 1.5%仍有相當差距，是水公司未來努力的方向。

2003~2004 年間因連續乾旱，漏水率偏高始被正視，降低漏水率成為核心業務，開始推動分區計量管網(DMA, District Metering Area)，然而困難重重、處處瓶頸，致績效無法彰顯，究其主要原因係圖資不完整，造成分區無法封閉。圖資管理是水公司較弱的一環，其所轄區域自開發迄今已逾百年歷史，除戰爭、天然災害外，由日據時代、政府遷台、八大水廠、成立水公司，移轉亦屬影響著圖資不全的不利因素。

有鑑於國土資訊的推動，地理資訊系統(GIS)受到重視，水公司自 2009 年起各區處均擇一都會區完成 GIS 系統，並預計至 2011 年底完成所有圖資數化工作。惟圖資的正確仍未予併進，僅止於所謂「垃圾進垃圾出」，不過此舉已向前推進一大步，且奠定良好的

基礎，至於正確性極待政策的建立及從業人員的努力，一步一腳印累積成效。更須藉由修漏、用戶新裝及專案工程等進行管線衛星定位工作，逐步建立正確管線位置及圖資(含座標及高程)，此舉更期待透過管線管理(或路權)單位合作得以減少管線單位間的糾紛，尤其避免日後耗費龐大經費進行探挖，因此配合各施工單位推動管線衛星定位(GPS)作業勢在必行。

二、研究目的

早期因戰亂、技術不成熟或對管線圖資疏於嚴謹管理，致產生圖資錯置或不全，甚至與路權或其他管線單位屢發生糾紛，因此圖資中心的建立及管理流程(SOP)有待加強，俾確立永續經營的架構。建立完整及正確的圖資有利於爾後的管線規劃、設計及施工，更對擴建、抽換、更新、分區計量管網及檢修漏有莫大的幫助。民國 70 年間(1980~1990 年)水公司曾經推動小區管網，後來因圖資不完整、停水頻繁、影響交通及施工困難而告停頓。當時日本亦在同時間推行，其歷經 20 年的努力，如今漏水率已在 10% 以下，而水公司 2010 年底漏水率仍在 20.51%，相較之下感觸良多，惟有待急起直追，更有賴事業單位各級長官的支持始得以順利展開。

三、工作內容

圖資管理包括圖資檔案的清查與建立、圖資數化、管線及設備定位、增設、更新及異動的管理...等，前述兩項已持續努力中，惟後者並無機制或較不受到重視，除受到人力及資源的影響外，亦應有勾稽的機制，「圖資中心」的設置有其迫切性。另為

免資料持續流失，造成日後耗費龐大資源再予建置，宜就每天進行之修漏、用戶新裝、專案工程等執行 GPS 作業，同時考量與地理資訊系統(GIS)結合。

(一)修漏、用戶新裝、專案工程 GPS 作業內容：

- 1.修漏：既有管線漏水開挖修理時，得定位測量取得正確之管線資料(X、Y、Z 座標即經緯度及高程)，並與現有圖資作校核。
- 2.用戶新裝：用戶新裝施工時均開挖至配水管俾利裝接，因此亦可就既有管線建立座標資料及校核圖資。
- 3.專案工程：新設或汰換管線工程，於埋管完成時得取得管線及設備(閘栓、窰井等)之座標並建入圖資。

(二)GPS 定位測量目前已可藉由較精密之儀器取得座標資料，其精度可達公分(cm)級，對管線、設備等圖資之建立頗具助益，更可進而達到操作及管理之精緻化。(圖 1)



圖 1 GPS 現場作業

(三)前揭業務屬資料之收集及建立，須長期執行始得以完整，此與各區處、廠所及工程處均息息相關，理當規劃縝密作業規範並做好業務宣導及訓練，俾收事半功倍之效。

四、作業方法

GPS 標的點基本資料之來源及程序如下：

選擇標的點附近固定物量測 3 點之水平距離(夾角 $< 120^\circ$)及標的點管頂至路面深度；為取得標的點正確位置應以水準標尺(附水平、垂直氣泡及三角固定架)或其他測量儀器量測並逐一做成紀錄。

(一)管線三支距測量取點準則：

- 1.修漏：以開挖後配水管(φ 80mm 以上)之管頂中心為測量標的點，測量三支距點水平距離及路面下至管頂深度，並作成紀錄。
- 2.用戶新裝：以配水管安裝用戶給水管分水鞍處之管頂中心為測量標的點，測量三支距點水平距離及路面下至管頂深度，並作成紀錄。(圖 2)



圖 2 用戶新裝三支距測量

- 3.專案工程：於工程起迄點、直管段每 100M 處、分岐管處、深度明顯變化處、管線材質變化處等各取一標的點。每隔 100M 定一中心線，若管道本體水平向偏離此線超過 30 cm 時則於偏離最大處再補取 1 點，其他如閘栓、窰井等設備均依序取得座標資料。除三支距點水平距離外，同時須量測路面下至管頂深度，並作成紀錄。(圖 3)



圖 3 專案工程三支距測量

(二)管線設備衛星定位測量準則：

1.管線標的點

以衛星定位儀直接測量管線標的點之座標(X.Y.Z)，或經三支距測量回填後管線中心已知標的點之深度及座標，並登錄於 GIS 或 GPS 管理系統並保存之。

2.閘栓等設備

為使栓閥測量位置具有一致性，特訂定栓閥測量標準位置測設原則，俾保持成果之一致性及便於維護。標準測點位置說明如下：

(1)制水閥：

管線單位種類：圓形制水閥。

測量標準位置：a.人孔中央「水閥箱◇」方形標示「◇」上方轉折點。b.人孔中央「◇」菱形標示對角線交點。c.人孔中央「制水閥箱」方形標示「水」字中央處，如圖 4。

(2)人孔：

管線單位種類：自來水圓形人孔。

測量標準位置：人孔中央「台水」圓形標示交點處，如圖 5。

(3)消防栓：

管線單位種類：消防栓。

測量標準位置：a.地上式：消防栓頂方形柱中心點。b.地下式：消防栓方型手孔中央「防」字中央處，如圖 6。

(4)其他：如圖 7。

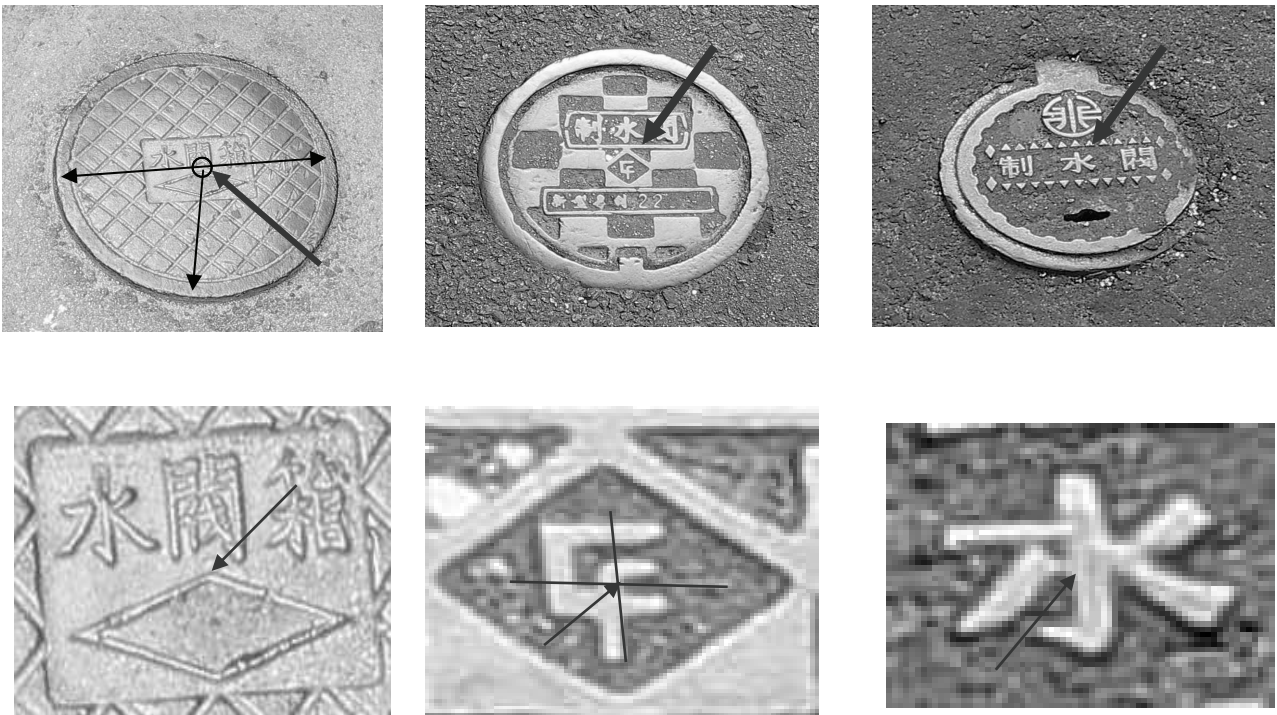


圖 4 制水閥測量標準位置



圖 5 人孔測量標準位置

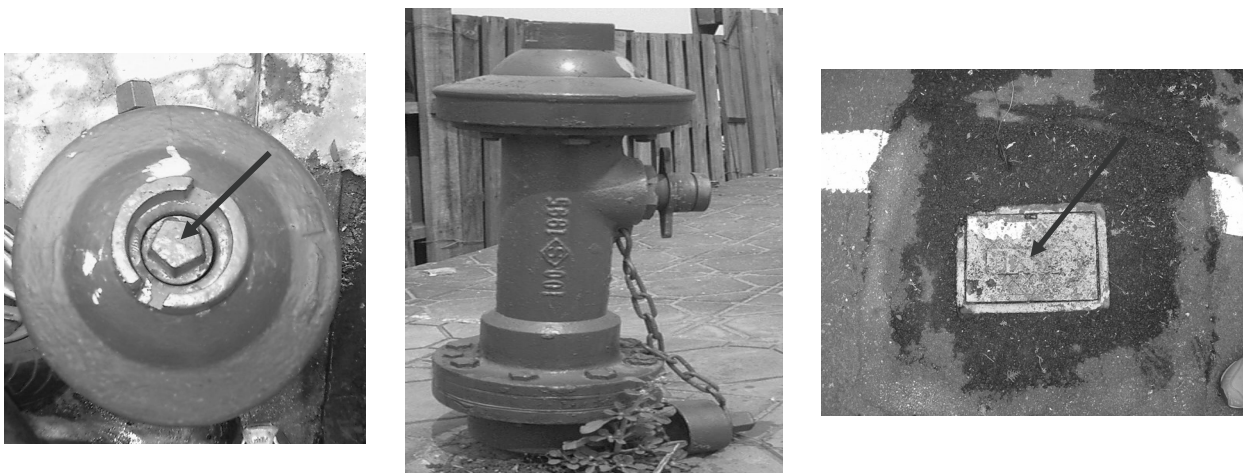


圖 6 消防栓測量標準位置



(a)加壓站：設施範圍中任一位置



(d)電動閥：水泥塊中央



(b)配水池：設施範圍中任一位置



(e)總水表：水泥塊中央



(c)排氣閥：設施範圍中任一位置

圖 7 其他型式測量標準位置

3.倘因現有地形具遮蔽事實，得採動態即時 GPS (RTK)、電子測距經緯儀(全站儀)等測量方法輔助取得坐標值，並於成果備註欄加註為非直接測量。

4.標的點、閥、栓等三點支距測量：

(1)實地測量標的點、消防栓、制水閥、其

它各類特殊閘類、窰井人孔等位置(以標的物中心點至附近參考點標示物地面線上外緣點長度),並將確實量測資料登錄。

備註：此處之「中心點」與上述「標準測點位置」相同。

(2)量測作為基準之標示物應儘量以永久性或半永久性標示物為準,優先順序如下：民房或建築物(應標示民房地址,如無地址者,請標示該建築物性質：如農舍、車庫、圍牆柱角等。)、電桿、號誌桿等(應將桿號牌登錄)參考基準標示物相互間勿距離過近(<120°),並不得以草叢、樹木作為參考點標示物。

(3)若欲量測之閘栓附近無明確之地標,則以量測前後路口或前後之閘栓至本閘栓之距離表示,以短時間得以做 GPS 測量為考量。

(三)驗收標準與程序

1.三點支距測量

(1)實地抽測標的點之任一線段實際長度與成果之長度誤差超過 5 公分,則該標的點視同不合格。

(2)抽驗數量為契約總量的 5% (遇小數無條件進 1),正確率需 95%(含)以上。

2.衛星定位測量

(1)坐標(X.Y.Z)為 TWD97 系統。(另加標示 Z 軸高度)

(2)抽驗數量為契約總量的 5% (遇小數無條件進 1),正確率需 95%(含)以上。

(3)定位標的點位 X、Y 二維坐標,其位置

誤差表示式為 $\sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}$ 。

測量模式及精度要求：

水平精度 X.Y 軸±5cm

垂直精度 Z 軸±10cm

3.若屬委外作業,廠商需派員及提供測量機具配合甲方人員驗收。

4.任一標的點之座標及支距超過該標準誤差值,即判定該點位為不合格。

5.所抽驗數量均包含標的點之衛星定位及三支距測量。

6.驗收合格率小於 95%,經判定不合格,須改善後再次複驗,執行單位除就前次缺失部分全量進行檢核外,另加抽原送驗總數 5%,判定原則同前揭標準。

7.成果報告記錄格式得依水公司「GIS 作業統一圖資格式修訂版(四)」相關資料格式內容辦理。

(四)業務宣導與訓練

由於本業務涉及各區處、工程處及廠所,亦屬新業務,宜列入年度訓練計畫,對相關人員作業務宣導及訓練,俾利業務順利推動更得以減少阻力。參訓人員係以修漏、新裝、專案工程之監工人員為主,另各級主管亦屬宣導對象。

五、經費概估及效益

(一)本作業得藉由承攬商或其覓得測量公司合作為之,另各項工程之新設案或新增單價則透過修訂契約條文或補充說明等手續後即可執行。

(二)經統計水公司每年修漏案件約 23,000 件 (φ 50mm 以上)、用戶新裝約 50,000 件、專案工程(含汰換 500 公里,每 100 公尺一處)約 5,000 件合計 78,000 件,每件以 500 元估列每年約需經費 3,900 萬元。

(三)以水公司 99 年底管線總長度 57,210 公里

每 100 公尺量測一點，若含管線轉折 2% 測量工作量約 583,500 點；探挖費（包括施工機械、人工、回填料、路修、損害賠償…等）及定位測量每件計需 2,500 元，共需經費約 14.5 億元。若採漸進式定位測量每件約 500 元，得節省經費五分之四，全部完成後僅約需 2.9 億元，得為水公司省下約 11.6 億元經費，除減少資源浪費外亦降低對交通的影響。

六、結論與建議

(一)藉由科技發展儀器設備精進及時代趨勢，利用衛星定位技術取得管線和設備

之精確位置勢在必行。

(二)圖資之正確性有賴資料不斷的累積取得及更新，方臻完整正確。

(三)透過修漏、用戶新裝、專案工程（含汰換）等獲悉管線正確位置並加以定位建立永久資料，實屬經濟可行策略，建議配合納入年度或新訂契約條文俾利執行。

(四)為 GPS 作業過程的推動順利及量測的正確性，宜適時對監造人員及各類管線承攬廠商舉辦說明會。

(五)GPS 作業流程請參考圖 8。

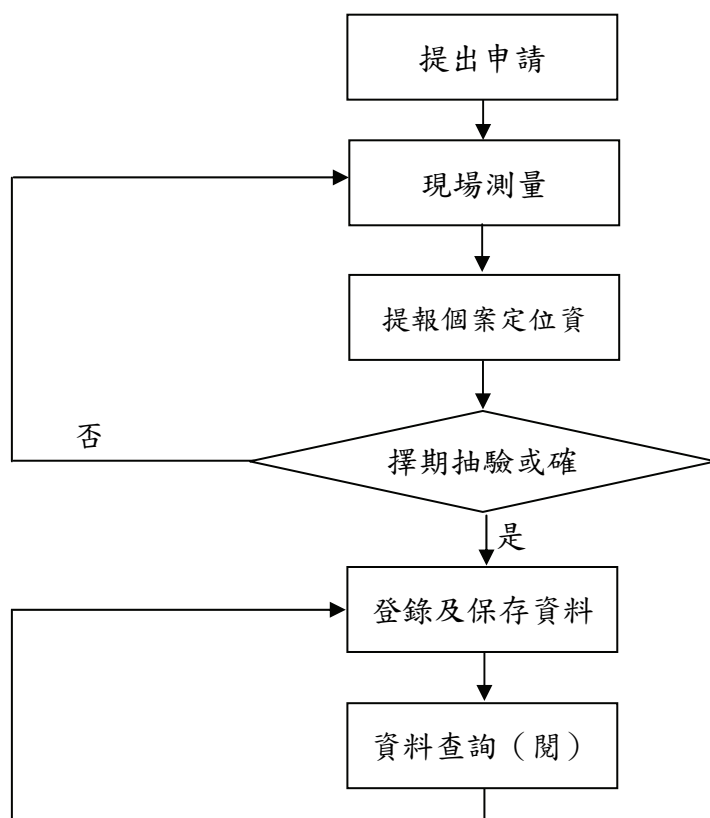


圖 8 GPS 作業流程

參考文獻

- 1.台灣自來水公司「GIS作業統一圖資格式修訂版(四)」
- 2.台灣自來水公司衛星定位儀採購規範

作者簡介

陳昭仁先生

現職：台灣自來水公司總管理處秘書

專長：自來水工程規劃設計施工、檢漏 DMA

延性球狀石墨鑄鐵管實務應用與發展趨勢

文/吳世紀

一、前言

球狀石墨鑄鐵自 1948 年美國人 K.D.Millis 發明問世以來，因其高強度、延展性及耐腐蝕之材料特性，已成為全世界最廣為通用之管材原料，球狀石墨鑄鐵管大量應用於自來水、污水、瓦斯、農業及其他工業用管，臺北自來水事業處自 1977 年起開始採用，取代易脆之普通鑄鐵管。

臺北自來水事業處採延性球狀石墨鑄鐵管作為大臺北都會區主要之輸配水管材，迄今已近 40 年，然而，許多工程人員對於延性鑄鐵管之知識均來自於本身有限之工程經驗或他人傳承，常有一知半解甚至以訛傳訛之現象，亦或只知其然而不知其所以然，身為自來水工程師，對於最常用管材應該有更精確之認知以利正確之設計施工，發揮管材之最大效能。本文從延性球狀石墨鑄鐵管發展演進、管材特性，到製管過程及接頭型式等，進一步解析球狀石墨鑄鐵管應用在實務上所面臨之問題，並說明目前及未來之發展趨勢，期能使自來水管線專業人員能因應客觀環境條件正確之應用，提升管線工程之施工品質。

二、延性球狀石墨鑄鐵管簡介

(一)自來水鑄鐵管之演進

鋼鐵材料依含碳量多寡區分之，含碳量低於 2.1% 之鐵-碳合金稱為「鋼」，含碳量高於該值則稱為「鑄鐵」(cast iron)。更精確之定義，鑄鐵是鐵合金加上高達 2.5wt% 至 3.8wt% 之碳以及少量矽而稱之，對大部份鑄

鐵而言，碳係以石墨形式存在，最常見鑄鐵包括灰鑄鐵、球狀石墨鑄鐵、白鑄鐵和展性鑄鐵等，其中灰鑄鐵及球狀石墨鑄鐵均應用於自來水管材。灰鑄鐵 (gray cast iron) 中碳與矽含量分別介於 2.5wt% 和 4.0wt% 之間以及 1.0wt% 和 3.0wt% 之間，對大部份灰鑄鐵而言，石墨是以片狀形式存在，典型灰鑄鐵顯微組織為片狀石墨 (圖 1)，其破裂表面出現灰色狀，故亦稱之為灰鑄鐵，鑄鐵材質應用於輸水管已有數百年歷史，法國凡爾賽宮早於 1664 年即已採用鑄鐵管作為其主要輸水幹管。而球狀石墨鑄鐵隨著冶金工業進步於 20 世紀中葉被開發問世，其與普通鑄鐵主要差異係在熔鐵鑄造生產之過程去除硫化物、並加入鎂、矽等合金元素，使其內部形成球狀石墨化之材料結構 (圖 2)，較之傳統鑄鐵片狀石墨更為緊密，因而強度更高且更具延展性及韌性，大幅提高管線耐衝擊強度，適合用於現代自來水事業之輸水管線。

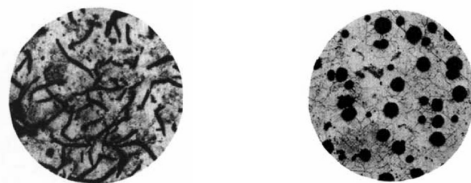


圖 1 片狀石墨鑄鐵 圖 2 球狀石墨鑄鐵

(二)延性球狀石墨鑄鐵管之特性

1.材料機械性質

我國國家規範有關 DIP 之規定訂於 CNS10808 G3219 及 CNS13272 G3253，該規範係參照日本工業標準 JIS G5526 及 G5527 制定。依據日本 JIS 規範，延性鑄鐵材質之代號為 FCD (F:Ferrum C:Casting D:Ductile，

普通鑄鐵代號 FC)，FCD 種類又可依抗拉強度細分為 FCD400、FCD450、FCD800，其中的阿拉伯數字代表其抗拉強度(N/mm²)，依據 JIS G5526 之規定，延性鑄鐵管抗拉強度至少 420 N/mm²(43kgf/mm²)，伸長率至少 10%，JIS 規範規定 DIP 必需採用 FCD420-10 等級之鑄鐵原料，其機械性質如表 1。

表 1 延性鑄鐵管材料機械性質

抗拉強度 N/mm ² (MPa)	伸長率 %	硬度 HB
420	10 以上	230 以下

2. 管材破裂水壓

延性鑄鐵管所能承受之最大破裂水壓之計算方式如圖 3 所示。依據日本延性鑄鐵管協會之建議，採破裂水壓之 70% 為管線之保證水壓，且限制保證水壓最高為 10MPa，以增加安全係數並保障供水安全性，據此，各管徑之保證水壓如表 2 所示。

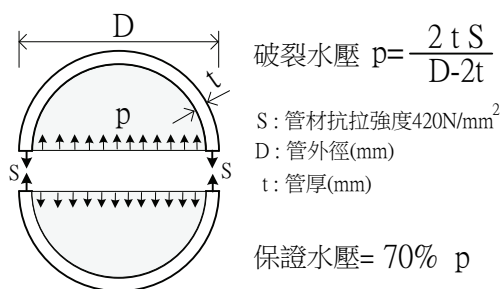


圖 3 管材耐水壓計算式

除特殊性之高壓供水，國內自來水事業所訂定之一般管線工程試壓標準值僅 7~10 Kg/cm²，一般營運水壓約介於 1~3 Kg/cm² 之間，相較於延性鑄鐵管所能承受之耐壓能力，其值甚微，由此可知，在正常使用環境下，除少數管身遭嚴重腐蝕、鑄造品質不良或遭受外力破壞之管段，延性鑄鐵管較少發生管身破裂所導致之漏水，最主要漏水原因

係接頭因素所造成，且依據修漏實務經驗顯示，接頭為影響管線漏水率之重要關鍵。

表 2 各管徑保證水壓

管徑 (mm)	水壓 MPa (Kg/cm ²)	管徑 (mm)	水壓 MPa (Kg/cm ²)
75~300	10(102)	1200	6.5(66)
400	9.3(95)	1500	6.3(64)
500	8.0(82)	1600	6.2(63)
600	7.7(79)	1650	6.2(63)
700	7.4(75)	1800	6.1(62)
800	7.1(72)	2000	6.2(63)
900	6.9(70)	2200	6.0(61)
1000	6.8(69)	2400	6.0(61)
1100	6.6(67)	2600	5.9(60)

註：1MPa=10.2 Kg/cm²

三、管材製造流程

製造延性球狀石墨鑄鐵時，一般是將高碳(C)、高矽(Si)之鑄鐵液注入於底部已預先置放有鎂(Mg)合金或鈰(Ce)合金、稀土類金屬等球化劑 (Spheroidizer) 之盛桶內，稱之為球化處理，接著在鑄鐵液中加入大約 0.1~0.3wt% 之 Fe-Si 等接種劑，經澆鑄後即可得到球狀石墨鑄鐵。其製造流程如下：

(一)原料球化、接種處理：將原料鑄鐵錠熔解成為鐵水後，必須透過球化、接種處理以改善球狀石墨之品質、數量及金相組織及強度，成為具有高強度及延展性之球狀石墨鑄鐵。故球化率為鑄造品質重要指標之一，球化率越高，其機械性質越佳，日本工業標準 JIS 規定延性鑄鐵管球化率必須大於 80%，另我國國家標準 (CNS2869) 亦規定延性鑄鐵材質球化率須大於 80%，惟在延性鑄鐵管

(CNS10808) 之球化率規定值卻僅為 70%，造成目前國內自來水事業單位均沿用球化率 70% 作為管材規範及驗收之標準，相較於國際上之標準其值相對偏低，值得探討。

- (二)鑄造成型：直管部分係以離心鑄造法 (centrifugal casting) 製作，一面旋轉鑄模，一面澆注熔化金屬，金屬熔液受離心力之作用達到模內各處，用此法鑄出的鑄件，材質均勻且結構緊密，物理性質亦高雜質因質量較輕，乃被迫集中於中心部分，加工時可將其去除，由於金屬受到離心力的作用可獲得較緻密之材質，故其鑄件厚度較薄，同時材質均勻並且可縮短鑄造時間，品質容易確保，故我國國家標準 CNS 規定 DIP 直管必須採離心鑄造法製作，離心鑄造法既可省去砂心，又不需冒口或壓力頭等，適合全自動化之機具設備大量生產製造。至於不規則形狀之管件部分無法採離心鑄造法，則必須依管件種類進行混砂、呋喃樹脂或水泥造模後再予合模澆注，其製程需大量人工勞力，國內鑄造廠大多將管件移往中國大陸或東南亞等人力成本較低之國家製造，故管件部份之品質管制及檢驗值得特別留意。除此之外，鑄造管材尺度必須依據規範標準控制在極小之容許誤差範圍內，然而實務上，相較於進口管材，國產鑄鐵管在管材尺寸精密度及真圓度方面尚不夠穩定，且越大口徑之管材更明顯，易影響整體管線工程品質，值得特別加強檢驗與防範。
- (三)熱處理及機械加工：直管離心鑄造一般

採樹脂砂或水冷式模，管線成型後急速冷卻，材料內部產生殘餘應力導致脆化，必須送進熱處理爐施予退火 (annealing) 熱處理，將管材加溫到 500~600 度並維持一段時間，再令其緩慢冷卻，退火處理主要目的在於改變其金相組織，進而使金屬回復因冷加工而降低之韌性，改善塑性和韌性化，去除殘餘應力且於管表面增加一層氧化膜保護層，為管材製程極為重要之一環，未經過退火處理之鑄鐵管極易脆裂，不得不慎；至於管件則是於澆鑄完成後，靜待其自然冷卻再拆模，較無殘餘應力之問題，因此一般於鑄造成型後即直接噴砂及研磨，然後再予機械加工，進行後續試驗及檢查。

- (四)靜水壓試驗及檢查：經機械加工後，施以金相檢視、壓扁試驗、靜水壓試驗及尺度檢查，金相檢視管材之石墨球化率，於管材塗裝前必需先逐支測試靜水壓，其試驗之標準如表 3。

表 3 管材出廠水壓試驗標準

口徑 mm	直管 MPa (Kg/cm ²)	管件 MPa (Kg/cm ²)
75~300	6(61.2)	3(30.6)
350~600	5(51)	2.5(25.5)
700~1000	4(40.8)	2(20.4)
1100~1500	3(30.6)	1.5(15.3)
1600~2600	2(20.4)	1.5(15.3)

- (五)內外管塗裝：經過水壓測試後再進行塗裝，直管內部必須塗附水泥砂漿，作為內襯保護，日本最新一代之高機能延性鑄鐵管將內部塗裝由水泥砂漿襯裡改良

為環氧樹脂系列之粉體塗裝，至於管外則於塗裝含無機鋅底漆之合成樹脂，主要透過鋅之低電位能作為達到管材外部犧牲陽極，避免腐蝕作用進入管體內部，以強化其防蝕性，除此之外，材料科學之發展日新月異，近年來已有許多更有效率之新型態防蝕塗料，國外最新管材之防蝕技術發展係將鋁-鋅合金取代無機鋅，號稱防蝕效能達 150 年。我國 CNS 標準規定管外採環氧樹脂或壓克力系列合成樹脂塗裝，並視需要採底漆鋅加強防蝕保護，管內採環氧樹脂粉體塗裝及水泥砂漿，但亦可由雙方買賣協議，惟國內自來水事業單位所訂鑄鐵管塗裝之規範卻僅採最基本簡略之防蝕塗裝，直管及管件外部之塗裝得以黑色柏油或環氧樹脂柏油漆塗佈，直管內襯為水泥砂漿，管件內襯則為環氧樹脂粉體塗裝及柏油漆，管外之塗裝標準明顯低於國家標準所建議之需求，值得檢討。塗裝成本占整體管材總成本之比例甚低，除能有效保護管材延長使用年限外，並能維護水質，其重要性及效益甚高，但國內自來水事業單位之管體塗裝規範標準數十年如一日，落後先進國家至少 40 年以上，面對日益複雜及腐蝕性之環境，管材防蝕之標準實有必要進一步檢討，以發揮管材之最佳效能。

四、接頭型式

一般而言自來水管線沿道路埋設，道路上方車輛等動態荷重透過屬彈性介質之土壤傳導至地下管線，管線將會順應上方動態載重或地盤變動而產生微量變形或震動，而

自來水管線系統除管材本身需具備抵抗內外壓之高強度、韌性及延展性之外，其接頭更須具有吸收變形之機制，否則將易生漏水，延性鑄鐵管線系統主要之接頭型式即是此種承插式之柔性接頭，其容許撓角介於 2~5 度之間，管徑越小容許撓角越大，日本發展出之承插式接頭型式包括：K 型、U 型、T 型、KF 型、UF 型等，因應各種施工條件及環境採用不同形式之接頭，我國地理環境與條件與日本相近，故國家標準大多沿用該類規格，日本近年來又陸續發展出 S、SII、NS、GX 型等新一代耐震型接頭，至於剛性平口接頭則視需求應用在閥類、流量計、特殊管件或場區明管段之銜接處。

茲就一般承插式接頭(K、U 型)、耐震接頭(S、NS、TX 型)以及平口接頭分別說明如下：

(一)承插式 K 型接頭

K 型接頭源自於日語「改良(Kairyō)」之意，取其羅馬拼音第一個字母 K 為代號，為最早期機械接頭 A 型接頭之改良型，一般明挖埋管均採該型接頭，除具有很好的可撓性及水密性之外，亦有具備基本之耐震性，為目前國內自來水事業單位最普遍採用之接頭型式，如圖 4。

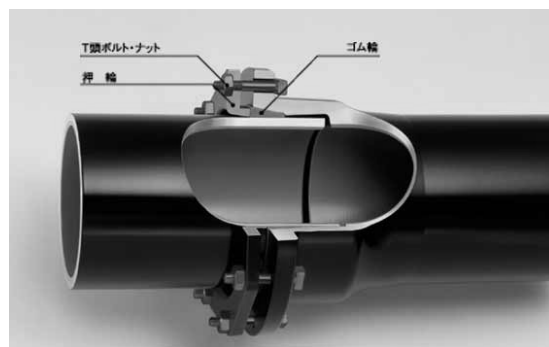


圖 4 K 型接頭示意圖

(二)承插式 U 型接頭

U 型接頭源自於日語「內側(Uchigawa)」之意，以 U 為其代號，為自管內裝接止水膠圈之接頭，其管徑最小為 700mm，一般適用於無法明挖施工之環境，例如推進、潛盾工法等大型幹管工程，由管內進行裝接止水膠圈接合作業，如圖 5。

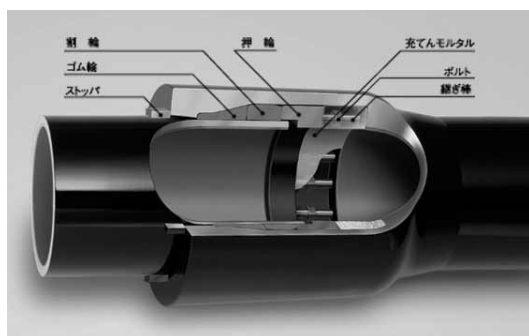


圖 5 U 型接頭示意圖

(三)耐震接頭

為解決頻繁地震所引起的管線接頭脫接問題，日本積極致力於改良及開發新型接頭，S 型(Seismal)接頭於 1995 年阪神大地震之後問世（圖 6），該種接頭與一般 K 型或 T 型等傳統承插接頭最大之差異為 S 型接頭承插口之間具有卡榫機制以防止軸向力脫接，且亦能承受約管長 1%之伸縮量而不脫接，此外在震力作用下能承受更大之撓角（如表 4），惟因其裝接施工程序繁複，故日本後來持續進行施工性之改良，又開發新型 S 接頭，簡稱 NS(New Seismal)型接頭，其中小口徑係採類似 T 型接頭免押圈螺栓直接插入式之裝接方式（圖 7），施工簡便迅速，及至 2010 年又開發出所謂「次世代」之耐震 GX 型接頭（圖 8），屬於 NS 型之再改良版，主要改良止水膠圈及承口膠圈槽，相較於 NS 管，GX 型接頭組裝時管尾插入管頭所需之推力更小，施工更簡便，更節省所需管溝開

挖空間，以及更耐久。

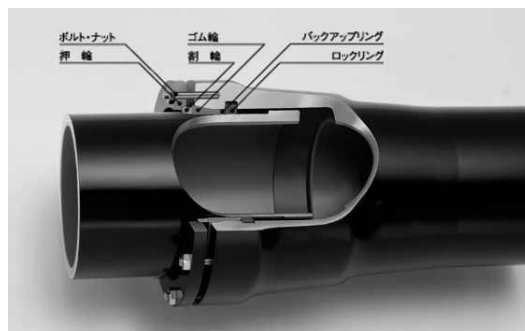


圖 6 S 型接頭示意圖

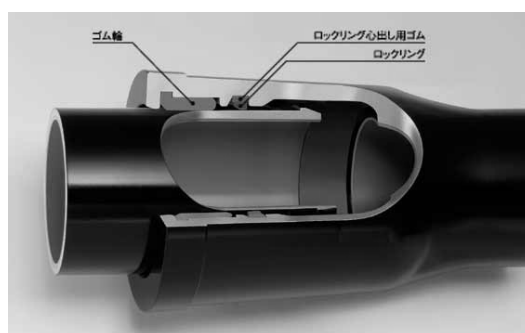


圖 7 NS 型接頭示意圖

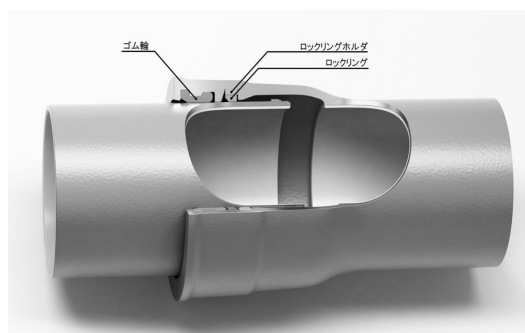


圖 8 GX 型接頭示意圖

（來源：日本久保田公司網站）

表 4 耐震接頭性能比較表

接頭型式	K 型	NS、GX 型
性能		
伸縮量	0	管長*±1%
防脫力	0	3D KN
容許撓角	4°	4°
耐震撓角	4°	8°

（來源：日本延性鑄鐵管協會網站）

耐震接頭是地震頻繁地區管材發展演進之趨勢，台灣與日本同屬地震帶，恐難以避免，然而，日本研發耐震型管材大約每隔 10~15 年就有新型管材(接頭)問世並積極推廣應用於實務上，國內自來水事業單位應先考量本身之現況條件再審酌是否跟進採用，臺北自來水事業處早期曾經於穿越河床段地盤軟弱之處採用最早一代之 S 型接頭，惟此種管材之專利權獨佔性導致成本高昂以及採購限制競爭問題，一直是國內難以推廣適用之主因，除此之外，國內自來水事業目前最大目標在降低高居不下之漏水率，日本當初係在漏水率已降至 10% 以下之基礎下致力於管材耐震化，反觀國內，臺北自來水事業處近年來透過分區汰換管線、加強測漏、均化水壓等多重努力，才將漏水率降至 20% 左右，後續仍將積極致力於降低漏水，在此條件下，管線耐震化雖是未來趨勢，但考量輕重緩急及成本效益，國內改採耐震管材之時機尚未完全成熟，難謂有其迫切性。

(四)平口接頭

平口接頭主要利用不銹鋼六角螺栓直接將二凸緣法蘭對口接合，迫緊夾於中間之橡膠止水墊片，接口止水性主要係靠螺栓扭力結合二邊法蘭，故必須採強度較高之麻田散系不銹鋼(SUS403)來旋緊，SUS304 雖較耐蝕但易燒結問題反而降低其應有之扭力強度，影響接合水密性，除非屬於高度腐蝕環境，否則，不宜以市場上較普及之 SUS304 取代 SUS403 作為平口接頭螺栓材質。此外，平口接頭有其耐壓之限制，耐壓等級分為 7.5K、10K、16K、20K($K=kg/cm^2$)，7.5K 等級之平口接頭型式得採用 RF-RF(平面-平面型)

或 RF-GF(平面-溝槽型)，國內一般均採用 RF-RF 型式；至於 10 K 以上高壓管之平口接頭規格，隨耐壓等級越大，法蘭厚度隨之增大且螺拴數越多，除此之外，最大的差異在於 10K 等級以上之法蘭接頭必須採 RF-GF(平面-溝槽型)法蘭之平口接合面，相較於 RF-RF 之片狀止水墊片，其止水膠圈為條狀，嵌在 GF 法蘭之溝槽內，上鎖螺拴迫緊溝槽內橡膠膠圈，利用一平一凹之 RF-GF 法蘭密合，達到接頭緊密接合及止水(圖 9)。

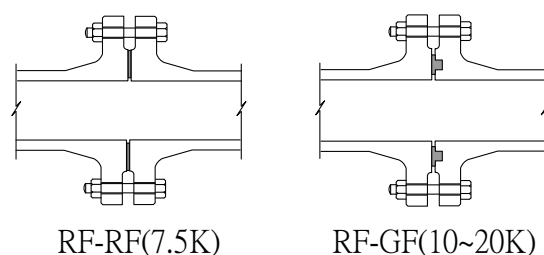


圖 9 平口接頭示意圖

綜上，相異於平口接頭有耐壓等級之區分及限制，承插式接頭止水機制較佳且並無壓力限制，實務上之使用能達到 20K 以上，考慮一般管內輸水壓力及水槌作用等動水壓造成的內部壓力遽升等工作壓力下，延性鑄鐵管之管體強度及承插式接頭所能承受之壓力都足以因應，故決定整體管線系統之耐壓能力在於平口接頭。惟需要注意的是，在彎頭、大小頭或其他等另件，將受到內水壓所產生之不平衡力，承插式接頭必須藉由外部固定台(thrust block)來預防鬆脫爆管。常有設計者在設計高壓力管(工作壓力大於 7.5K)時易誤解，認為延性鑄鐵管之承插式接頭耐壓能力有限，誤以為高壓管必須要以鋼管來設計才能符合需求，事實上並非如此，

只要確實做好固定台以及確認平口接頭之耐壓等級，延性鑄鐵管仍能符合需求，且其在防蝕性、耐久性、耐震性、施工性及維護水質方面都具有其獨特之優異性，故相較於鋼管而言，更適合應用於高壓輸水管用途。

五、結論

延性球狀石墨鑄鐵管作為現代化之自來水輸水管已逾 60 年之歷史，其應用已趨於成熟穩定，管材之機械性質方面並無太大之演進改變，惟在其他方面例如接頭機制及防蝕保護塗裝等之發展日新月異，日本自 1954 年起開始採用延性球狀石墨鑄鐵管以來，積極致力於改良接頭性能，以符合日益複雜之外在環境需求，至於其他如歐洲地區雖亦有防脫接頭之改良，惟其所能承受之震度較小。相較於國際上延性鑄鐵管材技術之發展及進步，國內自來水事業單位沿用既有之規範與標準數十年如一日，並未與時俱進，除影響自來水管線工程品質之提升外，亦導致國內鑄鐵管產業故步自封，阻礙產業之進步與發展，殊為可惜，因此，建議國內自來水事業單位應重新檢視沿用多年之延性鑄鐵管材料規範，參考國際最新之標準及規範，摒除不合時宜之規定，訂出最符合現今需求之規範及標準，才能促進國內管線工程品質之提升。除此之外，日本對於管材及相關管線工程設計及施工方面之研究亦相當廣泛及深入，台灣地理環境及條件與其相似，延性球狀石墨鑄鐵管之應用亦多參採日本規格，其研發改良成果值得國內工程人員參考，工程人員亦應主動瞭解並探索關於自來水管線工程之最新研究發展及應用趨勢，全面提升自來水工程品質。

參考文獻

1. 東京都水道局，配水管工事標準仕様書，2010
2. 日本延性鑄鐵管協會(JDPA)，球狀3.石墨鑄鐵管規格便覽，2010
4. 日本延性鑄鐵管協會(JDPA)，延性鑄鐵管管路設計及施工。
5. 日本延性鑄鐵管協會(JDPA) Homepage Website。
6. 日本Kubota Homepage Website，製品說明。
7. The Design Decision Model for corrosion control of Ductile iron Pipeline by DIPRA

作者簡介

吳世紀先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊股長

專長：自來水工程規劃、設計及施工管理

自來水管網工程噪音監測與改善探討

文/張本慶、許敏能

摘要

臺北自來水事業處（以下簡稱本處）為利環境永續經營，研議節能減碳相關策略與降低事業活動對環境影響相關因子之積極作為，其中，事業活動對於周遭環境產生之衝擊，以噪音汙染造成影響工區周圍民眾最為直接與不易隔絕，基此，以試行管網工程施工環保噪音監測作業方式，檢視施工流程中路面切割、管溝開挖、管材切割、柏油夯實等 4 種施工過程將產生較大之噪音變化情形。藉由長期蒐集上述施工過程之噪音值，統計分析各項施工噪音分佈，並針對噪音管制標準要求之噪音限值與蒐集監測之噪音值進行比對，對於容易超逾噪音限值之工項，研議降低施工噪音之方案。

施工噪音之防治對策可分為直接對策與間接對策，考量管網施工係移動式工區，噪音值隨距離變化不同，為期控制噪音之發生，減緩噪音之傷害，對於噪音發生源改善方式之直接對策，應屬可立即顯示成效之方法，經統計分析上述各工項噪音值（距噪音源 2M、10M 各量測 1 次），以路面切割（2M）較容易超逾噪音管制標準要求，其路面切割所採用之切割機具噪音可再細分為機具馬達噪音與切割鋸片噪音，前者因各式切割機組裝外型不同，如個別自製隔音罩隔絕噪音成本較高，因此初步先就後者蒐集市面相關低噪音切割鋸片（部分為廠商新研發），測試其噪音值與切割長度，確可有效降低噪音約 5-10 分貝（dB），且為低頻噪音，不若傳

統切片屬於高頻尖銳噪音，民眾接受度較高，如能採用將有助於管線工程執行成效，並提昇環境品質。

關鍵字：環境影響、噪音汙染、路面切割、低噪音切割鋸片、噪音管制標準

一、緣起

近年來人民生活日漸富裕，對於生活品質之要求亦逐漸注重，其中對於生活週遭環境之噪音容忍度亦日趨嚴苛，噪音陳情案件數量與日俱增，以 99 年臺北市 1999 話務中心統計資料顯示，派工受理前五名市府機關中，以環境保護局受理通報事項「場所與設施噪音舉發」件數達 2874 件，名列第一，因此噪音防治已是刻不容緩之課題，本處為利環境永續經營制定相關環境管理系統，訂定相關中長期環境政策，包含降低事業活動對環境影響相關因子，以及檢討其影響程度與改善之可行性，對於施工期間可能產生之環境影響因子，諸如空氣汙染、水汙染、噪音汙染與廢棄物汙染等，亦進行相關探討。其中，對於周遭環境產生之衝擊，以噪音汙染造成影響工區周圍民眾最為直接與不易隔絕，基此，為有效降低施工噪音對民眾健康及生活品質之影響，以試行管網工程施工環保噪音監測作業方式，擬訂噪音監測作業，並擇定所轄 5 個營業分處各 1 標管網工程先行試辦監測，藉以了解於施工过程中，各項高噪音工項之施工噪音分布情形，經檢視施工过程中概略以路面切割、管溝開挖、管材切割、柏油夯實等 4 種施工過程將產生較大之噪音。藉由長期蒐集上述施工過程之噪音

值，統計分析各項施工噪音分佈，並針對噪音管制標準要求之噪音限值與蒐集監測之噪音值進行比對，對於容易超逾噪音限值之工項，研議降低施工噪音之方案。

二、噪音管制法規概述

當我們於家中起居生活之餘，鄰近住戶可能發出悅耳或生澀之琴聲、吵雜、謾罵喧鬧聲，洗衣機低頻規律的噪音，偶或呼嘯而過之汽、機車排氣管或引擎噪音，大家都已熟識生活於一個有“聲”的環境中，我們亦可視其為一種環境背景音量，只是每一個人因生活區域、環境、職業的不同，對於環境的聲音亦有其一定的接受度或容忍度，當周遭的環境聲音的音量與歷時長度超逾個人忍受時，終將使個人不滿之情緒，而訴諸於法律規章之規範。現行噪音管制主管機關依噪音管制法第六條規定，製造不具持續性或不易量測而足以妨害他人生活安寧之聲音者，由警察機關依有關法規處理之。非屬上述情況者，超逾噪音管制標準，則由環保主管機關管制之；因此對於從事各項工程施工作業人員，施工過程產生噪音防制措施與噪音管制相關之法律規章若能充分熟悉，當使警察或環保稽查人員找上門的機率大幅減少，亦可降低噪音對施工周圍環境的影響。

為維護國民健康與環境安寧，已制定噪音管制之相關法規羅列如下：

1. 噪音管制法
2. 噪音管制法施行細則
3. 噪音管制標準
4. 易發生噪音設施設置及操作許可辦法
5. 環境音量標準
6. 噪音管制區劃定作業準則

7. 違反噪音管制法按日連續處罰執行準則
8. 違反噪音管制法案件裁罰基準
9. 臺北市各類噪音管制區內之住宅、公寓大廈、機關、團體、學校等非娛樂場所、非營業場所之設施及裝修工程所發出之聲音不得超過噪音管制標準
10. 臺北市禁止從事妨礙安寧行為之區域範圍及時段

上列法規若要逐一探討恐將連篇累牘，首先須了解噪音之定義，可詳見於噪音管制法第三條：「噪音，係指超過管制標準之聲音」，同法第九條並規範「噪音管制區內之下列場所、工程及設施，所發出之聲音不得超出噪音管制標準…」，其中該條第一項第四款管制場所即為營建工程，倘若施工噪音超逾管制標準，將依噪音管制法第二十四條「違反第九條第一項規定，經限期改善仍未符合噪音管制標準者，得依下列規定按次或按日連續處罰…」處新臺幣一萬八千元以上十八萬元以下罰鍰，因此為避免遭受環保法規之處罰與還給周遭環境居民較佳之生活品質，我們必須對施工所處環境之噪音管制標準了解，並盡可能採取相關噪音防制措施，降低施工噪音之影響，依據噪音管制標準第六條營建工程噪音管制標準值如表 1。

表 1 中，因一般正常人耳可聽音之頻率範圍為 20Hz - 20kHz，近年來，民眾日益重視生活環境品質，及都會區易產生低頻噪音設備（如冷卻水塔、空調系統、發電機、抽水馬達等）數量明顯增加狀況下，低頻噪音陳情案件亦急速竄升，低頻噪音指的是噪音主要發生的頻率比較接近可聽音頻率範圍

表 1 營建工程噪音管制標準值

頻率 時段 音量 管制區	20Hz 至 200Hz			20Hz 至 20kHz		
	日間	晚間	夜間	日間	晚間	夜間
	均能音量(L _{eq})					
第一類	47	47	42	70	50	50
第二類	47	47	42	70	60	50
第三類	49	49	44	75	70	65
第四類	49	49	44	80	70	65
最大音量(L _{max})	第一、二類			100	80	70
	第三、四類			100	85	75

之下限部位，即頻率比較低的範圍，依我國噪音管制標準於民國 94 年起，頻率 20 Hz - 200 Hz 範圍定義為低頻噪音均能音量 (Leq,LF)，表中亦對低頻噪音設定管制標準，此外上表中管制區共分為四類：(臺北市政府公告 100 年 7 月 29 府環一字第 10035235600 號)

- (一)第一類管制區：陽明山國家公園、本市都市計畫第一住宅區。
- (二)第二類管制區：本市都市計畫第二、三種住宅區、文教區、行政區、農業區、風景區、保護區。
- (三)第三類管制區：本市都市計畫第四種住

宅區，商業區、機場用地邊緣外 50 公尺範圍內區域、市場用地。

- (四)第四類管制區：本市都市計畫工業區、倉庫區、行水區、機場用地、供捷運系統機場使用之交通用地、鐵路用地、高速公路用地、供捷運系統沿線及車站設施使用之交通用地、主要道路之道路用地、垃圾處理廠用地、污水處理廠用地。

施工區域所屬管制區可查詢臺北市「噪音管制區圖冊」內對應街道管制區類屬。

當施工區域管制區類屬確定後，須了解均能音量與最大音量之差別，依噪音管制標準第二條定義「均能音量：指特定時段內所測得音量之能量平均值。20 Hz 至 20kHz 之均能音量以 Leq 表示；20 Hz 至 200Hz 之均能音量以 Leq,LF 表示」；最大音量為「測量期間中測得最大音量之數值。」並可依該標準第三條第一項第七款「評定方法」量測：

最大音量：噪音計指針呈週期性或間歇性的規則變動，而最大值大致一定時，則以連續五次變動之最大值 (L_{max}) 平均之。為規則性變動的聲音，其變動週期一定。為間歇性的規則變動聲音，其最大值大致一定，以讀取每次最大值，共五次平均之

均能音量：最大音量以外之其他情形。其連續量測取樣時間須至少二分鐘以上，取樣時距不得多於二秒，在噪音計指示一定時，或指針變化僅 1-2 dB(A) 之變動情形，以均能音量表示。聲音的大小及發生的間隔不一定之情形，亦以均能音量表示之。

因管網工程工項噪音計指針多屬呈週期性或間歇性的規則變動，因此擇定量測最大音量，就施工機具音頻類型與對應之時段區分（參考噪音管制標準第二條第一項第五款），即可明確得知施工區域噪音管制標準值，進而採取噪音防制措施管控施工噪音於噪音管制標準值以下。

此外，量測一般噪音地點除在陳情人所指定其居住生活之地點測量外，應以主管機關指定該工廠(場)、娛樂場所、營業場所、營建工程或其他經主管機關公告之場所或設施周界外任何地點測量之，並應距離最近建築物牆面線一公尺以上。而周界係指場所或設施所管理或使用之界線。其有明顯圍牆等實體分隔時，以之為界；無實體分隔時，以其財產範圍或公眾不常接近之範圍為界。

三、噪音監測統計與分析

本處為管控管網工程施工環境噪音與維護公共安寧，自 99 年 3 月擬定「管網工程現場施工環保噪音監測作業」，針對本處各營業分處擇一管網工程進行噪音監測試辦作業，作業內容為工程施工現場噪音監測、統計、分析與研析解決方案，由本處管網工程施工現場相關人員負責現場噪音監測，並填寫噪音量測紀錄表後，再一併統計、分析各類施工機具噪音值之分布。

本處管網工程主要施作本處轄區內（轄區除臺北市外，亦涵蓋新北市中、永和、新店、三重區等區）自來水管線汰舊換新等施工，經研析管網工程施工期間，主要以路面切割、管溝開挖、管材切割、柏油夯實四個階段屬施工時間較長、噪音值較高之經常性工項，因此本作業規範管網工程於路證施工

期間，每週 1 次，每次量測上述 4 個時間點之噪音值，且為量化噪音值與噪音源距離之相對關係，要求須於工程周界任何地點與距離音源發生點 2 公尺與 10 公尺各量測 1 次（2 公尺噪音值主要影響工區內施工人員與行人，10 公尺噪音值主要影響鄰近住家與行人），監測值紀錄於「管網工程噪音量測紀錄表」。為避免量測疏失，於試辦前先邀集相關作業人員辦理監測說明會，會中針對本作業須知與噪音計操作方式與量測技巧詳加說明，自 99 年 6 月起開始試辦管網工程噪音監測，迄 100 年 5 月總計量測數據量如表 2（路面切割 2M 表示距離切割機音源發生點 2 公尺量測噪音值；另表中周界數據量較少，係因周界噪音值於試辦後期方開始監測）。

表 2 量測數據量

項次	數據量
路面切割(2M)	84
路面切割(10M)	84
開挖(2M)	84
開挖(10M)	84
切管(2M)	39
切管(10M)	39
柏油夯實(2M)	83
柏油夯實(10M)	83

依臺北市政府公告「臺北市禁止從事妨礙安寧行為之區域範圍及時段」(99 年 2 月 2 日府環一字第 09930728701 號函) 營建工程於本市第一至第三類噪音管制區晚上十時至翌日上午六時限制從事施工使用動力機械操作制妨礙安寧之行為，惟其中就有危及

公共安全、汙染環境及影響民生用水、用電、用氣或通訊之搶救、搶修工程，不在此限。因此目前大部分施工都已於日間施工（第一、二類管制區指上午六時至晚上八時；第三、四類管制區指上午七時至晚上八時）。參照噪音管制標準第六條對應日間最大音量管制標準為 100dB，經統計分析管網工程噪音監測結果，各監測工項噪音分布圖如附圖 1，另將圖中所有超逾 100dB 件數加總為分母，檢視各工項相對比例發現，以路面切割(2M)超逾 100dB 比例達 62%，其次分別為管溝開挖(2M) 19%、柏油夯實(2M) 10% 與切管(2M) 6%，此可視為若工程周界為 2 公尺時，超逾管制標準 100dB 之違規情形有 62%都是路面切割造成的；另以單一工項統計該工項超逾管制標準 100Db 之情形發現，以路面切割(2M)比例達 56%，此可視為單一工項施工且工程周界為 2 公尺時，路面切割有 56%超過噪音管制標準，其次分別為管溝開挖(2M) 18%、切管(2M)13%與柏油夯實(2M) 10%。

四、噪音防制措施

噪音防制之對策可分為直接對策與間接對策，直接對策可再分為發生源防制與傳播途徑阻隔，間接對策另包含管理對策與敦睦鄰對策。一般而言，直接對策自噪音根源著手可獲致較佳之成效，可採用低噪音振動機械、工法，另噪音之傳遞途徑可分為空氣音與結構（振動）音，亦即噪音分別經由空氣或接觸體振動傳遞，若能有效改變、阻絕空氣音或改善振動傳遞，將可大幅降低噪音，諸如設置防音罩、減振器等，然考量本處管網工程施工特性有二：

(一)移動式工區：施工噪音值對人影響，隨

距離變化不同，且須機動性高之噪音防制裝置。

(二)巷弄空間施工：與民眾住家距離近，對生活影響較深。

因應管網工程施工特性，必須尋找適合其噪音防制之措施，欲依上述管網工程噪音監測結果，對於路面切割之噪音有其必要尋找解決方案，經研析柏油路面切割機噪音主要由機具馬達噪音與切割鋸片噪音二者造成，馬達之隔音得採隔音罩，但因國內廠商採用切割機機型、新舊不一，原廠機型加裝隔音罩價格太高尚無專業進口採用，自製隔音罩亦難以一體適用，遂以低噪音切割鉅片為改善之方向，經訪查國內數家切割鉅片製造商與代理商發現，因目前國內採用低噪音切片之市場太小，尚無人製造與使用，另有國外低噪音切片，但價格每片達 12000 元，較一般切片價格 4000-6000 元高出甚多，且其切割長度亦較短（一般切片切割長度約 3000-4000 公尺），經多方訪查，亦有採用切割大理石之低噪音切片者，然其磨損過快亦不符使用，經參研國內、外低噪音切片相關資料發現，低噪音切片與一般切片不同處在於低噪音切片採用複合式夾板方式，兩片制震鋼板中可能夾著耐熱樹脂或特殊材料，經提供國內廠家自行研發，以該產品實地測試，測試結果可大幅降低切割噪音達 5-10dB，且切割長度亦與一般切片相差不遠，成本亦可控制於 4000 餘元，相信該低噪音切片的使用可大幅改善路面切割噪音問題。

上述低噪音切片係屬單一工項之解決方案，但若能於採用各式低噪音機具與工法來降低噪音源分貝值外，亦可同時採行其他噪音傳遞途徑隔絕方案，該部分亦是目前本

研究後續積極辦理方向，一般而言，隔音材質質地較密實，阻隔聲音效果較佳，但其容易反射聲音，而吸音材質多採用發泡或纖維性材料，藉由多孔隙性質消耗聲音能量，可是容易讓聲音穿透使隔音效果不佳，因此一般可採以隔音材料為主，吸音材料為輔的雙重隔音方式，可獲致較佳之隔音效果，基此，本研究後續亦將參研搭配施工宣導布幕採以防音布，搭配施工圍籬架設與布置，每塊防音布幕間並以魔鬼氈或扣環連接，強化隔音效果，以期以較機動性與簡易之方式，達到噪音防制之效果。

管網工程因其工區之不確定性，施工時須面對不同之施工空間、道路路面材質、居民特性、機械性質，因此尚須搭配一些間接對策，來降低實質與心理層面之噪音影響，陳述如下：

- (一) 事先對施工進程、工項時段的機動規劃與工程人員噪音防治教育，將使整體噪音防制作業更為完整。
- (二) 連續作業時間之縮短，可緩和噪音對周圍環境的影響，延長環境對噪音的容忍度。
- (三) 改善作業方法，諸如管制不必要之運轉、移動噪音、避免高噪音機具同時作業等。
- (四) 加強鄰近居民與里辦公室施工宣導，強化居民心理建設與接受度。
- (五) 分送簡易耳塞予住戶，降低噪音傷害。

五、結論

國內、外文獻報告指出，暴露於過度的噪音環境下，除了造成生活壓力劇增外，最主要的危害就是導致聽力受損。施工噪音除對周圍環境影響甚深外，對勞工健康影響較

緩慢且不易察覺，使得噪音危害常為勞、資雙方所忽略，但此危害長久而言終將對勞工健康造成難以回復之傷害，如此之職業傷害，亦將由雇主與全民（健保）所承擔，因此施工噪音之防制可為刻不容緩之要務，本報告寄希經由初步之研究，喚起大家對施工噪音防制之重視，投入更多的資源於噪音防制工作，還給大眾優質生活環境。

本篇報告綜整上述初步研究，臚列結論如下：

- (一) 自來水管網工程各項噪音中，以路面切割噪音影響環境較深，距噪音源 2 公尺處之量測值超逾 100dB 之比例達 56%，為首要改善之工項。
- (二) 夜間或晚間施工噪音防治不易，應以低噪音機具或工法施作，並輔以其他隔音措施與敦親睦鄰對策，增加鄰近民眾容忍度，降低民眾之反彈。
- (三) 一般而言，大聲與高頻的噪音比小聲與低頻者，更易影響居民，低噪音切割鉅片屬低頻噪音，且較一般切片降低分貝數達 5-10dB，值得採行試用。

參考文獻

1. 99年臺北市1999話務中心統計資料。
2. 行政院環保署噪音管制資訊網-噪音改善案例。
3. 臺北市政府環保局營建工程噪音防治資訊網
4. 營建工程噪音防制技術-林啟修。

作者簡介

張本慶先生

現職：臺北自來水事業處技術科副工程司

專長：管線工程、溫泉業務、採購發包

許敏能先生

現職：臺北自來水事業處技術科股長

專長：管網改善、技術研發、自來水工程

自來水工程承裝技工培育及證照制度之初討

文/許敏能、黃裕泰

一、前言

優質自來水供給是一個現代化城市應備表徵，而提供質優量足的自來水亦是自來水事業體責無旁貸的工作，藉由原水取用、淨水過程、幹管輸送及家用計量等環環相扣的運轉模式與操作方法，民眾才可自家中的水龍頭享用美味可口自來水。自來水事業單位除了營運管理列為首要的工作外，對各項設備建置及管線佈設等自來水工程，亦是提供優質自來水重要的一環，而自來水工程施作端賴自來水管技工，其技能影響施工品質；另管線施工良窳對漏水防範影響甚鉅，因此，自來水技工的養成教育及證照制度是值得探究的課題之一。

國內自來水工程可分二大部分，自取用水源、淨化原水、輸送配水及施工給水管等屬自來水事業單位權責稱自來水外管線，而建築線內水表箱後施作受水管、建置水池水塔、佈設下水管及連接屋內衛生設備與用水龍頭等為建商施工稱自來水內管線，由用戶自行維護；為確保用戶用水安全，各項自來水工程必須有優良施工品質，而良好施工品質，係仰賴技能成熟的技工施作，因此，自來水管承裝技工的學能養成對用水品質影響甚鉅；本研究著重於國內的自來水管技工訓練制度及自來水管技工證照制度，進而研析自來水技工育成問題並提出適切建議，以供相關單位作為未來擬訂訓練計劃或規章參考。

二、自來水技工訓練制度

依 2004 年自來水管承裝技工考驗辦法第二條「本辦法所稱之自來水管承裝技工(以下簡稱承裝技工)，指自來水管承裝商僱用裝修自來水導水、送水、配水管線及自來水用戶用水設備之技術工人。」，明確的規範自來水管承裝技工工作範疇，從自來水事業單位之導水、送水、配水管線至用水設備等，由於工作內容不同，養成訓練亦有所差異，蒐集並彙整國內有關自來水承裝技工訓練現況及作法說明如后。(其中自來水事業單位之導水、送水、配水管線及用戶進水管部分稱為自來水外管線，用水設備為建築物內自來水管稱為自來水內管線)。以下介紹國內自來水技工訓練制度：

(一)自來水內管線訓練機構

1.高級工業職業學校

國內高職學校有臺北市市立木柵高級工業職業學校及國立草屯高級商工職業學校二所設有配管科，每年培育建築物內自來水管線專業人才約 70 名，主要提供國內自來水事業機構或建築產業界所需之各種工程管線裝修、檢測及維修之技術人員為目標。技職學校著重各種管線及其設備之基本知識及訓練管線裝修、檢測及維護等基本技能之養成，並培育管線製圖、電腦繪圖、電腦應用之基本知能及著重學生心性陶冶，培養良好安全之工作習慣。木柵高工配管科教學科目、學分數及每週授課節數表，詳如表 1 所示。

2.行政院勞工委員會職業訓練局

表1 臺北市市立木柵高級工業職業學校配管科培訓課程

一、科目名稱：自來水配管實習(Water Supply Piping Works Practice)			
二、開課必要性簡要說明： 目標在協助學生瞭解自來水配管工具之操作，自來水配管之基礎識圖，計算管長與正確取料，能觀察、記錄、拍攝家戶自來水配管實況，並繪製簡圖，養成良好的工作安全與衛生習慣、尺寸精度及工作時限之觀念，並輔導學生通過水匠檢定或丙級自來水配管檢定為主，主要內容包含自來水配管工具與材料之使用，管之加工，異種管之接合與拆卸，成品習作，水壓試驗與評量。教師教學時，以日常生活有關的事務做為教材。			
三、學分數：4			
四、先修科目：基礎配管實習			
五、課程目標： 1.培養學生自來水配管之基礎識圖能力。 2.培養學生正確的計算管長並能正確取料。 3.培養學生能觀察、記錄、拍攝家戶自來水配管實況，並繪製簡圖。 4.養成良好的工作安全與衛生習慣、尺寸精度及工作時限之觀念。 5.輔導學生達到水匠檢定層級之技術能力為主。			
六、教材大綱：			
單元主題	內容綱要	分配節數	備註
1.自來水配管工具與材料之使用	1.自來水配管基本工具種類與功用。 2.自來水配管使用之基本材料之辨識。	2	
2.管之加工	1.管之切斷。 2.鋼管之鉸紋。 3.塑膠管之擴大、彎曲。 4.銅管錫銲。	6	
3.異種管之組合與拆卸	1.落樣圖繪製與管長計算。 2.鋼管、塑膠管、銅管與管配件之裝配。 3.異種管路組合。 4.管路拆卸。	8	
4.成品習作	1.模擬水匠(自來水配管)丙級術科題庫實作。 2.水匠(自來水配管)丙級學科題庫講解。	52	
5.水壓試驗與評量	1.通水試驗、水壓試驗。 2.成品調整，尺寸、外觀評量。	4	

行政院勞工委員會北中南職業訓練局為培育優秀青年具備專業技能，投入國內建築工地自來水配管就業市場，以應建築業發展需要，經常辦理自來水管配管訓練班，以充實自來水管承裝業所需之人才，並輔導受訓人員取得配管技術士專業證照。表2為勞

委會北區職訓中心與金門農工職校合辦自來水配管訓練課程說明。

3.行政院國軍退除役官兵輔導委員會訓練中心

退輔會針對即將屆退的官士兵進行建築配管與太陽能熱泵實務訓練，使國軍退役

後即可投入社會服務，學有一技之長並輔導
通過配管技術士檢定。表 3 為行政院國軍退
除役官兵輔導委員會訓練中心自來水配管
訓練說明。

表 2. 勞委會北區職訓中心與金門農工職校合辦自來水配管訓練

訓練人數：20 人		時數：48 小時		起迄日期：2007/1/19 至 2007/2/16	
緣由		辦理企業在職員工，培養優秀青年具備專業技能，投入就業市場，以應工業發展需要。			
訓練目標		一、學科：熟悉本行業相關知識以助長技能之進展。			
		二、技能：能正確熟練地從事自來水管配管工作。			
		三、品德：培養勤奮，負責之服務精神及敬業樂群之職業道德。			
就業展望		培養優秀青年具備專業技能，投入就業市場			
受訓資格		一、學歷：	不限		
		二、年齡：	16 歲至 60 歲		
		三、性別：	不限		
		四、兵役：	不限		
		五、其他	各企業機構之在職員工、身心健康無痼疾者。		
訓練方式		一、學科：採集中講授相關知識，並配合各種教助，以增強教學效果。			
		二、術科：靈活運用講解、示範、實習及考核等教學法，傳授基礎及應用技能。			
課程編配		課程單元	學科時數	術科時數	實施內容
		開結訓	4	0	開訓與結訓 (必要課程)
		落樣圖繪製	2	2	練習畫落樣圖
		塑膠管實習	2	7	塑膠管的工作法與彎管練習
		銅、鐵管實習	2	4	PUT 管焊接、GIP 管絞牙
		綜合組裝練習	0	25	金屬與非金屬管練習、膠合組裝及試壓
		合計	10	38	
備註					

表 3 行政院國軍退除役官兵輔導委員會訓練中心自來水配管訓練

招生班別	每期時數	每期人數	訓練等級	開班期數	受訓資格	課程內容	輔導就業方向
自來水配管與太陽能熱泵實務班	400	20	配管丙級	一	一、榮民(眷)、屆退官兵。 二、國中畢業滿 18 歲以上者。 三、身心健康者。	1.配管概要 2.自來水配管施工工法 3.配管識圖 4.自來水管施工放樣 5.基本配管實習 6.綜合配管實習 7.太陽能熱水器裝修 8.熱泵熱水器裝修 9.自來水配管(水匠)證照檢定學術科 8.結訓輔導檢定	結訓後可任職於水電工程公司、配管工程公司、太陽能及熱泵熱水器公司、大樓及工廠管路維護、營建工程公司專業工程技術員、領班、工程師或自行創業及承包管路工程。

4.其他配管教育訓練

參加國中技藝教育班及各級學校的推廣班、職業團體、學術團體為其會員辦理的研習班、或透過其他方式的教育訓練班，均可報名參加每年定期舉辦的全國檢定。

(二)自來水外管訓練機構-中華民國自來水協會

中華民國自來水協會前身為台灣省自來水協進會，成立於 1950 年 6 月，並於 1967 年 11 月 17 日改名為「中華民國自來水協會」(以下簡稱水協會)。迄今團體會員共 22 個，其中包括全國主要 4 個供水單位(台水公司、北水處、金門自來水廠及連江自來水廠)、2 個政府單位以及 16 個自來水工程與設備相關公司;個人會員 5,600 人，包括自來水從業人員、研究人員、教師等，為台灣唯一自來水專業協會，致力於提供安全用水、專業知識及資訊，倡導提升供水品質，對台灣社會之用水安全，貢獻良多。

為確保自來水施工品質，國內自來水事業單位，已於工程施工相關作業規範中，增

訂承裝商之技工應接受相關訓練，始得參與施工之規定。故水協會邀集台水公司、北水處、台灣區水管工程工業同業公會、財團法人中華自來水服務社，共同協助開辦「自來水配管(含配水管、給水管及裝表)工程施工技能訓練講習」，訓練講習地點分別在臺北自來水事業處直潭淨水場訓練中心(臺北縣新店市直潭路 2 號)及台灣自來水公司人力資源處訓練所(台中市南屯區大業路 605 號)，由參訓者任選一地點受訓，用以增進自來水基層技工技術，進而確保工程施工品質，課程內容如表 4 說明。

為進一步協助提升自來水服務品質，自來水協會陸續籌劃開辦各項新工法培訓課程，並與日本水道協會交流，引進最新自來水專業技術結構化及模組化訓練課程及技術，以滿足國內自來水從業人員對於提升專業技術能力及與國際自來水技術能力認證制度接軌之渴望。表 5 為自來水配管工程施工承商工作人員技能訓練課程表。

表 4 中華民國自來水協會自來水專業人員培訓課程

課程名稱	訓練對象	主要內容	課程期間
自來水配管(含配水管、給水管及裝表)工程施工承商工作人員技能(初級班)	從事自來水配水管、給水管及裝表工程承商施工工作人員或其他有志參加訓練講習者。	本項訓練係針對自來水各種施工技術，教導學員正確之施工方法及技巧，以實務操作術科及學科理論並重。學科及術科測驗，成績及格者，發給訓練合格證明書，不及格者將針對不及格項目，另擇期予以輔導補訓(每項酌收輔導補訓費用每人新台幣1,500元，至及格後再發給合格證明書 訓練費用每人6,000元整。	2天
自來水配管(含配水管、給水管及裝表)工程施工技能訓練講習(進階班)	從事自來水配水管、給水管及裝表工程承商施工工作人員或其他有志參加訓練講習者。	本項訓練係針對自來水各種施工技術，教導學員正確之施工方法及技巧，以實務操作術科及學科理論並重。學科及術科測驗，成績及格者，發給訓練合格證明書，不及格者將針對不及格項目，另擇期予以輔導補訓(每項酌收輔導補訓費用每人新台幣1,500元，至及格後再發給合格證明書。訓練費用每人5,000元整。	2天

表 5 自來水配管工程施工承包商工作人員技能訓練課程表

日期	班別	時間	課程名稱	講師	備考
(第一日)		08:00~08:20	學員報到	主辦單位	(A、B 小班全體同教室上課)
	A、B	08:20~10:00	水表認識與使用工程設備		
	A、B	10:10~11:40	給水工程設備		
	A、B	11:40~12:00	學科測驗		
	午 休				
(第二日)	A、B	13:30~16:40	現場 SSP 給水管裝設示範演練 1.配水管(DIP 鞍帶分水栓安裝及鉗孔演練 2.給水管(SSP 切管組裝) 3.試水考驗、清理現場		(A、B 小班同現場)
	A、B	08:10~09:50	配水管工程施工技術(求中心線、配管、接合、拆除)講解		(A、B 小班全體同教室)
		10:00~11:40	工安管理及職災防範		
	A、B	11:40~12:00	學科測驗		
	午 休				
A、B	13:00~16:20	1. 1φ150mmDIP 管線現場拆除及組合、檢核表記錄練習、考核。 2. φ150mmDIP 加壓、試水、考驗 3. 清掃工具點交		(A、B 小班同現場)	
A、B	16:30~17:00	座談會	主辦單位		
一、上課地點：台北市自來水事業處直潭淨水場訓練中心(台北縣新店市直潭路 2 號) 二、依報到人數分 A、B 兩小班，分組現場實務演練。					

三、自來水技工證照制度

(一)行政院勞工委員會

民國 64 年 10 月 4 日公告實施之配管技術士技能檢定規範，原分甲、乙、丙三級(不分項)，歷經民國 68 年、72 年及 75 年 3 修訂，為配合下水道法執行經驗於 75 年及 77 年參考下水道法施行細則第十七條規定及氣體燃料導管等相關法規規定，將丙級配管職類分為自來水管(丙級)、氣體燃料導管(丙級)、工業用管(丙級)等三項。茲為配合檢定職類

隸屬主管機關之劃分，及提升各類科之技能水準，於 83 年將配管職類再予修訂為自來水管配管(乙、丙二級)、氣體燃料導管配管(乙、丙二級)、工業用管配管(甲、乙、丙三級)等三職類，以符合實際需要，另為配合自來水法及自來水管承裝商登記規則之研修，將自來水管配管職類技能檢定分為乙、丙二級。

自來水管配管技術士證照之取得方式為由行政院勞委會辦理技能檢定，並發給證

照，自來水管配管技術士技能檢定規範中，丙級技術士以「從事自來水用水設備及下水道用戶排水設備之管路裝配工作」為工作範圍，工作範圍內容有工作項目、技能種類、技能標準及相關知識等；乙級技術士以「從事自來水管管路及其設備之裝修工作」為工作範圍，應具知識除應具備丙級技術士之技能及相關知識外，並應具備其他各項技能與相關知識，詳如表 6、表 7 所示。

(二)經濟部水利署

依 93 年 3 月 17 日經濟部經水字第 09204614380 號令修正之自來水管承裝技工考驗辦法第三條由中央主管機關或其委託之機關(構)辦理承裝技工之考驗，第六條第

二項「考驗範圍比照行政院勞工委員會訂定之自來水管配管技術士丙級技能檢定規範」，又同(93)年 12 月 22 日經水字第 09304609570 號經濟部令修正「自來水管承裝商登記規則」名稱為「自來水管承裝商管理辦法」，並修正第五條第二項技工資格為「經自來水管承裝技工考驗合格領有證書者，或依技術士技能檢定及發證辦法經技能檢定合格取得自來水管配管丙級以上技術士證者。」，使取得自來水管配管丙級以上技術士證照者可兼取自來水技工資格，因此自來水技術人員考驗制度進入一試二證。

四、現行自來水技工育成問題分

(一)偏重自來水內管線技職人員培育

表 6 自來水管配管技術士丙級應具備各項技能與相關知識

一、施工圖說	(一)閱讀施工圖說。(二)按圖放樣。(三)工作報告。
二、作業準備	(一)材料準備。(二)機具準備。(三)安全防護具及安全設施之準備。
三、安全措施	(一)施工安全。(二)災害事故處理。
四、管之加工	(一)切斷。(二)鑽孔。(三)絞紋。(四)擴管。(五)彎曲。
五、管路裝配	(一)管、管件、閥件及配件之檢查及清理。(二)管、管件、閥件、配件及器具之配置。(三)管路系統之安裝。
六、管之接合	(一)螺紋接頭之接合。(二)由令接頭之接合。(三)凸緣接頭之接合。(四)機械接頭之接合。(五)銲接接頭之接合。(六)膠合接頭之接合。(七)白口接頭之接合。
七、管路固定	管夾、吊架、支架及固定台之設置
八、管路防護	(一)管體損傷之防範與處理。(二)管路系統之除銹。(三)管路系統之塗裝。(四)包覆。
九、管路保溫	保溫包覆
十、管路檢驗	(一)目視檢查。(二)水壓試驗。(三)盛水試驗。(四)氣壓試驗。(五)通水試驗。
十一、職業道德	(一)敬業精神。(二)工作環境的保持。(三)職業素養。

表 7 自來水管配管技術士乙級應具備各項技能與相關知識

一、施工圖說	(一)閱讀施工圖說。(二)按圖放樣。
二、施工計畫	(一)工作進度訂定。(二)人力調用計畫。(三)物力使用計畫。(四)計量估價。
三、作業準備	(一)材料準備。(二)機具準備。(三)儀器準備。(四)安全防護具及安全設施之準備。
四、安全措施	(一)施工安全。(二)災害事故處理。
五、管之加工	(一)切割。(二)開孔。
六、管路裝配	(一)管、管件、閥件、配件及設備之配置。(二)銲口配對。(三)現場取模。(四)裝配缺失之預防。
七、管之接合	(一)切斷分接。(二)鑽孔分接。(三)管端接合。(四)開孔分接。(五)銲接接合。
八、管路固定	(一)吊架、支架之設置。(二)管夾、固定台之設置。
九、管路防護	(一)管路系統之塗裝。(二)包覆。(三)特殊防護。
十、管路保溫	保溫包覆
十一、管路檢驗	(一)水壓試驗。(二)管路檢查及系統測試。(三)管路清洗、消毒。(四)緣檢查。
十二、工程管理	(一)工作報告。(二)工作執行。(三)工作查驗。(四)製作竣工圖說。
十三、職業道德	(一)敬業精神。(二)工作環境的保持。(三)職業素養。

從高級工業職業學校、行政院勞工委員會北中南職業訓練局至行政院國軍退除役官兵輔導委員會訓練中心等相關訓練機構，其訓練課程內容，以培訓建築物內線自來水管配管技術人員為主，並以輔導學員考取行政院勞工委員會舉辦自來水管配管丙級技術士技能檢定為目標。對於自來水事業之導水、輸配水及給水外管的施工訓練顯有不足，如欲從事自來水外管施工將會捉襟見肘，自來水外管施工品質堪慮。

(二)欠缺健全自來水外管線訓練制度

過往自來水外管線施工人員養成教育，承襲師徒制，學徒跟老師傅學習自來水管線施工技術，師傅將其所學或經驗講述教導學徒，教學過程缺乏系統性，也沒有組織性，經常憑直覺施工，對施工技術建立錯誤的概念，是「做中學，學中做」的不好印證，

由於學習過程未制度化，教學品質及學習成果無法具體呈現，自來水管線施工品質低劣時有所聞，造成自來水管線漏水的因素之一。

台水公司及北水處為確保自來水管線施工品質，於管線工程契約施工補充說明第三條工程管理中規定，未能取得工作證者，不得從事甲方之管線工程施工，而換取工作證必須接受「自來水配管工程施工技能訓練講習」，以訓練合格證明換取工作證。雖然兩個自來水事業體已明訂取得自來水外管線訓練合格，才得於施工，惟此項措施僅是亡羊補牢，權宜之計而已。

(三)訓練課程與實務施工技能有落差

現行各訓練機構教育課程，於建築物內線仍保留銅管及鍍鋅鐵管等之加工、擴孔施工方式，自來水外管線部分接頭處亦為 DIP

A 型接頭，給水管線為塑膠材質。由於材料技術不斷進步，建築物內自來水管已有不銹鋼管、聚乙烯管、高密度聚乙烯管等管材，甚至日本國內使用已久的複合材料膠塑管如交連聚乙烯管 (XLPE, crosslinked polyethylene)，已有業者欲引進國內使用，惟其施工技術目前各訓練課程均尚未納入，使新管材接頭處的接合成效良莠不齊，對於施工品質不易控管。

(四)缺乏完善的回訓管道

新施工技術、新材料及新工法發展與日俱進，如自來水輸配水管線，由白口接頭鑄鐵管演化為耐震防脫延性石墨鑄鐵管；鉛材質給水管演變成波狀不銹鋼給水管，材料科學不斷突破，應用於自來水設備，新的施工法因應而生，目前國內自來水技工無相關管道可得知新技術、新材料及新施工法，使其專業知能停滯不前，因而對於自來水產業各項工程的施工品質影響甚鉅。反觀，專業技師、冷凍空調技術士及公共工程委員會之品管人員等均設有回訓制度，傳達新觀念、新技術以厚植專業人員的新知及觀念，有效提升從業人員的技能及知識。適時邀集自來水從業人員講習，可提升施工品質及增加施工效率。

(五)考驗辦法未臻完善

93 年 12 月 22 日經水字第 09304609570 號經濟部令修正「自來水管承裝商登記規則」名稱為「自來水管承裝商管理辦法」，並於第五條第一項第二款規定：「技工：經自來水管承裝技工考驗合格領有證書者，或依技術士技能檢定及發證辦法經技能檢定合格取得自來水管配管丙級以上技術士證

者。」，明確指出取得自來水管配管丙級以上技術士換得自來水技工資格，另水利署辦理自來水專業技術人員考驗，通過本項考驗人員未納入前述條文可換取自來水技工，顯不合理；因此自來水管承裝商管理辦法應有修訂的空間，以符合實際執行層面。

(六)訓練場地不足

自來水工程包括取水、淨水、輸送、加壓、配水、給水及用戶內線等項目，其中包含各項土木施工、道路開挖、管溝設置及用戶用水設備裝配等工程，其中管線工程所佔的比率較多，而國內自來水配管的訓練場地，以用戶用水設備配管較為普及，而輸配水管的訓練場所僅有台水及北水處二處，各職業訓練機構未將輸配水管訓練視為重點課程，因此，對於自來水技工專業的技能養成無法達到全面性，進而造成輸配水管施工人員訓練不足，輸配水管的施工品質有所疑慮，此可由二個自來水事業單位後來進行管線檢修加以驗證。

五、建議

(一)健全自來水管線技工訓練

自來水工程施工品質攸關民生用水品質，另水資源日益匱乏，如何減少自來水管線漏水也是一個重要的課題，這二項議題與自來水管承裝技工息息相關，目前國內自來水管承裝技工養成教育，偏重建築物內用戶用水管線配置訓練，而自來水事業體的輸配水、給水管線的專業知能常被忽視，為健全自來水技工專業技能教育及訓練，應將輸配水、給水管的施工訓練納為自來水技工培育過程一部分，以增強技工全方位自來水技能。

(二)整合自來水管線訓練場地

環顧國內自來水管裝配訓練場地，著重在建築物內配管訓練，輸配水、給水管線的訓練場地僅台水及北水處二個事業體有訓練場，目前由水利署及水協會向二個事業體借用辦理自來水配管(含配水管、給水管及裝表)工程施工技能訓練講習，所謂工欲善其事必先利其器，要培育專業的自來水技工必先建置完整訓練場，包含建築物內管線配置及輸配水、給水管配管施工等，使技工人員有完整性訓練過程及全面性養成教育。

(三)建立良好的回訓制度

在國際自來水界交流日益頻繁，各國自來水事業不斷推出新技術、新材料及新工法，使自來水產業快速進步，為提升用戶用水品質，引進新管材及採用新施工技術是自來水界責無旁貸工作，現行各項新管材引進及新施工技術採行係由業者自行辦理，因此，優質的材料及便捷施工技術無法普及化，常因施工不良，造成民眾糾紛。因此建置優質的回訓制度是勢在必行，不僅提升自來水管技工新的技術知能，使自來水配管工程施工更有保障。

(四)強化訓練機構

國內自來水管承裝技工養成教育由技職學校、職訓中心及退輔會等辦理，各訓練單位注重輔導學員取得技術士證照，偏重於建築物內管線課程，對於輸配水、給水管的課程涉獵很少，甚至課程內容尚停留二十年前管件施工與現行自來水事業單位採用的管件不同，目前雖有水協會辦理自來水配管工程施工技能訓練，惟此項工作僅是亡羊補牢而已，為確保國內自來水工程施工品質，成立專責的自來水訓練機構有其必要性，訓

練課程才會建全，對於目前養成教育訓練單位過於分散，經過整合於專責訓練機構之下，使行政資源發揮最大成效，學員學習自來水工程施工得以全面性、新穎性及正確性。

參考文獻

- 1.經濟部水利署，自來水管承裝技工訓練機制之探討，中華民國100年12月
- 2.陳秋楊、張廣智、王圳宏、馬家驊，自來水事業技術人員考驗制度推動，自來水會刊第26卷第1期目錄。
- 3.經濟部水利署，自來水管承裝商管理辦法，水利法規查詢系統。
- 4.經濟部水利署，自來水管承裝技工考驗辦法，水利法規查詢系統。
- 5.行政院國軍退除役官兵輔導委員會訓練中心，職業訓練招生簡章，中華民國99年
- 6.行政院勞工委員會中部辦公室網站，自來水管配管技術士技能檢定規範，中華民國96年10月29日
- 7.臺北市市立木柵高級工業職業學校配管科網頁，<http://www.mcvs.tp.edu.tw/pfc/>
- 8.國立草屯高級商工職業學校，<http://163.22.44.1/ttvs17/index.htm>

作者簡介

許敏能先生

現職：臺北自來水事業處供水科股長

專長：漏水防制、自來水工程、自來水管材、用水設備規範

黃裕泰先生

現職：臺北自來水事業處技術科幫工程司

專長：自來水工程、自來水管材、工法研發、預算單價

自來水事業永續發展之探討

文/吳天瑛

一、前言

自有人類以來，人們生活均離不開水，早期從河川挑水、湧泉取水。水池（水井）打水挑至水缸儲存供需用水時使用。到近代自來水事業供水至家中水龍頭，水之使用與人類文明息息相關。全世界水資源總量極豐 97.5% 為海水，約 2.5% 為淡水，有限淡水資源中人類可取用僅約 30%，水資源是公共財屬國家公有資源，任何人均可享用但不容許破壞。自來水將原水淨化處理後再供應民眾使用，更為彌足珍貴。

我國自有文獻記載以來興修水利與消除水患等，為當政者之施政治國首要問題，到了今日由於經濟與社會大幅成長與改變，人們對於水的依賴程度未曾減少但需求與日劇增，近十年來民生用水稍有乾旱即有缺水現象發生，加以水源上游集水區保護未盡完善，以致於有暴雨即發生水濁情形而導致供水困難。

自來水為現代人生活必需品且與民眾健康、社區環境衛生及民眾整體生活品質與國家社會經濟發展有密切關係，國際上常以國家生活用水量及自來水普及率作為國家進步的指標，已是不爭的事實。

自來水事業之經營目標為水量充裕、水質優良及水壓足夠等三大方向亦即供應居民充足的水量、合乎水質標準的自來水以及穩定的水壓以提供生活及工商活動的需要。

永續發展為滿足現階段需求而不損及未來世代的福祉，水資源為永續發展不可或

缺的一環，人類為求生活之便利、經濟之發展，長期開發地球有限資源，無視環境破壞，造成今日資源面臨匱乏、環境污染、物種消失，全球氣候異常等嚴重後果。因此，在 1972 年於斯德哥爾摩所召開之「聯合國人類環境會議」，發表「斯德哥爾摩宣言」，宣言中強調：擁有良好環境是人類重要的生存權，保護環境並傳之後代子孫是人類的責任，亦是各國政府之義務。因此人類已到了必須共同採取行動的轉捩點，永續發展的觀念便由此而發軔。1987 年布倫特蘭報告主張永續發展有賴企業發展才得以支撐。

1992 年聯合國召開的地球高峰會（Earth Summit），通過了舉世矚目的「二十一世紀議程（Agenda 21）」，進一步把永續發展的理念規劃為具體的行動方案。十年後（2002 年）聯合國在南非約翰尼斯堡舉行世界永續發展高峰會-約翰尼斯堡高峰會（The World Summit on Sustainable Development--the Johannesburg Summit），檢討人類社會落實永續發展的成果，與自來水相關部分如表 1。

二、自來水事業重要性及價值

自來水事業屬水資源管理之一環，水資源管理是對於河川、湖泊、海洋地下水等之管理，其包括集水區治理、興建水庫取水利用、減輕洪水危害等。對人類而言，水資源用於生活用水、水力發電、交通航運、農田灌溉、水產養殖等。自來水事業屬於利用水之管理，其他同屬利用水的有水資源開發調配、防治水患、環境保全及親水環境等。

表 1 聯合國永續發展與自來水相關部分

層面	領域	指標項目
經濟面	保護及促進人類健康 促進人類永續安居發展 改變消費形態	基本的公共衛生 安全飲用水 都市地區人口百分比 每人每年能源消耗量
環境面	確保乾淨水資源品質與供應 對抗森林濫砍 山區永續發展	每人每戶用水量 森林保護區佔總森林面積百分比 山區自然資源之永續利用
制度面	整合環境及發展之決策	永續發展策略 環境影響評估

註：本研究整理

(一)水資源的重要性

水資源是地球上任何生態系統不可缺少之資源，水太多為水災，水太少為乾旱，水太濁形成污染，地球高峯會議議程建議大計畫項目的重要項目如下：

- 1.整合式水資源發展與經營。
- 2.水資源評估。
- 3.水資源水質以及生態系統之保護。
- 4.飲用水供應及保護。
- 5.水與都市永續發展。
- 6.永續糧食生產發展鄉村供水。
- 7.氣候變遷對水資源影響。

水資源永續發展的本質為必須以合理的途徑來利用自然資源，使後代子孫亦可得到有效水資源利用，自來水之供應主要為生活用水、工商業用水等，水資源的重要性(或價值)可區分如下：

- 1.維持生命：水與陽光、空氣一樣為人類生活三要素，人體中水佔體重 60-65%，失去 20%則有生命危險。
- 2.消除疾病與生活衛生用：洗衣、烹煮食物及沐浴廁所用之水。

- 3.娛樂精神用：住家景觀用水如園藝水景、遊憩用水如游泳池及社區水資源之娛樂利用。
- 4.環境調節用：雨水利用、排水處理再利用、冷暖氣系統、消防系統及街道行道樹花草等之澆灌。
- 5.環境保全用：下水處理、自然淨化、氣候調節、地下水涵養。
- 6.產業運送與動力用：農業用水、工業製程用水、水上交通、養殖用水及水力發電。

(二)永續自來水系統

自來水是人類利用水資源與地球自然環境息息相關，自來水使用與地球上人類不斷增加飲水及食物之需求有關。再者，經濟及社會持續的進步發展亦為用水量增加的原因。未來自來水仍會持續不斷的被使用，供應的兩大主要威脅為外在污染物的增加及高消費性。

永續自來水系統需要滿足用水需求的耐災設備、達到生態環保要求及生命週期汰換老舊設備等。例如：都市化及工業進步是都市用水量增加的原因，水資源的臨界量安

全庫存量受氣候變遷的影響，人們利用集水區墾植農林作物、開闢產業道路及污水排放等造成水源水質惡化等已是自來水事業必須面對的問題。

(三)永續發展指標

1.永續發展內涵

永續發展乃源自於人們對環境問題的認識及關注，而產生的背景為人類生存的環境及資源已遭受嚴重的破壞，永續發展的觀點，擴展了傳統環境保護的範圍，從環境污染和生態破壞的內容，擴展到產業發展、都市建設、社區營造、社會正義維護、能源生產和消費、資源保護和利用等經濟與社會發展的各個領域。從各個區域、國家的獨自行動，擴展到多個國家及全球的合作；從考慮當代人的需要擴展到要滿足後代子孫的需求；這些內容的擴展，都需要透過環境教育，方能達成。永續發展可歸納為五大要素：環境與經濟是密切相關的、隔代公平、同代公平、在提高生活品質的同時要維護生態環境及公民參與。聯合國召開的國際會議及出版的書籍均強調永續發展必須經由環境教育培養新的環境倫理及價值觀，藉以完成態度與行為改變的目標。

- 1.經濟層面的定義——發展在經濟上要合乎效率，發展的效益要由後續的世代來均分。主張建立在保護地球自然環境基礎上的持續經濟成長。追求經濟發展的同時，也要顧及經濟發展要素的存量，並考量一般人民基本需求。如調整產業結構、改變消費型態等。
- 2.社會層面的永續——發展本身不可以產生社會衝突，要增加人類控制自己生活的能力，所有社會團體應該有參與決策的機

會。主張公平分配，以滿足當代及後代全體人民的基本需求。鼓勵非政府組織、提升基層民眾參與公共事務之程度。

- 3.環境層面 (Environmental)：主張人類與自然和諧相處。重視自然資源的保育。

另尚有文化層面的永續，係指任何發展都應該將受發展而影響的人類的價值考慮進去。發展要能維護及鼓舞更多元化文化團體的存在，確認他們的遺物與傳統的價值；及生物層面的永續，係指發展應該將生態過程、生物歧異度及生物資源的維護考慮在內，我們必須確認其他物種的生存及福祉。

2.自來水事業永續發展評估內容

美國公共工程學會、水利學會等訂出事業體有效管理評估內容與產品質量、職工與領導能力發展、財務可行性、利益相關人理解及支持、客戶滿意度、業務優質化、業務彈性、社區永續發展、基礎設施穩定性。水資源充足等有關。再將其歸納分成自來水事業之永續發展與用戶用水量、系統供應管理、資源應用及風險管理等四大項作為評估，如圖1。

三、自來水事業面臨的問題

自來水事業目前及未來面臨的問題除氣候變遷造成枯水期降雨量減少，蓄水設施不足，集水區土砂災害增加，民眾對於缺水忍耐度降低及水價偏低等之問題，另外部分地區因下雨集中水量太多造成洪水，致發生原水混濁情形影響到自來水生產而有供應困難之問題、因人為的開發破壞未曾中斷致涵養能力不足造成水源總產出量日漸減少。

(一)事業本質方面

- 1.用水量

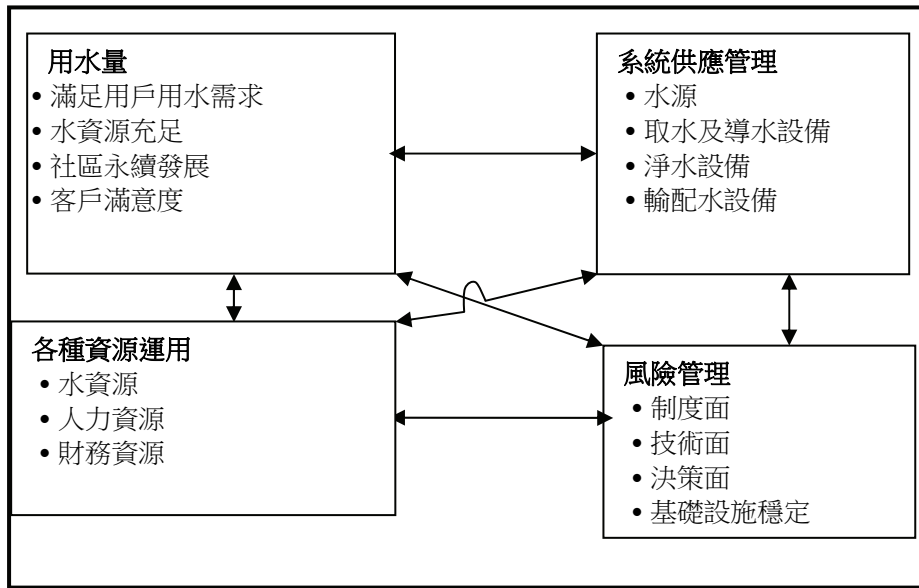


圖 1 自來水事業永續發展評估內容

自來水事業依照地區特性、人口密度等供應充裕自來水與民眾使用，都市化及工業進步是用水量增加的原因。由於人口集中於都市，經濟的發展及國民生活水準的提高，用水之層面逐漸廣泛，如游泳、水療、溫度調節、水景、工業製造用冷卻、鍋爐及保護居家生命財產安全的消防用水等。再者，完善之自來水為都市繁榮的必要措施，亦為工業發展之基本條件，國民生活水準的高低，可由自來水之使用量及普及率之高低作為指標。故自來水用水量與水資源總量充足與否？用戶需求量變化情形？社區自來水供應穩定度？以及用戶對於用水情形滿意度等息息相關。

2.系統供應管理

自來水事業為了供應自來水與民眾使用，需覓妥財源建設取水設備、貯水設備、導水設備、淨水設備、輸配水設備等，各項設備於完成後即有老化問題，導入資產管理制度，及時檢討系統供應相關設備安全度及

供水穩定度、水庫淤積改善問題及供應量是否大於需求量。

水源安全防護：防止上游水源受污染、即時水源水質檢驗與監測集水區範圍內水源水質變動情形、取水結構物安全評估、上游林地保護及限制土地開發運用。

貯水設備：攔水壩、蓄水庫結構物安全評估。

導水設備：導送原水管道（或隧道）及相關閘門、閘類巡查維護。

淨水設備設施維護：評估主要構造物安全性、機電設備操作巡檢維護。

配水池及加壓站設施維護：評估構造物安全性及機電設備操作巡檢維護。

輸配水設施維護：輸送清水管線及相關閘類巡查維護。

用戶用水設備：檢查設備安全性、定期清洗水池水塔、水質異常事件即時排除。

3.風險管理

風險由不確定因素所引起，其因素有自然現象、社會現象及技術不良等。風險管理是運用科學系統規範的方法對風險進行識

別處理的過程。以最低的成本實現最大安全保障或減少損失的科學管理。健全管理制度方面，如訂定各項設備檢查制度，建立標準作業流程、建置監控系統及相關數據登錄作業、緊急事件應變制度之建置。

一般情形，事業體應及時全面檢討系統之脆弱度，依檢討待改善之部分系統作好事先預防工作，例如落實各項設備檢查，依標準作業流程執行工程或作業、監控作業認真執行、緊急事件應變並落實通報及回報。再從技術面、制度面及決策面檢討應注意事項。

技術面：探討風險可能的狀況採事前預防因應、人員動員機制要編妥並時常更新、災害事件列為知識庫並認真辦理演習及演練。

制度面：組織各部門應訂定危機應變計畫、重視危機溝通使各部們危機處理更暢通、設備要耐災考量以減輕受災的影響程度。

決策面：加強認知能力針對設備所處環境及氣候變遷等以新視野評估、強化資訊彙報管理能力暢通以即時處理危機、強化決策支援系統資料整理分析即時正確。

4.資源運用

自來水事業是利用相關資源使事業產生最大價值，以水作為生產要素，將原水淨化後送至用戶，因此水資源總量足夠與否影響到自來水事業能否充分供應的首要關鍵因子。二為人力資源，各部門的分工合作對於事業體整體運作的效率是事業永續發展的關鍵元素。三為財務資源，企業運作與財務健全息息相關，如人事成本、設備擴充或

更新（或維修）均需資金。

(二)發展及目標

1.用水量需求

臺北市人口已逐漸轉化為人口成熟穩定之都會區，每人每日用水量約 350 公升，與歐洲國家比仍偏高，以水資源缺乏國家而言，都市用水宜以節約為原則，推動節約用水為事業體努力方向，降低用水達合理用水量為目標。

都市中自來水系統是都市形成與發展不可缺少要素，自來水系統提供居民及工商業活動用水必備設施。近代由於人口增加，經濟的發展及國民生活水準的提高，用水之層面逐漸廣泛，如游泳、水療、溫度調節、水景、工業製造用冷卻、鍋爐及保護居家生命財產安全的消防用水等。再者，完善之自來水為都市繁榮的必要措施，亦為工業發展之基本條件，國民生活水準的高低，可由自來水之使用量及普及率之高低作為指標。故自來水工程已被認為是都市及鄉鎮的基礎工程建設。

2.系統供應管理

人類文明與水的關係密切，人們最早居住的地區均接近河川。世界各大都市對於自來水之供應，均持續辦理擴建工程及改善各項設備以滿足民眾需求。受全球氣候變遷異常及水源不足影響下，自來水事業如應變不及，則會有缺水之情事發生。不僅都市如此，農村、漁村亦是如此，以自來水為確保生活用水唯一手段，自來水事業所擔負的責任，要確保營運正常並防止事故。

自來水系統之規劃是都市規劃的一部分，通常包括水源、導水管渠、淨水場及輸配水管網組成。亦是都市的維生系統之一

環，與其他維生管線例如電力、電信、交通、瓦斯、下水道等對都市之發展及居民（或工商業）日常活動必須之管線系統類似，自來水提供都市基本機能，以改善都市生活環境及促進工商發達為目的。

自來水工程的規劃營運目標為，水量充裕：滿足供水區域各種用途之需水量。水質安全：合乎自來水水質標準。水壓適當：維持正常的水壓，均勻供應至區內任何地點。都市不斷的發展以及人口集中，供水系統複雜，自來水事業需要不斷的更新設備，以維持營運正常。

3. 風險管理

風險管理的目的並不是消除風險，而是管理風險。自來水事業遭遇天然災害如地震、颱風、洪水、乾旱和無電力的情形，同時亦有老舊水管爆裂及第三人施工挖損造成部分用戶無水情形。發生後如系統健全可即時調配供水，影響供水區域用戶數均降至最低。隨著社會不斷變遷及發展，面臨的風險也層出不窮。自來水法明定遇有緊急或意外事件時可暫停供水，並告知民眾使用是危險的，遭遇不同的危機當時，不可能維持滿足所有用戶的服務。風險除天然的現象外，其他的現象包括沒有足夠的經費去維護以維持經常的服務。日以繼夜的操作需要設備的升級及維護管理。同時需要風險管理的方法去管理所有的業務，檢討流程可能的風險，部分營運需與民間團體合作，以即時處理可能的災害。

穩定的供應輸送合乎衛生的自來水不僅對於市民生活非常重要及同時與都市社會有許多關連性，例如對都市社會公共衛生的維持與改善亦承擔基本的責任，萬一發生

水供應中斷情形，對於社會的衝擊將是激烈的，因此自來水事業提供滿意的服務，應想盡一切辦法以合理的成本來防止停水或斷水的事件發生，大都市如台北、高雄、台中，停水造成商業大樓冷卻水塔無法運轉，將導致電腦機房無法運作、工業生產線暫停，大型鐵路車站或捷運系統等地下空間空調系統將受到影響。因此，自來水事業對於安全性、財務的健全及效率要達到平衡。

臺灣地區水資源開發日益困難，氣候變遷已對水的供應與需求產生影響，91 至 92 年的北部地區乾旱已造成都市社會活動的衝擊，颱風對自來水事業的影響，已由 94、95 年艾莉等風災造成桃園地區停水而提高風險的警覺性，88 年集集大地震，亦造成自來水設備的損壞而影響供水。因此自來水事業應提升應變能力並與水利有關部門共同通力合作，以使自來水供應能保持備援備載的操作及管理，滿足顧客需求。採用風險評估方法，針對可能的風險做事前預防工作，從水量供應、事件應變及備援備載面向檢討歷年來事件分析造成的原因及影響情形、事件發生時如何應變以及後來如何改善。近年來水量供應已由早期偶有不足到有多餘水量支援台水公司，事件應變已由被動提升為主動，備援備載藉由複數化系統進行調配已大幅降低用戶無預警停水戶數及影響時間。

4. 各種資源運用

世界各國日益重視環保和減少伐木的情況下，水的重要性愈為顯著。如新加坡政府有鑑於水資源命脈被馬來西亞所緊扣，若任其哄抬原水價格，將嚴重影響國家經濟及民生用水，為因應經濟發展需求，必須尋求長期穩定水源，因此提出擴大國內水源長期

穩定的供應來源，以確保和馬來西亞簽訂的水供協定，在 2011 年到期後，不會發生供水短缺的問題。增加水源的方式為「新生水」的製造及「海水淡化廠」的興建。

台灣年平均雨量達 2,510 毫米，為台灣水資源之主要來源。雨量雖然豐沛，約為世界平均值之 2.6 倍，但因地狹人稠，每人每年所分配雨量僅及世界平均值之七分之一，且雨量在時間及空間上之分佈極不均勻，五月至十月之雨量即佔全年之 78%，枯水期長達六個月，再加上河川坡陡流急、腹地狹隘，逕流量被攔蓄利用的僅有 177.54 億立方公尺，約佔年總逕流量之 18%，其餘均奔流入海。台灣目前現有大小水庫約 40 座，密度相當高，惟庫容均不大，水庫總容量約 22.43 億立方公尺，有效容量為 20.51 億立方公尺。

(三) 節能減碳

由於自來水設施部分需要利用電力，石油價格近年來一直居高不下，藉由汰換老舊管線減少漏水量以降低出水量、離峰時間加壓站抽水機採變頻加壓方式供應轄區用戶，可降低使用電力達節能減碳效果。自來水事業在節能方面可以進行的作為：

1. 汰換老舊管線及設備：汰換換新老舊水管及相關閥類，抽換已屆年限（或不良）管材。以減少管網系統漏水量，可逐年降低出水量。達年限之抽水機亦依期程汰換可提高運轉效率，減少用電量。
2. 淨水節能：檢討反沖洗程序降低反沖洗用水量，減少操作水。
3. 操作管理：離峰時間以重力方式供水，節省操作抽水機所需電力，以節約用電量。供水用電以遠方壓力足夠供應為操作原

則，適時降低抽水機轉速，以節約用電量。檢討尖峰時段用電，錯開電力公司尖峰時段以重力方式將配水池蓄滿等亦是可採用的措施。

四、自來水事業的策略

自來水事業面對目前及未來的挑戰，需從環境、經濟、社會面向研擬策略。事業體之營運涵蓋生產、供應、行銷及服務，管理因應未來之環境趨勢，其策略包括：

1. 健全規劃與控制體系，以科學方法預測未來用水需求，詳細規劃水源開發、設備投資、營運改善、人力資源運用以及財務籌措等方案，逐年落實推動，並採用績效評比方式管制考核，充分發揮企業化管理之功能。
2. 組織再造，檢討目前之組織層級架構，朝扁平化、效率化、明確化之方向改進，並加強員工素質以提升其生產力。
3. 資訊管理系統化，各項作業朝全面電腦化推動，並提供管理及分析之用。
4. 委外辦理工作如用戶新裝、管網汰換、管線修漏、水表拆換、抄表等工作，以節省用人成本。

(一) 環境方面

1. 水源保育

森林的保護是重要的，近年來久旱不雨就有缺水的事件發生，實因水源區保育未做好，濫墾濫伐造成下雨就有土石滑落或土石流發生，下雨稀少就會缺水的狀況。為了水資源永續發展，減少對自然環境的破壞，以涵養水資源。上游定期造林、崩塌地保護及限制土地開發利用等措施來保護水資源。

2. 改善河川污染

河川遭受工業、畜牧、家庭廢水污染，

如能讓河川恢復清淨，廣大的農田、漁塬就不必再使用髒污的河水，亦可提供民生用水。改善河川水質就可以讓民眾親近河川。將污水收集處理後排放可改善污染情形。

3.改善漏水率

自來水管線漏水率偏高，通常自來水事業以提高售水率降低漏水率為營運上努力的目標。而要提高售水率，必須加強營運管理減少不計費水量及漏失水量。如汰換故障、逾齡水表，正確抄表及加強取締違章竊水外、減少漏水量方面，應採取下列作法：加強檢修漏及提昇修漏速率、汰換老舊管線、嚴格要求提高配管施工品質、改良器材品質及調節配水量等。

(二)經濟方面

1.節約能源

能源消耗，大部分是在變電及配電設備、抽水機使用方面。可以節約能源方面可採用的措施如下：

- (1)改善功率因素。負載電流變小，減少電力的損失，也節省電費。
- (2)採用高效率的電動機，節省電力費用。
- (3)電動機在負載率 75%~100%之間使用時，有最佳的效率。低於 50%以下時，功率和效率變得很差，應改採用小容量的電動機。
- (4)避免空轉損失。電動機空轉時耗電量為額定容量的 10%，若每次空轉時間超過 2 分鐘，可以考慮加裝連動開關控制。

2.氣候變遷

氣候變遷造成氣候變異，根據研究，未來臺灣豐水期間（5 月到 10 月）極端降雨強度會增加，因地表流量大增導致洪災、土石流災害等。再者連續不降雨日會更長，導

致地表流量與地下水補注量減少，進一步影響供水的能力。水資源可供應量因氣候變異加劇而變化加大，使得蓄水設施的需求量增加。從水資源供應端來看，地表與地下水資源可供應量的信賴度恐將低。水資源需求量與時間分布的改變、水資源可供應量降低與變異加大，風險管理的已日漸重要。

3.水價合理化

水資源是公共財，價格為達成經濟目標的操作工具，因為水資源工程係高度資本密集的投資，水價訂價不當將造成超額需求的浪費或供需失衡的現象，甚至影響用水者的選擇，扭曲原設定的經濟效率。合理價格應以反映所使用的資源價值。防止資源浪費，並促進公平有效的永續利用。合乎社會性與經濟性需求，保有適度的社會公義與投資報酬率。

(三)社會方面

1.節約用水

節約用水是因應缺水的問題，台灣是缺水地區年降雨量十分充沛。由於地狹人稠、山坡陡峻，以及颱風豪雨雨勢急促，降雨皆迅速流入海洋。因此，每人每年實際可分配到的降雨量甚少，僅及世界平均值的七分之一。按目前世界標準，當一個國家或地區的每人每年供水量介於 1 千至 2 千公噸時，則為缺水地區。根據此一標準，台灣因每人每年可用水量僅約 1 千公噸，屬於缺水地區。此外，台灣的降雨量在地域、季節的分布極不平均，更易造成地區性、季節性的乾旱。未來，由於經濟發展、人口成長、以及新水源（如建造水庫）的開發成本增加，缺水的問題將愈發嚴重。

節約用水也為保護環境，多蓋一座水庫

就難免多破壞一分環境，節約用水可減少開發新水庫，間接也保護環境。庭園灌溉如用水過多，所需的肥料也愈多，適度的灌溉不僅省水，而且也減少肥料滲入地下水。即使是飲用瓶裝水，對環境也有間接的影響：供水必須消耗電力，而發電必然產生一些污染，甚至洗杯用的清潔劑等，都對環境造成或多或少的衝擊。

另外宣導節水，工廠可以透過檢討製程、合理用水及回收再利用來減少需補充之自來水量；居家生活上採用符合省水標章的產品，庭院採用噴灌、滴灌系統或省水管路灌溉系統及養殖用水循環再利用等，都可以大幅減少對水資源的需求。辦理各項節水教育活動及檢查用水設備與定期維護，可即時修復漏水或汰換設備。

2. 水再生與再利用

「再生水」利用供水系統係指將建築基地內的生活雜排水（如洗澡水、洗手水、洗碗水或輕度使用過之污排水，如洗澡水、洗手水或拖地污水）匯集處理控制後，達到一定的水質標準，能在一定範圍內重複使用於非與身體接觸用水、非飲用之再生水處理系統。設置再生水利用供水系統回收方式，設置較適用對象為集合式住宅、學校等，並且可依其所在的地理位置、再生水的用水量、附近下水道設施狀況及城市污水處理廠等因素來決定回收方式。

3. 替代水源之利用

一般而言，雨水是相當乾淨的水源，除非是空氣污染嚴重地區，否則建築物或校園宜規劃及利用屋頂作為雨水收集面積，再把雨水適當處理與貯存。並設置二元供水系統

（即自來水及雨水分別使用之管線），將雨水作為雜用水，如沖廁所、澆灌、補充空調用水或景觀池及生態池之補充水源等。所以雨水利用措施可節省珍貴自來水源並降低水費，更能真正落實水資源有效利用之目標。

五、結論

自來水是近代社會文明、科學發達之產物，隨著時代的進步，其效用起初由供給飲用而增加到促進生活品質提升，支持產業活動，成為國家之重要基礎建設，自來水事業的經營也因此具有其時代之任務與使命，與時代同步邁進。未來用戶對自來水事業所提供的服務，將會更嚴苛。人口的增加，經濟的成長及政府推動提升國家競爭力，台灣積極發展科技產業，自來水供應量亦會增加，水源的開發將更迫切。新的水質標準正分階段實施，淨水處理技術的高級化將是必然的趨勢。對企業管理方面，仍有組織應變能力不足、設備逐年老舊等問題。

自來水永續發展應重視水源開發與利用之多元化、提升淨水場之處理功能及處理技術之高級化、強化風險管理，提高應變能力。建立資產管理系統及健全財務結構等。據以規劃未來各項計畫、措施與方案，展現新時代高績效的自來水經營新風貌。水資源為民生的命脈，亦為國家經濟發展的原動力。未來台灣可能面臨嚴重缺水的危機，或颱風豪雨所產生的洪泛威脅。事業體或相關單位必須面對缺水問題而研擬回收水之利用方案，利用環境教育使全民改變水資源的利用習慣，且重視水資源的保育，了解水資源的重要性，全力保護珍貴水資源、方能期待水資源得以永續利用，並使自來水事業得

以永續發展。

參考文獻

1. 李永展，永續發展-大地反撲的省思，台北，巨流圖書公司，2003年9月。
2. 虞國興、蔡宜樺譯，21世紀水資源管理，台北，俊傑書局，2004年5月。
3. 馮鍾豫，水資源規劃，台北，科技圖書有限公司，1996年7月。
4. 李公哲，永續發展導論，台北，中華民國環境工程學會，1998年。
5. 黃書禮，台北市都市永續發展指標與策略研擬之研究，台北，台北市政府，1996年。
6. 經濟部水利署，水資源永續發展政策規劃，台北，2005年4月。
7. 蕭新煌等著，永續台灣2011，台北，天下遠見有限公司，2003年1月。
8. 證嚴法師著，與地球共生息，台北，天下遠見有限公司，2006年7月。
9. 黃金山，二十一世紀台灣水資源永續經理的展望，第十二屆水利工程研討會論文集，2001年7月。
10. 經濟部台灣自來水公司，99年度永續報告書，2011年8月。
11. 台北自來水事業處，2010永續發展及環境報告書，台北，2011年。

作者簡介

吳天瑛先生

現職：臺北自來水事業處東區分處修漏股長

專長：自來水工程規畫、設計、施工及研究發展

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。

水資源投資分析指標研析探討及未來趨勢建議

文/廖庭宇、阮香蘭、鄭欽韓、吳依芸、林真伊、劉世翔

摘要

本研究為有效衡量國內水資源投資之效益，針對水資源投資進行資料蒐集、指標架構與內容建立、趨勢分析，及綜合研析，由全面性的檢討，結合建設投資與營運管理及投資成效分析，進而對未來水資源投資策略提供一個全新的思維。

本研究首先針對水資源投資建設執行之政策規劃、設計執行、投資建設與營運管理等過程，系統性地對各個階段提出對應的評估指標，包括所需資本形成與維護管理之「成本指標」(包括「資本形成指標」及「維護管理指標」)，及可反映政策目標之「投資成效指標」，藉由比較歷年水資源投資額以及水利公共建設資本存量之變化，計算出公共建設之平均單位資本形成與長期經營之成本，進而探討水資源投資之效益^[1]，除可用於評估過去投資績效外，亦可推估將來水資源投資之負擔，作為投資決策上之參考。

本研究研析投資分析指標之內容及趨勢，並觀察國內水資源歷年之投資概況，藉此了解各資本形成、維護管理、施政成效之整體走向及其相互連結的關係，進而研提水資源投資未來趨勢建議，包括：水利設施之定常維護措施效益顯著，應編列固定維護費用；自來水供水普及率、海堤與海岸防護累計完工長度、區域排水累計整治工程長度已呈現邊際成本遞增之趨勢；及水價合理調整，將有助於降低漏水率，亦可改善臺灣水資源短缺與經營現況。

關鍵字：水資源投資分析、投資分析指標、投資趨勢、維護管理

一、前言

為達到穩定供水、防洪排水等政策目標，政府必須投資各項水資源公共建設，其項目包括新建設工程、定期維護管理及汰換更新等工作，以確保各項公共建設有效發揮其設計功能。公共建設包括政策規劃、設計執行、投資建設與營運管理等階段，一件公共建設政策之執行，往往耗費鉅資，且耗時短則數月，長則數十年，對於政府財政、整體社會與經濟層面的影響既深且久，但事後之成效評量雖相當重要卻常為人所忽略，因此公共建設政策的推動是否達到預定目標，需要系統性地追蹤及深入的探討^[1]。

因此，透過蒐集各項水資源投資資金、建設及維護存量之成長，及成效等數據，形成可觀察過去至今投資趨勢之指標，從中擷取對於目前國內水資源環境具前瞻性之投資建議，係為協助國內水資源永續發展利用之重要參考依據之一，本研究即以此為主要目的，綜合分析整體投資中值得探討的現象，並從中提出分析結果及建議，作為未來水資源投資政策之參考。

二、國內水資源投資背景

水資源投資之內容可分為建設與研發兩大項目，其中水資源建設係為國內水資源主要的投資內容，亦作為評估成效之主要研究目標。水資源建設係屬國土建設的一環，

以治水、利水、親水為目的，強調水源供應與水患防治。國內水資源建設經費於 99 年度總計投入 890.08 億元，包括公共給水、防洪排水、水污染防治、水土保持等標的之建設，此類投資建設具有以下特性：包括影響國計民生、投資期程長、投資金額龐大、建設經費回收不易、具顯著的外部效益、為耐久性財貨等^[2]。

然近年來受氣候變遷影響，水利設施的功能與防災能力受到洪水量、海岸侵蝕與土砂災害等發生頻率與規模的增加，而面臨水患治理、海岸防護與維持穩定供水的重大挑戰與課題。早期傳統水利工程的推動主要目的係為了降低災害對社會經濟的威脅，如今在社會經濟變遷及氣候變遷下，更應強化現有災害應變體系與避難措施，及增加備援供水能力^[3]。

因此，隨時代變遷，水資源的調配越趨注重同時以工程手段和非工程手段進行，意即前述所包括的建設與研發內容必須並重，亦可理解為硬性與軟性的投資兼具，俾利由各層面切入，以加強水資源之開發與維護。

就工程面而言，國內公共設施政策長期以來均偏重於新建，輕忽既有設施的維護^{[4][5]}，經設施使用時間的演進，國內多數公共設施正面臨逐漸老化與劣化之問題。維護管理之主要作用在於強調功能維持、性能回復或結構強化，及改善設施服務效率、降低維護成本或增進設施效益。但對於損壞或老舊之水利設施，過去多數以修復其功能性為應對之手段，而忽略到達使用年限的設施維修費用及經濟效益遠不如預期^[6]。美國環保署

在預估未來自來水事業的營運及維護成本負擔上，由歷史數據發現 1970 至 1997 年，營運及維護成本占總淨股本價值百分比呈現隨公共設施年齡增加而增高的趨勢^[6]，並認為有效的設施管理及維護可將此部分成本額度之百分比降低。由國外文獻中對於公共建設營運及維護成本重視的情況來看，國內公共建設未來若要朝永續發展的方向前進，固定且穩定之維護管理策略，其成本效益應被探討與重視。

就非工程面而言，長期性的水資源政策，包括水價合理調整、加強執行減漏策略等^[6]，皆為影響水資源永續使用之重要因素。現今國內自來水水價仍無法實質獲得調整，其原因可能為水價調整須經議會審查，並易受主政者的態度而影響^[7]，及受限現行法令等因素，導致水價的調整往往需基於「政治」的考量，並非「經濟」因素。水價調整不易，造成自來水事業推行之節約用水成效不彰，且自來水事業資金不足以汰換、改善現有自來水設施，而無法提高供水穩定性與服務品質^{[8][9]}。

由過去文獻研究可得知，雖各國水價大多以回收操作營運與維護成本為主，但仍有程度上的差異；至於水價是否反映投資成本，各國不一，惟部分反映的情況普遍^[10]。目前國內關於水價議題之文獻，多屬水價調整結構、調整原則與調整方式等研究，如以經濟效率、公平、成本回收、節約用水、可行性等目標，建立不同的水費定價模型^[11]；此外，水價調整應考慮將水資源保育與調度運用之政策等成本納入考量^[12]；而針對水價合理成本及水價調整對於一般家庭及工商

業的影響進行探討中，顯示水價調整對於經濟之影響十分微小，並應將漏水率納入水價調整之指標^[13]。行政院吳前副院長亦曾於民國 92 年 9 月 1 日召開全國水利會議，其中提到「現今水價已無法反映水資源的稀少性和價值，對資源的使用效率和保育皆有負面影響；水價應考慮水資源市場之結構，必須同時反映水資源的供給成本和使用成本」。

在目前國內水資源分配不均、供需失衡的情況下，水利建設及相關水資源措施之投資策略顯得格外重要，無論是工程面或是非工程面，如何以有限的投資經費，創造永續的水資源經營環境，即是目前國內在水資源投資方面的必行之勢。因此，本研究試藉由水資源投資分析指標之研析，探討由指標趨勢評估目前水資源環境之投資走向，並提出高瞻遠矚的水資源投資建議。

三、水資源投資分析指標

本研究將水資源投資分析指標分為「資本形成指標」、「維護管理指標」與「施政成效指標」三類指標，整體主要概念為，研析藉由水資源投資之「資本形成」及「維護管理」，連結分析水資源投資之「施政成效」面向與水資源投資之金額，進而探討水資源投資之效益，提供作為水資源投資之參考，其間之關係圖如圖 1 所示。

本研究對於指標選定原則遵循以下四項原則：1. 三類指標必須維持其一致性，並互相對應，以利用其間之對應關係來進行探討；2. 「資本形成指標」與「維護管理指標」以數量形式表示，而「施政成效指標」則以效率或效益來表示；3. 三類指標間必須相互連結，並與投資額連結；4. 參考指標之資料

來源須選用穩定、長期性、往後皆可持續取用之資料^[1]。

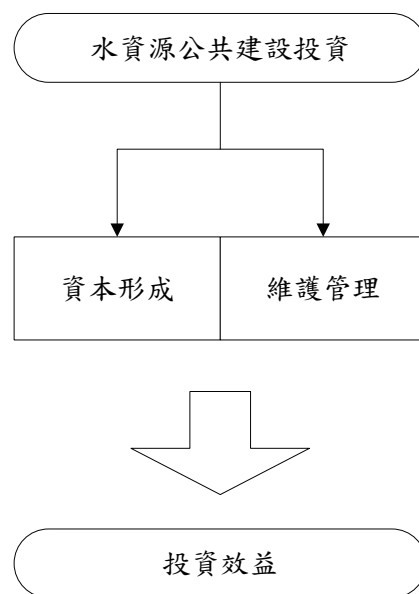


圖 1 水資源投資指標概念^[1]

舉例而言，河堤與護岸累計完工長度等可以具體量化建設數量的係為資本形成指標，而河川與護岸維修工程長度等考量折舊費用每年維護統計的即為維護管理指標，而包括各項防洪計畫的改善結果則為成效指標；此外，自來水普及率是國家給水發展之成效指標，亦為國家發展或競爭力評估的指標之一，而在自來水普及的政策目標下，政府執行了許多建設或維護計畫，如水庫與淨配水設施的興建，或管線汰換等管理維護工作，此時水庫累計完工有效容量、淨水場累計設計出水量等即為資本形成指標，而自來水管線汰換長度即為維護管理指標。

由於在擬定政策目標以及決策公共建設投資上，必須同時考量經濟社會發展之需求以及達到政策目標之相關成本，其中包括公共建設投資、政府行政、社會與環境影響之成本等等，而研析水資源投資分析指標之目的即在於由全面性的檢討，結合建設投資

與營運管理及投資成效分析，進而對未來水資源投資策略提供一個全新的思維，其功能包括：1.讓國人瞭解歷年水資源投資的成果；2.與世界接軌，讓各國可瞭解我國水資源投資建設情形；3.各項指標可供資源分配及激勵施政成效參考^[1]。

四、我國水資源投資指標趨勢分析

針對維繫國民生活及健康安全之公共給水、防洪排水，及水污染防治三類別投資項目，本研究進行資料蒐彙及相關指標整理，串連各項投資成本與施政成效指標，分析各項投資建設與施政成效指標的關係。其篩選之水資源投資分析指標如表 1 所示。

由表 1 中所列之指標，綜合分析國內整體投資趨勢概況，目前國內之水資源建設已不若早期一般強調在新建工程上，且部分水資源相關新建工程投資已呈現邊際成本遞增之現象。除污水下水道系統因起步較晚，我國公共污水下水道普及率與國外相較仍

偏低，亦須持續建設，亟待迎頭趕上，許多建設投資亦轉向維護管理之層面。此外，水資源投資之資金來源除由政府投資以外，自來水水價之收取亦為維持給水系統運作之主要資金來源，因此，就水價收入連結漏水率之探討，可進一步分析水價調整之效益。

本研究針對由指標趨勢中觀察到的現象，進行以下三項內容之分析，包括：(一)編列固定維護費用、(二)邊際成本遞增，及(三)水價調整之效益分析，進而可對國內水資源投資層面提出具前瞻眼光之未來趨勢建議。

(一)編列固定維護費用

首先本論文藉由觀察國內於河堤與海堤維護工程成本之歷年投資概況，研析其維護工程中屬定常歲修類及災後復建搶修類之不同趨勢，探討未來於河堤與海堤公共建設之投資建議。

表 1 水資源投資分析指標列表^[1]

投資成本		施政成效指標
資本形成指標	維護管理指標	
公共給水類別		
*水庫累計完工有效容量 *淨水場累計設計出水量	*水庫清淤量 *自來水管線汰換長度	*水庫有效容量維持率 *自來水漏水率 *自來水供水普及率
防洪排水類別		
*河堤與護岸累計完工長度 *海堤與海岸防護累計完工長度 *雨水下水道累計完工長度	*河堤與護岸維修工程長度 *海堤與海岸防護維修工程長度 *區域排水累計整治工程長度	*雨水下水道實施率 *都市計畫區內單位面積之雨水下水道長度
水污染防治類別		
*污水下水道累計完工管線長度 *污水處理設施累計完工數量 *污水處理系統累計設計處理水量	*污水下水道系統污水處理量 *土壤及地下水污染整治場址累計數量	*污水處理率 *重要河川污染程度比率 *主要水庫優養化程度比率 *地下水測值低於地下水污染監測標準比率

1. 河堤與護岸維修工程

將河堤與護岸當年的維護工程長度除以累計至當年度河堤與護岸完工長度，可得「河堤與護岸維修工程率」。本研究即以觀察歷年河堤與護岸維修工程率，來分析河堤與護岸維修工程中，歲修、災害復建、搶修三類工程所呈現之趨勢走向。

由圖 2 中可以明顯發現，民國 93 後歲修率大幅提升，而民國 93 年至 98 年之搶修率及災害復建率皆低於 2%，整體趨勢呈現當歲修率開始上升，相對其搶修及災害復建率隨之降低的情況。進一步觀察，圖 2 之歲修率呈現週期性，幾乎是每三年為一個波型，民國 93 年後，歲修率雖大幅提升，但仍舊呈現每過兩至三年即下降的趨勢，同時觀察災害復建率及搶修率則呈現相反趨勢，意即歲修率週期為 M 型曲線時，災害復建率及搶修率呈現 W 型曲線。

當歲修率開始上升，相對其搶修及災害復建率隨之降低，此結果可顯示歲修工程可能有效減低河堤與護岸於水患發生時喪失防洪功能之機率，凸顯了河堤與護岸歲修工程之重要性，由此可見，歲修工程為延長設施年限、保持設施效能之關鍵投資。

另就各類維護工程之單位成本而論，歲修工程之單位成本亦為其中最低(如圖 3)，對於未來在河堤與護岸維修工程面之投資，歲修工程之經濟效益不容忽視，推斷定常維護管理之投資成為水資源建設中重要的未來投資趨勢。

2. 海堤與護岸維修工程

海堤與護岸維修工程部分仿照河堤與護岸維修工程研析之架構，將海堤與護岸當年的維護工程長度除以累計至當年度海堤

與護岸完工長度，可得「海堤與護岸維修工程率」。

觀察圖 4，同樣從民國 93 年開始，養護率大幅提升，而相對災害復建率及搶修率皆明顯下降。而由圖 5 所示，說明臺灣於民國 90 年後海堤與海岸防護維修工程災害復建、搶修、養護之累計經費與禦潮工程長度間之線性關係，可知估計養護工程單位成本為每公里 546 萬元，相較其他海堤與海岸防護維修工程之單位成本遠來得低，顯示養護工程可達到之效益仍遠比災害復建、搶修工程要來得高。由此可見定期固定之維修工程(養護)不但效益大，固定的修護經費投資存在一定的機率可降低災害與折舊造成之海堤毀損。

由上述河海堤維修工程效益之分析，可發現整體分析凸顯了定期維護(歲修與養護)對現今水利設施的重要性，定期維護之投資勢必成為未來提防建設之投資走向。

未來水資源公共設施之投資若能朝編列定常維護費之方向擬定投資策略，則可提高維持設施效能之機率，降低花費於緊急災害搶修面向之投資，意即除了可降低成本，亦可增加防護效益。

(二) 邊際成本遞增

綜觀整體水資源投資分析指標與投資經費間之關係，本研究發現，部分水資源投資指標已呈現邊際成本遞增之趨勢，未來持續投資之效益或資本形成之達成率可能不若以往，因此如何規劃未來水資源建設投資，是否應改變投資方向或標的，乃值得討論之議題。

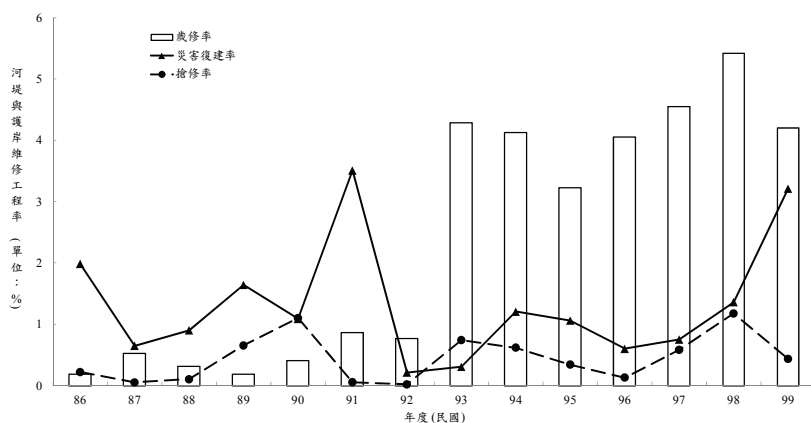


圖 2 河堤與護岸維修工程率

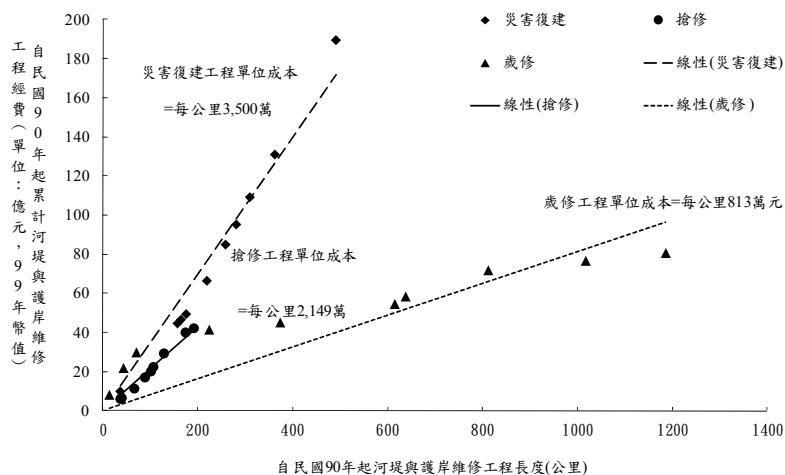


圖 3 民國 90 年起累計河堤與護岸維修工程長度與經費關係

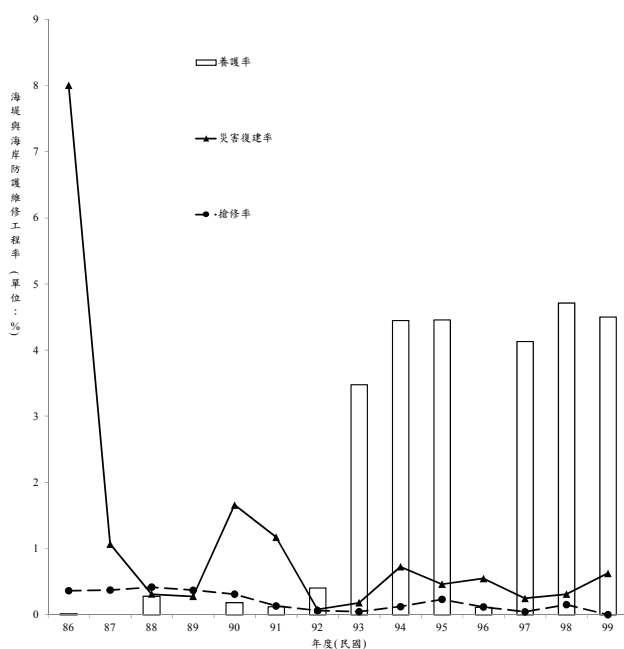


圖 4 海堤與海岸防護維修工程率

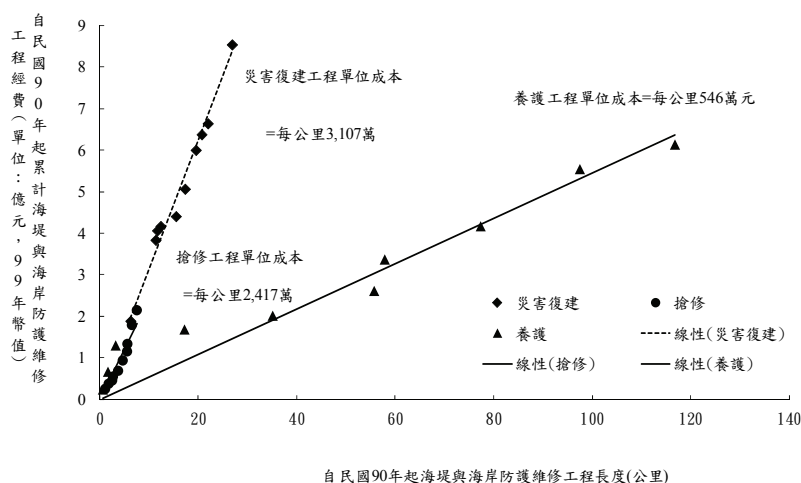


圖 5 民國 90 年起累計海堤與海岸防護維修工程與經費關係

在公共給水投資類別中，自來水供水普及率及公共給水累計投資額間之關係已呈現邊際成本遞增，邊際效益遞減之趨勢，如圖 6 所示。由於近年自來水供水普及率已超越 90%，繼續投資於公共給水的經費對於自來水供水普及率的增加有限，公共給水之投資成效顯現在自來水供水普及率之提升越趨平緩。未來公共給水之投資策略中，勢必要將資金分配至其他非傳統自來水之給水系統開發，以提高投資之效益，增加投資之價值。如針對管線末端及偏遠地區，可輔導成立簡易自來水供水系統，以提供自來水供水管網未及地區之居民安全的飲用水。

再觀察到海堤工程部份，如圖 7 所示，海堤工程累計經費及海堤與海岸防護工程累計完工長度間呈現邊際成本遞增之對數曲線關係，表示海堤工程興建投資之邊際成本已逐漸上升，而海堤與海岸防護累計完工長度值也於近十年開始趨緩。由於近年來「天然海岸減少造成環境衝擊」之觀念興起，且工程設置後，有加速部分無需設置堤防之海岸遭受侵蝕的情況產生，因此民國 90 年代的海堤建設已逐漸偏向管理與維護面

向。

此外，國內區域排水改善工程自民國 60 年代早期即開始投資，圖 8 為民國 90 年起，區域排水累計整治工程長度與整治經費關係圖，由其曲線可觀察到，至 90 年代已逐漸呈現邊際成本遞增之趨勢，未來區域排水工程投資，每年完工長度將持續趨緩。

綜觀上述幾個指標呈現之邊際成本增加趨勢，可知水資源建設投資並非投入即可獲得一定比率的效益，隨著投資之建設完成的程度，獲得的效益也許不如投資初期，未來在水資源建設之投資上，必須評估其邊際成本及邊際效益是否已出現變化，作為水資源建設投資策略的參考。

(三)水價調整之效益分析

為解決台灣自來水事業在降低自來水漏水率的同時，亦面臨工程資金短缺之困境，本研究以台灣自來水公司為例提出兩項改善目標，第一、將漏水率納入水價計算公式中，做為整體水價調整之依據；第二、將漏水率降至 10% 以下。故本研究透過水價公式的調整後所獲得的收益與汰換自來水管線(即降低漏水率)之經費，以求得損益平衡。

1.水價調整模式

本研究將漏水率納入水價計算公式中，其目的為督促政府持續且有效進行自來水管線除舊汰換；亦能將調整水價後之收益，作為降低漏水率之工程經費。而本研究以民國 99 年為調整水價計算之基期，故以民國 99 年平均單位水價 10.89 元／度設為基期平均單位水價；基期漏水率則為 20.5^[14]，其調整後之水價計算公式，如式(a)：

$$\text{該年度平均單位水價} = \text{基期平均單位水價} \times \left[\frac{\text{基期漏水率}}{\text{該年度漏水率}} \right] \dots (a)$$

2.成本與經濟效益評估

(1)成本

本研究以台灣自來水公司民國 88 年至 99 年自來水管線累計汰換經費與漏水率之數據，進行非線性迴歸分析，得出一關係式 (b)：

$$Y = 6.57X^2 - 358.99X + 4,867 \dots (b)$$

公式(b)中，X 為漏水率(%)、Y 為自來水管線累計汰換經費(新臺幣億元)。

為求得在時間價值下，當漏水率改善至 10%時所需之總經費，本研究建立如下公式 (c)：

$$PV_C(i) = F_{C_0}(1+i)^0 + F_{C_1}(1+i)^{-1} + \dots + F_{C_N}(1+i)^{-N} \dots (c)$$

$$= \sum_{t=0}^N F_{C_t} \times (1+i)^{-t}$$

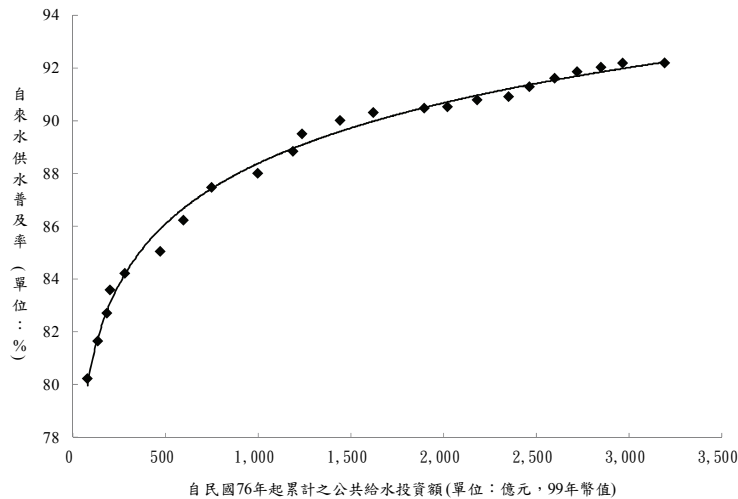


圖 6 自來水供水普及率及公共給水累計投資額關係

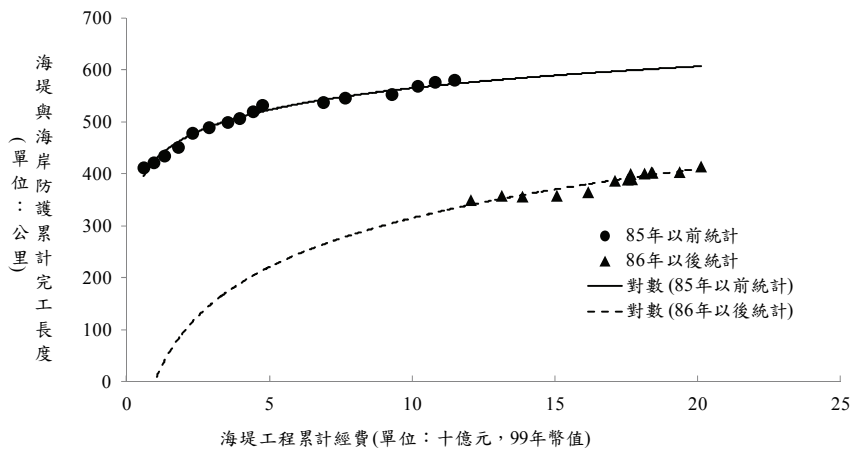


圖 7 海堤與海岸防護累計完工長度與經費關係

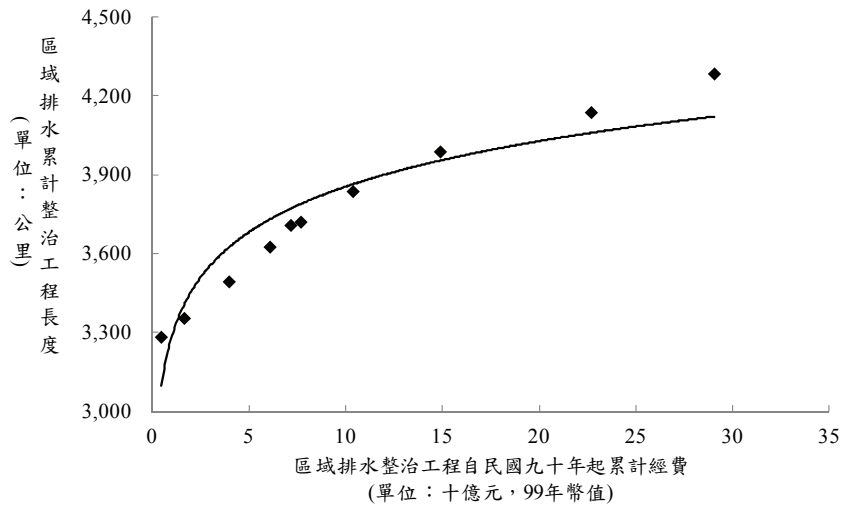


圖 8 區域排水累計整治工程長度與整治經費關係

公式(c)中， F_{Ct} 為第 t 年的現金流出終值 (Future Value)，係透過上述非線性迴歸方程式計算得之； N 為投資年限； i 為年利率，設定為 3%； PV_{C0} 為各年 F_{Ct} 考量年利率 i 之現金出現值 (Present Value) 總和。

(2) 經濟效益

本研究將經濟效益分為「該年度水費收入終值」、「現金流入終值」與「現金流入現值」三個部分，茲分述如下：

A. 該年度水費收入終值

該年度水費收入終值如下列公式(d) 所示：

該年度水費收入終值=該年度水價*當年度配水量*(1-該年度漏水率-未計費水量占總配水量比率).....(d)

公式(d)中的當年度配水量主要依據台灣自來水公司 99 年報資料，其 99 年後之配水量，以台灣自來水公司自民國 89 至 99 年平均配水量為 30 億 2,931 萬立方公尺為表示。而未計費水量占總配水量比率，則依據^[15]文獻表示約為 8.94%。

B. 現金流入終值

現金流入終值如下列公式(e)所示：

現金流入終值=該年度水費收入終值－基期年度水費收入終值.....(e)

C. 現金流入現值

現金流入現值如下列公式(f)所示：

$$PV_{B0}(i) = F_{B0}(1+i)^0 + F_{B1}(1+i)^{-1} + \dots + F_{BN}(1+i)^{-N}$$

$$= \sum_{t=0}^N F_{Bt} \times (1+i)^{-t} \quad \dots (f)$$

式(f)中， F_{Bt} 為第 t 年的現金流入終值； N 為投資年限； i 為年利率； $PV_{B0}(i)$ 為各年 F_{Bt} 考量年利率 i 之現金流入現值總和。

(3) 分析結果

藉由本研究將自來水漏水率做為調整平均單位水價之指標，做為整體水價調整依據。經分析得知，當漏水率改善至 10%時，自來水平均單位水價將調整為每度 22.31 元 (表 2 所示)，約每年平均調漲幅度 5.2%；並估計改善漏水率至 10%須投入總經費達新台幣 1,665.42 億元，以年利率 3%估算，得出總現金出現值約新台幣 1,203 億元，而總現金流入現值約新台幣 1,701.79 億元，且預期在民國 115 年時，改善漏水率所需汰換自來水管線的總經費(即成本的支出)與調整自來

水平均單位水價後之營運獲利，可達損益平衡。

表 2 調整後之平均單位水價

年度	漏水率 (%)	水價 (元/度)	年度	漏水率 (%)	水價 (元/度)
99	20.5	10.88	110	15.0	14.88
100	20.0	10.88	111	14.5	15.39
101	19.5	11.16	112	14.0	15.94
102	19.0	11.44	113	13.5	16.53
103	18.5	11.74	114	13.0	17.17
104	18.0	12.06	115	12.5	17.85
105	17.5	12.40	116	12.0	18.60
106	17.0	12.75	117	11.5	19.40
107	16.5	13.13	118	11.0	20.29
108	16.0	13.52	119	10.5	21.25
109	15.5	13.95	120	10.0	22.31

本研究認為將漏水率指標納入現行水價之調整，能助於自來水管線汰換工程之推動，有效且持續的改善漏水率，以減緩水資源開發壓力，並提升用水管理，以符社會期待與經濟發展需求。

五、水資源投資未來建議

由第四章節「我國水資源投資指標趨勢分析」中三項研析趨勢分析：(一)編列固定維護費用、(二)邊際成本遞增，及(三)水價調整之效益分析，可發現隨環境與時代的改變，國內水資源的投資應朝向永續利用的方向，並轉換為高瞻遠矚的投資型態，對於未發生的災害應有預防性之策略，並非只專注於目前建設及事發之後的修復或補救。

首先在目前國內逐漸重視水資源建設之維護管理費用的情況下，由分析結果可了解定期維護費用之效益大，且有效維持其設施之效能，降低花費於緊急災害搶修面向之

投資，增加防護效益，但目前尚未編列每年固定且穩定的維護經費，往往無法延續維護之成效，因此建議未來可持續將維護工程經費編列為水資源公共設施的定常投資。

另部分投資分析指標已呈現邊際成本遞增之現象，建議將之納入建設之投資考量中，以評估投資成效是否合乎經濟效益。其中公共給水投資對於自來水供水普及率之提升已明顯呈現邊際效益遞減之趨勢，未來公共給水之投資策略中，建議針對無延管或坡度較高等自來水管線無法到達之地區，輔導成立簡易自來水供水系統。

最後藉由將漏水率納入水價計算公式進行整體水價調整之試算研析結果中，可知每年以 5.2%調漲幅度，已有助於降低漏水率工程經費之運用，亦對臺灣水資源短缺與永續經營問題之改善有一定程度的助益。此外，水價合理調整係為水資源管理未來發展趨勢之一，就長期國家發展而言，水價合理調整乃具經濟效益，短期可誘發民間投資、創造就業機會之效益；長期則可厚植穩定供水，強化管線汰換與維護。因此，建議未來研擬水價關政策時，能考量納入漏水率指標，一方面可減少水資源開發成本，創造經濟效益，另一方面並可達到穩定供水之目標。

參考文獻

- 1.淡江大學(水資源管理與政策研究中心)，水資源投資分析年報編輯與系統加值應用建構，經濟部水利署委託服務計畫，2011年。
- 2.周嫦娥、黃宗煌、翁御棋，水資源建設與管理環境成本分析之研究(2/3)，經濟部水利署委託研究計畫，2005年。

- 3.中興工程顧問股份有限公司，水利建設因應全球氣候變遷白皮書，經濟部水利署委託研究計畫，2010年。
- 4.羅友謙、朱凌毅等，公共設施效能提升及維修法之立法研究計畫蒐集並整理立法依據與架構委託研究案，行政院公共工程委員會專案研究計畫，2008年。
- 5.行政院公共工程委員會，永續公共工程-節能減碳政策白皮書，2008年。
- 6.黃持正，政治因素與水價調整之關聯性研究，環球技術學院環境資源管理所碩士論文，2007年。
- 7.王筱雯、許泰文，水利工程面臨的新挑戰，科學發展月刊，第434期，第12-17頁，2009年。
- 8.王禮忠、賴祐嘉，合理水價之探討，水資源管理季刊，第6期，第7-15頁，2000年。
- 9.洪德生，市場機制與水資源管理，水資源管理季刊，第6期，第1-6頁，2000年。
- 10.王家興、王貴玲、葉淑琦等，民生及工業用水合理水價訂定暨實施策略之研究，經濟部水利署委託研究計畫，1998年。
- 11.蕭景楷，公共給水定價的原則與方法，臺灣土地金融季刊，第34卷，第4期，第61-75頁，1997年。
- 12.能邦科技顧問股份有限公司，水價合理化之研究與推動，經濟部水利署委託研究計畫，2003年。
- 13.楊豐碩、陳詩豪等，台灣自來水公司水價合理化及對經濟影響之研究，台灣自來水公司委託研究計畫，2009年。
- 14.台灣自來水公司，台灣自來水事業統計年報，2010年。
- 15.能邦科技顧問股份有限公司，公共給水配水管網之管理及維護技術提升計畫(1/3)，經濟部水利署委託研究計畫，2009年。

16. United States Environmental Protection Agency. The Clean Water and Drinking Water Infrastructure Gap Analysis, United States Environmental Protection Agency. 2002.

作者簡介

廖庭宇小姐

現職：淡江大學水資源管理與政策研究中心 研究專員

專長：環境工程、廢水處理、毒性試驗

阮香蘭小姐

現職：經濟部水利署綜合企劃組 科長

專長：水利政策企劃、水土保持工程、河道輸砂、河相學

鄭欽韓先生

現職：經濟部水利署綜合企劃組 副工程司

專長：水利工程、地下水與地震預報

吳依芸小姐

現職：經濟部水利署綜合企劃組 副工程司

專長：水利工程、水再生利用技術與政策企劃

林真伊小姐

現職：淡江大學水資源管理與政策研究中心 研究專員

專長：環境工程、水資源分析

劉世翔先生

現職：淡江大學水資源管理與政策研究中心 研究員

專長：區域經濟學分析與國際貿易、環境政策與管理、風險評估、決策輔助系統

都是為了「鋁」

文/楊昭端

一、平地一聲雷

101 年 4 月 5 日清明假期後返回崗位，猛被中國時報頭版大頭條「台灣自來水公司調查發現，全台 18 所淨水場含鋁超出警戒值，導致有 129 萬供水戶暴露在慢性中毒危機中」迎面一擊，效應迅即延燒，立法院當日立即排入議程，委員輪番指責台水公司供應毒水，除陳總經理親自前往立法院說明外，胡副總經理亦同步在台水公司總管理處緊急召開記者會澄清。兩年前結案歸檔之「水公司各淨水場清、配水含鋁量分析調查及最適化處理之研究」報告，一夕之間洛陽紙貴，要求提供報告者紛至沓來。在此期間相關公務體系亦紛紛啟動重大輿論事件回應標準作業程序，要求台水公司立刻進行改善，或要求台水公司撰寫調查報告等等，公文往返至今餘波蕩漾。特藉由本文說明台水公司對水中鋁列入法規管制之先期作業歷程。

二、事件起因

行政院環保署從 96 年起至 98 年參考先進國家的標準或指引值，歷經三年監測、調查、評估，選出 30 種物質，將其列入我國新增飲用水水質標準的汙染物候選名單 (Contaminated Candidate List)。「鋁」即為其中一個項目。

台水公司各淨水場之淨水處理單元，依據環保署公告核准，使用之主要混凝劑為聚氯化鋁與硫酸鋁（含有鋁成份），至於「鋁」對人體是否確實有不良影響，學者專家看法未盡一致，仍無定論，是否需要訂定嚴苛標準，仍待進一步探討。

有鑑於此，台水公司水質處於 98、99 年委託財團法人成大研究發展基金會（以下簡稱成大）全面普查各淨水場水中鋁之含量，建立基本資料，並蒐集文獻及各先進國家標準作為日後訂定標準之參考。研究案名稱為「水公司各淨水場清、配水含鋁量分析調查及最適化處理之研究」，即為此次新聞事件揭露之調查報告。

三、研究經過及成果概述

本研究案為期二年，檢測台水公司所屬 436 處淨水場清水（淨水場）、配水（用戶端）含鋁量，每年採驗三次，共計六次，另挑選南、北各一淨水場進行實場淨水處理流程調整，評估降低鋁含量之最適處理方式。

鋁系混凝劑（硫酸鋁、聚氯化鋁），為去除原水濁度之合法淨水處理藥劑，與氯（消毒劑）同為淨水處理藥劑，而其與水中濁度（懸浮固體物）之混凝機制又比消毒機制更複雜，相同濁度的原水加入相同劑量的的混凝劑，可能會因為顆粒特性、原水 pH 值、水流速度、攪拌速率、沉降時間、濾床效能等等之不同，導致清水殘鋁量有極大差異，而最困難的是「鋁」不似「氯」一般，有監測器可供調控，即使濁度處理得當，亦不代表沒有殘鋁的問題，因此，研究期間各項檢測數據相關性之整合、判讀，頗具難度。

成大團隊歷經兩年的資料整理、歸納、分析提出結論：

- (一)清、配水總鋁含量沒有顯著差異。
- (二)分析兩年清水總鋁含量結果，使用鋁鹽混凝劑淨水場的清水總鋁平均濃度落在 0.175~0.188mg/L 之間；未使用混凝劑之

淨水場則是 0.051~0.068mg/L，以上統計數據不包含總鉛濃度為 ND(小於偵測極限)的水樣，若包含 ND 的檢測值，實際的檢測平均濃度會再更低(如表 1)。

(三)兩年六次採樣中，清水鉛濃度檢出高於 0.15mg/L 達五次的淨水場共有 18 處，其中 12 處淨水場為第五區處和第六區處所管轄，建議台水公司列為第一波改善的清單。

(四)清水中的鉛含量除天然來源外，最主要來源是鉛鹽混凝劑添加所貢獻。

(五)清水總鉛會受到淨水場操作效能影響，清水總鉛和清水 pH、清水濁度具有明顯相關性存在，如圖 1。

(六)瓶杯試驗所建立之原水 pH 與溶解性鉛關係可以初步預測該淨水場之清水溶解性鉛含量，如圖 2。

(七)淨水場改善水中殘餘鉛除了必須在最優化條件進行混膠凝外，也和淨水場的處理效能與原水水質息息相關。

(八)飲用水水質標準已將暴雨或其他天然災害導致的飲用水水質變異(濁度、自由餘氯等)納入考量，建議未來訂定飲用水水

質之鉛標準時將颱風、天災等氣候下的標準放寬或建立免責條款。

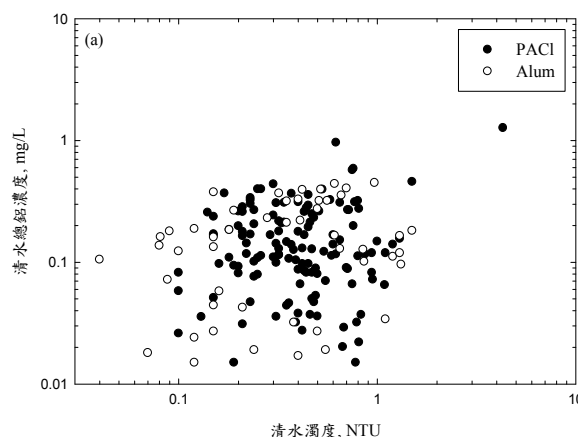


圖 1 清水濁度與總鉛度關係

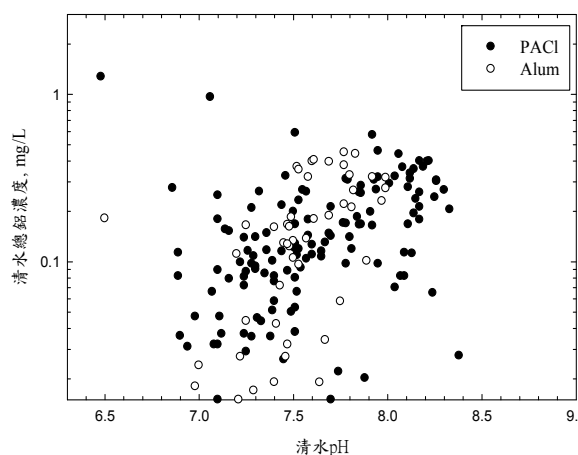


圖 2 清水 PH 與總鉛濃度關係

表 1 淨水場清、配水總鉛含量統計調查結果

99 年度 調查結果	清水		配水		不同機率的清水總鉛濃度		
	Ave.	Stdev.	Ave.	Stdev.	25 th	50 th	75 th
鉛鹽混凝劑 -PACl	0.178(n=153)	0.158	0.188(n=152)	0.150	0.080	0.140	0.260
鉛鹽混凝劑 -Alum	0.175(n=50)	0.132	0.182(n=44)	0.122	0.041	0.160	0.300
未使用混凝劑	0.068(n=26)	0.065	—	—			
98 年度 調查結果	清水		配水		不同機率的清水總鉛濃度		
	Ave.	Stdev.	Ave.	Stdev.	25 th	50 th	75 th
鉛鹽混凝劑 -PACl	0.188(n=142)	0.128	0.201(n=126)	0.154	0.100	0.150	0.280
鉛鹽混凝劑 -Alum	0.177(n=57)	0.171	0.146(n=54)	0.100	0.060	0.110	0.210
未使用混凝劑	0.051(n=237)	0.069	—	—	0.018	0.025	0.050

註：總鉛濃度：mg/L；n：數目(不包含總鉛濃度低於偵測極限的水樣) Ave：平均 Stdev：標準偏差

四、轉入實場應用

由於委託研究之實場測試僅選擇台灣南半部、北半部各一淨水場，為將實場測試推展至全公司，台水公司（水質處）在委託研究案結束後，調集全公司淨水操作單位前來學習實場加混凝劑最適化測試教育訓練，隨後責成各淨水場以瓶杯試驗搭配殘鋁之檢驗，尋找最適加藥量，歷經豐、枯水期之測試，累積完整數據，提供淨水作業管單位（供水處）作為後續供水調配參據。

供水處接手後，決定委外辦理「淨水場清水鋁含量改善對策」之研究，主要研究內容為：

- (一)蒐集整理國內外有關水中鋁含量之改善及淨水場降低水中鋁含量之文獻。
- (二)針對「水公司各淨水場清、配水含鋁量分析調查及最適化處理之研究」建議列為第一波改善清單的 12 處淨水場，採樣檢測（原水至廢水）各主要處理單元水中鋁（含溶解鋁及總鋁）含量，以了解各處理單元對於水中鋁的變化情形及造成水中鋁含量過高原因。
- (三)清水鋁含量超過警戒值之淨水場水中鋁含量過高原因，研提改善對策（如淨水場操作條件之變更、混凝劑種類之改變等）並進行杯瓶試驗，確認各項改善對策成效。
- (四)分析上述各項改善對策對淨水處理成本（含水質處理藥劑、污泥脫水及最終處置等成本）、操作模式影響等，研擬上開 12 處清水鋁含量超過警戒值之淨水場降低水中鋁含量初步建議改善方案。

該案已於 101 年 3 月 14 日與嘉南藥理科技大學簽約。

五、針對降低清水「鋁」之因應措施

- (一)環保署於本文所述新聞事件後已公開宣稱將增訂飲用水水質標準「鋁」之管制值為 0.2mg/L。
- (二)台水公司各淨水場應加強淨水處理程序，加混凝劑之操作，除監控濁度去除效果外，亦應考量鋁劑之殘留，並建議開始評估原水低濁度時期不加混凝劑的可行性。
- (三)台水公司各區處水質管理單位（檢驗室）已將有加混凝劑淨水場之清水「鋁」列入每季例行檢驗，以為管控依據。
- (四)淨水場應將清水鋁納入例行檢驗，以為操作之參考，隨時掌控清水鋁含量，避免超過預定標準。

六、後謝

本次新聞事件後各機關團體無不關心本案，公司內部處室亦投注心力辦理後續事宜。

感謝監察院、經濟部水利署、行政院環保署、台南市政府、台中市政府、嘉義縣政府及立委諸公在此期間之不吝指正，提醒我們更深入的以人民的角度思考問題。

台水公司水質處同仁於事發期間，不約而同挺身幫忙資料整理、新聞稿撰寫、電話應答等危機處理事項；供水處更在第一時間一如以往鼎力相助，至今仍在處理後續會稿，同舟之誼，深深感銘在心，不再一一言謝。

作者簡介

楊昭端小姐

現職：台灣自來水公司水質處工程師

專長：化學

中華民國自來水協會第 17 屆理、監事會第 6 次聯席會議紀錄

時 間：民國 101 年 2 月 17 日（星期五）下午 3 時

地 點：本會會議室(台北市長安東路二段 106 號 7 樓)

主 席：陳理事長福田

出席理事：陳福田 黃敏恭 胡南澤 郭瑞華 李公哲 王桑貴 林 岳 謝啟男

施澍育 吳振欽 蔡茂麟 高文浩 張明欽 陳曼莉 吳美惠 林連茂

吳陽龍 陳錦祥 駱尚廉 葉宣顯 王文龍 孫新惠 陳宏濤 王池田

出席監事：李錦地 廖宗盛 周盛華 楊豐榮 呂崇德

請假理事：籃炳樟 賴文正 王炳鑫 謝堯煌 黃志彬 陳瑞忠

請假監事：賴永森 張順莉 康世芳 林建財

缺席理事：蘇金龍

列席人員：許培中 蔡麗嫻 李美娥 管惠嬋 謝雅婷 孫瑞嬪 施麗薰

記 錄：施麗薰

一、主席致詞：

各位理、監事大家午安，今年是龍年，在此向各位拜個晚年，新春伊始，首先向各位恭喜，祝大家龍年行大運，新的一年健康、快樂。100 年度已經圓滿的畫上句點，感謝各位理、監事及工作伙伴的耕耘、支持，使本會會務推展成效斐然卓著，並願大家在嶄新的年度裡繼續攜手同心，一起努力，謝謝大家！現在就依照議程進行會議，首先請祕書長報告。

二、報告事項：

(一)秘長書綜合報告：詳如議程書面資料（略）

結論：洽悉。

(二)各種委員會報告：

國際事務委員會：詳如議程書面資料(略)。結論：洽悉。

會務委員會報告：詳如議程書面資料(略)。結論：洽悉。

技術研究委員會：詳如議程書面資料(略)。結論：洽悉。

(三)會務組報告：第 17 屆第 2 次會員代表大會預備會議提案執行情形

詳如議程書面資料(略)。結論：洽悉。

三、討論事項：

第 1 案 類別 會務 提案人：理事長 陳福田

案由：為第 45 屆自來水節慶祝大會暨本會第 17 屆第 3 次會員代表大會如何籌辦？請討

論。

決議：本屆大會委由台灣自來水公司第四區管理處統籌辦理，並敦請賴經理永森擔任籌備會主任委員。

第 2 案 類別 會務 提案人：理事長 陳福田

案由：為本會第 29 屆自來水研究發表會，委請何單位籌辦？請商討決定。

決議：委請台灣自來水公司第四區管理處統籌辦理。

第 3 案 類別 會務 提案人：理事長 陳福田

案由：為編列本會 100 年度歲入、歲出決算表等一案，請審議。

決議：通過，送請監事會審查。

第 4 案 類別 會務 提案人：祕書長 許培中

案由：本會擬編撰「自來水設施耐震設計指南及解說」一書，提供國內自來水事業單位、產業界參考，所需經費估算約新台幣 500,000 元，擬由本會 100 年度「基金-準備基金」動支辦理，提請討論決議。

決議：通過，動支本會 100 年度「基金-準備基金」辦理，並請台水、北水均能派員參與。

第 5 案 類別 會務 提案人：祕書長 許培中

案由：本會擬編撰「台灣自來水誌 100 年版」，本（101）年編列部分預算 500,000 元，擬由本會 99 年度「基金-準備基金」項下支應，提請討論。

決議：照案通過。

第 6 案 類別 會務 提案人：會務委員會主任委員許培中

案由：為申請加入為本會個人會員案，提請追認備查。

決議：追認通過。

第 7 案 類別 會務 提案人：國際事務委員會主任委員駱尚廉

案由：本協會與 IWA 共同出版“TasteandOdorinDrinkingWater—Causes, Controls,andConsequences”專書事宜，提請討論。

決議：通過。

第 8 案 類別 會務 提案人：祕書長 許培中

案由：擬因應勞動基準法勞工強制退休年齡規定為六十五歲，本會檢驗員退休年齡，應依法延至年滿六十五歲，提請討論。

決議：照案通過。

四、臨時提案：

五、散會：下午 4 時