

自來水會刊第 29 卷第 2 期目錄



特 載

中程計畫之理論與實務—台水公司實例……………陳福田……………1

實務研究

淨水場沉澱污泥加藥濃縮特性及其效應……………張維欽、陳建鈞、林正隆、洪世政、吳美惠……………17

每期專題 薄膜應用

新興薄膜技術應用於自來水處理之研究 - 以南化淨水場為例
……………楊惠玲、甘其銓、黃志彬、李篤中、陳雅伶……………23

BioMF 薄膜技術在緊急救災用水之應用……………洪仁陽、夏工傑、陳建宏、蕭碧蓮、周珊珊……………35

電透析離子交換薄膜在淨水程序中的發展及利用……………陳文祥……………45

一般論述

自來水事業風險管理之研究—以臺北自來水事業處為例……………吳天瑛……………56

有效利用配水池餘壓節能評估……………李叔龍……………64

解決台灣南部自來水水源簡單可行的方法……………陳耀楠……………74

感性園地

蔣總統駐進激清樓及當年澄清湖水廠的軼事……………曾浩雄……………77

IWA 活動園地

國際自來水瞭望台……………范家瑋……………87

協會與你

歡迎投稿99年「每期專題」……………34

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法……………55

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 tinlai@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：廖宗盛

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

劉廷政

委 員

葉宜顯、盧至人、張怡怡、蘇金龍、吳美惠

吳陽龍、陳曼莉、張廣智、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、周珊珊、黃建源、陳孝行、陳志銘

簡俊傑、林財富、洪世政

執行編輯：林正隆

電 話：(04)22244191 轉 514

行政助理：古蓁苓

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



中程計畫之理論與實務

— 台水公司實例

文/陳福田

一、前言—廟算者勝

《孫子兵法》始計篇說：「夫未戰而廟算勝者，得算多也；未戰而廟算不勝者，得算少也。多算勝，少算不勝，而況於無算乎！」所謂「廟算」就是事先的規劃。打仗前就先規劃明確的勝戰策略，就越有勝算機會，此即「上兵伐謀，其次伐交，其下攻城」。

企業如果沒有「廟算」，只知抱頭往前衝，就如同軍隊，只會打仗而不會謀略，乃是有勇而無謀。本公司深諳「凡事豫則立，不豫則廢」之道，不僅「衡外情」，亦且「量己力」，循序釐訂綱領計畫、四年經營計畫、年度事業計畫。三者上下轄屬、環環相扣，建構本公司縝密的整體計畫體系。其中，綱領計畫是長程，用以導引組織未來努力方向；四年經營計畫乃中程，居於承先啓後之樞紐；年度事業計畫則係短程，將企業策略轉化為具體成果。

整體計畫體系係未來組織作為之指南或方針，其乃建築在諸多假設、前提基礎上之「計畫性策略」。惟企業環境的變化無常，計畫性策略亦須隨之調整、修正；否則，計畫性策略反成為不適之具文，甚至是進步之障礙。近年來，自來水經營環境丕變，台水公司經營策略尤須貼合現實、精確聚焦。易言之，本公司中程(四年)計畫之研析，係植基於長程(綱領)計畫諸多「假設與前提」，復以環境多變，故須重新「面對現實」，思考中程應變策略，並為短程(年度)計畫奠定較「精確、可靠」之基礎，以預應環境變遷，填補現狀與期望未來間的規劃缺口。

本文先以「廟算者勝」啓言，概述本公司整體計畫體系之架構，揭露「計畫性策略」之瓜藤相連；後以「隨機應變」結語，意謂環境多變，亦不可忽視隨環境變化而彈性運用的「隨機性策略」。內文先由「學理」舖陳「中程計畫面面觀」，再就「實務」觀點循序闡述中程計畫之研訂，涵括(一)「內、外部環境」之分析(二)「經營目標」之制定(三)研提「經營策略」及其「執行方案」。

二、中程計畫面面觀

本節試由學理，依循 Why(計畫必要性)→What(計畫特色)→How(規劃程序)之論述邏輯，詮釋中程計畫相關內涵及程序如后。(一)計畫必要性

依時間構面區分，企業整體計畫體系常循長程計畫、中程計畫、短程計畫依序制訂。眾所週知，時程愈長，不定性愈高，是故，長程計畫旨在釐清未來八至十二年內之「問題與利基」，由而列示「可能」採取之諸多策略，具「寬而淺」之特質；短程計畫旨在明示近期一年內「應該」採取之具體執行方案，具「窄而深」之特質。其間，若無「中程」計畫居中扮演「承先啓後、調和鼎鼐」之樞紐角色，則長程計畫將如空中樓閣，見林不見樹；而短程計畫或如斷垣殘壁，見樹不見林。準此而觀，中程計畫係就長程計畫所列示「可能」之策略予以取捨，選擇中程「可行」之策略，俾供釐訂短程計畫之準繩，冀求「見林又見樹」。

(二)計畫特色

「中程」計畫乃指機構所設定未來四至

六年，各部門所欲履及之目標及策略，用以執行公司全面性之長程計畫，並按年度訂定「由宏觀而微觀」的具體執行計畫。易言之，中程「策略計畫」乃係實現長程「目標計畫」之手段，亦係研訂短程「年度營運計畫」之準繩。茲藉由詮釋三者差異，彰顯中程計畫特色如下。

1. 計畫焦點

吾人皆知，無論長程、中程、短程計畫皆由「目標、策略、方案」三者串連而成，即所謂 OST 計畫體系。雖然長程、中程、短程計畫均涵蓋目標、策略、方案，惟其比重不同。詳言之，長程計畫偏重未來可能「目標」之設定；短程計畫則聚焦於具體執行「方案」之釐訂；而中程計畫則強調應為「策略」之創新，如圖 1。

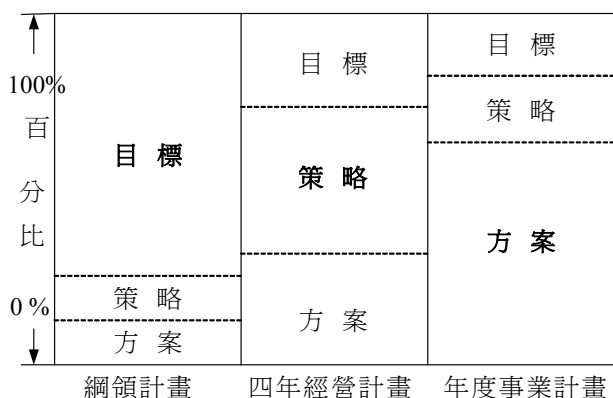


圖 1 本公司長程、中程及短程計畫之 OST 結構

2. 所需資料

「長程」計畫需要大量外界環境之情報，多屬未來性質，故難以準確，不確定程度高；「短程」計畫多來自公司內部之歷史資料，故較精確，不確定程度低；而「中程」計畫所需資訊來自公司內、外部，不確定程度居中。

3. 能力屬性

「長程」計畫具「創始性」，為其他下位計畫之準繩，故著重組織「創新力」之發揮；

「短程」計畫具「從屬性」，依循上位計畫之目標及策略，故強調組織「執行力」之展現；而「中程」計畫則兼具「創始性」與「從屬性」，一方面依循綱領計畫，另一方面進行策略創新，其皆有賴組織「管理力」之協調。

4. 計畫目的

「長程」計畫係「整體性」觀點，強調「效果」或「整合」導向；「短程」計畫乃「部門性」觀點，強調「效率」或「分工」導向；而「中程」計畫則為「跨部門性」觀點，強調「效果」(或整合)與「效率」(或分工)之均衡。

(三) 規劃程序

實則，計畫之良窳取決於規劃之決策品質，意謂「規劃的過程遠比規劃結果重要」。「規劃」泛指實際工作之前，思考需要「什麼」(即目標)及「如何」(即手段)達成的思考過程；而「計畫」則係思考後的具體結論，若將此具體結論寫成文件、文字，即為「計畫」書。觀念上，「規劃」是「因」，「計畫」是「果」；「規劃」是「議」，「計畫」是「決」，兩者之間存有因果關係之順序區別。

依計畫方向區分，規劃類型可分為由下而上規劃與由上而下規劃，茲闡釋如下。

1. 由下而上規劃

計畫發起者是中、基層主管，他們將各自發展的細部計畫逐級陳報上層主管，彙整為組織的整體計畫。此種規劃方式具有簡易、快速之優點，或可省減組織溝通、協調之官僚成本；惟因部門本位主義而不易有良好的協調整合，且容易陷入策略惰性而難有創新。

2. 由上而下規劃

計畫係由高階主管發起，逐層遞交下層管理者據以擬定較為細部的計畫與執行事

項。其優點為可加強各部門之協調整合，鼓勵各部門主管以「系統思考」取代「局部思考」，將能削弱各部門之本位主義，並避免策略創新之變革抗拒；惟最高層主管未必瞭解下層實際狀況，易有脫離現實之憾。

為避免局部最適化現象並激發創新性策略，本公司中程(四年)計畫之規劃過程，強調由「上」而「下」，從「粗」到「細」之規劃方式。過程中強調參與管理，上、下階層經過充分互動、協調，不但可使下層主管瞭解與接受上層的計畫目標，提高對計畫之承諾，且經由高階主管充分參與，使計畫目標的可行性與各部門計畫的整合性大幅提高。亦即，先由高階主管與企劃幕僚以「全公司的」、「客觀的」、「創新的」角度，摹擬策略構想與「可能的」執行方案；復經高階主管邀集各業管處室就其「必要性」及「可行性」研討、協商，上、下共同協商制定，避免落入「象牙塔規劃」之迷思。

為析論本公司中程「四年(98~101)經營」計畫之規劃過程與計畫成果，茲繪示規劃程序如圖 2，從而依序闡述「內、外部環境」、「經營目標」、「經營策略」與「執行方案」之實務如后。

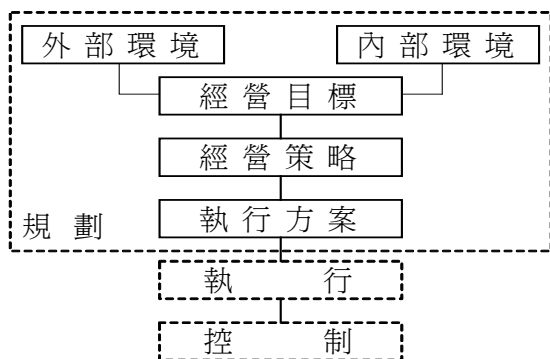


圖 2 規劃程序

三、內、外部環境

內、外部環境的組成要素頗多，對於組

織的重要性因時、因地亦大不相同，因此需要一套確認與評價的方法，使組織內部有限的資源能夠配合重大的外部環境要素，有效率獲致組織競爭優勢。

有別於以往產業界廣泛運用的 SWOT 分析，僅係依靠個人知識與經驗的累積，而以主觀直覺的方式來分析。本公司中程(四年)計畫之研訂乃採取 SWOT 量化分析為工具，以提高策略規劃之客觀、理性成份。惟囿於篇幅，量化評價之方法論另為文探討，本文側重評價結果之闡釋，合先敘明。

(一)實證資料調查分析

本公司使用問卷調查法，其問卷問項主要係參採本公司綱領計畫研析之未來十年「可能的」機會、威脅、優勢、劣勢，以及可能新增之環境變數，請問卷填寫人(本公司總處及區處一級單位主管)廣續拉近視野，**重新檢視、確認**計畫期間(98~101 年)即將「面臨的」內、外在環境變數。

援引事件分析法(Critical Incident Technique)之「事件特性」，即「衝擊性」(數值為 1~10)、「時程性」(數值為 10%~100%)以及「可能性」(數值為 10%~100%)三項構面，對外部環境之機會、威脅，進行重要性評價。另，依據資源基礎論(Resource-Based View, RBV)所言，做為提供持續性競爭優勢的內在資源，應具備「有價值的、稀少的、不可完全模仿的」等三種特性，就組織內部各項因子的「價值性」(數值為 1~10)、「稀少性」(數值為 10%~100%)、「模仿性」(數值為 10%~100%)等特性評估，以界定組織優勢與劣勢。

茲彙示實證調查結果，外在機會與威脅因子、內在優勢與劣勢評價數值如表 1-4。

表 1 機會因子重要性評價

| 機會因子 | 衝擊性 (Ipo_i) | 時程性% (To_i) | 可能性% (Po_i) | 重要性數值 $Ipo_j \times To_j \times Po_j$ |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|
| 1.技術日新月異，資訊通訊發達 | 7.11 | 71.48 | 70.74 | 3.60 |
| 2.民生及工業用水穩定成長 | 8.15 | 77.78 | 70.00 | 4.44 |
| 3.自來水產業朝向多角化經營 | 5.00 | 46.67 | 42.96 | 1.00 |
| 4.經續會已有水價調整之共識 | 9.00 | 84.07 | 75.56 | 5.72 |
| 5.市場利率偏低 | 6.48 | 63.70 | 70.74 | 2.92 |

表 2 威脅因子重要性評價

| 威脅因子 | 衝擊性 (Ipt_k) | 時程性% (Tt_k) | 可能性% (Pt_k) | 重要性數值 $Ipt_k \times Tt_k \times Pt_k$ |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|
| 1.全球經濟不景氣 | 7.85 | 78.15 | 75.56 | 4.64 |
| 2.國土保育不良，原水水質不佳 | 8.67 | 82.59 | 80.37 | 5.75 |
| 3.環保法規提高飲用水水源及水質標準 | 8.81 | 81.11 | 77.04 | 5.51 |
| 4.新水源開發不易，水權取得困難 | 8.44 | 81.11 | 77.78 | 5.33 |
| 5.溫室效應、氣候變遷，造成水源供應異常 | 8.19 | 78.15 | 75.93 | 4.86 |
| 6.國際原物料價格飆升 | 7.22 | 36.30 | 29.63 | 0.78 |
| 7.用戶要求更高服務品質，對停水忍受度降低 | 8.15 | 79.26 | 75.19 | 4.86 |
| 8.民眾缺乏正確之用水觀念 | 6.96 | 61.11 | 62.22 | 2.65 |
| 9.樂活觀念盛行，民眾對飲用水水質要求日亟 | 7.81 | 72.22 | 68.15 | 3.85 |
| 10.水價無法合理反映成本 | 9.19 | 87.78 | 82.96 | 6.69 |
| 11.新聞媒體報導渲染 | 8.26 | 75.56 | 72.96 | 4.55 |
| 12.國內外相關業者積極拓展水產業相關市場 | 6.52 | 47.04 | 52.22 | 1.60 |
| 13.環保意識抬頭，對綠色環保關注與日俱增 | 7 | 80 | 90 | 3.78 |

表 3 優勢因子評價

| 優勢因子 | 價值性 (Vsh) | 稀少性% (Rsh) | 模仿性% (Is_h) | 評價數值 $Vsh \times Rsh \times (1 - Is_h)$ |
|-------------------------|------------------|-------------------|--------------------|--|
| 1.獨占事業，且水為民生必需品 | 8.93 | 76.30 | 26.30 | 5.02 |
| 2.三十餘年經營經驗 | 7.67 | 46.67 | 43.33 | 2.03 |
| 3.淨水處理、管線等關鍵技術成熟，專業人才充足 | 8.41 | 71.11 | 32.96 | 4.01 |
| 4.業務資訊化及自動化 | 7.74 | 31.85 | 64.07 | 0.89 |
| 5.廠所分布全省，通路廣闊 | 8.37 | 55.56 | 42.96 | 2.65 |

表 4 劣勢因子評價

| 劣勢因子 | 價值性 (Vwi) | 稀少性% (Rwi) | 模仿性% (Iwi) | 評價數值 $Vwi \times (1 - Rwi) \times Iwi$ |
|----------------------------|------------------|-------------------|-------------------|---|
| 1.人力趨於老化，人力失衡 | 8.37 | 52.96 | 74.07 | 2.92 |
| 2.人才斷層，知識經驗無法傳承 | 8.52 | 51.48 | 73.70 | 3.05 |
| 3.現有設備老舊，無法應付高濁度之原水 | 8.19 | 37.78 | 71.11 | 3.62 |
| 4.颱風暴雨期，供水調配及應變能力待加強 | 8.85 | 49.26 | 65.93 | 2.96 |
| 5.組織規章未臻健全 | 7.85 | 59.63 | 45.56 | 1.44 |
| 6.非行政機關，故不具公權力 | 7.48 | 79.26 | 72.59 | 1.13 |
| 7.組織僵化，士氣較低 | 7.81 | 53.70 | 70.74 | 2.56 |
| 8.區處及營運據點眾多、分散 | 4.56 | 40.00 | 49.26 | 1.35 |
| 9.首長異動頻仍，政策常不延續 | 7.81 | 43.33 | 75.93 | 3.36 |
| 10.資產投資報酬低，財務困窘 | 8.85 | 36.67 | 84.07 | 4.71 |
| 11.材料價格易受獨佔、寡佔市場控制，管理不易 | 8.07 | 70.37 | 59.26 | 1.42 |
| 12.管線老舊，漏水嚴重 | 9.19 | 36.67 | 71.85 | 4.18 |
| 13.民眾停留在公營機構「守舊、保守、無效率」的印象 | 7.33 | 37.41 | 67.41 | 3.09 |
| 14.肩負國家政策性任務 | 8.07 | 33.70 | 71.48 | 3.83 |

(二)管理涵義詮釋

茲分就 1.由 SWOT 因子評價，歸結本公司未來四年「內外在環境變數」2.藉由內在

優勢資源評價，考量是否可配合外在環境所提供的機會，推論本公司「核心能力」3.由不利之威脅與弱勢因子評價，析論本公司「重

要經營課題」等，詮釋其相關管理涵義如下。

1.重要環境變數

上揭表 1、表 2 之機會、威脅評價數值，數值越高代表該因子對組織影響越重要且較急切，乃組織即將「面臨的」外在環境變數；評價數值越低則較輕緩，較非計畫期間可能「面臨的」外在環境變數。而上揭表 3、表 4 之優勢、劣勢評價數值，數值越高代表該因子對組織越具價值，乃計畫期間必須重視的策略性資源；評價數值越低則較不具價值，較非計畫期間須重視的策略性資源。

就「機會因子」而言，資料分析顯示「自來水產業朝向多角化經營」較不顯著，對組織影響不大；而無畏於 97 年下半年景氣急遽轉差，各用水種別成長皆呈衰退情形，普遍認為「民生及工業用水穩定成長」仍係公司重要的經營利基，對未來景氣復甦樂觀以對；新增「市場利率偏低」機會因子，讓公司在日益困窘的財務調度上稍有喘息的空間。

就「威脅因子」而言，在景氣低迷的當下，資料分析顯示「國際原物料價格飆升」之威脅較不顯著；反而，新增「溫室效應、

氣候變遷，造成水源供應異常」、「環保意識抬頭，對綠色環保之關注與日俱增」，顯示對「綠色環保」之關切與日俱增，另新增「樂活觀念盛行，民眾對飲用水水質要求日亟」、「用戶要求更高之服務品質，對停水之忍受度降低」等因子，顯示用戶對用水質、量的要求更甚以往。

就「優勢因子」而言，普遍認為「業務資訊化及自動化」非本公司競爭優勢資源，顯示資訊科技日新月異，不進則退；而「廠所分佈全省，通路廣闊」，係快速反應用戶之利基，為新增之優勢因子；「獨佔」與「淨水、管線專業技術」仍為公司重要競爭優勢。

就「劣勢因子」而言，顯示「組織規章未臻健全」、「非行政機關，故不具公權力」、「區處及營運據點眾多、分散」、「材料價格易受獨佔、寡佔市場控制」等，在未來並非顯著的競爭劣勢；而「財務困窘」、「人力老化」、「知識斷層」、「設備老舊」、「組織僵化」等問題不容漠視。

茲彙示計畫期間(98~101 年)即將「面臨的」外、內部環境因子，依其評價數值高低列示如表 5、6。

表 5 台水公司 98~101 年重要外部環境因子

| 類 別 | 項 目 | 評價數值 |
|------|----------------------|------|
| 機會因子 | 1.經續會已有水價調整之共識 | 5.72 |
| | 2.民生及工業用水穩定成長 | 4.44 |
| | 3.技術日新月異，資訊通訊發達 | 3.60 |
| | 4.市場利率偏低 | 2.92 |
| 威脅因子 | 1.水價無法合理反映成本 | 6.96 |
| | 2.國土保育不良，原水水質不佳 | 5.75 |
| | 3.環保法規提高飲用水水源及水質標準 | 5.51 |
| | 4.新水源開發不易，水權取得困難 | 5.33 |
| | 5.溫室效應、氣候變遷，造成供水異常 | 4.86 |
| | 6.用戶要求更高服務品質,對停水忍受度低 | 4.86 |
| | 7.全球經濟不景氣 | 4.64 |
| | 8.新聞媒體報導渲染 | 4.55 |
| | 9.樂活觀念盛行，民眾對水質要求日亟 | 3.85 |
| | 10.環保意識抬頭 | 3.78 |
| | 11.民眾缺乏正確之用水觀念 | 2.65 |

表 6 台水公司 98~101 年重要內部環境因子

| 類別 | 項目 | 評價數值 |
|------|----------------------|------|
| 優勢因子 | 1.獨占事業，且水為民生必需品 | 5.02 |
| | 2.淨水處理、管線等關鍵技術成熟 | 4.01 |
| | 3.廠所分布全省，通路廣佈 | 2.65 |
| | 4.三十餘年經營經驗 | 2.03 |
| 劣勢因子 | 1.資產投資報酬低，財務困窘 | 4.71 |
| | 2.管線老舊，漏水嚴重 | 4.18 |
| | 3.肩負國家政策性任務 | 3.83 |
| | 4.現有設備老舊，無法應付高濁度原水 | 3.62 |
| | 5.首長異動頻仍，政策常不延續 | 3.36 |
| | 6.民眾仍停留在對公營機構不佳的印象 | 3.09 |
| | 7.人才斷層，知識經驗無法傳承 | 3.05 |
| | 8.颱風暴雨期,供水調配及應變能力待加強 | 2.96 |
| | 9.人力趨於老化，人力失衡 | 2.92 |
| | 10.組織僵化，士氣較低 | 2.56 |

2.核心能力

儘管資源基礎觀點使我們得以系統化方式進行組織內部分析，但若要使這些分析具有意義，則資源基礎觀點仍應建立在外環境分析的脈絡上。徒然具有高價值資源並無法確保高額利潤，除非這些資源能應用在有效的產品與市場策略上。

藉由內在優勢因子之評價數值，並檢視組織本身所擁有的資源，是否可配合外在環境所提供的機會。其中，「獨占事業，且水為民生必需品」(5.02) 評價最高，「淨水處理、管線等關鍵技術成熟，專業人才充足」(4.01) 次之，惟「獨佔」是兩刃刀，一方面阻絕競爭，卻也容易使組織在安逸中失去鬥志，此利基可能一夕之間崩盤，而不足為恃。

爰依核心資源論之「有價值的、稀少的、不可完全模仿的」等特性評價，可歸結「淨水、管線等專業技術與人才」係提供本公司持續性競爭優勢的核心資源與能力，為後續

策略擬定時重要考量因素。

隨著企業經營疆域的拓展，無論在本業或新進入之事業範疇，一定的核心能力厚度將被稀薄化而弱化市業的競爭活力與風暴抵抗力。在驚濤駭浪的「金融海嘯」考驗下，仍然有持穩成長、獲利的企業，成功的關鍵就在於他們能不斷厚植核心能力。易言之，集中大部份資源於「淨水、管線等專業技術與人才」之厚植與延伸，為本文重要的策略構想之一。

3.重要經營課題

茲依「因→果→影響」之思考邏輯，解析前揭不利因子(內在劣勢、外在威脅)對本公司帶來之風險，歸結計「供水不足」、「水質不佳」、「環保團體抗議」、「品牌形象受損」、「財務惡化」、「組織老化」等風險如表 7，其或為組織立即遭逢、或為潛在重要趨勢，然皆為本公司必須正視之重要經營課題。

表 7 各項風險因子「因→果→影響」關聯

| 因 | | 果 | 影響 |
|--------|--------------------------|------------------------------|-----------|
| (內在劣勢) | 2.管線老舊 | 漏水嚴重 | 供水不足之風險 |
| (內在劣勢) | 4.現有設備老舊 | 影響穩定供水之水質、水量 | |
| (內在劣勢) | 8.颱風暴雨期 | 原水濁度驟升，淨水場無法處理 | |
| (外在威脅) | 4.新水源開發不易 | 水權取得困難 | |
| (外在威脅) | 5.溫室效應、氣候變遷 | 造成豐、枯水期水源量差異懸殊 | |
| (外在威脅) | 11.民眾缺乏正確之用水觀念 | 浪費彌足珍貴之水資源 | |
| (外在威脅) | 2.國土保育不良 | 原水水質不佳，超過自來水目前之處理能力 | 水質不佳之風險 |
| (外在威脅) | 3.環保法規提高飲用水水源及水質標準 | 設備改善須增加營運成本，水質不合格率提高，應變不及 | |
| (外在威脅) | 9.「樂活」觀念盛行 | 民眾對水質要求日亟 | |
| (內在劣勢) | 6.民眾仍停留在公營機構守舊、保守、無效率的印象 | 品牌價值貶抑 | 品牌形象受損之風險 |
| (外在威脅) | 6.用戶要求更高之服務品質 | 對停水之忍受度低 | |
| (外在威脅) | 8.新聞媒體報導渲染 | 影響社會觀感 | |
| (內在劣勢) | 1.資產投資報酬低 | 財務困窘 | 財務惡化之風險 |
| (內在劣勢) | 3.肩負國家政策性任務 | 盈餘減少甚至呈現虧損 | |
| (外在威脅) | 7.全球經濟不景氣 | 各用水種別成長皆呈衰退情形 | |
| (外在威脅) | 1.水價無法合理反映成本 | 給水投資報酬率偏低，甚至為負 | |
| (外在威脅) | 3.環保意識抬頭 | 對綠色環保之關注與日俱增 | 環保團體抗議之風險 |
| (內在劣勢) | 9.人力趨於老化 | 人力失衡 | 組織老化之風險 |
| (內在劣勢) | 7.人才斷層 | 知識經驗無法傳承 | |
| (內在劣勢) | 10.組織僵化 | 管理鬆散，士氣較低，人才運用不夠靈活，彈性應變能力待加強 | |

四、經營目標

目標在本質上反映出一種落差，是一種現實和期望的落差。目標代表期望的狀態，現實則是企業的現狀，而落差正是未來策略所欲彌補的缺口，沒有目標就沒有策略，因為若是缺乏目標，策略良窳便無法評估。

中程(四年)目標乃為實現長程(綱領)計畫終極目標之階段性目標，可分別由「質化」、「量化」兩種途徑表述。

(一)質化目標

質化目標係指組織所欲履及的「境界」，所欲達成的「未來像」，以概念化文字表達分項經營目標，常可適用不同時空背景。

承上節分析，計畫期間將面臨供水不足、

水質不佳、環保團體抗議、品牌形象受損、財務惡化、組織老化等風險，為規避、移轉、或分散前揭經營風險，研擬五項質化目標如下。

為厚植核心能力，首先揭櫫「質優、量足」(聚焦核心，質優量足)、「服務好」(從心出發，感動顧客)之質化目標，並建立「專業創新，優化組織」之質化目標，以為驅動組織獲致卓越績效的動力。另，因應綠色環保意識，本公司未雨綢繆，爰擬訂「節能環保，資源永續」之質化目標；惟若無合理利潤，將使事業無法存續，因此，在承擔社會責任必須在有合理利潤的前題下，揭示「開源節流，健全財務」之質化目標。茲彙示五大質化目標及其優先順序如表 8。

表 8 「經營課題」與「質化目標」之關聯及其優先次序

| 經營課題 | 質化目標 | 優先順序 |
|-----------|-------------|------|
| 供水不足之風險 | 聚焦核心，質優量足 | 1 |
| 水質不佳之風險 | | |
| 品牌形象受損之風險 | 從「心」出發，感動顧客 | 2 |
| 組織老化之風險 | 專業創新，優化組織 | 3 |
| 環保團體抗議之風險 | 節能環保，資源永續 | 4 |
| 財務惡化之風險 | 開源節流，健全財務 | 5 |

(二) 量化目標

量化目標的設定，將組織任務具體化成爲一組目標和績效評量標準，使成功的定義變得具體而明確；其中含有經營者的意志力及對市場的預估，是一種強烈的期望，其將激發員工

的士氣，共同爲實現市場目標而努力。

爲落實「以需定供」之思維，由年需求量子出發，推估供水量、漏水率，據以研訂供水能力及各項增(擴)建工程。茲研訂 98 至 101 年銷售、生產、水質、服務預估目標值如表 9。

表 9 98 年至 101 年預估經營目標值

| 目標項目 \ 年度 | 98 年度 | 99 年度 | 100 年度 | 101 年度 |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 售水量 (千 m ³) | 2,110,708 | 2,139,160 | 2,203,242 | 2,205,000 |
| 漏水率 (%) | 21.45% | 20.44% | 19.66% | 19.04% |
| 供水量 (千 m ³) | 3,032,268 | 3,029,114 | 3,034,468 | 3,011,264 |
| 供水能力 (千 m ³) | 3,935,656 | 3,938,394 | 3,995,243 | 4,215,703 |
| 水質合格率 (%) | 99% 以上 | 99% 以上 | 99% 以上 | 99% 以上 |
| 供水普及率 (%) | 90.80% | 90.90% | 91.00% | 91.1% |
| 顧客滿意度 (%) | 83.6% | 83.8% | 84% | 84.2% |

五、經營策略

「外部環境」、「內在條件」與達成「經營目標」三者之間並不是直接相關，其間關係必須藉由策略加以連結。外在環境與內在條件固然是客觀存在的事實，但環境與條件的主觀感知影響策略之制定；而在策略思考的過程中，目標其實是「一組限制條件」，限制策略的範圍，也約束策略規劃天馬行空的創意。

本節植基於「核心能力」之主導邏輯，強調組織應追求持續性競爭優勢，因此在策略釐訂時，應首重如何強化與延伸核心資源與能力，以掌握機會、消除弱勢/威脅因素，爲組織建立持久性競爭優勢。

依第三節「內、外部環境評價」作爲策略評價的基礎，透過「TOWS 矩陣」制定策略，計算各項策略之「歐氏距離」，以求得經營策略執行的優先順序，解決組織在建立多項策略之後卻不知從何下手之窘境，分述如后。

(一) 透過 TOWS 矩陣制定策略

Wehrich(1982)提出 TOWS 矩陣，主要是在檢視企業的外部環境與內部資源後，進行策略配對(Matching)，以把握內部優勢，克服本身弱勢，再利用外部環境機會，避開威脅，找出最佳的經營策略，達成組織經營目標。

進行 TOWS 矩陣分析前，須以「相互作用矩陣」爲前導，找尋因子間的關聯性(當兩因子間有關聯性時爲「+」，若關聯性很小或無關聯，則爲「0」)，才能有效率地將因子作適當的搭配，作爲發展各項策略的依據。

根據分析所得之因子關聯組合，透過腦力激盪與上下研討的過程，制定各項經營策略如表 10 (相互作用矩陣分析所得之因子關聯組合以【】揭示)，其中，SO_i 策略表示使用優勢、利用機會；WO_i 策略表示克服弱勢、利用機會；ST_i 策略表示利用優勢、避免威脅；WT_i 策略表示減少弱勢、避免威脅。

表 10 TOWS 矩陣分析

| | | 組織內在分析 | |
|--------|--|--|--|
| | | 優勢 (S) | 劣勢 (W) |
| 經營策略 | | 1. 獨占事業，且水為民生必需品 2. 三十餘年經營經驗 3. 淨水處理、管線等關鍵技術成熟 4. 廠所分布全省，通路廣佈 | 1. 人力趨於老化 2. 人才斷層，知識經驗無法傳承 3. 現有設備老舊，無法應付高濁度之原水 4. 颱風暴雨期，供水調配及應變能力待加強 5. 組織僵化，士氣較低 6. 首長異動頻仍，政策常不延續 7. 資產投資報酬低，財務困窘 8. 管線老舊，漏水嚴重 9. 民眾仍停留在公營機構「守舊、保守、無效率」的印象 10. 肩負國家政策性任務 |
| 外在環境分析 | | | |
| 機會 (O) | 1. 技術日新月異，資訊通訊發達 2. 民生及工業用水穩定成長 3. 經續會已有水價調整之共識 4. 市場利率偏低 | SO1. 多元化水源開發 【S1, S3, S4, O2】 | WO1. 活化人力資源 【W1, W2, O1, O2】 WO2. 改善純益率/提升資產週轉率 【W3, W6, W7, W8, O2, O3, O4】 WO3. 厚植資訊競爭力 【W2, W3, W4, W8, O1】 |
| 威脅 (T) | 1. 全球經濟不景氣 2. 國土保育不良，原水水質不佳 3. 環保法規提高飲用水水源及水質標準 4. 新水源開發不易，水權取得困難 5. 溫室效應、氣候變遷，造成供水異常 6. 用戶要求服務品質提高，對停水忍受度低 7. 民眾缺乏正確之用水觀念 8. 「樂活」觀念盛行，民眾對水質要求日亟 9. 水價無法合理反映成本 10. 新聞媒體報導渲染 11. 環保意識抬頭，對綠色環保關注與日俱增 | ST1. 加強水質管理 【S2, S3, T2, T3, T5, T8】 ST2. 精進管理制度 【S2, S4, T1, T6】 | WT1. 充實備援備載能量/強化緊急應變機制 【W3, W4, T2, T3, T5, T6】 WT2. 降低漏水率 【W8, T3, T4, T7, T9】 WT3. 啟動體驗行銷/建構高感度客服架構 【W3, W4, W5, W9, T6, T8】 WT4. 提升供水普及率 【W9, W10, T1, T7, T10】 WT5. 實踐綠色主張 【W3, W4, W8, W10, T11】 |

(二) 計算「歐氏距離」決定策略執行的優先順序
 利用外在環境重要性評價數值與內在資源評價數值，計算各項策略之「歐氏距離」。各項策略之執行優先性是依照歐氏距離

(Tavana, 2002) 決定，當歐氏距離越大，表示執行之優先性越大，據以決定核心策略、輔助策略。為清楚地呈現，茲將各項因子的評價數值與策略的評價數值臚列於表 11。

表 11 因子評價與策略評價

| | | 組織內在分析 | |
|--------|---|--|--|
| | | 優勢 (S) | 劣勢 (W) |
| 經營策略 | | $S_1 = 5.02$ $S_2 = 2.03$ $S_3 = 4.01$ $S_4 = 2.65$ | $W_1 = 2.92$ $W_5 = 2.56$ $W_9 = 3.09$ $W_2 = 3.05$ $W_6 = 3.36$ $W_{10} = 3.83$ $W_3 = 3.62$ $W_7 = 4.71$ $W_4 = 2.96$ $W_8 = 4.18$ |
| 外在環境分析 | | | |
| 機會 (O) | $O_1 = 3.60$ $O_2 = 4.44$ $O_3 = 5.72$ $O_4 = 2.92$ | SO1. 多元化水源開發 (6.7018) | WO1. 活化人力資源 (5.3866) WO2. 改善純益率/提升資產週轉率 (7.4096) WO3. 厚植資訊競爭力 (5.5165) |
| 威脅 (T) | $T_1 = 5.03$ $T_5 = 4.86$ $T_9 = 6.69$ $T_2 = 5.75$ $T_6 = 4.86$ $T_{10} = 5.16$ $T_3 = 5.51$ $T_7 = 2.65$ $T_{11} = 3.78$ $T_4 = 5.33$ $T_8 = 3.85$ | ST1. 加強水質管理 (7.0101) ST2. 精進管理制度 (5.6853) | WT1. 充實備援備載能量/強化緊急應變機制 (6.7946) WT2. 降低漏水率 (7.8885) WT3. 啟動體驗行銷/建構高感度客服架構 (6.06) WT4. 提升供水普及率 (5.9473) WT5. 實踐綠色主張 (5.6356) |

註：表內()數值為歐氏距離，計算公式以 ST1. 加強水質管理【S2, S3, T2, T3, T5, T8】為例，其歐氏距離為
 $E_{ST1} = \sqrt{[Max(S2, S3)]^2 + [Max(T2, T3, T5, T8)]^2} = \sqrt{[4.01]^2 + [5.75]^2} = 7.0101$

整合上述之內外在環境變數，並依上揭「歐式距離」研析結果，若歐式距離高於 6 者計「SO1.多元化水源開發」等九項，可視為應優先執行的核心策略，而數值小於 6 的計「ST2.精進管理制度」等五項，則視為

輔助策略。茲彙示本公司四年(98~101)經營計畫之「核心策略、輔助策略」與「經營目標」之關聯如表 12，以指引組織「時間／資源」配置之「緩急／輕重」。

表 12 核心策略、輔助策略與經營目標之關聯

| 核心策略 | 經營目標 | 輔助策略 |
|---|------------------------------------|------------------------------------|
| (一)多元化水源開發 (二)降低漏水率 (三)充實備援備載能量 (四)強化緊急應變機制 (五)加強水質管理 | 聚焦核心， 質優量足 從心出發， 感動顧客 | 專業創新， 優化組織 節能環保， 資源永續 |
| (六)啓動體驗行銷 (七)建構高感度客服架構 (八)改善純益率 (九)提高資產週轉率 | | |

六、執行方案

策略是一幅美麗的圖像，必須透過具體的「執行方案」，加以實踐，才能產生實質的效益，否則，無以展現執行力。為了要能讓經營策略指導功能性部門政策之釐訂，策略展開就很重要。因為唯有策略細部展開後，各功能性部門才能從中找到各部門應採取的行動。

基於上節相關策略構想，並參酌各業管單位對近四年(95~98 年)執行方案成效檢討，本公司高階主管協同企劃幕僚先行研擬各項經營策略展開後之「可能的」執行方案；復邀集各業管處室就其「必要性」及「可行性」研討、協商，篩選各項經營策略「必要且可行」之執行方案，訂出執行方案的時間、預算與計畫目標。茲分就前揭五大質化目標之「目標－策略－方案」闡釋如下。

(一)聚焦核心，質優量足

在「量」的方面，為期提高水資源運用效率，除「開源」(多元化水源開發)及「節流」(降低漏水率)措施以充裕水量之外；另，「充實備援備載能量」及「強化緊急應變機制」，

冀期調豐濟枯，穩定供水。

在「質」的方面，為因應水源水質惡化及日益嚴苛之水質標準，欲求水質無虞，除需建置現代化處理設備、強化水質監測、檢測與內控管理外，「從源頭著手」減少水源污染，以確保飲用水水源之安全與衛生，無疑更顯其重要性。

為厚植「核心能力」，實現「質優量足」，基於上揭策略構想，擬定「多元化水源開發」、「降低漏水率」、「充實備援備載能量」、「強化緊急應變機制」與「加強水質管理」等經營策略。茲研析各項經營策略之執行方案如后。

1.多元化水源開發

目前，原水主要取自川流水、地下水及水庫等傳統水源，惟存在大部份逕流入海、地下水已超抽及水庫調蓄能力不足等現象，致傳統水源穩定性不足部份。易言之，除應持續推動辦理各項天然水資源(水庫、攔河堰、地下水)開發為水資源供應之主要水源，惟其受極端氣候影響，仍有缺水風險，對於海水淡化廠、廢污水回收再利用亦須積極推動。



援此思維，一方面配合水利署辦理之水源開發計畫為前導計畫，辦理「配合分擔水庫及原水管路經費籌編」、「板新地區供水改善二期工程」、「湖山水庫下游自來水工程」等計畫，與水庫聯合調配運用；另一方面充裕自有水源，近年主要推動重點涵括(1)持續辦理「攔河堰及取水設施更新工程計畫」(2)加強海水淡化技術研發，在高缺水風險的澎湖地區，推動「馬公增建 4,000 噸海水淡化廠計畫」，以減輕水源開發壓力(3)研提「高雄地區備用水源整備計畫」，增加高屏溪流域伏流水開發，以增加汛期原水供應量；另提(4)「原、清水採購計畫」，以填補自有水源之不足。

2. 降低漏水率

在缺水危機日亟的台灣，因「開源」相對不易的情況下，故「節流」益顯重要，因此降低漏水成為當務之急。本公司配合行政院「振興經濟新方案」，奉院核定「加速辦理降低自來水漏水率及穩定供水計畫」(98~101 年)，挹注特別預算 198 億元，其中，降低漏水率部分為 108 億元，加上公司自籌 164 億元，合計共 272 億元「加速管線汰換」；另，研擬「建置分區計量管網」、「加強檢修漏」、「建置地理資訊系統(GIS)」、「強化水壓管理」等相關執行計畫，全力降低漏水。

3. 充實備援備載能量

近年來，因溫室效應，導致氣候異常。以地表水為供水主要來源的台灣而言，降雨時間之分佈不均日趨嚴重。夏季豐水期，洪水挾帶土石流，使原水濁度驟增，導致「有水不能用」的窘境；而冬季枯水期，降雨量不足，造就部份地區之缺水情事。此種「旱澇不均」的劇本，近年來不斷在台灣重複上演，加重本公司穩定供水之壓力。

爰須持續加強供水系統備援備載能量，淨

水場必須有足夠的備載淨水能力、供水設施則必須有備援管線與加壓設備，當狀況發生時，馬上可以利用備載備援設施調度供水，而不至於停水。策劃未來努力方向，研提「設置備援管線」、「淨水設備更新及改善」、「自來水系統監控整合工程」、「莫拉克颱風災後重建—自來水復建工程」、「南化水庫及其集水區治理綱要」等相關計畫，冀期調豐濟枯、穩定供水。

4. 強化緊急應變機制

為綜理各類災害及緊急事故之指揮、督導、協調、資料蒐集及傳遞等災害緊急應變作業，本公司訂定「災害緊急應變小組作業要點」，於中央災害應變中心、經濟部災害緊急應變小組或供水需要時成立「台水公司災害緊急應變小組」因應。

基於「預防勝於治療」，本公司持續強化風險管理機制。研提「落實緊急供水應變」與「加強緊急材料供應」等緊急應變計畫，配合「淨水場功能評鑑」、「建立備援系統」、「設置備援管線」、「強化水壓管理」與「落實訊息快速回饋機制」等配套措施，冀期增加應變彈性外，並逐步提升預防、整備、應變及復原等各階段能力。

5. 加強水質管理

為因應水源水質惡化及日益嚴苛之水質標準，除需建置現代化處理設備、強化水質監測、檢測與內控管理外；尤其，國內過去十年來，致力於水資源開發，對於水源保育與污染管制未能同步進行，以及人為的濫墾濫伐活動，以致水源水質無法確切保障。「從源頭著手」減少水源污染，以確保飲用水水源之安全與衛生，無疑更顯其重要性。

因此，欲求水質無虞，採取「安內」(研提「加強水質監測儀器維護與汰換」、「提升飲用水水源及飲用水水質」與「水質資訊管理」

等計畫)、「攘外」(研提「加強集水區保育、治理與污染防治計畫」)雙管齊下之作爲。茲彙示聚焦核心，質優量足之「目標—策略—方案」關聯如表 13。

表 13 聚焦核心，質優量足之「目標—策略—方案」

| 目標 | 策略 | 方案 |
|---------------|----------|---|
| 聚焦核心， 質優量足 | 多元化水源開發 | <ul style="list-style-type: none"> ■配合水利署辦理之水資源開發計畫 ■充裕自有水源計畫 ■原、清水採購計畫 |
| | 降低漏水率 | <ul style="list-style-type: none"> ■建置分區計量管網計畫 ■加速管線汰換計畫 ■加強檢修漏計畫 ■建置地理資訊系統(GIS)計畫 ■強化水壓管理計畫 |
| | 充實備援備載能量 | <ul style="list-style-type: none"> ■設置備援管線計畫 ■淨水設備擴建及更新計畫 ■自來水系統監控整合工程計畫 ■莫拉克颱風災後重建—自來水復建工程計畫 ■南化水庫及其集水區治理綱要計畫 |
| | 強化緊急應變機制 | <ul style="list-style-type: none"> ■落實緊急供水應變計畫 ■強化緊急材料供應計畫 |
| | 加強水質管理 | <ul style="list-style-type: none"> ■加強水質監測儀器維護與汰換計畫 ■提升飲用水水源及飲用水水質計畫 ■水質資訊管理計畫 ■加強集水區保育、治理與污染防治計畫 |

(二)從「心」出發，感動顧客

晚近，經濟部要求所屬國營事業「形象改造」日亟，行政院要求各機關展開「感動人民、振奮人心」之施政作爲，採取「攻心爲上」的體驗策略正逢其時，恰爲政策落實找到適切之嵌入點。尤其，長期水價偏低，無法真正反映水資源永續利用的價值，亦是國內推動節約用水的一大阻礙。水價之合理調整或許涉及社會層面之考量，更與用戶心理感受休戚相關，若能贏得用戶認同、擄獲其「心」，採取「攻心爲上」的體驗策略，將可卸下用戶心防，加深用戶的信賴，當用戶對品牌整體經驗充滿感動時，或許更能接受水價之合理調整。

爰以「啓動體驗行銷」爲顧客服務之核心策略，將公司現有創造用戶體驗之零散資源加以統整，予以系統化推動；輔以延續性策略「建置高感度客服架構」與「提升供水普及率」等相關計畫，冀期從「心」出發，感動顧客。茲

研析相關「執行方案」如后。

1.啓動體驗行銷

身處「體驗經濟」時代，用戶對自來水的需求已由「生理層次」的需求，進一步企求「心理層次」的滿足，過去強調「量足、質優」之供水雖能滿足用戶生理需求，惟不足以讓顧客「心」生感動，「體驗行銷」應是一劑心靈良藥，讓台水品牌除有理性的功能性利益（量足、質優）之外，還增添一分感性的「人味」（愉悅的用水經驗）。

惟吾人必須體認，以感性體驗爲訴求的同時，尚須以顧客滿意的產品功能與品質爲後盾；沒有滿意的產品功能與品質，難以創造體驗價值。易言之，今後本公司努力的方向，「量足、質優」是必要的前提，同時，必須注入「體驗」價值，創造用戶愉悅的用水經驗，才能征服用戶的心。

基於「體驗」新典範，研提「改善實體櫃

台服務」、「強化行銷溝通」、「研思親水體驗資產」等相關計畫，將公司現有具備觸發「體驗」價值的行銷資源加以統整，逐步推動，冀期「以有限之資源，最小之成本，獲致最大之效益」。

2. 建置高感度客服架構

應用資訊通訊科技，強化與客戶關係的「黏度」，提升顧客滿意度，是新時代企業經營新顯學。尤其，在這個消費者意識抬頭的時代，客服品質對自來水事業表現的影響程度格外強烈。推動「自來水客服中心建置」與「提升服務品質」等計畫，冀期提升用戶滿意度之外，亦是消除用戶體驗負面線索的作為。

3. 提升供水普及率

三十多年來，台水公司提供民生及工業所需的用水，藉著供水管線深入台灣的每一個角落，也因此與 2,300 萬同胞的生活緊密結合。身為一個兼具使命感與重要性的企業，深刻體認必須運用核心技能及聯結相關資源，對弱勢族群及地方社區做出貢獻。原住民地區因地處偏遠，供水成本高，長期供水大多由中央政府預算補助各縣市政府，本公司配合辦理延管供水，並負責營運；另，推動「管線已到達地區新裝用戶推廣」、「加強辦理無自來水地區供水改善」等計畫，主動善盡企業公民責任。

茲彙示從心出發，感動顧客之「目標—策略—方案」關聯如表 14。

表 14 從「心」出發，感動顧客之「目標—策略—方案」

| 目標 | 策略 | 方案 |
|-------------|-----------|---|
| 從「心」出發，感動顧客 | 啟動體驗行銷 | <ul style="list-style-type: none"> ■改善實體櫃台服務計畫 ■研思親水體驗資產計畫 ■強化行銷溝通計畫 |
| | 建置高感度客服架構 | <ul style="list-style-type: none"> ■自來水客服中心(Call Center)建置計畫 ■提升服務品質計畫 |
| | 提升供水普及率 | <ul style="list-style-type: none"> ■管線已到達地區新裝用戶推廣計畫 ■加強辦理無自來水地區供水改善計畫 |

(三)專業創新，優化組織

藉由平衡計分卡「學習與成長」之三構面「組織資本」、「人力資本」、「資訊資本」，研提「精進管理制度」、「活化人力資源」與「厚植資訊競爭力」等策略，促進組織學習與成長、厚植公司無形資產價值，以為驅動組織獲致卓越績效的動力，相關執行計畫分別研析如后。

1. 精進管理制度

為改善經營體質、落實企業化經營，配合國營會推動各國營事業導入新企業管理方法為重點，諸如「推動非核心業務委外」、「強化公司治理」、「落實全面品質管理」與「加強研究發展」等計畫，冀期透過管理方法之革新，提升組織競爭力。

2. 活化人力資源

研究顯示「本公司員工邁入高齡層，雖具豐富之工作經驗，惟將面臨經驗傳承斷層」之問題，且受限國營事業人力增補不易，導致人力失衡的問題日亟。爰須跳脫傳統「人事管理」的思維，落實「策略性人力資源管理」之理念，關注組織人力資源與經營目標之結合，以更前瞻的理念和更長遠的眼光，著手人力資源規劃與發展。分別研提「人力需求」、「人力進用」、「主管人員培育」、「員工訓練進修」、「國外先進自來水事業觀摩學習」與「人力評鑑」等各項執行計畫。

3. 厚植資訊競爭力

資通訊科技快速發展，以及網路風潮已沛然莫之能禦。建立「顧客導向之整合性資訊系統、資通訊基礎建設與應用」已成為公司企求

發展的關鍵動力之一，爰研提「智慧型自來水管理系統」、「資訊網路優質化及層級簡化」、「資通安全機制」與「資訊平台整合建置」等

相關執行計畫，以厚植資訊競爭力。

茲彙示專業創新，優化組織之「目標—策略—方案」關聯如表 15。

表 15 專業創新，優化組織之「目標—策略—方案」

| 目標 | 策略 | 方案 |
|---------------|---------|---|
| 專業創新， 優化組織 | 精進管理制度 | <ul style="list-style-type: none"> ■推動非核心業務委外計畫 ■強化公司治理計畫 ■落實全面品質管理計畫 ■加強研究發展計畫 |
| | 活化人力資源 | <ul style="list-style-type: none"> ■人力需求計畫 ■人力進用計畫 ■主管人員培育計畫 ■員工訓練計畫 ■國外先進自來水事業觀摩學習計畫 ■人力評鑑計畫 |
| | 厚植資訊競爭力 | <ul style="list-style-type: none"> ■智慧型自來水管理系統計畫 ■資訊網路優質化及層級簡化計畫 ■資通安全機制計畫 ■資訊平台整合建置計畫 |

(四)節能環保，資源永續

因應綠色環保意識提升，「生態效益」蔚為顯學，「貫徹綠色思維，成就綠色企業」已是現代企業發展的正確方向和必然趨勢。本公司宜未雨而綢繆，形塑綠色企業，走出一條生態與經濟協調發展的綠色大道。爰揭櫫「台水綠色承諾」，係本公司對「善盡環保責任」之目標設定與對外承諾；據以建構本公司「實踐綠色主張」經營之道，分述如下。

1.台水綠色承諾

本公司正式揭櫫「台水綠色承諾」，發表涵括研發創新、採購、生產、行銷、會計、回收處理及環境政策等全方位的綠色永續經營理念，同時明訂 2012 年「善盡環保責任」目標之「生態效益指標」：辦公室用品綠色採購 91%，每人每日用水量 256 公升；在溫室氣體減量方面，建置大型淨水場環境管理系統 ISO14001 認證 8 處。

2.實踐綠色主張

基於永續經營，企業係屬開放系統，必

須和外界環境保持高度互動的關係。因此，從追求生存環境永續發展的觀點出發，始能真正落實企業永續的經營理念，分由開放系統的「投入、處理、產出、回饋」等四個子系統出發，研思本公司「實踐綠色主張」經營之道，分述如后。

- (1)【投入面】落實綠色採購計畫：評估商品的綠色價值，作為採購的衡量指標，例如採購環保標章或是節能、節水標章用品。
- (2)【處理面】推動綠色生產計畫：承接綠色採購的原料，進入綠色價值的製造流程，提升節省能源、低污染性、低危害性、高回收率等方面的綠色生產能力。研提「營運效能評估及輔導(OPEE)」、「推廣綠色工法」與「推動 ISO 環保認證」等子計畫。
- (3)【產出面】加強綠色行銷計畫：行銷具綠色價值的產品與理念，以利產生具有綠色概念的消費行為。研提「宣導節約用水」與「推廣電子帳單」等子計畫。
- (4)【回饋面】導入環境會計計畫：為提供本

公司一致性的環境財物資訊蒐集與揭露規範，導入環境會計系統，以契合國際潮流。

茲彙示節能環保，資源永續之「目標—策略—方案」關聯表表 16。

表 16 節能環保，資源永續之「目標—策略—方案」

| 目 標 | 策 略 | 方 案 |
|-----------|--------|--|
| 節能環保，資源永續 | 實踐綠色主張 | <ul style="list-style-type: none"> ■落實綠色採購計畫 ■推動綠色生產計畫 ■加強綠色行銷計畫 ■導入環境會計計畫 |

(五)開源節流，健全財務

近年來，本公司給水投資報酬率偏低，甚至為負(詳表 17)，成為常態性獲利偏低企業，易使人錯覺成本費用偏高，經營效率低落之企業，從而否定了全體員工之努力。究

其主要原因乃因水價已 17 年未獲准調整，其間由於氣候異常、水污染、原水單價提高及用戶要求供水品質提升等經營環境變遷，致公司營運成本逐年上升，獲利能力偏低，財務狀況日漸窘困。

表 17 95~98 年度給水投資報酬率

| | 95 年度 | 96 年度 | 97 年度 | 98 年度 |
|----------------------------|-------|-------|-------|--------|
| 給水盈虧 (億元) | -2.43 | -1.03 | -2.87 | -12.91 |
| 單位銷售成本 (元/M ³) | 10.91 | 10.89 | 11.01 | 11.41 |
| 給水平均單價 (元/M ³) | 10.80 | 10.84 | 10.88 | 10.80 |
| 給水投資報酬率 (%) | -0.16 | -0.07 | -0.19 | -0.80 |

給水投資報酬率為負，而在全員「嚴控收支，開源節流」的努力下，近年純益仍能勉力維持正數，概因純益除給水收入外，尚包括用戶新裝收入、場租門票收入、代理收入、政府補助收入、其他營業收入等，另營業外收入含投資利益、財產交易利益及什項收入等，尤其用戶新裝毛利近年均為正數。顯示本公司的盈餘，非來自給水收入，而端賴業外收益挹注，殊非企業永續經營之常道。

偏低的狀況下，分析其原因主係本公司肩負了很多照顧弱勢與偏遠地區的政策任務，營業支出成本及費用高於北水處甚多。

本文援引 1920 年代杜邦(Do Pont)公司發展的財務分析模式，以「資產報酬率」為公司經營績效指標，將其解構為「純益率」與「資產週轉率」兩項，意指本公司欲提升經營績效，可由「改善純益率」與「提升資產週轉率」兩個方向思索對策，分述如下。

為改善純益率，鑑於本公司目前單位給水總成本高於給水平均單價，應積極推動「水價合理化」或「開發高獲利率產品」，惟開發高獲利率產品相對不易，除戮力「推廣新裝用戶」之外，當於適當時機推動「水價合理化」；另將「降低營運成本」，擲節開支、提高生產力。

1.改善純益率

本公司純益率逐年下降，比較北水處近年純益率約為本公司 15 至 17 倍，在水價均

2.提升資產週轉率

本公司在致力「活化資產」的努力下，資產週轉率近年小幅提升，惟以近兩千五百億的資產，資產週轉率仍屬偏低，亟待改善。

爰須持續活化資產，以降低閒置資產；另，檢討是否有過度或過早投資之情形，以提升每一元資產獲利能力。依此，除持續加強「提升售水率」之外，另研提「活化不動

產」與「加強固定資產投資財務分析」等重點計畫，以提升公司經營效率。

茲彙示開源節流，健全財務之「目標－策略－方案」關聯如表 18。

表 18 開源節流，健全財務之「目標－策略－方案」

| 目標 | 策略 | 方案 |
|-----------|---------|---|
| 開源節流，健全財務 | 改善純益率 | <ul style="list-style-type: none"> ■新裝用戶推廣計畫 ■推動水價合理化計畫 ■降低營運成本計畫 |
| | 提升資產週轉率 | <ul style="list-style-type: none"> ■提升售水率計畫 ■活化不動產計畫 ■加強固定資產投資財務分析計畫 |

七、結語－隨機應變

計畫之圓滿實現，除有賴完善之規劃，更重要的是要能貫徹執行與控制。倘若執行不力，再美好的目標也只是海市蜃樓；再偉大的策略也只是紙上談兵。其間，必須建立策略控制系統，以支援策略管理者追蹤策略績效，增益組織對內、外在環境變動的彈性適應能力。

企業策略計有「計畫性策略」與「隨機性策略」等兩種型態。計畫性策略係基於「常態性」、「可預期」之假設、前提，乃架構企業發展的主幹；而隨機性策略係組織對於「始料未及」、「不可預期」狀況的反應，係企業於其日常營運中所發現一些突現的機會與威脅，從而判斷是否要發展成策略，如果合適，再針對該等突現之機會與威脅進行策略修訂。

《金剛經》云：「凡所有相，皆是虛妄；若見諸相非相，即見如來。」揭示「世上唯一不變的，就是變」之真諦。策略大師 Mintzberg 也強調，為因應多變、無常之環境，企業亦須視環境轉化而提出因應而生的隨機性策略，以輔翼計畫性策略的不足。釋其言，計畫性策略旨在於防範未然，隨機性策略則在於化險為夷；為避免計畫性策略僵化而貶抑企業活力，企業既要精於運籌謀劃，也必

須善於隨機應變。

《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，應該依隨戰場形勢變化與敵我態勢，實事求是地靈活應變。易言之，企業沒有不變的成功方程式，而慣性常是企業成長的敵人。面對無常、多變的自來水經營環境，本公司必須時時「衡外情、量己力」，經由策略創新，隨時檢視、調整組織經營模式，冀期形塑新時代高績效的自來水經營新風貌，讓台水金字招牌於歷史長河中光輝燦爛。

參考文獻

1. 司徒達賢，策略管理新論－觀念架構分析方法，智勝文化事業有限公司，民國90年。
2. 黃北豪，管理會計與控制系統解析，經理人月刊，57期，民國98年8月。
3. 陳福田，SWOT量化分析於台水公司策略規劃之應用，工程會刊八八水災特刊，中國工程師學會，民國98年12月。
4. Magretta, J., Why Business Models Matter, Harvard Business Review, May: 86-92, 2002.

作者簡介

陳福田先生

現職：台灣自來水股份有限公司總經理

專長：自來水規劃、設計、施工及策略管理

淨水場沉澱污泥加藥濃縮特性及其效應

文/張維欽、陳建鈞、林正隆、洪世政、吳美惠

摘要

本研究針對豐原、林內與坪頂三座淨水場之沉澱污泥，進行加藥調理之污泥濃縮特性調查，並與不加藥時之污泥濃縮行為進行比較，藉以瞭解加藥濃縮在濃縮池設計與操作上之可能效應。實驗結果顯示加藥可大幅改善沉澱污泥之濃縮特性，在設計時可因而降低濃縮池面積，操作時提高濃縮污泥濃度與污泥固體負荷。此外，濃縮池前加藥調理亦具有可確保濃縮池之低上澄液 SS 濃度，與降低脫水加藥之需求等多目標之功能。因此廢污處理設施通則中對濃縮加藥之規範與建議宜進一步推廣採用。

一、前言

台灣表面水淨水場相較於國外之典型淨水場具有變異極大之原水濁度，其平時低濁時期之原水濁度一般僅在 20 至 50 NTU 之間。但逢豪雨或颱風期間其原水濁度則可急遽增加至 1000 至 3000 NTU，甚至超過 10,000 NTU 以上，此時高濁度原水所衍生之大量沉澱污泥，常可達平時污泥量之數十倍，甚或百倍以上。然而；由於淨水場之廢污處理設施，依其採用之設計基準自有其限制之處理量，因此高濁度期間之廢污處理常成為淨水場出水的限制因子。

依環保署於 95 年 10 月 16 日修訂之「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」^[1]，當暴雨來臨，原水 SS 超過 2,000 mg/L 或濁度超過 2,000 NTU 以上，致廢水處理設施無法正常操作時，淨水場得採緊急緊急應變措

施，直接排放。亦即廢污處理設施之設計，仍須以能處理原水濁度達 2000 NTU 時之廢污量為依據。事實上，該污泥量亦常為平時污泥量之 10 倍以上，倘依該污泥量進行濃縮池之設計，則平時將發生大量污泥濃縮池閒置之情形。

台水公司在「廢水處理設施設置及排放或回收水措申請通則」^[2]中，對於污泥濃縮池設施及功能之要求為：「考量沉澱池沉澱污泥廢水含量較少較具污染性不易沉降處理且目前淨水場用地一地難求，為節省用地面積並有效濃縮污泥底部固含量及水質安全考量，應於污泥濃縮池前加藥處理(如高分子凝聚劑)」。亦即濃縮前建議加藥調理，以改進污泥之濃縮效率，降低用地之需求。惟針對加藥調理對濃縮池之各項可能效應(如濃縮效能、上澄液 SS 與後續脫水等)，截至目前並無本土性之實驗佐證數據以為設計或操作之參考。

因此本研究擬對豐原、林內與坪頂三座淨水場之沉澱污泥，進行加藥調理之污泥濃縮特性調查，並與不加藥時之污泥濃縮行為進行比較，藉以瞭解兩者在濃縮池設計與操作上之可能差異；此外並進一步對濃縮後上澄液與濃縮污泥脫水之可能效應進行初步之探討，以期能提供未來淨水場未來設計或操作時之參考。

二、實驗材料與方法

本研究之主要實驗內容在比較加藥調理與否對沉澱污泥濃縮特性產生之差異。因

此除不加藥部分之典型污泥濃縮固體通量實驗外，加藥部分需先以杯瓶實驗進行適宜加藥量之決定，再以此最適加藥量添加入污泥進行濃縮試驗。在進行不同污泥濃度之沈降筒實驗時，亦一併分析其上澄液之 SS，藉以瞭解當以此濃度為進流時濃縮池之可能上澄液濃度。此外，加藥調理後進行濃縮可能降低後需脫水時之調理須求，因此本研究一併進行污泥之脫水實驗，藉以比較濃縮前調理與濃縮後調理，兩者在脫水特性上之差異。

各淨水場所採取之沉澱污泥先進行調整至其濃度為 1%，取攪拌均勻的污泥 200 mL 置於六個燒杯中。先以配置之 2,000 ppm 高分子調理劑，分別加入 0、1、2、3、4、5 mL 於 50 mL 量筒，再個別以 RO 水定量至 50 mL，當其加入 200 mL 1%固含量之污泥中時，將各別對應 0、1、2、3、4、5 g polymer/kg-SS 的加藥量。爾後進行 45 秒之 200 rpm 快混，再以 30 rpm 慢混 90 秒。之後倒入 250 mL 量筒靜置，並同步計時，進行污泥沈降試驗，再以其污泥沈降情形判斷最適之加藥量。接續之典型污泥層沈降實驗則請參照典型文獻^[3,4]。此外，本實驗另以最適加藥量調理並濃縮後之污泥(濃縮後污泥調整為 2%)，進行污泥脫水試驗，藉以瞭解加藥調理由脫水前移至濃縮前之效應。脫水實驗則以毛細汲取時間 (capillary suction time, CST) 與過濾時間 (Time to Filter, TTF)^[5,6]兩者之結果進行比較。本實驗所用之化學調理劑為 FLOERGER 公司之產品，編號為 FO-4490SH 之陽離子高分子聚合物，分子量約 480 萬~700 萬，電荷密度 40%。

此外，為比較濃縮前調理與濃縮後調理

(即脫水前)，兩者在脫水特性上之差異，本研究另以未加藥調理之 2%濃縮污泥 200 mL 置於燒杯中，添加適量之調理劑於污泥中(其加藥量與加藥方式同前述之加藥濃縮實驗)，並以 200 rpm 進行快混 45 秒，再以 30rpm 慢混 90 秒，接著進行 CST 與 TTF 之實驗。

三、沉澱污泥加藥濃縮特性實驗結果

本實驗進行加藥濃縮實驗需先以杯瓶實驗配合沈降筒決定適宜之加藥量。圖 1 示為豐原淨水場沉澱污泥在不同加藥量下之沈降界面高度(cm)與時間(sec)關係圖。由圖可知相較於不加藥之情形，加藥調理可對污泥沈降速度產生極大之提昇作用，且當其加藥量達 1 g/kg-SS 以上時，層沈降速度之差距即不再顯著，因此豐原淨水場後續之層沈降實驗取其最適之加藥量為 1 g/kg-SS。

圖 2 所示為豐原淨水場加藥與未加藥濃縮之固體通量比較圖。由圖可知加藥調理後可對沉澱污泥之濃縮特性產生極大之改善。倘以 Yoshioka 法進行豐原淨水場沉澱污泥限制固體通量之概估，當兩者均濃縮至固體物濃度為 3.5%時，未加藥之限制固體通量約為 130 kg/m²-day (如圖 3(a))，然加藥後其限制固體通量值可高達 1300 kg/m²-day (如圖 3(b))，約為未加藥時之 10 倍。顯然地該數值除較典型濃縮設計參數值 10-50 kg/m²-day^[7-9]高外，在相同之進流污泥量基準下，經加藥後之污泥其所需之濃縮池設計面積應僅為未加藥之十分之一；而操作時倘透過適當之加藥，則可提高濃縮污泥之濃度，在高濁期間則可應付濃縮池之高污泥負荷，加藥濃縮之效應由此可見。

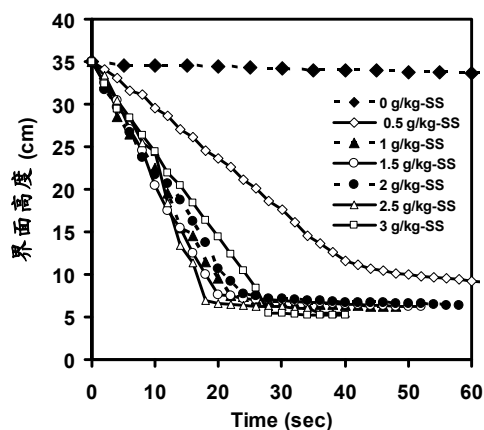


圖 1 豐原淨水場沉澱污泥在不同加藥量下之沉降界面高度(cm)與時間(sec)關係

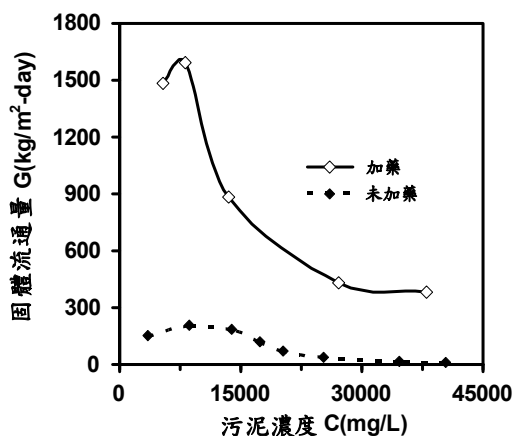
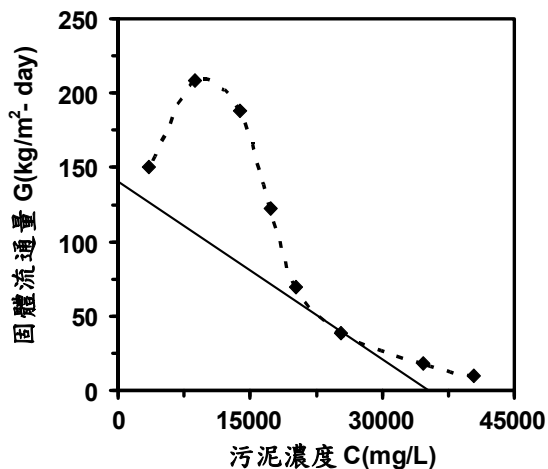
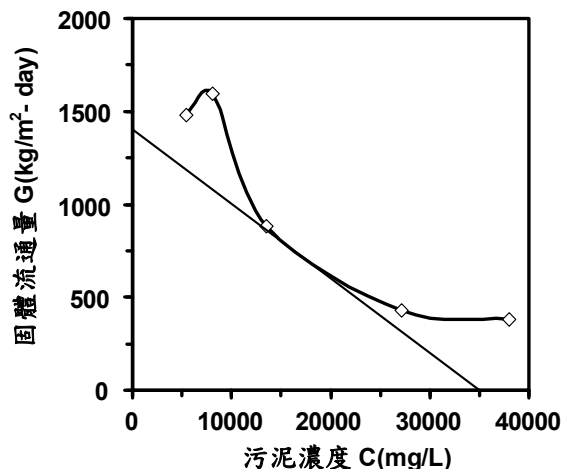


圖 2 豐原淨水場加藥與未加藥濃縮之固體通量比較



(a) 豐原淨水場未加藥固體通量



(b) 豐原淨水場加藥固體通量

圖 3 豐原淨水場加藥與未加藥濃縮至固體物濃度為 3.5%之固體通量

圖 4 所示為林內淨水場加藥與未加藥濃縮之固體通量比較圖。由圖可知林內場加藥調理後對沉澱污泥濃縮特性之改善較豐原淨水場為大。倘相同地以 Yoshioka 法進行林內淨水場沉澱污泥限制固體通量之概估，當兩者均濃縮至固體物濃度為 6%時，未加藥之限制固體通量約為 $250 \text{ kg/m}^2\text{-day}$ (如圖 4(a))，然加藥後其限制固體通量值可高達 $30000 \text{ kg/m}^2\text{-day}$ (如圖 4(b))，約為未加藥時之 100 倍以上。顯然地，經加藥後之污泥其所需之濃縮池面積可大幅縮小，加藥濃縮對林內場之效應尤其顯著。

此外，圖 5 所示為坪頂淨水場加藥與未加藥濃縮之固體通量比較圖。由圖可知坪頂淨水場加藥調理後之沉澱污泥濃縮特性與豐原、林內相似，均具有相當大之改善。亦即，不論污泥來源為何，當以加藥方式進行沉澱污泥之濃縮實驗時，結果發現加藥可大幅改善沉澱污泥之濃縮特性，且加藥情形下之限制固體通量值可達未加藥情形之十倍甚或百倍以上，顯示加藥濃縮具有在設計

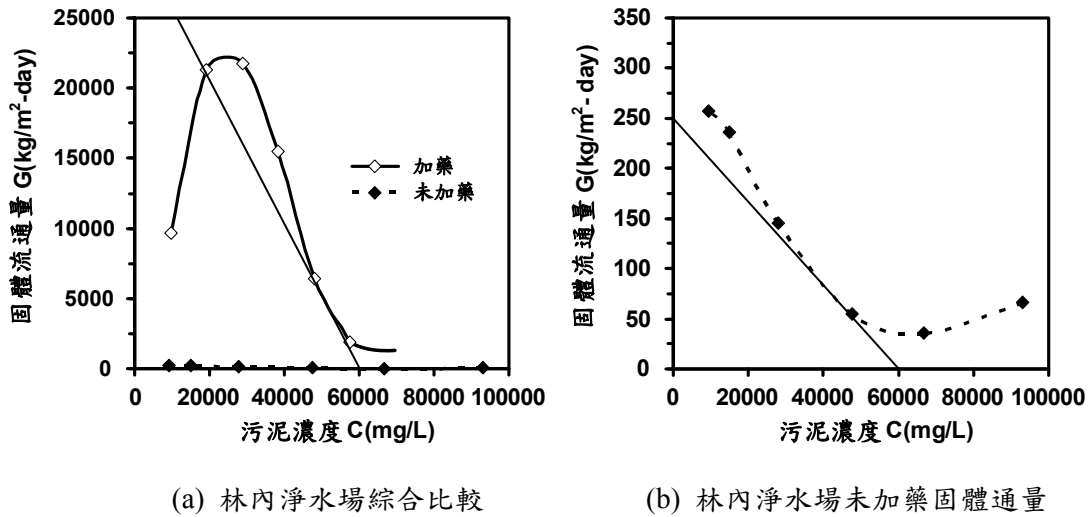


圖 4 林內淨水場加藥與未加藥濃縮之固體通量比較

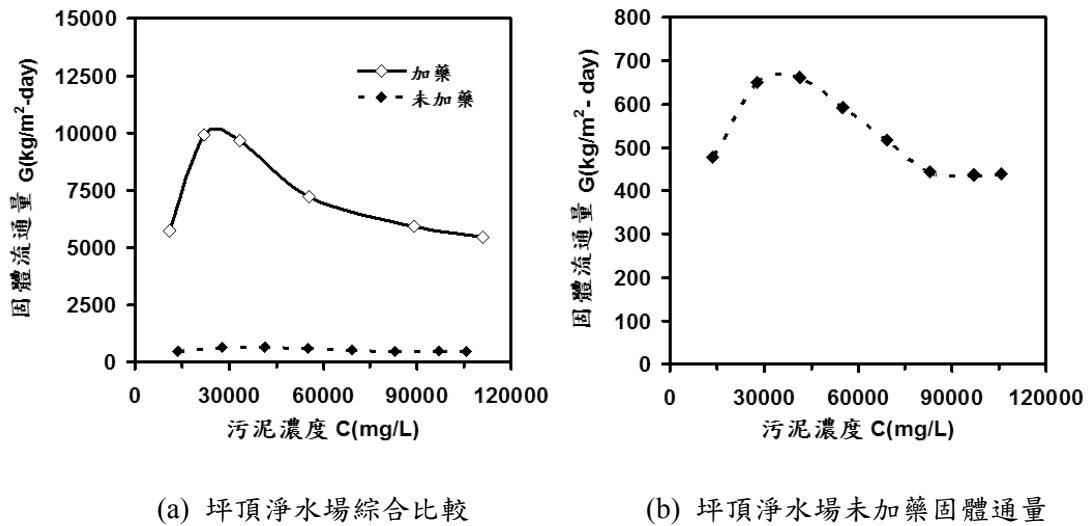


圖 5 坪頂淨水場加藥與未加藥濃縮之固體通量比較

時降低濃縮池面積，操作時可應付高濁期間濃縮池高污泥負荷之優點。此外，在相同之加藥量下，加藥濃縮後之脫水性（亦即脫水前不再加藥）與濃縮再進行加藥調理之脫水性極為相似。如此之結果顯示，將原脫水前進行之加藥調理程序，移至濃縮池前，除了不影響污泥之脫水性產生外，更可大幅改進污泥之濃縮效率。顯見廢污處理設施通則中對濃縮加藥之規範與建議有其進一步推廣之必要。

四、沉澱污泥加藥濃縮效應探討

台水公司廢污處理設施通則中，對於污泥濃縮程序，建議於濃縮池前加藥處理(如高分子凝聚劑)，藉以改進污泥之濃縮效率，降低用地之需求，並提高濃縮污泥之固含量。本研究如前節所示，經實地採取沉澱污泥進行加藥與不加藥之污泥層沈降實驗後，發現無論所採取之沉澱污泥來源為豐原、林內或坪頂淨水場，加藥後之濃縮特性均較之未加藥高之甚多。加藥濃縮之限制固體通量值約可達未加藥濃縮之十倍甚或百倍以上。顯示加藥濃縮具有在設計時可降低用地面積，操



作時可提高濃縮污泥之濃度，而在高濁期間則可應付濃縮池高污泥負荷等各項優點。

一般經濃縮後之污泥進行脫水前均設有污泥調理單元，以絮凝污泥顆粒，改變污泥特性，增加其脫水效率。本實驗進一步發現倘污泥濃縮前進行加藥調理，則雖濃縮污泥不再進一步加藥調理，仍可獲得與僅於污泥調理脫水前進行加藥調理情形相似之脫水特性。圖 6 所示為豐原淨水場未加藥濃縮之濃縮污泥(2%固含量)調理脫水實驗結果，其中之對照組為先加藥濃縮（最適加藥量 1g/kg-SS，濃縮後之污泥濃度調整為相同之 2%），但脫水前不再加藥調理之污泥脫水性。由圖顯示兩者之 CST 與 TTF 值極為接近，亦即將原於脫水前之加藥調理單元，前移至濃縮前，除可降低濃縮池面積之佔地需求外，並同時不影響污泥之脫水特性。惟實際廢污處理程序中經濃縮之污泥，常以濃縮污泥泵抽至調理池或脫水機。因此濃縮前加藥調理之方式可能仍須面對污泥膠羽泵送過程進一步破壞之情形，因此是否採用折衷之兩段式加藥仍可進一步試驗加以確認。

此外，加藥濃縮亦可有效降低濃縮池上層液之懸浮固體物濃度。一般當濃縮池之進流污泥濃度偏低時，由於顆粒互相阻滯之現象輕微，不易形成明確之污泥介面，因此其上層液通常較濁，亦及其 SS 會偏高。圖 7 所示為不同進流污泥濃度情形下之上澄液 SS 濃度，由該圖明顯發現隨進流污泥濃度之降低，未加藥濃縮之上澄液 SS 值隨之增加。但當污泥濃縮前先進行加藥調理時，雖進流污泥濃度偏低，該上澄液之 SS 值仍可大幅降低。由於廢污處理設施通則中對於濃縮上澄液之建議為直接排放，因此加藥濃縮可進一步確保其放流符合標準。

如前述污泥濃縮池前加藥調理具有降低濃縮池面積、應付高濁污泥負荷、降低上層液 SS、提高濃縮污泥濃度與降低脫水加藥之需求等多目標之功能，因此廢污處理設施通則中對濃縮加藥之規範與建議具有極高之應用潛勢，應有其進一步推廣之價值。

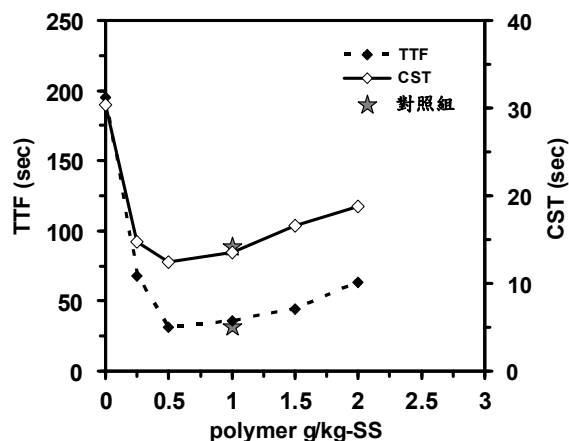


圖 6 豐原場污泥調理脫水實驗結果

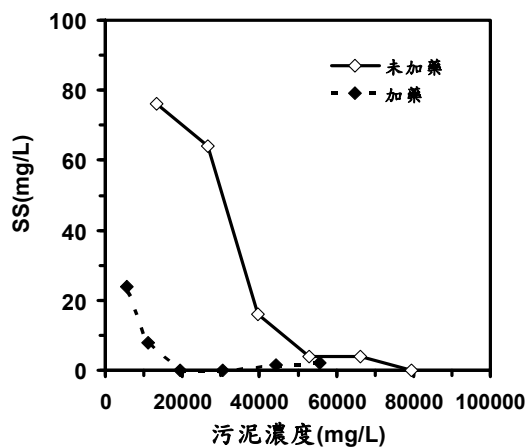


圖 7 不同進流污泥濃度進行層沉降時上層液之 SS 濃度

五、結論與建議

沉澱污泥加藥調理可大幅改善沉澱污泥之濃縮特性，且加藥情形下之限制固體通量值可達未加藥情形之十倍甚或百倍以上，顯示加藥濃縮具有在設計時降低濃縮池面積，操作時可應付高濁期間濃縮池高污泥負荷之優點。此外，在相同之加藥量下，加

藥濃縮後之脫水性（亦即脫水前不再加藥）與濃縮再進行加藥調理之脫水性極為相似。如此之結果顯示，將原脫水前進行之加藥調理程序，移至濃縮池前，除了不影響污泥之脫水性產生外，更可大幅改進污泥之濃縮效率。顯見廢污處理設施通則中對濃縮加藥之規範與建議有其進一步推廣之必要。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，水污染防治措施及檢測申報管理辦法，中華民國95年10月16日環署水字第0950080183號令。
2. 台灣自來水公司，廢水處理設施設置及排放或回收水措申請通則，中華民國96年4月台水水質字第09600115260號函。
3. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, Vol. 2, Water Environmental Federation and the American Society of Civil Engineers., New York. (1992)
4. Tom D. Reynolds., and Paul A. Richards., Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, 2nd Ed., PWS Publishing Company, Boston. (1996)
5. APHA, AWWA, WEF, Standard methods for examination of water and wastewater, 18th ed., American Public Health Association, Washington D.C. (1992)
6. Carl E. Adams, Jr., Davis L. Ford and W. Wesley Eckenfelder, Development of Design and Operation Criteria for Wastewater Treatment. Enviro Press, Inc. (1981)
7. Mark J. Hammer., and Mark J. Hammer, Jr., Water and Wastewater Technology 3rd ed., Prentice Hall International, Inc., New Jersey (1996)
8. Kawamura, S., Integrated Design of Water Treatment Facilities, John Wiley & Sons, Inc. (1991)
9. 中華民國自來水協會，自來水工程設施標準解說，2006。

作者簡介

張維欽先生

現職：雲林科技大學環安系副教授

專長：水及廢水處理、環境生物技術

陳建鈞先生

現職：雲林科技大學環安系碩士生

專長：水及廢水處理

林正隆先生

現職：台灣自來水公司水質處工程師

專長：淨水處理、水污染防治、廢棄物管理

洪世政先生

現職：台灣自來水公司水質處組長

專長：淨水處理、水污染防治、廢棄物管理

吳美惠女士

現職：台灣自來水公司水質處處長

專長：水質管理

新興薄膜技術應用於自來水處理之研究-以南化淨水場為例

文/楊惠玲、甘其銓、黃志彬、李篤中、陳雅伶

摘要

薄膜過濾技術是新興之高效淨水處理技術，不需藉大量添加化學藥劑即可有效地去除多項有機、無機污染物，增加適飲性，及控制消毒副產物及其前驅物產生。本研究針對直接淨水生產薄膜技術應用進行研究探討，並以具本土智財權之薄膜(PTFE 膜)及商業化薄膜(PS 膜)進行實驗測試，經 48 小時連續操作並以物理及化學清洗等方式來評估薄膜操作的可行性及回復性質。發現以原水搭配 5 μm 及 1 μm 濾芯加上適當的薄膜處理，可以獲得較大之產水量，其次為過濾水，沉澱水則較差，此可能與混凝後膠羽使得濁度變高，且顆粒較具黏性，造成薄膜之嚴重阻塞有關。其中用於原水之薄膜以親水性 PTFE 膜可以獲得較大之產水通量，而沉澱水較適用者為 PS 膜，因其可獲得較大之反洗通量回復率，而過濾水試驗顯示三種薄膜之產水量相似，而以疏水性 PTFE 膜之通量稍大。薄膜處理後之產水水質，以實廠過濾水之水質作為基準，可以發現薄膜產水之濁度去除皆可以達過濾水之水準，而針對 NPDOC 則可處理至接近過濾水之水準。綜合上述試驗成果，利用親水性 PTFE 膜，搭配 5 μm 及 1 μm 之濾芯過濾，直接使用於南化廠原水之處理為可行之方案，唯須更進一步研擬薄膜之清洗策略，並進行設備成本及清洗成本分析，以更確定本方案之實用性。

一、前言

薄膜過濾技術是新興高效分離技術，係用天然或人工合成的高分子薄膜作介質，以附加能量為推動力對溶液進行過濾分離的處理方法。薄膜技術因可有效控制消毒副產物及其前驅物，降低飲用水中消毒副產物產生的疑慮，去除影響適飲性之物質（如硬度、色度與濁度等），減少水中之有機物降低配水系統中微生物再生長潛能，可同時並有效地去除多項有機、無機污染物等多項優點。此外，薄膜處理亦不需藉大量添加化學藥劑以改變污染物的物化性質方式達到去除之目的，兼可自動化操作與監控，故在操作處理與管理上較為容易並具彈性。而其除了減少之大量化學藥劑使用，及減少了停留時間所需之空間、土地，皆可降低相關之淨水成本外，亦不會產生之污泥處理、處置等二次污染物問題，故應用薄膜程序於淨水工程上極具發展之潛力。

薄膜積垢為限制薄膜技術應用的重要因素之一^[1-4]，薄膜積垢可分為兩種，一為可利用物理清洗去除的可逆積垢 (reversibility)；另一種為需要利用化學藥劑以減小積垢，為不可逆積垢 (irreversibility)。原水中主要造成積垢之物質包含有有機物質、無機物質及生物性物質，其中水中溶解性天然有機物在薄膜表面吸附為造成膜阻塞之主要原因。通常疏水性物質較親水性成分更容易造成薄膜積垢^[5,6]；Kimura 及其研究群測量 SUVA 及 DOC，則證明較親水性（低 UV 吸收度）物質為主要造成不可逆積垢之

物質^[7]。Fan 之研究指出各種有機物組成成份中，造成薄膜積垢趨勢為親水中性有機物 (hydrophilic neutral) > 疏水酸性有機物 (hydrophobic acids) > 嗜水酸 (transphilic acids) > 帶電親水有機物質 (hydrophilic charged)^[8]；其中親水中性所造成之不可逆積垢，乃因其與薄膜孔洞內部結構有高鍵結能力，而帶負電薄膜過濾親水物質、蛋白質 (鹼性) 及高負電物質 (腐植質) 會因吸附作用使積垢更為嚴重。另外 Her 等人分析藻類釋出之有機物 (algogenic organic matter, AOM) 及其與 NF 膜之過濾積垢特性，發現主要造成薄膜積垢物為多醣類及蛋白質，造成這種親水性作用如分子偶極-偶極作用及有機物與薄膜產生氫氧鍵結^[9]。因此，親疏水性有機物造成薄膜積垢特性與有機物結構 (芳香族分子結構及直鏈脂肪族)、分子量分布、成分分布及帶電性有關係^[10]。

無機物質會影響有機物質積垢行為，將會使有機物積垢特性及積垢機制更為複雜，如高嶺土會使增加有機物吸附能力^[6]；Kimura 等 (2004) 之研究指出錳及鐵的存在會使不可逆積垢更為嚴重^[7]；Gwon 等人在薄膜表面發現鈣離子與其他無機物質鍵結，及矽與有機物質之鍵結物，因矽和有機膠體物形成錯合物後將與其他無機物如鐵，具有較高的親和力^[11]；此外，原水中鈣離子的存在將減少腐質酸溶解度，其將與羧基結合，在薄膜間扮演著橋梁的作用，並堵住薄膜孔洞，使通量快速下降，造成不可逆積垢^[6, 12]，Lee 等人則發現鈣離子直接添加於蛋白質及多醣類的混合液中較分別各自添加鈣離子於蛋白質和多醣類中更容易使積垢嚴重^[13]。

由於國內薄膜應用於自來水處理之實

例尚十分稀少，且有鑒於薄膜之處理效果與阻塞情形受原水水質影響甚大，故本研究以國內南部大型淨水場「南化淨水場」為例，進行薄膜處理之適用性評估，期能提供作為未來新興處理技術應用之參考。

二、研究方法

本研究主要利用三種不同材質薄膜，分別為 PS 膜、親水 PTFE 膜(HPI PTFE)及疏水 PTFE 膜(HPO PTFE)，並於南化淨水場設立一小型模型廠進行試驗，相關實驗設備與方法詳述如下。

本研究設置於南化淨水場之小型模型廠裝置如圖 1 所示，模組包括原水槽、原水暫存槽、過濾暫存槽、濾芯匣、加壓泵及平板試驗膜組等，薄膜進出流流量以流量計連續監控，滲出液則以磅秤收集，並連續記錄產水重量。試驗用之進流水包含南化場之實場原水、沉澱水及過濾水，其中，除原水試驗經 5 μm 及 1 μm 之濾芯作為前處理外，沉澱水及過濾水皆直接進入薄膜系統；而所用於試驗之薄膜包含有親水 PTFE 膜(0.1 ~ 0.2 μm)、疏水 PTFE 膜(0.1 ~ 0.2 μm)及 PS 膜(30K Da)三種，其中前二者為具本土智財權之薄膜，後者為 GE Osmonics 公司之產品，主要用以與本土自產薄膜相比較。每一試驗進行 48 小時，並於操作 24 小時後進行薄膜清洗，清洗程序為超音波震盪 10 分鐘後，先後以 pH 10 之氫氧化鈉溶液及 pH 2 之鹽酸溶液浸泡 1 小時。以下將針對三種試驗水源及三種薄膜之試驗結果逐步分析探討。

三、結果與討論

(一)試驗期間水質參數

試驗期間分析平板膜模組之進流水質所得之水質參數如表 1 所示，其中，可以發現經混凝沉澱後，水中濁度提升，較原水濁

度高；無機元素方面，以 Ca、Mg 含量較高，而經混凝後，水中 Al 元素濃度亦因混凝劑的添加殘留而較原水高。

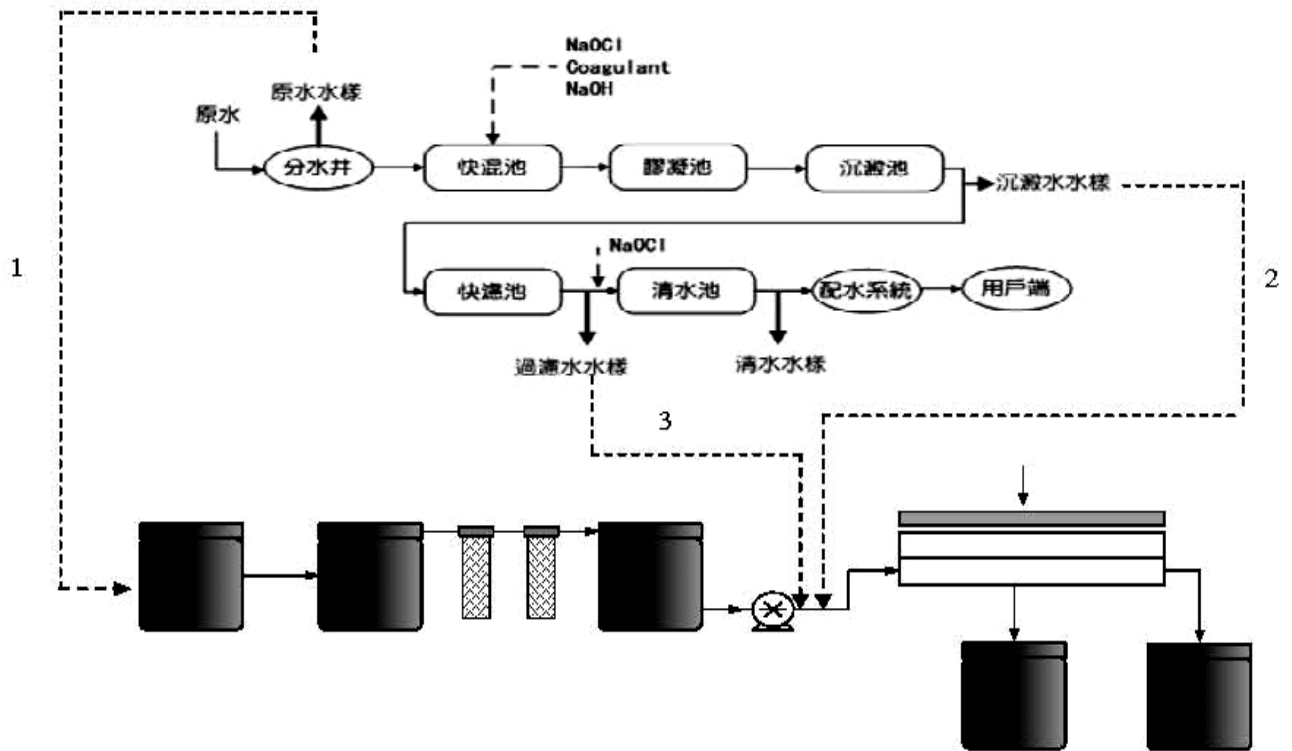


圖 1 前處理+直接薄膜生產淨水系統測試

表 1 試驗期間模組平均進流水質

| | 原水 | 沉澱水 | 過濾水 |
|--------------|-------|---------|-------|
| 濁度 (NTU) | 3.87 | 5.23 | 0.51 |
| NPDOC (mg/l) | 4.40 | 4.15 | 3.14 |
| Si (mg/l) | 2.053 | 2.031 | 2.269 |
| Al (mg/l) | 0.178 | 0.334 | 0.393 |
| Fe (mg/l) | 0.017 | 0.00007 | 0.016 |
| Ca (mg/l) | 32.16 | 36.05 | 37.14 |
| Mg (mg/l) | 9.99 | 10.46 | 11.68 |
| Mn (mg/l) | 0.002 | 0.029 | 0.008 |
| Sr (mg/l) | 0.167 | 0.107 | 0.201 |
| Ba (mg/l) | 0.020 | 0.073 | 0.026 |

(二)原水試驗

本試驗引用水廠原水作為模組之進流水，並先後經 5 μm 及 1 μm 之濾芯過濾後，進入薄膜模組。圖 2 為試驗 48 小時之產水通量變化。PS 膜、親水 PTFE 膜及疏水 PTFE 膜及之初始通量分別為 206、5091 及 4101 L · m⁻² · hr⁻¹，PTFE 膜之通量遠大於 PS 膜，原因應在於 PS 膜孔徑(30 kDa, < 0.1μm)小於 PTFE 膜(0.1 ~ 0.2μm)；雖此，無論親水或疏水 PTFE 膜之產水通量皆呈現快速衰減趨勢，疏水 PTFE 在操作後約 1 小時，產水通量即降至 PS 膜之起始通量，而疏水 PTFE 膜則約於 3.5 小時後產水通量降至與 PS 膜之起始通量相當。而以較穩定之產水通量而言，以親水 PTFE 膜之產水通量大於疏水 PTFE 膜，又略大於 PS 膜。

經操作 24 小時後進行薄膜清洗，清洗後所恢復之初始產水通量以親水 PTFE 膜大於 PS 膜大於疏水 PTFE 膜，然在操作後期，PS 膜與疏水 PTFE 膜之產水通量則相當。

試驗期間，每 12 小時分析進出流水質參數，包括濁度及 NPDOC 如圖 3、圖 4 所示。就濁度去除率而言，於 PS 膜試驗期間，原水濁度約為 1.0~2.1 NTU，產水濁度約 0.3~0.7 NTU，該薄膜對原水濁度去除率可維持於 60% ~ 82%；親水 PTFE 膜試驗期間，原水濁度約為 0.8~2.1 NTU，產水濁度約 0.2~0.7 NTU，濁度去除率則維持在 35% ~ 90%，且去除率有愈來愈低之傾向；而疏水 PTFE 膜試驗期間，原水濁度約為 0.8~1.4NTU，產水濁度約 0.3~0.4 NTU，濁度去除率則維持在 60% ~ 79%。因每階段試驗之原水濁度不一，無法進行嚴格的比較探討，整體而言，三種薄膜 PS、親水 PTFE 膜、

疏水 PTFE 膜之平均產水濁度分別為 0.47、0.50、0.30NTU 皆可低於試驗期間所分析得之實廠過濾水濁度 0.51 NTU，顯示以 5 μm 及 1 μm 之濾芯過濾作為前處理之三種薄膜，皆可以將原水濁度降至實廠過濾水之產水水準。

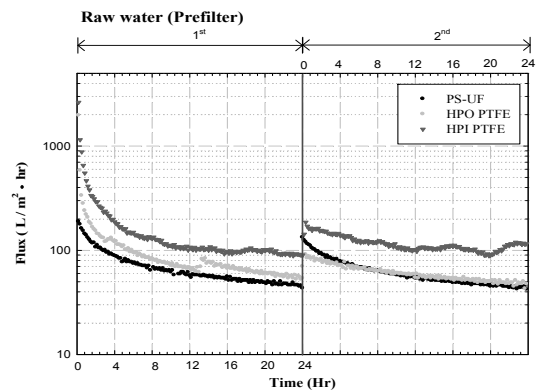


圖 2 南化廠原水薄膜試驗通量變化

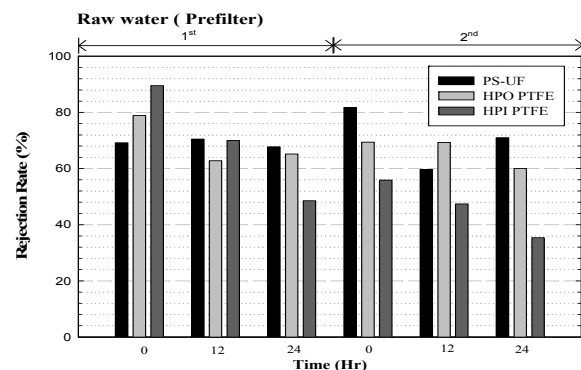


圖 3 南化廠原水薄膜試驗平均濁度去除

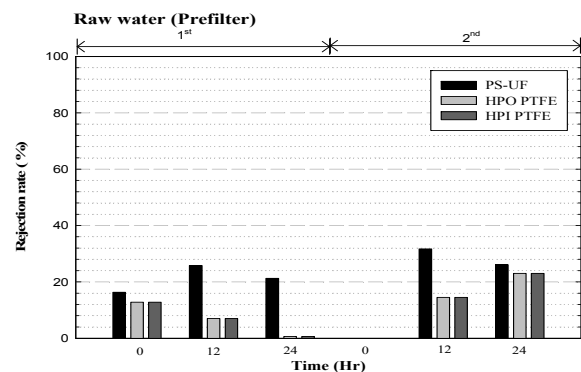


圖 4 南化廠原水薄膜試驗 NPDOC 之去除

針對原水之溶解性有機物之去除(如圖 4)，於 PS 膜試驗期間，原水 NPDOC 含量約為 4.1~5.1 mg/l，產水約 3.0~3.8 mg/l，去除率維持於 16% ~ 32%；親水 PTFE 膜試驗期間，原水 NPDOC 約為 3.5~4.2 mg/l，產水約 3.0~4.0 mg/l，去除率則維持在 0.6% ~ 23%；而疏水 PTFE 膜試驗期間，原水 NPDOC 約為 3.7~5.2 mg/l，產水約 3.1~4.1 mg/l，去除率則維持在 4% ~ 31%。整體而言，無論是親水或疏水 PTFE 膜，對溶解性有機物之去除較不穩定，而三種薄膜 PS、親水 PTFE 膜、疏水 PTFE 膜之平均產水 NPDOC 分別為 3.5、3.6、3.7 mg/l 皆較試驗期間實廠過濾水所分析得之 NPDOC 3.14 mg/l 略高，顯示以 5 μm 及 1 μm 之濾芯過濾作為前處理之三種薄膜，可將原水溶解性有機物量降至接近實廠過濾水之產水水準。

(三)沉澱水試驗

本階段試驗引用水廠沉澱水，不經 5 μm 及 1 μm 之濾芯，直接進入薄膜模組。圖 5 為試驗 48 小時之產水通量變化。PS 膜、親水 PTFE 膜及疏水 PTFE 膜及之初始通量分別為 720、3664 及 1774 $\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$ ；然在起始 1 分鐘後，PS 膜之產水通量隨即降至 334 $\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，而親水與疏水 PTFE 膜亦分別於 40 與 32 分鐘時降至約 334 $\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，且在此之後，三種薄膜之產水通量差異不大。此結果與原水試驗之結果相較，顯示孔隙對沉澱水之產水通量影響較小，可能經混凝後，水中顆粒粒徑較為均一，並同時可被三種薄膜攔截或穿透，導致三者間之差異不大。

然經 24 小時操作並進行薄膜清洗後，發現通量之回復以 PTFE 膜較高，但皆止於

反洗後之前 1~2 分鐘內，前 2 分鐘親水及疏水 PTFE 膜之產水通量分別可回復至 321 及 475 $\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，較 PS 膜之 154 $\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$ 高，然 PTFE 膜隨即皆降至 77 $\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，而後穩定緩慢減少。故相較之下，反洗後 PS 膜反而擁有較穩定且較高的產水通量。

試驗期間之濁度及 NPDOC 去除率變化如圖 6、圖 7 所示。就濁度去除率而言，於 PS 膜試驗期間，原水濁度約為 3.6~5.9 NTU，產水濁度約 0.2~0.5 NTU，該薄膜對原水濁度去除率可維持於 85% ~ 95%；親水 PTFE 膜試驗期間，原水濁度約為 4.1~7.2 NTU，產水濁度約 0.2~0.9 NTU，濁度去除率則維持在 80% ~ 95%；而疏水 PTFE 膜試驗期間，原水濁度約為 4.3~8.1 NTU，產水濁度約 0.2~0.6 NTU，濁度去除率則維持在 87% ~ 96%。整體而言，三種薄膜 PS、親水 PTFE 膜、疏水 PTFE 膜之平均產水濁度分別為 0.33、0.47、0.38 NTU 皆可低於試驗期間所分析得之實廠過濾水濁度 0.51 NTU，顯示三種薄膜皆可以將沉澱水濁度降至實廠過濾水之產水水準。

針對沉澱水之溶解性有機物之去除(如圖 7)，於 PS 膜試驗期間，進流水 NPDOC 含量約為 3.23~4.23 mg/l，產水約 3.16~4.18

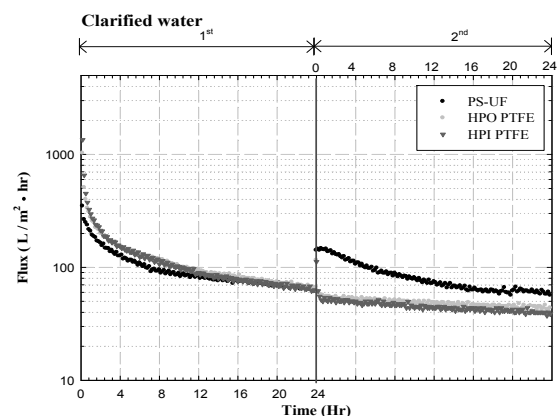


圖 5 南化廠沉澱水薄膜試驗通量變化

mg/l，去除率維持於 0.9% ~ 11%，PS 膜對沉澱水中之溶解性有機物去除顯然較對於原水中溶解性有機物之去除，此應與混凝後，水中殘餘有機物特性與原水不同有關，須做更進一步之分析探討；親水 PTFE 膜試驗期間，進流水 NPDOC 約為 3.18~6.48 mg/l，產水約 2.96~5.64 mg/l，去除率則維持在 3% ~ 25%；而疏水 PTFE 膜試驗期間，進流水 NPDOC 約為 3.65~5.23 mg/l，產水約 3.58~4.28 mg/l，去除率則維持在 2% ~26%。雖然親水或疏水 PTFE 膜，對溶解性有機物之去除較不穩定，但其針對沉澱水 NPDOC 之去除率普遍皆較 PS 膜高；PS 膜、親水 PTFE 膜、疏水 PTFE 膜之平均產水 NPDOC 分別為 3.6、3.6、3.9 mg/l 皆較試驗期間實廠過濾水所分析得之 NPDOC 3.14 mg/l 略高，顯示以三種薄膜皆可將原水溶解性有機物量降至接近實廠過濾水之產水水準。

(四)過濾水試驗

本階段試驗引用水廠過濾水，不經 5 μm 及 1 μm 之濾芯，直接進入薄膜模組。圖 8 為試驗 48 小時之產水通量變化。PS 膜、親水 PTFE 膜及疏水 PTFE 膜及之初始通量分別為 308、4050 及 1208 L · m² · hr⁻¹；然無論親水或疏水 PTFE 膜之產水通量皆呈現快速衰減趨勢，皆在操作後約 50 分鐘降至 PS 膜之起始通量，此後，三種薄膜之產水通量差異不大，在同一操作時間下，產水通量以疏水 PTFE 膜略大於親水 PTFE 膜與 PS 膜。

經 24 小時操作並進行薄膜清洗後，發現通量之回復以 PS 膜略高於親水 PTFE 膜及疏水 PTFE 膜，但差異不大，直至試驗終了。整體而言，除起始通量外，三種薄膜用於處理沉澱水之產水通量差異不大。

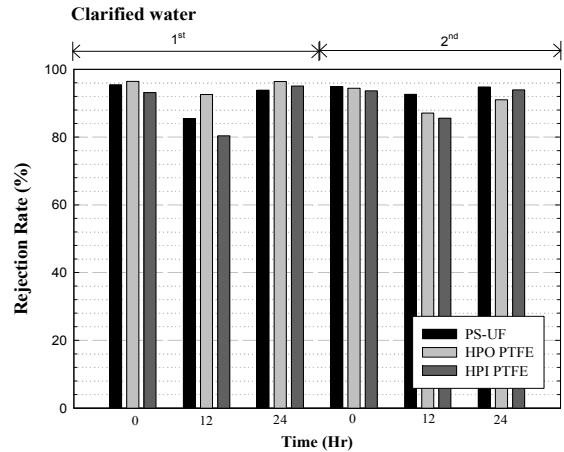


圖 6 南化廠沉澱水薄膜試驗平均濁度去除

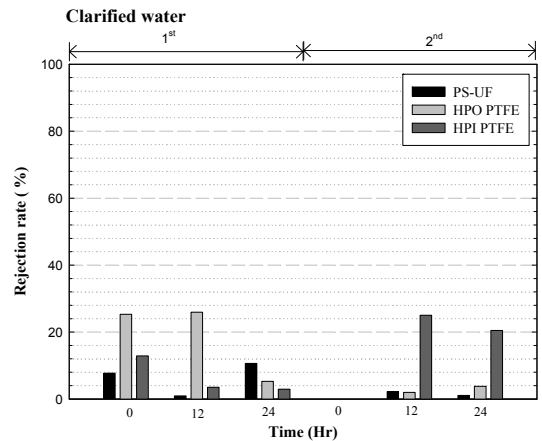


圖 7 南化廠沉澱水薄膜試驗 NPDOC 之去除

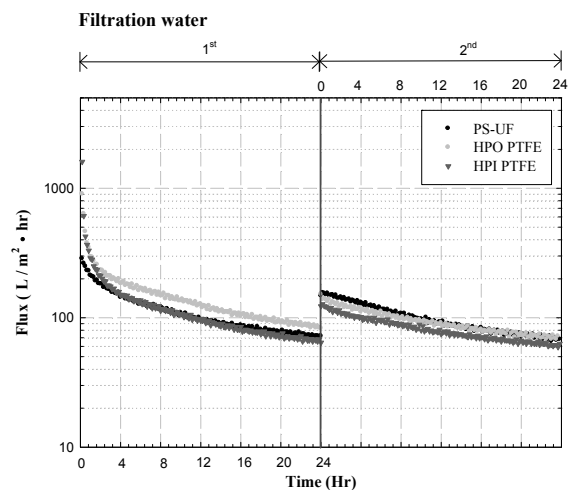


圖 8 南化廠過濾水薄膜試驗通量變化

試驗期間之濁度及 NPDOC 去除率變化如圖 9、圖 10 所示。就濁度去除率而言，於 PS 膜試驗期間，原水濁度約為 0.3~0.7 NTU，



產水濁度約 0.2~0.6 NTU，該薄膜對原水濁度去除率可維持於 16% ~ 52%；親水 PTFE 膜試驗期間，原水濁度約為 0.4~0.7 NTU，產水濁度約 0.2~0.4 NTU，濁度去除率則維持在 30% ~ 60%；而疏水 PTFE 膜試驗期間，原水濁度約為 0.4~0.7 NTU，產水濁度約 0.3~0.5 NTU，濁度去除率則維持在 14% ~ 40%。三種薄膜 PS、親水 PTFE 膜、疏水 PTFE 膜之平均產水濁度分別為 0.34、0.27、0.37 NTU 皆可低於試驗期間所分析得之實廠過濾水濁度 0.51 NTU，顯示薄膜可更進一步提升過濾水之水質。

針對沉澱水之溶解性有機物之去除(如圖 10)，於 PS 膜試驗期間，進流水 NPDOC 含量約為 2.80~3.43 mg/l，產水約 2.54~3.43 mg/l，去除率維持於 0% ~ 10%；親水 PTFE 膜試驗期間，進流水 NPDOC 約為 2.62~3.48 mg/l，產水約 2.54~3.29 mg/l，去除率則維持在 0.5% ~ 7%；而疏水 PTFE 膜試驗期間，進流水 NPDOC 約為 2.88~3.51 mg/l，產水約 2.75~3.19 mg/l，去除率則維持在 4% ~9%。整體而言薄膜對過濾水之 NPDOC 去除率偏低，其乃因過濾水本身之溶解性有機物濃度已非常低之緣故；PS 膜、親水 PTFE 膜、疏水 PTFE 膜之平均產水 NPDOC 分別為 3.0、2.9、3.0 mg/l 皆較試驗期間實廠過濾水所分析得之 NPDOC 3.14 mg/l 略低，顯示以三種薄膜皆可更進一步提升過濾水水質。

(五)膜表面積垢物分析

1.有機性積垢

為探討膜表面有機性積垢之特性，本研究進行原水、沉澱水、過濾水及清洗液之 EEM 分析，表 2 為經薄膜前後之原水、沉澱

水、過濾水所含有機物特性。發現原水含有類黃酸、類腐植酸及芳香族蛋白質，無論是原水、沉澱水及過濾水試驗，薄膜進流水與出流水之有機物訊號皆無顯著改變，唯經砂濾後之原水有芳香族蛋白質訊號增強之情形，此可能導因於濾料上之生物膜的微生物所釋放，而薄膜前後之原水未有顯著之有機物物種變化，表示隨薄膜過濾而去除之有機物量並不明顯。

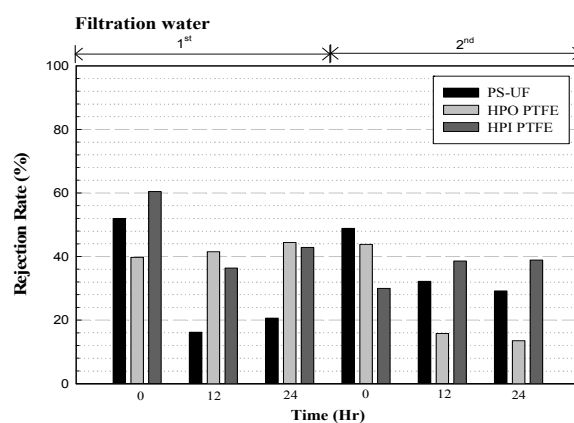


圖 9 南化廠過濾水薄膜試驗平均濁度去除

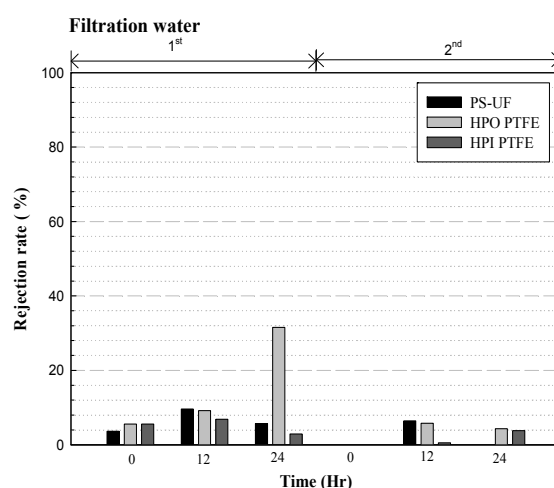


圖 10 南化廠過濾水薄膜試驗 NPDOC 之去除

試驗期間，膜表面清洗後之 DI 水、鹼液與酸液分別進行 EEM 之分析，結果如表 3 所示，其中並詳列圖中所代表之有機物物種之最高偵測強度，以便進行比較，此外，表

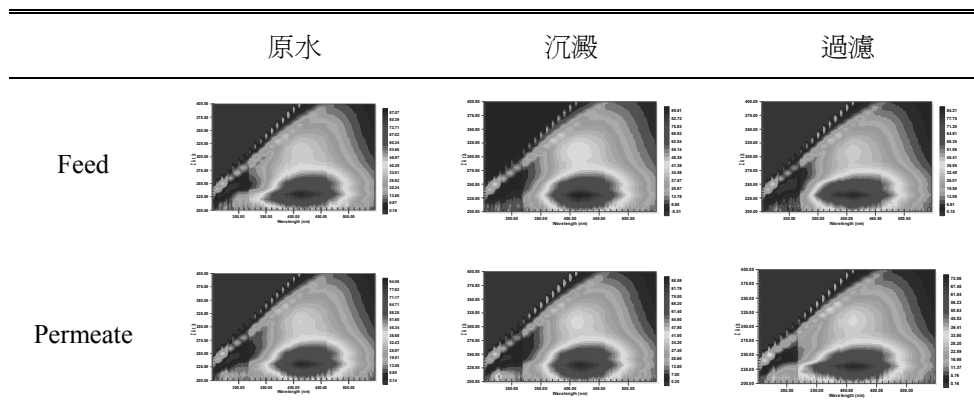
4 為各試驗之三種清洗液所偵測得之最強強度總合，用以表示各試驗膜表面所累積各類之積垢物物種總量。由表 3 可知原水過濾主要積垢物為蛋白質類，其次為類黃酸與類微生物副產物；而原水經混凝沉澱後各類積垢物量皆明顯減少，但仍以蛋白質類及類黃酸為主，特別的是類微生物副產物之量大量減少，推測此類物質易被混凝沉澱單元所去除；經砂濾後水進入薄膜系統之積垢物中，蛋白質類及類微生物副產物皆較混凝沉澱後水有明顯增加，特別是蛋白質類，此可能來自於砂濾系統濾料上之生物膜微生物代謝所釋放出。此外，同一種原水於經三種膜處理後，膜表面之積垢物成分相似，僅 EEM 分析之訊號強度有些許差異，而根據表中所統計積垢物訊號強度，顯示無論何種膜試驗，原水試驗之膜表面積垢量皆大於沉澱水與過濾水，然而，通量試驗結果卻以原水之產水量較高，表示沉澱水與過濾水於膜表面所形成之積垢應較為密實或具黏性，使得阻力較高。

2.無機性積垢

為了解阻塞薄膜的無機物成分為何，圖 11 為薄膜清洗後之去離子水、鹼液及酸液所分析得之無機物元素種類，占三種液體元素總量百分比。發現，原水薄膜試驗膜表面所累積之無機元素以 Ca 為主，其次為 Al、Mg、Fe、Mn、Si、Ba 等。其中大量的 Ca 沉澱主要因原水中所存在大量 Ca，且易與有機物產生共沉澱所致。

圖 12 為沉澱水薄膜試驗，膜表面累積元素種類所佔之百分比，其主要累積元素仍以 Ca 為主，其次為 Al、Si、Mg、Mn、Fe、Sr 等。Al 元素於膜表面累積之原因乃混凝劑之添加，而產生之膠羽未於沉澱池中完全沉澱，此現象亦可由沉澱水之濁度較原水濁度高看出，此類含鋁膠羽便容易沉澱在膜表面；此外，膜表面 Al 的存在將促使 Si 元素的累積，因此，與原水試驗相較，Al 與 Si 之比例顯著提高。

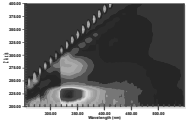
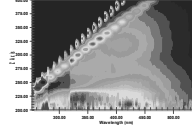
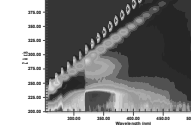
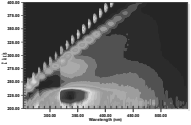
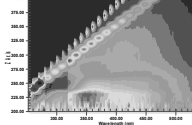
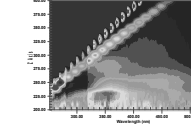
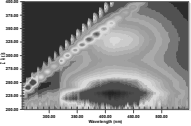
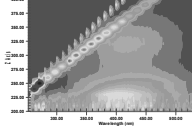
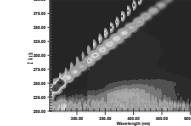
表 2 南化廠原水、沉澱水、過濾水於薄膜過濾前後所含之有機物種特性



註：試驗期間(98/10月~11月)隨時間及不同膜種類所分析得之 EEM 圖譜變化不大，故取 10 月 19 日

HPI PTFE 膜試驗為代表。

表 3 各試驗之清洗液 EEM 圖譜

| | | 原水 | 沉澱 | 過濾 |
|------------|--------------|---|--|---|
| EEM 圖譜 | |  |  |  |
| DI clean | 芳香族蛋白質 I 訊號 | 72.99 | 28.66 | 43.48 |
| | 芳香族蛋白質 II 訊號 | 188.78 | 28.66 | 70.35 |
| | 類黃酸訊號 | 29.57 | 22.83 | 32.73 |
| | 類腐植酸訊號 | 15.09 | 14.08 | 5.85 |
| | 類微生物副產物訊號 | 72.99 | 8.25 | 27.35 |
| EEM 圖譜 | |  |  |  |
| Base clean | 芳香族蛋白質 I 訊號 | 32.49 | 22.3 | 24.56 |
| | 芳香族蛋白質 II 訊號 | 86.06 | 22.3 | 33.69 |
| | 類黃酸訊號 | 32.49 | 19.29 | 18.48 |
| | 類腐植酸訊號 | 12.4 | 7.25 | 3.27 |
| | 類微生物副產物訊號 | 19.1 | 10.26 | 9.36 |
| EEM 圖譜 | |  |  |  |
| Acid clean | 芳香族蛋白質 I 訊號 | 14.49 | 14.53 | 16.48 |
| | 芳香族蛋白質 II 訊號 | 30.62 | 14.53 | 13.54 |
| | 類黃酸訊號 | 40.29 | 17.59 | 13.54 |
| | 類腐植酸訊號 | 17.72 | 5.34 | 1.74 |
| | 類微生物副產物訊號 | 8.04 | 2.28 | 1.74 |

註 1：由於各種膜之試驗圖譜相似，故取 PS 膜之試驗為例

註 2：表中數值為各物種之最大訊號強度值

表 4 各試驗之膜表面累積積垢物種之 EEM 訊號強度

| | PS | | | HPI PTFE | | | HPO PTFE | | |
|--------------|-----|----|-----|----------|-----|----|----------|-----|----|
| | 原水 | 沉澱 | 過濾 | 原水 | 沉澱 | 過濾 | 原水 | 沉澱 | 過濾 |
| 芳香族蛋白質 I 訊號 | 120 | 65 | 85 | 123 | 73 | 80 | 116 | 60 | 87 |
| 芳香族蛋白質 II 訊號 | 305 | 65 | 118 | 266 | 136 | 87 | 189 | 142 | 93 |
| 類黃酸訊號 | 102 | 60 | 65 | 129 | 51 | 62 | 89 | 86 | 58 |
| 類腐植酸訊號 | 45 | 27 | 11 | 45 | 19 | 13 | 31 | 33 | 10 |
| 類微生物副產物訊號 | 100 | 21 | 38 | 96 | 28 | 27 | 67 | 28 | 32 |

註：數值為各試驗之三種清洗液所偵測得之最強強度總合

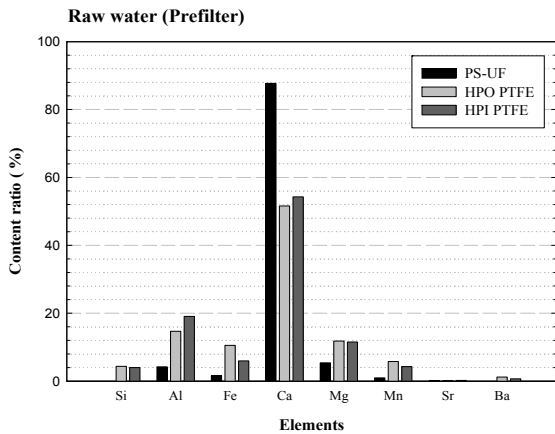


圖 11 南化廠原水薄膜試驗膜表面累積無機元素之比例

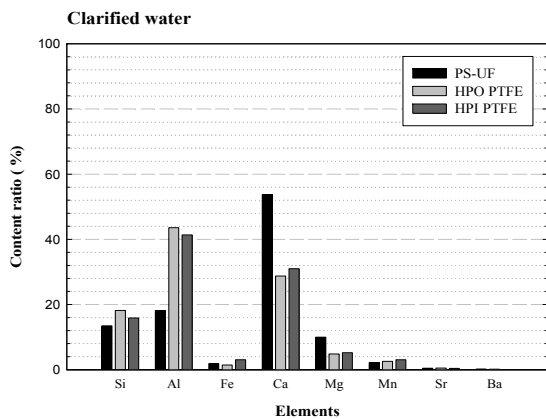


圖 12 南化廠沉澱水薄膜試驗膜表面累積無機元素之比例

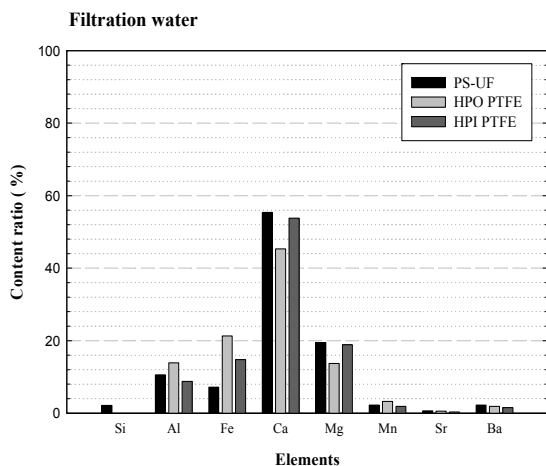


圖 13 南化廠過濾水薄膜試驗膜表面累積無機元素之比例

過濾水薄膜試驗膜表面累積元素百分比如圖 13 所示，依然以 Ca 為主要累積元

素，其次為 Fe、Mg、Al、Mn、Ba、Si、Sr 等。由於大量混凝所產生之膠羽已被過濾去除，此時膜表面累積元素之比例分佈則相似於原水薄膜試驗之表現；而在此亦可見得當 Al 元素累積量減少，Si 元素含量亦隨之降低，可見二者於薄膜過濾時之沉澱彼此間具有關聯性。

四、結論與建議

綜合上述結果，就產水通量而言，根據三種不同水源之試驗，可以發現三種進流水中，以原水搭配 5 μm 及 1 μm 濾芯加上適當的薄膜處理，可以獲得較大之產水量，其次為過濾水，沉澱水則較差，此可能與混凝後膠羽使得濁度變高，且顆粒較具黏性，因此造成薄膜之嚴重阻塞。其中用於原水之薄膜以親水性 PTFE 膜可以獲得較大之產水通量，而沉澱水較適用者為 PS 膜，因其可獲得較大之反洗通量回復率，而過濾水試驗顯示三種薄膜之產水量相似，而以疏水性 PTFE 膜之通量稍大。

薄膜處理後之產水水質，以實廠過濾水之水質作為基準(試驗期間平均濁度 0.51 NTU，平均 NPDOC 3.14 mg/L)，可以發現薄膜產水之濁度去除皆可以達過濾水之水準，而針對 NPDOC 則可處理至接近過濾水之水準(2.95 ~ 3.65 mg/L)。

綜合上述試驗成果，利用親水性 PTFE 膜，搭配 5 μm 及 1 μm 之濾芯過濾，直接使用於南化廠原水之處理為可行之方案，唯須更進一步研擬薄膜之清洗策略，並進行設備成本及清洗成本分析，以更確定本方案之實用性。

五、誌謝

本研究承蒙經濟部水利署計畫 (MOEAWRA0980288) 經費支持，實驗時間，台灣自來水公司與第六區區處及南化淨水場同仁亦鼎力相助，使本研究得以順利進行，研究團隊謹此表達最誠摯的感謝。

參考文獻

1. Lee, N., Amy, G., Crouc, J.-P. and Buisson, H. Identification and understanding of fouling in low-pressure membrane (MF/UF) filtration by natural organic matter (NOM), *Water Research* 2004, 38, 4511–4523.
2. Oh, J.-I. and Lee, S. h. Influence of streaming potential on flux decline of microfiltration with in-line rapid pre-coagulation process for drinking water production, *Journal of Membrane Science* 2005, 254, 39–47.
3. Kim, H.-C., Hong, J.-H. and Lee, S. Fouling of microfiltration membranes by natural organic matter after coagulation treatment: A comparison of different initial mixing conditions, *Journal of Membrane Science* 2006, 283, 266–272.
4. Bagga, A., Chellam, S. and Clifford, D. A. Evaluation of iron chemical coagulation and electrocoagulation pretreatment for surface water microfiltration, *Journal of Membrane Science* 2008, 309, 82–93.
5. Fan, L.; Harris, J. L.; Roddick, F. A. and Booker, N. A. Influence of the characteristics of natural organic matter on the fouling of microfiltration membrane. *Water Research* 2001, 35(18), 4455-4463.
6. Zularisam, A.W.; Ismail, A.F. and Salim, R. Behaviours of natural organic matter in membrane filtration for surface water treatment - a review. *Desalination* 2006, 194(1-3), 211-231.
7. Kimura, K.; Yamamura, H. and Watanabe, Y. Irreversible fouling in MF/UF membranes caused by natural organic matters(NOMs) isolated from different origins. *Separation Science and Technology* 2006, 41(7),1331–1344.
8. Fan, L.; Harris, J. L.; Roddick, F. A. and Booker, N. A. Influence of the characteristics of natural organic matter on the fouling of microfiltration membrane. *Water Research* 2001, 35(18), 4455-4463.
9. Her, N.; Amy G.; Park H.-R. and Song. M. Characterizing algogenic organic matter (AOM) and evaluating associated NF membrane fouling. *Water Research* 2004, 38(6), 1427-1438.
10. Leenheer J. A. Comprehensive approach to preparative isolation and fractionation of dissolved organic carbon from nature waters and wastewaters. *Environmental Science & Technology* 1981, 15(5), 578-587.
11. Gwon, E. M.; Yu, M. J.; Oh, H. K. and Ylee, Y. H. Fouling characteristics of NF and RO operated for removal of dissolved matter from groundwater. *Water Research* 2003, 37(12), 2989-2997.
12. Yamamura, H.; Okimoto, K.; Kimura, K. and Watanabe, Y. Influence of calcium on the evolution of irreversible fouling in microfiltration/ultrafiltration membranes. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA* 2007, 56(6-7), 425-434.
13. Lee, N.; Amy, G. and Croué, J.-P. Low-pressure membrane (MF/UF) fouling associated with allochthonous versus autochthonous natural organic matter. *Water Research* 2006, 40(12), 2357-2368.

作者簡介

楊惠玲女士

現職：交通大學環境工程研究所 博士後研究

專長：水及廢水處理技術、薄膜處理技術

甘其銓先生

現職：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

專長：水及廢水處理技術、溫泉資源管理、污染評估
與分析

黃志彬先生

現職：交通大學環境工程研究所

專長：水及廢水處理技術、污泥處理及再利用、薄膜
處理技術

李篤中先生


現職：台灣大學化學工程學系

專長：薄膜處理技術、生物反應器與微反應器、生質
資源與利用

陳雅伶女士

現職：台大化工系 研究助理

專長：水及廢水處理技術、水質分析



本刊 99 年預定「每期專題」

- | | |
|---------------------|---------------|
| 29 卷第 1 期：水源藻類調查與監控 | (99 年 1 月出刊) |
| 29 卷第 2 期：薄膜應用 | (99 年 5 月出刊) |
| 29 卷第 3 期：委外服務 | (99 年 8 月出刊) |
| 29 卷第 4 期：特殊處理 | (99 年 11 月出刊) |

～歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優～

BioMF 薄膜技術在緊急救災用水之應用

文/洪仁陽、夏工傑、陳建宏、蕭碧蓮、周珊珊

摘要

台灣地區遭逢颱風或暴雨造成原水濁度飆升已是經常性議題，再加上道路與電力中斷及簡易自來水設備或管線毀損，使偏遠地區斷水或缺水現象更為嚴重。本文以去年受八八水災影響台南縣瑞峰國小為例，採用 BioMF 緊急供水系統為核心技術來處理含較高濁度之山泉水。由於 BioMF 使用不織布薄膜取代一般 MF 或 UF 之微孔薄膜，可穩定操作通量及降低過膜壓力，截至目前為止（超過七個月），並未進行化學清洗，仍無通量衰減現象。經處理後，其濁度均低於 1 NTU 以下，且氨氮及有機物亦有去除效果，給學校師生及附近居民乾淨的水質且穩定供水。

關鍵詞：濁度、緊急救災、薄膜、不織布薄膜、BioMF 技術

一、前言

台灣地區共有 377 座淨水場及 178 座簡易淨水場，肩負全台平地及偏遠地區供水之責，成為提昇國民生活水準以及避免水生疾病傳染相當關鍵的指標。然台灣地區每年均遭遇颱風或暴雨侵襲，造成原水濁度飆升或偏遠地區簡易淨水場管線或設備毀損，使減壓供水、限水及停水時有所聞，對於民眾生活及工商活動影響甚巨。近年來在處理高濁度原水從理論及實務上，已建立相當多的經驗及緊急應變措施，故在一般情況下，可大幅改善因颱風或暴雨所引起的高濁度原水處理問題。由於台灣地區地理環境特殊，在

遭逢颱風或暴雨時，經常造成道路中斷、管線毀損及電力中斷等問題，使偏遠地區及部落等容易發生無水可用之情況。如何藉由簡單的設備或系統，將山泉水、雨水、河水或其他水源轉換成乾淨且安全可用之水源，將是緊急救災供水或用水相當重要之課題。

本文以不織布纖維為主之 BioMF 技術為例，進行緊急救災供水之應用。此技術由工研院及康那香公司研發之專利技術，係將工研院另一 BioNET 生物擔體程序及薄膜過濾(membrane filtration, MF)程序結合，可同時高效去除水中氨氮、有機物、懸浮顆粒等物質，將受污染的水源處理成安全可用水。其中，可壓縮的 BioNET 多孔性擔體，可提高懸浮固體物攔截率，並提供廣大表面積供微生物附著生長，快速累積大量及特定族群的生物膜微生物，而達到去除各種污染物之目的，具擔體質輕、水力停留時間短、操作維護簡單等優勢。截至目前為止，已開發的可商業化纖維濾材技術，包括 N-MBR (Chang et al., 2006)、BioMF (邵信等, 2007)、BioWEB (張敏超等, 2009) 和 PhotoWEB (Chung et al., 2009)等，自 2002 年迄今，已廣泛應用於國內外的水處理工程，其應用產業包括衛生清潔、醱酵食品、化學研磨、冰凍食品、生活污水、玻璃纖維、屠宰業等等，概估超過 10 個實廠。此技術亦可應用於高濁度原水之前處理，在無需加藥的前提下，去除原水濁度 (洪仁陽等, 2005 & 鄒文源等, 2005)，故希望將此技術應用在緊急救災用水。

二、薄膜技術發展與應用

薄膜技術的發展可追溯至 1920 年應用於實驗室過濾之用途(表 1), 至目前為止薄膜的使用已經不只侷限於實驗室使用, 從人類的醫療到工業與環境上應用不一而是, 且由於薄膜技術發展一日千里及應用範圍相當廣, 薄膜成本已大幅降低, 促使薄膜之應用更為可行及多元性。

由於用水水質要求日趨嚴格, 以及避免消毒副產物產生, 薄膜程序應用於水處理或廢水處理已日趨普遍, 其中較為常用之薄膜程序包括微過濾(Microfiltration, MF)、超過濾(Ultrafiltration, UF)、奈米過濾(Nanofiltration, NF)及逆滲透(Reverse Osmosis, RO)等, 這些薄膜程序皆以壓力為驅動力(Driving Force), 並利用薄膜孔徑大小或薄膜表面之特性進行溶劑與溶質之分離, 以達到處理或純化水質之目標, 圖 1 所示為各薄膜程序可去除之物質。

微過濾(MF)主要是以孔徑大小來分離水中之懸浮固體物質, 其薄膜孔徑大小通常在 0.05 - 5 μm 之間, 因此對於水中較大之懸浮粒子及微生物(Microorganisms)有去除效果。通常 MF 薄膜程序之操作壓力介於 30 - 300 kPa 之間, 屬低壓之薄膜程序。經 MF 處理後之濾液, 對於 2 μm 以上之粒子有 99% 以上之去除效果, 其濁度小於 0.1 NTU。

超過濾(UF)之過濾機制與 MF 相同, 主要為篩除(Sieving) 機制, 其薄膜孔徑較 MF 小, 操作壓力在 50 - 700 kPa 之間。超過濾技術乃應用於移除水體中之粒子(Particulates)或較大分子物種(Macromolecular Materials)。

近年來, NF 薄膜程序亦逐漸應用於水處理上。NF 程序也屬以壓力驅動式之薄膜程序, 操作壓力低於 RO, 介於 350 - 1000 kPa 之間, 有省能源之優點。NF 對於高價離子(二價或以二價以上之離子)有 95% 以上之去除率, 對於單價離子約有 80% 以上之去除效

表 1 薄膜發展歷程及其應用

| 薄膜種類 | 國別 | 年份 | 應用 |
|-----------------------|-------|------|---------------------------------|
| Microfiltration | 德國 | 1920 | 實驗室用途 |
| Ultrafiltration | 德國 | 1930 | 實驗室用途 |
| Hemodialysis | 荷蘭 | 1950 | 人工腎臟 (Artificial kidney) |
| Electrodialysis | 美國 | 1955 | 脫鹽 |
| Reverse Osmosis | 美國 | 1960 | 海水脫鹽 |
| Ultrafiltration | 美國 | 1960 | 巨分子濃縮 (Conc. of macromolecules) |
| Gas Separation | 美國 | 1979 | 氫氣回收 |
| Membrane Bioreactor | 美國 | 1980 | 細菌分離 a |
| Membrane Distillation | 德國 | 1981 | 水溶液濃縮 |
| Pervaporation | 德國/荷蘭 | 1982 | 有機溶劑去水 |

Source: Marcel Mulder, 1997

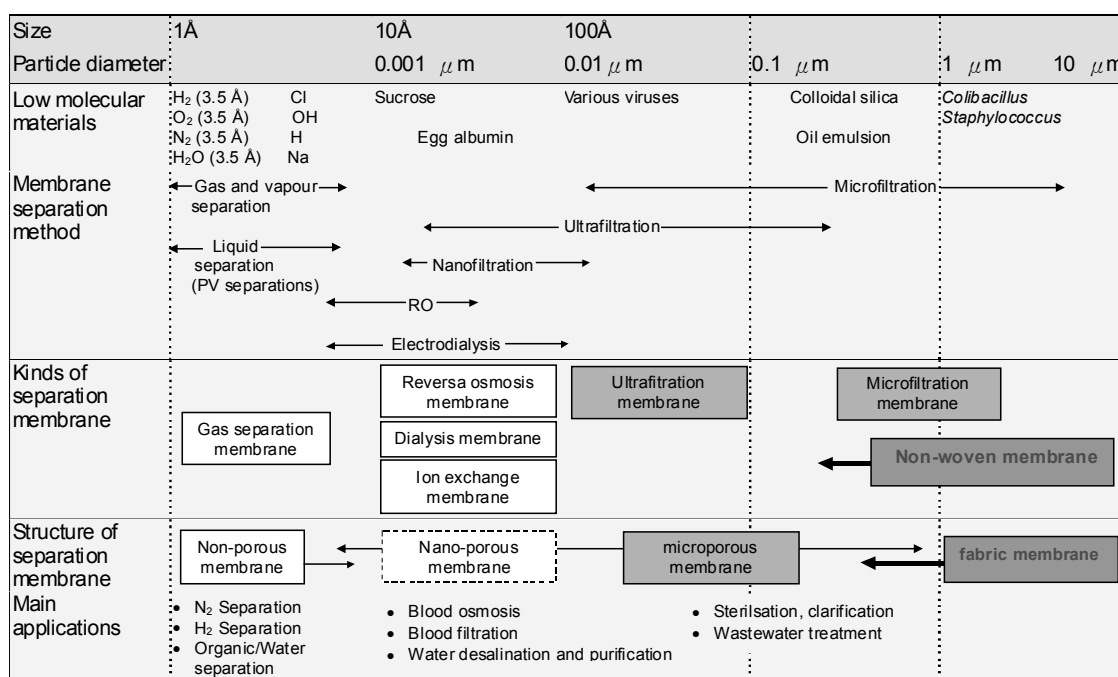


圖 1 各薄膜程序可去除之物種

果，從另一個觀點上來看，NF 薄膜程序對單價及高價離子具有分離能力，未來應可利用在分離技術上。NF 程序在飲用水應用上主要是除鈣、鎂離子，具有軟化水質之功效。近幾年來，原水中的天然有機物(Natural Organic Matters, NOM)為淨水處理程序中產生消毒副產物之主要來源，利用 NF 薄膜去除原水中的 NOM，有良好的處理效果，但 NOM 對於 NF 薄膜造成積垢的問題則需要再克服。

逆滲透(RO)為上述薄膜程序中薄膜孔徑最小者，其薄膜孔徑在 0.1 nm 以下，因孔徑甚小，故改以 Molecular Weight Cut-Off (MWCO)表之，通常 RO 之 MWCO 小於 200 Dalton (道爾敦)。其操作壓力在 800 - 8,000 kPa，若溶液中溶質濃度較高，其操作壓力可能更高，以便克服在物質分離時，因半透膜兩側之濃度差所造成滲透壓之阻力。由於 RO 之薄膜孔徑甚小，因此 RO 對於水中離子

有分離之效果。對於二價以上之高價離子如 Ca²⁺、Mg²⁺、Al³⁺、SO₄²⁻等有 99%以上之去除率，而單價離子方面如 Na⁺、K⁺、Cl⁻亦有 95%以上之去除效果（陳筱華等，2003）。

三、薄膜技術在緊急救災之機會與限制

薄膜技術已廣泛應用於原水處理以去除水中固形物、膠體、細菌及溶解性離子等污染物，其優點係採用物理分離方式，通常不需額外添加化學品，使處理程序單純化，並可獲得穩定且良好處理水質，此優點可符合緊急救災之用水需求。然而颱風或暴雨期間容易造成道路中斷、停電及原水水質變化大等因素，尤其是原水濁度飆升，可能限制薄膜技術在緊急救災之應用。由於目前針對原水固形物或細菌皆使用 MF 或 UF 等微孔(Microporous)薄膜作為分離之介質，當原水固形物大量增加時，容易造成濾餅增厚，使過膜操作壓力增加及降低操作通量，將造成

產水量減少及電力需求增加，較無法符合緊急救災之供水需求。近來爲了降低過膜操作壓力及維持穩定操作通量，進行薄膜表面特性改質或新材料應用如不織布濾材，已有常足進步。其中，不織布濾材是一種不規則交錯的多層纖維(Random Overlapping Fibers)所形成具有開放性互通孔隙(Open Voids)之三度空間網狀結構濾材，故在適當操作條件下，可獲得穩定、高操作通量及較低過膜壓力，可以符合緊急救災之需求。

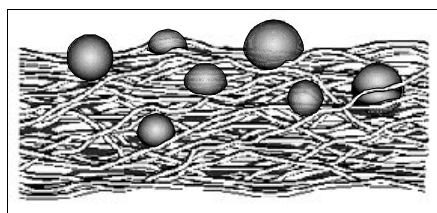
圖 2 爲不織布薄膜和一般微孔薄膜(如 MF 或 UF)兩者之間基本的概念差異。不織布濾材內纖維互相交錯，形成不規則且互通之彎曲孔隙路徑，更提供了截留(Interception)、碰撞(Inertial Impaction)與布朗擴散(Brownian Diffusion)等構成纖維(Fiber)過濾機制；而一般微孔薄膜其過濾屬篩網(Sieve)機制，即當粒徑大於膜孔孔徑之粒子會被去除，粒徑小於膜孔孔徑者則可能嵌入膜孔形成不可逆積垢(Irreversible Fouling)，因而造成阻塞影響

過濾效果。

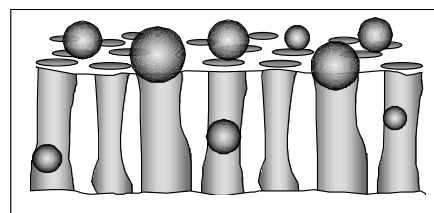
相較於目前通用之 UF 或 MF 薄膜濾材，不織布濾材有下列幾項優點(邵信等，2009)：

- 1.可低壓操作而節省動力；
- 2.不織布過濾特性爲纖維過濾，能有效攔截固體粒子；
- 3.材料成本低；
- 4.容易逆洗，積垢現象之控制易掌握。

以不織布濾材過濾時，過濾初期顆粒會先吸附在纖維表面上，經過一段時間後，許多顆粒集結成團粒於纖維表面上，最後，大多數顆粒則於集結物網孔間形成多孔性濾餅。在此階段以後，顆粒會堆積在不織布薄膜表面形成具多孔性過濾層(圖 3)，此時不織布薄膜已退居幕後，成爲支持層(洪仁陽等，2009)，藉由濾餅厚度控制，將可獲得穩定操作通量及低過膜操作壓力，以避免薄膜阻塞及減少薄膜反沖洗頻率與次數。



纖維濾膜



MF或UF薄膜

圖 2 纖維濾材與 MF 或 UF 微孔過濾之基本概念

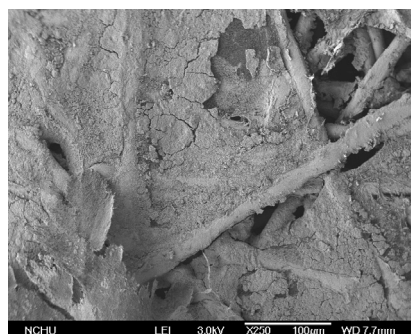
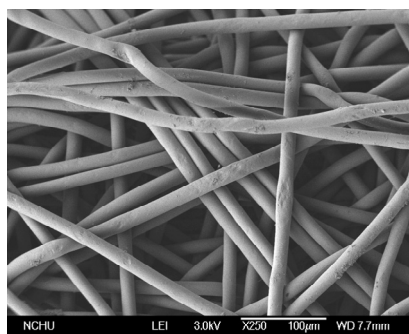


圖 3 濾餅在纖維濾材形成之前後

四、緊急救災技術應用案例

(一)背景

去年侵襲台灣的莫拉克颱風挾帶強風與近年罕見的驚人雨量（超過 2000 公釐），造成台灣南部山區與平地發生極為嚴重的土石流與水患災害，不但造成許多重大傷亡，偏遠聚落之斷水及缺水現象也相當普遍。本案例瑞峰國小位於南化水庫水源保護區內（圖 4），係屬限制開發區域，故擁有豐富的自然生態環境，包括超過 500 多種植物、17 種螢火蟲、22 種蛙類、60 種蝴蝶與蛾類，以及其他數百種生物。而瑞峰國小座落於台南縣偏遠的村落，擁有全台灣最大的學區，大部分的師生都住在學校內，以簡易自來水為日常用水來源，但 88 水災之後，簡易自來水管線毀損，造成附近村民及學校無水可用，遂自行接管引山泉水使用，以期解決缺水之問題。然天候因素直接影響山泉

水水質，尤其在降雨之後，常常造成原水濁度增加，水質相當混濁，對學校師生及附近居民造成用水困擾，如何獲得穩定及乾淨用水，已成為學校開學之前必須立刻解決之問題。

(二)緊急淨水系統建置

為因應瑞峰國小用水需求，提出 BioMF 緊急淨水系統，以期提供全校師生及附近居民穩定且乾淨的用水。此系統為一種小型高效能的套裝模組設備，其處理流程如圖 5 所示，處理產水量可達到 24CMD，平日可滿足 240 人規模的社區使用。

本系統主要是透過管中加藥、混凝沉澱及 BioMF 技術將山區含濁度之受污染水源，淨化成可用水質。另外對氨氮及有機物等物質亦有一定程度的處理效果。此設備可置於貨櫃內，具有可移動式的功能，能夠有效且快速地協助災區進行水源處理。以本案例為例，現場安裝試車在 3 天內完成。



圖 4 台南縣瑞峰國小位置圖

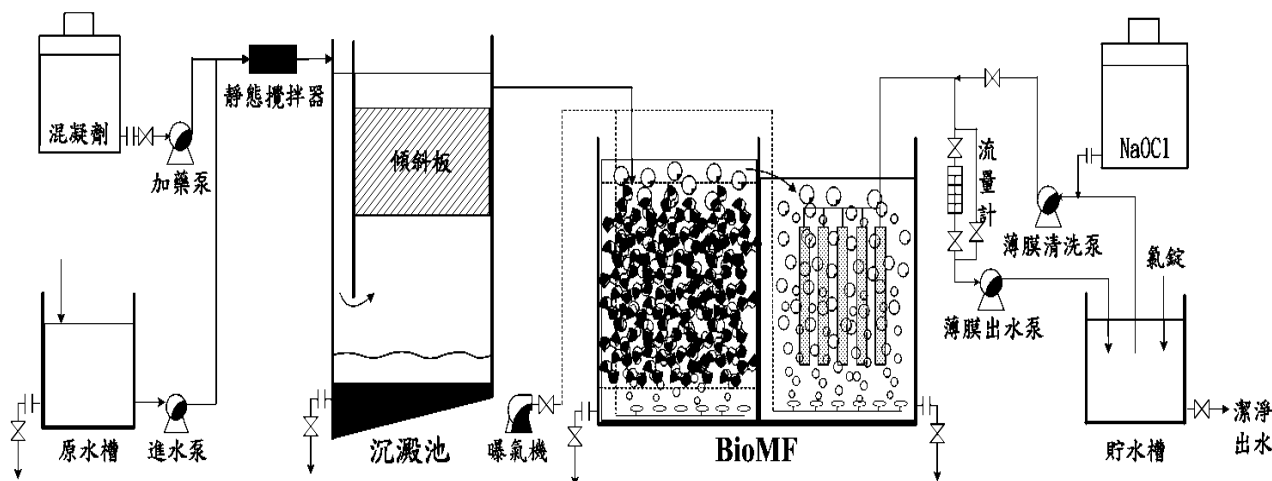


圖 5 移動式緊急淨水系統流程示意

(三)緊急淨水系統技術特徵

緊急淨水系統採用管中加藥(吳志超等, 2007)及快速沈澱單元(周珊珊等 2005)以去除原水中部分濁度物質, 並以 BioMF (Biological Membrane Filtration Process)為技術核心去除原水殘留濁度、氨氮及部分有機物。此技術主要係結合「生物濾床區」與「薄膜分離區」之高級處理系統, 其配置及材料外觀分別如圖 6 及圖 7 所示。生物濾床區內填充的多孔性載體, 除了可採用 PU 載體 (Polyurethane Foam Carriers)外, 亦可使用不織布載體。不織布載體係由高分子複合材料製作, 化學安定性良好, 因其為多孔性, 具有廣大的比表面積(>1,000 m²/m³)和孔隙率(98%), 可增加原水中懸浮固體物攔截之機會, 並提供做為微生物附著、增殖之空間, 因此能累積大量及特定族群之生物膜微生物, 有助於達到去除有機污染物(COD)或含氮污染物(NH₃-N&NO₃-N)之目的(鄒文源等, 1999 & 2001); 另此多孔性載體亦可以攔截水中固體物或濁度物質, 可以減少進入薄膜分離區固形物或濁度物質濃度, 從以往研究結果發現, 固形物濃度降低可以減少多孔性濾

餅之增厚速率, 以減少過濾阻抗及薄膜積垢現象發生(Horng et al., 2009), 使後續薄膜單元具有高通量、低過膜壓力及簡化操作等特點, 進而使 BioMF 更具實用性。

而薄膜分離區主要係利用適當配置的不織布薄膜模組, 以薄膜分離的方式濾除生物濾床區出流水中的固態微粒, 進而產生品質良好之澄清處理水。薄膜分離區在設計上, 特別著重於維持較大且穩定的濾液通量, 以及對膜表面積垢(Fouling)的有效控制, 減少過膜壓力、能量損耗及反沖洗頻率, 進而有效延長薄膜使用壽命, 相對亦可縮短處理槽的水力停留時間(HRT), 並減少薄膜分離區的體積, 有助於降低建造、操作及維護的成本。

(四)瑞峰國小淨水系統設備捐贈啓用與水質

雖然莫拉克風災造成嚴重的影響, 但學校在各方協助搶通電力及連外道路, 再加上工研院與康那香公司協助建置淨水系統並完成設備啓用與捐贈(圖 8), 隨後完成系統操作維護及教育訓練, 以及定期取樣及水質分析以確保用水安全, 使學校不但可以如期開學, 更解決開學後的飲用水問題。目前經

淨水系統處理產水有定期進行水質分析，結果顯示處理水濁度低於 1NTU，TOC 低於 1.0

mg/L，氨氮低於 0.2 mg/L，分別如圖 9、圖 10 及圖 11 中所示。

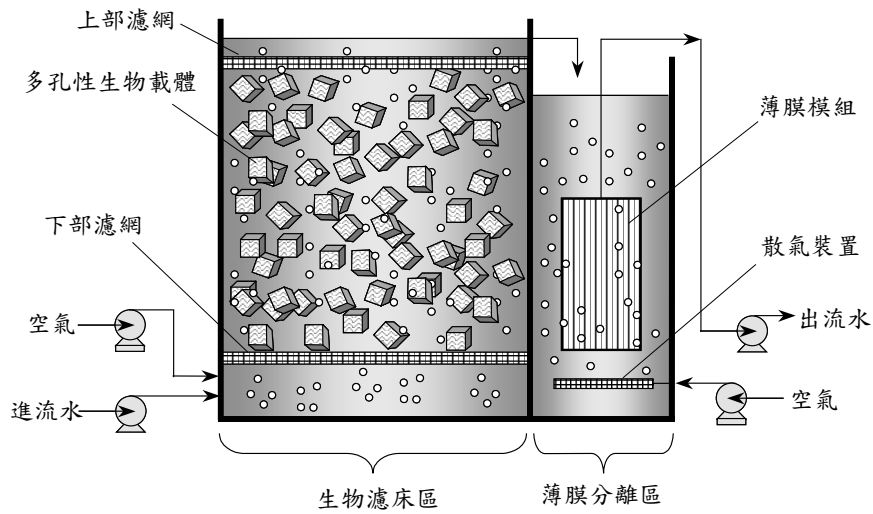


圖 6 BioMF 程序整合式配置示意



不織布纖維薄膜



不織布纖維載體

圖 7 不織布纖維膜片(左圖)和載體(右圖)外觀



圖 8 瑞峰國小淨水系統設備捐贈啟用

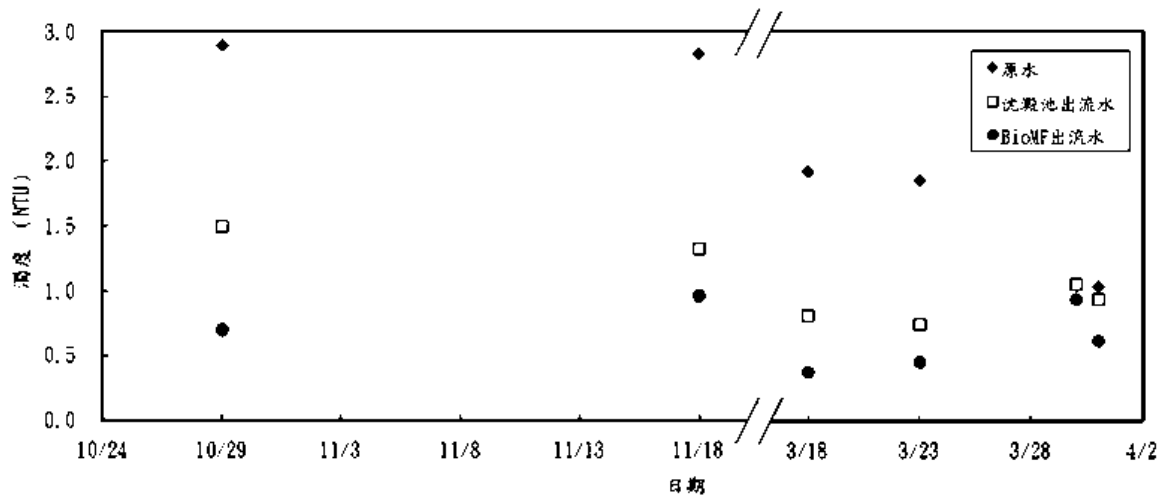


圖 9 瑞峰國小淨水系統濁度變化

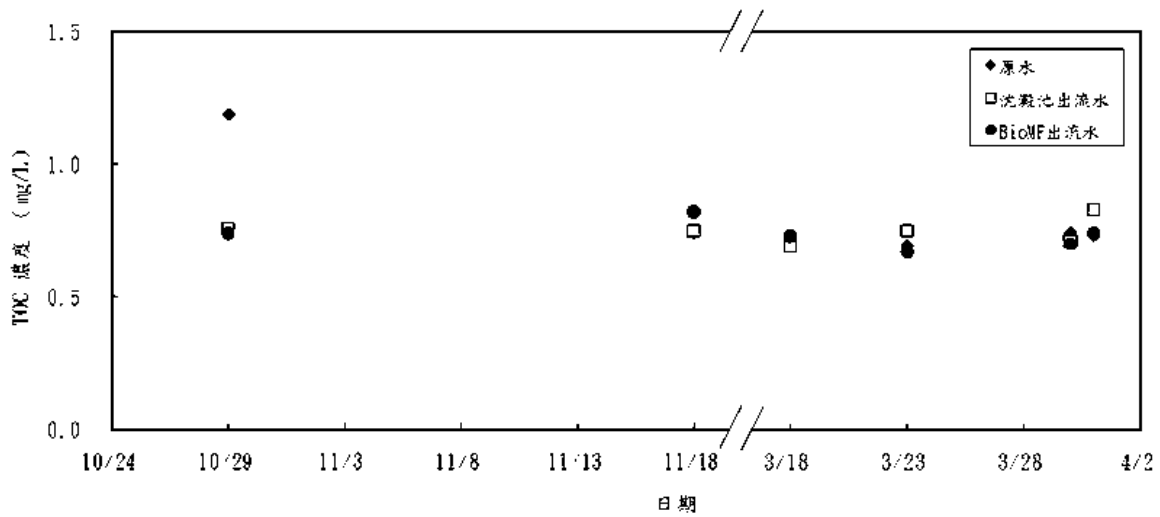


圖 10 瑞峰國小淨水系統 TOC 濃度變化

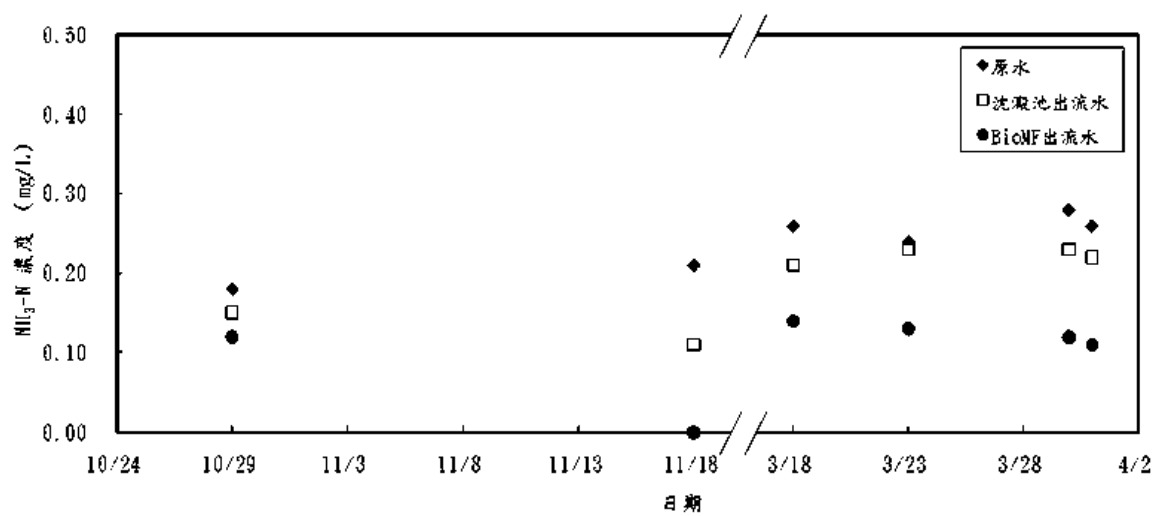


圖 11 瑞峰國小淨水系統氨氮濃度變化

五、結語

台灣地區每年遭受颱風及暴雨侵襲，再加上地理環境及人爲不當開發等因素，經常造成偏遠地區缺水或停水之危機，緊急救災淨水設備可適時提供民眾用水之需求。以 BioMF 爲核心技術的緊急淨水系統應用於瑞峰國小，已獲得初步成果並可以提供學校及附近居民用水需求。未來將朝向小型化、輕質化及低耗電等方面發展，在緊急救災時可以展現其機動性及實用性，提供大眾更可靠且乾淨之用水。

六、誌謝

本緊急救災系統承蒙康那香企業股份有限公司、萬年清環境工程股份有限公司、涇達工程有限公司及 3M 等贊助設備及義務施工，使本系統得以開學之前完成建造及試車，並提供瑞峰國小師生及附近居民用水之需求。另瑞峰國小曹麗優校長、林瑞崑主任及全體師生全力協助，使此系統能夠順利運轉及操作至今，特此致謝。

參考文獻

1. 鄒文源、張王冠、洪仁陽、吳漢松、莊順興，(1999) BioNET 生物程序處理自來水原水之研究，自來水會刊，第18卷第4期，22-33。
2. 鄒文源、張王冠、洪仁陽、吳漢松，(2001) 利用BioNET去除自來水原水硝酸氮之研究，自來水會刊，第20卷第2期，3-17。
3. 洪仁陽、張王冠、鄒文源、張敏超、邵信、周珊珊 (2005)，多孔性擔體濾除高濁度原水前處理之研究，第二十二屆自來水研究發表會，第345-351頁。
4. 鄒文源、張王冠、洪仁陽、彭明鏡、陳誼彰、蕭碧蓮、周珊珊 (2005)，高濁度原水不織布膜過濾技術評估，第二十二屆自來水研究發表會，第336-344頁。
5. 周珊珊、洪仁陽、彭明鏡、陳誼彰、袁如馨、黃志彬 (2005)，高濁度原水混凝前處理模廠試驗研究，第一屆永續水處理：水資源及水質管理研討會，A5-3-1~14。
6. 吳志超、周珊珊、洪仁陽、鄭世揚 (2007)，高濁度原水最適化處理技術之研究，台灣自來水股份有限公司。
7. 邵信、張敏超、洪仁陽、胡衍榮、吳勇興、陳吉宏、黃鯤雄 (2007)，100 CMD級BioMF污水處理模廠之研究，下水道及水環境再生研討會。
8. 邵信、張敏超、梁德明、胡衍榮 (2009)，纖維濾材於水處理技術的創新應用，化工資訊與商情，No. 73, 34-45。
9. 洪仁陽、邵信、張敏超、蕭碧蓮、胡衍榮、黃志彬 (2009)，光觸媒及不織布薄膜技術複合系統水處理技術應用，化工資訊與商情，No. 78, 64-70。
10. 張敏超、邵信、梁德明、洪仁陽、黃盟舜、胡衍榮 (2009)，不織布濾材於綠色水處理技術的創新應用，產業綠色技術研討會，台北，台灣。
11. 夏工傑、洪仁陽、陳建宏、周珊珊 (2009)，八八水災公用設施防救災措施及重建工程計畫-瑞峰國小緊急淨水系統之建置，工程，124-128。
12. 陳筱華、邵信 (2003)，新竹工業區廢水回收再利用規劃，經濟部水利署水利規劃試驗所。
13. Chang M .C., Horng R.Y., Shao H., Hu.Y. J., (2006), Performance and filtration characteristics of on-woven membranes used in submerged membrane bioreactor for synthetic wastewater treatment, Desalination, 191, 8-15

14. Chung, L. C., Shao, H., Horng, R., Y., Liang, T. M., Hu, Y. J., Huang, M. S., Liu, P. I., Chang, M. C., (2009), A Submerged Non-woven Sheet/Photocatalytic Reactor System for Removal of NP-9 in Water, IWA Specialist Conference on Oxidation Technologies for Water & Wastewater Treatment, Berlin, Germany.
15. Horng, R. Y., Chang, M. C., Shao, H., Hu Y. J., Huang, C. P. "Application of TiO₂ photocatalytic oxidation and non-woven membrane filtration hybrid system for degradation of 4-chlorophenol", Desalination, 245, 169-182, 2009.
16. Mulder, M., (1996), Basic Principles of Membrane Technology, Kluwer Academic: Dordrecht, 564 pp, ISBN 0-7823-4247-X.

周珊珊女士

現職：工業技術研究院能源與環境研究所水科技與分析技術組 組長
專長：水及廢水處理

作者簡介

洪仁陽先生

現職：工業技術研究院、能源與環境研究所、水科技與分析技術組、永續水再生研究室 經理
專長：水及廢水處理

夏工傑先生

現職：工業技術研究院、能源與環境研究所、水科技與分析技術組、永續水再生研究室 研究員
專長：水及廢水處理

陳建宏先生

現職：工業技術研究院、能源與環境研究所、水科技與分析技術組、先進水處理研究室 研究員
專長：水及廢水處理

蕭碧蓮女士

現職：工業技術研究院、能源與環境研究所、水科技與分析技術組、永續水再生研究室 副研究員
專長：水質分析

電透析離子交換薄膜在淨水程序中的發展及利用

文/陳文祥

一、前言

1950 年離子交換薄膜在美國由離子交換樹脂研發壓製成板狀成功，之後，許多大廠紛紛投入其研發工作，在日本則主要發展在海水製鹽的領域，相對的，在西方世界的國家，則將次項技術運用在鹽井水製成飲用水的領域。最近這幾年離子交換薄膜系統在日本每年生產超過 1 千 3 百萬噸的食鹽，這樣應用是使用此項技術最成功的商品之一，電透析離子交換薄膜技術在食品加工業、製藥業已大量被使用。

二、離子交換薄膜

基本上離子交換薄膜有兩類，一是陽離子交換薄膜，另一則是陰離子交換薄膜，前者僅允許陽離子通過，而後者則僅允許陰離子通過，這種薄膜的是碳氫化合物，其組成材質大部分為 poly-styrene、divinyl-benzene 為主並添加適量人造纖維，離子交換官能基決定這個薄膜為陽離子交換薄膜（官能基 sulfonate-、carbonate、phosphate-）或是陰離子交換薄膜（官能基 ammonium-or pyridinium-salt-）。

因有下列特點使得這種薄膜適合於工業用途：

- (一)較高的傳輸係數。
- (二)較低的電阻抗。
- (三)較佳的化學穩定性。
- (四)對於溶質或溶劑有較低的擴散速度。
- (五)較高的物理強韌度。
- (六)較佳的型態穩定度。

三、電透析離子交換薄膜基本原理

在兩個離子交換薄膜間的電解質溶液通以電壓，陽離子會移動到陰極端，而陰離子會移動到陽極端，這就是電透析離子交換薄膜的基本理論，陽離子透過陽離子交換薄膜而陰離子則會被陽離子交換薄膜阻擋，相對的，陰離子透過陰離子交換薄膜而陽離子則會被陰離子交換薄膜阻擋如圖 1 所示，因為上述的移動會在液體流通的管道上形成兩種形式，一是稀釋液管道，含有較低濃度的電解溶質，而在另一個管道則是含有高濃度的電解溶質，利用這種方式，可將溶液中高濃度電解溶質及低濃度電解溶質，可進行後端利用。

這樣的原理以圖 2 來加以表示，所以，當控制流體的流速、施加的電壓等就可容易的控制或操作去鹽的百分比或者是濃縮液的濃度。

四、選擇性電透析離子交換薄膜

進一步研發電透析離子交換薄膜，發展出一價離子選擇性離子交換薄膜，其原理是在原離子交換薄膜上塗佈新的材質（thin polymer），而達到限制一價離子可通過而其他離子無法通過的優點，利用這項優點可更加靈活使用電透析離子交換薄膜。圖 3 為一價離子選擇性離子交換薄膜的示意圖，透過這樣的薄膜在淨水技術中有其優越的性質，以海水中硫酸根離子為例二價陰離子，原可通過陰離子交換薄膜，但因表面塗佈

thin polymer 層，而能使一價氫離子完全通過，而硫酸根離子僅能部分通過，若利用在海水淡化（或鹽井水淡化），則能利用電透析去除鈉、氯等離子而保留鈣、鎂等使得出流水的藍氏係數 (LSI) 不會因通過薄膜後而

降低，造成管線腐蝕，表 1 是以海水淡化為例，將各種離子於原水（海水）及滷水（排放水）之百分比表現出來，從這些資料顯示一價離子選擇性離子交換薄膜（含電透析），有不錯的表現。

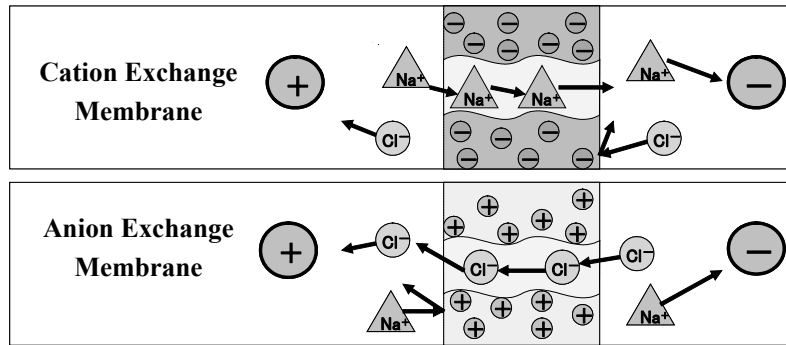


圖 1 離子交換薄膜示意

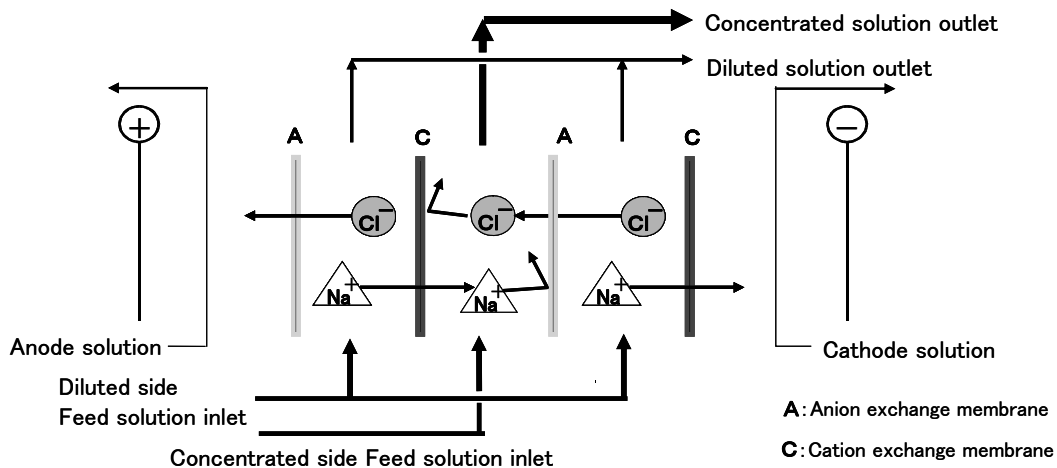


圖 2 電透析離子交換薄膜基本原理示意

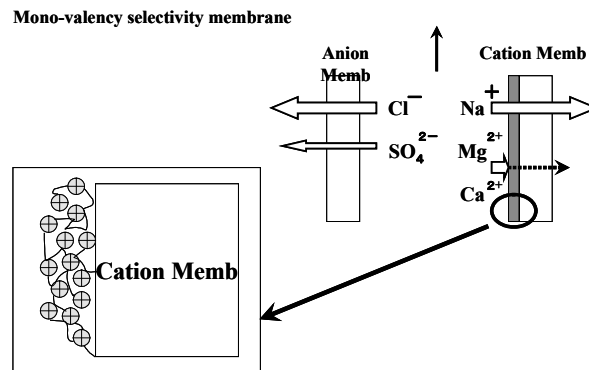


圖 3 一價離子選擇性離子交換薄膜示意

表 1 各種離子在海水及滷水中的百分比組成

| | | Composition | | | | | | |
|---------------|-----------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------|
| | | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Total |
| Product Brine | Conc.(N) | 3.715 | 0.004 | 0.045 | 0.091 | 0.097 | 3.486 | 3.719 |
| | Ratio (%) | 99.9 | 0.1 | 1.2 | 2.5 | 2.6 | 93.7 | 100 |
| Seawater | Conc.(N) | 0.535 | 0.053 | 0.019 | 0.104 | 0.009 | 0.456 | 0.588 |
| | Ratio (%) | 91.0 | 9.0 | 3.2 | 17.7 | 1.5 | 77.6 | 100 |

| | SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻ | Ca ²⁺ +Mg ²⁺ /Na ⁺ +K ⁺ |
|---------------|--|---|
| Product Brine | 0.001 ← | 0.038 ← |
| Seawater | 0.099 | 0.265 |

1/10 1/7

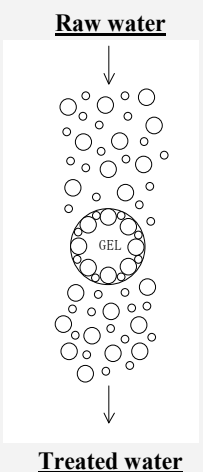
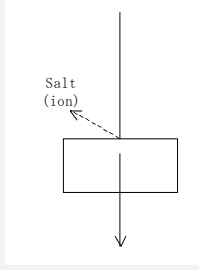
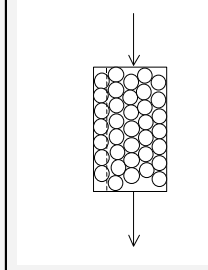
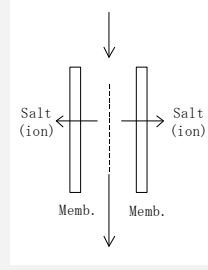
| | Gel Filtration | Reverse Osmosis(RO) | Ion Exchange Resin(IX) | Electrodialysis(ED) |
|----------------------|---|---|--|--|
| Separation principle | Size Effect  | Size Effect  | Charge Effect  | Charge&Size Effect  |
| | Driving Force | Diffusion | Pressure | Adsorption/Dis-Absorption |

圖 4 各種淡化薄膜技術所使用示意

使用電透析離子交換薄膜有下列優點：

- 1.有較高的水回收率

在處理海水或鹽井水時，就膜的功能而言是進行離子的分離，與傳統 NF 或 RO 的阻絕方式不同，因此，水的回收率較高，一般而言可達到 85%左右。

- 2.對於原水中二氧化矽含量超過 30 mg/l 時對膜仍不傷害

以薄膜進行去鹽（或淡化）時最困擾的

問題之一是二氧化矽，當高濃度（超過 30mg/l）的二氧化矽存在時會在薄膜表面產生垢積（fouling）而降低薄膜使用壽命，如前述，電透析離子交換薄膜是進行離子分離，在過程中並未由外施加壓力，故溶解二氧化矽也如其他離子一般分離，不易在薄膜表面形成垢積。

- 3.有較長的薄膜使用壽命

薄膜的使用壽命與表面垢積、操作壓

力、薄膜結構及薄膜強度有關，因此，與其他形式的薄膜相較電透析離子交換薄膜確實有較長的使用壽命，一般而言薄膜汰換率約每年 8%。

圖 4 為各種淡化薄膜技術所使用的示意圖，電透析離子交換薄膜係利用孔徑大小及電壓強度來進行去鹽（淡化）。

目前電透析離子交換薄膜的操作成本與原水濁度有關，依據實驗分析，濁度(TDS)在 5000 mg/l 以下時，電透析離子交換薄膜的耗電量低於逆滲透膜(RO)，而高於 5000 mg/l 以上時則相反，但除了耗電量外，對於維護、膜損耗等亦需列入總成本考量，因此，在 TDS 小於 10000 mg/l 以下就總操作成本而言，電透析離子交換薄膜有其優勢，圖 6 為電透析離子交換薄膜、逆滲透膜 (RO) 及離子交換樹脂之原水濁度與每噸水耗電量比

較如圖 5。

五、以ED淨水實例

電透析離子交換薄膜在世界各地有越來越多的淨水成功案例，針對原水淡化、硝酸鹽氮去除、軟化、鐵錳去除甚至是有機污染物的去除；以下將就筆者參訪日本現役淨水處理中使用電透析離子交換薄膜進行硝酸鹽氮去除及鹽井水淡化等進行實例說明，分享參訪心得。

(一)硝酸鹽氮去除-小竹木淨水場

(1)背景介紹

小竹木淨水場位於日本長崎縣高來郡南串山町西部地區，該地區農業活動興盛，為日本著名的蔬果產地，主要作物為馬鈴薯及大根（蘿蔔），因此使用肥料及農藥情形相當普遍，區內沿海岸線地區亦是重要的溫

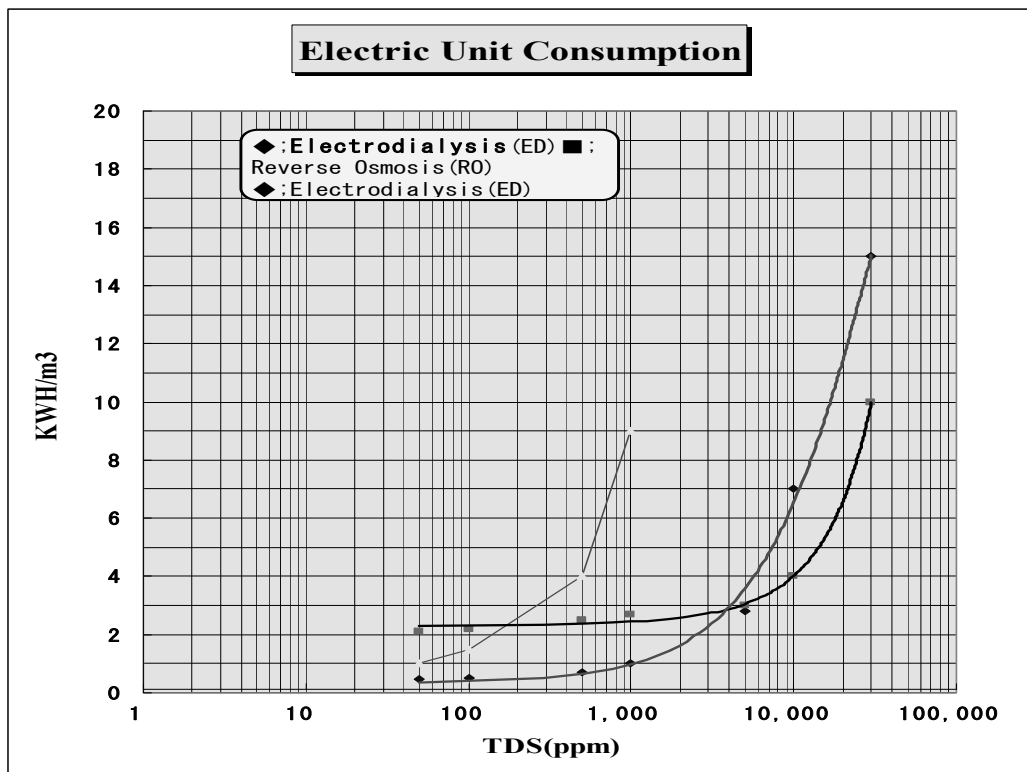


圖 5 不同總溶解固體物(TDS)與電透析離子交換薄膜(ED)、逆滲透膜 (RO) 及離子交換樹脂之每噸水耗電量比較

泉觀光勝地，每年吸引大批外地觀光人口。當地地質屬沖積層壤土，平均高程海拔 150 公尺，年平均氣溫 17.1°C 降雨量 1700mm，屬溫暖多雨型氣候。

(2)供水現況

南串山町西部地區飲用水來源早期是由各家戶淺井取得尚足支應，為便利供水，自昭和 44 年（1969）年政府部門鑿井 2 口並開始規劃興建配水系統，至昭和 52 年（1977）配合水道法令本區發展為簡易水道設施，將各分散水井集結以規範及限制地下水源的使用與開發，目前行政區內人口 4732 人、計畫給水人口 5500 人、實際給水人口 4553 人，供水普及率 96.2%，而小竹木淨水場出水量約 70 CMD，供水服務人口約 400 人。

(3)選用電透析離子交換薄膜進行水處理經過

平成元年（1989）間該地區進行例行水質檢查時發現，硝酸鹽氮有上昇的趨勢，已逐漸逼近法規限值 10 mg/l，經過多次追蹤監測在平成 3 年發現上昇越趨明顯，於是相關單位決定進行水質改善計畫以去除水中硝酸鹽氮，當時評估的技術有兩類，一是電透析離子交換薄膜（ED），一是逆滲透薄膜（RO），進行為期 2 年的模場相關實驗，其模場實驗評定結果如表 2，地方政府（町）依據上述結果認為電透析離子交換薄膜為較佳的水質處理技術，層轉中央水道局，當時中央以逆滲透薄膜（技術較為成熟為由要求使用，惟地方政府依據實際模場實驗結果（包含成本分析及操作營運條件）向中央陳述，最後以地方自治精神及責任施工的原則，最後選定電透析離子交換薄膜法，在平成 5（1993）年至 7 年（1995）間向厚生年

金及國民年金融資興建。操作成本約 80 日圓/噸（台幣 24 元），售價 120 日圓/噸（台幣 42 元，該地區採低水價以便利居民使用，不足部分由觀光稅收彌補）。

(4)設備概要

小竹木淨水場採用之小型電透析離子交換薄膜（旭化成 SV-1 型），流程如圖 6 所示，其原水來自 2 口地下水井，井深 103 公尺，每一口井設計出水量 120 CMD，目前實際出水量約 70 CMD，原水水質狀況，硝酸鹽 20 mg/l、鐵 0.5 mg/l，因考量鐵含量較高，為確保水質故於前端添加酸及空氣氣曝方式除鐵（濾砂反洗間隔約 72 小時），之後進入原水貯存槽，後續利用 120 對/系列兩套 ED 系統進行脫硝，進入清水池內，原水回收率約 94%。

(5)電透析離子交換薄膜去除硝酸鹽

小竹木淨水場 ED 設備功能諸元如表 3，其原理為在兩個離子交換薄膜間的電解質溶液通以電壓，陽離子會移動到陰極端，而陰離子會移動到陽極端，這就是電透析離子交換薄膜的基本理論，陽離子透過陽離子交換薄膜而陰離子則會被陽離子交換薄膜阻擋，相對的，陰離子透過陰離子交換薄膜而陽離子則會被陰離子交換薄膜阻擋，因為上述的移動會在液體流通的管道上形成兩種形式，一是稀釋液管道，含有較低濃度的電解溶質，而在另一個管道則是含有高濃度的電解溶質。

在本場要去除的標的物就是硝酸鹽，其原水回收可達 94%，相對的排出的高度濃的硝酸鹽約為 6%，產量約 6~10 CMD，目前日本法規就淨水事業廢水硝酸鹽已開始進行管制，規範為 50mg/l 以下，該場將該廢水

引流入附近農田澆灌。

圖 7 為電透析離子交換薄膜處理示意，其中 NO₃⁻ 為陰離子能透過陰性離子交換薄膜，但會被陽離子交換薄膜阻擋，相對的同樣的情形發生在陽離子，所以產生下圖箭頭

D 的稀釋溶液區（因為陰、陽離子都移向兩側），及箭頭 C 的濃縮溶液區（因為陰、陽離子都移入），在陰陽離子交換薄膜間，會置入間隔材質（SPACER），將流體順利導入正確槽位。

表 2 電透析離子交換薄膜與逆滲透薄膜去除膜硝酸鹽氮之比較

| 項目 | 電透析離子交換薄膜 | 逆滲透薄膜 |
|-------------------------------------|--|--|
| 1.原水回收率 | 90% | 50~60% |
| 2.技術原理 | 將水中溶解之 NO ₃ ⁻ 進入通過直流電之離子交換薄膜間，而達到分離去除的目的。 | 在高壓力下將原水通過緻密的逆滲透薄膜。而將水中溶解之 NO ₃ ⁻ 濾除。 |
| 3. NO ₃ ⁻ 去除率 | 調整入流速度及電壓強度，可改變去除率在 10~95% 間。 | 95% 以上。 |
| 4.運轉遠端監控 | 因電器使用控制於遠端監控操作較為容易運轉狀況。 | 雖使用壓力操作運轉簡單，經由遠端操作控制調整不易。 |
| 5.藥品反洗 | 進行薄膜清洗時將鹽酸注入側槽後排出即可，操作簡便。 | 將膜洗淨之藥劑注入後需靜置、反洗等多次步驟。 |
| 6.耗電量 | 1.5 KW/M ³ | 4 KW/M ³ |
| 7.運轉狀況 | 低壓運轉 (2kg/cm ²)，所產生的噪音小 (70dB)，對於操作配管腐蝕性低，可安定運轉。 | 高壓運轉 (10kg/cm ²)，所產生的噪音小 (90dB)，對於操作配管腐蝕性高，不易安定運轉。 |
| 8.連續運轉 | 拆解容易，約一年才需將膜拆除清淨。 | RO 膜一年至少需四次線上洗淨，每月需定期維護交換膜擺放前後位置，以確保操作安定。 |
| 9.原水全量處理 | 可依原水含 NO ₃ ⁻ 濃度多寡及清水水質要求調整電壓及處理流量，可採全量操作或後端混和操作。 | 去除率固定，對於水質處理缺乏彈性，僅能由後端混和操作調整清水水質。 |
| 10.操作成本 | 約 35 日圓/M ³ (以處理水量 70 CMD 計) (台幣：10.15 元/M ³) | 約 50 日圓/M ³ (以處理水量 70 CMD 計) (台幣：14.50 元/M ³) |
| 11.設備費 | 約 3 千萬日圓 (以處理水量 70 CMD 計) (台幣 870 萬) | 約 2 千 5 百萬日圓 (以處理水量 70 CMD 計) (台幣 7250 萬) |
| 12.耐用年限 | 薄膜耐用年限約 20 年，管材抗腐蝕超過 20 年。 | 薄膜耐用年限約 4 年，管材抗腐蝕約 10 年。 |

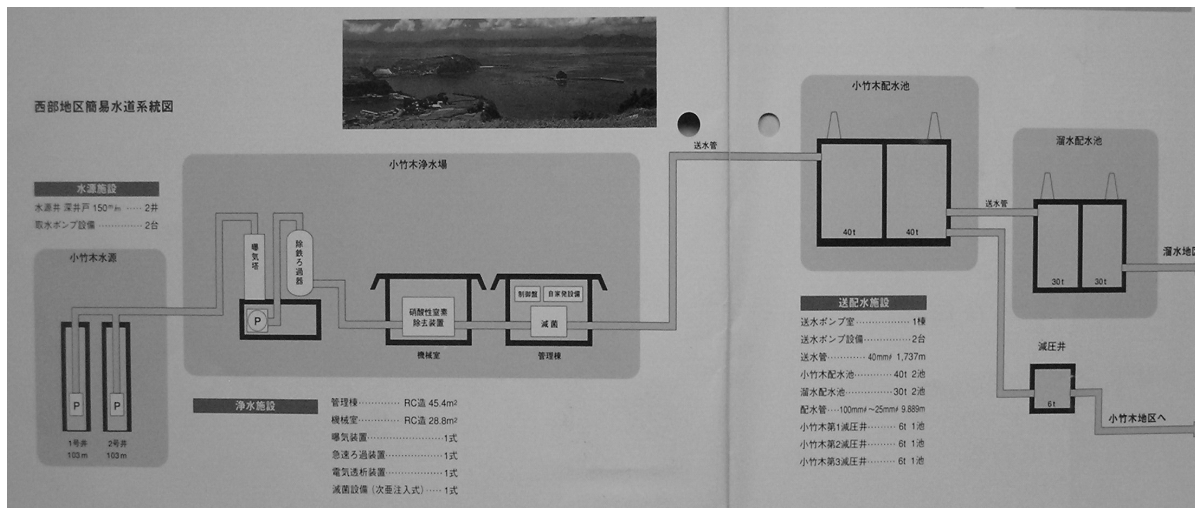


圖 6 小竹木淨水場利用電透析離子交換薄膜去除硝酸鹽流程

表 3 電透析離子交換薄膜機組設備功能諸元

| 項目 | 處理能力、功能 |
|-------------|--------------------------------------|
| 水源 | 地下水 小竹木#1、#2 (井深 103 M) |
| 生產水量 | 設計 120 CMD (原水硝酸鹽 13 mg/l) 實際 70CMD |
| 脫鹽能力 | 50 % (設計值) |
| 原水水質 | 硝酸鹽 7~15 mg/l TDS 60~120 mg/l pH 7.1 |
| 清水水質 | 硝酸鹽 4~6 mg/l TDS 60~120 mg/l pH 7.2 |
| 原水回收率 | 94% |
| 運轉方式 | 全自動無人運轉 |
| 前處理設備 | 除鐵氣曝設備 |
| 電透析離子交換薄膜機組 | 旭化成工業 (株) 製 SV-1 型 120 對/系列 * 2 |
| 耗電量 | 1.2 KW/M ³ |
| 建設費 | 含土建 7,800 萬日圓 (台幣 2,262 萬元) |
| 作維護費 | 12 日元/噸 (台幣 3.4 元) |

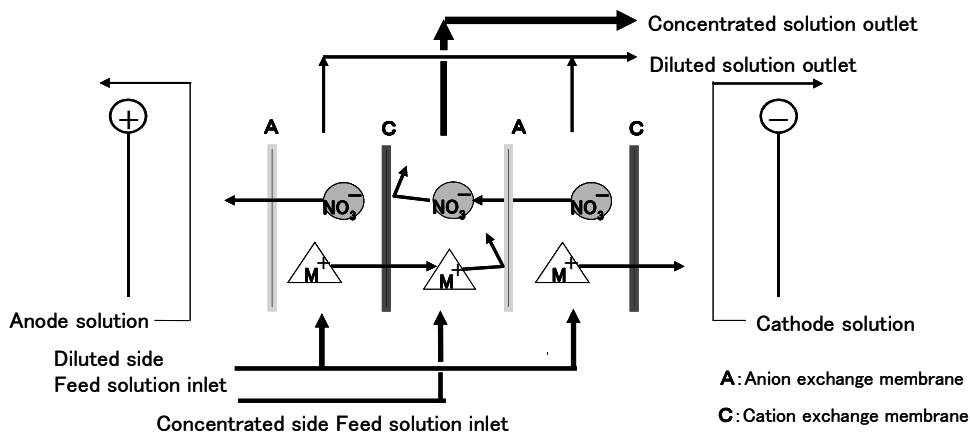


圖 7 為電透析離子交換薄膜處理示意

從這些資料可發現不論是陰離子或陽離子經過電透析離子交換薄膜(ED)後其濃度皆明顯下降,表 4 為處理前後水質資料,除標的污染物硝酸鹽外,反應在總硬度及總溶解固體物的下降非常明顯,因此,對於原水中溶解的離子,利用電透析離子交換薄膜法去除是有一定的成效。相關現場照片如圖 8。

(二)鹽井水淡化-大島町

大島町位於東京都東南端伊豆群島,面積 91.06 平方公里,該群島係由火山爆發生成,隨處可見火山灰堆積或火山遺跡,造成當地地下水二氧化矽含量高達 50mg/l 以上,該島入民約 1 萬人,從事農耕及觀光事業。

因位處離島,地下水為飲用水主要來源,由島上的北山淨水場(3000 CMD)及南部淨水場(1500 CMD)供應自來水,但人口增加加上發展觀光事業,因地下水需求量增大,經常其超抽影響地下水逐漸鹽化而不適

飲用,自 1991 年開始大島町檢討使用地下水去鹽技術,經考慮操作便利性、產品耐久性及經濟效益後,決定採用電透析離子交換薄膜,目前操作回收水量約 80%,平均每噸清水使用電量約 1~2 KWH/M₃。

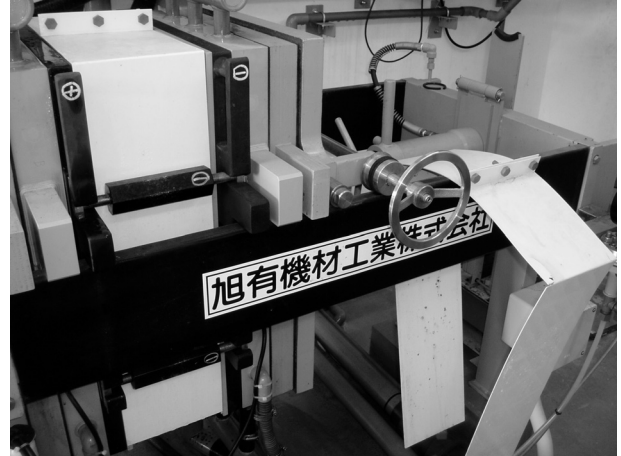
表 5 為北山淨水場及南部淨水場電透析離子交換薄膜相關功能諸元,其設計依據原水總溶解固體物(TDS)加以規劃,因此,在出水回收量上略有差異,主要的考量在於不同季節地下水位變化及 TDS 變化時可採混合方式出水,以節省成本,清水 TDS 控制在 450 mg/l 以下,氯鹽也控制在 150 mg/l 以下。本場所使用的電透析離子交換薄膜形式為 Acilyzer 140 每一格通道面積 1.4 M²(每一對陰離子及陽離子交換薄膜),其中北山淨水場採用每一單元 318 通道的模組、2 單元*2 段式、薄膜總面積 3560 M²,南部淨水場採用每一單元 300 通道的模組、3 單元(一組備用)*2 段式、薄膜總面積 5040 M²。

表 4 電透析離子交換薄膜機組處理前後水質

| | | Raw Water ; #1 well | Product |
|--------|-------------------------------|---------------------|----------------|
| | COD | 2.7 mg/L | 1.3 mg/L |
| | Fe | 0.15 | 0.05> |
| | Mn | --- | --- |
| | Conductivity | 201 μ S/cm | 106 μ S/cm |
| | pH | 7.1 | 7.2 |
| Cation | Na ⁺ | 14.9 mg/L | 10.8 mg/L |
| | Ca ⁺⁺ | 14.2 mg/L | 6.2 mg/L |
| | Mg ⁺⁺ | 6.0 mg/L | 2.8 mg/L |
| Anion | cl ⁻ | 14.9 mg/L | 8.2 mg/L |
| | SO ₄ ⁻ | 2.4 mg/L | 1.9 mg/L |
| | HCO ₃ ⁻ | 44.5 mg/L | 26.2 mg/L |
| | NO ₃ ⁻ | 40.3 mg/L | 19.2 mg/L |
| | SiO ₂ | 66.0 mg/L | 68.0 mg/L |
| | Total | 203.2 mg/L | 143.3 mg/L |
| ① | Nitrate Nitrogen | 9.1 mg/L | 4.3 mg/L |
| ② | Na ⁺ | 14.9 mg/L | 10.8 mg/L |
| ③ | cl ⁻ | 14.9 mg/L | 8.2 mg/L |
| ④ | Hardness | 60 mg/L | 27 mg/L |
| ⑤ | TDS | 203.2 mg/L | 143.3 mg/L |



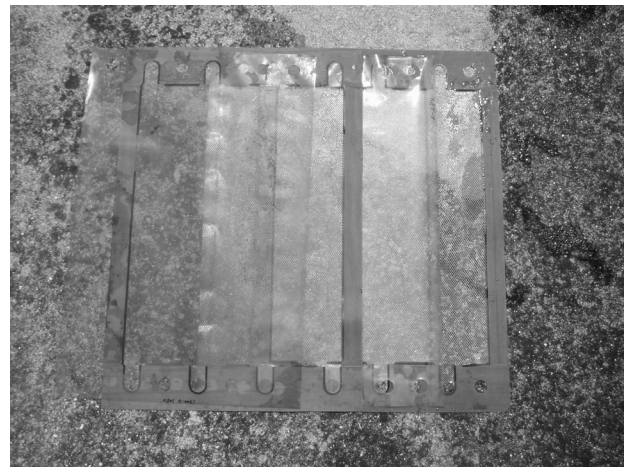
(a)除鐵氣曝設備



(a)電透析離子交換薄膜機組 (1)



(c)電透析離子交換薄膜機組 (2)



(d)電透析離子交換薄膜

圖 8 小竹木淨水場電透析離子交換薄膜現場照片

表 5 大島町北山淨水場、南部淨水場電透析離子交換薄膜設計諸元

| | 北山淨水場 Kitanoyama Plant | 南部淨水場 Nunbu Plant |
|---------|--|-----------------------------------|
| 出水量 | 3000 CMD(1200 mg/L) 1500 CMD(3000 mg/L) | 1500 CMD(3000 mg/L) |
| 原水來源 | 鹽井水 | 鹽井水 |
| 清水水質 | TDS 450 mg/L 以下 氯鹽 150 mg/L 以下 | TDS 450 mg/L 以下 氯鹽 150 mg/L 以下 |
| ED 模組 | Acilyer 140 | Acilyer 140 |
| ED 有效面積 | 1.4 m ² /cell | 1.4 m ² /cell |
| 機組構成 | 318cell/stack*2stacks*2trains | 300cell/stack*3stacks*2trains |
| 總膜面積 | 3560 m ² | 5040 m ² |
| 膜間距 | 0.5 mm | 0.5 mm |
| 膜型號 | A101(AMX-SB)/K101(CMX-SB) | A101(AMX-SB)/K101(CMX-SB) |
| 襯墊 | Rubber/PP/PE Spacer | Rubber/PP/PE Spacer |
| 陽極材質 | Pt/Ti | Pt/Ti |
| 陰極材質 | SUS316 | SUS316 |
| 操作形式 | 2 階段自動操作 | 2 階段自動操作 |

北山淨水場實際出水 2610 CMD (TDS 1200 mg/l)，回收率 87%及南部淨水場實際出水 1390 CMD (TDS 1800 mg/l)，回收率 83%，平均使用電力 1.5 KW/M³，每對離子交換薄膜需電力 0.3V，以 300 對計算，每一單元操作電壓為 90V，實際操作資料如表 6，南山淨水場相關電透析離子交換薄膜現場照片如圖 9。

現場向操作人瞭解，該二場操作迄今約有十年時間，總薄膜汰換率約建廠時 60%，平均每年拆機組清洗離子交換薄膜一次，全場採全自動監控操作，目前計有職員二人負責此二場之操作營運及行政工作。操作營運成本約 70 日圓/噸 (台幣 21 元)，售價 230 日圓/噸 (台幣 69 元，該地區採高水價抑制水量使用)。

參考文獻

1.林朝香，地下鹹水以電透析除鹽，工業節水技術系列之合理用水與造水技術研討會論文集，第217-231頁，1997。



(a)電透析離子交換薄膜機組



(b)電透析離子交換薄膜清洗槽

圖 9 南部淨水場電透析離子交換薄膜現場照片

表 6 電透析離子交換薄膜實際操作資料

| | 北山淨水場 Kitanoyama Plant | 南部淨水場 Nunbu Plant |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 出水量 | 2610 CMD(1200 mg/L) | 1390 CMD(1800mg/L) |
| 清水水質 | TDS 440 mg/L 氯鹽 145 mg/L pH6.8 | TDS 360 mg/L 氯鹽 145 mg/L pH6.5 |
| 電透析耗電 KWH/m ³ | 0.10 | 0.08 |
| 抽水機耗電 KWH/m ³ | 0.65 | 1.57 |
| 其他耗電 KWH/m ³ | 0.02 | 0.11 |
| 總耗電 | 0.77 | 1.76 |
| 化學清洗劑消耗(H ₂ SO ₄)liter/m ³ /月 | 0.02 | 0.03 |
| 回收率 | 87 % | 83 % |

2. 陳東煌，離子交換膜的運用，化工第46卷第4期，1999。
3. 張雷，大欽島電滲析苦鹹水淡化工程長期運行探析，水處理技術，27(4)，236-238，2000。
4. Hamada M., "Brackish Water Desalination by Electrodialysis", IDWR, 1993.
5. Matsumoto H., Matsuyama Y., "Minamikushiyama Kotakegi Jyosuijyou Shousanseichituso Jyokyo. Setubi no Unten ni Tuite", Japan Small Scale Water Works Association, 1997.
6. Heshka, D., Meville, Saskatchewan, "Canada the water supply situation", International desalination & water reuse quarterly, 7/1, 22-26, 1997.
7. Azuma I., Eguchi Y., Hamada M., Takiguchi M., Shiraki H., "Oshima Kansui Datsuen Purantoni Tsuite" the 42nd Annual Symposium on Salt of the Society of Seawater, Japan, 2003.
8. Isamu Azuma, "Application of Electrodialysis System Technology in Japan", International Desalination Association World Congress, 2004

作者簡介

陳文祥先生

現職：台灣自來水股份有限公司 工程師

專長：自來水規劃、效能評估、營運管理及策略管理

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

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」及「實務研究」等論文，於編譯出版委員會委員推薦或由作者自行提出申請，由編譯出版委員會於每年六月底前召開初選會議，選出 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。

自來水事業風險管理之研究—以臺北自來水事業處為例

文/吳天瑛

一、前言

臺北自來水處負責生產及供應自來水予大台北地區 500 萬人生活及工商活動用水需求，已是臺灣地區最大的都會區域公共給水系統。台北市普及率已達 99.51%，用戶數約 159.7 萬戶，輸配水管長度約 3680 公里。

自來水事業營運成本逐年提高、管理的複雜性亦加鉅。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。至於提供滿意的服務方面，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、工業區生產線暫停，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。因此對於系統安全性、財務的健全及效率要達到一定的水準。

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，同時亦有老舊輸配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。

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。臺北自來水處以風險評估方法，已針對可能的風險做事前預防工作，本文從水量供應、事件應變及備援備載面向檢討 30 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。

二、自來水事業風險管理概念

自來水事業屬水資源利用管理的一環。水資源系統中風險是由不確定因素引起的，其來源有自然現象的不確定、社會現象

的不確定、人類認識客觀世界的局限性、需要效益的不確定性及決策過程的不確定。風險管理是指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可能地減少損失的科學管理規劃。「風險 (Risk)」與「危險 (Hazard)」的意思是什麼，目前仍充滿了矛盾的說法，無法取得一致的用語與共識。有些作者交互運用這兩個名詞，有些則以「危險」作為重心，使「風險」侷限在最基本的意義，意味著可能會發生的事件。它在系統化調查、研究也可能因修辭學的分析，文化的偏見，純學術的見解，或研究的問題本質的不同，在解釋上存有極大的差異。

我們發現在特別的事件，如水災，颶風、地震，自然科學家傾向使用「危險」一詞，而社會學家和數學家則傾向使用「風險」。這種用字的差異性使得這門學科很難掌握。一般而言，「危險」一詞是指已經感

覺到可能引起危害或是社會損失的一種現象或環境。人類學上的禁忌也說明了，有關代理人或所處的情況和環境，對各式各樣的信念的堅持，都可能造成潛在損失，或是藉由對於生理健康、感情安全，物質上的好處或社會制度的威脅，會影響我們生命財產。所以「危險」就是感覺到會帶來危害或損失。

風險具有各式各樣的特性，風險的分析與管理是有許多不同的專業科目組合來取代，就像是列島中的許多島嶼。下列不同危險形式的檢視作區分，如圖 1 及圖 2。

(一)自來水事業的風險

自來水事業的風險可以區分為五大類：一為水質風險：例如發生水污染、水濁。二為環境風險：例如乾旱、地震、颱風、洪水。三為社會風險：例如電力中斷、設施故障、水管爆管、供料中斷、運輸業罷工。四為健康：例如 SARS、流行疾病。五為恐怖活動：如水源下毒等。

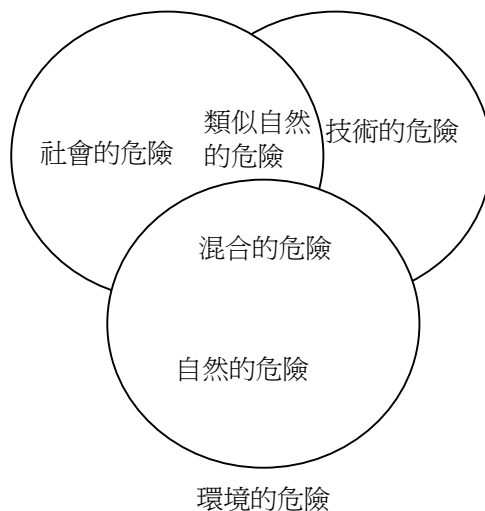


圖 1 危險的光譜 (The hazard spectrum Jones 1993)

近年來台北自來水處災害事件有 1.旱災導致分區供水(發生於 1980 及 2002)，2.水濁(1987 琳恩颱風)，3.輸水管自然破裂(2003 師大路管徑 1.2 米、2004 新生南路管徑 1.2 米)4.輸水管被挖損(2001 圓山管徑 2 米、2006 新店安坑管徑 3.4 米)，5.加壓站無法操作(1995 松山配電盤起火、1996 公館變壓器短路、1998 三重配水池溢流民宅淹水)，6.電力中斷 1999(台電大停電及集集大地震電力中斷、2000 變電站淹水電力中斷、2001 變電站淹水電力中斷)，7.氯氣外洩(1989 三角埔加壓站)等。

(二)風險管理內涵及步驟

自來水事業對各項設施應進行風險管理，從定義系統、風險辨識、風險評估與評量、風險處理與控制及風險決策等，並探討

下列問題：

- 1.為何會變差與原因？危害的類別及威脅，災害何時會產生。
- 2.危害可能性，風險的類別？機會機率可能性？
- 3.破壞的程度如何？影響到何人？影響到何事？價值為何？產生的結果如何？
- 4.可以進行的事情為何？

風險管理的內涵為：

- 1.風險管理是一種持續性、系統化且有一定程序的管理過程。
- 2.風險管理是一全面的危機處理與管理，包括紓緩 (mitigation)，準備 (preparedness)，應變 (response) 以及復原 (recovery) 等四大任務。

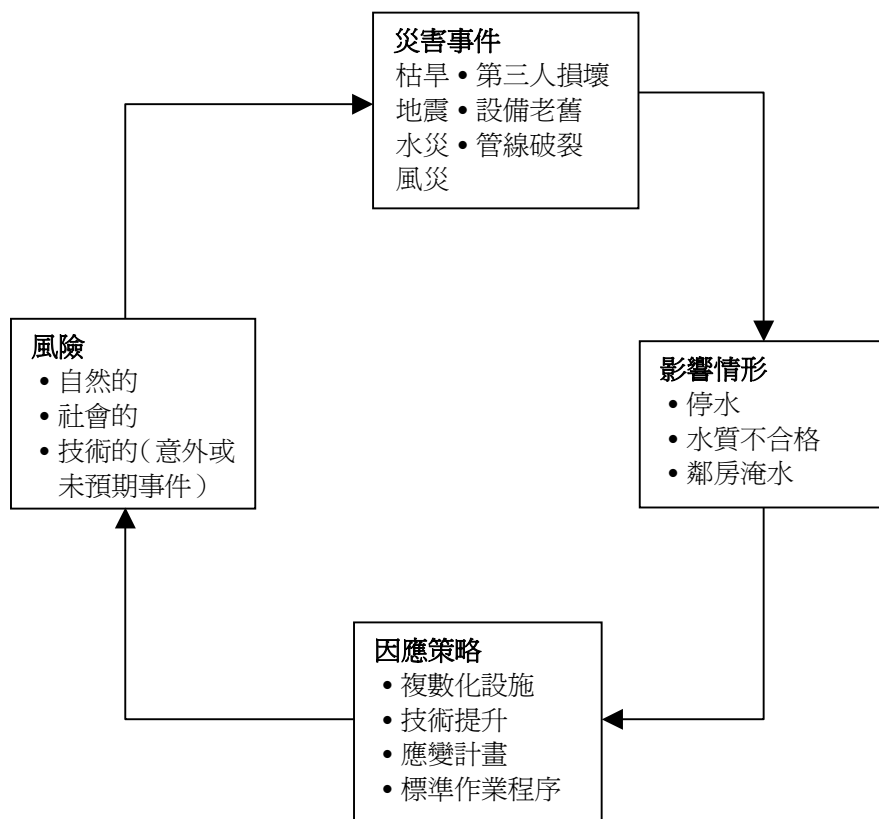


圖 2 風險系統 (本研究整理)

3. 風險管理是隨危機事件發生之時間及外在環境的不同而不同。

風險管理實施過程可區分為風險辨識、脆弱點分析、風險應對、因應對策及檢討改善五個步驟，相對進行的作為，如圖 3。

(三) 風險管理評估流程

自來水事業風險管理要素，例如人力資源、基礎工程及設備、水資源保育、計畫與流程及資訊與公關等。一般情形風險為因危機是果，如何減少危機降低風險應從技術

面、制度面及決策面等三方面來檢討。第一為技術面，例如研究發生的原因及預防的措施其關鍵因子為監控作業、流程控制、基礎工程及設備。第二為制度面，例如在危機發生前要制定危機處理方法，危機中如何應變及危機發生後要檢討以使處理方案更加完善。其關鍵因子人力資源、計畫目標、應變機制、溝通機制。第三為決策面，領導者必須及時果斷的作出決策，其關鍵因子為資訊彙報管理、指揮體系評估流程如圖 4。

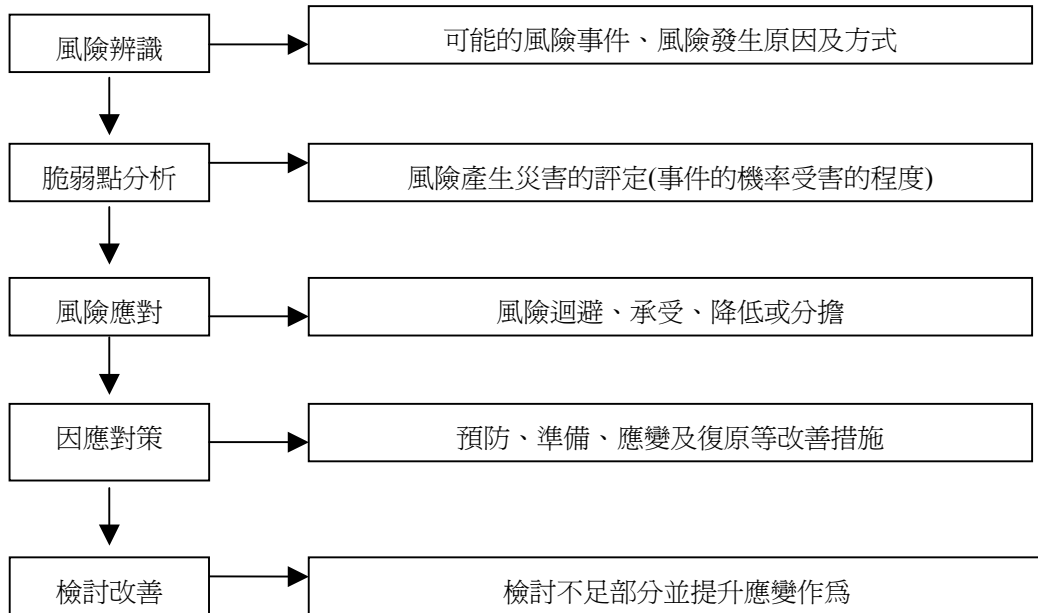


圖 3 風險管理步驟

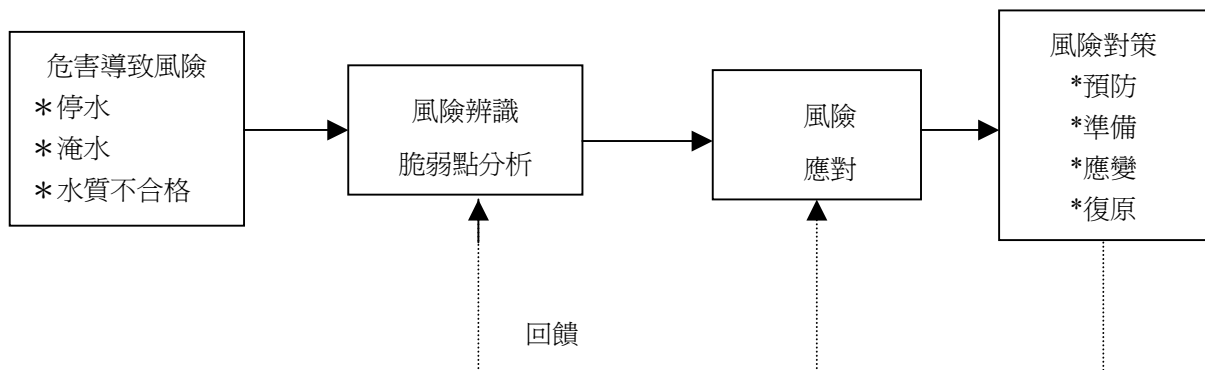


圖 4 風險管理評估流程

三、案例檢討

台北自來水處已針對可能的風險做事前預防工作，從水量供應、事件應變及複聯化(redundant)面向檢討 30 年來事件發生案例。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運轉已大幅降低用戶無預警停水戶數及影響時間。

(一)水量供應

台北自來水處從 1977 年至 2009 年止，可以區分三個時期，第一期為 1977-1987 年：

蓄水量不足，水源、原水導水、淨水場及輸配水設施供應設施擴建時期，此時期直潭壩 1976 年完成，同時青潭原水導水管完成，1984 年直潭淨水場第 1 座 50 萬噸完成並完成直潭第一原水管。第二期為 1988-1998 年：水源量已足夠其他設施仍持續擴建時期，此時期翡翠水庫完工，1988、1991 及 1996 直潭 2、3 及 4 座淨水設備完成，第三期 1999-2009 年：轄區自來水設施已足夠惟考量支援及突發狀況應變持續興建以使系統更穩定。表 1 為各時期供應情形。

(二)事件應變

表 1 水量供應三個時期

| 時期 | 水量供應 | 檢討 |
|--------------------------|---|---|
| 1977-1987 水量不充裕(I) | 水庫：直潭壩(1976年)及青潭堰(1975年) 原水供應：每日107萬噸 (1976年青潭原水管完成)至377萬噸 (1984年直潭場第1原水管完成) 出水量：公館及長興場每日90萬噸 (1976年)至110萬噸 (1981年長興場擴建)至160萬噸 (1984年直潭場第1座50萬) 輸水幹管：0至1條(1984年第1清水輸水幹管完成) 加壓站：大同、中和、安康 | 技術面：脆弱點未及時檢討 制度面：緊急應變計畫未檢討訂定 決策面：問題認知能力未能預先籌劃 |
| 1988-1998 自給自足(II) | 水庫：翡翠壩(1987年)直潭壩及青潭堰 原水供應：每日377萬噸 出水量：每日210萬噸 (1988年直潭2座)至260萬噸 (1991年直潭3座)至310萬噸 (1996年直潭4座) 清水輸水幹管：1至2條(2003年第2輸水幹管完成) 加壓站：大同、中和、安康、松山、南港、三重 | 技術面：監控系統已建置 制度面：預警制度已逐步建立 決策面：通報系統已建立 |
| 1999-2009 充裕並可支援(III) | 水庫：翡翠壩、直潭壩及青潭堰 原水供應：每日377萬噸(2009年直潭場第2原水管完成) 出水量：每日310萬噸至380萬噸 (2004年直潭5座) 清水輸水幹管：2條(一清及二清) 加壓站：大同、中和、安康、松山、南港、三重、民生 | 技術面：已針對風險進行分析 制度面：緊急應變模式已標準化 決策面：通報系統已健全 |

註：1977年供水人口264.2萬人，日均供水量116萬噸。1988年供水人口372.0萬人，日均供水量167.8萬噸。1999年供水人口380.2萬人，日均供水量266.2萬噸。2009年供水人口384.2萬人，日均供水量252萬噸。(本研究整理)

臺北自來水處從 1977 年成為台北市政府一級機關，遭遇天然災害如地震、颱風、洪水、乾旱和無電力的情形，同時亦有老舊輸水管爆裂及第三人施工挖損造成部分用戶無水情形。發生後即時調配供水，影響供水區域用戶數均降至最低。表 2 以 2 次旱災及爆管事件為例，1980 年之乾旱係新店溪上游集水區降雨量稀少且僅有 1 條原水管，之後 1993 年 9 月及 1986 年 1 月全省旱象嚴重，臺北自來水處有翡翠水庫充足之蓄水量，除宣導節約用水外並支援鄰近地區用水。幸賴翡翠水庫已完工而避免分區供水。2002 年旱災係新店溪流域自 1952 年以來預期會出現的乾旱。

四、爆管事件

爆管發生原因為水管遭外力破壞或水管

老舊自然爆管，輸配水管爆管除造成用戶無水可用之外亦對社會造成衝擊，從 1977 年起每年均有爆管事件發生，近 2 年來的每月約 3-4 件最少情形每月約 2 件，遭第三人挖損者每月均會發生。顯示台北地區公共工程建設仍持續進行中，近年來爆管情形如表 3。

(三)複聯化

複聯化亦有稱複數化，在事件發生前設備應變是可替代的，將系統充分評估檢討，有可替代的設備及管線，以應付緊急事件，例如清水幹線有 2 條，平時可針對老舊管線進行維修，對於需要電力加壓之設備備有緊急發電機供調度之用。自來水事業的各項設備應能應付旱災或爆管事件等以度過危機，針對各項設備檢討如表 4。

表 2 旱災發生案例檢討

| 年份 | 1980 | 2002 |
|------|--|--|
| 供水情形 | 供水人口(萬)：292 原水可供應量(萬噸)：107 淨水處理量(萬噸)：90 日均供水量(萬噸)：110.4 | 供水人口(萬人)：383.7 原水可供應量(萬噸)：377 淨水處理量(萬噸)：310 日均供水量(萬噸)：260.8 |
| 原因 | 新店溪上游集水區降雨量稀少 | 新店溪上游集水區降雨量稀少 |
| 應變 | 除請用戶節約用水外、抽取井水，請台水支援。限水措施由3區域3日停水1日到2區域隔日停水1日到供水日區域分1/2各供水10小時，計停水32日。 | 除請用戶節約用水外，限水措施由7日停水1日到5日停水1日到3日停水1日計，停水53日。 |
| 借鏡 | 大型水庫興建有其必要 | 預報及氣候異常時應即時檢討蓄水量 |

表 3 爆管案件情形

| 年份 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 老舊管自然爆管 | 24 | 12 | 8 | 9 | 7 | 22 | 12 | 21 | 1 |
| 第三人挖損 | 26 | 24 | 24 | 16 | 12 | 23 | 25 | 20 | 4 |
| 註：2010年統計至3月 | | | | | | | | | |

表 4 設備複聯化情形

| 設備 | 複聯化情形 |
|--------|---|
| 原水導水系統 | 直潭場上游：雙系統，每日導水量均為270萬噸，不僅老舊管路可以維修亦可并聯操作。 長興場公館場上游：淨水處理由直潭場涵蓋之。 |
| 淨水場 | 直潭、長興及公館三場處理量2009年每日約360萬噸提升至2013年每日約475萬噸至2030年每日約535萬噸，保持25%餘裕量以供應轄區及台水板新地區，早期自給自足到1999年起有餘裕水量供應。 |
| 輸水幹管 | 清水輸水幹線從早期無1米以上幹管到1984年完成清1幹線此時輸水量可達每日231.6萬噸至2003年清2幹線完成每日可輸送248萬噸。其中設六大支線連接二幹線可相互支援。 |
| 機電設施 | 水壩：直潭壩及取水口及青潭堰取水口設備用發電機 淨水場：直潭、公館及長興場設備用發電機，長興場並採雙饋線 加壓站：大同、中和、北投及公館等設置備用發電機，未設置者民生、松山、南港、三重等均依各站預計改善期程編制預算研議設置。 監控設備：系統以監視水位、流量、水壓及抽水機運轉狀態其每日運轉情形均有備份，未來研擬無線系統傳輸。 |

五、未來的對策

爲了永續發展北水處從失敗的經驗中成長，從水量供應不足到有多餘水量支援鄰近台水公司，對於水管自然爆管或第三人挖損事件中學習到緊急應變至災後復原，設備也由單一設備到有冗餘即複聯化設備使供水更穩定，其目的爲使用戶更滿意，就預防災害而言將災害抑制至最小，動員機制的建立。應變方面降低影響範圍及時間，調度支援的啓動，復原方面改善未完善部分及時修復損壞部分。

面對未來，臺北自來水處仍有天然災害對自來水設備可能產生的危害外，面對地球暖化及氣候降雨異常變動之挑戰，水源及各項設備因應供水情形之不同仍須每年不斷檢討，對供水流程進行脆弱點分析，從技術面、制度面及決策面檢討的對策，針對不同的弱點籌措財源逐年改善老化管線及不良設備，以期穩定供水，其對策如表 5。

六、結論

全球水資源短缺，臺灣地區可利用的水資源愈來愈少，自來水事業面臨之風險亦增多，有風險就有危機。氣候變遷已對水的供應與需求產生影響，因應全球氣候變遷及地球暖化影響，水太多(洪水)水太少(乾旱)情形仍經常發生，需及早因應。

自來水對每一居民或使用者而言都是非常重要的且是必需的，重要的觀點爲尊重生命及減少對社會的衝擊。自來水事業應針對脆弱點及時檢討預防風險以避免危機事件產生，在從業人員不斷努力下，已使系統具備備援備載能力，遇有狀況應立即啓動應變機制，使災害影響至最低。提供穩定安全及充裕的自來水已愈來愈複雜及投資成本逐年增加趨勢，自來水事業在風險管理上應採有效的可理解的及用戶爲焦點的規劃及施工。

表 5 未來對策

| 項目 | 對 策 |
|-----|---|
| 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門危機處理更暢通 設備要耐災考量以減輕受災的程度 |
| 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 |

參考文獻

1. 臺北自來水事業處，2008臺北自來水事業處統計年報，台北：臺北自來水事業處。
2. 朱愛群，2002危機管理－解讀災難謎咒，台北：五南圖書出版公司。
3. 江岷欽，1998「危機管理與集體盲思」公訓報導，第七十九期：頁3-4。
4. 宋明哲，1999現代風險管理，台北：五南圖書出版公司。
5. 吳佩玲譯Norman R. Augustine等著，2001危機管理台北：天下遠見出版公司。
6. 吳宜蓁譯Ian I. Mitroff 等著，1996危機管理診斷手冊台北：五南出版公司，1998議題管理－企業公關的新興課題台北：正中書局2003。
7. 吳陽龍，2003「自來水災害事故防救措施之探討」台北：中華民國自來水協會。
8. Barton, Laurence 1993 Crisis in Organizations---Managing and Communicating in the Heat of Chaos
9. Farazmand, Ali 2001 Handbook of Crisis and Emergency Management Florida: Marcel Dekker Inc.
10. Fink, Steven 1986 Crisis Management : Planning for the Inevitable N Y : American Management Association.
11. Hood, Christopher & Jones, David K.C. 1996 Accident and Design –Contemporary Debates in Risk Management London :University College London Press.
12. Lerbinger, Otto 1997 The Crisis Manager: Facing Risk and Responsibility N J : Lawrence Erlbaum Associates.
13. Nudell, Mayer & Antokol, Norman The Handbook for Effective Emergency and Crisis Management Lexington ,MA: Lexington Books.

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

有效利用配水池餘壓節能評估

文/李叔龍

一、前言

近年來全世界皆爲了油價節節高漲而恐慌，由於高爾的《不願面對的真相》紀錄片使世人憂心全球氣候暖化之環保危機，思索文明以來所用的能源，皆以豐富、價廉之石油爲原料，開發火力發電爲主，再輔以核能發電及大型水力發電，但現在石油開發產量已逐漸枯少，變爲全球性之環保及能源危機，故全世界逐漸以取代石油能源爲方向，多元化開發其他能源爲目標，並採取各種節約能源爲國家政策，甚至瑞典已喊出「2020 年建立第一個無石油的國家」宣言。

台北自來水事業處（以下簡稱本處）因應已到來的全球性能源及環保危機，除已經採取各種節約能源的做法外，並朝向產生及開發小型能源爲努力方向，故以配水池評估水力發電，係利用配水池餘壓節能之可行性思考，目前由本處供水科管轄的加壓站共有 66 座，採用管中加壓供水、水池加壓供水及重力流加上水池加壓供水，概分成三種供水模式，其中重力流供水不需消耗電能最爲節能，管中加壓供水可利用到前端剩餘管壓，再行加壓供水，故能充分利用到管中餘壓節能，而水池加壓供水爲將管中餘壓全注入水池，等於水壓動能全部歸零，故若能將配水池餘壓導向水力發電必能有節能之效益。

二、配水池餘壓節能簡介

對於配水池餘壓節能之各種可行性評估，以產生及開發小型能源爲考量方向，本科在供水系統上以利用配水池餘壓，評估設

置小型水力發電可行性，可概分以下三種可能型式：

1. 高程水位重力利用：將輸水幹管之自來水位能，利用重力落差轉換成動能，然後再將水力動能推動水輪機，並帶動發電機轉換成電能，也就是將水流經由噴嘴噴射在水輪周邊的輪葉，以推動水力發電機將機械能轉換成電能。
2. 一、二清輸水幹管重力餘壓利用：輸水幹管輸送自來水至加壓站蓄水池，輸水至配水池前餘壓動能，於管中設置小型發電機，將部分自來水動能轉換成電能；即利用輸水管中之壓力水頭及流速水頭動能來發電，將水流的壓力水頭轉換爲速度水頭以推動水輪，也就是將水流經由噴嘴噴射在水輪周邊的輪葉，以推動水力發電機將機械能轉換成電能。
3. 加壓站間之抽水機餘壓利用：大型加壓站之抽水機運轉，將自來水輸送至管網末端之小型加壓站蓄水池，利用輸水至配水池前餘壓，設置管中之水力發電機，將部分自來水動能轉換成電能。

(一)文獻研討

參閱配水池餘壓利用之文獻資料，在日本已有相關水力發電應用，日本東京都水道局在東村山淨水場，係採用上述第 1 種水力發電型式，爲設置一座高地配水池，利用引水隧道將位能（有效落差 13.5M），利用重力落差轉換成動能，然後再將水力動能推動水輪機，並帶動發電機轉換成電能，產生 1,400KW 電量，如圖 1 所示。



在金町淨水場至南千住給水所，係採用上述第 3 種水力發電型式，大型加壓站之抽水機運轉，將自來水輸送至管網末端之小型加壓站蓄水池，利用輸水至配水池前餘壓，設置管中之小型發電機，如圖 2 所示，發電容量為 95KW。

大阪水道局之長居配水場利用加壓站配水池設計，係採用上述第 1 及第 2 種水力發電型式，輸水幹管之自來水位能及重力餘壓兩者皆有應用，如下圖所示。長居配水場於新設淨水場及加壓站配水池，規劃建立整體設置水力發電廠，為利用位能(高程)發電，有效落差約為 26 公尺，可以完全利用到 26 公尺落差位能，因為相對位差從 26 公尺降到 0 公尺，並可加上完全利用剩餘水壓動能，故此種發電型態之效率較高，約 112,752CMD 流量之發電容量為有 253KW，如圖 3 所示。

(二)公式研討

水力發電量公式探討，若總落差的高度為 H (約等於水壓 $\text{kg/cm}^2 \times 10$) 公尺，流量為每秒 Q 立方公尺 CMS 的水 ($Q = \text{CMD} / 86,400$)，功率如用瓩(kW) 為單位表示時，輸出的功率就是：

$$P = 9.8 \eta Q H (\text{kW})$$

公式中的 η 為發電總效率 ($\eta = \text{水力效率} \times \text{機械效率} \times \text{電氣效率}$ ，水力效率包含水壓差率，水壓差率為水流經水輪機葉輪之水壓差 ÷ 原本水壓，一般低於 0.5)。

舉例說明：

若大同加壓站進水管水壓 2kg/cm^2 ，其進水管進水流量為 200,000 CMD，發電總效率 η 為 0.3，則其理論上所能產生之輸出功率即為：

$$P = 9.8 \times 0.3 \times 2 \times 10 \times 200,000 \div 86,400 = 136 (\text{kW})$$

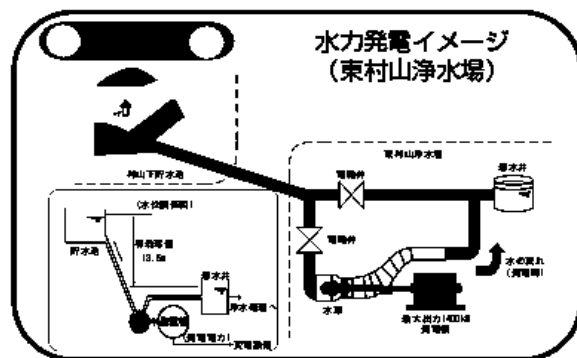
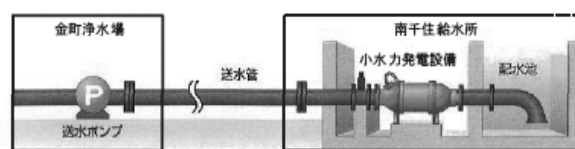


圖 1 東村山淨水場



小水力発電イメージ (南千住給水所)

圖 2 金町淨水場至南千住給水所示意

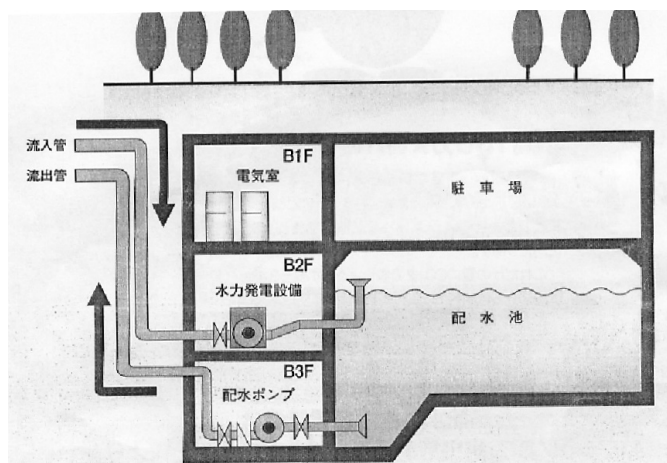


圖 3 長居配水場

三、加壓站配水池現況分析

目前設有水池之加壓站共有 42 站，其中高地供水之加壓站，為設計抽水機適當揚程輸水至上水池，故無剩餘水壓可供水力發電，並將全部列表探討可採行之水力發電型式如下：

表 1 加壓站配水池水力發電可能型式統計表

| 項次 | 加壓站名稱 | 管線口徑(mm) | 出水量 CMD | 出水壓力 Kg/cm ² | 配水池容量(m ³) | 水力發電可能型式 |
|----|----------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|----------|
| 1 | 大同 | 舊市區線 1000 | 市區線 14- 19 萬 | 1.0-1.6 | 舊大同 28070 | 1 |
| | | 新市區線 700 北投線 2000 大直線 800 | 北投線 20-35 萬 大直線 5-9 萬 | 2.8-3.5 2.0-4.0 | 新大同 30000 | 2 |
| 2 | 芝山 | 100 | 200-400 | 3.5-5 | 本 40 上 50 | 3 |
| 3 | 稻香里 | 200 | 800 | 8.8 | 315 | 3 |
| 4 | 新民 | 300 | 6,000 | 4.2 | 400 | 高地供水 |
| 5 | 松山 | 松山線 1200 內湖線 1200 | 松山線 11-16 萬 內湖線 10-12 萬 | 1.2-2.0 3.0-4.0 | 20,000 | 2 |
| 6 | 南港 | 500 | 2.0-3.0 萬 | 2.8-3.5 | 5,000 | 3 |
| 7 | 民生社區 | 250 | 2200-4200 | 2.8 | 240 | 3 |
| 8 | 內溝里 | 100 | 230-360 | 1.5-5.2 | 本 35 上 75 | 高地供水 |
| 9 | 東湖 | 250 | 2300-3600 | 6.1 | 500 | 3 |
| 10 | 內湖四期 | 300 | 1800-2000 | 2.4 | 1,000 | 3 |
| 11 | 碧湖 | 150 | 600-800 | 2.6-2.8 | 本 100 上 50 | 高地供水 |
| 12 | 麗山 | 100 | 600-800 | 3.0-3.5 | 本 100 上 50 | 高地供水 |
| 13 | 西康里 | 75 | 70-100 | 3.5-4.0 | 本 30 上 30 | 高地供水 |
| 14 | 舊莊里一站 | 200 | 60-100 | 2.8-3.2 | 137.4 | 高地供水 |
| 15 | 舊莊里二站 | 100 | 60-100 | 9.0-11.0 | 142.1 | 高地供水 |
| 16 | 舊莊里三站 | 100 | 60-100 | 2.8-3.2 | 本 36.3 | 高地供水 |
| 17 | 碧山里 | 300 | 1500-2000 | 5.5 | 500 | 高地供水 |
| 18 | 潭之鄉 | 200 | 600-700 | 5.0-8.6 | 本 60 | 高地供水 |
| 19 | 臺北小城總蓄水池 | 400 | 3000-3500 | 2.5-3.0 | 1,750 | 高地供水 |
| 20 | 臺北小城服務中心 | 350 | 2000-2500 | 5.0-6.0 | 300 | 高地供水 |
| 21 | 臺北小城南山頭 | 150(75) | 1000-1500 | 4.5-5.5 | 720 | 高地供水 |
| 22 | 臺北小城高山頭 | 100 | 30-50 | 水位 | 本 425 上 30 | 高地供水 |
| 23 | 玫瑰中國城一站 | 75 | 4500-5000 | 4.5-5.0 | 2,750 | 高地供水 |
| 24 | 玫瑰中國城二站 | 350 | 2500-3000 | 2.3-3 | 300 | 高地供水 |
| 25 | 玫瑰中國城三站 | 300 | 800-1000 | 4.0-4.5 | 720 | 高地供水 |
| 26 | 華江 | 150 | 600-800 | 2.5 | 本 1,165 上 600 | 3 |
| 27 | 三重 | 1500 | 20-24 萬 | 1.0-2.0 | 37,000 | 1+2 |
| 28 | 萬芳一號 | 500 | 3000-7000 | 5.3-6.3 | 700 | 高地供水 |
| 29 | 萬芳二號 | 400 | 3000-7000 | 4.0-4.5 | 本 5000 上 3000 | 高地供水 |
| 30 | 挹翠(1)站 | 200 | 400-700 | 7.0-7.5 | 147 | 高地供水 |
| 31 | 挹翠(2)站 | 150 | 400-700 | 7.5-8.0 | 本 136 上 200 | 高地供水 |
| 32 | 黎和里 | 400 | 2000-2500 | 3.5 | 上水池 300 | 高地供水 |
| 33 | 興隆 | 100 | 500-600 | 1.2-4.3 | 本 96 上 140 | 高地供水 |
| 34 | 木柵二期 | 250 | 600-1200(450-800) | 1.0 (5.5) | 6000 | 高地供水 |
| 35 | 萬興里 | 100 | 20-70 | 6.0-7.5 | 本 122 上 108 | 高地供水 |
| 36 | 指南里一站 | 150 | 450-850 | 7.5-8.2 | 200 | 高地供水 |
| 37 | 指南里二站 | 150 | 450-850 | 5.0-5.6 | 100 | 高地供水 |
| 38 | 指南里三站 | 150 | 450-850 | 8.5-9.5 | 200 | 高地供水 |
| 39 | 指南里四站 | 150 | 450-850 | 4.0-5.5 | 100 | 高地供水 |
| 40 | 指南里五站 | 150 | 450-850 | 3.5 | 本 100 上 200 | 高地供水 |
| 41 | 福德 | 75 | 10-20 | 4.6 | 本 100 上 100 | 高地供水 |
| 42 | 民生 | 2000*2 | 2.5 萬 | 1.0-1.7 | 100,000 | 2 |

註：1. 高程水位重力利用。2. 一、二清輸水幹管重力餘壓利用。3. 加壓站間之抽水機餘壓利用。

四、配水池餘壓節能評估

綜上所述，本科配水池餘壓設置水力發電之三種型式，餘壓利用之發電電量受制於供水管網需求而不穩定，無法 24 小時穩定發電，需併聯至加壓站之臺電供電系統使用，以共同維持電力系統之品質、供電可靠性、穩定性及公共安全等相關事宜，須依「台灣電力公司再生能源發電系統併聯技術要點」規範辦理相關供電併聯系統，故除需設置發電及輸電設備及管線外，另需再裝置保護電驛及開關等保護協調設計；並逐步評估及探討可行性分析如下：

1. 高程水位重力利用：

如已停用的三角埔發電廠，高程約有 209 公尺，當時水量約有 25,000CMD，發電量最大 500kW，因陽明山上水源日益減少，不符經濟成本，故於 78 年停止運轉發電，於 93 年 3 月 30 日『草山水道系統』公告為台北市第 111 號古蹟（包含三角埔發電廠），該電廠恢復水力發電可能性評估如下。

三角埔水力發電廠為從陽明山取得水源，水量約為 12,000CMD，經過 ϕ 600mm 壓力鋼管水路輸水至三角埔發電廠，總高度落差（總水頭）約為 209M，初步規劃新發電廠在天母高地配水池上面，設置機房、水輪機及發電機，又三角埔發電廠與天母高地配水池高度差約 20M，故新設水力發電廠總水頭約為 189M，利用水力位能差帶動水輪機連結發電機發電。

(一) 三角埔水力發電量公式探討

三角埔水力發電量公式，若總落差的高度（總水頭）為 H 公尺，流量為每秒 Q 立

方公尺 CMS 的水 ($Q = \text{CMD} / 86,400$)，功率如用瓩(kW) 為單位表示時，輸出的功率就是：

$$P = 9.8 \eta Q H \text{ (kW)}$$

公式中的 η 為發電總效率 ($\eta = \text{水輪機效率} \times \text{發電機效率}$ ，約在 70—90% 之間)。

舉例說明：

若三角埔發電廠總落差的高度為 209M，天母高地配水池高差 20M，其進水管進水流量為 12,000CMD，發電總效率 η 為 0.75，則其理論上所能產生之輸出功率即為：

$$\begin{aligned} P &= 9.8 \times 0.75 \times (209 - 20) \times 12,000 \div 86,400 \\ &= 192.94 \text{ (kW)} \end{aligned}$$

新設發電機廠房係設至於既有配水池上方，依配水池基礎及結構考量，將設於配水池之靠山側及步道側，設置水輪機、發電機、配電盤、保護開關及行走式吊車等機電設備，需設計新設發電機廠房平面尺寸，全長約為 18.65M，全寬約為 9.65M，內部淨高約為 6M，詳如圖 4 及圖 5。

三角埔新設發電廠新建工程經費概估約 5,600 萬，實際發電量應低於 200KW，且受制於陽明山水源，供應水量穩定性不佳，實際發電量並不穩定，且相關機電設備需維修、保養及汰換，整廠運轉需設有操作人員，對整體經濟效益，有待更詳細評估。

(二) 輸水幹管管線重力餘壓利用：

如大同、松山、民生及三重等 4 處加壓站；直潭淨水場位處海拔高程約 30.10 公尺，經淨水場處理後之清水，從一、二清輸水幹管直接重力輸水至安康、中和、公館、大同、松山、民生及三重等加壓站，其中設有地下

現有大同、松山、民生及三重加壓站之既設配水池，利用進水管至配水池間之動能（水壓、流量）及位能（高程），考量此 4 處加壓站進水管與水池進流點高程一樣，水池高度不高可利用高程落差發電之可能性極低，只能利用水管中之壓力水頭及流速水頭動能來發電，將水流的壓力水頭轉換為速度水頭以推動水輪，也就是將水流經由噴嘴噴射在水輪周邊的輪葉，以推動水力發電機將機械能轉換成電能，再行利用之可行性評估。

1.大同加壓站配水池餘壓利用評估(位於新生公園內)：

(1)舊大同(第一期)配水池基本資料：

- ①配水池容量及淨深：28,070 M³（配水池+抽水池）、3.75M。
- ②配水池進水壓：約 1.8 kg/cm²。
- ③配水池水位運作範圍：2.1—3.3M。
- ④進水管：1 組 ϕ 1,000mm 管分成 4 組 ϕ 700mm 管。
- ⑤新、舊大同配水池 1 組 ϕ 900mm 連通管。
- ⑥供水區域：敦化北路以西、忠孝東西路以北及社子等地區。
- ⑦出水量約 22 至 26 萬 CMD。

目前舊大同配水池係從新大同配水池連通進水，其進水管 ϕ 1,000mm 作為旁通以重力方式供水至舊市區線管網，此種重力供水方式並未耗能，故舊大同配水池目前重力供水模式，即已充份利用餘壓節能。

(2)新大同(第二期)配水池基本資料：(圖 6)

- ①配水池容量及淨深：30,000 M³（配水池+抽水池）、3.75M。
- ②配水池進水壓：約 1.8kg/cm²。

③配水池水位運作範圍：2.4—3.4M。

④進水管：1 組 ϕ 2,000mm 管分成 4 組 ϕ 1,200mm 管。

⑤供水區域：主要為北投、天母及士林地區等。

⑥出水量約 32 至 36 萬 CMD。

供水區域主要為士林、天母及北投地區，如採直接重力旁通供水，將造成天母、北投管中加壓站面臨進水壓不足而跳機，影響管網正常供水，除非大同加壓站因停電因素，才開啓旁通閥重力供水；新大同配水池若裝置水力發電機，在進水管線位置評估設置有以下兩處地點：

1.總進水 ϕ 2,000mm 幹管設置水力發電機，該點因管徑過大，現有 ϕ 2,000mm 幹管設置水力發電機可行性低，須另行設置 2 組 ϕ 1,200mm 旁通管做為設置水力發電機，原有 ϕ 2,000mm 以作為發電機故障及維修時之緊急供水用。粗估設置水力發電機廠房 200kW 1 台約須長 9 公尺、寬 6 公尺空間，因設置地點旁有一、二清幹管互相聯絡，並無上述之空間再設置 2 組 ϕ 1,200mm 旁通管。

2.另 4 組 ϕ 1,200mm 進水管中(如圖 7)，取 2 組 1,200mm 進水管設置水力發電機，另餘 2 組 1,200mm 進水管作為旁通管，進水管窰井寬度僅有 2.45 公尺，內設置進水電動蝶閥及雙拉桿伸縮接頭，並無空間再放置水力發電機及相關管件等，如需加寬窰井，面臨前有 ϕ 2,000mm 幹管及後有配水池設施，窰井已無空間再加寬，利用餘壓重力供水可行性低及進水管因無空間再設置水力發電機，故不適宜裝設。

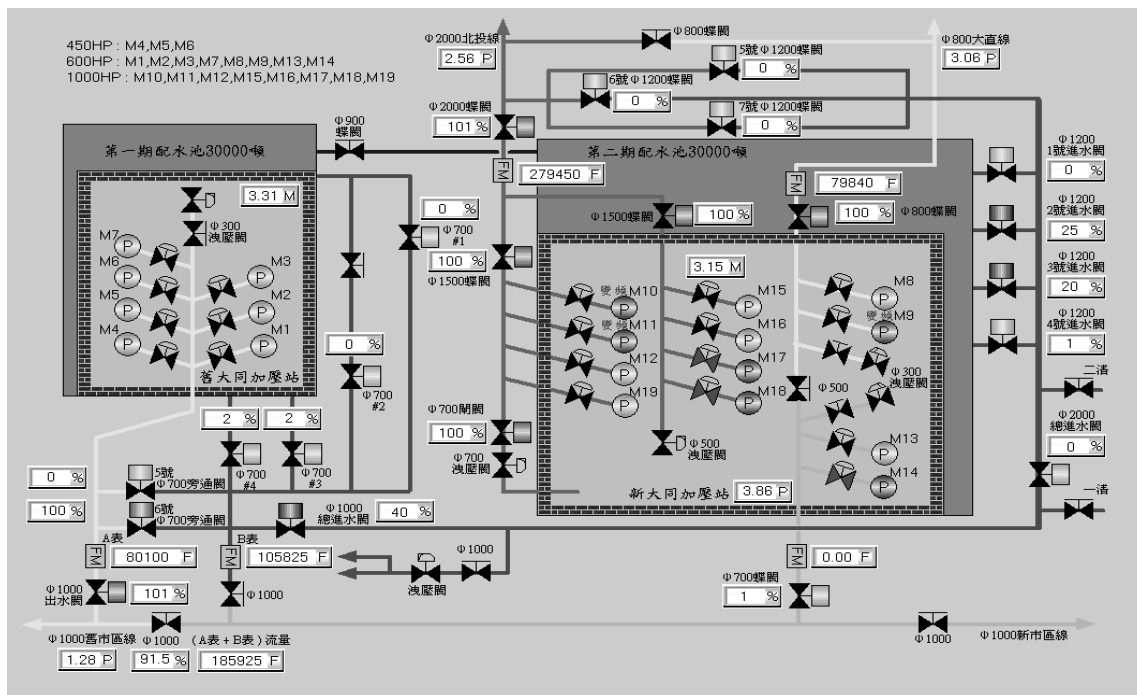


圖 6 大同加壓站管線流程示意

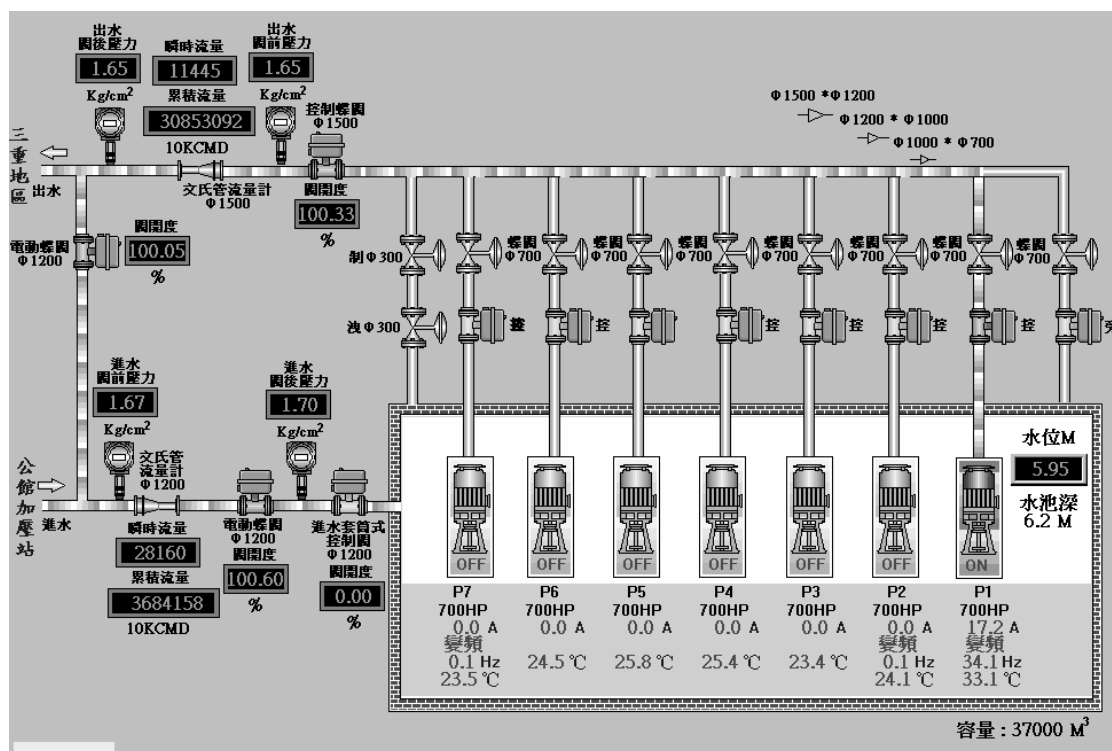


圖 8 三重加壓站管線流程示意



圖 7 4 組 $\phi 1,200\text{mm}$ 進水管窰井

2. 三重加壓站餘壓利用評估：(圖 8)

基本資料：

- (1) 配水池容量及淨深：37,000 M³、6.3M。
- (2) 配水池進水壓：約 1.2 kg/cm²。
- (3) 配水池水位運作範圍：3.0—6.0 M。

- (4) 進水管：1 組 $\phi 1,200\text{mm}$ 。
- (5) 旁通管：1 組 $\phi 1,200\text{mm}$ 。
- (6) 供水區域：三重及支援省水公司蘆洲、五股及新莊等地區。
- (7) 出水量約 5 至 6 萬 CMD(抽水機加壓供水)。

一清幹管經永福橋送至公館加壓站前池，再經公館加壓站管中加壓或旁通直接送至三重加壓站，目前該加壓站供水模式類似舊大同加壓站，以重力方式直接供水為主，離峰時段進水補充水池水位，由抽水機配合變頻器定壓力操作運轉以補充重力供水不足之水壓，故該加壓站目前供水模式，即已充份利用餘壓節能。

3. 民生加壓站餘壓利用評估：(圖 9)

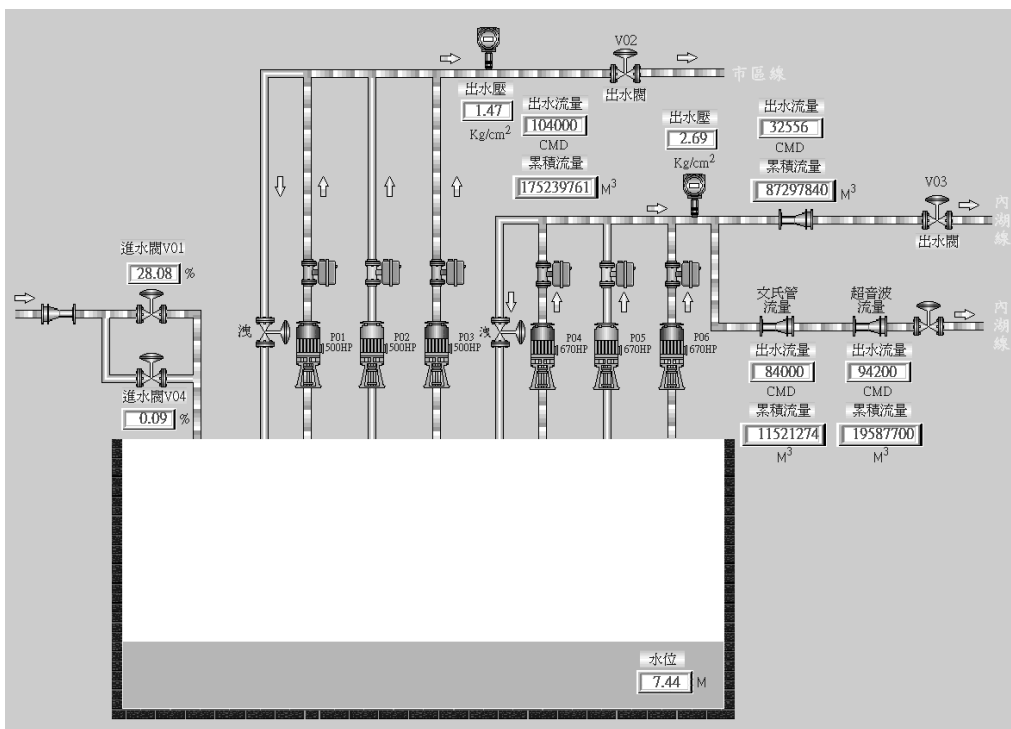


圖 9 民生加壓站管線流程示意

基本資料：

- (1)配水池容量及淨深：100,000 M³，分成 A，B 二池、10M。
- (2)配水池進水壓：約 1.6 kg/cm²。
- (3)配水池水位運作範圍：5.0—6.8 M。
- (4)進水管：2 組 ϕ 2,000mm 管，每池各 1 組 ϕ 2,000mm 管。
- (5)進水管控制蝶閥位於加壓站地下 1 樓。
- (6)供水區域：松山區。

3.松山加壓站餘壓利用評估

基本資料：

- (1)配水池容量及淨深：20,000 M³、12M。
- (2)配水池進水壓：約 1.4 kg/cm²。
- (3)配水池水位運作範圍：6.5—8.0M。
- (4)進水管：1 組 ϕ 1,650mm 管分成 2 組 ϕ 1,200mm 管。
- (5)進水管位於加壓站圍牆外之撫遠公園內(借用公園處土地)。
- (6)供水區域
 - ①市區線：忠孝東路以北、基隆路以西、敦化北路以東地區等。
 - ②內湖線：a.內湖區民權東路、成功路、內湖路、康寧路及東湖一帶地區。b.內湖路一二段地區。c.支援汐止、東湖路及省水康寧加壓站。
- (7)出水量
 - ①市區線：11-16 萬 CMD。
 - ②內湖線：10-12 萬 CMD。

該加壓站進水管為 ϕ 1,650mm，市區線以直接重力供水約 1.4 kg/cm² 水壓。目前因內湖線供水區域須水池加壓供水，同一進水管同時進入水池及採重力供水模式，須於進水管設置持壓閥及旁通管設置流量計，本科正

進行研討設置。

該加壓站設有 2 組 ϕ 1200mm 進水管，如取 1 組進水管設置水力發電機，經現場測量 2 組進水管僅相距約 1.3 公尺，進水控制閥窰井後尚有約 3.7 公尺直管長度。進水管間距 1.3 公尺、長 3.7 公尺公園處土地內設置水力發電機，及水輪機運轉產生之噪音，又緊臨住宅區側，依設置水力發電機 200kW 1 台須有約長 9 公尺、寬 6 公尺空間設置機房，故設置可行性低。

(三)加壓站間之抽水機餘壓利用：

如東湖、內湖四期、民生社區及南港加壓站，為 24 小時加壓運轉設有地下配水池之中小型加壓站，每日出水量約 2,500 至 30,000CMD，如利用餘壓進行水力發電量有限，對加壓站動力用電助益有限，不具有實用性。

五、結論

三角埔新設發電廠且受制於陽明山水源，實際發電量並不穩定，且因高落差高轉速故噪音較大，一般約達 100 分貝，又設置位置離民宅住家很近（不到 50 公尺），需設有良好且有效的隔音設備，以免日後產生民眾抗議及環保等相關問題。

日本淨水場及加壓站配水池利用水的位能設置水力發電機，從本處參訪小組人員至日本攜回之資料可以看出其為整體規劃設置，也就是日本在規劃新設淨水場及加壓站配水池已有考慮；本處以往規劃從直潭淨水場重力供水至一、二清水幹管末端大型加壓站，未充分利用送至加壓站尚有約有 1.8kg/cm² 水壓之餘壓，在管中加壓供水，故未來新建淨水場及加壓站，可一併納入設計考量，如將規劃大同第三座加壓站配水池及

三重第二座加壓站配水池，可以抽水機管中加壓及水池加壓兩種混合模式規劃評估可行性(即平時以管中加壓運轉，尖峰時段加上

水池加壓供水，離峰時段水池再進水)，雖然增加初次投資成本，但往後每年可節省龐大電費支出。

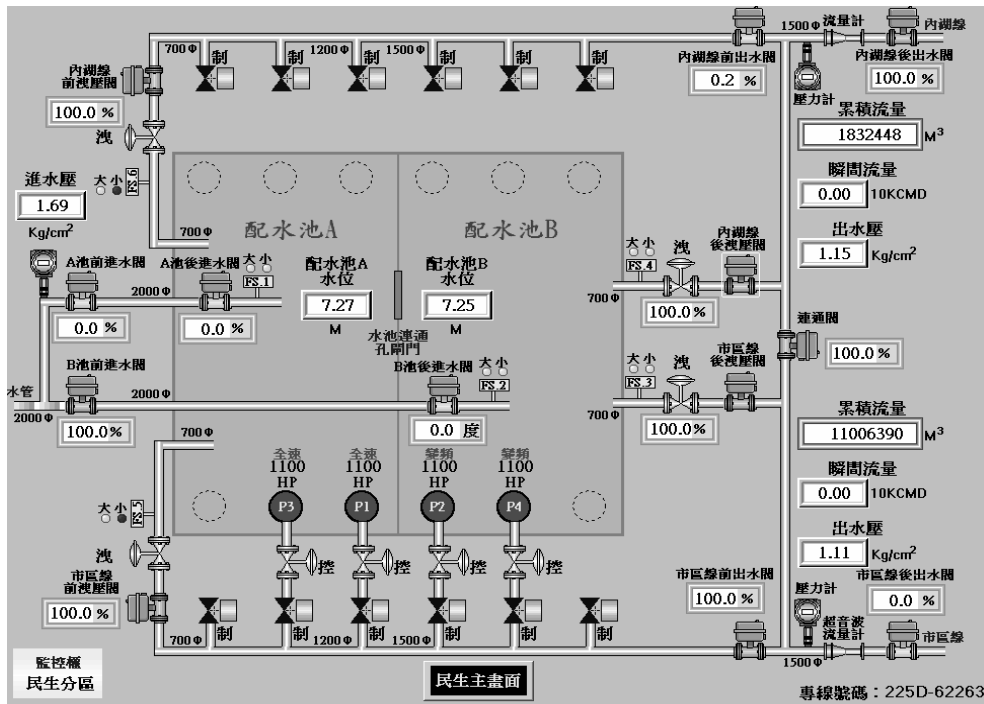


圖 10 松山加壓站管線流程示意

參考文獻

1. 大阪水道局環境報告書，日本平成18年，2006年。
2. 東京都水道局環境報告書，日本平成18年，2006年。
3. 許如霖、陳敏村「水力發電」，2005年。
4. 三角埔發電廠初步規劃，中興工程顧問公司，2008年。

作者簡介

李叔龍先生

現職：臺北自來水事業處供水科副工程司
 專長：供水系統機電施工、設計及規劃

解決台灣南部自來水水源簡單可行的方法

文/陳耀楠

一、前言

做了十多年的規劃設計，到民國 85 年才想開工的美濃水庫，卻因地方民意之轉變而受阻；政府又因選舉考量而拖延不辦。近年著眼容量 7 億立方公尺之曾文水庫，大部分年度多不滿庫，擬利用其空置容量引入荖濃溪水（原來擬引入美濃水庫）。而已經著手施工，去年之八八水災使地方反對該工程施工之聲浪高漲，恐有停止施工之虞。

又數年來，經本人力請自來水公司南工處研究規劃之荖濃溪水越域引入曾文水庫與其他水源聯合運用結果看之，水利署原估計每年約 2 億立方公尺利益，卻因為水庫之淤積只剩下約 8 千萬立方公尺而已；遠比美濃水庫之 2 億立方公尺少得多，使我想到是否可請政府下定決心移用曾文水庫被浪費之庫水，便宜而簡單地解決南部地區自來水的水源問題；此係寫此文章的動機，亦是我多年的願望。

二、嘉南及高雄之水資源有效運用策略

高雄、台南、嘉義六縣市是台灣最大糧倉，但也是台灣水資源最缺乏的地區，自來水水源：高雄靠高屏溪，台南靠曾文溪，嘉義靠八掌溪，其中曾文溪之豐枯差特大，每年冬春半年以上無雨，無溪水可取，目前靠烏山頭，曾文、南化三大水庫供水、高屏溪之水文狀況最佳，豐水期平均每年有八、九個月，所以沒有設置大型水庫，但到春天枯水期，仍難免水量不足之煩惱，嘉義地區雖

在八掌溪邊建有蘭潭，仁義潭兩離槽水庫，但仍需烏山頭水庫之原水及清水支援才能夠用。

(一)農業方面

1930 年八田與一完成烏山頭水庫及嘉南大圳，係嘉南地區開始實施三年輪作一次二期水稻，其他均為雜作，1974 年完成曾文水庫後，改為每三年二次二期水稻作，一次一期水稻作，其他三期為雜作，其他地區因水量較豐富，大部分為每年一、二期的水稻作。

(二)水量分配及有效運用辦法

目前曾文、烏山頭兩水庫，每年分配給 6.5 萬甲之農地為 9 億立方公尺之農業灌溉用水，另分配自來水 1.28 億立方公尺，連同南化水庫等自來水專用水庫，自來水約有 3 億立方公尺的水可利用。此項庫水與高屏溪豐水期溪水等聯合運用，年平均可得約 12 億立方公尺水量供 6 縣市互相調用（此係 1990 年所規劃），但此項用水已到頂，必須趕快為未來每年 2-3 億立方公尺之增加需水量而未雨綢繆，灌溉水權之浪費部分加以移轉分配，這才是最正確合理又不用耗費任何金錢的方法。

過去主張推行遭水利會反對而未能實施之灌溉水移轉方法：

1. 用工業區及都市發展所減少之灌溉面積所擁有之水權，移轉為自來水水權（國家權力，免費）。
2. 水稻灌溉加強管理，減少 2-3 成灌溉水量將其移轉為自來水水源，其所需加強管理

費用，由自來水負擔，此法不但不影響水稻收穫量，甚至可略為增產。

但是政府為選舉考量，不敢得罪水利會勢力，雖然經多年爭取，四十年來卻一直不曾付諸實施；既然政府不敢行使國家權力，將國家擁有之水資源照實際需要重新資源分配，乃有下列兩種對國家有利，同時對水利會無不利的使用金錢治水管理工程之灌溉水移用辦法。

1. 曾文水庫對一期水稻之停止灌溉

目前曾文水庫水供應嘉南大圳 6.5 萬甲之灌溉用水，每年灌溉 1.9 萬甲之一期稻作，分配水量為 2.1 億立方公尺，其灌溉期間正是嘉南地區最枯旱之 1 月 21 日起到 5 月 20 日止。

台灣在稻穀過剩之下，實施有「鼓勵水稻轉作辦法」，種作水稻農田改種雜作時期，每甲補助 3-4.5 萬元，如將此辦法在曾文水庫灌溉區實施，一期稻作灌區轉作田青作有機肥料，不予灌溉，也就是需花用政府補貼金額 4.5 萬元 \times 1.9 萬甲，等於 8.55 億元/年，節省了 2.1 億立方公尺庫水，每立方公尺庫水之費用為 4.1 元，此水費如再與高屏溪豐水期水量聯合運用，年平均可得約 3-4 億立方公尺之有效水量，如以 3.5 億立方公尺計算，每立方公尺水之成本才 2.4 元而已，遠比興建水庫或荖濃溪水越域引水便宜得多，而且此補貼係政府已在實施中者，增加政府負擔甚少，如以此為分區強制實施，與過去之自由轉作自行申請不同，也可以考慮提高補貼成數，由自來水公司負擔。

2. 嘉南大圳大小圳路全部改用管路

上述曾文、烏山頭兩水庫分配給農業用水之每年 9 億立方公尺水量給嘉南大圳大中

小二萬多公里之開口圳路，中途經蒸發、漏水、盜水、甚至汙染，實際送到農田之水量不到一半，也就是輸水損失在 50% 以上，如改用管路，輸水損失可保持在 15% 以內，也就是可以節省 35% 以上水量，每年節省水量 3 億立方公尺以上，如果再與高屏溪豐水期水量聯合運用，年平均可得約 5-6 億立方公尺之有效水量。

這種灌溉管線的方式，因水壓甚低，可用低壓管，加上無汽車碾壓之虞，可以埋設甚淺，施工及維護費用均低廉，大小管路平均每公尺 2000 元應已足夠，按約 2 千公里幹支分線外，絕大部分為田間小水溝，現有水溝用地，寬度約 2m，埋管後可改留 1m 為巡視用地，其他 1m 以上可轉為灌溉農田用地，每公尺可得約 500 元之利益。

大小圳路及小水溝長度合計以 2 萬 km 計，即每公尺需費 2000 元減 500 元，所需實際支出為 1500 元 \times 1000 \times 2 萬 km 等於 400 億元。年成本（利息折舊維護費）以 6% 計，為 24 億元/年，每立方公尺有效水量為 24 億元除以 5.5 億立方公尺 = 4.4 元/立方公尺，仍遠比興建水庫或荖濃溪越域引水便宜得多，而且 400 億元不需一時籌措，可分 10-20 年，配合自來水需要分年分區實施。

三、結論及建議

- (一) 上述曾文水庫灌溉水移用之辦法，應請水利署會同自來水公司盡速詳細規劃，一旦荖濃溪越域引水計畫停辦，即可馬上辦理實施。
- (二) 北部之石門水庫灌溉水及中部明德、明潭兩水庫之灌溉水，亦宜做同樣轉移之可行性規劃。

(三)本人於民國 80 年 11 月 在自來水季刊第 40 期發表之「區域性水源聯合運用計畫」,以及 94 年 11 月在自來水季刊第 24 卷第 3 期發表之「不同水系水源之聯合運用—水資源經濟有效利用之方法」,這兩篇文章中都曾建議政府辦理下列規劃,以增加便宜又有效的水源水量。

- 1.北部石門、翡翠兩水庫與新店溪、大漢溪之聯合運用。
- 2.中部德基、鯉魚潭、日月潭、集集攔河堰等與有關河系之聯合運用。
- 3.考慮每年 11 月到 4 月南部各個數億立方公尺的水庫容量,規劃北水南移(有時南水北移)之可行性。

此三案自 18 年前第一文建議以來,除了第一提案由經濟部水資會研究認為可施行,能夠得到約 3 億立方公尺的廉價水源,而發函請當時之台灣省水利處進一步規劃,所以沒有石沉大海。除此之外的二、三兩案根本未見動靜,希望英明而邁向改革的政府,能對此廉價水源的開發產生興趣,即刻推動規劃,進而付諸行動,實施以上方案。

以上是因青光眼而面臨漸漸失去視力的 80 歲老人對政府開發廉價水資源之最後呼籲。

作者簡介

陳耀楠先生

經歷：• 台大土木系畢業後從事台灣自來水規劃設計營運約 50 年。
• 民國 53 年研發「曾文溪雨期溪水交換烏山頭水庫庫水案」,提案並付諸施工,解決台南區多年缺水問題;並列入世界銀行經濟發展研究所之教材。

- 民國 55 年 WHO 獎學金在美國北卡羅萊納州立大學國際研究班結業。
- 民國 62 年世界銀行獎學金贊助,在其經濟發展研究所兩個月結業。
- 省公共工程局自來水企劃組組長 5 年;台水公司協理(今稱為副總經理) 19 年,領導台灣自來水企劃、技術、設計以及財務之發展、在前經濟部水資會擔任技術委員 22 年。
- 民國 81 年榮調中興紙業公司擔任總經理,於民國 86 年退休。



蔣總統駐進激清樓及當年澄清湖水廠的軼事

文/曾浩雄

一、背景說明

激清樓是蔣總統中正（以下簡稱蔣總統）來台後所建數十座行館之一。它位於南台灣著名風景區澄清湖畔的半島上（如圖 1）。從他第一次駐進激清樓，到後來因病無法再來，前後不及十年。在這段期間我正在城清湖工業給水廠（以下簡稱水廠）服務，而且所承辦的工作幾乎都離不開激清樓，因此對蔣總統駐進激清樓時期的往事略知其一、二。而當時所有參與其事者現在幾乎都

已凋零，因此我可能是這些人之中，碩果僅存的水廠時代老員工了。

二、澄清湖的由來

澄清湖本來只是一個大埤塘，故早年稱它為「大埤」。清道光 16（西元 1837）年，河南省河內縣人「曹謹」奉派至台灣擔任鳳山縣的知縣時，修築了九十條水圳（後人尊稱為「曹公圳」），並將「大埤」作為曹公圳支流上的儲水塘，以調節農田灌溉。民國 29 年日治時代的高雄州政府，為配合軍方「南

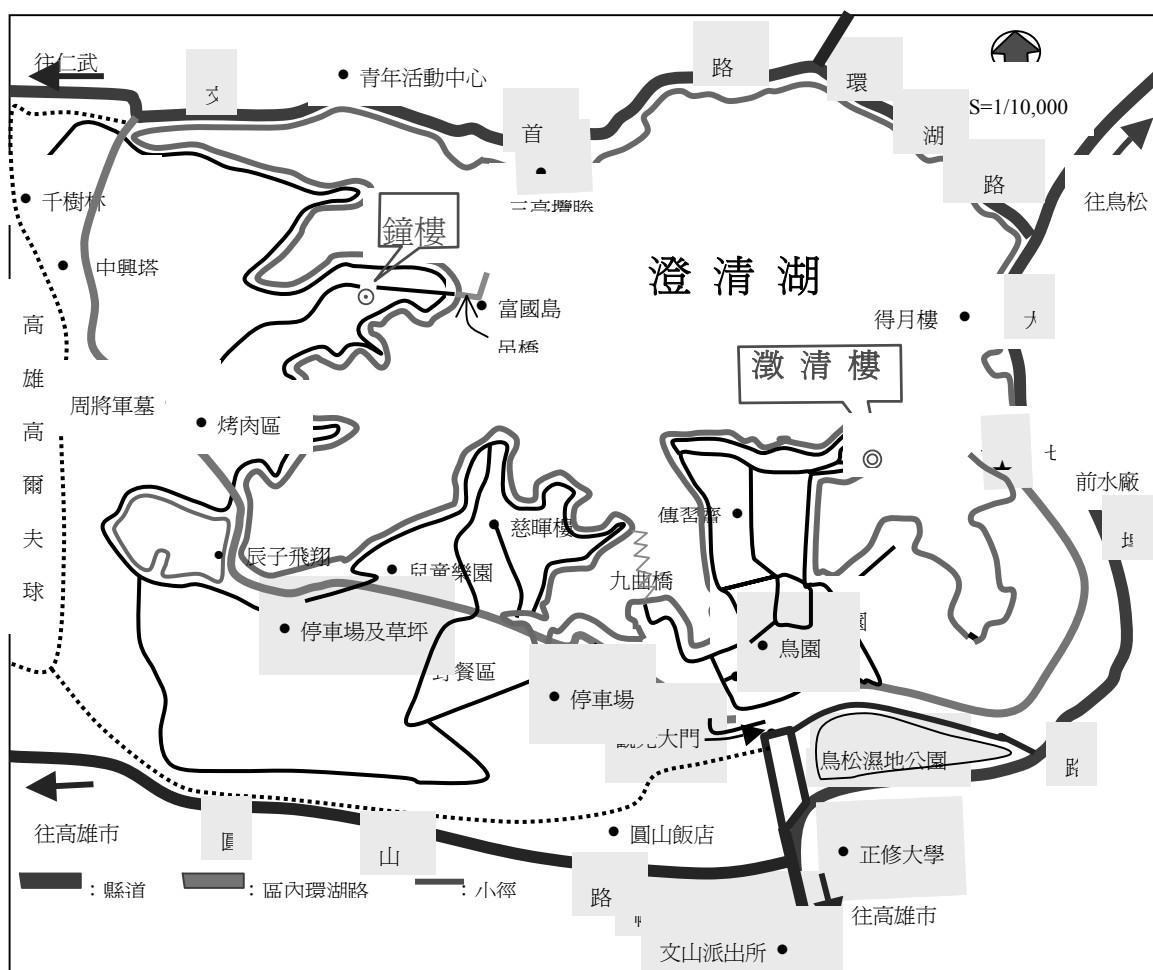


圖 1 澄清湖風景區各景點位置示意

進政策」，開始積極加強軍備，乃投入大量多資金整建曹公圳路和埤塘等設施。大埤東北邊亦於此時加築堤防使成大湖（湖面積 103 公頃）。另自高屏溪抽水，經大寮圳、一幹線、二幹線、新圳幹線一直到大貝湖旁，再藉抽水機打入湖中蓄存。當時因湖中盛產大型貝蚌（約一個成人手掌大），乃於民國 43 年易名為「大貝湖」。

三、水廠之創設及其沿革

台灣光復後翌（民國 36）年，奉台灣省政府之令在此成立「高雄工業給水工務所」。民國 41 年政府開始整修因戰爭被破壞的設施，以恢復供水，並將工務所改制為「台灣省高雄工業給水廠」，隸屬於台灣省建設廳，成為前台灣省省營事業之一。但當初每日出水量不足 1 萬 M^3 ，僅能維持供應聯勤兵工廠、台灣鋁廠及台肥公司等工廠的用水。直到民國 44 年 11 月才大力擴建水源及淨水及送水設施，出水量也增至每日 4 萬 M^3 。民國 50 年初經濟部在高雄市設立「高雄加工口區」，致大量工人湧入居民激增。高雄市自來水廠出水量也因而供不應求，乃於民國 55 年每日向大貝湖工業給水廠購買 2 萬 M^3 ，以補足其民生用水之需求。水廠於 53 年 2 月改名為「台灣省澄清湖工業水廠」。民國 63 年元旦台灣省水有限股份公司成立後，成為其轄下第七區管理處（以下簡稱為七區處）所轄之「澄清湖給水廠」。

四、觀光區未開放前

民國 40 年代在觀光區尚未開放觀光前，遊客可到水廠廠區參觀。民國 42 年我第一次到水廠參觀時，是在眾人排隊下擠著進去的。進廠的遊客大多全家一起在廠區大

路兩旁雨豆樹樹蔭下的草地上舖蓆享用野餐。現在水廠門前的大埤路東側原為大灌溉水渠，當年道路拓寬時已加蓋成為道路的一部份，再往後是當時所謂的「小貝湖」，湖中一年養魚；一年改為種稻（因土壤不夠肥沃，無法長年種稻）。現在的澄清湖棒球場、高雄縣勞工育樂中心及長庚醫院就是在此地填土後興建的。當時水廠門口馬路外側有十幾家攤販，有的在賣小手飾；有的在賣水果、零食、與冷飲。這些攤販大多是水廠員工家屬在此擺設的，其中有一家販賣當時頗為出名的大貝湖名產「鹹花生」，就是張廠長弟弟在澄清湖畔的大埤路開店自行生產販賣的。路旁原有店鋪（現在棒球場前），在該路拓寬時均已被拆除。

五、觀光區開放觀光

後來水廠又與農復會合作造林，辦理水土保持工作及建築堤岸道路等。未及 10 年不獨在水處理方面進步良多，整個水源區的環境亦隨之日趨美化。又因澄清湖天然條件優越，環境清幽，加上林木花卉不斷培植，湖光山色更顯秀麗，漸為外界人士所注意。當時的台灣省觀光事業委員會乃於民國 47 年 12 月將之定為觀光區，旋於民國 49 年 9 月 1 日正式開放。

六、興建激清樓之始末

早年海軍陸戰隊曾在澄清湖畔建造一棟平房（即目前傳習齋左翼之前身），作為其一小分隊的訓練營。民國 42 年 3 月我騎著腳踏車，第一次到澄清湖水廠遊覽時，曾目睹當時的營房只是用木柱、鱗版牆、石棉瓦屋頂沒有天花板的一層樓平房，其設備之簡陋不亞於現代的工寮。據說當時的海軍陸



戰隊總司令周雨寰少將到訓練營巡視時，發現此處地理還境非常特殊、風景又相當優美，認為其對面的仁山半島很適合興建一座領袖行館。乃於民國 40 年初在一次陳誠副總統南下巡視時，邀至此處勘查。陳副總統看過後也深表贊同，乃於回台北時面稟蔣總統，請他裁決。民國 45 年 11 月蔣總統在南下巡視水廠時，對湖區之整修與管理讚許有加，除面諭繼續整建，以爭取國內外人士前來遊覽外，還特地前往現場瞭解，據說他看過後非常滿意，當場決定在此興建一座行館，並即交由國防部籌建。



圖 2 激清樓

激清樓（如圖 2）新建工程由臺灣銀行出資，石城建築事務所（陽明山上的「忠烈祠」是其代表作）負責設計。該樓為一棟三層樓建築，占地約 160 坪，建築總面積 614 平方公尺。行館原取名為「大貝湖行館」，工程於民國 47 年 5 月 1 日開工；民國 50 年 1 月 4 日完成，同時奉蔣總統之命改名為「激清樓」。大樓內部裝潢雖然非常簡單樸素，但「行館區」（包括激清樓、海軍陸戰隊營房、草坪廣場，占地約 2,243 平方公尺），從此終年戒備森嚴，幾與觀光區隔絕（目前通往烏園九曲橋的小徑，是後來才開闢的），

頗有世外桃源的意境，從大樓遙望大貝湖全景。

七、澄清湖之命名

「大埤」改名為「大貝湖」後，人們對「貝」字所發出的音都分別與國、台語的「悲」字同音，亦即無論用國語與或台語稱呼「大貝湖」都念成「大悲湖」，讓人覺得很不吉利。直到民國 52 年，蔣總統在南巡第一次駐進激清樓時（之前均駐進「西子灣行館」），發現湖區風景清幽，波平如鏡，乃指示將「大貝湖」改名為「澄清湖」。

八、蔣總統開始駐進激清樓

蔣總統第一次駐進激清樓後，原海軍陸戰隊人員便即行撤離，俾讓蔣總統駐進激清樓時，其侍衛人員能住進該營房。為此國防部乃在營房內部增設隔間，四周牆壁亦增加一層木板內牆，但仍無天花板，可說仍相當簡陋。由於原有石棉瓦未拆除換新，故只要外面一下雨；裡面就要用水桶接水。又因它建於山丘旁，只能單面迎風致空氣無法對流，因此其內部非常悶熱，早期未裝置冷氣時，侍衛人員晚上睡覺只能靠電風扇猛吹，簡直是活受罪。後來經多次修建才逐漸有所改善。民國 63 年台水公司成立後自國防部接收管理，幾年後出租給救國團做為舉辦活動之用，並定名為「傳習齋」。隨後救國團幾經投資整建才有今日的規模。

自民國 56 年起每年 6 月 16 日蔣總統南下主持陸軍官校校慶的前後幾天，以及冬天北部天氣較冷時都會駐進激清樓。當時只要看到阿兵哥到水廠架設通信網，就知道蔣總統要駐進激清樓。

九、激清樓之室內配置

當時的激清樓是：一樓為侍衛人員辦公室、值勤室及倉庫。二樓（如圖 3）左邊為蔣總統辦公室、其後方是客廳；右邊進入走道右側依次是侍衛長、女侍從（人稱「大姐」，聽說她從小就一直侍候蔣夫人，終身

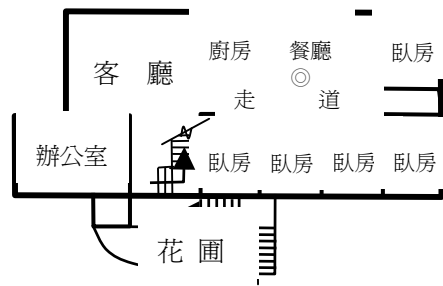


圖 3 二樓平面示意圖

未嫁)、及總統家屬臥房；走道左側是廚房、餐廳及其北側牆移至餐廳中央，使其面積加大一倍後，親屬備用臥房（蔣孝勇先生曾住過。後來將其北側牆移至餐廳中央，使其面積加大一倍後蔣緯國將軍、及黨政要人也曾來住過）。順着樓梯上三樓（如圖 4）左邊是蔣夫人作畫室兼放影室（後來改為七區處之會議室）、其後側是起居室兼書房；右邊走道進去

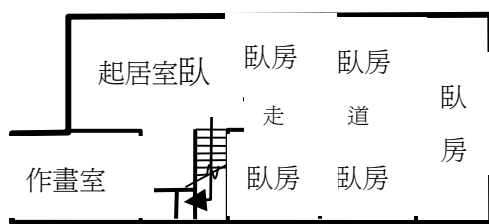


圖 4 三樓平面示意圖

左側為時任國防部部長蔣經國先生的臥房（進門門框上釘有一塊寫著「部長」的門牌，但聽說他從未曾進住過），接著是蔣總統貼身侍衛（武職保鑣），及隨身侍從（可

能是翁元先生)等「要人」的臥房(雙人房)。走道右側是孔令偉小姐（國民政府早年在大陸時期的財政部長孔祥熙先生之二女，人稱「孔二小姐」)臥房，接著是蔣夫人房間（門牌寫著「夫人」。蔣總統臥房在最裏面，門牌上寫著「貴賓」，當時的盥洗室設備非常簡陋，跟一般住宅差不多，目前已被鎖著遊客無法入內參觀，所有門框上的門牌都已被取下。目前放置在 3 樓蔣總統臥房的「椅子及書桌」（含桌上的老式手搖電話機），本來是放在二樓辦公室，至於桌上的「電鈴」則是後來才換上去的（本來是手按鈴）。每次蔣總統駐進該樓後回台北，水廠都會接到保安單位送來的字條，上面記載着「亟待改善事項」。其與行館硬體設施有關的事項，例如：增建油庫、車庫、迎花架（位於上坡到激清樓前左方）、大樓內外水管改善等土木工程幾乎全交由我辦理。所以早期我在水廠時代，幾乎是三不五時就往激清樓跑。

記得我第一次到激清樓時，一進門就到左邊的辦公室，當我看到書桌椅時立刻坐上椅子。然後好奇的打開抽屜，發現裡面遺留著不少專供蔣總統閱讀的報紙，其大小跟現在的 A4 相同，但紙質比平常的報紙白皙，字體是淡黑色，看起來明顯是複製品，報上的文字約 0.4 至 0.5 公分，比一般報紙的字體還大。有些還用紅色筆在字體旁劃上圓圈圈。但紙上均未留有任何字跡，批有文字的紙張想必已全被帶走。當我上二樓後便直接往蔣總統的臥房走去，進了臥房立刻看到蔣總統專用床。首先我用手摸摸床單，接著乾脆全身往床上躺下去。但出人意料之外，不僅「皇帝床」外觀普普通通，連躺下去的感覺也沒什麼特別不一樣!!!。

早期在觀光大門北邊現有宮廷式階梯未建造前，每逢大雨水族館前廣場的泥土都會往南流，然後沖到路面上。縱使雨後天晴路面上仍然泥濘不堪，不但影響觀瞻還造成遊客行走相當不便。有一次蔣總統座車往澱清樓行駛經過此處，衝起的泥水把車子弄髒，他立刻交代水廠儘快設法改善。幾個月後他特地南下避壽而駐進澱清樓，當晚高雄縣政府還特地為他舉辦提燈遊行!!!行走路線當然包括水廠大門前的大埤路（好讓他看得到）。林廠長在蔣總統尚未到達澱清樓前就已先到樓下恭候，這時才想起該向總統報告上述事項的辦理情形，乃叫我趕緊把設計圖送至澱清樓。我騎著機車一路趕去，路上完全未受警衛阻擋（想必已獲告知），幸虧到達澱清樓時蔣總統還未到。我把設計圖交給站在大樓門口的侍衛（他已知道我的來意）後，放眼往裏瞧去，發現內部擺設與平時完全兩樣，所有桌、椅全部都已舖上漂亮的桌巾、椅套，且到處擺著鮮花，顯得生氣盎然，非常華麗!!!。

十、起居室被誤為是夫人臥房

觀光課課長朱本恭先生曾在澱清樓三樓指著起居室說：「聽早期的大樓管理員管國寬先生說，這個房間以前是『夫人的臥房』」。其實民國 58 年蔣總統住進澱清樓時，認為這個起居室兼書房宜分成兩間。水廠奉命辦理後，我受命承辦。當我把增建隔牆的構想畫成圖（用鉛筆畫在製圖專用的道林紙上，進門採用宮廷式圓拱門，並以左右拉開式厚布簾為門）陳給呂課長及陳廠長核示時，大家都沒意見。翌年蔣總統住進澱清樓時，陳廠長也拿著圖當面向蔣總統報告過，當時蔣總統也同意照辦。但民國 60 年他住

進澱清樓時，覺得不滿意乃立即下令拆掉」。事後雖然沒人遭受處分，陳廠長也沒責怪我，但對我心理卻造成很大的挫折感!!!。由此可證明這個房間絕非夫人的臥房（在建築物功能上也不可能如此設計）。

十一、省主席陪侍時的住宿

蔣總統駐進澱清樓期間，當時的省主席黃杰先生都會以水廠上級機關首長的身份南下陪侍。但貴為省主席的他並不能駐進澱清樓。為了解決其住宿問題，林廠長乃於廠區內的澄清湖畔（目前中字公司興建的操作大樓前方），興建一座二層樓會議室。一樓為會議室；二樓為主席套房及其侍衛人員臥房。建成後黃主席及後來接任的陳主席大慶先生都曾進住過一、二次。後來二樓改為水廠招待所及員工宿舍，民國 90 年中字公司在廠區興建高級淨水處理場時，已予拆除。

十二、地下作戰指揮中心之興建

行館區內除了澱清樓以外，還有早年蔣總統地下作戰指揮中心。它建在傳習齋後方的山丘裏，隧道全長 200 公尺蜿蜒曲折，前後共建有十多個房間。約在隧道中央有一會議室，走進室內左邊是通信室，室內西側牆上設有一攀梯，可直接通往山頂，必要時可讓蔣總統從此攀登至山頂，然後搭上直升機飛離澄清湖。隧道是由國防部所屬「力行總隊」第 3 及第 4 分隊的隊員分梯挖成。這些隊員都是在部隊當兵時犯罪的受刑者（看起來好像都是台籍入伍的充員），挖土時腳上還扣著腳鐐，工作中不時發出鏗鏘聲。當時傳說隧道最後連通處將由死刑犯負責挖通。但後來才進場挖土的第 4 分隊隊員（十多人）並非真的是死刑犯。隧道挖出的土方

全部填在日前「海族館」(當時還沒興建)前約 2 個籃球場大,深達 10 幾公尺的窪地。後來水廠曾在此建造一座游泳池,但因限於場地,其長度無法達到標準的 50 公尺,故前來游泳的人寥寥無幾,且因維修不易,不久就拆除了。

隧道於民國 55 年秋完時(網路上記載著建於民國 48 年秋絕非正確),我曾跟呂課長一起到過其入口處觀看,當時門口裝的是一般的鐵捲門,當時鐵門半開著,但我們不敢進去,從入口處可看到隧道非常寬敞,可讓一部轎車自由通行。地面上鋪著一層桃花心木板,但因室內潮濕不通風,故中間有一長條全部鼓起,覺得很可惜!!目前其入口處裝有一扇重達 5,000 公斤的抗核防爆門,是完工後才改裝的。原有桃花心木板也已全部拆除了。

該地下作戰指揮中心於蔣總統逝世後曾荒廢一段時日,後來才改為私人海洋生物展覽館,並於民國 82 年 2 月 6 日正式開館。館內展出來自世界各地嬌貴的海洋生物,皆為難得的精選珍寶,故深獲國內外看過它的旅遊媒體極力讚賞與推薦,但因到澄清湖遊覽的遊客日漸減少,聽說其營運情況並不佳,一直處於入不敷出狀態。前劉副總經理說:「假使該中心保留原貌供遊客參觀,可能更具其歷史價值,也更會引起人們的興趣,尤其是來自大陸的遊客」。

十三、政要進貢禮品

蔣總統駐進激清樓期間,南部各縣市不少機關首長都會親自「進貢」食品給蔣總統或夫人品嚐,也有人會送來「奇禽怪獸」。其實東西送來後都送到一樓值勤室登記,連蔣總統或夫人的影子都沒見到就要回去。聽

說蔣總統或夫人都沒時間閱覽這些「貴重禮品」,可能連訪客名單都沒時間過目。當時的水廠安全室馬主任也在廠區採集了兩大箱當時剛引進國內的芒果新品種「愛文」送到激清樓,想必也通通進了侍衛人員的五臟廟。現在放在水族館裡供人參觀的一條來自亞馬遜河的象魚標本,聽說送給蔣孝勇先生時還活著。當時盛傳著夫人喜歡吃燉白鴿,至於蔣總統是否喜歡吃燉公雞我就沒聽說過。而行館區西邊的「鳥園」就是為了收容這些送來未被吃掉的孔雀、白鴿、公雞等所謂「奇禽」的後代而設置的。

十四、蔣總統駐進激清樓期間的軼事

每次蔣總統駐進激清樓期間,都會在上午或下午利用公餘之暇,出外散步或在湖上泛舟。下午五點一到,侍衛人員就到各樓大喊:「看電影喔!!」,這時大家(包括水廠派在一樓值勤室待命的木工及水電工及侍衛人員)都會趕緊上三樓到作畫室坐好,等待蔣總統蒞場一起觀賞電影。據曾在場觀看電影的木工許水鑑先生面告:「每次都是看少林寺武打黑白片,我看久都看膩了。但老先生每次都看得津津有味,當他看到緊張刺激的鏡頭時,還會出聲叫好咧!!」。

蔣總統駐進該樓期間,有一次搭船到中興塔附近,然後上岸步行到中興塔。當他進入塔內看到一樓磨石子地面上有很多黑塊,立刻拿起手上的柺杖指著它,口氣不悅地問起:「那是什麼東西?」,隨扈上前查看後回報:「是吃過的口香糖吐在地上被遊客踩黑的硬塊」,他聽了立刻交代陳廠長設法清除。當時的工務課長阮高挹先生(成大化工系畢業)奉命找出溶劑以利清洗,他受命後想不出「解藥」,問我是否有良方,但我

一點概念都沒有，最後只好交由清潔工用鏟子一一刮除。

十五、第一任水廠廠長上、下台始末

(一) 上台的原因

張廠長在國民政府撤退來台之前，曾當過福建省龍岩縣縣長，來台後於民國 35 年擔任花蓮縣改制後第一任官派縣長。翌年發生轟動全省的二二八事件，議長張七郎先生（花蓮名醫）以背叛黨國，組織暗殺團之名被捕，旋於鳳林鎮郊外番社遭秘密槍決。此事在花蓮縣政壇造成上極大震撼，因此隔年張縣長就下任。旋即轉任台南市自來水廠廠長，並於民國 41 年出任高雄工業給水廠第一任廠長。

(二) 任內的作為

早在高雄工業給水工務所時代，澄清湖四周的土地，包括目前的高爾夫球場、救國團青年活動中心、圓山飯店及鳥松濕地公園等一共 375 公頃，都已徵收完成。民國 41 年改制後的水廠第一任廠長張文成先生上任後，發現大部分土地及樹木已遭附近居民濫墾濫伐，致大量泥沙淤積在湖中。因此除積極收回土地外，還全力美化周圍環境，幾乎每天帶領著工人，在已征收土地上到處種樹（他對澄清湖觀光區之綠化貢獻相當大）。激清樓建成後，張廠長仍只顧水廠的發展。可能是他認為「行館區」係屬國防部所有，故從未用心加以經營（其實以水廠的收入去維修國防部的財產，也不見得合理）。因此區內雜草叢生，進入激清樓的道路兩旁長滿野草，有的甚至已高達 1~2 公尺；大樓內部也未做必要的維修，造成一、二樓木製拼花地板有些已遭白蟻蟻蛀蝕。聽說有一次蔣夫人穿著高跟鞋在地板上行

走，其後腳跟還因而踩入木板縫，差點摔傷!!!。

(三) 下台的遠因

由於張廠長上任後，就一直反對將原已徵收作為水庫保護區的土地，改為高爾夫球場用地，因而得罪當時經常到此打球的高雄市市長陳啓川先生及不少中央高官；另也對「皇親國戚」每年冬季就到澄清湖來打獵頗有微詞（西伯利亞的水鳥此時都會飛來此避寒），因而得罪何應欽及蔣緯國將軍等人。同時他又不善與總統府相關人士保持互動，故難免日後一出事就遭受被調職的厄運。

(三) 下台的近因

民國 52 年 11 月 22 日美國第 35 任總統甘迺迪先生在美國德州達拉斯市遇刺身亡不久，蔣總統陪同來台訪問的美國參議員諾蘭先生（人稱：「中國之友」）南下參觀，當天進住激清樓。這時水廠奉命將面對激清樓的辦公室窗戶全部關閉，當時我在工務課（現在的會計室第二辦公室）上班，覺得氣氛非常凝重。當晚蔣總統為了表示尊重客人，乃將其主人房讓給諾蘭先生住，自己住進部長室；夫人隨行則住她自己的房間。但因蔣部長從未曾住進部長室，故室內門窗都已年久失修，雖然臨時趕緊加以整理，好讓老先生住進去，但不幸的事還是發生!!!。聽說當老先生進入臥房，上盥洗室隨手關門時，門上大塊玻璃（約半個門大）應聲掉落地面，玻璃的破碎聲嚇壞了老先生，他隨口說了一聲：「怎麼搞的!!!」，過了不久即傳出張廠長可能會因而下台。

(五) 下台後的日子

此事發生後不到一個月，張廠長果真被

調為台灣省建設廳專門委員。這時早已具有國大代表身分的他，心想縱使再任公職也只能領一份薪水，因此不願屈就而黯然下臺。從此住在水廠位於高雄市文化路的「廠長宿舍」（占地一百多坪，到目前為止他兒子早已移居美國，但仍佔着不歸還），享受着國大代表非常優厚的待遇，後來又領了一大筆退職金，過著安逸無慮的日子，直到高齡 92 才去世。

民國 36 年 11 月 21 日至 11 月 23 日，全國同時舉行第一屆國大代表選舉時，他曾特地返鄉登記參選，但未當選。後來因其故鄉原當選人及遞補其位的人相繼過世，才幸運的遞補上去。民國 55 年及 61 年國民大會分別召開第四及第五次會議，選舉蔣總統為第四及第五任總統時，不知已黯然下任的張廠長是否投他一票？。

十六、第二任水廠廠長上台始末

廠長出缺後，有意出任者立刻暗中較勁。當時的水廠觀光課課長邱適毅先生，藉著平時跟總統隨扈非常熟悉且互動良好的關係極力爭取，並獲得總統府相關人士授意省府提報。但當時的石門自來水廠廠長劉寶成先生，也藉著台灣省主席黃杰先生身邊要人的幫忙，以：「邱課長學歷（高中畢業）不高，對自來水業務不熟」為由，讓省府婉拒總統府的推荐；反而正式提報劉寶成先生為新任的廠長，但總統府就是不予核備。雙方僵持一段時日後，民國 53 年 6 月，有一天省府突然發表：「澄清湖工業給水廠廠長乙職，由雲林縣剛下任的林縣長金生先生出任」。省府人員無法達成其心願至為懊惱，邱課長因而被迫退休。聽說邱課長為了爭取廠長寶座，不僅散盡其錢財，退休後跟同事

合夥經營餐廳失敗又賠光了退休金。更不幸的是他下任後不久，在一次洗澡時突然摸到腹內下方有一硬塊，不及半年，年僅五十多歲的他就因癌症不治去世，令人不勝唏噓!!!。

十七、第二任水廠廠長的作為

新任林廠長上任後，非常清楚前任張廠長下台的原因。因此一上任就透過總統府爭取到台灣銀行每年均固定撥款新台幣 120 萬元，作為行館區維護管理費，從而積極改善行館區的環境。但由於百廢待舉而經費又不是很充裕，因此有些事只好由水廠員工自行動手辦理。譬如進入行館區後，因其左前方的廣場雜草叢生，乃僱用怪手挖鬆地上的土壤，經晒乾後再由工務課全體員工（我也在內），在大太陽底下，用手將土壤中的「草子」一粒一粒清除掉，希望把雜草完全根除掉。

聽說林廠長自己也以身作則下場除草，但時間則選在蔣總統駐進該樓期間。有一天清晨，蔣總統從其臥室看到一個人獨自披著黑雨衣戴着一頂大斗笠蹲在廣場上拔草，覺得很奇怪立刻叫隨扈去看個究竟。隨扈前往查看後回報說：「是林金生在那裡拔草」，據說蔣總統聽後非常感動!!。有人說這未免太做作；但也有人戲稱這就是當官者應注意到的「眉角」，也是當官者的無奈!!。

林廠長上任後為了振興澄清湖觀光事業，乃向台灣銀行借貸一千萬元在觀光區內大興土木。現在從觀光大門進入觀光區若徒步走到淡水水族館必須經過的「仿古階梯」，還有「淡水水族館（原名叫眾樂館）」、「九曲橋」、「中興塔」、「得月樓」，都是以該項經費興建的。該等工程全部由石城建築

事務所設計後發包施工，其中的仿古階梯、眾樂館、中興塔工程是由鋼記營造廠得標建造，全部工程時於民國 55 年間完成。目前網路上的「澄頃湖風景區」網頁上所記載的：「九曲橋建於民國 44 年」絕對不正確，因為該工程是我監工的，而且全部工程的總決算表也是我整理完成的。而我是民國 51 年 10 月才進入水廠服務，民國 44 年不可能連中學都還未畢業，就到水廠監工!!!。

中興塔工程由石城建築師務，仿照南京玄武湖的浩那塔及靈古寺之靈古塔設計，塔高 43 公尺，共有 7 層樓。施工期間，在其西邊（中興塔後方）高爾夫球場打球的人士發現塔歪了，林廠長得知此消息後，交代工務課派員去查看同課的學長鄭耀東先生（曾任工務課及操作課長）要我跟陳又昌先生（現任物料課長）一起去測量。結果果然測出六樓以上西側外牆真的偏了約 10 公分，幸好還來得及修正，否則今天的中興塔恐怕早已成為聞名全球的「斜塔」了!!!。

上述工程完工後，民國 57 年中秋節晚上湧進大量遊客，造成觀光大門前到現在的文山派出所，整條道路幾乎人山人海車輛完全無法通行。後來的 3、4 年，每年中秋節及春節期間遊客還是絡繹不絕，但到了民國 60 年代就好景不常了!!!。由於遊客參觀過眾樂館及得月樓後，覺得大樓只徒有其表；內部空洞無味，因此其號召力日益低落，甚至每下愈況。後來眾樂館雖改設水族館，但展出的水族生物並不新奇，故入內參觀者寥寥無幾。至於得月樓更因其所陳列的「古代文物」（都是仿製品）引不起遊客的興趣，最後落到關門大吉，任其荒廢，實在可惜!!!。直到我被調回七區處後，才於民國 91 年間，

由一群在中山大學夜間部念 EMBA 的同學（其中有一位是高雄市非常著名的女士）合資組成的餐飲公司，每年以新台幣 70 萬元租下（聽說還花費新台幣 200 多萬元大事整修及裝潢），作為其經營「簡餐」的場所。初期生意非常鼎盛，因此烏松鄉一位有力人士（恕不列其名）對我很不滿，怪我為什麼「有這麼好康的事，事先都不通報一聲？」，我回以：「當事後諸葛亮很容易，妳可知道我做此決定時，主辦的觀光課還有人極力反對咧!？」。

十八、第三任水廠廠長上台

民國 56 年林廠長高升離職，其職缺又引起各方有力人士極力爭取。有一天水廠同仁傳出：「開廠長座車的司機（潘天賜先生）已向人事室要了一份水廠員工名冊送到他親戚陳皆興先生（原任高雄縣第三屆縣長）家」。並傳出：「陳先生已接獲派令，不日即將到廠履新」。但未上任前報上卻登出：「澄清湖工業給水廠廠長由公路局第五工程處副處長陳簾泉先生接任」，消息一出水廠同仁都深感意外!!!。原來是當時的國防部蔣部長，知道陳簾泉先生被新任公路局長貶到該局第五工程處當副處長時，下了一道口諭：「澄清湖給水廠廠長出缺，就叫他去」。

十九、澄清湖禁止釣魚始末

林廠長個性隨和、喜歡跟民眾接觸閒聊以聽取民意。有一次他輕車簡從獨自到鳳山市中山路夜市小吃攤吃生魚片。他吃了幾口後覺得肉質鮮美可口，於是邊吃邊問攤主魚貨的來源。攤主不知道他的身份直接回以：「夜市裏所賣的生魚片幾乎都是來自澄清湖，有兩位水廠員工每天都會按時送過

來」。聽說翌日人事室就查出這兩位是誰(林姓及高姓員工，恕不列其名)，並傳說廠長要開除他們，後來幾經地方人士出面求情，最後才以各記大過一次了事。但此事傳開後，水廠員工沒人敢再偷釣；反而「造福」了附近的民眾。因為夜市小吃攤的生魚片貨源不能斷，附近民眾知道這行業很好賺，便跑來偷釣。後來水廠乾脆正式開放民眾釣魚，但他們為引誘魚群會把養豬用的豆渣餅(台語稱為「豆圈」)半塊甚至整塊丟入水中以利垂釣甚至下網圍捕，但卻因而污染水源，致引起環保人士一再抗議。水廠乃順應眾意開始禁止民眾在湖中釣魚，並在湖邊樹起「禁止釣魚」的警告牌，但民眾仍然我行我素照釣不誤!!!。民國 80 年 5 月 1 日政府宣告終止動員戡亂時期臨時條款後，他們更是恃無忌憚地前來垂釣，非常諷刺的是他們會在豎有：「禁止釣魚」的警告牌下，若無其事的公然垂釣，完全無視於公權力的存在!!!。水廠雖指派保警前往取締，卻經常被人修理，騎去取締的機車及附近得月樓(在此釣魚最方便)前之圍牆，特意予以焊住的鐵門，也一再遭人蓄意破壞。後來水廠編列預算養了兩隻大狼犬來保護，但不久就被毒死。縱使水廠報警處理，警方也只能以沒收釣具了事。因此抓不勝抓，造成今日尾大不掉的窘局。後來七區處總務室蘇明輝先生曾面告：「激清樓右前方湖底，在我祖父母時代原是一個村莊，後來我祖父的土地被徵收後才搬離此處」。難怪這些居民會認為：「早期政府賤價徵收我們祖父母賴以維生的土地來興建澄清湖；現在我們當然可以到湖中來釣魚，以維持生計!!!」。

二十、蔣總統無力上激清樓

民國 61 年 6 月 16 日蔣總統照常南下主持三軍聯合畢業典禮(他體力已大幅衰退，無法再依舊分別主持海、陸、空軍官校畢業典禮)。但當他抵達激清樓時，因已罹患重感冒，故無法自行抬腳走上階梯，只好由侍衛人員幫忙扶持才一步一步慢慢走進激清樓。事後水廠即奉指示：「將階梯高度降低，以免蔣總統下次爬梯時太吃力」。後來階梯由原來的 18 公分高降為 12 公分，翌(62)年蔣總統住進激清樓時曾使用過一次。民國 63 年因心臟病復發，行動不便未再南下，翌(民國 64)年 4 月 5 日與世長辭。從此激清樓人去樓空，完全失去往年的光輝，只能依舊矗立在澄清湖畔，供遊客入內參觀，讓人緬懷他對台灣的貢獻!!!。

作者簡介

曾浩雄先生

經歷：曾任台水公司第七區管理處經理，93 年自台水公司南區工程處處長任內退休

現職：尚潔環境工程公司技師

專長：自來水工程



國際自來水瞭望台

譯/范家璋

預定於2012完工的紐約創紀錄UV建設 正如期進行中

根據紐約市環保部門 New York City Department of Environmental Protection, NYCDEP 發言人 Angel Roman 的報導，於紐約進行的全球規模最大，以紫外線消毒設備處理都會區飲用水的工程預計將於2012年二月完工，完竣後即開始初步營運在離正式啓用不到兩年的現在，各項工程皆依照原定計畫順利進行中。

這項耗資 14 億美元約 9 億歐元的處理廠位於紐約上州威徹斯特郡 (Westchester County, NY) 完工後將處理來自凱茨奇爾 Catskill 及德拉瓦 Delaware 流域貯水系統每日約 13 億加侖 4.92Mm^3 的水量，以供給紐約市多數地區民眾的用水處理廠的每日總產能高於 20 億加侖，足以應付整個城市的用水需求，包括巔峰時段。

而這項世紀建案的合約由 NYCDEP 簽予位於紐約州白原市 White Plains, NY 的 Skanska USA Civil 公司、揚克斯市 Yonkers, NY 的 ECCO III 公司，及麻州福雷明罕 Framingham, MA 的 J.F.White 公司所組成的合資企業另由白原市的 Malcolm Pirnie 公司及 CH2MHill 公司組成的管理小組執行建案控管專案設計方面則委託紐約市的 Hazen and Sawyer 公司及麻州劍橋的 CDM 公司共同規劃進行；加拿大安大略省倫敦市的 Trojan 科技公司 Trojan Technologies 則負責 UV 建築技術上的供應及支援。

CH2MHill 的專案經理 Paul Whitener 表示，目前建案的執行進度比預定稍微超前，且所有主要的開鑿工程皆已完工混擬土地基及所有鋼骨結構也安排在後續幾個月內進行。

「這次興建的設備在飲用水供給業界可說是一項指標性的建設。Whitener 補充，「我

們對於能與 Malcolm Pirnie 公司及紐約市環保部門 NYCDEP 合作，一起為提供紐約市九百萬人口更高品質的飲用水而努力感到相當榮幸。」

為了滿足紐約市八百萬居民及一百萬位於上州 Upstate New York，泛指紐約州除紐約市及郊縣外的所有地區民眾高品質的飲用水，目前該區的供水引自於全球最大未經過濾的地表水自十九世紀中葉起，隨著人口的遽增，當地井水污染日漸嚴重為了解決飲用水問題，紐約市政府便自北方 100 哩約 160 公里遠的貯水系統由輸送導管藉由拉力的調度，大大節省了以泵浦抽取可能耗費的能源這個貯水系統可儲存容量約五千八百億加侖 $2,195\text{Mm}^3$ 的水量而建立自二十世紀初期的凱茨奇爾(Catskill 貯水系統及 1930 至 1970 年間逐步建立的德拉瓦 Delaware 貯水系統則足以供給紐約市大部分的用水需求。

除此之外，這三個水系間的相互連結更增加了水源調度上的彈性與便利藉著水源的交流，水量過多的流域可以更有效的將其轉用於緩和其他水域區域性的乾旱情形。

1996 年修正的《美國安全飲用水法案》(United States Safe Drinking Water Act 即規定所有自地表水抽取的飲用水，除非持有官方批准的免過濾認證 FAD, Filtration Avoidance Determination 外，皆須經過一定程序的過濾處理這項條例促使 NYCDEP 決定建立一座 UV 消毒廠來輔助現有的加氯消毒設備，以處理自凱茨奇爾及德拉瓦貯水系統的供水除此之外，從建築成本來評估，興建 UV 消毒廠所需的經費也遠低於過濾廠因此對於紐約市來說，UV 消毒廠的修建無疑是最經濟且理想的選擇。

這座興建中的 UV 消毒廠預計將可達到 99.9% (3-log) 的隱孢子蟲去活化作用

inactivation of cryptosporidium), 達到未來對於未過濾水質的要求除此之外, 這座處理系統共由 56 個 UV 單位組成, 每單位每日約可處理四千萬加侖的水, 堪稱目前全球規模最大的處理廠之一。

一份由美國自來水工程協會 American Water Works Association 於 2006 年年度會議中發表的報告中指出, 針對這項建案, 專案設計師及市政府皆從多方評估過中壓及低壓-高產量的紫外線照射系統, 如人員要求、能源用量、及後續維修等結果低壓-高產量的 UV 系統以其三十年的生命週期獲選。

這款低壓-高產量的 UV 裝置由數個不銹鋼消毒槽組成, 每個消毒槽內皆具備外罩石英套筒的整排 UV 照射燈, 以便直接浸入水流中長時間的紫外線照射可改變許多水生微生物如梨形蟲、隱孢子蟲等的 DNA, 避免其不斷繁殖。

而在專案招標方面, Trojan 科技公司在經過嚴格的篩選程序成功取得這項建案審核過程中, Trojan 公司特地建立了一座紫外線裝置, 並於位於紐約約翰斯鎮 Johnstown, NY 的獨立測試機構進行執行成效確認。

Trojan 科技公司的市政 UV 行銷經理 Jennifer Muller 表示, 該公司出產的大型紫外線處理機種已行銷全球, 廣用於廢水消毒、飲用水消毒、及處理環境汙染源的紫外線氧化於西班牙-馬德里、荷蘭-鹿特丹港市、義大利-米蘭、美國-檀香山及亞特蘭大等地進行, 目前仍在興建中的紐約 UV 廠無論在規模、可處理水量、UV 照射燈數量等方面皆堪稱全美之冠, 但在設計理念及配備上仍與一般規模相當的建案相比擬。

Muller 同時也表示:「這次承接的每座紫外線消毒設備雖然在規模及重量上皆比我們之前參與設計的任何一項都要來的龐大, 但卻沒有因此為我們帶來太多執行上的困難。在設計方面, 為了方便維修人員日後進行維

修, 每個單位裡都規劃了一個方便維修人員進入的艙口通道, 且內部的空間甚至比紐約市一些公寓住宅的一戶要大。

「紐約這次在確保其市民飲水品質及安全上向前跨了相當大的一步, 同時也降低了由飲水為傳播媒介病原體的擴散。Trojan 的董事長 Marvin DeVries 表示,「這次的建設將大幅提升美國紫外線生產力的發展及能力。」

NYCDEP 的 Roman 也指出, 這次新建設備的經費是由該部門的首要企劃預算支付雖然這項企劃不會為紐約市增添額外的供水來源, 但卻為現有的水源提供了更有效的處理辦法。

市面上紫外線處理效能的進展

過去十年間, 紫外線的應用已成為處理過濾水源最受歡迎的新選擇無論是以獨立系統進行亦或是與其他技術合併, 紫外線已被廣泛用於根絕水中各種頑強物質的繁衍, 近來各地水處理行業更是不乏見處理裝置在規模及精密度上愈見先進的趨勢。

Berson 公司的管理處長 Andres Clark 表示, 飲用水認證的合格檢查標準過去向來由德國的認證機構 DVGW 德國燃氣與水工程協會設定對於紫外線消毒的劑量, DVGW 原本持有相當安全的高標準 - $40\text{mJ}/\text{cm}^2$ 但隨著美國及歐洲相繼對紫外線消毒採取較為彈性的應對, 原定的規則也逐漸趨於可變通的美國環保署訂定的第二階段表面水處理之加強法則 The US EPA Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule, 簡稱 LT2 便允許擁有如 RO 逆滲透薄膜及砂濾 sand filters 等多級屏障過濾處理的顧客為各要件的滅菌功能取得認可。

在地表水成為主要的供水來源後, 許多自來水公司開始專注於隱孢子蟲病 (cryptosporidium) 的防治。Clark 表示, 紫外線殺菌可輕易消滅或抑制隱孢子蟲病的增生,

免除各界在這方面的疑慮。「在許多情況下，DVGW 核定的標準並不是唯一的準則。」過去一年間，Berson 公司就耗資一百萬美金致力取得美國環保署的批准，使其修訂後的規範合乎美國當地的使用標準 Clark 說明：「因為我們的客戶並不需要取得德國標準的認證，使得我們在這個區塊更有競爭力。」

除此之外，Clark 也表示，該公司一直積極處理的另一項主要區塊變是加強系統的整體效能，特別是電子配備方面。Clark 指出，隨著電子零件發展更趨進步，電子安定器的使用也愈趨普及「使用電子安定器的好處是其可以無限調整的特性 - 假如你需要 61% 的能源，必須將傳統安定器調至 80%；而電子安定器則可直接調至所需的 61%。在這種情況下，電子安定器的使用將可幫助節省近三分之一的能源，達到 15% 的節能效果這在市政實施的應用上成效尤其顯著。

溴酸鹽方面的顧慮

根據 Ozonia 的 UV 銷售經理 Michel Forgeot 的說明，目前該公司提供的 UV 處理範圍從每小時數立方公尺至 8,600m³，後者由該公司的大型線列橫流式 36 吋 Aquaray H₂O 反應裝置負責處理，這項裝置目前主要應用於美國及中國境內的特大型處理廠 Forgeot 補充：「面對處理大量的水流時，中壓燈管才是最合適的因應之道。」

同時，Ozonia 也以 UV 系統汰換了位於巴黎近郊的處理廠 Joinville 及 Orly 所使用的臭氧處理安置完成後，UV 系統將被運用於處理現有的水量，包括消除寄生蟲及更重要的，降低臭氧的用量以避免溴酸鹽的形成自 2008 年底新式的歐洲標準通過後，溴酸鹽的含量必須由原來的 25µg/l 降至 10µg/l。

目前，Joinville 共有 14 座 Aquaray H₂O 裝置，Orly 則有 22 座這些裝置皆符合德國 DVGW 的 40mJ/cm² 嚴格劑量標準 Forgeot 表示，這些裝置自 2009 年六月即已開始營

運，至今成效如預期的相當良好。

微波技術

近代紫外線技術的發展運用微波於低壓、高產能照射燈來產生 254nm 的單色紫外線光這項技術被英國水務公司 Severn Trent Services 評為飲水消毒領域上遠景無限的新選擇。

相較於傳統以電極產生紫外線照射消毒的水銀 UV 燈，近代的紫外線消毒技術採用的是以微波為動力的無電極 UV 燈在這個新型裝置中，微波能源自磁電管生成後再透過波導管傳遞至石英燈內，過程中產生的殘留輻射能相當低，因此微波 UV 系統可於瞬間關閉這項特點可避免過熱燈管附近一些感熱材質發生不良反應的問題除此之外，無電極燈管的使用也使得水中不再需要接電，安全性大增。

Severn Trent Services 於 2007 年併購 Quay 科技公司 Quay Technologies 後，便以 MicroDynamics 的註冊商標於消費市場廣泛運用這項技術。

(摘譯自 Water21 - Magazine of the International Water Association Feb., 2010, 范家瑋)